

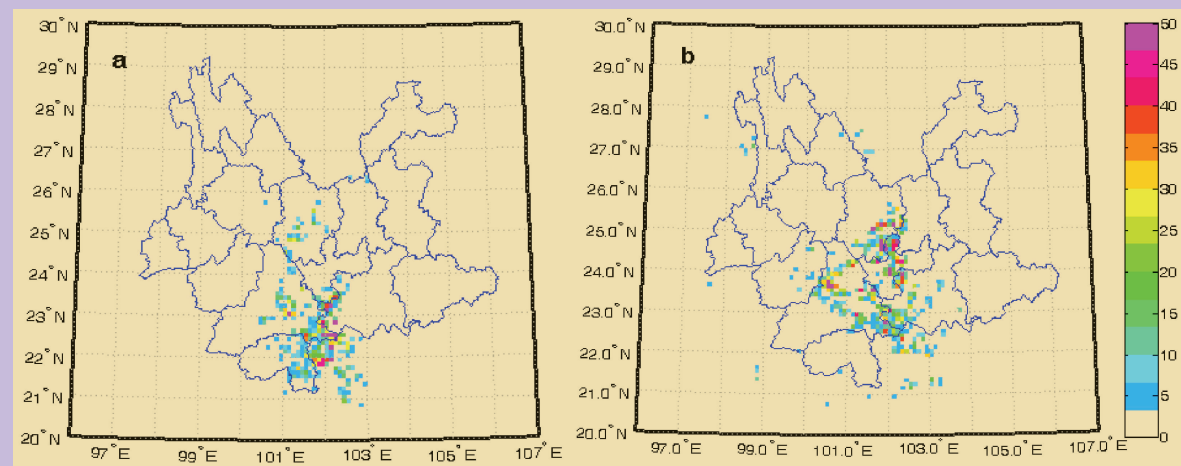


图1 “7.17”过程 (a) 和“9.22” (b) 过程的地闪空间分布 (单位: 次/格点)

Fig.1 Spatial distribution of CG lightning in the two thunderstorms on July 17 (a) and on Step 22 (b) (Unit: number/grad)

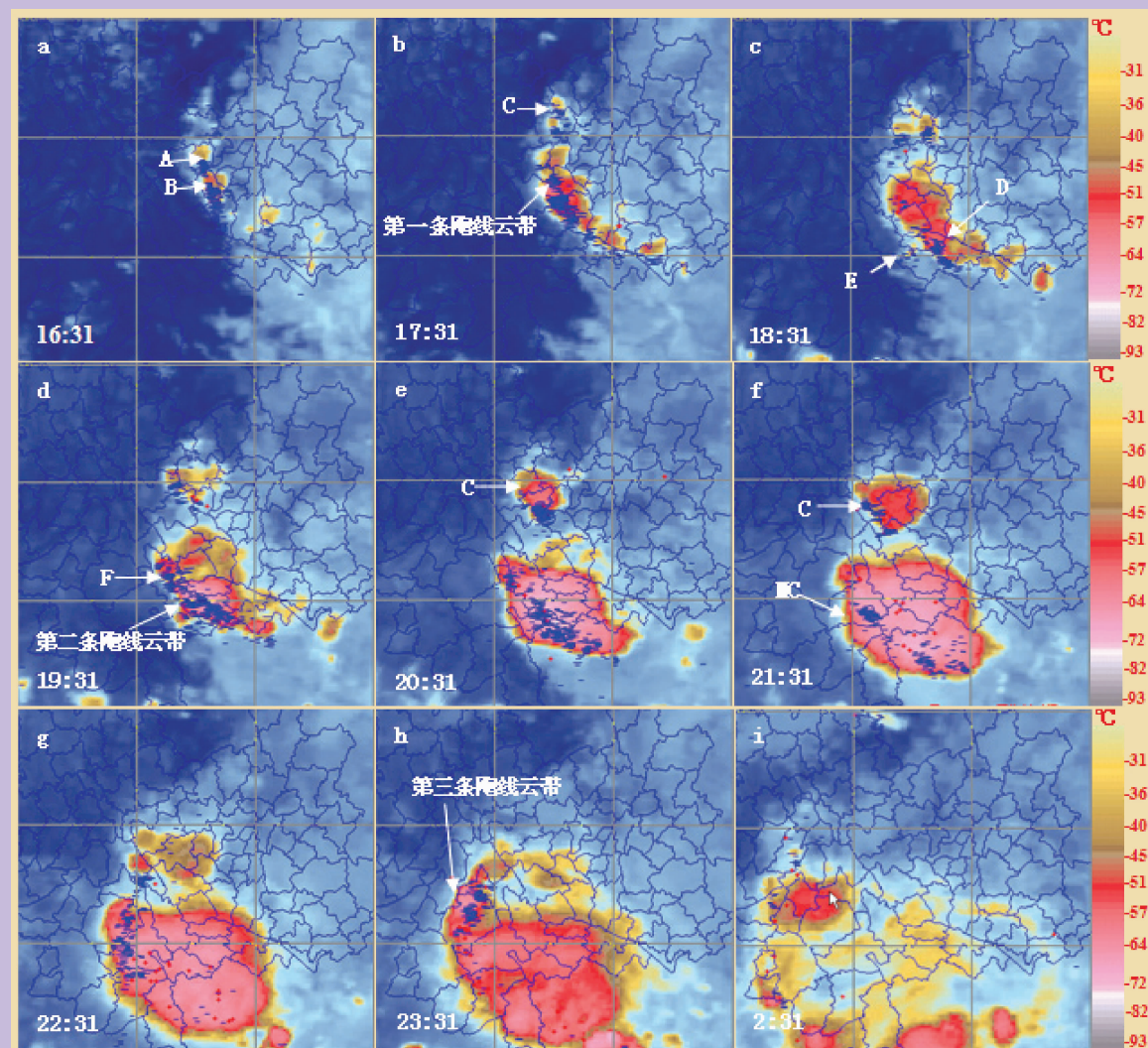


图4 2010年9月22日 FY2E 红外云图和地闪分布

“—”表示相应云图前 30min 负地闪, “+”表示相应云图前 30min 正地闪

Fig.4 Cloud top bright temperature contour from FY-2E on 22 September 2010 and the distribution of CG flashes

The symbol “—” and “+” signified for negative CG and positive CG before 30 min of the satellite image

ISSN 1001-7852



刊号: ISSN 1001-7852
CN53-1079/P

公开发
国内定价: 15.00 元

中国期刊网

中国学术期刊(光盘版)

万方数据——数字化期刊群

中国学术期刊综合评价数据库

中国核心期刊(遴选)数据库

中国科技期刊数据库

中国台湾思博网(CEPS)

ISSN 1001-7852

云南

地理环境研究

第 25 卷

第 4 期

Vol.25 No.4

2013 年 8 月

许迎杰等：滇西南两次飑线过程的地闪演变特征分析

图版 II
Plate II

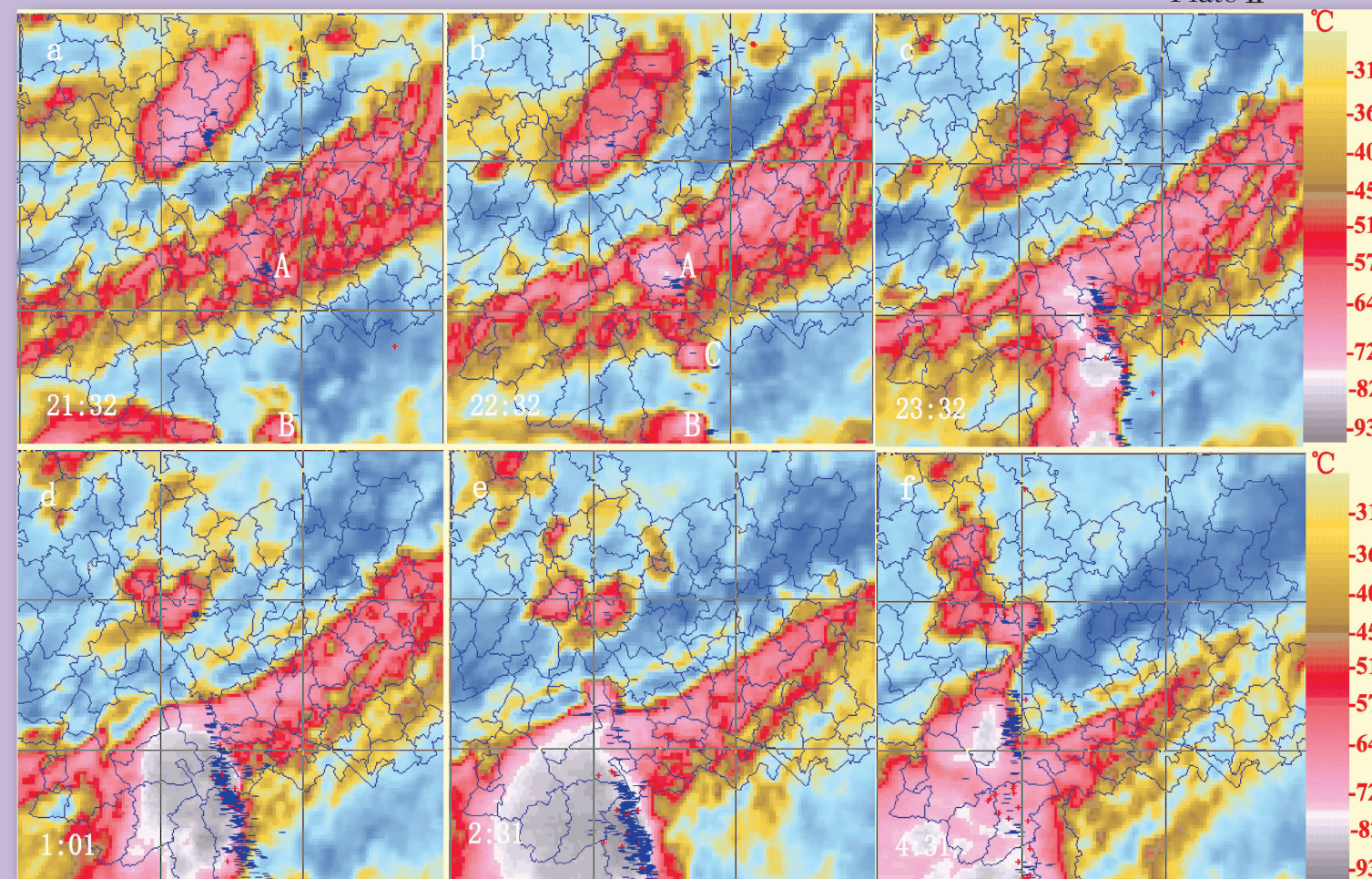


图3 2010年7月17日 FY2E 红外云图和地闪分布

“—”表示相应云图前 30min 负地闪, “+”表示相应云图前 30min 正地闪

Fig.3 Cloud top bright temperature contour from FY-2E on 17 July 2010 and the distribution of CG flashes

The symbol “—” and “+” signified for negative CG and positive CG before 30 min of the satellite image

云南大学 主办

YUNNAN GEOGRAPHIC ENVIRONMENT RESEARCH

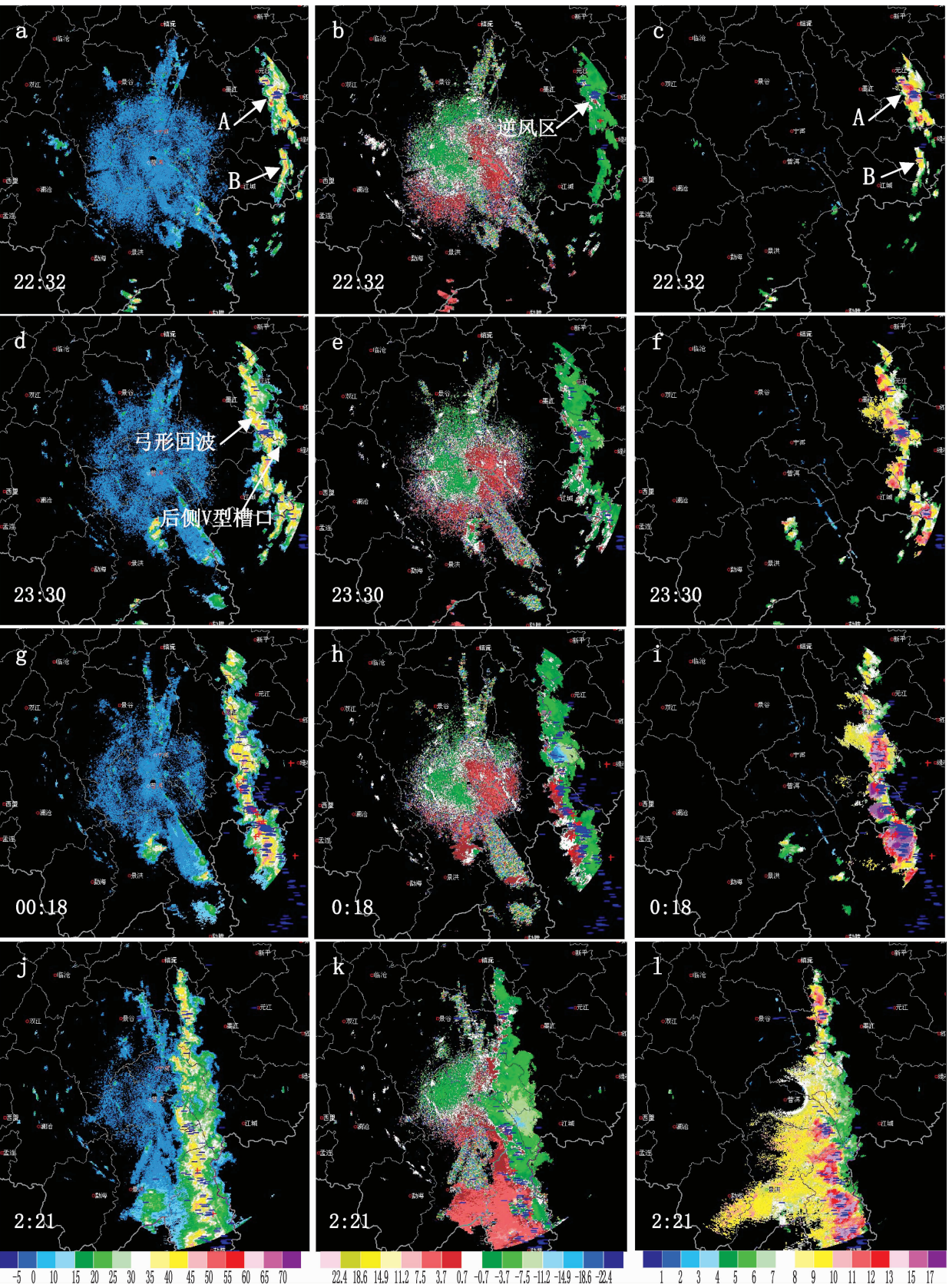


图5 2010年7月17日多普勒雷达基本反射率和地闪分布图

“—”表示相应回波前6 min 负地闪，“+”表示相应回波前6 min 正地闪，雷达范围150 km，仰角0.5°

Fig.5 The distribution of basic radar reflectivity with superposed CG flash on 17 July 2010

The symbol “—” and “+” signified for negative CG and positive CG before 6 min of the Dopplar radar scan time, scan Radius of the radar is 150 km and Elevation angle is 0.5°

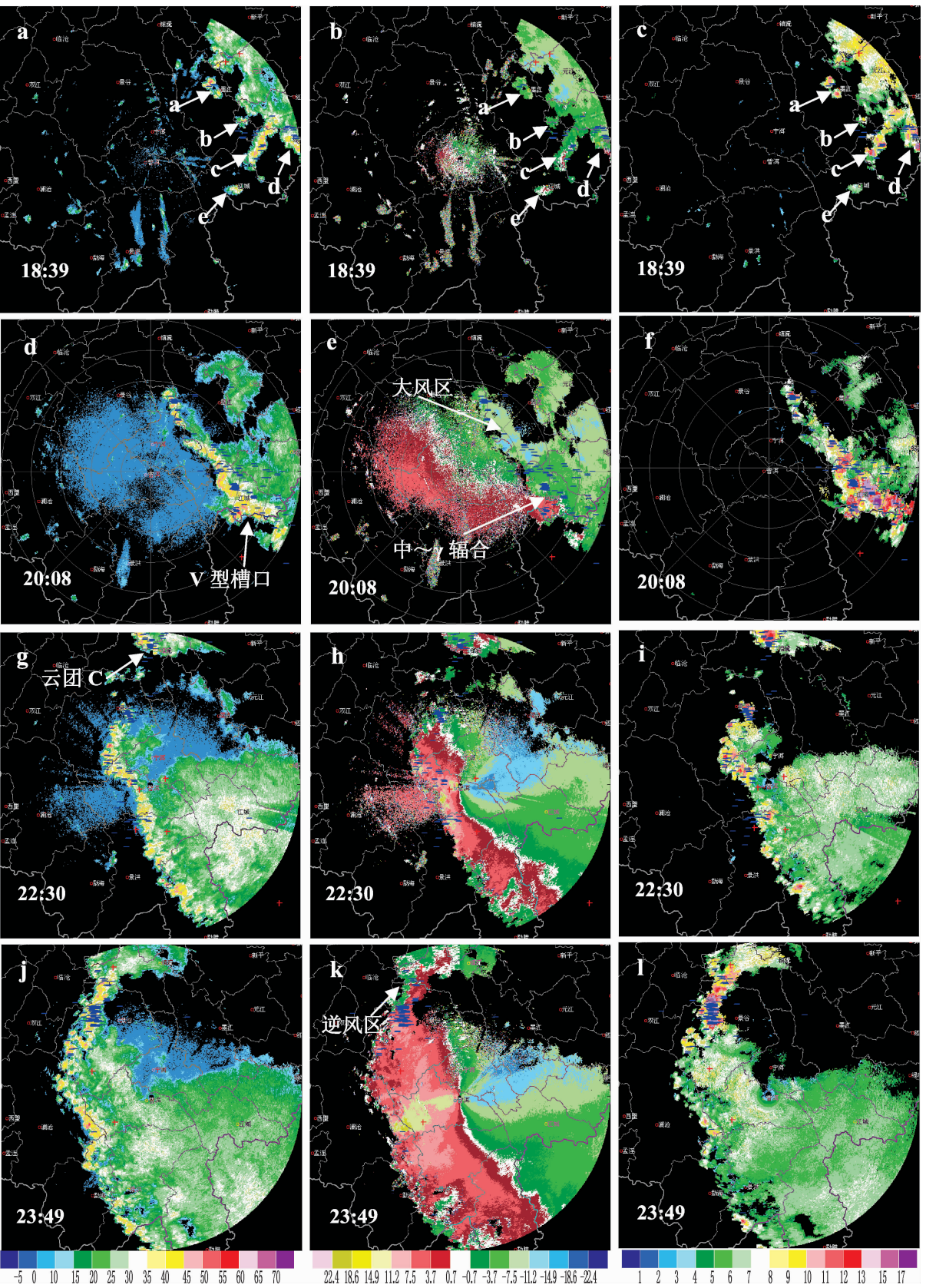


图6 2010年9月22日多普勒雷达基本反射率和地闪分布图

红色“+”和蓝色“—”分别表示正、负地闪，普洱雷达站PPI观测仰角为0.5°，距离间隔每圈30 km

Fig.6 Reflective index, radial velocity and Echo Top-ET stacked with lightning before 6 min respectively

Blue “+” and Red “—” represent positive and negative lightning, the elevations of puer radar are 0.5°，distance interval is 30km every circle

云南地理环境研究

第 25 卷 第 4 期 2013 年 8 月

目 次

滇西南两次飕线过程的地闪演变特征分析	许迎杰, 尹丽云 (1)
乌鲁木齐近 50 年气温变化与城市化发展关系	龙海丽, 王爱辉 (10)
云南年降水资料的均一性检验分析	刘茆今, 李 毅 (15)
玉溪地区降水变化特征分析	杨 波, 王 宝, 周 泓 (22)
玉溪空中水资源开发潜力分析	周鹏康, 秦金梅, 丁 圣 (26)
2011 年大理州入汛后首场区域性大雨过程分析	钟爱华, 黄慧君, 徐安伦 (31)
云南省中部 3 种森林土壤含水率、容重和细根重及其垂直分布	单梦颖, 杨永刚, 吴兆录 (38)
吉林省城乡居民膳食水足迹研究	唐珍珍, 秦丽杰, 梅 婷 (45)
农业干旱遥感监测模型综述	胡文英, 罗永琴 (51)
论明代对云南岩溶地貌的地理探索与认识	马银行 (56)
澜沧江干流大型规划电站影响区关键人文生态对象识别与敏感度评估	李晓波, 冯 彦 (63)
辽宁区域旅游竞争力比较研究	鲁小波, 丁玉娟, 郭 迪 (67)
浙江省市域旅游竞争力评价研究	徐金华, 桑广书 (76)
“核心 - 边缘”区域结构对旅游客流的影响 ——以肇庆景区为例	廖继武 (81)
近 30 年来辽宁省人口增长的空间关联性研究	穆金婷, 王 利, 纪胜男 (87)
云南省新型特色城镇化建设探讨	郭凯峰 (93)
全域规划视角城市轨道交通与其他交通方式衔接研究进展	汪玉君, 刘 静, 马仁锋 (98)
大庆油田湿地公园建设规划与设计	于安静, 李悦铮, 江海旭 (103)

本 刊 声 明

《云南地理环境研究》为学术类科技期刊，国内外公开发行人。为加强学术交流，本刊已入编多种数据库。作者稿件一经本刊录用，将同时被“中国期刊网”、“中国学术期刊（光盘版）”、“中国学术期刊综合评价数据库”、“万方数据——数字化期刊群”、“中国核心期刊（遴选）数据库”、“中国科技期刊数据库”、“中国台湾思博网”等全文收录。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。作者向本刊投稿，即视为同意将文章编入以上数据库。

云南地理环境研究
YUNNAN DILI HUANJING YANJIU
(双月刊 1989 年创刊)
第 25 卷 第 4 期 2013 年 8 月出版
国内统一刊号 **CN53-1079/P**

YUNNAN GEOGRAPHIC
ENVIRONMENT RESEARCH
(Bimonthly Started in 1989)
Vol.25 No.4 Aug., 2013
国际标准刊号 **ISSN 1001-7852**

主 管 云南省教育厅
主 办 云南大学
主 编 何天淳
常务副主编 徐 旌
出版发行 《云南地理环境研究》编辑部
(昆明市学府路 20 号, 邮政编码:
650223 电话: 0871-65134021
电子邮件: 1423307537@qq.com
网络地址: /www.ger.ynu.edu.cn)
国外发行 中国国际图书贸易总公司
(北京 399 信箱 100044)
印刷装订 云南省印刷技术研究所

Editor: Editorial Office of YGER
Yunnan Institute of Geography
(20 Xuefu Rd., Kunming 650223, China.
E-mail: 1423307537@qq.com
http: //www.ger.ynu.edu.cn)
Editor-in-Chief: HE Tian-chun
Publisher: Editorial Office of YGER
Distributor: Editorial Office of YGER
Abroad: China International Book Trading
Corporation (GUOJI SHUDIAN)
(P.O.Box 399, Beijing 100044, China)
International Periodical No.: 4101 (BM)

YUNNAN GEOGRAPHIC ENVIRONMENT RESEARCH

Vol. 25 No. 4 Aug. 2013

CONTENTS

Characteristics Analyses on Cloud to Ground Lightning Evolution of Two Squall Line Processess in South – west of Yunnan	<i>XU Ying – jie</i> , <i>YIN Li – yun</i> (9)
The Changes of Air Temperature in Urumqi in Recent 50 Years and Its Relation to Urbanization	<i>LONG Hai – li</i> , <i>WANG Ai – hui</i> (21)
Homogeneity Test Analysis of Yunnan Annual Precipitation Data	<i>LIU Li – jin</i> , <i>LI Yi</i> (21)
Analysis of the Characteristics of Precipitation Variation in Yuxi, Yunnan Province	<i>YANG Bo</i> , <i>WANG Bao</i> , <i>ZHOU Hong</i> (25)
Analysis on Development Potential of Water Resources in the Air Over Yuxi City	<i>ZHOU Peng – kang</i> , <i>QIN Jin – mei</i> , <i>DING Sheng</i> (44)
The First Regional Heavy Rain Process Analysis of Dali in Yunnan Province in 2011 Flood Season	<i>ZHONG Ai – hua</i> , <i>HUANG Hui – jun</i> , <i>XU An – lun</i> (37)
Soil Moisture Content, Bulk Density and Fine Root Weight as Well as Their Vertical Distribution in Soils of Three Forest Types in the Central Yunnan Province	<i>SHAN Meng – ying</i> , <i>YANG Yong – gang</i> , <i>WU Zhao – lu</i> (44)
Dietary Water Footprint of Urban and Rural Resident in Jilin Province	<i>TANG Zhen – zhen</i> , <i>QIN Li – jie</i> , <i>MEI Ting</i> (50)
Review of Agricultural Drought Monitoring Models	<i>HU Wen – ying</i> , <i>LUO Yong – qin</i> (55)
Geographical Investigation and Understanding of the Yunnan Karst Landform in the Ming Dynasty	<i>MA Yin-hang</i> (62)
Key Humanistic Ecologic Objects' Identification and the Sensitive Evaluation in the Area Impacted by the Planed Hydropower Stations on the Middle – and Upper – Mainstream of the Lancang River	<i>LI Xiao-bo</i> , <i>Feng Yan</i> (108)
A Study on Regional Tourism Competitiveness in Liaoning Province	<i>LU Xiao – bo</i> , <i>DING Yu – juan</i> , <i>GUO Di</i> (75)
Study on Tourism Competition of Prefecture – level City in Zhejiang Province	<i>XU Jin – hua</i> , <i>SANG Guang – shu</i> (80)
Impaction of “Core – periphery” Regional Structure on Tourist Flows ——A Case Of a Scenic Zone in Zhaoqing City	<i>LIAO Ji – wu</i> (86)
Space Correlation Research of Population Growth in Liaoning Province For Nearly 30 Years	<i>MU Jin – ting</i> , <i>WANG Li</i> , <i>JI Sheng – nan</i> (92)
Yunnan Construction of the New Features of Urbanization	<i>GUO Kai – feng</i> (97)
The Research of Urban Rail Transit Connecting with Other Traffic Modes in the View of Global Planing	<i>WANG Yu-jun</i> , <i>LIU Jing</i> , <i>MA Ren-feng</i> (102)
Construction Planning and Design of Daqing Oilfield Wetland Park	<i>YU An – jing</i> , <i>LI Yue – zheng</i> , <i>JIANG Hai – xu</i> (108)

《云南地理环境研究》稿约简则

本刊为国内外公开发行的学术类科技期刊，登载有关自然环境、经济环境、社会环境研究的论文。来稿力求精炼，立意新颖，论点明确，数据可靠，并遵守国家保密等政策法规。以 7 000 字为宜，特殊情况可适当伸缩。

来稿请通过电子邮件发送至：1423307537@qq.com，请勿一稿多投。

非重大项目成果作者排名以不超过 3 个为宜，并附第一作者简介。另附详细地址、邮政编码及联系电话、电子信箱。

来稿请附上 300 字以内的中英文摘要及 3 至 6 个关键词。摘要需客观反映全文核心内容，应是具有独立性的报道式，不应写成内容简介或评述；关键词尽量采用《汉语主题词表》中所列词汇，不要使用“研究”、“调查”一类词语。

题目及图表名均须译成英文。图表只附必要的，其中的外文应译成中文。图件请按出版要求制作；表格一律使用“三线表”。照片请附底片或单独的高分辨率电子版及简短文字说明。

文中标题序号、层次按国家统一标准用阿拉伯数字连续编号，左顶格书写，不同层次间用圆点间隔（如 1，1.1，1.1.1……）。计量单位按《中华人民共和国法定计量单位》标称，表达量值时一律使用国际符号。标点符号请认真对待。

引文（内部资料）请对应于本页脚注；文末参考文献只列文中引用之公开发表文献，按文中出现的先后顺序列出（引用之处在右上角标注编号），著录格式为：

期刊：[序号] 主要责任者（列前 3 位，后加等或 et al）. 篇名 [J]. 刊名，出版年，卷（期）：起止页码.

专著：[序号] 主要责任者（列前 3 位，后加等或 et al）. 书名 [M]. 出版地：出版单位，出版年：起止页码.

学位论文：[序号] 学位获得者. 学位论文题名 [D]. 地址：授予学位机构，年份：起止页码.

文集：[序号] 析出文献责任者（列前 3 位，后加等或 et al）. 篇名 [C]. //论文集责任者（列前 3 位，后加等或 et al）. 论文集名. 出版地：出版单位，出版年：起止页码.

译著：[序号] 原著者国名. 原著者. 文献名 [M]. 译者名. 出版地：出版单位，出版年：起止页码.

电子文献：[序号] 主要责任者. 电子文献题名 [电子文献及载体类型标识]. 电子文献出处或可获得地址，发表日期/引用日期（任选）.

来稿免收审稿费。文责自负，本刊编辑可作必要删改。本刊一般会在 3 个月内尽快反馈稿件处理意见。

为加强学术交流，本刊已入编多种数据库。作者稿件一经本刊录用，将同时被“中国期刊网”、“中国学术期刊（光盘版）”、“中国学术期刊综合评价数据库”、“万方数据——数字化期刊群”、“中国核心期刊（遴选）数据库”、“中国科技期刊数据库”、“中国台湾思博网”等收录。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。作者向本刊投稿，即视为同意将文章编入以上数据库。

滇西南两次飊线过程的地闪演变特征分析

许迎杰^{1,2}, 尹丽云²

(1. 云南大学 大气科学系, 云南 昆明 650091; 2. 云南省气象台, 云南 昆明 650034)

摘要: 利用雷电定位资料、多普勒雷达资料和 FY-2E 卫星资料对发生在滇西南的两次台风低压西行形成飊线过程的地闪变化特征进行了对比分析, 结果表明: 2 次飊线过程均以负地闪占主导地位, “7.17” 过程正、负地闪频数峰值均出现在飊线成熟阶段, 正地闪峰值超前于负地闪峰值 10 ~ 15 min; 正、负地闪集中发生在冷中心区后侧的温度梯度大值区和辐合线附近回波强度 ≥ 40 dBz、回波顶高 ≥ 12 km 的强回波区域; “9.22” 过程正地闪频数呈单峰型变化, 负地闪出现 3 个峰值, 对应着 3 次飊线发展, 密集负地闪出现在前侧 TBB 温度梯度大值区和强回波区左后侧强度 ≥ 40 dBz、回波顶高 ≥ 12 km 的强回波区; 负地闪减弱阶段正地闪开始活跃正地闪出现在后侧冷云中心。两次飊线过程中 -10 °C 层回波强度的跃增总超前于负地闪的跃增 6 ~ 30 min 左右。

关键词: 滇西南; 飊线; 地闪频数; 云顶亮温; 多普勒雷达

中图分类号: P427.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-7852(2013)04-0001-09

0 引言

飊线是一种由多个雷暴单体或雷暴群组成的狭窄强对流天气带, 是产生强对流天气的主要中尺度系统之一, 飊线不仅常产生强降水、瞬时大风和冰雹等灾害性天气, 还常伴有强烈闪电, 造成雷击灾害, 给工农业生产和人民生活带来严重损失。雷暴云内部的动力和微物理过程一定程度上决定了闪电的发生和发展, 是大气电学的主要研究内容。因此, 国外许多学者利用普勒天气雷达、卫星和闪电资料开展了雷暴云中闪电与雷达、卫星演变的宏观动力特征和雷暴云起电、放电与雷暴动力、微物理

过程之间的关系研究, 并取得了较好的研究成果。MacGorman, et al^[1-2] 研究发现负地闪主要发生在飊线的对流区, 而正地闪则发生在尾随层状云降水区。最大的闪电密度位于飊线对流区后部, 位于强回波区内及其附近区。闪电往往在最强雷暴单体中心产生, 第一次地闪出现在发展了 9 min 的雷暴云冰水混合相中, 生成大雹的冰雹云在成熟阶段总是产生异常多的正地闪。Orville, et al^[3] 研究发现飊线中的地闪通常呈偶极子型的空间分布特征。Carey, et al^[4] 和 Ely et al^[5] 研究发现闪电的甚高频辐射源主要位于飊线前部对流区, 层云区的正地闪可能是对流区的电荷平流和层云内部的局地起电机制造所致。Carey, Rutledge^[6] 研究了产生闪电的雷暴

收稿日期: 2013-07-12; 修订日期: 2013-08-07.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41275045); 国家重点基础研究发展 (973) 计划项目 (2010CB428605); 国家自然科学基金重点项目 (U1133603), 国家自然科学基金项目 “基于雷达和卫星资料低纬高原强对流风暴及闪电特征研究” (41265001); 国家自然科学基金项目 “低纬高原强对流天气的闪电活动特征及其在预警中的应用” (41305002); 云南省科技计划项目 “低纬高原雷电自动预警预报方法的研究和应用” (2009CA014); 中国气象局预报员专项 “2012 年云南短时强降水过程分析” (CMAYBY2013-064) 资助。

作者简介: 许迎杰 (1977-), 女, 云南省普洱市思茅区人, 高级工程师, 主要从事雷电研究及计算机编程工作。

云动力和微物理过程,发现当云中霰粒子的体积增大时,云闪率呈现指数增长,地闪率的快速减小与雷暴中霰和雹的下降时间一致。Seity, et al^[7]研究发现地闪的发生与霰雹混合物的存在有非常密切的关系。Dotzek, et al^[8]利用闪电信息、雷达反演的微物理特征及卫星云图对中尺度系统研究发现,绝大多数正地闪的起始位置与冰雹粒子和高密度的霰粒子区域相一致。Gauthier, et al^[9]研究发现雷暴的地闪活动与雷达反演的冰相降水含量之间有很好的线性关系。在中国,基于地面地闪定位网和多普勒天气雷达、卫星等探测资料,袁铁等^[10]研究了华南的一次强飊线过程闪电活动及其与降水结构之间的关系,结果表明飊线系统中绝大多数闪电发生在线对流区,有少数闪电出现在层云区域。姚叶青等^[11]对安徽的一次大范围飊线过程进行了分析,发现与弓形回波相对应的多普勒径向速度明显预示地面大风的中层径向辐合(MARC)。冯桂力^[12]对山东一次飊线过程的地闪特征分析发现,正地闪频数大于负地闪,正地闪先于负地闪出现,正地闪发生在线对流区(即强回波区内或附近),负地闪发生在层状云区。段鹤^[13]、苟阿宁^[14]、张腾飞^[15]、牟容^[16]、陈云辉^[17]等分别对不同地区飊线过程的多普勒雷达回波结构和卫星云图特征作了分析研究。由于飊线过程中复杂的宏观动力、微观物理、电荷分布及各雷暴单体之间的相互作用,不同区域不同天气背景飊线过程的地闪演变特征、雷达回波和卫星云图特征具有显著差异,这也是学术界重视各地区不同类型飊线过程研究的主要原因之一。云南地处低纬高原,飊线等强对流天气频发,云南西南部为中国雷暴多发区之一^[18-19]。强对流天气的成因与地理位置、地形地貌和影响系统有较大关系,伴随的地闪极性特征、地闪演变特征也有较大差异。本文对发生在云南西南部的两次飊线过程地闪与多普勒雷达回波、卫星云图演变特征进行对比分析,并对雷暴云内的电荷及云粒子等微物理特征作了初步分析,意在探寻低纬高原强对流灾害性天气的预报方法和技术,为提高强对流天气的预报能力奠定理论基础。两次过程发生于2010年7月17日和2010年9月22日,分别简称为“7.17”过程和“9.22”过程,飊线过程均产生了局地短时暴雨,飊线经过区域同时伴随强雷暴、大风,“7.17”

还产生了冰雹天气过程。

1 资料及其处理

地闪资料由云南雷电监测定位系统提供,该系统由22个DATA型闪电定位仪和一个中心数据处理站组成,覆盖云南全省,系统可提供每个闪电信息包括闪电发生的时间、位置、强度、极性等,该系统的定位精度和探测效率理论计算值分别约为500 m和95%,地闪资料未进行效率订正。雷达资料取自于普洱雷达站的CINRAD/CC(3830)多普勒雷达(101°1'12"E, 22°49'30"N),扫描半径为150 km,资料为连续VPPI扫描资料,数据采样间隔为6 min,每个VPPI资料共14层,最低仰角0.5°,最高仰角19.5°,该雷达能提供强度、速度和谐宽等信息。卫星资料取中国气象局DVBS广播下发的FY2E卫星云图资料(GPF格式),分辨率为0.045°×0.045°,观测间隔30 min。

2 天气背景分析

2010年7月17日~18日、9月22日~23日云南西南部自东向西分别出现飊线过程,伴随短时强降水、雷电、大风等强对流天气。“7.17”过程勐腊产生49.7 mm的降水,“9.22”过程江城产生80.1 mm降水,最大小时雨量达52.9 mm。

形势场上,“7.17”过程受西南低涡切变南下和“康森”台风低压西行共同影响。500 hPa滇南高压和副热带高压之间形成辐合切变线并逐渐南压,“康森”台风低压减弱西行,700 hPa上“康森”台风低压减弱西行造成辐合切变明显加强并随台风低压逐渐西移。高低空深厚的切变表明,干冷空气从中高层南下,台风低压外围的偏东气流和副高外围的偏南气流为中低层带来高温、高湿和充沛的水汽条件,形成强烈的大气不稳定,造成了此次飊线过程的发生。

“9.22”过程500 hPa上副热带高压北抬西伸有利于“凡亚比”台风低压西行,其北侧的偏东北气流自东向西影响云南中南部地区, $>20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的风速大值中心随台风低压西行逐渐西推,700 hPa上“凡亚比”台风北侧生成的热带东风急流自东北向西南影响云南省中南部地区,东风急流为强对流

天气的发展提供了较好的辐合抬升条件,有利于低层暖平流的输送,有利于强对流天气的发生。

3 两次飚线的地闪特征分析

3.1 地闪时空分布特征

“7.17”过程共发生地闪6 643次,正地闪227次,占地闪总数的4.17%,地闪活动密集出现在普洱东南部和版纳东部地区(封底图版I图1a),最大地闪密度出现在普洱的江城南部,达2.22次/ km^2 。从飚线的移动特征分析,切变云系和热带低压云系在普洱东部合并后迅速发展成飚线并在西南移过程中迅速减弱消散,由于影响该过程的冷锋云系为西南移动路径,与台风低压外围云系合并后在逐渐西南移的过程中逐渐减弱消散,使得该雷暴过程对流活动范围偏南,地闪活动分布与系统移向基本一致。时间分布上,“7.17”过程(图2a)地闪持续时间约为10小时,21:00负地闪首先出现,22:30开始出现1次正地闪,随后30 min内负地闪活动频繁,23:20正地闪开始活跃,频数峰值发生

在18日0:20,达2.7次/min,10 min后负地闪频数达到峰值,为44.3次/min,正地闪频数在达到峰值后出现间歇期,负地闪频数则维持在20次/min以上,2:40负地闪减弱至5.4次/min,随后2小时内正、负地闪呈缓慢增加特征。飚线发展至消散阶段负地闪频数明显减弱,正地闪频数又出现第二个峰值,5:10正地闪频数达1.3次/分,随后正、负地闪减弱。

“9.22”过程共发生地闪10 169次,其中正地闪248次,占地闪总数的2.44%,正地闪比例较“7.17”过程偏少1.73%,地闪活动较分散(封底图版I图1b),最大地闪密度仅1.44次/ km^2 。整个过程经历了3次飚线的发展,3个地闪密集区对应着3次飚线经过区域。第一次飚线过程为MCS的发展阶段(14:19~19:00),负地闪首先出现然后急剧增加,15:50出现第一个正地闪,随后出现间歇期,17:30负地闪出现第一个峰值,频数为28.2次/min,第一次飚线过程正地闪频数最大仅为0.5次/min;第二次飚线过程为MCS的成熟阶段(19:00~21:30),持续时间短但雷电活动剧烈,

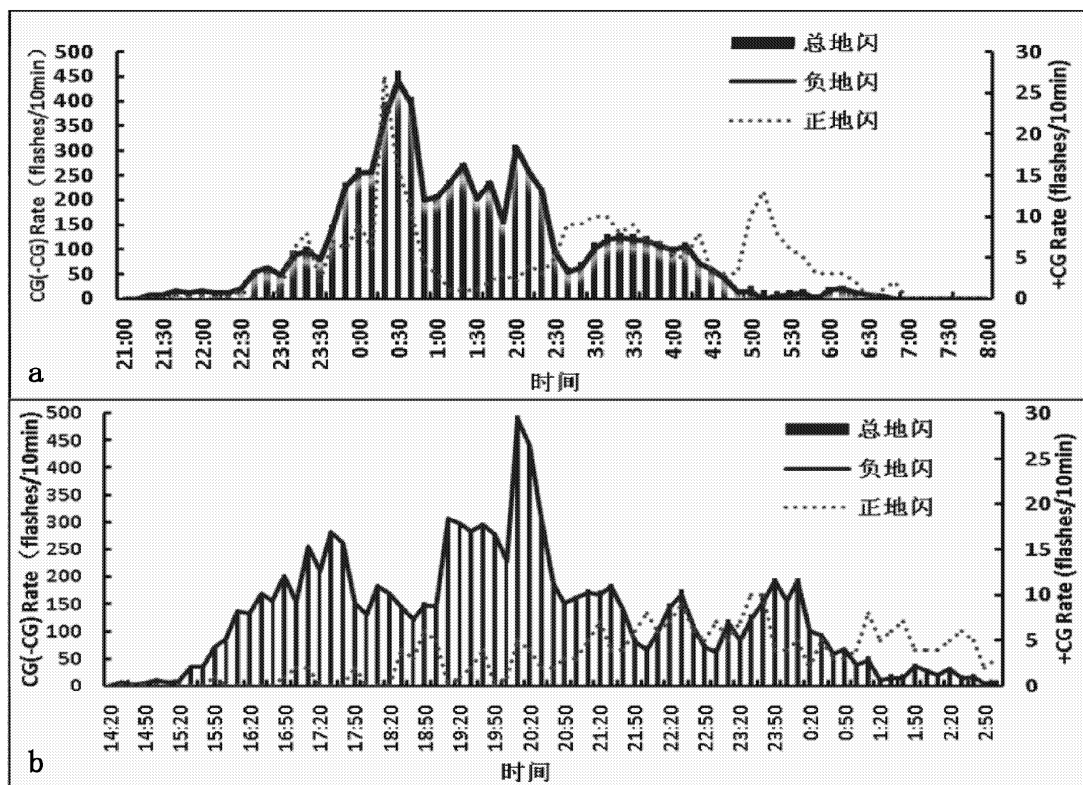


图2 “7.17”过程(a)和“9.22”(b)过程地闪频数的时间分布(单位:次/10min)

Fig. 2 Temporal distribution of CG lightning in the two thunderstorms on July 17 (a) and on Sep 22 (b) (Unit: number/10 minutes)

20:10 负地闪出现第二个峰值, 频数为 49.1 次/min, 正地闪频数则维持平稳特征; 第三次飚线过程为 MCS 减弱消散阶段 (21:40 ~ 3:00), 23:50 负地闪出现第三个峰值, 频数为 19.3 次/min, 正地闪频数略有增加, 峰值频数达 1 次/min。与 MCS 的前 2 次飚线过程相比, 第三次飚线过程的负地闪频数明显减弱, 正地闪频数则略有增加。整个 MCS 过程的发展除了由台风低压外围的暖湿气流不断激发产生对流所致, 同时受地形抬升影响较明显, 特别是 MCS 减弱西移到哀牢山以东后, 受地形抬升影响, 又重新发展形成第三次地闪活动峰值。

两次飚线过程均以负地闪占主导地位, 消散阶段正地闪频数增加。“7.17”过程总地闪数较“9.22”过程偏少, 但地闪活动密集, 最大地闪密度和正地闪比例均大于“9.22”过程, 正、负地闪频数最大峰值均出现在飚线成熟阶段, 正地闪峰值超前于负地闪峰值 10 min 出现; “9.22”过程负地闪频数的 3 个峰值出现在 3 次飚线成熟阶段, 消散阶段正地闪平稳增加。

3.2 地闪与卫星云图的演变

卫星云图上, 两次飚线过程均为对流云团合并发展形成 MCS 的演变过程。从叠加的地闪与卫星云图的演变分析 (云图上叠加的是观测时刻前 30 min 的地闪资料), 两次飚线过程的地闪分布随云顶亮温演变有明显差别。

3.2.1 “7.17”过程地闪与卫星云图的演变特征

图 3 (封面图版 II) 是 2010 年 7 月 17 日飚线过程的卫星红外云图及叠加的地闪分布。17 日 17:32 一条 NW-SE 向切变云带在云南中部以东区域生成并快速向西南方向移动, 云带内对流发展旺盛。21:32 切变云带内一对流单体 A 发展起来 (图 3a), 云顶亮温在 -50°C 左右, 已开始有零星地闪活动, 切变云带南侧台风外围的一对流云团迅速发展, 云顶亮温 $< -50^{\circ}\text{C}$, 无地闪。22:32 (图 3b) 云团 A 内对流旺盛, 形成一个直径约 60km 的圆形冷中心, 云顶最低温度 $< -70^{\circ}\text{C}$, 负地闪密集发生在冷云中心南侧 $< -60^{\circ}\text{C}$ 的云区内, 较少且稀疏的正地闪出现在 $< -50^{\circ}\text{C}$ 的冷云区, 其南侧新生成一个对流云团 C, 边缘温度梯度较大, 最低云顶亮温 -70°C , 与云带和云团 A 之间以层云相连, 云团 B 继续发展, 与云带之间呈离散状分布, $< -60^{\circ}\text{C}$ 的

冷云区中心面积不断扩大, 负地闪出现在后侧云顶亮温梯度较大区域。23:32 (图 3c) 台风外围对流云系继续东移, 切变云系携带的冷空气从后侧不断补充, 加强了对流, 3 个云团合并为一南北向弧状对流云带, 以 $60\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度快速向西南方移动, 弧状云带内有多个不同强度、从数 10 km ~ 200 km 左右的中- β 对流云团, 云顶亮温下降到 -81°C , 飚线发展至成熟阶段, 正、负地闪开始活跃, 80% 的正、负地闪出现在冷云中心或其后部 $< -62^{\circ}\text{C}$ 的云区内, 表明后侧为飚线的强辐合区和入流区, 此时地面对应产生了冰雹和短时强降水。随后飚线迅速发展, 南侧台风外围暖湿气流与北侧切变云系携带的冷空气不断在飚线后侧汇合, 飚线内云团结构逐渐密实, 冷云区中心变宽。18 日 1:01 (图 3d) 弧状云带发展成一个具有近似圆形结构, 偏心率约为 0.8 的 MCS, 云顶温度 $< -52^{\circ}\text{C}$ 的冷云覆盖面积为 $5.2\times 10^2\text{ km}^2$, 尺度仅小于 MCC, 中心云区云顶亮温下降至 -80°C , 最低云顶亮温达 -91.15°C , MCS 后部温度梯度较大, 对应着密集的正、负地闪, 地闪频数出现峰值, 30 min 地闪数达 1 262 次, 超过 90% 的正、负地闪出现在 $< -62^{\circ}\text{C}$ 冷云中心及其后部, 极少数地闪出现在 MCS 后部 $> -32^{\circ}\text{C}$ 左右的层状云区, 前部的冷云区和云砧区域则无地闪发生。2:31 (图 3e) MCS 在西南移动过程中 $< -72^{\circ}\text{C}$ 的冷云区面积不断扩大, 地闪活动略有减弱, 地闪分布区域与前一阶段基本相同, 此时地面强降水开始产生。随着短时强降水的出现, MCS 开始减弱, 4:31 (图 3f) 负地闪频数显著减小, 正地闪增多, 随着 MCS 消散, 地闪过程结束。

3.2.2 “9.22”过程地闪与卫星云图的演变特征

图 4 (封底图版 I) 是 2010 年 9 月 22 日飚线过程的卫星红外云图及叠加的地闪分布。9 月 22 日 14:30 台风低压外围对流云系开始影响云南中部及南部地区。16:31 (图 4a) 位于楚雄南部和玉溪北部的中- β 对流单体 A、B 发展迅速且逐渐合并, 云顶温度下至 -50°C , 负地闪出现在对流单体前部云顶亮温梯度较大区域。17:31 (图 4b) 台风低压外围云系和低空东风急流逐渐向西推进造成对流加强, 红河境内有多个中- γ 对流云团发展旺盛, 并与云团 A、B 合并形成离散状的南北向弧状对流云带, 以 35 km/h 的速度向西南方推进, 云顶亮温下

降到 -57.5°C ，负地闪密集出现在云带前侧 $<-50^{\circ}\text{C}$ 的温度梯度大值区，MCS的第一次飑线发展至成熟阶段，地闪频数出现第一个峰值，30 min 负地闪频数750次，负地闪密集区无正地闪出现。18:31（图4c）云带减弱分裂，北侧减弱的云团内出现正地闪，南侧对流继续发展形成新的中- β 对流云团D，负地闪出现在云团D前部（移动方向的前侧）温度梯度大值区，中- γ 对流云团E在云团D前方生成。19:31（图4d）前侧激发的对流云团F与云团D、E相互靠拢连接，合并形成一个长约200 km的SE-NW向弧状对流云带。云带前侧 $<-60^{\circ}\text{C}$ 的冷云区和云顶亮温梯度较大区域对应着密集的负地闪，后侧云区云顶亮温低但无地闪活动。地闪频数出现第二个峰值，30 min 出现1 236次，云带开始向MCS转变MCS的第二次飑线过程发展成熟。20:31（图4e）MCS发展迅速 $<-52^{\circ}\text{C}$ 的冷云区面积扩大，最低云顶亮温达 -72.6°C ，负地闪分布特征与前一阶段相同，负地闪密集区开始出现正地闪，北侧的对流云团C也发展至最成熟阶段，左前侧的温度梯度大值区负地闪活跃。21:31~22:31（图4f、g）MCS维持较大面积冷中心，云顶亮温开始上升，低于 -72°C 的云区逐渐缩小，负地闪活动明显减弱，分布在MCS前侧对流区和温度梯度大值区，正地闪偏于MCS中部的层云区发生。MCS前沿进入临沧境内，受地形抬升影响，对流又重新发展起来。对流云团C减弱消散，其前部新生成的对流云团与MCS前沿形成离散状的带状云系，MCS的第三次飑线开始发展。23:31（图4h）整个MCS处于减弱消散阶段，仍以负地闪占主导地位，MCS前侧对流明显减弱，负地闪出现在飑线云系中部冷云区，正地闪频数达到最大峰值，出现在层状云区及对流线后侧，与Carey、刘冬霞研究结果一致。23:30~0:00出现正地闪18次，分别位于对流线后侧和云砧部位。23日2:31（图4i）MCS趋于减弱消散，冷云区开始分裂、变形和缩小，正、负地闪频数的减弱，整个雷暴过程结束。

两次过程均为对流云团合并为带状云系、进而演变为MCS的过程，负地闪占主导地位，表明电荷结构均为三极性结构^[20]，负地闪密集出现在 $\leq -50^{\circ}\text{C}$ 的冷云区和温度梯度较大区域，与周筠珺^[21]、张义军^[22]等的研究结论相同。

“7.17”过程卫星云图上冷锋云系从后部与台风低压外围对流云团合并，冷、暖气流在后侧交汇后进入MCS内部，辐合区位于MCS后侧，正、负地闪集中发生在后侧温度梯度大值区，对应着辐合区，云砧位于MCS移动方前侧，与通常分析的对流云系中云砧位于MCS后侧的结论相反，前侧云砧区域无地闪发生。“9.22”过程卫星云图上为台风低压外围云系西移，东风急流快速西推加强了前侧暖湿气流的输送，加上地形抬升，前侧对流不断发展，温度梯度大值区出现在前侧，对应着辐合区和密集负地闪活动区，表明前侧为对流发展和能量来源的主要区域。

从地闪与卫星云图叠加的空间分布看，两次飑线过程的地闪活动区域、对流辐合区和温度梯度大值区分布虽具有显著差异，但地闪活动区域与温度梯度大值区、对流辐合区位置有较好的对应关系，因此根据地闪分布，可确定对流云团对流区位置，能较准确地判断冰雹、暴雨等灾害性天气的落区。

地闪活动峰值阶段正地闪特征的明显差异可能与影响系统中携带的粒子分布状态有直接的关联性，还直接影响产生的灾害性天气类型。周筠珺^[21]研究发现，负地闪放电主要发生自雷暴系统中较低的云水及可降水强中心区域，而正地闪放电则发生自云冰强中心的边缘处。“7.17”过程飑线成熟阶段正、负地闪均达到峰值，可能原因是冷锋云系内的云冰粒子与暖湿对流的云水粒子均达到最大，从而造成飑线成熟阶段正、负地闪频数同时达到最大，正地闪峰值阶段地面出现了冰雹，此推断与Dotzek, et al^[8]的研究结果吻合，进一步表明正地闪的活跃与云冰粒子有较好相关性。“9.22”过程飑线成熟阶段负地闪达到最大峰值，表明过程中水成物粒子基本以云水例子为主，对应地面实况以短时降水为主。

3.3 地闪与雷达回波的演变

选取两次过程中雷达资料比较完整的时段分析地闪和回波结构的演变特征。考虑到雷达数据的平均采样间隔时间为6 min，雷达回波图上叠加的是对应时刻前6 min的地闪资料。

3.3.1 “7.17”过程地闪与雷达回波演变特征

22:32（封二图版Ⅲ图5a、b、c）两个离散的带状回波A、B位于雷达站东侧，回波A已发展成

熟,顶高达12 km,强度达56 dBz,速度图上对应着明显的逆风区并伴随活跃的负地闪,回波B处于发展阶段,无明显逆风区,上升气流不明显,还无地闪活动。回波A北侧切变云系不断西南移,加之回波B南部台风外围对流云团的向西推进,同时径向速度上零速度线呈“S”型特征,表明风向垂直切变明显,有利于对流发展,两条带状回波在快速西移过程中发展迅速。23:09带状回波A内强回波中心不断发展,回波带内地闪活动强烈,22:32~23:09出现7次正地闪,6次出现在>40 dBz的强回波区。带状回波B发展成熟,回波强度达55 dBz,回波顶高14 km,强回波区和最大回波顶高基本重合,在范围较小的逆风区后侧的强回波区出现密集的正、负地闪。23:30(图5d、e、f)两个带状回波西移中逐渐合并,形成一条长约200 km,宽20 km的飢线,并表现出弓状回波、前侧“V”型入流缺口、后侧“V”型槽口等典型特征。飢线内地闪频次>100次/6 min,以负地闪占为主,负地闪和大部分正地闪出现在辐合区后侧>40 dBz的强回波区域中,对应着最大波顶高区,少数正地闪出现在前侧的弱回波区或云砧部位。随着冷锋云系从前后侧不断补充和台风外围暖湿气流源源不断地输送,飢线内对流旺盛,上升气流明显增强,飢线发展至成熟阶段,飢线后部负的径向速度值约为前部正速度值的4倍左右,最大径向速度值达-20 m/s,表明后部入流非常强烈,逆风区范围明显加大,辐合明显加强,回波顶高与辐合区位置基本重合,反映出飢线的云主体为直立的深厚对流系统,前侧干冷空气和后侧的暖湿入流加强了飢线内上升气流,地闪活动也主要出现在辐合区附近的强回波区。0:18(图5g、h、i)飢线内出现多个>50 dBz的强中心,最大回波顶高>18 km,速度场上飢线前部的辐合区基本呈直线排列,辐合区附近>40 dBz的强回波区域出现密集的正、负地闪,极少数正地闪出现在飢线前侧的弱回波区,与前一时段分布基本相同,正地闪频次达到最大峰值(17次/6min),负地闪在0:30也达到了最大峰值(291次/6 min)。0:46飢线西南移过程中,后部回波梯度维持较大特征,说明后部对流辐合仍持续,对应着地面强对流天气发生区域,飢线内强对流回波单体逐渐呈线性均匀排列,地闪活动仍然比较活跃,以负地闪占主

导地位。2:21(图5j、k、l)随着切变云系在西南移动中逐渐减弱消失,飢线南部明显减弱,径向速度场上风向垂直切变特征逐渐消失,强回波强度减弱至45 dBz,顶高下降至15 km以下,>30 dBz回波面积开始增大,飢线在减弱阶段地闪频数呈波动中逐渐减少特征。2:30~7:45飢线减弱消散阶段出现156次正地闪,约占地闪总数的9%,正地闪比例明显增大,只有24次正地闪出现在与辐合区对应的强回波区,其余正地闪均出现在弱回波区,随着飢线逐渐减弱消散,地闪频数下降,分布也趋于分散,正地闪比例增加。

3.3.2 “9.22”过程地闪与雷达回波演变特征

第一条飢线在西南移过程中逐渐减弱消散,18:39(封三图版IV图6a、b、c)减弱飢线的前侧自北向南出现4个离散状的对流回波,回波发展迅速,在回波强度 ≥ 40 dBz和顶高 ≥ 14 km的区域密集出现负地闪,单体c已发展成短带状回波,后侧可见“V”型槽口,表明有暖湿气流进入,径向速度场上有逆风区存在,对流发展旺盛,有利于回波进一步发展,江城也有一对流单体回波e发展起来。19:16(图略)离散的4个对流单体回波相互连接,逐渐形成一条从墨江北部到江城南部长约200 km的飢线回波I,南端对流回波发展旺盛,强度达59 dBz,顶高>17 km,径向速度场上存在一个尺度为8 km左右的中 $\sim\gamma$ 尺度辐合区,辐合区随高度逐渐向逆行风(偏东风)方倾斜,最大回波顶位于强回波中心左侧,反映了雷暴云内上升气流的倾斜,有利于对流回波的持续发展,密集的负地闪位置与强回波区域并不重合,而是出现在强回波中心左后侧回波顶高 ≥ 12 km的区域,分别对应着雷暴云内上升气流区和对流云的边缘地区,与最大辐合高度位置基本重合。19:31飢线西移过程中逐渐发展成熟,南端回波与e合并形成多单体对流回波,回波强度达53 dBz、顶高16 km,回波顶位于强回波中心后侧,存在两个明显的中 $\sim\gamma$ 尺度辐合区,负地闪分布与前一时段基本相同,北端多个强对流单体线性排列,回波强度达60 dBz,出现<-17 m/s的径向大风区,负地闪密集出现在大风区南北两侧具有明显水平风速辐合、回波强度 ≥ 40 dBz、回波顶高 ≥ 11 km的强回波区。20:08(图6d、e、f)飢线西移过程中分裂为两段,北段形成短带状

回波,前侧不断有新的小单体回波发展,使短带状回波继续维持和发展,回波强度维持 50 dBz 左右,顶高 12 km, ≥ 40 dBz 的强回波区域仍对应着较密集的负地闪活动。南段对流回波之间的连接更加紧密,回波强度达 59 dBz、顶高 17 km,南侧“V”型槽口明显,表明仍有暖湿气流进入回波内部,回波继续发展,径向速度场上在强回波区对应着明显的中- γ 尺度辐合区,负地闪集中出现在强回波中心后侧最大回波顶区域,对应着辐合上升的最大高度,稀疏的负地闪出现在后部层状云区域,无正地闪出现。随后带状回波逐渐转为西移,南段减弱消散,负地闪频数明显减弱,正地闪开始出现在层云或云砧区域。22:30 (图 6g、h、i) 带状回波北段西移过程中受地形抬升影响,对流活动又开始发展旺盛,前侧小单体不断发展成熟,回波强度达 56 dBz,顶高 12 km,强度梯度大,前侧有明显的中尺度辐合,强回波中心附近负地闪异常活跃。与卫星云图对应的云团 C 已西南移至普洱雷达站北侧,南侧强回波区有密集的负地闪活动,云团 C 和带状回波之间有多个小回波生成并迅速发展。23:02 (图略) 新生成的回波发展成熟并呈线性排列,与云团 C 和带状回波相连,形成一条长约 300 km、宽约 6 km 的带状回波,南侧带状回波后部层云回波区出现 4 个正地闪,中部带状回波加强发展为第三条飊线 II,飊线前部中尺度辐合明显,负地闪特征分布与前一时段相同,少量正地闪出现在弱回波区和层云区,飊线 II 则继续西移并发展成熟,23:49 (图 6i、j、k) 飊线 II 发展至最成熟阶段,回波顶高 17 km,具有辐合区随高度呈向逆行风(偏东风)方倾斜特征,密集的负地闪出现在强回波中心后侧,对应着最高回波顶区域和回波强度梯度最大区域,与最大辐合高度位置重合,飊线前侧“V”型缺口明显,表明入流持续,飊线继续发展。0:53 整个带状回波逐渐西移出普洱雷达站过程中减弱消散,由于其前部始终有小单体回波发展补充,造成负地闪有小幅波动,负地闪均出现在强回波区域,正地闪出现在弱回波区或层云区。

从上面分析可见,“7.17”过程冷空气从后侧进入飊线内部,较强的入流使飊线发展为直立的深厚对流系统,最大回波强度与回波顶高、对流辐合区基本重合,密集的负地闪出现在辐合区附近,对

应着最大回波区和最大回波顶高,峰值阶段正地闪紧紧围绕着负地闪或偏向云砧方向一侧分布。对于这一现象,周筠君^[21]认为雷暴成熟阶段,云水及可降水荷有更多的负电荷,致使负电荷更容易发生,在成熟与新生雷暴单体中的云冰区域为正电荷,高空风切变的作用下往往会形成突出于云体的云砧,由于其下方并不存在异性电荷区域,因此这里易形成正地闪,同时对应着地面实况上的冰雹过程。可推断“7.17”过程飊线成熟阶段云水、云冰粒子并存,云冰粒子的出现造成了冰雹和密集的正地闪活动。

“9.22”过程低层暖湿气流向西推进促使飊线前侧不断激发新的对流单体,飊线前部为具有不均匀结构的中尺度带状强对流区,逆风区和中- γ 辐合区出现在飊线前侧,云砧位于飊线后侧,表现形式与“7.17”过程完全相反,表明影响系统、入流区相对于 MCS 的位置和高空环境风大小对 MCS 的发展具有显著影响。飊线成熟阶段,负地闪则密集出现在强回波区左后侧强度 ≥ 40 dBz、回波顶高 ≥ 12 km 的回波区,与最大辐合高度位置基本重合,同时对应着最大回波顶区域,较少的正地闪则出现在飊线后的云砧区,表明“9.22”过程上升气流倾斜特征明显,且系统成熟阶段云水粒子占主导地位,云水粒子的出现造成短时强降水、大风和雷暴活动。

消散阶段云中下沉气流使云下部的负电荷向外移动,云上部正电荷区显露出来,造成这一阶段层状云区正地闪比例频增。因此,正地闪比例增加,层状云区正地闪活动频繁是雷暴云消散的一个显著特征。

3.4 地闪频数和回波强度及回波顶高变化的关系

两次飊线过程的入流差异造成飊线在发展过程中地闪与回波顶高、回波强度的演变特征有显著差异。雷暴云中的负电荷增长通常集中在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[23],电荷的产生和分离也常出现在此高度层之间;回波顶高能体现云内上升气流的活动特征和雷暴发展的强弱。分析两次飊线过程地闪频数与回波顶高、 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层回波强度的演变特征(图略),发现两次飊线过程中 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 层回波强度的跃增总超前于负地闪的跃增 6~30 min 左右,回波顶高 ≥ 12 km 时,负地闪频数出现跃增。“7.17”过程由于上升气流的深厚垂直特征,飊线成熟阶段回波顶高长时间保持 ≥ 18 km 的高度,同时对应着正、负地闪

的峰值阶段;“9.22”过程上升气流的倾斜特征使得飑线成熟阶段回波顶高略低,但 -10°C 层回波强度 $>50\text{ dBz}$ 的时间段较“7.17”过程较长。

4 结论

两次飑线均由台风低压西行造成,但成因不同。“7.17”过程受西南低涡切变南下和“康森”台风低压西行共同影响。干冷空气南下和台风低压外围偏东暖湿气流辐合形成强烈大气不稳定,有利于飑线发生;“9.22”过程主要仅受“凡亚比”台风低压和低层东风急流影响,没有冷空气南下配合,低层暖湿平流的输送为强对流天气的发展提供了较好的辐合抬升条件,有利于飑线发生。

“7.17”过程地闪次数偏少但地闪活动集中,正地闪所占比例较高,飑线过程伴随冰雹过程,正、负地闪频数峰值均出现在飑线成熟阶段,正地闪峰值超前于负地闪峰值 10 min 出现;“9.22”过程总地闪数较多但地闪活动分散,正地闪比例偏低,飑线过程以降水为主,负地闪频数峰值出现在飑线成熟阶段,正地闪频数峰值则出现在飑线减弱阶段。

“7.17”过程正、负地闪集中发生在冷中心区

域后侧温度梯度大值区,表明对流出现在云系后侧,台风低压云系超前于冷锋云系,冷空气从后侧进入,冷云携带的云冰粒子和暖云携带的云水粒子共存,造成飑线成熟阶段正、负地闪均达到峰值;“9.22”过程东风急流快速西推加强了前侧暖湿气流的输送,负地闪集中发生在冷云区中心前侧,飑线内粒子以云水粒子为主,表现成熟阶段负地闪达到峰值,正地闪峰值则出现在飑线减弱后期。

“7.17”过程后侧较强的入流使飑线发展为直立深厚对流系统,高空较大的环境风切变将云砧向前方推进,云砧位于前侧,密集的地闪与强回波区和最大回波顶高重合“9.22”过程飑线前部表现为具有不均匀结构的中尺度带状强对流区,入流呈倾斜特征,逆风区和中 $-\gamma$ 辐合区均出现在飑线前侧,云砧位于飑线后侧,密集的地闪出现在强回波区略偏钱侧,表现形式与“7.17”完全相反。

从两次飑线的地闪活动可见,入流位置与强对流发展区域具有较好的相关性,正确判断强对流的入流区域和位置,能有效提高雷电落区预警准确率;而云的类型、云内粒子性质与正、负地闪活动有着密切关系,正地闪则较好地指示着冰雹等强对流灾害的发生。然而仅根据个例得出的结论有待于在今后的研究中更多的过程验证。

参考文献:

- [1] MACGORMAN D R, RUST W D. The electrical nature of storms [M]. New York: Oxford University Press, 1998: 258–285.
- [2] DONALD R MACGOMAN, L RONALD HOLLE. Cloud-to-ground flashes rates relatives to radar inferred storm properties [J]. 10th international conference on atmosphere electricity. 1996. 396–399.
- [3] ORVILLE R E, HENDERSON R W, BOSART I F. Bipole patterns revealed by lightning locations in mesoscale storm systems [J]. Geophys. Res. Lett., 1988. 15: 129–132.
- [4] CAREY L D, MURPHY M J, MCCORMICK T L, et al. Lightning location relative to storm structure in a leading-line, trailing-stratiform mesoscale convective system [J]. J. Geophys. Res., 2005. 110: D03105, doi: 10.1029/2003JD004371.
- [5] ELY B L, ORVILLE R E, CAREY L D, et al. Evolution of the total lightning structure in a leading-line, trailing-stratiform mesoscale convective system over Houston, Texas [J]. J Geophys Res, 2008, 113: D308114, doi: 10.1029/2007JD008445.
- [6] CAREY L D, RUTLEDGE S. The relationship between precipitation and lightning in tropical island convection: A C-band polarimetric radar study [J]. Mon. Wea. Rev., 2000. 128: 2687–2710.
- [7] SEITY Y, SOULA S, TABARY I, et al. The convective storm system during IOP 2a of MAP: Cloud to ground lightning flash production in relation to dynamics and microphysics [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 2003. 129: 523–542.
- [8] DOTZEK N, RABIN R M, CAREY L D, et al. Lightning activity related to satellite and radar observations of a mesoscale convective system over Texas on 7–8 April 2002 [J]. Atmos. Res., 2005. 76: 127–166.
- [9] GAUTHIER M L, PETERSEN W A, CAREY L D, et al. Relationship between cloud-to-ground lightning and precipitation ice mass: A radar study over Houston [J]. Geophys. Res. Lett., 2006. 33, L20803, doi: 10.1029/2006GL027244.
- [10] 袁铁, 郗秀书. 基于 TRMM 卫星对一次华南飑线的闪电活动及其与降水结构的关系研究 [J]. 大气科学, 2010, 34

(1): 58–70.

- [11] 姚叶青, 俞小鼎, 张义军. 一次典型飑线过程多普勒天气雷达资料分析 [J]. 高原气象, 2008, 29 (116): 373–381.
- [12] 冯桂力, 王俊, 龚佃利. 一次飑线过程的闪电活动特征 [J]. 山东气象, 2009, 27 (2): 6–11.
- [13] 段鹤, 严华生, 王晓君, 等. 滇南飑线的发生环境及其多普勒雷达回波特征 [J]. 热带气象学报, 2012, 28 (1): 68–76.
- [14] 苟阿宁, 吴涛, 高琦, 等. 襄阳一次强雷暴过程的雷达回波与地闪特征分析 [J]. 暴雨灾害, 2012, 31 (4): 365–372.
- [15] 张腾飞, 尹丽云, 张杰, 等. 云南两次中尺度对流雷暴系统演变和地闪特征 [J]. 应用气象学报, 2013, 24 (2): 207–218.
- [16] 牟容, 余君, 张亚萍, 等. 一次飑线过程的雷达回波分析及其反演风场研究 [J]. 气象科学, 2012, 32 (2): 153–159.
- [17] 陈云辉, 蔡菁, 马中元, 等. 江西两次不同季节强飑线天气过程对比分析 [J]. 气象水文海洋仪器, 2011, 28 (2): 43–50.
- [18] 张芳华, 高辉. 中国冰雹日数的时空分布特征 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31 (5): 687–693.
- [19] 王秀荣, 毛卫星, 郭进修. 2004 年主汛期我国强对流天气灾害统计特征 [J]. 自然灾害学报, 2007, 16 (1): 27–30.
- [21] 周筠珺, 瞿婷, 李展, 等. 两次雷暴的地闪及降水宏微观特征 [J]. 气象科学, 2010, 30 (6): 791–800.
- [22] 张义军, 孟青, 吕伟涛, 等. 两次超级单体雷暴的电荷结构及其地闪特征 [J]. 科学通报, 2005, 50 (23): 2633–2675.
- [23] 陈渭民. 雷电学原理 [M]. 北京, 气象出版社, 2006: 79–141.

CHARACTERISTICS ANALYSES ON CLOUD TO GROUND LIGHTNING EVOLUTION OF TWO SQUALL LINE PROCESSES IN SOUTH – WEST OF YUNNAN

XU Ying – jie^{1,2}, YIN Li – yun²

(1. Yunnan University Department of Atmospheric Science, Kunming 650091, Yunnan, China;

2. Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034, Yunnan, China)

Abstract: the comparative analysis of the diversity of Cloud to ground (CG) Lightning at the processes of two squall line that moved to the west by using the lightning data、Doppler radar data and FY – 2E satellite infrared data, the result showed that the negative CG lightning is predominant during two squall line processes. for the squall line process occurred on July 17 2010, positive and negative CG lightning frequency peak all appeared at squall line mature stage, and the peak of positive lightning was ahead of that of negative CG lightning 10–15 minutes; CG lightning concentrated in the rear of cold center where corresponding to the largest Temperature gradient and concentrated in the area of strong echo near the convergence line where the echo intensity was greater than 40dBz、the height of echo top was greater than 12km. For the squall line process occurred on September 22 2010, The frequency of Positive CG lightning showed single peak type, negative lightning appeared 3 peaks which was corresponded to 3 squall line processes, negative CG lightning clustered in the left behind region of strong echo which corresponded to the intense echo (> 40 dBz) and the higher echo top (≥12 km) region. Positive CG lightning became active when negative CG lightning began to weaken, and Positive CG lightning appeared in the back of the center of cold cloud. the jumping times of echo intensity on – 10℃ level were Staying ahead of the jumping times of negative CG lightning about 6–30 minutes.

Key words: south – west of Yunnan; squall line; cloud to ground Lightning; TBB; Doppler radar

乌鲁木齐近50年气温变化与城市化发展关系

龙海丽^{1,2}, 王爱辉^{1,2*}

(1. 伊犁师范学院 生命与资源环境系, 新疆 伊犁 835000; 2. 新疆应用职业技术学院, 新疆 奎屯 833200)

摘要: 采用线性倾向估计、累积距平、M-K 检验法, 利用乌鲁木齐地区市区及近郊气象站近 50 年的年平均气温数据, 分析了乌鲁木齐地区气温的年代际变化及突变; 采用相关分析方法与趋势拟合等方法, 生成乌鲁木齐年平均温度与表征其城市化 6 项指标的函数关系图。结果发现: (1) 近 50 年乌鲁木齐地区的年平均气温缓慢上升, 城区气温高于郊区, 城区站增温率为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 郊区站为 $0.245\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 总增温率为 $0.225\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。(2) 采用 Mann-Kendall 检验法分析得出年平均气温在 2000 年发生了由低到高的突变。(3) 乌鲁木齐市城市人口、GDP、全社会固定资产投资总额、建成区面积、能源消耗与年平均气温有着显著的相关性, 表明城市化进程与气温变化有密切关系。

关键词: 乌鲁木齐; 气温; 城市化

中图分类号: P463.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-7852(2013)04-0010-05

0 前言

政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 报告指出, 过去 50 年变暖趋势是每 10 年升高 $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0.10\sim0.16\text{ }^{\circ}\text{C}$), 几乎是过去 100 年来的两倍^[1]。在全球变暖的背景下, 中国的地表温度也发生着变化。研究表明, 近 100a 中国地表平均气温上升了 $0.5\sim0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 近 50a 气温上升 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 增温速率为 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 增温主要发生在 20 世纪 80 年代中后期, 并呈速度加快的趋势^[2]。由于该时段中国经济正进入快速增长期, 人类活动和城市化可能对城市环境造成了一定的影响, 使得观测数据随城市化的进程发生了非自然因素的变化。

国内外许多学者对城市化与气温之间关系的影响做了大量的研究, 取得了不少研究成果。例如 Jones 等评估了城市化对大陆气温序列的影响; Karl 等对美国历史气候网资料研究后指出, 平均城市化影响约 $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (1901-1984)^[3]。国内司鹏、

李庆祥^[4]分析了城市化对北京气温变化的贡献分析, 指出城市化对北京地区气温的年/季节增暖影响非常显著; 史军、崔林丽对上海百余年气温日间波动及城市化影响做了分析, 认为上海城市化增加了最高气温的波动幅度^[5]。张国华、张江涛等对京津冀城市高温的气候特征及城市化效应研究发现该区域城市高温日数的空间分布特征为存在一个自石家庄市指向承德市的高值脊期^[6]。陈静林、杜尧东研究珠江三角洲发现城市化对区域平均最低气温的影响比对平均最高气温的影响更大^[7]。

乌鲁木齐位于新疆北天山中段、准噶尔盆地南部, 是新疆的首府城市, 是中国西部对外开放的重要门户, 新欧亚大陆桥中国西段的桥头堡, 地处亚洲大陆地理中心, 是欧亚大陆中部重要的都市。研究表明乌鲁木齐市近 50 年来年平均气温上升^[8]。乌鲁木齐地区在 4~9 月存在热岛效应, 其中夏季 6~8 月强度最大^[9]。大约 20 世纪 90 年代末城市化速度加快^[10], 尤其是气温上升影响比较显著^[11]。

收稿日期: 2013-07-02; 修订日期: 2013-08-06.

基金项目: 伊犁师范学院科研项目: 天山北坡经济带城市生态环境与社会、经济协调发展研究 (2011ZDK02).

作者简介: 龙海丽 (1976-), 女, 湖南省邵阳市人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为资源环境规划与管理.

* 通讯作者.

通过对乌鲁木齐 1961 ~ 2010 年近 50 年的年平均气温, 采用线性趋势拟合、累积距平、M—K 检验等方法分析乌鲁木齐气温的年代变化及突变, 并研究乌鲁木齐城市人口、GDP、全社会固定资产投资总额、建成区面积、能源消耗量等各项城市发展指标与年平均气温之间的关系, 旨在为干旱区城市乌鲁木齐城市气候的研究、城市环境建设和可持续发展研究等方面提供一些合理的建议。

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

气象资料为乌鲁木齐地区乌鲁木齐和达坂城 2 个台站 50 年 (1961 ~ 2010 年) 逐日地面气温观测资料。乌鲁木齐台站地理坐标为: $43^{\circ}47'N$, $87^{\circ}39'E$, 代表城市站。达坂城站 ($43^{\circ}21'N$, $88^{\circ}19'E$), 代表不受城市化影响的郊区站, 气温观测平均值代表郊区的气温。为了保证数据的质量, 对不同海拔高度的气象观测站进行了订正, 减小了因海拔不同所造成的数据误差。

1.2 研究方法

1.2.1 线性倾向估计

气候要素的倾向率采用一元线性回归模型描述, 即: $y = a + bx$

式中: y 为气温要素, x 为时间 (文中为 1961 ~ 2010 年), b 为线性趋势项, $b \times 10$ 即为气温要素每 10 年的气候倾向率, 用于定量分析气温变化的线性趋势, 这是目前普遍采用的一种方法。

1.2.2 累积距平法

累积距平是一种常用的由曲线直观判断变化趋势的方法。对于序列, 某一时刻 t 的累积距平表示为:

$$\hat{x}_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}), t = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{其中 } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

1.2.3 Mann-Kendall 检验法

气候的突变表现为气候状态从一个平均值到另一个平均值的不连续性, 其研究方法有多种^[12]; Mann-Kendall 检验是世界气象组织推荐并已广泛使用的非参数检验方法, 在检验中不需要样本遵从一定的分布, 也不受少数异常值的干扰, 这一方法的优点不仅计算简便, 而且可以明确突变开始的时间, 并指出突变区域。文中采用 MATLAB 数据处理系统软件实现 M-K 法检验。

2 乌鲁木齐地区气温变化

2.1 年平均气温变化趋势

图 1 给出城市和郊区站点 1961 ~ 2010 年间年平均气温变化曲线, 可以看出, 2 个站点平均气温的年际变化均具有很好的一致性, 各年度变化的趋势基本相同, 表明该区域年平均气温变化趋势相对一致, 年平均气温呈上升趋势, 同时城区的年平均气温均高于郊区。分别对乌鲁木齐城区和郊区的温度序列进行线性回归分析, 气温变化气候倾向率城市站为 $0.2^{\circ}C/10a$, 郊区站为 $0.245^{\circ}C/10a$, 总增温率为 $0.225^{\circ}C/10a$, 均能通过 95% 的信度检验, 结果具有较高的可信度。

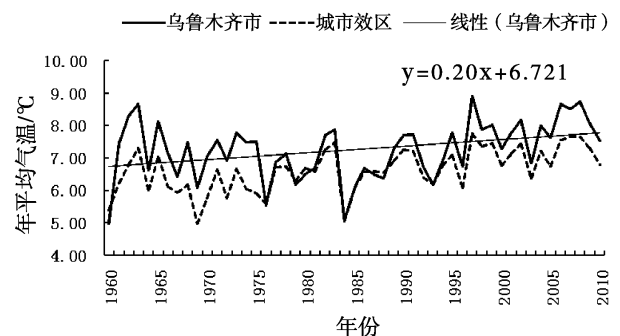


图 1 1961 ~ 2010 年乌鲁木齐城区和郊区年平均气温变化趋势

Fig. 1 The trend of Urumqi and suburb's annual mean air temperature of Urumqi from 1961 - 2010

2.2 年平均气温距平变化

乌鲁木齐市 1961 ~ 2010 年近 50 年的气温平均值为 $7.3^{\circ}C$, 气温线性倾向值计算结果为 $0.2^{\circ}C/10a$ ($n = 50$, $r = 0.34$, $\alpha = 0.05$)。50 年中, 2007 年出现最大正距平值 ($1.6^{\circ}C$), 1984 年出现最小距平值 ($-2.2^{\circ}C$), 两者差值为 $3.8^{\circ}C$ 。图 2 显示, 乌鲁木齐 50 年来的气温距平值变化趋势。1961 ~

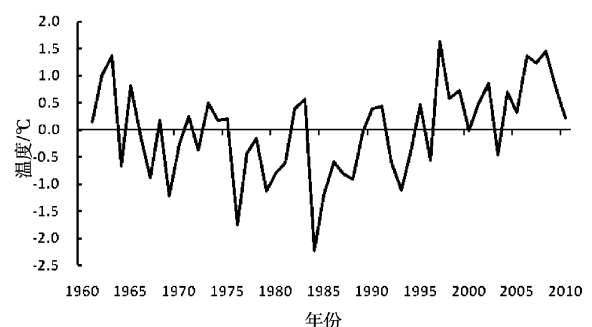


图 2 乌鲁木齐年平均气温累积距平

Fig. 2 The accumulated variance of annual mean air temperature of Urumqi

2000 年,大多数年份发生负距平值,阶段平均值为 7.13°C ,气温趋势有降有升,整体变化趋势不明显;2001~2010 年是增暖阶段,期间只有 1 年是负距平值,气温平均值为 8°C ,经回归分析,气温呈显著增温趋势,线性倾向值为 $0.55^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ($n=10$, $r=0.286$, $\alpha=0.001$)。

2.3 年平均气温突变检验

用 Mann-Kendall 法对乌鲁木齐地区各地近 50 年平均气温进行突变检验分析(图 3)。图 3 为乌鲁木齐市区年平均气温的 Mann-Kendall 曲线,由图可以看出,UF 线在 1988 年前基本呈波动下降的趋势,之后呈持续上升趋势,并在置信区间内与 UB 线分别于 2000 出现交点,结合累积距平分析结果,可以确定乌鲁木齐市区的年平均气温在 2000 年发生了突变增温。2000 年以后的 UF 曲线超过临界值并且持续上升,表明 2000 年以后乌鲁木齐市区气温明显增暖。

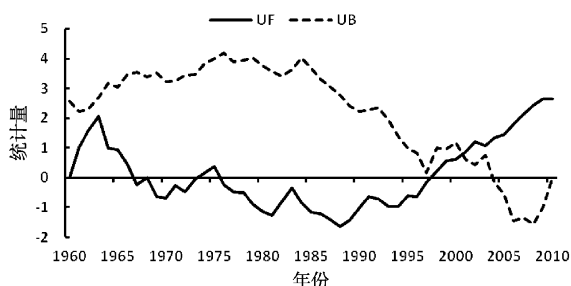


图 3 乌鲁木齐市区年平均气温 M-K 检验

Fig. 3 The M-K test of annual mean air temperature of Urumqi

3 乌鲁木齐气温变化和城市化发展的关系

城市化是指人类生产与生活方式由农村型向城市型转变的历史过程,主要表现为农村人口转化为城市人口及城市不断发展完善的过程^[13]。1995 年以后,乌鲁木齐城市化进程加快,进入迅速发展阶段^[8],乌鲁木齐城市人口、GDP、第三产业产值都获长足增长,城市人口 2010 年达 179.3 万人,而 1995 年只有 123.3 万人,增加了 45%;GDP 2010 年达 1338.52 亿元,而 1995 年才 185.96 亿元,第三产业 2010 年末达到 718.17 亿元,比 1995 年增加 608.72 亿元;年末实有道路 2010 年为 1632 km,1995 年为 886 km,比 1995 年增加了 84%;城建区面积由 1995 年的 83 km^2 扩大到 2010 年的 343 km^2 ,增加了 313%;人均住房面积由 1995 年的 11.3 m^2 /

人增加到 2010 年的 23.97 m^2 /人,增加 1.12 倍。近 15 年来,城市化快速发展造成了下垫面性质的改变,同时人类活动加剧向大气排放大量的人为热量和污染物等,都会对城市的气候造成一定的影响。许多学者对城市化对气温的影响做了许多的研究。曹爱丽、张浩研究发现各项城市发展指标均与上海城郊温差有着显著的相关性,其中,住宅建设是上海城市热岛效应最主要的驱动因素^[14]。张美玲等认为沈阳人口、GDP、全社会固定资产投资总额、竣工房屋建筑面积和年平均气温有着显著的相关性^[15]。乌鲁木齐城市随着人口增加和城区面积扩大,下垫面状况发生了很大改变。同时经济发展和人民生活水平提高使得能源消耗越来越多,从而影响了乌鲁木齐市城市气温的变化。选用代表城市化程度的乌鲁木齐市人口、GDP、全社会固定资产投资、建成区面积、建成区绿地面积和能源消耗量 6 项指标分析与乌鲁木齐市年平均气温变化的关系,并进行显著性检验。研究资料均来自乌鲁木齐市历年的统计年鉴^[16]。

3.1 乌鲁木齐市气温变化与人口的关系

城市人口是城市规模的一个非常重要的指标,人口的增加和集聚将会导致城市能源消耗的增加,促进建成区拓展,增加住宅建设,因此人口指标是城市化的一个重要驱动因素。乌鲁木齐市城市人口 1978 年 114.844 万人增长到 2010 年的 243.0315 万人,32 年间人口增加了 111.6%。以乌鲁木齐城市人口为自变量,以城市年平均气温为因变量进行相关性分析,发现两者存在显著相关 ($R=0.62$),通过 0.01 显著性水平检验,且符合 3 次多项式关系(图 4)。这说明城市人口与乌鲁木齐地区的城市温度关系密切,是引起城市热岛效应的一个重要驱动因素。

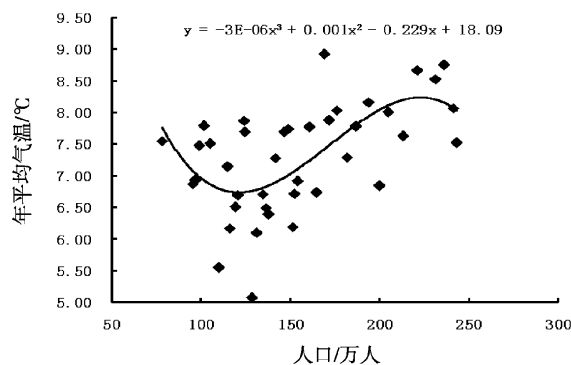


图 4 年平均气温与人口的关系

Fig. 4 The relationship between annual mean air temperature and population

3.2 乌鲁木齐市气温变化与 GDP 的关系

GDP 是反映城市经济总量和发展的指标, 它与能源消耗、工业、商业用地的拓展都有明显的关系。以乌鲁木齐市的 GDP 为自变量, 以城市温度为因变量进行相关性分析, 发现两者存在显著相关 ($r=0.66$), 且城郊温差与 GDP 值呈三次多项式关系 (图 5)。乌鲁木齐的 GDP 在 1996 年之前变化缓慢, 1996 年之后增加较快, 2001 年以后增速加快; 这与乌鲁木齐市城市化进程保持一致趋势; 乌鲁木齐 20 世纪 80 年代的年平均气温为 6.42°C , 90 年代年平均气温为 7.4°C , 2000~2010 年的年平均气温为 8°C , 其与 GDP 的发展趋势一致。可见, 表征区域经济发展的重要指标 GDP 也与城市热岛效应有着密切的关系。

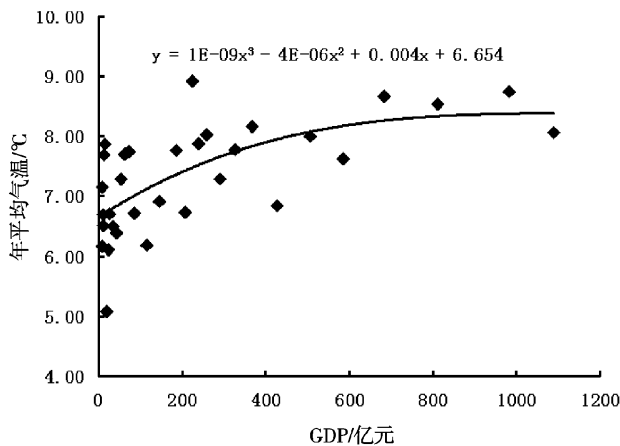


图 5 年平均气温与 GDP 的关系

Fig. 5 The relationship between annual mean air temperature and GDP

3.3 乌鲁木齐市气温变化与全社会固定资产投资的关系

全社会固定资产投资是建造和购置固定资产的

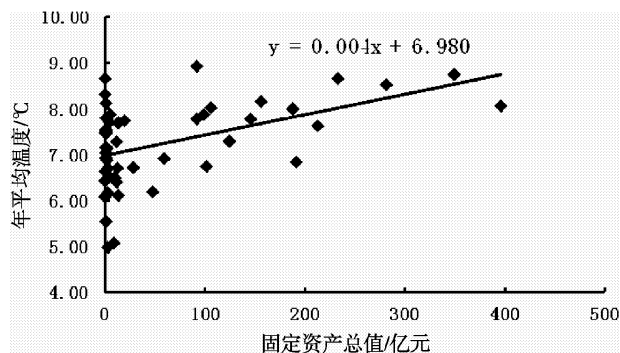


图 6 年平均气温与固定资产总值的关系

Fig. 6 The relationship between annual mean air temperature and total social fixed assets investment

经济活动, 即固定资产再生产活动。包括固定资产更新 (局部和全部更新)、改建、扩建、新建等活动。以乌鲁木齐全社会固定资产投资总额为自变量, 以城市年平均气温为因变量进行相关性分析, 发现两者呈线性关系 (图 6), $r=0.48$, 显著性水平为 0.05。分析表明全社会固定资产投资总额与城市热岛效应有着密切的关系。

3.4 乌鲁木齐市气温变化与建成区面积的关系

建成区的拓展和住宅竣工面积的增加直接引起城市土地利用类型的变化, 导致城市不透水面积的增加, 因此, 是直接影响城市局地气候的重要因素。乌鲁木齐建成区面积由 1999 年 $14\,000\text{ hm}^2$ 增长到 2010 年的 $34\,300\text{ hm}^2$, 发现两者呈线性关系, 相关系数计算出 $r=0.5271$, 显著性水平为 0.05。表明气温与建成区面积呈相关关系。

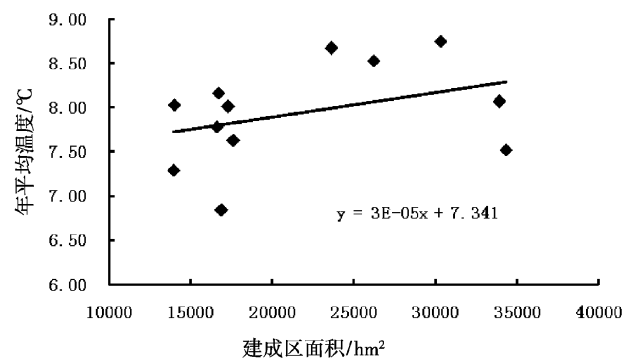


图 7 年平均气温与建成区面积的关系

Fig. 7 The relationship between annual mean air temperature and energy consumptions build-up area

3.5 乌鲁木齐气温变化和能源消耗的关系

能源消耗量的增加直接导致人为热释放的增加和大气污染, 许多研究表明, 这些因素将导致城市热岛效应的加剧。以乌鲁木齐市的能源消耗量为自变量, 以城市年平均气温为应变量进行相关性分

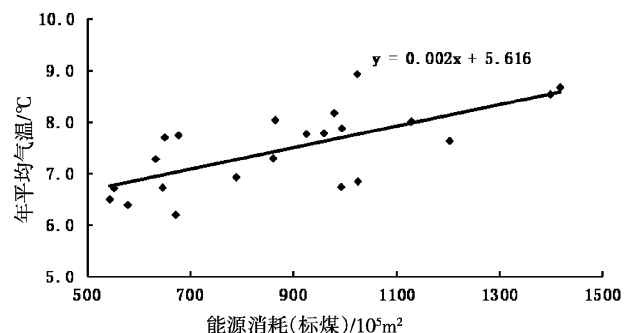


图 8 平均气温与能源消耗的关系

Fig. 8 The relationship between annual mean air temperature and energy consumptions

析,发现两者 $r = 0.698$,且符合三次多项式关系(图 8)。乌鲁木齐市的能源消耗在 20 世纪 90 年代以后增加较快,2000 年以后年增幅又有继续增大的趋势,这与乌鲁木齐城市化发展规律基本一致,与城市年平均气温变化也基本一致。

4 结论与讨论

近 50 年,乌鲁木齐地区城市和郊区年平均气温变化趋势非常相似,乌鲁木齐地区的年平均气温缓慢上升,年平均气温增加了 $1.2 \sim 1.3^{\circ}\text{C}$,城区历年气温高于郊区,城区站增温率为 $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,郊区站为 $0.245^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,总的增温率为 $0.225^{\circ}\text{C}/$

10a 。一元回归模型分别通过了 $\alpha = 0.05$ 和 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验,说明上升趋势明显。

乌鲁木齐地区年平均气温近 50 年来经 M-K 检验法检验市区 2000 年左右气温发生了由低到高的突变。近 50 年乌鲁木齐气温变化分为两个阶段,1960~2000 年总体是变化趋势不明显,其中 22 年份为负距平,阶段平均值为 7.13°C ;2001~2010 年是增暖阶段,其中只有 1 年为负距平值,阶段平均值为 8°C ,气温呈显著的上升趋势。

人类活动对城市气温的变化存在一定影响。乌鲁木齐人口、GDP、全社会固定资产投资总额、建成区面积、能源消耗和年平均气温有着显著相关,表明它们与乌鲁木齐年平均气温变化关系密切。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis [M]. Cambridge university press, 2007.
- [2] 丁一汇,任国玉,石广玉. 气候变化国家评估报告 I: 中国气候变化的历史和未来趋势 [J]. 气候变化研究进展, 2006, 2 (1): 3-8.
- [3] KARL T R, DIAZ H F, KUKLA G. Urbanization: It's detection and effect in the United States climate record [J]. Journal of Climate, 1988 (1): 1099-1123.
- [4] 司鹏,李庆祥. 城市化对北京气温变化的贡献分析 [J]. 自然灾害学报, 2009, 18 (4), 138-144.
- [5] 史军,崔林丽,田展,等. 上海百余年来气温日间波动特征及城市化影响 [J]. 资源科学, 2011, 33 (5): 989-994.
- [6] 张国华,张江涛,金晓青,等. 京津冀城市高温的气候特征及城市化效应 [J]. 生态环境学报, 2012, 21 (3): 455-463.
- [7] 陈静林,杜尧东,孙卫国. 城市化进程对珠江三角洲地区气温变化的影响 [J]. 气候变化研究进展, 2013, 9 (2): 123-131.
- [8] 刘盛梅,成鹏. 乌鲁木齐地区近 50 年来平均气温及极端气温变化特征 [J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25 (6): 138-146.
- [9] 王珊珊,艾里西尔 库尔班,郭宇宏,等. 乌鲁木齐地区气温变化和城市热岛效应分析 [J]. 干旱区研究, 2009, 26 (3): 436-440.
- [10] 杨帆,刘超华,李红华. 乌鲁木齐市城市化发展进程分析 [J]. 西北成人教育学报, 2008, 3: 42-44.
- [11] 李珍,姜逢清,胡汝骥等. 1961-2004 年乌鲁木齐城市化过程中的冷化效应 [J]. 干旱区地理, 2007, 30 (2): 231-235.
- [12] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法 [J]. 大气科学, 1992, 16 (4): 487-493.
- [13] 封静,潘安定. 广州气温变化特征及其与城市化进程的关系 [J]. 广州大学学报, 2011, 10 (6): 89-94.
- [14] 曹爱丽,张浩,张艳等. 上海近 50 年气温变化与城市化发展的关系 [J]. 地球物理学, 2008, 51 (6): 1663-1669.
- [15] 张美玲,辛明月. 近 50 年沈阳气温变化与城市化发展的关系 [J]. 生态环境学报, 2011, 20 (3): 544-548.
- [16] 乌鲁木齐市统计局. 乌鲁木齐统计年鉴 [M]. 乌鲁木齐: 中国统计出版社, 1980-2011.

(下转第 21 页)

云南年降水资料的均一性检验分析

刘芳今^{1,2}, 李毅²

(1. 云南大学 大气科学系, 云南 昆明 650091; 2. 昆明市气象局, 云南 昆明 650034)

摘要: 均一的观测资料是气候变化研究的基础, 对于研究和评估气候变化特征, 特别是研究区域气候分布和小概率气候极致变化尤为重要。采用标准正态检验 (SNHT) 方法、惩罚最大 T 检验 (PMT), 结合秩检验 (Mann-Kendall) 和迁站元数据信息, 对云南 122 个国家级地面观测台站 1961~2011 年年降水资料进行均一性检验, 结果表明: (1) 云南省年降水资料存在非均一的情况, 有 16 个站存在 18 个间断点, 占 122 个台站的 13.1%。台站迁移是导致数据非均一的重要原因。(2) SNHT、PMT、Mann-Kendall 3 种方法均适用于云南省年降水资料的均一性检验, 从检验结果看出 PMT 方法能检出更多有对应迁站信息的间断点, 比 SNHT 方法的检验效果更为理想。

关键词: 云南降水; 均一性; 统计检验

中图分类号: T468.024

文献标识码: A

文章编号: 1001-7852(2013)04-0015-07

0 引言

随着全球气候变暖趋势的加剧, 气候变化研究已经成为当今社会最受关注的问题之一。均一的气候观测资料是气候变化研究的基础, 一个均一的气候观测时间序列被定义为只包含气候或天气变化的因素, 然而受站址迁移、观测环境变化、仪器变更、观测规范改变、人为因素等影响, 部分单站观测资料包含了非气候因素引起的变化, 发生了突变或渐变, 即存在不均一的现象, 直接影响了区域气候的研究, 对大范围气候变化研究结论也产生了较大的影响, 因此研究观测资料的均一性, 建立均一的观测序列对气候变化研究具有重要意义。

国外许多气候学家在气候资料均一性研究方面做了大量的工作, 并取得了显著的成果, 中国也有很多学者对气温、风、降水等多个气象要素开展了均一性检验, 其中对气温的均一性检验和调整已经取得了一些突破性的进展。李庆祥、李伟、刘小宁

等对中国气温数据做了检验订正并制作了均一化的气温历史数据集^[1,2], 但目前国内对降水量的均一性研究仍停留在试验阶段, 检验方法也相对比较简单, 降水序列均一性检验大部分采用的是标准正态检验 (SNHT) 方法, 虽然 SNHT 方法被广泛应用于降水序列非均一性的研究, 但是有学者指出 SNHT 方法具有一定的缺陷, 检验时置信度受断点位置的影响, 当断点处于中间以及两端时错误警报率偏低, 而处于其他位置时错误警报率偏高^[3]。近年来, 由加拿大环境部气候研究中心建立的 RHtest 方法在原有均一性检验方法的基础上进行了较大改进, 该方法对气候序列均一性检验和订正的可行性及合理性已得到广泛的验证^[4-6], RHtest 方法包含基于惩罚最大 F 检验 (PMFT) 和惩罚最大 T 检验 (PMT), 张高杰、何金海等人^[7]用 PMFT 和 PMT 方法对全国的月降水序列进行均一性检验分析, 说明该方法能够适用于中国降水资料均一性检验并且具有较高的应用前景, 但是并未与目前广泛应用的 SNHT 方法进行比较。

收稿日期: 2013-07-07; 修订日期: 2013-08-05.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41275045), 国家重点基础研究发展 (973) 计划项目 (2010CB428605), 国家自然科学基金重点项目 (U1133603) .

作者简介: 刘芳今 (1985-), 女, 云南省玉溪市人, 工程师, 主要从事大气探测与资料统计分析工作.

本文采用 SNHT、PMT、Mann - Kendall 方法对云南的年降水量序列均一性进行检验,考虑到云南省站点密度不高及均一性检验的不确定性,研究中采用了数理统计和基于迁站元数据判断相结合的思路,以此来提高检验的准确度和合理性。

1 资料选取

本文选取经过云南省气象信息中心严格质量控制的全省 122 个国家级地面观测台站年降水资料和台站迁站元数据信息,考虑 1961 年以前数据缺测较为严重,因此本文选取 1961 ~ 2011 年时段。

2 检验方法

2.1 标准正态检验 (SNHT) 方法

标准正态检验 (SNHT) 方法目前被广泛应用于降水序列的均一性检验,该方法不仅可以检验单个间断点,还可以对序列变化趋势的均一性进行检验^[8],与 Potter 方法一样^[9],SNHT 方法也是基于最大似然原理,相比较而言,SNHT 方法对于那些变化幅度较小的不连续点的检测更为理想。目前 SNHT 有 4 个版本的检验方法^[10],分别针对单平均值变化、双平均值变化、单平均值和标准差变化、平均值上的趋势变化 4 种情况,通过前人研究得出针对单平均变化的检验方法对降水序列的检验效果较好,因此本文也采用单平均值检验方法进行检验。对可能存在 2 个及以上的断点则采取半分级检验,例如检验出第一个断点 T_1 后,再分别检验 $[1, T_1]$ 和 $[T_1 + 1, N]$ 两个分子段,如两个分子段检验得出 T_2 、 T_3 后,下一步的检验将集中在 $[1, T_2]$, $[T_2 + 1, T_3]$, $[T_3 + 1, N]$,反之,如果 $[T_2, T_3]$ 之间得到了不同于 T_1 的 T'_1 ,那么下一步的检验则集中在 $[1, T_2]$, $[T_2 + 1, T'_1]$, $[T'_1 + 1, T_3]$, $[T_3 + 1, N]$ 之间,依此类推,直到子段不能再被划分为止 ($N_{seg} < 2 \times N_{min}$), N_{seg} 为子段的长度, N_{min} 一般取值为 5。

SNHT 方法需要选取参考台站,通常选取待检站周边相关系数较高的 3 ~ 5 个站作为参考站,然后用比值法构造待检序列,根据最大似然比率的标准技术,构造检验统计量 T_{max} 作为显著性判据:

$$T_v = v | \overline{Z_1} | + (n - v) | \overline{Z_2} |, T_{max} = \max(T_v) \quad (v = 1, 2, \dots, n - 1) \quad (1)$$

式中: $\overline{Z_1}$ 是序列 1 到 v 的平均值, $\overline{Z_2}$ 是序列 $v + 1$ 到 n 的平均值, v 从 1 到 $n - 1$ 不断取值,重复计算 T_{max} 的值,当 T_{max} 的值大于一定置信水平下的临界值时,则认为序列是非均一的,对应的 v 为间断点。

2.2 惩罚最大 T 检验 (PMT) 方法

PMT 方法基于惩罚最大 T 检验,这种方法通过引入一个经验惩罚函数,考虑了时间序列的滞后一阶自相关,并嵌入多元线性回归算法,能够用于检验、订正包含一阶自回归误差的数据序列的多个间断点,有效避免了断点位置对置信度的影响,以及非均一的参考序列带来的误差和待检序列内部的自相关等问题^[6]。

假设 $\{x_t\} (t = 1, \dots, n)$ 为正态分布的序列,即原假设为: $\{x_t\} \sim \Pi D\lambda(\mu, \sigma^2)$ 。假设: H_a

$$\begin{aligned} \{X_t\} &\sim \Pi D\lambda(\mu_1, \sigma^2), t = 1, \dots, k \\ \{X_t\} &\sim \Pi D\lambda(\mu_2, \sigma^2), t = k + 1, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $\mu_1 \neq \mu_2$, 若假设为真,则称 $t = k$ 为一个间断点。式中 $\{xt\} \sim \Pi D\lambda(\mu, \sigma^2)$ 代表 $\{x_t\}$ 服从高斯分布,其平均值为 μ , 方差为 σ^2 。王小兰^[6]通过一系列的试验,得到了一个经验性的惩罚函数,极大的消减了这种误差和序列的内部自相关的影响,其判定函数为:

$$PT(k) = P(k) T(k) \quad (3)$$

$$PT_{max} = \max_{1 \leq k \leq n-1} P(k) T(k) \quad (4)$$

式中: $P(k)$ 为通过一系列试验得到的经验函数。当 PT_{max} 的值大于一定显著性水平下的临界值时,确定 k 点为突变点。

2.3 Mann - Kendall 秩检验

Mann - Kendall 法是一种非参数检验法,亦称无分布检验,其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,计算简便^[11]。其概述:有一样本容量为 n 的时间序列 $\{x_i\}$,构造一秩序列:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (r = 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

$$\text{其中 } r_i \begin{cases} +1 & \text{当 } x_i > x_j \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, i) \quad (6)$$

秩序列 S_k 是第 i 时刻数值大于 j 时刻数值个数的累

计数。在时间序列随机独立的假设下，定义统计量

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{\text{var}(S_k)}} \quad (k=1, 2, 3, \dots, n) \quad (7)$$

式中： $UF_1=0$ ， $E(S_k)$ 、 $\text{var}(S_k)$ 是累计数 S_k 的均值和方差，在 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 相互独立且具有相同连续分布时，给定显著性水平 α ，若 $|UF_i| > U_\alpha$ ，则表明序列存在明显的趋势变化。

按时间序列 $\{x_i\}$ 的逆序列 $x_n, x_{n-1}, \dots, x_1$ ，再重复上述过程，同时令：

$$UB_k = -UF_k, \quad k=n, n-1, \dots, 1, \quad UB_1=0 \quad (8)$$

例如给定显著性水平 $\alpha=0.05$ ， $U_{0.05} = \pm 1.96$ ，将 UF_k 和 UB_k 两个统计量时间序列曲线和 ± 1.96 两条直线均绘在同一张图上，曲线超过临界直线的范围确定为出现突变的时间区域，如果 UF_k 和 UB_k 两条曲线出现交点且交点在临界线之间，那么交点对应的时刻便是突变开始的时间。

3 参考站选取和参考序列的建立

在序列的均一性检验研究方法中，对于参考站的选取，通常采用将每一个台站作为待检站，求与其余站点的相关系数，然后选取附近相关系数较高的至少3个站点作为参考站的办法，应用待检站与参考站构造差值或比值序列作为待检序列^[12-14]。本文也采用这种思路，首先通过计算相关系数选取至少3个参考站，然后构造待检序列进行检验。

计算每一个台站与其余台站的相关系数，选取显著性水平 $\alpha=0.05$ ，相关系数的临界值为0.27，因此相关系数大于0.27的站均通过检验。Alexanderson 提出在 SNHT 检验中当显著性水平在0.1以上，待检站与其对应参考站的相关系数应达到0.8~0.9，但是通过计算，在122个站点中，与至少3个及以上站点相关系数在0.8及以上的台站仅有1个，因此降低要求，将相关系数分为： ≥ 0.8 ，0.7~0.8，0.6~0.7，0.5~0.6， <0.5 五个级别，相应达到要求的站点数见表1。从表1计算得出，至少有3个参考站相关系数在0.8及以上的站点数占0.8%，在0.6~0.8范围内的站点数占76.2%，在0.5~0.6范围内的站点数占18.0%，0.5以下的占5.0%。

表1 至少有3个参考站满足相关系数条件的待检站数
Tab.1 The number of quarantine station with at least three reference stations satisfying correlation coefficient conditions

参考站数	相关系数	站点数
≥ 3	≥ 0.8	1
	0.7~0.8 43	
	0.6~0.7	50
	0.5~0.6	22
	<0.5 6	

由于站点密度不足，在较近的范围内难以选取相关系数较高的足够的参考站，Tuomenvirta 等指出^[15]，在 SNHT 方法中参考序列也不一定要求是附近台站的序列，因此适当放远距离，将每一个站作为待检站，选取周边距离200以内，相关系数较大且通过检验的3~4个站作为参考站，用 SNHT 方法构造比值序列用于 SNHT 和 M-K 两种方法的检验，用参考站的加权算术平均建立新的参考序列用于 PMT 检验，相关系数的平方作为加权因子，并且认为通过多个台站加权平均消除了其中某个非均一站点对参考序列均一性的影响。

4 检验结果分析

综合 SNHT、PMT、Mann-Kendall 3种方法并结合迁站信息统一确定间断时间。根据检验方法的定义，如果有迁站信息，则迁站年份的前一年为间断年份，如果迁站时间在本年度12月，则本年度为间断年份，如果没有对应的迁站信息，则两种方法检验时间一致的年份为间断年份，如果3种方法时间不一致，则取3个检验时间的中间时间为间断年份。通过检验有16个站存在18个间断点，占122个站的13.1%，其中14个间断点有迁站元数据信息，占有间断点的77.8%。从间断原因可以看出台站迁移是导致年降水序列非均一的重要原因，但也有一部分间断点产生的原因不明确，需要结合台站的实际情况例如台站周围的环境变化进一步分析。检验结果见表2，显然，PMT方法能够检出更多有对应迁站信息的间断点，比较 SNHT 方法而言检验效果更为理想。在检验过程中 Mann-Kendall 方法根据定义在检验结果中会出现较多的间断点，作为主要检验方法可能会得出难以判断的结论，因此可以作为一种补充检验的方法。

表 2 SNHT、PMT、Mann - Kendall 三种方法综合检验结果

Tab. 2 Comprehensive inspection result of SNHT, PMT, Mann Kendall three methods

台站号	SNHT	PMT	M - K	迁站时间	间断时间
56444	未检验	1979、1994	未检出	1981. 01、1994. 01	1980、1993
56585	未检出	1985	未检出	1984. 01	1983
56673	未检出	2004	2004	2005. 01	2004
56739	1998	1998	1999	无	1998
56752	1975	1975	1975	无	1975
56764	未检出	1982	未检出	1981. 01	1980
56772	未检出	1986	未检出	1984. 12	1984
56835	1998	1999	2000	1999. 01	1998
56839	1997	1995	1997	无	1997
56842	1974	1974	1975	无	1974
56867	1962	2004	1962	1963. 01、2006. 11	1962、2005
56881	1977	1977	1977	1980. 01	1979
56882	未检出	1970	未检出	1969. 05	1968
56951	未检出	1982	1982	1981. 11	1980
56959	未检出	2000	2001	1998. 07	1997
56975	1967	未检出	1967	1968. 01	1967

下面以施甸（56842）站来说明其检验过程。首先是计算相关系数，分别得到施甸与其余 121 个站的相关系数分布图（图 1），阴影区域为通过显著性水平 0.05 的相关性检验。

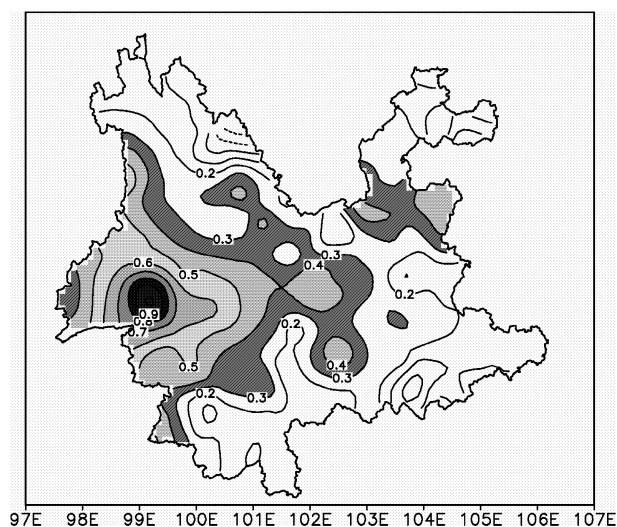


图 1 施甸（56842）与云南省 121 个站点的相关系数分布
Fig. 1 The correlation coefficient distribution of Shidian (56842) with 121 sites in Yunnan Province

然后是选取参考站，建立参考序列。选取施甸（56842）周边 200 km 以内相关系数较大的 4 个站

点作为参考站，通过计算，施甸（56842）的参考站为龙陵 56841（0.72），永德 56849（0.68），潞西 56844（0.68），保山 56748（0.66），括号内为对应相关系数值。用 SNHT 方法构造比值序列用于 SNHT 和 M - K 两种方法的检验，用参考站的加权算术平均建立新的参考序列用于 PMT 检验，相关系数的平方作为加权因子。

（1）SNHT 方法检验结果

用 SNHT 方法计算分别得出施甸站 $T_{\max}$ 值为 12.315，超过 0.05 的显著性水平，对应时间为 1974 年，图 2 为施甸站的比值序列和 T 值序列曲线图。

从图 2（a）大致能看到 1965 年以后比值减小，1974 年以后比值增大，从图 2（b）上看出 1974 年有一个最大值，超出了 0.05 的显著性水平，因此判断 1974 年为一个间断点，同时从（b）图上还看到有多个间断点超过 0.05 的显著性水平，因此要进一步进行分段检验。将比值序列分为两段分别检验，第一段为 1961 至 1974 年，第二段为 1975 至 2011 年，通过检验得到的 $T_{\max 1} = 4.64$ ， $T_{\max 2} = 2.99$ ，均没有超出 0.05 的显著水平，因此判断施甸站只有 1 个间断点，为 1974 年，查找迁站信息，没有找到相应的迁站记录，因此 1974 年这个间断点还需进一步检验。

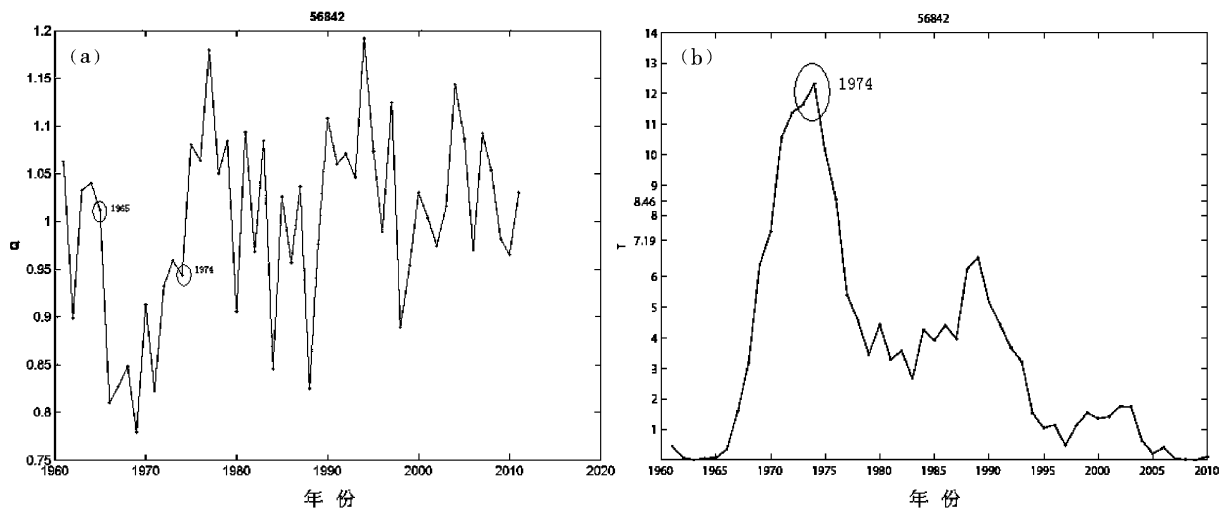


图2 施甸(56842)降水量比值序列(a)和降水量T值序列(b)

Fig. 2 The ratio sequence (a) and T value sequence (b) of Shi Dian (56842) rainfall precipitation

(2) PMT 方法检验结果

应用 PMT 方法对待检序列与参考序列作显著性水平为 0.05 的 PMT 检验。以下为施甸(56842)站年降水序列和 PMT 检验线性趋势。

从图3可以看出施甸站1965年和1974年有两个突变趋势。通过计算得出56842站在1965年 $PT_{max} = 2.4112$, 没有超过0.05的显著性水平, 1974年 $PT_{max} = 4.4607$, 超过0.05的显著性水平, 因此判定1974年为一个间断点。1974年虽没有元数据可查, 但与SNHT方法的检验结果相一致, 需进一步通过M-K方法进行补充检验。

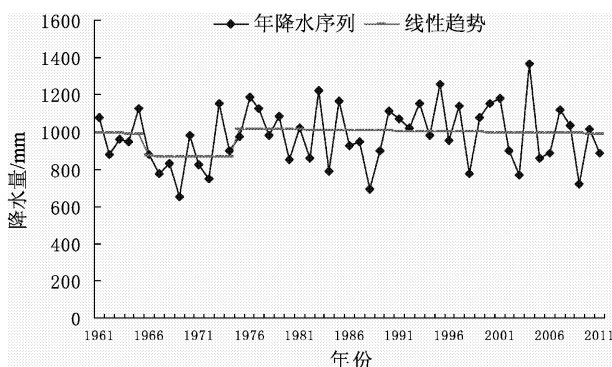


图3 施甸(56842)站年降水量序列与PMT检验线性趋势

Fig. 3 The curve of Shi Dian (56842) rainfall precipitation and PMT test regression trend

(3) Mann-Kendall 方法补充检验结果

用 Mann-Kendall 方法对施甸1974年进行补充检验, 图4是 Mann-Kendall 的检验结果分析。

从图4上显示 UF 和 UB 曲线在临界值范围内

于1975年有交点, 即M-K方法检出施甸站1975年为间断点。

以上3种检验方法均检验出施甸站1974年有一个真实的间断点, 由于历史元数据记录不完整, 施甸站1974年的间断原因不明。通过查找元数据发现, 施甸在1964年有迁站记录, 但是在0.05的显著性水平下, 3种方法均没有检验出该年出现间断点, 因此说明1964年迁站并没有影响该站资料的均一性。

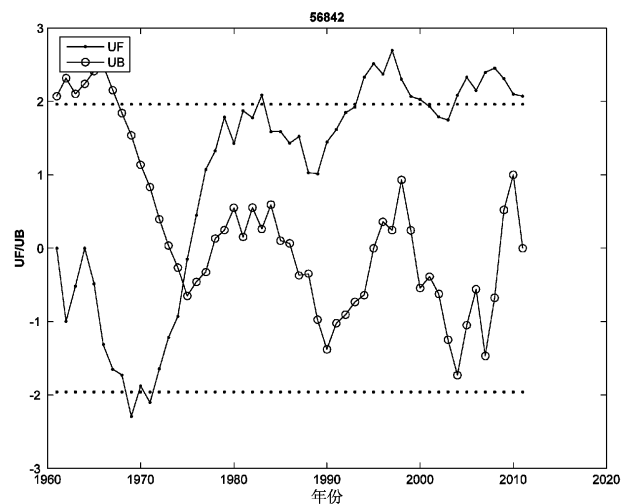


图4 施甸(56842)站UF和UB曲线图

Fig. 4 Shi Dian (56842) UF and UB curve

5 讨论

通过检验发现云南省年降水序列存在非均一的情况, 在122个检验台站中全省有16个站存在18

个间断点, 占 122 个站的 13.1%, 其中 14 个间断点有迁站元数据信息, 占有间断点的 77.8%。从间断原因可以看出台站迁移是导致年降水序列非均一的重要原因, 但也有一部分非均一点产生的原因并不明确, 需要结合台站的实际情况如台站周围的环境变化进一步分析。

SNHT、PMT、Mann - Kendall 3 种均适用于云南省年降水序列均一性检验, 但相比较而言, PMT 方法能够检出更多有对应迁站信息的间断点, 比较 SNHT 方法检验效果更为理想。Mann - Kendall 方法

根据定义可以作为一种补充检验的方法。

降水资料的变率大, 空间代表性差, 年降水序列的分布仅是近似正态分布, 使得降水数据产生非均一性的原因较为复杂, 加之降水数据观测站点密度不足导致参考站的选取受到一定影响等原因, 一定程度降低了检验结果的可信度, 因此, 在进行资料序列均一性检验时不能仅仅局限于一种方法, 而是综合多种方法进行分析, 并结合台站历史元数据信息, 才能得到较为合理的检验结果。

参考文献:

- [1] Li Qingxiang, Liu Xiaoning, Zhang Hongzheng, et al. Detecting and adjusting on temporal in homogeneity in Chinese mean surface air temperature dataset [J]. *Adv Atmos Sci*, 2004, 21 (4): 260 - 268.
- [2] 李庆祥, 李伟. 近半个世纪中国区域历史气温网格数据集的建立 [J]. *气象学报*, 2007, 65 (2): 293 - 300.
- [3] KHALIQ M N, OUARDA T B M J. Short communication on the critical values of the standard normal homogeneity test (SNHT) [J]. *Int J of Climatol*, 2007, 27: 681 - 687.
- [4] WANG X L. Accounting for autocorrelation in detecting mean shifts in climate data series using the Penalized Maximal t or F Test [J]. *J Appl Meteor Climatol*, 47: 2423 - 2444.
- [5] WANG X L. Penalized maximal F test for detecting undocumented mean shift without trend change [J]. *J Atmos Oceanic Tech*, 25 (3): 368 - 384.
- [6] WANG X L, WEN Q H, WU Y. Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series [J]. *J Appl Meteor Climatol*, 46 (6): 916 - 931.
- [7] 张高杰, 何金海, 周自江, 等. RHtest 方法对我国降水资料的均一性检验实验 [J]. *气象科技*, 2012, 40 (6): 914 - 921.
- [8] ALEXANDERSON H. A homogeneity test applied to precipitation data [J]. *J Climatol*, 1986, 6: 661 - 675.
- [9] POTTER K W. Illustration of a new test for detecting a shift in mean in precipitation series. *Mon [J]. Wea. Rev.*, 1981, 109: 2040 - 2045.
- [10] KARL T R, WILLIAMS CN. An Approach to Adjusting Climatological Time Series for Discontinuous Inhomogeneities [J]. *J. Climate Appl. Meteor.*, 1987, 26: 1744 - 1763.
- [11] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [12] 宋超辉, 孙安健. 非均一性气温气候序列订正方法研究 [J]. *高原气象*, 1995, 14 (2): 215 - 220.
- [13] 宋超辉, 刘小宁, 李集明. 气温序列非均一性检验方法的研究 [J]. *应用气象学报*, 1995, 6 (3): 289 - 296.
- [14] 刘小宁, 孙安健. 年降水量序列非均一性检验方法探讨 [J]. *气象*, 1995, 21 (8): 3 - 6.
- [15] Heikki Tuomenvirta, Alexanderson Hans. Review on the methodology of the standard normal homogeneity test (SNHT) //Fifth International Meeting on StasticalClimatology, 1992: 35 - 44.
- [16] ALEXANDERSON H, MORBERG A. Homogenization of Swedish temperature data, part I: Homogeneity test for Linear Trends [J]. *J Int J Climatol*, 1996, 17: 25 - 34.
- [17] LUND R, REEVES J. Detection of undocumented change points: A revision of the tow - phrase regression model [J]. *J. Climate*. 2003. 15: 2547 - 2554.
- [18] 刘小宁. 我国 40 年年平均风速的均一性检验 [J]. *应用气象学报*, 2000, 11 (2): 27 - 34.
- [19] 李庆祥, 江志红, 黄群, 等. 长江三角洲地区降水资料的均一性检验与订正试验 [J]. *应用气象学报*, 2008, 19 (2): 219 - 226.
- [20] 李庆祥, 刘小宁, 张洪政, 等. 定点观测气候序列的均一性研究 [J]. *气象科技*, 2003, 31 (1): 3 - 10.
- [21] 李庆祥, Matthew J Menne, Claude N Williams Jr, 等. 利用多模式对中国气温序列中不连续点的检测 [J]. *气候与环境研究*, 2005, 10 (4): 736 - 742.
- [22] 江志红, 黄群, 李庆祥. 近 50 年中国降水序列均一性检验与订正研究 [J]. *气候与环境研究*, 2008, 13 (1): 67 - 74.

HOMOGENEITY TEST ANALYSIS OF YUNNAN ANNUAL PRECIPITATION DATA

LIU Li – jin^{1,2}, LI Yi²

(1. *Department of Atmospheric Science, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China;*

2. *Kunming Weather Bureau, Kunming 650300, Yunnan, China*)

Abstract: Homogeneous climate series is the basis for conducting and researching the characteristics of climate change, especially the researching with regard to the distribution of region and extreme climate change. Use the standard normal test (SNHT) method、the PMT (penalized maximal T test), combined with the rank test (Mann – Kendall) method and the metadata of the migration of the stations, to study the annual precipitation homogeneity of Yunnan 122 national level ground observation stations from 1961 to 2011. The main conclusions are as follows: (1) In Yunnan province, there are existing non – uniform sequences in annual precipitations, there are 16 non – homogeneous stations and 18 non – homogeneous points in annual precipitation series, accounted for 13.1% of the total number of 122 stations. (2) Three methods of SNHT, PMT, Mann – Kandall are also effective for the annual precipitation sequence homogeneity test. From the testing results that PMT method can fully test more discontinuous point with migration information, so the testing effect of PMT method is better than that of SNHT.

Key words: Yunnan precipitation; homogeneity; stastical test

~~~~~  
(上接第14页)

## THE CHANGES OF AIR TEMPERATURE IN URUMQI IN RECENT 50 YEARS AND ITS RELATION TO URBANIZATION

LONG Hai – li<sup>1,2</sup>, WANG Ai – hui<sup>1,2</sup>

(1. *School of Life Resource Environment, Yili Normal University; Yili 833200, Xingjiang, China;*

2. *Xinjiang Career Technical College, Kuitun, 833200, Xingjiang, China*)

**Abstract:** Based on annual mean air temperature data of recent 50 years at 2 weather stations in Urumqi, the methods of linear trend, accumulated variance, Mann – Kendall test are employed to study the decadal changes and the jumping of the air temperature in Urumqi, and trend – fitting and correlation analysis are adopted to study the relations between annual mean air temperature and urbanization. Based on the research working above, we concluded that (1) In recent 50 years, the annual mean air temperature in Urumqi region have been ascending slowly, the temperature of urban is higher than the suburban, the rate of urban station temperature was 0.2 °C / 10a, suburban station 0.245 °C / 10a, the total rate of warming 0.225 °C / 10a; (2) M – K method detect the temperature mutation in 2000 in Urumqi; (4) The population, GDP, total social fixed asset investment, the area of buildings completed, energy consumption and the annual mean temperature in Urumqi have significant correlations, which shows there is relationship between urbanization and the annual mean temperature.

**Key words:** Urumqi; annual mean air temperature; urbanization

# 玉溪地区降水变化特征分析

杨波, 王宝, 周泓

(玉溪市气象局, 云南 玉溪 653100)

**摘要:** 利用玉溪市9个代表站1961~2010年50年的降水观测资料, 使用趋势分析、连续小波变换分析的方法, 对玉溪50年来降水变化的基本特征进行了分析。结果表明: 近50年来玉溪年均降水量处于缓慢减少的趋势, 减少率为3.73 mm/10a, 特别是2000年以后减弱趋势明显增大。从降水的周期变化特征来看, 玉溪地区50年降水小波变换系数都存在着20~25年和10年左右两个显著周期, 目前玉溪地区正处于干旱期。

**关键词:** 玉溪; 降水; 小波分析; 特征

**中图分类号:** P332.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7852(2013)04-0022-04

## 0 引言

近百年来全球气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化, 气候变暖将对降水、蒸发、径流、土壤湿度等水循环造成直接影响, 引起水资源时空分布变化, 水资源对气候变化的响应较为敏感<sup>[1-3]</sup>, 从而对全球和中国的生态环境及社会发展产生重大的影响。降水资源作为水资源的根本来源, 是水资源评价中的重要组成部分之一。玉溪地区地处滇中山区, 属亚热带季风气候, 多年平均降雨量887 mm左右。近年来, 玉溪地区降水偏少、气温偏高, 使得当地的生态环境的受到了一定的影响, 水库、坝塘蓄水严重不足, 山区及坝区局部地方发生了人畜饮水困难, 特别是华宁、元江、新平出现严重缺水、断水现象。因此, 深入了解玉溪地区降水资源的变化特征, 不仅对认识该地区气候背景状况和水资源变化有重要作用, 而且对社会经济的可持续发展也很有价值。近年来气象工作者对降水资源变化做过很多研究, 刘瑜<sup>[4]</sup>等利用云南1961~2007年降水资料进行线性趋势分析和突变检验, 结果表明, 近46年来云南年均降水量是趋于减少的, 其中夏季降水量减少较为明显。王宇等<sup>[5-9]</sup>分

别分析了云南18个代表站1951~1994年近40年降水年际变化特征, 并在此基础上利用EOF方法分析了这18个站的空间分布特征, 得出了一些有意义的结论; 周国莲等<sup>[10]</sup>也采用EOF方法分析了1961~2002年42年降水量的时空分布特征; 尤卫红等<sup>[11]</sup>利用连续小波分析了云南近百年降水的多时间尺度特征; 左洪超等<sup>[12-13]</sup>分析了中国近50年气温及降水量变化趋势及中国西南纵向岭谷区近百年降水的时空变化特征。这些研究大都是研究大范围的降水变化特征。云南省玉溪市属中亚热带半湿润高原季风气候, 由于地形地貌复杂, 呈现垂直变化大、季节变化小、干湿季分明、地区差异明显的立体气候特点。因此分析研究玉溪市50年来降水变化特征, 对当地短期气候预测具有十分重要的实际意义, 也为各级政府制定防灾减灾规划提供决策依据。

## 1 资料和方法

研究采用的资料为玉溪市9个代表站1960~2010年50年的降水观测资料和玉溪市行政区划基础资料。在分析之前先对资料进行距平化处理。9个站点自然地理状况见表1。

收稿日期: 2013-06-16; 修订日期: 2013-07-27.

基金项目: 云南省气象局预报员技术开发专项项目(YB201207)资助.

作者简介: 杨波(1978-), 男, 云南省玉溪市人, 工程师, 研究方向为雷电防护及GIS与应用气象.

表1 玉溪气象观测站基本情况  
Tab. 1 The basic situation of Meteorological stations in Yuxi

| 地点  | 经度/°E  | 纬度/°N | 海拔/m   | 温度/℃ | 湿度/% | 降雨量/mm | 植被 |
|-----|--------|-------|--------|------|------|--------|----|
| 红塔区 | 102.55 | 24.33 | 1716.9 | 16.3 | 74.2 | 910.2  | 较差 |
| 元江  | 101.98 | 23.61 | 400.9  | 23.9 | 69.0 | 805.7  | 较好 |
| 新平  | 101.97 | 24.07 | 1497.5 | 17.5 | 74.1 | 953.7  | 一般 |
| 通海  | 102.75 | 24.13 | 1801.8 | 16.0 | 72.9 | 901.3  | 一般 |
| 澄江  | 102.90 | 24.67 | 1746.4 | 16.1 | 74.3 | 927.1  | 一般 |
| 江川  | 102.77 | 24.28 | 1731.1 | 15.9 | 74.5 | 849.7  | 较差 |
| 华宁  | 102.92 | 24.20 | 1608.4 | 16.3 | 75.7 | 898.7  | 较差 |
| 峨山  | 102.40 | 24.18 | 1538.6 | 16.2 | 78.6 | 927.2  | 一般 |
| 易门  | 102.17 | 24.67 | 1575.9 | 16.5 | 75.2 | 845.5  | 一般 |

注：表中温度、湿度和降雨量均为常年平均值。

研究方法：(1) 一般来说，降水的气候趋势用一次直线方程或二次曲线方程就能满足。在此，用线性回归方程来描述，即： $y(t) = a_0 + a_1 t$ ，其线性倾向系数由最小二乘法求得， $a_1 \times 10a$  为线性倾向率 (mm/10a)。(2) 小波变换作为能随频率的变化自动调整分析窗大小的分析工具，自 20 世纪 80 年代中期以来得到了迅猛的发展，并在信号处理、计算机视觉、图像处理、语音分析与合成等众多的领域得到应用。为了更精细说明降水振动周期，小波分析比传统的谱分析方法更加优越，小波技术可以显示出传统频域分析方法一般难以实现的特性，因为小波系数能同时反映时域参数  $t$  和频域参数  $a$  的特性。特别小波变换后得到的小波系数过零点可能是气候时间序列上的突变点。文中的小波基（母波）取 Morlet 小波，它是一种复数小波，时频均具有很好的局部性。由下式给出：

$$morl(x) = \exp(-x^2/2) \cos(5x) \tag{1}$$

2 结果和分析

2.1 年平均降水量变化趋势

为了分析玉溪降水变化趋势，把 9 个站的年降水量求和平均，得到一个年平均降水量系列，图 1 是年均降水量 1960~2010 年变化曲线。

由图 1 可见，玉溪地区年均降水量呈缓慢减弱趋势，特别是 2000 年以后减弱趋势明显增大，降水减少率为 3.73 mm/10a，相关系数通过了 0.01

显著性水平检验。

图 2 为玉溪地区年平均降水量距平，图中正距平表示降水偏多，负距平表示降水偏少。从图 2 可以看出，玉溪地区降水在 20 世纪 60 年代稍偏多，70 年代中期至 90 年代中期降水一直呈减少的趋势，90 年代中期以后，降水有明显的增加，到 21 世纪前 10 年中后期，降水明显减少。

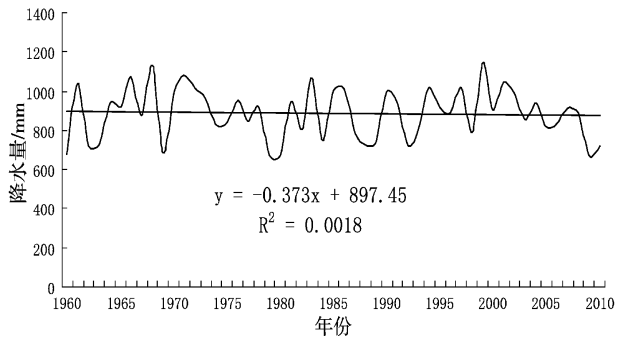


图1 玉溪年平均降水量变化曲线

Fig. 1 The curve of annual average precipitation in Yuxi

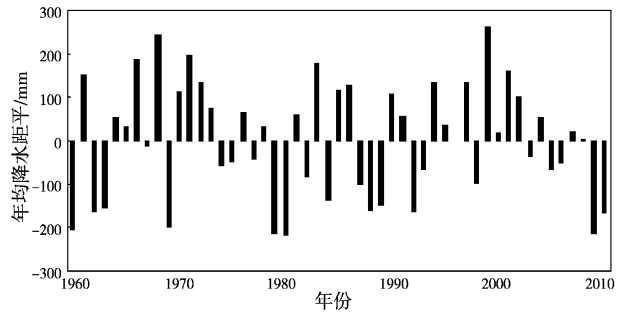


图2 玉溪年平均降水量距平

Fig. 2 The annual average precipitation anomaly in Yuxi



## 2.2 降水周期特征

为了更加具体说明玉溪地区降水序列周期变化特征,采用连续小波分析方法。图 3-图 6 是元江、易门、新平、华宁 4 站分别代表玉溪地区南部、北

部、西部、东部 50 年降水资料的连续小波变换结果。图中纵坐标为小波变换尺度对应的中心周期,横坐标为年份。实线区域表示正系数,虚线区域表示负系数。

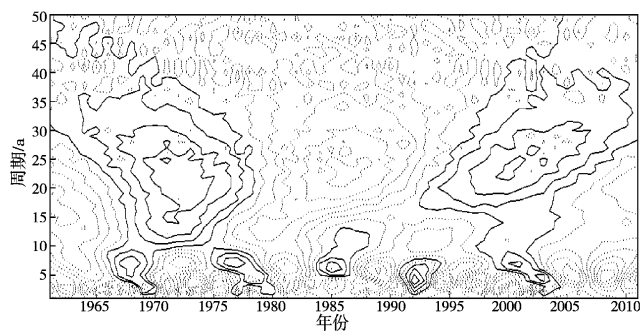


图 3 元江 50 年降水小波变换系数

Fig. 3 The wavelet transform coefficients of 50 year precipitation in Yuanjiang

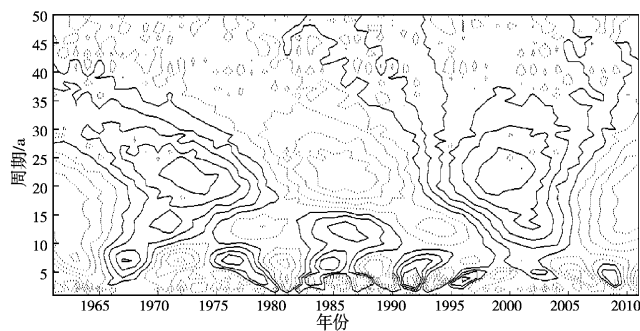


图 4 易门 50 年降水小波变换系数

Fig. 4 The wavelet transform coefficients of 50 year precipitation in Yimeng

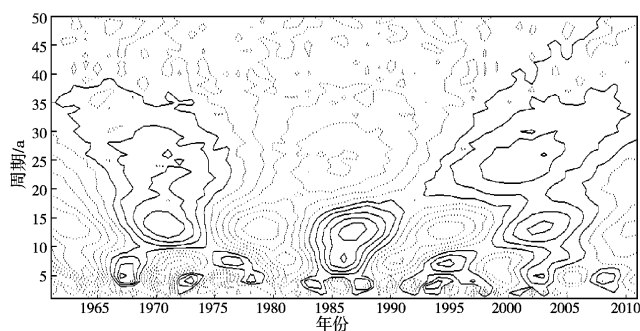


图 5 新平 50 年降水小波变换系数

Fig. 5 The wavelet transform coefficients of 50 year precipitation in Xingping

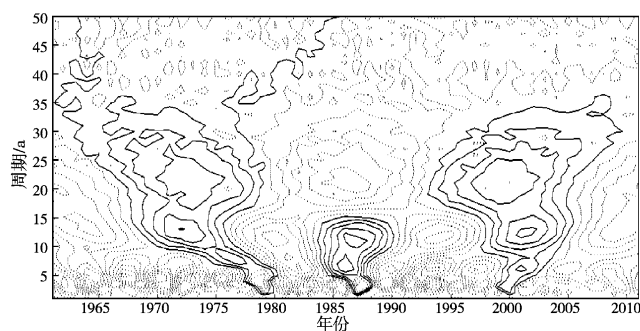


图 6 华宁 50 年降水小波变换系数

Fig. 6 The wavelet transform coefficients of 50 year precipitation in Huaning

由图 3~6 可见,从整体上看玉溪南部、北部、西部、东部 50 年降水小波变换系数都存在着 20~25 年和 10 年左右两个显著周期。从 20 到 25 年尺度上看,各地小波变换正负系数非常分明,旱涝趋势大致相同,经过了旱-涝-旱-涝-旱 5 个阶段,20 世纪 60 年代中期~20 世纪 70 年代中期、20 世纪 90 年代中期~21 世纪前 10 年中期偏涝;20 世纪 80 年代~20 世纪 90 年代中期、21 世纪前 10 年后期偏旱,目前玉溪地区正处于偏旱期。

从 10 年尺度来看,各地小波变换正负系数分明,旱涝趋势大致相同,经过了旱-涝-旱-涝-旱-涝-旱 7 个阶段,目前玉溪地区也正处于干旱期。另外,从小于 5 年尺度来看,也存在一些短期的周期信号,各地都存在一些更小尺度比如 2~3 年的旱涝交替。根据图 3~6 小波系数极值中心,呈现带状分布,20 世纪 90 年代前正系数极值中心

向小尺度接近,20 世纪 90 年代后期向大尺度延伸,说明 20 世纪 90 年代以前旱涝变化频率逐渐加快,20 世纪 90 年代后旱涝交替变慢。

## 3 结论

玉溪地区年均降水量呈缓慢减弱趋势,降水减少率为 3.73 mm/10a。特别是 2000 年以后减弱趋势明显增大。

从整体上看玉溪南部、北部、西部、东部 50 年降水小波变换系数都存在着 20~25 年和 10 年左右两个显著周期。目前玉溪地区正处于干旱期。

20 世纪 90 年代前正系数极值中心向小尺度接近,20 世纪 90 年代后期向大尺度延伸,说明 20 世纪 90 年代以前旱涝变化频率逐渐加快,20 世纪 90 年代后旱涝交替变慢。

**参考文献:**

- [1] WMO. Water Resources and Climate Change: Sensitivity of Water Resources System to Climate Change and Variability [M]. Geneva: WMO/TO, 1987.
- [2] GLEICK P H. Climate change, hydrology and water resources [J]. Reviews of Geophysics, 1994, 27 (3): 329 – 344.
- [3] SMITH TM, RW REYNOLDS, RE LIVEZEY, et al. Reconstruction of historical sea surface temperatures using empirical orthogonal functions [J]. JClimate, 1996, 9: 1403 – 1420.
- [4] 刘瑜, 赵尔旭, 黄玮, 等. 云南近 46 年降水与气温变化趋势的特征分析 [J]. 灾害学, 2010, 25 (1): 39 – 44.
- [5] 王宇. 云南气候变化概论 [M]. 北京: 气象出版社, 1996.
- [6] 秦剑, 琚建华, 解明恩, 等. 低纬高原天气气候 [M]. 北京: 气象出版社, 1997: 1 – 13.
- [7] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 中国近百年温度序列 [J]. 大气科学, 1995, 19 (3): 209 – 214.
- [8] 尤临, 梁红丽. 沾益气温和降水的多尺度演变特征 [J]. 云南地理环境研究, 2011, 23 (增刊): 62 – 70.
- [9] 刘云生, 黄国平, 王顺江. 西畴县近 48 年来降水及气温小波分析 [J]. 云南地理环境研究, 2011, 23 (2): 90 – 93.
- [10] 周国莲, 晏红明. 云南近 40 年降水量的时空分布特征 [J]. 云南大学学报, 2007, 29 (1): 55 – 61.
- [11] 尤卫红, 段旭, 杞明辉. 连续小波变换在云南近百年气温和降水变化分析中的应用 [J]. 高原气象, 1999, 18 (1): 47 – 54.
- [12] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量变化趋势分析 [J]. 高原气象, 2004, 23 (2): 238 – 244.
- [13] 张万诚, 万云霞, 肖子牛. 中国西南纵向岭谷区近百年降水的时空变化特征 [J]. 自然资源学报, 2006, 21 (5): 802 – 809.

## ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF PRECIPITATION VARIATION IN YUXI, YUNNAN PROVINCE

YANG Bo, WANG Bao, ZHOU Hong

(Yuxi Meteorological Bureau, Yuxi 653100, Yunnan, China)

**Abstract:** Taking advantage of 1960 – 2010 50 years of precipitation data from the nine representatives of Yuxi City station, using the trend analysis method, wavelet analysis method and the basic characteristics of precipitation changes in Yuxi past 50 years were analyzed. The results show that: nearly 50 years the average annual rainfall in Yuxi slowly decreased, reducing the rate of 3.73mm/10a, especially after 2000 decreased trend. The periodic variation of precipitation, Yuxi area 50 years precipitation wavelet transform coefficients are 20 – 25 years and 10 years two significant periods. The drought period is currently in the Yuxi area.

**Key words:** Yuxi City; precipitation; wavelet analysis; feature

# 玉溪空中水资源开发潜力分析

周鹏康<sup>1</sup>, 秦金梅<sup>2</sup>, 丁 圣<sup>3</sup>

(1. 江川县气象局, 云南 江川 652600; 2. 江川县防震减灾局, 云南 江川 652600; 3. 玉溪市气象局, 云南 玉溪 653100)

**摘要:** 利用玉溪9个气象台站45 a地面逐日水汽压以及降水资料, 采用地面水汽压经验公式计算大气可降水量的方法, 分析了玉溪地区空中水资源时空分布特征, 并对增雨潜力做了初步分析。结果表明: 1961~2005年玉溪地区大气可降水量呈递减变化趋势, 夏季最大, 冬季最小; 7月最大, 1月最少; 西部多中东部少, 南部多北部少。自然降水产出率1月最大, 9月最小; 冬季降水效率最高, 秋季最低, 中东部四季自然降水产出率均高于西部。玉溪3~4月和9~10月增雨潜力都较大, 大多在77%以上, 四季增雨潜力均是西部大于中东部。

**关键词:** 大气可降水量; 增雨潜力; 空中水资源; 玉溪市

**中图分类号:** TV213

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7852(2013)04-0026-05

## 0 引言

近年来, 国内对于空中水资源的研究较多, 但主要集中在易出现干旱的地区<sup>[1-7]</sup>。王维佳<sup>[8]</sup>分析了四川上空大气可降水量时空分布特征, 初步评估了四川地区的空中水资源; 何军等<sup>[9]</sup>分析了1966~2008年重庆地区整层大气降水量的时空分布特征及气候变化趋势, 并探讨了可降水量与降水量的关系; 沈鹰<sup>[10]</sup>分析了云南人工增雨开发空中水资源探讨; 马涛等<sup>[11]</sup>云南空中水资源季节变化研究。以上研究得到了很多有意义的成果, 但关于云南空中水资源的大气可降水量研究不多。本文分析了玉溪地区大气可降水量年、月和四季分布特征, 并揭示自然降水产出率特征及人工增雨潜力, 对今后开展玉溪大气可降水量的研究, 对应对水资源短缺具有现实意义。

玉溪拥有抚仙湖、星云湖、杞麓湖和阳宗海等四个高原湖泊和各大水库, 水资源储备丰富; 但玉溪地形复杂, 山地多, 绝大多水库湖泊地势较低,

落差大, 不利于工农业生产, 水资源得不到有效利用。玉溪农业生产是个“露天工厂”, 受到自然条件的制约, 尤其是自然灾害的发生, 直接影响着农业生产的发展, 有时甚至起着决定性的作用。近年来虽然新修了现代化农业水利设施和家庭式小水窖, 但干旱依然严峻, 尤其是2010年的百年不遇的大旱<sup>[1]</sup>。玉溪市位于滇中腹地, 地理坐标处于23°19'~24°53'N、101°16'~103°09'E之间, 属低纬度高原亚热带季风气候, 冬春连旱和初夏干旱频繁, 是“十年九旱”之地, 急需解决地下水和地表水紧张的供需矛盾, 增强水资源的有效供给, 合理开发空中水资源。玉溪市降水系统多为南支槽、北方南下冷空气、西南或东南暖湿气流、冷锋、冷平流和切变线等<sup>[2]</sup>, 通过合理开展人工增雨作业, 有助于缓解玉溪水资源短缺。

## 1 资料与计算方法

文中使用的气象资料为玉溪市一区八县气象站(红塔、江川、通海、易门、新平、元江、澄江和

华宁)的1961~2005年各站逐日地面水汽压、月平均降水量、年平均降水量、月降水天数和逐年降水天数。季节按习惯划分,即春季为3~5月,夏季为6~8月,秋季为9~11月,冬季为12~次年2月。

### 1.1 大气可降水量计算方法

大气可降水量不是地面实际降水量,而是整层气柱所含水汽的数量,根据杨景梅、邱金桓<sup>[12-13]</sup>的地面水汽压关系经验公式。

$$W = (a_0 + a_1 e) \times 10 \quad (1)$$

式中:  $W$  为大气可降水量 (mm),  $e$  为地面水汽压 (hPa),  $a_0$  和  $a_1$  为经验系数。青藏高原以外地区的经验系数如下:

$$a_0 = \begin{cases} 0.03 \exp(-1.39H^2 + 2.74H + 0.15) (\varphi \geq 33^\circ) \\ 0.04 \exp(0.6H) - d_1 + d_2 (\varphi < 33^\circ) \end{cases} \quad (2)$$

$$a_1 = \begin{cases} 0.17 + d_3 (\varphi \geq 33^\circ) \\ (0.2 - d_3) \times d_4 (\varphi < 33^\circ) \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{式中: } d_1 = \frac{0.05}{[(\varphi - 25.0) \times 2 + 0.25]} \quad (4)$$

$$d_2 = \begin{cases} 0 (\varphi \geq 33^\circ) \\ -0.9 (\varphi < 33^\circ) \end{cases} \quad (5)$$

$$d_3 = \frac{0.066}{[(\varphi - 33.0) \times 2 + 4.41]} \quad (6)$$

$$d_4 = 1.0 \quad (7)$$

式中:  $\varphi$  为地理纬度,  $H$  为海拔高度 (km)。通过计算,得出玉溪市各站大气水汽压关系式的经验系数 (表1)。

### 1.2 自然降水产出率的计算方法

自然降水产出率 ( $M$ ),是指统计时段内实际降水量 ( $R$ ) 与大气可降水量 ( $R_p$ )<sup>[14]</sup> 的百分比,其表达式为:  $M = (R/R_p) \times 100\%$ 。

$$W_j = \sum_{i=1}^d W_i \quad (8)$$

$$W_a = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^n W_j \quad (9)$$

式中:  $W_i$  为逐日大气可降水量,  $W_j$  为逐年各月日大气可降水量,  $d$  为实际降水天数,  $N$  为降水年数,一般应不小于20。

### 1.3 人工增雨潜力的计算方法

一般来说,在可降水量一定的情况下,自然降水产出率 ( $M$ ) 越低,其增雨潜力 ( $L$ ) 越大。增雨潜力的计算表达式为:

$$L = 1 - M \quad (10)$$

表1 玉溪市各站大气水汽压关系式的经验系数

Tab.1 Yuxi stations the experience coefficient of atmospheric water vapor pressure equation

| 站名 | 纬度(°N)  | 海拔(m)  | $a_0$   | $a_1$  |
|----|---------|--------|---------|--------|
| 江川 | 24.2833 | 1731.1 | -0.7447 | 0.2051 |
| 红塔 | 24.3333 | 1716.9 | -0.7418 | 0.2051 |
| 新平 | 24.0667 | 1497.5 | -0.7708 | 0.2049 |
| 元江 | 23.6000 | 400.9  | -0.8295 | 0.2046 |
| 通海 | 24.1333 | 1801.8 | -0.7484 | 0.2050 |
| 澄江 | 24.6667 | 1746.4 | -0.6659 | 0.2054 |
| 易门 | 24.6667 | 1575.9 | -0.6770 | 0.2054 |
| 峨山 | 24.1833 | 1538.6 | -0.7632 | 0.2050 |
| 华宁 | 24.2000 | 1608.4 | -0.7580 | 0.2050 |

## 2 空中水资源时空分布特征

### 2.1 玉溪空中水资源空间分布

大气可降水量表征某区域上空水资源的分布状况,各地不同的大气可降水量、不同的降水产出率是造成各地多变的气候的原因之一<sup>[15]</sup>。玉溪市空中水资源年总量为3354~4758mm,平均年最大可降水量出现在元江站,为4758mm,最小出现在通海,为3354mm (表2)。大气可降水量呈西部多中东部少,南部多北部少的分布特点,而年降水产出率则相反。这种分布特点与玉溪市主要水汽来源通道和地形密切相关,玉溪市的主要水汽来自孟加拉湾和北部湾洋面,水汽由西南或东南向北输送途中,含量逐渐减少,形成水汽南多北少<sup>[11]</sup>,而玉溪地区西北高,东南低,地形复杂,海拔差异大,不仅受到哀牢山的屏蔽作用,而且受到元江河谷的焚风效应,水汽受到地形的阻挡抬升辐合,所以形成最大可降水量西部高中东部低的分布,如图1所示。

表 2 玉溪市各站大气可降水量和降水产出率

Tab. 2 Yuxi City atmospheric precipitation and rainfall stations output

| 地区  | 县(区)名 | 大气可降水量 $R_p$ /mm |       |         |         |       | 降水产出率 $M/\%$ |      |      |      |      |
|-----|-------|------------------|-------|---------|---------|-------|--------------|------|------|------|------|
|     |       | 全年               | 春     | 夏       | 秋       | 冬     | 全年           | 春    | 夏    | 秋    | 冬    |
| 西部  | 元江    | 4 758.0          | 899.4 | 2 454.2 | 1 180.1 | 224.3 | 18.6         | 17.7 | 15.9 | 18.5 | 22.2 |
|     | 新平    | 3 898.9          | 607.6 | 2 069.0 | 1 040.9 | 181.5 | 25.9         | 24.3 | 24.6 | 25.1 | 29.6 |
|     | 易门    | 3 694.7          | 525.9 | 2 003.5 | 995.4   | 169.8 | 22.5         | 21.2 | 23.8 | 21.5 | 23.6 |
|     | 峨山    | 3 797.6          | 615.5 | 1 982.7 | 998.2   | 201.2 | 25.8         | 24.9 | 25.2 | 24.8 | 28.3 |
|     | 平均值   | 4 037.3          | 662.1 | 2 127.4 | 1 053.7 | 194.2 | 23.2         | 22.0 | 22.4 | 22.5 | 25.9 |
| 中东部 | 红塔    | 3 543.7          | 541.4 | 1 896.1 | 948.8   | 157.3 | 27.1         | 24.0 | 27.0 | 26.0 | 31.4 |
|     | 江川    | 3 422.4          | 534.8 | 1 866.0 | 877.1   | 144.5 | 27.2         | 25.0 | 26.2 | 25.5 | 32.1 |
|     | 澄江    | 3 569.0          | 533.6 | 1 949.6 | 939.3   | 146.5 | 26.5         | 22.6 | 28.2 | 27.3 | 28.0 |
|     | 通海    | 3 353.9          | 534.5 | 1 810.0 | 860.8   | 148.6 | 28.9         | 28.3 | 26.9 | 26.5 | 34.0 |
|     | 华宁    | 3 652.5          | 577.6 | 1 987.7 | 938.8   | 148.4 | 27.0         | 25.1 | 26.2 | 23.0 | 33.7 |
|     | 平均值   | 3 508.3          | 544.4 | 1 901.9 | 913.0   | 149.1 | 27.3         | 25.0 | 26.9 | 25.7 | 31.8 |

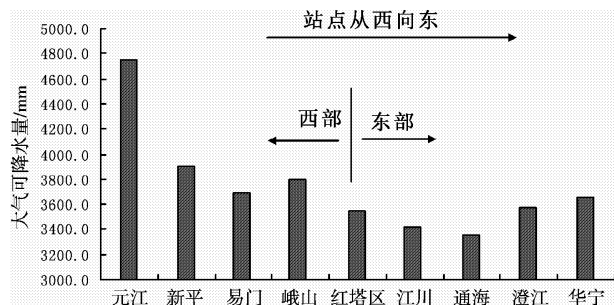


图 1 玉溪各站点年平均大气可降水量

Fig. 1 Yuxi each site the average annual atmospheric precipitation

## 2.2 玉溪四季大气可降水量和季节变化

玉溪四季平均大气可降水量和实际降水量季节变化差异较大。夏季平均实际降水与实际降水量相差最大, 为 1 512.8 mm, 其次是秋季 771.8 mm, 冬季最少, 为 122.3 mm, 大气可降水量夏冬相差达 1 833.0 mm, 四季大气可降水量呈倒“U”<sup>[11]</sup>, 这也体现了玉溪四季分明的大陆性季风气候, 降水主要集中在夏季, 时间分布极不均匀的特点。

各季大气可降水量与实际降水量的关系见图 2。冬季大气可降水量最少, 夏季最多, 春秋两季是夏冬间转换季节, 春季到夏季大气可降水量于实际降水量差值逐渐加大, 夏季开始到冬季差值逐渐减小。西部四季平均可降水量均大于中东部地区, 而自然降水产出率则相反, 这是因为影响玉溪降水系统的水汽输送主要靠西南或东南风输送的暖湿气流, 而西南或东南风在春季到夏季是逐渐加强, 夏

季后就逐渐减弱因此水汽输送也随之减弱, 使得大气可降水量和实际降水量明显减少。

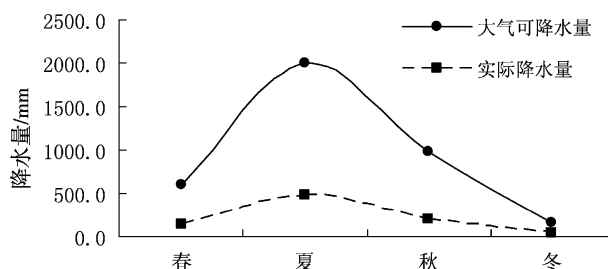


图 2 玉溪市平均各季节大气可降水量与多年平均实际降水量对比 (全市站点平均)

Fig. 2 Yuxi atmospheric precipitation and average each season for many years the average real precipitation contrast (average in the city)

## 2.3 大气可降水量年际分布特点

玉溪年大气降水量的年际变化呈下降趋势 (图 3), 其中 1963 年、1969 年、1975 年、1979 年、1984 年、1989 年、1992 年、1998 年和 2003 年处于谷值区, 1966 年、1968 年、1971 年、1973 年、1977 年、1981 年、1985 年、1990 年、1991 年、1994 年、1997 年和 1999 年处于峰值区; 年大气可降水量随年代呈明显的下降趋势, 与实际年平均雨量趋势一致。年平均大气可降水量上升和下降连续年份在 3 年左右且有升有降, 在 1978 年前大气可降水量处于上升趋势, 1979 年后呈减少趋势。



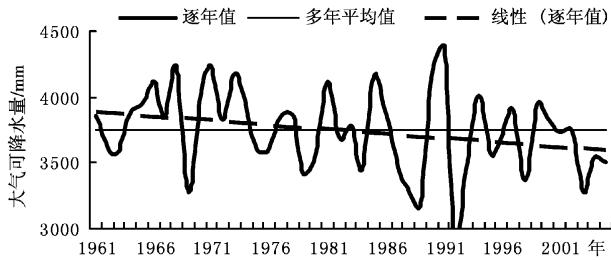


图3 玉溪市年平均大气可降水量逐年变化(区域平均)

Fig. 3 Yuxi years average atmospheric precipitation can change year by year average (regional average)

### 3 玉溪增雨潜力时空分布特征

#### 3.1 大气降水量的逐月变化

玉溪市平均各月大气可降水量呈“Ω”分布(图4),体现了玉溪干湿季分明。全市大气可降水量月平均值为312.0 mm,月平均最大值为7月份的720.9 mm,月平均最小值出现在1月份51.2 mm,从1月开始,大气可降水量逐月增加,7月达到最高点,8月开始又逐月减少,到12月减少到64.0 mm;从季节变化看,夏季可降水量最大为2002.1 mm,最小为冬季169.1 mm,极差达1833.0 mm,春季平均为596.7 mm,秋季为975.5 mm;从降水量的范围看,5~8月大气可降水量范围较广。

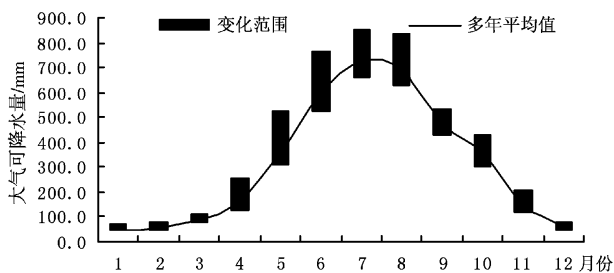


图4 玉溪市大气可降水量逐月变化(多年平均值为全市区域平均值;变化范围是指月可降水量最大站与最小站之差值)

Fig. 4 Yuxi City precipitable monthly variation (average for many years as the city's regional averages; range refers to the maximum precipitation month minimum station station and the difference between)

#### 3.2 玉溪市自然降水产出率的时空分布

玉溪各站点月自然降水产出率在14.9%~36.4%,年自然降水产出率在18.6%~28.9%,平均自然降水产出率平均为25.5%。月自然降水产出率变化呈“W”型。峰值大都出现在1月、5月、8

月和11月,平均产出率在28.1%。谷值出现在4月以及9月,平均产出率在21.5%。从季节看,春、夏、秋及冬季实际降水自然降水产出率分别为23.1%、24.4%、20.9%及27.3%,以冬季降水效率最高,秋季最低,以通海和华宁最为突出。在表2中,通海县年自然降水产出率最高为28.9%,元江县最低,为18.6%。空中水资源开发均在29%以下,还有71%未开发。从地域看,中东部四季自然降水产出率均高于西部(图5)。

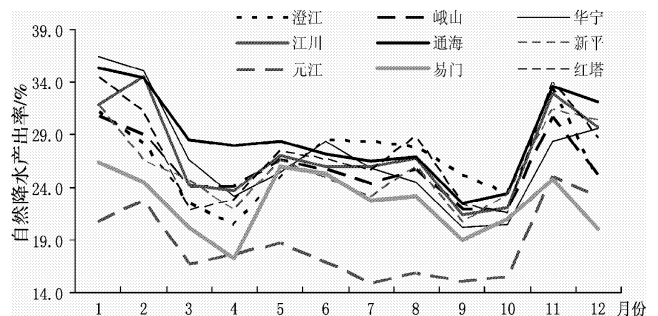


图5 玉溪市各站自然降水产出率逐月变化(多年平均)

Fig. 5 Yuxi City each station monthly production rate of natural precipitation change (annual average)

#### 3.3 增雨潜力

在玉溪市各站增雨潜力逐月变化中(图6),玉溪3~4月和9~10月增雨潜力都较大,大多在77%以上,其余月份增雨潜力大多在65%以上,其中以元江(除11月外都在77%以上)增雨效果最好,四季中秋季增雨潜力最大,其次是春夏季,冬季最小。从地理分布来看,四季增雨潜力均是西部大于中东部。玉溪大部地区除旱季缺水外,即使在雨季也有降水稀少,干旱突出,因此增雨不仅在干季开展,也应在雨季某些干旱或蓄不起水的地方

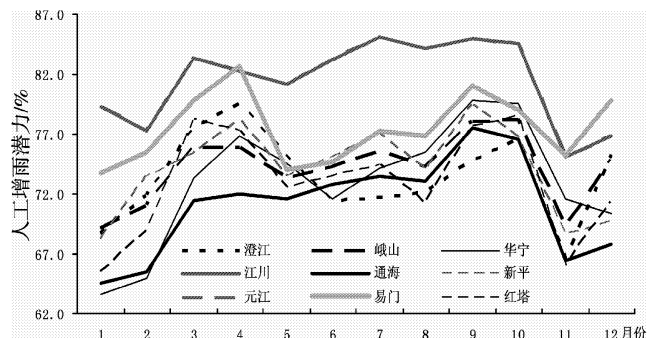


图6 玉溪市各站增雨潜力逐月变化(多年平均)

Fig. 6 Yuxi City each station monthly rainfall potential change (annual average)

适时开展,做到增雨工作的统筹规划与发展。玉溪市年平均降水日数为131天,而雨季(5~10月)降水天数占74%,干季(11月~次年5月)占26%,在干季增雨时机及次数,明显要少于雨季,雨季不仅带来充沛的雨水,也为库塘蓄水提供来年干季农工业的主要水源,因此在雨季更应做好增雨工作,缓解近年来的水资源短缺。

## 4 结论

本文利用地面水气压资料和经验公式,估算分析了玉溪市年(月)大气可能降水量、自然降水产出率和人工增雨潜力,初步评估了玉溪市水资源的分布特征及规律。

玉溪市大气可降水量随着年代递增而呈递减趋势,空中水资源总量为3354~4758 mm。1978年前呈上升趋势,1979年后呈减少趋势。

玉溪市空中水资源还有71%未开发,潜力巨大。实际降雨量与大气可降水量相比,夏季极差最高,其次是秋季,冬季最少。西部四季平均可降水量均大于中东部地区,而自然降水产出率则相反。

玉溪市空中水汽含量逐月变化呈正态分布,7月最大,8月次之,1月最少。空中水汽含量夏季远多于冬季,秋季略高于春季;地域上大致为西部多中东部少,南部多北部少。1~7月份是月可降水量变化的增长期,8~12月为递减期。

玉溪市站点年平均自然降水产出率平均为25.5%,以冬季降水效率最高,秋季最低。其中以通海和华宁最为突出。从地域看,中东部四季自然降水产出率均高于西部。

玉溪3~4月和9~10月增雨潜力都较大,大多在77%以上,其余月份在65%以上,其中以元江(除11月外都在77%以上)增雨潜力最好。其地理分布,四季增雨潜力均是西部大于中东部。

## 参考文献:

- [1] 王学鸿. 云南省抗击百年不遇大旱的经验、困难与对策建议 [J]. 云南财经大学学报: 社会科学版, 2010 (2): 39-41.
- [2] 吴志会, 段英, 张晶, 等. 不同降水天气系统自然降水特征及火箭人工增雨潜力分析 [J]. 气象科技, 2005, 33 (S1): 14-20.
- [3] 刘芸芸, 张雪芹. 西北干旱区空中水资源的时空变化特征及其原因分析 [J]. 气候变化研究进展, 2011, 7 (6).
- [4] 张秉祥, 韩军彩, 陈静, 等. 华北地区空中水汽含量与降水量的关系 [J]. 干旱气象, 2012, 30 (2): 207-214.
- [5] 孙力. 中国东北地区空中水资源的时空分布特征 [J]. 地理科学, 2007, 27 (S1): 2-9.
- [6] 曾光平, 方仕珍, 林芬. 福建省夏旱期间空中水资源及人工降雨条件 [J]. 气象, 1993, 19 (11): 25-30.
- [7] 张良, 王式功, 尚可政, 等. 祁连山区空中水资源研究 [J]. 干旱气象, 2008, 25 (1): 14-20.
- [8] 王维佳. 四川地区近60 a大气可降水量分析 [J]. 干旱气象, 2009, 27 (4): 346-349.
- [9] 何军, 翟丹华, 郝全成, 等. 重庆地区大气可降水量的时空分布特征 [J]. 热带气象学报, 2012 (1): 96-103.
- [10] 沈鹰. 人工增雨开发空中水资源探讨 [J]. 云南环境科学, 2002, 21 (4): 16-18.
- [11] 马涛, 张万诚, 付睿. 云南空中水资源的季节变化研究 [J]. 成都信息工程学院学报, 2011, 26 (5): 486-493.
- [12] 杨景梅, 邱金桓. 用地面湿度参量计算我国整层大气可降水量及有效水汽含量方法的研究 [J]. 大气科学, 2002, 26 (1): 9-22.
- [13] 杨景梅, 邱金桓. 我国可降水量同地面水汽压关系的经验表达式 [J]. 大气科, 1996, 20 (5): 620-626.
- [14] 张怡, 朱世红, 陈巧, 等. 空中水资源开发潜力及增雨效益分析 [J]. 气象与环境科学, 2009, 32 (S1).
- [15] 姚建群, 丁金才, 王坚捍, 等. 用GPS可降水量资料对一次大一暴雨过程的分析 [J]. 气象, 2005, 31 (4): 48-52.
- [16] 闵凡花, 夏佰成, 刘德, 等. 大气可降水量在重庆夏季暴雨天气过程中的特征分析 [J]. 干旱气象, 2013, 31 (1): 126-130.
- [17] 张怡, 朱世红, 陈巧, 等. 空中水资源开发潜力及增雨效益分析 [J]. 气象与环境科学, 2009, 32 (S1).

(下转第44页)

2011 年大理州入汛后首场区域性大雨过程分析

钟爱华<sup>1</sup>, 黄慧君<sup>1</sup>, 徐安伦<sup>2</sup>

(1. 大理州气象局, 云南 大理 671000; 2. 大理国家气候观测台, 云南 大理 671003)

**摘要:** 分析 2011 年 6 月 27~28 日大理地区入汛来首场强降水天气过程的影响系统、物理量特征以及风廓线雷达资料, 结果表明此次区域性强降水过程的主要影响系统是东移的中纬度槽和低层的切变线; 区域性强降水开始前, 大理上空是不稳定能量的密集区且大气处层结于不稳定状态; 从水汽条件看, 过程开始前低层湿度虽大, 但没有水汽的强辐合; 强降水出现时存在剧烈的上升运动释放不稳定能量, 且低层正涡度高层负涡度, 散度场上低层辐合高层辐散, 但低层辐合并不强; 信噪比和垂直速度在降水的持续时间和降水强度方面与降水对应关系非常密切, 强降水出现时间及持续时间与 40 dbz 高信噪比出现时间一致, 垂直速度负值绝对值越大降水越强, 厚度越厚持续时间越长; 强降水出现时水平风随高度存在多层切变, 强降水出现期间水平风矢量达到最高的位置, 随着降水的减弱, 测量到的水平风矢量高度明显降低。

**关键词:** 首场大雨; 短时强降水; 风廓线雷达

**中图分类号:** P458.1<sup>+</sup>21.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-7852(2013)04-0031-07

0 引言

2011 年 6 月 27 日到 28 日, 云南省大理州出现了入汛后首次区域性强降水过程, 这是一次高原槽东移南下配合低层切变南压造成的降水过程。降水主要集中在 27 日白天到夜间, 大理州一共出现 7 站次大雨, 6 站次中雨, 116 个乡镇雨量站中, 雨量在 100 mm 以上的有 1 个站, 50~99.9 mm 11 站, 25~49.9 mm 39 站, 10~24.9 mm 39 站, 小于 10 mm 26 站。由于 2011 年入汛以来大理州大部

地区降水偏少, 降水时空分布不均匀, 特别是 6 月以来降水少, 大部地区出现轻旱, 局部地区出现中旱, 对无水源保障地区、特别是缺水的山区、半山区的因旱烤烟出现早花, 玉米、水稻生长受到抑制。这次大雨过程对插花旱具有一定的缓解作用, 但是同时强降水也造成弥渡县德苴乡树密者村出现山体塌方, 造成一人受伤一人死亡。

1 环流背景

在 6 月 26 日 08 时 500 hPa 高空图 (图 1a) 上

表 1 2011 年 6 月 27~28 日大理州 12 个县市日雨量  
Tab. 1 June 27 and June 28, 2011 of daily rainfall of 12 stations in Dali

|      | jjad | 大理   | 漾濞   | 祥云   | 宾川   | 弥渡   | 南涧   | 巍山   | 永平  | 云龙   | 洱源   | 剑川  | 鹤庆   |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-----|------|
| 27 日 |      | 32.7 | 0.0  | 25.2 | 1.1  | 4.3  | 38.2 | 无    | 0.0 | 0.7  | 0.0  | 1.6 | 19.8 |
| 28 日 |      | 42.8 | 39.5 | 21.7 | 11.1 | 28.2 | 30.8 | 24.8 | 9.3 | 15.4 | 23.8 | 5.7 | 7.6  |

收稿日期: 2013-04-16; 修订日期: 2013-06-07.  
基金项目: 中国气象局面上项目“近地层通量观测资料的质量控制系统及其应用”(CMAGJ2011M43).  
作者简介: 钟爱华 (1983 年-), 女, 云南省大理白族自治州人, 工程师, 硕士, 主要从事中短期天气预报预测及研究.

可以看出：欧亚中高纬乌拉尔山地区和中国东北为高压控制，贝加尔湖到巴尔喀什湖一线为槽区，里海和威海附近有一个闭合低压环流区；整个华东、华北到朝鲜半岛是完整的低压环流，而青藏高原西部则为弱的高压环流控制，河套西部到川西高原再到青藏高原东南部是一个东北-西南向槽区，温度槽落后于高度槽，温度槽区在青海到青藏高原东南部；滇中及以北地区受中纬度槽底部偏西到西偏南气流控制，而滇中以南受减弱西移的第四号热带风暴“海马”外围偏东气流控制。26日20时，青藏高原上高压环流明显往东移，青海高度场垫高，中纬度西风槽东移至陕西南部-四川东部-滇西北一线，温度槽随之东移并渐渐转竖，槽区位置在河套西部-四川中部到滇西北一带。27日08时500 hPa (图1c) 原华东至朝鲜半岛低压环流减弱北抬，中纬度槽东移至山西-重庆-云南中北部，云南中部以北地区水汽条件明显改善，大理部分地区开始出现强降水。27日20时，中纬度槽继续东移，青藏高原东部到川西高原为高压控制，西昌转为东北风，昆明转为偏北风，丽江仍为西北风，哀牢山一线形成弱辐合区。27日夜间大理州大部地区出现强降水。28日08时500 hPa 青藏高原东部高压继续

东移控制四川盆地，西昌、昆明和丽江均转为偏东风，而腾冲站转为西偏北风，普洱站转为西北风，哀牢山一线的西北东南向辐合区开始减弱。28日20时，中纬度槽继续东移，云南大部转为偏北气流，过程趋于结束。

26日08时700 hPa图(图1b)上中高纬度形势类似500 hPa；中纬度地区华东、华北到朝鲜半岛为完整低压环流，青海中部为312高压，格尔木高度值为314，四川中部到滇西北有西风槽；而滇中及以南地区受减弱西移“海马”外围气流东南气流控制。26日20时，西风槽东移。27日08时700 hPa (图1d) 西风槽继续东移，川滇之间形成切变，后部高度高于前部，且切变后部风速大于前部。云南大部水汽条件较好，滇西北地区的水汽改善较为明显。到27日20时丽江、昆明转为偏东风，威宁转为偏北风，切变压到哀牢山一线。28日08时700 hPa 丽江和昆明转为东北风，切变明显减弱。到28日20时，切变减弱消失。

## 2 不稳定条件和能量条件分析

大气层结不稳定是产生强对流天气的主要条件

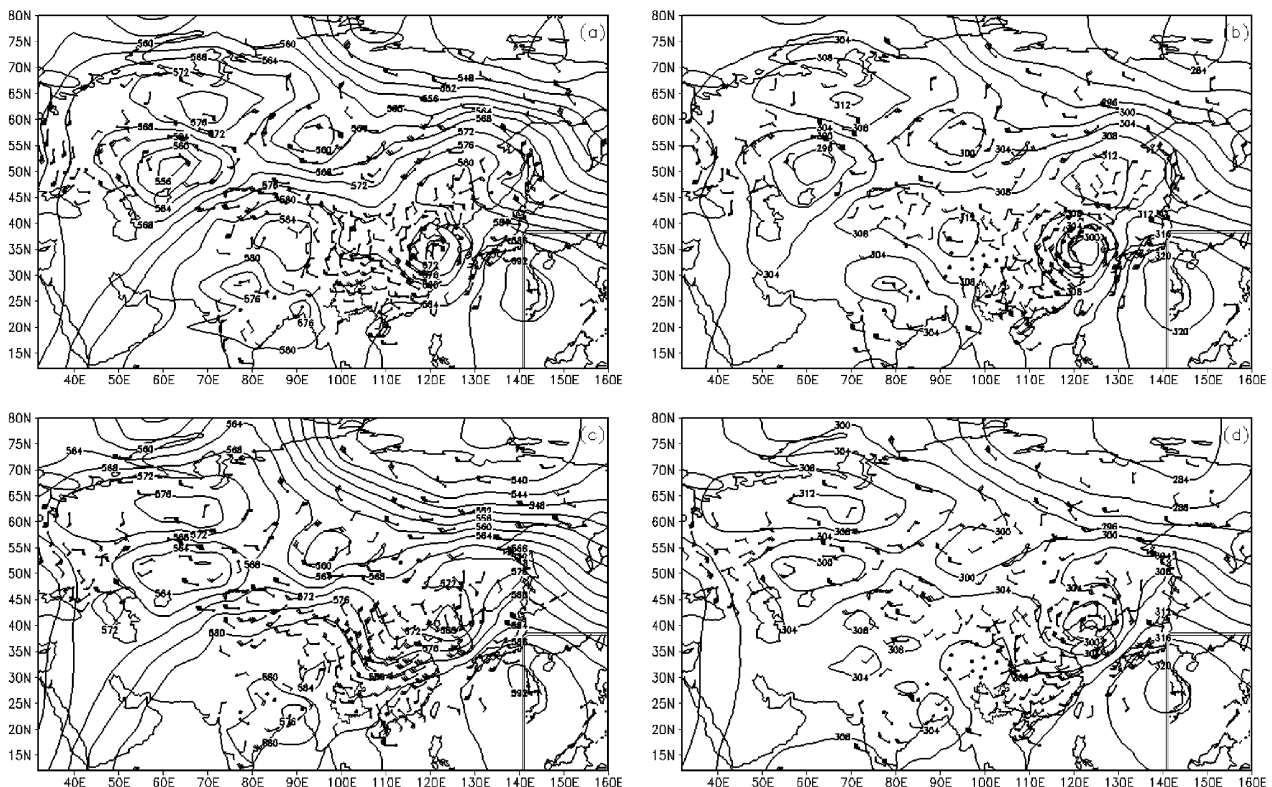


图1 2011年6月26日08时500 hPa (a)、700 hPa (b) 高空探测、27日08时500 hPa (c)、700 hPa (d) 高空探测  
Fig. 1 The weather chart of 500 hPa (a)、700 hPa (b) at 8:00 on 26Jun 2011, 500hPa (c)、700 hPa (d) at 8:00 on 27Jun 2011

之一,  $K$  指数是描述大气稳定度的一个重要指标, 一般来说,  $K$  指数越大, 大气层结越不稳定。经验表明, 大理地区在  $K > 36^\circ\text{C}$  的区域是易产生强雷暴和对流性降水的区域<sup>[2]</sup>。分析此次过程  $K$  指数分布图的时间变化可以看出, 过程开始前 6 月 27 日 08 时 (图 2a) 整个滇中及滇中以北的区域  $K > 40^\circ\text{C}$ , 6 月 27 日 20 时 (图 2b) 滇中及以北地区  $K > 41^\circ\text{C}$ , 大理地区的  $K$  指数在  $41 \sim 44^\circ\text{C}$ , 是不稳定能量的密集区。大理大部地区的强降水主要就是出现在 27 日夜间, 与  $K$  指数大值时段相对应。而 28 日 08 时强降水减弱后  $K$  指数开始自滇东南向滇西北减弱。

沙氏指数是日常预报业务中判别大气稳定度的又一重要指标, 它定义为气块在 500 hPa 上的大气实际温度 ( $T_{500}$ ) 与该上升气块到达 500 hPa 时的温度 ( $T_s$ ) 的差值, 即为  $SI = T_{500} - T_s$ 。当  $SI > 0$  时表示大气稳定,  $SI < 0$  时表示大气不稳定。通过

$SI$  指数分布图可以看出, 6 月 27 日 08 时 (图 2c) 大理上空的  $SI$  值在  $-3^\circ\text{C}$  以下, 表明此时, 大理地区处于大气层结不稳定状态。6 月 27 日 20 时 (图 2d) 大理上空的  $SI$  值在  $-3^\circ\text{C} > SI > -4^\circ\text{C}$ , 28 日 08 时后  $SI < -1^\circ\text{C}$ , 不稳定程度大大降低。

过程开始前 27 日 08 时 700 hPa 总温度 (图略) 的大值区位于滇中及以北地区, 中心值为  $72^\circ\text{C}$ , 到 27 日 20 时  $70^\circ\text{C}$  的高能区向北向西扩, 滇中以北的地区都为  $70^\circ\text{C}$  以上的高能区, 大理地区处于  $69 \sim 73^\circ\text{C}$  的高能区域。

### 3 水汽条件分析

过程开始前 6 月 27 日 08 时 700 hPa 比湿分布图 (图略) 上云南省大部处于  $10 \text{ g/kg}$  以上高湿度区, 大理地区的比湿在  $10.5 \sim 11.5 \text{ g/kg}$ 。而从

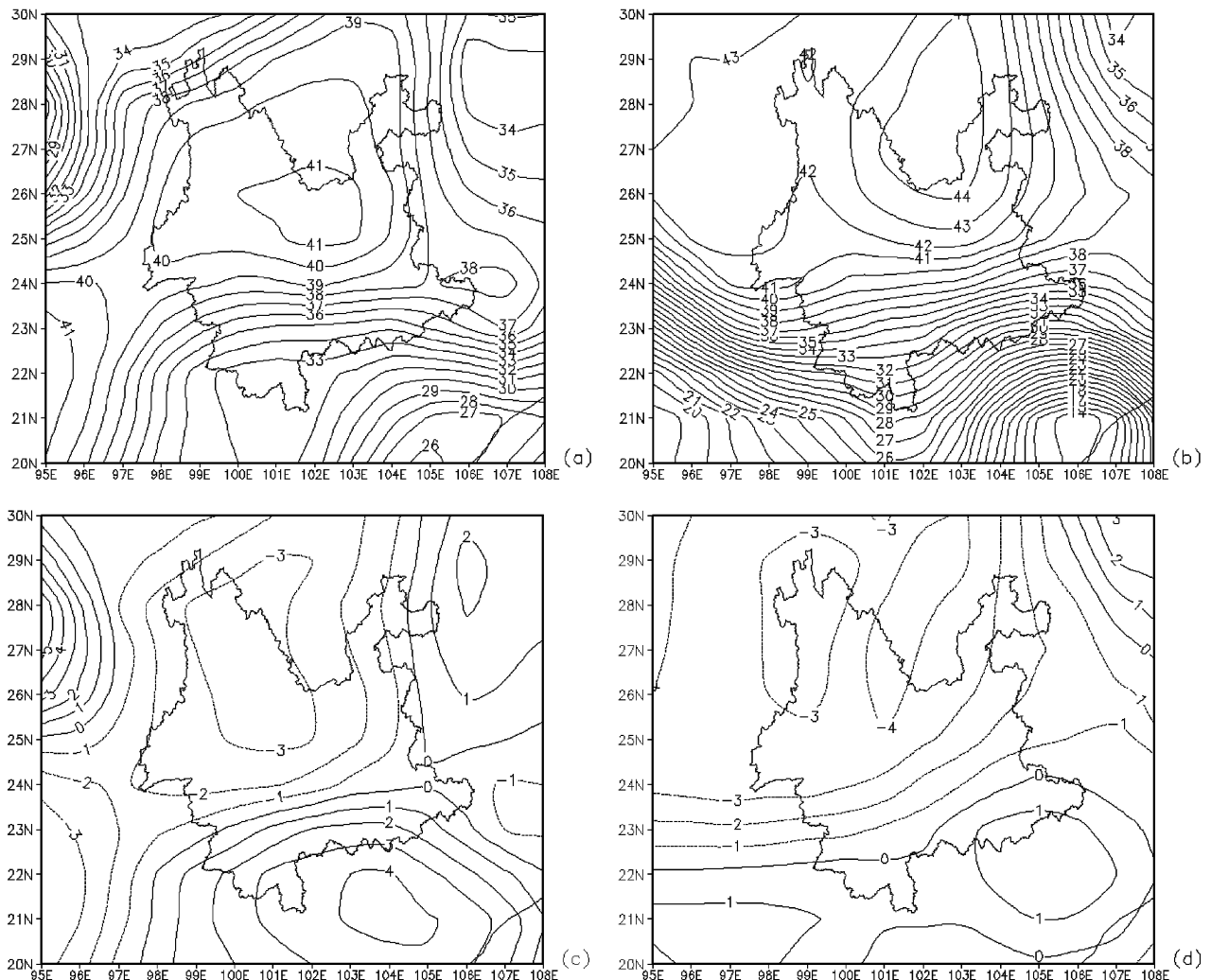


图2 2011年6月27日08时  $K$  指数 (a)、 $SI$  指数 (c), 6月27日20时  $K$  指数 (b)、 $SI$  指数 (d)

Fig. 2  $K$  index (a)、 $SI$  index (c) at 8:00am 27Jun 2011,  $K$  index (b)、 $SI$  index (d) at 8:00pm 27Jun 2011

700 hPa 的温度露点差分布来看, 6月27日08时(图3a)大理大部的温度露点差在 $2 \sim 2.5^{\circ}\text{C}$ , 表明大气中已具备了一定的水汽条件。从相对湿度可以看出, 大理地区6月27日08时(图3b)低层的相对湿度已经达到84%以上, 27日20时大理的相对

湿度增加到84~92%。从700 hPa 水汽通量散度(图略)看, 6月27日08时大理大部地区上空仍处于辐散状态, 但27日20时迅速转为辐合。通过对水汽条件的分析, 发现此次过程开始前低层湿度虽大, 但没有水汽的强辐合。

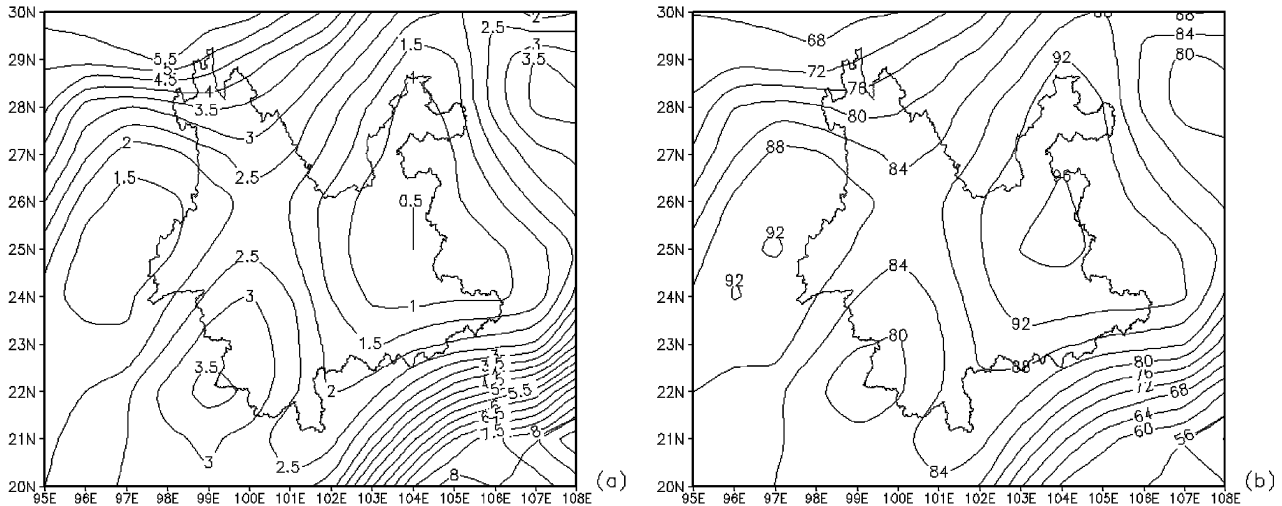


图3 2011年6月27日08时700 hPa 温度露点差 (a) ( $^{\circ}\text{C}$ )、700 hPa 相对湿度 (b) (%)

Fig. 3 Depression of the dew point in 700 hPa (a) ( $^{\circ}\text{C}$ ), relative humidity in 700 hPa (b) (%) at 8:00 am 27Jun 2011

#### 4 动力条件

沿 $25^{\circ}\text{N}$ 、 $100^{\circ}\text{E}$ 作垂直速度的时间-高度剖面图(图4a), 可以看出, 27日08时到28日20时之间存在垂直上升运动。27日08时之前垂直上升运动不明显, 但08时以后低层到高层的垂直上升运动开始变强, 特别是27日20时, 最大上升运动中心位于500 hPa~200 hPa附近, 中心强度达到 $-30 \times 10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ , 这就为27日夜间的强降水提供了有利的动力机制, 垂直上升运动释放了不稳定能量。28日08时后垂直速度迅速减弱, 此时强降水也趋于结束。

沿 $25^{\circ}\text{N}$ 、 $100^{\circ}\text{E}$ 作涡度的时间-高度剖面图(图4b), 可以看出, 26日20时之前整层都是负涡度区, 20时后250 hPa以上转为正涡度, 250 hPa以下为弱的负涡度区; 到27日08时正涡度区向上发展到150 hPa, 150 hPa到500 hPa迅速转为负涡度区, 而500 hPa以下则转为正涡度, 此时低层正涡度高层负涡度, 这种高低空环流配置有利于低层辐合系统的维持和发展; 27日20时正负涡度中心区均达到最强, 250 hPa附近为负涡度大值中心, 达 $-80 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , 而正涡度中

心位于700 hPa, 中心强度为 $50 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。28日08时这种高层负涡度低层正涡度的配置渐渐减弱, 中心强度大大降低。

沿 $25^{\circ}\text{N}$ 、 $100^{\circ}\text{E}$ 作散度场的时间-高度剖面图(图4c), 可以看出, 27日08时之前为高层辐合低层辐散, 27日08时后转为高层正值, 27日20时正值中心位于150 hPa附近, 中心强度达 $50 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ , 400 hPa以下转为弱气流辐合, 辐合中心大致位于500 hPa中心强度为 $-10 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ , 为低层辐合高层辐散的配置。虽是低层辐合高层辐散的环流形势, 但低层辐合并不强。

#### 5 风廓线雷达资料分析

这次降水过程大理站降水比较强, 27日和28日都出现大雨, 并且从逐小时降水量看强降水集中在27日18时后到28日03时, 短短9小时内降水量达75.6 mm, 27日18时到22时仅4小时, 累计降水达59.2 mm, 雨强非常强。下面利用布设在云南省大理国家气候观测台的LQ-7型风廓线雷达每十分钟一次的原始资料, 分析27日18时到28日03时之间信噪比、垂直速度以及水平风矢量随时间-高度的变化。



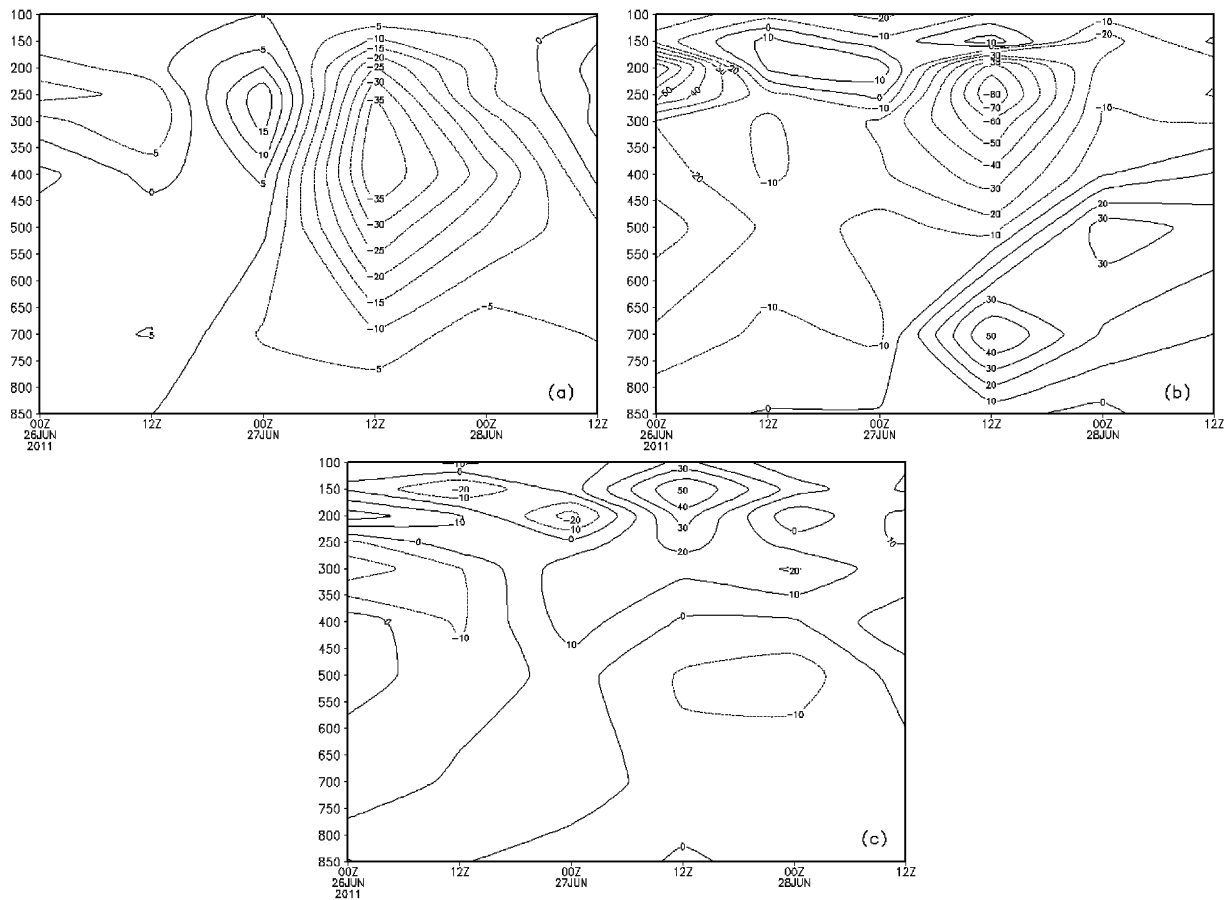


图4 垂直速度 (单位:  $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (a)、涡度 (单位:  $10^{-5} \text{s}^{-1}$ ) (b) 和散度 (单位:  $10^{-6} \text{s}^{-1}$ ) (c) 在点 (25°N, 100°E) 的时间-高度剖面图

Fig. 4 Time - height profiles of vertical velocity (unit:  $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (a)、vorticity (unit:  $10^{-5} \text{s}^{-1}$ ) (b)、divergence (unit:  $10^{-6} \text{s}^{-1}$ ) (c) at (25° N, 100°E)

从信噪比随时间-高度变化图 (图5) 可知, 6月27日午后, 各高度层次上的信噪比均明显加大。低层 (3 000 m 以下) 的信噪比自12点半以后开始缓慢增加, 由15 dbz 增至40 dbz, 增幅为25 dbz; 中高层 (4 000 m ~ 5 000 m) 信噪比18时到20时30分由0 dbz 增至35 dbz, 增幅为35 dbz。19时信噪比大于35 dbz 的高值区从低层一直升至5 500 m 左右, 4 000 m 以下信噪比达40 dbz。高信噪比维持到28日00时, 之后中高层的信噪比出现明显下降趋势, 低层2 000 m 以下则继续维持在25 dbz。笔者曾在研究中得出信噪比大于等于40 dbz 可作为降水的起报条件1的结论。与40 dbz 的高信噪比出现时间相对应, 18时到19时大理站开始降水且1小时降水量达10.6 mm/h, 19时到20时22.1 mm/h, 20时到21时19.1 mm/h。

从垂直速度随时间-高度变化图上看我们关注的时段是垂直速度为负值的较明显时段, 27日17时开始, 垂直速度出现负值, 从19时起至28日01时垂直速度小于-4 m/s, 厚度升至5 000 m, 其中最小负速度出现在26日19时~20时, 小于-8 m/s, 高度位于4 500 m 左右, 这与强降水出现的时段相符。28日01时后垂直速度仍维持负值, 但已明显减弱, 实况上降水在28日01时后同样明显减弱。从以上分析不难看出, 垂直速度负值绝对值越大降水越强, 厚度越厚持续时间越长, 且在强降水开始前5 000 m 以下垂直速度明显减小 (绝对值明显增大), 表明垂直速度的这种提前变化对强降水有一定的预示作用。我笔者在研究中得出, 以垂直速度小于等于-4 m/s 为大雨以上降雨的起报条件, 以垂直速度小于等于-8 m/s 为强降雨的指标\*。

\* 陈红玉, 钟爱华, 董保举. 风廓线雷达资料在大雨、暴雨预报中的应用 [J]. 云南气象, 2010, 30 (3): 20-25.

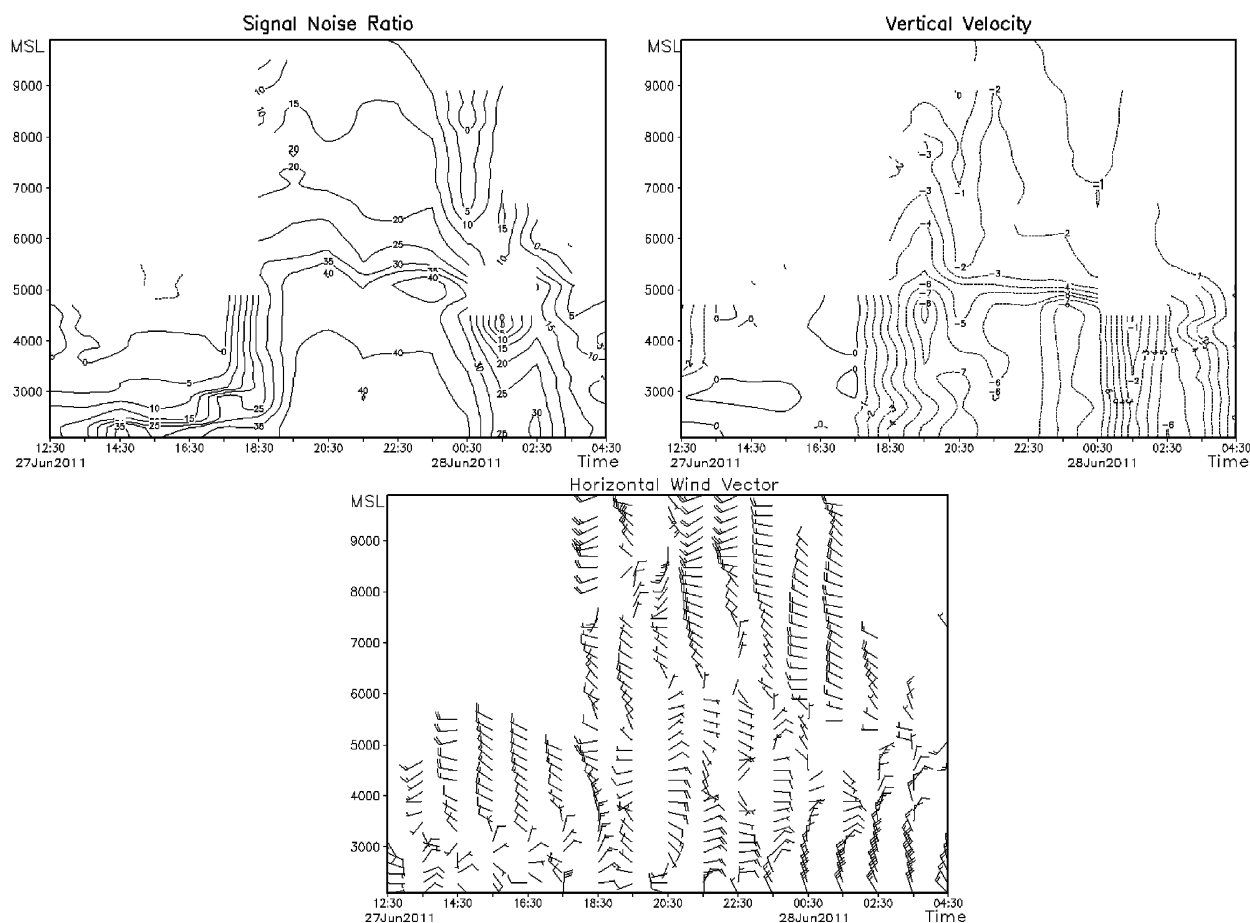


图5 2011年6月27~28日大理国家气候观象台风廓线雷达信噪比、垂直速度、水平风矢量随时间-高度变化图

Fig. 5 Time - height profiles of SNR, vertical velocity, horizontal wind vector of wind - profiling radar data of Dali national climate observatory

对这次过程的分析与上面的结论相符。

风廓线雷达可以实时监测水平风的垂直切变及切变发展的深度,从而分析对流发展的程度。从水平风矢量随时间-高度变化图上看,27日18时30分开始至28日01时,水平风矢量到达近1000 m高度,达到风廓线测量上限,且高层存在明显的风垂直切变,这个时段刚好是强降水出现的时段。表明强降水出现期间对流发展到最高的位置,两者是同步的。随着降水的减弱,测量到的水平风矢量高度明显降低。28日11时30分左右,水平风矢量同样发展到近10000 m高度,但高层不存在风切变,对应该时段没有出现降水,这表明水平风矢量发展得高并不对应有强降水。

## 6 结论与讨论

这次大理州区域性强降水过程的主要影响系统

是500 hPa上东移的中纬度槽和700 hPa的切变线。区域性强降水开始前,大理地区是不稳定能量的密集区,大气处于层结不稳定状态。过程开始前大气中已具备了一定的水汽条件,低层湿度虽大,但没有水汽的强辐合。强降水期间,垂直上升运动释放了不稳定能量。涡度场低层正涡度高层负涡度,高低空环流配置有利于低层辐合系统的维持和发展;散度场配置是低层辐合高层辐散,但低层辐合并不强。

不仅信噪比与降水对应关系非常密切,垂直速度与降水的对应关系也非常好;强降水出现时间及持续时间与40 dbz高信噪比出现时间一致。垂直速度负值绝对值越大降水越强,厚度越厚持续时间越长;强降水出现时水平风随高度存在多层切变,强降水出现期间对流发展到最高的位置,两者是同步的。但水平风矢量发展得高并不对应有强降水。随着降水的减弱,测量到的水平风矢量高度明显降低。

**参考文献:**

- [1] 秦剑, 琚建华, 解明恩. 低纬高原天气气候 [M]. 北京: 气象出版社, 1997: 85–86.
- [2] 钟爱华, 陈红玉, 黄慧君, 等. “2009.08.13” 云南省大理州强降水天气过程分析 [J]. 云南地理环境研究, 2010, 22 (5): 104–110.
- [3] 陈红玉, 钟爱华, 李建美, 等. 风廓线雷达资料在大理强降水预报中的应用 [J]. 云南地理环境研究, 2009, 21 (5): 63–68.
- [4] 许美玲, 段旭, 杞明辉, 等. 云南省天气预报员手册 [M]. 北京: 气象出版社, 2011. 10.
- [5] 姚学祥. 天气预报技术与方法. [M]. 北京: 气象出版社, 2011. 8: 16–17.
- [6] 朱乾根, 林锦瑞, 寿邵文, 等. 天气学原理与方法 [M]. 第四版. 北京: 气象出版社, 2010: 5.
- [7] 钟爱华, 黄慧君, 徐安伦. “2010.8.27” 大理州大到暴雨过程分析 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2012, 34 (S1): 56–62.
- [8] 张腾飞, 马联翔, 鲁亚斌, 等. “20030816” 云南暴雨过程的中尺度分析 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2006, 28 (2): 136–143.
- [9] 张腾飞, 鲁亚斌, 普贵明. 低涡切变影响下云南强降水的中尺度特征分析 [J]. 气象, 2003, 29 (12): 29–33.
- [10] 郭荣芬, 鲁亚斌. “2002.6.30” 滇中低涡暴雨的中尺度分析 [J]. 气象, 2003, 29 (2): 29–33.
- [11] 许美玲, 段旭, 孙绩华. 与低空急流相伴的暴雨天气诊断分析 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2004, 26 (4): 320–324.

## THE FIRST REGIONAL HEAVY RAIN PROCESS ANALYSIS OF DALI IN YUNNAN PROVINCE IN 2011 FLOOD SEASON

ZHONG Ai-hua<sup>1</sup>, HUANG Hui-jun<sup>1</sup>, XU An-lun<sup>2</sup>

(1. Dali Meteorological Office, Yunnan Provincial Meteorological Bureau, Dali 671000, Yunnan, China;

2. Dali National Climate Observatory, Dali 671003, Yunnan, China)

**Abstract:** The regular observation data and precipitation data by – hour of automatic meteorological station were used to analysis the impact system and physical characteristics of the synoptic process of Dali in Yunnan province which occur in 27Jun 2011 to 28Jun 2011. And the characteristic of wind – profiling radar data of Dali national climate observatory was analyzed before the heavy precipitation. It showed that the mainly impact system of the regional heavy rainfall was Eastward mid – latitude trough in 500hPa and shear line in 700hPa. Many physical characteristics were obvious before the heavy precipitation. It is energy – intensive areas over Dali and the atmospheric stratification is in unstable state before the heavy precipitation starts. Low – level moisture is great but the convergence of water vapor is not strong as usual before the heavy rain occurs in water vapor condition. When heavy rainfall occurs, there is intense upward motion which releases unstable energy. The vorticity field which low – level vorticity is positive and high – level is negative and the divergence field which lower level is convergence and higher level is divergence. But the convergence in lower level is not strong enough. There is a very close relationship between signal noise ratio of wind profiler radar and heavy rainfall in rainfall duration and intensity of precipitation. So do as vertical velocity and heavy rainfall. Heavy precipitation occurrence and duration of the occurrence of high SNR with 40dbz is consistent. The negative absolute vertical velocity is greater when precipitation is stronger, thicker then the precipitation duration is longer. There is multi – level horizontal wind shear with height before the onset of heavy rainfall. The horizontal wind vector reaches the highest position during the heavy rainfall. Along with the weakening of precipitation, height measured of horizontal wind vector significantly reduces.

**Key words:** first regional heavy rain; short – term heavy rainfall; wind – profiling radar

# 云南省中部3种森林土壤含水率、容重和细根重及其垂直分布

单梦颖<sup>1</sup>, 杨永刚<sup>2</sup>, 吴兆录<sup>1\*</sup>

(1. 云南大学 生态学与地植物学研究所, 云南 昆明 650091; 2. 玉溪市 华宁县林业局, 云南 华宁 652800)

**摘要:** 根据27个土壤剖面的405个土壤样品, 研究云南中部地区华山松林、旱冬瓜林、云南松林的土壤含水率、容重和细根重及其垂直分布特征。结果表明: 3种森林100 cm深土壤的平均含水率分别是 $(28.79 \pm 11.98)\%$ 、 $(24.66 \pm 9.89)\%$ 、 $(14.11 \pm 5.84)\%$ , 差异极显著; 平均容重分别是 $(1.14 \pm 0.20) \text{ g/cm}^3$ 、 $(1.26 \pm 0.18) \text{ g/cm}^3$ 、 $(1.42 \pm 0.12) \text{ g/cm}^3$ , 差异极显著; 平均细根重分别为 $(0.1956 \pm 0.2144) \text{ g/100 cm}^3$ 、 $(0.0706 \pm 0.1066) \text{ g/100 cm}^3$ 、 $(0.1381 \pm 0.2989) \text{ g/100 cm}^3$ , 在0.05水平上差异显著。华山松林林下土壤的物理性质最好, 旱冬瓜林次之, 云南松林最差。3种森林里, 随着土壤深度增加, 土壤含水率增加, 土壤容重和土壤细根重减少。华山松林与云南松林平均容重与平均细根重均显著负相关, 旱冬瓜林平均含水率与平均容重显著负相关。华山松林下土壤细根量最大, 0~20 cm层根系占根系总重量的83%。

**关键词:** 土壤容重; 细根; 云南松; 华山松; 旱冬瓜

**中图分类号:** S714.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7852(2013)04-0038-07

目前, 土壤容重、土壤含水率以及土壤生物量的研究很多<sup>[1-2]</sup>。在相同海拔高度下, 森林土壤容重随剖面深度的增加而明显增大, 不同森林下表层土壤容重不一, 没有一定的变化规律; 且森林土壤容重小于裸地<sup>[3-5]</sup>。同一土层不同林分间的容重、自然含水量差异不显著, 而同一林分的物理性质和持水特性在不同土层之间的差异却很显著<sup>[6]</sup>。通常认为, 表层土壤具有较高的养分含量, 因而细根分布在表层土壤有利于林木的生长发育<sup>[7]</sup>。退化土壤下重建森林, 土壤的细根垂直分布呈明显的层次性, 主要分布在0~20 cm土层内, 土壤水分对细根生长变化的影响无明显规律<sup>[8]</sup>。

云南松林、旱冬瓜林、华山松林是滇中高原半湿润常绿阔叶林退化后森林恢复的不同演替类型<sup>[9]</sup>。由于云南松“既耐干旱瘠薄的条件又是速生

高产, 是一种不可多得的优良乡土树种”<sup>[10]</sup>, 常被认为是滇中地区森林恢复的首选树种。但是, 云南松有“瘦地”的特性, 其森林天然更新需要人工辅助<sup>[11-12]</sup>。因此, 在生产实践中趋向使用其他外来树种。随着人们对外来树种生态危害性认识的提高, 华山松、旱冬瓜又被认为是生态风险最小的树种。旱冬瓜林的根具有固氮菌, 对土壤中的矿质元素具有较强的吸收富集能力。其落叶是良好的有机肥料, 对林地土壤的改良有较好的作用。砍伐后, 旱冬瓜伐桩萌芽力强, 具有良好的天然更新和萌蘖更新能力<sup>[13]</sup>。随着林龄的增长, 华山松人工林郁闭度及华山松的株数成递减趋势<sup>[14]</sup>。在华山松和云南松混交林中, 其林分形成成熟林的过程中, 林木的自然稀疏以华山松林为主<sup>[15]</sup>。

但是, 人工抚育的云南松林、旱冬瓜林、华山

收稿日期: 2013-07-15; 修订日期: 2013-08-06.

基金项目: 科技部生态固碳专项, 中国科学院中国森林生态系统固碳现状、速率、机制和潜力课题(编号: XDA0505020603)。

作者简介: 单梦颖(1988-), 女, 山东菏泽市单县人, 硕士研究生, 主要研究方向为景观生态学。

\* 通讯作者。

松林的林下土壤有什么差异,并没有具体的对比研究。本文以云南省中部玉溪市华宁县东山林场的云南松林、早冬瓜林、华山松林为对象,就森林土壤含水率、土壤容重、土壤细根进行了详细的研究,为森林恢复实践提供科学依据。

## 1 研究设计

### 1.1 地理概况

研究区位于云南省中部玉溪市华宁县的东山林场。华宁县地理坐标为东经  $102^{\circ}49'$  ~  $103^{\circ}09'$ 、北纬  $23^{\circ}59'$  ~  $24^{\circ}34'$ 。境内东西宽 34 km,南北长 59 km,总面积  $1\,313\text{ km}^2$ ,其中山地面积占 89%。地势西北高,东南低,呈“两脊夹两槽”的地形,境内最高海拔(磨豆山顶峰) 2 663 m,最低海拔(三江口) 1 110 m。气候总体上属中亚热带半湿润高原季风气候,不同海拔区域呈现出亚热带、中亚热带、北亚热带和南温带 4 个气候类型,年均降雨量 916.7 mm,年平均日照时数 2 169 小时,年平均气温  $16^{\circ}\text{C}$ ,年平均地面温度  $17.8\sim 20.1^{\circ}\text{C}$ ,年平均相对湿度 77%,全年无霜期 260 天左右。

华宁县国有东山林场成立于 1960 年,其面积逐渐减少。1964 年 5 ~ 10 月在全县踏查、勘界划定国营林场面积  $7\,313.70\text{ hm}^2$ ,其中,林业用地面积  $6\,206.98\text{ hm}^2$  (占 84.9%),包括有林地面积  $1\,433.41\text{ hm}^2$ 、宜林荒山  $4\,773.57\text{ hm}^2$ 。根据 1990 年森林资源二调显示,林场总经营面积减少至  $6\,552.33\text{ hm}^2$ ,其中,林业用地面积  $5\,046.92\text{ hm}^2$ ,有林地面积  $2\,220.11\text{ hm}^2$ ,森林蓄积量  $1\,954\,400\text{ m}^3$ 。到了 2007 年,根据森林资源三调,林场总经营面积为  $6\,100.31\text{ hm}^2$ ,其中,林业用地面积  $4\,453.56\text{ hm}^2$ ,有林地面积  $2\,580.13\text{ hm}^2$ ,活立木蓄积  $2\,29\,850\text{ m}^3$ 。本研究的采样地点设置在东山林场的丫口林区、羊槽林区和大流水林区。丫口林区早期是荒山,1960 ~ 1970 年代种植华山松林,目前华山松林长势良好,并有小(一)型、小(二)型 5 个水库座落其中,羊槽林区是以云南松和早冬瓜为主的天然林区,大流水林区为荒山地上种茶后再播种云南松。

### 1.2 采样及样品处理

在 3 种森林中选择长势良好的地段进行森林群落学的基本调查,共 27 个样方,每个样方面积  $50\text{ m}\times 20\text{ m}$ ,挖取 1 个土壤剖面。分 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 30 cm、30 ~ 50 cm、50 ~ 100 cm,共 5

层,用容积为  $100\text{ cm}^3$  的土壤环刀,自上而下取样。每层土壤重复取样 3 次,挑出细根后,用精度为 0.5 g 的电子秤现场称土重,转入密封袋,封好标记。

将样品放入  $(105\pm 2)^{\circ}\text{C}$  的烘箱内烘 6 ~ 8 小时<sup>[1]</sup>至恒重后,称量。根据公式:容重 = 烘干土壤质量/环刀体积和  $W = (\text{烘干前土重} - \text{烘干后土重}) / \text{烘干后土重} \times 100\%$ ,分别得出土壤容重和含水率(W)。最后,挑出样品中的根,用精度为 0.000 1 的电子秤称重。

### 1.3 数据处理

对 27 个样方,共 405 分土壤样品的数据,使用 SPSS 17.0 统计软件中的单因素方差分析(ANOVA),并进行土壤容重与森林类型、土壤深度、土壤含水率、土壤细根重,土壤含水率与森林类型、土壤深度、土壤细根重,土壤细根重与森林类型等的 Pearson 相关系数分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤含水率及其垂直分布

华山松林、早冬瓜林、云南松林 3 种森林 100 cm 深土壤的平均含水率分别是  $(28.79 \pm 11.98)\%$ 、 $(24.66 \pm 9.89)\%$ 、 $(14.11 \pm 5.84)\%$ ,差异极显著。在土壤深度 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 30 cm、30 ~ 50 cm、50 ~ 100 cm 的不同层次上,也能看出云南松林的土壤含水率最低、早冬瓜林的次之(0 ~ 10 cm 的土壤表层除外)、华山松林的最高(表 2)。

在华山松林、早冬瓜林和云南松林的土壤中,均表现为从表层到土壤深处土壤含水率逐渐增加的趋势;华山松和云南松林土壤含水率都是在 0 ~ 20 cm 内减少,20 ~ 100 cm 内逐渐增加,而早冬瓜林土壤含水率在 0 ~ 20 cm 急速减少,30 ~ 100 cm 内逐渐增加。华山松林与早冬瓜林的 0 ~ 10 cm 土壤含水率最高,是地表凋落物覆盖结果,在取样时能够感觉到土壤的松软和潮湿(图 1(a))。

### 2.2 土壤容重及其垂直分布

华山松林、早冬瓜林、云南松林 3 种森林 100 cm 深土壤的平均容重分别是  $(1.14 \pm 0.20)\text{ g/cm}^3$ 、 $(1.26 \pm 0.18)\text{ g/cm}^3$ 、 $(1.42 \pm 0.12)\text{ g/cm}^3$ ,差异极显著(华山松林和早冬瓜林下 0 ~ 10 cm 的土壤表层除外)。在土壤深度 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 30 cm、30 ~ 50 cm、50 ~ 100 cm 的不

同层次上,也能看出华山松林的土壤容重最低、旱冬瓜林的次之(0~10 cm的土壤表层除外)、云南松林的最高(表2)。

在华山松林、旱冬瓜林和云南松林的土壤中,均表现为从表层到土壤深处土壤容重逐渐增加的趋势;3种森林土壤容重在0~20 cm内增加最快,云南松林土壤容重在0~20 cm、30~100 cm内增加,

20~30 cm内减少,而旱冬瓜林土壤容重在30~100 cm内逐渐减少(图1(b))。华山松林与旱冬瓜林的0~10 cm土壤容重最低,是地表凋落物覆盖的结果,取样时能够感受到土壤的松软和潮湿。云南松林与旱冬瓜林表层土壤容重最高,地表凋落物覆盖较少,取样时可以感受到土壤的紧实(图1(b))。

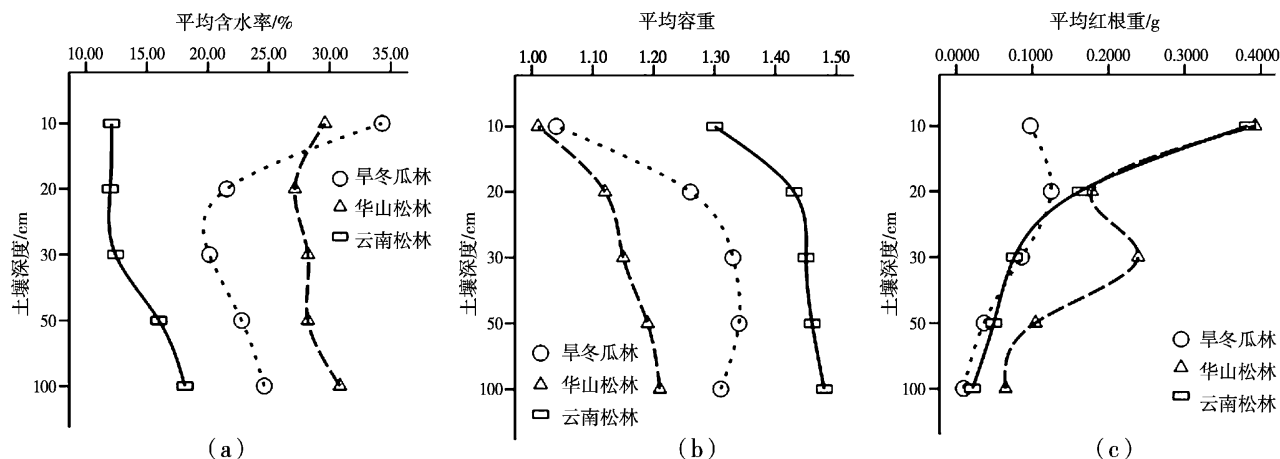


图1 不同森林类型在不同土壤深度上的平均含水率、土壤平均容重和平均细根重的变化

Fig. 1 The change of soil moisture content, soil bulk density and fine root weight in 0–100 cm soil depth of the studied forest types

表1 华山松林、旱冬瓜林、云南松林土壤的含水率、容重和细根重

Tab. 1 Soil moisture content, bulk density and fine root weight of forests dominated respectively by *Pinus yunnanensis*, *Alnus nepalensis* and *Pinus armandi*

| 森林类型 | 土壤深度/cm | 样本数 | 含水率/% |       |       |       | 容重/g · cm <sup>-3</sup> |      |      |      | 细根 g/100 cm <sup>3</sup> |        |        |        |
|------|---------|-----|-------|-------|-------|-------|-------------------------|------|------|------|--------------------------|--------|--------|--------|
|      |         |     | 最小    | 最大    | 平均    | 标准差   | 最小                      | 最大   | 平均   | 标准差  | 最小                       | 最大     | 平均     | 标准差    |
| 华山松林 | 0~10    | 15  | 3.59  | 67.32 | 29.60 | 16.22 | 0.72                    | 1.22 | 1.01 | 0.16 | 0.1275                   | 0.7700 | 0.3925 | 0.1826 |
|      | 10~20   | 15  | 5.02  | 45.23 | 27.13 | 9.97  | 0.84                    | 1.43 | 1.12 | 0.19 | 0.0196                   | 0.4444 | 0.1780 | 0.1406 |
|      | 20~30   | 15  | 8.06  | 53.97 | 28.21 | 12.64 | 0.75                    | 1.46 | 1.15 | 0.22 | 0.0000                   | 1.0425 | 0.2388 | 0.3070 |
|      | 30~50   | 15  | 19.28 | 50.32 | 28.15 | 7.69  | 0.92                    | 1.53 | 1.19 | 0.20 | 0.0000                   | 0.5003 | 0.1039 | 0.1401 |
|      | 50~100  | 15  | 5.79  | 51.22 | 30.83 | 12.98 | 0.87                    | 1.58 | 1.21 | 0.19 | 0.0000                   | 0.2230 | 0.0646 | 0.0691 |
| 旱冬瓜林 | 0~10    | 6   | 20.82 | 71.82 | 34.27 | 19.26 | 0.73                    | 1.26 | 1.04 | 0.21 | 0.0338                   | 0.2072 | 0.0970 | 0.0765 |
|      | 10~20   | 6   | 18.19 | 26.30 | 21.55 | 3.26  | 1.12                    | 1.48 | 1.26 | 0.14 | 0.0095                   | 0.4482 | 0.1245 | 0.1758 |
|      | 20~30   | 6   | 13.49 | 25.37 | 20.12 | 4.23  | 1.10                    | 1.55 | 1.33 | 0.14 | 0.0013                   | 0.3382 | 0.0857 | 0.1288 |
|      | 30~50   | 6   | 18.27 | 25.66 | 22.76 | 2.86  | 1.08                    | 1.50 | 1.34 | 0.15 | 0.0000                   | 0.1167 | 0.0364 | 0.0449 |
|      | 50~100  | 6   | 20.31 | 29.20 | 24.62 | 2.85  | 1.23                    | 1.49 | 1.32 | 0.09 | 0.0000                   | 0.0232 | 0.0095 | 0.0079 |
| 云南松林 | 0~10    | 6   | 6.46  | 15.94 | 12.09 | 3.4   | 1.04                    | 1.47 | 1.30 | 0.17 | 0.0162                   | 1.5901 | 0.3826 | 0.6190 |
|      | 10~20   | 6   | 7.72  | 14.69 | 11.98 | 2.55  | 1.29                    | 1.55 | 1.42 | 0.08 | 0.0106                   | 0.3937 | 0.1623 | 0.1484 |
|      | 20~30   | 6   | 8.63  | 18.63 | 12.41 | 3.46  | 1.36                    | 1.54 | 1.45 | 0.06 | 0.0081                   | 0.1835 | 0.0762 | 0.0599 |
|      | 30~50   | 6   | 10.06 | 34.64 | 15.97 | 9.41  | 1.36                    | 1.57 | 1.46 | 0.09 | 0.0015                   | 0.1981 | 0.0492 | 0.0752 |
|      | 50~100  | 6   | 10.28 | 25.96 | 18.11 | 6.50  | 1.36                    | 1.57 | 1.48 | 0.09 | 0.0000                   | 0.0532 | 0.0212 | 0.0221 |



表2 不同林土壤平均含水率、平均容重和  
平均细根重的相关性

Tab. 2 The correlation between soil moisture content, soil bulk density and fine root weight in the studied forest types

| 森林类型 | 项目          | Pearson<br>相关性 | 显著性<br>(双侧) |
|------|-------------|----------------|-------------|
| 华山松林 | 平均容重 平均细根重  | -0.951 *       | 0.013       |
|      | 平均含水率 平均细根重 | 0.079          | 0.900       |
|      | 平均含水率 平均细根重 | -0.067         | 0.915       |
| 早冬瓜林 | 平均容重 平均细根重  | -0.453         | 0.444       |
|      | 平均含水率 平均细根重 | -0.924 *       | 0.025       |
|      | 平均含水率 平均细根重 | 0.081          | 0.897       |
| 云南松林 | 平均容重 平均细根重  | -0.990 **      | 0.001       |
|      | 平均含水率 平均细根重 | 0.608          | 0.277       |
|      | 平均含水率 平均细根重 | -0.659         | 0.227       |

注：\* 在 0.05 水平（双侧）上显著相关；\*\* 在 0.01 水平（双侧）上显著相关。

### 2.3 土壤细根及其垂直分布

华山松林、早冬瓜林、云南松林 3 种森林 100 cm 深土壤的平均细根重分别是  $(0.1956 \pm 0.2144)$  g/100 cm<sup>3</sup>、 $(0.0706 \pm 0.1066)$  g/100 cm<sup>3</sup>、 $(0.1381 \pm 0.2989)$  g/100 cm<sup>3</sup>，在 0.05 水平上差异显著。在土壤深度 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm、20 ~ 30 cm、30 ~ 50 cm、50 ~ 100 cm 的不同层次，3 种森林林下土壤平均细根重有不同的变化（表 1）。

在土壤表层 0 ~ 20 cm 和 30 ~ 100 cm 内，华山松林的细根重最重，云南松林次之，早冬瓜林最低；20 ~ 30 cm 内，华山松林的细根最重，早冬瓜林次之，云南松林最低（图 1（c））。

在华山松林、早冬瓜林和云南松林的土壤中，均

表现为从表层到土壤深处土壤平均细根重逐渐减少的趋势；华山松林土壤平均细根重在 10 ~ 30 cm 内增加，0 ~ 20 cm、30 ~ 100 cm 内逐渐减少，而早冬瓜林土壤平均细根重在 0 ~ 20 cm 增加，20 ~ 100 cm 内逐渐减少。华山松林平均细根重在 0 ~ 10 cm 内最高，云南松和华山松林土壤平均细根重在 0 ~ 20 cm 内的变化几乎一致，减少的都很迅速（如图 1（c））。

### 2.4 土壤含水率、容重和细根重的相关性

华山松林与云南松林土壤（除 10 ~ 20 cm 外），土壤容重与土壤平均细根重呈现出负相关性。

华山松林土壤，平均容重和平均细根重在 0.05 水平上负相关，平均含水率与平均容重、平均细根重不相关。把土壤平均容重（ $x$ ）和土壤平均细根重（ $y$ ）进行曲线拟合，方程为  $y = 1.375 - 3.316x + 15.495x^2 - 23.971x^3$ ， $r^2 = 0.961$ ，拟合度最高（图 2（a））。

早冬瓜林土壤，平均容重和平均含水率在 0.05 水平上负相关，把土壤平均容重（ $x$ ）和土壤平均含水率（ $y$ ）进行曲线拟合，方程为  $y = 1.065 + 0001x^2 - 6.821x^3$ ， $r^2 = 0.946$ ，拟合度最高（图 2（b））。

云南松林土壤，平均容重和平均细根重在 0.01 水平上负相关，平均含水率与平均容重、平均细根重不相关（表 2）。把土壤平均容重（ $x$ ）和土壤平均细根重（ $y$ ）进行曲线拟合，方程为  $y = 1.498 - 0.958x + 4.950x^2 - 9.921x^3$ ， $r^2 = 1.000$ ，拟合度最高（图 2（c））。

土壤植物根系含量的多少直接影响着土壤容重的大小<sup>[16]</sup>。华山松林、早冬瓜林与云南松林林土壤（除 10 ~ 20 cm 外），土壤容重随着土壤平均细根重的减少而增加；而早冬瓜林与云南松林相比，林下同层土壤（除 20 ~ 30 cm 外），土壤容重则随着土壤平均细根重的减少而减少。

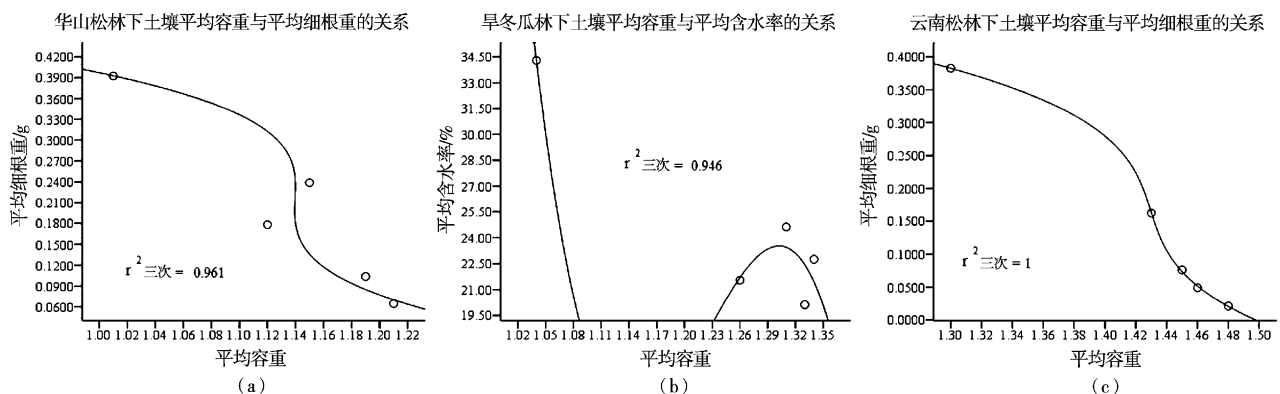


图2 3种森林土壤平均含水率、平均容重和平均细根重的关系

Fig. 2 The relationship between soil moisture content, soil bulk density and fine root weight in the studied forest types

### 3 讨论与结论

在滇中高原华山松林、旱冬瓜林、云南松林林下不同土壤中,随着土壤深度的增加,土壤含水率和土壤容重增加,土壤细根重减少。华山松的细根主要分布于浅表,土层 20 cm 内的细根占总量的 83%,对表土起着很强的防护作用。这与相关研究结果很类似。宁夏大罗山 4 种主要植被类型的细根生物量也集中分布在 0~20cm 土层<sup>[24]</sup>。植被状况是土壤水分空间异质性的主要驱动因子<sup>[17]</sup>,不同森林林下土壤含水量从表层向下呈现出高一低一高的变化趋势<sup>[2,18-21]</sup>;不同植被类型下土壤容重随着土壤深度的增加而逐渐增大<sup>[20-23]</sup>。旱冬瓜林与华山松林,因为地表草本层和凋落物覆盖的原因,表层土壤含水率较高,符合林下浅层土壤含水率的基本规律;但是,云南松林林下土壤表层凋落物覆盖较少,土壤质地较硬,土壤含水率低,表层土壤含水率变化不明显。

3 种森林 100 cm 深的土壤含水率、土壤容重和土壤细根重差异明显。平均含水率分别是  $(28.79 \pm 11.98)\%$ 、 $(24.66 \pm 9.89)\%$ 、 $(14.11 \pm 5.84)\%$ ,差异极显著;平均容重分别是  $(1.14 \pm 0.20) \text{ g/cm}^3$ 、 $(1.26 \pm 0.18) \text{ g/cm}^3$ 、 $(1.42 \pm 0.12) \text{ g/cm}^3$ ,差异极显著;平均细根重分别为  $(0.1956 \pm 0.2144) \text{ g/100 cm}^3$ 、 $(0.0706 \pm 0.1066) \text{ g/100 cm}^3$ 、 $(0.1381 \pm 0.2989) \text{ g/100 cm}^3$ ,在 0.05 水平上差异显著。丫口林区成立初期为荒山,于 1960-1970 年代种植华山松造林,逐渐改良了林下的土壤,增加了土壤含水率,增大了土壤孔隙,降低了土壤容重,已经成为丫口林区附件最重要的水源林地。这与过去对华山松林土壤的研究结果是一致的<sup>[25]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 孔凡伟. 如何精测土壤容重 [J]. 黑龙江农业科学, 2010, (10): 178.
- [2] 袁国富, 张佩, 薛沙沙, 等. 沙丘多枝怪柳灌丛根层土壤含水量变化特征与根系水力提升证据 [J]. 植物生态学报, 2012, 36 (10): 1033-1042.
- [3] 刘晓敏. 祁连山青海云杉林土壤理化性质的空间变异性研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [4] 陈九美. 南阳丹江口库区不同土地利用类型表层土壤水文物理性质研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2012.
- [5] 于法展, 李保杰, 尤海梅, 等. 徐州泉山自然保护区人工林下土壤容重与孔隙度时空变化研究 [J]. 水土保持研究, 2007, (6): 164-166.
- [6] 李召青, 周毅, 彭红玉, 等. 蕉岭长潭省级自然保护区不同林分类型土壤水分物理性质研究 [J]. 广东林业科技, 2009, (6): 70-75.

华山松林的土壤容重与土壤平均细根重在 0.05 水平上显著负相关;云南松林的土壤容重与土壤平均细根重在 0.01 水平上显著负相关。旱冬瓜林的土壤含水率与土壤平均细根重在 0.05 水平上显著负相关,而土壤容重与土壤平均细根重不相关。干旱处理下,高容重土壤抑制根系的生长;随着土壤容重的增大,无论干旱处理还是湿处理,根直径都变大<sup>[26]</sup>。这说明土壤容重、含水率、细根重量这 3 个土壤因素之间存在复杂的相互关系,需要进一步深入研究。

过去一直认为,旱冬瓜林能够改良土壤,增加土壤肥力,减少地表径流,保持水土、涵养水源<sup>[27-29]</sup>。云南松为喜光性强的深根性树种,适用于荒山荒地造林,且林下表层土壤肥力要优于旱冬瓜林<sup>[9,30-31]</sup>。华山松林的生态功能较强,保持水土、涵养水源和净化环境的效益均较显著<sup>[32]</sup>。本研究证明了这一点,即旱冬瓜林的土壤含水率和土壤容重都明显好于云南松林。但是,云南松林土壤细根重却远大于旱冬瓜林下土壤细根重,说明地下生物量大可能是云南松适应性强的原因之一。

可见,在滇中高原地区,尽管华山松林、旱冬瓜林、云南松林属于半湿润常绿阔叶林退化后森林恢复的不同演替类型,但对于土壤质地改良而言,华山松林的效果最明显,其次为旱冬瓜林。云南松林最差。在森林恢复实践中,慎重选择不同的树种,以便恢复成不同森林和营造更好的森林水文环境效应。

**致谢:** 参加本文研究的还有高登成、丁洪波、项希希、罗康、白浩田天、贺隆元等,野外调查中,得到云南省玉溪市华宁县东山林场丫口林区、羊槽林区和大流水林区的大力支持与帮助。谨表谢忱。

- [7] 刘利, 张健, 杨万勤, 等. 川西亚高山高山典型森林细根生物量及其碳储量特征 [J]. 四川林业科技, 2008, (1): 7-10.
- [8] 刘亮英, 刘苑秋, 杜天真, 等. 退化红壤重建森林生态系统初期细根生物量及其动态变化研究 [J]. 江西林业科技, 2007, (4): 1-5.
- [9] 吴征镒, 朱彦承, 姜汉桥. 云南植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [10] 姜汉桥. 关于云南松研究的若干问题 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 1984 (1): 1-5.
- [11] 彭鉴. 昆明附近云南松人工林的研究 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 1984, (1): 6-20.
- [12] 刘中天, 汤家生, 李本德. 云南松的更新 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 1984 (1): 59-66.
- [13] 陈宏伟, 李大伟, 史富强, 等. 早冬瓜用材林优树选择标准的研究 [J]. 西部林业科学, 2010 (1): 6-10.
- [14] 张宁. 昆明市华山松人工林林分特征研究 [J]. 西部林业科学, 2011 (1): 43-47.
- [15] 段辉, 张文东, 李莲芳, 等. 间伐的华山松+云南松近成熟林密度及胸径断面积的变化研究 [J]. 西部林业科学, 2009 (1): 65-70.
- [16] 徐宁, 吴兆录, 李正玲. 滇西北亚高山不同土地利用类型土壤容重与根系生物量的比较研究 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36 (5): 1961-1963.
- [17] 史丽丽, 赵成章, 樊洁平, 等. 祁连山地甘肃臭草斑块土壤水分与植被盖度空间格局 [J]. 生态学杂志, 2013 (2): 285-291.
- [18] 王玲, 赵景波, 李瑜琴, 等. 陕西咸阳苹果林地和农田土壤含水量及土壤干层研究 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (29): 14298-14300.
- [19] 刘延惠, 崔迎春. 喀斯特山地森林土壤水分动态变化研究 [J]. 中国高校科技与产业化, 2006 (S1): 229-233.
- [20] 秦娟, 唐心红, 杨雪梅. 马尾松不同林型对土壤理化性质的影响 [J]. 生态环境学报, 2013 (4): 598-604.
- [21] 曹国栋, 陈接华, 夏军, 等. 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质 [J]. 生态学报, 2013 (1): 195-204.
- [22] 田月亮, 张金池, 李海东, 等. 不同林分类型土壤水分物理性质及其海拔效应——以浙江省凤阳山为例 [J]. 水土保持通报, 2013 (1): 53-57+61.
- [23] 李建兴, 湛芸, 何丙辉, 等. 不同草本的根系分布特征及对土壤水分状况的影响 [J]. 水土保持通报, 2013 (1): 81-86+91.
- [24] 苏纪帅, 程积民, 高阳, 等. 宁夏大罗山4种主要植被类型的细根生物量 [J]. 应用生态学报, 2013 (3): 626-632.
- [25] 李贵祥, 郎南军, 孟广涛, 等. 云南金沙江流域华山松人工林水土保持效益研究 [J]. 云南林业科技, 2002, 3 (1): 6-9.
- [26] 刘晚苟, 山仑. 邓西平不同土壤水分条件下土壤容重对玉米根系生长的影响 [J]. 西北植物学报, 2002, 22 (4): 831-838.
- [27] 唐晓萌. 自然环境胁迫对早冬瓜 *Frankia* 菌基因多样性的影响 [J]. 应用生态学报, 2003 (10): 1744-1746.
- [28] 熊智. 海拔对早冬瓜共生固氮放线菌基因多样性的影响 [J]. 西南林学院学报, 2001, 4 (21): 205-209.
- [29] 衡泰. 谈谈早冬瓜的作用 [J]. 云南林业, 1982 (1): 33-34.
- [30] 杨道贵, 马志贵. 云南松森林计划烧除对林下植被的影响 [J]. 四川林业科技, 1997, 18 (1): 18-28.
- [31] 杨卫, 付玉嫔, 祁荣频, 等. 云南松与早冬瓜混交林林地土壤养分及细根、叶片养分特征 [J]. 东北林业大学学报, 2011 (3): 69-71.
- [32] 兰国玉, 雷瑞德, 安锋, 等. 秦岭华山松群落数量分类研究 [J]. 生态学杂志, 2006 (2): 119-124.

## SOIL MOISTURE CONTENT, BULK DENSITY AND FINE ROOT WEIGHT AS WELL AS THEIR VERTICAL DISTRIBUTION IN SOILS OF THREE FOREST TYPES IN THE CENTRAL YUNNAN PROVINCE

SHAN Meng – ying<sup>1</sup>, YANG Yong – gang<sup>2</sup>, WU Zhao – lu<sup>1</sup>

(1. Institute of Ecology and Geobotany Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China;

2. Forestry Bureau of Huaning County, Yuxi Prefecture of Yunnan Province, Huaning 652800, Yunnan, China)

**Abstract:** Based on the 405 soil samples from 27 soil plane surfaces, it was studied the moisture content, soil bulk density, fine root weight as well as their vertical distribution in soils of forests dominated respectively by *Pinus armandi*, *Alnus nepalensis* and *Pinus yunnanensis*. The results indicated that, within 100 cm depth in soils of the three forests, the average moisture content were  $(28.79 \pm 11.98)\%$ ,  $(24.66 \pm 9.89)\%$ ,  $(14.11 \pm 5.84)\%$ , respectively; the average soil bulk density were  $(1.14 \pm 0.20) \text{ g/cm}^3$ ,  $(1.26 \pm 0.18) \text{ g/cm}^3$ ,  $(1.42 \pm 0.12) \text{ g/cm}^3$  respectively; and the average fine root weight were  $(0.1956 \pm 0.2144) \text{ g/100 cm}^3$ ,  $(0.0706 \pm 0.1066) \text{ g/100 cm}^3$ ,  $(0.1381 \pm 0.2989) \text{ g/100 cm}^3$ , respectively. Soil moisture content increased while soil bulk density and fine root weight decreased from the surface to depth of soils in the 3 studied forests. The best physical properties of soil is *Pinus armandi*, the second is *Alnus nepalensis* and the worst is *Pinus yunnanensis*. It was also found the negative correlations of soil bulk density and soil fine root weight of *Pinus yunnanensis* forests and *Pinus armandi* forests, and the negative correlations of soil moisture content and soil bulk density in *Alnus nepalensis* forests. Eighty three percent of soil fine root were found in the 0 – 20 cm surface soils of *Pinus armandi* forests.

**Key words:** soil bulk density; soil fine root weight; *Pinus yunnanensis*; *Pinus armandi*; *Alnus nepalensis*

~~~~~  
(上接第 30 页)

ANALYSIS ON DEVELOPMENT POTENTIAL OF WATER RESOURCES IN THE AIR OVER YUXI CITY

ZHOU Peng – kang¹, QIN Jin – mei², DING Sheng³

(1. Meteorology Bureau of Jiangchuan County, Jiangchuan 652600, Yunnan, China;

2. Earthquake prevention and Disaster Reduction of Jiangchuan Country, Jiangchuan 652600, Yunnan, China;

3. Meteorology Bureau of Yuxi City, Yuxi 653100, Yunnan, China)

Abstract: The data of 45 – year daily ground vapor pressure and precipitation from 9 weather stations in Yuxi City are used to analyze the temporal and spatial distribution characteristics of atmospheric water resources over the area by calculating precipitable water with empirical formulas. And the potential of artificial precipitation for the area is initiatorily analyzed too. The results show that, annual atmospheric precipitable water over Yuxi City presented decreasing trend during 1961 – 2005. The amount of precipitable water was the maximum in summer and the minimum in winter, while it was the maximum in July and the minimum in January. As to the spatial distribution of precipitable water, Yuxi City presented that western area had more than the central and eastern region, while the southern part had more than the northern area. Further, the output capacity of natural precipitation was the maximum in January and the minimum in September, while rainfall efficiency was the highest in winter and the lowest in autumn. Meanwhile, the output capacity of natural precipitation was bigger in middle and eastern areas than in western region. On the other hand, the potential of artificial precipitation in Yuxi City was relatively biggish during March to April and from September to October, being mostly above 77%. And the potential was greater in western region than in middle and eastern areas west during each season.

Key words: atmospheric precipitable water; potential of artificial precipitation; water resources in the air; Yuxi City

吉林省城乡居民膳食水足迹研究

唐珍珍, 秦丽杰*, 梅 婷

(东北师范大学 地理科学学院, 吉林 长春 130024)

摘要: 居民日常的膳食消费与水资源的保护和节约息息相关。根据吉林省 1999 ~ 2011 年城乡居民膳食消费量, 量化城乡居民膳食水足迹, 并分析其特征。13 年来吉林省城乡居民膳食水足迹波动不大, 但城乡之间存在差异。城镇居民膳食水足迹中肉类所占比重最大, 而农村居民膳食水足迹中粮食占绝对比重。城镇居民膳食水足迹多样性指数高于农村居民, 均呈上升趋势, 尤其是农村居民膳食消费的种类增长较快, 居民膳食消费的种类日益丰富。吉林省城乡居民膳食水足迹虽然存在差异, 但差距不大, 不公平现象不明显。

关键词: 膳食消费; 水足迹; 膳食结构; 吉林省

中图分类号: X24

文献标识码: A

文章编号: 1001 - 7852(2013)04 - 0045 - 06

水资源为人类的生存和生产提供了基本的资源保障, 是社会经济和生态环境不可或缺的物质基础。水资源短缺已成为严重威胁人类社会可持续发展的重大因素。虚拟水理论的提出为粮食安全与水资源安全研究提供了一种新思路^[1-9]。2002 年 Hoekstra 基于消费模式提出水足迹的概念, 用以表示水资源的耗用, 描述人类消费对水资源系统的影响。水足迹即任何已知人口 (一个人、一个城市、一个区域或全球) 的水足迹是生产这些人口消费的产品所需要的水资源数量, 它可以真实地反映一个人、一个地区或一个国家对水资源的真实需求和真实占用情况^[5]。本文通过对吉林省城乡居民膳食水足迹的量化及分析, 探讨吉林省城乡居民膳食消费的水足迹特征。

1 研究区概况

吉林省地处 122°E ~ 131°E、41°N ~ 46°N, 面积 $18.74 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全国面积 1.95%, 人口 2 749.41 万人, 占全国的 2.04%。位于中国东北中

部, 处于日本、俄罗斯、朝鲜、韩国、蒙古与中国东北部组成的东北亚腹心地带。东西长 650 km, 南北宽 300 km。东南部高, 西北部低, 中西部是广阔的平原。现辖 1 个副省级市、7 个地级市、延边朝鲜族自治州和长白山管委会, 60 个县 (市、区)^[10]。

吉林省属于温带大陆性季风气候, 四季分明, 雨热同季。春季干燥风大, 夏季高温多雨, 秋季天高气爽, 冬季寒冷漫长。年平均降水量为 400 ~ 600 mm, 但季节和区域差异较大, 80% 集中在夏季。吉林省位于东北地区主要江河的上、中游地带, 省内流域面积在 20 km^2 以上的大小河流有 1 648 条, 分别属于松花江、辽河、鸭绿江、图们江、绥芬河五大水系。

2 膳食虚拟水量化

2.1 数据来源

本文研究所需的吉林省农作物产量和城乡居民家庭平均每人每年购买的主要膳食量均来源于《吉

收稿日期: 2013 - 04 - 25; 修订日期: 2013 - 07 - 30.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41171038), 教育部人文社会科学规划基金项目 (10YJA840032) .

作者简介: 唐珍珍 (1986 -), 女, 河北省邯郸市人, 硕士研究生, 研究方向为水资源与水环境.

* 通讯作者.

林省统计年鉴》，吉林省气象数据来源于中国气象局国家气象信息中心。计算各种农作物的虚拟水时，所需作物系数 k_c 借助于联合国粮农组织提供的 Cropwat8.0 软件中的数据。

2.2 单位质量膳食虚拟水的量化

单位质量农作物产品的虚拟水含量等于作物生育期需水量除以作物单位面积的产量，而作物生育期的需水量通常由联合国粮农组织推荐的 Penman-Monteith 公式和相应作物系数计算得到。单位质量动物产品虚拟水含量为动物生命周期内饲料生产用水、饮用水、宰杀加工用水量之和除以动物产品重量，如果从一种动物可以得到多种产品，则需要引入价值因子和产量因子，将总的用水量在不同产品之间分配^[4,11-16]。本文中的农作物产品虚拟水含量均以消费地的角度来计算，也就是作物实际消费地的用水量和产量比值。动物产品的虚拟水含量参考联合国粮农组织 FAOSTAT 数据库中有关中国动物虚拟水含量的计算数据。

本文选取了粮食、油脂类、豆类、猪肉、牛羊肉、禽肉、蛋类、水产品、蔬菜、食糖、白酒、啤酒、瓜果和奶类等城乡居民主要膳食消费品，其虚拟水含量如表 1 所示。

3 居民膳食的水足迹特征

根据 1999~2011 年吉林省城乡居民膳食消费

表 1 单位质量膳食消费品虚拟水含量	
Tab. 1 Virtual water volume per unit diet m ³ /kg	
膳食消费品	单位质量虚拟水含量
粮食	1.65
油脂类	7.40
豆类	0.84
猪肉	4.80
牛肉	19.99
羊肉	18.00
家禽	3.90
蛋类	3.30
水产品类	5.00
蔬菜类	0.35
食糖	1.64
白酒	3.30
啤酒	0.50
瓜果类	0.82
奶类	2.20

数据，量化城乡居民膳食水足迹，并分析、比较其特征。

3.1 城镇居民膳食水足迹

根据吉林省城镇居民膳食消费量和各项产品单位质量的虚拟水含量，量化城镇居民人均膳食水足迹（表 2）。

表2 吉林省城镇居民人均膳食水足迹												
Tab. 2 Dietary water footprint per urban resident												m ³ /人
年份	粮食	油脂类	猪肉	牛羊肉	家禽	蛋类	水产品类	蔬菜	酒类	瓜果	奶类	合计
1999	148.20	64.08	70.90	77.67	12.32	37.62	33.70	46.74	15.59	0	13.16	519.98
2000	148.10	71.85	70.66	82.73	13.73	40.29	28.75	49.00	15.82	0	15.47	536.40
2001	133.95	70.45	67.152	75.39	12.44	39.63	30.40	47.40	15.52	50.23	19.14	561.70
2002	133.85	68.38	70.85	84.21	14.04	39.20	46.80	46.16	16.40	54.71	28.78	603.38
2003	139.59	76.37	73.73	81.81	14.51	43.96	47.40	45.40	17.38	52.35	37.22	629.72
2004	130.52	69.49	65.95	98.50	14.86	36.33	40.60	48.92	14.76	53.60	42.37	615.90
2005	125.53	70.97	70.66	112.26	17.16	38.18	41.20	48.07	14.36	53.46	37.55	629.40
2006	114.59	67.71	71.95	108.88	15.52	38.41	41.95	47.03	16.46	56.57	37.38	616.45
2007	102.04	67.56	63.46	108.70	13.93	35.84	45.25	48.23	16.86	57.79	34.65	594.31
2008	109.03	75.33	61.54	99.82	16.65	38.28	44.75	51.92	14.87	58.47	24.00	594.66
2009	117.99	79.70	77.33	111.82	19.93	46.20	51.90	46.57	22.08	53.08	25.37	651.97
2010	140.25	70.82	71.76	98.90	20.71	38.25	43.60	44.29	16.14	47.54	22.26	614.52
2011	136.44	73.11	67.49	91.92	20.20	32.93	38.30	42.52	11.82	46.44	22.40	583.57

1999 ~ 2011 年吉林省城镇居民人均膳食水足迹整体呈上升趋势，2005 ~ 2008 稍有下降，2009 年达到最大值，之后又有所下降。粮食水足迹呈下降

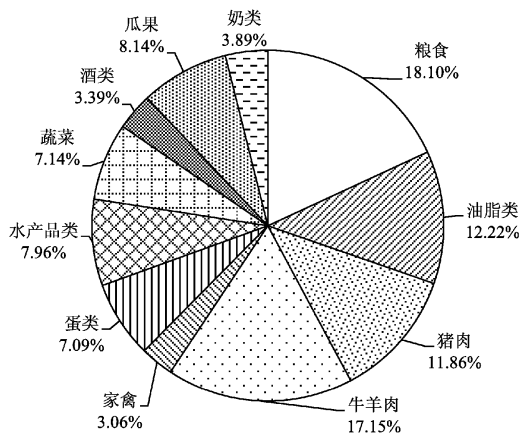


图 1 2009 年城镇居民膳食水足迹比例

Fig. 1 Dietary water footprint ratio per urban resident in 2009

趋势，但 2008 年以后又有所回升；牛羊肉水足迹呈上升趋势，其中 2003 ~ 2005 年上升比较快，2009 年之后又有所下降，但整体比 1999 ~ 2003 年的消费量大；油脂类水足迹整体呈缓慢上升趋势；家禽和水产品类水足迹亦呈上升趋势，但有波动；其他各类产品（如蛋类、猪肉、蔬菜类、瓜果、奶类）水足迹基本保持稳定或略有上升。在膳食水足迹中，粮食、牛羊肉、油脂类所占比重较高，而酒类、瓜果和蔬菜的比重较低。以 2009 年为例（图 1），在城镇居民膳食水足迹中，粮食水足迹占 18.10%，肉食类（猪肉、牛羊肉、家禽）水足迹占 32.07%，油脂类水足迹占 12.22%。

3.2 农村居民膳食水足迹

根据吉林省农村居民膳食消费量和各项产品单位质量的虚拟水含量，量化农村居民人均膳食水足迹，结果见表 3 所示。

表 3 吉林省农村居民人均膳食水足迹
Tab. 3 Dietary water footprint per rural resident

年份	粮食	油脂类	豆类	肉类	蛋类	水产品类	蔬菜	食糖	酒类	瓜果	奶类	合计
1999	415.06	38.18	7.55	60.30	20.16	16.50	37.01	1.74	21.19	13.85	0.29	631.83
2000	363.46	47.95	9.30	66.47	26.70	15.45	32.29	0.92	18.80	21.36	0.33	603.03
2001	345.82	44.47	11.69	67.91	25.84	21.35	41.84	1.16	21.93	19.83	0.31	602.15
2002	343.20	52.61	11.08	85.17	25.31	18.65	40.76	1.95	21.32	16.85	0.33	617.23
2003	400.69	46.40	10.76	90.19	30.24	18.00	40.32	1.23	0	0	0.92	638.75
2004	332.15	44.77	8.22	96.19	28.15	17.35	49.41	1.08	0	0	1.21	578.53
2005	291.54	50.39	10.05	114.82	28.38	20.10	48.33	1.18	0	0	2.53	567.32
2006	334.44	47.58	13.52	106.17	27.06	21.15	49.23	1.07	21.05	15.62	3.81	640.70
2007	314.51	50.54	8.08	91.40	24.72	22.05	46.35	1.05	20.06	15.69	5.76	600.21
2008	295.14	59.27	8.14	85.68	30.39	20.80	39.63	1.08	19.11	15.88	4.88	580.00
2009	254.28	58.61	6.61	94.69	28.25	20.20	34.74	1.12	18.55	16.06	5.48	538.59
2010	250.32	52.32	7.35	92.20	24.49	19.00	37.73	1.10	17.00	14.33	5.15	520.99
2011	279.81	65.27	7.02	110.90	28.74	21.50	41.91	1.12	20.56	16.68	7.88	601.39

1999 ~ 2011 年吉林省农村居民人均膳食水足迹整体呈缓慢下降趋势，2006 达到一个小峰值，之后一直下降，2011 年又有所回升。由于在农村居民膳食水足迹中，粮食水足迹占绝对比重，因此，膳食水足迹变化与粮食水足迹变化基本保持一致，亦呈缓慢下降趋势；肉类水足迹整体上呈上升趋势，但 2005 ~ 2008 年逐年下降，之后又开始上升；油脂类水足迹呈逐年上升趋势。

从各项膳食产品水足迹在总膳食水足迹中所占

比重来看，粮食比重最高，其它如豆类、蛋类、食糖等的比重则较低。以 2009 年为例（图 2），粮食水足迹占 47.21%，肉食类水足迹占 17.58%，油脂类占 10.88%。

3.3 城乡居民膳食水足迹对比分析

3.3.1 膳食水足迹的差异性

1999 ~ 2011 年吉林省城乡居民人均膳食水足迹相差不大，差距最大的一年是 2009 年，达 113.38 m³/人，差距最小的是 2007 年，为 5.90 m³/人。城

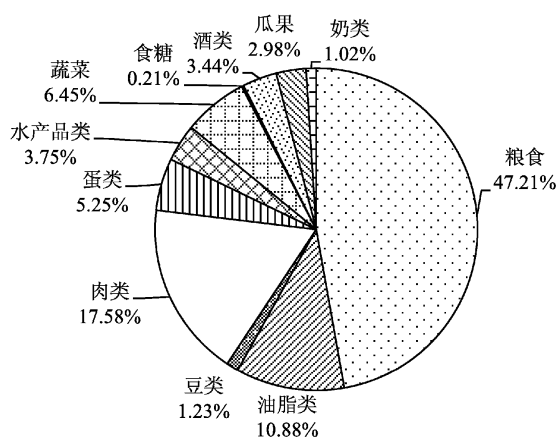


图 2 2009 年农村居民膳食水足迹比例

Fig. 2 Dietary water footprint ratio per rural resident in 2009

乡居民膳食水足迹差别明显的主要为粮食和肉类。农村居民人均粮食水足迹明显高于城镇居民, 2003 年差距最大, 达 $261.10 \text{ m}^3/\text{人}$, 2010 年差距最小, 为 $110.07 \text{ m}^3/\text{人}$ 。1999~2011 年农村居民人均粮食水足迹占总膳食水足迹的比重均高于城镇居民, 2003 年农村居民人均粮食水足迹占 62.73%, 城镇居民占 22.17%。而城镇居民人均肉类水足迹明显高于农村居民, 13 年中 2009 年差距最大, 达 $209.08 \text{ m}^3/\text{人}$, 2003 年差距最小, 为 $107.05 \text{ m}^3/\text{人}$ 。同时, 13 年中城镇居民人均肉类水足迹所占比重均高于农村居民, 相差最大年份为 1999 年, 比重分别为 30.94% 和 9.54%。

3.3.2 膳食水足迹的多样性

利用 Ulanowicz 和 Templet 等人的多样性研究成果^[17-19], 计算城乡居民膳食水足迹的多样性指数。各种膳食水足迹分配越接近平等, 多样性指数越高。膳食水足迹的多样性指数反映了膳食消费水平的高低。膳食水足迹多样性指数 (H) 计算公式为:

$$H = - \sum_i [P_i \ln P_i]$$

式中: H 为膳食水足迹多样性指数; i 为各种消费品, 主要包括粮食、各种肉类、蛋类、蔬菜类、水果等; P_i 为第 i 种消费品的水足迹占总的水足迹的比例。

1999~2011 年吉林省城乡居民膳食水足迹多样性指数如图 3 所示。

1999~2011 年吉林省城镇居民膳食水足迹多样性指数比较平稳, 整体略微上升, 但近两年又有所下降。农村居民膳食水足迹多样性指数整体呈上升

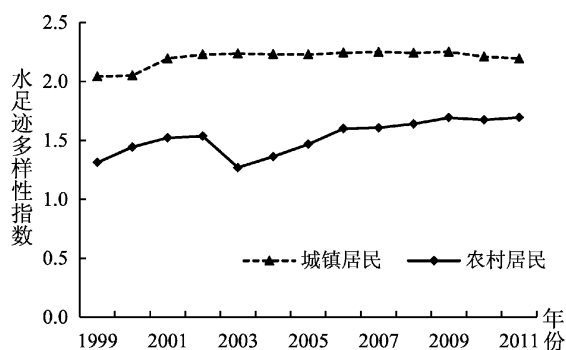


图 3 城乡居民膳食水足迹多样性指数

Fig. 3 Diversity index of dietary water footprint per urban and rural resident

趋势, 且上升幅度较大, 但波动亦较大, 表明农村居民膳食消费的种类逐步分散, 饮食结构得到了一定的改善。城镇居民膳食水足迹多样性指数均高于农村居民, 但差距在逐渐缩小, 说明农村居民的膳食消费水平虽然低于城镇居民, 但农村居民的膳食消费水平在不断提高。膳食水足迹多样性指数的增加说明在满足居民膳食需求的同时, 居民膳食消费的种类在不断增加, 尤其是农村增长较快, 使膳食消费种类的水足迹越来越趋于均衡, 说明吉林省城乡居民的生活水平在逐步提高。

3.3.3 膳食水足迹的不公平性

不同群体的水足迹消费存在着不公平性。借鉴经济学中基尼系数的计算方法^[20], 城乡居民膳食水足迹不公平系数的计算公式为:

$$G_{uw} = \frac{1}{2n^2u} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n |VW_j - VW_i| \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中: G_{uw} 为膳食水足迹不公平系数; u 为各群体膳食水足迹的平均值; VW_i 、 VW_j 为各群体膳食水足迹; n 为群体分组。

基尼系数值变化在 0~1, 0 表示分配完全公平, 1 则代表分配的绝对不公平。按照国际有关组织的规定, 基尼系数小于 0.2 表示收入的绝对平均; 0.2~0.3 表示比较平均; 0.3~0.4 表示相对合理; 0.4~0.5 表示分配的差距较大; 0.6 以上表示分配差距悬殊^[21]。由于当前缺少关于水足迹不公平性划分的界定, 本文采用基尼系数的划分方法。

1999~2011 年吉林省城乡居民人均膳食水足迹的不公平系数如表 4 所示。13 年中城乡居民膳食水

表4 城乡居民膳食水足迹的不公平系数

Tab. 4 Inequality index of dietary water footprint per urban and rural resident

项目	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	平均
不公平系数	0.292	0.175	0.104	0.034	0.021	0.093	0.154	0.058	0.015	0.037	0.281	0.244	0.045	0.119

足迹不公平系数的平均值为 0.119，最大值为 0.292（1999 年），表明城乡居民膳食水足迹虽然存在差距，但差距不大，不公平现象不明显。

4 结论与讨论

居民日常的膳食消费与水资源保护、水资源节约息息相关，不同的膳食结构及消费量，其水资源的消耗量也不同。探讨居民膳食消费的水足迹，可以为膳食结构的调整、水资源节约对策提供依据。

1999~2011 年吉林省城乡居民膳食水足迹波动不大，但城乡之间存在差异。农村居民膳食水足迹中粮食占绝对比重，而城市居民膳食水足迹中肉类所占比重最大。城乡居民人均粮食水足迹整体均呈下降趋势，但高耗水的肉类和油脂类消费的水足迹有所上升。

1999~2011 年吉林省城镇居民膳食水足迹的多样性均高于农村居民，但差距在缩小。城乡居民膳食水足迹的多样性指数不断增加，尤其是农村增长较快，说明在满足膳食需求的同时，膳食消费的种类不断增加，膳食消费种类的水足迹越来越趋于均衡，吉林省城乡居民的生活水平逐步提高。吉林省城乡居民膳食水足迹存在差异，但差距不大，不公平现象不明显。

不同的膳食结构消耗不同的水资源量。单位质量肉类产品的需水量一般均大于植物性产品，通过调整膳食结构，增加低耗水产品的消费来减少肉类产品的消费而，可缓解膳食消费对水资源的压力。在膳食结构调整中，应首先从城镇居民入手，倡导少消费水资源密集型产品。同时加大宣传力度，提高居民的意识，探索一种既能改善居民生活质量又对水资源节约有效的膳食消费习惯。

参考文献：

- [1] ALLAN J A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro political futures would be impossible [C] //ODA, Priorities for Water Resources Allocation and Management. ODA, London, 1993: 13-26.
- [2] ALLAN J A. Overall perspectives on countries and regions [C] //ROGERS P, Lydon P. Water in the Arab world: perspectives and prognoses. Massachusetts: Harvard University press, 1994: 65-100.
- [3] ZIMMER D, RENAULT D. Virtual water in food production and global trade: review of method ological issues and preliminary results [C] //A Y Hoekstra. Virtual Water Trade. Delft, The Netherlands, IHE, 2003: 93-107.
- [4] CHAPAGAIN A K, HOEKSTRA A Y. Water footprints of nations: Value Water Research Report Series [R]. Delft, The Netherlands, IHE, 2004: 1-80.
- [5] CHAPAGAIN A K, HOEKSTRA A Y. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to crop trade [C] // Virtual Water Trade: proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. IHE Delft, 2003: 1-118.
- [6] 李新文, 陈强强. 国内外虚拟水研究的发展动向评述 [J]. 开发研究, 2005 (2): 110-114.
- [7] 柳文华, 赵景柱, 邓红兵, 等. 水——粮食贸易: 虚拟水研究进展 [J]. 中国人口·资源环境, 2005, 15 (3): 129-134.
- [8] 罗贞礼, 黄璜, 傅志强, 等. 郴州市农产品虚拟水的量化分析 [J]. 湖南农业大学学报, 2004, 3 (30): 282-284.
- [9] 程国栋. 虚拟水—中国水资源安全战略的新思路 [J]. 中国科学院院刊, 2003 (4): 260-265.
- [10] 吉林概况 [EB/OL]. [http: //www. jl. gov. cn/jlgk](http://www.jl.gov.cn/jlgk).
- [11] 王新华. 消费模式变化对虚拟水消费的影响 [J]. 中国农村水利水电, 2006 (2): 32-34.
- [12] 梅婷, 秦丽杰. 吉林市城乡居民膳食消费的水足迹研究 [J]. 水利经济, 2013, 31 (1): 10-14.
- [13] 刘梅, 许新宜, 王红瑞, 等. 基于虚拟水理论的河北省水足迹时空差异分析 [J]. 自然资源学报, 2012, 27 (6): 1022-1034.
- [14] 邹君, 严大贤. 湖南省城乡居民虚拟水消费结构及其用水效率评价 [J]. 资源开发与市场, 2012 (10): 890-893.
- [15] 徐中民, 龙爱华, 张志强. 虚拟水的理论方法及在甘肃省的应用 [J]. 地理学报, 2003, 58 (6): 861-869.

- [16] 龙爱华, 张志强, 徐中民, 等. 甘肃省水资源足迹与消费模式分析 [J]. 水科学进展, 2005, 16 (3): 418 – 425.
- [17] ULANOWICZ R E. Growth and Development. Ecosystems Phenomenology [M]. New York: Springer – Verlag, 1986.
- [18] TEMPLET P H. Energy, diversity and development in economicsystems: An empirical analysis [J]. Ecological Economics, 1990, 30 (2): 223 – 233; 411.
- [19] RICH N A. Diversity and stability in street tree population [J]. Urban Ecology, 1983 (7): 159 – 171.
- [20] 尚海洋, 马忠, 焦文献, 等. 甘肃省城镇不同收入水平群体家庭生态足迹计算 [J]. 自然资源学报, 2006 (21): 408 – 416.
- [21] 尚海洋. 虚拟水消费不公平性测度方法比较 [J]. 中国农村水利水电, 2011 (5): 1 – 4.

DIETARY WATER FOOTPRINT OF URBAN AND RURAL RESIDENT IN JILIN PROVINCE

TANG Zhen – zhen, QIN Li – jie, MEI Ting

(College of Geographical Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, Jilin, China)

Abstract: Daily dietary consumption is closely linked to water resources protection. According to the dietary consumption per urban and rural resident in Jilin province in 1999 – 2011, the dietary water footprints are calculated, and its characteristics are analyzed. The result shows the fluctuation of the dietary water footprint per urban and rural resident in Jilin province in 1999 – 2011 is not significant, but there are differences between the dietary water footprint of urban and rural resident. The water footprint ratio of meat is the highest for urban resident, while the water footprint ratio of grain is the highest for rural resident. Diversity index of dietary water footprint for urban resident is higher than rural resident, and both are increasing, especially rural resident's increases fast, which shows the water footprint of dietary types tend to be more and more balanced, whereby the types of dietary consumption are constantly rich. The inequality index of dietary water footprint per urban and rural resident shows that there exists difference between the dietary water footprint of urban and rural resident, while the difference is not big, that is to say, the unfair is not obvious.

Key words: dietary consumption; water footprint; dietary pattern; Jilin Province

农业干旱遥感监测模型综述

胡文英, 罗永琴

(云南师范大学 旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650092)

摘要: 以农业干旱发生时所引起的若干地表特征变化为依据, 分别从土壤水分、植被水分、冠层温度和作物形态4方面, 对现有主要农业干旱遥感监测模型进行归纳总结, 分析了各种模型的优缺点, 以及各自的适用范围。其中土壤水分变化类指数比较适宜于农业旱情预警及土壤干旱型农业旱情的监测; 冠层温度变化类指数不仅适宜于农业旱情预警, 更适宜于农业旱情监测; 作物形态及绿度变化和植被水分变化类指数, 较适宜于农业旱灾的预警以及灾后评估。

关键词: 农业干旱; 遥感; 监测模型

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1001-7852(2013)04-0051-05

农业干旱是指作物生长过程中供水不足, 阻碍作物正常生长而发生的水量供需不平衡现象。其主要与土壤湿度, 作物生长期有效降水量以及作物需水量有关。传统农业干旱监测方法不仅费时费力, 而且在空间代表性以及采样周期上都具有一定的局限性^[1-2]。遥感具有宏观、大面积、实时动态监测的优点, 目前在农业干旱监测中应用较为广泛^[3]。

旱情是指在作物生育期内, 耕作层土壤水分得不到降水、地下水和灌溉水的适量补给, 土壤供水不断消耗, 农作物从土壤中吸收到的水分不能满足正常生理需要, 作物受水分条件限制生长受到抑制的情势。旱灾是指作物在生育期内由于受旱造成较大面积减产或绝产的危害。农业干旱监测包括农业旱情监测和农业旱灾的预警及灾后评估两部分。农业干旱的直接诱因是水分亏缺, 干旱发展到一定程度, 植被会表现出冠层温度升高、植被指数下降等特点。基于上述原理, 遥感干旱监测一般考虑从土壤水分、冠层温度、植被指数等要素的时空变化特点出发提取干旱信息。本文从这几个方面对农业干旱监测模型进行总结, 深入分析它们的基本原理、算法及适用范围, 对各类遥感干旱监测模型存在的

问题和发展趋势进行了探讨, 指出下一步的研究方向。

1 土壤水分变化

农作物的水分供应主要来源于土壤水分, 农作物生长季是作物需水的关键期。干旱监测的本质是监测土壤含水量。通过土壤含水量的多少和分布来反映干旱的分布范围和干旱程度。土壤水分蒸发量大, 土壤失水严重, 旱情就会迅速发展。热惯量法虽然也综合了温度等要素的影响, 但它与土壤水分的关系更为密切, 笔者将它们归结为这一类。

1.1 热惯量法

土壤湿度受水分的影响。水分充足, 热惯量高, 温度变化小, 地表温度低; 水分亏缺, 热惯量低, 温度变化大, 地表温度高。热惯量随着土壤含水量的增加而增加。由于土壤的热惯量与含水量有很好的相关关系, 因此可以从土壤温度昼夜的变化幅度来推求土壤含水量。

热惯量法是利用土壤水分的热特性进行干旱监测的。热惯量是量度物质热惯性大小的物理量。其

收稿日期: 2013-07-02; 修订日期: 2013-07-30.

基金项目: 云南省应用基础研究面上项目: 基于MODIS数据的云南省干旱遥感动态监测研究(2010ZC073).

作者简介: 胡文英(1971-), 女, 重庆市合川县人, 副教授, 博士, 主要从事遥感与地理信息系统的教学和科研工作.

定义为:

$$P = (\lambda \cdot \rho \cdot C)^{1/2}$$

式中: P 为热惯量 [$J/(m^2 \cdot K \cdot s^{1/2})$]; λ 为热导率 [$J/(m \cdot K \cdot s)$]; ρ 为密度 (kg/m^3); C 为比热 [$J/(kg \cdot K)$].

1971 年 Waston 等人首次提出了一个用地表温度日较差推算热惯量的简单模式, 使得用热惯量技术监测土壤水分有可能成为现实^[4]. Price 从实用角度出发, 提出了一个可用卫星资料推算的表观热惯量模型^[5]:

$$ATI = 2SV(1 - \alpha)C_1 / \sqrt{\omega \Delta T} = 2Q(1 - \alpha) / \Delta T$$

式中: ATI 为表观热惯量 (Apparent Thermal Inertia); S 为太阳常数; V 为大气透过率; α 为地表反照率; C_1 为太阳赤纬和经纬度的函数; ω 为地球自转频率; Q 为太阳总辐射通量; ΔT 为地表日最高、最低温度差。从表观热惯量的表达式可以看出, 其实质含义就是使物体升高单位温度所需要的热量输入。模式中 α 和 ΔT 可以通过可见光-近红外通道和热红外通道的遥感资料获取, 根据 ATI 与土壤含水量之间的相关关系, 就可以求出测点的土壤含水量, 从而监测干旱。表观热惯量 ATI 反演土壤水分有多种方法, 可以利用经验公式 $W = a \times ATI + b$ (W 为某层土壤温度; a 、 b 为系数) 计算出土壤水分 W 。也可以采用幂函数、指数函数、对数函数等非线性经验公式。热惯量法简单实用, 主要适用于裸土或低植被覆盖的情况, 而且要求有研究区昼夜两次的晴空卫星资料。在实际应用中, 需根据当地的状况对模型参数进行必要的调整。

1.2 微波遥感法

基于土壤介电常数变化, 微波技术可通过微波辐射亮温、地表后向散射系数, 或者主被动联合进行土壤含水量反演。值得注意的是土壤体积含水量还不等同于土壤墒情, 要想利用微波遥感的土壤水分数据反映旱情分布, 还需要结合考虑田间最大持水量因子。李杏朝^[6]根据微波后向散射系数法, 用微波遥感监测土壤水分的相对误差率仅 12%。郑有飞等^[7]研究利用 AMSR-E 数据, 通过不同通道的比值运算等建立了一种被动微波遥感干旱指数, 结果表明其与降水量距平具有很好的相关性。该方法数理模型严密, 监测精度较高, 可以穿透云层遮挡进行全天时、全天候观测, 但容易受到地形坡度坡

向、地表粗糙度、植被生长状况等干扰。若综合其他可见光与近红外图像, 将是监测土壤水分最有希望的方法之一^[8]。

1.3 垂直干旱指数

植被对红光有强烈吸收, 对近红外有强烈反射, 而裸地反射率从红光到近红外变化很小。植被覆盖越高, 红光反射越小, 近红外反射越大。水体对红光和近红外波段吸收极强, 土壤含水率是影响土壤反射率的主要因素, 土壤含水率越多, 反射率越低, 反之亦然。因此, 可见光、近红外波段一定形式的组合不仅可以用来监测植被长势和地表覆盖状况, 还可以用于土壤水分估算。

基于土壤反射率变化, 阿布都瓦斯提·吾拉木等研究提出了基于红光与近红外波段光谱特征空间的垂直旱情指数^[9] (perpendicular drought index, PDI) 以及修正的垂直旱情指数 (modified perpendicular drought index, MPDI)^[10], 计算公式如下:

$$\begin{aligned} PDI &= \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} (R_{red} + MR_{NIR}) \\ R_{NIR} &= MR_{Red} + I \\ MPDI &= \frac{R_{Red} + MR_{NIR} - f_v (R_{v,Red} + MR_{v,NIR})}{(1 - f_v) \sqrt{M^2 + 1}} \\ R_{NIR} &= MR_{Red} + I \end{aligned}$$

式中: R_{Red} 、 R_{NIR} 分别为红光、近红外波段的反射率; M 、 I 分别为光谱特征空间的基线斜率和截距; f_v 为植被覆盖度。

PDI 及 $MPDI$ 是基于红光和近红外波段的光谱特征空间计算得到的, 模型简单易用; 相对于 PDI , $MPDI$ 考虑了植被覆盖的影响, 提高了监测精度^[11]; 影响 $MPDI$ 应用最关键的因素是土壤线斜率^[11-13]。但就反映土壤水分的深度而言, 基于光谱反射率的 $MPDI$ 只能反应土壤表层的信息; 微波遥感尤其是 L 波段的数据, 能穿透表层土壤, 揭示更深层次的土壤水分信息^[14]。

2 冠层温度变化

面对干旱胁迫, 植物通过调整气孔开度, 防止植物体内水分损耗。气孔的关闭, 增大了叶表面阻抗, 减少了植被蒸腾, 从而使冠层表面温度升高。因此由植被表面的温度变化, 可推演出干旱胁迫状态。

基于该现象的遥感干旱指数有条件温度指数 (temperature condition Index, TCI)、归一化温度指数 (normalized difference temperature index, NDTI), 以及结合温度和植被指数的作物水分亏缺指数 (crop water stress index, CWSI)、水分亏缺指数 (water deficit index, WDI)、温度植被旱情指数 (temperature vegetation dryness index, TVDI)、条件植被温度指数 (vegetation temperature condition index, VTCI)、植被供水指数 (vegetation supply water index, VSWI) 等^[15-19]。在这些指数中, NDTI、CWSI、WDI 指数的计算除了遥感数据外, 还需要其他数据的辅助。各指数算法如下:

$$TCI \quad TCI = \frac{(LST_{\max} - LST)}{(LST_{\max} - LST_{\min})}$$

$$TVDI \quad TVDI = \frac{LST - LST_{\min}}{a + b \times NDVI - LST_{\min}}$$

$$VTCI \quad \begin{aligned} VTCI &= \frac{LST - LST_{\min}}{LST_{\max} - LST_{\min}} \\ LST_{\max} &= a + b \times NDVI \\ LST_{\min} &= a' + b' \times NDVI \end{aligned}$$

$$VSWI \quad VSWI = \frac{NDVI}{LST}$$

式中: LST 为地表温度, 单位为 K; a 、 b 分别为植被温度特征空间中干边的截距和斜率; a' 、 b' 分别为湿边的截距和斜率。

TCI 虽然计算简单, 但是基于历史地表温度的变化统计, 易受其他非干旱胁迫因素的影响; TVDI、VTCI 以及 VSWI 较为简单实用, 其中 TVDI 以及 VTCI 越大表明旱情越严重, 而 VSWI 越小则表明旱情越严重^[20-21]。

3 植被水分含量变化

持续的水分亏缺, 将使叶子在形态和解剖上发生永久性或暂时性变化, 此时反映农作物的主要生理指数体现在叶片相对含水量的下降。由于植被含水量对短波红外波段 SWIR 非常敏感, 通过以 SWIR 波段作为敏感波段, 以 NIR 波段作为参考波段, 很多研究者提出了多种可直接反映植被含水量的遥感监测指数, 包括短波红外垂直失水指数 (shortwave infrared perpendicular water stress index,

SPSI)、归一化差异水分指数 (normalized difference water index, NDWI)、全球植被水分指数 (global vegetation moisture index, GVMI)、短波红外水分胁迫指数 SIWSI 等^[22-26]。各指数算法如下:

$$SPSI \quad \begin{aligned} SPSI &= \frac{1}{\sqrt{M^2 + 1}} (R_{SWIR} + MR_{NIR}) \\ R_{NIR} &= MR_{SWIR} + I \end{aligned}$$

$$NDWI \quad NDWI = \frac{R_{860} - R_{1240}}{R_{860} + R_{1240}}$$

$$GVMI \quad GVMI = \frac{(R_{NIR} + 0.1) - (R_{SWIR} + 0.02)}{(R_{NIR} + 0.1) + (R_{SWIR} + 0.02)}$$

式中: R_{SWIR} 、 R_{NIR} 分别为短波红外、近红外波段的反射率; R_{860} 、 R_{1240} 分别 860 nm 和 1 240 nm 波长范围处的地表反射率。

由于农业干旱的滞后效应, 作物可以通过缩小气孔等方式来减少水分损失, 只能到作物叶片严重缺水、枯萎、甚至死亡之后, 该类指数才能反映出来。植被失水也是在干旱胁迫累积到一定程度之后的作物生理反映, 这类指数较适宜于干旱成灾的预警及早灾的评估。

4 作物形态及植被绿度变化

由于叶表面气孔关闭, 阻止 CO_2 进入体内, 导致光合作用下降, 叶片发生光抑制作用, 叶绿素超微结构损坏, 叶绿素降解从而含量降低。此外为抵抗水分胁迫, 农作物的形态也会有所变化, 主要体现在叶面积指数的减小。因而可通过此时的植被指数相对于正常条件下植被指数的变化, 来衡量农作物受干旱胁迫的状况。此类的遥感监测指数有距平植被指数 (anomaly vegetation index, AVI)、标准植被指数 (standard vegetation index, SVI)、条件植被指数 (vegetation condition index, VCI) 等^[27-32]。算法如下:

$$AVI \quad AVI = NDVI - \overline{NDVI}$$

$$SVI \quad \begin{aligned} z &= \frac{NDVI - \overline{NDVI}}{\sigma} \\ SVI &= P(Z < z) \end{aligned}$$

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}$$

式中： $NDVI$ 、 $\overline{NDVI}$ 、 σ 分别为归一化植被指数及其平均值和标准差； $NDVI_{\min}$ 、 $NDVI_{\max}$ 分别为 $NDVI$ 同期多年的最小值和最大值。

作物形态及绿度的变化对于干旱胁迫具有一定程度的延迟响应，从农业干旱发生的过程来看，在一定的干旱胁迫积累之后，才会出现作物形态及绿度的变异，因此这类指数较适宜于干旱成灾的预警以及旱灾的评估。

5 结论与讨论

以农业干旱发生时所引起的若干地表特征变化为依据，分别从土壤水分、植被水分、冠层温度和作物形态四方面，对现有主要农业干旱遥感监测模型进行归纳总结，分析了各种模型的优缺点，以及各自的适用范围。其中土壤水分变化类指数比较适宜于农业旱情预警及土壤干旱型农业旱情的监测，这类指数中修正的垂直干旱指数 MPDI 可以较好地反映表层土壤水分的变化，并适宜于时序变化监测。冠层温度变化类指数不仅适宜于农业旱情预

警，更适宜于农业旱情监测；作物形态及绿度变化和植被水分变化类指数，较适宜于农业旱灾的预警以及灾后评估。

目前，大范围农业干旱的监测与预测以及干旱决策支持系统是国际上的研究方向之一。所述各种农业干旱遥感监测方法和指标各有优缺点，在理论上都不十分完善，如何实现植被、土壤信号的有效分离是目前农业干旱遥感监测面临的最大障碍。研究综合利用各种信息的农业干旱遥感监测新方法，改进传感器性能，使得用于监测土壤水分的传感器有较高的分辨率，同时选取对土壤水分较为敏感的波段，才能对提高农业干旱遥感监测精度有较大的促进作用。研究表明，尽管局地的反馈，特别是人类活动所造成的反照率、土壤水分的变化对农业干旱的发生有着相当的影响，但大范围的持续性干旱主要受制于大尺度地-气系统的异常反应。从能量平衡的角度出发，充分利用遥感所获取的下垫面信息，耦合大气模型和水文模型，从机理上探讨农业干旱的发生发展规律，进而对农业干旱的发生和发展进行监测与预测，建立相应的农业干旱决策支持系统，并及时发布信息，达到减灾和防灾的目的，是未来农业遥感干旱监测的发展方向和目标。

参考文献：

- [1] 田国良. 土壤水分的遥感监测方法 [J]. 环境遥感, 1991, 6 (2): 89-98.
- [2] 陈怀亮, 毛留喜, 冯定原. 遥感监测土壤水分的理论、方法及进展 [J]. 遥感技术与应用, 1999 (14): 45-47.
- [3] 刘志明, 张柏, 晏明, 等. 土壤水分与干旱遥感研究的进展与趋势 [J]. 地球科学进展, 2003, 18 (4): 576-583.
- [4] WASTON K, ROWEN L C, OFFIELD T W. Application of thermal modeling in the geologic interpretation of LR images [J]. Remote sensing of Environment, 1971 (3): 2017-2041.
- [5] PRICE J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28: 940-948.
- [6] 李杏朝. 微波遥感监测土壤水分的研究初探 [J]. 遥感技术与应用, 1995, 10 (4): 1-8.
- [7] 郑有飞, 徐芳, 詹习武, 等. 基于 AMSR-E 数据的被动微波遥感干旱指数研究 [J]. 南京气象学院学报, 2009, 32 (2): 189-196.
- [8] 金亚秋. 星载微波遥感在中国东北华北农田的辐射特征分析 [J]. 遥感学报, 1998, 2 (1): 19-25.
- [9] GHULAM Abduwasit, QIN Qiming, ZHAN Zhiming. Designing of the perpendicular drought index [J]. Environmental Geology, 2007, 52 (6): 1045-1052.
- [10] GHULAM Abduwasit, QIN Qiming, TEYIP Tashpolat, et al. Modified perpendicular drought index (MPDI): A real-time drought monitoring method [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007, 62 (2): 150-164.
- [11] 孙灏. 农业旱情遥感监测综合指标: 理论分析及应用 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2011.
- [12] 冯海霞, 秦其明, 蒋洪波, 等. 基于 HJ-1A/1B CCD 数据的干旱监测 [J]. 农业工程学报, 2011, 27 (13): 358-365.
- [13] 秦其明, 游林, 赵越, 等. 基于二维光谱特征空间的土壤线自动提取算法 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (3): 167-171.
- [14] 陈怀亮, 张红卫, 刘荣花, 等. 中国农业干旱的监测、预警和灾损评估 [J]. 科技导报, 2009, 27 (11): 82-92.

- [15] 王鹏新, 龚健雅, 李小文. 条件植被温度指数及其在干旱监测中的应用 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2001, 26 (5): 412–419.
- [16] 孙威, 王鹏新, 韩丽娟, 等. 条件植被温度指数干旱监测方法的完善 [J]. 农业工程学报, 2006, 22 (2): 22–27.
- [17] 于敏, 高玉中, 张洪玲. 地表温度–植被指数特征空间干旱监测方法的改进 [J]. 农业工程学报, 2010, 26 (9): 243–250.
- [18] 陈阳, 范建容, 郭芬芬, 等. 条件植被温度指数在云南干旱监测中的应用 [J]. 农业工程学报, 2011, 27 (5): 231–236.
- [19] 莫伟华, 王振会, 孙涵, 等. 基于植被供水指数的农田干旱遥感监测研究 [J]. 南京气象学院学报, 2006, 29 (3): 396–402.
- [20] 李喆, 谭德宝, 秦其明, 等. 基于特征空间的遥感干旱监测方法综述 [J]. 长江科学学院院长报, 2010, 27 (1): 37–41.
- [21] 韩丽娟, 王鹏新, 王锦地, 等. 植被指数–地表温度构成的特征空间研究 [J]. 中国科学 D 辑, 2005, 35 (4): 371–377.
- [22] 阿布都瓦斯提·吾拉木, 李召良, 秦其明, 等. 全覆盖植被冠层水分遥感监测的一种方法: 短波红外垂直失水指数 [J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37 (7): 957–965.
- [23] CECCATO Pietro, GDBRON Nadine, FLASSE Ste Phane, et al. Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1 Theoretical approach [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 82 (2/3): 188–197.
- [24] FENSHOLT Rasmus, SANDHOLT Inge. Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near– and shortwave infrared data in a semiarid environment [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 87 (1): 111–121.
- [25] 闫娜娜. 基于遥感指数的旱情监测方法研究 [D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所, 2005.
- [26] 陈维英, 肖乾广. 距平植被指数在 1992 年特大干旱监测中的应用 [J]. 环境遥感, 1994 (9): 106–112.
- [27] 孙丽, 王飞, 吴全. 干旱遥感监测模型在中国冬小麦区的应用 [J]. 农业工程学报, 2010, 26 (1): 243–249.
- [28] 张顺谦, 卿清涛, 侯美亨, 等. 基于温度植被干旱指数的四川伏旱遥感监测与影响评估 [J]. 农业工程学报, 2007, 23 (9): 141–146.
- [29] 李强子, 闫娜娜, 张飞飞, 等. 2010 年春季西南地区干旱遥感监测及其影响评估 [J]. 地理学报, 2010, 65 (7): 771–780.
- [30] 华瑾, 韦燕飞. 利用 MODIS 数据进行旱情动态监测研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23 (3): 55–57.
- [31] 张学艺, 张晓煜, 李剑萍, 等. 我国干旱遥感监测技术方法研究进展 [J]. 气象科技, 2007, 35 (4): 574–578.
- [32] 邬定荣, 刘建栋, 刘玲, 等. 基于区域气候模式与作物干旱模式嵌套技术的华北农业干旱监测预测 [J]. 科技导报, 2009, 27 (11): 33–38.

REVIEW OF AGRICULTURAL DROUGHT MONITORING MODELS

HU Wen – ying, LUO Yong – qin

(School of Tourism and Geography, Yunnan Normal University, Kunming 650092, Yunnan, China)

Abstract: Agricultural drought occurs in a number of surface features caused by changes in the basis, respectively, from soil moisture, vegetation moisture, temperature and crop canopy shape four aspects of the existing major agricultural drought remote sensing monitoring model, summarized, analyzed the various models the advantages and disadvantages, and their respective application. Where soil moisture class index suitable for agricultural drought warning and drought agriculture soil drought monitoring; canopy temperature class index is not only suitable for agricultural drought warning, more suitable for agricultural drought monitoring; crop morphology and vegetation greenness change and water change index are more appropriated for agricultural drought early warning and disaster assessment.

Key words: agricultural drought; remote sensing; monitoring models

论明代对云南岩溶地貌的地理探索与认识

马银行

(丽江师范高等专科学校, 云南 丽江 674100)

摘要: 地理探索与认识是古代人类扩大视野的重要途径。明朝在云南实施政治措施、军事行动、移民政策等, 为明代士人对云南地理考察与记载提供基础。明代士人游历滇云写下大量的诗歌、游记、史志等, 对云南地形地貌记在颇多, 其中对滇东、滇西地表、地下岩溶地貌描述详实。明代士人依据云南岩溶地貌类型不同对其分类记载, 并对岩溶地貌的形成原因初步探析。明人对溶洞的考察方法值得今人借鉴。旅游风气兴盛、政治措施得当、教育范围扩大、方志兴修等是明代云南岩溶地貌探索的重要原因。

关键词: 明代; 云南; 岩溶地貌; 地理探索

中图分类号: P931.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-7852(2013)04-0056-07

地理认知是人们对一定区域自然地理、人文地理现象、资源与其特征的观察、了解、熟悉与认知的过程, 它是人类认识自然、改造自然以及区域开发的知识前提^[1]。云南地形地貌复杂多样, 峰峦叠嶂, 水系旁杂, 河谷深切, 森林广布, 气候多样, 增加对云南地理探索的难度, 但并没有阻挡明人探索的步伐。本文拟从历史地理学角度, 结合历史学、人文地理学、旅游学等学科, 论述明代对云南岩溶地貌的考察与认识*。不当之处, 尚祈指正。

云南省是中国岩溶地貌比较发育的省份之一, 境内大部分地区都有不同时代的碳酸盐岩地层分布。滇东、滇东南、滇中、滇西南、滇西北等地区岩溶地貌发育, 其中有些地区广泛分布峰林、峰丛、石芽、暗河、溶蚀洼地、盲谷、溶洞和地下河等岩溶地貌^[2]。

1 明代对滇东地形地貌的考察与认识

1.1 明代对滇东地表岩溶地貌的记载与认识

云南府商山“其高数十仞, 多崖穴卷石, 撮土。可刊为洞隐, 可诛茅为室”^[3]。商山受雨水长期侵蚀, 岩穴较多, 崖壁出现嵯峨之状。在太华山顶徐霞客看到石芽遍地, “遂蹶颠, 则石萼鳞鳞, 若出水青莲, 平散竟地。峰端践侧愕而南……惟西南一峰最高。顶南石萼骈丛”^[4]。在寻找石城时, 发现极为奇特的石芽地貌, “其石更分枝簇萼、石皆青质黑章花纹, 廉利棱削, 与他山迥异”^[5]。在昆明与富民交界处徐霞客考察流水侵蚀山体地貌, “其峰北瞰三村溪而下, 溪由三村横啮北峰之麓, 破峡西出。峡深嵌逼束, 止容水不容人”^[5]。

楚雄府石鼓山“上有石竹列如鼓”**, 是对石

收稿日期: 2013-05-01; 修订日期: 2013-07-21.

作者简介: 马银行 (1980-), 男, 河南省平舆人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为历史自然地理.

* 笔者依据明代对云南管辖和云南地形地貌特征, 以元江谷地和云岭山脉南段的宽谷为界, 云南大致可以分为滇东、滇西两个部分。其中有些府州横跨界线, 则以首府所在区域划分。据此, 滇东主要包括云南府、楚雄府、曲靖府、临安府、广西府、武定府、寻甸府、姚安府、广南府、新化州、澂阳府等; 滇西主要包括大理府、鹤庆府、蒙化府、景东府、元江府、镇沅府、孟定府、孟艮府、丽江府、北胜州、永昌府、顺宁州、感崖宣抚司、镇康州、孟琚司、车里宣慰司、钮兀司等。

** (明) 李贤等. 明一统志 (卷 87) 文渊阁四库全书本.

鼓山石芽地貌特征的一种典型概括。在湿热的气候条件下,地表水沿崖表面和裂隙流动时所溶蚀出来的石质小沟,突出于溶沟之间的石脊称为石芽,而石林是裸露于地表的石芽形态之一。曲靖府石门山(今石林县)是典型发育最好的石林式石芽,“石笋森布十余里,望之如林,东西行者径其中,故曰石门”^[6]。《肇域志》记载石林地貌状况,“在州西平壤之中,石笋森密,周匝十余里,大者高百仞,参差不齐,望之如林,府仰侧植,千态万状,东西行者,皆穿其中,故曰石门”^[7]。它们挺拔林立,方圆数十里,蔚为奇观,是云南著名的旅游胜地之一。广南府莲花山“五峰连耸,诸小峰参差傍峙形如莲花”^{*}。曲靖府伯刻山“东北有多罗山,皆峰峦峻峭,怪石巉岩”^{*}。临安府义哀山“上多石笋”^{*}。据《寰宇通志》载,“特出万山之中,上多石笋绝顶平地千顷”^[8]。更为形象的记描述义哀山山顶石笋状况及分布面积。

广西府铁龙峰之脊,徐霞客发现大片石芽溶沟,“石骨棱棱,皆龙鳞象角也”^[4]。曲靖罗平州大多山体裸露于外,易受雨水、流水侵蚀、溶蚀,形成竖井、漏斗,“从岭上东向平行,其间多坠壑成窞,小者为罅井,大者为盘洼,皆丛木其中,密不可窥,而峰头亦多树多石,不若师宗皆土山茅脊也”^[4]。在曲靖亦佐县发现大片溶蚀洼地,“遂南向稍下,已渐转西,两旁多中洼下陷之穴,或深坠无底,或渚水成塘,或枯底丛笋,不一而足”^[4]。行经越州时发现埋藏式石芽因受雨水冲刷而裸露于地表,“其处土倾峡坠,崩嵌交错,而石骨露其中,如裂瓣缀行。其坠处皆流土,不可着足,必从石瓣中宛转取道。其石质幻而色异,片片皆英山绝品,惟是风鹤惊心,不能狎憩而徐赏之”^[4]。徐霞客前往放光、胜峰诸寺时,留心观察石级上受到流水侵蚀的现象,“梯乃自然石级,有叠蹬痕可以衔趾,而痕间石芒齿齿,著足甚难”^[5]。

1.2 明代对滇东地下岩溶地貌的考察与探索

云南府螺山潮音洞,“好事者曾焚炬行两日阻水而止”^[6]。潮音洞洞体宽广深邃,地下河水湍急。海源洞“中可容数百人,四壁削立,石乳倒垂,凝成幻象千状万态不可数计,其下有龙湫流水清浅,四时不竭,雨旱祷之辄应”^[9]。杨慎行径曲靖平夷卫时游览清溪洞,“面溪流,中窞深,苴火入之,

有浮图、龙象、芝朵、云英之像”^[9]。杨慎记载洞中的空间结构、光线、石乳等,就石乳形成原因提出独到见解,认为“皆石乳溜结者”。李中溪描述寻甸府排额洞内地貌,“自三岔河顺流而下,近河半里许,其洞深宽约二丈,高约一丈五尺许,有石笋、兽蹄、鸟迹之状”^[10]。

武定军民府武陵洞“在府城北夹甸西山中,深不可测,内有石人石兽,以火照之,则不敢语,语则雷甬则至”^[6]。广西府浚源洞,即浚水发源之洞,徐霞客专门考察该洞,细致描述洞内分层、石钟乳、石柱等地貌,“有三洞焉。上洞东南向,前有亭;下洞南向,在上洞西五十步,皆在前山之南崖。后洞在后山之北冈,其上如罅井。从井北坠穴而下二十步,底界而成脊,一穴东北下而小,一穴东南下而廓。此三洞之分向也。其中所入皆甚深,秉炬穿隘,屡起屡伏,乳柱纷错,不可穷诘焉”^[4]。广西府阿卢洞,“深黝不可穷,中有雕栏、宝塔、钟鼓、卧床、佛龕之异”^[9]。

滇东临安府“颜洞”是岩溶洞穴特征的典型代表,也是滇东游览胜地之一。明代游历、任官于此士人多考察探幽,并作志以记,其中不乏有对该洞岩溶地貌认识与见解的著述。临安府石岩山洞称为“颜洞”,以迁客颜闳所辟。原题“七游”,有三洞:“一曰水云,门前虚敞,可容数百人,浚水中河之水赴以为壑,架桥列炬而入,洞中石乳下垂,又有石作大士像,山水回合几二十里;一曰南明,上有两窍,阳光射入,见石床丹,从此愈进而景愈奇;一曰万像,山更峻绝,跻石蹬数十级,隐隐闻风雷声,石液凝结若□□”^[11]。《滇志》简要概括洞体空间、暗河、石钟乳、石柱、漏斗、冲积地貌等,并对石钟乳形成,提出自己的见解。明代解一经任临安知府时游览该洞,并以志详细记载洞内、外各种地貌景观,“初入洞口,上空下旷,可容数百人。钟乳悬柱,物象宛然,但水流低峡,无径可通。出而行里许,名曰:中洞,深远浑涵,绝非人境。结桥而渡,列炬而入,循水周旋,仰视穹窿,石笋倒垂,砥柱森立,蜿蜒如龙蛇,蹲距如虎豹。击石铿鏘,声如钟磬。云幡虹节,瑰形异象,绚烂奇怪,指顾不暇,莫可辩诘”^[12]。万象洞洞内岩溶地貌遍布,奇景万象,“洞形峻阔,岚霭层结,如云如霞,飞布其上。随蹬俯下,度石梁逾沙峤、

^{*}(明)李贤等.明一统志(卷86、卷87).文渊阁四库全书本.

复危石,借火光而观,听窅焉者,隐隐风雷声;环峙者千态万状,愈深愈远,愈见愈奇,始焉欢忭,继而踊跃,既而骇愕。其中,状若丘壑者八九”^[12]。“上洞崆峒,广高如大厦,深入莫测。内巧石盘迂,如龙,如柱,如钟,如磬,铿然有声。持炬可行数里。中洞益广阔,石如佛像无数,乳垂注下洞,有溪泉涌出,甚清洁,内多鱼虾。然水去来无时,一岁中,常一再至”^[12]。解一经详细记述临安石岩山岩洞、南明洞、万象洞及其龙山洞的分布、位置、光线、空间、地下河以及洞内千奇百状的岩溶地貌,并于1541年游临安府阿卢仙洞,详细记载洞穴的洞口、石柱、石钟乳、石幔、石笋、边石堤及洞穴中的溪流状况等,又一次详细探寻临安府岩洞^[12]。明人张桂胤于1567年游临安府南明、万象、水云三洞,并描述洞中胜况,他们探奇测幽于洞中的岩溶地貌世界^[12]。刘文征也扼要记载三元洞、龙洞山洞内地貌发育^[11]。徐霞客专门对颜洞作以全面考察,记述洞穴中伏流来龙去脉、洞穴中各种岩溶地貌等^[6]。对三洞的考察与记述使我们认识到明代士人对岩溶洞穴的探幽之情,也是对岩溶地貌考察认识的重要体现。

2 明代对滇西岩溶地貌的记载与认识

2.1 明代对滇西地表岩溶地貌的记述与认识

大理天生桥,“在大理西南三十里洱水下趋处也”^[9]。剑川石宝山喀斯特地貌发育良好,是滇西岩溶地貌的代表。据《滇略》记载,“上有灵泉状如仰白,纔容斗水百人挹之不竭,不挹亦不盈也。洞中有石佛、石栈、石井、石人以至狮、象、钟、鼓、蛙、蛇之属遍于陵谷皆石也”^[9]。李元阳兴趣盎然探访此山,并把岩溶地貌特征描述的栩栩如生,“缘崖诸石像如大士罗汉者甚多,皆若雕镂然,及省其手足指爪剥折之处,又皆空洞如人骨然,乃知其为天成也”^[9]。徐霞客考察剑川州时发现石芽地貌,“峡中危峰内簇,瓣分蒂结,中空如莲房”^[13]。在剑川宝山上,徐霞客记述岩溶地貌特征,“中洼为土塘者二而无水。洼之南,皆石坡外突,平度如塘堰,而石面有纹如龙鳞,有小洼嵌其上,皆浅而有水”^[13]。也探寻竖井漏斗地貌,“脊东亦盘为中洼之岩,脊悬西峡东洼之间……而东界

亦渐夹成洼,洼中石穴下陷,每若坑若井”^[13]。在鹤庆也发现石芽地貌发育,“前多巨石嶙峋,如芙蓉簇萼,其色青殷,而质廉利,不似北来之石,色赭而质厉也。其嘴东临平川,后耸石峰,嘴下石骨棱棱,如侧刃列愕,仰眺其后耸石峰,万萼云丛,千葩蜃结”^[13]。徐霞客记载邓川州鱼油洞石芽、暗河地貌,“石笋片如芙蓉裂瓣,从其隙下窥之,多有水漱其底,盖其下皆潜通也。稍西上,有中洼之岩当路左,其东崖漱根,亦有水外通,与海波同为消长焉”^[13]。在永昌发现竖井发育和溶蚀盆地,“而路左忽坠一坑,盘阱而下者二丈,有水沉其底,长二丈,阔八尺,而狭处仅二尺,若琵琶然,渊然下嵌”^[14]。“得一中洼之潭,有水嵌其底,四面皆高,周遭大百亩,而水无从出”^[15]。

2.2 明代对滇西地下岩溶地貌的考察与认识

大理青华洞洞内岩溶湖地貌发育良好,成为地方农业灌溉、士人游览之处。据《滇志》载:“中涵巨浸,流灌田亩,其幽邃以待人”^[3]。大理观音洞洞内岩溶地貌奇特,石笋发育良好,“崆峒岭岬奇诡,不可名状,中有天然石观音像。”天启《滇志》扼要记载云南县洞穴,“阔十余丈,悬岩滴乳,愈深愈奇,上有石窍曰天窗,日月光照洞中,其广可促十席”^[3]。顺宁州琼英洞洞穴石钟乳、石笋地貌发育,“在西粤山洞肖城阙,广约十丈许,嵌空奇崛,上有青莲华盖朵朵,下躺中有石钟、鼓磬,击之琳琅深邃,莫穷幽致万状,盖西南之奇观也”^[10]。永昌芭蕉洞发现记载较早,芭蕉洞“洞内石色如彩盖之状。”*《云南通志》载芭蕉洞为“其中石乳灿烂,有如莲、如钟、如伞之异,又名石花”^[16]。

鹤庆府青玄洞洞景奇秀,色彩斑丽,石乳悬缀,是百姓游乐之地,“两壁皆青苔,彩错如锦,上垂石乳,悬缀奇秀,郡人每岁六月二十六执火入洞以游”^[6]。杨慎探访并记载青玄洞漏斗地貌,“岐左有青华洞,中极宽衍,天窍漏日”^[9]。蝙蝠洞也是乳石奇巧,“洞深广二十余丈,中有乳石如珠,清寒奇秀”^[18]。徐霞客记载黑龙潭洞洞口植被、地下河、岩溶瀑布、漏斗等地貌,“东瞰澄波,西悬倒壁,洞流漱其下,崖树络其上,幽趣萦人,不暇他顾。已乃披隙入洞,洞中巨石斜骞,分流堰派,曲折交旋,一洞而水石错落,上如悬幕,下若分

* (明)李贤等.明一统志(卷87)文渊阁四库全书本.

莲，蹈其瓣中，方疑片隔，仰其顶上，又觉玄同。入数丈，后壁犹有余光，而水自下穴出，无容插入矣”^[13]。李中溪描述无量山中石洞洞中栖息动物及地貌景观，“深不可测，曾有人执火而入，遇大蝙蝠灭火而返，另一在哈蒲路村，其中有石鼓石床，人多异之”^[10]。洱源清源洞是当地著名溶洞，每年春季探幽者甚众，徐霞客行经此地持松炬考察清源洞，记述洞穴空间、石柱、地下河、边石堤等地貌，通过交谈而知石钟乳发育速度，“路分为二，下穿者为穴，上跻者为楼。楼之上复分二穴……而中多直竖之柱，或连枝剖楹，或中盘旁丛，分合交错，披隙透窾，颇觉灵异，但石质甚莹白，而为松炬所薰，皆黑若烟煤，着手即膩不可脱。盖其洞既不高旷，烟雾莫散，而土人又惯用松明，便于伛偻，而益增其煤膩。盖先是有识者谓余曰：‘是洞须岁首即游为妙，过二月辄为烟所黑。’余问其故，曰：‘洞内经年，人莫之入，烟之旧染者，既渐退而白，乳即钟乳石之新生者，亦渐垂而长，故一当新岁，人竞游之，光景甚异。从此至二月，游者已多，新生之乳，既被采折，再染之垢，愈益薰蒸，但能点染衣服，无复领其光华矣。’余不以其言为然。至是而知洞以低故，其乳易采，遂折取无余，其烟易染，遂薰蒸有积，其言诚不诬也。透柱隙南入，渐有水贮柱底盘中。其盘皆石底回环，大如盆盎，颇似粤西洞中仙田之类，但不能如其多也”^[13]。徐霞客在丽江古岗也发现溶洞、地下河与岩溶湖统一地貌，“其山有数洞中透，内贮四池，池水各占一色，皆澄彻异常，自生光彩”^[13]。

尽管明人对云南地理认识已从宏观印像到微观地形地貌考察与记载，但在人们印像中云南依然是荒远之地，据《咸宾录》记载：“其地遐方杂落，虽各异险，然皆叠山崇障，泄涧紫纡，城郭人民，夷居什七”^[17]。

3 明人对云南岩溶地貌探索与认识的特点

3.1 明人对云南岩溶地貌分类齐全

明代士人对云南岩溶地貌考察全面、系统，记载详实，地貌类型分类齐全，对云南岩溶地貌特征、成因及地貌分区等作详细的描述。宦游至云南者对岩溶地貌探索也取得长足的发展，如王士性等；地方士人对云南岩溶地貌记载生动确切，多以

诗歌、游记形式记载岩溶地貌特征，如李元阳、解一经等。同时明人对洞穴进行探险，如云南府螺山“下有洞，深黑莫测，尝有人燃炬入其中，行两日阻水而返”^[9]。大理清华洞“昔人举火行数里，遇大蝙蝠，灭火而还”^[9]。明人探险岩洞时也采取较为科学的方法，“有洞阔十丈，深邃莫穷，悬岩滴乳愈深愈奇，上有石窍漏光，名曰天窗嵌空，支分入入，则糜糠以志其返”^[18]。笔者将明人对云南地貌记载举例如表1。

从表1统计可知，明代士人对云南岩溶地貌类型分类基本全面，其中《徐霞客游记》记载岩溶地貌类型最多。由于徐霞客足迹布及云南各地，所到之处记载详细，不足者其他志书、诗歌补之，因此明代士人游记及方志等为全面认识明人对云南岩溶地貌的考察与探索奠定基础。

3.2 明人对岩溶地貌成因探析和对岩溶地貌危害的记载

明代对云南岩溶地貌的描述较为详细，对其成因进行科学探索与认识。杨慎考察曲靖平夷卫清溪洞时，不但记述洞内岩溶地貌，而且探究其成因，认为“皆石乳溜结者”^[9]。刘文征考察临安颜洞，对石钟乳的形成提出自己的见解，“石液凝结若□□”^[11]。徐霞客对天生桥成因进行科学的解释，“始询所为天生桥、落水洞之道。又知天生桥非桥也，即大落水洞透穴潜行，而路乃逾山陟之，其山即在正东二里外。余随其指，先正东寻天生桥。再执途人问之，始知即前平底峡中东上之坡，是为天生桥，逾之即为枯柯者”^[15]。也对石笋、石柱的形成提出自己的见解，“洞石皆椶柱绸缪，纓幡垂飏，虽浅而得玲珑之致。崖间有悬干虬枝，为水所淋漓者，其外皆结肤为石。盖石膏日久凝胎而成，即片叶丝柯，皆随形逐影，如雪之凝，如冰之裹，小大成象，中边不欹，此又凝雪裹冰，不能若是之匀且肖者……结体垂象，纷若赘旒，细若刻丝，攢冰镂玉，千萼并头，万蕊簇颖，有大仅如掌，而笋乳纠缠，不下千百者，真刻楮雕棘之所不能及”^[15]！

地表石灰岩石受雨水侵蚀而溶解，甚至影响人们生活的事件频频发生，据《英宗实录》载：“正统四年十二月辛丑，云南大理府云南县奏：‘县治临水，坑洞每岁多雨，墙垣冲颓，虽即修筑，辄复损坏’”^[4]。徐霞客在游历棋盘山时，发现竖井，“南有二石平度置放，中夹为穴，下坠甚深，僧指为仙洞，昔有牧子坠羊其中，遂以石填塞之”^[5]。

表 1 明代士人对云南岩溶地貌记载分类表

Tab. 1 In the Ming Dynasty Scholars on Karst records classification of Yunnan

岩溶地貌类型	考察地点	岩溶地貌记载举例	文献出处
石芽	楚雄石鼓山	上有石竹列如鼓	《明一统志》卷 88
竖井	昆明棋盘山	南有二石平度置放，中夹为穴，下坠甚深，僧指为仙洞，昔有牧子坠羊其中，遂以石填塞之	《徐霞客游记》卷 6
溶蚀洼地	师宗州	始望见东北冈上有寨一屯，其前即环山成洼，中有盘壑，水绕其底而成田塍，四顾皆高，不知水从所出	《徐霞客游记》卷 5
岩溶槽谷	师宗州	峡两岸皆亘壁，其上或中剖而成峡，或上覆而成梁，一坞之中，倏断倏续，水亦自东南流穿盘壑，但壑中不知何泄	《徐霞客游记》卷 5
石林	曲靖府	在州西平壤之中，石笋森密，周匝十余里，大者高百仞，参差不齐，望之如林，俯仰侧植，千态万状，东西行者，皆穿其中，故曰石门	《肇域志》
岩溶盆地	永昌府	透峡西出，则其内平洼一围，下坠如城，四山回合于其上，底圆整如镜，得良畴数千亩，村庐错落，鸡犬桑麻	《徐霞客游记》卷 8
天生桥	永昌府	再执途人问之，始知即前平底峡中东上之坡，是为天生桥，逾之即为枯柯者	徐霞客游记》卷 9
边石堤	临安三元洞	奇石异状，下如田畴，一水贯穿，凉沁心骨	《滇志》卷 2
溶洞	云南潮音洞	好事者曾焚炬行两日阻水而止	《广輿记》卷 21
石钟乳	昆明海源洞	中可容数百人，四壁削立，石乳倒垂，凝成幻象千状万态不可数计	《滇略》卷 2
石笋	临安漾哀山	特出万山之中，上多石笋绝顶平地千顷	《寰宇通志》卷 112
石柱	临安石岩山	仰视穹窿，石笋倒垂，砥柱森立，蜿蜒如龙蛇，蹲距如虎豹	《云南古代游记选》
石幔	永昌黑龙潭洞	洞而水石错落，上如悬幕，下若分莲，蹈其瓣中，方疑片隔，仰其顶上，又觉玄同	《徐霞客游记》卷 7
岩溶湖	丽江古岗	其山有数洞中透，内贮四池，池水各占一色，皆澄彻异常，自生光彩	《徐霞客游记》卷 7
暗河	临安颜洞	钟乳悬柱，物象宛然，但水流低峡，无径可通	《云南古代游记选》

4 明代对云南岩溶地貌认识的原因探析

4.1 明代旅游风气的兴盛

明王朝建立后，采取一系列稳定社会的措施，随着生产力的恢复和发展，社会分工不断扩大，商品经济日渐繁荣，到明朝中后期，资本主义萌芽出现。但社会动荡不安，统治集团内部争权夺势，党派迫害激烈。经济和政治领域发生如此剧变，在思想界也有一定反映：一方面统治阶级为了维护统治利益，提倡程朱理学，通过科举考试选拔人才；另一方面，社会思想出现松动，从空谈性理转向经世致用，崇尚实学的思潮逐渐形成。许多知识分子逐渐摆脱程朱理学的思想束缚，开始走出书斋，寄情于山水，不少士人观察自然与社会，写下数量众多的地理游记、山水诗歌，有力的推动我国古代地理学向前发展。王士性撰写《广志绎》中对云南山水记载颇多，徐霞客晚年西南万里遐征，考察西南各

种地理现象，在系统观察的基础上，探究其背后的规律。除徐霞客、王士性之外，探山访水游历云南之士也比比皆是，如杨慎、李元阳等，他们写下大量的山水游记诗作，为今天探讨明代对云南岩溶地貌的认识提供珍贵的资料。

4.2 明朝在云南地区发展教育

明王朝在武力经略云南的同时也实施民生教化，大规模兴建学校，提倡儒家教育。元代在云南地区设置十余所官学，主要集中在云南、大理、临安等地。明代继承元代教育，据《滇志》统计明代云南设置 58 儒学、45 书院、160 社学^[19]。明代云南教育广泛开展，取得显著成效，“……本朝列圣，喜意文教，庙学之盛，六十有余，士出其门者斌斌焉，得于广厉者深，而奋于郁紆者久也。因念六十余庙学之外，尚有有郡县而无学者，有学而籍才于傍邑者……又念吾郡徧小，冠冕列城，礼乐文章，尤称首善”^[20]。明代在云南大规模兴建学校，使知识分子士绅阶层迅速崛起、壮大，对边远、封闭、落后的云南社会产生深远的影响。明朝主观上为培

养统治人才，但客观上促进明代对云南地理的探索。其原因有三：一、培养大批的知识分子，文人雅士多著书立说，如嘉靖进士李元阳，撰写《黑水考》一文，编纂《云南通志》和《大理府志》等方志。二、作为知识的传播者，一方面传播文化，另一方面也撰写地方史志，如赵彦良修《大理志要》^[9]等。三、通过教育使文化广泛传播，加深人们对家乡地理的熟知，徐霞客初到寻甸府时向儒者借阅《寻甸府志》，“出门，左有肆，中二儒冠者，问图、志，以有版可刷对”^[4]。

4.3 明代对云南采取的政治措施

洪武十四年（1381年），朱元璋派30万大军横扫统治云南残元势力，但各地不服从明朝统治的土著居民起兵反抗，明军花费很大力气平定叛乱。鉴于此，朱元璋派遣大量军队驻扎云南。明代军制设置为5600人为一卫，1120人为一个千户所，据载洪武年间云南地区设有15卫，2个千户所，估计留下的军队有86000余人。洪武中后期先后十次调兵入滇，同时军队携带大量家眷，驻滇人数达60余万^[21]。大量军队及其家眷的迁入，为云南经济开发带来新生的劳动力，也使中原文化在云南地区得以广泛传播。中原百姓的定居，打破某些地区因少数民族单一而封闭的局面，为中原士人游历考察提供了便利。

明初承元代的土司制度，并进一步发展完善。明初至明代中期总体来说土司在保疆安民方面发挥重要的作用，改土归流实施甚少，而明朝中后期土司弊端逐渐显现，明政府大规模实施改土归流政策，明代在云南省县以上的土司改流26家^[22]。改土归流后，中央派遣流官治理，官员躬身政务，踏看辖区的山川风物，为方志的撰修提供基本条件；同时有利于文人雅士深入土司统治区域考察探索，加快地理探寻与认识的步伐。

战争是古代民族交往的重要方式之一。在明代因西南边疆不稳，多次出兵讨伐。明代广西府十八寨多崇岗峻岭，盗贼出没其间，祸害一方，政府派兵平息。为了更好的经略十八寨，踏勘地形，决定设置一千户所。云南监察御史罗玉议称：“……既该各委官踏勘，得村名召白陆，地周围六百三十余亩，川原广衍，陵麓回萦，北坐南朝，左环右抱，明堂映耀，活水周流，土脉肥饶，草木丛茂……”^{*} 因此古代战争是消除民族隔阂、推动地理

探索的重要途径。

4.4 明代方志兴修与地方自然地理的记载

方志中记载大量的山川、风俗、建制沿革、名人事迹、形胜、土产、户口等目类，具有极强的综述性、地域性和实用性特点，被人们称为地方百科全书。明朝在建国伊始诏令天下纂修方志，由于统治者提倡，方志编纂出现繁盛的局面。明代中央修撰国家性地理类书颇多，通省志书在明代撰修也十分盛行，其中云南编撰最多，共9种，现存5部。府州县纂修方志也风靡一时，目前云南现存省府州县志10部^[23]。各类方志都把地理作为重要一个门类，如天启《滇志》总分14类，类下分目，共107目，主要有地理志、旅途志、赋役志、兵食志、学口志、官师志、人物志、祠祀志等。在地理志中，分为地图、星野图、沿革大事考、沿革郡县名、疆域、形势、山川、风俗、物产、堤闸、桥梁、宫室、古迹、冢墓14目^[3]。在地理志中，山川、形胜和疆域等是涉及自然地理较为广泛的目类，记载政区地理位置、山川湖泊分布、地表地下矿产资源等，尽管记述详略不一，但都精湛论述某一区域自然地理概况。如《滇志》记载临安府阳暮山，“一名龙洞山，腹有三洞，上洞空峒高广如大厦，深入莫测，巧石盘纡，持炬行数里至木梯处，人多不敢入；中洞愈广阔，有石如佛像者甚多；下洞有溪泉涌出，复多鱼虾，水去来无时，一岁中常一再至”^[3]。阳暮山的岩溶地貌在其它史志、游记及诗歌中记载甚少，《滇志》中对阳暮山洞穴内的岩溶地貌有如此精彩描述，弥补其它史料之不足。

明代从中央到地方编修方志数量巨大，加快明代人们对本区域地理的熟知。由于史书、诗歌、游记对某一区域的专门地理记述不多，方志记载简繁不一，其史料价值弥足珍贵。因此大规模方志撰修是人们对云南地理认识成果的总结。

5 结论与讨论

明人对云南岩溶地貌的进行了全面的考察与广泛的探索，对岩溶地貌的类型进行科学、合理的分类，并对岩溶地貌的形成进行了科学的解释。明代士人对岩洞的考察采取了较为科学的方法，对今天岩洞科考具有一定的借鉴意义。总之，明代对云南

^{*}（明）何孟春：何文简疏议（卷8），文渊阁四库全书本。

岩溶地貌考察取得可喜的成就,这取决于明朝在云南采取政治措施得当、社会风气转变、地方教育发展和地方志撰修等。这些成绩的取得,填补了人类

对云南岩溶地貌发现、认识进程中的空白,在中国地理学发展史中具有重要的地位。

参考文献:

- [1] 马强. 唐宋时期中国西部地理认识研究 [M]. 北京: 人民出版社, 2009: 1.
- [2] 云南省地方志编纂委员会. 云南省志 (卷1) [M]. 昆明: 云南人民出版社, 1998: 247.
- [3] (明) 刘文征. 滇志 (卷2) [M]. 古永继点校. 昆明: 云南教育出版社. 1991: 4-79.
- [4] (明) 徐弘祖. 徐霞客游记 (卷5下) [M]. 褚绍唐、吴应寿整理. 上海: 上海古籍出版社. 1982: 688-744.
- [5] (明) 徐弘祖. 徐霞客游记 (卷6) [M]. 上褚绍唐, 吴应寿整理. 海: 上海古籍出版社, 1982: 771-830.
- [6] (明) 陆应阳. 广舆记 (清) 蔡方炳增辑 (卷21) [M]. 北京: 北京出版社. 1997: 463-475.
- [7] (清) 顾炎武. 肇域志 [M]. 上海: 上海古籍出版社. 2004: 2371.
- [8] (明) 陈循. 寰宇通志 (玄览堂丛书续集), (卷112) [M]. 国立中央图书馆民国36年影印本.
- [9] 方国瑜. 云南史料丛刊 (卷6) [C]. 昆明: 云南大学出版社. 2000: 678-809.
- [10] (明) 李中溪. 云南通志 (卷4) [M]. 兰州: 兰州大学出版社. 2003: 104-109.
- [11] (明) 刘文征. 滇志 (卷2) [M]. 昆明: 云南教育出版社. 1991: 78-79.
- [12] 于希贤, 沙露茵. 云南古代游记选 [M]. 昆明: 云南人民出版社. 1988: 136-141.
- [13] (明) 徐弘祖. 徐霞客游记 (卷7) [M]. 褚绍唐, 吴应寿整理. 上海: 上海古籍出版社, 1982: 865-920.
- [14] (明) 徐弘祖. 徐霞客游记 (卷10) [M]. 褚绍唐, 吴应寿整理. 上海: 上海古籍出版社, 1982: 1074.
- [15] (明) 徐弘祖. 徐霞客游记 (卷9) [M]. 褚绍唐, 吴应寿整理. 上海: 上海古籍出版社, 1982: 1022-1045.
- [16] (明) 李中溪. 云南通志 (卷2) [M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2003: 68.
- [17] (明) 罗日葵. 咸宾录 [M]. 北京: 中华书局. 1983: 181.
- [18] (明) 李中溪. 云南通志 (卷3) [M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2003: 50-89.
- [19] (明) 刘文征. 滇志 (卷9) [M]. 古永继点校. 昆明: 云南教育出版社, 1991: 285.
- [20] (明) 刘文征. 滇志 (卷8) [M]. 古永继点校. 昆明: 云南教育出版社, 1991: 275.
- [21] 方铁. 西南通史 [M]. 郑州: 中州古籍出版社. 2003: 574.
- [22] 龚荫. 中国土司制度 [M]. 昆明: 云南民族出版社. 1992: 464-747.
- [23] 中国科学院北京天文台. 中国地方志联合目录 [M]. 北京: 中华书局. 1985: 819-845.

GEOGRAPHICAL INVESTIGATION AND UNDERSTANDING OF THE YUNNAN KARST LANDFORM IN THE MING DYNASTY

MA Yin-hang

(Lijiang Teachers College, Lijiang 674100, Yunnan, China)

Abstract: Geographical exploration and understanding was an important way to expand the horizons of ancient human. The Ming Dynasty political measures, military action, immigration policy, provides the basis for the Yunnan geographical investigation and records for the Ming Dynasty scholar. Ming Dynasty scholars traveled the Yunnan wrote lots of poems, blogs, Shi Zhi, of Yunnan landform in eastern Yunnan, western Yunnan a lot, which on the surface, underground karst landform describe detailed. Ming Dynasty scholars on the basis of Yunnan karst landforms on the classification of different types of records, and the formation of karst landforms of reason. Study on the method of Ming cave worthy of reference. Tourism atmosphere of prosperity, political measures properly, to expand the scope of local education, irrigation was the main reason that the Ming Dynasty Yunnan karst exploration.

Key words: Ming Dynasty; Yunnan; karst landform; geographical exploration

澜沧江干流大型规划电站影响区关键人文生态 对象识别与敏感度评估

李晓波, 冯彦

(云南大学 亚洲国际河流中心、云南省国际河流与跨境生态安全重点实验室, 云南 昆明 650091)

摘要: 在对澜沧江中上游干流规划电站(苗尾水电站以上)开发影响区实地调查、文献收集整理的基础上,通过确定影响区内4个县16个乡镇范围内关键人文生态对象,利用ARCGIS和Google earth软件分析技术,并用线性加权综合法分析关键人文生态对象的重要性和地域分布特征,就其对水电开发的敏感度进行5级评估,得出主要结果:(1)关键人文生态对象包括6类:文物保护单位、传统村落、特色小镇、非物质文化遗产、风景名胜区和A级景区、历史文化名镇名村;(2)康普乡和石登乡的敏感度最高,兔峨乡和功果桥镇次之,而巴迪乡、维登乡、攀天阁乡、中路乡、营盘镇和苗尾乡的敏感度最低。

关键词: 澜沧江;水电开发;识别;敏感度;评估

中图分类号: G07 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7852(2013)04-0063-04

水电投资项目带来的经济利益和环境利益之间的冲突一直没有得到妥善的解决^[1]。随着中国加快建设水电项目的脚步,水电开发的社会影响成为了继环境影响之后的一个热点问题。大型建设项目会改变当地的生产、生活、社会关系,其产生的社会效益和社会影响可以是短期的,也可以是长期的。但是,其带来的负面社会影响往往都是隐性的,短期内无法显现。社会影响评价是一种对项目产生的社会相关因素进行综合效益、后果评估的技术和手段,它应突出预测作用和社会后评价,同时它还特别关注谁得谁失以及怎样减少社会损失的问题;而从和谐发展观和科学发展观角度出发的水利水电项目社会影响评价,强调项目与社会的相互适应性,并在项目建设的全过程中,要以人为本,坚持协调观,坚持可持续发展观^[2-5]。

专家、学者对水电站社会影响的研究往往集中在移民、补偿和电站建设与当地经济发展状况问题上,或者就其中某一个具体方面进行阐述分析。魏传勇分析了蒙江双河口水电站移民安置长期补偿机制的成因和效果,并测算了实行长期补偿的经济效益^[6]。张华山和周现富认为“可持续性生计”分析框架能够从多个维度解释造成水库移民贫困的原因^[7]。涉及人文生态对象的部分往往是夹杂在其它社会问题中提出来的。孙海兵指出白鹤滩水电站移民实物指标调查的内容应该包括农村、城市集镇和专业项目3个方面^[8]。大多数关于人文生态对象的部分往往只是阐述对象的分布及其保护价值与历史意义。

本文通过分析评估云南澜沧江干流大型规划电站影响区关键人文生态对象的敏感度,分析得出哪

收稿日期: 2013-06-03; 修订日期: 2013-08-05.

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2011BAC09B07和2013BAB06B03)。

作者简介: 李晓波(1987-),男,陕西省咸阳市人,硕士研究生,主要研究方向为河流健康。

* 通讯作者。

些对象对电站项目比较敏感,从而根据对象得出影响区域敏感度的高低情况,以便在发展经济的基础上,更有针对性的保护文化遗产、文物古迹和生态环境,加快地区全面进行可持续发展。

1 研究区概况

本文以澜沧江干流上的苗尾水电站以北至西藏与云南交界处为研究区,其间包括7个大型规划电站:古水、乌弄龙、里底、托巴、黄登、大华桥、苗尾。依据澜沧江中上游梯级水电环境影响评价书,并参考2010年调整后的云龙县行政区划图,7个电站影响区涉及3个州4个县的16个乡镇(表1)。

表1 研究区涉及乡镇情况
Tab. 1 The townships of the research area

涉及州	涉及县	涉及乡镇名称	乡镇数量 /个
迪庆州	德钦县	佛山乡、云岭乡、燕门乡	3
	维西县	巴迪乡、叶枝镇、维登乡、康普乡、白济汛乡、攀天阁乡、中路乡	7
怒江州	兰坪县	中排乡、石登乡、营盘镇、兔峨乡	4
大理州	云龙县	苗尾乡、功果桥镇	2

2 关键人文生态对象识别

“人文生态对象”是指工程建设的环境影响评价与社会影响之间相互关联的内容,其主要目标是筛选出产生和发展于一定区域环境内的重要人文地理景观对象,其应体现具有历史价值和现实社会经济发展意义的区域性特征,并服务于工程建设之社会影响的定性定量评价。

基于以上认识,通过咨询相关社会及生态领域专家的意见,将研究区内人文生态对象确定为:文物保护单位、传统村落、特色小镇、非物质文化遗产、风景名胜与A级景区、历史文化名镇名村和居民点共7个类别。本文依据研究进展情况,主要对前6类进行统计、分析和评价,而水库建设影响区内居民点的发展现状及未来发展潜力的评价是本研究的后期工作。通过查阅相关文献和实地调查,收集研究区所涉及4县的相关信息和数据资料,从而获得研究区16个乡镇

内关键人文生态对象共99处。

2.1 文物保护单位

文物保护单位是指古文化遗址、古墓葬、古建筑、石刻、石窟寺、壁画、近现代重要史迹和代表性建筑等一些不可移动的文物,它们具有特殊的历史、艺术、科学价值^[9]。国务院和各级政府根据其历史价值,将其分为国家级、省级、市、县级4级。16个乡镇内均有文物保护单位分布,主要集中在佛山乡、白济汛乡、云岭乡、功果桥镇、巴迪乡。

2.2 传统村落

中国历史文化源远流长,村落是祖先智慧的结晶,是物质文化遗产和非物质文化遗产的结合体,它对中国传统文化延续和发展起着巨大的作用。然而,大量的传统村落正在逐渐消失,据统计,中国的传统村落每年递减7.3%,平均每天消失1.6个^[10]。为了遏制该现象的继续发生,住房城乡建设部,文化部和财政部根据《住房城乡建设部等部门关于印发传统村落评价认定指标体系(试行)的通知,在(建村〔2012〕189号)文件附件中公布了646个首批中国传统村落名单,依此来呼吁开展保护传统村落的工作。研究区内分布传统村落共15处。佛山乡、云岭乡、叶枝镇、苗尾乡和功果桥镇5个乡镇各有2处,巴迪乡、康普乡、维登乡、攀天阁乡和中排乡各有1处。

2.3 特色小镇

为了充分开发云南省各地区的资源潜力,促进城乡统筹发展,云南省人民政府办公厅公布了关于调整特色小镇的通知(云政办发〔2011〕237号),将云南省210个特色小镇调整分为现代农业型、工业型、旅游型、商贸型、边境口岸型、生态园林型6个类型。云龙县的旧州镇(功果桥镇)和维西县的叶枝镇被选为现代农业型特色小镇。

2.4 非物质文化遗产

非物质文化遗产是中国文化事业的一个重要组成部分,它的存在确保了后人对中国传统文化的研究和继承。国务院先后公布了3批国家级非物质文化遗产名录的通知(国发〔2006〕18号)、(国发〔2008〕19号)、(国发〔2011〕14号)。云南省相关部门于2006年和2009年先后公布了两批非物质文化遗产名单(云政发〔2006〕75号)、(云政发〔2009〕152号)。研究区共涉及国家级和省级非物

质文化遗产7处。国家把非物质文化遗产分为民间文学、传统音乐、传统舞蹈、传统戏剧、曲艺、传统体育游艺与杂技、传统美术、传统技艺、传统医药和民俗共10类。云南省把非物质文化遗产分为濒危民族语言文字、文字、音乐、舞蹈、戏曲、曲艺、美术、传统手工技艺、传统礼仪与节日、习俗、传统医药、传统文化保护区、民族民间传统文化之乡等10多项。由于非物质文化遗产流动性较强,多数没有固定的分布范围。方便起见,把非物质文化遗产发源地或者其传承人长期所在乡镇作为非物质文化遗产的具体位置进行统计。研究区内国家级非物质文化遗产共2项,分别是叶枝镇的“阿尺木刮”,石登乡的“普米族搓搓”。省级非物质文化遗产共6处,它们分布在云岭乡、叶枝镇、石登乡,以及中排乡、功果桥镇。

2.5 风景名胜區与A级景区

住房与城乡建设局管理下的风景名胜区,按其价值可以分为国家级、省级和市县级;旅游局开发管理的A级景区,其重要程度由高到低分为AAAAA级,AAAA级,AAA级,AA级和A级。研究区共有2处,都分布在云岭乡。

2.6 历史文化名镇名村

中国首批历史文化名镇名村名单是2003年国家文化局和建设部一同评选的,到目前为止,国家一共公布了5批中国历史文化名镇名村。云南省相关部门也于2007年和2010年依次公布了两批云南省历史文化名镇名村名单。研究区内涉及有3处,分别是维西县叶枝镇,燕门乡茨中村和云岭乡雨崩村。

3 关键人文生态对象敏感度评估

基于电站建设对以上关键对象的影响程度以及人文生态对象的保护级别或重要性级别,综合评价各乡镇对电站建设的敏感度。

3.1 基于关键人文生态对象重要性的敏感度评估

依照各类关键人文生态对象的保护级别(文物保护单位、非遗项目)、重要性级别(A级景区),汇总5个级别(国家级、省级、州市级、县区级和未定级)的对象数量,结合各级别对象在研究区内各县和各乡镇的分布情况,确定关键人文生态对象的5个敏感度,即:极高度敏感、高度敏感、中度

敏感、轻度敏感和潜在敏感。

其结果表明:研究区内共有极高敏感度对象4个,分布于4个乡镇,依次为:燕门乡、康普乡、叶枝镇、石登乡;高度敏感对象共16个,分布在以下8个乡镇:云岭乡、叶枝镇、功果桥镇、佛山乡、燕门乡、中排乡、石登乡、兔峨乡;中度敏感对象共1个,分布在兰坪县的石登乡;轻度敏感对象共42个,除燕门乡和兔峨乡之外,其余各县均有分布,功果桥镇、白济汛乡、叶枝镇、中排乡轻度敏感对象占总数的47.6%;潜在敏感对象数量共36个,占全部关键人文生态对象总数的36.4%。

3.2 基于垂直高差的关键人文生态对象敏感度评估

水电站对关键人文生态对象的影响与对象的地域分布有密切的关系。地域分布特征一般体现在水平距离和垂直距离两个方面,由于研究区澜沧江支流众多,关键对象与河道的最短水平距离不易于识别和计算,因此垂直距离是敏感度评估的依据之一。

利用Arc GIS和Google Earth软件,确定关键人文生态对象所在乡镇中心点的空间位置(经纬度,海拔)及其与对应电站的最高大坝坝顶高程,计算其海拔差值,并依此评价关键人文生态对象对电站建设的敏感度,即: $<0\text{ m}$ (为水库淹没区)的为极高度敏感、 $0\sim 100\text{ m}$ 的为高度敏感、 $100\sim 300\text{ m}$ 的为中度敏感、 $300\sim 500\text{ m}$ 的为轻度敏感、 500 m 以上的为不敏感。

统计表明:研究区内没有极高度敏感对象;高度敏感对象共18个,分布在功果桥镇、石登乡和康普乡;中度敏感对象1个;轻度敏感对象7个,分布在燕门乡和白济汛乡;不敏感的对象共73个,依次分布在佛山乡、云岭乡、叶枝镇、攀天阁乡、巴迪乡、中排乡、苗尾乡、营盘镇、中路乡、维登乡10个乡镇。

3.3 关键人文生态对象敏感度综合评估

敏感度高低取决于研究对象的重要性级别和垂直高差级别,因此研究对象的敏感度综合评价必须同时考虑这两个方面。对于综合重要性级别和垂直高差级别这两个相互独立的指标,本文采用线性加权综合法对敏感度进行评价^[11]。

线性加权综合法首先要对指标分级并赋予分值。关键人文生态对象重要性级别和垂直高差级别划分结果如表2。

表2 关键人文生态对象划分结果

Tab. 2 Division results of the key humanistic ecologic objects

序号	重要性级别	垂直高差级别	分值
1	极高度敏感	极高度敏感	1.00
2	高度敏感	高度敏感	0.75
3	中度敏感	中度敏感	0.50
4	轻度敏感	轻度敏感	0.25
5	潜在敏感	不敏感	0.00

其次确定权重系数。关键人文生态对象的重要性级别取决于自身,而其垂直高差级别则是计算和对应水电站的海拔差值得到的,因此垂直高差级别对于关键人文生态对象敏感度更加重要,所以重要性级别和垂直高差级别权重系数分别为0.4和0.6。

最后根据关键人文生态对象的得分情况将其分为极高度敏感(1~0.8分)、高度敏感(0.8~0.6分)、中度敏感(0.6~0.4分)、轻度敏感(0.4~0.2分)、不敏感(0.2~0分)5个级别。

4 结论与讨论

选择澜沧江干流中上游7个规划电站影响区3个地州4县16个乡镇,识别区内的关键人文生态对象,并评价其对水电开发的敏感度,主要结果

包括:

(1) 截止目前,共识别出6类关键人文生态对象,包括文物保护单位、传统村落、特色小镇、非物质文化遗产、风景名胜区与A级景区、历史文化名镇名村。

(2) 综合评价关键人文生态对象的敏感度,得出,极高度敏感对象2个,高度敏感对象5个,中度敏感对象15个,轻度敏感对象17个,不敏感对象60个。把关键人文生态对象敏感度与其所在乡镇敏感度对应,从而得出乡镇敏感度的5个级别,极高度敏感的乡镇为康普乡和石登乡;高度敏感的乡镇为兔峨乡和功果桥镇;中度敏感的乡镇为燕门乡和叶枝镇;轻度敏感乡镇为佛山乡、云岭乡、中排乡和白济汛乡;不敏感乡镇为巴迪乡、维登乡、攀天阁乡、中路乡、营盘镇和苗尾乡。

在对研究区内重要人文生态对象进行分类统计时,有少量对象存在分批申报与多重申报而产生的重复问题,文中将同级保护对象进行了合并,对不同保护级别对象,则去除了低级别对象的方式进行处理,以减少评价误差。在Google Earth上获取关键对象海拔高程时,由于大多数关键对象的具体位置无法确定,于是统一以乡镇中心点的海拔高程代替,以实现以统一标准进行评价,其评价结果可能与实际情况有一定误差,但应不会影响总体结果。

参考文献:

- [1] 刘嘉,肖惠娜.经济利益与环境利益冲突的法律协调——以某地两水电站“复活”为例[J].西南民族大学学报:人文社科版,2011(4):96-98.
- [2] 李强,史玲玲.“社会影响评价”及其在我国的应用[J].学术界,2011(5):19-27.
- [3] 刘启雷,陈关聚,张鹏.“十二五规划”大型项目社会影响评价研究[J].未来与发展,2011(9):2-5.
- [4] 陈岩,王蕾.基于和谐发展的水利项目社会影响评价[J].价值工程,2011(35):88-89.
- [5] 严登才.科学发展观视域下的水利水电社会影响评价[J].水利发展研究,2011(9):36-40.
- [6] 魏传勇.蒙江双河口水电站移民安置长期补偿机制分析[J].贵州水力发电,2011,25(6):5-7.
- [7] 张华山,周现富.水库移民可持续生计能力分析——以阿坝州典型水电工程为例[J].水利经济,2012,30(4):68-71.
- [8] 孙海兵.白鹤滩水电站移民实物指标调查问题探讨[J].三峡论坛:三峡文学·理论版,2011(3):26-28.
- [9] 党雷.遗址保护立法中文物保护单位范畴研究——兼评《中华人民共和国文物保护法》第十条、第十八条[J].唐都学刊,2010,26(2):96-100.
- [10] 王小明.传统村落价值认定与整体性保护的实践和思考[J].西南民族大学学报:人文社科版,2013(2):156-160.
- [11] 王兴菊,卢岳,郝玉伟.基于GIS指数模型的山洪灾害防治区划方法研究[J].水电能源科学,2011,29(9):54-57.

(下转第108页)

辽宁区域旅游竞争力比较研究

鲁小波, 丁玉娟, 郭 迪

(渤海大学 旅游学院、旅游发展与规划研究中心, 辽宁 锦州 121000)

摘要: 通过构建包括旅游资源实力、旅游基础、旅游市场实力、旅游环境实力、经济实力和旅游发展活力6个方面、21个指标、36个具体因子的区域旅游竞争力评价指标体系, 从区域、地区2个层面分析了辽宁省旅游竞争力的格局。辽宁省三大区域旅游竞争力格局为: 辽宁沿海经济带(7.98) > 全省平均(7.32) > 沈阳经济圈(7.03) > 辽西北(5.48)。从空间来看, 辽宁区域旅游竞争力格局是“东强西弱, 南强北弱”。进一步的研究显示: 地区产业结构对辽宁地区旅游竞争力具有明显的影响作用, 第三产业发达的地区, 作为第三产业组成部分的旅游业发展优势明显, 而第一产业比重较大的地区对旅游业支撑作用明显不足。

关键词: 辽宁; 区域; 旅游; 竞争力; 比较

中图分类号: F592.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-7852(2013)04-0067-09

旅游业已经成为世界上最具活力的产业之一, 各国对旅游业的重视程度不断提高, 中国也不例外。在各个地区都重视旅游业发展的前提下, 地区间旅游业的竞争日趋激烈, 使得各地区不断挖掘和创造核心竞争力以提升自身的旅游竞争力, 并将其成功地塑造为更具吸引力和辐射力的区域旅游品牌。自从20世纪80年代波特提出竞争力理论之后, 关于旅游竞争力的研究就成为国内外众多学者研究的重点内容。1992年, 加拿大学者克劳奇和瑞奇等人开始致力于旅游业竞争力研究; 1993年在阿根廷举行的艾斯特会议引起了更多学者对旅游业竞争力的关注; 2000年, 国际权威旅游期刊——英国 *Tourism Management* (旅游管理) 杂志第1期发行了旅游业竞争力专刊。20世纪80年代至今旅游业竞争力研究经历了30年的历程, 层次分析是国内学者对其进行研究的主要方法。

如王琪延用层次分析法对中国293个地级以上城市的旅游业竞争力进行了评价; 万绪才等用层次分析法和特尔菲法对江苏省各地区旅游业竞争力进行了定量评价; 张陆等认为旅游区域竞争力的强弱可通过层次分析和象限图法来评价。此外汪德根运用主成分分析和聚类分析法对我国31个省份的国际旅游业竞争力进行了实证分析; 温碧燕、梁明珠、傅云新等利用因子分析法建立起综合评价模型; 还有学者借助模糊综合评价、灰色评价、突变级数法、指数法、位序得分法、比较优势指数等方法评价旅游业竞争力。辽宁省旅游资源丰富, 旅游基础扎实, 但省内区域旅游发展不均衡直接影响着辽宁省旅游业的进一步发展, 通过区域旅游竞争力评价方法分析辽宁省区域旅游格局及造成旅游业发展不均衡的原因, 可以为辽宁省旅游竞争战略提供基础支撑。

收稿日期: 2013-06-23; 修订日期: 2013-07-31.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41301137); 2012年度辽宁省社会科学规划基金项目(L12BJY010), 辽宁省经济社会发展课题(2013lslktzjxx-07)。

作者简介: 鲁小波(1978-), 男, 甘肃省景泰县人, 副教授, 博士, 硕士研究生导师, 主要从事旅游地理与旅游规划方面的研究。

1 辽宁区域旅游竞争力评价指标体系

1.1 构建评价体系的重要性

区域旅游竞争力是一个相互比较的概念,如果区域旅游竞争力不能借助一定的手段加以评价测度,就有可能流于空泛而无实际应用价值的议论之中。因此,建立区域旅游竞争力评价指标体系,选择合理的统计分析方法,利用合适的数据对其进行定量比较分析,是深入探究区域旅游竞争力主体之间内部关系的有效手段,不仅能够为评估各区域的旅游发展竞争能力提供客观的度量标准,而且也可为各区域旅游业认清自身的优势和不足,制定准确科学的旅游发展战略提供科学依据。

1.2 评价指标体系框架

从六个大方面构建了区域旅游竞争力评价指标体系,即区域旅游资源实力、区域旅游基础、区域旅游市场实力、区域旅游环境竞争力、区域经济实力 and 区域旅游发展活力。对区域旅游竞争力的评价不仅要反映旅游竞争力的市场锋芒,即区域旅游业状况,还应该体现出旅游业未来发展市场锋芒的能力,即区域发展活力,同时还要兼顾区域环境对旅游竞争力的影响。尤其值得注意的是,区域经济实力与区域旅游竞争力是两个不相同而又相互联系的概念,区域旅游绩效是区域旅游竞争力的外部表现,是区域旅游基于自身的竞争优势和竞争资源,在过去和现在市场竞争中的结果和地位。但区域旅游竞争力不只是一种外部的“卓越”,还应包括内部资源、环境、经济等。测度与评价区域旅游竞争力的基本目的是为了提升区域旅游竞争力与竞争优势,并制定出更好的竞争战略。

因此,评估区域旅游竞争力,除进行目前的业绩评估外,还需要对区域旅游竞争力发展活力进行评估。评价指标体系具体构思如下。

(1) 区域旅游资源实力:区域旅游资源实力是一区域旅游竞争力的基础。主要从目前的区域A级旅游景区数量、重点历史文物保护单位、森林公园(国家级森林公园和省级森林公园)、自然保护区(国家级自然保护区、省级自然保护区、市级自然保护区、县级自然保护区)数量和旅游资源类型丰度(森林、山岳、河流、滨海、历史遗迹、历史悠久度、历史遗迹级别等)等5个方面的具体指标数据进行评价。

(2) 区域旅游基础。主要体现当前区域旅游发

展规模和接待能力,具体以区域内的旅游景区数量、旅行社数量和星级酒店数量作为评价的主要指标。

(3) 区域旅游市场实力。区域旅游市场实力是旅游竞争力的“外显”,以当前旅游接待规模和旅游经济收入来反应。区域旅游市场实力通过国际旅游市场实力(接待国际旅游游客数量和国际旅游外汇收入)和国内旅游市场实力(接待国内旅游游客数量和国内旅游收入)来评价。

(4) 区域旅游环境实力。从经济学角度来看,环境是经济实体可以依托的外部条件的总和,环境竞争力是对这种外部条件相对优势的综合评价。区域旅游环境应包括区域的产业环境、自然环境、社会文化环境和服务质量环境。环境实力主要通过第三产业比重、森林覆盖率、教育环境(每10万人拥有的高等教育人才数目)、服务质量综合满意度4方面来评价。

(5) 区域经济实力。区域经济实力是旅游业发展的基础,为旅游发展提供资金、技术、信息、人才等方面的支撑。通过区域的总体经济规模(地区GDP)、人均经济水平(人均GDP)、地区恩格尔系数(地区城镇恩格尔系数和农村恩格尔系数综合)、地区城镇化率来评价。

(6) 区域发展活力。主要测度区域旅游竞争过程的后续能力。主要通过国际旅游增长率(接待国际游客增长率、国际旅游外汇收入增长率)、国内旅游增长率(接待国内游客增长率、国内旅游收入增长率)和地区经济增长率(GDP增长率)来评价。

综上所述,对区域旅游竞争力的评价只有从区域旅游资源实力、旅游基础、旅游市场实力、旅游环境支持力、区域经济实力和区域旅游发展活力的多角度、全方位的综合考虑,才能勾勒出区域旅游业竞争力的全貌。鉴于此,本文构建了包括6个方向、21个指标、36个具体因子的区域旅游竞争力评价指标体系,并根据相关研究确定了指标的权重(表1)。

1.3 指标权重确定

为了保证评价指标的科学性,利用德尔菲法确定评价指标的权重。本研究中选择了旅游专业的教授、副教授、博士等专家学者16人作为专家组,共进行了3轮问卷调查。第一轮向专家说明研究的目的和要求,让专家独立对指标的权重进行赋值。通过回收问卷分析,将专家支持率最高的指标权重

表1 辽宁区域旅游竞争力评价指标体系
Tab.1 Evaluation indicator system of coastal tourism competition in Liaoning Province

目标层	评价方向	指标层	层次权重	总体权重
旅游竞争力评价	资源实力 0.30	A级景区	0.3	0.09
		重点历史文物保护单位	0.2	0.06
		森林公园	0.2	0.06
		自然保护区	0.1	0.03
		资源类型	0.2	0.06
	旅游基础 0.20	景区	0.4	0.08
		旅行社	0.3	0.06
		酒店	0.3	0.06
	市场实力 0.15	国内市场	0.7	0.105
		国际市场	0.3	0.045
	环境实力 0.10	三产比重	0.3	0.03
		森林覆盖率	0.2	0.02
		教育环境	0.2	0.02
		服务环境	0.3	0.03
		经济规模	0.2	0.02
	经济实力 0.10	人均GDP	0.4	0.04
		恩格尔系数	0.2	0.02
		城镇化率	0.2	0.02
	发展活力 0.15	国际旅游增长率	0.3	0.045
		国内旅游增长率	0.5	0.075
		GDP增长率	0.2	0.03

作为第二轮调查参考标准，让专家进行第二轮指标权重赋值。在对第二轮问卷调查结果分析的基础上进行第三轮专家调查，第三轮调查的问卷分析结果显示专家们对于旅游竞争力各指标权重的意见趋于一致，由此确定了指标体系的权重。

1.4 评价指标体系验证

根据中国旅游研究院出版的中国旅游经济蓝皮

书《2011年中国旅游经济运行分析与2012年发展预测》中的中国大陆31省域旅游竞争力的评价结果与利用本研究构建的旅游竞争力评价指标体系对中国大陆31省域旅游竞争力的评价结果进行相关性分析，结果为在置信度0.01水平上显著相关，值为0.923。虽然评价的指标不同，但是两种方法的对比验证了本研究的方法是可信的。

2 辽宁三大区域旅游竞争力分析

根据前面建立的评价方法和构建的指标体系，对辽宁沿海经济带、辽西北和沈阳经济区以及辽宁全省的旅游资源实力、旅游基础、旅游市场实力、旅游环境实力、经济实力、旅游发展活力6项评价方向进行评价，并通过各方向的权重计算得到旅游竞争力评价结果（表2）。

2.1 辽宁三大区域旅游竞争力对比

综合来看，辽宁沿海经济带整体旅游竞争力（7.98）高于沈阳经济圈旅游竞争力（7.03）也高于辽宁全省平均水平（7.32），具有一定的优势（表2）。

辽宁沿海经济带旅游竞争力在具体评价方向比较有优势的是旅游基础、旅游市场实力和旅游发展活力，其水平明显高于沈阳经济圈和全省水平。辽宁沿海经济带经济实力优势不是很突出，而旅游资源实力和旅游环境实力不及全省水平。

2.2 辽宁三大区域旅游竞争力优势对比分析

为了更清晰地分析辽宁三大区域旅游竞争力的优势与劣势，并更好地将三大区域与全省平均水平进行对比，可以将旅游竞争力分解还原为旅游资源实力、旅游基础、旅游市场实力、旅游环境实力、经济实力和旅游发展活力6个方面，并构建对比图（图1）。

表2 辽宁三大区域旅游竞争力对比
Tab.2 Comparison of tourism competition in three regional of Liaoning Province

评价方向	资源实力	旅游基础	市场实力	环境实力	经济实力	发展活力	综合竞争力
权重	0.30	0.20	0.15	0.10	0.10	0.15	1.00
全省平均	8.19	7.14	7.14	7.42	7.31	5.93	7.32
沈阳经济圈	7.67	5.96	6.70	7.20	7.21	7.24	7.03
沿海经济带	7.95	8.91	7.89	7.25	7.32	7.82	7.98
辽西北地区	7.33	4.12	2.45	6.04	5.11	6.52	5.48

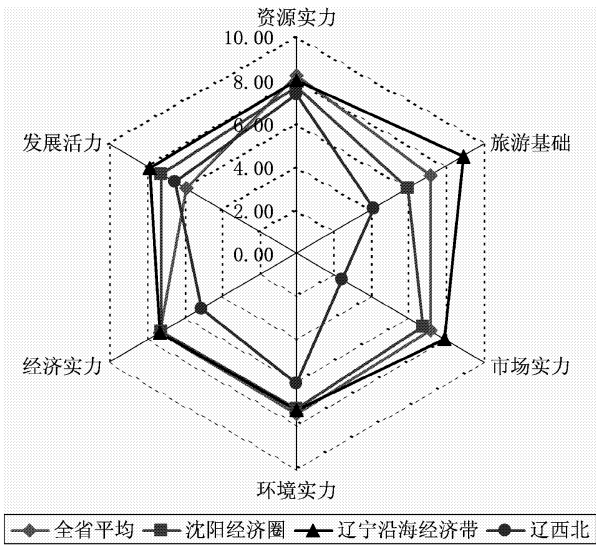


图 1 辽宁三大区域旅游竞争力分析
Fig. 1 Tourism competitiveness analysis of three regional in Liaoning Province

从图 1 中可以看出，总体而言资源实力三大区域水平相差不大。辽宁沿海经济带旅游竞争力的最大优势为旅游基础，当前旅游景区、旅行社和旅游酒店等接待设施规模都比较完善，第二大优势为旅游市场实力，这和旅游基础设施建设相辅相成，其主要原因为当前辽宁沿海经济带滨海旅游适应了旅游发展的趋势，另外与辽宁沿海经济带的旅游龙头大连的带动作用也是分不开的。随着辽宁沿海旅游的逐步深入开发，辽宁沿海经济带旅游实力将会持

续增强，因此，其旅游发展活力也具有一定的优势。综合来看，旅游环境实力和经济实力与沈阳经济区、全省水平基本持平，而旅游资源实力可能有所欠缺。沈阳经济圈的经济实力和环境实力都比较有优势，并与沿海经济带基本一致，而发展活力仅次于沿海经济带且差距不大，旅游基础比较薄弱，市场实力也低于全省平均水平。除发展活力外，辽西北其他 5 方面都低于全省平均水平，同时也是辽宁三大区域中最弱的，其中差距最大的为市场实力。

3 辽宁 14 市旅游竞争力对比

运用旅游竞争力评价方法和指标体系，对辽宁省范围内的 14 个地级市的旅游资源实力、旅游基础、旅游市场实力、旅游环境实力、经济实力、旅游发展活力 6 个评价方向进行评价，并通过各方向的权重计算得到旅游竞争力评价结果（表 3）。

3.1 辽宁 14 市旅游竞争力总体评价

通过对各评价方向的综合获得辽宁 14 市旅游竞争力得分和排名。大连市以 15.01 分位列首位，沈阳市以 12.23 分列次序，本溪市位列第三（7.98），丹东市、鞍山市、抚顺市、葫芦岛、分列 4 到 7 位。其他 8 到 14 位的地区分别为锦州市、朝阳市、营口市、辽阳市、盘锦市、铁岭市和阜新市。

表 3 辽宁 14 市旅游竞争力分析
Tab. 3. Tourism competitiveness analysis of 14 cities in Liaoning Province

项目	资源实力	旅游基础	市场实力	环境实力	经济实力	发展活力	综合竞争力	竞争力排序
权重	0.3	0.2	0.15	0.1	0.1	0.15	1	—
沈阳市	12.65	15.28	18.02	8.32	11.11	4.88	12.23	2
大连市	14.19	25.35	19.87	8.89	12.07	4.05	15.01	1
鞍山市	8.62	5.52	7.59	7.98	8.57	5.07	7.24	5
抚顺市	8.64	3.52	6.11	8.25	7.19	9.61	7.20	6
本溪市	9.10	5.36	9.47	8.53	7.55	7.66	7.98	3
丹东市	7.94	6.63	8.49	8.26	6.32	7.32	7.54	4
锦州市	8.50	6.48	5.18	6.05	5.75	7.23	6.89	8
营口市	5.43	4.84	3.92	7.25	6.84	11.14	6.27	10
阜新市	6.07	3.62	1.50	6.03	4.93	6.39	4.82	14
辽阳市	5.98	4.50	4.09	5.29	6.32	6.30	5.41	11
盘锦市	3.05	4.23	5.55	6.24	8.20	7.68	5.19	12
铁岭市	4.88	5.04	2.89	5.93	5.19	6.88	5.05	13
朝阳市	11.05	3.69	2.97	6.15	5.22	6.28	6.58	9
葫芦岛市	8.59	5.95	4.36	6.83	4.75	9.49	7.00	7

3.2 辽宁14市旅游竞争力优势对比分析

为了更加清晰地分析辽宁14市旅游竞争力的优势与劣势,并更好地进行相互对比,可以将旅游竞争力分解还原为旅游资源实力、旅游基础、旅游市场实力、旅游环境实力、经济实力和旅游发展活力6个方面,并对其进行对比。

从表3中不难看出,大连市具有明显的优势,旅游基础实力遥遥领先于其他各市。此外,旅游资源实力、旅游市场实力、旅游环境实力和旅游经济实力也优势突出。沈阳市的旅游资源实力、旅游基础、旅游市场实力和经济实力都是紧随大连,位居第二,旅游环境实力位列第三,而旅游发展活力倒数第二。朝阳市旅游资源实力全省排第三;本溪市的旅游市场和旅游环境实力都为全省第三;营口市、抚顺市和葫芦岛市的旅游发展活力位列全省前三位。

从劣势的角度来看,盘锦市、铁岭市和营口市旅游资源实力倒数1~3位;抚顺市、阜新市和朝阳市的旅游基础倒数1~3位;旅游市场实力最弱的分别为阜新市、铁岭市和朝阳市;辽阳市、铁岭市和阜新市的环境实力在全省位列倒数1~3位;葫芦岛市、阜新市和铁岭市的经济实力也是全省最落后;而旅游发展活力最差的3市分别是大连市、沈阳市和鞍山市。

4 辽宁区域旅游竞争力空间分析

根据前文构建的从旅游资源实力、旅游基础实力、旅游市场实力、旅游环境实力、经济实力和旅游发展活力6个方向的旅游竞争力评价指标体系对辽宁14地区进行评价,结果显示辽宁14地区旅游竞争力综合指数处于4~16。

4.1 辽宁区域旅游竞争力空间分析

按照旅游竞争力水平高低将其分为4个层次:(1)高旅游竞争力水平地区,旅游竞争力为10~16;(2)较高旅游竞争力水平地区,旅游竞争力为7~10;(3)中等旅游竞争力水平地区,旅游竞争力为6~7;(4)较弱旅游竞争力水平地区,旅游竞争力为4~6(图2)。

辽宁14个地区中,大连和沈阳两个地区旅游竞争力处于高水平;本溪、丹东、鞍山、抚顺、葫

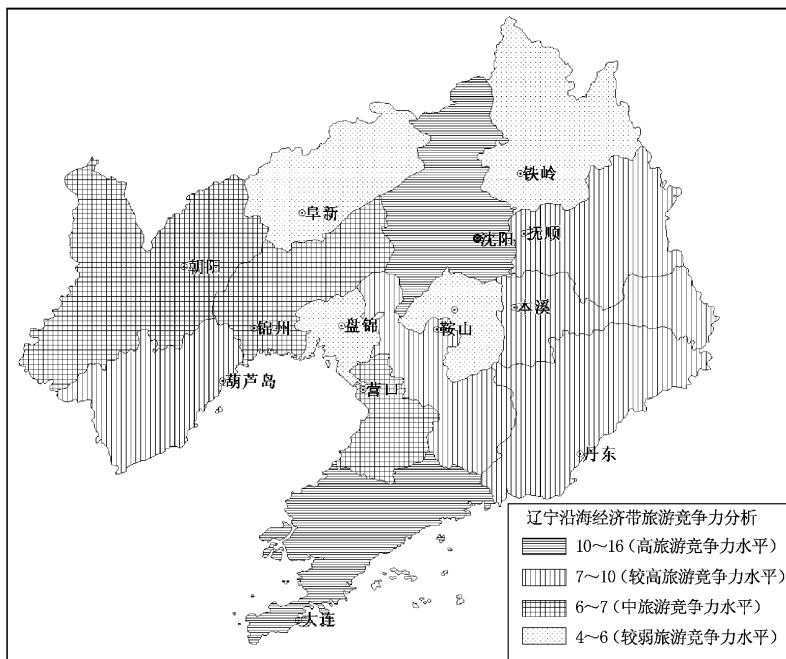


图2 辽宁区域旅游竞争力分析

Fig. 2 Tourism competitiveness analysis in areas of Liaoning province

芦岛5个地区旅游竞争力处于较高水平;锦州、朝阳、营口3个地区旅游竞争力处于中等水平;旅游竞争力较弱的地区分别为辽阳、盘锦、铁岭、阜新4个地区。从空间来看,辽宁地区旅游竞争力格局是“东强西弱,南强北弱”。辽宁东部的丹东、本溪、抚顺旅游竞争力都处于较强水平;而辽西除葫芦岛为较强旅游竞争力外,其他锦州、朝阳为中等,盘锦、阜新为较弱。南部的大连为旅游竞争力最强的地区,而丹东、鞍山为较强,营口为中等,辽北地区铁岭和阜新都为较弱的旅游竞争力。

就辽宁沿海经济带而言,其旅游竞争力比其他地区略有优势。从经济带内部来看,旅游竞争力呈现“黄强渤弱,东强西弱”的格局:沿黄海的丹东、大连旅游竞争力都较强,而濒临渤海的营口、锦州为中等,盘锦为较弱,只有葫芦岛为较强,所以也符合辽西较弱,辽东较强的特点。

4.2 辽宁区域旅游竞争力因素空间分析

从旅游资源实力、旅游基础实力、旅游市场实力、旅游环境实力、经济实力和旅游发展活力6个方向分析辽宁区域旅游竞争力并与辽宁其他地区进行对比,各地区各有所长,也有所短(图3)。

大连的旅游基础优势十分突出,但是发展活力是其短板。沈阳6个方向中旅游市场实力比较突出,而发展活力比较欠缺。阜新的旅游市场实力不仅是其6个方向中的短板,而且在全省14个地区

中也是最弱的。营口的旅游发展活力十足,是其旅游竞争力6要素中的最大优势,在全省也是最具优势的,葫芦岛和抚顺的旅游发展活力也是比较突出的。朝阳的旅游资源实力优势突出。其他地区的各项指标都比较均衡,其中最均衡的地区当属丹东和

辽阳(图3)。从区域来看,辽东地区的抚顺、本溪的旅游基础相对实力较弱,而辽西的阜新、朝阳和葫芦岛旅游市场实力比较薄弱。

根据辽宁14市旅游竞争力要素的优劣势,将其分为(1)老牌旅游胜地。包括大连、沈阳,依靠完善的旅游基础设施和庞大的旅游市场雄踞辽宁旅游竞争力前两位;(2)全面型旅游胜地。包括丹东、本溪、鞍山、辽阳和锦州,各项指标比较均衡,其资源丰富、类型多,旅游基础比较好,旅游市场有一定规模,环境较好,经济实力中等,活力较强;(3)活力型旅游胜地。包括营口、葫芦岛和抚顺,虽然旅游市场规模不具备优势,但是在强大的增长率带动下,各项指标将持续提升,潜力巨大;(4)经济后盾型旅游胜地。主要是盘锦,在各项指标中其经济实力最强,盘锦市虽然在2011年经济总量排在辽宁省倒数第二位,但是由于其人口仅有131.2万人,其人均GDP排名第二,旅游事业发展经济厚度比较坚实;(5)市场薄弱型。包括朝阳、阜新和铁岭,它们共同的特点是经济落后、旅游基础不完善,旅游市场是其短板。

4.3 辽宁区域旅游经济构成分析

一般情况下,地区旅游收入分为国际旅游外汇收入(亿美元计算),国内旅游收入。为了更清晰地分析辽宁区域旅游发展的特点与问题,以下分析将地区旅游收入分为国际旅游收入(转化为人民币)、国内过夜旅游收入和国内一日游收入3种,据此绘制辽宁14地区旅游收入结构饼状图(图4)。

首先,从旅游收入总量来看,大连和沈阳遥遥领先于其他地区。辽东的丹东、本溪、抚顺和沈大线上的鞍山处于第二层次。旅游收入总量最差的当属阜新。其次,从旅游收入构成来看,除辽阳和本溪外,其他所有地区50%以上旅游收入都由国内一日游收入贡献,其中鞍山国内一日游收入占旅游总收入的82.25%,营口也高达77.36%(表4),说明目前辽宁总体旅

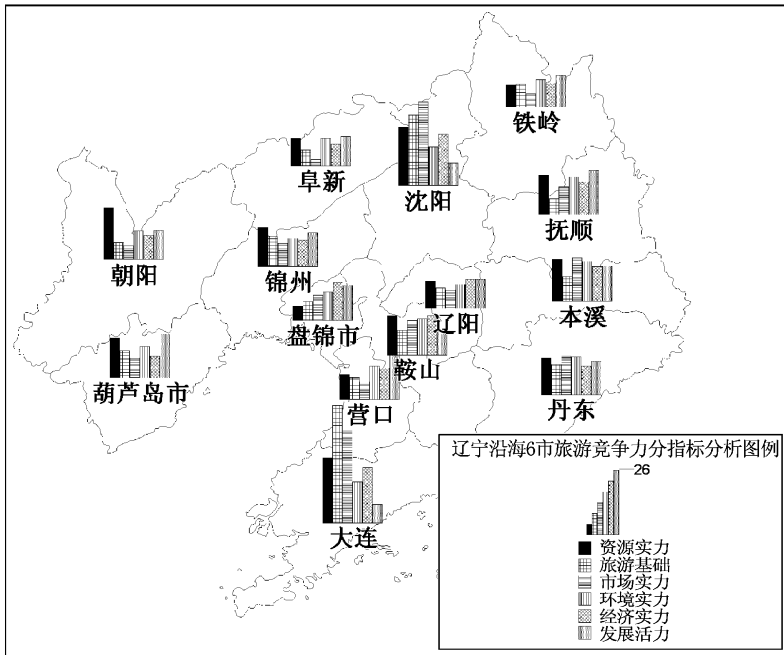


图3 辽宁区域旅游竞争力分指标分析

Fig. 3 Index analysis of regional tourism competitiveness in Liaoning Province

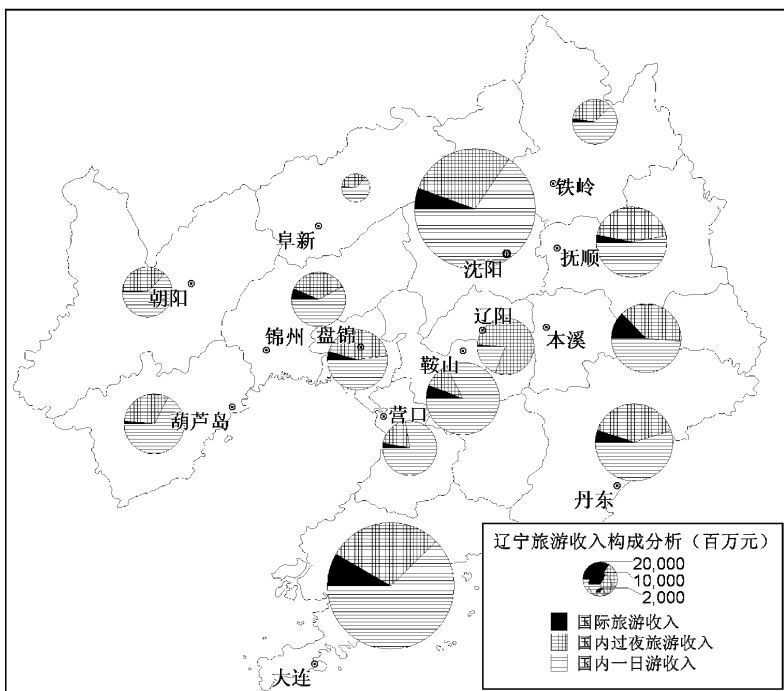


图4 辽宁区域旅游收入结构分析

Fig. 4 Regional tourism income structure analysis in Liaoning Province

游仍然以观光游览等逗留时间短的产品为主体,度假、娱乐、疗养等参与性强、停留时间长的旅游产品比较缺乏。

辽阳是一个特例,其国内一日游收入仅为19.14%,而国内过夜游收入高达80%,辽宁全省平均国内过夜游收入比重仅为34.36%,因此,辽阳的旅游收入以过夜游客为主体。国际旅游收入所占旅游收入比重普遍比较低,其中本溪市以12.74%的比重最多,大连紧随其后为8.33%,而最少的地区如朝阳、辽阳不到旅游总收入的1%。阜新、葫芦岛、铁岭、营口也是国际旅游收入比较少的地区。沈阳、鞍山、丹东、锦州基本上为全省平均水平。因此,在国际旅游方面应该分析本溪和大连的经验。

4.4 辽宁区域产业结构对旅游竞争力支撑作用分析

以辽宁各地区第一、第二和第三产业产值为基础数据绘制辽宁省旅游产业结构饼状图,各地区产业规模大小用圆饼直径表征,三产比重用圆饼中扇面的开角显示(图5)。对比图4与图5可见各地区产业规模与各地区旅游收入规模布局基本一致。经济规模全省排前3位的沈阳、大连和鞍山也分别是旅游收入排名第二、第一和第四位,其旅游竞争力在全省分别为第二、第一和第五位;而经济规模和旅游收入排名最后2位都是铁岭和阜新,其旅游竞

表4 辽宁各地区旅游收入构成

Tab. 4 Regional tourism income structure analysis in Liaoning Province

地区	国际 旅游 收入	国内 过夜游 收入	国内 一日游 收入	备注
全省	5.48	34.36	60.16	1:5:10 比例
沈阳市	5.59	29.03	65.38	全省平均
大连市	8.33	29.45	62.22	国际旅游较好
鞍山市	5.90	11.85	82.25	国内一日游游客最多
抚顺市	3.12	44.22	52.65	国内过夜游客较多
本溪市	12.74	38.67	48.58	国际旅游效益突出
丹东市	5.13	39.99	54.88	国内过夜游客多
锦州市	6.51	35.81	57.69	全省平均
营口市	2.82	19.82	77.36	国际旅游弱
阜新市	1.62	35.92	62.46	国际旅游较弱
辽阳市	0.86	80.00	19.14	国内过夜游客优势
盘锦市	4.24	43.70	52.07	国内过夜游客较多
铁岭市	2.16	35.68	62.15	国际旅游弱
朝阳市	0.53	36.79	62.68	国际旅游最弱
葫芦岛市	1.63	31.12	67.26	国际旅游较弱

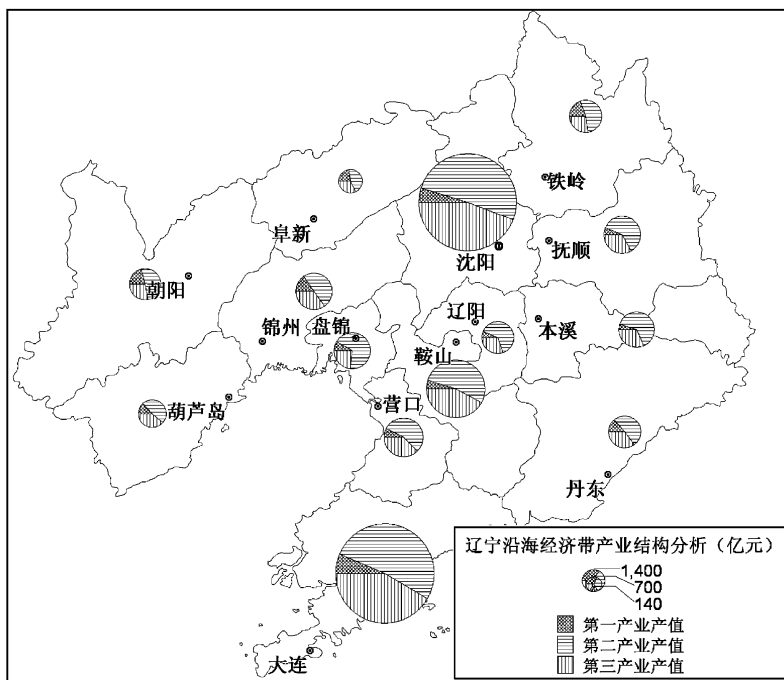


图5 辽宁地区产业结构分析

Fig. 5 Industrial structure analysis in Liaoning Province

争力也是最后两位。由此印证了地区经济实力对旅游竞争力的支撑作用。

从产业结构来看,辽宁总体仍然以第二产业为主,第三产业次之,第一产业比重最少,在所有的14个地区中第二产业比重最小的阜新三产业比例为23:44:33,因此全省还是工业主导型。根据产业结构比重,将全省14个地区分为4种类型:(1)第一产业突出型地区。包括阜新、铁岭、朝阳3个地区,其第一产业比重在20%左右。(2)第二产业突出型地区。包括盘锦、辽阳、本溪、抚顺4个地区,其第二产业比重在60%以上。(3)第三产业突出型地区。包括沈阳、大连、鞍山3个地区,其第三产业比重在40%以上。(4)近全省平均格局地区。包括营口、丹东、葫芦岛和锦州4个地区,其产业结构与全省格局类似(表5)。

表 5 辽宁各地区产业结构分析
Tab. 5 Industrial structure analysis in Liaoning Province %

地区	第一产业	第二产业	第三产业	备注
全省	8.03	53.7	38.27	-
沈阳市	4.72	51.17	44.11	第三产业突出（最）
大连市	6.43	52.10	41.47	第三产业突出
鞍山市	4.61	53.40	41.99	第三产业突出
抚顺市	6.33	60.49	33.18	第二产业突出
本溪市	5.09	62.90	32.01	第二产业突出
丹东市	13.47	51.44	35.09	近全省平均格局
锦州市	15.52	49.60	34.88	近全省平均格局
营口市	7.41	55.02	37.57	近全省平均格局
阜新市	22.91	44.45	32.64	第一产业突出（最）
辽阳市	6.35	63.15	30.50	第二产业突出
盘锦市	8.42	68.06	23.52	第二产业突出（最）
铁岭市	19.73	52.66	27.61	第一产业突出
朝阳市	20.99	51.25	27.76	第一产业突出
葫芦岛市	13.00	48.00	39.00	近全省平均格局

从各地区产业结构来分析，第三产业比重最高的沈阳，旅游竞争力位居第二，而第三产业比重前 8 位的地区沈阳、鞍山、大连、葫芦岛、丹东、营口、锦州和抚顺，也是旅游竞争力排名前 8 的地区。第一产业比重最高的阜新，旅游竞争力倒数第一。可见地区产业结构对辽宁旅游竞争力具有明显的影响作用，第三产业发达的地区，作为第三产业组成部分的旅游产业发展优势明显，而第一产业比重较大的地区对旅游业支撑作用明显不足。

5 结论

通过对辽宁区域旅游竞争力的评价，并对 6 方面评价因素的分析以及与辽宁全省和沈阳经济圈、辽宁沿海经济带、辽西北以及全省范围内 14 市进

行对比可以得出如下结论。

（1）就辽宁沿海经济带整体而言其旅游竞争力明显高于辽宁全省平均水平、沈阳经济圈和辽西北。辽宁沿海经济带旅游竞争力在具体评价方向比较有优势的是旅游基础、旅游市场实力和旅游发展活力，其水平明显高于全省水平、沈阳经济圈和辽西北。

（2）辽宁沿海经济带范围内 6 市中大连市旅游竞争力最强，丹东市第 2，葫芦岛市第 3，锦州市、营口市和盘锦市分列 4 到 6 位。

（3）大连市具有明显的优势，旅游基础、旅游市场实力遥遥领先于其他 5 市。辽宁沿海经济带除大连以外的 5 市在旅游竞争力优势、劣势分析中各有所长。营口、葫芦岛旅游发展活力十足。丹东旅游市场实力和旅游环境实力优势较大，锦州和葫芦岛旅游资源优势比较突出。盘锦经济实力最强。丹东、锦州旅游基础都有显著优势。

（4）从空间来看，辽宁地区旅游竞争力呈现“东强西弱，南强北弱”的格局。对辽宁沿海经济带整体而言，其旅游竞争力比其他地区略有优势。而从经济带内部来看，旅游竞争力格局为“黄强渤弱，东强西弱”。

（5）将辽宁沿海经济带 6 市分为 4 种类型：①老牌旅游胜地：包括大连、沈阳；②全面型旅游胜地：包括丹东、本溪、鞍山、辽阳和锦州；③活力型旅游胜地：包括营口、葫芦岛和抚顺；④经济后盾型旅游胜地：主要是盘锦；⑤市场薄弱型：主要指朝阳、阜新和铁岭。

（6）地区产业结构对辽宁区域旅游竞争力具有明显的影响作用，第三产业发达的地区，作为第三产业组成部分的旅游产业发展优势也很明显，而第一产业比重较大的地区对旅游业的支撑作用明显不足。

旅游竞争力是动态变化的，以上有关辽宁区域旅游竞争力及其评价方向水平高低的分析都基于 2011 年的发展数据和统计资料，因此其分析结果基本只代表近 1 年的发展基本情况，并不反映过去的旅游竞争力，也不表示未来各地区旅游竞争力。

参考文献：

- [1] 郭亚军, 曹卓, 杜跃平. 区域旅游竞争力影响因素分析——基于案例比较研究的视角 [J]. 旅游科学, 2008, 22 (4): 65-69.
- [2] 王娟. 中国省域旅游业竞争力综合定量评价 [J]. 人文地理, 2006, 21 (3): 78-82.
- [3] 郭清霞, 秦张平. 国内旅游竞争力研究进展与评述 [J]. 世界地理研究, 2011, 20 (3): 155-162.

- [4] 王凯, 韩贵锋. 中国省区旅游竞争力的测评与评价 [J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2006, 29 (2): 106 - 111.
- [5] 张梦. 区域旅游业竞争力评价: 指标构建与方法选择 [J]. 旅游学刊, 2007, (2): 13 - 17.
- [6] 陈晓, 王丹. 辽宁省旅游经济的时空差异演变分析 [J]. 经济地理, 2009, 29 (1): 147 - 151.
- [7] 赵亮, 李洪娜, 卢晓君. 辽宁旅游经济发展的空间差异变化 [J]. 辽宁科技大学学报, 2010, 33 (2): 173 - 177.
- [8] 陈晓, 李悦铮. 环渤海主要滨海城市旅游竞争力定量研究 [J]. 经济地理, 2008, 28 (1): 158 - 162.
- [9] 徐淑梅, 陈才. 区域旅游竞争力数字化评价体系研究 [J]. 地理科学, 2008, 22 (5): 42 - 48.
- [10] 李创新, 马耀峰, 高军. 基于 SPSS 的中国各省区旅游竞争力研究 [J]. 软科学, 2008, 22 (4): 98 - 104.
- [11] 温碧燕, 梁明珠. 基于因素分析的区域旅游竞争力评价模型研究 [J]. 旅游学刊, 2007 (2): 18 - 22.
- [12] 冯学刚, 杨勇, 于秋阳. 中国旅游产业潜力和竞争力研究 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2012: 28 - 38.
- [13] 皮佳倩, 杜靖川. 国外旅游产业竞争力研究述评 [J]. 旅游学刊, 2007, 22 (12): 80 - 87.
- [14] 万绪才, 李刚, 张安. 区域旅游业国际竞争力定量评价理论与实践研究——江苏省各地市实例分析 [J]. 经济地理, 2001, 21 (3): 355 - 358.
- [15] 董锁成, 李雪, 张广海, 等. 城市群旅游竞争力评价指标体系与测度方法探讨 [J]. 旅游学刊, 2009, 24 (2): 30 - 36.
- [16] 张满林, 赵恒德. 辽西走廊区域旅游发展研究 [M]. 北京: 知识产权出版社, 2013 (1): 106 - 110.
- [17] 中国旅游研究院. 2011 年中国旅游经济运行分析与 2012 年发展预测 [M]. 北京: 中国旅游出版社, 2012: 86 - 93.

A STUDY ON REGIONAL TOURISM COMPETITIVENESS IN LIAONING PROVINCE

LU Xiao - bo, DING Yu - juan, GUO Di

(College of Tourism, Tourism Development and Planning Research Center of Bohai University, Jinzhou 121000, Liaoning, China)

Abstract: This paper constructs the regional tourism competitiveness evaluation index system which includes six directions, 21 indicators and 36 specific factors. The six directions are tourism resources, tourism infrastructure, tourist market, tourism environment, economic strength and the tourism development vitality. The analysis of regional tourism competitiveness is based on the above index system from two levels as district and region in Liaoning Province. The pattern of tourism competition of the three regions appear that Liaoning coastal economic belt (7.98) > the average (7.32) > Shenyang economic zone (7.03) > Northwest of Liaoning (5.48). View from the region, Liaoning regional tourism competitiveness pattern appears that the eastern and the southern region have strong tourism competitiveness; the western and the northern region have weak tourism competitiveness. Further research shows that: the regional industrial structure affect the regional tourism competitiveness obviously, the regions where the tertiary industry developed, tourism as a part of the tertiary industry get obvious development advantages, while the tourism industry of areas where have large proportion of primary industry can not get enough support in Liaoning.

Key words: Liaoning; regional; tourism; competitiveness; contrast

浙江省市域旅游竞争力评价研究

徐金华, 桑广书*

(浙江师范大学 地理与环境科学学院, 浙江 金华 321004)

摘要: 通过构建市域(地级市)尺度旅游竞争力评价体系,应用主成分分析方法,对浙江省市域旅游竞争力进行定量评价,得到11个地市旅游竞争力综合指标得分和排名,并根据评价结果对其差异格局形成原因进行深度剖析。结果表明,浙江省市域旅游竞争力水平整体差异较大,表现为区域旅游业发展不平衡,杭州、宁波双核格局明显,温州、绍兴为竞争力较强市,金华、舟山、台州、湖州竞争力较弱,丽水、嘉兴、衢州为弱竞争力市。各地区旅游业发展应避开其竞争力薄弱环节,走差异化发展道路。

关键词: 旅游竞争力;市域;主成分分析

中图分类号: F590

文献标识码: A

文章编号: 1001-7852(2013)04-0076-05

0 引言

进入21世纪以来,随着国内外旅游市场需求不断增长,加之许多地方政府将旅游产业列为支柱产业、龙头产业或重点产业,出台一系列优惠政策,进一步刺激了旅游市场供给群体的扩大,当旅游市场需求低于旅游产业的供给能力时,就会加剧区域间旅游业的竞争。如何在激烈的市场竞争中,挖掘自身潜质,变比较优势为竞争优势,提高区域旅游竞争力是一个亟待解决的问题。在此背景下,国内不少学者从国家、区域、城市等不同空间尺度对旅游竞争力的影响因素、评价指标体系、评价方法以及提升策略等进行研究。

区域旅游竞争力受到多方面的因素影响。保继刚运用引力模型分析滨海沙滩旅游资源开发的空间竞争,提出了滨海沙滩的旅游竞争力影响因素^[1]。张陆指出区域资源竞争力是区域竞争力的重要组成部分^[2]。此外,还有学者基于旅游产业结构状况研

究不同旅游目的地的竞争力^[3]。在区域旅游竞争力评价指标体系方面,万绪才等从旅游资源与产品条件、社会经济条件和其他条件3个层面构建评价指标体系,运用层次分析法确定指标权重,以江苏各地市为例进行实证分析^[4];徐淑梅认为区域旅游竞争力评价体系的构建必须考虑区域旅游竞争潜力,才能全面地反映区域旅游竞争力^[5];刘宇峰等从竞争环境支持力、资源产品吸引力和市场影响力3个方面构建了省域旅游竞争力的综合评价指标体系^[6];汪德根基于业绩竞争力、潜在竞争力和支持竞争力构建区域旅游竞争力评价体系,揭示东部沿海三大旅游圈旅游发展水平的差异^[7]。就区域旅游竞争力的对策研究而言,李若凝针对河南省旅游竞争力的薄弱环节,从4个方面提出对策^[8]。尽管国内这方面的研究取得不少成果,但也存在一些不足,如大部分研究主要集中在省域尺度的对比,而忽略了省域内部不同地市之间存在着更加激烈的竞争。

目前,浙江省旅游业发展总体态势良好,但由

收稿日期:2013-06-28;修订日期:2013-08-06.

基金项目:浙江省高等教育重点建设教材项目《浙江旅游地理》成果.

作者简介:徐金华(1989-),男,浙江省诸暨人,硕士研究生,主要研究方向旅游资源开发与规划.

* 通讯作者.

于旅游资源分布、经济基础、基础设施建设等方面的原因,区域之间差异显著。2012年浙江省旅游经济最发达的杭州和宁波两市,其旅游总收入分别达到1191亿元和751.3亿元,分别占全省旅游总收入的29.1%和18.4%。而位于浙江省西南的衢州市,旅游总收入仅为121亿元,占全省旅游总收入的2.9%。可见,浙江省地级市旅游竞争力的差异非常显著。因此,本文拟从市域(地级市)的角度出发,从旅游资源条件、社会经济竞争力、生态环境竞争力、旅游产业竞争力4个方面构建比较系统的市域旅游竞争力评价指标体系,应用主成分分析法,对浙江省地级市的旅游竞争力进行定量评价和分析。

1 研究方法

1.1 指标体系的构建

区域旅游竞争力是一个比较概念,建立科学的评价指标体系对其进行定量比较分析,是探究区域旅游竞争力的有效手段。然而旅游产业具有高度的综合性,影响区域旅游竞争力的因素是多方面的,除包括旅游资源、旅游产业等直接影响因素外,还受到包括社会、经济、文化、生态等间接因素的影响。因此在参照前人已有研究成果的基础上^[9-13],笔者认为构建地级市旅游竞争力指标体系应遵循以下原则:

(1) 针对性,指标的选取应与地级市实际情况相结合,能反映出各个地级市旅游竞争力的差异和现状。

(2) 系统性,指标的选取应尽量包含影响旅游竞争力的直接因素和间接因素,能反映出区域旅游竞争力各个子系统对区域旅游竞争力的整体影响。

(3) 易得性,指标数据应便于收集和计算,从而减少人为评价造成的误差。

据此,本文构建的地级市旅游竞争力评价指标体系见表1。

1.2 市域旅游竞争力评价方法

目前,用于评价区域旅游竞争力的数学方法主要是因子分析法、主成分分析法、模糊综合评价和层次分析法等。本文针对区域旅游竞争力评价指标变量复杂且可能出现自变量共线性的情况,采用主成分分析法对地级市旅游竞争力进行定量评价。基本步骤如下:

表1 地级市旅游竞争力评价指标体系

Tab. 1 The index system for tourism competition of prefecture-level city

目标层	标识	控制层	标识	具体指标	标识
区域 旅游 竞争 力	A	旅游资源条件	B1	旅游资源丰度	C1
				旅游资源品质	C2
				省级以上风景名胜区	C3
				省级以上重点文物保护单位	C4
				省级以上历史文化名城	C5
				省级以上森林公园	C6
				3A级旅游景区数	C7
		社会经济竞争力	B2	GDP	C8
				人均GDP	C9
				社会零售品消费总额	C10
				地方财政收入	C11
				城镇居民可支配收入	C12
				农村居民纯收入	C13
				第三产业增加值	C14
				社会保障支出	C15
				科教文卫事业支出	C16
				年旅客运输量	C17
		生态环境竞争力	B3	工业固体废弃物综合利用率	C18
				工业废水排放达标率	C19
				空气质量达到Ⅱ级以上天数	C20
				人均公园绿地面积	C21
				森林覆盖率	C22
		旅游产业竞争力	B4	国内旅游收入/亿元	C23
				境外旅游收入/万美元	C24
				旅游收入占GDP的比重	C25
				旅游收入增速	C26
				星级饭店数	C27
				床位数	C28
				导游数	C29
				旅行社	C30
				客房出租率	C31

(1) 为了排除不同数量级和量纲对结果的影响,对某省区 n 个地级市 m 个指标的 $n \times m$ 个数据进行标准化处理,得到标准化数据表 $(x_{ij}) (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$ 。 x_{ij} 为第 j 个市的第 i 个指标标准化

后的值。

(2) 根据标准化数据表 $(x_{ij})_{m \times n}$ ，计算相关系数矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 。

(3) 计算 R 的特征值和特征向量。根据特征方程 $|R - \lambda I| = 0$ ，计算特征根 λ_i ，并使其从小到大排列： $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$ ，同时可以得到对应的特征向量 $u_1, u_2, \dots, u_m$ 。它们标准正交， $u_1, u_2, \dots, u_m$ 称为主轴。

(4) 计算贡献率 $e_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^m \lambda_i$ 和累计贡献率 $E_m = \sum_{j=1}^m \lambda_j / \sum_{i=1}^m \lambda_i$ 。根据 λ_i 计算可以得到贡献率 e_i 和累计贡献率 E_m 。

(5) 得到各主成分得分 $z_m = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m u_{ij} x_{ij}$ 。再以各主成分的方差贡献率的比重为权重，计算综合得分。综合得分为正，说明该指标所反映的情况在全省平均水平之上，反之，如果得分为负，则说明该指标所反映的情况低于全省平均水平。

主成分分析法能够在保持原始数据信息丢失最少的情况下，对变量进行降维处理，即通过线性变换和减少部分信息，用较少的综合指标取代原有的变量，同时主成分分析在对原指标进行变换后形成了相互独立的变量，消除自变量共线性的影响。在综合评价中，各主成分的权重为其贡献率，它反映了该主成分包含原始数据的信息占全部信息量的比重，这样确定的权数是合理的、客观的，克服了某些评价方法人为确定权数的缺陷。但主成分分析法也存在一定缺陷，被提取主成分的含义存在模糊性，不如原始变量的含义清楚、准确。因此在分析中，主成分的解释必须从实际出发。

2 浙江省市域旅游竞争力综合定量评测

本文中所需要的数据，收集自《浙江省旅游业发展报告 2011》、《浙江省统计年鉴 2011》以及浙江省 11 个地级市 2011 年的统计年鉴。

依据前文中主成分分析方法，对浙江省 11 个地级市的数据进行处理后，得到各主成分的特征值、贡献率和累计贡献率（表 2）。

根据各主成分的贡献率，对浙江省 11 个地级市旅游竞争力的 4 个主成分得分及综合得分进行测算，得到旅游竞争力综合排序结果为表 3。

表 2 特征值、贡献率和累计贡献率

Tab. 2 Eigenvalues contribution and cumulative contribution

成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	15.602	50.330	50.330
2	5.305	17.114	67.443
3	3.281	10.583	78.026
4	2.204	7.108	85.134
⋮	⋮	⋮	⋮
31	0.00	0.00	100

表 3 浙江省地级市旅游竞争力主成分得分及排序

Tab. 3 Scores and ranks of tourism competition of prefecture-level city

地区	Z1 得分	Z2 得分	Z3 得分	Z4 得分	综合得分	排序
杭州市	2.33	0.18	1.43	0.37	1.38	1
宁波市	1.19	0.46	-0.88	-0.27	0.57	2
温州市	0.39	1.55	-0.99	0.40	0.39	3
嘉兴市	-0.33	-1.80	-0.83	-0.95	-0.63	11
湖州市	-0.66	0.71	0.22	-0.67	-0.23	6
绍兴市	0.18	0.28	0.17	-0.56	0.12	4
金华市	-0.15	0.60	-0.97	-0.61	-0.33	8
衢州市	-0.96	-0.75	1.12	0.95	-0.52	9
舟山市	-0.80	1.29	0.34	1.85	-0.01	5
台州市	-0.35	-0.47	-1.04	1.00	-0.29	7
丽水市	-0.85	-0.86	1.43	-1.51	-0.53	10

3 结果分析

根据上述计算结果，前 4 个主成分的累计贡献率已经高达 85.13%。这说明数据经过变换之后，前 4 个主成分所反映出来的信息占全部信息的 85% 以上，基本上反映了评价指标体系的主要信息，故只需要提取前 4 个主成分，它们已能够充分反映 11 个地市旅游业竞争力的综合水平。其中，第一主成分 F1 对区域旅游竞争力的影响最大，贡献率达到 50.33%。这一成分中的主要影响指标为省级以上重点文物保护单位、3A 级以上旅游景区数、GDP、人均 GDP、社会零售品消费总额、地方财政收入、社会保障支出、科教文卫事业支出、年旅客运输量、国内旅游收入、境外旅游收入、星级饭店数、床位数、导游数、旅行社数，这些因素综合反映了社会经济竞争力、旅游接待能力、市场占有状况以

及人文类旅游资源条件对区域旅游竞争力的影响。旅游资源丰度、旅游资源品质、省级以上风景名胜区、人均公园绿地面积、森林覆盖率在第二主成分上有较高载荷,此主成分综合反映该区域的生态环境竞争力和以自然风光为主的旅游资源对旅游竞争力的影响。第三主成分 Z3 中旅游收入占 GDP 的比重具有较高的载荷,主要反映旅游业在该区域的产业地位对旅游竞争力的影响。旅游收入增速在第四主成分 Z4 上有较高的载荷,说明第四主成分基本反映旅游发展势头对区域旅游竞争力的影响。

以主成分综合得分为基础,浙江省市域旅游竞争力水平可以划分为4个层次(表4)。其中,市域旅游竞争力高于全省平均水平,也即综合的得分为正值的地市有4个,而低于平均水平的地市有7个,得分最低的是嘉兴。杭州、宁波两个副省级城市竞争力水平强,是浙江省旅游业发展的双核。杭州市作为浙江省的省会城市和经济中心,同时也是全国重点风景旅游城市 and 历史文化名城,其丰富的旅游资源、厚重的文化底蕴、繁荣的城市经济都为旅游产业发展奠定了坚实基础,在第一主成分上得分远高于其他城市。宁波的综合得分位居第二,作为浙江三大经济中心之一,也是历史文化名城,人文旅游资源丰富,但另一方面宁波工业总产值位居浙江第一,是中国华东地区重要的工业城市,这影响了宁波的生态环境竞争力和旅游产业在其产业结构中的地位。第二层次中,温州市境内山明水秀,风景区陆域面积占其陆域面积的20%,素有“东南山水甲天下”的美誉,具有较强的生态环境竞争力和旅游资源竞争力。绍兴具有深厚的历史文化积淀,越地风情遍布城乡,又有典型的江南水乡风貌,在旅游发展上以市域经济为支撑,因此各方面的旅游竞争力水平相对平衡,都在浙江平均水平之上。

表4 浙江省地级市旅游竞争力水平层次划分

Tab. 4 Level division of prefecture - level city tourism competition in Zhejiang

层次划分	综合得分	竞争力水平	范围
第一层次	>0.5	竞争力强	杭州、宁波
第二层次	0~0.5	竞争力较强	温州、绍兴
第三层次	-0.5~0	竞争力较弱	金华、舟山、台州、湖州
第四层次	-0.5<	竞争力弱	衢州、丽水、嘉兴

第三层次包括金华、舟山、台州、湖州4个地区,这些地区的旅游竞争力明显减弱。以舟山为例,舟山旅游集海洋文化景观和佛教文化于一体,拥有普陀山、嵊泗等风景名胜,构成了“千岛之城”独特的山海风光,具有较强的生态环境竞争力和旅游资源竞争力,但是受其陆域面积所限,城市经济、产业规模都难以与其他地区相比,成为其旅游竞争力的薄弱环节。金华地区在第一、第二主成分得分上都接近浙江平均水平,但其旅游产业占GDP的比重不高。衢州、丽水和嘉兴处于浙江省旅游竞争力水平的第四层次,衢州和丽水受限经济相对落后,限制旅游产业的进一步发展。嘉兴位居浙江省旅游竞争力的最后一位,主要是由于其工业产业的快速发展,对生态环境造成影响,全市森林覆盖率接近18%,旅游产业发展相对缓慢,这对嘉兴市的旅游竞争力产生了负面影响。总体来看,浙江省市域旅游竞争力存在着较大的差距,旅游竞争力弱的地区只有深度挖掘开发特色旅游资源,走差异化发展道路,创造新颖的旅游产品,才能在激烈的旅游竞争中脱颖而出。

4 结论与讨论

通过构建地级市尺度旅游竞争力评价指标体系,以浙江省地级市的区域旅游竞争力为实证,研究浙江11个地级市旅游竞争力的排名情况,与实际比较吻合,可以看出将主成分分析的方法应用于区域旅游竞争力的评价是可行的,也尽可能避免了人为确定因子权重和设定标准的主观性,提高了评价的客观性和科学性。

浙江省市域旅游竞争力的强弱与旅游资源丰度、品质,生态环境质量、社会经济发展水平、旅游产业发展状况密切相关,尤其是社会经济发展水平因素对市域旅游竞争力的影响尤为显著。旅游竞争力水平四个层次的划分,反映了浙江省市域旅游竞争力水平整体差异较大。杭州、宁波构成浙江省旅游业发展的双核,短期内很难被其他地区赶超;在综合得分方面,只有4个城市位于全省平均水平线以上,映射出各地区旅游业发展的不平衡。

就浙江省旅游而言,由于不同地市旅游业发展条件和优势组合的差异较大,使得旅游产业的发展因地制宜。各地市应该立足于自身的区位条件、资

源特点和客源市场结构的特点,营造良好的产业创 产品和服务,以及提高相关企业的经营管理水平来
新环境,通过发展具有地方特色与竞争优势的旅游 促进本地区旅游业竞争力水平的提高。

参考文献:

- [1] 保继刚,梁飞勇.滨海沙滩旅游资源开发的竞争分析——以茂名市沙滩开发为例[J].经济地理,1991,11(2): 89-93.
- [2] 张陆,夏文汇,徐刚.旅游区域竞争力研究[J].经济问题探索,2002(9): 113-117.
- [3] 张广海,秦素贞.国内旅游产业结构与竞争力比较分析——以山东省和浙江省为例[J].云南地理环境研究,2013, 25(2): 1-8.
- [4] 万绪才,李刚,张安.区域旅游业国际竞争力定量评价理论与实践研究——江苏省各地市实例分析[J].经济地理, 2001, 21(3): 355-358.
- [5] 徐淑梅,陈才.区域旅游竞争力数字化评价体系研究[J].地理科学,2008,22(5): 42-48.
- [6] 刘宇峰,孙虎.省域旅游竞争力评价指标体系的构建及应用[J].干旱区资源与环境,2008,22(8): 93-97.
- [7] 李若凝,李喜梅,钞雅丽.河南省旅游竞争力评价与对策研究[J].河南科学,2007,25(1): 157-160.
- [8] 汪德根,陈田.基于竞争力评价的区域旅游产业发展差异——以中国东部沿海三大旅游圈为例[J].地理科学进展, 2011, 30(2): 249-256.
- [9] 李创新,马耀峰,高军.基于SPSS的中国各省区旅游竞争力研究[J].软科学,2008,22(5): 98-104.
- [10] 李航飞.广东省区域旅游竞争力空间分析[J].信阳师范学院学报,2011,24(2): 220-223.
- [11] 周常春,保继刚.肇庆城市旅游竞争力研究——兼论城市旅游竞争力的分析框架[J].地域研究与开发,2005,24 (2): 78-83.
- [12] 吴丽霞.基于AHP方法的河南省旅游竞争力研究[J].地域研究与开发,2013,32(2): 134-134.
- [13] 张广海,王佳.我国旅游产业竞争力及其区域差异研究[J].北京第二外国语学院学报,2012(1): 32-39.

STUDY ON TOURISM COMPETITION OF PREFECTURE - LEVEL CITY IN ZHEJIANG PROVINCE

XU Jin - hua, SANG Guang - shu

(Department of Geography, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, Zhejiang, China)

Abstract: Through establishing evaluation index system, this article has done objective evaluation on prefecture - level city tourism comprehensive competitiveness in Zhejiang by using principal component analysis and gets the score and ranks of the eleven cities. Based on the results, the formation reason of space differentiation are analyzed deeply. The result shows that prefecture - level city tourism competitiveness in Zhejiang has big spatial difference. Hangzhou and Ningbo are dual core, which followed by Wenzhou and Shaoxing. Competitiveness of Lishui, Jiaxing and Quzhou is clearly weak. The development of tourism in the prefecture - level city should avoid its weakness.

Key words: tourism competition; prefecture - level city; principal component analysis

“核心－边缘”区域结构对旅游客流的影响 ——以肇庆景区为例

廖继武

(肇庆学院 旅游学院, 广东 肇庆 526061)

摘要:以肇庆某景区游客数据为基础资料,从“核心－边缘”视角分析了地处珠三角西北边缘的肇庆旅游客流,冀期探究边缘地旅游客流规律,助力边缘地旅游市场开发。研究表明:肇庆与广州等其它珠三角城市仍属于“核心－边缘”区域结构,该区域结构对肇庆旅游流分布、流量、流向产生直接影响;旅游流分布集中,空间上集中于广州一地,时间上集中于春秋两季;肇庆成为珠三角的旅游目的地,形成从广州等中心区指向肇庆的单向旅游流;珠三角区内旅游流量大而稳定,区外旅游流集中于春季,且流量变化大。

关键词:“核心－边缘”区域结构;旅游客流;肇庆市

中图分类号: F592

文献标识码: A

文章编号: 1001-7852(2013)04-0081-06

0 前言

中心－边缘结构是一种普遍的地域结构类型,中心与边缘的关系,特别是二者的互动在区域发展中的作用成为研究的关注点。最早从地理角度提出边缘区(带)的是历史地理学家麦金德,他将世界分为3个区域:一是欧亚大陆中心的内陆区域;二是位于边缘的“内新月形地带”;三是近海岛屿、美洲、澳大利亚构成的“外新月形地带”^[1]。斯皮克曼将麦氏理论进一步发挥,认为世界上最具权力潜质的区域是欧亚大陆的边缘地区,因这里集中了世界上主要的人口和资源^[2]。1960年Friedman提出中心－边缘结构理论^[3],并作出系统解释,随后该理论被学者用以分析各地发展问题。旅游业的兴起为该理论在旅游发展中的应用提供了空间。1993年Oppermann在研究发展中国家旅游空间结构时引入该理论。此后该理论成为区域旅游空间结构的分析工具,严春艳等分析了广东省核心－边缘的旅游

空间结构^[4];史春云等发现四川同样存在明显的核心区与边缘区,而且核心区与边缘区是动态变化的^[5];1998年Weaver研究加勒比海岛屿旅游发现旅游业是强化主岛与附属小岛之间核心－边缘关系的主要力量^[6];Chaperon等^[7]的研究同样说明主岛与附近小岛的核心－边缘关系,且边缘小岛表现出明显的依附性;Kauppila研究认为风景区与周围地区存在核心－边缘关系,风景区因旅游的发展出现极化过程^[8]。研究者力图拓展该理论在旅游学上的应用,丰富该理论本身的内涵、应用及研究方法^[9]。2002年汪明宇将该理论应用于旅游规划研究中^[10];2004年Papatheodorou研究中心－边缘的旅游市场与空间结构^[11];Lai等将之研究旅游地形象,认为目的地形象存在核心－边缘结构,并以北京为例验证了该理论^[12];Chancellor等通过实地调查应用该理论研究旅游对居民生活质量的影响,边缘区居民对旅游所带来的生活变化反应更强烈^[13];张河清等从微观的景区角度分析了南岳衡山的核心旅游区域与边缘旅游区域旅游产品的相关因素与相

收稿日期:2013-07-01;修订日期:2013-07-25.

基金项目:肇庆学院博士启动项目:珠三角边缘带旅游研究(201108)。

作者简介:廖继武(1971-),男,湖南省武冈市人,讲师,博士,研究方向为区域旅游发展。

互关系^[14]。上述研究验证了区域旅游发展中存在核心边缘结构,为边缘与核心的共同发展提出了有效对策。在核心边缘结构中,通过旅游流实现二者的联系与互动,研究旅游流是理解二者相互作用的关键。本文以珠三角西北边缘城市肇庆境内某景区资料,分析边缘地对旅游客流的影响,为边缘区旅游发展及二者的区域合作(一体化)提供理论依据。

1 “核心-边缘”区域结构分析

肇庆地处珠江三角洲西北边缘,是平原区与粤西北山区的交接过渡地带。肇庆也是广东省内重要的旅游目的地,境内的星湖风景名胜区为国家级旅游景区,在省内具有较高知名度与美誉度,旅游城市的城市形象为省内居民认同,历次城市规划都将肇庆定位为旅游城市。边缘地与旅游城市成为肇庆的城市烙印,城市发展受这两大因素影响。据中心-边缘理论,核心区与边缘区是动态变化的,肇庆与珠三角核心区的关系也在不断变化。最初珠三角经济区包括10市(广州、深圳、珠海、佛山、南海、顺德、东莞、中山、江门、惠州),后加入肇庆的四会、高要、鼎湖与端州,构成珠三角经济区9市的格局(图1)。但肇庆下辖的德庆等山区4县仍不属珠三角经济区。2008年《珠三角地区改革发展规划纲要》获国家批准,该规划首次将肇庆作为珠三角主体城市之一。随后提出“广佛肇一体化”,肇庆融入珠三角的速度加快。肇庆正从边缘地挤入核心区,经历由边缘到核心的演变。肇庆发展水平

不高,在省内属于差等发展水平^[15],与核心区的经济差距大,以山地为主的自然条件与珠三角差距亦大,上述差距表明肇庆与核心区的关系并未根本改变。

珠三角外向型经济发展带动旅游活动的活跃,使之成为中国三大客源市场之一。珠三角也是岭南地区主要客源市场,特别是环珠三角边缘地带,如肇庆、清远、河源等地,成为珠三角重要旅游目的地。边缘地努力迎合珠三角客源市场的需要,大力修建旅游景区与饭店等接待设施,使边缘带旅游得到较好发展。珠三角既是中国主要客源市场,也是主要目的地,但肇庆省外游客极少,与珠三角作为中国主要旅游目的地的地位不符。因此,肇庆旅游业的服务对象主要是珠三角居民,仅是区域性旅游目的地,即珠三角旅客的目的地。从肇庆在珠三角9市旅游网络结构中的地位看,肇庆处于较低地位,大部分指标都低于平均水平^[16]。从旅行社推荐线路与长途汽车客运班线2个维度测算的肇庆在珠三角网络结构中的地位相反,即旅行社推介了较多的肇庆旅游线路,肇庆作为珠三角区内旅游目的地特征明显;由汽车客运班线所反映的网络联系则肇庆与其他城市联系弱,肇庆尚未实质融入珠三角。肇庆与其他8市比尚不具备相当旅游引力,其联系主要是单向旅游流。肇庆旅游仍然严重依赖于珠三角核心区,肇庆与8市之关系仍停留于核心-边缘阶段。

2 “核心-边缘”区域结构对旅游客流的影响

2.1 旅游客流特征

以肇庆境内某知名景区2011年游客数据为基础资料,数据剔除了本市游客部分,以肇庆市外游客作为研究样本。数据为前13位客源地每月游客数量,包含时间与空间2个层面信息,即景区客源地(表1)与各地每月游客数量(表2)。由2表数据可探究旅游客流的时空分布特征。

2.1.1 空间分布特征

(1) 分布异常集中,客流集中率为78.75%。集中分布表现为两方面,一是以广州客流为绝对主体,广州一地客流量超过其他各地的总和;二是客流集中在珠三角,占客流总数的95.28%。(2) 客源地以近距离为主,距离衰减规律作用明显。13地全部在500 km以内,其中11地在200 km范围内。阳江、广西两地成为主要客源地,是近距离的结

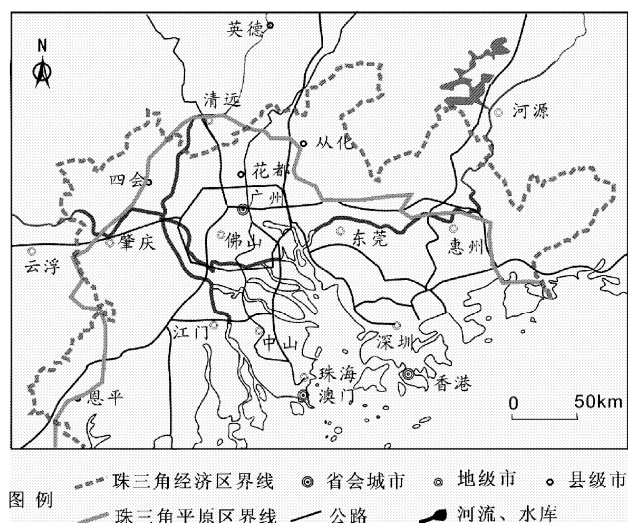


图1 珠三角经济区概况

Fig. 1 General states of the Pearl River Delta

果。(3) 客源地主要为经济发展水平较高地区, 珠三角与香港均为发展水平高的地区, 湛江与汕头两地分别是粤东与粤西地区发展水平最高的地区, 成为主要客源地。(4) 客源地之间流量差异显著, 第一位客源地人数远大于其他客源地, 首位度达 9.40。

2.1.2 时间分布特征

(1) 季节分配呈春秋两季旅游流量大, 夏冬两季旅游流小的特征。1、2、6、9 等 4 个月比重较低, 为全年淡季。3、4、7 等月是旺季。(2) 春季是国内客流高峰期, 且远大于其他各季, 省内省外游客春季均超过全年的半数。(3) 冬季为全年的淡

季, 各地旅客比重均不超过全年的 20%, 最低为省外游客, 不到 3%。(4) 客流量时间分布由珠三角客流决定。珠三角地区客流主要集中于夏冬两季, 占客流总数的 60.60%, 此客源地游客是客流的主体, 其分布规律决定肇庆客流的变化特征。境外客流明显不同于境内, 夏秋是旺季, 且远大于冬春两季。(5) 各客源地旅游流差异性大。珠三角除 1、2 月较低, 4 月较高外, 其他各月份分布较为均衡。省内与省外游客流呈波状起伏的态势, 各月间变化较大, 说明省内省外市场不稳定, 肇庆并非固定的目的地。境外市场则表现为上半年少, 下半年多的特点。

表 1 肇庆某景区 2011 年前 13 位客源地构成
Tab. 1 Constitution of the source region of tourist of a scenic area in Zhaoqing %

项目	广州	深圳	香港	佛山	东莞	中山	珠海	惠州	湛江	江门	广西	汕头	阳江
比例	66.71	7.10	4.94	4.65	3.18	2.80	2.53	1.77	1.70	1.61	1.22	0.91	0.89
累积贡献率	66.71	73.81	78.75	83.40	86.58	89.38	91.91	93.68	95.38	96.99	98.21	99.12	100.00

资料来源：肇庆某景区管理处。

表 2 肇庆某景区 2011 年前 13 位客源地各月旅游流比重
Tab. 2 Proportion of tourist flows in a year in source region of tourist %

客源地	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
广州	4.91	5.07	10.12	14.44	5.72	5.21	6.70	8.43	6.11	11.10	11.10	11.10
深圳	1.31	1.18	5.36	20.04	7.18	7.83	16.78	11.55	9.31	6.50	6.49	6.49
佛山	4.75	0.00	7.13	19.80	20.99	5.22	7.33	6.34	8.37	6.71	6.68	6.68
东莞	1.32	0.99	11.98	32.31	11.17	1.68	14.80	13.26	3.19	3.11	3.11	3.08
中山	0.00	0.00	8.15	30.01	13.22	6.03	11.43	2.54	6.94	7.23	7.23	7.23
珠海	0.64	2.81	10.86	23.87	10.67	10.40	1.98	0.64	11.55	8.88	8.88	8.83
江门	0.00	3.33	25.78	21.14	5.29	2.39	0.72	0.00	0.00	13.83	13.76	13.76
惠州	1.25	11.78	27.11	17.50	6.18	0.00	6.18	3.16	2.43	8.16	8.16	8.09
湛江	0.00	0.00	30.19	13.52	18.99	11.68	8.67	3.83	1.43	3.89	3.89	3.89
汕头	5.26	10.91	35.56	6.80	5.01	0.00	7.32	2.44	2.70	8.09	7.96	7.96
阳江	0.00	0.00	9.54	5.23	31.76	4.84	20.65	0.00	0.00	9.41	9.28	9.28
广西	0.00	0.00	28.22	4.86	24.59	1.72	8.67	0.00	24.12	2.67	2.57	2.57
香港	2.35	3.04	2.68	8.61	3.72	0.99	11.34	18.19	5.88	14.40	14.40	14.38

资料来源：肇庆某景区管理处。

2.2 “核心－边缘”区域结构对旅游流流向（来源地构成）影响

在中心边缘结构中, 中心地在资源禀赋、经济发展、区位交通、历史文化等方面比边缘地有优

势。在旅游业中, 中心地的优势造成两种结果: 一是中心地成为区外游客的目的地; 二是边缘地成为中心地的旅游目的地。珠三角是中国主要旅游目的地, 2010 年接待国内外游客达 5 200 万多人, 中心

地的优势使游客多以中心地为目的地（特别是广深珠3市）。中心地对边缘地产生屏蔽作用，使游客忽视肇庆的旅游价值，弱化肇庆的旅游地位。肇庆为国家级历史文化名城，鼎湖山为岭南四大名山，自然人文旅游资源质优量多，具备较好旅游目的地条件，但区外游客较少的原因在于强势中心地的屏蔽作用。屏蔽影响对省内外游客都起作用，使省内外游客来肇庆旅游数量少，省外仅有广西一地，省内仅3地成为肇庆的主要客源地。按地理标准客源地可分为4类：珠三角地区（I类）、广东省内地区（II类）、广东省外地区（III类）、境外地区（IV类）。珠三角8市均进入主要客源地之列，II类的湛江、汕头与阳江，III类的广西，IV类的香港等地成为肇庆主要客源地。I类占主要客源地61.54%，如以大珠三角考察，则占69.23%，客源地集中在珠三角的趋势十分明显，肇庆成为珠三角的旅游目的地，游客从中心区向西北流向肇庆，构成旅游流的主体流向。

边缘地是区域与外界的接壤地，为区域的前沿，外界进入区域最近便地。肇庆居珠三角西北，是广西进入珠三角必经之地。广西成为主要客源地之原因在于肇庆西北边缘地的位置。省内存在珠三角与外围地区的差异，肇庆作为珠三角边缘地，与外围地区仍有差异，能吸引外围地区游客。与肇庆相邻的外围地有阳江、云浮、清远，云浮曾隶属肇庆，双方相距不足60km，居民对肇庆较为熟知，以之为目的地的居民不多；清远旅游资源与肇庆类似，肇庆对清远居民吸引力不大，二者均未能成为主要客源地，阳江则因肇庆的珠三角地位及边缘之便利成为主要客源地。湛江、汕头等地成为主要客源地在一定程度上缘于肇庆作为珠三角的一部分，加之肇庆为国家级历史文化名城，省内最早的旅游城市之一。作为前沿地，肇庆仅能吸引与之相邻地区的游客，即前已提及的阳江、广西等地。与广东相邻的湘、赣、闽等省，省内其他地市来肇庆旅游的较少。肇庆还面临珠三角其他边缘地的竞争，如北部的清远、东部的惠州等地，二者分流与之相邻的地市与外省游客。因此，湘、赣、闽等省及省内其他地市未能成为肇庆主要客源地。

综合上述主要客源地的形成，得益于边缘地在区域中的两种地位，即区域的边缘与区域的前沿。作为区域的边缘是I类客源地形成主因。因IV类客源地仅为香港，香港属大珠三角范围，IV类客源地成因也为边缘地。作为前沿是III类客源地形成的

主因，II类客源地形成的部分原因。不管是边缘还是前沿，边缘地作为区域的一部分，深受区域整体的影响，4类客源地均不例外。

2.3 “核心-边缘”区域结构对旅游流流量影响

珠三角居民到肇庆旅游的时间、精力、费用等成本低，居民出游肇庆频繁，使珠三角客流稳定而量大。特别广州游客数量大，占6成以上，与肇庆作为边缘地的近便条件有关。肇庆境内景区被珠三角游客作为近程旅游目的地，成为在时间不充裕情况下出行的首选地。当时间条件允许，珠三角游客出游活动则较少考虑肇庆，而更多选择其他目的地。受此影响，在1、2月假期较多月份，景区旅游流流量较小，3月份则显著上升，4月份达到高峰。5月有劳动节假期，肇庆旅游流量又下降。此后旅游流量比较平衡，传统的旅游旺季7、8月份，肇庆旅游流量也没有出现大的增加（图2）。7、8月份学生群体与教师群体旅游者增加，他们假期更长，更愿意选择远距离目的地。作为边缘地，肇庆更多地充当珠三角居民周末游的首选地，肇庆类似于珠三角都市区的城郊公园。特别是广州，城市规模日益扩大，城市人口急增，城市对休闲空间需求扩大，原有城市公园不能满足市民出游需求，必然寻求近便之地作为替代物。肇庆作为边缘地具有先天条件，距离近、交通一体化、以山水资源为主的旅游景区、旅游费用低（肇庆经济发水平远低于上述地区）等，自然成为替代休闲空间。肇庆旅游人数不少，但游客过夜日数少，过夜客比重低，是该因素影响的结果。

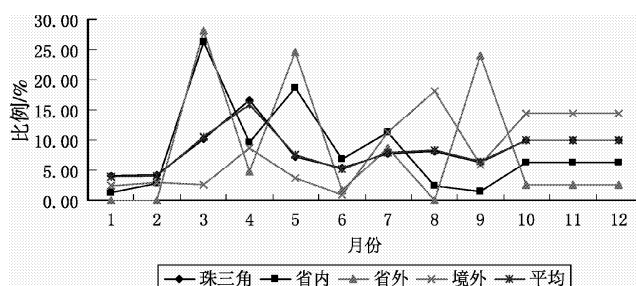


图2 各类客源地旅游流年内变化

Fig. 2 Diversification of tourist flows in a year in every type source region of tourist

作为前沿地，肇庆易为区外游客了解，但仅限与之相邻的区域，造成区外游客不多，区外流量小。作为珠三角的前沿地，其与欠发达地区相连，该类地区居民出游离低，也使流量不大。珠三角改

革开放以来经济发展取得显著成就,其旅游形象更多烙上改革开放、经济发达的元素。作为珠三角的前沿,肇庆是珠三角经济向外的辐射区与扩散区,其发展水平不如其他主体城市,尚未能表现珠三角发达地区的旅游形象。珠三角是国内主要旅游目的地,但到肇庆的省外游客极少,省外旅游客流量很小。肇庆虽有国家级风景名胜区、国家级历史文化名城的亮点,但在区外并未形成独立的旅游形象,只是作为珠三角的部分吸引小量区外游客,且这部分旅客并非专程以肇庆为目的,多为偶然因素作用,随机性大,在旅游客流量上表现为变化大。变化大凸现在两方面:旅游客流年内极值相差大,有时1月甚至数月无游客;年内旅游客流有多个峰值(图2)。此种状况说明,区外旅游客流不稳定,原因在于肇庆作为前沿地不具备珠三角旅游的诸种元素,不能代表珠三角的旅游形象,因而不能分享珠三角稳定的客源市场,造成流量不稳定。

3 结论与讨论

珠三角地区发展水平较高,但仍存在内部发展不平衡。地处西北边缘的肇庆与中心区发展差距较大,仍处于核心-边缘的发展阶段。肇庆边缘地属性对旅游客流影响明显。

边缘地属性对肇庆旅游客流影响大,旅游客流的时空分布特征受边缘地影响,对旅游流的来源地构成(流向)、流量大小、流量年内变化等都起作

用。中心地与边缘地之间的差异使二者形成客源-目的地(O-D)关系,二者之间的天然联系使O-D间旅游流具有一定的稳定性,使肇庆有稳定的客源市场。但核心-边缘旅游结构是动态变化的,演变过程分为核心集聚极化、边缘扩散溢出和空间动态平衡3个阶段^[17]。肇庆要认清核心-边缘旅游结构的发展规律,积极调整旅游发展战略,主动融入旅游结构变化。

边缘地旅游流空间分布集中,主要产生于中心地,时间分布集中于春秋两季,区外旅游流更集中于春季,且流量变化大。珠三角区内与区外旅游流的时空分布不同,肇庆要利用区内外旅游流时空差异,减少旅游季节性的影响。夏季是旅游旺季,而珠三角旅游流量不大,此时应开拓区外市场。

肇庆位于珠三角都市区的边缘,类似都市区的郊区公园,承担珠三角居民周末出游的目的地,使肇庆一日游旅游流流量大。一日游游客花费低,对目的地收入贡献小,造成肇庆“旺丁不旺财”的怪象。破解怪象应从改变一日游游客比重过大入手,通过产品、市场等手段延长游客停留时间。

作为边缘地不具珠三角发达经济的区域特征,不能对区外游客形成稳定吸引力,使区外旅游流变化大。边缘地要注重区域间的优势互补,借助核心旅游地的优势扩大边缘区的旅游市场^[18]。肇庆尤其要重视与广州、佛山等地联合,借助广佛在全国旅游市场的形象与地位扩大自身知名度,吸引区外客源。

参考文献:

- [1] MACKINDER H J. The geographical pivot of history [J]. The Geographical Journal, 1904, 23 (4): 419-430.
- [2] 斯皮克曼. 和平地理学 [M]. 北京: 北京出版社, 1965: 96.
- [3] FREISHMANN J. Cities in social transformation [M]. Cambridge, US: MIT Press, 1996: 1021-1043.
- [4] 严春艳, 甘巧林. 旅游核心区与边缘区协同发展研究——以广东省为例 [J]. 热带地理, 2003, 23 (4): 371-375.
- [5] 史春云, 张捷, 尤海梅, 等. 四川省旅游区域核心-边缘空间格局演变 [J]. 地理学报, 2007, 62 (6): 631-639.
- [6] WEAVER D B. Peripheries of the periphery: Tourism in Tobago and Barbuda [J]. Annals of Tourism Research, 1998, 25 (2): 292-313.
- [7] CHAPERON S, BRAMWELL B. Dependency and agency in peripheral tourism development [J]. Annals of Tourism Research, 2013, 40 (1): 132-154.
- [8] Kaupila P. Cores and peripheries in a northern periphery: a case study in Finland [J]. Fennia - International Journal of Geography, 2011, 189 (1): 20-31.
- [9] 梁美玉, 史春云. 长三角旅游城市核心——边缘空间结构的演变 [J]. 旅游论坛, 2009, 2 (2): 229-233.
- [10] 汪宇明. 核心-边缘理论在区域旅游规划中的运用 [J]. 经济地理, 2002, 22 (3): 372-375.
- [11] PAPATHEODOROU A. Exploring the Evolution of Tourism Resort [J]. Annals of Tourism Research, 2004, 31 (1): 219-237.
- [12] LAI K, LI Y. Core-periphery structure of destination image: Concept, evidence and implication [J]. Annals of Tourism Research, 2012, 39 (3): 1359-1379.

- [13] CHANCELLOR C, YU C, COLE S T. Exploring quality of life perceptions in rural midwestern (USA) communities: an application of the core – eriphery concept in a tourism development context [J]. *International Journal of Tourism Research*, 2011, 13 (5): 496 – 507.
- [14] 张河清, 成红波. “核心 – 边缘”理论在南岳衡山区域旅游产品开发中的运用 [J]. *地域研究与开发*, 2005, 24 (3): 68 – 71.
- [15] 陈基纯. 广东省区域经济发展水平动态分析与评估 [J]. *商业时代*, 2011 (22): 134 – 135.
- [16] 陈浩, 陆林, 郑嫔婷. 基于旅游流的城市群旅游地旅游空间网络结构分析——以珠江三角洲城市群为例 [J]. *地理学报*, 2011, 66 (2): 257 – 266.
- [17] 庞闻, 马耀峰. 关中天水经济区核心 – 边缘旅游空间结构解析 [J]. *人文地理*, 2012, 27 (1): 152 – 155.
- [18] 张焱华, 李悦铮. 边缘旅游地开发研究——以赤峰市为例 [J]. *国土与自然资源研究*, 2008 (2): 77 – 78.

IMPACTION OF “CORE – PERIPHERY” REGIONAL STRUCTURE ON TOURIST FLOWS ——A CASE OF A SCENIC ZONE IN ZHAOQING CITY

LIAO Ji – wu

(*School of Tourism Management, Zhaoqing University, Zhaoqing 526061, Guangdong, China*)

Abstract: To expect understanding the rule of tourist flows and help exploring the market in fringe belt, the status of tourist flows was analyzed from the perspective of “core – periphery” theory, in which we used the data of tourism flows from a scenic spot in Zhaoqing, which is located in the northwest edge in the Pearl River Delta. Results show: (1) Zhaoqing and other cities in the Pearl River Delta still belong to the “core – periphery” regional structure and the relationship produces directly influence on distribution, direction and quantity of tourism flows in Zhaoqing City. (2) The distribution of tourism flows is concentrated, and the spatial distribution concentrates in Guangzhou, and the temporal distribution is main during the spring and autumn. (3) the direction of tourism flows is one – way and is from Guangzhou and other cities in the Pearl River Delta to Zhaoqing City because Zhaoqing becomes a tourist destination in the Pearl River Delta. (4) the tourism flows are huge and stable in the Pearl River Delta, and the tourist flows are concentration in the spring outside the Pearl River Delta, which changes quickly.

Key words: “core – periphery” regional structure; tourist flows; Zhaoqing City

近30年来辽宁省人口增长的空间关联性研究

穆金婷¹, 王利^{1,2*}, 纪胜男¹

(1. 辽宁师范大学城市与环境学院, 辽宁大连116029; 2. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 辽宁大连116029)

摘要: 改革开放以来, 随着辽宁省经济不断发展以及空间差异新变化, 人口的增长也呈现出明显的空间关联性, 并具有一定的时间阶段特点。作者选取1980~2012年人口增长数据, 根据实际需要把辽宁省划分为61个基本空间单元, 采用Geoda095i空间统计分析工具, 分7个发展阶段对辽宁省人口增长进行空间关联性分析。结果显示, 1980~2012年全省人口增长的Moran' I指数均为正值, 反映出辽宁省各区域人口的增长具有显著的空间正相关性, 并且随着时间变化, 总体相关性呈现出“较弱-较强-较弱-较强-较弱”的阶段变化特征; 同时, LISA指数反映的人口增长的局部相关及热点区域主要分布在沈阳-大连所连接起来的轴线上、环渤海地区和距离沈阳较近的辽东部分地区, 且集聚模式多样化。

关键词: 辽宁省; 人口增长; 空间关联性

中图分类号: X821

文献标识码: A

文章编号: 1001-7852(2013)04-0087-06

0 引言

近年来, 国外社会和行为科学的研究多借助空间统计分析方法探索社会现象的空间模式和异常分布^[1]。国内也出现不少学者对人口分布的地域空间差异与联系进行研究。吕安民^[2]等用空间统计方法研究了中国省级人口增长率及其空间关联关系; 刘聪粉^[3]、苏飞^[4]、刘望保^[5]、杨剑^[6]、陈刚强^[7]等运用空间自相关理论对区县人口增长空间关联性进行了研究。人口作为地区经济社会发展的重要因素, 人口的总量、结构、增长、分布、迁移等对一个地区的经济发展有着重要的作用^[3]。改革开放以来, 辽宁省经济发展迅速, 人口的增长也呈现出许多新特征。任家强^[8]、唐晓旭^[9]等对辽宁省经济空间差异做了一些初步分析, 王辉^[10]对辽宁省人口、经济与环境的协调发展做出研究。在上述学者的研究基础之上, 作者基于空间自相关技术方法, 利用Geoda095i软件对辽宁省人口增长的空间关联性进

行详细、小尺度、多阶段的研究。

1 研究思路与方法

1.1 研究思路

作者采用辽宁省1980~2012年数据, 把全省100个县域单位最终归并为61个基本研究单元收集整理基础数据进行阶段性研究, 具体归并依据如下: 第一, 由于辽宁省的地理位置靠海, 周边存在很多分散的岛屿, 作者为了便于计算把一些区域进行合并; 第二, 由于辽宁省存在整体规模较小的飞地, 作者将其并入周边乡镇计算; 第三, 由于市辖区已是建成区, 没有必要单独计算, 所以将其合并为市区。

作者通过增长率^[11]变化情况来反映辽宁省各区县人口分布及时空变化情况; 根据空间关联性的分析结果进行空间关联模式分类, 从而得出各区域人口发展的关联程度以及各区域人口发展的未来趋势。

收稿日期: 2013-05-17; 修订日期: 2013-07-23.

作者简介: 穆金婷(1988-), 女, 吉林省榆树市人, 硕士研究生, 研究方向为城市与区域规划.

* 通讯作者.

1.2 运用技术方法

为了更加全面的分析和反映辽宁省人口空间分布模式及变化规律,文章采用全局空间自相关与局域空间自相关的技术方法与 Geoda095i 相结合的方式进行分析。

全局 Moran' I (Global Moran' I) 统计衡量相邻的空间分布对象属性取值之间的关系。取值范围为 $-1 \sim 1$, 正值表示该空间事物的属性值分布具有正相关性, 负值表示该空间事物的属性值分布具有负相关性, 0 值表示空间事物的该属性值不存在空间相关, 即空间随机分布。计算公式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x}) (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中: n 为格数据数目; x_i 和 x_j 分别为空间对象在第 i 和第 j 两点的属性值, 可为 x 的平均值空间权重矩阵元素, w_{ij} 为空间对象在第 i 和第 j 两点之间的连接关系。空间权重矩阵可以由诸如距离方式、面积方式、可达度方式等方法来确定, 其一般为对称矩阵, 其中 $w_{ij} = 0$ 。

全局 Moran's I 统计方法首先假定研究对象间没有任何空间相关性, 然后通过 Z -score 得分检验来验证假设是否成立。公式如下:

$$Z(I) = \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}} \quad (2)$$

式中: I 为 Moran's I 系数; $E(I)$ 为期望值; $\sqrt{Var(I)}$ 为方差。当 $n \rightarrow \infty$ 时, 期望值为 0。

Moran's I 的方差有两个假设: 空间对象属性取值的正态分布假设和空间对象随机分布假设^[11]。一般当 $|Z| > 1.96$ 时, 拒绝零假设, 即在 95% 的概率下, 存在着空间自相关。

全局 Moran's I 统计量是一种对空间自相关的全局评估, 仅说明所有区域与周边地区之间空间差异的平均程度, 存在忽略了空间过程的潜在不稳定性问题。局部空间自相关分析可进一步测度是否存在观测值的高值或低值的局部空间集聚^[12]。文章采用 LISA (Local Moran's I Spatial Autocorrelation) 指数进行研究, 定义如下:

$$I = \frac{y_i - \bar{y}}{s^2} \sum_j w_{ij} (y_j - \bar{y}) \quad (3)$$

式中: s^2 为 y_i 的离散方差; $\bar{y}$ 为均值; w_{ij} 为权重矩阵。在假定空间对象的属性值属于空间随机分布的零假设下, 局域 Moran' I 值的一个合理的检验形式如下:

$$Z(I_i) = \frac{I_i - E(I_i)}{\sqrt{Var(I_i)}} \quad (4)$$

式中: $E(I_i)$ 和 $\sqrt{Var(I_i)}$ 分别是局部 Moran's I 指数的期望和方差。 Z -score 得分统计检验, 可以得出该空间对象属性值在全局空间对象属性取值的聚集或分散的分布状态下所起到的作用, 即是否促进高值与高值的空间相邻或者高值与低值的空间相间分布^[13]。

2 分析过程

2.1 数据来源及总体特征分析

从《辽宁省统计年鉴》中选取 1980 ~ 2012 年辽宁省区县级数据, 经过整理处理后按照 5 年一个时间段, 最终划分为 7 个阶段进行分析。考虑数据更新, 作者把 2010 ~ 2012 年单独作为一个阶段分析。本部分将从全省 7 阶段人口总量变化及人口逐年增长率、1980 ~ 2012 年全省人口增长空间差异、1980 ~ 2012 年人口增长的相关性 3 个方面概括全省人口变化的总体特征 (图 1、图 2、图 3)。

图 1 反映出 1980 年至今辽宁省人口总量整体增长比较和缓, 个别阶段如第 1 阶段 1981 年、1982 年增量较大, 第 4、5 阶段, 即 2000 年人口总量减少量较大; 而人口增长率在整体上呈现出下降趋势, 但是在第 1 阶段的 1980 ~ 1982 年、第 2 阶段的 1985 ~ 1987 年出现上升趋势。

图 2 为 1980 ~ 2012 年全省人口增长的空间差异图。由图 2 (a) 可见, 整个时间段辽宁省人口增长量较大的区域主要分布在沈阳 - 大连所连接起来的轴线上的一些县区以及辽西的阜新市、阜新蒙古族自治县、朝阳市、锦州市、葫芦岛市、建平县、凌源市、建昌县、绥中县、兴城市、康平市和辽东的丹东市人口增长率较高, 大概都在 1% 以上, 最大达到 6.33%。

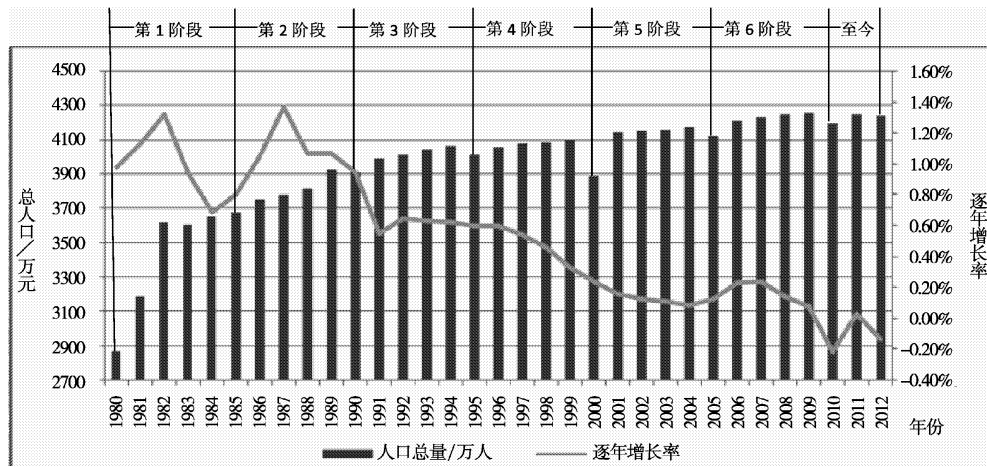
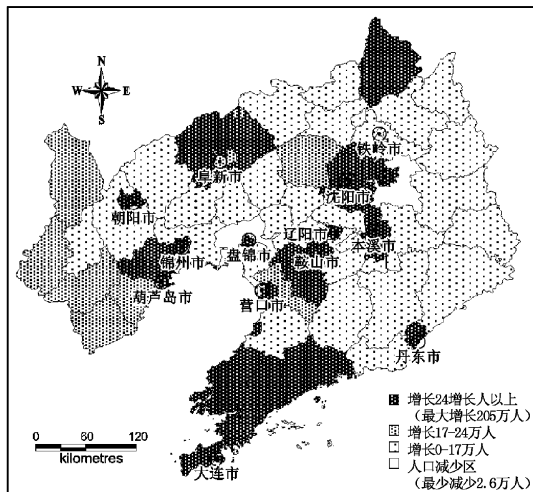


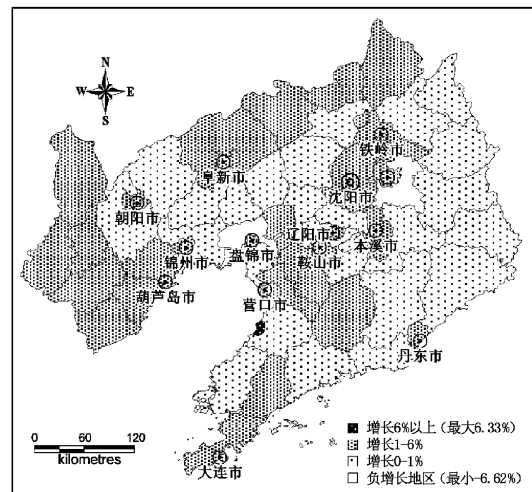
图1 1980~2012年全省人口总量及增长统计图

Fig. 1 1980 ~ 2012 the total population statistical figure and growth of entire province



(a) 人口绝对增长量

(a) The absolute quantity of population growth



(b) 人口相对增长量

(b) The relative amount of population growth

图2 1980~2012年全省人口增长的空间差异图

Fig. 2 The space differences in population growth of entire province during 1980 ~ 2012

图3为1980~2012全省人口年均增长 Moran's I 散点图, 本图利用 Geoda095i 工具创建 k -Nearest ($k=4$) 权重矩阵, 得出 Moran's $I=0.16$, 运用公式(2)进行检验, 经过检验 $p=0.01$, Z -score = 3.01, 空间关联的显著性很高, 这说明近30年来辽宁省各区域之间人口增长率变化在整体上并不是无关的, 而是呈现出显著的正相关性。

综合以上3方面对辽宁省整体人口变化情况的分析, 可以看出1980~2012年全省人口变化有规律可循, 在人口总量增长比较和缓, 人口增长率总体下降, 二者增长量较大区域基本重合以及总体 Moran's I 值显示正相关的情况下, 作者试图运用全局自相关和局部自相关方法分7个阶段对县域人口变化情况作出具体分析。

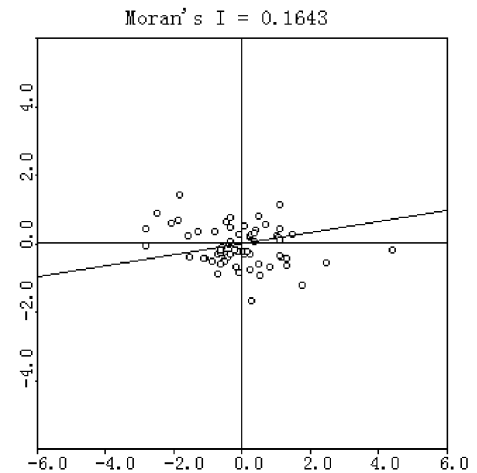


图3 1980~2012期间人口年均增长 Moran's I

Fig. 3 Moran's I of annual population growth

2.2 全局自相关分析

作者利用 Geoda095i 工具创建 k -Nearest ($k=4$) 权重矩阵, 运用公式 (1) 和 (2) 分析得出 7 个阶段的 Moran's I 指数及相关检验值如表 1, 然后做出 Moran's I 指数人口变化折线 (图 4)。

表 1 表明全省县域人口增长的 Moran's I 值均大于零, 呈现正态分布的特征, 并且经过检验可信度很高。图 4 反映出全省人口增长总体相关性变化呈现出阶段性的变化特征, 其中 1985~1990 年和 1985~1990 年这两阶段 Moran's I 值较大分别为 0.3247 和 0.6142, 说明这两个阶段各区县人口增长的相关性较强。

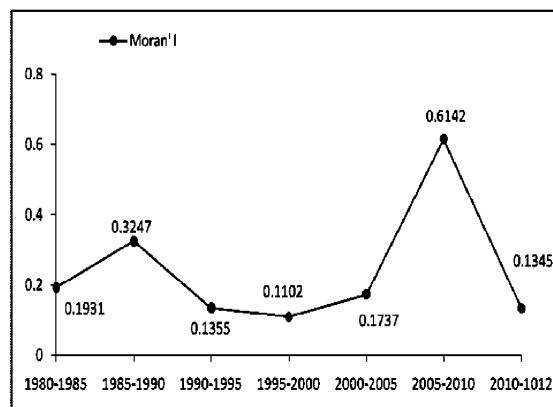


图 4 全省 7 个阶段 Moran'I 指数变化情况

Fig. 4 The changes of the Moran's I index in the seven during 1980~2012 phases

表 1 辽宁省县域人口增长分布的 Moran's I 估计值

Tab. 1 Estimation of Moran's I for population growth distribution at county level in Liaoning Province

项目	1980~1985年	1985~1990年	1990~1995年	1995~2000年	2000~2005年	2005~2010年	2010~2012年
Moran's I	0.19	0.32	0.14	0.11	0.17	0.61	0.13
Z-score 得分	4.12	6.11	2.85	2.83	3.46	10.66	2.80
P 值	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02

2.3 局部自相关分析

这部分仍然利用 Geoda095i 工具, 采用相同的权重矩阵, 运用公式 (3) 和 (4), 进一步分析得出热点区县如图 5。

1980~1985 年, 全省人口增长的热点区域为环渤海地区的朝阳县、凌海市、盘山市、盘山县北镇市和沈阳-大连轴线上的大洼县、营口市、辽阳县

西、辽阳县东; 1985~1990 年全省人口增长的热点区域主要是沈阳-大连轴线上的盖州市、铁岭县、本溪市和辽东的西丰县、清原满族自治县、新宾满族自治县、恒仁满族自治县、宽甸满族自治县、本溪满族自治县、丹东市; 1990~1995 年热点区域主要为沈阳-大连轴线上的本溪市、营口市、岫岩满族自治县、盖州市、庄河市, 辽东的西丰县、清原

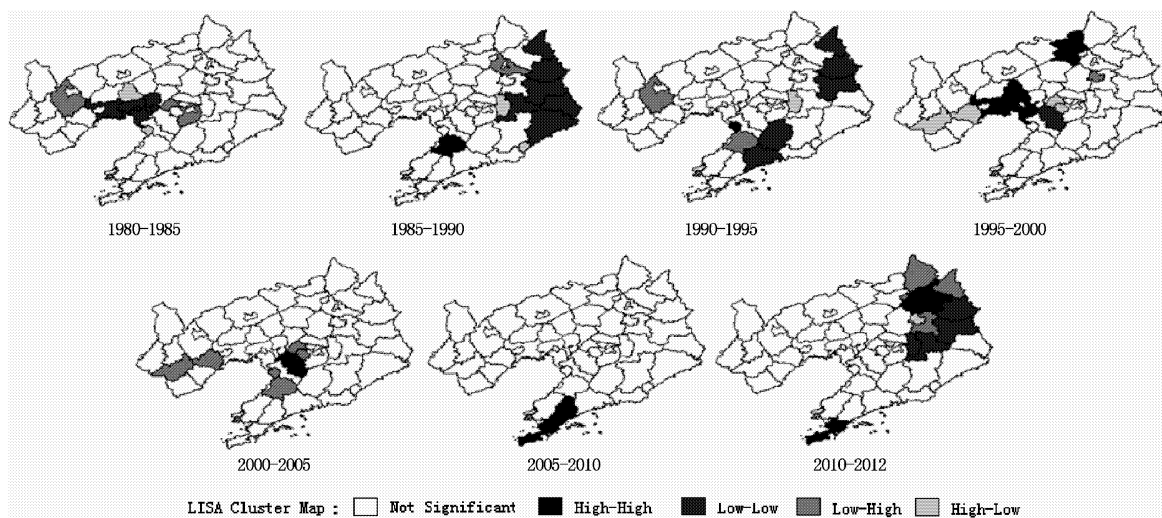


图 5 LISA 指数及热点区域移动

Fig. 5 LISA index and hot spots

满族自治县、新宾满族自治县和环渤海地区的朝阳县；1995~2000年热点区域主要分布在沈阳-大连轴线上的康平县、法库县、抚顺市、鞍山市、辽阳县西、大洼县、海城市和环渤海地区的盘山县、北镇市、葫芦岛市、建昌县；2000~2005年热点区域分布在环渤海地区的建昌县、葫芦岛市和沈阳-大连轴线上的盖州市、营口市、辽阳县西、鞍山市、海城市；2005~2010年热点区域分布在沈阳-大连轴线上的大连市、普兰店市和庄河市；2010~2012年，热点区域分布在沈阳-大连轴线线上的昌图县、开原市、铁岭市、本溪满族自治县、本溪市和辽东的西丰县、清原满族自治县、新宾满族自治县。

3 结果分析

3.1 空间相关性的特点分析

总体上，1980~2012年7个阶段的Moran's I指数值均大于零，也就是说各阶段辽宁省人口增长变化都存在着显著的正相关性；而且在不同阶段，Moran's I指数值的大小也存在差异，整体呈现出不同的强弱变化趋势。具体来看，1985~1990，2005~2010年这两阶段的相关性出现了较大值，其余阶段Moran's I值均较低，呈现出“较弱-较强-较弱-较强-较弱”的阶段变化特征。

总结全省局部自相关分析，辽宁省人口增长在7个时间段的变化呈现出3个特点：一是热点分布区域与人口总量变化、人口增长率变化较为明显的地区有重合部分，但并不完全重合；二是人口增长的局部相关和热点区域的集聚模式多样化；三是局部相关和热点区域主要分布在沈阳-大连所连接的轴线上、环渤海地区、以及靠近沈阳的辽东部分区域。

3.2 人口空间变动趋势判断

改革开放以来辽宁省人口总量变化趋势平缓，作者通过对人口增长率的分析可以判断出各区县之

间人口增长存在着显著的空间正相关性，热点区域也在逐渐发生转移，地区间的相互影响在不断增强，并且主要沿着沈阳-大连市形成的轴线区域分布。这一方面说明地区间的相互影响正呈现出加强的趋势，另一方面也说明沈阳、大连这样相对比较发达的城市具有很强的带动性，进而能大致推断未来人口发展趋势逐渐以政治、经济发达的沈阳市、大连市为中心轴，所以可以充分利用他们的优势带动全省各区域协调发展。

4 结论与讨论

作者基于空间自相关理论，采用ESDA分析方法对辽宁省人口要素进行空间关联性分析，对其61个空间地理单元进行分类，得到一系列可以说明全省人口增长空间关联模式的统计量和分析结论图，包括人口总量及增长统计图、人口增长的空间差异图、1980~2012期间人口年均增长率Moran's I、7个阶段全局Moran's I指数、7个阶段LISA聚类图。分析结论如下：辽宁省人口增长变化呈现出显著的空间正相关性，总体上呈现出阶段性的变化特征；而热点区域集聚模式多样化，虽然具体区域不断发生变化，但是主要分布在沈阳-大连轴线及周边地区。方辉振提出，新型城镇化的核心要求是实现人的城镇化^[14]。作者通过分析得出的结果对于今后辽宁省新型城镇化建设中人口布局问题具有一定的指导作用。

由于人口增长的空间移动受到社会经济发展以及自然环境变化等多种因素的影响，所以在作者对人口空间关联性以及集聚特征作出初步研究的基础上，还需要进一步基于经济发展的空间关联及差异研究基础，对于人口空间关联和集聚机制作出更充分的解释，作为全面客观判断未来全省人口空间集聚态势的基础依据。

参考文献：

- [1] 刘峰，马金辉，宋艳华，等．基于空间统计分析与GIS的人口空间分布模式研究——以甘肃省天水市为例[J]．地理与地理信息科学，2004，20（6）：18-21．
- [2] 吕安民，李成名，林宗坚，等．中国省级人口增长率及其空间关联分析[J]．地理学报，2002，57（2）：143-150．
- [3] 刘聪粉，柯大纲，张瑞荣．基于Geoda095i的陕西省人口分布空间统计分析[J]．西北人口，2008，29：7-15．
- [4] 苏飞，张平宇．辽中南城市群人口空间分布的时空演变特征[J]．地理科学进展，2010，29（1）：96-102．

- [5] 刘望保, 闫小培, 陈忠暖. 基于 EDSA - GIS 的广州市人口空间分布演化研究 [J]. 经济地理, 2010, 30 (1): 34 - 39.
- [6] 杨剑, 蒲英霞, 秦贤宏, 等. 浙江省人口分布的空间格局及其时空演变 [J]. 中国人口资源与环境, 2010, 3 (20): 95 - 99.
- [7] 陈刚强, 李郁, 许学强. 中国城市人口的空间集聚特征与规律分析 [J]. 地理学报, 2008, 63 (10): 1045 - 1054.
- [8] 任家强, 董琳瑛, 汪景宽, 等. 基于空间统计分析的辽宁省县域经济空间差异研究 [J]. 经济地理, 2010, 30 (9): 1435 - 1439.
- [9] 唐晓旭, 张怀清, 刘锐. 基于 GeoDA 的辽宁省 GDP 空间关联度分析研究 [J]. 林业科学研究, 2008 (增刊): 60 - 64.
- [10] 王辉, 苑莹, 刘帆, 等. 辽宁省人口、经济与环境协调发展的空间自相关分析 [J]. 人口与发展, 2013, 19 (3): 29 - 37.
- [11] 赵建波, 莫国芳, 关学会. 滇中城市圈县域人口增长率的空间格局演变特征分析 [J]. 曲靖师范学院学报, 2010, 29 (5): 73 - 76.
- [12] 何容, 陈端吕. 湖南省县域单元人均 GDP 的空间相关性研究 [J]. 湖南文理学院学报: 自然科学版, 2010, 22 (4): 81 - 87.
- [13] 王劲峰, 廖一兰, 刘鑫. 空间数据分析教程 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [14] 方辉振, 黄科. 新型城镇化的核心要求是实现人的城镇化 [J]. 中共天津市委党校学报, 2013, 4: 63 - 68.

SPACE CORRELATION RESEARCH OF POPULATION GROWTH IN LIAONING PROVINCE FOR NEARLY 30 YEARS

MU Jin - ting¹, WANG Li^{1,2}, JI Sheng - nan¹

(1. College of Urban and Environment, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China;

2. Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China)

Abstract: In recent years, many scholars used patial statistical method to research the differences and connections of geographical space from the aspects of economy, population etc. At present, many scholars only studied the correlation from the aspect of economy in Liaoning province. It lacked the awareness from the population. As an important indicator of regional development measuring, the population element had the extremely important research value. This article chosen population growth data from 1980 to 2012 of Liaoning province, divided into 61 basic spatial units according to the actual need, with the combination of Geoda095i spatial statistical analysis tools to analysis population growth in Liaoning province on six development stages of spatial correlation. Results showed that the Moran s' I index of the province's population growth was positive during the period of 1980 - 2012, reflected the growth of population in each region of Liaoning province had significant positive correlations of space, and as time changed, the overall correlation was presented the phase changed character of weaker - stronger - weaker - stronger - weaker; At the same time, The population growth of hot spots which LISA index correlated were mainly distributed on the axis of the Shenyang - Dalian, link of Bohai areas, Liaodong areas close to Shenyang and agglomeration mode diversification.

Key words: Liaoning Province; the population growth; the spatial correlation

云南省新型特色城镇化建设探讨

郭凯峰

(云南省设计院, 云南 昆明 650228)

摘要: 基于国家新型城镇化建设和云南省情为基础, 开展云南省新型特色城镇化建设研究, 从“人口-土地-空间”视角研究云南城镇化建设具有十分重要的意义和价值。研究表明: 在人口城镇化建设的视角下, 应准确把握城乡居民的梯级流向、有效提升农民进城的吸引半径和提高农村人口市民化转化水平; 在土地城镇化建设的视角下, 应稳妥推进山地城镇建设、高端营建山水田园城市和科学保护城市内外生态; 在空城镇化建设的视角下, 应对区域空间、产城空间、集群空间、特色空间和统筹空间等重点环节推进城镇化建设。

关键词: 新型特色城镇化; 建设; 云南

中图分类号: TU984

文献标识码: A

文章编号: 1001-7852(2013)04-0093-05

城镇化是基于特定区域内的人口转化发展、生活方式和生产效率变革、基础设施和公共服务设施等发展要素集聚、科技文化创新、城市建设和运营管理、城市生态系统营建等多元化城市要素的吸引、集聚、整合、演变和提升的重要表现形式。党的十八大明确提出新型城镇化的发展要求, 同时新型城镇化也是未来中国经济社会改革发展的主要动力之一^[1]。在云南省委九届五次全体扩大会议上, 秦光荣书记、李纪恒省长对云南城镇化建设道路作了全面的部署和要求, 明确了努力走出一条具有云南特色城镇化路子的总目标和正确处理好城镇发展与农村发展关系的总要求, 要求我们一手抓以人为中心的新型城镇化, 一手抓以美丽乡村为目标的新农村建设。云南作为一个“边疆、民族、山区、贫困”特征显著的西南省份, 积极稳妥推进有云南特色的新型城镇化进程, 对于促进各类城乡建设资源、生态环境资源的合理配置与高效利用, 加速推

进云南桥头堡和“美丽云南”建设进程, 提升云南经济加速发展动力、社会永续发展水平、文化和谐发展基础、生态绿色发展诉求等具有重要意义。

通过系统梳理云南城镇化建设中存在的主要问题, 以人口、土地和空间等城镇化建设为视角, 进一步探索云南新型特色城镇化的建设思路 and 对策。

1 面临的主要问题

2012年云南省城镇化水平为39.3%^[2], 比全国城镇化平均水平低13.27个百分点, 落后全国城镇化平均水平约10年左右。中国的城镇化进程中, 长期以来依靠廉价的土地供给、农民工劳动力资源, 以及低水平的基础设施和公共服务支撑城市的快速集聚和扩张。当前在全国新型城镇化建设热潮中, 云南需要解决和面临的问题尤为突出、形势也更趋复杂。

收稿日期: 2013-06-25; 修订日期: 2013-08-07.

基金项目: 云南省住房和城乡建设厅、国家开发银行云南省分行2013年“云南特色城镇化发展战略研究”重点资助项目(2013001); 云南省政府系统2013年决策咨询研究项目“构建与云南省情相符合的城市空间格局研究”(2013-2-40); 云南省科协资助项目“云南省124个县、市中心城区人口-土地-空间城镇化协调发展研究”(2013-023)。

作者简介: 郭凯峰(1985-), 男, 江苏省苏州市人, 硕士, 规划师, 主要从事城市及产业规划研究。

1.1 人口老龄化进程加快,人口红利减少而城镇化成本增加

第六次人口普查结果显示全省65岁以上老龄人口约占总人口的7.63%,人口老龄化进程逐步加快而经济增长的“人口红利”效应会逐渐消失。随之而来的是劳动人口减少,社会创造总价值相对减少;需要政府支出“抚养”的人多了,农民进城等人口城镇化的成本将有较大提高。

1.2 以城镇可建设用地为代表的可利用土地资源十分紧缺

云南省域94%的国土面积是山区,坝区仅占6%,优质耕地特别珍贵,仅占3.39%。如何在有限的土地上,加快城镇化建设速度,保证城镇化建设质量,解决好土地资源稀缺与城镇建设用地有序拓展的矛盾,是当前十分紧迫而艰巨的任务。

1.3 多元化的发展省情,城镇建设资源紧缺和配置效率损耗大

基于云南“边疆、民族、贫困、山区”等现实省情、区域发展不平衡、城乡差异显著等发展问题也影响了全省城镇化进程的推进速度和质量。总的来说,全省可以划分为以农业、工业和旅游为主要驱动特征的3类城镇化区域,这导致全省不同区域城镇化效率差异显著、城镇化建设资源在全省范围内的配置效率损耗偏大。

2 云南新型特色城镇化建设对策

2.1 云南城镇化建设内涵

以邓小平理论、“三个代表”重要思想、科学发展观为指导,以深入贯彻落实党的十八大和省第九次党代会精神为主线,以国家新型城镇化战略发展为契机,围绕建设绿色经济强省、民族文化强省和中国面向西南开放重要桥头堡目标,坚持科学发展、和谐发展、跨越发展,全力推进山地城镇建设进程、推进区域城镇集群化发展进程、推进农业转移人口进程、推进特色小城镇建设进程,走区域协调发展、生态包容共生、城乡互促共进、资源高效利用的云南特色城镇化发展道路。

云南新型特色城镇化建设其本质内涵体现在7个方面:区域推进——以六大区域城镇群作为主体形态;山地拓展——以山地城镇规划建设作为拓展载体;空间协调——以人口、土地、空间城镇化协调发展作为统筹重点;生态保育——以生态文明建

设作为重要导向;产城融合——以新型工业化、信息化和现代服务业、高原特色产业作为持续动力;文化引领——以历史民族文化遗产为精神内涵;城乡互动——以统筹城镇、新农村建设互动发展作为内生动力的国家新型城镇化的重要篇章。

2.2 人口城镇化建设

2.2.1 准确把握城乡居民的梯级流向

截止2013年7月底,全省设市城市已达20个,建制镇发展到570个(包括93个城关镇),基本形成了以昆明特大城市为依托,以玉溪、曲靖、大理、红河区域中心城市,州(市)政府所在地和设市的城市、县城、中心集镇、边境口岸城镇为基础的城镇化发展格局。准确把握全省不同区域的城乡居民梯级转移和流动行为及意向,开展科学合理的预判、提出实事求是的解决方案,才能为有效提升人口流入地城镇的综合承载能力、完善城镇综合服务功能和改善城镇人居环境质量提供保障。

2.2.2 有效提升农民进城的吸引半径

由于全省长期以来城市首位度极高,昆明作为特大城市的集聚力和吸引力远高于省内其他区域的城市,就农民进城的轨迹和半径判断,大中小城市在未来吸收进城农民的潜力最大。今后一段时期要进一步提高大中小城市对于进城农民的基础设施综合配套水平、有效扩容就业岗位、强化社会保障能力,提升农民进城的城市吸引半径,在小尺度、更便捷、更适宜的城乡空间尺度中满足农民进城工作和生活的发展需要。

2.2.3 提高农村人口市民化转化水平

人口市民化也是城镇化质量的体现。2012年全省共有286万农业转移人口转为城镇居民^[2],在数量上已完成1000万转移人口目标28.6%,但城镇化与市民化不协调的因素仍然存在。要进一步提高农业转移人口的劳动技能培训和就业指导工作力度、充分保障进城农民子女的义务教育权利,为进城农民和其子女能够更好的融入城市、真正实现市民化转变创造条件。

2.3 土地城镇化建设

2.3.1 稳妥推进山地城镇建设

建设山地城镇是云南在新型特色城镇化建设进程中基于坝区可建设用地紧缺和山地资源相对丰富的前提下的一种实践和探索,要坚持以山地城镇作为节约集约利用土地资源的重要途径。应该说,山地城镇建设不是全域范围的山地城镇建设行政指

令,也不是为建山地城镇而大规模利用山地的破坏式开发,而是因地制宜地结合并基于现有城镇发展格局、城镇建设用地增长需求、保护坝区优质耕地等方面的一种补充、拓展和优化,在保持山区生态环境可允许、可接纳、可保护的前提之下,创新利用现有用地资源的路径和模式。

2.3.2 高端营建山水田园城市

云南独特的山水资源、山水文化、田园景观丰富,而城镇化的最终目标是为了有效提高居民的生存、生活和生产质量。要认真按照秦光荣书记提出的“山水田园一幅画,城镇村落一体化”这一建设要求,彰显山水田园特色,积极倡导保护环境、尊重自然、依山就势、融入自然的理念,注重城镇营造过程中的生态景观保护,充分利用水面、山丘、农田、林地、草地进行生态景观分隔,促使城镇、村庄组团式发展,提升城乡人居环境,营造富有特色的山地、山水、田园城镇特色景观。

2.3.3 科学保护城市内外生态

城市内外生态是城市可持续健康发展的自然本底,生态城市也是未来城市竞争力的重要考量因素之一。2012年云南森林覆盖率超过53%^[2],这一成绩来之不易,我们唯有始终坚持城乡绿色化发展战略,立足生态资源环境承载力、提高城镇建设质量和水平、改善城市内外生态环境。要规划建设中心城区内部的绿核、绿廊,打造生态廊道和城市景观带,同时打造有机开敞的城市空间格局。积极开展生态绿化建设,在生态绿地内建设功能明确、规模适度、生态作用明显的郊野绿地和湿地公园,作为城市发展的生态屏障,为建设城乡人居环境舒适、人文社会环境良好、生态自然环境宜人的“美丽云南”奠定基础。

2.4 空间城镇化建设

2.4.1 区域空间城镇化——积极建设区域城镇群

城镇群是国内外城镇化进程中一个重要的发展趋势和最显著的地域形态特征,是城镇化的一种高级演进形态,能够更好地实现城乡互动,促进区域一体化。云南应以滇中(昆明-曲靖-玉溪-楚雄)、滇东南(红河-文山)、滇西南(普洱-临沧-西双版纳)、滇西(大理-德宏-保山)、滇西北(丽江-迪庆-怒江)、滇东北(昭通)六大区域城镇群作为推进云南新型特色城镇化的主体发展形态,同时作为支撑大城市组团化、集群化发展的主体支撑平台。区域城镇群以实现“规划一张

图、建设一盘棋、管理一体化”为建设目标^[3],有利于降低区域间城市建设资源配置中的效率损耗,增强区域合作、有效整合资源、实现互补发展,全面提升资源优化配置水平和能力。

2.4.2 产城空间城镇化——科学营建产城融合模式

促进工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展,是实现产业与城市发展的良性互动,是全国各地面临的共同挑战。园区是支撑和促进产业集聚发展的有效载体,抓园区发展就必须先确定城镇资源禀赋和发展定位。要把园区建设作为城镇建设的重要依托,在充分考虑城镇现有工业基础、区位条件和资源优势,突出产业特色,重点改造和提升传统产业,杜绝有污染产业、工业进入园区,合理确定工业园区的功能定位和产业布局。高度实现产城融合发展,始终做好规划与建设、产业与城市、农民与市民、科技与创新、工业化与城镇化等各项工作,以此引领云南新型特色城镇化实现跨越式发展。

2.4.3 集群空间城镇化——优化布局中心城市和组团城市

中心城市和组团城市的集群化发展是推动区域经济建设和城镇化发展的重要地域空间模式。当前全省主要城镇主要受地形限制和环境承载力制约,难以大规模聚集人口和生产要素,城镇建成区单点中心的均质化特征十分显著。要突破摊大饼的惯性模式,应以中心城市为核心,最大限度地整合周边集镇(村庄)发展要素和优势资源,联合外围组团城镇形成集群化发展模式。通过加快集群内中心城市和组团城市的基础设施一体化、城市功能整体化和布局结构网络化建设,建立一个高效率运行、高应变功能的组团式空间结构,使中心城市、组团城市互相依托、协同发展,全面提升中心城市集群化发展的带动辐射、集聚吸引的能级,促进区域全面发展。

2.4.4 特色空间城镇化——大力发展6类特色小镇建设

小城镇作为统筹城乡发展的活力支点,对转移农村劳动力、扩大非农就业、提高城镇化水平和改善农村地区公共服务水平具有重要作用。秦光荣书记指出,云南特殊的地理条件和生态环境决定了发展中小城市和特色城镇是特点、亮点、重点。建设具有云南典型特征的现代农业型、旅游型、工业

型、商贸型、边境口岸型、生态园林型等6类特色小镇,是加快全省城镇化建设的重要平台、是全省城镇体系建设格局的必要配套和有益补充,符合云南新型特色城镇化发展方向。特色小镇建设必须坚持因地制宜的原则,要以切实提高城乡居民生活质量、促进农民就近就业和增收致富作为规划建设的重要依据和导向。

2.4.5 统筹空间城镇化——稳步推进农村现代化建设

城镇化包括城市现代化和农村现代化,这两者的有机结合才是全面的城镇化。推进云南新型特色城镇化,必须统筹城乡共同发展,使广大农民分享城镇化的成果。推进农村现代化建设,关键在于通过完善基础设施、改善环境和提高农民整体素质来增强农村自我发展活力^[4]。农村现代化道路作为云南边疆地区山原省份特色城镇化的路径之一,是云南以“区域城镇群作为推进城镇化的主体形态”的有益补充^[5-6],必将为提升云南新型特色城镇化的质量提供有效保障。

3 近期行动计划

3.1 以省域城镇体系规划为龙头,推进各级法定城乡规划服务特色城镇化的效能

指导、协调、监督各州(市)政府实施省域城镇体系规划;推动和指导区域城镇化建设规划及各类专项规划的制定和实施;建立健全城乡规划服务城镇化建设的推进激励机制。

3.2 以各区域城镇群规划为抓手,分类指导全省特色城镇化建设的地域实施

优化提升滇中城市群,培育发展滇西城镇群、滇东南城镇群、滇西南城镇群、滇东北城镇群、滇西北城镇群,通过构建综合交通网络和信息化网络把大中小城市和小城镇连接起来,促进各类城市功能互补、协调发展。在发挥中心城市辐射带动作用基础上,强化中小城市和小城镇的产业功能、服务功能和居住功能,把有条件的县城和重要边境口岸逐步发展成为中小城市。

3.3 以山地城镇规划建设为路径,全力引导城乡建设与生态文明的高度融合

立足云南山区省情,坚持统筹城乡、集约发展、突出特色、生态保护、以人为本的原则,进一步优化城镇空间布局,重点发展中小城市,大力建设山地、山水、田园型城镇,走集约型、多样化、具有云南特色的城镇化道路。出台差别化的山地城

镇建设用地政策,合理划定城镇在坝区扩张边界,因地制宜、分类指导州(市)、县(市、区)、镇(乡)的山地城镇化建设。

3.4 以城乡人居环境提升为载体,全力促进特色城镇化建设速度与质量提质增效

开展城乡人居环境提升行动,必须坚持以人为本、城乡互动、产城融合、“四化”同步、集约发展和突出特色6项原则,稳步开展昆明城市影响力提升、区域中心城市功能优化、中小城市面貌改善、乡镇环境治理、村庄环境美化、国门形象提升、保障性安居工程攻坚、文化遗产和居民文明素质提升等8项行动。抓住城市综合体、特色小镇、美丽乡村、保障性安居工程、城乡环境综合整治和城镇综合承载能力建设6个重点领域,扎实推进提升行动,努力实现城乡人居环境提升一年起步、三年见效、五年变样,努力建设生态宜居幸福家园,全力促进特色城镇化建设速度与质量提质增效。

3.5 适时开展云南省“人口-土地-空间”新型城镇化建设示范区试点工作

云南省正处在一个快速转型的发展期,是建设“两强一堡”的关键期,是国家支持云南桥头堡建设的机遇期,同时也是全省“科学发展、和谐发展、跨越发展”的攻坚期。城镇化战略将会是整个经济社会发展的持续动力,也是转型发展一个关键动力,它不是简单的人口城镇化和土地城镇化的叠加,更是在空间上实现城镇化的质量提升转型期。当前,城镇化水平低、土地城镇化远快于人口城镇化的空间城镇化差异持续扩大已成为云南经济社会发展载体中各种矛盾的集结点、聚焦点。推进云南新型特色城镇化健康发展事关全省现代化建设、桥头堡建设全局,也事关人民群众切实提升城镇生活满足感、尊严感和幸福感的重要测度依据之一。

全省可以适时开展“人口-土地-空间”新型特色城镇化建设示范区试点工作。在试点地区重点开展人口城镇化和土地城镇化及其两者在空间上尺度上是否优化配置人口与土地要素,同时监测试点地区在空间上实现人口和土地有机联系和匹配程度的水平,通过试点带动,合理构筑起科学衡量和判断人口城镇化与土地城镇化在空间上是否科学推进的有效经验。通过试点,陆续推动其他具备条件的区域开展不同主题的新型城镇化试点,比如,农民工重要聚集地开展农民工市民化试点,产业化程度较高的县市开展产城融合发展试点,山区一些县市

以发展现代农业、开展土地流转、建设重点生态功能区等为主题开展新型城镇化试点。

4 结论

云南省正值全面建成小康社会、新一轮西部大开发和桥头堡建设的历史发展机遇中，在中国共产

党的“十八大”新要求的指引下，在面临新的省情和转型发展的关键时期，只有进一步强化对具有云南特色的新型城镇化进程中的认识和思考，才能正确处理基于人口、土地和空间城镇化建设中的主要问题，进而从维护城乡居民的根本利益出发，积极稳妥地推进云南新型特色城镇化全面健康发展。

参考文献：

- [1] 坚定不移沿着中国特色社会主义道路前进为全面建成小康社会而奋斗 [R]. (在中国共产党第十八次全国代表大会上的报告). 2011.
- [2] 2013 年云南省政府工作报告 [R]. 2013.
- [3] 罗应光. 云南特色城镇化发展研究 [D]. 昆明：云南大学, 2012.
- [4] 国务院发展研究中心课题组, 侯云春, 韩俊, 等. 农民工市民化进程的总体态势与战略取向 [J]. 改革, 2011 (5): 5 - 29.
- [5] 郭凯峰. 云南省城镇化发展特征、路径及对策研究 [J]. 规划师, 2011 (12): 95 - 100.
- [6] 成艾华, 魏后凯. 中国特色可持续城镇化发展研究 [J]. 城市发展研究, 2012 (11): 22 - 28.

YUNNAN CONSTRUCTION OF THE NEW FEATURES OF URBANIZATION

GUO Kai - feng

(Yunnan Design Institute, Kunming 650032, Yunnan, China)

Abstract: Based on new national intelligence urbanization and Yunnan Provinces, based on characteristics of Yunnan Province, to carry out the construction of new urbanization, from the population - land - space perspective of urbanization in Yunnan has a very important meaning and value. Studies show that: in the population urbanization perspective, should accurately grasp the flow of urban and rural residents cascade, effectively increasing the radius to attract farmers into the city and to improve the level of personnel training and leveraging talent from overseas; land urbanization in perspective, you should steadily promote mountain towns, cities and high - end construction pastoral protect the city and outside scientific ecology; urbanization in the space perspective, addressing regional space, production space of the city, the cluster space, space features space and other key aspects of strengthening co - ordination of urbanization.

Key words: new features urbanization; construction; Yunnan

全域规划视角城市轨道交通与其他交通方式 衔接研究进展

汪玉君, 刘 静, 马仁锋*

(宁波大学 城市科学系, 浙江 宁波 315211)

摘要: 采用文献梳理法对中国知网刊载以城市轨道交通为主题期刊文献进行分析, 发现国内研究集中在: (1) 轨道交通与常规公交、慢行交通体系、出租车、私家车、大型机场等间的换乘组织与连接规划; (2) 城市轨道交通网络内部的换乘与衔接, 及轨道交通站点空间组织等领域研究; (3) 国内研究聚焦在各式交通方式衔接规划及城市路网为主的硬件建设等, 但较少关注各类群体出行行为模式及其对交通方式换乘规划影响等。最后展望了中国大城市进入老龄化社会需要关注的轨道换乘研究方向。

关键词: 轨道交通; 城市交通体系; 换乘; 城市交通规划

中图分类号: U239.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7852(2013)04-0098-05

改革开放以来, 中国城市规模不断扩张, 城市人口快速增加, 城市通勤压力也随之剧增。虽然城市政府重视发展各类交通, 并且为了更加方便居民出行, 快速推进公共交通配套体系, 轨道交通便是推进的重点^[1-6], 亦即解决城市交通问题的根本出路在于优先发展以城市轨道交通为骨干的城市公共交通系统^[7]。城市居民出行方式包括步行、自行车、私家车、出租车、公交巴士、轨道交通等。公共交通中公交巴士与轨道交通是相互竞争合作的, 两种交通方式对彼此的客流都有一定的吸引。轨道交通有专门的行驶轨道, 不占用道路资源; 小汽车(自驾车与出租车)与公交巴士共同行驶在同一路, 之间存在干扰。因此, 解决好各种交通换乘的有机衔接以方便市民出行, 提高城市交通效率, 成为20世纪90年代以来中国城市政府与学界关注的热点与焦点。

1 城市交通全域规划与城市轨道接驳研究

1.1 全域规划与城市交通全域规划

全域规划最初出现在城市规划覆盖范围从建城区扩展到行政辖区全部, 尤其是在2008年颁布的《城乡规划法》将乡村区域纳入城市总体规范范围, 全域规划随之成为城市规划学界讨论的重点; 而文中“全域规划”是指伴随城市人口与建成区面积扩大过程, 城市内部交通方式从早期步行、马车、自行车、有轨电车等一种或多种发展到今天国际大都市同时拥有步行、自行车、摩托车、私人小汽车与出租车、公交巴士、轨道交通(地铁与轻轨)、直升机等多种城市内部公共交通方式时, 城市交通规划对象从某一种交通方式覆盖全部类型所形成的综

收稿日期: 2013-06-13; 修订日期: 2013-07-29.

基金项目: 宁波大学 SRIP 项目(409、327、359)、浙江省海洋文化与经济研究中心项目(12HYJDYY02)、教育部人文社科项目(13YJC790107)资助.

作者简介: 汪玉君(1991-), 女, 浙江省衢州市开化县人, 地理科学专业在读本科生.

* 通讯作者.

合性交通规划。

1.2 城市轨道交通接驳研究

城市轨道交通接驳研究，主要关注各种方式的接驳特征，如接驳的时间、距离、客流量等。当前国内外有关轨道交通接驳方式重点围绕与公共巴士、出租车、私家车和步行、自行车等的换乘，以及轨道交通网络内部和轨道交通与综合型交通枢纽之间的衔接等。不论是与其他交通方式衔接，抑或是轨道交通网络内部换乘，都要稳妥处理居民“潮汐式”出行的现象，以及特殊群体出行需求，如老年人和各类学生。在城市建设用地日益紧张情形下，城市轨道交通换乘站点不得不采用高架或地下两种车站系统，因而接驳的有效性、便利性便成为当前研究关注热点，这便形成了公交接驳线网优化问题（FBNDP）。

2 城市轨道交通与其他交通方式接驳研究

2.1 轨道交通与常规公交间换乘的研究

随着城市快速发展，城市规模不断增大，居民对客运交通需求持续上升，城市公共交通发展面临着巨大挑战。轨道和常规公交是城市公交系统的重要组成部分，轨道交通与常规公交的换乘是城市交通自身发展的需要，它使常规公交与轨道交通能有机地形成一体，最大限度地发挥了城市公共交通的作用。而且城市轨道交通是公益性、经济外部性很强的大型公共基础设施，其便利性与快捷性在很大程度上促进站点周边的区域经济繁荣^[8-10]。在符合建设规范前提下，实现“以人为本”增加乘客的换乘效率和舒适性成为当前轨道交通换乘研究的焦点^[11]。

系统考虑轨道交通和常规公交间的关系，使其协调运营，为乘客提供连续通畅、安全高效、经济舒适的换乘环境，有利于城市公共交通在运营效率和乘客吸引力的提高，同时也为解决城市交通拥堵提供保障^[9-12]。城市总体规划中布置轨道交通线网时，重点研究了轨道与常规公交线路的相交位置和形式。以及为高效地完成人流集散，对规划总体布局 and 换乘客流的集散量配置，及其相应的换乘节点展开了广泛研究^[3-7]。

常规公交投资较小，线路布局灵活，可达性

高，适合于中短途客运。常规公交在轨道交通建成运营之前是城市公共交通的主力军，建成后不仅可以继续发挥其功能，而且可与轨道交通相互协作，扬长避短，扩大其服务范围，提升其功能和作用。城市轨道交通与常规公交线网协调研究，尤其是从城市空间发展趋势、城市土地集约利用、城市交通设施等视角探讨两者间协调发展研究较多^[12-16]。两者间的协调方法通常从“站点、线路、网络”等诸多方面合理优化线路间的衔接关系，使公共交通线网功能效益最大化。

国内当前对轨道交通与常规公交间的协调运营进行了广泛的对策性研究，主要观点集中在：（1）围绕轨道站点布局及沿线土地利用，研讨区段内公交线路优化调整的市民出行行为和轨道站点与常规公交换乘场地及其周边商业组织等^[6-12]，研究认为，一是尽可能将邻近轨道线路的常规公交线站点汇集到轨道站点；二是更改或撤销现有公交线路的站点要充分考虑居民的出行习惯，以及避免大规模变动公交线路^[12-13]；三是对地铁站点建筑设计探索，如提供遮阳公交篷、干净舒适座椅以及快速通道或专用通道等^[5]。（2）围绕城市郊区公共交通中轨道交通合理利用问题，讨论常规公交衔接与之衔接和郊区居民出行行为引导等^[9,12-14]。

2.2 轨道交通与慢行交通体系间接驳的研究

慢行交通包括步行和非机动车方式（自行车、人力车等），在轨道交通体系中将更多的起到短驳和衔接的作用。步行交通作为所有出行方式的开始和结束是出行链中不可或缺部分，非机动车是比较低碳的、方便经济是短距离出行重要交通方式。因此，在多数大都市区轨道交通网络规划中都充分重视并保护其合理的活动空间，充分关注高密度轨交网络与慢行系统的衔接，当前相关研究主要集中在公共自行车、步行等慢性方式与轨道交通衔接^[15-20]。

公共自行车作为一种集散工具能将站点服务范围内的人群快速地集聚到轨道站点，因此公共自行车对轨道交通站点周边的道路有较高的需求：①尽量采用与地铁线路垂直的城市次干路、支路构建自行车交通干道，利用城市支路建设自行车专用道，灵活设置自行车停车场^[15-17]；②与慢行交通配套应遵循人车分离及人行道内行人通行区域与其他功能空间分离。尤其是在地铁出入口、换乘天桥及地

下通道与过街通道设施进行一体化设计,形成换乘专用道及符合国际规范的引导标志符号^[18,19]。

步行是轨道交通主要接驳方式之一,步行与轨道交通间的衔接规划主要包括轨道枢纽合理步行区内的人行步道系统、过街设施和人车分离设施的规划设计、导向指示标志设置等^[20]。相关研究指出:在我国拥有轨道交通运营的城市存在如下问题:一是轨交站点的步行系统规划和建设相对缺乏^[5],尤其是引导标示与帮助导图未受应有重视。二是中心区轨道站点建设改变原有合理步行区的土地利用时,须构建独立人行步道及其良好导向标志的城市公共空间,形成包容枢纽流动人群相关活动的便捷的立体步行空间网络^[19,20]。

2.3 轨道交通与出租车间换乘的研究

随着轨道交通与城市交通一体化进程,出租车面对轨道交通快速发展、公交线网的优化及市民出行需求要求提高的趋势,应进一步发挥出租车的“门到门”优势。“地铁+出租车”这一交通换乘方式的经济性显而易见,且市场需求广泛。

出租车站点由营业站、候客站、扬招点3级站点网络构成^[21],轨交站点原则上应设置相应等级的候客站。但中心城区受用地条件限制,可在轨交站点附近设置扬招点代替;出租车扬招点可据道路交通状况和有关交通管理规定,结合需求设置;扬招点应有醒目的标志牌和明显的标线^[13]。在统筹各式交通方式衔接时,需要考虑出租车与轨道交通站的有效衔接对于客流的及时疏散的功效,对出租车系统的规划主要针对其停车问题。现有研究表明:一是出租车停车场所建设对于改善轨交衔接非常必要,当然可以设置地下专用停车场,也可也设置依托公交巴士的混合短时利用站点或停靠点,用于满足瞬时客流需求^[5]。二是系统协调轨交站点周边公交巴士站场与出租车系统的兼容性利用与短时利用方式及其管理问题^[22]。

2.4 轨道交通与私家车间换乘的研究

随着居民生活水平提高,城市私家车数量迅速扩张。在私家车逐渐成为居民出行方式时,与公交车、出租车等地面交通方式产生竞争,给城市交通系统造成一定压力。因此,需要缓解私家车剧增对城市公共交通带来的压力。如可以采取各种措施,吸引居民接受私家车与公共交通的换乘,并乐于换乘等^[4,5,23]。

首要解决是停车问题,城市轨交站点及其周边土地非常有限,规划足够的停车场显然不可能,因此可以采用出租车系统的停车方式或建设立体停车位,尽量不阻碍到地面交通^[5,23-26]。其次,是创新停车与换乘方式,如可以利用社会或政府办公机构停车场采用PARK and RIDE模式,即停车换乘。这样既可减少私家车的出行率,降低地面交通压力,又使居民实现私家车与轨道交通的零换乘,便于出行^[17,24]。对于上班族而言,P+R停车场既减少了路上堵车时间,还可节省停车费。

2.5 轨道交通与大型交通枢纽间协调运作的研究

轨道交通输送能力和时效较高,成为当前各类大型交通枢纽对外换乘的首选方式,目前重点关注高速铁路客运站、飞机场、长途汽车客运站等大型交通枢纽与轨道交通换乘。其中,尤以飞机与其之间接驳研究备受关注。虽然往返机场和市区的可选择机场巴士、快速轨道交通、私家车等交通衔接方式,但伴随机场日益大型化,其选址大多离主城区都较远,且航班对时间要求较强,因此居民在去机场的交通方式选择上,处于时间、可靠性和舒适性等因素考虑,更多地选择出租车、私家车、轨道交通等^[25,26]。相比较而言,机场轨道交通比机场巴士等有较明显的优势。但必须充分考虑航班时刻和出行群体需求,优化轨道交发车时间及发车间隔,以提高轨道交通的运行效率^[27]。此外,机场快轨还要协调机场工作人员及其航班大量延误等情形,以方便居民前往机场或返回城市的交通方式选择。

3 轨道交通网内部的换乘模式研究

随着轨道交通快速发展,城市内部轨道交通网络化串接不断完善,市民出行的换乘量快速上升。因此,在完善轨道交通与其他交通体系间换乘的同时,还要不断完善轨道交通网内部的换乘体系以最大限度地提高轨道交通的运行效率。当前相关研究集中在:(1)换乘站点内部的空间组织与交通指引系统建设规划,以及地铁出入口与公交站点/自行车存放点等关联^[22];(2)轨道交通内部换乘方式主要原则及规划响应探讨,如满足换乘客流的需要;调整相交线路方向创造良好的换乘条件;尽量缩短乘客的走行距离,减少人流交叉;结合地形选择合适的车站布置形式^[28,30];(3)两条及以上轨

交线路换乘方式研究可分为同站换乘、通道换乘、站外换乘、组合式换乘等多种形式, 当然实现无缝换乘的理念是各种换乘方式的规划设计追求^[28]。然而不同换乘模式, 对轨交站点内部空间组织要求不一样, 如同站换乘一般采用平行交织的线路且多为岛式站台^[31-32]; 内部通道换乘一般用于交叉线路, 通道宽度需据人流需要而设计, 但步行时间要短^[33]; 站外换乘一般存在于线路有缺陷且以上两者都不适合情况^[1]; 组合式换乘为解决同方向和反方向换乘问题, 可采用两点换乘方案^[33]。

4 结论与讨论

随着中国城市化的快速发展, 轨道交通在解决城市交通问题中的重要作用日益显著。目前全国已有40多个城市建成或正在建设(或计划建设)城市轨道交通, 城市轨道交通快速发展既是城市规模日益扩大的必然, 也是提高城市居民生活质量的理性要求。当前研究主要围绕:(1) 轨道交通与常规

公交、慢行交通体系、出租车、私家车、大型机场等之间的换乘组织与连接规划研究;(2) 城市轨道交通网络内部的换乘与衔接, 及轨道交通站点空间组织研究展开研究; 并且重点聚焦在各式交通方式衔接规划^[34]及城市路网为主的硬件建设等。然而, 中国多数大城市正面临着老龄化社会的到来, 城市轨道交通面临着许多问题, 如城市老龄人群出行需求、城市内城衰落与复兴等带来的交通影响。这就要求现有轨道交通与其他5种交通方式间换乘研究进一步深入探索各类群体的出行行为与站点空间组织的需求, 积极从换乘硬件设施、换乘行为疏导, 以及城市发展的空间组织等方面深入探索城市轨道交通内部及其与其他交通方式的无缝衔接, 以实现轨道交通与城市的协调发展。

致谢: 感谢宁波大学建筑工程与环境学院胡王五、董晓春、吴燕妮等同学在文献初期整理给予的帮助。

参考文献:

- [1] 李睿. 城市轨道交通内部和外部换乘研究探讨[J]. 科学之友, 2012(6): 123-124.
- [2] 黄文娟. 轨道交通与常规公交换乘协调研究[D]. 西安: 长安大学, 2004.
- [3] 周雅, 孙立军, 邵敏华. 城市轨道交通和常规公交换乘水平评价研究[J]. 城市道桥与防洪, 2012(4): 197-201.
- [4] 刘涛. 轨道交通与常规公交衔接研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2009.
- [5] 元铭, 孙权. 城市轨道交通站与其他交通的合理衔接及规划[J]. 企业研究, 2012(8): 168.
- [6] 陈义华, 钱倩, 白维雅. 关于城市混合交通中乘客交通方式选择的研究[J]. 重庆理工大学学报, 2011, 25(11): 96-101.
- [7] 陈园园. 科学规划建设城市轨道交通[N]. 中国建设报, 2013-03-07(3).
- [8] 郑贤, 庄焰. 轨道交通对站点周边商业地价的影响[J]. 中国土地科学, 2007(4): 38-43.
- [9] 程姝菲, 黄星程. 简析城市轨道交通站点的经济溢出效应[J]. 现代城市轨道交通, 2010(6): 62-64.
- [10] 张宇石, 陈旭梅, 于雷, 等. 基于换乘站点的轨道交通与常规公交运营协调模型研究[J]. 铁道学报, 2009, 31(3): 11-19.
- [11] 韩风. 城市空间结构与交通组织的耦合发展模式研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2007.
- [12] 程立勤. 轨道交通与常规公交协调发展研究[J]. 物流工程与管理, 2012, 34(2): 73-74.
- [13] 赵志宏. 轨道交通与公共交通体系配套研究[J]. 铁道建筑艺术, 2012(5): 74-76.
- [14] 邱荣华, 王书灵, 荣伶俐. 轨道周边公交网络优化调整方法及应用[J]. 闽江学院学报, 2012, 33(2): 65-69.
- [15] 李配配, 崔珩. 公共自行车与轨道交通的接驳与换乘研究[J]. 交通科技, 2013(1): 154-157.
- [16] 董红彦. 大城市自行车与轨道交通衔接换乘研究以西安市为例[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2010.
- [17] 邓莉. 城市轨道交通一体化衔接规划必要性研究[J]. 工程建设与设计, 2013(1): 121-124.
- [18] 徐司. 城市轨道交通与常规公交站点间的衔接研究[D]. 西安: 长安大学, 2007.
- [19] 付玲玲. 城市轨道交通枢纽站点间换乘设施设计研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
- [20] 马燕. 轨道交通系统在我国发展的研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2006.
- [21] 叶薇. 轨道交通与公共交通体系配套问题探讨[J]. 科技致富向导, 2012(30): 25.

- [22] 钱秋禹, 程祖国. 昆明东风广场 CBD 交通衔接前期研究 [J]. 现代交通技术, 2012, 9 (1): 64 – 67.
- [23] 颜桂梅, 林宇洪, 郭建钢. 基于消费者决策心理的公交换乘算法的设计 [J]. 华东交通大学学报, 2012, 29 (6): 102 – 108.
- [24] 张双山. 让市民出行更加方便快捷 [N]. 公民导刊, 2013 – 2 (10).
- [25] 李树栋. “最后一公里问题”: 大型机场陆侧交通与航站楼的接驳方式研究 [J]. 建筑创作, 2012 (6): 112 – 119.
- [26] 潘虹. 基于机场轨道交通的机场巴士线路优化调整研究 [J]. 交通与运输, 2011 (12): 107 – 109.
- [27] 段进, 殷铭. 长三角地区高铁站点空间换乘便捷度研究 [J]. 中国科学, 2013, 43 (2): 202 – 207.
- [28] 邢爱晶, 杜桂荣, 张丹丹. 提高城市轨道交通换乘效率分析 [J]. 交通科技与经济, 2011 (6): 113 – 116.
- [29] 刘狄, 吴海燕. 城市轨道交通换乘站内部换乘客流量算法研究 [J]. 北京建筑工程学院学报, 2010, 26 (2): 44 – 48.
- [30] 蒋永康. 城市轨道交通换乘方式探讨 [J]. 规划与方案, 2000 (3): 45 – 48.
- [31] 王蓉蓉. 地铁换乘车站设施规模确定问题研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2006.
- [32] 朱明浩. 地铁换乘方式的探析 [J]. 城市建设理论探究, 2013 (23).
- [33] 袁奇峰, 郭晟, 邹天赐. 轨道交通与城市协调发展的探索 [J]. 城市规划汇刊, 2003 (6): 49 – 56.
- [34] 张猛, 唐娇, 刘修通. 昆明市城中铁路改造城市轻轨探索 [J]. 云南地理环境研究, 2008, 20 (2): 51 – 53.

THE RESEARCH OF URBAN RAIL TRANSIT CONNECTING WITH OTHER TRAFFIC MODES IN THE VIEW OF GLOBAL PLANING

WANG Yu-jun, LIU Jing, MA Ren-feng

(Urban Science Department, Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang, China)

Abstract: By the methods of literature review, we analyze urban rail transit as the theme of journal literature which carries on CNKI, and we found that the current domestic researches mainly focused on: (1) Planning study of the transfer system and the connections among rail transport, conventional bus, slow traffic system, taxi, private cars and large airports. (2) the transfer and cohesion of internal urban rail transit network, and the research of rail transit site space organization. Domestic research focused on the various modes of transport integration planning and hardware construction of urban road network is given priority to, but domestic research paid less focus on all kinds of group travel behavior patterns as well as its influence to transfer to transportation planning. Finally we prospects the direction of orbital transfer research the big cities have to pay more attention as they have entered an aging society.

Key words: rail transport; the urban traffic system; transfer; urban transportation planning

大庆油田湿地公园建设规划与设计

于安静¹, 李悦铮^{1,2*}, 江海旭¹

(1. 辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029; 2. 辽宁师范大学 海洋经济与可持续发展研究中心, 辽宁 大连 116029)

摘要: 建设城市湿地公园对城市湿地的开发利用具有相当显著的生态环境经济效益。一方面可以促进生态旅游发展, 拉活经济; 另一方面又可使原有湿地复活, 促进地区经济发展、空气净化、环境改良。依据“泛绿色设计”规划理念, 提出大庆油田湿地公园建设的功能分区、空间布局、设计原则等, 对大庆油田湿地公园从行为规划、公园景观、服务设施、防洪功能4方面进行设计。

关键词: 湿地公园; 生态环境; 规划设计; 大庆油田

中图分类号: S731.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7852(2013)04-00103-06

0 引言

1971年2月2日, 一个旨在保护和合理利用全球湿地的公约《关于特别作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》(简称《湿地公约》)在伊朗拉姆萨尔签署。目前国际上比较公认的湿地定义是《湿地公约》中的定义: “长久或暂时性沼泽地、泥炭地或水域地带, 或为淡水、半咸水、咸水体, 包括低潮时不超过6米的水域”。

湿地公园的定义是指保持该湿地区域独特的近自然景观特征, 维持系统内部不同动植物物种的生态平衡和种群协调发展, 并在不破坏湿地生态系统的基础上建设不同类型的辅助设施, 将生态保护、生态旅游和生态教育的功能有机结合, 突出主题性、自然性和生态性三大特点, 集湿地生态保护、生态观光休闲、生态科普教育、湿地研究等多功能的生态型主题公园^[1]。其主要以湿地景观为主体并加以其他景观的设计, 核心是保护生态系统, 兼顾城市的旅游与服务, 具有一定的基础设施, 拥有科普宣教和湿地合理利用示范的意义, 蕴含一定的文化和

美学价值, 可供人们进行科学研究和生态旅游^[2]。

湿地被称为“地球之肾”, 具有巨大的蓄水和气候调节能力, 可以净化环境、降解污染、调节径流、控制水土流失、保护生物多样性、维护生态平衡等。城市中的湿地更是城市环境的有力助手, 然而由于人们对城市湿地的不合理利用, 城市湿地危在旦夕, 可持续发展受到威胁。建设湿地公园可以有效地对湿地资源进行保护, 把生态建设与湿地景观设计有机结合, 发展生态旅游项目, 既能达到保护生态环境的目的, 又能开发新型旅游项目, 促进地区经济发展。大庆作为中国湿地资源集中分布的城市之一, 其湿地具有面积大、类型多、分布广、生物多样性丰富等特点, 被誉为“天然百湖之城”, 大庆油田湿地公园的建设对大庆油田的可持续发展至关重要。

1 湿地公园产生背景与大庆油田湿地状况分析

1.1 湿地公园产生的背景

生态文明进步和城市迅速发展促进人们对湿地

收稿日期: 2013-06-23; 修订日期: 2013-07-31.

作者简介: 于安静 (1989-), 女, 黑龙江省大庆市肇源县人, 硕士研究生, 研究方向为旅游开发与管理.

* 通讯作者.

的综合利用以及湿地公园的产生,建设湿地公园是人与自然和谐相处的体现。人们重视经济的快速发展忽视城市生态保护,导致城市周边湿地面积减少,湿地生物多样性衰减,进而危及到城市生态安全。因此,城市居民开始远离喧嚣的城市,对自然环境的渴望与日俱增。人们对湿地与生物多样性保护的需求、自然与城市和谐共处的需求、生态与经济稳定发展的需求都亟待满足,湿地公园应运而生。湿地公园可以对在城市建设过程中已经遭到破坏的自然环境尤其是遭到破坏的湿地进行最为有效的补偿。环境教育与生态旅游等多重目标通过城市湿地公园的建设可以实现,这也体现人们在满足自身基本需求的前提下,竭力采取对环境或其他生物最小干扰的生产与生活方式的现代环境理论观。湿地公园的建设和发展是生态文明进步的重要表现。

1.2 国内外对湿地的认识与利用

国外对湿地的认识与利用最早源于对泥炭的研究和利用,欧洲在这方面的研究具有典型的地域性并且造诣颇高。1982年,印度召开第一届国际湿地研讨会,这标志着全球湿地研究进入一个新的阶段。目前,欧洲对湿地的研究涉及范围非常广,包括湿地的生态系统、湿地微量元素的转移、湿地在全球变化中的地位以及湿地的净化功能等诸多方面。当今世界对湿地的研究,美国较先进,其关于湿地的研究工作始于19世纪末,当时少数人研究北部的泥炭地和淡水湿地。20世纪中期至70年代,由于沿海地带人们活动强度较大,这里人为对湿地的干扰和破坏比较严重,美国学者将对湿地研究扩展到海岸地带,重点是红树林沼泽和海滨盐化湿地^[3]。湿地的开发建造与景观设计相结合,便建成可观赏的湿地公园。在国外如英国伦敦,将湿地中心面积不同的池塘和错落有致的植被相结合组成生态组群,其间设置宽窄不一的步行小径贯穿其中,使不同的湿地之间既开放又独立,成为人与自然和谐共处的城市湿地景观公园模式。此外还有重建于1988年的美国圣保罗阿姆斯特湖上湿地公园,恢复野生动物的生物走廊,使当地居民不需要远行就能尽情的领略大自然的独特韵味,这也是在城市中营造人工湿地的成功典型。

20世纪80年代中期,湿地问题受到中国学者关注,“湿地”概念也得以宣传。20世纪90年代初,中国加入《国际湿地公约》,湿地研究得到前所未有的重视。政府也开始重视对湿地的保护,如

建立相关机构以保护湿地、划分自然保护区、制定各种相关的自然保护法规和条例等^[3]。近年来城市化与湿地生态系统的相互作用受到重点研究,从城市化对环境的影响研究湿地生态系统的价值,论证建设城市湿地公园的合理性与可行性,根据城市河流的特性和现状,探讨建设城市河流湿地公园的重要意义^[4-6]。人们越来越注重湿地公园景观的整体性与原生态,屈亚潭立足水禽生境营造的角度阐述湿地公园植被专项规划途径与方法^[7]。李杨从湿地公园建设的必要性出发,解释国家湿地公园的性质作用,针对湿地公园规划设计中的问题给出解决方法^[8]。孙新旺等结合浙江安吉西港湿地公园规划实践,提出在湿地景观营造中融入乡土景观元素的思路,让湿地公园景观回归朴实无华^[9]。中国首家湿地公园是广州万顷沙湿地公园,该公园正处于生态培育的初步阶段,开始把荒沙滩变成绿洲,已发现有22种濒危的鸟类在此得到保护。国家批准的湿地公园还有无锡梁鸿湿地公园、太湖湿地公园、南沙湿地公园、北京湿地公园等。其中,梁鸿湿地公园依托吴地文化,有望成为长江三角洲城市群中最著名的生态湿地公园。中国各湿地公园均强调生态系统的保护和其基本功能的展示,其景观设计和植物配置也都因地制宜选择品种,保持湿地完整性与生物多样性。

1.3 大庆油田湿地概况

大庆湿地位于黑龙江省西部,松嫩平原中部,大庆油田位于大庆市区的中心部位,油田区内湖泡众多,湿地广布,形成湖泡湿地群,也就是说大庆油田基本上就坐落在湿地群中,因而构成“油井连湿地、湿地伴楼区”,生产生活设施与湿地紧密相连的特殊空间分布格局。

湿地是处于水域和陆地过渡形态的自然体,这就导致湿地生态系统具有不稳定性和脆弱性^[10],更容易受到破坏。据不完全统计,从20世纪80年代至今,油田湿地总面积已经减少65%以上。油田湖泡湿地群的一个主要特征就是数量较多、面积较小、湖水较浅,主油田区湖泡面积均在1 000 hm²以下。这样的湿地生态系统稳定性较差,受到自然干扰或人为干扰时,极易发生变动。大庆油田开发建设50多年来,使该区域的人地关系愈加复杂,作用程度愈加强烈,对自然生态系统的干扰愈加严重。石油生产中产生的废液、泥浆、落地原油和各种垃圾、生产生活污水未经处理或处理未达标向湿

地的排放等行为,造成部分湿地水体的严重污染。随着城市的开发建设,湿地面临的最大问题是面积减少、功能退化。根据卫星遥感调查获得的资料,1986年湿地总面积(不包括盐沼)有 $63.27 \times 10^4 \text{ km}^2$,到2001年、2007年分别减少到 $45.13 \times 10^4 \text{ km}^2$ 和 43.36 万 km^2 ,变化率分别为28.7%和3.9%。因此,合理开发利用湿地资源,对大庆油田生态建设至关重要。通过对湿地公园的合理规划,妥善设计,既能达到保护生态环境的目的,又能更好的实现经济社会效益。

2 大庆油田湿地公园规划

2.1 大庆油田发展湿地公园优势

大庆地处松花江嫩江流域,位于北温带,占全国已知湿地总面积的3.12%,资源优势使大庆成为有特色的资源型城市。不仅拥有丰富的石油资源,还拥有得天独厚的湿地资源,大庆湿地景观类型丰富,除了湖泊和沼泽较多之外,还有大面积的草原、森林等,这些共同构成大庆壮美的自然景观。黑龙江省某领导曾深情赋诗赞美大庆湿地美景,并将大庆湿地作为推介大庆的一张名片。依托湿地大庆人有了自己的节日——“湿地文化节”,对湿地资源加以开发利用可以有效的保护大庆油田的生态环境,建设绿色城市。

大庆随着石油化工等工业的快速发展,人们生活水平不断提高,城市规模不断扩大,城市的发展和城市居民对环境的要求越来越高,湿地公园建设正好满足这方面的需求。此外,大庆处于东北“T”型铁路的交通线上,邻近齐齐哈尔、哈尔滨等城市,建有有机场,交通发达。在大庆油田建设特色开放性湿地公园,对本地居民及周边地区居民有强大吸引力。

湿地公园是国家湿地保护体系的重要组成部分,大庆油田湿地公园建设也是大庆城市生态建设的重要内容之一,是大庆油田走可持续发展之路的重要举措,通过建设与石油生产兼容并包的湿地公园,更有利于油田的发展。

2.2 “泛绿色设计”规划理念

“泛绿色设计”是指按照绿色设计理论与方法及泛系理论,坚持对人类经济活动的经济效应与环境效应双重考虑的原则,在全社会范围内对人类经济活动的行为方式、内容与准则,进行全方位的修

订、规范与重新设计^[11]。大庆油田湿地集石油生产、工业作业、居民楼区为一体,要因地制宜的综合运用多种绿色生态工程技术。赵树魁等^[12]提出建设公园要遵循油田湿地生态系统的内部结构特征,做到“高处植树、低处蓄水、过渡地带、自繁草苇”的“十六字”生态修复绿色设计方针,对被小分水岭分割的互不连通的封闭湖泡实现连湖蓄水工程,这有利于水体的流动交换和改善水质。在每个湖泡两侧建进出水闸,形成可控的湿地水网体系。

2.3 功能分区与设计原则

参照《国家湿地公园建设规范(LY/T755-2008)》和《国家湿地公园评估标准(LY/T1754-2008)》,可将大庆湿地公园划分为湿地保育区、湿地生态功能展示区、实地体验区及服务管理区四大功能分区^[13]。针对不同的湿地环境要有规划,其中,湿地保育区是指需要保护或恢复的湿地区域,主要指城市内部或邻近大庆油田内的已经遭受破坏的湿地湖泊等地。湿地功能展示区用于展示湿地景观、植物群落、水质净化等。实地体验区指湿地公园内具有观赏性的湿地景观分布区域。服务管理区主要包括可供游客进行休憩、餐饮、娱乐、购物、医疗、停车等活动,以及管理机构开展科普宣教和行政管理工作的场所。大庆油田建设湿地公园应遵循保护与开发相结合原则,在系统保护城市湿地生态系统的完整性和发挥环境效益的同时,合理利用城市湿地具有的各种资源,充分发挥其经济、社会效益,以及在美化城市环境中的作用。

3 大庆油田湿地公园设计

3.1 人们活动行为规范设计

人们活动行为规范主要包含对油田生产行为、城市建设规划行为、公园建设和游客游览行为的规范。在石油生产中要树立起油田生产与生态环境和谐共处的新观念,大庆在创建“绿色油田”理念的导向下,已设计出一套比较完善的油田生产“绿色作业”规范体系^[11]。“绿色作业”体系的设计与实施,开辟湿地受损问题的解决由“末端治理”变为“源头防治”的新途径。“绿色作业”体系是规范油田生产行为绿色设计的一项重要内容,也是大庆油田创建“绿色油田”的重要基础工作^[12]。城市的建设规划要严格按照国家有关要求,坚持开发与

保护同时进行,充分利用湿地对城市环境的净化作用,营造一个绿色、健康、与自然和谐共处的城市。有效处理城市垃圾和污水,完善城市辅助系统。在公园建设中要秉承“绿色零污染”原则。

3.2 湿地公园景观设计

3.2.1 利用要素进行水体设计

水体景观是吸引旅游者的主体部分,其建设应因地制宜,采用自然或生态措施,对原有地形加以合理改造设计成池塘、浅滩、瀑布、溪流等水体。对积水区略加修饰可设计池塘;通过堆叠假山假石创造小型人工跌水景观;通过电力设施在水池内制造人工喷泉或瀑布;在少水的小河中疏密放置大小石块,配置湿地植物形成溪流景观;对于有涉禽栖息的湿地公园,可在湿地分布区的浅水域营造浅滩景观^[14]。

3.2.2 因地制宜进行植物配置

公园绿化与花草树木的栽培和种植,可以维护湿地生态系统,又能满足游客观赏需求。其配置要考虑到与整个景观的融合性,采用适应性强、成活率高的本地品种,以便突出地方特色降低培育难度。根据湿地植物的自然形态塑造成多样的植物景观雕塑,通过不同植物之间的颜色差异进行美学上的布局。而在水体及水体四周的植物不宜进行过多的人工雕琢,顺其自然以便突出其倒影美。

3.2.3 原汁原味构筑文化景观

文化景观建设应体现地域特色,优先采用生态材料和特色工艺,如用芦苇搭建的茅草屋等。大庆湿地久负盛名芦苇编织工艺品、芦苇画、瓜子画等,可在公园内多加以展示。另外,关于赞美湿地的诗歌、美术书法作品也非常多,可以展示湿地文化内涵,反映湿地文化底蕴,增加无穷魅力,公园建设一定不要忽视本土文化,尤其是将书法刻在醒目的岩石上,经过巧妙布局可以给游客留下深刻的印象和美好的回忆。

3.3 湿地公园服务设施设计

3.3.1 宣教体系设计

生态科普知识教育可以普及生态理念,增加游览过程的趣味性,提高人们对大自然的认知,从而关注生态环境并积极参与保护生态环境的活动。宣教中心一般设在服务管理区内,主要展示湿地公园的地理位置、区域概况及湿地生态系统的相关知识等。使用材料应环保,设计也要科学规范、整洁美观。

3.3.2 配套服务设施设计

湿地公园的配套设施主要有标识指示牌、公共卫生间、垃圾箱、凉亭、栅栏、路灯等。这些配套设施要注重与周边环境协调,例如公共卫生间的建立就可以用芦苇做屋顶,使其显得古朴自然。在绿色环境中最好用白色木制栅栏而不是黑色铁栅栏。其中,指示系统的建设非常重要,湿地公园的边界、出入口、功能区、景观位置、险要地段等应设置明显的指示牌,有创意的指示牌能吸引游客的注意力从而更好地实现其指示作用。配套设施是整个公园的细节设计之处,虽然微小,却是点睛之笔,不可忽视。

3.3.3 游览设施设计

建设游览设施要根据规划区内的地形量体裁衣,充分利用现有优势,用完善合理的陆路和水路交通游线将休闲活动节点串联,形成包含服务、观赏、休憩、水上娱乐等几方面的完整的游览体系。此外,公园要规划出不同年龄人群的活动区域,如老年活动区、儿童活动区等。交通设施主要有各种道路、桥梁,以及手工船、电动船、电瓶观光车等交通工具。首先,根据不同的功能需求设计出不同宽度的道路,最好采用木板等生态材料铺制。水上交通规划要尽量采取对水环境干扰最小化策略,可设置人工手划船和电动船这两种水上交通工具来满足游客需求,让游客切身融入大自然。在浅滩或小溪流经处,可摆放大小不一的石头供游客通过,桥梁的设计以木质构造最好。在水边或路上可以在一段距离内设置站点,电瓶观光车可载游客到达其他景点、服务区,观光游览公园。

3.3.4 安全卫生设施设计

安全卫生设施设计主要包括防护设施、供水排水设施、垃圾处理设施等。在危险地段或油井作业区内一定要设置安全防护栏,避免人身事故发生。根据植物灌溉、卫生和消防等的需要进行供水网布置和配套工程建设。在规定的地带设置垃圾投放点,处理好可回收与不可回收垃圾的分类。设立一个小型的医疗点,能及时处理突发性溺水、中暑、食物中毒等疾病。

3.4 湿地公园蓄水防洪功能设计

通过湿地公园建设可逐步完善市区防洪排水,充分发挥湿地群防洪蓄水的功能。大庆油田湿地群相对于大庆其他的湿地来说更接近市区,因此建设油田湿地公园更能凸显油田湿地在城市中的“绿

心”位置和作用。在建设过程中,既要突出湿地公园休闲娱乐的文化功能又要注重其防洪排涝的生态功能^[11]。

由于湿地周边的楼区道路建设,导致湿地退化,水源面临枯竭,模仿哈尔滨力群新区建设城市雨洪公园,一方面可以解决城市雨洪的排放和滞留,使城市免受涝灾威胁,同时又可以利用城市雨洪,恢复湿地系统。

要想实现湿地的蓄水防洪,首先要保留场地中部的大部分区域作为自然演替区,沿四周创造一系列深浅不一的水坑和高低不一的土丘,使城市与自然之间形成一层过滤膜。沿四周布置雨水进水管,收集城市雨水,使其经过水泡系统的沉淀和过滤后进入湿地核心区。丘上种植树木,水泡中为乡土水生和湿生植物群落。湿地蓄水防洪对城市生态意义重大^[15]。

4 结论与讨论

城市湿地作为湿地的一大类型,与城市的健康发展紧密相连,它在为城市提供多种资源的同时,还有重要的生态服务和景观功能。本文通过对大庆油田湿地公园建设方案进行初步规划,指出湿地公

园规划建设的主体内容和方向,并提出了规划所要依据的原则,其中的“泛绿色设计”规划原则具有普遍指导意义,为大庆油田湿地公园规划提供了参考与借鉴。在城市内涝日益严重的今日,湿地公园的蓄水防洪功能应当受到更高的重视。

目前,大庆油田的城市规模在不断扩大,开展油田湿地公园建设对于落实国家分级分类保护湿地的政策无疑至关重要。大庆油田湿地公园建设不是单纯的开发湿地,而是在很大程度上对已破坏湿地的一种恢复和保护,其中的连湖蓄水以及“绿色作业”等观念的植入是一个长期而艰巨的工程,需要在政府部门的指导和支持下进行中长期规划,应该由政府和专业人员相互合作,将公园的初期开发和后期管理保持在较高水平上。在建设过程中要保持湿地水域环境和陆域环境的完整性以及城市湿地与周边自然环境的连续性,保证湿地生态走廊的畅通,避免人工设施的大范围覆盖,确保湿地的透水性,以生态文明为指导,建设美丽大庆油田湿地公园。尽管如此,大庆油田湿地公园的建设仍需要更多专业人士的深入研究,需要更多优秀的建议和思路,并且,采用定量分析方法做进一步地探究,是今后继续努力的方向。

参考文献:

- [1] 湿地公园 [EB/OL]. 百度百科, <http://baike.baidu.com/view/709357.htm>.
- [2] 崔丽娟, 张曼胤, 李伟, 等. 国家湿地公园管理评估研究 [J]. 北京林业大学学报: 自然版, 2009, 31 (5): 102 - 107.
- [3] 王浩. 园林规划设计 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2008, 12: 72 - 73.
- [4] 李华, 蔡永立. 湿地公园规划的生态服务功能影响预评价 [J]. 国土与自然资源研究, 2008 (2): 56 - 58.
- [5] 郑小康, 李春晖, 黄国和, 等. 流域城市化对湿地生态系统的影响研究进展 [J]. 湿地科学, 2008, 6 (1): 87 - 94.
- [6] 汪建文. 城市河流湿地公园景观生态规划整体性及各要素的研究 [J]. 贵州科学, 2013, 31 (4): 81 - 84.
- [7] 屈亚潭. 湿地公园植被专项规划 [J]. 榆林学院学报, 2008, 18 (6): 12 - 14.
- [8] 李杨. 国家湿地公园规划设计的关键点及对策 [J]. 专题研究, 2010, 12 (17): 90 - 92.
- [9] 孙新旺, 王浩. 基于乡土景观元素的湿地公园景观营造——以浙江安吉西港湿地公园为例 [J]. 南京林业大学学报: 人文社会科学版, 2011, 11 (1): 93 - 96.
- [10] 沈彦, 李婷婷. 论湿地脆弱性与生态恢复重建——以洞庭湖区为案例 [J]. 云南地理环境研究, 2006, 18 (1): 10 - 13.
- [11] 赵树魁, 谭淑梅. “泛绿色设计”与大庆油田受损湿地的修复 大庆油田受损湿地整治修复现状调研报告 [R]. 大庆市九三学社让湖路支社, 2011.
- [12] 赵树魁, 谭淑梅, 王继珍. 大庆市生态城市建设的影响因素与对策 [J]. 生态学杂志, 2008, 27 (5): 847 - 852.
- [13] 崔丽娟, 王义飞, 张曼胤, 等. 国家湿地公园建设规范探讨 [J]. 林业资源管理, 2009, 38 (2): 17 - 20.
- [14] 雷昆. 对中国湿地公园建设发展的思考 [J]. 林业资源管理, 2005, 34 (2): 23 - 26.
- [15] 张玲玲. 哈尔滨雨洪公园景观格局模式 [J]. 建筑与文化, 2012 (2): 468 - 469.

CONSTRUCTION PLANNING AND DESIGN OF DAQING OILFIELD WETLAND PARK

YU An – Jing¹, LI Yue – zheng^{1,2}, JIANG Hai – xu¹

(1. *School of Urban and Environmental Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China;*

2. *Key Research Institute of Humanities and Social Sciences at Universities – Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China)*

Abstract: The development and utilization of the construction of urban wetland and urban wetland park has significant ecological and economic benefits. On one hand, it can promote the development of ecological tourism, living economy. On the other hand, it also can make the original wetland regained, promoting the development of regional economy, air purification, environmental improvement. “Green design” on the basis of planning concept, this paper put forward the functional partition and the space layout and the design principle of wetland in Daqing Oilfield. Then put forward the wetland park planning concept, functional zoning, spatial layout, and the design principle, etc. . Finally this paper carry on the design of Daqing Oilfield Wetland Park through behavior planning, park landscape, service facilities and flood control function four aspects. It is hoped that this paper can contribute to the sustainable development of Daqing Oilfield, as well as providing a reference for other urban park construction.

Key words: wetland park; ecological environment; planning design; Daqing Oilfield

~~~~~  
(上接第 66 页)

## KEY HUMANISTIC ECOLOGIC OBJECTS' IDENTIFICATION AND THE SENSITIVE EVALUATION IN THE AREA IMPACTED BY THE PLANED HYDROPOWER STATIONS ON THE MIDDLE – AND UPPER – MAINSTREAM OF THE LANCANG RIVER

LI Xiao-bo, Feng Yan

( *Asian International Rivers Center, Yunnan Key Laboratory of International Rivers and Transboundary  
Eco – security, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China*)

**Abstract:** Based on field surveys and literature collection of affected zone of the 7 planed hydropower stations which will be built on the middle – and upper – mainstream of the Lancangjiang River, we find out all the key humanistic ecologic objects in 16 townships of 4 counties. And according to the importance and the regional distribution of each key humanistic ecologic objects, we assesse their sensitivity under Linear – weighted summation method, Arc GIS and Google earth, main results: (1) The key humanistic ecological objects including 6 categories: cultural relics protection units, traditional villages, idiomatical towns, intangible cultural heritage, landscape and famous scenery, historic towns and villages. (2) Kangpu and Shideng are the most sensitive villages. Tu'e village and Gongguoqiao town take the second place. Badi, Weideng, Pantiang, Zhonglu, Yingpan, Miaowei are the lowest sensitive villages and towns.

**Key words:** Lancangjiang River; hydropower development; identify; sensitivity; evaluation