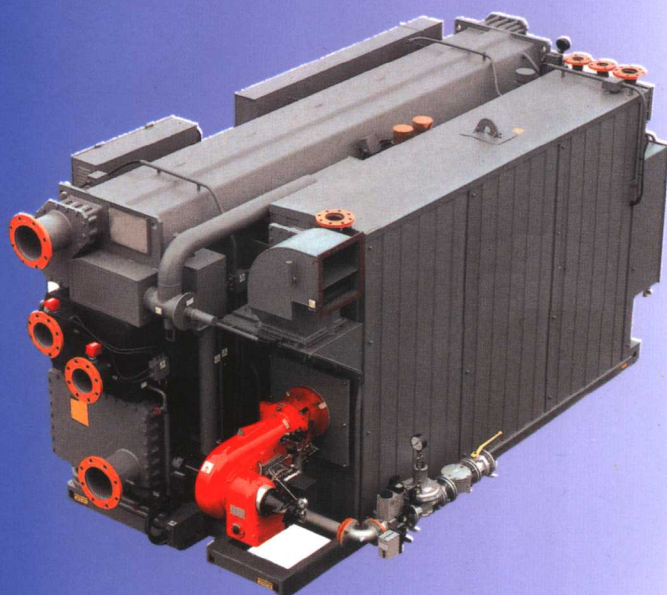


Gas Air-conditioning Technology

燃气空调技术

张 冷 编著



中国建筑工业出版社

燃气空调技术

张 泠 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

燃气空调技术/张泠编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2005

ISBN 7-112-07515-7

I. 燃… II. 张… III. 燃气-空气调节设备-技术
IV. TB657.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 075814 号

本书不仅介绍了燃气空调技术的基本原理及设计计算、燃气空调型式结构与技术性能等方面的知识, 而且还详细地叙述燃气空调的燃烧系统, 论证了燃气空调的推广对我国能源、经济带来的一系列影响, 定量地研究其在终端用户方、电力和燃气供应方以及环境保护、人体健康方面的技术与经济效应, 同时还介绍了燃气空调发展趋势。

* * *

责任编辑: 郭洪兰

责任设计: 崔兰萍

责任校对: 李志瑛 刘 梅

燃 气 空 调 技 术

张 泠 编 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

霸州市振兴制版厂制作

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10½ 字数: 252 千字

2005 年 11 月第一版 2006 年 7 月第二次印刷

印数: 3001—4200 册 定价: 25.00 元

ISBN 7-112-07515-7

(13469)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

序

随着我国能源结构的调整、环保意识的增强以及分布式能源系统的发展,我国已将快速发展天然气事业作为我国长期能源战略和顺应世界能源革命发展趋势的一项非常重要的国策,政府和专家对燃气空调制冷(以下简称燃气空调)的呼声高涨,国家在燃气空调设备设计、使用、安装、消防、安全、质量等方面正在制订适用的支持性法规,各燃气发展城市正在进一步明确燃气空调的能源政策,积极策划制订鼓励推广燃气空调的金融、财政、税收、投资、环保、城市建设等有关各方面的支持性综合举措,燃气空调在我国有着广阔的发展前景。

目前关于吸收式制冷机、燃气输配等方面已有专著,但将燃气空调和燃气系统两者有机集于一体进行系统阐述的书还不多见。本书在这方面进行了新的、有益的探索和尝试。

早在1998年,以远大空调有限公司为代表的、有中国自主知识产权的中国生产的燃气空调就已进入欧美市场。2004年,远大空调有限公司在美国燃气空调市场中占有率居首位,达到45%。这标志着国产的燃气空调生产工艺和技术性能已达到国际领先水平。湖南大学张冷博士以全球通用性最高的远大空调有限公司燃气空调产品为实例来分析燃气空调制冷装置基本原理、性能、构造,给出了区别于蒸汽型双效串联吸收式制冷机组的双效并联机组的热力计算、传热计算、结构计算与强度计算的燃气空调设计计算方法。难能可贵的是,本书并没有停留在理论分析上,还进一步针对目前技术人员感到棘手的空调冷热源选择、燃气管网到燃气空调接口设计等常见问题给予了详细剖析。论证了燃气空调的推广对我国能源、经济带来的一系列影响,定量地研究其在终端用户方、电力和燃气供应方以及环境保护、人体健康方面的技术与经济效应,介绍了燃气空调的新技术(冷热电联产、家用燃气空调)及燃气空调发展趋势。为宏扬我国有自主知识产权的产品做出了贡献。

本书具有鲜明的时代特色,是一本实用性很强的专业技术用书。相信本书的出版对从事暖通空调制冷领域工作的同行有所借鉴。

吴元炜

2005年7月18日

前 言

21 世纪是我国天然气大力发展的世纪。随着能源结构的调整、环保意识的增强以及分布式能源系统的发展,燃气空调在我国有着广阔的发展前景的。

燃气空调是指以天然气等清洁燃料作为能源提供制冷、采暖、卫生热水的直燃型吸收式制冷中央空调设备。由于燃气空调技术发展迅速,因而使得与之相关的资料总体上比较陈旧,有关空调学科前沿新技术、新应用未得到充分反映。本书力图在这些方面有所体现。

本书将燃气空调和燃气系统有机地结合起来。第 1 章介绍了燃气空调概念、特点及其技术发展。第 2 章介绍了燃气空调的燃料及燃烧计算。第 3 章介绍了溴化锂溶液的性质、燃气空调技术基本原理及设计计算方法。第 4 章介绍了燃气空调机组的主要部件及结构、燃气空调的主要附属设备及其结构,燃气空调机组的性能分析、可靠性技术、燃气空调的仿真研究。第 5 章介绍了燃气供应系统、燃烧器、排烟系统、机房及燃烧系统的安全及卫生要求。第 6 章介绍了中国的能源结构燃气空调技术与经济性分析、建筑物空调冷热源的选择、燃气空调的新技术及燃气空调发展趋势。本书内容丰富、深入浅出、图文并茂,是一本实用性很强的专业技术用书,具有鲜明的时代特色,可供从事燃气空调技术各层次专业人员阅读与使用,也可作为大中专院校相关专业教材和企事业单位及燃气空调生产厂家专业技术培训的教材和参考用书。

本书在编写过程中得到了远大空调有限公司的大力支持和协作,提供了大量详实的第一手资料,得到了张跃先生的亲自指导,在此表示衷心的感谢!

同时,在本书编写过程中也得到了湖南大学汤广发教授、吕文瑚教授、王汉青教授、龚光彩教授的热心指导,得到了兰丽、尹应德、赵福云、李孔清、顾登峰、刘娣等研究生的热心帮助。得到了同事张盼月、黄文胜、谭勇的支持鼓励,在此,对他们付出的辛勤劳动一并表示感谢。

张 沁

2005 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 制冷、制热与空调技术	1
1.2 燃气空调概念	2
1.3 燃气空调的特点	3
1.4 燃气空调技术发展	4
1.4.1 美国燃气空调市场	4
1.4.2 欧洲燃气空调市场	5
1.4.3 亚洲燃气空调市场	6
第 2 章 燃气空调的燃料及燃烧计算	8
2.1 城镇燃气	8
2.1.1 城镇燃气的分类、用途及气体燃料的特点	8
2.1.2 城镇燃气的成分和特性	10
2.1.3 城镇燃气的质量要求	11
2.2 城镇燃气的燃烧及计算	12
2.2.1 发热量	12
2.2.2 空气需要量计算	14
2.2.3 燃烧产物及其计算	15
2.2.4 燃气燃烧温度及焓的计算	17
第 3 章 燃气空调技术基本原理及设计计算	20
3.1 概述	20
3.2 溴化锂溶液的性质	21
3.2.1 溴化锂溶液物理性质	22
3.2.2 溴化锂溶液的热力状态图	25
3.3 燃气空调工作原理	29
3.3.1 燃气空调的工作原理	30
3.3.2 燃气空调的循环流程	31
3.3.3 多效燃气空调机组	33
3.3.4 燃气空调制热原理	36
3.4 燃气空调机组设计计算	37
3.4.1 燃气空调机组循环的热力计算	37
3.4.2 燃气空调机组的传热计算	46
3.4.3 燃气空调机组的结构计算	61
3.4.4 燃气空调机组的强度计算	63
第 4 章 燃气空调形式结构与技术性能	70

4.1 燃气空调机组的主要部件及结构	70
4.1.1 发生器	70
4.1.2 冷凝器	77
4.1.3 蒸发-吸收器	79
4.1.4 溶液热交换器	82
4.1.5 烟气换热器	82
4.2 燃气空调的主要附属设备及其结构	83
4.2.1 屏蔽泵	83
4.2.2 真空泵	84
4.2.3 真空阀门	85
4.3 燃气空调机组的性能分析	88
4.3.1 外界条件变化对机组性能的影响	88
4.3.2 内部条件变化对机组性能的影响	95
4.3.3 部分负荷时的性能系数	98
4.3.4 燃气空调机组的能量调节	100
4.4 可靠性技术	101
4.5 燃气空调的仿真研究	108
4.5.1 研究方法	108
4.5.2 研究现状	109
4.5.3 总结和展望	112
第5章 燃气空调的燃烧系统	114
5.1 燃气供应系统	114
5.1.1 燃气管道供气系统	114
5.1.2 燃气管道水力计算	118
5.1.3 燃气供应系统管路安装	121
5.2 燃烧器	123
5.2.1 燃烧器的分类	123
5.2.2 结构及工作原理	124
5.2.3 主要技术参数	125
5.2.4 燃烧器的选用	126
5.3 排烟系统	126
5.3.1 排烟系统主要参数	126
5.3.2 烟道的设计计算	128
5.3.3 设计注意事项	130
5.4 燃烧系统及机房的安全及卫生要求	132
5.4.1 燃烧系统安全保护装置	133
5.4.2 燃气空调机房防火、防爆、防静电要求及通风设计要求	133
第6章 燃气空调的技术与经济性分析及发展趋势	136
6.1 中国的能源结构	136
6.2 世界能源革命——从碳到氢	137

6.3 燃气空调的技术与经济性分析	139
6.3.1 燃气空调对电力工业的积极作用	139
6.3.2 环境意识的增强为燃气空调的发展提供了前所未有的机遇	141
6.3.3 燃气空调经济性分析	141
6.4 建筑物空调冷热源的选择	143
6.5 燃气空调的发展趋势	145
6.5.1 BCHP	145
6.5.2 家用燃气制冷机	149
附录	152
附录 1	152
附录 2	154
附录 3	155
附录 4	156
主要参考文献	157

1.1 制冷、制热与空调技术

制冷就是用人工的方法，在一定的时间和一定的空间内，使自然界的某物体或某空间达到低于周围环境温度，并使之维持这个温度。实现制冷可通过两个途径，一是利用天然冷源，另一则是利用人造冷源。天然冷源就是用深井水或天然冰、地道风、深湖水、山涧水等，冷却物体或空间的空气。人造冷源（人工制冷）就是利用人工的方法，借助于制冷装置，以消耗机械能或电磁能、太阳能热能等形式的能量为代价，使热量从低温系统向高温系统发生转移而得到低温的方法。这里所说的“冷”是相对于环境温度而言的。灼热的铁块放在空气中，通过辐射和对流向环境传热，逐渐冷却到环境温度；一桶开水置于空气中，逐渐冷却成常温水，类似这样的过程，都是自发的传热降温，属于自然冷却不是制冷。只有通过一定的方式将铁块或水冷却到环境温度以下，才可称为制冷，因此，形成并保持冷热差异必须有外界条件：加热或制冷。冷与热，字义上而言，互为反义词，于科学上则为同一个概念：即物体分子热运动水平。用温度参数表示物体冷热程度。根据热源温度的不同，实现这种热量转移的机器种类可以有制冷机、热泵以及同时制冷与制热的联合机三种。下面是这三种机器工作的原理示意图 1-1。

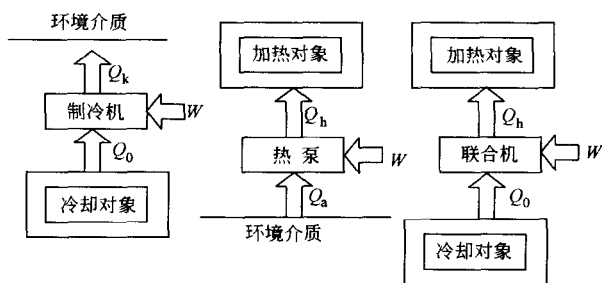


图 1-1 制冷机、热泵、联合机工作原理

图 1-1 中，制冷对象是指需要降低到比环境温度更低温度的空间或物体，如冷库。加热对象是指需要加热到比环境温度更高温度的空间或物体，如暖房。不论制冷、制热或同时制冷与制热的联合机都需消耗能量，所以从热力学角度考虑，制冷机、热泵、联合机尽管工作的温度区间不同，它们的基本原理相同，即利用某种工质状态变化，从低温热源吸取一定热量（ Q_0 或 Q_a ），通过一个消耗功 W （或热量）的补偿过程，向较高温度的热源放出热量 Q_k 或 Q_h ，而且在这一过程中，向高温热源的放热量应等于从低温热源吸取的热量与消耗的功之和，即对于

$$\text{制冷机:} \quad Q_0 + W = Q_k \quad (1-1)$$

$$\text{热泵:} \quad Q_a + W = Q_h \quad (1-2)$$

$$\text{联合机:} \quad Q_0 + W = Q_h \quad (1-3)$$

为实现上述能量转移，首先必须有使制冷剂能达到比环境介质更低温度的过程，并连续不断地从被冷却对象吸取热量。在制冷技术范围内，实现这一过程的方法有物理方法和化学方法（利用吸热的化学反应，致使周围的物体冷却），绝大多数为物理方法，目前广泛应用的有气体膨胀制冷、气体涡流制冷、热电制冷及相变制冷等，这四种制冷方法中，以相变制冷中液体气化制冷方法应用最为广泛，目前常见的蒸汽压缩式制冷机（活塞式、螺杆式、离心式、涡旋式压缩机以及热电制冷等）、吸收式制冷机、蒸汽喷射式制冷机都是利用液体气化的吸热效应来实现制冷的，能够获得各种不同的温度环境，是目前应用最为广泛的制冷方法。本书重点讲述的燃气空调技术即属于吸收式制冷这类机组中的一种。

1.2 燃气空调概念

燃气空调（Gas Air-conditioning）是指直接以天然气、液化气、人工煤气等清洁燃料作为能源提供制冷、采暖、卫生热水的中央空调设备。广义上的燃气空调有多种方式：

（1）燃气型吸收式冷温水机 即用燃气直接驱动吸收式机组来生产冷量或热量。目前有燃气直燃型单冷机组和冷温水机组等，单冷机组仅为空调系统供应冷冻水，冷温水机组还可为空调系统提供热源及热水。目前，燃气驱动的吸收式机组普遍采用两效型机组，三效机组由于成本高及技术问题，还处于开发中，目前还未走向市场。燃气吸收式机组使用的工质对主要有溴化锂—水和氨—水两种。对于要求热水供应和不直接使用蒸汽的办公楼等很适用。

（2）燃气锅炉+蒸汽吸收式制冷机 可用于大型建筑物或中小型区域制冷制热工程。对于要求直接蒸汽或热水供应的旅馆建筑亦较适用。这种系统可制冷水、蒸汽（或热水）。

（3）燃气蒸汽锅炉+蒸汽透平驱动离心制冷机 燃气锅炉产生高温高压蒸汽（2~4.5MPa，300~400℃），经减温减压后用蒸汽制热。制冷利用蒸汽轮机驱动离心制冷机（单台容量可达35000kW）。由于离心制冷机的容量较大，故本系统可用于大型区域制热制冷。对于要求热水供应和直接提供蒸汽的旅馆建筑亦可适用。

（4）燃气机发电+热水烟气直燃型吸收式冷温水机 燃气机发电可供空调部分用电，其尾气可用作吸收式冷温水机的热源，直接提供制冷、制热和卫生热水。因利用余热回收，运行效率高，环保价值大。

（5）燃气轮机发电+蒸汽吸收式制冷机 在利用燃气发电的同时，充分利用燃气轮机的排热，有较高的运行效率，适用于需用蒸汽的大型制冷制热工程。这种系统方式称为“合产系统”，是一种很有效的燃气供能系统。

（6）直燃型小容量吸收式冷水机组 开发用于家庭，容量为10.5~17.5kW。

（7）燃气吸收式热泵 能利用垃圾焚烧工厂的排热及其他废热场合可以采用，可获得最高温度为95℃以内的热水。

（8）燃气机热泵 GHP（Gas Engine Heat Pump） 利用燃气机驱动螺杆或压缩式热泵。不仅可以制冷还可以制热，制热时还可以回收燃气机烟气排放的热量，运行效率较高，对于采暖负荷较大，全年有空调（冷、暖）需要的建筑可使用，当装置能源入力为

100%时,热出力可达150%~170%。一般容量在70~7000kW左右。除开发大容量机组外,亦可开发小型商用机组。

(9) 燃气去湿空调机 燃气去湿机是通过去湿材料吸收空气中的水蒸气,再用燃气燃烧加热去湿剂使其再生重新恢复它的去湿能力,保证去湿剂能连续工作。在空调系统中,它和冷水机组结合可以带走空气的潜热,降低冷水机组的负荷,将是提供解决室内空气质量问题的最佳方案。

在上述各种方式中,燃气直燃机能源转换途径少、技术成熟且行业发展迅速、应用普及,因此常规意义的燃气空调又被称为燃气直燃机。本书详细阐述的燃气空调装置就是为空调系统提供冷(热)源,也就是说《燃气空调技术》这本书是为空调服务的,其他低温制冷不列入本书。因此,这本书的学习目的是研究用于空气调节的一般燃气制冷设备,掌握燃气空气制冷技术的基本理论知识。

1.3 燃气空调的特点

因其制冷原理本身的特殊性,燃气空调具有很多独特的性能,一般有:

(1) 一机多能,可供夏季空调、冬季采暖,兼顾提供生活热水之用,使用方便。并且因为省去锅炉房,机房体积小,用地省,减少了基建费用。

(2) 燃气空调经济性好,能源利用率高。燃气在高温发生器中直接燃烧,燃烧效率高,传热损失小,取消了电空调必不可少的“燃煤发电-输配电-电制冷”这些中间环节,具有高效、节能的特点。燃烧后排放物较少,并且燃烧产物中无论是 SO_x 、 NO_x 还是 CO_2 都比较低。因此,燃气空调有利于大气环境的保护,减少温室气体和其他污染物对大气环境的影响,允许在对环保有严格要求的场合使用。它可以在一定程度上缓解环境的压力。

另外,燃气空调可实现能源消耗的季节平衡。燃气空调以城市燃气为动力,毋需耗用大量电能,增加燃气消耗量,既可以让燃气资源得到充分利用,填补夏季燃气低谷、提高燃气管网利用率、降低供气综合成本,同时又能有效削减由于空调引起的用电峰值负荷,提高电力负载率,提高电力设备运转利用率和有效控制电力设备投资盲目增长,降低电力成本和稳定供电能力弥补季节能耗的不平衡。大力发展燃气空调对燃气部门和电力部门是双赢的。

(3) 整个制冷装置除功率很小的屏蔽泵外,没有其他运动部件,振动小、噪声低,运行比较安静,特别适用于医院、旅馆、食堂、办公大楼、影剧院等场合。

(4) 目前,燃气空调一般以溴化锂溶液为工质,制冷机又在真空状态下运行,无臭、无毒、无爆炸危险,安全可靠,被誉为无公害的制冷设备,有利于满足环境保护的要求。

(5) 冷量调节范围宽。机组可在25%~100%的范围内进行冷量无级调节,并且随着负荷的变化调节溶液的循环量,有着优良的调节特性。且低负荷调节时,热效率几乎不下降,性能稳定,能很好地适应变负荷的要求。

(6) 对外界条件变化的适应性强。实际运行表明,能在冷却水进口温度18~40℃,冷媒水出口温度3℃以上范围内稳定运行。

(7) 安装简便, 对安装基础的要求低。运行时振动极小, 故无需特殊的机座。可安装在室内、室外、地层、楼层或屋顶。安装时只需作一般校平, 接上气、水管道和电源便可。

(8) 制造简单, 操作、维修保养方便。机组中除屏蔽泵、真空泵和真空阀门等附属设备外, 几乎都是热交换设备, 制造比较容易。由于机组性能稳定, 对外界条件变化的适应性强, 因而操作比较简单。

(9) 制冷机在真空下运行, 对真空要求很高。如果漏入空气, 将导致溴化锂溶液对普通碳钢产生较强的腐蚀性。这不仅影响机组的寿命, 而且影响机组的性能和正常的运行。为此, 制冷机要求严格密封。

(10) 由于直接利用热能, 机组的排热负荷较大, 因为制冷剂蒸汽的冷凝和吸收过程, 均需冷却。此外, 对冷却水的水质要求也比较高, 在水质差的地方, 使用时应进行专门的水质处理, 否则将影响机组的性能正常发挥。

1.4 燃气空调技术发展

长期以来, 电力一直是各种机械的首选能源, 空调设备也是如此。但电力空调在夏季耗电量很大, 随着人类对空调需求量的增加, 导致电力供应的峰谷差加大, 已给许多国家带来严重后果。电力空调制冷广泛采用的 CFC (chloro fluoro carbo 和 HFC (hydro fluoro carbon) 等类物质破坏臭氧层, 并产生温室效应, 已引起世界范围的极大关注。1945 年美国率先研制成功燃气空调, 但直到 20 世纪 60 年代末期, 燃气空调才正式登上制冷技术的舞台。燃气空调不仅可以减小供电的季节性峰谷差, 亦可平衡燃气冬夏供应量, 不存在 CFC 和 HCFC 等类物质的使用问题, 利于环境保护。随着能源结构的调整、环保意识的增强以及分布式能源系统的发展, 燃气空调的发展前景广阔。

1.4.1 美国燃气空调市场

吸收式制冷原理发明于 1777 年, 世界上第一台吸收式制冷机于 1858 年在法国诞生, 其冷媒是氨。当时美国正发生南北战争 (1861~1865 年), 北方不再供给南方冰, 而美国是一个用冰量很多的国家, 只能靠人造冰, 这时南方将吸收式制冷机从法国引进过来, 1860 年第一台商用吸收式制冷机的美国专利授予费迪南德·开利, 最早的五台吸收式制冷机被用来制冰, 产量为 100kg/h。同时在 1860~1960 年 100 年间对吸收式制冷机做了一些改进, 使之得到广泛的应用, 到 1960 年时该机型在美国市场的占有率曾达 30%。

燃气空调的第一台样机是在 1945 年由美国开利公司在原吸收式制冷机基础上研制出的 523kW 制冷量、双筒体的单效溴化锂燃气空调, 从而使燃气空调正式登上了空调制冷的技术舞台。由于该样机还有许多技术上的不完善和经济上的问题, 加之美国电力资源充足, 燃气空调仅作为技术储备, 并没有得到充分的发展和运用。加上 20 世纪 70 年代美国出现了“能源危机”, 美国国内普遍认为燃气资源紧张、危及美国安全, 导致卡特政府限制发展利用天然气制冷, 使 1973~1982 年一直处于负增长状态, 天然气的价格一直居高不下, 加之美国电力基础设施雄厚, 燃气空调的发展在相当长的时间受到了制约。美国生

产燃气空调机组的台数,1974年为最高峰达1000台,以后年年下降,到1987年,仅年产130台,长期制约燃气空调发展的恶果逐渐显现,专家、政府开始认识到电力在夏季应扮演的角色问题,推广燃气空调的呼声高涨。从1983~1995年天然气的价格下降了近50%,1994年安装了400台大型燃气吸收式空调,占当年安装大型空调设备的9%,1995年安装的大型燃气吸收式空调达到20000冷吨。在2000年中央空调销售市场中,燃气空调份额迅速提高到7%。因连续高温导致空调用电剧增,2003年8月14日16时9分,美国东北部、中西部8个州和加拿大安大略省发生了历史上最大规模的停电事故,连续停电29小时。据初步统计,北美的纽约、底特律、克利夫兰、渥太华、多伦多等重要城市及周边地区近5000万人口受到影响,据美林公司首席经济学家戴维罗森博格估计,整个经济损失大概在250~300亿美元之间。专家、政府充分认识到应大力发展燃气空调解决电力在夏季的调峰问题。

近年来,受氟里昂限制使用的影响,电驱动压缩式制冷机市场不断减小,而燃气空调则获得较大发展。专家预测在1996~2010年期间,电驱动压缩式制冷机将占有美国中央空调市场的70%,燃气空调增至30%。倘若新型燃气空调的开发取得决定性的成功,燃气空调可能会占60%,压缩式制冷机则降至40%。

家用燃气空调在美国也有长足发展。1985年美国燃气研究院开发3冷吨(10.55kW)的家用燃气空调。该产品性能可靠,效率高,耐用性强,预计使用寿命可达15年,在53420小时运行中,其COP(coefficient of performance)制冷时为1.05,制热时为1.27。制冷与制热的舒适度高,运行费用低。美国Robur公司研制成功SERVELGAX型燃气空调,规格有3冷吨、5冷吨等,以水-氨为工质对,用于制冷及制热。GAX燃气空调比先前的燃气空调效率提高了39%,维修量低,寿命长,运行费用低,操作弹性大,可分别调节不同房间的温度,舒适程度高,颇有竞争力。该公司在意大利设有分公司。1997年以南加州天然气公司为首的几个燃气公司组成一个联合体,联手推广GAX型家用燃气空调,并以优惠的方式降低价格。1999年在克林顿总统的支持下,美国能源部负责的环保示范项目,一种新式房屋结构在洛杉矶建成,名为“绿村”,采用了190台Robur公司生产的GAX燃气空调。美国能源部也支持Robur公司开发一种商业化的燃气吸收式热泵,以期彻底改革空调市场,增强燃气空调对电动空调的竞争力。

1.4.2 欧洲燃气空调市场

欧洲燃气空调的开发滞后于日本和美国。欧洲各国在气候、资源、燃气/电的价格比、环境政策等方面均不同。目前燃气空调在欧洲所占的市场较小,燃气空调大多由美国和远东进口。相比之下,意大利在推广燃气制冷设备方面领先一步,意大利燃气公司已获得政府的税收优惠政策和购买燃气空调设备的政府补贴。法国燃气公司也将吸收式设备的重点转向燃气空调,天然气公司已着手推广吸收式和燃气发动机式燃气空调。英国燃气公司已设立燃气制冷部,从事进口和销售小型吸收式燃气空调。欧洲各燃气公司,包括SNAM、意大利燃气公司和天然气公司、法国燃气公司等已对燃气空调有了极大的兴趣,正在积极应用与推广。

英国和西班牙是对空调需求量快速增长的两大市场。鉴于燃气空调良好的环境效益,

两国对燃气空调的兴趣很大，而两国的气候截然不同，其对燃气空调使用的可能性和技术研究可以代表南欧和北欧两种典型情况。两国的燃气空调主要应用于办公楼、医院、饭店等大型建筑物的制冷。对于住宅、小商店和餐厅等小型建筑物，燃气空调系统还不能与电动空调组装件（壁挂式或分体系统）的价格相竞争。西班牙的自然条件决定其空调市场相对有大的发展，而英国的空调销售量正快速增长。由英国燃气公司等组成的 Interotex 欧洲公司联合研制了 Rotre 式冷暖型燃气空调系统，用于住宅和小型商场。

1.4.3 亚洲燃气空调市场

燃气空调领域，发展最快的国家首推日本。日本的季节温差大，夏季午后为用电高峰，用电负荷逐年增长。1995 年夏季用电高峰值达 1.7 亿 kW，其中 30%~40% 消耗在电力空调上。1965 年电力负载率曾超过 70%。单纯依靠电力，已不堪重负。

另一方面，日本的一次能源 80% 由海外输入，过去主要靠中东输入石油，1969 年就成功导入了 LNG（液化天然气）技术，1972 年产生的石油危机，使日本政府另找能源的出路，向许多国家协议进口 LNG，逐步摆脱了对政治不稳定的中东石油的依赖。

日本在其经济腾飞时期的 20 世纪 60 年代末，意识到燃气空调有削减夏季高峰电力、填补夏季低谷燃气的益处，从政府到民间一致推动燃气空调的发展。1968 年，川崎重工成功地开发了燃气空调。日本政府颁布了“燃气政策法”，提供了优惠的政府贷款，减免了税收，鼓励使用燃气空调，同时燃气公司实行燃气季节价格，从而降低了燃气空调的运行费，燃气空调在日本得到了迅猛发展。大约用了 10 年的时间，燃气空调占据了日本中央空调市场的 85% 左右，至今仍保持这一比例。1979 年荏原制作所制造出中等冷量范围 140~261kW 的燃气空调机组。1980 年矢崎总业与三洋电机公司制造出冷量范围 70~116kW 的燃气空调。并且矢崎总业、东京燃气株式会社等还制造出冷量范围 26~174kW 的小型燃气空调。1987 年中央燃气空调投入日本市场并实现商业化。到 1994 年日本安装了 4494 台大型燃气吸收式空调，占大型空调设备的 24%。1995 年安装的大型燃气吸收式空调达到 722404 冷吨，同时小型燃气空调也占有了 15% 的市场份额。日本燃气空调冷量的比率逐年上升，到 1997 年，日本已有 8000 多个建筑物采用燃气空调，总制冷量已超过 7.5GW。到 1998 年发展到 3 万台，其中 100 冷吨（3.86kW/冷吨）以下的机组约 1.25 万台。1998 年燃气空调占的比例达到 18.7%。燃气发动机驱动的燃气热泵（GHP）从 1987 年占燃气空调容量的 0.5% 发展到 1998 年的 15.4%。1998 年 GHP 的产量达到 4.2 万台，其中 4~5HP（马力）、6~10HP 及 11~20HP 规格所占容量比例较大，2~3HP 规格的总冷量虽然不大，但台数很多，21~30HP 规格的 GHP 的总制冷量与台数都很少。荏原制作所、川崎重工、三洋电机、日立制作所等 5 家近年开发了 GASPAC 燃气总装吸收式冷温水机组。这种机组将燃气空调与冷却塔置于一体，制冷量范围为 70~350kW。在过去几年，燃气空调的年递增率达 14%。日本的溴化锂吸收式制冷技术，最初由美国引进，但现在反过来向美国输出。

1992~1995 年，在日本国际贸易和工业部的赞助下，日本燃气协会和东京、大阪等 4 个燃气公司以及 11 个制造厂合作研制了不同类型的小型家用燃气空调，有吸收式系统和燃气发动机驱动系统等。60 多台制冷能力为 2.2~7kW 的样机在全日本进行了现场的可

靠性和性能试验。试验结果表明,所研制的家用燃气空调大幅度地减少了重量、缩小了尺寸、降低了加工成本。已大批量地投入日本国内市场,实现了商业化。在实行优惠燃气价格的情况下,其运行费与相同规格的电力空调持平。目前,日本燃气界继续下大力气,进一步开发家用燃气空调,改进技术,提高竞争力。

我国在 20 世纪 60 年代即成功地研制了燃气空调,但在国内燃气空调除受到技术设备及配套水平的限制外,同时也受到燃气开发和输送的制约。所以从研制到开发使用都很缓慢,直到 20 世纪 90 年代前可以说还是空白。近几年国内各大城市也开始走从进口燃气空调设备到使用国内产品的路子。1992 年远大公司研制成功国内第一台燃气空调机。在“九五”期间,燃气空调适应了夏季电力紧缺的国情,产销量年年飙升,燃气空调自 1994 年在北京开始投入运行以来,燃气空调的发展随着华北及西北各城市燃气的发展而发展,特别是在 1997 年陕气引入京津地区后,燃气空调在京津地区得到较快发展,在 1997 年和 1998 年京津地区燃气空调销售额约占中央空调主机销售总额的 30%。上海制定了燃气发展的全新的目标,计划燃气空调的日用气量达 60 万 m^3 。目前上海已有几十座高层建筑使用了进口和国产的燃气中央空调,效果良好。1998 年天津天然气公司大楼在津率先采用燃气中央空调,随后有十几座建筑相继使用。北京亦有几十座建筑使用燃气中央空调,随着天然气供应的迅速增长,各大城市燃气中央空调呈持续发展的态势。1998 年,远大空调有限公司生产的燃气空调进入欧美市场,国产的燃气空调生产工艺和技术性能已达到国际领先水平,2004 年远大空调有限公司美国燃气空调市场占有率第一,达到 45%。但自 1999 年以来,由于电力工业的大力发展和工业用电的锐减使中国电力出现了相对富余,电力部门实施了一系列优惠售电措施鼓励发展电力空调,而我国各城市燃气行业正处在燃气发展建设阶段,缺乏燃气系统建设资金,同时还未意识到或还未来得及制定燃气空调的推广措施,燃气空调销售市场比率有所下降,燃气空调占整个空调的比率很低,就发展燃气空调较好的北京市来说,2000 年燃气空调所耗燃气占北京市全年总耗气的比率为 1.5%。

2004 年全国电力缺口达 3000 万 kW,拉限电范围进一步扩大,截止到 2004 年 7 月 28 日,共有 24 个省级电网拉限电,仅国家电网公司系统就累计拉限电 84.37 万条次,损失电量 224.17 亿 kWh。随着西气东输、俄气南供、进口液化天然气(LNG)、近海气登陆和煤层气的开发利用等、能源结构的调整、环保意识的增强以及分布式能源系统的发展,我国已经把快速发展天然气作为一项非常重要的能源政策。国家在燃气空调设备设计、使用、安装、消防、安全、质量等方面正在制定相适应的支持性法规。不少燃气发展城市正在进一步明确燃气空调的能源政策,并积极策划制定鼓励推广燃气空调的金融、财政、税收、投资、环保、城市建设等措施。2004 年杭州市制定了《关于加快推广使用溴化锂空调的若干意见》,鼓励应用燃气空调。一些城市已对小型家用和商用燃气空调表现出浓厚的兴趣。利用燃气发动机拖动压缩式制冷机或热泵的燃气空调方式,如上海市黄浦区中心医院和浦东国际机场采用的燃气全能系统现已投入运行。近年,远大空调有限公司研制和生产了性能优良可靠的小型燃气机,开发了远大一体化空调。这种机组将燃气空调与冷却塔、水泵置于一体,制冷量范围为 70~11630kW。

--- --- 第 2 章 燃气空调的燃料及燃烧计算

2.1 城镇燃气

2.1.1 城镇燃气的分类、用途及气体燃料的特点

2.1.1.1 城镇燃气的分类、用途

城镇燃气一般是几种气体组成的混合气体，主要有天然气、人工煤气、油制气、液化石油气。

(1) 天然气

天然气是指从自然界直接收集和开采而得到的，不需经过再加工即可使用的气体燃料。天然气一般可分为四种：从气井开采出来的气田气，也叫纯天然气；伴随石油一起开采出来的石油气，也称石油伴生气；含石油轻质馏分的凝析气田气；从井下煤层抽出的煤矿矿井气。

纯天然气的组分以甲烷为主，体积分数大于 90%，还含有少量的二氧化碳、硫化氢、氮和微量的氦、氖、氩等气体。凝析气田气除含有大量甲烷外，还含有 2%~5% 戊烷及戊烷以上的碳氢化合物。石油伴生气的组分与分离凝析油以后的凝析气田天然气相类似，主要成分甲烷的体积分数为 80% 左右，另外还含有一些其他烃类。矿井气的主要可燃组分是甲烷，其体积分数为 50% 左右，其余为氢气、氧气和二氧化碳。

天然气既是制取合成氨、碳黑、乙炔等化工产品的原料气，又是优质燃料气，是理想的城镇燃气的来源。由于开采、储运和使用天然气既经济又方便，所以近些年来，许多国家大力发展天然气工业。有些天然气资源缺乏的国家也进口液化天然气以发展城镇燃气事业。液态天然气的体积为气态时的 1/600，有利于运输和储存。

(2) 人工煤气

人工煤气是指以煤为主要原料制取的可燃气体，按其生产方式不同可分为干馏煤气、高炉煤气、发生炉煤气、水煤气和高压气化气。

利用焦炉、连续式直立炭化炉（又称伍德炉）和立箱炉对煤进行干馏所获得的煤气称为干馏煤气。干馏煤气的主要成分为氢、甲烷、一氧化碳等。干馏煤气的产气率为 300~500 m³/t 煤，是我国城镇燃气主要气源之一。

高炉煤气是炼铁炉生产过程中的副产品。其可燃成分主要是一氧化碳，含有大量的二氧化碳和氮气。高炉煤气是无色、无味、无臭，密度较大的气体，毒性很强，但可作城镇燃气。

发生炉煤气是以空气和水蒸气作为气化剂，煤与空气及水蒸气在高温作用下制得的混合煤气。它的含氮量很大，约占一半以上，一氧化碳含量约为 27.5%。发生炉煤气由于毒性较大，发热量低，不能作为城镇燃气的惟一气源。一般用于掺入高发热量煤气（干馏煤气及油制煤气）中，配制成城镇燃气，也常用于焦炉燃烧室加热。

水煤气的生产与发生炉煤气相似，是以水蒸气作为气化剂，在高温下与煤或焦炭作用而制得的。水煤气主要成分是一氧化碳和氢气，其中一氧化碳含量约为 38%，氢含量 40% 左右。在城市供气系统中，往往在水煤气中掺入重油裂解后制成的燃气来提高其发热量。这种措施叫做水煤气的增热。增热水煤气的含氢量提高并含有一部分甲烷和其他烃类。由于水煤气成本高，一般只作为高峰负荷时的补充气源。

高压气化气是以煤为原料，以氧和蒸汽为气化剂，在高压下进行完全气化所产生的煤气。它的主要成分是氢、一氧化碳和甲烷。高压气化气本身具有较高的压力，便于运送。

(3) 油制气

油制气是以石油（重油、轻油、石脑油等）为原料，通过加热裂解或部分氧化等制气工艺，在高温及催化剂作用下裂解制取而获得的燃气。油制气按制取方法不同，可分为重油制气和轻油制气。重油制气又可分为重油蓄热裂解制气和重油蓄热催化裂解制气。

轻油制气有多种制气方法。采用适宜的制气方法和各种工艺过程（如脱 CO_2 、 CO 变换、甲烷化、增热、深度改质等）的组合，便可生产出各种燃烧特性的燃气。轻油制气的原料选择范围很广，可以用液化石油气、油田伴生气、石脑油、天然气凝析油、天然气、炼油厂尾气、甲醇等为原料。

油制气的主要成分为烷烃、烯烃等碳氢化合物，以及少量的一氧化碳。裂解后的副产品有苯、萘、焦油、炭黑等。油制气既可作为城镇燃气的基本气源，又可作为城镇燃气供应高峰的调节气源。

(4) 液化石油气

液化石油气是在气田、油田的开采中，或是从石油炼制过程中获得的部分气态碳氢化合物。目前我国供应的液化石油气主要来自炼油厂的催化裂化。液化石油气的主要成分是丙烷、丁烷、丙烯、丁烯等。在常温常压下呈气态，它的临界压力和临界温度较低，为 3.53~4.45MPa 和 92~162℃。因此，采用降低温度或升高压力的方法，很容易使气态烃类液化。通常采用压缩的方法，即在常温下对混合燃气加压超过 0.8MPa，碳氢化合物中的 C_3 、 C_4 组分从气态转为液态，从而获得液化石油气。从气态转化为液态，其体积缩小约 250 倍。标准状态下，液化石油气的密度约为 2.0kg/m³ 左右，比空气重，便于运输和贮存。液化石油气可进行管道输送，也可加压液化罐装。

2.1.1.2 气体燃料的特点

燃气与使用煤或石油燃料相比较，具有以下 5 个特点：

(1) 便于使用

气体燃料在燃烧过程中容易和空气充分混合，相对煤和石油而言，使用最少量的空气就可以保证稳定燃烧，从而减少了排烟的热损失，提高燃烧热效率。由于气体燃料能及时充分地混合，可以提高混合气体的燃烧速度，比煤和石油容易燃尽，从而减少了燃烧室的