

裸岩无盖重固结灌浆在抽水蓄能电站引水隧洞施工中的应用与优化

李亚斌

中国水利水电建设工程咨询西北有限公司 陕西 西安 710100

摘要: 本文基于内蒙古芝瑞抽水蓄能电站主体土建及金属结构安装工程项目的实践,深入探讨了裸岩无盖重固结灌浆技术在抽水蓄能电站引水隧洞施工中的应用与优化策略。通过分析该技术的施工工艺、抬动变形观测、钻孔灌浆设备、制浆系统以及具体的施工方法,总结了该技术在实际工程中的应用效果,并提出了进一步优化建议,以期为类似工程提供参考和借鉴。

关键词: 抽水蓄能电站; 引水隧洞; 裸岩无盖重固结灌浆; 应用; 优化

引言

抽水蓄能电站作为重要的清洁能源储存设施,其建设质量直接关系到电力系统的稳定运行和能源供应的安全性。引水隧洞作为抽水蓄能电站的关键组成部分,其施工质量直接影响到电站的整体性能和运行安全。裸岩无盖重固结灌浆技术作为一种有效的岩体加固手段,在引水隧洞施工中发挥着重要作用。本文旨在通过分析该技术在实际工程中的应用,探讨其施工要点和优化方向。

1 工程概况

内蒙古芝瑞抽水蓄能电站位于赤峰市克什克腾旗芝瑞镇,装机容量为1200MW,装设4台单机容量为300MW的可逆式水泵水轮机。电站主要由上水库、输水系统、地下厂房、地面开关站及下水库等建筑物组成。两条引水隧洞平行布置,间距48m,总长分别为1017.755m和1011.357m,均为马蹄形断面,开挖断面尺寸为7.4×4.6m(高×宽),地质围岩情况较为复杂,主要为Ⅲ~Ⅴ类。

2 裸岩无盖重固结灌浆施工工艺流程

2.1 全孔一次灌浆法施工工艺流程

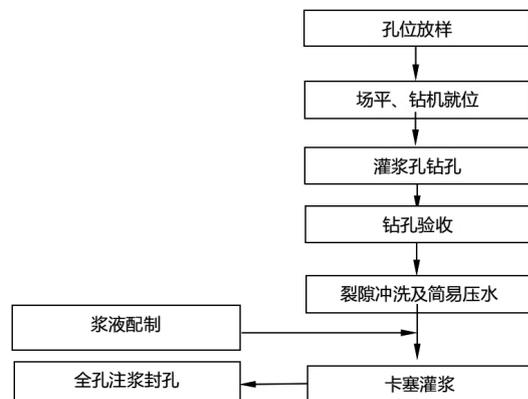


图1 全孔一次灌浆法施工工艺流程图

2.2 抬动变形观测

抬动变形观测是确保施工安全和质量的关键环节。施工前按要求进行抬动观测装置的安装,采用XY-2地质钻机配金刚石钻头进行钻孔,并安装内外管,通过千分表进行观测记录。抬动变形允许值不得超过200 μm ,灌浆过程中如发现抬动,应立即采取降压、减少注入量、停止灌浆等措施,以保障施工安全。

3 裸岩无盖重固结灌浆施工设备准备

3.1 钻孔设备

为满足引水隧洞固结灌浆施工要求,钻孔设备采用锚杆钻机进行造孔,孔径为 $\phi 50\text{mm}$,钻孔过程中需严格控制钻孔分序、孔位偏差和孔向,确保钻孔质量。

3.2 灌浆设备

灌浆采用3SNS高压浆泵,该泵具有高压、大流量特点,能够满足施工要求。同时,配备GJY-VII型灌浆自动记录仪,确保灌浆过程的精确控制和数据记录。

3.3 制浆系统

制浆系统采用JSZN-Z15-80T全自动集中制浆系统,制浆站就近布置在施工区域附近,配备高速制浆机和储浆搅拌机,实现浆液的自动配制和输送。该系统确保了浆液的质量和供应的稳定性。

4 裸岩无盖重固结灌浆施工方法

4.1 物探孔施工

在引水隧洞固结灌浆施工中,物探孔施工是不可或缺的一环,它直接关系到灌浆效果的评估与调整。为确保数据的全面性和代表性,物探孔数量设定应不少于灌浆孔总数的5%,物探孔的孔径均设定为 $\phi 50\text{mm}$,既能保证测试的准确性,又能有效减少施工难度。物探孔的孔深及孔位设定需要根据现场实际情况进行精确规划和布置,

该步骤对于后续物探结果的准确性具有决定性影响^[1]。为确保物探数据的准确性，由第三方物探检测中心负责提供测定仪器并进行现场操作，以最大限度地避免人为因素对测试结果的影响。在物探孔施工完成后，立即进行灌浆及封孔作业，封孔作业要确保孔口密封良好，以防止浆液外泄影响灌浆效果。

4.2 造孔施工

4.2.1 钻孔作业

钻孔分序与布局：为确保灌浆效果均匀，隧洞钻孔作业应按环间分序、环内加密的原则进行，环间施工分为两个次序进行，即先施工I序孔，再施工II序孔。灌浆孔的开孔位置偏差严格控制在10cm以内；固结灌浆孔的孔底偏差同样有严格要求，应不大于孔深的1/40至1/20，且孔向为径向造孔，确保灌浆效果的最大化。

异常情况应对：在钻孔过程中，若遇到岩层、岩性变化，或是出现掉钻、塌孔、钻速异常变化、涌水等情况，需详细记录这些异常情况，为后续分析提供依据。当钻孔过程中遇到溶洞、塌孔、掉块等难以钻进的情况时，应优先进行灌浆处理，待情况稳定后再继续钻进，确保施工安全与质量。

4.2.2 钻孔与裂隙冲洗

灌浆前对固结灌浆孔进行孔壁及裂隙冲洗是至关重要的一步，能有效清除孔内残留物，保证灌浆效果。

钻孔冲洗：钻孔作业完成后，应立即进行钻孔冲洗。利用钻杆或导管导入水流或压力风，从孔底向孔外冲洗，直至孔底沉积厚度不超过20cm，确保孔内清洁。

裂隙冲洗：在全孔钻孔结束后进行裂隙冲洗。冲洗压力设定为灌浆压力的80%（但不超过1MPa），冲洗时间需满足特定要求：单孔冲洗不少于30分钟，串通孔冲洗不少于2小时，冲洗至回水澄清后结束。若回水未能达到澄清要求，则需继续冲洗。

特殊情况处理：当邻近孔正在进行灌浆时，应避免进行裂隙冲洗，以防相互影响。若因故中断灌浆超过24小时，需在重新灌浆前再次进行裂隙冲洗，确保孔内清洁^[2]。在断层、大裂隙等复杂地质条件下，裂隙冲洗方法要依据现场试验结果确定。

4.2.3 压水试验

压水试验是评估岩体渗透性的常用方法，可以判定岩体透水性的强弱，为灌浆参数调整提供依据。

试验准备与孔数要求：在压水试验前准备好测试设备和仪器，包括流量计、压力表等。为确保试验结果的代表性和准确性，固结灌浆孔压水试验的孔数不得少于灌浆总孔数的5%。

试验执行步骤：根据施工要求，从已完成的灌浆孔中选取符合条件的孔作为试验孔。在压水试验前要确保试验孔已完成裂隙冲洗，以去除孔内残留物，保证试验结果的准确性。采用简易压水法，在裂隙冲洗完成后立即进行压水试验，试验压力设定为灌浆压力的80%，若该值超过1MPa，则直接采用1MPa作为试验压力。在稳定压力下持续压水20分钟，期间每5分钟记录一次压水流量，取最后5分钟的流量平均值作为计算流量，以减少误差。

成果分析与评估：根据灌浆记录数据，计算出岩体的透水率与工程渗透性标准进行对比分析。若透水率低于标准要求，则说明灌浆效果良好；若透水率偏高，则需分析原因并采取相应的补救措施。

4.3 灌浆施工

4.3.1 灌浆方法

为了确保引水隧洞灌浆的有效性和安全性，根据《引水隧洞灌浆孔位布置图》及固结灌浆施工技术要求，针对不同围岩类别（III类、IV/V类），分别确定固结灌浆的入岩深度为4m和5m，且入岩长度均不超过8m。灌浆作业采取全孔一次灌浆法，以简化施工流程，提高效率。原则上固结灌浆采用单孔灌浆法，但在特定情况下，如灌浆量较小的地段，为提高灌浆效率，可选择同一环上的两个对称孔进行并联灌浆，但需确保灌浆过程的协调与控制^[3]。固结灌浆全程采用纯压式灌浆技术，确保浆液在岩体裂隙中的有效扩散。对于无盖重固结灌浆采用两序施工法，特别要注意灌浆塞的最大入岩深度需控制在30cm以内，以避免对围岩造成过大扰动。灌浆施工顺序应遵循先下游、后上游、再中间的原则，以确保灌浆效果的整体均匀性。

4.3.2 灌浆压力控制

根据固结灌浆施工技术要求，引水隧洞固结灌浆的压力范围设定为0.5~1.5MPa。在施工过程中要严格控制灌浆压力，确保其在设计范围内波动，以达到理想的灌浆效果。

4.3.3 灌浆水灰比及浆液变换

灌浆浆液的水灰比采用2:1、1:1、0.7:1、0.5:1四个等级。开灌水灰比设定为2:1，随着灌浆过程的推进，根据浆液的注入率和压力变化，适时调整水灰比。在灌浆过程中，若灌浆压力保持稳定而注入率持续下降，或注入率不变而压力持续上升时，不宜改变水灰比。当某一水灰比浆液的注入量超过300L或灌浆时间达到30分钟，且灌浆压力和注入率均无明显变化时，应更换为更浓一级的水灰比浆液继续灌注。若注入率显著增大（如大于30L/min），可根据实际情况越级变换为更浓

的浆液。

4.3.4 灌浆结束标准及封孔方法

在最大设计压力下,当灌浆段的注入率降至1L/min以下时,继续灌注30分钟,即可判定灌浆工作结束。灌浆孔和检查孔灌浆结束后,需采用“全孔导管注浆法”进行封孔。根据灌浆结束时的水灰比不同,封孔方式有所差异,若灌浆结束水灰比为0.5:1,则可直接用水泥浆填满孔口段;若水灰比较稀,则需将孔内稀浆置换后再进行封填。待水泥浆液完全凝固后,孔口段使用更浓的水泥浆或砂浆进行人工封填密实,确保封孔质量。

4.3.5 灌浆特殊情况处理

冒浆、漏浆、串浆处理:灌浆作业必须连续进行,施工过程中若发现冒浆、漏浆时,应根据具体情况采用嵌缝、表面封堵、降低压力、加浓浆液、限流、限量、间歇等方法处理,当漏浆为水或稀浆时可继续灌注,若漏浆为浓浆时应降低压力,再逐渐升压至原来压力继续灌注,如降压无效再变浓水灰比灌注,如降压和变浓均无效,且漏浆量接近注入量,应停止灌注进行待凝,而后恢复灌浆,如恢复灌浆后吸浆量接近于零或停止吸浆时,应作为不合格孔段处理。遇串浆情况,被串孔及时采取封堵方式处理。

大耗浆孔段处理:对于吸浆量大但能起压,或者灌注一段时间后流量、压力有较明显变化的孔段,主要采用低压、浓浆、限流限量、间歇灌注、待凝等措施处理。对于掉钻的孔段以及吸浆量大且不起压的孔段、或者多次水泥浆复灌仍不能结束的孔段,主要采用泵送砂浆灌注,砂浆灌注至不吸浆后待凝,再行扫孔复灌,复灌采用水泥浆液灌注至达到设计结束标准。在上述处理措施效果不明显时,应考虑灌注速凝浆液。

涌水孔段处理:孔口有涌水的灌浆孔段,灌浆前测记涌水压力和涌水量,根据涌水情况,综合选用纯压式灌浆、提高灌浆压力、浓浆、闭浆、待凝等措施处理。

5 裸岩无盖重固结灌浆施工优化建议

5.1 加强前期勘察与设计

在施工前,应组织专业的地质勘察队伍对隧洞沿线地质进行全面、系统的勘察。通过钻探、物探等多种手段,详细了解岩体的物理力学性质、裂隙发育情况、断层分布、地下水活动等关键信息。利用收集到的地质数据,建立隧洞沿线的三维地质模型,通过模型直观展示岩体的空间分布、裂隙网络及潜在风险区域,为灌浆孔位布置、钻孔参数设计提供科学依据。基于详细的地质

勘察结果,对灌浆施工图纸进行精细化设计^[4],明确灌浆孔位、孔径、孔距、灌浆压力、浆液配比等关键参数,确保设计方案既符合规范要求又符合现场实际情况。

5.2 优化钻孔和灌浆参数

根据地质勘察结果,对钻孔分序进行优化调整。在裂隙发育密集、岩体破碎的区域,适当加密钻孔或调整钻孔次序,以提高灌浆效果。结合灌浆压力和岩体渗透性,合理确定钻孔孔径和孔距。对于渗透性较强的岩体,可适当增大孔径以提高灌浆量;对于渗透性较弱的岩体,则可通过减小孔距来增强灌浆效果。通过现场试验和数据分析,灌浆过程中实时关注压力值和浆液浓度变化,动态调整灌浆压力和水灰比,以确保浆液在岩体裂隙中的有效扩散和固结作用。

5.3 引入智能化监测技术

在灌浆施工过程中引入智能化监测技术,如自动化灌浆记录仪、压力传感器、流量计等。智能化的施工设备能够实时监测施工过程中的压力、流量、浆液浓度等关键参数,有利于采集并建立准确的灌浆施工数据库,通过对实时监测数据的收集、整理和分析,不仅为施工控制提供数据支持,而且通过数据分析能及时发现施工中的异常情况(如压力突降、流量异常等),并采取相应的处理措施。同时,结合历史数据和实时监测结果,建立灌浆施工预警系统,当监测数据超出预设范围时自动触发预警机制,提醒施工人员及时采取措施进行调整和优化。

结语

裸岩无盖重固结灌浆技术在抽水蓄能电站引水隧洞施工中具有重要的应用价值。通过优化施工工艺和参数设置,可以显著提高施工效率和质量。未来在类似工程中应进一步加强前期勘察与设计工作、优化施工参数和引入智能化监测技术等措施,以不断提升施工水平和工程质量。

参考文献

- [1]任明武.无盖重固结灌浆在高瓦斯水工隧洞施工中的应用[J].水利水电快报,2023,44(04):69-75.
- [2]贺冲.无盖重固结灌浆在水利水电工程的应用分析[J].中国科技投资,2021,(36):125-127.
- [3]晏攀.无盖重固结灌浆在向家坝北干渠引水隧洞施工中的应用[J].中国高新科技,2020,(18):51-53.
- [4]顾建,张天力,陈丹.玄武岩地层有盖重及裸岩无盖重固结灌浆技术研究[J].工程建设与设计,2020,(09):227-229.