

灌浆施工技术在水利工程隧洞回填中的应用研究

李建

广东粤海粤西供水有限公司, 广东 湛江 524000

[摘要] 水利工程隧洞施工质量直接影响着工程的安全和使用效益。随着我国水利事业的蓬勃发展, 隧洞施工技术如何进一步提高质量的问题引起了广泛关注。作为水利工程隧洞施工中重要的一环, 回填灌浆施工技术的应用直接决定着隧洞结构的防渗性能。然而, 隧洞回填灌浆施工环节操作复杂, 由于隧洞回填灌浆施工容易受外界因素影响, 容易造成渗漏问题。因此, 如何提高水利工程隧洞项目中的回填灌浆施工质量已经成为一个当务之急需要解决的问题。针对这一问题, 文中将对隧洞回填灌浆施工技术现状进行调研, 分析影响质量的主要因素, 探讨优化工艺的对策, 以其为提高隧洞回填灌浆施工质量和水利工程隧洞整体施工水平提供参考。此外, 还将研究隧洞回填灌浆施工管理模式的创新, 旨在为我国水利工程隧洞质量把关和工程安全提供技术支持。

[关键词] 水利工程; 隧洞回填; 灌浆施工; 施工技术; 隧洞施工

DOI: 10.33142/hst.v7i8.13155

中图分类号: TV543.8

文献标识码: A

Research on Application of Grouting Construction Technology in Backfilling of Water Conservancy Engineering Tunnels

LI Jian

Guangdong Yuehai Yuexi Water Supply Co., Ltd., Zhanjiang, Guangdong, 524000, China

Abstract: The construction quality of water conservancy engineering tunnels directly affects the safety and efficiency of the project. With the vigorous development of Chinese water conservancy industry, the issue of how to further improve the quality of tunnel construction technology has attracted widespread attention. As an important part of water conservancy engineering tunnel construction, the application of backfill grouting construction technology directly determines the anti-seepage performance of the tunnel structure. However, the operation of tunnel backfill grouting construction is complex, and due to the susceptibility of tunnel backfill grouting construction to external factors, it is easy to cause leakage problems. Therefore, how to improve the quality of backfill grouting construction in water conservancy engineering tunnel projects has become an urgent problem that needs to be solved. In response to this issue, the article will conduct research on the current status of tunnel backfill grouting construction technology, analyze the main factors affecting quality, and explore strategies for optimizing the process, in order to provide reference for improving the quality of tunnel backfill grouting construction and the overall construction level of water conservancy engineering tunnels. In addition, innovation in the management mode of tunnel backfill grouting construction will be studied, aiming to provide technical support for quality control and engineering safety of water conservancy engineering tunnels in China.

Keywords: water conservancy engineering; tunnel backfilling; grouting construction; construction technology; tunnel construction

引言

本文将具体工程案例, 通过对其隧洞施工情况的梳理, 剖析影响隧洞回填灌浆质量的主要因素。同时, 本文将研究常用的隧洞回填灌浆技术流程, 对比分析不同工艺参数下的施工效果。以此为重点, 探讨改进隧洞回填灌浆质量的技术途径, 旨在为我国水利工程隧洞项目提供技术支持和借鉴经验。本研究意在优化隧洞回填灌浆施工工艺, 提高隧洞防渗水利和稳定性, 为我国水利事业的发展服务。

1 水利工程隧洞回填灌浆施工技术概述

1.1 施工技术规范

水利工程隧洞回填灌浆施工需要严格按照技术流程进行。施工人员首先应根据衬砌混凝土强度达到设计值的70%为节点, 及时完成回填灌浆工作。根据地质条件, 回

填灌浆需要分区分段进行, 可首先从高危开始开展, 同一区段可以采取全面或局部完成钻孔后再灌浆, 也可以实施单孔分次灌浆。7天后启动固结灌浆, 如需进行帷幕灌浆, 还应继续保证固结灌浆施工质量。完成全部灌浆后, 立即封堵灌浆孔以待其自然凝固。同时, 必要部位需要提前埋设灌浆管, 如钢板段和双层钢筋段等, 以保证灌浆质量。回填浆孔与设计位置应控制在20cm以内, 钻孔深度需深入围岩10cm, 以实现好的灌浆效果。

1.2 灌浆处理方法

隧洞回填灌浆的处理方法取决于不同类型的围岩属性。对于类型 III 围岩, 隧洞空隙和小空腔可以采用稠度为0.5~0.6的水泥砂浆回填。如果空隙大, 也可以选择流态性能好的高流态混凝土。类型 IV 围岩的处理与 III

类似,但具体操作按施工要求执行。无论空腔高度是否超过 0.5m,都需要全面且密实回填。如果高度超过 0.5m,顶部回填厚度应大于 0.5m,且排除衬砌混凝土的厚度。类型 V 围岩空腔规模大,操作难度高,易出现倒塌事故。其回填方法分两种:一是如果混凝土浇筑前已经处理完成干砌块石洞段,则使用水泥砂浆回填;二是如果干砌块石洞段未处理,在砂浆回填的同时,还需合理控制好空腔尺寸,以确保安全施工。总之,隧洞灌浆工作需要结合不同类型围岩的特性,科学选择合理的回填材料和操作细节,全面且安全高效地完成工程要求。

1.3 施工注意事项

隧洞回填灌浆施工是一个系统工程,需要重视各项技术细节,以保证安全施工质量。首先,施工人员应通过分段方式对各压浆孔进行风或水试压,以验明压浆通畅情况。其次,为防止浆液外泄,每次压浆只开启一个压浆孔,并使用阻浆木塞进行堵塞。此外,工程应进行连续施工,一旦停工需要妥善堵塞各孔口并保持其内充满浆液,防止结构受损。如灌浆过程中出现浆液渗漏,施工人员需及时进行处理。常用方法包括:间歇灌浆逐段进行,表面封堵法密封渗透面,以及嵌缝法堵塞细小裂缝等。另外,可以适当降低压力,以缓解破裂程度。对于局部塌方区,建议提前埋设 UPVC 管道,便于实现该区回填灌浆的定向施工。总之,从试压验通、分步封堵、连续施工、及时处理异常,到局部专项处理,重点把关技术细节,方能保证隧洞回填灌浆工程的质量和安全性。

2 回填灌浆施工技术存在的问题及对策

回填灌浆技术在水利工程中的应用不乏问题,主要表现在技术人员素质、技术更新步伐和设备保障三个方面。这与我国水利行业长期以来重视施工而忽视后期管理有关。要解决这些问题,首先需要从提高技术人员素质和能力建设着手。一方面要加强专业培训,建立完善的职业标准和考评机制来激发主动精神;另一方面还可以通过培养骨干、利用社会化人才和引进国外专才等方式补充技术队伍。其次,必须加快技术创新步伐。除了加大研发投入,还应结合项目实际情况及时引进国外先进技术,并通过培训等方式培养操作人员的适应能力。同时也要增强设备保障能力。一是重视设备更新升级,二是做好设备管理和维护保养工作。最后,需要构建长效机制持续推进解决方案。如政府可以设立专项资金支持水利企业技改,高校给予指导帮助,企业重视技术传播和经验交流等。只有全面协同互动,才能深入解决回填灌浆技术在我国水利行业应用中的长效问题。

3 水利工程隧洞回填灌浆施工流程探究

首先是施工前的准备工作,主要检查混凝土结构表面是否有缺陷及潜在隐患会引起漏浆,同时验证灌浆设备是否齐全。然后进行布孔和钻孔工作。布孔需要根据施工

规划事先制定好位置,并且布设的孔口数量应大于实际需要灌浆孔的 5%。钻孔使用钻孔机深入岩层一定距离,以利浆液渗透。接下来是重要的冲洗环节。使用压缩空气或注水方法,对钻制的孔内进行清理,去除渣石积聚。而后才开始主体工序——灌浆施工。采取分段连续施工,每段控制在 30m 左右。利用砂浆机制作浆液,通过泵浆送至预埋的灌浆孔内。灌浆压力在 0.3MPa 以下,待孔口停止吸浆 10 分钟方结束。最后一步是封孔。使用干硬性砂浆回填灌浆孔,要求填充严实光滑,以保证结构整体强度。该流程分步执行,重视各细节,可保障隧洞回填灌浆质量和安全性。

4 水利工程隧洞回填灌浆施工案例分析

4.1 隧洞工程概况

这座省市重大水利项目将通过总干渠、干渠、支渠和供水专线,有效解决区域水资源短缺局面。工程规模宏大,总长约 500 多公里。主要建设项目包括:109.4 公里长的 1 条总干渠,总长度 145.4 公里的 3 条干渠,226.73 公里长的 17 条支渠,以及 28.4 公里长的 2 条城市供水专线。隧洞施工是工程重要组成部分之一。隧洞工程主要分为三个部分:第一个是隧洞 1#,该隧洞采用压力引水工法施工,属于压力隧洞类型。具有通水量大、地质条件复杂等特点。第二个是隧洞 2#,可能通过普通引水方式贯通。第三个是隧洞 3#,可能位于支渠或供水线路上,也可能通过普通掘进施工方式贯通。三个隧洞根据各自地质和功能特点,采用不同施工方法。共同目的是保证水资源安全高效运送。隧洞工程按规划顺利完成,将有利于解决区域水资源短缺,满足不同用水需求,推动区域经济社会可持续发展。

4.2 病害修复内容

4.2.1 隧洞 1#

隧洞 1#为承压结构,圆形断面直径 5.0m,总长 3012.8m,纵坡 1/1500。该隧洞存在部分断面渗水问题。施工人员将采用 BR-CE 型全断面浅孔浆液,在各渗水点前后 5m 进行回填灌浆,共 23 个渗水点,总灌浆长度 230m。此外,隧洞部分侧壁存在裂缝。工作人员将在裂缝前后 35m 范围使用 BR-CE 型浆液进行修补。同时,在裂缝处还将额外使用 5m 的 TPO 化学粘接止水带进行封堵,以防止渗漏。与此同时,由于温差导致的混凝土伸缩现象也出现在部分断面。施工团队计划利用 C30 环氧树脂砂浆来弥补这类小裂缝。总体来看,该隧洞存在一定泄漏和裂缝问题。工程队通过多种满射性措施来进行修补,如全断面浆液灌浆和化学封堵膜运用,从本质上缓解隧洞的渗漏隐患,确保水体长期安全通行。

4.2.2 隧洞 2#

隧洞 2#总长 3271.6m,内岩质地较为致密,以青灰、肉红色灰岩为主。洞宽 4.34m,高 4.6m,顶拱半径 3.07m,

纵坡 1/1500。该隧洞部分区域存在伸缩缝问题。施工队员将使用全断面 BR-CE 型浆液，在伸缩缝前后 5m 范围进行回填灌浆，总灌浆长度 10m。同时他们还需要清理出 400m 长度内的淤泥，以免造成渗漏。此外，隧洞个别断面还发现二衬层脱落或表层出现裂纹等情况。工作人员计划对这些区域进行全断面浆灌修补，修补长度定为 3m。针对裂缝，他们还将额外设置长度为 12.22m 的 TPO 化学止水带，以完善修复工作。总体看，该隧洞部分地方存在不同程度的结构问题。施工队采取了定点灌浆和全面淤泥清理等补救措施，通过修补和止渗封堵，旨在消除隧道内的潮湿隐患，保证运行安全。

4.2.3 隧洞 3#

隧洞 3#总长度 13325.24m，为无压马蹄形断面设计。洞内净宽 4.68m，高 4.68m，顶拱半径 2.34m，侧底拱半径 4.68m。该隧洞存在渗漏及裂缝等问题需修补。在 3# 线段 8+780、8+950、8+980 等位置，隧道内持续有股状喷涌水现象。施工队将预埋 PVC 管将外水引入，同时在喷涌点前后 5m 区域使用 BR-CE 型浆液回填灌浆，长度 120m。此外，隧洞 3#其他各段也分布有渗漏点。工作人员会及时处理，并在渗漏点前后 5m 进行回填灌浆，长 110m。部分隧道段位侧墙顶拱存在露筋或纵向开裂。施工队决定运用 BR-CE 型浆液及 TPO 止水带进行修复。其中用 BR-CE 型浆液处理露筋，在裂缝位置使用止水带。总体来看，隧洞 3#存在渗漏及结构问题需排查修复。施工队采取管理、全断面灌浆和止水带处理等多种方法，旨在消除隧道内水隐患，保障运行安全。

4.3 灌浆施工技术

隧洞 3#渗漏修补采取分段灌浆施工。首先清洗洞壁，然后在渗漏点前后 5m 进行分段操作。施工人员将间隔 2.5m 沿洞壁钻 4~5 个梅花形孔，孔径 35~40mm，钻深 20cm 进入围岩。随后安装厚 25mm 注浆钢管。施工前，工人使用水冲洗每根注浆管内泥沙杂质。灌浆中如果浆头压力不符合设计，则使用混凝土进行补救。在渗漏严重区，工人会优先钻孔周边，引导裂缝内水进入孔内。然后利用角磨机沿裂缝进行 V 槽开挖。随后，采用回填灌浆技术修补裂缝。完工后，施以 2 道防水涂层，使裂缝与洞壁成为整体。总体采取了钻孔安装注浆管、分段灌浆、V 槽开挖、浆料回填等技术。通过有效堵住渗水路，解决隧道渗漏问题。

4.4 固结灌浆施工

4.4.1 灌浆材料

隧洞渗水点采用固结灌浆技术修补。固结灌浆属于水利工程隧洞回填灌浆技术，其灌浆材料为复合体。主要原料为 Po42.5 级抗硫酸盐水泥。水泥出厂不超过 3 个月，不允许受潮结块。其他辅料如表 1 所示需求。施工前，工人先准备好各原料。称量误差控制在 5%以内。然后开始制浆，搅拌时间保证大于 3 分钟，以确保各原料充分混合。

浆液温度管理在 5~40° C 范围内。这可以保证浆体顺利固化，有效修补隧洞渗水问题。制浆时，工人还须细心操作，保证浆浆质量，这样才能完全堵塞渗水道，镇渊效果更好。本次修补采取了这一技术方案，修复效果较理想。

表 1 灌浆材料介绍

灌浆材料	材料选择使用要求
掺合料	需要符合灌浆施工要求，常见的有黏性土、砂以及粉煤灰等
外加剂水	需要符合灌浆施工要求，常见的有减水剂、速凝剂以及稳定剂等
水	需要符合混凝土拌和用水要求

4.4.2 灌浆工艺

固结灌浆施工需要依照环段组序和环内加密的原则进行。具体分为 I、II 序施工。首先施工 I 序孔，然后进行 II 序孔。实际操作流程为：定位—钻孔—冲洗裂缝—灌浆—封孔。灌浆孔的定位根据设计图确定位置。钻孔采用 YT-28 风力机钻，由于通风较差使用带水钻法，孔径 38~42mm。钻孔期间控制钻头角度在 2.5%以下防止倾斜。钻孔后用水冲洗去除碎屑。使用三元注浆泵和高速搅拌机进行灌浆，采用纯压式灌浆法。灌浆后清理残余，用浓浆密封和抹平钻孔。全过程严格按步骤执行，不同环节都逐一完成，从而保证灌浆质量和封堵效果。这可以有效修补井边渗水，确保工程质量。

4.4.3 特殊处理

在灌浆过程中，如果发生突发事故导致停灌，施工人员应采取如下措施：如果停灌时间超过 30 分钟，必须先冲洗钻孔内残留浆液，然后用稀度最大的浆液补灌。此外，如果发现吸收率突然变小，表明存在堵塞，需立即调整水灰配比，使其与中断前相同。如水灰比调整无效，也可以逐步增加浆液浓度。在钻孔过程也可能出现串浆情况。一旦发现，须立即停止钻探。如果串浆量小，可以冲洗后用水泥砂浆补充，然后继续灌浆；如果串浆量大，可以同时降低灌注压力，分别对串浆孔和主钻孔进行灌浆。总之，一旦发生问题，施工人员应迅速分析情况并采取相应处理措施，如调整参数、冲洗或填充等，以尽快恢复正常灌浆过程。同时需要根据具体情况选择适当的补救方法，既保证施工质量，也能及时完成灌浆任务。这就需要施工人员在突发事件中的判断能力和灵活应对。

5 结束语

本文研究了水利工程隧洞回填中的灌浆施工技术，对灌浆参数的选择、施工过程中的问题应对以及质量控制等各个方面进行了深入论述。通过对国内外相关标准和类似项目的研究情况的总结，分析了影响灌浆效果的主要技术参数，提出在确定水泥浆配比和浆料浓度时应综合考虑地质条件和隧洞结构特点。并探讨了施工过程可能遇到的突发问题和相应的处理策略，强调灌浆工程队伍应具备适应能力，随机处置各种意外情况。论文还重点强调了施工质

量管理的重要性。提出应实时监测隧洞内灌浆参数,定期检测取样灌浆体试验,以保证灌浆质量符合设计要求。结束语调研成果对未来水利工程隧道回填灌浆施工管理提供重要参考。经过研究,论文系统阐明了隧洞回填灌浆工艺的选择依据和质量把控点,对提高工程质量和施工效率具有重要意义。但由于个别问题需要在实践中深入探讨,本文仍需要进一步完善和验证。未来值得进行更多案例分析,以推动隧洞灌浆技术的发展。

[参考文献]

- [1]李枫. 水利隧洞施工技术管理重点分析[J]. 工程技术研究,2021,6(18):197-198.
- [2]王强. 水工隧洞灌浆基础防渗处理技术在水利工程中的运用[J]. 四川水泥,2021(7):181-182.
- [3]吴文华. 回填灌浆施工技术在小断面输水隧洞中的应用[J]. 住宅与房地产,2021(5):234-236.
- [4]熊鹏英. 水利工程隧洞回填灌浆施工技术[J]. 低碳世界,2017(25):68-69.
- [5]张懿周. 输水隧洞及放空洞封堵施工工艺[J]. 河南水利与南水北调,2017(5):65-66.
- [6]白拥军. 水利工程中引水隧洞的施工技术与质量控制[J]. 河南水利与南水北调,2016(5):54-55.
- [7]谢雄飞. 水利工程输水隧洞施工技术分析[J]. 珠江水运,2016(2):84-85.

作者简介:李建(1990.1—),毕业院校:国家开放大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:广东粤海粤西供水有限公司,职务:工程管理副经理,职称级别:工程师。