[电力作业]

电力员工高温户外用制冷马甲

文/广东电网有限责任公司　李正强　李海涛　何子兰　杨智亮

电力行业作为特殊行业，涉及高空作业、带电作业等许多户外高危作业类型。穿着冷却服，改善人体周围的小气候，创造热舒适性环境，是抵御高温侵害，提高工作效率的有效方法之一。

设计方案

目前研究较多的个体冷却服包括管道冷却服、通风服、小型自制冷服和相变材料蓄冷服等。其中，管道冷却服需要将预冷却的液体或气体通入服装内的降温管道循环流动降温，其采用的与地面管道连接的方式限制了穿着人员的灵活性，不利于进行高空作业。而通风服和小型自制冷服需要穿着人员携带电源、风机、压缩机与液体循环系统，造成负重过大亦不利于灵活操作。而相变材料蓄冷方式采用蓄冷材料预先冷却的制冷方式，放冷时间长，放冷温度恒定，人体舒适度强；且冷量可以分散储存在蓄冷袋中，单次携带的蓄冷剂质量小，提高了便携性。因此选用相变蓄冷材料进行冷却服的开发。

1．基本原理

蓄冷马甲由成衣马甲及蓄冷冷袋组成，设计为可拆卸冰袋式。为充分发挥蓄冷材料的相变潜热蓄冷能力，蓄冷袋要预先放在便携式冰箱中保存。待携带到工区后取出制冷冰袋插入制冷马甲使用。由于相变储能材料的相变潜热大，相变时间长，可满足为作业人员降温的需求。为防止冷量散失，在马甲外侧须设置保温层。

2．设计要点

（1）相变温度合适

相变温度需使人体有冷感，且不失舒适度。考虑人体舒适度的要求，蓄冷材料相变温度范围确定为15～25℃。

（2）热力学可行性

蓄冷材料需熔化潜热大、放冷时间长，且不容易在相变过程中发生分层效应。

（3）便携性

携带蓄冷冰袋的制冷马甲需满足重量需求，方便体力劳动场合穿着。

（4）经济性

蓄冷材料为市场上大量销售、方便生产和价格适中的材料，以满足制造方便和大量采购的经济性需要。

相变蓄冷材料开发

1．材料选取

经调查，一些工业材料可以用于人体舒适温区的相变蓄冷，这些潜在可用的相变材料的性质汇总如下表所示。表中涉及到的材料具有以下性质：①均可在20℃左右发生相变换热，可在高温环境下相变吸热，且不使人体感到过冷；②化学性质稳定，且对人体基本无害，大部分可作为药品或食品添加剂使用，具有生理学上的可靠性；③便宜易购，均为常用的化工或食品医药行业原料。

表中涉及到的材料包括有机材料和无机材料两种，理论上都可进行相变储冷。但在实际操作中发现，无机材料相较于有机材料更难以使用。因无机水合物的吸热相变过程为分子失结晶水，并逐渐溶解于水的过程。这一过程中容易出现结块、析出现象，造成相变换热不均匀，削弱吸热

降温效果。此外，相较于有机相变材料，无机材料的相变潜热偏低，密度偏大，故蓄冷材料的开发主要考虑机物组分。

表　具有利用潜质的相变蓄冷材料热力学性质

材料	化学式	熔点/℃	相变潜热/(kJ/kg)	密度/(kg/L)	分类
辛酸	$C_8H_{16}O_2$	16.3	149	0.91	
甘油	$C_3H_8O_3$	17.9	198.7	1.263～1.303	有机
聚乙二醇－400	H（$OC2H_2$）nOH	5±2	142	1.27	
聚乙二醇－600	H(OC_2H_2)nOH	20±2	146	1.27	
六水合溴化铁	FeBr3×$6H_2O$	21	105	–	无机
六水合硝酸锰	Mn（NO_3）2×$6H_2O$	25	148	–	

2．材料测试

为确定最佳的相变蓄冷材料，进行了熔化测试试验。试验装置如图1所示。试验材料选择为正辛酸、甘油、聚乙二醇－400（PEG400）和聚乙二醇－600（PEG600）。为模拟实际使用情况，试验中四种材料各取100 ml，先置于冰箱冷冻室中冷却凝固，再移至室温下加热。为模拟人体的发热环境，在盛有蓄冷材料的容器下方垫有一片加热片。在未放置蓄冷材料时，调节加热片的输入功率使其表面温度稳定在35℃。之后在加热片上均匀放置蓄冷材料，记录降温曲线。降温曲线如图2所示。

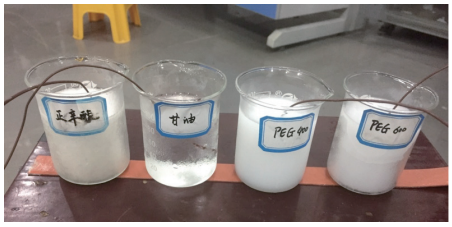

图1　蓄冷材料吸热试验装置

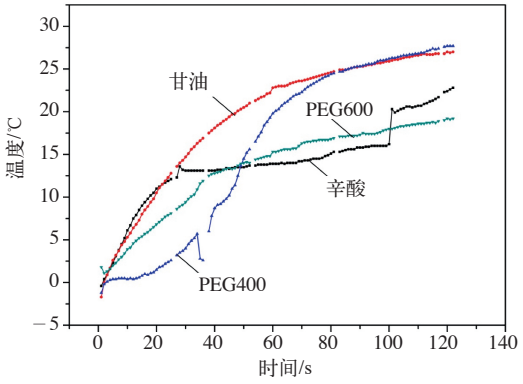

图2　蓄冷材料温度变化曲线

试验结果表明，不同的相变蓄冷材料在吸热过程中呈现出较大的差异，且升温过程与理论预想值存在一定的偏差。针对试验结果的分析如下：

1）纯甘油的熔点为17.9℃，但在试验中甘油并未呈现凝固状态。即使在试验开始前，从冰箱拿出的－1.8℃的甘油也未凝固，呈现为粘稠液态。这是因为在空气中的甘油极容易吸水。经查，含水量10%的甘油凝固点为－1.6℃，故试验中的甘油只是进行了液态吸热过程。因此在实际使用中，甘油极易吸水的特性会对其性能产生较大影响，也对封装措施提出了较高要求。

2）PEG醇－400的凝固点过低且相变换热时间短，不适于用作蓄冷马甲内的相变材料。

3）辛酸与PEG醇－600的性质较为相近，适合作为相变蓄冷材料。但在试验中发现PEG醇－600的相变过程极为缓慢，且存在大温差的温度分层，如图3所示。这是由于其导热率低，外侧的材料先熔化并形成了一层低导热率的热阻层，而材料内部仍保持过冷状态。这一特性虽然削减了其传热速度，另一方面却延缓了其熔化时间，使相变材料表面温度维持在接近20℃的范围内，在提高人体舒适度方面具有一定优势，故在热力学性质上PEG醇－600更具开发优势。

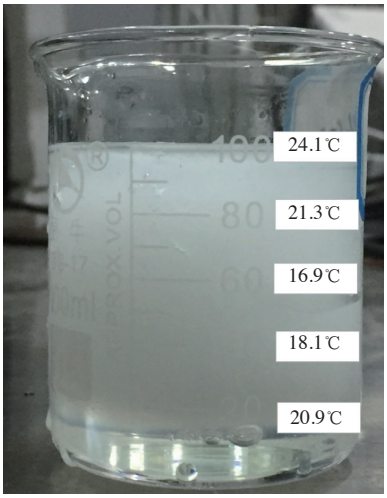

图3　PEG600的温度分层现象

结束语

本方案提出了一种可提供20℃冷却温度的蓄冷马甲，推荐使用的蓄冷材料为PEG600。在蓄冷性能方面，单次有效放冷时间可达3 h，可吸收70%以上的人体躯干散热；在舒适性上，蓄冷袋表面温度维持在20℃左右，使人体不会感觉过冷，提高了舒适度；在便携性上，单件蓄冷马甲质量为2.5～3 kg，方便灵活使用。因此，本方案具有广泛应用的前景。**EA**

（收稿日期：2018.12.20）
（编辑：朱金凤）