

双江口水电站大规模地下洞室群开挖关键技术研究

常家强

中国港湾工程有限责任公司

DOI:10.32629/hwr.v3i8.2361

[摘要] 水电站地下厂房实施过程中经常会遇到规模宏大的地下洞室群,而这些地下洞室群多存在纵横交错、立体交叉、平竖衔接、结构断面大、岩爆突出、工期紧、质量要求高等情况,本文通过地处高寒、高地应力、高海拔地区的双江口水电站大规模地下洞室群作为依托,从工程实际执行过程中遇到的实际问题为出发点,总结概括地下洞室群实施过程中常见的关键问题,并给出处理方案,供后续大规模地下洞室群实施作为参考。

[关键词] 地下洞室群; 开挖; 关键技术; 研究

1 工程概况

双江口水电站位于四川省阿坝藏族羌族自治州马尔康县、金川县境内,是大渡河流域水电梯级开发的上游控制性水库工程,上距马尔康县城约46km,下距金川县城约45km。坝址位于大渡河上源河流足木足河与绰斯甲河汇合口以下约2km处,控制流域面积约39330km²,多年平均流量502m³/s。电站的开发任务主要为发电,采用坝式开发,水库正常蓄水位2500m,总库容28.97亿m³,调节库容19.17亿m³。电站装机容量2000MW,多年平均发电量77.07亿kW·h。该电站为一等大(1)型工程,枢纽主要建筑物为1级建筑物,次要建筑物为3级建筑物。枢纽工程由拦河大坝、泄洪建筑物、引水发电系统等组成。

根据多年气象资料统计该项目所在地区,最高气温38.5℃,最低气温-14.5℃,多年平均年降水量733.4mm,最大单日降水量56.2mm。三大洞室地质特征为:水平埋深均达300m以上,垂直埋深近500m,属高应力区,最大主应力达到37.82MPa(水平埋深约400m处)。水平深度0~45m为地应力降低带,45~400m为地应力增高带,400m以里为地应力平稳带。应力水平外低内高、上游低下游高,施工中多次出现岩层剥落、掉块、岩爆等地应力现象,施工期应密切观察、高度重视,加强岩爆、片帮等预防处理措施。左岸地下洞室岩性较为单一,以似斑状黑云钾长花岗岩为主,多为II、III类围岩。岩体新鲜坚硬,完整性较好,多呈块状~整体状结构。

2 地下洞室群布置

引水发电系统布置于左岸,发电厂房采用地下式,厂内

安装4台立轴混流式水轮发电机组,采用“单机单管供水”及“两机一室一洞”的布置格局,由进水口、压力管道、主厂房、副厂房、安装间、主变室、尾水调压室、出线竖井、排风竖井、尾水隧洞及交通洞等组成(图1),厂区地下工程规模宏大,洞室多,施工地理环境差,工程布置结构紧凑、立体交错,施工工期紧,技术复杂,工程难度较为罕见。

地下厂房总长度为214.70m,主、副厂房及安装间按“一”字形布置,安装间位于主厂房左侧,副厂房位于主厂房右侧。主厂房全长134.08m,顶拱跨度28.30m,岩锚吊车梁以下跨度25.30m,最大开挖高度67.32m。安装间跨度与主机间相同,最大高度29.22m,长度54.01m。副厂房跨度25.30m,最大高度44.72m,长度26.61m。厂房顶拱高程2284.02m,发电机层高程2255.30m,水轮机安装高程2238.50m,尾水管底板开挖高程2216.70m。交通洞位于安装间下游侧,全长1413.753m,为10.0m×7.49m(宽×高),三心圆断面。

主变室和尾水调压室与厂房平行布置,主厂房与主变室的中心距为66.15m,主变室与尾水调压室的中心距为61m。主变室全长142.2m,宽度20m,高25.69m,顶拱高程2280.99m。尾水调压室以2台机组并接1条尾水洞,共计2条尾水洞。1#尾水调压室长55m,2#尾水调压室长53m,上部宽18m,下部13.5m,顶拱高程2292m,高60.5m。由4条尾水连接洞连接主厂房与尾调室。尾水洞出口高程2231.50m,交尾调室高程2218.0m,尾水隧洞断面为圆形,内径尺寸为12.3m,1#尾水洞长989.925m,2#尾水洞长927.359m。

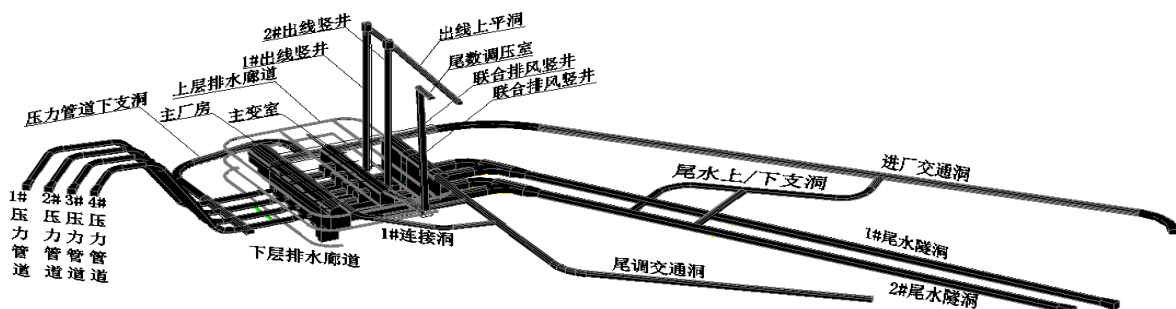


图1 双江口地下厂房优化调整后三维洞室群效果图

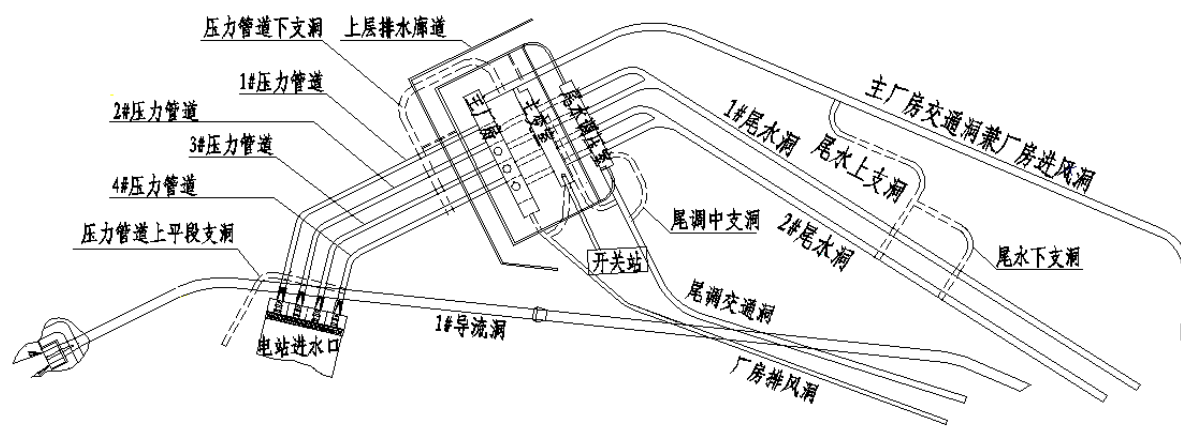


图2 双江口地下厂房优化调整前洞室群平面布置图

3 关键技术研究

3.1 施工及排风通道优化设计

项目实际执行过程中在不影响总工期及施工安全的情况下,施工通道精心研究规划可收到较好的经济效益。

3.1.1 交通通道优化设计

双江口水电站引水发电系统在设计过程中优化调整了以下临时交通通道布置:取消压力管道上平洞、取消出线竖井下支洞、取消尾调中支洞。

(1) 取消压力管道上平洞优化设计

招标阶段压力管道上平洞的设计主要基于施工工期及与电站进水塔的施工交叉干扰考虑进行了布置,实际现场实施时因为压力管道施工不在关键线路上,且总浮时较为充足,同时考虑进水塔4个流道均可以作为进入压力管道上弯段的交通通道,不存在交通问题且安全问题加强管理,实际操作可控,因此最终取消了该通道的设计。但需要指出的是,同类工程参考时需考虑后续衬砌台车配置数量、转移及时间问题,在布置该通道的情况下,采用两台钢模台车洞内即可完成转移,节约工期,否则需要工期可控或投入更多的钢模台车。

(2) 取消出线竖井下支洞优化设计

投标方案出线竖井施工支洞起点位于尾调交通洞高程2282.5m,终点位于出线竖井底部高程2280.99m,洞全长约196m,坡比0.76%。实际实施时发现投标方案在空间上与上层排水廊道存在立体交叉、终点高程与出线竖井底部高程相差较大(约32m)为后续出线竖井底部开挖带来了一定难度、该施工支洞位于尾水调压室及主变室隔墙之间影响相应高程的对穿锚索施工等问题。出于以上几点因素考虑,取消了该支洞布置,在进场交通洞穿过主变室直接设置交通通道进入电缆竖井底部高程,该优化方案不但解决了以上问题,由于该交通通道布置在主变室内,节约了一条临时洞室的开挖且加快了主变室开挖的施工进度。

(3) 取消尾调中支洞优化设计

原投标方案尾调中支洞起点位于尾调交通洞内,终点与尾水调压室下游墙相交,起点高程2282.5m、终点高程2270m,城门洞型断面(7m×8m)长度约140m,利用该交通通

道解决尾水调压室第3层(2277m~2270m)及第4层的开挖(2270m~2262m)。实际实施过程中,在中隔岩柱上调整了1#交通洞的底板高程,同时增加了2#交通洞,由此解决了高程2277m~2262m的开挖问题,调整后的通道三维布置图见图3:

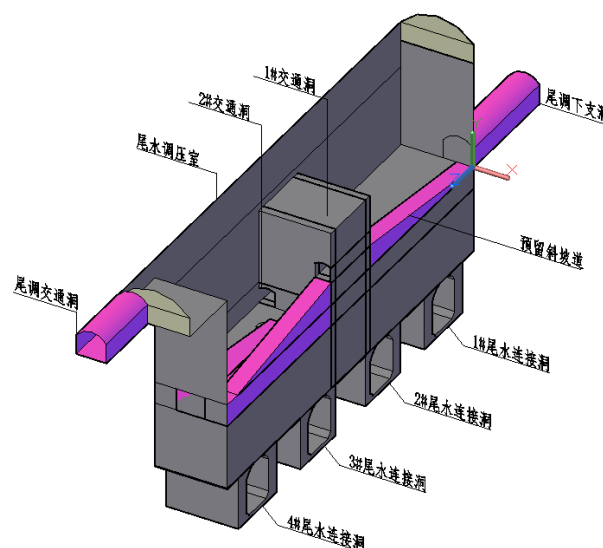


图3 尾调交通洞开挖临时通道布置图

3.1.2 通风排烟通道优化设计

目前地下厂房在国内应用较为普遍,且各洞室通风设计多为单独洞室独立的通风系统,经济效果不佳;如何把布置密集、纵横交错、上下联通的洞室群有机的联系在一起,形成集中通风排烟系统,双江口地下厂房同样需面对类似的问题。经过策划研究最终把厂房排风洞与尾调交通洞合并仅留一个交通洞作为水平排风洞,取消主变上支洞,同时设计了排风上下平洞、排风机室、联合排风竖井把“三大洞室”有机的结合在一起,形成一个整体的立体通风系统,该优化方案比原方案节约投资预估约1000万。

3.2 岩爆处理关键技术

关于岩爆处理在土木工程界一直是一项“疑难杂症”,对此国内外也总结了一些经验方法,比如:新开挖掌子面及

洞壁喷水软化岩面, 掌子面超前钻孔应力解除, 分部开挖应力有序分期释放, 提高施工工艺岩面开挖圆润避免应力集中, 短进尺、弱爆破、减少围岩震动以防诱发岩爆产生, 及时封闭岩面加强临时支护等。但在具体实施过程中根据笔者经验, 这些均不具有普适性且经济效益不好, 尤其是采取单一措施实施时, 很难有效的治理中等以上岩爆。

根据工程经验岩爆处理应从两个阶段着手, 第一设计阶段^[1]: 设计人员应根据前期地质勘探资料分析有效合理选线规避岩爆高发的高地应力集中区, 当确实无法避免时应使隧道轴线尽量与最大应力方向平行, 以减小应力集中系数, 防止发生岩爆或能够降低岩爆级别。第二现场实施阶段: 针对不同等级的岩爆采取不同的措施, 对于若岩爆区常规的锚喷支护手段一般可以有效处理; 对于中等到强烈岩爆在岩爆可能发生的部位, 开挖前先打6m长直径25mm的超前锚杆, 锚杆与洞轴线夹角约10~15°, 爆破后加强支护, 径向锚杆与钢筋网片牢固连接是行之有效的办法。对于是强烈岩爆洞段, 爆破后1~2小时内是岩爆集中爆发的时段, 这段时间应尽量避免近距离接触掌子面, 待岩爆停止后及时封闭岩面并进行加强支护。

微震监测在岩爆段洞室开挖过程中, 可起到较好的安全预警效果, 它可准确的捕捉到微破裂事件发生的时间、位置、能量释放强度, 预测覆盖范围广, 仪器可布置在安全区域, 成果密度云图形象直观(见图4), 在进厂交通洞开挖过程中, 采用微震监测技术成功有效避免了多次安全事件。

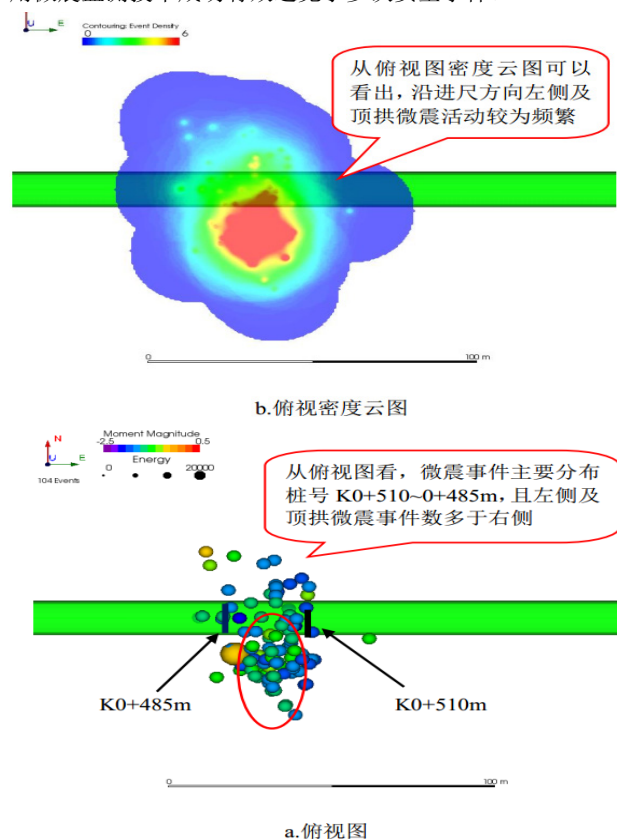


图4 进场交通洞K0+510~K0+485段岩爆事件密云图

在项目实施期间笔者曾提出“水炮”及“高压注水劈裂”构想, 从岩爆的成因机理上解决岩爆的方案, 但均因客观条件问题未能够试验, 后续项目可予以试验验证。以上两种构想的实施, 建议在微震监测的基础上实施, 通过微震监测密度云图先预判可能发生岩爆的位置, 然后再就具体位置予以试验, 避免试验的盲目性。“水炮”顾名思义, 在钻孔吹孔后预先向孔内塞入水包, 然后再竹片入孔安装炸药起爆。“高压注水劈裂”则是利用高压泵注水预先激发围岩破裂释放应力。

3.3 洞室空间交叉部位控制爆破技术^[2]

在该项目实施过程中存在大量的立体交叉或平行开挖的洞室, 其中以尾调交通洞与1#导流洞立体斜交(洞轴线平面投影夹角约50°)较为典型: 一是因为两洞室距离较近, 尾调交通洞底板距离导流洞顶拱垂直距离仅10.4m; 二是因为空间交叉范围较大, 长度约23m; 三是因为尾调交通洞开挖断面(宽×高=9.4m×8.7m)较大, 爆破振动干扰明显; 四是因为导流洞尚处于前期导流阶段, 工程风险较大。

为确保1#导流洞正常运行, 项目实施时在距离交叉段尚有150m时即开始进行爆破振动试验^[3], 反复调整爆破参数, 直至预埋在距离掌子面10.4m处的质点振动仪实测振速小于规范要求数值。具体试验程序如下: (1)在生产型试验基础上根据萨道夫斯基公式回归分析确定该地质条件下的衰减指数K、 α 值; (2)依据规范选取适合本爆破项目的安全允许振速值V; (3)根据衰减指数K值、 α 值、安全允许振速V, 采用萨道夫斯基公式反算最不利情况下(交叉段)开挖时段最大起爆药量Q; (4)根据单段最大起爆药量Q进行控制爆破设计; (5)实施过程中应布置交叉段及过渡段, 并分别进行爆破参数设计; (6)进行爆破振动监测复核, 根据监测成果及时调整爆破参数。

3.4 三大洞室开挖关键技术

三大洞室开挖均存在高边强开挖稳定问题, 主厂房尤为突出, 本文以主厂房作为案例详述高边墙开挖的施工程序、方法及控制重点。

3.4.1 高边墙开挖施工程序

主厂房边墙分9层开挖, 每层高度约4~9m。第一层为顶拱层采用先中导洞, 后两侧扩挖的方法施工; 第2层开挖采取中间拉槽梯段爆破、两侧预留保护层光爆施工的方法, 两侧保护层厚度约4m; 第3层为岩锚梁层, 采取中间梯段开挖、两侧预留岩壁吊车梁保护层的方式作业, 中间梯段开挖前先沿保护层外侧进行施工预裂; 第4~7层梯段开挖前采用潜孔钻造孔对洞室轮廓线进行预裂爆破, 梯段开挖采用液压钻机造孔松动爆破; 第8层开挖前先在第9层完成存渣坑及出渣通道施工, 然后再扩挖溜渣井; 第9层以凿岩台车水平钻爆开挖, 出渣通道为尾水隧洞。

3.4.2 高边墙开挖稳定主要措施

采取合理的开挖分层, 喷锚支护适时跟进, 下层开挖在上层支护完成后进行。第4至7层开挖采取边墙预裂控制爆破

措施,其它开挖层次采取预留保留层光面爆破控制措施,减轻爆破振动对围岩的影响,确保开挖轮廓准确,减小围岩应力集中。在与母线洞、引水下平洞等交叉洞口,遵循先洞后墙的原则,洞口等交叉部位提前做好超前支护,在交叉口二倍洞径的洞段范围内采用浅孔多循环短进尺的方式开挖,开挖后及时施作强支护或视情况进行混凝土衬砌锁口。母线洞、引水下平洞等洞室分组进行间隔开挖,前一组洞室支护完成后开挖后一组洞室。加强围岩原型观测,建立安全预报制度。开挖过程中,及时埋设各种观测仪器,记录初始数据,及时分析整理观测数据,进行爆破振动监测,用以指导施工,调整开挖程序及钻爆参数,减轻开挖爆破对围岩的影响。

3.5岩锚梁开挖关键技术

岩锚梁开挖关键程序如下：中部抽槽开挖→岩台开挖爆破试验→预留保护层①～④层开挖→锁脚锚杆加固施工。

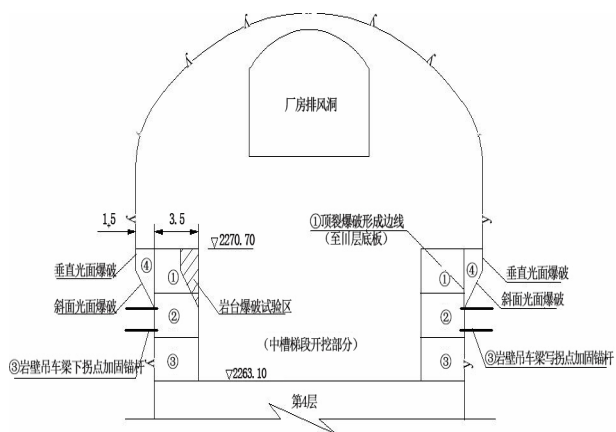


图5 岩锚梁开挖示意图

岩锚梁开挖时现场应注意以下几个方面：中槽开挖后观察沿厂房轴线方向围岩情况，岩台爆破试验区需选在不同的围岩区域范围内，钻孔、装药严格按永久岩台体型尺寸和施工要求进行控制，每次试验爆破试验后及时对爆破效果进行总结、评价，并根据爆破效果调整爆破参数，经过爆破试验初步确定围岩完整部位及破碎部位孔距及线装药密度，实际开挖过程中，再次根据围岩变化情况及时进行调整。岩台开挖时垂直、倾斜光爆孔采用YT-26型手风钻钻孔，竖直钻孔前由测量人员放出孔位，并对准孔位拉二道水平钢丝作为样架，确保钻杆方向正确。为保证倾斜孔的钻孔精度，经测量队放样后，用排架钢管搭设样架，样架和倾斜孔倾斜度一致，其向

前的延长线为倾斜孔孔口位置,垂直孔和倾斜孔错开布置。钻孔直径 $\phi 42\text{mm}$,根据围岩情况孔距 $25\sim 40\text{cm}$,每个孔孔深根据现场实际情况进行计算,施工时严格控制孔深,偏差控制在 3cm 以内。

4 结语

(1)虽然目前地下厂房设计及施工技术理论已相对完善,但具体到个体项目却各有特色,在地下洞室交通通道设计时要结合实际工况,从工期、技术、安全等层面综合考虑,多方案比选确定最优交通通道布置,在某些特殊情况下尚需动态调整。

(2)在大规模洞室群实施时三维仿真建模是必不可少的工具,通过三维可视化模拟通道布置、重难点施工工序等尤为重要,通过三维模拟优化调整往往可收到较好的经济效益。

(3) 岩爆处理应结合微震监测预先判断岩爆等级, 根据不同岩爆等级采取不同的处理措施, 简单模仿往往达不到预期的效果。

(4) 为开展高地应力下厂房围岩稳定变形情况,在三大洞室开挖前预先在上层排水廊道安装了监测设备,提取围岩扰动之前的原始值,对后续开展相关岩土力学研究工作有着非常重要的意义。

(5) 近距离洞室空间交叉或平行设计往往给施工质量控制带来较大难度, 现场实施时应利用好爆破振动监测手段, 提前做试验优化爆破参数。

(6) 岩锚梁开挖质量主要在于精准放样及爆破控制, 为保证预留岩台的完整性应预留4~5m的保护层, 岩台爆破成型时为防止结构面拉裂垂直孔和斜孔应同时起爆。

[参考文献]

- [1]张镜剑,傅冰骏.岩爆及其判据和防治[J].岩石力学与工程学报,2008,27(10):2034.
- [2]于建新,陈卫忠,杨建平,等.上下交叉隧道爆破振动控制技术[J].岩土力学,2014,35(S2):445-452.
- [3]蒋键,周宇,和孙文.大型洞室群开挖爆破技术[J].工程爆破,2003,(01):38-42.

作者简介:

常家强(1985--),男,江苏徐州人,汉族,本科,工程师,研究方向:大型水利水电项目工程管理;从事工作:水利水电一线技术、质量管理等工作。