

化工机械设备安装过程中的精度控制与优化经济效益

任宁军（陕西化建工程有限责任公司，陕西 咸阳 712100）

摘 要：化工机械设备安装精度控制对设备运行性能影响重大。针对某化工厂压缩机组安装工程，从地基基础精度、设备定位、轴系对中到管道连接等环节进行系统分析。实践证实，运用激光对中技术可有效控制设备同轴度误差，采用数字化监测系统能精确控制地基沉降量和设备水平度。精密安装显著降低设备振动，延长检修周期，节省维修费用，取得显著经济效益。

关键词：化工设备；精度控制；激光对中；地基沉降；经济效益

0 引言

化工机械设备安装精度控制贯穿整个安装过程，涉及地基、设备定位、轴系对中等多个环节。传统安装方法依赖经验判断，难以满足现代化化工装置高精度要求。随着化工工艺标准提升，设备安装精度控制面临更大挑战。在实际安装中，地基沉降失控、轴系对中偏差超标等问题时有发生，导致设备运行不稳定、寿命缩短。基于此，深入研究精度控制技术标准、创新控制方法，对提升化工设备安装质量具有重要意义。

1 化工设备安装精度控制概述

1.1 精度控制技术要求与标准规范

化工设备安装精度控制需严格遵循国家标准 GB50231《化工设备安装工程施工及验收规范》中的具体要求^[1]。对泵类设备，水平度偏差控制在 0.02mm/m，轴系同轴度误差不超过 0.03mm；压缩机组基础沉降量应控制在 0.5mm 以内，机组振动值不得超过 3.5mm/s。大型塔器设备垂直度偏差需控制在千分之一，法兰连接螺栓孔中心线偏差不超过 1mm。储罐类设备要求环缝焊接错边量小于壁厚的 10%，且最大不超过 3mm。反应釜设备搅拌轴与容器的同轴度偏差控制在 0.8mm 内，机架水平度误差不超过 0.1mm/m。这些严格的技术标准构成了化工设备安装精度控制的基本依据，确保设备安装质量满足运行要求。

1.2 精度控制关键影响因素分析

化工设备安装精度受多重因素影响。地基基础质量直接决定设备安装稳定性，土壤承载力、混凝土强度、基础施工工艺等因素都会引起地基变形。环境因素中，温度变化导致金属材料热胀冷缩，影响设备几何尺寸；施工现场振动会引起安装基准偏移^[2]。安装工艺方面，起重吊装过程中的动态载荷会影响定位精度；焊接热应力造成结构变形；紧固件预紧力不当引起连接部位松动。测量方法选择不当、仪器精度不足、

操作人员技术水平参差等人为因素也会影响精度控制效果。充分识别并把控这些关键影响因素，采取针对性措施，对实现设备安装精度控制目标至关重要。

2 安装精度控制实施方案

2.1 地基基础精度控制

2.1.1 地基沉降监测技术

基础标高控制采用分层测量与整体控制相结合的方法。基础开挖阶段，运用全站仪和高程控制网确定基准面，严格控制基坑深度和平整度^[3]。设备就位前必须计算合适的垫铁组合厚度，考虑设备静沉降值：

$$h = h_0 + \Delta S + \delta \quad (1)$$

式中：h 为垫铁组合厚度，mm； h_0 为设备基准面与基础面高差，mm； ΔS 为预计静沉降值，mm； δ 为灌浆层厚度，mm。

基础预埋件安装采用激光投线仪定位，确保预埋螺栓、地脚螺栓位置精度。在混凝土浇筑过程中，采用分段分层浇筑工艺，通过标高控制桩实时跟踪混凝土面标高。设备就位前，使用精密水准仪测量基础表面标高，采用数字化测量系统绘制标高等值线图，分析基础平面度。对超差部位进行灌浆找平处理，灌浆材料选用高强度无收缩环氧树脂灌浆料，控制灌浆层厚度均匀性。

2.1.2 基础标高控制方法

基础标高控制采用分层测量与整体控制相结合的方法（如图 1 所示）。基础开挖阶段，运用全站仪和高程控制网确定基准面，严格控制基坑深度和平整度。混凝土浇筑过程中，采用分段分层的浇筑工艺，通过标高控制桩实时跟踪混凝土面标高。基础预埋件安装采用激光投线仪定位，确保预埋螺栓、地脚螺栓定位精度。设备就位前，使用精密水准仪测量基础表面标高，采用数字化测量系统绘制标高等值线图，分析基础平面度。

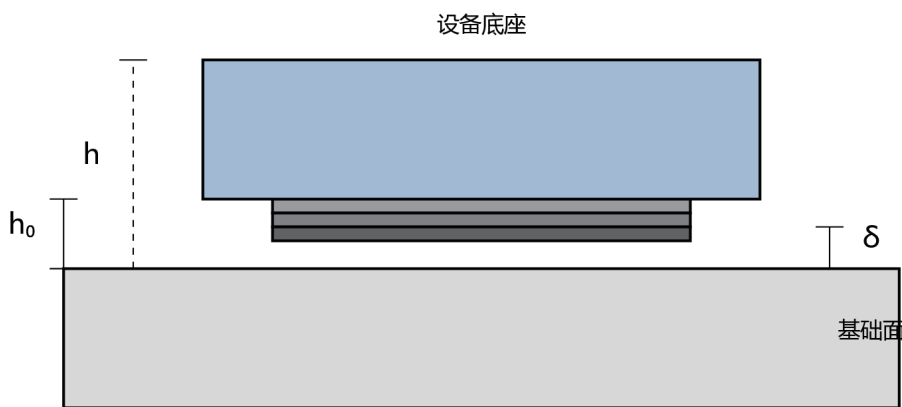


图1 基础标高控制示意图

对超差部位进行灌浆找平处理，灌浆材料选用高强度无收缩环氧树脂灌浆料，控制灌浆层厚度均匀性。通过激光扫平仪校核找平后的基础面，确保其平面度误差控制在设计允许范围内。标高控制全程采用闭合测量方法，有效消除测量误差累积，实现基础标高的精确控制。

2.2 设备安装定位精度控制

2.2.1 水平度控制技术

设备水平度控制采用多点测量与精密调平相结合的方法。设备就位前在基础面划设水平基准线，通过经纬仪确定基准点位置。设备底座四周安装高精度电子水平仪，实时监测各支撑点沉降变化。调平过程采用液压千斤顶微调，配合垫铁组合调整设备标高。调整时遵循对角线原则，保证受力均匀，避免应力集中^[4]。调平精度采用0.02mm级精密水平仪检测，测量点设置在设备受力关键部位。调平过程中采用数据采集系统记录各测点水平度变化，通过计算机绘制水平度分布云图，直观显示设备整体水平状态。待设备达到设计水平度要求后，采用环氧树脂灌浆进行基础固定，灌浆层厚度控制在30~50mm，确保支撑刚度。

2.2.2 垂直度控制方法

大型立式设备垂直度控制需建立三维坐标测量系统。通过全站仪在设备周围设置多个观测站，形成闭合导线网。设备筒体表面按高度方向布设反光靶标，采用三维扫描测量确定靶标空间坐标。垂直度调整采用多点液压同步顶升系统，结合拉索导向装置进行微调。调整过程中实时监测筒体倾斜角度，防止调整过程中产生应力集中。对于高度超过30m的设备，考虑风载荷影响，设置抗风支撑系统。垂直度测量采用激光铅直仪，通过设备顶部和底部基准面的偏差确定倾斜度。调整完成后进行24h观测，确保设备垂直度稳定在设计允许范围内。

2.3 轴系对中精度控制

2.3.1 激光对中技术应用

轴系对中采用高精度激光对中系统，通过激光发射器和接收器测量轴线空间位置。测量时在驱动端和从动端安装激光对中夹具，系统自动计算轴系偏心度和角偏差：

$$\theta = \arctan \left[\frac{(\Delta v - \Delta h)}{L} \right] \quad (2)$$

式中： θ 为轴系角偏差，rad； Δv 为垂直方向错位置量，mm； Δh 为水平方向错位置量，mm； L 为两测量面之间的距离，mm。

对中调整采用可调整底座，通过螺栓组合实现设备微调。调整过程采用实时监测模式，动态显示调整效果。对长轴系设备，考虑热膨胀影响，在冷态对中时预留补偿量。激光对中精度可达0.01mm，远优于传统百分表对中方法。系统具备数据存储功能，便于后期维护对比分析。同时结合轴承温度监测，确保轴系在不同工况下保持良好的对中状态。

2.3.2 动态补偿调整方法

设备运行状态下轴系位置会发生变化，需采用动态补偿技术进行精度控制。在轴承座安装振动传感器和位移传感器，实时监测轴系运动轨迹。通过在线监测系统分析轴系振动频谱和轴心轨迹，判断对中精度变化^[5]。根据监测数据建立热态位移模型，计算补偿量。调整采用可控位移机构，通过伺服电机驱动实现自动微调。对于大型机组，结合热像仪监测温度场分布，分析热应力影响。补偿系统具备自学习功能，能根据历史数据优化补偿策略。

2.4 管道连接精度控制

2.4.1 应力控制技术

管道连接应力控制采用应变监测与数值分析相结合的方法。在管道焊接关键部位安装应变片，实时监

测焊接过程应力变化（如图2所示）。焊接采用分段退火工艺，控制焊接热输入，减少残余应力。法兰连接采用液压扳手同步紧固，通过应力应变分析确定螺栓预紧力。对于高温管道，设置热位移补偿器，采用导向支架控制管道变形。管道支吊架布置需进行应力分析，确定最佳支撑点位置。连接过程采用三维测量系统监测管道变形，实时调整安装姿态。应力分析采用有限元软件，模拟不同工况下管道受力状态。

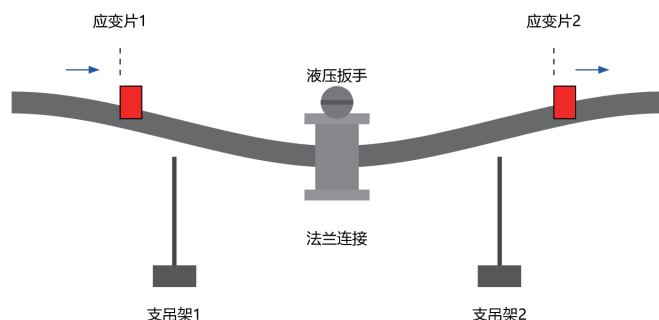


图2 管道应力控制示意图

2.4.2 变形补偿措施

管道系统运行过程中存在热膨胀、压力变形等因素，需采取相应补偿措施。设计补偿器参数时考虑温度循环、压力波动等工况，选择合适的补偿量。采用波纹管补偿器时，通过有限元分析确定波纹管刚度，设置导向装置防止失稳。对于大型管网，建立管道应力监测系统，实时监控关键节点位移。支吊架选用变力弹簧支吊架，能够适应管道荷载变化。在温度梯度大的区域设置滑动支座，允许管道自由膨胀。补偿装置安装采用专用工装，确保安装位置与补偿方向一致。

3 精度控制效果与经济效益分析

3.1 精度控制实施效果评估

通过对某大型化工厂设备安装项目的跟踪评估，精度控制实施效果显著。地基基础沉降量明显降低，沉降均匀性得到显著提高。设备水平度控制精度优于设计标准。大型塔器垂直度偏差控制良好，较传统安装方法精度有明显提升。轴系对中采用激光技术后，同轴度误差大幅降低，精度提高显著。管道连接应力水平下降，应力分布更加均匀。设备运行振动值和噪声明显减小。设备投运后运行平稳，关键部位温升降低，轴承温度波动范围缩小。通过持续监测发现，设备故障率显著降低，年度非计划停机时间大幅减少，设备完好率明显提升，降低了停机经济损失。精密安装工艺延长了设备使用寿命，检修周期显著延长，备件更换频率大幅下降，节省了维修成本。

3.2 经济效益分析与优化建议

精度控制技术创新带来显著经济效益。设备维修费用大幅降低，年度检修费用和备件采购成本明显节省。生产效率提升明显，产品合格率提高，创造了可观的额外效益（见表1）。设备使用寿命延长，减少了设备更换和大修费用。投入精度控制技术改造费用后，年均创造可观的经济效益，投资回收期相对较短。针对精度控制优化，建议加强以下几方面工作：推广应用数字化测量系统，提高精度控制自动化水平；建立设备状态评估数据库，实现精度控制指标量化管理；加强安装人员技术培训，提升精密安装工艺水平；完善精度控制标准规范，细化各工序控制要求；建立健全奖惩机制，调动施工人员积极性；引进先进检测设备，提升测量精度；强化过程监督检查，确保控制措施落实到位。

表1 某大型化工厂设备安装项目改进前后经济效益对比分析表

经济指标	改进前	改进后	效益分析
年度检修费用（万元）	86.4	54.8	节省 31.6 万元
备件采购成本（万元）	73.5	46.7	节省 26.8 万元
产品合格率（%）	95.3	98.5	提升 3.2%
年度产值（万元）	4850	5006	增加 156 万元
设备大修费用（万元）	235	150	节省 85 万元

4 结语

经过对化工机械设备安装精度控制系统实践，形成完整精度控制体系。严格执行各项技术标准，采用先进测量仪器配合数字化控制系统，有效保证安装精度达到设计要求。数据显示，精度控制优化后设备运行平稳，振动噪声明显降低，检修费用大幅节省。建议化工企业强化安装精度控制意识，加大技术创新投入，完善控制流程，持续提升安装质量，为企业创造更大经济效益。

参考文献：

- [1] 毛伟. 化工设备的维护保养及管理分析[J]. 化工设计通讯, 2024, 50(12): 162-164.
- [2] 吴峰, 才裕生, 李琪. 数控车床在石油化工设备零件加工中的精度提升研究[J]. 中国机械, 2024, (35): 56-59.
- [3] 彭艳军, 丁效星. 浅谈化工设备设计中的材料选择与优化[J]. 中国设备工程, 2024, (16): 97-99.
- [4] 贾文宇. 石油化工机械设备安装施工常见问题及措施[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(10): 30-32.
- [5] 韩冬双. 化工机械设备安装工艺技术分析[J]. 化工管理, 2021, (24): 165-166.