

# 振弦式渗压计在岩溶地区水库大坝渗流监测中的应用

赵 启 强， 谢 攀， 曹 小 龙  
(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 610072)

**摘 要:**依托北川县开茂水库渗流监测系统,介绍了振弦式渗压计的工作原理、安装方式和注意事项,结合岩溶地区水库振弦式渗压计的应用实例,通过长期准确地监测和数据分析,为保障水库大坝的安全运行提供了有力的技术支持。

**关键词:**振弦式渗压计;岩溶地区;渗压监测;开茂水库

中图分类号:TV62;TV698.1;TV52 文献标识码: B 文章编号:1001-2184(2019)02-0009-03

## 1 工程概述

北川县开茂水库的整个库区均处于岩溶发育地区,库区左岸山脊地质条件尤为复杂且山体相对单薄,左岸坝肩至王家湾一带岩溶十分发育,地下岩溶通道众多且彼此相互交错贯通,对现有资料分析得知,至少存在 6 个岩溶通道,岩溶规模较大,主要为管道型岩溶通道。

为了监测水库运行期间坝基与坝肩的渗流过程,在大坝坝基及坝肩共安装了 16 支振弦式渗压计。振弦式渗压计在国内外工程中均有广泛的应

用,其实质是一种非电量的电测量传感器,较之于传统的电容式传感器具有稳定性好、抗干扰能力强、温度漂移小、零点漂移小、精度高、反应快等特点,能够适应长时间、远距离的数据监测,因此其在水利水电工程中具有独特的优势。

## 2 工作原理

振弦式渗压计主要由透水石、振弦感应组件、温度感应组件、密封电缆以及传感器外壳五部分组成,其结构见图 1。

振弦式渗压计的工作原理:测点位置的渗水

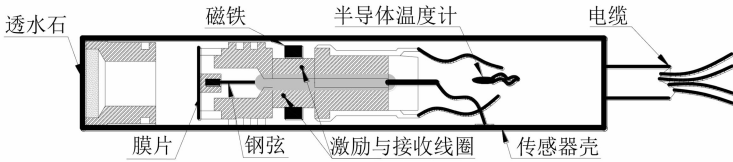


图 1 振弦式渗压计结构图

通过透水石过滤掉固体颗粒物后,其水压力作用在振弦感应组件前端的弹性膜片上,膜片受力发生形变产生微小位移,该位移使振弦的振动应力产生变化,最终导致振弦的振动频率发生改变。振弦式渗压计振动频率的平方与膜片上的水压力成正比,即振动频率的变化可以反映出测点位置渗透水压力的变化;同时,通过温度感应组件可以同步测出水温的变化,最后通过电缆将收集到的频率信号与温度信号传输到读数装置,按照设定的时间间隔进行读数,从而实现对测点位置渗水压力和水温变化的实时监测。

## 3 渗压计的检验与率定

振弦式渗压计在安装之前需对照配套的仪器

率定系数表对其读数的可靠性进行校核,其方法为:首先需将渗压计充分浸泡,确保透水石与膜片之间的仪器空腔充满水,此时记录渗压计空载读数;然后采用绳索悬挂将渗压计下放到钻孔底部,记录下放的实际深度,待渗压计达到热平衡稳定状态后用读数仪记录此时的读数,对比两次读数的变化趋势与率定参数表是否吻合,用以确定渗压计是否合格。

## 4 渗透压力的计算

振弦式渗压计属于精密仪器,其灵敏度高,受环境因素影响大。由于该渗压计安装在密闭钻孔内以及坝基基岩面位置,可以排除大气压变化对其的影响,通常只考虑安装位置的水压力和水温的双重作用,振弦式渗压计的工作直线方程为:

$$P=k(F_0-F)+b(T-T_0)+\Delta Q \tag{1}$$

式中  $k$ 、 $b$  为出厂固定值,  $k$  代表仪器的灵敏度, 即为率定系数, 单位为  $\text{kPa}/\text{F}$ ;  $b$  为温度修正系数, 单位为  $\text{kPa}/\text{℃}$ ;  $F_0$  为渗压计初始频率值读数;  $F$  为本次频率测量值;  $T$  为本次温度读数;  $T_0$  为渗压计安装初始温度读数;  $\Delta Q$  表示大气压变化值(可忽略);  $P$  为本次测得的水压力值, 单位为  $\text{kPa}$ 。

在实际监测过程中, 为便于观测分析, 通常将压力值转换为测点位置对应的水位埋深值, 计算公式为:

$$h=H-h_0 \tag{2}$$

式中  $h_0$  为一定深度下渗透水压力  $P$  对应的水深值;  $H$  为渗压计埋深;  $h$  为所求的水位埋深, 进而便于直观地表示观测位置的水位埋深情况, 有利于及时进行风险预报。

5 渗压计的安装及注意事项

基于振弦式渗压计稳定性好、抗干扰能力强、温度漂移小、零点漂移小、精度高、反应快的特点, 其在岩溶渗漏地区有更好的发挥, 起到了实时渗漏的监控作用。振弦式渗压计的布置需充分考虑大坝渗透压力或防护坡面的需求进行合理地布置。

常见的振弦式渗压计埋设有两种方式: 其一为坑式埋设法, 该方法适用于新建大坝坝基或其他新建建筑物中, 在建筑物施工前完成仪器的安装; 其二为钻孔式埋设法, 这种方式常用于已建成的建筑物中。

在渗压计安装之前, 需将仪器进行充分地浸泡, 确保透水石与膜片之间的仪器空腔充满水, 若空腔内水未充满, 膜片将在水的张力作用下造成渗压计读数迟滞, 读数失真, 影响测量的准确性; 此外, 在安装前需确保渗压计透水石的表面洁净, 有必要时可采用土工膜对渗压计透水石端头进行包裹, 避免透水石因固体颗粒物吸附堵塞影响水流的进出, 导致渗压计读数偏低; 同时, 因渗压计内部构造精密, 安装过程中应避免磕碰、振动。

坑式埋设法施工前, 需根据图纸要求准确放样出埋设位置, 埋设方式如图 2 所示。采用人工挖坑, 埋坑的大小以确保能将渗压计完整埋入为准, 若渗压计埋坑内为非黏性土质时, 可直接将仪器埋入, 但要注意对仪器的保护。若埋坑内为大粒径骨料时, 可将仪器裹入用水浸润的砂袋中再进行埋设

安装, 最后用中粗砂或膨润土回填, 这样实施既可有效避免骨料在水力作用下对渗压计产生破坏, 同时又避免了固体颗粒物吸附在透水石上影响仪器测量。钻孔式埋设法是指将渗压计埋设到事先钻好的钻孔中, 常见的有绕渗孔、渗压孔等, 埋设方式如图 3 所示。渗压计安装前需对钻孔进行清理, 在渗压计预设位置底部宜采用中粗砂填平, 再将包裹浸润砂袋的渗压计放到预定位置, 然后在渗压计周围环绕干净的砂子或膨润土进行保护, 要求砂子或膨润土高出仪器 15 cm 以上为宜。

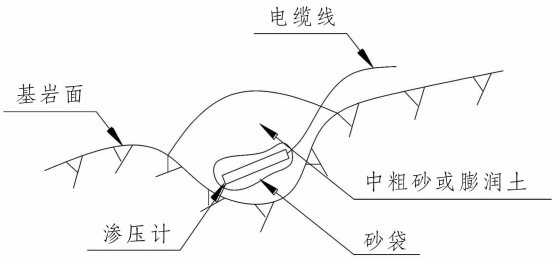


图 2 坑式埋设法示意图

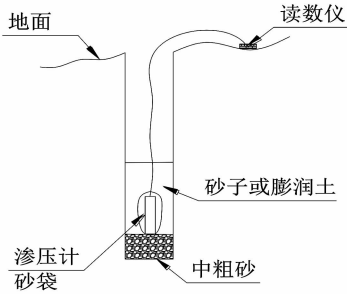


图 3 钻孔式埋设法示意图

安装过程中, 为避免电缆线发生弯折, 对电缆线接头部位采用专门的防水接头进行处理。电缆线在布置过程中应考虑预留部分余量, 特别是在钻孔式埋设方法中, 仪器的下放以及固定宜采用辅助绳索进行悬挂, 可以有效地避免因电缆线直接承受拉力而导致电缆线横截面变细、电缆线出口位置止水效果下降等问题, 进而影响到仪器的正常使用; 此外, 由于环境温度变化, 固定的悬挂绳索可能会发生热胀冷缩而使仪器发生松动或伸缩, 因此, 在选择绳索时应考虑热胀冷缩系数小的绳索进行固定。

安装完成后应注意对仪器和电缆线进行保护, 做好后期的监测与维护工作, 监测孔附近应避免遭受机械或人为干扰, 同时应定期进行数据采

集,汛期根据需要适当增加数据的采集频率。

## 6 应用实例

开茂水库库区位于安县向斜南西翼,地层缓倾上游略偏右岸,总体产状为  $N65^{\circ}\sim 85^{\circ}E/NW\angle 5^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 。库区广泛分布晚侏罗系莲花口组地层,该套地层具有多沉积旋回、岩性组合复杂、厚度和岩相变化大等特点。坝基开挖揭示建基面高程 556~558 m 岩性为第②层第二亚层( $J_{3L}^{2-2}$ )灰白色砾岩与紫红色泥质粉砂岩互层,岩体呈弱风化,坝基中部发育一条长约 20 m 的溶蚀宽缝,缝宽 15~20 cm,深约 10~30 cm;建基面高程 558~575 m 岩性为第③层( $J_{3L}^3$ )灰白色砾岩,岩体呈

弱风化,陡倾裂隙较发育,裂隙宽 10~20 cm,间距为 3~5 m,延伸长度大于 5 m,形成了具有一定规模的岩溶通道。

为了较好地进行坝基及坝肩渗流监测,开茂水库大坝共布置了 16 支渗压计,设置了渗压测点 16 个,仪器采用 VWP-0.35 型振弦式渗压计,配套了一台 VW-102A 型振弦读数仪进行数据采集。监测工作从 2014 年 4 月 5 日安装第一支渗压计开始,截止 2018 年 6 月 20 日大坝渗压监测一直持续进行,经对所获得的数据进行统计、计算后作图,得到渗压计渗透压力~时间变化曲线(图 4)。

通过渗透压力~时间变化曲线图可以看出:

渗透压力/kPa

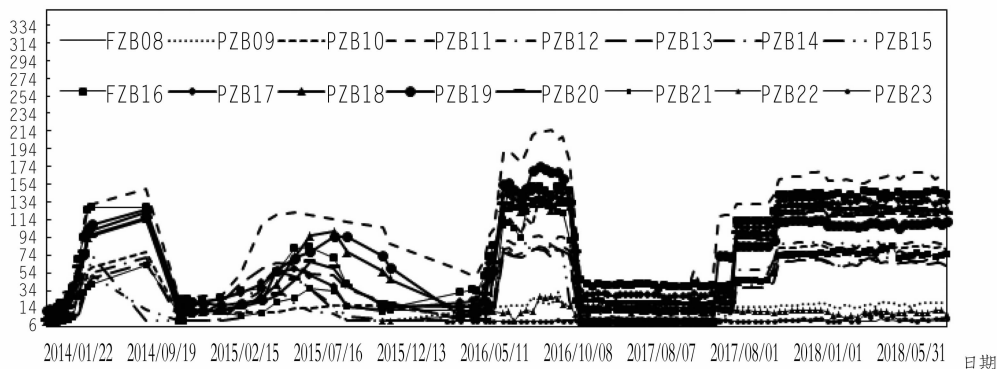


图 4 渗透压力~时间变化曲线图

2014 年、2015 年和 2016 年三年中 6~9 月期间渗透压力均有增加,呈波峰状态,原因为:这几个月处于汛期,库区内水位升高,表现为坝基及坝肩渗透水压增大,其余时间段为施工期和枯水期,库区积水已合理引排,表现为坝基及坝肩渗透水压下降,2017 年 6 月以后,因大坝面板混凝土施工完毕,同时 585 m 高程以下面板止水已全部施工完毕,585 m 高程以下具备防渗挡水功能,2017 年 6 月至 2018 年期间,585 m 高程以下均处于蓄水状态,在图表中表现为渗透水压力曲线较为平缓,变化波动较小。在对汛期峰值渗透压力进行分析后得知:其渗透压力值远小于安全警戒值,目前坝基及坝肩渗漏稳定,大坝运行安全。

由此可见,对于水库大坝等渗流监测要求高的工程,特别是位于岩溶地区的水库大坝,采用振弦式渗压计进行监测可以方便、快捷地获知测点位置的渗透水压力变化情况,若配套自动数据采集系统即可实现全天、连续动态监测,对于渗漏风

险可以进行实时预警。

## 7 结语

大坝渗流监测作为大坝安全监测的一项重要监测项目,对监测仪器的稳定性、抗干扰性、精度等都有很高的要求,振弦式渗压计以其独特的优势被广泛地应用于大坝渗流安全监测中。伴随着我国大坝安全监测自动化水平的提高,振弦式渗压计也同样取得了较大的进步,国内生产的振弦式渗压计在性能、精度和外观上都有很大的发展,应用前景也得到了较大的延伸,必将提高我国大坝安全运行的管理水平。

### 作者简介:

赵启强(1975-),男,四川巴中人,高级工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;

谢攀(1993-),男,四川南充人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

曹小龙(1991-),男,甘肃渭源人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)