

文章编号:1005-0523(2014)01-0135-06

岩溶路基病害成因分析及其治理措施

——以昌金高速公路芦溪段为例

刘秋宇, 郑明新

(华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:随着我国高速公路的快速发展,高速公路的修建不可避免要穿越岩溶地区,岩溶路基病害主要体现在路基塌陷和路面沉降,严重影响公路安全和正常使用。以昌金高速公路岩溶路基病害为例,结合覆盖层地质概化模型,分析了岩溶塌陷的机理和成因,根据成因的不同对整治方案进行了比选,提出了相应类型岩溶路基病害的整治方案,可为高速公路岩溶路基病害防治提供参考。

关键词:岩溶;路基病害;覆盖层;成因;治理

中图分类号:U416.1+61

文献标志码:A

1 昌金高速公路芦溪段地质概况

2011年9月昌金高速公路K939+478—K940+950段发生岩溶路基塌陷,其中K940+200处出现近100 m长的路面变形,最大沉降量达60 cm,路面出现数条10余米长的裂缝,裂缝最宽达3 cm;K940+750左幅路堑边坡上出现一处深约10 m的塌陷坑,为了分析类似情况的岩溶成因,需要对地质情况做详细分析。

1.1 区域地质特征

病害地区处于扬子准地台之江南台隆,萍-乐拗陷带蒙山复背斜西段,蒙山复背斜南东翼次一级地域;该区域岩浆活动剧烈,上栗七宝山至宜春慈化-万载楠木一线出露有燕山期浅成花岗闪长岩,且燕山期脉状岩体侵入三叠系地层。

1.2 工程地质特征

路基病害区地层由第四系(Q)、白垩系上统南雄组(K2n)和二叠系下统茅口组(P1m)组成,由上往下地层岩性特征如下:

1) 第四系(Q):①新近堆积物主要构成是路基填土,压实度较高。②全新统冲洪积物,由粉质粘土和卵砾石粘土构成。③中更新统残坡积物由碎砾石粘土构成。

2) 白垩系上统南雄组(K2n):岩性主要为泥质粉砂岩,紫红色,粉砂质、粘土质结构,中厚层—巨厚层状构造,泥质胶结,岩性较软,厚0~100 m。

3) 二叠系下统茅口组(P1m):岩性主要为较坚硬的灰岩,隐晶质结构,块状构造, $f_r = 35 \sim 58$ MPa,岩石溶蚀现象明显,岩溶较为发育。

地下水主要包括第四系孔隙水、白垩纪红层孔隙裂隙水和二叠系下统茅口组灰岩岩溶裂隙水。

2 岩溶路基病害的勘察

针对昌金高速公路K939+478—K940+950段岩溶发育情况,采用地面地质灾害调查、高密度电法、瞬变

收稿日期:2013-08-29

基金项目:国家自然科学基金项目(51068006);江西省高校科技落地计划项目(KJLD13036)

作者简介:刘秋宇(1986—),男,硕士研究生,研究方向为岩土工程。

电磁法等物探和钻探方法进行地质勘查。首先通过物探方法确定路段存在的异常点,之后通过钻探方法加以确定^[1],取得岩溶路基主要集中在:Ⅰ岩溶发育区(K939+645—K939+740)、Ⅱ岩溶发育区(K939+840—K940+120)、Ⅲ岩溶发育区(K940+145—K940+245)、Ⅳ岩溶发育区(K940+635—K940+835)。各段地质剖面见图1。

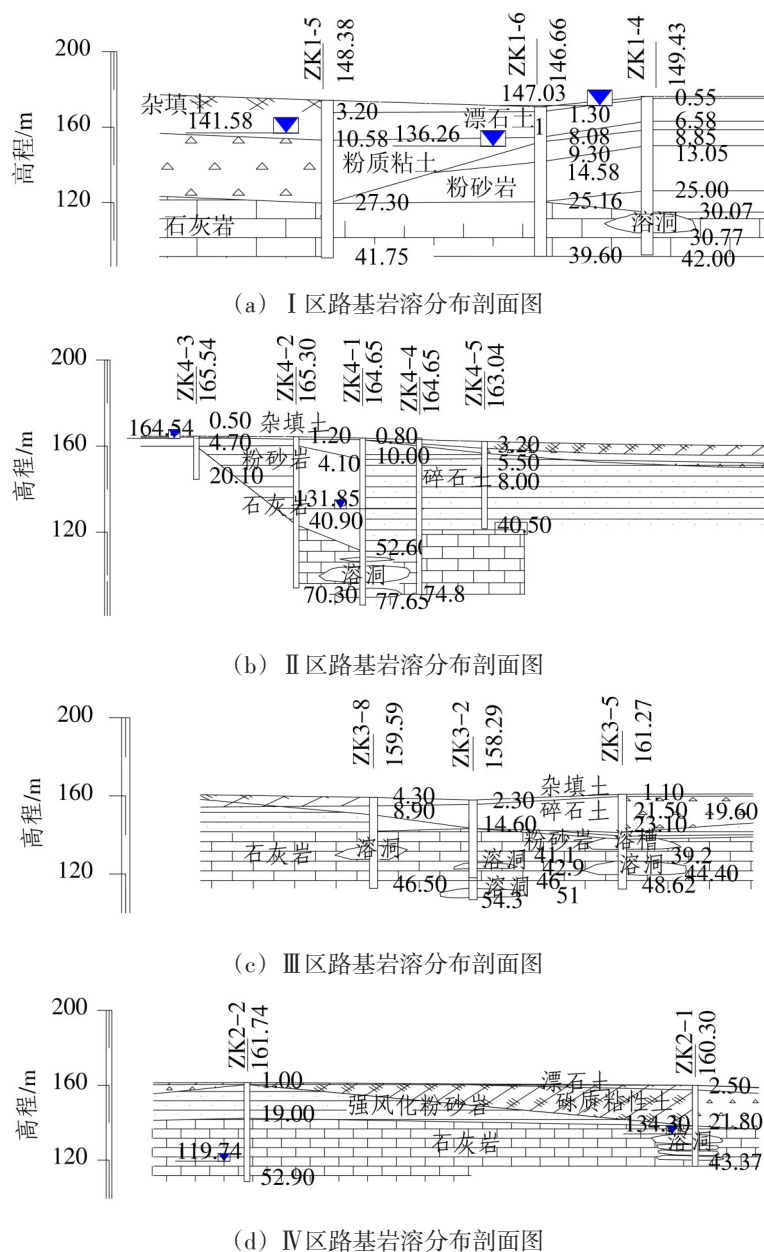


图1 路基岩溶分布剖面图

Fig.1 Profile maps of subgrade Karst distribution

通过勘察取得如下成果:

1) Ⅰ岩溶发育区通过钻探证实,除了ZK1-4钻孔发现溶洞以外,其他钻孔均未发现溶洞,高密度电法、井中电磁波CT探测也未发现溶洞。

2) Ⅱ岩溶发育区通过物探表明,在K939+900—K940+100段左幅外侧发现大型溶洞,经过钻孔ZK2-1证实,标高在133.5~123.53 m发育有一串相互连通的充填型溶洞。

- 3) III岩溶发育区通过探孔ZK3-2,ZK3-5,ZK3-8证实,路基下存在高5.8 m、宽14 m的大型溶洞发育。
- 4) IV岩溶发育区根据物探解释及钻孔证实,K940+750处在标高110.75~91.25 m之间发育有多层溶洞。

3 路基病害成因分析

3.1 岩溶覆盖层分析

岩溶覆盖层的类型与地下水位高程是分析岩溶塌陷成因机制的前提,岩溶覆盖层由多种土层组成,总体上可分为透水层和阻水层,根据土层透水性质的不同组成了多种盖层地质模型,结合病害工点可分为:单一阻水型、单-透水型、阻-透型。根据地质概化模型^[3-7]的不同,结合地下水位高程,岩溶致塌机理分类见表1所示。

表1 塌陷区的地质概化模型

Tab.1 A geological conceptual model of subsidence area

概化模型	覆盖层构成	水位	致塌机制
单一阻水地质概化模型	以粘土为主,少量杂填土	覆盖层中	潜蚀-真空吸蚀致塌
阻-透水地质概化模型	全风化砂岩、粘土、杂填土	覆盖层中	潜蚀-渗流液化-漏失致塌
单一透水地质概化模型	中风化砂岩38 m,强风化粉砂岩17 m	覆盖层中	水力压差场潜蚀-重力致塌

3.2 潜蚀-真空致塌机理研究

以昌金高速公路岩溶塌陷为例,根据钻孔ZK3-2,ZK3-7钻探资料分析,塌陷区岩溶上部为单一阻水盖层,地下水位处于不透水层中,只有孔隙水,无渗流现象,粘土与水接触的地方被软化,在潜蚀作用下形成土洞。由于大气降水减少、人为抽取地下水导致地下水位快速下降,溶槽内部填充物被压实,部分沿着岩溶裂隙流失,在覆盖层内部产生真空吸蚀效应,土洞迅速扩大,同时地下水对覆盖层的浮托力消失,土层自重增加,在汽车荷载与上部土层自重作用下土洞顶板不能支撑上部结构,导致顶板塌陷、路面沉降,溶槽被塌落物质填充,当承载力可以支持上部结构时沉降停止。

由病害成因分析得知,该区域岩溶路基病害的主要原因是地下水位的急剧下降引起的,当地下水位在覆盖层中时,岩溶顶板受力为

$$\sigma = \sigma_z - \gamma_\omega h = \gamma' h$$

式中: σ_z 为覆盖层的垂直应力。由于该区域工业大量用水及天气原因导致地下水位急剧下降,当水位降至岩溶底面以下, $\gamma_\omega h$ 消失,岩溶出现了真空状态,对顶板产生“吸蚀”作用,此时顶板的应力为

$$\sigma = \gamma h$$

式中: γ 为土的容重; h 为覆盖层厚度。

由于此处岩溶发育区顶板较破碎,不可能达到完全的真空状态,会由于一部分压力的释放导致应力的减小,对此处顶板受力分析应当引入压力释放系数 R ,所以该岩溶顶板实际受力为

$$\sigma = (\gamma h + \gamma_\omega h) R$$

第III岩溶发育区为单一阻水盖层溶洞,顶板受力叠加耦合模式如图2所示。

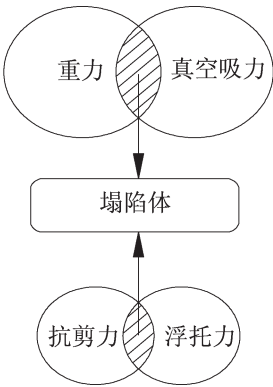


图2 单一阻水盖层中地下水位下降时力场叠加耦合模式

Fig.2 The coupled mode of force field superposition in single waterproof layer as groundwater decline

3.3 水力压差场潜蚀-重力致塌

昌金高速公路K940+164—K940+256段岩溶塌陷左侧边坡处的塌陷坑平面上近圆形,直径约为16 m,深度约11 m,面积约为210 m²。此处岩溶覆盖土层中风化层存在大量裂隙,强风化层粉砂岩呈泥土状,为单一透水盖层地质概化模型。上部孔隙水与地下岩溶水存在水力联系,当地下水位急剧下降时产生巨大的压差场,导致孔隙水向溶洞渗流,水力坡降超过临界水力坡降,在强风化层底部产生很大的破坏渗透力,使强风化层土体流失破坏,同时对强风化层、中风化层裂隙充填物进行潜蚀,最后在重力的作用下导致上层土体塌陷,形成塌陷坑。

该区域工业生产大量开采地下水,导致地下水位急剧下降,渗流过程中,渗透力加大,使土粒浮起发生破坏,单一透水盖层溶洞顶板受力叠加耦合模式见图3所示。

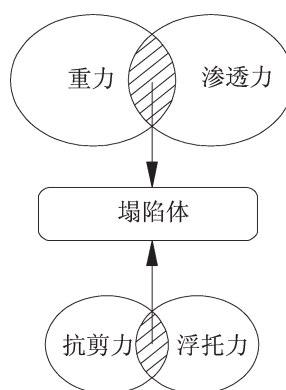


图3 单一透水盖层中地下水位下降时力场叠加耦合模式

Fig.3 The coupled mode of force field superposition in single permeable layer as groundwater decline

4 既有高速公路岩溶病害的防治措施

岩溶发育区当路基下埋藏规模较大的串珠状岩溶时,通常采用注浆法治理,但对已建成的高速公路,由于建设过程中大面积填方及机械震动造成了岩溶裂隙贯通,形成了渗水通道,影响注浆效果;当粘性土为岩溶的主要充填物,构成了不透水层,则注浆效果不明显;大型岩溶注浆量大,成本高,所以对既有高速公路岩溶发育区的路基治理不建议采用注浆方法,为此对于勘察不详尽的通车高速公路,应采用在路面基层位置设置连续钢筋混凝土板跨越下部岩溶。以下结合昌金高速公路岩溶路基病害开展病害治理。

4.1 第Ⅰ岩溶发育区路基整治方案及措施

第Ⅰ岩溶发育区桥梁桩基持力层中有溶洞及密集的岩溶裂隙发育,岩溶埋藏较深(30.7 m)、封闭、规模小且被泥砂质全部充填,此类岩溶采用注浆方法进行治理较宜。

对桥梁桩基础下的岩溶发育区进行注浆加固^[8-9],具体的注浆方案设计见表2所示。

表2 钻孔注浆方案设计

Tab.2 The schematic design of borehole grouting

参数	设计内容
0#台	紧靠锥坡脚布置钻孔注浆。
注浆布孔	沿承台四周布孔1排,孔距2 m,考虑到北侧距塌陷坑较近,向南延伸布孔2排,孔距、排距各2 m。
2#墩	
孔 径	成孔孔径不小于Φ91 mm,灌浆孔径40~60 mm。
灌浆深度	总体控制深度约30 m,局部约40 m。
工 程 量	总计124个注浆孔,灌浆长度约4 266延米,水泥用量244.4 t。
灌浆顺序	按照先下游后上游及跳孔的原则注浆,为减少地层受到钻孔施工扰动,尽量避免大量钻孔同时成孔钻进,必须跳孔灌浆、成孔钻进错开进行,以尽快恢复岩土体应力平衡。

4.2 第Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ岩溶发育区路基整治方案及措施

针对第Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ区路基范围内岩溶特征,采取在路面基层位置设置钢筋混凝土连续板跨越岩溶集中区,

各段铺设的钢筋混凝土连续板见表3所示。

表3 II, III, IV区钢筋混凝土连续跨板布置

Tab.3 The layout of reinforced concrete's continuous slabs in Area II, III, IV

分区	布置范围	长度/m	位置	板厚/cm	板宽/m
II区	2-1区 K939+840—K939+940	100	左右幅	30	11.25
	2-2区 K940+000—K940+120	120	左右幅	30	11.25
III区	K940+145—K940+295	150	左幅	30	11.25
	K940+145—K940+245	100	右幅		
IV区	K940+635—K940+835	200	左幅	35	11.25

对于II, III, IV区采用的钢筋混凝土连续板处治技术为

- 1) 首先采用机械洗刨的方案对原路面结构进行挖除,挖除部分为:4 cm 沥青混凝土上面层、5 cm 沥青中粒式混凝土中面层、7 cm 粗粒式沥青混凝土下面层、20 cm 水泥稳定碎石上基层及5 cm 水泥稳定碎石下基层。
- 2) 对路面洗刨后,下基层顶面铺设30 cm 厚连续钢筋混凝土板,板宽11.25 m,除2-2区板长为40 m外,其余均按50 m 板长设置分段,板端设置60 cm 宽、120 cm 高枕梁,各分段间设置2 cm 宽伸缩缝。
- 3) 钢筋混凝土连续板浇筑完毕后,对路面结构进行恢复,其结构依次如下:4 cm 沥青混凝土上面层,5 cm 沥青中粒式混凝土中面层,7 cm 粗粒式沥青混凝土下面层,30 cm(35 cm)C40 钢筋混凝土连续板,5 cm 水泥稳定碎石下基层,20 cm 级配碎石底基层,具体方案见图4所示。

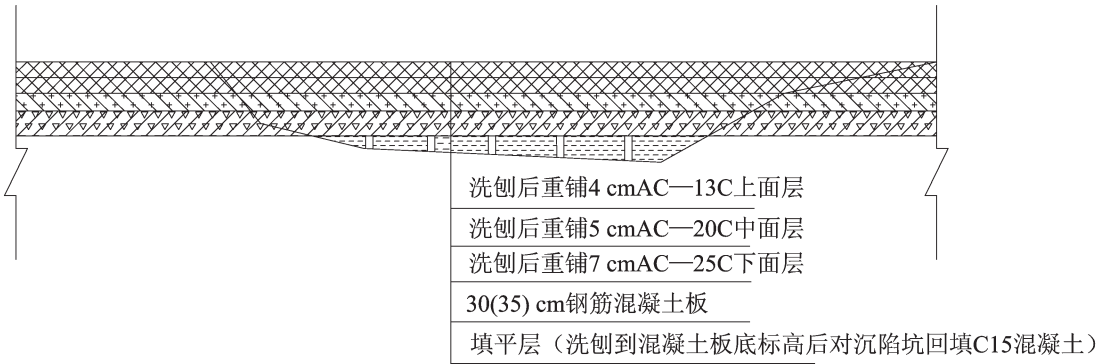


图4 大沉陷处路面处理示意图

Fig.4 A sketch map of subgrade treatment in the large subsidence area

5 结论

- 1) 依据昌金高速公路K939+478—K940+950段地质资料,通过分析研究区段构造、工程地质特征、水文地质特,将该路段岩溶发育分成了4个集中区域。
- 2) 结合岩溶覆盖层地质概化模型,以昌金高速公路岩溶塌陷为例,对岩溶路基致塌机理进行了分析并得到:单一阻水盖层,当地下水位急剧下降致塌机制通常是潜蚀-真空吸蚀致塌机制;单一透水盖层,地下水位在覆盖层中,当地下水位急剧下降,致塌机制通常是水力压差场潜蚀-重力致塌。
- 3) 对第I区桥基础下埋藏较深、规模小且被泥砂质全部充填的岩溶,可采用了灌注水泥砂浆的方案进行整治。根据岩溶分类第II, III, IV区路基下岩溶多属于埋藏较深,尺寸较大,呈串珠状岩溶,采用铺设钢筋混凝土连续板的方案进行整治较宜。

参考文献:

- [1] 帅红岩,赵晋乾. 贵州毕节机场岩溶发育特征及成因机理[J]. 路基工程,2010,151(1):136-138.
- [2] 张致付,程志平. 物探方法在探测岩溶构造中的应用[J]. 桂林工学院学报,2003,23(1):75-78.
- [3] 刘争平. 青藏铁路石膏岩溶路基病害原因分析[J]. 中国地质灾害及防治学报,2008,19(1):59-62.
- [4] 王文峰. 既有铁路岩溶路基病害分析及处理[J]. 路基工程,2012,153(3):189-191.
- [5] 陈海龙. 高速公路路基岩溶病害治理分析[J]. 成都大学学报,2012,31(3):227-294.
- [6] 唐军博. 云桂线珠琳段岩溶路基地面塌陷的成因机理研究与防治对策[D]. 成都:西南交通大学,2012.
- [7] 陈国亮. 岩溶地面的塌陷的成因与防治[M]. 北京:中国铁道出版社,1996:24-38.
- [8] 李扬,彭瑞华. 压力注浆技术在岩溶路基处理中的应用[J]. 路基工程,2008,149(1):170-171.
- [9] JON FOSHEE, BRIAN BIXIER. Cover-subsidence sinkhole evaluation of state road 434, longwood florida [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1994, 120(11):2026-2040.

The Causes Analysis and Treatment of Karst Subgrade Diseases

——Luxi Section of Changbo-Jinyushi Expressway

Liu Qiuyu, Zheng Mingxin

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: With the rapid development of expressway in the recent years, more construction of expressway will pass through the karst region inevitably. The harm of subgrade karst mainly reflects in the subgrade subsidence and road collapse, which has serious impact on road safety and transportation. This thesis reserch on the mechanism of karst collapse with the simplified geological model of overburden , which used the Karst subgrade diseases in Changbo-Jinyushi expressway as examples. After compared different kinds of treatment scheme in accordance with different causes, reasonable treatment measures for Karst subgrade diseases have been determined, which will provide a reference for the similar Karst subgrade diseases.

Key words: karst; subgrade diseases; overburden; cause; improvement