

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2016.02.016

冷藏系统相变储能装置结构设计

罗 屹¹, 陆佳平¹, 钱 静¹, 陆新宇²

(1. 江南大学 机械工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 苏州市华普机械电器有限公司, 江苏 苏州 215156)

摘 要:针对目前中型冷藏系统温度浮动大,耗电量高等缺点,提出了基于相变储能技术的冷藏系统,根据现有冷藏系统的特点,介绍了储能装置的工作原理,设计了相变储能装置的结构;采用高效的换能结构实现储能装置的能量交换;设计了复合保温层结构和密封结构以降低能量损耗;设计了储能装置的温度监控系统以及冷量记录功能;创新性提出储能装置的结构参数设计方法。该系统不仅可以满足供冷平稳、节省耗电的要求,且可以作为标准单元串联使用,为相变储能装置应用于生产和实践打下基础。

关 键 词:冷藏系统;储能技术;相变材料;换能结构

中图分类号:TB657

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2016)02-0073-04

Structure Design of Phase Change Energy Storage Device for Refrigeration System

LUO Yi¹, LU Jiaping¹, QIAN Jing¹, LU Xinyu²

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Suzhou Huapu Mechanical & Electric Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 215156, China)

Abstract: According to the disadvantages of large floating, high power consumption and high power consumption in the medium refrigeration system at present, the operating principle of the energy storage device was introduced, and the structure of the energy storage device was designed. The structure of the energy storage device was designed, and the structure of the energy storage device was designed. The system can meet the requirements of cooling and power consumption, and can be used as the standard unit in series, which can be used in the production and practice of the phase change energy storage device.

Key words: refrigeration system; energy storage technology; phase change materials; transducer structure

近年来,冷柜、空调的用电量急剧增加,表现为白天电力能耗逐年增加,而夜间耗电量小且电价便宜^[1],将谷电储存起来在白天使用进行“移峰填谷”可以有效缓解用电压力,而且可以带来经济效益。相变储能装置是储能技术中最重要的一个环节,相变材料有着潜热大、储能密度高、所需相变温度范围可控等优势。但现有的储能技术中,对应用相变材料的储能装置研究甚少,因此,根据现有冷藏系统的特点,研究储能装置的形式和设计方法,对于生产应用有着长远的意义。

1 原理与要求

为缓解用电高峰时的电网压力,充分利用资源,响

应国家峰谷电政策的需求,研究一种利用相变材料储能的设备,用以对2~8℃的冷藏设备进行供冷,实现冷藏设备全部使用通过谷电储存的能源工作,适应新能源模式的要求。

研发设计的相变储能装置是组成一套利用储能技术供冷的冷藏系统的核心部分,该储能装置与制冷系统和负荷终端相连接,将制冷系统利用谷电制得的冷量储存起来,在用电高峰时将冷量放出,这样,一方面可以利用谷电的价格优势,另一方面大大减少了白天的高峰用电负荷,达到“移峰填谷”目的。储能装置是为了储存利用谷电制得的冷量,储能介质是相变温度为2~8℃的蓄冷剂,换能介质为一定浓度的乙二醇溶

收稿日期:2015-11-02;修回日期:2015-11-19

作者简介:罗屹(1990),男,河北唐山人,硕士研究生,主要研究方向为包装机械设计。E-mail:982189349@qq.com

液,通过合理的换能结构,在谷电时段内完成储能。

储能装置采用与制冷主机并联的方式,工作模式采用全部蓄冷模式,即在谷电时段储存足够的冷量,在负荷端供冷期间,冷量完全由储能装置提供,因为储能装置中蓄冷剂的相变温度与负荷端所需温度一致,所以可以实现储能装置与负荷端的顺利衔接^[2]。储能装置的工作原理如图1所示。

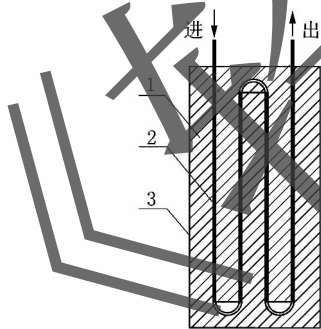


图1 储能装置工作原理图

Figure 1 Working schematic of energy storage device

从结构上讲,储能装置供冷与制冷主机直接对负荷端供冷的主要区别是增加了能量储存的过程。图1中,a—b—f—g为储能装置储冷循环过程,b—c—e—f为储能装置的供冷循环过程,储冷循环与放冷循环为储能装置的两个基本工作过程^[3]。

储能装置主要由蓄冷剂、壳体以及换能盘管组成。如图2所示,换能盘管安装在储能装置壳体内部,作为使蓄冷剂发生相变凝结的主干管。储能装置在储能循环过程中,低温的乙二醇溶液在换能盘管内循环,源源不断地带走储能装置中蓄冷剂的热量,直至蓄冷剂发生相变凝结,随着凝结层厚度的增加,凝结速度将逐步降低,蓄冷剂储能接近于饱和状态,此时分布于储能装置内部的各温度传感器传回相变温度达到的信号后,系统停止储能循环。



1—蓄冷剂;2—换能盘管;3—储能装置壳体。

图2 储能装置储能过程示意图

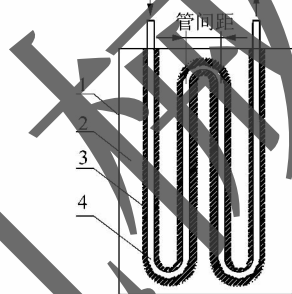
Figure 2 Schematic of energy storage device

2 储能装置换能技术分析及结构设计

2.1 换能管路排布设计

储能装置的能量交换过程依靠换能盘管来实现,如图3所示。U型的换能盘管放置在储能装置的中

心,通过其中循环的低温乙二醇溶液带走热量,使蓄冷剂达到相变温度发生凝结。因为储能装置采用全部蓄冷策略,即利用谷电储存的冷量为白天峰电时段供冷,所以对蓄冷速率就有了要求。定性的考虑,换能盘管分布越密集,根数越多,间距越小^[4-6],流过同样温度的换能液换能速率越快;但盘管数越密集,所占用的空间也就越大,意味着留给蓄冷剂的空间越小,要想达到足够的储能能量,只能增大储能装置体积。因此,采用合适的换能管路排布策略,使得在保证换能速率的前提下,尽可能增大蓄冷剂的空间是研究的重点。



1—储能装置外壳;2—蓄冷剂;3—相变凝结层;4—换能盘管。

图3 换能盘管换能原理图

Figure 3 Schematic of transducer coil transducer

由图4可知,换能剂在换能盘管中流动的过程中,换能剂的温度较低,因此盘管周围的蓄冷剂区域会首先发生凝结,随着凝结过程的进行,凝结层厚度会不断增加。在储冷过程的初期,凝结层增长速度较快,但随着厚度的增加,热阻将会增大,导致增长速度会变慢。所以,设置合理的盘管间距可以使凝结速度加快,而不过度占用储能空间。

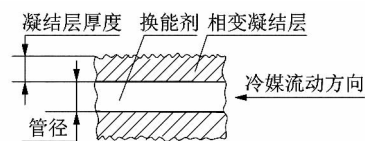


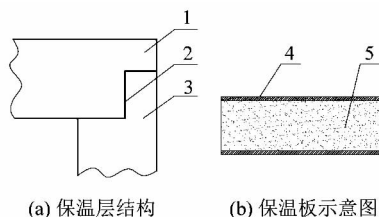
图4 换能原理局部放大图

Figure 4 Partially enlarged view of transducer principle

2.2 保温层结构设计

保温层的意义在于可以阻止热量传递,减少储能装置中热量的损失。热量传递的方式有3种:热传导、热辐射和热传递,减少热量损失需要从这3方面入手^[7-8]。对于保温结构来讲,应选用导热系数小的保温材料和合理的保温结构来减少热量传递。保温层分为盖板、侧板和底板几个部分。如图5所示,各部分之间的连接靠“台阶”粘合在一起,有3个贴合面,大大减

少了粘合时缝隙出现的概率,防止“热桥”现象的发生。保温层的材料选用聚氨酯泡沫与铝箔相结合的方式,聚氨酯泡沫的阻热性好导热系数低可以有效减少热传导,外覆铝箔可以减少储能装置内部的热辐射,多层复合的保温层可以降低热对流,因此保温层从热量传递的3个方面减少了热量传递,从而可以有效保温。



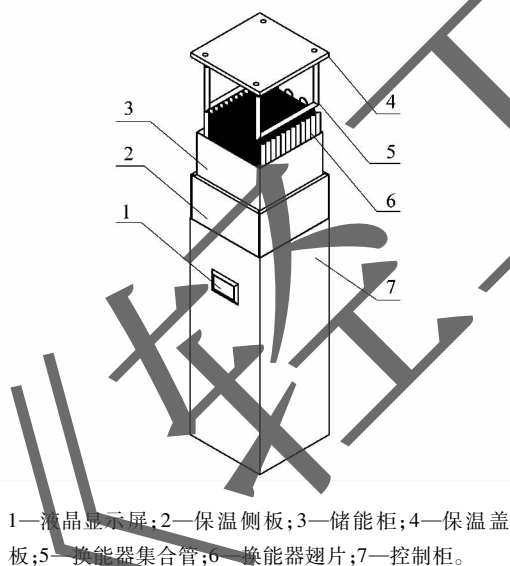
1—保温侧板(长度方向);2—台阶接合面;3—保温侧板(宽度方向);4—铝箔层;5—聚氨酯泡沫层。

图5 保温层结构示意图

Figure 5 Structure diagram of insulation

2.3 整体结构设计

储能装置如图6所示,主要由换能、储能箱体、保温和控制4部分组成。该装置的各部分都是为了提高储能效率、减少热量损失、精确监控温度,提高储能装置工作质量,使装置更加实用^[9]。



1—液晶显示屏;2—保温侧板;3—储能柜;4—保温盖板;5—换能器集合管;6—换能器翅片;7—控制柜。

图6 储能装置整体结构示意图

Figure 6 Overall configuration diagram of energy storage device

控制柜由外壳、温度传感器、热量表和电子显示屏等主要部件组成,承担着保护保温层,监控储能装置温度变化,记录交换冷量等任务。在储冷循环中,当传感器传回的温度信号低于蓄冷剂相变温度时,关闭制冷系统;供冷循环中,当传感器传回温度信号高于温度上

限,发出报警信号。当谷电时段到达时,控制系统开启制冷系统,进入储冷循环。温度信号是控制系统正常运转的信号,储能装置的温度测点布置如图7所示。为了准确测量储能装置内各点的温度,取9个Pt100陶瓷型工业铂电阻温度计分别安装在储能装置中蓄冷剂的上、中、下3层,每层的测点分别为体积中心、面的中心以及拐角处。测点数的增加与边、角、中心的测量位置设置可以使测量温度更为准确,避免了储能不完全、储能量不够的情况的出现,而且给控制系统判断何时达到了储能结束或供能结束提供了判断依据。

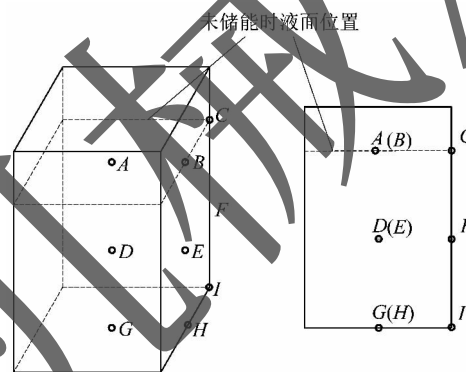


图7 储能装置温度测点布置图

Figure 7 Temperature measuring points layout of energy storage device

3 储能装置储能量参数化设计

在计算储能装置储能量之前需要定义一些储能装置结构基本参数,如图8所示。图中: L_1 为储能装置底边长; L_2 为储能装置底边宽; L_3 为储能装置的高。因为储能柜本身有一定的壁厚 b 来保证其结构强度,因此储能柜内部结构尺寸的长宽高: $l_1 = L_1 - 2b$; $l_2 = L_2 - 2b$; $l_3 = L_3 - 2b$ 。

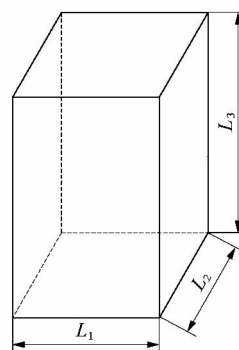


图8 储能装置结构参数示意图

Figure 8 Configuration parameters schematic of storage device

储能装置的储冷量

$$E_s = V_i \times \rho_m \times Q_m \times (1 - \eta) \quad (1)$$

式中: V_i 为储能装置内部空余体积/L; ρ_m 为蓄冷剂未凝结时密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); Q_m 为蓄冷剂的相变焓值/($\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$); η 为蓄冷剂凝结后体积膨胀比例/%。

其中 ρ_m, Q_m 为确定的值, V_i 会随着储能装置的储能能量变化, V_i 的实际体积应为储能装置内部体积除去换能盘管的体积, 则有

$$V_i = l_1 \times l_2 \times l_3 - [\pi(\frac{d}{2})^2 + S] \times L \times n \quad (2)$$

式中: d 为换能盘管的直径/mm; S 为换能器翅片的横截面积/ mm^2 ; L 为换能盘管的单根总长/mm; n 为换能盘管的根数。

由式(1)~(2)可以得到不同需求的负荷下, 储能装置的储能量, 进而得到储能装置的结构尺寸, 完成储能装置的设计。

现有一中型冷藏系统, 采用卧式结构, 保温性能好, 在峰电时段的 16 h 内, 制冷系统的平均功率为 0.5 kW, 能效等级 COP 为 2 级, 冷藏所需温度为 2~8℃。针对该冷藏系统设计一套相变储能装置的思路如下: 首先计算出冷藏系统在峰电时段的所需的冷量, 能耗比按 2.8 计算, 所需冷量应为 22.4 kW·h; 蓄冷剂密度 ρ_m 为 1.018 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 相变焓 Q_m 为 323.7 $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$, 凝结后的膨胀比例为 12%, 根据公式(1)可以得出 $V_i = 278.69$ L; 取换能器的盘管直径 d 为 6 mm, 换能翅片横截面积 S 为 55 mm^2 , 由公式(2)可以得到储能装置内部总体积应为 287.75 L, 从结构合理, 占地面积适中的角度出发, 可取 l_1, l_2, l_3 的值分别为 500, 500, 1 160 mm, 该尺寸的储能装置可以满足冷藏系统的供冷需求。

相变储能装置的优点表现为:

1) 应用相变材料储能, 供冷时因相变材料的相变温度段稳定, 相变潜热储能量大, 所以, 与常规的水蓄冷、冰蓄冷装置相比, 相变储能装置具有储能密度高, 供冷温度段平滑、稳定的特点。

2) 每个储能装置可以看做一个独立的储能单元, 当负荷端消耗量较大时, 可以通过储能单元串联的方式来提高储能量, 避免了单个储能装置体积过大和笨重的情况, 使得储能装置的适用性提高。

3) 采用合理的换热结构, 使得储能速率得到提高, 可以满足在谷电时段内完成储能过程的要求, 提高了经济效益。

4 结语

针对冷藏系统的特点和供冷要求, 通过对储能装置工作原理进行分析, 设计了一种相变储能装置的结构形式; 对储能装置的结构进行了参数化设计, 得出了储能装置的储能量与结构尺寸之间的关系, 为相变储能装置在冷藏系统中的应用打下理论基础, 也为冷藏系统的冷藏温度平稳、节约电价方面迈出重要一步。在进一步深入的研究中, 可以从换热结构的传热效率优化以及储能装置的标准化、单元化入手, 为相变储能装置的实际生产应用提供理论依据与支撑。

参考文献:

- [1] 简天. 相变蓄冷技术的研究现状和发展[J]. 冷藏技术, 2007(3): 44-49.
- [2] 王丽娜, 杨历, 杨小静, 等. 冰盘管凝固过程传热特性的理论研究[J]. 河北工业大学学报, 2007, 36(3): 22-26.
- [3] 柯秀芳, 张仁元. 管壳式相变储能换热器的优化设计[J]. 能源工程, 2001(5): 43-45.
- [4] 胡翌. 冰片滑落式冰蓄冷系统的研究[D]. 上海: 东华大学, 2006: 15-16.
- [5] 李海军. 冰蓄冷低温送风系统设计软件及冰盘管传热性能研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005: 8-9.
- [6] 徐海卿. 小型冰晶式蓄冷装置研究[D]. 上海: 上海海事大学, 2007: 7-8.
- [7] 熊扬恒. 一种新型多层反射型保温结构材料[J]. 热能动力工程, 1995(1): 53-57.
- [8] 杨延平, 李惠风. 空调系统保温材料及保温厚度问题的探讨[J]. 四川制冷, 1998, 12(2): 11-18.
- [9] 张仁元. 相变材料与相变储能技术[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 437-456.