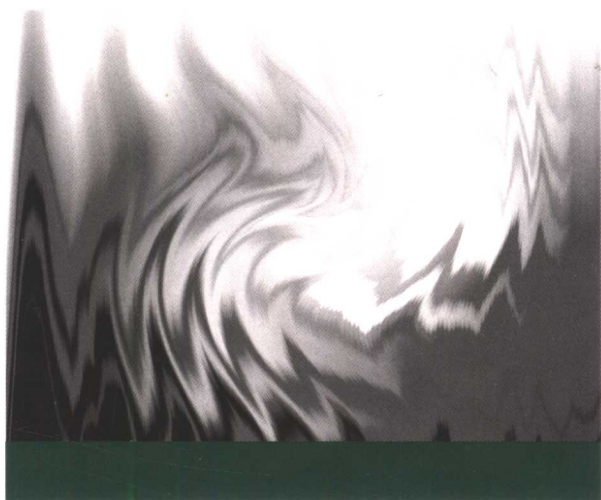


崔海亭 杨 锋 编著

蓄热技术及其应用



Chemical Industry Press



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

蓄热技术及其应用

崔海亭 杨 锋 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

蓄热技术及其应用/崔海亭, 杨锋编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 7

ISBN 7-5025-5834-9

I. 蓄… II. ①崔… ②杨… III. 蓄热-普及读物
IV. TK11-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 074123 号

蓄热技术及其应用

崔海亭 杨 锋 编著

责任编辑: 辛 田

责任校对: 陶燕华

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行

工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

http: //www. cip. com. cn

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 11½ 字数 306 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5834-9/TK·3

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

蓄热技术在日常生活中的应用可以追溯到远古时代。20 世纪 30 年代以来,特别是受 20 世纪 70 年代能源危机的影响,蓄热的基础理论和应用技术研究在发达国家迅速崛起并得到不断发展,太阳能、材料科学、航天技术、工程热物理、建筑物空调采暖通风及工业废热利用领域的相互渗透及迅猛发展为蓄热研究和应用创造了条件。

蓄热技术是用于解决热能供求之间在时间和空间上不匹配的矛盾,因而是提高能源利用率的一种能源新技术,其特点是可以将暂时不用或多余的热能通过一定的介质储存起来,在需要时再利用。热能储存技术可以广泛应用于具有间断性的能源系统,如太阳能利用系统、风电系统以及工业余热系统。我国蓄热的理论和应用研究比起发达国家还有相当大的差距。

本书一部分取自近期国内外研究者的著作或公开发表的文献,经本书作者综合整理编写而成,另一部分是作者总结本人和北京航空航天大学人机环境系统工程研究所近年来的一些研究成果,注重工程上的应用。

本书系统地介绍了该领域的基础理论和国内外近年来的主要研究成果和最新进展,内容包括:蓄热技术概述、蓄热式热交换器、蒸汽蓄热器的原理及应用、蓄热型热泵、太阳能利用中的蓄热技术、蓄热技术在航天、轻工、建筑、空调中的应用、蓄热式燃烧技术的开发和应用以及蓄热式电锅炉在供暖中的应用等内容。

本书可作为化工、热能动力、轻工、暖通、空调和热工等部门的工程技术人员及设计人员参考,亦可作为大学本科、研究生的学习参考资料。

全书编写分工如下:崔海亭编写第 1 章至第 4 章、第 6 章、第 9 章、第 8 章部分内容、第 11 章和第 12 章;杨锋编写第 5 章、第

7 章、第 8 章其余部分和第 10 章。全书由崔海亭统稿。

清华大学张寅平教授对初稿提出了宝贵的建设性意见。本书在撰写过程中，得到了北京航空航天大学袁修干教授和许多同事、同行的支持与鼓励，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，不足之处在所难免，恳切希望读者批评、指正。

编者

2004 年 4 月

内 容 提 要

本书系统介绍了蓄热领域的基础理论和国内外近年来的主要研究成果和最新进展，详细介绍了蓄热技术概述，蓄热式热交换器，蒸汽蓄热器的原理及应用，蓄热型热泵，太阳能利用中的蓄热技术，蓄热技术在航天、轻工、建筑、空调中的应用，蓄热式电锅炉在供暖中的应用等内容。

本书可供化工、热能动力、轻工、暖通、空调等部门的工程技术人员及设计人员参考，也可作为大学本科、研究生的学习参考资料。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 能源利用的现状 & 面临的问题	1
1.1.1 能源概况	1
1.1.2 能源的种类	3
1.1.3 中国能源现状	4
1.1.4 热能的开发与利用	7
1.2 蓄热技术的发展过程 & 应用	8
1.2.1 蓄热技术的发展过程	8
1.2.2 蓄热技术的典型应用	13
参考文献	19
第 2 章 蓄热技术概述	22
2.1 常见的蓄热方式	22
2.1.1 显热蓄热	22
2.1.2 潜热蓄热	26
2.1.3 热化学方法蓄热	32
2.1.4 长期储热	37
2.2 蓄热材料的性能要求 & 分类	39
2.2.1 蓄热材料的性能要求	39
2.2.2 蓄热材料的分类	40
2.3 典型的蓄热材料 & 应用	45
2.3.1 典型固-液蓄热材料	45
2.3.2 典型固-固蓄热材料	51

2.3.3 典型化学反应热蓄热材料·····	57
2.4 蓄热技术的新发展·····	60
参考文献·····	68

第3章 蓄热式热交换器····· 74

3.1 回转型蓄热式热交换器·····	75
3.1.1 回转型热交换器的结构和工作原理·····	75
3.1.2 回转型蓄热式热交换器的材料及形状·····	76
3.1.3 回转型蓄热式热交换器的传热计算·····	77
3.2 换向型蓄热式热交换器·····	80
3.2.1 换向型蓄热式热交换器的结构和工作原理·····	80
3.2.2 砖格子蓄热体·····	81
3.2.3 球、杆或网状物蓄热体·····	83
参考文献·····	84

第4章 蒸汽蓄热器的原理及应用····· 85

4.1 蒸汽蓄热器的应用场合·····	85
4.2 蒸汽蓄热器的工作原理及结构·····	87
4.2.1 蒸汽蓄热器的工作原理·····	87
4.2.2 蒸汽蓄热器的分类·····	87
4.2.3 蒸汽蓄热器的结构·····	88
4.2.4 蒸汽蓄热器的选用及运行·····	88
4.3 蒸汽蓄热器的热工特性·····	90
4.4 蒸汽蓄热器的设计计算·····	93
4.4.1 蓄热量的计算原则和方法·····	93
4.4.2 蒸汽蓄热器的容积计算·····	96
4.4.3 计算实例·····	97
4.5 蓄热器应用举例与经济效益分析·····	99
4.5.1 蓄热器在卷烟生产企业中的运用·····	99
4.5.2 蓄热器在酿酒等行业中的节能效益·····	101

4.5.3 蓄热器在余热锅炉上的应用	102
4.5.4 蒸汽蓄热器在轻化工中的应用	103
4.5.5 蒸汽蓄热器的经济效益分析	104
参考文献	109
第5章 蓄热型热泵	111
5.1 热泵的原理及分类	111
5.2 热泵蓄能系统	114
5.3 蓄热型热泵的工作原理及介质的选择	116
5.3.1 蓄热型热泵的工作原理	116
5.3.2 蓄热型热泵介质的选择	118
5.4 蓄热型热泵循环计算	119
5.4.1 蓄热型热泵循环的计算模型的建立	119
5.4.2 蓄热型热泵循环的理论计算举例	121
5.5 冰蓄冷的应用	122
5.5.1 水蓄冷和冰蓄冷的比较	123
5.5.2 冰蓄冷方法的分类	125
5.5.3 冰蓄热系统与空气热源热泵的组合	126
5.6 蓄热型热泵的应用前景	127
参考文献	128
第6章 太阳能利用中的蓄热技术	129
6.1 太阳能蓄热技术概述	129
6.2 太阳能蓄热技术的分类	131
6.2.1 按蓄热温度的高低分类	131
6.2.2 按蓄热方式分类	132
6.3 太阳能蓄热一般需要考虑的问题	134
6.4 显热热储存	137
6.4.1 水	139
6.4.2 砾石	142

6.5 潜热热储存	148
6.5.1 相变材料的使用	149
6.5.2 过冷和腐蚀的问题	154
6.5.3 潜热式蓄热应用介绍	155
6.6 太阳能化学储能技术	157
6.6.1 几种用于储热的化学反应及研究现况	158
6.6.2 化学反应储热的前景及存在的问题	162
6.7 地下热储存	163
6.8 太阳池储热	167
6.9 太阳能长期蓄热	169
6.10 工程实例	170
6.10.1 水下浮袋式储热方案	170
6.10.2 地下长期蓄热太阳能蔬菜温室的应用	171
6.10.3 太阳能热利用与 PCM 蓄热热泵	173
参考文献	178

第7章 蓄热技术在纺织工业中的应用

7.1 相变材料对人体的作用功能	179
7.2 相变材料在服装上的应用	181
7.2.1 相变材料的调温机理	181
7.2.2 相变材料在服装上的应用	182
7.3 微胶囊技术在蓄热调温纺织品中的应用	183
7.3.1 应用类型	186
7.3.2 具体应用举例	188
7.4 微胶囊相变材料今后的研究方向	191
参考文献	192

第8章 蓄热技术在建筑工业中的应用

8.1 储能建筑材料	194
8.1.1 相变储能石膏板	196

8.1.2	相变储能混凝土	196
8.1.3	其他相变储能建筑材料	196
8.2	相变和化学反应储能在建筑领域的应用	197
8.2.1	化学反应储热在供暖和空调领域中的应用	197
8.2.2	相变建筑围护对热舒适和空调能耗的影响	199
8.2.3	特朗勃墙结合夜间电加热的蓄热系统	200
8.2.4	相变储热与供暖空调相结合的系统	200
8.2.5	相变蓄热式地板采暖	202
8.2.6	吸收太阳辐射热的相变蓄热式地板	206
8.2.7	夜间通风蓄冷的相变吊顶系统	207
8.2.8	相变蓄热墙	208
8.2.9	相变蓄热电取暖器	209
8.2.10	降低室内地板和天花板之间的温度梯度	213
8.2.11	减少由窗户产生的热损失	214
8.2.12	增加轻质墙的热容量	214
8.2.13	楼板储热系统的模糊预测控制	214
8.3	蓄热法在冬期冶金工程施工中的应用	215
8.3.1	蓄热法施工	216
8.3.2	综合蓄热法的加热和外加剂的选用	216
8.3.3	综合蓄热法的养护	217
8.3.4	施工实例	219
8.4	蓄热建筑材料的发展展望	221
	参考文献	222

第9章 蓄热式燃烧技术的开发和应用

9.1	蓄热燃烧技术的发展过程	225
9.2	蓄热式燃烧技术原理	229
9.3	蓄热式燃烧技术应用的关键问题	232
9.3.1	蓄热体	232
9.3.2	蓄热烧嘴	234

9.3.3 换向阀及换向时间	236
9.3.4 炉体材料	237
9.3.5 抑制 NO_x 生成与排放技术	238
9.4 蓄热式燃烧技术的应用	240
9.4.1 应用举例	240
9.4.2 蓄热式燃烧技术的应用特点	245
9.5 高效蓄热燃烧技术的发展前景	247
9.5.1 蓄热式燃烧技术的应用前景	248
9.5.2 我国发展 HTAC 技术的前景	249
9.5.3 蓄热式燃烧技术的新进展	252
参考文献	256

第 10 章 蓄热式电锅炉在供暖中的应用 259

10.1 蓄热式电锅炉在我国发展的背景和条件	259
10.2 蓄热式电锅炉常用的蓄热方式	261
10.3 蓄热电锅炉的构成和原理	261
10.4 电蓄热供热系统中设备容量的选择与匹配	264
10.4.1 电锅炉房的布置	265
10.4.2 蓄热水槽的设计和计算	265
10.4.3 锅炉容量的计算	266
10.5 电蓄热供热和其他清洁能源供热的经济分析	267
10.6 电锅炉蓄热技术的应用	268
10.6.1 蓄热电锅炉采暖选型要求	268
10.6.2 在高寒地区的应用	268
10.6.3 在医院的应用	269
10.6.4 在高校学生公寓的应用	269
10.6.5 办公室的应用	270
10.7 固体材料蓄热式电锅炉的研究	270
10.7.1 固体材料蓄热时电锅炉的原理	271
10.7.2 固体材料蓄热式电锅炉运行费用与其他电锅炉	

初投资比较·····	273
10.8 蓄热式电锅炉的发展方向·····	273
参考文献·····	274
第 11 章 蓄热技术在航天领域的应用 ·····	275
11.1 空间太阳能热动力发电系统·····	275
11.1.1 太阳能热动力发电系统的热机循环方案·····	276
11.1.2 太阳能热动力发电系统技术·····	279
11.1.3 太阳能热动力发电系统部件·····	282
11.2 高温相变蓄热材料和容器材料的选择·····	286
11.2.1 高温熔盐相变蓄热材料的选取·····	287
11.2.2 蓄热容器材料的选取·····	289
11.3 蓄热容器的制造和实验研究·····	291
11.3.1 PCM 容器的设计、制造与封装 ·····	291
11.3.2 PCM 熔化-凝固特性试验 ·····	294
11.3.3 PCM 容器热循环及相容性初步试验 ·····	297
11.4 新概念吸热器·····	299
11.4.1 空间 CBC 新概念吸热器 ·····	301
11.4.2 空间 SC 新概念吸热器 ·····	305
11.5 吸热/蓄热器实验研究 ·····	309
11.5.1 NASA 2kW 空间太阳能热动力发电系统地面 样机·····	310
11.5.2 国内太阳能吸热器蓄热性能地面模拟试验·····	312
参考文献·····	319
第 12 章 蓄热及冰蓄冷技术在空调领域中的应用 ·····	323
12.1 蓄热空调装置系统·····	324
12.1.1 蓄热空调装置的工作原理·····	324
12.1.2 蓄热装置系统图及主要设备结构·····	326
12.1.3 应用情况介绍·····	328

12.1.4	蓄热空调系统中的相变材料.....	328
12.1.5	蓄热式电热锅炉在中央空调中的应用.....	331
12.2	冰蓄冷空调系统.....	336
12.2.1	冰蓄冷空调系统简介.....	336
12.2.2	冰蓄冷系统的分类及其基本特性.....	337
12.2.3	冰蓄冷空调系统.....	343
12.2.4	冰蓄冷空调系统设计和安装工程中应注意的几个 问题.....	346
参考文献.....		350

第 1 章 绪 论

1.1 能源利用的现状及面临的问题

1.1.1 能源概况

能源是指能够直接或间接提供能量的物质资源。能源是人类社会生存的基础，能源的开发和利用是人类社会发展的动力，而能源开发和利用水平又是人类社会文明的重要标志之一。回顾人类的历史，可以看出，能源和人类社会的发展密切相关。从原始的人力、畜力、水力、柴薪燃料的使用到今天化石燃料（煤、石油、天然气）的大量开采以及核能和各种新能源的开发，能源的利用极大地促进了人类社会的发展。

从地球诞生之日，人类起源之始，能源就开始为万物的生长、生命的繁衍，提供了必需的保证。太阳、月亮、森林、海洋、河流、湖泊、风雨雷电以它们无穷的能量，创造了一个适宜于人类生存的环境。从我们的人类始祖学会利用大自然之火和钻木取火之后，即结束了原始的茹毛饮血生活，人类历史便开始了根本性的转折。我们的祖先学会了利用植物燃烧后发出的能量烧制陶器、冶炼金属、制造砖瓦之后，人类又告别了依树建巢和穴居生活，使人类步入了新的文明时代。从火药的发明、蒸汽机的诞生，到爱迪生发明了电灯，人类的历史又产生了新的飞跃，从此使人类进入了现代文明。核能的出现，激光的发展，各种新能源的利用，又势必将人类的发展历史推向新的更高的阶段。因此，人类的历史，也是逐步认识和利用能源的历史，是能源的发展推动了整个人类社会的发展^[1]。

人类社会的历史在发展中经历了三个能源阶段，即柴草时期、煤炭时期和石油时期。从以柴草为主的能源时期，到 18 世纪以前的数千年中，生产力的发展很低。到了 18 世纪，煤的开采，蒸汽机的应用，开辟了资本主义的第一次产业革命。19 世纪 70 年代电能的利用，实现了资本主义的工业化，人类才有了现代的物质文明。到了 20 世纪 50 年代，以石油为主的能源来临了，不少国家依靠石油实现了现代化。原子能及新能源的利用则使人类社会进入了高科技时代。而能源则成为工业的“粮食”，国民经济发展的基础。纵观当今世界，经济最发达、工业化程度最高的国家无一不是消耗能源最多的国家。美国、英国、德国、法国、日本、意大利、俄罗斯的总人口只占世界人口的五分之一，而他们的能源消耗却占世界能源消耗的三分之二。特别是美国，它是世界上最大的能源消费国。美国的人口仅占世界人口的 5%，而他们对能源和其他物质的消费量却占了世界的四分之一^[1]。世界各国的经济发展实践证明，正常情况下，每个国家能源消费总量及增长速度与其国民经济总产值及增长速度成正比，而能源的人均消耗量的多少则反映国民生活水平的高低。因此，能源问题是全世界关注的重大问题。从 20 世纪 70 年代起，能源问题就被列入世界 5 大问题（能源、人口、粮食、环境、资源）之一。由于能源问题引发的世界性矛盾和冲突此起彼伏。人类的文明与进步，都离不开能源的开发和应用，社会发展越快，能源的消耗强度也就越大，但是能为人类所用的化石能源是有限的，是难以再生的。近 200 多年来，人类对地球历经数亿年才积累起来的生物化石能源的大规模甚至疯狂式地开采和消耗，已导致有限的化石能源趋于枯竭。据报道^[2]，全球已探明的煤炭储量只能再供开采 200 年，石油约能供开采 34 年，天然气约能供开采 60 年。严重的危机向人类提出了严厉的警告，因此，人们今后不得不尽可能地节省化石能源，并将由以化石能源为主体的能源系统转为以可再生能源为基础的可持续发展的新能源体系。世界人口的飞速增长，导致了地球人类生存空间越来越小。资源枯竭、环境恶化，是悬在人类头顶的双刃剑。为了维持经济发展和人们日常生活

的需要,大量的使用石油、煤炭、柴草,不仅造成地下矿产资源和森林的日益枯竭,而且给人类的生存环境造成了巨大破坏。土地沙化、洪水泛滥、风灾施威、冰山消融、臭氧层变薄,所有这一切灾害无一不严重影响着人类的生存,而这所有灾害,又无一不是因为人类大量消耗能源所造成。

1.1.2 能源的种类

地球上存在各种形式的能源,通常人们按照以下几种方式对能源进行分类^[3]。

(1) 根据初始来源不同,能源可分为:

① 地球本身蕴藏的能源,如核能、地热能等;

② 来自地球以外天体的能源,如太阳能以及由太阳能转化而来的风能、水能、海洋波浪能、生物质能以及化石燃料(如煤、石油、天然气等);

③ 地球与其他天体相互作用产生的能源,如潮汐能。

(2) 按照开发的步骤,能源可分为:

① 一次能源,即在自然界以自然形态存在可以直接开发利用的能源,如煤、石油、天然气、风能、水能、太阳能、地热能、海洋能等;

② 二次能源,即由一次能源直接或间接转化而来的能源,如电力、煤气、汽油、沼气、氢气、甲醇、酒精等。

(3) 按照开发利用的情况及其在社会经济生活中的地位,能源可分为:

① 常规能源,指开发时间较长、技术比较成熟、被广泛利用的能源,如煤炭、石油、天然气、水能等;

② 新能源,指开发时间较短、技术尚不成熟,因而尚未被大规模开发利用的能源,如太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能以及核能等。

(4) 按照开发利用过程中对环境的污染情况,能源又可分为:

① 清洁能源,即对环境无污染或污染很小的能源,如太阳能、风能、水能、海洋能等;