

血液透析机水路系统故障预警方法探讨

刘建平

广西柳州市三江侗族自治县中医医院 广西柳州

【摘要】血液透析机作为肾病治疗的关键设备，其水路系统故障严重影响治疗效果与患者安全。本文聚焦血液透析机水路系统故障预警方法。通过深入剖析水路系统常见故障，如流量、压力异常及电导度故障等产生的根源，从传感器技术应用、数据分析模型构建以及智能监测系统搭建等多维度探讨有效的故障预警方法。旨在提前察觉潜在故障隐患，降低故障发生率，确保血液透析机稳定运行，为临床治疗提供有力保障。

【关键词】血液透析机；水路系统；故障预警；传感器；数据分析

【收稿日期】2025 年 6 月 12 日

【出刊日期】2025 年 7 月 10 日

【DOI】10.12208/j.sdr.20250088

Discussion on early warning methods for water circuit system malfunctions in hemodialysis machines

Jianping Liu

Traditional Chinese Medicine Hospital of Sanjiang Dong Autonomous County, Liuzhou, Guangxi

【Abstract】Hemodialysis machines are crucial equipment for kidney disease treatment, and malfunctions in their water circuit systems seriously affect treatment efficacy and patient safety. This article focuses on early warning methods for water circuit system malfunctions in hemodialysis machines. By deeply analyzing the root causes of common malfunctions in the water circuit system, such as flow and pressure abnormalities and conductivity faults, this article discusses effective early warning methods from multiple dimensions, including sensor technology application, data analysis model construction, and intelligent monitoring system setup. The aim is to detect potential malfunction hazards in advance, reduce the occurrence of malfunctions, ensure stable operation of hemodialysis machines, and provide strong support for clinical treatment.

【Keywords】Hemodialysis machine; Water circuit system; Fault warning; Sensor; Data analysis

引言

血液透析是终末期肾病患者维持生命的重要治疗手段，血液透析机的稳定运行至关重要。水路系统负责透析液的制备、输送与循环，其故障发生率较高。一旦水路系统出现故障，不仅会中断透析治疗，还可能引发严重医疗事故，危及患者生命安全。探究精准有效的血液透析机水路系统故障预警方法，对提升透析治疗质量、保障患者安全意义重大。

1 血液透析机水路系统常见故障剖析

血液透析机水路系统作为维持透析治疗正常运转的核心部分，其运行状态直接影响患者治疗效果与安全。该系统由水源连接装置、供水泵、透析液配比系统、管路网络、压力调节组件及各类传感器等多个部件构成，各部件间紧密协作，确保透析液浓度、流量及压力等参数维持在精准区间。在实际运

行过程中，水路系统常因机械损耗、操作不当或外部环境干扰出现故障。流量异常问题尤为突出，当供水泵长期运转导致叶轮磨损，或透析液管路因结晶物沉积发生堵塞，都会造成流量下降。若未及时处理，不仅影响透析效率，还可能导致透析器无法充分发挥作用，使患者体内毒素清除不彻底。透析液循环路径中存在空气残留，也会扰乱水流连续性，造成流量波动。

压力异常故障对水路系统的危害同样不容忽视。水供应中断是引发压力异常的常见原因之一，市政供水不稳定、水源过滤器堵塞或供水管道破裂，都会导致进入透析机的水压骤降。而管路密封性能下降则是压力异常的另一关键诱因，随着设备使用年限增加，管路接头处的密封圈会因老化失去弹性，微小缝隙致使压力外泄^[1]。更为严重的是，若管路存

在肉眼难以察觉的破损,高压状态下可能引发液体喷射,不仅污染设备,还会对医护人员及患者造成安全隐患。压力异常还会干扰透析液配比精度,影响透析治疗效果。

电导度异常在水路系统故障中也较为频发,其本质是透析液离子浓度失衡。浓缩液配比环节出现偏差,如浓缩液稀释比例错误、浓缩液桶连接松动导致原液泄漏,都会改变透析液中电解质含量^[2]。透析液流量不稳定同样会影响电导度,当流量过大时,浓缩液未能充分稀释;流量过小时,又会使透析液浓度过高。电导度传感器自身性能衰减或被杂质附着,也会导致测量数据失真。这些因素相互交织,使电导度偏离正常范围,直接影响透析液对患者体内电解质的调节作用,严重时可能引发患者心律失常、肌肉痉挛等不良反应。

2 基于传感器技术的故障预警手段

传感器技术的应用为血液透析机水路系统故障预警提供了可靠的技术支撑。压力传感器作为监测水路压力的关键设备,其工作原理基于压阻效应或电容效应,能够将压力变化转化为电信号进行精准测量。在实际应用中,压力传感器通常安装在水路系统的关键节点,如供水泵出口、透析器入口及管路分支处。当水供应不足导致压力下降时,传感器会迅速捕捉到压力值的降低,并将信号传输至设备控制单元。控制单元依据预设的压力阈值,判断是否触发预警机制。若压力持续低于正常范围,系统将发出声光警报,提醒工作人员检查供水管道、水源过滤器或供水泵的工作状态,及时排除故障隐患。

流量传感器在透析液流量监测方面发挥着不可替代的作用。目前常用的流量传感器包括电磁式、超声波式及涡轮式,不同类型的传感器适用于不同的应用场景。电磁式流量传感器利用法拉第电磁感应定律,对导电液体的流量进行测量,具有精度高、线性度好的特点;超声波流量传感器则通过测量超声波在流体中的传播时间差来计算流量,安装简便且对管路无阻碍;涡轮式流量传感器依靠流体推动涡轮转动,通过转速计算流量,灵敏度较高^[3]。这些流量传感器能够实时监测透析液在管路中的流速与流量,一旦发现流量突然增大或减小,或出现周期性波动,便会向控制系统发送异常信号。

电导度传感器是保障透析液离子浓度稳定的重要防线。其通过测量透析液的电导率,间接反映溶

液中离子的总浓度。电导度传感器多采用电极式设计,当透析液流经传感器电极时,电极间的电阻变化与溶液电导率相关,经过信号转换与处理,可得出准确的电导度数值。在实际运行中,传感器持续监测透析液电导度,并与设备预设的标准值进行对比。一旦发现电导度偏离正常范围,系统会立即发出预警^[4]。当浓缩液配比错误导致电导度异常升高时,预警信号可提示工作人员检查浓缩液桶连接是否牢固、配比泵是否正常工作,以及浓缩液原液是否存在质量问题。通过合理布局压力、流量及电导度等各类传感器,构建起覆盖水路系统全流程的监测网络,能够及时捕捉故障早期征兆,为故障诊断与排除争取宝贵时间。

3 数据分析模型构建实现故障预测

构建数据分析模型是实现血液透析机水路系统故障预测的核心环节。首先,需要全面收集设备运行过程中产生的各类数据,这些数据涵盖压力、流量、电导度等实时监测参数,以及设备开机时长、累计运行时间、维护记录等运行状态信息。随着设备长时间运行,积累的数据量呈指数级增长,其中包含着丰富的设备运行规律与故障潜在信息。原始数据往往具有数据量大、维度高、噪声多等特点,难以直接用于故障预测,因此需要运用数据挖掘技术对其进行预处理。数据挖掘过程包括数据清洗,去除异常值与缺失值;数据集成,将不同来源的数据整合为统一格式;数据变换,通过归一化、标准化等操作提升数据质量;以及数据降维,减少数据维度,提高处理效率。

在完成数据预处理后,选择合适的机器学习算法构建数据分析模型至关重要。神经网络模型凭借其强大的非线性拟合能力,能够处理复杂的多变量关系,通过大量历史数据的训练,学习设备正常运行与故障状态下的特征模式。在训练过程中,神经网络不断调整内部参数,使模型输出尽可能接近实际故障情况。决策树模型则以其直观的决策规则与快速的预测速度受到广泛应用,它通过对数据进行分层划分,构建树形决策结构,根据输入数据的特征逐步做出判断,从而预测故障发生的可能性^[5]。随机森林模型作为决策树的集成算法,通过构建多个决策树并综合其结果,有效降低了模型的过拟合风险,提高了预测的稳定性与准确性。在实际应用中,通常会采用多种模型进行对比实验,根据模型的准确率、召回率、F1 值等评估指标,选择最适合的模

型用于故障预测。

模型构建完成后,并非一劳永逸,还需进行持续优化与更新。一方面,利用新产生的运行数据对模型进行再训练,使模型能够适应设备性能变化与运行环境差异;另一方面,结合实际故障案例,分析模型预测误差产生的原因,对模型结构或参数进行调整。当发现模型对某些罕见故障的预测效果不佳时,可针对性地增加相关数据样本,优化模型对特殊情况的识别能力^[6]。通过不断迭代优化,数据分析模型能够更加精准地预测水路系统潜在故障,在故障发生前及时发出预警,为设备预防性维护提供科学依据,降低突发故障发生率,保障透析治疗的连续性与安全性。

4 智能监测系统搭建保障运行安全

智能监测系统是整合传感器技术、数据分析模型及通信技术的综合性解决方案,旨在为血液透析机水路系统提供全方位的安全保障。该系统的核心架构包括数据采集层、数据处理层与信息交互层。数据采集层由分布在水路系统各关键部位的传感器组成,负责实时获取压力、流量、电导度等运行参数,并将模拟信号转换为数字信号传输至数据处理层。数据处理层集成了高性能计算模块与数据分析软件,接收采集到的数据后,首先进行数据校验与清洗,确保数据的准确性与完整性。然后,利用预先构建的数据分析模型对数据进行深度挖掘,通过模式识别与趋势分析,判断设备运行状态是否正常。一旦检测到异常数据,系统会依据预设的预警规则,迅速生成预警信息。

信息交互层是智能监测系统与工作人员之间的沟通桥梁,其具备多样化的预警方式。当系统检测到故障隐患时,首先会在设备操作界面发出声光警报,通过闪烁的指示灯与蜂鸣器引起现场医护人员的注意,同时在屏幕上显示具体的故障类型与位置信息,方便工作人员快速定位问题^[7]。系统还支持短信、邮件及即时通讯软件等远程预警功能,将预警信息发送至设备管理人员及相关技术人员的手机或电脑终端,无论其身处何地,都能及时获取设备异常情况。信息交互层还具备数据查询与可视化展示功能,工作人员可通过操作界面或远程终端,查看设备运行历史数据、实时监测曲线及故障统计报表,以直观的图表形式了解设备运行趋势与故障分布规律。

智能监测系统的另一重要优势在于其可与医院信息管理系统(HIS)、医疗设备管理系统(EMIS)

实现无缝集成。通过接口对接,系统能够将血液透析机的运行数据、维护记录及故障信息同步至医院信息管理平台,便于医院管理人员全面掌握医疗设备资源使用情况,合理安排设备维护计划与患者治疗档期。医疗设备管理系统可根据智能监测系统提供的数据,自动生成设备维护工单,提醒维修人员及时进行设备保养与故障修复^[8]。这种信息共享与协同工作模式,打破了信息孤岛,提升了医院整体管理效率,实现了对血液透析机水路系统从实时监测、故障预警到维修维护的全流程闭环管理,为血液透析治疗的安全稳定运行提供了坚实保障。

5 结语

血液透析机水路系统故障预警对保障透析治疗顺利进行、维护患者生命健康至关重要。通过深入剖析常见故障,运用传感器技术、构建数据分析模型以及搭建智能监测系统等方法,能够有效实现故障预警。未来,随着科技不断进步,应持续探索更先进的故障预警技术,如引入人工智能算法、拓展监测参数维度等,进一步提升预警准确性与可靠性,为血液透析治疗提供更坚实的保障。

参考文献

- [1] 谭博,廖琪,冉平,等.费森尤斯 5008 型血液透析机故障与维修二例[J].医疗装备,2024,37(19):84-85+87.
- [2] 丁文娟,于炜,毛丽.贝朗血液透析机典型故障维修[J].设备管理与维修,2024,(18):66-69.
- [3] 邓日练.费森尤斯 4008 系列血液透析机的典型水路压力故障与维修二例[J].医疗装备,2024,37(13):121-124.
- [4] 黄国飞,周素花.血液透析机消毒方法的研究进展[J].医疗装备,2024,37(12):157-159.
- [5] 丁文娟,焦自钊,毛丽.费森尤斯 5008S 血液透析机无维修卡故障维修分析[J].医疗装备,2023,36(13):104-106.
- [6] 马骥.基于血液透析机的维修与保养分析[J].中国医疗器械信息,2022,28(16):160-163.
- [7] 杨严,王艳.血液透析机水路系统分析与故障维修[J].中国医学装备,2022,19(07):195-198.
- [8] 叶诚.试析费森尤斯 4008B 血液透析机水路部分常见故障及解决办法[J].中国设备工程,2022,(01):190-191.

版权声明:©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS