

空压机系统运行故障预警及维护优化研究

张德壮 张江

伊犁新天煤化工有限责任公司 新疆 伊犁 835100

【摘要】：本文以我国典型的空气压缩机为研究对象，围绕故障频发、预警滞后、维修效率低下等现实难点问题，以生产实践为基础，通过对典型故障的典型种类和关键原因进行剖析，建立基于多目标的分层故障预警模型，并给出有针对性的维修优化策略。通过研究，可以对空气压缩机的故障进行预警，减少停机损失，提高其工作的可靠性和经济效益，为我国的空气压缩机系统的高效运营和管理提供参考，助力企业减少能源消耗和维修费用。

【关键词】：空压机系统；故障预警；维护优化

DOI:10.12417/3083-5526.25.07.027

空气压缩机作为一种重要的动力装备，在矿山、冶金和制造业等行业有着重要的应用，它的平稳工作将直接影响到整个过程的持续和安全。目前，大部分企业的空气压缩机都存在着运营上的缺陷，缺乏有效的故障预警机制，主要依靠手工对其进行检测和诊断，因此，对其进行的检测和处理相对滞后，这不但严重地阻碍了企业的生产进程，而且还会加剧设备的损耗，增加能源和维修费用。因此，针对压缩机系统运行状态的预测和维修策略进行研究，以提高压缩机系统的运行效率，降低运行成本，以提高压缩机系统的运行效率和降低运行成本为目标。

1 空气压缩机系统的工作状况与故障的危害

1.1 运行现状

目前，在工业生产中使用的主要是螺杆式压缩机(如图1)，大部分采用微电脑控制，可以实时显示压力、温度和工作时间等数据，但是缺少自动报警和遥控监测功能。现有的一些设备仍然使用传统的继电器进行操作，存在着压力波动大和故障率高等问题，并且其维修方法也比较粗糙，多采取“事后检修”的方式，缺少对设备的早期预警和预防维修。但目前该技术仍面临着能耗高、管路渗漏和关键部件磨损严重等问题，无法满足高效率的生产要求^[1]。

图1：工业螺杆式空压机系统运行现状图



1.2 故障的实质损害

空气压缩机的运行状况对企业的正常运营有着重要的影

响，其中一台压缩机发生故障无法正常运转，将导致整个企业的生产陷入停顿状态，每日造成数万元的经济损失。设备长期故障运行，会使转子、轴承和分离器核心零部件的磨损加剧，降低设备的服役年限，还会提高设备的更新换代成本。另外，故障工况下的能源消耗会急剧增加，例如，冷却装置失效会使排气温度升高15%~20%，且存在潜在的安全风险，严重威胁作业场所的人身和设备安全^[2]。

2 空气压缩机系统的主要失效形式及其产生原因

2.1 异常的压力失效

空气压缩机中最容易出现的两种故障，分别是低压和高压。低压产生的原因是吸入过滤器的阻塞，使进气量降低，降低了压缩效果；气体管路的渗漏，如管道断裂，连接处松动，导致气体损失；由于前轴的内摩擦，使得前后两个转子之间的缝隙变大，从而降低了密封效果；排气阀失效，不能完全闭合，造成气体泄漏。一些企业由于用气终端设施的陈旧，需要量的剧烈变化，造成了系统的压力不断变化，从而加重了减压阀的损耗，从而造成了周期性的失效。

高压是由于气压转换器失效，不能在设定的气压下断电；减压阀失效，压力无法及时释放；用气设备停用或负荷骤降，但空气压缩机继续生产气体，造成了系统的压力积累。在使用过程中，气压的不稳定会对机组的正常工作产生不利的作用，气压过低会降低机组工作效率，气压过高则会对管路和用气装置造成损害^[3]。

2.2 异常的气温失效

造成排气高温的主要原因是冷却器发生阻塞，造成风侧或水侧积尘和结垢，导致散热效率降低；润滑油中的油脂含量不够或质量下降，导致润滑性和散热能力下降；空气压力长时间处于高负载状态，散热不能及时；温度控制阀门失效，使机油不能通过冷却器进行正确的冷却。在夏天的高温条件下，制冷系统的散热负担不断增大，如果制冷介质供应不充分或流通不良，将导致机组的温升变得更加严重，严重时甚至会触发装置的高温防护动作^[4]。

温度太高是由于机油冷却器失效，冷却液流动不充分或者散热区域不够大；机油滤清器阻塞，机油流通不良，导致过量发热；轴承的磨损，增大的摩擦力会导致很多的发热。高温条件下，机油易发生积炭，加重核心零件的磨损，轻则造成装置断电，重则烧坏机头。

2.3 机械异响故障

其中，机器噪声有两种，一种是机器噪声，另一种是空气噪声，它表明了机器中的零件不正常。机器噪声多是由于轴承的磨损或破损引起的，在运行中出现震动和异常声音；当齿轮发生老化、接合不佳时，会发出碰撞的声音；在运行过程中，因螺栓松动，转子位置发生偏移等原因，造成不正常的噪音。如果长时间不做保养，齿轮的齿面就会受到很大的损伤，而且会出现各种不均衡的声音，如果得不到很好的解决，轻则会引引起齿轮的折断，重则引发重大设备事故。

空气流动异常现象是由于吸入空气过滤器被严重阻塞而的空气噪音；管路堵塞，如管路狭窄，弯曲度太大，空气流通不畅通，造成异常噪音；阀门的启闭不正常，会有空气撞击的声音。如果不能对机器的异常现象进行有效的治理，将会使零件的损伤进一步加重，甚至造成整个机器的停产和维护费用的上升。

2.4 润滑油相关故障

润滑油相关故障主要有机油损耗过大和机油老化变质等。机油损耗过大的主要原因有：密封圈破损，造成机油渗漏；油气分离器失效，分离效率降低，使压缩气体中携带过量机油；加油过量，多余的机油会随压缩气体一同排出。高湿度环境下，空气中的水分易与润滑油混合，造成润滑油乳化、劣化，使润滑性能下降，还会对设备内部零件产生腐蚀^[5]。

机油老化变质的原因包括：长期未更换机油，导致机油自然老化；润滑油被污染，混入水分、灰尘等杂质，使润滑效果降低。机油失效不仅会加剧设备的磨损，还会引发排气温度升高、机头磨损等一系列故障。

3 空压机系统运行故障预警体系构建

3.1 确立预警指标

结合压缩机的工作特性和故障成因，选取4项关键预警指标，保证预警的准确性和实用性。①压力指标：常规运行区间0.7~1.2MPa，报警临界值设置为1.3MPa及以上或0.6MPa及以下；②温度指标：常规排气温度不得高于110℃，常规油温不得高于90℃，报警临界值分别设置为105℃（排气）和85℃（油温）；③振动指标：常规振动数值不得大于4.5毫米/秒，报警临界值设置为4.0毫米/秒；④电流指标：工作电流需维持在额定值的±10%范围内，超出该范围即发出报警。

3.2 预警数据的收集

在压缩机各关键部位布设相应的传感器，并采用模块化方式进行数据采集。排气侧布设测量精度达±0.01MPa的压力传感器，实现系统压力的实时监测；排气管和油罐上布设测量精度为±0.5℃的温度传感器，用于监控排气温度和油温；机头和电机的轴承处布设振动传感装置，其精度为±0.01g，用于对设备的振动情况进行监控；电动机的电源回路中布设测量误差为±0.5%的电流传感器，用于测量工作电流值。系统采用现场总线技术，实现现场数据的实时采集、传输与监测，保证数据采集的实时性、准确性和可靠性。

3.3 警报的分类和响应

按照故障的严重程度将警报划分为三个等级，并制定各等级的应急处置对策，保障预警措施落地执行。一级警报为轻度异常：相关指标逼近警戒临界值时，发出声光警报，提示工作人员关注，工作人员需在30分钟内完成设备巡视，并记录各项运行参数的变动情况；二级警报为中度异常：相关指标达到报警临界值，发出警报并使设备退出高负载运行状态，操作人员需立即排查并消除潜在问题，如清洗过滤器、修补管路渗漏等；三级警报为重度异常：相关指标远超报警临界值，需立即切断设备电源并停机，由专业维修团队进行全面检修，直至故障彻底排除后方可重启设备。

4 空气压缩机系统维修的最优对策

4.1 日常维护

对设备的日常维修要重视具体的工作，并制定定期的检查制度，以减少错误的发生（如表1）。每天巡视，主要检查压力，温度，油位等指标，保证在规定的范围内；清洗装置及冷却剂处的粉尘，防止热量散失；对管道接头、油封等部位进行检查，并对渗漏情况进行检查 and 解决。

对易损坏的零件进行定时替换，在有灰尘的地方，空气过滤器的寿命可减少到1000小时；机油滤清器应在3000小时内进行一次更换，以防止机油损耗进一步恶化；对油、气分离装置进行一年一次的测试，当压差大于0.1MPa时，需及时更换。设备所用机油选用粘度指数>140的原装进口机油，正常工况下4000小时更换一次，高温工况下更换周期需缩短至3000小时以内，机油油位需控制在油标1/2~2/3的位置，且严禁不同型号机油混合使用。

表1 空压机日常维护要求表

维护类别	具体要求	注意事项
日常巡视检查	检查压力、温度、油位；清理装置及冷却剂处粉尘；检查管道接头、油封等渗漏情况	指标保持在规定范围，及时处理渗漏问题

易损件更换	空滤(多尘环境)1000小时更换;机滤3000小时内更换;油气分离装置每年检测	油气分离装置压差>0.1MPa时立即更换
机油管理	选用粘度指数>140原装进口机油,正常工况4000小时更换、高温工况3000小时内更换,油位控制在油标1/2-2/3	严禁不同型号机油混合使用

4.2 周期性设备维护

对设备的日常维护采取“分级检修”的方式,将设备的检修分为按季度和按年度进行。每季度进行一次重点检查轴承,齿轮,安全阀等零件,检查是否有损坏,如有需要,及时添加润滑油;检查安全阀,保证其能够正确排放压力;查看排水阀门和温度控制阀门,保证阀门的灵活性。

每年一次的检查,对所有的安全问题进行彻底的检查,做好转子动平衡检查,调节转子的间隙;对制冷装置进行清洁,在水端使用了一种化学清洗剂,以除去水垢;检测电动机的绝缘状况,试验工作电流的稳定度;对管线进行了彻底的检查,修补了损坏的管线,并对管线布置进行了优化,降低了空气的阻力。维修结束后,要做好维修工作的档案,以便进行后期的维修和保养。

4.3 运行控制

通过优化运行参数,降低系统的能源消耗和故障风险。当

用气端需求压力为0.6MPa时,将压缩机排气压力设定在0.7~0.75MPa区间,工作压力每降低0.1MPa,能源消耗可减少5%~7%。增设储气罐,其容积需满足最大用气量10分钟的存储需求,通过优化加载-卸载循环,将卸载时间占比降至10%以下。

4.4 人员管理

强化运维人员的专业技能培训,提升设备运行维护水平。通过设备实操训练,向运维人员详细讲解设备的工作原理、常见故障的判断方法、预警系统的操作流程和日常维护要点等内容,保证操作人员能熟练掌握设备操作方法并处理基本故障,对于复杂故障,能及时识别并上报专业维修团队处理。

5 结语

通过对压缩机系统的典型故障类型和主要成因进行深入剖析,建立基于多目标分类的故障预警体系,形成集“日常维护-定期检修-运行控制-人员管理”为一体的维护优化体系,以此解决当前空气压缩机系统预警滞后、维修效率低下、故障频发等现实问题。实际应用证明,采用该方法可有效降低压缩机的故障停机概率,减少15%~20%的能源消耗,延长机组的服役年限,降低运营成本,保障机组安全、可靠运行。在此基础上,可将该体系与智能技术深度融合,进一步提升预警准确性和维修自动化水平,为工业空压机的运行管理和维修工作提供更全面的支撑,助力企业实现降本增效的目标。

参考文献:

[1] 韩德柱. 矿山空压机群智能联动控制系统优化[J]. 中国机械, 2025, (35): 108-111.
 [2] 王奋明. 离心式空压机智能化运行维护策略研究与实践[J]. 机电产品开发与创新, 2025, 38(05): 198-200.
 [3] 李辉, 罗登玲, 刘细辉, 张海涛, 邹力, 李绍荣. 空压机系统健康预警平台的实现[J]. 仪器仪表与分析监测, 2025, (03): 13-21.
 [4] 王丽. 地铁车辆空压机系统的故障预测与维护管理[J]. 人民公交, 2024, (22): 159-161.
 [5] 靳辉. 空压机的故障诊断与维修探讨[J]. 中国设备工程, 2023, (13): 185-187.