

真空系统操作手册

版本：V1.0

适用场景：本手册基于真空系统设备交流内容编制，适用于系统操作人员开展日常启停、状态监控及基础故障处理，同时可作为新员工培训及设备运维参考资料

编制依据：现场设备交流纪要及设备技术参数

目录

- 设备组成与功能说明
- 核心操作流程
- 安全操作注意事项
- 故障处理与状态监控
- 系统维护基础要求
- 附录（设备启停检查清单）

一、设备组成与功能说明

1.1 核心泵组

设备名称	数量	核心功能	关键运行要求	启停耗时
分子泵	3 台	实现腔体高真空环境的最终抽取与维持	仅可在 45Pa 以下启动，需达到 518Hz 满转速才能稳定工作；全程依赖冷却水散热，不可中断水路	启动约 10 分钟，停机需 30 分钟（需等待转速降至安全阈值）
螺杆泵	1 台	低真空阶段主抽设备，为后续泵	启动前必须接通冷却水，不可干	即启即停（无转速缓冲期）

		组启动建立基础真空环境	泵运行；需配合罗茨泵 / 分子泵协同工作，不可单独完成高真空抽取	
罗茨泵	1 台	中真空阶段增压抽气，提升真空抽取效率	仅在 7000Pa - 分子泵满转速区间工作；启停必须在真空度达到 7000Pa 以下（泵体过载保护）；依赖电机自身风冷散热，无需外接冷却水	启动后可快速进入工作状态，停机无长时缓冲

1.2 阀类组件

阀件名称	数量	安装位置	核心功能	操作阈值 / 要求
旁通阀	1 个	主抽气支路	4 条抽气管路之一，为大气状态下初始抽气通道	大气状态开启，抽至 5 万 Pa 时关闭（避免压差过大损伤闸板阀）
分子泵闸板阀	3 个	分子泵与腔体连接管路（主抽真空管路）	为分子泵提供抽气通路，气动控制	5 万 Pa 后开启，停机 / 放气前需完全关闭
放气阀	2 个（腔体 + 机组前级）	腔体侧壁、机组前级管道	用于腔体与前级管道的压力平衡，恢复大气状态	抽真空前需完全关闭；放气前需确认泵组停机、闸板阀闭合
电磁阀（含双控型）	若干	分子泵排气口、闸板阀气路	控制气路通断，保护闸板阀与分子泵，防止压差冲击	双控型需确认“开 / 关”信号反馈，防止误动作；泵组运行时不得擅自开关

手动阀	若干	关键管路备用支路	备用防护部件，防止真空规故障或泵组异常时腔体失压	备用状态需定期启停保持灵活，紧急情况下可手动截断管路
-----	----	----------	--------------------------	----------------------------

1.3 检测与辅助设备

1. 真空检测元件

- **全量程真空规：**可监测腔体从大气状态到超低真空的全范围压力，是真空度判断的核心依据
- **电阻真空规：**仅监测前级管道气压，量程仅限 10^{-1} Pa 以内，主要用于判断前级管道与腔体的压差是否平衡，不可用于高真空度检测

2. 动力与控制设备

- **变频器：**分子泵自带，精准控制泵体转速，保障 518Hz 满转速稳定输出
- **压缩机：**为气动闸板阀提供稳定气源，确保阀件气动动作顺畅
- **PLC：**实现整套系统的控制逻辑，内置阈值联锁保护，未达条件时设备无法启动 / 动作
- **WinCC：**人机操作界面，可实时查看压力数据、泵组状态及阀件反馈；与博途 16 专业版不兼容，需通过虚拟机独立部署

3. 散热系统

- **冷却水回路：**为螺杆泵、分子泵提供散热，需保障通路无堵塞、无泄漏；罗茨泵无外接水路，依赖电机自身风冷

二、核心操作流程

2.1 一键自动抽真空流程（推荐模式）

1. 初始条件确认（必查项）

- 腔体默认处于大气状态（无尾气止逆阀），放气阀、大闸板阀均已关闭，且 PLC 反馈关闭信号
- 螺杆泵冷却水已接通，水路无缺水报警；各阀件反馈信号正常，WinCC 无故障提示
- 前级管道与腔体压差适中（通过电阻规与全量程规比对确认，压差过大时先开放气阀平衡）

2. 低真空阶段（大气→5 万 Pa）

- 自动动作：开启旁通阀，关闭 3 个分子泵闸板阀，启动螺杆泵

- 核查要点：旁通阀动作无卡顿，螺杆泵无异常异响；实时监测真空规读数，确保压力平稳下降
- 阶段终点：抽至 5 万 Pa 时，自动关闭旁通阀（避免压差冲击），同步开启分子泵抽气通道

3. 中真空阶段（5 万 Pa→45Pa）

- 自动动作：打开 3 个分子泵闸板阀，当压力降至 7000Pa 时启动罗茨泵，与螺杆泵协同抽气
- 核查要点：闸板阀气动动作到位，反馈信号正常；罗茨泵启动后无过载报警，与螺杆泵联动顺畅
- 阶段终点：持续抽至 45Pa（分子泵启动阈值），系统自动触发分子泵启动准备

4. 高真空阶段（45Pa 以下）

- 自动动作：45Pa 时启动分子泵，待其升至 518Hz 满转速后，关闭罗茨泵，由螺杆泵与分子泵共同维持高真空
- 核查要点：分子泵升速过程无卡顿，冷却水通路无中断；满转速后真空度持续下降，无反弹波动

2.2 一键停机流程

1. 优先关闭所有**分子泵闸板阀**，切断分子泵与腔体的通路（防止气体倒灌）
2. 停止分子泵运行，等待其转速降至安全范围（约 30 分钟，不可强制急停）
3. 关闭分子泵管路各**电磁阀**，截断排气通路
4. 按“罗茨泵→螺杆泵”的顺序依次停机，避免泵组倒吸
5. 最终确认：所有泵组停机、阀件关闭，WinCC 界面无运行状态标识，无压力异常波动

2.3 手动操作模式

1. 操作权限：可单独启停泵组、开关阀件，但受 PLC 逻辑联锁限制（未达气压阈值时，点动操作无响应）
2. 前置要求：操作前必须查看真空规读数，确认前级与腔体压差平衡，避免设备冲击
3. 严格禁忌：分子泵工作时，严禁直接关闭电磁阀或开启放气阀，否则会导致气路憋压、泵体损坏

2.4 放气操作流程

1. **前置条件**：所有分子泵闸板阀完全关闭，所有泵组已停机，WinCC 无运行报警
2. 操作步骤：确认阀件状态无误后，启动放气阀，缓慢恢复腔体压力；放气过程需监测压力变化，防止压力骤升损伤腔体
3. 结束确认：腔体恢复大气状态后，关闭放气阀，做好状态记录

三、安全操作注意事项

3.1 压差保护红线

- 1. 启动前必须通过电阻规与全量程规比对压差，若压差过大，需先开放气阀平衡压力，严禁强行启动泵组
- 2. 禁止在大气状态下直接开启分子泵闸板阀，否则会因压差过大导致闸板阀变形、分子泵叶轮损坏，造成设备报废级故障

3.2 设备启停硬性限制

- 1. 分子泵：绝对禁止在 45Pa 以上启动，未达满转速时不可关闭螺杆泵，否则会因真空度不足导致泵体过载
- 2. 罗茨泵：仅可在 7000Pa - 分子泵满转速区间工作，且启停必须在 7000Pa 以下，超压启停会烧毁电机
- 3. 螺杆泵：启动前必须通水，无水状态下运行超过 5 分钟会导致泵体密封件融化，造成不可逆损伤
- 4. 冷却水：分子泵全程需持续接入冷却水，停机后需等待泵体降温再关闭水路，防止余热损坏内部元件

3.3 阀件操作严格禁忌

- 1. 泵组运行时，禁止直接开关电磁阀、放气阀，否则会造成气路憋压，引发管路抖动、阀件爆裂
- 2. 双控电磁阀需先确认“开 / 关”信号反馈，无反馈时不可操作，防止阀件卡滞导致误动作
- 3. 手动阀仅可在紧急情况或设备检修时使用，日常运行需保持常开 / 常闭的预设状态，不可擅自调整

3.4 远程控制专项要求

- 1. 远程控制通过 IP+OPC UA 协议实现，操作前必须测试链路稳定性，确认本地与远程逻辑一致
- 2. 远程操作时需安排现场人员旁站监护，出现信号中断时，立即切换至本地模式，防止设备失控

四、故障处理与状态监控

4.1 故障复位操作

- 1. 可复位故障类型：冷却水缺水报警、分子泵通讯异常、泵组轻度过载等
- 2. 复位本质：故障复位为设备软重启，仅适用于临时信号异常；若复位后故障反复出现，需停机进行专业检修，不可频繁复位
- 3. 复位流程：WinCC 界面点击 “故障复位” 按钮→等待系统自检→确认故障消除后，方可恢复运行

4.2 状态监控内容

- 1. **实时监测**：WinCC 界面可查看全量程真空规、电阻真空规的压力数据，分子泵转速、螺杆泵 / 罗茨泵运行状态，以及所有阀件的开关反馈
- 2. **历史追溯**：PLC 自动记录故障触发点，WinCC 留存压力历史曲线与操作日志，可追溯近 3 个月的运行数据，便于故障原因分析

4.3 常见异常处置

异常现象	优先排查方向	具体处置步骤
真空度无法达标，压力持续反弹	密封性故障	1. 检查腔体密封圈是否老化、破损；2. 校验闸板阀、放气阀是否关严；3. 排查管路接头是否漏气；4. 必要时更换密封件，重新做气密性测试
泵组运行时过热报警	散热系统故障	1. 螺杆泵 / 分子泵：检查冷却水回路是否堵塞、漏水，水路压力是否达标；2. 罗茨泵：清理电机风冷滤网，确认风扇无卡滞；3. 过热未消除前，禁止重启设备
分子泵无法升至满转速	启动条件不满足	1. 核查真空度是否达到 45Pa 以下；2. 检查变频器与分子泵的通讯是否正常；3. 确认冷却水供应稳定；4. 无硬件故障时，可重启变频器重试

五、系统维护基础要求

5.1 冷却水系统维护

- 1. **维护周期：**每周检查 1 次水路状态，每月清理 1 次水路滤网，每季度做 1 次水路压力测试
- 2. **维护内容：**确认管路无堵塞、无泄漏；监测冷却水水质，避免水垢堆积；保障水路压力稳定，满足设备散热需求

5.2 泵组定期保养

泵型	维护周期	核心保养内容
螺杆泵	每月 1 次基础检查，每半年 1 次深度保养	1. 检查泵体润滑油液位与品质；2. 清理泵体进气滤网；3. 校验冷却水通路；4. 深度保养时需拆解检查叶轮磨损情况
分子泵	每季度 1 次状态核查，每年 1 次专业保养	1. 定期做氮气吹扫清洁，清除泵内残留杂质；2. 核查转速稳定性；3. 每年联系厂家做叶轮动平衡校验与密封件更换
罗茨泵	每月 1 次风冷系统检查，每半年 1 次电机保养	1. 清理电机风冷滤网；2. 检查电机轴承状态；3. 校验泵体密封性能，防止内漏

5.3 阀件维护校准

- 1. **维护周期：**每月对电磁阀、闸板阀做 1 次动作校验，每季度做 1 次密封性测试
- 2. **维护内容：**确保阀件开关动作顺畅，无卡滞；校验双控电磁阀的信号反馈准确性；手动阀定期启停，涂抹润滑脂保持灵活

5.4 软件系统维护

- 1. **定期备份：**每月备份 1 次 PLC 程序与 WinCC 配置文件，防止数据丢失
- 2. **系统部署：**WinCC 与博途 16 需独立部署（二者不兼容），虚拟机需定期做系统维护，保障运行流畅
- 3. **权限管理：**严格管控操作权限，禁止非运维人员修改 PLC 逻辑与 WinCC 参数

六、附录：真空系统设备启停检查清单

6.1 启动前检查清单

检查类别	检查项目	合格标准	责任人	备注
阀件状态	腔体放气阀	完全关闭，PLC 反馈关闭信号	操作人员	-
	机组前级放气阀	完全关闭	操作人员	-
	大闸板阀	完全关闭，PLC 反馈关闭信号	操作人员	-
	旁通阀	待启动状态（未开启）	操作人员	大气状态下初始启动时开启
	分子泵闸板阀	完全关闭	操作人员	5 万 Pa 后再开启
泵组准备	螺杆泵冷却水	已接通，无缺水报警	操作人员	-
	分子泵冷却水	已接通，水路压力达标	操作人员	每台分子泵均需覆盖
检测元件	全量程真空规	可正常显示压力，无故障	运维人员	能监测大气至超低真空
	电阻真空规	可正常显示前级管道压力	运维人员	用于判断压差是否平衡
辅助系统	压缩机气源	压力稳定，气动回路无泄漏	运维人员	保障气动闸板阀动作
	PLC 与 WinCC	通讯正常，无故障报警	运维人员	WinCC 界面可正常操作
压差确认	前级与腔体压差	压差适中（大气状态可直接启动）	操作人员	压差过大时先开放气阀平衡

6.2 停机后检查清单

检查项目	合格标准	责任人	备注
所有泵组状态	已完全停机，无残留运行信号	操作人员	分子泵需等待 30 分钟转速降至安全值
阀件状态	闸板阀、电磁阀已关闭，放气阀未开启	操作人员	-
压力状态	腔体 / 管路压力无异常波动	操作人员	如需放气需按流程操作
故障记录	运行期间故障已归档，未解决故障已上报	运维人员	需附故障处置说明

（注：文档部分内容可能由 AI 生成）