

文章编号: 1004-7271(2001)01-0077-04

·研究简报·

## 关于变频调速技术用于冷库节能的探讨

### Discussion about the speed regulation by frequency conversion technology for cold store energy saving

王 宇, 管伟康

(上海水产大学食品学院, 上海 200090)

WANG Yu, GUAN Wei-kang

(College of Food Science, SFU, Shanghai 200090, China)

关键词: 冷库; 变频调速; 节能

Key words: cold store; speed regulation by frequency conversion; energy saving

中图分类号: TB657.1 文献标识码: A

70 年代以来, 我国的冷库业发展很快, 冷库的容量和规模都急剧增长, 目前全国冷库的总容量已达 500 多万吨。据有关统计, 我国冷库的动力费约为整个冷库仓储成本的 25% ~ 30% 左右, 在一般食品工厂的生产中, 冷库动力耗电量约占全厂总耗电量的 50% ~ 60%。因此, 如何降低冷库的电耗、节约能源是一个十分的重要课题。1998 年 1 月 1 日我国发布的《节约能源法》第四章第三十九条第(二)款明文规定“逐步实现电动机, 风机, 泵类设备和系统的经济运行, 发展电机调速节电和电力电子技术…提高电能利用率。”近几年的节能实践表明, 变频调速是理想的高效调速节电技术之一, 它已成为当代节能的重要手段和重大措施<sup>[1]</sup>。本文将结合冷库的特点及近年来交流变频技术的发展, 探讨变频技术在冷库节能运用。

## 1 交流变频技术

### 1.1 交流变频技术的发展

20 世纪 70 年代以来, 大规模集成电路和计算机控制技术的发展, 以及异步电动机控制理论的发展运用, 使得交流电力拖动系统逐步具备了宽的调速范围、高的稳定精度、快的动态响应以及在四象限作可逆运行等良好技术性能, 在调速性能方面可以与直流电力拖动媲美。在交流调速技术中, 变频调速技术具有绝对优势, 并且它的调速性能与可靠性不断完善, 价格不断降低, 特别是变频技术节电效果明显, 而且易于实现自动化, 现在已成为现代交流调速的基础与主力<sup>[2]</sup>。

### 1.2 交流变频调速的原理

泵、风机以及各种制冷压缩机所匹配的电动机一般均为交流异步感应式电动机, 其转速表达式为

$$n = (60 f_1 / p)(1 - s) \quad (1)$$

式中,  $f_1$  ——电动机电源频率(Hz);

收稿日期: 2000-08-14

第一作者: 王 宇(1973-), 男, 湖北枝江市人, 本校 1998 级硕士研究生, 从事制冷装置优化与仿真方面的研究。

- s——电动机转差率；
- p——电动机的极对数(对)；
- n——电动机的转速(r/min)。

由(1)式可知,当转差率 s 变化不大时,转速 n 正比于电源频率 f<sub>1</sub>,即当调节供电频率时,便可调节异步电动机的转速。这即是变频的理论基础。

一般认为,在任何类型负载下变频调速时,若能保持电动机的过载能力不变,则电动机的运行性能最为理想。而电动机磁通的改变必然会影响到电动机的负载能力,所以,变频调速时,往往希望磁通保持不变,由异步电动机定子电路电势方程式可见,在忽略定子阻抗的情况下,得

$$U_x \approx E_x = 4.44f_1W_1K_{w1}\Phi \tag{2}$$

- 式中: U<sub>x</sub>——电网电压
- E<sub>x</sub>——感应电压
- f<sub>1</sub>——电源频率
- W<sub>1</sub>——定子绕组每极串联匝数
- Φ——每极磁通
- K<sub>w1</sub>——定子绕组系数

由于 4.44W<sub>1</sub>K<sub>w1</sub>是常数,因此欲使 Φ 保持不变,则在 f<sub>1</sub> 变化时,必须维持 U<sub>x</sub>/f<sub>1</sub> 为定值,即 U<sub>x</sub> 必须与成 f<sub>1</sub> 比例地变化,为了满足上述要求,就需要一套变频装置——变频器。

变频器就是将恒定频率的交流电转变为不同频率的交流电的装置,主要有整流模块、控制模块、逆变模块、电压检测装置、驱动模块等组成。其基本结构如图 1 所示。

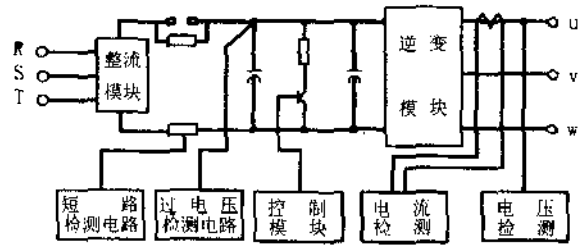


图 1 变频器基本结构示意图

Fig.1 The basic structure diagram of inverter

## 2 冷库的变频节能机会

根据国内统计<sup>[3]</sup>,对于一般的冷库(冷间采用风冷式,又采用蒸发式冷凝器),其制冷系统总的能耗分布如表 1 所示。

由表 1 可见,在制冷装置中,辅助设备(主要指风机和水泵)和制冷压缩机的耗电量占总耗电量的 90%以上。因此,水泵、风机和制冷压缩机的节能无疑是制冷装置节能中最为重要的一环。

表 1 制冷系统动力消耗分布表

Tab.1 The distribution of energy consuming in refrigeration system

冷却水泵	冷库内风机	制冷剂泵	制冷压缩机	其它
10%	25%	1%~2%	60%以上	1%~2%

### 2.1 冷却水泵及冷库内风机的变频调速节能。

由于风机和水泵的电力及运行特性极其类似,故此处以风机为例来讨论。

据 1982 年机械工业部的调查,风机用电约占全国发电量的 10%。对于制冷装置,据国内统计,一般冷库制冷装置中风机的耗电量约占总耗电量的 25%左右。而且风机在冷库中运用存在着大多在低温的环境下运行的特殊性。例如,在冷却物冷藏间和冷却间,库温一般为 0~5℃;在冻结物冷藏间和冻结间,库温一般为 -18~-23℃甚至更低。在这种环境下,风机本身消耗的功率,包括循环空气的动能都变成了热量,成为制冷装置的热负荷。当风机效率低而造成过多耗能时,这部分多耗的能量又增加了制冷装置的热负荷。因此,制冷装置中冷库低温环境下运行的风机节能,比一般环境下运行的风机节能,具有更大的经济效益<sup>[3]</sup>。

已知,风机的转矩 T 于转速 n 的平方成正比,即

$$T = 9550(P_N/n_N)(n/n_N)^2 = T_N(n/n_N)^2;$$

- n<sub>N</sub>——额定转速(r/min);
- P<sub>N</sub>——额定转速时的轴功率(kW);

$T_N$ ——额定转速时的转矩(N·M)。

当风机的转速由  $n_N$  变化到  $n$  时,风量  $Q$ ,风压  $H$ ,功率  $P$  的变化与转速  $n$  的关系为

$$Q = Q_N(n/n_N), H = H_N(n/n_N)^2, P = P_N(n/n_N)^3 \quad (3)$$

由式(3)可知,风量与转速成正比,风压与转速的平方成正比,轴功率与转速的立方成正比。如果需要风量下降 10%,可以采用调速的方法使转速下降 10%,则风机的轴功率将下降到原值的 72.9%;当风机风量减少至 50%时,风机的轴功率下降至原值的 12.5%。由此可知,当系统设计流量与实际流量相差很大时,其节电效果是相当显著的。而在通常情况下,由于季节和昼夜气温的变化和储藏量及开机数目的不同,实际的换热量远小于设计值,电机容量远大于设计值,因此风机、水泵采用调速控制流量是非常有意义的。图 2 是几种调节方式的比较。由图可见以改变风机转速节能效果最好<sup>[4]</sup>。

传统的电机变速方式或者由于无法实现无级变速,或者由于构造及控制复杂等种种原因在使用上受到限制,变频技术因为具有优良的调节特性和经济性,采用变频方法调速成为一种最佳节能方案。目前变频调速已广泛地运用于水泵、风机、家用空调设备上。市场上也有了风机、水泵配套专用的变频调速器产品,此类变频器比通用变频器件的容量较小,价位较低,选用此类变频器可以减少投资。此类变频器已按风机与水泵的特性设定好 U/F 曲线,节电效果显著<sup>[5]</sup>。

## 2.2 制冷压缩机的变频调速节能

鉴于冷藏企业耗电量的 80%是制冷系统,而制冷系统中压缩机的耗电量约占 60%左右,故压缩机所匹配电动机的节能意义更为重大。

冷库设计时,一般根据全年出现的最大机械负荷工况确定配机,以满足热负荷高峰期要求。然而在实际运行中,由于存在着食品冷加工和其它的变化因素,往往设计所选配的压缩机满负荷运行时间较短,低负荷运行时间长,以至于压缩机大部分时间处于小于设计负荷工况下运行<sup>[6]</sup>。根据商业部 80 年代对我国中南、西南地区冷库的调查,普遍存在着电动机负载较低的情况。实测数据表明,大部分工厂的电动机负载在 40%~50%,有的甚至低于 40%,这表明制冷压缩机的节能空间很大<sup>[3]</sup>。

制冷压缩机种类很多,工程上常用的主要是活塞式、螺杆式压缩机。但在目前,无论是活塞式还是螺杆式,它们的制冷能量调节仍采用传统方式,制冷量减小了,但能耗降低得很少,随着系统负荷的减小,能效比(Energy Efficiency Ratio, EER)会大幅度下降,能量利用率很低,因此有必要探求一种最佳的制冷量调节方法,使机组制冷量与系统负荷协调地变化,在各种条件下都有较大的能效比<sup>[7]</sup>。由前述交流变频理论和异步电机控制理论的分析表明,不论是活塞式还是螺杆式压缩机,改变转速的能量调节方式具有最佳的调节特性。早期实践中的问题主要是如何实现转速的改变,如在压缩机和电机之间采用液力联轴器或者磁性联轴器来改变转速,但调节的经济性很低。八、九十年代以来计算机技术和微电子技术的飞速发展,使变频技术获得了突破性进展并得到了广泛运用<sup>[8]</sup>。在我国压缩机制冷装置中,所配用的电动机基本上都是工作于 380V 的三相异步感应电动机,容量范围多在 180kW 以下,目前国产低压变频器已做到了 200kW~280kW,西门子低压变频器已做到 200kW~1500kW<sup>[1]</sup>。而且,从运用的角度来看,国内的水平与发达国家差距不大。因此,凡是由电动机直接驱动的制冷压缩机,在能量调节上,均已具备采用变频调速这一高新技术的条件<sup>[9]</sup>。

制冷压缩机采用交流变频式能量调节的主要优点<sup>[2,3]</sup>如下:①节能、能效比高。这是变频式调节最

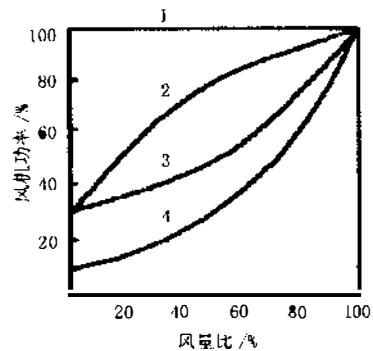


图 2 风量调节方法比较

Fig. 2 Comparison of methods of adjusting wind quantity

1. 风机旁通 2. 送风阀门 3. 入口导叶片 4. 风机转速

突出的优点。在部分负荷运行时,由于冷凝器、蒸发器的热流量减小,制冷系数明显提高。②压缩机寿命长。变频调节时,压缩机大部分时间都在低于额定转速下连续运行,避免了频繁的启动停机,因而磨损少,寿命长、可靠性高。③无级调速、调节范围宽、控制精度高。目前变频调速的变频范围已达15~180Hz,压缩机的调速范围可达20:1,可以满足各种不同情况的调节需要。④调速时平滑性好,效率高。低速时,特性静差率高,相对稳定性好。●启动电流小。采用变频调节时,可以进行软件控制的“软启动”,因而启动电流小,对电网的干扰小。⑥对现有制冷装置进行技术改造时,采用变频调速方式,可以利用原来的笼型异步电动机,对减少初投资特别有利。⑦变频器体积小,便于安装、调试、维修简便,易于实现过程自动化。

### 3 讨论

综上所述,变频技术具有许多明显的优点,交流变频调速的方法是异步电机最有前途的调速方法,而冷库中的耗能装置多为交流异步电机驱动,因此,如果将变频技术应用于冷库将会产生相当显著的节能效果,极大的提高经济效益和社会效益。目前,制约变频技术在冷库中应用的主要因素是初投资费用较大。随着电力电子技术的飞速发展,国内产品技术水平不断提高,性能可靠、匹配完善、价格便宜的变频器会不断出现,这一新技术在制冷行业的应用前景是不容置疑的。当然研制应用这一新技术还需解决其可靠性、价格指标、运行参数优化、控制水平、系统配置等一系列问题。

#### 参考文献:

- [1] 吕志斗,吕丹.开发运用大功率变频调速技术是贯彻《节能法》的重大举措[J].变频器世界,1999,(12):15-20.
- [2] 于京燕.交流变频调速技术的优势与运用[J].北京节能,1999,(5):42-43.
- [3] 张建一.制冷装置节能技术[M].北京:机械工业出版社,1999,(4):69-168.
- [4] Robert A. Barr. 18 Ways to improve Chiller Efficiency [J]. Engineed Systems, 1986, 16-18.
- [5] 甘焯.怎样应用变频调速器节能[J].电气时代,1999,(11):20-21.
- [6] 曹文胜.冷库运行的节能[J].冷藏技术,1999,(3):46-47.
- [7] 李红斌,周瑞秋.螺杆制冷压缩机制冷量调节与节能[J].流体机械,1998,(8):48-51.
- [8] James N Nash. Direct Torque Control, Induction Motor Vector Control without an Encoder[C]. IEEE, Trans Ind Applicat, 1997; 33(2): 45-67.
- [9] 王耀德.变频器及相关电机的技术发展[J].电气传动自动化,1999,(2):3-7.