

文章编号: 1003-7837(2005)04-0059-04

一种新型蓄热方式——吸附式蓄热*

李 军¹, 赵肃清¹, 朱冬生²

(1. 广东工业大学大学城校区轻工化工学院, 广东 广州 510006;

2. 华南理工大学传热强化与节能教育部重点实验室, 广东 广州 510640)

摘 要:蓄热技术是解决能源在供求上的不平衡的矛盾和提高能源利用效率的重要技术之一。总结了现有蓄热技术的发展现状和优缺点, 提出了一种新型蓄热技术——吸附式蓄热, 介绍了吸附蓄热的原理, 分析了其技术特点, 并对其应用前景及经济性进行了分析。

关键词:吸附; 蓄热; 应用; 经济分析

中图分类号: TK02 **文献标识码:** A

能源是人类赖以生存的基础。随着人类社会的发展和人们生活水平的日益改善, 世界范围内能源消耗量急剧增加, 同时由于温室效应、气体的排放而造成的全球气温的上升, 能源、环境的可持续发展问题日益严峻地摆在我们面前。人们对环境保护和能源有效利用的认识有了进一步提高。因此, 开发出一种洁净、高效、廉价、性能可靠的供暖方式成为能源利用研究的一个重要课题^[1,2]。但是能源的供给和需求在很多时候存在空间和时间上不协调的矛盾, 我国乃至世界范围内均存在电网的峰谷差过大的问题, 严重阻碍了电力资源的合理使用。开发低谷时期电力、实现电网的“削峰填谷”意义十分显著, 它不仅引导用户合理用电, 为用户节省用电成本, 而且可以使电网负荷提高, 改善电网的经济性, 使国家电力资源得到优化配置, 同时使环境得到保护, 这是一举多得的好事。蓄热储能技术可用于解决热能供给与需求失配的矛盾, 是提高能源利用效率和保护环境的重要技术, 在太阳能利用、电力的“移峰填谷”、废热和余热的回收利用以及工业与民用建筑采暖与空调的节能等领域具有广泛的应用前景, 近年来已成为世界范围内能源领域的研究热点^[3,4]。目前, 对蓄热技术的研究主要集中在相变蓄热方面, 如何提

高相变蓄热材料的导热性能, 对其改性以防止相分离现象和过冷现象以及易老化等问题^[5]。吸附蓄热方式是一种新型能源利用方式, 特别是蓄热密度上, 与相变潜热蓄热和显热蓄热相比具有较大优势^[6]。

1 吸附蓄热的原理

吸附蓄热是利用吸附剂与吸附质在吸附/解吸的过程中, 伴随着大量的热能释放与吸收, 采用吸附工质对在吸附/解吸间歇循环过程中的热量储存和转化原理, 把电网低谷时期的电能、太阳能或工业废热余热等由吸附/脱附过程的吸附热的形式把能量储存起来^[7]。

1.1 吸附蓄热工质对

吸附蓄热是利用固体吸附剂交替吸附、脱附吸附质来实现的, 吸附剂和吸附质组成吸附蓄热工质对。通过选择性能优良的吸附蓄热工质对, 可以增大单位质量工质的蓄热量(即蓄热密度)、缩短循环时间、提高系统的性能系数和减小设备体积等等。

一般选择吸附蓄热工质对时应遵循的主要原则如下:

对吸附剂来说, (1) 较大的比表面积、内部具有

收稿日期: 2004-12-02

* 基金项目: 广东工业大学博士基金项目资助(043016)

作者简介: 李军(1975-), 男, 博士, 讲师。

网络结构的微孔通道;(2)在相应的工作条件下,对所采用的吸附质的吸附循环量大,与吸附质不发生破坏性的作用;(3)传热传质性能好,循环使用性能好,失活速度慢,使用寿命长;(4)有较高的机械强度,耐磨、耐压性能好,密度较小,这样可以减轻系统的重量。

对吸附质而言,(1)在工作温度范围内物理、化学性质稳定;与所选用的吸附剂相容性好;(2)吸附等温线平坦,吸附量对温度变化比较敏感;(3)对环境无污染,来源广泛、价格低、毒性小、不易爆炸和燃烧;(4)与所选用的吸附剂的吸附热大。

结合以上的要求,可用于吸附蓄热工质对的有分子筛-水、硅胶-水、氯化钙-水、氯化钙-氨等。

1.2 吸附再生器结构

吸附再生器是整个蓄热系统的核心,因此对吸附蓄热再生器的研究也是吸附蓄热研究的重点。吸附再生器的性能主要由吸附床的传热传质特性决定。在吸附床的设计中,如何协调优化吸附床内的传热、传质以及吸附床内的热容比是设计高性能吸附床的关键。吸附再生器的传热阻力主要包括:(1)吸附剂本身的热阻,与吸附剂的有效导热系数成反比;(2)吸附剂与吸附换热器的接触热阻。为了强化吸附再生器的传热,可以从改善吸附剂的传热性能以提高其导热系数和采用先进的再生器结构这两方面来考虑。针对吸附床的这些特点,吸附床发生器可采用各种类型的换热器,在这些换热器的设计过程中,主要目的是要强化吸附床内的传热和减小吸附床的热容比。

在吸附换热器的结构型式方面,最常采用的是管壳式换热器。因为它具有结构简单、加工方便、价格便宜等优点,其缺点是吸附换热器与吸附剂之间难以保持良好的接触。近年来人们对采用不同吸附床换热器结构进行了研究分析,如板式换热器、螺旋管式换热器、热管换热器等。

1.3 吸附蓄热过程

吸附蓄热系统是非常简单的,主要由吸附固定床蓄热器、蒸发器、冷凝器三大主要部件组成。吸附剂与其相配合的吸附质组成吸附蓄热工质对,吸附蓄热工作循环过程如下:

图1是吸附蓄热工作循环的原理图。在晚上利用低谷电或太阳能、工业废热、余热等廉价热源加热蓄热床热时,使电能转变为热能 Q_a 储存起来,当蓄

热床温度升到一定值时,此时吸附质被解吸出来,蓄热床内的压力逐渐升高,当蓄热床内的压力达到吸附质在该温度下的冷凝压力时,被解吸出来的吸附质便在冷凝器中冷凝成液体并放出冷凝热 Q_c ,再流向集液器,此为解吸蓄热过程,即完成对低谷电或太阳能或废热、余热等能量的储存。由此可见,在蓄热阶段,储存的能量主要包括两部分即吸附质的吸附热和吸附剂的显热,在进行能量储存的同时还可以由冷凝热实现供热。将能量储存之后,关键是如何在需要的时候将其释放出来。解吸完成后,在需要利用热能的时候(例如在白天电力高峰时期),首先冷却蓄热床释放储存的吸附剂的显热部分,当吸附剂温度降低到一定值时,吸附剂恢复吸附能力,它便可以再次吸附从蒸发器中气化的吸附质,在吸附过程中放出吸附热 Q_a ,此为吸附放热过程,即将储存的能量在需要的时候释放出来,供用户使用。这样周而复始,便可实现多次蓄热、放热,而且吸附蓄热方式是可以实现连续供热的,不管是加热解吸阶段,还是吸附放热阶段。

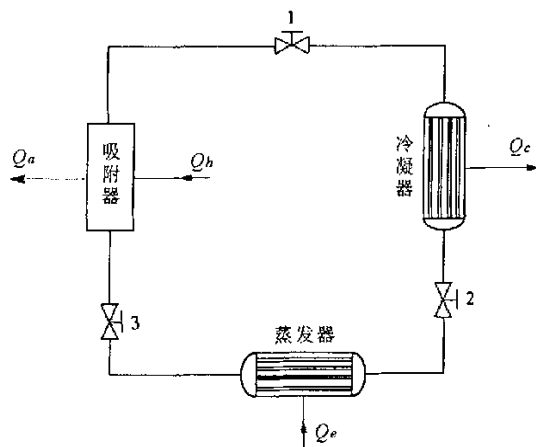


图1 吸附蓄热过程示意图

Fig.1 Scheme of adsorptive heat storage

2 吸附蓄热电采暖及经济性分析

近年来,随着人们生活水平的不断提高,国内大部分地区对于采暖的需求也越来越多,采暖面积已逐步由北方地区扩大至南方地区。同时,由于燃煤取暖而造成的粉尘和有害气体的排放导致环境污染日益严重。所以,开发出新的无污染或低污染的采暖方式便显得十分重要。采用电取暖,如电热油汀、电热

石英管取暖器、电热微晶玻璃辐射取暖器等越来越受到人们的青睐.但是,采用这种电采暖方式存在一个问题,就是在我国乃至世界范围内均存在电网的峰谷差过大的问题,严重阻碍了电力资源的合理使用,同时也阻碍了电热取暖器的发展.研发具有蓄热功能的电暖器,是近期电暖器行业关注的方向.该类电暖器可利用低谷电蓄热,蓄存热量可随时供采暖

使用.这不仅有利于缓解峰谷差,降低城市的燃煤污染,而且在实行峰谷电价分计的地区可节约运行费用,因此有广阔的应用前景.以上海市和宜宾市这两个电价已实行分时计价的城市为例,对采用新型吸附蓄热电采暖与常规电采暖的经济性进行了比较分析,分析结果列于表 1 和表 2^[7],吸附蓄热采暖的成本和运行费用的分析如表 3 和图 2 所示^[1,7].

表 1 上海市常规电采暖与蓄热电采暖的经济性比较

Table 1 Economic comparison between normal electric heating and electric heating by heat storage in Shanghai

	常规电采暖		吸附蓄热电采暖
	6:00~22:00	22:00~次日 6:00	22:00~次日 6:00
电价/(元·kWh ⁻¹)	0.61	0.3	0.3
用电时间/h	16	8	8
用电量/(kWh·天 ⁻¹)	11.2	5.6	16.8
电费/(元·天 ⁻¹)	6.832	1.68	5.04
总电费/(元·天 ⁻¹)	8.512		5.04
节省电费/(元·天 ⁻¹)	3.472		

表 2 宜宾市常规电采暖与蓄热电采暖的经济性比较

Table 2 Economic comparison between normal electric heating and electric heating by heat storage in Yibin

	常规电采暖		吸附蓄热电采暖
	7:00~23:00	23:00~次日 7:00	23:00~次日 7:00
电价/(元·kWh ⁻¹)	0.25	0.1	0.1
用电时间/h	16	8	8
用电量/(kWh·天 ⁻¹)	11.2	5.6	16.8
电费/(元·天 ⁻¹)	2.8	0.56	1.68
总电费/(元·天 ⁻¹)	3.36		1.68
节省电费/(元·天 ⁻¹)	1.68		

表 3 各种采暖形式的供热效率与初投资的比较

Table 3 Comparison between various heating types of efficiency of heat supply and initial investment

采暖形式	供暖形式	初投资 (元·kW 热 ⁻¹)	供热效率
传统采暖	燃油(气)家用灶	600	0.85
	燃煤家用灶	600	0.60
	热电联产	3000	0.55
电炉	普通电暖器	500	1.00
	相变蓄热电暖器	2000	1.00
	吸附蓄热电暖器	1600	1.00
	电锅炉	1000	0.95
热泵	家用热泵	1200	2.00
	大型热泵	1800	2.00

从以上分析可知,吸附式蓄热采暖在技术性能指标上及经济性方面的优势是十分明显的.吸附蓄热电采暖是一种具有蓄热密度高、无污染、舒适性好

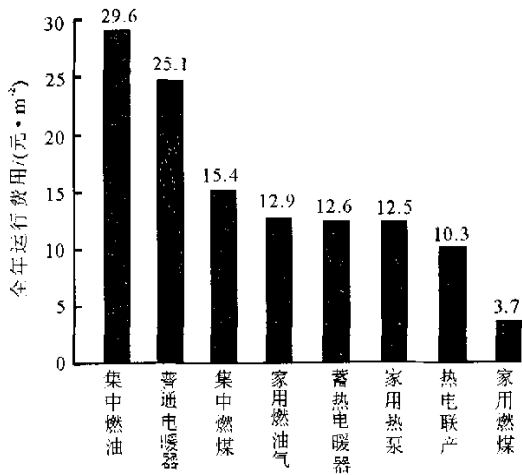


图 2 各种采暖形式单位面积的运行费用比较

Fig.2 Comparison of operating costs of unit area for various form heating

的采暖方式,不仅可以有效开发利用低谷电,平衡电网峰谷差,而且还可以为用户节省运行费用,是一种于国家、于社会、于用户皆有利的新型采暖技术。

3 存在的问题与展望

吸附式蓄热技术的研究刚刚起步,与常见的显热蓄热和相变潜热相比还不太成熟,尚有一些关键问题值得深入研究:建立吸附蓄热材料蓄热/放热过程的理论模型,分析各因素的影响;探索吸附材料与载体材料的较好的结合方式;进行实验研究,验证、修正理论模型,为该技术的实用化产品设计和性能优化提供理论指导;强化蓄热/放热过程的热、质传递。

为了早日实现该新技术的产业化,需要涉及多学科的科学人员的协同努力攻关,同时需与现代科学技术中的许多先进的思想和技术手段密切相连,并与开发商共同努力方能实现。

4 结束语

当前,由于能源的短缺及在供求方面的不平衡,电网的峰谷差过大,利用蓄热技术来解决能源供给之间失配的矛盾,是提高能源利用效率和保护环境的重要技术之一。吸附式蓄热技术与现有的显热蓄

热技术和相变蓄热技术相比,具有蓄热密度高、环保、可靠性高,可以利用多种能源驱动,是一种很有前途的蓄热方式。

参考文献:

- [1] 张寅平,康艳兵,江亿.相变和化学储能在建筑供暖空调领域的应用研究[J].暖通空调,1999,29(5):34-37.
- [2] Zalba B, Marin J M, Cabeza L F, *et al.* Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications[J]. Applied Thermal Engineering, 2003, 23: 251-283.
- [3] Dincer, Dost S, Li X G. Thermal energy storage application from an energy saving perspective[J]. International Journal of Global Energy Issues, 1997, 9: 351-364.
- [4] 张寅平,胡汉平,孔祥东,等.相变蓄热—理论与应用[M].合肥:中国科学技术出版社,1996.
- [5] 余晓福,张正国,王世平.复合蓄热材料研究进展[J].新能源,1999,21(9):35-38.
- [6] 李军,朱冬生,吴会军,等.一种新型复合吸附蓄热材料的实验研究[J].华南理工大学学报,2003,32(5):60-63.
- [7] 李军.复合吸附蓄热系统的实验研究与模拟[D].广州:华南理工大学博士学位论文,2004.

A new way of thermal energy storage: adsorptive heat storage

Li Jun¹, ZHAO Su-qing¹, ZHU Dong-sheng²

(1. School of light industry and chemical engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. The key laboratory of heat transfer enhancement and energy conservation, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Thermal energy storage technology is very important to improve energy efficiency and move the gap between energy supply and request. The development status of current sensible heat storage technology and latent heat storage technology and their advantages and disadvantages are summarized. Adsorption thermal energy storage technology as a new kind of heat storage process is introduced, principle of adsorptive heat storage is explained and its application prospect and economic feasibility are analyzed.

Key words: adsorption; thermal energy storage; application; economic analysis