

# 吉牛水电站安全监测综述

颜志衡, 符爱华, 罗涛

(四川革什扎水电开发有限责任公司, 四川 丹巴 626300)

**摘要:**介绍了吉牛水电站安全监测的布置设计,对施工期、大坝蓄水期、在建世界上最长的引水隧洞及507 m高水头压力管道充水期的监测成果进行了分析。分析结果表明:布置于大坝、引水系统、地面厂房中的各项监测仪器在施工期运行正常,监测数据准确、合理;大坝蓄水后其变形、渗流渗压监测结果满足设计要求;引水隧洞及压力管道充水后的变形、应力、渗流监测结果满足设计要求。监测结果表明:各建筑物投运后运行性态稳定。

**关键词:**安全监测;长引水隧洞;高水头压力管道;吉牛水电站

**中图分类号:**TV7;TV53+8.4;TV698.1

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2014)01-0039-04

## 1 概述

吉牛水电站位于四川省丹巴县革什扎河干流上,为低闸引水式电站,装机240 MW(2×120 MW),工程主要由首部枢纽、引水系统和厂房枢纽等组成。首部枢纽最大坝高22 m。引水隧洞全长22.377 km,最大水头507.25 m。闸址区出露基岩为震旦系下统(Za)厚~巨厚层变粒岩,偶夹中~薄层二云英片岩,覆盖层最大深度80.8 m,为软基建坝。引水隧洞穿越的地层岩性为震旦系厚~巨厚层变粒岩、志留系茂县群第1~4岩组中~厚层二云英片岩、大理岩、石英岩及中~薄层二云片岩等,围岩遇水易软化。引水隧洞沿线山体雄厚,谷坡陡峻。电站厂房位于革什扎河上游约0.2 km的大金川河右岸I级阶地上,出露地层为志留系第四岩组(Smx4)薄~中层二云英片岩、二云片岩夹石英岩。厂基覆盖层较深厚,为软基建厂。因此,首部枢纽的变形及渗流渗压监测、引水隧洞及压力管道充水后的变形及应力监测、厂房枢纽的变形沉降监测就显得尤为重要。

## 2 监测设计布置

工程监测布置及施工情况见表1。

### 2.1 首部枢纽

**变形监测:**在闸坝顶布置真空激光准直系统,发射端在坝顶右岸灌浆平洞内,接收端位于左岸挡水坝段,各坝段共布置9个测点,在右岸灌浆平洞发射端前方布置一辅助端点(LA10)校准(图1)。

**渗流监测:**沿坝轴线布置一纵向监测断面,断

面上每个坝段设1个直径75 mm的测压管。在泄洪闸闸墩布置1个监测横断面,断面的上、中、下游各设一根测压管。在铺盖下、防渗墙前后设1个监测断面,布置3支渗压计观测防渗效果。大坝左右岸防渗帷幕下游侧共布置8个绕渗孔用以监测两岸坝肩地下水绕渗情况(图2)。

表1 吉牛水电站安全监测仪器统计表

部位	项目名称	单位	设计量	完成量	完好率/%
首部 枢纽	真空激光准直系统	套	1	1	100
	测压管	个	12	12	100
	绕渗孔	个	8	8	100
	渗压计	支	3	3	100
	三点式多点位移计	套	8	8	100
	单点式锚杆应力计	支	20	20	100
引水 系统	测缝计	支	25	25	100
	渗压计	支	15	15	100
	钢筋计	支	14	14	100
	钢板计	支	11	11	100
	水准测点	个	9	9	100
厂区 枢纽	水准基点	个	2	2	100
	测压管	个	2	2	100

### 2.2 引水系统

引水隧洞设置2个监测横断面,分别位于4#施工支洞下游(K9+883.85)、8#施工支洞上游(K17+650),分别处于大桑、水子断裂带。每个断面布置3套三点式多点位移计,3套单点式锚杆应力计,3支测缝计,3支钢筋计和2支渗压计。

调压竖井设置1个纵剖面,2个监测横断面。上下横断面分别高出底板42 m、7 m,每个横断面布置4套单点式锚杆应力计,4支测缝计,4支钢筋计和2支渗压计。纵剖面上室顶拱布置2套三

收稿日期:2014-01-13

点式多点位移计,2支测缝计,1支渗压计。

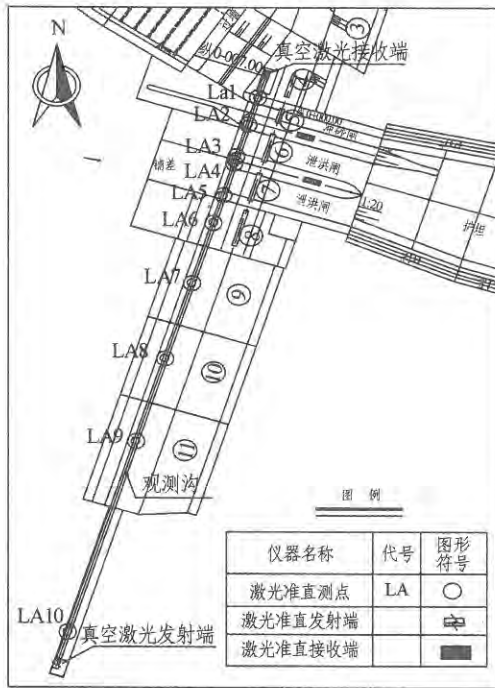


图1 首部枢纽变形监测真空激光准直系统平面布置图

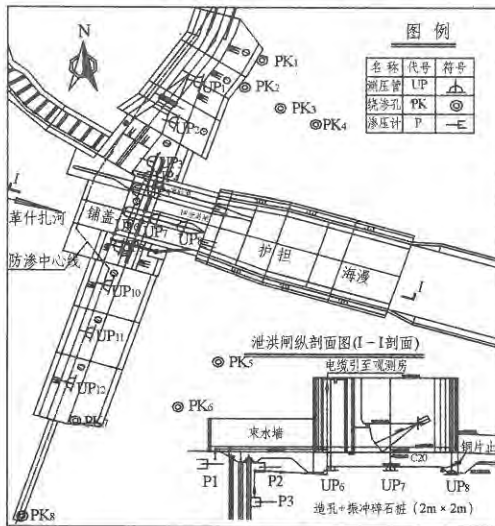


图2 首部枢纽渗流监测平面布置图

在压力管道中设置了3个监测横断面,自上而下分别位于中二平段、下平段、岔管段。前2个断面各布置3套单点式锚杆应力计,3支测缝计,4支钢板计和2支渗压计,岔管段布置了3支测缝计,3支钢板计和2支渗压计。

### 2.3 厂房枢纽

厂区布置了9个变形监测水准测点,2个双金属标水准基点,主副厂房左右临河侧各布置了1个渗流监测测压管(图3)。

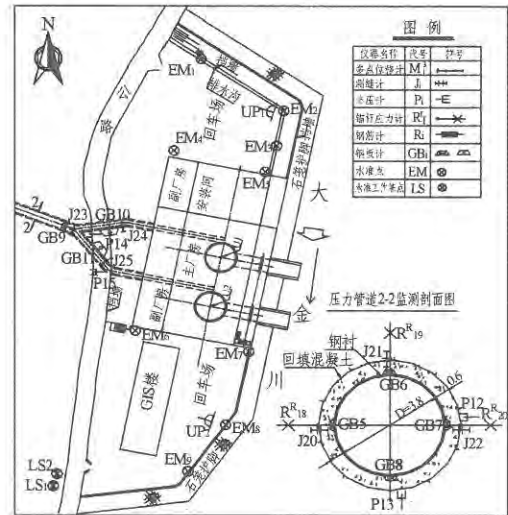


图3 厂房枢纽及岔管监测仪器布置图

### 3 安全监测成果分析

吉牛水库于2013年11月15日开始蓄水,18日蓄水至正常蓄水位2378 m高程。12月15日至17日,引水隧洞及压力钢管一次充水成功。12月24日,机组成功并网运行。

#### 3.1 首部枢纽

##### (1) 变形分析。

自2013年10月取得初始值至蓄水前,大坝水平位移变幅为-0.27~0.29 mm,最大水平下移0.29 mm,垂直位移变幅为-0.41~1.04 mm,最大垂直沉降1.04 mm,大坝整体安全稳定(表2)。

表2 蓄水前后大坝变形观测数据统计表 /mm

部位	测点	蓄水前最大位移		蓄水后最大位移		增幅	
		水平	垂直	水平	垂直	水平	垂直
5#坝段	LA1	0.21	-0.41	0.63	0.34	0.42	0.75
5#坝段	LA2	0.23	0.42	0.68	1.03	0.45	0.61
6#坝段	LA3	0.22	0.55	0.79	1.47	0.57	0.92
7#坝段	LA4	0.21	0.48	0.93	1.48	0.72	1
7#坝段	LA5	0.17	0.5	1.36	1.56	1.19	1.06
8#坝段	LA6	0.24	-0.22	2.55	1.52	2.31	1.74
9#坝段	LA7	0.29	0.42	4.36	1.56	4.07	1.14
10#坝段	LA8	0.16	1.04	3.95	2.17	3.79	1.13
11#坝段	LA9	-0.27	1.03	0.66	1.81	0.93	0.78
校准点	LA10	-0.05	0.29	0.4	0.3	0.45	0.01

注:下移、沉降数值为正,反之则为负。

蓄水后,坝顶水平、垂直位移随水位上升分别向下游、沉降增大。蓄水至正常蓄水位时位移变化达到最大值,最大水平变形(4.36 mm)小于设计最大允许值(±20 mm);最大沉降(2.17 mm)小于设计最大允许沉降值(±30 mm);相邻坝段水平和垂直变形最大值分别为3.29 mm、1.13

mm,不存在不均匀变形。

(2)基础渗压。

蓄水后,防渗墙上游测点 P1 增长明显,与上游水位变化同步,最大渗压换算水位高程为 2 376.19 m;防渗墙下游测点 P2、P3 增幅较小,最大值为高程 2 361.49 m 且稳定,表明防渗墙防渗效果良好(表 3)。

表 3 蓄水前后大坝基础渗压计测值变幅统计表

测点	渗压 /kPa		换算水位 /m		
	蓄水前初值	蓄水后极值	蓄水前	蓄水后	变幅
P1	16.74	163.53	2 361.21	2 376.19	14.98
P2	11.37	29.28	2 359.66	2 361.49	1.83
P3	31.51	49.17	2 352.72	2 354.52	1.8

(3)闸基扬压力。

蓄水后,各测压管测值随坝前水位上升有增长,与坝前水位上升幅度对比增幅较小,最大值为高程 2 365.17 m(表 4),符合监测规律,表明坝轴线扬压力较小。泄洪闸闸墩监测横断面上测压管测点值从上游到下游逐渐降低(UP6 > UP7 > UP8),符合扬压力的分布特性。

表 4 蓄水前后大坝测压管测值变幅统计表 /m

项目	蓄水前初值	蓄水后极值	变幅
坝前水位	2 363.2	2 378.07	14.87
UP <sub>1</sub>	2 361.99	2 364.54	2.55
UP <sub>2</sub>	2 361.95	2 364.35	2.40
UP <sub>3</sub>	2 362.19	2 364.88	2.69
UP <sub>4</sub>	2 362.5	2 363.12	0.61
UP <sub>5</sub>	2 362.16	2 363.49	1.33
UP <sub>6</sub>	2 361.98	2 363.65	1.67
UP <sub>7</sub>	2 361.9	2 363.36	1.45
UP <sub>8</sub>	2 361.84	2 363.1	1.26
UP <sub>9</sub>	2 361.97	2 362.71	0.74
UP <sub>10</sub>	2 362.45	2 363.76	1.31
UP <sub>11</sub>	2 361.88	2 364.48	2.59
UP <sub>12</sub>	2 362	2 365.17	3.18

表 5 蓄水前后大坝绕渗孔测值变幅统计表 /m

项目	蓄水前初值	蓄水后极值	变幅
坝前水位	2 363.2	2 378.07	14.87
PK <sub>1</sub>	2 362.38	2 365.45	3.07
PK <sub>2</sub>	2 362.17	2 363.87	1.7
PK <sub>3</sub>	2 362.11	2 364.07	1.96
PK <sub>4</sub>	2 362.01	2 364.63	2.63
PK <sub>5</sub>	2 362.34	2 362.51	0.17
PK <sub>6</sub>	2 362.13	2 364.46	2.33
PK <sub>7</sub>	2 362.44	2 365.3	2.86
PK <sub>8</sub>	2 362.29	2 365.09	2.8

(4)绕坝渗流。

蓄水后,各绕渗孔测点值随坝前水位上升同步增长,与坝前水位上升幅度对比增幅较小,最大

值为高程 2 365.45 m(表 5),符合监测规律,表明坝肩绕坝渗流较小。

3.2 引水系统

(1)变形分析。

充水前多点位移计测点最大位移变幅为 1.29 mm,单向最大位移为 0.97 mm。充水后仅有 3 个测点位移增幅大于 0.3 mm,最大增幅 0.49 mm。隧洞充水前后多点位移计测点位移增幅小于 0.5 mm,且充水后测点位移总变幅小于 1.4 mm(表 6),表明引水系统围岩变形量较小,整体稳定。

表 6 多点位移计测点位移变幅统计表 /mm

部位	测点	隧洞充水前		隧洞充水后		
		变幅	总变幅	变幅	增幅	总变幅
引水隧洞	M <sub>1</sub> <sup>a</sup>	0~0.78	0.78	0~0.81	0.03	0.81
	M <sub>2</sub> <sup>a</sup>	0~0.83	0.83	0~1.15	0.32	1.15
	M <sub>3</sub> <sup>a</sup>	-0.25~0.54	0.79	-0.25~0.91	0.37	1.16
	M <sub>4</sub> <sup>a</sup>	-0.28~0.39	0.67	-0.28~0.88	0.49	1.16
	M <sub>5</sub> <sup>a</sup>	-0.36~0.22	0.58	-0.36~0.28	0.06	0.64
	M <sub>6</sub> <sup>a</sup>	-0.05~0.97	1.02	-0.05~0.97	0	1.02
调压竖井	M <sub>7</sub> <sup>a</sup>	-0.39~0.9	1.29	-0.39~0.97	0.07	1.36
	M <sub>8</sub> <sup>a</sup>	-0.38~0.52	0.9	-0.38~0.52	0	0.9

充水后,在 25 支测缝计测点中,22 个测点值小于 1 mm,占 88%,2 个测点在 1~1.5 mm 间,占 8%(表 7),表明混凝土与围岩间隙较小。压力管道 9 个测点中有 6 个测点值小于 0.5 mm,表明回填混凝土与压力钢管接触相对密实。

表 7 测缝计测点开合度变幅统计表 /mm

部位	总数	0~0.5		0.5~1		1~1.5	
		个	比	个	比	个	比
引水隧洞	6	3	50%	1	17%	2	33%
调压竖井	10	5	50%	5	50%	—	—
压力管道	9	6	67%	3	33%	—	—
合计	25	14	56%	9	32%	2	8%

表 8 锚杆应力计测点应力变幅统计表 /MPa

部位	总数	0~15		15~30		30~45	
		个	比	个	比	个	比
引水隧洞	6	4	67%	—	—	2	33%
调压竖井	8	8	100%	—	—	—	—
压力管道	6	4	67%	2	33%	—	—
合计	20	16	80%	2	10%	2	10%

(2)应力分析。

充水后,20 支锚杆应力计测点中,16 个测点应力小于 15 MPa,占 80%,2 个测点监测应力在 30~45 MPa 间,占 10%(表 8),测点最大压应力为 9.17 MPa,最大拉应力为 34.66 MPa。目前,各锚杆应力计测点值基本趋于稳定。



充水后,在14支钢筋计测点中,13个测点应力值小于30 MPa,占93%,仅1个测点大于50 MPa(表9)。最大拉应力(52.17 MPa)为8#支洞上游监测断面左边墙测点值,目前该测点应力开始缓慢减小。引水系统钢筋应力计测值及变幅较小,钢筋受力整体稳定。

表9 钢筋计测点应力变幅统计表 /MPa

部位	总数	1~10		10~30		30~50		>50	
		个	比	个	比	个	比	个	比
引水隧洞	6	1	17%	4	67%	—	—	1	17%
调压竖井	8	4	50%	4	50%	—	—	—	—
合计	14	5	36%	8	57%	—	—	1	7%

压力管道充水后,监测断面钢板计均表现为拉应力大幅度增加。11个测点中,6个测点最大应力在80~120 MPa间,占55%,4个测点最大应力在120~160 MPa间,占36%。中二平段监测断面底板GB4测点在充水初期受水流重力作用,其压应力增大至130.68 MPa(表10),随着压力管道中的水充满,水头增加近500 m,GB4测点压应力逐渐减小并开始转变成拉应力,达到27.83 MPa。压力管道充水后,各监测断面钢板计测点值拉应力的增加符合高水头水流对压力钢管外膨胀的力学作用特点。截至2013年12月,各测点应力在最大拉应力附近微小波动,且均小于155 MPa,符合电站运行规律。

表10 压力管道钢板计测点充水前后应力变化表 /MPa

测点	充水前最大		充水后最大		增量	
	拉应力	压应力	拉应力	压应力	拉应力	压应力
GB1	10.23	-14.8	80.72	-14.8	70.49	0
GB2	5.48	-12.5	123.56	-12.5	118.08	0
GB3	4.51	-14.93	104.17	-14.93	99.67	0
GB4	0	-96.78	29.12	-130.68	29.12	-33.9
GB5	64.66	0	83.32	0	18.66	0
GB6	100.33	0	139.58	0	39.26	0
GB7	85.34	-1.24	112.22	-1.24	26.88	0
GB8	67.13	-5.35	99.42	-5.35	32.29	0
GB9	17.31	0	153.13	0	135.81	0
GB10	3.54	-19.47	97.26	-19.47	93.72	0
GB11	9.41	0	128.76	0	119.35	0

(3) 渗压分析。

充水后,引水系统15支渗压计最大渗压测值为0.4 MPa,其中5个有效测点渗压值为0 MPa,占33%;11个测点渗压小于0.22 MPa,占73%(表1)。竖井最大渗压值为0.22 MPa,压力管道最大渗压值为0.08 MPa。各测点值及变幅微小,趋于稳定,引水系统防渗良好。

表11 渗压计测点渗压变幅统计表 /MPa

部位	总数	0		0~0.08		0.08~0.22		0.22~0.4		>0.4	
		个	比	个	比	个	比	个	比	个	比
引水隧洞	4	—	—	—	—	—	—	4	100%	—	—
竖井	5	3	60%	—	—	2	40%	—	—	—	—
压力管道	6	2	33%	4	67%	—	—	—	—	—	—
合计	15	5	33%	4	27%	2	13%	4	27%	—	—

3.3 厂房枢纽

厂房水准观测点于2013年5月取得初始值。机组运行前,厂房枢纽区域缓慢沉降变形整体表现为向东向北倾斜。水准测点EM4、EM5、EM6沉降相对偏大,累积最大沉降值为9.1 mm(EM4)(表12)。从测点沉降规律分析可见:厂房建筑物沉降量略高于挡墙沉降量,表现为主副厂房基础沉降向西向北倾斜。厂房枢纽沉降变形量在设计允许沉降值(±30 mm)范围内,整体安全稳定;机组并网运行后,厂房枢纽区域整体沉降有所增加,最大增幅为0.5 mm,但最大沉降值9.4 mm仍小于设计允许值的32%,目前整体安全稳定。

表12 厂房枢纽水准测点累积最大沉降表 /mm

沉降	EM <sub>1</sub>	EM <sub>2</sub>	EM <sub>3</sub>	EM <sub>4</sub>	EM <sub>5</sub>	EM <sub>6</sub>	EM <sub>7</sub>	EM <sub>8</sub>	EM <sub>9</sub>
并网前	510	5.2	4.4	9.1	8.1	6.3	4.4	3	4.9
并网后	5.3	5.4	4.6	9.4	8.6	6.4	4.8	3.4	5.4
增幅	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.1	0.4	0.4	0.5

受大金川枯水期来水影响,厂址测压管水位整体表现为下降趋势。自2013年10月取得初始值以来,测压管内的水位下降最大幅度为0.546 m,厂址基础渗流基本稳定。

4 结语

吉牛水电站安全监测项目的布置满足设计规范,监测设施运行正常,能够准确、及时地反映工程建筑物的工作性态。大坝蓄水后变形、渗流渗压满足设计要求,蓄水安全稳定;引水系统充水后,变形与渗压变化微小,混凝土与围岩及压力钢管接触紧密;压力管道钢管应力变化明显,符合电站运行规律;厂房枢纽整体变形基本稳定。

作者简介:

- 颜志衡(1986-),男,四川安县人,助理工程师,硕士,一级建造师,从事水利水电工程建设技术与管理工
- 符爱华(1974-),男,湖北仙桃人,处长助理,工程师,从事水电工程建设技术与管理工
- 罗涛(1989-),男,四川乐山人,助理工程师,学士,从事水电工程建设技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)