

# 大型抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁施工技术

郁超

中国安能第二工程局有限公司 330000

DOI:10.32629/ems.v8i5.20194

**[摘要]** 岩锚梁作为大型抽水蓄能电站地下厂房的核心承重结构,其施工质量直接决定桥式起重机运行安全及厂房整体稳定性。本文以松阳抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁工程为研究对象,结合工程具体参数,从工程描述、施工技术方案、质量控制体系、安全保障措施等方面展开系统研究,重点阐述二级配清水混凝土施工、锚杆锚固工艺及爆破振动控制技术,为同类工程提供技术参考。

**[关键词]** 抽水蓄能电站; 地下厂房; 岩锚梁; 清水混凝土; 施工技术

随着我国能源结构转型加速,抽水蓄能电站作为新型电力系统的关键调节电源,建设规模持续扩大。地下厂房作为抽水蓄能电站的核心建筑物,其空间布局紧凑、受力条件复杂,岩锚梁作为桥式起重机的直接支承结构,需同时承受吊车竖向轮压、水平荷载及围岩变形应力,对施工精度和结构耐久性提出极高要求。松阳抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁总长330.4m,采用C30W6F50二级配清水混凝土浇筑,施工过程需解决大跨度结构成型、爆破振动影响、混凝土外观质量控制等技术难题。本文结合该工程实践,对岩锚梁施工技术进行深入探讨。

## 一、岩锚梁施工技术原理与行业规范

岩锚梁通过锚杆将钢筋混凝土梁体与围岩牢固锚固,形成“梁-锚-岩”协同受力体系,其承载能力取决于锚杆锚固力、混凝土强度及围岩稳定性。根据《地下厂房岩壁吊车梁设计规范》(NB/T35079-2016)要求,岩壁吊车梁应修建在稳定围岩上,混凝土强度等级不应低于C30,锚杆宜采用HRB400或HRB500钢筋,砂浆强度等级不低于M30;《水电水利工程岩壁梁施工规程》(DL/T5198-2013)明确规定,岩壁梁层开挖分层厚度宜为4m~8m,底部混凝土与开挖层高度不应小于3m,且施工前需进行钻爆工艺试验。清水混凝土作为岩锚梁

的优选材料,需满足结构承载力与装饰性双重要求,其施工需严格控制原材料质量、配合比设计、模板工艺及养护措施,确保表面平整光滑、颜色均匀,无蜂窝麻面等缺陷,气泡直径 $\leq 3\text{mm}$ 、数量 $\leq 3$ 个/ $\text{dm}^2$ 。

## 二、工程描述

松阳抽水蓄能电站地下厂房采用“一”字形布置,由主机段、副厂房及安装场三部分组成,安装场位于主机段左侧,副厂房位于右侧,总开挖尺寸为 $185.2\text{m}\times 25\text{m}\times 56.8\text{m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高),其中主机段开挖尺寸为 $121\text{m}\times 25\text{m}\times 56.8\text{m}$ ,安装场开挖尺寸为 $50\text{m}\times 25\text{m}\times 26.45\text{m}$ ,副厂房开挖尺寸为 $20\text{m}\times 25\text{m}\times 54.3\text{m}$ ,各区域功能明确、衔接顺畅。地下厂房采用VII层分层开挖方案,岩壁吊车梁布置于主厂房第II层开挖范围的上下游边墙,同样呈“一”字形分布,高程区间为 $\text{EL}356.45\text{m}\sim\text{EL}353.60\text{m}$ ,桩号范围为厂左 $0+020.700\sim$ 厂右 $0+144.500$ ,单道长度 $165.2\text{m}$ ,两道合计总长 $330.4\text{m}$ ,梁顶宽 $1.95\text{m}$ ,截面设计充分考虑吊车荷载传递与围岩应力分布,混凝土设计采用二级配清水混凝土,强度等级为C30,抗渗等级W6,抗冻等级F50,既满足结构强度要求,又具备优良的耐久性和外观质量。

## 三、岩锚梁关键施工技术

### (一) 开挖支护施工技术

按照“由上至下层层解构及分区”的原则开展开挖保护作业,第2层(即为岩锚梁所在层面)开挖深度控制在6m以内,符合DL/T5198-2013要求;第2层采取“预留4.0m保护层,中部拉槽预裂”的爆破开挖方式,岩壁吊车梁施工部位采用中部先开挖50m,因此保护层开挖滞后中部拉槽施工作业面距离保持50m,两侧保护层开挖作业面错距进行,错距不小于15m。保护层采用手风钻水平孔分三层小炮撬挖,周边孔间距50cm。保护层一次爆破开挖每循环进尺2.5m。最后岩台开挖是关键,岩台斜墙面及上直墙面分别采用YT-28手风钻分别施工斜孔和垂直孔双向光爆,钻孔均采用钢管搭设样架及导向管控制钻孔精度,岩台双面光爆孔间距30cm,采用特制小直径药卷间隔装药,电子数码雷管起爆。

### (二) 锚杆施工技术

采用HRB400螺纹钢做锚杆,按设计尺寸截取,采用先插杆后注浆的施工工艺。用三臂钻机成孔,直径42mm,深度误差不大于5cm。首先将直径5mm的塑料排气管沿锚杆全长固定在杆体上(杆体入孔后使管口距孔底10cm),并随锚杆送入孔中,然后在孔口堵塞处预埋PVC注浆管,孔口用锚固剂和木楔封闭,注浆时,通过注浆管进行灌浆,将排气管放在装有水的水瓶中,以水瓶中不在产生气泡为准判断是否排气,在至排气管不排气或有浓浆流出时即可停止注浆。注浆完毕后,将注浆管进行封堵。砂浆拌制采用定制化管理,在现场设置定制化管理设施:电子秤、砂浆稠度仪、定制化容器、砂浆试模、配合比标识牌。在开始施工前由项目部质量管理人员组织施工班组支座定制化容器,根据配合比在现场进行计算称量,将配合比转化为便于施工人员操作的单位,本工程经称量计算后得出配合比为1袋(50kg):1桶水(20.5kg):3桶砂(60.5kg)。注浆完成达到强度后无损检测均达到一级锚杆的要求,同样满足设计要求。

### (三) 清水混凝土施工技术

岩壁吊车梁采用分段跳仓浇筑,岩壁吊车梁最小分仓长度5m,最大分仓长度12m,共分为38仓。岩壁吊车梁混凝土施工底模、侧模及端头均采用酚醛覆膜胶合板拼装,中间先浇块的两侧施工缝端模采用凹块键槽型免拆模板,模板支撑及施工操作平台均采用盘扣式脚手架搭设,为了保证混凝土外观质量,底模及侧模材料不周转使用,岩壁吊车梁混凝土浇筑采用汽车吊+卧罐入仓。岩壁吊车梁混凝土浇筑均采用酚醛覆膜胶合板外贴PE板,端模用散拼木模板。底模在盘扣架上布置角钢支撑桁架,以进行底模加固。根据测量放样点定出岩壁吊车梁底部边线,先把底模支撑安装牢固,然后在支撑上铺酚醛覆膜胶合板,要求平整无台口。

岩壁吊车梁混凝土模板采用外拉内撑的方式进行加固,在模板外侧水平方向布置16工字钢,间距50cm;竖向布置双拼16工字钢,间距50cm。拉筋采用20的精轧螺纹钢及对应的螺母,垫板采用15cm×15cm的钢板厚度为1.5cm。堵头模板采用5×10cm×30cm方木作为背带,背带后采用 $\phi 48 \times 3.6 \text{mm} @ 80 \text{cm}$ 钢管和 $\phi 12$ 拉筋进行加固。键槽及模板缝间采用双面胶填满、密封。

岩壁吊车梁单仓混凝土 $20.85 \sim 50.04 \text{m}^3$ (断面 $4.17 \text{m}^2$ ),采用自下而上分层浇筑,单仓浇筑铺料分层7层,底部三角区域为第1胚层厚60cm、第2~5胚层厚均30cm,第6~7胚层厚均为40cm,从一端依次浇筑至另一端,混凝土采用汽车吊+吊罐直接卸料至仓面,每个仓面布置4个下料孔,间距为2~3m,具体根据实际情况布置,且尽量避开岩壁梁锚杆、结构钢筋及混凝土梁体内预埋件,卸料时尽量避开岩壁吊车梁内预埋件。

### (四) 施工监测与控制

进行工程控制及监测主要为爆破振动、围岩收敛变形观测、衬砌温度测试:对于岩锚梁开挖施工,在已浇筑完成的

岩锚梁及其邻近围岩表面布设测振传感器并严格控制其加速度不大于 1.5cms, 依据松阳电站实测结果可知, 最大爆破振动速度仅为 1.2cms 对岩锚梁无影响; 对洞壁变形观测采用全站仪布设观测点, 观测周期为开挖完成后第 1~7d 每天进行一次观测, 随后第 8~21d 每隔 3 天观测一次, 然后第 22~35d 每隔 7 天观测一次, 累计最大变形量为 8mm。逐步趋于平稳, 达到设计要求; 混凝土测温方面, 在箱梁体内布置了温度传感器监测水泥水化热引起的温度变化情况, 最高升温控制在 50℃ 以内并确保内外温差不超过 25℃ 以防止因过高温引起裂缝。

#### 四、质量控制与安全保障措施

##### (一) 质量控制体系

采用“自检+互检+专检”+“过程控制”+“缺陷修补”构建 QC 控制系统的方法进行全过程的质量控制, 即对 139 个混凝土单元工程按施工工序划分并进行自检、复检、终检, 全部单元工程经验收合格后, 才能进行下一循环作业。特别是针对混凝土的观感质量、尺寸偏差及锚杆的握裹力检测。同时为确保过程质量, 建立原材料进场前检验制度, 对每批水泥、砂石料及其他掺合剂均需严格检验, 确保合格。另外在浇筑过程中每 200m<sup>3</sup> 制作一组试块, 共产生 156 组试件; 得出其立方体抗压强度平均值为 38.5MPa, 并且均未有不合格现象发生。最终对于小的缺陷比如混凝土表面的小气泡我们采用相同比例的水泥进行修补, 还会使用  $\Delta E \leq 3$  的颜色变化来调整其颜色, 以使其显得更加和谐。如松阳发电厂岩锚梁混凝土表面气泡直径为  $d \leq 2.5\text{mm}$  和  $n$  (个/ $\text{ft}^2$ )  $\leq 2$  个, 达到清水混凝土标准。

##### (二) 安全保障措施

为保证施工安全稳固性, 采用了以下三方面措施: 一是超前探明围岩稳固情况; 二是在开挖后对裂隙部位进行固结注浆处理, 压力控制在 1.0~1.5MPa, 止浆墙范围向外延伸

至 1.5m 外侧; 三是采用风机系统进行洞室内部空气净化处理。另外还对作业人员配备了必要的安全帽、安全绳等个人防护用品; 并制定了针对突发情况下的应急预案, 配备了相应的急救箱、灭火器及应急照明灯等设备, 并定期开展演练以提高处置效率。

#### 五、结论

松阳抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁施工通过优化开挖支护工艺、改进锚杆锚固技术、精细化控制清水混凝土施工质量, 成功解决了大跨度岩锚梁施工中的关键技术难题, 实现了“安全、优质、高效”的施工目标。工程实践表明, 严格遵循行业规范要求, 结合工程具体参数制定专项施工方案, 加强全过程质量监测与安全管控, 是确保岩锚梁施工质量的关键。未来, 随着抽水蓄能电站向高水头、大容量方向发展, 岩锚梁施工将面临更复杂的地质条件和更高的技术要求, 建议进一步开展新型锚固材料、智能化施工监测技术的研究与应用, 推广 BIM 技术在施工过程中的可视化管理, 不断提升岩锚梁施工技术水平, 为我国抽水蓄能电站建设提供更坚实的技术支撑。

#### [参考文献]

- [1] 黄瑞. 抽水蓄能电站建设与运行案例分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2020.
  - [2] 何男. 已投运大型抽水蓄能电站运行情况概述//抽水蓄能电站运行技术文集[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2020: 3-9.
  - [3] 晏寿. 我国抽水蓄能电站建设前景展望//抽水蓄能电站工程建设文集[M]. 北京: 中国电力出版社, 2020: 15-19.
  - [4] 李刚. 抽水蓄能电站运行管理模式浅析//抽水蓄能电站运行技术文集[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2020: 10-16.
- 作者简介: 郁超, 男, 籍贯: 江苏省常州市, 汉族, 出生年月: 1986.9.8, 学历: 本科, 研究方向: 水利水电, 职称: 工程师。