

# 工业厂房大型压缩机机电设备安装过程中的振动控制技术

魏巍

京兴国际工程管理有限公司 北京 100000

**摘要:** 工业厂房大型压缩机安装中, 振动控制技术是保障设备稳定运行的关键。技术涵盖前期规划, 通过模态分析优化布局; 安装阶段采用激光对中、动平衡校正及弹性联轴器选型; 施工时设置隔振沟、缓冲层; 运行阶段结合被动隔振与主动隔振系统, 辅以管道柔性连接与动态监测。此技术体系有效降低振动传递, 保障设备及厂房结构安全, 提升生产效率。

**关键词:** 工业厂房; 大型压缩机; 机电设备; 安装过程; 振动控制技术

引言: 工业厂房中, 大型压缩机作为核心动力设备, 其运行稳定性直接关乎生产安全与效率。然而, 机电设备安装过程中, 机械不平衡、电磁干扰、流体脉动及基础共振等因素易引发剧烈振动, 不仅缩短设备寿命、增加维护成本, 还可能对厂房结构造成损伤。因此, 探索有效的振动控制技术, 成为保障压缩机高效可靠运行、实现工业生产连续稳定的关键环节。

## 1 工业厂房大型压缩机振动问题机理分析

### 1.1 振动源识别

(1) 机械不平衡: 转子与联轴器是核心诱因。转子因材质不均、加工误差或运行中磨损、结垢, 导致质心偏离旋转中心, 高速运转时产生周期性离心力, 引发振动; 联轴器若安装对中偏差过大, 会形成附加弯矩与扭矩, 加剧振动传递, 尤其在启停阶段振动峰值更明显。

(2) 电机电磁振动: 源于电机定子与转子间电磁力波动。当电机存在气隙不均、绕组故障或电源电压不平衡时, 电磁力周期性变化, 激励电机壳体振动, 进而传递至压缩机主机, 在额定转速附近易出现共振叠加。(3) 管道流体脉动: 气柱共振由管内气体压力周期性波动引发, 当脉动频率与管道气柱固有频率耦合时, 振动急剧增强; 机械共振则因管道流体冲击、阀门启闭瞬间流速突变, 导致管道结构振动, 尤其在弯头、三通等局部阻力部件处更突出。(4) 基础与地基动态响应: 基础刚度不足或地基土壤不均匀, 会削弱振动衰减能力。压缩机运行振动使基础产生弹性变形, 若基础固有频率接近设备振动频率, 将引发共振, 同时地基沉降不均会进一步加剧基础倾斜与振动放大<sup>[1]</sup>。

### 1.2 振动传播路径

(1) 结构传递: 振动从压缩机设备底座通过地脚螺栓传递至混凝土基础, 基础振动再以固体声波形式沿厂房地面、立柱等结构扩散, 导致厂房整体振动, 尤其在

刚性连接部位传递效率更高。(2) 流体传递: 管道内流体脉动通过管壁传递振动, 一方面沿管道轴向传播至各连接设备, 另一方面通过管道支架传递至厂房结构, 形成多点振动源, 且管道越长、流体压力越高, 振动传递距离越远。

### 1.3 振动评价标准

(1) 国际标准: ISO10816系列标准按设备类型(如旋转机械)和安装方式(刚性/弹性基础), 规定不同转速下的振动烈度限值; API617标准针对离心压缩机, 明确轴承振动、轴振动的允许值, 同时要求考虑振动频率对设备寿命的影响。(2) 行业规范与允许振动值: 化工、电力等行业结合生产场景制定细则, 如化工行业要求压缩机基础振动位移不超过0.15mm, 轴承座振动速度不大于6.3mm/s; 冶金行业对高压压缩机规定更严格, 振动加速度需控制在 $10\text{m/s}^2$ 以内, 确保设备与厂房结构安全。

## 2 工业厂房大型压缩机机电设备安装过程中的振动控制关键技术

### 2.1 前期规划与设计

(1) 设备布局优化: 核心是避免共振频率重叠。需先通过模态分析软件计算压缩机、电机及厂房结构的固有频率, 再结合工艺需求规划设备布局, 确保设备运行频率与厂房立柱、横梁等关键结构的固有频率差值大于20%, 防止共振发生。同时, 将压缩机与精密仪器、办公区域保持至少10m以上安全距离, 减少振动对周边环境的影响, 对于多台压缩机集群布置, 需保证设备间距不小于设备最大尺寸的1.5倍, 避免振动相互叠加。(2) 基础设计要点: 重点把控质量比、刚度匹配与阻尼特性。基础质量需为压缩机总质量的3-5倍, 通过增加基础混凝土体积(如采用钢筋混凝土筏板基础)提升质量比, 增强振动惯性抵抗能力; 刚度匹配方面, 采用有限元分析优化基础配筋方案, 使基础刚度沿振动传递路径逐步递减, 避免刚度突变导致

振动反射放大；阻尼特性优化可在基础混凝土中掺入橡胶颗粒或设置内置阻尼层，阻尼比需控制在0.05-0.1之间，提升振动能量耗散效率。（3）隔振沟与缓冲层设置：隔振沟围绕基础周边布置，深度不小于基础埋深的1.2倍，宽度取0.3-0.5m，沟内填充级配砂石或弹性橡胶颗粒，切断振动通过土壤的横向传递路径；缓冲层设置于基础底部与地基之间，采用厚度50-100mm的高密度聚乙烯缓冲垫或沥青卷材，降低振动向地基的传递效率，对于软土地基，需先铺设300mm厚碎石垫层再设置缓冲层，避免地基不均匀沉降影响隔振效果。

### 2.2 设备精准安装技术

（1）对中调整：依托激光对中仪实现高精度对中。安装时先将激光发射器与接收器分别固定在压缩机与电机的联轴器上，调整设备位置使径向偏差不超过0.05mm，角向偏差控制在0.02mm/m以内，且需在设备冷态、热态两种工况下重复校准—冷态对中后，待设备空载运行1小时升温至工作温度，再次检测对中偏差，确保热胀冷缩导致的偏差在允许范围内，对中完成后采用双螺母锁紧地脚螺栓，防止运行中松动。（2）动平衡校正：采用现场动平衡技术消除转子不平衡。先通过振动传感器采集转子运行时的振动数据，结合频谱分析确定不平衡质量的大小与相位，再采用加重法（在转子指定位置焊接平衡块）或去重法（通过激光打磨去除多余质量）进行校正，校正后转子的不平衡量需满足G1.0级精度要求（对应转速3000r/min时，允许不平衡量不超过 $2.5g \cdot mm/kg$ ）。对于双转子压缩机，需分别进行单转子平衡与转子联动平衡测试，避免联动时产生耦合振动<sup>[2]</sup>。

（3）联轴器选型与安装误差控制：优先选用弹性联轴器（如膜片联轴器、梅花形弹性联轴器），其允许的角向、径向偏差比刚性联轴器高3-5倍，可缓冲振动传递；安装时需控制联轴器端面跳动量不超过0.03mm，径向跳动量小于0.02mm，且联轴器与轴的配合间隙需控制在0.01-0.03mm之间，安装后通过扭矩扳手按设计扭矩紧固联轴器螺栓，确保螺栓受力均匀，防止因螺栓松紧不一引发附加振动。

### 2.3 隔振与减振措施

（1）被动隔振：弹簧隔振器适用于中高频振动控制（频率 > 10Hz），选用具有线性刚度特性的圆柱螺旋弹簧，阻尼比0.02-0.04，安装时需保证每个隔振器受力均匀，承载力偏差不超过5%；橡胶减振垫适用于低频振动控制（频率 < 10Hz），采用天然橡胶与丁腈橡胶复合材质，硬度50-70ShoreA，厚度取20-40mm，根据设备重量确定减振垫数量，单个减振垫承载力不超过其额定值

的80%，避免橡胶过度压缩导致刚度衰减。（2）主动隔振：压电作动器用于高精度振动补偿，通过振动传感器实时采集设备振动信号，控制器计算补偿量后驱动压电作动器产生反向作用力，抵消振动位移，控制精度可达微米级，适用于对振动要求极高的场合（如压缩机与精密传感器联动系统）；电磁隔振系统则通过电磁线圈产生的电磁力平衡振动载荷，响应速度小于10ms，可实现宽频域（1-100Hz）振动控制，安装时需将电磁隔振器与设备底座刚性连接，确保作用力传递效率<sup>[3]</sup>。（3）管道柔性连接与支吊架设计：管道与压缩机接口采用金属波纹管或橡胶软接头进行柔性连接，波纹管补偿量需满足管道热胀冷缩量的1.2倍，橡胶软接头的工作压力需大于管道设计压力的1.5倍，且柔性连接部位的挠度需控制在5°以内，避免过度弯曲导致损坏；支吊架设计采用弹簧支吊架与阻尼支吊架组合形式，弹簧支吊架用于承担管道重量，阻尼支吊架（内置粘滞阻尼器）用于抑制管道振动，支吊架间距按管道直径确定（如DN200管道间距不超过6m），且在管道弯头、阀门等振动集中部位增设抗震支吊架，抗震支吊架的侧向承载力需满足管道最大振动载荷的2倍。

### 2.4 动态监测与调试

（1）振动传感器布点方案：传感器采用压电式加速度传感器（测量范围0.1-5000Hz），布点遵循“关键部位全覆盖”原则—在压缩机轴承座、电机两端轴承、基础顶面、厂房立柱底部等位置各布置1-2个传感器，管道系统则在弯头、三通及泵阀接口处增设传感器，传感器通过磁性底座或螺栓固定，安装面平整度误差不超过0.05mm，确保信号采集精度，所有传感器需接入数据采集仪，采样频率设置为振动最高频率的5-10倍。

（2）频谱分析与模态测试：频谱分析通过采集的振动数据生成频谱图，识别振动峰值对应的频率，判断是否存在共振（如频谱图中出现尖锐峰值且频率接近固有频率）或异常振动源（如2倍频峰值过高可能为联轴器对中偏差）；模态测试采用锤击法，用力锤敲击设备与基础关键部位，通过分析振动响应获取固有频率、振型等模态参数，验证前期设计的隔振、减振措施是否有效，若模态参数与设计值偏差超过10%，需重新优化安装方案。（3）调试阶段参数优化：以压缩机负荷、转速为核心优化参数。调试时从50%额定负荷、最低工作转速开始，逐步提升负荷与转速，每提升10%负荷或500r/min转速，稳定运行30分钟并监测振动数据，当振动速度超过ISO10816标准限值的80%时，停止提升参数并调整——若因转速接近共振频率导致振动超标，需微调转速

( $\pm 50\text{r/min}$ ) 避开共振区; 若因负荷过高引发流体脉动加剧, 需优化压缩机进气阀开度, 控制进气压力波动不超过 $\pm 0.02\text{MPa}$ , 最终确定振动最小的最优运行参数区间, 并写入设备操作规程<sup>[4]</sup>。

### 3 工业厂房大型压缩机机电设备安装过程中的振动控制技术优化方向

#### 3.1 现有技术局限性

(1) 被动隔振对高频振动控制不足: 当前常用的弹簧隔振器、橡胶减振垫, 主要针对中低频振动 ( $\leq 50\text{Hz}$ ) 设计, 依靠材料自身阻尼耗散振动能量。但面对压缩机运行中因转子高速旋转 (转速  $> 3000\text{r/min}$ )、电磁干扰产生的高频振动 ( $> 100\text{Hz}$ ), 被动隔振元件的刚度与阻尼特性难以匹配, 振动衰减率大幅下降, 仅能降低30%-40%高频振动, 易导致高频振动通过结构传递至厂房, 影响精密设备运行。(2) 主动控制成本较高: 现有主动隔振系统 (如压电作动器、电磁隔振系统), 核心部件依赖进口, 单套系统成本可达10-20万元, 且需配套高精度传感器、专用控制器, 安装调试费用占总投入的40%以上。同时, 主动控制需持续供电维持运行, 后期能耗与维护成本较高, 中小型企业难以承担, 限制了其在工业场景的大规模应用。

#### 3.2 智能控制技术应用前景

(1) 基于AI的振动预测与自适应调节: 通过收集压缩机历史振动数据、运行参数 (负荷、转速), 构建AI预测模型 (如LSTM神经网络), 可提前24-48小时预测振动峰值, 准确率达90%以上。同时, AI算法能实时分析振动信号, 自动调节主动隔振系统参数 (如压电作动器输出力、电磁线圈电流), 实现振动自适应控制, 响应时间缩短至50ms以内, 大幅提升控制精度。(2) 物联网 (IoT) 实时监测系统: 将振动传感器、温度传感器、压力传感器接入IoT网络, 可实时采集设备振动、运行状态数据, 通过云端平台实现多设备数据汇总与分析。当振动值接近限值时, 系统自动推送预警信息至管理人员手

机端, 同时联动现场PLC控制系统, 临时调整压缩机转速或负荷, 避免振动超标, 还可通过大数据分析优化设备维护周期, 降低停机风险。

#### 3.3 绿色减振材料研发

(1) 新型高阻尼复合材料: 研发以碳纤维、玻璃纤维为增强相, 以改性丁腈橡胶、环氧树脂为基体的复合材料, 通过调整纤维含量 (20%-30%) 与基体配方, 使材料阻尼比提升至0.2-0.3, 较传统橡胶减振垫提高2-3倍, 且耐高温 ( $-40^{\circ}\text{C}$ - $150^{\circ}\text{C}$ )、耐油腐蚀, 适用于压缩机高温、油污环境, 可延长隔振元件使用寿命至5-8年。

(2) 可降解环保型隔振元件: 采用淀粉基生物降解材料与天然橡胶复合, 制备隔振垫、密封圈等元件, 在自然环境中可实现80%以上降解率, 避免传统橡胶元件废弃后造成的环境污染。同时, 通过添加纳米碳酸钙增强剂, 使元件抗压强度提升至15MPa以上, 满足压缩机基础隔振的承载需求, 兼顾环保性与实用性。

#### 结束语

工业厂房大型压缩机机电设备安装中的振动控制技术, 是保障设备稳定运行、延长使用寿命及维护厂房结构安全的核心手段。通过科学的规划布局、精准的设备安装、高效的隔振减振措施以及动态监测与调试, 可显著降低振动对设备和环境的影响。未来, 随着智能控制技术与绿色减振材料的创新应用, 振动控制将更加精准、高效与环保, 为工业生产的高质量发展提供有力支撑。

#### 参考文献

- [1]张强.振动与噪声控制技术在机械设备中的应用研究[J].工业技术与自动化,2022,42(5):89-91.
- [2]王明.主动减振技术在旋转机械中的应用分析[J].机械工程学报,2023,59(2):123-125.
- [3]赵伟.新型隔振材料的开发及其性能测试[J].材料科学与工程,2022,38(6):78-80.
- [4]陈丽.智能化减振技术在高端装备制造中的应用前景[J].先进制造技术,2023,15(4):30-32.