

| 编号 | 月 | 日 | 起时间 | 止时间 | 测验方法 | 基本水尺 | 流量 (m ³ /s) | 断面面积 (m ²) | 流速 (m/s) | 水面宽 (m) | 水深 (m) |
|----|---|----|-------|-------|------------|---------|------------------------|------------------------|----------|---------|--------|
| 12 | 8 | 3 | 5:48 | 6:00 | 中泓浮标 3/0.7 | 1873.53 | 8.9 | 17.9 | 0.50 | 33.2 | 0.54 |
| 13 | | | 15:00 | 15:12 | 中泓浮标 3/0.7 | 1873.26 | 5.17 | 9.34 | 0.55 | 27.9 | 0.33 |
| 14 | | | 15:48 | 16:00 | 中泓浮标 3/0.7 | 1872.92 | 1.81 | 3.2 | 0.57 | 9.2 | 0.35 |
| 15 | | 4 | 8:00 | 8:18 | 流速仪 4/0.6 | 1872.69 | 0.833 | 1.51 | 0.55 | 5.2 | 0.29 |
| 16 | | 5 | 8:00 | 8:12 | 流速仪 4/0.6 | 1872.62 | 0.557 | 1.12 | 0.50 | 4.6 | 0.24 |
| 17 | | 7 | 8:00 | 8:12 | 流速仪 3/0.0 | 1872.35 | 0.037 | 0.18 | 0.21 | 1.7 | 0.11 |
| 18 | | 12 | 9:00 | 9:12 | 中泓浮标 3/0.7 | 1872.99 | 2.24 | 3.85 | 0.58 | 10.6 | 0.36 |

黄土高原地区划分要降低半级,这样体现黄土高原的实际干旱如表下:

表 5

| 年降水量 (mm) | 分区 | 特征说明 |
|-----------|--------|-------------|
| 250 ~ 300 | 干旱地区 | 可发展铺沙田、洪水漫漈 |
| 500 ~ 550 | 半干旱地区 | 可发展旱作农业 |
| 550 ~ 700 | 半湿润旱地区 | 干旱作农业 |

4 水文测验建设的未来发展

随着科学技术的发展,水文观测设施也在不断更新、不断进步。未来,水文观测要朝着智能化、环保化的方向发展,充分运用现代化的建设经验,提高广大人民的物质文化活动水平,促进水资源的合理开发利用。同时,要加强对各种植被的监测,气象监测以及水浪、浪高等数据的监测,并且借助传输网络和计算机,实现对水文数据的远程监控与分析。

科技的持续发展为水文观测带来了新的机遇,通过科技手段,我们可以更大范围地开展水文观测,获取水体体积、水位变化、水质变化、流水速度等水信息数据。

随着科技不断发展,水文数据还能运用到水文观测的其他领域。对大量历史水文数据进行分析,能够预测未来的水情趋势,这样水资源保护和管理措施就能更精准地应对未来状况,提前做好防范。

5 结语

水文监测建设和水文事业的发展是紧密相连、相辅相

成的,我们要坚持不断地推进水文监测建设,以此为水文事业的进步注入强劲动力。而水利工作在当下,也正紧紧跟随时代的步伐,水利工作当下正朝着既定的发展趋势稳步迈进。其现代化的核心要义,突出表现在水利系统资料采集手段的升级迭代上。通俗来讲,就是实现水利领域的无人值守,让水情以及河道两岸相关资料的观测实现自动化,借助遥测遥控技术,能极大地节省人力与资金成本。如今西北大开发正如火如荼地推进,其中,生态环境的保护和建设是首要前提,水资源的开发利用是关键所在,而把这些工作切实落实好,是当下的重点任务。有些流域,除了农业发展,工矿业的发展规模也比较大,或者城市化水平较高。另外,灌区周边的生态环境,还有地质地貌方面的特色条件等,也都有着不小的影响。所以,在对流域水资源进行开发利用的时候,应该结合具体情况来统筹规划、合理安排,既要保障社会经济发展的需求,又要维护生态环境的改善和稳定。我们就能更全面、更深入地摸清水资源的分布、储蓄量、变化规律等情况,进而更科学、有效地保护水资源,有力推动水资源的合理调配利用与可持续发展。在未来,我们满怀期许,盼着水文监测技术和谐共生的美好未来筑牢更坚实的根基、提供更强劲的支撑。

参考文献

- [1] 循环经济知识读本
- [2] 河道流量测验规范
- [3] 陈满祥水文水资源论文续集
- [4] 水文资料整编规范
- [5] 定点洪水调查成果资料

Analysis of grouting methods for special strata in foundation grouting of water conservancy and hydropower engineering

Jianlong Yan

China Water Resources and Hydropower Seventh Engineering Bureau Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 611130, China

Abstract

The foundation grouting construction in hydropower projects faces significant challenges due to complex and variable geological conditions. In China's numerous large-scale hub projects, "special strata" typically refer to pressure-bearing water zones, high-absorption fractured zones, karst porous bodies, highly permeable fissure zones, and water-infiltrating or gushing strata. The parameter selection, construction methods, and technical procedures for grouting in these strata differ fundamentally from those in conventional bedrock or saturated sand layers. This paper first defines the meaning and identification criteria of special strata in hydropower foundation grouting, then systematically reviews construction methods for five typical types of special strata, aiming to reflect practical approaches and experiences from China's engineering practices.

Keywords

hydraulic and hydroelectric engineering; foundation grouting; special strata; grouting method; analysis

水利水电工程基础灌浆中特殊地层的灌浆方法分析

严建龙

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川成都 611130

摘要

在水利水电工程基础灌浆施工过程中, 面对复杂多变的地层条件尤为挑战。在中国诸多大型枢纽工程中, 所谓“特殊地层”多指承压水地段、大吸量破碎带、岩溶孔隙体、高渗裂隙带及正在冒水或涌水地层等, 这些地段灌浆施工的参数选择、施工方法、技术流程与常规基岩或饱和砂层截然不同。本文首先界定特殊地层在水利水电工程基础灌浆中的含义及其识别依据, 其次系统梳理针对五类典型特殊地层的施工方法, 力求反映中国工程实践中的具体做法与经验。

关键词

水利水电工程; 基础灌浆; 特殊地层; 灌浆方法; 分析

1 引言

基础灌浆是中国水利水电工程建设项目中一个十分基础且重要的环节。应用基础灌浆技术, 能够提高建筑工程结构强度、抗压性能及防渗性能。然而, 在实际施工的过程中, 水利水电工程基础灌浆会遇到部分特殊地层, 其不仅与基础灌浆操作有所区别, 并且灌浆操作比较困难, 这就需要相关的技术人员结合施工现场实际情况, 应用合适的灌浆方法进行处理。

2 水利水电工程基础灌浆中特殊地层概述

在中国水利水电工程中, “基础灌浆”普遍用于坝基、泄洪底板、引水隧洞等结构与地层之间的空隙、裂隙、孔隙水通道的补充与加固。而所谓“特殊地层”, 即相对于常规

饱和砂、饱和粘性土或完整基岩而言, 在渗透、破碎、水压、孔隙体积、空隙连通性等方面表现出极端或复杂特征的地质体。具体而言, 承压水带区、破碎裂隙发育且渗透系数异常、大吸量空洞或裂隙系统、岩溶发育区以及冒水或涌水强烈区均属特殊地层范畴^[1]。上述地层在钻孔、冲洗、注浆过程中的水流、浆液渗流、支压响应、浆液迁移路径均偏离典型参数, 因此必须针对其开展专项灌浆工艺设计。在工程实况中, 这些地层通常伴随裂隙发育、断层破碎、孔隙增大、承压水释放、渗流通道多样, 在施工阶段若忽视其特性, 则易出现浆液流失严重、注入量大、压力上升慢或不能封堵、漏水难控等问题。因而, 在设计阶段须结合钻探、试注、压水、声波、孔隙水监测数据, 准确识别其类别、参数与变化规律, 以便制定相应的钻孔布置、段次划分、压注参数与浆液配比方案。

【作者简介】严建龙(1995-), 男, 中国江西鹰潭人, 本科, 工程师, 从事水利水电施工及管理研究。

3 水利水电工程基础灌浆中特殊地层的灌浆方法

3.1 承压水地层灌浆方法

在承压水地层条件下,基础灌浆施工须结合地质水文特性及工程结构需求,具体操作可细化如下:首先,在钻孔完成并经冲洗至清水状态后,应立即进行孔内承压水压力测试,记录孔水静压及流量稳定值,以明确水层压力等级及流出特征,为后续灌浆参数制定提供依据。然后,采用“压力屏障灌浆法”,即在常规水泥浆灌注结束后,调整浆液至较低浓度(如水灰比由3:1转至5:1),在保持与承压水压力基本相当的灌浆压力下循环注入,以形成与承压水相抗衡的浆液“屏障”,防止涌水将浆液冲回或稀释。其次,施用“闭浆法”以增强浆体固结效果:当注浆量、注入率和压力指标达到既定结束标准后,应立即关闭进浆孔管及回浆孔管阀门,使孔内浆液处于受压状态维持一定时间(通常6~8h)不进行补浆操作,以促使浆液在自约束条件下凝结并形成有效堵水层。第三,在注浆过程中应结合循环注浆与封闭器抽吸方式:当出现浆液回流、水位异常上升或承压水突涌风险时,应立即停止注浆,并启用循环泵或封闭器抽吸,结合低压稳定状态后再启动二次注浆,从而减小地层水流扰动,确保浆液充填效果。第四,完成灌浆后应进行压水试验与监测检测:关闭进浆与回浆阀门,在预定时间内监测孔内水位及回水压力变化,若注浆孔段保持在低回水率、注入率稳定并且压力回落平缓,即可认为封闭效果已达到;否则需重复启堵漏补注程序^[2]。最后,在撤管前,应对灌浆孔口进行人工封堵处理:在浆液固结后余留孔口上部约0.5m空隙处填密水泥砂浆,并抹平孔口,以防后期承压水重新激发混合返流;然后进行验收检测确认无异常后方可撤管。

3.2 大吸量地层灌浆方法

在水利水电工程基础灌浆中,针对裂隙发育或空隙体积较大的大吸量地层,应采用分阶段控制与变配比注浆法以实现有效封堵。在浆液配合比设计中,应转用浓浆处理:初期可选水灰比3:1或2:1,随注入流量持续下降,则转为1:1或0.5:1级别,以降低浆体流动性、提高黏度,从而减缓浆体在裂隙中渗流速度。其五,加入速凝外加剂为关键措施:可选用氯化钙、速凝水玻璃等,在浆液制备中按设计配比加入,以缩短凝结时间、快速形成堵塞层,阻断大体积吸浆通道。同时宜配合实施间歇灌浆方式:在主灌浆循环后,应中断4~8h,待浆体内部初凝后再重新灌注,利用间歇期使释放水降低、孔隙体系稳定,从而在后续注浆中减少漏失。施工中应全过程监控注入率与压力变化:设定结束条件为注入率 $\leq 1\text{L}/\text{min}$ 且压力稳定,连续30min无异常,则可终止该孔灌浆;如长期达不到标准,应及时调整策略或监理介入。在孔位布置与段次推进方面,应加密灌浆孔网以适应大体积吸量的地层体,并优先从内向外、由薄弱裂隙向强发育裂隙推进,实现“先控弱、后控强”的推进策略;灌

浆段次可由短段长(如2m、3m)逐步向长段(如5m)延伸,以提升覆盖范围并减少浆液逃逸路径。最后,施工结束判定标准应严格:当注入速率降至每分钟1升或以下,并在固定灌注持续30分钟内注压恒定且流率无显著变化时,可视为本级灌浆结束;此时应及时封孔,采用导管注浆法或全孔灌浆法将孔口及通道密实,然后人工将上部残余0.5m空隙填密水泥砂浆并压抹平整^[3]。

3.3 岩溶发育地层灌浆方法

在中国水利水电工程中,岩溶发育地层的灌浆处理需实施分阶段控制。首先,在溶洞探测与预处理阶段,应利用地质雷达、声波透射检测等手段对溶洞、空腔、裂隙系统进行系统探测,确定洞体尺寸、深度、填充状态及充填物组成,并根据检测结果对空洞进行原位冲洗或吹扫,使内部泥砂及松散充填物基本清除,随后对于洞体尚存大体积空隙者,应投入高流态混凝土进行直接填充。此混凝土须选用标号不低于C30,骨料最大粒径控制在20mm以内,以保证流动性及密实填充效果,待混凝土初凝后,在其外围再布置普通水泥浆灌注形成外围固结圈。其次,钻孔及灌浆管路设置应采用双管一次成孔技术或配备至孔底上方50cm的射浆管结构,以实现浆液自底向上充填并利于孔内气体逸出,钻孔直径控制在 $\phi 76\text{mm}$ 以内(如依据现场可适当调整),钻孔间距、倾角、序孔应依据地质破碎程度分层布置。再次,在注浆阶段采用上、下两段分段注浆法,优先自顶向下、按层次进行注入;每一层注浆结束后应观察该层的沉降、回水量、压力变化情况,确认稳定后方启动下一层灌注。在浆液配比方面,可按照水灰比3:1起始,视洞体大小和裂隙纵深逐级调整至2:1或1:1,以适应不同通道的渗透情况。注浆压力一般控制在0.2~0.6MPa范围,根据孔段深度及裂隙规模可分段递增,且每一段压力提高前应确认前一段注入量与压力状态稳定。对于洞体中存在碎石充填段,应先投入碎石至洞底(碎石粒径控制在40mm以内),再采用“颗粒+浆液”的复合结构灌注,即在碎石层上部注入水泥砂浆,实现填充与固结并重。最后,在灌浆完成后对钻孔口进行封闭处理:采用水泥砂浆压抹平整孔口,同时辅以导管注浆法对可能存在的回流通道进行封堵,以形成完整灌浆封闭体系。

3.4 正在冒水或涌水地层灌浆方法

在针对正在冒水或涌水地层基础灌浆,首先应于冒水点布置沿裂隙引流孔并预埋孔口管,以便于将裂隙中涌出的水集中导出、降低水压并清除灌浆面水体,随后沿裂隙口开设凹槽、埋设孔管、并以砂浆封堵凹槽底部以形成初期封水体系,此步骤为后续灌浆创造静水状态。其次,依据冒水流量大小选择低压泥浆灌浆或分批次、间歇灌浆方式:当冒水流量较大时,应采用先引流、后低压泥浆灌注法,灌浆压力略高于引流水压但低于裂隙破裂临界压力,以防止水体冲散浆液;灌浆浆液初期宜配浓浆、降低水灰比,并可掺加速凝剂提高浆液早期凝结性能,从而减缓浆液被水体稀释或冲失^[4]。