

特种设备安全运行及维护研究

——以高校实验室场景为例

漆超, 谭献忠, 吕续舰, 张涵

南京理工大学能源与动力工程学院, 江苏南京, 210094;

摘要: 高校实验室是师生从事人才培养、科学研究和文化遗产等的重要场所, 实验室的安全管理是基本保障。对于建有空压机等特种设备的实验室更是如此, 空压机因使用频率不稳定、操作人员流动性大等特点, 易存在安全管理失效风险。针对高校实验室空压机具有的“设备高负荷与人员流动性的矛盾”和“传统工业标准与实验室场景的差异”等安全管理问题, 详细介绍空压机安全运行准则, 通过构建“三阶维护体系”, 建立包含标准化操作流程、分级维保制度及人员准入机制的综合管理方案, 为高校实验室特种设备管理提供可复制范式参考。

关键词: 特种设备; 空压机维护; 高校实验室; 安全管理

作者简介: 漆超(1999.04), 男, 汉族, 河南省信阳市, 硕士研究生, 助理实验师, 研究方向: 流体力学, 南京理工大学能源与动力工程学院

1 引言

实验室是高校开展教学、科研及社会服务的重要载体, 其安全管理直接关乎师生生命安全、科研成果产出及校园稳定。随着实验室设备的不断增加, 实验室安全管理面临着越来越多的挑战[1-3]。近年来, 高校实验室安全事故频发, 如中南大学化学实验室爆炸、江苏某高校火灾等事件[4], 暴露了实验室安全管理的薄弱环节, 突显了高校实验室安全问题研究的重要性。

区别于普通仪器设备, 特种设备(如空压机)因技术复杂性和高风险性, 具有“高温”、“高压”、“高负荷”等危险运行特性[5]。此外, 特种设备的使用过程中, 需与监管部门保持紧密联系, 做好设备的使用登记、备案、压力表年检等工作。因此, 特种设备的特殊性常常使其在高校实验室中被重点关注, 开展特种设备安全运行、管理策略和规章制度研究具有重要意义。针对这个问题, 以南京理工大学风洞实验室空压机的安全运行及维护为例, 给出空压机安全运行的标准化流程和管理要点, 提出“三阶维护体系”, 建立贴合高校实验室特种设备安全管理方案, 为实验室安全生产和教学开展提供参考。

2 空压机安全运行及管理要点

2.1 开机前准备阶段

(1) 空间安全确认

- i) 检查设备周边无杂物堆积, 通风口无遮挡;
- ii) 确认储气罐安全阀铅封完好, 压力表校验标签在有效期内。

(2) 润滑系统检查

- i) 观察油位镜, 机油需位于上下限刻度之间;
- ii) 新机首次运行前需确认油路管道无渗漏, 连接处扭矩达标。

(3) 电气与气路检查

- i) 测量输入电压波动范围(三相 $380\text{ V}\pm 5\%$, 单相 $220\text{ V}\pm 10\%$);
- ii) 开启供气阀门前确认气路管道无老化裂纹以及快速接头密封性。

2.2 启动与加载操作

(1) 控制屏参数设定

- i) 根据实验需求设定目标压力, 不超过压力容器要求最大储气压力;
- ii) 启用远程控制模式, 实现螺杆机-空干机-干燥器-空压机一体化控制, 便于操作。

(2) 启动阶段监测

- i) 首次启动后观察电机转向; ii) 记录首次运行参数, 确保均处于安全范围内;
- iii) 观察加载过程各级压力变化情况。

(3) 压力联动确认

- i) 测试压力传感器联动功能: 当压力超过设定值时, 排空阀应自动开启;
- ii) 实验室多终端压力表数值确保基本一致。

2.3 运行监控与记录

(1) 实时监测指标

作业人员始终在场, 每半小时(根据具体实验情况)

进行一次数据记录及巡查。以某螺杆式空压机为例，重点关注参数如表1所示。

表 1 监测指标-以某螺杆式空压机为例		
监测项目	正常范围	异常处理措施
一级压力	< 2.04 MPa	立即停机，检查螺杆机
二级压力	< 4.46 MPa	立即停机，检查增压机
三级压力	< 9.34 MPa	
油位	运行时不低于下限 1/3	停机补充相同型号机油
排气温度	< 185 °C	立即停机，检查冷却风扇

(2) 夜间值守模式

当因作业需求需在非工作时段开展实验时，制定详细轮班制度，确保空压机运行时实验员在场，定时进行参数记录和现场巡查。

2.4 停机与维护操作

(1) 正常停机流程

- i) 先关闭所有用气设备，执行“空载运行3分钟”程序；
- ii) 按停机键后等待电机完全停止，关闭电源总开关；
- iii) 释放储气罐余压。

(2) 预防性维护周期

以某螺杆式空压机为例，根据机器出厂维保要求，定期对空气滤芯、油滤、干燥剂等易损耗材料进行更换，定时进行阀门和压力容器校验。

2.5 异常情况应急处理

(1) 突发停电处理

- i) 立即关闭供气阀门，断开设备电源，手动释放管道余压；
- ii) 恢复供电后需排查控制板电容是否鼓包。

(2) 运行中异响处理

立即停机并断电，根据异响位置初步判断问题，排除问题后方可继续运行。

3 分级维护体系构建

3.1 三级维护制度

3.1.1 日常维护(L1级)——使用人员基础保养

执行主体为实验人员，周期为每日/每次开机前及停机后，核心项目如表2所示：

3.1.2 一级维护(L2级)——专业技术人员常规保养

执行主体为实验室设备管理员(持证上岗)，周期为每月(或运行200小时)，核心项目如下：

(1) 气路系统维护

表 2 L1 级维护情况-以某螺杆式空压机为例

维护项	操作标准	监控要点
外观清洁	吹扫散热器表面灰尘和杂物	确保进风口无杂物缠绕
油位检查	停机状态下油位处于观察窗 2/3 处，运行时不低于 1/3	发现油色乳化(水分含量>0.1%)立即停机检查
压力系统初检	启动前手动测试压力开关：设定值的 80%时应启动加载，超过 100%时卸载(误差≤±2%)	记录首次启动各级压力参数
气路密封性	听/嗅检测管道接口，无明显漏气声或油雾	化学类特殊管道需额外检查耐腐蚀涂层

空气滤芯压差检测：使用压差表测量(>0.1 MPa时更换)；

油滤器清洗：拆卸后用汽油浸泡2小时，使用超声波清洗机处理(孔径堵塞率>15%需更换)；

电磁阀校验：通断电测试响应时间(≤1秒)，检查密封胶圈老化程度(裂纹深度>0.5 mm需更换)。

(2) 润滑系统维护

机油更换：根据机油使用年限及机器运行状态，定期更换机油(每2-3年)

(3) 电气系统维护

接触器触点检查：打磨烧蚀痕迹，测试吸合电压；
接地线电阻测量：使用接地电阻仪(实验室需符合 GB 50169-2016)。

3.1.3 二级维护(L3级)——厂家技术支持深度保养
执行主体为空压机制造商授权服务团队和实验室工程师，周期为每年(或运行2000小时)，核心项目如下：

(1) 核心部件检修

转子动平衡校正：使用激光动平衡仪校正，调整轴承间隙；

密封组件更换：检查轴封磨损，更换损坏密封圈。

(2) 系统性能校准

压力传感器全量程标定：覆盖工作压力范围，记录线性误差；

加载响应时间测试：从0%到100%负荷时(≤15秒)，压力超调量≤5%。

(3) 安全装置校验

储气罐安全阀整定：送特种设备检测机构；
温度保护装置测试：模拟排气温度185 °C时(±2 °C误差)，控制板应在1秒内触发停机。

3.2 分级管理策略设计

3.2.1 组织架构与职责分工

为实验特种设备高效安全运行及管理，由实验室主任、设备管理人员和实验操作人员构成三级管理机构，

实验室主任负责空压机的整体维护计划及预算；设备管理人员负责空压机维护档案建立和机器运行的实时监测；实验员负责L1级日常维护及异常反馈处理。

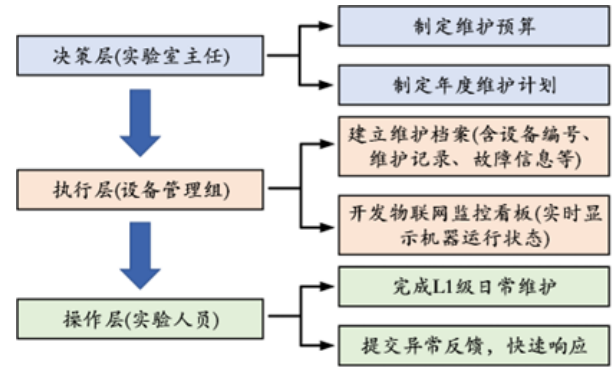


图1 实验室分级管理策略

3.2.2 培训与考核体系

(1) 分级培训内容

L1级：操作视频(15分钟)+纸质手册(含实验室特殊场景注意事项)

L2级：线下实操培训(含压力传感器校准实操，考核通过颁发设备管理资格证)

L3级：厂家技术培训(每2年1次，重点掌握运行及维护模式)

(2) 绩效挂钩机制

实验人员团队：L1级维护完成率纳入实验考核(占比20%)

设备管理员：L2级维护及时率与年终评优挂钩(超时处理≥3次扣减绩效分)

实验室：年度L3级维护合规率(安全阀校验、压力容器检测)纳入高校安全评估指标

3.2.3 文档与备件管理

(1) 维护文档标准化

设计三联单：L1级(使用人员留存联)、L2级(设备组存档联)、L3级(厂家服务联)

电子档案包含：维护前后的运行参数对比表(如压力波动曲线、轴承温度趋势图)

(2) 关键备件储备策略

对于易耗品材料，应做好日常备用，确保更换时有足够库存，如表3所示给出某螺杆式空压机常用耗材。

表 3 L1 级维护情况-以某螺杆式空压机为例

备件类别	储备量	更换周期	特殊管理要求
空气滤芯	3 个	按压差或周期更换	存放于恒温恒湿柜(湿度≤40%)
油滤器	2 个	L2 级必换	标注更换日期，避免超期使用
密封套件	1 套	L3 级必换	腐蚀性场景备件需单独存放(配干燥剂)
压力传感器	1 个	校准超差时更换	定期通电预热(每月 1 次，防止元件老化)

4 结语

高校实验室特种设备(空压机)的安全运行与科学管理，是保障科研教学质量、守护师生生命安全的重要基石。面对特种设备与实验室场景的适配性差异，本研究首先给出空压机操作标准化流程，为特种设备作业人员提供参考。进一步通过构建“三级维护体系+智能化管理”的双轮驱动模式，实现了设备可靠性、操作安全性与管理效率的协同提升。通过建立日常维护（L1）、常规保养（L2）、深度检修（L3）的分级责任机制，配合物联网监测系统的动态预警与维护周期智能调整，可有效破解设备“带病运行”难题，将显著降低故障率。同时，将人员培训考核与维护行为数字化挂钩(如绩效关联)，可显著提升操作规范性。本研究确保设备运行既符合《特种设备安全法》要求，又满足实验室精密仪器用气需求，这种场景化适配策略为高校其他特种设备管理提供了可复制的创新范式。

参考文献

[1]. 李玉娟，实验室安全管理制度执行困境分析及改进措施. 实验室检测, 2025. 3(04): 第56-58页.

[2]. 阎林平等，高校落实实验室安全主体责任的策略研究. 实验室研究与探索, 2025. 44(03): 第246-250+268页.

[3]. 尹小红等，高校实验室安全管理实践与探索——以湖南农业大学农学院为例. 现代职业安全, 2025(02): 第81-83页.

[4]. 侯磊鑫等，高校实验室安全管理的实践与思考. 现代盐化工, 2025. 52(01): 第103-105页.

[5]. 李金生与喻迪垚，空压机运行失稳故障案例分析. 设备管理与维修, 2022(21): 第45-46页.