

螺杆空压机夏季高温故障成因与预防策略研究

孙延虎

宁夏英力特化工股份有限公司 宁夏 石嘴山 753200

摘要: 螺杆空压机作为现代工业生产中不可或缺的动力设备,其运行稳定性直接关系到生产线的连续性和安全性。然而,在夏季高温环境下,螺杆空压机频繁出现高温跳机、排气温度异常升高等故障,严重影响设备效率与使用寿命。本文系统分析了螺杆空压机在夏季高温工况下的主要故障类型,深入探讨了导致高温故障的多重成因,包括环境温度升高、冷却系统效能下降、润滑油性能劣化、散热空间不足、设备老化及维护不当等。在此基础上,结合工程实践与理论分析,提出了一套涵盖设备选型优化、冷却系统改造、润滑管理、智能监控及预防性维护在内的综合预防策略。研究表明,通过科学的系统设计与精细化运维管理,可显著降低螺杆空压机在高温季节的故障率,提升系统能效与可靠性,为工业企业节能降耗与安全生产提供技术支撑。

关键词: 螺杆空压机; 高温故障; 夏季运行; 冷却系统; 润滑油; 预防策略

引言

螺杆空压机因其结构紧凑、运行平稳、效率高、维护简便等优点,广泛应用于机械制造、化工、纺织、食品、医药、电子等多个工业领域。作为气动系统的核心动力源,其稳定运行对保障生产连续性至关重要。然而,随着全球气候变暖及工业环境复杂化,夏季高温已成为螺杆空压机运行的一大挑战。高温不仅导致设备频繁停机,还会加速润滑油氧化、密封件老化、轴承磨损,甚至引发主机烧毁等严重事故。因此,深入研究螺杆空压机夏季高温故障的成因,并制定科学有效的预防策略,具有重要的工程实践价值和经济效益。本文旨在系统梳理螺杆空压机高温故障的表现形式,从热力学、流体力学及设备运维角度剖析其根本原因,并提出多层次、系统化的预防与优化方案,为相关企业提供技术参考。

1 螺杆空压机工作原理与热负荷分析

1.1 基本工作原理

螺杆空压机通过一对相互啮合的阴阳转子在机壳内旋转,实现气体的吸入、压缩与排出。压缩过程本质上是一个近似绝热的过程,气体在被压缩的同时温度显著升高。为了有效控制排气温度,现代螺杆空压机普遍采用喷油冷却技术:润滑油在压缩腔内与高温压缩气体充分混合,吸收大量压缩热后随气体一同排出,随后经过油气分离、冷却器降温,再循环回系统继续参与冷却与润滑。这一闭环系统在正常工况下能够维持设备热平衡,确保排气温度处于安全区间。

1.2 热负荷来源

螺杆空压机运行中的热负荷主要来自以下三方面:

(1) 压缩热: 气体被压缩时产生的热量, 占总热负荷的

70%以上; (2) 机械摩擦热: 转子、轴承、齿轮等运动部件摩擦产生的热量; (3) 电机发热: 驱动电机运行时产生的热量, 部分通过机壳传导至压缩腔。在标准工况(环境温度 $\leq 35^{\circ}\text{C}$)下, 设计合理的冷却系统可将排气温度控制在 $80\text{--}95^{\circ}\text{C}$ 之间。但当环境温度超过 40°C , 尤其在密闭或通风不良的厂房内, 冷却效率急剧下降, 导致系统热平衡被打破, 排气温度持续攀升, 最终触发高温保护停机(通常设定值为 $105\text{--}110^{\circ}\text{C}$)。

2 夏季高温故障的主要表现形式

在实际运行中, 螺杆空压机在夏季高温环境下所表现出的故障具有明显的季节性和重复性。最为典型的是设备在连续运行一段时间后自动跳机停机, 操作人员重启后短时间内再次发生相同故障, 形成“运行—升温—跳机—重启”的恶性循环。即便未达到跳机阈值, 部分设备也会出现排气温度长期高于 95°C 的异常状态, 这种持续高温虽不至于立即停机, 却会显著加速内部零部件的老化过程。高温还会导致润滑油发生热氧化反应, 黏度下降并生成油泥与积碳, 这些劣化产物容易堵塞油滤、温控阀乃至主机内部的微小油道, 进一步削弱润滑与冷却能力^[1]。此外, 冷却器表面因长期暴露在含尘、含油的环境中, 散热翅片极易被污垢覆盖, 造成风阻增大、风量减少, 换热效率大幅降低。在控制系统方面, 温控阀在高温下可能出现响应迟缓甚至卡滞现象, 使得高温润滑油无法及时进入冷却器降温, 直接回流至压缩腔, 加剧温升。同时, 冷却风扇因长时间高负荷运转, 电机过载或轴承磨损的风险显著增加, 一旦风扇失效, 冷却能力将急剧下降, 迅速引发高温故障。

3 高温故障成因分析

3.1 环境温度升高与通风不良

夏季环境温度普遍超过40℃，远高于螺杆空压机设计时所依据的标准工况（通常按环境温度 $\leq 40^\circ\text{C}$ 进行热力计算）。根据传热学基本原理，冷却效果与冷却介质和热源之间的温差成正比，当环境温度升高，空气或冷却水的入口温度随之上升，换热驱动力减弱，冷却效率自然下降。更为严重的是，许多工业厂房出于节能或空间利用考虑，将空压机集中布置在密闭机房内，且未配备有效的通风或降温设施。在设备连续运行过程中，机房内部热量不断累积，局部环境温度可高达48~50℃，形成“热岛效应”。这种恶劣的微环境不仅使冷却系统超负荷运行，还可能导致电气元件过热、传感器漂移等问题，进一步加剧系统不稳定。

3.2 冷却系统效能不足

冷却系统是维持螺杆空压机热平衡的关键环节，其效能不足是导致高温故障的核心原因之一。对于风冷机型而言，散热器翅片长期暴露在含尘、含油的空气中，极易积聚灰尘与油污，形成一层隔热层，显著降低空气与冷却介质之间的传热系数。同时，部分设备配置的冷却风扇功率偏低，或叶片设计不合理，在高温高湿环境下风量不足，无法有效带走热量。此外，若设备安装时风道设计不当，如进风口与排风口距离过近，容易造成热风回流，形成“短路”，使冷却空气未充分换热即被排出，大大削弱散热效果。对于水冷机型，问题则主要集中在冷却水系统。若企业使用未经降温处理的循环水，水温可能高达35℃以上，远超设计要求的32℃上限；水中的钙镁离子在高温下易形成水垢，附着在换热管内壁，不仅降低导热性能，还可能造成局部堵塞；水泵老化或管道阻力增大也会导致冷却水流量不足，无法满足换热需求。

3.3 润滑油性能劣化

润滑油在螺杆空压机中兼具润滑、冷却、密封和清洁四大功能，其性能状态直接影响设备运行稳定性。夏季高温环境下，润滑油长期处于高温氧化状态，基础油分子链断裂，抗氧化添加剂迅速消耗，导致油品黏度下降、酸值升高，并生成大量油泥和漆膜。劣化后的润滑油不仅冷却能力减弱，其润滑性能也大幅下降，加剧转子与轴承的磨损。更严重的是，高温碳化产物会在温控阀、油滤及主机内部狭窄通道中沉积，形成堵塞，阻碍润滑油正常循环，进而引发局部过热甚至主机抱死^[2]。值得注意的是，部分企业为降低运行成本，选用价格低廉的矿物油或非专用润滑油，这类油品高温稳定性差、抗氧化能力弱，在夏季极易提前失效，成为高温故障的诱

因之一。

3.4 设备选型与配置不合理

在项目初期，若未充分考虑当地气候条件特别是夏季极端高温的影响，可能导致空压机选型余量不足。设备长期处于满负荷甚至超负荷运行状态，压缩比增大，产热量显著增加，而冷却系统却按标准工况设计，无法应对额外热负荷。此外，多台空压机集中布置时，若未预留足够的散热间距，设备之间相互烘烤，形成热干扰，进一步恶化散热条件。部分老旧厂区在扩建时直接在原有空压站基础上增加设备，未对通风、冷却等配套设施进行同步升级，导致系统整体散热能力与设备总热负荷严重不匹配。

3.5 维护管理不到位

良好的维护是保障设备稳定运行的基础，但在实际操作中，许多企业存在“重使用、轻维护”的倾向。冷却器清洗、滤芯更换、润滑油检测等常规保养项目往往被忽视或延期执行。例如，油滤和空滤堵塞后，不仅增加系统压降，还会影响润滑油循环和进气效率，间接导致温度升高；温控阀作为控制油路流向的关键部件，若长期未检查，内部弹簧疲劳或阀芯卡滞将使其失去调节功能；温度传感器若未定期校准，可能出现测量偏差，导致控制系统误判或漏报。缺乏系统性的维护计划和运行数据记录，使得故障往往在突发停机后才被发现，错过了早期干预的最佳时机。

3.6 设备老化与部件磨损

随着使用年限的增长，螺杆空压机各部件不可避免地出现性能衰退。冷却风扇电机效率下降、轴承磨损导致风量减少；换热器因腐蚀或结垢导致传热面积减小；密封件老化引发内泄漏，增加压缩功耗和产热量；主机转子间隙增大，容积效率降低，为维持输出压力需提高转速或延长运行时间，进一步加剧温升。这些老化问题在常温下可能尚不明显，但在夏季高温的叠加作用下，极易成为压垮系统稳定性的“最后一根稻草”。

4 高温故障预防与优化策略

4.1 优化设备选型与安装布局

预防高温故障应从源头抓起，在设备选型阶段就充分考虑极端气候条件。建议以当地历史最高环境温度（如45℃）作为设计基准，对冷却系统容量预留15%~20%的冗余，确保在最不利工况下仍能维持热平衡。在安装布局方面，空压机应远离锅炉、烘箱等热源，并保证设备四周至少留有1米以上的操作与散热空间。多台设备宜采用错位或行列式布置，避免排风口正对邻机进风口，防止热风短路。对于新建或改造项目，应同步规划

机房通风系统,可考虑安装屋顶排风机、侧墙百叶窗或工业空调,将机房环境温度有效控制在40℃以下,从根本上改善运行微环境。

4.2 冷却系统改造与升级

针对风冷系统,可对现有冷却风扇进行升级,采用高效轴流风机或加装变频控制器,使风量能根据排气温度自动调节,既保证冷却效果又避免能源浪费。同时,对散热器翅片进行定期清洗,并可喷涂疏水疏油纳米涂层,减少灰尘与油污附着,延长清洁周期^[3]。对于水冷系统,应确保冷却水进水温度不高于32℃,必要时增设板式换热器或冷却塔。定期对换热管进行化学清洗除垢,并安装水流开关或压力传感器,实时监测水路通畅性,防止因断水或流量不足导致的干烧风险。

4.3 润滑油管理与升级

应摒弃“低价优先”的采购观念,选用高温性能优异的合成润滑油,如聚 α -烯烃(PAO)或酯类基础油产品,其具有更高的闪点、更好的氧化安定性和黏温特性,能在高温下长期保持性能稳定。严格执行换油周期,建议在每年夏季来临前进行一次全面换油,并结合油品检测结果动态调整。有条件的企业可引入在线油液监测系统,实时跟踪黏度、酸值、水分、颗粒污染度等关键指标,实现从“定期换油”向“按质换油”的转变,既保障设备安全,又避免过度维护。

4.4 关键部件预防性维护

建立以关键部件为核心的预防性维护机制至关重要。温控阀应每6个月拆检一次,检查阀芯动作是否灵活、弹簧是否失效,必要时予以更换;温度传感器需定期校准,确保测温准确;油滤和空滤在夏季高温期应适当缩短更换周期,建议每1500运行小时更换一次,避免因堵塞引发连锁反应。此外,应定期对主机轴承进行振动与温度监测,及时发现异常磨损趋势,防止因机械摩擦热异常增加而导致的局部过热。

4.5 智能监控与预测性维护

随着工业物联网技术的发展,传统的事后维修模式正逐步向预测性维护转型。通过在空压机上部署温度、压力、电流、振动等多维传感器,并接入智能监控平

台,可实现对设备运行状态的全天候、全方位感知^[4]。系统基于历史数据与机器学习算法,能够识别温度异常上升趋势,提前72小时甚至更早发出预警,并辅助诊断故障根源。

4.6 运行策略优化

在运行管理层面,应避免空压机长期处于满负荷状态。可通过合理调配用气负荷、错峰生产等方式,降低单机连续运行时间。在非生产时段,应及时关闭非必要设备,减少无谓的热负荷累积。对于拥有多台空压机的用户,建议采用集中联控系统,根据实际用气需求自动启停设备,实现“按需供气”,既能提高系统整体效率,又能有效分散热负荷,延长设备寿命。

结语

螺杆空压机夏季高温故障并非单一因素所致,而是环境、设备、润滑、运维等多维度问题交织作用的结果,其本质是系统热平衡在极端工况下被打破。本文通过理论分析,系统揭示了高温故障的深层成因,并提出了一套覆盖“设计—运行—维护”全生命周期的综合预防策略。研究表明,仅依赖某一项措施难以根治问题,必须采取系统性、前瞻性的管理手段,从源头选型、过程监控到末端维护协同发力。展望未来,随着人工智能、数字孪生与边缘计算技术的深入应用,螺杆空压机的健康管理将迈向更高水平。通过构建虚拟映射模型,实时模拟设备热力学状态,实现故障的精准预测与自适应调控,真正实现从“被动维修”向“主动健康保障”的跨越,为工业绿色、智能、高效发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]肖贤,郭立新,韩智勇,等.螺杆空压机运行温度长期过高的原因分析及解决方案[J].中国水泥,2024,(08):61-63.
- [2]牛聪.喷油螺杆空压机故障原因分析及解决方法[J].中国设备工程,2025,(07):152-154.
- [3]武炜,冯福志,吴显松,等.英格索兰EP750S型螺杆空压机高温关停故障分析及处理[J].塑料包装,2025,35(05):142-144.
- [4]周晓凯.喷油螺杆空压机故障原因分析及改进方法[J].工程机械文摘,2021,(03):19-22.