

图1 中部局部高点

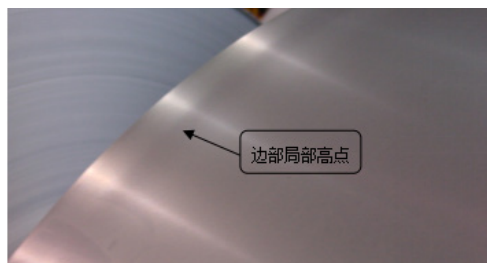


图2 边部局部高点

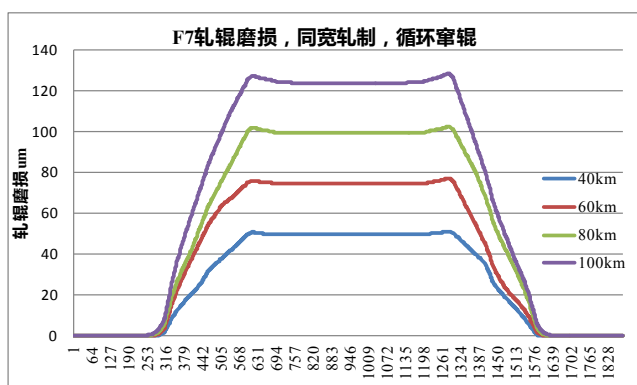


图3 F7 轧辊磨损

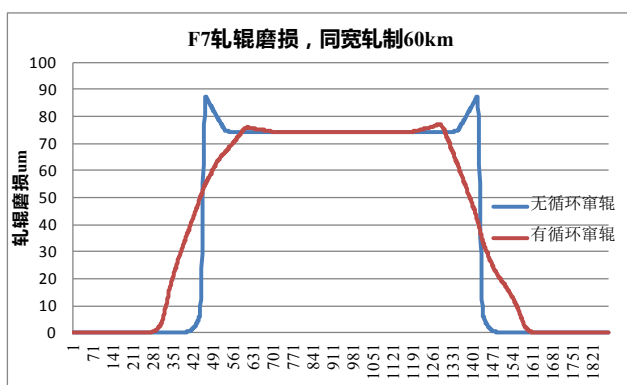


图4 F7 轧辊磨损

另外，优化精轧工作辊窜辊策略，即选择合适的窜辊行程和步长（其窜辊步长一般按照宽度的控制精度来确定）以及调整末机架工作辊的CVC初始辊型凸度，窜辊缸及弯辊缸的设备精度、控制能力等，确保窜辊和弯辊工作的有效性。也可以有效避免辊面因局部磨损出现“猫耳”“状异常”。

根据计算结果和实际生产经验，一个工作辊辊期一般都限制在60km以下，同宽连续轧制里程限制在30km以下，不允许逆宽轧制，而且投入循环窜辊功能。根据以上工艺制度生产，带钢边部局部高点降到10μm以下。

2.2 中部及肋部局部高点产生原因

热轧带钢中部及肋部局部高点对应精轧工作辊中部及肋部的集中严重磨损。轧辊在中部或肋部的局部集中磨损，主要原因有三个。一是工作辊表面温度不均匀，温度较高部位磨损较大且轧辊表面容易出现条状氧化膜脱落。二是带钢表面温度不均匀，带钢温度较低部位较厚，且导致对应位置的轧辊表面磨损较大。三是边部“黑线”对轧辊的对应位置的磨损。

如图5所示，由于工作辊冷却水喷嘴部分堵塞，堵塞

2.1 边部局部高点产生原因

热轧带钢边部局部高点对应精轧工作辊边部的集中严重磨损。造成工作辊边部磨损严重的原因主要是轧制规程安排不合理和窜辊策略不合适。

如图3，图4所示为某1580mm热轧生产线，精轧F7机架的工作辊磨损计算结果，轧辊长度1880mm。其中图3为循环窜辊功能投入（窜辊行程150mm，步长15mm），分别轧制980mm×2.5mm规格带钢40km、60km、80km、100km后的轧辊磨损情况。图4为轧制980mm×2.5mm规格带钢60km，在循环窜辊功能投入和不投入情况下的轧辊磨损情况对比。

由计算结果对比可以得出，轧制里程越多，工作辊边部磨损越严重，呈“猫耳”形状。如果循环窜辊功能不投入，边部磨损会更为严重。而且同宽轧制的轧制计划安排，更容易导致轧辊的边部磨损集中在一个固定区域，引起“猫耳”状轧辊磨损。

部分对应的轧辊表面温度较高，表面氧化膜脱落，导致带钢出现局部高点。

如图6所示，由于粗轧除鳞水喷嘴高度或角度问题，除鳞水轨迹和形状有重叠，造成中间坯温度不均匀，表面有“黑印”。这种状态的中间坯在精轧轧制时，“黑印”位置对应的工作辊表面会发生集中磨损，区域集中磨损达到一定程度后就会造成后续产品出现局部高点缺陷。另外精轧机架间水介质管理不严格，如带钢冷却水不均匀，轧辊冷却水分漏到带钢表面等问题，造成带钢表面温度不均匀，带钢表面长度方向上有“黑印”，也会造成工作辊表面发生区域集中磨损。

第三，边部“黑线”对轧辊的对应位置的磨损。边部“黑线”一般出现在带钢边缘10-30mm的位置，该缺陷由于其组织的特异性，相对于正常中间坯，会加剧对应位置轧辊的磨损。板坯在粗轧经过立辊-平辊轧制过程中，轧件边角部的金属会在轧制过程中流动到带钢的上下表面，由于距离边部近，且轧制过程中该区域的冷却先于其他区域，故形成边部“黑线”。“黑线”区域始终处于低温、高应力应变状态，

其硬度也高于其他部分,而且夹杂较多,这些因素会引起热轧工作辊的不均匀磨损,引发局部高点的形成。

对以上问题进行集中检查和处理,带钢中部和肋部局部高点降到 10 μm 以下。所以,对包括粗轧除鳞、精轧除鳞、带钢冷却水、轧辊冷却水、除尘水、逆喷水等水介质和设备

加强检测和管理,可有效缓解带钢和轧辊表面温度不均匀现象,降低轧辊表面不均匀磨损,降低带钢局部高点发生概率。

另外,合理制订板坯宽度与成品宽度之间的关系,优化立辊和平辊的负荷分配,提高带钢凸度,降低楔形,也有助于缓解局部高点的出现。

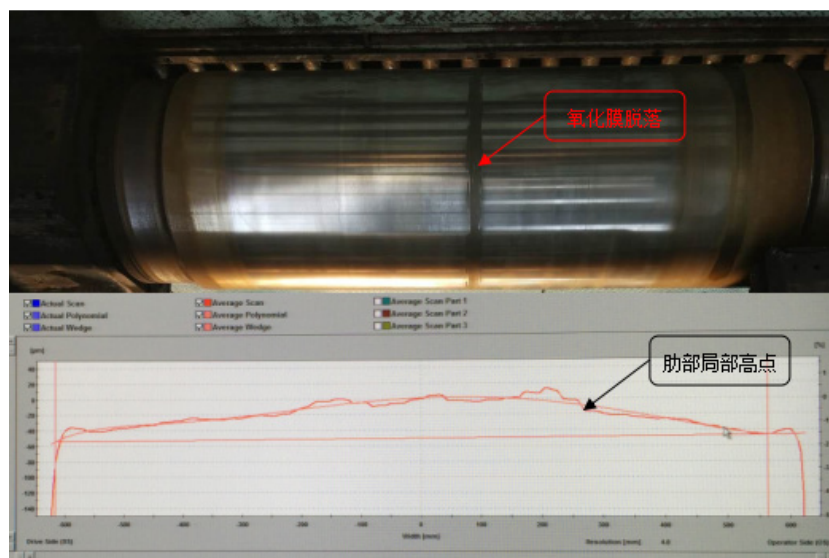


图5 肋部局部高点



图6 中间坯温度不均匀

3 局部高点解决办法

综上所述,归纳出局部高点解决方法如下:

- 1) 合理制定轧制规程。工作辊辊期一般都限制在 60km 以下,同宽连续轧制里程限制在 30km 以下,不允许逆宽轧制。降低工作辊边部集中磨损。
- 2) 投入循环窜辊功能,降低工作辊不均匀磨损。
- 3) 加强除鳞水和冷却水介质、设备及工艺管理,消除带钢和轧辊表面温度不均匀现象,降低轧辊表面不均匀磨损。
- 4) 合理制订板坯宽度与成品宽度之间的关系,优化立辊和平辊的负荷分配。
- 5) 提高带钢凸度,降低楔形,也有助于缓解局部高点出现。

4 结语

热轧带钢断面局部高点产生的直接原因是精轧工作辊的不均匀磨损。根据带钢局部高点出现的位置不同,可分为边部局部高点、中部和肋部局部高点。出现的位置不同,其产生的原因也不同。通过优化轧制规程和窜辊策略,可有效消除边部局部高点。加强水介质和设备及工艺管理可有效消除中部和肋部局部高点^[3]。

参考文献

- [1] 史华.冷轧板带机运行中的板形控制[J].鞍山师范学院学报, 2005, 7(2): 41-43.
- [2] 齐亚丽.国内外冷轧板形检测技术[J].黑龙江科技信息, 2008 (15): 13.
- [3] 方少华.热轧薄带钢异常断面的分析与改进[J].山东冶金, 2020, 42 (03): 26-28+31.

Research on operation efficiency of oilfield natural gas compressor

Xiaoshun Wei

Sinopec Northwest Oilfield Company No. 4 Oil Production Plant, Shaya, Xinjiang, 842200, China

Abstract

As an important equipment to improve the utilization rate of resources and ensure the efficiency of gas transmission, the operation efficiency of oilfield natural gas compressor is directly related to the overall development efficiency and energy consumption level of oil and gas fields. In the actual operation process, limited to the multiple factors such as equipment structure, operating condition, control system and maintenance means, the compressor operation efficiency generally has a large space for improvement. Through the systematic combing of the influencing factors and the in-depth analysis of advanced technology paths, the efficiency improvement strategy is put forward from the aspects of intelligent control, power system optimization, cooling and lubrication mechanism improvement, supplemented by multi-dimensional auxiliary safeguard measures to promote the development of the equipment to the direction of high efficiency, intelligence and low consumption. The research aims to provide technical support for the operation and management of oilfield natural gas compressors, improve energy utilization efficiency, and promote the green and high-quality development of the oil and gas industry.

Keywords

oil field natural gas; compressor; operation efficiency; intelligent control; energy saving optimization

油田天然气压缩机运行效率提升技术研究

位小顺

中石化西北油田分公司采油四厂，中国·新疆 沙雅 842200

摘要

油田天然气压缩机作为提高资源利用率与保障气体输送效率的重要设备，其运行效率直接关系到油气田的整体开发效能与能源消耗水平。在实际运行过程中，受限于设备结构、运行工况、控制系统以及维护手段等多重因素，压缩机运行效率普遍存在较大提升空间。通过对影响因素进行系统梳理，结合先进技术路径展开深入分析，从智能控制、动力系统优化、冷却润滑机制完善等方面提出效率提升策略，辅以多维度的辅助保障措施，推动设备向高效、智能、低耗方向发展。研究旨在为油田天然气压缩机运行管理提供技术支撑，提升能源利用效率，助力油气行业绿色高质量发展。

关键词

油田天然气；压缩机；运行效率；智能控制；节能优化

1 引言

天然气作为一种清洁高效的化石能源，在全球能源结构调整中占据越来越重要的地位。油田中天然气的采输环节高度依赖压缩机系统，其性能直接影响天然气的产量与输送稳定性。尤其在资源日趋紧张与环境要求不断提高的背景下，提升天然气压缩机运行效率已成为提升经济效益和减少碳排放的关键环节。压缩机作为复杂机电一体化装备，其运行状态受多种因素交互影响，既包括机械结构的匹配，也涵盖控制策略与运维模式的高效协同。系统化探讨运行效率提升路径，具有重要的工程现实意义与产业推广价值。

【作者简介】位小顺（1991-），男，中国河南鹿邑人，本科，工程师，从事设备管理研究。

2 油田天然气压缩机运行概况

2.1 压缩机在油田中的作用与重要性

油田天然气压缩机承担着提升气体压力、输送天然气以及保障开采稳定性的核心功能。压缩机的运行性能直接影响天然气从井口到处理系统的输送效率，是保障油田生产连续性与安全性的关键设备。天然气经过压缩后可满足长距离输送与储存需求，同时压缩过程对伴生气回收与综合利用具有重要促进作用。压缩系统的高效运行能够降低能耗成本，提高油气资源开发利用率，对于提升油田整体经济效益与节能减排水平具有重要现实意义。压缩机已成为油田地面工程系统中不可或缺的重要组成部分，其运行效率对整个天然气产业链的优化与可持续发展起着决定性作用^[1]。

2.2 主要类型与工作原理概述

油田天然气压缩机按工作原理主要可分为容积式和动

力式两大类，其中容积式以往复式和螺杆式为代表，通过机械方式压缩气体并提高其压力，适用于中低流量、高压工况；动力式以离心式为主，依靠高速旋转叶轮对气体做功，适用于大流量、稳定运行需求。往复式压缩机采用柱塞往复运动实现周期性吸气和压缩，具备较强的适应性与节能性；螺杆压缩机通过两根螺旋转子啮合压缩气体，运行平稳维护简便；离心式压缩机结构紧凑、连续性强，适合于油田处理站大规模气体处理作业。各类型压缩机在油田中根据工况需求合理配置，共同支撑天然气高效输送与安全保障体系的建立。

3 运行效率影响因素分析

3.1 压缩机结构设计合理性

压缩机结构设计是决定其运行效率的基础环节，设计的合理性直接影响气体压缩过程的能量转换效率与机械损耗水平。若机体结构存在不对称负荷、传动机构刚度不足或运动部件配合精度偏差等问题，将导致机械能在传递过程中产生额外损耗，影响运行稳定性与效率。余隙控制不严、阀门通道设计不当、冷却通道布局不合理等因素也会导致压缩过程热力性能下降。先进的结构设计理念强调模块化与高集成度，有助于优化内部流动路径、提高密封性能、降低能耗与维护难度。通过结构优化实现传动系统高效、压缩腔高密封、进排气过程顺畅，是提升压缩机运行效率的重要方向。

3.2 工况变化对效率的影响

油田天然气压缩机在不同生产阶段与井组布置条件下，其运行工况常常处于动态变化状态。气体流量、入口压力、温度波动等参数的不稳定会直接影响压缩过程的匹配性与能效表现。当系统负荷突然变化或超出设备最佳设计工况范围时，压缩比失衡、叶轮负载异常、密封性能下降等问题将频繁出现，导致设备效率下降甚至运行故障。长期偏离设计工况运行还可能引发机械疲劳与能耗剧增等问题。缺乏灵活应对工况变化的调节机制会使压缩机运行处于低效甚至不稳定状态。构建动态工况自适应控制策略，结合传感与反馈系统实现实时调整，有助于保障设备在不同工况下维持较高效率水平。

3.3 操作管理水平与维护周期

压缩机系统的运行效率在很大程度上依赖于操作人员的专业水平与维护管理制度的完善程度。不规范的启停操作、参数设置不当、忽视运行异常信号等问题会加剧设备负荷波动，降低压缩效率。维护不及时或检查手段落后将导致轴承磨损、密封老化、冷却系统堵塞等隐患逐步积累，严重影响压缩机性能。部分油田尚未建立科学的维护周期管理机制，设备长期无序运行或依赖经验判断，缺乏基于数据支撑的维护决策体系，造成效率持续下降。建立标准化操作规程与周期性诊断机制，配合状态监测技术可实现精准维护，延长设备使用寿命，提升长期运行效率与稳定性^[2]。

4 提升压缩机效率的关键技术路径

4.1 控制系统的智能化升级

压缩机控制系统的智能化升级是提升运行效率的重要突破口。通过引入分布式控制架构与数字化集成平台，能够实现对运行状态的实时感知与精准调节。控制系统借助传感器网络采集压力、温度、振动等关键参数，配合算法模型动态调整转速、阀门开度与负载状态，保持压缩机在最优工况下运行。逻辑程序控制向预测性调度控制转变，可有效降低波动带来的能耗损失。设备启停、异常报警与自诊断功能嵌入控制系统中，增强了系统响应能力与运行稳定性。智能控制还能协调冷却、润滑、密封等子系统联动工作，提升整体协同效率。在能源管理平台的支撑下，可实现远程集中控制与调度管理，推动油田压缩机系统由人工干预向自动优化演进。

4.2 动力传动系统优化设计

动力传动系统作为压缩机能量传递的核心环节，其结构设计和参数匹配对效率影响显著。优化设计应注重传动路径的紧凑化与刚性增强，减少中间能量转换环节，提升机械能利用效率。采用高效齿轮组、精密联轴器与低摩擦轴承，可降低能耗与机械磨损，增强系统传动效率。电机与压缩主机的扭矩匹配应动态适应负载变化，避免出现过载或空载运行现象。变频驱动技术的融合使得动力输出更加灵活，可根据实际流量需求精确调节压缩速率。整体布局应减少振动源、抑制谐波干扰，并提高系统稳定性与寿命。加强传动部件的材料选型与表面处理工艺，提升抗疲劳能力与热稳定性，是确保长周期高效运行的重要保障手段，图1为一种动力传导压缩机射流技术在油田放空天然气回收工程中的应用。

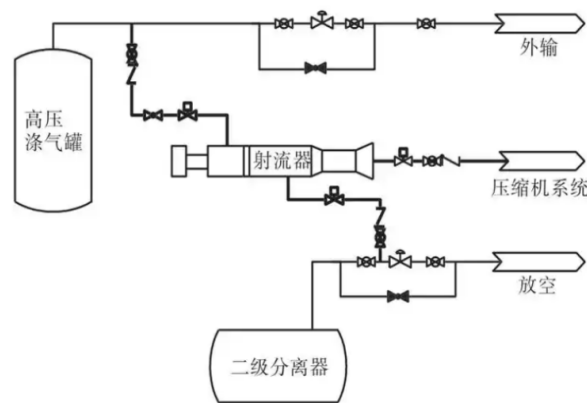


图1 一种动力传导压缩机射流技术在油田放空天然气回收工程中的应用

4.3 冷却与润滑系统性能提升

压缩机运行过程中产生大量热能，冷却与润滑系统的性能对保障设备稳定与高效运行起决定性作用。冷却系统需具备快速散热与温控稳定的能力，通过优化散热器结构、

增强冷媒流动效率与改善换热器布置,可有效降低系统热负荷。润滑系统应保证润滑油在高温高压下具备良好的流动性与抗氧化能力,防止关键部件间产生干摩擦与磨损积碳。采用独立回路设计与温控阀精细调节,可实现对不同部位的差异化润滑供给,提高系统响应速度。冷却润滑系统的运行状态需纳入控制系统统一监控,形成闭环调控机制,从而提升整体系统运行安全性与效率水平^[3]。

4.4 密封与余隙控制技术改进

压缩机密封系统与余隙结构的精密控制直接影响气体压缩效率与设备稳定性。传统密封结构易出现泄漏、磨损与维护频繁等问题,需通过新型高性能密封材料与结构改良加以优化。采用干气密封、磁流体密封等先进技术可显著降低泄漏率与摩擦损耗,增强压缩腔密闭性能。余隙控制方面,合理设定压缩腔、活塞、阀片等部位的最小工作间隙,有助于减少气体回流损失与泄漏通道形成。数控加工与高精度检测手段的应用提升了制造精度,保障各部位间隙均匀分布与结构一致性。动态余隙调节机构通过热膨胀补偿与载荷分布感知,提升设备在不同工况下的密封与传动效率。整体密封与余隙控制技术的提升,是实现压缩过程高效闭合循环的核心所在。

5 提升效率的辅助保障措施

5.1 实时监测与故障预测技术应用

构建压缩机运行的实时监测体系是保障其高效运行与故障预防的基础。通过布设多参数传感器网络,对压力、温度、振动、电流、电压等指标实施全时段数据采集,可实时掌握设备状态变化。数据经边缘计算与集中处理后形成诊断模型,对运行趋势与隐患征兆进行识别。状态监测与预测功能嵌入控制系统,可实现超前报警与智能调节,避免因突发故障造成能耗激增与设备停机。基于监测结果形成决策支撑信息,有助于制定更为科学的维护策略与运行计划。实时监测技术还可作为能源管理平台的数据基础,支撑整体运行效率分析与优化决策^[4]。

5.2 节能运行策略与负荷调整机制

实施节能运行策略是提升压缩机效率的有效路径之一,重点在于结合实际工况实现运行状态的动态调控。通过制定不同生产阶段与气量需求下的能耗优化方案,可确保压缩机处于负荷最优点工作。采用变频调速技术实现对转速与输出功率的精准调节,避免因流量过剩或压力过高引起能量浪

费。负荷分配机制需具备灵活性与响应速度,根据井口产气变化实时调整压缩节拍与切换运行模式,有效降低空转时间与不必要启动频率。能耗数据的动态分析与历史运行模型比对,可为节能策略持续优化提供支撑,形成基于实际绩效的闭环调节体系。

5.3 多压缩机联动优化运行方案

油田现场常配置多台压缩机协同运行,以满足复杂工况下的气体处理需求。在多机系统中,合理的联动运行方案是实现整体效率最优的关键。应根据不同压缩机性能参数与运行状态进行任务分配,避开设备间的过载竞争与低效并行。联动系统可集成统一调度模块,依据系统总负荷需求动态调用最适合运行的压缩机组合。结合现场流量变化趋势与能耗监测结果,实现实时调度优化与动态负荷均衡。多机系统内应保持通信与控制信号的高度同步,防止指令冲突与资源浪费。通过引入仿真模型与数据反馈机制,持续迭代运行策略,使整体系统稳定性与经济性同步提升^[5]。

6 结语

油田天然气压缩机运行效率的提升是一项系统性技术工程,涵盖结构优化、控制升级、运维保障等多个方面。通过对影响因素的深入剖析与关键技术路径的系统研究,可有效实现对压缩过程的能量损耗控制与运行性能的全面提升。将智能化技术与传统压缩设备融合,推动其向高效、稳定、节能方向演进,不仅能够优化油田开发的经济效益,还符合绿色低碳发展的产业导向。在油气资源日趋复杂、运行环境持续变化的背景下,探索适应性更强、响应更快、效率更高的运行机制,将成为保障天然气产业链稳定与高质量发展的重要支点。

参考文献

- [1] 王扶辉,苏东兰,阮龙飞,祝玉松,汪洋.天然气压缩机烟气温余热回收技术应用[J].石油石化节能,2020,10(03):18-19+22+8-9.
- [2] 焦国语.海上油田天然气压缩机选型设计及应用[J].现代制造技术与装备,2020,(03):166-167.
- [3] 董颖杰,黄定辉,李毅.天然气压缩机润滑系统综合问题治理及设备管理提升[J].石油和化工设备,2018,21(11):84-88.
- [4] 刘冲,庄健彬,洪流,董宏远.天然气压缩机的维护保养措施[J].化工设计通讯,2017,43(12):89+116.
- [5] 占赛,孟凤鸣,高小键,赵彦女,钱凯,南春,卢静.神木处理厂天然气压缩机组运行效果评价[J].石油化工应用,2017,36(07):72-74.