

# 从研究岩溶地下水角度分析 评价岩溶塌陷的危险性

——以南宁坛洛塌陷为例

李海良<sup>1</sup>, 王举平<sup>1,2</sup>, 兰干江<sup>1</sup>, 黄花群<sup>2</sup>, 谢永彬<sup>1</sup>, 唐志祥<sup>1</sup>, 潘会彬<sup>1</sup>

(1. 桂林理工大学, 广西 桂林 541004; 2. 广西地质环境监测总站, 广西 桂林 541004)

**摘要:**南宁市是广西岩溶地面塌陷危害十分严重的城市之一。2012年6月2日突发的岩溶地面塌陷主要集中分布在坛洛镇南西方向,形成塌陷坑19个,地裂缝17条,威胁62户共232人,潜在经济损失约870万元。坛洛塌陷多形成于松散盖层厚度小于15 m,地下水位埋深小于20 m,地下岩溶强发育的区段。碳酸盐岩岩溶发育、松散盖层厚度较小和水动力条件(降水、地表水和地下水)复杂为岩溶塌陷产生的必要条件,尤以地下水的作用对岩溶塌陷的形成起至关重要的作用。通过对坛洛地下水动态观测与岩溶塌陷的调查研究确定地下水强径流带,分析评价岩溶地面塌陷的危险性,为岩溶地区的岩溶塌陷危险性勘察、评价工作提供一定指导意义。

**关键词:**岩溶塌陷;岩溶地下水;危险性;南宁坛洛

中图分类号:P642.25

文献标识码:B

## 0 引言

岩溶塌陷地质灾害是一种复杂的工程地质现象,它的发育是内因、外因共同作用的结果,内因包括上覆土层结构及性质、下伏基岩的岩溶化等因素;外因包括人类工程活动及其他因素导致的地下水动力条件的改变等<sup>[1]</sup>。该文在坛洛地下水动态观测与岩溶塌陷的调查研究基础上,分析坛洛地下水动态变化规律及影响因素确定地下水强径流带、岩溶塌陷的基本特征,从岩溶地下水的角度勘察、评价岩溶塌陷的危险性。

在岩溶塌陷的勘探方法上国外仍认为钻探最可信,但由于其成本昂贵,且因地下岩溶地貌分布极不均匀、布孔的随机性等可能会造成差异,因而尝试使用地球物理勘探及遥感方法来勘测地下岩溶<sup>[2]</sup>。国内较常用的勘察方法以大比例尺地面地质测绘和地球物理勘探为主,如地质雷达、高密度电法、地震、EH4、V8、跨孔CT等,而物探方法具有多解性需要用钻探去验证其圈出的异常范围。

## 1 地质环境条件

### 1.1 气象水文特征

坛洛位于南宁市西北部,属亚热带季风气候区,年均气温21.6℃,最高气温40.4℃,最低气温-2.1℃<sup>[3]</sup>。该区多年平均降雨量1304.2 mm,每年4—10月雨季,降雨量占全年降水量的84.4%,11月至翌年3月为旱季,降雨量仅占全年降水量的15.6%;受大明山和高峰岭地势较高的影响,降雨量在时空上的分布呈北东多,南西少的特点。

研究区附近主要地表水系为左江、右江、剪刀河及硃湖大塘,其中左江位于研究区东南约10 km,右江位于研究区东约8 km,剪刀河位于研究区南约7 km,硃湖大塘位于研究区南约350 m。研究区总体地势西高东低,多数地段被残坡积、溶余堆积粘土所覆盖,为岩溶孤峰平原地貌,坛洛一带平坦开阔,孤峰稀少,以单个为主。地面高程在86.78~89.9 m之间,地势平坦,相对高差较小。

收稿日期:2013-12-12;修订日期:2014-01-11;编辑:陶卫卫

作者简介:李海良(1987—),男,湖南新宁人,在读研究生,研究方向:水文地质、工程地质勘察等;E-mail:lihailiang11@126.com。

## 1.2 地层岩性与地质构造

该区上覆第四系淤泥质粘土、溶余堆积红粘土,厚9.30~21.60 m;下伏基岩为早石炭世大塘阶灰岩、白云质灰岩、白云岩、少量大理岩,区域上岩层倾向E,倾角一般小于15°,覆盖型岩溶发育。

断裂构造方面,坛洛断层位于研究区北西方向约500 m,分布于坛洛至江西一带,切割寒武系、泥盆系、石炭系、新近系地层,走向为NW向,倾向210°,倾角70°~75°,为近期仍在活动的区域性正断层,属右江断裂一部分,平行于那龙向斜;右江断裂带走向310°,倾向NE,倾角50°~80°,为一条区域性活动性断裂,断裂带影响范围较大,研究区正处于右江活动性断裂及其影响带范围内。

## 1.3 水文地质条件

研究区处在坛洛-天堂水文地质单元的南部,毗邻地表分水岭,属地下水补给区。据地下水的赋存条件、含水介质、埋藏情况分为松散岩类孔隙水、覆盖型碳酸盐岩裂隙溶洞水2类。松散岩类孔隙水赋存于较致密红粘土中,以上层滞水为主,水位埋深0.35~6.80 m,透水性弱,富水性贫乏;覆盖型碳酸盐岩裂隙溶洞水赋存于灰色灰岩、白云质灰岩中,地下岩溶发育,水位埋深5.79~12.86 m,钻孔遇洞率32.6%,在区内2处测得水井涌水量分别为10 m<sup>3</sup>/h,32 m<sup>3</sup>/h,富水性中等。

## 2 塌陷现状

坛洛发生岩溶地面塌陷19处,地裂缝17条,塌陷重点变形区范围约61 126 m<sup>2</sup>,总的下沉量约为4 255 m<sup>3</sup>,平面形态多呈似圆形—椭圆形,剖面形态多呈漏斗状,多分布与以公路为中心的两侧范围至村庄,呈北东南西向发育,规模均为小型。地裂缝多为塌坑外围的环形、弧形裂缝,局部为塌陷隐患(沉降)产生的地裂缝,地裂缝最宽达10 cm,裂缝长度9.87~17.75 m,多分布于地下水强径流带。根据塌陷和裂缝发育情况推测塌陷的影响范围,由现状塌陷和裂缝边界向外扩展至50~100 m的稳定区,长轴长约450 m,短轴宽约300 m,面积约100 600 m<sup>2</sup>,长轴走向68°,短轴走向335°,灾害威胁62户共232人,潜在经济损失约870万元,严重威胁了当地居民的生活、生产及生命财产安全。

## 3 岩溶发育特征

岩溶水的岩溶空间系统的分布、径流条件、运动特征决定于可溶岩的水动力场、地质构造场、岩石结构场,这些因素对可溶岩的岩溶形态、发育强度、部位起到了重要的控制作用,进而影响到岩溶水的运动条件及岩溶含水层的储导性质<sup>[4]</sup>。

研究区基岩面标高65.19~78.82 m,埋深9.30~21.60 m,基岩面起伏较大。据已施工的29个钻孔及引用的17个(1个未到基岩)钻孔资料统计,有15个钻孔遇溶洞(图1),钻孔见洞率为32.60%,线岩溶率1.12%~24.52%。按其发育高程划分,地面以下溶洞大致可划分为4段。

(1)标高65.0 m以上。钻入该段的钻孔17个,6个钻孔遇到溶洞,钻孔遇洞率35.29%,发育有溶洞7个,占溶洞总数的36.84%,均为充填溶洞。

(2)标高55.0~65.0 m。钻入该段的钻孔19个,3个遇到溶洞,钻孔遇洞率15.78%,发育有溶洞3个,占溶洞总数的15.78%,充填溶洞1个,占总数的33.3%。

(3)标高45~55 m。钻入该段的钻孔2个,2个遇到溶洞,钻孔遇洞率100%,发育有溶洞5个,占溶洞总数的26.31%,充填溶洞1个,占20.0%。

(4)标高45.0 m以下。钻入该段的钻孔8个,4个遇溶洞,钻孔遇洞率50.0%,遇溶洞4个,占溶洞总数的21.07%,充填溶洞2个,占50.0%(表1,图1)。

表1 地下岩溶发育段情况

标高(m)	钻孔		溶洞规模		充填溶洞数(个)	占溶洞总数百分比(%)
	溶洞个数(个)	占溶洞总数百分比(%)	洞高大于1 m个数(个)	占溶洞总数百分比(%)		
65.0以上	7	36.84	5	26.3	10	52.63
55.0~65.0	3	15.78	1	5.2	1	5.26
45.0~55.0	5	26.31	4	21.0	4	2.10
45.0以下	4	21.07	3	15.7	2	1.01

## 4 地下水与岩溶地面塌陷的关系

### 4.1 地下水开采现状

根据调查,研究区现仅1处开采地下水,位于该区西北角,即二中西北角后门旁的水井,2006年成井,深约30.0 m,抽水量约为5 t/d。研究区附近约

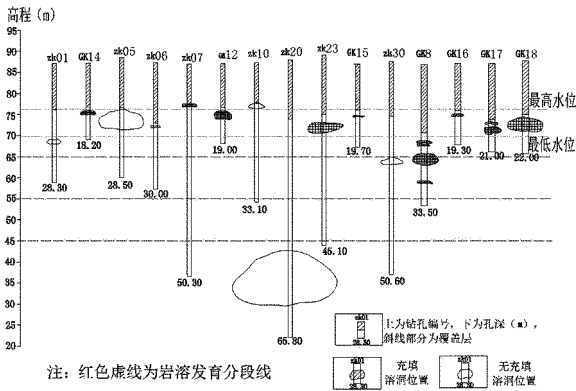


图1 岩溶发育垂向分段剖面图

1 km 内分布有马重、二甲、硃湖、花谢坡、坛洛中学、坛洛二中旧井、坛洛村等 10 余口地下水开采井,开采量约 5 ~ 50 m<sup>3</sup>/h。其中位于坛洛村委北面的水井为全村的饮用水源,1984 年成井,深 102.0 m,抽水量为 100 t/d。该区外围 2 km 外有较多的农用灌溉井主要分布于硃湖、坡君一带,开采量较小。

#### 4.2 地下水动态特征

研究区位于坛洛-天堂亚区中的天堂块段水文地质单元补给区域,靠近西南侧水文地质边界线,地下水动态变化较为稳定(图 2)。调查时二中大口井实测水位标高为 80.89 m,而下游约 1.5 km 坛洛圩水井实测水位标高为 76.2 m,水力坡度为 3 × 10<sup>-3</sup>;分水岭的南西侧坡君村水井水位标高 78.00 m,坛地水井地下水水位标高为 68.91 m,地下水水力坡度较大,为 7.7 × 10<sup>-3</sup>。该区丰水期水位埋深为 5.79 ~ 12.86 m,枯季地下水埋深为 10.79 ~ 17.86 m,水位变幅多位于基岩面附近波动。

地下水位的变化实际上是岩溶塌陷过程中物质运移与能量转移的动力,当地下水位下降时,水力坡度也将增大,潜水与地下水之间的水头差变大,补给引起的渗流场增强,使地下水动力条件增强,由此而在岩溶空腔或土洞中形成的空气压力变化造成的吸蚀作用与真空负压作用将对上覆土体产生强烈的破坏,同时地下水的流动将充填在岩溶空腔中的粘土颗粒带走,促进了岩溶塌陷的发生<sup>[5]</sup>。

#### 4.3 地下水运动与塌陷形成关系

研究区位于地下水补给区内,地下水富水性中等,主要赋存于灰岩裂隙、溶洞中。地下水自南向北径流,以管道流为主,水平运动的水流具强大搬运作用,把岩土体内的颗粒带走,不断的冲刷与溶蚀作

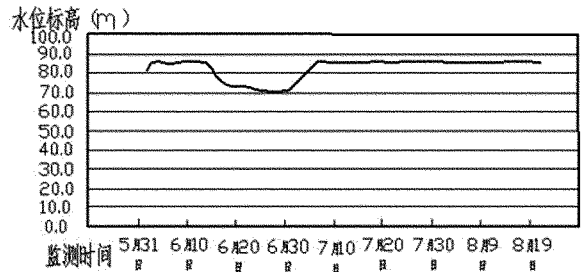


图2 二中水位波动图(6月2日—8月21日)

用,使地下岩溶裂隙、溶洞腔体不断扩大。同时地表水向洼地汇集后,沿土体裂隙不断下渗补给地下水,且枯水期地下水位下降至基岩面以下,丰水期补给后又上升至基岩面之上,垂直运动的水流有强烈的潜蚀和搬运作用,长期潜蚀土体形成土洞,并且把细颗粒送至水平运动水流中,随着土洞、溶隙及溶洞体不断发展扩大,顶板支撑力小于地面岩土体自重时引发了岩溶地面塌陷。

该区丰水期水位标高 75.64 ~ 82.67m,地下水水位年变幅 5 ~ 8m,变幅带正好位于土层与基岩面接触带间,地表水与地下水联系密切,地下水活动强烈,地下水位在垂直方向上的交替与周期性变化使基岩面附近的土层因潜蚀作用逐渐被掏空而形成土洞,当土洞扩大发展达到上部土层顶板的临界稳定状态时,岩溶地下水水位的升降、人工抽地下水等导致土洞气压增大或突然产生相对负压力,降雨、农业灌溉或地表水体入渗等作用,使土体饱水,抗剪强度降低,土洞顶板失稳而形成岩溶地面塌陷。

#### 4.4 地下水强径流带与塌陷关系

岩溶水强径流带主要发育于裸露型岩溶与埋藏型岩溶的接触带,裸露灰岩区的河谷地带或断裂带部位,及部分隐伏型灰岩或浅埋藏型灰岩的构造部位;主要类型有接触带型、河谷型及构造带型<sup>[6]</sup>。

地下水强径流带由于其水力坡度较大,水流速较大,水流集中,流态复杂且易变,地下水交替循环强烈,地下水位波动频繁,因此,地下水对岩土体的潜蚀、吸蚀、溶蚀等作用都会加强,从而更加容易形成和产生塌陷<sup>[7]</sup>。根据水位监测结果,地下水水位变化大体可化分为 2 个区域:

(1)研究区:7月23日坛洛降雨量为 29.3 mm,其中 6 月份水位监测密度较大,每天监测 3 ~ 8 次,7、8 月份监测密度逐渐减小。由图 2 可知二中新水井的水位升降浮动较大,5月31日—6月15日水位

稳定居于高位,6月15日—7月7日水位降到波谷值。7月24日—25日水位埋深变化大,ZK13水位埋深由4.0上升为6.30 m,而26—27日未降雨升至6.72 m,地下水下降幅度较大。

(2)研究区外围:ZK33,ZK35,ZK17号孔,水位略有上升,后呈逐步下降的趋势,总体上水位较稳定。

强径流带上形成的塌陷的主要是地下水下降形成降落漏斗诱发的,而地下水又受降雨的补给,持续上升浸泡土洞顶板土体,同时降雨入渗导致土体抗剪强度下降,当致塌力大于抗塌力时产生地面塌陷。因此,①研究区处在强径流带上地下水波动频繁,水动力条件复杂多变,产生岩溶塌陷的可能性大,则研究区危险性大;②研究区外围未处在强径流带上地下水波动较弱,水动力条件简单,产生岩溶塌陷的可能性较小,则研究区外围危险性小。

## 5 结语

(1)当处在地下水强径流带上,地下水频繁波动,水动力条件复杂多变,等水位线比较密集,水力坡度较大,易发生岩溶地面塌陷。

# Analysis and Evaluation on the Risk of Karst Collapse from the Aspect of Studying Karst Underground Water

——Setting Tanluo Collapse in Nanning as an Example

LI Hailiang<sup>1</sup>, WANG Juping<sup>1,2</sup>, LAN Ganjiang<sup>1</sup>, HUANG Huaqun<sup>2</sup>, XIE Yongbin<sup>1</sup>, TANG Zhixiang<sup>1</sup>, PAN Huibin<sup>1</sup>

(1. Guilin University of Technology, Guangxi Guilin 541004, China; 2. Guangxi Geological and Environmental Monitoring Station, Guangxi Guilin 541004, China)

**Abstract:** Nanning is one of the cities that have the most serious karst surface collapse in Guangxi Zhuang Autonomous Region. Karst surface collapse happened on June second, 2012 mainly distributed in northwestern Tanluo town. It formed 19 collapse pits and 17 ground fractures. It threatened 62 families, totally 232 people, and lead to a potential financial loss about 8.7 million. Tanluo collapse mainly formed in the zone where the loose cover is less than 15m, the cover depth of underground water is less than 20m and the underground karst strongly developed. Well developed carbonate rocks, small thickness of loose cover and complex hydrodynamic forces (rainfall, surface and underground) are necessary conditions to lead the karst collapse. Especially the underground water plays a crucial role in karst collapse. In this paper, through study on dynamic observation and karst collapse of Tanluo underground water, strong runoff zone of underground water has been determined, and the karst collapse risk has been analyzed and evaluated. It will have a guiding significance for hazard survey and evaluation in karst region.

**Key words:** Karst collapse; karst underground water; risk; Tanluo in Nanning city

(2)勘察评价岩溶地面塌陷时可以从研究岩溶地下水的角度去着眼出发,圈定地下水强径流带的范围,从而确定该范围易于发生岩溶塌陷。

(3)研究区处在强径流带上发生岩溶塌陷危险性大,而研究区外围处在强径流带的外缘发生岩溶塌陷的危险性小。

## 参考文献:

- [1] 雷明堂,蒋小珍,李琦. 岩溶塌陷综合预测评价的理论与方法[J]. 中国地质灾害与防治学报,1997,(8):38-42.
- [2] 杨立中,王建秀. 国外岩溶塌陷研究的发展及我国的研究现状[J]. 中国地质灾害与防治学报,1997,(8):6-9.
- [3] 南宁市西乡塘区坛洛岩溶地面塌陷应急勘查报告[M]. 广西地质环境监测总站,2012.
- [4] 叶海东,闰晋卫. 柳林泉域岩溶水强径流带的成因类型及水文地质条件分析[J]. 工程勘察,2008,(2):206-208.
- [5] 袁杰,高宗军,徐晓慧. 枣庄岩溶地面塌陷的影响因素及其发展趋势[J]. 山东国土资源,2010,26(8):18-21.
- [6] 裴捍华,杨亲民,郭振中,等. 山西岩溶水强径流带的成因类型及其水文地质特征[J]. 中国岩溶,2003,22(3):219-224.
- [7] 施杰,梁春梅. 桂林市岩溶塌陷与地下水关系初探[J]. 中国地质灾害与防治学报,1997,(8):88-97.