

文章编号: 1674—8247(2019)03—0010—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.03.003

隧道施工大型岩溶整治探讨

何省 余大龙 康芮

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:灰岩地层经过水溶蚀作用后,会形成复杂多变的岩溶地带,不同发育形态的岩溶对隧道施工和运营安全有较大的影响。织毕铁路杨家寨隧道岩溶强烈发育,施工过程中多次遇见不同规模溶洞,严重影响施工安全和施工进度。文章结合隧道施工过程揭示典型溶洞案例,分析总结了大型空溶洞和充填溶洞等不同性质岩溶处理措施及措施决策过程中需考虑的因素。岩溶整治过程中需因地制宜,结合岩溶形态、地质条件,充分考虑溶洞壁稳定性、岩溶水等影响因素,在保证结构受力安全的同时兼顾施工安全和施工进度等因素。文章对今后岩溶地区隧道施工具有重要的指导价值。

关键词:隧道;空溶洞;充填溶洞;注浆;安全

中图分类号:U455.49 **文献标志码:**A

Discussion on Large-scale Karst Treatment in Tunnel Construction

HE Xing YU Dalong KANG Rui

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: After water dissolution, the limestone formations will form complex karst areas, the karst with different development forms has a greater impact on the safety of the tunnel construction and operations. Yangjiazai tunnel of Zhibi railway has strong development karst, during the construction process, many different types of caves are encountered, the construction safety and construction progress are seriously affected. The paper analyzes and discusses big empty cave and filling cave disposition methods and the factors that need to be taken into account in the decision-making process by typical karst cases during tunnel construction process. In karst remediation, according to local conditions, combined with karst morphology, geological conditions, fully considering the stability of the cave wall, karst water and other factors, the safety of the structure shall be ensured while taking into account the construction safety and construction progress and other factors. The paper has great guiding value to the tunnel construction in the future karst area.

Key words: tunnel; empty karst cave; filling karst cave; grouting; safety

岩溶,是水对可溶岩(碳酸盐岩、膏岩、岩盐等)进行的以化学溶蚀作用为主,冲蚀、潜蚀和崩塌等机械作用为辅的地质作用,及由这些作用产生的现象的总称。以往在岩溶地区铁路如宜万铁路、渝怀铁路等隧道施

工中均多次遇到大型溶洞,且岩溶形态多样,岩溶所引起的突水突泥现象频发,给隧道施工带来了极大的困难。岩溶整治所引起的施工及运营风险、工程投资及工期消耗均是隧道建设中的巨大挑战。岩溶隧道如沪

收稿日期:2018-05-14

作者简介:何省(1988-),男,工程师。

引文格式:何省,余大龙,康芮. 隧道施工大型岩溶整治探讨[J]. 高速铁路技术,2019,10(3):10-15.

HE Xing, YU Dalong, KANG Rui. Discussion on Large-scale Karst Treatment in Tunnel Construction[J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(3): 10-15.

昆铁路、渝利铁路等在运营期间因岩溶问题引起衬砌破损给了我们沉痛教训。随着铁路建设的日益增多,大型岩溶给铁路工程造成的诸多问题迫切的需要解决。由于岩溶发育具有无规律性和复杂多变性等特点,施工过程中所采取的岩溶处理措施在保证施工及运营安全的前提下还应兼顾工程投资及施工工期等要求。本文以织毕铁路杨家寨隧道施工揭示的典型岩溶工点为案例,分析总结铁路隧道大型岩溶整治措施。

1 隧道施工大型岩溶整治措施决策因素分析

隧道大型岩溶整治,应根据不同的岩溶形态、岩溶地质情况,在保证隧道施工安全和结构安全的前提下,兼顾施工工期和现场施工条件综合得出安全、有效、经济的整治措施^[1]。

隧道开挖揭示大型溶洞后,首先应探明溶洞发育规模及地质情况:(1)绘制溶洞发育平面、断面图及与隧道相对位置关系;(2)判断岩溶发育地质情况,包括岩溶充填性质、岩溶水发育状况,溶洞是否为过水通道等;(3)评价岩溶发育范围自稳能力,空溶洞需评价溶洞壁的完整型和稳定性,充填型溶洞需评价充填物稳定性、承载力等参数。并以此为依据开展岩溶整治工作。

岩溶整治首要任务是保证施工及结构安全。施工中对空溶洞可通过对溶洞壁进行锚网喷防护、增设支柱、增设临时拱架等临时措施防止溶洞壁掉块或塌落,对充填溶洞可采用预注浆加固、加强超前支护等措施防止充填物失稳,保证施工安全。整治措施中应综合分析岩溶段落衬砌背后围岩和岩溶水等对结构受力的影响,通过岩溶回填、加强隧道支护措施、注浆加固围岩、引排岩溶水等保证结构安全^[2-3]。

此外,隧道岩溶整治还应结合现场实际施工情况,对不同整治方案的工程投资、施工工期、施工工艺等进行综合比选,得出安全有效、施工方便、工艺简单、投资可控、节省工期的岩溶整治措施。

2 杨家寨隧道概述与隧道施工揭露大型岩溶概况

2.1 杨家寨隧道概述

杨家寨隧道位于贵州省织金县境内,为新建织毕铁路上的重点隧道,隧道全长 2 952 m,为新建客货共线电力牵引单线铁路隧道,设计速度 120 km/h,属云贵高原低中山溶蚀地貌,地形起伏较大,岩石主要为永

宁镇组第一段灰岩,中厚层状,以北东向和南北向的构造体系为主,地层单斜。洞身地表溶沟、溶槽、溶洞、溶蚀洼地、落水洞、漏斗等岩溶形态多见,溶蚀洼地、落水洞等岩溶形态多沿地层分界线附近呈串珠状排列,岩溶强烈发育。隧道地下水主要为地下水主要为岩溶裂隙水、管道水,线路左侧的架盖河为区内的最终岩溶侵蚀基准面,附近河底标高为 1 000 m,而线路标高 1 250 ~ 1 280 m,隧道位于岩溶垂直循环带内,雨季隧道最大涌水量为 $Q_{\max} = 40\ 400\ \text{m}^3/\text{d}$ ^[4]。

2.2 隧道施工揭露大型岩溶概括

杨家寨隧道开挖过程中遇到不同规模溶洞共 60 余次,岩溶发育呈多样化,包括填充型溶洞、半填充型溶洞和空溶洞。溶洞与隧道的位置关系也复杂多样,隧道拱顶、边墙、隧底均多次遇到不同规模的溶洞。DK 364 + 225 ~ DK 364 + 370 段大型空溶洞及 DK 364 + 785 ~ DK 364 + 845 段大型充填溶洞为本隧揭示的典型空溶洞和充填性溶洞案例。

2.2.1 杨家寨隧道 DK 364 + 225 ~ DK 364 + 370 段大型空溶洞

杨家寨隧道施工至 DK 364 + 225 时,揭示一大型溶洞,溶洞纵向主要分 2 段:

(1) DK 364 + 225 ~ DK 364 + 260

溶洞横向自线右向线左发育,溶洞顶板约高出内轨顶面 2.5 m,纵向沿线路大里程方向溶洞高度逐渐变高。溶洞四周为灰岩,溶腔顶板围岩产状接近水平,倾角小于 5°,溶腔顶板岩石分层脱落掉块严重。

(2) DK 364 + 320 ~ DK 364 + 370

溶洞自线路左侧向线路右侧发育,横向线右延伸长度大于 20 m;线左向边墙外延伸长度大于 50 m,溶洞顶板高出原设计拱顶。溶腔顶板为灰岩,水平层造状构,岩层倾角约为 5°,薄~中层状,层理面夹泥,节理裂隙较发育,施工过程中易掉块,如图 1 所示。

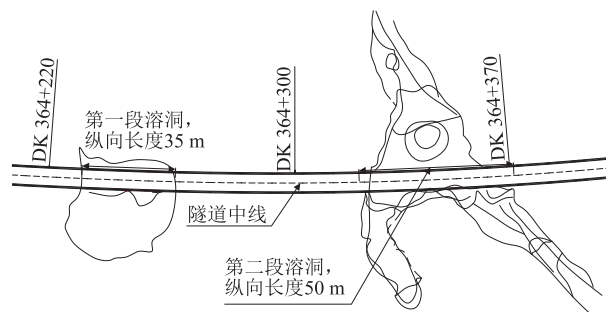


图1 DK 364 + 220 ~ DK 364 + 370 地质平面示意图

(3) 隧底隐伏岩溶发育情况

经过对该溶洞隧底进行钻探,2段溶洞及2段溶洞之间隧底以下存在溶腔塌落物和洞渣回填物。其中DK 364+225~DK 364+260段溶洞在块石土以下还有较大范围粘土地层,最大深度为隧底以下12 m。其余段落块石土深度超过10 m,如图2所示。

2.2.2 杨家寨隧道DK 364+785~DK 364+845大型充填溶洞

杨家寨隧道施工至DK 364+785~DK 364+845时,揭示一大型充填充填性溶洞,溶洞纵向长度约

60 m,横向超出隧道开挖轮廓范围,溶洞发育高度为拱顶以上约30 m,隧底以下2~8 m。

溶洞内半填充软塑~硬塑状黏土,溶洞揭示后,发生涌泥灾害,在连续暴雨的影响下,突泥进一步扩大,涌泥方量约1 000 m³。地表形成陷坑,纵向长27 m,横向宽22 m,深25 m,坑壁以黏土为主,洞外地表陷坑附近1栋1层砖瓦结构房屋垮塌,其它4栋房屋出现不同程度开裂,如图3所示。

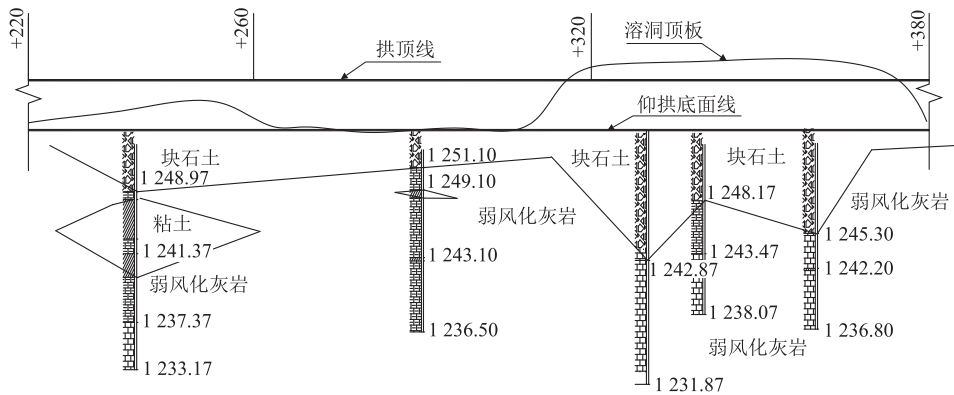


图2 DK 364+220~DK 364+370段地质纵断面示意图

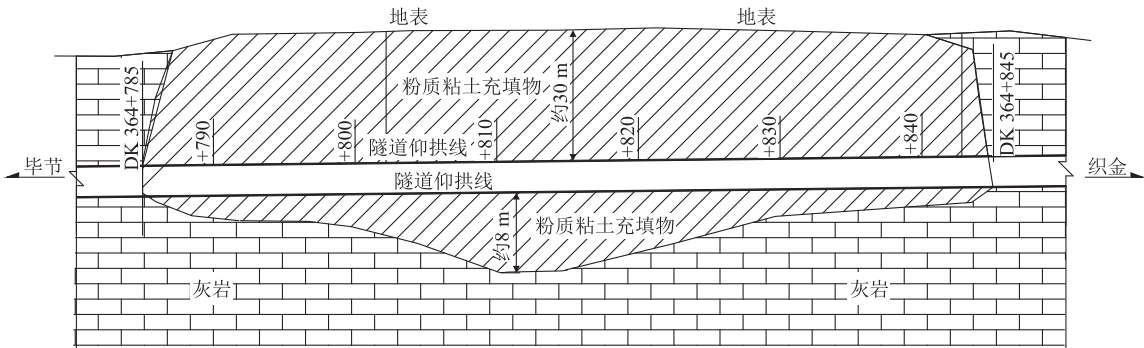


图3 DK 364+785~DK 364+845段地质纵断面示意图

3 隧道施工大型岩溶整治决策及整治效果

3.1 大型空溶洞处理

3.1.1 概述

隧道内空溶洞发育复杂多变,针对大型空溶洞发育规模、与隧道相对位置关系以及溶洞发育范围地质情况的不同,处理措施也有很大差别。因此,隧道大型空溶洞整治过程中应理清思路,选择安全、合理、经济的整治方案。

根据溶洞规模及其地质情况一般采取如下处理措施:采用溶洞壁网喷防护、增加钢筋混凝土支柱等临时

措施防止溶洞顶板塌落,对非过水通道空洞范围局部回填、对存在过水通道或岩溶水发育空溶洞增加排水管引排岩溶水、梁板结构跨越等综合处理措施。

3.1.2 典型处理案例:杨家寨隧道DK 364+225~DK 364+370段大型空溶洞

(1) 施工期间临时措施

揭示溶洞顶板为中~薄层状,且接近水平,爆破震动易引起溶洞顶板塌落,威胁施工安全,且杨家寨隧道在施工工程中多次遇到溶蚀强烈发育,工期紧张,为保证施工顺利进行,需对溶洞段采取临时防护措施。

①对隧道中线两端7 m范围内对溶洞顶板进行锚喷防护,增加顶板稳定性。

②对隧道开挖轮廓两端增加钢筋混凝土或混凝土挡墙,上端顶住溶洞顶板,下端置于C20混凝土基础上。

(2) 空洞整治措施^[5]

该溶洞规模较大,DK 364 + 320 ~ DK 364 + 370 段空洞范围已远远超出了隧道开挖轮廓范围,处理措施应因地制宜,结合临时防护措施,对支护、衬砌类型进行特殊设计^[6-7],如图4、图5所示。

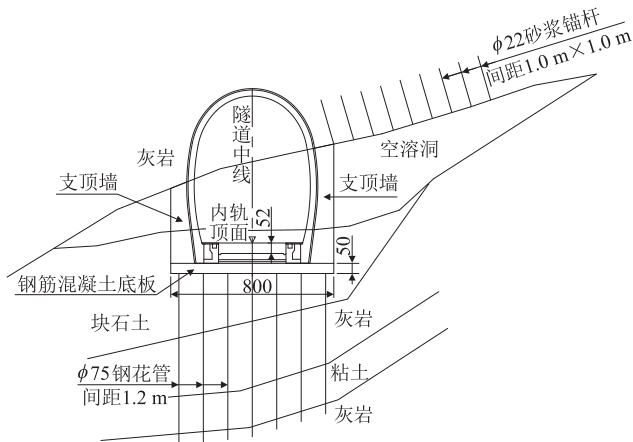


图4 DK 364 + 225 ~ DK 364 + 260 岩溶整治典型断面示意图(m)

①结合溶洞高度,DK 364 + 225 ~ DK 364 + 260 段衬砌型式采用Ⅲ级带底板衬砌,DK 364 + 320 ~ DK 364 + 370 段采用双耳墙明洞衬砌,衬砌回填层厚度结合溶洞底板高度确定。衬砌底板以下施做1层1m厚钢筋混凝土板。

②结合临时防护措施,对溶洞段隧道中线两端10 ~ 15 m 范围内溶洞顶板施作锚网喷防护。

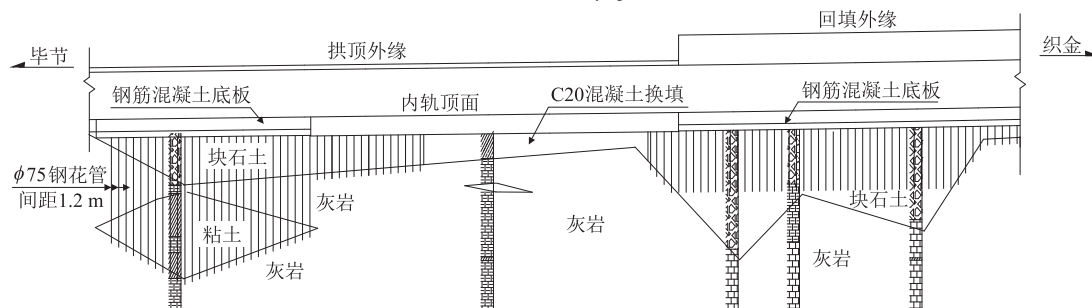


图6 DK 364 + 225 ~ DK 364 + 370 隧底注浆纵断面示意图

3.1.3 小结

上述空洞具有发育规模大、无水、溶洞顶板呈水平薄层状、基底易沉降等特点。故整治方案分别就以上特点采取了针对性处理措施:洞身采用特殊衬砌结构、拱部空洞和边墙外溶洞采取回填和挡墙处理、溶洞

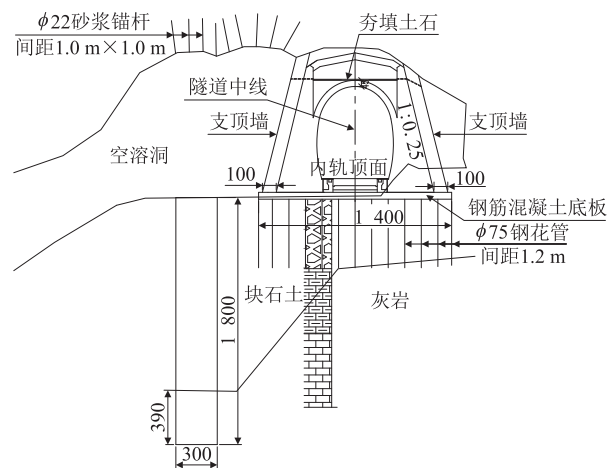


图5 DK 364 + 320 ~ DK 364 + 370 岩溶整治典型断面示意图(m)

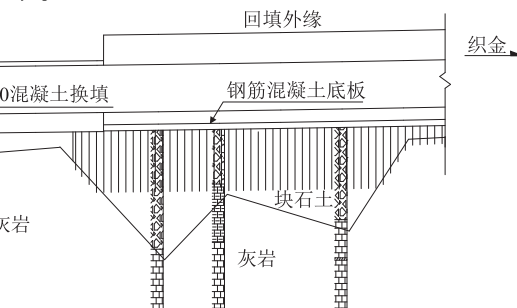
③衬砌边墙外施做C20混凝土支顶墙,支顶墙横向宽度与钢筋混凝土底板平齐,上端顶住溶洞顶,下端置于钢筋混凝土底板上。

(3) 隧底隐伏岩溶整治

岩溶发育段隧底为块石堆积物,且钻探揭示其范围较大,经重车碾压后,部分地段出现较大沉降,需采取应对措施保证堆积层整体稳定性和上部荷载承载要求。

①衬砌钢筋混凝土底板以下采用φ75钢花管注浆加固,注浆深度L按照深入灰岩地层以下0.5 m控制^[8]。

②于DK 364 + 330 ~ DK 364 + 355 段线路中线左侧10 m位置设置6根约束桩,桩间距5 m,桩截面尺寸2 m × 3 m,桩尖嵌入基岩深度不小于3 m,如图6所示。



顶板采用采取锚网喷防护和混凝土支顶墙支撑、基底采用钢花管注浆加固。为保证施工安全及施工进度,本整治方案还增加了临时处理措施,消除了施工过程中溶洞壁局部掉块等安全隐患^[9]。

在空洞处理中,对空洞回填需谨慎处理,应综合

分析揭示岩溶是否为过水通道,溶洞处理措施应充分考虑岩溶水,保证岩溶水疏排畅通。对于流量较小的岩溶裂隙水及管道水,可通过加密衬砌背后排水盲管,集中出水点设置排水管引排等措施进行处理;若揭示溶洞为大型过水通道,或者岩溶水超过隧道排水能力,应综合考虑设置泄水洞等人工排水通道措施。

3.2 大型充填溶洞处理

3.2.1 概述

隧道开挖揭示充填性溶洞时,应加强超前地质预报,根据地质钻孔和物探等手段探明掌子面前方及隧底以下溶洞发育形态和范围,拱墙范围内的溶洞处理主要应加强超前支护,通过增设管棚和预注浆等预加固措施防止岩溶塌陷,并加强隧道初期支护和二次衬砌,保证结构安全。对充填物塌落形成的空洞,可通过泵送混凝土回填,防止坍塌进一步扩大,对初支背后一定范围内充填物可增加径向注浆等措施改善围岩力学性能,减轻隧道支护承压负担。

隧底以下充填溶洞处理应在分析充填物整体稳定性与承载力后,结合洞内施工场地限制和工程投资等条件,比选最优的处理方案。基底充填溶洞采取的主要处理方法有:基底混凝土换填、基底钢花管注浆、微型桩复合地基、桩基+托梁方案等。

3.2.2 典型处理案例:杨家寨隧道 DK 364 + 785 ~ DK 364 + 845 大型充填溶洞

该溶洞充填物为软塑状粉质粘土,自稳能力差,连续暴雨引起大量地表水下渗,进一步降低了岩溶充填物的稳定性,洞内开挖震动导致的局部围岩滑落引起应力集中,从而导致大规模的充填物涌出。本溶洞处理应从坍方处理和支护加强两个角度出发,结合地表处理和洞内加强综合治理^[10]。

(1) 坍体及地表陷坑处理

①在地表陷坑外围施作截水沟,陷坑表面用防水布遮盖,防止地表水继续流进陷坑内。

②对洞内涌出体下部分采用水泥袋反压,高度 2 m,对剩下的涌出体表面采用 C25 喷射混凝土封闭。坍体内梅花形布置 $\phi 50$ 钢管,引流渗入洞内的地表水。

③采用土石对地表陷坑回填至原地面以下 1.5 m,然后施作一层 50 cm 厚 M7.5 浆砌片石隔水层,再采用种植土回填高出原地面 30 cm。

(2) 洞内加固处理措施^[11]

①加强剩余段落超前地质预报,探明剩余围岩地质情况。

②掌子面自内轨顶面以上 2.5 m 到拱顶施作一环 $\phi 108$ 大管棚,管棚长度结合超前地质预报资料确定。

③掌子面前方格栅钢架调整为 I18 型钢钢架,并增设拱部小导管。

④为防止岩溶充填物涌出破坏已开挖段初期支护,掌子面至已试作二衬端头部分初期支护采用 $\phi 42$ 钢管管径向注浆加固。

⑤结合已施作初期段落断面净空,增加二次衬砌厚度,加强衬砌钢筋。

(3) 隧底处理

经过对隧底充填无进行基底承载力试验,其承载力为 80 kPa,不满足隧道基底承载力要求,结合充填物深度 DK 364 + 798 ~ DK 364 + 829 段采用 $\phi 76$ 钢管桩加固,加固深度 L 按照深入灰岩地层 0.5 m 控制。DK 364 + 785 ~ DK 364 + 798、DK 364 + 829 ~ DK 364 + 845 段基底以下粉质粘土地层采用 C20 混凝土换填。具体方案如图 7 所示。

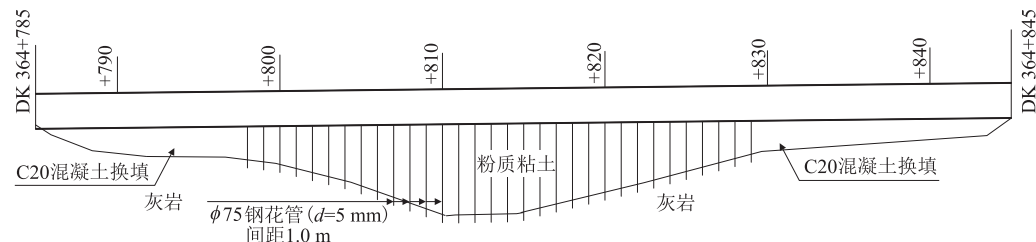


图 7 DK 364 + 785 ~ DK 364 + 845 隧底处理纵断面示意图

3.2.3 小结

隧道开挖遇充填型溶洞时,因为开挖震动或暴雨冲刷易引起充填物坍塌,若充填物中含水量较大,可引起大规模的突水突泥灾害,给隧道开挖带来极大的

安全隐患和巨大的经济损失,并且可能出现地表陷坑,破坏水土环境。

因此,掌子面揭示或超前地质预报探测前方发育充填性溶洞时,应加强超前支护或预注浆,防止突泥灾

害坍。若充填物已经涌出,应首先对坍体和溃口进行加固处理,防止坍塌进一步扩大。

对于大型充填性溶洞的处理,应综合比较不同处理方案的优缺点,结合安全、经济、方便等必须最优处理方案。

3.3 整治效果

织毕铁路杨家寨隧道的岩溶整治,保证了隧道施工安全,为全线顺利完成施工提供了强力保障,通过近两年来的安全运营证明隧道岩溶整治保证了隧道结构安全,有效的防止了隧道运营期间的安全隐患。

4 结论

(1)隧道施工大型岩溶整治首先应考虑施工安全;岩溶整治措施可永临结合,保证安全的前提下充分考虑施工进度等因素。

(2)隧道施工大型岩溶整治要根据充填性质区别对待,要充分考虑揭露大型岩溶的过水特性,岩溶水处理“宜疏不宜堵”。

(3)隧道施工大型岩溶整治要确保整治不给隧道运营留下隐患。

(4)岩溶发育在隧道内不可预见性强,岩溶隧道施工应加强超前地质预报,发现前方围岩异常时要及时采取相应的预处理措施。

参考文献:

[1] 罗文艺. 武陵山1号隧道岩溶发育规律及工程风险评价[J]. 高速铁路技术, 2014, 5(1): 88-92.
LUO Wenyi. Karst Development Regularity in No. 1 Tunnel of Wuling Mountain and Engineering Risk Assessment [J]. High Speed Railway Technology, 2014, 5(1): 88-92.
[2] 关宝树. 隧道工程设计要点集 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
GUAN Baoshu. Essentials of Tunnel Engineering Design [M]. Beijing: China Communications Press, 2003.
[3] 杨昌宇. 武隆隧道岩溶暗河整治方案探讨[J]. 现代隧道技术,

2003, 40(6): 12-17.
YANG Changyu. Discussion on the Control Scheme of Underground Karst River in Wulong Tunnel [J]. Modern Tunnelling Technology, 2003, 40(6): 12-17.
[4] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册(第四版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
Editorial Committee. Engineering Geology Handbook (the Fourth Edition) [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2007.
[5] TB 10003-2016 铁路隧道设计规范[S].
TB 10003-2016 Code for Design of Railway Tunnel [S].
[6] 黄鸿健, 张民庆. 宜万铁路隧道工程岩溶及岩溶水分析与应对 [J]. 现代隧道技术, 2009, 46(2): 22-34.
HUANG Hongjian, ZHANG Mingqing. Analysis and Countermeasures Against Karst and Karst-water in Tunnels on Yichang-Wangzhou Railway [J]. Modern Tunnelling Technology, 2009, 46(2): 22-34.
[7] 张民庆, 彭峰. 地下工程注浆技术 [M]. 北京: 地质出版社, 2008.
ZHANG Mingqing, PENG Feng. Grouting Technology in Underground Works [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.
[8] 田志宇, 李海清, 钟勇. 岩溶隧道处治方案的支护参数选取 [J]. 现代隧道技术, 2011, 48(5): 82-86.
TIAN Zhiyu, LI Haiqing, ZHONG Yong. Support Parameter Selection for a Karst Tunnel Treatment Program [J]. Modern Tunnelling Technology, 2011, 48(5): 82-86.
[9] 张延, 陈中. 隧道岩溶处理面面谈 [J]. 现代隧道技术, 2001, 38(1): 60-64.
ZHANG Yan, CHEN Zhong. Treatment Measures for Karst Cave Encountered in Tunnel Construction [J]. Modern Tunnelling Technology, 2001, 38(1): 60-64.
[10] 李治国. 隧道岩溶处理技术 [J]. 铁道标准设计, 2003 (S1): 36-40.
LI Zhiguo. Treatment of Karst in Tunnel [J]. Railway Standard Design, 2003 (S1): 36-40.
[11] 杨昌宇. 岩溶地区隧道设计的几点思考及建议 [J]. 现代隧道技术, 2011, 48(1): 90-93.
YANG Changyu. Some Opinions and Suggestions on Tunnel Design in Karst Areas [J]. Modern Tunnelling Technology, 2011, 48(1): 90-93.

(编辑: 车晓娟 白雪)