文章编号:1671-251X(2013)01-0043-05 DOI:10.7526/j.issn.1671-251X.2013.01.012
王文清. 防爆型煤灰分仪的关键技术研究[J]. 工矿自动化,2013,39(1):43-47.

防爆型煤灰分仪的关键技术研究

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:针对目前煤灰分仪不能在煤矿井下使用的现状,提出了一种防爆型煤灰分仪的总体设计方案;指出防爆型煤灰分仪设计中的关键技术为射线透窗技术和基于电流变化率检测的本安电源技术;研究了煤灰分仪射线衰减特性,提出了防爆型煤灰分仪射线透窗技术要求,经过理论分析和测试提出了射线透窗材料选择方法,解决了低能γ射线在穿透隔爆外壳时衰减率大的难题,保证了煤灰分仪的精度;研究了本安设备的负载特性对本安电源性能的影响,提出了基于电流变化率检测的本安电源技术,克服了检测感性负载电流滞后变化的缺点,提高了煤灰分仪的可靠性。防爆型煤灰分仪在采区的应用有效降低了采区煤矸石的排放量。

关键词:煤灰分仪; 防爆型; 射线透窗; 电流变化率; 本安电源
中图分类号:TD67 **文献标志码**:A **网络出版时间**:2012-12-28 16:25
网络出版地址:www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20121228.1625.012.html

Research of key technologies for explosion-proof coal ash content analyzer

WANG Wen-qing[1,2]

(1. Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China;
2. Beijing Coal Mining Electric Equipment and Technique Development Company, Beijing 100042, China)

Abstract: For status that coal ash content analyzers cannot be used in coal mine underground at present, the paper proposed a whole design scheme of explosion-proof coal ash content analyzer, and pointed out that key technologies of the content analyzer are ray penetration window technology and intrinsically safe power supply technology based on change rate detection of current. It proposed technical requirements of ray penetration window based on research of ray attenuation characteristic of coal ash content analyzer, and a new method of choosing materials of ray extraction window through theoretical analysis and tests, which solves problem of large attenuation rate of γ ray with low energy through explosion-proof enclosure and ensures precision of the coal ash content analyzer. The paper also proposed the intrinsically safe power supply technology based on change rate detection of current on the basis of research of influence of load characteristics of intrinsically safe devices on performance of intrinsically safe power supply, which overcomes shortage of current delay of inductive load and improves reliability of the coal ash content analyzer. The application of the coal ash content analyzer in coal mine effectively reduces waste discharge.

Key words: coal ash content analyzer; explosion-proof type; ray penetration window; change rate of current; intrinsically safe power supply

---

收稿日期:2012-09-11。
基金项目:**北京市教育委员会科技计划项目**(KM201210853002);**高校科技创新平台资助项目**(PXM2012_014225_000024)。
作者简介:**王文清**(1963-),**男**,**北京密云人**,**高级工程师**,**硕士**,**主要研究方向为矿用智能仪表**,E-mail:wwenqing@sina.com。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0 引言

中国各类煤矿的平均采区回采率为 64%，平均矿井回采率仅为 46%[1]，与世界主要产煤国相比低很多。提高回采率能够减少进尺，延长矿井寿命，降低吨煤成本，是煤矿企业追求的目标，也是中国在现有煤炭储量下保持能源安全供给的有效措施之一。

过去由于没有防爆型煤灰分仪，国内一些煤矿将普通煤灰分仪安装在井口、洗煤厂的输送机上，在线监测煤矿井下的原煤灰分，指导井下原煤生产[2]。由于监测数据存在滞后性，实际效果不理想。如果开发出防爆型煤灰分仪并将其前置到采区工作面的输送机上，采区就可以根据防爆型煤灰分仪检测到的实时灰分指挥放顶煤生产，实现提高回采率、降低含矸率的目标。

本文研究了防爆型煤灰分仪设计中的关键技术，以保证防爆型煤灰分仪的高精度，使其能在煤矿井下环境中可靠工作。

1 防爆型煤灰分仪组成

防爆型煤灰分仪主要由防爆型 γ 射线探测仪、显示控制器和本安电源组成，如图 1 所示。

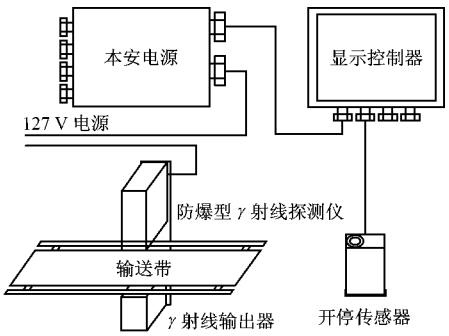

图 1 防爆型煤灰分仪组成

γ 射线探测仪是检测 γ 射线强度的传感器，其计数率的大小决定了灰分仪的精度。参考文献[3]阐述了 γ 射线探测仪的防爆型式不能选择本安型、只能选择隔爆型的原因。为了使防爆型 γ 射线探测仪既符合防爆性能要求，又满足煤灰分仪对低能 γ 射线的计数率要求，本文提出在传统隔爆外壳上加装射线透窗[4]的创新设计方案[5]。

本安电源是防爆型煤灰分仪的重要组成设备，它为显示控制器提供直流电源，其稳定性和抗干扰能力直接影响煤灰分仪工作的稳定性和可靠性。现有的本安电源多采用检测负载电流值作为评判负载故障、保证本安性能的依据。该方法对感性负载有一定的局限性。本文提出一种基于电流变化率检测的本安电源技术，提高了煤灰分仪的稳定性。

2 防爆型煤灰分仪的关键技术

设计防爆型煤灰分仪绝不是给普通型 γ 射线探测器加装一个隔爆外壳。防爆型煤灰分仪有 2 项关键技术：(1) 针对加装传统隔爆外壳后大幅降低低能 γ 射线计数率的难题，笔者提出了射线透窗技术，保证了防爆型煤灰分仪的精度；(2) 提出了电流变化率检测的本安电源技术，使防爆型煤灰分仪能在煤矿井下环境中可靠地工作。

2.1 射线透窗技术

要准确测定原煤灰分，就要保证 ^{137}Cs 的计数率 I、^{241}Am 的计数率 J 满足一定值。由参考文献[6]可知，如果煤灰分变化 1%，将引起 ^{241}Am 低能 γ 射线的计数率变化 0.19%。如果灰分仪能分辨 0.2% 的灰分变化，则要求灰分仪对 ^{241}Am 低能 γ 射线的计数能感知 0.04% 的变化。确保 ^{137}Cs、^{241}Am 的最小计数率是保证防爆型煤灰分仪有较高分辨力的关键。

2.1.1 γ 射线衰减率特点

为了测试不同厚度 A3 钢板对 γ 射线计数的影响，搭建了 γ 射线衰减率测试环境，如图 2 所示。

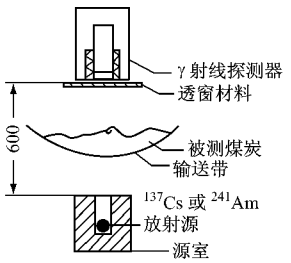

图 2 γ 射线衰减率测试环境

γ 射线输出器与 γ 射线探测器的距离为 600 mm，以输送带上无煤状态下测到的 γ 射线强度 I_0、J_0 作为基准，在探测器下方的透窗材料位置上分别放厚度为 1、2、3、4 mm 的 A3 钢板，分别记录测得的相应射线强度 I_i、J_i，I_i/I_0、I_i/J_0 就是该厚度下 ^{241}Am、^{137}Cs 对应 A3 钢板的衰减率。A3 钢板厚度与 γ 射线衰减率的关系如图 3 所示。

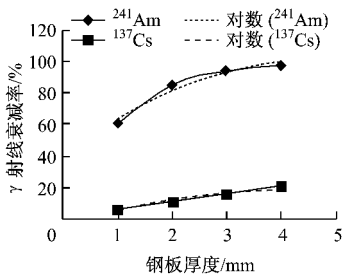

图 3 钢板厚度与 γ 射线衰减率的关系

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

符合防爆性能要求的 A3 钢板最小厚度为 3 mm。从图 3 可看出,该厚度对应^{137}Cs 中能 γ 射线的衰减率为 15.9%,对^{241}Am 低能 γ 射线的衰减率为 94.1%。隔爆外壳对中能 γ 射线的衰减较小,对低能 γ 射线的衰减过大。将低能 γ 射线探测器装入 A3 钢板制造的传统隔爆外壳的方案虽然符合防爆性能要求,但不能满足灰分仪精度对低能 γ 射线计数率的要求,必须找到一种方法来降低传统隔爆外壳对^{241}Am 低能 γ 射线的衰减率。

2.1.2　射线透窗技术要求

射线透窗由压盘和透窗组成,如图 4 所示。

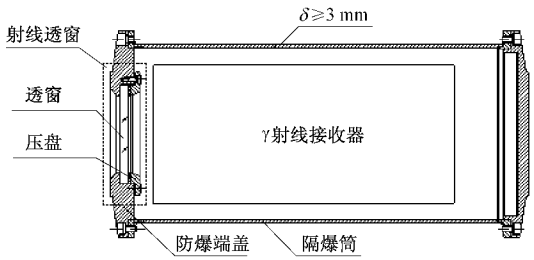

图 4　射线透窗组成及原理

射线透窗为低能 γ 射线在穿透隔爆外壳时提供一个低衰减率的“通道”,解决了低能 γ 射线在穿过隔爆外壳时大幅衰减的问题。实现射线透窗的关键是要找到符合要求的透窗材料。

透窗材料需满足 3 个条件:(1) 符合防爆性能要求;(2) 对低能 γ 射线的衰减率要小;(3) 基本不改变射线的单能特性。

对于同一种材质的材料,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;对于不同材质的材料,γ 射线的衰减率不仅受材料质量厚度的影响,还取决于材料对 γ 射线质量衰减系数 μ 的大小。

物质的成分不同,质量衰减系数的获取方法也不同:金属的质量衰减系数可以从表中直接查找;金属合金因其成分确定,也可通过查表或根据已知的合金成分含量按照复合材料质量衰减系数的计算规则[7]得到;对于非金属,比如煤,由于无法获得准确的成分含量,只能依靠试验的方法获得质量衰减系数。

2.1.3　射线透窗衰减特性

为了寻找适合防爆要求的透窗材料,选择密度为 2.5 g/cm^3 的非金属-钢化玻璃[8]、密度为 2.8 g/cm^3 的金属合金-铝合金、密度为 7.8 g/cm^3 的纯金属-A3 钢板作为测试样片,测试 3 种材料对低能 γ 射线的衰减率。经实测,各透窗材料在不同厚度下对^{241}Am 低能 γ 射线的衰减率如图 5 所示。可见刚化玻璃对^{241}Am 低能 γ 射线的衰减率与其厚度成线性关系,基本没有改变射线的单能特性。

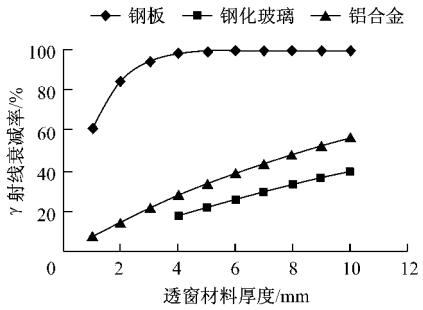

图 5　透窗材料厚度与^{241}Am 低能 γ 射线衰减率的关系

透窗材料的防爆性能既要满足 GB 3836.1 中的冲击试验要求,也要满足 GB 3836.2 中的爆炸要求。防爆透窗尺寸不同,其透窗材料的厚度也可不同[9]。根据透窗的开孔直径尺寸,符合防爆性能要求的钢化玻璃最小厚度为 10 mm,铝合金最小厚度为 6 mm。

从图 5 可看出,厚度为 3 mm、质量厚度为 2.34 g/cm^2 的 A3 钢板制成的透窗样片对低能 γ 射线的衰减率为 94.1%;厚度为 6 mm、质量厚度为 1.68 g/cm^2 的铝合金制成的透窗样片对低能 γ 射线的衰减率为 41.3%;厚度为 10 mm、质量厚度为 2.5 g/cm^2 的钢化玻璃制成的透窗样片对低能 γ 射线的衰减率只有 40%。

通过分析测试数据可得出结论:(1) 铝合金和 A3 钢板同为金属材质,透窗样片对低能 γ 射线的衰减率符合“样片的质量厚度越大,样片对 γ 射线的衰减率越大”的规律;(2) 钢化玻璃为非金属材料,A3 钢板为金属材料,2 种不同材质的材料对低能 γ 射线的衰减率不符合“样片的质量厚度越大,样片对射线的衰减率越大”的规律;(3) 铝合金对低能 γ 射线的衰减率与钢化玻璃接近,但因 GB 3836.2 对铝合金在煤矿井下的应用有很多限制,不推荐作为透窗材料;(4) 钢化玻璃样片对低能 γ 射线的衰减率最小,具有较高的通透率,适合做透窗材料;(5) 用钢化玻璃制作的射线透窗衰减了 40%的^{241}Am 低能 γ 射线,为了保持防爆型煤灰分仪的计量精度,防爆型煤灰分仪使用的^{241}Am 源的活度应为地面普通型煤灰分仪所用源活度的 2 倍。

2.2　基于电流变化率检测的本安电源技术

本安电源由非本安电源转化而来。通过在普通直流电源的输出回路中接入双重化的可靠性组件(由稳压、限流、快速切断的保护电路构成)来实现本

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

安化，保证电源及负载在正常工作和规定的故障状态下产生的电火花和热效应均不能引起周围可燃性气体燃烧或爆炸，实现电气防爆[10]。

2.2.1 本安设备负载特性对本安电源性能的影响

本安系统由本安设备和本安电源组成。本安系统中短路点的电火花能量除了来自本安电源输出的能量外，还有来自本安设备中电容或电感储存的能量。这就要求本安电源的可靠性组件能够快速检测到本安系统中出现的故障信号，快速关断电源，限制本安电源的能量向故障点输出，保证系统的本安性能。

目前本安电源的短路保护多采用过流检测。构成本安设备的元器件不同，等效后的负载性质也不同，对系统的本安性能影响也不同。

阻性负载：只要负载电流达到本安电源保护电路的整定值，可靠性组件就快速切断电源，对本安系统的本安性能没有影响。

容性负载：负载电流与负载电压的变化率成正比，只要负载电压有变化，负载电流就一定会变化，具有超前性。可靠性组件通过监测负载电流，能及时检测到负载回路是否有故障，保护电路可以快速动作，限制本安电源向故障点输出能量，对系统的本安特性影响不大。

感性负载：电感的特性是抑制电流的变化，维持回路电流不变。在负载发生断路的瞬间，本安电源的输出电流有减小的趋势，采用过流检测的可靠性组件因负载电流小于保护整定值而不动作，本安电源继续向负载供电；但感性负载储存的电能则以电流的形式流向故障点，在断路点形成能量的叠加，影响系统的本安性能。

可见采用过流检测的本安电源在带阻性负载和容性负载时都不会影响系统的本安性能，带感性负载时会影响系统的本安性能。

2.2.2 电流变化率检测

电流变化率检测是利用本安系统在发生开路、短路、器件损坏等故障时，本安设备电路中的电流变化率有剧烈变化[11]的原理提取电路故障信号，提高本安电源的响应速度。通过电流变化率取样，克服了感性负载电流检测滞后变化的弊病，提高了本安电源的本安性能。

采用电流变化率检测的本安电源技术后，不论本安系统出现短路故障还是断路故障，都会引发本安电源输出电流的变化，可靠性组件就会根据电流变化率快速、准确地感知本安系统的故障状态，缩短检测时间，提高电源的本安性能。

通过研究负载电流变化率与微分电路脉冲幅值输出关系得出结论：负载电流越大，微分电路输出的脉冲幅值也越大，而且微分电路输出的脉冲峰值电压与负载电流具有良好的线性关系。根据脉冲峰值电压的大小可以设定保护的动作电流值。

该方案的特点是检测参数为线路中的电流变化率，与线路中电流大小无关，故障检测速度快，保护动作快，安全可靠。

2.2.3 电流变化率检测可靠性组件

电流变化率检测电路由运算放大器 U1、微分电路和电压比较器 U2 组成，如图 6 所示。

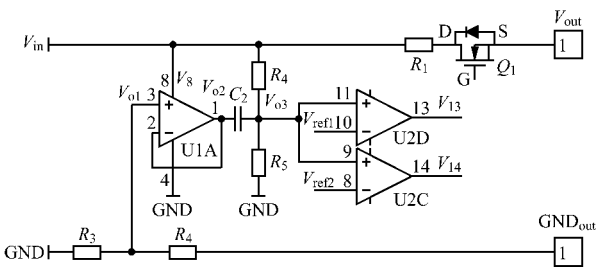

图 6 电流变化率检测电路

该电路将运算放大器 U1A 输出的电压全部反馈到 U1A 的反相输入端，构成电压跟随器，输出电压与输入电压的关系为 $V_{o2}=V_{o1}$。电压跟随器起隔离作用。

电阻 R_4、R_5 和电容 C_2 共同组成微分电路。U2D 输出的脉冲电压值正比于电流上升沿的变化率，U2C 输出的脉冲电压值正比于电流下降沿的变化率。电路中各点的波形时序如图 7 所示。通过设置比较器 U2 的门槛电压值就可以设定电流保护的动作值。

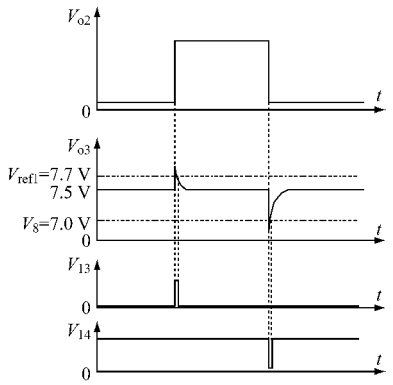

图 7 V_{o2}、V_{o3}、V_{13}、V_{14} 各点波形时序

基于电流变化率检测的本安电源的可靠性组件电路由电流变化率检测电路、比较电路、或门电路、控制电路构成。全部电路需要双重化设计[12-13]。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章编号:1671-251X(2013)01-0047-05 DOI:10.7526/j.issn.1671-251X.2013.01.013
马星河,王永胜,闫炳耀. 基于 GOOSE 的煤矿井下防越级跳闸方案研究[J]. 工矿自动化,2013,39(1):47-51.

基于 GOOSE 的煤矿井下防越级跳闸方案研究

马星河, 王永胜, 闫炳耀

(河南理工大学 电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454003)

摘要:针对煤矿井下高压配电网络经常发生越级跳闸这一难题,分析了井下高压配电网络发生越级跳闸的原因以及目前常用的电气闭锁方案、分站集中控制方案、数字化变电站方案、光纤电流纵联差动保护方案这 4 种越级跳闸解决方案在应用中存在的问题;介绍了基于 IEC61850 标准的 GOOSE 报文传输协议在数据交换上的优越性,在此基础上提出了一种基于 GOOSE 的煤矿井下防越级跳闸方案,并以某煤矿井下高压供电线路为例,阐述了该保护方案的实现过程。基于 GOOSE 的煤矿井下防越级跳闸方案中下级开关只关联到其上一级,上、下级开关形成纵向关联并采用 GOOSE 协议传输信息,同级开关之间没有通信,提高了信息传输的实时性和可靠性。

关键词:煤矿电网; 高压供电网络; 越级跳闸; 防越级跳闸; GOOSE 报文传输协议; 纵向关联; 跳闸闭锁

中图分类号:TD60 **文献标志码**:A **网络出版时间**:2012-12-28 16:26
网络出版地址:www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20121228.1626.013.html

收稿日期:2012-09-19。
基金项目:河南省科技厅重点攻关项目(092102210356)。
作者简介:马星河(1979-),男,河南新乡人,副教授,博士后,主要研究方向为矿山电气控制新技术及现代矿山交流调速系统,E-mail:maxinghe@hpu.edu.cn。

3 结语

采用射线透窗和电流变化率检测的本安电源技术成果研制的防爆型 γ 射线探测仪解决了低能 γ 射线在穿透隔爆外壳时衰减率大的难题,保证了防爆型煤灰分仪的精度,适用于煤矿井下环境。防爆型煤灰分仪在采区的应用有效降低了采区煤矸石的排放量,为企业降低运输电耗、减少采空区塌陷、保护矿区环境提供了保障。防爆型煤灰分仪在煤矿推广符合我国能源发展战略,具有非常广阔的市场前景。

参考文献:

[1] 石语. 节约能源,从提高煤炭回采率抓起[J]. 国土资源,2007(7):15-21.
[2] 王中正,王文清. SCL2000 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.
[3] 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.
[4] WANG Wenqing. Study of penetration window technology of explosion-proof γ-ray detector[J]. Journal of Convergence Information Technology, 2012,7(15):366-374.
[5] 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,ZL 2009 1 008398.4[P]. 2011-10-23.
[6] 张志康,卓运裳,林谦,等. γ 辐射煤灰分仪[M]. 北京:原子能出版社,1999.
[7] 马永和,周文忠,翁放,等. 低能 γ 射线穿透法测量煤灰分的研究[J]. 核电子学与探测技术,1989(9):285.
[8] 王立祥,李勇,嵇书伟. 浅析玻璃物理钢化的冷却工艺及影响质量的因素[J]. 玻璃,2010,37(5):34-38.
[9] 陈捷频,陈均. 隔爆外壳上玻璃透明件的无应力安装设计[J]. 电气防爆,2009(3):1-5.
[10] 王文清. 矿用本安直流电源的设计与研究[J]. 煤炭科学技术,2008,36(10):61-67.
[11] 于月森,谢冬莹,李世光,等. 本质安全电路技术综述[J]. 煤炭科学技术,2011,39(6):61-65.
[12] 王文清. 提高矿用本安电源带载能力的研究与实践[J]. 煤炭工程,2008(11):104-106.
[13] 朱前伟. 矿用本质安全电源的基本要求和设计方法[J]. 工矿自动化,2012,38(2):22-25.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net