

碳达峰行动中汽车制造业压缩空气系统节能技术应用分析

綦圣强

(华晨宝马汽车有限公司 大中华区建筑规划及不动产管理部 辽宁 沈阳 110000)

摘要：2021 年 10 月，国务院在印发的《2030 年前碳达峰行动方案》中，明确提出：确保如期实现 2030 年前碳达峰目标的重点任务之一，在节能降碳增效行动方面，要推进重点用能设备节能增效。为了实现此目标，要在技术上以电机、风机、泵、压缩机、变压器、换热器、工业锅炉等设备为重点，全面提升能效标准。汽车制造业空气压缩机就是一类典型的压缩机。本文介绍了在国家下达执行碳达峰行动方案的新形势下，汽车制造企业为了响应减碳号召，在压缩空气压缩机为核心的空气压缩系统方面，实际应用的集中节能方法和技术。

关键词：压缩空气系统；余热回收；节能管道

0 引言

压缩机是高耗能设备，其用电费远超设备成本，据统计，用电费可能是采购成本几十倍，用电费用约占空压机寿命周期成本（购买、安装、用电、维修）的 90% 左右。由此可见，以空气压缩机为核心的压缩空气系统的节能降耗已经成为企业在生产运行中必须面对的问题。本文主要针对压缩空气系统节能的问题，从压缩机本身、供气管网及其它附属设备几个方面，对典型的汽车制造工厂所采用的压缩空气节能技术进行分析和总结。

1 压缩空气系统组成

1.1 空气压缩机的主要设备

空气压缩机的主要组成设备包括：预留接口、过滤器、空压机、支管、排水器、连接软管、湿储气罐、干燥机、油收集器、油过滤器、旁通管、压力流量控制器、辅助储气罐等等。

1.2 压缩空气系统主要参数

1.2.1 品质参数

压力：生产需求压力，空压机工作压力；容积流量：生产需求气量，空压机供气量；露点：常压露点，压力露点；含油量：液态雾状、气态；含尘量：固体颗粒直径、数量；

1.2.2 运行参数

功率：站房消耗电量，空压机输入功率；能效：单位产气所耗电量，机组输入比功率；

1.2.3 能效指标

空压站能效：单位产气量用能；轴功率与容积流量之比；输入功率与实际容积流量之比；GB 19153 容积式空气压缩机能效限定值及能效等级；能效分 3 级，喷油螺杆空压机各级能效相差约 12 ~ 13%；干燥机耗能：耗电，耗气。

2 压缩空气系统节能技术在汽车制造工厂的实际应用

本文以国内某知名品牌豪华汽车生产制造工厂为例，探讨压缩空气系统节能技术在汽车制造工厂的实际应用。该企业致力于持续提升绿色制造水平，打造卓越的绿色工厂。为积极响应国家对重点用能企业的管理要求，该企业通过能源管理体系的有序建立，从生产工艺、基础设施建设、设备设施运行管理等方面，持续推进节能技改项目立项与实施；通过引进高效节能设备、挖掘生产过程的余能余热回收潜力，开展设备运行能效评估、积极推进电机等关键设备的优化升级改造。

2.1 空压机余热回收

2.1.1 空压机热回收原理

输入电能的 94% 都是需要通过冷却循环水带走的热量，剩余 6% 的热量由空气及环境辐射带走。鉴于此，本案例优化设计方案将原空压机内部并联的水路改为串联后逐级升温，以提高出水温度（见图 1）。

2.1.2 热回收利用方法

通过图 2 可以看出，回收后的热量可用于夏天溴化锂吸收式制冷机组产生冷冻水，既可用于物流车间制冷站，替代部分螺杆机负荷，也可直接用于总装车间工艺岗位送风，提高岗位舒适性。冬季通过 AHU 加热新风，给车间输送热风，

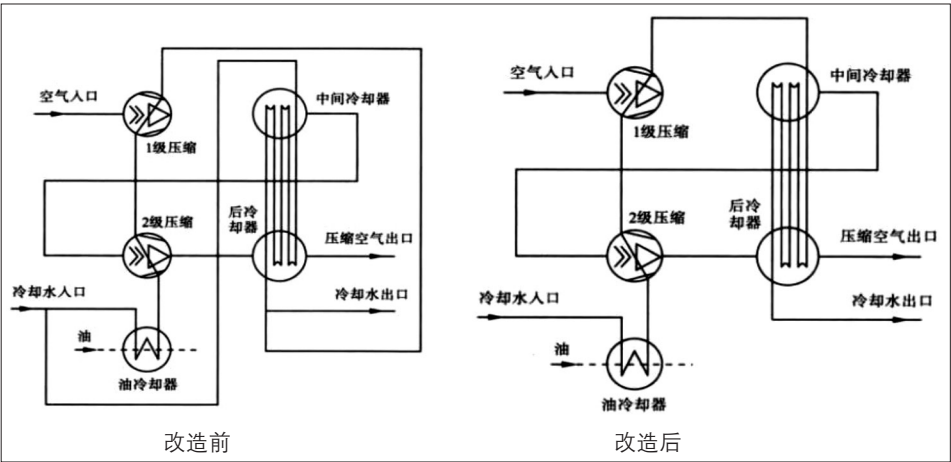


图 1 改造前后热回收原理

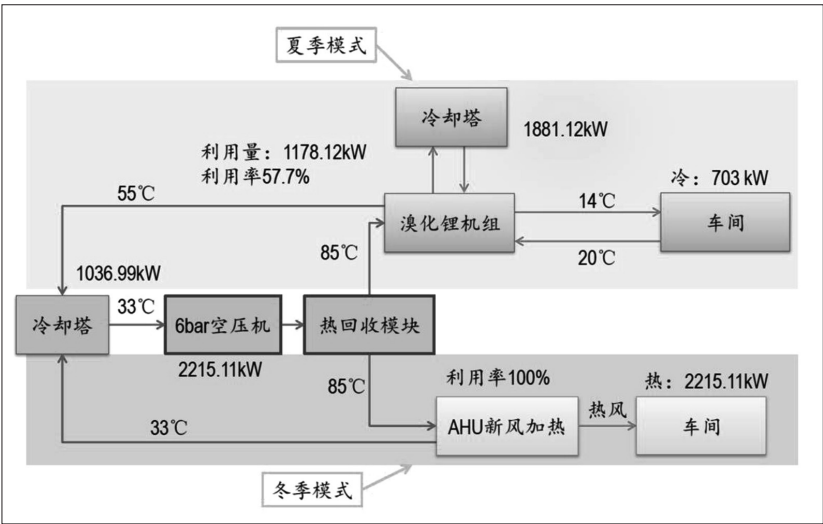


图 2 热回收利用基本流程

提高车间温度。

2.2 高效电机的更换

根据打造卓越绿色工厂的要求，笔者所在工厂积极推进电机等关键设备的优化升级改造。依据《GB18613 电动机能效限定值及能效等级》的要求，将一批低效能的电机淘汰掉更换成符合新能效等级要求的电机。

2.3 干燥机升级改造方案实施

2.3.1 项目概述

本项目将焊装车间空压站内的干燥机，由微热再生方式改造为鼓风式加热再生方式，通过升级改造降低再生气源消耗，满足节气、节能要求。

微热干燥机冷吹时需要消耗平均 7 ~ 15% 的成品压缩空气，极大地消耗能源，本次改造将引用 PB 系列鼓风零气耗式干燥机工艺流程，利用环境大气对再生塔进行热再生后，再利用环境大气对再生塔进行冷吹，实现对再生塔的再生，整个有 3% 的成品气再生耗气，干燥机出口露点可达 -40℃ 以下。

2.3.2 干燥机型式的发展阶段及结构特点

2.3.3 干燥机改造前后运行参数对比

表 1 目前常见的压缩空气干燥机

发展阶段	型 式	结构特点	应用年代
I	无热再生	结构简单、高能耗，属于淘汰、限制类产品	上世纪七十年代
	微热再生		
II	普通外加热	适应各种空压机、吹冷气排放，增加风机	上世纪八十年代
	普通压缩热	仅适用于低效率、高排气温度的透平机，吹冷气排放，露点较高，漂移量大，增加冷却器（取消空压机后冷却器）	
III	改良型外加热再生	吹冷气回收或循环，增加冷却器、分离器	上世纪九十年代
	改良型压缩热再生	吹冷气回收或循环，增加循环风机或射流泵，要求进气温度大于 120℃、露点较高	
IV	等压再生零排放外加热	零排放、低露点，增加冷却器、分离器、循环风机	本世纪
	等温压缩、零排放、低露点压缩热	多功能、全方位。支持空压机高效率（等温压缩）、允许排气温度较低（90~110℃）、零排放、低露点、无漂移，增加辅助加热器，循环风机。	

表 2 干燥机改造前后运行参数对比

机 型	微热式干燥机 (改造前)	鼓风式干燥机 (改造后)
处理介质	压缩空气	压缩空气
处理气量 (Nm³/min)	21	21
进气压力 (MPa)	1.3	1.3
产品气露点 (℃)	≤ -40℃	≤ -40℃
加热器功率 KW	12	12
鼓风机功率 KW	0	1.6
电源条件	AC380V-50Hz	AC380V-50Hz
电器防护等级	IP55	IP55
干燥时间 (hr)	4h	4h
加热时间 (hr)	2.5h	2.5h
冷吹时间 (hr)	1.5h	1.5h
平均消耗功率 Kw	7.5	10.2
再生气耗 Nm³/min	3.24	0.65
再生气耗电功率 Kw	20.25	4.05
总消耗功率 KW	27.75	14.25
再生气耗量 %	15%	3%

从表 2 可以看出，通过改造干燥机节气效果非常明显，节能结果非常成功。

2.4 压缩空气漏气检测维修

笔者所在的工厂进行了为期 4 个月的压缩空气系统漏气检查，检查范围：涂装 / 车身 / 冲压 / 物流 / 总装 / 空压站 / 机械间 / 管道间 / 车间内压缩空气管线 / 天窗 / 小单体；检查点位总计 22782 个。工厂的管理非常严格，即使这样，检查结果发现，泄漏点位还是有 77 处之多。经过简单计算可知，泄漏造成损失：

压缩空气流量：247820 Nm³/Y，能源费用 30576RMB/Y；

对企业而言，堵漏工作应该常态化，必须将其作为一项日常工作来实施，这样才能将泄漏动态地控制在最低水平。泄漏及堵漏的经济

表 3 自动排水器几种压缩空气排气方式对比

产品类别	优点	不足
零耗排水装置	- 根据冷凝液产生量进行排放 - 无压缩空气损失，节能 - 可以显示故障，快速发现问题 - 对积聚的杂质不敏感，不易堵塞 - 排水口径大，维护工作较少 - 高可靠性	- 投资成本相对较多 - 需要外接电源
浮球阀	- 无须外接电源 - 低投资成本 - 根据冷凝液产生量进行排放 - 无压力损失	- 杂质聚集容易影响可靠性浮球被和残油堵塞，不能及时升起，造成冷凝液无法排放 - 排放时浮球不能及时复位，造成阀无法关闭泄漏大量的压缩空气。 - 无法显示故障情况，发生故障时，易造成压缩空气含水量增加
时间控制电磁阀	- 安装空间小 - 投资成本适中 - 安装简单	- 压缩空气泄露多 - 易促进乳化液的形成（照油水无法分离，环境污染） - 无故障显示，发生故障时，不易检查照成压缩空气含水量增加 - 需要外接电源 - 排水电磁阀口径小，易堵塞
手动阀	- 低投资成本 - 安装简单	- 压缩空气泄露多 - 自动化程度低，需人力定期排放 - 排放的随机性完全不能保障排放质量。

效益俗话说“消除浪费就是增加效益”。

泄漏造成的损失超出了大多数人的想象。如管道上一个直径 1mm 的小孔每年导致的损失高达约 3,525 度电，几乎相当于两个三口之家的全年家庭用电。

此外，由于泄漏的影响，管道压力必然偏低，例如空压机出口压力 7 公斤，而到了使用现场却只有 5 公斤，压降达到 2 公斤，造成某些气动元件工作不正常。

为了满足生产，克服泄漏造成的“压降”，只能以高于目前的工作压力运行，这种浪费也是非常巨大的。据测算，压力每提高 1 公斤（0.1MPa），压缩机单位耗电约增加 7%。

2.5 使用新型铝合金节能管道

不同材质的管道，其摩阻系数也不相同，压缩空气通过时产生的压力损耗也不相同。传统管路因为流体中颗粒杂质、油雾、水分与管壁发生氧化使得管壁变厚、变粗糙甚至烂穿造成空气品质下降、能耗增加；而近些年发展起来的铝合金材质管道能保证流体不会因为输送系统而造成二次污染及能耗损失。这些新型的铝合金材质管道相比传统管道，从技术对比、使用寿命、现场安装等几方面都优于传统管道。

2.6 高效过滤器升级改造

能源成本问题正不断地全球化扩张，空气处理设备的制造商面临的挑战是所设计的设备需要具备这些特征：节省成本、提供优质性能以及能耗低的特性。笔者所在的工厂在一部分管道机械间里安装了一些新型的高效过滤器。这种高效过滤器在移除压缩空气系统污染物的同时，通过最小化气流的阻碍，能源成本有效地下降。通过实际应用后做对比，使用新一代高效过滤器，压降部分造成成本仅为常用过滤器的不到 40%，节能效果非常显著。

同时此种新型高效过滤器，具有智能监测系统：过滤器具有无线实时监测的功能。用户可通过电脑或手机等多种终端设备，登录该智能监测系统。该监测系统采集过滤器的运行参数，通过无线通讯的方式上传，并更新至用户监测界面。这些可实时监测的运行参数包括但不限于：进出口压差、温度、进口 / 出口油蒸气浓度、电池剩余电量等。在该监测系统中，用户可以查看各过滤器的实时运行状态，添加新的过滤器或删除已有的过滤器，查看过滤器的异常报警信息，与售后工程师在线对话等。同时，售后工程师在后台亦可查看用户过滤器的运行状态，并主动对各种异常状态进行及时响应。

2.7 自动排水器

由于压缩空气中含有少量的水蒸气，长时间的累积就会在管道的低处产生冷凝水，需要定期的进行

排放。下面是目前常用的几种压缩空气排气方式对比。

从表 3 对比中可以看出，通过采用具有自动控制功能的节气型零耗排水器，既可以达到及时排除管道中冷凝水的目的，也可以防止多余的压缩空气被排出。

2.8 空压机优化组合使用方案

根据各种类型空压机的不同特性和各自的优点，可考虑螺杆机与离心机，工频机与变频机的组合使用。比如现有能源中心空压站现场，螺杆空压机及离心机目前就是由某公司的中央控制器来进行集中控制。这种中央控制器通过自动化的加卸载控制，变频转速调节，自动匹配合适机组多台变频机、离心机优化控制，节能效果非常显著。

3 结语

应对气候变化不仅仅是政府和企业的行为，也需要我们各行各业的每个人都携起手来，在生产工作中、衣食住行日常生活各个环节中行动起来，挖掘减排潜力，不断践行绿色低碳的环保理念，就能为碳达峰、碳中和目标做出重要贡献。

参考文献：

[1] 宋玮. 发展储能产业 助力碳达峰行动方案 [N]. 第一财经日报,2021-10-28(A11).

[2] 陈海生,刘畅,徐玉杰,岳芬,刘为,俞振华. 储能在碳达峰碳中和目标下的战略地位和作用 [J]. 储能科学与技术,2021,10(05):1477-1485.

[3] 闫晶,张瀚舟. 碳达峰碳中和先行城市的经验、挑战和启示 [J]. 上海节能,2021(08):778-782.

作者简介：慕圣强（1976.11-），男，汉族，工学学士，助理电气工程师，研究方向：设施设备运行维护维修管理（电气、机械等设施设备）。