

务实与探索

-无源核子料位计的试验与应用

乔思宇¹，谢俊雄²

(1.华能上海石洞口第一电厂，上海 200942；2.华能上海石洞口第一电厂，上海 200942)

[摘要]: 通过对无源核子料位计的研究和试验，对放射量、脉冲数进行定量分析，从输灰管、仓泵到灰斗，对无源核子料位计的实际使用情况进行验证和数据分析，对控制系统提出设想和改进，在提高自动化和可靠性的同时，达到节能减排的目的。

[关键词]: 无源； γ 射线；脉冲数；数据分析；节能方向；发展趋势

料位计是对容器中固体物料高度的变化进行实时检测的仪表，如电容、雷达、音叉和超声波等各种形式的料位计已广泛应用于电力生产行业，通过监控输灰系统中煤、灰等粉状物的料位进行排放和输送控制，常见的安装方式为插入式，传感器的探头直接与粉料接触，实际生产过程中，因测量介质由于冷热变化，容易粘附，造成流动性差等特点，形成挂灰现象，导致测量误差较大，造成缺陷数量多，输送效率低和维护费用高等问题。早期采用的有源核子料位计是一种非接触式的物位检测设备，具有测量精度高、安装简便和寿命长等特点，尤其是在高温、潮湿的恶劣环境中，反应速度快，稳定性高，但从安全性而言，该设备会对人体造成辐射伤害，因而逐渐退出市场。后来发现，被测介质本身具有微量放射性变化，于是出现了新型无源核子料位计。它能否在保证安全的大前提下，同样具备有源核子料位计的优点？一直以来人们持怀疑和否定的态度。早期有源核子料位计的品牌有德国E+H、伯托公司，而无源核子料位计以国产品牌为主，进口品牌进入国内市场的时间相对较晚，市场占有率并不高。

1 仪表背景

无论是有源还是无源类型的核子料计都是基于对 γ 射线的数量计数来进行测量，下面对射线的种类及大致原理作简单的介绍。

1.1 发展介绍

γ 射线又称 γ 粒子流，首先由法国科学家P. V. 维拉德发现，是继 α 、 β 射线后发现的第三种原子核射线，如图1-1所示。 γ 射线是因核能级间的跃迁而产生，原子核衰变和核反应均可产生 γ 射线。 γ 射线具有比X射线还要强的穿透能力，当 γ 射线通过物质并与原子相互作用时会产生光电效应、康普顿效应和正负电子对三种效应。核子料位计利用 γ 光子造成的上述次级效应，通过光电子、正负电子对的能量进行测量。

核子料位计分为有源和无源两种，从早期需要放射源的有源核子料位计发展到仅需要探测器的无源核子料位计。有源核子料位计是通过放射源发射 γ 射线与物质发生相互作用

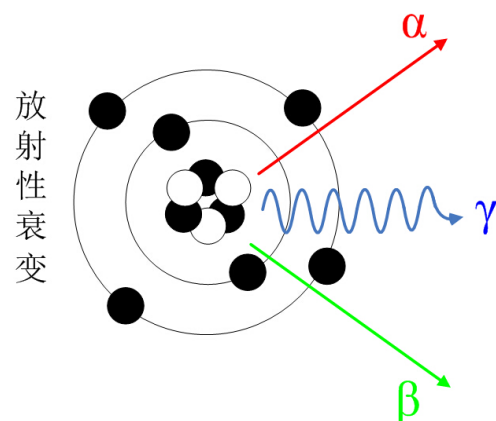


图 1-1

形成衰减，随着物位的变化，辐射剂量率会相应的变化，最后由探棒接收辐射并转换成电信号。无源核子料位计是一种相对被动的测量设备，不使用放射源，接收物料自身放射出 γ 射线并转换成电信号，根据物位高低的不同，所接收 γ 射线的强弱来测量物料，如图 1-2 所示。

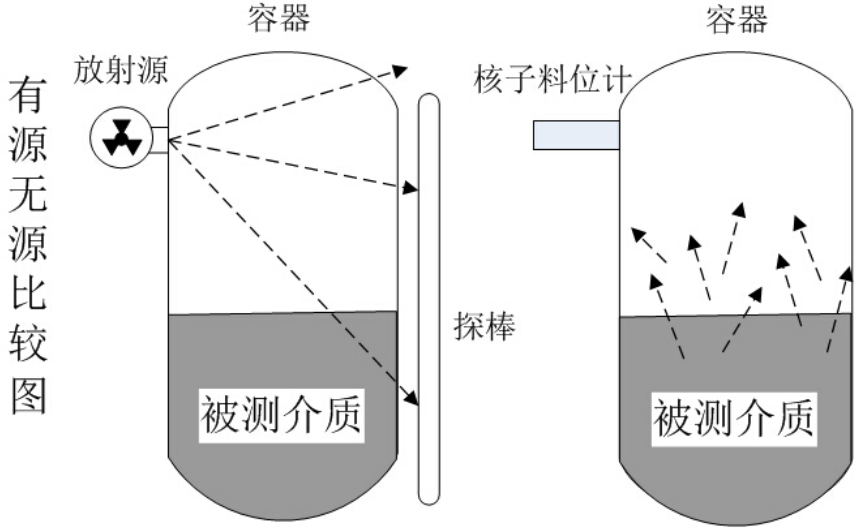


图 1-2

1.2 工作原理

无源核子料位计是通过测量 γ 射线的辐射强度来判断物料的位置。 γ 射线的辐射强度与物质厚度的关系服从指数规律，函数表达式如 1-1 所示， I_0 为起始 γ 射线的辐射强度； I 为 γ 射线穿过物质后的辐射强度； d 为 γ 射线所穿过物质的厚度，单位为 cm ； ρ 为 γ 射线所穿过物质的密度，单位为 g/cm^3 ； μ 为物质对 γ 射线的质量衰减系数，单位为 cm^{-1} 。

$$I = I_0 e^{-\mu \rho d} \quad (1-1)$$

无源核子料位计的探测器接收 γ 射线的辐射强度与空间距离的关系成平方反比，函数表达式如 1-2 所示， α 为辐射方向与平面的夹角； r 为某点到 γ 射线源的距离，单位为 m 。 γ 射线的辐射强度与源辐射强度成正比，与距离的平方成反比，如图 1-3 所示。

$$I = I_0 \frac{\cos \alpha}{r^2} \quad (1-2)$$

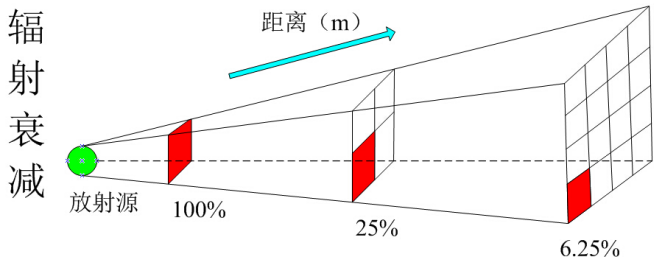


图 1-3

1.3 结构组成

无源核子料位计的探测器由信号放大模块、抗干扰模块、信号运算模块、信号输出模块和无线输出模块组成，如图 1-4 所示。 I_1 为环境辐射直接到达探测器； I_2 为被测介质的辐射到达探测器； I_3 为环境辐射穿透容器到达探测器； I_4 为环境辐射被介质阻挡不能到达探测器。探测器能接收到辐射 I_1 、 I_2 和 I_3 ， I_1 较为稳定与物位的变化无关，利用处理程序得到被测介质辐射 I_2 和环境辐射 I_1 、 I_3 的变化规律，计算出被测介质的物位。

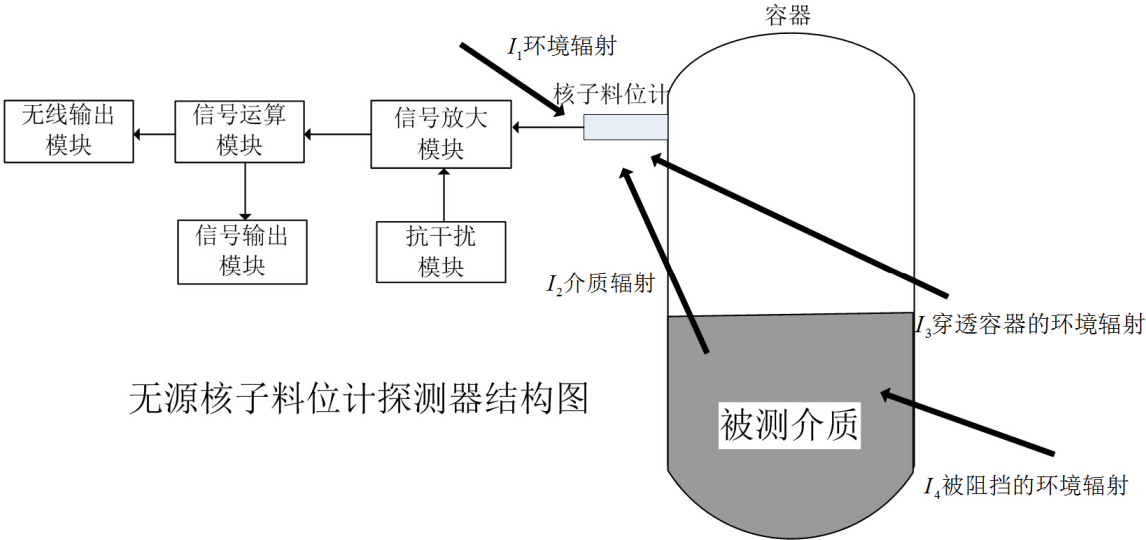


图 1-4

2 仪表实验

2.1 实验内容

实验分为空管测试、满管测试和清空后测试。探测器通过接收 γ 射线形成计数脉冲，并将测量值转换为物位的百分比（百分号隐含），测量的结果分别为 0%、100% 和 32%，如图 2-1 所示。

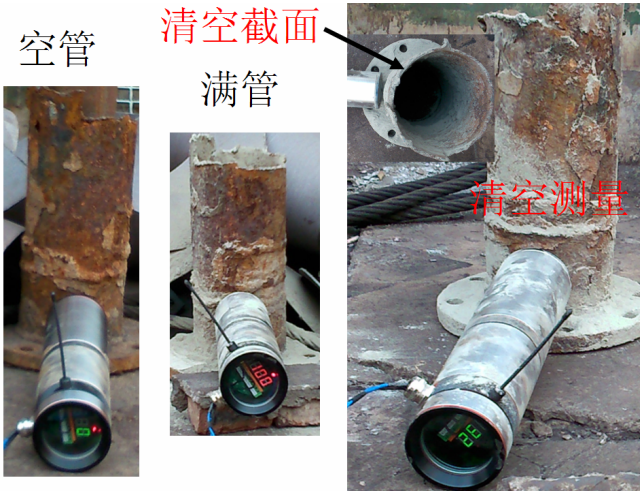


图 2-1

2.2 实验结论

1. 周围环境对测量的影响：由于电厂自身环境有一定的放射量，每个表的探棒（传感部分）的灵敏度的不同，造成了仪表自身存在差异，即使同一批表，每个表的基准零位都有微小的差异。
2. 金属管道的影响：只有在金属容器中，才会产生 γ 射线变化，并随着管道的增加，射线粒子数会增加，当管道满管后，再增加放射源，将不起作用，说明一定的管道决定了射线粒子数量，实验表明每上升 1 厘米，射线粒子数会增加 1-5 个。
3. 管道清空后，由于管壁仍有部分飞灰，因此读数不为零。管道里面套管道，射线粒子数会下降。材料不同，下降的粒子数也不同。
4. 仪表读数的选择：可以选择 0-100% 的物料作为前台显示，为了保证仪表的稳定性，采样时间为 10 秒，每 10 个射线粒子计一个脉冲，连续五次采集脉冲数的总和作为测量值。

3 仪表应用

3.1 应用方法和测试手段

煤质发生变化及灰样是否发生变化，灰量是否增加，输灰困难究竟在哪段？灰斗、仓泵、输灰管这些地方出现问题，都将直接导致系统运行工况恶化，造成堵管。无源核子料位计能改变这一状况。目前业界一般都安装在灰斗应用最多，仓泵也比较少，输灰管则是首创。

首先通过无源核子料位计试验和分析，对输灰系统中的仓泵、输灰管进行安装测试，尤其是输灰管是创新应用，通过输灰管道灰量的变化，来观察管道的畅通度如图 3-1 所示。

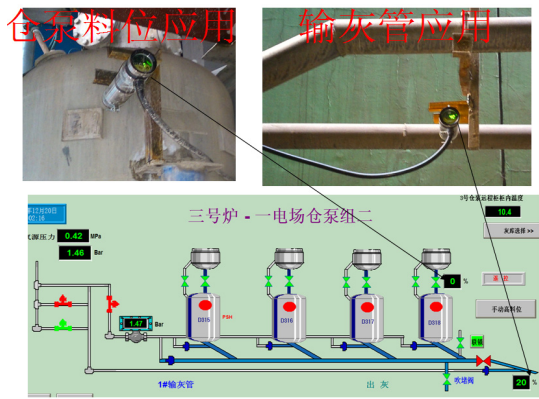


图 3-1

图中左上方显示的是仓泵实物安装照片，右上方显示的是输灰管实物安装照片，下半部分是实际控制显示界面。仓泵物料通过百分符号直观地显示出灰量占筒仓的百分比，同时方便热控人员设置仪表的量程，输灰管显示的是 20%，表明灰量占输灰管道的百分之二十。

如何定标，基本法则是：

测量值=基数+脉冲数

仪表的最小值=环境基数+空罐脉冲数

仪表的最大值=环境基数+满罐脉冲数

理论上比较容易，但实际定标比较困难，因为即使是空罐，也不能保证罐内没有灰料，其次因罐内灰量不可见，无法确定何时是满罐状态。利用之前实验，100mm 管道脉冲变化量在 25 左右（不同的厂家会有不同），根据筒仓和管道的大小，等比例放大。

因无法准确掌握这些设备内的灰量，如遇堵管情况，无法判断堵塞的具体位置，极大影响了系统的运行效率，下面公布二组照片。

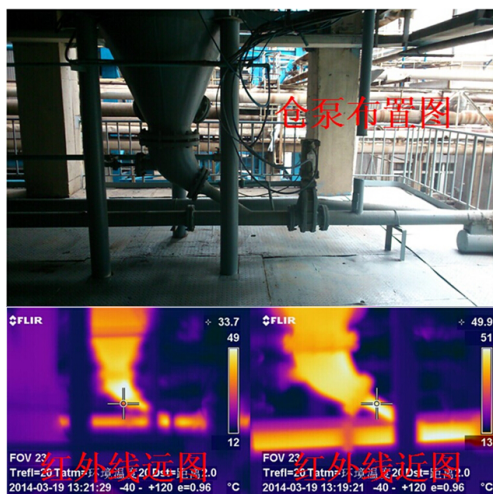


图 3-2

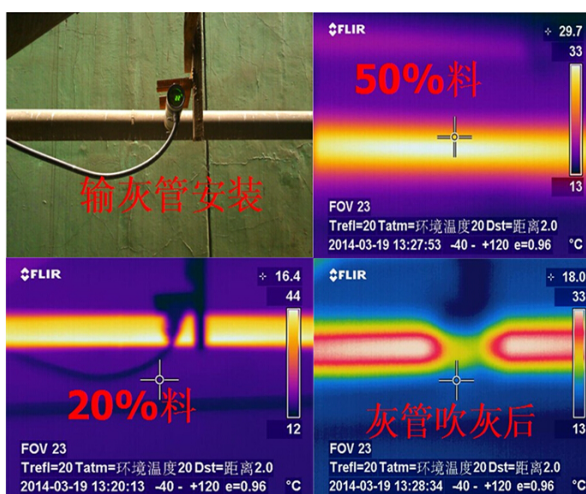


图 3-3

红外热成像仪应用于电气设备的超温检查,开关节点检查,而从未用于输灰系统的检查,本文率先采用红外热成像技术,基于飞灰的高温,将容器内灰料的实际物位以温度分布图像的形式呈现出来并以此作为依据验证无源核子料位计测量的准确性,输灰管和仓泵的红外热成像分别如图 3-2, 3-3 所示。热成像图上物体呈现的颜色与温度相关,测量值与实际灰位一致。不仅能对灰的物位进行比对,还能看灰的动态流动情况。实际图像和无源核子料位计料位物位比对,完全一致,仪表的标定方法正确可靠,仪表是可信的。

输灰系统验证正常,仪表示值正确,进行灰斗的标定,由于灰斗有保温层,无法用红外热成像仪观察,同时它的放射量会衰减,如何测量和标定? 通常采用下列两种方法测试:

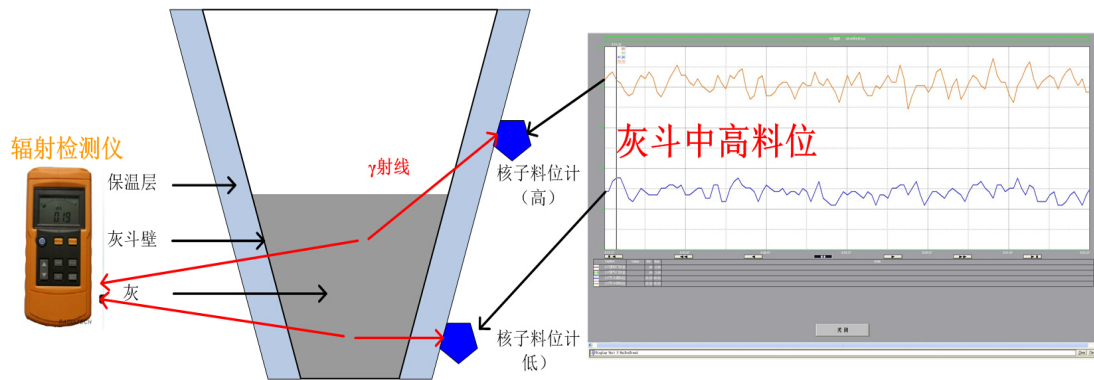


图 3-4

(1) 通过手持式 γ 射线探测器测量灰斗的放射量验证探测器的测量值。

(2) 由于灰斗的料位显示比较缓慢,可以通过仪表的曲线跟踪来设定量程。

由于保温层材质的影响,造成灰斗 γ 射线数下降,根据实测和经验,灰斗的低料位,基数变化,和仓泵的高料位基数变化一致。如仓泵环境基数是 50,变化脉冲在 100,那么仓泵显示值定标,50 对应 0%,150 对应 100%,灰斗环境基数是 60,低料位变化脉冲也就在 100,那么灰斗低料位显示值定标,60 对应 0%,160 对应 100%,同时也可以低于 160 这个值显示低料位。

灰斗的高料位,差值变化量,是灰斗低料位的 2-4 倍

灰斗的低料位,差值变化量,是 100 左右,数值和仓泵接近。

3.2 数据分析

数据分析是指用一定的统计方法对收集来的大量第一手资料进行分析,通过不同的排列比对、大量的实际数据趋势,为用户提取各种信息、帮助推导并形成结论,是对数据加以详细研究和概括总结的过程。

从马航 MH370 失联和发动机卫星数据分析,上海市统计局选择与电商领军企业 1 号店携手建立一套科学、可持续的日常消费品价格指数体系,再到淘宝的数据魔方,无不体现了这种理念,随着计算机技术的发展,为我们提供了各种应用平台,对于我们工业用户和自动化控制来说尤为重要,下面列了一些数据趋势的截屏,供大家观察和探讨。

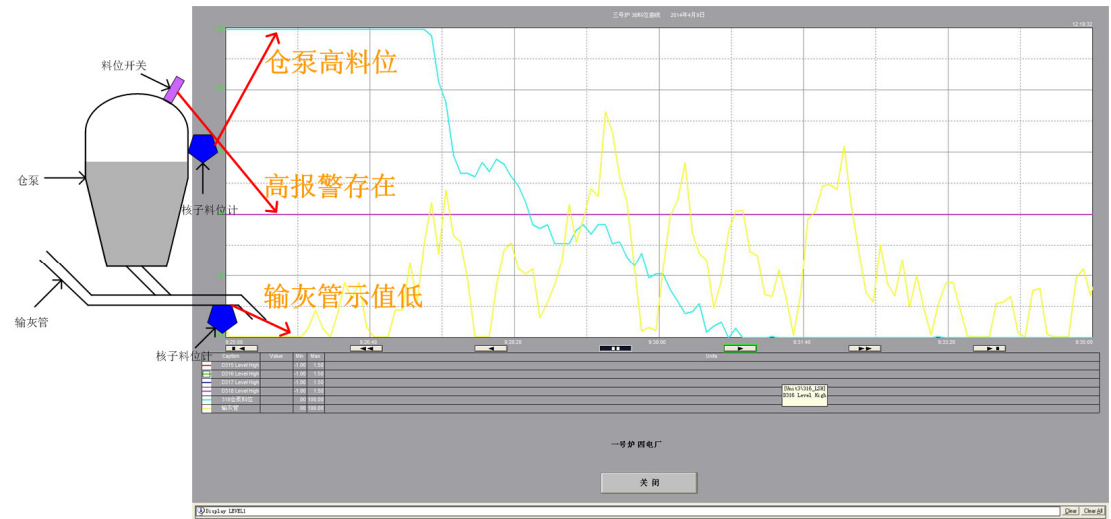


图 3-5

从图 3-5 中可以看出仓泵从高料位到出灰的情况,紫色表示仓泵高料位(料位开关)报警不消失,蓝色线代表核子料位计的变化情况,黄色代表输灰管的变化情况。在检测的可靠性方面,核子料位计优于普通的开关量料位计。

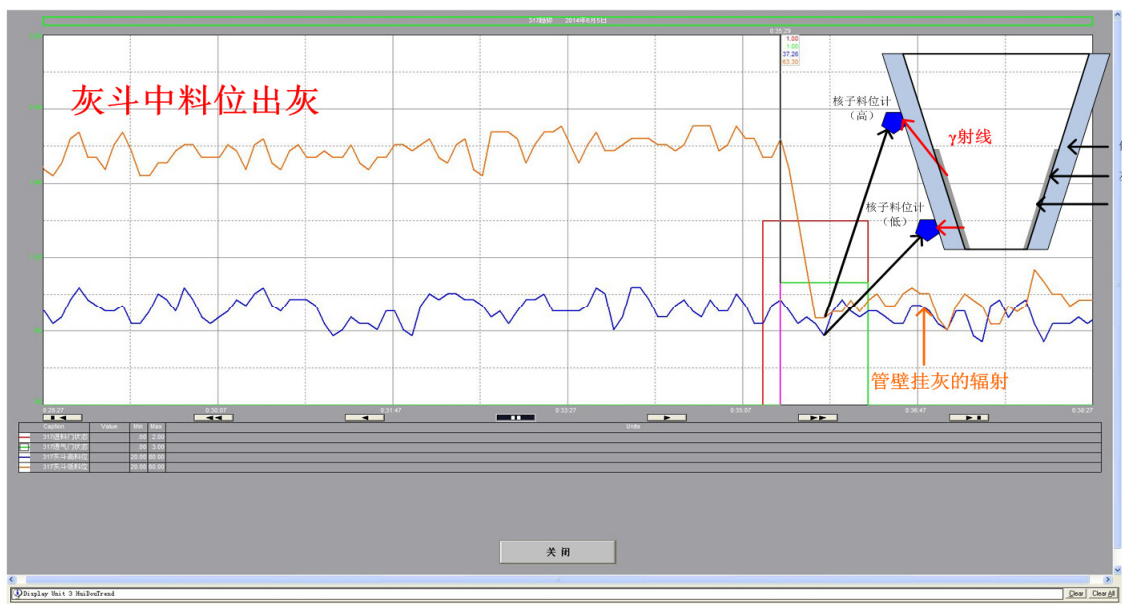


图 3-6

从图 3-6 中可以看出灰斗出灰的情况,黄色表示灰斗高料位(核子料位计),蓝色表示灰斗低料位(核子料位计),棕色和紫色表示透气门出料门,高低料位显示正常,出灰后,

基本一致，底部有少量的挂灰，实际上还可以推断很多信息，在低料位多装一台可以长期准确跟踪底部灰量的变化，也可使用一台核子料位计实现容器内灰量的全量程显示。

4 性能分析

从目前的使用情况来看，无源核子料位计有下列特点：

1. 无源核子料位计采用非接触式测量，就地贴近安装，工艺简单，对本体不进行任何破坏，不影响本体运行，没有磨损问题，传感器不会出现挂灰挂料的情况。
2. 采用核技术，利用被测介质微量射线的变化量进行计算测量。对周边人身和设备没有任何影响。
3. 由于料位计安装位置都比较高，仪表具有无线远程调试，可以用遥控器进行远程设置仪表参数，避免多次高空作业。
4. 由于被测介质的腐蚀性，接触式料位计常常锈迹斑斑，甚至影响正常使用，需要定期更换。而无源核子料位计，无直接损耗，使用寿命长，基本无周期限制，更不需要维护，初期投入高，但后期维护成本小。
5. 抗干扰能力强。新一代无源核子料位计在保证测量准确性的同时还能经受周边射线的干扰，保证的测量的稳定性和可靠性。
6. 除了有传统 4-20mA 模拟量输出，还可以通过 485 进行 2G 或 3G 无线传输，接入不同 PLC 和 DCS 等控制系统。
7. 自检功能，能实时检查内部高压电源是否正常、并有节电睡眠模式，能减少仪表自身的功耗。

5 节能环保

无源核子料位计的诞生，就是为除尘系统服务的，相关的控制系统无不和它息息相连。从电除尘控制系统到负荷、厂用电、煤种、高频脉冲控制最终都可以从灰量来分析这些控制的合理性，如果除尘效果不理想，灰量不正常的少，会加剧吸风机磨损，甚至影响机组出力。

在烟气低低温技术方面，核子料位计可以作为一个评判除尘效果的依据。低低温改造工程大幅降低了电除尘器入口烟气温度，势必会延长电场内粉尘的停留时间，从而改变经除尘后进入灰斗的灰量。通过无源核子料位计对灰位的实时测量并结合历史曲线图，可以计算出单位时间内落入灰斗的灰量，建立负荷与灰量关系的参照表，经过比对参照表，分析出烟气在低温状态下的除尘过程是否有序高效。同时非接触式测量可以防止灰料因低低温结露导致流动性变差，造成测量误差大的情况。

在仓泵控制系统方面，核子料位计可以为空压机的节能输出提供数据保障。很多厂在输灰时仓泵以时序方式进行控制，在灰量多的情况下造成无法及时排灰，在灰量少的情况下，势必会导致压缩空气的浪费、传输效率的降低和对管道阀门的磨损。通过核子料位计精确的测量，在确保不堵塞的情况下，让灰的传输量最大化，因此有效地减少了压缩机工作时间，使管道中的气灰比降低 70% 以上，延长压缩机寿命并减少每次的用气量。数据表明，仅压缩空气量就可减少 45% 以上。采用空压机低电流间隔输出的方法，空压机电流的输出周期为 375 秒，电流的输出间隔为 125 秒，如图 5-1 所示。

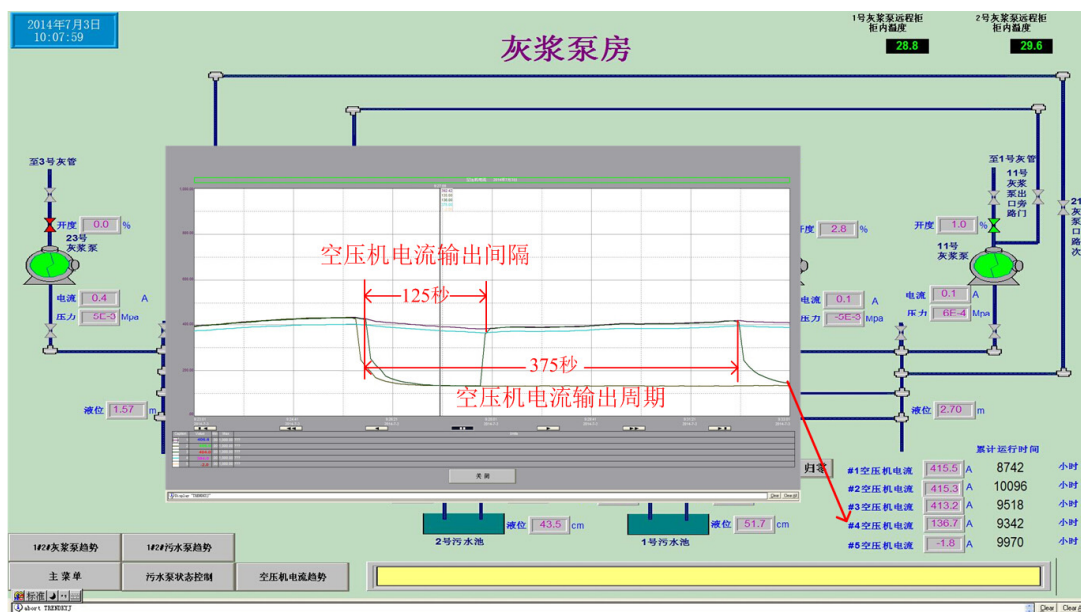


图 5-1

节电量析:

$$\Delta P = 1.73 \cdot U \cdot \Delta I \cdot \cos \phi \cdot \eta = 1.73 \cdot 380 \cdot (415 - 136) \cdot 0.9 \cdot 0.9 = 148.5 \text{ (Kw)}$$

$$P1 = 148.5 \cdot 125 / 375 = 49.5 \text{ (Kw)}$$

$$W = P1 \cdot t = 49.5 \cdot 24 \cdot 365 = 433620 \text{ 度/年}$$

节电费用:

按上网电价 0.28 元/度，每年节约电费=433620*0.28=12.14 万元。

在电除尘控制系统方面，核子料位计可以为停用部分电场提供数据保障。通过分析，如果三、四电场灰量确实少便可依次停用，一个电场平均电流以最少 100 安培计，每晚 8 小时，平均 2400 小时/年。

节电量分析:

$$P = 1.73 \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi \cdot \eta = 1.73 \cdot 380 \cdot 100 \cdot 0.9 \cdot 0.9 = 53.2 \text{ (Kw)}$$

$$W = P \cdot t = 53.2 \cdot 2400 = 127680 \text{ 度/年}$$

节电费用:

按上网电价 0.28 元/度，每年节约电费=127680*0.28=3.575 万元。

6 前景和发展

无源核子料位计作为一种新型的物位测量设备，虽然已出现了将近十年，但相关的完善理论和技术应用处在起步阶段，并未在生产加工领域得到广泛的应用。本文先行先试，从其工作原理开始探索和研究，通过实验验证后应用到输灰系统中灰斗和仓泵的物位测量，其中对输灰管的应用在业界属首例。运用红外热成像、仪器测量、数据分析等多种技术手段进一步验证物位测量的精度和可靠性。实验和实践证明了无源核子料位计可以为系统的可靠运行提供有力的保障，同时在烟气低低温改造和仓泵空压机、电场节电方面提出了可行的建议和方案。

人们往往认为自动化产品仅仅是一个简单的安装和调试，其实有许多细节之处是被人们所忽略的，如何选择产品，完成构架，实现控制，每一步都需要完成大量的工作。产品的正确使用，可以让它发挥巨大的作用，它可以是我们的眼睛、神经感受被控事物的变化，帮助我们进行一系列的判断，解读现场事物，完善控制工艺，把更多的事情交给计算机去处理，

达到事倍功半的效果。

物位的测量一直也是工业自动化领域需要解决的问题之一，从新产品、新技术的研发到新思路、新应用，从生产现场到 IT 技术，从工艺到曲线，无不体现了技术的变革，因此需要我们去捕捉创新灵感，对热控自动化不断提出新要求。在提高生产节能效益的同时，催生发展，引发变革。让我们注重技术细节，应用实践，多方位提出观点和意见，在探索中思考，在思考中获启发。

【作者简介】乔思宇 1989 年 男 上海 助理工程师，2012 年参加工作，华能上海石洞口第一电厂检修部 热控点检
从事水处理和出灰控制 主要研究方向：计算机数据分析。
地址 上海市宝山区盛石路 270 号 邮编 200940
联系电话 13774413425 邮箱地址 QSY198910031@163.com

【作者简介】谢俊雄 1968 年 男 上海 技师，1988 年参加工作，华能上海石洞口第一电厂检修部 热控点检
长期从事水处理和出灰控制 主要研究方向：自动化产品系统构架及应用。
地址 上海市宝山区盛石路 270 号 邮编 200940
联系电话 13801963103 邮箱地址 xjx2429@163.com

Pragmatic and exploration

- Experiment and application of non-radioactive nuclear level meter