

太古之民希望路



跨越



连接



蜿蜒



雄奇



心宽路就宽



中国最后一个通公路的少数民族聚居区

ISSN 1001-7852



9 771001 785098

刊号: ISSN 1001-7852
CN53-1079/P

公开发行
国内定价: 15.00 元

云南地理环境研究

第二十八卷 第一期

二〇一六年二月

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 28 卷

第 1 期

Vol.28 No.1

2016 年 2 月



独龙江公路隧道

云南大学 主办

YUNNAN GEOGRAPHIC ENVIRONMENT RESEARCH

《云南地理环境研究》编委会

Editorial Committee of Yunnan Geographic Environment Research

(以姓名拼音为序)

顾 问 Advisers	郭来喜 GUO Lai-xi	李吉均 LI Ji-jun	刘昌明 LIU Chang-ming	陆大道 LU Da-dao
	吴征镒 WU Zheng-yi	杨 林 YANG Lin		
编 委 Members of the Committee	保继刚 BAO Ji-gang	陈丽晖 CHEN Li-hui	戴 波 DAI Bo	郭世昌 GUO Shi-chang
	何大明 HE Da-ming	黄晓霞 HUANG Xiao-xia	康国发 KANG Guo-fa	林文勋 LIN Wen-xun
	骆华松 LUO Hua-song	明庆忠 MING Qing-zhong	史培军 SHI Pei-jun	谈树成 TAN Shu-cheng
	唐 川 TANG Chuan	吴 洵 WU Jian	吴兆录 WU Zhao-lu	武有德 WU You-de
	徐 旌 XU Jing	赵 彬 ZHAO Bin	周汝良 ZHOU Ru-liang	周 跃 ZHOU Yue
主 编 Editor-in-Chief	林文勋 LIN Wen-xun			
副 主 编 Associate Editor	徐 旌 XU Jing			
责任编辑 Responsibility Editors	徐 旌 XU Jing	何永彬 HE Yong-bin	刘 燕 LIU Yan	

云南地理环境研究

YUNNAN DILI HUANJING YANJIU

(双月刊 1989 年创刊)

第 28 卷 第 1 期 2016 年 2 月出版

国内统一刊号 CN53-1079/P

YUNNAN GEOGRAPHIC

ENVIRONMENT RESEARCH

(Bimonthly Started in 1989)

Vol.28 No.1 Feb., 2016

国际标准刊号 ISSN 1001-7852

主 管	云南省教育厅	Editor:	Editorial Office of YGER
主 办	云南大学		Yunnan Institute of Geography
主 编	林文勋		(20 Xuefu Rd., Kunming 650223, China.
副 主 编	徐 旌		E-mail: 1423307537@qq.com
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)		http: //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)	Editor-in-Chief:	LIN Wen-xun
印刷装订	云南千帆印务有限公司	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)

《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。

云南地理环境研究

第 28 卷 第 1 期 2016 年 2 月

目 次

喀斯特石林发育演化的地表水土过程作用机制	何永彬, 张信宝 (1)
基于 Google Earth 与 ArcGIS 的勐海县橡胶林覆盖分析	孙正宝, 张 娜, 陈丽晖 (7)
4 种干旱监测方法在云南省的对比应用	赵 敏, 胡文英, 李艳芳 (14)
点苍山大理冰期研究回顾、讨论与展望	张 全, 万 晔, 曾洪云 (22)
对中国森林火灾在短时间尺度上变化规律的研究	余晓珊, 沈才明 (30)
主动式避雷针与常规避雷针在高原露天堆场实际应用中的验证分析	杨 波, 周 泓 (36)
洱海流域水污染排放的人文因素解析	杨 振, 江 琪, 卢中辉 (42)
基于 ESDA 的中原经济区县域经济发展水平差异及驱动力分析	刘 亚, 王 利, 高 鹏 (49)
城市社区居家养老设施空间布局研究	
——以上海市中心城区为例	张瀚月, 张博茹 (55)
漂流游客的安全认知研究	
——基于贵州马岭河峡谷漂流游客的调查分析	张 杨, 陈岚雪, 黄和兰 (60)
贫困喀斯特地区旅游发展研究	
——以云南丘北县普者黑景区为例	李 亚, 陈伟康 (67)
基于 QAP 算法的游客信息搜索动因研究	田 里, 刘 莎 (73)
照片: 独龙江公路隧道	徐 旌 (封面)
照片: 太古之民希望路	徐 旌 (封底)

YUNNAN GEOGRAPHIC ENVIRONMENT RESEARCH

Vol. 28 No. 1 Feb. 2016

CONTENTS

Analysis to the Control Influence of the Surficial Water and Soil Process in Shilin Formation	
.....	<i>HE Yong – bin , Zhang Xin – bao</i> (13)
Rubber Coverage Analyses Based on GE and ArcGIS in Menghai County	
.....	<i>SUN Zheng – bao , ZHANG Na , CHEN Li – hui</i> (13)
Comparison and Application of Four Drought Monitoring Methods in Yunnan Province	
.....	<i>ZHAO Min , HU Wen – ying , LI Yan – fang</i> (21)
Progress, Discuss and Prospects of Dali Glaciation on Massif Diancang	
.....	<i>ZHANG Quan , WAN Ye , ZENG Hong-yun</i> (29)
Study on Change of Forest Fires on Short Time Scales in China	 <i>YU Xiao – shan , SHEN Cai – ming</i> (41)
Comparison and Verification of the Actual Application of the Active Lightning Rod and the Conventional	
Lightning Rod in the High Altitude Open Yard	 <i>YANG Bo , ZHOU Hong</i> (41)
Human Factors Analysis on Water Pollution Emissions in Erhai Basin	
.....	<i>YANG Zhen , JIANG Qi , LU Zhong – hui</i> (48)
The Differences of Development Level and Driving Forces of Economic Development Within Counties	
in Cper Based on ESDA	 <i>LIU Ya , WANG Li , GAO Peng</i> (59)
Spital Distribution of Urban Community In – home Service Facilities For the Elderly	
——A Case Study of Shanghai Central Area	 <i>ZHANG Han – yue , ZHANG Bo – ru</i> (59)
Study on Safety Cognition	
——Based on Investigation and Analysis of Guizhou Tourists Drifting Malinghe Canyon Rafting Tourists	
.....	<i>ZHANG Yang , CHEN Lan – xue , HUANG He – lan</i> (66)
Research on the Tourism Development in Poverty Karst Area	
——Take Puzhehei Scenic Area in Qiubei County of Yunnan As An Example	 <i>LI Ya , CHEN Wei – kang</i> (72)
Dynamical Factor on Tourists Information Searching With QAP Algorithm	 <i>TIAN Li , LIU Sha</i> (78)

喀斯特石林发育演化的地表水土过程作用机制

何永彬¹, 张信宝²

(1. 云南大学 理学报编辑部·《云南地理环境研究》编辑部, 云南 昆明 650223;
2. 中国科学院、水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 喀斯特环境中地表水土过程对表层喀斯特过程具有重要意义。在石林区域的地质环境变化条件下, 石林形成是从剥蚀夷平期的厚层红土覆盖环境下的石芽溶蚀发育, 至厚层覆土受侵蚀后出露深大石芽, 再至现代石林的多重侵蚀改造的宏观演变过程。与地表水土过程有关的风化壳覆盖溶蚀机制与揭露侵蚀机制是石林发育演变中的两个关键机制。

关键词: 水土过程; 石林; 作用机制

中图分类号: P931.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-7852(2016)01-0001-06

0 前言

喀斯特地貌的形态及其空间分布主要受碳酸盐岩层的组成、结构和气候条件的控制。不同于锥状、塔状和峰林喀斯特地貌仅分布于热带和亚热带的碳酸盐岩区的情况, 石芽形态广泛分布于从热带一寒带的广大碳酸盐岩区, 但在分布范围、规模、发育形态特征等存在较大差异, 一般情况下石芽普遍表现形体小、疏散和大部份埋藏的特点^[1-3]。但在云南滇东高原上地形坡度平坦、以纯碳酸盐岩为主、岩层节理发育的斜坡地带, 发育了集中成片、显著典型的, 由群簇、密集、直立的石柱所组成的一种特殊喀斯特石林地貌。有关石林形态发育的动力机制与演变过程的诸多研究的研究结果一致认为喀斯特石林形成的具体过程包括化学过程(溶蚀和沉淀)和机械过程(流水的侵蚀和沉积、重力崩塌、坍塌和堆积等)^[4-10], 但随着对以水、土壤、生物为介质的喀斯特作用的逐步深入研究, 说明形成形体高大的石芽需要有特殊的发育环境条件、演变阶段和保存条件^[11], 形成因素包括水、土壤、

生物、重力或其它外力作用^[12-18]。目前已经把石林地貌研究与第三纪以来的气候变迁与区域环境变化研究紧密地联系在一起, 并且注意到所处的斜坡转换地带有利于地表物质搬运和受溶蚀形态的揭露, 开始关注地表水土过程与石柱地貌的形成与发展的关系^[19-22]。本文在收集等相关资料 and 综合分析的基础上, 从对喀斯特地表水土过程控制喀斯特地貌发育的机理解释出发, 分析石林形成的阶段性特征, 以期深化对石林独特发生原因的科学认识。

1 区域环境特征

1.1 侵蚀物质基础

碳酸盐岩地层质纯, 分布面积广, 地表出露自东向西微倾斜, 岩层产状平缓等栖霞组、茅口组厚层和巨厚层、多为中至粗粒晶体结构的块状灰岩, 为喀斯特发育提供了物质基础; 碳酸盐岩地层中节理发育, 同时所在地段有区域性的张性大断裂带通过, 断裂为喀斯特发育提供了有利条件。同时二叠纪峨眉山期玄武岩叠置在古剥夷面上, 玄武岩风化物成为重要的成土物源, 长期的风化作用在残

收稿日期: 2015-10-10; 修订日期: 2016-01-11.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划课题(2006CB403203)资助.

作者简介: 何永彬(1967-), 男, 云南省宣威市人, 副研究员, 博士, 主要研究方向为区域资源与环境.

存剥夷面堆积形成了厚层土壤覆盖。以土壤为介质的土下溶蚀过程剧烈。见石林区域地质地形概图(图1a)。

1.2 侵蚀动力条件

石林区域自第三纪以来逐步抬升的高度仍然在亚热带山地气候环境的界限内,受季风型暖热气候影响,夏季高温多雨,山地地表水与地下水的循环交换迅速,碳酸盐岩溶蚀作用剧烈。喀斯特区域具有“双层结构”、多孔介质、高异质性地表结构、地表水与地下水交换快速、具有在暴雨洪水径流状况下的垂向混合产流、地下水网的“储存区”具有较大调蓄性能等特征。多种界面的喀斯特地表、地

下的土壤入渗水、壤中流,以及裂隙流、孔隙流与层间流等水流对喀斯特发育具有关键作用。在早期的剥蚀面(或称古溶原、古夷平面)被抬升过程中,河流侵蚀基准面以上的地下水变为以垂直渗流为主,地下含水层集中通过空间较大的垂向节理和裂隙,由西向南以承压水流向远方排泄,在溶蚀作用外的机械冲刷和重力崩塌都较为剧烈,地下水管发育得到强化,并与具有吸纳与排泄地表水功能的漏斗、洼地、竖井等相连接。钻探揭露地下发育有地下管穴网络及充填沙砾层,管穴连接着残蚀台原上的洼盆及其它集水区域。沿地下河管穴出现链状或串珠状分布(图1b)。

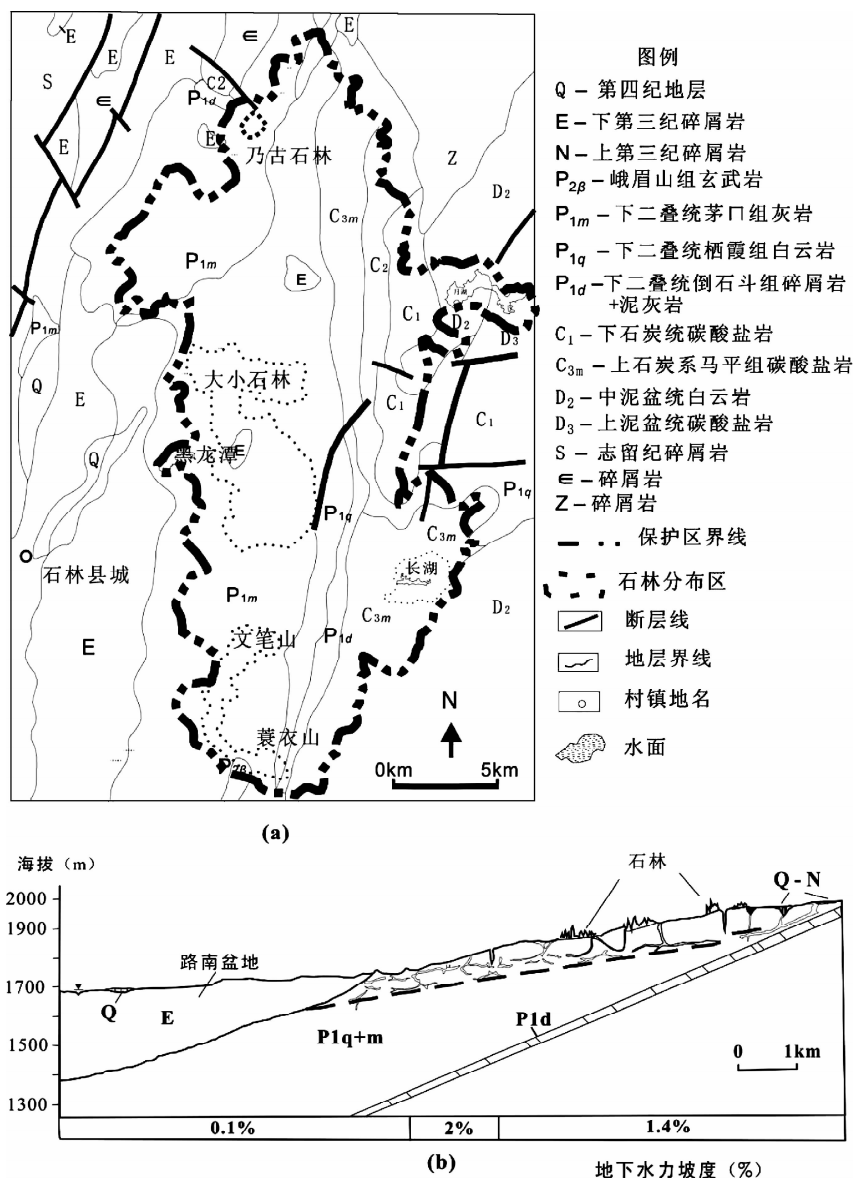


图1 (a) 石林区域地质简图与 (b) 石林区域地形剖面图^①

Fig. 1 (a) The sketch of Shilin geological background and (b) The cross - sketch of Shilin Geomorphological condition

① 云南省地质局水文地质工程地质队. 中华人民共和国 1:200000 区域水文地质普查报告 (宜良, G-48-X X VI) (R). 1977.

1.3 侵蚀势能条件

石林分布区域位于高原面向盆地的斜坡转换地带,从现代地形格局是和缓斜坡地带的丘陵溶原(图1b)。斜坡和洼地的地形坡度又增加了水流的流动性,暴雨及地表径流的侵蚀作用加快了风化壳覆盖下石芽的揭露,致使石芽和石柱以不同程度出露。

2 石林形成的形态演变阶段

2.1 区域地貌发育的地质背景

从第三纪以来的大地构造变化来看,石林区域是逐步抬升的地台区。第三纪始新世开始的喜马拉雅运动在路南地区产生断块运动,形成路南古湖断陷盆地。中上新世青藏高原隆起带动本区整体隆升成高原,在晚第三纪时期经历了沉积间断的剥夷期,地表形成了在槽谷、溶斗和石隙间有红土覆盖的剥夷面(目前1 700 m~2 200 m)。在第四纪始新世中期至始新世晚期,出现间歇整体隆升和大范围的差异性升降,隆起地块与断陷盆地相间分布。至早渐新世晚期,巴江河流雏形出现。至少在早更新世中期,南盘江就与巴江相沟通,形成新的区域侵蚀基准。至晚全新世的喜马拉雅运动后期,西部断裂再度活动,差异性断块升降形成大叠水裂点,导致区域侵蚀基准呈逐步降低趋势,具有减缓沟谷河流的溯源侵蚀速度、降低地表侵蚀切割程度等显著作用^[23-26]。原来在高原期与石柱期形成的剥夷面普遍受侵蚀切割后裂解,残存剥夷面仅剩峰顶或仅保留丘峰、洼地和埋藏石芽。部分地块以地台形式抬升后继续进行剥夷过程而形成现代残留高原面。

2.2 石林形成的形态演变阶段

2.2.1 风化壳覆盖阶段

自晚二叠纪始,整体上,石林区域处于地壳相对稳定时期,地表过程以剥蚀夷平为主,至晚第三纪形成了红土夷平面,地形受切割较轻微,地形相

对高差较小,一般50 m~200 m。石林地区经过亚热带气候环境下长期的淋溶过程的作用形成了厚层土壤,通常在土壤覆盖层下形成密集发育的土下溶痕。上二叠纪峨眉山喷发玄武岩零星分散覆盖在碳酸盐岩层上,形成砖红色与棕红色、厚层、富铁铝的残积风化粘土层^[18]。从已揭露的地下石芽、石柱等情况看,起初石芽发育是在土层埋藏条件下发育的。据曹建华等研究,玄武岩风化土层上植被发育,储集水分多,溶于水的CO₂不断得到补充,土壤中CO₂含量高。玄武岩风化土层较灰岩风化成土具有较大的溶蚀性——外源水溶蚀。玄武岩风化土层下30 cm的灰岩溶蚀速率是(21.4~33) mg/100 d,是同深度第三纪土壤对灰岩溶蚀速率的14~22倍^[22]。

(1)在岩层产状平缓 and 区域侵蚀基准相对较低的情况下,地下水径流缓慢,垂向溶蚀发育受到限制,表层土壤中以渗透流为主,主要是在残积风化粘土层下的碳酸盐岩表层沿节理裂隙进行广泛的溶蚀作用,出现水平方向上不断降低岩石基顶高度和在垂直方向上则使裂隙、节理不断向下加深的过程变化^[34],形成了粘土层覆盖环境下的隐伏石芽^[27-28]。(2)当石林区域地层逐步开始隆升后,降水经过土层向下渗透增加致使碳酸盐岩岩石中的垂向溶蚀增强,沿岩石棋盘状纵横交错的节理不断溶蚀切割,加深、加宽裂缝,结果是较大规模体积的碳酸盐岩岩石受到分割,演变形成多孔介质形态,并出现沿主裂隙的较大塌陷,以及沿细小裂隙的小塌陷;(3)碳酸盐岩风化蚀余物酸不溶物作为成土物源在构造裂隙、节理等溶蚀较剧烈的位置和低洼地带形成堆积^[29]。在水力坡度加大的情况下,地表堆积物质不断被带着,在地表红土或其它岩土积覆盖被侵蚀变薄的地带出现峰林、丘峰和裸露石芽。

石林区域抬升后风化壳覆盖阶段的喀斯特溶蚀形态演变过程见(图2)。

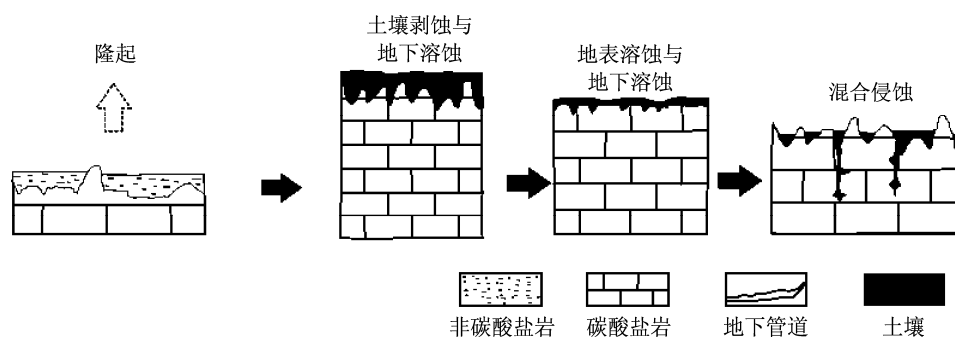


图2 石林区域风化壳覆盖阶段的喀斯特溶蚀形态演变过程

Fig. 2 The evolution process of Karst dissolution forms in thick weathering shell stage after uplift in Shilin region

2.2.2 揭露侵蚀阶段

在晚全新世后期随着地壳的强烈上升运动,区域河流侵蚀基准降低,早期的剥蚀面(或称古溶原、古夷平面)被抬升到侵蚀基准面以上,地表土壤侵蚀过程普遍发生。至始更新世,由于新构造运动使得石林盆地抬升,同时巴江河谷侵蚀下切,裂点不断后退,溯源侵蚀加剧,水流的侵蚀等作用不断搬运带走碳酸盐岩之上的红土或其它岩土堆积,石芽广泛暴露于地表^[24]。普遍地,侵蚀揭露阶段的碳酸盐岩受到来自降水、水流或大气的降雨溶蚀冲蚀及差异性溶蚀、土下溶蚀与侧向溶蚀、坡面流水侵蚀揭露后的风化剥蚀、土石界面的渗流溶蚀、构造节理与管隙的溶蚀冲蚀等复杂过程的作用,为多样化的喀斯特石林形态发育和改造塑形提供了条件^[30-33]。

(1) 在残存薄层土壤或薄层风化壳覆盖的溶丘顶部,由于土壤介质薄层且较为均匀,渗流带不发育。碳酸盐岩主要以化学溶蚀为主,岩层基面降低速率或风化土速率缓慢,土层下埋藏石芽和溶沟发育缓慢。局部地段受地表流水侵蚀揭露后出现高度不大(1 m~5 m)的石林,其石柱溶痕不甚发育或呈残余状。同时,地表水沿碳酸岩斜坡面流动,溶蚀和侵蚀出许多凹槽状的溶沟等低凹形态,以及溶沟间突出的石芽形态^[19]。

(2) 在有土壤覆盖的坡地过渡地带,受坡面降水产生的冲蚀作用加快了石林的出露,多发育有较多石柱、高度也稍大的石林。并且降雨形成的坡面

径流沿着碳酸盐岩的节理、裂隙和断裂破碎层面使垂向喀斯特作用增强,形成大量的岩溶裂隙和溶沟为主的石质坡地。在低洼地带或坡脚出现半埋藏石芽,发育有高度大于10 m的石芽^[19,26]。

(3) 洼地等地带的裂隙节理发育,而且洼地的集水性能较好,地表水与地下水快速转换和汇集成的下渗水流冲蚀栖霞组 and 茅口组石灰岩、白云质灰岩,形成石林洼地。下渗水流的流速加大具有更大的溶蚀速率。据刘再华等的研究,净水环境下溶蚀速率为1 131 mm/ka,只是流动条件下的1/7至1/2。水流速度由20 cm/s增加至60 cm/s,灰岩溶蚀速率从3 130 mm/ka增加到5 300 mm/ka。水流流速加快产生了对碳酸盐岩较高溶蚀力^[34]。

(4) 特别的是,石芽间的残留土壤继续溶蚀改变土下石柱的表面形态,沿裂隙、节理不断向下加深,石柱间隙加宽。沿裂隙走向出现石林槽(谷)地和石林洼地。在裂隙节理密集发育的槽(谷)地和洼地地带,多孔介质(裂隙和洞穴)之间相互沟通,洼地、暗河连结成一个互相贯通转换的“双层结构”系统,通常在洼地等低凹地带出现典型簇状石林^[19]。同时,洼地环境下的地下水位的季节性升降波动和积水作用,致使石芽出露速率加快和石柱出露高度进一步增大。典型如剑池石芽为代表的石林或石芽集合体^[35]。后期增加了雨水和空气为动力的侵蚀作用^[36-37]。

石林区域揭露侵蚀阶段的喀斯特溶蚀形态演变过程见图3。

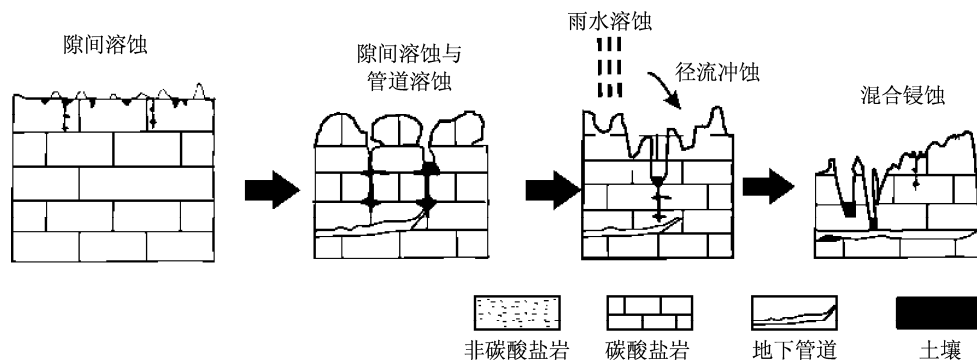


图3 石林区域揭露剥蚀阶段的喀斯特溶蚀形态演变过程

Fig. 3 The evolution process of Karst dissolution forms in the exposed erosion stage after denudation in Shilin region

3 石林形成的地表水土过程作用机制

石林形成的地表水土过程作用机制见图4。

喀斯特石林发育演变过程中地表水土过程与地

貌形态之间存在的紧密联系。石林区域整体上属于在夷平地形基础上经过差异断陷抬升形成的山原地形,在相对稳定的水热气候环境和区域侵蚀环境下,水份和土壤构成重要的环境驱动因素。石林发育演变经历了从晚第三纪风化剥蚀期的厚层红土覆

盖环境下的石芽溶蚀发育，至第四纪始更新世石林溯源侵蚀加剧，厚层红土受侵蚀出露深大石芽，再至现代石林的多阶段过程。其中，石林形成演变受到降雨溶蚀冲蚀及差异性溶蚀、土下溶蚀与侧向溶蚀、坡面流水侵蚀揭露后的风化剥蚀、土石界面的

渗流溶蚀、构造节理与管隙的溶蚀冲蚀等复杂过程的作用。由于水流侵蚀等作用不断搬运带走碳酸盐岩之上的红土或其它岩土堆积，又为在碳酸盐岩表面的溶蚀和喀斯特形态发育提供了条件，使裸露碳酸盐岩出现持续变化。

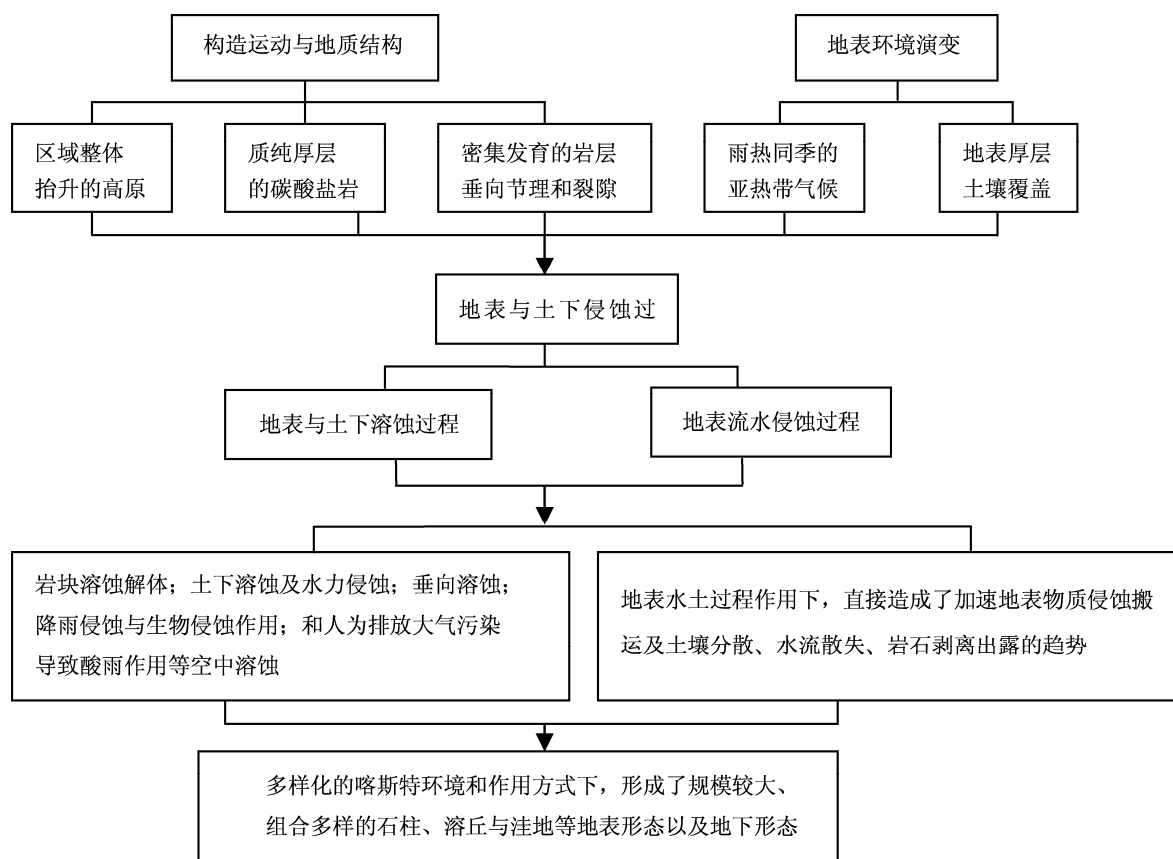


图4 石林形成的地表水土过程作用机制

Fig. 4 The influence mechanism of surficial water and soil process in Shilin formation

4 结论

喀斯特表层地貌形成、演变和地貌组合特征是与喀斯特土壤形成和演变、土壤侵蚀及生态环境演变紧密联系的^[2]。受岩性、地质构造、地貌、气候、水文、植被等侵蚀环境因素的影响，喀斯特形

态发育与环境侵蚀过程具有同一性。在包括地表溶蚀、地下溶蚀、土下溶蚀等溶蚀过程、以及流水侵蚀、重力崩塌、坍塌等地表水土过程作用下，直接造成了加速地表物质侵蚀搬运及土壤分散、水流散失、岩石剥离出露的趋势。在多样化的喀斯特环境和作用方式下，形成了规模较大、组合多样的石柱、溶丘与洼地等地表形态以及地下形态。

参考文献：

- [1] 袁道先. 论岩溶环境系统 [J]. 中国岩溶, 1988, 7 (3): 179 - 186.
- [2] 中国科学院地质研究所岩溶组. 中国岩溶研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 112 - 123.
- [3] 任美镠, 刘振中. 岩溶学概论 [M]. 北京: 商务印书馆, 1983: 181 - 187.
- [4] 马希融. 云南石林地形上初步之观察 [J]. 理科论丛, 1936, 1 (1).
- [5] 杰显义. 云南东部地区喀斯特层组类型、古喀斯特及石林形成条件的初步探讨 [C] // 中国地质学会水文地质工程地质专业委员会. 第一届全国水文地质工程地质学术会议论文选编 - 第2辑 (喀斯特问题专辑). 北京: 中国工业出版

- 社, 1966.
- [6] 俞锦标, 王雪瑜, 王宗汉. 路南石林形成时代及古地理环境的初步分析 [J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1983 (2): 362–374.
- [7] 俞锦标, 王雪瑜, 王宗汉. 云南路南石林的地貌特征及其形成的古地理环境 [J]. 科学通报, 1984 (11): 686–689.
- [8] 张寿越. 路南石林发育及其演进 [J]. 中国岩溶, 1984, 3 (2): 78–87.
- [9] Chen zhiping, Song Linhua, Sweeting M M. The Pinnacle Karst of the stone forest, Lunan, Yunnan, China: an example of a sub-jacent Karst [C] // Paterson K. & Sweeting M. M. New directions in Karst: Proceedings of Anglo-French karst Symposium. England: Geo Books Regency house, 1986: 591–596.
- [10] 林钧枢. 路南石林形成过程与环境变化 [J]. 中国岩溶, 1997, 16 (4): 346–350.
- [11] 袁道先. 中国岩溶学 [M]. 北京: 地质出版社, 1993: 44–52; 92–129.
- [12] Peng Jian, Cai Yunlong, Yang Mingde et al. Relating aerial erosion, soil erosion and sub-soil erosion to the evolution of Lunan Stone Forest, China [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2007, 32 (2): 260–268.
- [13] Ford D. Williams P. Karst Geomorphology and Hydrology [M]. Boston, Sydney, Weilington: Uniwin Hyman, 1989: 507–512.
- [14] Julia James. A comparison of the stone forest of Lunan with pinnacle karsts of the world [C] // Song Linhua. Stone forest - : A treasure of natural heritage. Beijing: China Environmental Science Press, 1997: 22–29.
- [15] Knez, M. and T. Slabe. Shilin: The formation of stone forests in various rock types (Lunan, Yunnan, China) [J]. Acta Geologica Sinica - English Edition, 2007, 81 (1): 148–157.
- [16] . Song Linhua, Li Yuhui. Definition of stone forest and its evolution in Lunan county, Yunnan, China [C]. Song Linhua. Stone Forest - A treasure of natural heritage. Beijing: China Environmental Science Press, 1997: 37–45.
- [17] 彭建. 中国石林发育研究进展 [J]. 中国岩溶, 2002, 21 (1): 67–72.
- [18] 石林研究组. 中国路南石林喀斯特研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 1997: 5–20.
- [19] 梁福源, 宋林华, 王富昌, 等. 路南石林地区土壤空气中 CO₂ 浓度分布规律与土下溶蚀形态研究 [J]. 中国岩溶, 2000, 19 (2): 180–187.
- [20] 梁福源, 宋林华, 唐涛. 石林地区土壤性质与喀斯特洼地发育 [J]. 地理研究, 2004, 23 (3): 321–328.
- [21] 蔡炳贵, 程海, 侯居峙, 等. 云南石林地区土壤侵蚀的石笋记录与现代观测 [J]. 第四纪研究, 2005, 25 (2): 170–175.
- [22] 曹建华, 袁道先. 受地质条件约束的中国西南岩溶生态系统 [M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- [23] 彭建, 杨明德, 梁虹, 等. “三元剥蚀”与路南石林发育 [J]. 地理研究, 2005, 24 (2): 186–195.
- [24] 彭建, 蔡运龙, 杨明德, 等. 巴江流域演变与路南石林发育耦合分析 [J]. 地理科学进展, 2005, 24 (5): 69–78.
- [25] Zhang Faming, Gen Hong, Li Yuhui, et al. Study on the lunan stone forest karst, China (Chinese, English content and summary) [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1997.
- [26] 梁永宁. 中国路南石林喀斯特形成演化研究 [J]. 昆明理工大学学报, 1999, 24 (1): 14–21.
- [27] 孙承兴, 王世杰, 周德全, 等. 碳酸盐岩差异风化成土特征及其对石漠化形成的影响 [J]. 矿物学报, 2002, 22 (4): 308–314.
- [28] 卢耀如. 中国喀斯特地貌的演化模式 [J]. 地理研究, 1986, 5 (4): 25–34.
- [29] 蒋忠诚. 中国南方表层岩溶带的特征及形成机理 [J]. 热带地理, 1998, 18 (4): 34–39.
- [30] 李德文, 崔之久, 刘耕年, 等. 岩溶风化壳形成演化及其循环意义 [J]. 中国岩溶, 2001, 20 (3): 183–188.
- [31] 李阳兵, 王世杰, 李瑞玲. 岩溶生态系统的土壤 [J]. 生态环境, 2004, 13 (3): 434–438.
- [32] 符必昌, 黄英. 试论碳酸盐岩上覆红土的形成模式及演化趋势 [J]. 地质科学, 2003, 38 (1): 128–136.
- [33] 张信宝, 王世杰, 贺秀斌, 等. 碳酸盐岩风化壳中的土壤蠕滑与岩溶坡地的土壤地下漏失 [J]. 地球与环境, 2007, 35 (3): 202–206.
- [34] 刘再华. 岩溶作用动力学与环境 [M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [35] 章程, 谢运球, 姜光辉, 等. 云南路南石林裂隙渗透张量特征 [J]. 中国岩溶, 2001, 20 (2): 97–100.
- [36] 梁福源, 宋林华, 唐涛. 路南石林空气中水-石灰岩作用研究 [J]. 中国岩溶, 2002, 21 (2): 79–83.
- [37] Tian Youping, Zhang Jie. The role of aerial algae in the formation of the landscape of the Yunnan Stone Forest, Yunnan Province, China [J]. Science in China: Series D - Earth Sciences, 2004, 47 (9): 846–864.

基于 Google Earth 与 ArcGIS 的 勐海县橡胶林覆盖分析

孙正宝¹, 张 娜², 陈丽晖^{2*}

(1. 云南大学 科技处, 云南 昆明 650091; 2. 云南大学 资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091)

摘要: Google Earth (GE) 平台的出现和推广使 GIS 应用更为普遍, 然而, 对土地覆盖的研究多局限于将该平台作为对传统遥感数据源分析结果的精度检验, 或制图方面的信息显示。通过西双版纳勐海县橡胶林案例, 以云雾干扰小的 2011 年和 2013 年高分辨率卫星影像为基础, 参考 2010 ~ 2014 年期间相同地点其它年份影像, 尝试基于 GE 与 GIS 的橡胶判识和分析方法。结果显示: 2011 年勐海的橡胶林种植面积为 17 746.89 hm², 到 2013 年, 快速扩大到 24 864.71 hm², 扩大了 7 117.82 hm², 猛增了 28.6%; 种植海拔小幅上升, 最高海拔从 1 720 m, 提高到 1 760 m; 种植地坡度基本不变, 2011 年为 0.6 ~ 22.1°, 2013 年为 0.6 ~ 22.1°。该结果与统计数据 19 291.53 hm² 比较, 误差 8%。相关的 TM 数据方法所获得的 2010 年版纳橡胶幼林 (<10 年) 占总胶林 51.06%, 进一步证实和解释了橡胶林猛增的判识结果。由此得出结论: 对于具有较完整高分辨率影像的区域, 尤其解译对象特征显著的覆盖研究, 基于 GE 的判识和分析方法具有高效、准确、节约成本的优势, 值得进一步探索。

关键词: Google Earth; ArcGIS; 橡胶林; 覆盖; 勐海县

中图分类号: S127, TP79

文献标识码: A

文章编号: 1001 - 7852(2016)01 - 0007 - 07

利用遥感数据和技术获取区域地表信息, 因其相对最为可靠和有效, 而成为最普遍手段^[1,2]。然而, 各类影像数据的监测精度、成本和可获得性差异悬殊。高分辨率影像数据的成本往往较高, 因此, 相当一部分研究者长期采用中、低分辨率数据相结合方法获取遥感信息^[3]。目前, 中国对橡胶林信息提取研究涉及 Landsat 系列数据^[4-7]、MODIS^[8,9] 和 Quickbird^[10] 等单一或多种不同遥感影像的应用。Google Earth (GE) 作为新型的地理信息服务项目, 以高分辨率卫星图片和矢量地图相结合, 以免费、开放、简单易用的方式对传统的 GIS 平台形成了强大的冲击^[11]。基于 GE 的 GIS 二次开发与应用, 从早期的交通信息服务^[12]、地质灾害^[13]、考古^[14,15]、海上溢油预测^[16]、森林消

防^[17]、航标监控^[18] 和电网规划^[19], 拓展到旅游导航^[20]、建筑^[21]、聚落变化^[22]、气象气候^[23]、城市天然气泄漏模拟^[24] 等多个领域的运用, 在这些研究中, 其高清晰、实用和低成本等方面优势不断得到肯定, 从科学研究走向普通大众。

借助 GE 平台的土地覆盖研究工作, 大多集中于以下两个方面: (1) 将 GE 平台提供的高分辨率影像作为研究的精度验证方式之一, 或作为补充手段, 对旧遥感解译土地利用覆被数据库进行适时更新和修正^[3,25,26]; (2) 基于 GE 平台实现专题制图, 例如土壤制图及其属性的显示功能^[27], 仅近年, 才有少量尝试基于 GE 平台所提供的免费高分辨率影像来直接开展的研究, 如运用于沙漠和沼泽区地形^[28,29]、水稻覆盖变化^[30] 和森林覆盖状况^[31,32],

收稿日期: 2015 - 11 - 17; 修订日期: 2016 - 02 - 02.

基金项目: 国家自然科学基金 (41161088) 资助.

作者简介: 孙正宝 (1985 -), 男, 云南省保山市人, 研究实习员, 硕士, 主要研究方向为土地覆盖.

* 通信作者: 陈丽晖 (1968 -), 女, 湖南省益阳人, 研究员, 博士, 主要从事区域经济研究.

并提出信息转换运用的方法框架^[33]。本研究尝试,以云南省西双版纳州勐海县为案例,探讨 GE 与 ArcGIS 为平台的橡胶林覆盖信息提取与分析方法,并结合相关统计数据和其他人研究结果,比较分析其效果及存在的问题,为今后的进一步深入研究提供基础和借鉴。

1 研究区域概况

西双版纳州地势西高东低,橡胶林种植范围大。勐海县地处 $99^{\circ}56' \sim 100^{\circ}41'E$ 、 $21^{\circ}28' \sim 22^{\circ}28'N$,东接景洪市,北连普洱市,西北靠澜沧县,西部和南部与缅甸接壤,总面积 $5\,511\text{ km}^2$,山地占全县总面积的 93.45%,国境线长 146.6 km。东西最长横距 77 km,南北最大纵距 115 km,境内地势相差超过 1 500 m。

自 1956 年橡胶基地建设以来,西双版纳州橡胶林规模不断扩大。2003 年,农垦与民营橡胶面积各占 50%^[34]。20 世纪末期橡胶价格暴涨(1994 ~ 2007 年西双版纳州的生胶收购价疯涨 900%),出现狂热投资橡胶种植的现象,橡胶种植向高纬度、高海拔、陡坡地带蔓延的趋势,大量林地、旱地(轮歇地)转变为橡胶林^[35],橡胶林已经成为版纳的标志性植被类型。2008 年实施林权改革政策以来,橡胶林不仅仅具有产胶和木材的传统经济内涵,还增加了林权归属关系,出现更为快速的扩张,产胶技术要求的一定株间距和种植海拔高度不断被打破。获取橡胶林地的空间分布信息对促进当地的经济发展和生态保护具有重要意义。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究范围的界定

由于研究区内相对高差较大,与茶叶基地相比,橡胶株间距差异显著也易于区分,因此,从方法探讨的角度,我们选择了橡胶种植面积相对较小的勐海县。这样既能达到方法探讨的目的又不至于造成过大的工作量。此外,由于热带雨林地区多云雾,卫星影像质量常受云雾干扰,所以时间上本研究选择了影像数据质量相对较好的 2011 年和 2013 年。

2.2 数据来源

本文所用影像数据来源于 Google Earth 中 2011 年、2013 年的免费高分辨率影像;统计数据来源于云南省版纳州勐海县统计局。工作平台为 Google

Earth 7.1 和 ArcGIS 9.3。

2.3 方法与技术流程

基于 GE 平台的橡胶林分布信息提取方法与传统 GIS 土地覆盖分析方法有着相似的基本逻辑框架^[36,37]。不同的是:传统上将 GE 作为检验方法,抽样判断分类结果;而基于 GE 平台的橡胶林覆盖分析方法,通过 GE 遥感影像人工判读,得到橡胶林分布,然后,转换加载到 ArcGIS 平台,再与勐海的地形数据叠加后进行专题分析与制图(技术流程见图 1)。

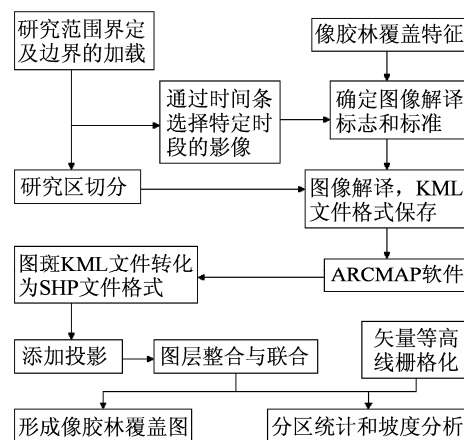


图1 基于 GE 与 ArcGIS 平台的橡胶林覆盖分析技术流程

Fig. 1 Technique flow to analyses the rubber coverage based on GE and ArcGIS

2.4 解译方法的确定

GE 平台提供影像数据源主要包括美国 Digital Global 公司、EarthSat 公司、BlueSky 公司、Sanborn 公司的卫星数据以及 IKONOS、SPOT5 的数据。其中, SPOT5 可以提供解析度为 2.5 m 的影像、IKONOS 可提供 1 m 左右的影像、而 QuickBird 就能够提供最高为 0.61 m 的高精度影像,这也是诸多学者将其作为验证精确度方法的重要原因。尽管 GE 免费高分辨率影像作为单纯影像缺乏光谱分析条件,但却具有非常好的目视人工解译条件,如果从监测精度、研究区范围、数据成本以及数据的可获取性 4 个方面综合考虑^[3],其优势是显而易见的,本研究意在发挥该方面优势而采用目视解译方法。

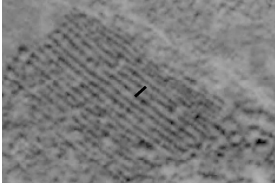
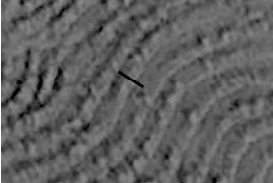
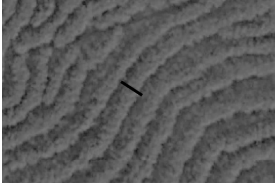
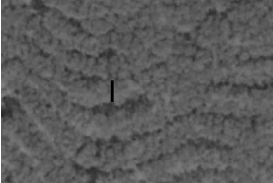
2.5 解译标志和标准的确定

根据橡胶林景观特征和种植特点,影像判读标志和标准主要依据 4 个方面:(1) 海拔 2 000 m 以下;(2) 明显的沿等高线开垦台地界线;(3) 规范种植橡胶应以 10 m 间距最佳,然而,实地调查显示,农户种植大多不规范,同时别于茶梯地的台间

距 (1.5 ~ 3 m)，将橡胶林的判读标准确定为台间距为 3 ~ 10 m；(4) 该区域干湿季分明（干季：10 月下旬至次年 5 月，湿季：5 月下旬至 10 月），橡胶林有明显的季相特征，即影像时间，1 ~ 2 月落叶、萌芽，叶面积指数最低，而 6 ~ 10 月叶面积指

数相对较高（表 2）。凡不吻合其标准之一的，我们判读为非橡胶林。根据种植间距和右下角的海拔信息判断，并通过多边形添加工具将橡胶林勾画出图斑，以 KML 格式保存，将不确定的图斑在附录中记录其坐标和海拔，以便实地考察和验证。

表 1 勐海县橡胶种植 GE 影像解译标志与标准
Tab. 1 Interpretation features and criteria of rubber forest in Menghai County in 2011

	茶园	橡胶幼林	成林（对照参考）	典型橡胶林
Google Earth 影像				
影像材料背景	东经 100°27′01.91″ 北纬 21°53′19.32″ 2011 年 11 月 19 日拍摄	东经 100°07′22.22″ 北纬 21°44′45.09″ 2010 年 2 月 19 日拍摄	东经 100°07′22.22″ 北纬 21°44′45.09″ 2014 年 10 月 8 日拍摄	东经 100°02′26.67″ 北纬 21°42′15.81″ 2010 年 3 月 2 日拍摄
影像特征解译	暗绿色纹理显示，台地边界清晰。台间距仅 1.81 m，远小于橡胶林台间距 3 ~ 10 m 判识标准，且海拔 1 325 m	台地边界清晰，台间距 9.65 m，海拔 1 091 m，吻合判识标志和标准；但深浅不同褐色纤细条纹相间，橡胶影像特征不显著	与左图相同地点，台地特征不变，经过 4 年，季相不同，与右图典型橡胶林趋同，特征显著，判定为橡胶林	台地边界清晰，台间距 9.33 m，海拔 719 m，绿色叶面覆盖。

注：图中红色线段指示为台间距的测量地点。

3 结果与分析

3.1 信息提取结果

基于 Google Earth 7.1 和 ArcGIS 9.3 工作平台，按照图 1 技术流程提取 2011 年、2013 年西双版纳州勐海县橡胶种植信息，得到如下结果（表 1 和图 2）。

（1）面积大幅增加。2011 年勐海的橡胶林种植面积为 17 746.89 hm²，到了 2013 年，橡胶林的

面积为 24 864.71 hm²，增加了 7 117.82 hm²，同比增长了 28.6%。

（2）海拔小幅上升。2011 年勐海的橡胶林种植分布在海拔 520 ~ 1 720 m，平均海拔为 1 140 m，到了 2013 年，种植海拔为 580 ~ 1 760 m，平均海拔为 1 180 m，总体提高了约 40 m。

（3）坡度基本不变。2011 年勐海的橡胶林种植地坡度在 0.6 ~ 22.1°，平均种植地坡度为 21.8°，到了 2013 年，种植坡度为 0.6 ~ 22.1°，平均种植地坡度为 21.5°，变化不明显。

表 2 勐海县 2011 年橡胶种植 GE 影像解译结果与统计数据、刘晓娜等 TM 数据源解译结果比较
Tab. 2 Comparing the rubber coverage analysis from GE images with that of data from statistic & TM in Menghai County in 2011

数据源	总面积 /hm ²	占总面积/%		海拔/m			坡度/°		
		成林	幼林（<10 年）	最高	最低	平均	最小	最大	平均
GE 影像解译	17 746.89	—	—	1 720	520	1 140	0.3	22.1	21.8
地方统计数据	19 291.53	—	—	—	—	—	—	—	—
刘晓娜等 ^[3] TM 数据解译	—	48.94	51.06	1 402	624	—	3.2	38.7	—

3.2 误差分析

从表1可见,2011年,勐海县的橡胶种植总面积为19 291.53 hm²,与GE平台上判读和统计面积约17 746.89 hm²比较,误差为8%,究其原因如下。

由于橡胶树一般需要7年才成熟可以割胶并且可以持续割胶多年。实地调查显示,当地农户种植橡胶不仅仅是为了割胶,还将橡胶木材本身视为财产的重要形式,加之当地林权改革,橡胶林还代表着特定地块的土地使用权归属主体关系,西双版纳州橡胶林的统计信息并没有橡胶林的砍伐和面积减少,因此,本研究使用GE时间条选择前1~2年的影像,来辅助判读和面积统计。但是,这同时伴随有另一问题的出现,即2009年和2010年的影像本身与2011年期间,扩大的面积可能无法如实反映出来,少数情况多年内均没有清晰的影像,本研究统一处理为非橡胶林,这部分面积在一定程度上解释了本次数据比勐海县统计数据偏小的原因。通过比较两者数据的增量显示,基于GE平台橡胶种植信息提取结果与地方统计数据基本一致。

2012年,刘晓娜等^[3]以TM为主要数据源进行的解译结果显示,2010年西双版纳橡胶幼林与橡胶成林种植面积分别占橡胶林地的51.06%和48.94%,集中分布在景洪市和勐腊县,勐海县仅在西南边境和西侧以及北侧靠近景洪市的地区有橡胶种植,且主要是橡胶幼林(图3和表1),本次基于GE平台的遥感影像有2/5的区域缺失高分辨率影像,但绝大部分位于勐海县的西北部(图2),实地调查发现西部仅少量橡胶林幼林分布。比较显示,两者判读的结果基本一致,基于GE平台的解译面积略大于基于TM数据的识别结果。

4 结论与讨论

通过将提取结果与地方统计数据、其他相关研究成果相比较,表明基于GE平台橡胶种植信息提取结果与研究区橡胶种植情况基本一致,说明将GE的高分辨率数据与ArcGIS的空间分析功能相结合的橡胶覆被研究是一条有效途径。该方法充分发挥的GE高分辨率数据的潜能,有效的降低了数据获取成本。但同时作为一次方法的探索性的研究,在具体操作中还碰到具体困难,取得相关经验和新的认知如下。

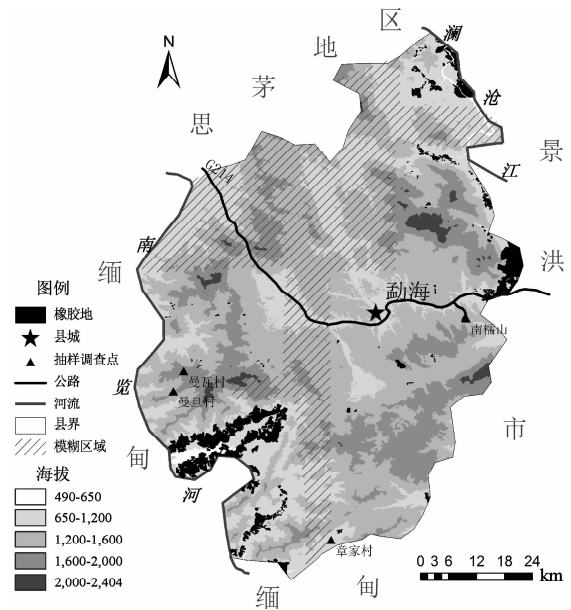


图2 基于GE平台的勐海2011年橡胶林解译结果

Fig. 2 Spatial distribution of rubber plantation

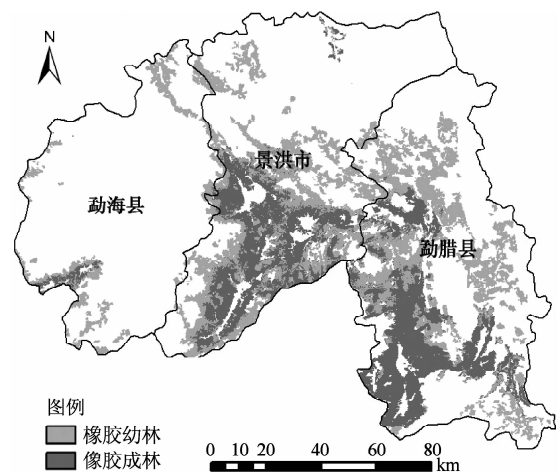


图3 2010年西双版纳面向对象分类结果^[3]

Fig. 3 Object-oriented classification maps of Xishuangbanna in 2010 in Menghai County based on GE in 2011

4.1 GE平台上的边界线确定

(1) GE提供的边界数据仅到省界级,缺少地州界、县界数据,需要将已有的西双版纳州界和勐海县界数据转换为KML格式并加载到GE上,以明确研究区域。

(2) 勐海与缅甸接壤,由于投影方法的不同,导致GE所提供的边境线与中国确定的边界线出现局部地区不吻合,因此,需要用中国确定的边界线进行替换。

4.2 研究区切分

通过切分成三角形,沿三条边勾画并编号,在

每个三角形区勾画完成后进行保存,使勾画的所有图斑存储为一个 KML 文件,不仅可以避免重复勾画或者漏画的问题,还便于用 Arc Catalog 进行数据管理,提高工作效率。

4.3 面要素的创建及其对应图层投影问题

本研究的目的不仅要获取橡胶种植的空间分布情况,而且要统计其面积数据,因此选择 Albers 等积割圆锥投影创建面要素,定义图层投影后再加载。

4.4 拓扑关系及关键字

由于橡胶林种植的图斑较破碎,勾画时易造成多边形的重合,因此,在 ArcGIS 的图层整合和分区统计前须检查拓扑错误并修正。另外,GE 工具不支持对图斑元素 ID、Name 属性的编辑,要取得图形与属性数据对接时的依据,需要利用文本编辑工具直接修改 KML 文件,为图斑添加唯一的命名标签和详细注释,在 FID 字段中的属性表中添加 ID,将 FID 字段值赋给 ID,在分区统计时即可选择字段 ID,得到分区面积统计表。

4.5 GE 平台的不足

尽管 GE 平台具有高分辨率、免费以及便捷的

3D 视图等优势,在进行地物解译时还可以通过时间条来实现影像的快捷选择。但是仍旧存在一些应用上的障碍是目前难以克服的。例如,由于 GE 平台提供的是合成影像,无法进行光谱分析,人工解译需要依据较明显的标志和明确的标准来加以判断,针对该平台分析面临的问题,有研究提出从 Google Earth 方提供信息方面加以改进^[38],也有研究尝试通过软件来实现自动识别^[32]。橡胶林的台地标准、种植海拔要求以及显著的季候特征都使得判断相对容易。但是,图像解译特征不显著的地物类型就难以借助 GE 平台来开展研究。因此,GE 平台仅适合于特征显著的地物类型,除橡胶林外,如公路、城市、人工建筑等,以及具高分辨率影像的热点地区。

总体来说,针对一个被完整连续的高分辨率影像的热点地区,基于 GE 平台与 ArcGIS 技术整合土地覆被研究是一个不错选择,成本低,能满足开展数量级的估算需求,有必要将这一公共信息资源利用起来,而不因噎废食,消除中国学者在信息时代面临的信息资源获取难题和国力内耗。

参考文献:

- [1] 陈涛,杨武年. “3S”技术在生态环境动态监测中的应用研究[J]. 中国环境监测, 2003, 19 (3): 19-22.
- [2] 赵建辉. 基于 1:50 000 西部无图区土地覆盖分类应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35 (1): 184-185.
- [3] 刘晓娜,封志明,姜鲁光等. 西双版纳橡胶林地的遥感识别与数字制图[J]. 资源科学, 2012, 34 (9): 1769-1779.
- [4] 李红梅,马友鑫,郭金峰等. 基于 RS 和 GIS 的西双版纳土地覆被动态变化[J]. 山地学报, 2007, 25 (3): 280-289.
- [5] Li, H M Aide, T M Ma, Y X, et al. Demand for rubber is causing the loss of high diversity rain forest in SW China [J]. Biodiversity and Conservation, 2007, 16 (6): 1731-1745.
- [6] 李增加,马友鑫,李红梅,等. 西双版纳土地利用/覆盖变化与地形的关系[J]. 植物生态学报, 2008, 32 (5): 1091-1103.
- [7] 张京红,陶忠良,刘少军,等. 基于 TM 影像的海南岛橡胶种植面积信息提取[J]. 热带作物学报, 2010, 31 (4): 661-665.
- [8] 陈汇林,陈小敏,陈珍丽,等. 基于 MODIS 遥感数据提取海南橡胶信息初步研究[J]. 热带作物学报, 2010, 31 (7): 1181-1185.
- [9] Z Li, J M Fox. Mapping rubber tree growth in mainland Southeast Asia using time-series MODIS 250m NDVI and statistical data [J]. Applied Geography, 2012, 32 (2): 420-432.
- [10] 刘少军,张京红,何政伟,等. 基于面向对象的橡胶分布面积估算研究[J]. 广东农业科学, 2010 (1): 168-170.
- [11] M F Goodchild, H D Guo, A Annoni, et al. Next-generation Digital Earth [J]. PNAS, 2012, 109 (28): 11088-11094.
- [12] 陈锐祥,何兆成,黄敏,等. Google Earth 在交通信息服务系统中的应用研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007 (S2): 195-198.
- [13] 余丰华,姜云. Google Earth 在浙江省地质灾害管理中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 2007, 18 (3): 98-103.
- [14] 陈钊. Google Earth 软件在考古探测中的应用评析[J]. 东南文化, 2007 (2): 39-45.
- [15] Dougald, J W O'Reilly, G S. Moated sites of the Iron Age in the Mun River Valley, Thailand: New discoveries using Google Earth [J]. Archaeological Research in Asia, 2015, 3 (7): 9-18.

- [16] 焦俊超, 马安青, 娄安刚, 等. GIS 和 Google Earth 开发在溢油预测中的整合应用 [J]. 遥感技术与应用, 2011, 26 (2): 215–219.
- [17] 文东新. Google Earth 在森林消防管理中的应用 [J]. 林业实用技术, 2006 (7): 26–27.
- [18] 孙玉龙, 茅志兵. Google Earth 在航标监控系统中的应用 [J]. 交通与计算机, 2007, 6 (25): 98–101.
- [19] 窦友平, 杨永平. 基于 Google Earth 的电力 GIS 应用 [J]. 云南电力技术, 2010, 38 (1): 25–28.
- [20] Martinez – Grana, A M, Goy, J L, and Cimarra, C A. A virtual tour of geological heritage: valourising geo – diversity using Google Earth and QR code, Computers & Geosciences, 2014, 63 (2): 44–53.
- [21] Qi, F, Zhai, J Z, Dang, G. Building height estimation using Google Earth [J]. Energy and Buildings, 2016, 118 (15): 123–132.
- [22] Patel, N N, Angiuli, E, Gamba, P, et al. Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using google Earth Engine [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2015, 35 (3Part B): 199–208.
- [23] Wang, Y, Huynh, G, Williammson, C. Integration of Google Maps/Earth with micro – scale meteorology models and data visualization [J]. Computers & Geosciences, 2013, 61 (12): 23–31.
- [24] Liu, F, Chu, Y, Liang, D. Simulation of Urban Gas Leakage based on Google Earth [J]. Procedia Engineering, 2013, 52: 220–224.
- [25] 郑泽忠, 范东明, 李玉霞, 等. 多种对地观测技术及 Google Earth 技术应用于土地利用/覆被变化建库 [J]. 地球物理学进展, 2008, 23 (4): 1326–1331.
- [26] 杨翼飞, 唐诗华, 文鸿雁. 基于 Google Earth 的 3S 技术在桂林市土地更新中的应用 [J]. 测绘通报, 2008 (11): 61–63.
- [27] 陈建平, 常庆瑞, 陶文芳, 等. 基于 Google Earth 的 GIS 专题制图技术研究与应 [J]. 水土保持通报, 2008, 28 (6): 64–66.
- [28] Goudie, A. Characterising the distribution and morphology of creeks and pans on salt marshes in England and Wales using Google Earth. Estuarine [J]. Coastal and Shelf Science, 129 (1): 112–123.
- [29] Kempe, S, Al – Malabeh, A. Desert kites in Jordan and Saudi Arabia: Structure, statistics and function, a Google Earth study [J]. Quaternary International, 297 (29): 126–146.
- [30] Dong, J Xiao, X, Menarguez, M A et al. Mapping paddy rice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology – based algorithm and Google Earth Engine. Remote Sensing of Environment, 2016 in press. available online 2 March 2016.
- [31] Jacobson, A, Dhanota, J, Godfrey, J, et al. A novel approach to mapping land conversion using Google Earth with an application to East Africa [J]. Environmental Modeling & Software, 72 (10): 1–9.
- [32] Johansen, K, Phinn, S, Taylor, M. Mapping woody vegetation clearing in Queensland, Australia from Landsat imagery using the Google Earth Engine [J]. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 2015, 1 (7): 36–49.
- [33] Zhu, L Wang, X, Pan, X. Moving KML geometry elements within GoogleEarth, Computers & Geosciences, 2014, 72 (11): 176–183.
- [34] 张佩芳, 许建初, 王茂新, 等. 西双版纳橡胶种植特点及其对热带森林景观影响的遥感研究 [J]. 国土资源遥感, 2006 (3): 51–55.
- [35] Ziegler, A D Fox, J M Xu, J. The rubber juggernaut [J]. Science, 2009, 324 (5930): 1024–1025.
- [36] 李玉霞, 杨武年. 基于遥感与 GIS 土地利用/覆盖动态监测及驱动力分析 [J]. 农机化研究, 2006 (11): 63–66.
- [37] 梅安新, 秦其明, 刘慧平. 遥感导论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001, 84–178.
- [38] Dordevic, M M Whitmeyer, S J. MaRGEE: Move and Rotate Google Earth Elements. Computers & Geosciences, 2015, 85 (Part A): 1–9.

RUBBER COVERAGE ANALYSES BASED ON GE AND ARCGIS IN MENGHAI COUNTY

SUN Zheng – bao¹, ZHANG Na², CHEN Li – hui²

(1. *Science and Technology Office, Kunming 650091, Yunnan, China;*

2. *School of Resource Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China)*

Abstract: Google Earth (GE) platform appearance and promotion facilitate more wide application of GIS. However, research on land cover more confined to the results accuracy test of the traditional remote sensing data analysis or mapping information displaying. Based on the high resolution images in Menghai County, Xishuangbanna in 2011 and 2013, interpretation and analyses method of the rubber coverage was explored. Results show that: rubber coverage is 17 746.89 hm² in 2011 and arrived to 24 864.71 hm² in 2013, which is increased 28.6%; the planting altitude raised from 1 720 m to 1 760 m; and the planting slope degrees were basically unchanged with 0.6 ~ 22.1° in 2011 and 0.6 ~ 22.1° in 2013. The rubber coverage is relative lower than that of statistical data with a margin of error of 2.5%. Other relative research result based on TM show that 51.06% rubber forest were less than 10 years old in Xishuangbanna were young. So, our results of rapid increasing rubber forests were indirectly confirm and explained. Conclusion could be drawn up that: interpretation and analyses based on the data source of GE show the advantage of efficient, accurate, cost saving, especially the areas with high resolution images from GE. It is worthy of further exploration in the methodology of making use of the sources of freely – available, effectively, and high resolution imagery for land cover research, especially the study on interpretation object characteristics significantly.

Key words: Google Earth; ArcGIS; rubber forest; coverage; Menghai County

~~~~~  
(上接第 6 页)

## ANALYSIS TO THE CONTROL INFLUENCE OF THE SURFACIAL WATER AND SOIL PROCESS IN SHILIN FORMATION

HE Yong – bin<sup>1</sup>, Zhang Xin – bao<sup>2</sup>

(1. *Editorial Department of Science Journal, Editorial Department of Yunnan Geographic Environment Research, Yunnan University, Kunming 650223, Yunnan, China;*

2. *Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, Sichuan, China)*

**Abstract:** karst soil has driving meaning to epikarst development as one important factor in the topographic environmental process. Taking case of Shilin, Shilin formation showed the development process of Shilin evolution from the embedded rock peak with deep soil coverage during denudation – planation period to exposed high and deep rock peak for the cause of soil erosion and then to multi – fractal erosion and reform of modern stone forest. The combined surface process in development of soil and soil erosion formed two key mechanisms as sub – soil dissolution mechanism under the weathering shell and the exposed erosion mechanism on the background of geological environment changes.

**Key words:** water and soil process; Shilin formation and evolution process; influence mechanism

## 4种干旱监测方法在云南省的对比应用

赵敏, 胡文英\*, 李艳芳

(云南师范大学 旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650500)

**摘要:** 面对多种多样的干旱监测方法, 如何进行选取是目前遥感干旱应用所面临的主要难题。基于 MODIS 数据和云南省 96 个气象站 2010 年 2 月与 2012 年 2 月的气象资料, 利用条件植被指数 (VCI)、温度植被指数 (TVDI)、云参数法以及标准降水指数 (SPI) 方法监测云南省干旱, 并将 4 种方法监测结果与云南省干旱监测系统监测结果进行对比分析其在云南省的适用状况。结果表明: 在该区, VCI 监测干旱程度偏轻且干旱程度空间分布连续性差。云参数方法监测结果与实际干旱分布存在差异。由于没有考虑到前期降水等因素, SPI 对该区干旱监测还有待进一步的探索。4 种方法中, TVDI 法既考虑了温度因素又考虑了地表植被状态, 监测结果与实际干旱状况吻合度最好。

**关键词:** 云参数法; 云南省; 干旱; 监测方法

**中图分类号:** TP79

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7852(2016)01-0014-08

### 0 引言

干旱通常指淡水总量少, 不足以满足人们的生存和经济发展的气候现象, 一般是长期的现象。随着经济的发展和人口膨胀, 水资源短缺现象日趋严重, 这也直接导致了干旱区域面积扩大、干旱程度加剧及干旱灾害频率增加<sup>[1]</sup>。2009 年冬至 2010 年春云南遭遇百年一遇的全省性特大旱灾, 干旱范围之广、时间之长、程度之深、损失之大均为云南省历史少有。因其造成损失大, 人们生活也深受其困, 各地学者纷纷展开针对各地不同的区域特征、干旱特性及成因提出了不同的干旱监测方法及应对措施<sup>[3-6]</sup>。目前国内外对干旱监测的研究, 主要使用了植被指数法, 其他因子与植被指数相结合的方法, 和一些综合性的干旱监测方法。本文通过研究该区域的归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 发现该地区植被覆盖度高<sup>[7]</sup>能够很好地满足条件植被指数 (Vegetation

Condition Index, VCI) 的适用条件。胡荣辰通过研究比较不同指数方法发现使用条件植被指数不仅能定量地描述植被空间的变化, 还能反映长期气候对其起到的正反作用<sup>[8]</sup>。如干旱的发生, 虽然该方法在部分地区监测干旱具有滞后性, 但在云南省的适用性有待进一步的探究。而与植被指数相结合的方法中, 温度植被旱情指数 (Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI) 的研究更为成熟, 相较其他方法, TVDI 选取了与干旱的相关性更好的温度指数进行计算<sup>[9]</sup>, 具有综合性, 王海等利用 TVDI 对云南省 2009~2010 年干旱进行了监测, 证明 TVDI 对研究区有很好的适用性<sup>[10]</sup>, 研究中可以进一步对比分析, 各方法的适用性程度。根据形云降水原理与过程本文还选取了云参数法, 以及标准降水指数 (Standardized Precipitation Index, SPI) 方法。以降水量为数据来源的标准化降水指数, 适用于月及月以上尺度的干旱监测, 杨晓静等研究发现 SPI 对云南省长时间序列监测干旱效果较好<sup>[11]</sup>, 研究中选择使

收稿日期: 2015-12-22; 修订日期: 2016-02-06.

基金项目: 基于 MODIS 数据的云南省干旱遥感动态研究 (01300205020503071)。

作者简介: 赵敏 (1990-), 女, 湖南省衡阳市祁东县人, 硕士研究生, 研究方向为数字环境与环境影响评价。

\*通信作者: 胡文英 (1973-), 女, 重庆市合川区人, 副教授, 博士, 研究方向为数字遥感。

用月尺度 SPI 对云南省进行干旱监测。以上 4 种方法的对比验证分析,有待进一步深入研究。

## 1 研究区概况

云南省地处中国西南边陲,总面积约  $39 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。北回归线穿过南部,海拔差异大导致气候类型多样,包括热带、亚热带、温带、高原气候等。云南地形起伏大,相对平缓的山区只占总面积

10%,大面积土地高低参差,纵横起伏。该区气候类型多样,兼具低纬气候、季风气候、山原气候特点。云南各地区气候区域差异大,年温差小,日温差大。降水充沛,干湿分明,但分布不均。这些特点致使云南省:(1)水资源分布不均;(2)干季干旱明显集中;(3)修建水利设施困难,难以改善蓄水现状;(4)目前水污染加剧,可饮用水量有限。随着全球变暖,降雨量减少,气温升高,蒸散水量增多,干旱形势愈发严峻。

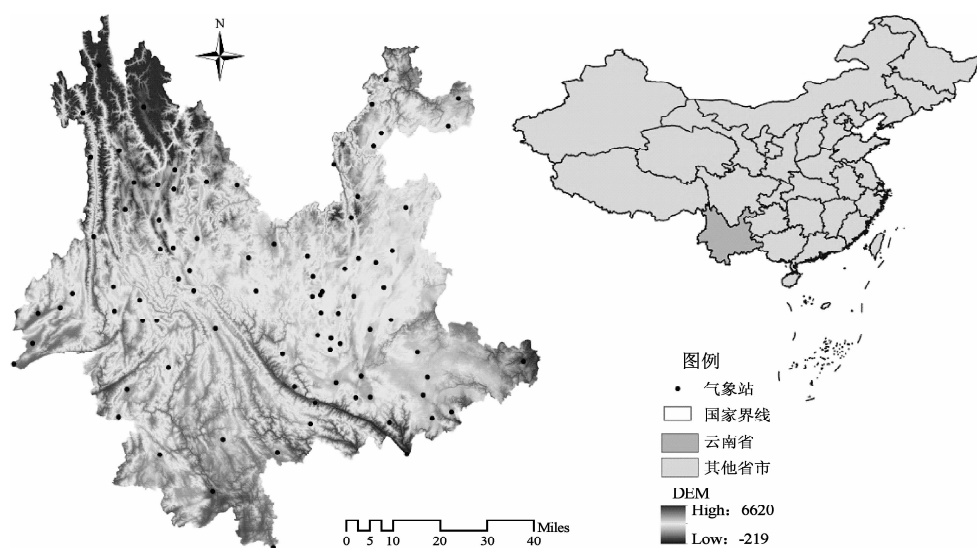


图1 研究区位置

Fig. 1 Position of the researched area

## 2 数据来源及方法介绍

云南各地气候不同,日温差大,降水充沛但分布不均,降水都集中在 5 到 10 月即湿季。近年来云南大部在干季干旱频率增强,而在湿季则表现不明显<sup>[12]</sup>。该区每年的 11 月至次年 4 月都是干季,而干旱主要发生在冬春季节即每年的 11 月至次年 2 月。文中选取了 2010 年为典型干旱年作为研究对象,2010 年 2 月云南省日均温度为  $18.15^\circ$ ,接近近 50 年同期最高日均温度  $18.55^\circ$ ,而 2012 年同期日均温度低于近 50 年日均温度均值,月降水量高于 2010 年同期,作为干湿及高温与低温时间段的干旱监测对比,能够更好地体现监测方法的适用范围。针对这些特点文中使用了中等分辨率、监测范围广的中分辨率成像光谱仪 (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) 数据,该数据与 NOAA 陆地卫星相比空间分辨率大幅提高、时间分辨率具有优势、光谱分辨率提高,能够对云南省全境进行

干旱监测且具有较高的分辨率,数据获取方便。本文选取了每年云南省干季时段中 2 月的数据进行干旱监测研究,主要包括归一化植被指数、增强植被指数数据即 mod13 月合成数据,地表温度数据即 mod11 的 8 天合成数据,以及每天的云信息数据 mod06 对云南省干旱状况进行检测。

MODIS 数据来源于 NASA (<https://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>),气象数据来源于云南省气象局。MODIS 数据是在 ENVI5.0 支持下,进行了投影坐标转换、几何校正及影像镶嵌和裁剪,最终获取分辨率为 1km 的研究区数据。

### 2.1 条件植被指数

植被生长需要水、阳光和有机物,适宜的温度和适量的水有利于植被生长,越干旱缺水越不利于植被生长,而植被指数是指利用卫星不同波段探测数据组合而成的,能反映植物生长状况的指数,进而反映区域干旱状况。归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 即由红外光反射率及红光波段反射率计算得到的能够检测植被

生长状态的指数，其定义为：

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_r}{\rho_{nir} + \rho_r} \quad (1)$$

NDVI 值的范围是  $-1 \sim 1$ ，一般绿色植被区的范围是  $0.2 \sim 0.8$ （表 1）。

表 1 归一化植被指数取值及相应地物状态  
Tab. 1 The conditions of vegetation based on NDVI

| NDVI     | 0.5      | 0.14     | 0.09     | 0.025    | 0.002 | 其他 |
|----------|----------|----------|----------|----------|-------|----|
| 地物<br>状态 | 植被<br>茂密 | 植被<br>适度 | 植被<br>稀少 | 裸露<br>地表 | 云     | 水  |

条件植被指数就是由归一化植被指数（NDVI）计算得到，该指数适合做低纬度的干旱分布图，尤其适合小于  $50^\circ$  范围<sup>[13]</sup>。条件植被指数（Vegetation Condition Index, VCI）的定义为<sup>[14]</sup>：

$$VCI = \frac{NDVI_i - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \quad (2)$$

式中： $NDVI_i$  为某一特定年第  $i$  个时期的 NDVI 值， $NDVI_{\max}$  和  $NDVI_{\min}$  分别为 2000 年到 2014 年这 14 年中 2 月 NDVI 值的最大值和最小值。

## 2.2 温度植被指数

Sand-holt<sup>[15]</sup> 等根据简化的 Ts-NDVI 特征空间提出了温度植被旱情指数（Temperature-Vegetation Dryness Index, TVDI）的概念，其计算公式如下：

$$TVDI = \frac{T_s - T_{s_{\min}}}{T_{s_{\max}} - T_{s_{\min}}} \quad (3)$$

表 2 最大连续无云天数干旱指数设置

Tab. 2 Index of CCFD

| CCFD | 1  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6 | 7   | 8   | 9   | 10  | $\geq 11$ |
|------|----|------|------|------|------|---|-----|-----|-----|-----|-----------|
| 干旱指数 | -2 | -1.8 | -1.5 | -1.0 | -0.5 | 0 | 0.4 | 0.8 | 1.3 | 1.8 | 2         |

表 3 最大连续有云天数干旱指数设置

Tab. 3 Index of CCD

| CCD  | 1 | 2   | 3   | 4   | 5 | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | $\geq 11$ |
|------|---|-----|-----|-----|---|------|------|------|------|------|-----------|
| 干旱指数 | 2 | 1.8 | 1.1 | 0.4 | 0 | -1.0 | -1.5 | -1.7 | -1.8 | -1.9 | -2        |

表 4 无云天数比干旱指数设置

Tab. 4 Index of CDR

| CDR  | $\leq 0.3$ | 0.35 | 0.40  | 0.45  | 0.5 | 0.55 | 0.6  | 0.65 | $\geq 0.7$ |
|------|------------|------|-------|-------|-----|------|------|------|------------|
| 干旱指数 | -2         | -1.7 | -1.39 | -0.98 | 0   | 0.98 | 1.39 | 1.7  | 2          |

式中： $T_{s_{\min}}$  为最小地表温度，对应的是湿边； $T_s$  为任意像元的地表温度；

$T_{s_{\max}}$  为某一 NDVI 对应的最大地表温度，即干边， $T_{s_{\max}} = a + b \times NDVI$ ； $a$ 、 $b$  为干边拟合方程的系数。TVDI 取值范围为  $0 \sim 1$ ，TVDI 越大，表明越接近干边，旱情就越严重。本文在美国地质勘探局（United States Geological Survey, USGS）下载 MODIS 增强植被指数（EVI）与地表温度数据。研究中使用 2010 年 2 月及 2012 年 2 月的月合成 EVI 数据，将 4 幅 8 天合成温度数据求取均值，无值区域直接用有值图幅区域替代，最终根据公式 3 求取 TVDI 值。

## 2.3 云参数法

由液态水滴或者冰晶及其混合物组成的云体或者冰，在具备一定的条件下降落形成降雨、冰晶或者雪花，这是地面水来源之一，而水是影响干旱的主要因素。云参数法的 3 个云参数分别是连续最大无云天数（Continuous Cloud-Free Days, CCFD）、无云天数比（Cloud Days Ratio, CDR）、连续最大有云天数（Continuous Cloud Days, CCD）。其中连续最大无云天数为监测周期内连续无云的最多的天数；无云天数比为监测周期内无云的天数与总天数的比率；连续最大有云天数为监测周期内连续有云的最多天数。云参数法干旱研究的基本原理是：（1）在相同的无云天数比条件下，如果连续无云天数越大，干旱发展的可能性也越大，而连续有云天数越小，充分降水的可能性也越小，干旱发展的可能性也越大；（2）在不同的无云天数比条件下，无云天数比越大，干旱发展的可能性就越大，反之亦然<sup>[16]</sup>，并据此设置对应干旱指数（表 2 至表 4）。



根据以上参数，最终计算干旱等级，其公式如下：

$$I = \frac{F_1 \times W_1 + F_2 \times W_2 + F_3 \times W_3}{F_1 + F_2 + F_3} \quad (4)$$

式中  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  中分别为连续有云天数、连续无云天数以及无云天数比， $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$  分别为各参数的干旱指数， $I$  求得的干旱指数。

## 2.4 标准降水指数

标准降水指数是当前使用较为广泛，并且拥有国家标准干旱预警指示的研究方法。由于降水量分布是一种偏态分布，所以在进行降水分析和干旱监测、评估中，采用  $\Gamma$  分布概率来描述降水量的变化。标准化降水指标（简称  $SPI$ ）就是在计算出某时段内降水量的  $\Gamma$  分布概率后，再进行正态标准化处理，最终用标准化降水累积频率分布来划分干旱等级。 $SPI$  的主要计算步骤为：

$$Z = \frac{t - (c_2 t + c_1) t + c_0}{[(d_3 t + d_2) t + d_1] t + 1.0} \quad (5)$$

式中： $t = \sqrt{1 - \ln(1/F^2)}$ ， $F$  为  $\Gamma$  分布函数，详细计算过程参见《中华人民共和国国家标准（GB/T20481-2006）》。 $c_0 = 2.515517$ ， $c_1 = 0.802853$ ， $c_2 = 0.010328$ ， $d_1 = 1.432788$ ， $d_2 = 0.189269$ ， $d_3 = 0.001308$ 。由5式求得的  $Z$  值即为标准化降水指数  $SPI$ 。各个检测方法与干旱程度的对应关系见表5。

表5 4种方法干旱监测结果与干旱等级对应关系

Tab. 5 Drought degree and drought monitoring result by four methods

| $SPI$          | $VCI$ | $TVDI$ | 云参数法干旱指数 | 干旱程度 |
|----------------|-------|--------|----------|------|
| $\leq -2.0$    | 0.3   | 1      | 2        | 特旱   |
| $(-2.0, -1.5]$ | 0.66  | 0.8    | 1.5      | 重旱   |
| $(-1.5, -1]$   | 0.66  | 0.6    | 1        | 中旱   |
| $(-1, -0.5]$   | 0.7   | 0.4    | 0.5      | 微旱   |
| $(-0.5, 0.5]$  | 0.8   | 0.2    | 0        | 正常   |

## 3 结果与分析

### 3.1 监测结果

2010年2月得到的  $VCI$  结果可以看到2010年2月云南省大部为重旱，主要分布在滇东及滇中地区，且滇东地区较滇中地区更为严峻，滇南地区仍有小部分区域处于正常或湿润状态而滇东几乎无湿润区域。2012年2月相较2010年2月重旱面积以及空间分布变化不大，仅有滇南部部分重旱区域旱情有所减轻转为微旱或中旱。玉溪、红河以及曲靖小部分地区干旱有所缓解，版纳地区干旱加重（图1）。

温度植被指数方法所得到的干旱监测结果较大程度上受到温度影响，表6即为2010年2月和2012年2月干湿边方程有关参数。

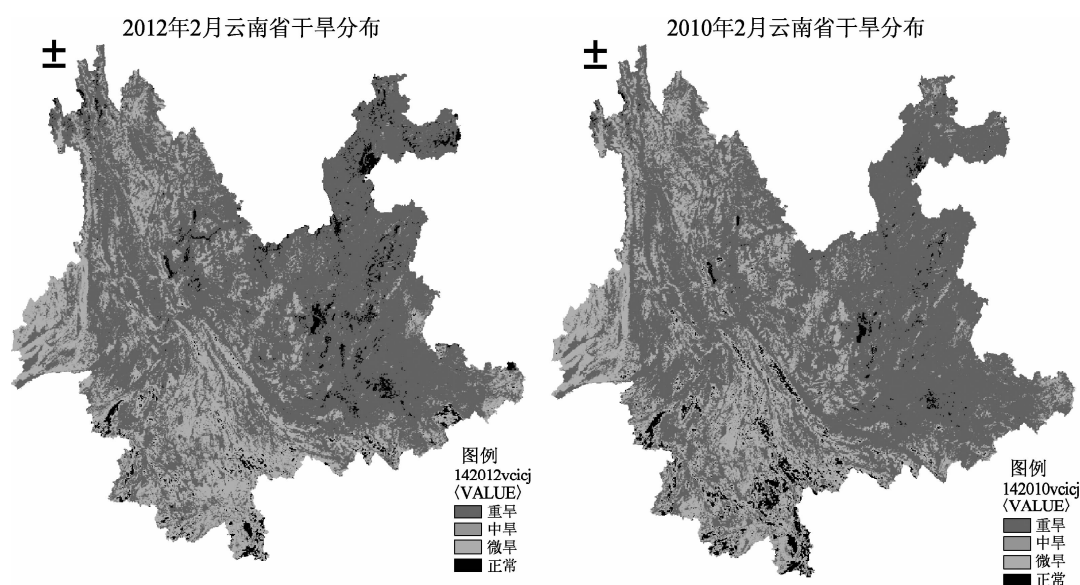


图2 条件植被指数法计算所得干旱分布

Fig. 2 The distribution of drought condition by  $VCI$

表 6 2010 年 2 月及 2012 年 2 月干湿边参数  
Tab. 6 The parameter of dry - side and wet - side  
in feb in 2010 and 2012

| 时间         | 干湿边 | $a$    | $b$    | $R^2$ |
|------------|-----|--------|--------|-------|
| 2010 年 2 月 | 干边  | -41.65 | 317.45 | 0.54  |
|            | 湿边  | 36.39  | 256.96 | 0.56  |
| 2012 年 2 月 | 干边  | -33.63 | 315.43 | 0.7   |
|            | 湿边  | 13.97  | 265.17 | 0.09  |

图 2 为温度植被指数处理所得云南省干旱分布, 2010 年 2 月文山、玉溪、楚雄、大理和丽江部分地区达到了特别程度干旱; 曲靖、昆明、景洪、普洱、德宏多地为重旱, 滇西北及昭通北部为微旱。2012 年 2 月昭通北部以及迪庆怒江一带较 2010 年 2 月更为湿润; 文山、曲靖地区干旱状况在一定程度上有所缓解, 但大部分地区还是处于重旱状态; 轻微程度干旱面积缩小, 版纳地区干旱加剧, 由 2010 年 2 月的重旱变为特旱。

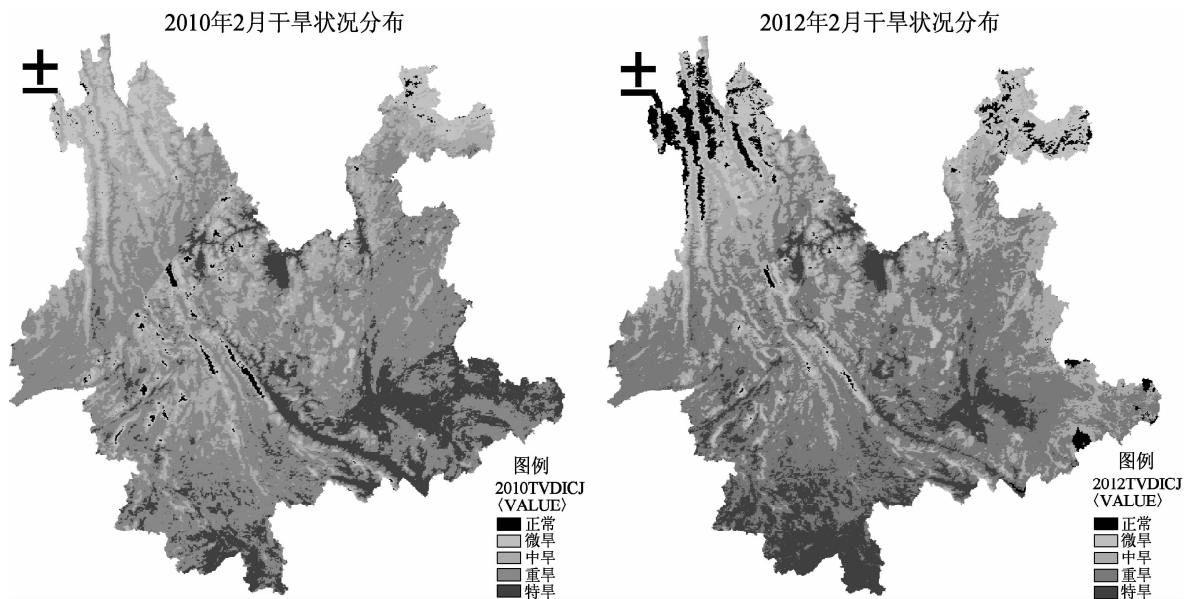


图 3 温度植被法计算所得干旱分布

Fig. 3 The distribution of drought condition by TVDI

利用 mod06 数据提取云信息, 表 7 为 2010 年 2 月及 2012 年 2 月 29 个气象站点云参数法处理结果。元谋、保山、丽江、沾益、会泽、泸西站点干旱加重, 景东、昭通、德钦、维西、蒙自站点的干旱程度有所减轻, 其中德钦、维西干旱得到彻底缓解转为湿润、正常状态。特旱及转为正常的站点有所增加, 但旱情仍不容乐观。

获取云南省 95 个降水站点 2010 年 2 月及 2012 年 2 月的降水量数据, 计算 SPI 值并插值生成云南省干旱分布图。当取样点足够密时, IDW 对局部变化具有非常好的效果。Spline 是基于生成具有连续的二阶导数和最小平方曲率的插值方法, 所以它适合那些空间连续变化并且光滑的表面的生成<sup>[16]</sup>。而云南省气象站点分布密度有限, 而且降水在该区域不具有连续分布特征。地统计是以区域化变量为基础, 借助变异函数, 研究既具有随机性又具有结

构性, 或具有空间相关性和依赖性的自然现象的一门科学。其中, 克里格方法是以空间自相关性为基础, 利用原始数据和半方差函数的结构性, 对区域化变量的未知采样点进行无偏估计的插值方法, 该研究中采用了泛克里金插值 (Universal Kriging) (图 4)。

95 个降水站点分布如图 4 中所示, 2010 年 2 月楚雄大部重旱, 文山、昭通大部分地区为中旱, 怒江、迪庆主要为轻微和中等干旱程度, 楚雄地区为重旱, 其他地区都为重旱。2012 年 2 月由 SPI 计算所得干旱较 2010 年 2 月更为严重, 特旱、中旱区域扩大, 昆明、玉溪、德宏和大理部分区域由 2010 年 2 月重旱加剧为特旱, 而楚雄的干旱仍然较为严重为重旱, 迪庆大部由中旱转为重旱, 丽江跟保山大部分地区相较于 2010 年 2 月则更为湿润。

表 7  云参数法处理得到的各点干旱状况  
Tab. 7  Drought conditions of each point by Cloud Parameter

| 地名 | 2010 年 2 月 |      |      | 2012 年 2 月 |      |      | 地名 | 2010 年 2 月 |      |      | 2012 年 2 月 |      |      |
|----|------------|------|------|------------|------|------|----|------------|------|------|------------|------|------|
|    | CCD        | CCFD | 干旱程度 | CCD        | CCFD | 干旱程度 |    | CCD        | CCFD | 干旱程度 | CCD        | CCFD | 干旱程度 |
| 景东 | 2          | 13   | 特旱   | 2          | 8    | 中旱   | 六库 | 4          | 15   | 特旱   | 3          | 9    | 重旱   |
| 楚雄 | 2          | 13   | 特旱   | 3          | 20   | 特旱   | 临沧 | 2          | 12   | 特旱   | 2          | 19   | 特旱   |
| 玉溪 | 2          | 10   | 特旱   | 1          | 27   | 特旱   | 维西 | 7          | 15   | 中旱   | 4          | 8    | 中旱   |
| 屏边 | 10         | 6    | 正常   | 7          | 3    | 正常   | 大理 | 2          | 9    | 重旱   | 2          | 9    | 重旱   |
| 广南 | 6          | 7    | 正常   | 6          | 3    | 正常   | 蒙自 | 1          | 28   | 特旱   | 5          | 13   | 重旱   |
| 沾益 | 5          | 8    | 微旱   | 2          | 7    | 中旱   | 江城 | 2          | 15   | 特旱   | 1          | 15   | 特旱   |
| 昭通 | 7          | 10   | 微旱   | 4          | 4    | 正常   | 宜良 | 5          | 8    | 微旱   | 1          | 16   | 特旱   |
| 会泽 | 4          | 15   | 特旱   | 2          | 17   | 特旱   | 耿马 | 2          | 12   | 特旱   | 1          | 19   | 特旱   |
| 泸西 | 4          | 15   | 特旱   | 3          | 13   | 特旱   | 思茅 | 2          | 10   | 特旱   | 1          | 18   | 特旱   |
| 勐腊 | 3          | 10   | 特旱   | 1          | 11   | 特旱   | 保山 | 3          | 9    | 重旱   | 3          | 19   | 特旱   |
| 贡山 | 14         | 3    | 正常   | 9          | 1    | 正常   | 昆明 | 2          | 17   | 特旱   | 1          | 20   | 特旱   |
| 德钦 | 4          | 10   | 重旱   | 7          | 4    | 正常   | 元谋 | 2          | 9    | 重旱   | 1          | 20   | 特旱   |
| 中甸 | 4          | 4    | 正常   | 6          | 5    | 正常   | 腾冲 | 2          | 15   | 特旱   | 1          | 19   | 特旱   |
| 丽江 | 5          | 9    | 中旱   | 2          | 15   | 特旱   | 澜沧 | 2          | 7    | 正常   | 1          | 19   | 特旱   |
| 华坪 | 1          | 27   | 特旱   | 1          | 19   | 特旱   |    |            |      |      |            |      |      |

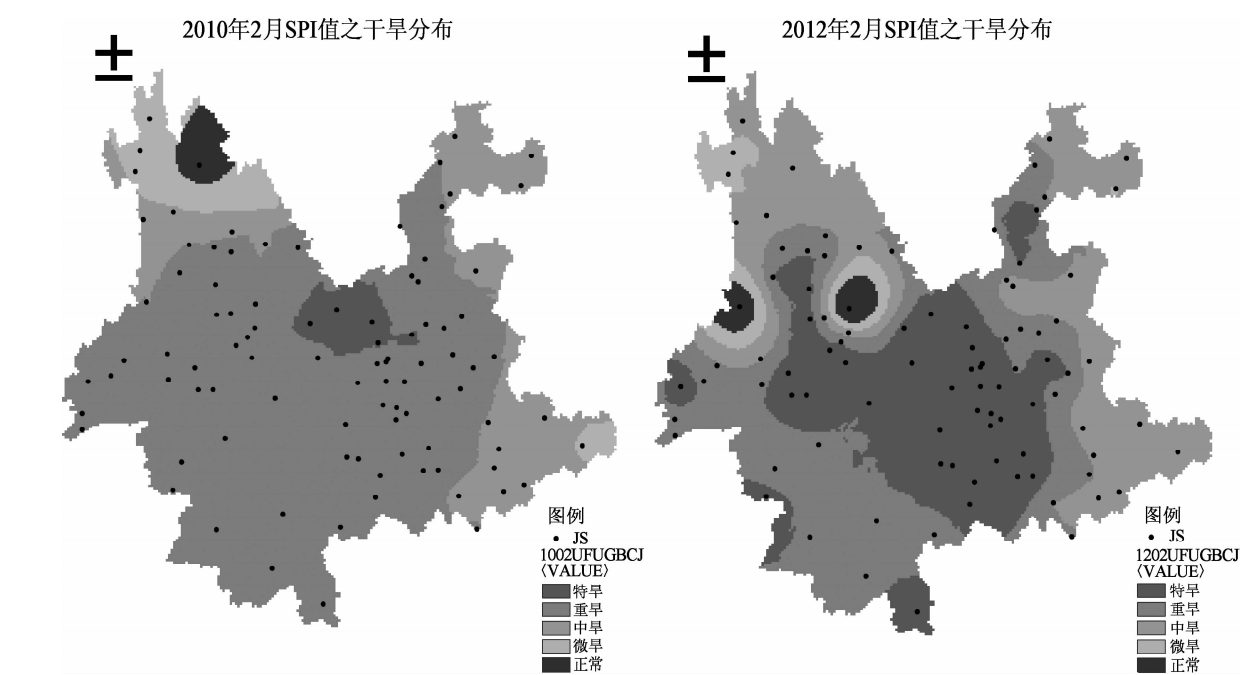


图 4  标准降水指数法所得干旱分布  
Fig. 4  The distribution of drought condition by SPI

3. 2  对比分析

为了对各干旱监测模型进行客观评价，文中选取了云南省气象台的“气象综合干旱监测预警及影响评估”系统，对各模型进行对比评估。该系统综合考虑了农作物受旱状况、气温、降水及其他环境

因素，并作出干旱预警指示，能够很好地拟合实际干旱情况，对评价模型具有指导意义。

4 种干旱处理结果与系统检测结果干旱站点百分比相近。干旱空间分布上 TVDI 与 VCI 与实际情况吻合度高。在干旱程度上，2010 年 2 月的实际干

旱情况显示保山、文山、临沧、昆明、玉溪、曲靖、红河地区严重干旱，而 *SPI* 曲靖地区大部为中旱，云参数法该地区为微旱，云参数法文山地区监测结果为正常，*SPI* 该区域中旱。2010 年 2 月各方法得到的干旱状态中，云参数法对特旱和重旱的监测效果最好，*TVDI* 对微旱监测效果最好，*VCI* 则适用于区别各地是否受旱。对比分析表明在受旱程度上，云参数法监测效果最好，*TVDI* 方法次之，*VCI* 监测所得干旱程度最轻。

表 8 2010 年 2 月各干旱等级所占站点百分比

Tab. 8 The percentage of drought point in February in 2010

| 干旱<br>程度 | 站点百分比/%    |             |            |      |      |
|----------|------------|-------------|------------|------|------|
|          | <i>VCI</i> | <i>TVDI</i> | <i>SPI</i> | 云参数法 | 系统评估 |
| 特旱       | 0          | 17          | 5          | 52   | 76.8 |
| 重旱       | 87         | 62          | 73         | 14   | 10.4 |
| 中旱       | 3          | 15          | 17         | 7    | 4    |
| 微旱       | 4          | 5           | 4          | 10   | 4.8  |
| 无旱       | 6          | 1           | 1          | 17   | 4    |

表 9 2012 年 2 月各干旱等级所占站点百分比

Tab. 9 The percentage of drought point in February in 2012

| 干旱<br>程度 | 站点百分比/%    |             |            |      |      |
|----------|------------|-------------|------------|------|------|
|          | <i>VCI</i> | <i>TVDI</i> | <i>SPI</i> | 云参数法 | 系统评估 |
| 特旱       | 0          | 17          | 37         | 59   | 10   |
| 重旱       | 87         | 56          | 37         | 10   | 39   |
| 中旱       | 2          | 19          | 21         | 10   | 34   |
| 微旱       | 4          | 5           | 3          | 0    | 6    |
| 无旱       | 7          | 3           | 2          | 21   | 11   |

如表 9 所示，分析干旱程度监测结果发现：*TVDI* 对特旱、微旱监测效果较好，*SPI* 对重旱、中

旱监测效果较好，*VCI* 能够好地区分区域是否发生干旱。*TVDI* 对整体旱情的监测效果最好。在干旱空间分布上，据《中国水旱灾害公报》至 2012 年 2 月中旬，云南省北部、中部以及东部干旱较为严重，*VCI* 及 *TVDI* 监测结果与其吻合性较好。

## 4 结论与讨论

4 种方法相比较，各有优劣：

(1) 从各站点受旱程度和干旱等级分析，云参数方法监测的受旱站点百分比吻合度最高。其次为 *TVDI*。*SPI* 方法监测结果 2012 年 2 月的站点百分比较 2010 年 2 月的吻合度更高。而 *VCI* 方法用于区分是否受旱更好，在各干旱等级的区分上与实际旱情有较大差异。

(2) 在监测干旱分布方面，*TVDI* 监测效果最好，其次为 *VCI*，*SPI* 方法的监测结果与实际旱情差异最大。遥感监测方法监测结果较站点数据监测的干旱分布结果精度更高。

(3) 4 种方法中 *TVDI* 对云南省旱情监测与实际干旱状况最吻合。研究结果表明滇中、滇东地区更容易受旱，旱情也更为严重。且 2010 年 2 月旱情较 2012 年 2 月旱情更重。

虽然 *TVDI* 对云南省干旱监测结果与实际旱情最为吻合，但是更为详尽的旱情监测有待更高分辨率影像的验证。由于插值偏差、气象站点有限及其地理位置分布不均，*SPI* 和云参数方法干旱监测结果在监测的稀疏区域与实际干旱状况存在一定差异，进而导致受旱站点统计百分比与系统监测结果存在偏差。然而同时考虑温度和地表植被覆盖的多因子干旱检测方法——温度植被指数法监测结果优于其它单因子监测结果，表明在以后的干旱监测过程中，应该更多地趋向于多因子综合监测，地表植被状况与其他因子结合的监测方法有待更多的探索。

## 参考文献：

- [1] REN Guoyu, DING Yihui, ZHAO Zongci, et al. Recent Progress in Studies of Climate Change in China [J]. ADVANCES IN ATMOSPHERIC SCIENCES, 2012, 29 (5): 958-977.
- [2] UOZHE. 世界热带农业信息 [N]. 昆明日报, 2013-04-10 (6).
- [3] 王素萍, 段海霞, 冯建英. 2013 年春季全国干旱状况及其影响与成因 [J]. 干旱气象, 2013, 31 (2): 441-449.
- [4] 彭少坤, 谈超, 欧阳世偲, 等. 一种基于 ASAR 数据的干旱监测方法 [J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27 (10): 65-69.
- [5] 刘畅, 魏晶, 张川, 等. 国内外干旱半干旱地区集水技术研究进展 [J]. 现代农业科技, 2013, 1: 196-202.
- [6] 张穗, 向大享, 孙中华. 云参数法干旱遥感监测模型在非洲地区的适应性研究 [J]. 华中师范大学学报: 自然科学版,

- 2013, 47 (3): 411–415.
- [7] 郭玉川, 何英, 李霞. 基于 MODIS 的干旱区植被覆盖度反演及植被指数优选 [J]. 国土资源遥感, 2011, 89 (2): 115–118.
- [8] 胡荣辰, 朱宝, 孙佳丽. 干旱遥感检测中不同指数方法的比较研究 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37 (17): 8289–8291.
- [9] 张顺谦, 冯建东. 四川盛夏伏旱的 MODIS 遥感监测方法 [J]. 高原山地气象研究, 2012, 32 (1): 51–55.
- [10] 王海, 杨祖祥, 王麟, 等. TVDI 在云南 2009/2010 年干旱监测中的应用 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2014, 36 (1): 59–65.
- [11] 杨晓静, 左德鹏, 徐宗学. 基于标准化降水指数的云南省近 55 年旱涝演变特征 [J]. 资源科学, 2014, 36 (3): 473–480.
- [12] 光洁, 张博凯, 李崇银, 等. 基于 SPEI 的中国西南地区 1961—2012 年干旱变化特征分析 [J]. 气候变化研究进展, 2013, 9 (3): 192–198.
- [13] W T Liu, F N Kogan. Monitoring regional drought using the vegetation condition index [J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17 (14): 2761–2782.
- [14] 李星敏, 郑有飞, 刘安麟. 我国用 NOAA/AVHRR 资料进行干旱遥感监测的方法综述 [J]. 中国农业气象, 2003, 24 (3): 38–41.
- [15] I Sandholt, K Rasmussen, J Andersen. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status [J]. Remote Sens Environ, 2002, 79 (2): 213–224.
- [16] 刘良明. 基于 EOSMODIS 数据的遥感干旱预警模型研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2004.
- [17] 邓晓斌. 基于 Arcgis 两种空间插值方法的比较 [J]. 地理空间信息, 2008, 6 (6).

## COMPARISON AND APPLICATION OF FOUR DROUGHT MONITORING METHODS IN YUNNAN PROVINCE

ZHAO Min, HU Wen – ying, LI Yan – fang

(College of Tourism and Geographical Sciences, Yunnan Normal University, Kunming 650500 Yunnan, China)

**Abstract:** There is a variety of drought monitoring methods, which one should be chosen is the main problem. VCI (Vegetation Condition Index)、TVDI (Temperature – Vegetation Dryness Index)、SPI (Standardized Precipitation Index) and cloud parameters—the four methods is used to monitor drought in Yunnan Province based on meteorological data of 94 Meteorological Point and MODIS data in the February of 2010 and 2012. Comparing the result with the drought severity that monitored by Drought Monitoring System in Yunnan Province. The result showed that it was lighter than others by VCI method and having poor spatial continuity of drought. It well told the state of drought conditions in Yunnan Province that the cloud parameters did. While it can't well monitoring the spatial distribution of the drought. Because of the precipitation before monitoring days and other factors was not considered that there was big difference between monitor result and the real. Monitoring drought by TVDI consists of temperature and different types of the earth's surface vegetation, this monitor result achieved high conformity with real drought status.

**Key words:** Cloud Parameters; Yunnan Province; drought; monitoring methods



# 点苍山大理冰期研究回顾、讨论与展望

张全, 万晔\*, 曾洪云

(云南大学 资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091)

**摘要:** 大理冰期作为第四纪末次冰盛期, 在了解历史环境变化方面具有很高的研究价值, 多年来中国学者用各种传统研究方法对大理冰期的起源地——点苍山的末次冰期进行了研究, 并获取了大量科学成果。回顾这一历史进程, 重点对航空遥感、地质地貌结构、冰川地貌特征、区域尺度等方面的研究方法及结果进行了总结。并在此基础上讨论了一些存疑, 分析了运用3S技术进行冰川研究和古冰川模型重建的基础问题及可行性。

**关键词:** 点苍山; 大理冰期; 古冰川重建

**中图分类号:** P931.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7852(2016)01-0022-08

## 0 引言

点苍山地处横断山脉东南端, 同时在气候上处于亚热带和中亚热带气候带的分界, 为滇西褶皱——平行岭谷中一处断块上升的层状断块山地。山体位于洱海西侧, 东经  $99^{\circ}57' \sim 100^{\circ}12'$ , 北纬  $25^{\circ}34' \sim 26^{\circ}00'$ , 岩石组份以元古界点苍山群变质岩系(麻粒岩, 大理岩等)为主。南北长 50 km, 东西宽 19~21 km。南北向分布了 19 座山峰, 峰顶海拔均在 3 500 m 以上, 最高点马龙峰 4 122 m。东坡低地海拔 1 980 m 左右, 西坡河谷海拔 1 700 m 左右。

“大理冰期”的命名首见于奥地利学者 Wissmann 的 20 世纪 30 年代的著作, 之后其作为中国第四纪冰川的末次冰期名称被中国学者广泛接受<sup>[1]</sup>。但此后很长一段时间对点苍山大理冰期的研究都停留在对冰期定性的野外考察上, 这一方面由于点苍山顶部分并无现代冰川保留; 另一方面由于山顶海拔低且此处的第四纪造山运动并不剧烈, 使得点苍山遗留的冰川地貌特征并不典型, 都为研究造成了阻碍<sup>[2]</sup>。而自 20 世纪 90 年代起, 众多学者结合遥

感、GPS 定位、测年等技术手段, 对点苍山大理冰期古冰川形态、规模、雪线高度、冰碛场分布等进行了系统的考察和研究, 并取得了大量的成果。

因研究方法和数据精度的不同, 无可避免的, 各位学者之结论中的有部分结论有出入, 或者遗留下一些存疑的问题, 不利于进一步研究。故本文旨在对点苍山冰川(主要为大理冰期)的现阶段研究成果进行回顾, 并结合最新的高分遥感影像及地形数据对研究结果进行整理, 对存疑的问题进行讨论。在此基础上, 讨论 3S 技术及建模方法用于点苍山古冰川研究的可行性。

## 1 点苍山大理冰期研究新进展

### 1.1 遥感分析

陈钦尧<sup>[3]</sup>等对 1982 年 1:38 000 黑白航空像片进行解译, 初步查明冰斗冰湖、角峰和刃脊是主要的冰蚀地貌类型, 其次是小型的雪蚀洼地和小冰盆。冰川地貌主要分布在北部五台峰(3 581 m)至南部圣应峰(3 666 m)的主山脊线两侧, 与近东西向的次级山脊线的交接处冰斗尤为发育。判定

收稿日期: 2015-12-11; 修订日期: 2016-01-20.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161003)。

作者简介: 张全(1990-), 男, 云南省昆明市人, 硕士研究生, 研究方向为第四纪古地理。

\*通信作者: 万晔(1965-), 男, 甘肃省天水市人, 副研究员, 主要从事地貌学研究。

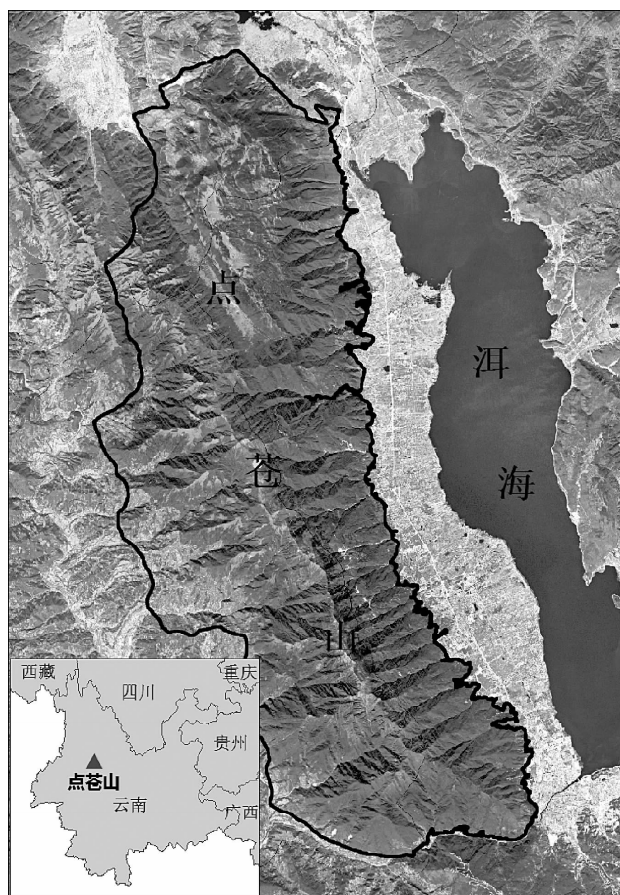


图1 研究区位置图

Fig. 1 The location chart of study area

大小冰斗 65 个, 其中冰斗湖 3 个, 小冰盆 2 个, 雪蚀洼地 6 个。总体特征是东坡冰斗发育比西坡更多、更集中, 东坡有 47 个冰斗, 西坡仅有 13 个冰斗。

陈钦尧<sup>[3]</sup>等根据冰斗分布的高程、形态规模和受后期侵蚀破坏的程度, 把点苍山的冰斗划分为 3 个时期。大小海子冰期 (即倒数第二次冰期) 分布高程为 3 250 ~ 3 550 m, 具有一定长度的槽谷, 底部深受流水侵蚀破坏而导致形态缺失。因溪流上缘基本一致, 且在相邻而海拔更低的罗坪山发现到二次冰川遗迹 (大海子、小海子), 故判定为一个冰期。大理冰期 I 期分布高程为 3 700 ~ 3 800 m, 而在龙马峰以南降至 3 550 ~ 3 600 m。冰斗壁微受冲沟切割, 冰斗内的堆积物较少或无堆积物保存。对云弄峰海拔 3 600 m 处沉积物进行 ESR 测年, 结果为 57.6 ka BP (大理冰期早期)<sup>[4]</sup>。大理冰期 II 期冰斗底部高程一般为 3 800 ~ 3 900 m。冰斗较浅, 几乎与雪蚀洼地难以区分。主要分布在主山脊的高斜坡上、角峰附近的缓坡上, 以及大理冰期 I 期冰

斗后壁以上的缓坡处, 都分布在主山脊的东侧。对双塘子 3 850 m 处冰斗堆积物进行 ESR 测年, 结果为 16.1 ka BP (大理冰期晚期)<sup>[4]</sup>。

## 1.2 地质地貌分析

万晔<sup>[5,6]</sup>等运用地貌学及第四纪地质学的方法, 对点苍山的地貌发育和第四纪古冰川作用做了探索, 从总体上描述了点苍山的地貌结构。点苍山是新构造运动的产物, 其 3 750 ~ 4 000 m 的山顶面为古夷平面的残余。据陈富斌<sup>[7]</sup>研究, 点苍山的隆起始于 3 300 ka BP, 并自全新世初以来, 有过一个快速隆起阶段。

从冰川侵蚀地貌 (主要是冰斗) 看, 点苍山冰川类型为发育不太成熟的海洋性冰斗悬冰川。古冰斗有规律地排列为两层, 海拔高度分布与陈钦尧观测的大理 II 期、I 期冰斗相近。具体的说, 上层古冰斗分布高程为 3 800 ~ 3 950 m, 冰斗底部高程大约为 3 800 ~ 3 850 m, 冰斗宽在 300 ~ 500 m, 长 250 ~ 400 m。受后期流水切割轻微, 保存较好, 主要分布于主山脊的高处、角峰附近以及下层冰斗的后壁上, 有时与雪蚀洼地相混淆。而下层古冰斗主要分布在 3 700 ~ 3 850 m, 冰斗规模较大, 底部高程一般 3 750 m, 冰斗宽 500 ~ 750 m, 长 250 ~ 300 m, 冰斗内有薄层堆积物, 其上长满灌丛植被, 以较低矮杜鹃为主, 受后期流水切割, 冰斗前缘陡坎已大多被切穿, 原来形成的冰斗湖已逐渐萎缩。据实地考察, 大理冰期的冰斗、冰坎、短型槽谷大都分布在海拔 3 750 ~ 3 900 m 的高度, 由于找不到冰川沉积地貌, 以冰斗为代表的侵蚀地貌是判断大理冰期的主要证据。

在点苍山呈间歇性差异断块上升中, 次一级的构造上升和地面剥蚀形成了多级山麓剥蚀面, 海拔位置在 3 700 ~ 2 400 m。各级剥蚀面受到一系列沟溪流水切割, 在纵剖面上形成若干高程不同的跌水陡坎; 在次一级山脊上, 则形成明显的多级断层三角面。

在点苍山东侧海拔 2 100 ~ 2 400 m 处有混杂堆积作用带, 具体可分为 3 级的堆积扇。从其结构特征及组成物质, 不能明确界定是哪一类准确的沉积物, 推断应是冰漂砾、古代和现代泥石流、洪积、河流冲积及湖泊沉积等多种外营力共同作用的结果。在野外考察中, 发现在大理古城道路、农田上分布有诸多巨型石块, 推断为是后经泥石流作用、风化作用、水蚀作用改造的古冰碛物。

### 1.3 冰川地貌及冰川发育特征分析

杨建强、崔之久<sup>[1,8,9]</sup>等在前人的基础上,对点苍山冰川地貌进行了全面、细致的考察。总的来说,点苍山是发育在 3 800 m 古老夷平面上的断尾冰川,主体为冰斗冰川和悬冰川。因地形原因,冰雪供应不足,从夷平面最外层陡坎崩落的冰块夹带砂土碎石,立即融化为冰川融水而流出,只能在冰舌末端以下(3 600 m 上下)留下散落的冰碛石。故冰碛物已有再搬运的迹象,不是原地堆积的符合严格定义的冰碛物。点苍山顶部发育了多次冰川作用,包含末次冰盛期(29 ~ 40 ka BP)、末次冰期晚期(21 ~ 15 ka BP)、晚冰期(10 ~ 9 ka BP)和新冰期(3.5 ~ 5.6 ka BP),并最终在 1.2 ~ 1.5 ka BP 左右冰川彻底融化消失。根据测年结果分析,大理冰期冰盛期和晚期分别对应深海氧同位素的 MIS3b 和 MIS2 两个阶段。

冰川发育的总体特征,从时空尺度可以归纳为东坡大于西坡,大理冰期冰盛期大于晚期。当地降水受控于西南印度洋季风,当其到达横断山东南角的点苍山时,因宏观山势原因,可从西南绕过横断山地最南端到达东南角而直接作用于点苍山东侧,这与当地独特的降水分布特征不无关系。而在大理冰期晚期对应的 MIS2 阶段,西南季风减弱且西风带南支更为厚重,导致横断山南部水汽供应减少,大部分时间气候干燥。故 MIS2 阶段虽有全球降温的大背景,但就水热组合来说 MIS3b 阶段更适合较大规模的冰川发育。

点苍山顶部冰川地貌年轻,主要根据有:(1)山峰、山脊均不显得特别尖削,山脊宽且平坦,表现冰川侵蚀——剥蚀还留有余地;(2)主山脊的水平走向平整,说明山体在冰川侵蚀下大部分地段只达到地貌发育中期的斜坡后退阶段,还没达到山体高度降低地貌发育后期阶段;(3)多数冰蚀洼地和冰坎切割深度浅。

点苍山最大规模的冰川发育于 MIS3 阶段,当时雪线 3 800 m(根据冰斗分布的海拔高度确定)。通过假设雪线温度与玉龙山现代雪线处年均温一致,推测点苍山大理冰期时年均温下降了 5.62 °C。

通过对玉局峰北坡、龙泉峰西坡和三阳峰东坡 3 个典型冰斗遗迹进行地貌考察及测年,进一步加深了对点苍山所属的海洋性冰川特征的理解。点苍山顶部冰川呈现阶梯状分布,在 3 800 m 处的冰斗群的冰斗规模较大,有冰蚀洼地且形态典型,部分冰斗群在该海拔处伴有极典型的冰川磨光面;4 000

m 左右的多个雪蚀洼地,因积雪时间较短而不具典型冰斗的形态,未能被冰川旋转侵蚀成圆而深的冰蚀洼地和相对高起的冰坎。而据测年结果,洗马潭、黄龙潭等冰蚀湖皆形成于大理冰期晚期。

### 1.4 区域尺度讨论

包括从滇西北、青藏高原东部及中国低纬度地区等不同区域尺度切入,对点苍山及其他发育第四纪冰川的区域的冰川数据进行对比分析,揭示大范围内第四纪冰川的状态及规律。

施雅风<sup>[10]</sup>通过对比全球中低纬度地区末次冰期冰川进退规模的数据,提出 MIS3b 阶段的冰川前进规模大于 MIS2 阶段可能是一个普遍性的规律。张威<sup>[11]</sup>在此基础上,通过将最新的青藏高原东部山地冰川测年数据与深海氧同位素表对应,将末次冰期大致分为四个阶段,其中 MIS4 及 MIS3b 阶段的冰进规模都大于气候更寒冷的 MIS2 阶段。同时提出山地冰川自身的规模也不同步,即在同一时期不同区域的冰川规模不同,不同时期同一区域的冰川规模也不同,认为这强烈显示气候与构造环境对冰川作用的影响。

通过对有关点苍山地质抬升资料的总结,张威<sup>[12]</sup>使用晚更新世以来的 4.7 mm/a 的隆升速率和主峰 4 122 m 的海拔,算出末次冰期(75 ka BP)时点苍山实际高度为 3 770 m,正好位于雪线(3 700 m ~ 3 900 m)高度,故有末次冰期发育。同时利用气象数据和 Ohmura 公式算出点苍山现代理论雪线处的气温为 1.33 °C,雪线降低值为 1 630 m,对应气温降低 9.8 °C。

张威<sup>[13]</sup>对比滇西北末次山地,现代理论平衡线及末次冰期平衡线海拔都随纬度增大而增高,推测为受降水影响;而末次冰期平衡线增高幅度小于现代理论平衡线,是由于当时气温和降水的纬度变化较小。

总的来说,滇西北海拔 4 000 ~ 4 500 m 山地末次冰期的冰川作用是构造和气候相耦合的结果。就气候方面,水热同期总体有利于冰川发育。而 MIS3 阶段较 MIS2 阶段冰川规模更大的原因除了西风带增强以外,还与强太阳辐射导致季风带来的水汽总量上升有关,从该角度看 MIS3 阶段更应该被称为末次冰盛期(LGM)。而构造方面,当时夷平面较古平衡线普遍高 50 ~ 400 m,为冰川发育提供了良好的地形。

此外,张威<sup>[14]</sup>通过对比多个山地冰川的冰斗参数,分析了各自的冰斗特征。其中点苍山冰斗的

长宽比介于0.6~1.4,平均值为0.8,总体对比中数值较小,说明水热条件良好促进了冰斗积极成长。在点苍山的马龙峰——应乐峰范围内,存在多个冰斗转向现象。如在19.3~17.4 ka BP阶段的玉局峰北坡4个冰斗(洗马池、小岑峰、中和峰和桃溪北支附近)朝向的中轴线发生明显的向北偏转,反应了在气候变暖积累减少的不利条件下,冰川为维持生存而更多依赖朝向偏北的低温以保存积累。而此前的大理冰期冰川受南北方向上太阳辐射的差异影响并不明显,所以东西坡发育的冰川基本对称。

张威<sup>[15]</sup>使用Derbyshire提出的平坦指数的概念对目标冰斗进行计算,研究得出真正冰川塑造的冰斗平坦指数小,为1.7~5,雪蚀洼地平坦指数为4.25~11。平坦指数公式为 $F = a/2c$ ,式中 $a$ 代表冰斗长度,即冰斗后壁至冰坎中点方向的线段距离; $c$ 代表冰斗高度,即冰斗底部到冰斗后壁上缘的高程差。

## 2 存疑讨论

### 2.1 倒二次冰川发育

杨建强<sup>[1]</sup>等未在点苍山顶部发现表示倒二次冰期作用的证据或发现同时期的冰碛物,故认为点苍山并未发育倒二次冰期;而当时峰顶海拔还不及3400 m的罗坪山更不具备发育一定长度槽谷的冰川的条件。张威<sup>[12]</sup>通过地形抬升速率计算,判断点苍山在大理冰期(75 ka BP)之前未到古雪线高度。事实上,崔之久获得的测年数据最早仅达到末次冰盛期(MIS3b阶段)。

根据地形图显示,最上一级的断层三角面已到达3600 m。假设点苍山发育倒二次冰期,海拔3600 m处必定处于冰川作用范围内,则该级断层三角面必将受到冰蚀作用的改造,无法保留现在的形态。

现今河流作用已经普遍发育到山顶部分,在个别冰斗形态保存较好的地形也已发育到外层冰坎处,3700 m以下地形流水塑造和植被发育已经十分完好,无法进一步判断。现有地形证据与杨<sup>[16]</sup>判断一致,故认为没有倒二次冰期发育;一种可信的说法是,点苍山最早发育的冰期为大理冰期冰盛期。

### 2.2 冰川作用下界

崔之久、杨建强考察后判定,点苍山冰川下界

在3600 m附近。一方面是由于海拔最低的冰碛堆见于3600 m;另一方面,根据冰川作用正负差为1:1推断,由4000~4100 m的冰川上界和冰斗主要集中的3800 m海拔推出冰川作用下界应为3600 m左右。在杨建强随后的考察中发现,部分在3600 m处堆积的冰碛物有再搬运迹象。由于冰碛物特征保存较好,可以断定并非泥石流作用形成;一种合理的推断是作为终碛随冰雪一起被推出最外层陡坎,在沿着山腰滑落过程中运动到次级山脊发育的缓坡或是构造发育的平坦处得以保存;同时在该过程中应该伴随冰川融雪、河流发育的过程。由于有再搬运的痕迹,可以认为冰川作用下界应该高于这一海拔,但考虑经重力或流水搬运后保有冰碛物特征,可以认为再搬运作用之前的位置不会很远。玉局峰北坡冰坎外侧3650 m处冰碛测年数据为33.6 ka BP,确定为大理冰期冰盛期。张威<sup>[13]</sup>提到的3400 m的作用下界因为没有进一步的佐证,对其不进行讨论。

地形数据显示,部分冰斗发育较好的区域都在3700~3750 m左右有一个陡坎(如玉局峰北坡);在莲花峰以北的悬冰川也出现类似现象,在这些区域表现为冰川底部普遍侵蚀到3750 m左右的高度。且就遥感影像显示,该海拔可以认为是流水作用和植被大量发育的上界。这一级陡坎在各个冰川作用区域普遍存在,在典型冰斗发育的区域尤为明显。

而在部分冰斗发育的区域,冰斗中有部分面积延伸出3700 m的海拔,在陡坎中形成台地或缓坡。根据延伸的形态主要分为两种。一种是与冰斗侧壁所在的次级山脊的缓坡连在一起,从冰斗侧面突出。如三阳峰东坡冰斗,在北侧有一突出的缓坡,达到3600 m。另一种则是从正面突出陡坎,这种情况多为构造运动导致,与冰川作用之前的地形有关。在莲花峰到马龙峰这一段冰川作用发育的主体范围内,海拔最低的缓坡可延伸到3550 m左右,几乎与陡坎连接在一处。

最重要的是需要确定能否界定统一的冰川作用下界。从理论上来说,点苍山范围内所受环境的影响是均一的,可以确定有统一的雪线及冰川作用下界。具体而言,不同冰川根据其所处地形决定冰雪积累能力和流通区路径,并会因此导致冰川作用下界有所出入。但就整体性而言,统一的冰川作用下界是能代表研究区的普遍情况的。

崔之久引入冰川作用正负差的概念描述冰川作用的规模,其中将下界确定为3600 m。意在取平

均值体现普遍状态。兼顾测年结果和地形突变, 3 600 ~ 3 700 m 这一海拔高度范围都可以作为统一的冰川作用下界。而在研究局部地区时, 则应该选取的陡坎(地形突变)处较为合理。

### 3 冰川研究新方法的总结及展望

#### 3.1 3S 观测数据的提取

传统的古冰川观测方法, 是到实地进行野外调查和观测以获得全部所需的数据。通过获取冰川的物质平衡、运动速度、温度、厚度、变化(空间范围)及相关小气候和水文的观测数据, 主要汇总反映了如下几方面的信息: 冰川系统规模和状态的日常信息, 冰川系统规模和状态的变化方向和速率等信息, 识别冰川系统的主导过程, 提供主导过程的速率信息<sup>[17]</sup>。

这一系列信息中与空间相关的数据都是通过将测量数据与 GPS 提供的定位数据相结合获得的。而一般的冰川地貌或冰川作用地区的地质观测也需要对特征现象进行定位, 才能进一步将特征位置与区域地形或地质环境进行套核, 分析其表示的空间意义及分析作用原理。可以说, 现阶段 GPS 与冰川的传统观测方法结合的较为紧密。而与 GPS 相关的遥感(RS)信息观测及地理信息系统(GIS)空间分析的方法也逐渐引入了冰川研究手段当中。遥感影像善于对大范围对象进行实时观测, 部分卫星能生成数字地形高程模型(DEM), 目前国内学者主要将其应用到对现代冰川的观测中; 而 GIS 则普遍试用于与空间相关的数据分析。高闻宇<sup>[18]</sup>等通过 ASTER 遥感影像和不同时期地形数据提取冰川范围, 运用 GIS 方法对 1963 ~ 2004 年库克苏河流域冰川的面积、冰储量及空间结构特征变化情况进行了分析。刘时银<sup>[19]</sup>等运用 RS 和 GIS 方法研究了新青峰冰帽与马兰冰帽 1971 ~ 2000 年的冰川变化情况, 并结合前人研究对主要影响新青峰冰帽的新青峰冰川和西新青峰冰川的作用特征进行对比, 从气候和地形的角度分析了两条冰川的动力响应特征。上官冬辉<sup>[20]</sup>等通过对遥感影像进行解译提取慕士塔格——公格尔山冰川的边界范围, 并在 GIS 软件中编制为冰川目录, 其中运用到 DEM 与遥感影像叠加的方法, 使得冰川的最高高程、最低高程、瞬时雪线高度等参数能够自动或手动获得。谢遵义<sup>[21]</sup>等也通过在 GIS 软件中对冰川地形数据进行自动分带

提取了冰川动力学模型的部分参数。而李鹏<sup>[22]</sup>等则将 GIS 与过去测量的 GPS 定位数据结合, 对比了计算冰川末端变化的各种传统方法和基于 GIS 的方法。

3S 的结合的简单应用是把 RS 和 GPS 当作数据源, 在 GIS 软件中进行测量和数据提取; 进阶应用体现为使用 GIS 的地理数据处理方法, 对 RS 和 GPS 数据中包含的空间信息进行进一步的挖掘。就目前的初步探索, 发现对苍山 30 m 分辨率的 DEM 提取的平面曲率可以反映水系发育的理想状况, 而剖面曲率能反映冰斗内的阶梯状地形的坡度转折处。而由于山上植被发育良好, 无法通过遥感影像判别地貌遗迹, 故影响主要用于如山脊线、苍山边界等辅助要素的矢量化依据, 以及作为野外调查的底图。根据所有的古冰川遗迹数据及辅助要素建立古冰川重建数据库, 既便于数据的查询和统一显示, 更能进一步调用 GIS 工具和理论公式对仅有的各方面数据进行综合分析, 模拟重建出古冰川的可能形态<sup>[23]</sup>。

#### 3.2 建模进展

点苍山并未保留现代冰川, 无法通过常用的冰川观测手段对其进行研究<sup>[17]</sup>。且该地区遗留的地貌证据较少, 又受到后期流水、植被、旅游开发的影响, 能提供研究的数据非常稀少, 进一步的研究应该从建模方面考虑。

建模的依据是把冰川假定为满足海冰流变学中完全塑性形变(无压缩)条件的流体, 则仅冰川底部发生形变。假定冰川处于稳定状态, 则表面形态在一段时间内变<sup>[23]</sup>。通过物理(冰川动力学)模型推测冰川作用中冰川本身厚度的连续变化情况。通过模型可以重建冰川平衡线位置、消融梯度、冰储量等数据, 最终可以模拟大致的冰川表面形态<sup>[24]</sup>。考虑到建模对象物质较为单一, 且允许进行模拟实验, 建模是可能的。

重建冰川的最终目标是建立基于上述假定的冰川流动模型。刘春光整理和推导了依托于本构方程的理想冰川流动的物理过程, 建立气候变化和冰川自身重力共同作用的温度耦合三维流动模型, 并结合实际山地冰川的冰床形态生成近似的冰流形态。该模型通过大量历史观测数据的积累, 模拟理想冰流的基本模型体系已经建立<sup>[25]</sup>。但该模型因其综合考虑作用与冰川发育过程的各个因素, 需要大量的实测参数。包括: 气温、降水、物质平衡、冰面

海拔高度及一系列(古)冰川内部应力分布数据(冰川宽度、厚度、表底面温度及冰温)<sup>[26]</sup>。同时,重建古冰川需要古冰川的一系列参数,运用现代的环境条件重建古冰川没有意义。

现今重建古冰川主要引用的是 Nye<sup>[27]</sup> 早在 20 世纪 50 年提出的层流模型,该模型分析冰川沿坡面滑动时冰床受剪应力情况获得方程。方程中  $\rho$  表示冰密度,  $g$  表示重力加速度,  $\tau$  表示冰下坡度,表示该点冰川所受剪应力,  $h$  表示该点冰层厚度。其中考虑冰川物质的形变强度,算出的可能范围为 0.5 ~ 1.5 bar (1 bar = 100 kPa = 10<sup>6</sup> dynes/cm<sup>2</sup>),通过对格陵兰冰川部分区域计算,和地震波测量结果比较发现,已知冰下地形推测冰面地形的效果是较好的。Schilling<sup>[24]</sup> 等将该模型演变为迭代模型,通过引入谷型系数(valley-shape index)的值反映两侧谷壁对基底剪应力的削减作用,使该模型可应用于冰川谷;以基底剪应力这一半经验参数反映地貌证据所体现的冰层厚度的连续变化情况。Murray<sup>[28]</sup> 等通过该模型对美国蒙大拿州 Big Timber 冰川进行晚更新世冰川重建,比较了现代冰川测量方法和通过该模型获得的平衡线高度,并对随海拔高度变化的冰川物质平衡进行了分析。Vieira<sup>[29]</sup> 运用该模型对葡萄牙 Estrela 山脉的冰原和冰川谷进行末次冰盛期重建,其中探讨了通过基底剪应力的变化反映次级地貌证据的高精度冰层厚度重建,并通过多种方式恢复各冰川平衡线高度,探讨其空间分布规律。Rea<sup>[30]</sup> 等也将该方法用于挪威北部 Øksfjordjøkelen 冰原及其冰川谷,恢复了其新仙女木时期的冰川平衡线和物质平衡情况。Carrasco<sup>[31]</sup> 等对伊比利亚 Béjar 山脉最大冰盛期进行测年和重建中,提出了一种基于 Nye 原理的非迭代重建方程,在随后的平衡线高度重建和比较中取得了不错的结果。Benn<sup>[32]</sup> 通过对比大量冰川,提出重建热带冰川古平衡线的理论值。同样有基于其它方程构建的模型也被使用,而值得一提的是,无论何种模型,必须至少知道能反映冰川边界的地形、地貌证据,且需要相关数据验证结果。

Carr<sup>[33]</sup> 质疑单纯的物理模型没有考虑基底面滑动和冰下变形的影响,并给出了一种改进的方法。用古生物数据反推古平衡线温度,进而获得古平衡线降水量,由于平衡线处物质损失与补给量相同,就可以通过当地现代冰川采集的消融梯度数据计算冰层厚度变化。

同时,国内也有探讨该方程的例子。乌鲁木齐河源 1 号冰川结合该公式和多年观测数据进行了冰川未来演变的大致预测<sup>[34,35]</sup>,李慧林着重探讨了谷型系数对基底剪应力的削弱情况<sup>[36]</sup>,也结合本构方程等重建方程进行对比,发现在对冰川未来大致演变上,各个模型预测结果一致,但还需进一步深入模型研究<sup>[37]</sup>。

此外,早期的地貌学家多用单纯的地貌证据进行重建,多为重建冰川物质平衡线的海拔、夏季降水、冬季均温等参数,在研究区保存现代冰川的情况下可以进一步重建古冰川形态<sup>[38-40]</sup>。而度日模型(degree-day model)在有连续的气候数据的条件下,可以估算冰川的冰雪消融量,估测万年数据误差会增大<sup>[41,42]</sup>。

数据的缺乏是对古冰川研究最大的障碍,未来各种研究方法必定趋向于相互交叉和结合使用。诸如刃脊、角峰等冰川地貌,使用遥感进行数据采集使得研究成为可能;传统的冰川学、地貌学、地质学的知识在野外观测和建模方面有很强的指导效果;3S 技术的引进给予了研究人员新的数据采集方式和研究思路,也为建模提供了宏观的视角和大量的基础数据<sup>[39]</sup>。总体来说,当前古冰川研究的主要发展方向还是以物理模型为基础的冰川重建,而地貌证据的数量和质量能够进一步增大其精确性。

## 4 总结

以点苍山为例,纵观现今古冰川重建研究进程,可以发现如下特点:

(1) 传统的研究方法以野外考察和地貌制图为基础,可以大致估算古平衡线海拔,及古平衡线处的环境特征(如末次冰期时降温)。

(2) 结合测年数据可以重建冰期序列,并确定各个冰期的规模和冰川作用时期;遥感支持对现代冰川的参数进行提取,并能提供较精确的地形数据。但基于地形数据对古冰川遗迹的技术尚不成熟,需要以其它数据(如测年定位数据、冰川地貌图等)为参考或检验依据。

(3) 模型是定量化恢复古冰川的主要手段,一方面,大量的地貌证据辅助有助于提高古冰川的重建参数的精确性;另一方面,研究地形与气候对冰川的耦合作用支持恢复更精细的理论冰面形态。



## 参考文献:

- [1] 杨建强, 崔之久, 易朝路, 等. 关于点苍山“大理冰期”[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(9): 1205–1211.
- [2] 赵维城, 万晔. “云南大理冰期”之再研究的迫切性及必要性[J]. 云南地理环境研究, 1993, 5(2): 84–85.
- [3] 陈钦峦, 赵维城. 从航片上观察点苍山冰川地貌[J]. 云南地理环境研究, 1997, 9(2): 66–73.
- [4] 况明生, 赵维城. 云南大理点苍山地区更新世晚期沉积地层的 ESR 测年研究[J]. 云南地理环境研究, 1997, 9(1): 49–57.
- [5] 万晔, 韩添丁, 朱静, 等. 云南点苍山——罗坪山地区地貌发育与第四纪冰川作用[J]. 热带地理, 2003, 23(4): 304–308.
- [6] 万晔, 韩添丁, 段昌群, 等. 滇西名山点苍山地区地貌结构与特征研究[J]. 冰川冻土, 2005, 27(2): 241–248.
- [7] 陈富斌, 陈继良, 徐毅峰, 等. 玉龙雪山——点苍山地区第四纪沉积与层状地貌的新构造分析[J]. 地理学报, 1992, 47(5): 430–440.
- [8] 杨建强, 崔之久. 云南点苍山冰川地貌特征[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 90–93.
- [9] 崔之久, 杨建强, 易朝露. 点苍山大理冰期冰川作用研究进展[C]. 中国地理学会地貌与第四纪专业委员会. 地貌·环境·发展——2004 丹霞山会议文集. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 16–22.
- [10] 施雅风, 姚檀栋. 中低纬度 MIS3 (54–44 ka B. P.) 冷期与冰川前进[J]. 冰川冻土, 2002, 24(1): 1–9.
- [11] 张威, 刘蓓蓓, 崔之久, 等. 中国第四纪冰川作用与深海氧同位素阶段的对比和厘定[J]. 地理研究, 2013, 32(4): 628–637.
- [12] 张威, 李洋洋, 刘蓓蓓. 中国低纬度地区中更新世以来冰川发育与成因探讨[J]. 地理与地理信息科学, 2013, 29(6): 78–83.
- [13] 张威, 刘蓓蓓. 滇西北山地末次冰期冰川发育及其基本特征[J]. 冰川冻土, 2014, 36(1): 30–37.
- [14] 张威, 闫玲, 崔之久. 山地冰川冰斗发育的控制因素与气候变化[J]. 冰川冻土, 2008, 30(2): 266–273.
- [15] Derbyshire E. Geomorphology and Climate [M]. New York: John Wiley and Sons, 1976: 243–254.
- [16] Yang G Q, Zhang W, Cui Z J, et al. Climate change since 11.5 ka on the Diancang Massif on the southeastern margin of the Tibetan Plateau [J]. Quaternary Research, 2010, 73: 304–312.
- [17] 刘银时. 冰川观测与研究方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [18] 高闻宇, 李忠勤, 李开明, 等. 基于遥感与 GIS 的库克苏河流域冰川变化研究[J]. 干旱区地理, 2011, 34(2): 252–261.
- [19] 刘时银, 上官冬辉, 丁永建, 等. 基于 RS 与 GIS 的冰川变化研究——青藏高原北侧新青峰与马兰冰帽变化的再评估[J]. 冰川冻土, 2004, 26(3): 244–252.
- [20] 上官冬辉, 刘时银, 丁永建, 等. 利用 ASTER 影像对慕士塔格–公格尔山冰川解译与目录编制[J]. 冰川冻土, 2005, 27(3): 344–351.
- [21] 谢遵义, 张世强, 张小文, 等. 基于 GIS 的冰川动力学模型部分参数自动提取研究[J]. 冰川冻土, 2011, 33(3): 519–523.
- [22] Kargel J S, Leonard G J, Bishop M P, et al. Global Land Ice Measurements from Space [M]. Berlin: Springer, 2014: 53–144.
- [23] 李鹏, 闫明, 徐跃通, 等. 基于 GIS 冰川末端变化计算方法研究——以北极 Austre Lovénbreen 冰川为例[J]. 冰川冻土, 2012, 34(2): 367–374.
- [24] Schilling DH, Hollin J. The Last Great Ice Sheets [M]. New York: Wiley, 1981: 207–220.
- [25] 刘春光, 阿布都热西提, 刘时银. 山地冰川流动模型探讨[J]. 冰川冻土, 2012, 34(4): 821–827.
- [26] 李慧林, 李忠勤, 秦大河. 冰川动力学模式基本原理和参数观测指南 [M]. 北京: 气象出版社, 2009.
- [27] Nye JF. A method of calculating the thickness of ice – sheets [J]. Nature, 1952, 169: 529–530.
- [28] Murray DR, Locke WW. Dynamics of the Late Pleistocene Big Timber Glacier, Crazy Mountains, Montana, USA [J]. Journal of Glaciology, 1989, 35: 183–190.
- [29] Vieira G. Combined numerical and geomorphological reconstruction of the Serra da Estrela plateau icefield, Portugal [J]. Geomorphology, 2008, 97: 190–207.
- [30] Rea BR, Evans DJA. Quantifying climate and glacier mass balance in North Norway during the Younger Dryas [J]. Palaeogeography, 2007, 246: 307–330.

- [31] Carrasco RM, Pedraza J, Villar DD, et al. The plateau glacier in the Sierra de Béjar (Iberian Central System) during its maximum extent. Reconstruction and chronology [J]. *Geomorphology*, 2013, 196: 83–93.
- [32] Benn D I, Owen L A, Osmaston H A, et al. Reconstruction of equilibrium – line altitudes for tropical and sub – tropical glaciers [J]. *Quaternary International*, 2005, 138 – 139: 8 – 21.
- [33] Carr S, Coleman C. An improved technique for the reconstruction of former glacier mass – balance and dynamics [J]. *Geomorphology*, 2007, 92: 76 – 90.
- [34] 王文梯, 刘宗香. 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川频率响应特性的计算与分析 [J]. *冰川冻土*, 1984, 6 (4): 13 – 24.
- [35] 曹梅盛, M. F. 迈耶. 稳定状态下冰川纵向断面计算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例 [J]. *冰川冻土*, 1987, 9 (2): 131 – 138.
- [36] 李慧林, 李忠勤, 张明军, 等. An Improved Method Based on Shallow Ice Approximation to Calculate Ice Thickness along Flow – Line and Volume of Mountain Glaciers [J]. *Journal of Earth Science*, 2011, 22 (4): 441 – 448.
- [37] 李慧林, 李忠勤, 沈永平, 等. 冰川动力学模式及其对中国冰川变化预测的适应性 [J]. *冰川冻土*, 2007, 29 (2): 201 – 208.
- [38] Ballantyne CK. The loch Lomond readvance on the Isle of Mull, Scotland: glacier reconstruction and palaeoclimatic implications [J]. *Journal of Quaternary Science*, 2002, 17: 759 – 771.
- [39] Mark B G, Helens K F. Reconstruction of glacier equilibrium – line altitudes for the last Glacial Maximum on the High plain of Bogota, Eastern Cordillera, Colombia: Climatic and topographic implications [J]. *Journal of Quaternary Science*, 2005, 20: 789 – 800.
- [40] 李世杰, 施雅风. 中国西部末次盛冰期冰川发育与气候环境的区域分异 [C] //中国青藏高原研究会. 青藏高原与全球变化研讨会论文集. 北京: 气象出版社, 1994.
- [41] Singh P, Kumar N, Arora M. Degree – day factors for snow and ice for Dokriani Glacier, Garhwal Himalayas [J]. *Journal of Hydrology*, 2000, 235: 1 – 11.
- [42] 吴利华, 李慧林, 王林. Application of a Degree – Day Model for Determination of Mass Balance of Urumqi Glacier No. 1, Eastern Tianshan, China [J]. *Journal of Earth Science*, 2011, 22 (4): 470 – 481.

## PROGRESS, DISCUSS AND PROSPECTS OF DALI GLACIATION ON MASSIF DIANCANG

ZHANG Quan, WAN Ye, ZENG Hong-yun

(College of Resource Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China)

**Abstract:** Dali Glaciation as the Last Maximum Glacial of Quaternary, has high research value in understanding the history of environmental change. Chinese scholars have been researching Dali glaciation on massif Diancang, the cradle of “Dali glaciation”, by various research methods over the years, and have been getting a lot of scientific results. This paper reviews this historical process, with emphasis on generalizing research methods and results of airborne remote sensing, structural geology and geomorphology, glacial geomorphology and regional scale. On this basis, we discussed some doubts, and analyzed basic questions and feasibility about research methods of 3S technique and ancient glacier reconstruct model.

**Key words:** massif Diancang; Dali glaciation; ancient glacier reconstruction

# 对中国森林火灾在短时间尺度上变化规律的研究

余晓珊, 沈才明\*

(云南师范大学 旅游与地理科学学院, 高原湖泊生态与全球变化重点实验室,  
高原地理过程与环境云南省重点实验室, 云南 昆明 650500)

**摘要:** 通过对1950~2013年中国森林火灾观测数据的整理和分析, 揭示中国森林火灾在短时间尺度上的发生规律。结果表明: 在日时间尺度上, 中国森林火灾主要发生在8:00~16:00, 其变化规律与气温、湿度变化及人类频繁活动的时间点关系密切; 在月、季时间尺度上, 春季森林火灾较多, 夏季森林火灾较少, 这与中国季风气候的特点及一些特定的人类活动相关; 在年际时间尺度上, 自1950年以来中国森林火灾呈现阶梯状下降趋势, 这一趋势与气候变化的关系不是很明显, 可能较多地受到人为因素如政策法规的影响。

**关键词:** 森林火灾; 短时间尺度; 变化规律

**中图分类号:** S762.1, X915.5, X928.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7852(2016)01-0030-06

## 1 引言

森林火灾, 是指失去人为控制、对森林和森林生态系统及人类带来一定危害和损失的林火行为<sup>[1]</sup>。全世界每年发生森林火灾约 $20 \times 10^4$ 次, 被烧林地面积达几百万公顷, 约占世界现有林地面积的0.1%<sup>[2]</sup>。森林资源丰富的国家(如美国、加拿大、俄罗斯等)森林火灾较为严重, 中国也是世界上森林火灾发生比较严重的国家之一。中国林业数据库(<http://cfdb.forestry.gov.cn>; 443/)的资料表明, 1950~2013年中国共发生森林火灾786 611次, 年均发生森林火灾多达12 290次, 累计受害森林面积达 $3\,824 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 年均受灾森林面积达 $59.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 相当于年均造林面积的三分之一<sup>[2]</sup>。

火灾的发生是一个孕育的过程, 具有一定的时间变化规律。针对短时间尺度上日、月、季和年际森林火灾发生的时间规律, 目前在中国已作初步研

究, 但大多数受限于研究的时空格局, 主要强调在某个地区短时间尺度的森林火灾规律<sup>[3-7]</sup>, 而对大空间尺度特别是全国范围的森林火灾研究还较少<sup>[8-10]</sup>。本文对全国范围的森林火灾在日、月、季和年际时间尺度上发生的规律进行分析和总结, 并探讨影响中国森林火灾在短时间尺度上发生规律的可能因素, 为中国森林防火决策提供科学依据, 减少森林火灾带来的各种损失。

## 1 资料与方法

本文使用的数据为1950~2013年中国森林火灾统计数据, 它包括火灾次数和受害面积, 数据来自中国林业数据库。其中, 2001~2013年森林火灾数据除火灾次数和受害面积, 还包括火灾发生的年、月信息和森林火灾火源信息(2011~2013年无月信息资料)。同时还使用了《中国森林火灾典型案例》书中1953~2005年22省发生的222例典型火灾数据, 数据包括火灾发生的具体时刻、月份

收稿日期: 2015-10-08; 修订日期: 2015-12-18.

基金项目: 云南省高端科技人才引进项目(2013HA024); 国家自然科学基金项目(41372191); 云南省科技计划重点项目(2014FA005)

作者简介: 余晓珊(1990-), 女, 黑龙江省双鸭山市人, 硕士研究生, 研究方向为自然地理学.

\*通信作者: 沈才明(1963-), 男, 江苏省苏州市人, 教授, 博士, 研究方向为自然地理学.

及火源等详细内容<sup>[11]</sup>。本文选取其中 19 省 146 例重大及特大森林火灾数据,在此称为重大及特大火灾数据集,其中有 16 例森林火灾没有发生日的具体时刻,未用于本文森林火灾的日时间尺度分析。

除上述森林火灾的资料外,还使用了 1951 ~ 2013 年中国 160 个气象站点的月平均气温和降水资料,其来源于“国家气象信息中心中国气象科学数据共享服务网”(http://cdc.cma.gov.cn/home.do)。数据主要用于分析过去 63 年全国气温和降水的年际变化,探讨森林火灾和气候变化在年际尺度上的关系。

文章的森林火灾和气象资料应用 Excel、Grapher 和 SPSS 等统计软件作了描述性统计分析来探讨森林火灾在不同时间尺度上的变化,并对森林火灾和气象资料作了相关性分析以研究两者间关系。

## 2 结果与讨论

### 2.1 森林火灾在日时间尺度上的发生规律

根据《中国森林火灾典型案例》中 1953 ~ 2005 年 19 省 130 例重大及特大森林火灾发生的具体时刻数据,森林火灾发生的日时间变化(图 1)。从图 1 可以看出,森林火灾发生时刻的次数变化呈单峰分布模式。在 10:00 前和 16:00 以后,森林火灾发生次数均为个位数。在 10:00 和 16:00 森林火灾发生次数分别呈现急剧增加和减少趋势;从 9:00 至 10:00,森林火灾发生次数从个位数增加到双位数,而从 16:00 至 17:00,森林火灾发生次数从双位数降至个位数。森林火灾次数在 10:00 至 16:00 为最高,这个时间段的森林火灾次数占总次数的 81.5%,峰值在 12:00 至 14:00,均值超过每小时 15 次。森林火灾次数与气候变化、人类活动的时间点具有明显的对应关系。10:00 至 16:00 是一天中温度最高,可燃物湿度最低,也是人们活动最频繁、用火最多的时段,所以形成了森林火灾最频发的时段。

本文研究是基于中国 19 省 130 例重大及特大森林火灾得出的结果,因此它的空间尺度基本具备全国性特征。在黑龙江、浙江、福建和云南省等地区森林火灾在日时间尺度上发生规律的研究表明,10:00 ~ 14:00 为森林火灾高发时段,10:00 ~ 18:00 较易发生森林火灾<sup>[12-16]</sup>,与应用 130 例重大及特大森林火灾案例资料得出的结果基本一致。

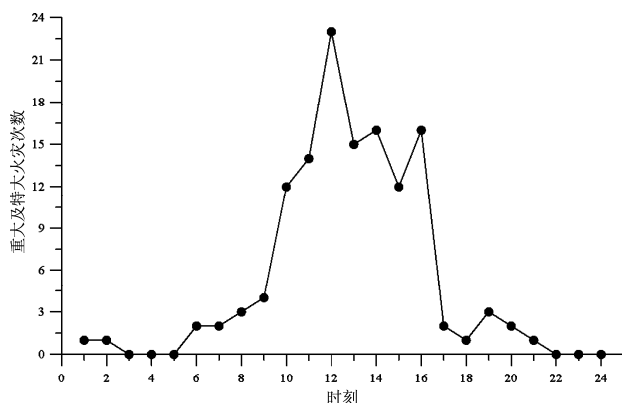


图 1 1953 ~ 2005 年中国重大及特大森林火灾次数的日变化

Fig. 1 Hourly occurrences of all big forest fires in China from 1953 to 2005 AD

### 2.2 森林火灾在月时间尺度上的发生规律

根据“中国林业数据库”中 2001 ~ 2010 年中国森林火灾发生月份时间数据和《中国森林火灾典型案例》中 1953 ~ 2005 年 19 省 146 例重大及特大森林火灾发生的具体月份数据,森林火灾发生的月时间变化(图 2)。2001 ~ 2010 年全国森林火灾数据显示,2 ~ 4 月份森林火灾发生次数最多,火灾次数最少月份为 6 ~ 9 月。1953 ~ 2005 年 146 例重大及特大森林火灾数据显示,3 ~ 5 月份森林火灾发生次数最多,7 ~ 8 月份火灾次数最少。两组火灾数据曲线变化趋势大致相同,但也存在一定的差别。差别主要表现在 2 月、5 月、和 9 月。2 月虽然易发生森林火灾,但寒冷气候不易于重大及特大森林火灾;5 月森林火灾虽然不多,但 5 月气温相对偏高和降水少易导致重大及特大森林火灾;9 月森林火灾虽少,但重大及特大森林火灾偏高,可能是夏季燃料的积累和气候转向干燥的原因。

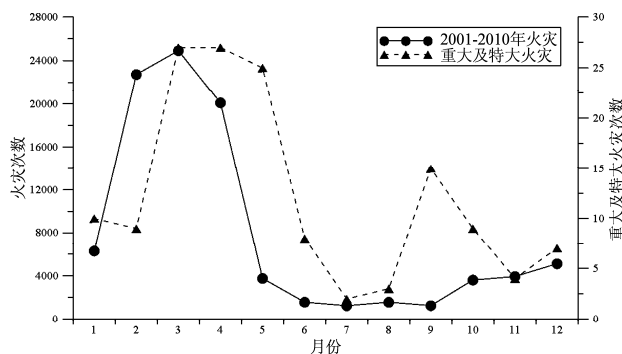


图 2 2001 ~ 2010 年中国所有森林火灾与 1953 ~ 2005 中国重大及特大森林火灾次数的月份变化

Fig. 2 Monthly occurrences of all forest fires in China from 2001 to 2010 and all big forest fires in China from 1953 to 2005 AD

### 2.3 森林火灾在季节时间尺度上的发生规律

从森林火灾月份变化曲线趋势上可以看出,春季几个月份的火灾次数发生最多,夏季几个月份的火灾次数发生最少。根据“中国林业数据库”中2001~2010年中国森林火灾发生月份时间数据和《中国森林火灾典型案例》中1953~2005年19省146例重大及特大森林火灾发生的具体月份数据,森林火灾发生的季节时间变化(图3)。2001~2010年全国森林火灾数据显示,春季火灾次数最多,其次是冬季和秋季,夏季火灾次数最少。1953~2005年146例重大及特大森林火灾数据显示,春季火灾次数也是最多,但秋季次之,同样夏季火灾次数最少。不同之处是重大及特大森林火灾在秋季的次数多于冬季,可能是冬季气温低、积雪覆盖量大不利重大及特大森林火灾发生。

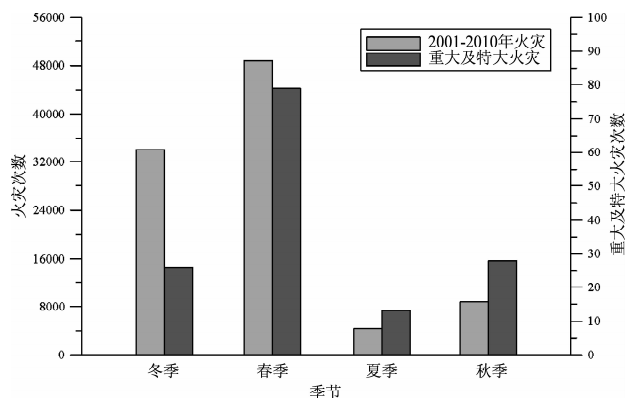


图3 2001~2010年中国所有森林火灾与1953~2005年中国重大及特大森林火灾次数的季节变化

Fig. 3 Seasonal occurrences of all forest fires in China from 2001 to 2010 and all big forest fires in China from 1953 to 2005 AD

图4为2001~2010年每年森林火灾发生次数的季节变化,也反映出春季火灾次数最多,夏季火灾次数最少。例如,2005年全国共发生森林火灾11542次,春季发生8409次,占全年的72.9%,2006年全国共发生森林火灾8859次,夏季仅发生116次,占全年的1.3%。森林火灾10年时间序列同时也表明,冬季火灾次数在有的年份会多于春季,如2004年、2007年和2009年。前人在研究森林火灾在月、季时间尺度上的发生规律,得出中国不同地区存在差异,但多强调中国大多地区以冬、春季森林火灾较多<sup>[8,9]</sup>。

森林火灾在月、季时间尺度上的发生规律与中

国季风气候的特点有关。在中国东北、华北地区,森林火灾多出现在春、秋两季,也就是每年的3~5月和9~11月。北方春、秋季天气晴朗,降水量少,空气干燥,植被含水量低,且多大风天气,易发生森林火灾;冬季由于气温低、积雪覆盖量大,夏季降水量大、空气湿度较高且植被生长旺盛,不易发生火灾。中国华东、华中、华南、西南地区火灾多发生在冬季和春季,也就是每年的12~2月和3~5月。冬季时正是干季,植物生长停止,大部分草本植物在地上部分枯死,森林可燃物增多,此时遭遇明火,易引起森林火灾。春季降水量少、气候干燥、温度回升、可燃物较多,也易发生火灾。而其他月份正是湿季,不易发生火灾<sup>[2,9]</sup>。

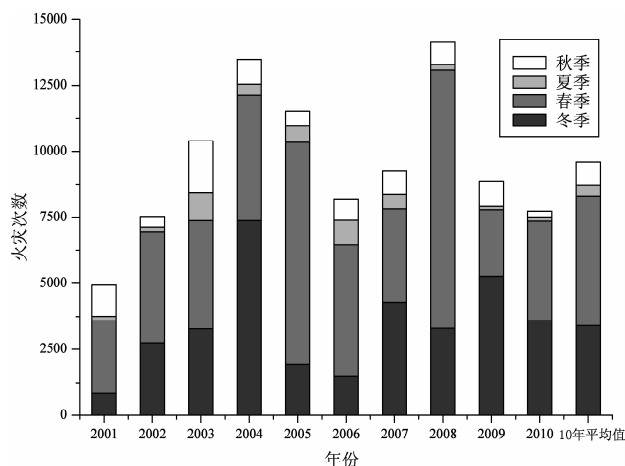


图4 2001~2010年森林火灾次数的季节变化

Fig. 4 Yearly occurrences of seasonal forest fires from 2001 to 2010 AD

森林火灾在月、季时间尺度上的发生规律,不仅仅与中国季风气候的特点有关,也与一些特定的人类活动密切相关。根据“中国林业数据库”中2001~2013年全国森林火灾发生的火源数据,森林火灾发生的火源(图5)为:烧荒烧炭火源导致森林火灾34555次,上坟烧纸火源引发森林火灾19655次,两者约占总火源数据的49%,而这两种火源主要发生在一年中的冬、春季。冬季人们取材烧炭,初春太阳总辐射量在逐渐增强,气温上升,人们开始炼山造林;春季正处于农耕期,烧荒活动增多;又逢春节燃放鞭炮、清明上坟烧纸等传统习俗;而且春季旅游人数也显著增多,这些活动都会导致森林火灾次数在冬、春季增多。因此冬、春季是中国森林火灾的高发时期<sup>[6,17]</sup>。

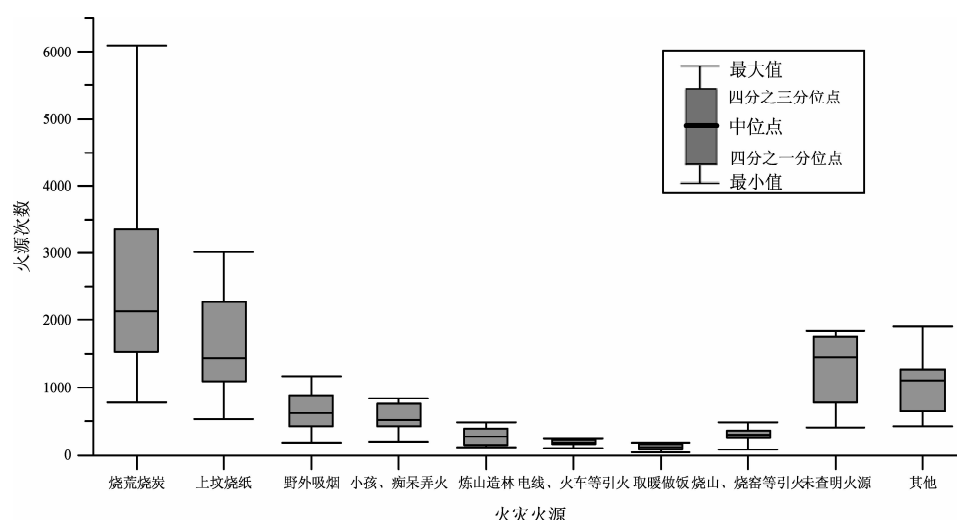


图5 2001~2013年森林火灾火源次数分布

Fig. 5 The distribution of all forest fire sources from 2001 to 2013 AD

## 2.4 森林火灾在年际时间尺度上的发生规律

根据“中国林业数据库”1950~2010年中国发生的森林火灾，中国森林火灾发生的年际变化（图6）表现为，森林火灾发生次数和受害森林面积整体呈现出阶梯状下降的趋势，火灾次数和受害面积变化趋势基本一致，但受害面积的波动幅度较火灾次数要大。导致中国64年的森林火灾次数呈下降趋势的原因可能包括了自然因素和人为因素。

影响森林火灾的自然因素主要是气候变化。根据“国家气象信息中心中国气象科学数据共享服务网”提供1951~2013年中国160个气象站点的月平均气温和降水数据，计算了全国年均气温和年均

降水（图7）。气候的年际变化表明，年均气温呈上升趋势，年均降水量变化幅度不大。统计全国年均气温、年均降水量和森林火灾次数三者间的相关性，结果表明：森林火灾次数与年均气温相关系数为 $-0.309$ ，通过 $0.05$ 水平的显著性检验，为弱负相关。与年均降水量相关系数为 $-0.083$ ，没有相关性。分析自20世纪80年代以来中国年均温度在大幅度升高，年均降水量变化幅度不大，全国森林火灾次数维持在较低状态，导致年均气温与火灾次数成低度负相关。但就森林火灾与温度、降水的关系而言，温度越高，越易发生火灾，降水量越大，火灾发生率越低<sup>[18-21]</sup>。因此，全国范围森林火灾的年际变化与气候因素关系不明显，影响森林火灾

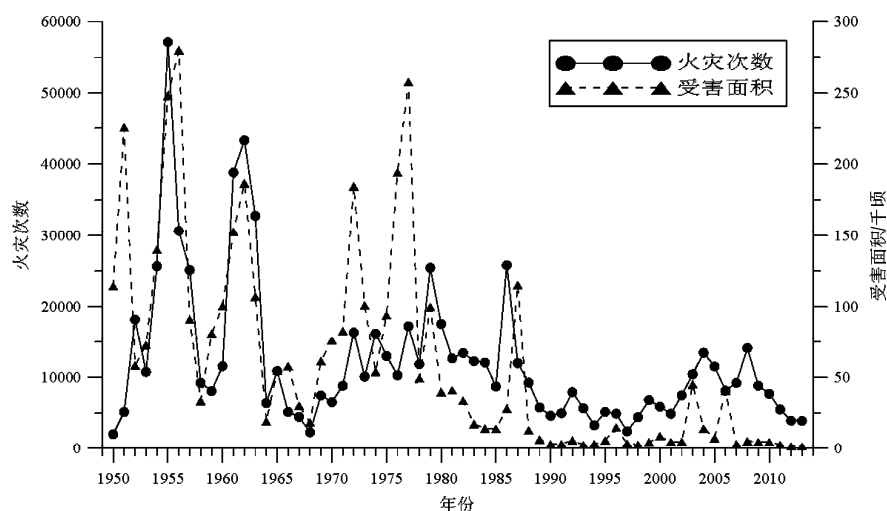


图6 1950~2013年森林火灾次数和面积的年际变化

Fig. 6 Yearly occurrences of all forest fires and burned areas from 1950 to 2013 AD



年际变化的因素可能除气候变化外还存在其它因素,比如人为因素。

影响森林火灾的人为因素可能与政策法规有关。1950~2013 年中国森林火灾次数曲线显示出,1950~1963 年是中国森林火灾高发期,森林火灾次数重复两次出现先波动上升后下降趋势,波动幅度较大。1964 年是个明显的转折点,火灾次数急剧下降。这个转折点的成因可能与 1963 年国务院颁布了《森林保护条例》有关<sup>[22]</sup>。其后的 8 年(1964~1971)是森林火灾次数的低谷期,这部分可能是《森林保护条例》的后续效应。1972 年火灾次数又缓慢上升,上升的幅度不大,1986 年达到高峰,

1972~1986 年为过去 64 年中国森林火灾的次高发期。1987 年 5 月 6 日发生在大兴安岭北部林区的异常特大森林火灾(简称“5.6 大火”)是中国近代森林火灾史的又一个转折点<sup>[1,23]</sup>。当年 11 月成立了中央森林防火总指挥部,次年 1 月国务院发布《森林防火条例》<sup>[22,24]</sup>。由于国家政策法规的及时颁布与实施,加上全国各地区林业部门开始依法治林,加强防火措施,森林火灾次数大幅度下降<sup>[25,26]</sup>。1987 年后中国森林火灾次数保持较低状态,此阶段为中国森林火灾的低峰期。因此,中国 64 年的森林火灾史表明,政策法规可能对中国森林火灾的发生产生影响。

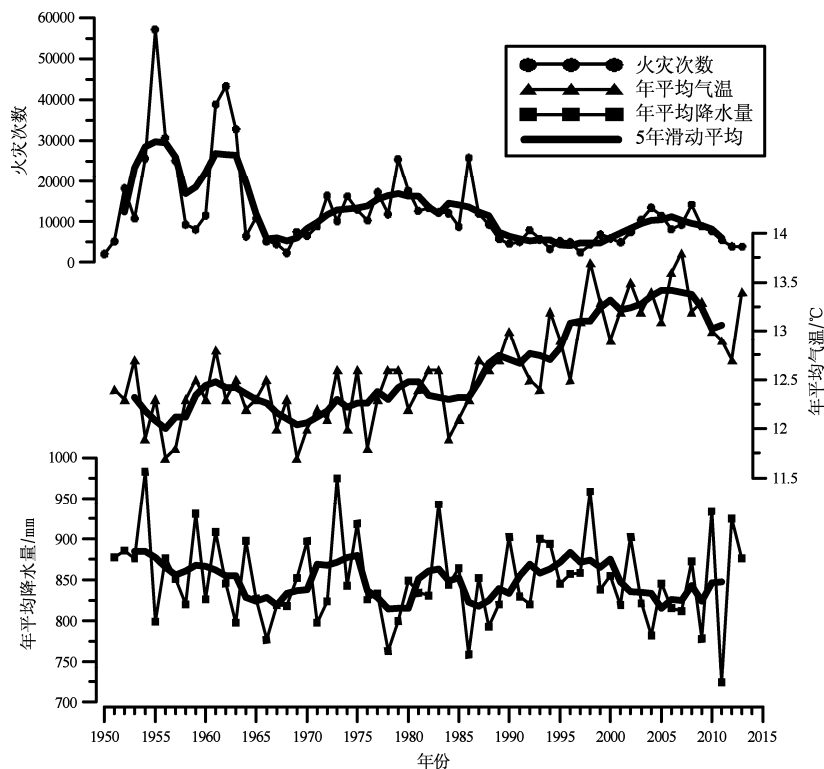


图 7 1950~2013 年森林火灾次数与年均温度、降水因素的年际变化

Fig. 7 Interannual variations of mean annual temperature, precipitation and forest fire occurrences from 1950 to 2013 AD

### 3 结论

利用 1950~2013 年中国森林火灾的观测资料,对中国森林火灾在短时间尺度上发生的规律作了研究。在日时间尺度上,森林火灾发生的规律与气温、湿度变化及人类频繁活动的时间点密切相关,主要集中在一天的 8:00~16:00,这与其他学者对区域性森林火灾的研究结果较为一致。在月、季时

间尺度上,森林火灾发生频率较高的月份为 2~4 月,6~9 月份为最少,春季森林火灾最多,冬季次之,夏季最少。森林火灾发生在月、季时间尺度上的变化与自然和人为两方面因素有关。自然因素是指中国的季风气候,森林火灾主要发生在冬季风占主导的月份和季节,前人研究表明在中国东北、华北地区森林火灾多出现在春、秋两季,华东、华中、华南和西南地区森林火灾多发生在冬季和春季;人为因素是指火源,由于引起森林火灾发生的

两大火源是烧荒烧炭和上坟烧纸,根据2001~2013年中国森林火灾发生的火源数据,统计两者之和约占总火源数据的49%,而这两种火源都是由于人类活动产生的,并且主要发生在一年中的冬、春两季节。在年际时间尺度上,近64年来中国森林火灾发生次数整体呈阶梯状下降趋势,相关性分析表明,森林火灾的这种趋势和同期降水无关,虽与温度呈负相关,但与温度越高森林火灾越多的认识相左,因此温度和降水并不是影响此期森林火灾的决

定性因素。通过查证历史资料发现,人为因素的政策法规实施对此期中国森林火灾发生次数的影响较大。本文研究中国森林火灾在短时间尺度上发生的规律,目的为森林防火提供科学依据,减少森林火灾带来的巨大损失。

**致谢:**感谢廖君、尹斌、梁家昌和贺可洋对此论文提出的一些宝贵意见和论文写作过程中的帮助。

### 参考文献:

- [1] 胡志东. 森林防火 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2003: 3.
- [2] 唐丽华. 森林防火地理信息系统 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014: 1-2.
- [3] 杨斯导, 曾庆峰, 张月维, 等. 广东省森林火灾现状与趋势分析 [J]. 森林防火, 2007 (3): 20-22.
- [4] 黄红. 贵州省森林火灾特征分析 [J]. 贵州气象, 2009, 33: 62-64.
- [5] 刘玉英, 石大明, 胡轶鑫. 吉林省春秋季节林火气象指数的建立及其变化特征 [J]. 暴雨灾害, 2013, 32 (1): 77-82.
- [6] 刘学松, 郑文达, 宋丽艳, 等. 杭州市森林火灾现状分析及预防对策 [J]. 浙江林业科技, 2009, 29 (2): 63-67.
- [7] 郝润全, 高建国, 杨勇. 内蒙古大兴安岭林区雷击火灾气候成因分析 [J]. 气象科技, 2008, 36 (1): 87-90.
- [8] 狄丽颖, 孙仁义. 中国森林火灾研究综述 [J]. 灾害学, 2007, 22 (4): 118-123.
- [9] 吕爱锋, 杨佩国. 我国森林火灾与气温·降水的关系及其时空差异研究 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39 (25): 15332-15336.
- [10] 田国华, 杨松. 我国31个地区森林火灾时空分布特征 [J]. 森林防火, 2013 (2): 10-14.
- [11] 杜永胜, 王立夫. 中国森林火灾典型案例: 1953-2005 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [12] 刘祖军, 刘健. 林火发生时间规律探讨和趋势预测 [J]. 林业勘查设计, 2007 (2): 62-65.
- [13] 保俊春, 方荣刚. 陆良县森林防火的历史、现状与对策研究 [J]. 林业调查规划, 2009 (3) 4 (1): 66-72.
- [14] 茅史亮, 杨幼平, 贾伟江, 等. 浙江森林火灾发生规律与发展趋势研究 [J]. 浙江林业科技, 2004, 24 (1): 16-20.
- [15] 李红革, 薛梅, 王晓明. 谈森林火灾与气象要素的密切关系 [J]. 林业勘查设计, 2009 (4): 109-111.
- [16] 陶琼. 曲靖市森林火灾发生规律及对策探讨 [J]. 吉林林业科技, 2015, 44 (2): 55-59.
- [17] 苏立娟, 何友均, 陈绍志. 1950-2010年中国森林火灾时空特征及风险分析 [J]. 林业科学, 2015, 51 (1): 88-96.
- [18] 周明昆, 王永平, 高月忠. 气象因子对云南大理森林火灾的影响 [J]. 四川林业科技, 2012 (6): 48-51.
- [19] 谢克勇, 黄志辉, 周勇平, 等. 森林火灾与气象因子的相关性分析 [J]. 江西林业科技, 2008 (5): 53-55.
- [20] 王秋华, 李伟, 刘世远, 等. 滇中昆明地区森林火灾的火环境研究 [J]. 江西农业大学学报, 2015, 37 (1): 108-113.
- [21] 陶玉柱, 杨会侠, 刘春潇, 等. 影响森林火灾发生规律的因子分析 [J]. 安徽农业科学, 2015, 43 (10): 162-164.
- [22] 国家林业局. 历史的记忆: 新中国成立60周年林业大记事 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2009: 22-53.
- [23] 胡涌. 国务院专家组关于大兴安岭特大火灾后恢复森林资源和生态环境的考察报告会 [J]. 北京林业大学学报, 1987, 3 (9): 334.
- [24] 郑怀兵, 张南群. 森林防火 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 12-13.
- [25] 卢实. 狠抓四项建设加强森林防火工作 [J]. 森林防火, 1989 (4): 16-17.
- [26] 毕忠镇. 中国的森林防火工作 [J]. 火灾科学, 1993, 2 (1): 1-9.

(下转第41页)

# 主动式避雷针与常规避雷针在高原露天堆场 实际应用中的验证分析

杨波, 周泓

(玉溪市气象局, 云南 玉溪 653100)

**摘要:** 高原露天堆场的直击雷防护设计, 国内各类防雷规范均进行了介绍, 但无明确规定, 缺乏规范性指导。通过结合工程实际经验及国内外相关做法, 从高原露天堆场的使用性质、经济价值、雷击灾害带来的危害等方面进行分析, 初步提出主动式避雷针与常规避雷针在高原露天堆场直击雷防护中的应用对比, 对两种避雷针进行验证分析, 对高原地区露天堆场直击雷防护设计提供参考。

**关键词:** 高原露天堆场; 直击雷防护设计; 主动式避雷针与常规避雷针; 验证分析

**中图分类号:** P49, TM865      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-7852(2016)01-0036-06

## 0 引言

随着现代企业的发展及市场的需求, 易燃物品露天堆场正越来越多的被各大型现代企业用于存储货物或原材料的堆放。高原露天堆场与封闭式仓库相比有其自身的优势: 资金投入少、通风方便、原材料自然淳化便利等。但与封闭式仓储相比, 也有其自身的短处: 防晒、防雨、防火、分类、堆放等都要要求较高, 对于自然灾害中的雷击也是易燃物品露天堆场需要重点考虑的因素之一。本文就红塔集团玉溪卷烟厂常里露天烟叶堆场的直击雷防护为例, 对高原露天堆场直击雷防护中主动式避雷针与常规避雷针进行对比验证, 提供科学的选用方法。

## 1 国内相关规范<sup>[1]</sup>的理解

GB50057-2010《建筑物防雷设计规范》是通过大量调查研究后颁布的现行防雷设计规范, 也是

中国各类防雷规范、图集的高度集中体现, 适用于新建、扩建、改建建(构)筑物的防雷设计。其中第4.5.5条: “粮、棉及易燃物大量集中的露天堆场, 当其年预计雷击次数大于或等于0.05 h, 应采用独立接闪杆或架空接闪线防直击雷。独立接闪杆和架空接闪线保护范围的滚球半径可取100 m。在计算雷击次数时, 建筑物的高度可按可能堆放的高度计算, 其长度和宽度可按可能堆放面积的长度和宽度计算。”同时, GB 50057-2010还明确说明: “虽然粮、棉及易燃物大量集中的露天堆场不属于建筑物, 但本条仍规定当其年预计雷击次数大于或等于0.05 h, 应采用独立接闪杆或架空接闪线防直击雷以策安全。年预测雷击次数大于或等于0.05 h是参照第三类防雷建筑物的规定。”由此推断, 规范对于一般易燃物品的露天堆场防雷设计提倡参照第三类建(构)筑物进行设计<sup>[1-3,9]</sup>。但规范所述的“第三类建筑物”大多特指钢筋混凝土结构, 而露天堆场所放物品不是钢筋混凝土, 因此不能归为第三类建筑物, 应按所堆物品的重要性相应地提高

收稿日期: 2015-11-09; 修订日期: 2016-01-08.

基金项目: 云南省地方标准制修订资助, 玉溪市气象局科研项目资助.

作者简介: 杨波(1978-), 男, 云南省玉溪市人, 工程师, 主要从事雷电防御、防雷装置检测、雷电灾害鉴定及研究、雷击风险评估等工作.

其雷电防护等级。以常里露天烟叶堆场所堆放烟叶为例,一旦雷击引起火灾烧毁烟叶,将带来无法弥补的损失,进而影响卷烟厂全年生产计划,因此,可将该堆场防雷级别相应提高到第二类,如所堆放物发生火灾后还会引起爆炸,则防雷级别应再一步提升至“一类防雷”。

## 2 常里露天堆场位置概况

红塔集团玉溪卷烟厂常里露天烟叶堆场中心位置地理坐标为北纬  $24^{\circ}18'23.88''$ , 东经  $102^{\circ}28'52.7''$ , 海拔高度为 1 667 m, 占地面积约为 20 多  $\text{hm}^2$ ; 堆场东方有 30 m 高的小山包, 北方和东北方向有部份当地村民民房, 其他方向较比开阔; 堆场由南向北分平整为 5 个阶梯状分场, 主要从利于排水考虑; 堆场大门外即为红大路, 对烟包的运送及为方便。

## 3 常里堆场气象条件概况

红塔集团常里露天堆场处于低纬度高原地区, 属于亚热带季风气候, 由于受印度洋、北部湾温湿

与干燥气流综合影响变化, 具有冬春干季、夏秋雨季的气候变化特征, 温和湿润。年平均气温  $15.4 \sim 24.2^{\circ}\text{C}$ , 最高  $32.2^{\circ}\text{C}$ , 最低  $-3^{\circ}\text{C}$ , 相对湿度 75.3%, 绝对湿度 13.6 毫巴, 对烤烟的自然醇化极为有利; 年平均降水量  $787.8 \sim 1\,000\text{ mm}$ , 多集中于 6~10 月, 尤其是雨季集中于 5~10 月, 大、暴雨多集中 6~8 月, 范围小、强度大的“单点暴雨”频繁发生, 年平均雷暴日在 70 d 以上, 是全国雷击危害最为严重的地区之一(图 1~图 4), 加强雷电防护工作刻不容缓。

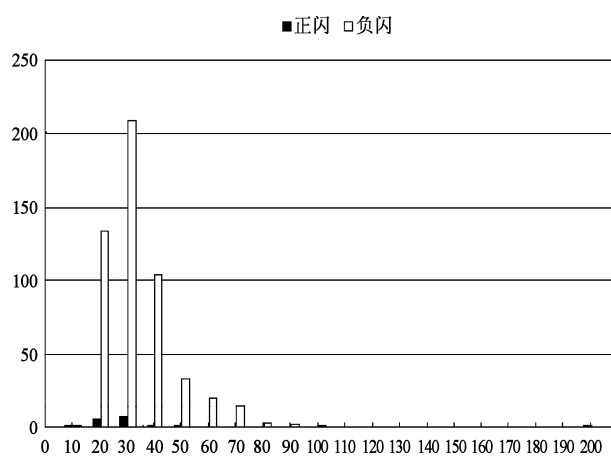


图2 2010~2015年常里露天堆场3 km范围内闪电强度分布图(闪电定位监测)

Fig. 2 Lightning intensity distribution map (lightning location monitoring) within a radius of 3 kilometers of the Changli open-air yard, 2010~2015

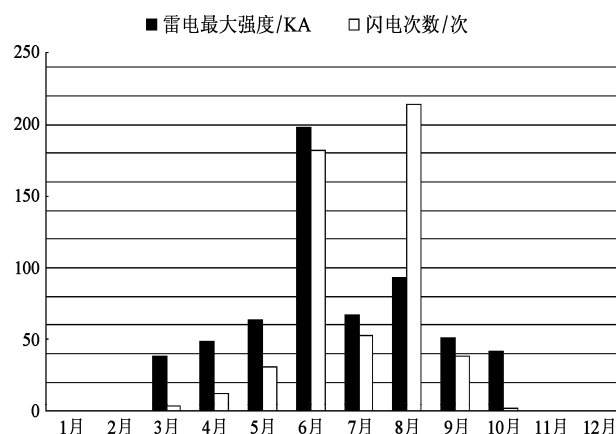


图3 2010~2015年常里露天堆场3 km范围内闪电最大强度、闪电次数统计图(闪电定位监测)

Fig. 3 The maximum intensity of lightning and lightning frequency statistical chart (lightning location monitoring) within a radius of 3 kilometers of the Changli open-air yard, 2010~2015



说明:“-”表示负闪电,“+”表示正闪电

Description:“-”negative lightning,“+”positive lightning

图1 2010~2015年常里露天堆场3 km范围内闪电位置分布图(闪电定位监测)

Fig. 1 Lightning location distribution (lightning location monitoring) within a radius of 3 kilometers of the Changli open-air yard, 2010~2015

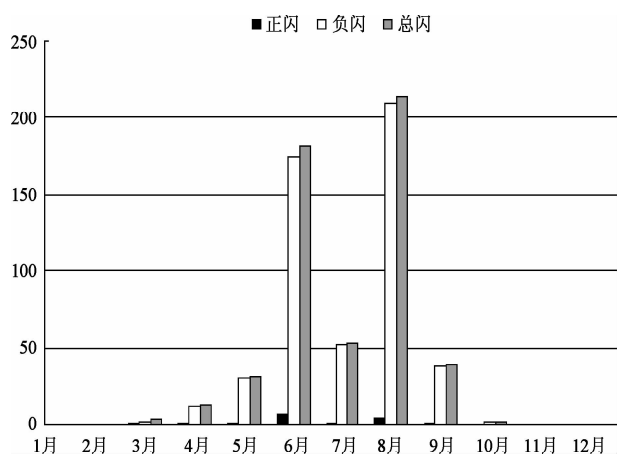


图4 2010~2015年常里露天堆场3 km范围内闪电月分布图

Fig. 4 Lightning monthly distribution map within a radius of 3 kilometers of the Changli open-air yard, 2010~2015

## 4 主动式避雷针与常规避雷针在常里堆场运用对比

### 4.1 常规避雷针原理

一般情况下,人们所指的常规避雷针是“富兰克林式”避雷针(有时称为接闪器、接闪杆等)。其特点是通过金导线接入地下,与地面形成等电位差,利用自身的高度,使电场强度增加到极限值的雷电云电场发生畸变,开始电离并下行先导放电;避雷针在强电场作用下产生尖端放电,形成向上先导放电;两者会合形成雷电通路,随之泻入大地,使被保护物达到避雷效果。实际上,避雷针是引雷针,它可将比较靠近的雷电引来并将雷电电流通过自身的接地导体传向地面,避免保护对象直接遭雷击<sup>[4]</sup>。常里堆场建设初期,设计方按滚球法计算后,在堆场内5个分场共设有15 m高常规避雷针40多基,按照国有现行防雷技术规范要求,基本能满足雷电防护需要<sup>[5,10,11]</sup>。实践证明,它是经济有效的防护手段。但这种避雷针放电是被动的,保护范围有限(堆场内烟包堆放位置和车辆行进线路均按安全距离设置,堆场利用率大大降低),雷云还是会穿过保护区,击中被保护物<sup>[6,8,10]</sup>。

2012年8月13日,在强对流天气的作用下,常里堆场地区产生了一次强雷暴天气过程,由于常规避雷针的局限性,堆场内皮带运输机专用电源柜被雷直接击中,导致第二天的烟包御放入库工作在启用备用配电柜后才得以继续开展;由于雷闪过

大,总配电柜安装的浪涌保护器(SPD)也在本次雷闪过后损坏。经查阅云南省雷电监测网监测资料,当天上午7:50在堆场内有过一次强度为-92.8 kA,陡度为-11.9的雷闪。

### 4.2 主动式避雷针原理

主动式避雷针的工作原理是:主动式避雷针与常规避雷针相比,其增设了激发器(触发装置)。当雷暴来临时,所产生的能量是相当巨大的(每米达到几千伏),主动式避雷针的空气终端(针尖)从自然界的电场中吸收与下行先导相反的异种电荷能量并迅速聚集,下端能量收集电极把电能量贮存在触发装置内,每当闪电发生前,电场强度会迅速递增,当贮存的能量达到一定强度,空气终端便会把信息输送到电触发装置,在空气终端的尖端便会产生火花,并使尖端周围的空气离子化、形成尖端放电现象,即向上产生上行先导,从而实现提前接闪。主动式避雷针由针尖、储能控制装置、下端能量收集电极、支撑杆(含引下线)及接地5部分组成。针尖部分又由非线性控制单元、上端电极、针本体及绝缘支架4个主要元件组成(图5)。

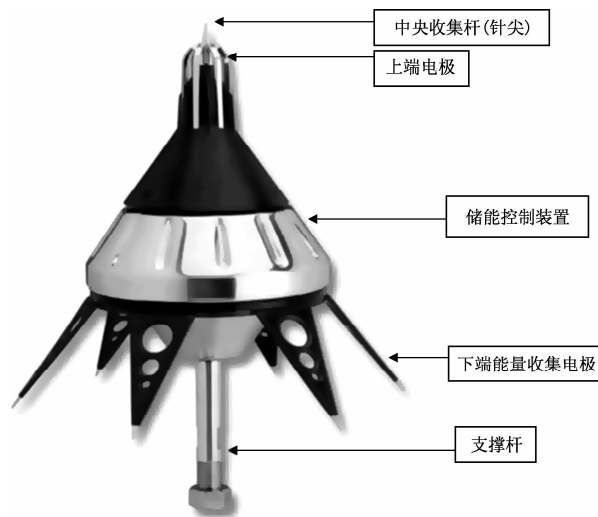


图5 主动式避雷针示意图

Fig. 5 Early streamer emission lightning rod of schematic

当主动式避雷针附近的临地面电场强度较低时(如雷云离避雷针针及被保护对象距离较远等情况),雷云不会对地面物体发生放电,此时主动式避雷针针头的贮能装置处于贮藏雷云电场能量状态。由于上端电极的作用,针尖上部部件(主针针尖和上端电极)处于电位浮动状态,与周围大气电位差小,因此几乎不发生电晕放电,即保证了在引

发发生前针头附近的电荷很少的要求。当雷云电场上升到预示它可能发生对避雷针及周围被保护物发生雷闪时,储能装置立即转入能量释放状态。此时,储能控制装置向针本体释放所吸收的能量,使针体电位产生跳跃式突升。由于针头的结构配置,上端电极的电位将瞬时保持原有电位不变,而使针点附近电场严重畸变,由于上述两种因素联合作用的结果,针尖顶部电场强度剧烈上升,针尖附近空气迅速放电,形成很强的放电脉冲,因没有电荷的阻碍,该放电脉冲在雷云电场作用下快速向上发展成上行先导,去拦截雷云底部先导或进入雷云电荷中心。一次引发也可能是失败的,多次引发总是可以成功的。在一个失败的向上先导发展停止以后,储能装置立即恢复到接收能量的状态,放电留下的残余电荷在停歇的瞬间迅速消失,在外界电场没有减弱的情况下,下一次动作又继续。整个过程极短,而且在电场愈高时,动作频率愈高,保证了引发的可靠性。

在常里堆场安装常规避雷针被雷击后,经相关工程人员和使用方共同研究,最终决定换用主动式避雷针代替常规避雷针。经现场勘测、计算,整个堆场使用范围内共安装5基主动式避雷针,改用主动式避雷针进行堆场防雷以来,常里堆场未发生因雷击引起的停电或火灾等安全事故;同时,由于场内避雷针数量的锐减,场内道路得以重新设置,烟包堆放位置也得以扩充(比原堆放数量增加约3000多包),雷电防护效果较为明显。

#### 4.3 主动式避雷针与常规避雷针在常里堆场运用对比<sup>[5,13,14]</sup>

避雷针自身不能阻击雷电的产生,但目的都是通过畸变电场将雷电放电先导引向自身而达到保护被保护物的目的。两种不同类型的避雷针源于两种不同的防雷理念,因此雷电防护效果也大不一样。对常里堆场值班人员采访中了解到,换装主动式避雷针后,堆场在雷雨过程中的停电现象没有了;雷击时配电屏起火花的现象也没发现过。通过对比相邻某厂的常规避雷针防护效果,主动式避雷针与常规避雷针相比,其保护特性明显优于常规避雷针。主要体现在以下几方面<sup>[1,6,12]</sup>。

(1) 保护范围不同。常规避雷针按照GB 50057-2010《建筑物防雷设计规范》标准采用滚球法计算保护范围。大量的研究及实践证明,单独一基常规避雷针按照滚球法计算获得的保护范围极

为有限,且其绕击率在1%左右,可见使用常规避雷针时被保护物的危险性还是比较大的。而采用主动式避雷针有一个相当大的几乎不遭受绕击的保护区域。例如当绕击概率不大于0.001%时(显然在这样的绕击概率下,被保护对象遭绕击的可能性是相当相当的)保护角度高达550,相比之下富兰克林避雷针实际上几乎没有不受绕击的区域。

由于保护范围不同,导致两种避雷针在常里堆场的安装位置和数量上也产生变化:常规避雷针由于保护范围有限,在本例中,共设置有40多基,安装位置也比较靠近被保护物(烟包),导致整个堆场内避雷针数量多,堆场的车辆通行道路及烟包堆放位置设置上受到极大的限制,由于避雷针的阻挡产生了二次搬运;主动式避雷针保护范围大于常规避雷针,因此安装数量与常规避雷针相比上大为减少,安装位置占地不多,堆场内的车辆行驶线路得以最大限度的满足,避免了二次搬运,节省了搬运资金的投入。

(2) 是否有反击现象发生。常规避雷针把雷电引到自身的顶部后,其强大的雷电流在入地时,如果接地电阻和引下线的阻抗过高或是避雷针对保护物之间的距离小于安全距离时,会形成高电压,造成避雷针及引下线对被保护物的反击。而主动式避雷针用产生突发的向上先导来发挥保护作用。这种向上先导可以直接发展到云中形成上行雷,也可以在空中与正在发展的下行先导相拦截,形成连接先导。因而可使雷击大电流转化为小电流,降低雷击电流的陡度,使雷电流“持续不断”的泄放,从而避免了避雷针对被保护物的反击。

(3) 放电时间不同。避雷针要产生向上先导,必须在其针尖有足够的空气电离,产生大量离子。常规避雷针是将雷云所带的带电电荷(一般雷云80%~90%所带的是负电荷)引到避雷针针尖,并导入入地,将雷云的雷电能(也即带电电荷)导泄掉,因此常规避雷针的向上先导触发时间( $T_1$ )相对较长。而预放电式避雷针特殊的电离过程,使之能比其他临近点提前产生向上先导,从而达到预先放电的目的,也就是主动式避雷针具有较短的向上先导触发时间( $T_2$ )。这个触发时间的提前量,称为预放电时间( $\Delta T$ :单位 $\mu s$ ), $\Delta T = T_1 - T_2$ 。法国国家标准NFC17-102/1995中,预放电时间 $\Delta T$ 定义为:主动式避雷针发出的向上先导平均触发时间与简单型避雷针发出的向上先导平均触发时



间的平均值之差。

为验证主动式避雷针与常规避雷针放电击穿时间的长短,国家电力公司武汉高压研究所在2002年9月,依据国家标准GB/T 16927.1-1997(高电压试验技术第一部分:一般试验要求)、GB/T 16927.2-1997(高电压试验技术第二部分:测量系统)及法国国家标准NF C17-102/1995的有关条款,在高压实验室相同的测试条件下,对两种避雷针放电击穿时间进行了比较试验,结果可以看出预放电式避雷针具有更短的放电击穿时间。

(4) 引雷能力的不同。常规避雷针主要是通过自身“身高”优势,使雷云下靠近自身的电场发生畸变,这种方式尽管简单,但存在绕击的可能性,按照滚球法确定的保护范围有时会被雷电“巧妙”绕过;由于常规避雷针是被动式地泄放雷电流,因此常规避雷针会引起感应过电压,在强大的雷电流(数10~100 kA)以极快的速度(微秒级)沿避雷针及引下线进入地中的过程中,会在被保护物上形成感应过电压而造成事故,对露天堆场内的用、配电设备引起不必要的跳闸等现象的发生。而主动式避雷针在高度与常规避雷针一致的前提下,自身利用产生突发的向上先导来发挥保护作用,这种向上先导可以直接发展到云中形成上行雷,也可以在空中与正在发展的下行先导相拦截,形成连接先导,因而可使雷击时的大电流转化为小电流,降低雷击电流的陡度和减少绕击,减小了感应过电压的产生

机率,同时引雷的能力也较常规避雷针大为增强。

而按照国家电力公司武汉高压研究所所做实验,主动式电避雷针的放电时间比常规避雷针平均提前13.3  $\mu\text{s}$ ,并且可将下行雷闪转化为幅值低、陡度小的上行雷闪,有效减少感应过电压等其他次生危害。

## 5 讨论

红塔集团常里堆天堆场设置独立避雷针,主要是为了保护户外烤烟包堆、烟包转运设备、配电设施及工作人员免受雷击。通过对两种避雷针的比较可以看出。主动式避雷针是在常规避雷针原理的基础上,引入了“促进电离”这一关键环节,比常规避雷针具有更早的先导放电,从而扩大了保护范围(即保护半径),提高了保护的安全系数。

红塔集团常里露天堆场将常规避雷针改设主动式避雷针以来,运行的实际情况证明采用的主动式避雷针对于露天堆场的防直击雷是切实有效的,同时,对堆场内供、配、用电系统也有积极的保护作用。此外,红塔集团本部生产区、昆玉高速公司沿线收费站等也采用了主动式避雷针作为防直击雷保护,经多年的使用效果来看,工作人员均反映防直击雷效果良好,同时,对感应雷的防护也起到一定的辅助作用。

## 参考文献:

- [1] GB50057-2010 建筑物防雷设计规范 [S].
- [2] DL/T620-1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合 [S].
- [3] DL/T621-1997 交流电气装置的接地 [S].
- [4] SDJ7-97 电力设备过电压保护设计技术规程 [S].
- [5] 姚赤枫. 关于提前放电(ESE)避雷针的测试方法和结果 [J]. 建筑电气, 2003 (2).
- [6] GB50601-2010. 建筑物防雷工程施工与质量验收规范 [S].
- [7] ICE 62305-2 FDIS Protection Aga-inst Lightning Part 2: Risk Management.
- [8] 郑栋. 第五届中国国际防雷论坛 [C]. 中国气象学会雷电防护委员会. 2006年.
- [9] 罗敏. 提前放电避雷针的研究与应用 [J]. 公用工程设计, 2006, 9 (12): 66-69.
- [10] 张林海. 谢筠. 董哲. 提前放电避雷针在村庄防直击雷中的应用 [J]. 中国科技博览, 2010 (1).
- [11] Cooray V. Lightning protection [M]. London: Institution of Engineering and Technology. 2010: 182-239.
- [12] Uman M A. The lightning discharge [M]. New York: Cambridge University Press, 2008: 20-21.
- [13] Taniguchi S, Tsuboi T, Okabe S, et al. Improved method of calculating lightning stroke rate to large-sized transmission lines based on electric geometry model [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2010, 17 (1): 53-62.
- [14] Warner T A. Observations of simultaneous multiple upward leaders from tall structures [C] //Proceedings of the 30th International Conference on Lightning Protection. Cagliari, Italy: IEEE, 2010: 1069-1-1069-4.

## COMPARISON AND VERIFICATION OF THE ACTUAL APPLICATION OF THE ACTIVE LIGHTNING ROD AND THE CONVENTIONAL LIGHTNING ROD IN THE HIGH ALTITUDE OPEN YARD

YANG Bo, ZHOU Hong

(Yuxi Meteorological Office of Yunnan Province, Yuxi 653100, Yunnan, China)

**Abstract:** Various of domestic lightning protection standards have introduced direct lightning stroke of design at open plateau, but there was no definite regulations and lack of standard guidance. The experience of engineering practices combined with technology at home and abroad in this article, applying character, economic value, lightning strike disaster of open plateau have been analyzed. Application contrast of active lightning rod and conventional lightning rod protecting from direct lightning strike have been put forward preliminary. Verification analysis on these two lightning rods could give reference for direct lightning stroke of design at open plateau.

**Key words:** open Plateau; direct lightning stroke of design; active lightning rod and conventional lightning rod; contrast Verification

~~~~~  
(上接第35页)

STUDY ON CHANGE OF FOREST FIRES ON SHORT TIME SCALES IN CHINA

YU Xiao – shan, SHEN Cai – ming

(Key Laboratory of Plateau Lake Ecology and Global Change and Yunnan, Provincial Key Laboratory of Plateau Geography Process and Environmental Changes, College of Tourism and Geographical Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, Yunnan, China)

Abstract: Using the observational data of national forest fires in China from 1950 to 2013, the occurrence patterns of national forest fires on short time scales are analyzed and revealed. high frequencies of forest fires occur between 8:00 and 16:00 on the daily scale, which are closely related with the time point of daily changes in temperature, humidity and frequent human activities; on the monthly and seasonally scale, more forest fires occur in the spring and less in the summer, which are associated with monsoon climate in China and some specific human activities; on the interannual scale, the occurrence of forest fires in China since 1950 shows a ladder – like decreasing trend, and this study suggests that the impact of climate changes to this trend is not obvious, this trend may be influenced by the policies and regulations of the human factors.

Key words: forest fire; short time scales; change patterns

洱海流域水污染排放的人文因素解析

杨 振, 江 琪, 卢中辉

(华中师范大学 城市与环境科学学院, 地理过程分析与模拟湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430079)

摘要: 中国湖泊流域面积较大, 大量湖泊水体富营养化情势不容乐观。洱海是中国第七大淡水湖, 当前正处于可逆的富营养化初期阶段。采用改进的指数分解法对洱海流域主要人文因素的污染增、减排效应进行考察, 结果表明 2008 年以来流域人口数量变化相对和缓, 人均 GDP 增长较快, 三次产业发展迅速; 主要水污染物 COD、TN、TP 大多来自于种植业和畜禽养殖业, 氨氮主要来自种植业、畜禽养殖业、城乡生活和旅游业; COD 的排放强度最高, TN 次之, TP 和氨氮最低, 各污染物的工业源排放强度下降最快, 旅游和生活源排放强度下降最慢; 各类污染的增排因素主要为人口和经济水平指标, 减排因素主要为产业结构和排放强度指标, 其中经济水平提升的增排效应与排放强度降低的减排效应相对突出, 应成为流域控污减排方案制定的关注要点。

关键词: 水污染物; LMDI 模型; 人文因素; 分解效应; 洱海流域

中图分类号: K901, K928.42, X32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-7852(2016)01-0042-07

0 引言

中国湖泊众多, 湖泊流域面积较大^[1]。在全球气候变化和流域经济社会发展的双重压力下, 大量湖泊水体污染控制与治理情势严峻, 水体富营养化状况不容乐观。相关的理论研究和实践工作已经证实, 对湖泊污染的控制和治理需要从自然、人文两个方面协同展开, 方能事半功倍^[2]。一些学者已经从水文^[3]、土壤^[4]、植被^[5]、地貌类型^[6]、气候变化^[7]等自然因素视角对湖泊污染减排进行过探索, 取得较多成果。也有一些学者从人口^[8]、经济^[9]、土地利用^[10]、环境政策^[11]等人文因素视角进行过考察, 但相关成果多停留在现象描述和理论分析层面, 比较缺乏对各因素驱动效应的定量分析。

相对于污染排放的自然因素研究, 当前迫切需要加强人文因素的定量解析工作^[8]。一般来说, 在较短时间尺度内, 人文因素及其组合是影响流域水污染排放格局的基本力量。来源于生产、生活各方面的

COD、TN、TP、氨氮等物质的过多排放是引起湖泊富营养化的基本成因。综合研究各人文因素对主要水污染物排放的定量效应, 有利于控污减排方案的优化设计和实施。在众多研究方案中, 将流域污染排放量的变化按影响因素进行分解是一个较新的思路。事实上, 如果可以将前、后两个时期某污染物的排放量变化合理地分解为人口、经济和技术等典型人文因素的变化, 并分离出各因素对变化的贡献, 则能够在一定程度上追溯变化的原因, 为该污染物的减排设计提供指示路径。本研究以云南洱海流域为例, 在分析人文因素和污染变化特征的基础上, 根据指数分解法建立流域污染排放的人文因素分解模型, 重点考察各因素的污染增排或减排效应大小、方向及作用机理, 同时提出相应的对策建议, 为洱海及全国类似湖泊的综合治理提供科学基础。

1 研究区概况

洱海流域位于云南省境内, 地处澜沧江、金沙

收稿日期: 2015-10-16; 修订日期: 2015-12-08.

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项任务 (2013ZX07105-005-04-02) .

作者简介: 杨振 (1978-), 男, 山东省菏泽市人, 博士, 副教授, 主要从事生态经济与人文地理研究.

江和元江3大水系的分水岭地带,属澜沧江-湄公河水系,面积约2 565 km²,在行政上辖大理市、洱源县的17个乡镇单元。2013年常住人口有83.75万,国内生产总值331.32亿元,人均39 561元,产业结构为0.11:0.48:0.41。农村人口占60%左右,经济收入多以传统的大蒜种植和奶牛养殖为主。旅游资源丰富,旅游业发展势头较好,餐饮、宾馆众多,且集中分布于洱海周边。境内总体上属亚热带高原季风气候,光照充足,雨热同季,干湿分明。有弥苴河、罗时江、波罗江及苍山十八溪等大小河溪117条,自南向北分布有洱海、西湖、茈碧湖、海西海等4个较大湖泊。其中,洱海是我国第七大淡水湖泊,也是苍山洱海国家自然保护区的核心景观,孕育了大理地区近四千年的文明历史,堪称大理人民的“母亲湖”。近年来,在云南“滇西中心城市”建设战略驱动下,洱海流域工业化、城镇化进程加快,洱海水质出现了由Ⅱ类向Ⅲ类的明显下降趋势,开始由中营养状态向富营养状态转变,当前正处于关键的、敏感的、可逆的营养状态转型时期^[12]。如果能及时采取有效的控污、治污措施,尚能够遏制情势的进一步恶化,最终达到全湖Ⅱ类水质目标。

2 数据与方法

人文因素概念的内涵非常丰富,不同学科、专业的研究者对该概念的理解不尽相同。针对研究目标,本文在系统梳理现有文献的基础上^[13],将影响洱海流域水污染排放的人文因素聚焦于人口、经济与技术3个方面。同时,根据指标的代表性和数据的易得性等原则,选择人口数量、经济水平、产业结构与污染排放强度等4个具体指标来描述。从2013年8月起,课题组多次走访大理州、大理市和洱源县的统计局、国土局、环保局等职能部门,听取相关专家对洱海保护的意见,同时获取了包括社会经济、作物种植、畜禽养殖、居民生活、旅游服务等方面的统计年鉴、研究报告、数据汇编等基础资料,建立了本研究的数据库。在数据整理、计算过程中,特别注意对不同渠道来源的资料进行甄别、筛选和匹配处理。

拟采用因素分解法考察洱海流域水污染排放的人文因素驱动效应。一般来说,因素分解法可分为结构分解法和指数分解法两种主要类型,尤以指数分解法应用最为广泛。但应用该方法的分解结果大

多存在未经解释的剩余项^[14]。Ang在迪氏指数分解法的基础上,提出一种以简单平均分解法为基础的对数平均权重分解法(Logarithmic mean divisia index, LMDI),因其“可不产生余值,且允许数据中包含零”等主要优点在能源消费、碳排放等领域得到广泛应用^[15]。本研究尝试使用该方法分析案例区水污染排放变化的因素分解问题。流域COD、TN、TP、氨氮等污染物的过多排放是引起洱海富营养化的主要原因。设 W 表示流域某污染物的年排放总量(t),则式(1)所示的LMDI恒等式成立。其中, W_i 表示第 i 产业的排放分量(t)。 P 、 GDP 分别表示流域人口数量(人)、国内生产总值(亿元)。 V_i 表示流域第 i 产业产值(亿元), V_i/GDP 表示第 i 产业产值比重, W_i/V_i 表示第 i 产业的污染排放强度($t/\text{亿元}$)。

$$W = \sum_i W_i = \sum_i P \times \frac{GDP}{P} \times \frac{V_i}{GDP} \times \frac{W_i}{V_i} \quad (1)$$

如果研究基期和报告期某污染物的排放总量分别为 W^0 和 W^T ,则流域污染排放增量的LMDI分解模型如式(2)所示。其中, ΔW_{tot} 表示某污染物的排放增量(t), ΔW_{POP} 、 ΔW_{GDP} 、 ΔW_{IS} 、 ΔW_{EI} 分别表示人口数量、经济水平、产业结构和排放强度等因素指标变化导致的增量效应份额(t),相应的计算公式如(3) - (6)所示(具体推导过程参见文献[15],这里不再赘述)。当某一因素的效应符号为正时,表示该因素对污染排放变化具有增量效应,否则为减量效应。

$$\begin{aligned} \Delta W_{tot} &= W^T - W^0 \\ &= \Delta W_{POP} + \Delta W_{GDP} + \Delta W_{IS} + \Delta W_{EI} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\Delta W_{POP} = \sum_i \frac{W_i^T - W_i^0}{\ln W_i^T - \ln W_i^0} \ln \frac{P^T}{P^0} \quad (3)$$

$$\Delta W_{GDP} = \sum_i \frac{W_i^T - W_i^0}{\ln W_i^T - \ln W_i^0} \ln \frac{GDP^T/P^T}{GDP^0/P^0} \quad (4)$$

$$\Delta W_{IS} = \sum_i \frac{W_i^T - W_i^0}{\ln W_i^T - \ln W_i^0} \ln \frac{V_i^T/GDP^T}{V_i^0/GDP^0} \quad (5)$$

$$\Delta W_{EI} = \sum_i \frac{W_i^T - W_i^0}{\ln W_i^T - \ln W_i^0} \ln \frac{W_i^T/V^T}{W_i^0/V^0} \quad (6)$$

3 研究结果与分析

3.1 洱海流域主要人文因素变动

统计分析表明,2013年洱海流域城乡常住人口为837 496人,相比2008年增加了10 183人,年均增长0.24%,总体变动比较和缓。2008~2013年,流域国内生产总值从165.09亿元增长到331.32亿元,5年翻了一番,年均增长14.95%;人均GDP从19 955元增长到39 561元,增长了1.98倍,年均增长14.67%,总体增长较快(图1)。同一时期,流域三次产业均保持较快发展态势,其中第一产业增加值由2008年的20.04亿元增长到2013年的35.05亿元,增加了1.75倍,年均增长11.83%;第二产业由75.20亿元增长到159.66亿元,增加了2.12倍,年均增长16.25%;第三产业由69.85亿元增长到136.60亿元,增加了1.96倍,年均增长14.36%。同时,产业结构由2008年的0.12:0.46:0.42调整为2013年的0.11:0.48:0.41,第二产业比重增加,第一、第三产业比重有所降

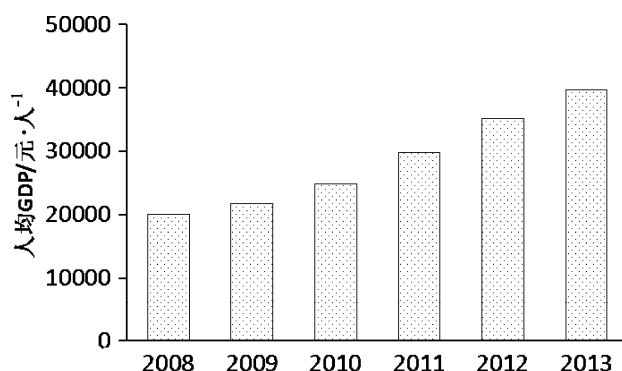


图1 2008-2013年洱海流域人均GDP变动

Fig.1 Change of Per capita GDP during 2008-2013 in Erhai basin

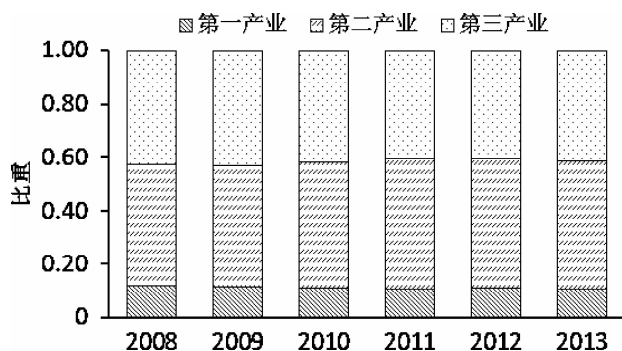


图2 2008-2013年洱海流域产业结构变动

Fig.2 Change of industrial structure during 2008-2013 in Erhai basin

低,其中第一产业下降速度较快(图2)。第二、三产业所占比重相当,一直保持较高水平,是拉动流域经济社会发展的“两架马车”。

3.2 主要水污染物排放变动

根据流域各部门提供的基础资料,参照《第一次全国污染源普查工作手册》等技术规程计算得到洱海流域2008年以来种植业、畜禽养殖业、城乡生活、工业、旅游业等5个方面的COD、TN、TP和氨氮排放数量。在计算过程中,还参考实地监测数据对计算结果进行适当调整。同时,参照相关文献的做法并考虑流域产业发展状况,将来自种植、畜禽养殖方面的污染排放归于第一产业,将来自工业的污染归为第二产业,来自旅游业、居民生活方面的污染归于第三产业。核算结果表明,流域不同类型污染物以及同类污染物的不同产业之间的排放数量存在较大差异。如表1所示,2013年流域三次产业合计排放COD 335 003.49 t,其中第一产业排放312 366.70 t,占93.24%;第二产业排放1 558.40 t,占0.47%;第三产业排放21 078.39 t,占6.29%。合计排放TN 27 558.06 t,源自第一、二、三产业的排放比重分别为85.36%、0.63%、14.01%;合计排放TP 7 907.90 t,三次产业所占份额分别为95.56%、0.26%、4.18%;合计排放氨氮5 642.99 t,三次产业所占份额分别为50.49%、1.81%、47.70%。因此,从总体上看,COD、TN、TP主要来自种植业和畜禽饲养业,第一产业占据绝对主导地位,应作为控污减排工作的重点。氨氮的来源相对均衡,第一、三产业平分秋色,第二产业份额很小。纵向比较发现,2008年以来4类污染排放总量和各产业排放分量均呈现小幅度增加趋势,COD、TN、TP和氨氮排放的年均增长率分别为3.16%、2.62%、2.65%、2.63%。三次产业的排放分量增长幅度也大致如此。

从排放强度指标看,流域4类污染物总体的排放强度和分产业的排放强度均发生明显下降(表2)。其中,COD排放强度从2008年的173.71 kg/万元下降到2013年的101.11 kg/万元,年均下降11.43%。同时,TN、TP、氨氮排放强度分别从14.67 kg/万元、4.20 kg/万元、3.00 kg/万元下降到8.32 kg/万元、2.39 kg/万元、1.70 kg/万元,年均下降12.02%、11.98%、12.01%。分产业看,4类污染排放强度均表现为第二产业降速最快、第一产业次之、第三产业降速最慢的基本特征,说明第一、三产业在降低排放强度方面具有较大潜力。

分类型看，在考察期内，4 类污染物中 COD 的平均排放强度最高，TN 次之，TP 第三，氨氮最低，分别为 135.98 kg/万元、11.56 kg/万元、3.35 kg/万元、2.32 kg/万元。

表 1 2013 年洱海流域分产业污染排放结构
Tab. 1 Structure of pollution emissions by industry
in 2013 in Erhai basin

名称	指标	第一产业	第二产业	第三产业	合计
COD	数量/t	312 366.70	1558.40	21 078.39	335 003.49
	比重/%	93.24	0.47	6.29	100
TN	数量/t	23 523.70	173.50	3 860.86	27 558.06
	比重/%	85.36	0.63	14.01	100
TP	数量/t	7 557.00	20.50	330.40	7 907.90
	比重/%	95.56	0.26	4.18	100
氨氮	数量/t	2 849.00	102.40	2 691.59	5 642.99
	比重/%	50.49	1.81	47.70	100

表 2 2008 – 2013 年洱海流域水污染排放强度变化
Tab. 2 Change of emission intensity of water pollutants
during 2008 – 2013 in Erhai basin

年份	COD/ kg·万元 ⁻¹	TN/ kg·万元 ⁻¹	TP/ kg·万元 ⁻¹	氨氮/ kg·万元 ⁻¹
2008	173.71	14.67	4.20	3.00
2009	164.17	14.30	4.02	2.80
2010	146.97	12.68	3.76	2.50
2011	120.49	10.34	3.04	2.10
2012	109.45	9.03	2.68	1.81
2013	101.11	8.32	2.39	1.70
平均	135.98	11.56	3.35	2.32

3.3 水污染排放的人文因素分解效应

采用上述 LMDI 模型计算得到洱海流域 2008 ~ 2013 年 4 类污染排放变化的人文因素分解效应。结果表明，相对于 2008 年，2013 年 COD 排放量增长了 48 224.49 t，在此变化中人口因素和经济因素的效应均为正值，二者分别贡献了 3 795.28 t、212 316.53 t，说明人口数量增加和经济水平提升对 COD 具有显著的“增排”效应；产业结构、排放强度因素的效应为负值，二者分别贡献了 -400 85.08 t、-127 802.24 t，说明产业结构调整（第一、三产业比重降低，第二产业比重提高）和排放强度降低对 COD 具有“减排”效应。在同一

考察期，流域 TN、TP 和氨氮排放量分别增加了 3 338.73 t、969.89 t、687.74 t，分解显示人口、经济因素效应也均为正值，产业结构、排放强度因素效应均为负值（图 3 – 图 6）。其中，人口数量增加对 3 类污染物的增排效应分别为 316.23 t、90.68 t、64.69 t，经济水平提升的增排效应分别为 17 690.38 t、5 072.57 t、3 618.64 t；产业结构调整减排效应分别为 -3 101.15 t、-979.65 t、-413.82 t，排放强度下降的减排效应分别为 -11 566.73 t、-3 213.71 t、-2 581.77 t。因此，从总体上看，4 类污染物排放的增排因素均体现在人口增长和经济水平提升两个方面，减排因素均体现在产业结构调整 and 排放强度降低两个方面，并且增排效应合力均高于减排效应合力，两类力量的对比导致各污染排放的增加。这种情况表明，流域人口增加和经济增长尚没有与污染排放完全“脱钩”，当前一段时间流域致力于产业结构调整 and 排放强度降低的减排思路具有一定合理性，获得初步成效。

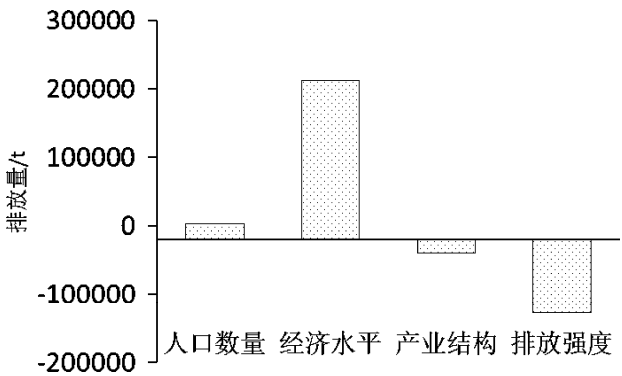


图 3 2008 ~ 2013 年洱海流域 COD 排放变化分解效应
Fig. 3 Decomposition effect of COD emissions
change from 2008 to 2013 in Erhai basin

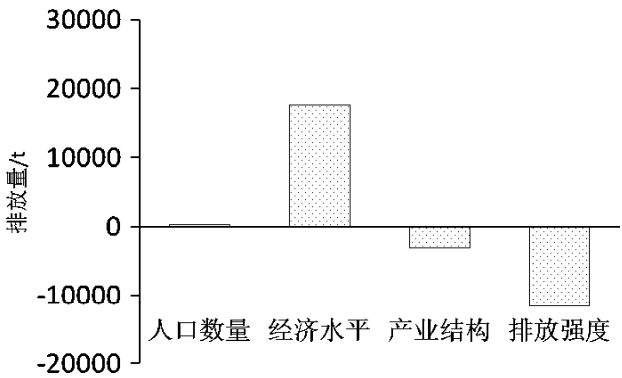


图 4 2008 ~ 2013 年洱海流域 TN 排放变化分解效应
Fig. 4 Decomposition effect of TN emissions
change from 2008 to 2013 in Erhai basin

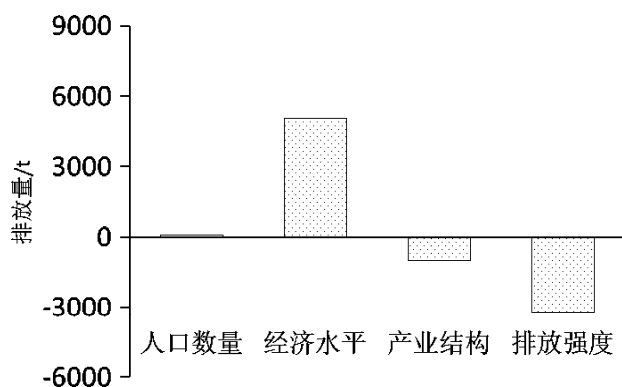


图 5 2008 ~ 2013 年洱海流域 TP 排放变化分解效应

Fig. 5 Decomposition effect of TP emissions change from 2008 to 2013 in Erhai basin

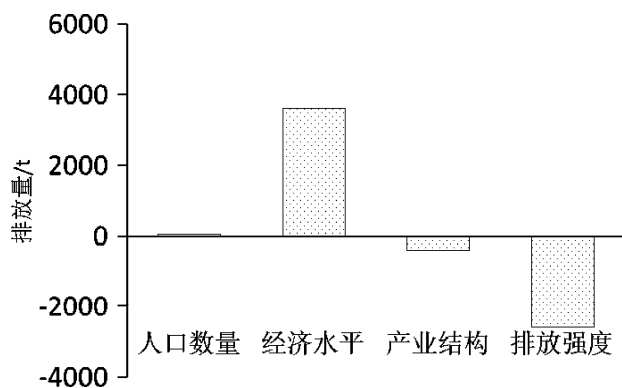


图 6 2008 ~ 2013 年洱海流域氨氮排放变化分解效应

Fig. 6 Decomposition effect of NH₃-N emissions change from 2008 to 2013 in Erhai basin

图 3 ~ 图 6 还显示，对两类增排因素而言，经济水平指标对 4 类污染物（COD、TN、TP、氨氮）排放变化的贡献份额远高于人口指标份额，大约是后者的 56 倍，是推动污染增加的主导因子。当前，流域人均 GDP 水平尚不足全国平均水平，如何协调经济增长与污染排放的关系，尽快推动二者之间的“脱钩”，是亟待解决的重要问题。对两类减排因素而言，排放强度降低的作用对 4 类污染排放变化的贡献均高于产业结构调整效应，分别是后者的 3.19 倍、3.73 倍、3.28 倍、6.24 倍，是推动流域污染减少的关键因子，说明相对于产业结构调整，流域近年来在降低各产业排放强度方面的努力更为重要，同时也说明流域产业结构调整控污尚有较大潜力。

分别对 2008 ~ 2009 年、2009 ~ 2010 年、2010 ~ 2011 年、2011 ~ 2012 年、2012 ~ 2013 年的 4 类污染排放变化进行分解，结果见表 3。该表显示，除 2010 ~ 2011 年以外，其他年份的人口效应均为

正值；经济水平效应在所有年份均为正值；产业结构效应除 2011 ~ 2012 年外均为负值。排放强度效应相对特殊，除 2008 ~ 2009 年外，其他年份对 COD、TN、TP 排放变化的贡献均为负值，所有年份里氨氮的贡献均为负值。同时，表 3 还显示各因素指标效应具有一定波动性，提示流域控污减排方案的设计应注意根据不同时期特点进行适当调整。

4 结论与讨论

随着气候变化和人类活动的加剧，湖泊富营养化已成为威胁水生态安全和流域可持续发展的关键因素之一。洱海是中国典型的高原淡水湖泊，当前正处于可逆的富营养化初期阶段^[2]。本研究采用改进的指数分解法对流域主要人文因素的污染增排（或减排）效应进行考察，基本结论如下：第一，2008 年以来流域人口数量变化相对和缓，人均 GDP 增长较快，三次产业发展迅速；第二，主要水污染物 COD、TN、TP 大多来自于种植业和畜禽养殖业，氨氮主要来自种植业、畜禽养殖业，城乡生活和旅游业；第三，COD 的排放强度最高，TN 次之，TP 和氨氮最低，各污染物的工业源排放强度下降最快、旅游和生活源排放强度下降最慢；第四，各类污染的增排因素主要为人口和经济水平指标，减排因素主要为产业结构和排放强度指标，其中经济水平提升的增排效应与排放强度降低的减排效应相对突出，是流域控污减排方案制定的关注要点。

根据以上研究，本文提出如下建议：第一，高度重视农村剩余劳动力转移工作，合理压缩流域常住人口规模，减少人口压力。第二，继续优化调整产业结构，适度降低第一产业比重，全面提升经济发展的绿色化内涵，推动实现经济增长与污染排放的快速“脱钩”。第三，优化调整产业内部结构，大幅削减传统的高耗肥大蒜面积，实施奶牛集中养殖，推行工业清洁生产，规范旅游餐饮、住宿业排污行为，加快建设污水收集管网和处理设施，等等。

与现有成果相比，本研究结论具有一定可比性，在一定程度上说明 LMDI 模型在水污染排放驱动因素分析方面具有较高适用性。但需要指出的是，流域水污染排放问题具有高度复杂性，在控污减排方案设计中需要对自然、人文因素统筹考虑，

表 3 2008 ~ 2013 年洱海流域主要水污染排放变化的逐年分解效应

Tab. 3 Decomposition effect of main water pollutants change with years during 2008 – 2013 in Erhai basin

名称	时期	变化量/t	人口数量效应/t	经济发展效应/t	产业结构效应/t	排放强度效应/t
COD	2008 ~ 2009	11 067. 70	2 349. 76	25 228. 70	- 17 891. 81	1 381. 05
	2009 ~ 2010	3 963. 52	- 2 270. 94	39 423. 62	- 5 018. 29	- 28 170. 87
	2010 ~ 2011	- 3 426. 48	1 466. 24	54 721. 41	- 15 633. 06	- 43 981. 07
	2011 ~ 2012	22 185. 85	595. 97	51 320. 06	17 351. 52	- 47 081. 70
	2012 ~ 2013	14 433. 90	1 624. 10	38 772. 15	- 18 095. 76	- 7 866. 59
TN	2008 ~ 2009	1 722. 08	201. 54	2 163. 92	- 1 368. 17	724. 79
	2009 ~ 2010	87. 15	- 196. 82	3 416. 74	- 461. 12	- 2 671. 65
	2010 ~ 2011	- 426. 43	126. 13	4 707. 23	- 1 290. 49	- 3 969. 30
	2011 ~ 2012	844. 69	50. 13	4 317. 14	1 331. 94	- 4 854. 52
	2012 ~ 2013	1 111. 24	133. 79	3 194. 02	- 1 322. 16	- 894. 41
TP	2008 ~ 2009	349. 58	57. 17	613. 83	- 450. 93	129. 51
	2009 ~ 2010	423. 00	- 56. 78	985. 78	- 123. 55	- 382. 45
	2010 ~ 2011	- 180. 73	37. 23	1 389. 46	- 403. 62	- 1 203. 80
	2011 ~ 2012	327. 52	14. 82	1 276. 20	444. 34	- 1 407. 84
	2012 ~ 2013	50. 52	39. 06	932. 55	- 450. 01	- 471. 08
氨氮	2008 ~ 2009	123. 85	40. 33	433. 04	- 116. 43	- 233. 09
	2009 ~ 2010	49. 71	- 38. 66	671. 10	- 114. 22	- 468. 51
	2010 ~ 2011	60. 18	25. 21	940. 70	- 204. 50	- 701. 23
	2011 ~ 2012	107. 91	10. 10	869. 78	149. 30	- 921. 27
	2012 ~ 2013	346. 09	27. 09	646. 77	- 114. 65	- 213. 12

方能取得理想成效。本研究仅从人口、经济和技术等视角对洱海流域的污染排放问题进行解析，得到一些有意义的结论和启示。在后续研究中，我们进一步考虑将经济、社会、管理、政策、工程、地理水文、气候变化等自然、人文因素整体纳入到 LM-DI 分析框架中，全面探索各因素及其联合交互作用

的增、减排效应，为洱海流域的定向、精准控污提供更多参考依据。

致谢：华中师范大学的朱丽霞、张辉、余斌参加了野外调查并整理、计算了部分数据资料，谨致谢忱。

参考文献：

[1] 马荣华, 杨桂山, 段洪涛, 等. 中国湖泊的数量、面积与空间分布 [J]. 中国科学 (地球科学), 2010, 41 (3): 394 – 401.

[2] 杨桂山, 马荣华, 张路, 等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略 [J]. 湖泊科学, 2010, 22 (6): 799 – 810.

[3] 李一平, 邱利. 湖泊水动力模型外部输入条件不确定性和敏感性分析 [J]. 中国环境科学, 2014, 34 (2): 410 – 416.

[4] 秦伯强, 张运林, 高光. 湖泊生态恢复的关键因子分析 [J]. 地理科学进展, 2014, 33 (7): 918 – 924.

[5] 吴锋, 战金艳, 邓祥征, 等. 中国湖泊富营养化影响因素研究—基于中国 22 个湖泊实证分析 [J]. 生态环境学报, 2012, 21 (1): 94 – 100.

[6] 曹金玲, 许其功, 席北斗, 等. 第二阶梯湖泊富营养化自然地理因素及效应 [J]. 中国环境科学, 2011, 31 (11): 1849 – 1855.

[7] 苏洁琼, 王烜, 杨志峰, 等. 考虑气候因子变化的湖泊富营养化模型研究进展 [J]. 应用生态学报, 2012, 23 (11): 3197 – 3206.

- [8] 项继权. 湖泊治理从工程治污到综合治理—云南洱海水污染治理的经验与思考 [J]. 中国软科学, 2013 (2): 81–89.
- [9] 潘珉, 高路. 滇池流域社会经济发展对滇池水质变化的影响 [J]. 中国工程科学, 2010, 12 (6): 117–122.
- [10] 许泉立, 杨昆, 李建, 等. 洱海流域用地变化的智能体建模与非点源污染响应模拟 [J]. 水利学报, 2014, 45 (11): 1272–1283.
- [11] 倪兆奎, 王圣瑞, 金相灿, 等. 云贵高原典型湖泊富营养化演变过程及特征研究 [J]. 环境科学学报, 2011, 31 (12): 2681–2689.
- [12] 张红叶, 蔡庆华, 唐涛, 等. 洱海流域湖泊生态系统健康综合评价与比较 [J]. 中国环境科学, 2012, 32 (4): 715–720.
- [13] 徐中民, 钟方雷, 焦文献. 水–生态–经济系统中人文因素作用研究进展 [J]. 地球科学进展, 2008, 23 (7): 723–731.
- [14] 李中杰, 郑一新, 张大为, 等. 滇池流域近20年社会经济发展对水环境的影响 [J]. 湖泊科学, 2012, 24 (6): 875–882.
- [15] Ang B W. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method [J]. Energy Policy, 2004, 32 (9): 1131–1139.
- [16] Ang B W. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide [J]. Energy Policy, 2005, 33 (7): 867–871.

HUMAN FACTORS ANALYSIS ON WATER POLLUTION EMISSIONS IN ERHAI BASIN

YANG Zhen^{1,2}, JIANG Qi^{1,2}, LU Zhong-hui^{1,2}

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Central China Normal University, Wuhan 430079, Hubei, China;

2. Key laboratory of geological process analysis and simulation of Hubei Province, Wuhan 430079, Hubei, China)

Abstract: There is large area of lakes basin in China, and the eutrophication of some lakes are not optimistic. Erhai lake is the seventh largest fresh water lake in China, which has been in the early stage of reversible eutrophication currently. The article was based on the improved exponential decomposition method to study the emission increasing effect (or the emission decreasing effect) of the main human factors in Erhai basin. The findings showed: (1) the population fluctuation in basin has been relatively mild since 2008, while per capita GDP increased rapidly, and the three industry developed rapidly; (2) COD, TN and TP, the main water pollutants, were mainly caused by farming and animal husbandry, and ammonia–nitrogen came from farming, animal husbandry, rural and urban lives and tourism; (3) the emission intensity of COD was the highest, followed by TN, TP and ammonia nitrogen which was the lowest. And the emission intensity of industrial pollution source went down fastest while the emission intensity of tourist and domestic pollution dropped slowest; (4) the increase of pollution emission was mainly caused by population and economic indicators, and the factors of pollution decline consist of the emission intensity and industrial structure. Among all those factors, the pollution increasing effect of economic development and the pollution decreasing effect of emission intensity decline were relatively significant, which needs more attention in the plan–making of pollution control and emission reduction of Erhai basin.

Key words: water pollutants; LMDI model; human factors; decomposition effect; Erhai basin

基于ESDA的中原经济区县域经济发展水平 差异及驱动力分析

刘亚, 王利*, 高鹏

(辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029)

摘要:以县域为研究单元,使用GDP、人均GDP、地均GDP作为测度因子,运用ESDA方法对2003~2013年中原经济区县域经济发展水平进行定量测度与空间表达研究。结果表明:2003年以来中原经济区县域经济发展水平相似的地区在空间上存在集聚分布,但空间差异性呈先缩小后扩大趋势,经济发展趋于不平衡。局部差异方面,“高高”区主要集中在以郑州市区为核心的中部地区;“低低”区主要集中在区内的东部、东南部并有向北部转移的趋势。集聚效应、区位条件、边界效应是影响中原经济区县域经济发展水平的主要因素。

关键词:ESDA; 中原经济区; 区域经济差异; 驱动力

中图分类号:F061.5, F224

文献标识码:A

文章编号:1001-7852(2016)01-0049-06

0 引言

区域经济差异是指一定时期内各区域之间在人均意义层面上的经济发展总体水平非均等化的一种现象,是反映区域经济实力整体变化^[1]。适度的差异对整个区域的发展会产生积极有效的推动作用,但过大的差异会对经济发展产生负面影响,甚至危及社会稳定^[2]。伴随国内经济的快速发展,区域间经济实力及发展水平的差距日益拉大,因此研究区域间经济发展不平衡成为学术界的热点问题之一。

早期对区域经济发展差异的关注,主要是国外学者对理论领域的研究,其中以缪尔达尔的循环累积因果理论^[3]、赫希曼的不平衡增长理论^[4]、威廉姆森的倒“U”型理论^[5]、弗里德曼的中心外围理论^[6]为代表;后期,国外学者选择从多种不同角度来论证区域经济发展差异,主要是贝克尔(Becker G.)、墨菲(Murphy K.)等人从人力资本角度^[7],金(King R.)和赖贝罗(Rebelo S.)从政府作用

角度^[8],史格斯罗姆(Segerstrom P.)从产品创新角度^[9],来分别论证区域经济发展的差异。

国内学者基于不同尺度在研究区域经济发展差异方面,从县域、省域到区域等不同单元进行空间分析,如李小建基于1990、1998年的人均GDP数据对中国县域经济差异进行了研究^[10],彭建基于1997年的社会经济统计数据对四川省20个地州市域经济发展差异进行分析研究^[11],王良健运用不同指标从动态和静态角度对长江流域11个省、市、直辖区经济发展水平进行了实证分析,并且预测了发展趋势^[12];在研究驱动力机制方面,学者多考虑区位条件、政策因素^[13]、集聚效应、边界效应^[11]等因素。

近年来学者在研究县域经济发展差异方面多采用单指标(人均GDP)^[14]且方法上经历了由开始简单的数理统计,到后来的分位数回归^[15]、主成份分析^[16]等方法的转变。但这些研究有一定的局限性,首先忽视了在特定区域内土地所产生的价值;其次假设研究单元是互相独立,在空间上不存在相

收稿日期:2015-09-08;修订日期:2015-12-16.

作者简介:刘亚(1990-),女,山西省吕梁人,硕士研究生,主要从事人文地理与区域可持续发展研究.

*通信作者.

互作用。ESDA (Exploratory Spatial Data Analysis) 是以测度空间关联性研究为核心, 探索研究对象之间的空间依赖性与异质性, 从而揭示研究对象的空间相互作用机制^[17]。

基于以上考虑, 本文在借鉴已有研究成果前提下, 把中原经济区作为研究区域, 把县域作为基本元素, 采用 GDP、人均 GDP、地均 GDP 三个指标, 对中原经济区近 10 年来的经济发展水平进行评价和驱动力分析。该研究有利于正确认识区域经济发展差异, 对于缩小经济发展差距, 全面提升整体发展水平, 促进区域经济协调、可持续发展, 具有重要的现实意义。

1 研究区域

中原经济区是以郑州、洛阳、开封都市区为核心, 以中原城市群为支撑, 涵盖河南省全省以及河北 (邯郸、邢台)、山西 (晋城、长治、运城)、山东 (菏泽、聊城、泰安市东平县)、安徽 (蚌埠、阜阳、宿州、淮北、亳州、淮南市潘集区与凤台县) 四省部分地区的经济区域。区域面积 $28.9 \times 104 \text{ km}^2$, 含县域单元 231 个, 截至到 2014 年年底, 全区人口达到 1.59 亿, 占全国的 11.7%, 生产总值 4.9 万亿元, 占全国的 8.7%。中原经济区是国内首个内陆经济改革和对外开放区, 是中部崛起战略的重要引擎, 是全国重要的经济增长板块。近年来全区经济快速发展, 同时区内经济发展的空间差异性较大, 地区间发展不平衡的现象长期存在。因此, 科学、客观、系统地评价中原经济区县域经济发展水平及时空差异, 对中原经济区未来发展局面的打造和提升具有借鉴作用。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

经济发展水平是指地区在一定时期内经济发展的速度、规模, 通常选取 GDP 和人均 GDP 两个指标。然而一定意义上的经济发展水平也指区域 GDP 与区域面积之比, 但是区域 GDP 又是人为创造价值的体现, 故区域的经济发展水平应该包括人均和地均两个层面^[17]。本文从 2003、2008、2013 年 3 个时间截面上分析中原经济区经济发展水平的空间分异规律和驱动力因素。数据主要来源于 2004、2009、2014 年的各省市统计年鉴, 部分数据来源于

《中国城市统计年鉴》、《聊城市统计年鉴》、《菏泽市统计年鉴》。

经济发展水平是反映区域在一定时间内的发展状况, 可用以下公式来计算:

$$\text{经济发展水平} = \text{GDP} + \text{人均 GDP} + \text{地均 GDP} \quad (1)$$

首先对 GDP、人均 GDP、地均 GDP 三个参量作离差标准化处理, 后分别乘以 0.33, 然后根据公式 (1) 计算结果, 使其最终结果落在 $[0, 1]$, 并在 SPSS 19.0 中对其进行检验, 结果符合正态分布。

2.2 研究方法

2.2.1 全局空间自相关

它反映的是观测对象在整个研究区域内单元属性值之间的依赖性, 主要用来分析研究区域的空间关联性和差异程度, 常用 Global Moran's I 指标进行测度^[18]。计算公式如下:

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

式中: n 为研究空间单元的样本数, x_i 为第 i 个空间单元的观测值, $\bar{x}$ 为 x_i 的平均值, w_{ij} 为空间权重矩阵。Moran's I 值域为 $[-1, 1]$, 越趋近于 1, 空间差异越小。

通过 Z 得分检验, 一般在 0.05 置信水平下 Z 值得分大于 1.96 时, 拒绝零假设, 即在 95% 的概率下, 研究对象在空间分布上存在显著的自相关性。

2.2.2 局部空间自相关

它反映的是每个研究单元与周边区域之间存在同一属性值, 用来弥补全局空间自相关的不足, 说明局部地区之间存在的空间异质性, 通常用 LISA 指标来测度^[19]。计算公式如下:

$$I_i = (x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

式中: $(x_i - \bar{x})$ 和 $(x_j - \bar{x})$ 分别为空间单元 i 和 j 的属性值的标准化值, w_{ij} 为空间权重矩阵。

3 结果分析

3.1 总体差异

采用 K - Nearest Neighbors 方法对各县域单元

构建权重矩阵, 根据公式 (2) 利用 GeoDa 软件, 计算出中原经济区 2003、2008、2013 年县域经济发展水平的全局自相关 Moran's I 指数, 并对标准化统计量 Z 进行计算与检验 (表 1)。

表 1 2003 ~ 2013 年经济发展水平的全局

Moran's I 指数及其显著性检验统计量

Tab. 1 The global Moran 'I index and its significant test statistics of economic development in 2003 - 2013

年份	Moran's I	E (I)	Z	P
2003	0.2230	-0.0043	5.2868	0.0010
2008	0.3186	-0.0043	7.5697	0.0010
2013	0.1844	-0.0043	4.9068	0.0010

从表 1 可以看出 2003 ~ 2013 年全球 Moran's I 指数为正, 且每年的 Z 值均大于在 0.05 置信水平上的临界值 1.96, 故通过显著性检验, 说明中原经济区各县域经济发展水平存在正相关性, 即经济发展水

平较高的地区相邻; 反之, 经济水平较落后的地区相邻。从 2003 年到 2008 年, Moran's I 从 0.223 0 增加到 0.318 6, 说明中原经济区各县域经济发展水平区域差异逐渐变小, 总体趋于平衡。从 2008 年到 2013 年, Moran's I 由 0.318 6 下降到 0.184 4, 说明各县经济发展水平不平衡, 区域差异较大, 即发展较快的区域与欠发展区域在空间上集聚明显。

3.2 局部差异

根据公式 (3) 利用 GeoDa 软件, 计算出中原经济区 2003、2008、2013 年县域经济发展水平的 LISA 值, 并绘出相应年份的 LISA 集聚图 (图 1)。

总体来看, 从 2003 年到 2013 年, 中原经济区县域经济发展水平的空间集聚性先增强后减弱, 其中以“高高”区和“低低”区显著性为主, 而“低高”区和“高低”区的数量相对较少。说明中原经济区县域经济发展差异呈先缩小 (2003 ~ 2008 年) 后扩大 (2008 ~ 2013 年) 的趋势, 区域经济发展差异趋于不平衡。

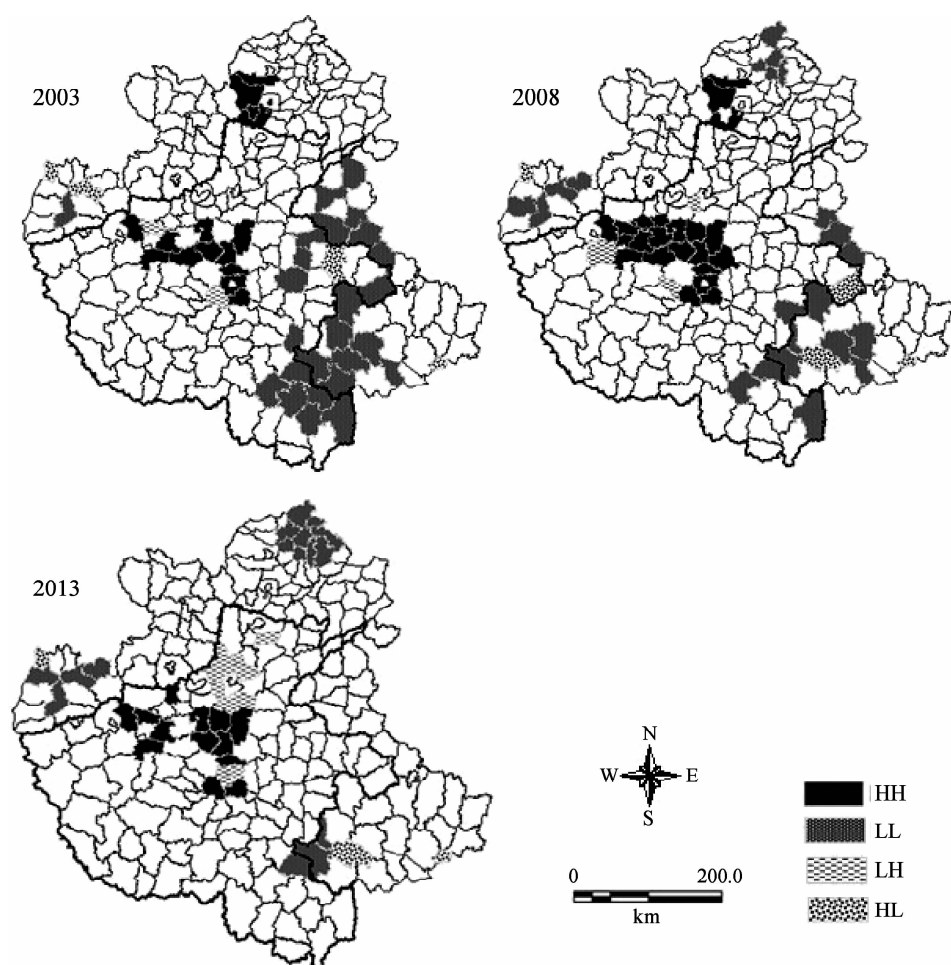


图 1 中原经济区县域经济发展水平的局部 LISA 集聚图

Fig. 1 The local LISA cluster map of the county economic development level in CPER

表 2 中原经济区经济发展水平类型变化表

Tab. 2 The change of the type that level of the economic development in CPER

年份	HH	LL	LH	HL
2003	登封市、新密市、新郑市、中某县、偃师市、伊川县、新安县、许昌市区、许昌县、长葛市、临颍县、邯郸市区、武安市、磁县、沙河市	运城市区、菏泽市区、成武县、曹县、郓城县、单县、砀山县、永城市、民权县、睢县、阜阳市区、界首市、阜南县、太和县、临泉县、固始县、潢川县、息县、淮滨县、正阳县、新蔡县、项城市、太康县、民权县、亳州市区、利辛县	襄城县、孟津县	河津市、闻喜县、商丘市
2008	登封市、新密市、新郑市、荥阳市、郑州市区、巩义市、洛阳市区、偃师市、伊川县、孟津县、新安县、尉氏县、孟州市、温县、许昌市区、长葛市、许昌县、襄城县、临颍县、武安市、磁县、沙河市	运城市区、闻喜县、临猗县、绛县、郛城县、界首市、临泉县、亳州市区、利辛县、蒙城县、凤台县、固始县、正阳县、新蔡县、宁晋县、巨鹿县、任县、平乡县、广宗县	郑县、宣阳县、获嘉县	河津市、阜阳市、蚌埠市、永城市
2013	新密市、荥阳市、郑州市区、新郑市、中某县、偃师市、伊川县、新安县、孟津县、长葛市、襄城县、沁阳市、临颍县	运城市区、闻喜县、临猗县、绛县、界首市、临泉县、新蔡县、南宫市、平乡县、广宗县、宁晋县、新河县、清河县、威县、隆尧县、任县、巨鹿县、	许昌市区、许昌县、辉县市、卫辉市、原阳县、获嘉县、汤阴县	河津市、阜阳市、蚌埠市

2003 年中原经济区经济发展水平的空间格局分异显著,发展水平的“高高”区多集中在中部,而东南部为发展水平的“低低”区。“高高”区从 2003 年的 15 个增加到 2008 年的 22 个,随后在 2013 年又减少到 13 个。2003 年“高高”区主要集中在中区中部和北部;相比 2003 年,2008 年“高高”区还增加了孟津县、尉氏县、洛阳市区、郑州市区、巩义市、荥阳市、孟州市、温县、襄城县。但邯郸市退出了“高高”区,这是因为邯郸市是以煤炭、钢铁为主的城市,在 2008 年时因奥运会的举办,生态环境的改善使其经济发展缓慢,故而影响了其发展水平;而到了 2013 年,洛阳市区、尉氏县、登封市、巩义市、孟州市、温县、许昌市区、许昌县又退出了“高高”区,只有沁阳市新加入此区,这是因为沁阳市在第三产业如物流业、金融业等方面发展迅速,同时区位优势明显,铁路干线呈网状贯穿全境,带动本市的发展创造了条件。“高高”区数量的变化及个别地区发展水平的转换,说明一些市、县、区经济发展水平不稳定,在这 10 年内波动较大,但整体分布格局相对稳定,主要集中在中部地区,这也说明经济发展水平受核心区辐射较大,增长极作用发挥充分,从而较好地促进了周

边地区的经济发展。

“低低”区在这 10 年内数量波动幅度较小,具体从 2003 年的 26 个下降到 2008 年的 19 个再到 2013 年的 17 个。2003 年大体集中分布在全区东部和东南部,以及西部的运城市区;到 2008 年,菏泽市区、郛城县、成武县、曹县、单县、砀山县、民权县等区县陆续退出此类型,而宁晋县、巨鹿县、任县、平乡县、广宗县、蒙城县、亳州市区、郛城县、临猗县、闻喜县、绛县开始加入,这是因为宁晋县、任县是全国粮食生产先进县,临猗县、闻喜县是以传统农业为主的大县,二三产业基础薄弱,多数县市都是走中低端发展路线,产品附加值较低,且与周围地区缺乏互动交流,因此自身及周围地区的经济发展受到限制。到 2013 年,新蔡县、临泉县、界首市、新河县、南宫市、清河县、威县、隆尧县也加入“低低”区这种类型,这些县市多以第一产业为主,受外界因素影响较大,经济发展水平稳定性较差,所以自身和周围地区发展水平均处于低水平;而清河县、隆尧县虽处于环渤海经济带节点上,但却未能充分抓住机遇促进自身经济发展;界首市作为安徽省西北部的门户,位于京九、欧亚大陆桥经济带上,区位、市场优势十分显

著,但却未能充分利用已有优势促进本地发展。

在“低高”区类型中,在2003年只有襄城县和孟津县,这是因为这两个县主要以传统农业为主,二三产业基础差、底子薄,受外界因素干扰较大,且与周围地区联系较少故而无法受到周围发达地区的影响带动自身发展;到2008年开始转移到郑县、宣阳县、获嘉县,在2013年时获嘉县还一直存在,后又有少数县、市加入,这是因其经济发展基础较为薄弱,且第三产业发展缓慢,与邻近中心来往交流较少,自身及周围地区发展水平较低。

在“高低”区中,河津市一直存在,这是由于该市是亚洲最大的氧化铝生产基地(国有重点企业),经济发展效益好且比较稳定。而在2008年时永城市加入此区,后在2013年又退出,说明其区域发展水平变化多样且不稳定。

4 驱动力机制

4.1 集聚效应

集聚效应是指产业或经济活动在空间上的集聚而产生的影响和经济效益,因其可以减少成本促进地域分工与合作,是区域经济发展的动力之一^[20]。适当的集聚可以提高生产效率,加快地区经济发展,但也会造成经济差异的扩大。由前文可知,“高高”区县主要集中于全区中部,这是因为郑州市是河南省的省会城市,并且作为区域增长极,资金、技术、人才等生产要素向郑州市不断集聚,而随着郑州市的发展,又会吸引更多的产业、公司在此集聚,从而产生集聚效应,带动周边地区的快速发展。

4.2 区位条件

区位条件在促进区域经济增长方面,发挥了重要的作用。它是决定区域空间关系的基础,对一个地区经济发展的机遇和潜力有着深刻影响。从2003年到2013年,“低低”区主要集中在全区东部和东南部,是因为这些区县的经济主要以第一产业为主,二三产业发展基础薄弱,且区位优势不明显,在同等条件下竞争力较差,获得外部发展机会较少,发展水平比较落后,同时因其集聚性比较显著,进一步导致发展缓慢;而以郑州为代表的“高高”区因处于“米”字型铁路网的中心,不仅是河南的中心,更是全国重要的交通枢纽,区位优势突出,人流、物流、信息流的传输大大加快,发展

前景广阔,从而形成了以郑州市为中心,带动辐射周围地区发展的经济带带动区域经济快速发展。

4.3 边界效应

“边界效应”本质上是指行政边界对于跨边界经济行为产生的阻碍作用^[21]。具体表现在地方政府为追求在各自区域内利润最大化和政绩较高化,会阻碍当地与行政边界周围的资源、资金、技术等要素的交流受到阻碍,着重发展中心城市,而对于距大中城市较远的边缘地区的发展受到了相对的限制。全区的东部和东南部由于处在两省行政边界上,省际间各种要素交流往来相对较少,生产方式以较高成本在省内流动,在加上郑州市经济中心的极化作用,使得周边县市获得的发展机会更少,导致全区东部、东南部逐渐被边缘化,城市缺少活力,因此经济发展水平较低的地区。

5 结论与讨论

通过对中原经济区2003年~2013年县域经济发展水平的分析,得出以下结论:

(1)从总体上看,全局Moran's I从0.223 0增加到0.318 6然后又下降到0.184 4,说明中原经济区各县域经济发展水平存在显著的正相关性,区县经济差异在空间上呈先缩小后扩大的趋势,经济发展水平趋于不平衡,中原经济区县域经济未走上全面协调道路。

(2)从局部来说,“高高”区主要在以郑州市区为中心的中部地区集聚,说明这些地区的经济辐射能力较强,与周围地区经济往来密切,区县间空间差异较小。“低低”区主要集中在全区东部、东南部,说明这些区县与周围地区发展水平差异较小,总体发展水平较低,形成中原经济区经济落后的集聚区,从2003~2013年,这种经济落后的集聚区逐渐向北部地区转移。而“低高”区“高低”区数量较少相关性不明显,区域经济发展空间差异性较大。

(3)集聚效应、区位条件、边界效应等因素是影响中原经济区县域经济差异的主要驱动力,其中集聚效应、边界效应是经济区县域经济差异产生的主要空间相互作用机制。

总之,各地应根据自身区位优势 and 资源优势,因地制宜,提出适合本地发展的产业,努力打破行政壁垒,促进各生产要素在省际间的流动,有利于

中原经济区域经济一体化建设。

本文采用ESDA方法对中原经济区县域经济发展水平做了初步分析,然而仍有不足之处,具体表现在:在选择研究单元上,可以采用更为详细的乡镇单元对中原经济区的经济差异做出更加全面合理的分析,且可以对比市、县、镇域三尺度的经济水平发展特征,则更能深入、细致地探索中原经济区

经济发展水平的空间差异和形成机制;由于数据收集原因,本文所选取的时间尺度范围较小,选择更长时间跨度可以更深入探索区域经济发展水平差异及驱动力;驱动力机制方面,可选择定性与定量结合的方式,对影响中原经济区县域经济的因素作出直观、深刻的分析。

参考文献:

- [1] 覃成林. 中国区域经济差异研究 [M]. 北京: 中国经济出版社, 1997: 35-38.
- [2] 陈才. 区域经济地理学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 92-101.
- [3] Myrdal G. Economic Theory and Underdeveloped Regions [M]. London: Duckworth, 1957.
- [4] Williamson J G. Regional inequality and the process of national development: A description of the patterns [J]. Economic Development and Cultural Change, 1965, 13 (1): 3-45.
- [5] Friedman J R. Regional Development Policy: A Case Study of Venezuela [M]. Cambridge: MIT Press, 1966.
- [6] Masahisa F, Hu D. Regional disparity in china 1985-1994: the effects of globalization and economic liberalization [J]. The annals of Regional Science, 2001, 35 (1): 3-37.
- [7] Becker G, Murphy K, Tamura R. Human Capital, Fertility, and Economic Growth [J]. Journal of Political Economy, 1990 (10) .
- [8] King R, Rebelo S. Transitional Dynamics and Economic Growth in the Neoclassical Model [J]. American Economic Review, 1993 (9) .
- [9] Segerstrom P. A Schumpeterian Model of the Product Life Cycle [J]. American Economic Review, 1990 (12) .
- [10] 李小建, 乔家君. 20世纪90年代中国县际经济差异的空间分析 [J]. 地理学报, 2001, 56 (2): 136-145.
- [11] 彭建, 林家元, 王晓东, 等. 四川省经济发展水平的区域差异研究 [J]. 地理学与国土研究, 2001, 17 (4): 53-57.
- [12] 王良健, 郭齐, 肖大鹏. 长江流域经济发展水平差异的实证分析 [J]. 地理与地理信息科学, 2005, 21 (2): 66-69.
- [13] 冯长春, 曾赞荣, 崔娜娜. 2000年以来中国区域经济差异的时空演变 [J]. 地理研究, 2015, 34 (2): 234-246.
- [14] 关伟, 朱海飞. 基于ESDA的辽宁省县际经济差异时空分析 [J]. 地理研究, 2011, 30 (11): 2008-2016.
- [15] 柯文前, 陆玉麒, 俞肇元, 等. 多变量驱动的江苏县域经济空间格局演化 [J]. 地理学报, 2013, 68 (6): 802-812.
- [16] 王云才, 郭焕成. 鲁西平原可持续农村经济发展的驱动力与对策初探——东昌府区典型案例研究 [J]. 地理科学进展, 2000, 19 (2): 155-161.
- [17] Anselin L. Interactive techniques and exploratory spatial data analysis [C] //In: Longley P A, Godchild M F, Maguire D J. Geographical Information Systems (2nd edn.) New York: John Wiley & Sons, 1999: 253-266.
- [18] Brunello G, Paola M D. Training and economic density: Some evidence from Italian provinces [J]. Labour Economics, 2008, 15 (1): 118-140.
- [19] 陈彦光. 基于Moran统计量的空间自相关理论发展和方法改进 [J]. 地理研究, 2009, 28 (6): 1449-1463.
- [20] 王建廷. 区域经济发展动力与机制 [M]. 上海: 上海人民出版社, 2007: 127-152.
- [21] 韩玉刚, 焦华富, 李俊峰. 改革开放以来中国省际边缘区研究历程及展望 [J]. 地域研究与开发, 2011, 30 (2): 1-5; 26.

(下转第59页)

城市社区居家养老设施空间布局研究 ——以上海市中心城区为例

张瀚月, 张博茹

(华东师范大学 城市与区域科学学院, 上海 200241)

摘要: 合理布局社区居家养老设施是优化养老服务的重要手段之一。基于 ArcGIS 空间分析和 Voronoi 图法, 以上海中心 8 区 77 个街道为基本研究单元, 从养老设施空间均衡度和与人口分布空间协调性两个角度分析城市养老设施空间布局的合理性。研究表明: 上海市中心城区养老设施覆盖不均, 集中分布在老年人口密集的中心城区核心区; 77 个街道中仅有 46 个街道老年人到最邻近日间照料中心距离小于 1 000 m, 养老设施整体可达性较差, 可达距离呈现出从核心区向四周递增的格局。

关键词: 社区居家养老; 养老设施; 空间布局; 上海市中心城区

中图分类号: C913.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-7852(2016)01-0055-05

社区居家养老是指政府和社会力量依托社区, 为居家的老年人提供养老服务的一种社会化养老模式^[1]。它提倡将居家养老和社区服务相结合, 涵盖了“在社区照顾”和“由社区照顾”两层含义^[2]。在城市老龄化程度不断加深、小型家庭养老功能弱化以及社会养老机构供给不足情况下, 传统的家庭为主、机构为辅的养老服务体系已经不能适应当前的养老需求, 社区居家养老将成为中国未来养老的主要趋势。因此, 社区居家养老设施的空间布局是否合理直接关系到养老资源的配置效率和老年人生活质量。

目前针对社区居家养老设施空间布局的研究较少, 相关研究主要集中在居家养老服务体系的构建和大尺度范围内养老设施供需分析^[3-5]。但已有大量学者对医疗设施^[6]、公园^[7]、学校^[8]等城市公共服务设施的空间布局进行了研究, 并提出了具体的研究方法和模型, 研究重点也从简单的空间结构和空间相互作用转向设施的可达性和公平性^[9], 这为研究作为公共服务一部分的养老设施提供了有益的借鉴。本文以上海中心城区社区居家养老设施为研

究对象, 以街道(镇)为基本研究单元, 借助 ArcGIS 中 Voronoi 图法和空间叠加技术, 分析上海市中心城区社区居家养老设施空间布局的合理性, 为上海市进一步推进社区居家养老服务及其规划建设提供参考。

1 研究区概况及其社区居家养老设施建设现状

1.1 研究区概况

作为全国最早迈入老龄化社会的城市, 上海市在“十一五规划”中率先提出“90%老人在家庭养老、7%依靠社区养老、3%依靠机构养老”的“9073”养老服务格局, 这意味着 97%的老人需要社区居家养老设施提供服务。同时, 中心城区由于老龄人口密集、地价高昂等因素制约, 养老机构供给明显不足。在 2014 年发布的《上海市养老设施布局专项规划(2013-2020 年)》中, 明确指出“中心城区各区养老机构床位数不低于区域内户籍老年人口的 2.5%, 郊区各区县养老机构床位数不

低于区域内户籍老年人口的3.5%”。因此,在养老机构无法满足区域内老年人口需求的情况下,社区居家养老设施在上海中心城区扮演着更为重要的角色。

上海中心8区包括黄浦、静安、虹口、普陀、长宁、徐汇、杨浦和闸北区,由77个街道(镇)组成,总面积289.44 km²,占全市总面积的4.56%;2014年底60岁及以上老年人口共计187.02万人,占该区域总人口的30.48%,占全市老年人口的45.18%。中心8区老年人口密度远远超出周围区县,面临着更为严峻的养老形势。

1.2 社区居家养老设施建设现状

本文关注的社区居家养老设施仅涉及到满足老年人最基本需求的日常生活照料类设施(老年人日间照料中心、社区老年人助餐服务点、助老服务社)。根据上海民政网2014年所公布的资料,中心8区目前共建成74家助老服务社、92家老年人日间照料中心以及277家老年人助餐服务点,分别占全市总设施的44.3%、44.7%、56.3%,设施配置密度远远高于郊区。但中心城区养老设施规模普遍低于郊区,且能级不足,仍然不能满足区内老年人的需求^[10]。

2 数据与方法

2.1 数据来源及处理

本文以街道(镇)作为研究上海中心城区社区居家养老设施可达性的最小空间尺度。目前上海中心8区街道(镇)一级行政区划共77个,各街道2013年60岁以上老年人口数据来源于各区统计年鉴。为简化运算,假设在每一研究单元内人口均匀分布,用街道(镇)面图层的几何质心代替人口分布中心。

社区居家养老设施数据来自于上海民政网2014年发布资料,共采集到中心城区92家老年人日间照料中心统计信息,并在ArcGIS中对其进行空间定位。社区老年人日间服务中心是指日间集中为居家老年人提供社区居家养老服务的机构,不同于助老服务社和助餐服务点可以上门提供服务,需要老年人主动到服务站接受服务。因此,在布局社区居家养老设施时,对日间服务中心与老年人口的空间协调性要求更高。本文选取老年人日间服务中心作为社区居家养老设施的代表,展开进一步的研究。

2.2 研究方法

基于ArcGIS平台,应用Voronoi多边形和叠加分析相结合的方法,分析上海中心8区居家养老设施空间布局现状。考虑到老年人的身体特征以及社区居家养老设施使用的频繁性,笔者认为在实际生活中老年人一般选择步行至距离最近的照料中心,而设施的规模对其选择影响不大。由Voronoi多边形的特性可知,Voronoi多边形内任意一点到该多边形发生元的距离都小于到其它Voronoi多边形发生元的距离^[11],即Voronoi多边形内的老年人口在最小距离的假设下只会选择该多边形内的服务设施。显然,将该方法应用到养老设施服务域的划分,可得到每个街道所属的最邻近服务设施信息。

首先以77家老年人日间照料中心为基础点建立以研究区域为边界的Voronoi图,并应用街区边界数据裁剪Voronoi图。应用生成的Voronoi多边形与养老设施、最小粒度人口栅格数据进行空间叠加分析,使养老设施服务区获得照料中心、服务人口属性数据。在此基础上应用Zonal Statistics As Table工具统计得到各照料中心服务域范围内所需服务的老年人口数量及平均密度;结合Distance工具计算出各街道到最邻近老年人日间照料中心的距离分布。

此外,由于Voronoi多边形面积随点集的分布而发生变化,因此可用多边形面积的变异系数CV值(即泰森多边形面积的标准差与平均值的比)来评估设施的分布类型。Duyckaerts提出了3个建议值:当点集为随机分布时,CV值为57%(包括33%~64%的值);当点集为集群分布时,CV值为92%(包括大于64%的值);当点集为均匀分布时,CV值为29%(包括小于33%的值)^[12]。因此,通过Voronoi多边形面积的计算,可判断出养老设施的空间分布类型。

3 结果与分析

3.1 社区居家养老设施空间格局

上海市中心城区老年人日间照料中心的Voronoi多边形如图1(a)所示,根据其中的多边形面积计算得出变异系数Cv值为75.70%,属于集群分布。将获得的日间照料中心Voronoi图与老年人口密度栅格图叠加,统计各照料中心服务区范围内所需服务的老年人口平均密度,并绘制成图1(b)。由图1可知:社区居家养老设施集聚分布与各服务区

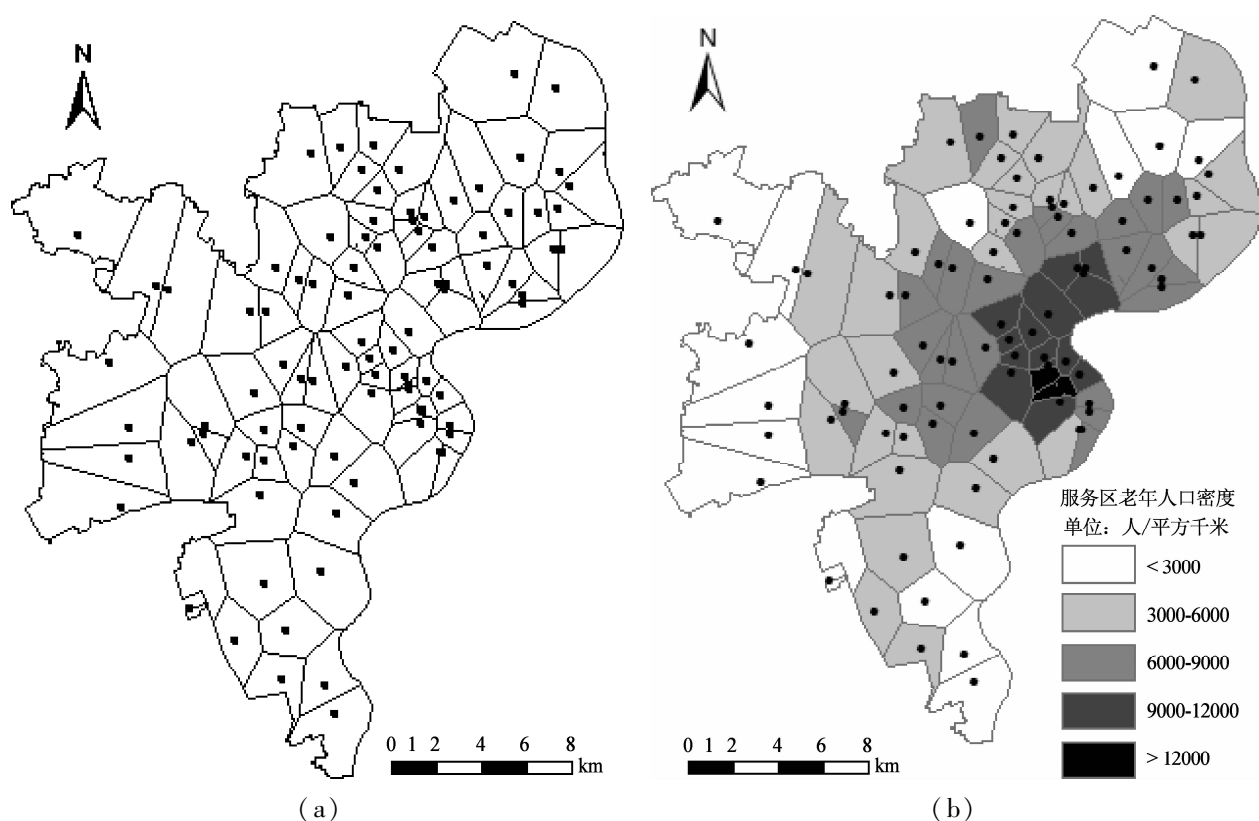


图1 老年人日间照料中心服务区的 Voronoi 划分 (a) 及各服务区老年人口密度 (b)

Fig. 1 The elderly day care center market area divided by Voronoi polygon (a) and the aged population density of each service area (b)

老年人口密度有关,在老年人口密集的中心城区核心区域,老年人日间照料中心分布较为集中。如黄浦、静安、虹口3区面积共占中心8区总面积的17.81%,却拥有37个老年人日间服务中心,占总设施数量的40.21%。

2.2 地理可达性测度:居民点到最邻近老年人日间照料中心距离分布

地理可达性的测度定义为空间上分布的任一居民点到其最邻近设施的距离^[13],可用于评价公共服务设施空间布局的合理性^[14]。将老年人日间照料中心的 Voronoi 多边形与居民点、日间服务中心图层进行叠加分析,得到每个街道距离最近的服务中心及其相隔距离。《上海市养老设施布局专项规划》中指出“城镇社区居家养老服务设施服务半径不宜大于1 000 m”,根据 GIS 计算结果可以看出(表1),上海市中心城区77个街道镇中,仅46个街道老年人到最邻近日间照料中心距离小于1 000 m,社区居家养老服务设施建设现状离规划目标还有一定差距。

图2是这一距离在空间上的分级表示,大体呈

表1 日间照料中心可达性特征值
Tab. 1 The accessibility eigenvalue of day care center for the elderly

距离/m	街道数量 /个	所占比例 /%	服务人口 数量/人	占总人口 比例/%
<500	19	24.68	453 358	25.94
500~1 000	27	35.06	638 740	36.55
1 000~1 500	17	22.08	411 943	23.57
1 500~2 000	10	12.99	180 550	10.33
>2 000	4	5.19	62 937	3.60
总计	77	100	1 747 528	100

黄浦区向四周递增的趋势。到最邻近日间照料中心距离小于1 000 m的46个街道主要集中在中心区核心区,该区域老年人口密集,养老服务需求旺盛,因此,社区居家养老服务设施通常得到优先发展,养老设施布局较为合理;其次可达距离在1 000 m至1 500 m的17个街道分布较为分散,这些区域大部分都有设置日间照料中心,但由于偏离街道中

心,导致居民点到最邻近养老设施地理可达性较差;到最邻近照料中心距离大于1 500 m的14个街道主要集中在中心区边缘街道地带,主要由于这些区域范围较大,老年人口较为分散,养老设施难以覆盖全部人口。其中黄浦区五里桥、打浦桥街道由于未设置老年人日间照料中心,导致街道内老年人口无法就近享受社区养老服务。

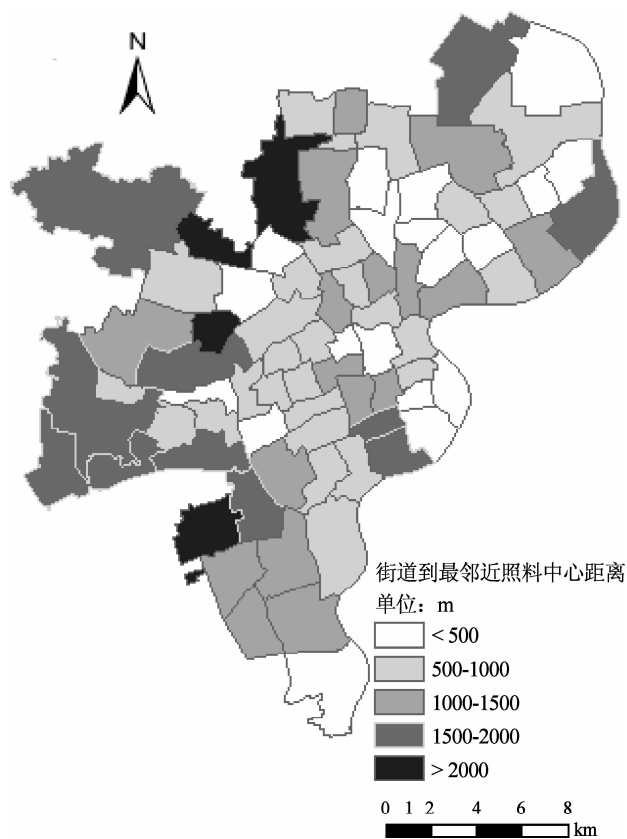


图2 老年人日间照料中心地理可达性空间分布

Fig. 2 The distribution of distance from street to its nearest day care center

4 结论与讨论

本文应用 ArcGIS 中 Voronoi 多边形和空间叠加技术,从城市居家养老设施空间布局均衡度与老年人口分布格局协调性两个角度分析了上海中心8区社区居家养老设施空间布局的合理性。结果表明:社区居家养老设施整体上呈集聚分布,和各街道人口密度成正相关;中心城区养老设施整体可达性不高,尤其是老年人口分散的中心城边缘区由于区域面积大,服务设施少,可达性相对较低。

在今后上海中心城区社区居家养老设施的建设应该对不同区域进行差异化配置。在地理可达性较好的中心城区核心区,由于该区域老年人口分布集中,在合理布局社区居家养老设施的同时,应该兼顾设施的规模和能级,提高设施的服务质量和使用效率;在17个可达性一般的街道,可以适当调整已有养老设施的位置使其靠近老年人口聚居地,或增设设施数量,以满足全区老年人口的需求;在中心城区边缘区可达性较差的街道,老年人口密度较小,应当鼓励设施以小规模、适度分散的形式均衡布局。

本文所采用的 Voronoi 图法能够直观反映老年人口到其最邻近养老设施的距离分布,但由于缺少养老设施的规模数据,无法评估在可达性良好的街道内,养老设施是否能够满足区内的老年人口。此外,若能获得更小尺度的老年人口数据,能进一步提高研究结果的精确性。后面的研究需不断完善相关数据和方法,为优化城市居家养老服务提供借鉴。

参考文献:

- [1] 章晓懿. 城市社区居家养老服务质量研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2012.
- [2] 俞贺楠, 王敏, 李振. 我国社区居家养老模式的出路研究 [J]. 河南社会科学, 2011, 19 (1): 202-205.
- [3] 张奇林, 赵青. 我国社区居家养老模式发展探析 [J]. 东北大学学报: 社会科学版, 2011, 13 (5): 416-420.
- [4] 作亦畅, 成虎, 张建坤, 等. 社区居家养老服务供给模式及支撑体系研究 [J]. 现代城市研究, 2014 (9): 21-25.
- [5] 丁志宏, 王莉莉. 我国社区居家养老服务均等化研究 [J]. 人口学刊, 2011 (5): 83-88.
- [6] 吴建军. 基于 GIS 的农村医疗设施空间可达性分析——以河南省兰考县为例 [D]. 开封: 河南大学, 2008.
- [7] 尹海伟, 徐建刚. 上海公园空间可达性与公平性分析 [J]. 城市发展研究, 2009, 16 (6): 71-76.
- [8] 陈莹. 基于 GIS 的基础教育资源空间布局研究 [D]. 北京: 首都师范大学, 2008.
- [9] 赵东霞, 韩增林, 王利, 等. 基于两步移动搜寻法的城市居家养老服务设施可达性研究——以大连市沙河口区低龄老人为例 [J]. 地域研究与开发, 2014 (6): 27-32.
- [10] 刘博. 上海市社区居家养老服务设施建设标准研究 [C] // “放飞梦想·美丽上海” 上海 2040 战略专题系列研讨会青年规划师专场会议. 2014.

- [11] 王新生, 李全, 郭庆胜, 等. Voronoi 图的扩展、生成及其应用于界定城市空间影响范围 [J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2002, 36 (1): 107–111.
- [12] Duyckaerts C, Godefroy G. Voronoi tessellation to study the numerical density and the spatial distribution of neurones. [J]. Journal of Chemical Neuroanatomy, 2000, 20 (1): 83–92.
- [13] 王远飞. GIS 与 Voronoi 多边形在医疗服务设施地理可达性分析中的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2006, 29 (3): 77–80.
- [14] 宋正娜, 陈雯, 张桂香, 等. 公共服务设施空间可达性及其度量方法 [J]. 地理科学进展, 2010, 29 (10): 1217–1224.

SPITIAL DISTRIBUTION OF URBAN COMMUNITY IN – HOME SERVICE FACILITIES FOR THE ELDERLY ——A CASE STUDY OF SHANGHAI CENTRAL AREA

ZHANG Han – yue, ZHANG Bo – ru

(School of Urban and Regional Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: The rational distribution of pension facilities is one of the important means to optimize elderly services. Selecting 77 streets of the central city in Shanghai as the research objects, we studied the rationality of urban pension facilities' spatial layout based on the GIS and Voronoi approach. The results show that: the pension facilities in Shanghai are distributed unevenly, centralizing in the core area of central city with high aged population density; the distance from 31 steets to their nearest day care center is more than 1 000 m, implying that most of the aged people's needs can not be satisfied. The accessibility of the pension facilities in the central area of Shanghai is bad on the whole, and the distance increases progressively from the core streets to the periphery streets.

Key words: community in – home care for the elderly; pension facilities; spatial distribution; the central city of Shanghai

~~~~~  
(上接第 54 页)

## THE DIFFERENCES OF DEVELOPMENT LEVEL AND DRIVING FORCES OF ECONOMIC DEVELOPMENT WITHIN COUNTIES IN CPER BASED ON ESDA

LIU Ya, WANG Li, GAO Peng

(College of Urban and Environment, Liaoning Normal University, Dalian 116029, Liaoning, China)

**Abstract:** Taking the counties of CPER as the study object and GDP、GDP per capita、GDP per area as the measuring indicator, this paper analyzes quantitatively measure and spatial expression of the economic development level in CPER from 2003 to 2013 by way of ESDA. The results show that, similar level of economic development of county region in the spatial concentration distribution since 2003, and the spatial difference are dwindled first and enlarged then, finally, economic development tends to be unbalanced development. In terms of local differences, the counties of “H – H” type are mainly found in Zhengzhou city as the core of the central area; the counties of “L – L” type are mainly concentrated in the eastern and southeastern. The paper also finds that, the main factors affecting the level of the county's economic development are the combined effect, location condition and boundary effect.

**Key words:** ESDA; Central Plains Economic Region(CPER); spatially economic disparity; driving forces



# 漂流游客的安全认知研究

## ——基于贵州马岭河峡谷漂流游客的调查分析

张 杨<sup>1</sup>, 陈岚雪<sup>2</sup>, 黄和兰<sup>3</sup>

(1. 西南林业大学 园林学院, 云南 昆明 650224; 2. 四川工业科技学院 旅游学院, 四川 成都 618500;  
3. 昭通市委党校, 云南 昭通 657000)

**摘要:** 漂流旅游是一项高风险的旅游体验项目, 漂流安全备受人们关注。基于贵州马岭河峡谷漂流游客的问卷调查数据, 采用频次分析和主成分分析的方法对调查数据进行分析, 对漂流游客的漂流安全认知进行研究。从漂流安全准备的各项相关数据分析的结果显示, 游客对漂流准备重视程度高; 漂流过程中行为安全与否不能够进行正确评价; 对漂流安全事故表现形态的判断、对最容易出现安全问题的地方感知不够全面。从漂流游客、漂流旅游经营者和漂流旅游管理者角度提出漂流安全对策。

**关键词:** 漂流游客; 安全认知; 马岭河

**中图分类号:** F59

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7852(2016)01-0060-07

## 0 引言

漂流旅游是一种需要特殊技能的、具有高风险的旅游活动, 漂流旅游活动可以让游客在体验刺激的同时观赏河流两岸的自然人文风光、在炎炎夏日感受河水的清凉, 但是漂流安全却容易被大家所忽视。随着漂流游客的逐年增长, 漂流事故不断增加, 据有关旅行社统计, 漂流造成的意外险占有意外险的40%~50%<sup>[1]</sup>。不安全事件不仅给游客带来伤痛, 还对旅游目的地形象产生较大的负面影响<sup>[2]</sup>。

国外对漂流旅游安全的研究主要涉及漂流安全事故<sup>[3-5]</sup>和漂流安全管理<sup>[6-8]</sup>两个方面, 急性或慢性损伤、死亡、受水中生物攻击以及疾病传染是漂流旅游中不可避免的安全事故<sup>[9]</sup>。加强漂流安全管理, 不仅要提高硬件设施的质量<sup>[10]</sup>, 还要从组织的角度加强安全管理, 要加强培训漂流游客的“硬技能”(hard skill)也要加强培训漂流导游的“软

技能”(soft skill)<sup>[10,11]</sup>。“硬技能”指游客具备的漂流技能和急救培训等必备技能, “软技能”指导游对游客的漂流指导、协助能力以及交流技能等<sup>[12]</sup>。国内学者对漂流旅游安全的研究集中于漂流安全评价指标体系建构<sup>[13,14]</sup>、漂流船舶检验技术标准<sup>[15,16]</sup>、漂流旅游安全事故致因及防范<sup>[1]</sup>等方面, 论文数量较少, 尚未涉及作为漂流参与主体的游客群体的研究。

频繁发生的漂流事故不完全是由经营公司的管理疏忽或漂流设施不达标而造成的, 游客自身对安全的认知不足和不安全的行为往往成为事故发生的直接原因。本文通过对贵州马岭河漂流游客的问卷调查和游客漂流行为的实地观察, 研究漂流游客的安全认知, 以此为漂流旅游地的安全管理提供理论依据。

## 1 马岭河漂流旅游概况

马岭河发源于云贵高原乌蒙山系白果岭, 马岭

收稿日期: 2015-12-07; 修订日期: 2016-01-25.

基金项目: 国家自然科学基金项目“跨境民族的流动性、空间生产与文化建构”(41261031).

作者简介: 张杨(1989-), 男(彝族), 云南省临沧市沧源县人, 硕士研究生, 研究方向为历史遗产保护.

河峡谷景区属国家4A级风景名胜区、国家地质公园，位于贵州省兴义市东北6 km处。峡谷气候温和湿润，以地缝嶂谷、群瀑横飞、碳酸钙壁挂形成景观特色。贵州兴义境内的马岭河峡谷长74.8 km，谷宽50~150 m，谷深120~280 m，谷底低于地面200 m，天然落差200 m多，奇险无比，动人心魄。峡谷既可观景，又可漂流，沿途有18滩，20余湾，30余潭，峰回路转，船移暗迁。两岸峰森之中，还有古庙、古桥、古战场、古驿道等，自然与人文的结合带来无限情趣，是人们寻幽、览胜、访古、探奇、避暑、休闲的胜地。

马岭河峡谷景区自1993年开始发展漂流旅游，分三段开发漂流区：第一段是清水河大桥至马岭桥头（清水河段），第二段是马岭河老桥至天星画廊（天星画廊段），第三段是天星画廊至赵家渡（赵家渡段），漂流河段总长47.8 km，有“黄金峡谷”、“天下第一漂”的美誉。漂流开发吸引了大量国内外生态旅游者，游客人数不断增加。每年的4月至10月是峡谷丰水时期，也是漂流的最佳时期，2013年4月至10月，峡谷景区游客量达到10万人次。

## 2 实地调查与资料来源

论文选择漂流发展比较成熟、知名度较高的贵州省兴义市国家级风景区马岭河峡谷景区内的天星画廊至赵家渡漂流河段作为研究案例地，分别于2013年8月和2013年10月共计17日进行实地调查。在马岭河峡谷景区和景区大门外对漂流结束的游客进行随机抽样调查，发放并回收188份问卷，其中有效问卷176份，无效问卷12份，有效率为94%，问卷内容涉及漂流游客对漂流准备、漂流过程中安全行为、漂流安全事故等方面。亲历漂流，对漂流游客行为进行认真观察；就漂流安全问题访谈游客和景区管理人员。问卷数据采用Excel进行统计、图表分析，采用SPSS分析漂流安全认知、漂流安全行为、漂流事故、漂流游客对漂流安全的影响因素等问题的相关性。在数据分析中，表格中的“选择人数”为游客对问卷问题的应答人数，“百分比”为调查内容的选择人数占相应调查内容中有效问卷的比例，数据缺失的问卷不计入统计，问卷以多项选择的形式进行调查，每个内容都是相互独立的，因此表格总共的百分比都不为“100%”。

## 3 漂流游客安全认知的调查分析

### 3.1 漂流游客对漂流准备的安全认知

#### 3.1.1 漂流游客认知漂流安全的途径

游客认知漂流安全的途径多样，统计数据显示（表1）：网络是游客认知漂流安全的主要途径，选择人数比例达到33.1%，亲朋好友的介绍、工作人员的讲解、漂流票上或购票处的安全解说以及户外运动书籍等也是游客了解漂流安全的重要途径。

表1 游客认知漂流安全的途径

Tab. 1 Tourists' approaches of get information of rafting safe

| 选项            | 选择人数/人 | 百分比/% |
|---------------|--------|-------|
| 户外运动书籍        | 35     | 20.3  |
| 网络            | 57     | 33.1  |
| 漂流票上或购票处的安全解说 | 36     | 20.9  |
| 广播电视          | 23     | 13.4  |
| 报刊杂志          | 21     | 12.2  |
| 工作人员的讲解       | 39     | 22.7  |
| 亲朋好友的介绍       | 49     | 28.5  |
| 体育课程          | 3      | 1.7   |
| 其它            | 12     | 7.0   |
| 总共            | 275    | 159.9 |
| 缺失：4；有效：172   |        |       |

#### 3.1.2 漂流安全事故播报对漂流旅游决策的影响

游客希望参加漂流旅游获得愉悦和健康身心，消除日常工作中的疲劳，缓解压力。漂流旅游的出游意愿中同时产生漂流安全需求，漂流安全事故播报会影响大部分游客的漂流旅游决策。调查数据显示（图1）：如果得知某地曾发生过漂流安全事故，

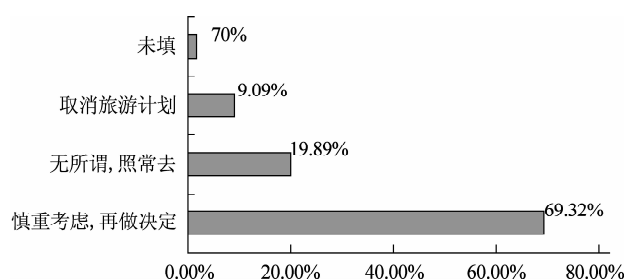


图1 漂流安全事故对游客漂流决策的影响

Fig. 1 Rafting incidents or accidents' influence on tourists' rafting decision-making

69.32%的漂流游客选择慎重考虑,再做决定是否去该地漂流;9.09%的漂流游客选择取消旅游计划;19.89%的漂流游客选择了无所谓、照常去。可见漂流安全事故对漂流游客的安全认知有重大影响,直接影响其旅游决策。

### 3.1.3 漂流游客的漂流保险购买意识

在购买保险的游客问答上,56.02%的游客表示一定会买漂流保险,37.50%的游客表示买不买都无所谓,5.11%的游客表示一定不买,未填写的仅有0.57%,从图2中可以看出大部分游客对漂流保险购买十分重视。访谈发现,马岭河峡谷风景区漂流有限公司与旅游部门签订了强制游客购买漂流保险的责任书,游客所购买的漂流票中已包含漂流保险费。

### 3.1.4 漂流游客对适漂年龄的认知

马岭河景区漂流活动对游客年龄是有规定的,景区的购票处和漂流票上的漂流须知明确规定了“未满12岁(含12岁)的儿童、60周岁(含60周岁)以上的老人不能参加漂流”。问卷调查数据

则显示(图3、图4):游客认为的适合参加漂流的最低年龄分布于0~20岁,选择10岁、12岁、15岁、16岁、18岁的游客比例较高。游客认为的适合参加漂流的最高年龄较集中于50岁和60岁,分别占23%和39%。游客对适漂年龄的认知更多是主观感觉,随意性较大。

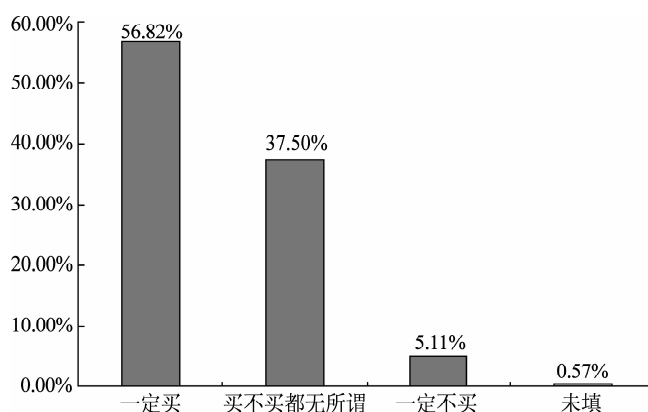


图2 游客漂流保险购买意识

Fig. 2 Tourists' purchasing awareness of rafting insurance

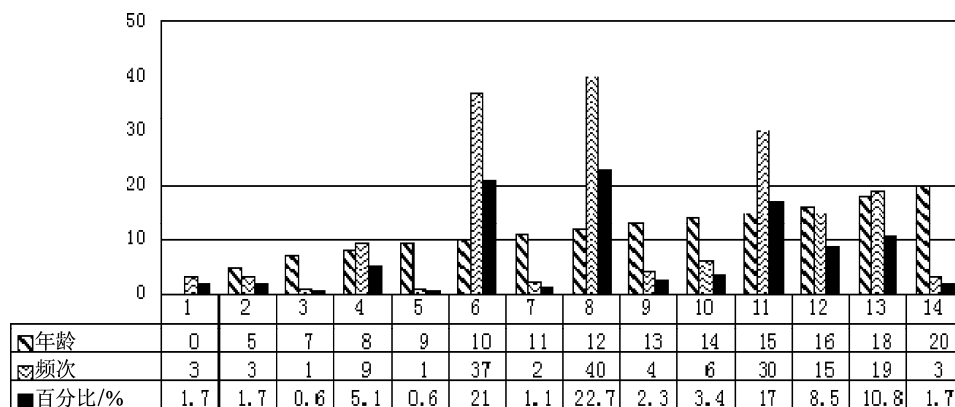


图3 游客认为适合参加马岭河漂流的最低年龄

Fig. 3 Tourists' perception of the minimum age for participating in the Maling River rafting

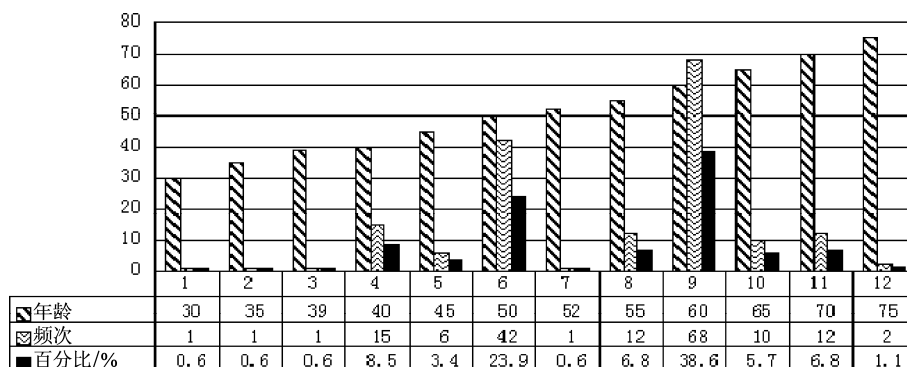


图4 游客认为适合参加马岭河漂流的最高年龄

Fig. 4 Tourists' perception of the maximum age for participating in the Maling River rafting

### 3.1.5 漂流游客对漂流着装的选择

漂流多是夏季开展的旅游活动，游客着装不当会在一定程度上影响漂流安全，其中雨衣、拖鞋、草鞋、布鞋、凉鞋是漂流时应该禁止的着装。调查发现（表2）：漂流游客选择拖鞋和凉鞋的应答人数百分比较大，分别占29.7%和49.1%，也有游客认为漂流时可以穿雨衣、草鞋、布鞋，说明对漂流着装的选择缺乏常识性的了解。另外，54.3%的游客选择游泳衣，也是不妥当的选择，因为漂流行程一般都在1小时以上，穿游泳衣进行漂流皮肤很容易被晒伤。

表2 游客对漂流着装的选择

Tab. 2 Tourists' choices of rafting dresses

| 选项    | 选择人数/人 | 百分比/% |
|-------|--------|-------|
| 一般运动服 | 25     | 14.3  |
| 游泳衣   | 95     | 54.3  |
| 防水服   | 47     | 26.9  |
| 雨衣    | 14     | 8.0   |
| 拖鞋    | 52     | 29.7  |
| 草鞋    | 6      | 3.4   |
| 布鞋    | 5      | 2.9   |
| 运动鞋   | 11     | 6.3   |
| 凉鞋    | 86     | 49.1  |
| 总共    | 341    | 194.9 |

缺失：1；有效 175

### 3.1.6 漂流游客对漂流安全措施的选择

马岭河峡谷风景区漂流有限公司为游客提供的漂流安全措施有穿救生衣和船工的提醒，除了穿救生衣和船工的提醒，游客对其它方面的安全措施有潜在需求。从相关数据显示来看，漂流游客对救生衣和船工提醒的选择人数最多，分别占93.1%和57.5%（表3）。马岭河中石块很多，尤其是旱季的水位很低，裸露的石块很容易使落水的游客头部、手肘和膝盖以及脚部受伤，因此在马岭河漂流，戴头盔、戴护膝护肘和穿鞋是必须的安全措施，游客对其他安全措施选择相对较少。

### 3.2 漂流游客对漂流过程中安全行为的认知

在漂流游客对漂流过程中各种行为安全与否的判断问题上，图5中的横坐标分别表示：题目A“抓水中的漂浮物和岸边的草木石头”，题目B“征

表3 游客对漂流安全措施的选择

Tab. 3 Tourists' choices of rafting safety guard measures

| 选项     | 选择人数/人 | 百分比/% |
|--------|--------|-------|
| 穿救生衣   | 162    | 93.1  |
| 戴头盔    | 39     | 22.4  |
| 河边救援   | 57     | 32.8  |
| 船工的提醒  | 100    | 57.5  |
| 携带救生口哨 | 40     | 23.0  |
| 戴护膝护肘  | 36     | 20.7  |
| 穿鞋     | 22     | 12.6  |
| 喝姜汤    | 17     | 9.8   |
| 总共     | 473    | 271.8 |

缺失：2；有效：174

得工作人员的意见后，在平静的水面游泳”，题目C“过险滩时为了保持船体平衡，游客应各自向船体两侧倾斜”，题目D“下急流时，坐在船后面的游客应将身体前倾，以免翻船”，题目E“如果船身破裂漏气，可以坐在破裂处，阻止继续漏气”，题目F“如果落水，仰面，将双脚抬”。其中题目B和题目F是安全行为，其它题项均为不安全行为。结果显示，大部分游客不能正确地判断这些行为，说明游客在漂流行为的安全性认知问题上依据主观性来进行选择判断，主观性较强。在漂流过程中，船工只在急流险滩处提醒游客抓紧安全绳，这也说明了工作人员对漂流安全讲解不够重视。

### 3.3 漂流游客对漂流安全事故的认知

#### 3.3.1 漂流游客对漂流安全事故表现形态的判断

在漂流事故表现形态上，75.6%的漂流游客认为漂流过程中导致的游客死亡或失踪属于漂流安全事故。漂流公司明确要求游客不能携带贵重物品上皮艇，但14.8%的游客认为随身携带的物品丢失水中属于漂流安全事故问题，说明这些游客没有仔细阅读漂流公司的规定或者不听工作人员的注意事项讲解。经过激流险滩或者游客在皮艇上嬉戏打闹掉入水中是不可避免的，也有近1/3的漂流游客认为游客坠落水中但无伤亡属于漂流安全事故，国外这种情况如没有伤亡就不算安全事故。认为河水引起的细菌感染、景区食物引起的中毒两项也是漂流事故的漂流游客比例也较大，说明游客对这两个方面的安全也比较关注（表4）。

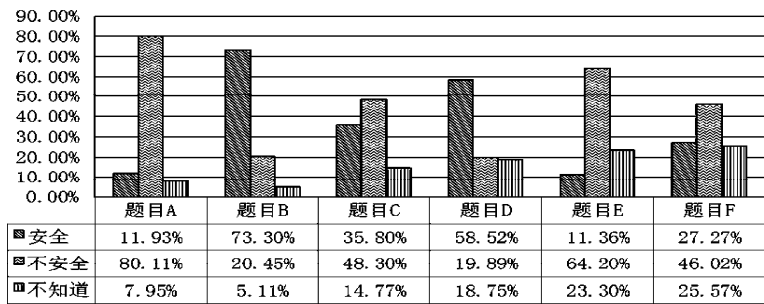


图 5 游客对漂流过程中的安全行为判断  
Fig. 5 Tourists' judgment of safe behaviors while rafting

表 4 游客对漂流安全事故的表现形态的判断  
Tab. 4 Tourists' judgment on the form of rafting incidents or accidents

| 选项               | 选择人数<br>/人 | 百分比<br>/% |
|------------------|------------|-----------|
| 被河中的石块或两岸的树枝擦伤刮破 | 117        | 66.5      |
| 随身携带的物品丢失水中      | 26         | 14.8      |
| 漂流引起的感冒          | 19         | 10.8      |
| 漂流过程中导致的游客死亡或失踪  | 133        | 75.6      |
| 河水引起的细菌感染        | 52         | 29.5      |
| 景区食物引起的中毒        | 52         | 29.5      |
| 游客坠落水中，但无伤亡      | 49         | 27.8      |
| 溺水               | 103        | 58.5      |
| 总共               | 551        | 313.1     |
| 缺失：0；有效：176      |            |           |

3.3.2 漂流游客对最容易出现安全问题的地方的感知

对于最容易出现安全问题的地方，84.4% 漂流游客选择急流险滩，22.0% 选择了下水处，选择其它地点的比例很小（表 5）。笔者调查期间发现马岭河河水水位很低，很多石块已经露出水面，很多游客又是穿的短衣短裤、凉鞋或拖鞋，很容易被河中石块擦伤碰伤，因此缓流区也是最容易出现安全问题的地方之一。这说明在漂流体验过程中游客对容易出现安全问题的地方的感知不全面，容易忽略安全隐患因素。

3.3.3 漂流游客对出现漂流安全问题原因的认知

对于漂流安全原因的认知，大部分游客把漂流安全问题的主要原因归咎于自我防范不够、安全设施或装备不齐全。选择漂流设备质量不过关、工作人员失职、漂流公司和相关管理部门监管力度不够

这几项的相对较少，表明景区在这些方面管理到位。而把原因归咎于法律法规不完善的游客很少，只有 9.7%（表 6）。

表 5 游客认为最容易出现安全问题的地方  
Tab. 5 Tourists' perception of the most unsafe places

| 选项          | 选择人数/人 | 应答人数百分比/% |
|-------------|--------|-----------|
| 下水处         | 38     | 22.0      |
| 上水处         | 11     | 6.4       |
| 去起点的途中      | 5      | 2.9       |
| 从终点回来的途中    | 8      | 4.6       |
| 更衣/沐浴室      | 3      | 1.7       |
| 急流险滩        | 146    | 84.4      |
| 缓流区域        | 10     | 5.8       |
| 总共          | 221    | 127.7     |
| 缺失：3；有效：173 |        |           |

表 6 游客认为漂流旅游过程中出现安全问题的原因  
Tab. 6 Tourists' perception of the causes that lead to the safety problems during rafting tour

| 选项                | 选择人数<br>/人 | 应答人数<br>百分比/% |
|-------------------|------------|---------------|
| 自我防范不够            | 86         | 48.9          |
| 安全设施或装备不齐全        | 87         | 49.4          |
| 漂流设备质量不过关         | 43         | 24.4          |
| 工作人员失职            | 42         | 23.9          |
| 漂流公司和相关管理部门监管力度不够 | 38         | 21.6          |
| 漂流旅游安全的法律法规不完善    | 17         | 9.7           |
| 总共                | 313        | 177.8         |
| 缺失：0；有效：176       |            |               |

### 3.4 小结

漂流游客在漂流准备阶段对漂流安全的查阅、较高的漂流保险购买意识、漂流事故播报对漂流决策的较大影响均反映出游客对漂流安全的重视。在漂流着装选择、适漂年龄的认知和漂流安全措施的选择上依凭主观因素较多,不适宜的选择所占比例不小。对漂流过程中的安全与不安全漂流行为,很多游客不能够进行正确评价,对漂流安全事故表现形态的判断、对最容易出现安全问题的地方的感知都不够全面。漂流游客在寻求惊险刺激的同时也日益重视漂流的安全,但漂流游客的安全认知还待加强。提升游客的漂流安全认知,改善漂流旅游地安全设施,加强漂流安全管理,才能促进漂流旅游的健康发展。

## 4 基于漂流游客安全认知的漂流安全措施研究

### 4.1 漂流游客角度

在漂流准备阶段,游客应根据自身身体素质选择是否参与漂流,了解天气变化情况,树立漂流安全保险意识,做好安全防范工作,使自己的权益损害降到最低程度,并进行必要的漂流技术和自救知识学习,做好必要的着装和物品准备,不可贸然行动;漂流过程中严格遵守漂流公司的安全要求,听从工作人员的指导,切勿擅自行动,同时做好应对漂流风险的心理准备,减少漂流刺激给自身带来过度的心理和生理压力,防止过度惊慌或体力不支等造成的漂流风险,防止坠落水中等意外发生。

### 4.2 漂流旅游经营者角度

漂流旅游经营者应通过网络、景区解说为游客提供详细的漂流安全注意事项,提供近日天气变化和河流环境变化,指导游客提前做好漂流安全防范准备,尽管漂流前游客自己应该主动学习和了解漂流安全,但是漂流公司在下水前对游客再次进行漂流安全教育是非常必要的,因为每条河流的漂流环

境不一样(例如:水量、落差、漂流工具等),具有不同的漂流风险。应该给漂流游客配备头盔等安全装备,防止游客因水流过急而被石头或树枝刮伤擦伤,禁止准备不充分的游客漂流。在产品开发内容上,设计多样化的漂流旅游产品,满足不同人口特征的游客的安全需要。

### 4.3 漂流旅游管理部门角度

首先,相关管理部门应该建立专门的官方网站,明确统一的管理部门,以便建立完善的漂流管理法律法规体系,明确安全监督管理职责,对漂流旅游的安全开发和安全运营进行统一的管理,并统计和公布各漂流地伤亡情况和安全指数,向游客详细介绍河流环境、漂流技能、安全急救等知识。其次,应对漂流公司的安全检查,漂流设备、漂流艇操作过程、漂流艇操作人员和管理人员等进行不定时的突击检查和定时检查,加强对漂流艇操作人员和管理人员的培训,提高职业道德要求,增加漂流知识和常识的培训内容,除了对漂流技术、游泳和急救等方面进行培训,还要传授相关法律法规、流域的水流、气象、航道等常识,以便丰富漂流艇操作人员和管理人员对游客解说的内容。

## 5 结论

从游客认知的角度研究马岭河峡谷景区游客的漂流安全,分析了游客在漂流准备、漂流安全行为、漂流事故、漂流安全影响因素等方面的安全认知,得出总体上游客很重视漂流安全,但是漂流游客对漂流的安全认知还不够全面,有些地方存在认知误区。论文在相关研究的基础上根据漂流游客安全认知现状的原因分析提出漂流游客、漂流旅游经营者和漂流旅游管理者的对策,以减少安全事故发生,研究能够丰富漂流游客安全认知的相关理论和研究案例,为马岭河漂流安全管理提供指导,为其他漂流旅游地提供案例借鉴。

### 参考文献:

- [1] 徐福华. 基于轨迹交叉论的漂流旅游安全事故成因及防范 [J]. 衡水学院学报, 2014 (1): 1-4.
- [2] 王新建, 郑向敏. 旅游社区安全认知 [J]. 华侨大学学报: 哲学社会科学版, 2003 (4): 54-60.
- [3] Thapa B, Confer J J, Mendelsohn J. Trip motivations among water-based recreationists [C] //Policies, Methods and Tools for Visitor Management: Proceedings of the Second International Conference on Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas, Rovaniemi, Finland, 2004: 208-212.
- [4] Bently T A, PAGE S, Edwards J. Monitoring injury in the New Zealand adventure tourism sector: An operator survey [J]. Jour-

- nal of Travel Medicine, 2008, 15 (6): 395 – 403.
- [5] Jones C D, Hollenhorst S J, Perna F. An empirical comparison of the four channel flow model and adventure experience paradigm [J]. Leisure Sciences, 2003, 25 (1): 17 – 31.
- [6] Collins K A. Motive importance based on trip outcome, experience level, and group type related to whitewater paddling on the Nantahala River [D]. School of Health, Physical Education, and Recreation of Indiana University, Bloomington, 2007.
- [7] Hunter I R. An analysis of whitewater rafting safety data: Risk management for programme organizers [J]. Journal of Adventure Education and Outdoor Learning, 2007, 7 (1): 21 – 35.
- [8] Buckley R. Adventure tourism management [M]. London: Butterworth – Heinemann publications, 2010: 24 – 25.
- [9] Whisman S A. Injuries in commercial whitewater rafting [J]. Clinical Journal of Sport Medicine, 1999, 9 (1): 18 – 23.
- [10] Hovelynck J. Learning from accident analysis: the dynamics leading up to a rafting accident [J]. The Journal of Experiential Education, 1998, 21 (2): 86 – 95.
- [11] Fiore D C. Injuries associated with whitewater rafting and kayaking [J]. Wilderness and Environmental Medicine, 2003, 14 (4): 255 – 260.
- [12] 黄其新. 浅谈漂流景区的服务质量管理 [J]. 经营管理者, 2013 (30): 164.
- [13] 林香民, 李剑峰. 漂流旅游重大危险源及其评价 [J]. 安全与环境学报, 2004, 4 (2): 63 – 65.
- [14] 曹愉, 王玮. 漂流极其技术标准研究 [J]. 现代商贸工业, 2013 (4): 91 – 92.
- [15] 丁伟. 东北地区漂流筏检验现状与思考 [J]. 中国水运, 2009, 9 (9): 103 – 104.
- [16] 王维东, 伊英军. 充气式橡胶漂流艇生产技术标准研究与实践 [J]. 北方交通, 2014 (1): 122 – 123.

## STUDY ON SAFETY COGNITION ——BASED ON INVESTIGATION AND ANALYSIS OF GUIZHOU TOURISTS DRIFTING MALINGHE CANYON RAFTING TOURISTS

ZHANG Yang<sup>1</sup>, CHEN Lan – xue<sup>2</sup>, HUANG He – lan<sup>3</sup>

(1. Faculty of Landscape, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China;

2. Institute of Tourism, Sichuan Institute of Industrial Technology, Chengdu 618500, Sichuan, China;

3. Party School of ZhaoTong Municipal Party Committee, Zhaotong 657000, Yunnan, China)

**Abstract:** Drifting Tourism is a high risk tourism experience project, drifting safety concerned by people. This paper based on the questionnaire data of Maling River canyon in Guizhou, focus on the safety awareness of the tourists for their drifting actions. Take frequency analysis and principal component analysis to analysis survey data, The result shows that tourists paying attention to the drifting ready – – illustrate most drifting tourists have a common safety awareness. Many tourists can not recognize whether their action are safety or not in drift process. The judgement for the drifting accident and the knowledge about the most vulnerable part during drifting are not comprehensive enough. The article proposed management strategies via the perspectives of drifting tourists, operators and managers.

**Key words:** drifting visitors; safety awareness; Maling River



# 贫困喀斯特地区旅游发展研究 ——以云南丘北县普者黑景区为例

李 亚, 陈伟康

(云南师范大学 旅游与地理科学学院, 云南 昆明 650500)

**摘要:** 喀斯特地区由于独特的自然构造, 通常容易形成各种地质景观, 并且大多是集俊、险、秀为一身, 有着较高的审美价值; 喀斯特地区通常又是自然环境较为脆弱的地区, 生态较为贫瘠。云南丘北普者黑景区是典型的喀斯特地区, 近年来旅游发展十分迅速, 作为研究区具有很好的代表性。通过将研究区内外部因素以及市场供给与需求因素相结合分析可以对研究区的旅游发展现状以及问题做出很好的归纳与总结, 从而可以有针对性地提出研究区旅游发展的对策与建议, 认为喀斯特地区的旅游发展有着自身的轨迹, 在旅游的发展过程中应当注重开发与保护并行。

**关键词:** 丘北县; 普者黑; 喀斯特地区; 旅游发展

**中图分类号:** F59

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7852(2016)01-0067-06

喀斯特地貌在中国南方尤其是云贵高原发育较多, 形成了较为壮观和丰富的喀斯特景观, 但是如果较为深入的研究这些区域又会发现这些区域又大多都是经济发展欠发达地区。喀斯特地区现实的自然条件, 在很大程度上限制了这些地区大规模的发展工农业, 因此, 这些地区的发展往往要另辟蹊径。本文以滇东南小城丘北县为例, 研究贫困喀斯特地区旅游发展。

## 1 研究区简况

### 1.1 丘北县基本状况简介

丘北县位于云南省东南部, 是云南省文山壮族苗族自治州的所辖县(图1), 距离文山州府114 km, 距离昆明市280 km, 是典型的喀斯特地区。

丘北地处滇东南岩溶山原丘陵地带, 平均海拔为1 452 m, 境内年平均气温13.2~19.7℃, 年平均降雨量1 000~1 270 mm, 是属于康乐气候区;

丘北县境内水资源丰富, 但土地资源较为有限, 粮食主要有粮豆、小麦、稻谷, 经济作物主要有辣椒和烤烟; 境内有较为丰富的生物资源和矿产资源, 但是开发利用较少。

丘北县长期以来都是国家级贫困县, 经济发展较为滞后。在文山州7个州市中, 相关经济数据均处于倒数(表1), 脱贫是丘北县面临的首要问题。

### 1.2 普者黑景区基本状况简介

普者黑景区位于云南省东南部, 文山州丘北县境内, 地处东经103°34'~104°32'、北纬24°00'~24°26', 交通条件较为优越, 是滇东南喀斯特精品旅游线上的重要节点。

普者黑海拔1 458 m, 其地貌特征主要是溶盆孤峰, 由灰岩、白云岩组成, 盆地平坦, 中部溶峰孤立, 形成了“峰林洼地”这一独特景观; 普者黑气候温和、四季如春、空气湿润, 全年为康乐气候和休养度假气候; 普者黑景区内水资源丰富, 湖泊广布, 水网纵横, 其中普者黑湖、仙人洞湖、落水

收稿日期: 2015-07-07; 修订日期: 2015-11-19.

基金项目: 云南省科技计划项目“旅游活动对景区生态安全影响研究——以普者黑景区为例”(2013FZ046)资助。

作者简介: 李亚(1969-), 女(壮族), 云南省文山壮族苗族自治州砚山县人, 副教授, 硕士, 研究方向为区域旅游开发与管理。

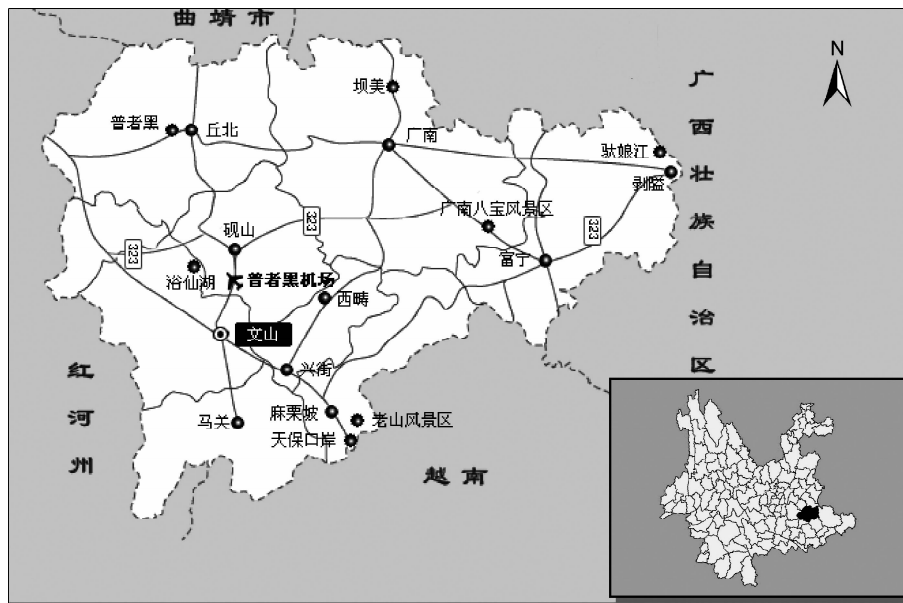


图 1 普者黑景区地理位置

Fig. 1 The location of Puzhehei sightview place

表 1 丘北县相关经济指标在文山州排名

Tab. 1 The order of related economic index of Qiubei county in Wenshan autonomous prefecture

| 指标名称     | 人口<br>/万人 | 人均 GDP<br>/元 | GDP<br>/万元 | 一产增加值<br>/万元 | 二产增加值<br>/万元 | 三产增加值<br>/万元 | 农民人均<br>纯收入/元 | 城镇居民人均<br>可支配收入/元 |
|----------|-----------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------------|
| 文山州      | 356.1     | 13 459       | 4 780 241  | 1 150 844    | 1 836 365    | 1 793 032    | 4 643         | 18 883            |
| 丘北县      | 48.33     | 8 445        | 407 052    | 169 592      | 90 596       | 146 864      | 4 567         | 17 658            |
| 丘北县在全州排名 | 3         | 6            | 407 052    | 2            | 7            | 6            | 5             | 4                 |

数据来源：丘北县 2012 年统计年鉴。

洞湖、摆龙湖为较大的湖泊；景区内土地资源类型多样。

普者黑景区除了具有较为优越的自然条件外，普者黑又是汉、壮、苗、彝、回、白、瑶族为主的各民族杂居地，多元的民族文化为这里的旅游开发加分不少。

### 1.3 普者黑景区旅游发展对丘北县经济发展影响

普者黑景区自 1993 年开园以来，发展十分迅速，尤其是近年，普者黑景区通过不断完善服务以及加大宣传，使得普者黑景区名声大噪，成为人们向往的旅游景点。依托普者黑景区的旅游发展，带动相关服务产业的提升，丘北县经济发展呈现出良好的发展态势。根据相关统计数据显示，2013 年丘北县旅游收入占丘北县 GDP 总量的 18% 左右，可以说旅游业已经成为丘北县经济发展的支柱产业。而近年来，旅游收入占 GDP 的比重仍在不断上升

(表 2)，并且通过相关性分析，丘北县的经济发展和旅游收入的变化呈现出极大的相关性。

表 2 丘北县旅游收入占 GDP 比重

Tab. 2 The proportion of tourism income in GDP in Qiubei County

| 项目      | 2010 年   | 2011     | 2012 年  | 2013 年  | 2014 年  |
|---------|----------|----------|---------|---------|---------|
| GDP/万元  | 263 953  | 329 838  | 407 052 | 477 101 | 530 943 |
| 旅游收入/万元 | 49 075.7 | 60 037.2 | 86 000  | 101 000 | 132 600 |
| 所占百分比/% | 18.59    | 18.20    | 21.13   | 21.17   | 24.97   |

数据来源：丘北县旅游局统计数据。

## 2 普者黑景区旅游发展的因素分析

### 2.1 内部因素——景观构景因素

喀斯特地貌变化多端，特色鲜明，极具观赏价值<sup>[1]</sup>，在喀斯特发育较为良好的地区，通常能

够形成峰丛、峰林、瀑布、峡谷、洞穴及地下河等旅游景观,可以进一步构建出“奇山、秀水、美石、异洞”为特色的喀斯旅游资源,并且再加上喀斯特背景下丰富多样的特色文化,则更增添了本地旅游开发的魅力<sup>[2]</sup>。从中国目前喀斯特地区旅游发展现状来看,在这些地区通常都有较为丰富和优秀的旅游资源。贵州省是中国南方喀斯特区域的中心区,喀斯特地貌发展最典型和最显著,也正因如此,贵州的旅游近年来发展十分迅速。贵州现有国家级5A旅游景区3家,分别是安顺黄果树瀑布、安顺龙宫景区以及毕节百里杜鹃景区,这3个景区均位于喀斯特地区,其中黄果树瀑布和龙宫直接就是喀斯特景观。喀斯特地区著名的旅游景点还有诸如桂林山水、马岭河大峡谷、云南石林等。

而丘北普者黑景区也是典型的喀斯特景观,景区内分布着大小山峰312座、湖泊54个,山峰错落有致、形态各殊,湖泊星罗棋布、水质清澈,是典型的“峰林湖泊”景观,整个基地山水相连,湖光山色融为一体,蔚为奇观。再加上珍稀野生荷花、野生鸟类等动植物资源的点缀,整个基地生态环境良好、资源品质极高。这些美丽、奇特的景观,是旅游业发展的基础和前提,为旅游开发提供了良好的条件。

## 2.2 外部因素——生态保护因素

喀斯特是一种特殊的自然综合体,其独特的地球化学特质决定了地貌的特殊性,具体表现在地表水渗漏强烈,成土速度缓慢,土壤侵蚀严重,植被易受破坏,生物承载量低等特点,喀斯特地区是生态环境异常脆弱的地区<sup>[3]</sup>。对于这样的区域来说,要在发展的过程中兼顾保护,在保护中开发就十分有必要,而世界普遍的工农业先发展模式显然不适合喀斯特地区,从这个角度看,加快旅游业的发展是不二选择。旅游业的发展相对于工农业来说对于生态环境的破坏较小,同时旅游业的发展还能提升政府和相关部门对于保护自然环境的自觉认识,并且,旅游业的发展还能在很大程度上带动相关产业的发展,最终改善和提高人们生活水平。

“普者黑”在彝语中的意思是“鱼虾多的地方”,这与其丰富的水资源是分不开的。通常情况下,在喀斯特地区,因为主要是易溶性岩石,所以水下渗很快,不易在地表集聚,所以地表不容易汇水。而普者黑景区却是例外,河网纵横,与大小孤

峰相映,形成了十分壮丽的景观,可以说,水是普者黑景区发展的关键。但是喀斯特地区生态极其脆弱,水资源更显得异常宝贵,此地区应在保护的前提下开发。相对于现代工农业,旅游业对于环境的破坏较轻,更为重要的是旅游发展必须要求当地保护好生态环境。

## 2.3 市场供给因素——精品喀斯特景点较少且存在过度开发

虽然喀斯特地貌在中国南方广布,也形成了大大小小不少旅游景点,但是精品景点较少,目前主要有桂林山水、黄果树瀑布、安顺龙宫、云南石林等,这些地区旅游发展历史较长,名声享誉海内外,每年吸引着众多的游客,但是另一方面来看,这些景点多多少少存在着过度的旅游开发,对于游客来说,旅游体验在不断的下降。此外,很多喀斯特景点存在着同质化的现象,还有一些喀斯特景点由于欠缺开发和相关宣传,对游客的吸引力并不强。

长期以来,普者黑景区以其“自然”、“原生态”的山水田园风光吸引了大量的游客,景区内拥有万亩野生荷花、一望无际的桃园和世界最大的岩溶湿地。并且近年来,普者黑景区扩大宣传渠道,更让景区知名度一再扩大。虽然滇东南地区,喀斯特地貌广布,也形成了一些景点如同样位于文山州的广南坝美,但是这些喀斯特景点无论在发展历史、景区面积、旅游服务以及对外宣传上都较普者黑景区弱。所以普者黑景区在很大程度上提供了能够满足当今旅游市场上人们对于此类型的喀斯特山水田园景观的旅游需求。

## 2.4 市场需求因素——人们对喀斯特山水田园景观的热爱

近年来,旅游市场在不断的发生着改变,人们对于旅游的需求在不断的朝“观光”、“休闲”方面发展,在云南旅游“二次创业”明确提出:旅游的开发必须要围绕旅游转型升级、提质增效来进行,康体休闲度假产品是旅游产业开发建设的重点,实现旅游产品由观光型向观光度假型转变。云南旅游“二次创业”的提出其实也是在很大程度上为了满足市场上人们对于旅游需求的变化。

喀斯特地貌下形成的旅游景观种类丰富,但多以峰林、溶洞、石柱、石笋、石林和峡谷为主,形成像普者黑景区的“峰林洼地”这一景观的较少。同时,普者黑景区自然环境优美,气候适宜,森林

覆盖率较高,除此之外,景区还拥有着保持传统特色的民族文化。游客在这里除了能够更加亲近自然,还可以领略乡村的安静与闲适,感受浓郁的民族文化气息,可以得到真正的休闲与放松,忘却城市的喧嚣与繁杂,让游客流连忘返。

### 3 普者黑景区旅游发展存在的问题分析

#### 3.1 过度开发与开发不够

过度开发与开发不够看似是两个完全相反的问题,其实是一个问题的两个方面,即景区的开发不合理,欠缺科学的规划。喀斯特地区由于其环境的特殊性,其景点的开发必须要因地制宜,在规划时以及开发的前期应有较为长远的战略眼光,这样才能使景区走上可持续的发展道路。而在现实中,喀斯特景区大多数都是处于过度开发状态,有些开发让景区失去了原来的面目,甚至造成了景区及当地不可修复性的永久破坏。此外,一些喀斯特

景区也存在开发不够的问题,有些地方拥有良好的喀斯特旅游资源,但是政府管理者只顾及眼前利益,不对景区做科学、合理的规划,在日常中也缺乏管理,采取放任型发展,最后导致景区旅游资源破坏严重。

普者黑景区在开发的前期对景区的定位不够清晰,在规划及后来建设中也走了不少弯路,造成普者黑景区生态环境出现破坏。近年来,普者黑景区发展十分迅速,为了迎合旅游市场需求,大量的建设给景区的生态环境造成了一定的破坏。笔者根据普者黑景区的相关监测资料来看,其生态环境近十年来,是在呈现下降趋势,尤其是在水质方面表现较为突出,而水又是普者黑景区发展的关键因素。另一方面,普者黑景区也存在着开发不够的问题,景区内自然风光优美,四季感受不同,但是现阶段,普者黑景区的发展却存在着严重的季节性(图2),其根源便是景区内景观的开发比较单一,主要开发旅游景观水景,而其他景观涉之甚少。

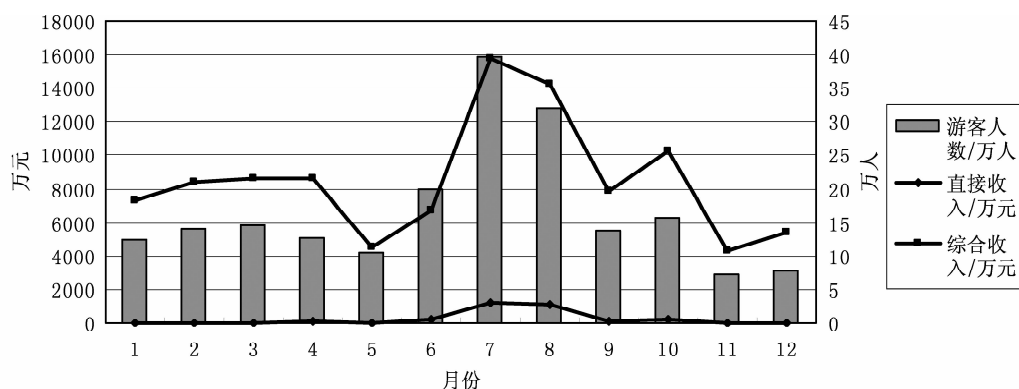


图2 普者黑景区各月旅游人数与旅游收入

Fig. 2 The tourist numbers and tourism income of every month in Puzhehei sightview place

数据来源:丘北县旅游局统计数据。

#### 3.2 同质竞争与缺乏合作

喀斯特地貌通常是沿片分布,一个区域内就往往很有可能形成多个喀斯特景点,并且由于位置相近,景观重合,同质现象异常严重,造成了区域内喀斯特景点之间竞争十分激烈。并且由于存在地方保护主义和眼前利益的驱动,以及管理者的局限性思维,各个景点间缺乏有效和合作机制。

滇东南是喀斯特地貌广布的区域,也因此形成了一系列的喀斯特景点,在图1中的广南坝美以及八宝风景区都是较为典型的喀斯特地貌下形成的旅游景点,并且和普者黑景区景观类型相似,造成了

景点之间的竞争,分流了一部分旅游市场。

#### 3.3 交通不便与宣传不佳

根据王剑<sup>[4]</sup>和刘章宇<sup>[5]</sup>等学者的研究都认为在喀斯特地貌下,由于石山广布,岩溶塌陷等因素,所以在喀斯特地区修建交通设施,尤其是铁路及高速公路成本投入高,建设难度大,这也是长期以来云贵地区交通落后的因素之一。交通不便使得游客进入景区的难度增大,旅游的成本投入较高,游客较少,因而开发商也不愿意投入更多资金进行景区开发,造成恶性循环,难以推动旅游业的发展。与交通不便对应的还有缺乏宣传,交通不便在一定程

度上导致了当地的相对闭塞,与外界缺少交流,自然在对外宣传的途径上就相对缺乏,宣传效果上就相对较弱。

长期以来,滇东南地区(尤其是文山州)是云南省交通条件相对薄弱的地区之一,虽然最近几年,通过建设机场及高速公路使得该地区交通条件得到不少的改善,但是交通条件仍然落后,交通条件已经成为限制当地旅游发展的重要因素。以普者黑景区为例,选择高速公路,从昆明市区出发,最短距离仅为300 km左右,但是行车却要近5 h;航班一天有三趟,运行50 min;无铁路。普者黑景区通过一些媒体节目在对外宣传上取得了一些成绩,但是仍然缺乏具有特色及持续性的宣传,相对于省内其它景点的宣传而言,仍显落后。

## 4 普者黑景区旅游发展的对策建议

### 4.1 合理规划,适度开发

如前文分析所述,喀斯特地区是生态环境脆弱的地区,要在保护的前提下开发,在开发的过程中保护。这就需要在开发的前期进行充分的调研论证,合理规划,对景区未来的发展要有长远的眼光。普者黑景区近年来对景区的发展做了不少的规划,如2009年编制的《普者黑景观规划》、2010年编制的《普者黑旅游休闲度假基地暨旅游循环经济试验区总体规划(2010-2020)》以及2014年编制的《普者黑国家度假公园总体规划(2015-2030)》等。管理部门对普者黑景区的发展做了不少的规划,这些规划对普者黑景区的发展多多少少都起了一定的作用,但是这些规划之间也存在矛盾,造成了景区的发展出现了走弯路的局面,并且规划的本身仍缺乏较为长远的战略眼光,规划的实施缺乏相关行政法规的保障,往往使得规划成为一纸空文。因此,景区的规划应当有一个总的、长远的规划纲领,可以在这个纲领下编制小的规划文件,并且对规划纲领的实施要有相关法规保证,使得规划纲领能够长期有效的实施。

### 4.2 突出特色,大力合作

喀斯特地貌下形成的旅游景观众多,加之不同地区有着差异较大的人文资源,因此不同的喀斯特景点应当因地制宜,配合当地的人文资源,突出自己的旅游特色,形成自身的旅游发展模式。并且,

区域内的喀斯特景点间应当加强合作与交流,建立快捷旅游通道,共享相关旅游信息,打造出著名的喀斯特旅游区。普者黑景区主打休闲旅游度假区,其自身发展的宝贵资源是较为传统的民族民俗文化以及原生态的自然环境,游客畅游在喀斯特山水间,亲身体验乡村生活,放松身心;而坝美景区应当主打观光旅游,这里被誉为桃花源的现实版,河谷、流水、翠竹、水车、农田、茅舍、桃花,诗意难比,这里的风景让人流连忘返。两景点间既有共性又有个性,相互合作可以促进区域旅游的发展,尤其是可以扩大对外省游客的吸引。

### 4.3 便捷交通,扩大宣传

交通条件是限制喀斯特区域旅游发展的重要因素之一,便捷交通条件主要应当体现在两方面:一是便捷与周边旅游集散地城市之间交通;二是便捷与周边旅游景点之间交通。就普者黑景区发展而言,昆明市是云南省旅游主要集散地,文山市是文山州主要旅游集散地,普者黑景区应当首先加强与这两城市之间的交通建设,缩短旅游交通时间,提高旅游可达性;其次,应当加强与广南坝美等景点间的交通建设,目前普者黑景区与坝美距离仅有170 km左右,但是行车却需要4~5 h。具体来说,可以建设包括城轨、高铁以及高速公路等一系列交通发展措施,提高旅游交通的便捷性。

喀斯特区域在对外宣传上,要注意重点突出喀斯特地区的奇、险、秀,具体到普者黑景区来说,在对外宣传时要突出其喀斯特山水田园风光辅以介绍当地神秘的撒尼文化;其次要注意旅游打包宣传,即在一些旅游推荐场合下,可以把滇东南喀斯特旅游区作为整体对外宣传。

## 5 结论与讨论

喀斯特地区旅游发展有一条独特的轨迹,与其它或人文或自然景观的旅游开发存在一定的不同;同时,喀斯特地貌下发育的旅游景观又在世界旅游景观之林中独树一帜,是宝贵的旅游资源。因此既要开发这神奇的喀斯特旅游景观,让世人去欣赏它的美,陶冶情操,同时带动这一块并不富饶的土地焕发光彩,又要跟随其独特的旅游发展轨迹,合理开发,保护好这一神奇的旅游资源,造福后代。

**参考文献:**

- [1] 彭德. 促进喀斯特地貌地区生态旅游发展的措施 [J]. 绿色科技, 2014 (5): 262 – 263.
- [2] 殷红梅, 梅再美. 贵州喀斯特地区旅游资源的整合开发与产业联动发展探讨——以花溪高坡、龙里猴子沟为例 [J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2004, 22 (2): 90 – 94.
- [3] 殷红梅, 杨龙. 贵州喀斯特民族地区旅游业可持续发展研究 [J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2000, 18 (3): 26 – 30.
- [4] 王剑, 彭建. 喀斯特地貌在贵州旅游业发展中的地位与作用 [J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2002, 20 (4): 17 – 19.
- [5] 刘章宇. 贵州省道路交通病害类型分析与防治对策 [J]. 交通企业管理, 2013 (2): 56 – 58.
- [6] 杨明. 充分发挥喀斯特文化在贵州旅游上的优势 [J]. 西南民族大学学报: 人文社科版, 2004, 25 (7): 468 – 470.
- [7] 卢兰, 张群英, 滕建珍. 贵州喀斯特旅游资源可持续发展需重视的关键科技问题 [J]. 经济地理, 2002, 22 (5): 638 – 639.
- [8] 颜廷武, 张俊飏. 加快推进贵州喀斯特生态旅游开发 [J]. 国土与自然资源研究, 2002 (3): 41 – 43.
- [9] 马贤惠. 贵州喀斯特地区产业发展与地区治穷致富研究 [J]. 贵州信息与未来, 2013 (1): 43 – 49.
- [10] 王燕, 孙德亮. 贵州喀斯特地区农业生态旅游发展初探 [J]. 广东农业科学, 2013 (7): 208 – 210; 218.

## RESEARCH ON THE TOURISM DEVELOPMENT IN POVERTY KARST AREA ——TAKE PUZHEHEI SCENIC AREA IN QIUBEI COUNTY OF YUNNAN AS AN EXAMPLE

LI Ya, CHEN Wei – kang

(College of Tourism & Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, Yunnan, China)

**Abstract:** Karst area, due to the nature of the unique structure, usually easy to form a variety of geological landscape, and most of them are in handsome, dangerous, beautiful, has a higher aesthetic value; Karst area is also a fragile region of natural environment, the ecology is barren. Yunnan Qiubei Puzhehei area is a typical karst area, and tourism are developing rapidly in recent years, as the study area has a very good representative. Combining internal and external factors and market supply and demand factors analysis of the tourism development of the present situation of the study area and make good induction and summary, which can put forward countermeasures and suggestions for the tourism development of the study area. karst area tourism development has its trajectory, in the process of tourism development should focus on the development and protection at the same time.

**Key words:** Qiubei County; Puzhehei; Karst area; tourism development

# 基于 QAP 算法的游客信息搜索动因研究

田里, 刘莎

(云南大学 工商管理与旅游管理学院, 云南 昆明 650500)

**摘要:** 旅游信息搜索是游客购买旅游产品过程的首要步骤之一。随着网络技术的不断发展和智慧旅游建设工作的深化, 互联网信息已成为游客信息搜索过程中的首要信息源。通过百度指数得到了游客对中国西南地区 26 个国家 5A 级景区的搜索数据, 利用 UCINET 构建信息搜索网络, 构建了影响游客信息搜索网络的模型, 并基于二次迭代分配 (QAP) 算法, 从关系数据视角探讨了影响游客搜索旅游信息的因素。研究发现, 景区间距离差值矩阵和对游客信息搜索网络具有显著的反向作用, 景区网站效用差值矩阵具有显著的正向作用, 门票价格对游客信息搜索行为影响较弱。

**关键词:** 智慧旅游; 游客信息搜索; 二次迭代分配算法; 社会网络

**中图分类号:** F59

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7852(2016)01-0073-06

## 1 研究背景

游客使用各种信息渠道为旅游提供信息支持就是旅游信息搜索行为<sup>[1]</sup>。当潜在旅游需求出现, 游客需要做出决策, 且自身拥有和掌握的信息不能有效满足时, 游客就会进行外部信息搜索<sup>[2]</sup>, 利用互联网具有主动性强、信息来源多元化等特征来获取旅游信息。显然, 互联网成为游客获取旅游信息、分享旅游体验的主要方式<sup>[3]</sup>。

近几年, 国家旅游局相继批准了第一批 18 个、第二批 15 个智慧旅游试点城市。2015 年印发的《关于促进智慧旅游发展的指导意见》, 提出“建成国家智慧旅游公共服务网络 and 平台”的目标<sup>\*</sup>。智慧旅游工作的推进有利于旅游公共服务平台和网络的建设, 有利于旅游景区、旅游企业和旅游城市优化游客管理<sup>[4]</sup>。同时, 智慧旅游的发展也促使游客更多的通过互联网/移动互联网、借助便携的终

端上网设备, 主动感知旅游资源、经济、活动和旅游者等方面的信息, 及时了解这些信息, 便于安排和调整工作与旅游计划, 从而达到对各类旅游信息的智能感知、方便利用的效果<sup>[5]</sup>。

游客利用互联网对旅游信息进行搜索时, 产生了大量的网络信息, 由于网络信息的实时性、交互性和易用性, 众多搜索信息的交汇便形成了信息网络<sup>[6]</sup>。而这些搜索信息与现实中的旅游行为存在一定的相关性<sup>[7]</sup>。已有研究证明这些网络信息对于游客具有引导作用<sup>[8-9]</sup>, 并对游客量具有预测作用<sup>[10-11]</sup>。而游客的这种信息搜索数量和程度, 在学术研究中常采用搜索引擎发布的指数作为代理变量进行研究, Ginsberg 等利用谷歌的搜索功能, 采集了与流感相关关键词的关注度指数, 证明了同期关注百度指数与流感病人数具有较高的相关性, 并构建了基于谷歌搜索数据的监测模型, 成功利用搜索数据来预测流感疫情<sup>[12]</sup>。随后, 该方法在经济社会领域得到了广泛运用, 如 Choi H 利用谷歌指

收稿日期: 2015-08-22; 修订日期: 2015-12-17.

基金项目: 云南大学第七届研究生科研创新基金“智慧旅游背景下景区对游客管理模式创新研究——以世界文化遗产丽江古城为例”(YNUY201429)。

作者简介: 田里 (1961-), 男, 彝族, 云南省昆明市人, 教授, 博士生导师, 研究方向为旅游经济及旅游规划。

\* 参考国家旅游局网站: <http://www.cnta.gov.cn:8000/Forms/Search/SearchResultList.aspx?keyWord=%u667A%u6167%u65C5%u6E38&pageSize=20#>



数预测了零售产品的销售量<sup>[13]</sup>。在国内,百度指数所采集的关注度数据在研究股票收益、游客流量、舆情管理及城市网络结构等方面均涌现了一些成果,如黄先开,张丽峰和丁于思利用百度指数建立了游客搜索量与游客量之间的关系,有效地建立了游客量预测模型<sup>[14]</sup>。

从已有研究来看,基于搜索引擎指数所搜集的游客搜索数据较多作为解释其他变量的一个自变量,缺乏对于游客信息搜索动因的探讨,同时以“游客”和“信息搜索”同时作为关键词在 CNKI 数据库进行检索,仅有 3 篇期刊论文和一篇硕士毕业论文。从研究方法来看,已有研究主要采用多元回归和结构方程的方法,而这两种方法所采用的数据主要是属性数据,要求变量间相互独立,否则会因为共线性引起估计量非有效。本文首先利用百度指数收集了 2015 年 4 月份共 30 日游客对西南地区 26 个国家 5A 级景区\* 的搜索量,并将其转化为关系数据,随后,

运用 QAP 算法对影响游客信息搜索的各关系数据进行了分析,从社会网的视角给出了结论。本文所采用的 QAP 算法属于非参数检验,在研究“关系”之间的关系中已有广泛应用,属于社会网分析方法,一定程度上克服了属性数据所产生的模型预测失效,有利于从关系数据的视角给出解释。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源与变量定义

#### 2.1.1 因变量

采用百度指数功能获取游客搜索数据,百度是全球最大的中文搜索引擎,百度指数是百度公司在 2006 年推出的以百度网页搜索和百度新闻搜索为基础的海量数据分析服务。如图 1 所示,游客搜索量反映了所搜索的关键词在过去一段时间里游客利用百度搜索引擎在百度搜索中累计被搜索的频次\*\*。

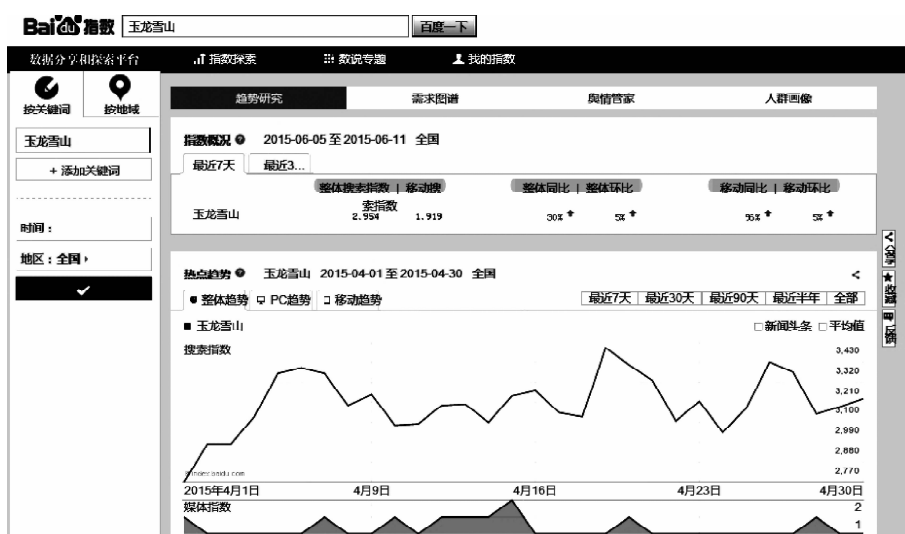


图 1 百度指数下的游客关于“玉龙雪山”的搜索量

Fig. 1 The search volume of Jade Dragon Snow Mountain based on Baidu index

本研究选取了西南地区 26 个国家 5A 级旅游景区作为研究的样本,为了确保数据的准确性,首先将景区全称\*\*\*输入百度指数搜索框,若百度指数未收录该词条,则调整搜索关键词直至出现搜索结果,同时,根据“舆论管家”中的搜索词条判断相

关性,进一步调整搜索关键词直到最优。为了后续研究的方便,本文给每一景区设置了代码,代码的前两位为景区所在省份的缩写,后两位为编号,如云南省迪庆州香格里拉普达措景区即为代码“YN01”。表 1 给出了 26 个景区的名称、代码、搜

\* 西南地区指我国云南、贵州、四川、西藏 4 省及重庆市。

\*\* 百度指数提供的搜索量包括整体趋势、PC 趋势以及移动趋势,本文数据采用了整体趋势数据,即包含了游客在 PC 端的搜索量和移动终端的搜索量。

\*\*\* 所有景区的名称均来自于国家旅游局网站: <http://www.cnta.gov.cn:8000/Forms/TravelCatalog/TravelCatalogList.aspx?CatalogType=view&resultType=5A>。

索关键词以及 2015 年 4 月游客的平均搜索量。

根据表 1 数据, 首先, 得到了景区之间的斯皮尔曼相关系数, 并进行了显著性检验, 当景区  $i$  与景区  $j$  之间的相关系数大于 0.5, 且在 10% 水平上显著时, 认为它们具有“共现性”。即认为大多数

游客在百度上进行搜索时, 同时对上述两个景区进行了关注, 此时, 游客搜索矩阵中元素  $Y_{ij} = 1$ , 否则记为 0; 其次, 根据上述原则, 我们得到一个  $26 * 26$  的对称矩阵, 该矩阵也是一个二值矩阵, 构成了本文研究的因变量——游客搜索网络数据。

表 1 26 个景区基本信息及游客搜索结果

Tab. 1 Basic information and searching results of the 26 scenic spots

| 序号 | 省份 | 代码   | 景区名称             | 批准时间 (年) | 游客搜索量/次 |
|----|----|------|------------------|----------|---------|
| 1  | 云南 | YN01 | 迪庆州香格里拉普拉措景区     | 2012     | 538     |
| 2  | 云南 | YN02 | 丽江市丽江古城景区        | 2011     | 2 164   |
| 3  | 云南 | YN03 | 丽江市玉龙雪山景区        | 2007     | 3 095   |
| 4  | 云南 | YN04 | 昆明市石林风景区         | 2007     | 1 328   |
| 5  | 云南 | YN05 | 中国科学院西双版纳热带植物园   | 2011     | 4 560   |
| 6  | 云南 | YN06 | 大理市崇圣寺三塔文化旅游区    | 2011     | 5 406   |
| 7  | 重庆 | CQ01 | 重庆市南川金佛山 - 神龙峡景区 | 2013     | 297     |
| 8  | 重庆 | CQ02 | 重庆市万盛经开区黑山谷景区    | 2012     | 857     |
| 9  | 重庆 | CQ03 | 酉阳桃花源旅游景区        | 2012     | 899     |
| 10 | 重庆 | CQ04 | 重庆巫山小三峡 - 小小三峡   | 2007     | 195     |
| 11 | 重庆 | CQ05 | 重庆大足石刻景区         | 2007     | 1 282   |
| 12 | 重庆 | CQ06 | 武隆喀斯特旅游区         | 2011     | 179     |
| 13 | 四川 | SC01 | 阿坝州汶川特别旅游区       | 2013     | 884     |
| 14 | 四川 | SC02 | 绵阳市北川羌城旅游区       | 2013     | 702     |
| 15 | 四川 | SC03 | 南充市阆中古城旅游区       | 2013     | 1 758   |
| 16 | 四川 | SC04 | 广安市邓小平故里旅游区      | 2013     | 189     |
| 17 | 四川 | SC05 | 阿坝藏族羌族自治州九寨沟旅游景区 | 2007     | 12 411  |
| 18 | 四川 | SC06 | 乐山市峨眉山景区         | 2007     | 4 307   |
| 19 | 四川 | SC07 | 成都市青城山 - 都江堰旅游景区 | 2007     | 2 313   |
| 20 | 四川 | SC08 | 四川省阿坝州黄龙景区       | 2012     | 254     |
| 21 | 四川 | SC09 | 乐山市乐山大佛景区        | 2011     | 3 233   |
| 22 | 贵州 | GZ01 | 毕节市百里杜鹃景区        | 2013     | 1 434   |
| 23 | 贵州 | GZ02 | 安顺市龙宫景区          | 2007     | 563     |
| 24 | 贵州 | GZ03 | 安顺市黄果树大瀑布景区      | 2007     | 2 579   |
| 25 | 西藏 | XZ01 | 拉萨市大昭寺           | 2013     | 664     |
| 26 | 西藏 | XZ02 | 拉萨布达拉宫景区         | 2013     | 2 225   |

资料来源：根据国家旅游局网站以及百度指数搜索结果整理而来。

### 2.1.2 自变量

各个解释变量根据已有文献中具有统计意义的影响因素整理而来, 具体包括各景区人均收入差值网、景区开放程度差值网、人口密度差值网、门票价格差值网、景区间的距离差值网、景区网站效用得分差值网。其中, 解释变量为门票价格差值网、景区间距离差值网和景区网站效用得分差值网, 其余为控制变量。

以门票价格差值网为例, 首先采取网上查询、电话查询以及实地调查等多种方式, 获取各个景区的门票价格, 然后用两个景区门票价格之差构建网络矩阵, 其他差值网络矩阵数据采取同样的处理, 两个景区间的距离以百度地图自动计算的自驾最短距离为准, 景区网站效用得分参考了胡宇娜等人的研究结果<sup>[15]</sup>, 各变量的定义和说明见表 2。

表 2 变量定义及说明  
Tab. 2 Definitions and descriptions of the Variable

| 变量类型  | 名称及符号                | 定义及说明                                                                                       |
|-------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 被解释变量 | 游客信息搜索网络矩阵 ( $Y$ )   | 若游客同时对 $i$ 和 $j$ 两个景区进行了搜索, 记为 1, 否则为 0, 是一个二值对称矩阵                                          |
| 解释变量  | 门票价格差值网络矩阵 ( $X_1$ ) | 若景区 $A$ 和景区 $B$ 的门票价格分别为 $a$ 和 $b$ , 则门票价格差值网矩阵中, 元素                                        |
|       | 景区间距离差值网矩阵 ( $X_2$ ) | 若景区 $A$ 和景区 $B$ 之间的距离为 $c$ , 则距离差值网矩阵中, 元素 $X_{AB} = X_{BA} = c$ , 是一个对称矩阵 $X_{AB} = a - b$ |
|       | 网站效用得分差值矩阵 ( $X_3$ ) | 若景区 $A$ 和景区 $B$ 的网站效用得分分别为 $a$ 和 $b$ , 则门票价格差值网矩阵中, 元素 $X_{AB} = a - b$                     |
| 控制变量  | 人均收入差值网 ( $X_4$ )    | 受数据可得性制约, 人均收入为城镇人均可支配收入, 差值处理同解释变量                                                         |
|       | 景区开放程度差值网 ( $X_5$ )  | 对外开放程度为进出口贸易额占 GDP 的比重, 差值处理同解释变量                                                           |
|       | 人口密度差值网 ( $X_6$ )    | 人口密度为各个景区所在地域 (市、县或区) 人口总数与土地面积之比, 差值处理同解释变量                                                |

## 2.2 模型

由于各个网络矩阵的度量单位不同, 首先需要对矩阵进行标准化处理, 同时, 考虑到  $N$  的对数函数的性质, 要求  $N > 0$ , 因此, 本文采用下列公式进行网络数据的标准化处理 (各个矩阵的对角线元素除外):

$$X' = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

随后, 构建如下模型:

$$\ln(Y') = \beta_0 - \beta_1 \ln(X'_1) + \beta_2 \ln(X'_2) + \beta_3 \ln(X'_3) + \beta_4 \ln(X'_4) + \beta_5 \ln(X'_5) + \beta_6 \ln(X'_6) + \mu$$

其中,  $\beta_0$  为常数项,  $\mu$  为误差项。

## 2.3 QAP 算法

本文所使用的 QAP 算法是以矩阵置换为基础, 对两个或多个方阵 ( $N \times N$  矩阵) 中对应的各个元素值进行比较, 并给出两个矩阵间的相关系数, 同时对系数进行非参数检验的一种方法<sup>[16]</sup>。计量经济学中的多元回归要求数据满足高斯—马尔可夫定理, 否则便会出现伪回归。显然, 本文研究所使用的关系数据不满足高马定理, 存在而 QAP 算法并不要求数据满足这一条件, 另外, Hubert<sup>[17]</sup> 和 Krackhardt<sup>[18]</sup> 先后证明在研究关系数据方面, QAP 算法都要优于 OLS 算法。

## 3 游客信息搜索动因分析

QAP 算法主要包括 QAP 相关分析和 QAP 回归

分析, 其中, QAP 相关分析主要研究了网络矩阵之间是否相关并对他们之间的关系进行了显著性检验, QAP 回归分析主要是研究影响游客信息搜索因素的各个网络同游客信息搜索网络之间的回归关系, 同时, 还对判定系数的显著性进行了评价。

### 3.1 QAP 相关分析

运用 Ucinet 对 7 个矩阵间进行矩阵间关系的检验 (dyadic QAP) 同时给出相关系数的显著性。见表 3, 分析结果表明:

(1) 因变量与所有解释变量的相关性均具有显著意义。其中, 景区间距离显著性最高, 门票价格显著性最低, 但也达到了 5% 的显著水平。三个解释变量中, 网站效用与游客信息的搜索行为间为正相关, 门票价格和景区间距离与被解释变量间表现为负相关。说明旅游景区网站设计得越好, 游客越是趋于利用网络搜寻更多信息; 两个景区间距离越大, 游客同时对两个景区进行搜索也越少; 门票价格虽然抑制了游客对景区的搜索, 但是其作用表现得非常微弱。

(2) 因变量与控制变量中的人均收入和景区开放程度正相关, 与人口密度表现为负相关。这说明游客在进行旅游景点的信息搜索时, 对经济比较发达的地方表现出了更大的兴趣, 同时, 游客较少的景区得到更多游客的追捧。

### 3.2 QAP 回归模型

首先对控制变量进行 QAP 回归分析, 可解释游客信息搜索网络 12.6% 的变异, 人均收入差值网和人口密度差值网达到了显著性水平, 说明旅游景点的人均收入和人口密度越大, 游客对该景点进行

搜索的量反而越小。随后,加入了解释变量,见 QAP 回归 (2) 矩阵,考虑到针对同一数据的 QAP 回归分析一般比 OLS 回归分析所得到的解释力度要弱,本模型对游客信息搜索的解释力度达到 26.8%,且通过了显著性检验,认为本模型具有较高的解释力度,三个解释变量均通过了显著性检验。其中,景区间距离对游客信息搜索网络的影响

最大,当景区间距离差值提高 1% 时,在保持其他条件不变的情况下,游客对该组景区的搜索量将下降 0.364%,景区网站效用得分差值网络对游客信息搜索网络的影响也较为明显,当两景区间网站效用差值提高 1% 时,保持其他条件不变情况下,游客对该组景区的搜索量将上升 0.105%,门票价格差值矩阵对游客信息搜索的影响较小。

表3 基于 QAP 算法的游客信息搜索动因分析

Tab.3 Dynamical Factor on Tourists Information Searching With QAP Algorithm

| 自变量  |                      | 游客信息搜索网络矩阵 |            |            |
|------|----------------------|------------|------------|------------|
|      |                      | QAP 相关分析   | QAP 回归 (1) | QAP 回归 (2) |
| 解释变量 | 门票价格差值网络矩阵 ( $X_1$ ) | -0.008 *   |            | 0.030 *    |
|      | 景区间距离差值网矩阵 ( $X_2$ ) | -0.246 *** |            | -0.364 *** |
|      | 网站效用得分差值矩阵 ( $X_3$ ) | 0.342 **   |            | 0.105 **   |
| 控制变量 | 人均收入差值网 ( $X_4$ )    | 0.154      | -0.052 *   | 0.104 *    |
|      | 景区开放程度差值网 ( $X_5$ )  | 0.182 **   | -0.102     | -0.086 *   |
|      | 人口密度差值网 ( $X_6$ )    | -0.196 *** | -0.148 **  | -0.065 *   |
| 常数   | R - square           |            | 0.126 ***  | 0.268 ***  |
|      | Adj R - Sqr          |            | 0.105      | 0.237      |

注:\*\*\*表示  $P < 0.001$ , \*\*表示  $P < 0.01$ , \*表示  $P < 0.05$ 。

## 4 结论与讨论

本文主要进行了三方面的工作,一是通过百度指数功能得到了游客对西南地区 26 个 5A 级景区的搜索数据,并构建了网络数据;二是找出了影响游客信息搜索的主要因素,并构建了回归模型;三是运用 QAP 算法,从关系数据的视角进行了回归分析,并得出以下结论:

第一,运用百度指数方法以西南地区 26 个国家 AAAAA 级景区的游客搜索数据构建游客搜索网络,根据文献阅读法,统计出影响游客搜索网络的六大因素:景区人均收入差值网、景区开放程度差值网、人口密度差值网、门票价格差值网、景区间的距离差值网、景区网站效用得分差值网等。其中前三个因素是研究的控制变量,后三个因素是解释变量。第二,游客搜索信息与上述六个变量都有相关关系。其中,作为解释变量的网站效用得分与游客搜索信息呈现正相关,与景区间的距离差值网呈现明显负相关,而与门票价格负相关,但显著性最低。这说明,在西南地区这 26 个 AAAAA 级景区中,游客搜索信息量与每个景区网站宣传设计等方

面呈正相关,与这 26 个景区之间的空间地理距离和景区门票价格呈负相关。即景区旅游宣传网站网页设计越优美、游客评价越中肯,景区之间距离越近,游客搜索量越高;虽然景区门票是制约因素,但是影响不大,说明游客对西南景区的 5A 级景区的吸引力和关注度短期内不会随着景区门票的价格上涨而下降;在控制变量中游客搜索信息量与人均收入差值、景区对外开放程度呈正相关,且相关性显著,而与人口密度差值呈负相关。表明游客人均收入越高、景区开放程度越高、游客搜索信息量越多,而人口密度值太高,会降低游客产生旅游需求的动机,从而搜索量也会降低。第三,在国内类似研究中较早采取百度指数功能探索游客对旅游景区的关注问题,以 2015 年 4 月 26 个 5A 级景区的数据为样本,具有借鉴意义。

本文在得出结论的同时,可能存在局限性。由于本文所采用的 QAP 算法,数据是以  $26 \times 26$  的方阵形式表现出来,26 个 5A 景区作为一个完整的网络,具有明确的边界,要求所有数据必须完备。因此,由于网络数据可得性的限制,模型纳入了 6 个影响游客信息搜索的变量,可能遗漏了某些变量,影响模型的精确性。

## 参考文献:

- [1] Fodness D, Murray B. Tourist Information Search [J]. *Annals of Tourism Research*, 1997 (24): 503 - 523.
- [2] Kim D Y, Lehto X Y, Morrison A M. Gender differences in online travel information search: Implications for marketing communications on the internet [J]. *Tourism Management*, 2007, 28 (2): 423 - 433.
- [3] 李君轶, 杨敏. 西安国内游客旅游网络信息搜索行为研究 [J]. *经济地理*, 2010, 07: 1212 - 1216.
- [4] 李云鹏, 晁夕, 沈华玉, 等. 智慧旅游: 从旅游信息化到旅游智慧化 [M]. 北京: 中国旅游出版社, 2013, 54.
- [5] 张凌云. 智慧旅游: 个性化定制和智能化公共服务时代的来临 [J]. *旅游学刊*, 2012 (2): 3 - 5.
- [6] 姚占雷, 许鑫, 李丽梅, 等. 网络游记中的景区共现现象分析——以华东地区首批国家5A级旅游景区为例 [J]. *旅游科学*, 2011, 02: 39 - 46.
- [7] 黄先开, 张丽峰, 丁于思. 百度指数与旅游景区游客量的关系及预测研究——以北京故宫为例 [J]. *旅游学刊*, 2013, 11: 93 - 100.
- [8] 路紫, 刘娜. 澳大利亚旅游网站信息流对旅游人流的导引: 过程、强度和机理问题 [J], *人文地理*, 2007, 22 (5): 88 - 93.
- [9] 路紫, 赵亚红, 吴士锋, 等. 旅游网站访问者行为的时间分布及导引分析 [J]. *地理学报*, 2007, 62 (6): 621 - 630.
- [10] 马丽君, 孙根年, 黄芸玛, 等. 城市国内客流量与游客网络关注度时空相关分析 [J]. *经济地理*, 2011, 31 (4): 680 - 685.
- [11] 龙茂兴, 孙根年, 马丽君, 等. 区域旅游网络关注度与客流量时空动态比较分析——以四川为例 [J]. *地域研究与开发*, 2011, 30 (3): 93 - 97.
- [12] Ginsberg J, Mohebbi M H, Patel R s, et al. Detecting influenza epidemics using search engine query data [J]. *Nature*, 2009, (2): 1012 - 1014.
- [13] Choi H, Varian H. Predicting the present with Google trends [J]. *Economic Record*, 2012, 88 (S1): 2 - 9.
- [14] 黄先开, 张丽峰, 丁于思. 百度指数与旅游景区游客量的关系及预测研究——以北京故宫为例 [J]. *旅游学刊*, 2013, 11: 93 - 100.
- [15] 胡宇娜, 梅林, 陈妍. 基于体验视角的中国5A级旅游景区网站效用指数测度 [J]. *经济地理*, 2014, 08: 162 - 166.
- [16] 刘军. QAP: 测量“关系”之间关系的一种方法 [J]. *社会*, 2007, 04: 164 - 174, 209.
- [17] Hubert L J, Schult: J. Quadratic Assignment as a General Data Analysis Strategy. *British Jouoal of Mathematical and Statistical Psychology*, 1976, 29, 190 - 241.
- [18] Kraekhardt D, Predieting with Networks: Nonparametrie Multiple Regression Analysis of Dyadic Data Social Networks, 1988, 10, 359 - 381.

## DYNAMICAL FACTOR ON TOURISTS INFORMATION SEARCHING WITH QAP ALGORITHM

TIAN Li, LIU Sha

(School of Business Administration and Tourism Management of Yunnan University, Kunming 650500, Yunnan, China)

**Abstract:** Tourism information search is one of the steps when tourists want to buy products. With the continuous development of network technology and the deepening of the construction of the Smart Tourism, Internet information has been the main source of information in the process of searching information. We have received the search data of visitors to the 26 National 5A scenic spot in southwest area through the Baidu Index, then constructing the network information search and a model of Influencing tourist information Search Network by using UCINET. Finally, based on the Quadratic assignment (QAP) iterative algorithm, we discussing the influencing factors of tourist information search from the perspective of relationship data. The study found the distance difference to the sum of matrices between scenic spots has been a notable negative effect to the network of tourist information search, the scenic site utility difference matrix has significant positive effect, and the prices of ticket influences the behavior of tourists information search weakly.

**Key words:** smart tourism; tourism information search; QAP algorithm; the social network