

# Application of grouting foundation seepage prevention technology in water conservancy projects

Chao Duan

SINOHYDRO BUREAU 7 CO., Ltd., Chengdu, Sichuan, 611130, China

## Abstract

In water conservancy projects, hydraulic tunnels serve critical functions including water conveyance, flood discharge, and dispatching. Their foundation seepage prevention treatment directly impacts structural safety and engineering durability. Currently, grouting technology widely applied in hydraulic tunnel seepage control effectively enhances structural stability, improves surrounding rock integrity, and reduces permeability coefficients. Based on typical Chinese water conservancy practices, this paper first systematically analyzes the preparatory work for grouting-based foundation seepage prevention in hydraulic tunnels. It then explores key aspects of backfilling and consolidation grouting techniques through practical operational considerations, aiming to promote standardized and refined development of hydraulic tunnel seepage control construction.

## Keywords

water conservancy projects; hydraulic tunnels; grouting foundation; seepage prevention technology; backfilling; consolidation; application

# 水工隧洞灌浆基础防渗处理技术在水利工程中的应用

段超

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川·成都 611130

## 摘要

水利工程运行里, 水工隧洞肩负着输水、泄洪与调度等重要职能, 其基础防渗处理对结构安全和工程耐久性有着直接关联。现阶段, 水工隧洞防渗中广泛应用的灌浆技术, 可有效增强结构稳定性、提升围岩整体性以及降低渗透系数。文章在我国典型水利工程实践下, 首先针对水工隧洞灌浆基础防渗处理系统地剖析其准备工作, 接着结合实际操作重点探讨该技术应用中隧洞回填与固结灌浆的要点, 以期推动水工隧洞防渗施工朝着规范化与精细化方向发展。

## 关键词

水利工程; 水工隧洞; 灌浆基础; 防渗处理技术; 回填; 固结; 应用

## 1 引言

随着我国水利事业不断发展, 新建水利工程数量不断增多。水利工程具有施工环境复杂、工程量大、施工难度高等特点, 如何保证水利工程基础性能是需要重点关注的问题。水工隧洞基础防渗处理技术在水利工程中的应用, 可以有效提升隧洞回填质量、基础整体性能。因此, 全面加强水工隧洞灌浆基础防渗处理的研究工作有着重要意义。

## 2 水工隧洞灌浆基础防渗处理技术概述

水工隧洞灌浆基础防渗处理技术是指隧洞回填、固结灌浆的总称, 其通过水泥、砂子、粘土、水等制作成水泥砂浆, 并通过打孔、灌浆等工艺, 砂浆打入到孔洞中, 填补结构内部缝隙, 起到防渗作用<sup>[1]</sup>。应用该项技术可以防止水工

隧洞跑漏问题, 填补隧洞结构缝隙, 提高防渗性能和抗渗性。此外, 所配置的砂浆要比隧洞本体强度更高, 将砂浆打入隧洞内部后可以起到加固作用, 减少渗漏等病害发生率。

## 3 水工隧洞灌浆基础防渗处理准备

### 3.1 地质与水文条件详查

在开展隧洞灌浆基础防渗处理之前, 必须对洞身围岩及基础部位的地质条件进行细致勘察。主要包括岩层产状、节理裂隙分布、断层破碎带位置及规模等, 同时结合地下水埋深、流向与渗透系数进行综合分析。通过钻探、物探及水压试验等手段, 获取围岩透水性及软弱夹层发育特征, 为后续确定灌浆区段与浆液配比提供精确依据。对渗漏集中区及潜在渗流通道的识别, 是制定合理防渗方案的前提。

### 3.2 施工场地布置与供浆系统规划

施工场地要科学布置, 以此确保灌浆作业具备连续性与高效性, 先将灌浆站设置在交通便利且供电(供水)可靠

【作者简介】段超(1987-), 男, 中国四川乐山人, 本科, 工程师, 从事水利水电工程施工技术及管理研究。

的地方,要预留出浆液储存以及搅拌的区域。按照隧洞轴线对浆液输送管线进行布设,并注意减少弯折与阻力以保障压力稳定。高压泵送设备须试运行确保工况良好,配备备用系统确保灌浆作业连续性,以避免对隧洞防渗效果产生影响。通风设备、照明系统以及排水沟等施工辅助设施必须按施工方案提前安排妥当,以此保证隧洞施工环境符合安全与工艺方面的要求<sup>[1]</sup>。

## 4 水工隧洞灌浆基础防渗处理技术在水利工程中的应用

### 4.1 隧洞回填

#### 4.1.1 回填料选择与配制控制

水工隧洞开展回填作业时,选择回填料对防渗成效而言有着决定性的意义。回填料一般为水泥基浆液、粉煤灰浆液亦或是由掺合剂改性的浆液,之后结合围岩渗透性及裂隙特征展开针对性选配。需严格把控浆液配比里的水灰比及外加剂掺量,一方面确保其具备良好流动性以在裂隙里均匀扩散,另一方面保证凝结之后浆液拥有较高的抗渗性与稳定性。此外,浆液性能的验证还需要借助室内流动度、凝结时间以及抗压强度等多种试验开展。施工前必须依据分区试验结果以及不同围岩区域对浆液稳定性的要求确定最终配比。在回填料的制备进程里,要运用高效的搅拌装置以保证浆液具备均匀性以及避免出现分层或者离析现象,如此一来确保回填之后可形成致密性防渗层。

#### 4.1.2 回填区域划分与分段实施

回填区域在水工隧洞回填施工中的划分需依据围岩地质条件进行,通常依据其透水性、结构完整性可划分成低渗透区、中等渗透区及高渗透区,它们施工时回填压力与浆液参数各有不同。一般以分段回填方式进行施工,每段长度要依据洞身断面大小与裂隙发育程度合理加以确定,从而使浆液在限定范围内充分扩散开来进而形成封闭防渗屏障。同时相邻分段间施工应维持一定搭接,防止渗流通道形成。回填过程里要对浆液压力和注入量实时监测,一旦有超压或者回流情况出现需即刻调整工艺参数以避免围岩产生全新的破坏面。通过分段实施既提升了回填施工的均匀性,而且可有效控制浆液消耗,最终保证水工隧洞基础防渗处理达到要求。

#### 4.1.3 压力控制与注浆顺序优化

在水工隧洞开展回填注浆作业时,其压力控制应依据围岩结构特性以及渗透性能开展,具体为:采取“低压起注、分级加压”工艺,简单而言初始阶段时把压力控制到裂隙临界扩张压力以下,让浆液缓慢沿原有裂隙及孔隙渗透并充填,接着结合注浆扩散效果逐步提高压力一直达到设计终压。整体性较好的坚硬岩层,可适当提高终压来扩大渗透半径,而断层破碎带或富水裂隙段要严格限制峰值压力以避免浆液冲刷扩展裂隙<sup>[3]</sup>。注浆顺序上要遵循“先洞底后洞顶,

先两侧后中部”这一原则,即先对洞底位置进行处理,目的是避免浆液在重力作用向下流失,之后再逐步推进到洞顶从而形成从下往上的封闭充填。在中部注浆开展前先完成侧壁加固工作,从而让浆液在围岩里的扩散状态更为均匀。针对局部渗漏集中区须布设加密钻孔,以小间距注浆或补强孔注浆方式结合流量异常状况施行阶段性停注和再注,防止浆液出现外泄。回填注浆全过程需凭借压力和流量参数监测,对注浆强度、间歇时间以及单孔终压展开实时调整,以保证浆液扩散路径可控及防治非均匀渗透情况出现,最终形成稳定且连续的水工隧洞基础防渗帷幕。

#### 4.1.4 质量检验与补充加固措施

须在回填完成后对施工质量展开系统检验,目的在于确认防渗层是否符合设计要求。评估灌浆质量时常用的方法有渗流观测、钻孔复查与压水试验等,借助它们检测回填体的致密度、渗透系数来达成评估。若检验结果表明局部有渗透性偏高的区域,或者存在浆液扩散不足的情况,那么必须马上进行补充加固灌浆作业。通常以细粒径浆液或化学浆液进行补充加固灌浆,以此强化封堵能力与渗透性控制成效。另外,针对质量检验所发现如不均匀沉降、围岩松动等问题可采取加密回填增加衬砌结合等补充加固综合措施,从而确保水工隧洞整体的稳定与防渗性能。

### 4.2 固结灌浆

#### 4.2.1 钻孔布置与加密原则

固结灌浆前要依据围岩完整性以及裂隙分布特征针对钻孔布置展开精细设计,为确保浆液在不同方向能达成均匀覆盖通常运用梅花形或者交错形的布孔方式,接着依据围岩透水性分区对孔距与孔深作出调整,而高渗透区孔距适度缩短且把孔深加深,从而增强浆液填充的致密性。针对断层破碎带或溶蚀发育区域采取加密布孔以实现渗流通道有效控制,即借助增加孔数以及缩小间距的方式可确保浆液的全面充填。为及时修正布孔设计,在钻孔完成之后要开展压水试验以明确围岩透水率的变化情况。在整个布孔流程当中,衬砌结构和布孔之间的相互关系须纳入考量范围,防止由于孔位设置不合理对结构的稳定性造成不良影响。

#### 4.2.2 浆液性能优化与分级配比

水工隧洞灌浆基础所用固结浆液须具备良好的力学强度、抗渗性以及可灌性,为此可依据围岩渗透等级选用普通水泥浆液、双液浆液,或是掺加减水剂与膨胀剂的复合浆液,具体配比时按照“低水灰比、高稳定性”原则开展,在保证浆液充分渗透进孔隙同时,确保固结之后形成致密结构。分级配比作为固结灌浆重要环节,简单而言施工时先以稀浆预注以使其得以顺利流入细微裂隙,接着逐渐提高浆液浓度,从而提升填充体的整体强度<sup>[4]</sup>。另外,针对隧洞不同区域固结浆液配比须经现场与室内试验获取出它们的最佳配比参数,同时浆液制备期间需进行连续搅拌避免出现沉淀以及分层状况,以此保证注入浆液的性能达到均一旦稳定的效果。

#### 4.2.3 注浆压力控制与分序施工

水工隧洞的固结灌浆施工里注浆压力控制与浆液有效扩散范围及裂隙充填质量密切相关,通常控制时采取分级递进式加压,简单而言初始阶段以低压缓慢注入,这样能让浆液在没有受到扰动的情况下优先进入细微结构面及闭合度比较高的次生裂隙当中,接着将注浆压力逐渐增加到设计压力,达到对较大孔隙以及开放性裂隙的有效充填。面对完整且坚硬的岩体时可适度把控制压力曲线提升到设计上限,以此确保浆液在高强度岩体中的渗透性;面对分布有破碎带或者软弱夹层的区域时注浆压力通常采取逐段小幅升压且保持稳压注入,同时压力上限应严格限定,防止由于瞬时超压导致裂隙膨胀扩展或者造成围岩不稳定现象产生。此外,压力控制还应结合流量实时监测,如监测到流量骤增或者回流异常状况出现时,必须即刻调整注浆速率或者降低压力,从而保持稳定的渗透—充填平衡。分序施工环节需遵循“外围控制、核心加固,先深后浅、由下而上”这一原则,以构建起纵向与环向均保持均衡状态的防渗体系。具体而言,隧洞固结灌浆时在隧洞围岩的外围部位布置边界孔,并开展外围帷幕注浆作业以构建起封闭圈层,接着按顺序朝核心区域逐步推进,从而完成从外向内的逐层渗透密实。纵向分序固结灌浆时要优先针对洞底以及侧墙的下部展开注浆,以此确保下部的止水完整,而后向上以分层的形式开展逐段加密注浆,从而防止浆液出现下渗流失的情况。

#### 4.2.4 灌浆过程监测与参数调整

为保证水工隧洞灌浆基础防渗处理效果,应针对固结灌浆过程中注浆压力、流量、浆液消耗量与扩散时间等开展实时监测及记录,随后利用所获数据与对比设计参数对比,从而判断浆液有无渗漏或堵塞或者扩散是否均匀。若监测到注浆压力不断上升初步判断孔隙已基本填满,随后可适时停止注浆。而如果监测到反常回流,应降低压力并排查渗漏位置<sup>[5]</sup>。面对地质条件复杂水工隧洞时,需设立试验段并依据监测数据实时对注浆工艺和浆液配比等参数进行动态调整,以避免因注浆不当致使围岩抬动或者衬砌变形情况的发生,从而最大限度保障固结灌浆施工质量。

#### 4.2.5 灌后检查与补强措施

须在固结灌浆完成后开展系统性检查,以保障施工效果。固结灌浆后检查通常以钻孔取芯、压水试验或者声波检测等手段开展,凭借对固结体的抗渗性与致密性展开测试进而评估灌浆效果。若检查结果表明局部区域浆液扩散欠佳或者渗透性依旧较强,那么就必须要开展补强灌浆工作。同时还须重点检查衬砌结构及围岩的结合面,要是出现结合不密实的状况,又或者有孔隙残留的现象,同样需要马上开展局部加固补强工作。一般情况下,补强措施多以细粒浆液或化学浆液对原灌浆未覆盖的裂隙通道进行弥补。另外,还应开展灌后长期监测,借助对衬砌受力、围岩变形以及渗流量的监测能够及时察觉潜在隐患,并第一时间进行补强,从而保障隧洞整体防渗体系的可靠性与稳定性。

### 5 结语

综上所述,作为水利工程中重要组成部分,水工隧洞灌浆基础防渗处理是否科学规范对工程运行的安全与耐久性有着直接关联。为此,上文通过对灌浆施工准备、隧洞回填及固结灌浆等关键技术环节展开系统性阐述,它们都必须结合地质条件实施针对性设计与动态调整,从而最大限度地保证水工隧洞基础防渗体系能够充分发挥效能。未来,在水利工程技术与建设标准不断更新背景下,水工隧洞灌浆基础防渗处理技术将朝着更加精细化、智能化和绿色化的方向发展。

#### 参考文献

- [1] 申准伟.水工隧洞灌浆基础防渗处理技术在水利工程中的应用价值探讨[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2024(003):000.
- [2] 尹广平.水工隧洞灌浆基础防渗处理技术在水利工程中的应用研究[J].工程管理, 2024(6).
- [3] 廖海燕.灌浆材料在水工隧洞施工中的应用效果与质量控制[J].水利电力技术与应用, 2025(8).
- [4] 张新.水工隧洞灌浆施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版), 2024(002):000.
- [5] 周琨,聂鹏.水利防渗工程中灌浆施工技术工艺的运用探析[J]. 2024(20):189-191.