

过程控制系统中热工参量检测误差的分析、处理与应用

杜晓妮

青岛职业技术学院 海尔学院, 山东 青岛 266555

摘要： 过程控制系统中的测量，主要是对连续变化的模拟量的测量，如液位、流量、温度、压力等热工参量。过程控制系统运行过程中使用的介质有气体、液体、固体、混合物等多种形式，同时可能还会有强腐蚀性、强辐射、高温、高压、真空、高粘度等特殊性质；测量时可能会有许多扰动现象，如电源电压、频率发生变化，环境气压、湿度、亮度、不同成分气体含量、烟雾等因素变化，以上加热炉水温定值控制系统中情况都需要控制系统中用到的测量设备具有稳定性、安全性、适应性。在检测仪表使用过程中，会因各种原因产生误差，要求工作人员能够正确地分析、调整误差，想办法减小甚至消除误差，并根据社会发展，对检测仪表进行升级更新，向着更高端化、智能化、绿色化发展，以适应新质生产力发展的要求。

关键词： 过程控制；绝对误差；精确度等级；新质生产力

Analysis, Treatment And Application Of Thermal Parameter Detection Errors In Process Control System

Du Xiaoni

Qingdao Technical College Haier College, Qingdao, Shandong 266555

Abstract : The measurement in the process control system is mainly the measurement of continuously changing analog quantities, such as liquid level, flow rate, temperature, pressure and other thermal parameters. The medium used in the operation of the process control system has various forms such as gas, liquid, solid, mixture, etc., and may also have special properties such as strong corrosion, strong radiation, high temperature, high pressure, vacuum, and high viscosity. When measuring, there may be many disturbance phenomena, such as changes in power supply voltage and frequency, changes in ambient pressure, humidity, brightness, gas content of different components, smoke and other factors. The above situation in the control system of heating furnace water temperature setting requires the measurement equipment used in the control system to have stability, safety and adaptability. In the process of using the detection instrument, there will be errors due to various reasons, requiring the staff to correctly analyze and adjust the error, find ways to reduce or even eliminate the error, and according to social development, upgrade the detection instrument to a more high-end, intelligent, green development, in order to meet the requirements of the development of new quality productivity.

Keywords : process control; absolute error; accuracy level; new quality productivity

一、检测误差的类型讨论

过程控制系统检测过程中被测参数都要经过信号传输类型的一次或多次转换，从而得到后续环节进行信号处理所需要的规格与形式，然后与相应的测量单位进行比较，以刻度或数字的形式进行读取^[1]。测量过程中，由于多种原因会产生误差，这个误差是在测量仪表上得到的被测变量的显示值和被测变量的真实值之差，这个差值就是测量误差。根据测量误差的性质和产生的原因，测量误差主要有系统误差、疏忽误差、随机误差三种类型^[2]。

测量误差也被称为绝对误差，计算方法为： $\Delta = x_i - x_0$

式中： x_i 表示检测仪表的指示值， x_0 表示被测物理量的真实值。

由于真实值无法得到，所以绝对误差表示为： $\Delta = x - x_0$

式中： x 表示被校检测仪表的读数， x_0 表示标准表的读数。

把绝对误差折合成标尺范围的百分数表示就是相对百分误差，计算方法为：

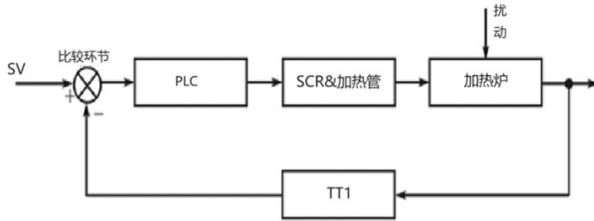
$$\delta = \frac{x - x_0}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\% = \frac{\Delta x}{\text{检测仪表量程}} \times 100\%$$

根据检测仪表在规定的条件下允许的最大相对百分误差确定检测仪表的精确度等级^[3]。

二、在实例中讨论检测误差的应用与处理

在加热炉水温定值控制系统中，被控变量为加热炉的温度，要求加热炉的温度稳定在设定值SV。将加热炉温度变送器TT1

检测到的加热炉的温度信号作为反馈信号，在与设定值 SV 比较后的差值通过控制器 PLC 控制三相移相调压装置 SCR 的输出电压，进而调节三相电加热管的加热功率，以达到使加热炉的温度达到并稳定在设定值的目的^[4]。该定值控制系统的方框图如图 1 所示。



> 图1 加热炉水温定值控制系统方框图

本控制系统使用一台具有线性关系的温度测量范围是 0 ~ 200℃ 的温度变送器 TT1 进行加热炉水温测量，TT1 的标准输出电流信号范围是 4 ~ 20mA。对 TT1 进行校验后得到以下上、下行程的测量值，现在需要确定 TT1 的准确度等级，计算其线性度、变差等品质指标。

输入温度值	标准温度 /℃	0	40	80	120	200
输出电流值	上行程测量值 X _上	4	7.20	10.39	13.59	20
	下行程测量值 X _下	4.02	7.10	10.60	13.69	20.01

温度变送器 TT1 每个温度检测值对应的标准电流输出值 X_标 的计算方法为：

$$X_{标} = \frac{\text{温度检测值}(\text{输出电流上限值}-\text{输出电流下限值})}{\text{温度测量范围}} + 4$$

TT1 的输入温度检测值是 40℃ 时输出的标准电流值 X_标 为：

$$X_{标} = \frac{40(20-4)}{200-0} + 4 = 7.2 \text{ (mA)}, \text{ 其他温度检测值的标准输出电流值均依此计算。}$$

根据已知测量数据，计算出各个温度检测值对应的绝对误差 Δ_正 与 Δ_反，并计算出各个上、下行程测量值之差 Δ_变，将所有中间数据整理在下面表格中。

输入温度值	标准温度 /℃	0	40	80	120	200
输出电流值	上行程测量值 X _上	4	7.20	10.39	13.59	20
	下行程测量值 X _下	4.02	7.10	10.60	13.69	20.01
	标准电流输出值 X _标	4	7.20	10.40	13.60	20
	上行程绝对误差 Δ _上	0	0	0.01	0.01	0
	下行程绝对误差 Δ _下	0.02	0.10	0.20	0.09	0.01
	上、下行程测量值之差 Δ _变	0.02	0.10	0.21	0.10	0.01

根据上述中间数据，加热炉水温定值控制系统中 TT1 的最大绝对误差是取自 Δ_上 和 Δ_下 的最大值 0.20mA，因此其最大相对百分误差是 1.25%，去掉正负号和百分号，余下的数值是 1.25，这个数值在检测仪表工业规定的精确度等级数值的 1.0 和 1.5 之间。在

对检测仪表的精确度等级进行确定时，要求检测仪表的允许误差应大于或等于检测仪表校验时所得到的最大相对百分误差^[6]。这个原则在过程控制系统的检测仪表精确度等级确定或选择工作中要特别注意。由于 TT1 的最大相对百分误差 1.25% 超过 1.0 级检测仪表允许的最大相对百分误差，所以 TT1 的准确度等级确定为 1.5 级。

检测仪表品质指标中的变差，是当环境条件相同的情况下，使用同一块检测仪表对被测变量在全量程范围内进行上、下行程检测时，分别检测到的实际测量值之间的最大差值^[6]。计算方法为：

$$\text{变差} = \frac{\text{上下行程最大绝对差值}}{\text{检测仪表量程}} \times 100\%$$

加热炉水温定值控制系统中 TT1 的变差为：

$$\text{变差} = \frac{0.21}{20-4} \times 100\% = 1.313\%$$

1.313% 在 1.5 级温度变送器允许的误差范围之内，这个变差数值不会影响 TT1 的准确度等级。反之则要在实际应用中应根据具体原因进行进一步校验，甚至需要更换温度变送器。

检测仪表的线性度是表征线性刻度仪表的输出信号值与输入信号值的实际校准曲线与理论直线的吻合程度^[7]。计算方法为：

$$\text{线性度} = \frac{\Delta f_{max}}{\text{检测仪表量程}} \times 100\%$$

式中，Δ_{fmax} 为校准曲线对于理论直线的最大偏差。

根据中间数据，加热炉水温定值控制系统中 TT1 非线性误差的最大值 Δ_{fmax} = 0.20 (mA)，所以线性度为：

$$\text{线性度} = \frac{0.20}{20-4} \times 100\% = 1.25\%$$

检测仪表的其他品质指标还有重复性、灵敏度^[8]等。

三、检测仪表误差研究的意义

1. 检测仪表精确度等级的确定、选择。

文中计算的温度变送器 TT1 的相对百分误差、线性度、变差都是稳态误差，是加热炉温度定值控制系统在静态时测量过程中产生的误差。如果这台温度变送器的敏感元件、测量电路以及检测系统中存在滞后现象、温度 - 电流信号传输转换需要时间，这些情况会使其出现动态误差。在计算过程中，由于进行了上、下行程的测量，并且变差的数值超出了最大相对百分误差允许的范围，工作人员可以了解各种误差产生的原因，分析对实际控制系统产生的危害程度，同时对检测仪表的精确度等级进行确定，实施对检测仪表的校正操作，在控制领域中，这样做也符合目前我国来到了全面以技术研发、技术创新来推动生产经济增长阶段的要求^[9]。

2. 检测技术及仪器仪表的发展。

在过程控制系统的实际应用中，参数检测环节也向着现代化、智能化发展，需要根据实际情况不断研发出新的检测方法以及检测仪表，结合硬件技术、电子技术、数字化技术、计算机技

术,伴随软测量技术和虚拟仪器的开发,结合社会发展、科技进步,根据实际应用情况,对检测设备进行升级改造,这更符合新质生产力的要求,在各个控制领域,具有更丰富知识、更高技能的操作人员,使用更加智能、高效、低碳、安全的检测设备,对

传统的和新型的劳动对象进行优化组合,对物理量进行检测与控制,实现生产过程高端化、智能化、绿色化操作,从而实现提升全要素生产率^[10]。

参考文献:

-
- [1] 倪志莲, 龚素文 主编, 过程控制与自动化仪表, 北京: 机械工业出版社, 2023
 - [2] 穆亚辉 主编, 传感器与检测技术, 长沙: 国防科技大学出版社, 2021
 - [3] 梁森, 王侃夫, 黄杭美 编著, 自动检测与转换技术, 机械工业出版社, 2014
 - [4] 王鼎盛. 精细化物理计算的热工反馈研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2021.
 - [5] 任少君. 热工过程海量数据流模型分析及诊断方法研究 [D]. 东南大学, 2018.
 - [6] 刘东尧, 周彦煌, 余永刚, 等. 火炮装药温度的传热综合参量确定法 [J]. 南京理工大学学报, 2016, 40(05):515-519.
 - [7] 陈涵涵, 高璞珍, 谭思超, 等. 基于极限学习机模型的流动不稳定性多热工参量联合预测方法 [J]. 原子能科学技术, 2015, 49(12):2164-2169.
 - [8] 王文光, 胡爱军. 关于温湿度检定箱校准参数的探讨 [J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2017, 35(01):62-66.
 - [9] 赵阳. 证据回归建模方法研究及其在热工对象中的应用 [D]. 东南大学, 2018.
 - [10] 潘亮, 刘琨, 江俊峰, 等. 分布式光纤振动和温度双物理量传感系统 [J]. 中国激光, 2018, 45(01):266-271.