

抽水蓄能电站工程施工中的关键技术与管理模式研究

刘卓伦

中电建电力投资集团有限公司北京分公司 北京 100070

摘要:与传统水电项目相比,建设大型抽水蓄能电站在设计水库、安排厂房及选择机组配置等方面展现出其特有的复杂性和独特挑战,这些特性使得其施工具有更高的难度、技术要求和安全风险。本文深入探讨了大型抽水蓄能电站在渗漏控制、地下结构施工及机组安装和测试等方面的关键技术问题,并提出了相应的管理策略,旨在提升工程施工的整体质量。通过这些技术和管理上的创新,期望能够为抽水蓄能电站的建设提供高效、安全的指导方针。

关键词:抽水蓄能电站; 施工中; 关键技术; 与管理模式

前言:在建设抽水蓄能电站时,采用关键施工技术是必要的,但也同样重要的是实施有效的施工质量控制措施。这包括成立专门的质量管理部门和配备经验丰富的质量监督人员。此外,完善的质量管理体系和方法的建立,以及责任制的明确和执行,对于确保施工过程中各个环节能够顺畅衔接,从而整体提高施工过程的质量水平,是至关重要的。

1 抽水蓄能电站工程

抽水蓄能电站在电力系统中扮演重要角色,具备平抑电网负荷波动、提供事故备用支持、实现电能调频和改善电压质量的能力,它们在确保电网调节灵活性、安全运行及电能品质提升等方面极为关键。这一系统在处理大规模电网、高负荷容量、显著的用电需求波动以及复杂的电源组合时显得尤为重要,符合现代智能电网的发展需求。自20世纪90年代起,中国大陆便开始建设如十三陵、广蓄、天荒坪等大型抽水蓄能电站,至2014年6月,该类电站的总装机容量已达到21510兆瓦,且有更多项目正在建设中,其总规模接近19040兆瓦。

2 抽水蓄能电站工程施工中的关键技术要点

2.1 渗控技术

2.1.1 新建水库

在抽水蓄能电站的库盆防渗工程中,基于地质条件的不同,可以将防渗措施划分为全面防渗、部分防渗以及无需防渗三种策略。防渗技术主要包括单一防渗和联合防渗两大类。单一防渗指的是所有需要防渗的区域采用相同的材料和方法进行处理;而联合防渗则结合了不同的防渗技术,常见的有结合“库岸防渗墙和垂直防渗屏幕”以及“库岸防渗墙加库底防渗层”的方案。库岸和库底的防渗材料多样,包括沥青混凝土、钢筋混凝土面板,以及采用黏土、土工膜或是土工膜黏土复合体等。国际上,大约九成的已建抽水蓄能电站选择了单

一全沥青混凝土防渗方式。国内的防渗措施则更为多样化,依地理、地质条件而定。例如,天荒坪、西龙池等电站采用单一的全沥青混凝土防渗方式;而十三陵、宜兴等则全面使用混凝土进行防渗。联合防渗方案广泛应用于多个电站,如宝泉电站采用库岸沥青混凝土结合库底黏土铺盖,溧阳则采用钢筋混凝土面板搭配库底土工膜黏土复合体。

2.1.2 库底黏土铺盖填筑技术

对于库底黏土覆盖的施工技术,一系列创新方法有效解决了多个技术难题,诸如阶段性施工划分、物料分布、碾压策略、接缝处理以及与库岸连接处的施工,这些进步不仅提升了施工的品质,还极大提高了工作效率,填补了国内在此领域的技术空白:通过将施工区域合理地划分为不同阶段和区域,采用不同层次不重叠的施工路线规划,并通过“后退法”进行物料分布,确保了工程的高质量执行和大规模黏土覆盖的快速完成^[1]。在黏土铺设的每个分区中,预留的斜坡面设计保持在1:3.0的坡度,这样在相邻区段施工时,先进行坡面的取样检验,确保符合标准后再进行表面粗化、喷水和铺设,并采用重叠碾压方法。针对需要实现水平防渗并面临大工作面挑战的黏土铺盖,使用震动型平碾和具有振动凸块的碾刨毛组合碾压技术,以及层间接合面的特殊处理,这一系列措施显著增强了施工的效率。在黏土铺盖与库岸防渗结合部的施工中,通过应用震动平碾的薄层施工方式(库底部位散铺35cm厚,结合处散铺25cm厚),采用层压技术,保证了与库岸防渗体的紧密结合,从而确保了优良的施工品质。在黏土铺盖与沥青混凝土面板连接部施工前,会在沥青面板上涂抹比例为1:1.1至1:1.5的浓度泥浆,并确保涂抹的高度、进度与黏土铺设的厚度、强度相匹配,保证泥浆在黏土覆盖前保持其粘性。

2.2 地下工程关键技术要点

2.2.1 地下洞室群技术

在地下洞室群的建设中,针对洞内复杂的风流场情况,通风系统的合理布局显得至关重要。大型地下空间通常在不同高度设有专门的通道和辅助空间,既方便施工也满足通风与排烟需求。为了有效地促进洞内外的空气交换,减缓废气循环,建议各级洞室应尽可能与外界直接相连^[2]。因此,在施工计划中,应优先完成那些能够联通外部与内部大型空间的中小洞室,以减少后续阶段洞室间通风的压力。在施工的早期阶段,中小洞室在相互连接前,其通风排烟方式应与独立洞室保持一致,通过在洞口设置风机进行压入或抽排空气,实现排烟和除尘。然而,当洞室之间贯通后,由于洞内风流变得更加复杂,单一的压风方式可能无法达到预期的除尘效果。此时,结合不同洞口处的气压情况,通过模拟分析洞内风流场并相应调整风机布局,通常在较低处的洞口进行压风,而在相对较高位置的洞室进行抽排,以此配置高功率风机,避免洞内风力的衔接问题。

值得注意的是,斜井和竖井在整个洞室群中扮演着重要的排风角色。倘若没有专门的斜井或竖井,可以考虑设置专用的排烟竖井。例如,在洪屏地下厂房案例中,尽管洞口高差较大,但由于天然的气压差较小,仅依靠送风与抽排并不显著,因此,在通风兼安全洞上方另设了一深231米的排烟竖井,有效地解决了排烟除尘难题。当地下水资源丰富时,地下洞室的排水问题也不容忽视。地下水处理不当不仅影响洞室的钻孔和装药,也会影响爆破效果及围岩的稳定。故此,在早期的中小洞室开挖过程中,根据洞内渗水情况预估渗流量,充足地配备水泵,并设立分段集水坑,通过水泵及时将渗水排至洞外,避免渗水向大型洞室汇聚。此外,早期建设的排水系统也应超前于对应层次的厂房开挖作业。

2.2.2 岩壁梁技术

厂房的岩壁梁开挖工程通常安排在二层或三层区域,采取侧翼预留保护区与中部开挖抽槽的方法进行。为确保预留保护层的安全,中部抽槽开挖阶段会在槽侧设置预裂孔,并通过先进行预裂,再执行槽内分段爆破的步骤来形成领先抽槽,目的是避免对两旁的保护层造成损害^[3]。在槽两侧保护层的处理上,一般采用手持钻机进行垂直钻孔,并通过浅孔梯段爆破结合光面爆破技术进行处理。保护层的预留宽度应满足挖掘作业需求,过厚则会导致钻孔工作量增加,不仅拖慢工期,也会使成本上升。岩壁梁开挖工程的区域划分明确,包含中部抽槽开挖区、保护层开挖区以及岩台开挖区。对于岩台开挖,传统方法是在岩台边沿钻设水平孔以移除上部的保

护层。尽管这种方法施工简便,但形成的岩台边界并不理想。特别是周边孔引爆时,某些孔位可能因为上下边界的限制而导致挖掘不足,同时有些孔位的爆破可能会造成临近区域的过度挖掘。岩壁梁的混凝土工作较为标准,但面临模板使用效率不高,一次性材料投入大的挑战。为此,建议采用胶合板作模板材料。同时,为减少混凝土施工过程中的温度升高,建议在混凝土中设置测温计和冷却管道,同时通过优化混凝土的配合比,降低水化热,减少混凝土温度,以及采取保温养护措施进行温度控制。

2.3 机电安装调试技术

2.3.1 座环、蜗壳水压技术

在进行蜗壳和座环安装及其后续的水压试验时,首先要安装内封筒、密封件和下机坑里的衬体^[4]。同时,在蜗壳上安装压力管和压力表以测量压力。为了精确监测蜗壳和座环的变形和水平位移,在四个预定方向(X、-X、Y、-Y)上搭建了测量架,并在四个指定断面上以及座环内侧和蜗壳外侧的中心线上分别布置了多块百分表。启动试压泵进行泵体试验时,需要调整安全阀至最大压力,并确保测试过程中的压力波动在额定压力的 $\pm 3\%$ 以内。接下来,对蜗壳进行填水,关闭填水阀,分阶段增压,每次增压后保持压力5分钟,随后降压再升压,直到达到设计压力的1.5倍。整个试验过程中,由专职人员负责计时和记录详尽的测试数据。在每一个保压阶段,细致检查蜗壳和座环的焊缝是否存在渗漏、裂纹或变形等情况,并详细记录百分表的读数;同时对所有封堵的孔洞和内封筒的密封性能也进行检查。蜗壳的水压保持合格后,降至其保压阶段的标准压力值(通常为设计水压的0.5倍),然后在该压力下进行混凝土浇筑。在浇筑混凝土过程中,在座环法兰面布置百分表来监控其水平位移,并在蜗壳的进口封头处设置百分表以监测位移情况,并根据实际状况调整浇筑顺序。由于保持压力浇筑混凝土的时间较长,需要指派专人监测压力的变化,一旦压力降低至允许的偏差范围以下(少于5%),应立即启动泵进行增压。

2.3.2 首机首次水泵工况启动技术

在首次启动水泵的过程中,确定上水库的水位需参考机组模型报告中规定的水泵的最低或超低扬程需求。为了确保安全,通常选择最低扬程进行启动,并对这一扬程及其相关的水力学参数进行验证,确保水泵在抽水状态下避免空化损伤并保持稳定工作。启动机组时,所需的淹没深度必须符合产品出厂设定及现场计算的要求。在机组静止状态时,通过调压水设备对转轮室进行

通气充水处理,直至水位达到规定标准后终止通气。在压水成功,转轮处于空气环境中处于无负荷状态后,关注的重点是确保储气罐的容积以及调压水过程的控制程序准确无误。利用SFC系统来引导机组进行动态平衡实验,通过分析实验数据来进行转子配重调整。水泵的调相抽水操作分为三个步骤:首先是转轮室的排气回水操作,接着实施零流量下的压力建立,最后进行导叶开启的抽水操作。操作过程中,精确选择代表水泵压力建立的功率参数至关重要,此参数是开启球阀和导叶的关键因素。机组的输入功率能有效反映水泵造压的效果,因此,设置两个关键的功率参数:第一个用于球阀的开启,第二个则用于关闭转轮室的排气阀以及止漏环的供水阀,并执行导叶开启操作^[5]。

3 抽水蓄能电站工程施工管理模式

在实施抽水蓄能电站项目时,确保施工质量至关重要。鉴于此类项目相较普通工程而言,涉及的技术领域更广泛,工序更为复杂,施工难度更大,建立健全的质量管理系统是首要任务。某抽水蓄能电站项目特别强化了领导层的建设,建立以项目经理为组长,总工程师和质量副经理担任副组长的领导团队,专责制定并落实质量管理目标与具体实施措施。要有效地培养质量意识,并实施质量事故追溯系统,从而构建起一套完整的质量管理框架。这套系统涵盖了工程技术、质量检验、实验室检测以及测量监控等多方面,下设包括施工队的质量检查员和各班组长检查员在内的多级质检机构。项目部设立了独立的质量监管部门,针对工程质量进行全面的管理与审查。管理结构明确地分配给项目经理主导责任,构架包括了技术质量两大核心部门以及测量、机电物资、综合办公等多个职能部门,下辖具体的施工班组,如开挖、支护、混凝土浇注、金属结构安装等,形成了严格的上下管理链条。强化现场检查,实施全程质量控制,确保施工各环节严格执行规定标准。

遵循“谁施工、谁负责;谁操作、谁保证”的原则,由总工程师和质量副经理领导的技术及质量部负责工程组织设计、施工技术、进度安排及质量监控,保证施工质量管理措施得到有效执行,协调各环节和部门的工作,确保工程验收和最终文档的完整性与准确性。施工团队需依照质量标准和进度要求执行任务,确保以高效且有序的方式完成施工。项目部设有专职的质量检验工程师和基层质检人员,以自检、抽检、互检的方式对工程质量进行监督,对于特殊和隐蔽工程特别加强监控,以确保每一个施工环节都符合质量标准,形成完善、高效的质量保证与管理模式。

结语:自十三陵抽水蓄能电站建设以来,现代大型抽水蓄能电站项目的建设步伐明显加快,其中施工的核心技术也实现了显著的突破和进步,这极大地推动了抽水蓄能电站项目的快速发展。正因如此,施工团队不仅需精于掌握这些关键技术,更要建立和实践科学的管理体系,这样才能最大化地发挥抽水蓄能电站的潜在价值,从而为我国的电力行业带来连续且稳健的发展。

参考文献

- [1]沈默,王洋,苏秀永.抽水蓄能电站施工测量控制网建设流程关键技术[J].灌溉排水学报,2023,42(S1):141-144.
- [2]薛小伟,高杰,张任兵等.缓倾角长斜井开挖支护施工关键技术[J].云南水力发电,2023,39(12):128-135.
- [3]张兴彬,王炳豹,殷康等.基于TBM施工长斜井压力钢管安装关键技术研究[J].云南水力发电,2023,39(11):174-179.
- [4]周佩,贺成.浅谈抽水蓄能电站岩锚梁混凝土高温浇筑施工关键技术[J].四川水利,2023,44(05):94-97.
- [5]齐界夷,江谊园.长龙山抽水蓄能电站400m级超长斜井施工关键技术[C]//中国大坝工程学会.中国葛洲坝集团三峡建设工程有限公司;中国能建工程研究院水电施工设计研究所,2023:11.