

# 现代水利水电抽水蓄能施工技术分析

王树仁

中国水利水电第三工程局有限公司 陕西 西安 710000

**摘要：**本文聚焦现代水利水电抽水蓄能施工技术。阐述了抽水蓄能电站工程结构与施工特点，构建施工技术体系框架。深入分析水库、输水系统、地下厂房洞室群及机组与机电设备安装等核心施工技术，探讨复杂地质和高水头等条件下的施工难点。最后展望其发展趋势，包括智能化与数字化、绿色低碳施工以及高难度工程技术突破，为行业发展提供参考。

**关键词：**水利水电；抽水蓄能；施工技术

## 1 现代抽水蓄能电站施工技术基础

### 1.1 抽水蓄能电站工程结构与施工特点

抽水蓄能电站主要由上水库、下水库、输水系统、地下厂房洞室群以及机组与机电设备等部分构成。上水库和下水库如同两个巨大的“蓄水池”，在用电低谷时，利用多余的电能将下水库的水抽到上水库储存起来；在用电高峰时，再将上水库的水放至下水库，推动水轮机发电，实现电能的储存与释放。输水系统则是连接上、下水库的“通道”，它负责将水准确地输送到地下厂房内的水轮机处，其施工质量直接影响到水流的顺畅性和发电效率。地下厂房洞室群是电站的核心区域，内部布置着水轮机、发电机等关键设备，对洞室的稳定性、密封性等要求极高。机组与机电设备安装技术更是关系到电站能否正常运行的关键环节，需要精确的安装和调试，确保各设备之间协同工作<sup>[1]</sup>。抽水蓄能电站施工具有工程规模大、技术复杂、施工周期长等特点。由于涉及到大量的地下工程和高水头建筑物，对地质条件的要求较高，施工难度大。同时，为了满足电站的运行要求，各部分工程的施工精度要求也非常严格，任何一个环节出现问题都可能影响整个电站的性能和安全。

### 1.2 施工技术体系框架

现代抽水蓄能电站施工技术体系涵盖了多个方面。在水库工程施工方面，包括土石方开挖、坝体填筑、防渗处理等关键技术。输水系统施工技术涉及隧洞开挖、管道安装、压力钢管制作与安装等。地下厂房洞室群施工技术包括洞室开挖、支护、混凝土浇筑等。机组与机电设备安装技术则包括设备运输、吊装、对接、调试等一系列复杂工序。另外，施工技术体系还包括施工测量、施工监测、施工质量控制等保障技术。施工测量为各部分工程的施工提供精确的定位和尺寸控制；施工监测实时掌握工程结构的安全状况和施工过程中的变形情

况；施工质量控制确保各环节的施工质量符合设计要求和相关标准规范。这些技术相互关联、相互支持，共同构成了一个完整的施工技术体系，保障抽水蓄能电站的顺利建设。

## 2 现代抽水蓄能核心施工技术分析

### 2.1 水库工程施工技术

水库工程作为抽水蓄能电站不可或缺的关键部分，其施工质量优劣与电站的蓄水及调节能力紧密相连。在土石方开挖环节，先进的爆破技术发挥着重要作用。依据不同地质条件，如岩石的硬度、节理裂理发育程度等，以及开挖要求，像边坡坡度、开挖深度等，精心选择爆破参数，涵盖炸药类型、装药量、起爆方式等，同时挑选适宜的开挖方式，如全断面开挖或分层分段开挖。如此，可有效保障开挖边坡的稳定性，防止滑坡等灾害发生，还能确保开挖面平整度，为后续施工奠定良好基础。坝体填筑技术是水库工程的核心环节。需严格依照坝体设计要求与材料特性，挑选合适的填筑材料，如土料、砂砾石料等，并进行全面严格的质量检测，确保材料符合标准。填筑时采用分层填筑、分层碾压的方法，精确控制每层填筑厚度与碾压参数，如碾压遍数、碾压速度等，以此保证坝体密实度和强度达到设计要求。同时，高度重视坝体防渗处理，采用防渗墙、土工膜等有效防渗措施，阻止水库水渗漏，维持水库正常蓄水水位，保障水库的蓄水效果与长期稳定运行。

### 2.2 输水系统施工技术

输水系统的施工质量对抽水蓄能电站的水力性能与运行安全起着决定性作用。隧洞开挖作为输水系统施工的重点与难点，需根据隧洞所处的地质条件，如岩层走向、断层分布等，以及断面尺寸大小，合理选择开挖方法。钻爆法适用于地质条件较好、断面较大的隧洞；盾构法则在软土等地质条件下具有优势。开挖过程中，加

强地质超前预报和监测至关重要。运用先进的地质探测仪器，提前掌握隧洞前方地质情况，依据监测数据及时调整施工参数，如爆破参数、支护时机等，确保施工安全，避免塌方等事故发生<sup>[2]</sup>。管道安装和压力钢管制作与安装是输水系统的关键工序。管道安装要严格保证管道轴线准确、坡度合理以及接口质量良好，采用先进的焊接技术，如自动焊接，并运用无损检测等手段，确保管道密封性和强度达标。压力钢管制作需严格按照设计图纸和工艺要求进行，精确控制钢管尺寸精度，保证焊接质量，采用合适的焊接工艺和焊材。安装时采用专用吊装设备和工艺，确保压力钢管准确就位、安全连接，保障输水系统畅通无阻、安全运行。

### 2.3 地下厂房洞室群施工技术

地下厂房洞室群施工堪称抽水蓄能电站施工中最复杂、最困难的部分之一。洞室开挖采用分层、分区的开挖方法，依据洞室围岩条件，如岩石强度、稳定性等，以及结构特点，如洞室形状、尺寸等，合理确定开挖顺序和开挖进尺。一般先开挖关键部位，再逐步扩展，控制每次开挖进尺，减少对围岩的扰动。开挖过程中，及时进行支护施工是保障洞室稳定的关键。采用锚杆、锚索、喷混凝土等多种支护方式，根据围岩变形情况灵活调整支护参数，增强洞室稳定性，防止围岩失稳。混凝土浇筑是地下厂房洞室群施工的重要环节，为保证混凝土质量和浇筑效果，采用预拌混凝土和泵送浇筑技术。预拌混凝土质量稳定、性能优良，泵送浇筑可实现混凝土的远距离、高效输送。浇筑过程中，严格控制混凝土浇筑速度，避免过快导致混凝土离析；精心把控振捣质量，确保混凝土密实，防止出现蜂窝麻面等质量问题。同时，注重混凝土养护，采用覆盖保湿、喷水养护等方法，确保混凝土强度和耐久性达到设计要求，保障地下厂房洞室群的长期安全运行。

### 2.4 机组与机电设备安装技术

机组与机电设备安装作为抽水蓄能电站建设的最后一道工序，是确保电站正常运行的关键环节。设备运输前，需制定详细周全的运输方案，充分考虑设备重量、尺寸、形状等因素，选择合适的运输工具，如大型平板车、专用运输船等，并规划最优运输路线，避开交通拥堵路段和复杂地形区域，确保设备在运输过程中的安全，防止设备损坏。设备吊装采用大型起重设备，根据设备重量和尺寸，精确选择合适的吊装方法和吊装工具，如采用双机抬吊或单机吊装，配备合适的吊索、吊具等，确保设备准确就位。设备对接和调试是核心工作。对接时，要保证各设备之间连接精度和密封性，运

用精确测量工具，如激光对中仪，采用科学调整方法，确保设备同心度和平行度符合设计要求。调试工作涵盖单机调试、分系统调试和整体联动调试等阶段，通过全面细致的调试，检查设备运行性能和各系统之间协调性，及时发现并解决设备存在的问题，确保机组能够安全、稳定、高效地运行，为电站发电提供可靠保障。

## 3 复杂条件下抽水蓄能施工技术难点

### 3.1 复杂地质条件下的施工技术

在高地应力地区进行抽水蓄能电站施工时，岩爆是一种常见的地质灾害。岩爆的发生会给施工人员和设备带来严重的威胁，影响施工进度和安全。为了防治岩爆，采用地质超前预报技术，提前掌握隧洞前方的地质情况和高应力分布特征，为施工提供决策依据。在施工方法上，采用短进尺、多循环的开挖方式，减少对围岩的扰动。同时，采用喷混凝土、锚杆、锚索等支护措施，增强围岩的强度和稳定性。还可以采用应力解除技术，通过在隧洞周边钻孔或爆破等方式，释放围岩中的部分应力，降低岩爆发生的可能性<sup>[3]</sup>。岩溶地区的地质条件复杂，存在大量的溶洞、溶隙和地下暗河等。在抽水蓄能电站施工过程中，岩溶和涌水问题会给施工带来极大的困难。对于岩溶处理，采用地质勘探和物探等手段，准确查明岩溶的分布范围和规模。根据岩溶的不同情况，采用充填、跨越、疏导等处理方法。对于小型溶洞，采用混凝土或浆砌石进行充填；对于大型溶洞，采用桥梁或涵洞等方式跨越；对于地下暗河，采用疏导的方式将水流引至隧洞以外。涌水处理是岩溶地区施工的另一个难点。采用超前钻孔排水、设置排水隧洞或排水管沟等措施，降低地下水位，减少涌水量。同时，在隧洞开挖过程中，采用注浆堵水技术，对涌水部位进行封堵，确保施工的顺利进行。

### 3.2 高水头、大容量工程施工精度控制技术

高水头、大容量抽水蓄能电站对施工精度有着近乎严苛的要求，这关乎电站后续能否安全、高效运行。在水库大坝施工环节，坝体轴线的精准定位是基础，若出现偏差，大坝整体受力结构将被破坏，稳定性大打折扣；高程控制不精确，会影响大坝的防洪和蓄水能力；坡度不合理，则会降低大坝的防渗性能，增加渗漏风险。输水系统施工同样不容有失，隧洞轴线的偏移会改变水流方向，影响水力性能；断面尺寸偏差过大，会降低水流效率，增加水头损失；管道安装精度不够，会导致连接不紧密，出现漏水现象，进而影响发电效率。为实现高精度施工控制，需采用先进测量仪器与方法，全站仪、GPS定位系统可大幅提高测量精度与效率。建立严格的质量控制体系，加强

施工过程检测监控，及时纠偏。混凝土浇筑时，运用模板支护技术保证结构尺寸，采用精确浇筑工艺确保表面平整，全方位保障施工质量。

#### 4 现代抽水蓄能施工技术发展趋势

##### 4.1 智能化与数字化发展

随着科技的飞速进步，智能化与数字化技术在抽水蓄能电站施工领域的应用前景愈发广阔。在施工测量环节，无人机测量技术凭借其灵活性和高效性，能够快速覆盖大面积区域，获取精准的地形数据；三维激光扫描技术则可对工程结构进行细致入微的扫描，生成高精度的三维模型，实现实时、精确的工程结构监测。通过建立三维数字化模型，施工人员能在虚拟环境中对施工过程进行全方位模拟和分析，提前发现潜在问题，优化施工方案，避免实际施工中的返工和延误，从而显著提高施工效率和质量。在施工管理方面，物联网技术可将施工设备、人员和材料连接成一个有机整体，实现实时监控和管理。借助大数据和云计算技术，能对海量的施工数据进行快速处理和分析，为施工决策提供有力支持。智能化的调度系统可根据施工进度和资源需求，合理安排设备调配、人员分工和材料供应，提高施工的协同性和灵活性。人工智能技术可对施工过程中的数据进行深度挖掘，预测可能出现的问题，提前制定应对措施，保障施工的顺利进行。

##### 4.2 绿色与低碳施工技术普及

在全球绿色发展理念深入人心的背景下，抽水蓄能电站施工对绿色与低碳技术的重视程度与日俱增。在施工过程中，积极采用环保型材料，如新型保温隔热材料、可再生建筑材料等，不仅能减少对自然资源的依赖，还能降低材料生产过程中的能源消耗和环境污染。节能型设备的广泛应用，如高效节能的照明系统、低能耗的施工机械等，可有效降低施工过程中的能源消耗，减少碳排放。加强对施工场地的生态保护至关重要，采取水土保持措施，如修建挡土墙、植草护坡等，防止水土流失；实施植被恢复工程，在施工区域种植适宜的植物，改善生态环境。在工程建设完成后，对施工场地进行生态修复，通过土壤改良、植被重建等手段，使其与

周边环境相协调，实现工程建设与生态环境的和谐共生，为可持续发展贡献力量。

##### 4.3 高难度工程技术突破

随着抽水蓄能电站建设规模持续扩大，技术要求不断提高，一系列高难度工程技术挑战接踵而至。在深埋长隧洞施工中，复杂的地质条件给施工带来了巨大困难。高地应力可能导致岩爆等灾害，高温环境影响施工人员的作业效率和设备性能，高瓦斯则存在爆炸风险<sup>[4]</sup>。在超高水头、大容量机组安装方面，对安装精度和调试技术水平提出了极高要求，稍有偏差就可能影响机组的运行效率和稳定性。为突破这些高难度工程技术，必须加强科研投入和技术创新，组织专业的科研力量，针对关键技术难题开展攻关研究，借鉴国内外先进经验和技术成果，结合工程实际情况进行创新和应用。同时，加强产学研合作，建立科研、设计、施工一体化的技术创新体系，整合各方资源，形成强大的研发合力。通过不断的技术突破，推动抽水蓄能电站施工技术向更高水平迈进，为抽水蓄能电站的建设和发展提供坚实的技术保障。

#### 结束语

现代水利水电抽水蓄能施工技术对于保障能源稳定供应意义重大。当前，在核心施工技术的掌握上已取得一定成果，但在复杂条件施工及高难度工程技术方面仍面临挑战。未来，随着智能化、数字化、绿色低碳等技术的发展，以及科研投入和技术创新的加强，抽水蓄能施工技术将不断突破，推动行业持续进步，为能源转型和可持续发展提供有力支撑。

#### 参考文献

- [1] 金峰.水利水电工程中堆石混凝土筑坝关键技术研究[J].水电与抽水蓄能,2025,11(01):4.
- [2] 钮媚娜.多目标优化体系水利水电工程建设规划研究[J].山西水利, 2024, (11): 45-48.
- [3] 苏丛,王泽宇,凌海涛,等.水利水电工程安全管理策略研究[J].大众用电,2021,36(05):62-63.
- [4] 程立.水电水利规划设计总院完成吉林敦化抽水蓄能电站下水库工程蓄水验收现场检查及技术预验收工作[J].水力发电,2023,45(06):99.