



高速列车采用复合材料轻量化的研究

南车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司

教授级高级工程师 钱坤才

1

前言



2

车辆材料轻量化研究及主要技术措施

3

结论



列车运能提高

提高牵引功率

车辆轻量化

阻力更小的外型设计



新材料应用

✓ 最主要的途径

✓ 最有效的途径

✓ 发展提高列车运能最重要的关键技术之一

车速提高

→ 轮轨冲击加剧

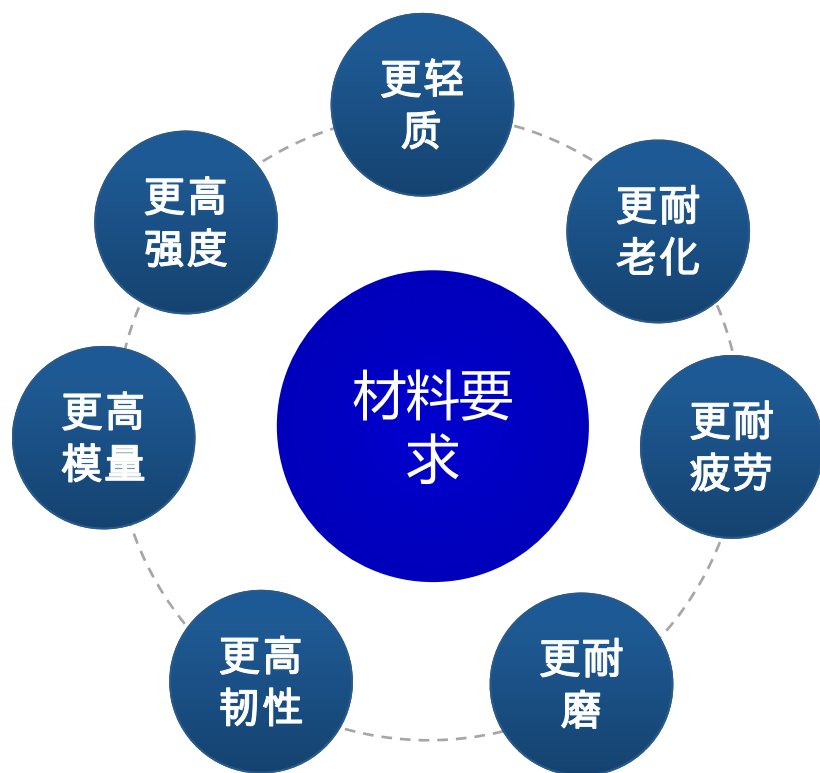
→ 寿命期营运里程延长

✓ 走行部和车体材料要求更高

需采用比原有材料性能更优异的新材料及更优化的结构



1.1 材料要求



列车不同部位有特殊要求

➤ 转向架

除了要有足够的强度、韧性、耐磨性外，还必须具有耐疲劳和轻量化的性能

➤ 摩擦副

随着列车速度和动能的增大，高速列车的制动盘和闸片除了必须满足制动所需的摩擦特性外，还必须有更好的耐温和耐磨性能

➤ 减振降噪

高速带来的冲击、振动和噪声的加剧，要求采用更好的减振降噪元件，其中包括粘弹性能、耐疲劳、耐老化性能更优的橡胶元件，以保证乘坐的安全舒适

➤ 有机高分子材料及复合材料

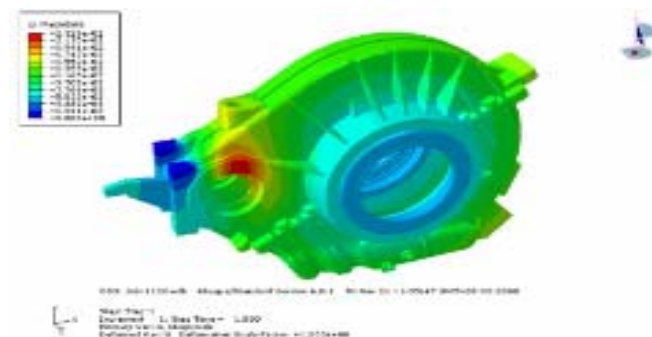
有机高分子材料及其复合材料的使用，还必须考虑其阻燃、无污染、耐老化等问题

1.2 结构要求

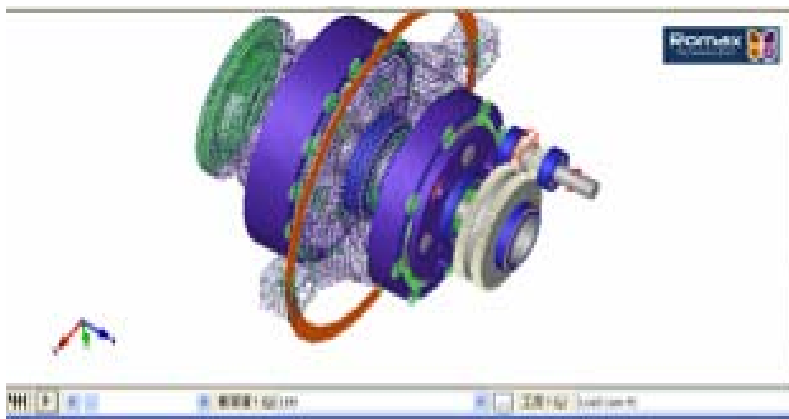
高速列车对轻量化的要求也反映到车体和结构件的设计上



计算机辅助设计优化部件结构



利用ANSYS进行有限元分析

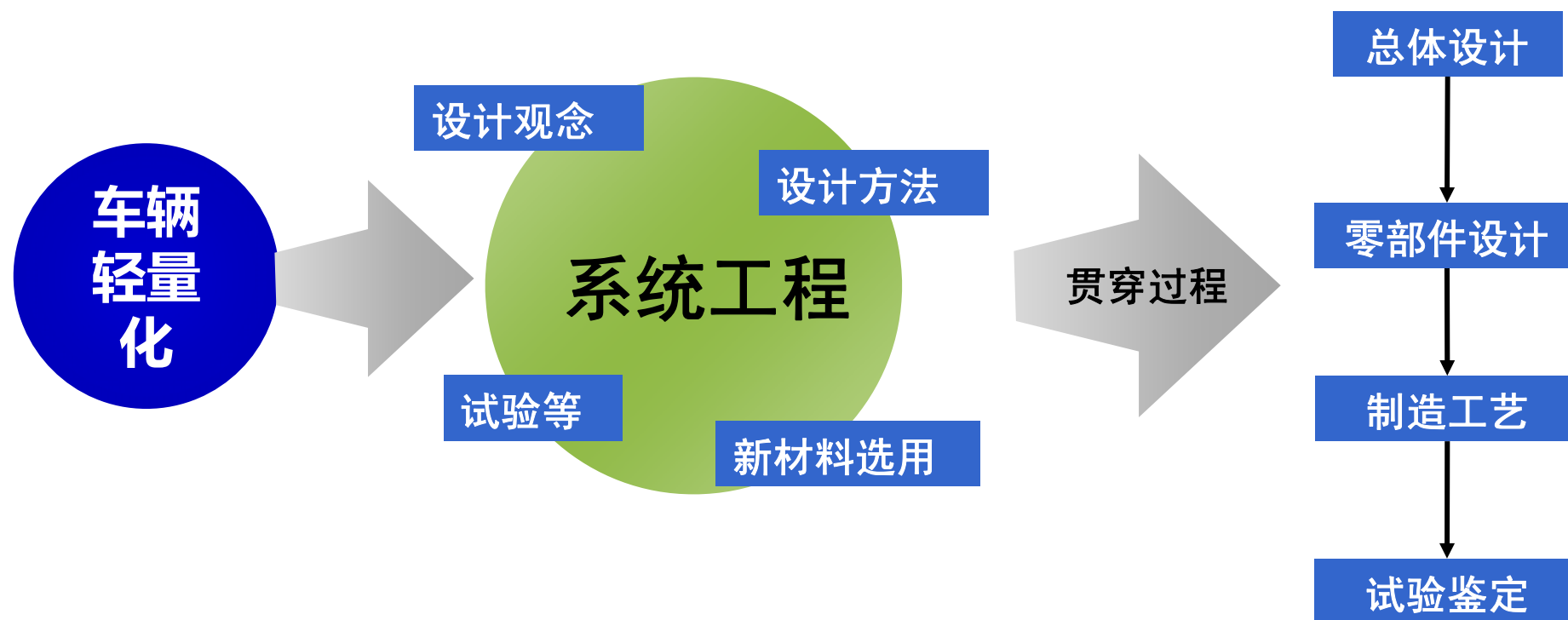


利用Romax进行齿轮传动系统
设计、动力学分析



利用MAGMA对车钩进行铸造工艺分析

2 车辆轻量化



车辆轻量化是个系统工程，它包括设计观念、设计方法、新材料选用、试验等诸多方面并贯彻在总体设计、零部件设计、制造工艺、试验鉴定的研制全过程之中。

2.1 车辆轻量化主要途径

1. 改变车辆结构参数

采用矮车体并采用鼓型断面, 可以减小车辆自重并可减小气动阻力。为加大车内净高, 保证旅客有较高的舒适度, 宜采取分体式空调或诱导式空调系统。

2. 设立列车计算机控制网络

取消以往数量庞大的列车通信(控制)线, 设立1对或2对网络线, 既可大大减轻列车重量, 又可提高通信品质

3. 采用高性能材料

如用高强钢制造转向架, 采用铝合金来制造车体及其他承载部件, 采用合成蜂窝材料制造车体内装构件, 采用高性能轻质的隔热材、送风道以及薄壁不锈钢管、薄壁电缆、合成材料管路等。

4. 采用有限元分析等现代方法进行结构设计优化

以最轻的重量取得最大的强度和刚度; 采用现代湍流理论对车体外形进行优化, 以期取得最小的气动阻力和良好的侧风稳定性等

5. 采用集成化、模块化设计

以最小的体积来实现规定的功能

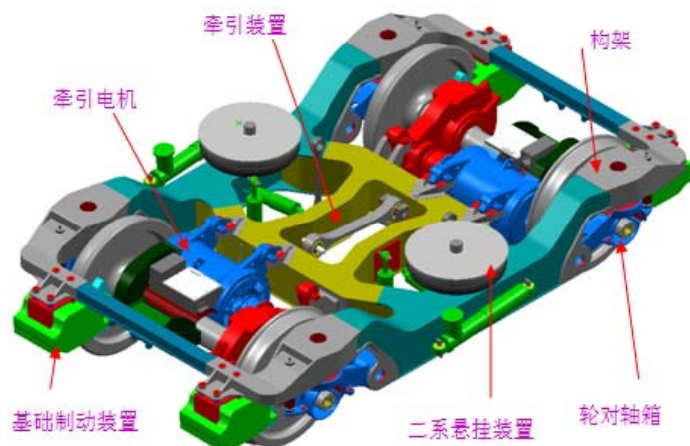


2.2 高速列车使用的轻量化材料

高强度钢

采用屈服限300MPa级、400MPa级、500MPa级或更高的高强韧性钢材

主要用于制造转向架部件



2.2 高速列车使用的轻量化材料

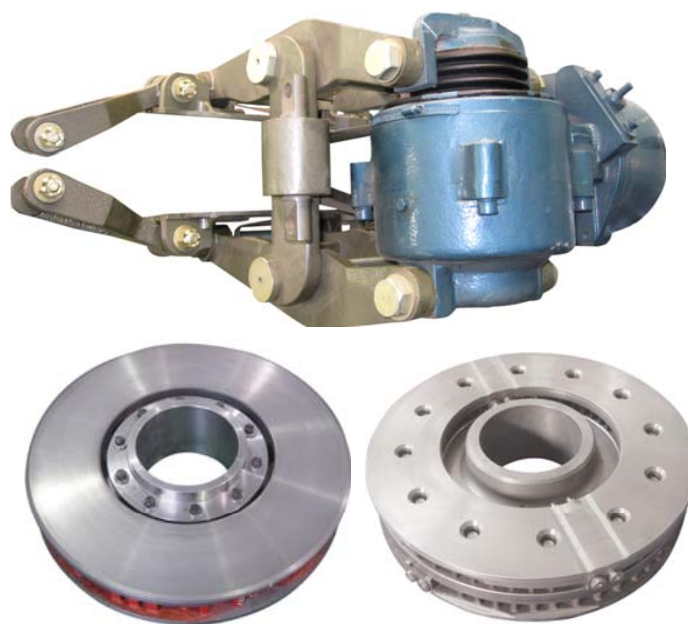
球墨铸铁

球墨铸铁由于密度比钢小、强度高，耐磨性好，减震性能好，制造成本低，在汽车、船舶、农机等领域得到了广泛的应用。球墨铸铁也已应用于铁道机车车辆齿轮箱箱体、轴箱体、机车齿轮、制动部件等

传动零部件



制动零部件



阀类零件



2.2 高速列车使用的轻量化材料

轻金属合金材料 及其复合材料

如铝合金、镁合金及其复合材料等。铝合金及其复合材料由于密度小、比强度高，耐蚀性好，在汽车、列车、船舶、航空、航天等领域得到了广泛的应用。就轻量化而言，铝合金及其复合材料是一种成熟的轻金属材料。国外铝合金及其复合材料车体已经工程化，国内也已应用于高速列车车体顶盖、齿轮箱箱体等许多部件。铝合金及其复合材料的进一步加工材料如泡沫铝、铝蜂窝等在高速列车上也有应用前景。

动车组用齿轮箱



动车组用制动风缸



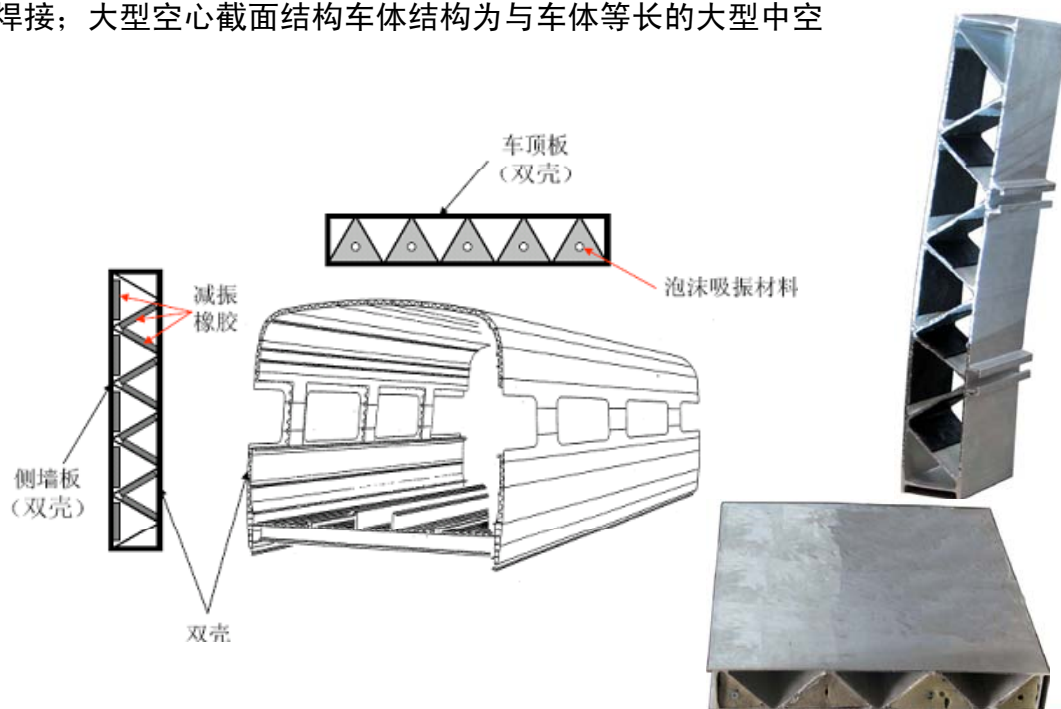
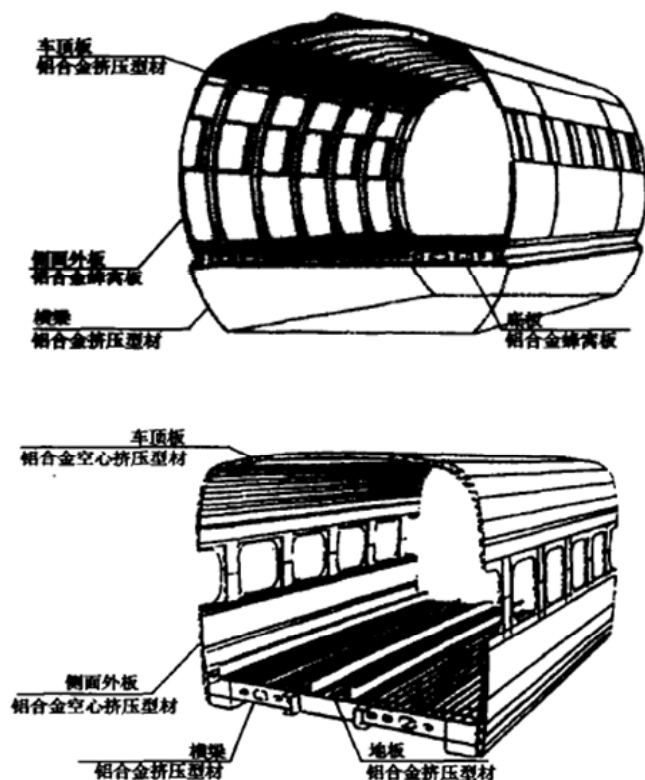
2.2 高速列车使用的轻量化材料

轻金属合金材料 及其复合材料

铝合金车体

板条骨架结构车体由铝板和纵向加固件应用气体保护焊的溶焊而成；大型开口型材结构车体由板皮和纵向加固件组成高强度大型开口型材整体结构通过焊接；大型空心截面结构车体结构为与车体等长的大型中空型材通过自动连续焊接互相连接。

如铝合金、镁合金或其复合材料等。铝合金及其复合材料由于密度小、比强度高，耐蚀性好，在汽车、列车、船舶、航空、航天等领域得到了广泛的应用。就轻量化而言，铝合金及其复合材料是一种成熟的轻金属材料。国外铝合金车体已经工程化，国内也已应用于高速列车车体顶盖、齿轮箱箱体等许多部件。铝合金及其复合材料的进一步加工材料如泡沫铝、铝蜂窝等在高速列车上也有应用前景。

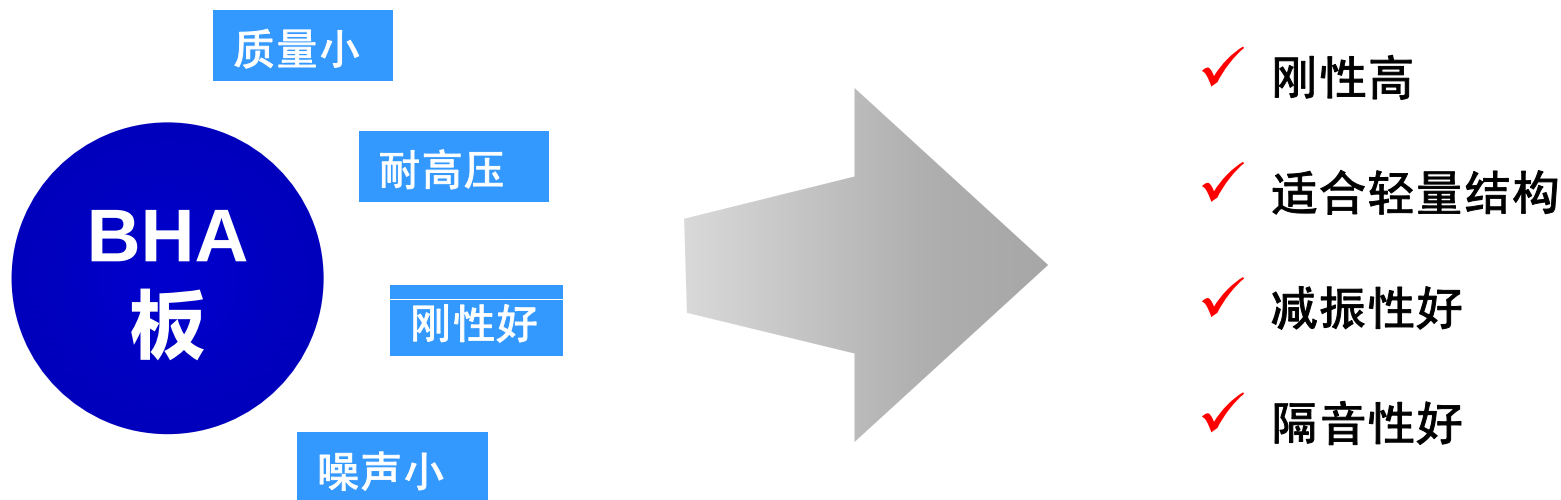


2.2 高速列车使用的轻量化材料

轻金属合金复合材料

如铝合金、镁合金复合材料等。铝基复合材料由于密度小、比强度高，耐蚀性好，在汽车、列车、船舶、航空、航天等领域得到了广泛的应用。就轻量化而言，铝合金及其复合材料是一种成熟的轻金属材料。国外铝合金车体已经工程化，国内也已应用于高速列车车体顶盖、齿轮箱箱体等许多部件。铝合金及其复合材料的进一步加工材料如泡沫铝、铝蜂窝等在高速列车上也有应用前景。

钎焊蜂窝板（BHA板）



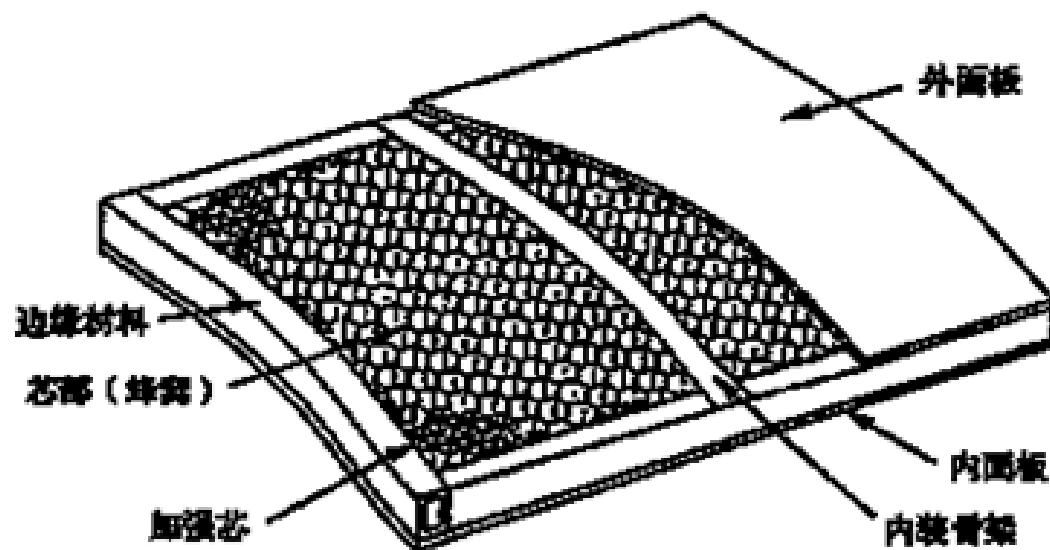
2.2 高速列车使用的轻量化材料

轻金属合金 复合材料

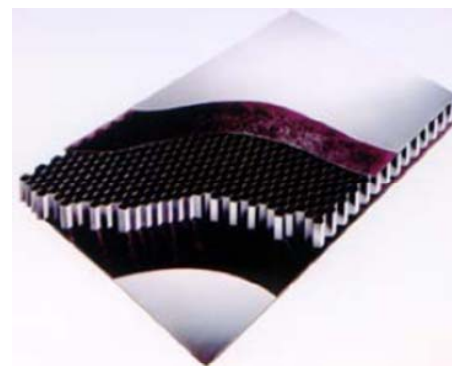
如铝合金、镁合金复合材料等。铝基复合材料由于密度小、比强度高，耐蚀性好，在汽车、列车、船舶、航空、航天等领域得到了广泛的应用。就轻量化而言，铝合金及其复合材料是一种成熟的轻金属材料。国外铝合金车体已经工程化，国内也已应用于高速列车车体顶盖、齿轮箱箱体等许多部件。铝合金及其复合材料的进一步加工材料如泡沫铝、铝蜂窝等在高速列车上也有应用前景。

钎焊蜂窝板（BHA板）

BAH板的芯保持表里2片面板的一定间隔。芯是将薄板材进行弯曲加工而成的部件，大多制成有六角圆柱的空间，采用钎焊使两端与面板内部成T字形连接。



面板板厚为0.8~1.2mm;
芯的板厚为0.2mm;
芯的高度为30~70mm;
蜂窝内径为30mm左右;
单体尺寸最大宽度1200mm最大长度3200mm。



2.3 车内设备的轻量化技术

车内设备材料选用复合材料，首先应满足功能要求和防火阻燃要求，装饰板应反映时代感，车内设备约占客车总重量的20%，轻量化具有重要意义

车内设备

车内设备如门、窗、行李架、座椅、供水设备、卫生设备等等，均可选用轻合金（铝、镁）或高分子工程材料和复合材料，使设备重量大大减轻。仅座椅一项，日本采用铝基复合材料或碳纤维增强复合材料双人座椅，其重量由原钢制的56kg分别降为26kg和20kg，

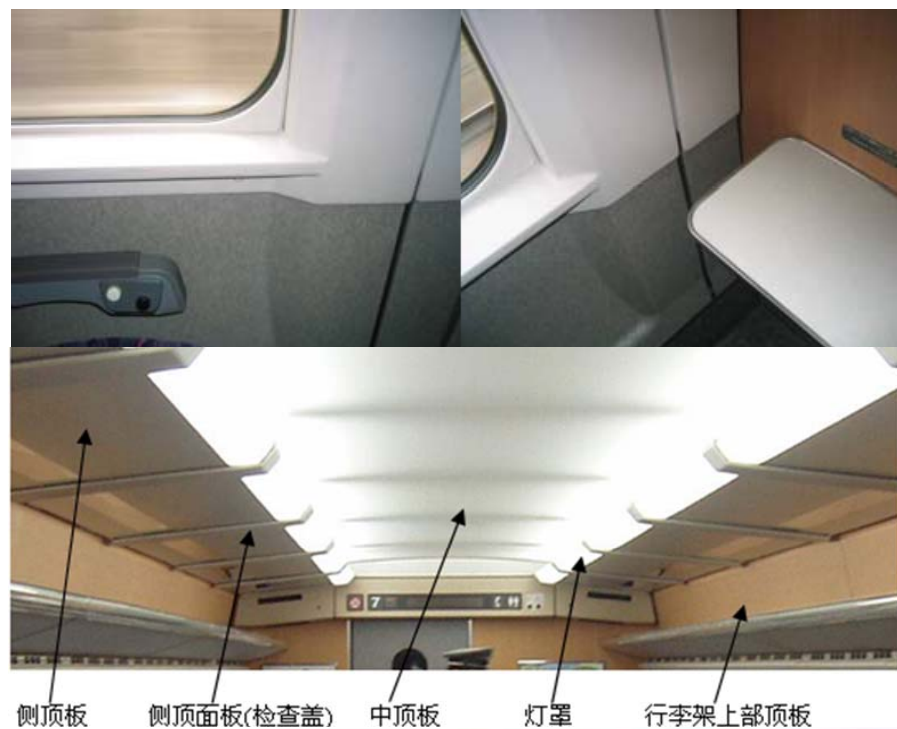


2.3 车内设备的轻量化技术

车内设备

➤ 聚碳酸酯（PC）板材作为透明车窗材料，重量约为同厚度玻璃的1/15，而且透光、耐压、耐冲击均较普通玻璃好，能方便地制作车辆通长的车窗。

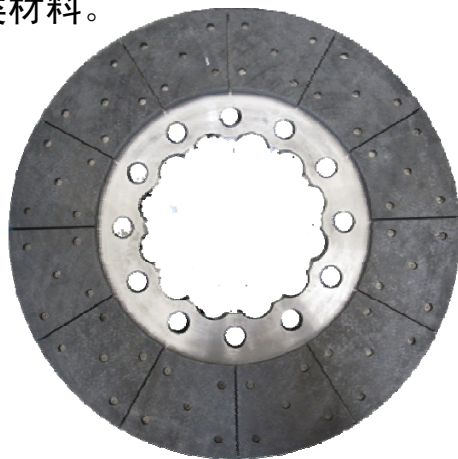
➤ 车内装饰板材广泛采用玻璃钢复合材料墙板，工程塑料顶板或碳纤维增强复合材料门窗、桌椅等



2.3 车辆设备的轻量化技术

复合材料

复合材料是以纤维、颗粒等作为增强材料，以聚合物、陶瓷、金属等作为基体复合而成的具有优异性能的新型材料。它具有高比强度、高比模量、耐疲劳、耐腐蚀、隔热、耐磨、低成本、可设计性强等一系列优点，正在成为高速列车轻量化越来越重要的一类材料。



过去复合材料主要用于列车内部装备和装饰等非结构件，如地板、墙板、门窗、座椅、车门、卫生间等。

现在越来越多地应用于各种结构件，例如，车体和车头前端部采用玻璃钢复合材料、芳纶纤维增强环氧树脂复合材料或碳纤维复合材料蜂窝夹层。

转向架构架也采用了碳纤维增强复合材料。除了聚合物基复合材料外，制动盘采用了金属基复合材料、碳/碳复合材料或SiC陶瓷增强铝基复合材料，碳滑板采用碳-金属纤维及碳-铜复合材料，等等。国内外的研究和应用表明，复合材料是高速列车轻量化最有发展前景的新材料。

2.4 结论

1. 高速列车轻量化技术是一门复杂的系统工程。它不仅要求尽量采用轻质材料以减轻列车的自重，还要考虑高速带来的对材料力学性能、减振性能、疲劳寿命、制动性能、安全性能的要求，还要满足不同部件的特殊要求。此外还要考虑降低寿命期成本并具有合理的检修周期以适应轨道交通车辆检修维护体制。
2. 由于车体部分和转向架部分占车辆自重的40%-70%，因此车体和转向架的轻量化应作为应用新材料的主要研究开发领域。
3. 复合材料应作为当前研究开发的重点。包括用于车体、转向架、车轮等的高性能纤维（如玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维、高模量聚乙烯纤维以及它们的混杂纤维）增强树脂基复合材料；用于制动盘的金属基复合材料和陶瓷基复合材料；用于受电弓滑板的导电性碳—金属复合材料；甚至包括应用于减振降噪的粒子增强的橡胶基弹性复合材料，以及铝塑复合板材、木塑复合材料等。此外，各种工程塑料及其复合材料的应用也应予以重视。
4. 在我国铁路高速发展的进程中，机车车辆制造厂家、材料生产企业应和科研单位、高等院校加强合作，一方面针对现有材料开展广泛的应用研究，另一方面还应积极开展对新材料应用的基础研究和开发，使轨道交通车辆轻量化的进程在我国能够得到迅速而稳步的推进。



谢谢！

