

文章编号 :0559-9342(2005)12-0089-03

# 大朝山水电站地下洞室安全 监测资料分析

郭晨<sup>1</sup>,刘爱梅<sup>1</sup>,管辉<sup>2</sup>,赵志仁<sup>3</sup>

(1.北京木联能工程科技有限公司,北京 100011;2.大朝山水电有限责任公司,云南昆明 650011;  
3.天津大坝安全监测中心,天津 300222)

关键词:最大观测值;安全监测;地下洞室;大朝山水电站

摘要:大朝山水电站引水发电系统为地下工程,根据各项安全监测物理量的主要观测成果,对最大观测值分析其对工程的安全影响,为保证其安全运行具有重要意义。为此,分别对大朝山水电站的主要地下建筑物,包括压力引水隧洞、地下厂房、尾水调压室的最大观测值进行了分析研究,并提出了一些建议,有较大的参考价值。

## The data analysis of the underground cavity safety monitoring In the Dachaoshan Project

Guo Chen<sup>1</sup>, Liu Ai-mei<sup>1</sup>, Guan hui<sup>2</sup>, Zhao Zhi-ren<sup>3</sup>

(1. Beijing Millennium Engineering Technology Co. Ltd., Beijing 100011;

2. Yunnan Dachaoshan Hydropower Co. Ltd., Kunming Yunnan 650011;

3. Tianjin Dam Safety Monitoring Cavity, Tianjin 300222)

**Key Words:** maximum observation value; safety monitoring; underground cavern; Dachaoshan Hydropower Station

**Abstract:** The diversion and power generation system of the Dachaoshan Hydropower Station is underground works. The project safety is analyzed according to the results of safety monitoring, especially its maximum observed value, in order to guarantee its safe operation. Therefore, some maximum observed values are analyzed and studied about the underground structures including pressure diversion tunnel, underground powerhouse and tailrace surge chamber. This paper also puts forward some ideas and advices.

中图分类号:TP277(274)

文献标识码:A

## 1 工程概况

大朝山水电站位于云南省云县澜沧江中下游河段,水库正常蓄水位 899.00 m,总库容 9.4 亿 m<sup>3</sup>,安装 6 台 225 MW 水轮发电机组,总装机容量 1 350 MW。电站枢纽主要由碾压和常态混凝土重力坝、右岸压力引水隧洞、地下厂房、尾水调压室及长尾水隧洞等组成,为一等工程,主体建筑物为 I 级建筑物。地下厂房顶拱高程 843.20 m,开挖宽度 26.40 m,开挖高度 67.30 m,包括主副厂房和安装间总长度 234.00 m,共布设 6 个观测断面。尾水调压室开挖尺寸为 217.40 m×22.40 m×72.63 m(长×宽×高),为大型地下洞室,共布设 4 个观测断面。压力引水隧洞段全长 144.40 m,钢筋混凝土衬砌内径为 8.50 m,共布设 9 个观测断面。

大朝山水电站于 1997 年 8 月 4 日开工,同年 11 月 10 日截流,2001 年 11 月 4 日蓄水,同年 12 月 20 日第一台机组发电,2003 年全部竣工。

由于地下洞室的工程结构十分复杂,为了监控工程安全,保证正常发电运行,在地下洞室中布设了较多的安全监测仪

器,见表 1。为了解主要建筑物地下厂房、压力引水隧洞及尾水调压室的工作性态,对施工和运行期间(截至 2003 年底)的关键观测值,即最大观测值分别进行了统计和分析研究。

## 2 地下厂房安全监测

地下厂房共布设 5 个永久观测断面和 1 个临时观测断面,主要观测仪器为多点位移计、锚杆应力计和锚索测力计,用来观测围岩的变形和受力情况。

自 1998 年开始陆续埋设和观测以来,各物理量的最大观测值见表 2。

从表 2 可以看出:

收稿日期:2005-11-01

作者简介:郭晨(1962—),男,河北行唐人,教授级高工,主要从事安全监测研究及管理工作;刘爱梅(1968—),女,辽宁海城人,高级工程师,主要从事安全监测技术咨询及管理工作;管辉(1971—),男,云南景洪人,工程师,主要从事水工技术管理工作;赵志仁(1937—),男,安徽宿州人,教授级高工,主要从事安全监测技术咨询。

表1 安全监测仪器数量统计

部位	多点位移计/支	锚杆应力计/支	锚索测力计/支	温度计/支	渗压计/支	测缝计/支	应变计/支	无应力计/支	钢板计/支	钢筋计/支	合计/支
地下厂房	148	117	16	12	8	—	—	—	—	—	301
压力引水隧洞	—	54	—	—	18	27	36	36	6	18	195
尾水调压室	120	60	13	12	19	8	12	12	—	12	268
岩壁吊车梁	8	92	—	—	—	24	24	8	—	20	176
4号机组	—	—	—	—	—	4	24	5	6	16	55
主变室	28	18	—	—	1	—	—	—	—	—	47
尾水隧洞	104	40	—	—	27	20	23	17	—	58	289

表2 地下厂房最大观测值统计

部位	围岩变形		锚杆应力		锚索拉力				
	高程/m	最大值/mm	高程/m	最大值/mm	高程/m	锁定值/kN	最大值/kN	增加值/kN	增加率/%
上游边墙	802	4.43	802~815	237.91	815	1 724.2	2 454.8	730.6	42.4
	815	2.05	822~825	43.99	825	1 707.2	2 250.8	543.6	31.8
	834	14.37	834	188.52	—	—	—	—	—
下游边墙	802	29.44	802~815	135.39	815	867.4	1 133.5	266.1	30.7
	815	15.01	822~825	66.49	825	1 005.8	1 891.7	885.6	88.0
	834	5.28	834	78.57	—	—	—	—	—
顶拱	843.2	1.95	843.2	112.01	843.2	820	997	177	20.9

表3 尾水调压室最大观测值统计

断面编号	围岩类别	厂右桩号	围岩变形/mm						锚杆应力/MPa							
			顶拱		上游边墙		下游边墙		顶拱		上游边墙		下游边墙			
			高程	高程	高程	高程	高程	高程	高程	高程	高程	高程	高程	高程	高程	
			853.9	848.0	825.0	805.0	848.0	825.5	805.0	853.9	848.0	825.0	805.0	848.0	825.5	805.0
I	IV	0+189.5	1.36	-1.83	2.24*	1.14*	-0.39	7.77	0.51	—	—	—	—	—	—	—
II	III	0+136.09	0.51	1.02	0	0.25*	1.96	2.44*	2.44*	5.18*	21.13	0.13	13.62	4.05	24.1*	15.13
III	II	0+85.09	1.46	1.41	6.29	0.58*	4.69	13.91	7.08*	11.56	2.42*	98.95	1.29	27.99*	146.8	19.95
IV	II	0+59.59	0.86	2.59	12.18	4.30*	2.20	13.21	1.76	7.13	11.73	32.73*	15.09	29.11	224.20	31.81

注:表中加“\*”者为测点失效前测值。

(1)地下厂房围岩变形规律是上游边墙顶部较大,下游边墙底部较大,最大值发生在下游边墙底部802 m高程、桩号为厂右0+52.39 III类围岩处,其值为29.44 mm,已超过3维非线性有限元计算值25 mm。主要是由于该处有凝灰岩夹层和F<sub>168</sub>断层带,地质条件差等原因引起的。

(2)上、下游边墙底部的锚杆拉力均最大,最大值发生在上游边墙底部桩号0+52.39处,其值为237.91 MPa,已超过设计有限元计算值157.3 MPa。同时拱座处测值188.52 MPa也超过计算值132.0 MPa,需加强观测。

(3)锚索拉力最大值发生在下游边墙,增量达885.6 kN,其发生部位桩号为厂右0+52.39处,此后在该部位增设4根无粘结锚索,从而控制了进一步发展。由表2可知,锚索拉力增量达20%~90%,说明锚索发挥了重要作用。

(4)表2表明,地下厂房变形和受力最大值均发生在II-II观测断面边墙部位、桩号0+52.39 III类围岩处。部分测值已超过有限元计算值,且仍有蠕变现象,因此,可以认为此处是薄弱环节,应作为重点观测部位。

### 3 尾水调压室安全监测

尾水调压室共布设4个观测断面,其中I号断面为辅助断面,主要观测围岩变形、锚杆应力、钢筋应力、渗水压力等。

围岩变形采用多点位移计观测,每孔4个测点,距孔口分别为2、5、10、20 m,锚杆应力计为3点式,距孔口分别为1、3、

5 m。其观测最大值统计见表3。

从表3可看出:

(1)变形和应力最大观测值部位均在上、下游边墙中部825.5 m高程、III-IV观测断面、厂右桩号0+59.59~0+85.09 II类围岩处,而顶拱的变形和受力较小。

(2)上游边墙围岩变形最大值为12.18 mm,发生在IV断面;下游边墙变形最大值为13.91 mm,发生在III断面,相应的IV断面测值也达13.21 mm,均超过II类围岩设计允许的10 mm变形范围。

(3)锚杆应力上游边墙观测最大值98.95 MPa,在III断面;下游边墙相应为IV断面的224.20 MPa,均超过设计有限元计算值。

(4)总体上目前观测值已基本稳定,但由于产生最大值的III、IV断面处下游边墙未进行二期混凝土衬砌支护,因此应继续给予关注。

### 4 压力引水隧洞安全监测

大坝3~8号坝段为机组进水口坝段,共设有6条压力引水隧洞。在2~5号引水洞共布设9个观测断面,主要布设在斜管段、转弯段及下平段,各洞布设的断面及测点数不尽相同。

III~IV断面布设在下游平段,与机组安装高程相同,是承受水压荷载最大的部位,在2、4、6号引水洞中设有III-III断面,均布设有锚杆应力计,每孔安装2个测点,距孔口分别为1、3、

表 4 压力引水隧洞锚杆应力最大观测值统计

引水洞号	距孔口距离/m	顶拱锚杆应力最大值/MPa		左边墙锚杆应力最大值/MPa		右边墙锚杆应力最大值/MPa	
		施工期	运行期	施工期	运行期	施工期	运行期
2	1	2.7	3.3	22.0	23.8	19.8	19.6
	3	17.2	8.7	9.9	7.0	7.3	-1.4
4	1	1.7	2.3	226.8	233.1	37.1	37.1
	3	5.9	6.3	104.0	188.8	22.4	23.3
6	1	34.7	34.9	14.3	11.6	102.6	—
	3	8.8	-15.6	270.7	-51.3	45.5	-24.5

m,观测结果见表 4。

从表 4 可以看出：

(1)压力引水洞锚杆应力以左边墙为最大,右边墙次之,顶拱最小,最大值发生在 6 号洞左边墙孔深 3 m 处,其值为 270.7 MPa。

(2)在布设锚杆应力计的 3 条引水洞中,2 号和 6 号洞运行后应力有所减少,而 4 号洞运行后应力却普遍增加,其中左边墙孔深 3 m 处测点由 104.0 MPa 发展为 188.8 MPa,增量达 84.8 MPa,建议加强 4 号洞观测。

### 5 结 语

(1)地下厂房观测结果表明,变形和应力最大值均发生在厂右桩号 0+52.39 处。II~II 观测断面的上、下游边墙部位,部分测值已超过设计计算值,且仍有蠕变现象,此处为厂房的薄弱环节,建议作为重点观测部位。

(2)尾水调压室变形和应力最大值均发生在厂右桩号 0+59.59~0+85.09 处,III~IV 号观测断面的上、下游边墙部位,部分测值已超过设计值,目前已基本趋于稳定,但由于该处下游边墙未进行二期混凝土衬砌支护,建议继续给予关注。

(3)压力引水隧洞锚杆应力最大值发生在桩号厂下

0+138.0、6 号洞的 III—III 观测断面左边墙孔深 3 m 处,同时 4 号洞相应部位运行后观测值普遍增加,相应测点测值增量达 84.8 MPa,建议加强观测。

(4)目前有关规程规范对围岩变形和应力尚缺少最大观测值的监控指标。上述最大观测值有部分已超过三维非线性有限元分析计算值,但工程仍处于安全稳定状态,因此,在地下洞室实际工程的安全监测分析中,建议将设计规定的允许值作为参考性指标。

(5)根据 GB50086-2001《锚杆喷射混凝土支护技术规范》中的规定:隧洞稳定的判据是后期支护施作后位移变化速度趋于 0,支护结构的外力和内力变化速率也趋于 0。由此标准进行判断可知,地下厂房 II—II 断面桩号 0+52.39 处及 4 号引水发电洞 III—III 断面的下平段观测值尚未完全稳定,仍处于初期运行的调整阶段,需继续加强观测。

### 参考文献：

[1] 赵志仁. 地下埋藏式高压管道的原型研究[A]. 全国水电中青年科技报告会论文集[C]. 北京:水利电力出版社,1985.  
 [2] 迟成武,姜树德. 大朝山水电厂计算机监控系统的技术特点[J]. 水力发电,2002(12):44-46.

(上接第 55 页)

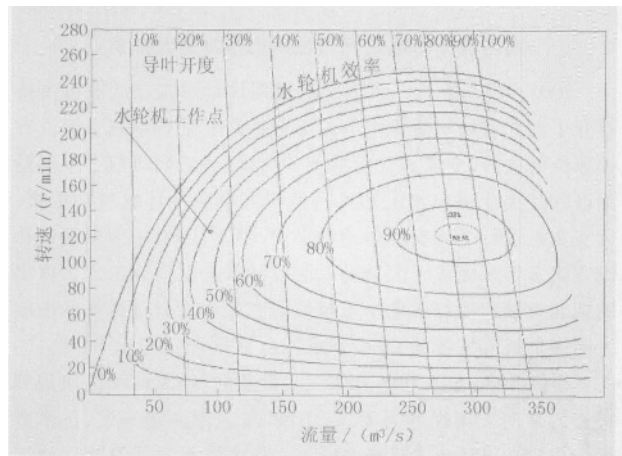


图 2 水轮机综合特性曲线

性曲线。

采用上述数学模型,我们可以通过仿真计算获得水轮机的全特性曲线。图 2 为表征 HLD06A-LJ-600 型水轮机的导

叶开度、转速、流量及水轮机效率之间关系的全特性曲线,通过与电站实测值的比较,两者具有很好的吻合性。从图 2 中可以动态地了解水轮机的运行工作点的变化轨迹,可以观察到水轮机起动、停机及运行过程中各参数的变化状态。

### 参考文献：

[1] 常近时. 水力机械过渡过程[M]. 北京:机械工业出版社,1991.  
 [2] 展锦程. 多媒体虚拟盘台型水电厂培训仿真机[A]. 热能与动力工程学术会议论文集[C]. 重庆:重庆大学出版社,1997.  
 [3] 张韵雪,展锦程. 青海龙羊峡水电厂仿真培训系统[A]. 中国计算机用户协会仿真机分会. 99 全国仿真技术学术会议论文集[C]. 北京:计算机仿真杂志社,1999.  
 [4] 何祖威,杨晨,等. 重庆第三水电学校仿真机开发总结报告[R]. 重庆:重庆大学仿真工程研究所,2003.  
 [5] 杨晨,苟小龙,唐胜利,王广军. 水电机组紧凑型培训仿真系统的开发[J]. 计算机仿真,2004 增刊.  
 [6] 杨博,解大,陈陈,等. 低频减负荷方案中计及调速器的水轮机模型的研究[J]. 水力发电,2003(29):51-53.