

电力需求侧管理系列丛书

国家发展和改革委员会
电力需求侧管理培训推荐用书

电蓄冷蓄热技术 及技术经济评估

国家发展改革委经济运行调节局
国家电网公司营销部 编
南方电网公司市场营销部

DSM



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电蓄冷蓄热技术 及技术经济评估

国家发展改革委经济运行调节局
国家电网公司营销部 编
南方电网公司市场营销部

DSM



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《电力需求侧管理系列丛书》是国家发展和改革委员会开展电力需求侧管理培训工作的推荐用书,丛书共13个分册,涵盖电力需求侧管理工作的管理、技术、工具三个层面。本书是其中的《电蓄冷蓄热技术及技术经济评估》分册,具体介绍了电蓄冷蓄热技术及其在国内外应用、电蓄冷空调技术与电蓄热技术、制定推广蓄冷蓄热技术激励政策的必要性和国内外的情况、电蓄冷蓄热技术的评估、电蓄冷蓄热工程评估案例等内容。

本书可供各地政府主管部门、电网企业、能源服务机构、电力用户相关人员阅读、使用。

图书在版编目(CIP)数据

电蓄冷蓄热技术及技术经济评估/国家发展改革委经济运行调节局,国家电网公司营销部,南方电网公司市场营销部编. —北京:中国电力出版社,2013.9

(电力需求侧管理系列丛书)

ISBN 978-7-5123-4727-4

I. ①电… II. ①国… ②国… ③南… III. ①蓄冷技术—经济评价—技术培训—教材 ②蓄热—经济评价—技术培训—教材 IV. ①TB66②TK11

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第163520号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013年9月第一版 2013年9月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 5.25印张 76千字

印数0001—3000册 定价14.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

《电力需求侧管理系列丛书》编委会

主 任 鲁俊岭

副主任 徐阿元 吴建宏 王 勤 胡兆光

编 委 (按姓氏笔画排序)

马丽华	王玉萍	王成强	王 林	王宗义	王海龙
王海波	王 榕	王德亮	王 鑫	韦加雄	卞忠庆
左松林	田永军	史景坚	冯小维	朱 炯	朱 清
乔 昆	任 泽	华普校	刘学军	刘宪明	刘继东
关长祥	江 峰	孙红光	李开明	李永宁	李 郁
李绍祥	李洪宾	李家才	李惊涛	杨仁泽	杨锦辉
何 胜	汪穗峰	张庆云	张兴华	张 军	张志飞
张 波	张南娇	张艳红	张继刚	张 磊	陈少江
陈 军	陈 枫	范继臣	林世良	金必煌	金国生
周新民	郑建平	赵小平	赵青山	胡占廷	钟树海
段学民	姜林福	羿宗胤	夏云飞	夏 鑫	顾国栋
徐 兵	徐 磊	卿三红	郭炳庆	朗 琼	陶时伟
黄永斌	黄志明	黄惠英	梅学民	曹念忠	崔海山
董 新	舒旭辉	路民辉	詹 昕	廉国海	颜庆国
薛建虎	檀跃亭	魏宏俊			

《电力需求侧管理系列丛书》编写组

组 长 陈江华

副 组 长 周 珏 徐杰彦

编写人员（按姓氏笔画排序）

丁 胜	王振宇	王 鹤	尹玉霞	吕晓剑
闫华光	吴亚楠	吴在军	李玉琦	李 军
李铁男	李涛永	李德智	邱泽晶	张小松
陈 磊	苗常海	周伏秋	周 莉	周 晖
单葆国	钮文洁	黄学良	曹 荣	蒋利民
谭显东	Wolfgang Eichhammer			

前 言

为深入开展电力需求侧管理工作，增强全社会科学用电、节约用电、有序用电的意识，提高从业人员电力需求侧管理业务水平，国家发展和改革委员会经济运行调节局会同国家电网公司营销部、南方电网公司市场营销部组织有关单位和专家编写出版了《电力需求侧管理系列丛书》。

本丛书共 13 个分册，涵盖电力需求侧管理工作的管理、技术、工具三个层面。其中，管理层面有《中国节约能源法规与政策解析》《综合资源规划与资源选择》等分册；技术层面有《能效电厂理论与实践》《负荷特性及优化》《重点用电行业节能技术》《能源审计》《通用节能技术》《分布式能源与热电冷联产》《空调与热泵技术》《电机系统节能技术》《电蓄冷蓄热技术及技术经济评估》等分册；工具层面有《节能量和节约电力测量与核证》《欧盟能效指令与白色证书》等分册。

本丛书是国家发展和改革委员会开展电力需求侧管理培训工作的推荐用书，可供各地政府主管部门、电网企业、能源服务机构、电力用户相关人员阅读、使用。

丛书的编写得到了国家发展和改革委员会能源研究所、能源基金会、德国国际合作机构、国际自然资源保护协会、国网能源研究院、中国电力科学研究院、东南大学、北京交通大学等单位、机构和专家的大力支持。

本分册为《电蓄冷蓄热技术及技术经济评估》，由北京交通大学钮文洁编写。

由于编写时间仓促，书中难免存在疏漏之处，恳请各位专家和读者提出宝贵意见。

编 者

2013 年 6 月

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 电蓄冷蓄热技术简介	1
第二节 电蓄冷蓄热技术在国内外的应用	6
第二章 电蓄冷蓄热技术	12
第一节 电蓄冷空调技术	12
第二节 电蓄热技术	22
第三章 推广蓄冷蓄热技术的激励政策	30
第一节 制定激励政策的原因	30
第二节 国外推广电蓄冰蓄热技术的激励政策	33
第三节 我国推广电蓄冰蓄热技术的激励政策	34
第四章 电蓄冷蓄热技术评估	38
第一节 电蓄冷蓄热技术经济评估的目的与作用	38
第二节 电蓄冷蓄热技术经济评估的标准、方法和计量单位	39
第三节 电蓄冷蓄热工程评估的主要指标体系	41
第四节 电蓄冷蓄热工程技术经济评估的准备工作	42
第五节 电蓄冷蓄热工程技术经济评估	43
第五章 电蓄冷蓄热工程评估案例	56
第一节 电蓄冰空调工程——北京某贸易	

中心蓄冰空调项目评估	56
第二节 电蓄热采暖工程——北京市某职业技术学校	
蓄热电采暖项目评估	69
参考文献	76

概 述

第一节 电蓄冷蓄热技术简介

一、电蓄能技术的由来

人类很早就会采用人工蓄冰的方式实现制冷，在冬季把湖面上的冰取出来，放到地下存储起来，夏季把存储的冰搬出来用于建筑制冷和给发烧病人降温。

20 世纪 70 年代起，世界范围的能源危机促使蓄能技术得到了迅速发展，蓄冷技术作为电力调峰的有效手段得到了广泛应用，应用范围从工业冷却到建筑物空调。随着制造技术的发展，逐步发明了电蓄冰制冷和电蓄热采暖供热的设备。人们采用蓄能用电技术，在用电负荷小的夜间低谷时段把水制成冰（或热水）存储起来，高峰用电时段再把冰（或热水）所蕴藏的冷量（或热量）释放出来，达到供冷或供热的目的。

20 世纪 90 年代至今，以提高空调制冷系统的整体能效、降低系统的投资和造价，改善室内空气品质和热舒适性为目标，电蓄能技术进入了大温差、低温送风与冰蓄冷空调相结合的发展阶段。

电蓄能技术主要有冰蓄冷和水蓄冷空调、水蓄热和铁磁砖蓄热供暖，以及蓄热蓄冷式热泵等技术。

二、电蓄冷蓄热技术适用的区域和场所

按照建筑热工设计要求，夏热冬暖地区、夏热冬冷地区和寒冷地区在夏季需要室内降温，适于使用电蓄冷技术；严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区适于使用电蓄热采暖技术；对寒冷地区和夏热冬冷地区而言，适于同时应用电蓄

冷蓄热技术。

JGJ 158—2008《蓄冷空调工程技术规程》和 GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》中规定,具有下列条件之一,经综合技术经济比较合理时,宜采用蓄冷蓄热空气调节系统:

(1) 执行峰谷电价,且差价较大的地区。

(2) 冷负荷高峰与电网高峰时段重合,且在电网低谷时段空调负荷较小的场合。

(3) 在一昼夜或某一周期内,最大冷负荷高出平均负荷较多,并经常处于部分负荷运行的场合。

(4) 电力容量或电力供应受到限制的空调工程。

(5) 要求部分时段备用制冷量的空调工程。

(6) 原有的制冷系统需要扩容,但无电负荷增容条件,或增容费用较高的场合。

(7) 要求采用低温冷水,或要求采用低温送风的空调工程。

电蓄冷蓄热技术适用于峰谷电价比价大于 4:1 的地区,可使电蓄冷蓄热工程的投资回收期缩小在 5 年之内;适用于夜间 23:00 至次日早 7:00 低谷时段不用电的建筑单位,如商场、影剧院、体育场、学校、办公楼、会堂等建筑的取暖或制冷;适用于集中供冷和供暖的商业、服务业、一班制或二班制的工业部门以及居民小区。

三、电蓄冷蓄热技术的应用价值

1. 电蓄冷蓄热技术的移峰填谷作用

电蓄冷蓄热系统比常规系统增加了一套蓄能装置,充分利用电网的低谷电开机蓄冷蓄热,在电网用电高峰时段停止制冷(热)机组的工作,释放存储的蓄冷蓄热量,在实现同样供冷供暖的效果时,缓和电网峰段电力供需矛盾,达到“移峰填谷”的目的。以蓄冰空调为例,与传统空调系统相比,电蓄冷式空调系统具有良好的节约电力特性和经济效益,主要归结如下:

(1) 充分利用夜间低谷时段的廉价电力,可大幅度节省电费开支,且峰谷

电价差越大,其经济效益越显著。

(2) 采用蓄冷式空调系统,制冷机可按空调平均负荷选用,在空调尖峰负荷的时段,制冷机不运行,使用融冰供冷。这样既可以有效地降低制冷机装机容量,使其附属设备和电力设施的容量均相应减小,既减少了设备投资,又能有效地转移空调高峰时段的用电负荷。

(3) 蓄冷式空调系统的制冷设备经常处于连续运行状态,避免了间歇运行中启动、停机时造成的不必要的能量浪费,有助于提高主机的运行效率。

(4) 冰蓄冷系统提供的冷冻水温差大,水流量可相应的减少,水管、水泵、阀门等的管径也均可减小,系统阻力降低,并且降低了空调水系统的投资。

(5) 因冷冻水的工作温差大,使空调供风的温差也相应增大,从而使风道、风机、阀门、风口等型号均可减小,风阻力降低,而且提供的空调舒适性更佳。

(6) 由于水、风系统的有关设备、配管尺寸相对减小,电力设备配线、配管尺寸减小,使建筑物的可用空间相应扩大。

(7) 冰蓄冷式空调系统的蓄冷槽内储有冷量,一旦发生意外停电,可启动小功率应急发电机带动循环水泵和风机,可以保证局部重要区域的空调要求。

2. 推广电力蓄能技术有利于缓解尖峰期电力紧缺的矛盾

随着社会经济的快速发展,人民生活水平的不断提高,社会空调拥有量和电采暖设备拥有量大幅增长,年均增长达到 10% 以上(2009 年已有 16 省市百户居民空调拥有率达 100 台以上)。制冷和采暖用电量越来越大,尤其是大型公共建筑和居民住宅的空调用电比重高于 50%。随着服务业和居民用电的比重逐年上升,导致城市用电空调负荷已经达到最大用电负荷的 40% 左右。

由于空调的使用受气候影响比较大,如果出现持续高温天气,空调负荷将加剧尖峰期(年最大负荷的 90% 以上部分)电力供需形势的紧张程度。以 2003 年夏季为例,根据原国家电监会等单位对尖峰期电力供需形势的分析,我国中南部地区相继出现了历史上罕见的持续高温干旱天气,使得电网最高用电负荷飙升。浙江、福建、江西、广东、广西等电网的最高用电负荷增长速度分别达到或接近 30%。在华东、华中、南方等电网的夏季用电负荷结构中空调负荷已

经超过 30%，个别电网空调用电负荷比重已经接近 40%。高温干旱导致很多省市的尖峰负荷增长较快，出现了严重缺电的局面。2003 年夏季用电高峰期，我国有 18 个省级电网出现了不同程度的拉闸或限电。2013 年夏季全国大面积持续高温的现象重现，多省市最高气温接近或达到 40℃，空调负荷接近最大负荷的 40%，北京市已达到 45%。气候、温度和空调用电负荷成为影响夏季用电高峰期电力供应紧张的重要因素。全国大多城市高峰电力供应不足而低谷过剩的矛盾日益突出，调峰的压力日趋严峻。

推广电蓄冷蓄热技术，可以有效地转移夏季空调和冬季电采暖的负荷，抑制其在高峰负荷上的叠加，有效地缓解电网高峰期供应紧缺的矛盾。

3. 推广电蓄冷蓄热技术有利于改善电网的负荷特性

由于空调负荷具有的集中性使用特征，商业和居民日用空调时间一般小于 12h，年均工作时间只有数百小时，使得尖峰期负荷持续时间较短，且受气候影响负荷波动很大。例如：夏季冷空气来临，空调停运，导致北京电力负荷迅速下降数百万千瓦，对电网的安全运行造成极大的威胁。间断性的空调用电造成电网负荷率下降，峰谷差不断增大（部分大城市日峰谷差已达到 50%）。

电蓄冷蓄热技术削减和转移尖峰负荷效果明显，就部分蓄能供冷供热方式而言，可以削减 1/3 的空调和采暖高峰用电负荷，提高负荷率，改善电网的负荷特性。推广电蓄冷蓄热技术，可以达到移峰填谷、均衡负荷的效果，增加了系统的高峰备用容量，有利于电网的安全经济运行。

4. 推广电蓄冷蓄热技术有利于节约社会资源

以北京为例，2011 年 90% 以上尖峰负荷约达 150 万 kW，年出现时间 12 天约 100h。为满足尖峰负荷用电需求而建设的发电机组，电力企业投资按每千瓦 7000 元计算，150 万 kW 大约需要投资 105 亿元，若每年仅用 100h，不仅严重影响电力系统的经济运行，提高了尖峰电价成本，还造成社会资源的极大浪费。

如果应用电蓄冷技术转移这 100h 的尖峰负荷，那么转移单位千瓦空调用电负荷，用户投资约为 3500 元；应用电蓄热技术转移单位千瓦采暖负荷，用户投资约为 2000 元。对比电力企业新建发电机组的投资，提高单位千瓦供电能力可节约社会投资 3500~5000 元/kW。由用电单位代替电力企业投资，不仅解决了电网尖

峰供应不足的问题,而且使电力公司不必为了高峰用电增大装机容量,避免设备在低谷时段闲置备用,从而降低用户和电力企业的供用电成本,有效地节约了社会资源,达到合理使用优质能源的目的。因此应大力支持和提倡用电单位采用电蓄能技术,对于经济效益好、有推广意义的项目,由政府和电力行业给予用户适当的奖励,有利于环境保护和建立节约型社会,促进经济和社会可持续发展。

目前国内应用较为成功的有水蓄冷蓄热相结合、冰蓄冷与土壤源热泵相结合、冰蓄冷与空气源热泵相结合、大型公共建筑集中蓄冰供冷、建筑群区域蓄冰供冷等综合蓄能用电技术。

四、电蓄能技术的发展前景

电蓄能技术的发展前景十分广阔,目前看来大致有以下几个方面。

1. 建立区域性电蓄能供冷供热站

区域性供冷或供热系统对节能较为有利:①大型制冷(热)机组的能效都远远高于中小型的机组;②可以节约大量分散的建筑机房占地和设备的初期投资;③减少值班人员的运行费用;④提高制冷(热)系统的控制调节水平,减少了电力消耗及环境污染。建立区域性蓄冷空调供冷站已成为各国建设热点。这种供冷站可根据区域空调负荷的大小和分类实现自动控制。用户取用低温冷水制冷或取用热水采暖就像取用自来水、煤气一样方便。

2. 推广冰蓄冷低温送风空调系统

蓄冷与低温送风系统相结合是蓄冷技术在建筑物空调中应用的一种趋势,是暖通空调工程中继变风量系统之后最重大的变革。这种系统能够充分利用冰蓄冷系统所产生的低温冷水,一定程度上弥补了因设置蓄冷系统而增加的初投资,进而提高了蓄冷空调系统的整体竞争力,在建筑空调系统建设和工程改造中具有优越的应用前景。

3. 开发紧凑式新型的中小型冰蓄冷空调

对于分散的、暂时还不具备建造集中式供冷站条件的中小型建筑物,为大量在用的柜式和分体式空调机增加紧凑式冰蓄冷单元是可行且有效的,小型冰蓄冷空调机组投资回收期一般是3年左右。

4. 研制新型相变蓄热材料

相变蓄热, 是利用相变材料 (Phase Change Materials, PCM) 在相变过程中进行热能的储存与释放 (如冰吸收热量变成水、水释放热量变成冰)。这一技术具有蓄热密度高、温度波动小、过程易控制等特点。通常应用物质相变蓄热的主要形式是固态—液态和固态—固态。固态—液态的相变是实际应用较多的相变蓄热方式。低温类固—液相变蓄热材料研究较多的为石蜡、脂肪酸类、盐溶液以及水合盐, 其熔点范围为 $-33\sim 110^{\circ}\text{C}$ 。相变蓄热技术能够有效缓解能量供求双方的矛盾, 是节能最有效的方式之一。近年来, 固—固相变的研究和应用得到迅速发展。其主要优点是体积变化小, 相变过程中不出现液态, 可以减少对容器的要求, 这些优点使得固—固相变在相变蓄热领域得到越来越多的应用。

5. 采用温度湿度分开独立控制系统

温湿度独立控制的空调方式是我国学者率先倡导、近年来在国内外逐渐发展起来的一种新的集中空调方式。不同于传统的集中空调形式, 温湿度独立控制空调采用两个相互独立的系统分别对室内的温度和湿度进行调控, 这样既可以使被控环境的温湿度同时满足要求, 又可以完全避免再热, 产生较大的节能效果。

第二节 电蓄冷蓄热技术在国内外的应用

一、电蓄冷蓄热技术在国外的应用

采用人工制冷的蓄冷空调出现在 1930 年前后。到 1950~1960 年间, 空调水蓄冷有了较大的发展。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、冷损耗大, 且最大的难题是如何最好地做到蓄存冷水与回水之间的分隔。为此日本、美国等国家在这方面作了大量的工作。在 1977 年前后, 美国、加拿大和欧洲一些工业发达国家开始试验性地将冰蓄冷技术引入建筑物的空调系统, 并积极开发其他形式的冰蓄冷设备和系统, 实施的工程项目也逐年增加。冰蓄冷技术经历了一段发展期的各种考验, 经过不断改进后蓬勃发展起来。

1. 美国

1983 年美国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 46450m^2 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。

截至 1994 年底,美国有 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、工厂及集会中心等。按设置件数来分,其中水蓄冷占 10%,共晶盐占 3.3%,冰蓄冷占 86.7%。

美国芝加哥市建立了两个小区冷冻生产中心,其中一个蓄冰量将近 $439625\text{kW}\cdot\text{h}$ ($125000\text{RT}\cdot\text{h}$, $1\text{RT}\cdot\text{h}=3.517\text{kW}\cdot\text{h}$),于 1996 年 7 月成功投入运行,是世界上最大的区域供冷系统(见图 1-1)。

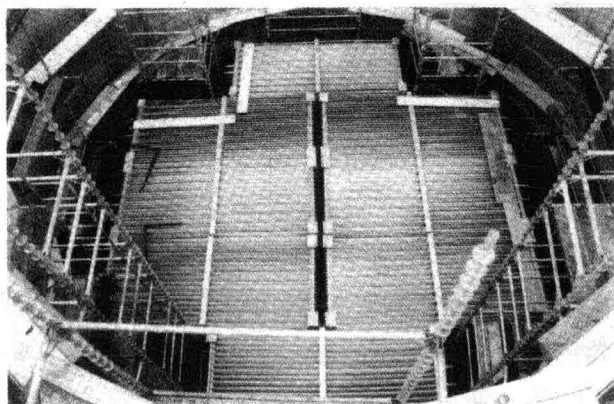


图 1-1 美国芝加哥区域供冷站蓄冰装置

美国不仅冰蓄冷工程数量占大多数,而在蓄冰设备方面也有发展,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扩展,MaximICE 动态蓄冰系统在空调系统中得以应用。在蓄冰系统中采用智能控制亦有较大发展。

美国 BAC 公司在全球已有 2200 个成功运行的冰蓄冷案例,已为这些工程提供 $90\sim 125000\text{RT}\cdot\text{h}$ 蓄冰设备。美国 Mueuer 公司的动态制冰设备涉及美国、日本、韩国、中国等国家的 100 多个工程。最大的采用片冰机的工程是美国通

用牛奶公司, 蓄冰量 $90000\text{RT} \cdot \text{h}$, 于 1996 年竣工。

2. 日本

日本是一个自然资源相当匮乏的国家, 几乎所有能源都依靠进口, 但它又是一个经济发达、人口密度高、能源消耗量大的国家, 因此, 它对节能和能源的有效利用都十分重视。

据报道, 1938 年在东京东日会馆就设有夜间蓄热的蓄热槽。1956 年, 东京海上火灾保险公司在日本建立了水蓄冷槽空调系统。1966 年, 日本 NHK 广播中心建成 9000m^3 的水蓄冷槽空调系统。

日本在 1990 年以前主要发展水蓄冷和水蓄热, 1990 年以后重点在大城市发展冰蓄冷空调系统。据报道, 在当时运行的蓄冷空调中, 水蓄冷的有 1246 个, 冰蓄冷的有 228 个。

1998 年日本九家电力公司与大金工业等四家空调公司共同开发 $3.7 \sim 7.4\text{kW}$ 小型冰蓄热式空调机, 合作开发出整体式冰蓄热式空调机组 (包括双工况主机、蓄冰槽、水泵、自动控制柜等) 和整体式冰蓄冷式空调机组等诸多品种, 使冰蓄冷空调在日本得到更广泛的推广和应用, 对移峰填谷和电力负荷平均化起到了积极的作用。

1993~2004 年, 日本的冰蓄冷空调应用数量快速增长 (见表 1-1), 小型分散户数达到 11453 户, 7.4kW 以上的冰蓄冷空调应用数量达到 41995 户, 共实现转移峰荷 153 万 kW (见图 1-2)。

表 1-1 1993~2004 年日本冰蓄冷空调的应用户数统计

年 份	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
7.4kW 以下	—	—	—	—	—	254	1935	4045	5916	8078	9665	11453
7.4kW 以上	386	508	925	2425	5492	10114	16105	23801	29869	35304	38857	41995
合 计	386	508	925	2425	5492	10368	18040	27846	35785	43382	48522	53448

二、我国电蓄冷蓄热技术的应用

我国内地从 20 世纪 90 年代初蓄冷空调开始起步, 第一个项目于 1993 年 5