

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2022.05.011

医学信号处理与医学仪器

基于LabVIEW的X射线机电源电阻测量设计

阮轶磊¹, 李刚², 陈财森³

1.首都医科大学附属北京天坛医院党委办公室, 北京 100070; 2.陆军装甲兵学院科研学术处, 北京 100072; 3.陆军装甲兵学院演训中心, 北京 100072

【摘要】目的:为降低测量仪器系统误差噪声干扰的影响,准确测量X射线机电源电阻,设计一套X射线机电源电阻测量程序。**方法:**在信号注入法测电阻的基础上,利用LabVIEW软件和NI公司生产的信号调理模块,设计电源内阻测量程序,该程序可产生稳定的正弦激励电流,并对响应电压、响应电流以及相位差进行测量,进而得到X射线机电源电阻值。**结果:**经系统测试可知,该测量程序可以对X射线机电源电阻进行一段时间内的连续测量,得到的电源电阻均值更接近实际状况。**结论:**该测量程序能够准确测量X射线机电源电阻,为准确测量X射线机电源电阻提供了一种新的方法和思路。

【关键词】X射线机; 电源电阻; LabVIEW

【中图分类号】R318.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2022)05-0585-05

Power supply resistance measurement design for X-ray machine based on LabVIEW

RUAN Yilei¹, LI Gang², CHEN Caisen³

1. Party Committee Office, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100070, China; 2. Scientific Research and Academic Division of Army Armored Forces Academy, Beijing 100072, China; 3. Training Center of Army Armored Forces Academy, Beijing 100072, China

Abstract: Objective To design a set of X-ray machine power supply resistance measurement procedures for reducing the effects of the system errors of the measuring instruments and noise interference, and accurately measuring the power supply resistance of the X-ray machine. **Methods** Based on the signal injection method to measure resistance, LabVIEW software and the signal conditioning module produced by NI were used to design a program for measuring the internal resistance of power supply. The designed program could not only generate stable sinusoidal excitation current, but also measure response voltage, response current and phase difference, and then the power supply resistance of the X-ray machine was obtained. **Results** The system test showed that the measurement program could continuously measure the power supply resistance of the X-ray machine for a period of time, and that the average power supply resistance obtained was closer to the actual situation. **Conclusion** The proposed program can accurately measure the power supply resistance of the X-ray machine, providing a new method and idea for accurately measuring the power supply resistance of the X-ray machine.

Keywords: X-ray machine; power supply resistance; LabVIEW

前言

X射线机的电源供电质量对其性能发挥具有重要作用,而电源电阻直接影响着X射线机的摄影质量。X射线机的电源电阻主要由3个部分组成:电源导线输入电阻、电源变压器电阻和仪器本身固有电阻。有研究发现,当电源电阻偏离正常值后,会使X

射线管两端电压产生偏差,偏差大于10%时,摄影得到的X片质量较差,甚至难以使用^[1-2]。因此,准确测量X射线机电源电阻,对于掌握其使用状态,开展维修保养具有重要作用。

X射线机的电源电阻较小,医院常用的小型X射线机一般要求电源电阻小于0.3 Ω ,电阻稍有增大,即可引起电压产生偏差,导致辐射输出产生较大误差。在此情况下,一般的电阻测量仪器虽然能够测量电源电阻,但一方面,容易受仪器本身影响产生测量误差而导致数据精度不够;另一方面,一般的电阻测量仪器只能在一系列时间点下得到离散的电源电阻数据,无法对X射线机电源电阻进行一段时间内的连续

【收稿日期】2021-12-20

【基金项目】国家自然科学基金(U1836101)

【作者简介】阮轶磊,硕士,助理研究员,研究方向:卫生事业管理,E-mail: lgsjtu@126.com

测量。与离散数据得到的均值相比,连续时间段内得到的电阻均值更接近实际状况。

鉴于此,本研究拟使用LabVIEW软件对X射线机电源电阻进行准确测量。LabVIEW软件具有可视化,人机交互功能较好的特点。同时,可以通过编程实现信号输入、输出,从而有效降低使用硬件测量设备带来的系统误差^[3]。此外,通过LabVIEW软件得到的输入、输出信号稳定且频率可调,对不同型号的X射线机均有很好的适用性。

1 电源电阻测量原理与方案设计

1.1 X射线机电源电阻测量原理

以F30-III型30 mA X射线机为例,其电源电路如图1所示^[4]。

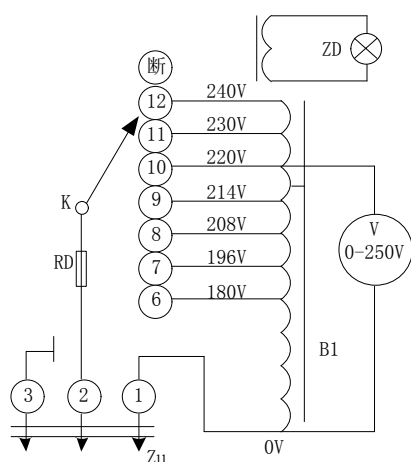


图1 F30-III型30 mA X射线机电源电路
Figure 1 Power supply circuit of 30 mA X-ray machine of F30-III

当电压补偿调节器K由断点旋至12时,电源接通,自耦变压器B1工作,指示灯ZD亮起,电压表V指示电压,继续调节K,使电压表指示在220 V上。对电源电阻的测量,可将整个电源系统看成一个黑盒子,只需测量其总体的电阻即可。设待测电源电阻为 R_x ,测量 R_x 可采用信号注入法^[5-7]。信号注入法将低频交流的恒流小信号作为激励注入到待测电路,然后测量电源两端的响应电压和响应电流,计算得到电源电阻值。其原理如图2所示。

但传统的信号注入法由于信号较小,极易受到环境噪声和仪器设备干扰导致测量不准确。因此,在信号注入法基础上,使用LabVIEW软件并采集精确度较高的PCI数据采集卡,使信号的发生、采集与干扰源相对隔离,从而获得准确测量数值。

1.2 X射线机电源电阻测量总体方案设计

X射线机电源电阻测量主要利用LabVIEW软件

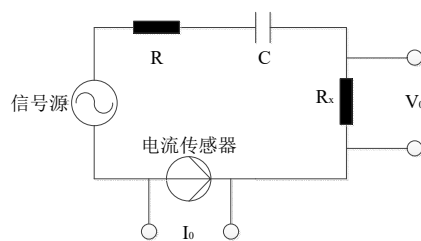


图2 信号注入法测电源电阻电路连接图
Figure 2 Circuit connection diagram for measuring power supply resistance by signal injection method

和NI公司生产的PCI数据采集卡设计实现。其总体测量方案设计如图3所示。

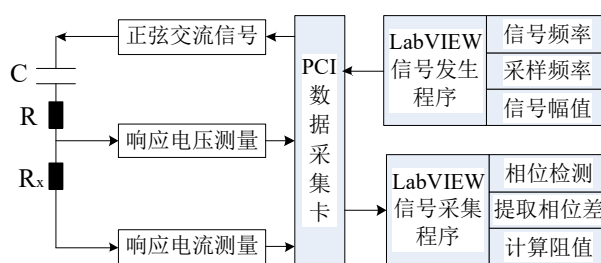


图3 信号注入法测电源电阻结构示意图
Figure 3 Structure diagram of measuring power supply resistance by signal injection method

其工作过程如下,LabVIEW信号发生程序产生低频交流小信号(信号频率、采样频率和信号幅值可根据不同型号X射线机进行针对性设定),然后信号通过PCI数据采集卡的输出端子注入到X射线机电源电路,之后,LabVIEW信号采集程序可通过PCI数据采集卡的输入端子对响应电压 V_0 和激励电流 I_0 进行测量,并分别通过设定的LabVIEW程序计算二者相位,进而得到相位差 φ ,最后将数据代入信号注入

法测电阻的公式: $R_x = \frac{V_0}{I_0} \cos\varphi$,通过LabVIEW程序

计算出电源电阻 R_x 。其中,输入、输出端子需要插装NI公司配套的信号调理端子。图2中,限流电阻 R 的作用是为了防止注入信号过大对电源电路本身造成损害,其数值大小可根据X射线机电源电阻范围估测得到。电容 C 是为了隔直流、通交流,其数值亦可以根据不同型号X射线机进行设定。

1.3 正弦激励电流设计

如图3所示, R_x 为待测X射线机电源电路电阻,为测量其阻值,需要对电源电路注入一个稳定的信号源,为确保电阻测量的准确性,信号源需要频率、幅值稳定,使仪器系统误差和环境信号对其干扰最小。这里,调用LabVIEW软件中的正弦信号发生程序,通过软件的DAQ Assistant与硬件(PCI数据采集

卡)连接,并经信号调理模块(SCC-CO20)调理稳定后,注入电源电路两端,从而对电源电路产生一个如图4所示的正弦激励电流。

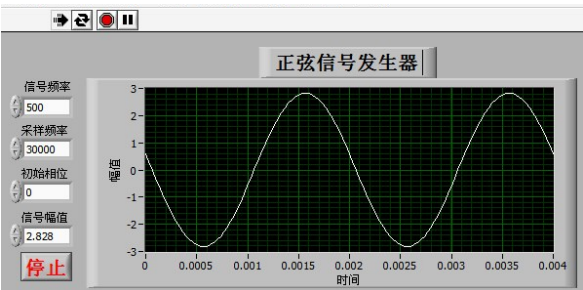


图4 LabVIEW 正弦激励电流发生程序

Figure 4 LabVIEW sinusoidal excitation current generation program

1.4 响应电流和响应电压的测量

为了防止损害X射线机电源电路,注入的正弦激励电流不能太大。但激励较小的情况下,得到的响应电流和电压也较小。因此,对于响应电流和响应电压的测量,必须通过较为精密的手段,得到准确数值,否则计算得到的电源电阻会产生误差。

对于响应电流的测量,可采用霍尔传感器进行测量。霍尔传感器是基于霍尔效应生产的一种产品化传感器,它具有测量范围广、响应速度快、工作频带宽且体积小、重量轻等特点。本研究所测量的激励电流为低频小电流,采用KT0.5/PJ型霍尔传感器,可得到准确的电流结果。

对于响应电压的测量,在PCI数据采集卡上加装配套的NI公司生产的SCC-AI06电压信号调理模块即可,它能有效隔噪,对较小的响应电压进行放大和

滤波后进行准确测量。

2 基于LabVIEW的电阻测量程序设计

电阻测量程序设计是测量X射线机电源电阻的关键。其主要原理是,首先设计基于LabVIEW的电源电阻测量程序,然后通过DAQ Assistant控制插在电脑上的PCI数据板卡进行数据采集和测量计算,最终得到结果。其设计思路如图5所示。

对PCI板卡和SCC信号调理模块参数的设置,可在LabVIEW软件DAQ Assistant模块中配套的MAX窗口进行设定,然后调用相关函数即可^[8-10]。根据要实现的功能,基于LabVIEW的电源电阻测量程序如图6所示。

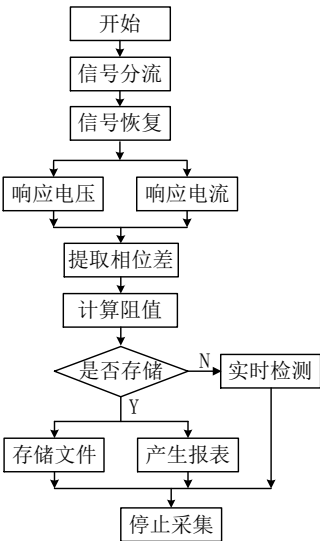


图5 X射线机电源电阻测量程序设计思路
Figure 5 Design idea of power supply resistance measurement program for X-ray machine

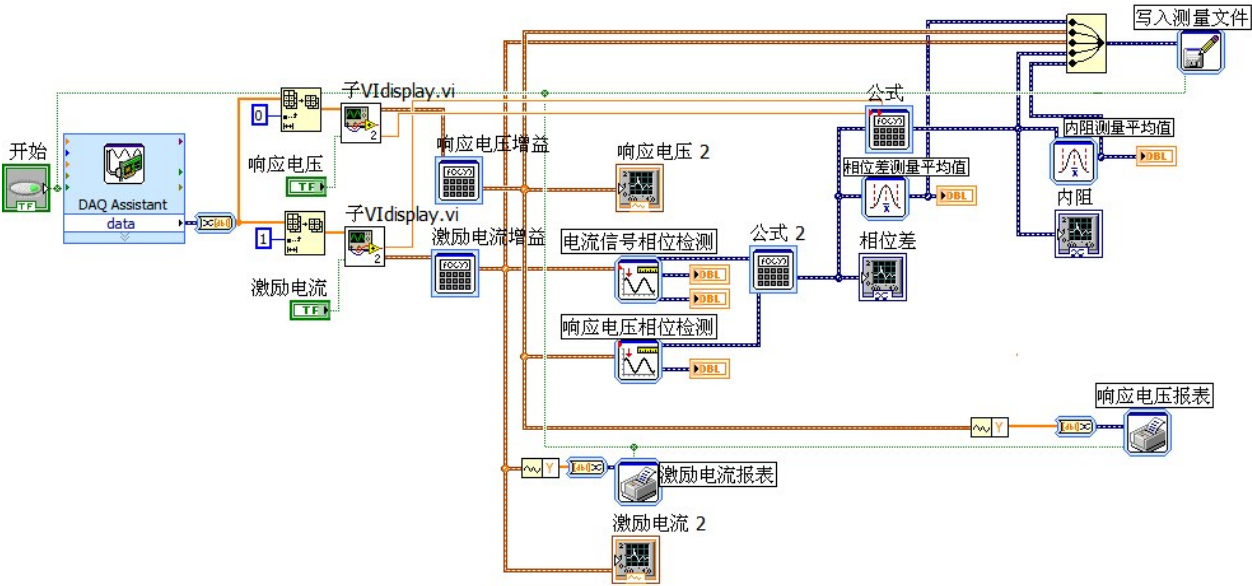


图6 基于LabVIEW的电源电阻测量程序

Figure 6 Power supply resistance measurement program based on LabVIEW

设置系统采样率为 1 000。通过 DAQ Assistant 的信号流是混合的,因此,首先要对信号进行分流,并恢复成激励电流和响应电压信号,之后提取激励电流和响应电压信号的 Y 值保存到系统自动生产的报表中。对于相位差的测量,可在电阻测量程序中添加相位差检测程序,并将得到的相位差数值通过运算程序运算后显示出来,得到电源电阻值。为了能够增加测量的准确度,对于相位差的测量,可用后台选择程序中的 FFT 模式对信号进行相谱分析,以抑制环境噪声的干扰^[11-19]。

3 系统测试

3.1 测试过程

以 F30-III 型移动式 X 射线机电源为例,该 X 射线机广泛应用于医院病房和急诊室,其电源条件为:电压 180~240 V,频率 50 Hz,电阻 $\leq 0.3\ \Omega$,最大额定容量 85 kVp(管电压)、30 mA(管电流)。

根据电源电阻量级估算,可设定限流电阻 $R=2\ \Omega$,电源电阻测量电路中电容 $C=3\ 000\ \mu\text{F}$;激励电流频率为 50 Hz,有效值 $U_{\text{max}}=0.02\ \text{V}$;LabVIEW 电阻测量程序数据采集模式设定为连续采集,采样率为 1 000 Hz,采样数为 1 000。

LabVIEW 程序前面板如图 7 所示,开始运行时,点击前面板“连续采集”按钮,则电源电阻测量程序开始运行,当点击“数据存储”按钮,则该时刻的所有数据储存在设定好的文件夹中,通过 Excel 软件可打开数据文件夹,读取该时刻下的详细数据;点击“停止采集”按钮时,程序运行停止,前面板会显示某时刻激励电流、响应电压、相位差和电源的电阻值。

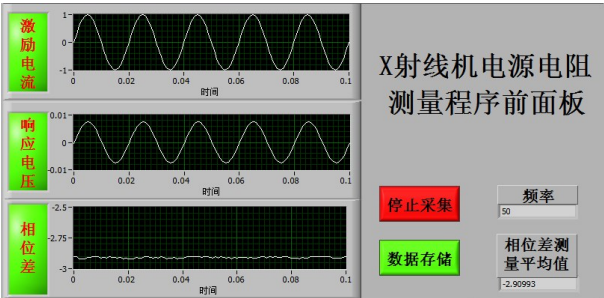


图 7 X 射线机电源电阻测量程序前面板

Figure 7 Front panel of X-ray machine power supply resistance measurement program

3.2 测试结果

在电源电阻测量程序中,将电阻计算公式编成子程序嵌入总测量程序中,使电阻测量平均值可以直接显示在前面板上,如图 8 所示。

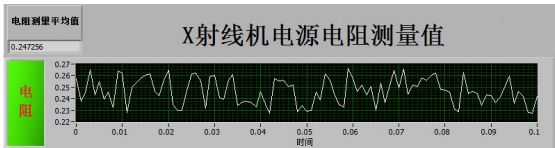


图 8 X 射线机电源电阻测量前面板

Figure 8 Front panel of X-ray machine power supply resistance measurement

利用此方法对北京天坛医院 5 台 F30-III 型移动式 X 射线机电源电阻进行测量,得到其电源电阻,同时与电源内阻测量仪测得的内阻数值做对比,以验证该方法的可行性,对比结果如表 1 所示。

表 1 LabVIEW 程序测量值与内阻测量仪测量值对比

Table 1 Comparison between the measured values of LabVIEW program and those of internal resistance meter

序号	LabVIEW 程序测量值/ Ω	内阻测量仪测量值/ Ω	误差比/%
1	0.247	0.251	1.59
2	0.253	0.250	1.20
3	0.189	0.193	2.10
4	0.268	0.268	0.00
5	0.235	0.236	0.42

由表 1 可知,利用该 LabVIEW 程序测量得到的电源电阻值与电源内阻测量仪得到的电阻值最大绝对误差为 $0.004\ \Omega$,误差比为 2.1%。该 F30-III 型 X 射线机次级电压降为 220 V/100 kV,假设拍片时瞬时管电压为 80 kV、瞬时管电流为 20 mA,则拍片时在不考虑变压器损耗情况下功率 $P=0.02\times 80\times 1000=1\ 600\ \text{W}$,电源电流 $I=P/V=1\ 600/220=7.27\ \text{A}$,电阻值最大绝对误差 $\Delta R=0.004\ \Omega$,电压降差值 $\Delta U=I\times\Delta R=7.27\times 0.004=0.029\ \text{V}$,次级电压降差 $=220\ \text{V}/100\ \text{kV}=0.029/X$, $X=0.0132\ \text{kV}$,X 射线管两端电压波动率 $=0.0132\ \text{kV}/80\ \text{kV}=0.0165\%$,该波动率远远小于医用诊断 X 射线机辐射源检定规程规定 X 射线管两端电压偏差率($<10\%$)^[20-25]。因此,该 LabVIEW 程序测量得到的电源电阻值具有较好的实用价值。

4 结 语

本研究基于 LabVIEW 软件和信号注入法,利用 NI 公司生产的信号调理模块,设计出一套精确测量 X 射线机电源电阻的系统。该系统能够产生频率、幅值稳定的激励电流,减少硬件系统误差和环境噪声造成的电源电阻测量误差,可以对 X 射线机电源电阻进行一段时间内的连续测量,与离散数据得到的均值相比,连续时间段内得到的电源电阻均值更接近

实际状况。同时,该系统具有可视化特点,人机交互性较好,使用简单、便于操作,为准确测量X射线机电源电阻提供了一种新的方法和思路。

【参考文献】

- [1] 吕炳辉. 电源质量对X射线机照射质量的影响[J]. 中国医疗设备, 2008, 23(8): 92-93.
Lü BH. Influence of power quality on the photograph quality for X-ray machine[J]. China Medical Devices, 2008, 23(8): 92-93.
- [2] 李胜春, 唐盟, 刘莹, 等. 术中移动式C型臂X射线机的检测方法浅析[J]. 工业计量, 2020, 30(6): 24-27.
Li SC, Tang M, Liu Y, et al. Analysis of detection methods of mobile C-arm X-ray machine during operation[J]. Industrial Measurement, 2020, 30(6): 24-27.
- [3] 李亚妹, 周云. 基于LabVIEW的脉搏测量仪设计[J]. 电子测试, 2021(11): 31-32.
Li YM, Zhou Y. Design of pulse measuring instrument based on LabVIEW[J]. Electronic Test, 2021(11): 31-32.
- [4] 金野, 王博. 浅谈便携式X射线机的检测方法[J]. 中国医疗器械信息, 2020, 26(21): 10-11.
Jin Y, Wang B. Discussion on the testing method of portable X-ray machine[J]. China Medical Device Information, 2020, 26(21): 10-11.
- [5] 张利花. 信号注入法测量电容电流的关键技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2017.
Zhang LH. Study on the key technology of measuring capacitive current by signal injection method[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2017.
- [6] 李盟, 但志敏, 张伟, 等. 基于交流注入法的交流电机绝缘阻抗获取方法及装置: CN110108939B[P]. 2021-02-19.
Li M, Dan ZM, Zhang W, et al. Method and device for obtaining insulation impedance of AC motor based on AC injection method: CN110108939B[P]. 2021-02-19.
- [7] 张健鹏, 李绍鹏, 祁康, 等. 交流注入法ITN船舶岸电系统在线绝缘阻抗监测及故障定位[J]. 船电技术, 2020, 40(10): 19-21.
Zhang JP, Li SP, Qi K, et al. Insulation monitoring and fault location of ITN system based on low frequency signal injection[J]. Marine Electric & Electronic Technology, 2020, 40(10): 19-21.
- [8] 杨华, 李洁, 贺奇, 等. 基于LabVIEW的多种测试仪器集成控制系统设计[J]. 电子制作, 2021(11): 61-63.
Yang H, Li J, He Q, et al. Design of integrated control system for multiple test instruments based on LabVIEW[J]. Practical Electronics, 2021(11): 61-63.
- [9] 刘一, 陈云庆, 武泽, 等. 基于LabVIEW的正弦信号发生器的设计与验证[J]. 工业计量, 2021, 31(3): 61-63.
Liu Y, Chen YQ, Wu Z, et al. Design and verification of sinusoidal signal generator based on LabVIEW[J]. Industrial Measurement, 2021, 31(3): 61-63.
- [10] 刘晨, 沈介明. 基于LabVIEW的泄漏电流人体阻抗计算模型[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2021, 39(2): 18-21.
Liu C, Shen JM. Human impedance calculation model of leakage current based on LabVIEW [J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2021, 39(2): 18-21.
- [11] 全国医用电器标准化技术委员会. 移动式摄影X射线机专用技术条件: YY/T 0707-2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
Electrical Equipment in Medical Practice. Special specification for mobile X-ray camera: YY/T 0707-2020[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [12] 秦炳星. X射线机的维修及日常管理措施分析[J]. 电子元器件与信息技术, 2020, 4(6): 117-118.
Qin BX. Analysis on maintenance and daily management measures of X-ray machine [J]. Electronic Components and Information Technology, 2020, 4(6): 117-118.
- [13] Song RQ, Wen YQ, Si MY. Realization and research of single energy X-ray based on X-ray machine in low energy region[J]. Acad J Eng Tech Sci, 2020, 3(2): 17-25.
- [14] 陈宝莹. 大相对孔径数字化X射线成像系统的光学设计[D]. 长春: 长春理工大学, 2012.
CHEN B Y. Optical design with fast relative aperture for digital X-ray radiography system [D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2012.
- [15] Imagine Scientific Inc. Monochromatic X-ray imaging systems and methods: AU2018269056[P]. 2020-01-16.
- [16] Ponchut C, Tartoni N, Pennicard D. X-ray imaging at synchrotron research facilities[J]. Radiat Meas, 2021, 140: 106459.
- [17] Ravichandran R, Barman B, Deb RP, et al. Brachytherapy localization radiographs with conventional diagnostic X-ray machine[J]. J Med Phys, 2018, 43(1): 274-283.
- [18] 杨萌, 胡仁芳, 王圣浩, 等. X射线光栅相位衬度成像技术中背景扣除方法的比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(7): 649-659.
Yang M, Hu RF, Wang SH, et al. Background correction methods in X-ray phase-contrast imaging with Talbot-Lau interferometer: a comparative study[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(7): 649-659.
- [19] Pinard PT, Burgess S, Hyde A, et al. Joy of scanning with electron and X-ray imaging[J]. Microsc Microanal, 2018, 24(S1): 624-625.
- [20] Olbinado MP, Grenzer J, Pradel P, et al. Advances in indirect detector systems for ultra high-speed hard X-ray imaging with synchrotron light [J]. J Instrum, 2018, 13(4). DOI:10.1088/1748-0221/13/04/c04004.
- [21] Zscherpel U, Ewert U. Handbook of X-ray imaging: physics and technology[M]. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018.
- [22] Andersson C, Ingman J, Varescon E, et al. Detection of cracks in multilayer ceramic capacitors by X-ray imaging[J]. Microelectron Reliab, 2016, 64: 352-356.
- [23] 袁引弟, 梁容肇, 叶巧玲. 活动固定装置在C型臂机X-ray成像中的应用[J]. 护理实践与研究, 2020, 17(4): 155-156.
Yuan YD, Liang RZ, Ye QL. Application of movable fixing device in X-ray imaging of C-arm machine[J]. Nursing Practice and Research, 2020, 17(4): 155-156.
- [24] 石红梅, 赵思京, 魏祥, 等. 北京市东城区牙科X射线机性能及防护检测评价[J]. 中国辐射卫生, 2021, 30(5): 577-580.
Shi HM, Zhao SJ, Wei X, et al. Investigation on quality control and radiation protection of dental X-ray equipment in Beijing Dongcheng district [J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2021, 30(5): 577-580.
- [25] 王艳, 王远军, 聂生东. 医用诊断X射线源的研究进展[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(10): 1214-1216.
Wang Y, Wang YJ, Nie SD. Research progress in medical diagnostic X-ray sources[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(10): 1214-1216.

(编辑: 薛泽玲)