

HVCH 与 PTC 加热器在新能源客车上应用的对比分析

汪海涛

(北京福田欧辉新能源汽车有限公司, 北京 102206)

摘要: 高压冷却液加热器 (HVCH) 和正温度系数 (PTC) 加热器是广泛应用于新能源客车的两种高电压加热器。通过对比分析, 发现二者在结构、性能、经济性及适用性方面各具特点, 在能量管理方面 HVCH 比 PTC 加热器更优。

关键词: 新能源客车; 加热器; HVCH; PTC; 对比分析

中图分类号: U463.6

文献标志码: A

DOI: 10.15917/j.cnki.1006-3331.2025.04.011

Comparative Analysis of Application of HVCH and PTC Heaters to New Energy Buses

WANG Haitao

(Beijing Foton Ouhui New Energy Automobile Co., Ltd., Beijing 102206, China)

Abstract: The high-voltage coolant heater (HVCH) and positive temperature coefficient (PTC) heater are the two types of high-voltage heaters widely used in new energy buses. The author finds that each has its characteristics in terms of structure, performance, economy, and applicability through comparative analysis, while the HVCH is superior to PTC in energy management.

Key words: new energy bus; heater; HVCH; PTC; comparative analysis

高压冷却液加热器 (High Voltage Coolant Heater, HVCH) 和正温度系数 (Positive Temperature Coefficient, PTC) 加热器被广泛应用于新能源商用车电池热管理系统和水暖系统。两者都是基于电导发热体通电加热原理对冷却液进行加热, 为动力电池和车内供暖提供合适的工作温度^[1]。两者都具备发热迅速、换热效率高的优点, 但在技术特征上存在较大差异。

本文从结构和性能两个方面, 对两种 600 V 高压平台电液加热器进行对比分析, 为新能源汽车热管理工程设计人员提供参考。

1 结构对比分析

1.1 加热体结构特征对比

1) HVCH 发热体采用不锈钢加热棒, 棒体内部均匀分布着高强度、耐高温的镍铬合金电阻丝。电阻丝与棒体间的空隙致密填充镁粉, 并进行真空密封。镁粉具有优良的绝缘性和导热性, 是理想的绝缘导热

材料, 不会因使用周期和温度变化而氧化质变, 长期使用不会发生绝缘阻值变化。HVCH 的结构示意图如图 1 所示。

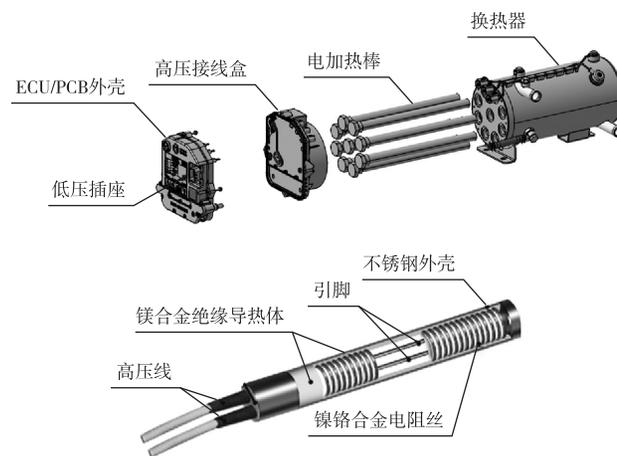


图 1 HVCH 内部结构及单根加热棒透视图

2) PTC 加热器的发热体是由钛酸钡添加微量稀土元素, 经高温烧结形成的陶瓷半导体材料。该发热

收稿日期: 2024-11-18。

第一作者: 汪海涛 (1986—), 男, 工程师, 主要从事智能网联热管理研究工作。E-mail: wanghaitao6@foton.com.cn。

体经绝缘纸包裹绝缘后,被装填到铝材质的矩形导热体中,形成电加热包^[2]。PTC 加热器的发热体与导热体之间并非完全接触,存在间隙,因而部分热量通过辐射传递。此外,由于非真空密封,长期高温工况下,绝缘纸会发生氧化裂解的化学反应,绝缘阻值及绝缘寿命也会随之降低。根据文献[3]得知,温度每升高 10 K,绝缘寿命减少约 50%。PTC 加热器的结构示意图如图 2 所示。

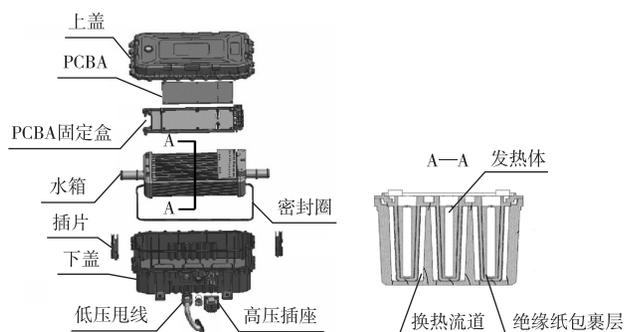


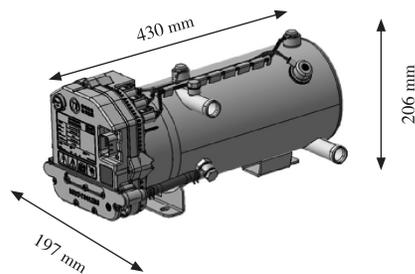
图2 PTC 加热器的内部结构及加热包剖视图

1.2 水路结构特征对比

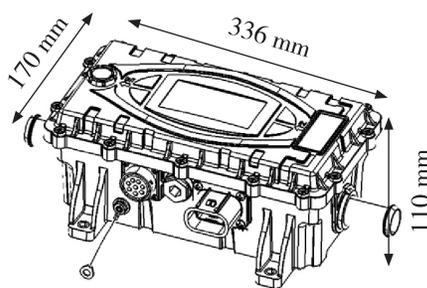
HVCH 的水路结构为单向单通道流程,工作液由进水口流入换热器腔体,经加热棒加热后从出水口流出。加热棒为不锈钢圆管,在换热器内呈环形阵列式排布,在水路中与工作液直接接触,并 100% 浸水,形成“浸没式”热模式。水路空间通畅、水阻小,流量可达 25 L/min。

PTC 加热器的水路结构为单向多通道流程,各通道相互隔离。工作液由进水口流入换热流道,经加热包加热后在出水口处汇集流出。电加热包为矩形片状,以矩形阵列方式排布,形成多通道“流道”式热模式。由于水路空间较小,水流阻力较大,导致流量仅为 20 L/min。长期使用后,冷却液粘稠度增加会降低其在水套中的流速,进而影响换热系数。

国内某企业两种加热器的外形及尺寸如图 3 所示。对比图 1、图 2 和图 3 可知,两者的主要区别在于加热体的形状、数量及排列方式。以制热功率为 20 kW 的电液体加热器为例:HVCH 使用 9 根功率为 2.2 kW 的加热棒,采用串并联接线方式(每 3 根加热棒并联组成一个模块,共 3 个模块串联)实现约 20 kW 的制热量^[4];而 PTC 加热器则采用 10 组功率为 2 kW 的加热包并联,实现 20 kW 的制热量^[5]。



(a) HVCH 的外形及尺寸



(b) PTC 的外形及尺寸

图3 HVCH 和 PTC 加热器的外形及尺寸对比

2 性能与能效对比分析

2.1 功率密度对比

功率密度等于总功率除以总体积或总体质量。

1) HVCH 加热棒的功率由管径、长度共同决定。以图 3(a)所示的 HVCH 为例,共有 9 根加热棒,每根加热棒的加热功率为 2.2 kW,加热器总体积为 $0.43 \times 0.206 \times 0.197 \approx 0.017 (\text{m}^3)$,HVCH 总体质量为 10 kg。则其总体积功率密度为 $2.2 \times 9 / 0.017 \approx 1165 (\text{kW}/\text{m}^3)$;其总体质量功率密度为 $2.2 \times 9 / 10 = 1.98 (\text{kW}/\text{kg})$ 。

2) PTC 加热器加热包的功率由加热片长度、宽度共同决定。以图 3(b)所示的 PTC 加热器为例,共有 10 个加热包,每个加热包的加热功率为 2 kW,加热器总体积为 $0.336 \times 0.11 \times 0.17 \approx 0.006 (\text{m}^3)$,PTC 加热器总体质量为 6.9 kg。则其总体积功率密度为 $2 \times 10 / 0.006 \approx 3333 (\text{kW}/\text{m}^3)$;其总体质量功率密度为 $2 \times 10 / 6.9 \approx 2.9 (\text{kW}/\text{kg})$ 。

2.2 阻值稳定性对比

电阻值影响加热器的加热稳定性,稳定的电阻值意味着稳定的热输出和可靠的能量管理。

1) HVCH 的电阻值与温度的关系遵循斯特恩温

度系数定律,即电阻的变化与温度呈负相关线性关系。通常情况下,在低温范围内($-60\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$),HVCH的阻值变化较大;而在高温范围内($0\sim 130\text{ }^{\circ}\text{C}$),HVCH的阻值变化较小。这是因为在低温下,半导体材料的电阻值受晶格振动影响较大,而在高温下,非晶态的材料特性开始显现,从而电阻值变化较小。

2) PTC 加热器具有正温度系数^[6],其效应是电阻随温度升高而增大。当 PTC 加热器的电阻进入 PTC 效应区段时,电阻急剧增加,发热功率急剧下降,发热量与对外散热量达到热平衡。

HVCH 和 PTC 加热器的电阻温度曲线如图 4 所示。

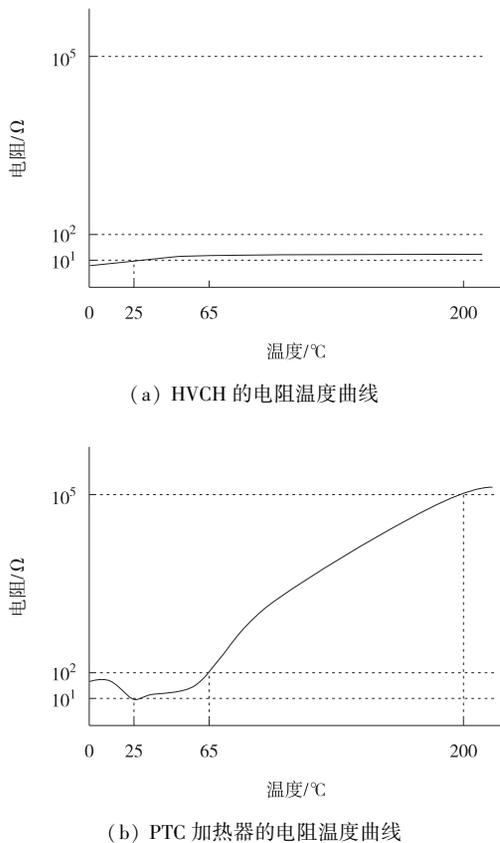


图 4 HVCH 和 PTC 加热器的电阻温度曲线

通过对比电阻值与温度关系曲线发现,在正常运行条件下,两种加热器的温度阻值曲线变化存在较大差异。HVCH 的电阻值随温度升高变化较小,呈现平稳趋势;而 PTC 加热器在居里温度($120\text{ }^{\circ}\text{C}$)以上电阻呈现阶跃性增加。PTC 加热器超温($300\text{ }^{\circ}\text{C}$)使用可能导致材料热损毁,应采取适当安全措施。可通过选用低发热温度($\leq 215\text{ }^{\circ}\text{C}$)的 PTC 元件限定系统所

能达到的最高温度,以此来保证 PTC 加热器的安全工作范围^[7-8]($45\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$)。目前两种电阻值对应的温度结果表明,两者均满足工程使用要求。

2.3 能效对比

1) HVCH 的加热功率分为 4 个档位:0%、30%、60%、100%,对应的功率典型值(即输入电耗值)分别为 0、6、13、20 kW。

2) PTC 加热器的加热功率分为 6 个档位:0%、20%、40%、60%、80%、100%,对应的功率典型值(即输入电耗值)分别为 22.7、21.1、19.6、17.9、16.5、14.9 kW。

根据制热能效比计算公式^[9],计算得出 HVCH 的能效比为 1.5,PTC 加热器的能效比为 1.1。由此可知,HVCH 的制热能效高于 PTC 加热器。

2.4 成本对比

1) HVCH 的主要零部件包括不锈钢外壳、铝材铸造成型端盖。加热棒外壳采用不锈钢,内部分布着镍铬合金电阻丝,电阻丝与棒体之间的绝缘导热体主要为镁粉。其制备采用电磁振动雾化速凝工艺,并且由于材料种类繁多,装配工艺较为繁琐。此外,HVCH 为了提高热稳定性,在加热棒填充的镁粉中添加了铂金(Pt),对封装的 Pt 颗粒进行热处理,可使其转化为热稳定的金属单原子^[10]。由于铂金属属于贵金属,故成本较高。图 3(a)所示的某品牌供货商整机供货价格为 2 850 元/台,根据计算,其单位功率价格为 $2\ 850/(2.2\times 9)\approx 143.9$ (元/kW)。

2) PTC 加热器的主要零部件包括注塑成型外壳,加热包采用陶瓷基 PTC 材料。陶瓷基 PTC 材料以钛酸钡为主要原料,采用固相烧结工艺制备。材料单一且原料普及,工艺成熟且简单,故成本较低。图 3(b)所示的某品牌供货商整机供货价格为 2 528 元/台,根据计算,其单位功率价格为 $2\ 528/(2.0\times 10)=126.4$ (元/kW)。

2.5 综合选型

根据 HVCH 与 PTC 加热器的性能和能效对比分析结果,并结合其结构特点,对两者在大中型新能源商用车的电池热管理系统和水暖系统中的应用进行综合选型。

1) 针对水路结构特征,HVCH 的单通道流量大

于PTC加热器的多通道流量。相比两种流体结构,流量越大,流速越大,传热效果越好。因此,HVCH在流体升温速度和制热能效方面优于PTC加热器。在工程设计时,对于温升时间要求较短的公路旅行客车或团体客车,建议首选HVCH;对于温升时间要求不高的城市客车,建议首选PTC加热器。

2) HVCH的体积功率密度和质量功率密度均小于PTC加热器。高功率密度意味着在较小的体积和质量下可以产生更多的能量,所以相同功率下,HVCH的体积和质量大于PTC加热器,故HVCH对独立布置的空间要求更高。因此在工程设计时,HVCH适用于具有独立布置空间舱的水暖系统。PTC加热器凭借其紧凑的结构、较小的体积和更高的功率密度^[11],既可用于电池热管理系统,也可用于水暖系统。用于电池热管理系统的PTC加热器可根据动力电池的热需求,制热功率可选为7、10、14 kW。用于水暖系统的PTC加热器,可选制热功率有20 kW和24 kW两个规格。在方案设计时布置更灵活,在应用过程中更便于安装和维护。PTC加热器还因其轻量化方面的优异表现,被更多车型选用。

3) 针对阻值稳定性特征,随着负载电阻不断变化,负载端的电压会相应变化。当PTC加热器的电阻值发生阶跃性跳变时,会产生浪涌电流。这种情况可能会降低PTC加热器电子控制器件的稳定性,增加维护成本。若考虑维保因素,建议选用阻值更稳定的HVCH。

4) 针对成本对比结果,HVCH每千瓦的价格比PTC每千瓦的价格高17.5元。因此,在工程设计时,对成本要求严苛的车型推荐匹配PTC加热器。

3 应用案例及性能准确性验证

目前,HVCH和PTC加热器在商用车上都有成功的应用案例和市场表现。

1) 典型的HVCH在水暖系统中的应用案例包括北京某运输公司2023年投入运营的80辆BJ6126FCEVUH型氢燃料电池高一级客车,以及2024年投入运营的50辆BJ6126FCEVUH-N2型氢燃料电池高一级客车。这些客车均搭载20 kW的HVCH加热器为客舱供暖。

2) 典型的PTC加热器在水暖系统中的应用案例包括北京某运输公司2024年投入运营的240辆BJ6126FCEVUH-N1型氢燃料电池高一级客车,以及50辆BJ6126FCEVUH-N2型氢燃料电池高一级客车。这些客车均搭载20 kW PTC加热器为客舱供暖。

3) 典型的PTC加热器在电池热管理系统中的应用案例包括北京市2023年相继投入运营的50辆BJ6127EVCA-N型纯电动客车、300辆BJ6127EVCA-N1型纯电动客车、310辆BJ6127EVCA-N2型纯电动客车。这些客车均搭载14 kW PTC加热器为动力电池供热。

通过对市场运营车辆跟踪并截取报文,可获得两种加热器在实际应用中的进水口温度、出水口温度、加热器高压电耗等数据(即实际值)。将加热器厂家提供的标称值与实际值进行对比,以验证标称数据的准确性。对比结果见表1。

表1 HVCH和PTC产品参数标称值与实际值对比

项目	进水温度/°C		出水温度/°C		加热器高压电耗/(kW·h)	
	HVCH	PTC	HVCH	PTC	HVCH	PTC
标称值	20	20	80	80	20	20
实际值	20.8	21	79	79	19.8	20.3
误差/%	4	5	-1.3	-1.3	-1	1.5

从表1中的误差来看,标称值与实际值之间的误差在10%以内,均满足工程设计上的应用要求,同时表明两种加热器在实际应用中的效果是一致的。

4 结束语

本文从加热体结构特征、水路结构特征、功率密度、阻值稳定性、制热能效、成本构成等维度,对HVCH和PTC加热器在工程设计及应用过程中的优劣势进行了分析。在水路结构方面,HVCH的单通道流程在流体流量和传热效果上优于PTC加热器的多通道流程;在功率密度方面,HVCH的体积功率密度和质量功率密度小于PTC加热器;在阻值稳定性方面,HVCH比PTC加热器更稳定;在制热能效方面,HVCH高于PTC加热器;在成本方面,HVCH优于

PTC 加热器。两种加热器虽各有特点,但两者的加热性能均满足要求。

参考文献:

- [1] 伟巴斯特高压电加热器 HVH100[J]. 汽车观察,2019(4):194.
- [2] 何煜,张薇,汪琳琳. 电车电加热技术路线综述及潜力分析[J]. 汽车实用技术,2023,48(12):35-38.
- [3] 吴亚玲,黎先梁,杨绪锋,等. 电动汽车电排用浸塑聚氯乙烯老化研究及寿命预测[J]. 汽车工艺与材料,2022(1):32-37.
- [4] 河北凯途汽车零部件科技有限公司. 高压电加热器产品介绍[Z]. 2021.
- [5] 深圳市赛尔盈电子有限公司东莞分公司. PTC 电加热器技术规格书 S9088[Z]. 2022.
- [6] 丁士文,潘彬,啜艳明. 烧结工艺对 BaTiO₃ 基 PTC 热敏电

阻材料性能的影响[J]. 河北大学学报(自然科学版),2011,31(5):486-490.

- [7] 桑泽康,赵锐,程文龙. 低电阻率陶瓷基 PTC 材料温控特性研究[J]. 北京航空航天大学学报,2023,49(8):2147-2153.
- [8] 赵书美,魏冬. 电动汽车电池加热器控制方法的优化研究[J]. 光源与照明,2021(3):84-85.
- [9] 王昌,包顺强. 基于能效比的多冷热源系统联合控制分析[J]. 建筑电气,2020(5):22-26.
- [10] LV H W, GUO W X, CHEN M, et al. Rational construction of thermally stable single atom catalysts; from atomic structure to practical applications[J]. Chinese Journal of Catalysis, 2022, 43(1):71-91.
- [11] 高驰. 混动和纯电动时代的座舱和电池加热方案, 聊博格华纳高压液体加热器[J]. 汽车与配件, 2020(23):38-39.

(上接第 57 页)

4 结束语

本文通过对座椅导轨间歇性抖动产生机理进行分析,明确了间歇性抖动频率特征与抖动幅值的影响因素,提出了优化碳罐电磁阀工作频率和优化动力总成 Pitch 模态频率两种方案。最终座椅导轨振动量级由 0.05 m/s^2 降低至 0.01 m/s^2 ,降幅达 80%,改善效果显著。

参考文献:

- [1] 陈连庭,腾建耐. 某款汽车怠速间歇性抖动问题的优化研究[J]. 时代农机,2018,45(9):70-73.
- [2] 王健,杨思,史晓宁,等. 整车怠速不规则抖动控制方法及试验研究[J]. 内燃机,2019(12):43-46.
- [3] SENDUR P, KURTDERE A. Application of finite element based simulation and modal testing methods to improve vehicle powertrain idle vibration[J]. ASRO Journal of Applied Mechanics, 2017, 2(1):10-31.
- [4] 陈达亮,吕静,李洪亮. 动力总成悬置系统怠速隔振优化策略研究[J]. 噪声与振动控制,2011,31(5):53-57.

- [5] 王金立,钱海青,李凯. 某 SUV 催化器起燃阶段间歇性抖动的试验研究[J]. 汽车技术,2021(4):26-30.
- [6] 相龙洋,顾彦,黄亚. 汽车怠速间歇性异常抖动研究[J]. 测试试验,2019(8):136-138.
- [7] 杨胜,孔刚,任护党,等. 某 4×6 自卸车底盘怠速振动问题分析与研究[J]. 重型汽车,2023(4):16-18.
- [8] 林志昌,邵亚宾,周宇翔. 脱附流量对炭罐蒸发排放性能的影响[C]//中国汽车工程学会. 2020 年中国汽车工程学会年会论文集. 北京:机械工业出版社,2020:2107-2110.
- [9] 贺赵霞. 车辆碳罐电磁阀噪音问题的解决[J]. 汽车实用技术,2020(5):65-67.
- [10] 孙建军,秦万里,卢维伟,等. 碳罐脱附策略对混动车辆汽油机怠速燃烧影响研究[J]. 汽车实用技术,2021,46(21):145-148.
- [11] 丁康,孔正国. 振动调幅调频信号的调制边频带分析及其解调方法[J]. 振动与冲击,2005,24(6):9-12.
- [12] 黄英豪,黎兆宇. 汽车坐标系和车身姿态角的确定方法[J]. 装备制造技术,2012(10):113-115.
- [13] 石岩,白炜,王志卫. 动力总成悬置布置形式对启动振动的影响研究[J]. 北京汽车,2019(1):38-43.