

浅谈云南万家口子水电站续建基础处理工程 ——专项施工组织设计

刘志芸

中国能源建设集团广西水电工程局有限公司 广西南宁 530000

摘要:针对万家口子水电站基础处理工程暂停施工后的复工要求,开展专项施工组织方案研究,通过系统分析坝区地质环境复杂性以及剩余工程量特点,构建涵盖管理机制、工艺把控以及进度规划的三维实施体系。研究制定帷幕灌浆溶洞整治与高压固结灌浆等核心工艺方案,并明确高强度施工阶段资源调配措施。实施过程表明,该方案确保基础处理工程质量,达标且关键路径进度符合预期,为电站如期发电提供坚实技术保障。

关键词:万家口子水电站;基础处理;施工组织;工艺控制;进度管理

引言

云南省万家口子水电站是采用碾压混凝土技术的拱坝项目,2012年起暂停建设后基础处理工程,面临地质条件复杂与工期紧张双重压力。坝基岩体透水性较高且两岸地下水位偏低,存在渗漏方面的隐患问题,右岸溶洞密集区域帷幕灌浆作业难度较为突出,边坡锚索施工在破碎岩层钻孔效率低下。这些问题必须依靠科学施工规划方案进行攻克,专项设计要合理协调施工方法与人力物力配置,优化重点工序进度计划健全质量安全管控机制,以此保障续建工作高效推进并如期实现发电任务,按期完成合同履行,达到客户满意效果。

一、工程概况

万家口子水电站地处云南省宣威市,工程规模为大型(2)型,其枢纽建筑物涵盖碾压混凝土拱坝、水垫塘及引水发电系统等,最大坝高达到167.50m且总装机容量为160MW。该工程自2012年5月起停工缓建后基础处理环节留有大量未完成的任务,涉及各高程灌浆平洞的回填灌浆、固结灌浆、帷幕灌浆以及排水孔以及左右岸边坡锚索等项目,剩余的帷幕灌浆17万米、固结灌浆15万米,回填灌浆、接触、接缝灌浆4万平方,排水孔7万米,锚索3.3万米(589根)和锚筋桩600根,高压旋喷0.3万米,化学灌浆等,基础处理工程结算多达2.2亿元,分包协作队伍多,各工作面交叉干扰严重,且受到洪水期不确定影响,基础处理工程施工不平衡系数高,需同时协调与管理高峰期工作面达10个。

二、施工的重点难点分析

(一)帷幕灌浆工程

地质条件复杂,岩溶发育,地下水位低,帷幕施工难度大,技术要求高,管理难度大。帷幕工程剩余17万米,电梯井、灌浆廊道衬砌尚未完成,右岸1340~1390m高程段溶洞处理方案没有落实,溶洞处理难度较大,因此需尽快完成电梯井、灌浆廊道衬砌、传力洞开挖回填、落实溶洞处理等工作,以减小对帷幕施工的影响。另外近岸段帷幕灌浆孔需等待大坝混凝土龄期,温度降低,完成接触接缝灌浆后方可进行施工,按期完工受制约的因素多,可控性差。

针对右岸溶洞、溶槽发育的情况,施工过程中处理该部分的地质缺陷,将严重影响正常的施工进度计划,我部计划根据施工实际情况安排4台地质钻机及配套的灌浆设备处理地质缺陷问题,保证施工进度计划的顺利完成。

(二)锚索工程

锚索孔施工在水垫塘原地貌边坡上进行,边坡表层岩石破碎、风化严重,孔隙、裂缝多,表层岩石相对稳定性较差,锚索孔钻灌过程中极易发生石块掉落现象,故不允许上下交叉作业。岩石破碎,也导致成孔困难,采用自下而上高压灌浆时,容易发生浆液绕回灌浆旋塞上方凝结或者孔内塌孔至灌浆旋塞拔出困难的施工事故发生,另外岩层破碎、裂缝发育也导致高压固结灌浆升压困难,灌浆堵漏难度大的情况。空间方面锚索孔与抗力体排水洞排水孔交叉重叠,施工过程中要充分考虑施工的先后顺序问题。

(三) 坝肩固结灌浆

坝肩固结灌浆在坝肩陡坡上进行, 施工过程与大坝碾压砼存在交叉作业, 为防止固结灌浆施工过程中的污水、钻渣进入碾压砼仓面, 进行部分施工时段应灵活安排, 尽量避免与碾压砼同步作业, 无法避开时需在固结灌浆下侧修筑截水沟, 避免污染碾压混凝土仓面。

坝肩固结灌浆二次灌浆管路预埋, 管路多, 工作面不平整, 导致 $\phi 25\text{mm}$ 镀锌铁管引管困难, 实际施工过程中, 根据工作面不平整情况合理加工管路, 管路出口位置提前计划清楚, 并做好标识。

引水隧洞有钢衬段固结灌浆, 施工工序上是在钢管安装后开始固结灌浆, 为保证固结灌浆的顺利进行, 需预先在钢衬管上预开固结灌浆孔, 待固结灌浆完成重新焊接补平。

(四) 传力洞、抗力体排水平洞向上打孔, 孔深大, 成孔困难, 对设备性能要求较高, 左岸 1320 传力洞固结灌浆工程量大, 施工通道仅为 $1.5 \times 1.5\text{m}$, 设备进退场困难。

(五) 按照节点工期和大坝悬臂长度要求, 2015 年 4 月大坝 EL1330m 高程以下接触、接缝灌浆、2016 年 4 月 EL1360m 以下接触、接缝灌浆、2016 年 12 月 EL1415m 以下接触接缝灌浆必须完成, 为保证节点工期的实现, 大坝碾压混凝土浇筑完成后需采取强冷措施降温, 尽早达到接触接缝灌浆条件, 保证接触接缝灌浆的顺利进行。

(六) 水泥供应

基础处理工程, 高峰期灌浆工作面达 12 个, 单月最高灌浆工程量约 15924.6m³/月, 按日均完成 550m³灌浆, 平均单耗 180kg/m³计算, 日水泥消耗量约 99 吨, 水泥需求量、工作面多, 成品浆液拌制并输送至各个工作面将成为本基础处理工程的难点。因此水泥量供应需要根据施工强度提前做材料供应计划, 合理布置送浆管路, 定期对制浆站及送浆管路进行维护保养, 保证设备良好运转, 是本工程施工的关键点之一。

三、施工组织与资源配置

(一) 管理体系构建

项目管理体系运用直线职能制组织架构, 其决策层是以项目经理作为核心, 由项目副经理与总工程师分管负责相关事务。管理层下面设置了工程部、安质部、设备物资部、经营部以及综合办公室这五大职能部门, 构建起包含技术、质量、安全、物资及行政管理的一体化管控网络, 质量保证体系是基于 ISO9001 标准来构建

的, 专门设立了质量检查部门, 配置 3 名专职质检工程师并且明确各作业组的兼职质检员, 实现从施工准备、过程监管直至竣工验收的全周期质量监控。结合灌浆工程的特性, 制定了涵盖《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》等 9 项行业规范的质量检验标准体系, 对帷幕灌浆实施全过程数据自动记录工作, 在安全管理方面, 在项目经理的主导之下设立安全委员会, 编制涵盖安全防护、机械操作与用电安全等 12 个领域的安全操作手册, 通过三级安全教育、定期巡查以及专项治理这些方式, 达成“四无一杜绝”的安全管控目标^[1]。该体系借助经营承包责任制与绩效考核机制, 特别是在高边坡锚索施工与水垫塘高压灌浆等高风险作业当中落实专项管控措施, 确保基础处理工程在多工种且高强度作业环境下能有序推进。

(二) 关键工艺控制

在面对帷幕灌浆工程里岩溶发育这种地质难题时, 采用孔口封闭高压灌浆技术并借助分段钻进与循环灌浆保障帷幕体完整性。灌浆压力控制遵循分级升压原则, 第 I、II 序孔灌浆压力计算公式为:

$$P = 0.1H + 0.5 \quad (1)$$

其中 P 代表灌浆压力 (MPa), H 表示孔口以下段深度 (m), 该公式能让灌浆压力梯度随孔深增大而提高, 既能促进浆液充分扩散又可避免造成岩体劈裂。针对右岸溶洞密集区域依据吸浆量大小选用水泥砂浆或膏浆进行封堵, 当单孔注浆量超过 16000kg 时采取间歇 48 小时后二次灌浆措施且在原有设备配置外增配 4 台地质钻机用于处理地质异常情况, 固结灌浆在岩层破碎段采用由上至下的分段灌浆方法通过调节 2、1 与 0.5 三个级别的浆液水灰比与注入率来增强岩体强度, 同时对传力洞 360° 环形灌浆实施严格的钻孔垂直度控制。锚索施工采用先进行高压固结灌浆再施加预应力工艺且灌浆压力按 0.4-3.0MPa 进行分段调控, 针对钻孔困难部位采用套管护壁工艺显著提高锚固段岩体承载能力, 这些针对特殊地质条件的专项技术方案经现场试验证实其有效性, 尤其在处理大型溶洞与破碎岩体方面成效突出为基础工程质量提供坚实保障^[2]。

四、质量安全与实施效果

(一) 质量安全控制

质量管控体系采用以项目经理为主责的三级管理架构, 依靠规范的工序检验与材料管理来保障项目品质。质控流程图系统呈现从施工准备、过程监管到完工验收

的完整管理链路，还细化各环节管控要点与优化机制，质量检测遵循包括水工建筑物水泥灌浆施工技术规范等在内的九项行业标准，其中帷幕灌浆工程采用全程自动化监测，固结灌浆检查孔压水试验要保证85%以上的合格率^[3]。在特殊工序管控方面，岩溶发育区灌浆采用缩短灌浆段距、提升浆液稠度及分段灌注等特殊工艺，锚索张拉实施双参数控制，要控制张拉力度同时监测钢绞线延伸量，安全保障体系通过建立安全生产责任制与应急方案，落实班前安全交底与周期性检查机制，在高边坡作业区采用防护网与安全绳的双重防护，在灌浆廊道

内安装强制通风与应急照明设施。环保管控聚焦灌浆废浆与岩屑处理，各作业面均设置三级沉淀池并由专人定期清理，确保施工废水符合排放标准，实现质量、安全与环保管理的协同发展。

(二) 工程实施验证

工程实施成效的验证要依托施工期间系统采集的检测资料与质量记录，这些实际测量结果为评估专项施工方案有效性提供客观基础，通过对帷幕灌浆、固结灌浆及锚索施工等核心环节完工检查，汇总形成如表1所示的质量验收结论。

表1 主要基础处理工程质量验收结果

检验项目	检验标准	合格率(%)	备注
帷幕灌浆透水率	接触段 $q \leq 1 Lu$	100	检查孔数为总灌浆孔数的10%
帷幕灌浆透水率	接触段以下各段 $q \leq 1 Lu$	>90	不合格段透水率未超过设计规定值200%
固结灌浆岩体波速	灌后波速提高率 $\geq 10\%$	100	声波检测与岩芯取样综合评定
锚索张拉力控制	锁定值误差 \leq 设计值5%	100	验收试验抽样比例为5%且不少于3束
锚索预应力损失	48h损失率 $< 10\%$	100	完工抽样检查结果
单元工程优良率	固结灌浆单元优良率	>85	按SL176-2007规程评定

从表1的验收结果可以看出，所有核心质量参数都符合甚至优于设计规范标准，这就证明了所选用的施工方法与质保策略切实可行。

结语

万家口子水电站基础处理续建工程落实专项施工组织设计，有效克服复杂地质环境带来的技术难题，构建起规范化的管理机制确保施工活动有序推进，通过对关键工序进行精细化管理保障帷幕灌浆及锚索工程施工品质，依据科学的进度安排确保各重要阶段目标如期达成。工程质量与安全管控体系运行状况良好，项目整体成果符合预先设定的目标，该专项方案为同类水电续建项目

提供可靠的技术借鉴，其组织管理模式在高难度基础处理工程中有推广意义。工程实践表明，系统化施工组织设计是复杂水电项目顺利实施的关键支撑。

参考文献

- [1] 钱恒江. 水库灌区续建配套与节水改造工程输水管道疏通技术的研究[J]. 水上安全, 2025, (04): 25-27.
- [2] 滕瑜君. 灌区续建配套与节水改造工程施工措施探讨[J]. 黑龙江粮食, 2023, (08): 51-53.
- [3] 沈源国, 张宝勇, 祝景东. 国外水电站续建项目设计探析——以尼日利亚达丁卡瓦水电站续建总承包项目为例[J]. 小水电, 2021, (01): 71-73+84.