

黄金坪水电站地下厂房开挖支护优化设计

王秀全，罗维薇

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川成都 610072)

摘要: 黄金坪水电站地下厂房施工开挖揭示的围岩地质条件好于前期阶段,根据开挖的实际情况,对地下厂房三大洞室围岩支护设计进行了优化,通过施工期围岩稳定监测与反馈分析监测围岩的稳定情况,同时对局部围岩支护设计参数进行了调整。

关键词: 地下厂房;开挖支护;优化设计;黄金坪水电站

中图分类号:TV7;TV22;TV52;TV51;TV554

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)02-0051-04

1 工程概述

黄金坪水电站位于大渡河上游河段,系大渡河干流水电规划“三库22级”中的第11级电站。左右岸共有大小两个厂房,其中大电站厂房位于大渡河左岸姑咱镇时济桥上游,安装4台机组,总装机容量为800 MW。厂房纵轴线方位为N70°W。厂房、主变室、尾水闸门室三大洞室采用平行并列布置。主变室布置于厂房和尾闸室之间,与厂房、尾闸室岩柱厚度分别为45 m、35 m。

厂房从山里至山外依次布置副厂房、主机间、安装间,呈“一”字型排列。主副厂房总长206.3

m,其中主机间长129 m,安装间长54.4 m,副厂房长22.9 m。主副厂房断面为弧拱直墙型,主机间毛洞断面尺寸:顶拱跨度28.8 m,岩锚吊车梁以下跨度25.5 m,最大高度65.9 m;安装间跨度与主机间相同,最大高度28 m;副厂房毛洞断面尺寸:跨度25.5 m,最大高度38.6 m。

主变室断面为弧拱直墙型,毛洞断面尺寸为150.8 m×17.8 m×33.25 m(长×宽×高)。

尾闸室断面也为弧拱直墙型,毛洞断面尺寸为137.55 m×8 m×58.8 m(长×宽×高)。地下厂房洞室群布置情况见图1。

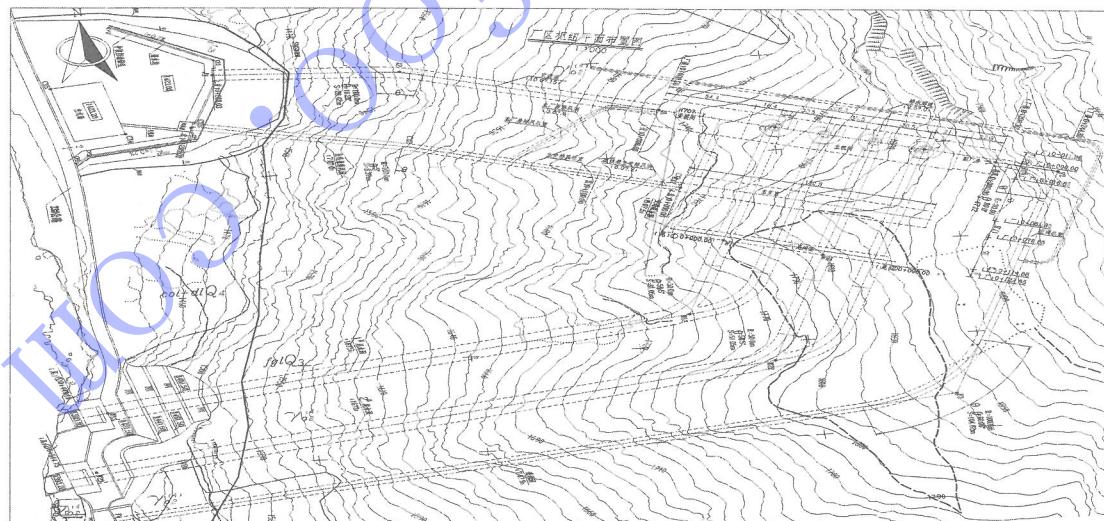


图1 黄金坪水电站地下厂房平面布置图

2 可研阶段三大洞室支护设计

2.1 地质条件

主副厂房、安装间围岩为微新的斜长花岗岩、

收稿日期:2015-12-31

石英闪长岩,穿插有花岗闪长~角闪斜长岩质混染岩,一般呈焊融式接触。主厂房部位西段发育2组优势裂隙,J1:N15°~20°E/SE∠40°~45°,J2:N50°E/SE∠52°,面新鲜,间距3~30 cm;厂房

顶拱局部发育有2组缓倾刚性结构面(产状为N40°E/SE∠20°,EW/N∠30°,延伸长度5m左右);主厂房东段发育2组优势裂隙,J3:N50°~85°W/SW∠65°~85°,J4:N20°~25°E/NW∠27°,间距0.2~0.5m,面微新,轻锈,延伸长度一般为3~10m及以上。围岩类别以Ⅲ类为主,局部为Ⅱ类,Ⅱ、Ⅲ类约占84%,断层带及松弛张

裂带为Ⅳ、Ⅴ类,约占16%。洞室垂直埋深290~413m,水平埋深249~430m。

2.2 支护设计方案

可研阶段黄金坪水电站地下厂房支护设计根据地质条件、参考已建成的工程经验,同时通过弹塑性有限元分析确定了三大洞室围岩支护设计方案,其设计参数见表1。

表1 可研阶段地下厂房三大洞室围岩支护参数表

项目	主厂房	主变室	尾闸室
支护参数	岩锚梁以上顶拱及边墙:锚索:上游边墙高程1424.4m,T=1750kN,L=20m,@3m;下游边墙高程1424.4m,T=1750kN,L=45m(与主变室对穿),@3m;锚杆:Ⅱ类围岩普通锚杆φ32,L=9m/7m,间排距1.5m,间隔布置;Ⅲ类围岩普通锚杆φ32,L=7m/预应力锚杆φ32,L=9m,间排距1.5m,间隔布置;Ⅳ类围岩普通锚杆φ32,L=7m/预应力锚杆φ32,L=9m,间排距1m,间隔布置;挂φ8钢筋网、喷混凝土δ=20cm。边墙:锚索:上、下游边墙高程1418.4~1412.4m,T=1750kN/1500kN,L=20m/15m,@3m×3m,相间布置;高程1409.4~1401.4m,T=1750kN/1500kN,L=20m/15m,@4m×4m,相间布置。锚杆:Ⅱ、Ⅲ类围岩普通锚杆φ32/φ28,L=8m/6m,间排距1.5m,间隔布置;Ⅳ类围岩普通锚杆φ32/φ28,L=8m/6m,间排距1m,间隔布置;挂φ8钢筋网、喷混凝土δ=15cm	顶拱:锚杆:Ⅱ类围岩φ32/φ28,L=7m/5m,间排距1.5m;Ⅲ类围岩普通锚杆φ28,L=5m/预应力锚杆φ32,L=7m,间排距1.5m,间隔布置;Ⅳ类围岩普通锚杆φ28,L=5m/预应力锚杆φ32,L=7m,间排距1m,间隔布置;挂φ8钢筋网、喷混凝土δ=20cm。边墙:锚索:上游边墙高程1432.5~1419m,T=1500kN,L=15m,@4.5m×4.5m;高程1424.4m,T=1750kN,L=45m(与主厂房对穿),@3m;下游边墙高程1432.5~1419m,T=1500kN,L=15m,@4.5m×4.5m;锚杆:Ⅱ、Ⅲ类围岩普通锚杆φ32/φ28,L=7m/5m,间排距1.5m,间隔布置;Ⅳ类围岩普通锚杆φ32/φ28,L=7m/5m,间排距1m,间隔布置;挂φ8钢筋网、喷混凝土δ=15cm	顶拱:锚杆:Ⅱ、Ⅲ类围岩普通锚杆φ32/φ28,L=7m/5m,间排距1.5m,间隔布置;Ⅳ类围岩普通锚杆φ32/φ28,L=7m/5m,间排距1m,间隔布置;挂φ8钢筋网、喷混凝土δ=20cm。边墙:锚杆:Ⅱ、Ⅲ类围岩普通锚杆φ28,L=6m/4m,间排距1.5m,间隔布置;Ⅳ类围岩普通锚杆φ28,L=6m/4m,间排距1m;挂φ8钢筋网、喷混凝土δ=15cm

3 施工图优化设计

3.1 地质条件

在技施阶段,黄金坪水电站地下厂房洞室根据初步开挖揭示的地质条件看,厂房和主变室地层岩性以斜长花岗岩为主,夹部分石英闪长岩及花岗闪长~角闪斜长岩质混染岩,岩体间均呈焊融式接触。洞室围岩呈微风化~新鲜,整体干燥。主要发育5条小断层和9组裂隙。裂隙较发育,岩体坚硬、较完整,主要呈次块状结构,块状、镶嵌状结构次之,局部为碎裂结构。围岩以Ⅲ类为主(含Ⅲ1类、Ⅲ2类,其中Ⅲ1类占56.7%,Ⅲ2类占15.3%)占72%,少量为Ⅱ类、Ⅳ类(其中Ⅱ类占17.4%,Ⅳ类占10.6%)。尾闸室岩体较完整,局部存在不利组合,稳定性差。开挖揭示洞室岩体情况为:Ⅱ类岩体段占32%;Ⅲ类岩体段占51.5%;Ⅳ、Ⅴ类岩体占16.5%。

3.2 优化设计之基础

从三大洞室围岩地质条件看,可研阶段厂房、主变室围岩Ⅱ、Ⅲ类岩体约占84%,Ⅳ、Ⅴ类岩体约占16%;施工阶段开挖揭示的围岩显示,Ⅱ、Ⅲ类岩体约占89.4%,Ⅳ类岩体占10.6%,无Ⅴ类岩体。施工阶段的围岩情况明显好于可研阶段,围岩支护设计参数具有优化的可能。

3.3 围岩支护优化设计

围岩支护设计的原则以已建成的工程经验和工程类比为主,岩石力学数值分析为辅;发挥围岩本身的自承载能力,以系统支护为主,局部加强为辅并与随机支护相结合;围岩支护参数应根据实际开挖揭示的地质条件、结合围岩快速监测反馈分析进行动态设计。

根据围岩支护设计原则确定的支护参数见表2,支护形式见图2。同时,在施工过程中,通过围岩快速监测和反馈分析,及时调整洞室支护参数并检验支护参数的合理性。

表2 优化设计地下厂房三大洞室围岩支护参数表

项 目	主 厂 房	主 变 室	尾 阀 室
支护参数	顶拱:锚杆 $\varphi 32$, $L = 9$ m/ $\varphi 28$, $L = 7$ m, 交错布置, 间排距 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$; 喷 C25 钢纤维混凝土, 厚 15 cm 。上游边墙:(高程 1 424、1 417.7、1 412.3、1 407.6、1 402.7 m)锚索 $T = 1 750 \text{ kN}/1 500 \text{ kN}, L = 20 \text{ m}/15 \text{ m}$, 交错布置, 间排距 $4 \sim 5.75 \text{ m}$ 。下游边墙:锚索布置高程与上游相同, 顶部两排为 $T = 1 750 \text{ kN}$ 对穿锚索, 下三排与上游墙相同。拱座以下至吊车梁高程边墙:锚杆同顶拱;挂网 $\varphi 8 @ 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$, 喷 C25 混凝土厚 15 cm 。吊车梁以下边墙:锚杆 $\varphi 32$, $L = 8 \text{ m}/\varphi 28$, $L = 6 \text{ m}$, 交错布置, 间排距 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$; 喷 C25 钢纤维混凝土, 厚 15 cm , 其中发电机层以下边墙喷层厚 12 cm	顶拱:锚杆 $\varphi 28$, $L = 7 \text{ m}/\varphi 25$, $L = 5 \text{ m}$, 交错布置;挂网 $\varphi 8 @ 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$, 喷 C25 钢纤维混凝土, 厚 15 cm 。边墙:布置 3 排锚索 $T = 1 750 \text{ kN}, L = 20 \text{ m}/T = 1 500 \text{ kN}, L = 15 \text{ m}$, 交错布置, 间排距 $3.7 \sim 4.7 \text{ m}$, 其中上游墙下部两排为与主机间之间的对穿锚索。锚杆: $\varphi 28$, $L = 6 \text{ m}/\varphi 25$, $L = 5 \text{ m}$, 间排距 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$, 交错布置;挂网 $\varphi 8 @ 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$, 喷 C25 钢纤维混凝土, 厚 15 cm	锚杆 $\varphi 28$, $L = 6 \text{ m}/\varphi 25$, $L = 4.5 \text{ m}$, 间排距 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$, 交错布置;挂网 $\varphi 6.5 @ 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$, 喷 C25 混凝土, 厚 12 cm

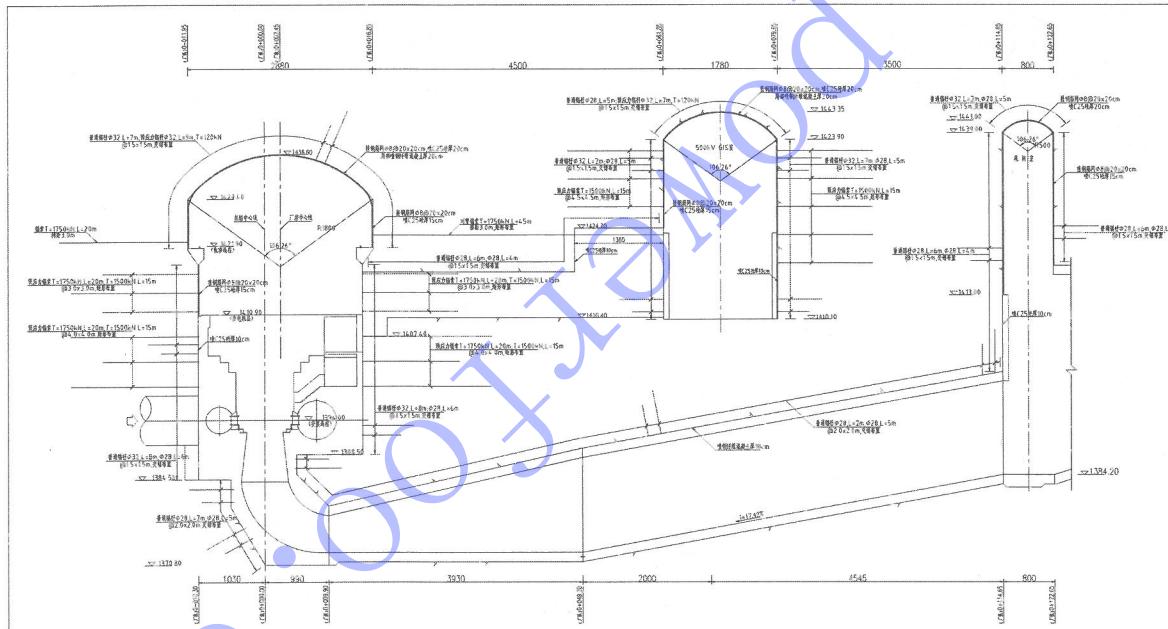


图2 优化设计三大洞室围岩深支护图

4 围岩稳定监测与反馈分析

黄金坪水电站地下厂房三大洞室围岩监测反馈分析以四个监测断面(桩号厂横 0+027、0+70.8、0+131.8、0+195)为研究对象,模拟实际地形、地质条件(包括岩脉破碎带、断层、陡、缓倾角裂隙密集带等各类结构面),选取合适的地质力学参数,施加初始地应力,模拟地下厂房洞室群的实际开挖顺序(确定方案为 10 级开挖)和支护措施。建立围岩稳定性的评价方法,对围岩整体稳定特性和局部稳定性进行分析评价,进而为地下洞室开挖支护设计提供参考,同时检验支护设计的合理性。围岩监测反馈分析评价结果如下:

(1) 洞周变位与破坏区反演计算结果。

经对第 10 级开挖进行反演分析,表明厂房顶拱下沉变形最大量为 20.63 mm , 上游侧岩锚吊车梁最大变位为 31.55 mm ; 下游边墙最大变位为 73.01 mm 。主变室顶拱下沉量为 19.84 mm , 上游边墙向洞内变位为 36.63 mm , 下游边墙向洞内变位为 53.79 mm , 均出现在 3#机组段。尾闸室上游边墙向洞内变位 1#机组段为 55.05 mm ; 下游边墙向洞内变位 3#机组段为 56.63 mm 。

主厂房顶拱最大破坏区深度大约在 5.51 m 左右; 岩锚梁及边墙上的塑性破坏区限于浅表部, 深度在 4.5 m 以内。主变室拱顶破坏区厚度为

5.45 m,底板破坏区厚度为9.55 m。主变室下游边墙破坏区厚度为9.54 m。尾闸室破坏区分布范围较深,因受f7-35的影响,上游边墙破坏区深度达到11.24 m,较下游边墙的5.12 m深。但破坏区深度均未超过锚索锚固深度。图3为开挖完成后围岩破坏区三维图。

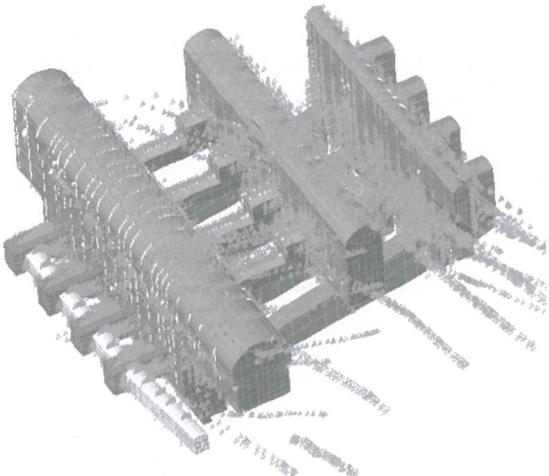


图3 第10级围岩破坏区三维图

(2) 锚杆、锚索内力分析结果。

①锚杆内力分析结果。

锚杆内力随着开挖区域的增大而增大,随着开挖面积的增大,在两拱腰及边墙中部一般均较其他部位大。如0+027剖面锚杆内力极值出现在第10级开挖后的上游拱腰,量值为85.3 MPa;0+070.8剖面锚杆内力极值出现在第10级开挖后的主变室下游边墙中部,量值为124.82 MPa;0+0131.8剖面锚杆内力极值出现在第10级开挖后的主变室下游边墙中部,量值为153.19 MPa;0+195剖面锚杆内力极值出现在第10级开挖后的下游拱腰,量值为84.51 MPa。以上内力数值均在正常值范围内。

②锚索内力分析结果。

锚索设计吨位:15 m/20 m分别为1 500 kN/1 750 kN,45 m对穿锚索设计吨位为1 750 kN,以0+070.8剖面(1#机组)为例,第10级开挖以后,主厂房预应力锚索内力最大值出现在上游吊车梁上部,量值为1 369.35 kN,比1 750 kN的设计吨位小380.65 kN。

(3) 监测数据分析。

①从变形监测数据看,三大洞室变形最大处为

主变室下游边墙。第10层开挖结束后,1#机组0+070.8剖面主变室下游边墙M4ZZB-10的监测变形达到86.99 mm,3#机组0+131.8剖面主变室下游边墙M4ZZB-15的监测变形达到79.11 mm。与其它同类工程相比,黄金坪水电站地下洞室变形数值不大,目前变形已经收敛,趋于稳定。

②从锚杆内力监测数据看,φ28锚杆拉力最大值发生在厂房桩号0+195的上游边墙,数值为163.6 kN,φ32锚杆拉力最大值发生在厂房桩号0+131.8的下游边墙,数值为146.6 kN。其它部位锚杆拉力值均很小,锚杆拉力均未超过锚杆抗拉强度设计值。

③从锚索内力监测数据看,1 750 kN锚索最大拉力出现在桩号为0+131.8的下游边墙上,数值为1 677 kN,未超过锚索设计值。到目前为止,锚索监测数据显示其均已趋于稳定。

5 结语

黄金坪水电站左岸地下厂房洞室主厂房、主变室、尾闸室及尾水连接洞均已与2013年8月全部开挖完成,三大洞室边墙变位目前已基本收敛并趋于稳定。各洞室边墙处塑性区破坏未联通且深度小于锚索锚固深度。锚杆、锚索内力值未超出设计数值。监测和反演计算成果表明:围岩整体稳定性满足设计要求。到目前为止,洞室运行情况良好。

实施优化后的围岩支护设计与可研设计阶段相比,优化减少 $L=15/20\text{ m}$, $T=1\ 500/1\ 750\text{ kN}$ 的锚索459束;优化减少 $L=45\text{ m}$, $T=1\ 750\text{ kN}$ 的对穿锚索79束。

参考文献:

- [1] 李华晔.地下洞室稳定性分析[M].北京:中国水利水电出版社,1999.
- [2] 冯夏庭,周辉,李绍军,等.岩石力学与工程综合集成智能反馈分析方法及应用[J].岩石力学与工程学报,2007,27(9):1 337-1 344.

作者简介:

王秀全(1967-),男,吉林白城人,高级工程师,学士,从事水电工程设计工作;
罗维薇(1965-),女,贵州黔南人,高级工程师,学士,从事水电工程设计工作。

(责任编辑:李燕辉)