

# 混凝土应力及温度监测变化分析

邱向荣, 李斌斌, 张睿栋, 张世娟

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

**摘要:**笔者依据岷江犍为航电枢纽工程,阐述了在其厂房 5 号和 9 号机组闸墩部位设计的 2 个应力与温度监测断面,在闸墩混凝土浇筑施工期间安装了应变计及温度计并进行了长时间不间断监测,根据所收集到的监测数据和成果计算对混凝土应力应变及温度在季节性变化中的实际量值进行分析的过程。

**关键词:**混凝土;应力;温度;监测;犍为航电枢纽工程

**中图分类号:**TV7;TV544;TV43;TV52

**文献标志码:**B

**文章编号:**1001-2184(2024)01-0054-03

## Monitoring and Analysis of Concrete Stress and Temperature Monitoring

DI Xiangrong, LI Binbin, ZHANG Ruidong, ZHANG Shijuan

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610066)

**Abstract:** In the Qianwei Navigation-Power Junction on Minjiang River, two stress and temperature monitoring sections were designed at the sluice piers of Units 5 # and 9 # of the powerhouse. During the concrete pouring construction of the sluice piers, strain gauges and thermometers were installed and carried out continuous monitoring for a long time. The actual values of concrete stress, strain and temperature in seasonal changes were analyzed according to the collected monitoring data and calculation results.

**Keywords:** Concrete; Stress; Temperature; Monitoring; Qianwei Navigation-Power Junction

## 1 概述

岷江犍为航电枢纽工程为二等大(2)型工程,其渠化岷江 3 级航道的长度长达 20 km,新建 3 级船闸和大(2)型电站(500 MW)各一座。设计通航船舶吨级为 1 000 t,多年平均发电量为 21.856 5/21.869 7 亿 kW·h(现状/远景),装机年利用小时数为 4 368 h/4 370 h。水库正常蓄水位高程 335.00 m 以下库容为 1.483 亿 m<sup>3</sup>,校核洪水水位高程(P=0.1%)339.21 m 以下总库容为 2.271 亿 m<sup>3</sup>,死水位高程为 334.00 m,日调节库容为 0.158 亿 m<sup>3</sup>。

该枢纽发电厂房布置于左河槽,为河床式厂房,属挡水建筑物,左侧为左岸重力坝段,右侧为右储门槽坝段。其主要建筑物包括拦沙坎、引水渠、主机间坝段、安装间坝段、装卸场坝段、副厂房、主变室及 GIS 室内开关站、导墙、尾水渠等。安装 9 台贯流式水轮发电机组,其单机容量为 55.6 MW,总装机容量为 500 MW。

连接厂房的工程包括 1~3 号刺墙坝段、4 号重力坝段,其坝顶高程为 342.80 m。混凝土刺墙

坝采用工字型断面,腹板厚 4 m,上顶宽 10 m,下底宽 12 m,最大高度为 22.3 m,总长度为 50 m,分三个坝段布置;4 号重力坝段的最大坝高为 26.3 m,坝段总长度为 21.32 m,上游坝坡铅直,下游坝坡坡比为 1:0.8。

工程建设内容包括:土方明挖、石方明挖、边坡支护、土石方填筑、混凝土浇筑、基础防渗、地基加固、机电及金属结构预埋、安全监测等。

## 2 混凝土验证检测及监测仪器的布置

### 2.1 混凝土设计验证

该厂房 1~9 号机组闸墩均属于大体积混凝土,设计要求的混凝土为 C25W6F50。经项目部自检试验室进行的混凝土配合比设计验证取得的相关检测数据结果如下:

(1)混凝土抗渗等级:检测方法遵循《水工混凝土试验规程》DL/T 5150-2017 中的有关规定,质量评定遵循《水工混凝土施工规范》DL/T 5144-2015 中的有关规定,检测结果均满足设计抗渗等级要求。混凝土抗渗等级检测结果统计情况见表 1。

(2)混凝土抗冻等级:检测方法遵循《水工混凝土

土试验规程》DL/T 5150—2017 中的有关规定,质量评定遵循《水工混凝土施工规范》DL/T 5144—2015

中的有关规定,检测结果均满足设计抗冻要求<sup>[1-2]</sup>。混凝土抗冻等级检测结果统计情况见表 2。

表 1 混凝土抗渗等级检测结果统计表

使用部位	混凝土设计强度	抗渗设计等级	检测组数 /组	试件抗渗等级	合格率 /%
地面发电	C25W6F50	W6	10	>W6	100
厂房工程	C30W6F50	W6	1	>W6	100

表 2 混凝土抗冻等级检测结果统计表

使用部位	混凝土设计强度	抗渗设计等级	检测组数 /组	试件抗渗等级	合格率 /%
地面发电	C25W6F50	F50	8	≥F50	100
厂房工程	C30W6F50	F50	2	≥F50	100

(3)混凝土抗压强度:检测方法遵循《水工混凝土试验规程》(DL/T 5150—2017)中的有关规定,质量评定遵循《水工混凝土施工规范》

(DL/T 5144—2015)中的有关规定,混凝土抗压强度均满足设计要求,质量合格。混凝土抗压强度检测结果统计情况见表 3。

表 3 混凝土抗压强度检测结果统计表

工程部位	混凝土强度	龄期 /d	组数 /组	强度 /MPa			不低于设计强度百分率 /%	$\sigma$ /MPa	$C_v$	保证率 /%
				最大值	最小值	平均值				
地面发电	C25	28	2 287	36.6	25.3	30.1	100	2.19	0.07	98.4
厂房工程	C30	28	787	44.2	30.5	37.6	100	2.29	0.06	100

## 2.2 监测仪器的布置

根据该枢纽工程具有的工程地质条件、不可预见性因素等特点,为监测和掌握水工建筑物施工期、运行期的工作状况,同时验证设计理论的正确与否,设计单位从施工期监测和后期电站运行阶段入手,依据动态设计原则,运用多种监测手段,在混凝土结构内部通过布置应变计、无应力计、温度计监测的方式用于掌握混凝土结构内部的收缩应变、内部应力及温度变化情况,判定结构混凝土的稳定性,为坝体的安全稳定提供参考依据。

该工程地面发电厂房共布置有 9 个机组、10 个闸墩,共计设计了 2 个监测断面,分别为 5 号机组和 9 号机组断面,布置三向应变计 12 组、无应力计 6 套、温度计 22 支。

## 3 监测仪器的安装及取得的监测成果

### 3.1 监测仪器的安装

#### 3.1.1 应变计

(1)应变计埋设前必须进行室内检验,待其合格后方可使用;

(2)按照施工图纸的要求,先测量放样并采用固定支座确定应变计的埋设位置和方向。在支座上安装支杆、调准支杆的方向,再将应变计固定在支杆上;

(3)对仪器周围回填混凝土,剔除混凝土中粒

径大于 8 cm 的粗骨料,人工振捣密实。下料时料距仪器 1.5 m 以上,埋设前设置无底保护木箱,埋设时保持仪器的正确位置和方向并及时检查,发现问题一定要及时处理或更换仪器;

(4)埋设过程中进行现场维护,绝不允许非工作人员进入埋设点半径 5 m 范围内。仪器埋设后设置明显的标记并留人看护。

#### 3.1.2 无应力计

(1)无应力计埋设前先进行室内检验,待其合格后方可使用;

(2)将无应力计安装所需要的沥青和内外两个桶空隙之间所需要的木屑准备好;

(3)按照设计要求接长电缆,接长时先将同色芯线接在一起并用锡焊牢、认真进行硫化处理。电缆接长后编制号码,然后用读数仪器进行测量并进行记录;

(4)将无应力计安装在保护筒中心位置且与应变计组相隔 1 m;

(5)埋设时,在无应力计桶内填满相应埋设部位同级配的混凝土,适当去除较大粒径的骨料,然后由人工振捣密实。

#### 3.1.3 温度计

(1)按计算长度量取电缆并与温度计连接,处理好接头后用布包裹并缠上胶带。

(2)按照设计要求先测量放样,然后确定温度

设计的安装高程与部位。

(3)预埋两根  $\Phi 12$  钢筋,并将一根水平的钢筋焊在预埋的插筋上以固定温度计。

(4)使用胶布将温度计密缠、固定在钢筋上,下料时仪器周围 1 m 以内不得使用震动棒,人工回填并剔除粒径大于 80 mm 的混凝土,人工捣实且不得触及仪器<sup>[3]</sup>。

### 3.2 所取得的监测成果

(1)应变计及无应力计监测成果。三向应变计及无应力计监测成果统计于 2017 年 4 月 8 日至 2020 年 10 月 23 日之间,历时 3 年 6 个月,期间混凝土内部微应变累计变化为 18.32~−635.80  $\mu\epsilon$  之间,混凝土内部非应力微应变累计变化量在 −507.72~12.36  $\mu\epsilon$  之间。

(2)温度计监测成果。在混凝土表面布置了 10 套温度计、混凝土内部布置了 12 套温度计,其监测成果统计于 2017 年 6 月 20 日至 2020 年 10 月 23 日,历时 3 年 4 个月,期间混凝土内的温度变化为 9.43~51.87  $^{\circ}\text{C}$ ,混凝土表面温度在 7.11~34.4  $^{\circ}\text{C}$  之间变化。

### 4 结 语

通过对岷江犍为航电枢纽工程厂房闸墩 2 个监测断面取得的监测成果进行分析后得出以下结论<sup>[4-5]</sup>:

(1)在混凝土设计强度为 C25W6F50,且其抗渗、抗冻、抗压要求均符合设计要求的条件下,受混凝土内部温度影响,三向应变计与无应力计总体产生收缩应变,其在混凝土浇筑后的 2~3 个月时间内收缩趋势明显,随后收缩趋势逐渐趋于平缓。三向应变计单支仪器的最大变幅为 636.85  $\mu\epsilon$ ,无应力计单支仪器的最大变幅为 508.20  $\mu\epsilon$ ,所受微应变均小于三向应变计,微应变变幅相差 128.65  $\mu\epsilon$ 。

(2)经过长时间的监测发现局部测点(混凝土内埋深较小部位分别为 5 号机组和 9 号机组的 4 号、5 号测点)受季节性环境温度影响其应变起伏较大,并且形成了一定的规律:冬季应力监测其值较大,夏季所测应力值较小,三向应变计变幅在 240  $\mu\epsilon$  以内,尤以 5 号机组和 9 号机组的 4 号、5 号测点明显。三向应变计历时监测变化过程见图 1。无应力计变幅在 180  $\mu\epsilon$  以内,所受微应变变幅小于三向应变计微应变变幅 60  $\mu\epsilon$ ,尤以 5 号机组和 9 号机组的 4 号、5 号测点明显。无应力计历时监测变化过程见图 2。

(3)在同标号混凝土条件下,混凝土内温度较高的情况均发生在混凝土浇筑初期,其主要受混凝土水化热影响导致,最高温度为 51.87  $^{\circ}\text{C}$ 。混凝土的表面温度经长时间监测发现:埋在混凝

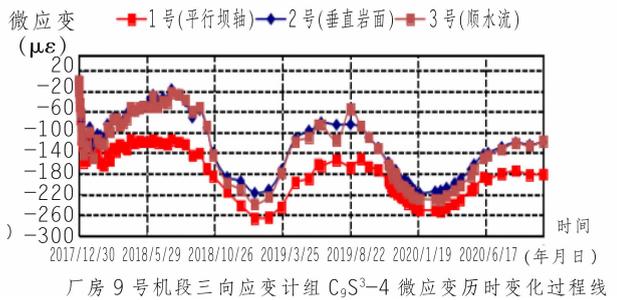
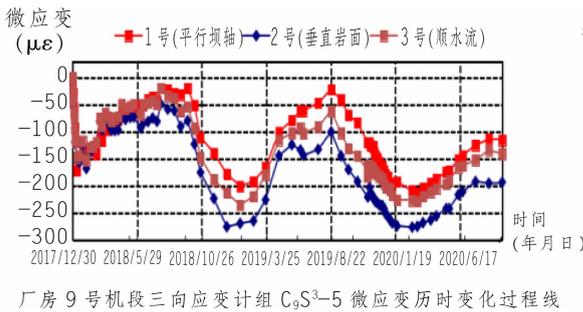


图 1 三向应变计历时监测变化过程图



图 2 无应力计历时监测变化过程图

(下转第 60 页)

磁波多次反射,这种反射有可能在界面与钢筋网中产生<sup>[5]</sup>,对钢筋的数量及分布更加难以判别。

鉴于该项目结构混凝土的钢筋保护层厚度均在100 mm以内,因此最终决定采用电磁感应法进行钢筋布局及混凝土保护层厚度的检测;对于有争议的地方,辅以局部或小面积破损进行验证检测。

### 3.4 结构混凝土钢筋的锈蚀情况

结构混凝土由于长期受气候、工作环境等因素影响,其内部的钢筋可能产生锈蚀情况,需要对钢筋的锈蚀情况进行充分评估,以供对整体结构的使用年限进行分析。

电化学法是检测结构混凝土中钢筋锈蚀状况的重要方法之一,具有现场检测速度快、灵敏度高、可在原位连续跟踪测量、经济环保等优点,可以在不损坏混凝土结构的前提下进行检测,其测试精度相对较高,能够检测到较浅的锈蚀,结合工况状态能够定量评估钢筋的腐蚀程度和混凝土保护层的厚度。但其受环境温度、湿度、盐度等因素的影响可能会引起一定的误差,对于较深层的锈蚀和保护层厚度其检测能力有限,检测过程相对复杂,需要由掌握专业技术的人员进行操作和数据解读。

鉴于该项目结构混凝土的施工时间不足1 a,考虑实际工况,暂不需要开展钢筋锈蚀情况检测。

## 4 结语

综上所述,用于结构混凝土无损检测的方法较多,但其适用范围不同,因此在明确检测需求后应及时匹配检测方法。选择检测方法的原则:综合考虑检测设备、检测成本、对检测人员

的要求、检测效率等因素,以使用低廉的成本快速、准确地检测出结果。当检测结果不明确或不清晰时,可以采用多种方法检测后进行结果比对并经专业分析后确定检测结果。若该结果还不够准确或存有争议,应采用破损检测的方法进行验证,以确定哪种无损检测方法的结果更接近于真实情况,以便后续采用该方法开展相应的质量检测工作。

该项目从事检测的技术人员按照上述要求选择的无损检测方法开展了结构混凝土的质量检测工作,经过为期一周的检测,顺利完成了该项目的结构混凝土质量检测,经对混凝土结构的抗压强度、内部缺陷、钢筋分布检测数据进行分析后认为:本次无损检测方法的选择适宜,过程检测效率高,其检测数据与设计值相比,能够满足设计要求。

### 参考文献:

- [1] 校永志,余元宝,李娜,等.超声法检测混凝土垂直裂缝缺陷深度应用研究[J].山东工业技术,2018,37(3):107-108.
- [2] 马文彬,张敬东,张风杰,等.混凝土中钢筋锈蚀检测的电化学方法[J].建材技术与应用,2007,28(4):4-6.
- [3] 樊伟东,祁彬.混凝土无损检测技术发展及工程应用探析[J].中国设备工程,2020,36(17):14-15.
- [4] 刘昕玥.浅谈混凝土无损检测技术的发展与应用[J].建筑工程技术与设计,2015,3(14):2040.
- [5] 利奕年,孙佳,徐迎.地质雷达在钢筋混凝土结构无损检测中的技术难点与应用方法研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022,14(4):1-4.

### 作者简介:

王晓堂(1986-),女,甘肃渭源人,副高级工程师,从事水利水电、房屋建筑、市政工程试验检测技术与管理工作的。

(编辑:李燕辉)

(上接第56页)

土表面的温度计受季节性环境温度影响其应变起伏较大并形成一定的规律:冬季应力温度值较小,夏季所测温度值较大,变幅在25℃以内。

### 参考文献:

- [1] 水工混凝土试验规程,DL/T 5150-2017[S].
- [2] 水工混凝土施工规范,DL/T 5144-2015[S].
- [3] 混凝土坝安全监测技术规范,DL/T 5178-2016[S].
- [4] 孙建会,王万顺.重庆江口水电站拱坝施工期混凝土应力应变监测成果分析[J].水利水电技术,2005,36(3):47-50.
- [5] 迟福海,腾敏.勐野江水电站蓄水期混凝土面板变形分析

[J].水利科技与经济,2015,21(10):95,98.

### 作者简介:

邱向荣(1992-),男,甘肃武威人,工程师,从事水利水电工程试验检测与安全监测工作;

李斌斌(1989-),男,甘肃天水人,工程师,从事水利水电工程试验检测与安全监测工作;

张世娟(1994-),女,甘肃武威人,助理工程师,从事水利水电工程试验检测与安全监测工作;

张睿栋(1992-),男,甘肃天水人,工程师,从事水利水电工程试验检测与安全监测工作。

(编辑:李燕辉)