

# 长河坝水电站地下厂房围岩复合型变形破坏特征分析

程丽娟, 谭可奇, 张志军

(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:**长河坝水电站地下厂房实测最大地应力超过 30 MPa, 岩石强度应力比为 3.75~7.5, 属于高地应力区。监测资料统计结果表明:长河坝水电站地下厂房实测变形量值大于典型的高地应力地下厂房——锦屏一级水电站地下厂房的变形量。但长河坝水电站地下厂房地应力水平低于锦屏一级水电站厂址, 岩体质量优于锦屏一级水电站厂址。针对这一异常现象, 从声波测试资料、变形监测数据及厂址结构面特征等方面出发, 对长河坝水电站地下厂房围岩变形破坏特征进行了综合分析, 认识到长河坝水电站地下厂房围岩变形量大的根本原因在于高地应力下结构面对围岩的劣化作用被加剧, 从而导致围岩出现浅层松弛程度大、变形量大的现象, 属于结构面与应力复合型变形破坏模式。根据研究结果, 对长河坝水电站地下厂房支护设计的合理性进行了评价。

**关键词:**高地应力; 地下厂房; 松弛区; 变形破坏; 长河坝水电站

**中图分类号:**TV7; TV222; TV221

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2016)01-0029-03

## 1 概述

长河坝水电站引水发电系统位于左岸山体中, 地下厂房水平埋深约 230~430 m, 垂直埋深约 285~480 m, 岩性以花岗岩为主, 夹少量闪长岩和辉长岩, 岩性较单一, 岩体强度高。地下厂址无区域性断层通过, 岩体完整性好, 多呈次块状结构, 少量为碎裂结构, 围岩类别以 III~II 类为主, 局部裂隙密集带及断层破碎带为 IV 类; 岩脉不发育, 主要结构面为次级小断层、挤压破碎带和节理裂隙。裂隙发育方向以 NE 向为主, 优势裂隙共有 3 组, 延伸长 2~3 m, 裂面新鲜, 多起伏粗糙, 闭合无充填, 三大洞室均存在局部不利结构面组合形成的块体稳定问题。地下厂址区实测最大主应力  $\sigma_1$  为 16~32 MPa, 方向大致为 N60°~80°W, 倾角为 -20°~-54.98°, 各测点主应力差相对较大, 最大值达 24.64 MPa, 可能对洞室群稳定产生不良影响。

厂址各洞室岩体总体较完整, 成洞条件较好, 开挖初期岩体多嵌合紧密, 开挖面总体成型良好, 未曾发生过较大规模的失稳现象, 仅在个别地段围岩发生了局部破坏, 如洞室群开挖过程中普遍存在的不利结构面组合导致块体失稳, 出现岩体掉块、滑塌现象, 压力管道下平段、母线洞(顺河向)靠近厂房边墙部位岩体出现环向卸荷拉裂现象等。但是, 位移监测数据统计结果表明:长河坝

水电站地下厂房围岩变形量偏大, 大于 30 mm 的测点占比超过典型的高地应力地下厂房——锦屏一级水电站地下厂房<sup>[1]</sup>。笔者从声波测试资料、变形监测数据及厂址结构面特征等方面出发, 对长河坝水电站地下厂房围岩变形破坏特征进行了综合分析, 以探求长河坝水电站地下厂房围岩变形量大的根本原因。

## 2 长河坝水电站地下厂房围岩变形破坏特征分析

长河坝水电站地下厂房围岩完整性总体较好, 除结构面组合形成的小块体塌落掉块外, 开挖期围岩破坏现象不显著, 主要表现为片帮剥落、卸荷松弛、时效拉裂松弛等。

片帮剥落主要由某一方向应力集中引起厂房洞室内片帮剥落, 无明显集中现象, 在厂房边顶拱及拱座附近、排水廊道、压力管道下平段及尾水管等工程部位均有出现, 片帮一般伴随开挖发生, 或在开挖后滞后数小时出现, 片帮厚度一般为 10~30 cm, 即使在初期支护后仍出现片帮现象。图 1 为厂房下游拱座围岩片帮引起的混凝土喷层开裂。

卸荷松弛主要集中在洞室空间交叉部位, 如母线洞与厂房边墙交叉部位、进场交通洞与厂房边墙交叉部位、尾水管与厂房边墙交叉部位等均出现不同程度的变形破坏, 支护后变形趋于收敛。

由于厂房下挖, 厂房边墙由三向受压应力状态变为双向受压应力状态, 即广义的拉伸状态, 而岩体的抗拉强度不高, 因此, 在厂房继续下挖过程

收稿日期: 2015-11-05

中、甚至在支护后一段时间内仍普遍存在时效拉裂松弛破坏,形成大量的裂缝,这些裂缝可以在母线洞、压力管道等洞室轴线方向与厂房边墙垂直的洞室中观察到。例如母线洞2012年3月开挖后进行地质编录时发现,除近厂房下游边墙段发育少量卸荷裂隙外,洞室岩体总体完整性较好;但在2013年5月现场调查时,发现母线洞内出现了多条环向裂缝,发育范围距厂房或主变室边墙一般为6~8 m,最大距离约12 m,裂缝一般平直、近直立、贯通性好,总体上走向与厂房、主变室边墙近平行,张开3~5 mm,最宽约8 mm,无错动、错台现象,显现出明显的张性特征(图2)。据分析,裂缝的产生应是围岩在高地应力作用下随时间逐渐产生的张裂破坏。



图1 厂房下游拱座厂横0+120~0+135桩号段围岩片帮引起的混凝土喷层开裂图

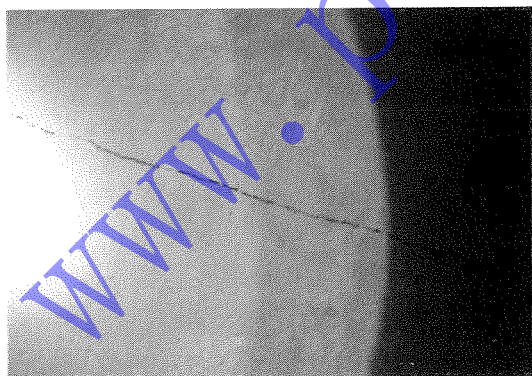


图2 母线洞内随时间推移出现的环向裂缝示意图

### 3 长河坝水电站与锦屏一级水电站地下厂房围岩变形破坏特征对比分析

笔者对长河坝水电站和锦屏一级水电站地下厂房围岩变形量级分布进行了统计,统计结果见表1。由表1可见:长河坝水电站地下厂房围岩大于30 mm的变形量占比为41.2%,锦屏一级水

电站为20.2%,表明长河坝水电站地下厂房围岩整体变形量大于锦屏一级水电站。

笔者在文中定义完整性系数 $K_v < 0.55$ (较破碎)为强松弛区<sup>[2]</sup>,表2和表3分别为长河坝水电站地下厂房3#机组段和锦屏一级水电站地下厂房4#机组段声波检测成果,表2中CF1507-3S的含义为:CF代表厂房,1507代表声波孔口高程,3代表3#机组段,S代表上游边墙,X代表下游边墙;表3中CF1670+080X的含义为:CF代表厂房,1670代表声波孔口高程,0+80代表声波孔口桩号,S代表上游边墙,X代表下游边墙。由表2可以看出:长河坝水电站地下厂房边墙的强松弛区仅在局部较深,最大深度为7.2 m,平均深度仅为3.74 m,而锦屏一级水电站地下厂房边墙的强松弛区在1665 m高程(岩锚梁高程)以下普遍较深,最大深度为15 m,平均深度也达到8.325 m,强松弛深度明显大于长河坝水电站地下厂房。

从洞周位移变形量级分布及强松弛区深度的对比可以看出:长河坝水电站地下厂房与锦屏一级水电站地下厂房围岩的变形破坏规律不同,变形破坏机理也不同:长河坝水电站地下厂房是高地应力下结构面对围岩的劣化作用被加剧,从而导致围岩出现浅层松弛程度大、变形量大的现象,属于结构面-应力复合控制型变形破坏模式;锦屏一级水电站则表现为高~极高地应力下洞周岩体的时效性松弛破坏<sup>[3]</sup>,与岩体结构面的相关性不明显,属于应力控制型破坏模式。

### 4 对支护设计的评价

高地应力下的结构面-应力复合控制型破坏模式一般出现在岩石强度应力比在3~6范围内的大型地下洞室中,应力集中部位局部会出现混凝土喷层破坏现象但不突出,锚索超限现象不突出,说明洞室围岩对深层支护的要求不高,控制洞周浅层结构面张开是其主要的支护目标,因此,洞室开挖后应尽快挂网喷混凝土并采用间排距较小的锚杆进行洞周松弛区支护是较为有效的支护方式。长河坝水电站地下厂房边墙的基本支护参数为:挂网喷C25混凝土,厚15 cm, $\Phi 32$ 、 $L=9$  m/ $\Phi 28$ 、 $L=6$  m普通砂浆锚杆,间排距1.5 m $\times$ 1.5 m,上游边墙布置6排1800 kN、 $L=20$  m/1500 kN、 $L=15$  m的预应力锚索,间排距为5 m $\times$ 4.5 m,下游边墙布置7排同规格预应力锚索。从厂房围岩的变形破坏现状看,该支护参数能满足围

岩稳定的要求;若想降低洞周松弛区内岩体松弛程度,提高洞周岩体的完整性,开挖后宜尽可能快

的完成挂网喷混凝土和锚杆施工,并且在高边墙中部可以适当减小锚杆的间排距。

表1 长河坝水电站与锦屏一级水电站地下厂房变形量级分布统计表

位移量级		< 10 mm	10 ~ 30 mm	30 ~ 50 mm	> 50 mm	合计
长河坝水电站	数量	8	12	7	7	34
	百分比/%	23.5	35.3	20.6	20.6	100
锦屏一级水电站	数量	55	36	10	13	114
	百分比/%	48.2	31.6	8.7	11.5	100

表2 长河坝水电站厂房3#机组段声波检测成果表

孔号	分段 /m	完整性系数 /K <sub>v</sub>	强松弛区深度 /m	强松弛区平均深度 /m
CF1507-3S	0~7.2	0.36	7.2	
	7.2~15	0.85		
CF1501-3S	0~2	0.3	2	
	2~10.2	0.78		
CF1491-3S	0~6	0.38	6	
	6~8	0.74		
CF1484-3S	0~6.2	0.35	6.2	3.74
	6.2~14.4	0.68		
CF1507-3X	0~2.4	0.58	0	
	2.4~9.6	0.7		
CF1501-3X	0~2	0.26	2	
	2.0~11	0.69		
CF1491-3X	0~2.8	0.26	2.8	
	2.8~14.8	0.65		

表3 锦屏一级水电站厂房4#机组段声波检测成果表

孔号	分段 /m	完整性系数 /K <sub>v</sub>	强松弛区深度 /m	强松弛区平均深度 /m
CF1670+080X	2~4	0.34	4.0	
	4~10.2	0.75		
CF1665+093S	0~1.4	0.18	1.4	
	1.4~2	0.64		
CF1665+093X	0~6.2	0.3	6.2	
	6.2~16	0.72		
CF1657+093S	0~9.8	0.44	9.8	8.325
	9.8~11.4	0.83		
CF1657+093X	0~6.4	0.31	15	
	6.4~15	0.49		
CF1649+093S	0~8.2	0.26	8.2	
	8.2~13	0.74		
CF1649+080X	0~9	0.52	9	
	9~16	0.85		
CF1641+93S	0~13	0.34	13	
	13~16	0.77		

5 结语

长河坝水电站地下厂区实测地应力值超过30 MPa,岩石强度应力比为3.75~7.5,属于高地

应力区,地下厂房围岩完整性总体较好。在开挖施工期间除结构面组合形成的小块体塌落掉块外,围岩破坏主要表现为片帮剥落、卸荷松弛、时效拉裂松弛等。监测资料统计结果表明:长河坝水电站地下厂房实测变形量值大于典型的高地应力地下厂房——锦屏一级水电站地下厂房的变形量,但长河坝水电站地下厂区地应力水平低于锦屏一级水电站厂区,岩体质量优于锦屏一级水电站厂区。笔者从声波测试资料、变形监测数据及厂区结构面特征等方面对长河坝水电站地下厂房围岩变形破坏特征进行了综合分析,认识到长河坝水电站地下厂房围岩变形量大的根本原因在于高地应力下结构面对围岩的劣化作用被加剧,从而导致围岩出现浅层松弛程度大、变形量大的现象,属于结构面-应力复合型变形破坏模式。针对这种变形破坏模式,笔者认为宜采用浅层强喷锚支护的方式应对,而大吨位、长系统锚索的支护方式反而不必要。在实际工程中,长河坝水电站地下厂房采用的支护方式基本符合这种理念,若希望进一步提高洞周岩体的完整性,可将高边墙普通砂浆锚杆的间排距适当减小,并且在洞室开挖后应尽可能快的施工挂网喷混凝土和锚杆,这一结论也为其他类似工程的支护设计提供了可供借鉴的工程经验。

参考文献:

- [1] 魏进兵,邓建辉,王佛凯,等. 锦屏一级水电站地下厂房围岩变形与破坏特征分析[J]. 岩石力学与工程学报,2010,29(6):1 198-1 205.
- [2] GB 50287-2008,水力发电工程地质勘察规范[S].
- [3] 李仲奎,周 钟,汤雪峰,等. 锦屏一级水电站地下厂房洞室群稳定性分析与思考[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(11):2 167-2 175.

作者简介:

程丽娟(1984-),女,四川仁寿人,高级工程师,博士,从事地下工程、岩土工程等方面的设计和科研工作;  
谭可奇(1980-),男,陕西石泉人,副处长兼设计副总工程师,高级工程师,硕士,从事水电水利工程勘测设计、项目管理及科研工作;  
张志军(1987-),男,内蒙古乌兰察布人,工程师,硕士,从事地下工程、结构设计、岩土工程等方面的设计和研究工作。

(责任编辑:李燕辉)