

浅谈水电厂调速器水头测量方法

王新永 贺臻 李旭红 刘心怡

华能澜沧江水电股份有限公司小湾水电厂, 中国·云南 大理 675702

摘要: 水轮机调速器在水电站的生产运行中发挥着重要的作用, 而其故障的产生会严重影响水电站的发电运行, 水头是水轮机的基本工作参数, 对水轮机调速器稳定运行具有重要作用。小湾电厂水头变幅较大, 设计最低水头 164 米, 最高水头 251 米, 最大变幅达 87 米。小湾调速器水头参数主要用于计算调速器空载开度、空载开限及导叶电气开限, 不同水头参数涉及不同控制参数和控制策略。为了实现调频辅助服务市场利益最大化, 并提高调速器的调频性能, 论文结合机组历史数据对调速器自动水头进行分析。

关键词: 空载开度; 调速器; 电气开限

A Brief Discussion on the Measurement Method of Head for Governor in Hydropower Plant

Xinyong Wang Zhen He Xuhong Li Xinyi Liu

Xiaowan Hydropower Plant, Huaneng Lancang River Hydropower Co., Ltd., Dali, Yunnan, 675702, China

Abstract: The water turbine governor plays an important role in the production and operation of hydropower stations, and the occurrence of its faults will seriously affect the power generation operation of hydropower stations. The water head is the basic working parameter of the water turbine and plays an important role in the stable operation of the water turbine governor. The Xiaowan Power Plant has a large head variation, with a designed minimum head of 164 meters, a maximum head of 251 meters, and a maximum variation of 87 meters. The head parameters of the Xiaowan governor are mainly used to calculate the no-load opening, no-load opening limit, and guide vane electrical opening limit of the governor. Different head parameters involve different control parameters and strategies. In order to maximize the market benefits of frequency regulation auxiliary services and improve the frequency regulation performance of the governor, this article analyzes the automatic head of the governor based on historical data of the unit.

Keywords: no-load opening; governor; electrical opening limit

0 前言

调速器水头是调速器较为重要的参数之一, 其直接关系到调速器的空载开度、电气开限、负荷调节的精度等重要电气参数或指标, 故水头的准确与否就显得尤为重要, 常规的水电站水位测量通常有水位测量屏采集、水位标尺图像识别、差压传感器、反算开度等方法, 下面就针对上面几种水头测量方法开展具体的分析。

1 调速器水头存在问题

机组使用水头信号一直为人工水头, 需随水库水位的变化, 由运行人员进行不断的对应修改。人工修改会出现修改不及时或修改不准确的情况, 直接影响机组空载开度, 不利于机组运行。且人工水头的不定期设定, 增加了运行人员的工作量, 不利于自动化运行, 不符合“无人值班”运行要求。

2 水头测量源的方式分析

为了提高水头采样的可靠性, 我们提出了五种水头测量方式并分别对五种采集方式进行了分析讨论:

①水位测量屏采集: 电厂目前在用的远方自动水头为水位测量屏采集, 水位测量屏数据处理及水头算法较为成

熟。测量原理为在每个进水口安装有两套液位变送器, 量程 (有 0~90 米和 0~102 米) 和安装位置不一, 1、3、4、5、6 号进水口投入式液位计安装于预置管道内, 2 号进水口液位传感器安装于补气孔管道内, 两套液位计需进行标定, 经过长周期运行发现, 水位测量屏由于使用年限较长且为单光纤连接, 通讯较为薄弱, 发生过通信故障影响水位采集的情况。在传感器检修时抽出液位变送器核对量程过程中, 发现变送器探头表面被淤泥包裹, 对探头进行清洗工作后, 发现在探头未放入水面时部分传感器有液位输出, 有达到 1.7 米左右的, 有 0.5 米左右的。正常情况下液位变送器在大气压下输出值是趋于 0 的, 传感器年久失修, 已出现失准的现象水头的可靠性得不到有效保障。由于上述原因通过水位测量屏测量水位存在一定的局限性 (见图 1、图 2)。

②水位标尺图像识别: 水位标尺图像识别采集水头技术先进, 数据真实可靠, 但受大雾天气、夜间照明等环境因素影响较大, 小湾电厂地处南涧彝族自治县无量山内, 海拔 2248 米, 昼夜温差较大, 早晚大雾天气较多, 受天气因素影响较大, 且经与厂家沟通采用此方法需要采购两台摄像头、升级数据库平台, 还需开发新的应用程序, 施工成本、技术难度以及后期的维护保养难度较大。



图 1 液位变送器（0~90 米） 图 2 液位变送器（0~102 米）

③蜗壳压力计算：利用蜗壳压力计算当前水头，在水

轮机仪表盘安装两个 0.1% 级的高精度的压力变送器，将压力信号经过滤波处理后以 4~20mA 电流量的方式送至调速器 PCC，在程序内部利用液体压强公式将压力信号转化为水头信号并进行系数补偿。如图 3 所示，在机组停机后静水时蜗壳压力较为稳定。

如图 4、5、6 所示，通过大量的数据统计分析以及查询蜗壳压力和机组实际运行水头曲线发现，同一台机组蜗壳压力计算水头与实际水头趋势相同，不同坝前水位下水头偏差值基本一致，可分别设置一个常数作为水头偏差补偿，该方式实施起来较为简单，且静水水头较为准确可靠。

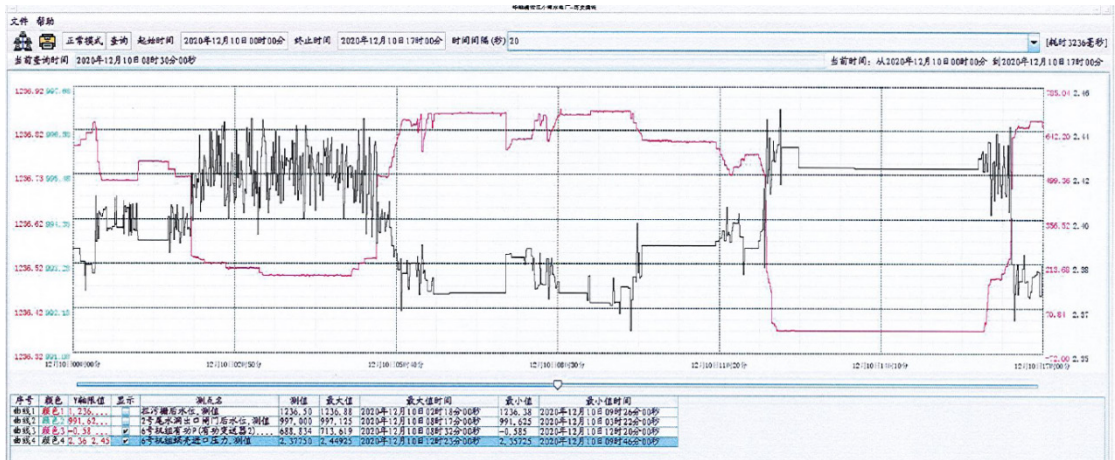


图 3 6 号机组蜗壳进口压力测值曲线

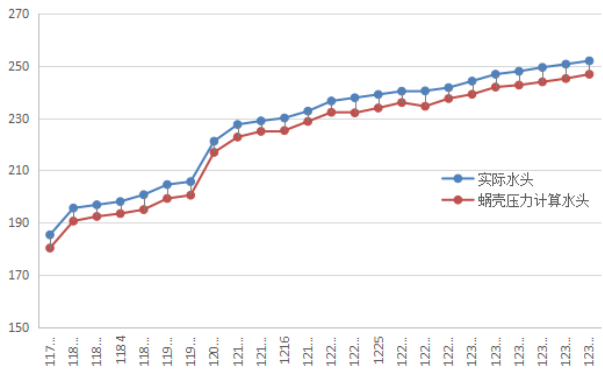


图 4 3 号机蜗壳水头统计图

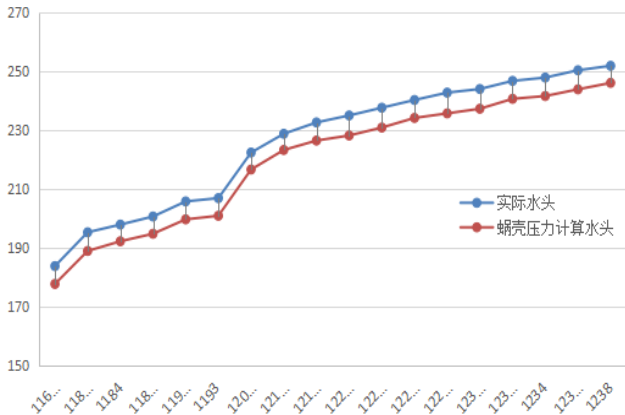


图 6 6 号机蜗壳水头统计图

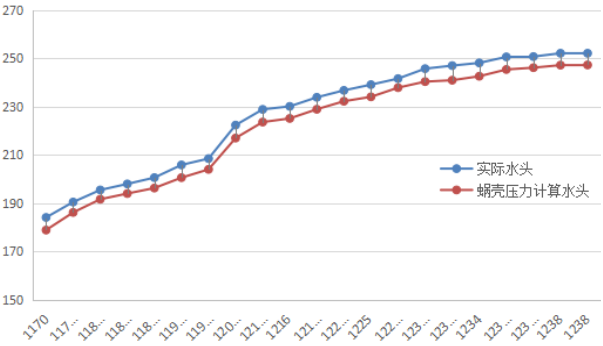


图 5 5 号机蜗壳水头统计图

④开机时根据空载开度反向计算水头。机组每次并网瞬间的开度为空载开度，利用大数据统计技术，记录机组每次的空载开度以及并网瞬间的水头，并将空载开度和水头做成数据表格放入 PCC 程序内，利用上一次机组的空载开度反算出机组当前水头，并将本次反算出的水头作为下次机组开机时的水头。此方法能仅通过调速器内部计算即可得出水头，较为可靠。但若想得到准确性较高的计算水头，需加大不同水头下的空载开度数据采集，建立不同水头下空载开度模型曲线。通过历年机组水头与空载开度数据的统计，初步得出空载开度与水头关系如图 7 所示。

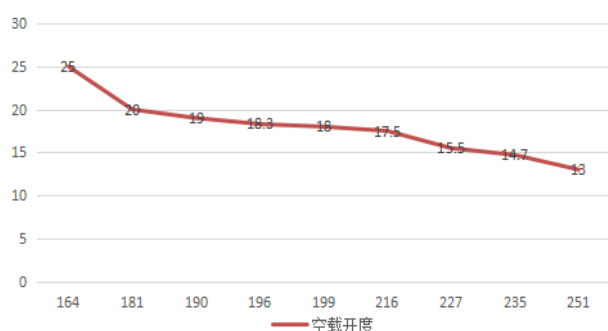


图 7 空载开度趋势图

用空载开度反向计算出当前水头并作为下一次机组开机时的实际水头，在机组频繁启动且上下游水位变化较小的情况下可以实施，但当机组长时间运行且坝前水位下降较大时存在开机失败、出力受限的风险，当机组长时间运行且坝前水位上升较大时存在开机过速的情况。该方法适用于水头变幅较小的电厂，对于水头变幅较大的电厂该水头测量方法还存在一定的局限性。

⑤利用负荷 - 开度 - 水头三者的关系反向计算水头。我们搜集了 76%、80% 导叶开度下的水头与负荷数据，对同一导叶开度下负荷和水头的变化关系进行了分析。经过数据查询如图 8 所示。

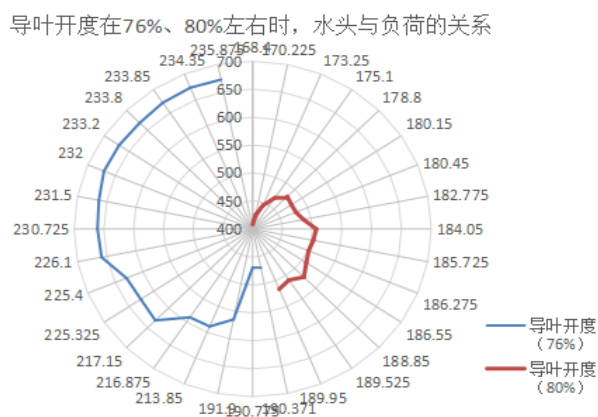


图 8 相同导叶开度下水头与负荷关系图

通过上面数据分析，在导叶开度一定时，机组负荷越高，水头 / 负荷曲线的斜率越小，通过导叶开度来计算水头的偏差越大。同一负荷（467MW）下，4m 水头对应导叶开度变幅 1%，随着负荷增加，1% 导叶开度对应水头变幅逐渐增大。同一水头下（190m），12.5MW 机组负荷（基准有功 500MW 左右）对应导叶开度变幅为 1%。

机组在运行过程中，机组负荷、导叶开度、水头均在变化，在不考虑 PCC 运算量的情况下，若要确保水头准确性，建议水头每变化 2 米，负荷每变化 10MW，采集导叶开度，进行曲线拟合。通过 3150 个数据，约可拟合出 45 条曲线，经理论推算，拟合曲线水头偏差约 6m 左右。数据搜集的过程中导叶开度、机组负荷存在一定的读取误差（无法避免），

无法保证导叶开度与机组负荷完全匹配，水头误差将进一步增大。

通过对比，采用蜗壳压力计算出水头的方法更为简单可靠，数据更为准确。

3 水头写入方式分析

目前调速器水头写入方式分为实时水头写入和停机态下实时水头写入。

①实时水头写入：实时水头写入即当调速器电柜上次写入的水头与当前实际水头偏差超过水头死区时即写入，该方式的优点是调速器水头及空载开度最接近实际值，可以提高调速器的调节精度和调节速度，缺点是在开机过程中或发电态时可能引起调速器的调节波动，影响调节品质。根据电厂实际情况，在机组运行过程中蜗壳压力脉动较大，反算水头准确性较差，因此实时水头写入只能采用水位测量屏水头，但水位测量屏通讯较为薄弱，水头的可靠性得不到有效保障。

②停机态下实时水头写入：机组在停机态且筒阀在全关位置时将当前水头写入调速器，这样调速器采集到的是当前实际水头。我厂是调频机组开停机较为频繁，采用该方式可以最大限度的采集到当前的实际水头，且避免了机组在开机及发电态时写入水头引起调速器波动的情况。

综合上述，采用停机态下实时水头写入的方式更为安全可靠，在保证调节稳定的前提下，写入机组实际水头。通过现场的实际应用发现，采用停机态下实时水头写入的方式非常可靠，且数据准确，确保了调速器安全稳定运行。

4 水头运算逻辑分析

经讨论分析，采用蜗壳压力采集水头及水位测量屏采集的水头同时送至调速器 PCC，并在程序内采用三选一逻辑，选取最合适的水头，最后用上一次开机时空载开度反算出的水头 H4 进行水头验证和故障判断。

①水头运算逻辑。蜗壳压力采集到的水头 H1、H2 及水位测量屏采集到的水头 H3 在调速器内部进行作差比较，若 $|H1-H2| \leq 3$ ，则将 H1 与 H2 的平均值作为当前水头；若 $|H1-H2| > 3$ 且 $|H1-H3| \leq |H2-H3|$ ，则将水头 H1 作为当前水头；若 $|H1-H2| > 3$ ，且 $|H1-H3| \geq |H2-H3|$ ，则将水头 H2 作为当前水头。

②水头写入逻辑。机组在停机态且筒阀在全关位置时写入，写入水头死区为 0.5m。相邻两次输入的水头偏差小于 3m 时，将当前运算水头写入调速器；相邻两次输入的水头偏差大于 3m 时，当 $|H1-H2| \leq 2$ 且 $|H1-H3| \leq 2$ 且 $|H2-H3| \leq 2$ 时，则本次水头可以写入，否则闭锁水头写入，仍将上一次水头作为当前水头，并报警提示。

③水头验证和故障判断逻辑。本次写入的水头与水头 H4 偏差超过 10m，则调速器 PCC 发出报警。

5 结语

综上所述，建议调速器远方自动水头由两路蜗壳压力与水位测量屏采集数据经逻辑判断后，以停机态下实时水头写入方式写入，写入的水头与空载开度反算出的水头进行比较，若偏差过大则报警。采用该方式大大的提高了全厂自动化水平，解决了人员手动修改水头的繁琐工作，避免了人工操作可能造成的误操作事故，同时使机组并网时的空载开度更加精确。

参考文献：

[1] 熊国富.调速器自动水头实现方式的研究与应用[J].华东科技(综合),2019(10):1.

[2] 秦磊,覃川,李东双.糯扎渡水电站调速器自动水头的设计改造[J].水电厂自动化,2018,39(1):4.

[3] 涂勇,杨刚.一种调速器水头与空载开度协联曲线自修正自适应控制法:CN201810320974.6[P].CN108708818A[2024-05-16].

[4] 刘鹤,刘芬香,彭光明.深溪沟水电站调速器自动水位测量系统的应用[C]//中国水力发电工程学会信息化专委会,2015.

[5] 曾建洲.水头参数对二滩水电站调速器系统的影响[J].湖北水力发电,2003(4):2.

作者简介: 王新永(1990-), 男, 中国河南南阳人, 本科, 工程师, 从事水电厂水轮机调速器、筒阀、闸门控制系统维护管理研究。