

# 心电监护仪日常维护及故障维修

方全

苏州市第九人民医院 江苏 苏州 215200

**摘要：**心电监护仪作为临床重要的生命体征监测设备，其性能稳定性直接影响诊疗质量。研究系统探讨了心电监护仪的日常维护流程、常见故障诊断及维修技术，重点分析了电源系统、信号采集模块及软件算法的维护要点。通过实际案例验证了全生命周期管理方案的有效性，提出了基于数据驱动的预防性维护策略，为提升医疗设备管理水平提供了理论依据和实践指导。

**关键词：**日常维护；故障诊断；预防性维护

## 引言：

心电监护仪是现代医疗环境中不可或缺的设备，其长期稳定运行对患者生命安全至关重要。然而，随着使用年限增加，设备性能逐渐衰减，故障率显著上升。本文从技术角度出发，结合医疗设备管理规范，系统梳理了心电监护仪的维护与维修关键技术，旨在通过科学化管理延长设备使用寿命，降低临床风险。研究内容涵盖设备硬件维护、软件故障修复及典型案例分析，为医疗机构的设备管理提供参考。

## 1 心电监护仪全生命周期管理

心电监护仪的管理需贯穿设备全生命周期，从采购到报废各环节均需建立标准化流程。采购阶段应依据 IEC 60601-2-27 标准制定技术规范，重点评估设备的导联数、采样率、共模抑制比及抗干扰性能。验收环节需执行严格的安装确认、运行确认、性能确认验证，安装确认验证电源环境与接地电阻，运行确认验证 QRS 检出率及 ST 段测量精度，性能确认通过临床模拟测试验证实际使用效果。日常管理需依托医疗设备管理系统，为每台监护仪分配唯一性 UDI 编码，实时记录使用时长、故障率及维护历史。维护管理依据 AAMI EQ56 标准制定预防性维护计划，高风险科室设备每季度至少维护一次，重点检测导联线阻抗、电池容量及滤波器性能。校准环节需使用 ECG-3A 模拟器验证各通道增益一致性及相位延迟。报废管理需综合评估设备技术状态与经济性，当关键性能指标（如 QRS 检出率）持续低于 90% 或维修成本超过设备残值 60% 时，启动报废程序。

## 2 日常维护流程

心电监护仪的日常维护需遵循系统性操作流程，首阶段应进行设备表面与功能组件的物理清洁。使用 75% 乙醇棉片擦拭外壳及导联线表面，重点清除电极接触区域的导电膏残留，操作时需避免液体渗入接插件内部。对于具备 IPX2 防护等级的设备接口，需采用气枪清除粉尘沉积并检查密封圈完整性。第二阶段聚焦电源系统与内部电路状态验证。

## 3 常见故障与维修方法

### 3.1 常见故障类型及诊断

心电监护仪在临床使用中易受多因素影响产生典型故障，其诊断需结合设备自检系统与专业技术手段协同分析。常见故障的诊断逻辑如表 1 所示：

表 1：典型故障的诊断逻辑

故障现象	可能成因	诊断方法
持续基线漂移	电极接触阻抗 $> 5k\Omega$	使用四线制阻抗仪测量阻抗
间歇性信号丢失	导联线内部断裂	分段测量导联线电阻，配合动态弯折测试
心率显示值异常	肌电干扰抑制失效	频谱分析 50-60Hz 噪声幅值，验证数字滤波器的阻带衰减 $> 40dB$
电池续航锐减	单体电池容量失衡	执行完整充放电循环，记录各单体电压极差
软件界面卡顿	存储器扇区坏块累积	运行 FLASH 诊断工具检测 UBI 坏块率

此外，高级诊断需结合设备运行日志分析，例如当存储模块记录到连续 3 次过压保护触发 ( $> 12VDC$ )，即可定位电源管理 IC 故障。对于起搏脉冲识别失效问题，需使用具备 ISO-5840 认证的心电模拟器输出 2ms/5mV 起搏信号，验证设备捕捉率是否达到 100%。

### 3.2 故障维修方法

#### 3.2.1 电源故障维修

心电监护仪电源故障维修需遵循分级处理原则，首阶段应针对外接电源系统进行系统性排查。使用可编程电子负载模拟设备运行工况，检测适配器输出电压在 0-100% 负载范围内的稳定性，当波动幅度超过标称值  $\pm 5%$  或纹波系数  $> 100mVp-p$  时，需拆解适配器外壳检查整流桥堆与滤波电容状态。对于采用功率因数校正电路的高端机型，需使用示波器捕捉交流输入端电流波形，

验证总谐波失真是否满足 IEC 60601-2-27 标准规定的 < 15% 限值。当检测到组内电芯电压极差 > 0.2V 或容量离散度 > 15% 时, 需激活电池管理系统的均衡电路进行校准; 若均衡后仍无法恢复性能, 则按原厂规格更换匹配内阻 ( $\pm 5\text{m}\Omega$ ) 的锂聚合物电芯组。

电源管理模块级维修涉及复杂电路分析, 需借助热成像仪定位过温元件。当 DC-DC 转换器输出异常时, 应测量开关频率与占空比参数, 配合 LCR 表检测功率电感饱和电流值是否达标。对于多路输出的隔离电源, 需验证初级-次级间绝缘阻抗及 Y 电容漏电流。维修后执行 72 小时老化测试, 模拟 0.2C-1C 动态负载循环, 并采用电能质量分析仪验证 EMC Class B 标准, 同步更新电源固件 EEPROM 寿命计数器及 MTBF 校准参数。

### 3.2.2 信号干扰与失真处理

心电监护仪信号干扰与失真的处理需从干扰源定位与信号链优化双重维度展开。临床环境中 50Hz 工频干扰是最常见干扰源, 其成因多与设备接地不良或导联线屏蔽层破损相关。检测时需使用隔离示波器测量患者导联点的共模电压幅值, 当超过  $0.5V_{\text{rms}}$  时, 应检查设备接地阻抗是否满足 IEC 60601-1 标准 ( $\leq 0.1\Omega$ ), 并采用四线制低阻测试仪验证屏蔽层连续性。对于动态环境中的电磁干扰, 需在信号采集模块前端增设瞬态电压抑制二极管, 其钳位电压应设定在  $\pm 6\text{V}$  以内, 响应时间  $\leq 1\text{ns}$ , 同时优化 PCB 布局中的信号-地线比例至 1:1 配置。

肌电噪声抑制需结合硬件滤波与软件算法协同处理。在硬件层面, 应确保前置放大器的输入阻抗 >  $10\text{G}\Omega$  以降低信号衰减, 带通滤波器的 -3dB 截止点严格控制在 0.05-150Hz 范围, 使用网络分析仪检测滤波器过渡带滚降特性时, 要求 60Hz 处衰减 > 40dB。导联线内部故障诊断需时域反射计注入 1ns 脉冲定位断点, 修复后使用 ECG-3A 标准信号验证通道性能。各导联增益差异需 <  $\pm 2\%$ , 相位延迟 < 5ms, 并通过注入 MIT-BIH 数据库信号验证 QRS 检出率恢复至 99% 以上。

### 3.2.3 传感器更换与维修

心电监护仪传感器系统的维修需基于失效模式精准判断与标准化操作流程。当电极接触阻抗持续 >  $5\text{k}\Omega$  或出现氧化层剥落时, 应启动 Ag/AgCl 电极更换程序, 拆卸旧电极时需使用防静电镊子避免损伤接触界面, 新电极安装前需使用皮肤阻抗模拟器验证信号采集线性度, 确保在  $3\text{k}\Omega$  负载下输出幅度衰减 < 5%。导联线维修需重点关注应力释放区域, 采用时域反射计检测断点时, 向线缆注入 2ns 上升沿脉冲, 通过反射系数  $\Gamma > 0.8$  判定金属丝断裂位置, 修复后需进行 500 次

弯折循环测试验证机械可靠性。

对于集成式压阻呼吸传感器, 维修需校准其灵敏度参数。在体模测试中施加 10-40 次/分钟模拟呼吸信号, 使用高精度压力传感器对比输出波形, 若幅度偏差 > 10% 需调节惠斯通电桥的补偿电阻。血氧探头维修需检测红光与红外光 LED 发射强度, 通过光谱分析仪验证波长偏移 <  $\pm 3\text{nm}$ , 光电二极管响应度差异需控制在  $\pm 2\%$  以内。所有光学部件清洁需使用专用光纤清洁棒, 避免异丙醇残留影响透光率。传感器系统重组后需执行综合性能验证, 采用 ECG-3A 标准信号源同步注入多生理参数模拟信号, 验证心电、呼吸、血氧参数的采集同步误差 < 50ms。

### 3.2.4 软件故障修复

心电监护仪软件故障修复需遵循医疗设备软件验证规范 (IEC 62304), 重点解决算法异常与数据流中断问题。当出现 QRS 波群漏检时, 需通过 JTAG 调试接口提取 DSP 模块的实时运行堆栈, 分析 R 波检测算法的阈值自适应机制是否失效, 必要时注入 MIT-BIH 标准数据库信号重新训练卷积神经网络模型。对于波形显示断层现象, 应检查显示缓冲区的双缓冲同步机制, 使用逻辑分析仪捕捉 LVDS 接口的帧同步信号时序, 确保刷新率与 60Hz 医用显示屏的垂直消隐期精确匹配。

数据存储故障修复需结合闪存文件系统特性, 采用 UBI/UBIFS 工具检测坏块分布, 当坏块率 > 5% 时执行低层格式化并重建 wear-leveling 平衡表。通信协议异常需通过 CAN 总线分析仪捕获设备与中央站的 HL7 报文, 校验 CRC32 校验码与数据包序贯性, 异常时更新  $\mu\text{C}/\text{OS-III}$  系统的 Socket API 底层驱动。

## 4 案例分析

为验证心电监护仪日常维护及故障维修流程的实效性, 以某三甲医院为例, 该医院心内科在例行维护中发现一台监护仪频繁出现导联信号丢失报警。日常维护记录显示, 该设备已连续运行超过 8000 小时, 导联线弯折次数接近 3000 次, 电池循环计数达 500 次以上。通过 MDMS 系统调取历史数据, 发现近期导联线阻抗值逐步攀升至  $4.2\Omega/\text{m}$  (标准  $\leq 2\Omega/\text{m}$ ), 电池容量衰减至初始值的 68%, 且 QRS 波检出率从 99% 下降至 91%。

故障分析阶段, 使用四线制低阻测试仪分段检测导联线电阻, 发现应力释放区存在明显阻抗突变点, 结合时域反射计定位断点距末端  $12.3\text{cm} \pm 2\text{cm}$ 。故障波形图如图 1 所示:

电池性能检测显示, 组内电芯电压极差达 0.35V, 内阻最大值 >  $180\text{m}\Omega$ 。信号质量评估中, 注入 ECG-3A 标准波形发现 II 导联增益偏差达 -4.5%, 且 60Hz 工频

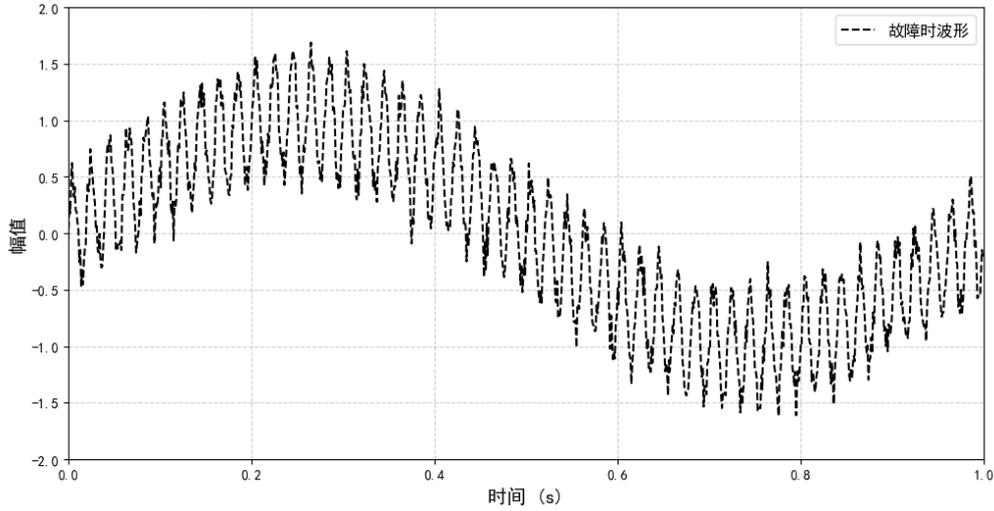


图 1: 故障波形

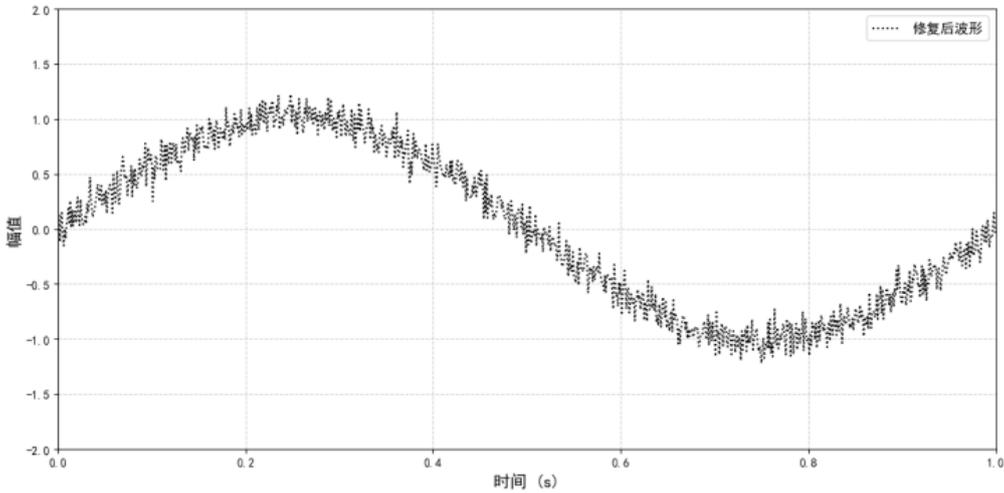


图 2: 修复后波形

干扰幅值超过 0.6mVpp。

维修实施过程，首先更换新型螺旋应力导联线（屏蔽效能 > 60dB@100kHz），使用医用级阻抗仪验证修复后线阻恢复至 1.8Ω/m。修复后波形如图 2 所示：

电池组更换采用原厂匹配电芯，执行完整充放电循环校准 BMS 参数，容量恢复至标称值 95% 以上。信

号通路校准中，使用 1mV/10Hz 方波重新标定放大器增益，确保各导联一致性控制在 ±1.5% 以内，并优化数字滤波器的阻带衰减特性。修复后 72 小时压力测试显示，QRS 波检出率恢复至 99.2%，ST 段测量误差稳定在 ±0.03mV 范围内，设备整体性能达到 ISO 80601-2-27:2020 标准要求。

**结 论：**

心电监护仪的日常维护与故障维修是保障其临床性能的关键环节。通过建立全生命周期管理体系，实施数据驱动的预防性维护策略，可显著降低设备故障率，延长使用寿命。案例分析表明，科学的维护流程与精准的故障诊断能有效恢复设备性能，确保其符合国际标准

要求。

**参考文献：**

- [1] 魏强. 心电监护仪的日常维护及常见故障维修策略 [J]. 设备管理与维修, 2023, (18): 99-101.
- [2] 纪澄, 杨在军. 浅析心电监护仪的日常维护及常见故障维修 [J]. 中国设备工程, 2023, (17): 77-79.

作者简介: 方全 (1982.4.7- ), 男, 汉族, 江苏吴江, 本科, 助理工程师, 职员, 研究方向: 医疗仪器管理与维修。