

隧道工程中的防水排水技术创新与实践

刘子硕

中交一公局集团有限公司 北京 102205

【摘要】本文对隧道防水排水的重要性及其构建原理进行了深入分析，重点研究了“防、排、截、堵”四位一体的防水排水施工技术，并针对施工过程中可能出现的问题提出了预防和处理措施。研究结果表明，本项目根据具体实际情况，提出了一套综合性的防水排水方案，实现了良好的防水效果，为类似工程提供了宝贵的参考。

【关键词】隧道工程；常规防排水系统；复合式防排水系统；渗漏水

1 引言

1.1 隧洞渗漏对工程的影响及影响

隧道渗漏现象在隧道工程中普遍存在，对隧道的耐久性、安全性和正常使用性能产生了显著影响。其主要危害包括：首先，渗漏现象对建筑物的安全性具有显著影响。一方面，衬砌结构受损：长期的渗漏会导致衬砌内部钢筋腐蚀，影响其承载力和耐久性，严重时可能导致衬砌出现裂缝甚至坍塌^[1]，威胁到隧道整体的稳定性。此外，衬砌的损坏还会导致结构的变形，进而影响到整个建筑物的结构安全。另一方面，围岩稳定性降低：地下水的渗入会改变围岩的物理力学特性，导致围岩软化、膨胀或收缩，进而引起围岩不稳定^[2]，增加塌方的风险。

此外，围岩的不稳定还可能导致周边建筑物的沉降，对周边环境造成影响。其次，渗漏现象对生产运行安全构成威胁。一方面，驾驶安全隐患：若未采取有效排水措施，地面积水将形成水洼，导致路面滑溜，降低汽车行驶稳定性和制动效果，增加交通事故发生的风险，特别是在复杂弯道和坡道上^[3]。另一方面，电力设施失效：由于电力控制装置设置在地下空间，渗漏的水流易侵入电力接触电网，导致短路、绝缘损坏等问题，这不仅会对车辆电力供应产生不利影响，还可能造成人身伤害和火灾。此外，电力设施的损坏还可能导致整个电力系统的不稳定，影响到其他设备的正常运行。

最后，季节性病害加剧：在冬季，渗漏水量增多，容易在隧道内结冰，形成冰碴，这不仅降低了隧道的净高，还加速了隧道的冻胀和开裂。此外，冰碴的存在还可能对过往车辆造成损害。其次，渗漏现象对维修费用和相关费用的影响进行了分析。一方面，频繁的检修与维护：渗漏导致排水、除冰、修理等作业频繁^[4]，显著提高了运行和检修成本。另一方面，服役年限降低：渗漏缩短了工程的使用

年限，降低了工程建设周期，给工程建设带来了巨大的经济损失。此外，频繁的维修还可能导致施工效率的降低，影响到整个工程的进度。

1.2 隧洞施工中的防水措施的意义

隧道防渗工作至关重要，其重要性体现在以下几个方面：首先，确保建筑物的安全与稳定至关重要。由于隧道穿越多种地质环境，地下水流动可能导致围岩稳定性受损，渗透压力增大，进而引发衬砌开裂、剥落乃至坍塌等严重安全事故^[5]。通过恰当的防渗措施，可以降低地下水位，减轻地下水对周边环境的影响，确保主要建筑物的安全无虞。其次，预防衬砌遭受冲蚀损伤亦不可忽视。渗漏水对衬砌混凝土的劣化作用以及钢筋的锈蚀，均会对衬砌的完整性和承载能力产生负面影响。采用防水板、排水设施（例如盲沟、中央排水管）以及排水孔等手段，能够有效阻止水分渗入衬砌内部，从而避免长期浸蚀造成的损害。第三，降低施工成本和施工风险亦是防渗工作的重要目标。施工过程中若处理不当，可能导致工期延误、返工和维修等问题，从而增加费用和 risk。基于此，本文提出了一种新的防治策略，即在确保安全的前提下，实施有效的防治措施。

2 号线地下管线的组合防渗体系的设计

隧道防排水设计遵循“防排截堵”相结合的原则，依据具体环境条件，综合考量，确保排水系统畅通无阻，防水措施可靠有效，经济性合理，并且避免未来可能出现的问题。在地下工程中，防水体系是核心设计要素，其损坏可能导致路面滑移，对行车安全构成严重威胁，同时亦可能引起地下电网短路和漏电问题，因此，防水体系的正常运作对于工程安全具有至关重要的意义。山岭隧道通常采用“以堵为主，限量排水”的“半包半排”防排水策略。通过实地调查，对工程中出现的盲管堵塞、防水板破裂等

常见问题进行了详细统计。基于现有防排水体系存在的不足,提出了在现有体系基础上增加防水板和二层衬砌的复合防排水体系,旨在减少工程中渗漏水问题的发生率,为隧道工程的渗漏水防治工作提供理论和技术支持,确保隧道结构的稳定性和行车安全。

2.1 普通的隧洞排水控制体系

随着我国地下交通建设的迅猛发展,运营过程中频繁出现各类裂缝、渗漏以及衬砌脱空等问题,尤其是衬砌渗漏问题较为普遍。为有效应对隧道渗漏问题并提升防治措施,国家相关部门已实施了相应的防护措施。在我国,山岭隧道的建设普遍遵循“防排堵相结合”的原则。针对地质条件不佳的区域,工程团队会综合运用防渗、排水和堵水的策略,并借助地质雷达等尖端探测技术,对隧道开挖面的岩石状况进行预测。此外,通过一系列措施,如超前灌浆、后续支护、临时防水、盲管排水、防水层以及二次衬砌等,构建起一个完整的防排水系统。对于山岭隧道而言,除非存在特殊的环境保护要求,通常会依据综合设计图进行施工。本项目计划采用一种由防水板、无纺土工布、环向排水盲管、纵向盲管、横向盲管以及中心排水沟组成的“半包半排”型防渗结构。这种结构设计旨在通过多重防护措施,确保隧道内部的干燥和稳定,减少因水害导致的结构损害和运营风险。同时,该方案也考虑到了施工的便捷性和经济性,力求在保证工程质量的同时,降低工程成本,提高施工效率。此外,该防渗结构还具备一定的适应性,能够应对不同地质条件下的挑战,确保隧道在各种复杂环境中的长期稳定运行。

2.1.1 屋面结构的防渗

防渗技术主要包括以下几方面:首先,运用地质雷达等多种探测手段对开挖面的岩体进行预测;其次,采用超前灌浆技术,以增强岩体的力学性能并减少渗漏量;最后,挡水板能够阻止地下水渗透至二衬里,从而实现二层墙体的自我防渗。具体措施如下:

(1) 运用地质雷达等手段对开挖面前的地质状况进行监测,并结合超前地质预报、TSP、红外探水、超前钻孔等技术对开挖面前的地质和涌水进行预测。

(2) 超前灌浆技术能有效解决开挖后巷道周边的涌水和渗漏问题,进而提升隧道施工的安全性。对于断层和节理裂隙带,可采用灌浆方法进行止水。灌浆材料包括常规单液泥浆和具有优良渗透性能、遇水膨胀性能的化学泥浆。在局部软弱岩体区域,通过超前(或整段)灌浆,在其周边构筑灌浆环,封堵导水裂缝和突水空间。预压灌浆

结束后,利用环形灌浆管对地层中的水进行注浆止水,并对裂缝进行封堵,从而减少涌水量。

(3) 在初期支护中,一般使用不渗透式喷射砼,喷射砼要压紧,要符合设计要求,表面要光滑,要按具体的工程情况来决定其防渗程度。

(4) 预先埋设在隧道变形缝和施工缝中的止水(条),混凝土浇注时与之形成整体,可避免隧道接缝渗漏,并具有减震、缓冲等功能,确保隧道工程的防水性能。止水(条)是隧道复杂衬砌施工过程中的常见工序,其位置多分布在明洞与暗洞交接部位、衬砌类型多变的变形节点以及二次衬砌施工缝等部位,这些往往是衬砌结构最脆弱的部位。由于止水管(带)的简单工序和工艺,其设置和状况与设计图的偏差可能造成安全隐患。

(5) 二次衬砌采用不透水的砼,其抗渗程度根据实际要求确定,二衬厚度一般不少于300 mm。浇筑过程中,必须确保无停顿,并对进入模具的塌陷和温度进行控制,以防止因温度变化和干燥导致的不良后果。

2.1.2 排水管网的布置

(1) 环形排污管道。在初期支护与土工织物之间设置环形暗沟,用以收集初期支护表层的渗漏,并将渗漏物集中排放至纵排盲孔内。环向盲管通常为管径50毫米的柔性可渗透管道,其环向间距一般为10米。在工程附近,若隧道上部存在大量渗漏,导致径流形成,则可将环向盲管间距加密至1.0~3.0米。若工程场地渗漏较少或无渗漏,则可适当增加间距或省略环向排水盲管。

(2) 纵流盲板。纵排盲管为隧洞中布置在拱脚处的PVC波纹管,沿隧洞纵长方向设置,长度通常为100毫米,其上方设有开孔,便于抽取地下水。隧洞的两个拱脚部位设有竖直暗渠,该暗渠沿线路走向具有一定的坡度,通常与隧洞斜坡等高,坡度不低于0.3%,设置于素砼地基上,并在地基上部及邻近岩石边铺设砾石层,作为反过滤措施。在该工程中,竖直排水盲管上部设有众多渗水孔,渗水孔与排水垫排出的地下水流经渗水孔后,汇入竖向排水盲管,再经横排排水管排放。所述的纵向排污盲管与环向排污盲管通过连接处相连。

(3) 侧向排水盲管,其布置方向与地道轴线垂直,设置于人行道下方,将采集的地下水流引入中心排水渠。其材料一般为硬塑料管或聚氯乙烯波纹管,直径通常为100毫米,间距为25米,斜度为1~3度。

(4) 中央排水渠。雨水经过上述管道集中至中央排水渠,最终排放至洞穴外。中央排水渠是整个地下水道系统

的最后一道工序。中央排水沟主要由PVC波纹管或带有孔洞的预制钢筋砼管道组成,直径一般为40-50厘米,与道路相同,设置于水泥地基上,覆盖200 g/m²的土工布,再覆盖一层级配砂石。

2.2 组合防水体系的结构与性能

在当前实施的隧道排水工程实践中,需注意到防水板与二次衬砌之间并没有设置泄水孔。这种设计上的缺失,一旦发生泄水情况,将会使得二次衬砌承受额外的压力,从而可能引起衬砌的开裂以及结构的变形。这种情况对隧道的安全运行构成了极大的威胁,并且会显著提高后续隧道漏水防治工作的难度。针对这一问题,本项目提出了一个创新的解决方案,即在二次衬砌中增设排水板的组合防渗体系。这个方案是基于对地下水位的深入分析而设计的,地下水位通常在2到5米之间。排水板的安装方式类似于环形盲管,确保了其在实际应用中的高效性。为了防止在二次衬砌施工过程中混凝土砂浆渗入排水板,特别设计了排水板的端部插入预先设置的带沟槽的纵盲管中,确保埋入深度不超过50毫米。此外,为了进一步保证排水系统的密封性,沟槽接缝处使用了结构胶进行密封处理。为了确保衬砌后方排水系统的长期有效运行,并便于未来的检修工作,在沟槽内设置了专门的养护连接件,并且养护连接处采用螺栓进行封闭。通过三通管路将带缝的纵盲管与原有的纵流盲管连接起来,从而构成一个统一且高效的排水系统。

在地下水流动的过程中,当它遇到挡水板时,能够顺利地流入挡土墙后面的排水板中。随后,这些水分会通过带有沟槽的纵盲管被排出,而这些纵盲管与已经存在的纵盲管通过三通接头巧妙地连接在一起。这样,雨水最终能够顺畅地流入中心排水沟中。与传统的防渗措施相比,本方案在遇到漏水问题时,能够通过衬砌后方的排水通路进行有效的封闭处理,这大大减少了现有处理方法的复杂性和成本。除此之外,在工程建设的阶段,可以根据当地的水文地质条件来选择最合适的断面布局,并且可以对排水板的设置间隔进行适当的调整,以适应不同的环境需求。在运行过程中,如果发现长直管段出现了堵塞的情况,可以从检修口伸出高压喷管,利用高压水枪进行彻底的冲洗。维修工作完成后,只需旋紧螺钉即可。因此,本发明的防渗体系不仅具备可调整性,还具有不易淤积、便于维修等显著优点。

3 防排方案存在的问题及预防对策

首先,对泄漏隐患的问题进行讨论。在屋面漏水的众

多原因中,防水材料的质量问题、施工技术的不规范操作以及排水系统设计的不完善是主要因素。这些问题在地下工程中尤为突出,因为漏水不仅严重威胁到工程的正常运行,还潜藏着重大的安全隐患。因此,在整个工程建设过程中,我们必须对防渗体的质量进行严格把控,并确保所使用的建筑材料质量稳定可靠。在此过程中,应加强工程技术管理,以确保工程质量,避免因质量问题导致的漏水现象。

其次,对水体污染的防治问题进行讨论。地面积水产生的原因多为排水不当或设计不合理。因此,在工程建设过程中,必须合理布置建筑物内的排水设施,确保水体能够顺畅排出,避免积水和污染。同时,应对排水系统进行定期的清洗和维护,以防止泥沙淤积和堵塞,确保排水系统的畅通无阻,从而有效防治水体污染。

最后,对裂纹产生的问题进行讨论。裂纹的特点包括防水层开裂和混凝土开裂等。为了解决这些问题,必须在工程建设过程中严格执行工程质量管理,确保各个阶段均满足设计要求。此外,应做好日常养护工作,对存在的问题进行定期检测与维修,以便及时发现并排除潜在隐患,确保建筑物的结构安全和使用寿命。

4 结束语

在高速公路隧道建设过程中,防排水工作至关重要。因此,必须从工程设计、施工、运营维护、科学研究等多个方面着手,确保防渗工程的安全、稳定、高效运行。展望未来发展趋势,我国公路隧道建设必须重视排水防治的建设与管理,并积极研究与之相适应的新技术与新方法。

参考文献:

- [1]周治强.隧道防水板自动焊接台车技术的应用[J].石材,2023,(12):37-39.
- [2]高明.浅论高速铁路隧道防排水质量控制[J].中国住宅设施,2023(12):157-159.
- [3]聂茂山.高速公路隧道新型PE板防排水施工技术控制[J].价值工程,2023,42(16):88-91.
- [4]王星,贺维国,费曼利,等.超大跨度隧道结构防排水设计与施工技术研究[J].隧道建设(中英文),2022,42(07):1267-1273.
- [5]熊芸浩.复合式隧道防排水系统的设计与试验[J].四川水泥,2022(06):224-225+228.

作者简介:刘子硕(1992.7—),男,汉族,北京人,工程师,本科,研究方向为土木工程、工程管理。