

压缩空气系统节能管理

于东升

广西柳工机械股份有限公司

[摘要]通过提高压缩空气系统运行效率，减少系统运行浪费，可以降低压缩空气系统能耗，节约能源费用。

[关键词]提高效率；减少浪费；节能增效

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2020.04.021

工业企业生产过程中都使用压缩空气做为载能工质，生产和净化压缩空气的用电占企业用电量的10~20%左右。做好压缩空气系统的运行管理工作，可降低压缩空气系统能耗，减少碳排放，实现系统节能增效。因企业规模、用气量波动大及采用无人值守站等原因，机械制造企业的空压站的主要采用螺杆空压机组合生产压缩空气。

螺杆式空压机属于容积式空压机的一种，利用相互啮合的阴阳螺杆机构旋转时产生的齿间容积变化，完成吸气、压缩和排气的过程。其主要由电机、压缩机、油气分离系统、进气控制及过滤系统、润滑冷却系统，电气控制系统等模块组成。其运行模式分为两种，一种为工频螺杆空压机的运行模式：加载+卸载+停机（空载运行超10~15分钟后动作）+加载；另一种变频螺杆空压机的运行模式：加载+流量调节（变转速）+停机（空载运行超10~15分钟时动作）+加载，空压机出口的压力不断调整运行状态来满足用气量的需求。

受产量变化、工艺节拍不同、站房环境及日常管理等因素影响，增加空压机实际比功率和加载运行时间，造成压缩空气系统能耗升高。

1. 减小空压机运行比功率

从空压机比功率单位（kw/（m³/min））中我们可知空压机效率随运行功率成正比，而与空压机的出气量成反比；在保证出气量时降低空压机输入功率或在输入功率不变时增加出气量可有效降低空压机比功率。

1.1 降低空压机输入功率

根据旋转物体做功的计算公式 $W=FS\cos\phi=Pt$ ，降低压缩空气输出压力，可降低空压机的输入功率，根据GB 19153-2019《容积式空气压缩机能效限定值及能效等级》，输出压缩空气压力越低，比功率越低，一台轴功率110的空压机在输出压力从0.3MPa升到0.8MPa时，比功率增加65%，按一天24小时满负荷运行计算，一年多耗42万度电。

满足工艺、设备需求的压力是压缩空气系统必须保证的基本条件，在压缩空气系统中，因滤芯堵塞、阀门开度不足、管道内壁粗糙度等因素造成压缩空气在输送过程中产生一定的压降，需要空压机提高输出压力来弥补这部分压力损失，而提高压缩空气输出压力，会造成能耗增加。在系统运行过程中，合理维护空压机，清理系统中的粘附在冷却器、

油分、油（粉尘）等过滤器的粉尘物质，可提高压缩空气通过能力，减小压降；同样把阀门开到最大，减小压缩空气的流速，可有效降低因粗糙度、流速造成的压降。通过合理的维护和运行管理，可以有效降低空压机输出压力和输入功率。

1.2 提高空压机出气量

根据空压机容积流量的计算标准，空压机的容积流量是指压缩机吸入的自由空气量，而自由空气吸入量与环境压力变化，压缩空气温度及空压机进气口等因素相关；从表1温度与空气密度/压力对照表中可知密度与环境压力和环境温度的变化关系，即自由空气吸入量随环境压力成正比，与环境温度成反比；当环境气压减小时，自由空气密度降低；同理环境温度升高，自由空气也会密度降低。

表1 空气密度与温度/压力对照表 单位：kg/m³

温度（℃）\压力（MPa）	0	10	20	30	40
0.1	1.276	1.231	1.189	1.149	1.113
0.3	3.827	3.692	3.566	3.448	3.338
0.5	6.378	6.153	5.943	5.747	5.563
0.7	8.929	8.614	8.32	8.045	7.778

空气在压缩过程中会产生大量的热量，同时设备在运行过程中也会因摩擦产生相当的热量，这些热量的散发会影响空压站内的环境温度，需要采取相应的措施消除这部分热量对空压站温度的影响，减小对站内温度的影响，可在空压机冷却排风口增加排风管和在空压站增加排风机把空压机及站内设施产生的热量倒计时排出站外，降低站内环境温度；而空压站开设足够面积的通风口，即可减少为保持站房通风量而增加的机械送风增加的能耗损失，又可有效降低空压机负压运行的风险。风冷空压机需求进风量可根据空压机厂家提供的风量取值。

螺杆空压机进气口都配置有进气滤芯和进气阀来减少吸入空气的粉尘和调整进气量，当过滤空气过程中，灰尘粘附进气滤芯表面，造成进气口通风面积减小而影响空气吸入量，需要定期清理滤芯表面粘附的粉尘或更换已失效的滤芯，保证有足够的空气进入空压机。而进气阀主要做机械运动，当弹簧、阀杆等部件失效时，造成阀体不能及时调整，

影响空压机进气量，需要定期维护空压机进气阀，更换失效部件，保证空压机正常效率。

2. 消除系统浪费

压缩空气系统运行过程中，空压机加载和运行过程中会产生比正常运行高2~7倍的电流，如果空压机频繁启停或加卸载，将会造成空压机能耗增加；而因末端输出压力高于需求压力及系统泄漏会增加空压机加载运行时间，同时会增加压缩空气系统的运行能耗。降低系统加卸载频次、合理调整末端输出压力和减少系统泄漏，可有效降低空压机运行电耗。

2.1 优化空压机运行组合、降低空压机加卸载频次

螺杆空压机运行主要按启动、加载、卸载、（停机）、加载（启动）方式循环运行，且电机在重新加载或启动过程消耗的功率是空压机正常运行时的2~7倍，当空压机容积流量不匹配时，系统因空压机频繁加卸载（启动）增加系统能耗。在不考虑能效差异时，空压机组合的轴功率越低，空载运行及启动时的能耗越低；在压缩空气系统中，我们通过优化，运行接近压缩空气需求量的空压机组合，降低系统功率的同时减少因装机容量过大造成空压机频繁启停的造成的能耗。通过实测（如表2所示）也验证在满足现场供气需求的前提下，运行小容量空压机比运行大容量空压机有能耗低。

表2 不同容量空压机实测电单耗

空压机容积流量 (m ³ /min)	19	30
空压机单耗 (kwh/m ³)	0.16	0.24

当螺杆转速降低时，空压机旋转受力变小，能耗变低，在负载低于装机功率<85%时，变频空压机的能耗比低工频空压机低，所以在配置有变频空压机的空压站中，充分利用变频空压机的调节功能，优先运行变频空压机；空压机运行顺序可以按①变频空压机+②工频空压机组合的模式运行空压机，实现变频空压机负载≤85%（空压机额定负荷85%+工频空压机全加载运行的高效运行模式。我公司通过现场测试验证（如表3所示）并采用①变频空压机+②工频空压机组合模式运行配置有变频空压机的空压站，比使用工频组合的运行模式每年节约30%左右的电费。

表3 空压机不同组合模式能耗测试汇总

参数	组合一		组合二		组合二	
	变频空压机	工频空压机①	变频空压机	工频空压机②	工频空压机①	工频空压机②
空压机容积流量 (m ³ /min)	24.3	24.3	24.3	19	24.3	19
单耗 (kwh/m ³)	0.132		0.137		0.186	

2.2 优化末端输出压力

因工艺和设备需求压力不一样，各使用点需要压缩空气

压力不同，但为了满足生产的压力质量要求，空压机需要按满足最高压力需求输出压缩空气，在不需要高压力的用气点因为输出压力升高，压缩空气密度增大，损耗也增大；如一把进气口尺寸6mm的风枪，每年使用时间1000小时，在环境温度20℃时，输出压力从0.3MPa升高到0.5MPa时，按使用比功率6.0空压机供气，每年约浪费8538度电，详细计算如下；我们可通过在区域或用气端增配压力调整设备如气动三联件等，调整输出压力，可以减少系统能耗。

解：

①管径6mm的气管的通风截面积 $S=3.14*6*6/4/1000000=28.26*10^{-6}m^2$

②查表2空气密度与压力/温度对照表所得，在20℃时，空气压力从0.3MPa升高到0.5MPa，密度从3.566kg/m³升到5.943kg/m³；

③根据《压缩空气站设计手册》推荐：当管径≤25mm时，压缩空气流速为5~10m/s；本次流速取中间值7m/s

一年的多浪费的压缩空气 $m=\rho V=\rho *S*v$

$= (5.943-3.566) *28.26*10^{-6}*7*1000*60*60=1692kg$

④用比功率6.0主空压机生产压缩空气，按空压机额定出气量的计算标准，每年多耗电 $=m/\rho_{(0.1MPa)}=1692/1.189*6=8538kwh$

结论：当使用比功率为6.0的空压机生产压缩空气，一把进气口径为6mm的风枪在0.3MPa提高到0.5MPa时，每年多耗8538度电。

2.3 消除压缩空气泄漏

压缩空气中残余的水和油腐蚀气管或造成密封件老化，系统振动造成接头松动、经常性拔插快接头产生磨损，都会使系统泄漏，形成压缩空气浪费，在输出压力0.7MPa时，1mm孔径的每年将浪费3500度电。经常性排查和及时修复泄漏点，选购配置有聚四氟乙烯等防油腐蚀老化密封件的阀门、管件，及时更换磨损的接头，可有效减少压缩空气泄漏浪费。

3. 结论

通过改善空压机运行环境、减小系统压降，增加产气量可降低空压机比功率；通过优化空压机运行组合、优化末端输出压力及消除系统泄漏，可以降低压缩空气系统运行能耗，节约能源费用。

参考文献

[1]徐明等.压缩空气站设计手册 1993年机械工业出版社出版

[2]孙晓明等.GB 19153-2019 容积式空气压缩机能效限定值及能效等级