

玉石高速公路岩溶路段治理技术研究

侯信, 王柳

(长沙市华南土木工程监理有限公司, 湖南 长沙 410076)

摘要:以贵州省玉石(玉屏—石阡)高速公路工程为例,分析了岩溶的危害及发育分布特点,介绍了路基内容洞回填、注浆加固和泉眼处理技术,分别就路基内岩溶裂隙发育区、岩溶水、易崩塌边坡与漏斗岩溶、岩溶竖井、路床内的顶板岩溶及可溶岩与不可溶岩沉积结合部提出了处治措施。

关键词:公路;路基;岩溶;处治技术

中图分类号:U418.5

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2020)05-0067-03

贵州省玉石(玉屏—石阡)高速公路所在地区属于典型的喀斯特地貌,主要地貌形态有石林、石芽、峰林等喀斯特正地形,还有盲谷、落水洞、溶沟、漏斗等喀斯特负地形及溶洞、地下湖、暗河、与地表和地下相连的竖井等岩溶地貌特征。岩溶常易引起路基承载力不足、地表塌陷、地基不均匀沉降、桩基稳定性偏低等病害,且具有复杂性、隐蔽性、突发性等特点,给路基稳定性带来不容忽视的问题。该文以玉石高速公路 K53—K65 岩溶地质路段为例探究不同岩溶形态的治理方法。

1 工程地质调查与评价

玉石高速公路沿线出露的地层有青白口系、震旦系、寒武系、奥陶系、志留系、二叠系、三叠系和第四系,其中以寒武系、二叠系和奥陶系地层发育较完全。沿线岩性主要为石灰岩、白云岩、白云质灰岩、泥质灰岩、燧石灰岩等碳酸盐岩,其次为石英砂岩、细砂岩、粉砂岩、板岩、页岩等碎屑岩及黏性土、碎石土等第四系松散土。整个地层在垂直和水平方向均复杂多样,以碳酸盐岩分布最广。

K54—K65 段为构造溶蚀峰丛低山地貌,标高 600~1 000 m,切割相对较浅,山顶多为平缓圆丘,地表以侵蚀为主,下部以溶蚀为主。各种岩溶形态齐全,垂直形态有溶沟、溶槽、漏斗、落水洞等,水平方向上在河岸地带有溶洞、暗河、坡立谷、洼地。溶丘、洼地发育,如在坪地村、李家屯及天马白岩坪,早期的落水洞多已堵塞,洪水期易形成洪涝灾害。

沿线工程地质区主要岩性为寒武系高台组 and 清虚洞组灰岩和白云岩,上覆第四系残坡积黏性土,厚度较小,强风化层发育,区内构造发育,多与线路大角度相交,对线路影响较小。区内不良地质现象主

要为岩溶,工程削坡或开挖可能产生岩崩、坠落、滑坡、崩塌等隐患。

该高速公路沿线岩溶发育,且具有可溶性。但未发现崩塌、泥石流、地面沉降、采空区和潜在滑坡等地质灾害,也未发现砂土液化、软土震陷等不良地质作用。该区域场地整体稳定,适宜于工程建设。

2 沿线岩溶勘查

2.1 岩溶危害性分析

位于岩溶发育处的岩石通常表现为很强的富水性和透水性,在岩溶作用下岩体结构发生变化,岩石强度降低。发育的岩溶对公路工程的主要危害为:

(1) 水浸入可溶岩层后,在其溶蚀作用下岩石产生许多溶孔和微型孔隙,岩体结构变得松散,岩石强度严重降低。

(2) 因石芽、溶沟溶槽的存在,造成地表基岩面参差不齐、起伏不均匀。如利用石芽或溶沟发育的地层作为基础,需进行平整处理,会增加工程造价。

(3) 地基中若有岩溶洞穴,将大大降低地基岩体的承载力,容易引起洞穴顶部塌陷,导致结构物破坏、路基坍塌。

(4) 在基坑开挖和隧道施工中,岩溶水可能突然大量涌出,给施工带来困难。

2.2 岩溶发育情况调查

采用以钻探、测试为主,调绘、物探、简易勘探等为辅的综合勘察方法对全线岩溶分布与发育情况进行调查。结果显示:所在区域岩溶的埋深与规模变化较大,场地岩溶发育程度差异较大,较多为强发育甚至极强发育。部分发育成落水洞敞开型岩溶,大多呈球状,洞径一般为 30~80 mm,洞深 5~10 m (见图 1)。全线共有 10 余个落水洞岩溶。对另一

类封闭型岩溶,在物探、简易勘探等调查的基础上,通过钻探探明其岩溶具体位置及发育情况。钻探揭露沿线地下岩溶共有20多处,最浅埋深仅1 m,最大埋深超过20 m,洞内高度1~10 m,洞内以无填充和半填充为主,也有少量为全填充,充填物主要为粉质黏土夹少量基岩碎块(见图2、图3)。



图1 敞开型岩溶

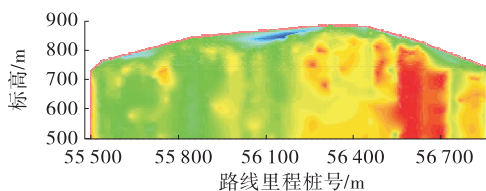


图2 岩溶物探图

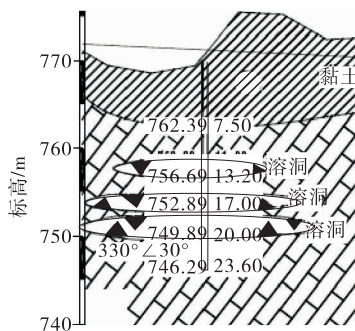


图3 岩溶钻探图(单位:m)

3 岩溶路基处治技术

3.1 距离和厚度验算

根据岩溶地质的形态特征,岩溶路基的处理可

采取堵塞、跨越、加固等措施,同时加强对岩溶水的疏导。岩溶处理前,应验算和确定溶洞与路基间距离是否满足安全距离要求及路基下溶洞顶板厚度是否满足安全厚度要求。

路基距岩溶的安全距离采用坍塌时的扩散角法确定,按式(1)计算。岩石顶板上存在覆盖层时,覆盖层按45°角向上扩散至地面后,其交点距离路基坡脚不小于5 m。

$$L_a = H \cot \beta \quad (1)$$

式中: L_a 为安全距离(m); H 为溶洞顶面厚度(m); β 为岩溶坍塌时的扩散角(°), $\beta = (45^\circ + \varphi/2)/k$; k 为安全系数,通常取1.25; φ 为岩石内摩擦角(°)。

路基下溶洞顶板的安全厚度 H_a 采用较成熟的两端固定的弯曲梁进行验算:

$$H_a = \sqrt{Qb^3/(12B[\delta])k} \quad (2)$$

式中: Q 为溶洞顶板总线荷载,包括自重和附加荷载(kN/m); b 为溶洞顺线路长度(m); B 为路堤底宽度(m); $[\delta]$ 为岩石的允许弯曲应力(MPa); k 为安全系数,石灰岩取1.2。

如果坡脚离溶洞的距离或路基下溶洞顶板厚度不满足安全距离或安全厚度要求,则需根据实际情况采取安全、经济、合理的方法对溶洞进行处治。

3.2 处治方法

3.2.1 路基内容洞回填、注浆加固和泉眼处理

在路堑范围内如溶洞的埋深小于安全深度,洞顶板较薄且溶洞不大时,采取钻孔注浆对溶洞进行注浆加固(见图4)。为减少浆液过多而流失,采用低压间歇定量灌注,间歇时间以浆液初凝固为宜;对路基范围及路堑边坡上的敞开型可见溶洞,先将洞内松散自然填充物清除,然后用块片石填筑密实,在洞口用浆砌片石或砂浆抹面进行封闭;对于洞径小、顶板薄或岩层破碎的溶洞,采取爆破顶板用片石回填加固;路基范围内有涌水泉眼时,将涌水引入边沟、排水沟或截水沟。

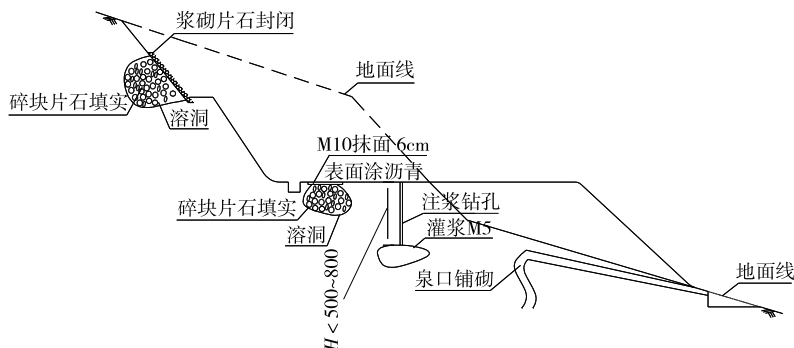


图4 路基内容洞回填、注浆加固和泉眼处理(单位:m)

3.2.2 路基内岩溶裂隙发育区加固与岩溶水处理

如图 5 所示,对于路堑边坡上的岩溶水、泉眼流水通道,采用浆砌片石封堵表面并在其表面预留排水管,将水引入截水沟或边沟;对于路堑边坡上的裂隙发育,为避免地表水进入岩体溶蚀岩体,采用喷浆

护坡或 M10 砂浆抹面,阻断地表水进入岩体;对于路基内可见的岩溶裂隙发育,由于岩体强度较低,通过灌注 M5 砂浆提高其承载能力,表面用 M10 砂浆抹面封闭,阻断表面水进入岩体溶蚀岩体;对于路基范围内的落水洞和大的溶洞,其下部还有地下暗河

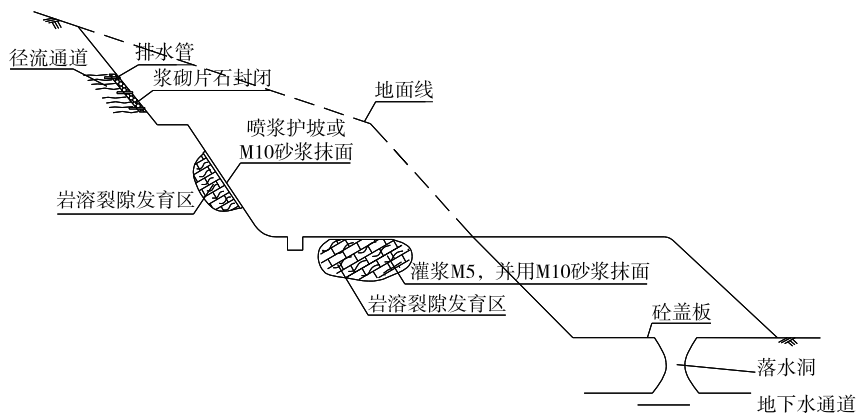


图 5 路基内岩溶裂隙发育区加固与岩溶水处理

流动,在上部加盖钢筋砣盖板或架桥通过。

3.2.3 易崩塌边坡与漏斗岩溶的处理

对于路基范围内的溶蚀洼地、溶沟、漏斗等岩溶负地形,采用片石填实,并对表面作封闭处理,再加设土工格栅。若边坡完整岩层下夹有岩溶软弱层或破碎带,则采用仰斜式挡土墙进行加固,必要时采用锚杆、锚索进行防护加固(见图 6)。

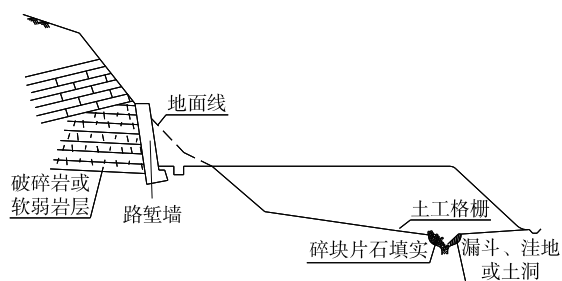


图 6 易崩塌边坡与漏斗岩溶的处理

3.2.4 路堤范围内岩溶竖井的处理

路堤范围内的岩溶竖井采用碎块片石回填,为防止地基不均匀沉降,顶部加土工格栅;附近地表水改经地表排水系统排出(见图 7)。

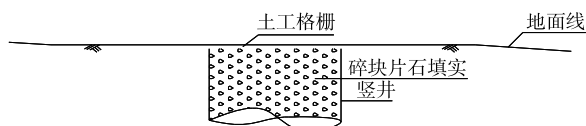


图 7 路堤范围内岩溶竖井的处理

3.2.5 路床内有顶板岩溶时的钢筋砣板加固

当溶洞顶面距路床顶面的厚度不满足安全厚度

要求,且溶洞单个发育时,为避免因洞顶承载力不足造成路面塌陷,在上部加盖钢筋砣板。跨度 $L \leq 6$ m 时,采用 30 cm 厚钢筋砣板; $6 \text{ m} \leq L \leq 10$ m 时,采用 45 cm 厚钢筋砣板; $10 \text{ m} \leq L \leq 13$ m 时,采用 60 cm 厚钢筋砣板(见图 8)。

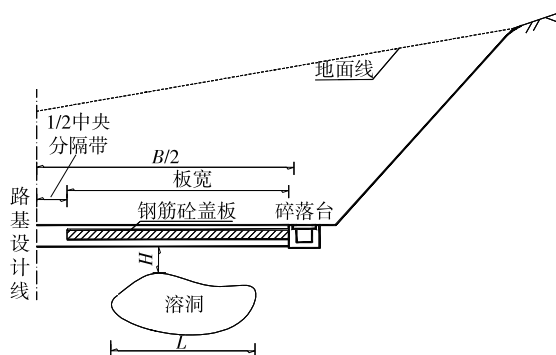


图 8 路床内有顶板岩溶时的钢筋砣板加固

3.2.6 可溶岩与不可溶岩沉积结合部的处理

对于可溶岩与不可溶岩沉积结合部,构造带位置如具备岩溶发育条件,则先用夯击能为 $10\,000 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 的强夯机进行强夯处理,强夯后根据岩溶情况按上述方法进行处理。

4 结语

岩溶是岩溶地区路基最常见的不良地质现象。结合贵州玉石高速公路,通过调查分析其岩溶区工

(下转第 74 页)

合料层总的永久变形量满足要求,拟定的加铺层厚度合理。

4 结论

利用 FWD 对旧水泥砼路面共振碎石化加铺结构进行动态弯沉采集,基于动态弯沉盆数据,运用 BISAR 程序拟合得到旧水泥砼路面共振碎石化加铺结构各结构层的弹性模量,并应用 CMSR 程序对加铺结构的刚度进行验算,结果表明:直接加铺结构加铺层材料刚度不得低于 1 128.59 MPa,拟定的加铺结构满足刚度要求。

利用 BISAR 程序拟合所得结构层动态模量,考虑一定折减系数,对沥青直接加铺结构进行验算,结果表明:水泥稳定碎石层层底拉应力、沥青混合料层总的永久变形量及层底弯拉应力均满足设计和规范要求,拟定的加铺层厚度合理。

参考文献:

- [1] 张碧琴,马亚坤,张强,等.重载作用下沥青路面结构验算方法[J].长安大学学报(自然科学版),2014,34(1):1-6.
- [2] 林益恭,陈少幸,舒翔.广东省主要高速公路超载作用下路面结构验算分析[J].中外公路,2008,28(5):79-83.
- [3] 杨圣超,邵显智,陈凤晨.基于非线性黏弹模型的沥青路面车辙同步验算[J].公路交通科技(应用技术版),2016(8):109-111.
- [4] CHUA K M.Evaluation of moduli backcalculation programs for low-volum roads [C]//First International

Symposium on Nondestructive Testing of Pavements & Backcalculation of Moduli,1989.

- [5] 孙立军,八谷好高.水泥混凝土路面板模量反算的一种新方法:弹性弯沉法[J].土木工程学报,2000,33(1):83-87.
- [6] 戴学臻.水泥混凝土路面基层应力验算必要性探讨[J].公路交通科技,2009,26(2):22-26.
- [7] 尤清贵.超重交通下的路面结构强度验算[J].公路与汽运,2005(6):57-59.
- [8] 曹阳.陡坡急弯路段沥青路面力学响应及其设计方法的研究[D].重庆:重庆交通大学,2010.
- [9] 丁建国,王海龙,皮杰,等.刚性路面道路刚度计算方法理论研究[J].振动与冲击,2015,34(22):192-198.
- [10] 中交路桥技术有限公司.公路沥青路面设计规范:JTG D50-2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
- [11] 张叔林,支喜兰,史仍超,等.旧水泥混凝土路面共振碎石化施工质量评价方法研究[J].公路交通科技(应用技术版),2017(10):55-57.
- [12] 徐柱杰,凌建明,黄琴龙.旧水泥混凝土路面共振碎石化效果研究[J].中国公路学报,2008,21(5):26-32.
- [13] 徐柱杰,凌建明,黄琴龙,等.旧水泥混凝土共振碎石化路面模量分析[J].同济大学学报(自然科学版),2008,36(9):1195-1198+1209.
- [14] 李盛,马永波,刘朝晖,等.共振碎石化控制参数和结构模量研究[J].内蒙古公路与运输,2019(1):1-4.
- [15] 刘朝晖,周婷,李盛,等.现行规范旧水泥混凝土路面加铺层设计的若干问题研究[J].公路交通科技,2014,31(5):31-36.

收稿日期:2019-12-08

(上接第 69 页)

程地质条件及岩溶的危害与发育分布特点,有针对性地提出不同岩溶地质条件下的处治措施。跟踪表明该工程岩溶处理措施的实施效果良好,未发生较大面积的变形或地质灾害。该工程对岩溶地区路基溶洞、岩溶水等的处理技术可供同类地质条件的处治提供参考。

参考文献:

- [1] 党政.高速公路岩溶路基塌陷地质勘察及处治研究[J].黑龙江交通科技,2019(9):79+81.
- [2] 张庆.高速铁路路基施工质量控制与沉降预防对策[J].科技资讯,2019(19):71-72.
- [3] 陈楚鹏,张海威.云湛高速公路隐伏型岩溶路基处治技

术研究[J].广东交通职业技术学院学报,2017,16(4):15-18.

- [4] 庄仲欣.长昆高铁湖南段岩溶地段路基设计[J].铁道勘察,2018,44(3):90-95.
- [5] 李庆贺.岩溶路基稳定分析与处治技术[J].山西交通科技,2014(2):34-37.
- [6] 中交第二公路勘察设计研究院有限公司.公路路基设计规范:JTG/T D30-2015[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [7] 陈武,陈忠华,曾勇,等.利万高速公路湖北段岩溶路基处治方案设计[J].公路与汽运,2012(5):112-116+175.
- [8] 袁腾方.岩溶区高速公路路基强夯处治技术及其稳定性分析[D].长沙:湖南大学,2018.

收稿日期:2020-05-12