 DOI: https://doi.org/10.12345/hgyjxjz.v4i4.38241

Analysis on the Application of Screw Compressor in Chemical Process

Dagang Liu

Zhongyan Inner Mongolia Chemical Co., Ltd., Alxa League, Inner Mongolia, 750336, China

Abstract

In chemical engineering facilities, screw compressors have evolved from conventional gas supply equipment to serve as critical process units for furnace gas recovery, tail gas pressurization, and kiln gas transportation. Their primary advantages include robust continuous operation capability, adaptability to near-atmospheric high-flow-rate conditions, and high tolerance for component variations and minor entrainment. Taking the LG-937/4 screw compressor as an example, this unit processes both furnace gas and kiln gas with inlet pressures of-0.0079 MPaG and outlet pressures of 0.4 MPaG. Utilizing liquid-cooled twin-screw single-stage compression technology, it maintains exhaust temperatures below 95°C, exemplifying the comprehensive requirements for temperature control, sealing performance, and regulation in chemical process gas compression systems.

Keywords

screw compressor; chemical process; application; key points; analysis

螺杆压缩机在化工工艺中的应用探析

刘大刚

中盐内蒙古化工股份有限公司，中国 · 内蒙古 阿拉善盟 750336

摘　要

在化工装置中，螺杆压缩机已由一般供气设备转为承担炉气回收、尾气增压和窑气输送的工艺装备。其适用价值主要体现在连续运行能力强、适应近常压大流量工况、对组分波动和少量夹带物容忍度较高。文章以LG-937/4螺杆压缩机为例，该机组服务于炉气与窑气两类介质，入口压力为-0.0079MPaG，出口压力为0.4MPaG，采用喷液双螺杆单级压缩，排气温度控制在95℃以下，典型反映了化工过程气压缩对控温、密封和调节的综合要求。

关键词

螺杆压缩机；化工工艺；应用；要点；探析

1 引言

螺杆压缩机作为一种重要的工业设备，以其高效、稳定、可靠等特点，被广泛应用于石油、化工等领域的气体压缩、输送、处理过程中，在石油化工工艺中扮演着不可或缺的角色[1]。有鉴于此，下文基于 LG-937/4 螺杆压缩机探讨其在化工工艺中几项应用要点，以供参考。

2 螺杆压缩机概述

螺杆压缩机是依靠一对相互啮合的阴阳转子周期性缩小齿槽容积来完成吸气、内压缩和排气的容积式设备，在化工流程中更准确地说应归入工艺气体螺杆压缩机，而不是普通空压机。本文所研究螺杆压缩机为 LG-937/4，该机组为喷液双螺杆、单级压缩、背压反动式汽轮机经齿轮箱驱动的布置形式，炉气与窑气工况下吸气量分别为 937m^3/min 和 910m^3/min，入口压力均为 -0.0079MPaG，出口压力均为 0.4MPaG，出口温度控制在 95℃以下，说明其设计重点是在近常压、大流量、复杂混合介质条件下保持连续稳定输送。

3 螺杆压缩机在化工工艺中的应用要点

3.1 适配复杂炉气与窑气组分条件

针对炉气与窑气成分并存、波动且夹带杂质的工艺特点，螺杆压缩机在化工应用中必须把介质适配放在选型与运行控制的前端。第一，炉气侧不能只按高 CO_2 单一介质理解，当炉气中 CO_2 体积分数为 91%，另含 6.52% 水分、0.48%NH_3 和 2% 空气，现场做法通常是把吸气温度控制、前置分液和机体喷油冷却联动考虑，吸气管段设置缓冲罐或汽液分离器，机前过滤与排凝点同时布置，必要时在压缩前增加低位放液与伴热，避免含湿混合气在压缩初段因局部降温形成冷凝液，并减轻 NH_3 与冷凝水共同作用后对密封件和金属表面的附着与腐蚀。第二，窑气侧要按多组分混合气处理，N_2

【作者简介】刘大刚（1987–），男，中国内蒙阿拉善盟人，本科，从事机械工程、化工工艺管理，固定资产工程管理研究。

为 55.9%、CO_2 为 41%，同时含 0.8%O_2、0.2%CO、0.1%SO_2 和 2% 水分，分子量、绝热指数和露点都会随负荷变化而变，工程上不能把内容积比和排气温度设成固定值，而应结合目标排压校正内压缩比，必要时采用可调 Vi 和变频联动，防止内压缩不足或过压缩造成排温偏高、功耗上升 [2]。第三，当吸入压力、组分和杂质在较大范围内波动，这类工况更适合采用 SRM 系非对称型线与 4/6 齿比布置，其原因不在于单纯追求效率，而在于该类转子组合兼顾流通面积、泄漏控制和杂质通过能力，气体在齿间封闭后沿轴向连续送往排气端，不易在吸气侧形成反复翻卷，现场对含尘、夹带液滴或洗涤后残余盐雾的气体更有操作余量。第四，机组落地时还要把复杂组分适配落实到材料和系统配置上，对含 SO_2 和高湿 CO_2 的部位优先采用耐腐蚀壳体内表面处理、耐氟橡胶或聚四氟乙烯类密封，油分、后冷和排凝系统按酸性冷凝液工况校核，并在入口设置可拆洗过滤或预洗涤单元，同时把入口压力、吸气温度、排气温度和振动作为联锁监测点，保证组分波动时主机不过热、不积液、不黏附。

3.2 把喷液控温作为主机运行边界

在炉气与窑气双工况并存的化工流程中，喷液控温必须按主机热边界组织，而不能按一般辅冷手段处理。第一，LG-937/4 主机明确要求内喷脱盐水或软化水，并把排气温度压在 95℃以内，现场应把 95℃作为连续运行控制值而不是超温后的补救值；当炉气侧 CO_2 体积分数达 91%、水分 6.52%、NH_3 为 0.48%、空气为 2%，以及窑气侧 N_2 为 55.9%、CO_2 为 41%、SO_2 为 0.1%、水分为 2% 时，入口组分、湿含量和分子量都在变化，喷液阀开度、排温测点和联锁限值就必须跟着吸压、压比和电机负荷同步整定，不能等排温逼近上限后再被动补水，也不能用单一喷量覆盖全部工况。第二，喷液介质应按脱盐水或软化水单独管理，补水端至少配置过滤、硬度控制和喷嘴前差压检查，不得把普通循环水直接并入主机，因为硬度离子、泥沙和悬浮物进入高温换热区后，极易在喷嘴、壳体和间隙附近形成沉积，后续会把控温偏差转成磨损、堵塞和效率下滑，班组巡检时还要同时盯住补水浊度、喷液压力和排温变化趋势。第三，主机采用上进下出流道时，喷液量不能按固定流量长期保持，而要随入口状态、转速和压差连续修正，使液体进入压缩腔后能够完成传热并及时带出，避免壳体底部积液；高压差螺杆机采用上进下出布置，本身就是为了兼顾高温条件下的端面密封和壳体运行稳定，所以喷液分布必须优先保证转子啮合区覆盖均匀，不能出现一侧偏喷、一侧干运行 [3]。第四，运行控制上应把喷液系统纳入主机开车边界，开机前先核对水质、最小喷量和喷嘴通畅度，升负荷过程中再按排温与吸排压同步微调，稳定后继续校核是否存在含液偏高、排气波动和机内滞液；工程上二氧化碳螺杆压缩机后续仍需接油分、冷却和干燥单元，说明喷液控温只负责把压缩过程压在允许热边界内，不能替代后段脱水净化，同时也不能代替前端除尘和稳压。

3.3 按泄漏控制要求配置轴封与排污路径

围绕化工介质逸散控制这一运行边界，螺杆压缩机轴封与排污路径的配置应按介质特性、压差分布和启停工况一体落实。第一，LG-937/4 主机采用碳环轴封时，设计校核不能只看正常负荷下的静态密封量，还要把开车升速、停车惰走和入口负压波动期间的瞬态泄漏纳入同一工况包络；对炉气中高 CO2、高湿并夹带少量 NH3 的介质，以及窑气中含 SO2、CO 和微量氧的混合气，碳环比压、轴套表面粗糙度、端面圆跳动和轴向补偿量都要收紧控制，装配时还应同步核对压盖同轴度与回油间隙，避免气体沿轴套窜出或反向把油带入工艺侧。第二，主机壳体采用水平剖分并设置排污口后，现场布置不能停留在“有口即可排”，而要把排污点放在冷凝液、洗涤液和细颗粒最易沉积的低位区，并与开车前放净、运行中定排、停车后复排连成固定操作；排污支线宜短而直，阀前不留明显死角，必要时接入回收或缓冲容器，防止排放不畅再次倒灌密封腔。已有工艺螺杆压缩机场景表明，若泄漏气、粉尘和软化水不能及时由密封腔排出，碳环堵塞后往往在约 1 个月内即需更换，而增设连续导排后可把运行周期延至 6 个月以上。第三，迷宫加碳环的组合轴封不能按两套独立零件理解，前级迷宫负责分级降压和削弱气流脉动，后级碳环承担末端贴合密封，两者之间宜保留稳定的缓冲与导排空间，使夹带液不直接冲刷碳环端面；这样处理后，启停阶段即使压差短时波动，泄漏也先在迷宫段衰减，不会把碳环直接推入高磨损状态。第四，轴封系统必须同润滑油、排凝和放空回路联动校核，压缩腔与轴承腔之间要保持有效隔离，防止酸性或含水工艺气窜入润滑油后引起油品劣化、轴承失稳和同步齿轮磨损；同时应把放空、回收或引回进口的路径提前定清，放空点位与排凝点位分开设置，避免入口微负压时外界空气倒灌，导致组分偏移、氧含量波动和后续工艺控制失准。

3.4 利用变速与旁路实现工艺侧柔性调节

在化工流程收气与送气连续性要求较高的场合，LG-937/4 螺杆压缩机的柔性调节应按“变速承担主调、旁路承担细调与保护”的方式落到控制细节。第一，处于 70% 至 105% 变转速范围时不能只理解为常规变频，而应与炉气、窑气来量波动同步整定，现场通常把出口 0.4MPaG 作为主控量，转速给定随吸入压力和瞬时收气量联动修正，并预留 3% 至 5% 的调速滞回，避免入口负压波动时仍按固定转速硬推流量，使主机长期偏离合适容积效率区，同时减少电机频繁追速带来的轴承载荷摆动和联轴器冲击，控制周期也不宜设得过短。第二，0 至 100% 排气旁路必须接入进口管道并参与自动调节，当入口压力走低、来气不稳或短时用气回落时，先以小开度回流稳住机内通流，再根据排温和出口压力逐步修正转速，不采用一次性大开大关，防止回流量突变把进口温度、湿含量和主机压差同时扰乱；旁路阀门宜按快

开慢关设定，启机初段和切出前段优先承担缓冲，稳定段再逐步退回辅助位置。第三，旁路回流不应脱离喷液控温单独动作，因该机要求主机内喷脱盐水或软化水，且排气温度需压在 95℃以内，所以回流阀动作后应同步校核喷液量、喷嘴压差和壳体内是否存在积液趋势，必要时先稳住喷液再调速，避免回流气增温后转由喷液系统被动补偿；若喷液水质失控或喷嘴结垢，变速与旁路再灵活也难把排温压稳。

3.5 围绕长周期运行落实结构与辅机配置

围绕长周期运行落实结构与辅机配置时，机组设计不能只满足额定点出力，还要把事故供油、在线监测、传动精度和现场检修同时纳入同一套布置逻辑。第一，将压缩机、齿轮箱和汽轮机集中布置于二楼，把润滑及控制油站落在一楼，并把事故高位油箱抬到回转轴线以上且设于室外，这样处理后，检修吊装路线与日常巡检通道可以分开，正常供油依靠主油路，停电或油泵切除后的短时过渡则由重力油头接续，化工转动设备常用油系统标准也把高位油箱、油箱位置和油系统附件作为成套配置内容。第二，径向轴承和推力轴承均采用压力润滑滑动轴承，并分别设置 Pt100 温度探头，现场投运时不宜把测温点只当显示量，而应把金属温度、回油温度和启停过程温升速率一并纳入联锁核查，避免轴瓦在油温波动、负荷突升或汽轮机转速调整时先进入边界润滑再暴露异常，API 油系统数据表也把轴承金属温度与 RTD 列为常规监测项目。第三，同步齿轮选用 42CrMo 和 20CrMnTi 中硬齿面，并要求不低于 ISO 1328 5 级精度，转子轴承位及同步齿轮位再做镀铬处理，这类做法的重点不是单纯提高材料牌号，而是把齿侧间隙稳定性、啮合接触状态和轴颈表面耐磨性同时管住，减少大流量连续运行下因微点蚀、磨粒拉伤和装配偏差放大的传动波动，ISO 1328 本身就是齿轮精度分级依据。第四，一楼油站与二楼主机分层布置后，现场还要把辅机接口做实，通常应把主辅油泵切换、油冷却器清洗、过滤器压差检查、事故油箱液位校核和联锁试验纳入同一巡检顺序。

3.6 压缩机蒸汽耗量与节能

LG-937/4 代表了新一代高效机型。相比旧型号，其节能优势体现在采用了更新的转子动力学设计、更佳的材料和轴承（降低机械损失）、更高效油路系统和油分离器（降低压降和油气混合损失），以及集成化更高的智能控制系统，实现整体能效提升。与离心式压缩机相比在中小流量、中高压比的某些应用领域，高效螺杆机（如 LG-937/4）可能比离心机在部分负荷效率上更有优势，且抗喘振性能好，运行范围宽。最主要的区别在于热力效率和容积效率的全面提升，这直接换算为更低的单位产出能耗。

LG-937/4 螺杆压缩机在满负荷运行时，其单位排气量的机械摩擦损失、泄露损失相对更小，热力效率更高。LG-937/4 的大排量设计使其在同等总产能下，比多台小型机并联运行更节能。新型 LG-937/4 型螺杆压缩机是现有 LG435/0.06-0.44 型螺杆压缩机理论打气量的 2.15 倍，较 2 台 LG435/0.06-0.44 型螺杆压的蒸汽汽耗减少约 9t/h。LG-937/4 螺杆压缩机的应用不但有利于强化对压缩机的维护保养工作、保证生产稳定，而且能够降低蒸汽消耗、降低设备运行成本。

选择此类高效大型压缩机，不仅能够直接降低单位产品的蒸汽成本，也符合未来通过数字化管理、能量综合利用和预测性维护来持续挖掘节能潜力的方向。在投资评估时，建议进行全生命周期成本分析，综合考虑初始投资、运行能耗和维护费用，此类高效机型的长期经济效益通常非常显著。

4 结语

螺杆压缩机在化工工艺中的应用，关键不在于设备类型本身，而在于其是否能够与具体介质性质、压力边界、温度控制要求及连续生产节奏形成稳定匹配。结合所给该型号螺杆压缩机实践来看，面对炉气和窑气这类组分复杂、含湿量较高、入口压力偏低且波动明显的工况，喷液双螺杆单级压缩方案在控温、输送、密封和负荷适应方面具有较强实用性。今后在化工装置中推广此类设备时，仍应坚持以实际工况为依据，统筹主机选型、喷液方式、密封配置、调节路径和辅机布置，使螺杆压缩机真正满足化工工艺稳定运行的现实要求。

参考文献

[1] 寇长瑞,朱盼.螺杆压缩机在石油化工工艺中的应用[J].造纸装备及材料, 2025, 54(9):7-9.

[2] 姜文雍.双螺杆压缩机转子设计与优化的系统性探索[J].河南科技, 2024, 51(14):45-51.

[3] 王鹏,刘康民,王立.低压螺杆压缩机问题研究与治理[J].石油和化工设备, 2024, 27(5):161-163.