

# 相变储能材料的研究及应用

张 静, 孟民, 陈念贻

(上海大学化学系 熔盐化学研究室, 上海 200436)

摘 要: 综述了相变储能材料的研究进展和实际应用。介绍了相变材料的分类以及各类相变材料的性能、储能机理和优缺点; 介绍了一些新型的相变材料, 并结合实例探讨了相变材料在太阳能利用、建筑节能等领域的应用; 展望了未来相变材料的发展方向和应用前景。

关键词: 相变材料; 热能储存; 温度控制; 太阳能

中图分类号: TK02 文献标识码: A 文章编号: 1008—858X(2005)03—0052—06

## 0 前 言

相变过程一般是一等温或近似等温过程, 相变过程中伴有能量的吸收或释放, 这部分能量称为相变潜热, 利用相变过程的这一特点开发了许多相变储能材料。与显热储能材料相比, 潜热储能材料不仅能量密度较高, 而且所用装置简单、体积小、设计灵活、使用方便且易于管理。另外, 它还有一个很大的优点, 即这类材料在相变储能过程中, 材料近似恒温, 可以以此来控制体系的温度。利用储能材料储能是提高能源利用效率和保护环境的重要手段之一, 可用于解决热能供给与需求失配的矛盾, 在能源、航天、军事、农业、建筑、化工、冶金等领域展示出十分广泛和重要的应用前景, 储热材料的研究目前已成为世界范围内的研究热点。

相变储能材料的相变形式一般可分为四类: 固——固相变、固——液相变、液——气相变和固——气相变。由于后两种相变过程中有大量气体, 相变物质的体积变化很大, 因此, 尽管这两类相变过程中的相变潜热很大, 但在实

际应用中很少被选用。与此相反, 固——固相变由于体积变化小, 对容器要求低(容器密封性、强度无需很高), 往往是实际应用中希望采用的相变类型。有时为了应用需要, 几种相变类型可同时采用。

相变储能材料按相变温度的范围分为高温(大于 250℃)、中温(100~250℃)和低温(小于 100℃)储能材料; 按材料的组成成分又可分为无机类、有机类(包括高分子类)及无机——有机复合相变储能材料。相变材料是由多组份构成的, 包括主储热剂、相变点调整剂、防过冷剂、防相分离剂、相变促进剂等组份。

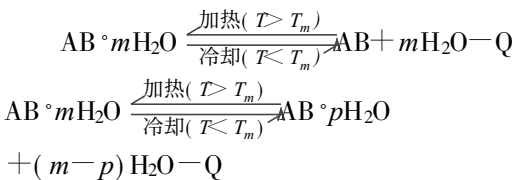
## 1 相变储能材料的研究进展

### 1.1 固——液相变储能材料

#### 1.1.1 无机类

无机类固——液相变材料有结晶水合盐类、熔融盐类、金属(包括合金)和其它无机类相变材料(如水)。其中最典型的是结晶水合盐类, 结晶水合盐提供了熔点从几摄氏度到

一百多摄氏度的可供选择的相变材料。它们有比较大的熔解热和固定的熔点(实际是脱出结晶水的温度,脱出的结晶水使盐溶解而吸热,降温时其发生逆过程,吸收结晶水而放热)。相变机理如下:



其中,  $m$  和  $p$  为结晶水的个数,  $T_m$  为熔点,  $Q$  为溶解热。

在结晶水合盐的研究方面前人做了很多工作,研究了碱金属、碱土金属以及铝、锌、锰、铁等金属的硫酸盐、磷酸盐、硝酸盐、碳酸盐、醋酸盐、卤盐以及硫代硫酸盐等不同结晶水合盐。测定了这些盐的熔点、熔解热、热导率和密度等物理性质,研究了它们作为相变储能材料进行储热的可能性。文献<sup>[1]</sup>中列出了很多,华中师范大学阮德水等在这方面也进行了很多研究<sup>[2,3,4]</sup>。具有代表性的结晶水合盐有:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (芒硝)、 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (镁硝石)、 $\text{LiNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{KF} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  (铵矾)、 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (海波或大苏打)、 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (苏打)、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NaAc} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  等。

结晶水合盐通常是中、低温相变储能材料中的重要一类,有如下的优点:使用范围广、价格较便宜、导热系数大(与有机类相变材料相比)、熔解热较大、密度大、一般呈中性。但是这类材料通常存在着两个问题,一是过冷现象,解决的方法有:a. 加成核剂,如加入微粒结构与盐类结晶物相类似的物质;b. 冷指法,保持一部分冷区,使未熔化的一部分晶体作为成核剂。另一个问题是相分离,解决的办法有:a. 加增稠剂;b. 加晶体结构改变剂;c. 盛装相变材料的容器采用薄层结构;d. 摇晃或搅动。徐伟亮<sup>[5]</sup>研究了水合乙酸钠相变储热的性能,发现硼砂对过冷现象有明显的抑制,羟甲基纤维素、聚丙烯酰胺等对相分离现象有明显的抑制。北京化工大学<sup>[6]</sup>对  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  共晶相变材料

进行了热化学研究,测定了材料的相变热及固体和液体的平均比热容,研究表明,随着悬浮剂的加入抑制了相分离,同时增大了材料的相变热。

本实验室在结晶水合盐相变材料方面也做了一些工作。对水合盐的成核原理进行了研究<sup>[7]</sup>,从理论和实验两方面说明了为减小其过冷度,必须选择与该种水合盐具有相同的晶型、相似的原子排列、两者的晶格参数相差在15%以内的物质作成核剂。我们发现  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  能用作  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  的成核剂,其用量为3%时能有效地起成核作用,使  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  的过冷度减小到2℃。对于  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  用作储能材料也做了较详细的研究<sup>[8]</sup>,提出了解决  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  在储热时存在的相分离及过冷两大问题的方法。我们在水合盐储热材料的优化方面正在继续做一些工作。

对于熔融盐类相变材料研究也很多,见文献<sup>[1]</sup>。B. D. Babaev 等研究了  $\text{NaF}-\text{NaCl}-\text{NaNO}_3$  三元低共熔体系<sup>[9]</sup>和  $\text{LiF}-\text{NaF}-\text{CaF}_2-\text{BaF}_2-\text{BaMoO}_4$  五元低共熔体系<sup>[10]</sup>的相变性质和相变焓,开发出新的相变材料,这两个体系都属于高温范围的相变材料,相变焓分别高达224 kJ/kg和653 kJ/kg。庄正宁等<sup>[11]</sup>对  $\text{NaOH}/\text{KOH}$  二元体系的储热性能进行了实验研究,发现该体系的相变包括固-液相变(中温范围)和固-固(低温范围)相变,两部分的相变潜热值较大。

### 1.1.2 有机类

典型的有机类相变材料有:石蜡、酯酸类、高分子化合物等。石蜡主要由直链烷烃混合而成,可用通式  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  表示。短链烷烃熔点较低,链增长时,熔点开始增长较快,而后逐渐减慢。一般说来,同系物的相变温度和相变焓会随碳链的增长而增大,这样可以得到具有一系列相变温度的储能材料,但随着碳链的增长,相变温度的增加值会逐渐减小,其熔点最终将趋于一定值。石蜡是混合物,因此不象低分子量的物质有一个熔融尖峰。石蜡作为相变储能材料的优点是:无过冷及析出现象,性能稳定,无毒,无腐蚀,价格便宜。缺点是:导热系数小,密度小,单位体积储热能力差。

高分子化合物类的相变材料, 由于是具有一定分子量分布的混合物, 并且分子链较长, 结晶并不完全, 因此它的相变过程也有一个熔融温度范围, 没有熔融尖峰。酯酸类也是一种有机储热相变材料, 其分子通式为  $C_nH_{2n}O_2$ , 其性能特点与石蜡相似。为了得到相变温度适当、性能优越的相变材料, 常常需要将几种有机相变材料复合以形成二元或多元相变材料<sup>[12]</sup>, 以弥补二者的不足, 得到性能更好的相变材料, 以使之得到更好的应用。

固——液相变材料是研究中相对成熟的一类相变材料, 对于它们的研究进行得较早, 不论是无机类还是有机类, 都有很多的品种可以利用, 而且对这些材料的物理化学特性以及防过冷、防相分离和选用容器等方面都有大量的文献报道, 也有很多的物化手册可以查找到有关的数据; 目前已经发现可适合各种温度范围的多种相变材料, 并有较多的应用。

## 1.2 固——固相变储能材料

目前已经开发出的具有技术和经济潜力的固——固相变材料主要有三类: 无机盐类、多元醇类和有机高分子类。其中后两种在实际中的应用较多。

### 1.2.1 无机盐类

这类相变储能材料主要是利用固体状态下不同种晶型的变化而进行吸热和放热的, 主要有层状钙铁矿、 $Li_2SO_4$ 、 $KHF_2$  等代表性物质。通常它们的相变温度较高, 适合于高温范围内的储能和控温之用, 而中、低温的材料较少, 因此不能完全满足人们的需要、目前在实际中应用也不是很多。

### 1.2.2 多元醇类

这一类相变材料主要有: 季戊四醇、新戊二醇、三羟甲基乙烷、三羟甲基氨基甲烷等。这一类相变材料的种类也不是很多, 有时需要它们相互配合以形成二元体系或多元体系来满足对不同相变体系的需要<sup>[13]</sup>。该相变材料储能原理同无机盐一样也是利用晶型之间的转变来进行吸热或放热的。它们的相变焓较大, 相变温度适合于中、高温储能应用, 对低温储能不太适用。多元醇类相变材料的优点是: 性能稳定、使

用寿命长、反复使用也不会分解和分层、过冷现象也不太严重、对应用中的影响不大。但是它们有一个严重的缺点, 就是将其加热到固——固相变温度以上, 它们由晶态固体变成塑性晶体时, 塑晶有很大的蒸气压, 易挥发损失, 从而导致其使用时仍需容器封装, 体现不出固——固相变材料的优越性。

### 1.2.3 高分子类

这类相变材料主要是指一些高分子交联树脂: 如交联聚烯烃类、交联聚缩醛类和一些接枝共聚物, 如纤维素接枝共聚物、聚酯类接枝共聚物、聚苯乙烯接枝共聚物、硅烷接枝共聚物等。总的来说, 高分子类相变材料目前种类较少, 尚处在研究开发阶段。其中, 接枝共聚物类是在一种高熔点的高分子上利用化学键接上大量的另一种低熔点的高分子作为支链而形成的共聚物。在加热进程中, 低熔点的高分子支链首先发生从晶态到无定形态的相转变, 由于其接枝在尚未融化的高熔点的主链上, 虽然它处于无定形形态, 但是仍然失去了自由流动性, 仍可以在整体上保持其固体的状态, 从而可以利用低熔点的高分子支链的这种转变来实现储能目的。目前该类材料仅在保暖纤维中有所应用, 其中在纤维素接枝共聚物方面, 国内的中科院广州化学所纤维素开放实验室做了许多工作<sup>[14, 15]</sup>, 但与大批量的工业化生产还有距离。

固——固相变材料与固——液相变材料相比具有很大的优点: 一是它无需容器盛装, 可以直接加工成型; 二是固——固相变膨胀系数较小, 体积变化小; 三是过冷程度轻, 无相分离现象; 四是无毒、无腐蚀、无污染; 五是热效率高, 性能稳定, 使用寿命长; 六是使用方便, 装置简单。因此, 固——固相变材料是很有前途的研究领域。由于对固——固相变研究的时间相对较短, 尚有大量的未开垦的领域, 目前得到的固——固相变材料, 由于品种较少且有缺陷, 需要进一步研究。

## 1.3 复合相变储能材料

复合相变储能材料主要包括结晶性质相似的二元或多元化合物的一般混合体系或低共熔体系、形状稳定的固——液相变材料、纳米复合

相变材料等。第一种材料前面提到过, 这里主要介绍一下后两种材料。

1.3.1 形状稳定的固——液相变材料

由于固——液相变材料存在着液体流动性的缺点, 因此出现了一大类形状稳定的固——液相变材料。这类相变材料采用固——液相变形式, 但制成的材料进行相变储能时, 在外形上一直可以保持固体形状, 不具有流动性, 无需容器盛装, 使用性能和固——固相变材料近似, 因此它们在很大程度上可以代替固——固相变材料。

这类相变材料的主要组成成分有两种: 其一成分 is 工作物质, 利用它的固——液相变来进行储能, 工作物质可以是上述的各种固——液相变材料, 用得较多的主要是有机类的相变材料。另一成分是载体基质, 其作用是保持材料的不流动性和可加工性, 载体基质的相变温度一般较高, 在工作物质的相变范围内物化性能稳定并能保持其固体的形状和材料性能, 载体基质应该便于加工并有结构材料的一般特性, 如强度、硬度、柔韧性、热稳定性、密封性、载体基质和相变材料之间的相容性等。目前载体主要采用一些交联高分子树脂类物质如高密度聚乙烯、聚苯乙烯、聚缩醛、聚酯、硅橡胶等以及它们的一些衍生物。

工作物质和载体基质的结合方式主要有两种: 一种是共混而成<sup>[16]</sup>, 即利用二者的相容性, 熔融后混合在一起而制成的成分均匀的相变材料。另一种方式是采用封装技术, 即把载体基质做成微胶囊<sup>[17]</sup>或三维网状结构<sup>[18]</sup>, 而工作物质灌注于其中, 这样微观上仍是发生固—液相变进行储能控温的, 但从相变材料的整个宏观特性上来看仍然保持其固体形状。

1.3.2 纳米复合相变材料

由于纳米材料具有独特的电、磁和光学性能, 为常规的复合材料的研究增添了新的内容, 含有纳米单元相的纳米复合材料通常以实际应用为直接目标, 是纳米材料工程的重要组成部分, 正成为当前纳米材料发展的新动向。文献<sup>[19]</sup>中研究了用溶胶—凝胶法制备新型有机——无机纳米复合相变储热材料, 并利用差式扫描量热分析仪测定材料的相变温度、相变潜

热; 利用扫描电镜和透射电镜分析材料的微观结构。在此基础上, 进一步研究复合储热材料的结构特性、蓄热性能, 为新型复合相变蓄热材料的应用提供理论依据。

1.4 相变储能材料的遴选原则

不论开发出何种相变材料, 都必须具备如下几个方面的要求。一是热性能要求: 有合适的相变温度, 较大的相变潜热, 合适的导热性能 (一般宜大)。二是化学性能要求: 在相变过程中不应发生熔析现象, 以免导致相变介质化学成分的变化; 相变的可逆性要好, 过冷度应尽量小, 性能稳定; 无毒、无腐蚀、无污染; 使用安全, 不易燃、易爆或氧化变质; 较快的结晶速度和晶体生长速度。三是物理性能要求: 低蒸气压; 体积膨胀率要小; 密度较大。四是经济性能要求: 原料易购, 价格便宜。

2 相变储能材料的应用研究

2.1 相变储能在太阳能领域的应用研究

太阳能取之不尽、对环境无污染, 被认为是最有应用前景的一种能源。但太阳能是不稳定的, 夜间没有太阳辐射, 而且随着天气、气候、季节的变化辐射量也不同, 所以太阳能的储存和释放成为研究的一个热点, 相变储能材料在太阳能利用中的应用引起了研究者的兴趣。如工业级乙酰胺<sup>[20]</sup>、工业级硬酯酸<sup>[21]</sup>和工业级乙酰胺<sup>[22]</sup>作为相变储热材料用于太阳能炊具中, 能够在太阳辐射期间吸收太阳能, 傍晚时利用储存的能量煮饭。石蜡用于太阳能空气加热器中<sup>[23]</sup>与传统的吸热装置相比, 提高了传热表面和传热系数, 有效降低了热能损失。

2.2 相变节能建筑材料和构件研究

随着人们生活水平的提高, 人们对室内环境的舒适度要求也愈来愈高, 相应的建筑能耗 (包括空调制冷采暖能耗) 也随之提高, 造成能源消耗过快, 环境污染加剧。怎样在人的舒适度、能耗、环境中找到合理的平衡点已成为建筑设计、建筑节能领域的永恒主题。相变储能材

料与合理利用太阳能的结合提供了一种提高建筑物舒适度、降低能耗和对环境负面影响的有效途径。

K. A. R. Ismail 等<sup>[24]</sup>人设计了一种装置有相变储能材料的玻璃窗,当温度下降到一定程度时,双层玻璃之间的相变材料开始逐渐凝固,从而阻止室内温度下降。实验结果证明填充相变材料的双层玻璃窗比填充空气的同种玻璃窗的热效应要好得多。交流空气交换器用于很多建筑中作为通风设备,在冬季,从建筑物中排出的废热空气流把热量传递给从外面进入的新鲜冷空气。问题是,当外界气温降到 273K 以下时,废气中的水分就会凝固形成霜,最终导致管道的堵塞,使空气交换器的性能急剧下降。可以采取的措施是在冷空气和热空气通道之间使用相变储能材料分隔<sup>[25]</sup>,利用其调温能力保持废热空气管道内壁温度在冰点以上,从而避免结霜。

将相变储能材料与建筑材料相结合,利用其储放热能力来调整室内的热波动,由于储放热的作用,热流的波动幅度被削弱,作用的时间被推后。通过恰当的设计,就可以把温度的波动控制在较舒服的范围内。

H. Hadjjeva<sup>[26]</sup>对吸收了  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  的多孔水泥体系,进行多次热循环,研究了它的储热能力和结构稳定性,说明了此相变材料储能体系用于相变储能墙板的局限性和适用性。D. Banu领导的实验小组研究了含 93%~95%市售棕榈酸甲酯和 7%~5%市售硬酯酸甲酯的相变材料在建筑灰泥墙板中的应用<sup>[27]</sup>,此材料相变温度区间在 23~26.5℃,相变热至少为 180 kJ/kg。炎热的夏季,这种墙板可以减小昼夜温差,在 23~26.5℃范围内,其储热能力至少是一般墙板的 12 倍。他们又测试比较分别浸入了市售硬脂酸丁酯(Emerest 2326)和市售石蜡(Unicere 55)的普通水泥板的储热性能<sup>[28]</sup>,研究了空气流通速度对储放热速度的影响。本研究在大规模实验的基础上证明了把适当的相变材料与水泥复合,制造具有储放热功能建筑用水泥板的可行性。而且还进行了大型的应用实验<sup>[29]</sup>,建造了完全相同的、中间用墙隔开的两间房子,其中一间房子的墙和天花板是用一般

的灰泥板,而另一间用的是吸收了相变材料的灰泥板。研究表明,在供暖或制冷系统停止后的延续时间里,用吸收了相变材料的灰泥板做墙板的房子里,室温能够保持在人体感到舒适的范围内。

将相变材料作为组元引入建筑构件中,采用的方法主要由以下三种:(1)将相变材料密封在合适的容器中;(2)将相变材料密封在建筑材料中;(3)将相变材料直接与建筑材料混合。这些具有储热功能的建筑材料及构件可以做成墙、地板、天花板,应用于被动式太阳房中。

### 2.3 相变储能材料在其它领域的应用

相变储能材料的应用涉及面很广。选用  $\text{MgNO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  作为主储热材料, $\text{MgCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  作为添加剂调节相变温度,可以用于处理发电系统产生的城市废热(温度在 60~100℃)<sup>[30]</sup>。在冷藏系统中,用主要为  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$  和  $\text{KCl}$  的混合物作为相变储能材料代替传统的换热体系<sup>[31]</sup>,能够提高冷藏系统的性能,有利于缓解高峰制冷负荷、克服开门期间的能量损失和满足较长停电期间的制冷需要。另外相变储能材料在纺织服装<sup>[32]</sup>、温室种植<sup>[33]</sup>等领域都有应用。随着相变材料基础和应用研究的不断深入,相变材料应用的深度和广度都将不断拓展。

## 3 展 望

上世纪 70 年代能源危机以来,相变储能的基础和应用研究在世界发达国家迅速崛起并得到不断发展,到今天已经取得了很大的成就,但在很多方面还不完善,有不少问题尚待解决。对于相变储能材料,今后的研究方向有:改善相变材料的导热性能和相变速率;根据相变机理提高其相变焓,研制出高能量密度的相变材料;掌握相变材料之间的复合原则以及如何复合来提高材料的性能以弥补不足;开发出除具有相变储能功能外还具有其它功能的多功能相变材料,如导电相变材料、防水相变材料、可杀菌防虫蛀的相变材料、形状记忆相变材料等等;降低成本,实现工业化。在应用方面,首先应建立一

个相变材料及其物性的数据库,以方便根据实际选择合适的相变材料;开发更多的应用领域,最大程度地节约能源、保护环境;应继续开展模拟研究以及与模拟研究相对应的实验研究,尽快使科学理论转化为实际生产力。

### 参考文献:

- [1] Belen Zalba, Jose M. Marin, Luisa F. Cabeza, et al. Review on thermal energy storage with phase change materials, heat transfer analysis and applications[ J ]. Applied Thermal Engineering, 2003, 23: 251—283.
- [2] 阮德水,黎厚斌,张太平,等.磷酸氢二钠及其低共熔物贮热性能研究[ J ].太阳能学报,1991,12(4):368—372
- [3] 阮德水,张太平,张道圣,等.水合盐相变热长期贮存的研究[ J ].太阳能学报,1993,14(1):16—22
- [4] 李卫萍,阮德水,胡起柱,等.  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  多温截面的研究[ J ].华中师范大学学报(自然科学版),1998,32(1):74—76
- [5] 徐伟亮.水合乙酸钠相变蓄热研究[ J ].科技通报,1999,15(4):288—291
- [6] 谢全安,郑丹星,武向红.  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  共晶盐的热化学研究[ J ].太阳能学报,2002,23(1):70—75
- [7] 丁益民,阎立诚,薛俊慧.水合盐储热材料的成核作用[ J ].化学物理学报,1996,9(1):83—86
- [8] 丁益民,吴炯文,陆文聪.  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  用作储热材料的研究[ J ].上海大学学报(自然科学版),1998,4(5):487—490
- [9] B. D. Babaev, System  $\text{NaF} - \text{NaCl} - \text{NaNO}_3$ [ J ]. Inorganic Materials, 2002, 38(1):83—84.
- [10] B. D. Babaev, A. M. Gasanljev. Phase Diagram of the System  $\text{LiF} - \text{NaF} - \text{CaF}_2 - \text{BaF}_2 - \text{BaMoO}_4$ [ J ]. Inorganic Materials, 2003, 39(11):1203—1207.
- [11] 庄正宁,曹念,李江荣.  $\text{NaOH}/\text{KOH}$  二元体系蓄热性能的研究[ J ].西安交通大学学报,2002,36(11):1133—1137.
- [12] Ahmet Sari Thermal characteristics of a eutectic mixture of myristic and palmitic acids as phase change material for heating applications[ J ]. Applied Thermal Engineering, 2003, 23: 1005—1017.
- [13] 张太平,阮德水,张道圣,等.固—固相变贮热的研究(III)—三羟甲基乙烷—三羟甲基丙烷二元系[ J ].华中师范大学学报(自然科学版),1996,30(1):65—68
- [14] 姜勇,丁恩勇,黎国康.一种新型的相变储能功能高分子材料[ J ].高分子材料科学与工程,2001,17(3):173—175
- [15] Yong J, Enyong D, Guokong L. Study on transition characteristics of PEG—CDA solid—solid phase change materials[ J ]. Polymer, 2002, 43: 117—122.
- [16] 郭元强,陈玉放,梁学海,等.壳聚糖/聚乙二醇共混物的相变行为[ J ].纤维素科学与技术,1999,7(4):1—7.
- [17] M. N. A. Hawladar, M. S. Uddin, Mya Mya Khin. Microencapsulated PCM thermal—energy storage system[ J ]. Applied Energy, 2003, 74: 195—202.
- [18] R. Nikolic, M. Marinovic Cincovic, S. Gadzuric. New materials for solar thermal storage: solid—liquid transitions in fatty acid esters[ J ]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2003, 79: 285—292.
- [19] 林怡辉,张正国,王世平.硬脂酸—二氧化硅复合相变材料的制备[ J ].广州化工,2002,30(1):18—21
- [20] S. D. Shama, D. Buddhi, R. L. Sawhney, et al. Design, development and performance evaluation of a latent heat storage unit for evening cooking in a solar cooker[ J ]. Energy Conversion & Management, 2000, 41: 1497—1508.
- [21] D. Buddhi, L. K. Sahoo. Solar cooker with latent heat storage—design and experimental testing[ J ]. Energy Conversion and Management, 1997, 38(5):493—498
- [22] D. Buddhi, S. D. Shama, Atul Shama. Thermal performance evaluation of a latent heat storage unit for late evening cooking in a solar cooker having three reflectors[ J ]. Energy Conversion and Management, 2003, 44: 809—817.
- [23] Hassan, E. S. Fath. Thermal performance of a simple design solar air heater with built—in thermal energy storage system[ J ]. Energy Conversion and Management, 1995, 36(10):989—997.
- [24] K. A. R. Ismail, J. R. Henriquez. Thermally effective windows with moving phase change material curtains[ J ]. Applied Thermal Engineering, 2001, 21: 1909—1923.
- [25] H. El Qarnia, M. Lacroix, Y. Mercadier, et al. Use of a phase change material to prevent frosting in a compact crossflow air exchanger[ J ]. Energy Conversion and Management, 2001, 42: 1277—1296.
- [26] M. Hadjieva, R. Stoykov, Tz. Filipova. Composite salt—hydrate concrete system for building energy storage[ J ]. Renewable Energy, 2000, 19: 111—115.
- [27] D. Feldman, D. Banu, D. W. Hawes. Development and application of organic phase change mixtures in thermal storage gypsum wallboard[ J ]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 1995, 36: 147—157.
- [28] T. Lee, D. W. Hawes, D. Banu, et al. Control aspects of latent heat storage and recovery in concrete[ J ]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2000, 62: 217—237.
- [29] S. Scalat, D. Banu, D. Haywes, et al. Full scale thermal testing of latent heat storage in wallboard[ J ]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 1996, 44: 49—61.
- [30] K. Nagano, K. Ogawa, T. Mochida, et al. Thermal characteristics of magnesium nitrate hexahydrate and magnesium chloride hexahydrate mixture as a phase change material for effective utilization of urban waste heat[ J ]. Applied Thermal Engineering, 2004, 24: 221—232.

(下转第21页)

该油田卤水以钾、硼、锂、碘含量高为特点, 经蒸发试验, 可以得到易于加工的钾石盐产品、富含锂碘的母液, 不但有较好的找矿远景, 还具有重要的开发利用价值。

参考文献:

[1] 朱允铸. 柴达木盆地新构造运动及盐湖发展演化的研究

[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 6.

[2] 魏新俊, 等. 柴达木盆地西部富钾盐湖物质组分、沉积特征及形成条件研究[M]. 北京: 地质出版社, 1993.

[3] 青海省地质调查院. 青海省柴达木盆地西部第三系富钾硼锂碘油田水资源远景区评价[R]. 西宁: 青海省地质调查院, 2003.

[4] 青海省地质调查院. 青海省柴达木盆地西部钾硼锂碘油田水大含水层研究[R]. 西宁: 青海省地质调查院, 2005.

Availability of Tertiary Oilfield Water Resources in Western Qaidam Basin

FU Jian-long<sup>1</sup>, YU Sheng-song<sup>2</sup>, LI Shi-jin<sup>1</sup>, REN Hai-yan<sup>1</sup>

(1 Qinghai Geological Survey Department, Xining 810012, China;

2 Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

**Abstract:** We find that there is always much high salinity brine and oilfield water in Tertiary strata naturally erupted from oil drills when we collect and analyze on those drill data of Qaidam Basin. From the view of tectonic evolution of Qaidam Basin, we think that the useful component of early rudimental paleo lake water becomes richer and richer under strong evaporation. Based on this, we renewedly collected samples from those Tertiary oil drills in 2002 in western Qaidam Basin. After analysis, we confirmed that there was surely full of high content of potassium, boron, lithium and iodine in oilfield waters. Through evaporating experiment in salt field, the high quality of sylvite, mixed substance of boron, potassium, lithium and iodine were produced.

**Key words:** Oilfield waters; Potassium; Boron; Lithium; Iodine; Comprehensive utilization

(上接 57 页)

[31] S. B. Riffat, S. A. Omer, Xiaoli Ma A novel thermoelectric-refrigeration system employing heat pipes and a phase change material— an experimental investigation[J]. Renewable Energy, 2001, 23: 313— 323.

[32] 何厚康, 张瑜, 闫卫东, 等. 相变纤维的研究与发展[J].

合成纤维, 2002, 31(2): 18—21.

[33] M. Marinkovic, R. Nikolic, J. Savovic, et al. Thermochromic complex compounds in phase change materials; Possible application in an agricultural greenhouse[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1998, 51: 401— 411.

Studies and Applications of Phase Change Materials

ZHANG Jing, DING Yi-ming CHEN Nian-yi

(Laboratory of Molten Salt Chemistry, Department of Chemistry,

Shanghai University, Shanghai 200436, China)

**Abstract:** The progress in the studies and practical applications of phase change materials (PCMs) have been widely reviewed, and the classification, the performance, the energy storage mechanism and the characteristics of PCMs have been studied in this paper. The applications of PCMs in solar energy application, architectural energy economy, concentrated air conditioning and other fields have also been introduced here. And the prospective developments in PCMs have been anticipated.

**Key words:** Phase change materials, Heat energy storage, Temperature control, Solar energy