



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

第六届创新复合材料应用高峰论坛

复合材料产业创新发展与人才培养

袁国青

同济大学

**复合材料与结构研究所
复合材料工程实验中心**

2013年4月17日



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

目 录

- 一、复合材料产业的内涵与外延
- 二、复合材料产业的发展现状
- 三、复合材料产业的发展大势与创新需求
- 四、复合材料产业创新发展与人才瓶颈
- 五、复合材料结构设计人才的培养实践



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

一、复合材料产业的内涵与外延

复合材料产业即复合材料工业，包括复合材料原材料工业、复合材料制品工业以及围绕复合材料原材料和制品生产所需的各类配套工业。

复合材料事业当是指服务于复合材料产业的协会、学会、培养人才的学校和研究机构、复合材料产品的设计开发及检测机构等、政府对口的科研规划和管理部门的经常活动。

因此**复合材料产业的创新发展**广义地讲应包括复合材料原材料、复合材料制品及与之配套的工业体系、复合材料产业相关的事业单位的创新发展。

新的原材料的推出也意味着新的复合材料及其制成品的诞生，从这个意义上讲复合材料的创新发展与新材料的发展密切相关；**基于既有原材料的创新应用**也是复合材料产业创新发展的重要内容。其间复合材料事业的创新发展是关键！



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

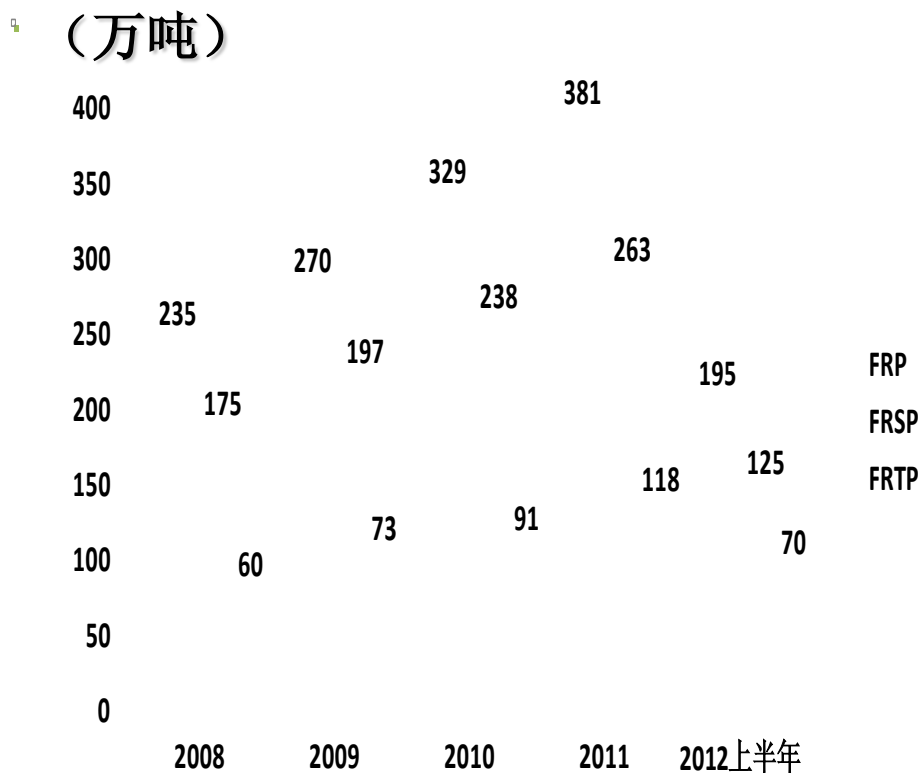
二、复合材料产业的发展现状

中国复合材料工业进展

□我国复合材料工业始于1958年，产量已居世界首位。

□生产技术、产品种类、生产规模等已形成较为完善的工业体系。

□新世纪以来加速发展，由2000年产量45万吨，2005年产量120万吨，2011年产量达381万吨，占全球产量的30%以上。





同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

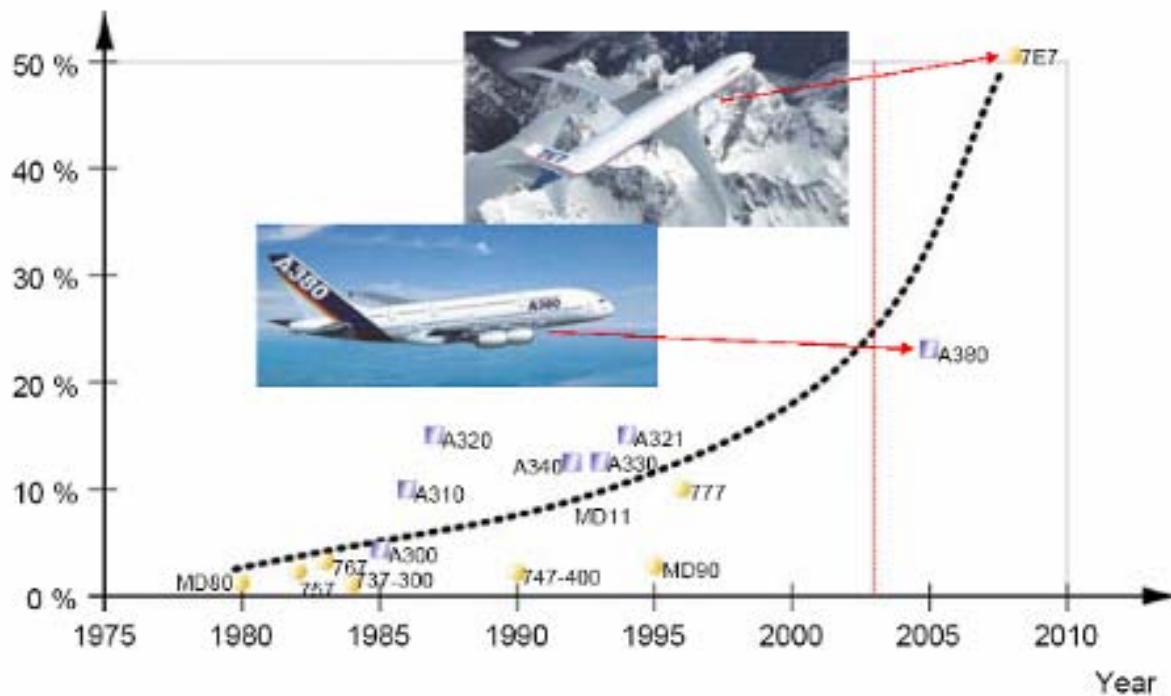
据JEC统计：**2010年，全球复合材料产量**增长近5%，达到**800万t**，总产值达600亿欧元（约63元RMB/kg）；北美、欧洲和亚洲是全球复合材料三个最大生产和应用地区。亚太地区的产量占全部产量的38%。

2012年全世界复合材料的年产量达到920 多万吨，全球复合材料市场正以6%的年均速度增长。



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

复合材料应用的高度



民机

型号	复合材料用量
B747	1%
B767	3%
A320	15%
A340	13%
B777	11%
A380	25%
B787	50%
A350	52%

军机



F16 2%



F/A18 12%



F22 24%



F35 35%

F/A-22: IM7/5250-4、IM7/977-3
(高性能) 双马为17.2%，环氧6.6%

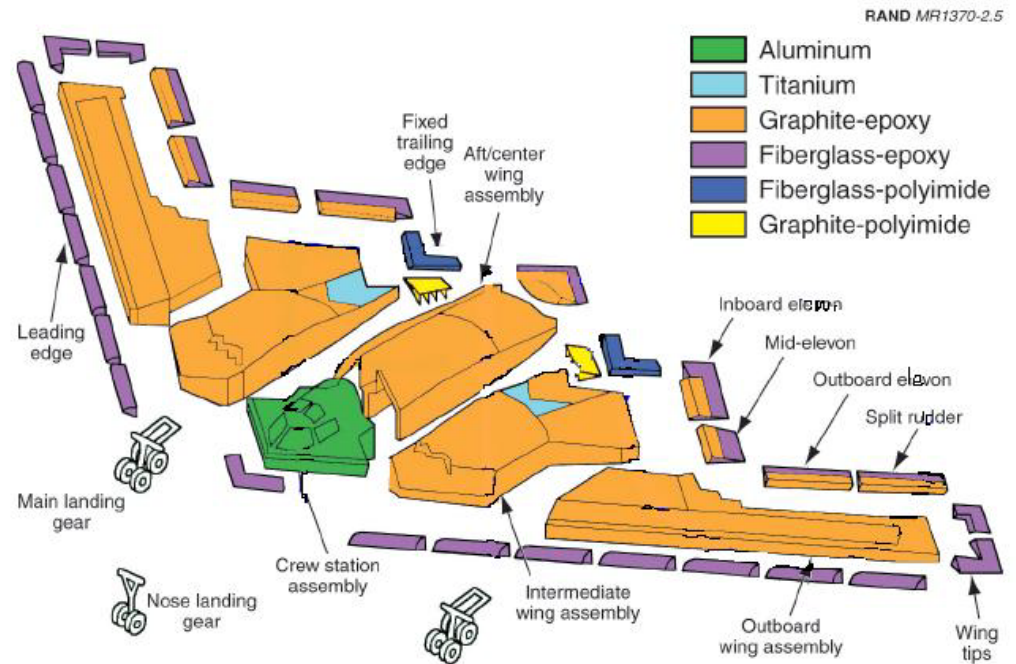
F-35: IM7/977-3、IM7/5250-4
(低成本) 环氧30%，双马为4%

F/A-18E/F: AS4/977-3、IM7/977-3
(低成本) 全用环氧

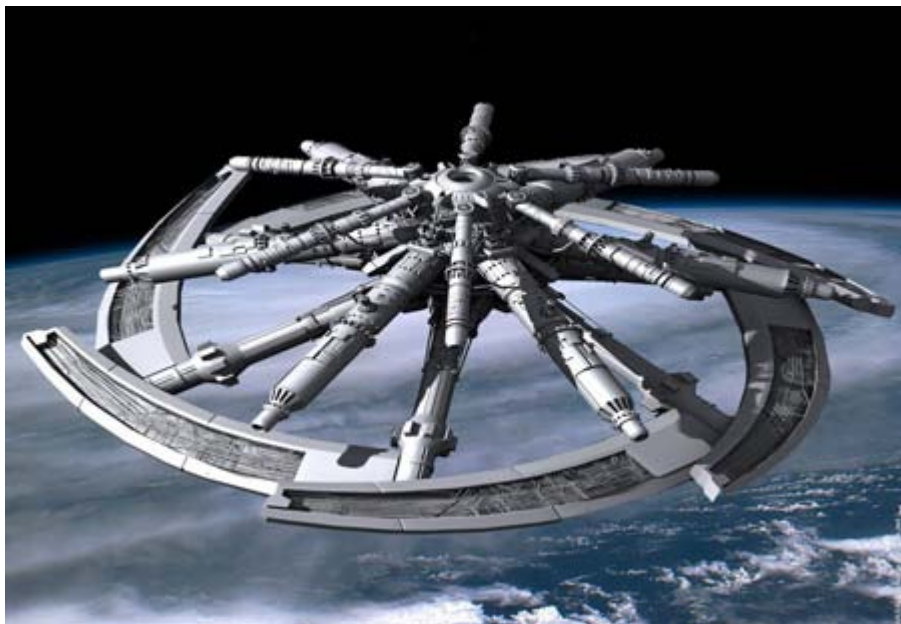
先进复合材料是实现军机先进性的根本途径



B-2 50%



航天

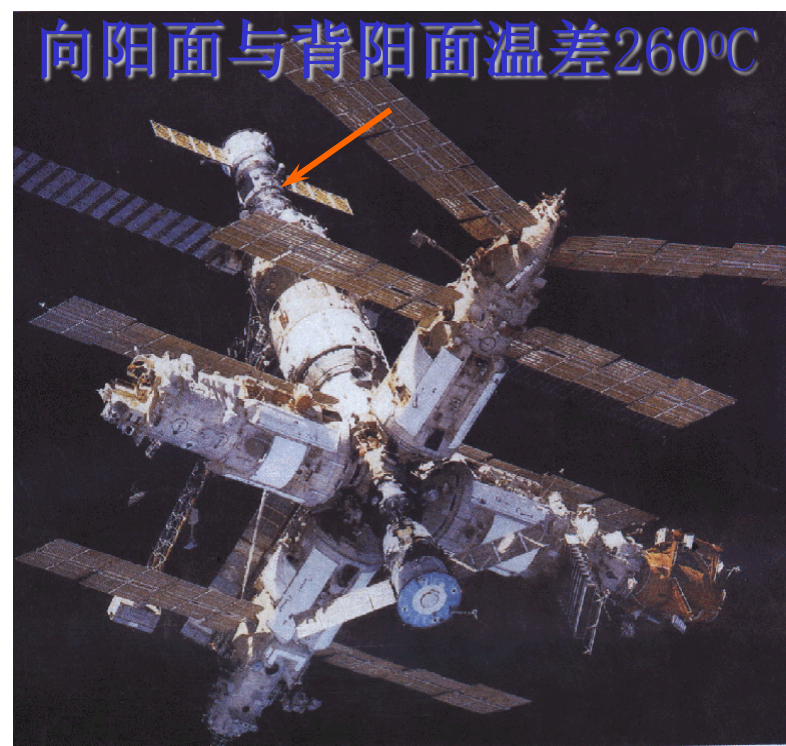


宇宙飞船复合材料船舱

天宫一号

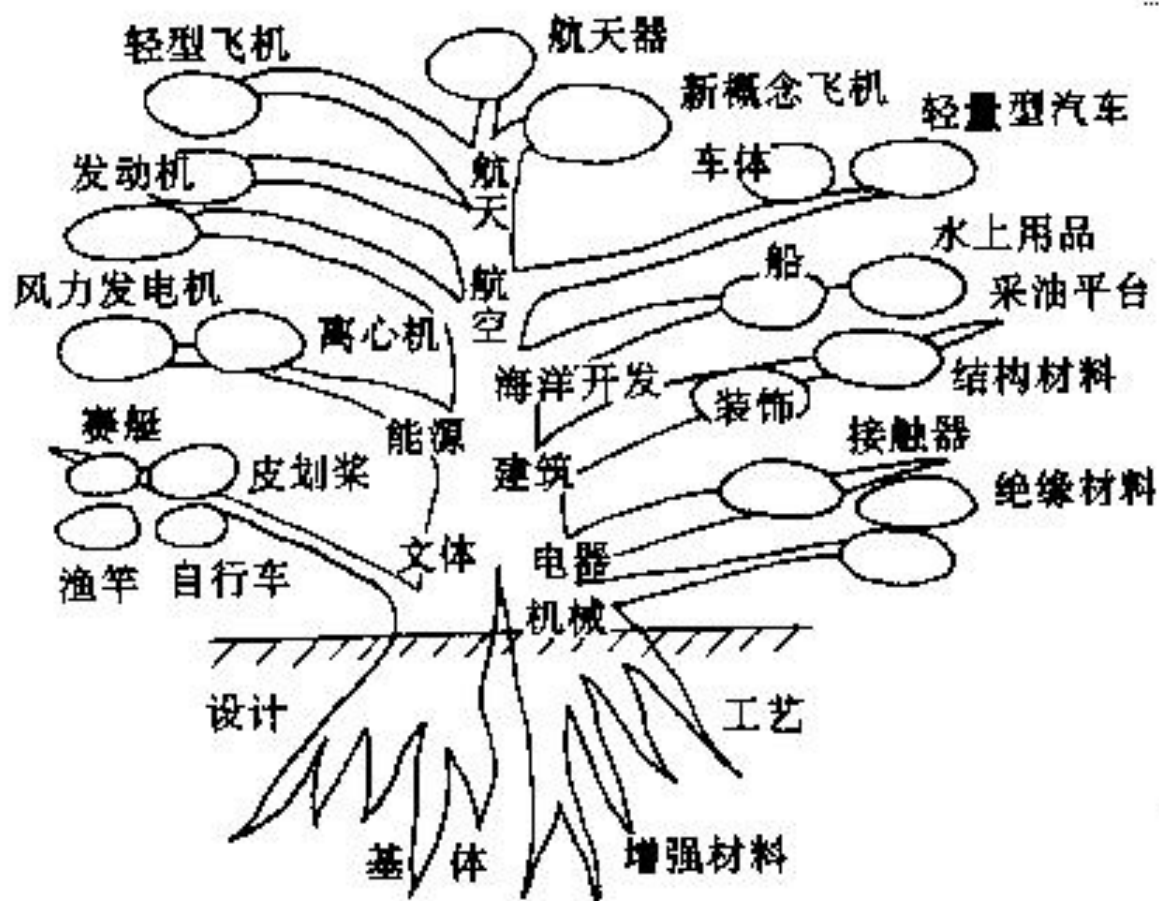


碳纤维复合材料还可用作卫星的**太阳能电池板**。例如，德国MBB公司研究一种功率在千瓦以上的伸长式“硬”太阳能电池板，采用碳纤维增强铝芯夹层结构，在横向加速条件下，太阳能电池板承受的挠度仅有55mm，而且大大减轻了质量。



复合材料在航空航天主结构上的成功应用
使复合材料人信心大振！同时也使人对先进复
合材料在更广泛领域的应用充满了期待。

复合材料应用的广度



汽车



1979年福特即提出的CFRP实验车



兰博基尼（Lamborghini）概念车的基础结构是碳纤维单体硬壳车架，悬架系统的主要部件和轮毂都使用碳纤维制作，传动轴也是用碳纤维强化复合材料制成



帝人公司的碳纤维复合材料（CFRP）大批量生产技术获得Frost & Sullivan的2011全球汽车碳复合材料创新奖。

汽车车身部件成型周期不到1min



Velozzi Supercar: 由碳纤维和碳纳米管制成的电动赛车

道奇的蝰蛇跑车采用了碳纤维引擎盖





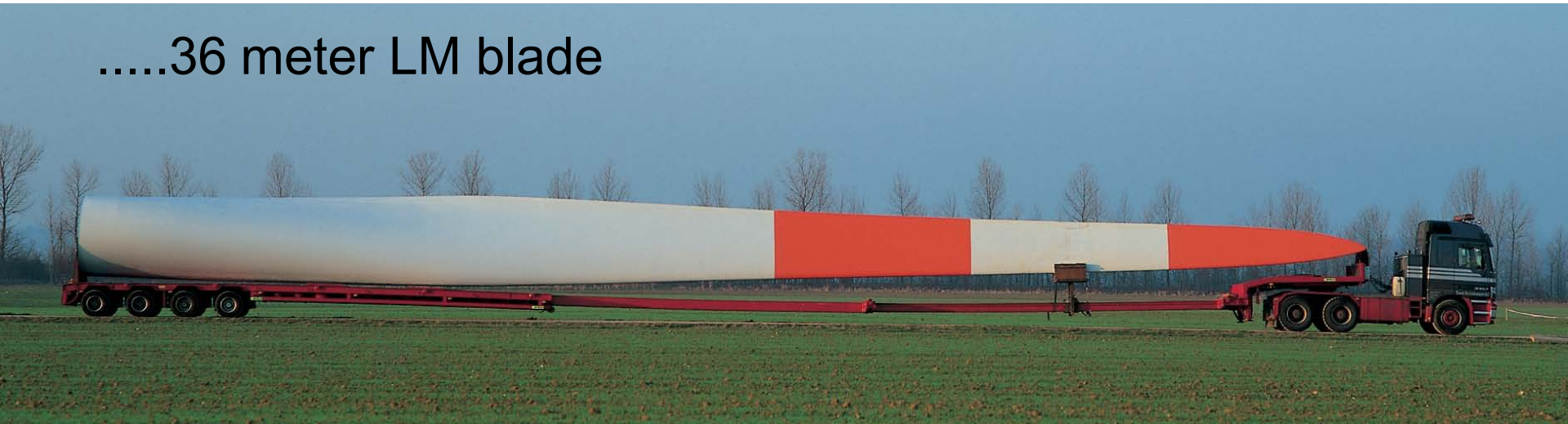
特斯拉Roadster跑车采用创新的轻体碳纤维环氧复合材料车身面板，是纯电动敞篷跑车

碳纤维覆盖件风靡改装界
可明显降低车重



新能源

.....36 meter LM blade



.....60 meter LM blade



Rotor Size - Current Development

V164 – 7.0MW

Rotor Diameter = 164m

Blade length = 80m

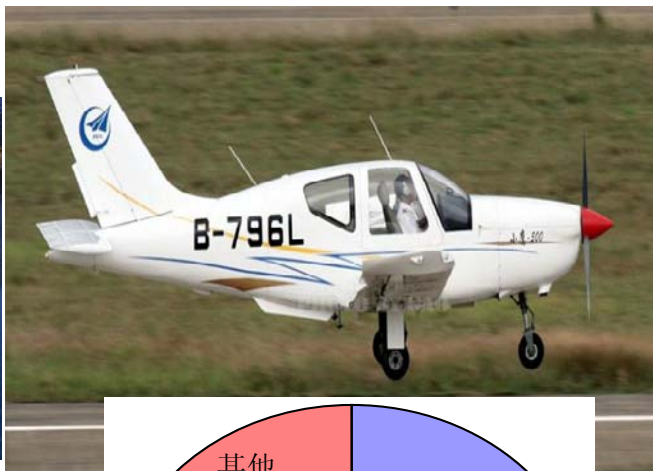
Exciting challenges in blade design, blade manufacturing



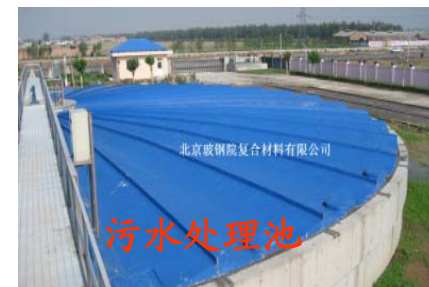
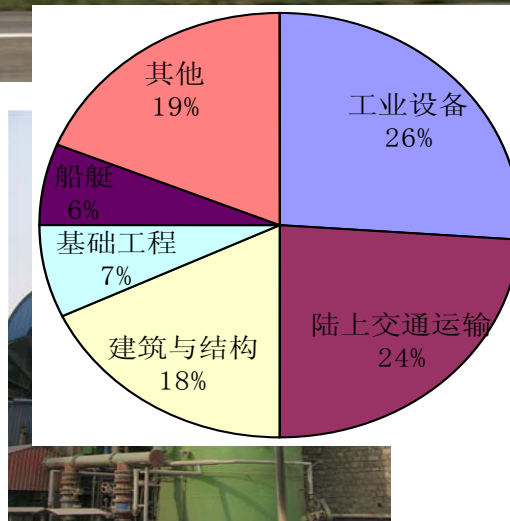
截止2012年6月，中国风电装机5258万千瓦



同济大学
TONGJI UNIVERSITY



首艘先进复合材料科考船



游艇、通用飞机、雷达罩、科考船、脱硫塔、污水处理池、桥梁。。。。

不难理解**复合材料产业**已成为一个对经济社会的可持续发展有着举足轻重影响的产业，也因此其**已被列为国家战略新兴产业之一**。



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

三、复合材料产业的发展大势与创新需求

美国现已将研发的投入提高到GDP的3%这一历史最高水平，力图在**新能源**、基础科学、干细胞研究和**航天**等领域取得突破；最近又两次提出美国科技的主攻方向，包括**节能环保**、智慧地球等。欧盟宣布到2013年以前，将投资1050亿欧元发展**绿色经济**，保持在**绿色技术**领域的世界领先地位。英国从高新科技特别是生物制药等方面，加强产业竞争的优势。日本重点开发**能源和环境技术**。俄罗斯提出开发纳米和核能技术。

世界科技的最新走向与复合材料产业密切相关！新能源、航空航天、节能环保、绿色技术等都与复合材料产业息息相关.....

复合材料在民机上大量应用的根据

- ◆用复合材料设计的飞机结构, 可以有效地减轻结构重量达20 %~30 %, 在飞机其它技术指标相近的情况下, 提高飞机运载能力, 或在相同载重下, 降低发动机油耗, 延长飞机航程;
- ◆复合材料优异的抗疲劳和耐腐蚀性能, 提高了飞机结构的使用寿命, 降低了飞机维护要求;
- ◆同时也为客机增加舱内压力和空气湿度、改善舱内环境设计提供了可能性, 大大提高了飞行的舒适性;
- ◆复合材料结构有利于整体设计与整体制造技术的应用, 一方面可以减少结构零部件的数量, 提高结构的效率与可靠性, 另一方面可以采用低成本整体制造工艺, 降低制造成本。

-----复合材料是绿色材料

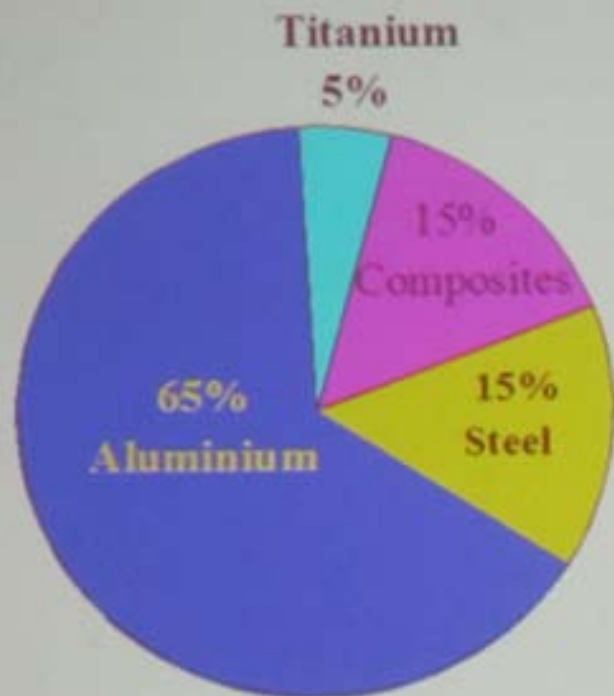
我们应对绿色复合材料的含义有一个更加深刻的认识，其不单指绿色纤维增强的复合材料、绿色树脂基复合材料，其更指具有优越性能而又得到合理应用的广义的复合材料，从这一点上讲材料的绿度如何不仅仅由材料本身决定，很大程度上还取决于用材料的人！作为使用材料的人，你懂得它吗？你会用它吗或你能用好它吗？只有有了懂材料、会用材料的人才能使材料蕴藏的绿意沁人心脾。

因此复合材料产业的发展大势就是：朝着更符合可持续、绿色经济社会发展目标要求的方向发展。

飞机结构复合材料化的趋势将不断得到强化、汽车结构的先进复合材料化将渐渐拉开序幕.....

碳纤维复合材料应用发展

欧宇航关于飞机结构材料的预测



2000年



Titanium

2020年（预测）

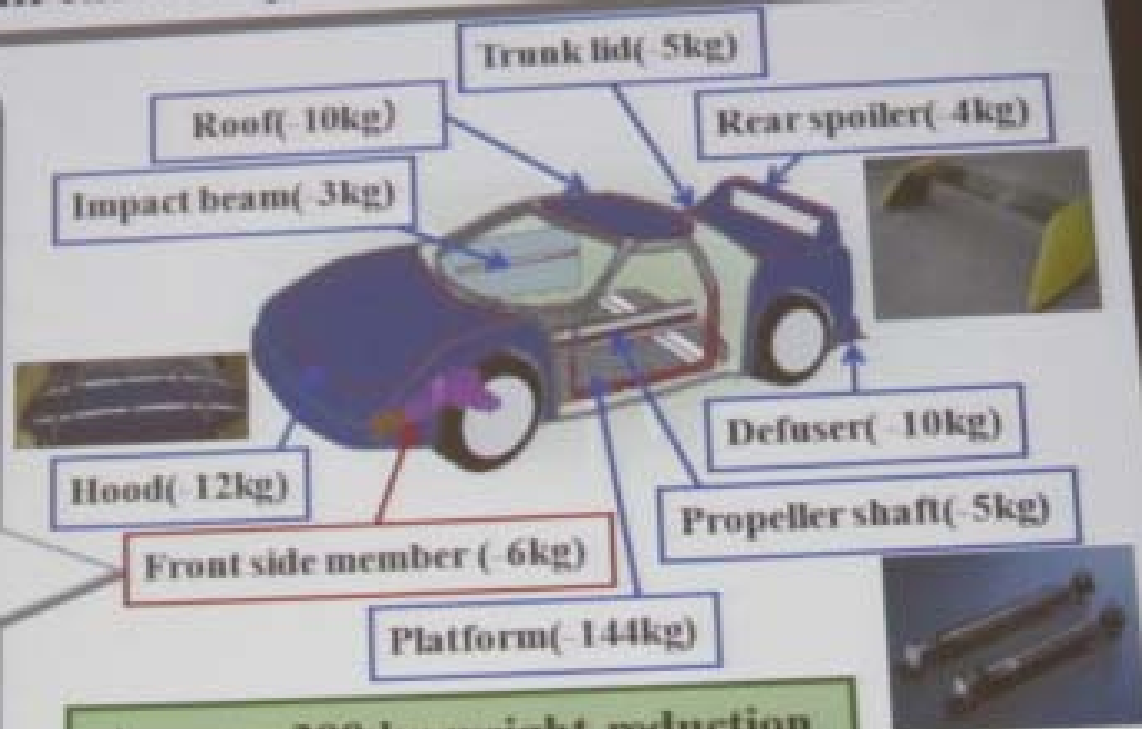
Expansion of Automotive Applications **'TORAY'** Innovation by Chemistry

New Target : From exterior panels to main structures

First full-scale test of
CFRP passenger car
Front side member



Total weight : 2060kg
Test speed : 47km/h



CFRP Application Sections and Weight Reduction
() comparisons with conventional materials such as steel

★ **Approx. 200 kg weight reduction and improved safety by use of CFRP**

※ "Innovation Global Warming Countermeasure Technology Program" (MELI; 2003 to 2007) Copyright © 2007 Toray Industries, Inc. All Rights Reserved



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

技术发展趋势

未来5 年内，复合材料技术发展趋势将会呈现以下特点：

- 一是以碳纤维为主的高性能复合材料的发展将会加快；
- 二是创新设计取代“替代材料”设计；
- 三是低成本一体化制造技术成为趋势；
- 四是自动化、大型化、高精度制造装备日趋成熟；

随着航空航天、新能源和海洋工程等高精尖技术的发展，复合材料在高附加值领域的应用将迅速增加，高新复合材料在民用领域将获得进一步的发展。

创新需求：

- 1、在国家层面要做好体制安排，重视顶层规划，加强对影响全局的关键原材料的研究开发力度，建立高性能树脂和增强纤维等原材料生产供应商系统；
- 2、加强工程化应用研究，结合应用目标要求开展复合材料设计、研发、成型工艺研究，形成技术能力；
- 3、重视人才培养工作，特别是奇缺的复合材料结构的设计人才的培养；



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

四、复合材料产业创新发展与人才瓶颈

复合材料产业创新既有赖于材料创新，也有赖于结构创新（这里将工艺、设备创新也归在结构创新或产品创新范畴）。材料创新偏重于基础，这些年已有多个973、863项目的支持，当然也有人才问题，但相比较在复合材料结构创新方面的人才更缺！**复合材料结构的设计人才奇缺是复合材料产业创新发展的一个瓶颈。**

要用好复合材料需要有复合材料设计

人才的强有力支撑！

五、复合材料结构设计人才的培养实践

●何谓复合材料结构设计人才

懂得复合材料结构设计的基本知识，掌握复合材料结构设计的基本技能，熟悉行业要求（规范、标准、适航法规……），了解复合材料（包括原材料及其复合工艺）性能和新发展，能根据要求开展试验验证方案设计和试验验证工作，擅于观察和分析结构实验和结构产品使用中存在的问题，具有追求卓越的创新精神和团队协作意识……这是我们希望要培养的复合材料结构设计人才。



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

典型的复合材料结构

航空（飞机复合材料结构）

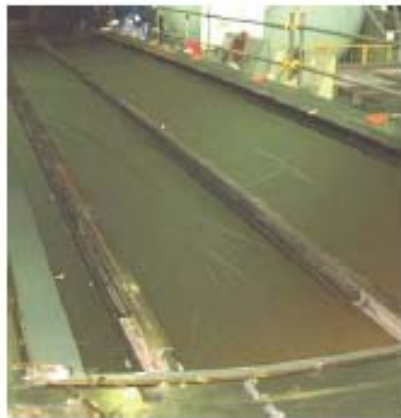
新能源（风电叶片）

土木建筑（FRP桥梁、FRP钢筋混凝土结构、
FRP加固…）

交通设施（汽车、火车、船舶、自行车…）

其它工业产品（容器、冷却塔、管道、体育…）

典型复材主结构---机翼

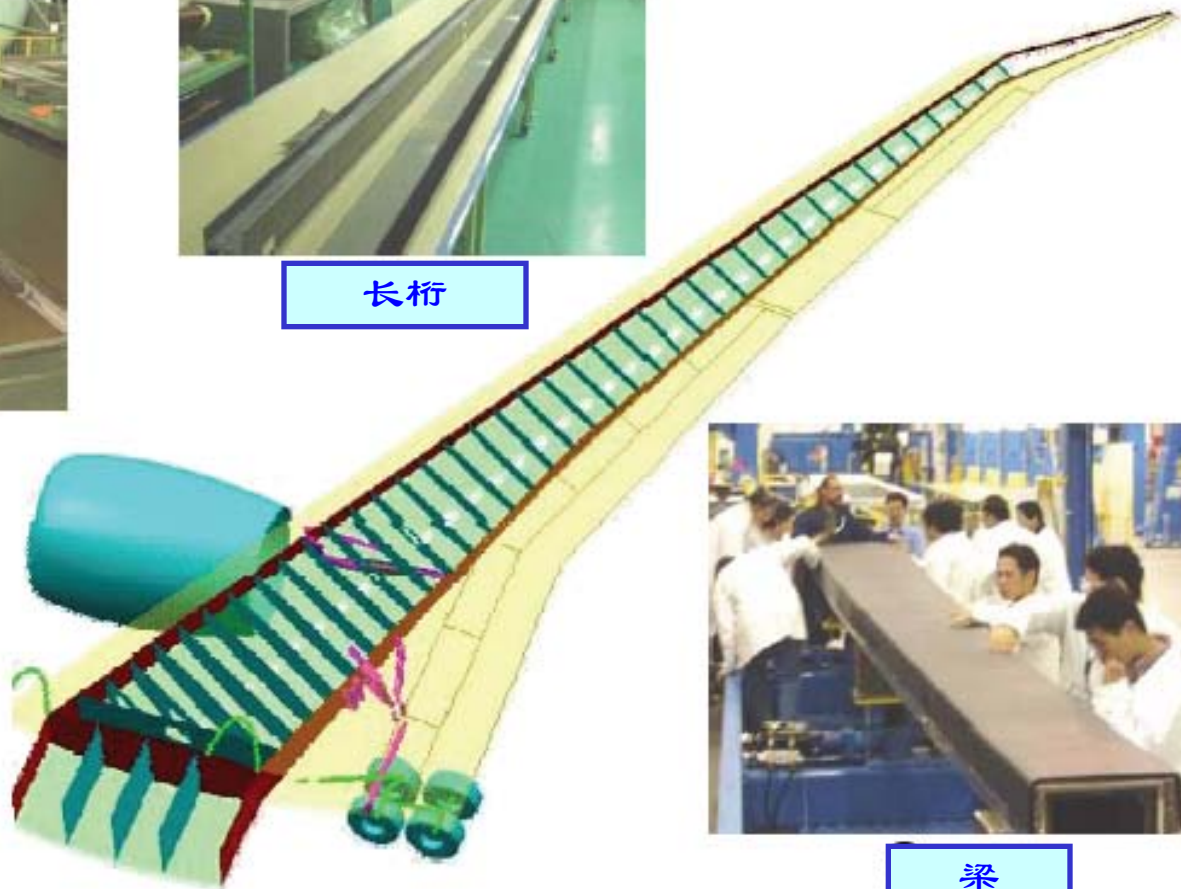


蒙皮



长桁

B787复合材料机翼



梁



典型复材主结构---机身

B787机身段

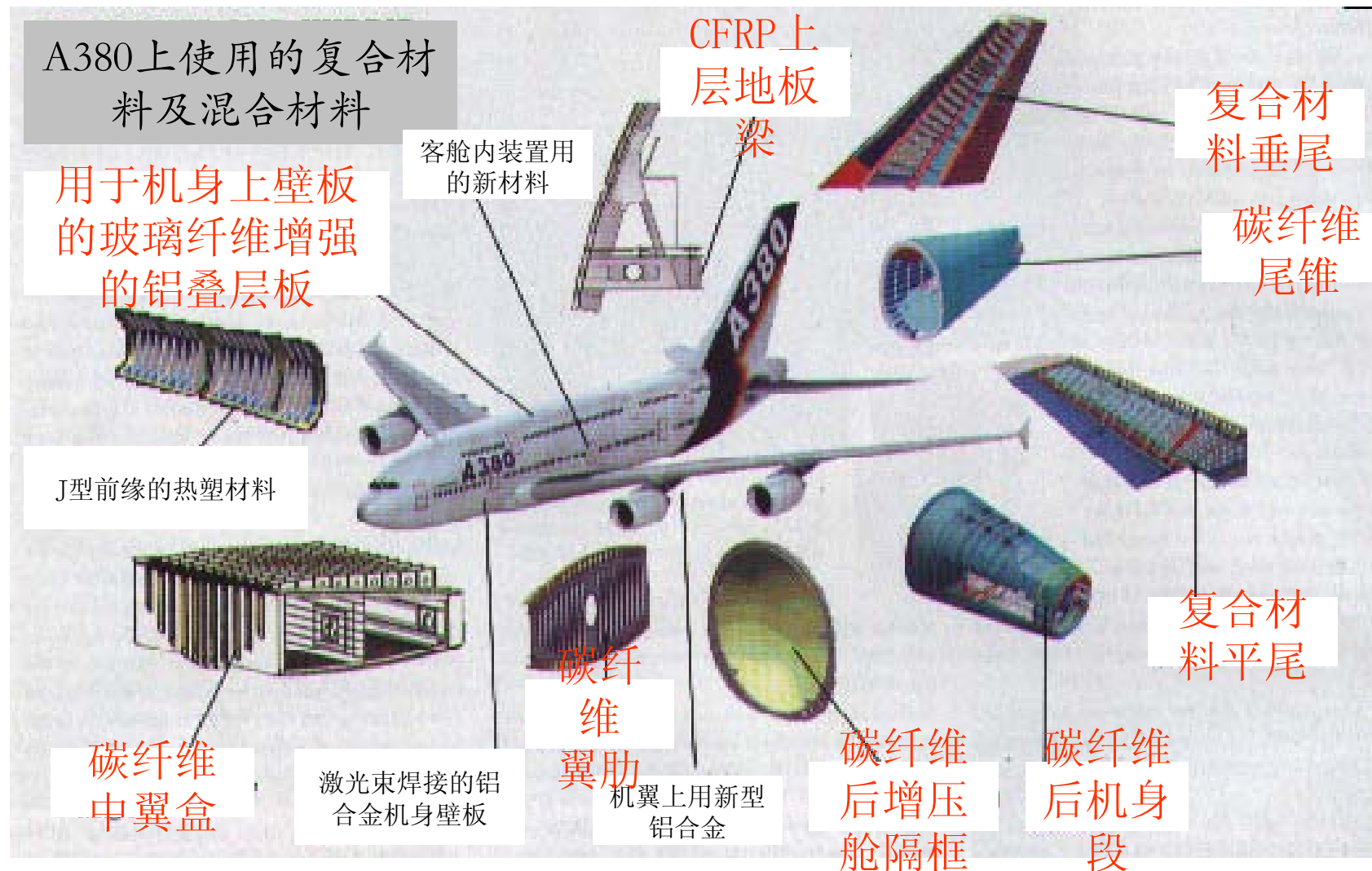


先期典型的试验盒段

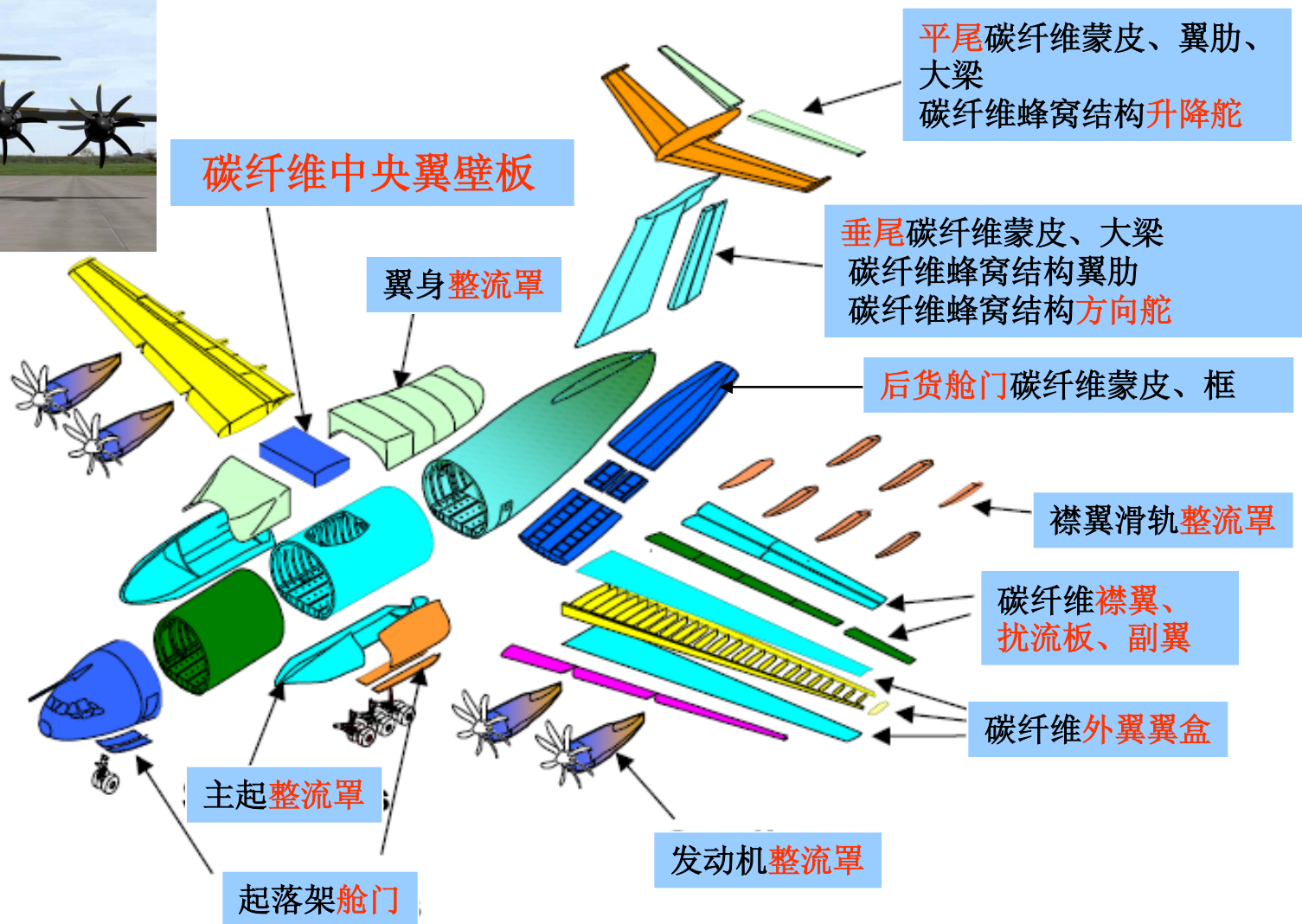


典型机身段的内部骨架

典型复材主结构（A380）



典型复材主结构（A400M）



航空复合材料专家、沈阳飞机设计研究所**陈绍杰教授认为**：现在航空院校培养的毕业生，不适应航空业发展对复合材料人才的需求，大多数毕业生并无复合材料设计必备的知识。而一般院校培养的复合材料人才因主要来自于材料学院，因此其力学、结构和飞行器的知识较弱。而飞行器设计和制造专业的本科生也较少系统学习有关复合材料的相关知识。因此，**复合材料结构设计人才的培养不仅必要而且十分迫切。**

我们可以将懂复合材料的能够胜任复合材料飞机结构设计、强度分析和试验、复合材料结构件的制备工艺及设备开发、复合材料原材料制备与性能表征、复合材料结构的无损检测 and 在线监测、飞机损伤的复合材料修复、新型复合材料开发工作等方面的科技人才统称为**广义的复合材料人才**。而其中**设计人才是最为稀缺的！**在复合材料结构产品开发中设计是处于主导地位的，**是龙头**。

陈绍杰老师最近在同济做的一次报告中再次强调复合材料是设计出来的，没有设计就没有复合材料。目前世界上复合材料设计已有了很大进步，某种程度上可以说已走向了成熟化、规范化。但国内尚非如此，几乎是三个方面中最弱的一环，航空航天领域尚且如此，民用部门情况尤甚。设计这个龙头舞不起来，扩大复合材料发展应用就是一句空话。

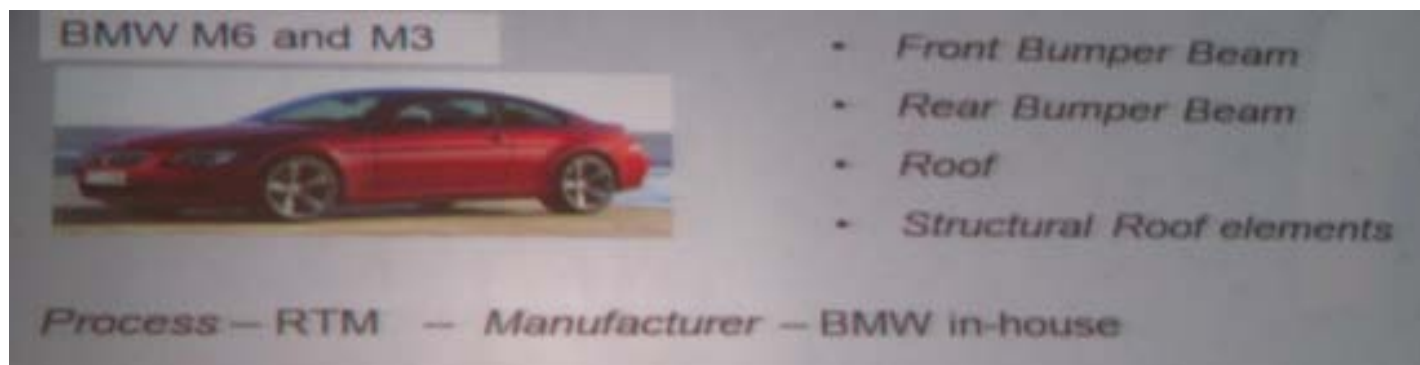
中国复合材料工业近年来蓬勃发展，产品质量及服务水平不断提高。但一些大中型企业在业务发展的同时，面临着复合材料各相关专业人才需求不断升级的现状；许多中小复合材料企业由于业务发展较快，也经历着专业“人才”短缺的瓶颈，特别是**复合材料设计人才严重缺乏**。建议改进人才培养机制，加强高校、科研院所以及生产企业之间的联系，共同培养复合材料专业人才，尤其是设计人才。

-----吕琴

航空界有个25字诀

- 设计是主导
- 材料是基础
- 制造是关键
- 检修是保障
- 目的是应用

汽车



在首届(2012年)上海国际汽车复合材料高峰论坛上与会专家指出根据国际最新的研究开发动态，复合材料在汽车上的大量应用也许即将到来，我国在相关研究上的差距很大，**要将复合材料很好地应用到汽车上，培养懂得复合材料结构设计的汽车结构设计人才是关键！**



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

.....

复合材料结构产品处在高速发展期！ 为满足
各类复合材料结构产品开发的需要，迫切需要培
养复合材料结构设计人才！

复合材料结构设计的内容

复合材料结构设计涉及选材、结构布局和构件剖面形式的设计、各部分的铺层方案（纤维取向、铺层顺序和铺层数）、结构细节、连接接头等的设计。

- **设计选材：**确定增强纤维及其制品类型、规格、基体树脂。
- **设计值确定**
- **结构布局设计与工艺考量**
- **构件形式设计与工艺可行性**
- **铺层（或增强体）设计：**1.确定纤维取向、铺层比、铺层顺序； 2.工艺性（保证实现设计确定的纤维取向、铺层比、铺层顺序和纤维体积含量）； 3.可检测性、可修理性。
- **连接设计**

复合材料结构设计人才应有的素质

熟悉有关规范、法规；了解前人总结出来的一般设计准则和经验；有明晰的复合材料力学概念；掌握结构设计分析的有效工具；知晓所设计结构的工艺可实现性；牢记**结构设计的基本原则“安全可靠，经济合理”**（这是进行结构的创新设计所必需遵循的准则）；懂得“安全可靠”需靠积木式方法来验证；有对所设计结构的可维修性的考虑；明白不同设计对象载荷的确定取决于其使用要求。

显然这样的人才需要进行系统的培养！

复合材料发展的两个方向

- 1、采用既有的材料体系通过**创新结构设计**，设计出低成本的更绿色的结构，**使复合材料结构具有竞争力**，从而使复合材料产业能可持续绿色发展，更好地造福人类社会。
- 2、研究开发新型复合材料，满足科学技术发展对材料提出的更高的要求。

两者相辅相成，新型复合材料赋予复合材料新的内涵、复合材料的创新应用牵引着新型复合材料的发展。

可见：具备复合材料结构设计能力的人才将对未来复合材料的发展产生重要影响！

复合材料结构设计与制造人才培养实践

基于对国际航空结构材料发展趋势的分析和判断，结合我院的学科基础，经过调研和论证2007年首次设立了复合材料结构（设计与制造）专业方向，2008年批复了扩招申请，航空航天类的招生规模从原先的35人增至70人，复合材料结构（设计与制造）专业方向的建设迈出了重要一步。

方向课程设置情况

学生大部分时间接受航空航天类大平台的基础课和专业基础课的训练。

从2年级下开始陆续学习7.5门复合材料结构专业方向课。



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

复合材料结构方向课设置情况

航空材料	3 学分	2年级下
(含复合材料学的基本内容)		
复合材料力学	3,	3年级上
复合材料工艺学	3,	3年级上
复合材料试验技术	2,	3年级上
复合材料结构设计	3,	3年级下
复合材料结构CAE	2,	3年级下
复合材料结构损伤与修复	2,	4年级上
复合材料结构设计课程设计		小学期



专业方向特色规划

1、学生**既具有较好的力学基础又熟悉和了解飞机结构**，四年中学生将学习理论力学、材料力学、流体力学、飞机结构力学等力学课程，同时还将系统学习航空航天概论、飞机结构设计、飞机装配工艺学、计算机辅助飞机制造、航空质量系统等航空专业课程。



专业方向特色规划

2、**学生具备从事复合材料结构与制备所应具备的基本知识和能力**，该方向设有航空材料（含复合材料原理）、复合材料力学、复合材料工艺学、复合材料试验技术、复合材料结构设计、复合材料结构CAE、复合材料结构损伤与修复等若干主干课程。

可喜的起步

2007级有5名同学选了复合材料结构专业方向，毕业时全部读研，1位到香港科技大学读研，两位到北航读研，一位留校硕博连读，一位到复旦大学读研。

2008级有16名同学选了复合材料结构专业方向，毕业时4个出国读研，7位在国内读研，两位到上飞厂工作，一位到天津波音公司工作，一位自主创业，一位到金融领域就业。

做好科研是提高师资队伍教学水平的保证

复合材料结构专业方向的教学团队现有12人，其中教授4人，副教授4人，高级实验师1人，工程师3人，全部来自复合材料与结构研究所。

同济大学复合材料与结构所的前身可追溯到1960年成立的同济大学新材料研究所。与上海玻璃钢研究院有着密切的历史渊源。

目前研究所的研究方向主要包括：

- 1、复合材料在航空航天工程中的应用
- 2、复合材料在车辆工程中的应用研究
- 3、复合材料在新能源工程中的应用研究
- 4、复合材料在土木工程中的应用研究
- 5、绿色复合材料和纳米纤维及其功能结构一体化复合材料研究

承担的科研项目有国家973、863、支撑计划、大飞机重大专项支持项目、支线飞机复合材料尾翼预研项目子项、与波音公司的国际合作项目、交通部项目、国家自然科学基金项目、上海市自然科学基金项目、上海市科委重点项目、浦江人才计划项目、教育部新世纪优秀人才计划项目以及与众多企业的横向合作和科技服务项目。

所有这些科研工作将很好地支撑该方向的人才培养工作。

持续的投入是高水平人才培养的必须

目前为止，由于仅使用分析手段仍不能足够精确地预计各种复合材料结构在给定环境条件下受载失效的全部力学行为，而全部使用试验手段进行分析则因费用高、周期长也不现实。因此业界普遍认同的、证实复合材料结构的性能与耐久性的有效方法是**分析与试验相结合的方法**。

为此我们应创造条件让学生接受有关分析和试验技术方面的训练。



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY

在985和211学科建设经费的支持下，我们总计投入2000多万元进行了软件和试验设备的建设。

软件主要包括：ABAQUS、ANSYS、MSC (PATRAN, NASTRAN, Fatigue), ESAComp、HyperWorks、CATIA, UG, Pro-E, LS-DYNA、FLUENT, ADAMS等等

试验设备主要包括：2t、5t、25t静态万能试验机，10t疲劳试验机、摆锤示波冲击试验机、示波落锤冲击试验机，热膨胀仪、单纤维强力仪、小型结构试验平台；热压罐、多轴缠绕机、热压机、真空热压机、粉碎机、RTM设备；空气耦合超声无损检测设备；DMA、DSC、流变仪、热变形温度仪、老化性能试验设备、水平-垂直燃烧试验机、混响室、光学显微镜等。

鼓励学生动手，创新实践

重视课程实验教学，共计开设23个实验项目，62学时。

鼓励学生参加课外创新实践活动，最近几年一直在积极支持学生参加SAMPE复合材料机翼和桥梁竞赛，锻炼他们的设计、制备复合材料结构的能力。获奖频频！

获奖情况汇总

第三届 碳纤维桥梁 结构第1名，第2名，第3名
海报三等奖 工艺二等奖

织物纤维桥梁 工艺一等奖

碳纤维机翼 工艺三等奖

第四届 碳纤维桥梁 结构第1名，第2名，第4名

织物纤维桥梁 结构第1名，第2名

第五届 获5个一等奖（碳桥结构、工艺，海报1等奖；
麻桥结构，工艺1等奖）

1个二等奖（麻桥结构）

3个三等奖（碳桥结构，碳机翼工艺，麻海报）：

美国 I字型碳桥结构第1名，矩形碳桥第3名

方梁天然纤维结构第1名

大学生创新实践项目（SITP项目）

重视与企业的合作

- 美国波音公司
- **Owens-corning**
- **Honeywell**

广泛的国内厂商

加强对外交流，拓宽学生视野

现在复合材料结构专业方向的学生在读期间有机会到法国、西班牙、澳大利亚、我国台湾地区进行交流学习。

最近每年都有一些优秀学生被选中参加为期半年或一年的到国外的学习。正在洽谈中的中法卓越工程师联合培养项目一旦启动，学生将有机会同时获得国际认可度甚高的法国注册工程师证书和国内授予的硕士学位的机会。

另外我们还成功申请了一个海外名师项目。

总结与展望

复合材料结构设计人才急需培养。

大学的第一功能是要培养合格的高水平人才，同济大学在复合材料结构设计与制造专业方向的人才培养方面已经迈出了坚实的一步，今后将更加积极努力，愿成为我国复合材料产业健康持续绿色发展的一股中坚力量！

也希望得到业界更多的支持和关心。



同济大学
TONGJI UNIVERSITY

谢谢!