

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2026.01.037

针对饮料生产企业的智慧节能空压站建设方案

黄天玲

(南京尚爱机械制造有限公司,江苏 南京 211100)

摘要:通过建立空压站的数字化集成管控系统,结合采集生产线的用气数据,实现对空压机及其辅助设备的自动启停控制,减少人工管理的劳动强度。通过对空压机的变频改造,排污系统升级等技术手段,提高空压机的运行效率,减少压缩空气的浪费。基于工业 SCADA 系统为企业构建起全生命周期、全流程、全要素的设备管理体系。

关键词:空压机;节能技术;设备管理

中图分类号:TH47 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2026)01-0197-04

Intelligent Energy-saving Air Compression Station Construction Plan for Beverage Production Enterprises

HUANG Tianling

(Nanjing Shangai Machinery Manufacturing Co., Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: By establishing a digital integrated control system for air compressor stations and collecting the gas consumption data of the production line, the automatic start and stop control of the air compressor and its auxiliary equipments can be realized, so as to reduce the labor intensity of manual management. With the frequency conversion transformation of the air compressor and the upgrading of the sewage system and other technical means, the operation efficiency of the air compressor is improved, and the waste of compressed air is reduced. Based on the industrial SCADA system, an equipment management system with a full life cycle, whole process and all elements is constructed.

Keywords: air compressor; energy-saving technology; equipment management

0 引言

诸多学者都对空压机节能改造做了研究,刘成红等^[1]提出通过降低出口压力、改变空压机运行模式,从而实现节能降耗的目的。王坤^[2]对空压机节能改造方法进行了研究。马继松等^[3]提出优化选型、余热回收、合同能源管理和政策激励等对策建议。夏坤^[4]研究了基于压力控制空压机的启动台数及启动时间,以达到降低空压机能耗的目的。本文基于实践研究,提供了一个可行的综合性节能化改造方案。

1 空压站现状及存在的问题

空压站是由空压机、后冷却器、空气干燥器、储罐、供应管线及多个压缩机单元组成的系统产物^[5]。空压机按工作原理不同,划分为容积型、动力型及热力型 3 类^[6-8],本文所述空压机为活塞式容积压缩机。空压机能耗占到系统总能耗的 80%,因此需着重分析探讨设备运行能耗问题,挖掘节能措施^[9]。现有的控制模拟较为单一,空压机运行效率

较低,企业无法实现空压机的综合管理^[10]。

1.1 运行效率低

目前以继电器等元件为主的空压机控制系统输出风压波动较大且输出风量无法随实际需求进行调节,在空载运行下也会造成大量能源损耗^[11]。加载率普遍在 50%~60%,卸载空转时间长,电能浪费严重。

1.2 劳动强度大

操作人员两小时巡检一次,记录运行数据,还需根据产线用气变化,多次启停多台空压机及辅助设备,劳动强度大。

1.3 保养维修不及时

空压机的活塞环、气阀、填料等易损件,需定期保养更换。但工况不同,有时需提前保养,否则会增大运行能耗。若等到设备无法使用再保养,往往会对设备产生不可逆的伤害,增加维修成本。

1.4 跑冒滴漏严重

空压站数量较多的排污阀,多采用定时控制,需要人工调整,天气潮湿水分增多,需要缩短间隔

作者简介:黄天玲(1991—),男,江苏启东人,工程师,学士,研究方向为空压机领域及系统的自动化设计,1013395518@qq.com。

时间,否则水排不干净;天气干燥时,则要及时增大间隔时间,否则会浪费压缩空气。实际人工管理的滞后,存在较大的能源浪费。

2 系统设计及技术改进

2.1 系统概述

在大气量需求的情况下,设计空压站时,需

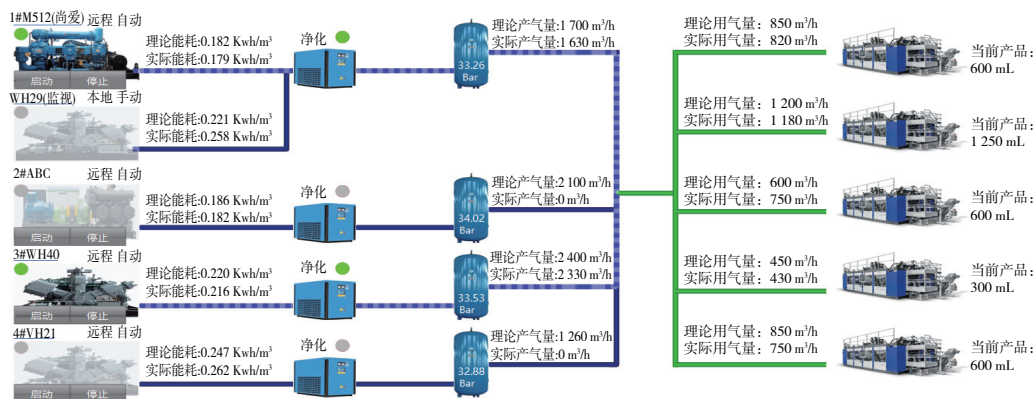


图1 系统流程图

2.2 系统网络架构建立及画面设计

1) 系统架构设计

SCADA(supervisory control and data acquisition)系统,即监控和数据采集系统,是一种集中控制系统,主要用于监控和控制工业过程^[13]。系统架构如图2所示:a)数据管理层,基于WinCC组态软件的工控平台,作为整个系统的数据管理中心;b)PLC总控层,系统进行逻辑控制的核心层;c)设备层,实现设备的数据采集和控制。

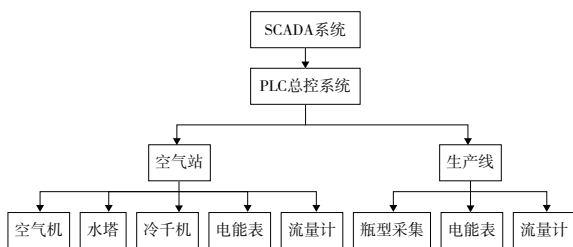


图2 系统架构图

2) 建立系统网络

系统采用分布式网络架构,采用西门子工业网线搭建计算机基础网络,如图3所示。通信协议采用Profinet协议,可现数据并发,实时性较好;非关键数据采集,可选择TCP协议或Modbus串口协议等。

在软件部署过程中,还需要考虑到与其他系统的兼容性问题,使整个系统能够顺利运行^[14],

根据用户用气需求进行多空压机联合供气的模式实现集中供气^[12]。系统根据用气量变化,调整空压机启停,保证产气量与用气量的匹配如图1所示,并通过多维度的能效分析,发现跑冒滴漏,实现能源的精准管控。

例如,工厂的制造执行系统(manufacturing execution system, MES),一种为制造企业设计的信息系统^[15]。

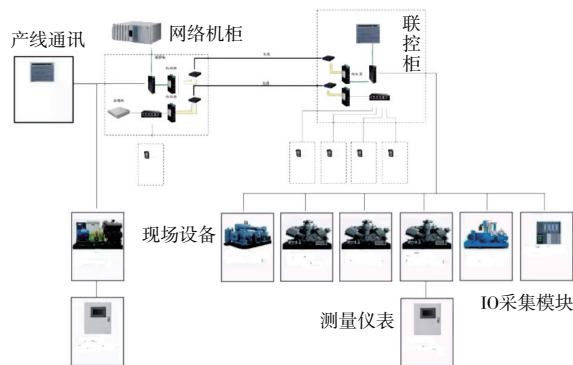


图3 系统网络拓扑示例

3) 系统画面设计

系统软件采用SIMATICWinCC(windows control center),集成了多台空压机及辅助设备的动态化工艺流程及单机实时运行情况。

2.3 系统的主要控制逻辑

当生产线上的订单量增加时,空压机节能控制系统可以自动调整设备运行参数,满足生产需求;当订单量减少时,系统自动降低设备负荷,避免不必要的能耗浪费^[16]。

1) 高压空压机的集控方案

集控系统通常采用压力降低启动备机,容易

因空压机启动滞后,导致短时间内压力迅速下降,影响产线。吹瓶机非启动即用气,完全可以检测产线运行,提前启动备机,而且系统可根据产线瓶型,结合吹瓶机转速、瓶坯容积计算实际用气量,这样就可启动产气量与之相匹配的空压机,用气量减少时,也可自动切换合适的空压机。举例:

a) 产品用气量 Q_0 : 根据瓶型估算,预置固定值;

b) 假定三台空压机额定产气量大小关系: $Q_1 < Q_2 < Q_3$;

其中 Q_1 为 1 号机额定产气量, Q_2 为 2 号机额定产气量, Q_3 为 3 号机额定产气量

c) 根据用气量 Q_0 所处的区间,启动相应机组:

$0 < Q_0 < Q_1$, 1 号机运行;

$Q_2 < Q_0 < Q_3$, 2 号机运行;

$Q_3 < Q_0 < Q_1 + Q_2$, 3 号机运行;

$Q_1 + Q_2 < Q_0 < Q_1 + Q_3$, 1 号机运行 + 2 号机运行;

$Q_1 + Q_3 < Q_0 < Q_2 + Q_3$, 2 号机运行 + 3 号机运行;

$Q_0 > Q_2 + Q_3$, 1 号机 + 2 号机 + 3 号机运行。

若吹瓶生产线不开放通讯接口,可通过吹瓶机运行功率判断其运行状态;并可在瓶坯模具上安装电子芯片,通过射频识别 (radio frequency identification, RFID) 读写技术识别瓶型。

2) 低压空压机集控方案

低压气用气分散,难以采用上述 1) 方案实现,这里提供一种较为经济的替代方案,即通过理论用气量去启停空压机。理论用气量计算方案如下:

a) 当有空压机工作时,开始统计每台空压机的加载率 A 、加载阶段的平均频率 b_1 ;当有机组启动或者停机时,重新开始统计;

b) 采用如下公式计算空压机的加载率 A : $A = a_1/a_2$

其中, a_1 表示加载时间, a_2 表示空压机运行时间;

c) 所述加载阶段的平均频率 b_1 为空压机加载阶段频率的平均值: $b_1 = f/T$

其中, f : 加载阶段运行频率累加值, T : 累加次数;

d) 每台空压机的额定产气量 Q , 即每台空压机满载的最大产气量是根据设备实际情况预置的一个固定值;

e) 采用如下公式计算理论用气量 D :

$$B = b_1/f_0$$

$$C = A * B * Q$$

$$D = C_1 + C_2 + C_3 \dots$$

其中, B 表示单台空压机的加载阶段平均负荷, f_0 表示频率上限, Q 表示单台空压机的额定产气量, C 表示单台机组的理论产气量;将 N 台空压机的实际产气量相加得到 N 台空压机产气量之和,即理论用气量 D ;

3) 辅机联控

空压机一般不会独立使用,会配置冷干机、水塔等辅助设备。因此需要实现辅机与空压机的联动控制,避免辅机长时间待机浪费能源,减少人工管理的劳动强度。

2.4 空压机变频改造

变频器通过 IGBT (insulate - gate bipolar transistor) 等开关器件调制电流波形,实时调整开关频率和占空比,实现电压和频率的精确控制^[17]。根据传感器数据调整电动机频率和电压,提高响应速度、操作灵活性,降低能耗和磨损^[18]。连续用气时,空压机几乎可以无卸载,效率大大提高。卸载空转时,调低转速,也能减少电机空转耗电量。

1) 增大气量调节范围的方法

气量调节范围越大,节能越明显。部分空压机频率可调整范围较窄,如 L 型,主要因为其振动频率低,振动扰力大,机组质心高,倾覆力矩不易控制^[19],下限频率最低只能在 35 Hz 左右。

为解决上述问题,可将空压机气缸两侧的进气阀分开控制,实现气缸单作用与双作用工作模式的切换。当频率至下限时,气缸切换成单作用,再减少一半产气,气量的调节范围得到扩展。举例,频率下限为 35 Hz,单纯变频,气量调节范围为 70% ~ 100%,如再将气缸切换单作用,气量调节范围扩大为 35% ~ 100%。

2) 提高变频调节响应速度的方法

目前空压机气量调节都是基于压力控制的,即压力大于设定值,减少产气;压力小于设定值,增加产气。此方法存在不足:当压力大于设定值,若此时用气量增大,系统却在减少产气量,容易导致压力降低;当压力小于设定值,若此时用气量减小,但系统却还在增加产气量,如压力恰好接近卸载值,则容易导致卸载。为避免上述问题,常规会选择加大控制压差,但这会提高运行压力,浪费能源。

为了解决上述问题,可使用流量计检测用气量和产气量,通过用气量与空压机产气量的偏差

来不断调整变频器的输出频率如图 5 所示,使空压机的产气量与用气设备用气量匹配,实现空压机的恒压输出^[20]。

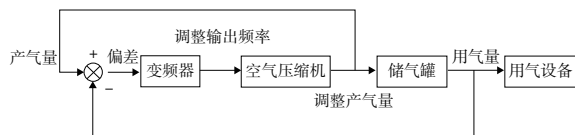


图 5 流量计变频逻辑图

2.5 空压站的能源管控

空压站管理中,难免会出现跑冒滴漏,不仅影响空压站的效率,还可能导致安全隐患。建议全面升级设备的排污系统以减少压缩空气的浪费,加强对空压机单位能耗的检测,保证设备高效运行。

1) 空压机排污阀升级方案

电子液位自动排水器,可实现只排水不排气。检测污水深度的液位计采用电容式或电极式,没有可动部件,更可靠。

排污阀常会因卡脏而关不死,泄漏压缩空气。为减少压缩空气泄漏量,需选用口径较小的排污阀,但当湿度较大时,又容易出现水不能及时排净的情况。因此建议采用二级排污的设计方案如图 6 所示,污水达到低位,小排量阀动作;若无法及时排空,污水升到高位,大排量阀再动作。这样的设计大排量阀动作次数较少,寿命较长,且不易卡脏;小排量阀由于口径小,即使发生卡脏泄漏量也较少。

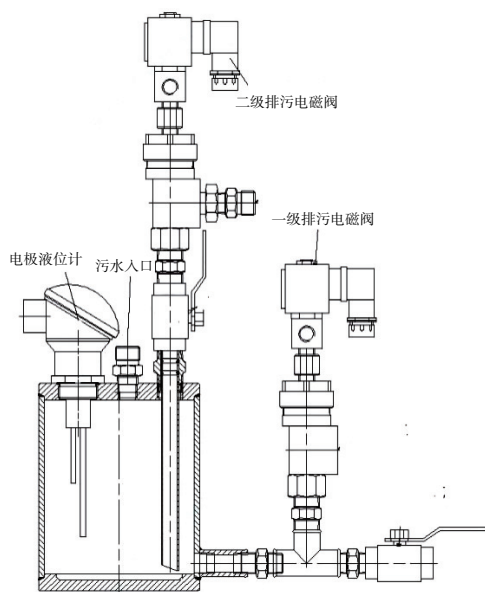


图 6 二级排污

2) 空压机预测性维修

单位能耗即每产生 1 m³ 压缩空气所消耗的

电能,这是评判空压机能耗的重要指标。当检测到单位能耗显著增加,系统会提示需及时检查,实现预测性维修。这种预测性维修,降低了非计划停工的风险,减小了设备维修的难度。

3 运行效果

某公司委托南京尚爱采用上述方案改造空压站,实现了对多个空压站的多台不同型号空压机及其辅助设备数据采集与集中控制,保证设备高效率的节能运行,据统计平均节能 15% 左右。

3.1 用气量自动计算

该项目在产线模具上安装了预先编码的 EPC 芯片,系统通过读写头自动识别产线的产品型号,结合后台提前为每种产品配置的用气量数据,自动计算产线的总用气量,使用效果如图 7 所示。

产线监视					
	产品编号	产品名称	用气量(m ³ /h)	功率/kW	运行
B线	0		0	1.2	●
D线	1	300CK	382	74.4	●
E线	2	500CK	1 276	166.0	●
G线	2	500SP	1 083	132.9	●
总计气量			2 741		

图 7 产线监视画面

3.2 优先使用节能空压机

项目实现了空压站及空压机两个维度的单位能耗统计,通过制定管理指标,实现设备能耗异常的预警。基于能耗的实测结果如表 1 所示,系统加入了优先使用节能空压机的逻辑,进一步保证了空压站的节能。

表 1 本月单位能耗加载率

	空压站	M512	ABC	WH40	VH21	WH29
单位						
能耗/ (kWh/m ³)	0.199 4	0.167 0	0.183 3	0.229 9	0.267 8	0.206 0
加载 率/%	75.706	89.739	77.330	93.290	62.001	92.174
能耗 状态	正常	正常	正常	正常	偏高	正常

4 结语

1) 首次提出通过产线联动启停空压机的方案,并介绍其原理及实施方法。通过这种方法能避免空压机启动滞后影响产线,也能在用气减少后,及时调整空压机数量,保证多台空压机的高效运行。

(下转第 217 页)

- [11] 王钦,陈业夫,蔡新雷,等.考虑柔性负荷和阶梯型碳交易的低碳经济优化调度策略[J].广东电力,2024,37(1):76-85.
- [12] 余洋,吴千,霍宇航,等.计及自适应阶梯碳势-碳价与供需双响应基于主从博弈的综合能源系统低碳经济调度[J].电网技术,2024(7):2702-2714.
- [13] 周伟,孙永辉,谢东亮,等.计及改进阶梯型碳交易和热电联产机组灵活输出的园区综合能源系统低碳调度[J].电网技术,2024,48(1):61-73.
- [14] 颜湘武,王庆澳,卢俊达,等.计及电动汽车和柔性负荷的微电网能量调度[J].电力系统保护与控制,2023,51(17):69-79.
- [15] 黄逸文,黄文焘,卫卫,等.大型海港综合能源系统物流-能量协同优化调度方法[J].中国电机工程学报,2022,42(17):6184-6196.
- [16] 别朝红,胡国伟,谢海鹏,等.考虑需求响应的含风电电力系统的优化调度[J].电力系统自动化,2014,38(13):115-120,159.
- [17] 王珂,刘建涛,姚建国,等.基于多代理技术的需求响应互动调度模型[J].电力系统自动化,2014,38(13):121-127.
- [18] 殷加珏,赵冬梅.考虑源荷双侧预测误差的实时发电计划闭环控制模型[J].电力系统自动化,2018,42(6):98-105.
- [19] 薛东,段立强,高统彤,等.考虑多重特征与不确定性度量的综合能源系统负荷预测研究[J].太阳能学报,2024,45(7):379-388.
- [20] 周建力,乌云娜,董昊鑫,等.计及电动汽车随机充电的风-光-氢综合能源系统优化规划[J].电力系统自动化,2021,45(24):30-40.
- [21] 孙宇军,王岩,王蓓蓓,等.考虑需求响应不确定性的多时间尺度源荷互动决策方法[J].电力系统自动化,2018,42(2):106-113,159.
- [22] 张晓辉,刘小琰,钟嘉庆.考虑奖惩阶梯型碳交易和电-热转移负荷不确定性的综合能源系统规划[J].中国电机工程学报,2020,40(19):6132-6142.

收稿日期:2024-09-30

(上接第200页)

2) 针对空压机的变频改造,本文给出了两种具体的优化方案,能实现气量调节范围的扩展,并提高变频的响应速度,进一步保证了空压机变频节能的效果。

3) 经案例证明,本案可减少空压机运维难度,实现设备智慧托管,保证能源的高效使用,也有助于节能减排保护环境。

4) 随着新技术的应用,企业可以在产品设计、生产工艺、市场营销等方面探索新的可能性,保持竞争优势^[20]。

参考文献:

- [1] 刘成红,吕森,张静波.浅谈钢铁行业空压站节能的发展趋势[J].中国设备工程,2022(11):214-216.
- [2] 王坤.空压机稳压节能技术和余热回收方法[J].现代工业经济和信息化,2021,11(6):87-88.
- [3] 马继松,严乐荣,赵鲁苏.扬州市重点用能企业空压机能源利用状况及对策研究[J].能源研究与利用,2021(2):8-11.
- [4] 夏坤.矿用空压机的远程监测及智能联控系统的设计[J].机械管理开发,2022,37(8):287-288.
- [5] 艾佳薇.关于空压机节能减排技术的研究[J].机械管理开发,2022,37(5):195-197.
- [6] 钟仁强.提高氮气空压机组工作效率的研究[J].自动化应用,2023(7):147-149,153.
- [7] 韩中建.基于嵌入式的船用空压机智能控制系统设计[J].今日制造与升级,2023(1):76-78.
- [8] 李鸿.煤矿地面空压机集中控制研究[J].机械管理

开发,2023,38(3):179-181.

- [9] 王中卿.空气压缩机智能控制及节能技术研究与应用[J].机械研究与应用,2024,37(5):53-56.
- [10] 郭晓斌.制造业压缩空气系统节能运行应用研究[J].中国设备工程,2024(12):164-167.
- [11] 王贺彬,白锐,吕永津,等.基于PLC与触摸屏的空压站自动监控系统设计[J].制造业自动化,2023,45(10):125-128.
- [12] 雷明.空压机站智能集控系统的应用研究[J].自动化应用,2024(7):140-142.
- [13] 谢悦海,刘猛,唐伯培,等.基于WebAssembly的跨平台SCADA系统设计与实现[J].机电工程技术,2023,52(12):196-200.
- [14] 周建为.空压机系统智能控制与节能策略研究[J].中国机械,2023(24):24-27.
- [15] 吴晓坤,王庆伟.MES系统在化工安全管理中的应用[J].化工管理,2024(14):63-65,129.
- [16] 丁锦华,苗本健,李赛赛,等.基于电器实验室用气特点的压缩空气动力系统节能改造分析[J].机电工程技术,2023,52(11):279-282.
- [17] 曹克忠,乔虹.空压机械节能降耗技术研究[J].中国机械,2024(29):70-73.
- [18] 王伯轩.空压机新型节能技术应用[J].水泥,2022(8):68-69.
- [19] 王庭佛.低转速往复式(L型)空压机的振动隔离[J].噪声与振动控制,1986,6(2):39-44.
- [20] 范高原.空压机智能控制系统的应用[J].化工管理,2021(25):147-148.

收稿日期:2024-08-12