

## 科技研究

## 空压站的节能降耗与智能化升级探究

任文广 狄佳林 宋立柱 闫家彬 王殿飞

中车山东机车车辆有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i11.8551

**[摘要]** 本文聚焦于空压站站房管理创新，旨在解决其能耗高与管理效率低的问题。通过变频改造、并联运行、集中控制和就地补偿等技术手段，实现节能降耗与智能化升级。结果表明，这些创新措施显著降低了能耗，提升了供气稳定性与管理效率，为企业带来可观的经济效益与环境效益，也为相关行业提供了有益的借鉴。

**[关键词]** 空压站站房；节能降耗；变频改造；并联运行；集中控制；就地补偿

## Exploration into Energy Conservation, Consumption Reduction, and Intelligent Upgrading of Air Compression Stations

Ren Wenguang Di Jialin Song Lizhu Yan Jiabin Wang Dianfei

CRRC Shandong Locomotive and Rolling Stock Co., Ltd

**[Abstract]** This article focuses on the innovation of air compressor station management, aiming to solve the problems of high energy consumption and low management efficiency. Through technological means such as frequency conversion transformation, parallel operation, centralized control, and on-site compensation, energy conservation, consumption reduction, and intelligent upgrading can be achieved. The results show that these innovative measures significantly reduce energy consumption, improve gas supply stability and management efficiency, bring considerable economic and environmental benefits to enterprises, and provide useful references for related industries.

**[Key words]** air compressor station building; Energy conservation and consumption reduction; Variable frequency transformation; Parallel operation; Centralized control; On site compensation

## 一、引言

在现代工业生产中，空压机作为关键的动力源设备，广泛应用于各个领域，如化工、冶金、机械制造等。空压站站房作为集中供应压缩空气的场所，其运行的稳定性和能源利用效率直接影响到企业的生产效率和成本控制。然而，传统的空压站站房普遍存在能耗高、运行效率低、控制方式落后等问题，不仅增加了企业的生产成本，也对环境造成了一定的压力。随着能源问题的日益突出和环保要求的不断提高，空压站站房的节能降耗与智能化升级成为了工业领域亟待解决的重要课题。因此，开展对空压站站房管理创新的研究具有重要的现实意义和应用价值，通过采用先进的技术和管理手段，实现空压站站房的高效、节能、稳定运行，对于提高企业的竞争力和可持续发展能力具有重要作用。

## 二、空压站站房现状分析

## 2.1 能耗现状

当前，许多空压站站房能耗较高。空压站站房配备多台传统螺杆式空压机，额定功率总和较大。在实际运行中，由于生产工艺的变化及生产任务不均衡，用气量波动频繁，但空压机大多采用定频运行方式，无法根据实际用气量实时调整输出，导致在低用气时段，空压机仍以额定功率运行，造成大量电能浪费。据统计，该工厂每月的电费支出中，空压机能耗占比较高，约为19%，且每年的能耗费用呈上升趋势。

## 2.2 运行管理问题

控制方式落后：部分空压站站房采用单机独立控制，操作人员需要分别对每台空压机进行启停、加载、卸载等操作，工作繁琐且容易出现人为失误。而且，各台空压机之间缺乏有效的协调配合，无法根据管网压力和用气量的变化进行优化控制。

设备维护不及时：由于缺乏完善的设备监测系统，对于空压机的运行状态无法实时掌握。一些潜在的故障隐患难以及时

发现，导致设备突发故障的概率增加。一旦设备出现故障，维修时间较长，严重影响生产的连续性。

缺乏系统优化：空压机站房内的设备布局、管网设计等可能存在不合理之处，例如管道过长、弯头过多等，增加了气流阻力，导致压力损失增大，进一步降低了能源利用效率。同时，对于空压机的选型和配置，没有充分考虑实际用气量的变化和不同工况的需求，造成设备资源的浪费。

### 三、节能降耗技术措施

#### 3.1 变频改造原理及优势

##### 3.1.1 原理

变频改造是通过在空压机的电机上安装变频器，改变电机的供电频率，从而实现对空压机转速的调节。根据流体力学原理，空压机的输出流量与转速成正比，输出压力与转速的平方成正比，功率与转速的立方成正比。当用气量减少时，变频器降低电机的供电频率，使空压机转速下降，输出流量相应减少，从而降低能耗。反之，当用气量增加时，提高电机转速，增加输出流量。例如，当用气量降低到额定流量的 60% 时，通过变频调节，电机转速可降低至额定转速的 70%，此时功率可降低至额定功率的 70% 左右，节能效果显著。

##### 3.1.2 优势

变频改造后的空压机能够实现根据实际用气量实时调整输出，避免了传统定频空压机在低负荷运行时的能源浪费。同时，由于电机启动时采用软启动方式，减少了启动电流对电网的冲击，延长了电机和设备的使用寿命。此外，变频控制还可以使空压机的运行更加平稳，降低了设备的振动和噪音。对其空压机进行变频改造后，经实际运行监测，能耗降低了 14-23% 左右，设备维护成本也有所下降。

#### 3.2 并联运行优化控制

##### 3.2.1 多台空压机并联运行策略

将多台空压机并联运行时，需要制定合理的运行策略，以实现最佳的节能效果和供气稳定性。一种常见的策略是根据用气量的大小，优先启动效率较高的空压机，当用气量增加时，依次启动其他空压机；在用气量减少时，按照相反的顺序停止空压机。同时，通过设置合理的加载、卸载压力值，避免空压机频繁加卸载，减少能源损耗。例如，设定加载压力为 0.70MPa，卸载压力为 0.70+0.05MPa，当管网压力下降到加载压力时，启动一台空压机加载产气；当管网压力上升到卸载压力时，停止一台空压机卸载。

##### 3.2.2 防止空压机“抢风”现象

在多台空压机并联运行过程中，如果控制不当，容易出现“抢风”现象，即部分空压机过度加载，而部分空压机卸载或空转，导致整体能耗增加和供气不稳定。为防止“抢风”现象，采用以下措施：一是通过优化控制算法，使各台空压机的加载、卸载动作协调一致；二是在空压机出口安装止回阀，防止气体

倒流；三是对管网进行合理设计和布局，确保各台空压机到用气点的阻力均衡。在对空压机站房进行并联运行改造时，通过采用先进的智能控制系统，实现了各台空压机的协同工作，有效避免了“抢风”现象，使供气稳定性得到了显著提高。

#### 3.3 集中控制实现智能化管理

##### 3.3.1 构建集中控制系统架构

集中控制系统主要由上位机、控制器、通信网络和现场设备组成。上位机采用工业计算机，安装有专门的监控软件，用于实现对空压机站房设备的远程监控、数据管理和分析决策。控制器可选用可编程逻辑控制器 (PLC) 或分布式控制系统 (DCS)，负责采集现场设备的运行数据，并根据预设的控制策略对设备进行控制。通信网络采用工业以太网、现场总线等，实现上位机与控制器、控制器与现场设备之间的数据传输。现场设备包括空压机、干燥机、储气罐、阀门、传感器等，通过安装在设备上的传感器，实时采集设备的运行参数，如压力、温度、流量、电量等，并将数据传输给控制器。

##### 3.3.2 实时监测与远程控制功能

通过集中控制系统，操作人员可以在监控室内实时监测空压机站房内所有设备的运行状态和参数，如空压机的运行时间、加载/卸载状态、排气压力、排气温度，干燥机的露点温度，储气罐的压力等。一旦设备出现异常情况，系统会立即发出报警信号，并显示故障信息，提醒操作人员及时处理。同时，操作人员还可以通过上位机对设备进行远程控制，如远程启停空压机、调节空压机的运行参数、开关阀门等，实现了无人值守或少数人值守的智能化管理模式。空压机站房采用集中控制系统后，站房实现无人值守，设备故障响应时间缩短了 80%，生产效率得到了有效提升。

#### 3.4 就地补偿提高功率因数

##### 3.4.1 无功功率产生原因及影响

在空压机运行过程中，由于电机等感性负载的存在，会产生无功功率。无功功率虽然不消耗电能，但会占用电网的容量，导致电网的功率因数降低。低功率因数会使电网的电流增大，造成线路损耗增加，同时也会影响电网的电压稳定性，降低供电质量。对于企业来说，低功率因数还可能导致电力部门加收电费，增加企业的用电成本。当功率因数从 0.8 降低到 0.7 时，企业的电费支出会增加 14.3% 左右。

##### 3.4.2 就地补偿装置的应用

就地补偿是在空压机等感性负载附近安装并联电容器，通过电容器提供的容性无功功率来补偿感性负载所需的无功功率，从而提高功率因数。就地补偿装置具有安装简单、维护方便、补偿效果好等优点。根据实际情况，可选择固定补偿或动态补偿方式。固定补偿适用于负载变化较小的场合，通过安装固定容量的电容器组来实现无功补偿；动态补偿则适用于负载变化频繁的场合，采用晶闸管投切电容器 (TSC) 或静止无功

发生器 (SVG) 等设备, 根据负载的变化实时调整补偿容量。工厂在对空压机站房进行就地补偿改造后, 功率因数从原来的 0.80 提高到了 0.96, 线路损耗降低了 30.56%, 每年节省电费支出 64 万。

#### 四、实施案例分析

##### 4.1 空压机站房改造项目概况

工厂主要从事机械加工生产, 其空压机站房原有 8 台定频螺杆式空压机, 总装机功率为 1485kW。随着生产规模的扩大和市场竞争的加剧, 企业对降低生产成本和提高生产效率的需求日益迫切。因此, 该工厂决定对空压机站房进行节能降耗与智能化升级改造。

##### 4.2 改造方案实施过程

**变频改造:** 对 4 台空压机进行变频改造, 安装了高性能的变频器。在改造过程中, 对电机与变频器的匹配进行了优化设计, 并对控制系统进行了相应的调整, 确保变频运行的稳定性和可靠性。

**并联运行优化:** 重新规划了空压机的并联运行控制策略, 通过安装智能控制器, 实现了根据用气量自动调整空压机的启停和加载、卸载顺序。同时, 对管网进行了优化改造, 减少了气流阻力和压力损失。

**集中控制建设:** 构建了一套基于 PLC 的集中控制系统, 将 8 台空压机、干燥机、储气罐等设备纳入集中监控范围。在上位机上安装了功能强大的监控软件, 实现了设备运行状态的实时监测、远程控制和数据分析管理。

**就地补偿安装:** 在每台空压机附近安装了就地补偿装置, 采用动态补偿方式, 根据空压机的运行工况实时调整补偿容量, 提高功率因数。

##### 4.3 改造前后效果对比

**能耗降低:** 改造后, 通过变频调节和优化运行控制, 空压机的平均能耗降低了 18% 左右。根据实际运行数据统计, 年节约电费 41.25 万元。

**供气稳定性提高:** 集中控制系统实现了对空压机的协同控制, 有效避免了“抢风”现象, 供气压力波动范围从原来的  $\pm 1.2\text{MPa}$  降低到了  $\pm 0.1\text{MPa}$ , 提高了生产设备的运行稳定性和产品质量。

**设备维护成本下降:** 由于变频软启动和设备运行状态的实时监测, 减少了设备的机械磨损和故障发生率。设备维护周期延长, 维护成本降低了 20% 左右。

#### 五、经济效益与环境效益分析

##### 5.1 经济效益评估

**节能收益:** 以改造后的某工厂空压机站房为例, 每年节约的电费支出即为直接的节能收益。如前所述, 年节约电费 41.25 万元。此外, 由于设备维护成本的降低, 每年可节省维护费用 6 万元。随着设备使用寿命的延长, 还可减少设备更新换代的

投资成本。

**生产效率提升带来的收益:** 供气稳定性的提高减少了因供气问题导致的生产中断和产品质量问题, 从而提高了生产效率。据估算, 生产效率的提升为企业带来的年收益约为 18 万元。综合以上各项, 该空压机站房改造项目每年为企业带来的经济效益约为 60 万元。

##### 5.2 环境效益分析

**减少碳排放:** 能耗的降低意味着减少了电力消耗, 从而间接减少了因发电产生的碳排放。根据相关数据, 每节约  $1\text{kW}\cdot\text{h}$  电, 可减少约  $0.1229\text{kg}$  的二氧化碳排放。以该工厂空压机站房每年节约的电量计算, 每年可减少二氧化碳排放约  $67.595\text{t}$ 。

**降低噪音污染:** 变频改造和设备运行优化后, 空压机的运行噪音明显降低, 从原来的  $90\text{dB (A)}$  降低到了  $75\text{dB (A)}$ , 减少了对周边环境和员工工作环境的噪音污染, 有利于员工的身心健康。

#### 六、结论与展望

##### 6.1 研究成果总结

通过对空压机站房节能降耗、变频改造、并联运行、集中控制、就地补偿等管理创新措施的研究和应用, 取得了以下显著成果: 有效降低了空压机站房的能耗, 提高了能源利用效率; 提升了供气稳定性和可靠性, 保障了生产的正常进行; 降低了设备维护成本, 延长了设备使用寿命; 实现了智能化管理, 提高了管理效率和决策科学性; 带来了可观的经济效益和环境效益, 增强了企业的竞争力和可持续发展能力。

##### 6.2 未来发展方向展望

随着科技的不断进步和工业自动化水平的提高, 空压机站房的管理创新将朝着更加智能化、高效化、绿色化的方向发展。未来, 可进一步研究和应用人工智能、大数据、物联网等先进技术, 实现对空压机站房设备的智能诊断、预测性维护和优化调度; 研发新型的节能空压机设备和节能技术, 不断提高空压机的能效水平; 加强对空压机站房系统的整体优化设计, 从设备选型、管网布局、运行控制等方面进行全方位的优化, 实现更高层次的节能降耗和智能化管理。同时, 还应加强行业标准的制定和完善, 推动空压机站房管理创新的规范化和标准化发展, 为工业领域的节能减排和可持续发展做出更大的贡献。

#### [参考文献]

- [1]陈鹏高.空压机的节能改造[J].压缩机技术, 2013(4): 99-104.
- [2]刘晨光.空压机变频改造节能技术的运用探究[J].中国设备工程, 2023(1): 222-224.
- [3]石映飞.浅析压缩空气系统节能[J].冶金设备, 2022(S1)。
- [4]陈建宇, 郭宇, 陈佳兴.螺杆式空压机能耗影响因素及节能措施研究[J].中国设备工程, 2024(18): 75-77.