

浅谈隧道工程防水技术

周国值, 胡智翔, 黄俞童, 庞兴龙, 黎泽江, 董 堃*

桂林理工大学环境科学与工程学院, 广西 桂林

收稿日期: 2022年12月14日; 录用日期: 2023年1月13日; 发布日期: 2023年1月20日

摘 要

隧道防水工程往往是隧道施工当中最薄弱的环节, 关系到工程的安全和质量。本文对隧道渗水的主要因素进行了简要分析, 并对现有的隧道防水技术进行介绍。并以磁器口水下隧道防水工程为例, 阐述了防水技术在实际工程当中的应用。

关键词

防水技术, 现代隧道, 质量控制

Discussion about Waterproofing Technology of Tunnel Engineering

Guozhi Zhou, Zhixiang Hu, Yutong Huang, Xinglong Pang, Zejiang Li, Kun Dong*

College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

Received: Dec. 14th, 2022; accepted: Jan. 13th, 2023; published: Jan. 20th, 2023

Abstract

Tunnel waterproofing works are often the weakest link in tunnel construction, related to the safety and quality of the project. In this paper, the causes of tunnel seepage are briefly analyzed, and the current waterproof technology of the tunnel is introduced. The application of waterproofing technology in practical engineering is expounded with the example of the waterproofing project of the Ciqikou underwater tunnel.

*通讯作者。

Keywords

Waterproof Technology, Modern Tunnels, Quality Control

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国现代化的发展,很多山区都逐渐修建了公路或者铁路。很多时候为了在山区建设公路或者铁路往往需要建设隧道。随着我国综合国力增强,国民经济的不断增长,我国的建设水平也有了显著的提高。因此,为了响应国家建设基础设施的号召,我国许多山区逐渐开始建设公路或者铁路,而这一目标的实现,则必须建设隧道进行搭建,才能完成山区的公路或者铁路的建设。

隧道施工环境不同于平常施工环境,隧道环境较为恶劣,自然环境容易对已投入使用的隧道造成影响,隧道出现漏水渗水问题较为频繁,隧道中堵塞较多的水无法及时排出时,水分就会渗透到混凝土结构中。尤其是具有强腐蚀性水分,会加速隧道的老化,影响到地基工程,进而缩短其使用寿命。因此,工程的安全质量与隧道防水工程有直接关系。为避免隧道出现渗漏水情况,在隧道工程防水施工过程中,需要把握各个技术要点,确保隧道工程质量。

隧道的建设本质上和其他工程的建设是一样的,在建设的过程中需要对建筑业面的湿度进行严格的控制,因此在建设的过程中必须要注意水患对隧道建设的影响,特别是在降水量比较大或者是地下水存量较为丰富的地区。对于这样的地区若是遇上围岩地质,那对于隧道建设的排水和防水工作而言就变得更加困难了。除了要保证隧道在建设过程中其内部是干燥的以外,在隧道的使用过程中也需要严格地做好防水措施,从而保障隧道在使用的过程中是干燥的,这样可以有效地降低隧道后期的维修费用。一般情况下,为了保证隧道的施工作业面是干燥的,施工人员需要严格控制施工过程中的“放、防、截”这几点,从而保证隧道工程的顺利完成。当然在实际的实施过程当中,这三步是没有严格的顺序之分的,此外,这三种措施在实际的应用过程中是相辅相成的。本文将对隧道防水的要点进行详细的介绍。

2. 隧道渗水原因

在介绍隧道防水技术之前,首先对隧道建成后产生渗水现象的原因进行分析,以求针对性地解决问题。

首先,隧道中心可能存在深埋水沟排水不畅通的情况,使隧道背后岩体内积聚的水不能及时排出,水压逐渐增大,压力水沿混凝土构造缝渗出。

第二,施工过程中,防水板施工质量不佳,未形成连续封闭防水结果层。

第三,隧道衬砌背后注浆过程中,浆液进入排水管,造成管道堵塞。

第四,随着时间积累,山体水及地下水径流路径发生变化,地下水聚焦,造成局部水压力过大[1]。

3. 隧道防水技术

地下水埋深较浅的情况普遍存在于隧道施工过程中,如果发生渗漏,隧道施工的安全性以及隧道的使用效果都会受到影响。在这种情况下,隧道的防水施工显得尤为重要。良好的防水措施能够保障轨道

交通的正常使用,增加隧道的使用寿命,减少和规避地质灾害事故,同时削减运转过程中的维护成本。因此,隧道防水工程的施工应受到密切关注。从实践分析,隧道防水措施主要体现在以下几个方面。

3.1. 施工变形缝防水技术

据资料显示,70%的隧道工程渗水问题是由于施工缝处理不当引起的。施工变形缝的防水处理是地下防水施工中不可或缺的部分,存在一定难度。因此,考虑隧道周围环境和施工周期较长引起的无水施工,则采取以下措施:如环向、纵向施工缝混凝土涂刷防水材料、设置注浆管及粘贴膨胀止水胶等。工程施工过程中,在保障工程质量的前提下,要合理地加快施工进度,把控好工程引排水,给予施工缝干燥的环境,针对其环向处,要留出适当的间距。施工过程中,还应根据具体的施工情况做好补救处理,例如遇到施工变形缝渗漏时,可选择使用螺纹骨架全断面、可重复单向、出浆孔距小于30 mm、孔径为2~5 mm的预埋注浆管,确保质量无误后,以合理的间距将其固定并编号。除此之外,还应选择对应材料的止水条,将其布置在楼板施工缝预留凹槽中,旨在有效避免施工变形缝漏水。

施工过程中,在施工站厅层板地膜前或者作业时,可以在防水层和站台层钢筋处预留可行的接头条件,并选择合理的施工方法进行边墙施工,比如逆注法。此法可便于工程施工,降低施工缝出现的概率。工程作业时,为保证墙槽稳定,通常要根据边墙设计要求,先挖1.4 m左右深的凹槽,在一侧配以240 mm厚的砌筑砖墙作为墙体模板;然后连接此位置的上部和边墙的防水板,将其连接一个整体后,在边墙下部浇筑范围大于0.7 m的混凝土,且让其内折平铺在槽底位置,结合木板、土工布保护和砂料回填,用于强化防水能力;连接直螺纹套筒的上部与拱圈接头,拧紧后,下部插入槽内砂,实现与侧墙竖向主筋的连接,在直螺纹套筒的作用下,错开纵向分布的钢筋接头。由此,一方面有利于密实地浇筑墙体施工缝混凝土,另一方面能保护防水板甩头,可进一步改良防水性能。最后,还需注意在施工缝中填充膨胀止水胶[2]。

3.2. 隧道施工衬砌自防水技术

在隧道防水工程中衬砌自防水是一种成本低、操作方便、工序简单,而且实用的防水方法。优良的防水作用可以让隧道防水工程的质量得到保障,要想提高隧道防水的效果就需要提高衬砌混凝土防水效果。所以在施工当中不能够只注重防水层的防水效果,而忽视了衬砌混凝土自身防水的能力。

衬砌混凝土自身不但能够防水,还能够防渗水,而且防渗水作用大于防水作用。作为重要的防水措施,在地下工程中多采用防水混凝土自防水结构,提高混凝土本身的密实性和抗渗性。所以使用的混凝土的防水、坑渗要达到标准,不能为降低施工成本而使用一些不合格的混凝土[3]。与此同时还要处理好衬砌的各个接缝的防水,其中以衬砌的施工缝和衬砌的变形缝等最为重要,只有这样做才能更好的提高衬砌自防水的能力。还有在施工当中,我们绝对不能使用其他混凝土来代替防水混凝土,不能受限于工程造价问题。在施工之前一定要对各个部位所采用的材料有着十分精确的设计,同时施工相关人员也应当做好对应的准备工作,这些都是做好防水工作的必要条件[4]。

3.3. 洞门防水

一方面,要想提升接头的防水效果可以在隧道进出洞的接头位置,采用刚性接头,接着填充柔性嵌缝材料,比如聚氯乙烯泡沫塑料板,遇水膨胀橡胶。在洞门防水处理中,防水材料的选择极其重要,例如环形钢筋混凝土保护圈,应该选择强度等级不低于C40,抗渗等级不低于P8的材料,设置混凝土保护层的厚度在35 mm左右,在刚性接头的相应位置,设置变形缝来改良防水效果;另一方面,安装洞门密封装置也应注意。在洞圈与盾构外径之间,存在有一定的间隙,在洞圈的周边设置相应的密封装置,主

要由圆形板、橡胶和帘布等构成，同时适当增加注浆孔，能有效避免在施工过程中以及盾构出洞时出现土体沿间隙流失的情况，提升防水效果[5]。

3.4. 喷涂聚脲技术

聚脲技术具有无溶剂、无污染、节能环保的独特优点。该技术发明以来，由于其优异的物化性能及其它涂料无可比拟的快速固化和施工特性，在各个工程领域得到了快速应用和发展。喷涂聚脲技术的优点主要表现为以下几个方面：

- 1) 物理性能较为优越，材料的硬度可随意控制，从而可以满足不同环境的需求；
- 2) 固化速度较快，在曲面、垂直面及顶面上连续喷涂时，可避免产生流挂现象；在一次施工后即可达到厚度要求，不必再采用多层施工，减少了诸多不便，较大缩短施工周期；
- 3) 对湿度和温度不敏感。由于形成聚脲的化学反应速度较快，在实际施工时受环境温湿度的影响较小。除此之外，该技术在 -28°C 的寒冷环境下仍可正常施工，并能正常固化，对于环境的适应性较强；
- 4) 固含量较高，可达到 100%，且不含有机挥发物，无毒害作用，符合环境保护与可持续发展的要求；
- 5) 良好的耐候性，以及耐冷、热冲击性，适合在户外长期使用；
- 6) 喷涂材料整体性好，涂层无接缝，外表美观，结构实用。

随着粘弹性材料的应用越来越广泛，人们对粘弹性材料性能的研究也愈发深入，从软件模拟、断裂破坏和微观性能等不同方面进行了分析。卫延斌等通过数值拟合方法与应力松弛原理，描述了粘弹性材料的性能。唐少炎通过分析粘弹性材料动态压缩试验的压力、变形及加载和卸载速度，绘制了材料的应力应变曲线，证实了粘弹性材料加载与卸载曲线不重合，是因为材料内部的黏性即内阻的作用。

总而言之，聚脲是新一代的隧道防水防护材料，不但使传统塑料防水板应用中的不足之处得到克服，而且使隧道渗漏的背水面治理多了一种新方法。与其他的隧道防水技术相比，喷涂聚脲技术具有独特的优点，近年来发展迅猛，以后的应用会越来越广泛[6]。

4. 案例——磁器口水下隧道防水

重庆市嘉陵江磁井段市政道路工程项目起点位于沙坪坝区高家花园大桥桥头，终点向北延伸至沙坪坝区的区界处，它的建设能将井口、双碑和磁器口串联起来。磁器口主线隧道是该工程的关键节点。水下隧道接缝处防水处理是防水的关键环节，很多已建隧道渗漏都在接缝处发生，施工缝防水一般采用中埋式钢边橡胶止水带，伸缩缝采用遇水膨胀橡胶止水带。磁器口水下隧道主要防水技术如下：

1) 混凝土自防水。采用高性能混凝土，即选用强度等级 $\geq 42.5\text{ MPa}$ 的 PI 或 PII 型水泥及坚固耐久、级配合格、粒形良好的洁净骨料为原料，添加优质粉煤灰(\geq II 级灰)、矿渣微粉(\geq S95)等复合超细矿物掺和料配制成以耐久性为重点的 C40 高性能混凝土。同时通过添加高效减水剂、具有控制裂缝展开功效的纤维抗裂膨胀防水剂，限制胶凝材料用量。混凝土原材料中引入的水溶氯离子总量不超过胶凝材料重的 0.1%。严格规定混凝土中的含碱量，防止碱发生集料反应；加强养护等措施，来控制混凝土初期开裂与收缩裂缝，以确保结构混凝土自防水性能[7]。

2) 伸缩缝防水。磁器口隧道伸缩缝的设置为 20~40 m 不等，伸缩缝处接缝防水采用多道防水设计，设置中埋式止水带、外贴式止水带、嵌缝密封胶构成封闭体系。中埋式止水带于顶板、底板、侧墙中兜绕形成封闭圈，外贴式止水带设置于底板素混凝土垫层上，并沿侧墙模板上翻至顶板，与顶板面嵌缝密封胶相接，从而构成又一封闭圈。在外贴式止水带和中埋式止水带之间采用遇水膨胀止水条和嵌缝膏进行填塞。使其增设伸缩缝的防水性[2]。

3) 施工缝防水。明挖段隧道施工缝分为水平施工缝和纵向施工缝,施工缝采用多道防水设计,设置中埋式钢边止水带及单组份聚氨酯膨胀密封胶,外侧设置柔性防水层加强层进行连接及防水。

4) 设置后浇带控制混凝土收缩开裂考虑到隧道伸缩缝的距离较长,在每一段隧道中段设置宽度为 1 m 的后浇带,后浇带钢筋设置和施工缝止水带[1]设置与普通施工缝相同,目的是减少第一次浇筑的混凝土的收缩。当后浇缝两侧混凝土龄期达到 6 星期后,可以对其施工,施工前要将接缝处混凝土凿毛,清洗干净、保持湿润,并刷水泥净浆。后浇带应用补偿收缩混凝土浇筑,强度等级 C40 防水混凝土。后浇筑混凝土的养护时间不得少于 28 天,在相邻伸缩缝中间设置,且贯通整个隧道[7]。

5. 结语

隧道的防水工程往往是隧道建设项目当中暴露出最多的问题,也是这当中最薄弱的环节。防水技术是否合格,防水工程是否到位会直接影响到隧道的使用寿命,同时也关系到隧道的整体质量以及行车安全。隧道渗水问题的产生往往是多种因素共同作用的结果,这就需要工程技术人员在施工之前进行全面、具体的勘察和分析工作。防水技术固然很多,包括且不限于本文提到的变形缝防水、衬砌自防水、喷涂聚脲防水等技术。工程人员宜谨慎选择,合理采用。在满足防水需求的同时,力求减小金钱消耗,使项目建设更加经济合理。

基金项目

广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2021KY0265);广西研究生教育创新计划项目(YCBZ2022117)。

参考文献

- [1] 林朋飞,李振东.隧道渗水原因分析及整治措施[C]//2019年全国土木工程施工技术交流会暨《施工技术》2019年理事会年会论文集(下册).北京:施工技术杂志社,2019:256-257.
- [2] 吴智.浅埋暗挖技术在地铁隧道工程中的应用[J].中国高新技术企业,2017(12):81-82.
- [3] 邱文利.现代隧道防水防渗漏技术与方法[J].交通世界,2016(12):68-69.
- [4] 刘斌.隧道防水的施工要点分析[J].科技创新与应用,2017(3):229.
- [5] 吴银河.城市轨道交通盾构隧道防水措施探讨[J].山西建筑,2017,43(12):172-174.
- [6] 冯艳珠,黄微波,梁龙强,张晓丽.地铁隧道的防水工艺以及喷涂聚脲技术的应用[J].上海涂料,2016(1):32-36.
- [7] 张敬天.磁器口水下明挖隧道防水技术研讨[J].重庆建筑.2016,15(2):46-48.