

探究抽水蓄能电站施工关键技术

李世鹏

中国水利水电第四工程局有限公司第二分局 甘肃 定西 730500

摘要：抽水蓄能电站施工涵盖前期勘察、主体及辅助工程等多环节。前期需深入勘察地质地形，合理规划方案；主体工程涉及上、下水库、输水系统、厂房与机组安装等关键技术；辅助工程包括交通导流、排水防渗等。同时要严格把控施工质量与安全，通过多方面控制措施，保障电站施工顺利推进与稳定运行。

关键词：抽水蓄能电站；施工关键技术；地质勘察；主体工程；安全控制

引言：随着能源结构调整与电力系统稳定运行需求提升，抽水蓄能电站作用愈发关键。其施工面临地质地形复杂、工程规模大、技术要求高等挑战。从前期勘察到方案设计，再到主体与辅助工程施工，每一环节都关乎电站质量与安全。深入探究施工关键技术，有助于提高施工效率、保障工程质量，推动抽水蓄能电站建设事业发展。

1 前期勘察与方案设计

1.1 地质与地形勘察

坝体及地下洞室区域的地质结构分析需深入探测岩体的完整性，识别断层、裂隙的分布规律及发育程度，判断这些结构面对岩体稳定性的潜在影响^[1]。不同岩性的物理力学性质差异显著，硬质岩如花岗岩抗压强度高但脆性大，软质岩如页岩易受风化影响导致强度衰减，需通过取样分析确定岩体的承载能力和变形特性。地下水位的埋藏深度及动态变化会改变岩体的力学性能，浸润线以下的岩体抗剪强度可能降低，需评估其对坝体基础和洞室围岩稳定性的作用。地形条件对施工布局的影响评估需结合场地的坡度、高差和平面形态。陡峭地形会限制大型施工机械的布置和移动范围，需规划专用的运输通道和作业平台；平缓地形虽便于场地平整和设备摆放，但可能面临排水不畅的问题，需设计合理的排水系统。地形的起伏状况还会影响施工区域的划分，高处可利用自然地形设置材料堆放场和加工区，低处则需考虑防洪措施，避免汛期积水影响施工。地形走向与工程轴线的匹配程度会影响建筑物的布置方向，需在满足功能要求的前提下，使施工布局顺应地形走势，减少开挖和回填工程量。

1.2 施工方案规划

枢纽工程的施工分区需根据各建筑物的功能和施工特点，将整个工程划分为若干相对独立的区域，如坝体施工区、输水系统施工区、厂房施工区等。每个分区

需明确施工范围和边界，避免不同区域作业相互干扰。施工流程设计需遵循先主体后辅助、先地下后地上的原则，合理安排各建筑物的施工顺序，确保关键线路上的工程能优先推进。例如，地下洞室的施工需在地表建筑物施工前完成，以减少对后续作业的影响；坝体填筑需与防渗体施工同步协调，保证坝体结构的整体性。施工技术与工程规模的适配性考量需结合工程的体量和复杂程度选择适宜的技术手段。大型电站的坝体混凝土工程量大，需采用高强度混凝土浇筑设备和自动化平仓振捣技术，以满足施工强度要求；中小型工程可根据实际情况选用相对简易的施工设备，降低成本。对于地质条件复杂的地下洞室，需采用先进的开挖和支护技术，如微震监测下的分步开挖法，确保施工安全；地质条件简单的区域则可采用常规施工技术，提高施工效率。技术方案需考虑设备的运输和安装条件，确保其能在施工场地顺利部署和运行。

2 主体工程施工关键技术

2.1 上、下水库施工技术

库盆开挖与边坡处理的稳定性控制需根据地质条件选择合适的开挖方式，对于岩质边坡，采用分层开挖减少对岩体的扰动，每层开挖后及时进行边坡修整，清除松动岩块。土质边坡则需控制开挖坡度，避免陡坡引发坍塌，开挖过程中实时观察边坡表面的裂缝和沉降情况，发现异常立即调整开挖进度^[2]。边坡处理可采用喷锚支护，将锚杆深入稳定岩层内部，通过张拉形成对边坡的预紧力，表层喷射混凝土形成连续的防护层，与锚杆共同作用增强边坡整体性。对于高边坡，可设置分级平台，平台宽度根据边坡高度确定，平台上设置排水沟，将雨水及时排出，减少雨水入渗对边坡稳定性的影响。防渗体施工的材料铺设需确保材料性能符合设计要求，土工膜铺设前需清理库盆基底，去除尖锐杂物，保证基底平整。铺设时从低处向高处推进，膜与膜之间采用搭

接方式，搭接宽度需均匀一致，铺设过程中避免材料褶皱或拉伸过度。接缝处理采用热熔焊接，焊接前检查接缝处的清洁度，焊接时控制温度和压力，使接缝处材料充分融合，形成连续的防渗整体。对于边角部位，采用专用工具进行密封处理，确保无渗漏通道。防渗体铺设完成后需进行保护层施工，采用土料或砂石料覆盖，覆盖过程中避免机械直接碾压防渗体，防止材料破损。

2.2 输水系统施工技术

隧洞开挖的断面成型需根据地质情况选择开挖方法，岩质隧洞可采用钻爆法，通过合理设计炮孔布置和装药量，控制爆破后的断面尺寸，减少超挖和欠挖。开挖后及时进行断面检查，对不符合设计要求的部位进行修整。土质隧洞则采用盾构法或浅埋暗挖法，利用盾构机或格栅拱架支护开挖面，确保开挖过程中围岩稳定。支护方式需结合围岩条件确定，对于稳定性较好的岩层，可采用喷锚支护，喷射混凝土封闭岩面后设置锚杆加固；对于破碎岩层，采用钢拱架与喷锚联合支护，钢拱架间距根据围岩压力确定，与围岩紧密贴合，增强支护结构的承载能力。管道安装的高程控制需通过测量仪器实时监测，安装前在隧洞内设置高程控制点，管道就位后调整支撑高度，使管道中心线与设计高程一致。接口密封工艺根据管道材质选择，金属管道采用焊接接口，焊接前清理接口表面的铁锈和油污，焊接后检查焊缝质量，确保无气孔和裂纹。非金属管道采用承插接口，接口处设置橡胶密封圈，安装时在密封圈表面涂抹润滑剂，保证管道准确插入，接口外部采用套管加固，增强密封性能。管道安装完成后需进行固定，设置支墩或托架，支墩与管道之间设置缓冲材料，避免管道因振动产生位移。

2.3 厂房与机组安装技术

地下厂房的开挖支护需按照分层分块的原则进行，先开挖厂房顶部的导洞，再逐步扩大开挖范围至设计断面。开挖过程中严格控制开挖轮廓，避免超挖破坏围岩完整性。支护施工与开挖作业紧密衔接，开挖一层支护一层，初期支护采用喷锚支护，喷射混凝土及时封闭岩面，锚杆深入围岩形成整体受力结构，二次支护采用钢筋混凝土衬砌，衬砌厚度根据围岩压力计算确定，确保厂房结构的稳定性。空间尺寸控制需通过精密测量实现，在厂房内设置多个测量控制点，定期对厂房的长度、宽度和高度进行监测，确保实际尺寸与设计尺寸偏差在允许范围内。水轮发电机组的吊装需选择合适的吊装设备，根据机组重量和厂房高度确定吊车的型号和吊装参数。吊装前检查机组部件的重心位置，设置合理的

吊点，确保吊装过程中部件平稳。吊装时缓慢提升，避免部件与厂房结构碰撞，将机组初步就位后进行临时固定。轴线校准需通过百分表和水平仪进行，调整机组的水平度和垂直度，使机组轴线与设计轴线重合。校准过程中逐步调整机组的支撑螺栓，每调整一次测量一次数据，直至轴线偏差符合要求。机组固定后需检查各连接部位的紧固情况，确保机组运行时不会产生松动。安装完成后进行试运行，观察机组的振动、温度等参数，确保机组运行稳定。

3 辅助工程施工技术

3.1 交通与导流工程

施工便道的选线需顺应地形走势，避开地质不良区域和大型障碍物，尽量缩短线路长度以减少工程量。线路需连接各施工区域与材料堆放场，保证运输路径顺畅，同时需考虑与主体工程的施工范围保持安全距离，避免相互干扰^[3]。地形陡峭处需设置回头曲线或缓坡段，确保车辆行驶安全，跨越冲沟或河流时合理规划桥涵位置，保障便道的连续性。路基加固措施根据地基土性质确定，软土地基需采用换填法处理，选用级配砂石或灰土替换软弱土层，分层压实以提高地基承载力。砂土地基易受水流冲刷，可铺设土工格栅增强土体整体性，再覆盖碎石层形成保护层。岩质路基需清除表面松散岩层，对裂隙发育段采用锚杆锚固，防止边坡坍塌。路基两侧设置排水沟，及时排除地表水，避免雨水渗入路基引发沉降。导流洞的开挖需结合洞身所处地质条件选择施工方法，岩质洞段采用钻爆法时控制爆破参数，减少对围岩的扰动，开挖后及时进行喷锚支护。土质洞段则采用盾构法或明挖法，利用支护结构保护开挖面，防止洞壁坍塌。截流时段选择需考虑河流的水文特征，避开汛期以减少截流难度，枯水期水量小、流速低，利于围堰快速合龙，截流前需评估河道水位和流量变化，确保截流过程中的施工安全。

3.2 排水与防渗工程

地下水位控制的排水系统布置需覆盖整个施工区域，根据地下水流向在地势较低处设置集水井，井间通过排水盲沟连接形成网络。隧洞施工中沿洞壁周边布置排水孔，将围岩渗水引入排水沟，再通过水泵排至洞外。基坑排水采用井点降水或管井降水，排水点均匀分布以保证降水效果均匀，避免局部水位过高影响施工。坝基帷幕灌浆的施工参数控制需严格把控灌浆压力，根据岩层渗透性调整压力值，确保浆液能充分填充裂隙。浆液浓度需逐步调整，初始采用稀浆渗透，随后逐渐加浓以提高结石强度。灌浆孔间距根据地质情况确定，裂

隙密集段适当缩小间距以增强防渗效果。灌浆过程中需控制进浆量和灌浆速度，避免压力骤升导致岩层抬动，结束后对灌浆段进行质量检查，确保形成连续的防渗帷幕。对灌浆孔进行分段封孔处理，采用水泥浆填塞至孔口并压实，防止后期渗水沿孔道渗透。施工中需记录每段灌浆的压力、流量和时间参数，通过参数对比分析判断灌浆效果，对存在缺陷的部位及时进行补灌处理。

4 施工质量与安全控制

4.1 质量管控要点

混凝土浇筑的密实度与强度控制需从原材料选用开始，水泥、砂石、外加剂的配比需符合设计标准，搅拌过程中确保物料混合均匀，坍落度控制在适宜范围^[4]。浇筑时采用分层推移的方式，每层厚度根据振捣设备性能确定，插入式振捣器需插入下层混凝土一定深度，确保层间结合紧密。振捣时间需充分，直至混凝土表面出现浮浆且不再下沉，避免漏振导致蜂窝麻面。浇筑完成后及时覆盖保湿，根据环境温度采取洒水或覆盖薄膜养护，保证混凝土强度稳步增长。金属结构安装的精度校验需借助精密测量仪器，安装前检查构件的几何尺寸，对变形部位进行矫正。构件就位后调整高程和轴线位置，通过临时支撑固定，再进行连接作业。焊接连接时控制焊接电流和速度，确保焊缝饱满连续，螺栓连接按规定扭矩紧固，防止松动。安装完成后对整体结构进行复测，校验各部位的相对位置偏差，确保符合设计要求的精度标准。

4.2 安全防护技术

高边坡作业的防护网设置需覆盖边坡可能失稳的区域，选用高强度钢丝绳网，固定端深入稳定岩层，网间连接牢固形成整体防护系统。防护网下方设置缓冲层，减轻落石冲击力度。监测工作需定期进行，通过边坡顶部设置的位移观测点，记录边坡变形数据，发现异常位移时及时预警，暂停作业并采取加固措施。地下洞室施

工的通风系统需根据洞室长度和断面大小设计，轴流风机与风筒配合将新鲜空气送入作业面，污浊空气通过回风通道排出。通风设备需连续运行，确保洞内空气质量达标。瓦斯检测需在作业前和作业中持续进行，检测仪器布置在洞室顶部和角落等易积聚瓦斯的位置，发现瓦斯浓度超标立即停止施工，加大通风量直至浓度降至安全范围，方可恢复作业。洞室内还需设置应急通道，配备自救器等防护设备，确保突发情况下人员能安全撤离。洞室开挖面需配备便携式监测仪，实时显示气体浓度变化，作业人员需熟悉报警信号，一旦触发警报迅速撤离至安全区域。高边坡作业面边缘需设置防护栏杆，栏杆高度符合安全标准，底部加装挡脚板防止物料滚落，作业人员需系挂安全绳，绳端固定在稳固结构上，确保移动过程中始终处于保护状态。

结束语

抽水蓄能电站施工关键技术涉及多领域、多环节。从前期的地质地形勘察到施工方案的精心规划，再到主体与辅助工程各项技术的精准实施，以及施工过程中的质量与安全把控，每个步骤都紧密相连、缺一不可。未来，随着技术不断进步，需持续优化施工关键技术，以适应更高标准的电站建设需求，推动抽水蓄能电站行业持续发展。

参考文献

- [1]方海宇.大型抽水蓄能电站施工关键技术分析[J].户外装备,2023(9):4-6.
- [2]朱天真,叶国达,吕晓飞.抽水蓄能电站施工管理数字化平台架构及关键技术应用[J].信息系统工程,2025(6):121-124.
- [3]张春生,王小军,姜忠见.天荒坪抽水蓄能电站关键技术[J].水电与抽水蓄能,2018,4(05):10-19+30.
- [4]王菲,刘红强.抽水蓄能电站高边坡施工技术分析[J].建筑技术开发,2024,51(12):40-42.