



先进复合材料在铁路货车 制造领域中的应用研究

南车二七车辆有限公司 宁树林

2013年4月18日

南车二七车辆有限公司
北京化工大学新型高分子材料制备与加工重点实验室
北京纳盛通(NST)新材料科技有限公司

目 录

第一部分

未来铁路运输的发展预测

第二部分

未来铁路货物运输对运输装备及材料的要求

第三部分

先进复合材料简要介绍及特点优势

第四部分

复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

第六部分

结论与建议

一、未来铁路运输的发展预测

一、未来铁路运输的发展预测

1、高铁网路增多

根据原铁道部计划，在2020年高铁覆盖率达到60%，达到“四纵四横”的快速客运网。据统计，中国将来高铁覆盖率最多可达80%。

右图为截止到2012年底四纵四横客运专线通车情况

- ①京沪客运专线
全线已通车
- ②京港客运专线
北京—深圳 已通车
深圳—香港 2015年通车
- ③京哈客运专线
北京—沈阳 环评问题未动过
大连—哈尔滨 已通车
- ④东南沿海客运专线
杭州—宁波 2013年通车
宁波—厦门 已通车
厦门—深圳 2013年通车
- ①徐兰客运专线
徐州—郑州 准备动工
郑州—西安 已通车
西安—兰州 2017年通车
- ②沪昆客运专线
上海—杭州 已通车
杭州—长沙 2013年通车
长沙—昆明 2015年通车
- ③青太客运专线
青岛—济南 已通车
济南—石家庄 准备动工
石家庄—太原 已通车
- ④沪汉蓉客运专线
上海—利川 已通车
利川—重庆 2013年通车
重庆—成都 已通车



Baidu 百度

一、 未来铁路运输的发展预测

2、客货分离



六次大提速后,客车的最高时速达**200公里**,个别路段**250公里**,重载**5000吨**的货车也能达到**120公里**,但全国旅客的平均火车旅行速度却只有**71.6公里/小时**。制约旅客速度提升的主要矛盾是“客货混跑”。除了客货车两者的巨大速度差距,重载火车对铁轨的破坏也是要求铁轨平顺的旅客列车难以承受的,往往夜晚重载火车刚通过,白天旅客列车就没法跑出最高速度。这种矛盾还表现在客车提速对货运的制约上,客车每提高一次速度,货车不得不用更多的时间等在让路用的支轨上,以至于自身提速带来的运力被削减。

一、未来铁路运输的发展预测

3、货运增长迅速

人们高度关注铁路，对铁路运输行业有很高的期望和要求。



中国庞大的人口基数对物流需求巨大，要想真正解决交通运输的问题，关键要靠轨道交通。



货运是重要的交通运输方式



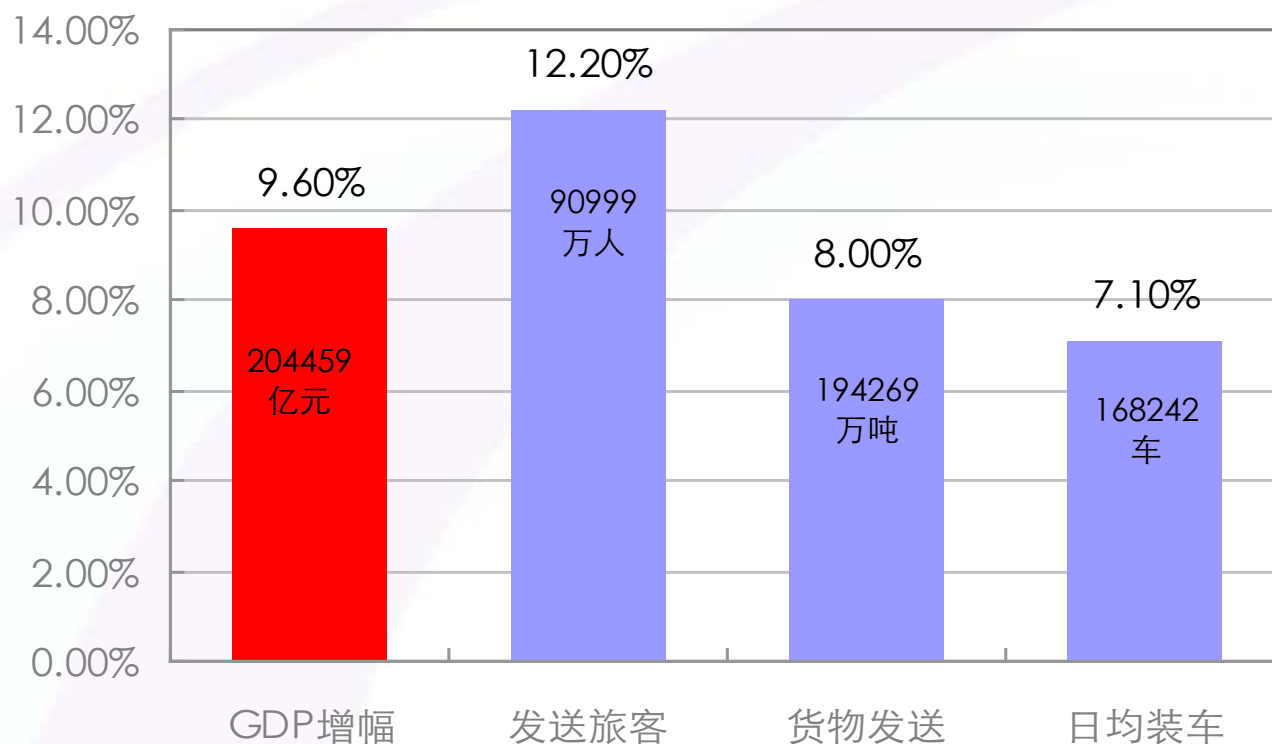
目前铁路的能力满足不了我国经济社会发展的需要，也有着十分大的增长和改善空间。



不论是转变经济发展方式还是节能环保、受天气影响小、节约社会资源、降低物流成本，货运都有着先天的优势。

一、 未来铁路运输的发展预测

铁路内在需求和刚性需求还十分强劲

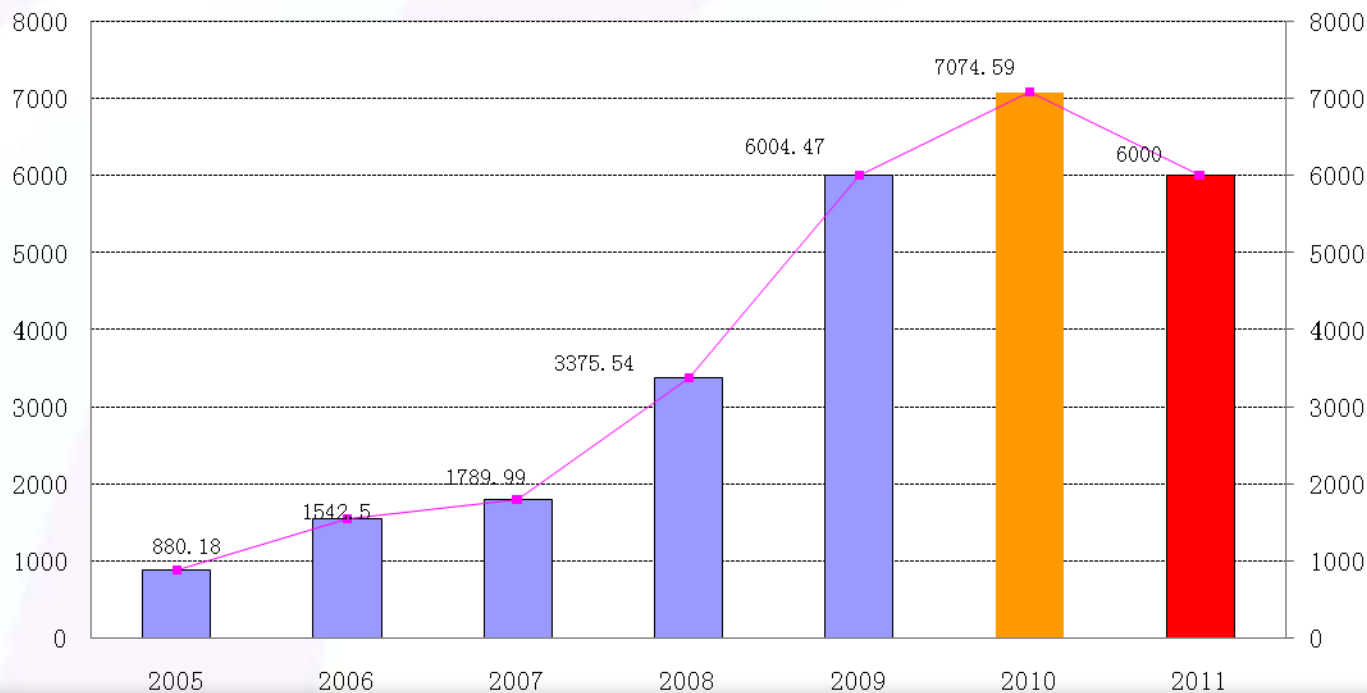


铁路货运能力的增幅还是低于GDP（近五年平均）
的增幅

一、 未来铁路运输的发展预测

中国铁路基本建设投资出现拐点，投资幅度相对降低。但运输需求依然很大。因此亟需兼具**安全、维修方便快捷、适应全国各地气候特征**等铁路特有需求的新型轻量化铁路产品。

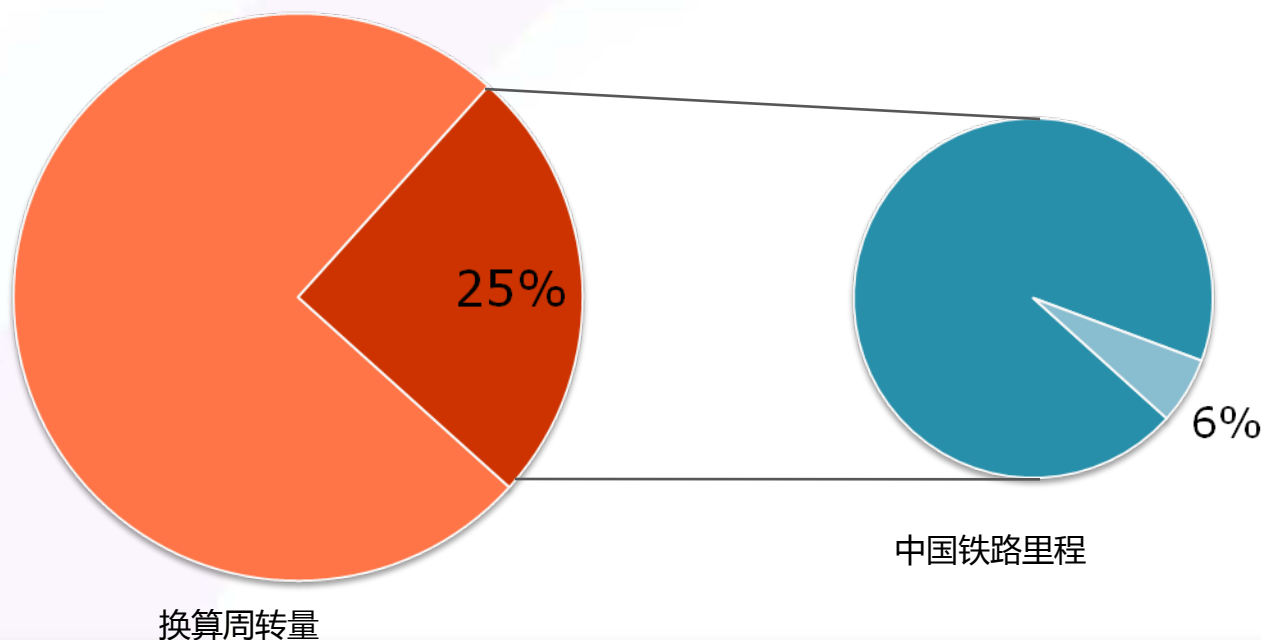
2005年到2010年，中国铁路基本建设投资额年均复合增长率达到**52%**，投资额6年增长了8倍。从2011年开始，铁路发展正从一个高峰收缩到一个相对低位。



一、 未来铁路运输的发展预测

中国铁路货物运输特征:货物运输量大，运输能力紧张

20世纪90年代以来，中国铁路货运异常紧张，许多繁忙干线，特别是与煤炭等能源运输有关的线路运输能力已达到饱和，中国用仅占世界的6%的铁路里程，完成了世界铁路货运25%的换算周转量，是世界上最繁忙的铁路。



一、 未来铁路运输的发展预测

中国铁路货运技术提高方向：**提速、重载**

技术水平

提速：

我国满足120km/h提速要求的货车达到61.3万辆，占中国铁路货车总保有量82.9%。

重载：

载重80t级运煤专用货车2.8万辆，货车载重由60t级向70t、80t级全面升级。



一、 未来铁路运输的发展预测

铁路运输的发展将更加迅速

“ 2013年3月，根据国务院机构改革和职能转变方案，实行铁路政企分开。组建中国铁路总公司，承担铁道部的企业职责；不再保留铁道部。”

中国铁路总公司将致力于企业化运营，以提升经济效益为目的降低运营成本和能耗，提高利润率。这意味着铁路运输市场化运营是大趋势。铁路货运发展将更加迅捷，并且铁路市场化改革也会加速实施。这样也会增加它与航空运输和汽车运输的市场竞争力。

二、未来铁路货物运输对运输装备及材料的要求

现代铁路运输事业对先进复合材料的迫切需求

现代铁路行业中正在越来越多的使用复合材料，因为这种新型材料在帮助制造商**降低成本**的同时还能提高列车性能。结构件**减重50%**，非结构件**减重75%**，并且能够带来一些好处：**提高列车行驶速度**，**降低能耗**，**减少轨道磨损**，能够**运载更多货物**。



二、未来铁路货物运输对运输装备及材料的要求

轨道运输工具的**轻量化设计与应用**是实现绿色环保等目标最重要也是最直接、最有效的技术方案之一。货车车辆整车质量每减轻10%，平均能耗可降低2~4%，减重所带来的其它经济效益和社会效益更是不可估量！

轨道交通工具对材料的要求：

- 轻质高强、耐疲劳、耐腐蚀、耐老化、易于制造、环保可回收
- 轻量化，能够起到节能、降低燃料消耗的需要
- 降低全寿命成本（购买成本、使用成本、维护成本和失效后处理成本的总称）的途径
- 耐高低温变化-50° --130°

二、未来铁路货物运输对运输装备及材料的要求

现在：从轴重21t、载重60t的C63A型敞车升级为轴重25t、载重80t的C80型铝合金、C80B型不锈钢运煤专用敞车



C63A型运煤敞车



C80型铝合金运煤敞车



C80B型不锈钢运煤敞车

未来！

新型复合材料货车

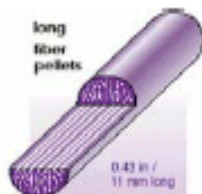
三、先进复合材料简要介绍及特点优势

1、先进复合材料介绍

1.1 LFT热塑性复合材料(简称: LFT)是以热塑性树脂为基体, 以长纤维(主要为玻璃纤维和碳纤维)为增强材料的热塑性复合材料。

优势: 具有重量轻、强度高、抗冲击韧性强、耐腐蚀、成型加工性能优良、可设计与重复回收利用、绿色环保等卓越性能, 最主要的优点是性价比高和相对密度低。

劣势: 比刚度和比强度远低于传统的金属, 只能用于非承力结构



长纤增强热塑性塑料 (LFT/LFRT)
Long fibre reinforced thermoplastics

增强纤维长度: 6 ~ 25 mm

Fiber length: 6~25mm

颗粒长度: 6 ~ 25 mm

Pellet length: 6~25mm

短玻纤增强热塑性塑料 (SFT)
Short fibre reinforced thermoplastics

增强纤维长度: 0.2 ~ 0.6 mm

Fiber length: 0.2~0.6mm

颗粒长度: 1 ~ 3 mm

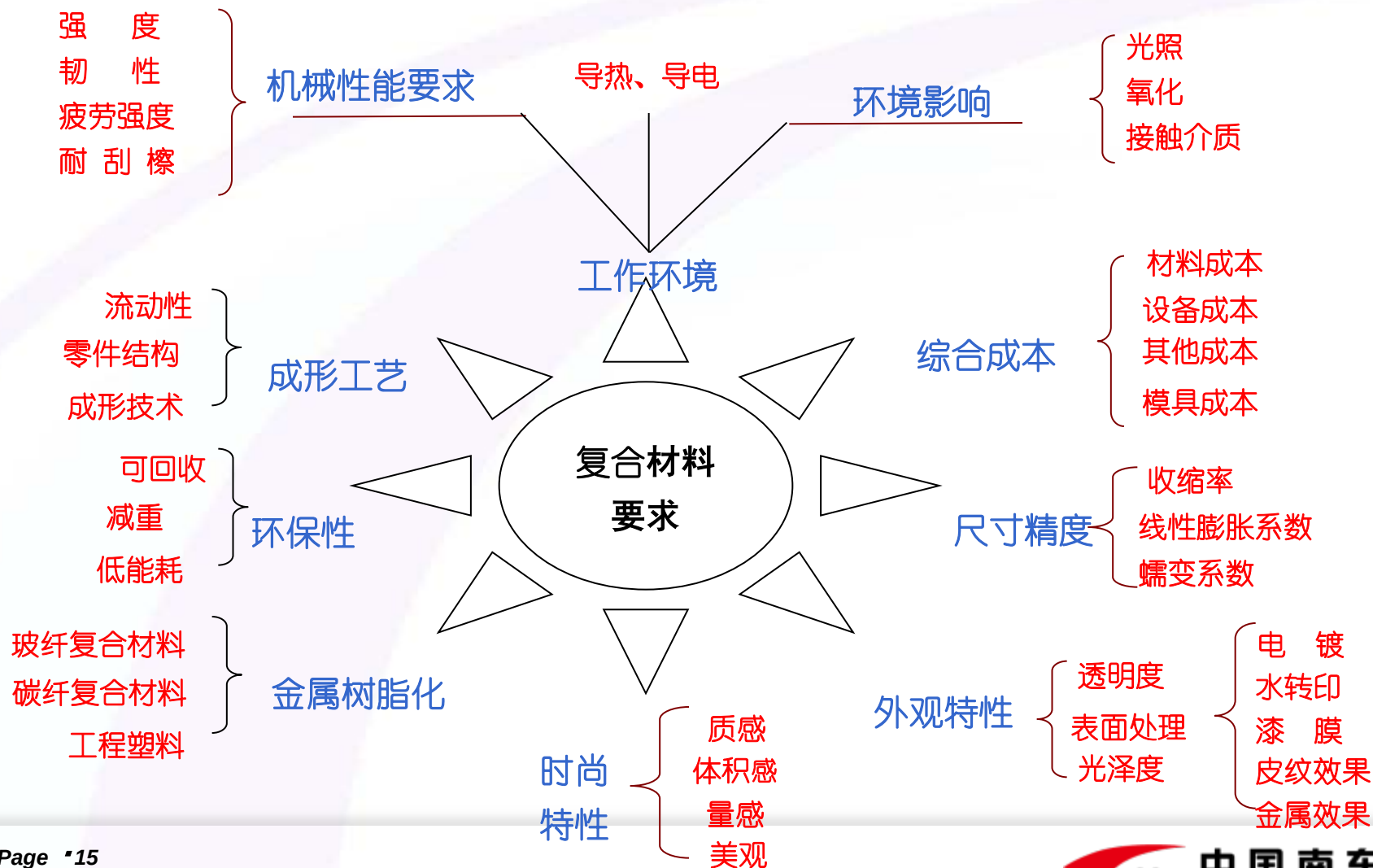
Pellet length: 1~3mm



LFT热塑性复合材料粒料与
SFT塑料粒料的结构特点与
区别

三、先进复合材料简要介绍及特点优势

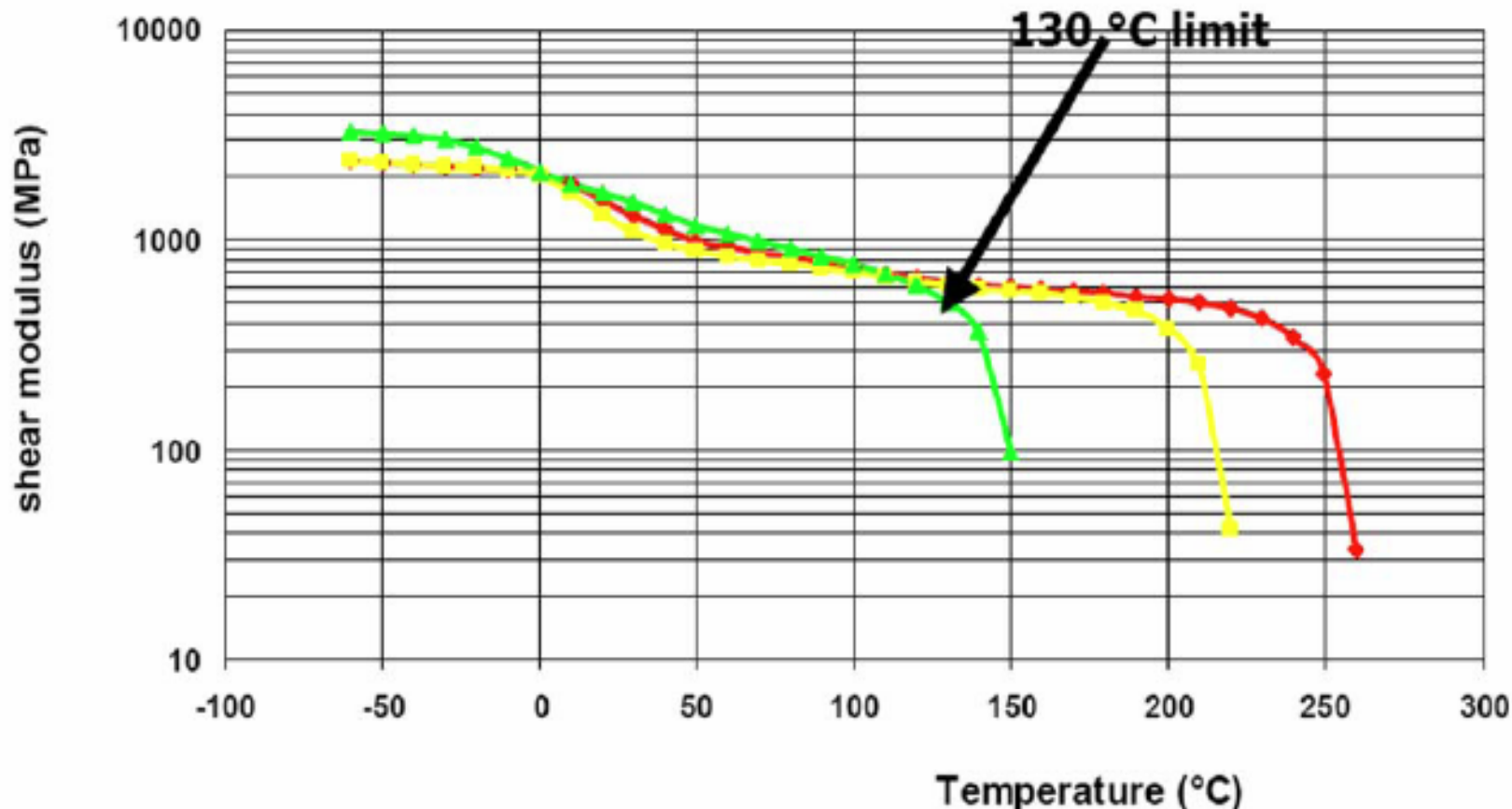
LFT复合材料可以实现多种使用功能



三、先进复合材料简要介绍及特点优势

LFT复合材料具有良好的低温韧性，适合铁路货车的运行工况： -50° -130°

—●— 短玻纤 PA66-G30 —■— 短玻纤 PA6-G30 —▲— 长玻纤 PP-G40

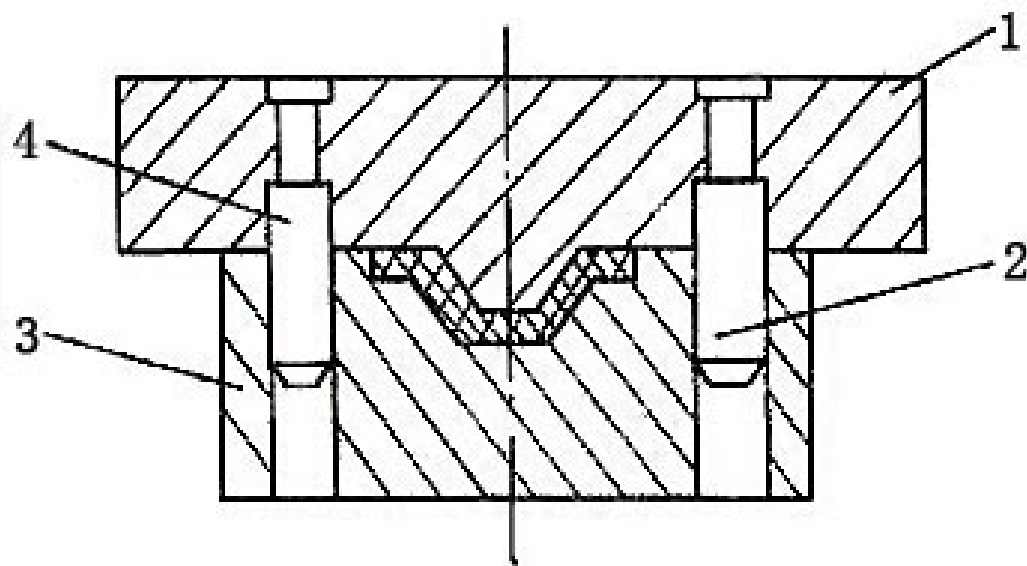


三、先进复合材料简要介绍及特点优势

LFT产品主要工艺介绍

1、模压成型

将复合材料原料放入成型模加热熔化，加压，使原料充满整个型腔，同时发生交联反应而固化。



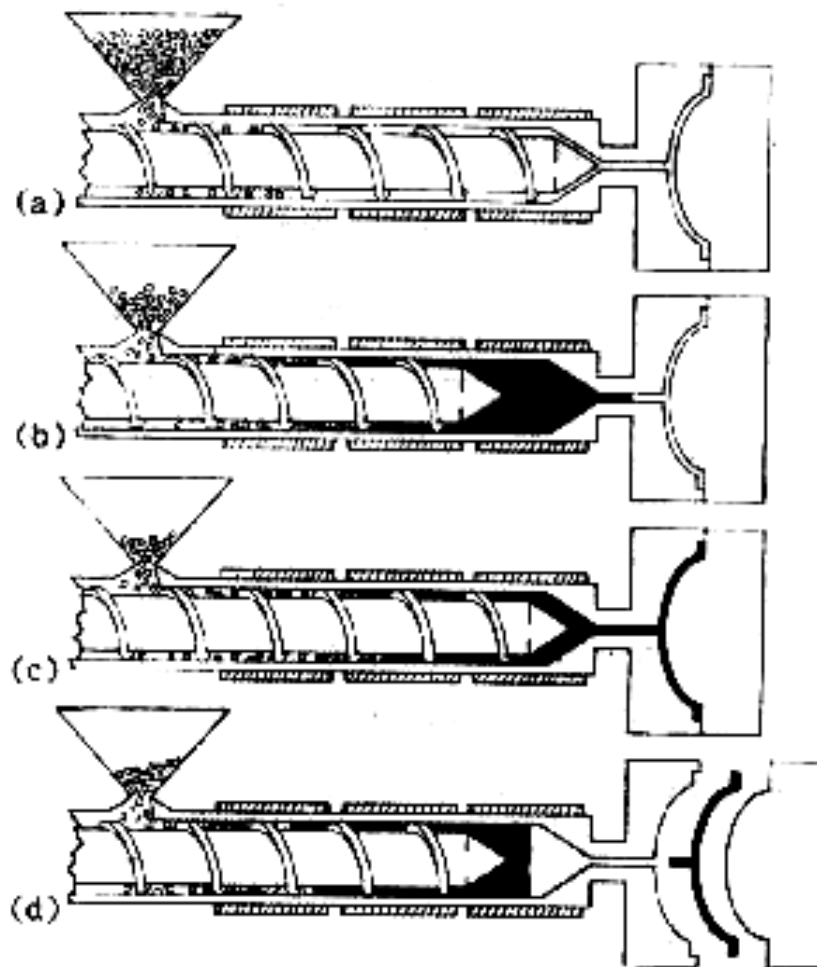
1—上模 2、4—导销 3—下模

三、先进复合材料简要介绍及特点优势

2、注塑成型

将复合材料原料在注射机料筒内加热熔化，通过推杆或螺杆向前推压至喷嘴，迅速注入封闭模具内，冷却后即得塑料制品。

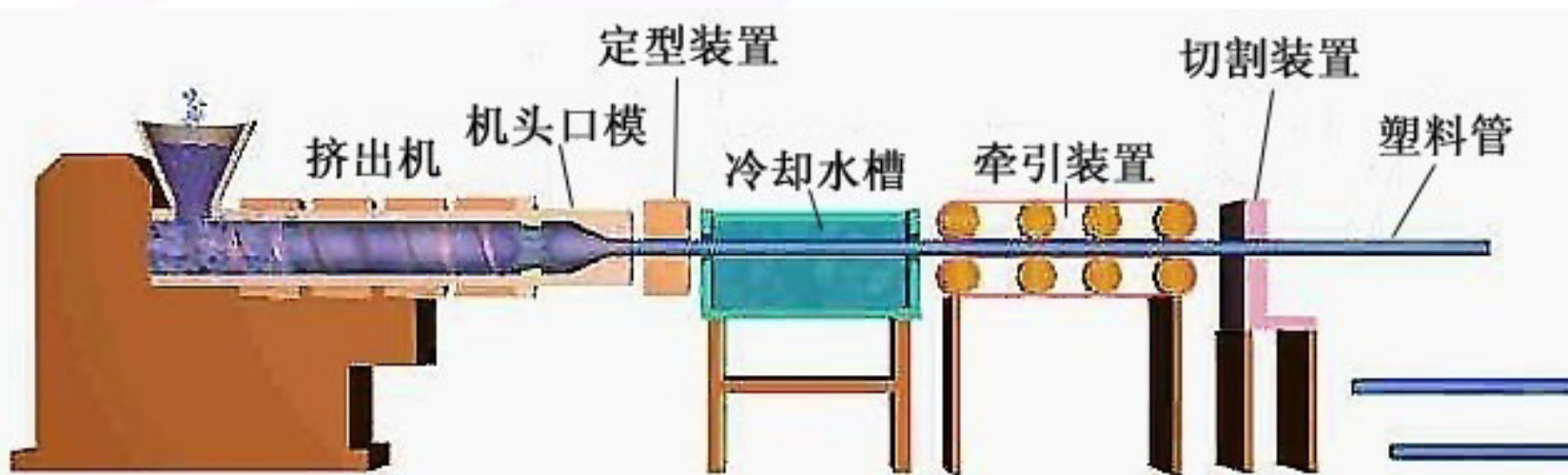
注射成型主要用于热塑性材料，**生产效率高、模具成本中等。**



三、先进复合材料简要介绍及特点优势

3、挤出成型：

将复合材料原料在料筒中加热至流动状态，同时通过螺杆向前推压至机头，通过不同形状和结构的口模连续挤出，获得不同形状的型材，如管、棒、带、丝、板等。



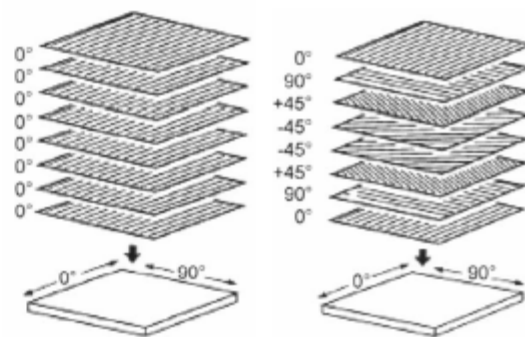
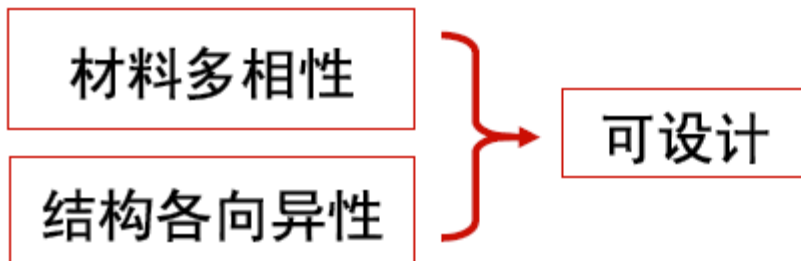
挤出硬管生产线

三、先进复合材料简要介绍及特点优势

1.2 碳纤维材料介绍

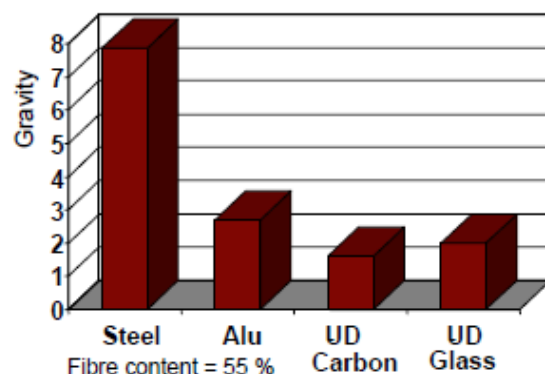
碳纤维增强复合材料是碳纤维增与树脂聚合物进行混合生产而成的产品，结构和功能一体化的高性能碳纤维增强复合材料,具有低密度、高比强度、高比模量、高抗冲击性等特点，可作为很多材料（包括钢材）的替代品。随着“轻量化”的需求，碳纤维增强复合材料可应用在汽车、铁路、建筑等诸多领域，市场潜力巨大。

碳纤维复合材料既是一种材料，更是一种结构

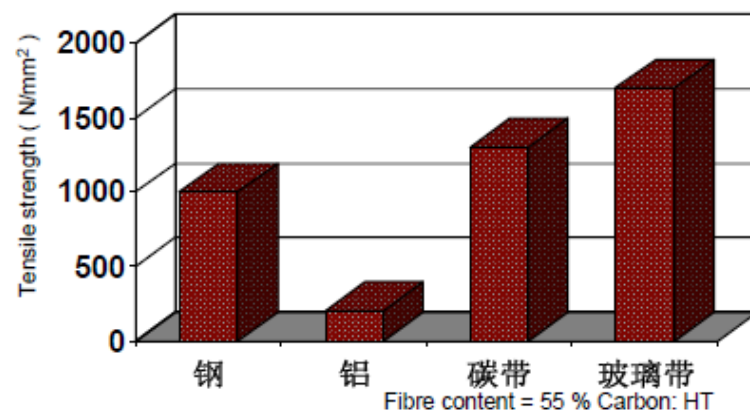


三、先进复合材料简要介绍及特点优势

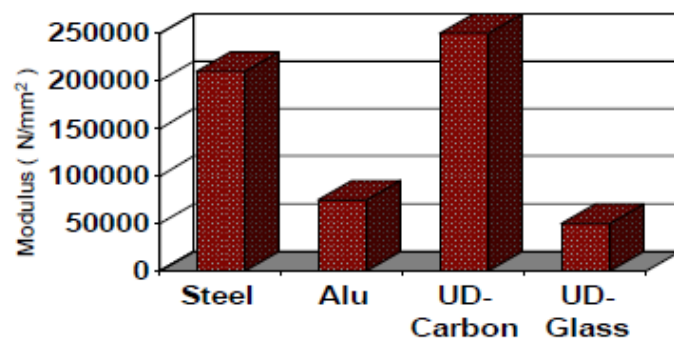
碳纤维与传统材料的力学性能比较



重量轻



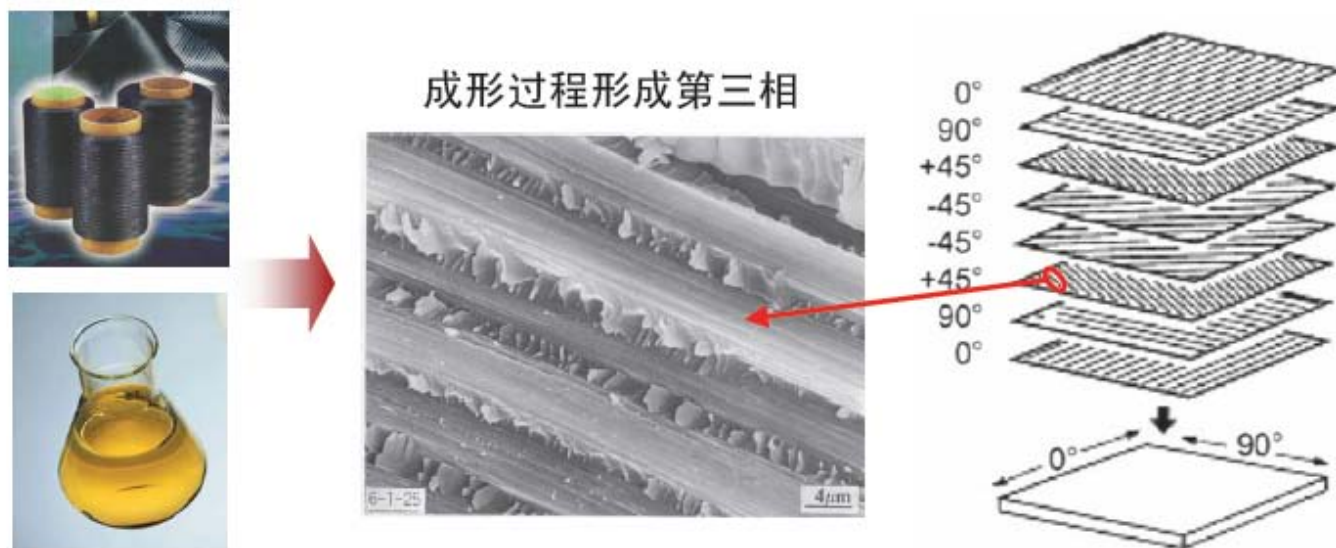
强度高



高刚性

三、先进复合材料简要介绍及特点优势

树脂体系与纤维匹配技术



三、先进复合材料简要介绍及特点优势

常用结构材料性能的比较

材料体系		拉伸模量 (GPa)	拉伸强度 (MPa)	密度 (g/cm ³)	比刚度 GPa/(g/cm ³)	比强度 MPa/(g/cm ³)
铝合金		72	420	2.8	26	151
钢(结构用)		206	1 200	7.8	26	153
钛合金		117	1 000	4.5	26	222
SMC		10	100	1.9	5.3	53
LFT		14	200	1.4	10	146
玻璃纤维/聚酯	单向板	48	1 245	2.0	24	623
	织物	22	550		11	275
S-玻璃纤维/ 环氧树脂	单向板	56	1795	2.0	28	898
	织物	26	820		13	410
T300 碳纤维/ 环氧树脂	单向板	130	1 760	1.6	81	1 100
	结构铺层	60	810		38	506
T700 碳纤维/ 环氧树脂	单向板	130	2100	1.6	81	1 310
	结构铺层	60	1010		38	631
T800 碳纤维/ 环氧树脂	单向板	154	2 950	1.6	96	1 844
	结构铺层	71	1360		44	850

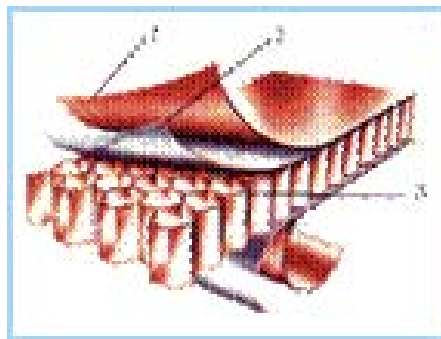
三、先进复合材料简要介绍及特点优势

1.3 夹层结构复合材料是由复合材料面板和芯材胶接而成的,具有较高的抗弯刚度和最小的结构重量,其夹层具有隔音、保温等功能作用,因此被广泛用于各个领域。

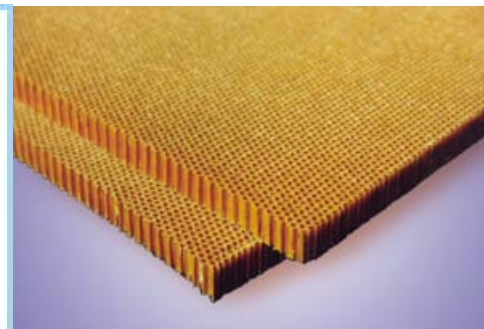
传统的夹层结构复合材料包括**泡沫夹层复合材料**和**蜂窝结构复合材料**两大类。泡沫夹层复合材料由于抗压强度较低,只能用于非承力的功能性装饰材料。蜂窝结构的夹层复合材料抗压能力比泡沫夹层复合材料高,可以广泛应用于铁路客车,地铁内饰部件等领域。



Z向增强泡沫夹层复合材料



1.蒙皮 2.胶粘剂 3.蜂窝芯



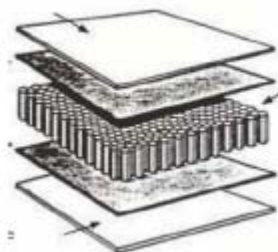
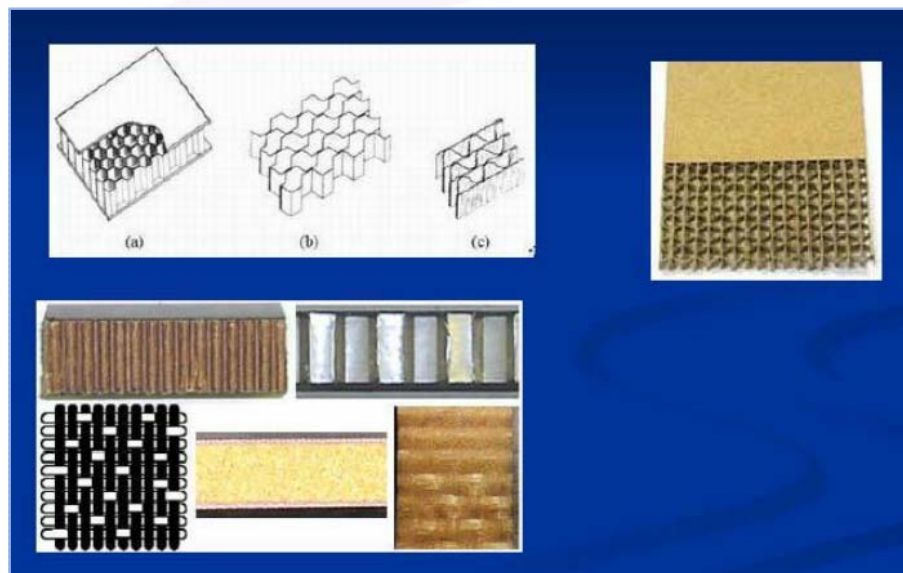
蜂窝

三、先进复合材料简要介绍及特点优势

复合材料的应用不仅是减重

夹层结构的特点

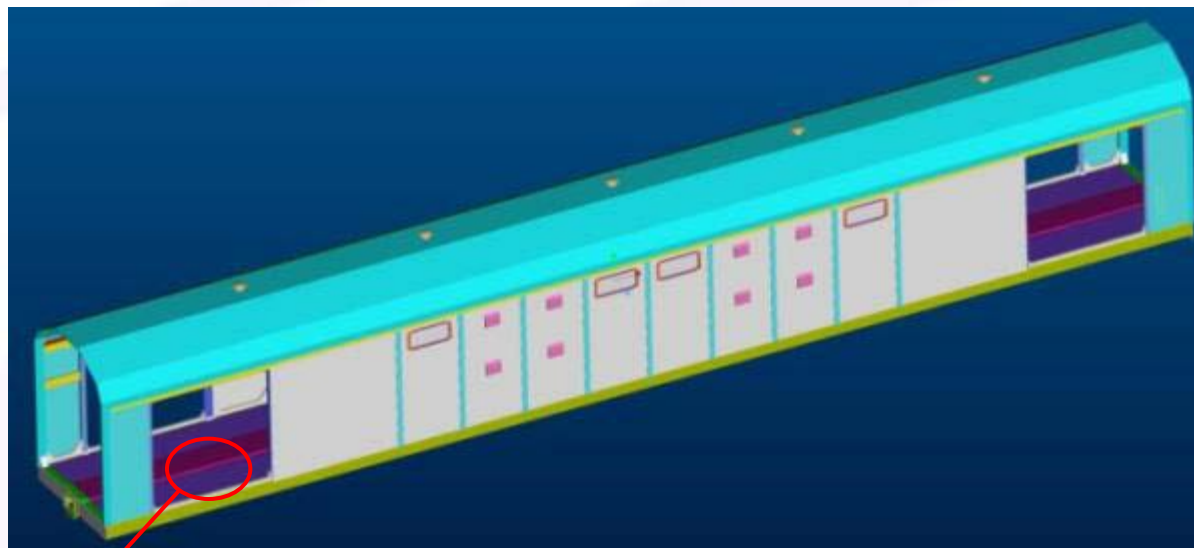
- 1)具有大的弯曲刚度/重量比,弯曲强度/重量比
- 2)具有良好的吸声,隔声,隔热性能
- 3)具有大的屈曲临界载荷
- 4)对湿热环境敏感,设计时要防潮密封
- 5)面板对低能冲击敏感
- 6)修补困难



四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

1、几种先进复合材料用于车体各部位的研究

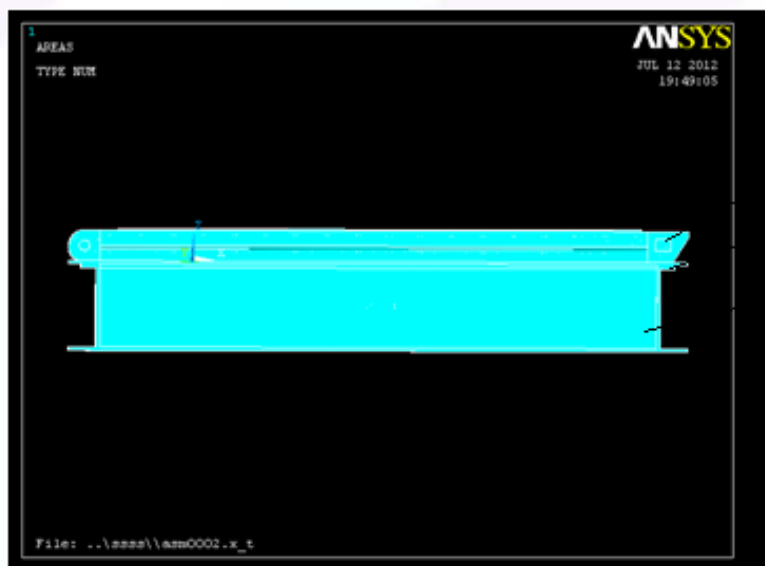
1.1 我公司正在研制的汽—货两用双层车



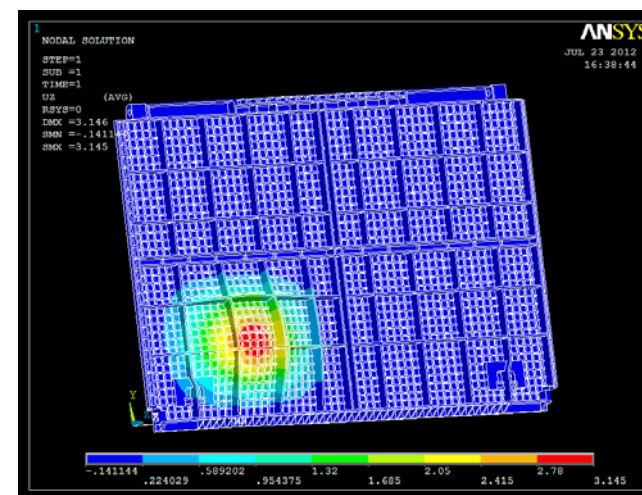
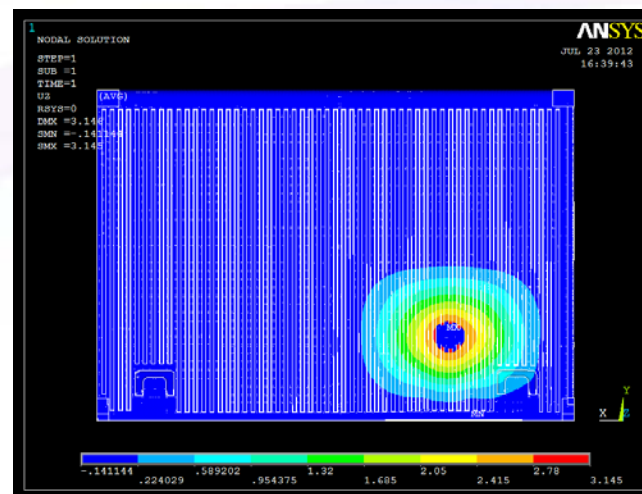
正在研发的LFT复合材料
汽—货两用双层车地板

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

ANSYS模拟双层车下层地板，正常工况下叉车载货运行状态。完全能够满足产品强度要求。



地板
5mm
钢板
支架



四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

汽—货两用双层车地板

如采用金属材料制作双层车地板，地板重量大概为**80Kg/件**，现在采用**LFT热塑性复合材料**制作，重量仅为**22Kg**，每件减少**58Kg**，**32件/辆**，每辆车就可以减重**1.8吨**，对于货车的重载、高速具有十分重大的意义。



上图-右图中，叉车自重**3吨**，叉车起重货物重量为**3.3吨**。试验后经目视检测，地板无任何破损，表面状态良好。

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

试验产品装车样图

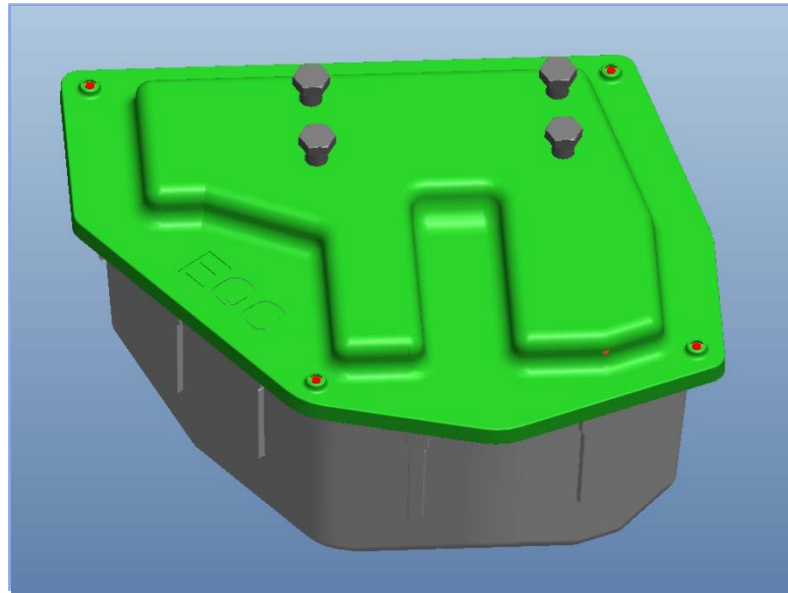


四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

1.2 120型空气制动阀防盗箱

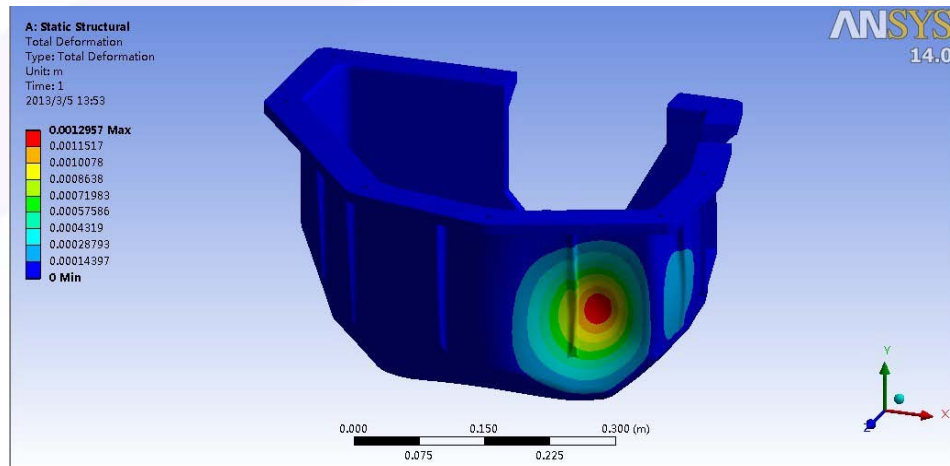
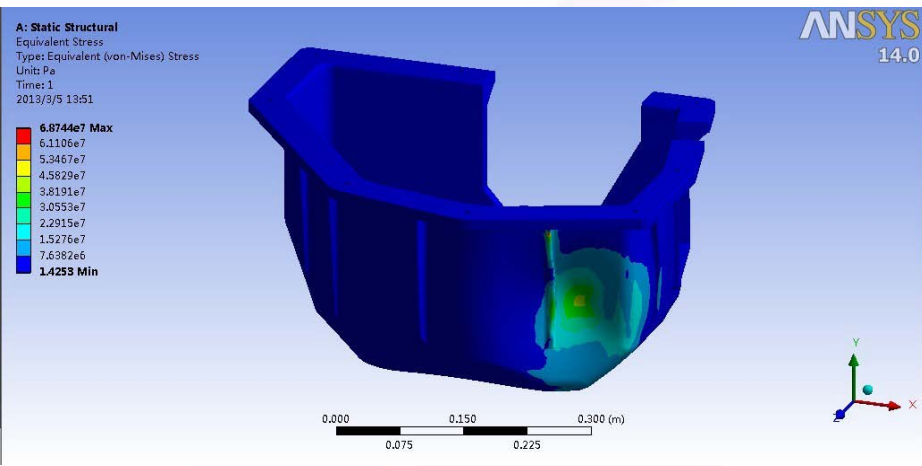
120型货车空气制动阀是铁路货车制动系统的重要组成部分，所以需要特别防护。防盗箱的设计主要是为了提高空气制动阀的安全性、避免制动阀及配件的丢失。

目前货车上正在使用的120阀防盗箱材质为DC04钢材，采用冲压工艺制作，重量约为**14.7公斤**。而采用LFT复合材料进行制作后重量仅为**4公斤**。采用一次性注塑成型，降低全寿命周期成本。



四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

使用玻纤增强复合材料进行产品设计后的ANSYS应力分析



新设计的采用LFT复合材料的防盗箱方案，具有较好的刚度和韧性，且其强度满足要求，并且达到防盗要求，而且适应货车工况下的运行要求。

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

2、先进复合材料在整车制造中的应用研究

南车二七车辆有限公司是一家大型铁路货车制造厂，担负着为中国铁路提供多种类型货运车辆的重任，是目前国内集装箱专用车、共用车和运输小汽车双层平车的主导设计、制造商，公司凭借着雄厚的科研实力，先后自主开发、合作开发、引进先进技术，生产了一系列新型铁路货车产品。

我公司为适应铁路货车市场发展需求、提高铁路货车的技术水平、拓展研发方向，计划设计新型全复合材料车体、以及半复合材料车体两种新型货车。以应用先进复合材料为设计理念，降低货车自重、提高载重、减少全寿命周期成本为目的进行研制工作。

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

2.1 金属材料整车结构简介

C80型铝合金运煤敞车是大秦线2万吨重载列车运输煤炭用的专用敞车。该车车体为双浴盆式、铝合金铆接结构，主要由底架、浴盆、侧墙、端墙和撑杆等组成。其中：底架为全钢焊接结构；浴盆、侧墙和端墙均采用铝合金板材与铝合金挤压型材的铆接结构；浴盆、侧墙、端墙与底架之间的连接采用铆接结构；

目前整车自重约23t，载重80t。



四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

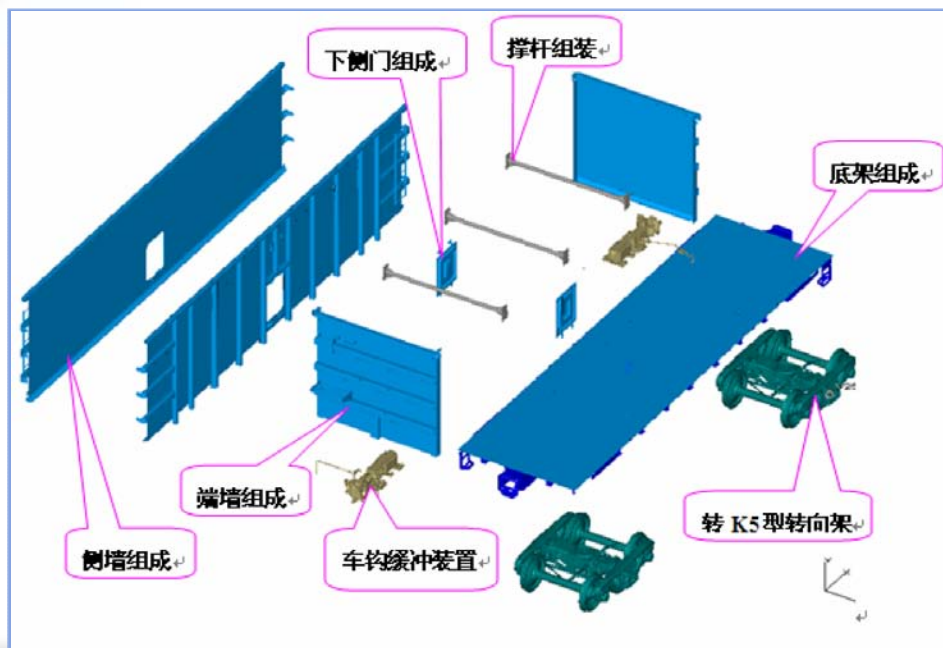
2.2 半复合材料车体简介

以某车型为例，经过初步分析计算预采用复合材料与金属材料进行半复合材料车体的研发。主要结构部分继续沿用型钢、铝等金属材料、其余部分使用复合材料进行设计研发，制造既能满足货车运行工况要求又能达到减轻自重、增加载重的目的。

减重前的金属部分总重约为**23.20吨**。如果采用复合材料进行设计替换，预计减重量约为**9.20吨**，减重效果明显！

预计全寿命周期成本可降低约28%。

车体框架示意图



四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

2.3 全复合材料车体简介

我公司准备采用先进复合材料制造全复合材料车体，这是在铁路货车领域创造的第一个非金属车体结构。预采用包括**LFT复合材料**、**碳纤维增强复合材料**、**梯度材料**等先进复合材料进行设计。

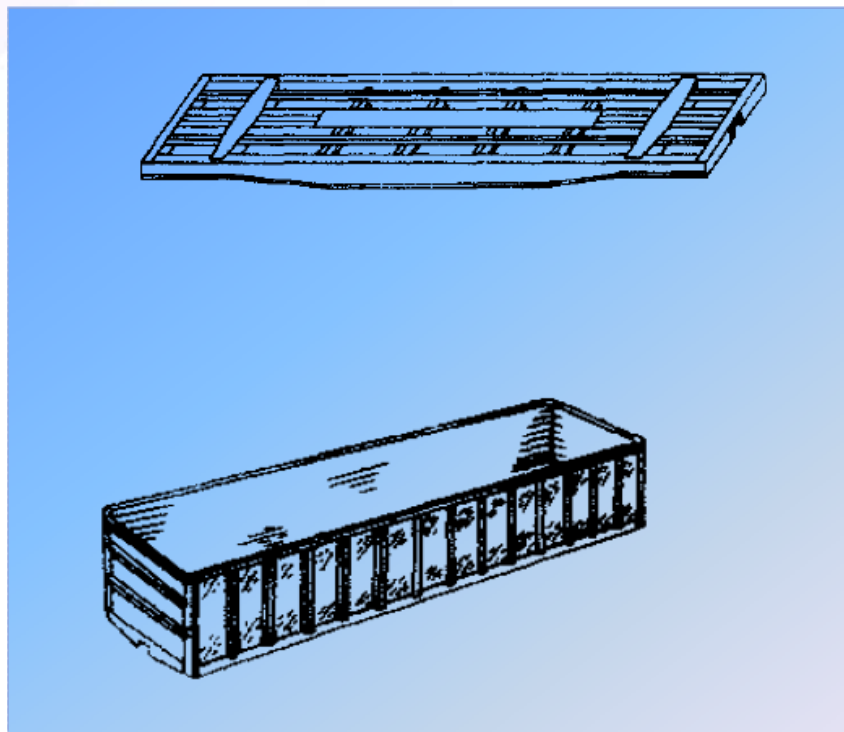
参考车型：**C80型**铝合金运煤敞车

设计思路：主要结构件的材质以碳纤维增强复合材料为主，非主要承力结构部分以**LFT复合材料**为主、梯度材料可设计作为地板的一部分。

减重目标：目前车重**20t**左右，预计减重目标应达**30-40%**。

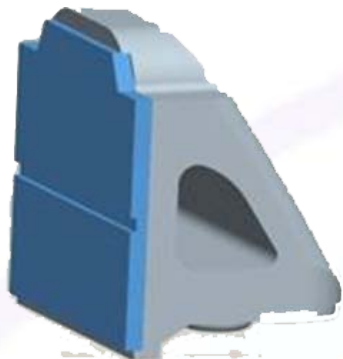
试验验证基本要求：车体通过冲击试验、车体容积要求**84.8~87.4m³**、车体变形极限符合铁路要求。

车体简化图



四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

3、目前铁路上已用的非金属材料零部件



组合式斜楔



心盘磨耗盘



交叉杆弹性垫



轴箱橡胶垫

- ◆ 采用轴箱橡胶垫等弹性元件，保证转向架动力学性能稳定；
- ◆ 采用心盘磨耗盘等高分子材料，提高零部件耐磨性能，延长使用寿命。

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

4、 其他可能应用复合材料的车体零件

复合材料可以有效实现铁路货车的轻量化，同金属材料相比，具有高性价比的明显优势。目前铁路货车很多零部件均可以采用复合材料进行替代，潜在需求量巨大。



升降防护板



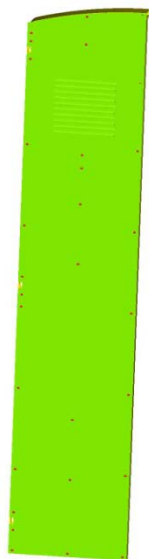
附加地板



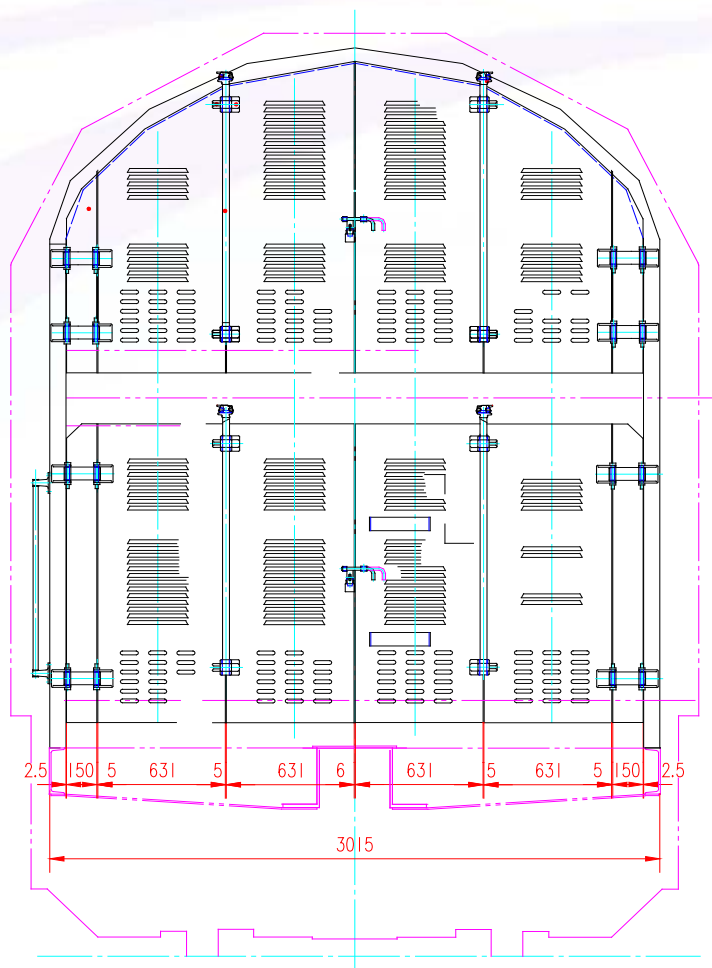
敞车下侧门

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

右图为某车型端门二维图，端门组成由八部分组成，强度要求不高，总重量约为307kg。使用复合材料替代可减重约240kg，轻量化效果突出。



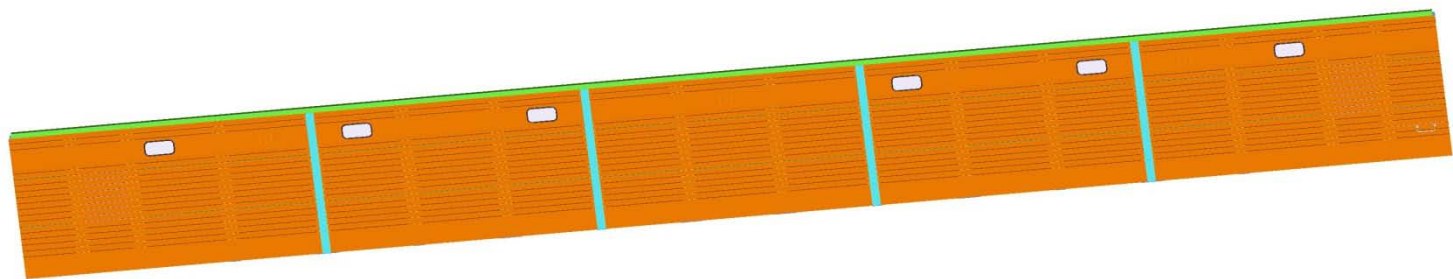
端门组成



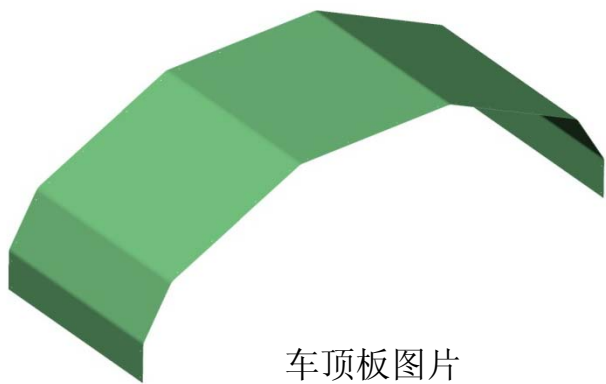
端门组成示意图

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

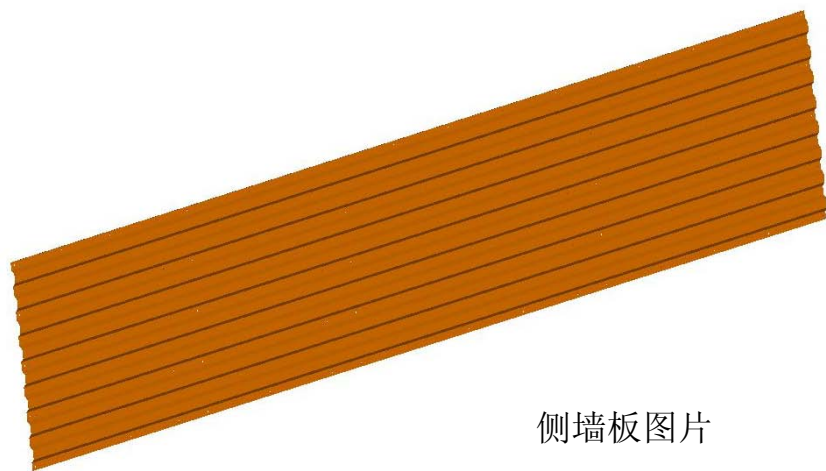
以某运输汽车货车为例，原材质为09CuPCrNi-A的侧墙板、车顶板同样可以考虑使用先进复合材料替代，只是加工工艺方面不太好实现这种大面积的又有一定的强度要求的产品。



侧墙组成图片



车顶板图片



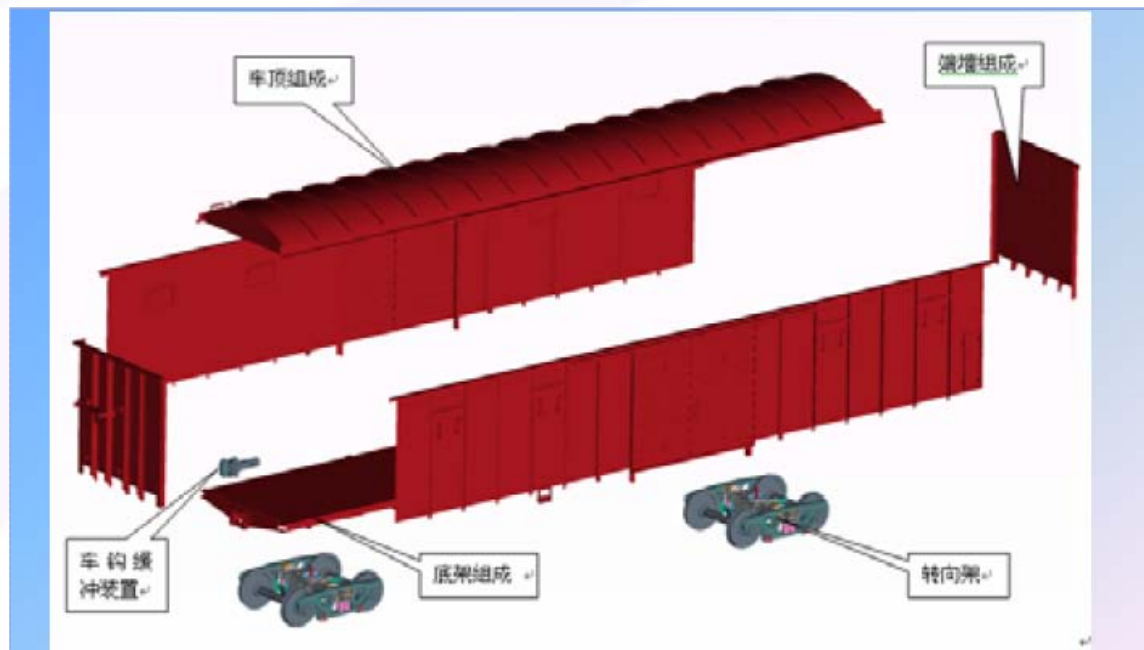
侧墙板图片

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

5、 其他可能应用复合材料的车型

棚车是有侧墙、端墙、地板和车顶，在侧墙上开有滑门和通风窗的铁路货车。用以装运贵重和怕日晒雨淋的货物。

棚车需要一定的保温措施，因此侧墙、端墙等位置可以考虑夹层复合材料进行设计替换，既能实现车体轻量化、又能实现保温的特殊功效。

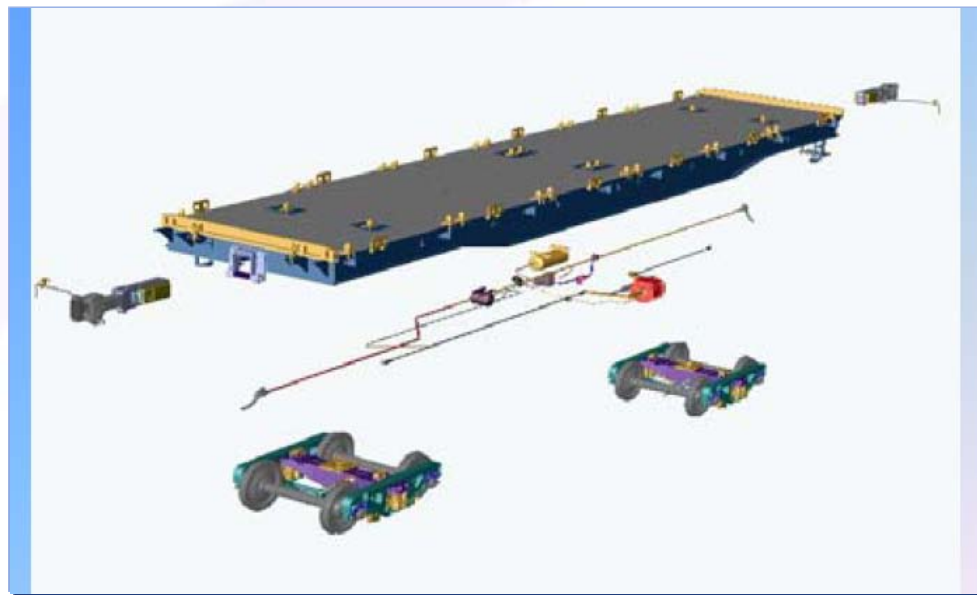


棚车框架示意图

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

平车主要用于运送钢材、木材、汽车、机械设备等体积或重量较大的货物，也可借助集装箱运送其他货物。平车还能适应国防需要，装载各种军用装备。装有活动墙板的平车也可用来装运矿石、沙土、石渣等散粒货物。车型主要有N12、N60、N16和N17等多种，载重量为60t。

平车上方需铺设木质地板，每辆车需铺设两层。每辆车消耗木材3.2立方米，重量约为1.5吨。使用复合材料木地板可降低木材的消耗，难点在于需使用钉子对平车货物进行固定，复合材料木地板相比木地板复原功能、锁紧力较差。



平车框架示意图

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

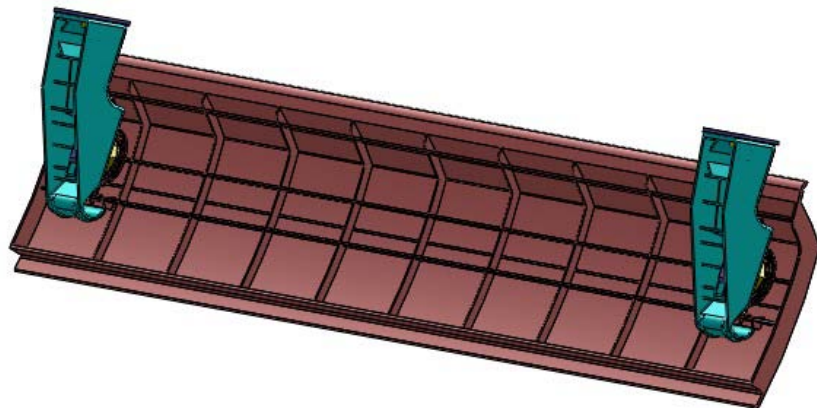
6. 碳纤维复合材料可能在轨道交通中的应用



长纤维增强热塑性复合材料在动车裙板、支架上的轻量化使用

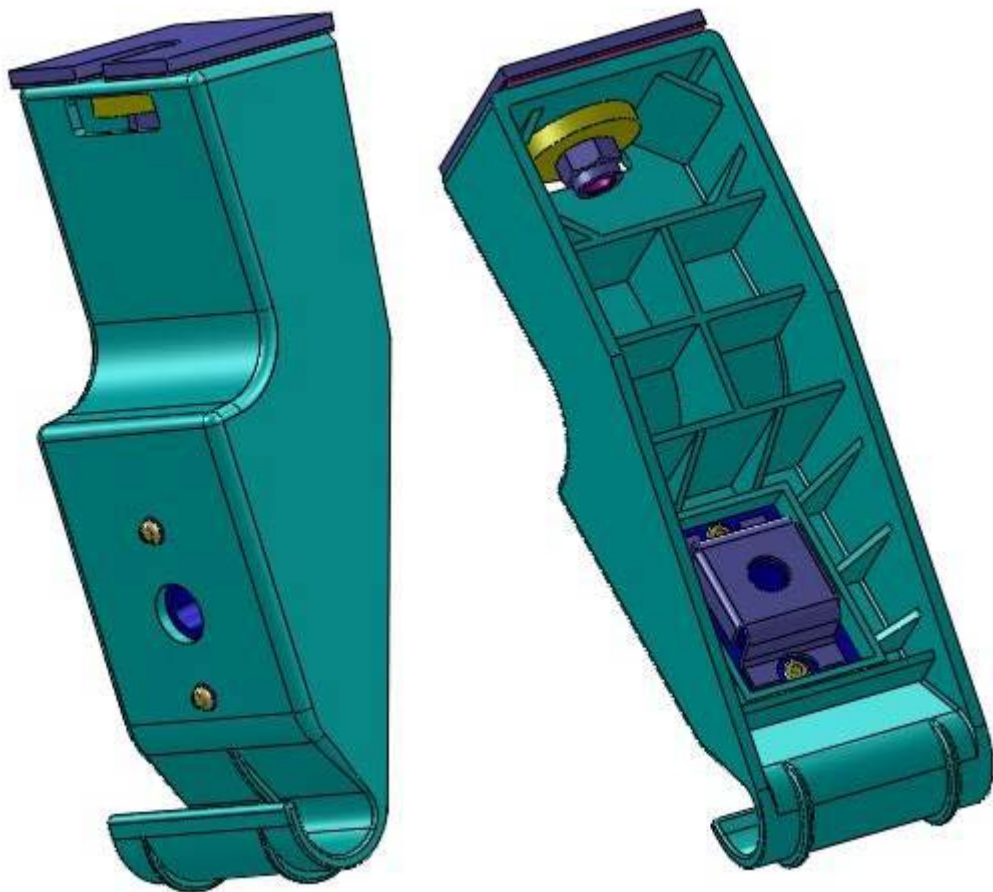
四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

6.1 使用碳纤维复合材料进行生产



针对高速动车组采用的裙板及其连接装置，引入一种采用长玻璃纤维和长碳纤维复合材料的裙板，并通过对新材料制备动车裙板结构的相应改进，来替代动车组目前采用的铝和钢结构裙板及连接件。

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究



连接件结构示意图

- 1、基本外形参照原图要求，两侧封口，内加挡筋
- 2、螺母及锁的配套件采用原图设计，暂不考虑变化
- 3、筋
沿锁孔中心置各向筋，避开锁件安装空间，以提高整体刚性
- 4、挂钩
应为裙板挂的地方，特采用内外筋的加强布局

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

6.2 使用碳纤维复合材料进行生产的优越性

- 1)满足车速260~380km/h时，加强材料的刚性与韧性；
- 2)提高结构件的抗冲击性，降低车辆材料的疲劳度，达到裙板与支架震动的最小化；
- 3)结构设计不变，局部增加金属加强筋，提高制件安全系数；
- 4)减轻材料重量，减少焊接或不焊接，提高工件精准度；
- 5)改变连接件材料，破坏干扰力，采用具有阻尼作用的粘弹性材料，消除应力；
- 6)使用一次性成型工艺，提高整体性能。

四、复合材料用于铁路货车车辆制造的研究

6.3 使用碳纤维复合材料进行产品设计后的ANSYS应力分析

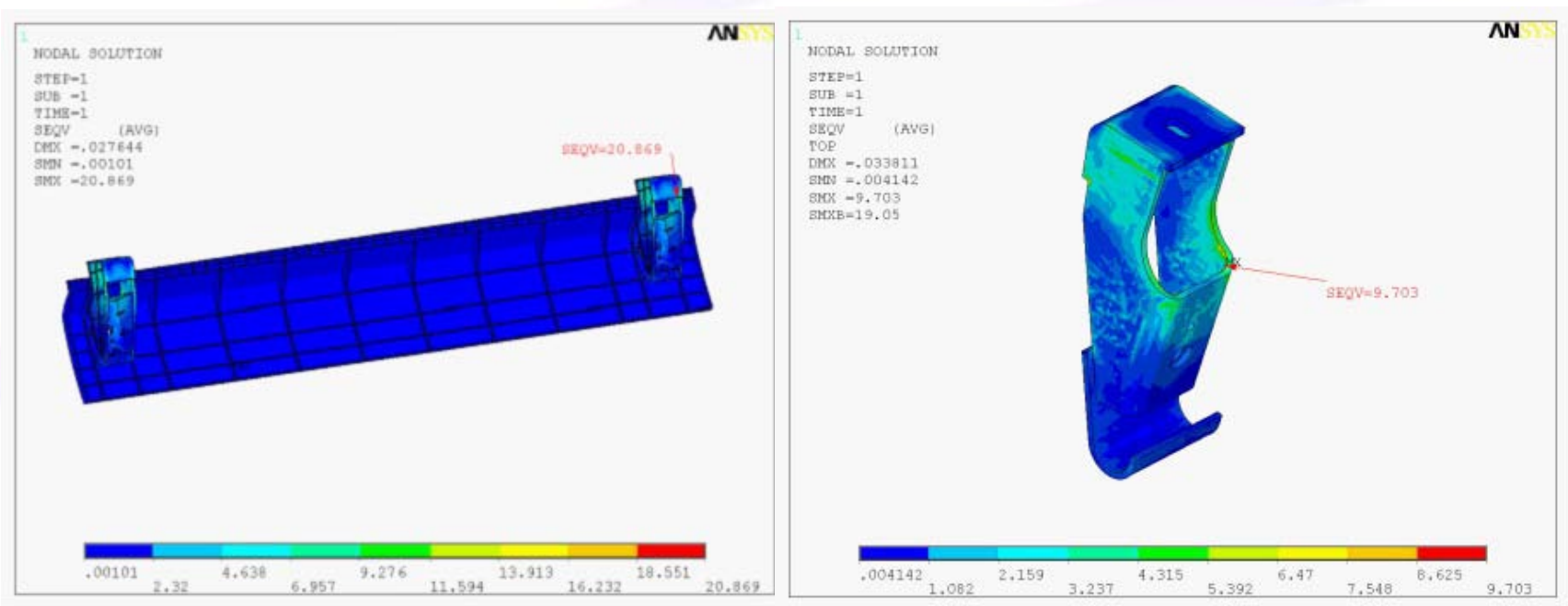


图 裙板与挂钩的整体应力分布图

新设计的采用长玻纤和长碳纤增强尼龙复合材料的裙板方案，具有较好的刚度特性和韧性容限，且其强度满足要求，能够适应动车组对裙板和连接件的运用要求。

轨道交通应用方向

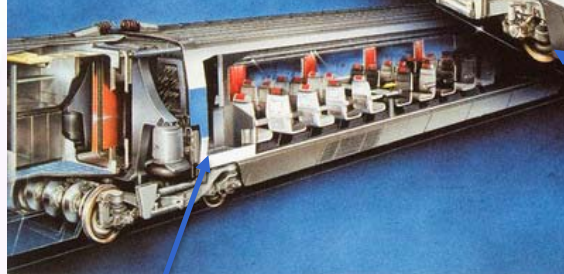
导流罩



车身



裙板



司机室



车头罩



转向架



内饰



车 身

阿尔斯通AGV-V150

采用碳纤维/玻璃纤维增强
环氧树脂泡沫夹芯结构,较
铝制车减重25%。



车身



新一代法国TGV列车碳纤维复合材料双层车体由ACX工业公司制造，采用夹层结构，材料为ROHACELL 71 IG泡沫，碳纤维环氧预浸料，在120℃固化，真空袋压成形。



车 身

法国 GEC 阿尔斯通公司/ SNCF 使用碳纤维和玻璃纤维增强环氧树脂包覆发泡蜂窝材料芯,制造出了双层、大容量高速客车,并将总重保持在17吨,与单层高速客车重量水平相同,显著提高了运载能力。



车身

日本最新的N700的车体结构中采用了大量的CFRP，其车顶、车底降噪板、车体空穴连接板、车裙均采用CFRP材料，并据此实现了较其上一代的700系列减重近10吨，同时，加速性能和极速分别调高了62.5%和8%。



N700的CFRP车棚

车 身

韩国正在进行一项高速列车轻量化计划，目前已研制出了长达24米的世界首台单体碳纤维复合材料车体，并获得了比铝蜂窝结构减重40%的优异效果，引起了韩国政府的高度重视，计划将采用碳纤维复合材料车体的TTX列车投入运行。



车身

TTX 车身全部采用复合材料，其中每节车箱节约用4吨CFRP



司机室



日本新干线E4

碳纤维/环氧司机室

500公里时速高铁车头罩

- 1 kg 铝 弹 660 km/h的高速撞击
- 350 kN的静载荷
- DIN 5510-2 的阻燃S4级别



满足EN 12663 《Railway applications - Structural requirements of railway vehicle——bodies 》

列车转向架



日本：碳纤维复合材料转向构架，自重0.3T，较普通钢制减轻了70%，设计最高时速160 km/h。



由德国AEG和MBB公司研制的世界上第一台复合材料转向架构架HLD-E

五、结论和建议

目前，世界上汽车工业轻量化已经日臻完善，轨道交通装备的轻量化也势在必行，做为轨道交通装备轻量化的首选材料，复合材料具有其它材料无法比拟的竞争优势。

因此，未来在轨道交通装备及零部件设计时会尽可能多的考虑使用复合材料及制品。

**在此南车二七车辆有限公司
诚邀有志参与铁路货车轻量化研究
的各企业和单位, 共同开发新
型铁路货车产品！**





谢谢