X 射线成像系统辅助设备的研发与应用

马飞越， 王 博
（国网宁夏电力公司电力科学研究院， 宁夏 银川 750011）

摘 要： 由于垂直布置的 GIS 设备、罐式断路器及瓷柱式断路器等开关类设备安装位置较高，现有 X 射线成像系统自带辅助装置在高度和角度上不能满足现场 X 射线成像检测需求。本文开发了一种高度、角度可调的移动式 X 射线成像系统辅助设备，并成功应用于 330 kV 瓷柱式断路器 X 射线成像检测中。应用结果表明：该装置不仅提高了 X 射线成像检测的效率，而且保证了试验人员安全性，为 X 射线成像检测技术的推广应用提供了帮助。

关键词： 高压开关设备； X 射线成像系统； 辅助设备
中图分类号： TM83 **文献标志码：** A **文章编号：** 1672-3643(2015)02-0041-05
有效访问地址： http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2015.02.008

Development and application on auxiliary equipment of X-ray imaging system

MA Feiyue, WANG Bo
(Power Research Institute of State Grid Ningxia Power Co., Yinchuan Ningxia 750011, China)

Abstract: Because the installation position of vertical layout switching equipments including GIS (gas insulated switch gear) equipment, tank circuit-breaker and live tank circuit-breaker are higher, the function at height and angle of the X-ray imaging system equipment cannot meet the imaging inspection requirements. The paper developes a height and angle adjustable and mobile X-ray imaging auxiliary equipment, and successfully applies to X-ray imaging inspection of 330 kV live tank circuit-breaker. The application result shows that the device not only improves the efficiency of x-ray imaging inspection, but also ensures the safety of test staff, provides help for the application and popularization of X-ray imaging inspection technology.

Key words: high voltage switching equipment; X-ray imaging system; auxiliary equipment
DOI: 10.3969/j.issn.1672-3643.2015.02.008

X 射线成像检测技术由于其快速性、可视化等特点，目前已广泛应用于电力行业开关类设备故障检测中。但由于垂直布置的 GIS 设备、罐式断路器及瓷柱式断路器等开关类设备高度较高，当

收稿日期： 2014-12-20
作者简介： 马飞越(1986)，男，工学硕士，从事高电压绝缘试验技术工作。

设备内部出现故障时，现有带电检测方法仅能够分析缺陷的类型，无法直观了解设备内部缺陷情况。而 X 射线成像检测技术虽可以实现设备缺陷部位结构的直观呈现，但现场应用所面临的较大的问题是 X 射线发射装置自带的辅助装置（支架等）在高度和角度上不能满足现场成像检测的需求，导致所拍摄的照片效果不理想，甚至无法对某些设备进行拍摄。

由于 X 射线成像检测技术引入电力行业时主要应用于气体封闭绝缘开关设备[1-2]，在其他电力设备中应用较少，宁夏电力公司率先将 X 射线成像检测技术应用于瓷柱式断路器，但受现场试验条件限制，X 射线成像效率较低且危险性较大。而目前针对 X 射线成像系统辅助设备研发的相关报道较少，在国际文献中尚未发现相关的研究。国内方面，云南电科院针对在现场拍摄过程中遇到的问题开发了链条式可调支架，但其高度无法满足 330 kV 瓷柱式断路器 X 射线成像需求；另一方面由于西北地区风沙大，冬季气温较低，链条式可调支架在西北地区推广应用前景较小。因此，研究开发移动式高度、角度可调遥控操作的 X 射线成像系统辅助设备，不仅可提高对垂直布置 GIS 设备、罐式断路器及瓷柱式断路器等位置较高电力设备 X 射线成像检测效率，更可保证 X 射线成像检测的安全性，有力地促进 X 射线成像检测技术在宁夏电网输变电设备状态检修工作中的推广应用。

1　X 射线 CR 成像系统

1.1　X 射线成像原理

X 射线是一种波长很短的电磁辐射，波长介于紫外线与 γ 射线之间。X 射线具有很高的穿透本领，能透过许多对可见光不透明的物质，如墨纸、木料等。这种肉眼看不见的射线可以使很多固体材料发生可见的荧光，使照相底片感光以及产生空气电离等效应。

X 射线在穿透物体过程中会与物质发生相互作用，因吸收和散射而使其强度减弱。强度衰减程度取决于物质的衰减系数和射线穿越的物质厚度。如果被照射物体的局部存在缺陷，且构成缺陷的物质的衰减系数又不同于试件，该局部区域的透过射线强度就会与周围产生差异。把胶片放在适当位置使其在透射射线的作用下感光，经处理后得到影像。影像各点的黑化程度取决于射线照射量（又称曝光量），由于缺陷部位和完好部位的透射射线强度不同，影像相应部位就会出现黑度差异。影像相邻区域的黑度差定义为“对比度”[3]，实验人员则可以根据对比度构成的不同形状的影像，判断设备的缺陷情况。

1.2　X 射线 CR 成像系统

工业用 X 射线成像原理和我们通常在医院、机场见到的拍片、CT、安检系统工作原理一样。X 射线在穿透不同的物体时与物质发生相互作用，因吸收和散射而强度变化，感光材料成像板（Imaging Plate，IP）接受到该强度变化信号后，经信号处理形成我们常见的影像[2-3]。用于开关类设备检测的一套完整的检测系统包括：控制箱、发生器、感光板（IP 板）、扫描仪、工作站、被试设备等。具体流程见原理示意图 1，首先连接各部件间连接线，通过对控制箱设置试验参数，射线发生器产生 X 射线对被试部位进行透射，正对设备背面 IP 板感光后经扫描仪扫描后形成数字影像。

图 1　X 射线 CR 成像原理

2　X 射线成像系统辅助设备的研发

X 射线成像系统辅助设备的研发，要求能够为宁夏电网 GIS 设备、罐式断路器及瓷柱式断路器等设备 X 射线成像检测提供帮助。330 kV 瓷柱式断路器的垂直结构如图 2 所示，断路器垂直高度为 6 995 mm。因此，为满足成像需求，辅助设备应满足升起后不低于 7 m 高度要求，并且能遥控旋转，实现角度可调功能。

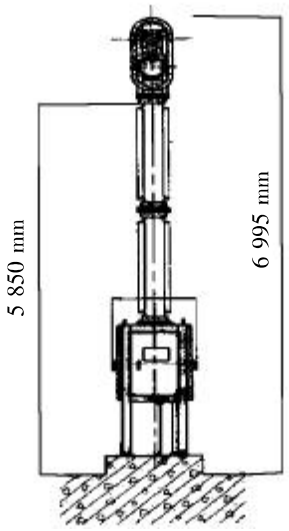

图 2　330 kV 瓷柱式断路器垂直结构

2.1　辅助装置升降功能

X 射线成像系统辅助设备要求升降高度不低于 7 m，为保证开发出的辅助设备高度满足要求的同时，整体设备具有运输及移动操作便捷性，利用铝合金材质密度低、强度高、塑性好等特点，将高强度铝合金作为升降机构主要材料。同时选用起升重量不低于 X 射线发射机自重(60 kg)的液压机构作为动力单元，不仅保证了升降的平滑性，更降低了整体设备的尺寸及重量。升降平台结构如图 3 所示，主要由液压动力单元、控制箱、液压油缸、铝合金桅柱、充气转向轮、拉动升降机构及安全支腿组成。控制箱外接 220 V 电源供电，实现对液压动力单元的控制，在液压油缸的作用下由拉动升降机构带动铝合金桅柱进行升降，整体装置的升降高度为 7 m，重量为 200 kg。通过充气转向轮实现平台的移动性，在起升操作时安全支腿展开，保证了平台的稳定性。

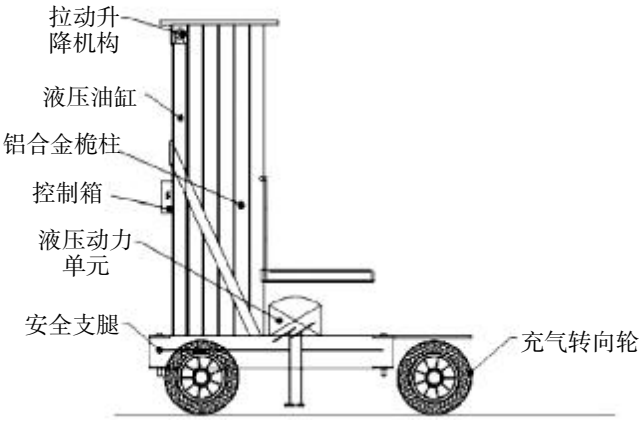

图 3　辅助设备升降平台结构

2.2　辅助装置旋转功能

由于 X 射线成像设备在升起后需要调整发射机角度对设备进行成像测试，要求辅助设备旋转平台在成像设备升高后或升降过程中对旋转的角度进行控制，并且旋转角度满足成像需求。因此，在升降平台的基础上构建支架的旋转平台，设计旋转与升降相互独立的控制回路，并实现相应的限位功能，防止 X 射线机在升起后由于人为操作失误造成与操作平台误碰，控制回路原理如图 4 所示。升降平台及旋转平台各自独立控制回路，同样使用 220 V 电源输入进行供电，使用遥控器操作进行旋转。当 X 射线机旋转至离升降桅柱 10 cm 时，触发相应旋转方向的非接触式限位开关(即当顺时针方向旋转时触发顺时针方向限位开关，当逆时针方向旋转时触发逆时针方向限位开关)，开关断开则相应方向无法进行旋转但反方向可以继续旋转。非接触式感应开关连接中间继电器，用继电器节点的开闭控制电机旋转。

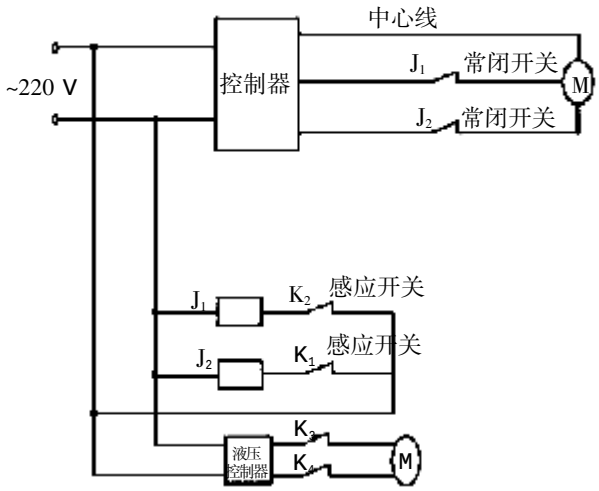

图 4　辅助设备控制回路

旋转平台通过齿轮轴套焊接于升降平台，并焊接旋转的齿轮，电机带动齿轮条前进及后退，通过齿轮条及齿轮的啮合实现平台的旋转。为保证齿条及齿轮在旋转过程中不会出现脱轨及滑齿现象，设计专门压紧螺栓与尼龙垫块对齿轮咬合部位进行压紧。限位开关采用 2 个电磁式非接触式接近开关，并设计专用限位开关支架实现位置扩展功能，控制旋转角度极限位置。旋转平台局部安装如图 5 所示。

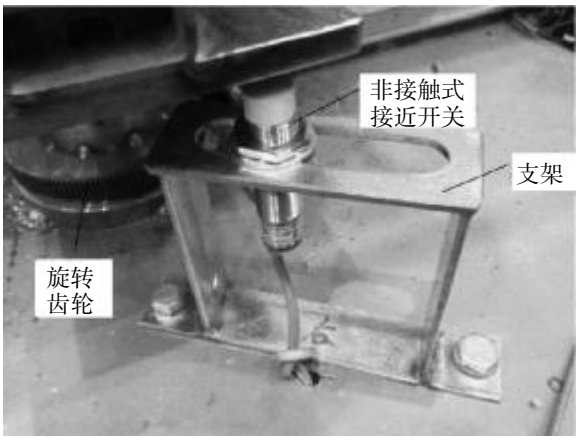

图 5　辅助设备旋转平台局部

2.3　其他功能

2.3.1　移动轮及运输架设计

X 射线成像辅助设备设计高度接近 2 m,自重为 200 kg,为保证整体支架的便捷运输,支架需放倒运输并保证能够满足皮卡车运输需求。因此,在支架的轴向侧面安装有 4 个移动轮，其中 2 个为万向轮，并在原有架构上焊接加强板保证移动轮牢固。设计制作 X 射线发射机辅助装置专用运输架,通过运输架可以实现整体装置的便捷装卸。

2.3.2　X 射线机对应接口

为保证 X 射线机升降旋转后的稳定性，需设计与 X 射线机相贴合的接口,X 射线成像系统辅助设备采用与 X 射线机原有支撑腿相同的接口结构设计，并且在固定接口部位设计专用尼龙垫块防止 X 射线机本体受到磨损;支架设计可折叠,在需要安装射线机时,单侧支架腿展开,安装射线机后,支腿折合并用定位销固定。

3　X 射线成像系统辅助设备应用效果

为验证研发的 X 射线成像系统辅助设备的功能及性能是否满足要求,特选择某 330 kV 变电站 330 kV 瓷柱式断路器进行 X 射线成像试验,并与未开发辅助设备时 330 kV 瓷柱式断路器 X 射线成像进行对比，图 6 为未使用辅助设备时 X 射线成像试验现场，图 7 为使用研发的 X 射线成像辅助设备进行 X 射线成像现场。从图 6 可以看出,未采用辅助设备时,需要 2 台陡臂车实现同步作业,试验人员将 X 射线成像设备安装在陡臂车 2 指定位置,射线机对准被试瓷柱式断路器后,需要进入陡臂车 1 中并离开试验区域，当 X 射线成像设备需要重新调整时需要再次借助陡臂车 1 进入陡臂车 2 中,不仅 X 射线成像效率较低,试验人员高空作业更增大试验的危险性。从图 7 可以看出,试验人员通过遥控及操作试验在地面就可以将 X 射线成像设备运送至指定位置,当需要角度调节时,通过旋转平台遥控实现 X 射线机旋转,并将 X 射线机对准被试瓷柱式断路器，试验人员在地面就可以完成高达 7 m 的被试设备的 X 射线成像检测，不仅提高了 X 射线成像检测的效率，更保证了 X 射线成像检测时电网、设备、人员的安全性。

图 6　未采用辅助设备时 X 射线成像现场

图 7　采用辅助设备时 X 射线成像现场

4　结论

(1)X 射线成像系统辅助设备液压升降机构

的研发，实现了试验人员在地面操控 X 射线成像设备的升降，并且升降高度满足 330 kV 瓷柱式断路器等较高位置开关类设备 X 射线成像需求。

（2）将旋转机构、非接触式接近开关结合实现 X 射线成像系统辅助设备旋转功能，不仅实现 X 射线成像设备遥控旋转，更提高旋转角度可控性，避免人员误操作引起的操作安全隐患。

（3）X 射线成像系统辅助设备采用与 X 射线成像装备固定支架相同接口，并实现可折叠性，设计专用移动轮及运输支架，为 X 射线成像设备安装提供便捷，进一步提高 X 射线成像检测的效率及安全性。

参考文献：

[1] 王达达，魏杰，于虹等.X 射线数字成像对 GIS 设备的无损检测[J].云南电力技术，2002，40(2)：8–10.

[2] 刘阳，赵建平，闫斌等.X 射线数字成像在 GIS 设备检测中的应用[J].新疆电力技术，2013，117(2)：21–23.

[3] 强天鹏.射线检测[M].北京：中国劳动社会保障出版社，2007.

（上接第 40 页）

（2）利用超声波带电测试手段若发现异常信号类似悬浮电位放电时，就无需再通过特高频法局部放电、SF_6 气体成分法等方法进一步的判定，因异常噪声是钢体的磁滞伸缩的现象产生的，因而它不会对 GIS 的运行带来危害。

（3）对 GIS 设备中出现异常信号的长期跟踪测试，会为今后 GIS 带电测试积累原始数据和经验。

参考文献：

[1] 连杰，李均. 363 kV GIS 断路器振动引起螺栓松动问题分析[J].西北水电，2013，2：62-64.

[2] 张仁豫，陈昌渔，王昌长.高电压试验技术[M].北京：清华大学出版社，2003：.31-35.

[3] 王伟华.论电力调度综合数据平台的主要技术[J].科海故事博览·科教创新，2009(1)：31-35.

[4] 徐武祥，杨强.云南电力调度综合数据平台研究与实施[J].云南电力技术论坛，2005(5)：21-25.

[5] 王渊，刘士进.电力调度数据平台中统一任务调度器的设计与实现[J].电力信息化，2007(10)：42-46.

[6] 肖燕，郁惟镛.GIS 中局部放电在线监测研究的现状与展望[J].高电压技术，2005(1)：16-19.

[7] 林峰，胡牧，蒋元晨，等.电力调度综合数据平台体系结构及相关技术[J].电力系统自动化，2007(1)：37-41.

[8] 李涛，杜晓平，刘焕光.GIS 带电测试技术的现状与发展[J].山东电力技术，2009(2)：53-56.

[9] 乐焕白，徐家慧，刘军，等.调度综合数据平台构建与关键技术研究[J].陕西电力，2009(4)：45-48.

[10] 陈化钢.电力设备预防性试验方法及诊断技术[M].北京：中国科学技术出版社，2001，3.

[11] 辛耀中.新一代电网调度自动化系统[J].电力系统自动化，1999(2)：32-36.

[12] 黄家旗.GIS 在线监测系统的研究[M].北京：清华大学出版社，2001.

[13] 石俊杰，李毅松，彭清卿，等.国家电网公司调度系统数据整合总体方案的思考[J].电力信息化，2006(4)：43-49.

[14] 何宾，王勇. GIS 带电测试技术在广州的应用[J].高电压技术，2004，(4)：21-28.

[15] Q/GDW 1168—2013，输变电设备状态检修试验规程[S].

[16] 德军，沈威，郭志强.GIS 局部放电常规检测和超声波检测方法的应用比较 [J]. 高压电器. 2009，45 (3)：99-103.

什么是应用研究

应用研究是把基础研究发现的新知识、新理论用于特定目标的研究，产生新方法、新方案和建立新标准等。它是基础研究与开发研究之间的桥梁。基础研究获取的知识必须经过应用研究才能发展为实际运用的形式。