

文章编号: 1674—8247(2020)05—0097—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2020.05.019

高压富水地区岩溶隧道防排水设计方案优化研究

胡 炜 谭信荣 李 奎 蒋 尧

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:近年来,我国岩溶地区隧道衬砌渗漏水病害频发,尤其是由于隧底高水压导致仰拱上鼓、轨道变形的现象屡有发生,造成了严重的经济损失和负面影响。为解决隧底高水压问题,本文针对性提出了4种防排水方案,通过数值模拟研究了不同方案的衬砌水压分布规律及排水泄压效果,确定了可降低隧底高水压的最佳防排水方案。研究结论可为高压富水地区的岩溶隧道防排水设计提供参考。

关键词:岩溶隧道;高水压;仰拱上鼓;防排水;方案

中图分类号:U453.6 文献标志码:A

Research on Optimization of Design Schemes for Waterproofing and Drainage of Karst Tunnels in High-pressure and Water-rich Areas

HU Wei TAN Xinrong LI Kui JIANG Yao

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

Abstract: In recent years, water leakage of tunnel lining in karst areas, especially invert bulge and track deformation due to the high water pressure at the tunnel bottom, occurred frequently in China, which caused serious economic losses and negative effects. In order to solve the problem of high water pressure at the tunnel bottom, 4 waterproofing and drainage schemes are proposed in this paper. The distribution laws of the water pressure acting on the lining and the drainage and pressure relief effects of these schemes are studied through numerical simulation, and the best waterproofing and drainage scheme for reducing the high water pressure at the tunnel bottom is determined. The conclusions of the research can provide references for the design of the waterproofing and drainage system for karst tunnels in high-pressure and water-rich areas.

Key words: karst tunnel; high water pressure; invert bulge; waterproofing and drainage; schemes

1 研究背景

我国是岩溶分布区域最广的国家,尤以西南山区岩溶分布最为集中。在岩溶地层中修建隧道,施工难度较高,若对地下水处理不当,会给隧道的运营埋下安全隐患。

目前,岩溶地区的山岭隧道主要采用“以堵为主,限量排放”的原则^[1-2]。国内学者们在“以堵为主”前

提下如何实现地下水的“限量排放”方面开展了大量的科研工作。王秀英等人从理论上推导了隧道注浆圈、衬砌水压和隧道排水量的解析公式^[3-6];谢兴华等人采用数值计算分析了不同排水孔布置方案对渗流场的影响规律^[7];陶伟明论述了“堵水限排”结构体系中注浆圈、排水系统、抗水压衬砌等在“堵水”和“限排”中所扮演的角色及方案优化问题^[8];张炜等人分析了岩溶隧道的突水机制及防治技术,通过实际工程案例

收稿日期:2019-06-04

作者简介:胡炜(1991-),男,工程师。

基金项目:中国中铁股份公司重点课题(2017-重点-19-01)

引文格式:胡炜,谭信荣,李奎,等. 高压富水地区岩溶隧道防排水设计方案优化研究[J]. 高速铁路技术,2020,11(5):97-101.

HU Wei, TAN Xinrong, LI Kui, et al. Research on Optimization of Design Schemes for Waterproofing and Drainage of Karst Tunnels in High-pressure and Water-rich Areas[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(5):97-101.

强调了“堵水限排”的基本原则^[9-10]。

但上述防排水方案仍未能很好地处理隧道底部的高水压问题。近年来,由于隧底高压导致隧底上鼓、轨道变形的情况屡有发生,严重危害了隧道的运营安全。如贵广铁路高天隧道、襄渝二线新大巴山隧道、武广铁路红桥隧道、沪昆铁路小高山隧道、云桂铁路那吉隧道等均出现过由高压水导致的仰拱变形及破坏,造成了严重的经济损失。

针对这一问题,本文通过数值分析和模型试验,探明了高压富水地区隧道仰拱的破坏机制,并在此基础上提出了4种针对隧底高压的防排水方案。通过求解渗流场,对比分析了不同方案的排水效果,确定了最优方案。

2 计算模型

温度比拟法具有计算时间快、计算效率高的优点,且计算精度也满足工程要求^[11-12]。故本次计算采用温度比拟法,利用温度场模拟渗流场,计算只考虑渗流场。计算模型选取 solid70 单元来模拟实体单元。纵向设置3根环向排水盲管,每两环的间距为

5 m,隧道纵向总长 15 m,隧道中心向左右、上下边界的距离均取为 50 m,拱顶上方水头高 43 m。衬砌为速度 350 km/h 双线铁路隧道 IV_b 型复合式衬砌。透水层和防水板厚 3 mm,排水盲管直径均为 10 cm。中央排水沟的尺寸为 0.6 m × 0.8 m,模型如图 1 所示。

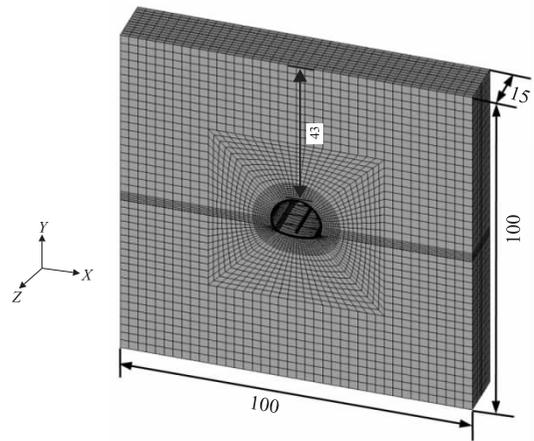
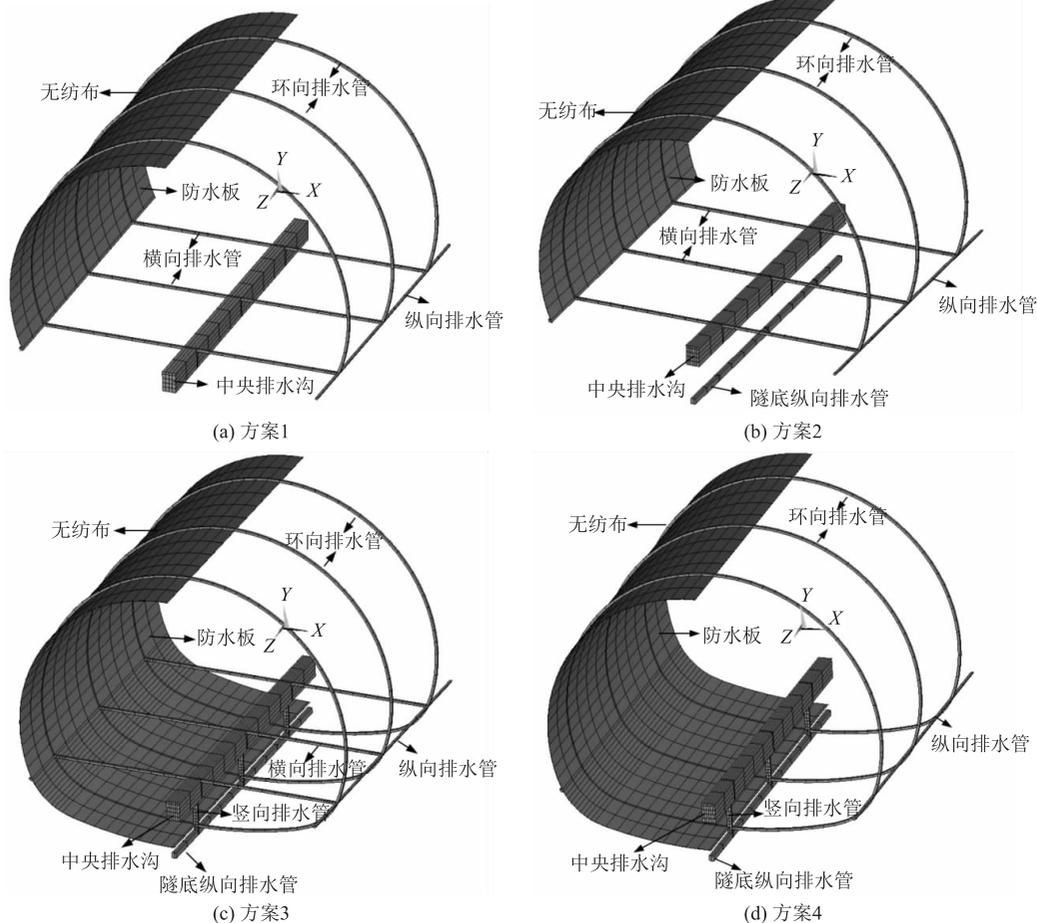


图1 计算模型图(m)

本文分别对4种防排水方案的排水效果进行研究,如图2所示。



注:图中的防水层只绘制了左半部分

图2 4种防排水方案计算模型图

(1)方案1

为常规半包半排方案,该方案仅在拱墙范围内设置防水层和排水系统,衬砌拱部背后的地下水可通过环向排水管导入纵向排水管排出隧道,也可通过横向排水管汇入中央排水沟排出隧道。

(2)方案2

在方案1的基础上,在隧底施作一纵向排水管,用以排放隧底的地下水。该方案在岩溶发育地段有所应用。

(3)方案3

为全包全排方案,该方案在衬砌全环设置防水层和环向排水管,并在隧道底部增加了纵向排水管,通过设置竖向排水管将隧底纵向排水管、环向排水管及中央排水沟连通,从而形成1个完整循环的排水系统。衬砌拱部的水通过环向排水管、横向排水管汇入中央排水沟排出,隧底的地下水可直接通过隧底纵向排水管排出,也可通过环向排水管及竖向排水管汇入中央排水沟排出。

(4)方案4

在方案3的基础上,取消了横向排水管,使拱墙的部分地下水通过环向排水管汇入隧底,然后通过竖向排水管汇入中央排水沟排出。

本文分别求解4种方案的渗流场,分析衬砌水压

力分布规律,并对比4种方案对二次衬砌的排水泄压效果,确定最优方案。

3 计算参数

本次计算模型的几何参数根据衬砌设计参数如表1所示。围岩渗透系数取 $k = 2 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$,其余材料的渗透系数可参考文献[13-14],如表2所示。为更清晰地明确不同排水方案的排水泄压效果,本次计算不考虑注浆圈,以排除注浆圈对结果的影响。

表1 结构几何参数表

| 类别 | 初支厚度 /cm | 二衬厚度 (拱墙/仰拱) /cm | 防水板厚度 /mm | 透水层厚度 /mm | 排水管 /cm | 中央排水沟 (长×宽) /m |
|----|----------|------------------|-----------|-----------|---------|----------------|
| 尺寸 | 25 | 45/55 | 3 | 3 | 10 | 0.8×0.6 |

表2 围岩及结构物渗透系数相对比值表

| 类别 | 围岩 | 初衬 | 二衬 | 防水板 | 透水层 | 排水管 |
|------|-----|----------------|------------------|-------------------|-------------|-----------------|
| 渗透系数 | k | $0.01 \cdot k$ | $0.0001 \cdot k$ | $0.00002 \cdot k$ | $2 \cdot k$ | $20000 \cdot k$ |

4 计算分析

4.1 衬砌水压分布云图

4种防排水方案的衬砌水头分布云图如图3~图6所示。



图3 方案1二衬水压分布图(m)



图4 方案2二衬水压分布图(m)

由图3~图6可知:

(1)4种方案的拱部水压均表现为同样的规律:由于排水管的排水泄压作用,水压在环向排水管位置处最低,两环排水管之间的衬砌水压较高。

(2)由于隧底排水管的排水泄压作用,方案3与

方案4的仰拱水压分布与拱部水压分布规律相似,在环向排水管及隧底纵向排水管附近水压较低,其他部位水压较高;方案2只存在隧底纵向排水管,故只有纵向排水管附近的水压降低;方案1仰拱部位的水压基本保持不变,无泄压效果。

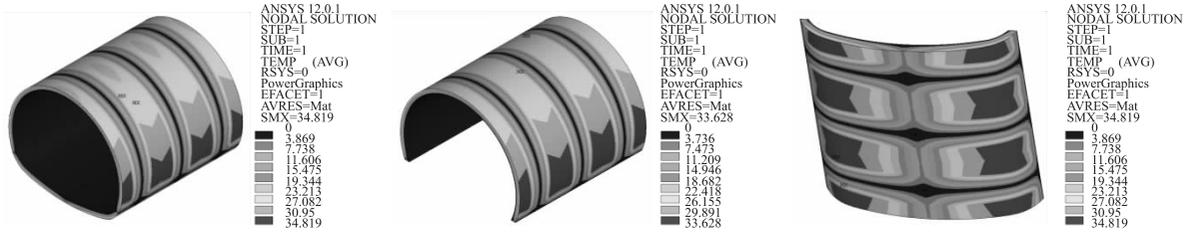


图5 方案3二衬水压分布图(m)

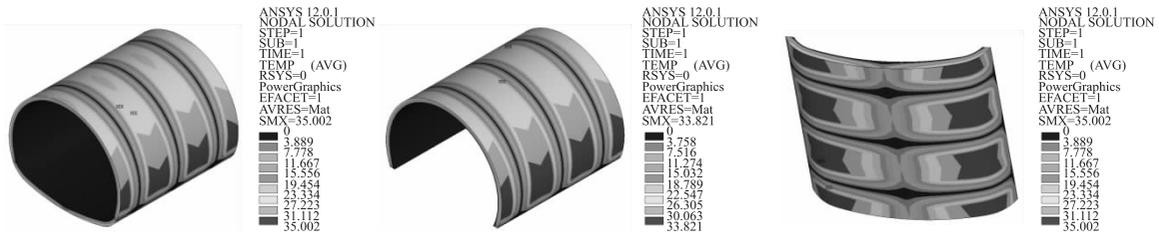


图6 方案4二衬水压分布图(m)

4.2 衬砌水压纵向分布

为进一步明确衬砌水压的纵向分布规律,本文根据以上计算结果,绘制了4种方案衬砌拱顶、边墙、拱脚及拱底位置水压沿隧道纵向的分布曲线,如图7~图10所示。

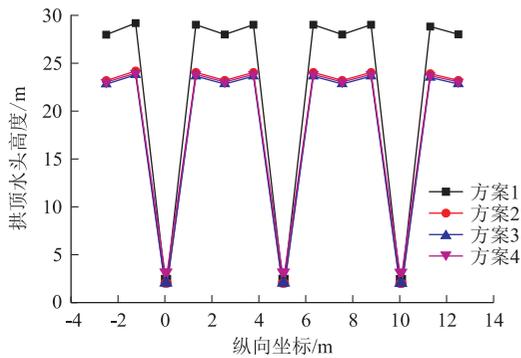


图7 拱顶水压分布曲线图

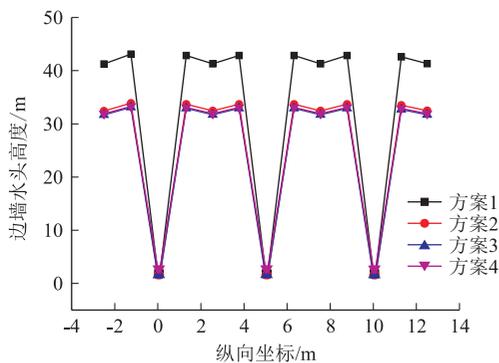


图8 边墙水压分布曲线图

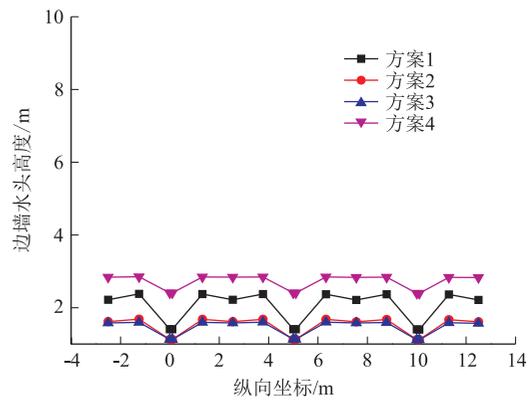


图9 拱脚水压分布曲线图

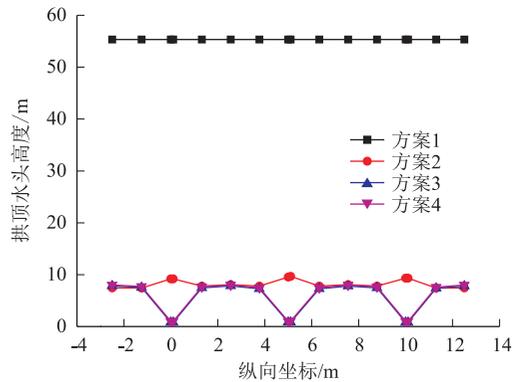


图10 拱底水压分布曲线图

由图7可看出,4种方案的拱顶水压纵向分布规

律相同,即在环向排水管位置($Z=0, Z=5, Z=10$)水压接近0,两环排水管之间的水压较高,整体呈波浪形分布。方案2~4的衬砌拱顶水压大小基本相同,拱顶控制水压(最大水压)相对方案1下降18%。同样,从

图8、图9可看出,4种方案边墙及拱脚位置的水压与拱顶水压表现出相同的规律。

从图10可看出,4种方案拱底水压的分布规律有明显区别。由于隧底排水管的泄压作用,方案2~4的水压相较于方案1大幅度下降。方案2~4的隧底控制水压相近,相较于方案1下降85%,但由于仰拱部位环向排水管卸压作用,方案3和方案4仰拱环向排水管附近的水压要低于方案1。

综合以上分析,4种方案的排水泄压效果为方案3=方案4≈方案2>方案1。

4.3 衬砌水压环向分布

选取两环向排水管中间断面($Z=2$ 或 $Z=8$)为监测断面,根据数值计算结果,绘制该断面水压沿衬砌环向的分布曲线,并与不排水情况(即衬砌承受静水压力)对比,如图11所示。根据计算结果,方案2~4的监测断面水压基本相同,故可近似为同一条曲线。

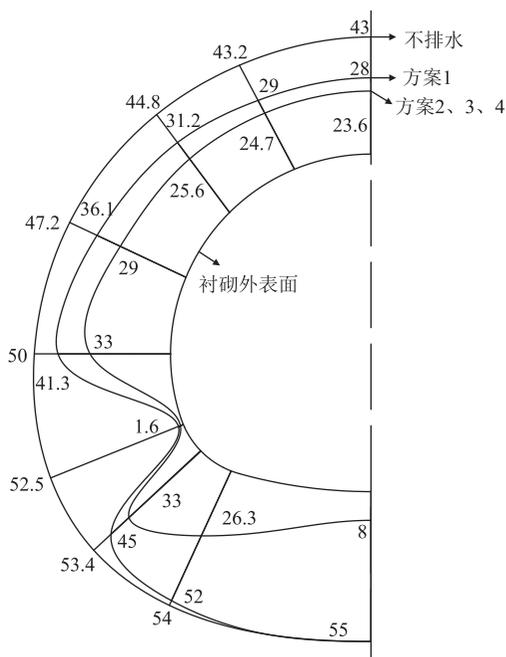


图11 衬砌环向水压分布(m)

由图11可以看出,方案1的衬砌环向水压分布大致可分为3个区域,即拱部水压累积区、排水管泄压区和仰拱恒压区。拱部水压累积区指拱顶至边墙区域,水压逐渐增大;排水管泄压区指拱脚位置区域,由于纵向排水管的排水作用,水压急剧降低,趋近于0;仰拱恒压区指拱脚至仰拱底区域,由于无排水管的排水泄压作用,水压几乎保持不变。由于隧底排水管的泄压作用,方案2~4的仰拱区域为泄压区,而非恒压区,仰拱水压相对方案1有明显下降。

4个方案相对于不排水情况下,衬砌拱部水压均

有所降低。方案1拱顶水压较不排水情况下的降幅为35%,方案2和方案3的降幅为45%,这表明相较于方案1~4对拱墙的泄水降压效果更好。方案1仰拱部位的水压和不排水情况下的水压基本相同,方案2~4对仰拱附近水压有明显的降低效果,降幅达到85%。这表明方案1无法对仰拱泄水降压,方案2~4对仰拱的降压效果明显。

综上,对比方案1和方案2可知,采用半包半排时,可在隧底设排水管以降低隧底水压;对比方案3和方案4可知,全包全排方案并在隧底设置纵向排水管时,可取消横向排水管,并通过竖向排水管将环向排水管的引至中央排水沟;对比方案2和方案4可知,隧底纵向排水管对隧道底部的排水卸压起主要作用,仰拱部位环向排水管的卸压效果不明显。

5 结论及建议

通过以上研究,可得到以下主要结论:

(1)半包半排方案(方案1)可有效降低拱部水压,拱顶控制水压相对静水压降幅达35%,但对隧底水压几乎无降低效果。

(2)采用半包半排方案时,在隧底增设纵向排水管可进一步降低衬砌水压(方案2),拱顶控制水压相对静水压力降幅为45%,相对半包半排方案降幅为18%,拱底控制水压相对静水压和半包半排方案降幅达85%。

(3)采用全包全排方案,并在隧底增设排水管时,取消横向排水管不影响排水系统的排水能力。环向排水管中的水可通过竖向排水管引至中央排水沟。

(4)隧底纵向排水管对隧道底部的排水卸压起主要作用。当设置隧底纵向排水管时,半包半排和全包全排两种方案的排水效果基本相同。

(5)当隧道底部水压低于衬砌所能承受的最大水压时,可考虑采用方案1;当隧道底部水压高于衬砌所能承受的最大水压时,方案2~4的排水效果基本相同。但方案2无论是从施工工艺的便捷性,还是从经济性来讲,均优于方案3和方案4,因此优先推荐采用方案2。

参考文献:

- [1] TB 10003-2016 铁路隧道设计规范[S].
TB 10003-2016 Code for Design of Railway Tunnel [S].
- [2] JTG D70-2004 公路隧道设计规范[S].
JTG D70-2004 Code for Design of Road Tunnel [S].

(下转第106页)

- Highway and Transport, 2009, 25(3): 133-137.
- [5] 茹旭. 铁路隧道钻爆法施工废水治理关键技术研究[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(5): 156-159.
RU Xu. Study on Key Technology of Sewage Treatment for Railway Tunneling by Drilling and Blasting [J]. Railway Standard Design, 2019, 63(5): 156-159.
- [6] 周文哲. 隧道施工废水处理研究[J]. 铁道建筑, 2019, 59(9): 77-80.
ZHOU Wenzhe. Study on Wastewater Treatment During Tunnel Construction [J]. Railway Engineering, 2019, 59(9): 77-80.
- [7] 刘伟, 付海陆, 耿伟, 等. 天目山隧道施工废水特征分析及处理 [J]. 隧道建设, 2017, 37(7): 845-850.
LIU Wei, FU Hailu, GENG Wei, et al. Characteristic Analysis and Treatment of Construction Wastewater of Tianmushan Tunnel [J]. Tunnel Construction, 2017, 37(7): 845-850.
- [8] 姜掌印. 铁路隧道施工废水的混凝处理试验研究[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(2): 10-13.
LOU Zhangyin. Experimental Study on Coagulation Treatment of Wastewater from Railway Tunnel Construction [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(2): 10-13.
- ~~~~~
- (上接第101页)
- [3] 王秀英, 王梦恕, 张弥. 计算隧道排水量及衬砌外水压力的一种简化方法[J]. 北方交通大学学报, 2004, 28(1): 8-10.
WANG Xiuying, WANG Mengshu, ZHANG Mi. A Simple Method to Calculate Tunnel Discharge and External Water Pressure on Lining [J]. Journal of Northern Jiaotong University, 2004, 28(1): 8-10.
- [4] 王秀英, 王梦恕, 张弥. 山岭隧道堵水限排衬砌外水压力研究 [J]. 岩土工程学报, 2005, 27(1): 125-127.
WANG Xiuying, WANG Mengshu, ZHANG Mi. Research on Regulating Water Pressure Acting on Mountain Tunnels by Blocking Ground Water and Limiting Discharge [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(1): 125-127.
- [5] 王建宇. 隧道围岩渗流和衬砌水压力荷载[J]. 铁道建筑技术, 2008(2): 1-6.
WANG Jianyu. Problems on External Water Pressure on Tunnel Lining [J]. Railway Construction Technology, 2008(2): 1-6.
- [6] 王建宇. 再谈隧道衬砌水压力[J]. 现代隧道技术, 2003, 40(3): 5-10.
WANG Jianyu. Once more on Hydraulic Pressure Upon Lining [J]. Modern Tunnelling Technology, 2003, 40(3): 5-10.
- [7] 谢兴华, 盛金昌, 速宝玉, 等. 隧道外水压力确定的渗流分析方法及排水方案比较[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(S2): 2375-2378.
XIE Xinghua, SHENG Jinchang, SU Baoyu, et al. Seepage Analysis Method for Determination of the External Water Pressure of Tunnel and Comparison of some Drainage Schemes [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(S2): 2375-2378.
- [8] 陶伟明. “以堵为主, 限量排放”隧道防排水原则的理论基础及其工程实践[J]. 铁道标准设计, 2006, 50(9): 78-82.
TAO Weiming. Theoretic Basis and Engineering Practice of Drainage Prevention Principle as Emphasis on Blocking and Releasing within Limitation [J]. Railway Standard Design, 2006, 50(9): 78-82.
- [9] 张炜, 李治国, 王全胜. 岩溶隧道涌突水原因分析及治理技术探讨[J]. 隧道建设, 2008, 28(3): 257-262.
ZHANG Wei, LI Zhiguo, WANG Quansheng. Cause Analysis and Countermeasures for Water Gushing of Karst Tunnels [J]. Tunnel Construction, 2008, 28(3): 257-262.
- [10] 林国涛, 宋瑞刚. 岩溶隧道突泥机制与防治技术研究[J]. 隧道建设, 2012, 32(2): 169-174.
LIN Guotao, SONG Ruigang. Study on Mechanisms of Mud Bursting in Tunneling in Karst Areas and Its Prevention and Control [J]. Tunnel Construction, 2012, 32(2): 169-174.
- [11] 何聪. 高压富水地区隧道渗流场分析与衬砌抗水压力对策研究 [D]. 成都:西南交通大学, 2015.
HE Cong. Study on Seepage Field and Lining's Resistance to Water Pressure of Tunnels in Water-enriched Region [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.
- [12] 张政. 岩溶地区公路隧道渗漏水处治原则研究 [D]. 成都:西南交通大学, 2014.
ZHANG Zheng. Research on Treatment for the Seepage Disease of Highway Tunnels in Karst Area [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2014.
- [13] 混凝土实用手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1987.
Practical Handbook for Concrete [M]. Beijing: China Construction Industry Publishing House, 1987.
- [14] 王俊林, 马艳. 土工织物透水特性试验研究[J]. 中国水土保持, 2007(8): 27-28.
WANG Junlin, MA Yan. Study on Permeability Test of Geotextile [J]. Soil and Water Conservation in China, 2007(8): 27-28.