

文章编号:1001-4810(1999)03-0228-06

红水河流域岩溶浸没—内涝灾害形成的地学因素分析^{*}

郭纯青^①, 李文兴^②

(^①国土资源部岩溶地质研究所, 桂林 541004; ^②桂林工学院, 桂林 541004)

摘要:红水河流域由于多年人类活动和水能资源开发所产生的岩溶浸没—内涝灾害,在局部范围内比较严重,必须引起高度重视!据红水河梯级开发与规划电站的修建情况,对红水河干流岩溶区内已发生的浸没—内涝灾害成因,进行了综合分析。

关键词:红水河干流;岩溶区;岩溶地下河系;水库周边;浸没—内涝灾害;地学因素分析;岩溶多重介质环境

中图分类号:X141 **文献标识码:**A

0 引言

珠江流域为我国三大水系之一,其干流为西江;西江干流上源为南盘江(经广西西林、隆林、田林与贵州的兴义、安龙、册亨等县),至贵州望谟县蔗香村附近的双江口与北盘江汇合处,始称红水河;红水河自西向东穿越广西中部(经乐业、天峨、南丹、东兰、巴马、都安、马山、忻城、来宾等县)至象州县石龙镇三江口,再汇柳江后,称黔江;黔江汇郁江后称浔江;浔江汇桂江后才称西江。红水河梯级规划研究的范围,上自南盘江的天生桥、北盘江的坝包起,下至黔江大藤峡止,全长1050km,水位落差760m。红水河地理区位独特,其流域产水量为全国各大河流之冠,开发水能资源,建设沿河经济走廊,实现资源优势,对加快广西经济发展意义重大。

红水河流域地形,从云贵高原斜坡向广西峰林谷地、低丘准平原过渡,其间布设天生桥、平班、龙滩、岩滩、大化、百龙滩、恶滩、桥巩、大藤峡等水梯级。由于红水河两岸地下河众多,修建电站以后,连续出现若干水库岩溶浸没问题。本文根据现有资料,对红水河干流岩溶区浸没—内涝灾害的地学因素作一初步分析,并阐述其发展趋势。

1 红水河干流水文与地质地貌条件

1.1 气候及水文条件

红水河在广西境内,集雨面积 52600km^2 ,落差 254m ,平均坡降 0.38‰ 。红水河干流区气候温和,降雨量充足,属亚热带高原—盆地季风气候区,多年平均气温约 20℃ 。年降水量 $1400\sim 1800\text{mm}$,有1个降水高值区(都安—上林,中心区年降水量可达 2000mm 以上)和1个降水低值区(来宾—武宣,中心区年降水量少至 1000mm 左右),降水量主要集中在 $5\sim 8$ 月份,约占全年降水量的 65% 。

1.2 地质地貌条件

红水河干流空间展布的总体方向受区域构造格局控制,局部地段与低序次构造裂隙和岩性有关。天峨以下,与广西山字型西翼弧方向相合,受两侧的褶皱和北北西向大断裂控制;都安以东,入马蹄形盾地,又受南北向褶皱与其伴生的两组节理裂隙控制。从区域新构造应力场分析,红水河干流轨迹是沿近东西向主压应力作用下产生的北东与北西共轭破裂构造面形成。

红水河流域地层配置较全,以石炭、二叠—三叠系出露最广;岩性以碳酸盐岩为主,占干流区面积的 75% 。红水河干流上游区从蔗香至天峨,属高原斜坡地带,地貌形态组合为砂页岩侵蚀高山和碳酸盐岩高位峰丛洼地并存,峰顶高程一般在 $900\sim 1300\text{m}$ 之间;中游区为天峨至来宾凤凰,处高原斜坡与桂中盆地的过渡区,地貌形态组合以碳酸盐岩(桂西北)高中位峰丛洼地与(桂中盆地)峰林谷地为主,峰顶高程在 $500\sim 900\text{m}$ 之间;下游区是来宾凤凰至象州三江口,位桂中盆地区,地貌形态组合是峰林平原与孤峰平原。

2 岩溶多重介质环境

任何一种灾害的发生和发展,都是在特定的环境中进行的,红水河流域岩溶浸没—内涝灾害系该地区特定的岩溶多重介质环境中所形成。故研究岩溶多重介质环境,可分析岩溶浸没—内涝灾害发生和发展的规律。

红水河流域岩溶多重介质环境是一个非常复杂的系统,系指岩溶区水体(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。在岩溶多重介质环境中,红水河干流和岩溶地下河系是两个主要的环境介质,也是岩溶浸没—内涝灾害形成的决定性环境介质。

2.1 红水河干流

红水河干流长约 659km ,河谷类型以V型谷和U型谷共存,其侵蚀和搬运作用强烈;其径流和天然排水系统功能完善,水量丰沛;因河床坡降陡、落差集中、河道弯曲狭窄,使水流湍急,洪枯水位变化历时短、涨落幅度大。

红水河干流是岩溶区内大气降水、地表水和地下水的排泄基准,也是水能的汇集中心。在天然条件下,其河道蓄排水能力有限,当大雨(或暴雨)事件发生时,水量和水能量值变化历时短、增值大,常引发岩溶区内涝灾害发生。但在人工修坝蓄水后,改变了径流和天然排水系统的功能(改变水量和水能的输入和(或)输出,或开拓出水量和水能转换的新通道),致使岩溶多重介质环境发生变异和重组。红水河梯级开发的人为地质作用是通过“红水河主链”完整地表现出来。“红水河主链”以红水河干流为主线,涉及云南、贵州、广西三省区的广大岩溶区;其中,广西岩溶区受影响程度最大,加剧了其岩溶多重介质环境的变化,引发了多起岩溶浸没—内涝灾害事件的发生和发展。

造成岩溶浸没—内涝灾害发生的根本原因是灾害自身发生与岩溶多重介质环境变化属同

一性,首先是自然或人为作用强度和方式改变,其次是岩溶多重介质环境发生变化,再次是岩溶区浸没—内涝灾害发生和发展。

2.2 岩溶地下河系

红水河干流岩溶区,岩溶地下河系具分布广泛、类型多种、规模多变等特点,其总数达200多条(广西岩溶区约有地下河系435条,红水河干流岩溶区约占49%);其中都安地苏地下河系是广西岩溶区最大的地下河系。因岩溶地下河系间常有“穿跃”现象存在,加之其域面积和分枝数目多呈季节性变化和输入输出多端多样化等,造成其统计数目有异,空间定位难度较大。

岩溶地下河的演化形成是在岩溶多重介质环境中进行的,是多种原因在起作用,它们的主干空间展布和其内水体赋存、传输、转换规律的变化,呈多因多果性。岩溶地下河系是岩溶多重介质环境中水体主要的调节和汇集中心。据其自身的独特结构,有两大功能:(1)外部功能,对所处环境外水体的区域调控作用;(2)内部功能,对所处环境内水体的汇集作用。红水河梯级开发的人为地质作用是通过“岩溶地下河系支链”间接地表现出来。“岩溶地下河系支链”以每一条地下河系为支线,涉及岩溶区的各个部位,控制岩溶浸没—内涝灾害每一事件发生和发展的态势。

2.3 岩溶多重介质环境的脆弱性

岩溶多重介质环境脆弱性是因岩溶与大气、水体联系甚密,又和生物、有机质关联过深,导致其环境容量低,自稳定能力小,自身的变化呈振荡性。岩溶多重介质环境脆弱性在时间尺度上,其变化表现为突变和渐变;在空间尺度上,其变化的范围和规模多是从点到线到面,从部分到部分到整体;在特定的规律制约下,其脆弱性的属性以旱涝、水土流失、石漠化,地面塌陷和渗漏等形式表现;其承灾易损性和难恢复性是其脆弱性的组成和内涵。岩溶多重介质环境脆弱性的地学因素,主要是碳酸盐岩性质、构造活动、水岩作用、地形地貌、气候影响、岩溶化作用生成的地表地下多重复合结构(特别是负的地形和空隙空间体)——高低位洼地和谷地、落水洞、脚洞、孔隙、裂隙、裂缝、洞穴和管道等。岩溶多重介质环境脆弱性通常以水流运动形式贯穿其中,在其内形成多个动态的、呈等级的、分层次的和可反馈的相对独立的脆弱体。

3 岩溶浸没—内涝灾害地学因素分析

在红水河干流岩溶区,发育众多的岩溶地下河系,其主干常以红水河为排水基准面。每年汛期,因当地大雨(或暴雨),岩溶地下河系补给量增多,流量加大,受其排水通道(管道)断面所限,致使地下水流通过地表岩溶洼地或谷地的天窗和(或)落水洞涌出,淹没洼地或谷地中的农田,一般称为内涝,此时红水河水位上涨,淹没地下河系出口,使内涝更加严重;在红水河上修建水库,抬高河水位,使地下水排泄基准面相应上升至某一固定值,位于库岸边缘的一些高于水库正常蓄水位的岩溶谷地或洼地,虽不受水库直接淹没,但因库水通过岩溶通道(管道或裂隙等)产生回水顶托,使岩溶地下河系水力坡降减小,地下水流速变小,排水能力降低,其内水位升高,使原受涝洼地或谷地的内涝时间和程度加长加大,使原不受内涝影响的洼地或谷地产生内涝现象,称为水库周边岩溶浸没—内涝。

岩溶区浸没—内涝灾害是因当地大雨(或暴雨)期,岩溶多重介质环境内水量重新分配而产生的一种自然和(或)人为现象,是由“天”和“地”两方面因素决定的。“天”是指当地大气中是否存在含大量水汽的暴雨云,是否存在造成水汽凝结的动力条件;“地”是指岩溶区地表和地下

环境的整体性和复杂性,是否存在岩溶地下河系,是否存在大量与其相连通的岩溶洼地和谷地等。

实例 1 广西东兰县纳巴片内涝成因与岩溶区水库修建蓄水的关系。板文地下河系位于岩滩水电站库区中部右岸,纳巴片处于板文地下河中游两个相邻的岩溶谷地中,距库区岸边约 12km。岩滩水电站库区蓄水后,使板文地下河系出口淹没于库水位以下 43~46m,由自由出流变为淹没承压出流,库水循地下河主干发生倒灌顶托;致使板文地下河系的地下水排泄量值与可调贮水空间量值变小(蓄水前、蓄水后分别为:36.65m³/s、25.37m³/s),引发地下河系主干和(或)支干出现多处淤塞,导致纳巴片的内涝程度加重,起涝雨量量值减小(蓄水前/蓄水后:120mm/95mm),内涝持续时间加长。如同是在 120mm 降雨量条件下,蓄水前为 10 天,蓄水后为 15 天。

实例 2 广西都安县凤翔、镇兴、南江三谷地内涝成因与岩溶区水库修建蓄水的关系。地苏地下河系位于红水河百龙滩水电站上游约 6.5km 的库区左岸。百龙滩水电站库区蓄水后,地下河系出口处(青水出口)水位抬高了 11.5m(地苏地下河系排泄基准面为 108m),使地下河系的地下水排泄量值与可调贮水空间量值减小,导致凤翔、镇兴、南江三谷地起涝雨量量值减小,蓄水前/蓄水后分别为:160mm/140mm、240mm/160mm、200mm/180mm,内涝持续时间加长。在降雨量等于蓄水前起涝雨量的条件下,蓄水前/蓄水后各谷地内涝持续时间分别为 7 天/9 天、3 天/5 天和 2 天/4 天。

因此,岩溶区浸没—内涝灾害是气象灾害、地质灾害和人为灾害之间的一种边缘灾害类型。影响岩溶区浸没—内涝灾害发生发展的主要地学因素为:

(1) 岩溶地表结构 红水河干流岩溶区,岩溶地表形态组合类型有:峰丛洼地、峰丛谷地、峰林谷地、峰林平原及孤峰平原。岩溶地形的特征(地面高程、坡度和切割密度等)直接影响着地面水流的排泄与汇集状况。岩溶地表结构因其负地形多以封闭或半封闭的洼地和谷地构成,使汇水功能远远大于排水功能,造成地表排水系统缺乏或不完整,这是大雨(或暴雨)期间易发生浸没—内涝灾害的一个重要因素。

(2) 岩溶地下结构 因岩溶地下结构客观存在孔、洞、缝、隙、管 5 种含水介质空隙空间体类型及其多种组构形式,特别是岩溶地下河系的发育演化及其层次性与继承性,是决定岩溶浸没—内涝灾害发生发展的一个主要因素。岩溶地下河系的存在,使岩溶地下结构的汇排水系统功能完善。当岩溶地下河系汇水功能大于或等于排水功能时,在大雨(或暴雨)事件中,一般会造造成浸没—内涝灾害发生。

(3) 岩溶地表地下多重复合结构 红水河干流岩溶区,地表地下岩溶发育综合形态呈调和型,新老形态交替混杂,相互沟通,难以区分;其组合复杂多变,形式多样。地表呈峰丛山区、谷地、峰林平原、高低洼地、深浅洼地、落水洞、竖井、溶潭、天窗、溶沟、溶盘、脚洞及大量层次化洞穴等;地下为管、洞、缝、隙、孔等空隙空间体的多层多重组合,构成特定的输贮水空间,形成地下河道、地下湖等特有的输贮水类型。岩溶地表和地下结构间的连接和功能的配置,在时间和空间上有其独特的组构方式,是决定岩溶浸没—内涝灾害发生的一个重要因素。

(4) “三水”转化的时空效应 因岩溶地表地下结构的相互耦合和连通,致使大气降水、地表水、地下水的相互转换,在时间上呈快速多变,在空间上为复杂多样,是决定岩溶浸没—内涝灾害发生的一个主要因素。其具体特征如下:

① 大气降水、地表水的集中补给与地下水的快速响应。大雨水降至地表后,通过落水洞、天

窗、竖井、脚洞等以点状(灌入式、流入式)或线(带)状集中补给地下水,致使岩溶地下河系水位迅速升高,流量增大,水动态响应时间短,变化幅度大。

②地下水流传输方式、速度与流态。存在由连通溶洞和管道所传输的管流,也存在受裂隙控制传输的散流;存在快速水流、中速水流与慢速流之分;也存在紊流与层流并存,相互转换。其中以管流形式传输的快速水流(多为紊流)是产生浸没—内涝灾害发生的地下水流的主导因素。

③地下水流的无压与有压,连续与非连续的转化。其中有压连续地下水水流存在应力水头(H_p)与管道水锤运动,也是产生浸没—内涝灾害发生的一个影响因素。

④大气、地表、地下水流中气固相物质的存在与搬运。从降水→地表产流→地下汇流普遍存在气固相物质的携带和搬运现象,水流中气固相物质的存在,对水流的速度、流态、和流量影响显著,使得水流的流线与流态趋于复杂化,从整体上起到耗能效应,也应是浸没—内涝灾害发生发展的一个影响因素。

⑤地下水流通道、流程与水力参数的渐变与突变。受岩溶多重介质环境控制,在大雨(或暴雨)事件中,岩溶地下河系内存在高位能的快速与多相水流,致使地下河系内部结构与边界条件就会出现季节性(经常发生)和偶发性变化及人工诱发的变化等,造成地下河系内水流的通道、流程及水力参数等发生渐变与突变,是引发浸没—内涝灾害的直接因素。

此外,人为地质作用也是岩溶浸没—内涝灾害的形成的一个重要因素。主要表现在两个方面:一是人类的一些经济活动(采矿、工程开挖、农业平整土地、城乡建设等)构成了致灾条件——人为搬运、堆积、塑造与剥蚀等地质作用;二是合理与不合理的水利工程,塑造了人工环境,奠定了致灾的基础。

4 岩溶浸没—内涝灾害研究的若干建议

综上所述,红水河干流岩溶区浸没—内涝灾害的发生发展均受岩溶多重介质环境控制,具体地讲,就是受气象与地理地质条件的控制。地质条件是岩溶浸没—内涝灾害形成的基础,岩溶浸没—内涝灾害的发生发展过程也是自然和(或)人为地质作用的过程。因此,开展受灾区岩溶多重介质环境研究,用地球系统科学的理论与方法,解释和预测岩溶多重介质环境内浸没—内涝灾害发生发展的规律,为人类生存环境提供安全保护的有效方法、手段和基础理论。

岩溶地下河系的结构和功能是在岩溶多重介质环境的制约下发生变化和起作用的,不同的环境或环境发生变化对岩溶地下河系的结构与功能会有不同程度的影响。要研究岩溶地下河系的时空分布,必须确定岩溶地下河系的源(地下河系的发源地及其水体的补给源和量)、流(各类水流的传输与分配方式及地下河系的空间展布方向)、场(水动力、水温度、水化学、水同位素等)、径(水流运动的主干道或主管道及地下河系的轨迹)、域(水流赋存空间和地下河系分布范围)的链式规律。在研究过程中,要注意岩溶地下河系在域的时空分布方面具量值和形态多变性,在含水介质空隙空间体组构方面具非均匀性,在河系的主干与支干的配比方面具多重性。

在对岩溶多重介质环境的研究过程中,要着重研究其水体运动与传输过程的特殊性:①跨介质迁移(穿越性);②界面分流效应(偏流效应等);③非线性作用;④协同汇流效应;⑤有序与无序交替(管流和散流互换等)。同时,因岩溶多重介质环境是由多个环境介质组成的,目前还

很难对其机理作出全面的科学的表述。在研究过程中应注意以下几个问题:①环境刻画(描述)应有一定的时空尺度约束;②环境和因素均具混沌性;③环境的多因素梳理与扬弃;④建立环境的层次分析图;⑤在时序中作树杈状的思维,着重环境动态的随机分析;⑥建立定性定量的数学物理模型,参照信息反馈,不断修正模型结构;⑦宏观调控,明确目标的多元性和因果的多元性,确定环境综合集成研究方法。关于岩溶多重介质环境研究,要在科学发展方向、科学方法论、技术方法和应用等方面进行探索和创新。

岩溶浸没—内涝灾害是岩溶区(特别是我国南方岩溶区)一个共存的问题,今后对有关该问题的研究应予以加强。

参考文献:

- [1] 罗祖德,徐长乐.灾害科学[M].杭州:浙江教育出版社,1998.
- [2] 陈梦熊.中国水文地质环境地质问题研究[M].北京:地震出版社,1998.
- [3] 崔政权.系统工程导论[M].北京:水利电力出版社,1992.
- [4] 张立翔,黄文虎.弱约束管道系统水锤研究与进展[J].水动力学研究与进展,1999, A14(1):101~110.
- [5] 广西壮族自治区地方志编纂委员会.广西通志·自然地理志[M].南宁:广西人民出版社,1994.
- [6] 魏一鸣.自然灾害复杂性研究[J].地理科学,1998,18(1):25~30.
- [7] 光耀华.岩溶浸没—内涝灾害研究[J].地理研究,1996,15(4):24~31.
- [8] 王颖.大系统思维论[M].北京:中国青年出版社,1998.
- [9] 叶常明.多介质环境污染研究[M].北京:科学出版社,1997.

GEOSCIENTIFIC FACTORS CONTROLLING THE FORMATION OF IMMERSION-WATERLOGGING HAZARD IN THE KARST AREA OF THE HONGSHUI RIVER

GUO Chun-qing^①, LI Wen-xing^②

(①Institute of Karst Geology, MLR, Guilin 541004, China; ②Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Because human activities and hydroenergy development along the Hongshui River, the karst immersion-waterlogging hazards have become increasingly critical, which we should pay serious attention to. According to the stepped development plan of the hydropower stations along Hongshui River, the geoscientific factors controlling the karst immersion-waterlogging hazards are analysed in this paper.

Key words: Hongshui River valley; Karst areas; Karst subterranean river systems; Reservoir; Karst immersion-waterlogging; Geoscientific factors; Karst multifold media environment