

A Case of No-Ray Fault Repair for New Oriental 1000 FADR

Bingyan Lin

Anxi County Hospital, Anxi County, Fujian Province, 362400, China

Abstract

The New Oriental 1000FADR X-ray detection equipment is a core piece of equipment in the field of industrial non-destructive testing. Its operational reliability has a direct and crucial impact on the safety of production operations and the quality of detection results. This study focused on the typical failure of “no X-ray output” that occurred after the equipment had been operating under high load for a long time. It conducted a comprehensive research on the diagnosis and maintenance practices of the entire process for this fault. Through the construction of a systematic fault tree model, the top event of this fault was gradually decomposed into potential failure forms of subsystems such as the high-voltage system, X-ray tube components, control system, and cooling system. Finally, the cause of the fault was accurately identified. After the equipment was repaired, it was verified that the operational stability of the equipment had significantly improved. This study aims to provide a reference for the stable operation of similar high-energy X-ray detection equipment.

Keywords

X-ray detection equipment; no X-ray output fault; fault diagnosis

新东方 1000FADR 不出射线故障维修一例

林炳炎

安溪县医院, 中国·福建 安溪 362400

摘要

新东方1000FA型DR机通过数字成像技术实现头颅、胸部、腹部、骨骼等多部位进行诊断检查,其运行可靠性对诊断结果质量具有直接影响。此次针对该设备在使用中出现的“无射线输出”故障,开展了系统诊断及维修实践的全流程工作。通过构建系统化故障树模型,将该故障顶层事件逐级拆解为控制系统、高压系统、射线管组件、平板探测器等子系统的潜在失效形式,最终精准定位故障成因。设备维修完成后,经验证,设备运行恢复正常。

关键词

X射线检测设备; 不出射线故障; 故障诊断

1 设备故障现象具体描述及分析

1.1 设备故障现象及工作原理

2024年3月12日,一台累计运行时长约6500h的新东方1000FADR型X射线检测设备,在使用时突发故障,核心故障表现在设备全程无任何声光报警信号发出,布设于射线窗口正前方的经计量校准的射线剂量仪读数持续为零,经约1min持续观测,设备始终无射线输出,操作控制界面亦未弹出任何异常故障代码。该设备的工作运行原理是控制系统根据拍摄部位预设的管电压、管电流和曝光时间,输出相匹配的控制指令信号,高压发生器接收该控制信号后,产生相应的高压和电流加载至射线管产生X射线,生成的X射线穿透被检查患者检查部位后由平板探测器接收,设备

AEC功能根据探测器接收到的实时感光量,自动计算最佳管电压、管电流和曝光时间参数并迅速调整,既确保影像质量的同时降低辐射剂量,减少辐射对患者、公众人的影响。设备系统由门机联锁和紧急开关等安全联锁保护装置,系统运行过程中一旦出现任何异常,将立即触发保护性停机程序,终止设备运行。

1.2 基于故障树的根源分析框架

此次采用故障树分析方法搭建专项分析模型,将设备“无射线输出”界定为顶事件,并对其进行逐级向下的逻辑拆解与要素展开,具体分析框架见图1。该故障树模型直观且全面地厘清了所有可能诱发顶事件的底层失效原因,为后续开展各环节逐项的故障诊断工作,构建了系统性的核查依据与完整的检测清单。

【作者简介】林炳炎(1970-),男,中国福建安溪人,本科,工程师,从事医疗设备管理维护研究。

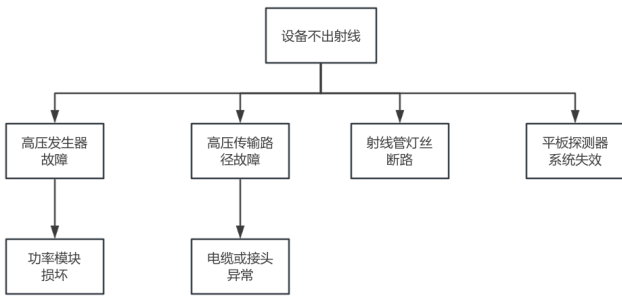


图1 新东方1000FADR不出射线故障树分析图

1.3 关键部件故障机理剖析

根据该型号设备的典型故障模式与本次无报警的故障表征，选取多个高概率底事件开展机理分析^[1]。在高压发生器整流/逆变模块失效方面，高压发生器为设备的核心动力单元，其内置的绝缘栅双极型晶体管模块与整流二极管，长期处于高电压、大电流的高频开关工况，易因热应力累积、电压尖峰冲击或材料老化引发击穿短路或开路故障。在射线管灯丝断裂方面，灯丝作为设备的易耗部件，灯丝断裂后，阴极将完全丧失热电子发射能力，即便高压回路输出正常，设备也无法产生X射线。在高压连接界面接触不良方面，高压电缆与射线管、高压发生器间的插接件，受长期热胀冷缩、设备振动等因素影响，会出现接触电阻异常增大的问题。在平板探测器方面，作为数字射线成像系统的核心成像单元，其内部硬件架构由闪烁体、光电二极管阵列及读出电路三大核心模块构成。该部件的典型故障类型主要包含：闪烁体经长期使用发生老化引发的射线转换效率衰减，光电二极管出现器件损坏或暗电流参数异常，读出电路板发生功能性故障，数据传输接口出现接触不良等。上述各类故障均可能造成平板探测器无法正常实现X射线信号的接收与光电转换，进而引发成像质量劣化问题，或直接触发系统的保护性停机机制。

2 系统化故障诊断流程与实施

遵循“由简至繁、由外及内”的故障诊断原则，按下述流程开展系统性检测排查工作^[2]。首先，在电源输入环节，对设备输入端子三相电压实施实测，数值均为389V且三相平衡度良好，据此排除电网供电异常的故障诱因。进行安全联锁回路检测，采用短接方式对门开关及紧急开关等所有联锁信号进行模拟触发，通过万用表检测PLC输入点工作状态及输出继电器动作情况。进行控制信号溯源检测，在下发“出束”操作指令时，利用示波器采集控制板卡向高压发生器传输的“高压使能”信号与“设定电压”模拟量信号(0-10V)，初步判定控制系统的指令输出模块工作正常。进行静态绝缘性能测量，运用绝缘电阻测试仪对高压发生器输出端的对地绝缘电阻进行检测，实测数值>5000MΩ，设备绝缘性能达标。通过万用表二极管档位对三相整流桥模块进行性能检测，发现其一桥臂正反向电阻均为数欧姆，判定该

桥臂已发生击穿短路故障。进一步对IGBT模块的门极-发射极、集电极-发射极间电阻进行检测，未检测到明显短路现象，为保障维修可靠性，将其列为可疑故障器件。进行射线管基础性能检测，将高压电缆与射线管拆解分离，进行射线管基础性能检测，将高压电缆与射线管拆解分离，对射线管阴极灯丝两引脚间的直流冷态电阻进行检测，实测阻值为无穷大，初步判定灯丝发生断路故障。高压电缆接头经目视检测，发现存在轻微发黑与氧化腐蚀的表观缺陷。针对平板探测器的检测作业，需遵循分层排查的流程开展：首要对探测器的供电回路及通信链路的连接状态进行有效性核查，其次可调用设备内置的探测器自诊断程序，或执行图像均匀性检测试验，对其运行状态进行初步判定。若现场具备检测条件，可通过专业测试软件调取探测器的暗场噪声、坏点分布、增益一致性等核心技术参数，依据参数检测结果对探测器的内部故障进行精准定位。

最后，进行故障综合分析与精准定位，结合上述全流程诊断检测数据开展综合分析，最终完成故障精准定位。高压发生器内置整流桥模块发生击穿故障，造成高压生成电路前端环节失效，是导致设备高压无输出的直接原因。射线管阴极灯丝实测阻值为无穷大，证实灯丝已发生物理性断裂，完全丧失热电子发射能力。同时也从技术层面解释了故障发生前设备未出现明显放电打火征兆的原因。高压电缆接头经目视检测，发现存在轻微发黑与氧化腐蚀的表观缺陷。平板探测器经内置自诊断程序完成全面检测后，检测结果显示其成像均匀性指标达标，未检测到显著坏点及条带类缺陷，据此可排除探测器本体存在故障的可能性。经过逐级诊断过程与数据记录，综合判定此次设备无射线输出故障为复合型故障，由高压发生器核心部件损坏与射线管本体故障共同诱发。高压电缆接头的氧化腐蚀问题则界定为设备运行过程中的潜在风险点。

3 维修操作与技术要点

3.1 高压发生器维修

对核心功率元件进行更换，选用同型号三相整流桥模块完成更换，同时考虑到IGBT模块已长期服役且处于严苛工作工况，为消除潜在失效隐患，对同型号IGBT模块实施预防性更换^[3]。进行标准化安装工艺执行，彻底清除散热器表面的失效导热硅脂，均匀涂覆全新高导热系数硅脂，模块固定螺丝的紧固操作采用扭矩扳手实施，遵循对角线紧固原则分两次拧至额定扭矩，确保模块与散热器间的散热接触压力均匀分布。

3.2 射线管更换与预处理

射线管作为设备的核心精密部件，兼具高价值特性，其更换作业需严格遵循操作规范并实施精细化管控。旧管拆卸工序方面，需要精准记录旧射线管在设备机壳内的安装角度及定位销的装配位置，做好清晰标记留存。对设备完成彻

底放电操作后，拆解高压电缆与灯丝电缆的连接节点。新管检测与预处理工序方面，新射线管拆箱后，首先开展外观质量检测，确认管体无碰撞损伤、陶瓷绝缘子无裂纹等外观缺陷。借助专用吊具将完成预处理的新管精准对准安装工位，确保定位销精准入位，保证安装基准无误。采用扭矩扳手实施安装螺栓的紧固操作，遵循对角线分步紧固原则，力矩值严格参照设备技术手册规定执行，确保密封面受力均匀。完成灯丝电缆与高压电缆的精准连接，确保接线牢固无松动。

3.3 高压电缆接头处理

进行清洁打磨处理，拆卸高压电缆铜质接头，采用 600 目及以上细砂纸对其接触表面进行轻柔打磨，彻底去除表面氧化腐蚀层，直至露出均匀金属本色；随后采用无水乙醇与无绒擦拭布对打磨后的接头表面进行彻底擦拭清洁，去除残留杂质与粉尘。进行导电膏涂覆操作，在接头接触端面均匀涂覆一层薄层高品质电力复合脂，其核心作用为降低接触电阻、抑制接触表面氧化腐蚀，并优化接头连接处的电场分布，保障高压传输稳定性。进行可靠连接紧固，将处理完毕的接头重新装配至射线管与高压发生器的对应接口，采用扭矩扳手按规定紧固力矩实施紧固作业，确保接头连接可靠、无松动隐患，满足高压运行要求。

4 维修效果全面验证与长期稳定性评估

4.1 性能指标恢复验证

设备完成维修作业后，优先启动其内置的球管更换后校准程序。该程序可自动完成管电压、管电流及曝光时间的软件校准操作，并同步生成标准化校准报告。工程技术人员可通过核查报告内各核心参数是否处于额定允许偏差范围，例如管电压误差 $\leq \pm 2\%$ 、管电流误差 $\leq \pm 5\%$ ，对设备维修效果进行初步判定。与此同时，可调用设备自带的剂量输出测试功能，在 80kV、100mA、200ms 等常用曝光工况下开展测试作业，观测设备控制界面的剂量显示数值是否保持稳定，并将该数值与维修前留存的额定基准值进行对比分析。若现场未配备专业剂量检测仪器，可采用铝阶梯模体等标准模体进行曝光成像，通过观测成像画面的密度均匀性，对射线输出的稳定性进行间接评估。

4.2 成像质量验证

本设备搭载成像质量自动分析软件，可对检测成像完成均匀性、分辨率、信噪比等核心指标的自动化量化评估，其具体操作流程如下。首先，进入设备质控功能菜单，选定成像质量验证功能模块。依据系统提示，将线型像质计、均匀性模体等标准测试模体精准放置于探测器探测面。选取 80kV、100mA、200ms 的推荐常用曝光参数完成射线曝光操作。系统将对成像开展自动化分析运算，同步输出通过/未通过的定性判定结果，及可识别最细线对、均匀性误差等定量指标数值。若分析结果出现异常，可结合成像伪影的形态与分布特征，进一步甄别故障成因是否指向探测器异常或射线输出系统故障。除此以外，也可依托日常检测获取的临

床成像开展主观评价，通过观测成像清晰度、对比度适配性、伪影存在情况等维度，综合验证设备整体成像性能是否恢复至额定工作状态。

4.3 预防性维护体系构建

基于本次设备故障诊断与维修的实践经验及总结的问题教训，为从根源上降低同类故障的发生概率，构建并严格落实设备预防性维护体系。通过制定分级维护计划、进行关键参数趋势监控与预测性维护、备件管理与人员培训、构建战略备件储备体系方面进行展开。

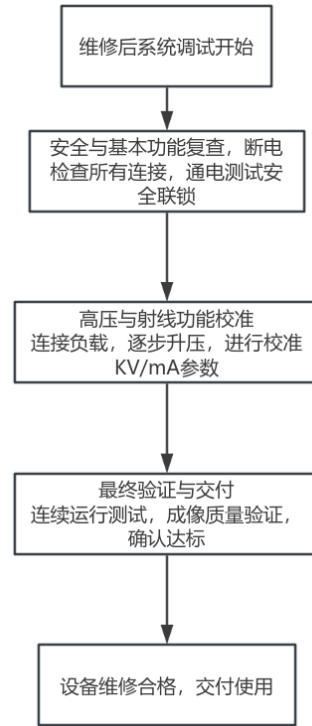


图 2 系统统调与校准流程图

5 结语

本次新东方 1000FADR 型高能 X 射线检测设备无射线输出故障的成功处置，是针对高端技术设备故障开展系统性工程化处理的典型实践案例。本文所梳理总结的故障诊断思路、标准化维修工艺及全流程运维策略，不仅适用于新东方 1000FA 型 DR 设备，其核心技术原理与实施方法亦可推广应用于其他型号的高能 X 射线检测设备，以及各类同类型高压精密电子设备的运维管理与故障维修实践，具备一定技术参考价值。

参考文献

- [1] 成磊,李巧,屈国民,等.数字成像射线检测技术(DR)在GIS设备故障检测中的应用[J].电工技术,2025,(08):210-212.
- [2] 陈庆军,李国光,冯林凯,等.基于X射线数字成像检测技术的组合电器故障定位策略[J].电工技术,2025,(16):220-222.
- [3] 申路,王彪.数字X射线摄影系统平板探测器工作原理分析及故障维修[J].中国医学装备,2022,19(12):208-210.