

暖通空调新技术

1

NEW TECHNOLOGY OF HV&AC

中国建筑学会暖通空调委员会 ■ 中国建筑工业出版社 主编

中国建筑工业出版社

暖通空调新技术

中国建筑

183
18

社

图

暖通空调新技术

1999年6月出版

《暖通空调新技术》编委会

编委会主任:吴元炜

编委会成员(按姓氏笔画为序):

马最良 王盛卫 计育根 龙惟定 田胜元 那景成
严治军 李志浩 李娥飞 杨纯华 吴元炜 吴德绳
张永铨 张家平 陆耀庆 陈在康 陈沛霖 陈贻谅
何 苗 范存养 郎四维 赵文德 赵先智 胡仰书
彦启森 姚荣华

主 编:吴元炜

栏目负责人:

编者寄语:吴元炜

行业综述与展望:郎四维 彦启森

行业名人名厂专访:张永铨 龙惟定

新技术天地:李志浩 张家平 陈在康 赵先智

工程实录:那景成 李娥飞 计育根 陆耀庆

暖通空调行业大事记:范存养 赵文德

企业园地:胡明安 赵文德

责任编辑:姚荣华 胡明安 何 苗

创刊年份:1999年

地 址:中国北京西郊百万庄

电 话:(010)68393813

E-mail:hm@ China.abp.com.cn

广告代理:北京旋风广告有限责任公司

广告经营许可证号:京工商广临字 99034 号

出版单位:中国建筑工业出版社

邮 编:100037

传 真:(010)68394828

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

北京市彩桥印刷厂印刷

*

880×1230毫米 1/16印张:9 插页:8 字数:277千字

1999年6月第一版 1999年6月第一次印刷

定价:18.00元

ISBN 7-112-03909-6

TU·3041(9275)

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)

编者寄语

今年是建国 50 周年,回顾我国暖通空调事业的发展,令人振奋。我们专业随着经济建设和社会发展而成长,改革开放的 20 年,特别是后 10 年带来了我们专业大发展。今后我国暖通空调市场容量及增长率令世界业内人士瞩目,设置暖通空调方面专业的高等院校已有 50 多所,每年为行业输送专业人才数以千计。从事暖通空调的企事业单位数以万计。暖通空调类的书刊资料无论品种和发行总量都大为增多。暖通空调领域方面的各类学术、技术活动十分频繁。总之,是一派喜人景象。

1998 年是我国暖通空调专业恢复全国学术活动的 20 周年。在这之后,我们想再办一件有价值的事是什么呢?经过讨论,我们中国建筑学会暖通空调委员会决定接受中国建筑工业出版社刘慈慰社长的提议,共同创办带年鉴性的年刊《暖通空调新技术》,1999 年出第一本。顾名思义,年刊就是每年出一本,内容反映上一年暖通空调方面工程、科技成就、进展等等。这在我国来说是一本既与一般专业技术书籍不同,也与技术刊物不同的新书种。需要集思广益、群策群力来创出特色,使之受业内人士及社会读者的欢迎。为此,借首本年刊问世之机,谈一点编者的看法,就教于大家。

关于栏目的设置。目前,设置了行业综述与展望,工程实录,新技术天地,行业名人名厂专访,大事记及信息简讯,企业园地。以后视需要进行增减。

每个栏目的内容为:

行业综述与展望 介绍某项需要业内人士关注的新的热点技术,或介绍某项国内已作过研发、相对趋于成熟、需要推广的技术。前者带有引导性,后者带有小结性。

工程实录 为各地有代表性的已竣工投产的建筑,且在暖通空调技术方面有一定特色。这项工作有难度,需要广泛推荐项目并撰稿。

新技术天地 选择介绍供暖、通风、空调、控制、计算机应用等方面有代表性的使用新技术成就,希望体现出及时性。

行业名人名厂专访 每期发表一位为行业作过许多工作的知名专家和一家知名企业的专访,所谈均会给人启示,催人奋进。

大事记及信息简讯 前者为已发生的事件汇集,后者为将发生的事件的报道。需要逐步充实内容,以期达到对上一年行业大事尽收于中。

企业园地 我们的本意希望企业利用这个栏目,以广告的形式,或介绍本企业的发展,或介绍本企业的成就,特别是上一年的新成就,使大家更好了解该企业在行业发展中的作用。衷心希望企业广泛参予,能够反映行业全貌。但由于这个栏目实行有偿刊登,实际结果只能尊重企业的意愿。此外也未能避免排序先后的矛盾。

由于编委、委员会、出版社、业内人士的大力支持,特别是作者(包括企业家)的辛勤创作撰稿,编委、编辑的认真工作,一本新书《暖通空调新技术》年刊终于能呈现在各位面前。在此请允许我代表主办单位向所有支持我们办成此件新事的女士们、先生们、朋友们表示诚挚的感谢。希望今后大家继续给予支持,多提宝贵意见和建议,使《年刊》一年比一年好,成为向国内外介绍中国暖通空调行业成就、有很好的借鉴参考价值、受人喜爱的好书。

吴元炜
1999 年 6 月

目 录

编者寄语

行业综述与展望

- 热泵的现状与展望 李先瑞 郎四维 (1)
- 室内空气品质研究的发展与展望 李先庭 杨建荣 彦启森 (5)
- 蓄能式空调的现状与展望 张永铨 (10)

行业名人名厂专访

- 数十年如一日,致力我国暖通事业——访西亚庚老先生 (16)
- 访中国民族空调工业的代表——远大空调有限公司 (18)

新技术天地

- 近两年来国内空调技术新进展 李志浩 (22)
- 室内分区微气候及其控制 龚光彩 (45)
- 置换通风在我国的应用 李强民 邓 峥 (48)
- 我国工业除尘设计的进展 张家平 (53)
- 中国高大工业厂房的空调设计及其发展 张家平 (57)
- 关于按户计量供暖系统的探讨 董重成 赵立华 赵先智 (59)
- 埋管式低温地面辐射采暖技术 侯鸿章 贺新年 赵先智 (63)
- 地热供暖设计技术要点 王万达 (67)
- 暖通空调过程的研究模型与方法 陈在康 (73)
- 暖通空调动态设计过程模式分析与应用 丁力行 陈在康 (77)
- 室内湍流模拟中的几类典型问题研究 邓启红 汤广发 (80)

工程实录

- 对上海金茂大厦空调设计的认识 肖 寰 胡仰耆 计育根 (86)
- 济南国际金融大厦暖通空调设计 陈 莉 (93)
- 北京南银大厦空调设计 潘云钢 (98)
- 协和医院业务楼设计简介 刘建华 乔群英 (101)
- 哈尔滨梦幻乐园暖通空调设计 陆亚俊 马最良 姚 杨 李晓冬 (104)
- 西安世纪金花购物中心暖通空调设计 季 伟 殷元生 (110)
- 上海电视台电视制作综合楼空调设计 朱金鸣 梁 韬 (115)
- '99 中国昆明世博会大温室空调设计
..... 赵庆珠 狄洪发 邓辉军 梁建林 王茂珍 (120)
- 上海大剧院空调设计 张富成 刘 览 任 兵 常爱青 (125)
- 上海博物馆暖通空调设计 李待言 寿炜炜 张伟程 (131)

暖通空调行业大事记

企业园地

- 广告索引 (139)

热泵的现状与展望

中国建筑科学研究院空调所 李先瑞* 郎四维

摘要 本文简要地回顾了我国热泵发展的过程、热泵技术发展的展望以及热泵市场的前景。

1 热泵发展的现状

近几年来,我国热泵发展很快,主要表现在如下几方面:

(1)据统计,1996年我国空调设备(指电动冷热水机组、吸收式冷热水机组、房间空调器以及单元空调机组,但不包括进口机组)的总制冷能力约为2000万kW,其中热泵型机组的制冷能力约占60%。在全部热泵型机组中,电驱动热泵容量约为1070万kW,占90%;吸收式热泵容量约为130万kW,占10%。

(2)近几年来,我国的吸收式制冷装置发展迅速。据统计,1996年销售的溴化锂吸收式制冷机约3000多台,其中直燃机1115台。

(3)热泵在工业中的应用。在木材、食品(茶和水果)、陶瓷、造纸、印刷、石油和化工等工业生产过程中采用了蒸汽喷射式热泵、吸收式热泵和电驱动热泵。例如,目前大约有400台热泵式木材干燥机正在运行,年处理能力约为200km³。

2 热泵发展的背景

我国热泵技术的研究与开发始于50年代,主要应用于建筑市场和工业生产过程,发展比较缓慢。从1978年改革开放以来,在以下因素的作用下,促进了我国热泵技术的发展。

2.1 能源政策

在能源每年增长率约为3%~5%的条件下,要满足国民经济持续每年增长8%~9%,即在能源短缺的条件下,必须重视节能技术和节能产品的开发。到目前为止,能量技术是以热力学第一定律“在有限场内,全部能量是恒定的”

为基础的。意味着节省能量就要在所有使用能量的部分都要减少能量的消耗。另一节能的可能性是与热力学第二定律有关,按热力学第二定律“在可逆循环中,高温能量是向低温能量传递的,但低温能量不能向高温能量转换”,当应用高温能量与低温能量两项的有效概念,并以这些概念为基础,我们便可利用低温能量代替一部分高温能量来节省能量。由此,就有可能用同量的能量和再生使用主要能量的数量。从工程热力学看,基于逆循环工作原理的制冷机本身就是一台热泵。热泵这一术语之创意源于与水泵在功能和形象上的相同。水泵的功能主要在于把水从低位抽吸到高位排放,而热泵的作用则是把热从低温端抽吸到高温端排放。从上述的概念中了解到,由于热泵能够将自然界中最普遍的空气、水中的低位热能提高到较高温度后利用,因此,具有较好的节能效果。

我国一次能源总量(不包括生物质能和新能源)为14亿t标准煤,其中原煤14.6亿t,原油1.7亿t,天然气300亿m³,水电2400亿kWh,核电250亿kWh,进口石油4~6亿t,火电电力装机容量2.9~3亿kWh(平均每年增加装机容量1500kWh)。据1997年统计,我国电厂热效率为32.95%,电厂供热效率为83.68%,能源转换总效率为38.07%。采用热电冷三联供系统或称总能系统(TES—Total Energy System),燃气热泵(GEHP)后,通过热力学第一定律的热效率分析和热力学第二定律的焓效率分析说明:由于利用废热,GEHP的综合利用可达到80%~85%;若通过轴动力传动热泵,利用了低位热能,故

* 100013. 中国建筑科学研究院空调所

综合热效率可达到 150% ~ 170%。对于 TES 方式, 实现热电冷三联供后, 其综合利用率可达到 65% ~ 80%。《中华人民共和国节约能源法》第三十九条将热电冷联产技术列入国家鼓励发展的通用技术, 促进了热泵事业的发展。

2.2 环境保护政策

一是减少 CO₂ 的排放量, 一是限期停用 CFCs 工质。产生温室效应的主要气体是: CO₂、CH₄、N₂O、O₃、CFCs 和 H₂O。分析和调查表明, 热泵的应用对降低温室效应起了积极的作用。比较燃煤锅炉 CO₂ 排放量与用相同燃料产电驱动热泵所排放的 CO₂ 量, 使用热泵平均可减少 30% 的 CO₂ 排放量, 在一些场合甚至可减少 50% 的 CO₂ 排放量。采用热驱动热泵, CO₂ 排放量亦明显降低。通过改善热泵性能、降低工质泄漏与使用新工质, 热泵将在环境保护上发挥更大作用。

2.3 建筑节能法

实施《民用建筑节能设计标准》后, 提高了建筑隔热保温性能, 降低了建筑采暖能耗, 结果是大幅度地降低了热泵采暖方式的年运行费用, 增加了热泵与集中供热采暖方式的竞争能力。

2.4 城市能源结构的改变

大中城市人口集中, 能源消耗量大, 污染问题最突出, 因此, 必须实施国家能源政策, 改善能源结构, 提倡使用清洁优质能源, 限制煤炭的作用, 这就为热泵的应用创造了条件。

2.5 能源价格的调整

调整能源价格, 使能源价格合理, 能扩大电动热泵的应用范围, 促使热泵发展, 但是投资大。节约吨标煤投资过高和中国电力紧张等因素也会阻碍热泵事业的发展。

中国建筑市场巨大, 每年全国城市约新建 2.4 亿 m² 住宅, 中国有许多地区的气候适合于使用热泵型空调机组, 中国的能源政策和环境保护政策鼓励, 支持使用热泵。因此, 预期热泵技术一定会得到迅速的发展。

3 热泵技术发展的展望

3.1 热泵技术的现状

所有型式的热泵都有蒸发器和冷凝器两个温度水平, 节流采用膨胀阀或毛细管。只是压力的增加有不同的形式, 主要为: 机械压缩式, 热能

压缩式, 喷射蒸汽压缩式。

按压缩机主机种类分类, 热泵可分为活塞式热泵机组、螺杆式热泵机组和离心式热泵机组等。按使用温度的高低分类, 可分为高温热泵和低温热泵。按使用用途分类, 可分为不可逆式热泵(只供热)和可逆式热泵(可供热, 也可供冷)。按所用热介质的种类和热传递途径分类, 可分为空气-空气热泵机组, 空气-水热泵机组, 水-水热泵机组和水-空气热泵机组等。

空气-空气热泵机组有窗式、分体式冷暖两用型空调机和 VRV 热泵等。上述热泵机组的容量较小, 适用于住宅。目前出现了大型整体式空气-空气机组, 即屋顶式空调器, 容量可高达 80 ~ 160kW, 风量 7000 ~ 25000m³/h。

空气-水热泵有空气热源热泵式冷热水机组。这类机组的特点是其制冷与制热所得冷量或热量可通过热介质-水传输到较远的用户设备, 容量可以达到 700kW 以上。它适用于冬季室外空调计算温度较高的地区(比如我国中部地区)。

水-水热泵机组, 这种机组的运行性能稳定, COP 值较高, 且由于可充分利用江河、湖、海水等自然能源, 冬季供暖所需能耗少。

水-空气热泵机组(水源热泵机组)。这种机组由压缩机、水侧换热器、风侧换热器、风机等组合而成。夏季供冷运行时, 与水冷式直接蒸发型冷风机相同; 冬季按热泵供热工况运行。水源热泵机组具有如下优点: 能进行热回收, 节能效益明显; 空调系统接近分散型系统, 用电量便于分层分室独立计量, 使用灵活; 节省冷水系统及其相应的保温工程, 减少管道占用空间; 设计、施工简单; 不需集中供冷、供热专用机房。另外, 以水为热源及热汇的热泵机组, 也可应用土壤及地下水等自然能源, 这样可以不必设冷却及加热装置, 更为节能。

目前, 我国热泵发展有三种趋势: (1)风冷热泵型冷热水机组发展迅速, 1996 年比 1995 年增长近两倍; (2)直燃式溴化锂冷热水机组发展较快, 占全部溴化锂吸收式冷热水机组的 56%; (3)房间空调器比重最大。热泵型窗式、分体式和 10kW 冷量以下的单元空调机占总冷量的 45%。但技术上也存在以下几方面的问题:

第一, 风冷热泵型机组存在体型较大, 噪声较高, 除霜技术等问题。主要应用风冷热泵的地区是长江流域, 该地区夏季闷热, 冬季湿冷, 1月份平均气温 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$, 相对湿度大于 75%。因此, 要求热泵必须适应 0°C 以下低温高湿气候环境。第二, 吸收式溴化锂制冷机组效率偏低。第三, 房间空调器存在噪声污染、热污染(大量电机功率转化的热量排入住宅区)和制冷剂排放的污染(分体式空调机安装时的泄漏), 1996 年我国大约安装 300 万台分体机和 40 万台单元空调机, 以每台安装时的排放量为 50g 计算, 则排放的污染量达 170t/年。

3.2 热泵技术发展的展望

技术发展总趋势: 发展高效率的供热、供冷热泵和超级热泵系统。

3.2.1 机械压缩式热泵的发展

主要的发展方向是容量的控制和压缩机的设计。

(1) 制冷剂侧的热泵控制。与普通制冷回路相比, 热泵工作的条件更为不利。在宽带的条件下, 制冷剂质流的主要变化范围大约比为 1 到 10。而且热泵的冷侧和热侧的温度几乎是不一致的, 即增加了热源的温度, 结果使冷凝温度减少了。这种作用不仅对制冷剂的质流, 而且对压缩机能量的消耗以及系统的加热容量都有影响。至今, 热力膨胀阀仍是最常用的一种控制设备。今后, 将发展细型热泵膨胀阀。制冷剂流量控制的趋向是倾向于设计新的具有特殊动力和适应范围广等特点的膨胀阀。

(2) 压缩机能量控制。为了加热的目的, 热泵与加热需要相匹配是最困难的问题之一, 特别是利用室外空气为热源时, 难度更大。至今已采用的控制方式有: 启/闭操作, 汽缸卸载; 使用几台压缩机, 单壳压缩机, 换向极电机, 连续速度控制等。其中变频控制技术具有简单、便宜和启动可靠, 适用于所有类型压缩机(敞开式、封闭式等)的优点。

(3) 压缩机设计

往复式压缩机, 在现代的设计概念中已不可能作更多的改进。但涡旋式压缩机将为热泵的发展作出贡献。新型的螺杆式压缩机和离心式压缩

机是适用于热泵工作的。

(4) 新工质技术

根据目前的研究成果, CFC_s 和 HCFC_s 工质的替代物可以分为三类: 即 HFC_s 工质、氨和丙烷以及其它工质。当前, 首选的为 HFC_s 替代物。由于纯工质往往不能满足热泵工质所需的各项条件。因此, 使用两种工质的混合物或者多元工质的混合物。如, 低工作压力下选 HFC134a ; 与 HCFC22 工作压力相近选 $\text{HFC32}/125/134a$; 在高工作压力下选 $\text{HFC32}/125$ 。

3.2.2 吸收式热泵和吸收式热变换器

吸收式热泵是利用少量的高温热源, 产生大量的中温有用热。

吸收式热变换器是利用大量的中温废热, 产生少量的高温有用热。

目前, 吸收式热泵和热变换器使用的工质为 $\text{LiBr} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 其输出的最高温度不超过 150°C 。

吸收式热泵和热变换器所研究工作的趋势: 应用新的工作循环(例如多级循环)和开发新的工质, 以克服 $\text{LiBr} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 工质所存在的缺陷。

3.2.3 压缩-吸收式热泵

压缩-吸收式热泵将蒸汽压缩循环与吸收式循环合为一体。工作重点在于应用新的工作循环以提高温度, 以及开发比 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 工质性能更优越的新工质。

3.2.4 高温热泵

高温热泵是热泵技术发展的重要方面。

4 热泵市场发展的展望

4.1 热泵市场发展的有利因素

4.1.1 我国的能源政策和环境保护政策是促进热泵技术迅速发展的主要因素

(1) 改善能源结构, 减少污染严重的煤炭消费比重, 提高石油、天然气和水电等优质、少污染能源的比重。环境恶化主要是指二氧化碳排放量的增大, 燃煤是产生二氧化碳的主要根源, 以热泵代替燃煤锅炉采暖将会受到鼓励。

(2) 努力节约能源, 提高能源使用技术, 节约能源, 热泵在工厂的应用具有上述作用。因此, 国家一定会采取积极态度支持它的发展。

4.1.2 在我国北方地区,由于采取以煤作燃料为房屋采暖的基本政策,且以往电力缺乏,电价较高,因此热泵技术在建筑环境中的应用与推广是比较困难的。自从我国政府 1978 年出台改革开放、节能政策以来,长江流域经济得到迅速发展,生活水平也获得了大幅度的提高。这一地区的气候特点是夏季炎热,冬季不太冷(一月份平均室外温度变化范围为 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$,年平均室外温度低于或等于 5°C 的时间为 $0 \sim 90\text{d}$ 。七月室外平均温度范围为 $25 \sim 30^{\circ}\text{C}$,年平均温度高于 25°C 的天数为 $40 \sim 110\text{d}$)。因此,在这一地区使用热泵型空调机组是比较合适的,虽然中国南方的广东地区冬天很短,但因湿度大,人们普遍感到湿冷,由于这些地区经济发达,对居住和工作环境的质量要求高,所以很多单位和家庭也采用了热泵机组。根据上述原因,加以国外产品的大量进口,热泵空调系统在中国的应用迅速增长,目前家用空调器总量有 60% 为热泵型甚至在较为寒冷的北京地区,有许多用户也喜欢在集中采暖期前后应用热泵型空调机组以采暖,冬季供应热水,夏季供应冷水的电动空冷机组在集中式空调系统中得到了广泛的应用,今后的应用将更为普及。

4.1.3 我国建筑市场巨大,1995~2000 年,预期每年全国城市新建住宅建筑面积约 2.4 亿 m^2 ,其中上海每年新建约 1500 万 m^2 ,北京约 1000 万 m^2 ,天津约 600 万 m^2 ,大连约 260 万 m^2 。2000 年~2010 年,每年新建住宅建筑面积约 3.4 亿 m^2 。

4.1.4 我国工业余热的资源很丰富,利用的潜力很大,分布也很广,如化工工业占 8.8%,石化工业占 30.9%,轻纺工业占 4.0%。石化厂、造纸厂、制药厂、冶金厂、食品加工厂和农业部门对热泵的应用进行了开发研究,如木材采用了电驱动高效热泵干燥机实现了工厂节能的目的;如石化厂广泛采用了蒸汽喷射式热泵回收生产过程中的余热用于生产和生活,取得了明显的经济效益,为今后热泵市场的开发创造了条件。

4.2 热泵市场发展的展望

4.2.1 建筑业应用热泵的展望

热泵适用区域为过渡区域和部分集中采暖区域,该区域包括上海、江苏、浙江、山东、安

徽、湖北、河南及福建、湖南的部分地区,据预测,该地区 2000 年城镇房屋建筑面积 38.5 亿 m^2 ,其中住宅 20.7 亿 m^2 (约占 53.8%)。公共、商业建筑 6.5 亿 m^2 (16.9%),从中国经济发展形势来看,该地区至 2000 年空调普及率约为 10%,预测的各种房屋建筑的需热量和热泵供热量见表 1。

表 1 各种房屋建筑的需热量和热泵供热量

	总热需要量	热泵供热量
独家住宅	2 万 MW	1.2 万 MW
多层住宅		
商业/公共建筑	1.35 万 MW	0.4 万 MW
小区/供热		0.41 万 MW

据预测,2000 年我国房间空调器需求量约为 1000 万台,其中包括制冷量在 10kW 以下的单元空调机,空调用总制冷量约为 3500 万 kW。

住宅对既能采暖又能空调的热泵要求愈来愈迫切。适合家用的热泵机组有:(1)风冷式分体型机组:包括煤气采暖、电气空调机组;(2)风冷式热泵机组;(3)风冷式空调机组(单冷型)。(4)风冷式整体型机组和(5)水源热泵机组。预计这类机组将会以较快的速度增长。

据预测,“九五”期间吸收式溴化锂制冷机预计将以 8%~10% 的速度增长,即市场需求量将以每年 200~250 台速度增长,至 2000 年,全国的需求量约为 4000 台。

4.2.2 工业中应用热泵的展望

工业中应用热泵的潜力很大,据预测,至 2000 年工业中应用热泵的数量:化工行业约 300 台;食品行业约 150 台;纸浆造纸约 130 台;农业约 5~10 台;冶金行业约 150 台;木材干燥约 400 台;制药行业约 100 台。

参考文献

- 1 彦启森. 展望中国热泵的发展
- 2 卓存真. 国际热泵技术发展动态
- 3 F. 施泰姆. 热泵: 趋向和可能性
- 4 周祖毅. 关于热泵的定义、分类及其应用的探讨

室内空气品质研究的发展与展望

清华大学 李先庭* 杨建荣 彦启森

摘要 文章简要介绍了当前国内外在室内空气品质研究领域内的进展情况,指出今后该领域的可能发展方向和应该重点解决的几个问题。

1 引言

在过去的 20 多年中,长期生活和工作在现代建筑物内的人们表现出越来越严重的病态反应,这一问题引起了专家学者们的广泛重视,并很快提出了病态建筑(Sick Building)和病态建筑综合症(SBS)的概念。根据世界卫生组织(WHO)1983 年的定义,病态建筑综合症是因建筑物使用而产生的症状,包括眼睛发红、流鼻涕、嗓子疼、困倦、头痛、恶心、头晕、皮肤搔痒等^[1]。近些年来,有些专家学者建议将人们对室内气味产生的不满也纳入到病态建筑综合症中^[2]。大量调查分析表明,人们全天有超过 80%的时间在室内度过,在这种情况下,SBS 的问题主要是由于室内空气质量(IAQ)不佳而引起的。

由于室内空气质量的原因,人们的身心健康和工作效率受到很大影响,一些现代化密闭写字楼中的工作人员受到的影响尤其明显。与此同时,由室内空气质量间接引起的社会工作效率降低和病休、医疗费用等社会问题也受到了广泛的关注。另一方面,为了改善室内空气质量,很可能需要增加建筑和空调系统的初投资及维护费用,这给业主和工程维护人员也提出了新的课题。

鉴于以上种种原因,IAQ 问题成为当前建筑环境领域内的一个研究热点。从本世纪 70 年代末开始,国内外的科研和工作人员在这方面做了许多广泛而富有成效的工作,同时也存在许多需进一步解决的问题。

2 室内空气质量(IAQ)状况调查

为了了解室内空气品质的状况及其影响因素,以便更好地研究和解决病态建筑综合症,国内外许多学者对不同类型建筑中的室内空气质量进行了调查、分析和评价。比较有代表性的有:Christopher W. Collett 等对加拿大、美国、西欧、南美 85 栋建筑室内空气质量状况的调查^[3],Jan Sundell 对瑞典 210 座建筑及 6000 人进行的调查^[4],Alan Hedge 等对美国 27 座空调建筑 4479 人进行的调查^[5],上海城市建设学院的沈晋明对上海部分办公楼的调查^[6,7]。

这些调查多采用问卷调查与现场测试相结合的方法。问卷调查的内容一般包括:(1)周围环境状况,如温度、湿度、灯光、噪声、吹风感、异味、灰尘、静电等;(2)职业状况,如工作满意程度、工作压力、工作环境等;(3)病态建筑综合症状况,如困倦、头痛、眼睛发红、流鼻涕、嗓子疼、恶心、头晕、皮肤搔痒、过敏等;(4)个人资料,如性别、年龄、是否抽烟、是否有过敏史等。现场测量内容一般包括:一氧化碳、二氧化碳、甲醛、尼古丁、悬浮颗粒、温度、相对湿度、风速、照度等。

调查结果显示,引起室内空气质量问题的原因从大的方面可分为两类:一是暖通空调(HVAC)系统设计或运行不当;二是各类污染源产生的污染物作用。当然两者并非完全独立,例如某些气体污染有时也可以解释为通风不足。

第一类原因一般包括:(1)通风和气流组织

* 100084. 北京清华大学热能系空调教研室。

问题。如新风量不足,室内气流组织不好等;
(2)热舒适性问题。当室内未达到希望的温湿度时,由于对热状况的不满人们也会对 IAQ 产生抱怨。

第二类原因一般包括:(1)由于室外大气环境的恶化,由新风吸入口或门窗等进入的污染物;(2)交叉污染,这往往由于设计时各房间的压力分布不当而导致地下停车场、打印室、吸烟区、餐厅等处散发的污染物散布于建筑的其它区域;(3)室内污染,如室内办公设备、装潢、家具、人员等产生的污染物;(4)微生物污染,常由空调凝水或漏水造成。

大多数的调查还发现,女性对 IAQ 的反应比男性更敏感;不同工作环境、工作压力下的受调查者反应也不同,如工作区靠近视频显示设备(VDU)或复印设备的人员受到更多 SBS 的困扰。

综合多个调查结果,可以将 IAQ 问题分作主观和客观两个方面。室内的各种物理参数,如温湿度、各种固体和气体污染物浓度等客观参数对 IAQ 确实产生影响,尽管当前人们还不能完全明白这些因素对人体到底能产生多大的影响,以及如何产生影响;同时,人们由于心理状况、对外界的反应敏感度、性别(暂且将性别归入主观一类)等主观因素的差异也对 IAQ 问题产生不同的反应。

3 室内空气品质的研究状况

为了研究病态建筑综合症和室内空气品质的问题,国内外学者开展的大量研究工作大体可以分为以下几个方面:(1)室内空气品质的定义和评价;(2)室内空气品质的影响因素分析;(3)如何改善室内空气品质。

3.1 室内空气品质的定义和评价

室内空气品质定义在这二十几年中经历了许多变化。最初,人们把室内空气品质几乎完全等价为一系列污染物浓度的指标。近年来,人们认识到这种纯客观的定义已经不能完全涵盖 IAQ 的内容,于是,对室内空气品质的定义进行了不断发展。

在'89 室内空气品质讨论会上,丹麦哥本哈根大学教授 P.O.Fanger 提出:品质反映了满足人们要求的程度,如果人们对空气满意,就是高品

质;反之,就是低品质^[8]。英国的 CIBSE(Charter Institute of Building Service Engineers)认为:如果室内少于 50% 的人能察觉到任何气味,少于 20% 的人感觉不舒服,少于 10% 的人感觉到粘膜刺激,并且少于 5% 的人在不足 2% 的时间内感到烦躁,此时认为室内空气品质是可接受的^[9]。这两种定义的共同点是都将室内空气品质完全变成了人们的主观感受。

最近几年,ASHRAE 62-1989 的修订版(草稿)ASHRAE 62-1989R 中,首次提出了可接受的室内空气品质(Acceptable indoor air quality)和感受到的可接受的室内空气品质(Acceptable perceived indoor air quality)等概念。在 ASHRAE 62-1989R 中,可接受的室内空气品质定义如下:空调空间中绝大多数人没有对室内空气表示不满意,并且空气中没有已知的污染物达到了可能对人体产生严重健康威胁的浓度。感受到的可接受的室内空气品质定义如下:空调空间中绝大多数人没有因为气味或刺激性而表示不满。它是达到可接受的室内空气品质的必要而非充分条件。由于有些气体,如氨、CO 等没有气味,对人也没有刺激作用,不会被人感受到,但却对人危害很大,因而仅用感受到的室内空气品质是不够的,必须同时引入可接受的室内空气品质。

ASHRAE 62-1989R 中对 IAQ 的描述相对于其他定义,最明显的变化是它涵盖了客观指标和人的主观感受两个方面的内容,相对比较科学和全面。因此,尽管当前各国学者对 IAQ 的定义仍存在偏差,但基本上认同 ASHRAE 62-1989R 中的两类定义。例如,CIBSE 便指出自己的定义没有考虑如电磁波等无味、但可能对人体有害的物质。

伴随室内室内空气品质的定义发展起来的是室内空气品质的评价。当前,室内空气品质评价一般采用量化监测和主观调查结合的手段进行。其中的量化监测是指直接测量室内污染物浓度来客观了解、评价室内空气品质,而主观评价则是指利用人的感觉器官进行描述与评判工作^[10, 11]。

客观评价的根据是人们受到的影响跟各种污染物浓度、种类、作用时间之间的关系,同时还利用了空气年龄(Air Age)、换气效率(Air Exchange Efficiency)、通风效能系数(Ventilation Effec-

tiveness)等概念和方法^[12-16]。目前,人体反应跟污染物作用之间的各种关系还没有完全得到科学的解释,这也是IAQ方面今后应该研究的一个课题。除各种指标外,人们的反应跟其个体特征密切相关。即使在相同的室内,人们也会因所处的精神状态、工作压力、性别等因素不同而产生不同的反应。正是这方面的原因使得对室内空气品质的评价必须将上述各种主观因素考虑在内。

随着计算机的发展,利用计算流体力学对气流组织进行数值模拟的方法应运而生。数值模拟方法通过求解质量、动量、能量、气体组分质量守恒方程和粒子运动方程,得到室内各个位置的风速、温度、相对湿度、污染物浓度、空气年龄等参数,从而分析评价通风换气效率、热舒适和污染物排除效率等。由于数值模拟方法具有周期短、费用低等特点,并且能够预先进行,因此可以被用来作为室内空气品质的评价的有效工具^[17-23]。

3.2 室内空气品质的影响因素分析

从调查结果看出,IAQ的影响因素主要有两个方面:暖通空调(HVAC)系统和污染物作用。

3.2.1 HVAC系统与IAQ

这方面新风量不足是一个关键问题。新风不足的原因包括两个方面:一是为了节省运行能耗,采用最小新风量运行,致使新风不足;另一方面是最初的设计新风量过小,不能满足室内空气品质的要求。传统的HVAC系统设计时仅考虑人员所需的新风量,而没有考虑其它材料散发的污染物对新风的需求。鉴于围护结构和室内装饰发出的挥发性有机物(VOC)等污染物需要新风来稀释,所以在确定房间最小新风量时,除了人员密度外,还要充分考虑跟围护结构和装饰相关的室内面积。在ASHRAE62-1989R中,房间最小新风量由每人最小新风量指标 R_p (m^3/h)、人员密度(人/ m^2),与每平方米地板所需最小新风量指标 R_b ($\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)共同确定,即房间最小新风量(m^3/h) = (人员密度 $\times R_p + R_b$) $\times$ 地板面积(m^2)。新风不足的另外一个方面可能是HVAC系统运行管理不当。当前变风量系统受到广泛采用,但冷热负荷减小后经常带来新风量不足的问题。

在空调及通风方面,热舒适性不满足和气流

组织恶化也是导致人们抱怨的很大原因。热状况不满足多为系统调节上的问题,气流组织恶化则跟风口位置和总送风量变化有关。对于变风量系统,这方面的情况更容易出现。

3.2.2 污染物作用与IAQ

广义上的污染物包括了固体颗粒、微生物和有害气体。如果考虑其中微生物多依附于固体颗粒或液滴传播,所以笔者更趋向于将污染物分为颗粒污染物和有害气体污染物,其中的颗粒污染物包括固体颗粒和微生物。

对于颗粒污染物,一、二次扬尘和室内湿度过大是其产生原因。当前人们主要采用避免扬尘、增强过滤、控制湿度等方式以及控制产生源等手段来避免这方面的污染^[24-26]。

相对而言,气态污染物的研究要复杂得多。这方面的问题主要集中在两个方面:一是单个(或多种)污染物对人体的影响,二是污染物本身的产排特性。

当前人们认为各种VOC、CO、CO₂、氡等气体会对人体产生不良影响,但具体是何影响,许多方面还是未知。据测,室内的有害气体有几百种,将它们跟人体的不适感科学地联系起来是一项长期而艰苦的工作。另外,许多调查都显示,即使人们抱怨很频繁,但很多情况下并没有哪一种污染物单独超标。这一结果的最好解释是由于多种而不是单独某一种污染物的影响才导致了IAQ的抱怨,但同时也使得人们对现有污染物浓度指标的科学性和全面性提出怀疑。

污染物的产排特性也是研究的一个难点和重点。建材、装饰材料会产生出多少污染物、污染物间如何相互反应等问题是解决污染的关键^[27]。从传统上来讲,控制污染源是避免污染的最好方式,但对有害气体的污染控制很难采用这种方式。这就需要将污染物的产排特性弄清,以利于采用其他手段。

3.3 改善室内空气品质的途径

改善室内空气质量,在当前情况下,仍以HVAC系统的设计和维护及各种污染源的去除为主。值得强调的是虽然这两方面内容人们大都熟悉,但这却往往正是IAQ问题产生的最普遍原因。

在 HVAC 系统的设计和维护上,要采用新的设计指标充分保证最小新风量,同时充分考虑围护结构的气密性和建筑物内压力分布,保证室内合理的通风换气效果。应合理设计通风气流组织,保证不同工况、不同参数时能将新鲜空气送到工作区,将污染物及时有效排出。在系统运行时,需要定期监测建筑内通风系统、室内温湿度、压力分布及污染物指标,并考虑过滤器的效率,对过滤器定期进行更换清洗。

在污染源控制方面,要对室外空气进行清洁过滤处理,还应监测室外空气状况,超标时能及时处理并采取相应的动作。同时应隔离复印室等污染源并对其做一定处理,避免建筑内交叉污染。对于有凝结水产生的换热器和通风设备等,应在系统停止工作时保持通风直至凝结水干燥,以免滋生微生物。尽量使用低污染的建材、装饰材料,减少污染物的散发。

近来出现一种安装在室内的小型设备,其中的空气处理设备仅由过滤器和电触媒组成。过滤器用以除去室内的颗粒污染物,电触媒则将室内的 VOC 分解成水蒸气和 CO₂。在当前人们还没有拿出更好的办法来解决室内空气品质问题的情况下,室内单独安装这种具有过滤、分解功能的设备也是改善室内空气品质的一个途径。

4 IAQ 的发展展望

在影响室内空气品质的众多因素中,人们有许多认识得还不清楚。随着生活水平的提高,人们对室内空气品质的关注会进一步加强,对室内空气品质的研究也将广泛展开。笔者认为今后这方面的工作将主要集中于以下几个方面:

4.1 回归自然的舒适性

调查的结果大多表明,并非恒定的温湿度才使人舒适,使用自然通风空调系统的房间内关于 IAQ 的抱怨要远远少于使用机械通风空调系统的房间。这一现象促使人们在建筑、空调的设计上充分考虑回归自然,提出了“绿色建筑”和“绿色空调”的概念。为此,自然风、动态风的脉动性和处于波动的温度环境下人体反应等研究会成为今后值得关注的领域。

4.2 通风设计的改进

空调通风设计不佳是出现 IAQ 问题的很大原

因,避免出现这种情况的最好办法是预先进行模拟计算。从整个系统来讲,需要发展出更完善的系统模拟工具,用以对热、湿、污染负荷的合理估计到系统运行调节的计算;局部来讲,需要开发新的 CFD 模型,使之能跟各种建材、装饰材料的散污特性联系起来,对不同热湿状况下的气流流动、污染物产生、排放进行更准确的模拟。

4.3 对污染源和污染物的认识

污染物产生种类和总量跟污染源的关系、污染物间如何相互反应等问题是解决污染的关键,它们也关系到 CFD 等模拟工具的正确应用。另外,单独一种污染物对人体产生何种影响,以及多种污染物对人体的共同作用也应引起人们的重视,这些研究结果将是制订各类标准的关键性依据。而这方面的研究将跟材料、医学、环境监测、卫生学等学科的发展密切相关。

5 结语

正如 Steven Taylor 在 1996 年 ASHRAE 冬季会议上的 IAQ 专业开放论坛上所说,到目前为止,室内空气品质的标准大部分是基于常识,只有小部分是基于科学^[28]。我们在今后的研究中需要在理论上充分认识室内空气品质问题的本质,在实践上应将室内空气品质意识贯穿到有关人员的行动中。目前,要使室内空气品质问题的解决取得重大突破,仍须大量研究人员长期不懈的努力。室内空气品质领域是充满挑战的,同时也孕育着希望。

参考书目

- 1 WHO (World Health Organization). "Indoor air pollutants: exposure and health effects". EURO Reports and Studies 78, WHO, Geneva, 1983
- 2 L. Molhave, "The sick buildings and other buildings with indoor climate problems". Environ. Int. 15: 65-74; 1989
- 3 Christopher W. Collett, James A. Ross and Elia M. Sterling, "Quality Assurance Strategies for Investigating IAQ Problems", ASHRAE Journal, June 1994, P42-51
- 4 Jan Sundell, "What We Know, and Don't Know About Sick Building Syndrome", ASHRAE Journal, June 1996, P51-57
- 5 Alan Hedge, "Predicting Sick Building Syndrome at the Individual and Aggregate Levels", Environment In-

- ternational. 1996, No. 1, P3-19
- 6 沈晋明等. “上海办公大楼室内空气品质的客观评价”. 通风除尘. 1995 年 No. 4, P14-17
 - 7 沈晋明等. “上海办公大楼室内空气品质的主观评价”. 通风除尘. 1996 年 No. 2, P8-13
 - 8 沈晋明等. “室内空气品质的新定义与新风直接入室的实验测试”. 暖通空调. 1995 年 No. 6, P30-33
 - 9 Bjarne W. Olesen. “International Development of Standards for Ventilation of Building”. ASHRAE Journal. April 1997, P31-39
 - 10 沈晋明. “室内污染物与空气品质评价”. 通风除尘. 1995 年 No. 4, P10-13
 - 11 沈晋明. “室内空气品质的评价”. 暖通空调. 1997 年 No. 4, P22-25
 - 12 李先庭、江亿. “用计算流体力学方法求解通风房间的空气年龄”. 清华大学学报. 第 38 卷第 5 期第 28 ~ 31 页, 1998 年
 - 13 李先庭、王欣等. “用示踪气体方法研究通风房间的空气年龄”. 待发表
 - 14 M. Sandberg and M. Sjöberg. “The Use of Moments for Assessing Air Quality in Ventilated Rooms”. Building and Environment. Vol. 18, No. 4, pp. 181-197 (1983)
 - 15 M. Sandberg. “Ventilation Efficiency as a Guide to Design”. ASHRAE Transactions. Vol. 89(2B), PP. 455-479 (1983)
 - 16 赵鸿佐、赵玮. “通风换气的新概念与方法”. 通风除尘. 1996 年 No. 2, P20 - 24
 - 17 Q. Chen, A. Moser, P. Suter. “A Numerical Study of Indoor Air Quality and Thermal Comfort Under Six Kinds of Air Diffusion”. ASHRAE Transactions. 1992, P203-217
 - 18 W. K. Chow. W. Y. Fung. “Numerical Studies on the Indoor Air Flow in the Occupied Zone of Ventilated and Air-conditioned Space”. Building and Environment. 1996, No. 4, P319-344
 - 19 Z. Jiang. Q. Chen. A. Moser. “Indoor Airflow With Cooling Panel and Radiative / Convective Heat Source”. ASHRAE Transactions. 1992, P33-42
 - 20 刘传聚. “置换通风的数值模拟”. 通风除尘. 1998 年 No. 1, P4-7
 - 21 李先庭、彦启森. “用 CFD 方法指导通风空调设计第一部分: 理论基础”. 待发表
 - 22 李先庭、李晓锋等. “一种求解湿空气温度和相对湿度的 CFD 方法”. 暖通空调. 待发表
 - 23 李先庭、李吉生等. “用 CFD 应法评价热舒适和室内空气质量”. '98 内地香港空调技术及设计研讨会论文集(内地部分). PP37 ~ 43, 1998 年
 - 24 William J. Coad. “Indoor Air Quality: A Design Parameter”. ASHRAE Journal. June 1996, P39-47
 - 25 Kenneth E. Gill. “IAQ and Air Handling Unit Design”. Heating Piping and Air Conditioning. January 1996, P49-54
 - 26 H. E. Barney Burroughs. “Filtration: An Investment in IAQ”. Heating Piping and Air Conditioning. August 1997, P55-65
 - 27 Peder Wolkoff. “A New Approach for Indoor Climate Labeling of Building Materials—Emission Testing Modeling and Comfort Evaluation”. Atmosphere Environment. 1996, No. 15, P2679-2689
 - 28 Winter Meeting, “Industry Invades Olympic City”, Heating and Air Conditioning Journal. April 1996, P20-21

蓄能式空调的现状与展望

天津大学 张永铨*

提要 对蓄能式空调系统技术发展的历史与趋势作了回顾,对我国几年来的进展和一些需进一步解决的问题进行了探讨,展望了近期蓄能式空调系统的发展。

1 蓄能式空调系统技术发展的历史与趋势

自古以来,人们就懂得使用和储存天然冰来保存食物或改善环境。但采用人工制冷的蓄冷空调大约出现在 1930 年前后,最初用于影剧院、教堂、乳品加工厂等需要短时间降温,且负荷较集中的场所,而采用冰来制取冷水或冰蓄冷的供冷方式,着眼于减少制冷机容量和制冷设备的购置费用。

大约在 1950~1960 年间,空调水蓄冷有了较大的发展。水蓄冷系利用 2~5℃ 左右的低温水进行蓄冷,其优点是投资省,技术要求低,维修费用少,但因水的蓄能密度低,需要有规模庞大的蓄冷水池,防水与保温处理均较麻烦,且冷损耗大,同时蓄冷水系统设计中最大的问题是如何最好地做到蓄存冷水与回水之间的分隔,这些对产品推广均不利。后来,日本将完全混合槽型蓄热槽、温度成层型蓄热槽、平衡温度成层型蓄热槽连接成标准型,并从理论到设计资料进行了归纳。使之有了进一步的发展。

大约在 1977 年前后,美国、加拿大和欧洲一些工业发达国家,夏季的电负荷增长惊人,下午的耗电量竟超过夜间耗电量的 1.5 倍,以致不得不增建发电站来满足高峰负荷,但一到夜间又闲置下来,更糟的是在夜间发电站处于很低的负荷效率下运转。由此工程师们开始试验性地将冰蓄冷技术引入建筑物的空调系统,开始时是以直接蒸发式管外结冰为基础的冰蓄冷空调系统,然后积极开发其它形式的冰蓄冷设备和系统,实施

的工程项目也逐年增加。

1890 年,美国得州 Dallas 电力公司是第一个实施“转移尖峰电力优待措施”的电力公司。

1983 年在美国能源部主持召开的第三次“蓄冰在制冷工程中的应用”专题研讨会上,首次提出了与冰蓄冷相结合的低温送风系统。1985 年末,两座采用冰蓄冷与低温送风系统总建筑面积为 46450m² 的空调建筑在美国投入运行,此后采用冰蓄冷与低温送风的空调建筑不断增加。进入 90 年代以来,人们对与低温送风系统有关的问题进行了一系列专题研究,使低温送风系统的形式日趋多样,设计方法更加完善,在产业部门的努力下,已成功地开发出了低能耗、高性能的末端装置等专用设备。

1994 年底前,美国约有 4000 多个蓄冷空调系统用于不同的建筑物,包括写字楼、购物中心、医院、学校、工厂、工艺设备及集会中心。最近几年美国不仅在蓄冰设备方面有所发展,Calmac 蓄冰筒,FAFCO 蓄冰槽等日趋完善,BAC 外融冰蓄冰槽向内融冰蓄冰槽方面发展,Maxim ICE 动态蓄冰系统的出现等。而且在替换 CFC 冷水机组工程中要求尽可能采用一些蓄冰系统和有些地区新建空调系统中采用蓄冰设备来起到移峰填谷的作用,同时在蓄冰系统中采用智慧性控制亦有较大发展。

各国为了促进冰蓄冷技术健康而有效地发

* 300072 天津大学建筑工程学院建筑设备工程系
(022) 27400832

展, 相应成立了一些研究机构, 如美国 EPRI (Electric Power Research Institute 电力研究所) 是对已有的蓄冷工程及改进后的系统技术和子系统技术进行研究和开发工作, 以支持蓄冷技术的推广。通过对典型蓄冷工程的实地测试, 进行工程评估, 出版了几十册各种蓄冷技术的设计指南手册、EPRI 刊物和小册子, 介绍各种蓄冷技术的问题和新一代蓄冷设备及控制设备。

美国制冷空调协会 (ARI) 于 1993 年拟定 Guideline-T 作为蓄冷设备性能规范之标准, 以满足: (1) 用户制定的要求, (2) 供应厂商规定的设备性能数据。

美国 ITSAC (International Thermal Storage Advisory Council 国际蓄热咨询委员会) 从 1986 年 6 月开始不定期发行 ITSAC 蓄热技术通报, 但是已于 1996 年底停办。

美国采暖制冷空调工程师协会 (ASHRAE) 在 1985 年才有〈蓄冰空调〉(通称 Thermal Storage) 的技术资料手册 (Technical Data Bulletin), 1987 年才将其列入正式手册 (Handbook) 中, 1991 年再版时作了修正, 1993 年 ASHRAE 保留版权, 1994 年 10 月再次出版一本新的《蓄冷设备指南》(Design Guide for Cool Thermal Storage)。1996 年出版了《低温送风系统设计指南》(Cold Air Distribution System Design Guide)。1997 年出版了《成功蓄冷工程——从设计到运行》(Successful Cool Storage Projects—From Planning to Operation)。

日本是一个自然资源相当贫乏的国家, 几乎所有能源都依赖进口。日本历届政府都非常重视能源的有效利用, 积极推广成熟的研究成果。

1952 年东日会馆大楼是日本第一个采用水蓄冷的中央空调系统。60 年代以后, 水蓄冷中央空调系统在日本得到了大量应用。1996 年, 日本 NHK 广播中心建成 9000m³ 水蓄冷槽空调系统。到了 80 年代中期, 人们发现冰蓄冷较水蓄冷有许多优点, 因此, 许多设备厂也参与冰蓄冷设备的生产, 但由于冰蓄冷设备和系统造价较高, 电力部门对冰蓄冷在削峰填谷中认识不足, 所以, 日本在 1990 年以前主要发展水蓄冷, 如 1990 年日本大约有 1474 个蓄冷空调系统在运行, 其中冰蓄冷 1246 个, 水蓄冷 228 个。发展到 1998 年

共有 5566 个蓄冷空调系统, 其中水蓄冷 2249 个, 冰蓄冷 3317 个。由此可见, 1990 年 ~ 1997 年间冰蓄冷空调系统增长很快。(见表 1)

表 1 近年日本水蓄冷和冰蓄冷装置建造数量

年 份	1990年以前	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
水蓄冷	1246	184	146	181	127	97	102	89	77
冰蓄冷	228	98	107	145	120	175	536	899	1086

日本有几十家生产蓄热(冷)空调设备厂家, 品种非常多样, 国际上其他国家已有的典型产品, 他们都有, 其他国家没有的(如高砂热学工业用过冷水制冰, 等等), 他们也有。但是, 静态制冰仍然是他们生产最多, 也是至今应用最广泛的制冰方式。

结合日本空调装置经常设置在屋顶上的现实, 进一步发展整体式的冰蓄热式热泵空调系统, 使蓄热槽和制冷用热泵机组装配在一起而小型化, 亦可多台并联使用, 目前得到日益广泛采用。

日本 9 家电力公司和 4 家制造厂(大金工业、日本制作所、三菱重工业和三菱电机)联合开发了一种利用廉价的夜间电力, 将冰和热水蓄存在蓄热槽中, 供应白天冷暖负荷为 5 ~ 10 马力 (12.5 ~ 25kW) 的小型冰蓄热式组合空调机。1998 年 10 月开始出售 5 和 6 马力型号的空调机。

日本政府为了加强对蓄热工作的指导, 1997 年 7 月 1 日开始, 日本热泵技术开发中心改名为日本热泵蓄热技术开发中心, 并在普及开发活动内容中有一项为冰蓄热式空调系统普及促进事业。现预计到 2010 年通过蓄冷空调系统可移峰 742 万千瓦。

日本空气调和卫生工学会 1982 年出版了《蓄热式空调システム》。1995 年出版了《蓄热式空调システム基础と应用》。日本工业出版社 1997 年出版了《蓄热式空调システムの計画・设计マニュアル》(修正版)。

当前美国、日本等国都在发展区域供热供冷站, 而利用冰蓄冷的区域供冷站有不必使用 CFC 冷媒、保护环境、可利用效率可达 0.5kW / RT 的巨型离心式冷水机组、占地较少、装设灵活性

强、安装及运行费用低等优点。此方式的供冷站将会在世界各地陆续出现,将成为 21 世纪大城市空调系统冷热源的主要方式之一。

区域供冷站多数为大型系统,因此常用外融冰技术,以便充分利用其出水温度较低、水温稳定的优点。不过内融冰式、冰球式等也常被采用,并取得不错的效果。

冷水蓄能系统在整个美国和四大洲的区域供冷中逐渐被普遍采用,其主要原因在于它的技术经济优势,无论是在初投资还是在运行费上。但无论它有什么优势,最终的结果是技术的进步。

无论是蓄冷水还是冰蓄冷都有其固有的优点和缺点,因此对待某一具体工程时,必须正确选择最合适的技术。

国外水蓄冷和冰蓄冷大部分用于建筑物的空调系统外,在食品、乳业、农业、工业和其他行业也都有采用。

2 我国蓄能式空调技术的发展简介

改革开放以来,社会生产力、综合国力和人民生活水平都有较大的提高。电力工业作为国民经济的基础产业之一,已取得长足的进展。我国近年来的总装机容量已达到年增长 1.500 万 kW 水平,1996 年发电装机容量已居世界第二位。截止到 1997 年底,全国发电装机总量达 2.5 亿 kW,年发电量达 11.132 亿 kWh。最近又投入大量资金改善电网,但电力供应高峰不足而低谷过剩的矛盾随着经济和社会的发展而更显突出,城市中空调的应用加大了这个矛盾。全靠建新电厂增加供电能力来解决难以办到。引入需求侧管理(DSM)调控制做法,水蓄冷、水蓄热和冰蓄冷就成为电力界和空调制冷界共同关注并携手共同推进其应用的工作。

1994 年国家计委、电力部等部门决定实行电力供应峰谷不同电价政策,以推动削峰和填谷的应用,缓解电力建设和新增用电的矛盾。华北电力集团首先公布峰谷电价比为 4.5:1,相继其它地区的电力部门对蓄冷中央空调用户实行峰谷电价差及其它的优惠政策。杭州市三电办关于杭州市 1997 年节电技改奖励统配量有关规定的通知中第三项,冰蓄冷中央空调:在达到蓄冷量大于 1700kWh(500 冷吨小时),并转移高峰电力大于

28% 指标时,每户一次性奖励统配电量指标 10 万 kWh(差价)外,并对市区的有关用户另给予下列优惠:(1)对冰蓄冷中央空调用户,实行峰谷电价;(2)冰蓄冷中央空调设备,可不避峰使用;(3)对列入节电技术示范性项目和达到上述要求的冰蓄冷中央空调用户,视综合实际效果,按照冰蓄冷空调主机容量的 30%~50%,减征电力增扩容费,空调设备容量费。对于推动杭州市推广冰蓄冷中央空调起到积极作用。由此杭州市在冰蓄冷中央空调方面走在全国的前面。

为正确引导和加速蓄冷空调技术在我国的发展和推广应用,为了发挥电力界和制冷界两方面的积极性,1995 年 4 月成立了全国蓄冷空调研究中心,隶属于中国节能协会。中心的宗旨是根据我国产业政策和经济发展的重要目标,遵循“开发与节约并重”的能源工作方针,开展调查、研究、咨询和组织蓄冷空调的开发及推广应用,在政府部门和企业之间发挥桥梁作用,为企业降低电力初投资及运行费用,为电力系统“削峰填谷”,提高效益服务。1999 年元月换届成立第二届,现名为中国节能协会蓄冷空调专委会。

1997 年 11 月国家发布了“中华人民共和国节约能源法”。

1998 年 4 月国家电力公司公布了“关于推广试用蓄热式电热锅炉开发低谷电力的通知”。

为推动蓄冷空调技术在我国的大力推广并保证其正确实施,国家经贸委办公厅已颁布文件国经贸厅技[1997]298 号,其中将冰蓄冷空调作为今后的重点发展项目。而 1998 年底颁布的国务院文件国发[1998]32 号文及华北电管局华北电集营[1998]30 号文中更强调了“为缓解高峰用电对峰谷电价的力度,鼓励用户采用节电技术措施,鼓励用户多用低谷电,加快推广蓄冷空调等削峰填谷的技术措施”。目前峰谷电价政策的出台及其不断的发展和完善,将为促进我国蓄冷空调的发展和应用创造良好的外部经济环境,冰蓄冷技术在我国的应用将形成不可逆转的趋势。

蓄冷技术是一种投资少、见效快的调荷措施,目前已成为许多经济发达国家所积极推广的一项促进能源、经济和环境协调发展的实用系统节能技术。随着我国社会主义市场经济体制的建

立,大力推广冰蓄冷技术对于提高我国能源利用水平,促进我国的经济发展将会具有积极的影响。

70年代起,我国在体育馆建筑中采用水蓄冷空调系统,取得一定的节能效果,但未能推广采用和进一步发展冰蓄冷。90年代初,在福州某商场建造蓄冰空调系统,采用冰晶式蓄冷系统,仿造高效传热管202台,由于未达到原设计效果,后又全部拆除改为常规空调系统。

我国在90年代初,建造和可投入运行的蓄冷空调系统有下列三例:

(1)深圳电子科技大厦,建筑面积6.2万 m^2 ,设计冷负荷11250kW,蓄冷量24190kWh,采用法国Crstopia冰球,1993年5月投入运行。

(2)北京日报社,建筑面积1.52万 m^2 ,综合办公楼,设计冷负荷1512kW,采用北京西冷工程公司的“有压罐式齿球蓄冷器”,卧式蓄冷罐 $\phi 2400 \times 600$ 三台,1993年6月投入运行。

(3)广东清远市新北江制药有限公司,工艺用冷,发酵所产生的热量由10℃的冷水吸收,正常生产时,耗冷1744kW。利用低谷电蓄存冷水,贮水槽容积1083 m^3 ,占地110 m^2 蓄冷密度达21.4kW/ m^3 ,蓄(调荷)冷量达23200kWh,1992年5月投入运行。

1995~1997年已建成和投入运行的水蓄冷和冰蓄冷空调系统共33项。

1998年元月以后开建、建成或投入运行的项目有50项左右。其中蓄冷量较大,具有一定典型的项目,提出几项供参考。

(1)北京,中央人民广播电台业务楼工程,设计日全日最高负荷4900kW,设计日全日总冷量56820kWh,常规制冷需主机5000kW。现采用8个FAFCO-590型标准蓄冰槽和2个FAFCO-280型标准蓄冰槽,总蓄冷量15800kWh,双工况主机采用YORK螺杆式冷水机组,基载主机采用Carrier离心式冷水机组。

(2)杭州市交通银行金融大楼,20000 m^2 ,采用CIAT单螺杆制冷机和蓄冷球,设计冷负荷1919kW,蓄冷罐141 m^3 。

(3)北京国际贸易中心二期工程,120000 m^2 ,采用1296片FAFCO-HXR-12型非标准蓄冰换热

片,利用建筑物原有的筏基做成土建蓄冰槽,总蓄冷量47390kWh。TRANE三级离心式冷水机组两台,基载主机有两台远大VI型吸收式机组及一台TRANE螺杆式冷水机组。

(4)北京,国家电网调度中心办公楼,总建筑面积为51000 m^2 ,最大冷负荷37564kW采用BAC-TSC-238M型蓄冰槽20台,主机采用YORK-YSECEAS45CKC型螺杆式双工况机两台,单工况机1台。总蓄冷量16740kWh。

(5)北京,中国中央电视台,40000 m^2 ,BAC-TSC-238M $\times 26$,总蓄冷量21760kWh。

(6)杭州市金鹏大厦,40000 m^2 ,采用CIAT单螺杆制冷机和蓄冷球。设计冷负荷总计4648kW,蓄冷罐288 m^3 。

(7)杭州市国际大厦,42000 m^2 ,采用蕊心冰球,蓄冷量7457.4kWh。

(8)杭州市国贸中心,采用浙江国祥公司完全冻结式,总蓄冷量15800kWh。

(9)北京嘉里中心工程,230000 m^2 ,采用MUELLER公司Maxim ICE动态制冰系统,系统采用周蓄冰的运行策略,共采用6台Maxim ICE ORE-100机组,制冷机为螺杆式冷水机组。蓄冰槽形式为土建蓄冰槽,体积为30000(长) $\times$ 11000(宽) $\times$ 17000(深),总融冰量为65320kWh。

(10)厦华科技园,70000 m^2 ,BAC蓄冰槽TSU-761M $\times 10$ 台,TSU-476M $\times 1$ 台,总蓄冰量28430kWh。

(11)唐山市百货大楼,25000 m^2 ,唐山市百货大楼超级市场,7000 m^2 ,改造项目,蓄冰槽为清华RH-ICU600 $\times 6$ 台,蓄冰量9850kWh。

(12)清华智能楼,4000 m^2 ,四台FS-L-60风冷机组及RH-ICU400蓄冰槽组成的蓄冰系统供冷。

(13)北京同仁堂制药厂,水蓄冷系统,空调用冷,采用溢流堰式地下混凝土贮水槽365 m^3 ,蓄冷密度11.6kWh/ m^3 ,蓄冷量达4244kWh。

(14)北京赛马场观赛楼,4200 m^2 ,夏季空调冷负荷930kW,冬季采暖负荷580kW,但每周仅开赛2~3次,每次4~5h。综合楼及其它平房,3000 m^2 ,冬季采暖负荷230kW,夏季不供冷。采用水蓄冷/热调荷,水温自然分层贮槽的有效容