

北京工业大学

硕士学位论文

变频空调控制器智能测试系统的开发研究

姓名：袁亚丽

申请学位级别：硕士

专业：热能工程

指导教师：李红旗

20040601

摘 要

当前空调器发展的趋势是节能、环保、智能控制。变频空调器以其卓越的节能性、良好的舒适性、高精度的温度控制等优点引起了国内外学术界和制冷行业界的高度重视，同时也迎合了消费者对生活和工作环境舒适性的更高要求。在变频空调器器的研究和开发过程中，变频控制器控制性能的好坏、与空调器配合的情况成为国内空调器厂与控制器厂共同关心的问题。本文在对变频控制器功能深入研究的前提下，针对变频控制器的性能开发出一种集测试、分析、评价等功能于一身的智能测试系统，设计制作了样机，并进行了实验验证。

本文首先对变频空调器控制器的控制功能进行了深入研究，并分析了控制器的监测参数、控制参数对空调器性能的影响。在此基础上提出智能测试系统的总体设计思路，并进行可行性分析论证。之后，对智能测试系统具体的软硬件设计提出设计要求和规范，开发了用于模拟空调系统运行的数据库，并通过实验和计算的方法获得测试系统需要的所有数据。最后在电控专业人员的协助下完成了测试系统的初步样机，并通过实验验证了智能测试系统设计思路的可行性。本文开发的智能测试系统对国内变频控制技术的发展和空调器行业发展有着重大的现实意义。由于本测试系统的设想立足于空调行业的实际需要，所以该智能测试系统具有广阔的应用前景。

关键词：空调器 变频控制器 智能测试系统 数据库

Abstract

Nowadays, economize on energy; environmental protection and intelligent control are the main directions in the development of air conditioning industry. The scholars and air-conditioner manufacturers all over the world pay the air-conditioner with inverter control great attention. Since it satisfied the demands of people in terms of living in comfortable spaces, and also has great advantage of saving energy and lower electricity consumption. During the development of new type air-conditioners with inverter control, air-conditioner manufacturers and inverter controller manufacturers concern with the performance of the inverter controller and the matching of the inverter controller with air-conditioner. In this paper, a new intelligent testing system with multi-functions of testing, analysis and evaluation, is been designed, which will be used to examine the inverter controller.

In this paper, firstly, the controlling function of inverter controller, the effect, which is imposed on the performance of air-conditioner by the monitored parameters and controlled parameters, are analyzed. On this basis, the whole designing of the intelligent testing system is presented here, and the feasibility of this design is analyzed and demonstrated. Secondly, the request and criterion are advanced which is on the specific designs of the software and hardware in the intelligent testing system. The database are built which are used to simulate air-conditioner running conditions, and all of parameters' changing rules are acquired which are required by the database by the approaches of experiment and calculation. Finally, the sample device of the intelligent testing system is finished with the help from electronic-control experts, and the correctness of design methods about the intelligent testing system is validated by special experiments. Because the thoughts in the intelligent testing system are based on the actual demands of the air-conditioner manufactures and the inverter controller manufactures. The intelligent testing system is important for the development of inverter controlling technologies and air-conditioner industries in our country, and it would be very popular in market.

Keywords: air-conditioner ; inverter controller; intelligent testing system; Database

独创性声明

本人声明呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知,除了文中特别加以标注和致谢的地方外,论文中不包含其他已经发表或撰写过的研究成果,也不包含为获得北京工业大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作过的同志对本研究所做得任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签名: 袁玉丽 日期: 2004.6.4

关于论文使用授权的说明

本人完全了解北京工业大学有关保留、使用学位论文的规定,即:学校有权保留送交文件的复印件,允许论文被查阅和借阅;学校可以公布论文的全部或部分内容,可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

签名: 袁玉丽 导师签名: 李书 日期: 2004.6.4

第1章 绪论

1.1 引言

变频空调器是随着制冷技术、电机控制技术、电力电子技术、微电子技术和智能控制理论的发展而从 80 年代开始发展起来的一种新型空调器。它主要利用变频技术和智能控制技术,根据空调器的实际工作环境,实时调整空调系统的工作参数,使空调系统始终工作在由控制目标确定的最佳状态,从而达到节能和提高空气调节质量的目的。

与普通定频空调器相比,变频空调器主要有以下三大优点:

1 变频空调器比普通空调器高效节能。首先变频空调器可以根据实际工作环境实时调节其工作参数,使空调器在各种工况下尽量达到较高的工作效率。其次变频空调器克服了普通空调器以频繁开、停调节方式带来的能量损失,提高了系统的效率。^{[1][2][3]}如日本东芝公司的变频空调器与相同装机容量的普通空调器相比,节能 20%^[4]。

2 由于变频空调可以实现实时调整工作参数,所以便于实现各种智能控制,使空调器的工作性能大大提高,尽可能满足人们对高质量生活及工作环境的要求。而普通空调器采用开、停的控制方式,房间温度波动大,舒适性很差。

3 变频空调器采用低频低压启动,控制启动电流以减轻对电网的冲击,同时 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency)技术的应用使得变频空调器实现稳定状态时工作在低压下,降低了对电网的要求。而普通空调器的启动电流很大,工作其间又频繁启动,因而对电网的冲击较大。

正是由于上述优点,国内外学术界、企业界对变频空调给予极大的关注。随着全球能源危机的爆发和环境危机的日益凸显,人们对节能和环保的呼声越来越高,变频空调作为制冷理论、热动力学、电机驱动技术、微电子技术和智能控制理论的交叉学科发展应用的产物,以其卓越的性能已经成为空调行业发展的方向。据统计,1995 年在日本 8800 万台家用空调中,68%为变频空调^[5]。

中国家用空调器开始于 1978 年,当年产量只有 223 台。以后,由于中国生产发展水平的限制和国家产业政策的制约,直到 1980 年尚不足两台。进入 90

年代,特别是近年来,行业发展迅猛。1990年产量为22万台,2000年发展到1826.67万台,年平均增长率保持在20%以上。目前中国的家用空调行业的总生产能力为2600—3300万台。产品品种也由单一的窗式空调器发展为分体式空调器、柜式空调器、家庭用中央空调器等多种类型。目前,中国的空调器产量已经占世界生产总量的1/3,中国已经成为名副其实的空调生产大国^{[6] [7]}。但国内的技术和生产水平与发达国家相比还有很大差距,尤其是变频空调的核心技术我们还是从国外进口,而且受到技术壁垒的限制。近几年来,国内对变频空调投入了较多的人力与资金进行研究,并取得一定的成果。随着空调市场竞争的日趋激烈,国内众多企业一拥而起积极研究和开发自己的变频产品,想在市场上抢占先机,但由于国内并没有完全掌握变频控制的核心技术,所以产品的品质参差不齐。

本文针对国内变频空调的开发现状,拟开发一种针对变频空调控制器控制功能的检测平台——变频空调控制器智能测试系统,结合变频空调系统的运行特点,对变频空调控制器应该具有的控制功能进行检测,希望能为国内空调生产厂家和控制器生产厂家提供技术协调和支持,同时也为众多的研究机构提供有效工具和监测平台。因此,本文研究开发的变频空调控制器智能测试系统具有一定的现实意义,在国内将拥有广阔的市场。

1.2 空调器的技术发展及现状

空调器的发展与全球化的能源问题和环境保护问题是密切联系在一起的。纵观空调器的发展历史,结合国内外目前对空调器的研究情况和人类社会的发展趋势,可以看到空调器发展的方向主要集中在三个方面:节能、环保和智能化。

节能问题是全球研究领域永恒的主题之一。70年代全球能源危机爆发以来,节约能源已成为全社会的共识。最新的能源预测报告指出^[9]:2030年能源消耗量几乎是目前的2倍,而矿物能源正在被迅速消耗。当能源问题日渐成为世界各国的棘手问题,许多国家开始对家电产品严格控制其能耗指标。据统计,我国家庭每年消耗的电力大约是全国电力使用量的10%,其年增长率和全国实际GDP增长率相近,而空调耗电在家庭用电中占相当大的比例。2002年我国市场空调器总销售量为1600万台,预计到2005年将达2000万台。目前我国家用空调的年耗电量为400亿千瓦时以上,随着空调的进一步普及,这个数字还将增大,空调已日渐成为能耗大户^[10]。因此,空调的节能迫在眉睫。空调的节能途径主要有:

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)、内螺纹铜管等;

第二类是改进空调产品的设计及匹配,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,力求使空调产品的制冷能力与用户的热负荷相协调,即所谓变容量调节。目前有变频和变容两种方式,世界上广泛使用的是变频技术。

文献[11][12][13][14]分别研究了蒸发器与冷凝器的设计和效率问题。

文献[15]分析了中小型空调器毛细管最佳长度选择的问题。

文献[16][17]对制冷系统动态系统特性进行了研究,为空调系统的设计及匹配提供了理论指导。

文献[18]研究讨论的是制冷剂充灌量与电子膨胀阀的配合问题。

文献[19]分析了涡旋压缩机采用变频调速控制后空调系统的性能的提高。

文献[20][21][22]对空调器的季节性能问题进行了分析和仿真研究。通常情况下,普通定速空调的性能指标采用能效比EER。能效比EER指空调器制冷(制热)运转时,制冷量(制热量)与消耗功率之比,EER是在标准所规定的工况条件下测试出来的,所以空调器的EER值只是一个特定工况点的能效比。该值对同类定频空调器进行比较时还算有说服力,但如果用于变频空调性能评价,以及定频空调与变频空调性能对比就非常不合理了。于是美国供暖制冷空调协会及美国制冷工业学会分别在1983和1989年将房间空调器和热泵的性能指标由单一的标准工况能效比发展为更科学的季节能效比SEER和供热季节性能系数HSPF,其定义为一个制冷或热泵装置在空调(供热)季节总的制冷(热)量与所消耗的总能量之比,并规定了相应的测试标准。日本也进行了这方面的工作^{[23][24]}。

而在空调器多种节能技术的研究应用中,变频技术无疑是最有效、最成熟的技术。所以变频技术将成为空调节能技术的主流发展方向。变频调节以匹配负荷变化的概念在空调器中得到了广泛应用,其节能主要表现在以下几方面:(1)变频空调启动后基本不(或很少)停机,从而减少了压缩机频繁启、停的电力浪费。因为空调器停机时,空调系统中能量白白流失(压力损失);当空调再次启

动时为建立新的正常循环必须补充新的能量。而变频空调可以避免这部分能量损失。(2) 空调的工作工况是随时变化的, 包括各地气候、每一时刻的环境温湿度、以及房间热负荷。普通定速空调的设计只能针对某一标准工况进行设计, 一旦空调制造出来, 其制冷能力就已经确定, 不能很好地根据实际工作状况调整系统的工作参数, 所以在大多数情况下都达不到最佳工作效率。与设计工况相比, 当环境温度升高时, 定速空调制冷量下降而房间热负荷上升, 在二者的交点处制冷量等于热负荷。在此之前制冷量大于热负荷, 所以 COP 降低; 在此之后则制冷量小于热负荷, 温度不能达到设定要求。而变频空调可以进行能量调节, 当工况变化时它可以调节工作参数使其制冷量与热负荷随时匹配, 以保持系统具有较高的 COP 值。(3) 变频空调的运行特点是高频快速启动, 低频长期运行, 大部分时间处于低频运行状态, 在这种状况下两器的热交换容量比率相对增大, 即压缩机处于低压比运行状态。压比越小则压缩时所消耗的功越少, 同时压缩机的容积效率因压比减小导致吸入损失减小、二次膨胀损失减小而得到提高。所以变频空调在绝大多数的低速低频运行期间有较高的能效比。专家测算, 如果将空调的平均效率提高 10%, 全国每年可节省 3.7GW 的发电量, 节约 160 亿元人民币; 如果将我国的空调全部换成变频空调, 则空调的平均效率至少提高 30%, 每年可节约 480 亿元人民币^[25]。

环保问题也是全球化的问题。环境保护运动的蓬勃发展, 一方面要求进一步提高制冷和空调系统的能量利用效率, 因为制冷空调设备的低效率用电是增加大气温室效应的间接因素。另一方面则集中在制冷剂的替代上。臭氧空洞的出现及其造成的危害提醒人类必须正视环保问题。

智能化是家用空调器发展的主流。随着社会的不断发展, 人们对自己的生活及工作环境提出了更高的要求。研究表明, 对室内环境而言, 恒温环境并非卫生和舒适的标准。为此, 提出了室内空气质量 (Indoor Air Quality, IAQ) 的概念, 并专门对其进行了研究。1984 年国际标准化组织 (ISO) 提出了室内热环境评价与测量的新标准化方法, 用 PMV (Predicted Mean Vote) 和 PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) 指标来描述和评价热环境。该指标综合考虑了人体的活动情况、着衣量、空气温度、湿度、流速、平均辐射度等六大因素。为了达到创造舒适的室内环境的目的, 人们在提出评价空调环境的指标的同时也展开了创

造室内舒适环境的空调器的智能控制技术研究。[26] [27] [28]

由于制冷系统中进行的过程是一个融合传热、传质流动和相变的复杂动态过程，难以建立精确的系统模型，经典的控制理论在空调系统中很难得到好的控制效果。所以说空调器本身的性质决定了其控制的发展方向为智能控制。变频空调由于采用了高性能的微处理器，为智能控制的实现提供了硬件支持。所以，变频空调中采用智能控制和变频技术的结合，可以得到很好的系统性能，充分体现现代科技的魅力。

从上述空调制冷业发展趋势可以看出，变频空调器以节能、温度控制精度高、效率高和易于实现智能化控制等优点成为制冷空调机电一体化发展的必然趋势，也必然会成为空调器市场的主导产品。

1.3 变频技术在空调中的应用现状

变频技术发展至今虽然只有短短 20 多年历史，但变频技术在空调器中的应用使得空调器在控制方面如虎添翼。1978 在松下电器技术展上，变频空调器的雏形首次亮相。1981 年东芝在世界上首次成功地将变频器应用于热泵空调中。从此，揭开了空调发展的新纪元。随着微电脑技术、变频技术、和电子膨胀阀三大技术的成功导入及功率件的进步，变频空调器更趋向于高效、低噪音、智能化方向发展。

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。这样，不同零部件的组合形成形形色色的变频空调。按目前的工艺水平，最先进的组合方式是采用直流无刷电动机的调速方式，采用涡旋式压缩机，电子膨胀阀控制制冷剂的流量 [29]。

但是目前在家用空调中应用广泛且技术比较成熟的是交流异步电动机调速形式。采用脉宽调制 PWM (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。而交流变频调速技术的核心是 PWM 控制技术，脉宽调制 PWM 控制技术是利用半导体开关器件的导通和关断，把直流电压变成电压脉冲列，通过控制电压脉冲的宽度和脉冲列的周期以达到变压变频及控制和消除谐波的目的的一种控制技术。对于 PWM 控制技术的研究从追求电压波型的正弦，到电流波型的正弦，再到磁通的正弦；从效率最优到转矩脉动最小，再到消除噪声等，PWM 控制技术的发展经历了一个不断创新不断完善的过程。目前得到应用的方案不下十种，且仍有新的方案不断被提出^{[30][31][32][33][34]}。本文将主要针对具有代表性的正弦脉宽调制 SPWM 波进行研究检测。

在日本和美国等发达国家，变频技术应用于空调系统的研究已经有很长时间，技术应用水平相对比较成熟。特别是近年来，随着各种性能优良的新型电力半导体器件如 IGBT(Insulate Gate Bipolar Transistor)、有驱动电路和各种保护电路的智能型功率模块 IPM(Intelligent Power Module)的推广和变频空调专用 CPU 超大规模集成电路的问世，以及建立在电机统一理论的人工智能模糊变频控制算法等控制方案的出现，使变频技术应用于家用空调得到极大的发展。尤其在日本，由于其特殊的国情，国内资源比较缺乏，大部分能源需要进口，从而对于节能和有效利用能源提出了很高的要求，大大刺激了变频技术的发展，最大程度的利用了变频的节能效用。有关统计资料表明日本超过 90% 的空调器采用了变频技术。由于其起步早，发展快，从元件生产到技术基础都比较完善，具有较高的水平。

在我国，随着国民经济的快速发展，人们生活水平的大幅度提高，空调器已经越来越多地走进家庭、办公室和各种公共场所。近几年来，家用空调器的生产更是得到飞速发展。由于我国的空调市场前景广阔，这几年全国各地空调器厂发展迅速。但是，与国际空调业相比，我国房间空调行业起步较晚，同时由于基础薄弱，所以总体技术水平不高。经过这几年的发展，市场竞争越来越激烈，尤其是 1996 年开始日本夏普、东芝、松下、日立等公司相继在中国市场推出变频空调器，引发了更高技术的竞争，国内对变频空调器消费的要求也越来越高，国内房间空调业面临严峻的考验。于是国内众多厂家为在空调市场上抢占先机纷纷开发自己的变频产品。1998 年近一千万台的空调器总产量中变频空调器占了 2% 左右的份额，一些大的空调器厂商，如海尔、长虹、格力、春兰、科龙等都有自己

的家用变频空调器产品。其中海尔公司生产的家用变频空调器以6%的总产量比例在市场上独占鳌头^[35]。

国内对于变频控制器的自主设计开发是近几年才开始的,然而从设计变频器到设计变频控制器还有一定距离,因为变频调速技术只是变频控制器的一个方面,只解决频率变化的问题,频率、风速等主要参数如何控制,如何与主机最佳匹配以最大限度提高空调器性能都是变频空调控制器需要解决的主要问题。现阶段国内大多数产品性能差,可靠性低,成本高,还需进一步完善。

1.4 课题产生背景及意义

中国目前的变频空调器产品技术不很成熟的原因,一方面是由于变频控制的核心技术发展程度较差,另一方面是由于国内空调器行业的现状不利于变频空调器的开发与研究。变频空调器的开发需要压缩机厂、空调器厂和变频控制器厂三方之间的密切合作,而我国目前的现状是:以空调器厂为主体的空调行业仅仅将压缩机厂和变频控制器厂作为简单的供应商对其施加压力,并没有将他们作为平等的新产品开发的合作伙伴,造成三方之间各行其是,缺乏配合与协作。这样的现状使得压缩机厂,空调器厂和变频控制器厂三方之间缺乏一个媒介,一方面造成三方技术之间的问题,制约了变频空调器的技术发展;另一方面三方各自为战,变频空调器的整体特性只有在整机生产出来以后才可以发现问题,然后各自再去进行处理,浪费了大量的时间、资金和人力。

由此产生了开发变频控制器智能测试系统的设想,以此作为三方媒介解决相互之间的配合协作问题。变频控制器智能测试系统将主要针对变频控制器的开发商,它将可以模拟空调器运行的各种工况并监视变频控制器对空调器各种事件的控制与调节能力。而空调器厂可以将其对变频器的要求及空调器的运行特点输入测试系统,使变频控制器无需装在空调器上就可以考察其性能能否满足要求。这样变频控制器厂可以根据测试仪的测试结果对其产品进行不断改进,将原先要在空调器厂装机后才能发现的问题提前发现,并在其内部加以解决直到其满足要求。一旦将变频控制器提交空调器厂基本上马上就可以使用,为双方节约大量的时间和投入。

大量的文献检索表明:目前在国内、外并没有相类似的研究或成熟的产品,所以这样一项工作具有重大意义。特别是对国内变频控制技术的发展和空调器行

业发展有着重大的现实意义。因为本测试系统的设想立足于社会上企业的实际需要，所以该智能测试系统具有广阔的应用前景：

- ① 变频控制器智能测试系统的主要用户为变频控制器厂。
- ② 空调器厂为潜在的用户，可利用此测试系统检验变频控制器的性能，并是新产品开发的有力手段。
- ③ 不排除压缩机厂在为用户进行匹配时也利用此测试系统。
- ④ 一些科研机构、大专院校在进行变频技术研究时本测试系统也为一种强有力的工具。

国内有大量的空调器及辅助产品厂商，本测试仪具有广阔的市场。

1.5 论文的主要工作及创新点

结合课题的开发和研究，本文主要做了以下几方面的工作：

- 1、提出智能测试系统的总体设计方案。
- 2、建立了智能测试系统内部模拟空调系统运行的数据库。
- 3、通过实验或计算获得数据库所需的空调实际运行过程中空调系统各监测点的温度随运行频率和运行时间的变化曲线。
- 4、提出测试系统硬件设计规范，并编写了相应的软件。

本文主要创新点：

- 1、本文开发的变频控制器智能测试系统在国内及国际相关领域均未见有类似研究，具有一定的技术领先性。
- 2、实现智能测试系统对实现空调系统运行的模拟部分时，没有采用传统的复杂的系统仿真，而是使用数据库存储空调系统的运行参数、软件调用及查询来实现模拟。因为对于测试系统的软、硬件来讲，数据库作为外置部分，使用者可以根据需要随时更改数据库内部数据，所以极大提高了测试系统的通用性。

第2章 变频空调控制器功能分析

2.1 引言

变频空调器以其卓越的节能性和易于实现智能控制已经成为当今空调器行业发展的主流。变频控制器如何根据工况的变化来控制 and 调节空调器系统的各个参数,最大程度地体现其节能与智能控制的优势则成为变频空调器控制技术的核心内容。文献[36][37][38]讨论了空调器的性能参数以及如何通过调节控制来提高空调器的性能系数。本文不讨论变频控制器内部控制功能的具体实现策略,而是从空调器高效、安全运行的角度对变频控制器应实现的控制功能提出要求,进而为本文拟开发的变频空调器控制器智能测试系统提出检测目标。

2.2 变频空调器基本结构及控制原理

图2-1给出了变频房间空调器的系统结构。与常规的定速空调器相比,变频空调器在以下几方面有所区别:

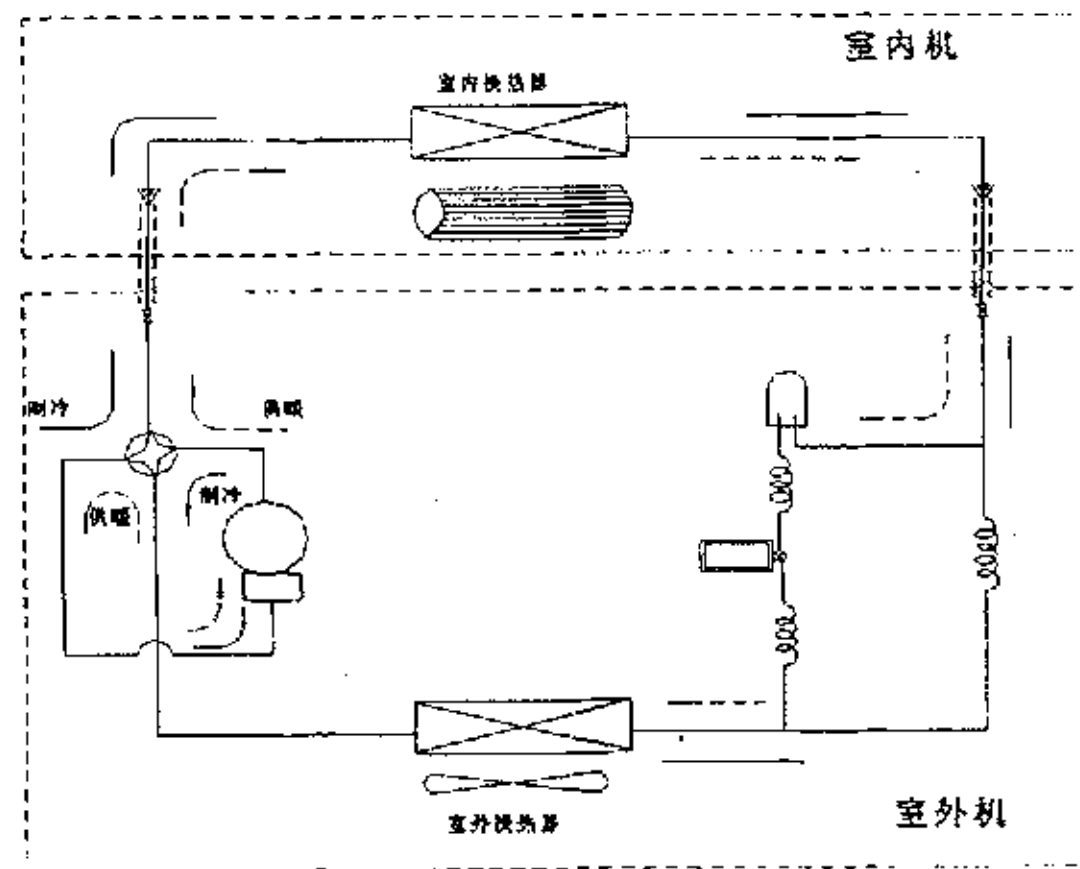


图 2-1 变频空调器系统结构

Fig 2-1 System Structure of Air-Conditioner with Inverter Control

- 1、采用了交流变频压缩机或直流调速压缩机
- 2、采用电子膨胀阀或毛细管
- 3、也可采用电子膨胀阀结合毛细管
- 4、采用室内变频风机或室内分档调速风机
- 5、采用室外变频风机或室外分档调速风机

以上几种方案相互组合,就形成了多种多样的变频空调器的结构方案,各种方案在性能、整机价格等方面各有优劣。对于空调器这样批量生产的产品,除了考虑技术的先进性外,元器件的可靠性、技术的成熟程度、价格等也是需要兼顾的因素。目前市场上较为普遍的变频空调器基本是这样的组合:交流变频压缩机+毛细管+室内分档调速风机+室外分档调速风机。

图 2-2 给出变频空调器的温控系统框图。变频空调器系统中的压缩机采用变频控制,通过调节压缩机的工作频率来调节空调器系统的制冷能力。室内、外风机由控制系统调节转速,用于改变进入蒸发器和冷凝器(制冷模式)的空气流速,达到调节工作参数的目的。

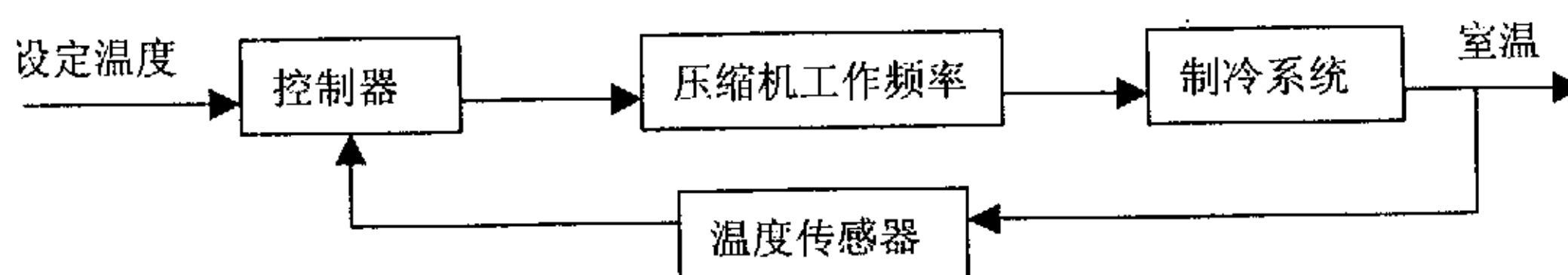


图 2-2 变频空调器温控系统框图

Fig 2-2 Control System of Air-Conditioner with Inverter Control

2.3 变频控制器的控制功能分析

变频空调器的控制功能决定了控制器要监测空调器的哪些参数,控制哪些参数、实现或空调器应具有哪些功能。变频空调器的所有功能都将依靠变频控制器来实现,系统性能好坏、压缩机工作状况的监测、控制、保护也完全依靠变频控制器来完成。变频控制器需要控制、监测空调器的那些参数直接影响着空调器的运转和安全性能。

图 2-3 给出的是变频空调器控制功能分析图。本图根据当前市场上大部分房间空调器所具有功能分析给出。图中虚线框内是变频空调器的控制器,可以看到控制器由遥控器、室内控制器以及室外控制器三部分组成。室外机控制器根据室内机指令和室外机传感器信息控制制冷剂循环状态、压缩机驱动状态、四通阀和融霜电磁阀的开断,同时完成与室内机的通讯;室内机控制器根据遥控器所设定的运转模式,对空调器总体进行控制,根据室内负荷大小决定压缩机的运转频率,接收和处理遥控器信息并与室外机进行通讯,完成空调器系统的模式和室温控制;遥控器完成空调器各种模式、室温、风速、风向的设定、并显示当前运行模式、工作状态和当前室温等。

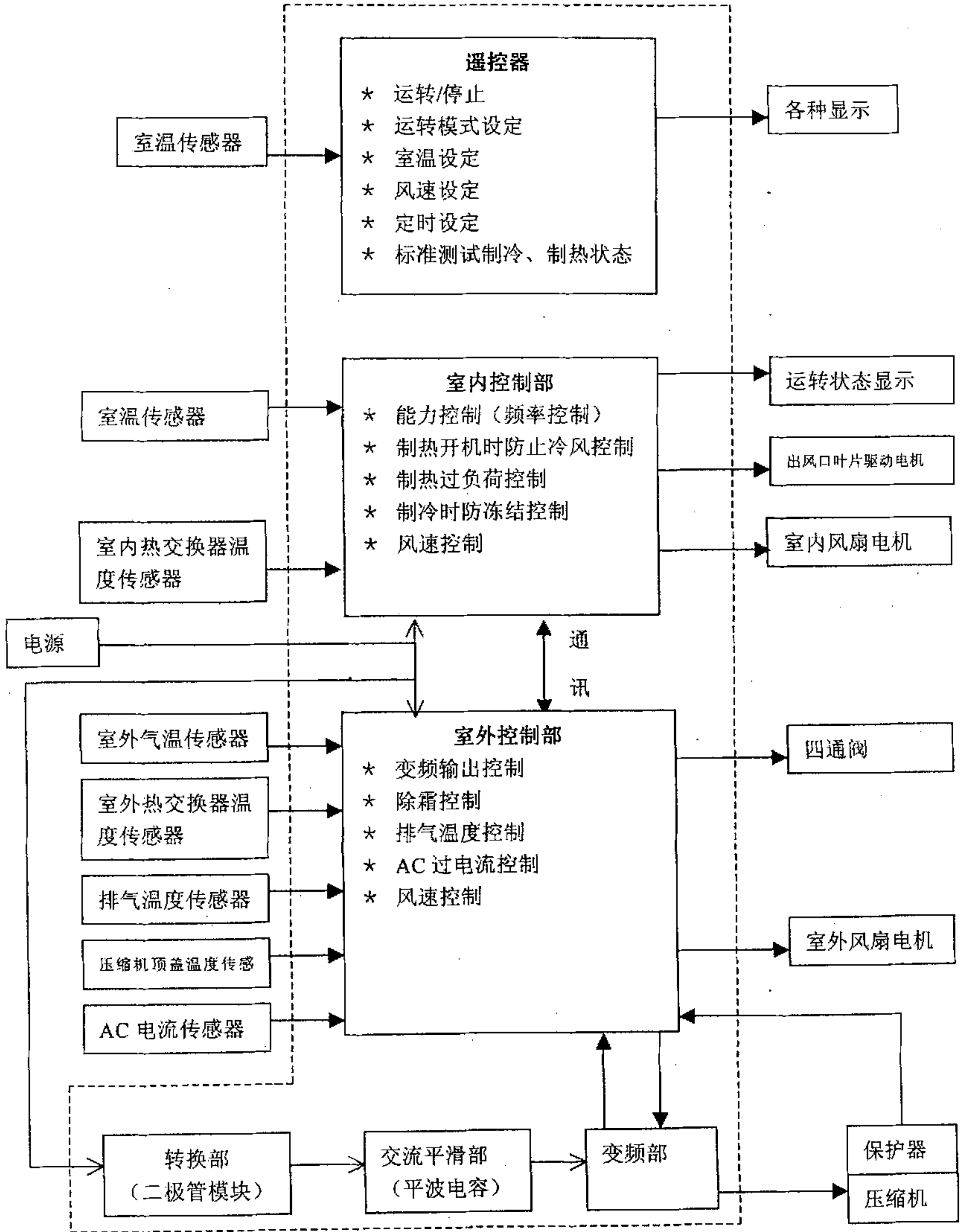


图 2-3 变频空调器控制器功能分析图

Fig 2-3 the Functional Analysis of Inverter Controller

图中箭头指向控制器（虚线框内）的信号表示变频控制器需要监测的所有参

数信号，包括工况参数、运行参数和保护参数，其中工况参数为图中所示的室内温度、室外温度；运行参数为蒸发器管温、冷凝器管温；保护参数包括压缩机排气温度、压缩机泵顶盖温度、压缩机输入电流。由控制器引出的箭头指向的信号表示变频控制器所有的控制参数。控制参数包括压缩机运转频率即转速，室内、外风机转速，以及对四通阀的控制信号。变频控制器正是通过了解这些监测参数来调整输出制参数来保证空调器的安全及高效运行。比如开机时控制器首先应该得知室内温度，室外温度，然后将室内温度与设定温度比较得到目标温差，以此决定压缩机的运转的目标频率。又如保护参数排气温度，根据某变频控制器的设计规格书当控制器检测到排气温度大于 104°C 时，压缩机将降频运行；当排气温度大于 115°C 时，压缩机停机。总之，控制器通过获得的检测参数情况来调节控制参数，就可以实现图中列出的各项功能。当然对于不同的功能，控制器参考的监控参数，和输出的控制信号也不同。

2.4 监测参数变化对空调器系统性能的影响

空调器系统的主要性能指标有制冷量、输入功率和能效比等，指的是空调器系统在设计工况下能够达到的性能指标。当工况发生变化时，这些性能参数将随之变化。空调器实际运行的工况是随时变化的，包括各地气候、每一时刻的环境温湿度、以及房间热负荷等等。这些工况的改变都会引起空调器运行参数的变化，从而导致系统的运行性能发生变化。所以变频控制器要随时监测空调器运行的工况变化，空调器上设置的室内温度传感器，室外温度传感器就是用来监测工况的变化的。工况改变导致一系列重要运行参数发生变化，这些参数包括：蒸发压力、蒸发温度、冷凝压力、冷凝温度、过冷温度、压缩机吸气温度、排气温度等。其中蒸发温度、蒸发压力、冷凝温度、冷凝压力是最主要的参数，因为工况的变化首先引起蒸发温度或冷凝温度变化，继而引起系统性能的变化，所以应该首先分析冷凝温度或蒸发温度这两个最基本的参数发生变化时（假定其他参数不变）制冷系统性能的变化关系。

2.4.1 运行参数对系统性能的影响

蒸发温度：蒸发器内制冷剂在一定压力下沸腾的温度称为蒸发温度。制冷剂的饱和温度是压力的函数。所以可以通过监控蒸发温度从而控制蒸发压力。图 2-3 给出空调器系统的理论循环图，当冷凝温度 T_k 不变，蒸发温度 T_0 降低到 T_0'

时，制冷循环由1-2-3-4-5-6-1变化到1'-2'-3-4-5-6'-1'，此时系统性能发生如下变化：

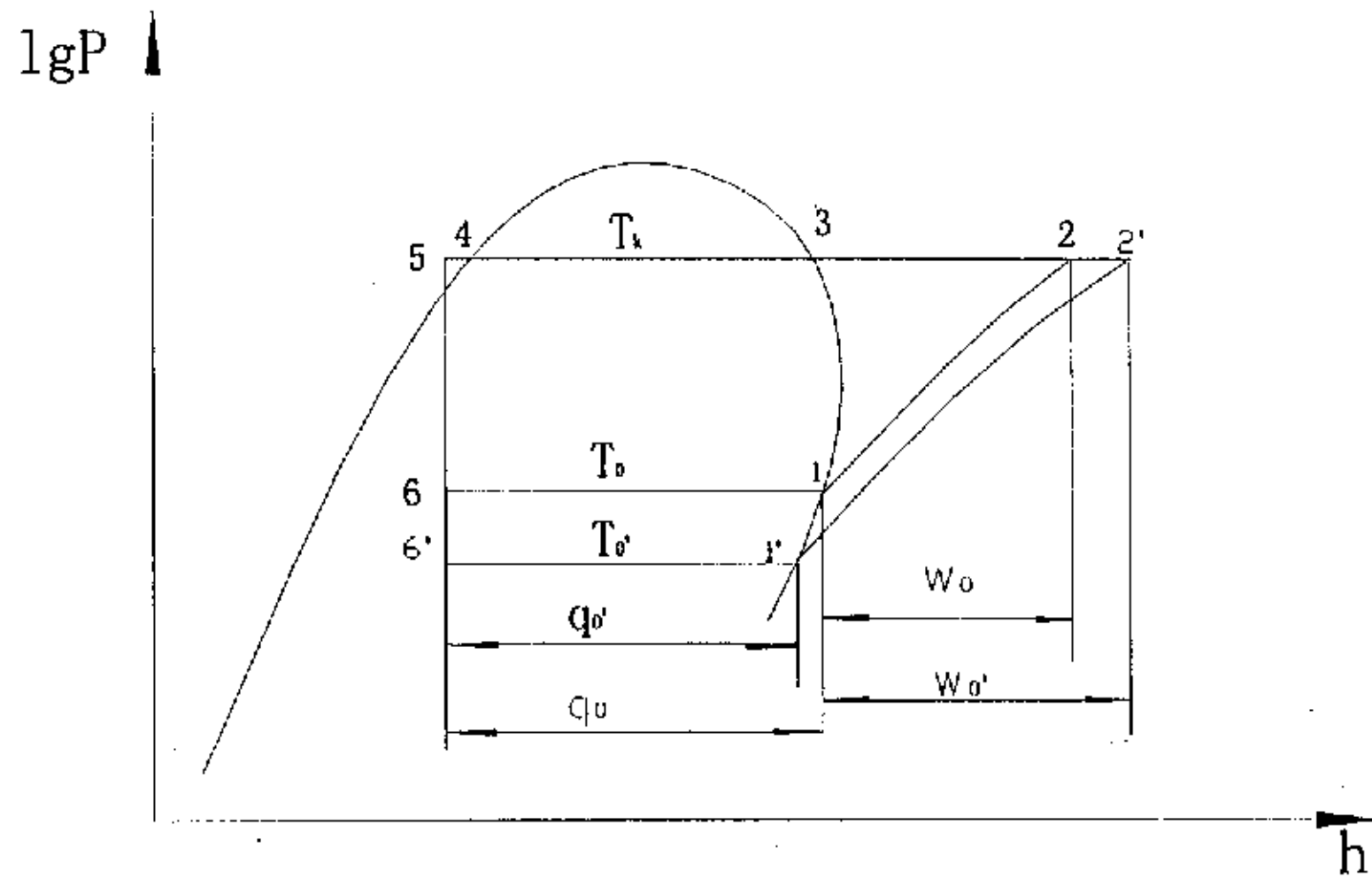


图 2-4 当冷凝温度不变时理论压-焓分析图
Fig 2-4 lgP-h Analysis When Condense Temp Keep Const

- (1) 单位质量制冷量减少，由 q_0 减小到 q_0' ；
- (2) 单位体积制冷量下降。单位体积制冷量 $q_v = (h_2 - h_4)/v_1$ 。由图可见 $v_1' > v_1$ ，所以 $q_v' < q_v$ 。

- (3) 单位质量压缩功由 W_0 增大到 W_0' ，由于制冷剂循环量由 m 减小到 m' ，因此不能直接看出当蒸发温度下降时，制冷机的理论功率

$N_{th} = m\omega_0$ 比 $N_{th} = m'\omega_0'$ 增大还是减少。理论分析得出当制冷机工作的冷凝压力 p_k 与蒸发压力 p_0 之比接近等于 3 时（不同的制冷剂略有不同），制冷机消耗的理论功率最大，当压力比大于或小于 3 时，理论功率均减小。

- (4) 理论制冷系数 $\varepsilon = \frac{q_0}{\omega_0}$ 减小到 $\varepsilon' = \frac{q_0'}{\omega_0'}$

同样的分析方法当蒸发温度 T_0 升高到 T_0' 时，单位质量制冷量增大，单位质量制冷剂消耗的压缩功减小，制冷系数 ε 增大。但是蒸发温度过高会引起压缩机吸气压力升高，从而导致排气温度过高，影响系统的安全性。

冷凝温度：冷凝器内制冷剂蒸汽在一定压力下凝结为液体的温度。冷凝温度

与冷凝压力相对应, 冷凝温度越高, 冷凝压力也越高。冷凝温度与许多因素有关, 在空调器设计匹配时, 冷凝温度是通过技术经济分析综合考虑选定的。

图 2-4 表示当蒸发温度 T_0 不变时, 冷凝温度 T_k 升高到 T_k' 时, 循环状态参数的变化。比较两个循环可以看出制冷性能指标变化:

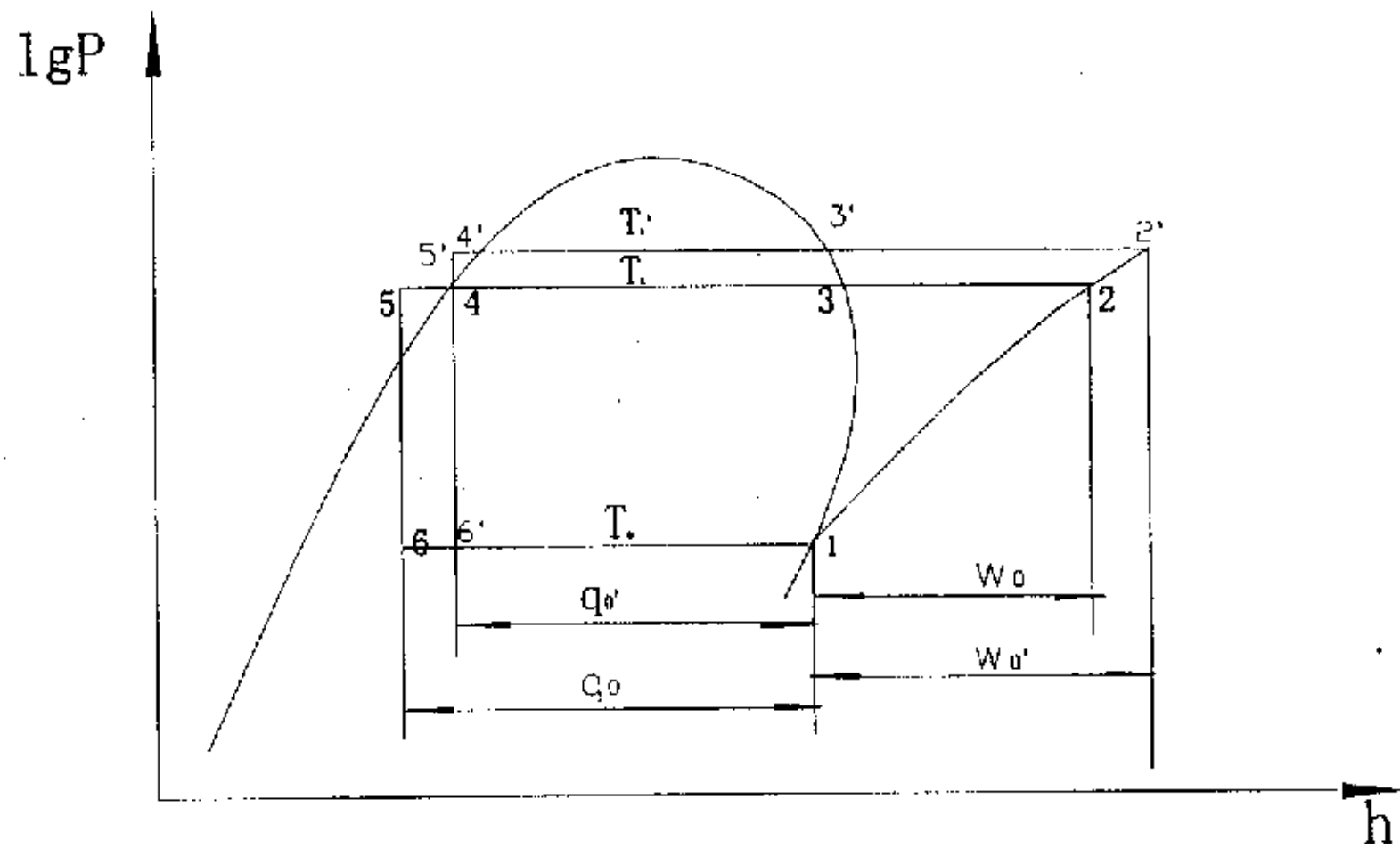


图 2-5 蒸发压力不变压-焓分析图

Fig 2-5 lgP-h Analysis When Evaporation Temp Keep Const

- (1) 单位制冷量由 q_0 减小到 q_0' ;
- (2) 由于吸气压力与温度不变, 所以吸气比容不变, 若忽略压缩机输气系数的变化, 则制冷剂循环流量 m 不变;
- (3) 单位压缩功由 w_0 增加到 w_0' ;
- (4) 理论循环功率从 $N_{th} = m\omega_0$ 增大到 $N_{th} = m\omega_0'$;
- (5) 理论制冷系数 $\varepsilon = \frac{q_0}{\omega_0}$ 减小到 $\varepsilon' = \frac{q_0'}{\omega_0}$;

同样的分析方法当冷凝温度 T_k 降低时, 制冷系统的单位制冷量增大, 而消耗的单位压缩功减小, COP 增大, 但是系统可以运行的最低冷凝温度受制冷剂热物性的限制。

表 2-1 总结了当冷凝温度 T_k 升高、蒸发温度 T_0 降低时, 制冷系统各项性能的变化。

表 2-1 冷凝温度升高和蒸发温度降低的影响
 Table 2-1 the Effect Be Imposed By Condense Temp Rising
 and Evaporate Temp Dropping

影响项目	T_k 降低	T_0 升高	影响项目	T_k 降低	T_0 升高
单位质量制冷量	下降	下降	单位体积压缩功	有极大值	上升
单位体积制冷量	下降	下降	制冷系数	下降	下降
单位质量压缩功	上升	上升	压缩终点温度	上升	上升

从上面的理论制冷循环分析可知,对空调器系统进行调节和控制时要尽量将蒸发温度稳定在设计值,避免过高或过低。蒸发温度过低,系统的经济性变差;蒸发温度过高可能导致制冷量不足,不能满足制冷要求。而对于冷凝温度,为使系统具有较高的能效比和安全性,在空调器系统的控制和调节时应使系统在尽可能低的冷凝温度下运行。

2.4.2 工况参数对运行参数的影响

当工况参数室内、外温湿度发生变化时,首先会引起空调器系统的运行参数蒸发温度和冷凝温度的变化,继而引起系统性能的变化。事实上,空调器运行的工况在随时发生变化,因此分析工况参数变化对运行参数的影响对于空调器的调节和控制十分重要。

一般情况下,当空调器被安装好以后,它的实际运行工况几乎不可能与其设计工况完全相同。另外,在空调器的某段短时间内的运行过程中,室外温度波动很小,而室内温度(制冷工况)逐渐下降,导致蒸发器换热温差减小,换热量减小,蒸发器出口温度升高,压缩机吸气比容增大,单位体积压缩功增大,导致系统 COP 下降。因此,在空调器的控制中,要随时根据热负荷来调节日制冷量,以保证空调器运行的蒸发温度稳定在设计值。

2.4.3 保护参数对系统性能的影响

压缩机吸、排气温度:压缩机的吸气温度指压缩机吸入口处的气体温度。压缩机的吸气温度过低,说明回气中带来制冷剂液滴,这是湿行程的前兆,应当尽量避免。吸气温度过高会降低系统的经济性,且最高吸气温度要受到排气温度的限制。因此,压缩机的吸气温度既是运行效率和能耗水平的标志,又是安全运行的标志。在空调器的控制中要密切监控及时调节,使之维持在合理的范围内。

压缩机的排气温度指压缩机排气阀处的制冷剂温度。排气温度的高低取决于吸气压力、排气压力、吸入气体的过热度 and 干度等因素。在其他参数不变的情况下，压缩机吸排气压缩比越大，排气温度越高；吸气过热度越大，排气温度越高；吸气的含湿量越大，排气温度越低。排气温度是空调器运行中需要监控的重要参数，因为如果排气温度过高会对系统造成如下危害^[36]：

- 1、使润滑油的粘度降低，润滑性能恶化。随排气温度升高，润滑油的粘度下降，摩擦表面的油膜不易形成，磨损增加，使运动部件寿命缩短，甚至损坏。
- 2、易使润滑油碳化、结焦，影响压缩机正常运行。当排气温度接近或超过润滑油的闪点温度时，油中的轻质馏分迅速挥发，造成积碳现象，使流动阻力增大，提高压力比，增大功率消耗，增加冷凝器的冷凝负荷，增加室外风机的功耗。

所以，压缩机排气温度是空调器控制系统重要监控指标。除压缩机吸、排气温度对系统安全有重大影响外，压缩机泵顶盖温度以及压缩机输入电压和电流亦是影响压缩机安全的重要因素。控制器要对这些参数密切监控以保证系统安全运行。

2.5 控制参数对系统性能的影响

对于一台配置好的空调器，其两器、压缩机、毛细管、充灌量都是确定的，而工况参数是环境决定的，空调器的可调参数就只有压缩机频率、室内风机风量、室外风机风量。对于变频空调器运行性能的研究，前人已经作了大量的工作。对系统运行特性的分析包括以下三部分：频率对系统性能的影响、室内风量对系统性能的影响、室外风量对系统性能的影响。本节只想定性分析控制参数对系统性能的影响，因此本文利用文献〔36〕经实验验证可靠的变频空调器系统模拟计算程序的计算结果对空调器的变频特性进行分析，利用谷轮公司的 copesim 空调器计算软件分析当室内风量及室外风量发生变化时，对空调器性能的影响。在这里只给出研究结论。

2.5.1 频率变化的影响

根据文献〔36〕的计算结果，可以得到当压缩机输入频率变化时，空调器的性能参数以及运行参数的相应变化。

对性能参数制冷量、输入功率、COP 的影响：在工况参数、制冷剂充灌量

和毛细管长度一定的情况下,频率升高将会引起制冷剂流量增加,并且频率越高,制冷剂流量增加的越快,同时,频率的增加会使得制冷剂泄漏量减小,这两方面因素使得制冷量增大。因此在空调器的调节和控制中,当冷负荷较大时空调器要以较高的频率运行,输出较大制冷量使房间温度快速下降;当冷负荷较小时空调器应以较小的频率运行,以维持房间的温度。另一方面,由于毛细管长度不变,流量的增大会引起流动阻力增大,蒸发压力降低,蒸发温度降低,压力比增大,压缩机吸气比容增大,这使得制冷量减小。而压力比的增大使得压缩机输入功率相应增加,能效比的变化是制冷量和输入功率共同作用的结果。

对运行参数的影响:根据该文献的计算结果可以看到冷凝器出口温度受频率的影响很小。这是由于冷凝温度主要取决于室外环境温度,当环境温度相同时,冷凝器出口温度在各频率下相差不大。而蒸发器出口温度与蒸发温度有关,当频率升高后,制冷剂流量增加,在空调器配置不变的情况下,会引起蒸发压力降低,蒸发温度降低。在一定的充灌量下,当频率升高到一定程度,可能引起系统充灌量不足,造成蒸发温度迅速降低。

2.5.2 变室内风量的影响

变室内风量研究只改变室内进口风量,室外风扇风速固定,研究其系统性能变化。空调器频率定在稳定运行后的低频段 50Hz 上,室内外侧的环境温度设定为标准规定的空调器制冷工况。根据软件的计算结果可以得到室内风量变化时对空调器性能参数与运行参数的影响。

在特定工况下固定压缩机运行频率、固定室外风量、改变室内风量时,制冷量有所增加,这是因为室内进风量增大,强化了蒸发侧换热导致制冷量增大;压缩机的输入功率增大,同时增大室内进风量增加了室内风机的电耗,导致空调器系统的输入功率增加。COP 的变化是制冷量与输入功率的综合效果。冷凝器出口温度随室内进风速度的变化非常小,这是因为冷凝器出口温度主要取决于室外环境温度。而蒸发器出口温度随室内进风量的增大上升幅度较大,这是由于蒸发侧换热增强,换热量增大,导致蒸发器出口的制冷剂过热度增大。

2.5.3 室外风量的影响

变室外风量研究只改变室外进口风量,室内风扇风量固定,研究其系统性能变化。空调器频率定在稳定运行后的低频段 50Hz 上,室内外侧的环境温度设定

为标准规定的空调器制冷工况。

在特定工况下，当增大室外进风量时，制冷量增大而压缩机输入功率减小，这是因为增大室外风速时，强化了冷凝器的换热，增大了冷凝器出口过冷度，因而导致单位质量制冷量增大，压缩机的输入功率减小，但风机的电耗增大，所以系统的输入功率是二者的综合效果，而 COP 值是制冷量与输入功率共同作用的结果。当增大室外风速，冷凝器出口温度下降迅速，而蒸发器出口温度变化甚微。因此根据前面的理论分析可知，降低系统的冷凝温度，不降低蒸发温度，会提高循环的效率。所以增大室外风机风速，若不考虑风机输入功率的提高，可以提高系统的 COP。

通过上述分析，可以看到频率、室内风量、室外风量三个调节参数对系统性能的影响各有侧重，因此在空调器运行的调节控制中，一定要使三者很好地配合起来，以实现系统高效、安全地运行。

2.6 控制器控制功能要求

2.6.1 系统运行参数控制要求

- 1、通过调节压缩机运转频率调制冷量使之与负荷相适应，同时通过调节风扇运行的档位调节室内进风量配合制冷量的调节，使蒸发温度尽量接近设计值。因为蒸发温度偏高偏低都会降低系统的经济性。
- 2、通过调节压缩机运转频率来调制冷剂流量、压缩机排气量，同时配合调节室外机风速，使空调器尽可能运行在较低的冷凝温度下，以提高制冷效率。
- 3、控制压缩机的吸气温度和排气温度在合理的范围之内。变频控制器应通过降频、升频以及停机等手段控制压缩机排气温度，而压缩机吸气温度主要取决于蒸发器出口温度，所以通过调节压缩机频率和室内风机的风速可以控制其吸气温度。

2.6.2 保护参数控制要求

变频空调器应该实现的保护功能有很多，表 2-2 列出所有应实现的保护功

能及变频控制器的相应的动作。本表的数据均参考前面提到的某控制器的设计规格书。

表 2-1 变频控制器保护功能要求
Table 2-1 Protecting Functional Requirement of controller

序号	保护功能	监测参数及其范围		控制器动作	备注
1	电源电压异常保护	电压>250V 或<160V		压缩机停机	—
2	过电流保护	AC 电 流	$\geq 8.3A$	压缩机降频运转	制冷 模 式
			$\leq 6.5A$	压缩机升频运转	
			$> 0.9A$	压缩机停机	
			$= 7.0A$	压缩机频率稳定	
		AC 电 流	$\geq 10.9A$	压缩机降频运转	制 热 模 式
			$\leq 9.0A$	压缩机升频运转	
			$> 12.5A$	压缩机停止运转	
			$= 9.5A$	压缩机频率稳定	
3	压缩机排气温度保 护	排 气 温 度	$\geq 115^{\circ}C$	压缩机停机	—
			≥ 104	压缩机降频运转	
			< 86	压缩机升频运转	
			$= 96$	压缩机频率稳定	
4	室内热交换器过热 保护	室 内 热 交 换 器 温 度	$> 60^{\circ}C$	压缩机停机	制 热 模 式
			$\geq 52^{\circ}C$	压缩机降频运转	
			$= 48^{\circ}C$	压缩机频率稳定	
5	室内热交换器防冻 结保护	室 内 热 交 换 器 温 度	$< -1^{\circ}C$	压缩机停机	制 冷 模 式
			$\leq 2^{\circ}C$	压缩机降频运转	
			$2-5^{\circ}C$	压缩机频率稳定	

说明：表中的具体检测参数的临界点值对于不同的空调器是不相同的，本文在此引用只是想说明控制器应该通过控制压缩机运转频率实现这些保护功能。

在组成空调器系统的四大部件中压缩机是空调器系统的核心，也是最容易出问题的部件，所以压缩机的安全运行至关重要。对于常规的定频压缩机，为了确保压缩机的使用安全性，往往在压缩机内部装有内置保护器。而变频压缩机由于需要在较宽的工作范围内工作，针对特定工况的内置保护器很难适应变频压缩机的要求。因此，变频压缩机多数没有内置保护器。所以变频压缩机将没有任何自我保护能力。在系统控制中要求特别注意压缩机安全保护的完善性，以确保变频

压缩机的正常、安全使用。

除上述提到的保护功能，压缩机尤为重要的一点是变频压缩机电机要求输入的电压与运转频率之间具有一定的关系，即所谓的压/频曲线。压缩机出厂时制造厂家都将向用户提供压缩机所需的压频曲线供用户参考。在压缩机使用中，变频控制器输出的压/频特性必须与压缩机所要求的压/频曲线相同。根据某技术配套中心的实验结果，当二者出现差异时，压缩机的工作电流迅速上升。图 2—26 所示为当采用合适的变频器严格按压缩机要求的压/频特性输出与采用某种不恰当变频器时压缩机工作电流的对比。从图中可以看出，二者电流最大相差近 3 倍。

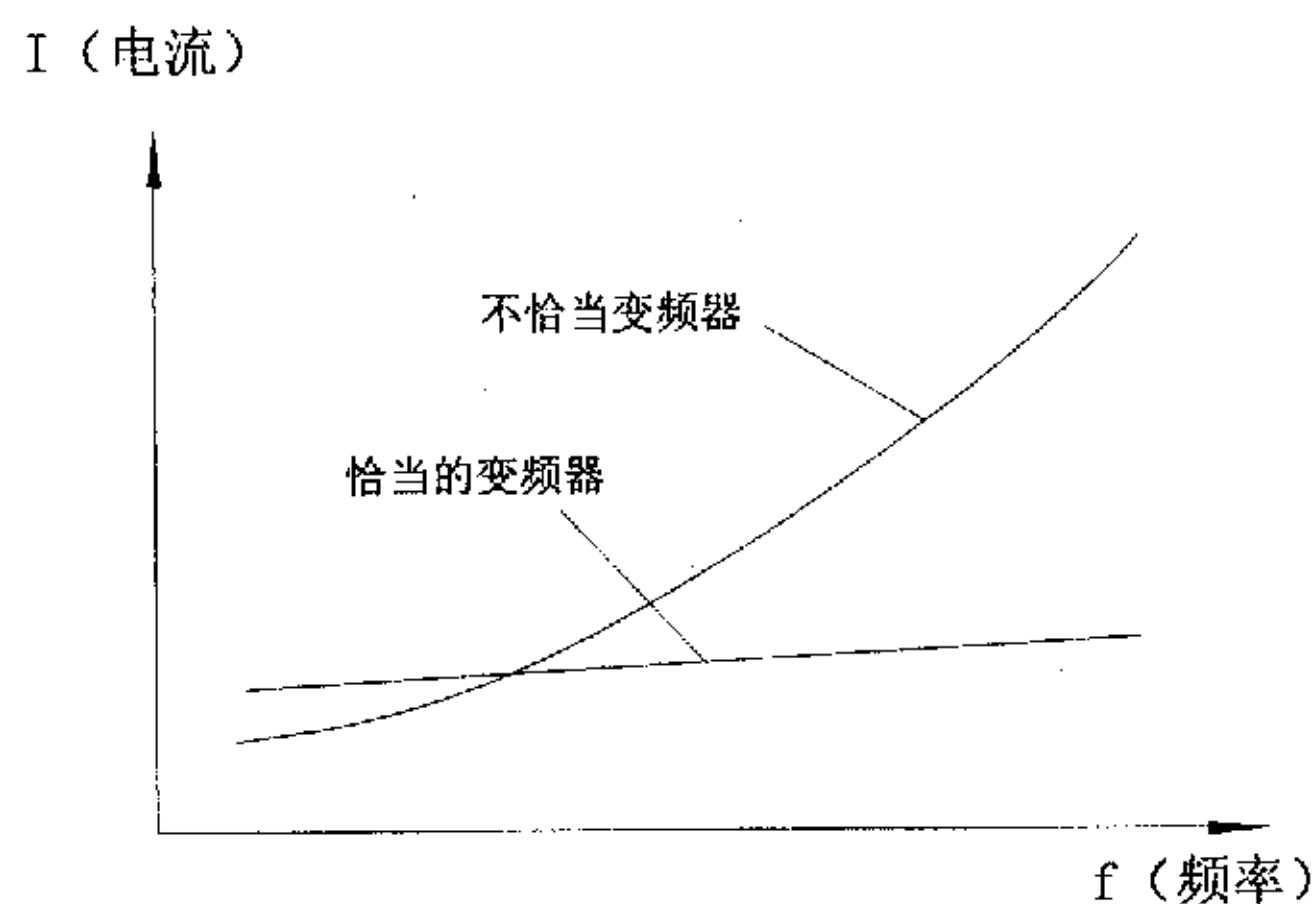


图 2—6 压缩机工作电流与变频器输出频率的关系

Fig 2-22 the Relationship of Working Current With Frequency

另外压缩机的启动和频率调节，也有相应的要求。为保护压缩机的正常运转，压缩机启动时若目标频率较高或较低时，不应该控制压缩机直接到达该目标频率进行运转，而应在某一中间频率使压缩机有一过渡运转时间，以形成热平衡和良好的润滑。同样出于各种考虑，对压缩机频率调节的速度也有一定的要求。

2.7 测试系统检测目标：

- 1、变频控制器输出的压/频曲线是否与压缩机要求的压/频曲线相吻合。
- 2、变频控制器在空调器启动和频率调节过程中，是否考虑压缩机的润滑和热平衡问题。
- 3、控制器是否能够实现空调器的各种正常运转功能。包括检测控制器的降温速度与温控精度。

4、表 2-1 中所列项目指标超标或违规操作时,变频控制器是否能够控制和保证各指标在正常范围内。

2.8 本章小结

本章分析了变频空调器控制器各监控参数对空调器系统运行性能的影响,提出变频控制器应具有的控制功能。提出智能测试系统的检测目标。

第3章 智能测试系统的设计

3.1 引言

当前中国空调器行业的技术发展有其不健康的一面,即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,进入了华而不实的怪圈。事实上,空调器只是一个调节房间温度的生活必需品,其核心功能就是制冷、降温,只要实现了这一功能就是合格的产品,过多的关注一些辅助功能,既无必要又造成产品的成本、价格增加。因此,随着空调器市场的日趋成熟,空调器产品必将走向返璞归真。那么对于变频空调器控制器,其核心控制功能就是实现制冷系统高效、安全运行,其控制功能的好坏直接影响着空调器的性能,所以本文拟开发的变频控制器智能测试系统只针对变频控制器的核心控制功能进行检测,目的在于能够为变频空调器及变频控制器的开发与研究提供有力工具,同时能为空调器厂和控制器厂提供技术协调和合作。

3.2 智能测试系统的功能设想

本文拟开发的智能测试系统应该具有如下功能:

- 1、可以模拟空调器运行状态代替实际的空调器,在变频控制器不接入空调器的情况下通过本测试系统可以使控制器输出控制指令。
- 2、如实记录变频控制器发出的一切控制指令,并给出控制参数的实时变化曲线,以及模拟空调器系统各检测参数的实时变化曲线。
- 3、可以任意设置微小的目标温差,检测控制器的温度控制精度。
- 4、可以任意设置危险和非正常工况,同时记录控制器对这些工况所做出的处理指令,以及模拟空调器系统的相应变化。以此检测变频控制器的保护功能。
- 5、可以对市场上大部分型号的变频空调器控制器进行测试,具有一定通用性。

对空调器运行工况的变化,变频控制器将作出反应。如压缩机温度过高,变频器将逐渐降低压缩机的运行频率直至其温度达到正常。又如当空调器的运行电流超过限定值时,变频控制器将降频或切断电源以避免发生烧机事故。当测试系统利用模拟空调器系统输出此类模拟信号时,变频控制器应该输出相应的控制信

号保证系统正常运行,那么测试系统一方面要检测控制器的输出信号,另一方面还要模拟空调器系统输出反馈信号,变频控制器接到此信号后再输出控制信号给测试系统,如此循环往复。在这个过程中,测试系统可以完全记录下向变频控制器输入的模拟信号和变频控制器的输出控制信号的实时变化曲线,由此考察变频控制器能否满足要求。设计人员可根据测试仪的记录确定改进的方向。

本测试系统还应该能够实现对各种容量、各种型号的空调器的模拟。这样智能测试系统对空调器厂开发新产品也非常有用,空调器厂针对其新产品要求控制器厂提供配套的控制器,空调器厂可以将新产品要求达到的运行效果输入智能测试系统提供给控制器厂,配合控制厂开发出满足条件的控制器。

3.3 设计总体思路

空调器作为一个受控对象,变频控制器通过控制压缩机的转速、风扇的开停以及空调器系统中一些阀门的开关来达到控制空调器的目的。同任何闭环系统一样,变频控制器只有得知被控对象的状态才知道如何进行控制,如升频、降频,控制风扇开关等。而这些状态参数都是通过传感器才能使控制器得到消息、做出相应判断、发出控制信号。本文第二章对控制器的输入、输出参数以及这些参数对系统性能的影响进行了分析。因为本测试系统关注的是控制器的控制功能,而不是控制器内部具体的控制策略与模式,所以考虑将控制器看作黑匣子,只讨论其输入、输出信号。控制器作为智能测试系统的被检测对象,其输出的控制参数就是测试系统的要测试参数,而控制器接受的空调器反馈信号则变为控制变频控制器输出的控制信号。实际上测试系统就是给控制器输入一系列模拟参数,然后控制器输出一系列响应参数(压缩机频率、风扇风速等)到测试系统。智能测试系统的简单输入输出关系如图3-1所示:

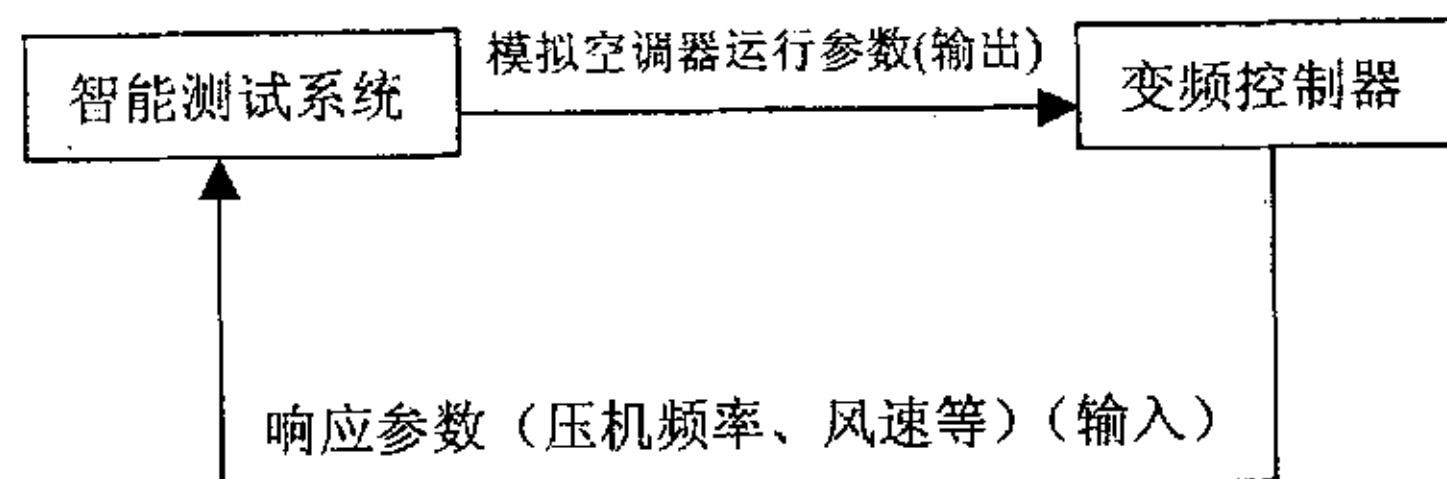


图 3-1 测试系统的输入输出关系

Fig 3-1 Relationship of Input With Output

上图只给出智能测试系统笼统的输出、输入关系,对于本文设计的智能测试系统则需要分析更加细化的输入、输出参数。针对市场上绝大多数变频空调器所具有

的功能, 分析测试系统的输入、输出参数特点如表 3-1 所示。

3-1 智能测试系统的输出、检测参数与控制器功能对照表

Table 3-1 Input and Output Parameters of Intelligent Testing System

被检测的功能		测试仪应该输出的信号 (给控制器)	测试仪应该检测到的信号 (控制器输出)	
自动模式	起动	室内温度, 遥控器设定目标温度	控制器输出的频/时、压/频曲线	
	正常运转	微小的温度变化取 $\Delta T=1$ 或 0.5°C	控制器输出频率	
制冷模式	起动	室内温度, 遥控器设定目标温度	控制器 PWM 输出、	
	正常运转	微小的温度变化取 $\Delta T=1$ 或 0.5°C	控制器输出频率	
	防冻结保护	室内换热器温度	控制器输出频率	
	标准试验制冷状态	(由遥控器设定)	控制器输出频率	
	高效运行	(由遥控器设定)	室内风机状态	
制热模式	起动	室内温度, 遥控器设定目标温度	控制器 PWM 输出、风扇状态	
		防吹冷风功能	室内热交换器温度	控制器 PWM 输出、风扇状态
	正常运转	微小的温度变化取 $\Delta T=1$ 或 0.5°C	控制器 PWM 输出、风扇状态	
	停机	(遥控器设定)	四通阀、室内风机状态	
	除霜模式	开始	室外温度、室外换热器温度值及其随时间的变化, 制热运行时间	四通阀、室内风机状态、控制器频率输出
		结束	室外换热器温度	控制器输出频率
	防过载保护	室内热交换器温度	控制器输出频率	
	标准试验制热状态	(由遥控器设定)	控制器输出频率	
	高效运行	(由遥控器设定)	室内风机状态	
	除湿运转模式		室内温度 (ΔT)	室内风机状态、控制器频率输出
通风运转模式		(遥控器设定)	室内风机状态	
定时功能		——	——	
睡眠运行模式		——	——	
排气温度保护		排气管温度 ($80\text{---}120^{\circ}\text{C}$)	控制器频率输出	
过电流保护	制冷	总电流信号 ($6\text{---}9\text{A}$)	控制器频率输出	
	制热	总电流信号 ($8.5\text{---}12.5\text{A}$)		
电压异常保护		电源电压 ($160\text{---}250\text{V}$)	控制器频率输出	
压缩机延时保护		(再次开机)	延时	

由表 3-1 可以看到, 空调器绝大部分是通过对频率的控制来实现。因此, 频率是影响系统性能的决定性因素, 在测试系统的设计中将主要考虑频率对系统运行的影响。

3.3.1 模拟空调器运行参数

根据表 3-1, 可以看到智能测试系统的输入参数—控制器的监测参数对于空调器系统的运行性能至关重要。控制器发出控制指令的依据就是这些参数值, 此值由相应的传感器检测并反馈到控制器。因此在智能测试系统设计中, 对空调器运行参数的模拟, 不采用复杂的系统仿真对控制器的控制信号给出动态响应, 而是设想利用空调器系统实际运行参数的变化规律来给出模拟信号。对空调器的运行参数, 变频控制器通过传感器获取各被测物理量相对应的电信号而获得, 所以考虑利用人为产生的模拟电信号模拟空调器实际运转时传感器的输出信号。由于空调器中所使用的传感器均采用电测技术, 其输出也是电信号, 要模拟空调器实际运转时传感器的输出信号, 所要做的只是利用标定技术将模拟电信号与传感器的被测物理量的数值对应起来, 而这种思路是完全可行的。

由于空调器运行时其工况在不断变化, 那模拟信号必须是与实际工况变化相适应的变化信号。测试系统要检测控制器对各种状况的控制就应该能够实现模拟各种工况下的反馈参数。最关键的就是对不同的频率下空调器系统模拟信号的变化规律——各种工况下各监测点参数随运行时间和压缩机频率的变化曲线。包括:

室内温度—时间—频率变化曲线;

蒸发器管温—时间—频率变化曲线;

室外温度—时间—频率变化曲线;

冷凝器管温—时间—频率的变化曲线;

压缩机排气温度—时间—频率变化曲线;

压缩机顶盖温度—时间—频率变化曲线;

另外还有三个重要的保护参数, 测试系统也应该予以模拟, 相应的变化曲线包括:

蒸发压力-频率变化曲线;

冷凝压力-频率变化曲线;

压缩机输入电流-频率变化曲线。

建立数据库用于存放上述曲线, 针对每一个参数的变化规律建立相应的数据文件, 当控制器在某时刻输出一个频率信号时, 测试系统就可以根据频率和时间查找数据库找到这一时刻这一频率下对应的温度值, 并将其作为模拟信号反馈给控制器, 控制器收到反馈信息后再输出控制信号给测试系统, 如此循环往复, 将实际的空调器传感器信号以测试系统中的模拟信号来代替, 模拟信号成为变频控制器的输入信号, 实现了完全代替空调器系统的功能。另外, 对于压缩机输入电流随频率的变化曲线, 可以通过实验得到, 对 AC 电流传感器的模拟与热敏电阻采用同样的思路。为了实现测试系统的通用性, 将数据库做成面向用户、开放的数据库, 这样, 用户就可以很方便地针对要测试的变频控制器输入相应的各参数的变化曲线。当然利用数据库反馈的信号是数字信号, 比如在某时刻、某频率下查到的室内温度是 20°C , 测试系统应该将这个温度数字信号首先转变成热敏电阻阻值的数字信号, 然后再转变为控制器可以接受的电信号。在温度、阻值和相应的电压信号之间有确定的数量关系, 测试系统可以通过数值计算、电路换算等手段实现这一转化。

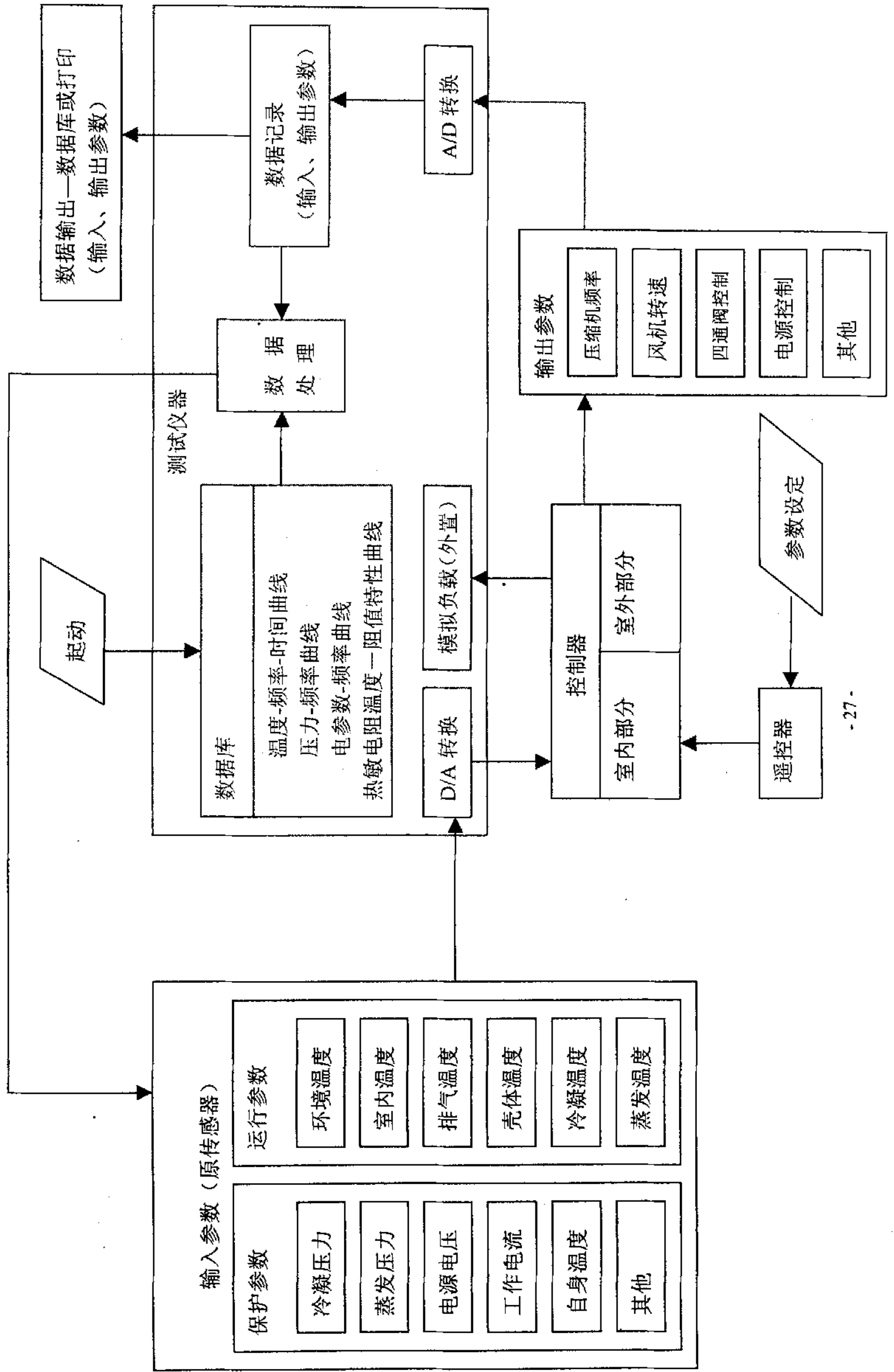
3.3.2 检测控制器输出参数

变频控制器对空调器的控制信号主要包括: 控制压缩机转速的信号、控制室内、外风机转速的信号、控制四通阀开启的信号等。当前交流变频控制器一般采用的是 PWM 脉宽调制变频技术, 因此控制压缩机转速的信号应为 PWM 控制信号, 此信号的电压/频率特性应与压缩机所要求的压频曲线相同, 若不同会对压缩机造成很大损害(见第二章), 因此测试系统要对此控制信号进行检测, 记录其压/频曲线。另外, 控制器通过对四通阀开关控制来决定制冷剂流动的方向从而保证空调器运行在制冷或制热模式, 四通阀开启空调器运行在制热模式, 四通阀关闭空调器运行在制冷模式。对于现在的大部分变频空调器室内外风扇都采用分档调速风机, 一般室内风机分 5 档, 室外风机分 3 档。变频控制器对分档调速风机以及四通阀的控制都是通过强电的开关实现的, 测试系统要记录控制器对这三路信号的控制。

3.3.3 设计思想框图

图 3-2 给出智能测试系统的思想框图。图中红色框代表测试系统, 首先测试系统内部应该具有实现模拟空调器系统运行的各参数的变化曲线-建立相应的数据库, (具体包括那些数据库在 3.2.1 中已经进行了详细解释) 来模拟传感器信号作为控制器的输入参数, 控制器的输出参数作为测试系统的检测参数。

3-2 测试系统设计思想框图



测试系统要做到模拟变频控制器的输入信号、检测输出信号，必须具有将数字信号转化为电信号，以及将电信号转换为数字信号的硬件装置。为了保证控制器输出特性，还要设计一定的模拟负载。同时，测试系统必须设计相应的软件完成数据接收、发送、处理等功能。

因此使用上、下位机的思想，通过下位机（硬件）完成对变频控制器输出信号的测试，将测得的相关电信号通过 A/D 转换成相应的数字信号传送到上位机（软件），上位机根据得到的控制信号判断制冷系统处于何种状态，找到相应的经验数据—不同测点的温度变化曲线，以这一时刻的温度值作为关键字去查询存放传感器的特性曲线（热敏电阻的温度-阻值特性曲线）的数据库，得到相应的阻值（数字信号）到下位机，由下位机完成 D/A 转换产生控制器可以接受的相应的模拟电信号，反馈给变频控制器。如此循环反复，测试系统就可以完全取代空调器和控制器直接对话，完成测试与反馈的功能。上、下位机与变频控制器之间的输入、输出关系如图 3-3 所示：

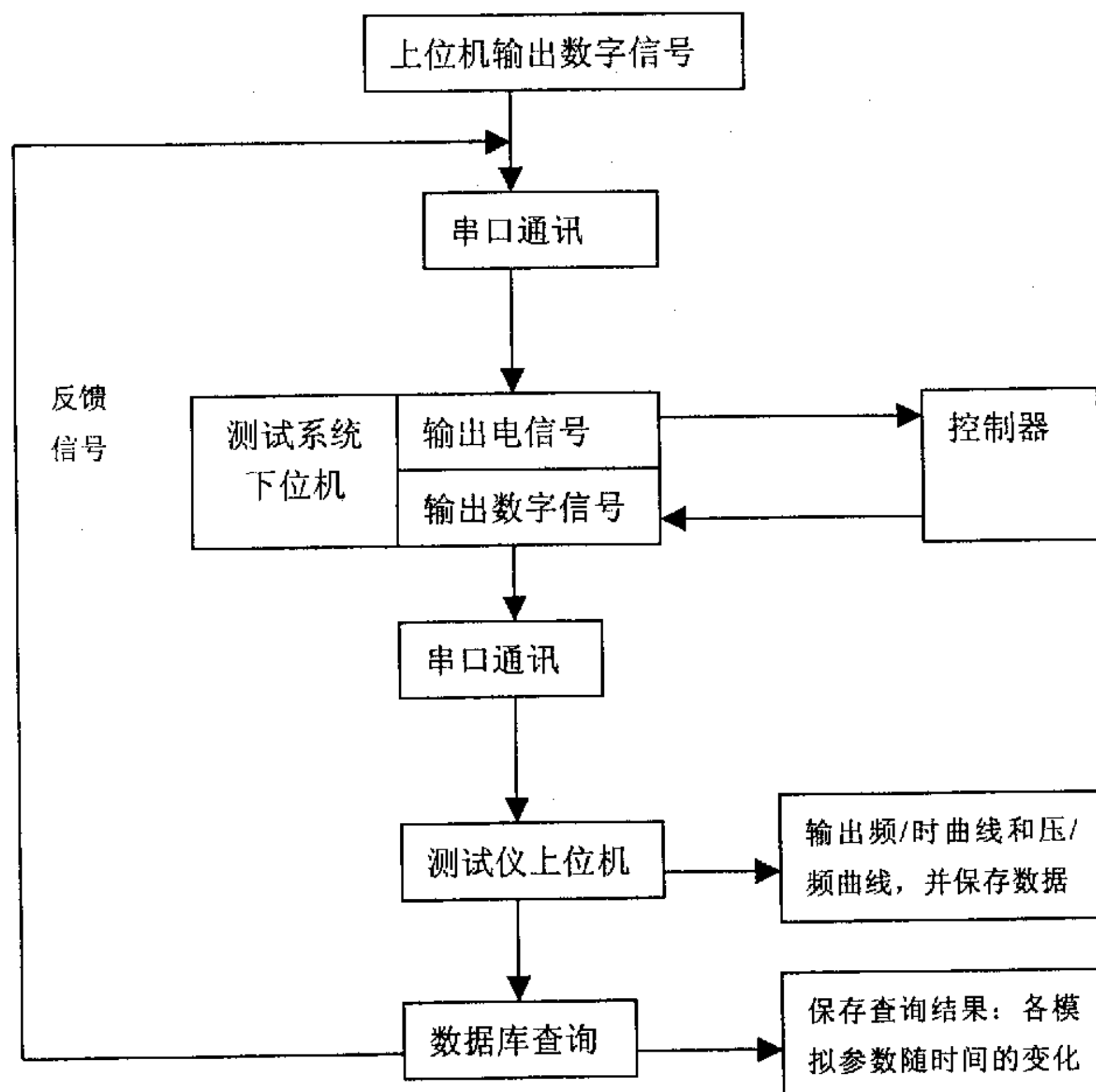


图 3-3 上、下位机与控制器的输入、输出关系

Fig 3-3 Relationship of Input with Output of Controller and Intelligent Testing System

整个测试系统的主要支撑是下位机的准确测量、上位机的准确反馈以及数据库中真实、完备的制冷系统运行数据，三者缺一不可。因此智能测试仪的设计工作主要由三大块组成：

- 1、建立所需数据库和获取空调器实际运行参数变化规律；
- 2、开发能够实现与下位机实现通讯、数据库查询、实时曲线绘制、以及完成用户设定等功能的软件；
- 3、设计必要的硬件支持。

3.4 数据库的建立

本文使用 MS Access 创建所需数据库。Microsoft Access 是一个基于关系模型的数据库管理系统 (DBMS)。使用 Microsoft Access 可以在一个数据库中管理所有的用户信息，它给用户提供了强大的数据处理功能，帮助用户组织和共享数据库信息，是用户能方便地得到所需的数据。本文根据测试系统的功能要求创建两类数据库，一类是用于存放空调器系统的模拟运行参数，名称为 runparameter.mdb，另一类用于存放测试及查询结果，名称为 result.mdb。数据库包含的数据文件（表）和参数变化曲线的对应关系如表 3-2、3-3 所示。

说明：表 3-2 中前 8 个数据文件用于存放系统运行过程中，控制器监测参数的变化规律。前面 6 个温度参数都是运行频率及运行时间的函数，因为当系统在不同的频率下运行时，各监测点温度的变化规律是不一样的，如果通过建立数学模型计算得到，则过于复杂且没有必要，同时还会限制智能测试系统的通用性，所以这部分曲线通过实验获取，本文的第四章介绍相关实验的所有内容。

第 9、10 个数据文件用于存放当系统紧急停机后控制器仍然需要监控的参数的变化规律，并根据该参数的值来决定是否可以重新启动压缩机。这两个参数的变化规律可以通过实验或计算获得，考虑到系统因为排气温度过高，或者压缩机泵体温度过高导致压缩机紧急停机，如果要通过实验获取这两个参数的变化规律，就要使实验空调器工作在危险工况，有可能损坏实验空调器，所以考虑通过理论计算获取这两个参数的变化规律。在后面的实验中仍然可以测得停机后压缩机泵体、排气管随温度的变化曲线，只是起始温度并不能达到测试系统需要的高温，但却可以用来对本文所建立的传热模型进行验证。

第 11 个数据文件存放热敏电阻的温度—阻值特性曲线。当然不同型号的热敏电阻的阻值—温度特性曲线是不一样的，本文通过实验方法只给出某种型号热敏电阻的温度—阻值特性曲线，在随后用户使用测试系统的过程中，可以根据自己的情况随意更改。

3-2 runparameter.mdb 数据库所有数据文件（表）与参数变化曲线对照表

Fig 3-2 All Data Files in the Database of Runparameter.mdb

序号	数据文件名称	对应的参数变化曲线	获取方式
1	Inner_temp	室内温度-频率-时间变化曲线	实验
2	Evap_temp	蒸发器管温-频率-时间变化曲线	实验
3	Outer_temp	室外温度-频率-时间变化曲线	实验
4	Cond_temp	冷凝器管温-频率-时间变化曲线	实验
5	Exhaust_temp	排气管温度-频率-时间变化曲线	实验
6	Pump_temp	压缩机顶盖温度-频率-时间变化曲线	实验
7	High_press	系统高压-频率变化曲线	实验
8	Low_press	系统低压-频率变化曲线	实验
9	Stoppump_temp	停机后泵体温度-时间变化曲线	实验/计算
10	Stopexhaust_temp	停机后排汽管温度-时间变化曲线	实验/计算
11	resis_temp	热敏电阻的温度—阻值特性曲线	实验
12	Current-freq	压缩机输入电流—频率变化曲线	实验

表 3-3 result.mdb 数据库中数据文件同结果曲线对照表

Fig 3-3 All Data Files in The Database of Result.mdb

序号	数据文件名称	参数的变化曲线	获取方式
1	Freq_time	压缩机频率—时间曲线	记录测试结果
2	Volt_freq	压缩机输入电压—频率曲线	记录测试结果
3	Innertemp_time	室内温度—时间曲线	记录查询结果
4	Evaptemp_time	蒸发器管温—时间曲线	记录查询结果
5	Outertemp_time	冷凝器管温—时间曲线	记录查询结果
6	Exhaustemp_time	排气管温度—时间曲线	记录查询结果

第 12 个数据文件用于存放压缩机输入电流随频率的变化关系。根据图 2—

3 变频控制器通过 AC 电流传感器检测压缩机输入电流，通过升、降频或者停机的方式保证压缩机不会过电流运行，导致烧机事故。

表 3-3 中所有的数据文件用于存放测试系统在测试过程中测试参数的变化曲线，以及反馈参数的查询结果随运行时间的变化。对于本数据库在软件编程中主要是对各数据文件写入数据，用于后期对控制器性能的评价与分析。

3.4.1 运行参数的随时间与频率的二元变化曲线

控制器监控的重要运行参数在表 3-2 中都已列出，这部分参数用于对变频空调器正常运行状况进行模拟，所以必须得到不同频率下各点温度的变化规律，因此不可能通过计算方法获取，只能通过运行经验或专门的实验获取。实验得到的各点温度的变化规律实际上是一组曲线，每一个频率对应一条曲线。实验只能取离散的频率，对没有的频率点对应的温度查询时采用插值法求得。本文将通过专门的实验来获取运行参数随时间与频率的二元变化曲线。本文第四章介绍所进行的实验以及得到的数据库曲线。

3.4.2 通过计算获取压缩机停机后壳体温度的变化规律

压缩机停机后的降温过程分为两个阶段，1) 从停机到系统压力平衡阶段的降温过程；2) 系统平衡以后的降温过程。两个过程的降温机理是不一样的，因此需要分别考虑。

对于过程 1 整个机体与外界的换热包括：a、在系统停机到系统压力平衡的工程中，压缩机内部的制冷剂的状态变化可以看作是刚性容器内的绝热放气过程，在这个过程中，制冷剂气体温度下降，质量减小；b、壳体与外界环境的自然对流换热；c、壳体与外界的辐射换热。下面对三种方式的换热分别进行计算。

1、制冷剂绝热放气过程：

假设停机时系统的压力为 P_1 ，温度为 T_1 ，系统平衡时的压力为 P_2 ，温度为 T_2 ，压缩机的容积为 V ，其中 P_1 、 T_1 、 P_2 、 V 为已知数，所以根据理想气体状态方程可以求得制冷剂初始质量 m_1 ：

$$P_1 \cdot V = m_1 \cdot R \cdot T_1 \quad (3-1)$$

在绝热放气过程中有如下关系，可以求得 T_2 和 m_2 ：

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (3-2)$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (3-3)$$

假设制冷剂在放气过程中带走的热量全部由压缩机壳体、内部润滑油和电机等提供，并设由此引起的压缩机温度变化为 ΔT_2 ，压缩机壳体、电机及其内部润滑油总质量为 M ，平均比热为 Cp_2 ，制冷剂的比热为 Cp_1 ，制冷剂的温度变化为 $\Delta T_1 = T_1 - T_2$ ，则有：

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \frac{Cp_1 \cdot m_1}{Cp_2 \cdot M} \quad (3-4)$$

根据试验取停机时系统的压力 p_1 为 18kg/cm^2 ，系统平衡时的压力 p_2 为 10kg/cm^2 ，温度 $T_1 = 373\text{K}$ ，由式 (3-2) 可以求得： $\Delta T = 74\text{K}$ 。因为 $M \gg m$ ， Cp_1 与 Cp_2 相差不大，属于同一数量级，所以由式 (3-4) 可以看到： $\Delta T_2 \ll \Delta T_1$ ，数量级只有 10^{-4} 或者更小，所以引起的温度变化其实非常小，在计算中可以忽略不计。

2、辐射换热

压缩机被封闭在室外机壳内，压缩机壳体对外辐射的热量部分被吸收部分被反射，考虑到压缩机周围的结构比较复杂且壳体温度只有 100 度左右，其辐射换热其实是非常小的，所以这部分辐射换热可以忽略不计。

3、对流换热

按对流换热的牛顿冷却定律，总对流换热量为：

$$Q_1 = \alpha F(t - t_\infty) \quad (3-5)$$

式中 α ——对流换热系数；

F ——换热面积；

t_∞ ——环境温度。

下面来确定对流换热系数 α 。将压缩机壳体与外界的对流换热简化为大空间自

然对流换热模型，根据大空间自然对流换热的实验关联式：^[35]

$$Nu = c(Gr \cdot Pr)^n \quad (3-6)$$

式中 Nu ——努谢尔特准则数；

Gr ——格拉晓夫准则数；

Pr ——普朗特数；

当物体为竖圆柱时，常数 $c = 0.59$ 、 $n = 0.25$ ，而

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} \quad (3-7)$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot d^3}{\nu^2} \quad (3-8)$$

$$Pr = \frac{\nu}{a} \quad (3-9)$$

上面给出的三个准则数只有努谢尔特数中的 α 是待定的，其它全是常数（忽略 Gr 随温度的变化），因此将常数 c 、 n 代入式 3-12 就可以得到对流换热系数 α 。

这里需要确定定性温度 $t_m = \frac{1}{2}(t_\infty + t_w)$ ，只有知道了定性温度才能查取其它常数

如 ρ 、 C_p 、 λ 、 ν 等值。而对于本文要求的压缩机壳体温度随时间的变化规律，

其管壁温度 t_w 是变化的，因此定性温度不是定值。本文根据实际情况取壁面温

度为 100°C ，环境温度取 30°C ，此时定性温度 $t_m = \frac{1}{2}(t_\infty + t_w) = 65$ 。查空气的热

物性表得到：

$$\rho = 1.044 \text{ kg/m}^3; C_p = 1.007 \text{ kJ/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}; \lambda = 2.93 \times 10^{-2} \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)};$$

$$a = 2.79 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}; \nu = 1.951 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}; Pr = 0.695$$

将这些参数代入式 (3-13)、(3-14)、(3-15) 得到：

$$\alpha = 5.52 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)} \quad (3-10)$$

当然这种计算对流换热系数和对流换热量的方法实际上是计算的是整个降温过程中换热最强的情况。这样处理只是想说明对流换热是压缩机壳体降温过程中的主要换热方式。

通过上面的分析，在压缩机体的降温过程中只考虑一种主要的换热方式就是对流换热，另外由于放气过程对壳体温度的影响微乎其微，所以将两个阶段

合并在一起考虑。本文建立传热模型的目的是获得压缩机壳体的温度随时间的变化规律，对于智能测试系统只要给出变化规律的正确趋势就可以，不必得到十分精准的温度变化瞬时值，所以上述简化的模型是完全合理、且能够满足测试系统要求的。

使用集总参数法建立模型。集总参数法：当固体内部的导热热阻远小于其表面的换热热阻时，固体内部的温度趋于一致，以致可以认为整个固体同一瞬时均处于同一温度下。此时求解的温度仅是时间的 τ 的一元函数而与坐标无关。集总参数法的适用条件是 $B_i \rightarrow 0$ ，实际上对于物体的导热系数相当大、或者表面换热系数极低，其传热问题都可能属于这一类型的非稳态问题。对于压缩机机体温度随时间的变化属于这类非稳态问题。下面利用集总参数法导出机体温度的变化规律。

非稳态、有内热源的传热微分方程为：

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{\dot{Q}}{\rho c} \quad (3-12)$$

式中 t ——温度；

τ ——时间；

λ ——物体的导热系数；

ρ ——物体密度；

c ——物体比热容；

\dot{Q} ——单位体积换热量；

由于物体内部热阻可以忽略，温度与坐标无关，于是上式简化为：

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\dot{Q}}{\rho c} \quad (3-13)$$

广义热源 \dot{Q} 可以看作以单位体积计算的物体与外界的总换热热流量。这里物体与外界的换热为与温度为 t_∞ 环境的对流换热，按对流换热的牛顿冷却定律，总对流换热量为：

$$Q_1 = \alpha F(t - t_\infty) \quad (3-14)$$

此时 Q 总是正值，而在物体被冷却的条件下热源应该是负值，于是有：

$$\dot{Q} = -\frac{Q}{V} \quad (3-15)$$

将式 (3-14)、(3-15) 代入式 (3-13) 得到：

$$\rho \cdot c \cdot V \frac{dt}{d\tau} = -F\alpha(t-t_{\infty}) \quad (3-16)$$

设开始时间 $\tau = 0$ ，物体的初始温度为 t_0 （绝对温度），解这个微分方程，得到：

$$t = (t_0 - t_{\infty}) \cdot e^{-\frac{F\alpha}{\rho c V} \tau} + t_{\infty} \quad (3-17)$$

式中除温度 t 和时间 τ 外，其它参数都是常数，因此式 (3-17) 就是要求的温度随时间的变化关系。将被测压缩机的几何尺寸以及相关参数带入式 (3-17) 计算得到如图 3-4 所示变化曲线。

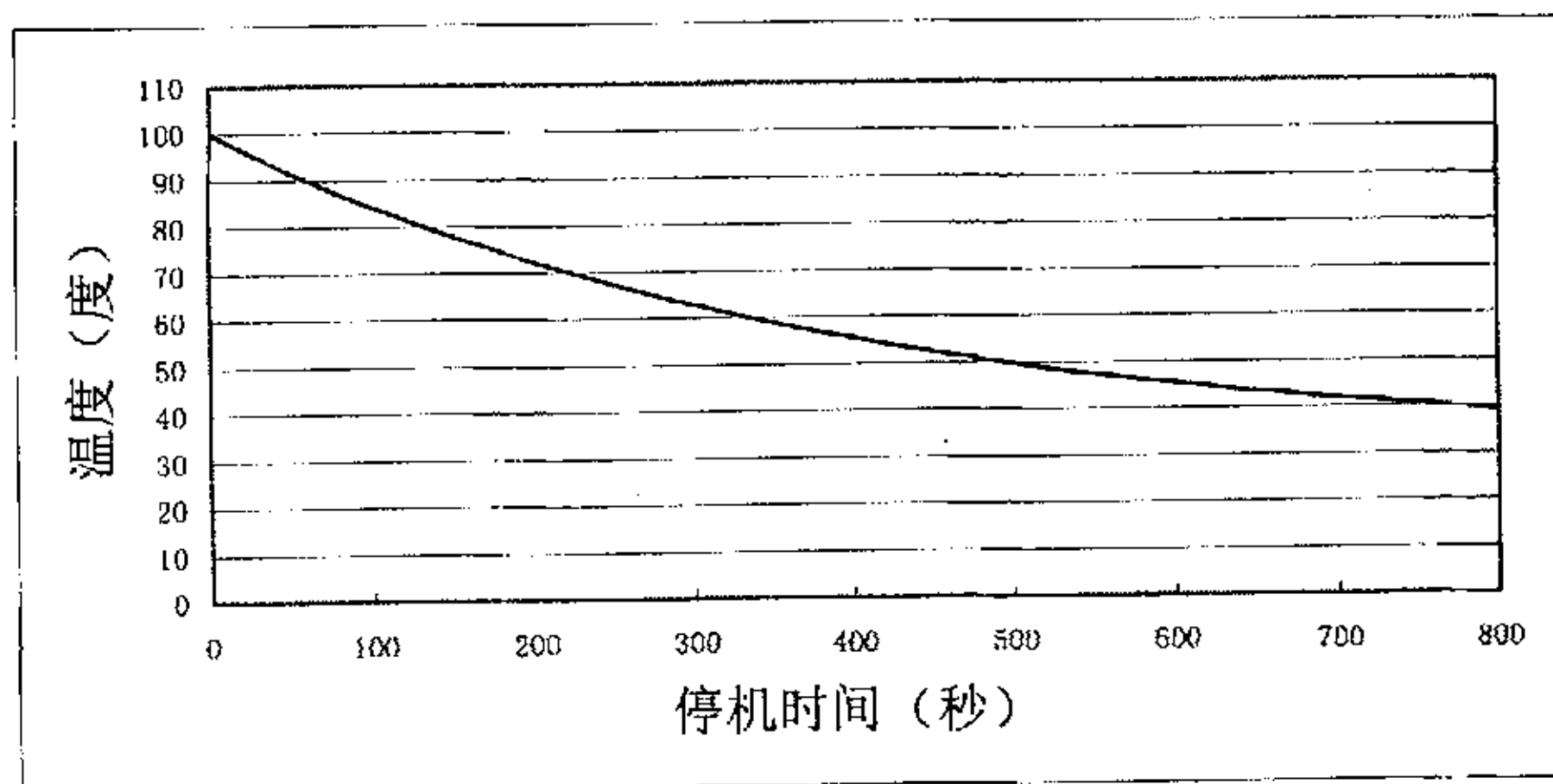


图 3-4 停机后压缩机壳体温度变化曲线

Fig 3-4 Compressor top shelf temp Variety with Stop-time

将计算曲线整理成二次多项式的形式为：

$$t = 9 \times 10^{-5} \tau^2 - 0.1416\tau + 99.87 \quad (3-18)$$

当停机时的温度为其他温度时，将系数 $C = 99.87$ 换作其他温度就可以了。

从图中曲线可以看到，在停机的开始时间段（0—200s），壳体温度下降较快，以后越来越缓。这是由于开始段壳体温度较高与外界的换热温差较大，因此换热较强，温度下降迅速。从图中可以看到，到 200s 时温度降到 70 度左右。有了壳体温度的变化曲线，测试系统就可以模拟停机后压缩机壳体温度的变化，用以检测控制器相应的控制信号。

3.4.3 停机后排气管温度随时间变化

由排气管温度过高导致压缩机紧急停机后，排气管温度在慢慢降低，在此期间控制器会一直监测着排气管的温度，当温度下降到某一安全值时，控制器会重新启动压缩机。所以为了考察控制器的这一功能，测试系统必须得到当压缩机停机后，排气管温度随时间的变化规律。首先分析影响排气管温度变化的因素。

取一定长度的排气管作为控制体进行分析，压缩机的排气管管壁薄、管径小、内部充满制冷剂蒸汽，而且前端连着压缩机，后端连着下段管子，其热量输入、输出关系如图 3-5 所示。

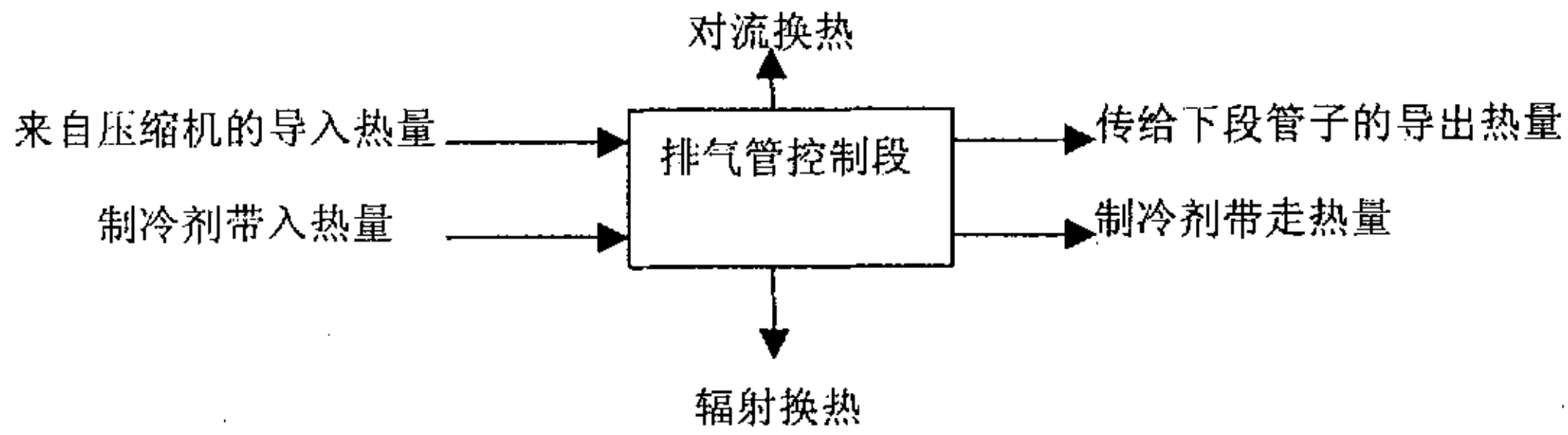


图 3-5 影响排气管换热因素分析

Fig 3-5 Factor Affecting Exhaust-pipe Exchanging Heat

从图 3-5 可以看到，要想通过计算的方法得到排气管降温曲线，建立的传热模型将过于复杂，所以本文决定采用实验的方法获取该曲线，本文第四章介绍相关实验。图 3-6 是压缩机停机后排气管温度变化曲线。

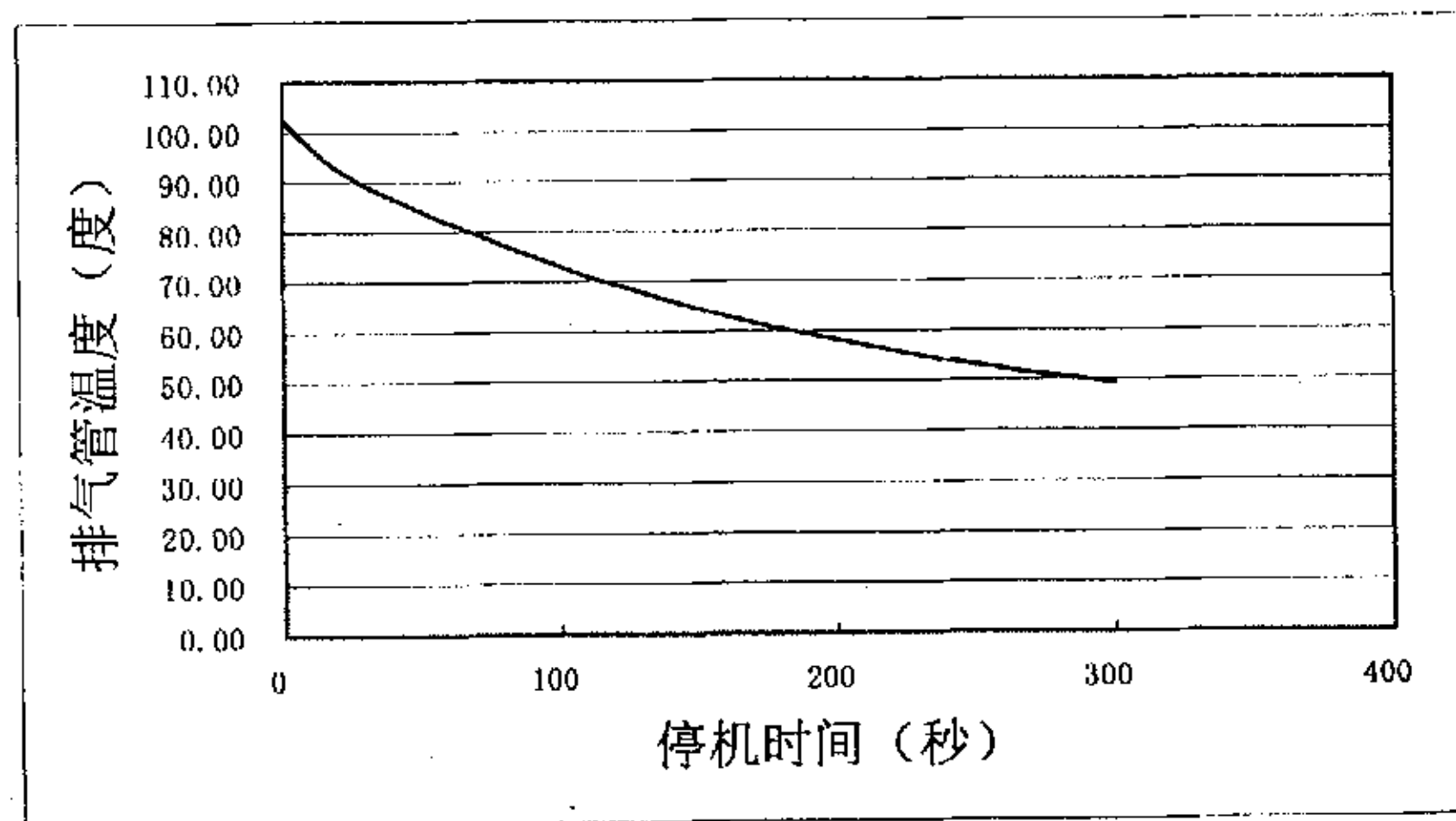


图 3-6 排气管温度随停机时间的变化

Fig 3-6 Exhaust-temp Variety With Stop-time

根据实验数据得到的拟合二项式为 (3-19):

$$t = 0.0005\tau^2 - 0.3067\tau + 99.87 \quad (3-19)$$

和压缩机壳体温度变化曲线相比较,排气管温度下降迅速,在不到 100 秒时温度就已经降到 70 度左右。这是由于排气管本身热容较小,制冷剂带走热量起显著作用。

3.5 测试系统的软件设计

本文编制的软件首先在整体上形成比较完善的软件本体,具有完备和整体性。当针对不同的控制器使用时,只需改变相对于软件来讲外置的数据库内容,而不必修改源代码。除此之外,软件还应满足如下条件:

- 1、友好的用户界面与逻辑关系
- 2、良好的可维护性与后续开发能力
- 3、所有的软件应编写详细的参数说明、程序流程图(N-S图)及使用说明书

3.5.1 软件功能

测试仪的软件(上位机)部分应完成以下功能:

- 1、串口通讯:完成同下位机自定协议的串口通讯。
- 2、绘制曲线:绘制测试实时曲线和完成分析结论用的曲线图(多条曲线图)。
- 3、数据库查询:完成由频率和时间查找对应的温度,由温度去查找对应的阻值,实现多个表查询,将结果反馈给下位机,同时保存中间查找的温度值。
- 4、便的有特色的操作界面,窗体、框架、图片、图像、标签等控件的合理搭配以及大量应用各个控件的 Visible 和 Invisible 属性实现不同实时曲线图的切换。

3.5.2 软件功能的实现

本文采用 Microsoft Visual C++ 6.0 来实现上述功能。Microsoft Visual C++ 6.0 除了具有其他可视化集成开发环境(Visual Basic、Delphi、C++Builder)共同的优点之外,还有自身的优势,比如使用 Visual C++做界面更加灵活,尤其当用户需要定制一些特别的界面时用 Visual C++更加方便。此外,它对程序的控制功能也强于其他语言,可以直接和硬件打交道,这对程序的后续开发及升级特别有利。由于 Visual C++基于 C/C++语言,又来自于 Windows 操作系统本

身的开发者 Microsoft 公司，因此在众多的可视化集成开发环境中，它是开发应用程序的最佳选择。

本软件的开发利用 Visual C++ 6.0 内嵌的可视化数据管理器 (Visible Data Manager) 结合数据控件 (Data Control) 使用实现了数据库的建立和查询结果的显示，与 Access 数据库间的交互采用 SQL 结构化查询语言。当前数据库中

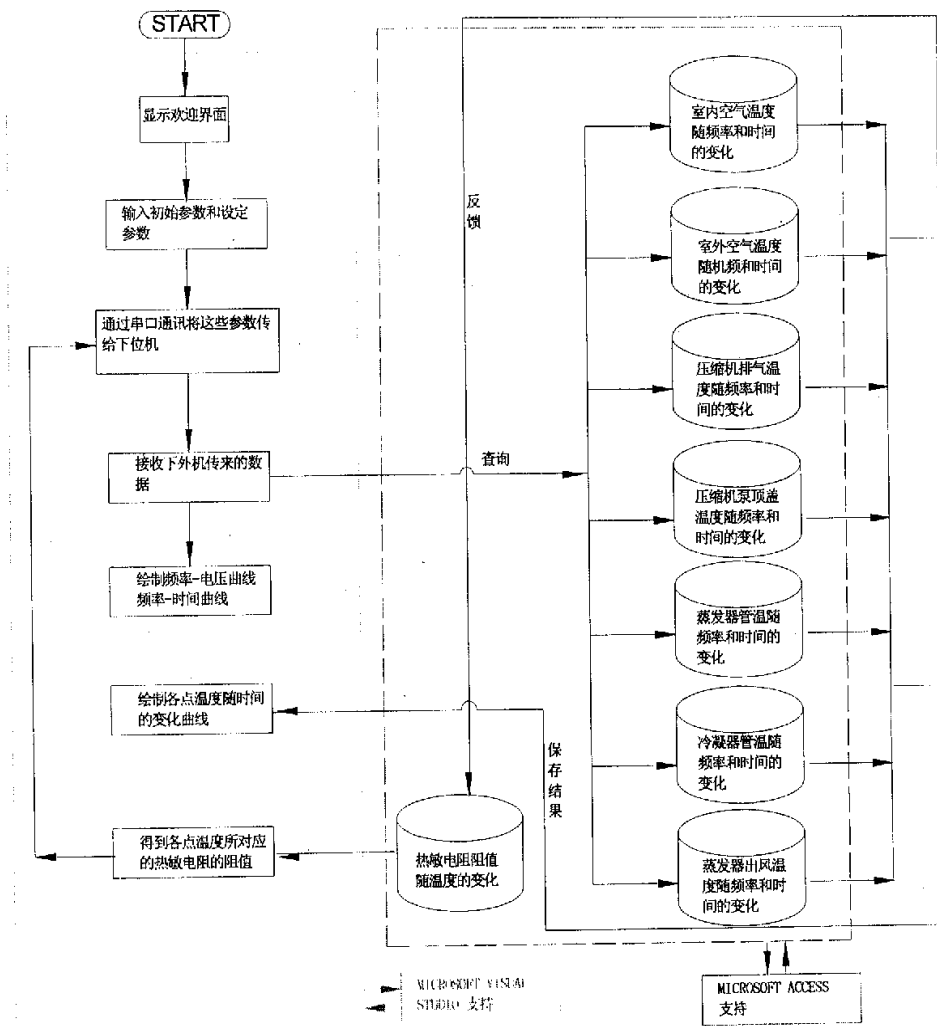


图 3-7 测试系统软件框图

Fig 3-7 Software Frame of Intelligent Testing System

数据通过运行实验实测或计算得到，相应的测试实验将在后面的章节中进

行介绍。此外,使用 Microsoft 公司提供的简化 Windows 下串行通信编程的 ActiveX 控件 Microsoft Communications Control (以下简称 MSComm) 实现通过串行接口收发数据,实现上、下微机位机的通讯。最终确定软件的设计框图如图 3-7 所示。软件使用时首先应保证与下位机通讯正常,否则系统将弹出对话框提醒用户。

3.5.3 软件使用说明

下面对软件的使用进行简单描述。用户登陆后,首先根据自己要测变频控制器的规格给出相应空调器系统的运行参数的变化规律,更新 runparameter.mdb 数据库的内容,清除 result.mdb 数据库的内容。因为市场上的变频空调器规格品种繁多,本文开发的数据库本应该囊括所有规格和型号空调器的运行参数变化曲线,让用户在使用时直接选择就可以了。但是现有的条件和有限的时间内根本不可能完成此项浩大的工程,而用户根据自己的要求很容易获得这些变化曲线,所以考虑由用户自己来完成这项工作。软件允许用户在登陆后直接进入数据库进行更改。然后进行初始参数设定,即给定系统的运行工况。按下开始按钮,测试系统开始测试,在测试过程中可以通过屏幕切换观察各参数的实时变化曲线。软件的运行界面如图 3-8 所示。

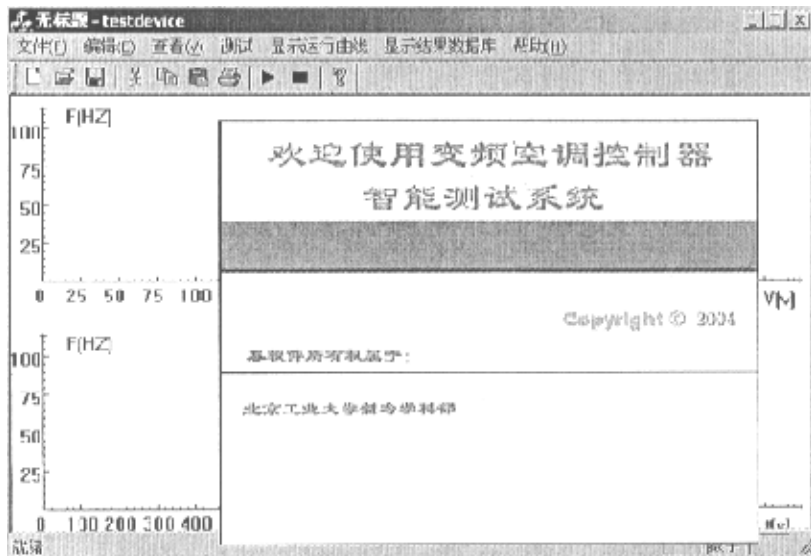


图 3-8 软件欢迎及运行界面

Fig 3-8 The Software running Face

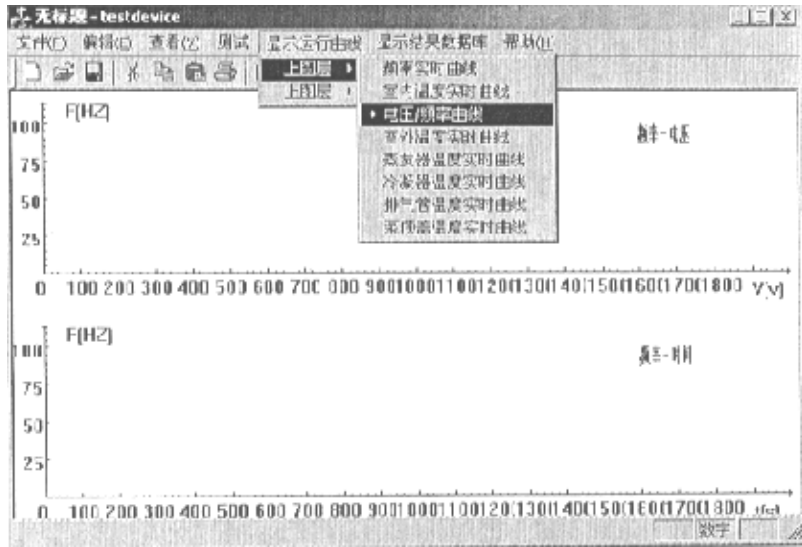


图 3-9 软件菜单功能

Fig 3-9 the Manu of the Software

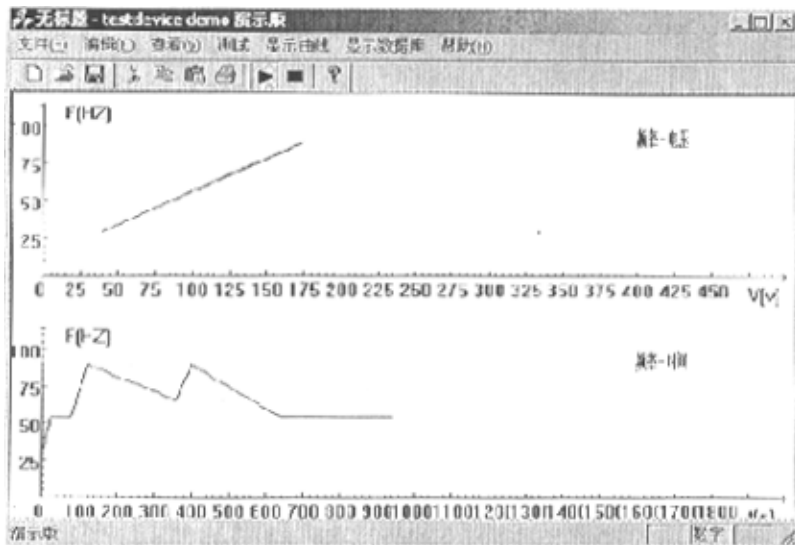


图 3-10 测试曲线显示

Fig 3-10 the Testing curve of the Software

图 3-10 是软件绘制的实时测试曲线，上层显示压/频曲线，下层显示频率的实时曲线。而上、下图层的所有曲线可以随意组合调出。图 3-11 是测试数据保存菜单使用，但点击子菜单的测试结果数据库时，程序自动调出相应的数据库名称和路径，双击就可以打开数据库。结果数据库的建立是为了后期对控制器的功能进行分析和评价。

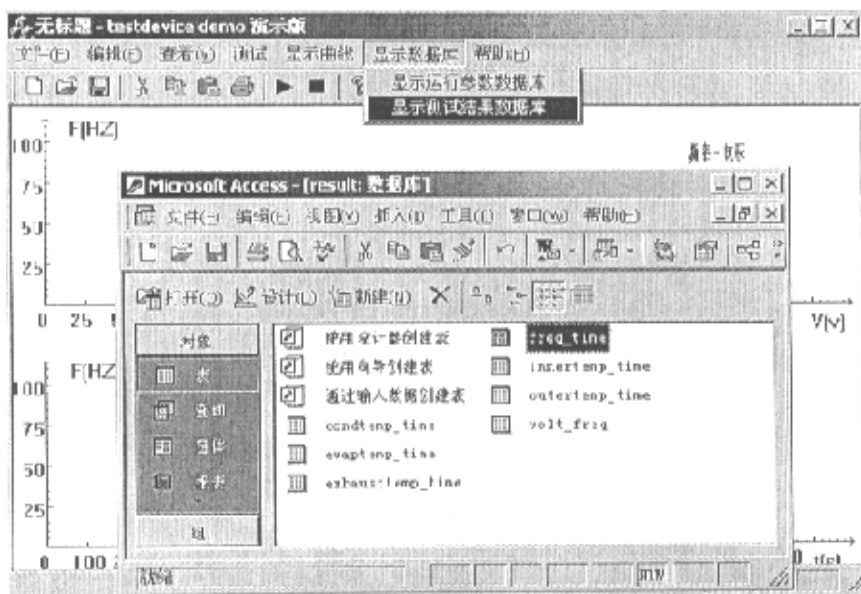


图 3-11 显示结果数据库功能

Fig 3-11 the Capability of Showing Result Database

3.6 测试系统硬件设计

为了实现测试系统的功能，必须设计相应的硬件支持。

3.6.1 硬件功能要求

- 1、能够检测控制器输出的所有信号，将其转化为数字信号（A/D 转换）传送到上位机。包括输入压缩机的 PWM 信号分解为电压与频率信号、室内外风机控制信号、四通阀控制信号等。
- 2、实现传感器的模拟，能够接受上位机反馈的所有数字信号，将其转化为电信号（D/A 转换）传送到控制器。应该包括本章 3.3 中涉及到的所有参数，所以硬件应该设计足够的反馈和转换通道以及与控制器的接口。
- 3、使用单片机实现上下位机通讯功能。
- 4、设计合适的模拟负载。

3.6.2 硬件功能实现

3.6.2.1 PWM 波检测

脉冲宽度调制型变频电路通常称为 PWM(Pulse Width Modulation)型变频电路。PWM 控制方式就是对逆变电路开关器件的通断进行控制，使输出端得

到一系列幅值相等而宽度不相等的脉冲，用这些脉冲来代替正弦波或所需要的波形。按一定的规则对各脉冲的宽度进行调制，既可改变逆变电路输出电压的大小，也可改变输出频率。图 3-12 是电压型 PWM 交-直-交变频电路原理图。

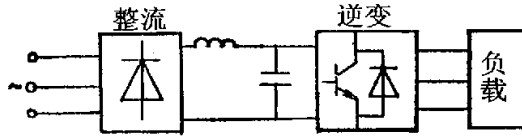


图 3-12 电压型 PWM 变频电路原理图
Fig3-12 PWM Inverter Principle Graph of Voltage Type

调查表明，市场上还没有一种通用的变换器能够将 PWM 脉宽调制波直接变换成相应简单的可检测信号，而大多数 PWM 控制主要就是指 SPWM 控制（调制波是正弦波），因此测试系统主要针对 SPWM 控制来制作 PWM 脉宽调制波的检测电路。相关的硬件电路由电控学院协助完成。下面对测试系统的硬件实现作简单介绍。

要测得 PWM 脉宽调制波的频率与电压：对于频率 f ，可以测得波形周期 T ，即可得到频率 f ，通常用于电机控制的脉宽调制波频率在 0—100Hz 之间，考虑通过测周的方法来得到其周期 T 。

对于需测电压 U ，按照 PWM 控制的基本原理，冲量相等而形状不同的窄脉冲加在具有惯性的环节上时，其效果基本相同，也就是说在单位时间内，两种波形的总面积是相等的，因此可以利用这种关系，得到 PWM 脉宽调制波所对应的正弦波幅值和有效电压值 U 。为了得到以上几个值，需要通过硬件电路对 PWM 脉宽调制波进行分解：

- (1) 通过 PWM 检测模块将变频器输出 PWM 脉宽调制波由强电变为弱电。
- (2) 通过滞回比较器将 PWM 脉宽调制波整形形成相应频率的方波
- (3) 将 PWM 脉宽调制波正半周变成对应的数字脉宽调制波；
- (4) 通过 A/D 测出 PWM 脉宽调制波的幅值。
- (5) 利用单片机定时器完成测量

通过以上前 4 步，可完成波形的整形、转换，要完成测量还需要单片机的

适当的控制。可以用简单的读、写操作来完成 A/D 的数据采集，至于对周期 T 以及 $\sum t_i$ 的测量则需要利用单片机的定时/计数器来完成。MCS-51 系列单片机提供 2—3 个 16 位的定时/计数器，可以利用 2 个计数器来测量 T 以及 $\sum t_i$ 。

这样，通过(2)就可以测出波形频率。将(2)的频率方波和(3)的 PWM 的脉宽调制波形通过单片机定时器进行计时，再结合(4)的波形幅值，即可进行运算，得到 PWM 脉宽调制波对应的正弦波电压有效值 U 。

3.5.2.2 风扇及四通阀状态监测

风扇及四通阀的控制通常就是通过强电的开关控制，就是通过固态继电器的开断来控制风扇不同档位的切换和换向阀的开启。当测试系统测试控制器时，是不接风扇的，因此只需测出控制器上不同档位哪一端有强电即可，换向阀的测量原理是相同的。

采用电阻分压的方式将强电变为弱电信号，将 220v 交流电可降为十几伏的弱电，对此弱电信号进行测量即可；将正弦弱电信号进行整流加电容滤波，得到直流电压信号，将直流电压信号接继电器输入端，信号的有无可以通过继电器的通、断来判断。

3.5.2.3 传感器—热敏电阻的替代方案：

根据图3-1测试系统总体设计思想图可以看到测试系统的上位机为控制器提供各种反馈信号，主要是温度信号(对于压力信号，在一般的家用空调器上基本上都不使用压力传感器，而只用类似于触点开关的压力保护器实现高低压保护)，这些数字信号首先被送到下位机，下位机应将其转换成控制器可接受的电信号后传送到控制器。现在变频空调器中广泛使用的温度传感器是热敏电阻和热电偶，而热电偶反馈的信号通常为毫伏级，在干扰较大的情况下不适用，因此通常使用最多的还是热敏电阻，因此测试系统测试时要脱机进行所以需要热敏电阻进行替代。经过调查研究，决定选用美国Xicor公司生产的数字电位器(Digitally Controlled Potentiometer)芯片，此芯片具有数字电位器的功能，可以通过数字信号来控制电位器滑动端，并且该类产品具有多种型号和多种量程，本测试系统选用的是X9Cxxx系列，此系列芯片为100档，可达总量程的1%精确度。

3.5.2.4 上、下位机的通讯

通讯最常用的 RS-232C 标准是美国电子工业协会 EIA 与 BELL 的公司一起

开发的 1969 年公布的通讯协议，适合于数据传输速率在 0—20000b/s 范围内的通信。此协议广泛应用于计算机与终端或外设之间的近端连接。由于通信接口与设备制造厂商都生产与 RS-232C 兼容的通信设备，因此已成为微机串行通信接口中广泛采用的一种标准。

测试系统的上、下位机的通讯利用 MAXIM 公司的 MAX232E 芯片来完成，此芯片可同时将两路 TTL/CMOS 电平转换成 RS232 标准电平，并将两路 RS232 标准电平转换成 TTL/CMOS 电平。

上位机与下位机进行通讯，需要制定传送的协议，如发送请求，发送允许，数据校验等，这样才能保证数据的真实有效性。

上、下位机定义的通讯协议如下：

表 3-4 协议约定符号及意义
Table 3-4 the Sign and Meaning of Agreement

符号	意义
tt=0	表示上位机处于需要发送状态
tt=1	表示上位机处于需要接收状态
tt=2	表示上位机成功完成一次通讯
tp=0	表示上、下位机处于握手状态
tp=1	表示上、下位机处于非握手状态
0x69	请求发送信号
0x70	允许发送应答信号
0x73	准确回复信号
0x75	错误回复信号

图 3-13 是最终硬件的电路板实物照片。

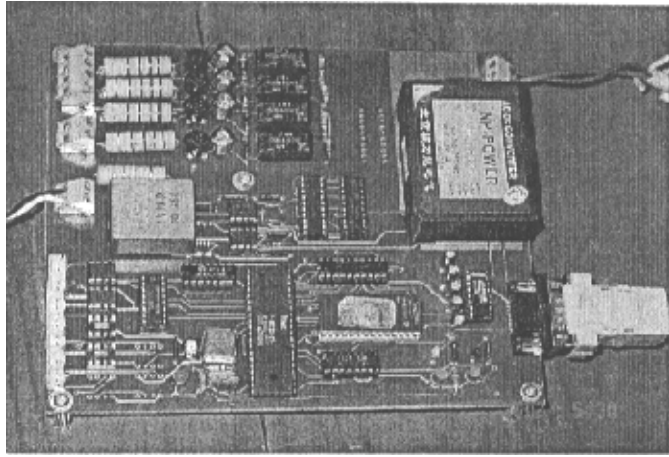


图 3—13 测试系统硬件照片

Fig3-13 the Photo of Hardware of the Intelligent Testing System

3.6 本章小结

本章介绍智能测试系统的整体设计、各数据库的建立、硬件设计、软件设计的详细内容。

第4章 获取运行参数变化规律实验

4.1 实验目的

实验的目的是为智能测试系统的数据库提供空调器真实的运行数据,实现测试系统对空调器系统运行的完全模拟。本实验要获得以下变化曲线:

- 室内温度-时间-频率变化曲线;
- 蒸发器管温-时间-频率变化曲线;
- 室外温度-时间-频率变化曲线;
- 冷凝器管温-时间-频率变化曲线;
- 排气管温度-时间-频率变化曲线;
- 泵顶盖温度-时间-频率变化曲线;
- 压缩机停机后排气管温度-时间曲线;
- 压缩机工作电流-频率变化曲线;
- 系统高压-频率变化曲线;
- 系统低压-频率变化曲线;
- 热敏电阻-温度变化性能曲线;

上述变化曲线中时间指空调器运行时间,频率指压缩机运行频率。根据智能测试系统的功能要求,其内部数据库应该包括空调器系统各种运行模式、各种工况下的实际运行数据,但是本实验的目的是为了实现智能测试系统的模拟功能、及测试系统软、硬件的联调,验证智能测试系统设想的功能是否实现。只要能够实现模拟,使用者可以根据自己的需要随时填充和更新数据库中的数据。

4.2 实验方案

因为蒸发压力是取决于蒸发温度,冷凝压力取决于冷凝温度,所以一般情况下空调器只监测蒸发温度与冷凝温度就可以了,对于测试系统不需要给出压力的反馈值,所以本实验只需得到温度变化曲线即可。热敏电阻的特性曲线需单独建立实验系统进行测试。分析所需的温度实时变化曲线,各点温度是运行时间和运行频率的函数:

$$T=F(f, t) \quad (4-1)$$

其中运行时间 t 是随时变化不可控制的, 实验只能控制系统运行在不同的固定频率下, 测得该频率下的温度或压力随时间的变化曲线。最后将各固定频率下的变化曲线进行整合得到温度随运行时间和压缩机频率的变化关系, 实际上对于每一个参数是得到一组变化曲线。因为被测空调器是变频空调器, 其运行频率是控制器根据空调器的实际运行状况决定的, 要实现空调器在固定频率下启动并维持运行十分困难, 所以决定使用另外的变频器来单独控制压缩机的转速。通过对实验室现有设备的调查, 决定使用美国 ABB 电器传动有限公司生产的 ACS401-009-3-2 型变频器输出固定频率。经分析和验证, 对该变频器进行合理的参数设置后输出的压/频曲线可与被测空调器的压缩机的压/频曲线相吻合。

实验选择实验室现有的金北京牌变频空调器进行测试。在实验之前对该变频空调器进行故障检测和修理, 更换毛细管、重新充注制冷剂以确保系统正常运行。因为实验要得到固定频率下的运行参数, 所以必须切断原机组的变频控制器对压缩机的控制, 改由通用变频器来控制压缩机的频率和电压, 同时还要保证其他控制功能不受影响。通过对被测空调器控制器电路的分析, 将控制器的变频功率模块上控制压缩机的输出端断开, 把通用变频器的输出直接接到压缩机的输入端就可以实现由变频器直接控制压缩机, 而控制器的其它控制功能不受影响。因为实验不能对室内外风扇单独控制, 所以室内外风机状态取自动状态。

被测空调器的频率变化范围是 30-90Hz, 实验将对 13 个频率点进行测试, 即从 30Hz 开始以 5Hz 为步长, 分别测试 30Hz、35Hz、40Hz、45Hz、50Hz、55Hz、60Hz、65Hz、70Hz、75Hz、80Hz、85Hz、90Hz 下各测点温度随运行时间的变化曲线。

因实验在夏季进行, 所以(在实验室现有条件下)只能在制冷模式下运行, 另外, 因为该空调器运行的频率被固定, 所以设定温度其实对本实验系统没有意义, 所以在本实验中一定要保证以每一固定频率开始运行时的工况参数和各点的起始参数是一样的。

4.2 实验设备

4.2.1 实验系统及实验装置图

1 实验系统:

实验系统如图 4-1 所示。

2 实验设备及仪器：变频控制器、空调器系统、HP34970A 数据采集仪、计算机、测温传感器—热电偶。

实验装置如图 4-2~图 4-5 所示。

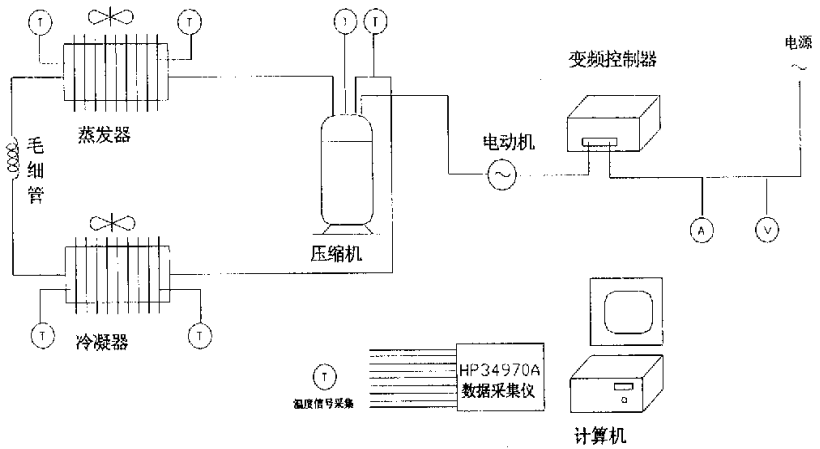


图 4-1 实验系统简图

Fig 4-1 Graph of Examining System

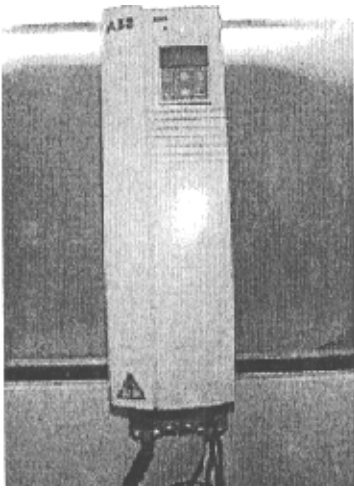


图 4-2 通用变频器
fig 4-2 Currency Transducer

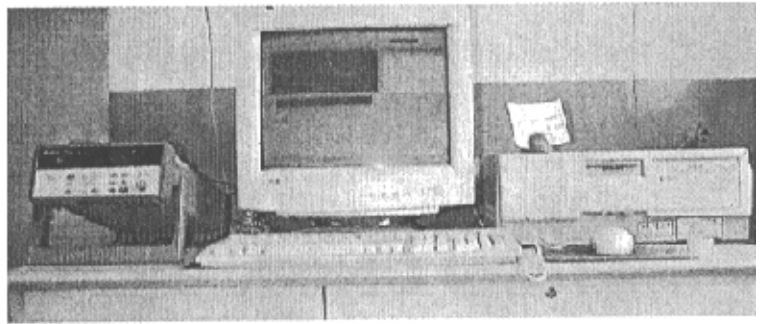


图 4-3 数据采集系统
Fig 4-3 Data Acquisition System

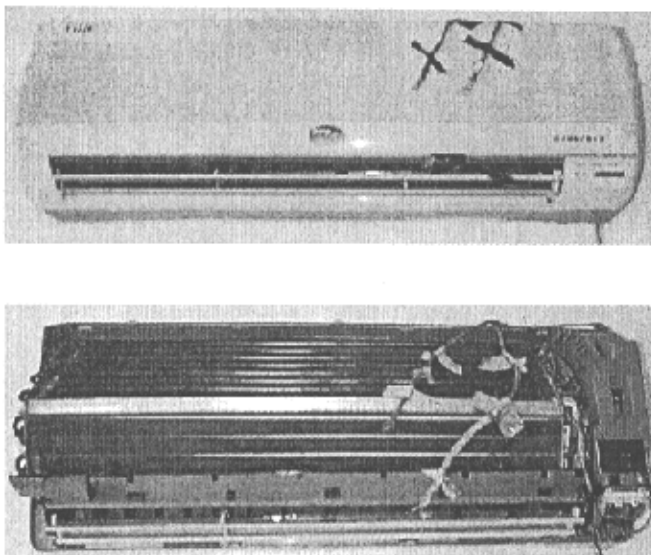


图 4-4 室内机外型及测点布置
Fig 4-4 Testing Point of Indoor Machine

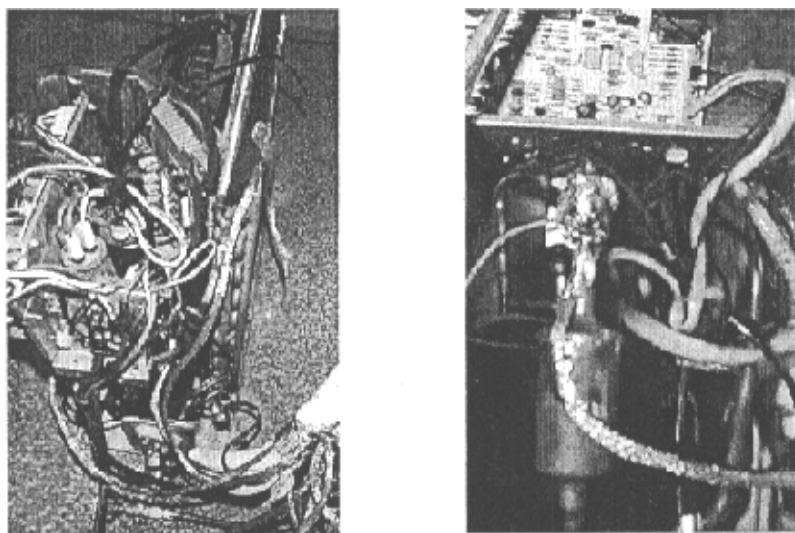


图 4-5 室外机测点布置
Fig4-5 Testing Point of Outer Machine

4.3 测点布置

实验中测点布置如图 4-6 所示，图中的黑点代表热电偶测点。实验中要测量的参数包括：

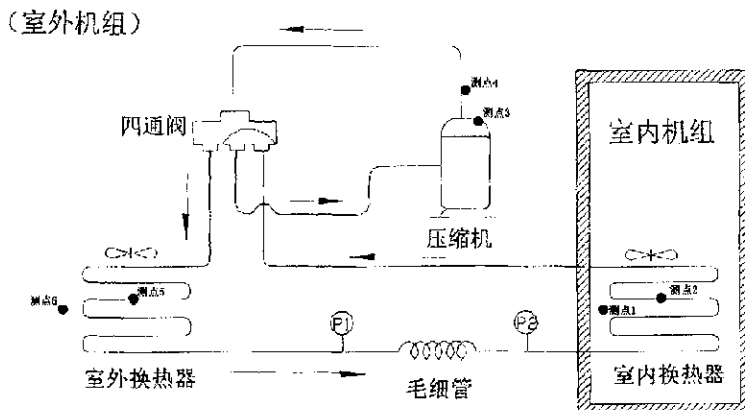


图 4-6 测点布置图

Fig4-16 Setting Graph of the Testing Point

测点 1: 室内温度

测点 2: 蒸发器管温

测点 3: 压缩机顶盖温度

测点 4: 压缩机排气温度

测点 5: 冷凝器管温

测点 6: 室外环境温度

P1: 系统高压 (冷凝压力)

P2: 系统低压 (蒸发压力)

4.4 实验测试过程

本实验测试在制冷工况下, 压缩机以不同的固定频率运行时, 空调器系统的运行参数随时间的变化。实验中要保证某一工况下压缩机电机的输入频率始终保持不变。本实验所使用的通用变频器只需设定输出频率值就可以了, 但要保证该值小于设定的最大输出频率。首先打开空调器然后启动变频器, 当变频器频率达到设定值时开始记录数据, 实验记录每一测点从实验开始到结束之间每一时间点温度的瞬时值。热电偶测点的温度由 HP34970A 数据采集仪完成自动采集, 采样时间间隔设置为 20 秒。压力及输入电流采用人工读数, 每 2 min 读取一次, 室内外干湿球温度每 10 min 读一次。每一频率下的空调器的运行时间为 30min。

4.5 热敏电阻温度阻值特性曲线的测定

空调器接入控制器的温度传感器一般采用热敏电阻，而由同种材料制成的热敏电阻的温度-阻值特性应该是相同的，经实验验证实际情况正是如此。HP34970A 数据采集仪具有测定电阻阻值的功能，因此实验利用标准精密温度计和 HP34970A 数据采集仪对热敏电阻的温度-阻值特性曲线进行测定。这个实验系统非常简单，将热敏电阻接在 HP34970A 数据采集仪上设置数据采集仪为输出阻值状态，然后将传感头泡在水中，用冰块和热水控制水的温度，由精密温度计读出温度值，由数据采集仪读出阻值。为了使读取温度更为精确，采用两个相同的热敏电阻分别接入数采的两个通道，一个通道设置为显示温度，另一个通道设置为显示阻值。由数采和精密温度计共同给出温度读数，这样就得到了热敏电阻的温度-阻值特性曲线。实验测得的特性曲线如图 4-7 所示：

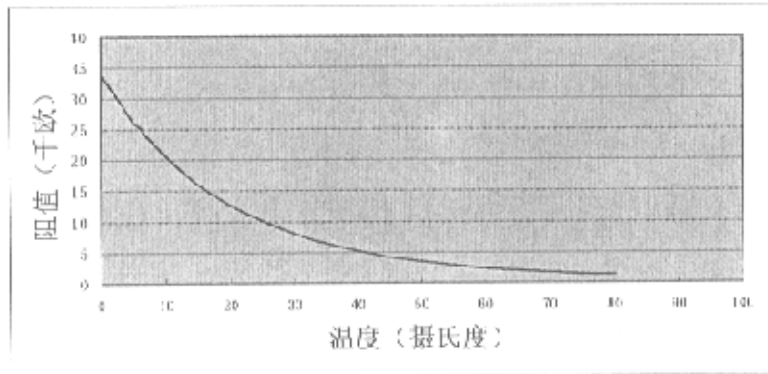


图 4-7 热敏电阻的温度-阻值特性曲线

Fig 4-7 the Resistance-temp

根据实验数据得到的拟合公式为：

$$y = -2 \times 10^{-8} x^5 + 6 \times 10^{-6} x^4 - 0.0007 x^3 + 0.0448 x^2 - 1.7404 x + 34.093 \quad (4-2)$$

其中 y 是阻值单位为千欧， x 为温度单位是摄氏度。

4.7 实验结果及分析

实验测试得到各频率下各点参数随运行时间的变化规律，将数据整理成各参数随运行时间及运行频率的变化规律，实际上得到一组曲线。整理结果如图 4-9 到 4-18 所示。

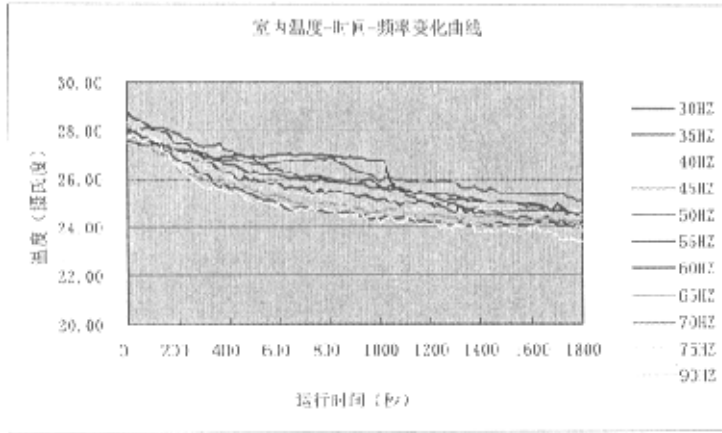


图 4-8 室内温度-时间-频率变化曲线
Fig 4-8 Indoor Temp-Time-Frequency

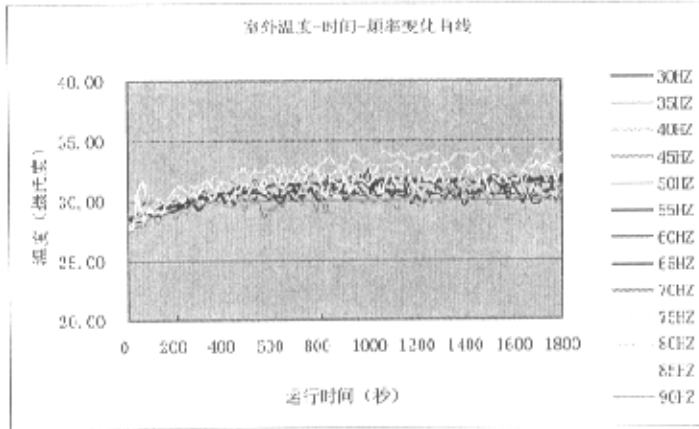


图 4-9 室外温度-时间-频率变化曲线
Fig4-9 Outer Temp - Time - Frequency Curve

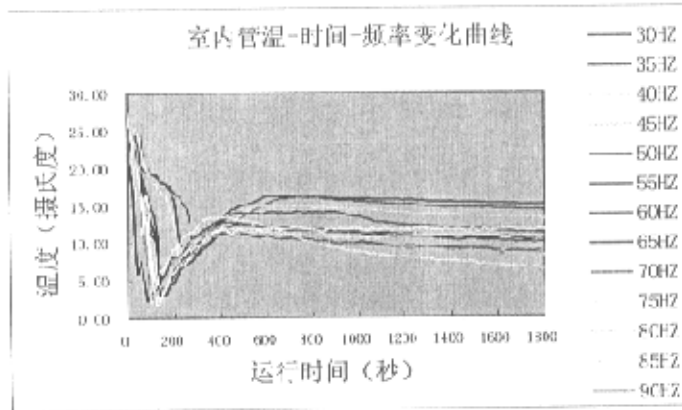


图 4-10 蒸发器管温-时间-频率变化曲线
Fig4-10 Innerpipe Temp - Time - Frequency Curve

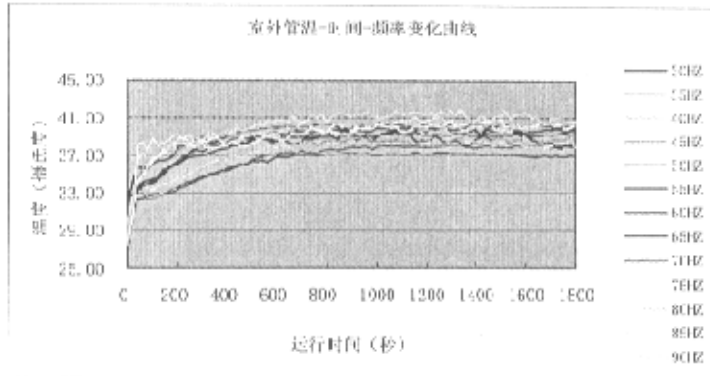


图 4-11 冷凝器管温-时间-频率变化曲线

Fig 4-11 Outer Pipe Temp – Time – Frequency Curve

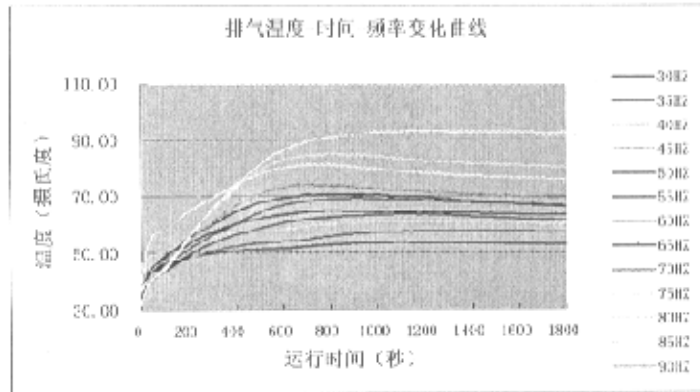


图 4-12 排气温度-时间-频率变化曲线

Fig 4-12 Exhaust Temp – Time – Frequency Curve

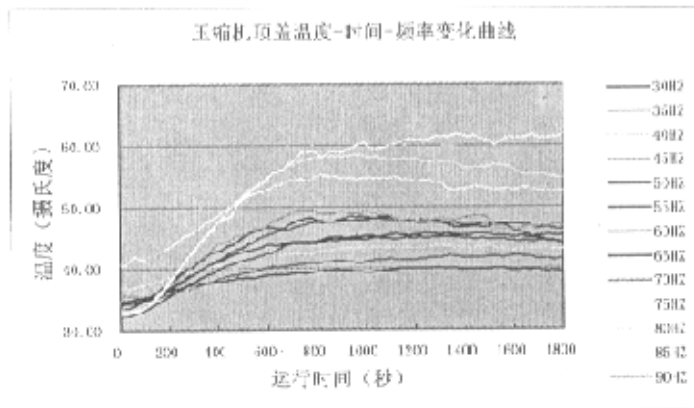


图 4-13 压缩机顶盖温度-时间-频率变化曲线

Fig 4-13 Compressor's Top Temp – Time – Frequency Curve

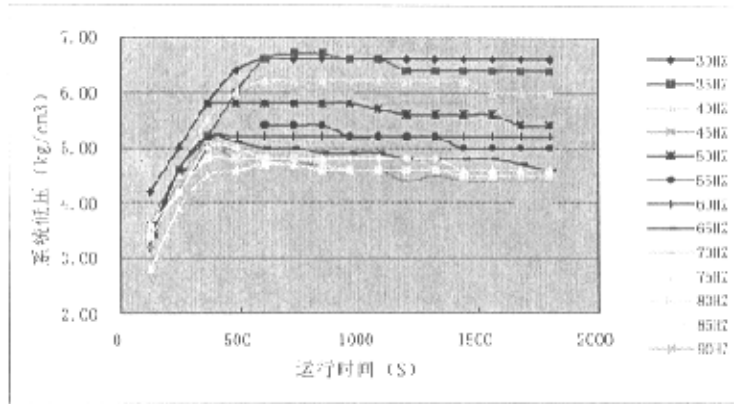


图 4-14 系统低压（蒸发压力）-时间-频率变化曲线
Fig 4-14 Suction Pressure – Time – Frequency

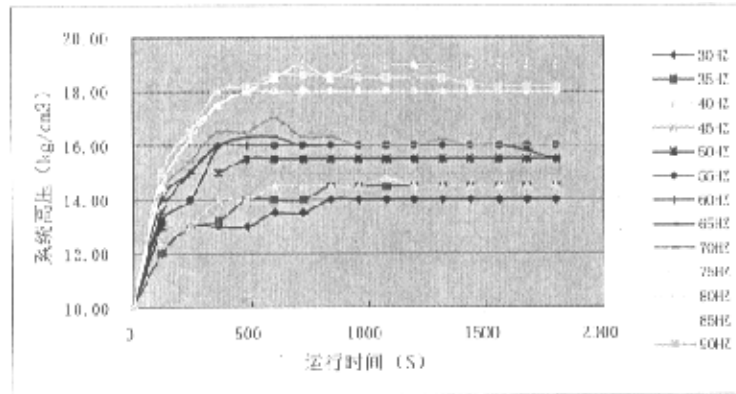


图 4-15 系统高压（冷凝压力）-时间-频率变化曲线
Fig 4-15 Discharge Pressure – Time – Frequency

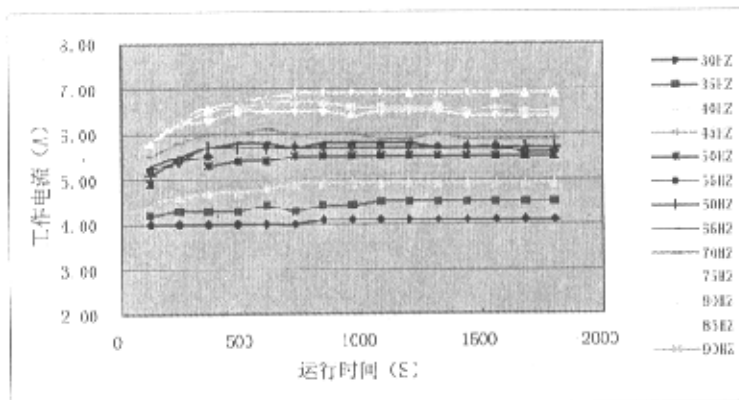


图 4-16 压缩机工作电流-时间-频率变化曲线
Fig 4-16 the Working Current –Time – Frequency

图4-8给出系统在各频率下运行相同的时间后,室内温度的变化曲线,从曲线的变化趋势可以看到频率越高,室温下降越快。由于实验过程中不可能完全保证每一频率下室内热负荷相同,所以这组曲线可能没有能够确切表达频率对室温的影响,但是总的趋势是正确地,对于测试系统来讲数据完全可用。

图4-9给出室外环境温度随频率的变化曲线。室外环境温度在空调器运行的短短时间内应该是不变的,但是由于被测空调器的室外机放在房间内,且空间狭小,所以冷凝器的温度会影响周围环境温度。实验所测的曲线呈微小的波动,总的趋势是不变的。

由图4-10、4-11蒸发器管温、冷凝器管温的变化曲线看到,系统从启动到建立起正常循环大约需要500S。系统运行的频率越高建立正常循环的时间越短,而且相应的蒸发温度越低,冷凝温度越高。

图4-12、4-13给出压缩机排气温度与压缩机泵顶盖温度随频率变化曲线,可以看到总趋势是运行频率越高,压缩机排气温度以及泵体温度越高,而且压缩机排气温度随频率的升高而上升迅速。压缩机排气温度直接影响系统的安全性,所以是重点监控参数。

图4-14、4-15分别给出系统冷凝、蒸发压力随运行频率的变化。可以看到频率越高,系统蒸发压力越低,冷凝压力越高,这是与蒸发温度与冷凝温度相对应的。

图4-16给出压缩机输入电流随频率的变化趋势,运行频率越高,压缩机工作电流越高,当该电流过大时,可能会造成烧机事故,所以压缩机输入电流是控制器重要检测参数,而且控制器可以通过降频控制压缩机输入电流稳定在安全范围内。

从实验所得的所有变化关系来看,曲线的趋势基本符合实际情况。但是由于试验条件所限,所得数据的可靠性受到以下因素的影响:

1、工况的稳定性

实验中要在同一工况下测各种固定频率下机组的运行参数,而在实验室现有条件下要保证每一次测试时的工况完全相同几乎是不可能的,实验过程中只能保证每次工况尽量接近,所以可能出现某测点在不同频率下开始测试时的温度不相同现象。另外工况的波动会导致系统性能的波动,降低了数据的可靠性。

2、机组性能的稳定性

在本实验中由于接入高、低压压力表，导致系统有泄漏，而为了保证工况实验之间的时间间隔较长，在此时间段内泄漏的制冷剂量足以引起系统性能的变化。所以每次实验开始之前都要充注一定量制冷剂，因此不可能保证每一频率下运行时系统的制冷剂量完全一样，这样可能导致系统的制冷性能波动较大，因此得到的数据真实性较差。

以上两点是导致数据的真实性变差的主要原因。但本实验的目的是为了实现智能测试系统软硬件联调，只要数据的变化趋势正确不需要非常精确的数据，因此实验所测数据是完全可用的。

4.9 实验数据整合处理

如果将上述实验数据直接放入相应的数据库，可以实现对空调器运行的模拟。但是因为参数众多且每一个参数的曲线都是二维的，极大地增加了测试系统上位机的查询及反馈的工作量，甚至可能会影响测试系统的运行速度。因此考虑在不影响测试系统功能的前提下，根据上述实验数据以及各参数自身的特点将其整合为简单、实用的数据库曲线，同时给出相应的拟合公式。

1、室内温度

室内温度是空调器要监控的最重要的参数，因此对该参数的要求较高，理论上应该给出相同步长的不同频率下的二维运行曲线。但是从实验结果可以看到，以 5Hz 为步长测试的曲线随频率的变化曲线非常密集，表明在较小的频率变化范围内室温的变化其实很小。这是因为室内环境的热惯性较大，而且影响因素较多。因此考虑将 13 个频率点的曲线处理为 3 个频率段的曲线作为数据库曲线。这样既给出了室温随频率的正确变化趋势，同时还减少了软件查询的工作量。采用的方法是对同一时间点的频率段内的温度值求平均值，并去掉原始数据中的不合理的点。经整合处理的室内温度变化曲线如图 4-17 所示。

2、蒸发器管温

蒸发器管温在制冷模式下就是蒸发温度，该温度在不同的频率下随运行时间变化明显，而且该参数对系统运行影响重大，因此也应该给出二维变化曲线。根据测试数据，不同频率下蒸发器管温随频率的变化情况，将 13 个频率点分为 6 个频率段，采用和室内温度同样的处理方法得到如图 4-18 所示的数据库曲线。

3、冷凝器管温

即冷凝温度，从第三章的分析和本章实验数据可以看到频率对冷凝温度的影

响不大，而且随运行时间的增大冷凝温度变化也很小。但冷凝器管温也是控制器重要的检测参数，因此也采用同样的方法给出二维数据库曲线如图 4-19 所示。

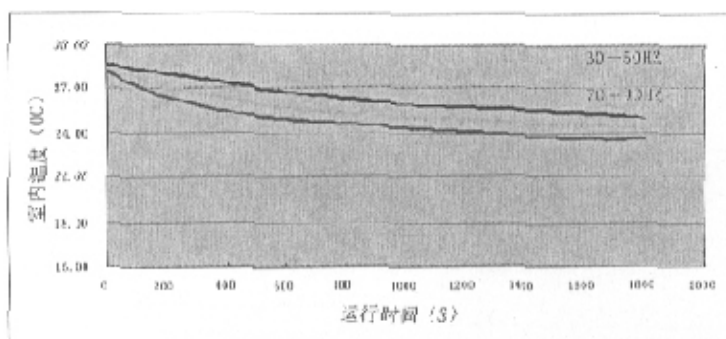


图 4-17 室内温度的数据库曲线

Fig 4-17 In-Door Temp

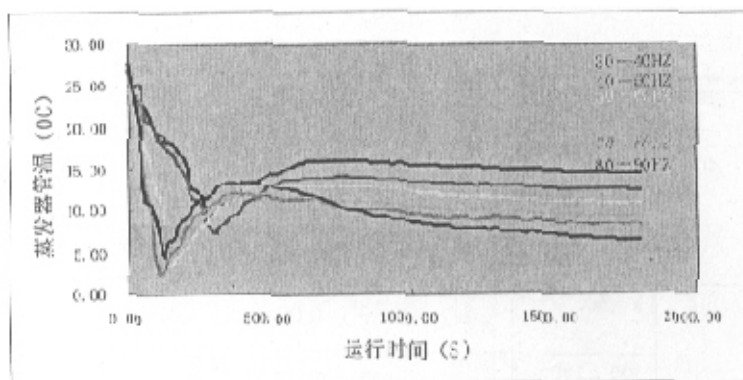


图 4-18 蒸发器管温的数据库曲线

Fig 4-18 the Temp of In-door Unit Pipe

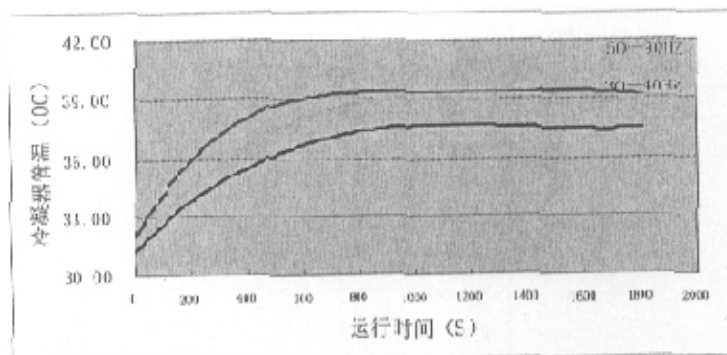


图 4-19 冷凝器管温的数据库曲线

Fig 4-19 the Temp of Out-door Unit Pipe

图 4-17 的曲线对应的拟合公式见式 (4-3)、(4-4)、(4-5)，分别对应

于 30—50HZ、50—70HZ、70—90HZ 下的室温变化曲线。

$$y_1 = 10^{-6}x^2 - 0.0036x + 28.642 \quad (4-3)$$

$$y_2 = 10^{-6}x^2 - 0.0043x + 28.442 \quad (4-4)$$

$$y_3 = 2 \times 10^{-6}x^2 - 0.0047 + 28.564 \quad (4-5)$$

图 4-19 的曲线对应的拟合公式见式 (4-6)、(4-7)、(4-8)，分别对应与 30—40HZ、40—50HZ、50—90HZ 下的冷凝温度变化曲线。

$$y_1 = -3 \times 10^{-5}x^2 - 0.00259x + 31.973 \quad (4-6)$$

$$y_2 = -10^{-5}x^2 - 0.00181x + 31.468 \quad (4-7)$$

$$y_3 = -10^{-5}x^2 - 0.00143x + 31.339 \quad (4-8)$$

图 4-18 对应的拟和公式采用分时段拟和的方法，所得的公式见表 4-1：

表 4-1 蒸发器管温变化曲线对应的拟合公式

Table 4-1 Formula of the evaporator pipe-temp curver

频率 (Hz)	时间段 (S)	对应的拟和公式
30—40	0—300	$y = -6 \times 10^{-5}x^2 - 0.0303x + 23.81$
	300—1800	$y = -10^{-11}x^4 + 6 \times 10^{-8}x^3 - 0.0001x^2 + 0.0907x - 8.8079$
40—50	0—300	$y = 3 \times 10^{-5}x^2 - 0.0711x + 26.657$
	300—1800	$y = -10^{-11}x^4 + 7 \times 10^{-8}x^3 - 0.0001x^2 + 0.1011x - 12.864$
50—60	0—140	$y = -0.0002x^2 - 0.1266x + 26.818$
	140—1800	$y = -10^{-11}x^4 + 7 \times 10^{-8}x^3 - 0.0001x^2 + 0.0817x - 6.1404$
60—70	0—160	$y = -0.0006x^2 - 0.223x + 24.333$
	160—1800	$y = -10^{-10}x^4 + 2 \times 10^{-7}x^3 - 0.0002x^2 + 0.1108x - 6.4051$
70—80	0—120	$y = -0.0013x^2 - 0.1192x + 23.231$
	120—1800	$y = -10^{-10}x^4 + 2 \times 10^{-7}x^3 - 0.0002x^2 + 0.1085x - 6.868$
0—90	0—120	$y = 0.0008x^2 - 0.292x + 28.226$
	120—1800	$y = -10^{-10}x^4 + 3 \times 10^{-7}x^3 - 0.0003x^2 + 0.1358x - 7.8593$

4、室外温度实际上就是环境温度，与压缩机运行频率无关。而在实验运行的短时间内，室外温度几乎没有变化，因此室外温度可以作为与时间频率均无关的常数。但是控制器在启动和运行时要随时监测环境温度，而且大部分空调器都设有室外温度传感器，所以这里也列出室外温度曲线如图 4-20 所示。

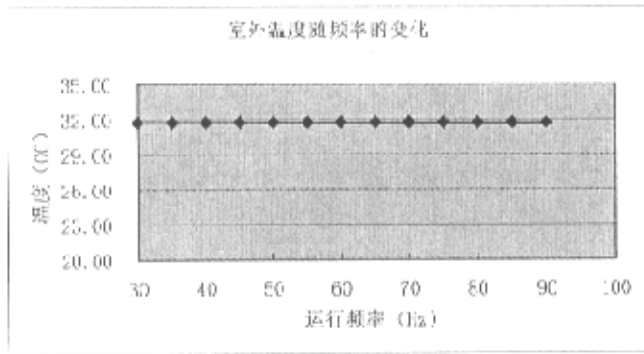


图 4-20 室外温度的数据库曲线

Fig 4-20 the Atmosphere Temp

对于保护参数压缩机顶盖温度、排气温度、系统高压、系统低压、压缩机输入电流，从实验结果可以看到，在系统建立起正常的压差后，这些参数几乎不随运行时间变化，而只是与频率有关，因此考虑将这部分参数整理成为仅随频率变化的曲线。这样处理忽略了启动过程开始 500S 内随时间的变化，但作为测试系统对控制器的反馈参数是完全可以的。所以经整合处理后的数据库曲线如图 4-21 到 4-25 所示。

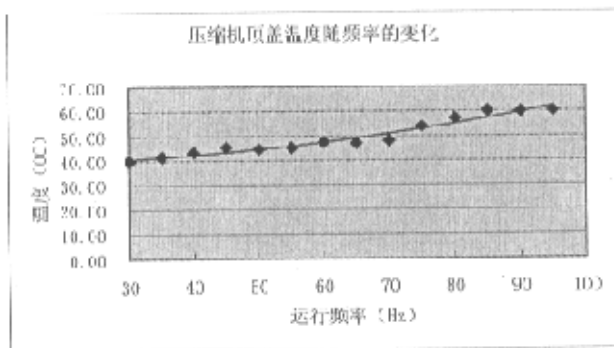


图 4-21 压缩机顶盖温度随运行频率的变化

Fig 4-21 Compressor's Top Shell Temp - Frequency

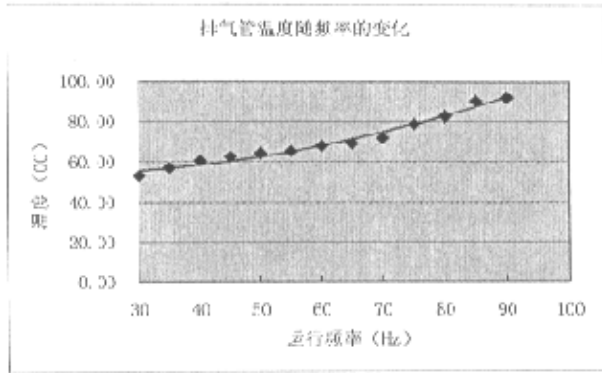


图 4-22 排气管温度随频率的变化
Fig 4-22 Discharge Temp- Frequency

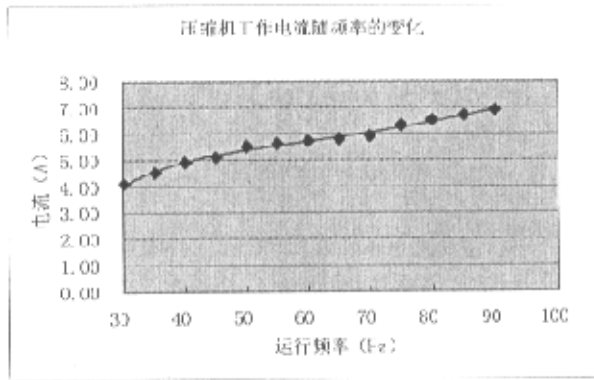


图 4-23 压缩机工作电流随运行频率的变化
Fig 4-23 Working Current - Frequency

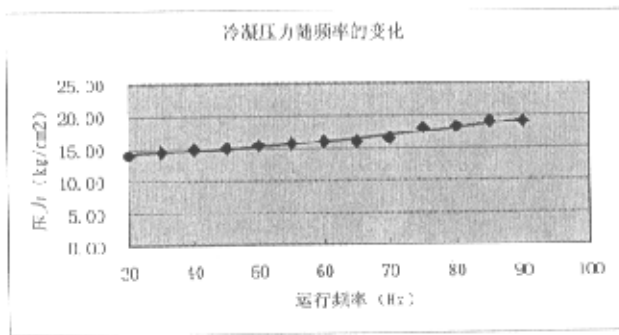


图 4-24 系统高压随频率的变化
Fig 4-24 the Discharge Press - Frequency

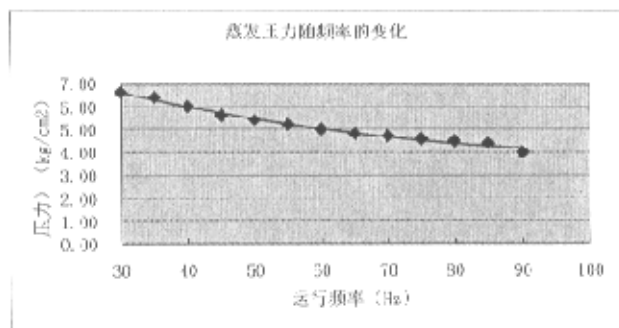


图 4-25 系统低压随频率的变化

Fig 4-25 the Suction Pressure -Frequency

压缩机顶盖温度随运转频率变化曲线对应的拟合公式为:

$$y = 0.003x^2 - 0.0391x + 39.052 \quad (4-8)$$

式中 y 表示压缩机顶盖温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$, x 表示运转频率, 单位为 Hz

排气管温度随运行频率变化曲线对应的拟合公式为:

$$y = 0.0066x^2 - 0.1808x + 55.105 \quad (4-9)$$

式中 y 表示压缩机排气管温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$, x 表示运转频率, 单位为 Hz

压缩机工作电流随运转频率变化曲线对应的拟合公式为:

$$y = -4 \times 10^{-7}x^4 + 0.0001x^3 - 0.0111x^2 + 0.5332x - 4.5218 \quad (4-10)$$

式中 y 表示压缩机工作电流, 单位为 A, x 表示运转频率, 单位为 Hz

冷凝压力随运转频率的变化曲线对应的拟合公式为:

$$y = 0.0008x^2 - 0.0094x + 13.778 \quad (4-11)$$

式中 y 表示冷凝压力, 单位为 kg/cm^2 , x 表示运转频率, 单位为 Hz

蒸发压力随运转频率变化曲线对应的拟合公式为:

$$y = 0.0004x^2 - 0.0903x + 8.9329 \quad (4-12)$$

式中 y 表示蒸发压力, 单位为 kg/cm^2 , x 表示运转频率, 单位为 Hz

说明: 本章给出的拟合公式便于为数据库生成任意时间间隔的数据点, 免去了软件查询时插值的麻烦。

4.9 本章小结

- 1、介绍了为获取测试系统数据库所需的各参数变化曲线所进行的实验系统。
- 2、对实验所得曲线进行了分析。
- 3、对数据的可用性, 以及实验精度影响因素进行分析。
- 4、将数据整合处理为实用数据库曲线, 并给出相应的拟合公式。

第 5 章 智能测试系统的功能验证

5.1 测试目的

本章介绍对测试系统的样机进行功能验证的实验。根据第三章测试系统功能设想，测试系统应该能够完成以下基本功能：

- 1、在控制器脱机的情况下，当向测试系统输入工况参数并由遥控器设定目标温度时，控制器能够输出响应参数。
- 2、测试系统应给出控制器输出的压缩机频率的实时变化曲线，并保存在相应的结果数据文件里。
- 3、测试系统应给出频率与电压的关系曲线，并保存在相应的结果数据文件里。
- 4、测试系统可以记录各反馈参数的实时变化曲线，并保存在相应的结果数据文件里。

5.2 实验整体思路

本实验根据测试系统样机完成的情况，对测试系统的功能验证分为如下几步完成：

- 1、在控制器不脱机的状态下，验证测试系统对控制器输出信号的检测功能，即开环实验。
- 2、在控制器脱机状态下，验证测试系统对空调器系统的模拟参数输出，以及控制器对模拟参数的响应，即闭环实验。
- 3、对测试系统更多功能的验证实验，如：对测试系统输入危险工况参数，检验控制器对此情况的控制；通过遥控器和测试系统设定微小温差，检验控制器的温度控制精度等。

开环试验对装在空调器系统上的变频控制器输出的压/频曲线进行检测，该曲线是否与压缩机的压/频曲线相吻合，智能测试系统是否能够给出压/频与频/时实时曲线。而闭环试验对没有接入空调器系统的变频控制器进行控制功能检测，包括对智能测试系统给出的正常模拟工况和恶劣工况条件变频控制器作出的一系列反映，智能测试系统是否能够如实记录变频控制器的一系列输出，并能给出模拟空调器系统各监测点的参数随控制器的指令和时间的变化曲线。从而能够

反映控制器的控制功能的好坏。这里有两点重要的指标：启动过程降温迅速，但升频曲线要兼顾压缩机的安全性，稳定运行阶段控制器动作的灵敏度要高，即温度波动小。对于变频控制器还有一个 EMC 指标即电磁干扰的问题，EMC 的监测有专门的设备和标准，具体内容和方法见[41]，本智能测试系统对此不做研究。

5.3 测试结果及分析

针对测试系统样机目前完成的状况，现阶段只能先完成开环实验，在控制器不脱机的情况下对控制压缩机的 PWM 波信号以及室内、外风扇状态进行检测，并记录空调器实际运行状态下变频控制器的控制信号状况，从而检验测试系统这部分的性能。实验利用遥控器设定不同的目标温度，测试系统检测不同的目标温度下控制器的输出信号。实验选用实验室现有的金北京牌变频空调器进行开环实验。

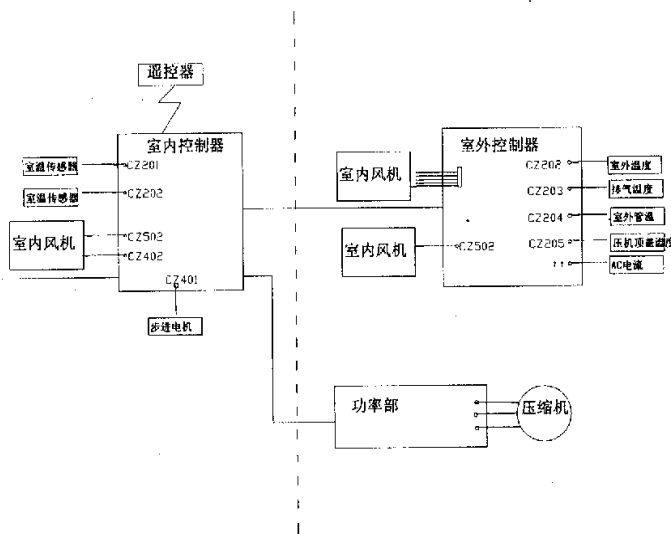


图 5-1 测试系统与控制器接线简图

Fig5-1 Connection Diagram of the Testing System with the Controller

图 5-1 是实验空调器控制器输入输出接线图，因控制器接在空调器上，室内风扇的输入端在室内机上，因此在这种情况下测试系统只能检测到室外风机状态和压缩机的 PWM 信号。在压缩机输入端 U、V、W 并联接入测试系统，室外风扇的输入端也同样并联接入测试系统中。

实验步骤：

- 1、首先将控制器输出信号接入测试系统硬件电路中，联接硬件与上位机（电脑）的通讯线路。
- 2、打开测试系统软件程序用户和图形界面；
- 3、启动空调器，设定目标温度，同时开始测试。

实验分别测试了当室温为 27 度、目标温度为 23 度、20 度、26 度时，控制器的输出。图 5-2、5-3、5-4、5-5 是测试系统实际检测到的控制器在不同的目标温度下的输出状况。

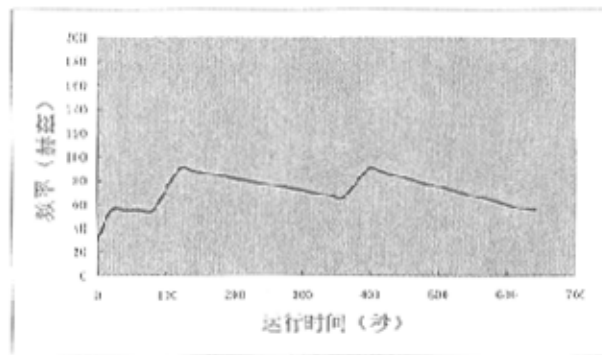


图 5-2 室温为 27 度，目标温度为 23 度时，控制器输出频率的实时曲线
Fig 5-2 the Real Time Variety Curve of the Frequency When the Aim Temp is 23 Degree

由图 5-2 看到：在目标温差为 4 度时，压缩机的启动频率为 30Hz，在 20 秒内迅速上升至 55Hz，并在 55Hz 处维持这一频率大约 80 秒，然后以一定的速率上升至 90Hz。之后又以较小的速率下降，运行到 360 秒时，频率为 65Hz，在 400 秒时其频率又上升至 90Hz。之后又有下降，呈波动状态。

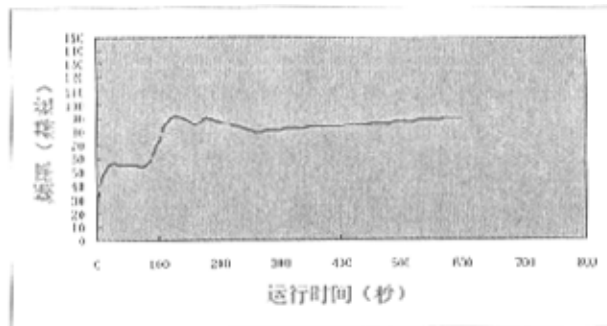


图 5-3 室温为 27 度，目标温度为 20 度时，控制器输出频率的实时曲线
Fig 5-2 the Real Time Variety Curve of the Frequency When Aim Temp is 20 Degree

当目标温差为 7 度时，压缩机的在前 140 秒的启动过程同前面一样，但在 140 秒之后，一直维持在 90Hz 上下运行，波动较小，一直运行到 600 秒时仍然维持在 90Hz。这是因为控制器在启动阶段要使室温迅速达到设定温度，所以使压缩机工作在最高频率以求得到最大制冷量，使室温迅速下降。

图 5-4 表明当目标温差为 1 度时，压缩机维持在启动频率 30Hz 下运行。

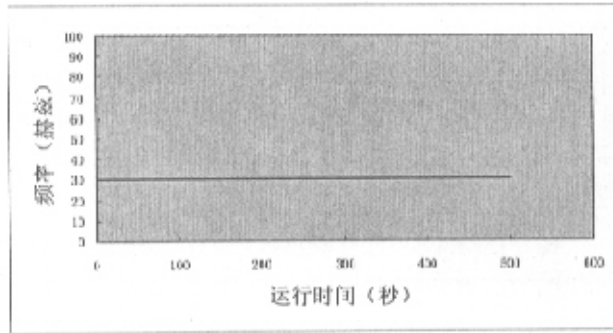


图 5-4 室温为 27 度，目标温度为 26 度时，控制器输出频率的实时曲线
Fig 5-4 the Real Time Variety Curve of the Frequency When Aim Temp is 26 Degree

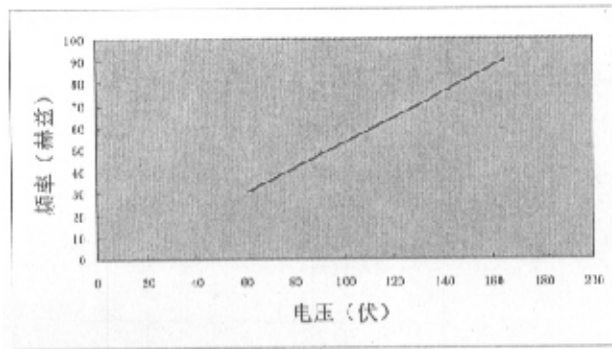


图 5-5 控制器输出的压/频曲线
Fig 5-5 the Press/ Frequency Curve of the Controller Outputting

图 5-5 是测试系统得到的压频曲线，电压的变化范围是 60-180V，频率的变化范围是 30-90Hz。电压和频率呈线性关系。

图 5-7 是试验过程中软件的图形显示界面，可以看到，上位机同时给出频率

的实时变化曲线、压频曲线以及风扇的状态。

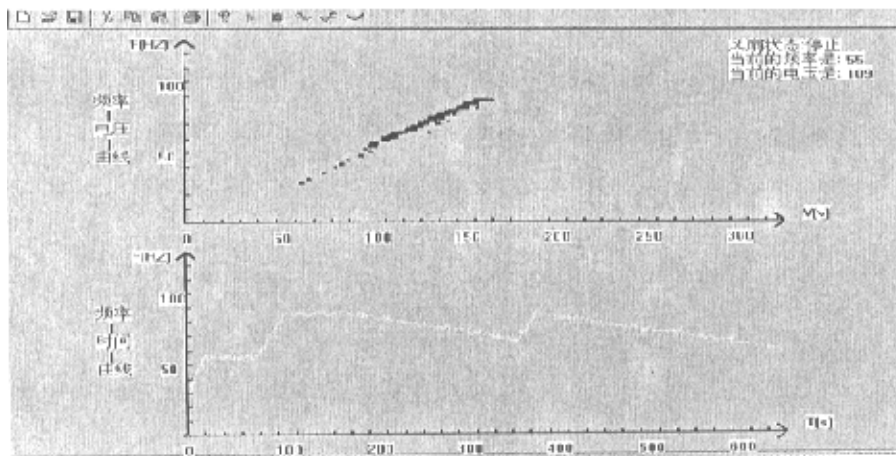


图 5-6 当目标温度为 23 度时, 上位机的图形显示
Fig 5-6 the Screen Display Graph of the Software

5.4 结论

从图形结果看到测试系统得到的压/频曲线与图 5-7 松下公司建议的压/频曲线基本一致。但是启动过程频率曲线不太理想, 如图 5-5, 当目标温差为 1 度时, 目标频率为 30Hz, 被测控制器输出频率从开始就运行在 30Hz 并一直保持。但是按照压缩机的启动要求当目标频率较高或较低时, 不应该直接控制压缩机直接进行运转, 而应该在某一中间频率时使压缩机有一过渡运转时间, 以形成热平衡和良好的润滑。从图 5-5 可以看到该控制器并没有按照压缩机的启动要求来控制压缩机的频率, 因此可以判断该控制器启动控制有缺陷。

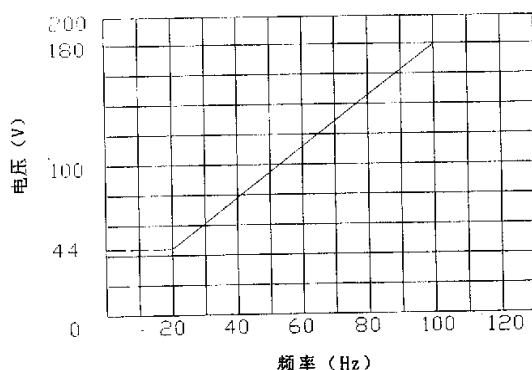


图 5-7 松下变频压缩机 2PV132N7B02A 的压频曲线
Fig 5-7 the Press/Frequency Curve of the Panasonic Company's Compressor

尽管此空调器频时曲线并非象理论上那样理想,但却真实地反映了变频控制器对压缩机的控制,可以说测试系统设计的针对 PWM 脉宽调制波测试方法是可行且成功的。另外,硬件设计的监测开关状态的模块经检测也是可行的,这样变频控制器的输出控制信号已可通过测试系统完全检测出来。

5.5 本章小结

本章介绍智能测试系统的功能验证实验系统,并对实验结果进行了分析。

结 论

本文在深入分析变频空调控制器控制功能的基础上，试图开发出一种针对变频控制器的集测试、分析、评价等功能于一身的智能测试系统。本文提出了智能测试系统的总体设计思路和具体设计方案，并对其可行性进行了分析论证。与电控专业人员合作共同制作了可以完成部分功能的样机，并通过实验对样机的功能进行了验证，取得阶段性成果。本文的主要成果如下：

1 本文开发的智能测试系统对空调系统的模拟不采用复杂的系统仿真来做，而是采用数据库存储的空调系统运行参数来模拟。因为可以随时根据需要更新数据库内容，所以提高了智能测试系统通用性。

2 本文建立的获取空调系统运行参数实验台还可以应用于频率对系统性能影响的研究。

3 本文开发的变频控制器智能测试系统在国内及国际相关领域均未见有类似研究，具有一定的技术领先性。

4 本智能测试系统将对国内变频空调的开发与研究提供有力工具，为空调器厂、压缩机厂、变频控制器厂三方的合作提供技术协作和技术支持。

5 本智能测试系统应市场需要而开发，因而具有很好的市场前景。

本文开发的智能测试系统还只是完成雏形，距离完成全部的设想功能还有一段距离，对今后进一步工作提出如下建议：

1 本文只是提出设计模拟负载的想法，进一步工作应该对负载对变频控制器输出的影响规律进行研究，然后设计合适的模拟负载，建议利用软件实现模拟，这样可以提高测试系统的通用性。

2 将硬件做成封闭的仪器形式，设计安全、美观的电源和通讯接口，并设计自身保护装置。

3 进一步改进软件的图形显示界面，并将软件打包成可安装程序。

参 考 文 献

- 1 朱瑞琪. 制冷空调设备的变频能量调节. 流体工程. 1991: 19-27
- 2 R.A. Hegberg. Convert constant-speed hydronic pumping systems to variable-speed pumping. ASHRAE Transactions. 1991, pt, p739-745
- 3 杨昭, 马一太, 吕灿仁. 空调机开停损失分析及季节性能的模拟. 制冷学报. 1994, (2): 10-16
- 4 周子城. 日本分体壁挂式房间空调器的新近展(续)[J]. 制冷. 1996, 54(3): 20-25
- 5 魏文学. 日本的暖通空调及制冷工业——1998年回顾与1999年展望[J]. 家用电器科技. 1998, (3): 30-31
- 6 黄晨等. 我国房间空调器生产发展过程的剖析、前景及对策. 制冷技术. 1998, (2): 6-10
- 7 伍宏卫, 陈文清. 家用变频空调器的技术发展和市场展望. '99中国家用电器电子技术应用研讨会论文集, 1999. 北京, 中国家用电器协会, 1999: 59-63
- 8 Nishi, etc. Split-system air conditioner for shops and offices. Hitachi Review v42 n2, Apr1993:p61-66
- 9 国际能源机构(IEA). 世界能源预测
- 10 空调节能技术研讨会. 变频是空调实现节能成熟途径. 2003, 12
<http://www.rhvacnet.com/hyjw/view.asp?nid=4435>
- 11 张秀平等. 表面蒸发器的计算机模拟计算及传热方式的对比分析. 流体机械, 1198, (2): 53-57
- 12 葛云亭, 彦启森. 蒸发器动态参数数学模型的建立与理论计算. 制冷学报, 1995, (3): 9-17
- 13 葛云亭, 彦启森. 冷凝器动态参数数学模型的建立与理论计算. 制冷学报, 1995, (3): 9-18
- 14 黄允东. 空调用风冷冷凝器设计的新方法. 流体机械, 1997, (6): 52-55
- 15 王玉贵. 中小型空调器毛细管最佳长度的选择. 流体机械, 1997, (6): 56-58
- 16 陈爱玲等. 房间空调器的动态模拟和实验研究. 流体机械, 1997, (4):

46—52

- 17 陈芝久等. 制冷系统热动力学. 机械工业出版社. 1998
- 18 朱瑞琪, 陈文勇, 吴业正. 电子膨胀阀的控制. 流体机械. 1998, (5): 20~26
- 19 杨昭等. 房间空调器季节性能的理论分析及改善方法. 制冷学报, 1994, (4): 7—13
- 20 rzad, M., etc. Influent of the expansion device on air-conditioner system performance characteristics under a range of charging conditions. ASHRAE Transactions v99 pt1 1993, Publ by ASHRAE, Atlanta, GA, USA. p3-13
- 21 O.Neal, D.L, etc. Development of nondimensional cycling model for estimating the seasonal performance of air conditioners. Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME v115n3 Aug1993, 176-181
- 22 Heflin, C., etc. Steady-state analysis of single-speed residential split system with zoning bypass. ASHRAE Transactions v 99 pt 2 1993. Publ by ASHRAE, Atlanta, GA, USA. p40-51
- 23 ANSI / ASHRAE 116-1983. Methods of Testing for Seasonal Efficiency of Unitary Air-Conditioners And Heat Pumps
- 24 ARI Standard 210 / 240. Unitary Air-Conditioning And Air-Source Heat Pump Equipment. 1989
- 25 Turk, A.R., etc. Practical approaches for healthcare: indoor air quality management. Energy Engineering, Journal of the Association of Energy Engineering v93 n5 1996, p12-79
- 26 Zhou, Hong, etc. Intelligent system for indoor air quality control. Environment International v20 n4 1994, p457-467
- 27 Fejer, Christy. Indoor air quality management. Australian Refrigeration, Air Conditioning and Heating v47 n12 Dec 1993, p16-17
- 28 H.E.Braney Burroughs. IAQ: An Environmental Factor in the Indoor Habit. HVAC, Feb. 1997, p57-60
- 29 张汉奇, 孙宝奎. 直流无刷电机变频调速技术及其在家用空调器上的应用. '99 中国家用电器电子技术应用技术研讨会论文集, 1999. 北京, 中国家用电器协会, 1999: 150~152
- 30 Schonung A & Stemmler H. Static Frequency Changer with Subharmonics

- control in Conjunction with Reversible Variable Speed AC Drives. BBC Rev. Aug/Sept, 1964
- 31 Bove S R. New Sinusoidal Pulsewidth Modulate Inverter. Proc. IEE. 1975, 122(1)
- 32 Bove S R. & Midoun A. Microprocessor Implementation of New Optimal PWM Switching Strategies. Ibid. 1988, 133(5)
- 33 Muriai Y etc. New PWM Method for Fully Digitized Inverter. IEEE Trans. on IA. 1987, IA-23(5)
- 34 李永东. 脉宽调制技术—回顾、现状及展望. 电气传动. 1996, (3): 2—12
- 35 茅红伟, 王琪. 变频空调器性能测试标准的探讨. 家电科技. 2003, (10): 80—81
- 36 王文晶. 5HP 变频空调器的开发研究. 北京工业大学学位论文. 2002
- 37 李焱, 石超. 空调器性能系数的讨论. 重庆工学院学报. 2002, 第 16 卷 (4): 44—46
- 38 安大伟, 王江江. 变频技术在空调节能中的应用. 节能技术. 2003, 第 21 卷 (3): 14—15
- 39 顾中平等. 家用空调器节能技术分析. 家用电器科技. 2002, (5): 58—60
- 40 港菱机构. 全封闭式空调压缩机应用指南.
- 41 王泰宇. 变频空调器中的电磁兼容问题. 家用电器科技. 2000, (9): 39—4

附录 1

变频控制器电器原理图

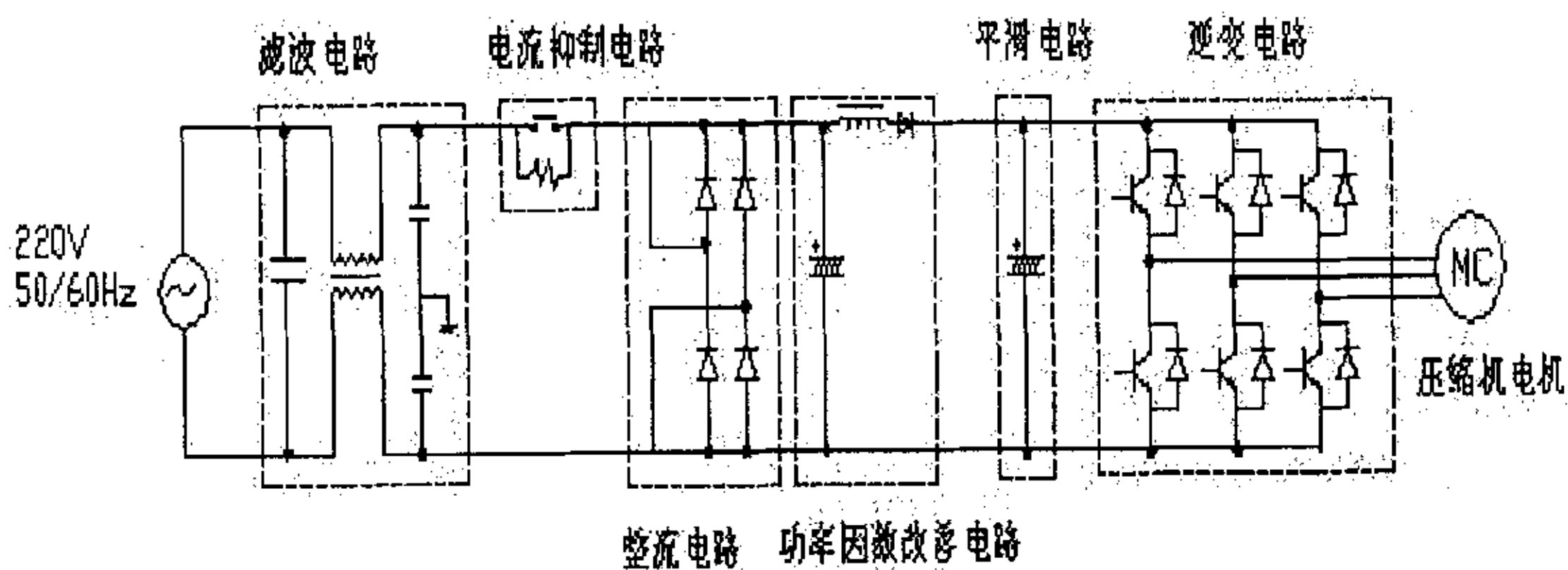


图 1 单相 220V 电源变频控制器原理图 (单相全波整流电路)

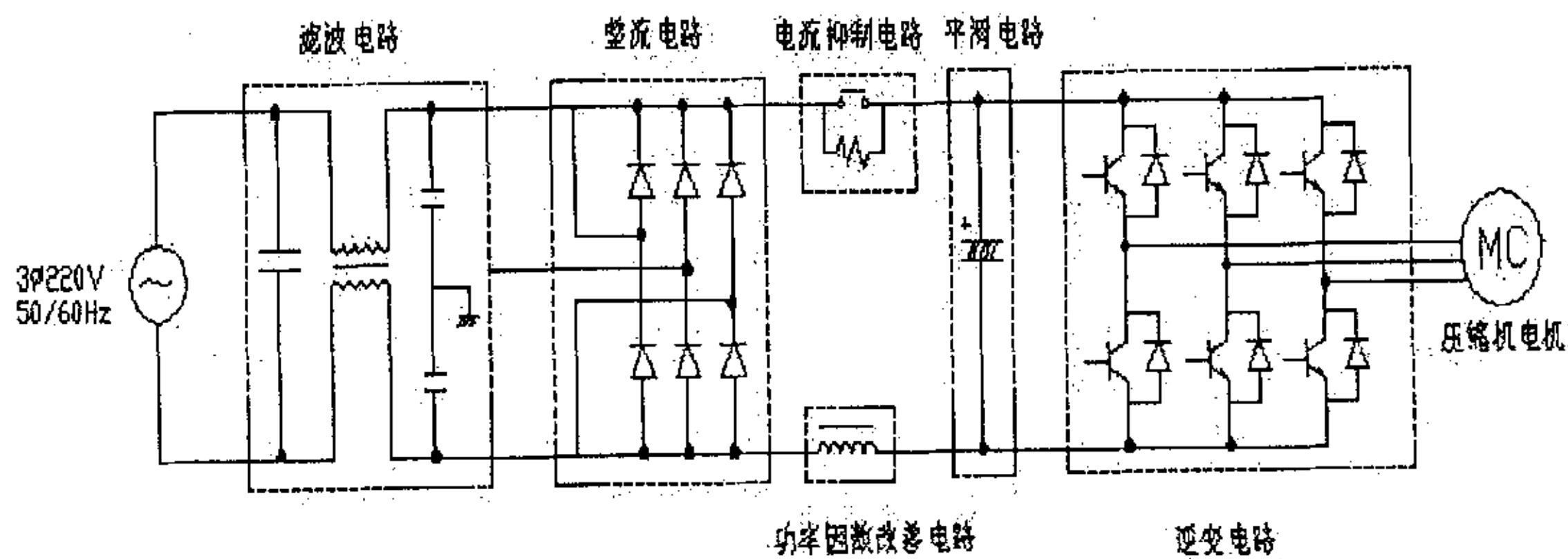


图 2 三相 220V 电源变频控制器原理图 (三相全波整流电路)

附录 2 ABBACS401—009—3—2 型通用变频器参数设置说明

参数	参数功能	参数设置范围	实验中参数设置
9901	语言	0—12	0 英语
9902	应用宏	0—7	1 标准宏
9905	电机额定电压	380 400 415 440 460 480V	380V
9907	电机额定频率	0—250HZ	206HZ
2007	输出最小频率	0—250HZ	30Hz
2008	输出最高频率	0—250HZ	根据实验设定
2201	加减速曲线选择	0—5	0
2202	曲线由最高 0Hz 上升到最高频率的时间	0.1—1800s	120s
2206	频率变化线型选择	0—3	0
0103	输出频率	0—250Hz	根据需要设定
0104	显示变频器测量的电机电流值		显示实测值

通用变频器主要参数含义说明:

9901: 语种选择。共有 12 种语言可供选择, 在本实验中选择 1English.

9902: 应用宏选择。该参数设定 ACS400 为不同的“应用宏”, 用以完成某些典型的应用。共有 8 种应用宏, 分别为: 0=FACTORY(工厂宏); 1=ABB STADARD(标准型); 2=3-WARE(三线型); 3=ALTERNATE(交变型); 4=MOTOR POT(电位器型); 5=HAND/AUTO(手动/自动); 6=PID CONTRL(PID 控制); 7=PREMAGN(预磁通)。本实验选择 1 标准型。

9905: 电机铭牌上标称的额定电压。此参数设定了 ACS400 输出到电机的最大电压值。当变频器的频率输出等于 9907 项设定的额定频率时, 输出电压同时达到额定电压值。因为本通用变频器可选额定电压最小为 380V, 所以为了得到满足压缩机压频曲线的输出电压, 将额定频率按线性折算到 206Hz。一般压缩机的压频比为 1.8 左右, 所以以此系数折算。

9907: 电机铭牌上标称的额定频率值, 亦为弱磁点。

2007、2008 略。

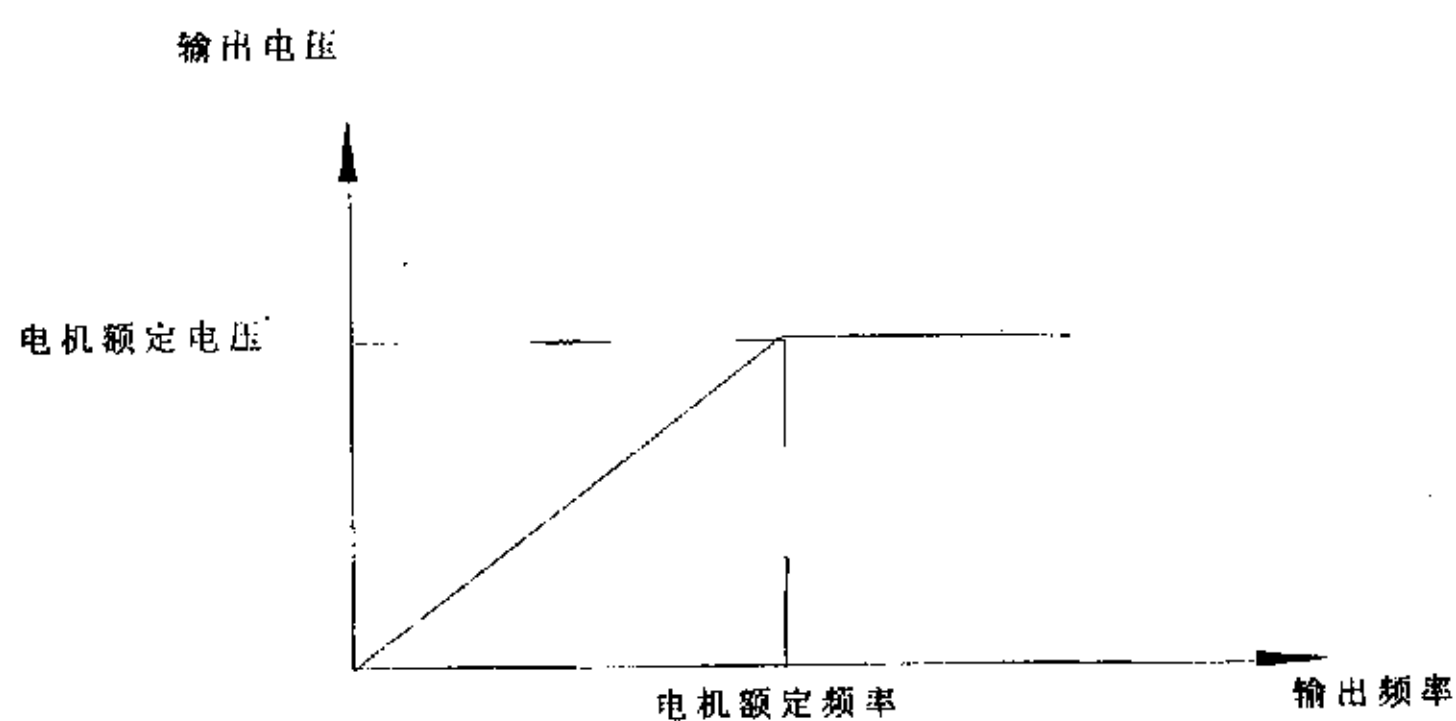
2201: 该参数根据控制信号选择, 在本实验中选择 0, 线性积分曲线。

2202: 曲线有 0Hz 上升到最高频率所需时间, 实验中将此时间设置为 120s。防止在测高频数据时频率上升过快, 导致压缩机损坏。

2206: 该参数设定加减速积分曲线的形状。本通用变频器提供了 4 种线型: 0—线性; 1—快 S 型; 2—缓 S 型; 3—慢 S 型。实验中选择 0 (线性)。

0103、0104 略。

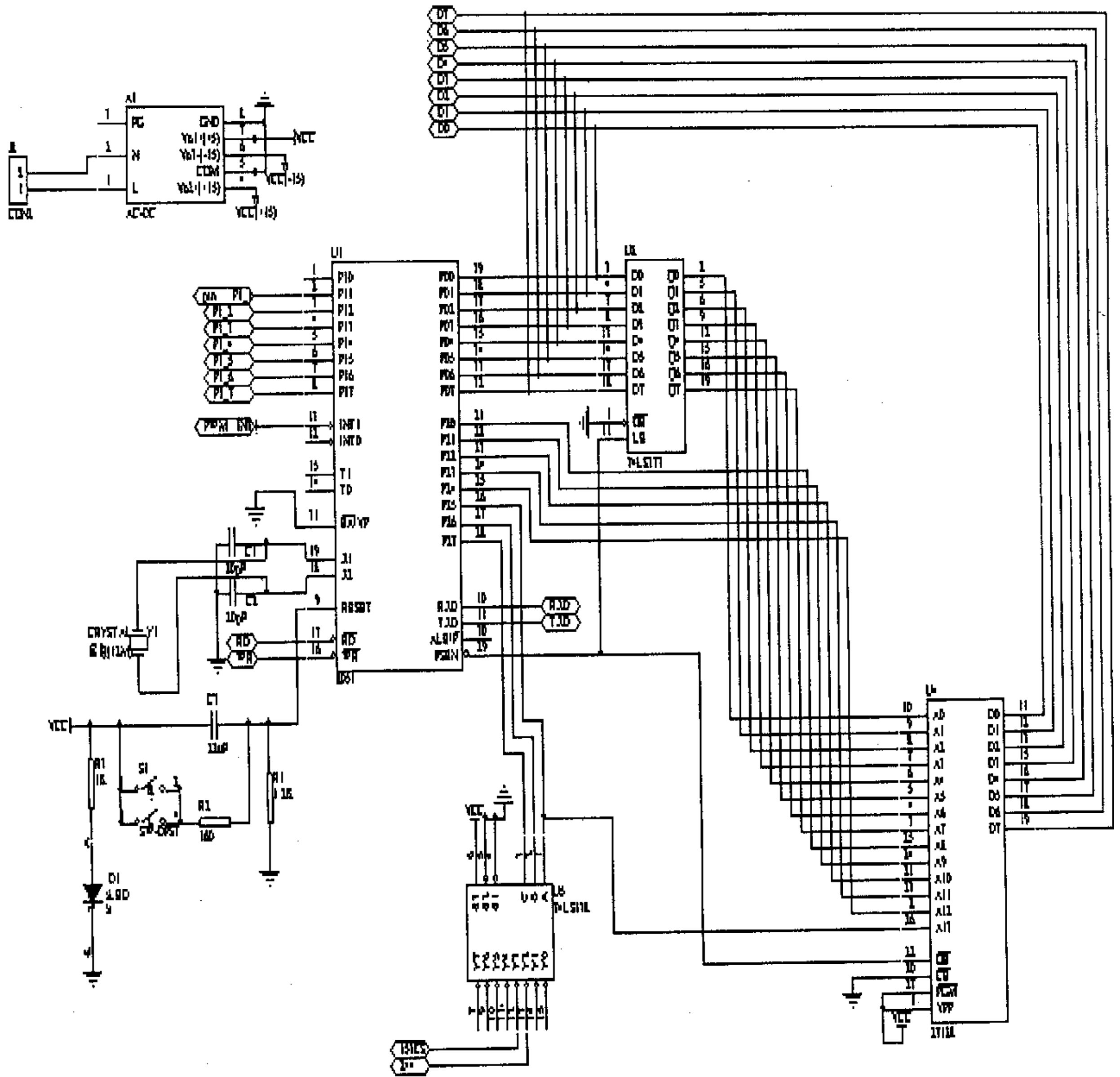
下图是该变频器输出电压与输出频率的关系曲线:



变频器输出电压与输出频率的关系

附录 3

测试系统硬件电路图



致 谢

本文是在导师李红旗博士的悉心指导下完成的。在此谨向恩师致以崇高的敬意和衷心的感谢！

感谢王蕴华老师的指导和帮助！

感谢孙嗣莹老师在课题进展过程中给予的帮助和关怀。

感谢师弟李卫华、师妹仇颖在实验阶段给予的帮助！

感谢制冷实验室的所有老师对我的关心和帮助！

感谢三年来所有帮助和关心过我的人们！

最后，我还要感谢我的家人，他们全力的支持和不断的鼓励使我顺利完成学业！