

# 铜街子水电站拦河坝原型观测设计

吴鹏举

(国家电力公司成都勘测设计研究院, 成都, 610072)

**摘要** 铜街子水电站工程地质条件复杂, 枢纽坝型多, 为监测各主要水工建筑物在施工及运行期间的工作状态, 在各坝段中布置了各类监测仪器。通过对原型观测数据的采集与统计结果分析, 验证了工程施工质量好, 坝基稳定, 大坝变形符合客观规律, 从而为工程竣工验收和大坝安全评价提供了重要依据。

**关键词** 工程简述 仪器布置 变形监测 内部监测 地震监测

## 1 工程简述

铜街子水电站位于四川省乐山市境内, 系大渡河中游最末一级电站, 距下游乐山市 80 km。工程是以发电为主的综合性利用水利枢纽。电站最大水头 41 m, 装机容量 4 × 150 MW。大坝总长 1 084.59 m, 最大坝高 82 m。

坝区工程地质条件复杂。河床左侧存有一条基岩深埋谷, 其中斜跨左岸堆石坝的部位最大槽深达 74 m, 由粉细砂层、块碎石层所填充。河床部分的坝基玄武岩分 5 大层, 层间普遍连续分布有层间错动带, 其中 C<sub>5</sub> 倾向下游 6°~8°, 厚 1~30 cm, 是控制大坝稳定的重要因素。另外, 还有连续性较差的层内错动带与 F<sub>3</sub>、F<sub>3-1</sub>、F<sub>4</sub>、F<sub>6</sub> 等断层。

枢纽主要建筑物为左岸混凝土面板堆石坝、左岸挡水坝段、河床式厂房坝段、左右冲沙底孔坝段、溢流坝段、右岸挡水坝段、筏闸及右岸心墙堆石坝段等。

工程于 1983 年立项, 1992 年 10 月首台机组并网发电, 1994 年 12 月 4 台机组全部投产发电。1995 年 10 月提出“铜街子水电站拦河坝安全监测原型观测资料分析总报告”并经四川省电力局评审, 认为“监测系统设计符合规范要求、项目齐全、布置合理”; “仪器埋设、安装按规范和设计要求进行, 资料正规、完整”。1998 年 9 月 5 日工程通过竣工验收, 正式移交给运行管理单位。铜街子水电站大坝仪器埋设统计表详见表 1。

## 2 安全监测系统布置

铜街子水电站枢纽工程地质条件十分复杂、坝型多样, 为了能及时了解和掌握大坝工作状态, 监测

大坝安全运行以及检验设计和施工中采用新技术后运行的效果如何, 因此, 该工程布置了较为系统的安全监测设施。

表 1 电站大坝各类仪器埋设数量统计表

仪器埋设部位	仪器名称及数量/支											合计					
	单 项 应 变 计	双 向 应 变 计	三 向 应 变 计	五 向 应 变 计	七 向 应 变 计	九 向 应 变 计	无 应 力 计	测 缝 计	基 岩 变 形 计	钢 筋 计	应 力 计		土 压 力 计	渗 压 计	电 阻 温 度 计	测 力 计	裂 缝 计
1 号坝	14	32				16	3					7	22		4	98	
防渗墙	54					11		14		37					1	116	
3 坝段	1					1							29		1	32	
4 坝段		22				5										27	
5 坝段													4		1	5	
6 坝段	3					3							4		2	12	
7 坝段								4								4	
8 坝段	2					1	1						15			19	
1 号机			18			6	12	23	4			4	23			90	
2 号机	5					4	8						2			22	
4 号机	8	15				5	16	2	53	5		5	31			141	
14 坝段							1									1	
15 坝段	4	9		14		4	3						6			40	
16 坝段							4						3			7	
17 坝段	8	12	3	45		27	14	6	2	25	2		10	45	20	2	224
20 坝段								2					5	3		2	10
22 坝段														4		1	5
闸闸首	2	8				5	2						7		5	29	
上闸室	12	6				3	8	51								2	82
中闸首	10	4	3			3	2	6									28
下闸首	4	2	3			2		8									19
下闸室	8	4				2	3	11									28
右岸堆石坝									8						3		11
右岸边坡锚洞										25							25
面板坝			小 8			小 6	10										34
合计	135	90	45	14	27	91	78	26	228	11	37	31	201	20	21	1109	

注: 由于工期较长, 最初埋设的仪器运行至今已十余年。因此部分仪器随着使用期加长, 浸入电缆的水份不断增加, 加之电缆橡胶、橡皮等止水材料不断老化及仪器本身的质量问题, 导致一部分仪器失灵或损坏。至 1995 年 8 月止, 电阻式仪器损坏 26 支, 差动电阻式仪器损坏 133 支, 弦式仪器损坏 13 支, 仪器完好率为 84.71%。

## 2.1 变形监测

### 2.1.1 平面监测网

用引张线和视准线方法进行监测,该法是以倒垂线作为基准点的,为监测两条倒垂线锚固点的稳定性,布置了平面监测网。该网由8点组成较强的边角网,编号为 $T_{01} \sim T_{08}$ ,其中 $T_{03}$ 、 $T_{08}$ 两点是和正倒垂线相联系的观测墩,设在坝顶引张线的同一位置上。

边角网的边长是用 $DI_{2000}$ 测距仪观测,角度用 $T_{3000}$ 电子经纬仪观测。要求测角中误差 $0.7$ 。

### 2.1.2 坝顶及廊道的水平位移监测

大坝的水平位移监测包括坝体倾斜和滑动引起的水平方向的变形测量,分别采用以下办法进行监测。

#### 2.1.2.1 引张线法

在 $N_4 \sim N_{20}$ 坝段之间的坝顶处及高程 $423.00$  m观测廊道内分别设有引张线,以观测坝体顶部及基础部位的水平位移。两端点用倒垂线控制。

#### 2.1.2.2 视准线法

在坝顶引张线两端的延长线上,各设有一条视准线,分别观测 $N_1 \sim N_4$ 、 $N_{21} \sim N_{24}$ 坝段坝顶的水平位移。右岸堆石坝的水平位移测量,是由设在坝顶上下游坡的3条视准线观测。视准线法采用活动觇标固定端点设站法观测。水平位移观测精度包括受大气折光影响因素,定为 $\pm 1$  mm。

#### 2.1.2.3 不观测定向角的精密导线法

左岸堆石坝的水平位移量测是由坝顶及下游马道处的两条不规则定向角的精密导线法观测。折角用 $T_{3000}$ 电子经纬仪观测,边长用 $DI_{2000}$ 测距仪观测。水平位移量测中误差均应 $< 2$  mm。

### 2.1.3 坝顶及廊道的垂直位移监测

垂直位移观测亦称沉陷观测。用 $N_3$ 精密水准仪按一等水准测量的操作规程进行观测。

#### 2.1.3.1 基准点观测

等水准环线由水准基点、工作基点、位移测点等三级点所组成。水准基点组设在大坝下游 $2.2$  km处,在1号坝段右岸灌浆廊道内各设2个工作基点。环线全长 $7.7$  km,经估算两组工作基点测量中误差分别为 $\pm 0.96$  mm和 $0.98$  mm。达到了规范规定的 $\pm 1$  mm的要求。

#### 2.1.3.2 位移监测点的布置

在坝顶及廊道内布置有位移监测点,组成以左右岸工作基点为起闭点的水准网。一般在每个坝段坝顶及廊道内都设有测点,另外,在厂房、溢流坝、筏

闸两侧及下游部位增设了若干测点,以了解坝体倾斜变化情况。为保证与提高垂直位移的观测精度,在 $N_4$ 坝段,1号坝下游处设有高程传递孔,采用钢瓦带尺将坝顶高程传到廊道测点处,以减少环线长度,提高观测精度。

### 2.1.4 左岸堆石坝混凝土防渗墙及明渠挡墙变形监测

为了解左岸堆石坝基岩深埋谷基础防渗墙与明渠挡墙墙体的应力状态及变形情况,在1号、2号墙体内布置了两根测斜管,采用美国西雅图测斜仪公司生产的数字式测斜仪进行观测。为了解防渗墙与明渠挡墙之间的相对位移,在挡墙 $436.00$  m高程的灌浆廊道以及混凝土防渗墙上共布置了4个位移测点,这样可以分别观测混凝土防渗墙和明渠挡墙的位移及相对位移。另外,在防渗墙内埋设了应变计、钢筋计,无应力计等监测仪器。

墙体既能防渗又能承重是水电建设地下连续墙中一种新的结构型式。是国家“六五”科技攻关“深厚复盖层建坝研究”中的一项课题。“观测设计及仪器埋设研究”是其中的一项子课题。为此目的,需通过对埋设在墙体内部的监测仪器的原型观测资料进行分析,可以进一步了解墙体的实际工作状态,为保证墙体安全运行,完善设计理论提供了重要依据,也为推动防渗墙施工技术的发展,奠定了基础。

### 2.1.5 左岸堆石坝钢筋混凝土面板变形监测

在左岸钢筋混凝土面板堆石坝上游与导流明渠混凝土左挡墙联接处,和堆石坝上游坡面处,采用钢筋混凝土面板防渗。由于堆石坝座落在深厚覆盖层上,为及时了解面板与面板、面板与左挡水坝段、面板与明渠挡墙之间在相对3个方向上,坝体可能发生不均匀沉陷后所引起的相互间变形,确保工程安全运行,需要在面板的周边缝、伸缩缝上共布置10组3 DM-20型大量程三向测缝计。布置详见图1。

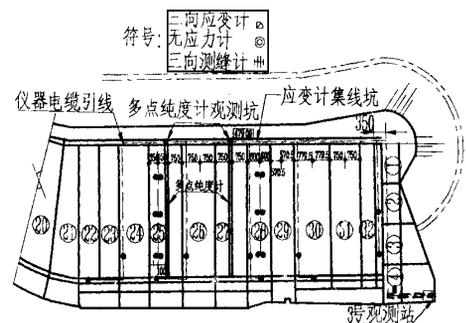


图1 左岸堆石坝钢筋混凝土面板观测仪器平面布置图

## 2.2 渗流监测

渗流监测包括坝基扬压力测量、坝体渗透压力

测量、坝体和坝基渗流量测量、水质分析,以及土石坝的坝体浸润线监测等内容。坝基渗流量测是比较复杂的问题。铜街子电站坝区地质条件十分复杂,左右深槽和不同角度的多条断层互相交会,且有沿水流方向的  $C_4$ 、 $C_5$  水平向层间软弱夹层等构成了控制大坝抗滑稳定的主要影响因素。坝基存在结构复杂的渗流场,地下水又具有明显的承压特性。因此基础处理及大坝抗滑稳定是铜街子水电站设计和施工的重点研究内容。

### 2.2.1 坝基渗流量监测

坝基渗流量的测定是以量测单孔涌水量为主,采用容积法监测。部分坝段设置量水堰进行监测。为监测坝基渗流量,在各坝段灌浆廊道内设置了一排主排水孔,在坝下游纵向廊道内  $N_5 \sim N_9$  坝段设一排副排水孔,在  $N_{10} \sim N_{13}$ 、 $N_{15} \sim N_{19}$  坝段设两排副排水孔,另外在  $N_5$ 、 $N_6$ 、 $N_9$ 、 $N_{13}$ 、 $N_{15}$ 、 $N_{16}$ 、 $N_{18}$ 、 $N_{20}$  坝段横向廊道内设一排副排水孔。为监测各坝段间的总的坝基渗流量,分别在以下部位设置量水堰。 $N_4$  坝段是监测该坝段以左 4 个坝段和左岸堆石坝; $N_{10}$  坝段是监测  $N_5 \sim N_{10}$  坝段; $N_{20}$  坝段是监测  $N_{20}$  坝段以右及右岸堆石坝段; $N_{14}$  坝段是监测 4 个厂房坝段内第一排排水孔渗流量。 $N_{20}$  坝段设集水井量水堰是监测厂房坝段第一排排水孔和右岸堆石坝以及  $N_{15} \sim N_{23}$  坝段间总的渗流量。

### 2.2.2 坝基扬压力监测

坝基扬压力监测的目的是了解防渗帷幕灌浆效果,如坝基扬压力超过设计允许值,将会直接危及大坝安全需采取工程措施。设计时坝基扬压力计算采用如图 2 所示图形。

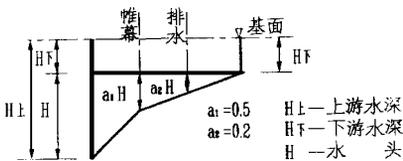


图 2 坝基扬压力计算图形

坝基扬压力监测以布置在纵向各坝段灌浆廊道中部帷幕灌浆线后和重点坝段横向处,主要是以布置测压管为主,这样便于读取压力表压力值,进而可以计算扬压力值。具体布置为:在  $N_4 \sim N_{21}$  各坝段廊道中部设一测压管,在  $N_{10}$ 、 $N_{13}$ 、 $N_{15}$ 、 $N_{17}$ 、 $N_{19}$  坝段的第 2~4 排排水廊道内,各增设 2~3 个测压管,总共设测压管 33 个。另外在  $N_{17}$  坝段中间剖面位置布置 5 支渗压计,了解三排排水孔的涌水压力,用以监测和判断防渗帷幕的防渗效果和排水孔的排水效果。

### 2.3 水质分析和水温监测

水质分析和水温监测的主要目的是了解大坝蓄

水后,排水孔涌水的水质和水温所发生的变化。通过对排水孔的涌水分析,可以与库区水进行水质对比和温差对比,查清水源,即涌水是库区水,浅表水,深部承压水,还是混合水?这样便于了解大坝基础帷幕灌浆的防渗效果是否达到设计要求。

水质分析的项目有:PH 值、钙、镁、钾、钠、氯离子、硫酸根离子、重碳酸根离子、碳酸根离子和硫化氢等项目。其中,对硫化氢需现场取样固定,才能进行室内分析。另外,还需对大坝基础开挖后基坑进水,库水位在不同高程时的库水取样进行水质分析。

对水质分析一般采用综合评价方法,即用实测离子的浓度与标准离子浓度之比,此比值定为单因子评价指数,它表示离子浓度的变化大小,数学表达式为:

$$K_i = \frac{i \text{ 种离子浓度实测值}}{i \text{ 种离子标准值}}$$

综合评价指数取单因子评价指数的平均值,其表达式为:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i$$

式中  $K_i$  为单因子评价指数; $P$  为综合评价指数。深部承压水为 1,河水为 0.43,浅部地下水为 0.54。接近此数字即为合格值。

此外,选取部分有代表性的排水孔,分别盐化单孔地下水,随即多测次测试并液视电阻率,点绘出孔深与并液视电阻率值变化的关系曲线,以探测和判别孔内的涌水位置。

库区水和排水孔涌水的水温监测方法为:在同一观测时间内,对大坝蓄水前后库水水温及坝基排水孔涌水水温进行监测。通过对两种水温的对比,可以查明判别地下水的补给来源情况。根据地勘资料,深部地下水水温一般在 20 左右,不同深度的库水位水温是通过埋设在  $N_{17}$  溢流坝段坝体表面的 5 支温度计观测得到的,一般深部水温约在 8.5~11 之间变化。地下水水温又可通过两种办法观测得到,一是对排水孔涌水水温量测;二是通过埋设在  $N_{17}$  溢流坝坝基不同深度的 4 支温度计观测的。

### 2.4 坝体内部观测

内部观测设计的主要目的是监测水工建筑物的运行安全情况,指导工程施工、验证设计并为“六五”、“七五”国家科技攻关的科研提供资料。共设观测断面 24 个。分别在左岸堆石坝防渗墙。1 号坝,  $N_3$ 、 $N_4$ 、 $N_{10}$ 、 $N_{13}$ 、 $N_{17}$ 、 $N_{20}$  坝段、筏闸及右岸堆石坝钢筋混凝土土墙内,共埋设各种观测仪器,以便对坝体温度、应力、应变、接缝开合度、钢筋应力、坝基变形、坝基扬压力、面板变形等项目进行一系列观测。其中以防渗墙左岸堆石坝面板、 $N_{10}$ 、 $N_{13}$ 、 $N_{17}$  坝段作为典

型坝段进行监测和今后的观测资料分析。

### 2.4.1 坝体应力应变观测

在1号坝、左岸钢筋混凝土面板堆石坝、防渗墙、 $N_4$ 、 $N_{10}$ 、 $N_{13}$ 、 $N_{17}$ 等坝段布置了单向、双向、三向、五向、九向应变计组和无应力计等仪器,以量测和了解坝体应力分布规律、从而可以和有限元计算成果加以比较。在 $N_{10}$ 、 $N_{13}$ 坝段坝踵、坝址处布置压应力计,以便监测坝踵、坝址处混凝土压应力变化情况。

### 2.4.2 坝体温度观测

为了解由于混凝土水化热、水温、气温等在坝体内部的分布变化情况,在1号坝、 $N_3$ 、 $N_{13}$ 、 $N_{17}$ 等坝段布置了电阻温度计及差动电阻式仪器进行观测。对 $N_{17}$ 坝段作为碾压混凝土筑坝攻关科学研究对象,专门在该坝段内设置3个观测断面,除坝体中间部位设置了各种差动电阻式仪器观测坝体温度外,另外,在两侧各设1个断面,分别布置差动电阻式温度计。这样可以充分了解碾压混凝土坝体内温度分布规律和坝体温度场与有限元计算结果相比较,以便为今后碾压混凝土筑坝技术提供科学依据。

### 2.4.3 钢筋应力观测

在1号、2号混凝土防渗墙、右岸堆石坝钢筋混凝土心墙、 $N_{10}$ 、 $N_{13}$ 厂房坝段的进水口及尾水管附近、筏闸各坝段布置钢筋计,以观测和了解这些部位的钢筋受力情况,并结合钢筋计附近布置的应变计、无应力计等所测定的观测资料,可以分析结构的受力状况。

### 2.4.4 接缝开合度观测

在 $N_4$ 、 $N_{17}$ 、 $N_{20}$ 碾压混凝土与常态混凝土口卸接处布置裂缝计,以便了解两种介质的粘合情况。在 $N_{10}$ 、 $N_{13}$ 坝段的临时施工缝、厂坝宽槽等接缝处布置测缝计,以便了解接缝开合度。

### 2.4.5 基础变形观测

在 $N_{13}$ 、 $N_{17}$ 、 $N_{20}$ 筏间等坝段基岩与混凝土接触面处及基础面以下,布置了用测缝计和应变计改装的基岩变形计、基岩应变计,以监测基岩与混凝土接触面和基岩的变形受力情况。另外,在 $N_{13}$ 坝段集水井下与 $C_5$ 夹层交接处,埋设错动变形计2支,以监测 $C_5$ 夹层上下盘的错动情况。 $N_{10}$ 、 $N_{13}$ 坝段观测仪器布置见图3、图4。

## 2.5 水库诱发地震监测

铜街子水电站库区周围地质情况复杂,坝区内出露地层主要为上二迭系峨眉山玄武岩和沙湾组页岩。坝区为峨眉山玄武岩,总厚度约200m。由5层喷溢轮回形成5大层,坝基在第五层上。除第二层较薄以外,其余各层层厚为30~60m。各大层的特

点是:顶部是较软弱的凝灰岩和中等坚硬的玄武岩,中、底部为硬玄武岩。沙湾组砂页岩系一套内陆湖沼相沉积,总厚度为150m,为砂页岩互层,其间常夹有薄煤层、煤线及不稳定之铁质富集层,岩性、岩相变化很大。粘土岩、页岩质地软弱,易风化崩解,砂岩因胶结结构不同而造成砂岩差异风化

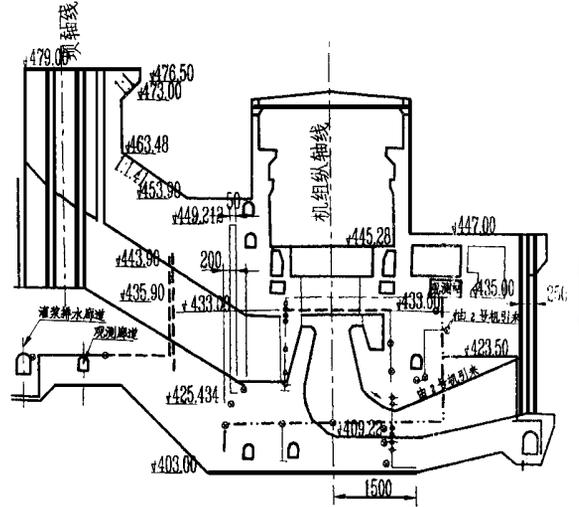


图3  $N_{10}$ 坝段(1号机)观测仪器布置图

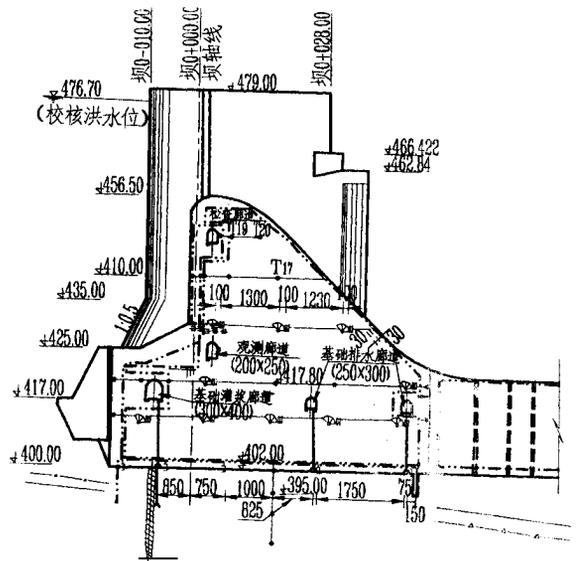


图4  $N_{17}$ 坝段(3号溢流坝)观测仪器布置图

库坝区的这些岩性特征是水库诱发地震产生的基本因素。自1992年4月5日施工导流底孔封堵开始蓄水以后,随着库水位的增高,库坝区地震活动的频度和强度逐渐增加。为了更好地监测库坝区的这些地震活动,先后组织了三期地震监测台网的监测。分别布置在不同地方,采用了不同型号的监测仪器。

综上所述,1994年4月,原水利电力部成都勘测设计研究院水工一处承担了铜街子水电站拦河坝安全监测原型观测资料分析任务,并于1995年10月提交了总报告。本文系根据上述报告内容,主要

介绍原型观测的设计部分。有关原型观测资料的分析部分将另撰文阐述。

作者简介

吴鹏举 男 国家电力公司成都勘测设计研究院水工一处副主任工程师 高级工程师

(收稿日期:1998-11-17)

(上接第 49 页)

#### 4.2 质量

已浇筑的控制溢流面混凝土未发现异常现象。经现场观测,该种混凝土和易性好,溢流面的施工抹面容易。已浇筑的混凝土成果见表 7。

表 7 HF 粉煤灰混凝土成果表

设计标号	龄期 / d	n	强度 / MPa			$r_{r1}$	$C_V$	$P_{合} / \%$	$P_{保} / \%$
			min	max	$\bar{x}$				
R <sub>90</sub> 300号	90	25	30.4	62.1	46.3	7.67	0.166	100	98.3

从表 7 中可以看出,混凝土各项指标均能满足设计要求,只有  $C_V$  值稍偏大。据分析,可能是由于本地区水泥为立窑生产,质量波动大所致。目前,贵阳中心实验室正在做抗冻和抗渗成果分析。

1997 年 7 月 16 日,水库入库洪水量为 6 000 m<sup>3</sup>/s,在库水位达 383 m 的洪水袭击下,5 号孔在 17.3 m

水头的冲刷下,挑流鼻坎混凝土未受破坏,其余堰顶及 4 号挑流鼻坎段混凝土也正常。

#### 5 结语

HF 高强耐磨粉煤灰混凝土在大河口水电站溢流面的成功应用,为在高速水流区的混凝土使用提供了新型材料。但由于目前该项技术正在申报国家专利过程中,材料的化学成份及物理化学性能还未完全公开。应加快其研究和论证,以利进一步推广应用。

作者简介

王连光 男 中国水利水电第八工程局川渝管理局 工程师

(收稿日期:1998-08-05)

## 映秀湾电厂管理信息系统通过实用化验收

2 月 11 日,映秀湾水力发电总厂管理信息系统(MIS)系统经四川省电力局验收委员会认真测评,综合指标达到优秀标准,顺利通过实用化验收。验收委员会主任、省局晏玉清副局长肯定了该系统作为省局信息高速公路的一部分,信息系统网络的基础工程为实现局域网、广域网资源共享、信息交流创造了有利条件。

映电总厂管理信息系统开发建设是从 1986 年的计算机应用单机开发,1989~1996 年应用工作网络设计到 1997 年的规模、系统化网络应用,历时 10 余年。走注重实用化的道路,建成了以交换机为中心的星形快速以太网。目前全厂所有部门都配备了计算机,现有各类微机 138 台,联网工作站 53 台,建成了以生产过程中实时监控信息、人、财、物、安全、生产、计划、综合查询及办公自动化为主的管理信息系统。实现了信息共享,为领导决策提供了及时的生产、经营管理

信息。

在验收会上,来自成都、重庆、德阳等电业局、成都电研院等科研单位及各大发电厂的专家、代表们通过听取报告、技术与管理文档审查及系统功能测试,一致认为:映电总厂 MIS 系统达到优秀标准。尤其是在开发上大量采用当前计算机领域先进办公自动化信息于一体,并能在局域网和广域网上实现对点桌面视频通信功能,对总厂“一厂两地”生产管理水平的提高将起到重要作用。同时,专家们对该系统进一步改进与完善提出了宝贵的意见和建议。

目前,国内 MIS 建设成功的实例不多,映电人将力争在 2000 年将该系统建设成为国内较成功的一例,并使企业能借助科技的有力双翼,在自身发展和开拓市场中快速腾飞。

映秀湾水力发电总厂 李红霞

## 四川金华电航桥工程简介

四川省金华电航桥工程位于射洪县金华镇城郊涪江干流上,距县城约 20 km,是一个以发电为主,与航运和交通(跨江公路桥)相结合,兼顾防洪、旅游、灌溉、养殖等综合利用的水利工程。电站装有单机容量为 1.4 万 kW 的轴流式机组三台,总装机容量为 4.2 万 kW。主体工程由净宽为 12 m 的 17 孔拦河闸坝、船闸、跨江公路大桥、电站枢纽及渠底宽为 50 m,全长为 2.872 5 km 的梯形断面尾水渠及顶宽为 4 m,全长为 2.013 km 长的浆砌条石重力坝护河大堤组成。

工程于 1996 年 10 月 14 日由水电八局金华施工局中标承建,1997 年 4 月 8 日开盘浇筑混凝土。金华电站工程建设指挥部、金华施工局协同水电八局贵阳中心实验室,并邀请有关专家、教授、学者进行了“在混凝土中掺入锂盐渣,变废为宝,解决中细砂地区由于细度模数 M 不足而导致坝体混凝土出现裂缝问题的试验、研究并获得成功,决定在金华电航

桥工程中推广使用,修建了我国第一座锂盐渣混凝土拦河大坝。

从金华电航桥工程使用锂盐渣混凝土的情况看,优点十分明显。除了无裂缝外,主要体现在锂盐渣混凝土早强可以促使早拆摸,加快工程进度,1kg 锂盐渣抵 1kg 水泥用,其经济效益可观。同时,使用这种新工艺,新材料,变锂盐渣废料为宝,使川中细砂地区也能修建大坝,所创造的价值是无法用金钱来衡量的。

金华电航桥工程在开工 26 个月后,第一台机组即于 1998 年底并网发电,至 1999 年 3 月底,船闸、冲沙闸已全部完工。

金华电航桥工程预计于 1999 年年底全部建成。

中国水利水电第八工程局 谌岳衡  
成都水力发电学校 秦定龙