

大朝山水电站大型地下洞室围岩稳定性分析

杜世民,严时仁

(国家电力公司昆明勘测设计研究院,云南 昆明 650051)

摘要:对大朝山水电站地下厂区的围岩稳定性进行分类和评价,为设计、施工提供地质依据。施工过程中对围岩的变形、应力进行监测,观测资料反映出地下洞室群的围岩是稳定的。

关键词:地下洞室群;岩体力学特征;围岩评价;大朝山水电站

中图分类号:TV223.1

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)07-0053-03

大朝山水电站位于云南省澜沧江中下游河段,是衔接漫湾水电站的下游梯级电站。电站采用碾压混凝土重力坝,右岸地下厂房,长尾水隧洞方案,水库正常蓄水位高程为899 m,最大坝高111 m,坝顶高程906 m,总库容9.4亿 m^3 ,装机容量1350 MW。引水发电建筑物有:压力引水隧洞6条,地下厂房,主变开关室,两个阻抗式尾水调压室和三大洞室间布置的6条母线洞,6条尾水管洞及渲泄尾水的两条长尾水隧洞,其布置示意图见图1。

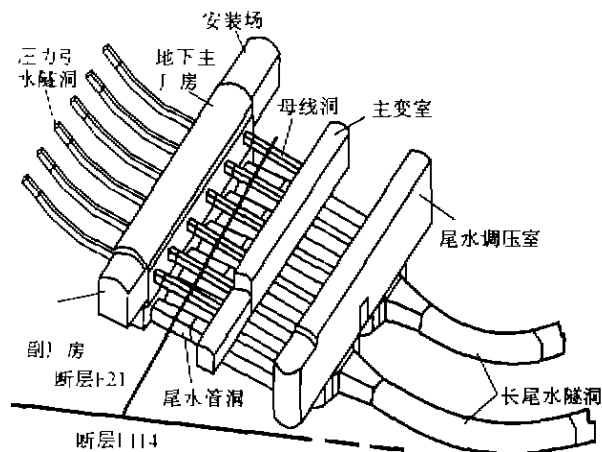


图1 大朝山水电站地下洞室群布置示意图

地下洞室规模巨大,结构复杂,围岩稳定性问题突出。开挖尺寸(长 $\times$ 宽 $\times$ 高),主厂房为233.94 m $\times$ 26.8 m $\times$ 67.7 m,主变开关室为157.05 m $\times$ 17.3 m $\times$ 16.1 m,尾水调压室为217.4 m $\times$ 22.4 m $\times$ 73.83 m,母线洞为64.2 m $\times$ 8.2 m $\times$ 8.0 m,尾水管洞为129 m $\times$ 12.42 m $\times$ 17.55 m,压力引水隧洞为425.65 m $\times$ 8.0 m $\times$ 7.0 m,两条尾水隧洞总长度为2253 m,洞直径为16.3 m。

1 工程地质简述

厂区地下三大洞室位于澜沧江右岸山体内部,山体雄厚。岩性主要为三叠系上统小定西组坝区第ⅢI层第2小层(T_{3X}^{II-1})玄武岩、火山角砾熔岩夹6层凝灰岩软弱夹层,微风化-新鲜,无区域性断层通过,构造较发育,但规模不大,以压扭性构造为主。厂区地下水类型为基岩裂隙水。

2 地下洞室群围岩稳定性分析

2.1 岩石与岩体物理力学特征

根据岩石综合试验成果,可知岩石湿抗压强度如下:玄武岩为62~85 MPa,属坚硬岩石类;火山角砾熔岩为39~88 MPa,属中等坚硬至坚硬岩石类;凝灰岩为22~25 MPa,属软岩类;凝灰岩失水易崩解。岩石的抗变形能力如下:玄武岩为 $5.07 \times 10^4 \sim 6.43 \times 10^4$ MPa,火山角砾熔岩为 $3.93 \times 10^4 \sim 6.08 \times 10^4$ MPa,抗变形能力较高;凝灰岩为 $1.4 \times 10^4 \sim 2.52 \times 10^4$ MPa,抗变形能力较低。

岩体抗变形能力较强,一般新鲜岩体变形模量为 $2.4 \times 10^4 \sim 5.7 \times 10^4$ MPa;断层凝灰岩体的抗变形能力低, F_{217} 断层破碎带变形模量仅为 0.1658×10^4 MPa。

岩体纵波速度较高,大于4000 m/s的占81.55%。一般纵波速度低于3000 m/s者多为受断层、凝灰岩夹层及裂面绿泥石化岩体影响。

2.2 地应力与围岩应力

地下主要洞室位于地应力相对平稳区,地应力受地质构造的控制,其最大主应力方向为 $N55^\circ \sim 85^\circ E$,与 $N75^\circ W$ 的洞轴线方向夹角为 $20^\circ \sim 50^\circ$,主应力值

为 13 ~ 16.9 MPa, 属中等地应力区。地应力的平均水平应力分量与垂直应力分量之比为 $(x+y)/2z$, 离差较大, 一般比值为 0.87 ~ 2.71, 且随埋深增大比值呈上升趋势。岩石强度与最大主应力比值大于 5, 开挖过程中未产生岩爆等应力控制型失稳。

根据平面有限元分析成果, 三大洞室顶拱中部、底板及主厂房左边墙下部应力呈消减趋势, 局部点转化为拉应力, 主拉应力一般小于 1.5 MPa, 一般边墙应力呈增大状态, 三大洞室以左边墙上部和右边墙下部应力较集中。断层、凝灰岩夹层在重分布应力作用下, 均表现为不同程度的屈服, 对围岩的稳定带来不利影响。

2.3 地质因素

2.3.1 岩性

岩性主要为 T_{3X}^{III-2} 玄武岩、火山角砾熔岩夹 6 层凝灰岩软弱夹层。

a. 玄武岩, 火山角砾熔岩。岩体新鲜, 岩石坚硬, 完整性好, 强度高, 岩体块度大, 整体稳定性好, 不易变形、失稳。

b. 凝灰岩夹层。主要由伊利石组成, 胶结物为碳酸盐、铁质火山尘及玻璃质, 新鲜凝灰岩的单轴湿抗压强度仅 22 MPa, 软化系数 0.15, 属软岩类, 具失水崩解特性。凝灰岩夹层倾角平缓, 常常伴有层间错动, 容易沿剪切软弱带形成失稳分离面。在工程高边墙部位, 凝灰岩夹层走向与边墙夹角较小, 施工开挖后, 径向应力使其处于临空卸荷松弛状态, 在切向应力的作用下, 凝灰岩夹层成为应力释放、围岩变形的一个途径, 在重分布应力作用下沿软弱面形成蠕变拉裂导致失稳。

厂区地下洞室岩石蚀变普遍, 一般以裂面绿泥石化为主, 节理面充填绿泥石膜。岩体完整性较差, 强度较低, 加之施工爆破影响, 岩体易松弛失稳。

2.3.2 地质构造

厂区岩层为单斜构造, 流层构造不发育, 流层产状一般为 $N65^\circ \sim 85^\circ E, NW \angle 20^\circ \sim 35^\circ$, 结构面以 NWW (或 NEE), NNW, NW 三组为主, 其发育特征见表 1。

表 1 结构面发育特征

分级	类别	破碎带宽度/m	延伸长度/m	发育条数
I	区域性断裂		数十千米	0
II	断层	> 1	> 300	2
III	断层	0.2 ~ 1.0	> 50	20
IV	小断层	0.05 ~ 0.2	< 30	16
	挤压面	< 0.05	< 0.05	183
V	节理		数米	

地质构造属于 II 级结构面的有 F_{217}, F_{114} , 断层 F_{217} 出露于地下厂房与主变室之间, 与工程轴向平行分布; 与母线洞和尾水管洞近垂直, 断层物质软弱,

强度低, 阻水, 作为不连续面, 不利于厂区应力的传递。母线洞、尾水管洞揭露断层时, 沿断层将产生塑性挤出和岩体在重力作用下产生掉块、冒落。部分 IV, V 级结构面走向 NWW 或 NEE, 延伸长度较大, 倾角陡, 面光滑, 由于施工开挖爆破以及重分布应力作用下, 沿结构面围岩岩体将变形开裂, 以致脱落、滑落, 容易导致应力型围岩失稳破坏。

2.3.3 地下水

地下水位埋深 60 ~ 115 m, 高于顶拱 5 ~ 50 m, 地下水位变幅一般为 23 ~ 37 m。地下水类型为基岩裂隙水, 水质为低矿化中偏弱碱性微硬水, 对混凝土不具侵蚀性。地下厂区岩体为相对隔水岩体, 透水性微弱。但沿凝灰岩夹层、断层破碎带及节理裂隙有地下水活动, 主要表现为对软弱物质的浸润、软化和恶化围岩条件。

2.4 工程因素

2.4.1 工程布置形式

地下洞室总体布置上充分考虑到主要洞室尽量避开 F_{217}, F_{114} 断层, 使其影响减到最小的原则。地下厂房、主变室、尾水调压室三大洞室平行分布, 轴线为 $N75^\circ W$, 将平行或大致平行 F_{217} 断层的走向, 使 F_{217} 断层挟持在主厂房与主变室之间。母线洞与尾水管洞工程规模相对较小, 且与 F_{217} 断层近垂直通过, 其影响也较小。

2.4.2 施工措施

针对大朝山水电站地下洞室群的布置特点和工程地质环境, 在地下厂房的施工技术上尽可能地采用控制爆破。在两侧边导洞领先、扩挖, 预留中部岩柱, 起到临时支撑作用, 上、下游两侧边导洞超前 40 ~ 60 m 距离后, 中间岩柱跟进, 周边光面爆破, 分层开挖, 及时支护, 循序渐进, 以控制围岩变形失稳。

在不良工程地质部位, 对厂房顶拱分布的 t_4 层凝灰岩, 其出露范围较大, 岩体破碎, 岩石软弱, 且伴有层间错动。为确保施工工程安全, 工程技术人员跟踪施工开挖, 及时调整施工参数和施工方法, 采用超前锚杆、短进尺、小药量、多循环, 及时支护, 预应力锚索滞后于中柱岩体开挖 40 m, 跟进施工支护, 及时对顶拱, 对 t_4 层凝灰岩进行锚固锁定。

总之, 根据不同的工程部位的不同地质环境, 采用相应的施工工艺, 减少开挖爆破对围岩的扰动损伤程度, 及时进行锚喷支护, 对稳定不利部位进行加强支护, 能够确保工程安全。

2.4.3 支护形式

在设计上, 根据实际的工程地质条件, 采用了工程类比法、极限平衡法、平面地质力学模型试验和空间三维有限元计算分析, 对地下厂区不同部位选取

与围岩地质条件相适应的支护类型和支护参数,各工程部位支护形式如下:

a. 地下厂房:①顶拱.挂 $\varnothing 8$ 钢筋网,喷 C20 混凝土及钢纤维混凝土 20 cm,30 cm 结合钢筋肋拱;树脂锚杆 $\varnothing 32, 150 \times 150, L = 820$ cm;砂浆锚杆 $\varnothing 32, 150 \times 150, L = 620$ cm 或 $L = 820$ cm;1 600 kN,1 000 kN 粘结式预应力锚索 $L = 20$ m.②边墙.挂 $\varnothing 8$ 钢筋网,喷 C20 混凝土 20 cm;树脂锚杆 $\varnothing 32, 150 \times 150, L = 620$ cm 或 $L = 820$ cm;砂浆锚杆 $\varnothing 32, 50 \times 150, L = 420$ cm 或 $L = 620$ cm;2 000 kN 粘结式及无粘结式预应力锚索,部分锚索为对穿式, $L = 19.35 \sim 20.5$ m.

b. 尾水调压室:①顶拱.挂 $\varnothing 10 @ 20 \times 20$ 钢筋网,喷 C20 混凝土 20 cm;树脂锚杆 $\varnothing 32, 150 \times 150, L = 820$ cm;砂浆锚杆 $\varnothing 32, 150 \times 150, L = 530$ cm 或 $L = 720$ cm,770 cm;1 500 kN 粘结式预应力锚索 $L = 20$ m.②边墙挂 $\varnothing 8$ 钢筋网,喷 C20 混凝土 20 cm;砂浆锚杆 $\varnothing 32, 150 \times 150, L = 720$ cm 或 $L = 825$ cm,2 000 kN 对穿预应力锚索 $L = 21$ m.

c. 主变室:①顶拱.挂 $\varnothing 8 @ 20 \times 20$ 钢筋网,喷 C20 混凝土 15 cm;锚杆 $\varnothing 25, 150 \times 150, L = 415$ cm 或 $L = 615$ cm;1 000 kN 粘结式预应力锚索 $L = 15$ m;断层凝灰岩夹层锚杆 $\varnothing 25, 150 \times 150, L = 815$ cm.②边墙.挂 $\varnothing 8 @ 20 \times 20$ 钢筋网,喷 C20 混凝土 15 cm;锚杆 $\varnothing 25, 300 \times 150, L = 415$ cm 或 $L = 615$ cm.

2.5 围岩类别的确定

根据巴顿 Q 系统围岩分类,以比尼威斯基(RMR)力学分类为参考,按 Q 值大小地下厂房围岩分为 V 类,见表 2.

表 2 围岩稳定性分类

围岩类别	Q 值	岩体结构	岩体描述	稳定性分类
I	> 40	整体	很好	好
II	$40 \sim 10$	块状	好	较好
III	$10 \sim 1$	块状、次块状	一般	一般
IV	$1 \sim 0.1$	块状、碎块	差岩体	较差
V	< 0.1	散体	很差	差

地下厂房开挖揭露后,II、III 类围岩约占 51% 和 46%,IV、V 类围岩约占 3%;尾水调压室开挖揭露岩面 II、III 类围岩约占 55% 和 40%,IV、V 类围岩约占 5%;主变室开挖揭露岩面 II、III 类围岩约占 70% 和 26%,IV、V 类围岩约占 4%.IV、V 类围岩主要为凝灰岩夹层及断层破碎带稳定性差,对洞室稳定不利.

2.6 围岩稳定性分析

2.6.1 围岩变形追踪

在地下厂房围岩变形监测中共设置了 6 个观测断面,安装了 DRW-4 型多点位移计,SDG- $\varnothing 2$ 型锚杆应力计,XYJ 型锚索测力环、DW 型电阻湿度计、

收敛桩、SZ 型渗压计等,构成了多断面、多手段的长期观测系统,进行了围岩稳定性的长期观测.截止 2001 年 2 月,变形已基本稳定,厂右 0+052.39 m 观测总位移量累计最大值为 26.94 mm,相应部位的锚杆应力值为 135.2 MPa.

从变形-时间曲线分析,可以看出,曲线有的呈波状,有的呈台阶状,有的呈跳跃式变化,反映出在地下厂房的施工开挖、不同的工程部位存在爆破叠加影响,随着施工开挖的进行,厂房空间扩大,围岩应力、位移、变形明显,当远离掌子面,爆破影响减小,围岩应力重分布时,围岩的位移变形、围岩的应力变化也小,从变形-时间曲线中已明显反映曲线平衡,趋于平稳.

2.6.2 围岩稳定性分析

根据围岩岩性、构造、岩体结构、地质构造和长期观测资料,进行综合分析,表明围岩的变形与地质条件及施工影响关系密切,从多年的监测成果分析,围岩的变形、位移和应力变化不大.到目前为止,地下厂房,主变开关室,两个阻抗式尾水调压室等洞室总的趋势是围岩岩体变形位移量级较小,多年观测资料显示地下洞室群的围岩是稳定的.

3 结 语

a. 地下洞室群的工程地质条件总体上是好的,工程布置合理.

b. 大型地下洞室群根据工程地质条件采取相对应的施工开挖、支护措施,开挖对围岩的扰动影响较小,支护参数、支护类型及支护措施安全可靠.

c. 多年的观测资料,反映出地下洞室群的围岩总体上趋于稳定.

参考文献:

[1] 苗青,王文远.大朝山水电站初设阶段枢纽区工程地质条件研究[J].云南水力发电,1996(2):23~28.

(收稿日期:2001-07-01 编辑:张吉琴)

