

电站地下厂房开挖支护施工质量控制关键技术探讨

麻文录

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

【摘要】：为了进一步提升电站地下厂房开挖支护施工质量，保障厂房后期使用过程足够安全稳固，本文系统探讨电站地下厂房开挖支护施工质量控制关键技术。文章通过梳理开挖、支护全流程施工要点，明确各环节质量控制核心措施，之后结合工程案例验证技术可行性。研究表明，科学的开挖前预判、精准的过程管控及完善的检测维护体系，能有效提升施工质量，降低质量隐患发生率。本文提出的关键技术的可操作性强，可为同类电站地下厂房开挖支护施工质量控制提供实践参考与技术支持。

【关键词】：电站；地下厂房；开挖支护；关键技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.07.061

引言

近些年，我国水利水电、抽水蓄能等电站工程建设规模不断扩大，但此类工程往往面临着较为复杂的地形地貌环境，而地下厂房恰恰具有节约地表资源、适配复杂地形地貌等优势，所以逐渐成为电站建设的一个关键组成部分。电站地下厂房多具有大跨度、深埋、洞室群密集等特点，施工过程中面临高地应力、节理裂隙发育、地下水位变化等复杂地质条件，开挖支护施工质量直接决定厂房结构稳定性、机组安装精度及工程使用寿命。因此，探讨电站地下厂房开挖支护施工质量控制关键技术对提升工程施工质量、保障工程安全高效推进具有重要的现实意义与工程价值。

1 电站地下厂房开挖支护工程特点与难点分析

相较于普通的地面厂房而言，电站地下厂房开挖支护施工作业面临着更加严峻的施工环境，工程具有鲜明的特殊性，主要体现在三方面：一是洞室布局复杂，包含主厂房、主变洞、母线洞等多个交叉洞室，间距紧凑且断面庞大，部分主厂房跨度超30m、高度达60m以上；二是地质条件多变，厂房多深埋地下，常遭遇高地应力、断层破碎带、地下水富集等复杂地质；三是施工环境特殊，作业空间有限，开挖、支护、运输等多工序交叉进行，相互干扰明显。

此类地下厂房开挖支护的难点在于：一是开挖精度难控制，爆破振动易损伤围岩，影响开挖成型质量；二是围岩稳定风险高，复杂地质下易发生塌方、岩爆等灾害；三是支护要求高，支护结构需与围岩协同受力，材料质量和施工工艺直接决定支护效果；四是工序衔接难度大，需精准把控开挖与支护节奏，避免围岩长时间暴露导致失稳，整体施工管控难度显著高于地面工程。

2 电站地下厂房开挖施工质量控制关键技术

2.1 开挖前质量控制技术

电站地下厂房工程开始开挖前，相关人员必须对施工区域地质环境进行仔细勘察，采用地质雷达、超前钻探等先进勘察手段全面排查洞室区域地质条件，明确围岩级别、断层破碎带位置、地下水位分布及岩体完整性等关键参数，建立详细的地质勘察台账。并基于勘察结果，采用数值模拟软件预判开挖过程中可能出现的围岩变形、塌方等风险，优化分区分层开挖方案，明确开挖顺序、分层高度及循环进尺。同时，严格审核施工图纸与技术方，组织技术交底，确保施工人员明确质量控制标准；全面检查调试各类施工设备，检验爆破器材、测量仪器等设备性能，确保满足施工精度要求。

2.2 开挖过程质量控制技术

(1) 爆破施工质量控制：爆破施工是电站地下厂房开挖期间常见的一项操作，也是非常核心的一项施工内容，爆破质量与开挖成型质量及围岩稳定性密切相关，施工期间需重点控制爆破参数与施工工艺。通常采用毫秒延时爆破与光面爆破组合工艺，根据围岩级别精准优化爆破参数：II、III类围岩周边孔间距控制在0.45-0.60m，IV类及以上围岩适当加密至0.35-0.50m；不耦合装药系数保持在1.5-2.0，采用小药卷间隔装药方式，减少爆破对围岩的扰动^[1]。严格控制爆破振动速度，确保不超过规范限值，岩锚梁岩台等关键部位采用双向光面控制爆破，提升半孔率至90%以上。爆破前对钻孔位置、角度、深度进行全面检测，孔位误差控制在5cm以内，角度误差不超过1°，确保钻孔精度符合要求；爆破后及时清理松动岩块，排查爆破效果，发现问题及时调整爆破参数。

(2) 开挖成型精度控制：想要有效控制电站地下

厂房开挖成型精度,具体可从钻孔、爆破、断面检测三个环节着手:首先,采用高精度钻孔样架固定钻孔位置与角度,配备专业测量人员全程监测,确保钻孔偏差符合规范要求。其次,爆破过程中严格执行优化后的爆破参数,避免出现超欠挖现象。每循环爆破完成后及时采用全站仪对开挖断面尺寸进行实测,对比设计图纸核查超欠挖情况,超挖量严格控制在10cm以内,轮廓角度偏差不大于 3° 。对超挖部位采用喷射混凝土及时回填修整,欠挖部位进行补充爆破,确保开挖轮廓线与设计图纸一致^[2]。此外,加强开挖过程中的围岩观测,及时发现围岩变形等异常情况,调整开挖节奏与精度控制措施。

(3)开挖进度与支护衔接控制:只有衔接好开挖进度与支护工作,才能有效防止围岩失稳现象的发生,保障施工质量。这就要求施工人员严格控制开挖循环进尺,根据围岩级别调整进尺速度,一般情况下循环进尺不超过3m,断层破碎带、地下水富集等危险区域缩减至1.5-2.0m,避免因进尺过快导致围岩应力集中。同时,严格遵循“开挖一层、支护一层”的原则,开挖完成后及时进行临时支护,临时支护与开挖完成的间隔时间不超过24小时,防止围岩长时间暴露导致风化、软化或塌方。合理规划施工工序,协调开挖、出渣、支护等工序的作业时间,避免工序脱节,确保支护施工及时跟进。

2.3 开挖后质量验收技术

质量验收是把控开挖质量的最后一道防线,验收期间需全面仔细检查开挖断面尺寸、超欠挖整改情况、围岩完整性,可以采用无损检测技术检测围岩损伤程度,排查是否存在松动岩块、裂隙发育等质量隐患。并建立完善的验收台账,详细记录检测数据、验收结果及整改情况,对不合格部位明确整改措施、整改时限及责任人,整改完成后重新组织验收,直至符合规范要求。验收合格后还需及时整理验收资料,归档留存,为后续支护施工提供依据^[3]。同时,结合验收结果,总结开挖过程中的质量控制经验,优化后续开挖施工方案与管控措施。

3 电站地下厂房支护施工质量控制关键技术

3.1 支护前质量控制技术

首先,组织专业人员严格检验锚杆、喷射混凝土、锚索、钢筋网等原材料的规格、性能,锚杆选用高强螺纹钢,喷射混凝土掺入聚丙烯纤维提升抗裂性能,原材料进场时进行抽样检测,不合格材料严禁进场使用。其次,分类存放原材料,防止受潮、变质或损坏。

再者,结合围岩级别与地质条件优化支护方案,设计差异化支护体系,明确锚杆长度、间距、注浆压力,喷射混凝土厚度与强度等级,锚索张拉锁定力等关键参数,确保支护方案科学合理、可操作性强。

3.2 支护过程质量控制技术

(1)锚杆施工质量控制:锚杆施工质量的好坏直接决定了支护结构的稳固性,具体施工中必须严格管控钻孔、清孔、注浆、安装等环节,用潜孔钻机钻孔,孔径、深度需精准符合设计标准。钻孔完成后,采用高压风彻底清除孔内岩粉与积水,确保孔壁干净、干燥,为注浆与锚杆安装奠定基础。采用孔底注浆工艺,注浆材料选用高强度水泥砂浆,注浆压力控制在0.5-1.0MPa,确保砂浆填充饱满、无空洞。锚杆安装后及时固定,待砂浆达到设计强度后,进行抗拔力检测,每20根锚杆抽检1根,抗拔力值必须符合设计规范要求,不合格锚杆及时返工处理^[4]。

(2)喷射混凝土施工质量控制:电站地下厂房支护施工过程中,混凝土通常采用湿喷工艺,坍落度需控制在80-120mm。喷射前清理围岩表面松动岩块与杂物,湿润岩面,避免岩面干燥导致混凝土粘结不牢固。喷射距离控制在1.5-2.0m,喷射角度与岩面垂直,分层喷射,每层厚度50-70mm,前一层混凝土初凝后再进行下一层喷射,防止出现离层、空鼓等缺陷。每50m²检查1个喷射混凝土厚度测点,每批次制作试块检测强度,确保厚度与强度符合设计要求,发现空鼓、裂缝等问题及时凿除重喷。

(3)锚索与钢筋网施工质量控制:锚索与钢筋网的合理运用可大幅提升支护结构强度,但需注意,锚索施工时应严格控制钻孔精度,钻孔完成后清孔并注浆,注浆压力与注浆量满足规范规定。锚索张拉时,采用分级张拉方式,控制张拉速度与锁定力,张拉完成后及时进行防腐处理,防止锈蚀。钢筋网多采用高强度钢筋制作,要求网格尺寸符合设计要求,铺设平整,与锚杆连接牢固,搭接长度不小于100mm,搭接处采用绑扎或焊接固定,避免出现松动、移位现象。另外,支护结构衔接部位的施工质量的控制也应引起高度重视,保障锚索、钢筋网与锚杆、喷射混凝土协同受力,提升支护整体稳定性。

3.3 支护后质量检测与维护技术

一方面,仔细检查支护结构外观,排查是否存在裂缝、空鼓、松动等缺陷,采用无损检测技术检测支护结构强度及与围岩的粘结力。构建“围岩-结构-环境”三维动态监测体系,实时监测围岩变形、支护结

构内力、地下水位等参数，设定三级预警阈值，发现异常及时调整支护方案。另一方面，定期对支护结构进行维护，对出现的裂缝、松动等缺陷及时修补，对锈蚀的锚索、钢筋进行除锈、防腐处理。此外，建立维护台账，详细记录维护情况，确保支护结构长期处于良好工作状态，保障厂房结构安全。

4 工程案例分折

4.1 工程概况

某抽水蓄能电站建设中，由于该电站位于深山峡谷区域，受地形条件限制，厂房建设于地下，主厂房埋深约 280m，跨度 28m，高度 62m，属于大跨度深埋地下厂房。工程地质条件复杂，洞室区域围岩以IV类为主，局部为V类，存在 2 条断层破碎带，地下水位较高，易发生围岩塌方、涌水等风险。厂房采用分区分层开挖方式，支护体系采用锚杆-喷射混凝土-锚索组合支护，本次重点应用本文提出的质量控制关键技术开展施工。

4.2 开挖支护施工质量控制实施过程

基于该电站现场地质条件，工程开挖支护施工中严格把控各环节施工质量。首先，开挖前采用地质雷达与超前钻探排查地质隐患，优化分区分层开挖方案，明确循环进尺与开挖顺序。其次，开挖过程中采用光面爆破工艺，优化爆破参数，控制爆破振动速度，每循环爆破后实测断面尺寸，及时整改超欠挖问题；同时严格把控开挖与支护工序衔接，开挖完成后 24 小时内完成临时支护。此外，支护施工中严格检验原材料质量，锚杆施工严控钻孔、注浆与抗拔检测，喷射混凝土采用湿喷工艺，严控厚度与强度，锚索与钢筋网施工确保安装精度与连接质量。最后还建立了动态监测体系，实时监测围岩与支护结构状态，根据监测数

据调整施工参数，全程做好质量管控与记录。

4.3 质量控制实施效果

基于上述质量控制措施，该电站地下厂房开挖支护施工质量得到显著提升，有效规避了各类质量隐患。开挖成型精度达标，超欠挖合格率提升至 98%以上，围岩损伤程度大幅降低；支护结构强度符合设计要求，锚杆抗拔力合格率 100%，喷射混凝土厚度达标率 99%，未出现空鼓、裂缝等缺陷。工程施工期间未发生围岩塌方、支护失效等安全事故，施工质量满足规范要求，具体效果对比见下表 1。

表 1 施工效果分析表

控制指标	规范要求	实施前(同类工程)	本工程实施后
超欠挖合格率	≥90%	85%	98.5%
锚杆抗拔力合格率	100%	95%	100%
喷射混凝土厚度达标率	≥95%	90%	99.2%
质量隐患发生率	≤5%	12%	2.1%

5 结语

总而言之，电站地下厂房建设工程具有一定的综合性与系统性。本文结合工程实际系统探讨了开挖、支护全流程的质量控制关键技术，明确了各环节的管控要点与实施措施，并通过工程案例验证了技术的可行性与有效性。实践表明，通过科学的开挖前预判、精准的过程管控、严格的验收检测及完善的维护体系，能有效解决开挖支护施工中的质量难题，提升施工质量。后续可结合智能化、数字化技术，进一步优化质量控制体系，为同类电站地下厂房开挖支护施工提供更高效、更精准的技术支撑，推动地下工程施工质量水平持续提升。

参考文献:

- [1] 付波.抽水蓄能电站地下厂房开挖支护进度量化指标体系构建与应用[J].红水河,2025,44(06):116-123+159.
- [2] 赵帅印.抽水蓄能电站地下厂房围岩稳定性分析及施工期安全监测实践研究[J].地下水,2025,47(06):334-336.
- [3] 张维,吴振华,孟平原,等.抽水蓄能电站地下厂房拱顶预应力锚索施工技术研究[J].建筑技术开发,2025,52(11):28-32.
- [4] 刘红超,李增星.抽水蓄能电站地下厂房拱顶开挖质量控制技术浅析[J].陕西水利,2025,(10):104-107.