

我国蓄冷技术的发展

天津大学 张永铨[☆]

摘要 简要介绍了我国当前的电力情况和采用蓄冷空调技术的移峰填谷作用。汇集了我国冰蓄冷和水蓄冷空调工程的现状、特点及今后进一步发展需要解决的问题。

关键词 冰蓄冷 水蓄冷 区域供冷 大温差 低温送风

Advancement of the cool storage technology in China

By Zhang Yongquan[★]

Abstract Outlines the present situation of electric power supply and the peak-load shifting effect of cool storage technology in China. Gathers the current status, characteristics and problems on further development of ice thermal storage and chilled water thermal storage air conditioning projects.

Keywords ice thermal storage, chilled water thermal storage, district cooling, large temperature difference, cold air distribution

★ Tianjin University, Tianjin, China

①

我国改革开放以来,国民经济迅速发展,社会生产力、综合国力和人民生活水平都有较大的提高。城市中新建了大量具有集中空调的宾馆、办公大楼和大规模商业中心。随着最近几年气候变暖及人民生活水平提高,居民安装空调增多,使集中空调和居民空调的制冷负荷用电占整个城市用电的比例上升,电力供应高峰时不足而低谷时过剩的矛盾相当突出,电网负荷率下降。2009 年底全国电力装机总容量为 8.74 亿 kW,全国电力供需形势总体基本平衡,节能减排取得明显成效。我国政府部门实行了电力供应峰谷不同电价政策,是引导用户错峰用电、鼓励低谷用电的电价措施。采用电力需求侧管理(DSM)的水蓄冷、冰蓄冷技术来达到移峰填谷、减少变电设备,是缓解电力建设和新增用电矛盾的有效的解决途径之一。各地区也出台了各项有关促进蓄冷空调工程发展的政策,尤其是对与热泵相结合的蓄能系统给予鼓励,推动了蓄冷空调技术的发展和运用。蓄冷技术不仅仅是应对当前电力供应紧张形势的有效手段,即便是在电力供求平衡时期,与热泵相结合的蓄能技术,仍然是电力需求侧管理重要的移峰填谷技术措施。

1 我国冰蓄冷和水蓄冷空调工程分布情况

我国大陆地区从 20 世纪 90 年代初开始建造水蓄冷和冰蓄冷空调工程。截止到 2010 年 3 月,已有建成投入运行和正在施工的工程 794 个,分布在 4 个直辖市和 21 个省市及自治区,全国 4/5 的省市都建造了蓄冷空调系统,见表 1。

蓄冷空调工程较多的依次是北京(110 个)、江苏(107 个)、浙江(97 个,全部是冰蓄冷)、广东(96 个,其中 66 个在深圳市)、上海(59 个)、湖北(52 个)、山东(46 个)、广西(35 个,其中 31 个是水蓄冷)、河北(27 个)、四川(26 个)、安徽(25 个)和江西(21 个)。

我国在开始建造水蓄冷和冰蓄冷空调工程时,就采取引进、吸收、消化国外先进技术,同时发挥我们中国人的聪明智慧,自主开发蓄冰装置。虽然只经历了 20 多年的工程实践,我国蓄冷空调工程项目还不太多,但有不少工程规模较大,蓄冷量亦比较大,采用大温差、低温送风、与热泵相结合的蓄能系统等,空调效果良好,已步

①☆ 张永铨,男,1931 年 6 月生,大学,教授
300072 天津大学环境科学与工程学院
(022) 27407047
E-mail: myqzhang@126.com
收稿日期:2010-04-13

表 1 全国蓄冷空调项目数量统计(按地区分)

	北京	上海	天津	重庆	浙江	江苏	山东	湖南	湖北	河南	河北	广东	江西	广西	四川	福建	安徽	山西	辽宁	陕西	甘肃	内蒙古	宁夏	新疆	海南	总计
冰蓄冷	99	50	13	5	97	101	44	11	33	6	25	79	17	4	25	18	22	4	10	13	1	1	1	1	1	681
水蓄冷	11	9	2	1		6	2	3	19		2	17	4	31	1		3		1				1			113
合计	110	59	15	6	97	107	46	14	52	6	27	96	21	35	26	18	25	4	11	13	1	1	2	1	1	794

入世界先进行列。

我国自主开发的闭式外融冰蓄冷设备和系统,以及 RUNPAQ(源牌)纳米导热复合盘管蓄冰装置和技术,都具有世界先进水平。不过,现在只有 RUNPAQ(源牌)纳米导热复合盘管蓄冰装置和技术还在进一步生产和发展。蓄冷空调工程采用的源牌纳米导热复合盘管现有三种型式:单层型、重叠型和圆盘型,目前已应用于 132 个工程中。

2 水蓄冷空调工程

我国水蓄冷空调工程现有 113 个,采用了十几个我国自主的专利技术,载冷剂工作温差由原来的 5℃ 提高到 10℃ 甚至更大,使蓄冷密度由原来的 5.8 kW/m³ (5 000 kcal/m³) 提高到 11.6 kW/m³ (10 000 kcal/m³) 或更大,由此使蓄冷水槽的容积大大减小,工程造价降低,传热损耗乃至载冷剂输送功耗也随之减小,尤其在建筑物附近有空地可建蓄冷水罐(槽)或已有的消防水池可利用时,更有其推广使用的价值。

徐威从 90 年代初就开始水蓄冷的设计工作,共设计了 17 个水蓄冷工程(有 8 个工程是独立完成设计的,9 个工程是合作完成设计的),每个工程都有不同的设计特点,申请了多项专利技术,多次获得省、市奖励,对我国水蓄冷技术的发展作出了贡献。

目前我国按照合同能源管理模式建设的水蓄冷空调工程已有 59 个。

广西近几年来采用水蓄冷的空调工程较多,有 31 个。其次是湖北,有 19 个,广东有 17 个(其中深圳市有 8 个),北京有 11 个,上海市有 9 个。

上海浦东机场二期候机楼(面积 405 000 m²)的能源中心采用了水蓄冷系统作为冷源方案。总蓄冷量为 375 143 kWh(106 696 rth),共使用 4 个水蓄冷罐,每个水蓄冷罐直径为 26 m,高为 22 m。冷水机组共 10 台,每台制冷量为 7 032 kW(2 000 rt);冷水供/回水温度为 4℃/12℃;冷却水供/回水温度为 32℃/38℃。该工程由于采用大温差供水,系统管道投资减少,采用水蓄冷空调比采用常规电制冷空调的初投资减少 1 000 多万元,每年可

节省空调电费约 900 万元。水蓄冷空调比冰蓄冷空调初投资减少 5 510 万元,每年节省空调电费 300 多万元。

上海虹桥机场扩建工程(候机楼空调)、上海虹桥交通枢纽中心、深圳机场改造工程(区域供冷)及桂林两江国际机场(候机楼空调)均采用水蓄冷。

重庆世纪金源广场,其中高档商业区面积 27 万 m²,采用水蓄冷,利用消防水池将蓄冷容积扩大到 10 000 m³,采用 10 kV 高压离心机组。

北京用友软件园建筑面积 47.3 万 m²,采用地埋管地源热泵加蓄冷(热)系统。一期采用冰球蓄冷,总蓄冷量 7 173 kWh(2 040 rth),二期采用水蓄冷(蓄热),蓄冷水池容积 5 200 m³。

我国水源热泵、地源热泵与水蓄冷、水蓄热相结合的水蓄能系统相继出现,并日益显示出其节能效果。例如:北京茶叶城、北京音像城、北京天福缘茶叶城、北京天安天地国际公寓等都采用水源热泵+水蓄冷+水蓄热的水蓄能系统,取得了很好的节能效果。

3 冰蓄冷空调工程

我国冰蓄冷空调工程有 681 个,不仅有采用美国 BAC,FAFCO,CALMAC,MUELLER,CRYOGEL 和法国 CIAT 的先进蓄冰设备的,也有采用我国北京西冷高新技术有限公司、清华同方人工环境有限公司、浙江杭州华电华源环境工程有限公司和浙江国祥制冷工业股份有限公司等开发的有自己特色的蓄冰设备的。最近中国科学院广州能源研究所下属广州鑫誉蓄能科技有限公司研发了拥有多项专利的动态冰蓄冷技术。近几年来多家国外蓄冰设备公司在我国建立了蓄冰设备生产线,进一步降低了生产成本和减少了运输费用。采用各种蓄冰设备的工程项目的数量统计见表 2。按照蓄冷量计算得到的各种蓄冰设备所占比例见图 1。

4 我国已建成和投入运行的蓄冷空调工程特点

4.1 我国已建成的水蓄冷和冰蓄冷空调工程,由于精心设计、精心施工、精心运行,不仅保证了工程质量,达到了设计要求,在移峰填谷、节省运行费用、减少变电设备等方面均起到了积极的作用。有

表 2 全国冰蓄冷空调项目数量统计(按蓄冰设备分)

	BAC	FAFCO	CIAT	CALMAC	MUELLER	CRYOGEL	GEMINI	EVAPCO	源牌 (冰球)	源牌(纳米导 热复合盘管)	杭州法 凯冰玛	浙江 国祥	清华 同方	北京高灵 (蓄冰筒)	北京 西冷	广州鑫誉 (动态蓄冰)	其他
项目总数	123	54	122	26	5	15	26	31	81	132	4	3	28	12	5	6	8
所占比例/%	18.07	7.93	17.92	3.82	0.73	2.20	3.82	4.55	11.89	19.39	0.59	0.44	4.11	1.76	0.73	0.88	1.17

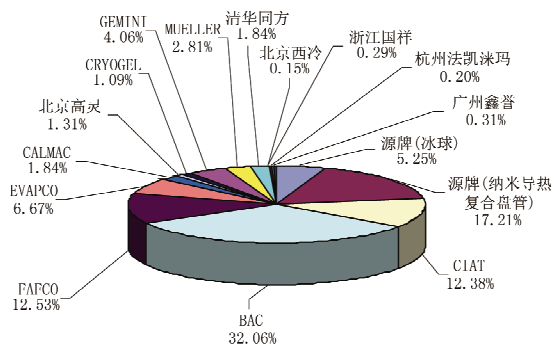


图 1 全国冰蓄冷空调项目蓄冷量统计(按蓄冷量划分)

些电子工厂的空调工程还采用全蓄冰,在用电高峰时段可以不开空调系统的冷水机组,移峰作用更大,更重要的是在白天生产时段不会因空调制冷压缩机开、停时造成电压波动而影响生产。另外,冰蓄冷可提供稳定温度的冷水用于生产工艺低温用冷。

4.2 由于蓄冰储能提供了低温冷源,为低温送风技术的利用创造了有利条件。蓄冰技术与低温送风技术的结合,既可以有效地使峰谷差减小,又可减少能耗与节省初投资,是目前国际 HVAC&R 行业公认的值得推广应用的技术。我国十分注意发展低温送风技术,已经在 25 个以上的冰蓄冷空调工程中采用了大温差和低温送风系统。

4.3 几万甚至几十万 m^2 以上的建筑群和住宅小区,在采用区域供冷系统时,冰蓄冷方案也在某些工程被采用。例如广州大学城共有 10 所大学,建筑面积共 724 万 m^2 ,建成后将有 500 万 m^2 的建筑物纳入区域供冷系统,总蓄冰量达 88.6 万 kWh (25.2 万 rth),采用 BAC 钢盘管,建成后是全球第二大冰蓄冷区域供冷系统,对移峰填谷将起到积极作用。

住宅小区采用冰蓄冷集中供冷(热)系统的有杭州中江都市花园、江苏常州金禧园、上海路易凯旋宫、江苏仪征镜湖花园、上海万里凯旋华庭、湖南电信花园、上海中环凯旋宫等。

广州珠江新城核心区采用集中供冷,为东塔、西塔(广州国际金融中心)、广州图书馆、广州歌剧

院等 20 多个建筑物提供空调冷源,采用 EVAPCO 钢盘管,总蓄冷量 288 593 kWh (82 080 rth),分三期进行建设。第一期工程蓄冷量 101 008 kWh (28 728 rth)。

海南三亚亚龙湾冰蓄冷区域供冷,位于海南省三亚市亚龙湾国家旅游度假区 E08 地块,为亚龙湾地区多个五星级酒店提供冷源,采用 EVAPCO 钢盘管,一期供冷能力 31 222 kW (8 880 rt),蓄冷量 89 785 kWh (25 536 rth),二期工程规划供冷能力 105 480 kW (30 000 rt)。

4.4 热泵及蓄能式集中空调技术方案已有一些工程采用。例如北京九华山庄二期酒店采用冰蓄冷+地埋管地源热泵系统,建筑面积 131 262 m^2 ,设计日峰值负荷为 13 125 kW (3 733 rt),双工况机组与蓄冰装置采用串联方式,双工况主机位于上游,总蓄冰量为 28 304 kWh (8 050 rth)。北京昆仑酒店式公寓采用水源热泵+冰蓄冷系统,建筑面积 29 646 m^2 ,采用 MWH290CA 型三工况水源热泵机组和 MWH290CA 型双工况水源热泵机组。北京茶叶城、北京音像城、北京天安天地国际公寓采用水水热泵+水蓄冷+水蓄热;北京大红门服装市场、北京大宝办公楼采用水水热泵+冰蓄冷;北京丰台社保中心、北京延庆文化中心、无锡江南大学图书馆、沈阳商业城采用水源热泵+冰蓄冷;河北职业政法学院、河北正定中学、武汉塔子湖体育中心采用水源热泵+水蓄冷+水蓄热;湖南第一人民医院新区分院是国内第一个采用空气源热泵+冰蓄冷的项目;合肥大剧院采用水源热泵(湖水)+冰蓄冷;北京新世纪服装商城采用水源热泵(地下水)+冰蓄冷;山东潍坊福田重工科技办公楼采用水源热泵(中水源)+冰蓄冷;天津古文化街商贸区采用水源热泵(改造成三工况,地下水)+冰蓄冷;南昌中航国际广场采用水源热泵(三工况,地下水)+冰蓄冷;中航苏州雷达电子研究院采用地埋管地源热泵(三工况)+冰蓄冷;上海世博中心馆采用水源热泵(江水)+冰蓄冷;上海蓝宫大酒店采用地源热泵+主机冷凝热回收+水蓄冷。

热泵(地源热泵、水源热泵、空气源热泵)及蓄

能(冰蓄冷、水蓄冷、水蓄热)相结合的集中空调技术方案,得到了进一步开拓和发展。

4.5 冰蓄冷空调工程的测试工作开始引起人们重视(如北京国家电力调度中心从 2003 年 8 月开始冰蓄冷空调系统测试工作,到 2004 年 8 月结束),有助于使我们更深入了解和掌握冰蓄冷空调工程的特性,提高冰蓄冷空调工程的设计水平和施工水平。

4.6 针对大温差和低温送风中遇到的一些问题进行了研究,并建立了实验室,某些厂家开始生产和供应大温差和低温送风末端装置。杭州华电华源环境工程有限公司研究了低温送风变风量设备与系统(包括低温风口、VAV BOX、控制系统)。

5 我国蓄冷设备和系统的研究工作

我国高等院校和研究所积极投入蓄冷设备和系统的研究工作,并培养相关的博士生和硕士生。有的学校在本科生中开设冰蓄冷的选修课,如上海理工大学、同济大学、清华大学、华南理工大学、天津大学、上海交通大学、西安交通大学、南京建筑工程学院、东南大学、浙江大学、重庆大学、中国科学技术大学、中国科学院广州能源研究所、广东工业大学、上海海事大学、哈尔滨工业大学和南京大学等。上海海事大学、浙江大学和中国科学院广州能源研究所正在研究新型动态冰蓄冷技术。中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院在研究和开发管内结冰蓄冰装置。同时,已有不少设计院积极主动投入到蓄冷空调工程项目的设计中,通过精心设计,最近几个较大工程和低温送风工程项目的水平得到了提高和完善。

6 蓄冷空调相关出版物

1997 年出版了《空调蓄冷应用技术》、《蓄冷技术及其在空调工程中的应用》、《储冷空调系统原

理、工程设计及应用》、《相变贮能——理论和应用》4 本书。1998 年出版了《空调设计第三辑:冰蓄冷工程实例集》。1999 年翻译出版了《低温送风系统设计指南》。2000 年出版了《蓄冷空调工程实用新技术》、《蓄冷技术和蓄热锅炉在空调中的应用》。2001 年翻译出版了《蓄冷设计指南》,发布了《蓄冷冷却设备》行业标准。2003 年的出版物有国家标准《采暖通风与空气调节设计规范》(增加了蓄冷蓄热的条款)、《蓄冷空调系统的测试与评估方法》、《全国民用建筑工程设计技术措施——暖通空调·动力》(2003 年版)(其中有一节“蓄冷系统的设计”),《民用建筑制冷空调设计资料——办公、公寓式》(有冰蓄冷设计实例)和《民用建筑空调设计》。2004 年出版了《储能材料与技术》、《蓄热技术及其应用》、《中央空调新技术及其应用》、《民用建筑制冷空调设计资料集——蓄冷空调》专集。《全国民用建筑工程设计技术措施——建筑产品选用技术》2005 年版新增了“多种蓄冰装置及蓄冷装置设计选用要点”,2006 年版新增了“蓄冷系统”。2006 年出版了《全国民用建筑工程设计技术措施——建筑产品选用技术》专集的《蓄冷与低温送风技术研讨会》专刊(免费赠阅)、《中央空调实用技术》和《空调工程》。2007 年出版了国家建筑标准设计图集 06K610《冰蓄冷系统设计与施工图集》。2008 年 5 月出版了《实用供热空调设计手册》第 2 版(其中有一章“蓄冷与蓄热”),10 月出版了行业标准 JGJ 158—2008《蓄冷空调工程技术规程》。

参考文献:

- [1] 中国电力企业联合会. 全国电力供需与经济运行形势分析预测报告(2009—2010 年度)[R], 2010
- [2] 张永铨. 我国蓄冷技术的现状及发展[C]//中国制冷学会 2007 学术年会论文集, 2007:785—789

(上接第 81 页)

要求供水温度低的区域供冷项目。

4.4 在设计应用中,一般情况下外融冰方式的结冰层宜偏厚些,内融冰方式宜偏薄些,才利于发挥各自的性能优势。

4.5 内、外融冰系统均遵循一般蓄冷系统的设计方法和步骤,但在系统流程、设备配置、检测方法、控制策略、运行效益等具体应用中具备自身的特点和要求。在设计应用时,应注意根据不同的系统形

式,采取针对性的技术措施,扬长避短,使之发挥最大效益。

参考文献:

- [1] Dorgan C E, Elleson J S. Design guide for cool thermal storage[M]. Atlanta: ASHRAE 1993
- [2] 方贵银. 蓄冷空调工程实用新技术[M]. 北京:人民邮电出版社, 2000
- [3] 中国建筑科学研究院. JGJ 158—2008 蓄冷空调工程技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2008