

大坝防渗技术在水工建筑中的应用与效果分析

张勤

广东南力工程建设管理有限公司

DOI:10.12238/hwr.v8i10.5803

[摘要] 大坝防渗技术是大坝安全稳定的重要保障,含防渗墙技术(多头深层搅拌、锯槽法成墙工艺)与灌浆技术,前者形成低渗防渗墙阻断渗漏,后者注入浆液填充裂隙、降渗透系数、增密实性。施工前勘察试验保精准,施工中质量控制保效果,技术优化及新材料应用,为大坝在复杂地质环境中长久稳定提供保障。

[关键词] 大坝防渗; 防渗墙; 灌浆技术; 地质勘察; 施工质量控制

中图分类号: TV543+.8 **文献标识码:** A

Application and Effect Analysis of Dam Anti seepage Technology in Hydraulic Construction

Qin Zhang

Guangdong Nanli Engineering Construction Management Co., Ltd

[Abstract] Dam anti-seepage technology is an important guarantee for the safety and stability of dams, including anti-seepage wall technology (multi head deep mixing, sawing method wall forming process) and grouting technology. The former forms a low-permeability anti-seepage wall to block leakage, while the latter injects grout to fill cracks, reduce permeability coefficient, and increase compactness. Pre construction survey and testing ensure accuracy, quality control during construction ensures effectiveness, technology optimization and new material application provide guarantees for the long-term stability of dams in complex geological environments.

[Key words] dam seepage prevention; Anti-seepage wall; Grouting technology; Geological survey; Construction quality control

引言

大坝是水利工程重要部分,其稳定性与安全性影响水资源利用、防洪及供水安全,因地质条件复杂等原因,渗漏成大坝隐患。防渗技术在水工建筑中广泛应用以解决渗漏,防渗墙和灌浆技术提高了大坝防渗性能。研究应用这些技术可延长大坝寿命、保下游安全,还分析了技术应用效果、选合适技术的重要性及未来发展展望。

1 大坝渗漏问题的现状与分析

1.1 大坝渗漏问题的常见原因

坝基的地质条件向来是对渗漏产生影响的关键因素之一,一旦坝基中的岩层存有裂隙、空洞抑或孔隙率偏高的土层,水流便会借由这些薄弱之处渗入,致使大坝的防渗结构丧失效能。坝体材料的择取以及施工工艺的失当同样有可能诱发渗漏问题,选用透水性较强的土石材料或者在施工进程中未能实施有效的压实处置,均会让坝体当中形成渗水通道。在大坝长期承受水压的情形下,坝体里的微小裂缝将会逐步延展,最终构筑成渗漏路径,气候条件亦不容小觑,季节性的变化以及洪水等极端天气能

够对坝体结构施加不利影响,加快渗漏的出现。

1.2 渗漏对大坝稳定性的影响

渗漏会对坝体和坝基的强度予以削弱,特别是就土石坝而言,水流的渗透会致使土体颗粒流失,渐次形成空隙,使得坝体的结构强度降低,进而引发坝体滑坡或者坍塌的风险,长期的渗漏或许会致使坝基下游出现渗漏带,造就湿地或者渗水坑,更进一步削弱坝基的稳定性,增大整体结构失稳的可能性^[1]。渗漏还会激起坝体内部的水压力变化,令坝体的应力分布不均,造成局部受力过大,从而加剧裂缝的扩展甚至诱发结构破坏。严重的渗漏现象还有可能危及下游区域的安全,影响大坝的运行寿命以及防洪功能,渗漏不单是大坝运行当中的一个常见问题,更是对其长期稳定性与安全性产生影响的重要因素。

2 防渗墙技术在大坝防渗中的应用

2.1 多头深层搅拌水泥土成墙工艺的特点与应用

使用多头钻机同步钻进至预定深度,通常而言,钻头直径处于0.6米至1.5米的范围,而深度则依据地质条件以及防渗需求予以调整,常见的深度在10米至30米不等。借助搅拌机头于钻进过

程中注入水泥浆，一般情况下，注浆压力被控制在0.5至1兆帕之间，以此确保水泥浆能够均匀地分布于土体之中，搅拌头在旋转进程中将水泥浆与土体充分加以混合，搅拌速度通常被控制在60转/分钟左右，并且搅拌时间与速度依照土质状况进行调整，以此保证形成均匀且致密的水泥土墙体。

水泥土防渗墙在成墙之后构筑成低渗透性的屏障，渗透系数通常被控制在 10^{-7} 至 10^{-9} m/s之间，能够有效地阻隔水流渗透，该技术适宜应用于软弱土层，诸如粘土、砂土等地质环境之下，并且具备良好的适应性，特别是在地质条件复杂的区域，能够提供稳定且可靠的防渗效果。水泥浆与土体的深层混合促使墙体均匀致密，对渗漏路径的形成起到防止作用，此工艺在各类水工建筑中得到广泛应用，凭借其良好的可操作性以及防渗性能，成为大坝防渗工程中重要的技术手段之一。

2.2 锯槽法成墙工艺的适用条件与效果分析

该工艺首先凭借锯槽机对地层进行切割，锯槽机的刀具宽度一般处于0.3米至1米之间，切割深度能够达到30米至50米，切割路径通常为直线或者弯曲路径，这取决于坝基的防渗轴线设计^[2]。在切割过程中，运用泥浆或者膨润土浆液对槽壁予以保护，防止槽壁坍塌并维持施工环境的稳定，在完成槽壁切割之后，导管向槽内浇筑混凝土，混凝土配合比通常依照施工要求进行设计，常用的配比为水泥、细骨料和水按照质量比1:3:0.45进行配制，以此确保混凝土具有良好的流动性与抗渗性。

在浇筑过程中，利用振动器对混凝土实施振捣处理，确保混凝土与槽壁紧密结合，进而形成均匀、致密的防渗墙，锯槽法施工完毕后，混凝土墙体的渗透系数可达到 10^{-9} m/s左右，呈现出优异的防渗性能。这一工艺尤其适用于地质条件较为均匀、地下水位较高且地层稳定不易塌陷的区域，能够有效地防止渗漏的发生，其精确的施工方法以及优良的防渗效果，使其在大坝等水工建筑防渗处理中获得了广泛应用。

3 灌浆技术在大坝渗漏控制中的作用

3.1 基岩灌浆技术的施工方法与应用场景

在大坝的防渗轴线上钻设灌浆孔，孔的直径一般处于75至150毫米的范围，其深度依据坝基地质条件加以确定，通常能够达到50米至100米，为切实确保灌浆效果，钻孔位置与孔距需予以合理布置，一般采用三角形或矩形网格进行布孔，孔距通常处在3至6米之间。在钻孔完成之后，针对每个孔实施压水试验，以测试基岩的渗透系数，渗透系数在 10^{-5} m/s以上的基岩需要展开灌浆处理。

在灌浆过程中，首先于钻孔内安装灌浆管，并分段实施灌浆，灌浆浆液通常由水泥和水按照1:1至1:2的比例进行配制，在必要之时，可添加膨润土或化学添加剂，以此提高浆液的稳定性与可渗透性。灌浆压力依据地层的岩性、渗透性以及施工深度予以确定，一般被控制在1至2兆帕左右，在灌浆时，压力必须逐步增大，以避免基岩过度裂开或者浆液泄漏。在每段灌浆完成之后，运用止浆塞对灌浆孔进行封堵，以确保浆液不会流失，而后再进行下一段的灌浆处理。如此逐段灌浆，不但能够对浆液的流向加

以控制，而且还能够保证灌浆的密实度与效果，在灌浆作业结束之后，需压水试验来验证灌浆效果，评估基岩的渗透系数是否达到要求。

3.2 水泥灌浆技术在填充裂缝中的应用效果

在渗漏点附近钻设灌浆孔，孔的直径通常处于75至150毫米，其深度依照裂缝的长度和深度而定，通常为10至30米，根据裂缝的分布状况，灌浆孔的间距通常为2至5米，以此确保浆液能够完整地填充裂缝^[3]。在钻孔完成之后，对裂缝进行预处理，运用高压空气或水清洗裂缝内部的杂质，以确保浆液能够充分渗透并填充裂缝。灌浆浆液的配制取决于裂缝的宽度和渗透性。对于较小的裂缝，一般采用水泥与水按1:1的比例配制浆液；对于较宽或渗透性较高的裂缝，可加入膨润土或化学添加剂以增强浆液的粘度和填充能力。在灌浆过程中，灌浆压力需依据裂缝的深度和地质条件进行调节，通常控制在0.5至2兆帕之间，以确保浆液能够顺利注入裂缝中，在灌浆过程中，必须密切监测浆液的注入速度和压力变化，避免过度灌浆致使裂缝扩展或浆液泄漏。

在灌浆完成之后，通常进行渗透试验以评估灌浆效果。有效的灌浆应使裂缝的渗透系数降低到 10^{-7} m/s以下，确保水流无法裂缝渗漏，水泥灌浆技术能够显著提升坝体和坝基的防渗性能，尤其适用于修复已发生渗漏的老旧大坝。该技术对裂缝的完全填充和封闭，恢复了坝体的整体性和稳定性，延长了大坝的使用寿命。如表1所示：

表1 灌浆参数与效果对比表

项目	钻孔直径 (mm)	钻孔深度 (m)	孔距 (m)	灌浆压力 (兆帕)	浆液配比 (水泥:水)	渗透系数 (m/s)	灌浆效果评价
基岩灌浆	75-150	50-100	3月6日	1月2日	1:1至1:2	10^{-7} 以下	良好
水泥灌浆	75-150	10月30日	2月5日	0.5-2	1:01	10^{-7} 以下	优秀
加膨润土的水泥灌浆	75-150	10月30日	2月5日	1月2日	1:01	10^{-9} 以下	极佳
化学浆液灌浆	50-75	5月20日	1月3日	0.5-1	特殊配方	10^{-9} 以下	极好

4 防渗技术应用中的关键施工要点

4.1 施工前的地质勘察与试验的重要性

地质勘察的首要任务在于获取坝址及坝基区域的详尽地质信息，明晰地层的构造特征、水文地质条件、地下水位以及地层的渗透性，这一任务通常借助钻孔取样、物理勘测以及水文测试来达成。在实际操作当中，钻孔取样的深度一般需达到防渗墙设计深度的1.5倍，以此确保获取充足的地质数据，在取样完成之后，实验室分析来确定土体的粒径分布、渗透系数以及各层土体的工程性质。

渗透系数的测定通常运用室内渗透试验以及原位压水试验，后者逐步提高的水压来测试岩层裂隙的导水能力，压水试验的压力范围通常处于0.1至0.5兆帕。试验数据有助于确定防渗墙的布置深度、灌浆参数以及成墙工艺的选择，在地质勘察结束之

后,需要进行生产性试验,以验证施工方案的可行性以及工艺参数的适用性。

4.2 防渗施工过程中的质量控制措施

质量控制主要体现在对材料、设备和工艺参数的全方位管理之上,对于施工所需要的水泥、膨润土以及其他添加剂,必须实验室检验其物理化学性质是否符合设计要求^[4]。水泥的标号一般不得低于42.5号,膨润土的吸水率和膨胀能力则必须满足渗透系数的要求,施工设备的调试与维护也极为关键,例如多头钻机的钻进速度应保持在20米/小时以内,以保证搅拌均匀。注浆压力的控制直接关系到防渗墙的密实度与整体性,通常压力范围为0.5至1.5兆帕,在实际施工中需要压力传感器实时监测并调整注浆泵的工作状态。

5 防渗技术在水工建筑中的应用效果与展望

5.1 防渗技术的实际应用成效分析

在诸如土石坝和混凝土坝等类型的大坝中,防渗墙和灌浆技术已然成功地削减了渗漏现象,于多头深层搅拌水泥土成墙工艺的应用里,成墙后的渗透系数通常能够降低至 10^{-7} 至 10^{-9} m/s,这极大地降低了水流坝基和坝体的可能性,进而有效地遏制了渗漏。灌浆技术尤其在基岩裂隙的处置方面展现出优良的效果,经由多次灌浆以及分段加压灌浆,基岩中的渗透系数能够降低到 10^{-9} m/s以下,保障了基岩的密实性与稳定性。在施工完毕后,防渗墙和灌浆效果通常借由压水试验和钻孔取芯加以验证,在压水试验中,压水压力逐步升高,对渗水量的减少情况予以监测,此表明防渗墙体或灌浆层的致密性达到了设计标准。在长期的运行进程中,对坝体变形情况以及渗漏点变化的监测,能够看到应用防渗技术后的大坝维持了稳定的运行状态,渗流量大幅降低,坝基和坝体的整体性得到了有效改良,确保了水工建筑物的安全性与使用寿命。

5.2 防渗技术未来优化方向与持续改进

在施工工艺方面,进一步增进多头深层搅拌技术的效率与精度显得尤为关键,引入自动化控制系统,能够达成对钻进速度、搅拌深度以及注浆压力的实时监测与调节,保证成墙的均匀性与致密性。灌浆技术中的多段灌浆方式亦可优化,采用新型的

高压灌浆设备以及分层注浆技术,能够更为精准地把控浆液的渗透范围与深度,在材料领域,除了传统的水泥和膨润土浆液,研发具备更高抗渗性的新型材料亦是未来的研究重点^[5]。纳米材料、超细水泥等新型材料的应用,能够提升灌浆材料的渗透能力与粘结性能,令其在微小裂隙中的填充效果更为理想,针对复杂地质条件下的大坝防渗,诸如存在砂卵石层、断层破碎带等情况,开发专门的防渗工艺和设备亦显得尤为重要。对不同地质条件的综合剖析,拟定差异化的施工方案,将会进一步提升防渗工程的效果,伴随技术的持续发展,防渗技术将更为精细化与高效化,确保水工建筑在更为复杂的环境下依旧能够保持长期稳定与安全。

6 结语

防渗技术在水工建筑中应用效果佳,能减小渗漏、提高大坝稳定性与运行安全,防渗墙技术广泛应用,灌浆技术处理裂缝空洞,大幅提升防渗性能。施工前地质勘察及施工中质量控制,确保防渗工程科学合理,未来,技术材料创新将使防渗技术适应复杂地质条件,进一步提高大坝防渗效果与安全性,确保水工建筑在复杂环境下稳定耐久。

[参考文献]

- [1]张金山,王留辉.基于TOPSIS-GRA水库大坝防渗加固施工方案综合评价[J].中国新技术新产品,2024,(16):108-110.
- [2]殷思,吴建勇.水库大坝防渗墙变形影响因素敏感性分析[J].水利技术监督,2024,(08):291-293.
- [3]吴标,向光鹏,刘振明,等.深厚覆盖层坝基防渗墙渗漏风险预测方法探析[J].四川水利,2024,45(04):20-23.
- [4]肖志强.水库大坝防渗墙混凝土加固与设计策略研究[J].黑龙江水利科技,2024,52(06):17-19+23.
- [5]李书龙,许晋平.大坝防渗墙加固与混凝土强度对结构性影响的数值模拟研究[J].吉林水利,2024,(07):32-36.

作者简介:

张勤(1981—),男,汉族,江西吉安人,本科,工学学士,水利水电工程师/给排水工程高级工程师,研究方向:工程管理。