

混合动力车用镍氢电池的液体冷却系统

吴忠杰, 张国庆

(广东工业大学 材料与能源学院, 广东 广州 510006)

摘要: 针对混合动力车用镍氢电池的散热特点, 结合国内外有关电动车电池热管理的研究, 提出了一套既高效又经济的采用夹套式液体冷却的电池热管理方法. 对此系统的各个部件进行完整设计, 通过建立单个电池基体的模型在 GAMBIT 中用网格把它细分, 在 FLUENT 中进行流场的模拟仿真, 结果表明此冷却系统能够保证电池组的最佳运行温度范围.

关键词: 镍氢电池; 电动汽车; 电池热管理系统; 夹套式液体冷却

中图分类号: U 270.38⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2008)04-0028-04

随着能源和环境问题的日益严峻, 作为节能环保型汽车出现的混合动力车, 无疑是汽车行业中的一座重要里程碑. 然而, 电池作为储能装置元件, 是电动汽车的关键部件^[1-2], 它直接影响到混合动力车的性能, 因此, 电池组热管理系统的研究与开发对于电池寿命和成本至关重要. 原因在于: 1) 电池组长时间工作在比较恶劣的热环境中, 将降低电池性能, 缩短电池使用寿命; 2) 电池箱内温度场的长久不均匀分布将造成各电池模块之间性能的不均衡. 因此, 电池热管理系统的优化设计不仅是电池堆良好运行的保证, 还可提高电池堆的寿命, 节约能源和资源. 这一问题的解决将在很大程度上推动混合动力车的研究发展和推广应用^[3-5].

1 液冷系统设计方法

本文选用混合动力汽车用 D-Size 系列镍氢电池作为研究对象. 该电池不同于铅酸电池, 它属碱性电池, 在充、放电过程中都将产生热量, 且放电过程产生的热量比充电过程产生的热量大得多. 这些热量往往会使位于电池模块内部的单体电池局部温度上升到 100℃ 以上, 而位于外围的电池又接近环境温度, 这就在电池模块内部各个单体电池之间产生了非常严重的不均衡温度分布, 从而造成电池之间的性能不匹配, 进一步导致电池模块过早失效^[6-7]. 本文在分析了国内外有关混合动力车电池热管理研究^[8]的基础上, 提出了一套热管理系统设计的新思路, 采用套管式蒸发器的电池液体冷却系统. 该系统具有既高效又经济的特点.

如图 1 所示为电池组液体冷却系统示意图. 整

个系统包括电池模块、电池模块箱体、套管式蒸发器、水泵、温控三通阀、电加热装置、分液头及冷却液管道. 自套管式蒸发器下端出口出来的冷却液体在电池模块箱体上部管道安装的水泵作用下, 从箱体下部的分液头分别引入每个电池模块, 在电池模块内部对每个电池单体进行充分的冷却, 经过冷却后的加热液体再从箱体上端的分液头汇集于回流管道, 被加热后液体通过回流管道重新回到蒸发器进行冷却, 如此循环对电池组起到持续冷却的作用. 安装在蒸发器制冷剂管道进口处的热力膨胀阀则感应蒸发器出口端的温度进行阀门开度调节, 从而可以控制回流液体的冷却程度. 当电池在不同设定温度范围内工作时, 温控三通阀通过温度传感器采集电池模块出口处的温度, 将该值与设定温度进行比较并作出响应, 从而控制两条不同管道之间的切换. 系统中的加热装置是混合电动车在比较寒冷的环境下运行而特别设计的辅助装置.

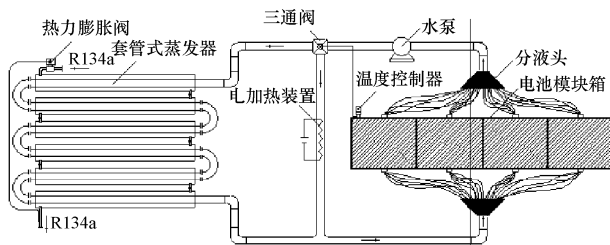


图 1 电池组液体冷却系统示意图

2 液体冷却系统的结构设计

2.1 电池单体结构

图 2 为单体电池结构示意图. 选用松下 20Ah 的

D-sized 系列镍氢电池作为基体, 外部加装壳体, 紧密配合构成冷却流道, 它们之间通过沿圆周均布的四条肋连接固定, 为防止电池脱落, 可使用绝缘胶加固. 基体与壳体共同组成电池单体结构, 基体与壳体之间间隙以保证整个电池单体冷却液体流动畅通, 冷却液体由电池单体下部流道流进, 从单体上部流道流出, 持续对电池壁面进行冷却.

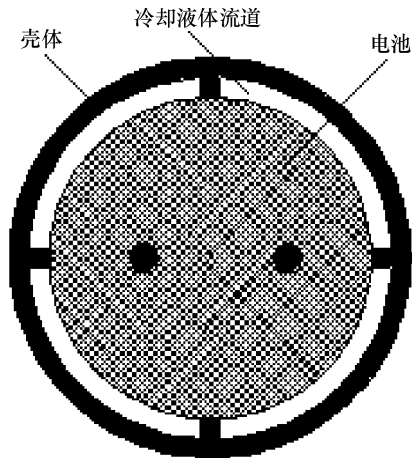


图 2 电池单体结构示意图

2 2 电池模块箱体的结构

2 2 1 电池模块的结构

每个电池模块包括 6 个电池单体、1 组电池连接片、1 个框体、1 个导流顶盖、1 个导流底盖、温度传感器及其线束组成 (见图 3), 为了减轻重量以及满足使用功能的要求, 该部件由特殊的 FRP 材料制成, 该材料的不导电和低导热性能够保证系统装置更安全.

如图 3 所示, 电池模块框体上依电池排列形式开有 6 个电池单体大小的孔以便电池单体嵌入, 孔的底部与电池底部接触位置开有与电池单体流道对应的孔隙穿透底板, 以保证整个电池单体流道的通

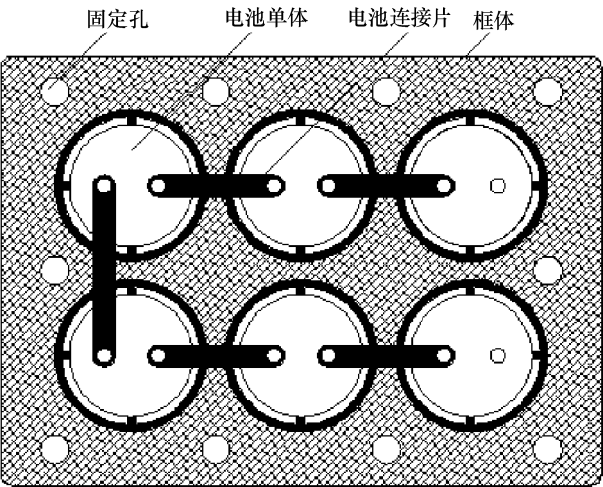


图 3 电池模块框体俯视图

畅. 电池单体之间的串联通过电池连接片按次序连接, 电池连接片的固定则是通过电池模块顶盖上的肋来压紧, 为防止肋对电池的过度压紧, 可在电池连接片下部加上一个柔软垫片, 在固定连接片的同时还可以确保电池单体垂直方向的固定. 电池单体安装就位后, 电池壳体外壁与底板孔隙内壁的间隙可用良好密封性能的硅酮玻璃胶密封, 以防止冷却液体渗入造成冷量损失.

2 2 2 电池模块进出口 流道

图 4 为电池模块正面剖面图. 如图 4 所示, 为确保电池单体之间的温度保持均衡, 必须使冷却流体均匀稳定地流过每个电池单体流道, 电池模块流体进出口分别采用能够平均分流的导流底盖和导流顶盖, 导流顶盖和导流底盖通过合适的螺钉固定安装于模块框体上, 在电池模块出口端安装一个温度传感器对电池温度进行实时采集. 为使电池模块之间的电池进行串联连接, 则需通过拧在导流顶盖上的电极接线柱将模块电源引出. 为确保模块内部液体的良好密封, 可在电极接线柱上缠上生料带以取得良好的密封效果.

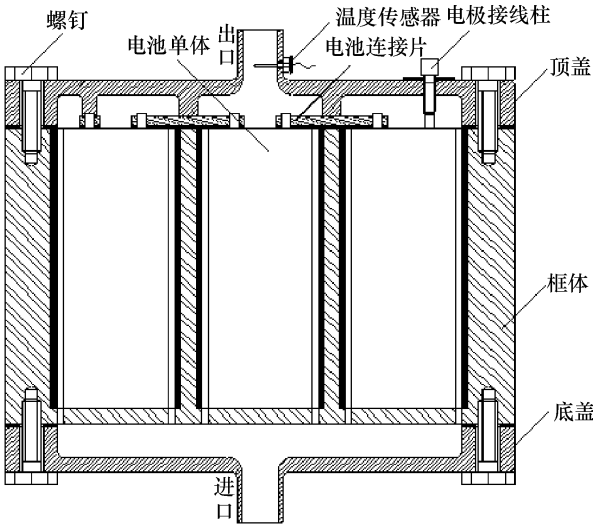


图 4 电池模块正面剖面图

2 2 3 电池模块箱体结构

在车辆运行过程中, 电池模块的定位及安装不仅涉及单个电池模块的维护及更换, 而且直接影响到整个电池组的安全运行. 考虑到制造、安装、定位、联接等多种因素, 设计将 32 个电池模块分 4 列 8 排的水平紧凑镶嵌在电池模块箱体底座内, 上部通过顶盖上凸台状的肋来压紧所有电池模块, 从而确保模块各个方向的固定. 模块箱体的剖面图如图 5 所示. 电池模块箱体顶盖上设置有线束采样通道, 便于引出每个电池模块的温度采样线束和电源采样线

束. 此外, 为减轻电池模块重量, 箱体材料则选用符合一定强度要求的 ABS 工程塑料制成.

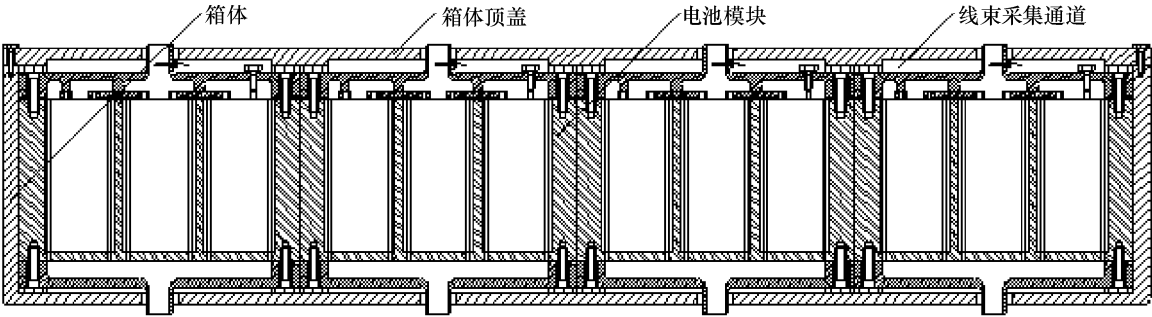


图 5 电池模块箱体的剖面图

2 3 换热器的选择

为了尽可能减小液冷系统的重量, 选用高效的套管式蒸发器, 如图 6 所示. 套管式蒸发器由内管、制冷剂接口、外管、U 型肘管和热力膨胀阀组成. 将不同直径的两根管子套成同心套管作为换热元件, 然后把多个元件加以连接而成的一种高效蒸发器. 它具有重量轻、结构紧凑、换热效率高等特点. 这种结构使得整个冷却系统显得更加简单轻便. 为适应电池组在不同工作环境下的变化, 安装在蒸发器入口处的热力膨胀阀可以根据蒸发器出口处的温度变化自动调节制冷剂流量, 以实现对电池组所需要的合适冷负荷进行调节.

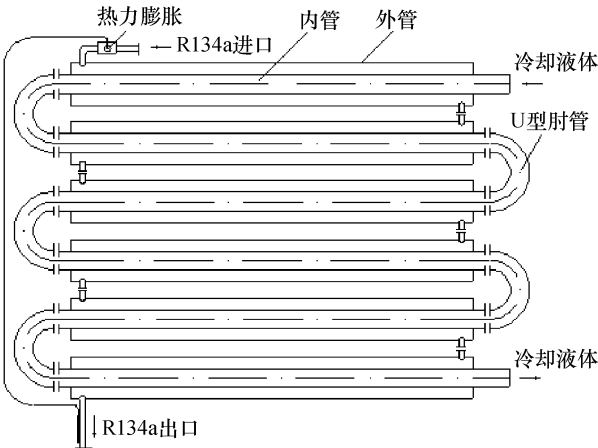


图 6 套管式蒸发器结构图

2 4 加热装置的设计

当电池在不同设定温度范围内工作时, 温控三通阀通过采集电池表面温度, 将该值与设定温度进行实时比较, 达到控制两个管道之间的切换, 而加热装置则针对车辆在比较寒冷的环境下运行而特别设计的辅助装置.

3 流道模拟计算

3 1 模拟方法

由于系统设计能够使进入每个单体电池的冷却

液体分流均匀, 因此只需通过建立单个电池基体的模型在 GAMBIT 中用网格把它细分, 并在 FLUENT 中进行流场的模拟仿真. 如果电池以 5C 倍率进行放电, 电池的荷电状态为 70% ~ 35% 之间, 故单个电池在最佳工作温度区间 22~ 25 ℃ 内的热流量是 22.79W^[3]. 计算冷却液体为矿物油, 其进口温度为 23 ℃, 速度为 2 m/s 电池组在选定模式运行下, 流道内壁为单体电池形成的热源, 其厚度为电池半径 0.01 m, 温度控制在最佳工作温度 24 ℃, 由于 k-ε 湍流模型能提供流动的真实情况, 计算时采用该模型进行仿真计算.

3 2 结果分析

如图 7 所示为 FLUENT 仿真单个电池环形冷却流道的温度分布图. 在上述边界条件下, 从图 7 中可以看出, 流道边界内的最高温度小于 24 ℃, 温度场的温度分布小于 1 ℃, 表明电池表面的温度场分布比较均匀, 并能达到电池运行性能最佳温度范围内, 如此可知所设计的夹套式液体冷却系统合理有效.

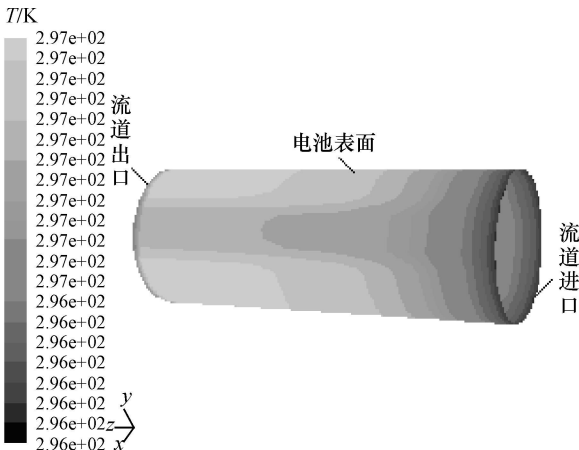


图 7 电池环形表面流场温度分布图

4 结论

本文针对混合动力车用镍氢电池在比较恶劣的

热环境下产热大、冷却不均衡的特点,创新性地设计了一种采用夹套式液体冷却方式的高效显著、结构简单、的热管理系统. 本系统既提高了电池冷却效率,同时实现电池单体间温度分布的均匀,从而可以满足最佳的电池运行条件,保障电池堆出力稳定,延长电池寿命,提高电动汽车的动力性能. 该研究对推动混合动力车电池技术的发展具有重要作用.

参考文献:

[1] 陈全世, 齐占宁. 燃料电池电动汽车的技术难关和发展前景 [J]. 汽车工程, 2001, 23(6) 362-363
[2] 林成涛, 陈全世. 燃料电池客车动力系统结构分析 [J]. 公路交通科技, 2003 20(5) 134-135.
[3] Ahmad A. Pesaran, Matthew Keyser Thermal characteristics of selected EV and HEV batteries[C]// Annual Battery Conference Advances and Applications January 9-12, 2001. Long Beach, California 2001.

[4] Pesaran A, Vlahinos A, Stuart T. Cooling and preheating of batteries in hybrid electric vehicles [C] // the 66th ASME—JSME Thermal Engineering Conference March 17-20, 2003 Hawaii 2003
[5] Pesaran A A, Vlahinos A, Burch S D. Thermal performance of EV and HEV battery modules and packs[C]// Proceedings of the 14th International Electric Vehicle Symposium December 15-17, 1997. Orlando Florida 1997.
[6] 张国庆, 张海燕. 相变储能材料在电池热管理系统中的应用研究进展 [J]. 材料导报, 2006, 20(8): 9-12
[7] Keyser M, Pesaran A A, Mihalic A, et al Thermal characterization of advanced battery technologies for EV and HEV applications[R]. NREL Report August 2000
[8] Pesaran A A, Burch S, Keyser M. An approach for designing thermal management systems for electric and hybrid vehicle battery packs[C] // Proceedings of the 4th Vehicle Thermal Management Systems May 24-27, 1999. UK London, 1999.

The Liquid Cooling System of the NiMH Battery Pack for Hybrid Electric Vehicles

Wu Zhong-jie Zhang Guo-qing

(Faculty of Materials and Energy, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract With regard to heat dissipation of NiMH batteries, a creative design adopting the tube-in-tube liquid cooling for the BTMS has been presented, based on the analysis of the thermal management system of the battery pack for HEVs home and abroad. The design efficient and economical, and all the designs of the parts and the system have been completed. A battery model has been built and compartmentalized with the mesh in GAMBIT. The result of the flow simulation in FLUENT shows that this cooling system can ensure the optimal temperature range for battery pack operating.

Key words NiMH battery, electric vehicles, battery thermal management system, tube-in-tube liquid cooling