

核电厂仪表校验方法的比较及选择研究

刘海琪¹, 靳文金²

1. 中国广核集团有限公司, 广东 深圳 518000

2. 大亚湾核电运营管理有限公司, 广东 深圳 518000

摘 要 : 核电厂因其安全性和可靠性的要求, 配置了大量的仪表, 但仪表种类多, 涉及校验方法多样, 工作人员在选择校验方法时多依赖经验传承, 缺乏相对科学的依据, 可能因校验方法选择不当影响工作效率和仪表工作可靠性。本文就核电厂常见的软件校验、磁棒校验和电位器校验三种仪表校验方法进行原理讲解, 并以核电厂实际仪表过程为例详细说明校验步骤, 对比分析三种方法的优缺点。结合三种校验方法的优缺点和核电厂厂房布局以及运行模式开展进一步分析研究, 以期给出核电厂不同场景下仪表校验方法的更优选择建议。

关 键 词 : 采集漂移; 软件校验; 磁棒校验; 电位器校验; 温度漂移; 零点; 量程; 偏置

Research on the Comparison and Selection of Instrument Calibration Methods in Nuclear Power Plants

Liu Haiqi¹, Jin Wenjin²

1. China General Nuclear Power Corporation, Shenzhen, Guangdong 518000

2. Daya Bay Nuclear Power Operations and Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : Due to the requirements of safety and reliability in nuclear power plants, a large number of instruments are configured. However, there are many types of instruments and various calibration methods involved. Staff often rely on experience inheritance when choosing calibration methods, lacking relatively scientific basis, which may affect work efficiency and the reliability of the instruments due to improper selection of calibration methods. This paper explains the principles of three common instrument calibration methods in nuclear power plants, namely software calibration, magnetic rod calibration and potentiometer calibration, and elaborates on the calibration steps by taking the actual instrument process in nuclear power plants as an example, and comparatively analyzes the advantages and disadvantages of the three methods. Further analysis and research are carried out in combination with the advantages and disadvantages of the three calibration methods, as well as the plant layout and operation mode of nuclear power plants, in order to give better selection suggestions for instrument calibration methods in different scenarios of nuclear power plants.

Keywords : acquisition drift; software calibration; magnetic rod calibration; potentiometer calibration; temperature drift; zero point; range; offset

引言

核电厂因其特殊的安全属性对仪器仪表的精度有更高的要求, 而环境温度变化、电阻电容老化等因素会导致仪器仪表处理电路性能发生改变, 从而引起输出的漂移^[1]。如果不及时校验, 输出的信号就会失真, 严重情况下可能影响核电厂电正常监视和控制。针对核电厂仪器仪表常用的软件校验、磁棒校验和电位器校验这三种方法分别介绍其原理和操作方法, 对比总结三种办法的优缺点, 为不同场景的仪器仪表提供更适合的校验方法建议。

一、软件校验

(一) 软件校验原理

软件校验就是在板件或仪表发生零点漂移或增益不符合要求

时, 不对仪表的硬件进行任何改动, 只通过与之匹配的软件对板件或仪表内的存储器进行改写, 通常是将外部信号与基准信号的偏差采集记忆到存储器中, 使板件在每次采样运算时, 自动将外部采集信号减去偏差, 得到校准后的信号。下面以大亚湾核电厂

作者简介: 刘海琪 (1988.07-), 男, 汉族, 四川省宜宾市, 工程师, 大学本科, 核电仪控维修。

靳文金 (1982.05-), 男, 汉族, 安徽省淮南市, 高级工程师, 大学本科, 核电仪控维修。

高速数据采集系统^[2]（以下简称 KDO 系统）的模拟量采集卡为例，介绍软件校验的基本操作方法。

KDO 模拟量采集卡可以采用在线校验和离线校验两种方法。在线校验即在不解除供电模块和输出线路的条件下，只解除输入信号端进行标准信号注入，通过就地接口连接校验计算机，运行软件和板件进行通讯，对板件进行校验。离线校验则是将板件从仪表柜中拆出，在实验室的专用校验台和计算机进行校验。二者在校验方法上相同，下面以离线电压档校验为例说明。

（二）电压档校验步骤

1. 运行 canabnew.exe，进入 MODULE CALIBRATION 菜单，选择 F1: KDO Module 项。
2. 进入 KDO MODULE CALIBRATION 菜单，选择 F1: 模拟量采集卡项。
3. 进入 TEST PROGRAM FOR 模拟量采集卡菜单，选择 F2: calibration of 模拟量采集卡项。
4. 进入 I/O debug interface for 模拟量采集卡菜单，根据所校验板件的信号类型选择不同的量程范围（键入数字 1-7）。以选择 1: 0 ~ 10V 档为例。
5. 在模拟量采集卡的电压输入端加上 0 伏电压，接着选择 F1: Zero calibration 项，模拟量采集卡红色指示灯变亮一段时间后灭掉，此时 Zero Calibration Value: 项后面显示 8 位 16 进制数（校验码），检查该码第三、四位为 1a 或 1b 时校验成功。否则选择 F1 再次校验。
6. 在模拟量采集卡的电压输入端加上 10 伏电压后接着选择 F2: Full calibration 项，模拟量采集卡红色指示灯变亮一段时间后灭掉，此时 Full Calibration Value: 项后面显示 8 位 16 进制数，检查该码第三、四位为 ca 或 c9 时校验成功。否则选择 F2 再次校验。
7. 选择 F3: Verify 项，改变输入电压以测试 0 ~ 10V 档的精度。如果不合格，重复上述步骤 5 - 7；直至合格。

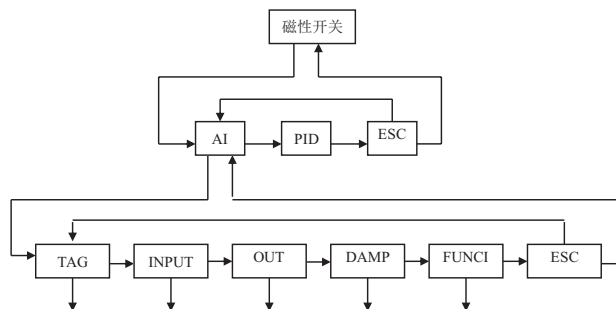
二、磁棒校验

（一）磁棒校验的原理

在具备磁棒校验功能的仪表上，一般配置了两根磁棒，在磁棒旁边的盲孔下面实际有两个磁性开关（也称干簧管^[3]）安装在变送器内部的电路板上，当外壳上两个调整盲孔分别放上磁棒时，对应磁性开关接通，从而发出了调零或调满量程的信号，内部电路根据外部施加的标准压力温度等信号与对应的内部程序进行自动调整。当磁棒拿开时，磁性开关断开，调整信号中断，内部电路维持调整后的状态，调整后的数据都存储在仪表自身的存储器中。磁棒校验型仪表的原理如下所示。

如图 1 所示，当磁性开关闭合时，回路导通，调整模块 AI 接收到一个高电平信号被触发，芯片从 TAG 中读取原始数据，INPUT 采集输入信号的数据，并与原始数据进行比较，再通过运算处理形成一个新的符合要求的数据，再将新数据返回到 TAG 进行保存，即对 EEPROM 进行刷新。下面柴油机液位传感器校验^[4]

为例，介绍磁棒校验的基本方法。



> 图 1 磁棒校验原理框图

（二）柴油机液位变送器磁棒校验方法

1. 将柴油机液位变送器卸下并安装到实验台上。
 2. 将标准打压计连接到工作台的打压接口上。
 3. 连接电路，将万用表串接在输出信号回路上，用以监视输出信号。
 4. 打压到零点对应的压力，取出磁棒，将磁棒轻压在标识 0% 的盲孔上，停留一段时间，待万用表电流示数回到 4mA 后拿开磁棒。
 5. 打压到满量程对应的压力，将磁棒轻压在标识 100% 的盲孔上，停留一段时间，待万用表电流示数回到 20mA 后拿开磁棒。
- 注：若第 4 步中电流回不到 4mA，或第 5 步中电流回不到 20mA，则表明磁棒校验不成功，此时需要改用电位器校验的方法来进行校验。若均能回到目标电流，则表明校验成功。
6. 按照满量程的 0%、25%、50%、75%、100% 输入压力信号，检查进程和回程测试精度，若有一项不符合要求，则要重新校验，直至进程和回程信号全部符合要求。

三、电位器校验

（一）电位器校验原理

以电容式压力变送器为例说明，它采用微位移电容传感器^[5]，被测压力作用于膜头的隔离膜片，通过灌充硅油传导到电容室（8 室）的中心感压膜片，使之产生微位移从而改变了电容室的差分电容，经过特殊设计的电子电路，将差分电容的相对值转换为电流信号加以放大输出，电路基本原理如下。

由图可见，它的电路主要包括电容 - 电流转换电路和放大及输出限幅电路两部分。前者由振荡器、解调器、振荡控制放大电路和线性调整电路四部分组成；后者由电流放大、量程调整、零点调整迁移电路、输出限幅电路及阻尼调整电路等构成。电位器本身是平衡电桥中的一个桥臂，通过调整电位器来调节电桥电压输出的对应关系，将基准值向上或向下线性偏移，从而达到调零或零点迁移的目的。

（二）柴油机液位变送器电位器校验方法

1. 将柴油机液位变送器卸下并安装到实验台上。
2. 将标准打压计连接到工作台的打压接口上。
3. 连接电路。将万用表电流挡串接在输出信号回路上，监视输出信号。

4. 打压到零点对应的压力，使用螺丝刀调整零点螺母，使仪表输出 4mA。

5. 打压到满量程对应的压力，使用螺丝刀调整满量程点螺母，使仪表输出 20mA。

6. 按照满量程的 0%、25%、50%、75%、100% 输入压力信号，检查进程和回程测试精度，若有一项不符合要求，则要重新校验，直至进程和回程信号全部符合要求。

四、三种校验方法比较

软件校验法既可以进行在线校验，也可以进行离线校验，校验方法灵活，而且可以充分利用现场信号线进行远程在线校验，这就可以避免在现场恶劣条件下进行工作。软件校验操作简单，校验风险低，但可靠性相对较低^[6]。

磁棒校验法，现场调整采用磁棒进行调整，无需打开仪表的端盖，在仪表的电路板和接线全部被封闭的情况下，利用磁棒触发仪表内的磁开关，从而使仪表内的电子元件不与现场恶劣环境直接接触。这将大大延长了电子元件的使用寿命，且可以适应更加恶劣的现场环境。另外，由于工业环境一般伴随高温高噪声的职业危害，简单快速的调整也便于保护现场工作人员。磁棒校验操作最简单，校验出错的风险低^[7]，但其调节范围较小，在仪表出现较大漂移时可能无法校准。

电位器校验的优点在于它是通过硬件调整，比软件校验要可靠^[8]。当软件校验无法准时时，一般用硬件校验的方法校准。但电位器校验只能在现场进行，而且完全靠手动调节，需要校验人员具备较高的技能水平且校验耗时较长^[9]。根据现场测试，同一变送器件采用电位器校验比磁棒校验多出一倍时间。电位器校验要比软件校验和磁棒校验风险要大^[10]，电位器比较脆弱且微调器

件，操作不慎可能会导致电位器损坏，进而导致变送器报废。

五、核电厂仪表校验方法选择分析

核电厂从厂房布局来分，主要分为核岛、常规岛和电气厂房；从运行方式来分，简单分为功率运行模式和停堆模式^[11]。核岛区域在功率运行模式时为封闭区域，其温度、湿度、电磁干扰等环境因素相对稳定，对仪表运行比较友好。但因存在一定的辐照剂量，工作人员一般情况不靠近工作。基于这些因素，对于功率运行期间核岛区域的仪表校验工作，应优先选择软件校验的方式，利用软件校验的远程可操作性优点实现校验。对于停堆工况的核岛区域，人员可以靠近工作，应优选电位器校验的方式，通过修正硬件电路彻底校准仪表，保障下一个循环的可靠性。对于常规岛区域，温度、湿度以及电磁干扰等环境因素相对闭环较大，同时大部分区域存在高温高噪声的职业危害因素，但属于人员可接近区域，应优选磁棒校验，主要出于便利性和人员职业保护的考虑，同时电位器校验可以作为兜底方案。对于电气厂房区域，因其内部温度、湿度等环境因素稳定且不存在职业危害因素，但大部分设备处于在线状态，设备密集度高，应优先选择软件校验，采用软件校验可大幅缩短工作时间，同时避免对相邻设备产生影响，同样电位器校验可作为兜底方案。

六、结论

从核电厂常用的三种仪表检验方法分析来看，各有优缺点。工作人员在选择校验方法时，除考虑仪表本身的特性外，还需要结合仪表所在区域、工业环境、职业伤害、时间紧急程度以及可靠性要求等因素综合选择。

参考文献

[1] 乐嘉谦. 仪表工手册 [M]. 化学工业出版社.
[2] 林诚格. 核电厂仪表与控制 [M]. 中国电力出版社.
[3] 张华. 王强. 核电厂仪表检测技术研究 [J]. 科技创新导报, 2018, 15(21): 89-91.
[4] 李丽. 核电厂仪表校验方法的优化与应用 [J]. 仪器仪表用户, 2020, 27(03): 82-85.
[5] 赵阳. 核电厂过程仪表的故障诊断与维护 [J]. 仪器仪表标准化与计量, 2019(02): 38-40.
[6] 陈晨. 核电厂安全级仪表的可靠性分析 [J]. 核科学与工程, 2017, 37(06): 988-993.
[7] 刘辉. 核电厂仪表系统的智能化发展趋势 [J]. 自动化仪表, 2021, 42(07): 101-104.
[8] 王磊. 核电厂压力仪表的校验与维护 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2018(05): 87-90.
[9] 孙明. 核电厂温度仪表的故障分析与处理 [J]. 仪器仪表与分析监测, 2019(04): 28-31.
[10] 张宇. 核电厂仪表控制系统的安全性评估 [J]. 核安全, 2020, 19(03): 45-49.
[11] 朱继洲. 核电厂系统及设备 [M]. 原子能出版社.