

文章编号:1671-251X(2018)08-0024-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018010058

提高矿用X射线核子秤计量稳定性的研究

任凤国¹, 刘学红², 任安祥^{1,3}, 王文清^{1,3}

(1.北京工业职业技术学院 科研处,北京 100042;

2.鄂尔多斯市营盘壕煤炭有限公司,内蒙古 鄂尔多斯 017300;

3.北京市煤炭矿用机电设备技术开发有限公司,北京 100042)

摘要:为提高矿用X射线核子秤的计量稳定性,从防爆型X射线源和计量零点2个方面给出了具体方法:利用X射线探测器监测X射线源输出的X射线能量和强度,通过在X射线源内加装监控网络模块接收X射线探测器监测的X射线参数,并与设定的X射线参数进行比较,从而反馈控制防爆型X射线源的管电压和管电流,保持X射线源输出的X射线参数稳定;用防爆型X射线源的管电压、管电流的平均值来定义源强零点,通过X射线探测器实时采集X射线参数并与计量零点、源强零点进行比较,从而反馈调整计量零点和源强零点,克服输送机工况变化及X射线管老化对矿用X射线核子秤计量零点的影响。测试结果表明,该方法能有效提高X射线的稳定性,保证矿用X射线核子秤的计量稳定性。

关键词:矿用X射线核子秤;X射线稳定性;防爆型X射线源;计量零点

中图分类号:TD76 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180719.1144.001.html>

Research on improving measurement stability of mine-used X-ray nuclear scale

REN Fengguo¹, LIU Xuehong², REN Anxiang^{1,3}, WANG Wenqing^{1,3}

(1.Office of Scientific Research, Beijing Polytechnic College, Beijing 100042,China; 2.Ordos

Yingpanhao Coal Co., Ltd., Ordos 017300, China; 3.Beiing Coal Mining Electric

Equipment Technical Development Co., Ltd., Beijing 100042, China)

Abstract: In order to improve measurement stability of mine-used X-ray nuclear scale, specific methods were given from two aspects of explosion-proof X-ray source and measurement zero point. Energy and intensity of X-ray which are output from X-ray source are monitored by X-ray detector, and the monitored X-ray parameters are received by monitoring network module which is installed in X-ray source. By comparing the monitored X-ray parameters with the set X-ray parameters, tube voltage and tube current of the explosion-proof X-ray source are controlled to keep stable of X-ray parameters. Source intensity zero point is defined by average value of the tube voltage and the tube current of the explosion-proof X-ray source. X-ray parameters are collected in real time through the X-ray detector and compared with measurement zero point and the source intensity zero point, so as to adjust the measurement zero point and the source intensity zero point to overcome influence of conveyor condition change and X-ray tube aging on the measurement zero point. The test result shows that the methods can effectively improve X-ray stability and ensure measurement stability of mine-used X-ray nuclear scale.

收稿日期:2018-01-21;修回日期:2018-07-08;责任编辑:盛男。

基金项目:北京市教育委财政资金资助项目(PXM2017-014225-000014);北京工业职业技术学院科研重点项目(bgzyky 201780z)。

作者简介:任凤国(1968—),男,黑龙江绥化人,教授,硕士,研究方向为机械自动化,E-mail:rfg@bgy.org.cn。

引用格式:任凤国,刘学红,任安祥,等.提高矿用X射线核子秤计量稳定性的研究[J].工矿自动化,2018,44(8):24-27.

REN Fengguo,LIU Xuehong,REN Anxiang,et al. Research on improving measurement stability of mine-used X-ray nuclear scale[J].

Industry and Mine Automation,2018,44(8):24-27.

Key words: mine-used X-ray nuclear scale; X-ray stability; explosion-proof X-ray source; measurement zero point

0 引言

矿用核子秤是基于 γ 射线被物料吸收而减弱的原理,对散状固体物料进行连续累计自动称重的计量器具^[1]。矿用核子秤的 γ 射线多用同位素¹³⁷Cs源产生, γ 射线是单一波长的电磁波,物料对 γ 射线的吸收系数是固定常数,因此矿用核子秤计量精度高、线性度好,但同位素¹³⁷Cs具有放射性,存在一定的辐射危害^[2-5]。鉴此,在矿用核子秤的基础上,提出了采用防爆型X射线源替代同位素¹³⁷Cs源的矿用X射线核子秤。矿用X射线核子秤保留了矿用核子秤的非接触式计量特性,计量精度不受胶带张力变化的影响。另外防爆型X射线源在交流电源关闭后没有X射线产生,不存在辐射残留问题,也不需考虑废源处理的问题,对环境影响小^[6],易于推广。但受X射线稳定性低的影响,矿用X射线核子秤的计量稳定性相对较差。因此,本文从防爆型X射线源和矿用X射线核子秤计量零点2个方面入手,研究提高矿用X射线核子秤计量稳定性的方法。

1 矿用X射线核子秤基本原理

矿用X射线核子秤由防爆型X射线源、防爆型X射线探测器、本安型速度传感器和隔爆兼本安型计量仪表、支架组成,如图1所示。防爆型X射线源产生一定能量和强度的X射线;防爆型X射线探测器检测穿过物料后剩余X射线的能量和强度;隔爆兼本安型计量仪表接收X射线探测器输出信号并计算X射线穿过物料后的衰减量,得到胶带上物料载荷,同时结合本安型速度传感器测得的胶带运行速度,得到输送机流量、班产量。

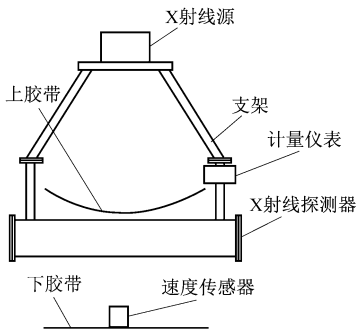


图1 矿用X射线核子秤组成

Fig.1 Composition of mine-used X-ray nuclear scale

2 X射线的产生及特性

防爆型X射线源的核心部件包括X射线源控制器、X射线管和直流高压电源^[7-10]。X射线源控制器控制直流高压电源的接通、调整及各种保护的实施。X射线管的阴极灯丝通电加热后产生电子,电子在直流高压电场的加速作用下飞向阳极,高速运动的电子撞击阳极靶面后产生X射线。

X射线管电压大小决定了为电子加速的高压电场大小,从而决定了X射线能量。X射线强度与X射线管电流、阳极靶物质的原子序数、X射线管电压的平方呈正比^[11-13]。X射线的稳定性取决于防爆型X射线源的稳定性,涉及X射线的能量和强度。

3 提高矿用X射线核子秤计量稳定性的关键技术

3.1 提高防爆型X射线源稳定性

为克服X射线管老化引起的X射线强度减小,在防爆型X射线源内加装监控网络模块,同时利用X射线探测器监测X射线源输出的X射线能量和强度。在输送机空载条件下,停机固定某一点对X射线源进行标校,确定X射线参数(能量和强度)与X射线源控制器参数(管电压和管电流)的对应关系。X射线源工作时,监控网络模块接收由计量仪表发送的X射线探测器检测到的X射线参数,并与设定的X射线参数(通过设定的X射线源控制器参数获得)进行比较,确定X射线源输出的X射线参数的变化量,从而调整管电压、管电流来保持防爆型X射线源输出的X射线参数恒定。

3.2 提高矿用X射线核子秤计量零点稳定性

计量零点是矿用X射线核子秤计量的基准,指输送机空载运转1周时,X射线探测器接收到的X射线剂量率的平均值。为提高计量零点的稳定性,提出了X射线源的源强零点概念,即输送机空载运转1周时,用标校好的防爆型X射线源的管电压、管电流的平均值来定义源强零点。在输送机空载运行时,通过X射线探测器实时采集X射线参数并与矿用X射线核子秤的计量零点、源强零点进行比较,反馈调整防爆型X射线源的源强零点和计量零点,克服输送机工况变化及X射线管老化对矿用X射线核子秤计量零点的影响。

3.2.1 建立计量-源强零点

接通防爆型 X 射线源交流电源并待 X 射线稳定后,启动输送机空载运行,防爆型 X 射线源内监控网络模块与 X 射线核子秤的计量仪表进行时间同步。计量仪表记录在胶带运转 1 个标定周期 T 内第 i 个采样时刻的 X 射线探测器的信号 S_{0i} ;同时,防爆型 X 射线源内监控网络模块记录在胶带运转 1 个标定周期 T 内第 i 个采样时刻的防爆型 X 射线源的管电压 U_{0i} 和管电流 I_{0i} ,从而得到 X 射线核子秤计量零点 S_0 、X 射线源的源强零点(即管电压平均值 U_0 、管电流平均值 I_0):

$$S_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{0i} \tag{1}$$

$$U_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{0i} \tag{2}$$

$$I_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{0i} \tag{3}$$

式中 n 为标定周期内的采样信号点数, $n=T/f_s, f_s$ 为信号采样频率。

X 射线源内监控网络模块将 X 射线源的源强零点通过无线网络发送给计量仪表,计量仪表通过无线网络将核子秤计量零点反馈给 X 射线源内监控网络模块。在计量仪表和监控网络模块内同时建立计量-源强零点数组 $\{S_0, U_0, I_0\}$ 。

3.2.2 实现计量-源强零点稳定

当输送机空载运行时,计量仪表实时采集 X 射线探测器的信号 S_i ,与计量-源强零点数组保存的计量零点 S_0 进行比较。

(1) 当 X 射线探测器的信号 S_i 与计量零点 S_0 的误差在允许误差内时,如果防爆型 X 射线源的管电压 U_i 、管电流 I_i 与源强零点 U_0, I_0 的误差也在允许误差内,则可确认计量零点、X 射线能量和强度没有变化,矿用 X 射线核子秤的计量零点稳定;如果防爆型 X 射线源的管电压 U_i 、管电流 I_i 与源强零点 U_0, I_0 的误差超出允许误差,则表明防爆型 X 射线源的源强零点受 X 射线管老化等影响出现偏差,需要重新测量源强零点,并将新测量的源强零点保存到计量-源强零点数组里,从而保证源强零点的稳定。

(2) 当 X 射线探测器的信号 S_i 与计量零点 S_0 的误差超出允许误差时,如果防爆型 X 射线源的管电压 U_i 、管电流 I_i 与源强零点 U_0, I_0 的误差在允许

误差内,则说明矿用 X 射线核子秤的计量零点受输送机工况影响出现偏差,需要重新测量计量零点,并将新测量的计量零点保存到计量-源强零点数组里;如果防爆型 X 射线源的管电压 U_i 、管电流 I_i 与源强零点 U_0, I_0 的误差超出允许误差,则说明 X 射线参数发生偏移,需要确定源强零点的变化量并反馈给 X 射线源内监控网络模块,调整防爆型 X 射线源的管电压、管电流参数来保持 X 射线稳定,从而保证计量零点的稳定。

4 矿用 X 射线核子秤计量稳定性测试

矿用 X 射线核子秤计量稳定性通过测量 X 射线的稳定性来评价,而 X 射线的稳定性可通过测量 X- γ 辐射仪距离 X 射线管靶焦点 1 m 处的剂量率来评价^[14]。采用 FLUKE 451B 测试仪在距防爆型 X 射线源 0.88 m 处(X 射线管靶焦点距离防爆型 X 射线源壳 0.12 m)测试 X 射线的剂量率,利用 451 Excel 助手软件在计算机上实时接收测试仪的数据。在矿用 X 射线核子秤通电预热 8 h 后进行测试,测试时间为 32 h,每 5 s 计量 1 个数据,测试结果见表 1。可看出整个测试周期内数据的平均值为 464.724 6 $\mu\text{Sv/h}$,第 3 个 8 h 后测试结果趋于稳定,第 3 个 8 h、第 4 个 8 h 测试数据的平均值与整个测试周期平均值的相对误差分别为 0.012 8%,0.021 7%,小于目前公开资料可查到的高稳定度 X 射线源输出的 X 射线参数 8 h 变化的相对误差 0.1%。

表 1 X 射线稳定性测试结果

Table 1 Test results of X-ray stability

时间	剂量率平均值/ $(\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1})$	相对误差/%
第 1 个 8 h	462.534 9	-0.471 2
第 2 个 8 h	466.754 3	0.436 8
第 3 个 8 h	464.783 9	0.012 8
第 4 个 8 h	464.825 4	0.021 7

5 结论

(1) 利用 X 射线探测器监测 X 射线源输出 X 射线的能量和强度,通过在 X 射线源内加装监控网络模块接收 X 射线探测器监测的 X 射线参数,并与设定的 X 射线参数进行比较,从而反馈控制 X 射线源的管电压和管电流,提高 X 射线源输出的 X 射线稳定性。

(2) 用防爆型 X 射线源管电压、管电流的平均值来定义源强零点。通过 X 射线探测器实时采集 X 射线参数并与矿用 X 射线核子秤的计量零点、源强零点进行比较,反馈调整计量零点和源强零点,克服输送机工况变化及 X 射线管老化对矿用 X 射线核子秤计量零点的影响。

参考文献(References):

- [1] JJG 811—1993 核子皮带秤[S].
- [2] 蔡顺燕,腾军,赵燕徐.核子秤计量系统的设计与实现[J].中国高新技术企业,2010(21):22-24.
- [3] 王文清,田柏林,于明.矿山企业产量税控系统的研发和应用[J].煤炭科学技术,2007,35(10):61-63.
WANG Wenqing, TIAN Bailin, YU Ming. Development and application of production tax control system in mine enterprises [J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(10): 61-63.
- [4] 李萍,王彦文.煤炭在线动态称重系统研究[J].工矿自动化,2013,39(12):29-33.
LI Ping, WANG Yanwen. Research of online dynamic weighing system of coal [J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(12): 29-33.
- [5] 孙继平.煤矿监控新技术与新装备[J].工矿自动化,2015,41(1):1-5.
SUN Jiping. New technologies and new equipments of coal mine monitoring [J]. Industry and Mine Automation, 2015, 41(1): 1-5.
- [6] 田冰.X射线称重原理与实现方法[J].上海电气技术,2012,5(3):53-58.
TIAN Bing. Weighing principle and method of X-ray [J]. Journal of Shanghai Electric Technology, 2012, 5(3): 53-58.
- [7] 陈德斌,胥福顺,栾争位.影响X射线测厚仪测量精度的因素及维护方法[J].轻合金加工技术,2009,37(4):38-40.
CHEN Debin, XU Fushun, LUAN Zhengwei. The factors of impacting the X-ray thickness measurement accuracy and methods to maintain [J]. Light Alloy Fabrication Technology, 2009, 37(4): 38-40.
- [8] 靳其兵,吴磊.有关X射线测厚仪技术的研究[J].自动化仪表,2007,28(1):65-66.
JIN Qibing, WU Lei. Research on the technique of X-ray thickness gauge [J]. Process Automation Instrumentation, 2007, 28(1): 65-66.
- [9] 秦晓敏.基于X射线的烟条缺包检测系统[J].烟草科技,2008(10):19-20.
QIN Xiaomin. System for detecting carton with cigarette pack missing based on X-ray [J]. Tobacco Science & Technology, 2008(10): 19-20.
- [10] 王宾.高精度X射线测厚仪的研究与开发[J].有色金属加工,2002,31(1):56-58.
WANG Bin. Development and application of high accuracy X-ray gauge meter [J]. Nonferrous Metals Processing, 2002, 31(1): 56-58.
- [11] 杨磊,李东仓,祁中,等.数控高稳定X射线源的研制[J].核技术,2008,31(5):388-391.
YANG Lei, LI Dongcang, QI Zhong, et al. Development of digital control high-stability X-ray source [J]. Nuclear Techniques, 2008, 31(5): 388-391.
- [12] 何录伟.数字控制X射线源高压电源[J].电气传动自动化,2010,32(1):40-42.
HE Luwei. Digital control of X-ray high-voltage DC power supply [J]. Electrical Drive Automation, 2010, 32(1): 40-42.
- [13] 陈文光,饶益花,陈海辉.X射线机管电流控制方法研究[J].核电子学与探测技术,2008,28(4):770-773.
CHEN Wenguang, RAO Yihua, CHEN Haihui. Research on tube-current control method of the X-ray machine [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2008, 28(4): 770-773.
- [14] 范建中,杨金文.用X射线实验仪研究X射线的衰减规律[J].太原师范学院学报(自然科学版),2011,10(3):95-98.
FAN Jianzhong, YANG Jinwen. Application X-ray experiment to physics experiment teaching in college [J]. Journal of Taiyuan Normal University (Natural Science Edition), 2011, 10(3): 95-98.