

无源核子料位计在火电厂应用中的误差分析

刘祥春 刘 英

国家能源集团内蒙古呼贝公司 内蒙古呼伦贝尔 021000

摘 要: 无源核子料位计相比传统的接触式料位计,具有可靠性高、没有误报警的显著优势,在火电厂中的应用越来越普遍。它通过检测物料本身所固有的微量伽马射线辐射来检测料位,其关键输出信号是表征伽马辐射强度的脉冲计数率。然而,由于核辐射本身存在一定的随机性,在信号处理中要对上述原始信号进行滤波处理。本文通过理论分析、实验研究及工程应用,分析了滤波时间常数与随机误差之间的关系,为实际使用中对时间常数的设置提供了重要的参考。

关键词: 随机误差;滤波时间常数;无源核子料位计

一、无源核子料位计概述

1. 基本原理

在自然界中,大部分的煤矿自身含有放射性元素,从而具有天然放射性。具体来说,这些核素包括:铀系核素、钍系核素、镭系核素和 ^{40}K ^[1]。这些放射性核素在发生衰变时均会放射出伽马射线,而且在煤粉燃烧时不会生成气体,而是残留在粉煤灰中^[2]。伽马射线本身由于能量较大,具有非常强的穿透能力,所以在灰斗或仓泵等容器的容器壁外面就可以探测到^[3]。

无源核子料位计就是利用检测到的伽马射线强度来计算料位高度的,容器内的粉煤灰越多,料位计检测到的伽马辐射强度越强。由于安装使用时不需要对容器壁开孔,所以无源核子料位计属于非接触式料位计,不存在挂灰问题,也就不存在误报警问题,可靠性非常高。

2. 系统构成

无源核子料位计的系统框图如图1所示,主要由闪烁体、光电倍增管、高压偏置电路、脉冲整形电路、单片机和外设接口电路几个部分组成。料位计本身具有无线收发模块,因此可以通过无线方式进行参数的读取与设置。

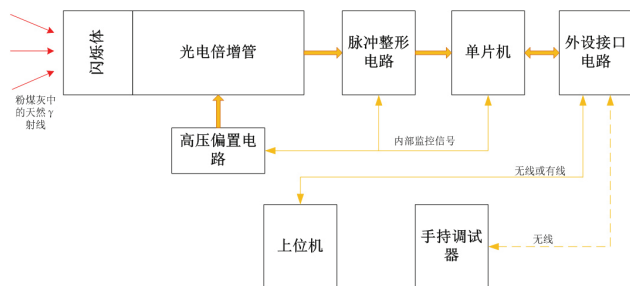


图1 无源核子料位计系统组成

3. 安装与使用

由于无源核子料位计属于非接触式料位计,所以在安装与使用时并不需要在容器壁上开孔。一般而言,可以使用角铁或槽钢等标准型材来制作支架,焊接到容器壁上,并通过管箍和紧固件将其固定即可,在使用过程中,可以通过手持无线调试器或无线上位机来远距离读取和设置参数,本文涉及到的计数率与时间常数即可通过无线方式进行读取或设置。

二、随机误差分析

1. 随机误差来源

根据核辐射理论可知,在一定的时间间隔内,核辐射测量中的放射性事件的发生时刻和发生次数都是随机的,即放射性事件具有统计涨落性^[4]。例如,核衰变、射线与物质的相互作用、带电粒子在介质中损耗能量而产生电子和离子对等事件的发生次数和发生时刻都是随机的。

无源核子料位计用以计算相对料位高度或料位百分比的原始数据是在某一固定时间(比如一秒)内检测到的能量高于某一固定阈值的伽马射线的个数,也就是射线计数率,简称计数率。由于伽马射线辐射本身具有统计涨落性,所以原始计数率的波动很大,不能直接用于计算料位高度,否则随机误差会特别大,必须要进行一定的滤波处理,以减小波动。一般而言,滤波算法都是采用数字信号处理中常用的滑动平均滤波算法^[5]。

然而,上述滤波算法的时间常数的选取并不是任意的。随着滤波时间常数的增大,输出结果的波动减小,随机误差减小,但是由于算法本身具有低通特性,所以响应时间也会增大。因此,对随机误差随时间常数的变化规律进行研究对于现场使用时的参数设置具有重要的

价值。

2. 实验设计与实施

针对上述问题,利用无锡福特汉姆FD系列无源核子料位计进行了实验研究,记录了不同时间常数下的计数率数据并进行了统计学分析,结果如表1所示。对于随机误差而言,一般是使用标准差来衡量其随机误差的大小。对于正态分布而言,随机变量的取值落在 $\pm 2\sigma$ 范围内的概率为95.44%,落在 $\pm 3\sigma$ 范围内的概率为99.74%^[6]。

表1 不同滤波时间常数下计数率的统计特征量

时间常数	10	20	30	40	50	60	70	80	90
均值	68.0	69.5	67.7	68.3	68.7	68.3	68.1	68.2	67.9
标准差	2.20	1.34	1.60	1.22	0.89	1.14	1.20	0.42	0.38
时间常数	100	110	120	130	140	150	160	170	180
均值	67.7	67.2	68.9	68.4	69.7	67.8	67.8	68.4	68.3
标准差	0.32	0.79	0.28	0.48	0.26	0.22	0.18	0.54	0.32

为了尽量减少周围环境的影响,把料位计放置到一个空房间的角落,并保证测量过程中方圆5米内的环境不发生变化,如图3所示。数据的读取和记录通过厂家提供的配套上位机软件以无线通信方式实现,每个时间常数下记录100个数据,记录间隔为1秒。

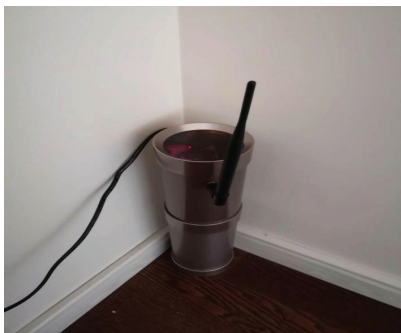


图3 实验中的FD系列无源核子料位计

3. 误差分析

为了更加直观地展现随机误差随时间常数的变化规律,以时间常数为横轴,标准差为纵轴绘制了二者的关系曲线,如图4所示。

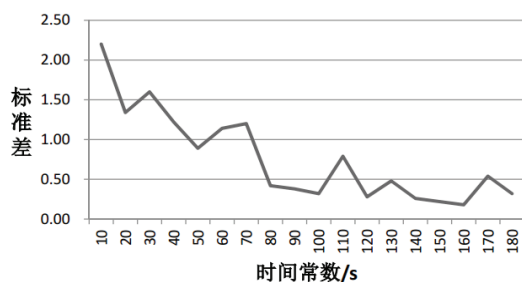


图4 标准差随时间常数的变化

图中曲线之所以并不平滑,其可能的原因在于:

(1) 样本数不够大;(2) 环境中存在一些随机干扰。尽

管如此,总体趋势却是非常明显的。

总体而言,随着时间常数的不断增大,随机误差不断减小。在时间常数小于80时,随机误差随时间常数的增大衰减较快;在时间常数大于80时,随机误差随时间常数的增大衰减较慢。而且,在时间常数大于80以后,标准差的变化已经非常缓慢,基本维持在0.5以下。在时间常数大于80以后,无源核子料位计的测量精度的已满足1级标准。

对于无源核子料位计在实际应用中的时间常数具体应该设置为多少,要综合考虑动态误差和随机误差。对于灰斗应用而言,在发电机组满负荷运转情况下,从料空到料满的时间一般为5小时以上。通过实测发现,将时间常数设置为100,完全能够满足现场输灰的动静态要求。

4. 现场应用

下图为现场安装于某灰斗的无源核子料位计和变化数据过程。



图5 安装于灰斗上的无源核子料位计

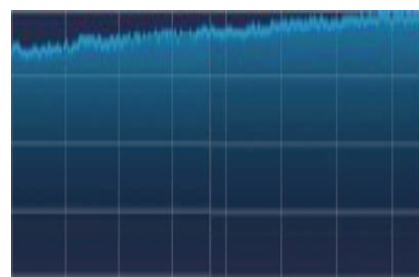


图6 灰斗仓泵停止输灰1小时料位计射线数变化过程

该无源核子料位计滤波时间常数设置为100,将灰斗下输灰仓泵停运1小时,监测(采样周期为1S)到的无源核子料位计射线数值变化过程,数值从42增大48,该变化过程符合灰斗灰位上涨运行工况,数值变化近似为1条斜线,数值变化过程中未见数值异常抖动,无源核子料位计稳定性好,测量精度高,完全满足灰斗料位监测报警需要。

三、结论与展望

通过设计和实施具体的实验,研究了FD系列无源核子料位计的随机误差与滤波时间常数之间的关系。实

验结果表明,随着时间常数的增大,随机误差逐渐减小,而且在时间常数大于80以后,其衰减速度已经大大降低。因此,对于FD系列无源核子料位计而言,在实际应用中,时间常数大于80即可。

本研究思想和结论,对于无源核子料位计在实际应用中的滤波时间常数的设置具有很高的参考价值。下一步的工作计划是,对于动态响应误差和随机误差所形成的综合误差进行定量的分析,并通过现场试验获取具体数据,为无源核子料位计的应用提供更多的参考。

参考文献:

[1]杨东星.无源核子料位计的蒙特卡罗模拟方法研

究[D].新疆:新疆大学硕士学位论文,2015.

[2]张覃,毛健全,喜生鹏.粉煤灰的放射性及防护[J].粉煤灰,2001,(5):25-26

[3]谢希成.无源核子灰斗料位计的蒙特卡罗模拟及软件设计[D].成都:成都理工大学博士学位论文,2015.

[4]汤彬,葛良全.核辐射测量原理[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2011.

[5]普洛克斯.数字信号处理[M].北京:电子工业出版社,2014.

[6]盛骤.概率论与数理统计[M].北京:高等教育出版社,2008.