

# 制氮机设备安装验收标准与运行维护管理研究

梁 齐

孚能科技（镇江）有限公司，江苏 镇江 212132

**[摘要]**制氮机是工业上提供氮气的重要装置，而制氮机的质量以及后期运行维护情况直接影响到设备寿命、供气质量和安全性。本文首先介绍了制氮机的工作原理及其组成结构，其次详细论述了变压吸附式制氮机的安装验收要求，在安装之前、过程中以及之后都需要进行检查并做好记录，最后对日常管理和维护提出了建议。此外，基于此制定了包括制度保障、预防性维修、库存管理以及人员培训在内的制氮机维护体系。在动力电池制造领域，氮气作为关键工艺介质，广泛应用于电极浆料搅拌、注液、化成、分容等工序的惰性气氛保护，其品质直接关系到电芯的界面稳定性、循环寿命与安全性能。动力电池制造对氮气的纯度（ $\geq 99.999\%$ ）、露点（ $\leq -60^\circ\text{C}$ ）、含油量（ $\leq 0.01\text{ppm}$ ）及供气连续性（24h 不间断）均有严格要求，一旦氮气品质不达标或意外断供，将导致大批量电芯报废并引发重大经济损失，因此制氮机的规范化安装验收与科学运维管理具有特殊重要性。

**[关键词]**制氮机；安装验收标准；运行维护；故障诊断

DOI: 10.64635/ja.2026.1187

中图分类号: TQ116.15

文献标识码: A

## Research on Installation Acceptance Standards and Operation and Maintenance Management of Nitrogen Generator Equipment

Liang Qi

Farasis Energy (Zhenjiang) Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu 212132, China

**Abstract:** A nitrogen generator is an important industrial device for supplying nitrogen, and its equipment quality as well as subsequent operation and maintenance directly affect equipment service life, gas supply quality, and operational safety. This paper first introduces the working principle and structural composition of nitrogen generators, then discusses in detail the installation acceptance requirements for pressure swing adsorption nitrogen generators. Inspections should be carried out and properly recorded before, during, and after installation. Finally, recommendations are proposed for daily management and maintenance. On this basis, a nitrogen generator maintenance system is established, covering institutional support, preventive maintenance, spare parts inventory management, and personnel training. In the field of power battery manufacturing, nitrogen serves as a key process medium and is widely used for inert atmosphere protection in processes such as electrode slurry mixing, electrolyte injection, formation, and capacity grading. Its quality is directly related to the interfacial stability, cycle life, and safety performance of battery cells. Power battery manufacturing has strict requirements for nitrogen purity ( $\geq 99.999\%$ ), dew point ( $\leq -60^\circ\text{C}$ ), oil content ( $\leq 0.01\text{ ppm}$ ), and gas supply continuity (24-hour uninterrupted supply). Once nitrogen quality fails to meet the required standard or an unexpected supply interruption occurs, large batches of battery cells may be scrapped, resulting in major economic losses. Therefore, standardized installation acceptance and scientific operation and maintenance management of nitrogen generators are of particular importance.

**Keywords:** nitrogen generator; installation acceptance standards; operation and maintenance; fault diagnosis

### 引言

制氮机是压力容器、精密控制系统、吸附分离工艺等众多环节组成的复杂机器，其安装验收质量和后期保养对设备的安全性和稳定性以及经济效益有着直接影响，在实际应用中，由于制氮机安装验收标准落实不到位、验收程

序不合理、运维管理缺失等原因导致的问题屡见不鲜，因此深入探讨制氮机安装验收标准及运行维护管理问题，对其科学管理和合理使用具有极大的指导作用。

### 1 制氮机设备概述

制氮机利用空气作为原料，在一定条件下使空气中的

氧气和氮气分开，得到高纯度氮气的设备。依据不同的工作原理，工业制氮设备主要有变压吸附（PSA）制氮法、膜分离法制氮以及深冷空分制氮等工艺流程。三种制氮工

艺各有优劣，需结合项目工况选型应用。

如表 1 所示，这三种技术路线在纯度范围、流量范围、启动时间和使用场合上都有很大区别。

表 1 制氮机技术路线对比

| 技术类型   | 纯度范围        | 流量范围(Nm <sup>3</sup> /h) | 启动时间     | 适用场景            | 主要特点            |
|--------|-------------|--------------------------|----------|-----------------|-----------------|
| PSA 制氮 | 95%~99.999% | 1~2000 以上                | 10~30min | 电子制造、食品包装、医药、化工 | 纯度高、流量大、需定期更换筛料 |
| 膜分离制氮  | 90%~99.5%   | 1~500                    | 即开即用     | 钢铁化工联产、中小流量场景   | 结构紧凑、无活动部件、维护简单 |
| 深冷空分   | 99.999%以上   | 大流量                      | 6h 以上    | 大型空分、超高纯氮需求     | 纯度和产量双高、投资大、能耗高 |

注：膜分离制氮工艺因纯度上限仅约 99.5%，不满足动力电池制造对氮气纯度≥99.999%的要求，动力电池企业选型时应优先考虑 PSA 制氮或深冷空分路线。

一套完整的制氮系统一般包括空气压缩机、空气净化装置、制氮主机、储气罐以及控制系统等几个部分。而行业标准 JB/T 6427—2015《变压吸附制氧、制氮设备》对这一类产品的要求、试验方法和验收规则都做了详细的规定，是制氮机设计、生产和检验的重要依据。

2 制氮机安装验收标准

2.1 安装前准备与条件要求

制氮机安装前对现场进行检查。安装现场要干净、平坦，有足够的操作空间以及维修通道，设备周围至少有 1m 的空间供人通过。设备基础要坚固，地面要坚实耐磨。环境要求上，现场温度要在 15℃~35℃之间，相对湿度≤75%，洁净度应符合 ISO8573-1 Class2 标准（即固体颗粒≤40000 个/m<sup>3</sup>，压力露点≤-40℃，含油量≤0.1mg/m<sup>3</sup>），但动力电池工艺用氮要求含油量≤0.01ppm（约 0.01mg/m<sup>3</sup>），因此后端必须增设催化除油器或活性炭过滤器进一步净化。周围的空气要清新，不能有油雾也不能有腐蚀性的气体并且要通风良好。从技术资料方面来说，要查看设备随带的出厂证明书、工艺流程图、电气原理图等相关资料是否齐全。供电要符合设备的规定，电源电压的变化幅度不能超过交流电±10%，而且电气装置必须可靠地接地。

2.2 安装流程与技术要求

制氮机安装需遵守一定的工艺流程。中华人民共和国国家标准《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》(GB 50274—2010)中对于空气分离设备的安装施工以及验收都有明确的要求，而且其中一些是强制性条文，必须遵守。设备就位是安装的第一步。各种设备要根据生产工艺的要求摆放好位置，压缩空气预处理系统连接顺序是：空压机出口→储气罐→冷干机→三级过滤器→活性炭过滤器（或催化除油器）→制氮机主机，必须按照这个顺

序连接管道<sup>[1]</sup>。对于动力电池场景，推荐配置催化除油器以满足≤0.01ppm 含油量要求。主干线上要用不锈钢或者镀锌管，在重要部位上安装截止阀和压力表，在氮气出口管线处留一个取样口。电气系统的安装应保证设备单独供电，控制柜到主机的距离不超过 3m，线缆应穿管。设备之间应有通风道，主机散热面留有大于或等于 1m 空间。涉及的压力容器部分还需按规定进行特种设备的注册登记等。对于动力电池生产场景，应在制氮系统后端增设液氮后备冗余系统，与主供气管道并联，当主系统故障时自动切换，切换时间≤2s，确保 24h 不间断供气。

2.3 验收测试与性能验证

验收测试应由浅入深逐步开展，在静态验收中应对所有阀门做动作试验，对安全阀以及电气部分进行检查，检查管道系统气密性，在动态验收中应做空载及带负荷试验，带负荷试验应在额定工况下持续运转，检查压力、流量、纯度等是否满足设计要求。消防系统所用氮气，有关标准规定氮气纯度应大于或等于 99.999%，露点应小于或等于-65℃。动力电池用氮气验收时还应检测含油量（≤0.01ppm）及颗粒度等指标，并须进行 168h 连续运行考核，期间各项参数稳定无衰减方视为验收通过。

2.4 文档移交与培训要求

验收合格的制氮设备，需提供完整的技术资料。技术资料包含设备随机资料、安装记录、验收试验报告、压力容器检验报告以及特种设备使用登记证等。各类资料要妥善保存，制定设备档案管理制度。人员培训也是保证设备投入运行后正常使用的必要条件。制氮机厂家应对使用单位的操作人员进行现场指导，培训时间不得低于八小时，主要教授 PLC 控制系统操作、报警代码含义及其解决办法、并应涵盖洁净区作业规范、氮气窒息风险与应急处理、MES 系统联动操作、滤芯更换周期以及紧急情况下的断电方法等内容。操作人员必须经过专业的学习，了解设备构造特点以及相关规章制度之后才能上手工作。并且需要有书面材料作为凭证，由参加培训的人员签字确认。

### 3 制氮机运行管理

#### 3.1 日常运行监控

制氮机的日常运行管理要以“规范化操作、预防性维护、系统性管理”为原则。操作人员要养成“一观、二听、三检查”的巡检习惯，及时发现并排除问题。开机前的检查有：检查电源电压是否正常、压缩空气供气压力是否满足设备要求，检查各阀门开闭情况，检查设备周围是否有足够的空间进行散热以及室温是否合适等。运行过程中的监视主要关注几个方面：氮气纯度是最重要的一个指标，在线氧含量分析仪进行检测并设置报警值并且每小时用便携式氧含量分析仪进行校准；进气压力应在规定范围内，吸附塔的工作压力变化应该正常等。氮气流量要符合用气要求，不能有较大变化。还要每天测量氮气纯度、流量、压力、温度等参数，有异常及时调节。巡检时还要听设备声音，是否有不正常的声音，如撞击声、摩擦声或者泄漏声；在保证安全的前提下摸设备主要部位看温度是否过高；用肥皂水或者专用检漏剂对管路连接点以及阀门进行检查。对于动力电池工厂，建议引入物联网在线监测系统，实时采集并远传纯度、压力、露点、压差等关键参数，异常时通过 MES 或安灯系统自动预警，实现预测性维护。

#### 3.2 定期维护与保养

定期维护保养对于延长制氮机寿命至关重要，在制定预防性维护计划的基础上认真贯彻实施。过滤器管理是其中最核心的内容。精密过滤器中的滤芯需要定期更换，一般情况下每工作 2000~4000h 或者压差达到 0.05MPa 以上就需要更换。高效除油器中的滤芯一般每隔 6000h 更换一次，而装在活性炭过滤器里的活性炭也最好每年更换一次，以免被油分污染而失去活性。碳分子筛是整个制氮机的核心部分，对其维护的要求也极为严格。不能让含有油分的压缩空气通入系统中，不能使液态水进入吸附塔内，也不能使频繁开停车引起大的压力变化等。碳分子筛设计寿命一般为 5~8 年，实际寿命受进气品质影响较大，建议每 3~5 年进行一次全面性能评估，根据评估结果确定是否更换。氮气分析仪中的氧电极需要定期更换及标定，一般建议每半年到一年进行一次，以便保证氮气纯度检测准确性。冷干机需每周对制冷情况进行检查，风冷冷凝器翅片每周清洁一次<sup>[2]</sup>。安全阀、压力表需按国家相应规定定期送检或者更换。使用单位应对制氮机进行经常性日常维护以及定期自我监督检查，每月至少一次全方面检查并做好相关记录。

#### 3.3 常见故障诊断与处理

制氮机故障诊断应由简到繁、由表及里进行，先查看外部气源、电源以及各项参数设置是否正确后，再对过滤器、电磁阀等重要部件进行排查。做好日常使用及保养工作对于发现并解决故障十分重要。氮气纯度降低是制氮机常见问题，一般由于进气源压力过低或者含有较多水分和油分、碳分子筛老化或中毒、电磁阀出现问题造成切换混乱、消音器堵塞或者流量设定不合理等原因引起。此时要先看空压机工作情况，保证其出口压力处于规定值内，同时也要观察压缩空气预处理设备工作状态。如果确实是碳分子筛失效，就需要向厂家购置新的碳分子筛。露点异常升高也是不可忽视的故障，通常由冷干机或吸干机除水效率下降、过滤器排水不畅或环境湿度过高导致，应重点检查冷干机制冷量是否衰减、自动排水阀是否动作正常以及干燥剂是否饱和和失效。产气流量不足常见原因有进气压力低、管路漏气或者过滤器堵塞等。解决方法是调节空压机出口压力，检查整条管路是否存在漏气情况并及时更换过滤器滤芯。系统压力异常一般是由于程控阀的问题造成的，阀板磨损或密封圈老化都会导致程控阀内漏，需要将有问题程控阀拆卸下来修理或者更换新的密封件。在动力电池生产环境中，一旦出现氮气纯度或露点不达标，应立即进行电芯产品质量追溯，评估受影响批次，并依据应急预案及时切换至液氮后备系统或采取应急停机措施，防止不合格品流入下道工序。对于自身无法处理的问题，应立即联系厂家或专业技术人员进行维修，以免造成更严重的损失。

#### 3.4 能效管理与优化

制氮机的能效管理是节约运行费用，实现绿色生产的有效手段。影响制氮机能耗的因素主要有进气压力、产氮纯度、系统压降以及工作方式等，在保证产品要求的情况下适当降低氮气纯度可以大大节约电耗，因为氮气纯度越高，需要吸附的时间就越长，电耗就越大。从节能的角度出发，要经常检查管道系统的压降情况，及时清洗堵塞的过滤器，避免不必要的压降造成浪费。合理地设置储气罐大小，可以使制氮机减少频繁启停，既对分子筛和电磁阀起到保护的作用又减少了开机过程中的多余电耗。动力电池工厂可充分利用峰谷电价差异，采用“谷电制氮、峰电停机”的策略，适当增大储气罐容积，在谷电时段满负荷制取并储存氮气，峰电时段减少或停止制氮机运行，由储气罐供气，从而显著降低用电成本。而对于用气量变化较大情况，可以设置变频控制方式，在满足用气情况下降低

输出气量从而达到节电目的,另外及时发现及处理管道漏气问题,避免浪费也是节能的重要环节。

## 4 维护管理体系构建

### 4.1 制度与责任体系

建立科学、合理的维护管理机制,首先要有一个科学、完善的规章制度以及分工明确的责任制。企业要有一套制氮机开机前检查、运行中参数监控、停机后维护保养的操作程序,要有制氮纯度、压力等一些重要指标的监控标准。操作人员每天要进行一次检查并做好记录,设备维修人员要定期对制氮机进行检查,在检查过程中操作人员要积极配合并且把设备工作情况详细汇报给维修人员。制度上还要有设备操作规程、维护保养规程、安全管理规定、故障报告制度以及应急预案等<sup>[3]</sup>。责任体系上要明确操作人员、维修人员、管理人员各自的责任范围,制定设备运行情况汇报制以及交接班制,保证设备管理的连贯和可追溯。

### 4.2 预防性维护策略

预防性维护是以时间周期或者运行状态为基础,在规定的时间内对设备进行定期检查和保养的一种方法。合理的巡检以及预防性维护可以延长设备使用寿命,保证氮气质量以及安全生产。预防性维护计划应当根据设备使用年限、以往发生的问题、备品备件寿命以及环境条件等因素来确定。制定设备日常巡检制度,每天或者每班次检查一次,观察设备工作情况、重要指标以及易损件等。在动力电池智能工厂建设中,应积极引入基于物联网的预测性维护体系,通过持续监测吸附塔压差、阀门动作时间、露点变化趋势等数据建立健康评估模型,在设备性能劣化趋势显现时提前安排维护,避免非计划停机。对于一些重要的仪表如压力表、流量计等需要定期进行巡检并且校准。

### 4.3 备件与工具管理

备件管理是维护管理体系的一个重要部分,对于设备出现故障后能够及时修复以及减少停机时间具有重大作用。企业应该根据设备使用情况、重要性以及备件采购周期等因素制定不同层次、不同类别的备件库存管理办法。例如重要的备件如电磁阀、程控阀密封件、过滤器滤芯、分析仪电极等要保持一定量的安全库存。备件采购、入库、保管发放都要有一套严格的规定以保证备件的质量及其可追溯性。工具管理上要给工作人员提供必需的专业工具及测量设备,比如检漏液、压力校准仪、氧分析校准气、专用扳手等。这些工具要经常进行校验保养以便随时可用。

### 4.4 人员培训与能力提升

人员培训是保证管理体系正常运转的基础。操作和维护人员需经过专门培训,了解设备工作原理及规章制度之后方能上任。培训内容应包括设备的工作机理及其组成部分、设备的操作步骤及各项参数设定、日常检查的重点部位、常见的问题以及这些问题的解决办法、氮气窒息风险辨识与应急救援、洁净区作业行为规范、MES系统报警响应流程、安全操作要求以及突发事件应对策略等。培训分为不同层次进行,新入职员工要进行基本的操作培训;已经从事该工作的员工要经常开展技术提升培训,学习新的技术和方法;维修工要熟练掌握设备内部构造并具备一定的故障检测能力。应每年至少组织一次集中培训并且要有记录,把培训考试成绩与任职资格相联系。同时,要让操作者在平时工作中积累经验,据此编制标准操作手册,提高整个小组水平。

## 5 结束语

制氮机是工业氮气供给的重要工具,其安装验收质量和运维管理水平对保证该设备正常稳定工作起到至关重要的作用。本文总结了制氮机的安装验收要求,对安装前准备工作、安装过程、验收检测以及文件移交等进行详细介绍;另一方面介绍了在使用过程中应注意的问题,如日常监测、定期检修、故障排查及节能等方面内容,并提出了以制度建设、预防性维护、备品备件储备及员工培训为主体的维护管理体系思路。在动力电池制造这一对氮气品质与供气连续性要求极为严苛的场景下,还需额外关注液氮后备冗余、无油压缩空气净化深度及智能化预测性维护等关键环节。制氮机管理是一项综合性工作,要将规范化安装验收与科学化运维相结合。在未来应用中,在物联网技术、智能诊断技术和预测性维护技术等不断进步背景下,制氮机运维管理工作也将会向更加精细化、智能化以及自动化发展,更好地提高设备管理水平。

### 【参考文献】

- [1] 鄢晓璐. 矿用分子筛制氮机系统触屏控制器的应用研究 J. 机械管理开发, 2019, 34(05): 226-227.
  - [2] 吴咏康. 制氮系统在联合循环电厂应用及效益分析 J. 能源与环境, 2021, (06): 27-28+52.
  - [3] 高晓东. 基于 OPC UA 与 WEKA 平台的压风与制氮机集控系统设计 J. 自动化技术与应用, 2021, 40(07): 23-26+29.
- 作者简介: 梁齐 (1987.06—), 男, 毕业院校: 中国地质大学, 所学专业: 土木工程专业, 目前职称: 中级职称, 一级建造师。