



中国材料大会 2024
暨第二届世界材料大会
CMC 2024 & WMC 2024

July 8-11, 2024
Guangzhou, China

C20-轨道交通先进材料
C20-Advanced Materials for Rail
Transit

Organized by

Chinese Materials Research Society

Website: <https://cmc2024.scimeeting.cn>

C20. 轨道交通先进材料

分会主席：陈朝中、孙光永、周晋、谢素超、康红伟

C20-01

先进材料在轨道交通中的探究及应用

王立航*

中车唐山机车车辆有限公司

随着轨道交通的快速发展，轨道交通车辆向着高速、高效、绿色、智能等方向发展，列车的各项性能指标需求也要随之提升，如轻量化需求、绿色环保需求、强度需求、吸能需求等，从而带来先进材料在轨道交通中的探究及应用。

C20-02

高性能复合材料在轨道交通的应用研究

周洲*

中车株洲时代新材料科技股份有限公司

报告主要介绍了轨道交通的发展现状及趋势，轻量化、阻燃材料在轨道交通车辆上的应用现状，从 CR450 下一代车辆碳纤维产品应用角度，阐述大丝束碳纤维在轨道车辆上应用的设计及工艺难点，并提出通过材料设计及工艺优化，解决碳纤维材料在轨道车辆上的应用方案。最终实现 CR450 整体车辆低风阻、轻量化的重大需求。

C20-03

轨道交通车辆复合材料增材制造关键技术研究

宋文哲*

南京航空航天大学

针对轨道交通车辆吸能块等典型构件缺乏轻质材料-结构一体化设计与制造方法等问题，研究轨道交通车辆复合材料增材制造关键技术。探究增材制造过程中的热塑性树脂的粘流变浸渍流动行为与纤维/树脂界面粘合行为，研究成形过程中纤维复合材料微细结构变化规律，掌握碳纤维及树脂基体的界面间相互作用机制，研究增材制造成形件内部缺陷的形成机理与表征方法。基于多物理场耦合作用下梯度复合材料的增材制造工艺，成形轨道交通复合材料典型构件并进行验证，实现典型构件的一体化设计与制造。

C20-04

轨道交通关键零部件增材制造与修复

尚纯、吕云卓*

大连交通大学

轨道交通关键零部件在服役过程中往往承受复杂的载荷作用，造成结构件破损和尺寸偏差等问题，导致极大的资源浪费和经济损失。激光增材制造技术能够实现对高附加值、复杂零部件的高精度、高质量修复，使待修复零件的结构尺寸和力学性能得到有效恢复。基于此，团队前期系统地开展了对机车拐臂轴箱、抱轴箱、机车柴油机凸轮轴、凸轮轴箱、机车车轴、车轮、牵引销等大量轨道交通零部件的增材修复研究，建立了适用于激光增材修复专用材料的成分设计方法，获得了轨道交通装备关键部件的损伤智能检测、鉴别和分类技术，构建了轨道交通装备关键部件“材料-工艺-性能”一体化修复技术。这里，以 CRH5 动车组机车 QT400-18L 球磨铸铁拐臂轴箱的激光增材修复为例，介绍激光增材修复拐臂轴箱的熔凝机制、成形机

理, 以及修复工艺。研究发现, 激光增材修复拐臂轴箱的力学性能、耐磨性和耐腐蚀性等达到了基体性能, 激光增材修复技术对拐臂轴箱起到了延寿作用, 为轨道交通关键零部件的激光增材修复提供技术支持和理论依据。

C20-05

基于机器学习势的 Y-BaZrO₃ 水化-力学耦合作用研究

荆宇航*、王朝阳、丛凌志、赵冬梅、杨莹芊

哈尔滨工业大学

Y 掺杂的 BaZrO₃ (BZY) 是一种典型的钙钛矿氧化物, 因具有良好的化学稳定性和高质子传导性, 被认为是一种理想的电解质材料。水化反应能够促进质子传导, 但导致的化学膨胀将在 BZY 内部产生非均匀的应力和应变, 严重影响材料的力学性能。我们采用机器学习分子动力学方法, 研究了不同浓度 Y 掺杂 BaZrO₃ 水化后的力学性质, 阐明了水化反应影响 BZY 力学性能的机理。首先采用第一性原理分子动力学方法构建了和水化反应、力学性质密切相关的数据集。基于上述数据集训练得到的机器学习势函数既具有第一性原理计算的精确度, 又具有经典分子动力学模拟的效率。使用训练得到的机器学习势函数进行分子动力学模拟, 计算了 BaZrO₃ 晶格常数、弹性常数以及水化能, 计算结果与 DFT 参考数据吻合, 验证了机器学习势的准确性。然后采用机器学习势函数研究了不同掺杂浓度、不同水化程度的 BaZrO₃ 力学性能。结果显示杨氏模量和强度随着 Y 掺杂浓度的增加而显著下降, 随着 Y 含量的增加, 诱导了更多的氧空位形成, 从而减少了每个晶胞的化学键总数, 并由于阳离子电荷减少而削弱了化学键, 造成了弹性性能的减弱; 水化程度的增加会使杨氏模量和强度有所降低, 虽然水化填充了氧离子空位而利于结构稳定, 但是质子的引入会导致和氧离子与相邻 B 位阳离子的键变弱, 使键长增加以及产生化学膨胀, 进而造成 BZY 力学性能的降低。

C20-06

应对高速列车噪声的蜂窝型吸声超材料

严宏宇^{1,2,3}、谢素超^{1,2,3}

1. 中南大学交通运输工程学院
2. 轨道交通安全教育部重点实验室
3. 轨道交通安全技术国际联合研究实验室

随着高速列车速度的不断提升, 中低频噪声问题愈发严重。为了满足高速列车的尺寸限制和应用环境的多样性, 在传统蜂窝夹层结构的基础上, 本研究引入一种结合中国传统榫卯连接的新型蜂窝吸声超材料。本研究通过理论分析、实证验证和数值模拟, 系统研究了榫卯型蜂窝结构的吸声特性。通过实验发现, 改进后的蜂窝结构的共振频率相对于传统的蜂窝结构降低了 10%。详细分析了微孔定位、榫头几何尺寸、微孔直径对声学性能的影响。值得注意的是, 榫头从 2mm 伸长到 6mm 导致共振频率降低 15%, 而微孔到榫头的距离从 0mm 增加到 4mm 导致共振频率增加 30%。榫卯结构的一体化显著增强了蜂窝板的中低频吸声性能。这一改进是在保留低面板厚度和浅腔深度的结构优势以及简化微孔加工的同时实现的。这些发现阐明了一种增强轻质结构材料声学性能的方法, 从而扩展了蜂窝结构在噪声控制工程中的应用潜力。这项研究为声学超材料的设计和 optimization 提供了新颖的视角, 强调了传统建筑技术与现代材料科学之间的协同作用。

C20-07

轻量化复合材料仿生结构吸能特性及失效机理研究

齐江伟、周晋*、张迪

西安交通大学

缓冲吸能装置作为交通领域被动安全设计的重要组成部分，受到了广泛关注。为实现轨道交通领域的轻量化设计并提高列车的安全可靠性，本研究从莲叶茎秆的宏观和微观结构中汲取灵感，设计了一种复合材料仿生多胞缓冲吸能结构（BMCT）。对包含五种几何构型和三种铺层方式的 BMCT 开展了轴向压溃吸能特性和损伤机理研究。结果显示，复合材料仿生结构失效模式表现为“开花式”渐进失效，且仿生多肋的内部结构使得纤维束在结构内部相互挤压摩擦，充分破坏提升了结构的吸能特性。其中，五肋 BMCT 的比吸能（SEA）最高，为 73.3 J/g，是普通圆管 SEA（35.4 J/g）的两倍。相较于其他铺层方式，[-45/90/45/0/0]。具有最优的吸能性能，在相同的几何构型结构下 SEA 提升了约 40%。这表明几何构型和铺层方式对吸能特性具有显著的耦合影响，且合理设计几何构型和铺层方式能够显著提升复合材料仿生多胞吸能管的性能。

C20-08

基于知识图谱的轨道交通材料领域研究热点可视化研究

刘星宇、余伟业、贺曦子君、阳璐、方亦茗、张军*

广东省科技图书馆（广东省科学院信息所）

近年来，随着社会对安全、便捷出行和高效货物运输需求的不断攀升，轨道交通材料的需求和标准亦在持续演变与提升。为应对这一挑战，轨道交通领域在材料研发和应用方面不断创新，力求提供更为优质、可靠的材料解决方案。然而，目前尚缺乏对该领域系统、全面的研究进展分析。本文运用 CiteSpace、VOSviewer、SciImago 和 COOC 软件，对近十年 Web of Science 核心合集中收录的 3796 篇 SCI 期刊论文进行了深入的文献计量学分析。通过可视化时间线变迁的视角，系统研究了突现词、关键词聚类、施引/被引文献、作者以及国家合作网络等维度的科学知识图谱。分析结果显示，当前国际轨道交通材料领域已形成了以物理、材料、化学、数学和系统为核心的多学科交叉体系，研究主要聚焦于机械性能、材料结构、材料安全性评估、数学模型与仿真以及材料耐久性分析五个聚类单元，并形成了有限元分析、轨道接触疲劳、力学行为分析、微观结构演化以及生命周期评估等热点研究方向。本研究直观地揭示了国内外轨道交通材料技术领域的研究现状、合作网络、热点及发展趋势差异，并对研究内容进行了系统的梳理和总结，为预测轨道交通材料未来阶段的学术研究发展态势和持续创新与发展提供了重要参考。

C20-09

航天运载器结构材料及其制造技术

崔超*

中国运载火箭技术研究院

随着当前国内外商业航天激烈的太空竞赛，未来新一代航天运载器围绕运载能力、快速入轨、低成本和重复使用等要求开展先进箭体结构材料及制造技术的攻关研究。本文简要阐述了航天运载器概述、航天运载器结构发展趋势、航天运载器结构材料及其制造技术等，为未来实现航班化太空运输提供技术引导和支撑。

C20-10

轨道交通铝合金材料应用进展

王宇*

中车株洲电力机车有限公司

报告概述了我国轨道交通行业铝合金材料应用现状，重点介绍了行业内铝合金材料应用研究的重要进展。为轨道交通用铝合金材料后续研究方向提供了建议。

C20-11**碳纤维复合材料在轨道交通领域的发展与应用**

蔡计杰*、王明、罗剑岚、孟令宽、惠述俭
上海晋飞碳纤科技股份有限公司

随着轨道交通行业技术的不断发展,其对材料的轻量化需求也愈加显著。轻量化对于车辆减重、提速、降噪、降低能源消耗具有重要的意义。以碳纤维复合材料为主要发展趋势的先进复合材料,是轨道交通轻量化发展的重要手段。与传统金属材料相比,碳纤维复合材料具有比重小、强度高、模量高等特点,并且在隔声、隔热、减振、防腐等方面性能优异,是轨道交通领域应用的理想材料。碳纤维复合材料在轨道交通领域,国内外已开展了大量的研制工作,涵盖主承载部件、次承载部件和非承载部件,应用集中于车体、转向架、车外设备和车内装饰。简述上轨道交通碳纤维复合材料部件开发应用案例、发展前景与未来挑战。

C20-12**高铁接触网用高性能铜合金及其复合材料的设计与制备**

邹存磊*
大连交通大学

针对高铁接触线、受电弓等用高性能铜合金及其复合材料,通过团簇加连接原子模型的材料设计理论,结合相图热力学计算等方法,设计制备了新型 Cu-Ni-Co-Si、Cu-Zr-B、Cu-Fe-C 和 Cu-Ni-C 等高性能铜合金及其复合材料,揭示了材料成分及加工工艺对材料物理性能及力学性能的影响规律,形成了高效设计及制备新铜合金及其复合材料的新方法。

C20-13**连续碳纤维增强聚苯硫醚复合材料 3D 打印成型工艺研究**

章中森*
同济大学

聚焦连续碳纤维增强聚苯硫醚复合材料 3D 打印关键工艺问题,针对 PPS 其较高的成型温度,对连续纤维 3D 打印模块进行结构优化设计,实现整体结构热控制,最后设计“花瓣”型打印路径补偿,实现了连续碳纤维增强聚苯硫醚复合材料 3D 打印。在此基础上,探究了打印层高、打印速率、喷头温度等工艺参数对复合材料成型质量的影响规律,通过多目标优化获得了高效率力学性能的复合材料 3D 打印最佳工艺参数,其比拉伸强度达到 448MPa,是传统铝合金材料的 2.3 倍。基于此最优工艺参数,进一步引入 3D 打印红外热补偿技术,提高了沉积层和打印熔体的峰值温度和平均温度,促进了打印丝束中的浸渍及丝束间、沉积层间的 PPS 分子链的扩散与融合,提高 PPS 基体的结晶度,改善了复合材料的层间和弯曲性能。

C20-14**轨道交通用有机硅材料研究及应用进展**

颜渊巍*
中车株洲时代新材料科技股份有限公司

有机硅材料由硅氧无机主链以及甲基、乙烯基等有机侧链组成,兼具无机材料与有机材料的性能,具有耐高低温、电气绝缘、抗氧化稳定性、耐候性、难燃、憎水、耐腐蚀、无毒无味以及生理惰性等优异特性,在轨道交通领域广泛应用,主要应用于绝缘、密封、粘合、防火阻燃、减振降噪、阻尼缓震等功能领

域。本文介绍了有机硅材料在轨道交通领域具体应用及优势，并展望了轨道交通发展给有机硅材料提出的挑战以及带来的机遇。

C20-15

复合材料结构关键技术研究及工程应用

王明猛*

西南交通大学

结合交通工程领域发展趋势和应用需求，分析复合材料结构关键技术，开展复合材料结构设计、仿真计算、连接接头力学性能、工艺装备、测试检测等技术研究，举例阐述复合材料结构在轨道交通车辆和商用车行业的工程应用，指出复合材料结构系统解决方案的科学问题和技术挑战。

C20-16

混合型负泊松比蜂窝超结构能量吸收性能分析

丁海平、谢素超*

中南大学

负泊松比蜂窝超结构是一种具有特殊变形特性的轻质结构，具有许多优良的性能，如能量吸收、减振降噪等，在交通运输、航空航天等领域具有广阔的应用前景。本文将星形蜂窝 (Star-shaped honeycomb, SSH) 引入手性蜂窝 (Chiral honeycomb, CH)，提出一种具有更强吸能性能的新型三维混合型负泊松比结构，即三维星型手性蜂窝 (3D Star-shaped chiral honeycomb, 3D-SSCH)，并对其能量吸收性能和机理进行分析。通过对比，发现该结构的比吸能比三维星型蜂窝高 112.4%。此外，对结构进行参数化分析，并在结构中引入厚度梯度设计，发现合理的梯度设计可有效调节结构的变形模式和能量吸收性能。

C20-17

植物纤维/PLA 复合材料吸水行为及内应力研究

姜宁*

山东理工大学

目前传统人工合成的碳纤维、玻璃纤维增强高分子基复合材料已经得到了广泛的应用，但是此类材料存在耗能大、环境污染等问题，因此人们开始通过利用绿色可降解材料来部分替代传统复合材料解决以上问题。其中植物纤维/聚乳酸 (PLA) 复合材料以其优异的可降解性和较高的比强度、比模量得到了广泛的关注，目前开始逐步应用于航空航天、轨道交通等领域。但植物纤维的多尺度微观结构决定了它的天然亲水性，这使得它在使用过程中极易受到温度、湿度等外界因素的影响，耐久性受到很大限制。对于关键领域的应用，如轨道交通领域，希望能够预测水环境对材料性能的影响。在未发生不可逆化学或物理反应的吸水初期，复合材料力学性能的损失主要是由于水分引起的塑化和膨胀引起的内应力导致的。目前，植物纤维增强复合材料在吸水的研究都是基于实验室加速研究。为了测试复合材料的内应力，人们研究了多种实验方法如 XRD 技术、应变片技术、微拉曼光谱和电导率技术，然而，这些方法非常容易受到外部因素(如试样和测试环境)的影响，并且它们还不能为内应力的演变提供有效的 3D 信息。因此，很难定量分析材料在吸水过程中瞬态水分扩散规律和应力演化规律。x 射线计算机断层扫描(XCT)法可以有效的解决这一问题，该方法与有限元相结合可以提供复合材料内部的三维信息且量化复合材料的内应力。

本工作主要研究了短黄麻纤维增强聚乳酸复合材料的吸水性能。将纯 PLA 和黄麻/PLA 复合材料在不同温度的去离子水中浸泡至饱和。通过水扩散行为测试、扫描电镜(SEM)和 x 射线计算机断层扫描(XCT)分别测定了复合材料的水扩散参数、水膨胀参数、内部微观结构和纤维取向分布。实验结果表明，黄麻/PLA 复合材料的水扩散行为符合菲克定律。利用数值模拟参数反演方法对黄麻纤维的水扩散系数和吸水膨胀系

数进行了计算。提出了一种包含植物短纤维增强复合材料真实内部微观结构的三维有限元(FE)建模方法,以准确模拟水分子的扩散行为。模拟了纯 PLA 和黄麻/PLA 复合材料的吸水行为,并对材料的吸水动力学参数进行了修正。对水膨胀引起的应力场演化进行了量化,仿真结果与实验测量结果吻合较好,吸水前期复合材料内部的应力集中区域为潜在损伤的起点。

C20-18

碳陶复合材料在轨道交通领域的应用与探讨

史耀君*、周华杉、孙华、夏少华

中车戚墅堰机车车辆工艺研究所股份有限公司

碳陶复合材料具有密度低、强度高、摩擦性能稳定、摩擦量小、制动比大、耐高温、使用寿命长等优点。因此,碳陶复合材料在高速列车制动领域极具应用前景,代表着未来制动材料的发展方向。本研究以 CR450 高速动车组平台制动盘为目标对象,开展了碳陶复合材料制动盘的结构设计与热仿真分析、碳陶复合材料制动盘的制备工艺方案和碳陶复合材料制动盘摩擦磨损性能三个方面的研究,并提出了现阶段碳陶复合材料制动盘应用的技术难点与挑战。

C20-19

7xxx 系超高强铝合金在我国轨道交通车辆的研究应用现状与展望

陈送义*^{1,2}、文超³、陈康华^{1,2}

1. 中南大学 轻合金研究院, 湖南 长沙 410083
2. 中南大学 极端服役性能精准制造全国重点实验室, 湖南 长沙 410083
3. 中车戚墅堰机车车辆工艺研究所股份有限公司, 江苏 常州 213011

针对新一代轨道交通车辆制造提出的“绿色、安全、高效、智能”的重大应用需求,高比强度、良好韧性和耐蚀的 7xxx 系超高强铝合金在轨道交通车辆转向架部件具有重要的应用潜力和发展前景。针对轨道交通车辆领域对 7xxx 系超高强铝合金制造与服役的新需求,重点回顾和对比了两种典型 7xxx 系超高强铝合金(7050 和 7085)的性能特点;同时介绍了新一代 7xxx 系铝合金组织和性能及其调控研究,展望了 7xxx 系超高强铝合金在复杂条件下高效、安全和长寿命应用与服役亟需研究与解决的关键问题,期望为新一代轨道交通车辆转向架部件的设计、选材、制造、应用提供参考。

C20-20

数据结合拓扑驱动的车辆零部件主动式优化设计

张正旻¹、王星博²、陈驰¹、蒋天乐¹、金炜*²

1. 上海交通大学
2. 中国铁道科学研究院集团有限公司

随着铁路运输系统的快速发展,列车零部件的性能提升与轻量化设计成为影响列车整车性能的关键因素。目前,列车零部件的设计方法通常依赖于经验、试错和验证性计算,这些方法虽然在铁路系统的发展中起到了重要作用,但也逐渐暴露出了依赖经验、效率较低、无法充分考虑所有可能的设计方案故而优化不足难,应对快速变化的市场需求不够灵活等问题。随着列车零部件材料体系的更新,对于其设计方法的迭代速度和创新性都提出了更高的要求。拓扑优化方法作为一种主动式设计方法,旨在寻求材料的最优分布方式,使得在给定约束下达到结构的某种性能要求。该方法已经应用于机械、汽车、航空航天等工程制造领域,也被认为是列车零部件中最优前景的优化设计方法之一。然而传统的拓扑优化方法的迭代过程中往往需要多次大规模有限元分析,面临巨大计算量的挑战,同时也面临优化参数难以选择的问题。

本文提出了一种数据驱动结合拓扑优化的方法，考虑材料的本征特性进行拓扑优化，并利用机器学习技术来预测和改进拓扑优化的参数，从而实现了拓扑优化方法的加速。首先，本文介绍了列车零部件的拓扑优化理论基础，包括设计变量、状态方程和优化目标。然后，通过收集和分析历史数据，建立了列车零部件性能与设计参数之间的数据模型。利用机器学习算法，对设计参数进行判别和优化，以提高优化过程的效率和精度。最后，本文对优化结果进行了验证，通过与传统设计方法的对比，展示了数据驱动拓扑优化方法在提高零部件性能和降低重量方面的显著优势。本文为列车零部件的设计提供一种新的优化方法，以提高列车零部件的性能，降低整车重量。

C20-21

短纤维插层复合材料的层间 I 型断裂韧性研究

余晓谔、饶燕妮*

中南大学

纤维增强树脂基复合材料（FRPs）的比刚/强度高，可设计性好，广泛应用于航空航天、轨道交通等领域的装备制造。然而 FRPs 的层间性能较弱，服役时常易发生分层破坏。近年来，短纤维插层复合材料成为研究热点，然而对于其层间增韧效果的定量评估还鲜有报导。本文基于 ASTM-5528 标准和多尺度分析原理，采用有限元计算方法，将内聚力模型和内嵌单元法相结合，建立了短纤维插层复合材料的 I 型断裂韧性的评估模型。该模型考虑了复合材料层间短纤维插层在拉伸载荷作用下的裂纹偏转、纤维拔出、桥接、基体塑性变形及断裂等多种增韧机制，获得了其层间界面内聚力本构模型，并基于内聚区牵引分离曲线与断裂能的关系对复合材料的 I 型层间断裂韧性进行了评估。评估结果与试验结果吻合良好，验证了本模型的有效性。此外，参数分析表明，短纤维插层复合材料的 I 型断裂韧性与纤维长度、方向和分布密切相关。

C20-22

碳纤维蜂窝夹层结构的制备及性能研究

胡玉冰*¹、刘新杨²、张亚男²

1. 南京理工大学

2. 南京工业大学

蜂窝夹层结构具有高比强度、优异的能量吸收能力和良好的耐撞性能等特点，被广泛应用于航空航天、轨道交通等领域。纤维金属层板（FMLs）具有优秀的断裂韧性、抗冲击特性以及高比强度等特点。碳纤维增强聚合物（CFRP）蜂窝具有轻质高强和优异的能量吸收能力。由 FMLs 和 CFRP 蜂窝组成的蜂窝夹层结构具有在航空航天、轨道交通领域的应用潜力。在实际应用中，蜂窝夹层结构容易受到各种撞击事件的影响，从而影响其整体力学性能。因此，本文以 FMLs 为面板材料和以 CFRP 蜂窝为芯材，研究了不同结构参数及不同蜂窝制备工艺条件下的碳纤维蜂窝夹芯结构的面外压缩、静态压穿和低速冲击响应。

C20-23

复合材料轻量化结构抗冲击性能仿真优化研究

张温馨、周晋*、张迪、石刘彬

西安交通大学

外来物冲击对高速列车的安全运行造成潜在威胁，运载复合材料结构的轻量化程度及抗冲击性能优化是提升轨道交通车辆运载效率及安全运行的重要途径。本研究开展了不同硬度冲头、冲击速度和冲击角度的冲击实验，采用数字图像相关技术监测了试验过程中的全局位移场。在仿真分析中基于三维 Hashin 失效准

则引入了考虑应变率效应的用户子程序,运用 ABAQUS 有限元软件对复合材料的冲击动态响应进行了数值模拟。结果表明,仿真分析与实验结果吻合较好。高硬度冲头对试件造成失效损伤,软头冲头仅发生试件的面外位移波动,轮廓逐渐由圆形变为较大面积的椭圆形。冲击角度的增加,损伤越小。距离冲击点不同位置的应变片呈现出响应迟滞。该验证模型有助于复合材料轻量化结构的抗冲击性能预测。

C20-24

温度-载荷耦合下 3D 打印 BFRP 层间失效演化机理及寿命预测方法

谭伟*

浙大城市学院

玄武岩纤维增强复合材料(BFRP)具有轻质高强和透波等特性,3D 打印 BFRP 可实现轨道交通装备中复杂部件的快速制造,研究其构件在温度环境与复杂应力条件下的寿命服役行为与预测是装备研发的关键。然而,疲劳分层是复合材料最严重的失效模式之一,受成型工艺和加载应力影响明显,并且温度-载荷耦合环境进一步加剧了疲劳分层失效。为此,项目为探究 3D 打印 BFRP 的“成型工艺-微观结构-服役性能”关联机制,从两个关键科学问题入手:成型工艺对混合加载模式下层间性能的影响机制;温度-载荷耦合下的层间混合加载疲劳失效机理。采用多目标优化、多场耦合技术和疲劳分层建模来开展以下研究:1)建立成型工艺的多目标优化模型以确定最佳工艺参数;2)揭示温度-载荷耦合下的层间混合加载疲劳机制和失效演化机理;3)构建归一化的层间疲劳分层模型及仿真分析方法。研究成果有望为轨道交通装备中 BFRP 构件的安全服役提供关键的理论基础与方法支撑。

C20-25

结构功能一体化环氧树脂复合材料的研发与应用

康红伟*

深圳市郎搏万先进材料有限公司

结构功能一体化复合材料由于具有轻质、高强度、可设计性强等优点,在航空航天、轨道交通、汽车轻量化、3C 等领域具有广阔的应用前景。环氧树脂作为主要的基体材料,不仅可赋予复合材料优异的力学性能,还可通过改性实现多功能一体化。本报告首先介绍了高性能环氧树脂的结构与性能,着重论述了环氧树脂在结构功能一体化复合材料中的应用,包括提高力学性能、增强热稳定性、赋予电磁屏蔽、吸波、透波、导热、导电等功能性能。最后,对该领域的发展趋势及挑战进行了展望。