

# 羊湖水电站引水隧洞钢衬段监测仪器 现场安装和测试

喻广平

(中国水利水电第十工程局, 四川都江堰, 611830)

**摘要** 羊湖水电站引水隧洞钢衬段处理工程, 现场曾安装了监测仪器。本文阐述了在回填沙浆干缩期、隧洞充水期进行数据测试的情况。

**关键词** 羊湖电站 监测仪器 现场安装 测试

## 1 前言

羊湖电站位于我国西藏自治区曲水县境内, 为引水式抽水蓄能电站。引水隧洞全长约 6 km, 钢衬段隧洞约 3 km, 海拔 4 400 m。在隧洞钢衬段安装美国基康公司生产的测缝计 40 支, 渗压计 25 支, 应变计 20 支, 分布在 4 个断面桩号, 用以测试回填沙浆与钢衬外壁间、洞壁间开合度; 钢衬充水所受应力应变, 地下水在钢衬外壁形成的渗水压力, 为隧洞安全运行提供科学数据资料。

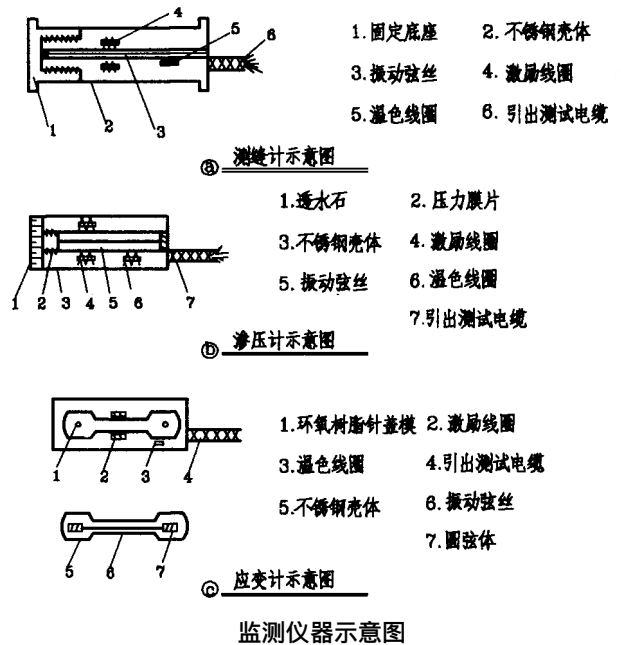
## 2 监测仪器工作原理、GK-403 读数仪功能简介

### 2.1 仪器原理简介

该电站隧洞钢衬段采用的测缝计、渗压计、应变计在原理上分为位移式、压感式传感型两类仪器。测缝计、应变计为位移式, 渗压计为压感式。这两类仪器均通过一根振动弦振动频率将位移变量、压力变量经激励线圈送至 GK-403 读数仪中显示、储存、计算机通讯。对读数仪中数据分类处理、转换, 便得到相应的缝隙开合度、应力应变值、渗水压力大小, 从而达到对隧洞安全运行进行有效监测的目的, 下图为各仪器结构示意图。

### 2.2 GK-403 读数仪功能简介

该装置为便携、防水、电池供电仪器, 能测读基康公司所有振弦式仪器。利用功能切换开关选择不同档位完成对各种基康仪器的数据测试, 可储存 255 个不同数据, 并能将数据传递给计算机, 是基康仪器必配读数仪。



## 3 监测仪器现场安装

### 3.1 施工质量保证

钢衬段监测仪器设计安装在钢衬外壁和原衬砌洞壁上。渗压计、应变计设在钢衬外壁, 因径向尺寸远小于沙浆层空间厚度, 应于洞外成形钢衬上施工; 测缝计设在钢衬外壁和原衬砌壁上两个部位, 由于测缝计长度方向必须与缝隙面垂直安装且测缝计长度尺寸为 230 mm, 大于沙浆层厚度, 故应在安装前对仪器安装部位在洞壁上凿孔, 待钢衬就位后安装测缝计; 因 1- 1 断面、4- 4 断面离各支洞口有较长一段距离, 需采用槽钢覆盖仪器电缆 固定于洞壁底部的方式保护

### 3.2 仪器现场安装程序

羊湖电站仪器安装断面顺序为首先安装 2- 2 断面, 其次为 1- 1 断面, 再后为 4- 4 断面, 最后为

3- 3 断面。在安装每个断面上的仪器时施工程序为: (1)用沙包、棉纱、清水、3.3 cm 水管将渗压计包裹在水管内并固定在钢衬上离管口 1.5 m 处(1- 1 断面 1.5 m 处 5 支, 2.0 m 处 5 支, 其余断面均在 1.5 m 处); (2)用点焊机将应变计针、线圈盖对称分序焊接在钢衬上离管口 1.0 m 处; (3)将渗压计、应变计连接电缆绑扎成束, 固定在钢衬顶部, 引至管口放入钢衬内, 随钢衬运输至就位断面; (4)钢衬运至就位断面后, 进行测缝计安装, 先采用钢筋将测缝计垂直安装在早已凿好的洞壁孔洞内, 并保证测缝计底座与混凝土衬砌壁牢固连接; 然后将测缝计用焊接方式固定在钢衬外壁, 完成两个部位测缝计安装; (5)将所有仪器引出电缆捆扎成束, 引至各断面对应支洞口, 与集线箱有序连接(3- 3、4- 4 断面电缆引至 3 号支洞; 2- 2 断面电缆引至 4 号支洞; 1- 1 断面引至 2 号支洞)。在电缆引出施工中对 4- 4、1- 1 断面电缆用槽钢覆盖, 固定于洞壁底部侧保护, 防止钢衬运输中将电缆损坏。

### 3.3 施工段记事

(1)1996 年 10 月 25 日~ 30 日, 2- 2 断面(4+ 410.10 桩号)10 支测缝计、5 支渗压计、5 支应变计共 20 支仪器、电缆及集线箱, 按设计要求安装, 并全部安装合格;

(2)11 月 3 日~ 10 日, 1- 1 断面(2+ 900.00 桩号)10 支测缝计、10 支渗压计、5 支应变计共 25 支仪器、电缆及集线箱, 按设计要求安装, 并全部安装合格;

(3)11 月 21 日~ 25 日, 4- 4 断面(5+ 849.425 桩号)10 支测缝计、5 支应变计、5 支渗压计共 20 支仪器、电缆及集线箱, 按设计要求安装, 并合格;

(4)11 月 25 日~ 26 日; 3- 3 断面(5+ 769.750 桩号)10 支测缝计、5 支渗压计、5 支应变计共 20 支仪器、电缆按设计要求安装, 并合格;

(5)1997 年 1 月 13 日前测试, 仪器完好率为 98.1%; 1997 年 1 月 13 日后测试, 仪器完好率为 81.2%;

(6)1996 年 12 月 10 日, 因 3 号支洞封堵将一支编号为 4- J<sub>10</sub>测缝计电缆损坏; 1997 年 1 月 13 日, 1- 1 断面(2+ 900.00 桩号)因设计通知开阻水帷幕检查孔位置与设计电缆布置位置矛盾, 在开检查孔时将 8 支测缝计、4 支渗压计、3 支应变计电缆损坏; 全部安装好的 85 支仪器中 16 支仪器不能正常测取数据, 69 支仪器能正常监测, 总体成功率为 81.2%。经设计鉴定, 因每个断面多设计有备用仪器, 故 69 支正常监测仪器的成功率已相当高, 能达到预期目的。

## 4 数据测试及结果

### 4.1 测试方法及计算公式

利用基康公司生产的 GK-403 专用读数仪各档位不同功能完成对测缝计、渗压计、应变计数据测试。测试数据按下列公式处理:

测缝计所监测的开合度:  $S = c(R_1 - R_0)$ ,  $c$  为率定系数(由生产厂家提供);  $R_0$  为初始值,  $R_1$  为当前值( $R_0 - R_1$ , 由 GK-403 现场测取);

渗压计所监测的渗水压力:

$$P = c(R_0 - R_1) + k(T_1 - T_0)$$

$c$  为率定系数(基康公司提供),  $R_0$  为初始值,  $R_1$  为当前值(现场测取)。

$k$  为温度系数(基康公司提供),  $T_1$  为当前值,  $T_0$  为初始值( $T_1$ 、 $T_0$  现场测取)。

因 GK-403 对应变计可直读  $\mu\epsilon$  值, 故不需要转换计算。

### 4.2 检测结果

羊湖电站钢衬段监测仪器现场安装结束后, 在回填砂浆干缩期、隧洞试充水、充水期进行了数据监测, 检测时间从 1996 年 10 月 30 日开始, 到 1997 年 5 月 10 日, 前后 7 个多月时间。沙浆干缩期检测结果为: 洞壁与沙浆层形成 0~ 200  $\mu\text{m}$  开合度, 终值平均为 150  $\mu\text{m}$ ; 钢衬与沙浆层形成 0~ 350  $\mu\text{m}$  开合度, 终值平均为 250  $\mu\text{m}$ ; 钢衬外渗水压力各断面均接近于零; 沙浆干期因散热过程使钢衬产生应变极大值为 50  $\mu\epsilon$ , 应力为 10.30 MPa; 隧洞试充水、充水期间检测结果为: 隧洞平压后 1- 1 断面钢衬外渗水压力为 0.16 MPa, 其余断面渗水压力为零; 仪器监测的两个部位缝隙开合度仅在沙浆干缩后形成的开合度基础上增加了 2~ 3  $\mu\text{m}$  微小变化; 钢衬受水压力作用产生了 100  $\mu\epsilon$  变化, 应力值为 20.59 MPa。检测结果表明, 回填沙浆质量、钢衬选型、对接缝焊接质量均达到设计要求, 羊湖电站引水隧洞钢衬段处理工程质量达标, 满足运行要求。

## 5 结束语

羊湖电站引水隧洞钢衬段监测仪器现场安装完好率为 100%, 因工程后期 3 号支洞封堵 2+ 900 桩号段开阻水帷幕检查孔原因使 16 支仪器电缆损坏, 69 支仪器能正常监测, 仪器总体监测成功率为 81.2%, 达到了对该项处理工程的监测目的, 并在国内同

(下转第 87 页)

表4 取水口及引水隧洞输沙率比较表

河道流量	$/m^3 \cdot s^{-1}$	650	800	1 470
河道输沙率	$/kg \cdot s^{-1}$	38.0	62.9	304.0
取水口分沙比	$/\%$	3.53	1.00	0.41
取水口输沙率	$/kg \cdot s^{-1}$	1.34	0.63	1.25
隧洞进沙/取水口进沙	$/\%$	74.0	93.9	84.3
隧洞输沙率	$/kg \cdot s^{-1}$	0.99	0.59	1.05

进沙更为困难。因此,选用分界流量 $650 m^3/s$ 时的来水来沙条件的不利情况进行排砾廊道排沙试验。试验时,电站引用流量及取水口前水位,闸门开启方式等仍保持与平衡期分沙试验时相同。在隧洞进口以取水口进沙级配加沙,观测隧洞泥沙运动及廊道排沙情况,停止加沙后,继续放水进行观察,直至排砾廊道前看不到推移质运动时停水,观测隧洞沉砾段是否有淤沙。试验分两种情况进行观测:

(1)假设沉砾塘因全部淤满而失去作用,进入取水口的沙全部进入引水隧洞,此时,洞内水流顺畅,水流平顺,由于水流的弯道环流作用,隧洞进沙在第一个弯段处逐渐偏向洞右侧运行,至第二个弯段时则完全靠洞右侧边壁,形成宽约 $0.3 m$ 的输沙带,进入沉砾段后,输沙带逐渐变宽,厚度逐渐变薄,但沙的输移仍大部靠洞中心线右侧至排砾廊道前,淤沙绝大部分通过右廊道排出,少量由左廊道排出,廊道进口前约 $1.5 m$ 范围内始终无沙淤积。停止加沙后约 $1.5 h$ ,在廊道进口前沿不见有沙运动,此时观测沉砾段已无淤沙。

(2)考虑到河道推移质运动的阵发性,将取水口输沙率再提高一倍在隧洞进口加沙。隧洞中沙的运动规律与(1)类似,仍靠洞右侧运行,只是输沙带宽度高度略有增加,由排砾廊道右孔排出的沙更多,左廊道排出的沙量较少。虽然在这最为不利的条件下,在廊道进口前 $1.5 m$ 范围内始终无沙淤积,停止加沙后约 $2.5 h$ ,廊道进口前沿已无沙运动。隧洞沉砾段仍保持无沙淤积。试验中未见粗粒径泥沙翻越廊道顶部而进入电厂,电厂引水较浑浊。(1)、(2)组次试验的排砾廊道排沙比见表5。

表5 排砾廊道排沙比( $Q = 650 m^3/s$ )

组次	取水口输沙率/ $kg \cdot s^{-1}$	隧洞输沙率/ $kg \cdot s^{-1}$	模型加沙量/ $kg \cdot s^{-1}$	廊道排沙量/ $kg \cdot s^{-1}$	廊道排沙比/ $\%$
(1)	1.34	1.34	2.77	2.70	97.5
(2)	1.34	2.68	4.74	4.57	96.5

(上接第39页)

行业中处于领先水平。该项工程验收委员会验收后评定为优良工程。该项工程的施工措施、方法、检测手段对类似工程监测项目具有借鉴、推广意义,在保证仪器安装质量,提高仪器监测成功率方面积累

从表5看出,排砾廊道能将隧洞进沙排除96%以上,只有少部分细沙进入水轮机,表明排砾廊道的排沙效果较好。根据上述试验成果估算电厂的进沙量,以排砾廊道的排沙比为96%计可得到表6的估算结果。

表6 发电用水进沙量估算表

河道流量	$/m^3 \cdot s^{-1}$	650	800	1470
取水口分沙比	$/\%$	3.53	1.00	0.41
隧洞进沙/取水口进沙	$/\%$	74.0	93.9	84.3
廊道排沙比	$/\%$	96	96	96
发电用水进沙河道来沙	$/\%$	0.104	0.038	0.014

表6表明,发电用水进沙仅占河道来沙的 $0.014\% \sim 0.104\%$ 。

### 3 结 语

(1)平衡期取水口的分流分沙试验表明,在分界流量 $650 m^3/s$ 时,取水口分沙比较小,而且随着河道来水流量的增加,取水口分沙比更趋减小,第一道防线的引水防沙作用是较大的。

(2)沉砾塘沉沙比不太高,但能沉积取水口进沙中的较粗部分,说明沉砾塘对减少引水隧洞进沙、降低进洞沙粒径有一定的作用。当沉砾塘淤沙较多时,电厂停机3台,将流量用于排沙闸排沙,经过 $2 \sim 3 h$ 后,能将沉砾塘淤沙排走90%以上。第二道防线的效果是较好的。

(3)通过在引水隧洞无压段设置沉砾段及排砾廊道,能将隧洞进沙排走96%以上,表明为防止电厂进沙而设的最后一道防线的效果是好的。

(4)福堂水电站为解决引水与防沙的突出问题而设置的三道防线工程措施均能起到各自的作用,通过其综合运用,发电用水的最终进沙量很小,仅占河道来沙的 $0.014\% \sim 0.104\%$ ,其颗粒粒径满足设计容许进洞粒径要求。引水防沙的效果是较好的。

作者简介

巫志林 男 电力部成都勘测设计研究院研究所水工室副主任  
工程师

(收稿日期:1998-02-26)

了宝贵的现场施工经验,在该项工程中所测取到的详细数据资料更具有较高学术价值。

作者简介

喻广平 男 中国水利水电第十工程局机电安装分局试验室 工程师

(收稿日期:1998-05-11)