

高速纸机电气设备状态监测与维护技术探讨

吴志勇

驻马店市白云纸业有限公司 河南 驻马店 463100

摘要：本论文围绕高速纸机电气设备状态监测与维护技术展开研究。系统剖析设备运行特性与故障风险，深入阐释振动监测、红外热成像等核心监测技术，探索CBM策略优化路径。针对技术集成难、数据处理复杂、维护成本高的实践挑战，提出系统性解决办法。研究证实，融合多种监测技术与优化后的CBM策略，能显著降低设备故障率，提升运行效率与可靠性，为造纸企业降本增效、推动行业高质量发展提供理论与实践支撑。

关键词：高速纸机；电气设备；状态监测；基于状态的维护（CBM）；故障诊断

引言：在造纸工业蓬勃发展的当下，高速纸机因高效稳定的生产优势被广泛应用。其电气设备作为核心组件，一旦故障，将引发纸机停机、纸张质量下滑等问题，统计显示，电气故障致停机时间占比达40%~50%，单次故障损失数十万元。传统定期维护存在过度与不足的弊端，而状态监测与CBM技术虽带来新方向，但实际应用面临技术集成、数据处理等难题。因此，深入研究高速纸机电气设备状态监测与维护技术，对提升设备可靠性、降低成本、推动造纸行业智能化进程意义深远。

1 高速纸机电气设备运行特性与故障风险分析

1.1 运行特性

高速纸机电气设备运行具有高转速、大功率、连续运行时间长等特点。以主传动电机为例，其功率通常在数百千瓦甚至上兆瓦，运行转速可达每分钟数千转，且需保持24小时连续运转，以满足造纸生产线的不间断生产需求。在纸机运行过程中，电气设备的负载会随着纸张品种、生产工艺的变化而频繁波动。例如，当生产不同克重、厚度的纸张时，纸机的牵引张力、卷取速度等参数需要进行调整，这会导致电机负载发生变化；在纸机启停、加减速阶段，电气设备也会承受较大的电流冲击和机械应力。此外高速纸机电气设备对运行环境要求较为苛刻。造纸车间内湿度较高、粉尘较多，电气设备长期处于这样的环境中，容易导致绝缘性能下降、部件腐蚀等问题。同时纸机运行过程中产生的振动和噪声，也会对电气设备的稳定性产生影响，增加设备故障发生的概率。

1.2 故障风险分析

高速纸机电气设备的故障类型多样，主要包括电机故障、变频器故障、PLC控制系统故障、传感器故障等。

（1）电机故障是常见故障之一，可能表现为绕组短路、轴承损坏、转子断条等。绕组短路通常是由于绝缘老

化、受潮或机械损伤引起的，会导致电机电流过大、发热严重，甚至烧毁电机；轴承损坏则可能因润滑不良、磨损、振动过大等原因造成，会引起电机运行时噪声增大、振动加剧，影响电机的正常运行。（2）变频器故障多与功率模块损坏、控制电路故障、散热不良等因素有关^[1]。功率模块在长期高负荷运行下，容易出现过热、击穿等问题；控制电路中的电子元件受环境因素影响，可能出现老化、失效现象，导致变频器控制失灵。（3）PLC控制系统故障主要涉及程序错误、输入输出模块故障、通信故障等。程序错误可能是由于编程不当或程序受到干扰引起的，会导致纸机运行逻辑混乱；输入输出模块故障会影响PLC对电气设备的控制与监测；通信故障则可能导致PLC与其他设备之间的数据传输中断，影响整个系统的协同运行。（4）传感器作为电气设备状态监测的关键部件，其故障会影响设备运行状态数据的准确性和完整性。传感器故障可能表现为信号失真、输出异常、传感器损坏等，例如温度传感器故障可能导致无法准确监测设备温度，无法及时发现设备过热问题，从而增加设备故障风险。

2 电气设备状态监测的核心技术体系

2.1 振动监测技术

振动监测技术是高速纸机电气设备状态监测的重要手段之一。电机、风机等旋转设备在运行过程中，正常状态下其振动具有一定的规律性。当设备出现故障时，如轴承磨损、转子不平衡、机械松动等，振动的频率、幅值和相位等参数会发生变化。通过在设备关键部位安装振动传感器，实时采集设备的振动信号，并对信号进行频谱分析、时域分析等处理，可以提取出反映设备运行状态的特征参数。例如，当轴承出现早期磨损时，振动信号中会出现特定频率的振动分量，通过分析这些特征频率，可以判断轴承的磨损程度和故障类型。振动监

测技术具有实时性强、灵敏度高的特点，能够在设备故障早期及时发现异常，为设备维护提供准确依据。目前先进的振动监测系统还具备智能诊断功能，通过机器学习算法对大量的振动数据进行训练，实现对设备故障的自动识别和诊断。

2.2 红外热成像技术

红外热成像技术利用物体表面的红外辐射特性，将物体表面的温度分布以图像的形式直观呈现出来。高速纸机电气设备在运行过程中，由于电流通过、机械摩擦等原因会产生热量，正常情况下设备各部位的温度处于一定的范围内且分布相对均匀^[2]。当设备出现故障时，如电气接头接触不良、绕组短路、散热风扇故障等，故障部位的温度会异常升高，通过红外热成像仪对设备进行扫描，可以快速检测到这些温度异常区域。例如对于电气柜内的接线端子，若存在接触不良问题，其接触电阻会增大，导致局部发热，红外热成像仪能够清晰地显示出温度升高的端子位置。红外热成像技术具有非接触式检测、检测范围广、可视化程度高的优点，可实现对电气设备的快速巡检，及时发现潜在的热故障隐患，避免设备因过热引发严重事故。

2.3 油液分析技术

对于含有润滑系统的电气设备，如大型电机的轴承润滑系统，油液分析技术是评估设备运行状态的有效方法。油液中包含了设备运行过程中产生的磨损颗粒、污染物以及润滑油本身的理化性能指标等信息。通过对油液进行取样分析，检测油液的粘度、酸值、水分含量、金属元素含量等参数，可以判断设备的磨损情况、润滑状态以及是否受到污染。若油液中金属元素含量异常增加，可能表明设备内部部件存在磨损；油液粘度下降或酸值升高，则可能意味着润滑油性能下降，需要及时更换。油液分析技术能够为设备的润滑管理和故障预测提供重要依据，有助于延长设备使用寿命，降低设备故障风险。

2.4 电气参数监测技术

电气参数监测技术主要对高速纸机电设备的电压、电流、功率、频率等电气参数进行实时监测。通过安装电流互感器、电压互感器等传感器，采集设备的电气参数，并将数据传输至监测系统进行分析。当设备出现故障时，其电气参数通常会发生异常变化，例如电机绕组短路时，电流会急剧增大；变频器故障时，输出电压和频率可能不稳定^[3]。通过对电气参数的实时监测和分析，可以及时发现设备的电气故障隐患，判断故障类型和位置。此外，结合设备的运行状态和工艺参数，对电气参数进行趋势分析，还可以预测设备的运行趋势，提

前采取维护措施，保障设备的稳定运行。

3 基于状态的维护（CBM）策略优化

3.1 CBM策略概述

基于状态的维护（CBM）是一种以设备实际运行状态为依据的维护策略。与传统的定期维护不同，CBM通过对设备进行实时状态监测，收集设备运行数据，并运用数据分析和故障诊断技术，准确判断设备的运行状态和健康状况，只有当设备出现故障征兆或性能下降到一定程度时，才进行针对性的维护^[4]。这种维护策略能够避免过度维护和维护不足的问题，提高设备的可靠性和利用率，降低企业的维护成本。在高速纸机电气设备维护中应用CBM策略，需要建立完善的状态监测系统和数据分析平台，实现对设备运行数据的实时采集、传输、存储和分析。同时还需要制定科学合理的维护决策规则，根据设备的状态评估结果，确定最佳的维护时间和维护方式。

3.2 数据驱动的维护决策优化

为了实现更精准的维护决策，需要充分利用状态监测系统采集到的大量数据。通过大数据分析技术，对设备运行数据进行深度挖掘，建立设备状态评估模型和故障预测模型。例如，利用机器学习算法对振动数据、电气参数数据等进行训练，构建设备故障预测模型，预测设备未来的运行状态和故障发生概率。结合设备的历史维护数据、运行数据和生产工艺数据，建立维护决策支持系统。该系统能够根据设备的当前状态和预测结果，自动生成维护建议，包括维护时间、维护内容、所需备件等信息。例如，当系统预测到某台电机的轴承即将出现故障时，会提前发出预警，并提供更换轴承的详细维护方案，帮助维护人员提前做好准备，提高维护效率。

3.3 维护资源优化配置

在实施CBM策略过程中，合理配置维护资源至关重要。维护资源包括维护人员、备件、工具等。通过对设备维护历史数据和状态监测数据的分析，预测不同类型设备的维护需求，合理安排维护人员的工作任务，避免人员闲置或过度劳累。根据设备的故障概率和备件更换周期，优化备件库存管理^[5]。采用先进的库存管理方法，如ABC分类法、经济订货量模型等，确定备件的合理库存水平，既保证在设备出现故障时能够及时更换备件，又避免备件库存积压，降低库存成本。同时对维护工具进行定期检查和维修，确保工具的性能良好，满足维护工作的需要。

4 高速纸机电气维护的实践挑战与解决方案

4.1 技术集成难度大

(1) 高速纸机电气设备状态监测与维护涉及多种技术,如传感器技术、通信技术、数据分析技术等,将这些技术进行有效集成存在一定难度。不同类型的传感器采集的数据格式和通信协议可能不同,需要解决数据的兼容性问题;监测系统与纸机控制系统之间的通信也需要保证数据传输的准确性和实时性。(2) 解决方案:制定统一的数据采集和通信标准,规范不同传感器和设备之间的数据接口和通信协议。采用标准化的工业通信协议,如Modbus、Profibus等,实现设备之间的互联互通^[6]。同时开发通用的数据集成平台,对来自不同传感器和设备的数据进行统一采集、处理和管理,确保数据的一致性和可靠性。

4.2 数据处理复杂

(1) 状态监测系统会产生大量的设备运行数据,包括振动数据、电气参数数据、红外热成像数据等,这些数据具有数据量大、类型多样、实时性强等特点,对数据的处理和分析带来挑战。如何从海量数据中提取有用信息,准确判断设备的运行状态和故障类型,是数据处理的关键。(2) 数据处理复杂解决方案:引入大数据分析和人工智能技术,对数据进行高效处理和分析。利用数据清洗、特征提取等技术对原始数据进行预处理,去除噪声和冗余信息;采用机器学习算法,如神经网络、支持向量机等,构建设备故障诊断模型,实现对设备故障的自动识别和诊断。同时,建立数据可视化平台,将分析结果以直观的图表、图形等形式呈现出来,方便维护人员快速了解设备运行状态和故障情况。

4.3 维护成本高

(1) 实施先进的状态监测与维护技术,需要投入大量的资金用于购买监测设备、软件系统以及培训维护人员等,这会增加企业的前期投资成本。此外,随着设备的不断更新换代,监测系统和维护技术也需要不断升级,进一步增加了企业的维护成本。(2) 维护成本高解决方案:企业可以通过与设备供应商、科研机构等合作,共同研发和推广适合高速纸机电气设备的状态监测与维护技术,降低技术研发成本。在设备采购阶段,选

择具有良好兼容性和扩展性的监测设备和系统,便于后续的升级和维护。同时加强对维护人员的培训,提高维护人员的技术水平和业务能力,减少因人为因素导致的设备故障和维护成本增加。通过合理优化维护策略,减少不必要的维护工作,降低维护成本。

结语

高速纸机电气设备状态监测与维护技术是保障造纸生产高效、稳定运行的关键。通过深入分析高速纸机电气设备的运行特性与故障风险,构建以振动监测、红外热成像、油液分析、电气参数监测等为核心的状态监测技术体系,并优化基于状态的维护(CBM)策略,能够实现对电气设备的精准监测和科学维护。尽管在实践中面临技术集成、数据处理、维护成本等挑战,但通过制定针对性的解决方案,可以有效克服这些困难。未来,随着物联网、大数据、人工智能等技术的不断发展,高速纸机电气设备状态监测与维护技术将朝着智能化、自动化、集成化方向发展。进一步加强技术创新与应用,深化不同技术之间的融合,完善维护管理体系,将有助于提升高速纸机电气设备的可靠性和稳定性,降低企业运营成本,推动造纸行业向智能化、绿色化、高质量发展迈进。

参考文献

- [1]李志鹏.大数据技术在电力设备状态监测中的应用[J].光源与照明,2025,(02):73-75.
- [2]胡凯.基于红外热像技术的发电厂高压电气设备绝缘状态实时监测[J].自动化应用,2025,66(04):147-149.
- [3]姚海峰.基于大数据技术的电力设备运行状态监测与故障预警系统[J].电工技术,2025,(02):105-108.
- [4]郑涵,邢卫林.配电设备状态监测系统技术分析与优化路径[J].电力设备技术,2023,44(5):66-71.
- [5]冯翰音,柳绍棠.基于状态评估的电力系统预测性维护研究[J].电网技术,2024,48(3):83-89.
- [6]詹宇文,石曼钰.电气设备在线监测与运维协同机制探讨[J].高电压技术,2024,50(1):95-101.