纯电动汽车新型非电池供暖装置设计

□ 北京建筑大学环境与能源工程学院/郭名山　武利园　李海燕

为解决纯电动汽车供暖模式下续驶里程骤减的问题，本研究提出一种新型低成本纯电动汽车非电池供暖装置。该装置采用复合石墨基储能模块和高导热陶瓷换热模块分体设计方案，为纯电动汽车供暖系统专设储能模块，在满足车内温度需求的同时，避免了供暖系统工作时非正常充放电行为对主体电池的损耗，有效保障了汽车行驶的正常续驶里程，有利于延长电池寿命，并降低消费成本。

电池寿命短和续驶里程有限，是新能源纯电动汽车发展的主要技术制约因素之一。在冬季开启供暖系统时，电池使用问题主要表现在以下两个方面：

1）开启暖风系统易造成电池损耗而缩短电池寿命。以中高档纯电动汽车为例，其所用锂电池正常工作温度在0～40℃之间，北方地区冬季温度则普遍低于0℃。在冬季行驶开启暖风系统时，受冷暖模式切换影响，电池元中钴元素不稳定，针状晶体易析出而造成内部易短路，使得电池本体受损，寿命严重缩短。按照市场消费习惯，电池实际更换周期从5年减至3年。

2）冬季开启暖风系统下，行驶里程将缩减30%～50%。据统计，对于满电状态下正常行驶平均最长里程为150km的纯电动汽车，在制热模式下行驶里程减至约50～100km。美国可再生能源实验室针对本田 Insight 和丰田 Prius的暖风空调系统进行了基于底盘测功机的测试试验。结果显示，相同行驶工况下，开启暖风系统相比关闭暖风系统能耗提升2～3倍。

本研究提出一种新型低成本纯电动汽车非电池供暖装置，为供暖系统专设储能模块，在满足车内温度需求的同时，以避免供暖系统工作时非正常充放电行为对主体电池的损耗，同时保障汽车行驶的正常续驶里程。

供暖装置结构

结合汽车空调供暖系统设计相关技术要求，进行模拟计算、确定设计参数，设计空调供暖系统专用储能模块装置。组件包括：储能模块、电热材料、隔热材料和保温材料四部分，技术参数见表1。

（1）工作原理　利用充电桩对储能系统进行充电，将电能以显热和相变潜热的形式储存在储能元件内，储能模块采用蜂窝式换热器。空调供暖系统工作条件下，利用储能系统供给空调功率输出能源，利用储能模块的能量对循环气体进行加热，进而达到供热效果。具体如下：选择供暖模式，将暖风空调系统循环转入储能模块内，循环气体在鼓风机推动下沿管道接入储能模块内的蜂窝式换热器，经反复多次升温进入通风装置，带至车内，进行车内温度调节。

（2）储能材料　本研究提出

表1 纯电动汽车车载储能取暖装置设计参数表格

项目	数值
总风量/L·s^{-1}	77 ×（1±5%）
输入电压/V	220 /380 AC
鼓风机电流/ A	≤3
空气出口温度（冬日）/℃	20±1.4
空气流量/CMH	≈300
风压/kN·m^{-2}	0.757
空气变化量（温度）/℃	20±5
最大散热量（空气利用率80%）/ kW	2.07±0.52
工作功率/ kW	5（220V）/8（380V）
鼓风机电阻分档比例（%）	30、50、70、100
认可标准/kcal·h^{-1}	±5%

采用新型石墨基复合相变储能材料，与传统相变材料相比，其比热容与传统固态蓄热熔盐相当，导热系数明显高于熔盐、碳钢等材料，整体蓄热性能明显优于熔盐详见表2。经测试，本研究所用新型储能材料每立方厘米从20℃升到1 000℃可储能2 800kJ，蓄热性能优良。

表2 系列相变材料性能对比情况

材料种类	热容量/J·kg^{-1}·k^{-1}	热导率/W·m^{-1}·k^{-1}
常用铝基合金储能材料34Mg	311.73	80
熔盐（随温度变化）	110～1 000	0.266 33～0.440 77
碳钢（w_C0.5%～1.5%）	465～470	32.89～52.34
本研究用新型储能材料	710	129

（3）电热材料 为满足升温效果，通过系列耐热性和力学实验，对不同合金材料上述性能进行比较，确定采用镍铬合金。采用铁铬铝合金价格相对低廉，熔点高，但质脆，加工性能较差；弯曲时需要预热；高温时强度低，元件易变形；加热后合金晶粒长大，脆性增加，经不起冲击和弯曲；维修时比较困难。与钼、钨材料相比，镍铬合金功率更稳定，成本更低，在经过使用后可承受一定的冲击和振动。

（4）耐火、保温材料 本试验选择以薄粘土质耐火砖及硅酸铝耐火纤维棉、板等混合材料，中间设置缓冲隔热层用以保护装置核心部分和外壁，同时节约成本。该材料具有耐高温（1 400℃）、热导率低、密度小、蓄热量少、抗热振性好以及优良的绝缘性能。

相关性能测试

该部分实验包含预试验和整机性能试验。

预试验部分目的是验证先期理论推导的结论，并在此基础上指导各模块的参数设定。

1.预试验部分

1）储能模块、换热模块温度耐受性及整体能量分布均匀性测试。

2）巢式高导热换热模块耐久度试验及电能换热器加热性能测试。

3）储能模块无保温工作试验，该部分试验目的是为在一个较严苛的环境对装置储能主体进行实效测试，进而对整机装机后较严苛环境工作效果有一定的预测。

2.整机性能试验

正常工况下保温效果试验。该部分是整机装机试验，测试装置在装机后，测试在北方正常工况下的工作效果。

低温工作效果试验（－20℃）。该部分为整机装机试验，目的是测试装置在装机后，在北方较严苛环境下（－20℃，强制换风条件）的实际工作效果。

（1）正常工况下保温效果试验 模拟在国家电网所安装的市电长时昼夜充电桩下充电完成后，此装置在冬日正常条件下的保温效果。将该装置储能模块、保温单元等组装好，待充能完成后，直接暴露在室外条件下，开始计时，每隔6h进行一次出风温度测试，当测试出风温度（25℃±2℃，以出风口热电偶进行测量）无法达到指标时，终止试验，对数据进行整理，如图1所示。该装置单次充能后，可在冬日待机近30h并仍能维持正常出风温度，表明储能模块、换热模块温度耐受性高，整体温度均匀性好。

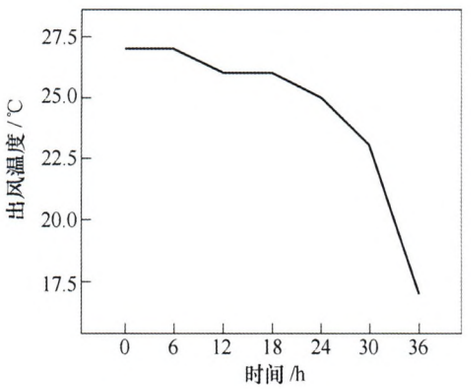

图1 正常工况下保温效果试验

（2）低温工作效果试验（－20℃） 在强制风冷降温控制的深冷机内，设置环境温度区间为－20℃，在此环境下将装置裸放至少6h后，装置内部输出换热端仍能维持与外界温度差达120℃以上即可。若在达到时间要求后仍能维持标准，则持续试验，直至无法维持该温度差为止。在此基础上，测试该装置充能后在设定要求的低温环境下（置于－20℃冷库内）的能量衰减速率及各关键时间节点下的保有能量，结果见表3和图2所示。实验结束点：换热端与外界温度差≤120℃，输入能量折合电量：7.8kWh。

表3 新能源汽车储能采暖装置-低温保温试验-各关键时间节点

实验持续时间/h	换热端温度/℃	折合剩余电能/kWh	剩余能量（%）
6	483.3	5.7996	97
8	428.7	5.1444	86
10	383	4.596	77
12	340	4.08	68

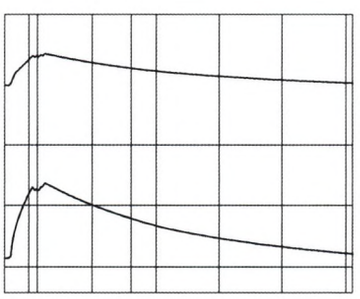

图2 储能采暖装置低温保温试验曲线

从图2中可以看出，该装置已经达到并超出了原有设计要求：在－20℃强制空冷降温实验条件下，该装置待机6h仍能维持97%的内部能源保有量，满足了设计需求。

结语

本文提出一套基于供暖系统专设储能模块的非电池供暖装置，采用高密度复合石墨基材料作为储能单元主要材料，为供暖系统外设专用储能单元，以分担供暖系统对主体电池的能耗，避免供暖引起非正常充放电对主体电池的损耗。

整机性能试验表明，该装置单次充电的待机和工作效果覆盖了纯电动汽车的单次充电平均待机和驾驶时长。冬季（－20℃，强制换风条件）可持续稳定输出能源，低功耗输出时间已经远超过单次充电平均驾驶时长5～6h，待机时内部能源至少可保有8h，满足单次充电平均待机时长。在外界温度－10～－5℃的工作环境下，单次充电（2h）可连续工作保证车内温度18～20℃至少8h，已超出单次充电的平均驾驶时长。

可见，此装置设计有利于减缓供暖系统工作时非正常充放电行为对主体电池的损耗，有效保障汽车行驶的正常续驶里程。

郭名山，曾在清华大学环境学院学习，具有两项独立自主知识产权的个人项目进入“挑战杯”创新大赛国赛决赛，曾参与清华大学环境学院副院长吴烨教授课题组项目，清华大学AI人工智能创新创业专业首届优秀毕业生。目前主攻纯电动汽车节能减排等方向。

AUTO1950