

矿用防爆型煤灰分仪的研究与设计

王文清^{1,2}

(1. 北京工业职业技术学院, 北京 100042; 2. 北京市煤炭矿用机电设备技术开发公司, 北京 100042)

摘要: 为了提高采出率、控制含矸率, 需要在煤矿井下用矿用防爆型煤灰分仪对采区原煤灰分进行在线监测。根据煤灰分仪用²⁴¹Am低能 γ 射线在穿过3 mm钢板后衰减94.1%的现状, 提出了射线透窗技术。通过研究各种材料, 多次试验比对, 找到了符合防爆性能要求的透窗材料, 使低能 γ 射线在穿过隔爆壳时的衰减率降低至40.6%; 选择双源分置、双 γ 探测仪技术消除了¹³⁷Cs的康普顿效应对²⁴¹Am的计数干扰, 同时解决了Cs、Am计数范围不兼顾的矛盾。采用该技术设计的矿用防爆型煤灰分仪已在铁煤、焦作、兖矿等煤矿集团使用, 现场测试表明, 其精度满足了用户需求。

关键词: 采出率; 矿用防爆; 煤灰分仪; 射线透窗; 低能 γ 射线

中图分类号: TH89 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336 (2012) 02-0087-04

Research and Design on Mine Flame Proof Coal Ash Analyzer

WANG Wen-qing^{1,2}

(1. Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China; 2. Beijing Coal Mine Electrical Equipment Development Company, Beijing 100042, China)

Abstract: In order to improve the mining rate and control the coal rejects rate, a mine flame proof coal ash analyzer was required to on-line monitor and measure the ash content of the raw coal from the mining face. According to the status of the ²⁴¹Am low power γ rays applied for the ash analyzer would be reduced by 94.1% after the rays penetrated through a 3 mm steel plate, a ray penetrated window technology was provided. With a study on different materials and the several experiments and comparisons, a penetrated window material with the flame proof performance requirements was found and the reduction rate of the low power γ ray could be reduced to 40.6% after penetrated through the explosion proof shell. With the selection of the double sources divided device, the double γ rays detector technology could eliminate the ¹³⁷Cs Compton effect affected to ²⁴¹Am counting number and could solve the non-consideration contradiction in the scope of the Cs and Am counting numbers. The mine coal ash analyzer designed with the double γ rays technology was applied to the Tiefa, Jiaozuo, Yanzhou and other coal mining group. The site measurements and tests showed that the accuracy could meet the requirements of the customers.

Key words: mining rate; mine flame proof; coal ash analyzer; ray penetrated window; low power γ ray

矿井装备水平的提升, 可提高矿井采出率^[1-2]。目前, 高产高效矿井多数是采用放顶煤工艺采煤。由于接近顶板的顶煤与顶板岩石形成煤、岩混合段。顶煤放得少, 采出率也就越低; 放得多, 采出率就高, 原煤的含矸率就大。因此, 采出率与含矸率的高低取决于人的因素^[3]。这就要求为放煤工提供科学的操作依据, 按原煤

含矸率适量排放顶煤, 提高采区采出率, 降低原煤含矸率。少运矸石, 提高煤矿的有效运力, 减少煤矿运输的电力消耗, 降低碳排放。原煤灰分是反映原煤中含有矸石量的指标^[4]。目前监测原煤灰分的方法主要有2种, 一种是采样、化验与目测相结合的方法; 另一种是将地面普通型煤灰分仪安装在井口、选煤厂的输送机上^[5]在线检测

收稿日期: 2011-10-22; 责任编辑: 赵 瑞

基金项目: 北京市教育委员会资助项目 (PXM-2009-014225-083162); 国家科技型中小企业技术创新基金资助项目 (10C26221100044)

作者简介: 王文清 (1963—), 男, 北京人, 高级工程师, 硕士。Tel: 010-51511330, E-mail: wwenqing@sina.com

网络出版时间: 2012-02-15 11:28; 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120215.1128.025.html>

引用格式: 王文清. 矿用防爆型煤灰分仪的研究与设计 [J]. 煤炭科学技术, 2012, 40 (2): 87-90.

井下原煤灰分。采样、化验与目测相结合的方法是在原煤生产过程中,煤质员将工作面采集到的煤样送到地面化验室化验,放煤工依靠对原煤灰分的目测和煤样灰分化验值的比来控制顶煤的放出量,这种方法的缺点是煤样化验时间长,煤样覆盖范围窄,实时性差,人的因素对煤质影响大,煤质波动大。

将地面普通型煤灰分仪安装在井口、选煤厂输送机上实现原煤灰分的在线检测、控制原煤灰分的方法得到了广泛的应用。但井口或选煤厂获取的原煤灰分数据相对井下采区的放煤有较长的滞后性,因此采区放顶煤的控制不可避免地存在滞后性,实际运用效果不理想。

如果能将煤灰分仪前置到采区工作面的输送机上,采区就可根据煤灰分仪监测到的原煤灰分实时指挥放顶煤生产,为提高煤炭采出率、控制含矸率提供保障。但地面普通型煤灰分仪不具备防爆特性,不能应用于煤矿井下。因此,急需能够在井下使用的矿用防爆型煤灰分仪对井下原煤灰分进行实时在线监测,满足煤矿控制原煤灰分、提高采出率的需求。

1 矿用防爆型煤灰分仪设计方案

煤灰分仪由 γ 射线输出器、ZAD127-T 矿用隔爆兼本安型 γ 射线探测器、ZAD127-XK 矿用隔爆兼本安型显示控制器等构成,如图 1 所示。地面中心站可以接收煤灰分仪的实时数据。各个管理部门的计算机通过网络与地面中心站相连,实现对煤灰分仪数据的实时共享,满足多用户对灰分数值监测的需求。

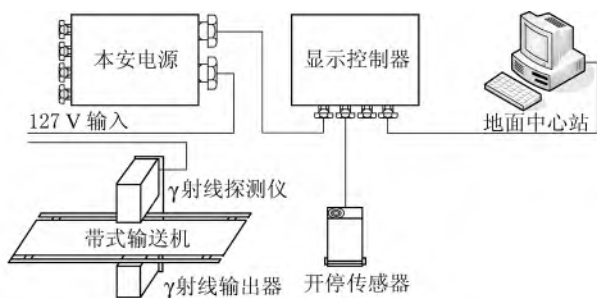


图 1 矿用煤灰分仪监测系统

矿用防爆型煤灰分仪的设计难点在于如何提高矿用防爆型 γ 射线探测器对低能 γ 射线的探测效率。理论上,矿用防爆型 γ 射线探测器有 2 种

设计方案。

1) 方案 1。将 γ 射线探测器设计成本安型,本安型探测器的最大优点是低能 γ 射线的接收效率可以达到地面普通型 γ 射线探测器接收效率的 100%。本安型 γ 射线探测器要求用本安电源供电。由于 γ 射线探测器在工作时需要 1 500 V 左右的高压,因此,必须设计出符合要求的高压本安电源。高压电源通常是采用 DC/DC 将低压直流电转换成高压直流电。为了使高压直流电源满足本安特性,目前采用的方案是在高压电源输出端加安全栅电路限制电流输出。安全栅电路由限流电阻和稳压管组成。电压越高,限流电阻越大,电源的等效内阻也越大,其稳定性也差。受其影响, γ 射线能谱峰值稳定性也差,影响 γ 射线的探测精度。所以,在高压电源电压到达一定电压值后,电源输出加安全栅设计本安电源的方案就不可行了。即把 γ 射线探测器设计为本安型的方案不可行。

2) 方案 2。将 γ 射线探测器做成隔爆型,即把 γ 射线探测器装在一个隔爆壳里。隔爆壳通常采用不小于 3 mm 厚的钢板制成。但低能 γ 射线在穿透 3 mm 钢板时,钢板吸收了 94.1%。因此,隔爆壳内的 γ 射线探测器接收到的低能 γ 射线还不到防爆壳外的 6%。

在现有的探测器灵敏度条件下,增加 ^{241}Am 源的强度可以增加防爆壳内 γ 射线探测器接收到的 γ 射线强度,满足防爆煤灰分仪对其低能 γ 射线计数精度的要求,但需要将 ^{241}Am 的源强增加 20 倍,达到 4 000 mCi,以 ^{241}Am 源现有的生产水平,目前技术上不可行,即使将来技术上可行,因放射源强度的加大会造成煤灰分仪成本的大幅上升,用户也无法接受;另外根据国家环境保护总局制定的《放射源分类办法》的规定“IV 类 Am 源的强度范围是 16 ~ 1 600 mCi,超过 1 600 mCi 的强度为 III 类”。国家对 III 类源的管理力度较 IV 源会加大,对用户管理会更严格,从环保上讲也不适宜加大源强。

综上所述, γ 射线探测器无论采用本安型设计方案,还是采用普通的隔爆型设计方案,目前都无法满足既保证 γ 射线探测器满足防爆性能,又满足煤灰分仪对低能 γ 射线的计数精度要求。笔者通过研究和试验,提出了一种创新的设计方

案: 将 γ 射线探测器设计成隔爆型, 在隔爆型 γ 射线探测器的防爆外壳端盖上设计一个射线透窗, 为低能 γ 射线穿透防爆壳时提供一个低衰减的通道, 提高了低能 γ 射线的探测效率。

2 矿用煤灰分仪的设计实现

2.1 γ 射线输出器

γ 射线输出器由低能源²⁴¹Am、中能源¹³⁷Cs 和防护贫铀铅罐组成。低能源和中能源分装在 2 个贫铀防护铅罐内。低能源²⁴¹Am 为 300 mCi, 中能源¹³⁷Cs 源为 20 mCi。 γ 射线输出器表面辐射水平小于 10 μ Sv/h, 符合 GB/T 4075—2009 《密封放射源一般要求和分级》规定。

2.2 ZAD127 矿用隔爆兼本安型 γ 射线探测器

γ 射线探测器由防爆壳、电源模块、数据处理单元和闪烁探测器组成。闪烁探测器由高压电源、线性放大器、高斯成型电路、多道脉冲幅度分析器、稳峰控制电路和 NaI 晶体组成。闪烁探测器接收低能 γ 粒子和中能 γ 粒子, 并将其转换成光信号, 光信号经光电倍增管转换成电脉冲信号, 经线性放大器放大, 高斯成型电路、多道脉冲幅度分析器、数据处理单元分析计算出煤灰分值, 通过 RS485 接口远传。

2.3 ZAD127-XK 矿用隔爆兼本安型显示控制

显示控制器由防爆壳、触摸屏工控机、隔离输入/输出接口板等组成。触摸屏工控机接收 γ 射线探测器的数据, 显示灰分数据, 并按照地面的指令将灰分数据上传, 对 γ 射线探测器的数据进行标校。

3 煤灰分仪测量误差

矿用防爆型煤灰分仪灰分测量范围为 3% ~ 65%, 适应煤层的质量厚度 (γ 射线穿过物质的厚度与物质密度的乘积) 为 1 ~ 25 g/cm² (对于灰分低于 50% 的原煤)。煤灰分仪用于低灰分 (3% ~ 15%) 测量, 误差为 $\pm 0.4\%$; 用于中灰分 (15% ~ 30%) 测量, 误差为 $\pm 0.9\%$; 用于高灰分测量, 在煤灰分为 30% ~ 45% 时, 误差为 $\pm 1.5\%$, 煤灰分为 45% ~ 65% 时, 误差为 $\pm 2.0\%$ 。

以铁法煤业集团小康矿为例, 2003 年选用了双源复合型煤灰分仪, 2010 年又升级成双源分置

型。2 种煤灰分仪在使用中的抽检误差见表 1。

表 1 2 种煤灰分仪在小康矿的抽检误差 %

煤样 编号	双源复合型煤灰分仪			双源分置型煤灰分仪		
	化验值	灰分仪显示值	误差	化验值	灰分仪显示值	误差
1	44.21	45.91	-1.70	45.13	46.55	-1.42
2	47.66	48.79	-1.13	55.03	54.99	0.04
3	49.36	46.23	3.13	52.28	53.09	-0.81

4 矿用防爆型煤灰分仪关键技术研究

要将煤灰分仪前置到煤矿井下采区工作面以实现原煤灰分仪的准确监测, 需要解决 2 个难题: ①因低能²⁴¹Am 的 γ 射线穿透能力差, 在防爆壳内的 γ 探测器对防爆壳外低能 γ 射线的探测效率低于 6%, 矿用防爆型煤灰分仪不能正常工作; ②当煤矿井下采用钢丝输送带, 厚煤层、大流量运输时, 如何保证其测量精度。矿用防爆型煤灰分仪采用射线透窗技术, 双源分置、双 γ 探测器技术较好地解决了上述难题。

4.1 射线透窗技术

选择透窗材料要同时满足 2 个条件: ①对低能 γ 射线衰减率小, ②要符合防爆性能要求。射线透窗结构如图 2 所示。

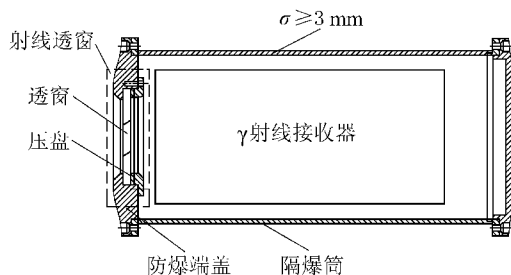


图 2 射线透窗技术方案原理 (σ 为隔爆筒壁厚)

通常认为, 质量厚度大的物质对 γ 射线的衰减率大, 质量厚度小的物质对 γ 射线的衰减率小。笔者选择了非金属 (甲材料, 密度 2.7 g/cm³)、金属合金 (乙材料, 密度 2.8 g/cm³) 和纯金属 (A3 钢板, 密度 7.8 g/cm³) 作为透窗材料, 用符合防爆性能要求的最小厚度分别做了透窗样片, 测试透窗样片对低能 γ 射线的衰减率, 其测试结果见表 2。

由厚 10 mm 的甲材料制造的透窗样片质量厚度为 2.7 g/cm², 厚 6 mm 的乙材料透窗样片质量厚度为 1.68 g/cm², 厚 3 mm 的 A3 钢板的透窗样

片的质量厚度为 2.34 g/cm^2 。

表 2 透窗样片对低能 γ 射线的衰减率

符合防爆的 最小厚度/mm	透窗样片衰减率/%		
	甲材料	乙材料	A3 钢板
3	—	—	94.1
6	—	41.3	99.7
10	40.6	56.6	—

由表 2 可得出: ①乙材料透窗样片对低能 γ 射线的衰减率是 41.3%, A3 钢板透窗样片对低能 γ 射线的衰减率为 94.1%, 测试结论符合质量厚度越大, 衰减率越大的规律; ②尽管乙材料对低能 γ 射线的衰减率与甲种材料相接近, 但乙材料作透窗材料时, GB 3836.2—2010《爆炸性环境 第 2 部分: 由隔爆外壳“d”保护的装置》对它有很多限制, 不适宜作透窗材料; ③甲材料和 A3 钢板对低能 γ 射线的衰减率不符合质量厚度越大, 衰减率越大的规律。甲材料对低能 γ 射线具有较高的通透率, 适合作透窗材料; ④用甲材料制作的射线透窗衰减了 40% ^{241}Am 的低能 γ , 为了保证矿用防爆型煤灰分仪的测量精度, 矿用防爆型煤灰分仪用的 ^{241}Am 源强应是地面普通型源强的 2 倍。

上述结论为设计矿用防爆型 γ 射线探测器提供了一个可行的实施方案, 保证了矿用煤灰分仪的测量精度, 使矿用煤灰分仪能够应用在井下实时在线测量原煤灰分。

4.2 双源分置和双 γ 探测器技术

采用双源复合型 γ 透射煤灰分仪^[1]的 γ 射线输出器, 将低能 γ 源 ^{241}Am 和中能 γ 源 ^{137}Cs 前后放置在同一个铅罐中, 2 种能量的 γ 射线从同一铅罐的准直孔射出, 以同一束射线透过输送带及原煤后被探测器接收。但由于 ^{137}Cs 的康普顿效应造成的 ^{137}Cs 对 ^{241}Am 的影响而带来计数误差, 影响了煤灰分仪的测量精度。

随着矿井产量的增加, 煤炭企业普遍选用带钢丝的强力输送带以提高输送机的运力。普通的煤灰分仪在用于厚煤层时, 低能 γ 源 ^{241}Am 衰减很大; 应用于钢丝强力输送带时, 输送带里的钢丝对 γ 射线散射和衰减更大, 造成灰分仪不能正常工作。如果通过加大低能 γ 射线输出器中的源强来增加 γ 射线探测仪的计数值, 又会要求数据处理电路具有

很大的带宽而增加电路成本和设计难度。

采用双源分置、双探测器技术制成的煤灰分仪^[2], ^{137}Cs 源和 ^{241}Am 源分开 1 m 放置。迎煤流方向, Cs 源在前, Am 源在后, 其相对应的 γ 射线计数器固定在距放射源上方 0.6 m 的支架上。通过测量带式输送机的速度, 采用延迟采样技术, 获得输送带上同一点煤样在通过中能和低能放射源时的 γ 计数, 保证了双源同步。

由于 Cs 源和 Am 源分开设置, 避免了因 ^{137}Cs 的康普顿效应造成的 ^{137}Cs 对 ^{241}Am 的影响而带来的计数误差, 解决了因输送带上物料变化而引起的中能 Cs 信号变化范围小、低能 Am 信号变化范围大, 计数器不能兼顾的矛盾, 这样可以根据输送带的材质、输送带上煤层的厚度选择中能、低能放射源强度, 分别设计中能、低能射线探测器的计数衰减范围, 使煤灰分仪能够用在钢丝强力输送带上。

5 结 语

利用射线透窗技术设计的矿用防爆型 γ 射线探测仪有效地解决了低能 γ 射线在穿透防爆外壳时衰减率大的难题, 保证了矿用煤灰分仪的计量精度, 实现了对采区原煤灰分的就地监测, 对提高采区采出率起到了积极作用。矿用煤灰分仪成功地应用于采区工作面, 可有效地监控采区煤矸石的排放量, 降低运输电耗, 减少采空区塌陷, 保护矿区的环境。

参考文献:

- [1] 石 语. 节约能源, 从提高煤炭开采率抓起 [J]. 国土资源, 2007 (7): 15-21.
- [2] 李英德, 谢 芳, 蒋金泉. 煤炭资源最佳回采率的经济分析 [J]. 矿业研究与开发, 2008, 28 (3): 78-81.
- [3] 周玉武, 程学智, 丁自文. 浅析影响综采放顶煤回采率及含矸率的因素 [J]. 西北煤炭, 2005 (3): 39-41.
- [4] 鲍学彬, 郑景鹏, 李浩建. 放顶煤开采顶煤贫化率控制研究 [J]. 山东煤炭科技, 2005 (3): 63-64.
- [5] 王忠正, 王文清. SCL-2000 型煤灰分仪在济宁二号煤矿选煤厂的应用 [J]. 选煤技术, 2008 (1): 54-56.
- [6] 王文清, 任安祥, 田柏林, 等. 防爆 γ 射线探测仪和矿用煤灰分仪: 中国, 200910083984 [P]. 2009-05-13.
- [7] 张志康, 卓运裳, 林 谦, 等. γ 幅射煤灰分仪 [M]. 北京: 原子能出版社, 1999.
- [8] 王文清, 严永华. 新型 SCL-2000C 煤灰分仪在金能煤业公司洗配煤中心的应用 [J]. 选煤技术, 2009 (2): 52-55.