

风机变频调速节能技术的应用

焦光武 赵国华 王焕云

(首钢矿业公司烧结厂)

摘要 根据风机类负载的特性,分析了风机变频调速节能的优势,以及首钢矿业公司采用该技术的前景。

关键词 变频器 节能 风机 应用

1 前言

钢铁工业是国民经济的重要基础产业,我国钢铁行业钢铁年产量、消费量名列世界之首,但钢铁行业也是高消耗、高污染的“大户”,节能减排关系到全社会整体节能减排工作的成效。国家发布的钢铁行业“十二五”规划,对钢铁行业品种质量、节能减排、技术创新等做出了规划目标,要降低钢铁企业单位增加值能源消耗,开展烧结工序节能减排系统集成优化。

2012年钢铁行业继续呈现高产能、低需求、低产量、低价位的低景气状况,烧结厂也面临着产量不饱满,固定费用上升的情况。因此节约能源,响应国家行业政策需要,降低消耗、增收节支是企业生存发展的瓶颈。

据有关资料报导,我国风机、水泵、空气压缩机总量约4200万台,装机容量约1.1亿kW。但系统实际运行效率仅为30%~40%,其损耗电能占总发电量的38%以上。由于许多风机、水泵的拖动电机处于恒速运转状态,而生产中的风、水流量要求处于变工况运行;还有许多企业在进行系统设计时,容量选择得较大,系统匹配不合理,往往是“大马拉小车”,造成大量的能源浪费。因此,做好风机、水泵的节能工作,对烧结厂的可持续发展具有重要意义。

2 风机类负载的特性

2.1 风机类负载

生产机械中电动机的负载种类千差万别,按负载分为平方转矩、恒转矩和恒功率等几类机械特性,恒转矩负载如输送机、卷扬机、升

降机、起重机;恒功率负载如金属切削机床;风机、水泵属于平方转矩类负载。

一般在设计、选型过程中,考虑裕量过大。如设计过程中很难计算管网的阻力,并不能考虑长期运行过程中可能发生的各种问题,通常总把系统的最大风量和风压裕量作为选型的依据,同时风机、水泵的系列有限,往往选不到合适的型号就往上靠,大20%~30%的情况比较常见。生产中,对风机常用阀门进行节流调节,增加了管路的阻尼,电机仍旧以额定速度运行,这时能量消耗较大。如果用变频器对风机设备进行调速控制,不需要再用阀门进行节流调节,将阀门开到最大,管路阻尼最小,能耗也大为减少。

2.2 风机类负载流量调节方法

一般情况下,风机的性能特性曲线和管道阻力曲线如图1所示。

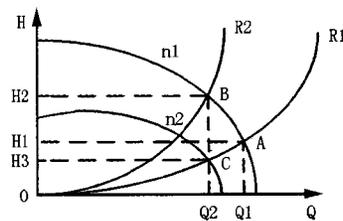


图1 风机、水泵的特性曲线

图1中,风机在工频运行的特性曲线为 n_1 ,额定工作点为A,额定流量 Q_1 ,额定压力 H_1 ,管网理想阻力曲线 R_1 。此时系统的工作点为A,电动机的轴功率 P_1 与面积 $0-Q_1A-A-H_1-0$ 成正比。

如果要将流量减少为 Q_2 ,主要的调节方法有两种:

一是采用节流调节,电动机的转速保持不变,将阀门关小,这时的实际管网阻力曲线为R2,工作点为B,流量Q2,压力H2,电动机轴功率P2与面积O-Q2-B-H2-0成正比。

二是采用变频调速,阀门的开度不变,降低电动机的转速,这时特性曲线n2,理想工作点为C,流量Q2,压力H3,电动机的轴功率P3与面积O-Q2-C-H3-0成正比。

由此可以看出,采用两种流量调节方法,电动机轴功率相差 $\Delta P = P2 - P3$ 即H3-C-B-H2的面积。

3 风机变频改造的节能分析

3.1 电机调速方案

由电机转子异步转速公式:

$$n = n_1 (1 - s) = \frac{60f_1}{p} (1 - s) \quad (1)$$

可知若要改变异步电动机的转速,可以有以下方法:

- 1) 改变电动机的磁极对数 p
- 2) 改变电动机的电源频率 f_1
- 3) 改变电动机的转差率 s

(1) 变极调速

通过改变电动机定子绕组的接线,改变电动机的磁极对数,从而达到调速的目的。

如图2,当T₁、T₂、T₃外接三相交流电源,而T₄、T₅、T₆对外断开时,电动机的定子绕组接法为 Δ ,极对数为2P;当T₄、T₅、T₆外接三相交流电源,而T₁、T₂、T₃连接在一起时,电动机定子绕组的接法为Y,极对数为P。

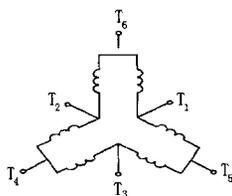


图2 变极调速

这只适合于特定的笼型——异步电动机,不能实现连续调节。

(2) 变频调速

改变电源频率从而使电动机的同步转速变化达到调速的目的。在调速的整个过程中,从

高速到低速可以保持有限的转差率,因而具有高效、调速范围宽(10%~100%)和精度高等性能。

由异步电机的电势公式 $U \propto E = 4.44fN\Phi_m$ 可知,变频调速基本有两种控制方式:在基频以下,保持 Φ_m 不变,磁通恒定,属于“恒转矩调速”性质;而在基频以上,转速升高时,电压U不变,磁通降低,属于“恒功率调速”,如图3所示。

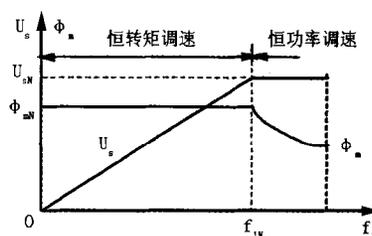


图3 变频调速控制方式

在大部分场合,要求在调速时,电机产生最大转矩不变,需要维持磁通不变,由频率和电压协调控制来实现,称为可变频率可变电压调速(VVVF),简称变频调速。

(3) 转差调速

定子调压调速、转子电路串电阻调速和串级调速。

3.2 变频调速节能原理

根据相似定律,两台完全相同的设备在相同的工况条件下,输送相同的流体,仅仅转速不同时,风机的流量、压力和功率与转速之间的关系。

$$Q_1/Q_2 = n_1/n_2$$

$$H_1/H_2 = (n_1/n_2)^2$$

$$P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3$$

式中 P_1 、 H_1 、 Q_1 为转速 n_1 时的功率、压力、流量; P_2 、 H_2 、 Q_2 为转速 n_2 时的功率、压力、流量。当速度变化时,流量与转速成正比,压力与转速的平方成正比,轴功率与转速的三次方成正比。

当需要80%的额定风量时,通过调节电机的转速至额定转速的80%,即调节频率到40Hz即可,这时所需功率仅为原来的51.2%。

从风机的运行曲线图(如图4)同样可分析采用变频调速后的节能效果。

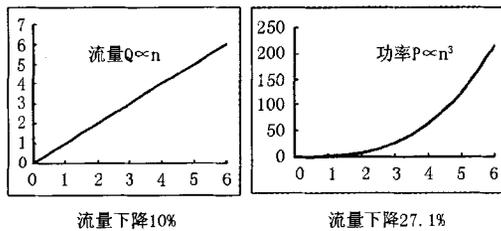


图4 离心式负载的相似理论

考虑减速后效率下降和调速装置的附加损耗,通过实践的统计,风机类通过调速控制可节能 20% ~ 50%。

3.3 变频调速节能对比

风机变频调速时的能耗对比见图 5 和表 1。

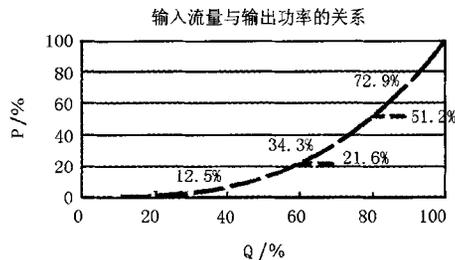


图5 风机变频调速时的能耗比较

表1 变频调速节能对照表

转速 n / %	流量 Q / %	风压 H / %	轴功率 P / %	节电率 / %
100	100	100	100	0
90	90	81	72.9	27.1
80	80	64	51.2	48.8
70	70	49	34.3	65.7
60	60	36	21.6	78.4
50	50	25	12.5	87.5

4 烧结厂风机变频节能实践

4.1 烧结厂现有风机变频调速节能情况

首钢矿业公司烧结厂共有 7 台烧结机,其中有 6 台烧结机为机上冷却,每台烧结机配有 3 200 kW 抽风机一台,2 500 kW 冷风机一台,实际运行电能消耗占老厂的 2/3 左右。2005 年、2006 年先后对 3# 机、4# 抽风机进行了变频器改造,系统启动平稳,在保持烧结机同等机速和料厚的情况下,风机在 1 500 r/min 运行时小时耗电在 2 276 kW·h,电机线电流 133 A,而在 1 220 r/min 运行时,小时耗电在 1 546 kW·h,电机线电流 96 A,小时节电 730 kW·h,节电率

达到 32%。

2008 年烧结厂新建一台 360 m² 烧结机,配套的主抽风机为变频运行,在工频 960 r/min 运行时小时耗电在 4 326 kW·h,电机线电流 428 A,而在 930 r/min 运行时,小时耗电在 3 726 kW·h,电机线电流 381A,小时节电 600 kW·h,节电率达到 13.9%。

4.2 其他风机类负载变频调速节能研究

针对 360 m² 烧结机配套的配料、筛分、环冷三台布袋除尘器进行了变频调速节能研究,采用变频调速调节风量后,将风门开度调节到最大,改变了原来调节风门开度的操作方式,可节约消耗在阀门及管路系统阻力上的大量电能,使轴功率随流量的减小大幅度下降。实施后不仅可降低风机系统的电量消耗,同时也相应提高了 360 m² 烧结机高压系统的功率因数。

4.2.1 三台布袋除尘风机的额定参数

配料、筛分、环冷三台布袋除尘器风机的额定参数列于表 2 ~ 表 4。

表2 配料除尘风机额定参数

电机参数		风机参数	
电机型号	YKK560-6	风机型号	AL-R220DW(IDF)
额定功率	1000kW	额定轴功率	815kW
额定电压	10000V	额定全压	5700Pa
额定电流	70A	额定流量	420000m ³ /h
额定转速	992r/min	额定转速	960r/min
功率因数	0.87		
风量调节方式:蝶阀开度调整			

表3 筛分除尘风机额定参数

电机参数		风机参数	
电机型号	YKK560-6	风机型号	AL-R220DW(IDF)
额定功率	1000kW	额定轴功率	815kW
额定电压	10000V	额定全压	5700Pa
额定电流	70A	额定流量	420000m ³ /h
额定转速	992r/min	额定转速	960r/min
功率因数	0.87		
风量调节方式:蝶阀开度调整			

4.2.2 变频调速与风门控制方式节能比较

目前,配料和筛分除尘风机采用调节进风口风门开度来调节所需风量。表 5、表 6 为两台布袋除尘器的平均运行参数。

根据上述理论,当工频的流量和转速已知,可求出某一变频下特定流量时所需要调整的转速。

表 4 环冷布袋除尘风机额定参数

电机参数		风机参数	
电机型号	YKK800-8	风机型号	AL-R305DW(IDF)
额定功率	1800kW	额定轴功率	1412kW
额定电压	10000V	额定全压	5700Pa
额定电流	134A	额定流量	700000m ³ /h
额定转速	742r/min	额定转速	730r/min
功率因数	0.82		
风量调节方式:液力耦合器调整			

表 5 配料布袋除尘器运行参数

蝶阀开度 /%	流量 /m ³ ·h ⁻¹	电流 /A	有功功率 /kW	无功功率 /kVar	功率因数
40	332352	47	666	519	0.79

设工频下的流量为 Q_1 , 转速为 n_1 , 可求出当变频后需要流量为 Q_2 时的转速: $n_2 = n_1 /$

表 7 配料除尘风机安装变频器前后参数对比及节电量

流量 Q_2 /m ³ ·h ⁻¹	安装变频器前			安装变频器后			每小时节约电量 /kW·h
	风门开度 /%	电机转速 n_1 /r·min ⁻¹	轴功率 P_1 /kW	风门开度 /%	电机转速 n_2 /r·min ⁻¹	轴功率 P_2 /kW	
332352	40	992	666	100	785	330	336

表 8 筛分除尘风机安装变频器前后参数对比及节电量

流量 Q_2 /m ³ ·h ⁻¹	安装变频器前			安装变频器后			每小时节约电量 /kW·h
	风门开度 /%	电机转速 n_1 /r·min ⁻¹	轴功率 P_1 /kW	风门开度 /%	电机转速 n_2 /r·min ⁻¹	轴功率 P_2 /kW	
346490	45	992	760	100	818	426	333

4.2.3 变频调速与液力耦合器调速的节能比较

目前, 环冷除尘风机采用液力耦合器来调节所需风量。表 9 为环冷布袋除尘器平均运行参数:

表 9 环冷布袋除尘器运行参数

风机转速 /r·min ⁻¹	耦合器开度 /%	蝶阀开度 /%	流量 /m ³ ·h ⁻¹	有功功率 /kW	无功功率 /kVar	功率因数
700	82	100	476096	1332	1269	0.72

液力耦合器是通过控制工作腔内工作油液的动量矩变化来传递电动机能量, 电动机通过液力耦合器的输入轴拖动其主动工作轮, 对工作油进行加速, 被加速的工作油再带动液力耦合器的从动工作涡轮, 把能量传递到输出轴和负载。电动机的输出功率, 即为液力耦合器的输入功率。对于恒转矩负载, 液力耦合器的效率正比于输出转速, 因此采用液力耦合器调速时, 主要损耗在转差损耗。

表 6 筛分布袋除尘器运行参数

蝶阀开度 /%	流量 /m ³ ·h ⁻¹	电流 /A	有功功率 /kW	无功功率 /kVar	功率因数
45	346490	52.8	760	544	0.81

(Q_1/Q_2)。

假设工频时每小时需要电量为 P_1 , 可求出变频后每小时需要的电量 $P_2 = P_1 / (n_1/n_2)^3$ 。

则每小时能节约电量为: $\Delta P = P_1 - P_2$ 。

根据以上数据, 可推出配料和筛分两台除尘风机安装变频器后风机达到目前风量下的转速以及节电量, 如表 7 和表 8 所示:

其中: n_1 为电动机的额定转速, $n_1 = 992$ r/min

Q_1 为风机的额定流量, $Q_1 = 420\ 000$ m³/h

当转速下降时, 输出功率成比例下降, 而输入功率保持不变, 损耗功率与转差损耗成正比增加, 转差损耗 $P_h = P_1 \times [(n_1 - n_2) / n_1]$ 。而变频调速是一种改变旋转磁场同步速度的方法, 是不耗能的高效调速方式, 因此改用变频调速的方式会有非常好的节能效果, 节省的能量可按照损耗功率估算。

每小时节约电能为:

$$P_1 \times [(n_1 - n_2) / n_1] = 1332 \times [(742 - 700) / 742] = 75 \text{ kW} \cdot \text{h}。$$

4.2.4 变频调速对系统无功功率因数的影响

功率因数是电机本身的特性, 改变不了。加装变频器后, 虽然电机本身的功率因数未提高, 但变频器到系统之间的功率因数提高了, 形成了变频器一次电流小于二次电流的情况。

通用电压型变频器, 中间直流滤波环节采用电容器, 电机所需的无功功率直接从这些电

容获得,变频器实际就充当了无功功率补偿的角色。功率因数提高的原因是变频器内部滤波电容产生无功功率供给了电动机消耗。随着功率因数提高,变频器的实际输入电流减少,从而减少了电网至变频器之间的线路铜耗,因此可进一步节约上游设备的运行费用。

配料和筛分除尘风机从 360 m² 高压配电室 II 段电源引入,加装变频器前后参数对比(假设加装变频器后除尘风机功率因数达到 0.97),见表 10。

表 10 II 段设备加装变频器前后参数对比

设备名称	安装变频器前			安装变频器后		
	有功功率 /kW·h	无功功率 /kVar	功率因数	有功功率 /kW·h	无功功率 /kVar	功率因数
2# 电源进线	9960	4616	0.91	9290	3741	0.928
配料	666	519	0.79	330	82	0.97
筛分	760	544	0.81	426	106	0.97

环冷布袋除尘风机从 360 m² 高压配电室 I 段电源引入,加装变频器前后参数对比(假设加装变频器后除尘风机功率因数达到 0.97),见表 11。

表 11 I 段设备加装变频器前后参数对比

设备名称	安装变频器前			安装变频器后		
	有功功率 /kW·h	无功功率 /kVar	功率因数	有功功率 /kW·h	无功功率 /kVar	功率因数
1# 电源进线	9400	4524	0.9	9325	3562	0.934
环冷布袋除尘器	1332	1278	0.72	1257	316	0.97

4.2.5 变频调速可产生的经济效益

综合以上情况,风机采用变频控制后,将降低设备有功损耗。配料除尘风机加装变频器后,每小时节约电能为 336 kW·h;筛分配料除尘风机加装变频器后,每小时节约电能为 333 kW·h;环冷布袋除尘风机加装变频器后,每小时节约电能为 75 kW·h。由于提高功率因数降低线路损耗(无功当量按 0.04 选取)小时节电量 73.5 kW·h。因此,安装变频器后,平均每小时节省电量达 817.5 kW·h,若电费

按 0.5 元/kW·h 计算则每小时可节省电费在 408.75 元。按连续生产,每天按 24 小时生产,每年按 365 天生产,作业率按 90% 计算则一年节省电费应为:

$408.75 \times 24 \times 365 \times 90\% \approx 322.26$ (万元)。

除尘风机安装变频器后,不但降低线路有功损耗,节约电能,同时将提高 360 m² 高压配电室 I 段、II 段进线功率因数。加装变频器后,II 段进线功率因数将提高到 0.928, I 段电源进线功率因数将提高到 0.934,避免了因提高功率因数需要加装无功补偿装置的投资。

变频改造后,可改善设备润滑条件,降低轴承温度,限制起动电流,减少启动时的峰值功率损耗,消除电动机起、停对机械的冲击,延长风机叶轮的使用寿命。

5 结 论

国家发改委为贯彻落实《中华人民共和国节约能源法》、《国务院关于加强节能工作的决定》和《国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知》,加快重点节能技术的推广普及,引导用能单位采用先进的节能新工艺、新技术和新设备,提高能源利用效率,组织编制了《国家重点节能技术推广目录》,已经公告了四批,其中每批均有变频改造节能的技术。因此,通过对首钢矿业公司烧结厂风机变频调速节能技术的研究和应用,验证了风机类负载变频改造的有效性,具有良好的经济效益。同时,该技术符合国家关于节能减排的要求和产业政策,对烧结厂的可持续发展具有重要意义。

参考文献

- [1] 黄兆奎. 水泵、风机与站房 [M]. 北京: 中国工业出版社, 2000 年
- [2] 高相铭. 变频调速节能技术及其在生产中的应用 [J]. 国内外机电一体化技术, 2005 年