新能源汽车冷却管路的应用及发展趋势

张松峰[1,2] 孙琦岳[1,2] 王彦文[2] 陈涛[3] 黄忆南[2]

(1.高端汽车集成与控制全国重点实验室,长春 130013;2.中国第一汽车股份有限公司研发总院,长春 130013;3.中国第一汽车股份有限公司供应链管理部,长春 130013)

摘要: 伴随新能源汽车技术的快速迭代,其热管理工况发生显著变化,驱动了冷却管路材料与结构的革新。立足汽车产业新能源转型背景,系统梳理并分析了汽车冷却管路在性能、成本、轻量化3个维度的核心应用需求,重点评述了当前主流应用和处于开发阶段的4类典型冷却管路技术方案,并对新能源汽车冷却管路技术的发展趋势进行了前瞻性展望。

关键词: 新能源汽车 冷却管路 应用需求 发展趋势

中图分类号: U465.4+1 **文献标志码:** B **DOI:** 10.19710/J.cnki.1003-8817.20250195

Application and Development Trends of Cooling Hose for New Vehicles Energy

Zhang Songfeng[1,2], Sun Qiyue[1,2], Wang Yanwen[2], Chen Tao[3], Huang Yinan[2]

(1.National Key Laboratory of Advanced Vehicle Integration and Control, Changchun 130013; 2. Global R&D Center, China FAW Co., Ltd., Changchun 130013; 3. Supply Chain Management Department, China FAW Group Co., Ltd., Changchun 130013)

Abstract: Driven by the rapid iteration of New Energy Vehicle (NEV) technologies, significant changes in thermal management operating conditions of NEVS, Which has promoted innovations in the materials and structures of cooling hoses. Based on the background of the automotive industry's transition to new energy solutions, this paper first systematically analyzes the core application requirements for automotive cooling hoses across 3 dimensions: performance, cost, and lightweight. Subsequently, it comprehensively reviews 4 categories of typical cooling hose technological solutions currently in mainstream application or under development. Finally, it provides a prospective outlook on the development trend of cooling hose technology for new energy vehicles.

Key words: New energy vehicles, Cooling hose, Application requirement, Development trend

1 前言

汽车冷却系统是整车热管理的核心环节,对保障车辆性能与安全具有重要作用。传统燃油车发动机工作温度可达2 000 ℃以上,必须通过有效冷却维持动力系统的寿命与整车性能。新能源汽车中,动力电池、电驱动与电控系统亦需在适宜温度下运行,尤其是锂离子电池,其工作温度通常不得超过40 ℃,否则存在热失控风险。因此,冷却系统对上述车型至关重要[1-3]。

冷却管路作为冷却系统的关键部件,负责输送冷却液。传统燃油车冷却液温度常高于100 ℃,故多采用金属管或耐高温三元乙丙橡胶(Ethylene Propylene Diene Monomer,EPDM)管。新能源汽车冷却系统温度普遍低于80 ℃,为材料选择提供了更大空间,目前常用管路包括EPDM管、长链尼龙管(如PA12、PA612、PA11等)、热塑性弹性体(Thermoplastic Vulcanizate,TPV)管路及多层复合

作者简介: 张松峰(1992—),男,工程师,硕士学位,研究方向为汽车用先进材料创新开发与应用。

参考文献引用格式:

张松峰,孙琦岳,王彦文,等.新能源汽车冷却管路的应用及发展趋势[J].汽车工艺与材料,2026(3):61-66.

ZHANG S F, SUN Q Y, WANG Y W, et al. Application and Development Trends of Cooling Hose for New Vehicles Energy[J]. Automobile Technology & Material, 2026(3): 61-66.

管路等[4-6]。本文结合汽车新能源转型趋势，分析新能源汽车冷却管路的应用需求，综述当前主流技术方案，并展望其未来发展方向。

2 冷却管路应用需求分析

汽车冷却管路长期与冷却液接触，是维持动力系统正常运行的关键部件，随着用户和整车企业对汽车性能要求的不断提高，冷却管路在性能、成本、轻量化方面也面临更高要求。

2.1 冷却管路的性能需求

冷却管路的性能直接影响汽车冷却系统的可靠性，根据冷却管路的使用工况，其主要性能需求包括耐冷却液性、耐高低温性、耐压性、耐压力脉冲与振动脉冲性以及可靠连接性等：

a. 耐冷却液性：冷却管路长期接触冷却液，尤其在高低温交替环境下，必须确保其材料不与冷却液发生反应而导致性能显著下降。

b. 耐高低温性：冷却管路处于持续温度变化环境中，传统燃油车冷却管路需适应-40~120 ℃的温度范围，而新能源汽车冷却管路通常需满足-40~80 ℃的耐温要求。

c. 耐压性：冷却系统内部具有一定压力，一般不超过0.3 MPa，冷却管路需在各种工况下保持结构完整与密封性能。

d. 耐压力脉冲和振动脉冲性：冷却管路需承受系统压力波动、车辆振动及温度循环等交变脉冲工况，需具备良好的动态疲劳耐久性。

e. 可靠连接性：冷却管路与其他冷却系统部件的连接是冷却系统可靠性考察的重要环节，具体体现在冷却管路的插拔力控制、冷却管路材料的应力松弛等参数指标。

此外，在特定工况下还需满足其他要求，如外露部分需具备耐腐蚀性要求（如抵抗融雪剂盐溶液、酸碱性介质等）、氢燃料电池动力系统冷却管路需要满足低离子析出性等要求。

2.2 冷却管路的低成本需求

面对激烈的市场竞争，零部件成本成为整车企业关注的重点。冷却管路的成本主要由材料、制造工艺与连接结构决定。随着新能源汽车冷却系统工作温度的降低，TPV、聚丙烯（Polypropylene，PP）和高密度聚乙烯（High Density Polyethylene，HDPE）等低成本材料在满足基本性能要求的前提下，逐步被应用于冷却管路，有效降低了整车成本。

2.3 冷却管路的轻量化需求

轻量化是汽车行业长期关注的技术方向，直接影响新能源汽车的续驶里程。在零部件设计过程中，需在性能、成本与轻量化之间取得平衡。冷却管路的轻量化主要通过材料选择与结构优化实现，近年来，低密度材料与薄壁结构方案不断涌现，推动了冷却管路轻量化技术的发展。

高性能、低成本和轻量化是整车企业对冷却管路的三大核心需求。在开发过程中，需统筹三者关系，寻求性能达标、成本最优与轻量化效果最佳的综合解决方案，以实现冷却管路系统的高效应用。

3 冷却管路应用方案

目前，新能源汽车冷却管路按材料可分为长链尼龙管路、EPDM橡胶管路、TPV热塑性弹性体管路及多种材料多层复合管路。

3.1 长链尼龙管路

尼龙材料因具备优良的力学性能、耐热性及耐介质性，广泛应用于汽车支架、护套、燃油管等部件。然而，常见的尼龙材料（如PA6、PA66）分子链中含大量亲水性酰胺基团（-NHCO-），在与冷却液接触时易发生吸水变形及水解、醇解反应，因此不适用于冷却管路。相比之下，长链尼龙材料（如PA12、PA612等）的碳链更长，酰胺基团占比较小，耐冷却液性能显著提升，同时具备良好的韧性、较低的密度和优异的耐温性（最高使用温度达120 ℃），因而广泛应用于新能源汽车电驱动系统、电池热管理及暖风系统的冷却管路。

长链尼龙管路主要有光管和波纹管2种形式，壁厚一般为1.0~1.5 mm。光管刚性较好，适用于长距离布置及无减振需求部位；波纹管柔性更佳，弯曲半径小，适用于空间受限或需与刚性部件连接处。两者可实现一体挤出，如图1所示。不仅降低了因连接导致的泄漏风险，也提高了生产效率。



图1　光管及波纹管一体化长链尼龙管路

长链尼龙管路与对接零件的连接方式主要有2种:一是通过快插接头连接,如图2所示,长链尼龙管路与快插接头的竹节结构通过过盈配合进行连接与密封,再通过快插接头与对接零件连接,此种连接方案成本低、装配效率高;另一种是通过胶管与对接零件连接,如图3所示,长链尼龙管路与胶管过渡连接,再通过胶管与对接零件连接,此种连接方案复杂,常用于对接零件为胶管接头的情况。



图2　长链尼龙管路与快插接头连接



图3　长链尼龙管路与胶管连接

随着新能源汽车冷却系统温度要求的降低,长链尼龙管路凭借其轻量化、刚性好、易布置、保温性能优异等特点,应用日益广泛。然而,目前成熟的长链尼龙材料技术主要由国外企业掌握,国产化长链尼龙材料技术正处于发展阶段,导致材料价格高,这也成为当前主机厂应用长链尼龙管路的主要痛点。

3.2　EPDM橡胶管路

EPDM的分子主链由化学性质稳定的饱和烃构成,其侧链中引入了非共轭二烯类单体,从而形成可供硫化的双键。基于该分子结构,EPDM橡胶具备优异的弹性、耐臭氧老化性、耐高低温交变性以及耐冷却液化学腐蚀等综合性能,因此广泛应用于汽车冷却管路、制动管路、门窗密封条及橡胶悬置等零部件中。

根据所采用的硫化体系不同,EPDM橡胶管路的耐温性能存在显著差异。采用硫磺硫化体系的EPDM橡胶管路,其最高长期使用温度通常为120 ℃左右;采用过氧化物硫化体系的EPDM橡胶管路,其耐温等级可提升至150 ℃。这一特性使EPDM橡胶管路能够在传统燃油车发动机的高温冷却环境中稳定工作,因而获得了大规模应用。

由于EPDM橡胶本身的强度有限,其管路通常采用编织线绳进行增强,构成橡胶编织管结构,如图4所示。此类管路的壁厚一般需达到3 mm及以上,以确保足够的承压能力与耐久性。根据管路所需的耐温等级和耐压强度,增强层所采用的编织线绳材料可选用芳纶纤维、聚酯纤维或人造丝纤维等。此外,线绳的编织工艺也存在多种形式,如平针织(图5a)、锁针织(图5b)以及编织(图5c),不同的编织结构会影响管路的柔韧性、强度及抗脉冲疲劳性能。在连接方式上,EPDM橡胶管路通常依靠管体与接头之间的过盈配合,并辅以金属卡箍进行紧固,从而实现可靠密封。

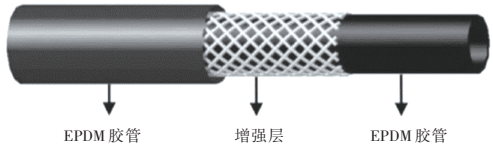
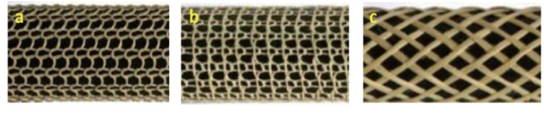


图4　EPDM橡胶编织管结构



(a)平针织　(b)锁针织　(c)编织

图5　线绳编织结构

EPDM橡胶管路凭借其出色的耐高温性能,在传统燃油车冷却系统中占据主导地位,但也存在一定的局限性:首先,管体柔性较大,在需要进行长距离直线布置时缺乏足够的刚性支撑,往往需要增加多个支架与连接部件,导致管路接头数量增多,提高了系统潜在的泄漏风险;其次,橡胶材料密度较高,导致整套管路系统质量较大,不利于提升汽车轻量化水平。在新能源汽车冷却系统中,EPDM橡胶管路并未被完全取代,它常与刚性更好的长链尼龙管路配合使用,以弥补其在长距离布置和轻量化方面的不足。

3.3 TPV 热塑性弹性体管路

应用于冷却管路的 TPV 材料主要是由聚丙烯（Polypropylene，PP）塑料与 EPDM 橡胶通过动态全硫化技术制备而成的一类高性能热塑性弹性体。该材料兼具塑料的易加工性与良好力学性能，以及橡胶的耐高低温性、压缩永久变形量小等优点，因此被视为新能源汽车冷却系统的理想管路材料之一。TPV 冷却管路的应用优势主要体现在以下方面：

a. 应用形式多样：TPV 材料的硬度可在较大范围内调整。可采用较低硬度（邵氏硬度 A/15s：60~90）的牌号制备编织增强管，以替代传统的 EPDM 橡胶管；也可采用高硬度（邵氏硬度 D/15s：>40）的牌号制备单层管，替代部分长链尼龙管，从而为系统设计提供更多选择。

b. 材料性能满足使用要求：TPV 材料的分子主链主要由化学性质稳定的饱和烃构成，因此其耐臭氧老化、耐冷却液侵蚀等性能与 EPDM 橡胶相当。其最高短期使用温度可达 100 ℃，长期使用温度约为 90 ℃，完全满足当前新能源汽车冷却系统的工况要求。

c. 有助于实现轻量化：相比于 EPDM 橡胶材料，TPV 材料具有更低的密度和更高的比强度。如图 6 所示，采用 TPV 制造的编织胶管，其壁厚可减薄至 2.0~2.5 mm，在保证性能的同时，实现了显著的轻量化效果。

d. 具有成本优势：TPV 材料的市场价格通常低于 40 元/kg，相较于价格高昂的长链尼龙材料，在控制冷却系统总成本方面具备突出优势。

e. 可回收再利用：TPV 材料属于热塑性材料，可通过高温熔融实现回收再利用。

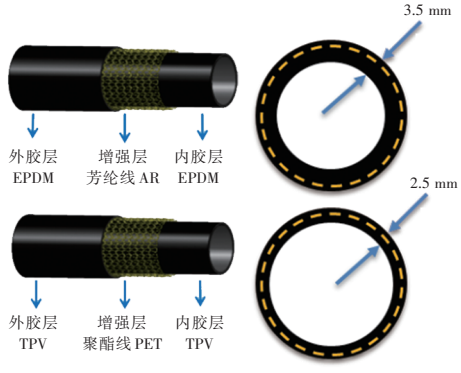


图 6 EPDM 橡胶管路与 TPV 编织胶管结构对比

TPV 冷却管路主要有 2 种应用结构：TPV 编织胶管和 TPV 单层管。TPV 编织胶管的结构形式与 EPDM 橡胶编织管类似，但由于 TPV 材料的压缩永久变形性能通常弱于 EPDM 橡胶，为确保连接密封的长期可靠性，其配套使用的金属卡箍需采用特殊结构设计，如图 7 所示。TPV 单层管在结构形式上与长链尼龙光管相似，但其环向应力较低。为此，在与快插接头的竹节结构连接时，通常需额外增加塑料增强套管，以保障连接部位的可靠性，如图 8 所示。

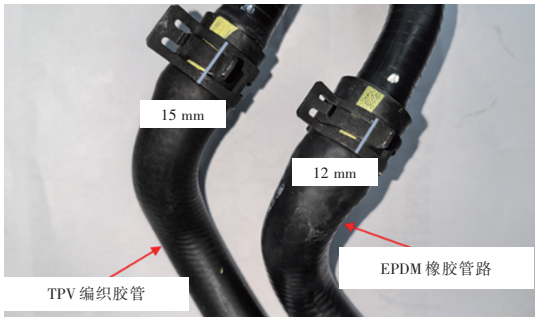


图 7 EPDM 橡胶管路与 TPV 编织胶管连接结构对比



图 8 TPV 单层管与快插接头的连接结构

尽管 TPV 材料的耐热上限相对较低，但其完全覆盖了新能源汽车冷却系统的温度区间。凭借轻量化、低成本、可回收等综合优势，TPV 已成为新能源汽车冷却管路的重要材料。目前，TPV 编织胶管已在部分车型上量产，成功替代了传统的 EPDM 橡胶管。而 TPV 单层管尚处于开发与优化阶段，仍需进一步解决其材料强度、环向应力及长期耐久性等方面的应用问题。

3.4 多种材料多层复合管路

在整车对低成本与高可靠性需求的双重驱动下，多种材料多层复合管路应运而生。这类管路的研发与应用旨在通过材料组合优化，弥补单一材料冷却管路在性能、成本或工艺上的固有局限。

目前已实现大规模量产应用的典型代表为 PA12-粘接层（TIE）-PP 三层复合冷却管路，结构如图 9 所示。该管路的最外层采用增韧型长链尼

龙PA12材料,赋予管路较高的强度、良好的柔韧性、优异的耐化学试剂性以及出色的耐低温冲击性能,使其能够耐受短时150 ℃以上的外部高温。中间层为基于PP的专用粘接层(TIE),其核心作用是确保内、外层材料间牢固结合,防止使用过程中分层。内层材料为PP,该材料具有良好的耐水解性能,能在温度高达135 ℃的冷却液环境中保持稳定,确保管路对冷却液的长期耐受性。此种结构设计的冷却管路,在应用形式上可与长链尼龙管路完全兼容,从而在部分应用场景中替代长链尼龙管,降低成本。

除PA12-TIE-PP结构外,目前已知正在开发的多层复合管路方案还包括PA612-TIE-PP、PA12-TIE-TPV、PA612-TIE-TPV以及HDPE-TIE-PA6-TIE-HDPE等。其复合设计的核心理念在于:将耐冷却液性能优异且成本较低的聚烯烃类材料(如TPV、PP、HDPE等)作为内层,负责直接接触并输送冷却液;然后通过功能性粘接层,将其与力学性能更强(如尼龙、长链尼龙等)的外层材料复合在一起。这种"性能-成本"分区优化的设计策略能够在保障关键使用性能的前提下,有效降低材料成本,是未来冷却管路材料发展的重要方向。

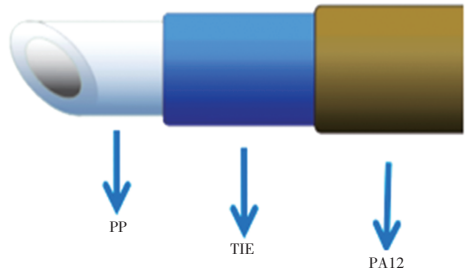


图9　PA12-TIE-PP三层冷却管路结构

随着新能源汽车的快速发展,其冷却系统工作温度普遍降低,这为低成本、轻量化冷却管路材料与结构的创新提供了广阔空间。为清晰对比各类技术路线的特点,表1系统总结了当前已应用及在开发的主要汽车冷却管路方案,并从耐温范围、壁厚、刚性、耐冷却液性、连接可靠性、耐压性、材料密度、轻量化效果、成本及生产工艺等维度进行了对比分析。

表1　当前应用及在开发的汽车冷却管路方案对比

项目	长链尼龙管路	EPDM橡胶管路	TPV编织胶管	TPV单层管	PA12-TIE-PP复合管路
耐热温度/℃	-40~120	-40~150	-40~100	-40~100	-40~120
管路壁厚/mm	1~1.5	≥3	≥2	≥1.5	1~1.5
管路刚性	高(可做波纹管)	低	低	高(可做波纹管)	高(可做波纹管)
耐冷却液性	良	优	优	优	优
接头连接可靠性	优	良	良	中	优
耐压性	优	中	中	良	优
材料密度/g·cm^{-3}	1.05(PA12)	1.30	0.96	0.96	1.05/0.89
轻量化效果	良	差	优	优	良
管路成本	高	低	低	低	高
生产工艺	挤出、热成型	挤出、硫化成型	挤出、热成型	挤出、热成型	挤出、热成型

4　结束语

在确保冷却管路性能满足整车系统需求的前提下,成本将成为主机厂关注的核心维度。基于当前技术发展与市场需求,未来冷却管路主要呈现以下两方面发展趋势:

a. TPV材料冷却管路应用将进一步深化与拓展。TPV材料因其在轻量化与成本方面的显著优势,已成为新能源汽车冷却管路的重要选择。尤其是TPV单层管路,其在满足系统耐温与耐压需求的同时,具备替代部分长链尼龙管路的潜力,可为实现系统级降本提供有效路径。预计未来几年,围绕TPV材料的性能优化、连接可靠性提升及工艺改进,将持续成为研发重点,并推动其在更多

车型上应用。

b. 多种材料多层复合管路是重要的技术发展方向。通过不同材料的层状复合设计，能够有效兼顾性能、成本与轻量化等多重目标。

参考文献：

[1] 王娟 . 新能源汽车冷却液管路的发展趋势[J]. 广州化工, 2019, 47(6): 31-32+38.

[2] 韩耀夫 . 新能源汽车冷却液管路的发展趋势[J]. 时代汽车, 2021(4): 80-81.

[3] 张松峰, 孙琦岳, 孟玲玲, 等 . 汽车用PA66冷却软管开发[J]. 汽车工艺与材料, 2023(2): 16-19+24.

[4] 陈永红, 何林键 . 汽车冷却系统管路连接密封性影响因素研究[J]. 时代汽车, 2024(13): 128-130.

[5] 万星荣 . 尼龙水管在新能源汽车上的应用[J]. 汽车实用技术, 2020(14): 51-53.

[6] 张冲子 . 尼龙管在新能源汽车冷却系统中批量应用[J]. 汽车实用技术, 2023, 48(23): 31-35.

AT&M