

刘臣臻 饶中浩 著

相变储能材料

热性能

Xiangbian Chuneng Cailiao Yu Rexingneng

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

相变储能材料与热性能

刘臣臻 饶中浩 著



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

《相变储能材料与热性能》是作者在相变储能方面研究成果研究经验的总结,本书首先对相变储能材料的种类和储能原理进行了介绍;其次分别对复合相变储能材料和相变微胶囊材料的制备工艺和热物性进行了描述;最后对相变微胶囊潜热性功能热流体的制备、热物性、传热与流动特性进行了介绍。

本书可作为能源与动力工程、能源化学工程、新能源科学与工程、材料科学与工程等相关专业本科生的实验参考书,也可供电力、建筑、化工等领域从事相变储能技术相关的研究人员和工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

相变储能材料与热性能 / 刘臣臻, 饶中浩著. —徐

州: 中国矿业大学出版社, 2019.5

ISBN 978-7-5646-4439-0

I. ①相… II. ①刘… ②饶… III. ①储能—相变—
功能材料 IV. ①TB34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 090655 号

书 名 相变储能材料与热性能

著 者 刘臣臻 饶中浩

责任编辑 仓小金

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83884103 83885105

出版服务 (0516)83995789 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 9.25 字数 176 千字

版次印次 2019 年5月第 1 版 2019 年5月第 1 次印刷

定 价 35.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

随着传统能源的日益消耗,能源短缺和环境污染问题日益突出。相变储能技术主要依靠相变储能材料的相变潜热进行热能的储存,具有储热密度高、储热过程温度近似恒定等优点,在工业余热回收、建筑热调控、太阳能热利用以及热管理等领域具有广泛的应用前景。相变储能材料的物性参数决定了其应用场合。但单一相变储能材料或多或少存在导热系数低、过冷度大、热稳定性差、相分离严重和泄漏等问题。因此,在实际应用过程中一般将相变储能材料与其他功能强化材料进行复合,以改善相变储能材料在储热过程所存在的缺点。

为解决相变储能材料导热系数低、过冷度大、热稳定性差、相分离严重和泄漏等问题,一般需要将相变储能材料与高导热材料、多孔介质、成核剂和黏稠剂等进行复合,或者采用相变储能材料胶囊化的形式。但是在相变储能材料复合和胶囊化时,制备工艺条件对相变储能材料的热物性具有很大的影响。结合研究团队在相变储能方面的研究成果和经验,编写了《相变储能材料与热性能》一书,书中对几种复合相变储能材料的制备方法以及复合相变储能材料的热性能进行了介绍。

本书内容共分为8章。第1章为绪论,对相变储能材料的种类、储能原理和应用前景进行了介绍。第2章和第3章为有机类复合相变储能材料的制备过程及其热物性介绍。第4章总结了无机类复合相变储能材料的制备过程及其热物性。第5章对相变微胶囊复合相变储能材料的制备方法及其热物性进行了描述。第6章和第7章对无机类相变储能材料胶囊的制备工艺和热物性进行了总结。第8章对相变储能材料胶囊潜热型功能热流体的制备、热物性、传热与流动特性进行了介绍。

本书可作为能源与动力工程、能源化学工程、新能源科学与工程等相关专业本科生的实验教材或参考书,也可供电力、建筑、化工等领域从事相变储能技术相关的研究人员和工程技术人员阅读和参考。

本书在编写过程中,研究生吕培召、张轩、陈之琳、赵博和张青文等在文献整理、插图制作、文字校对等方面提供了很大帮助,在此一并表示感谢。作者的研究工作还得到了国家自然科学基金面上项目(No. 51776218)、国家自然科学基金

金青年基金项目(No. 51806238、51406223)、国家自然科学基金联合基金项目(No. U1407125)、江苏省自然科学基金优秀青年基金项目(No. BK20180083)、江苏省自然科学基金青年基金(No. BK20180649、BK20140190)和中国博士后科学基金(No. 2018M630626)的支持,本书中的研究成果也得益于中国矿业大学良好的工作环境。此外,衷心感谢本书参考文献中所列的全体作者。

由于作者水平所限,不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

刘臣臻 饶中浩

2019 年 01 月

目 录

第 1 章 相变储能及其应用前景	1
1.1 相变储能原理	1
1.2 相变储能材料	1
1.3 相变储能应用前景	7
第 2 章 石蜡/碳材料复合相变储能材料及其热性能	13
2.1 引言	13
2.2 石蜡/碳材料复合相变储能材料的制备	13
2.3 石蜡/碳材料复合相变储能材料的性能表征	14
2.4 石蜡/碳材料复合相变储能材料物性测试结果与分析	16
2.5 本章小结	25
第 3 章 癸酸-十四醇/膨胀珍珠岩复合相变储能材料及其热性能	27
3.1 引言	27
3.2 CM/EP 复合相变储能材料的制备	28
3.3 CM/EP 复合相变储能材料的性能表征	29
3.4 CM/EP 复合相变储能材料热物性测试结果与分析	30
3.5 CM/EP 复合相变储能材料在建筑中的温度调控	38
3.6 本章小结	48
第 4 章 三水合醋酸钠/膨润土定型复合相变储能材料及其热性能	50
4.1 引言	50
4.2 三水合醋酸钠复合相变储能材料的制备	50
4.3 三水合醋酸钠复合相变储能材料的性能表征	53
4.4 三水合醋酸钠复合相变储能材料热物性测试结果与分析	56
4.5 本章小结	66

第 5 章 相变微胶囊/高导热材料复合储能材料及其热性能	68
5.1 引言	68
5.2 相变微胶囊复合储能材料的制备	69
5.3 相变微胶囊复合储能材料的性能表征	70
5.4 相变微胶囊及其复合储能材料测试结果与分析	72
5.5 本章小结	87
第 6 章 五水合硫代硫酸钠/聚苯乙烯相变微胶囊及其热性能	88
6.1 引言	88
6.2 五水合硫代硫酸钠/聚苯乙烯相变微胶囊的制备	89
6.3 五水合硫代硫酸钠/聚苯乙烯相变微胶囊的性能表征	92
6.4 五水合硫代硫酸钠/聚苯乙烯相变微胶囊的物性测试结果与分析	93
6.5 本章小结	100
第 7 章 五水合硫代硫酸钠/二氧化硅相变微胶囊及其热性能	102
7.1 引言	102
7.2 五水合硫代硫酸钠/二氧化硅相变微胶囊的制备	103
7.3 五水合硫代硫酸钠/二氧化硅相变微胶囊的性能表征	106
7.4 五水合硫代硫酸钠/二氧化硅相变微胶囊的物性测试结果与分析	108
7.5 本章小结	121
第 8 章 潜热型功能热流体的传热与流动特性研究	122
8.1 引言	122
8.2 潜热型功能热流体的制备	123
8.3 潜热型功能热流体的物性表征	126
8.4 潜热型功能热流体传热与流动测试平台	127
8.5 潜热型功能热流体的物性测试结果与分析	129
8.6 潜热型功能热流体的传热与流动特性	134
8.7 本章小结	135
参考文献	137

第1章 相变储能及其应用前景

1.1 相变储能原理

相变储能技术是利用物质在相态转变过程中伴随能量的改变来进行能量的储存和释放,并且在相态转变过程中物质的温度一般保持恒定或近似恒定^[1]。相变储能与传统的利用比热储能方式相比,具有储热密度大的优点,如水的比热为 $4.2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$,而水由固态变成液态时的潜热为 $355 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。通过相变储能技术能够解决能源供求在时间和空间上不匹配问题,可进一步提高能源利用率,在很大程度上缓解能源短缺和环境污染,在太阳能热利用、余热回收、建筑节能、热管理等领域具有广阔的应用前景。

相变储能材料在储能过程中,其能量的变化可通过自由能差来表达^[1, 2]:

$$\Delta G = \Delta H - T_m \Delta S \quad (1-1)$$

式中, G 为吉布斯自由能; H 为焓; T_m 为相变温度; S 为熵。

当达到平衡时 $\Delta G=0$,此时 $\Delta H = T_m \Delta S$, ΔH 称之为相变潜热。潜热的大小与相变储能材料类型及其相变的状态有关。当相变储能材料的质量为 m 时,相变储能材料在相变时所吸收或放出的热量为^[1, 2]:

$$Q = m \Delta H \quad (1-2)$$

物质的相变形式分为四种:固-固相变、固-液相变、固-气相变和液-气相变。固-固相变具有相变过程体积变化小和过冷度小的优点,但是该类相变方式的潜热较小,利用价值较低。固-气和液-气这两种相变方式的潜热较大,但是物质相变前后的体积变化较大,从而在实际应用过程中利用难度大。固-液相变方式的潜热一般较固-固相变大,且物质相变前后的体积变化较小,在实际应用过程中被广泛采用。

1.2 相变储能材料

可应用于相变储能的相变储能材料种类繁多。按照相变储能材料的相变温

度不同可分为低温相变储能材料($<20\text{ }^{\circ}\text{C}$)、中温相变储能材料($20\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$)和高温相变储能材料($>250\text{ }^{\circ}\text{C}$)^[3]。按照相变储能材料的成分构成类别不同,可分为有机相变储能材料 and 无机相变储能材料^[4]。有机相变储能材料主要用于中低温储能领域,无机相变储能材料大多用于中高温储能领域。下面对几类常见相变储能材料的性质和特点进行介绍。

1.2.1 有机相变储能材料

有机相变储能材料的主要类型有高级脂肪烃类、脂肪酸类、醇类、芳香烃类、芳香酮类、酰胺类、氟利昂类、多烷基类等,其中以石蜡和脂肪酸类应用较为广泛^[5]。有机相变储能材料具有无过冷、性能稳定、无毒、无腐蚀性等优点,但是存在导热系数低、密度小等缺点。

有机相变储能材料的热物性与其官能团和分子链长密切相关,相同的官能团,分子链越长,则相变温度越高,相变潜热越大。例如,石蜡类相变储能材料是由烷烃组成的混合物,当石蜡中主要为短链烷烃时,其相变温度随着碳原子数的增加而提高。脂肪酸类相变储能材料主要有癸酸、月桂酸等,表 1-1 为几种常见脂肪酸的热物性参数。有机相变储能材料也可通过几种材料进行混合,合成多元体系的相变储能材料,从而制备出不同相变温度和相变潜热的相变储能材料,以达到不同应用场合的需求。表 1-2 为部分二元脂肪酸的热物性参数。由于有机相变储能材料普遍存在导热系数低的问题,因此在实际应用过程中并不直接使用,而是通过高导热材料对其进行强化传热后再进行利用。

表 1-1 几种常见脂肪酸的热物性参数^[6]

材料名称	熔点/ $^{\circ}\text{C}$	相变潜热/ $(\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$
正癸酸	31.3	28.0
十二酸	44.2	36.6
十四酸	58.0	44.7
十六酸	62.9	54.3
十八酸	69.9	63.1

表 1-2 部分二元脂肪酸的热物性参数^[7, 8]

材料组成	熔点/℃	相变潜热/(kJ · kg ⁻¹)
月桂酸+硬脂酸	35.2	166.3
棕榈酸+硬脂酸	52.3	181.7
羊蜡酸+月桂酸	19.67	126.6
月桂酸+肉豆蔻酸	34.2	166.8
月桂酸+棕榈酸	35.2	166.3
肉豆蔻酸+硬脂酸	44.1	182.4

1.2.2 无机相变储能材料

无机相变储能材料主要有水合盐类、熔盐类和金属及其合金类等类型。水合盐相变储能材料具有体积蓄热密度大、熔点固定、成本低以及导热性能相对有机相变储能材料大等优点,常用于中低温热能储存。常见的水合盐相变储能材料主要有三水合醋酸钠、六水合氯化钙、五水合硫代硫酸钠、八水合氢氧化钡、十水合硫酸钠、十水合碳酸钠以及十二水合磷酸氢二钠等。表 1-3 为部分常见水合盐相变储能材料的热物性能。尽管水合盐类相变储能材料在储能过程中有诸多优点,但是在应用过程中存在过冷和相分离现象,导致材料储热能力下降,使用寿命变短。因此,在应用之前需要在水合盐相变储能材料中添加成核剂和黏稠剂以抑制水合盐的过冷和相分离现象。

表 1-3 部分常见水合盐相变储能材料的热物性能^[9, 10]

物 名	相变温度/℃	相变潜热/(kJ · kg ⁻¹)	热导率/(W · m ⁻¹ · K ⁻¹)
LiClO ₃ · 3H ₂ O	8.1	253	n. a.
ZnCl ₂ · 3H ₂ O	10	n. a.	n. a.
K ₂ HPO ₄ · 6H ₂ O	13	n. a.	n. a.
KF · 4H ₂ O	18.5	231	n. a.
Mn(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	25.8	125.9	n. a.
CaCl ₂ · 6H ₂ O	29	190.8	0.54(38.7℃)
LiNO ₃ · 3H ₂ O	30	296	n. a.
Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	32.4	254	0.544
Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O	33	247	n. a.
CaBr ₂ · 6H ₂ O	34	115.5	n. a.
Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O	35.5/36	265/280	n. a.

续表 1-3

物 名	相变温度/℃	相变潜热/(kJ · kg ⁻¹)	热导率/(W · m ⁻¹ · K ⁻¹)
Zn(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	36/36.4	146.9/147	0.464/0.469
KF · 2H ₂ O	41.4	n. a.	n. a.
K ₃ PO ₄ · 7H ₂ O	45	n. a.	n. a.
Zn(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	45.5	n. a.	n. a.
Na ₂ HPO ₄ · 7H ₂ O	48	n. a.	n. a.
Na ₂ S ₂ O ₃ · 5H ₂ O	48/50	201/209.3	n. a.
Zn(NO ₃) ₂ · 2H ₂ O	54	n. a.	n. a.
NaOH · H ₂ O	58.0	n. a.	n. a.
Na(CH ₃ COO) · 3H ₂ O	58.5	226	n. a.
Fe(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	60	n. a.	n. a.
MgSO ₄ · 7H ₂ O	67.5	204	n. a.
Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O	68.1	n. a.	n. a.
Ba(OH) ₂ · 8H ₂ O	78	265.7	0.653(85.7℃)
Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	88	218	n. a.
Al(NO ₃) ₃ · 8H ₂ O	89	n. a.	n. a.
Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	89/90	149.5/162.8	n. a.
AlK(SO ₄) ₂ · 12H ₂ O	92.5	232.4	n. a.
(NH ₄)Al(SO ₄) · 12H ₂ O	95	269	n. a.
MgCl ₂ · 6H ₂ O	117	168.6	n. a.
Mg(NO ₃) ₂ · 2H ₂ O	130	n. a.	n. a.

注:n. a.表示文献中未列出该数据。

熔盐的相变温度一般较高,通常用于中高温热能的储存。常见的熔盐相变储能材料主要有碳酸盐、硝酸盐、氟化盐、氯化物和硫酸盐等。表 1-4 为部分熔盐相变储能材料的热物性参数。熔盐相变储能材料具有工作温度范围宽、饱和蒸气压力低、成本低等优点,并且可通过调节不同盐类的配比使物质的相变温度可调(表 1-5 为部分混合熔盐的热物性参数)。因此,熔盐在太阳能热利用、高温余热回收等中高温领域具有广泛的应用。

表 1-4 部分熔盐相变储能材料的热物性^[11-14]

名称	相变温度/℃	相变潜热/ (kJ · kg ⁻¹)	导热系数/ (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	密度/ (kg · m ⁻³)
NaNO ₂	282	212	n. a.	n. a.
NaNO ₃	307	172	0.5	2 260
NaOH	318	158	n. a.	n. a.
KNO ₃	337	167	n. a.	n. a.
KOH	380	149.7	0.5	2 044
LiOH	471	876	n. a.	1 430
LiSO ₄	577	257	n. a.	2 220
MgCl ₂	714	452	n. a.	2 140
NaCO ₃	854	275.7	2.0	2 533
KF	857	452	n. a.	2 370
LiF	1 121	1 040	6.2	2 340
MgF ₂	1 263	938	n. a.	1 945
NaF	1 268	800	4.35	2 420

注:n. a.表示文献中未列出该数据。

表 1-5 部分混合熔盐的热物性参数^[11-15]

成分(质量分数)/%	相变温度/℃	相变潜热/ (kJ · kg ⁻¹)	导热系数/ (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	密度/ (kg · m ⁻³)
NaNO ₂ /73NaOH*	237	294	n. a.	n. a.
NaNO ₃ /3.6NaCl/78.1NaOH*	242	242	n. a.	n. a.
NaNO ₃ /28NaOH*	247	237	n. a.	n. a.
LiNO ₃ /2.6Ba(NO ₃) ₂ *	253	368	n. a.	n. a.
LiNO ₃ /6.4NaCl	255	354	n. a.	n. a.
NaCl/50MgCl ₂	273	429	0.96	2 240
NaNO ₃ /5.0NaCl	282	212	n. a.	n. a.
NaCl/6.4Na ₂ CO ₃ /85.5NaOH	282	316	n. a.	n. a.
NaOH/7.2Na ₂ CO ₃	283	340	n. a.	n. a.
NaCl/5.0NaNO ₃	284	171	n. a.	n. a.

续表 1-5

成分(质量分数)/%	相变温度/℃	相变潜热/ (kJ · kg ⁻¹)	导热系数/ (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	密度/ (kg · m ⁻³)
Na ₂ SO ₄ /5.7NaCl/85.5NaNO ₃	287	176	n. a.	n. a.
NaNO ₃ /10KNO ₃	290	170	n. a.	n. a.
KNO ₃ /4.5KCl	320	150	n. a.	n. a.
KNO ₃ /4.7KBr/7.3KCl	342	140	n. a.	n. a.
NaCl/32.4KCl/32.8LiCl	346	281	n. a.	n. a.
NaOH/26.8NaCl	370	369	n. a.	n. a.
MgCl ₂ /42.5NaCl/20.5KCl	385~393	410	n. a.	n. a.
Li ₂ CO ₃ /33Na ₂ CO ₃ /35K ₂ CO ₃	397	277	n. a.	n. a.
KCl/46ZnCl ₂	432	218	n. a.	n. a.
NaCl/52MgCl ₂	450	431	n. a.	n. a.
Li ₂ CO ₃ /53K ₂ CO ₃	488	342	n. a.	n. a.
NaCl/67CaCl ₂	500	281	n. a.	n. a.
NaF/21KF/62K ₂ CO ₃	520	274	n. a.	n. a.
LiCl/63LiOH	535	485	1.10	1 550
NaCl/4.6CaCl ₂	570	191	0.61	2 260
NaCO ₃ /BaCO ₃ /MgO	500~800	415.4	5.0	2 600
LiOH /LiF	700	1 163	1.20	1 150
LiF/32MgF ₂	1 008	550	2.51	2 630

注:n. a.表示文献中未列出该数据;*表示摩尔分数。

金属相变储能材料是以金属为主体的相变储能材料,常见的主要有铝以及铝基、镁基、锌基和镍基合金等。该类相变储能材料具有储能密度大、熔化时体积缩小、蒸气压较低、热稳定性好的优点。金属相变储能材料的导热系数是有机相变储能材料和无机相变储能材料的几百倍。因此金属相变储能材料在太阳能热发电、工业余热回收、电力削峰填谷等方面有着广阔的应用前景。目前,以铝硅合金在相变储能领域的应用最为广泛,表 1-6 为部分铝硅合金的热物性。

表 1-6 部分铝硅合金的热物性^[16]

合金种类(质量分数)/%	相变温度/℃	相变潜热/ (kJ · kg ⁻¹)	导热系数/ (W · m ⁻¹ · K ⁻¹)	密度/ (kg · m ⁻³)
Al/8Si	576	428.9	n. a.	n. a.
Al/12Si	576	560	160	2 700
Al/12.5Si	577	515	180	2 250
Al/12.6Si	576	463.4	n. a.	n. a.
Al/13Si	577	515	180	2 250
Al/20Si	576	528.4	0.96	2 240
Al/5Si/30Cu	571	422	n. a.	2 730
Al/11.7Si/5.16Mg	555	485	n. a.	2 500
Al/5Si/26.5Cu	525	364	n. a.	2 938
Al/5.2Si/28Cu/2.2Mg	507	374	n. a.	4 400

注:n. a. 表示文献中未列出该数据。

1.3 相变储能应用前景

相变储能材料由于具有蓄热能力强的优点,在太阳能热利用、建筑节能、余热回收和热管理等领域具有广阔的应用前景。

1.3.1 太阳能热利用

太阳能是一种取之不尽用之不竭的清洁能源。随着不可再生能源的日益消耗,人们对太阳能的利用日益增多,如太阳能光电利用、太阳能热发电、太阳能热水器等利用形式被广泛使用。但是,太阳能单位面积辐射强度小,并受到昼夜更替和天气的变化影响,造成太阳能供应不连续和不稳定的问题,难以保证太阳能热利用系统的稳定运行,增加了太阳能利用的难度。而相变储能技术可以解决太阳能利用不连续和不稳定的问题。通过相变储能技术可将白天太阳辐射能转换成热能进行储存,待光照不足时再将热能释放进行利用,从而实现太阳能热利用系统的稳定运行。

目前,相变储能技术已在太阳能热水器和太阳能热发电等领域进行了应用。在太阳能热水器利用过程中,太阳能集热器将太阳辐射能转换成热能,并将热能储存在相变储能材料中,当需要使用储存的热量时,再将相变储能材料中储存的热量释放出来。由于相变储能材料的相变潜热较大,因此当储热量相同时,基于相变储能材料的太阳能热水器与传统的水箱储热器具有更小的体积^[17]。图 1-1

为一种基于相变储能的太阳能热水器,研究表明当在太阳能热水器水箱内置入相变储能材料后,与未置入相变储能材料的水热水器相比,储热量和系统热效率分别提高了 20% 和 12%^[18]。



图 1-1 基于相变储能的太阳能热水器系统^[18]

太阳能热发电系统是缓解传统热力发电所带来的能源短缺和环境污染等问题的重要途径之一。但太阳能辐射强度的波动性和间断性使得太阳能热发电系统很难平稳运行。通过相变储能技术可将太阳能辐射通过热能的形式储存起来,在需要时再将热能进行释放,从而实现能量的转换,实现太阳能热发电系统的平稳运行^[15]。以塔式太阳能发电系统为例,加装相变储能装置后,发电系统的年利用率从原来的 25% 提高到了 65%^[19]。美国在加利福尼亚州建成的机组功率为 105 MW · h 的 Solar Two 太阳能热发电站(热发电系统如图 1-2 所示),

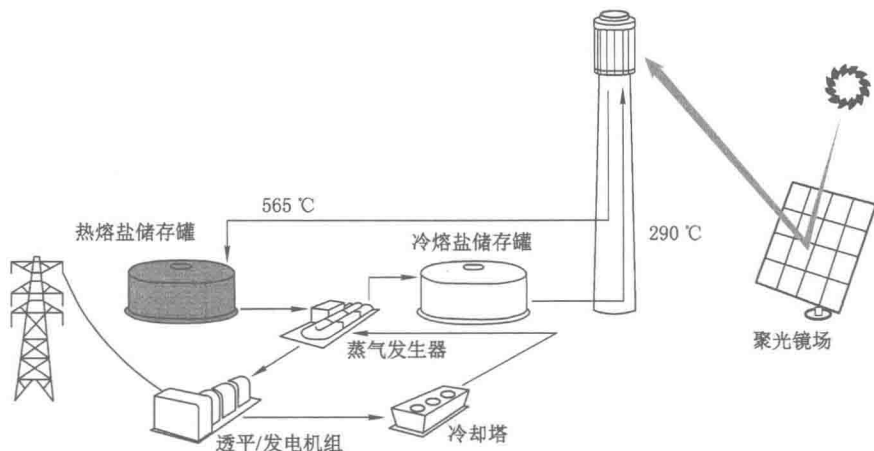


图 1-2 熔盐太阳能热发电塔示意图^[20]

选用硝酸共晶熔盐作为相变储能材料,热熔盐储存罐和冷熔盐储存罐的设计温度分别为 565 °C 和 290 °C,储热系统的热存储量为 105 MW · h,该储热系统在没有太阳能辐射的情况下,仍可供汽轮机满负荷连续运行 3 h,且储热系统的热稳定性较好,提高了太阳能热发电系统的运行效率^[20, 21]。

相变储能材料的性能是太阳能热利用系统的关键,常用于太阳能热利用的相变储能材料主要有熔盐、金属及其合金等。熔盐的导热系数一般较低,而金属在熔化状态下具有较强的腐蚀性。因此,提高熔盐的导热性能以及解决金属的腐蚀问题是促进相变储能材料在太阳能热利用领域的关键。

1.3.2 建筑节能

在国内,建筑能耗占到全国总能耗的 25% 以上,建筑节能和室内温度调控已经逐渐成为近年来研究的热点^[22]。相变储能材料能够在较小的温度波动内储存或者释放大量的热量,提高能源利用率。将相变储能材料和建筑材料复合构成的相变建材应用于建筑围护结构中能够有效调控建筑温度,减少建筑耗能。

相变储能材料在建筑节能中的应用一般被分为两大类:被动系统和主动系统。被动系统主要是通过建筑结构本身来进行热量的收集、存储和释放;而主动系统则需要依靠泵或风扇来传递传热介质^[23]。相变储能材料在建筑节能中的应用主要有相变墙体、地板采暖系统、相变天花板和基于相变储能的空气加热系统等。图 1-3 为具有相变储能材料的房屋建筑模型,通过对该房屋建筑模型的测试表明,与未加入相变储能材料的建筑模型相比,该房屋建筑模型内的峰值温度降低了 1 °C,降低了室内波动,同时降低了 15% 的能耗,可使每平方米的建筑物每年减少二氧化碳排放 1~1.5 kg。

为了提高节能效果,在建筑中应用相变材料时,必须考虑一些重要的影响因素,如建筑的结构、气候、环境以及使用的目的。不同的地区有不同的气候特征,相变储能材料在建筑中的应用效果也不一样。除此之外,当相变储能材料加入建筑材料的围护结构中时,会在一定程度上降低建筑材料的力学性能。因此,如何保证在相变储能材料加入后仍保证建筑材料的力学性能,仍需进一步开展相关的研究。

1.3.3 余热回收

工业余热是指在工业生产过程中产生的废气、废液和废渣所载有的热量^[26]。在发电、钢铁、陶瓷和机械加工等工业生产过程中会产生大量的余热资源,但是这部分余热资源以往没有得到充分的利用,大部分直接排放到大气中,这种方式不仅造成了余热资源的浪费,同时也对环境造成了污染。如果将工业生产过程中丰富的余热资源进行回收再利用,对提高能源利用率具有重要的意义。

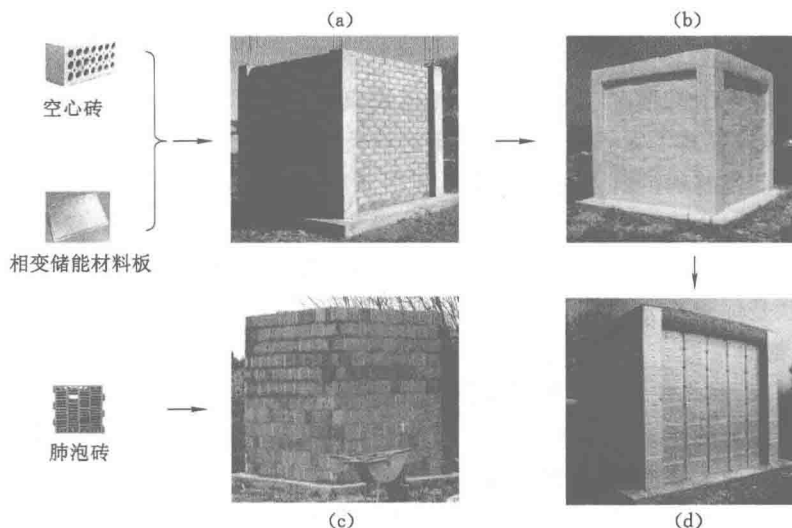


图 1-3 具有相变储能材料的房屋模型^[24, 25]

(a) 空心砖房屋模型；(b) 涂有聚氨酯的空心砖房屋模型；

(c) 肺泡砖房屋模型；(d) 具有相变材料的房屋模型

尽管余热资源丰富,但是大部分工业余热具有周期性、间断性和波动性的特点,因此余热回收难度较大。而通过相变储能技术则可以将不连续的工业余热进行回收,在需要时再将热量释放进行使用,从而解决了余热利用过程中不连续、供与求的不均衡等问题。相变储能余热回收系统示意图如图 1-4 所示。该系统主要由移动式相变储能装置对工厂生产过程中所产生的余热以相变潜热的形式进行储存,然后运送到周边的用户再将热量进行释放,从而实现工业余热的回收与利用^[27]。

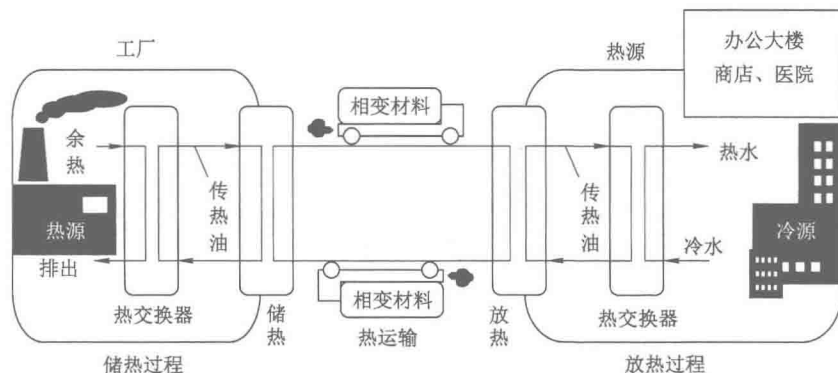


图 1-4 相变储能余热回收技术示意图^[27]