

# 溆怀高速公路寺前段地面塌陷成因分析

魏金胜, 高燕希, 莫志兵

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 针对湖南省溆怀(溆浦—怀化)高速公路寺前段多处发生地面塌陷, 导致工程停工, 严重影响工程进度的情况, 通过地面塌陷分析, 确定其类型为岩溶塌陷; 分析该工程岩溶地面塌陷的产生原因, 除了地质地貌外, 更重要的在于煤矿开采、施工排水改变了水动力条件、地应力场以及岩土结构, 其中煤矿矿坑疏干对水动力条件的影响最为显著。

**关键词:** 公路; 地面塌陷; 岩溶; 采空区; 成因分析

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2011)06-0127-03

地面塌陷是指地表岩、土体在自然或人为因素作用下向下陷落, 并在地面形成塌陷坑(洞)的一种地质现象。当这种现象发生在有人类活动的地区时, 便成为一种地质灾害。溆怀(溆浦—怀化)高速公路位于湖南省辰溪县寺前镇的路段, 自 2010 年 9 月以来地面连续发生多处塌陷。该文结合地面塌陷(采空塌陷与岩溶塌陷)形成条件进行综合分析, 揭示溆怀高速公路地面塌陷的成因, 为处理该段地面塌陷提供技术支持。

## 1 地质环境条件概况

溆怀高速公路寺前段位于湖南省西南部, 属中亚热带季风湿润气候, 多年平均降雨量为 1 366.72 mm, 降水主要集中在 3—8 月。该段为山地丘陵, 主要分布有二叠系下统茅口组灰岩、二叠系下统栖霞组灰岩以及第四系松散层。二叠系下统茅口组( $P_{1m}$ )灰岩, 含燧石结核, 层面为灰黑色泥岩, 厚一般为 150 m 左右。二叠系下统栖霞组灰岩( $P_{1q}$ ), 上部位砾状灰岩与厚层状细晶灰岩互层, 下部为薄层状粉砂岩夹泥岩。第四系松散层(Q)岩性随基岩岩性而变, 因碳酸盐大面积分布, 故残坡积相棕红色粘性土广泛分布, 厚度也较大, 一般厚 2~12 m, 最厚达 27 m, 一些地段为碎石土。

第四系松散层空隙水含水层为分布于谷地中坡洪积层下部的含粘性土砂砾层含水, 其厚度一般小于 1 m, 且夹较多粘性土, 故其含水性微弱, 未见明显的泉水出露。茅口组上段皆为灰岩层, 由于岩溶发育强烈, 含丰富的岩溶水, 泉水流量一般为 5.0~19.8 L/s。地下水补给, 地下水总体上是沿洼地的南西向北东径流运移。矿坑排泄成为当前地下水的

主要排泄形式。

## 2 地面塌陷特征

2010 年 9 月, 路基(见图 1)与路基外的田垅(见图 2)多处发生塌陷, 地面塌陷坑基本上独立存在, 少量塌陷坑呈串珠相连, 个别为多个塌陷坑连成一个大塌陷坑; 塌陷坑的平面形态多为圆形、椭圆形, 个别为不规则的 L 形, 直径一般为 1.8~6.3 m, 最大 19.0 m, 最小 0.8 m; 垂直形态多为井状、坛状、漏斗状, 少量为多形状组合形, 深度一般 <1.95 m, 最深达 4 m, 最浅 0.4 m。各个塌陷坑的坑壁皆为土体, 没有一个见到基岩出露, 说明塌陷坑处土层皆较



图 1 路基塌陷



图 2 田垅塌陷

厚。塌陷坑分布地带及邻近地带没有发现显著的共生长直线形地面开裂。寺前段发生地面塌陷已不是第一次,早在2004年已开始,此后于2007年、2010年1—3月都曾发生过。塌陷除了造成该路段全面停工外,还造成当地居民楼开裂以及周围几口水井无水可抽。

### 3 地面塌陷成因分析

作为一个独立的类型,造成该段发生地面塌陷的原因主要有两种:一是采空区塌陷,二是岩溶塌陷。采用排除法对地面塌陷原因进行分析。

#### 3.1 采空区地面塌陷

(1) 地球物理特征分析。为查清该段地层分布及岩溶发育情况,根据高速公路的走向,采用高密度电阻率法,按垂直、平行矿体走向,每20 m用木桩在现场标示位置及里程,用测绳加密测点。通过综合解译物探成果,在各测线探测深度内视电阻率等值线水平变化相对平缓,无明显错动,浅部地层分布相对均匀,采空区未见明显的分布异常。该段电阻率一般为200~400  $\Omega\text{m}$ ,推测基岩为灰岩;基岩视电阻率较低,反映岩溶裂隙发育,见多处50~150  $\Omega\text{m}$ 低阻异常,推测为岩溶裂隙发育区,岩溶连通性好。

(2) 采空区塌陷机理分析。采空区地面塌陷,主要是指采空区变形移动角圈定的地表移动盆地地表变形破坏,它造成的地表变形破坏一般呈盆地状沉陷变形破坏,地表多发生与矿层(或采空区)走向基本一致的长大地裂缝(地面裂缝)、阶状地面沉裂,也可有坑状塌陷,但不管在什么地层中,塌陷坑都是与地裂缝等共生的,它产生的影响和危害都是面积性的。而该工程路基与路基外田垌处面积最大仅20  $\text{m}^2$ ,分布较零散,塌陷坑周围并未见地裂缝,结合该段的现场情况,采空区塌陷的可能性较小。

#### 3.2 岩溶塌陷分析

岩溶地面塌陷是指覆盖在溶蚀洞穴发育的可溶性岩层之上的松散土石体在外动力因素作用下,向洞穴运移而导致的变形破坏,其表现形式以塌陷为主并多呈圆锥形塌陷坑。在自然条件下产生的岩溶塌陷一般规模较小,发展速度缓慢,不会给人类生活带来突然的影响。但人类工程活动(如在抽取岩溶水作为供水来源、岩溶地区深基坑排水疏干等)造成的岩溶塌陷规模则较大、突发性强,且常出现在人类聚集地区,给地面建筑和人类安全带来严重威胁,可构成区域性的环境地质灾害。

岩溶地质环境的平衡条件就是岩溶塌陷形成的基本条件,主要有一定发育程度的岩溶、岩溶上方一定厚度的岩土体和岩溶地下水系统三个方面。

##### 3.2.1 气象因素分析

气象内涵很广泛,与岩溶地面塌陷有关的主要是大气降水量和降雨强度对地下水动力条件的改变和作用。

该段属中亚热带季风湿润气候,年平均降雨量1 366.72 mm,年最大降雨量为1 780.1 mm,年最小为959.31 mm,雨季为每年的3—8月,这种气象条件可以引发一定的岩溶地面塌陷。雨季或暴雨有时可能以不同的形式(地下水位的暴涨、暴落等)诱发一些岩溶地面塌陷,但是它通常数量不多、范围不大、程度轻,与降雨密切相随,它不致引起地下水位的超常升降;而且该区的地面塌陷不是发生在雨季;同时,该区的一些地面塌陷发生于丘坡上,地下水位是埋藏在土层之下的基岩层中,水位变化波及不致土层;再者,降雨变化造成的岩溶地面塌陷一般应是区域性的,不为某一个岩溶含水层所独具,这种塌陷的数量一般不会多也不会集中,而该区发生的岩溶地面塌陷恰与上述特征不符。因此,该段发生的岩溶地面塌陷与气象因素无关。

##### 3.2.2 地震因素分析

发生地震,由于其地震波驱动,可以破坏地壳表层,引发地面塌陷。据有关资料,辰溪县一带近代史上未发生过地震。根据《中国地震动参数区划图》,辰溪一带地震动峰值加速度 $<0.05g$ ,地震动反应谱特征周期值为0.35 s,对应地震基本烈度 $<VI$ 度,为弱震区。加上除发生地面塌陷外,当地居民并未感到发生地震。因此,鉴定该区一带发生的地面塌陷不是地震所造成的。

##### 3.2.3 供水抽水关系分析

发生岩溶地面塌陷的地带地下为含丰富岩溶水的茅口组—栖霞组上段岩溶含水层,由于含水丰富,它可以作为一个生活或农业供水的水源地。假若作为供水水源地,抽水将造成地下水位显著降低,从而引发岩溶地面塌陷。但是该区及邻近一带并不存在供水抽水井,即不存在供水抽水可能。因此,鉴定该区一带的岩溶地面塌陷与供水抽水无关。

##### 3.2.4 煤矿矿坑突水排水分析

岩溶地面塌陷,它的产生原因中岩溶洞穴的存在和覆盖土层的存在是固定不变的。因此,导致岩溶地面塌陷产生的关键因素是地下岩溶水动力条件

的改变和作用。

某煤矿自 20 世纪 90 年代以来主要开采辰溪煤系 8 煤层, 现已开拓至水平 -100 m。该煤层直接顶板为吴家坪组—长兴组强岩溶含水层, 底板为茅口组—栖霞组强岩溶含水层, 以往开采过程中, 顶底板岩溶水都直接向矿坑充水。为了保持继续开采, 十余年来, 该煤矿一直不断地进行疏干排水。因此, 该矿矿坑突水和排水量都比较大, 地下水位早已大幅度降低, 矿坑部分地段已降至 -70 m 水平, 水位降低值达 230 m 左右。由于大降深、大水量长期疏干排水, 茅口组—栖霞组含水层地下水形成了大规模的降落漏斗。而茅口组—栖霞组含水层对该煤矿矿坑充水是侧向有限补给, 含水层出露宽度为影响半径的 1/11 左右。情况表明, 矿坑突水及排水将很快使整个含水层地下水位全面降低。

煤矿排水过程中, 经常出现浑浊现象, 需要不定期对排水沟进行清淤, 才能保证煤矿排水通畅。说明排水过程中不仅排放了地下水, 同时也在排放着由上覆土层通过各种途径排放到溶洞内的泥砂。

### 3.2.5 大桥桩孔抽排水分析

大桥位于地面塌陷区的西南, 相距约 425 m。基桩持力层大部分为茅口组—栖霞组, 基岩层中岩溶都强烈发育, 主要抽排期为 7—9 月, 抽排量为 834 m<sup>3</sup>/d。总体来说, 桩孔排水量不大, 难以形成区域性影响。桩孔水位降低距桩长一般为 35 m 左右, 根据桩孔抽排水影响半径  $R = 2s\sqrt{HK}$ , 计算得  $R$  为 312 m。计算结果说明大桥桩孔施工排水量影响不到已发生的地面塌陷坑。但是寺前镇岩溶洼地的茅口组—栖霞组含水层对寺前镇煤矿矿坑充水来源为侧向补给, 矿坑突水及长期排水经常需要靠两端来水补充, 相当于大桥桩孔抽排水将上游水源进行了部分拦截, 在一定程度上对煤矿抽排水产生了不良影响。

根据地球物理特征、地震因素、供水抽水、煤矿矿坑突水排水以及大桥桩孔抽排水综合分析, 溆怀高速公路地面塌陷是由煤矿矿坑大突水及大水量的疏干抽排水引起的, 而大桥桩孔施工抽排水对地面塌陷只起了一定的间接作用。

## 4 溆怀高速岩溶地面塌陷发育方式

岩溶地面塌陷从土洞的产生、发展至塌陷, 每一个过程都与水动力条件息息相关。在不同阶段, 其发育方式不同。

(1) 地下水渗透潜蚀。煤矿大水量的疏干抽排水直接排走岩溶水, 岩溶水位大幅度超常降低, 地下水位下降, 而水力梯度也随之增大, 动水压力增强, 土颗粒开始迁移。

(2) 真空吸蚀。岩溶管道水位变化而产生压强差, 压强差作用于土骨架, 使土体受力变形、散离以及洞穴中封闭的气体产生负压, 出现真空吸蚀而引起土体破坏。

(3) 自重效用。地下岩溶水降低以及土体松动、破坏, 造成地下水及土体对上覆土层的浮托力消减, 使土拱无法支撑上部的重量, 从而导致塌陷。

## 5 结论与建议

(1) 茅口组—栖霞组灰岩岩溶发育, 煤矿长期大水量疏干抽排地下水, 并带有泥砂顺势流入岩溶空隙, 且不断被排至地表, 而处于上游的大桥桩孔抽排水, 截留了部分对岩溶洼地的地下水补给, 造成地下水对上覆土层浮托力的消减, 导致地面塌陷。

(2) 该地面塌陷属于岩溶塌陷, 其直接原因是由于煤矿突水以及抽排水, 而大桥桩孔抽排水只起一定的间接作用。

(3) 该段高速公路路基属于高填方路基, 建议将路基改为大桥。

(4) 岩溶地面塌陷具有突发性和重复性的特点, 加上该地区的岩溶塌陷尚未稳定, 需加强对岩溶的地面监测。

### 参考文献:

- [1] 李勇. 天柱盆地岩溶发育特征和岩溶塌陷成因分析[J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 2009, 26(8).
- [2] 杨晓燕, 袁仁茂, 陈锁忠, 等. 南京栖霞山地区岩溶地面塌陷成因研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2001, 37(6).
- [3] 高宗军, 王庆兵, 段秀铭, 等. 山东某铁矿区地面塌陷成因判别及其意义[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(2).
- [4] 陈国亮. 岩溶地面塌陷的成因与防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1994.
- [5] 陈国亮. 岩溶工程论文集[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2009.
- [6] 许领, 金艳丽, 简中华, 等. 杭州市环西湖覆盖型岩溶地面塌陷成因及预防[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(1).

作者: 魏金胜, 高燕希, 莫志兵  
作者单位: 长沙理工大学, 交通运输工程学院, 湖南, 长沙, 410004  
刊名: 公路与汽运   
英文刊名: HIGHWAYS & AUTOMOTIVE APPLICATIONS  
年, 卷(期): 2011 (6)

## 参考文献(6条)

1. 李勇 天柱盆地岩溶发育特征和岩溶塌陷成因分析[期刊论文]-贵州大学学报(自然科学版) 2009 (08)
2. 杨晓燕;袁仁茂;陈锁忠 南京栖霞山地区岩溶地面塌陷成因研究[期刊论文]-北京大学学报 (自然科学版) 2001 (06)
3. 高宗军;王庆兵;段秀铭 山东某铁矿区地面塌陷成因判别及其意义[期刊论文]-中国地质灾害与防治学报 2010 (02)
4. 陈国亮 岩溶地面塌陷的成因与防治 1994
5. 陈国亮 岩溶工程论文集 2009
6. 许领;金艳丽;简中华 杭州市环西湖覆盖型岩溶地面塌陷成因及预防[期刊论文]-中国地质灾害与防治学报 2008 (01)

## 本文读者也读过(10条)

1. 管瑞光. 刘全洪. 魏勇 南岭煤矿区地面塌陷成因分析与减灾对策[期刊论文]-岩土工程界2003, 6 (4)
2. 张欣 市政排水工程路面下沉质量问题的防治[期刊论文]-大众科技2010 (6)
3. 刘欢. Liu Huan 千岛湖车站附近地面塌陷成因分析[期刊论文]-铁道勘察2011, 37 (1)
4. 蒋鹏飞. 王跃飞. 张志龙. 李军. 黄辉. JUANG Pengfei. WANG Yuefei. ZHANG Zhilong. LI Jun. HUANG Hui 邵怀高速雪峰山隧道初始地应力场研究[期刊论文]-中南公路工程2006, 31 (1)
5. 胡振邦. HU Zheng-bang 怀新高速公路边坡柔性防护新技术[期刊论文]-湖南交通科技2009, 35 (2)
6. 蒲水山. Pu Shui-shan 怀新高速公路舞水便桥悬臂推出施工技术[期刊论文]-湖南交通科技2005, 31 (4)
7. 张云明 怀通高速公路红砂岩的试验研究[期刊论文]-中国水运 (下半月) 2012, 12 (4)
8. 刘江龙. 刘会平. 刘文剑. LIU Jiang-long. LIU Hui-ping. LIU Wen-jian 广州市主城区地面塌陷灾害危险性评价研究[期刊论文]-防灾减灾工程学报2007, 27 (4)
9. 周勇 乐安铺隧道工程地质评价[期刊论文]-企业技术开发: 下2011 (8)
10. 周宏林 怀新高速公路路域生态系统建设思路[期刊论文]-中外公路2006, 26 (2)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_glyqy201106034.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_glyqy201106034.aspx)