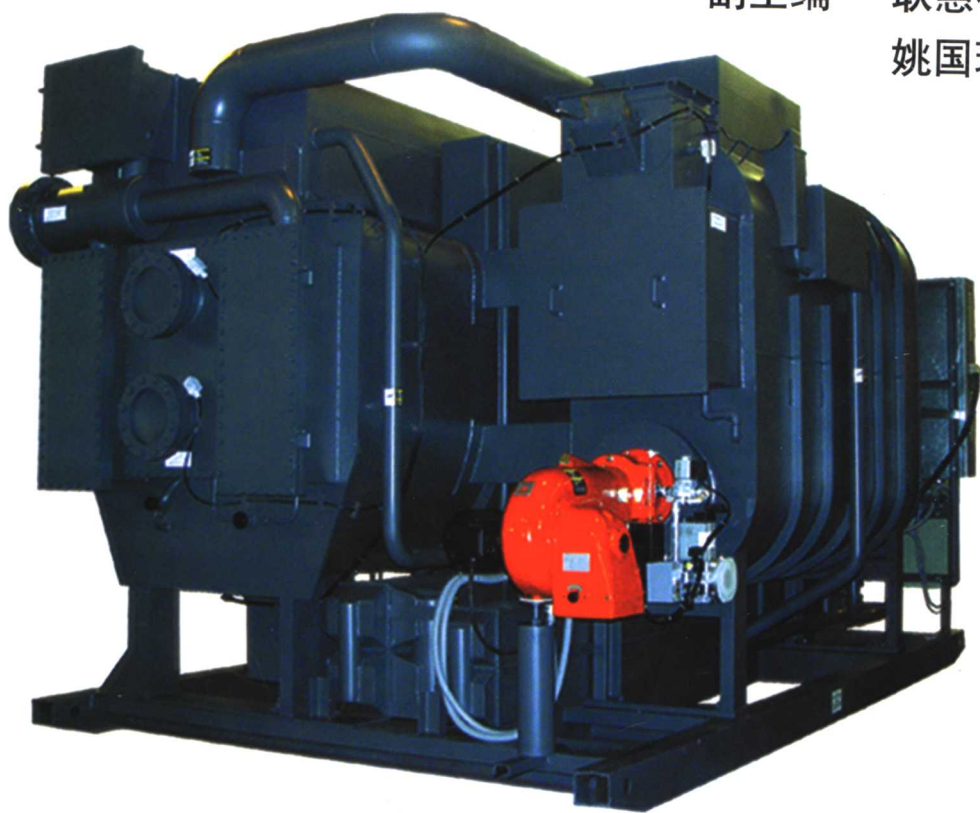


燃气空调技术及应用

节电、节能典范——双良燃气中央空调

主 编 戴永庆
副主编 耿惠彬 龙惟定
姚国琦 项弼中



燃气空调技术及应用

主 编 戴永庆
副主编 耿惠彬 龙惟定
姚国琦 项弼中



机械工业出版社

京西工商广临字 0402007 号

本书总结了近年来国内外燃气空调的最新技术成果,介绍了燃气空调种类、发展燃气空调的意义,以及我国燃气资源概况与国内外燃气空调的发展概况;燃气基本知识;燃气吸收式冷热水机组的种类、工作原理、型式与结构、机组特点与选型要点;燃气发动机驱动的热泵机组的工作原理、结构、特性、选型要点与经济性评估;燃气锅炉的基本特征和性能指标、结构特点、选型要点、自动控制与热工试验;热电冷联产的原理、系统与装置、热电冷联产系统的设计与运行管理。为了促进燃气空调的应用技术的提高,专章介绍了燃气空调工程应用,详细介绍了燃气空调的工程设计与典型工程应用实例。还介绍了国内外著名厂商生产的燃气空调产品的特点、性能、规格、技术参数。

本书内容丰富、由浅入深、图文并茂,是一本实用性很强的专业技术书,适用于从事燃气空调专业设计、制造、安装、调试、维修及运行管理方面的工程技术人员阅读和使用。也可作为大专院校有关专业师生的技术参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

燃气空调技术及应用/戴永庆主编. —北京:机械工业出版社, 2004, 6
ISBN 7-111-13939-9

I. 燃… II. 戴… 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 (2004) 第 048088 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 蒋有彩 版式设计: 霍永明 责任校对: 张晓蓉
责任印制: 石 冉
三河市宏达印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷
787mm×1092mm $\frac{1}{8}$ ·26.75 印张·661 千字
0001—4000 册
定价: 42.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

大力发展燃气空调
保护环境，造福于民

杨炎如

二〇〇四年八月

编辑工作委员会

(排列不分先后)

名誉主任委员：吴元炜

主任委员：杨炎如

副主任委员：江荣方 尚世任 马福林 糜 华 赵礼嘉 葛维昌
王正军 王红斌 浓添博纪 张 肃 何永恒 彭伯彦
王伟勇 李建明 戴永庆 范存养 张永铨 耿惠彬
龙惟定 项弼中

秘 书 长：姚国琦

委 员：蔡小荣 孙文哲 倪 军 董素霞 张万坤 王寿平
印小良 何思敏 李 中 陈炳福 黄远成 丁建华
高泽华 赵 琦 张舒慧 陆剑峰 孔令松 李庆林
李士广 潘伟杰 姚 斌 何华斌 王文琪 俞武江
毛雯萍 申南生

主 编：戴永庆

副 主 编：耿惠彬 龙惟定 姚国琦 项弼中

主 审：范存养 张永铨

前 言

以清洁、方便、高效的燃气作为能源的燃气空调设备,包括燃气直燃型吸收式冷热水机组、燃气发动机驱动的热泵机组(Gas—engine Driven Heat Pump,通常简称GHP)、燃气锅炉与热水器,以及热电冷联产与区域供冷供热系统等。

燃气空调设备是一种稳定的燃气消耗设备,由于城市电力、燃气需求峰谷具有良好的互补性,所以燃气空调不仅能够削减电力高峰负荷,减少电力投资,亦能对燃气起到填谷作用,缓解燃气管网的利用率,降低燃气成本。随着我国能源结构中天然气比例的剧增,特别是随着我国“西气东输”工程的实施,自2004年起已对中下游供气,燃气合理利用更迫在眉睫。

为了适应“西气东输”工程的需要,普及与提高燃气空调应用技术,由中国制冷空调工业协会组织有关教授、专家、专业技术人员,在上海中孚制冷空调工程有限公司具体策划承办下,共同编写《燃气空调技术及应用》一书。

本书总结了近年来国内外燃气空调的最新技术成果,介绍了燃气空调种类、发展燃气空调的意义,以及我国燃气资源概况与国内外燃气空调的发展概况;燃气基本知识;燃气吸收式冷热水机组的种类、工作原理、型式与结构、机组特点与选型要点;燃气发动机驱动的热泵机组的工作原理、结构、特性、选型要点与经济性评估;燃气锅炉的基本特征和性能指标、结构特点、选型要点、自动控制与热工试验;热电冷联产的原理、系统与装置、热电冷联产系统的设计与运行管理。为了促进燃气空调应用技术的提高,专章介绍了燃气空调工程应用,详细介绍了燃气空调的工程设计与典型工程应用实例。还介绍了国内外著名厂商生产的燃气空调产品的特点、性能、规格、技术参数。

本书内容丰富、由浅入深、图文并茂,是一本实用性很强的专业技术书,适用于从事燃气空调各层次专业设计制造、生产工艺与营销管理、燃气空调工程设计、安装调试维修,运行管理方面的工程技术人员阅读和使用。也可作为大专院校有关专业师生的技术参考书籍。

本书由上海七〇四研究所戴永庆研究员任主编,负责制定编写大纲和各章节统稿、审改与定稿工作,并负责部分章节编写。上海七〇四研究所耿惠彬研究员、同济大学龙惟定教授、上海中孚制冷空调工程有限公司姚国琦总经理、上海现代建筑设计(集团)有限公司项弼中教授级高级工程师任副主编,同济大学范存养教授、天津大学张永铨教授任主审。姚国琦总经理还负责具体的策划和组织工作,上海七〇四研究所何华斌高级工程师参加了编写大纲的讨论。本书特邀江苏双良空调设备股份有限公司蔡小荣高级工程师、孙文哲研究员、

上海七〇四研究所丘崇济高级工程师参加部分章节审稿工作。本书第6章“燃气空调”工程应用的选录,得到有关设计院与生产厂商的支持,各位撰稿人提供典型工程实例资料,工程应用实例图文由郑兵、章捷、张骥工程师整理完成。

本书编写人员分工情况如下:第1章戴永庆,第2章姚斌,第3章王文琪、毛雯萍、戴永庆,第4章耿惠彬,第5章俞武江,第6章龙惟定,第7章项弼中、申南生,第8章范存养,第9章及附录A姚国琦。

本书编写出版过程中承蒙上海七〇四研究所、上海中孚制冷空调工程有限公司、同济大学、天津大学、上海现代建筑设计(集团)有限公司通力合作,江苏双良空调设备股份有限公司、大连三洋制冷有限公司、开利空调销售服务(上海)有限公司、远大空调有限公司、烟台荏原空调设备有限公司、浙江联丰制冷机有限公司、三菱重工海尔(青岛)空调机有限公司、LG空调(青岛)有限公司、天大胜远中央空调有限公司、四川希望深蓝空调制造有限公司、江苏双良锅炉有限公司、上海威速燃烧设备有限公司、上海欣保冷暖设备有限公司、上海煤气销售(集团)黄欣燃气设备有限公司、北京市燃气工程设计公司、港华投资有限公司等16家国内著名厂商的积极参与,工程实例征集工作得到了广大设计人员的大力配合。最后,对在本书编写过程中提供资料、信息并付出辛勤劳动的全体人员,以及在编审过程中得到江苏双良空调设备股份有限公司的大力支持,在此一并致谢。

由于编者水平有限,本书中错漏之处在所难免,恳切欢迎读者批评指正。

编 者

2004年5月

目 录

前言

本书主要符号表

第1章 概论 1

1.1 燃气空调及其种类 1

1.1.1 以燃气为能源的吸收式冷热水 机组 1

1.1.2 燃气发动机热泵 2

1.1.3 热电冷联产 4

1.1.4 燃气锅炉 5

1.1.5 燃气用于转轮再生的干燥空调 方式 5

1.2 我国燃气资源与开发利用 6

1.2.1 我国燃气资源概况 6

1.2.2 开发利用现状 7

1.2.3 天然气“西气东输”工程对燃气 空调发展的影响 8

1.3 发展燃气空调的意义 9

1.4 国内外发展概述 10

1.4.1 国内发展概述 10

1.4.2 国外发展概述 12

第2章 燃气工程基础 17

2.1 燃气的性质 17

2.1.1 混合气体及混合液体的平均参数 18

2.1.2 沸点 18

2.1.3 汽化热 19

2.1.4 体积膨胀系数 19

2.1.5 燃气的热值 20

2.1.6 华白数 20

2.1.7 燃烧空气量 20

2.2 燃气的分类 21

2.2.1 天然气 21

2.2.2 人工燃气 21

2.2.3 高炉煤气 22

2.2.4 液化石油气 22

2.2.5 沼气 22

2.3 人工燃气的质量标准 23

2.3.1 上海市人工燃气的组成及质量标准 23

2.3.2 “西气东输”的天然气组分 24

2.4 燃气供气方式 24

2.4.1 低压供气 24

2.4.2 中压供气 25

2.4.3 中压直供 25

2.5 燃气计量 25

2.5.1 气体涡轮流量计 26

2.5.2 气体腰轮流量计 26

2.6 燃气箱式调压器 27

2.6.1 “2+1”结构箱式调压器 27

2.6.2 箱式调压器结构尺寸 28

2.7 燃烧器 28

2.7.1 型式与结构 28

2.7.2 特性 29

2.7.3 选用要点 30

2.8 相关规程及规定 31

2.8.1 DGJ 08—73—2002《民用建筑 锅炉房设置规定》 31

2.8.2 DBJ 08—74—1998《燃气直燃型 吸收式冷温水机组管道供气工程 技术规程》 31

2.8.3 DBJ 08—10—1992《城市煤气管 道工程技术规程》 33

2.8.4 DBJ 08—65—1997《城市天然气 管道工程技术规程》 35

2.8.5 《上海市煤气管理条例》 38

第3章 燃气吸收式冷热水机组 39

3.1 吸收式冷热水机组的基础 39

3.1.1 吸收式冷热水机组的工作原理 39

3.1.2 吸收式冷热水机组的循环 40

3.1.3 吸收式冷热水机组的组成与结构 50

3.2 燃气吸收式冷热水机的种类 62

3.2.1 吸收式冷热水机的分类 63

3.2.2 燃气吸收式冷热水机的分类 66

3.2.3 制冷采暖专用型燃气吸收式冷 热水机组 66

3.2.4 冷热水同时取出型燃气吸收式

冷热水机组	67	5.1.1 燃气锅炉的工作过程	177
3.2.5 中小型燃气吸收式冷热水机组	73	5.1.2 燃气锅炉的热平衡	178
3.2.6 吸收式热泵	83	5.1.3 燃气锅炉的基本性能参数	180
3.2.7 热电冷联供专用吸收式冷热水机	87	5.1.4 燃气锅炉的水循环	183
3.2.8 蒸汽型溴化锂吸收式冷水机组	94	5.1.5 燃气锅炉的烟风阻力	185
3.2.9 热水型溴化锂吸收式冷水机组	96	5.2 燃气锅炉的型式与结构	185
3.2.10 氨吸收式制冷机	99	5.2.1 锅炉的分类	185
3.3 燃气溴化锂吸收式冷热水机的性能	101	5.2.2 燃气锅炉的结构特点	187
3.3.1 冷水温度对制冷量的影响	101	5.3 几种常见的燃气锅炉	189
3.3.2 冷却水温度对制冷量的影响	102	5.3.1 火管锅炉	189
3.3.3 冷却水流量对制冷量的影响	103	5.3.2 水管锅炉	189
3.3.4 冷水流量对制冷量的影响	103	5.3.3 直流锅炉和贯流锅炉	191
3.3.5 污垢系数对制冷量的影响	103	5.3.4 真空热水锅炉	193
3.3.6 热水温度与供热量的关系	104	5.3.5 铸铁锅炉	195
3.3.7 部分负荷时的性能	105	5.3.6 锅炉的蒸汽、给水及燃气管路系统	195
3.4 吸收式冷热水机的新发展	107	5.3.7 各种燃气锅炉性能和用途的比较	195
3.4.1 吸收循环的新发展	107	5.4 燃气锅炉的自动控制	199
3.4.2 吸收式冷热水机组的技术开发	112	5.4.1 锅炉自动控制的要求	199
第4章 燃气发动机热泵	124	5.4.2 典型的全自动控制锅炉介绍	201
4.1 燃气发动机热泵概论	124	5.5 锅炉的运行和安全要求	203
4.1.1 燃气发动机热泵的工作原理	124	5.5.1 锅炉运行前的准备	203
4.1.2 燃气发动机热泵(冷水机组)的型式	127	5.5.2 锅炉的运行操作	203
4.1.3 燃气发动机热泵(冷水机组)的特点	129	5.5.3 锅炉的维护保养	204
4.1.4 燃气发动机热泵的热源和供给的热量	131	5.5.4 锅炉常见故障及处理方法	205
4.2 燃气发动机热泵(冷水机组)的结构	137	5.5.5 锅炉的安全保障	206
4.2.1 燃气发动机热泵(冷水机组)的整机结构	137	5.6 燃气锅炉的热工试验	209
4.2.2 燃气发动机	146	5.6.1 热效率试验	209
4.2.3 压缩机的结构	158	5.6.2 烟气分析	211
4.2.4 燃气发动机热泵机组的构成设备	164	5.6.3 水质检测	213
4.2.5 燃气发动机热泵的控制系统和远程监控	167	5.7 燃气锅炉的选型要点	217
4.3 燃气发动机热泵的应用	171	5.7.1 燃气锅炉容量的确定	217
4.3.1 室外和室内游泳池	171	5.7.2 根据对工作介质要求选择锅炉和自动控制	217
4.3.2 人造冰场和游泳池联合装置	172	5.7.3 根据锅炉的布置位置、经济效益等要求选用锅炉	218
4.3.3 公寓建筑	172	第6章 热电冷联产	219
4.3.4 办公用房	174	6.1 热电冷联产和分布式供电	219
4.3.5 独家住宅和二家合用住宅	175	6.1.1 热电联产和建筑热电冷联产(BCHP)	219
第5章 燃气锅炉	177	6.1.2 分布式供电	221
5.1 燃气锅炉的基本特征和性能指标	177	6.1.3 热电联产系统的性能评价	223
		6.1.4 建筑热电冷联产的形式	225

6.1.5 建筑热电冷联产的主要动力装置	226	7.4.1 燃气型冷热水机组的配管与设备	
6.2 热电冷联产的系统形式	234	连接	283
6.2.1 电力系统	234	7.4.2 室内燃气管路设计	284
6.2.2 热利用系统	236	7.5 工程应用实例	289
6.2.3 热电冷联产系统的能效	239	7.5.1 燃气溴化锂冷热水机组工程应	
6.3 典型类型的电力负荷和热负荷特性	241	用选录	289
6.3.1 旅馆	242	7.5.2 典型工程实例	296
6.3.2 医院	242	第8章 燃气在空调技术中的其他应用	345
6.3.3 办公楼	242	8.1 燃气直接应用于住宅空调设备	345
6.3.4 空调、供热水负荷	242	8.1.1 直接用燃气加热室内空气型	345
6.4 排热量和排热利用量	246	8.1.2 用燃气加热空调室外机制冷剂型	346
6.5 建筑热电冷联产系统的规划设计	248	8.1.3 燃气加热、电制冷除湿双盘管并	
6.6 建筑热电冷联产实施方案的确定	250	用型	346
6.6.1 基本负荷方案	251	8.2 燃气技术与去湿空调系统的结合	347
6.6.2 高峰负荷方案	252	8.2.1 普通D型系统的工作原理	347
6.6.3 中间负荷方案	253	8.2.2 D型空调与GHP空调装置的组合	
6.6.4 部分负荷运行方案	253	应用	349
6.6.5 单台或多台机组	254	8.3 燃气红外线辐射采暖	351
6.6.6 热电联产机组的初步选型	254	8.3.1 工作原理	351
6.7 建筑热电冷联产系统的评价	255	8.3.2 辐射器型式	351
6.7.1 国家有关规定	255	8.4 供暖与热水供应相结合的燃气壁挂炉	353
6.7.2 绝对评价	255	8.4.1 工作原理	353
6.7.3 相对评价	256	8.4.2 产品和应用	353
第7章 燃气空调工程应用	260	第9章 燃气空调及配套设备生产厂商	
7.1 使用各种能源的冷热水机组的特点及		产品介绍	355
多元能源机组的配置	260	9.1 江苏双良空调设备股份有限公司	355
7.1.1 使用各种能源的冷热水机组的		9.2 大连三洋制冷有限公司	359
特点	260	9.2.1 GHP燃气热泵	360
7.1.2 多元能源机型的配置	261	9.2.2 GHP燃气热泵冷热水机组	362
7.2 区域供冷供热站(DHC)设计	262	9.3 开利空调销售服务(上海)有限公司	363
7.2.1 区域供冷供热站概述	262	9.4 远大空调有限公司	365
7.2.2 某燃气能源的区域供冷供热站		9.5 烟台荏原空调设备有限公司	369
设计	265	9.6 浙江联丰制冷机有限公司	370
7.2.3 提高燃气空调经济运行的途径	270	9.7 三菱重工海尔(青岛)空调机有限	
7.3 燃气型供冷供热机房设计	271	公司	373
7.3.1 机房位置选择	271	9.8 LG空调(青岛)有限公司	375
7.3.2 燃气机房设置要点	271	9.9 天津天大胜远中央空调有限公司	379
7.3.3 燃气系统	271	9.10 四川希望深蓝空调制造有限公司	384
7.3.4 燃气系统烟道设计	276	9.11 江苏双良锅炉有限公司	386
7.3.5 燃气机房的通风与安全报警系统	281	9.12 上海威速燃烧设备有限公司	392
7.3.6 燃气机房的防火、防爆、防静电		9.13 上海欣保冷暖设备有限公司	393
要求	282	9.14 上海黄欣燃气设备工程有限公司	397
7.4 机房配管设计	283		

9.15 北京市燃气工程设计公司	398	9. 天津天大胜远中央空调有限公司	407
附录	403	10. 四川希望深蓝空调制造有限公司	408
附录 A 国内外有关生产燃气空调厂商简介	403	11. 江苏双良锅炉有限公司	408
1. 江苏双良空调设备股份有限公司	403	12. 上海威速燃烧设备有限公司	409
2. 大连三洋制冷有限公司	403	13. 上海欣保冷暖设备有限公司	409
3. 开利空调销售服务(上海)有限公司	404	14. 上海黄欣燃气设备工程有限公司	409
4. 远大空调有限公司	404	15. 北京市燃气工程设计公司	409
5. 烟台荏原空调设备有限公司	405	16. 港华投资有限公司	410
6. 浙江联丰制冷机有限公司	406	17. 上海中孚制冷空调工程有限公司	410
7. 三菱重工海尔(青岛)空调机有限 公司	407	附录 B 制冷常用单位换算	411
8. LG 空调(青岛)有限公司	407	参考文献	414

第 1 章 概 论

1.1 燃气空调及其种类

燃气包括天然气、煤气、液化天然气 (LNG)、液化石油气 (LPG) 等。空调为室内空气的调节, 包括空气温、湿度及质量的调节。燃气空调就是直接用燃气作为能源的空调。

燃气空调设备的种类繁多, 下面介绍各种设备利用燃气的方式。

1.1.1 以燃气为能源的吸收式冷热水机组

1. 燃气锅炉 + 蒸汽型吸收式冷水机或热水型吸收式冷水机

这是一种最为普通的方式, 可用于大型建筑物或中小型区域供冷、供热工程; 对于要求直接提供蒸汽或热水供应的旅馆建筑亦较适用。这种系统可提供冷水、蒸汽 (或热水)。

1995 年建成的上海市政府新大楼即采用此种方式。燃气锅炉产生 0.8 MPa (表) 的饱和蒸汽, 驱动蒸汽型双效吸收式冷水机。

2. 燃气型吸收式冷热水机

一般建筑物的采暖、制冷均可采用。大型建筑物和中小型区域供冷、供热亦可使用。燃气型吸收式冷热水机分类如下:

(1) 制冷、采暖专用机 这是燃气型吸收式冷热水机的主要型式, 即夏季用来制冷, 冬季用以采暖, 各行其职。

(2) 制冷、采暖兼用机 对温湿度调节要求较高的场合, 采用制冷、采暖兼用机, 可同时提供冷、热源。同时, 对需提供热水的场合, 可在制冷或采暖的同时提供热水。

(3) 氨吸收式制冷机 以氨为制冷剂, 氨水溶液为吸收剂的氨吸收式制冷机是最古老的吸收式制冷机。以燃气为驱动能源, 或以燃气锅炉产生的蒸汽为驱动能源, 制取低温用或空调用冷源。

(4) 中小型吸收式冷热水机 供办公楼、店铺、住宅等中小规模的建筑空调用, 机组的型式繁多。有吸收式制冷机与冷却塔组成一体型, 制冷量 70 kW (6 万 kcal/h) ~ 582 kW (50 万 kcal/h); 吸收式制冷机与热水器组成一体型, 制冷量 53 kW (45000 kcal/h) ~ 176 kW (15 万 kcal/h), 供热水能力 314000 kJ/h (75000 kcal/h) ~ 1000000 kJ/h (240000 kcal/h) 等。这种机组极为紧凑, 整机可靠性高, 而且安装方便, 可直接安装在建筑物外部。例如: 作为室外机安装在屋顶, 通过冷水接管与安装在室内的风机盘管机组相连, 使用方便。有户式小型冷热水机 (兼供热水), 制冷量 16 kW (14000 kcal/h) ~ 116 kW (100000 kcal/h)。此外还开发了空冷吸收式冷热水机, 制冷量 12.3 kW (10000 kcal/h) ~ 35.2 kW (30000 kcal/h), 并开发了制冷量 6.7 kW (5700 kcal/h)、采暖量 7.2 kW (6200 kcal/h) 水冷、双效循环的家用吸收式冷热水机。

除溴化锂/水溶液为工质对的吸收式机组外, 意大利 Robur 公司还生产 Robur

(Servel) 型号, 以氨/水为工质对的吸收式冷热水机, 制冷量 10.5kW (9000kcal/h) ~ 17.44kW (15000kcal/h), 同时能供应热水。 17.44kW 机组还可组合成 34.88kW 、 52.3kW 、 69.76kW 、 87.2kW 等机组。这种机组采用了发生器与吸收器间的热交换技术 (GAX), 制冷时 COP 可达 0.66。虽然热效率较低, 但具有运转可靠、噪声低等优点。在欧洲、美国用得较多, 日本已有厂家生产, 我国也有经销。

(5) 燃气吸收式热泵 燃气为驱动源的吸收式热泵分为第一类吸收式热泵和第二类吸收式热泵两种。第一类吸收式热泵又称增热型的吸收式热泵, 利用各种排热及废热为辅助热源, 经吸收器与冷凝器后, 热水温度单效机最高可加热至 $85\sim 90^{\circ}\text{C}$, 双效机最高可加热至 $40\sim 45^{\circ}\text{C}$ 。用于工艺流程或采暖。

第一类吸收式热泵的性能系数, 单效机达到 1.7 以上, 双效机可达到 2 以上。显然, 与采用燃气锅炉产生热水比较, 有较高的经济性。第二类吸收式热泵又称升温型吸收式热泵, 将排热及废热等较低温度热源, 升高至较高温度后供工艺流程使用, 这种热泵单级的升温幅度约 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$, 性能系数 0.45 左右, 同样, 具有较高的经济性与节能效果。

3. 与热电冷联产系统 (全能系统) 相配的专用吸收式制冷机

随着热电冷联产全能系统的发展, 合理利用系统中的排热是提高系统性能系数的重要因素。通过排热锅炉 (余热锅炉) 产生蒸汽或热水, 采用常规的蒸汽或热水型溴化锂吸收式冷水机组制冷是常见的方式之一。同时与其相配合的专用吸收式制冷机也随之产生, 这种制冷机有两种型式:

(1) 在吸收式制冷机的溶液回路中串联排热利用换热器 利用排热加热进入高压发生器的溶液, 减少机组的能耗。吸收式制冷机运行时尽量利用排热, 排热不够时再进行燃气燃烧。这种型式在日本称为“肖内林库” (节能) 型, 是为配合热电冷联产系统的发展而开发的。至 1999 年, 日本已生产数十台。

另一方式是在吸收式制冷机的高压发生器中增设排热换热器, 或在排热换热器中增设产生的冷剂蒸汽进入低压发生器的通路。排热加热溶液后产生的冷剂蒸汽, 与低压发生器中产生的冷剂蒸汽汇合。

(2) 单双效结合型的吸收式冷热水机 这种制冷机可回收全能系统中除排气外的其他排热。如将燃气发动机缸套排热水 (温度约 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$) 用作单效发生器的热源, 可做到单、双效联合运行或各自单独运行。

1.1.2 燃气发动机热泵

就能源利用效率而言, 压缩式制冷机无疑具有较高的性能系数。因而在燃气空调中, 以燃气为能源的压缩式冷水机组及热泵机组 (简称燃气热泵 GHP) 得到了发展。

以燃气为能源的压缩式冷水机组及热泵机组, 是指由燃气驱动燃气发动机, 或由燃气在燃气锅炉中燃烧, 产生蒸汽后驱动蒸汽发动机, 再由燃气发动机或蒸汽发动机驱动制冷压缩机的冷水机组及热泵机组。这种机组与电动压缩机组比较, 发电设备的发电效率及输配电效率可无需考虑, 因而具有较高的性能系数, 是一种既可利用燃气为能源, 又具有高性能系数的制冷机组。燃气热泵与电动热泵相比具有以下特点:

1) 可将回收的发动机排热制取热水, 使热泵的输出量增加; 还可将回收的排热, 驱动吸收式制冷机制取冷水。

2) 因由发动机驱动, 极易进行转速控制, 实现能量调节。可保持部分负荷时的高效率。
 3) 吸热源为大气的场合, 因发动机的排热基本不受大气影响, 即使严寒, 输出也变化不大。

4) 除霜过程可用发动机的排热加热, 输出热水温度降低较小。

图 1-1 为这种机组的能量平衡图。

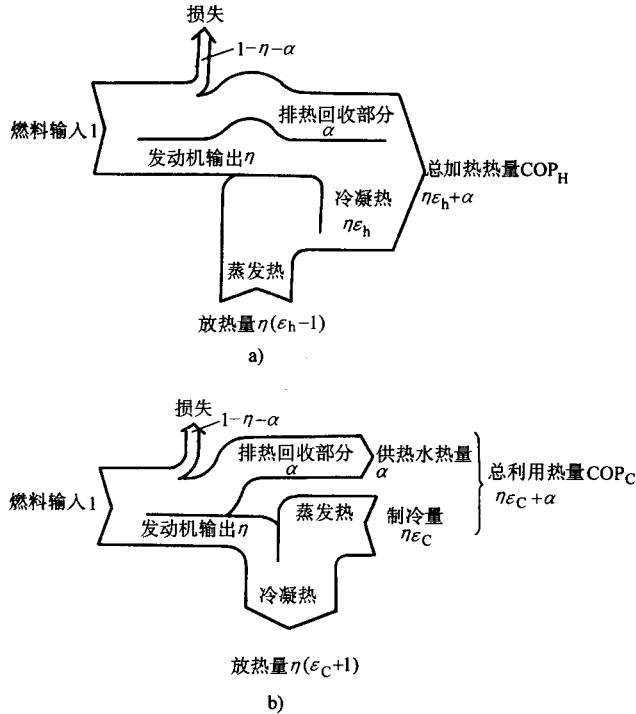


图 1-1 燃气冷水机组与热泵机组的热量平衡图

a) 加热工况 b) 制冷工况

对于制冷工况 (图 1-1b), 装置性能系数 COP_c 可用下式表示:

$$\begin{aligned} COP_c &= \eta \epsilon_c (\text{不利用燃气发动机排热}) \\ &= \eta \epsilon_c + \alpha (\text{将燃气发动机排热用于热水供应}) \\ &= \eta \epsilon_c + \zeta \alpha (\text{将燃气发动机排热用于吸收式制冷}) \quad (1-1) \end{aligned}$$

式中 η —— 燃气发动机的效率;

ϵ_c —— 压缩机制冷运转时的性能系数 (制冷系数), 为制冷量与压缩机驱动能量之比;

α —— 燃气发动机的排热回收率;

ζ —— 溴化锂吸收式冷水机组的性能系数。

由此可见, 不利用燃气的排热装置的性能系数就不能进一步提高。

就利用排热而言, 无疑燃气热泵 (GHP) 机组有着更广阔的发展前景。这种热泵夏季用于制冷运行, 而冬季可用于采暖运行, 热量平衡图如图 1-1a 所示。装置的性能系数 COP_h 可用下式表示:

$$COP_h = \eta \epsilon_h + \alpha \quad (1-2)$$

式中 ϵ_h —— 压缩机采暖 (制热) 运转时的性能系数, 即制热系数, 为冷凝热量与压缩机驱

动能量之比, $\epsilon_h = \epsilon_c + 1$ 。

由此可见, 与电动制热方式比较, 装置的性能系数增加了 α 。

1.1.3 热电冷联产

热电冷联产 (美国称冷热电联产), 即 Cogeneration 系统, 是指利用一种能源有效地产生并供电和热两种二次能的系统, 也称为热电联产或汽电共生。若利用热 (汽) 来制冷, 则就是热电冷联产; 当这种系统设置在一个或一群建筑物中时, 供电的同时又可供热、供冷, 则就是区域三联供, 或称分散式三联供。这种方式就本质而言, 即所谓全能 (总能) 系统。我国将这种方式称为 “热电冷三联供”。

这种系统与传统的发电、供电以及热电联供的区别如图 1-2 所示。

图 1-2a 为传统的发电厂, 锅炉燃烧温度高达 1500°C , 这样高位的温度仅用于产生蒸汽, 驱动汽轮发电机组发电, 未经利用的热量被冷却水带走。图 1-2b 为采用抽气式汽轮机或背压式汽轮发电机组, 并利用其做功后的蒸汽热量供热, 做到热电联产, 但因距离远, 热与电的输送损失较大。更为有效的方法如图 1-2c 所示, 以原动机在局部区域内直接发电, 产生的排热用于采暖、供热水或制冷, 做到能源分级利用, 因而其总利用效率可达 85% 左右。这就是全能系统的原理。这种系统与前述燃气驱动的热泵机组的工作差异见表 1-1。

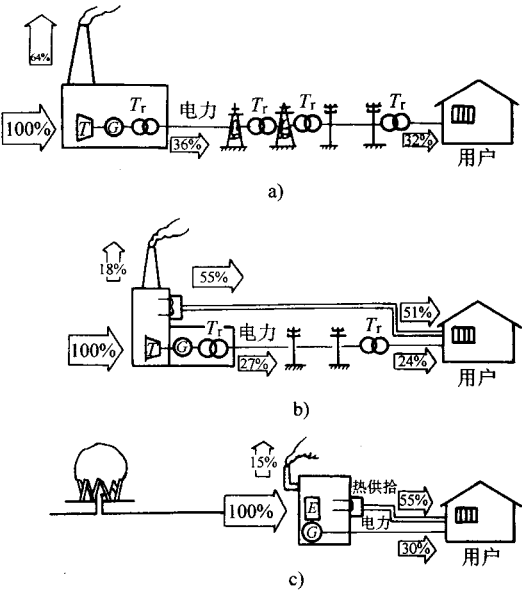


图 1-2 传统的发电、热电联产与区域热电联产的原理图

a) 传统的发电方式 b) 传统的热电联产方式
c) 区域热电联产方式
T—燃气轮机 G—发动机 E—燃气发动机
T_r—变压器

表 1-1 燃气驱动的热泵与热电冷联产的工作差异

项 目			燃气驱动的热泵	热电冷联产
需求	电 力		不供或少供电力，基本外购	供应基本负荷，不足部分外购
	供 热	采 暖	根据需要供给	供应基本负荷，不足部分由燃气型吸收式冷热水机供给
		供 热 水	由发动机的排热供给	设置热水贮器，根据需要供给
	供 冷		根据需要供给，可根据需要使用排热回收型吸收式制冷机	由排热驱动的吸收式冷水机供给，不足部分由燃气型吸收式冷热水机供给，热水机组用得较多
有利的负荷形态			冷（热）> 电力	冷（热）≈ 电力

以采用的原动机不同, 将系统分为三类。

1. 以燃气发动机为原动机的系统

与柴油机相同，同属内燃机或外燃机，为往复运动机械，再将往复运动转变为回转运动驱动发电机组。发电效率为 20% ~ 35%，热电综合利用效率为 80%。排热回收形态主要为 400 ~ 600℃ 的排气与 85 ~ 90℃ 的热水，可用于采暖、供热水与制冷。发电量规模一般为 15 ~ 1000kW 的中小型容量。日本已有容量 15 ~ 300kW 机组型的产品。

2. 以燃气轮机为原动机的系统

通过燃气轮机输出轴带动发电机组，发电效率为 20% ~ 40%，热电综合利用效率为 80%。不用冷却水，排热回收形态主要是排气。排气温度 400 ~ 550℃，排气经废热锅炉产生蒸汽或热水，用于采暖、供热水与制冷，也可将排气直接用于吸收式制冷机组制冷。发电规模为 1000 ~ 3000kW 的大型容量。但随着微型燃气轮机的发展，小容量的发电机组得到发展。日本已生产以城市煤气为能源的微燃气轮机发电机组，最小容量为 290kW。

3. 燃料电池系统

与上述系统不同，燃料电池系统省去了锅炉、燃气机和发电机等中间环节。由燃气、石油等化学能，经过电化学反应直接转化为电能，排热转化为热能。这种系统目前的发电容量在 250kW 范围内，正在试验 2MW 的装置，以适应 5 ~ 10 万 m³ 建筑的需要。与其他热电联产方式相比，燃料电池方式具有效率高，以低热值定义的发电效率在 40% ~ 55% 之间；安静无噪声；排热利用价值高等优点。但也存在价格昂贵；维护专业化程度高等不足。

1.1.4 燃气锅炉

燃气锅炉是燃气空调中采暖供热必不可少的设备。小至家庭用，大至区域供冷、供热，容量范围广。排出压力除区域空调系统要求 3 ~ 5MPa（表）外，大多在 1MPa（表）以下。

燃气锅炉可限制 SO_x 排放，同时为使排放物、排放量限制在环保要求的规定以内，还应选用低 NO_x 的燃烧器，降低 NO_x 的排放量，以及改善燃烧方法等措施。

燃气锅炉除小型家庭用外，均应按锅炉、压力容器的有关规定生产制造。但对于真空热水器，容器内保持 40kPa（300mmHg）左右的绝对压力、供给 60 ~ 80℃ 左右的热水，不属于此范围。

锅炉本体由燃烧室与对流传热面构成。根据对流传热面的构造等差异分类如下：

- 1) 铸铁锅炉。排出压力为 0.1MPa（表）以下的低压锅炉。用于采暖、供热水。
- 2) 烟管锅炉。排出压力为 1.6MPa（表）以下的中压锅炉。用于采暖及工艺过程。
- 3) 水管锅炉。根据结构型式可用于高压采暖、工艺过程及发电设备；也可用于 1MPa（表）以下的中压采暖、供热水及工艺过程。
- 4) 直流锅炉。有大型与小型两种，大型用于发电设备，小型用于采暖及工艺过程。
- 5) 热水器。供给 80℃ 以下的热水。

1.1.5 燃气用于转轮再生的干燥空调方式

为了满足室内的温湿度要求，可在机组中加入转轮除湿机，室外新风先进入转轮除湿机进行除湿处理，除湿后的干空气再进入空调机进行空调处理，然后进入空调室完成制冷、采暖过程。

转轮除湿机由吸湿转轮、传动机构、外壳、风机及再生用加热器等组成。用来吸收室外

新风中水分的吸湿剂，一般为硅胶或分子筛。当吸湿剂达到含湿量的极限时，会失去吸湿能力，为重复使用需进行再生处理。再生处理是用 180 ~ 240℃ 的热空气来加热吸湿剂，使其含湿量蒸发。热空气就是通过在再生加热器中，利用燃气燃烧后的排热与空气进行热交换获得的。这种干燥空调方式有下列优点：

- 1) 充分利用燃气燃烧后的排热，起到节能的作用。
- 2) 对空气分别进行湿度和温度的处理，能承担较大的冷负荷和湿负荷，且避免了为满足湿度要求，制冷机在低蒸发温度下运转效率降低的弊端，节约了能耗，有较好的经济性。

1.2 我国燃气资源与开发利用

1.2.1 我国燃气资源概况

天然气是燃气空调的最佳能源。天然气资源是燃气资源的最主要部分。据 1998 年石油公司进行的第三次评估和预测，我国天然气资源总量约 55.2 万亿 m³。其中陆上资源量 39.4 万亿 m³，海域资源量 15.8 万亿 m³，此外还有煤层气 30 ~ 35 万亿 m³。我国天然气资源分布情况见表 1-2。分布是不平衡的，显示出“北富南贫”、“西多东少”的格局。

表 1-2 我国天然气资源量

地 区		资源量/万亿 m ³	占总量的比例 (%)
陆上 天然气	东 部	4.9	8.9
	中 西 部	31.26	56.7
	南 部	3.2	5.8
	合 计	39.36	71.4
近海天然气		15.8	28.6
煤 层 气		31.46	

至 2001 年底，我国天然气探明地质储量约 3 万亿 m³，可采储量约 2 万多亿 m³。探明储量在 300 亿 m³ 以上的大气田有 20 个，分布在 8 个盆地，占全国探明储量的 61%，见表 1-3。

表 1-3 8 个盆地及天然气储量表

盆地名称	渤海湾	塔里木	柴达木	鄂尔多斯	四川	东海	琼东南	莺歌海	合计
气田数	1	3	3	3	6	1	1	2	20
储量/亿 m ³	358.8	3833.7	1340.4	7471.4	2662	330.4	885	1427.8	18309.5

探明储量 50 ~ 300 亿 m³ 的气田共 64 个，储气量为 8000 多亿 m³，占全国总储量的 27%。

至 2001 年底，累计已采出天然气 3136 亿 m³，剩余可采储量 1.68 万亿 m³。储采比为 56:1（国外一般为 20:1），说明我国探明的资源未很好利用。

我国天然气可采资源量，经过经济与可采性校正约为 15 万亿 m³。按世界天然气开采大国（如美国、俄罗斯、伊朗等国）目前实际的开采速度计算，则约开采 100 年以上。可见我