

# 水电站地下厂房开挖与支护技术综合研究

赵 馨

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘 要:** 本文围绕水电站地下厂房开挖与支护技术展开研究,先分析工程概况与地质条件,涵盖地下厂房工程特征、地质勘察要点及不良地质识别。再阐述开挖技术,包括方案设计原则、方式选择、顺序规划及施工要点,接着介绍支护技术的设计依据、类型选择、参数确定与施工要点。最后探讨开挖与支护技术的协同优化,涉及时空协同、稳定性优化策略及施工组织管理,为地下厂房工程建设提供技术参考。

**关键词:** 水电站地下厂房; 开挖技术; 支护技术; 协同优化

**引言:** 水电站地下厂房作为水电工程核心,建设面临地质复杂、空间密闭等挑战。其开挖与支护技术直接影响工程安全、进度与质量。科学合理的开挖与支护方案,能保障厂房稳定运行,适应不同地质条件。深入研究水电站地下厂房开挖与支护技术,对提升工程建设水平、推动水电事业发展具有重要意义。

## 1 水电站地下厂房工程概况与地质条件分析

### 1.1 地下厂房工程特征

水电站地下厂房作为水电工程的核心枢纽区域,空间布局需充分适配发电设备安装与运行需求,整体呈现大规模、多层次的结构特点。厂房尺寸需根据机组容量、数量及辅助设施规模确定,通常包含主机洞、主变洞、尾水洞等多个关联洞室,各洞室通过通道连接形成复杂地下空间网络<sup>[1]</sup>。功能分区明确,主要划分为发电设备区、控制操作区、辅助设施区,不同区域需满足设备运行精度、人员操作安全及物资运输便捷等要求。地下厂房工程建设面临多重技术难点,地下空间密闭性强导致通风、照明及施工排烟难度增加,大规模洞室开挖易引发围岩变形,需平衡开挖效率与结构稳定。施工要求严格,对洞室开挖精度、混凝土浇筑质量及设备安装误差均有极高标准,同时需协调各工序衔接,避免施工干扰影响工程进度与安全。

### 1.2 地质条件勘察要点

地下厂房选址区域地质勘察需全面掌握岩层分布情况,明确不同岩层的岩性、厚度及空间组合关系,了解岩层物理力学特性差异,为后续开挖与支护技术选择提供基础数据。岩体完整性是勘察核心要素之一,需判断岩体裂隙发育程度、裂隙分布规律及充填物性质,岩体完整性直接影响围岩自稳能力,决定支护措施的强度与范围。地质构造类型勘察需重点关注褶皱、断层等分布与规模,分析构造对岩体稳定性的影响,评估构造活动

可能引发的工程风险。地质条件通过影响围岩稳定性、开挖难度及支护需求作用于技术选择,例如完整岩层区域可适当简化支护措施,破碎岩层区域则需强化支护设计并优化开挖工艺,确保工程建设安全推进。

### 1.3 不良地质条件识别

水电站地下厂房建设中常见断层破碎带,此类区域岩体破碎、强度低,易出现塌方、涌水等问题,对洞室开挖与支护构成重大挑战。软弱夹层分布于岩层之间,力学性能差且易发生塑性变形,会导致围岩应力集中,增加支护结构荷载。高地应力区域在开挖过程中易出现岩爆现象,破坏岩体完整性并威胁施工安全,需提前识别并制定针对性防控措施。不良地质条件可能引发多种工程风险,断层破碎带与软弱夹层会降低围岩自稳能力,增加洞室坍塌概率;高地应力导致的岩爆会损坏施工设备并影响施工人员安全;部分不良地质区域还可能伴随地下水富集,引发涌水问题,延误施工进度并破坏岩体稳定性,需在勘察阶段全面识别并制定应对策略。

## 2 水电站地下厂房开挖技术

### 2.1 开挖方案设计原则

开挖方案设计需以安全性为首要原则,充分考量地下空间施工风险,通过合理设计规避围岩坍塌、岩爆等隐患,保障施工过程中人员与设备安全。经济性原则要求方案在满足工程质量与安全的前提下,优化资源配置,减少不必要的成本投入,平衡施工效率与成本控制。合理性原则强调方案需符合工程实际需求,适配地下厂房结构特点与施工条件<sup>[2]</sup>。方案设计必须紧密结合地质条件与工程特征,针对不同岩层特性、地质构造情况调整设计细节,例如在破碎岩层区域采用更谨慎的开挖参数,在完整岩层区域适度提升开挖效率。核心目标是确保开挖过程对周边岩体扰动最小化,避免过度扰动破坏岩体原有稳定性,为后续支护工作奠定良好基础。

## 2.2 开挖方式选择

全断面开挖适用于岩体完整性好、围岩自稳能力强的区域,该方式一次性开挖成型,施工流程简便,能有效缩短工期,但对岩体条件要求较高,若岩体稳定性不足易引发安全问题。分层开挖将厂房断面按高度划分为多个层次逐步开挖,每层开挖后及时进行支护,适用于断面较大或岩体稳定性一般的情况,可通过分层控制减少单次开挖对围岩的扰动,提升施工安全性。分部开挖则根据厂房结构组成,将开挖区域划分为多个部分依次施工,例如先开挖侧边导洞再开挖主洞室,适用于地质条件复杂、洞室结构特殊的场景,能针对性处理不同区域的地质问题,降低施工难度。各类开挖方式需根据地质条件、洞室规模与工程进度要求灵活选择,充分发挥技术优势。

## 2.3 开挖顺序规划

地下厂房开挖顺序规划直接关系到施工安全与工程质量,合理的顺序能有效控制岩体变形,避免因开挖顺序不当导致围岩应力集中,引发坍塌或过大变形。科学规划开挖顺序可保障各工序有序衔接,减少施工干扰,提升整体施工效率。规划过程需考虑多方面核心因素,首先需结合地质条件,优先开挖地质条件较好的区域,为后续施工创造安全环境;其次需适配洞室结构,根据厂房各洞室关联关系确定开挖先后顺序,避免先开挖区域对后开挖区域造成不利影响;同时需兼顾支护进度,确保开挖后能及时跟进支护,维持岩体稳定。

## 2.4 开挖施工技术要点

钻孔精度控制是开挖施工关键环节,需保证钻孔位置、角度与深度符合设计要求,避免因钻孔偏差影响爆破效果或导致超挖、欠挖,进而影响洞室成型质量与后续支护施工。爆破参数优化需根据岩体特性调整,通过合理设计炸药用量、装药结构与起爆顺序,实现精准爆破,减少对周边岩体的扰动,保证开挖断面平整。出渣效率提升需优化出渣路线与设备配置,合理安排运输车辆与装卸设备,减少出渣过程中的等待时间,确保开挖产生的渣料能及时清运,避免堆积影响施工进度。各技术要点相互配合,共同保障开挖质量与进度,为地下厂房后续建设环节提供可靠保障。

# 3 水电站地下厂房支护技术

## 3.1 支护技术设计依据

支护技术设计需以地质条件为重要基础,充分掌握岩层分布、岩体完整性及地质构造情况,不同地质条件下岩体稳定性差异显著,直接影响支护方案的方向。岩体力学特性是设计关键参考,岩体的强度、弹性模量、

抗剪性能等指标,决定支护结构需承受的荷载与应具备的支撑能力<sup>[3]</sup>。厂房结构要求同样不可忽视,需结合洞室尺寸、形状及功能定位,确保支护结构与厂房整体结构适配,避免支护与厂房运行需求产生冲突。支护设计需实现明确目标,通过合理支护控制岩体位移,防止岩体因过度变形引发坍塌;同时增强岩体稳定性,提升岩体自身承载能力,为地下厂房长期安全运行提供保障。

## 3.2 支护类型选择

锚杆支护通过将锚杆深入岩体内部,利用锚杆与岩体的摩擦力、粘结力传递荷载,将不稳定岩体固定在稳定岩层上,适用于岩体裂隙发育但整体仍有一定承载能力的区域,能有效抑制岩体松动。喷射混凝土支护通过向岩面喷射混凝土,形成连续的保护层,封闭岩体裂隙、防止岩体风化,同时起到一定承载作用,常用于岩体表面破碎或易风化的场景。钢支撑支护凭借钢材的高强度与刚度,直接承受岩体压力,为洞室提供刚性支撑,适用于岩体稳定性差、荷载较大的区域,能快速控制岩体变形。联合支护则结合多种支护类型的优势,例如锚杆与喷射混凝土组合使用,兼具固定岩体与封闭保护的作用,适用于地质条件复杂、单一支护难以满足要求的情况。

## 3.3 支护参数确定原则

支护参数确定需遵循适配性原则,参数需与岩体稳定性评估结果相匹配,岩体稳定性差的区域需选择更大强度、更密间距的支护参数,确保支护能力足以应对岩体荷载。同时需围绕支护目标调整参数,若目标是严格控制位移,需适当加大支护刚度相关参数;若目标是增强岩体整体稳定性,需优化支护结构的分布与连接参数。参数选择直接影响支护效果,参数过小可能导致支护强度不足,无法有效控制岩体变形;参数过大则可能造成资源浪费,增加工程成本。因此参数确定需在保障支护效果的前提下,实现经济性与安全性的平衡,避免过度设计或设计不足。

## 3.4 支护施工技术要点

锚杆安装需保证钻孔深度、孔径符合设计标准,锚杆插入后需确保锚固剂充分发挥作用,使锚杆与岩体紧密结合,避免锚固不牢固影响支护效果。喷射混凝土施工前需清理岩面杂质,喷射过程中控制混凝土配合比与喷射压力,保证混凝土层厚度均匀、密实,防止出现空洞、裂缝等质量问题。钢支撑架设需确保支撑位置准确,与岩面贴合紧密,支撑之间的连接需牢固可靠,形成稳定的支撑体系,避免因支撑偏移或连接松动降低支护能力。各类支护施工过程中,需严格控制技术细节,及时检查施工质量,发现问题及时整改,确保支护结构达到

设计要求,切实发挥支护作用。

#### 4 开挖与支护技术协同优化

##### 4.1 开挖与支护的时空协同关系

开挖与支护在时间顺序上需形成紧密衔接,开挖作业完成后需及时开展支护施工,缩短岩体暴露时间,避免岩体因长时间暴露出现风化、裂隙扩展等问题,降低岩体失稳风险。时间间隔需根据岩体特性调整,稳定性较差的岩体需压缩间隔时间,确保支护快速跟进;稳定性较好的岩体可适当放宽间隔,但仍需控制在合理范围<sup>[4]</sup>。针对断层破碎带、软弱夹层等特殊地质区域,需采用“边开挖边支护”的模式,进一步缩短时间间隔,防止局部岩体提前失稳。空间布局协同要求支护范围与开挖区域精准匹配,支护结构需完全覆盖开挖后形成的暴露面,避免出现支护盲区。同时需考虑开挖后续工序的空间需求,支护结构布置不得影响后续开挖作业的推进,确保地下厂房内部空间利用合理,为各施工环节预留充足操作空间,实现开挖与支护在空间上的有序衔接。例如在分层开挖中,支护结构需适配当前开挖层高度,为下一层开挖预留足够作业空间,避免支护结构阻碍后续施工。

##### 4.2 基于岩体稳定性的协同优化策略

岩体稳定性会随开挖进程动态变化,需通过持续监测掌握岩体状态,根据监测结果调整开挖进度与支护方案。若监测发现岩体变形速率加快,需减缓开挖速度,同时增强支护强度,例如加密锚杆间距或增加钢支撑数量,通过强化支护控制岩体变形趋势。若岩体稳定性保持良好,可在保障安全的前提下适当加快开挖进度,优化支护参数以提升施工效率。对于高地应力区域,还需根据监测到的应力释放情况,调整支护结构的受力承载设计,确保支护能有效抵抗应力集中带来的荷载。协同优化需建立完善的岩体变形监测反馈机制,通过布设监测点实时采集岩体位移、应力等数据,对数据进行及时分析处理,判断岩体稳定性变化趋势。反馈机制需确保监测数据能快速传递至决策环节,为开挖进度调整与支护方案优化提供及时依据,形成“监测-分析-调整”的闭环管理,保障协同优化策略科学有效。例如当监测数据显示岩体位移接近预警值时,反馈机制需迅速触发方

案调整流程,避免风险扩大。

##### 4.3 协同施工组织管理

开挖与支护协同施工需注重施工流程衔接,明确各工序的起止时间与衔接节点,避免出现工序脱节或重叠干扰,例如在某一区域开挖完成后,立即安排支护队伍进场施工,减少等待时间。建立工序衔接沟通机制,开挖队伍与支护队伍需定期沟通施工进度,提前做好工序交接准备,确保衔接顺畅。人员与设备调配需根据协同需求合理规划,确保开挖与支护作业的人员数量、设备类型与规模匹配,避免因人员不足或设备短缺影响协同进度。例如在高峰期施工时,需增加人员轮班频次,保障开挖与支护作业同步推进,合理调配钻孔设备、喷射设备等专用机械,避免设备闲置或争抢。施工进度管控需制定详细的协同进度计划,明确各阶段开挖与支护的工程量与时间要求,定期对进度执行情况进行检查,及时发现并解决进度偏差问题。通过科学的组织管理措施,确保开挖与支护技术协同落到实处,充分发挥两者协同效应,提升地下厂房施工质量与安全水平,保障工程整体推进效率。

#### 结束语

水电站地下厂房开挖与支护技术是保障工程建设安全与质量的关键。从工程概况分析到具体技术实施,再到两者协同优化,各环节紧密相连。通过科学设计开挖方案、合理选择支护类型并注重协同施工组织管理,可有效应对复杂地质条件带来的挑战。未来,需持续探索创新技术,提升施工水平,为水电事业发展筑牢根基。

#### 参考文献

- [1] 欧阳立文.博瓦水电站地下厂房开挖支护施工监理质量与安全控制措施探析[J].湖南水利水电,2024(3):107-109.
- [2] 郝利军,白军平,冯俊淮.复杂地质条件下地下厂房岩壁梁开挖施工技术[J].四川水利,2024,45(z1):61-65,85.
- [3] 刘环宇,郭武.超大型地下厂房立体多层面快速稳定开挖技术研究[J].四川水利,2023,44(2):50-53.
- [4] 朱新星.万安水电站地下厂房围岩稳定监测分析[J].黑龙江水利科技,2023,51(12):27-29.