

# 变频空调器及其 能效标准

李红旗 成建宏 主编



 中国标准出版社

内 容 简 介

变频空调器及其能效标准

# 变频空调器及其能效标准

国家标准(GB) 变频空调器

本标准规定了变频空调器能效等级的划分方法及能效指标的测试方法。

●

● 李红旗 成建宏 主编

中国标准出版社

ISBN 7-5066-5031-1

中国标准出版社

北京 电话: 63882333

## 内 容 简 介

本书全面介绍了变频调速原理、变频控制原理、变频空调器的基本知识,相关标准GB 21455—2008《转速可控型房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》对变频空调器产品的规定和影响,变频空调器产品的现状及发展以及变频空调器产品使用和维修的综合性知识。另外,还面向变频空调器的推广和应用,编入了变频技术和变频空调器产品的基础知识问答。

本书可供制冷、空调领域的专业技术人员在产品研发时参考,也可作为高等院校建筑环境与工程专业及热能与动力工程专业本科生、研究生的教材和参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

变频空调器及其能效标准/李红旗,成建宏主编. —北京:中国标准出版社,2008

ISBN 978-7-5066-5031-1

I. 变… II. ①李…②成… III. 变频调速-空气调节器-节能-性能指标-标准-中国 IV. TM925.12-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 133583 号

中国标准出版社出版发行

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

\*

开本 787×1092 1/16 印张 8 字数 182 千字

2008 年 9 月第一版 2008 年 9 月第一次印刷

\*

定价 22.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

# 前 言

家用空调器行业是我国改革开放以来发展最快、对人民生活影响最大的行业之一。多年来空调器及其相关技术的研究不断提高,产品日新月异。国家和社会对制冷空调产品的要求不断提高,其应用领域也在不断扩展,出现了许许多多新的前沿课题和研究成果。新能源的使用、环境保护、节约能源、全球温升等关乎国计民生的新形势无不对空调行业提出新的研究方向和发展要求。

进入 21 世纪以来,我国家用空调器产品的生产规模、产销量突飞猛进,无论是出口量还是内销量每时每刻都在刷新着历史纪录。毫无疑问,中国已成为世界上空调器产品的制造大国。但值得关注的是,中国尚不是世界上的空调器技术大国,在各方面与发达国家都有很大的差距。特别是产品能效方面长期以来得不到应有的提高和发展。

而具有较强节能优势和使用优势的变频空调器在我国出现尽管已有十年的时间,但长期得不到有效的发展。产品质量、技术水平也参差不齐,市场、消费者乃至行业对其均缺乏足够的认识。为此,我们集家用空调器行业的力量编写了本书,希望能够对我国变频空调器产品和技术的发展起到一定的促进作用。

本书由中国标准化研究院组织、主持,参加本书编写的单位有:中国标准化研究院、北京工业大学、上海海立集团、珠海格力电器股份有限公司、青岛海尔集团、广东美的集团。其中第 1 章由李红旗编写,第 2 章由王蕴华编写,第 3 章由李红旗、周易(3.4、3.6)编写,第 4 章由成建宏编写,第 5 章由高保华编写,第 6 章由晏飞(6.1、6.2)、刘怀灿(6.3、6.4,)编写。全书的策划、统稿及文字编排工作由李红旗负责。

由于水平有限,书中错误和不足之处在所难免,敬请读者指正。

编 著 者

二〇〇八年八月于北京

# 目 录

## 第 1 章 变频空调器

- 1.1 变频房间空调国内市场状况 / 1
- 1.2 变频空调器的结构与主要部件 / 3
- 1.3 变频空调器的技术与影响因素 / 6
- 1.4 变频空调器的特点与节能优势分析 / 10

## 第 2 章 变频技术基础

- 2.1 概述 / 17
- 2.2 变频技术的发展 / 17
- 2.3 变频器的组成 / 18
- 2.4 脉宽调制技术 / 20
- 2.5 变频控制器的控制功能分析 / 24
- 2.6 直流调速 / 24
- 2.7 变频器的选择 / 26
- 2.8 变频技术在空调系统中的应用 / 28

## 第 3 章 制冷压缩机

- 3.1 概述 / 32
- 3.2 制冷压缩机的分类及结构 / 32
- 3.3 制冷压缩机的工作原理 / 40
- 3.4 压缩机的制冷量调节 / 47
- 3.5 压缩机设计中的节能 / 53
- 3.6 变频电机 / 59

## 第4章 能效标准与能效标识

4.1	能效标准体系基础	/ 64
4.2	世界能效标准的发展进程	/ 64
4.3	中国能效标准	/ 69
4.4	能效标识	/ 76

## 第5章 变频空调器的能效评价与相关标准

5.1	相关标准中对变频空调器的测试规定	/ 86
5.2	变频空调器季节能效比的计算	/ 90
5.3	标准发展对变频空调器的影响	/ 95

## 第6章 变频空调器常用知识

6.1	基本概念	/ 100
6.2	评价空调器性能的相关指标及要求	/ 101
6.3	空调器的选购与使用	/ 106
6.4	变频空调器知识问答	/ 109

附录	GB 21455—2008《转速可控型房间空气调节器能效限定值及能源效率等级》	/ 113
----	---	-------

参考文献		/ 119
------	--	-------



# 第 1 章

## 变频空调器

### 1.1 变频房间空调国内市场状况

#### 1.1.1 概述

中国的家用空调行业在经历了二十多年的迅速发展后,从无到有,从小到大,技术水平不断提高。空调器也由原来的奢侈品发展到今天的生活日常用品,产品价格、品种、质量等各方面都发生了重大变化,市场也日趋饱和。但巨大的市场潜力和高额利润仍吸引着国内外各种各样的空调器制造厂商纷纷加入中国市场,竞争异常激烈。且随着空调器配套行业的迅速发展,空调器对制造设备要求不高的特点使纯组装的制造模式成为可能,空调器的生产已不要求投资规模大、技术力量强,从而涌现出一大批以组装为主的中小型空调企业。

中国最早生产家用空调器是从 20 世纪 70 年代开始,主要以简单的窗式空调器为主。因广阔的市场及可观的利润,到 20 世纪 80 年代末 90 年代初,生产空调器的企业迅速增加,据不完全统计多达 200 多家,一度出现市场的无序竞争和混乱。20 世纪 90 年代中期,中国空调行业出现了重大变化,随着国家宏观调控和市场的优胜劣汰,许多新老品牌纷纷落败出局或陷入困境,但一些优秀品牌脱颖而出,占据了我国空调器市场的大半江山。同时出现了黑色家电向白色家电的相互渗透,一些电视机企业相继加入空调行业,对中国空调事业的发展起着积极的作用。而自 20 世纪 80 年代开始,国外厂商对中国空调市场虎视眈眈,通过在中国市场进行系统的产品销售以及合作、合资、独资等形式纷纷在国内设厂。这些企业以其雄厚的经济实力、先进的技术、完善的管理、优良的产品、规范的营销策略、对国内人才较强的吸引力以及经历国际风波的丰富经验,长足进取,瓜分了中国空调市场很可观的份额,使国内品牌面临严重的威胁和挑战。20 世纪末,家用空调行业又出现了新一轮的投资建厂热,出现了许多大大小小的新的空调器厂,生产企业的数量急剧增加。可以预测在近几年仍将是品牌混战的局面,空调业将经历整合、相持、稳定三个阶段。一些不具备竞争力的品牌将首先被淘汰出局,能够生存的企业在经过谁也无法将具备相当实力的其他品牌挤出市场的相持对峙阶段后,必将进入一个理性的共同发展的稳定时期。

20 世纪 80 年代空调器生产所用的材料、主要部件等几乎都依赖进口,并且在国内生产的空调器数量也非常有限,大多数还是从国外进口整机。所以当时空调价格昂贵,以一匹分体空调为例,1985 年进口价约 9 000 元,1990 年约 7 000 元,1999 年约 3 800 元,2003 年约 2 200 元。近几年来伴随着空调器配套产品的迅猛发展,空调器用的绝大多数零部件已全部国产化且价格迅速下跌,使空调器的制造成本逐年下降,为激烈的市场竞争造成的价格战带来空间,从而导致空调器整机价格逐年下降。完善的配套行业也大大降低了空调器产品生



产的难度,大批纯组装形式的中小企业得以生存,其中也不乏大批淘金者。

无法确切统计中国到底有多少空调器生产企业,再加上诸多的科研机构、配套企业、流通环节、服务领域,上千家不同功能、大小不一的企业、公司形成了一个巨大的行业。据统计,2007年中国家用空调器的产量超过7 000万台。毫无疑问,中国已成为世界上最大的空调器生产大国。

我国的空调器市场潜力巨大,广阔的农村市场尚未启动,以品牌众多、品种丰富、发展迅速、产品优劣参差不齐、竞争异常激烈为其主要特点,从而也带来了其非理性、不完全按经济规律运行的问题:供大于求造成价格上的恶性竞争;生产过程的各环节转嫁损失形成复杂的债务链,各企业负担沉重;过快的更新换代缩短了产品的效益期,给企业造成收回投资、创造效益的时间不足,又使消费者无所适从;企业间缺乏相互协助、共同发展的意识,相互攀比、盲目扩展,既加剧了竞争又形成了一些泡沫企业;为追求卖点过分渲染夸大一些辅助功能的作用,忽略了用户的应知权;为了追求市场效应过分关注空调器核心功能以外的辅助技术,进入了浮夸和华而不实的怪圈。一个厂家每年都要开发数十个新产品,很难相信这些新产品都有实质性的改进;近年来空调器的出口量逐年增加,但这些空调器多是以极低的价格出口,企业主要利用了国家的出口退税政策;一些淘金型的企业不负责任、掠夺性的经营又大扰乱了市场,这样就带来了诸多的隐患。

持续电荒为变频空调的发展创造了广阔的市场空间。近年来通过以海尔、海信为代表的厂家所积累的产品技术优势、市场推广经验等,使得变频空调的发展呈现出厚积薄发的优势。另一方面,变频空调以其“节能省电、恒温舒适、健康静音”等卓越性能,满足了市场上主流消费群体所追求的高品位、高质量生活方向。

今后几年如果变频空调与普通空调的价格差距不能有效地缩小,其占整个空调市场的比重预计将在较长时间内比较稳定,只有消费者感到变频空调的性能价格比超过普通空调时,变频空调大规模替代传统空调的时代才能到来。而随着越来越多的国内品牌开始重视变频空调,相信这几年在这一领域的竞争将是非常残酷的,对于国内变频空调厂家来说,掌握变频空调核心技术,降低成本无疑是当务之急。

### 1.1.2 市场占有率

由于空调的技术含量相对较低,而压缩机的核心技术又大多控制在外国厂家手中,我国的空调企业多是以组装生产为主,这就使空调行业的进入门槛很低,而相对其他家电产品的高利润驱使中国的空调制造企业爆发式增长,对中国主要城市的零售跟踪调查显示,中国市场上活跃的空调品牌越来越多,2002年达到了创纪录的112个,品牌集中度也在下降,可见空调行业的竞争是非常激烈的。面对巨大的库存和行业内无序的竞争,空调行业应该向什么方向发展成为业内人士最关注的热点话题,很多厂家把目光盯在了在日本市场已经占绝对统治地位的变频空调上。

就变频空调而言,确实具备很多普通空调不具备的优点,比如在恒定温度、节能、静音等方面的表现都超过普通空调,尤其在节电方面表现更加突出,普通变频压缩机节电达20%以上,而直流变频压缩机节电更高达1/3以上。但是变频空调在中国发展从没有超过普通定速空调。

从全国来看,1999年变频空调占空调销量的比重只有5%,2000年增长到8%,2001年





到2002年始终维持在8%左右,2003年上升至10%。近年来随着定速空调器产量的飞速增长,变频空调器的产销量虽然也在增长,但市场份额已下降到当前的5%左右。制约变频空调价格的最主要因素无疑是变频压缩机的价格。

变频空调对于普通消费者而言,其最明显的优势就是节能。而假如价格高出普通空调1000~1600元的话,换算成电费等于2000~3000度电的价格,一般家庭一年用于一台空调的电平均不超过600度,变频空调节电一年不超过200度,这个价差等于需要消费者多支付超过10年以上的电费,也就是说10年后变频空调的价值才能超过普通空调,而一台空调的平均使用寿命也不过11年左右。这也是在中国为何变频空调还没有取代普通空调的明显迹象的原因。如果变频空调与普通空调的价格差距缩小到300~500元左右,相信变频空调会迅速取代普通空调。

变频空调市场的品牌集中度要远远高于普通空调,前5名的总体市场占有率从1999~2007年一直稳定在80%~85%,前10名的占有率更是一直在93%~95%之间,市场集中度很高。

## 1.2 变频空调器的结构与主要部件

### 1.2.1 空调器的容量调节

空调器的容量调节一般有两种方法:一种方法是通过改变压缩机的运行时间,以实现空调器在一段时间内的制冷量变化,即所谓的开/停调节。这种方法是最为简单、成本代价最低的方法,也是调节效率最低的一种方法,它实际上不是真正意义上的变容量调节。采用这种调节方法的压缩机排量没有任何变化的余地,我们通常称这样的空调器为定速空调器。另外一种方法是改变压缩机的排气量,使空调器的制冷量随时与用户的热负荷相适应,以实现节能和舒适性的目的。

改变压缩机的排气量又有各种方法,最直接的一种方法则是改变压缩机的转速,通过改变压缩机的转速来改变空调器的制冷量,通常有交流变频和直流调速两种方式。这两种方法被广泛地应用于房间空调器中,即俗称的“交流变频”和“直流变频”空调器。改变压缩机排气量的另外一种典型方法是改变压缩机的吸入容积,使吸入压缩机的气体量变化以实现制冷量调节的目的。这种方法是一种纯机械的方法,它可以避免变频所带来的电磁干扰、电磁兼容等各种问题,但使得压缩机的机械结构大为复杂。一般多用于大规格的制冷产品如中央空调等,在房间空调器中未见采用,本书不予阐述。

近年来谷轮公司在国内推出的数码涡旋空调压缩机则是变容量的另一种典型技术路线,它既不是改变压缩机转速也不是改变压缩机吸入容积,而是改变压缩机在一段时间内的满载和空载的运行时间比例,以实现压缩机制冷量的变化。它实际上是一种开停调节,只不过把这种开停放到了压缩机内部来进行,调节过程中压缩机并不停机。使用这种压缩机的空调器也可实现制冷量与用户负荷的协调与匹配,具有与变频类似的节能作用,且技术路线比较简单、也不存在变频所造成的电磁兼容、电磁干扰问题。这种产品目前在国内几个较大的空调器厂家已有应用。但目前的应用均集中于多联机或小型户式中央空调中,超出了房间空调器的范围,本书中也不予阐述。

因此,对于变容量房间空调器本书只阐述交流变频和直流调速两种形式。并且由于这

两种形式均是改变压缩机的转速,在此将其统称为“变频空调器”。

### 1.2.2 变频空调器的结构与主要部件

与普通定速空调器相比,变频空调器的结构和工作原理并无原则上的区别。

变频空调是相对普通定速空调来讲的,普通空调的压缩机电机采用交流异步电机,转速不变。而变频空调是把 220 V、50 Hz 的单相交流电转变成三相变频交流电,供给压缩机,通过频率变化来调节压缩机转速,使制冷量连续变化,适应空调负荷变化的需要。

变频空调相比定速空调,需要增加转速控制装置(变频器),较高级的变频空调还会用流量控制装置(如电子膨胀阀)来取代一般常用的毛细管,并且关键运转部件压缩机也具有更高的技术含量,因此,成本上比定速空调稍贵一些。

变频空调又分为交流变频和直流变频两类。直流变频空调与交流变频空调的区别在于使用何种压缩机以及因压缩机不同而带来的控制器的变化。

交流变频压缩机本质上仍是三相交流异步电动机,通过定、转子之间磁场的相互作用使转子旋转。但其特别的设计使得可以在较大范围内通过改变电源的频率和电压来改变电机的转速,因此,称之为交流变频。

直流变频压缩机转子内采用了永磁材料(铁氧体或稀土磁铁),可以通过改变送给电机的直流脉冲来改变电机的转速,其电机一般具有比交流变频压缩机更高的效率。

普通的定速空调采用“开—关”调节模式,由于压缩机的转速固定,所以压缩机输出功率不可变,也就限定了其制冷制热的能力。控制房间的温度只能利用压缩机的开停,这样的空调不仅噪音和温度波动大,而且频繁开关对空调压缩机有很大的损害。

空调器的主要任务是制冷和制热。制冷系统可将室内的热量传输到室外,所以是提供冷源的装置,如将室外的热量传输到室内,则成为提供热源的装置。它的工作过程如下:制冷系统由四个基本部分组成,它们是压缩机、冷凝器、节流装置和蒸发器,并通过管道将这些部件连接成一体,从而组合成一个封闭系统。系统内充制冷剂。这是一种蒸气压缩制冷系统,目前的空调器都是采用这种系统。

蒸气压缩制冷的基本原理是利用较理想的制冷剂液体在低压力下气化吸热的特性,制造冷源,以达到冷却物体的目的。要使制冷剂充分发挥其制冷特性,需要有一套完善的热力系统来配合它工作,这套系统称为制冷系统。

制冷剂在系统内经过四个热力变化过程,热力学上称为“状态变化”,才能产生连续不断的制冷效应。这四个过程就是压缩、冷凝、节流、蒸发,分别由四个部件按顺序完成。

① 压缩过程:此过程由压缩机来完成。它将系统内的制冷剂蒸气吸入气缸,并进行压缩,提高其压力后再排出气缸,促使制冷剂在系统内循环流动。因此,它的主要任务是推动制冷剂在系统内流动,是制冷剂的动力源。而压缩机又需要其他动力来拖动,一般用电动机来完成。

② 冷凝过程:该过程由冷凝器来完成。蒸发状态的制冷剂在冷凝器中把所吸收的热量排放出系统,同时制冷剂蒸气凝结为液体,以便经过节流阀进入蒸发器。因此,冷凝器就是一个散热器。它安装在室外以便将热量排放到室外空气中。

③ 节流过程:节流过程也可以认为是降压过程。制冷剂液体在流动中需要再气化,必须降低压力。其方法是用节流元件来减少其流量,降低压力,使液态制冷剂有膨胀的条件。

④ 蒸发过程:这是气化吸热过程,制冷剂经节流后,成为气液混合物,但其中液体占大部分。降压后的制冷剂液体在蒸发器的流动过程中,一直进行吸热气化,称为沸腾,只有这一步才是我们要获得的制冷效应的热力过程,是制冷系统的最终目的。这一过程在蒸发器内进行。此后,变为气体的制冷剂再经过压缩进入冷凝过程。上述四个热力学过程就是获得制冷效果的基本过程,缺少任何一个过程都不能达到制冷的目的。

通风系统是强迫空气对流,加速空气流动,提高热交换器效率的组合部件。因为无论是蒸发器的吸热还是冷凝器的放热,若单靠空气的自然换热,其传热效果相当差,以致系统无法连续正常运行,所以必须用风机通风,使空气形成强对流,提高它们的换热效率。所以,在蒸发器侧与冷凝器侧均应安装鼓风机和风道。一般蒸发器侧的风机为离心风机,其特点是风压较高而风量较低,它可克服流动时的阻力,使吸入的空气经蒸发器进行热交换后,成为冷空气,送入所需室内。冷凝器侧的风机为轴流风机,其特点是风压较低,风量较大。

变频空调器的类型主要由变频方式和主要零部件压缩机、节流装置、室内风扇电机、室外风扇电机来决定的。诸如:

- ① 压缩机——交流变频压缩机或直流调速压缩机;
- ② 节流装置——电子膨胀阀或毛细管;
- ③ 室内风机——变频室内风机或分挡调速室内风机;
- ④ 室外风机——变频室外风机或分挡调速室外风机。

因此,不同的变频方式和零部件也就组成了不同类型的变频空调器,这种组合可以多达十几种,在这众多的组合中基本上可以分为三种类型。

第一类变频空调器采用交流变频,制冷剂流量调节方式采用毛细管,压缩机采用单转子交流变频压缩机。这种空调器基本能体现变频空调器各种优点,而且可靠性好,缺点是节能效果较差,噪声和震动也较大。

第二类变频空调器同样也是采用交流变频,不同的是压缩机采用双转子交流变频压缩机,制冷剂流量调节方式采用电子膨胀阀。此类空调器变频范围更宽,噪声和震动有所降低,节能效果明显。

第三类是直流变频空调器,采用直流变频压缩机和直流风扇电机,调节方式是电子膨胀阀。此类空调器节能效果更好,噪声和震动达到了最低的水平,同时还没有交流变频的电磁干扰,是当前最先进的变频空调器。

总的来讲,不同的变频空调器的技术特点取决于它所使用的关键元件。

① 压缩机。单转子交流变频压缩机:需使用交流变频控制,压缩机成本较低,可基本实现变频的技术要求,但单转子压缩机的平衡性能不是很好,运转时的振动、噪音较大,频率调节范围和单机容量也因之受到限制;双转子交流变频压缩机:需使用交流变频控制,压缩机成本较单转子高,可实现变频的技术要求,压缩机的平衡性能大大改善,避免了单转子压缩机的主要缺陷;直流调速压缩机:需使用直流调速控制,交流变频的电磁干扰、电磁兼容等问题得到一定程度的解决,具有较高的调节效率,但压缩机的成本也最高。

一般来讲,变频压缩机在设计上有所不同:采用独特的铁芯和绕组设计,实现电动机的高频率;通过对各运动零部件之间间隙的优化设计,实现了泵体的高效率;采用计算机模拟技术,实现了电动机与泵体的最佳匹配,全面提高压缩机效率;采用亥姆霍兹消音器、复合消



音罩、优化排气阀组件、优化吸气系统设计等改善压缩机的噪音；提高泵体刚性、精确的动平衡设计降低机械振动和噪音。

应当指出，直流调速压缩机在外观上与交流变频压缩机并无大的区别，主要是电机效率得到了进一步的提高，这一效率的改善得益于直流电机无交流电机的励磁损失。

② 节流装置。毛细管：结构简单、成本低廉、可靠性较高，但调节特性较差、调节范围也较小、对工况的适应能力也较差，变频空调器的节能优势在一定程度上受到抑制，是目前国内变频空调器使用的主要节流元件。电子膨胀阀：电子膨胀阀的流量调节范围宽、可以充分发挥变频节能优势，动作迅速，可靠性高，是变频空调器中理想的节流机构。但采用国外生产的电子膨胀阀后，空调器生产成本增加很大，国产电子膨胀阀在产品的可靠性和密封性方面还有待于进一步提高。



图 1-1 电子膨胀阀

③ 室内、外风机。变频风机：具有最好的调节适应性和调节特性，可以充分发挥变频节能优势，但成本较高、控制器也因之变得复杂。分级调速风机：具有一定的调节适应性和调节特性，变频空调的节能优势受到一定程度的抑制，但成本低、控制简单，是目前国内变频空调器采用的主要室内、外风机形式。

图 1-2 所示为两种不同型号的分级调速风机电机。图 1-3、图 1-4 所示为室外风机和室内风机的外观图。

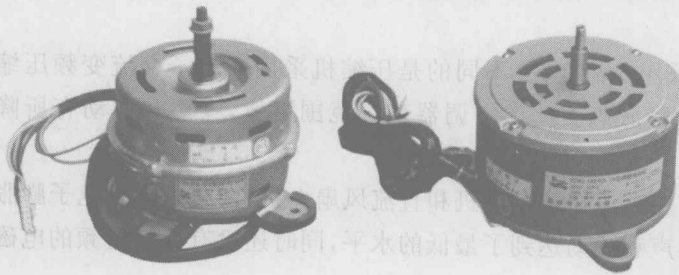


图 1-2 风机电机

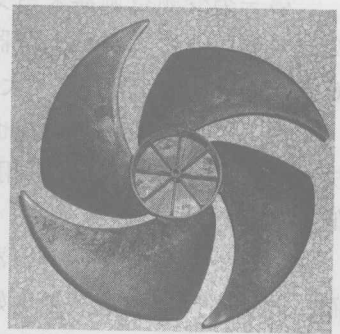


图 1-3 室外风机

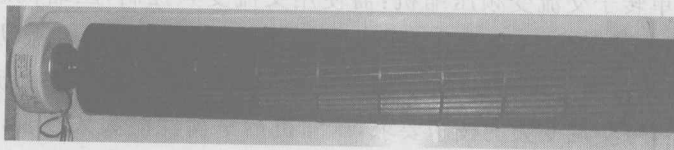


图 1-4 室内风机

### 1.3 变频空调器的技术与影响因素

从技术的角度，变频房间空调器的发展趋势及其影响因素无外乎表现在三个方面：因能





源紧张和电力短缺所提出的节能要求;旨在保护大气臭氧层的《蒙特利尔议定书》(修正案)所提出的环境保护的要求以及企业为了维持其利润水平而产生的降低成本的要求。长远来看,节能和环保将是变频房间空调器的主要技术发展趋势。

### 1.3.1 节能

作为耗能器件,空调器产品的节能途径多种多样。理论上讲,任何能够减小空调器工作时能量损失的措施均能实现提高效率、节能的目标。一般来讲,提高空调器的效率多从以下几个方面入手:

第一类是节能元件和节能技术的采用,如使用高效压缩机,采用高效的直流风机电机(直流风机电机效率提高了近 15%),以及采用高效换热技术如亲水膜(由于换热器翅片间不易形成水桥堵塞风道而使效率提高)、内螺纹铜管、微尺度换热器等;

第二类是改进空调器产品的设计及匹配,采用优化设计的方法确定产品的结构参数与系统参数,使空调器获得最佳的效率以实现节能的目的。

第三类是运行、使用过程中的节能。它包含两方面的内容:一方面,消费者使用空调器时所处的运行工况绝大多数情况下不在空调器的设计工况下,这就要求空调器在较宽广的工况范围内都具有较高的效率。目前国家采用单点测试、评价空调器性能的方法对此没有任何制约,处于失控状态。另一方面,使设备的出力与负载相适应是节能的常识,适用于任何的设备与用能产品。对于家用空调器来讲,则是力求使空调器的制冷能力与用户的热负荷相协调,即所谓变容量调节。目前有变频和变容积两种方式,世界上广泛使用的是变频技术。

尽管有许多的争议,变频技术与空调器的有机结合已成为节约能源的一个有效途径,引起了人们的普遍关注。有关资料表明,变频空调器比常规的定速空调器一般要节能 30% 左右。由于空调器的耗电量较之冰箱大,其节能意义非常明显,并且空调器的容量越大其节能效果就越显著。

在世界范围内能源危机和国内大面积电力紧张的严峻形势下,节能将成为空调器的一个重要发展方向。应当承认,目前国内空调器产品的能源效率与先进的发达国家相比还有相当的差距,这些低效的产品无谓地消耗了大量的能量。

### 1.3.2 环境保护——HCFC-22 制冷剂替代

在过去的二百年中,人类活动已使地球环境发生了在过去一万年甚至更长的时间里都从未发生过的重大变化。工业的发展,新技术、新材料的应用使生产力得到了大幅度的提高,人类利用环境改造环境的能力大大增强。但同时也导致自然资源的消耗和大量有害物质的排放,带来严重的环境问题。氯氟烃作为 20 世纪 20 年代开发出的新材料其作为制冷剂的优势是以往任何材料都不能与之相比的:其化学性质稳定、安全、无毒,且价格低廉,是理想的制冷剂。氯氟烃的应用使制冷行业得到了空前的发展,冰箱、空调等家用制冷电器走入了人们的家庭,给人们的生活带来了前所未有的方便与舒适,如果没有氯氟烃的应用,这一切都是无法想象的。但其广泛应用也带来了臭氧层的严重破坏,从而威胁到人类的健康和生存。

1990 年在伦敦的第二次缔约国大会上通过的《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定





书》(修正案)是当前世界各国开展此项工作的依据。它规定了受控物质的种类和淘汰的时间表。空调器中所用的 HCFC-22 制冷剂就是其中的一种,按规定发达国家将于 2030 年、发展中国家顺延 10 年彻底停止使用。但根据近年来的状况可以确定这一进度将会大大提前。

蒙特利尔议定书的通过,表明对臭氧层消耗物质 ODS(Ozone Depletion Substance)的禁用已成定局。完全摒弃 CFCs 和 HCFCs 这种近乎理想的制冷剂,是世界制冷业必须正视的现实,也使制冷工业面临一场史无前例的严重挑战。

由于很难找到一种与 R22 热物性接近的纯质,目前 R22 替代的大趋势是用混合工质,即以 R407C 与 R410A 为主。目前的研究工作主要集中于以下几个方面:

① 新的替代工质的研究。针对受控物质,提出和研究可能的替代物质。

② 工质物性的研究。属于基础理论工作,针对各种替代工质,为压缩机及制冷系统的设计、改造提供必要的参数。主要包括以下几个方面:热力性能计算、蒸气压方程、状态方程、物理性质、安全性、可燃性等。

③ 系统性能的研究。针对替代工质用于制冷系统时,各部分性能的变化进行研究,并提出改进方案。主要包括:两相流动中的热传导、毛细管的变化、换热器设计、系统的性能、系统的改造、重新设计等。

④ 其他

➤ 不同工质用于制冷系统性能的比较;

➤ 压缩机的性能研究及再设计;

➤ 适用于替代工质的润滑油的研究;

➤ 制冷剂和油的混合物;

➤ 相容性的研究;

➤ 生产工艺、设备的改进;

➤ 原辅材料;

➤ 检验设备;

➤ 回收与重复利用等。

概括地讲,国外目前对于 HCFCs 主要的替代物质的研究作了大量的工作,多数都已商业化。国内在这方面的研究相对非常薄弱,各企业基本利用外来技术,相关产品的可靠性尚需进一步确认。整个研究工作各自为战、不成系统。

### 1.3.3 其他技术

变频空调器涉及的技术内容很多,如变频控制器的设计(包括硬件电路设计和软件编制)、风速和频率的控制、压缩机驱动电动机的选择、节流机构的选择、制冷系统各参数的匹配、抗电磁干扰和电磁兼容等问题。变频空调器压缩机电动机的调速方式有交流感应电动机变频调速和直流无刷电动机调速两种;制冷剂流量的控制方式有电子膨胀阀节流、毛细管节流和电子膨胀阀结合毛细管节流三种;压缩机又有涡旋式、单转子式和双转子式几种不同的结构形式。

#### (1) 驱动压缩机的电动机

变频空调器压缩机的驱动电动机主要有三相交流感应电动机和直流无刷电动机两类。

当频率发生变化时,定速空调器常用的单相电容电动机的感抗和阻抗对电动机特性不利,因而变频空调器多采用三相交流异步电动机。但由于感应电动机内部磁场的形成要靠外部供给电流,电流流过线圈时有损失,因而交流感应电动机的节能效果较差。随着各种可关断元器件的不断开发成功和价格的相应降低,直流无刷电动机调速技术开始走出实验室,成为了可以应用的产品。直流无刷电动机由无刷电动机本身、转子位置传感器和电子转向开关组成。电动机中转子的磁场是由永久磁铁供给的,不需要外部供给能量,也不会有损耗。因而直流无刷电动机的效率比交流感应电动机的效率要高。直流无刷电动机调速的关键是要准确地检测出转子的位置,转子位置的检测一般采用霍尔(HOLE)元件,但带霍尔元件的直流电动机成本普遍较高。近年来发展起来的无位置传感器的直流无刷电动机,以其调速技术高效、低噪声、低成本等优势受到了空调器生产厂商的喜爱。另外,开关磁阻电动机是20世纪80年代推出的变速传动系统,由磁阻电动机和控制器组成,绕组电流是直流脉冲,只需整流,无需逆变,所以控制电路简单。这种电动机的转速在大范围内变化时,其系统效率比交、直流调速系统都高,且启动转矩大,启动电流小。但目前有关开关磁阻电动机的理论尚不够完善,有待今后进一步研究解决。

目前,交流感应电动机的变频调速技术在家用空调器上的应用已相对成熟,采用脉冲宽度调制(Pulse Width Modulation)技术的交流电动机调速系统,在性能上已经接近直流调速系统,在产品价格和稳定性方面,交流电动机具有明显的优势,因而交流电动机调速系统仍然是当今变频压缩机驱动电动机的主流。直流无刷电动机调速技术的应用则方兴未艾,随着电力电子技术的发展和各种可关断元器件可靠性的提高和价格的逐步降低,直流无刷电动机调速技术高效、节能的优势将进一步显现出来。“直流变频空调器”目前是日本变频空调器市场的主流,也将是我国变频空调器发展的方向。

## (2) 节流元件

变频空调器的节流元件主要有毛细管、电子膨胀阀和毛细管结合电子膨胀阀三种。毛细管是目前家用变频空调器中最常用的节流元件,它具有结构简单、价格便宜等优点,毛细管的长度是在给定的工况下,经过制冷剂充灌量的反复试验予以确定,在偏离标准点不远的情况下有一定的调节范围。电子膨胀阀是按预设程序由控制器CPU发出指令,由电子膨胀阀的驱动电动机带动阀门开启进行流量的调节。它具有流量调节范围宽、反应灵敏、温度控制精度高等特点。

变频空调器的制冷剂流量变化范围宽,采用反应灵敏、流量调节迅速的电子膨胀阀是比较理想的选择。电子膨胀阀通常以蒸发器出口制冷剂的过热度为控制目标,在负荷变化时调节制冷剂流量,最大限度地利用蒸发器的换热面积,同时避免了液态制冷剂进入压缩机后造成损害。有文献研究了电子膨胀阀的启动特性和负荷突然变化时的系统特性。系统启动运行5 min后,过热度 and 供液量基本上稳定下来。若将蒸发器的进风温度突然从17℃升高到23℃,系统也能够3 min后稳定下来。利用电子膨胀阀还可以对压缩机的排气温度进行控制。在压缩机的排气管上安装测温元件,当排气温度超过警戒值时,增大电子膨胀阀的开度,系统中制冷剂的循环量增加,进气得到了冷却,从而控制了压缩机排气温度的升高。此外,电子膨胀阀在热泵型变频空调器中还可以实现“除霜且供暖”。某公司生产的变频空调器采用不间断的除霜方式。这种空调器采用急开型电子膨胀阀与压缩机调速、室内室外



风机控制配合除霜。当需要除霜时,四通换向阀不换向,电子膨胀阀全开,压缩机高速运行,同时关闭室外风机,室内风机间歇低速运行。这种除霜方式不停止供暖,因而室内送风温度下降不多,符合人体的舒适性要求。

电子膨胀阀的控制方式最初采用传统的 PID(比例积分微分)控制,但如果调节参数选择不当,会使制冷系统发生振荡。各种文献提出了在线参数自调整的控制方法、运用最小方差自适应控制理论对电子膨胀阀的运动规律作了仿真研究等。由于空调系统中控制对象的时滞、时变、非线性等特点,使得 PID 调节不能实现很好的控制效果。随着控制理论的发展,电子膨胀阀的控制已经开始采用模糊控制、神经网络等现代控制理论。这种控制方法不需要确切地了解被控对象的数学模型,能够在复杂多变的条件下实现良好的控制品质,特别适合于多变量、非线性和时变的系统。在日本已经出现了基于遗传算法的模糊空调器、模糊神经元控制的空调系统。

电子膨胀阀能够精确控制制冷剂的流量,要求有高度的重复性和可靠性,目前国内变频空调器中使用的电子膨胀阀多为国外进口的产品,这使得变频空调器的生产成本大大增加。为降低变频空调器的成本,国内家用变频空调器在系统性能基本满足要求的前提下,多数仍然采用毛细管作节流元件。

### (3) 电磁兼容(EMC)问题

所谓 EMC 是指产品的电磁兼容性(Electromagnetic Compatibility),即设备或系统在其电磁环境中能正常工作,且不对该环境中其他事物构成不能承受的电磁干扰的能力。变频空调器中使用了变频控制器,控制器中要用到大功率的绝缘栅晶体管 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor),国内厂家大都采用将 IGBT 连同其驱动电路和保护电路封装在一个模块内,即智能功率模块 IPM(Intelligent Power Module)。IPM 的主要工作原理是六个晶体管交替关断,由于 IMP 的开关频率很高,因此对外界辐射的电磁信号和向电源网络传导的干扰信号会大大增强。电磁干扰和电磁兼容问题成为了变频空调器开发研制过程中需要解决的主要问题之一。

来自变频空调器的电磁干扰主要有沿电源网络的传导干扰和对空间的辐射干扰。解决电磁干扰问题有滤波、屏蔽和接地三大技术。滤波技术是防止传导干扰的主要措施,其方法是安装滤波器,例如电源滤波器可以解决沿电源网络的传导干扰问题。变频空调器室外机的干扰很大,通常是在室外机电源端加滤波器,滤波器可以是一级、二级或多级,视滤波后的效果而定。屏蔽技术主要解决辐射干扰问题,常用的方法是用铜或铝等低阻抗材料将需要隔离的部分进行屏蔽。接地技术可以防止电磁干扰,消除公共阻抗的耦合,同时也保护了人身和设备的安全。接地方法通常分为单点接地系统、多点接地系统和混合接地系统。空调器中的强电器件(风扇电机、四通阀、压缩机)较多,适合多点接地。有关文献介绍了在 EMC 方面的具体实施过程,其中包括印刷电路板的合理布线、在室外机的电源端加滤波器、采用合理的接地和屏蔽技术等措施。作者在实验中发现:强电器件用多点接地,控制线路板中的地线用单点接地的效果会比全部用多点接地的效果好。

## 1.4 变频空调器的特点与节能优势分析

在制取一定冷量时,影响变频空调器能量消耗的因素主要有五个方面:



① 空调器的实际运行工况；  
 ② 压缩机电机效率；  
 ③ 压缩机起停次数；  
 ④ 电子膨胀阀的性能；  
 ⑤ 变频器的能耗。

为便于比较和公平起见，这里认为除控制方式和压缩机电机因变频需要而不同外，变频空调器和普通空调器在其他方面均相同，如制冷剂、风机、节流机构、换热器的结构、大小及性能等。

### 1.4.1 空调器的运行工况的影响

众所周知，无论压缩机以何种速度运行，对空调器能效比 EER 起决定性作用的是空调器的实际运行工况。空调器运行工况由四个参数确定，分别是制冷剂的冷凝温度、蒸发温度、冷凝器出口过冷度和蒸发器出口过热度，其中起主要作用的是冷凝温度和蒸发温度。理想条件下（即无换热温差时）运行于两个不同温度热源之间的可逆制冷机的制冷系数如下式所示：

$$\epsilon = \frac{1}{T_h/T_l - 1} \quad (1-1)$$

式中： $T_h$ ——高温热源温度，K；

$T_l$ ——低温热源温度，K。

由式(1-1)可知两恒温热源间工作的可逆制冷机，其制冷系数只与热源温度有关；制冷系数的大小与两热源温度的接近程度有关，其越接近，则  $\epsilon$  越大，反之  $\epsilon$  越小。实际制冷机的制冷系数随热源温度的变化趋势与可逆机是一致的。对风冷型家用空调器而言，高温热源即室外环境空气，低温热源则为室内环境空气，由于存在换热温差，这两个热源的温度与空调器的冷凝与蒸发温度之间有以下关系：

$$T_k = T_{aw} + \Delta T_{mk} \quad (1-2)$$

$$T_o = T_{an} + \Delta T_{mo} \quad (1-3)$$

式中： $T_k$ ——空调器冷凝温度，K；

$T_o$ ——空调器蒸发温度，K；

$\Delta T_{mk}$ ——冷凝器平均换热温差，K；

$\Delta T_{mo}$ ——蒸发器平均换热温差，K；

$T_{aw}$ ——室外环境空气温度，K；

$T_{an}$ ——室内环境空气温度，K。

因此，在实际工况下运行的空调器，由于存在换热温差和不可逆损失，其实际制冷系数为：

$$\epsilon = \frac{\eta}{T_k/T_o - 1} = \frac{\eta}{\frac{T_{aw} + \Delta T_{mk}}{T_{an} - \Delta T_{mo}} - 1} \quad (1-4)$$

式中： $\eta$ ——制冷循环的热力完善度。