

# 高压电动机应用变频节电研究

访冶金工业规划研究院教授级高级工程师何培育

■ 胡颖/本刊记者



何培育 教授级高级工程师  
冶金工业规划研究院

在许多大型工业企业中，高压电动机驱动的风机、水泵类负载应用较普遍，在用电容量上占比也较大，因此采用高压变频调速节电还有较广泛的推广空间。

面对我国能源资源短缺、电力供应紧张、交通运输不足以及环境污染严重的压力和困扰，重视节电工作，提高电能的有效利用，加强电力需求侧管理，不仅是有效应对当前电力供需紧张的应急措施，更是挖掘电力使用二次潜在资源的具体实践。节电工作是解决电力新增需求最洁净、最经济的合理选择，也是能源开发与节约并举的重要举措，同时是使生产企业、国家和社会获得多赢的最佳途径。高压电动机虽然数量少，但由于其单机容量大，一般都在数百至数千千瓦，故节能潜力很大。为了对高压电动机变频节电的应用有更多的了解，本刊记者特约采访了冶金工业规划研究院的教授级高级工程师何培育。

**电气应用：**您好！非常感谢您百忙之中接受本刊的采访！据统计，每年高压电动机都处于浪费运行的状态，因此具有很大的节能空间。那么针对风机、水泵类电动机变频调速的节能潜力具体表现在哪里？

**何培育：**在工业生产和产品加工制造业中，风机、水泵类设备应用范围广泛，其电能消耗以及阀门、挡板相关设备的节流损失以及维护、维修费用占到生产成本的7%~25%，是一笔不小的生产费用开支。以前在工业生产中最常用的控制手段以调节风门、挡板开度的大小来调整受控对象。因此不管生产需求多少，风机都要全速运转，而运行工况的变化则使能量以风门、挡板的节流损失消耗掉了。在生产过程中，不仅控制准确度受到了限制，而且还造成了大量的能源浪费和设备损耗。从而导致生产成本增加，设备使用寿命缩短。水泵类设备在生产领域同样有着广阔的应用空间，不同的生产需求往往采用调整阀、回流阀和截止阀等节流设备进行流量、压力及水位等信号的控制，造成了大量的能源浪费以及管路、阀门等密封性能的破坏，同时还加速了泵腔、阀体的磨损和汽蚀，严重时损坏设备、影响生产。

风机、水泵类等设备采用变频调速技术实现节能运行是我国节能的一项重点推广技术，受到了国家政府的普遍重视，《中华人民共和国节约能源法》第39条规定就将其列为通用技术并加以推广。实践证明，变频器用于风机、水泵类设备驱动控制场合取得了显著的节电效果，是一种理想的调速控制方式，既提高了设备效率，又满足了生产工艺要求，并且因此大大减少了设备维护、维修费用，同时还降低了停产周期。直接和间接经济效益十分明显，一次性投资通常可以在1~2年的生产节电中全部收回。

**电气应用：**请您介绍一下风机、水泵类电动机变频调速节电的工作原理。

何培育：风机、水泵的流量调节有共同之处，风机（或水泵）在运行中有3个互相关联的重要参数：风量（水量）、风压（水压）及轴功率。这3个参数都与电动机的转速有关：风量（水量）与转速成正比；风压（水压）与转速的二次方成正比；轴功率与转速的立方成正比。当转速下降到80%时，风量（水量）也下降到80%，而轴功率将下降到51%，即节约了电动机功率的49%。从流体力学的原理得知，使用感应电动机驱动的风机负载，轴功率P与风量Q、扬程H的关系为

$$P \propto Q \times H$$
$$Q_2 = Q_1 \times \frac{n_2}{n_1} \tag{1}$$

$$H_2 = H_1 \times \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \tag{2}$$

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \tag{3}$$

由此可见，风量Q和电动机的转速n成正比关系，而所需的轴功率P与转速n的立方也成正比关系。当需要80%的额定风量时，通过调节电动机的转速至额定转速的80%，调节频率到40 Hz即可，这时所需功率将仅为原来的51.2%。

风机运行曲线如图1所示，调速后的节能效果分析：当所需风量从Q<sub>1</sub>减小到Q<sub>2</sub>时，如果采用调节阀门的办法，管网阻力将会增加，管网特性曲线将上移，系统的运行工况点从A点变到新的运行工况点B点运行，所需轴功率P<sub>2</sub>与面积H<sub>2</sub> Q<sub>2</sub>成正比；如果采用调速控制方式，风机转速由n<sub>1</sub>下降到n<sub>2</sub>，其管网特性并不发生改变，但风机的特性曲线将下移，因此其运行工况点由A点移至C点。此时所需轴功率P<sub>3</sub>与面积H<sub>B</sub> Q<sub>2</sub>成正比。从理论上分析，所节约的轴功率Delt(P)与（H<sub>2</sub> - H<sub>B</sub>）（C - B）的面

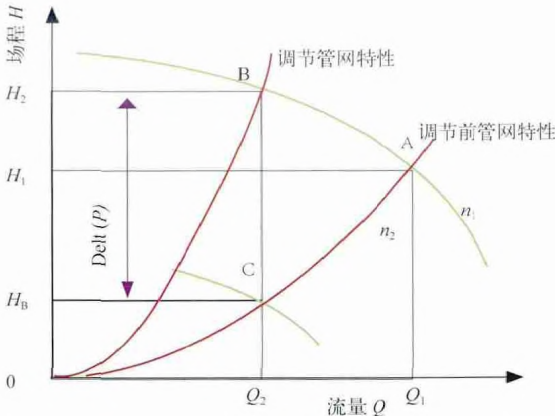


图1 风机运行曲线

积成正比。根据国家经贸委资源司编著的《风机水泵节能改造指南》提供的有关数据图表，风量与功率的关系如下表所示。

表 风量与功率的关系

| 风量  | 轴功率/<br>kW | 入口挡板           |            | 变频器         |            |
|-----|------------|----------------|------------|-------------|------------|
|     |            | 电动机输入功率/<br>kW | 总损失/<br>kW | 输入功率/<br>kW | 总损失/<br>kW |
| 100 | 100        | 106            | 6          | 106         | 6          |
| 70  | 34.3       | 68             | 33.7       | 38          | 3.7        |
| 60  | 21.6       | 64             | 42.4       | 25          | 3.4        |
| 30  | 2.7        | 50             | 47.3       | 5           | 2.3        |

通过实践统计，风机通过调速控制可节能20%~35%，有些风机负载节能比例可达50%以上。对于风机、水泵类电动机采用变频调速后的节能效果，通常采用以下两种方式进行计算：

1) 根据已知风机、水泵类在不同控制方式下的流量－负载关系曲线和现场运行的负载变化情况进行计算（需对水泵进行阀门节流控制并记录电动机调速控制情况下的实测数据）。

2) 根据风机、水泵类二次方转矩负载关系式计算

$$P/P_0 = (n/n_0)^3$$

式中，P<sub>0</sub>为额定功率；n<sub>0</sub>为额定转速；P为转速n时的功率。

**电气应用：**针对冶金行业，转炉炼钢在实际炼钢生产中占据着主导地位，转炉的节能减排就显得尤为重要，越来越多的钢铁企业也以此为目标进行节能技术的改造。请您介绍一下转炉除尘风机有哪些工艺要求以及目前的现状如何。

**何培育：**根据转炉除尘风机的实际运行工况，通过

变频调速调节风机性能,从而实现节能降耗。转炉冶炼吹氧伴随除尘风机工作的工艺周期如图2所示。

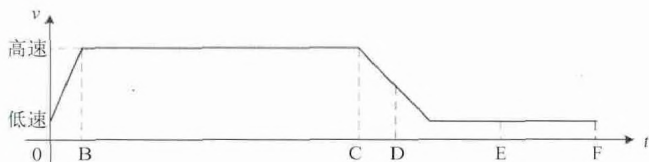


图2 除尘风机工作的工艺周期

- 1) O~B为冶炼前期准备、除尘风机升速时间,可以短时调节。
- 2) B~C为冶炼吹氧时间,除尘风机开始高速运行状态。
- 3) C~D为倒炉测温取样时间,除尘风机开始减速。
- 4) D~E为出钢时间,除尘风机维持低速运行。
- 5) E~F为溅渣护炉时间,除尘风机维持低速运行。

冶金转炉冶炼周期时间约为30 min, B~C吹氧冶炼时间为13 min, 此时冶炼环境较差、粉尘多, 转炉用高压除尘风机需大风量全速运行除尘, 其余17 min为非冶炼时间, 生产准备和冶炼结束出钢时间粉尘小, 可维持低风量运行节约电能。

现状是两台转炉配有3台风机, 其中2台正常工作, 1台备用。风机的运行周期为两个月, 可循环使用, 电动机额定功率1 400 kW。目前在转炉风机和驱动电动机之间设有液力耦合器, 但因频繁调节液力耦合器使自身振动较大, 亦破坏风机的转子平衡, 因此运行不稳定。目前液力耦合器仅起到弹性联轴器的作用, 未能用到调速功能, 因此不进行吹氧冶炼阶段的风机仍处于高速运转, 从而造成了电能的极大浪费。

**电气应用:** 采用变频调节方式对除尘系统进行改造是节电的最佳选择。请介绍一下系统改造方面的情况。

**何培育:** 在节省项目初期变频器投资的原则下, 满足结构合理、保证安全可靠的运行要求, 利用原主回路系统进行方案改造设计, 选择2台变频器任意转换控制3台风机并互为备用; 系统改造后的电气主回路如图3所示。

#### (1) 主回路系统

新增加的变频器高压电源仍引自原有6 kV系统, 为此需在原有电气室6 kV高压柜旁新上2台6 kV高压开关柜, 内装真空断路器。为了保障运行的可靠性和安全性, 作为变频系统的现有工频系统仍然保留。为实现变频与工频状态的切换, 设计增加9个隔离开关和3个隔离开关柜, 每个隔离开关柜内各装3个隔离开关(11QS、12QS、13QS; 21QS、22QS、23QS; 31QS、32QS、

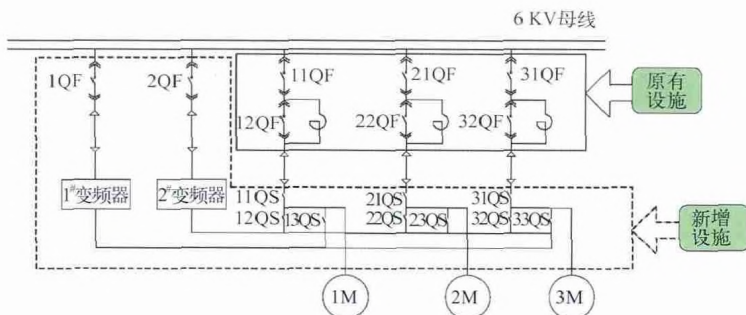


图3 改造后的电气主回路

33QS)。新上2台变频器可以对3台除尘风机电动机中任意一台进行起动或调速。

#### (2) 联锁操作系统

2台变频器对应3台除尘风机电动机, 电气接线系统较为复杂, 为了避免误操作, 隔离开关间需加装机械联锁装置, 并且通过电磁锁使之与相关的断路器之间具备电气联锁要求。开关之间互相联锁的逻辑控制由PLC完成。

1M、2M风机变频运行允许操作条件:

- 1) 1QF、2QF、11QF、21QF和31QF全部OFF。
- 2) 11QS OFF, 12QS OFF, 13QS ON, 21QS OFF, 22QS ON, 23QS OFF, 32QS OFF, 33QS OFF, 1 M、2 M风机变频运行条件满足, 允许闭合1QF、2QF。当2 M或3 M风机要运行时, 也需满足隔离开关操作条件, 满足允许变频运行条件后才能起动变频运行。

11QF、21QF、31QF、1QF和2QF自动开关中有一个(或以上)ON时, 9个隔离开关全部锁住不允许操作。

**电气应用:** 通过转炉除尘风机改用变频调节的节电分析, 请您介绍一下改造后获得的综合效益情况。

**何培育:** 采用变频器以后年节电 $720 \times 104 \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 直接节电经济效益432万元, 电动机的起动方式为软起动, 避免了大功率电动机起动时的冲击转矩对电动机造成损坏, 减少了大电流对电动机绝缘结构的损害, 减缓了绝缘结构老化的速度, 大大延长了电动机的使用寿命和检修期, 减轻了检修维护人员的维护工作量, 同时减少了电动机的检修费用。在低速期, 大大减轻了粉尘对管道和挡板的冲蚀, 延长了管道和挡板的检修周期, 同时减轻了检修维护人员的维护工作量, 减少了检修费用。

目前, 在工业控制上采用变频器对交流电动机进行变速驱动已经得到了普遍应用, 特别是对风机、水泵类取代阀门或挡板调节流量是最佳的节能控制方案。在许多大型工业企业中, 高压电动机驱动的风机、水泵类负载应用较普遍, 在用电容量上占比也较大, 因此采用高压变频调速节电还有较广泛的推广空间。EA