

新型材料在铁路轨道车辆制造中的应用探讨

张国平

天津一号线轨道交通运营有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i11.7392

[摘要] 随着世界高速列车谱系的不断完善,用户对个性化定制的需求逐步提升,并呈现多样性发展趋势。用户在追求列车速度的同时,开始更多地关注列车安全性、节能性、环保性、舒适性、便利性。传统结构列车在不断提高速度的同时,加大了振动、冲击、阻力、噪声问题的解决难度,在应对诸如高原、沙漠、高温、高寒及高海拔等复杂多变的运营环境时,传统技术和材料已经不能满足要求。高速列车市场进入新一轮快速发展期,巨大的市场需求为轨道交通技术的进步和新技术、新材料的推广应用提供了良好契机。在列车的设计过程中,正确的选择合适的新材料,并采用合适的设计结构,对提升列车的性能、安全和质量具有重要意义。本文对目前轨道车辆应用的主要新材料做了相关介绍。

[关键词] 轨道车辆; 新材料; 合金金属; 复合材料; 轻量化。

Discussion on the Application of New Materials in the Manufacturing of Railway Track Vehicles

Zhang Guoping

Tianjin Line 1 Rail Transit Operation Co., LTD.

[Abstract] With the continuous improvement of the world's high-speed train spectrum, the demand for personalized customization by users is gradually increasing and showing a trend of diversified development. While pursuing train speed, users are beginning to pay more attention to train safety, energy efficiency, environmental protection, comfort, and convenience. Traditional structural trains have increased the difficulty of solving problems such as vibration, impact, resistance, and noise while continuously increasing their speed. When dealing with complex and changing operating environments such as plateaus, deserts, high temperatures, high colds, and high altitudes, traditional technology and materials can no longer meet the requirements. The high-speed train market has entered a new round of rapid development, and the huge market demand provides a good opportunity for the progress of rail transit technology and the promotion and application of new technologies and materials. Choosing appropriate new materials and adopting appropriate design structures during the train design process is of great significance for improving the performance, safety, and quality of the train. This article provides an introduction to the main new materials currently used in rail vehicles.

[Key words] Rail vehicles; New materials; Alloy metal; Composite materials; Lightweight.

1. 绪论

随着世界高速列车谱系的不断完善,用户对个性化定制的需求逐步提升,并呈现多样性发展趋势。用户在追求列车速度的同时,开始更多地关注如何提升服务品质,如何提高列车节能性、环保性、舒适性、便利性。而且在传统结构列车在不断提高速度的同时,加大了振动、冲击、阻力、噪声问题的解决难度,并且在应对诸如高原、沙漠、高温、高寒及高海拔等复杂多变的服役环境时,传统技术和材料已经不能满足要求。高

速列车市场进入新一轮快速发展期,巨大的市场需求为轨道交通技术的进步和新技术、新材料的推广应用提供了良好契机。在列车的设计过程中,正确的选择合适的新材料,并采用合适的设计结构,对提升列车的性能、安全和质量具有重要意义。目前新材料在轨道车辆的制造中得到了很广泛的应用。

2. 轨道车辆的主要组成

目前,我国已拥有世界上规模最大的铁路和城市轨道交通网,是世界上唯一一个拥有地铁、轻轨、高速铁路和客运专线

四大现代交通运输方式的国家。轨道车辆是一种运行在铁路线路上的交通工具,是指以铁路或城市轨道交通线路为运行平台、以电力为能源的列车,由动力系统、制动系统、牵引系统和其他辅助系统组成,满足运输生产需要并对环境造成影响的一种具有特定功能的工程技术产品,列车种类主要包括机车、客车、货车和轨道车等。随着我国城市化进程的加快,城市轨道交通发展迅速,列车速度的不断提升,为了提升车辆性能及列车的安全,轨道车辆各系统部件均应用了大量的新技术和新材料。

3.新材料在轨道车辆中的应用

目前在轨道车辆上应用的新材料主要为两类:合金金属材料、复合材料,合金金属材料主要包括不锈钢、铝合金、高强度碳钢、粉末冶金;复合材料主要包括碳纤维、玻璃钢、纤维增强材料、聚酰胺复合材料、制动摩擦材料、高分子减振降噪材料等,下面进行部分应用介绍:

3.1 合金金属材料

3.1.1 不锈钢

在 1934 年美国首次在车辆车体上采用不锈钢材料,主要是镍铬奥氏体不锈钢,具有高耐腐蚀性、表面工艺美观性、质量轻、使用寿命长等特点,在保证强度和刚度前提下可减重 40% 左右;该材料的应用在 20 世纪 60 年代初的日本快速发展,日本率先研制出不锈钢车辆,其轻量(仅为碳素钢的 1/2)、节能、不需涂装、维修费用低等特点,产生了显著的经济效益;在 1987 年我国开始在地面客车外墙板及易腐蚀的梁柱上使用不锈钢材料;在 1996 年我国与韩国合作开发出了点焊结构的不锈钢车体;在 2002 年我国制造出两列轻量化不锈钢样车。通常,耐腐蚀性的不锈钢车体结构更适合海洋性气候的沿海地区 and 高原地区;不锈钢车体由于不易解决车体气密性问题,目前只用于制造 200km/h 速度级的车体、及车内承载和装饰件。

3.1.2 铝合金

在 1952 年英国的伦敦地铁最早使用铝合金车体,铝合金车体的发展经历了板梁期、开口型材期和现在的大型中空挤压型材期三个发展阶段。目前国内高速列车大量使用铝合金材料,时速 300 公里以上的高速列车车体必须采用轻质铝合金材料,时速 350 公里以上的高速列车车厢除底盘外全部采用铝型材。铝及铝合金具有密度小(仅为钢的 1/3)、强度高,添加某些元素的合金比钢合金强度更高;导热导电性仅次于银、铜和金;熔点低、流动性好、耐腐蚀,易于制造各种复杂外形的零件。目前我国客运专线 CRH2、CRH3 和 CRH5 三种动车车体均采用铝合金材料、时速超过 200km/h 的高铁和磁悬浮车辆均已采用铝合金车体结构、其他轨道车辆厢体的铝化率已超过 40%。

3.1.3 高强度碳钢材料

我国生产的大多数轨道车辆车体结构底架主要部件(牵引梁、枕梁、缓冲梁等)通常采用耐候钢、低合金高强度钢制造(具有良好的焊接性能和疲劳强度),其余承载部分均采用 SUS301L 系列奥氏体不锈钢。

车轮和车轴均是轮轨系统中的核心部件,其材料的性能和质量对列车的运行安全具有十分重要的意义。目前,我国在普通客车、货车及机车的车轮材料与制造方面,我国与世界先进水平相当。动车组整车技术已基本国产化,但作为转向架重要组成部分的走行部轮轴系统还没有国产化。我国铁路车轮用材料主要以中碳钢为主,普通客车和货车车轮材料为 CL60 钢,普通机车车轮材料略有不同(基本与 CL60 相近)。以客运铁路为主的欧洲和日本等国家使用的主要是辗钢车轮,以货运铁路为主的美国、印度、巴西、加拿大、墨西哥等国家广泛使用的是铸钢车轮;车轴用钢材具有足够的安全性、可靠性和长的使用寿命、良好的疲劳强度。为了提高精炼钢的疲劳强度和冲击性能,国外普遍采用钢包脱气、真空冶炼等精炼方法生产车轴用钢。

3.2 复合材料

优质复合材料与金属材料的性能相比,密度小、力学性能优异、拉伸强度高,完全可以满足列车对材料性能的要求。国内复合材料在轨交领域的应用起步较晚,但发展迅速,复合材料在高速列车领域应用范围逐步从内饰、车内设备、司机室外罩等非承载部件和次承载部件,扩大到车体、转向架等主承载结构,主要复合材料介绍如下:

3.2.1 碳纤维材料

碳纤维材料与传统的轨道车辆材料(钢、铝等)相比,在轻量化、电磁屏蔽、节能、碰撞吸能等方面具有较强的优势和较突出的特点。碳纤维材料具有密度小、强度和刚度高、无蠕变、耐疲劳性和耐腐蚀性等一系列优点,不仅是承载能力最强的复合材料,也是当前唯一能够代替金属材料而成为结构材料使用的非金属复合材料。在 2011 年底,四方股份研制的 500km/h 高速试验车上采用了碳纤维复合材料的车头罩,其抗冲击性能和力学性能优良。

3.2.2 玻璃钢材料

在上世纪 80 年代,我国玻璃钢材料首次应用于国产 140km/h 低速列车上;在上世纪 90 年代玻璃钢应用逐渐成熟并实现批量,所应用的玻璃钢种类仍以不饱和聚酯树脂为主,主要用于制造铁路客车和城轨车辆的客室内侧墙板/顶板、拼装式玻璃钢卫生间、整体玻璃钢卫生间/洗面间、空调风道、废排风道、座椅及座椅骨架、车顶导流罩、新风道、罩板、蜂窝间壁板、装饰件等。并且,玻璃钢的应用已经逐步由节木代木阶段转向了提高车辆的档次阶段。

玻璃钢材料具有密度小、工艺性好、比强度高(相对密度只有碳钢的 $1/4\sim 1/5$)、拉伸强度高(接近碳钢)、耐腐蚀性好(对大气、水、一般的酸碱盐以及多种油类和溶剂都有较好的抵抗能力)、隔热性能良好(导热率只有金属的 $1/100\sim 1/1000$,适应瞬时超高温情况)、各向异性(不同方向上的力学性能有明显差异,与其它工程结构材料还有一定的差距)、环保性差(现阶段应用的玻璃钢材料难以降解、回收,废弃零部件不易处理,污染环境)。

3.2.3 纤维增强材料

纤维增强酚醛发泡材料是一种将热塑性壳体类微球发泡与纤维增强技术结合到酚醛树脂中的新型轨道车辆用材料,具备阻燃、防火、隔声及轻量化特性,该材料目前主要应用于轨道车辆的风道、地板、顶板及端墙产品上。在1997年,美国公司开始对该材料在轨道车辆的应用研究。在2013年,国内在株洲时代新材公司牵头组织研究该材料在轨道车辆的应用,目前该材料已在国内基本实现国产化。

纤维增强树脂基复合材料具有高比强度(刚度)、耐疲劳、耐蚀、隔热、阻燃、可设计性强等优点。在上世纪60年代英国、日本、德国先后开始在非结构件应用该材料,目前多应用于车体和车头前端部各种结构件、其它母材外面涂层(增加耐腐蚀性、阻燃性)。

3.2.4 聚酰胺复合材料

聚酰胺复合材料具有高弹性、自润滑性、耐磨性、耐冲击性、耐腐蚀性、易加工、质轻等特点,能达到关键零部件特殊性能要求,主要应用产品有滚动轴承保持架、转向架心盘磨耗盘。

轴承保持架采用玻纤增强和石墨或二硫化钼作润滑剂。此种保持架在国外已广泛应用,这种尼龙保持架在温升、磨损和油脂亲和等方面具有优良特性,对提高轴承负荷能力和寿命,特别是润滑作用对延缓轴承事故、保证行车安全有显著特点。

转向架心盘磨耗盘是安装在货车转向架摇枕的中间,和旁承一起支撑整个车体的关键部件,能够在少油或无油的条件下安全运行。该部件目前主要使用玻璃纤维增强增韧尼龙、含油铸型尼龙和超高相对分子质量的聚乙烯等高分子材料,取代金属磨耗件制作车辆心盘衬垫。该部件材料:德国货车一般采用PA6,美国多采用聚乙烯,我国则选用增韧PA66。

3.2.5 中空夹芯复合材料

中空夹芯复合材料是面板(高强度、高模量材料)、芯子(蜂窝、泡沫等轻质材料)和连接胶层组成的轻质多功能结构材料,面层材料和芯层材料整体连接成型,面压缩和冲击性能优异,具有较好的减重、高性能(保温、隔音、阻燃)、高强度(比强度、比刚度、抗冲击、耐疲劳)、可填充与预埋(填

充泡沫、埋设导线、探头)、可设计(纤维体系、芯体结构形式、树脂体系)、易于成型(平面、拐角、异形曲面)等性能,显著弥补传统蜂窝、泡沫芯材等夹芯复合材料易分层、耐冲击性能差的缺点。该材料目前广泛应用于轨道车辆的车门、内饰板和导流罩等部件。例如:玻璃纤维夹层复合材料内外蒙皮采用玻纤增强不饱和聚酯树脂,芯材为阻燃低密度泡沫,经常温真空技术压制成型,可均匀传递荷载(有利于冲击荷载的扩散),多用于替代传统的玻璃钢材料(同结构减重30%)。

3.2.6 高分子减振降噪材料

轨道交通引起的噪声源主要包括列车高速运行时走行部的车轮与钢轨产生的“轮轨噪声”、受电弓与接触网高速摩擦产生的“集电系统噪声”、列车高速行驶引起的“空气动力噪声”、行车激励引起的桥梁结构振动而产生的“结构噪声”。设计人员在设计列车时均会采用低噪声的结构或构造达到降噪的目的。许多化工高分子材料在减振、降噪、吸音等方面的性能优势是传统的金属、水泥、木材所无法比拟的,轨道交通领域所用到的高分子减振、降噪材料种类较多,主要有聚氨酯、碳纤维复合材料、热塑性弹性体、聚氯乙烯、硅橡胶、环氧树脂、丁基橡胶、丁苯橡胶、三元乙丙胶。

总结

轨道交通装备制造制造业是我国自主创新程度最高、国际创新竞争力最强、产业带动效应最明显的高端装备制造行业之一。轨道车辆新材料的研发与应用是轨道交通高速发展的必要技术支持,是实现轨道交通性能平衡(强度、振动、噪声、隔热、辐射等)的主要途径,它们直接关系到轨道车辆的性能、质量、安全和可靠性。通过应用新技术和新材料,可以提高车辆性能质量、降低生产成本和实现绿色环保可持续发展,从而带来显著的经济和社会效益。

[参考文献]

- [1]周清跃,张银花,梁旭等.国内外铁路用金属材料的现状及进展[J].铁道技术监督
- [2]丁叁叁,田爱琴,王建军等.高速动车组碳纤维复合材料应用研究[J].电力机车与城轨车辆
- [3]李天亮.碳纤维复合材料在轨道客车上应用前景分析[J].装备制造技术
- [4]顾振国.复合材料在铁路高速列车上的应用[J].玻璃钢复合材料
- [5]王舜.城市轨道交通车辆内装轻量化新材料的应用研究[J].工程技术
- [6]周洲,颜渊巍,刘小芳等.轨道车辆车体新材料应用及发展研究[J].现代城市轨道交通