

文章编号 :1006 - 2106(2006)07 - 0054 - 05

干溪沟隧道岩溶整治分析^{*}

林本涛^{**}

(铁道第二勘察设计院 , 四川 成都 610031)

摘要 研究目的 灰岩地段岩溶发育复杂多变 ,对隧道施工和结构影响较大 ,结合对渝怀线干溪沟隧道施工中多处溶洞的处理 ,对岩溶处理进行总结、反思。

研究方法 在详细查明溶洞发育规模、范围及溶洞充填物岩性组合特征后 ,对基础处理方案进行比选。

研究结果 对干溪沟隧道揭示的各个岩溶溶洞采取有效的处理措施进行治理 ,并取得良好的效果。

研究结论 岩溶发育复杂多变 ,整治时需因地制宜 ,对症下药 ,施工中遇到充填溶洞时 ,在未探明基础充填深度的情况下 ,应适当扩大开挖净空 ,为探测、结构处理提供空间及自由度预留条件 ,地下工程穿越地下水水平循环带且其排泄基准面下切较深(区段多见深切沟谷)时 ,充填溶洞处理则可不考虑地下水的影响 ,空溶洞则按干岩溶管道处理 ,但仍应预留排水通道 ,以防止雨季时地下水堵塞 ,水位上升至线路标高后形成水害 ,动静结合的框架式结构基础应考虑列车通过时的冲击荷载等不确定因素影响 ,适当增加安全储备。

关键词 隧道 ;岩溶整治 ;基础 ;加固 ;跨越

中图分类号 :U457 **文献标识码** :A

Analysis of Treatment of Karst in Ganxigou Tunnel

LIN Ben - tao

(The 2nd Survey & Design Institute of China Railway , Chengdu , Sichuan 610031 , China)

Abstract **Research purposes** :The development of karst in limestone area is complicated and changeable. The purposes of this study are to sum up experiences of solving karst problems in combination with the treatment of karst in Ganxingou Tunnel on Yuhuai railway.

Research methods :The proper measures for treatments of foundation shall be selected and adopted after knowing the development scale and range , and lithologic features of filling materials by doing detailed investigation.

Research results :All karst caves in Ganxingou Tunnel have been treated effectively and good result has been obtained.

Research conclusions :Properly different treatments shall be adopted according to different conditions because the development of karst is complicated and changeable. When the depth of filling material is unknown , expanding the excavation area to provide enough space and freedom degrees for the detection and structural disposal is appropriate. When the tunnel passes through groundwater circulation zones and the draining base - level is deeper (many deep ravines in the section) , the impact of groundwater shall be ignored. The karst cave shall be treated as dry one , but the drainage channels should be reserved for avoiding the groundwater flooding the cave. More security coefficient should be remained for the impact force and other uncertain factors affecting the structural foundation with dynamic and static framework by train passing through.

Key words :tunnel ;treatment of karst ;foundation ;reinforcement ;leap

岩溶是可溶性岩层(石灰岩、白去岩、石膏、岩盐 等)经地表水和地下水的化学溶解作用和机械破坏作

* 收稿日期 2006 - 07 - 12

** 作者简介 :林本涛 ,1975 年出生 ,男 ,工程师。

用所形成的各种地表和地下溶蚀现象的总合。随着生产建设的发展,岩溶地区工程建筑日益增多,所遇到的岩溶工程问题也日趋迫切需要解决。特别是在岩溶地区修建铁路,如果事先没有对岩溶发育特征进行研究,没有采取适当措施,在施工和运营时往往都会发生许多事故,甚至严重危害铁路运行。本文将对渝怀线干溪沟隧道典型岩溶工点的处理进行总结与反思。

1 工程概述

干溪沟隧道全长3 878 m,位于渝怀线干溪沟车站与石子坝车站区间,隧道处于溶蚀、剥蚀中低山峡谷地貌,地形起伏较大,沟谷切割较深,其中出口端属于“U”型峡谷右岸悬崖顶。隧道最大埋深约300多米,洞身主要通过灰岩、白云质灰岩、灰岩夹页岩地层,该区段范围内发育区域性郁山背斜,背斜轴在隧道中部与线路呈45°斜交,核部开阔,两翼对称;隧道穿越岩层为近水平单斜构造,中厚层状,节理较发育。整个隧道全部属碳酸盐岩地区,岩溶现象比较发育,地下水以基岩裂隙水和岩溶水为主。

在这种缓倾角灰岩地层中修建地下工程时,一旦揭示有岩溶溶洞,则极有可能存在多次遭遇的情况,尤其是线路走在水平循环带中。干溪沟隧道的施工中就多次揭示形态各异的溶洞,规模较大,形态复杂。根据岩溶发育的形态特点,及其对隧道的影响情况,具体整治中对充填溶洞采取了支护、结构加强、基础换填、钢管注浆、高压旋喷加固以及框架基础、桩基托梁跨越等不同处理措施进行治理;对空溶洞采取支顶、回填、跨越、顶板防护等措施进行综合治理。

2 岩溶整治案例

2.1 充填型溶洞

对于施工中揭示的全充填溶洞,因基础充填深度需进一步探知,因此在施工过程中除采取了必要的支护加强措施通过外,还应考虑到充填物松软、强度低、易变形的特点,预留衬砌结构变形、沉降条件。根据该区段地形、地貌以及岩层水平发育特点,隧道处于地下水水平循环带内,洞口沟谷深切,表明地下水已下切,其排泄基准面在隧道以下较深,溶洞充填物不会流失,故本隧道对于深充填溶洞以加固为主。

2.1.1 处理案例一

隧道进口开挖揭示从DK 278+628右侧斜向线路右侧发育一充填溶洞,至DK 278+631溶洞发育为一大型全充填溶洞,隧道开挖断面显示为充填软塑~硬塑粘土夹碎石、松散~中密块石土。

对于施工中遇到这种全充填溶洞,由于对溶洞在

隧道影响范围内的发育规模、范围以及基础情况未知,故应先开挖支护通过,为后续的探测、岩溶整治创造工作空间。考虑到支护后变形、基础探测及处理的空间需要、隧道结构的今后沉降等可能因素,断面按Ⅴ级围岩衬砌结构开挖,并预留15 cm富余量。开挖中根据充填物自稳性差的特点,采用了工字钢架及大、小外插角超前小导管注浆加强支护,使用大小外插角小导管注浆在确保施工安全的同时,又对隧道外圈的充填物进行地质改良,降低了岩体的透水性。施工通过该充填溶洞后,对充填段基础进行钻探显示,隧底交错发育含不同比例成分的软弱土层,最深达30 m,其充填物主要有黄褐色软塑~硬塑粘土夹碎石、松散~中密块石土。

根据钻探揭示的溶洞充填物岩性组合特征,对基础处理方案进行了比选,具体如下:

(1) 桩基托梁跨越方案:因基底充填较深,再加上跨越长度较长,施工困难,且考虑桩的长细比须扩大桩截面尺寸,费用较高。

(2) 钢管桩加固方案:基础多层软硬程度不均的土层,且土层中含碎、块石成分,钻孔容易卡钻、掉钻,施工难度大。

(3) 高压喷射注浆(旋喷桩)加固方案:施做相对较简单,且经济上相对合理。

最终决定采用旋喷加固方案。

基础处理按复合地基理论考虑群桩效应进行设计,控制群桩地基的承载力和单桩的受力检算满足结构承载要求,并对群桩地基的沉降量进行控制。边墙基底考虑到施做空间限制,在边墙外侧各设一排 ϕ 75斜向钢花管注浆加固,衬砌内净空预留15 cm富余量。基础加固示意图如图1所示。

2.1.2 处理案例二

DK 280+823~+850段隧道洞身范围溶蚀充填为浅黄色软塑状粘土,出露岩层溶蚀破碎,隧底发育多个充填溶洞,最大深度约8 m;并于DK 280+825~+827有一空溶洞下穿隧底,有从左向右约5 l/s的流水,降雨后水流量有所增大,最大水量约为0.5~1 m³/s。左侧溶洞口较小,右侧溶洞向边墙外延伸约30 m后坡陡难以进入,溶洞空洞部分高1~4 m,宽1.5~8 m,溶洞底板充填部分软塑~流塑状粘土,充填深度3~8 m。

本充填溶洞处理中,洞身部分处理方式同案例一,基础部分考虑分布有空溶洞与充填溶洞,且两者基本分离,处理时分别考虑。

如前文所述,干溪沟隧道虽处于地下水水平循环带内,但洞口沟谷深切,地下水排泄基准面在隧道以下

较深,隧道影响范围内地下水不发育,故仅对空溶洞处维持原岩溶管道,于隧底设一涵洞与线路正交,涵洞上下游清顺过水通道并铺砌即可。

隧底溶洞充填段的充填深度不深(3~8 m),用高压喷射注浆(旋喷桩)加固无法达到设计要求压力,故采用 $\phi 75$ 钢管注浆加固。处理见图 2。

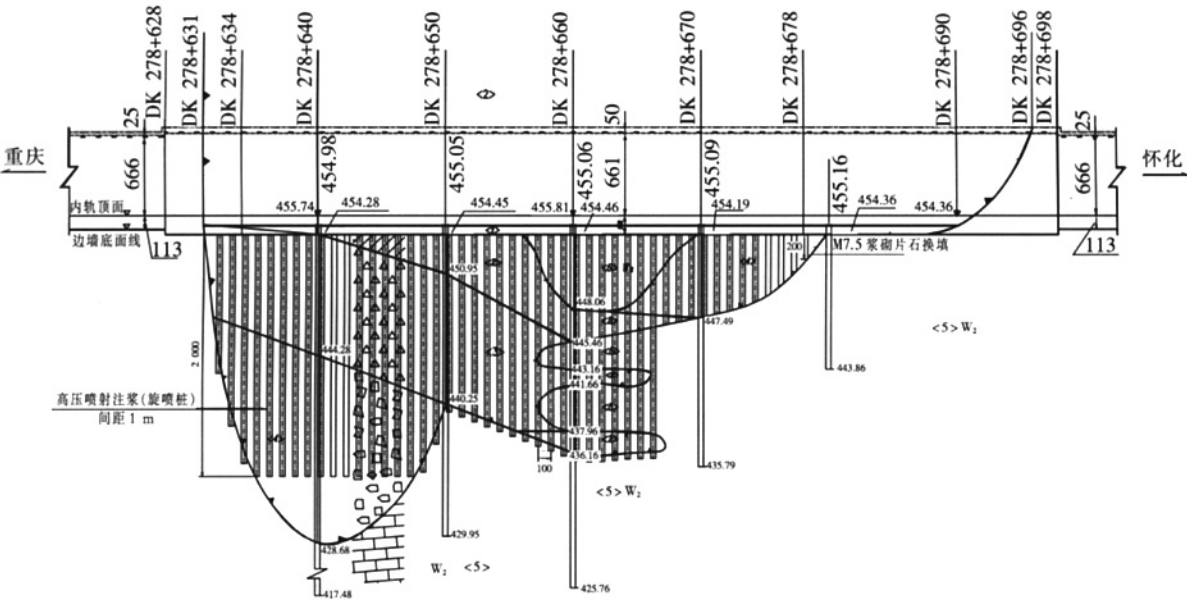


图 1 基础加固纵断面之案例一(除高程以 m 计外,其余均以 cm 计)

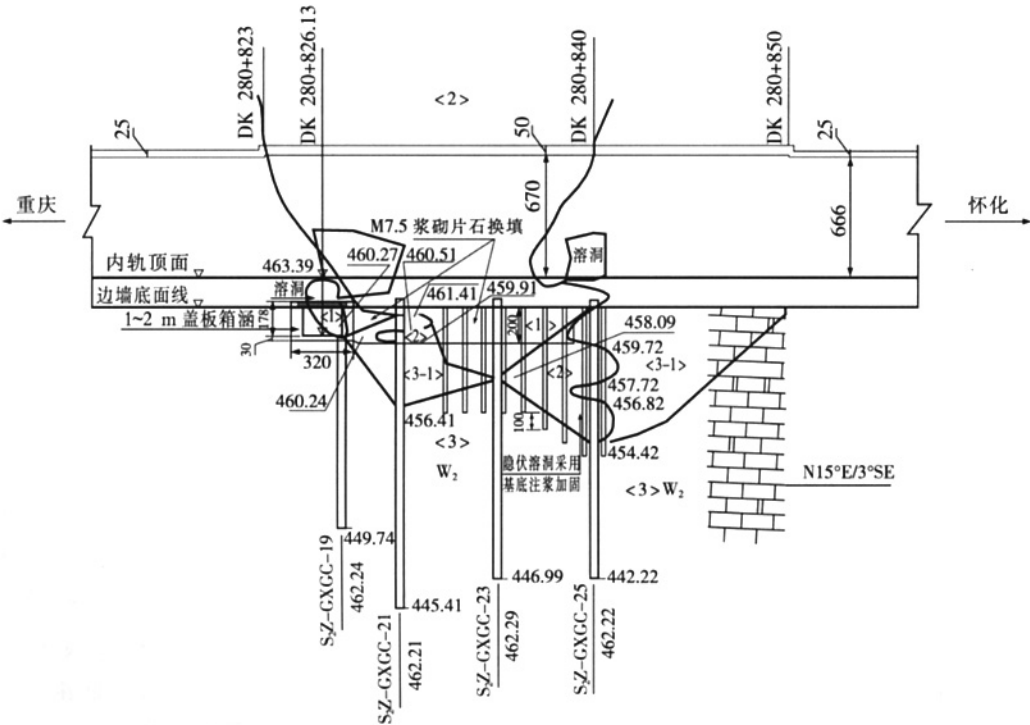


图 2 基础加固纵断面之案例二(除高程以 m 计外,其余均以 cm 计)

2.2 半充填空溶洞

对岩溶空溶洞的处理,应根据溶洞洞穴的大小、岩溶水发育情况以及隧道的相对位置关系,采取跨越、回填、支顶等措施进行处理。

2.2.1 跨越处理案例

隧道开挖至 DK 277+378~+390 揭示一较大溶

洞,溶洞长 25 m,宽 6~12 m,高 15 m,呈长条形,与线路斜交,溶洞壁较完整,DK 277+386 溶洞顶发育一溶缝,缝宽 1~2 m,缝深 8 m。DK 277+390 线路左侧 20 m 为一小溶洞,以约 80°向下延伸约 40 m,溶洞充填物为硬塑状粘土,厚 2~10 m。溶洞底纵坡较陡,岩溶水从右侧流向左侧。

据钻探资料揭示,DK 280+350~+382 段溶洞底板下尚发育 2 层隐伏溶洞,以线路右侧较为发育,溶洞均为充填溶洞,其上层隐伏溶洞最高约 3 m,充填软塑状粘土,黄褐色,含 20% 碎石角砾,粒径 2~40 mm,石质为灰岩质;下层溶洞最高约 5 m,充填物为碎石土,黄褐色,松散~中密,潮湿,石灰岩质碎石约占 60%,粒径 20~80 mm,余为粘土。

由于岩层产状平缓,溶洞顶板稳定性差,较多层间张开裂隙,但未见大规模坍塌的迹象,溶洞底无大块石堆积,洞壁稳定性相对较好。

该溶洞为原水平循环带所形成的暗河系统,地壳一抬升,河流下切后,水平循环带下移,地下水位下降,使该暗河水被袭夺。现地下水不发育,仅在雨季时有少量地下水渗流,地下水总的径流方向为向隧道出口方向排泄。

2.2.2.2 施工期间措施

2.2.2.2.1 临时便桥跨越

为保证施工顺利进行,避免施工弃碴回填空溶洞,堵塞地下水排泄通道,亦给溶洞补勘和永久处理提供条件,该段施工采用临时便桥跨越溶洞,便桥长 60 m。便桥采用 $\phi 48$ 钢管和扣件架设,下部设置浆砌片石基础或基座,桥面采用钢轨纵梁、钢板组合。

2.2.2.2.2 溶洞壁防护

岩层产状平缓,溶洞顶板稳定性差,且有较多张开裂隙。为维护开挖洞室的稳定,保证岩溶处理施工安全,溶洞揭示后,加强了隧道施工支护措施,并且对溶洞壁采取了设置 W 钢带、锚、喷、网等综合支护措施,防止溶洞坍塌,以保证施工安全。

2.2.2.2.3 溶洞整治方案比选

按不同段落溶洞形态,结合岩溶地下水疏排,因地制宜,采用不同的整治措施。该段岩溶共划分成 4 段进行整治,共完成了 3 个整治方案进行比选:

2.2.2.3.1 方案一

对线路影响范围内空溶洞采用大体积混凝土回填,对隐伏空溶洞设支墩支顶。该方案工程单一,施工简单,建成后工程安全可靠,但对溶洞自然形态改变较大,对岩溶水的引排有一定影响,岩溶水需通过回填预留的排水通道引排。

2.2.2.3.2 方案二

采用衬砌结构和行车分别跨越溶洞,即“行车部分桥梁跨越+隧道衬砌桩基托梁跨越”方案。该方案工程结构受力条件明确,但工程复杂,在隧道有限的作业空间中完成两套独立的跨越结构施工,施工干扰大,施工困难,对溶洞底板自然形态改变较大。

2.2.2.3.3 方案三

行车部分采用桥梁跨越,隧道衬砌采用锚喷衬砌。

跨越溶洞部分的基础结构仅有一套,基础结构施工相对简单,但是隧道衬砌采用锚喷衬砌,在下部为空洞的水平岩层中具有不稳定因素,施工运营期间的维护补强难度大,特别是做模筑混凝土补强,还需完善基础结构。

根据以上比选情况及投资情况比较,决定采用大体积混凝土回填方案。

2.2.2.4 施工策划

(1) 隧道基础段的处理,宜在隧道贯通后再进行施工,以免施工基础时影响或中断出口工区的施工。

(2) 采用大体积混凝土回填路基方案时,施工必须完成对隧道溶洞顶危石的清除,并作好回填基底的清碴、注浆加固处理;回填施工应分段、分层施工,保证回填质量。必要时,宜设置钢轨防护排架。

(3) 柱(桩)施工及桥的墩台施工前,对溶洞底清除整平至桩顶位置,桩顶岩块应弱爆破清除,并施作锚喷网防护措施,尔后进行柱(桩)的开挖,必要时,宜设置钢轨防护排架。

3 结论

通过干溪沟隧道几个典型岩溶工点的整治浅析,笔者对岩溶整治的体会如下:

3.1 岩溶发育复杂多变,整治时须因地制宜,对症下药,重点关注、考虑的是岩溶对隧道本身的施工影响及今后运营的影响。

3.2 施工中遇到充填溶洞时,在未探明基础充填深度的情况下,应适当扩大开挖净空,为探测、结构处理提供空间及自由度预留条件。

3.3 地下工程穿越地下水水平循环带但其排泄基准面下切较深(区段多见深切沟谷)时,充填溶洞处理则可不考虑地下水的影响,空溶洞则按干岩溶管道处理,但仍应预留排水通道,以防止雨季时地下水堵塞,水位上升至线路标高后形成水害。

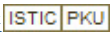
3.4 动静结合的框架式结构基础应考虑列车通过时的冲击荷载等不确定因素影响,适当增加安全储备,并通过今后运营期间的检测、检验情况,调整设计参数,指导今后类似问题的处理。

参考文献:

- [1] 铁道部第二勘测设计院. 铁路工程设计技术手册·隧道[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1995.
- [2] TB 10003, 铁路隧道设计规范[S].
- [3] GB 50010—2002, 混凝土结构设计规范[S].

(编辑 刘启山)

干溪沟隧道岩溶整治分析

作者: [林本涛](#), [LIN Ben-tao](#)
作者单位: [铁道第二勘察设计院](#), 四川, 成都, 610031
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2006(7)
被引用次数: 4次

参考文献(3条)

1. [铁道部第二勘测设计院](#) [铁路工程设计技术手册·隧道](#) 1995
2. [TB 10003](#). 铁路隧道设计规范
3. [GB 50010-2002](#). 混凝土结构设计规范

本文读者也读过(9条)

1. [张文英](#) [关于隧道防排水技术的探讨](#)[期刊论文]-[城市建设理论研究\(电子版\)](#) 2011(22)
2. [朱明杰](#), [ZHU Ming-jie](#) [仙人溪隧道岩溶水害原因分析及整治措施](#)[期刊论文]-[资源环境与工程](#) 2007, 21(4)
3. [张民庆](#), [黄鸿健](#) [宜万铁路隧道工程注浆技术与工程实例](#)[会议论文]-2009
4. [杨俊](#) [隧道防排水的具体应用](#)[期刊论文]-[中小企业管理与科技](#) 2011(6)
5. [王立暖](#), [李怀鉴](#) [严寒地区隧道水害原因分析与整治](#)[会议论文]-2001
6. [李苍松](#), [何发亮](#), [陈成宗](#) [昆仑山隧道渗\(漏\)水水力联系及水动力参数试验研究](#)[会议论文]-
7. [周伟](#), [ZHOU Wei](#) [复杂地质条件下隧道岩溶处理办法的研究](#)[期刊论文]-[山西建筑](#) 2007, 33(14)
8. [张民庆](#), [黄鸿健](#), [苗德海](#), [田四明](#) [宜万线高坪2号隧道DK140+451岩溶处理](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2007(z1)
9. [戴雨](#), [李亚楠](#) [下河坝岩溶公路隧道施工技术分析](#)[期刊论文]-[廊坊师范学院学报\(自然科学版\)](#) 2010, 10(1)

引证文献(4条)

1. [庄旭峰](#), [肖鸿峰](#), [周强军](#), [司洪涛](#) [岩溶洞穴对隧道的稳定性影响及处理措施](#)[期刊论文]-[长春工程学院学报: 自然科学版](#) 2011(3)
2. [莫阳春](#), [周晓军](#) [达成高速铁路岩溶隧道围岩稳定性分析](#)[期刊论文]-[中国铁道科学](#) 2008(3)
3. [苗德海](#) [宜万铁路野三关隧道响水坪地下暗河发育特征及方案研究](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2012(8)
4. [谭代明](#), [漆泰岳](#), [莫阳春](#) [侧部岩溶隧道围岩稳定性数值分析与研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2009(z2)

引用本文格式: [林本涛](#), [LIN Ben-tao](#) [干溪沟隧道岩溶整治分析](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2006(7)