

煤矿井下智能输送系统中带式输送机的故障诊断技术研究

李 帅

国能包头能源有限责任公司万利一矿 内蒙古 017000

【摘要】：随着煤矿智能化建设的加速推进，带式输送机作为井下智能输送系统的核心设备，其运行可靠性至关重要。本文以国能包头能源有限责任公司万利一矿为研究对象，深入分析带式输送机常见故障类型，综合运用多种先进故障诊断技术，如振动分析法、红外热成像技术、电气参数监测法等，并结合实际运行数据进行案例分析。研究表明，多种诊断技术融合应用可有效提高故障诊断准确率，为保障煤矿井下智能输送系统稳定运行、提升煤矿生产效率提供技术支持。

【关键词】：煤矿井下；智能输送系统；带式输送机；故障诊断技术

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.059

1 引言

由于井下环境复杂恶劣，如高湿度、高粉尘、强电磁干扰以及长时间连续高负荷运行等因素，带式输送机极易出现各类故障，一旦发生故障，不仅会导致生产中断，造成巨大经济损失，还可能引发安全事故，威胁矿工生命安全。因此，开展带式输送机故障诊断技术研究，实现故障的早期预警与精准诊断，对保障煤矿安全生产、提高生产效率具有重要意义。国能包头能源有限责任公司万利一矿作为现代化大型煤矿，积极推进智能化建设，其带式输送机运输系统规模庞大、技术先进，对该矿带式输送机故障诊断技术进行研究，具有典型的示范作用与推广价值。

2 带式输送机常见故障类型分析

2.1 输送带故障

2.1.1 输送带跑偏

输送带跑偏是带式输送机最常见的故障之一。在万利一矿的实际运行中，据不完全统计，约30%的带式输送机故障与输送带跑偏相关。导致输送带跑偏的原因复杂多样，如输送带安装时未调正、滚筒轴线不平行、托辊安装位置偏差、物料装载不均匀等。长期的输送带跑偏会加剧输送带边缘磨损，缩短输送带使用寿命，严重时甚至会导致输送带撕裂，造成运输中断。例如，万利一矿顺槽带式输送机在运行过程中，由于物料长期在输送带一侧装载，导致输送带逐渐向另一侧跑偏，在短短一个月内，输送带边缘磨损量达到了5mm，如不及时处理，极有可能引发输送带撕裂事故。

2.1.2 输送带打滑

输送带打滑同样是较为频发的故障。当输送带所受驱动摩擦力不足，无法克服运行阻力时，就会发生打滑现象。造成输送带打滑的因素主要有输送带张紧力不足、驱动滚筒表面磨损、输送带与滚筒之间有异物或水等。在万利一矿，因巷道积水导致输送带与驱动滚筒之间摩擦力减小而引发的打滑故障时有发生。输送带打滑不仅会降低输送效率，还会使输送带与滚筒之间产生大量热量，加速输送带老化，甚至可能引发火灾。

2.1.3 输送带撕裂

输送带撕裂是一种严重的故障类型，会对生产造成重大影响。异物刺穿、输送带接头损坏、输送带老化等都可能造成输送带撕裂。在万利一矿的井下环境中，由于煤炭中夹杂的矸石、锚杆等尖锐异物，以及频繁启动、制动对输送带接头的冲击，输送带撕裂故障时有发生。据统计，输送带撕裂故障每次维修时间平均长达8小时，直接经济损失达数万元。例如，2024年10月，万利一矿主运带式输送机在运输过程中，一块矸石卡在输送带与托辊之间，随着输送带运行，矸石逐渐刺穿输送带，造成输送带撕裂长度达2米，导致该条带式输送机停机维修10小时，严重影响了生产进度。

2.2 驱动装置故障

2.2.1 电机故障

电机作为带式输送机的动力源，其故障会直接导致输送机停止运行。电机常见故障包括绕组短路、断路、轴承损坏、过热等。在万利一矿，电机故障约占带式输送机总故障的20%。电机绕组短路或断路通常是由于长期运行导致绝缘老化、受潮或过载等原因引起的。而轴承损坏则多与润滑不良、轴承质量、安装不当以及长时间高负荷运行有关。电机过热不仅会影响电机性能，还可能引发电机烧毁。如2024年3月，万利一矿某带式输送机电机因轴承缺油，运行过程中轴承温度急剧升高，导致电机过热保护动作，电机停机，经检查发现轴承已严重磨损，电机绕组部分绝缘也已损坏。

2.2.2 永磁同步电动机故障

永磁同步电动机作为带式输送机的驱动设备，虽无需减速机配合，但在运行过程中仍存在多种故障，直接影响带式输送机的稳定运转。

常见故障类型包括永磁体失磁、定子绕组故障、转子故障、轴承损坏等。永磁体失磁主要由高温、振动、过载等因素导致，当电动机长期处于过载状态时，绕组发热使电机内部温度升高，超过永磁体的居里温度，会造成永磁体磁性衰减甚至失磁；剧烈振动则可能导致永磁体结构损坏，影响磁性能。定子绕组

故障多表现为绕组短路、断路或绝缘损坏，这与制造过程中绕组嵌线不当、绝缘材料老化以及运行中受潮、粉尘侵蚀有关，例如矿上潮湿多尘的环境，容易使绕组绝缘层被腐蚀，引发短路故障。

2.3 托辊故障

托辊在带式输送机中起着支撑输送带及物料的作用，其运行状况直接影响输送带的使用寿命和运行稳定性。托辊常见故障有托辊不转、轴承损坏、托辊表面磨损等。在万利一矿，约25%的带式输送机故障与托辊有关。托辊不转通常是由于托辊密封不良，粉尘、水分等进入内部，导致轴承卡死。轴承损坏原因除了与上述因素有关外，还与托辊长期承受不平衡载荷有关。托辊表面磨损则主要是由于输送带与托辊之间的摩擦力以及物料对托辊的冲刷造成的。托辊故障会使输送带运行阻力增大，加剧输送带磨损，同时还可能导致输送带跑偏。如在万利一矿盘区带式输送机运行中，部分托辊因密封失效，内部轴承被粉尘卡死，使得输送带运行阻力增加了20%，输送带磨损明显加剧，且出现了局部跑偏现象。

3 带式输送机故障诊断技术应用

3.1 振动分析法

振动分析法是通过采集带式输送机关键部件（如电机、减速机、滚筒等）的振动信号，对信号进行分析处理，提取特征参数，从而判断设备运行状态及故障类型的一种技术。在万利一矿，采用加速度传感器在电机、减速机、滚筒等部件的轴承座位置安装，实时采集振动信号。利用傅里叶变换、小波分析等信号处理方法，将时域振动信号转换为频域信号，分析不同频率成分的振动幅值、相位等特征。正常运行时，各部件振动信号具有一定的规律性，当部件出现故障时，振动信号会发生明显变化。例如，当电机轴承损坏时，会在特定频率处出现特征频率峰值。通过对大量正常和故障状态下的振动数据进行分析，建立故障特征库，利用模式识别算法（如支持向量机、人工神经网络等）对实时采集的振动信号进行故障诊断。经实际应用验证，振动分析法对齿轮磨损、轴承损坏等故障的诊断准确率可达90%以上。表1为万利一矿某次采用振动分析法对带式输送机减速机故障诊断的结果示例。

表1 带式输送机减速机故障诊断的结果示例

检测部件	故障类型	特征频率 (Hz)
减速机	齿轮磨损	120 (啮合频率边频带)
减速机	轴承损坏	250 (轴承特征频率)
检测部件	故障类型	特征频率 (Hz)
减速机	齿轮磨损	120 (啮合频率边频带)
减速机	轴承损坏	250 (轴承特征频率)

3.2 红外热成像技术

红外热成像技术利用物体表面温度分布的差异来检测设备故障。带式输送机在运行过程中，正常部件与故障部件由于摩擦、过载等原因会产生不同的温度变化，通过红外热成像仪可以直观地观察到设备表面的温度场分布情况。在万利一矿，定期使用红外热成像仪对带式输送机的电机、减速机、滚筒、托辊等部件进行巡检。当电机绕组短路、减速机齿轮啮合不良、托辊不转等故障发生时，相应部件表面温度会升高，在红外热成像图上表现为明显的高温区域。通过设置温度阈值，当检测到部件温度超过阈值时，系统自动报警。同时，对历史红外热成像数据进行分析，可了解设备温度变化趋势，实现故障的早期预警。例如，万利一矿盘区带式输送机在巡检过程中，通过红外热成像仪发现一个托辊表面温度比正常托辊高出30℃，经检查发现该托辊轴承已损坏卡死。红外热成像技术具有检测速度快、非接触、直观等优点，能及时发现设备潜在故障，为设备维护提供有力依据。表2为采用红外热成像技术检测带式输送机部件温度异常的部分数据。

表2 带式输送机部件温度异常的部分数据

检测部件	正常温度范围 (℃)	检测温度 (℃)	温度差值 (℃)
电机	40-60	75	15
托辊	30-40	60	30
永磁同步电动机	50-70	85	15
检测部件	正常温度范围 (℃)	检测温度 (℃)	温度差值 (℃)

3.3 集中润滑系统预防润滑相关故障

集中润滑系统由储油罐、定量分配器、压力传感器、控制模块及管路组成，可实现对带式输送机轴承、滚筒轴瓦、托辊等27个润滑点的自动供油。系统设定每2小时进行一次定量润滑，单次供油量根据部件类型精准调控（如轴承每次0.5ml，滚筒轴瓦每次2ml）。在故障诊断方面，系统通过压力传感器实时监测管路压力（正常范围0.3-0.5MPa），当管路堵塞时压力会骤升至0.8MPa以上，控制模块立即触发声光报警，并在监控终端显示故障位置（精确到具体润滑点）。同时，系统记录每次润滑时间、油量及压力数据，形成润滑曲线，通过分析曲线变化可提前预判潜在故障，如某区域油量消耗异常增加，可能提示该部件磨损加剧。自系统运行以来，因润滑不足导致的轴承损坏故障减少65%，滚筒卡滞现象基本消除。

3.4 钢丝绳芯带无损检测系统

该系统采用利用山西戴德的产品，通过X光来进行检测，每日生成在线监测报告，每日分析重点关注有异常的接头，提前进行检修处理。在输送带下方安装检测探头阵列，可在输送机运行过程中（速度≤3.5m/s）对钢丝绳芯带进行全面扫描。磁致伸缩模块通过检测磁场变化识别钢丝断裂、锈蚀（灵敏度

达 0.1mm 深的锈蚀坑），超声波模块则用于检测接头粘合强度（精度±5%）。系统配备 AI 分析终端，能自动识别损伤类型并计算损伤面积，当单根钢丝断裂长度超过 50mm 或接头剥离面积达 100cm² 时，立即发出三级预警（一级提示检查，二级停机检修，三级紧急停机）。例如，2024 年 3 月，系统在 42 煤西胶运巷检测到一处钢丝绳芯接头剥离面积达 150cm²，及时触发二级预警，维修人员停机处理后避免了输送带断裂事故。与传统人工目视检测相比，该系统的损伤检出率从 60% 提升至 98%，检测效率提高 8 倍。

3.5 异物检测系统

异物检测系统在机头、机尾、转载点等 6 个关键位置部署高清工业相机（分辨率 4K，帧率 30fps）和红外对射传感器（响应时间≤10ms），形成立体监测网络。相机采集的图像经边缘计算终端处理，通过深度学习算法识别异物（识别库包含矸石、金属块、工具等 20 类物体，识别准确率 95%），红外传感器则用于检测超宽、超高异物（如突出输送带边缘 10cm 以上的物体）。当检测到直径≥10cm 的矸石或长度≥30cm 的金属物时，系统在 1 秒内发出报警，同时向输送机控制系统发送信号，使设备在 3 秒内减速至停止。2024 年以来，系统累计拦截异物 32 次，其中避免了 5 起因金属块卡滞滚筒导致的输送带划伤事故，异物引发的故障停机时间缩短 70%。

3.6 人员安全防护系统

系统沿输送机各机头每 50 米设置一组红外对射传感器（探测距离 5m，精度±2cm），在机头、机尾等危险区域安装急停按钮（防护等级 IP65）和声光报警器（音量≥110dB）。当人员进入传感器探测范围（距输送带 1.5m 内）时，传感器触发报警器发出“请勿靠近”的声光提示（光强≥500cd），持续 10 秒无人离开则自动触发急停，输送机停机后需手动复位。此外，系统与人员定位系统联动，可识别进入危险区域的人员身份并上传至调度中心。该系统运行后，因人员跨越输送带、违规操作引发的设备故障（如衣物卷入滚筒导致的托辊损坏）减少 80%，未再发生因人员误入导致的安全事故及关联故障。

3.7 主斜井火情监控系统

系统在主斜井输送机顶部安装一台红外探测器（探测角度 90°，响应时间≤5s）和温度传感器（测量范围-20~150℃，精度±1℃），配套自动灭火装置（用水灭火）。当探测器检测到火焰或温度超过 80℃ 时，立即启动声光报警，开启对应区域的灭火装置。2023 年 11 月，系统检测到某段输送带因摩擦导致局部温度升至 92℃，及时报警后，维修人员发现托辊卡死引发输送带过热，避免了火情扩大。该系统使火情类故障的发现时间从平均 5 分钟缩短至 30 秒，火灾导致的设备损毁率降低 90%。

3.8 运光纤测温系统

系统采用分布式光纤传感技术，将单模光纤（长度 2km）沿输送带 H 架两端敷设，通过光时域反射原理实现温度监测（空间分辨率 1m，测温范围-50~300℃，精度±0.5℃）。监控终端生成实时温度分布热力图，当某点温度超过设定阈值（滚筒轴承 80℃、输送带 60℃）时，自动标记异常区域并报警。该系统能精准识别滚筒打滑（温度骤升 10℃/min）、轴承磨损（温度持续升高 2℃/h）等故障前兆。例如，2024 年 5 月，系统监测到 42 煤西胶运巷滚筒温度在 2 小时内从 45℃ 升至 68℃，维修人员拆解后发现轴承滚珠磨损，及时更换避免了轴系损坏。与传统点式测温相比，该系统的温度异常检出率提升至 100%，提前预警时间平均达 4 小时。

3.9 电气参数监测法

电气参数监测法主要通过监测带式输送机电机的电流、电压、功率等电气参数，来判断电机及整个驱动系统的运行状态。在万利一矿，利用智能电力监测仪表实时采集电机的电气参数，并将数据传输至监控系统。当电机发生过载、堵转、缺相、绕组短路等故障时，其电气参数会发生相应变化。例如，电机过载时，电流会明显增大；缺相运行时，三相电流不平衡度会超出正常范围。通过建立电机电气参数与运行状态的数学模型，利用数据分析算法对实时监测的电气参数进行分析，可实现对电机故障的快速诊断。同时，结合电机运行时间、负载情况等信息，还能对电机的健康状态进行评估，预测潜在故障。经实际应用，电气参数监测法对电机常见故障的诊断准确率可达 85% 以上。表 3 为某次电机故障时电气参数监测数据及诊断结果。

表 3 电机故障时电气参数监测数据及诊断结果

电机参数	正常范围	故障时测量值	故障类型
三相电流 (A)	20-30	40 (三相不平衡, 一相电流过大)	过载或绕组短路
电压 (V)	380±10	360 (三相电压均偏低)	电源问题或线路压降过大
功率 (kW)	55-65	70	过载

4 结论

综上所述，本文通过对国能包头能源有限责任公司万利一矿带式输送机常见故障类型的分析，详细阐述了振动分析法、红外热成像技术、电气参数监测法等多种故障诊断技术在带式输送机故障诊断中的应用。实际案例分析表明，多种故障诊断技术融合应用能够相互补充、验证，有效提高带式输送机故障诊断的准确率和及时性，为煤矿井下智能输送系统的稳定运行提供了有力保障。

参考文献:

- [1] 郝小龙.煤矿带式输送机托辊轴承故障分析及对策研究[J].机械管理开发,2025,40(06):216-218.
- [2] 王伟宇.带式输送机托辊轴承故障检测系统设计及试验[J].机械管理开发,2025,40(06):67-69.
- [3] 苗江云.煤矿井下带式输送机故障诊断系统设计[J].自动化应用,2025,66(11):97-98+101.
- [4] 侯伟.带式输送机故障诊断技术研究[J].今日制造与升级,2025,(05):99-101.