

# 北京市某改建铁路工程石景山隧道防水设计

王达麟, 周文涛

(铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300251)

**摘要:** 从设计角度对北京市某改建铁路工程石景山隧道明挖和暗挖部分进行了研究分析, 从该工程防水等级、混凝土自防水、防水材料的选用及接缝防水设计等方面提出了建议。

**关键词:** 隧道; 明挖与暗挖; 防水材料; 接缝防水

**中图分类号:** U239.5      **文献标志码:** B

**文章编号:** 1672-4011(2015)01-0124-03

**DOI:** 10.3969/j.issn.1672-4011.2015.01.055

## 0 前言

改革开放以来, 由于铁路对国民经济带动性作用的逐步显现, 铁路工程建设项目越来越多, 而作为其重要组成部分的各种隧道也迅速发展, 隧道建设条件和结构形式也越来越复杂<sup>[1]</sup>。防排水是铁路隧道建设、设计、施工中的重点, 防水工程质量的高低直接影响到整个隧道工程的寿命, 严重危及行车安全。但是渗漏水问题仍然不同程度地出现在各种隧道中<sup>[2]</sup>。本文以北京市某改建铁路工程石景山隧道为例, 从设计角度出发, 介绍了该隧道的防水设计, 以期提供有益的参考。

## 1 工程概况

北京市某改建铁路工程石景山隧道位于北京市石景山区永定河东岸, 全长 4 351 m, 其中明挖段长 3 872 m, 暗挖段长 479 m, 为单洞双线隧道, 其中明挖段采用明挖顺做法施工, 暗挖段采用矿山法施工。隧道明挖段拟建场区中上部地层以厚层砂土、卵砾石层为主, 抗浮水位设在地下 3 m。隧道暗挖段位于石景山中, 山体存在多出基岩破碎带, 由于雨水下渗在破碎带附近可能赋存较多基岩裂隙水。根据岩土工程勘察报告可知, 拟建场区内地下水对混凝土结构无腐蚀性, 对混凝土结构、钢筋混凝土结构中的钢筋、钢结构均具有微腐蚀性。

## 2 防水设计

石景山隧道的防水等级为一级, 不允许渗水, 结构表面无湿渍。石景山隧道的防水体系以结构自防水为根本, 采取措施增强混凝土的抗渗性能, 同时加强施工缝、后浇带等细部结构的防水措施, 辅以柔性外包防水层加强防水。石景山隧道防水体系如表 1 所示。

## 3 混凝土自防水要求

### 3.1 抗渗等级

石景山隧道明挖段及暗挖段二次衬砌混凝土均采用防水混凝土, 防水混凝土的抗渗等级不小于 P10。GB50108-2008《地下工程防水设计规范》中要求, 混凝土抗渗等级不小于 P6 的才能用于地下工程, 然后防水等级根据结构埋深

的不同再具体划分。石景山隧道明挖段最大轨面埋深约为 13 m, 因此根据《地下工程防水设计规范》, 该隧道混凝土的抗渗等级取 P10 是合理的。石景山隧道暗挖段最大轨面埋深为 40 m, 根据《铁路隧道设计规范》中的要求, 铁路隧道的最低防水等级为 P6, 考虑到本隧道暗挖段埋深较浅, 会有部分地表渗水, 且围岩裂隙发育较发达, 混凝土的抗渗等级取 P10 也是合理的。

表 1 石景山隧道防水体系

防水体系		要求
结 构 自防水	混凝土抗渗等级	抗渗等级为 P10
	裂缝控制	迎水面 $\leq 0.2$ mm, 背水面 $\leq 0.3$ mm
	耐腐蚀要求	有侵蚀性区段, 混凝土抗侵蚀系数满足相应规范
附加柔性 防 水 层	明暗挖结构; 全包防水	
接 缝 和 节点防水	阴阳角、施工缝、变形缝、后浇带、明暗挖接头等变断面、接缝、接口部位需进行加强防水处理	

### 3.2 混凝土裂缝控制

本隧道工程提出的裂缝控制标准是: 裂缝不大于 0.2 mm, 并不得贯通。这与 GB50108-2008《地下工程防水技术规范》中的要求是一致的。根据以往的实际经验表明, 当迎水面混凝土结构裂缝大于 0.2 mm 时, 混凝土结构的渗透性会大大增加。但是混凝土的抗渗性与抗裂性往往是一对矛盾体<sup>[3]</sup>, 如果提高混凝土的抗渗性, 胶凝材料用量会增大, 其水胶比会偏低, 但这会导致混凝土的水化热偏高, 收缩增大, 体积稳定性下降, 从而增大混凝土结构开裂的风险。

本隧道工程对混凝土裂缝的控制主要采取了以下几种措施。①为减少混凝土过大的水化热, 防水混凝土施工采用“双掺”技术, 掺加一级粉煤灰及具有补偿收缩功能的 HE 抗裂高效防水剂, 掺量为水泥用量的 10%。②控制混凝土的水胶比, 水胶比过大会产生高水化热, 使混凝土结构容易产生裂缝; 水胶比过大则会使结构的抗渗性降低, 同时影响混凝土的强度。本工程根据以往工程经验及经过现场试验, 确定水胶比不大于 0.45。③控制胶凝材料的用量。胶凝材料用量过小, 会导致混凝土和易性不好; 胶凝材料用量过大, 则会使水化热增大, 使结构易产生裂缝。因此在满足条件的情况下, 应尽量减小胶凝材料的用量。本工程规定胶凝材料用量应在 390~420 kg/m<sup>3</sup> 之间。④由于本工程采用“双掺”技术, 延长了混凝土水化反应时间, 因此混凝土的保水养护时间为 10 d, 混凝土的全部养护时间应不小于 15 d。

## 4 防水材料的选择

### 4.1 隧道明挖段防水材料的选择

石景山隧道明挖段采用的防水材料为国铁山岭隧道明

作者简介: 王达麟(1987-)男, 河南鹤壁人, 助理工程师, 硕士研究生, 主要从事隧道及地下工程防水领域相关工作。

洞及某些地铁明挖部分采用的防水材料是一致的, 采用的是自粘聚合物改性沥青聚酯胎防水卷材, 厚度不小于 3 mm, 为保证其强度及卷材不受破坏, 再铺设一层缓冲层, 缓冲层为 400 g/m<sup>2</sup> 无纺布。自粘式防水卷材是在一定要求的基面上, 可以直接粘贴而不需要其他辅助材料和工具的一种防水卷材。其施工方法简单, 与基面粘接十分牢固, 较传统的热熔法粘贴卷材和全空铺机械固定法铺贴卷材性能要好。主要分为聚酯胎和无胎体自粘聚合物改性沥青防水卷材及高分子自粘胶膜防水卷材, 但是无胎体类的卷材抗拉强度较小; 而高分子自粘胶膜类卷材一般采用预铺反粘法施工, 不适用于本工程, 且厚度均较小(自粘类单层为 1.5 mm, 高分子类为 1.2 mm), 易于被钢筋刺穿。结合本工程实际情况, 此两种自粘类防水卷材均不太合适, 故选用自粘式改性沥青聚酯胎防水卷材, 厚度不小于 3 mm, 执行 JC898《自粘聚合物改性沥青聚酯胎防水卷材》标准。结构防水示意图见图 1。

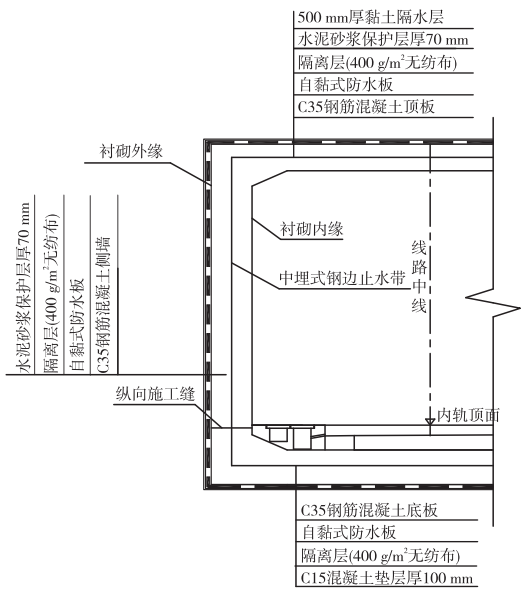


图1 隧道明挖段结构防水示意图

自粘式防水卷材组合缓冲层用于明挖法结构具有以下优势: ①不窜水, 卷材可以在潮湿基面上施工, 其自粘层与混凝土吸力强, 与基面粘接得十分牢固, 即使有局部破坏, 也不会窜水; ②配合无纺布铺设, 强度高; ③具有蠕变性, 解决了防水卷材在基层开裂的情况下, 卷材受拉产生内应力, 使防水卷材在应力状态下加速老化破坏的问题。

#### 4.2 隧道暗挖段防水材料的选择

石景山隧道暗挖段采用的防水材料与国铁山岭隧道暗挖段的防水材料是一致的, 采用的是 ECB 塑料防水板辅以缓冲层的组合防水体系。结构防水示意图见图 2。

塑料防水板用于隧道暗挖段具有以下优势:

- 1) 强度和延伸率高, 采用无钉孔铺设, 双焊缝焊接工艺;
- 2) 对基面的平整度要求不高, 配合无纺布铺设。

但是塑料防水板一般不用于隧道明挖结构, 其缺点如下: ①易于窜水, 由于防水板本身与混凝土几乎没有任何粘接力, 而且在隧道施工过程中, 防水板很容易被钢筋穿破或焊接时的火花损坏, 如果防水板出现孔洞时, 水就会进入防水层与结构之间, 对结构的安全造成较大影响。②拟建场区的地层主要为高渗透性砂土, 进一步增大了窜水的可能性。

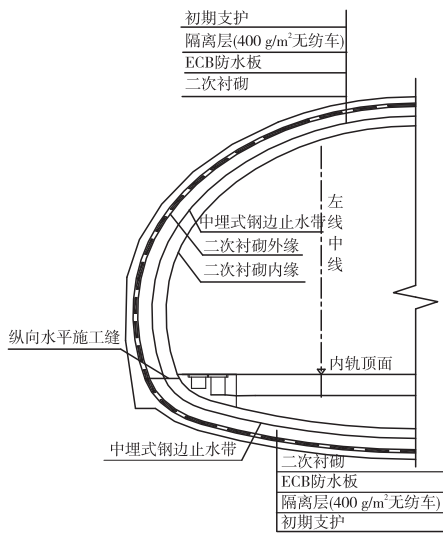


图2 隧道暗挖段结构防水示意图

### 5 细部防水设计

#### 5.1 施工缝防水

本隧道底板和侧墙施工缝采用外贴式橡胶止水带 + 中埋式钢边橡胶止水带 + 可维护注浆管共三道防水措施, 顶板环向施工缝由于无法设置外贴式橡胶止水带, 采用中埋式钢边橡胶止水带 + 可维护注浆管处理。细部构造见图 3 ~ 4。

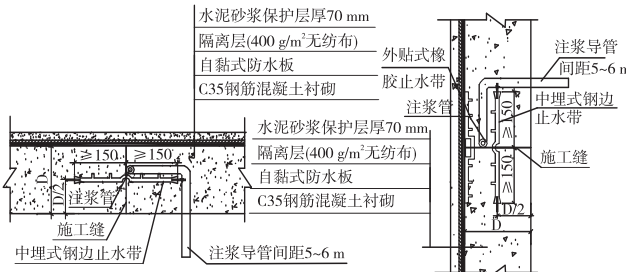


图3 顶板环向施工缝  
防水构造

图4 侧墙纵向水平施工缝  
防水构造

#### 5.2 变形缝防水

变形缝宽度取 20 mm, 侧墙及底板变形缝采用外贴式橡胶止水带 + 中埋式钢边橡胶止水带 + 双组份聚硫密封胶, 顶板由于不能设外贴式橡胶止水带, 设置两道遇水膨胀止水条代替, 顶板和侧墙内部设置接水盒。细部构造见图 5 ~ 6。

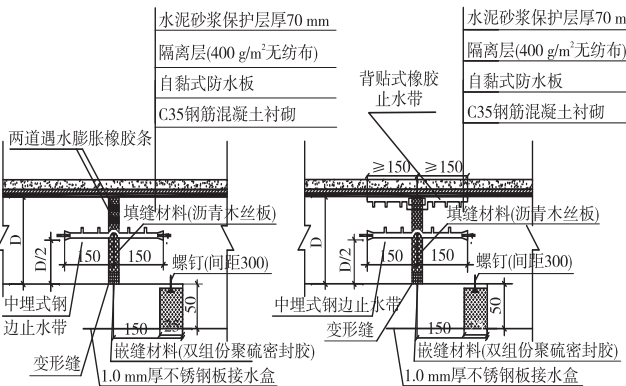


图5 顶板变形缝防水构造

图6 侧墙变形缝防水构造

(下转第 133 页)

的潜在问题的需求。克莱格 (Clegg) 讨论可以将故障和失效引入到 FPGA 的方法、可以采用的可能的缓解技巧和采用论点表明 FPGA 满足安全要求的方法的需求。

(8) 新型技术的标准合规性的证明: 共有 7 份论文提到有关采用安全关键领域的新型技术的系统的认证证据的证据提供方面的挑战。例如, 丹尼尔 (Daniel) 和马里奥 (Mario) 讨论普适计算等新兴的计算趋势为了对于环境和用户需求的动态变化做出恰当反映需要具有适应性的方法。并且提供用于评价可适应性系统的安全性的有条件安全证书的细节。还有拉什比 (Rushby) 讨论可适应性系统在运行时期内修改以及集成各个功能的方法, 并且提出采用运行时期验证的一个框架, 从而可以在运行时期内进行部分认证。

(9) 首次认证或者“经过使用验证”系统的重新认证: 总共 7 份论文强调对于此前并未进行认证的系统进行认证, 或者对于此前采用但是现在无法采用“经过使用验证”原则 (例如, 由于加强监管, 或者上次按照“经过使用验证”原则进行验证之后, 出现系统演进) 的系统进行重新认证的挑战。在此, “经过使用验证”是指基于此前的系统工作情况, 存在系统满足安全标准有关安全要求的令人信服的证据。例如, 卡梅隆等人 (Cameron et al.) 提供通过证明对于无人飞行器系统 (UAS) 有关“经过使用验证”试航性规定的标准合规性, 对于无人飞行器进行认证的方法。在另外一项原始研究中, 米查姆等人 (Meacham et al.) 讨论为了对于既有系统进行重新认证, 原有安全关键系统采用传统软件安全标准的问题。并且提出包括修改前的软件和修改后的软件之间关系的模型, 以及提供有关对于经过修改的既有软件进行适航性认证的方法的指南。 [ID: 001627]

参考文献:

[1] M. Bozzano, A. Villafiorita. 关键系统的设计和安全评估 [J]. Auerbach 出版社, 2010.  
[2] IEC 61508 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 [Z], 2005.  
[3] DO-178C/ED-12C 航空系统和设备认证考虑的软件因素 [S].  
[4] CENELEC EN 50129 铁路应用—信号安全相关电子系统 [S].

[5] ISO/DIS 26262 - 8 公路车辆—功能安全 [S].  
[6] D. Jackson, M. Thomas, L. I. Millett. 可信系统软件: 是否拥有足够的证据? [M]. 国家科学院出版社, 2007.  
[7] 证据. 牛津字典, <http://oxforddictionaries.com/definition/evidence? q = evidence>, 2012-5-12.  
[8] P. Rodríguez - Dapena. 软件安全认证: 多个领域的问题 [J]. IEEE 软件, 1999; 16: 31-38.  
[9] B. Hjørland, H. Albrechtsen. 朝着信息科学的崭新边界发展: 领域分析 [J]. 1995, 46 (6): 400-425.  
[10] B. A. Kitchenham, S. Charters. 针对《软件工程》第 2.3 版进行系统性文献综述的指南 [R]. EBSE 技术报告, Keele 大学, Durham 大学, 2007.  
[11] OPENCSS. <http://opencss-project.eu>, 2012-5-12.  
[12] S. Nair, J. delavara, M. Sabetzadeh, L. Briand. 安全证据分类、结构和评估—系统性文献综述 [A], 第 6 届软件测试、验证和确认 IEEE 国际会议 (ICST), 2013.  
[13] T. P. Kelly. 有关安全性的论证—管理安全案例的系统方法 [D]. 约克大学, 1998.  
[14] 国防部. 国防标准 00-56. 国防系统的安全管理要求 [M]. 4 版. 2007.  
[15] OMG. 软件保证案例元模型 (SACM) [Z]. 2013.  
[16] W. Afzal, R. Torkar, R. Feldt. 非功能性系统属性基于检索的测试的系统回顾 [J]. 信息软件技术, 2009, 51: 957-976.  
[17] J. Nicolás, A. Toval. 基于软件工程模型的需求规范的生成: 系统性文献综述 [J]. 信息软件技术, 2009, 51: 1291-1307.  
[18] A. Singhal, A. Singhal. 软件可靠性研究的系统性文献综述 [J]. 软件工程国际期刊, 2011, 1 (1).  
[19] M. Gerlach, R. Hilbrich, S. Weißleder. 汽车能否飞翔? 从航天电子学到汽车学: 针对具体领域的安全标准的可比性 [A], 嵌入软件和系统国际会议文件 [C], 2011.  
[20] J. Hill, D. Victor. 在建设安全苛求系统的软件安全风险分类中的产品工程等级 [A]. 第 19 届澳大利亚软件工程会议 (ASWEC) 论文集 [C], IEEE 计算机学会出版社, 2008: 617-626.  
[21] 对象管理组织 (OMG). OMG 对象限制语言 [DB/OL]. <http://www.omg.org/spec/OCL/2.0/>, 2006.  
[22] S. Nair, J. delavara, M. Sabetzadeh, L. Briand. 安全证据分类、结构和评估的系统性文献综述: 提取的数据 [R]. [https://simula.no/publications/SLR\\_Full\\_Extracted\\_Data/simula\\_pdf\\_file](https://simula.no/publications/SLR_Full_Extracted_Data/simula_pdf_file), 2012.

(上接第 125 页)

5.3 后浇带防水

后浇带应设置在受力和变形较小的部位, 后浇带部位的柔性防水层加强做法同施工缝, 后浇带均采用补偿收缩防水混凝土浇筑。

6 结语

1) 防水材料的选用一定要综合考虑地层情况、结构形式及施工方法等情况, 然后再做出合适的选择。

2) 混凝土结构自防水是工程防水的根本, 混凝土设计

要以抗渗性和抗裂性并重, 混凝土的配比一定要根据现场试验之后才能确定, 切不可照搬规范。 [ID: 001702]

参考文献:

[1] 马志富. 铁路隧道防排水技术探讨 [J]. 铁道标准设计, 2011, 55 (5): 76-79.  
[2] 李红旺. 沈阳地铁 1、2 号线工程防水设计 [J]. 中国建筑防水, 2010, 27 (20): 28-33.  
[3] 陈斌, 周玉娟, 金建明. 地铁工程混凝土自防水性能试验研究 [J]. 地下工程与隧道, 2009, 23 (S1): 22-25.