

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2015.06.022

# 广西德保岩溶内涝灾害成因分析

曾家俊<sup>1</sup>, 黄华爱<sup>2</sup>, 刘松<sup>2</sup>, 马兴华<sup>3</sup>, 黄国如<sup>1,4</sup>

(1. 华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510640;

2. 广西防汛抗旱指挥部办公室, 广西 南宁 530023;

3. 珠江水利科学研究院, 广东 广州 510611;

4. 华南理工大学 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广东 广州 510640)

**摘要:** 在了解岩溶内涝概念的基础上, 结合广西德保县的气候特点、地形地貌、流域水系等资料, 有针对性地对德保县岩溶内涝灾害成因进行分析, 为岩溶内涝灾害的预防及整治奠定基础。岩溶内涝灾害的形成通常是多种因素综合作用的结果, 根据当地实际资料结合国内外文献归纳可得, 内涝灾害发生与连续高强度降雨有直接关系, 研究区域内岩溶地貌多种多样, 各种地形地貌组成的结构系统的复杂性、连通性等特点是不可忽略的重要影响因素, 另外德保县区域内岩溶生态环境的脆弱性及人类活动等因素与内涝灾害也有着重要联系。

**关键词:** 岩溶内涝; 灾害成因; 降雨; 地形地貌; 人类活动

**中图分类号:** P642.25

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-1144(2015)06-0118-05

## Cause Analysis of Karst Waterlogging Disasters in Debao County of Guangxi

ZENG Jiajun<sup>1</sup>, HUANG Huaai<sup>2</sup>, LIU Song<sup>2</sup>, MA Xinghua<sup>3</sup>, HUANG Guoru<sup>1,4</sup>

(1. School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640, China;

2. Guangxi Flood and Drought Control Headquarters Office, Nanning, Guangxi 530023, China;

3. Pearl River Hydraulic Research Institute, Guangzhou, Guangdong 510611, China;

4. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

**Abstract:** On the basis of understanding the concept of karst waterlogging, the causes of this disaster in Debao county was studied with the reference of the climate, topography and the basin river system and other related information of this area. This study laid the foundations for the disaster prevention and control. The formation of karst waterlogging is usually the consequence of various factors. According to the local data, domestic and foreign documents on waterlogging, it is suggested that this disaster is directly related to continuous and high strength rainfall. The karst topography is varied within the study area, the complexity and connectivity of the structure composed of a variety of landforms are also important influencing factors. In addition, the vulnerability of karst ecological environment in Debao and the human activities also have inextricable connection with the karst waterlogging.

**Keywords:** karst waterlogging; disaster cause; rainfall; topography; human activity

广西岩溶山地从云贵高原斜坡地带的峰丛洼地, 经东南方向依次过渡为峰林谷地、岩溶平原, 面积约 9.7 万 km<sup>2</sup>, 是西南岩溶石山地区主要分布省份, 其岩溶面积占广西陆地面积的 42%。在一些岩溶洼地、谷地或峰林平原, 在连续降雨等条件下, 地下岩溶管道受堵塞, 内涝灾害经常发生, 对当地农村

社会经济发展造成危害。

近年来有些学者探讨岩溶内涝的形成原因、发生条件等, Pandey 等<sup>[1]</sup>通过对利用卫星遥感影像图收集的研究区域不同季节的内涝情况进行分析, 结合多年地下河流水位波动和季风时段的水位记录, 指出研究区域地下水水位变化是影响内涝灾害发生

收稿日期: 2015-07-04

修稿日期: 2015-08-29

基金项目: 广西水利厅科技项目(201530)

作者简介: 曾家俊(1993—), 男, 广东广州人, 硕士研究生, 研究方向为水文水资源。E-mail: zeng.jiajun@mail.scut.edu.cn

通讯作者: 黄国如(1969—), 男, 江苏南京人, 教授, 博士生导师, 主要从事水文水资源的研究工作。E-mail: huanggr@scut.edu.cn

的重要因素;Zhou<sup>[2]</sup>则认为将造成洪涝灾害的洪水类型分为落水洞补给型洪水、流动型洪水和排泄型洪水等,岩溶内涝发生的洪水是其中的某一种或是其组合形式;光耀华等<sup>[3-4]</sup>重点研究了水库周边岩溶内涝现象,分析其形成原因与条件,讨论了水库周边岩溶浸没—内涝灾害的防治对策;郭纯青等<sup>[5]</sup>以红水河流域的岩溶浸没内涝为研究重点,分析岩溶内涝成因,提出对岩溶内涝开展研究的建议;李庆松等<sup>[6]</sup>以马山县作为研究重点,分析当地岩溶内涝特征,提出岩溶内涝的周期性与多发性,并阐述其成因,提出马山县岩溶内涝治理规划。由于各地实际情况差异性较大,岩溶内涝灾害成因也较为复杂,在主要研究区域德保县中,隆桑镇、马隘镇、那甲乡等多个乡镇常年遭受内涝灾害,受淹地区常出现在峰丛洼地或地表地下河交汇段,本文结合德保县实际情形,对岩溶内涝灾害成因进行分析,为岩溶内涝防治工程提供重要参考。

## 1 研究区域概况

德保县位于广西壮族自治区西南部,地处东经 $106^{\circ}09' \sim 106^{\circ}59'$ ,北纬 $23^{\circ}01' \sim 23^{\circ}39'$ 之间,属亚热带季风气候区。县境内六诏山脉支脉由西部入境,地势西北高东南低,由西北向东南倾斜,黄连山坐落县内,主峰海拔1 616 m,谷地高程700 m~900 m;东南部有雾岭,海拔高度997 m,谷地海拔300 m~500 m。县内主要地貌为岩溶地貌,分布形态有峰丛洼地、峰林谷地等。全县属中低山地地形,分为山地、丘陵、台地、平地4种类型,其中山地面积占总面积的78.4%,丘陵占总面积的8.2%,台地占总面积的0.04%,平地占总面积的13.36%。雨量充沛,春季干旱,夏季多雨,多年平均降水量1 463.7 mm,雨季始于4月份下旬,结束于10月上旬,暴雨天气系统主要为高空低槽、台风以及西南低涡,常有两种天气系统共同影响,形成流域暴雨雨量多集中在5月—9月,占全年总降雨量的76%。

德保县隆桑镇河流水系主要有从北面流入的惠洞河及从西面流入的那录河(图1),惠洞河发源于田阳县五村乡,由北向南流,经惠洞村后转向东流,于隆桑镇区北面的老屯附近通过落水洞潜入地下。惠洞河流域面积84.9 km<sup>2</sup>,主河道长17.0 km,上游建有中型水库惠洞水库,坝址以上集水面积32.5 km<sup>2</sup>,其建成于1960年,是一座以灌溉为主,结合发电、养殖等综合利用的中型水库工程。隆桑镇洪涝水主要来自惠洞河和那录河,两者均为山区性河流,

河流集水面积小,河段比降大,落水洞以上河段以地表汇流为主,洪水汇流时间短,洪水过程暴涨暴落,一场洪水持续时间一般为1 d左右。由于惠洞河与那录河下游的落水洞排洪能力有限,汛期区域发生暴雨洪水时,洪水不能及时通过地下落水洞排走,大部分洪水通过地表河汇流至隆桑镇区,而隆桑镇区由于东、南方向群山连绵,洪涝水没有出路,难以及时排出,造成隆桑镇区洪涝灾害频发,内涝持续时间一般为5 d~7 d,有时达半个月以上。

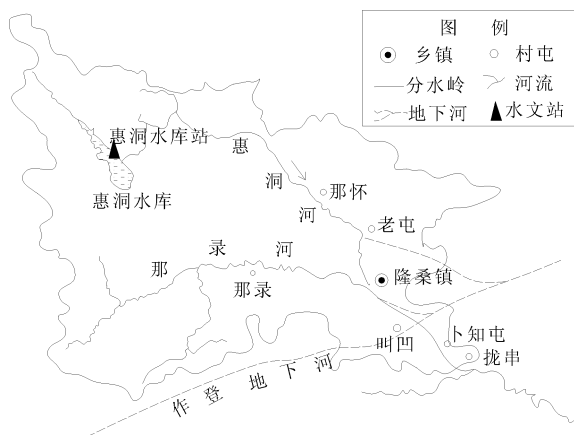


图1 德保县隆桑镇水系分布

## 2 岩溶内涝灾害成因分析

岩溶内涝灾害是岩溶地区特有的、在自然因素与人为因素综合影响下发生的灾害,其中直接外因是连续高强度降雨,各种地形地貌系统的结构特点是不可忽略的重要影响因素。另外,岩溶生态环境的脆弱性以及人类活动等因素与内涝灾害也有重要联系。岩溶内涝的形成符合灾害系统理论:岩溶内涝的形成具备致灾因子、孕灾环境及承灾体<sup>[7]</sup>,结合德保县隆桑镇实际情况,以下由降雨因素、地形地貌因素和人为因素三方面对该县岩溶内涝的成因做出分析。

### 2.1 降雨因素

大多数岩溶内涝发生在暴雨期间或连续强降雨时段,降雨的历时长、强度大,汛期集中暴雨或多日连续降雨是岩溶谷地发生内涝灾害的直接外因<sup>[3,8]</sup>。

德保县雨量充沛,多年平均降雨量为1 463.7 mm,年降雨在时段上分配极不均匀,5月至9月为汛期,降雨连续集中,降雨量占全年总降雨量的76%。如2002年7月19日,德保县城降雨量143.0 mm,19日至24日降雨量258.0 mm,德保县城低洼地遭受洪涝灾害。

隆桑镇最严重的内涝发生在 1968 年,经分析造成该次洪涝灾害的主要原因是暴雨量大,惠洞水库站最大 1 d 降雨量 215.5 mm,为惠洞水库设站以来实测最大值,约为 50 年一遇;另外是 1998 年洪水,造成该次洪涝灾害的主要原因是长时间降雨,该年 6 月 16 日开始降雨,降雨一直持续到 7 月 14 日,期间总降雨量达 510.3 mm,7 月 23 日至 25 日,3 d 内又降雨 256.4 mm,长时间的持续大暴雨造成涝区内洪水无法及时排出,造成严重内涝;2001 年洪水较 1998 年稍小,造成该次洪涝灾害的主要原因也是长时间降雨,该年 6 月 27 日开始降雨,降雨断断续续一直持续到 7 月 31 日,期间总降雨量达 575.0 mm,8 月 1 日至 3 日,3 d 内又降雨 166.0 mm,长时间的持续大暴雨造成涝区内洪水无法及时排出,造成严重内涝。

## 2.2 地形地貌因素

### 2.2.1 地形地貌复杂性

岩溶内涝灾害是在特定的岩溶多重介质环境中形成的,岩溶多重介质环境是由岩溶区水体(大气/地表/地下)与碳酸盐岩(岩溶化程度不同的地表/地下结构)组成的复合体系<sup>[5]</sup>,地面水流的排泄与汇集状况受岩溶地形特征影响,如地面高程、坡度与沟壑切割密度等因素决定了区域的汇水能力,受地形地貌影响的水流动态与内涝的发生关系密切。

岩溶地表结构的复杂性在于其负地形多以封闭或半封闭的洼地和谷地构成,汇水功能往往大于排水功能,造成地表排水系统缺乏或不完整<sup>[9]</sup>。德保县境内以岩溶地貌为主,分布有峰丛洼地、峰林谷地等岩溶形态,全县属中低山地地形,分为山地、丘陵、台地、平地 4 种类型,地面高程反映地形变化,对岩溶内涝形成十分重要,德保县高程图见图 2。

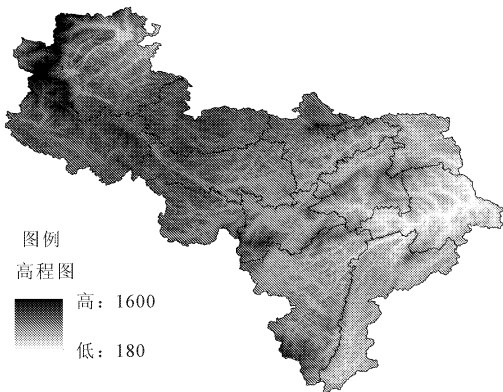


图 2 德保县高程分布

以隆桑镇为例,镇区四面环山,地貌以中低山为主、低山为辅,属中低山、峰丛洼地地貌,山峰峰顶高程一般为 510 m ~ 660 m,坡度较陡,自然坡角在 30° 以上,部分形成陡壁,山峰多呈尖顶状。由图 2 地形图可以看出,隆桑镇地处低洼,四周地势较高,降雨可以迅速汇聚在峰丛洼地或谷底。一般情况下,地下管道系统的排水能力能够适应当地的降水强度,但若地形利于降雨汇流,使汇流速度大于排泄速度,洼地便容易发生内涝。

岩溶地下结构的复杂性在于其地下河系的发育演化及其层次性与继承性使岩溶地下空间呈现出多种多样的形式<sup>[10]</sup>,常见为管道、孔洞、缝隙等空隙空间体的多重组合,由此构成特殊的输贮水空间,形成地下河道特有的输贮水类型。岩溶区的排水依赖于地下河系统的存在,峰丛洼地的主要泄水通道为地下河洞穴,地下排水系统的完善程度决定了该地区的排水能力,当排水能力小于汇水能力,内涝就会发生。如在封闭的峰丛洼地系统中,地表排水通道少,地下河埋藏较深,降水多以渗透或注入方式进入地下河系统,因此,落水洞、天窗、地下河道断面等决定着洼地系统的排水能力。

### 2.2.2 地表地下结构连通性

落水洞是溶洼系统的重要组成部分<sup>[11]</sup>,作为地表上的封闭洼地与地下河管道的重要连接纽带,起着排泄洼地上积水的功能。岩溶地表和地下结构间通过落水洞等形式相互联系和相互耦合,在时空上有其独特的组成结构方式,是岩溶内涝灾害发生的重要因素。

地表和地下岩溶发育相互交错连通,其组合结构复杂多变、形式多样,地表水、地下水之间可以相互交叉影响,短时间内水位快速变化,情况复杂多样。如若降水补给区与径流排泄区同步降雨,则地表水与地下水位峰值时空相遇,极易引起内涝灾害事件<sup>[3]</sup>。在德保县隆桑镇中,惠洞河于隆桑镇区北面的老屯附近通过落水洞潜入地下,那录河于隆桑镇区西面的巴所屯附近通过落水洞潜入地下,对该镇地下水系统排泄造成巨大压力,汛期时,由于降雨补给,地表径流与地下河水位也随之上涨,地表与地下结构相互连通,所以水位变化规律不定,变化幅度大,变化时间短,洪水不能及时通过地下通道排走,而通过地表河汇流至隆桑镇区,致使该镇常年遇到大雨便发生内涝。

与其他非岩溶地区不同,岩溶地区的地表和地下结构间具有相互联通的特殊性质,因此,降雨对内

涝灾害影响会在降雨区延伸至非降雨区,使得没有下雨的区域也可能发生内涝灾害,这是岩溶内涝灾害特异性的一方面。在岩溶地区上(见图 3),降雨补给地表河流,水位上涨,淹没岩溶泉出口和地下河出口,河水顶托岩溶地下水,地下水同样会通过天窗、落水洞溢出地表而形成内涝,这种情况不论在降雨区域还是非降雨区域都有可能发生,地下水位的变化和落水洞、天窗等的高程影响着地下岩溶系统的调节容量和输入通道的输水能力;当降雨迅速补给地下河,在地势较高的区域,若落水洞满足有足够排水能力,则内涝不会发生,但当水位超过低洼的落水洞、天窗等高程时,水流通过地下河低洼的天窗、落水洞倒灌溢出,造成低洼区域内涝。德保县的隆桑镇位于那录河与惠洞河交汇处,地下暗河更与作登地下河相通,隆桑镇及周边地区的降雨均对流经隆桑镇的河流的排水能力有很高要求,雨季来水量大,往往使隆桑镇发生内涝灾害。

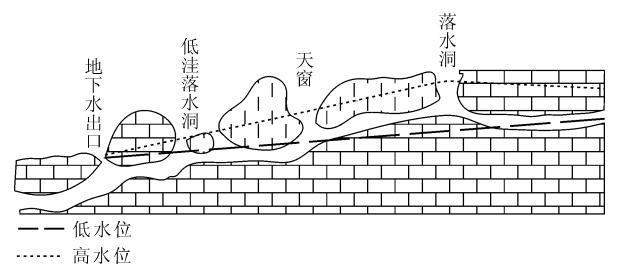


图 3 地下水位变化情况

2.2.3 岩溶洼地生态脆弱性

岩溶洼地生态环境的脆弱性对内涝灾害形成的影响不容忽视,根据脆弱性评价结果,广西 27 个岩溶区域县中,极度脆弱县 2 个,重度脆弱县 5 个,中度脆弱县 17 个,轻度脆弱县 3 个,脆弱程度分布呈两头小、中间大<sup>[12-13]</sup>。岩溶区的生态脆弱性与大气、水体、生物等关系密切,其环境容量低,而且自身稳定性差,环境因素容易发生突变和渐变,变化范围延伸广泛。

地下河道系统是岩溶地区峰丛洼地的主要泄水排水通道,其过流能力主要由其过流断面决定,有的通道过流断面狭窄,输水能力较差,因此,地下河洞穴的过水断面狭小形状是岩溶内涝形成的内在因素。如果落水洞、天窗断面尺寸过小或地下河管道断面出现紧缩的瓶颈段,内涝便容易发生,加上脆弱的生态环境使过流断面容易受堵,使内涝灾害更加严重。

在溶洼系统中,四周为山地,地面坡度大,降雨形成径流的水流速度较快,土壤侵蚀较强,其水土流

失类型主要为水力侵蚀,侵蚀形态主要为面蚀。另外,土壤类型和组成与土壤的抗侵蚀强弱有着密切关系,土壤的抗侵蚀能力越强,降雨汇流情况下造成水土流失越小,被流水搬运的固体物质越小,地下洞穴受到影响越小,岩溶内涝灾害发生的可能性越低。德保县土壤类型分布见图 4,由图 4 可看出,德保县土壤以石灰土分布最广,其次为红壤,石灰土在热带亚热带温暖湿润的环境条件下容易发生溶蚀,红壤保水、保肥能力差容易受到侵蚀,降水汇流过程中,持续不断地溶蚀和搬运地表的固体物质,一部分物质淤积在地下河管道中,河道过水断面减小,或堵塞落水洞,使溶洼地区地下河系统排水能力下降,造成岩溶洼地内涝灾害发生更加频繁。

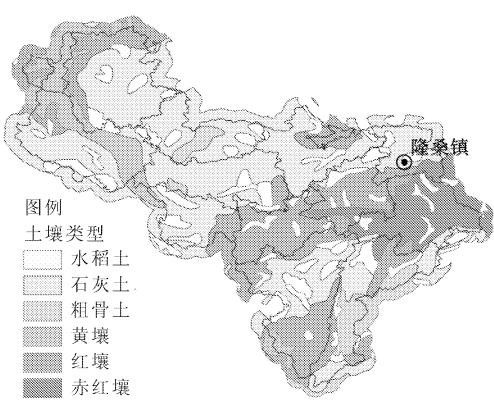


图 4 德保县土壤类型分布

2.3 人为因素

岩溶生态环境脆弱性首先决定于特殊的岩溶地质结构、碳酸盐岩成土物质先天不足等自然因素,但也在较大程度上受人类活动影响,而这又使人类活动对该环境更具影响力或更具破坏力<sup>[10]</sup>。隆桑镇岩溶峰丛洼地地区人地矛盾突出,人口压力、粮食压力增大,人们开垦田地、伐木砍柴、旅游开发等对本来就脆弱的生态环境造成干扰和破坏,加剧水土流失,石漠化程度日益扩张,岩溶地区生态环境一旦遭受破坏,内涝灾害便容易频繁发生,洪水加剧水土流失,陷入恶性循环之中。

当生态环境受到人为破坏,原有植被不复存在,雨季时坡面流等径流冲刷搬运大量土壤,从而造成严重的水土流失,夹杂着泥沙和土壤的水流很容易淤积在竖井、落水洞、漏斗等洼地的主要泄水通道上,并可能将其阻塞,使其排水不畅,由此容易形成内涝。由于水土流失,森林失去了涵养水源功能,土壤减少导致壤中流、皮下流的功能减弱,经过一系列的复杂变化后,土壤变得越发瘠薄干涸,致使农作物

产量减少,农民不得不去开垦更多的山林土地以维持生存。另外,由于对落水洞作用认识不够,老百姓为了耕地而将落水洞填埋,将产生的废弃物随意堆放,对落水洞、天窗造成堵塞,影响洪水排泄,同样导致内涝灾害发生。

另外,岩溶区域内修建水库对岩溶内涝灾害形成有重要影响,不合理的修建水库,将会使岩溶内涝灾害程度大大增加<sup>[11]</sup>,光耀华等<sup>[3]</sup>把水库周边的岩溶内涝定义为岩溶浸没内涝,其内涝概念模型见图 5。

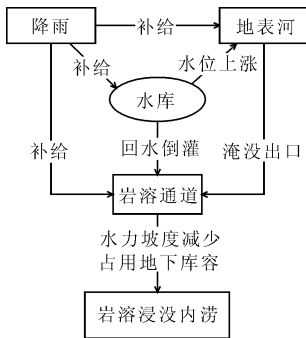


图 5 水库周边岩溶内涝概念模型

水库修建前地下河会有多个不同高程的出口,水流从出口溢出,排泄通畅,但水库蓄水后地下河出口被水库淹没,造成排泄不畅。隆桑镇惠洞水库于 1960 年修建后,河水位被抬高,淹没地下河道出口,使地下水排泄基准面相应上升,虽然位于水库边缘的岩溶谷地或洼地所处位置比水库正常蓄水位要高,但因水库蓄水,水流通过岩溶地下通道对洼地产生回水顶托,地下河水力坡降随之减缓,地下水流速变小,地下河道排水能力降低。水库回水顶托影响下,回水倒灌地下洞穴,占据部分地下储水库容,使地下河水位提高,降低地下洞穴的蓄洪能力;水库蓄水初期,库水向地下河倒灌过程中,将会引起水流出口段淤积物的反冲刷,由此引起迅速消能而易使地下河道发生淤塞<sup>[14-16]</sup>。

### 3 结 论

降雨是岩溶地区河流的主要补给来源,直接影响河道水位高低,对内涝发生起关键作用,德保县长时间持续暴雨会造成严重内涝,表明岩溶内涝灾害形成与降雨有必然联系;复杂的地形地貌为内涝形成提供有利的成灾环境,地表地下结构的连通性使降水、地表水、地下水相互影响,动态变化快,使岩溶内涝形成更加迅速,影响范围更加广泛。岩溶洼地

生态脆弱性容易使水流排泄通道受阻,降低成涝地区的抗灾能力,人类活动使本来脆弱的生态环境更易受到破坏,并可能增大内涝发生频率和影响范围,为岩溶内涝灾害形成提供了重要的条件。

### 参考文献:

- [1] Pandey A C, Singh S K, Saha M S N D. Assessment of surface and subsurface waterlogging, water level fluctuations, and lithological variations for evaluating groundwater resources in Ganga Plains[J]. International Journal of Digital Earth, 2011, 6(3): 276-296.
- [2] Zhou W. Drainage and flooding in karst terranes[J]. Environmental Geology, 2007, 51(6): 963-973.
- [3] 光耀华, 项式均. 水库周边岩溶浸没—内涝灾害研究[J]. 中国岩溶, 1997, 16(1): 25-34.
- [4] 李文兴, 李耀祥, 光耀华, 等. 岩溶浸没内涝灾害的物理(数学)模拟研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(3): 58-66.
- [5] 郭纯青, 李文兴. 红水河流域岩溶浸没—内涝灾害形成的地学因素分析[J]. 中国岩溶, 1999, 18(3): 228-233.
- [6] 李庆松, 李兆林, 裴建国, 等. 马山东部岩溶洼地谷地内涝特征与治理规划[J]. 中国岩溶, 2008, 27(4): 359-365.
- [7] 黄国如, 成国栋, 洗卓雁, 等. 清远市瑶安小流域山洪灾害成因分析[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(3): 136-141.
- [8] 黄国如, 洗卓雁, 陈文杰. 海口市近年短历时暴雨演变特征分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13(2): 121-126.
- [9] 裴建国. 广西溶洼系统结构特征及其对岩溶内涝的影响[J]. 广西科学, 2002, 9(3): 193-197.
- [10] 覃小群, 蒋忠诚. 广西岩溶县的生态环境脆弱性评价[J]. 地球与环境, 2005, 33(2): 45-51.
- [11] 杨富军, 蒋忠诚, 罗为群, 等. 广西典型岩溶内涝成因与防治分析[J]. 广西科学院学报, 2009, 25(2): 119-122.
- [12] 覃小群, 蒋忠诚. 广西岩溶县的生态环境脆弱性评价[J]. 地球与环境, 2005, 33(2): 45-51.
- [13] 蒋忠诚, 罗为群, 邓 艳, 等. 岩溶峰丛洼地水土流失及防治研究[J]. 地球学报, 2015(5): 11-18.
- [14] 苏 昌, 陈海波, 董炳维. 岩溶洪涝灾害成因机制分析及防治建议[J]. 资源环境与工程, 2008, 22(2): 193-196.
- [15] 唐世斌, 李韵平. 改善岩溶山区旱涝问题的景观设计理念——以广西大化县七百弄乡为例[J]. 福建林业科技, 2014(3): 182-188.
- [16] 苏棋超. 典型岩溶生态区内涝防治方案研究——以广西平果果化示范区为例[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2011.