

时数据调整工艺参数、调度策略与物流路径,使车间运行保持稳定状态。闭环控制通过模型驱动方法将预测结果与实际状态进行对比,识别偏差并通过调节策略予以修正,使生产过程逐渐向最优状态收敛。该机制建立在高质量数据与实时反馈的基础之上,使车间能够在复杂环境下保持高生产率与稳定性,实现从经验驱动向数据驱动的管理升级。

5 数字化车间生产效率提升路径与应用成效研究

5.1 基于数据融合的生产效率提升机制

生产效率提升依赖于生产要素的精准配置,而数据融合机制为复杂制造系统提供了系统性分析基础。通过对设备运行数据、刀具磨损状态、工艺参数波动、物流节拍与人员作业能力等多源数据进行融合,可形成完整的生产画像,使管理系统得以在整体维度识别产线瓶颈。数据融合不仅实现对设备利用率与在制品流转速度的量化分析,还通过节拍一致性与能耗变化趋势反映生产系统的动态平衡状态。在此基础上,融合模型可对产能结构进行推演,通过仿真优化资源补偿策略、产线分工调整与工艺迭代路径,使生产组织逐渐趋于稳定高效。借助数据融合的预测能力,企业能够提前判断产能紧张节点,制定精准生产计划,减少等待、闲置与返工,使生产节奏保持协调一致。该机制不仅提升资源配置的科学性,也为数字化车间建立持续优化机制提供坚实的分析基础。

5.2 数字孪生驱动的生产优化应用路径

数字孪生为车间提供真实可控的虚拟映射,使生产优化从经验决策转向模型驱动。通过将设备状态、工艺流程、物流路径与环境变量同步映射到虚拟空间,车间能够在不干扰实际生产的前提下进行多方案推演,从而评估调度策略、加工参数与资源配置对生产绩效的影响。数字孪生的价值在于其可验证性,系统能够实时比对虚拟结果与现场数据,通过偏差分析不断修正模型,使虚实系统保持一致。借助这一机制,企业可在生产前完成刀具策略优化、产线节拍验证与布局可达性分析,使潜在风险在实际执行前被提前消除。数字孪生还能辅助设备布局的迭代优化,通过模拟物流路径与人机协同行为,识别空间干涉与等待时间过长的区域,为生产线平衡与物流回路设计提供量化依据。随着虚实融合的深化,数字孪生逐步成为车间持续改进与创新调度的核心工具。

5.3 柔性制造环境下的效率提升实践路径

柔性制造要求车间在面对产品多样化与需求波动时始终保持稳定产能。数字化车间通过工艺模型的快速调用、设备能力的动态匹配与调度策略的实时调整,使生产系统具备高水平的适应性。在柔性环境中,模块化工艺设计和通用化设备配置是支撑快速切换的关键,通过将加工过程拆解为标准化工序,使不同产品能够在同一产线上实现高效重构。此外,可重构生产线布局使产能可根据订单结构变化进行动态调整,减少传统产线在切换时的停滞与资源浪费。基于实时数据的智能调度机制能够在设备利用率、工序优先级与物流负载之间建立快速均衡,使生产节拍在多干扰条件下仍能保持连贯。柔性制造的效率提升不仅表现在加工响应速度的提高,还体现在资源配置的协调化与工艺适配性的增强,使企业在不确定性条件下仍具备高水平的交付能力与竞争优势。

6 结语

机械制造数字化车间的构建是行业迈向智能化发展的关键步骤,其意义不仅在于生产效率的提升,更在于生产模式、组织机制与运行逻辑的全面变革。数字化车间通过对资源、工艺与流程进行深度数字化表达,使生产系统具备实时感知、智能分析与动态调节能力,为企业构建柔性、高效、透明的制造体系提供技术基础。本文从架构构建、核心技术、质量闭环控制与效率提升路径等方面进行了系统研究,展示了数字化车间在机械制造领域的应用价值。未来,随着数字孪生、人工智能与工业互联网的持续进步,数字化车间将演化出更具自主性与协同性的制造模式,使机械制造行业在复杂环境中仍保持稳定、高质量的发展态势,为产业升级与经济增长提供持续动力。

参考文献

- [1] 翟永正,孔祥君,郜京波,等.基于iMOM的机械装备行业下料数字化车间解决方案[J].智能制造,2023,(02):66-70.
- [2] 济南铸锻所汽车纵梁数字化车间项目获国家智能制造新模式应用项目立项[J].锻压装备与制造技术,2016,51(04):2-3.1
- [3] 三一重工启动工程机械产品加工数字化车间项目[J].建设机械技术与管理,2012,25(12):19.
- [4] 江平.大型工程机械型材下料数字化车间总体设计与工艺流程布局[J].机电产品开发与创新,2023,36(02):104-106.
- [5] 徐刚强,周康康.汽油机凸轮轴数字化车间建设的探索与实践——以博星84系列凸轮轴数字化产线为例[J].内燃机与配件,2019,(18):31-32.

Troubleshooting and Treatment Measures of Common Faults of Oil Pump in Heavy Oil Production Plant

Tao Zhang

CNOOC (China) Limited, Shenzhen Branch, Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

This study addresses the recurring pump failures at a heavy oil production facility. Through analyzing operational data from 2017-2018, it identified undercurrent-induced shutdowns as the predominant cause (66.7% of failures). Root cause analysis identified fluctuating water cut in the output stream and challenges in heavy oil degassing as primary triggers. Two corrective measures were implemented: deploying a production water system and installing a continuous venting filter. These actions reduced pump failures from 8.81 to 0.96 per million minutes, significantly exceeding the target of 2.9. The annual comprehensive economic benefits reached 4.159 million yuan, ensuring stable and efficient operations for the facility.

Keywords

heavy oil production plant; export pump; fault diagnosis; water cut fluctuation; degassing difficulty

稠油采油厂外输泵常见故障排查与处理措施

张涛

中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

本文针对某稠油采油厂原油外输泵频繁跳停的生产难题, 通过统计2017-2018年设备运行数据, 明确电流欠载停机为主要故障类型, 占比达66.7%。经原因分析与要因验证, 确定外输含水率波动、稠油脱气困难为核心诱因。据此制定并实施投用生产水系统、增设滤器连续排气流程两项对策。实施后外输泵跳停频次从8.81次/百万分钟降至0.96次/百万分钟, 远低于2.9次/百万分钟的目标值, 每年可创造415.9万元综合经济效益, 有效保障了该采油厂的安全平稳高效运行。

关键词

稠油采油厂; 外输泵; 故障排查; 含水率波动; 脱气困难

1 引言

某稠油采油厂的原油存在高密度、高粘度、低含硫量的特性, 地层原油的粘度范围在 $111.18\text{mPa}\cdot\text{s}$ 到 $277.77\text{mPa}\cdot\text{s}$ 之间。该采油厂安装了2台变频外输泵, 采取一用一备的运行模式, 原油经过加热、分离之后由外输泵提升压力, 再通过10.6公里长的海底管道输送到 EP24-2DPP 处处理。从2016年投入生产开始, 外输泵就频繁出现停止现象, 到了2017年至2018年期间, 这种情况变得更为严峻, 不但加重了现场应急工作的负担, 而且引发了油井停工, 影响了产量目标的达成^[1]。为了保证采油厂能够安全稳定地运行并提升生产效率, 展开对外输泵常见故障的检查以及应对措施的研究有着非常重要的现实意义。

2 外输泵故障概况与影响

2.1 采油厂生产流程与设备配置情况

某稠油采油厂有26口生产井, 井液汇集到生产管汇之后, 会流经生产加热器被加热到 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$, 然后进入生产分离器执行油气水三相分离, 分离出来的原油会被送往外输泵以增大压力并实施外输, 其配套设备包含检测分离器、污油泵、斜板除油器之类的辅助装置^[2]。外输泵属于变频泵, 额定功率为220Kw, 额定电流为380A, 最大外输量达 $172\text{m}^3/\text{h}$, 空载电流是75A, 欠载电流设置值为110A, 运行时的频率区间在15Hz-50Hz之间。这套设备的配置大致能满足原油外输的基本需求, 不过在实际运行过程中, 由于诸多因素的作用而频繁发生故障。

2.2 外输泵跳停频次统计与历史数据分析

外输泵A在2017-2018年运行了540840分钟, 跳停5次; 外输泵B运行了477500分钟, 跳停4次。这两台泵一共跳停9次, 平均跳停频次为8.81次/百万分钟, 即大约每1.5个月就会跳停一次。通过对跳停原因加以统计可知, 电流欠

【作者简介】张涛(1981-), 男, 中国河南周口人, 本科, 工程师, 从事油田生产开发及其设备维护研究。

载停机出现了6次,占比为66.7%;冷却水箱液位开关故障、电机温度传感器跳变以及配电柜故障各自出现1次,它们所占比例均为11.1%。数据显示,电流欠载停机是造成外输泵跳停的关键因素,也是故障检查时着重关注的方向。

2.3 故障对生产时率与人员安全的影响分析

外输泵跳停之后要启动备用泵,并执行排气、调整消泡剂浓度等应急措施,在应急期间平均会关闭5口单井,情况严重的时候会造整个采油厂停产,直接影响到油井的生产时间,进而影响到原油计划产量的达成^[3]。频繁地应对各种紧急状况会给生产人员和中控人员造成很大的心理压力,加大现场操作的风险,而且长时间从事高强度的应急工作还会损害员工的身心健康,对采油厂安全生产工作的进一步推进不利。

3 故障主要类型与原因分析

3.1 电流欠载停机的原因与判定

电流欠载停机属于外输泵的主要故障类型,从关联图分析来看,诱发该故障的原因包含五个末端因素,即欠载电流值的设定情况、油井是否出砂、流程温度出现波动、外输含水量存在波动以及稠油脱气较为艰难等情形。通过现场核实可知,欠载电流设定值为110A,远远小于正常运行时的电流范围205A-240A;油井出砂检查并未显示过滤器堵塞现象;流程温度的波动也被控制在64.4-68℃之间,这些情况均属于非关键因素。外输含水量发生波动或者稠油脱气比较困难时,会造成泵进口供液量不够,运行电流跌落到欠载临界值,从而致使设备停止运行。

3.2 含水率波动引起的粘度变化与泵效下降

该稠油油田地层能量短缺,有些油井供液不稳,单井含水率呈规律性起伏,综合含水率处于55%-60%之间。因为生产水系统尚未启用,分离器未能实施分水外排,原油经过分离器沉降之后,外输泵进口含水率的波动范围扩充到29%-90%,而且波动变得更为陡峭^[4]。按照粘温曲线,含水率由30%提升到90%时,原油粘度的波动超出30倍。遵照流体力学公式,粘度急剧增大使得流体流速忽然减小,外输泵进口供液量不够,其运行电流产生大幅波动,出现明显的欠载情况,于是泵效便有所下滑。

3.3 稠油脱气困难导致的气蚀与压力波动

稠油在开采及处理的时候,温度上升、压力下降,会打破气液协调状态,使得轻烃挥发而形成气泡。由于稠油黏度很高,这些气泡很难轻易溢出,在油相中聚集成泡沫,一方面缩减了分离器可供有效分离的空间,另一方面会在过滤器内部汇集起来。当原油带着这些气泡流入外输泵之后,就会引发气蚀情况发生,外输泵出口的压力曲线开始出现类似锯齿的波动现象,如果情形特别严重,甚至会造成供液停止,从而致使设备自动断电停机^[5]。现场查看可知,每天都得要给过滤器排气7到8次左右,才有可能维持压力的相对稳定,这足以表明稠油除气艰难确实是外输泵发生故障的关键因素。

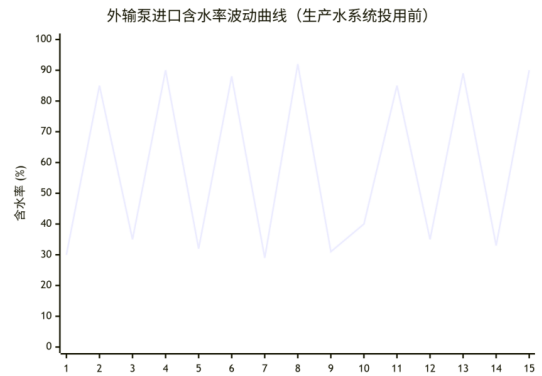


图1 某稠油采油厂全液外输时外输泵进口含水率波动曲线

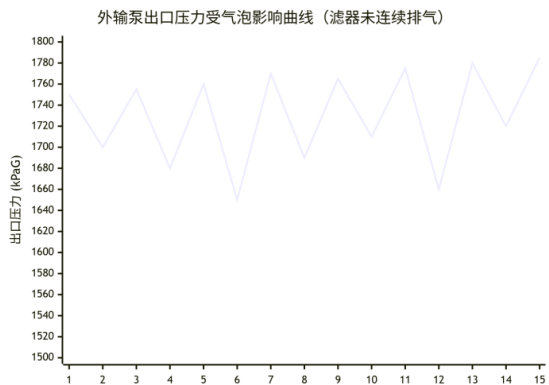


图2 某稠油采油厂外输泵受气泡影响出口压力曲线

3.4 非核心因素对故障的间接影响

外输泵欠载停机的主要原因被确定为含水率波动以及稠油脱气难题,不过一些非关键因素也会间接影响设备运行的稳定性。冷却水箱液位开关若出现故障,将会引发保护性的自动停止,2017年3月,外输泵B就因这种情况而停机,必要时切换备用泵以恢复正常生产。电机温度传感器数值突然变化以及配电柜发生故障的频率比较低,分别只占到故障比例的11.1%,但是它们同样会导致突然停机,进而打乱生产秩序。这些非关键因素并非造成欠载停机的关键要素,不过却会使设备故障变得更为复杂,加大现场应急处理的次数和困难程度,在日常的运维过程中应当加强对这类部件的巡查及保养,减小其引起停机的可能性,从而保证外输泵整体运行的可靠性。

4 故障排查方法与要因验证

4.1 运行参数监测与数据分析方法

故障排查先执行运行参数检测,查看外输泵完工资料及电泵运行曲线,得到额定功率、电流、频率等基本参数,统计2018年7月至12月的运行频率、外输量、运行电流等数据,并绘制电流变化柱状图,对比正常运行电流和欠载电流设定值,来判断欠载电流设定是否合理^[6]。还要剖析外输泵出口压力、流量等参数随时间而变化的趋势,联系交接班