

# 丙烷制冷压缩机运行优化研究与应用

刘旻然

中原油田分公司天然气处理厂 河南 濮阳 457162

**【摘要】**：丙烷制冷压缩机是液烃回收装置的核心设备，其运行稳定性直接影响装置整体产能与运行效益。针对某厂四台丙烷制冷压缩机投产后出现的载位调节异常、能耗偏高、联锁失效及故障停机等问题，从机电仪多维度开展运行优化研究。通过解析压缩机负荷调节系统结构原理，形成一套完整的故障处理方法；整改联锁控制回路缺陷，优化 PLC 与 DCS 操作界面；排查稀油站电气控制隐患，实现机组运行参数精准调控。现场应用结果表明，优化后机组异常停机次数显著减少，运行电流明显下降，累计节约用电成本 42.6 万元，为同类型螺杆制冷机组的高效稳定运行提供了可靠技术参考。

**【关键词】**：丙烷制冷压缩机；负荷调节；联锁优化；稀油站；节能降耗

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.008

随着石油化工行业的快速发展，液烃回收装置作为提升资源利用率的关键设备，其运行效率与稳定性直接关系到企业的经济效益与行业竞争力。本文以丙烷制冷压缩机为研究对象，系统梳理设备运行过程中存在的核心问题，从机电仪一体化角度制定针对性优化方案，通过故障机理分析、关键部件改造、联锁逻辑优化及操作界面升级等系列措施，形成一套完整的运行优化技术体系。经现场应用验证，该优化方案有效解决了机组现存问题，显著提升了设备运行稳定性与节能效益，为同类型制冷压缩机的优化升级提供可借鉴的技术路径与实践经验。

## 1 项目概况

### 1.1 丙烷制冷压缩机简介

丙烷制冷装置由主机橇和蒸发橇两部分组成。主机橇包含开启式双螺杆压缩机、油分离器、冷凝器、储液器、经济器、气液分离器及油路系统；蒸发橇布置于液烃回收装置内，主要由丙烷蒸发器及配套管路构成。整套装置由冰轮环境技术股份有限公司提供，核心功能是为脱乙烷塔顶部气相乙烷液化提供稳定冷量。

其工艺流程为：低压气相丙烷经入口气液分离器进入压缩机增压，经两级高效油分离器除油后进入冷凝器，由循环水冷却液化，随后进入经济器进一步过冷。过冷后的液相丙烷经供液节流膨胀后进入蒸发器，与脱乙烷塔顶高温乙烷气体完成换热，为塔顶提供冷量。气化后的低压丙烷则返回压缩机入口，形成完整制冷循环。该装置核心设备丙烷压缩机工艺流程如下图所示。

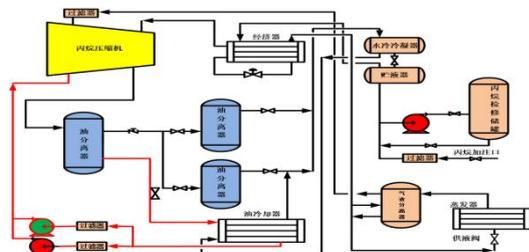


图 1 丙烷制冷工艺流程图

### 1.2 压缩机运行存在的主要问题

自投产以来，四台丙烷压缩机频繁出现各类故障，核心问题集中在能量调节指示、仪表联锁控制及稀油站电气控制三大系统，导致机组载位调节异常、能耗偏高、关键联锁失效，多次发生故障停机，严重威胁装置平稳运行。典型异常事件统计如下。

表 1 典型异常事件统计

序号	异常现象	原因分析
1	A 列压缩机载位升至满负荷，无法减载，运行电流偏高	润滑油杂质导致三位四通阀卡滞
2	D 列主电机稀油站油压低，未联锁启泵及停机，最终因供油不足振动联锁停机	压力开关故障或联锁回路异常
3	A 列主电机稀油站油压低，辅助油泵未自启，触发低油压联锁停机	电器故障导致联锁信号无法发出
4	D 列主电机绕组温度探头故障，触发联锁停机	探头线路磨损断开，联锁设置不合理
5	B 列 PLC 控制柜故障，与 DCS 通讯中断，冷冻机油泵停运，主机缺油仍未停机，急停失效	综合故障信号跳闸线未接入高压开关柜
6	B、D 列压缩机零载位指示灯不亮，不满足启机条件	零载位开关故障或与凸轮接触不良
7	C 列面板载位显示与现场机械指示不一致，载位跳变	电位器故障
8	D 列压缩机切换自动与调试模式时，误触按钮导致停机	模式切换无二次确认或长按确认设置
9	D 列压缩机电流异常升高	旁通电磁阀内漏，内容积比滑块偷动

#### 1.2.1 能量调节指示系统问题

A 列压缩机增减载电磁阀卡滞，无法正常减载，长期处于

满负荷运行状态，不仅冷量调节困难，还导致运行电流偏高。满负荷状态下机组不满足零载位启机条件，每次异常停机后需拆解载位开关并短接零载位开关才能启机，操作繁琐且存在安全风险。C列压缩机能量调节装置运行不稳定，PLC面板载位指示与现场机械指示偏差较大，载位频繁跳变，严重影响平稳操作。B、D列压缩机零载位开关故障或与凸轮接触不良，零载位指示灯常亮异常，启机前需手动短接，极大地增加了启机难度。

### 1.2.2 仪表联锁控制系统问题

主电机采用三支PT100热电阻探头监测定子温度，原联锁方式为三取一，随着运行时间延长，探头接线均出现不同程度损坏，多次引发误报停机。压缩机调试与本地自动模式切换时，投入退出按钮指示模糊，且无二次确认机制，易发生误触停机。DCS系统未设置远程吸气压力调节及蒸发器供液阀调节功能，吸气压力设定需外操人员现场操作PLC，自动模式下供液阀开度无法调节，操作便利性极差。此外，联锁测试不全面，未发现PLC综合故障信号跳闸线未接入高压开关柜的隐患，PLC柜发生停电或卡件损坏时无法联锁停机，构成重大安全风险。

### 1.2.3 稀油站电气控制问题

主电机两端轴承采用球面滑动轴承，配备独立稀油站强制润滑，系统包含两台润滑油泵、冷却器、过滤器及压力开关等设备，设定供油压力范围为0.05~0.1MPa，主泵模式下油压低报0.03MPa时启动备泵，低低报0.02MPa时发出停机信号。运行期间先后出现两次稀油站联锁失效事件，分别为供油压力低低未联锁停机、压力低未启动备泵，经排查核心原因为压力开关故障及联锁控制回路继电器损坏。

### 1.3 研究内容与目的

丙烷制冷压缩机作为液烃回收单元的A类核心设备，其停机将直接导致单列装置停产。为实现乙烷回收装置安稳长满优运行，本研究针对上述问题，从机电仪三方面开展系统优化：一是深入研究能量调节与指示系统结构原理，拆解关键部件分析故障成因，形成标准化故障处理方案；二是升级仪表PLC运行模式，优化操作按钮设计，新增DCS远程调节功能；三是全面排查稀油站电气控制隐患，验证联锁逻辑，确保润滑系统稳定运行。通过系列优化措施，消除机组运行隐患，降低能耗，提升设备运行可靠性。

## 2 主要技术创新成果

### 2.1 形成压缩机负荷调节系统故障处理方法

#### 2.1.1 负荷调节系统结构与原理

螺杆压缩机负荷调节主要分为容量调节和内容积比调节两类。容量载位调节通过滑阀移动改变螺杆齿间工作容积有效长度，使部分气体回流至吸气端，从而调节输气量。内容积比

调节则通过调节滑块伸入转子腔的长度，改变径向排气孔口位置，实现内容积比与内压比的精准调控。能量调节指示装置由三位四通阀、活塞油缸、电位器及位移传感器组成，通过控制油活塞两侧润滑油进出改变压力，驱动滑阀与滑块移动，实现载位与内容积比调节。滑阀推杆的直线运动经螺旋导杆转换为旋转运动，通过电位器转换为载位电信号；滑块移动则由位移传感器输出内容积比电信号。三位四通电磁阀通过电磁头得电吸动阀芯改变油路方向，失电后由弹簧复位，实现油路的精准切换。机组启动后，根据吸气压力设定值进行增减载及内容积比调节，载位调节范围为0~100，内容积比调节范围为2.6~5.0。每次开机默认以内容积比2.6运行，自动模式下通过PID调节载位滑阀。压缩机需达到满负荷运行2小时后，每30分钟自动调节一次内容积比。增内容积比时由内容积比滑阀推动载位滑阀移动，减内容积比时则由载位滑阀拖动内容积比滑阀运动，且内容积比调节期间禁止增载，若需减载则终止内容积比调节。各操作命令对应的电磁阀动作状态如下表所示。

表2 各操作命令对应的电磁阀动作状态

命令	增载	减载	增内容积比	减内容积比	停增减载	停增减内容积比
加载电磁阀	开	关	关	开	关	关
减载电磁阀	关	开	关	关	关	关
增内容积比电磁阀	关	关	开	关	关	关
减内容积比电磁阀	关	关	关	关	关	关
能量旁通电磁阀	关	关	开	关	关	关
容积比旁通电磁阀	开	关	关	开	关	关

### 2.1.2 故障原因分析及处理方法

结合停机检修与运行数据，总结出负荷调节系统三类核心故障，并形成标准化处理方案。检修期间更换了三位四通阀、旁通电磁阀、电位计等关键部件，将润滑油滤芯由300目升级为600目，显著提升了机组运行稳定性。

第一类为能量滑阀加减载异常。核心原因包括三位四通电磁阀故障、油活塞间隙过大或密封圈老化、供油压力不足等。处理时先检查电磁阀供电，正常则拆洗阀芯或直接更换；更换油活塞密封圈并检修油缸；采用高精度润滑油过滤器，定期化验油品确保清洁度等级不高于NAS8，严格控制氮气置换及丙烷补充流程避免杂质引入；适当提高油泵供油压力增强调节动

力。

第二类为载位指示异常。主要表现为远传与就地指示不一致、信号跳变及载位开关故障，成因多为凸轮错位、电位计故障或接线错误。处理时更换故障部件，启动润滑油泵调整供油压力差至2~5bar，手动卸载至极限位置调整零载位凸轮使开关闭合，加载至极限位置调整满载位凸轮，更换部件后均需执行此标定流程。

第三类为内容积比滑块偷动。表现为非满负荷状态下滑块异常向增容方向移动，导致排气温度及电流升高，主要因隔板密封圈泄漏或旁通电磁阀内漏所致。处理时关闭旁通电磁阀前后手阀，观察位移传感器趋势，若内容积比下降则判定为电磁阀内漏，待检修时更换；若无变化则为密封圈泄漏，可通过增载临时恢复，停机后更换密封件。

通过系统分析得出核心结论：活塞密封件磨损泄漏是滑阀波动的根本原因；润滑油杂质会导致电磁阀卡滞；供油压力不足引发调节卡滞；电位器故障仅影响信号传输不导致负荷大幅波动；旁通电磁阀或密封圈泄漏会升高内容积比；满负荷运行时可通过调整经济器循环量或蒸发器供液量降低电流。

## 2.2 机组联锁问题整改及操作界面优化

### 2.2.1 联锁控制回路问题整改

针对 PLC 综合故障及急停回路联锁失效问题，对照图纸全面检查 PLC 控制柜与高压开关柜接线，发现 PLC 未接入电源故障信号线，高压开关柜未接入综合故障信号跳闸线。整改时完善四列压缩机高压配电撬跳闸回路接线，明确联锁逻辑：PLC 停止运行时由综合故障信号线直接跳闸，按下急停按钮时通过脉冲分闸信号与综合故障信号线双重触发跳闸，整改后完成全联锁测试确保可靠。针对主电机绕组温度联锁误动作问题，更换损坏的温度探头，将原三取一联锁方式改为三取二，兼顾运行安全性与可用性，避免单一探头故障导致误停机。针对稀油站联锁失效问题，全面检查压力开关、电控箱接线及继电器，发现继电器损坏是核心成因。预防性更换四台压缩机稀油站继电器 24 个，完成联锁测试确保功能正常；为操作盘按钮加装防护罩，避免误触转换开关。

### 2.2.2 操作界面优化

针对模式切换及启停误操作问题，优化 PLC 操作界面：为

主机启停按钮增加二次确认框，投入按钮增设长按 3 秒执行功能，从程序内部屏蔽远程自动功能，从源头杜绝误操作。针对远程调节功能缺失问题，通过通讯改造将吸气压力设定、供液阀阀位设定引入 DCS 画面。操作人员可根据乙烷塔顶温度在中控室远程调整载位及供液阀开度，大幅降低外操劳动强度，提升调节及时性与精度。

## 3 现场应用效果分析

### 3.1 应用效果

2024 年检修期间完成能量调节系统维修及联锁、界面优化后，机组运行稳定性显著提升。截至目前，未出现因设备自身原因导致的异常停机，异常停机次数由上年的 4 次降至 1 次。能量调节系统响应灵敏，载位及内容积比调节精准，A、D 列机组平均运行电流从 72.5A 降至 62A，能耗大幅降低。

### 3.2 效益分析

#### 3.2.1 经济效益

优化后 A、D 列压缩机累计运行 183 天，节约电能计算如下：

$$W=1.732 \times U \times \Delta I \times \cos \phi \times t=1.732 \times 10000 \times 10.5 \times 0.89 \times 183 \times 24=71.1 \times 10^4 \text{ 千瓦时。按每度电 } 0.6 \text{ 元计算，累计节约用电成本 } 42.6 \text{ 万元，经济效益显著。}$$

#### 3.2.2 社会效益

本次技术攻关实现了压缩机能量调节自动顺畅、联锁动作精准，大幅提升设备可操作性，为乙烷回收装置平稳运行奠定坚实基础。通过项目实施，建立了一套完整的螺杆制冷压缩机故障处理方法，培养了一批专业技术人才，打响“中原气服”品牌，为油田承揽同类装置技术服务提供了核心技术支撑。

## 4 结论

综上所述，本次丙烷制冷压缩机运行优化研究取得显著成效，核心结论如下：一是深入掌握了压缩机能量及内容积比控制原理，形成标准化故障处理方案，有效解决了负荷调节系统各类问题；二是通过联锁回路整改及操作界面优化，大幅提升了安全联锁系统可靠性与操作便利性；三是本次优化为液烃回收装置核心设备安稳长满优运行提供了保障，其技术方案与经验可为同类型螺杆制冷机组优化提供重要参考。

## 参考文献：

- [1] 戚骥,潘晨光,常香珺.丙烷制冷压缩机的补气室结构改进设计研究[J].家电科技,2018,(11):34-36.
- [2] 费翔.丙烷制冷压缩功耗分析[J].山东化工,2018,47(10):98-99+101.
- [3] 方晓庆,庄学武.丙烷制冷系统节能技术应用及效果分析[J].石油石化节能,2014,4(08):12-14.