

[水电站]

水电站厂房渗漏水流量软测量方法及应用

文/陈芊羽¹ 林琪暄² 陈厚珍² 林 伟² 陈学标²

1.福建工程学院; 2.福建水口发电集团公司

水电站厂房内的各种渗漏水, 渗漏点分散、单个流量小且无压差, 渗漏水流量很难直接测量, 根据渗漏水排水系统的工艺流程, 提出一种实用的软测量方法, 并在某电厂实际应用, 结果表明, 采用该方法在线测量渗漏水流量经济可靠, 且响应迅速, 可第一时间发现异常渗漏, 为电厂安全稳定运行提供保障。

软测量的基本思想是把自动控制理论与生产过程有机结合起来, 应用计算机技术, 针对难以测量或暂时不能测量的重要变量(主导变量), 选择另外一些容易测量的变量(辅助变量)通过构成某种数学关系来推断和估计, 以软件来代替硬件(传感器)功能。这类方法响应迅速、能够连续给出主导变量信息, 具有投资低、维护保养简单等优点。

渗漏水排水系统是水电站的重要组成部分, 渗漏水排水主要包括水工建筑物的渗水、冷却冷凝排水、辅助设备生产弃水及机械设备的密封漏水等, 各种渗漏水通过排水沟或排水管依靠重力自流汇总到廊道底部渗漏集水井, 安装互为备用的两台渗漏水排水泵, 将集水井中水提升、加压后, 通过泵后出水管路排入电站下游尾水, 避免厂房内部积水和潮湿, 这个系统称为渗漏水排水系统。目前一般是按月统计分析排水泵的起动次数、起动时间和起动间隔, 大致估算渗漏水流量, 计算工作量大、时效性差且管理粗放, 出现异常渗漏时难以及时发现, 不利于缺陷处理。

软测量方法提出

渗漏水排水系统工艺流程如图1所示, 典型设计安装有渗漏水井水位计, 正常运行时, 当集水井水

位上升到 H_2 起动工作泵水位时, 起动主用排水泵将集水井中水加压排入电站下游水库, 按典型设计要求, 正常渗漏水流量应小于单台排水泵的排水流量, 此时集水井水位下降, 当降低到 H_1 停泵水位时停止排水泵; 如果因各种原因导致渗漏水流量大于单台排水泵流量, 水位将继续上升, 当水位上升到 H_3 起动备用泵水位时, 起动备用排水泵, 等水位降低到 H_1 停泵水位时停止排水泵。

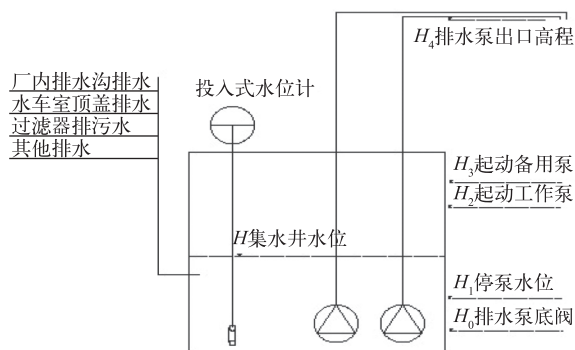


图1 水电站典型渗漏水排水系统简图

渗漏水流量、排水流量是排水系统的重要参数, 可直接反映水电站主设备和辅助设备密封渗漏情况、水工建筑渗漏情况及排水泵是否健康运行, 但渗漏水分散、单个流量小且无压差, 排水管不一定是满管状态, 不满足普通流量计的安装条件要

求, 渗漏流量、排水流量很难直接测量。选择软测量方法, 通过集水井水位变化和排水泵启动/停止状态变化等状态参数构成某种数学关系并推断和估计流量, 以软件来代替流量传感器功能。

1. 总渗漏水量计算

渗漏水、集水井、排水泵及排水管路形成一个系统, 工艺机理清楚, 运用物料平衡原理, 即

$$Q_{\text{漏}}=Q_{\text{井}}+Q_{\text{排1}}+Q_{\text{排2}} \quad (1)$$

式中, $Q_{\text{漏}}$ 为渗漏来水量; $Q_{\text{井}}$ 为集水井流量(设定水位升高为流出, 水位降低为流入); $Q_{\text{排1}}$ 为1#排水泵流量; $Q_{\text{排2}}$ 为2#排水泵流量。

2. 集水井流量计算

集水井流量和集水井水位关系直接、简单且清晰, 可以采用静态容积法计算流量。查找土建设计资料, 集水井的形状很容易确定, 计算出不同液位时的集水井的表面积, 根据单位时间内集水井水位变化的高度, 计算出渗漏井在单位时间内变化的容量, 从而算出在该液位时的渗漏井流量, 即

$$Q_{\text{井}}=S(H_{t2}-H_{t1})/T \quad (2)$$

式中, $Q_{\text{井}}$ 为水位 $H=(H_{t1}+H_{t2})/2$ 高度时集水井流量; S 为集水井截面积; H_{t1} 、 H_{t2} 为集水井水位(在单位采样周期 T 内, 集水井的水位由 H_{t1} 变化为 H_{t2})。

3. 排水泵流量计算

影响排水泵流量的因素众多, 比较复杂, 排水泵主要参数包括转速、扬程、流量、功率和效率等, 排水泵的 H - Q 曲线表示泵的流量 Q 和扬程 H 的关系, N - Q 曲线表示泵的流量 Q 和轴功率 N 的关系, η - Q 曲线表示泵的流量 Q 和效率 η 的关系。在实际应用中, 受泵后出水管路设计、现场安装条件及施工水平等的影响, 各项参数确定比较复杂, 难以理论上推导出特定关系曲线, 往往用实验的方法测定。对于确定的已知系统, 转速、功率和效率应满足设计要求且相对固定不变, 对流量变化影响很小, 利用 H - Q 特性曲线辨识水流量的方法是较优选择。

$$H_d=H_j+h_w=H_j+KQ^2 \quad (3)$$

式中, H_d 为总扬程; H_j 为静扬程; h_w 为扬程损失; K 为经计算求得的定值; Q 为流量。

最小二乘法是一种数学优化技术。通过最小化误差的二次方和寻找数据的最佳函数匹配。利用最小二乘法可以简便地求得未知的数据, 并使得这些求得的数据与实际数据之间误差的二次方和最小。采用最

小二乘法对排水特性曲线进行抛物线拟合, 即

$$H=AQ^2+BQ+C \quad (4)$$

式中, H 为排水泵扬程(尾水水位减去渗漏井水位); Q 为排水泵流量; A 、 B 、 C 为拟合抛物线的参数。

实验方法

1. 正常运行时渗漏量分析、估算

梳理汇入集水井的厂房主要渗漏点, 估测运行/停止状态的渗漏量, 为异常渗漏故障报警及排水泵 Q - H 曲线测定提供参考。

- 1) 冲洗滤水器的排污水, 差压启动、定时启动。
- 2) 水轮机室顶盖排水, 主要是密封漏水, 机组运行时渗漏较大, 停机时渗漏较小。
- 3) 压力钢管伸缩节漏水。
- 4) 排水管道上的阀门漏水。
- 5) 厂房消防排水, 启动时流量大。
- 6) 水泵和管路漏水、结露水。
- 8) 气水分离器和储气罐排污水。
- 9) 空气冷却器、管道的冷凝水。
- 10) 厂房水工建筑物的渗水。
- 11) 其他必须排入集水井的水。

根据上述整理的主要渗漏点分析, 其中冲洗滤水器的排污水、水轮机室顶盖排水及消防排水流量随着设备启动/停止状态改变呈现跳变, 其他渗漏水在水电站正常稳定运行时, 和季节、天气、温度及发电水头变化有一定关系, 但在较短一段时间内相对稳定, 变化不大, 对渗漏量的影响很小。

考虑渗漏排水泵流量的不确定性, 来水流量估算安排在排水泵未启动时, 此时 $Q_{\text{排1}}=Q_{\text{排2}}=0$, 渗漏来水总流量等于渗漏井流量。利用渗漏井流量式(2)计算的流量数据进行简单的加减运算, 即可准确获得相关设备在运行/停止状态下的渗漏流量变化, 推断出相关设备排水、渗漏流量。

2. 排水泵流量 Q - H 曲线拟合

正常运行时, 在渗漏量估算的基础上, 利用主设备停役期间, 在做好有关安全措施的前提下, 尽可能关闭非必要的运行设备, 减少渗漏流量变化, 使得总渗漏流量在一段时间内保持相对稳定。1#、2#排水泵都投切除位置, 等渗漏井水位上升到 H_3 时

手动起动一台排水泵,水位降低到 H_1 时停泵。根据采样周期记录的渗漏井水位,计算对应水位的排水泵扬程(尾水水位-渗漏井水位)、排水流量(渗漏流量-集水井流量),当校测结束时,采用最小二乘法对1#排水泵的 $Q-H$ 特性曲线进行抛物线拟合,算出A、B、C参数。

完成校测后,控制系统可以结合排水泵起动/停止状态,根据式(1)和拟合的抛物线曲线,实时在线计算渗漏流量。

测试与验证

为验证上述软测量模型和实验方法的可行性,在福建水口发电集团公司街面水电站进行实验。

街面水电站厂房采用地下式布置,主机间内安装两台单机容量为150 MW的混流式水轮发电机组。渗漏集水井底部高程EL152.8 m,排水泵取水口高程EL153.4 m,停泵水位高程EL155.8 m,工作泵起动水位高程EL160.8 m,备用泵起动水位高程EL161.3 m,渗漏水井水位不得超过EL162.0 m,防止水淹廊道层;渗漏集水井水平截面尺寸5 m×6 m,计算正常有效容积180 m³;机组停机状态下游尾水位高程EL172.0 m,两台机组满负荷运行水位高程EL177.0 m,计算排水泵扬程在10~22 m范围变化。渗漏排水系统选用PLC作为主控制器,负责数据采集、处理,完成自动控制及后台通信,上位机采用水科院H9000 V4.0系统,实时数据库可实时记录、分析数据,历史数据库可存储、查询及维护历史数据,HReport报表系统可以方便组态报表。

根据生产现场实际情况,水位测量、集水井流量计算、渗漏排水泵流量计算及总渗漏水流量计算由PLC在线实时完成,结果数据传输到后台上位机历史数据库。排水泵抛物线拟合、主要来水估算由计算机抽取上位机记录数据进行离线计算,再将计算得到参数应用到PLC计算程序和上位机报警定值设定。

1. 主要渗漏来水量估算

1) 在机组全停期间,关闭全部生产冲洗滤水器的排污水,保留不可控的常态渗漏水,从停泵水位开始记录一个上升周期,时间40 min,渗漏井流量在177.2~181.7 m³/s之间变化,均值为179.5 m³/s。

2) 起动1#机技术供水滤水器排污清洗,渗漏井流量在412.8~415.1 m³/s之间变化,均值为413.8 m³/s。

关闭1#机技术供水滤水器排污清洗,渗漏井流量为180.2 m³/s。

计算1#机技术供水滤水器排污清洗流量为

$$413.8 \text{ m}^3/\text{s} - 179.5 \text{ m}^3/\text{s} = 234.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

同样方法测量其他生产用水排水流量。

2. 排水泵流量校测

按排水泵 $Q-H$ 曲线拟合校测渗漏排水泵 $Q-H$ 特性曲线,从排水泵起动到停泵,记录水位变化,渗漏来水量按平均值估算,计算对应高程的排水流量,数据导出到笔记本计算机,利用Python的scipy库中的leastsq()函数来拟合曲线,求解相应的系数A、B、C,最后绘制样本数据和拟合曲线。

1#排水泵的 $Q-H$ 曲线,对每台泵进行了多次实验,同一台泵根据数据绘制的曲线重合度非常高,表明使用该方法估算排水流量是可行的。

3. PLC程序修改

排水泵起动时,排水流量按求解的抛物线参数代入计算,按式(1)即可得到在线连续的渗漏流量。

在现场实际应用、校测过程中要保证数据稳定、可靠,应注意细节处理:①水位测量采用投入式水位计,由于水面浪涌、波动可能造成水位采集误差,采用平均值滤波处理效果就很好;②计算周期 T 的选择要综合考虑,估测大致来水流量、水位测量精度和控制器的时钟精度,该站停泵水位到起动主用泵水位大致45 min水位升高5 m,PLC的时钟精度达毫秒级,本次实验选择240 s(4 min)为计算周期,整个校测过程数据较平稳,符合预期;③水位由升高转为下降和由下降转为升高的第一个周期内,计算的 $H_{t2} - H_{t1}$ 不能反映流量变化,需特殊处理,否则将计算出错误的数据;④如果多台排水泵的泵后出水管汇入一根总管,则必须考虑总管压力,并考虑并联运行的情况。

结束语

实验校测的数据和计算绘制的曲线表明,采用软测量方法,推断和估测厂房渗漏来水流量是可行的。在不破坏管路、不增加设备投资及保持一定精度的前提下,实现了对厂房渗漏水流量的在线连续测量,满足电站的生产运行管理要求。EA

(收稿日期:2023-02-05)