

碳纤维在汽车设计中的应用及其成型工艺

北京邮电大学深圳研究院

车联网实验室

李大华

碳纤维增强复合材料（CFRP）

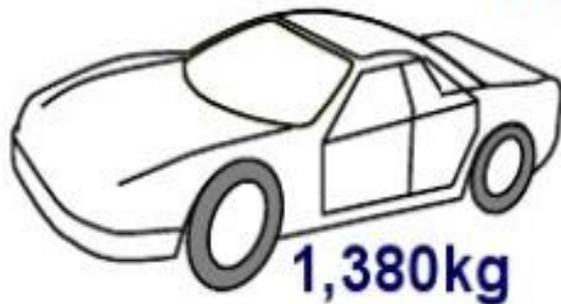
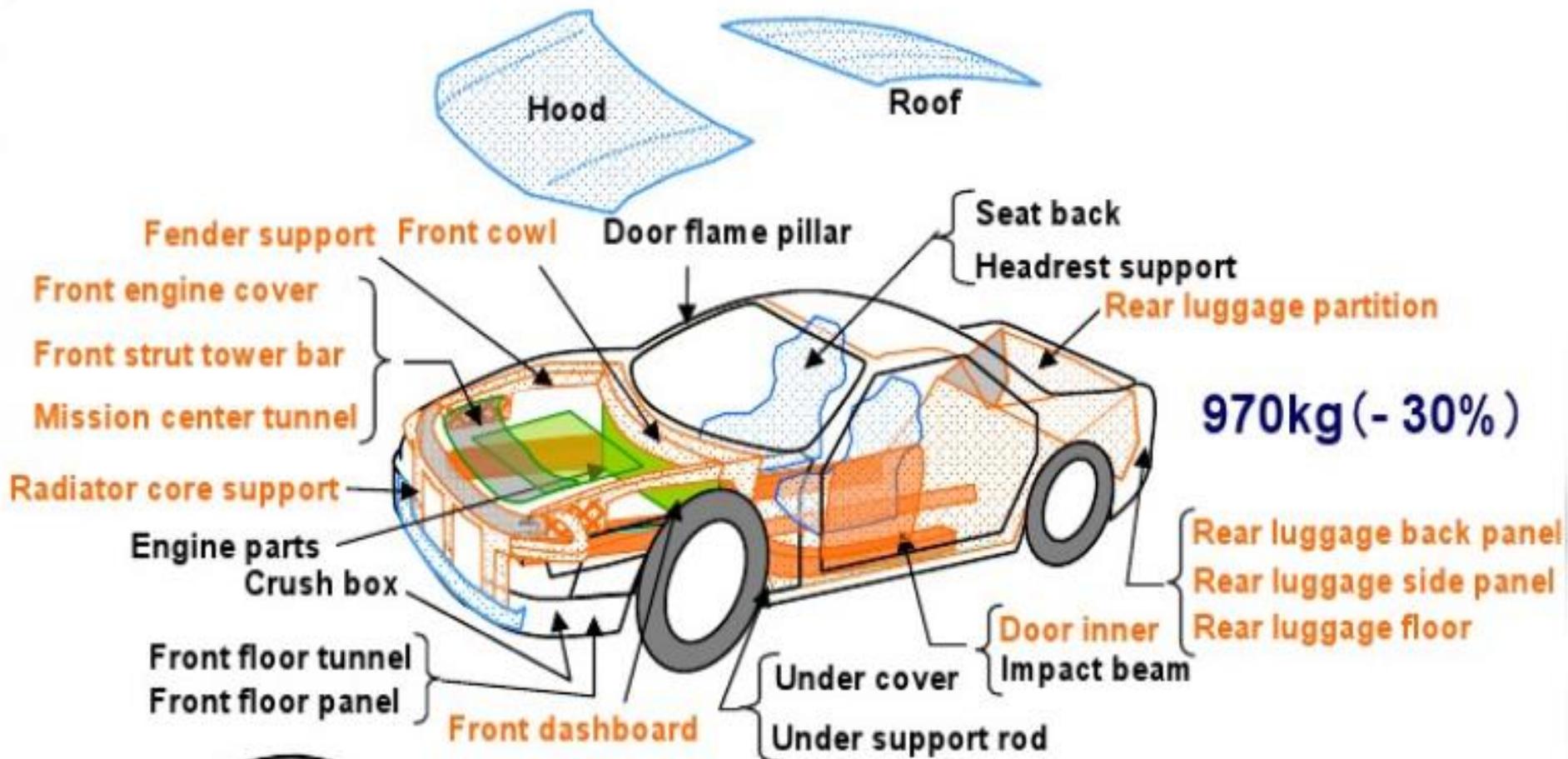
碳纤维复合材料是由碳纤维和树脂结合才能制成碳纤维复合材料，而碳纤维只是一种纤维，单纯用它是无法制成零部件的！其中，树脂是至关重要的，它与碳纤维的不同种类、形态（编织物、短纤维、片状体料SMC、颗粒等等）的配合会形成CFRP不同的特性！



碳纤维增强复合材料（CFRP）

不可否认，碳纤维增强复合材料是汽车制造非常理想的材料之一；与钢材相比，它的比重仅为钢材的1/4，而比模量和比强度则分别是钢材的7倍和10倍，出色的机械强度和优异的性能是汽车轻量化的最佳选择。

但是，它存在着制作成本高、成型时间长以及造成量产压力过大等不利因素使其难以短时间得到汽车制造业的接受和认可。



**Average weight car model
(Gasoline car, 4 door, FF)**

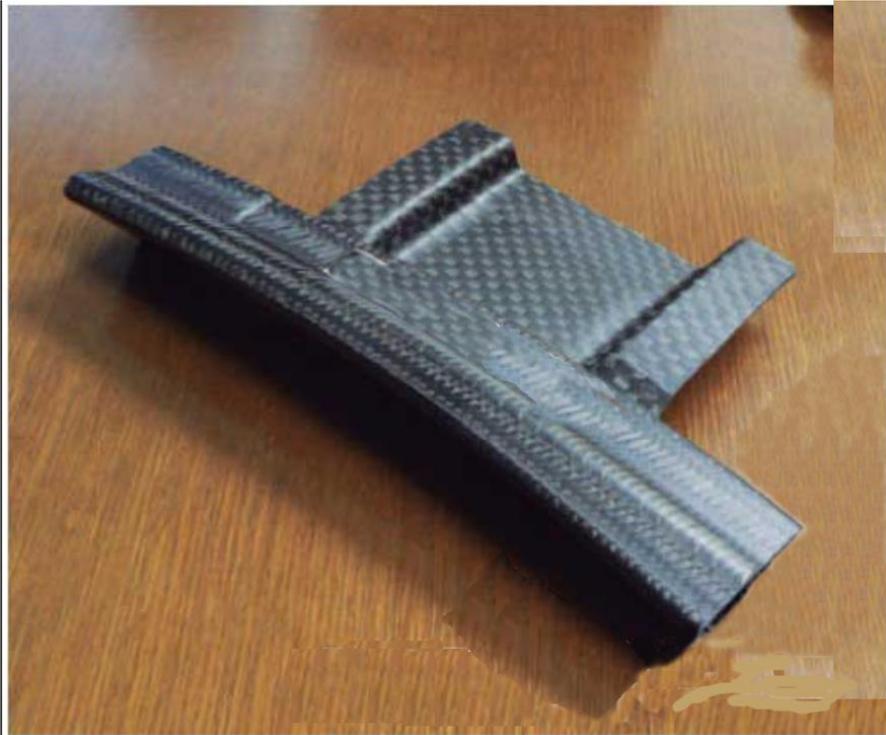
CFRP化

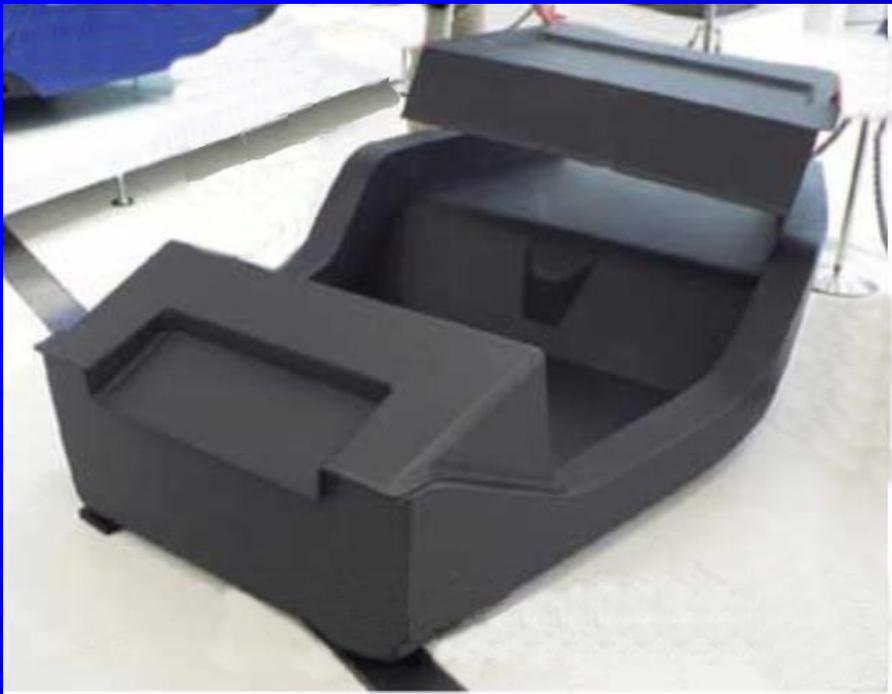
Thermal cure CFRP:
Panel, Reinforced member RTM method,
30% the weight of steel
Thermoplastic CFRP:
Press molding material
50 the weight of steel

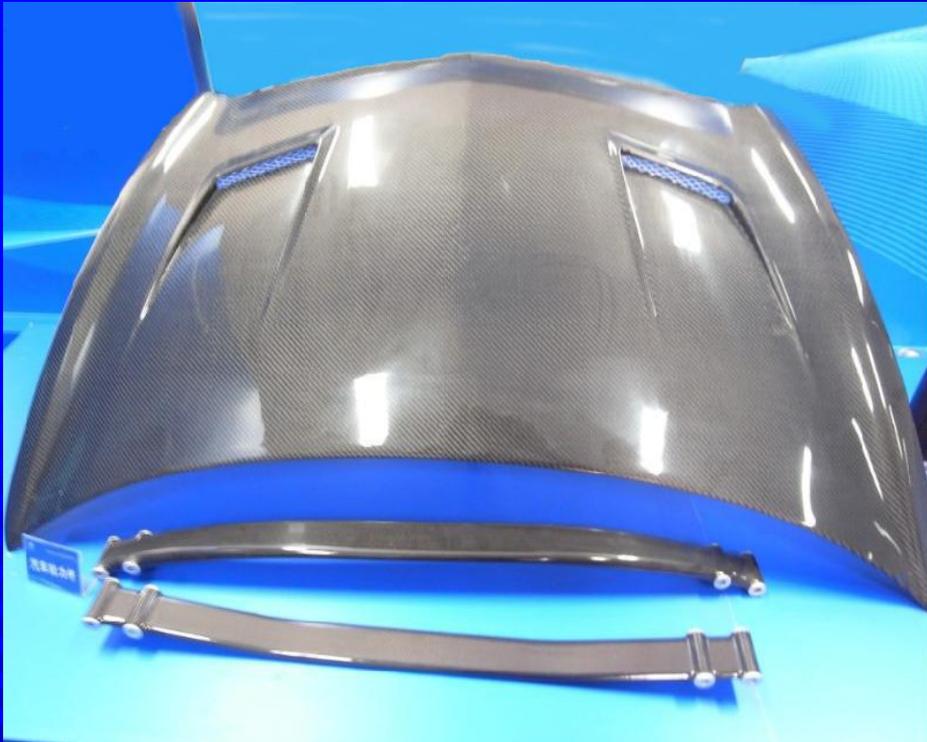
CFRP汽车零部件轻量化对比（单位：kg）

零部件名称	钢材	CFR P	质量减轻	比例 %
车身	209	94	115	55
车架	128	94	34	26
前端	44	13	31	70
发动机罩	22	8	14	63
罩盖	19	6	13	68
保险杠	56	20	36	64
轮毂	42	23	19	45
车门	71	28	43	60
其它	31	16	15	48
合计	622	302	320	









碳纤维增强复合材料（CFRP）

我们做过一个调查，把传统汽车制造过程进行分析对比，发现，碳纤维复合材料制作车身及部件的过程及工艺要简单很多；如果把其节省的材料、工艺、工序、人工、设备、产生的废料、费用等因素综合考虑的话，如果成型周期能够大幅度缩短的话，汽车企业基本上可以接受！毫无疑问，使用碳纤维复合材料所带来的社会效益（节能、环保）等则是非常巨大的。

碳纤维增强复合材料（CFRP）

因此，在面对自然环境日趋恶化，资源和能源储量日趋减少的未来，CFRP更凸显其优势。

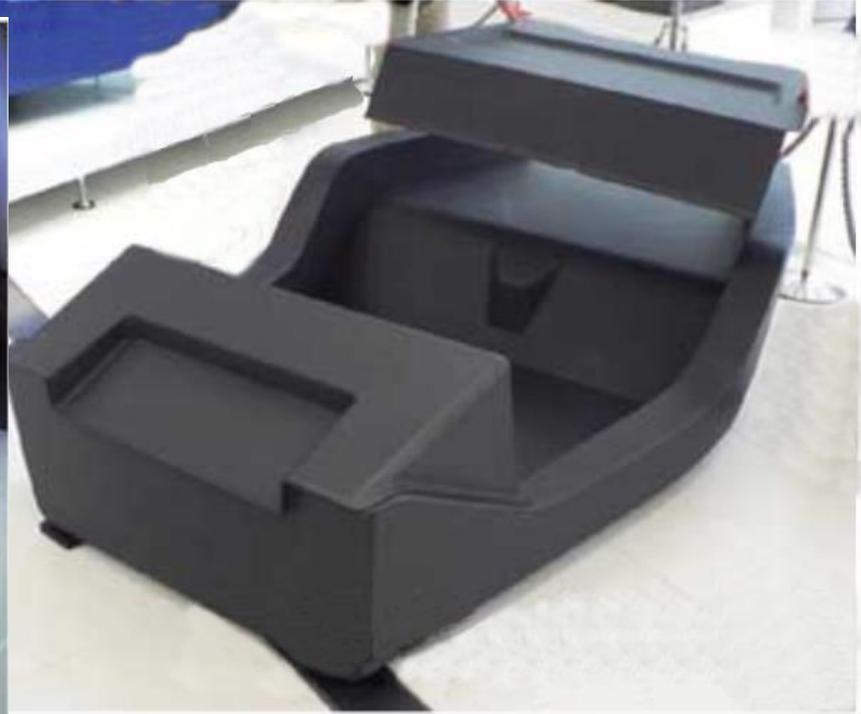
除此之外，目前各国都在大力发展的电动汽车日益为社会所接受，而电动汽车在结构上的特质，完全实现轻量化和减量化。无疑将会使碳纤维增强复合材料“柳暗花明又一村”。也加大了汽车设计的自由度空间。

上部骨架 (CFRP 制造)



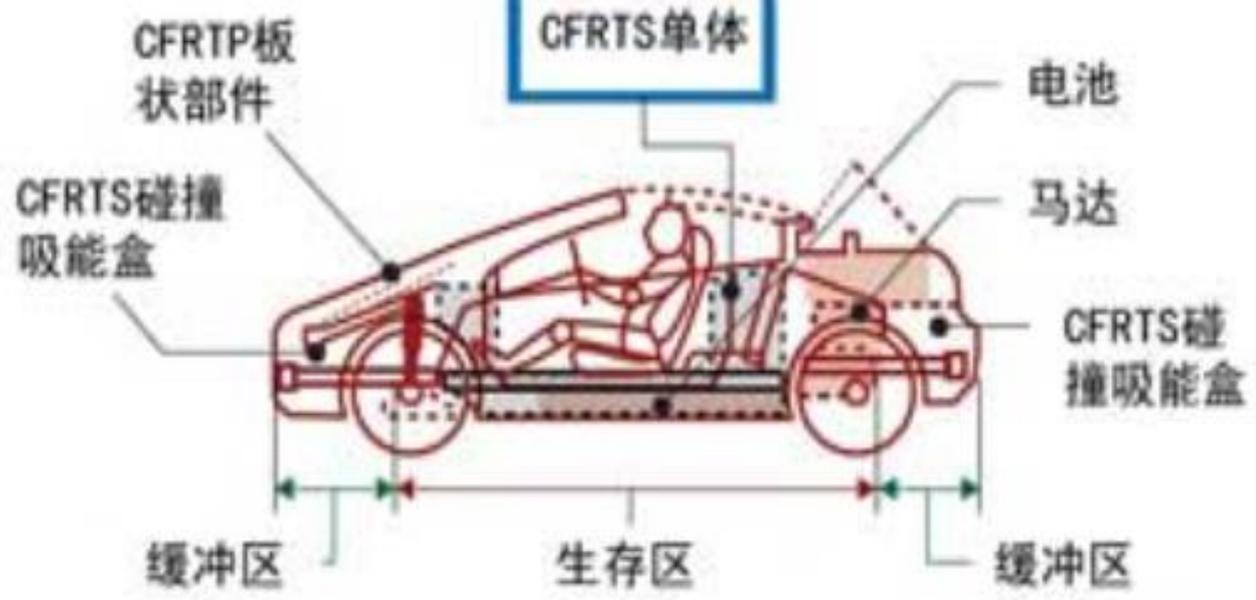
底盘骨架 (铝合金制)

锂离子电池





CFRTS单体



CFRTS单体
(轻量一体化)

生存区

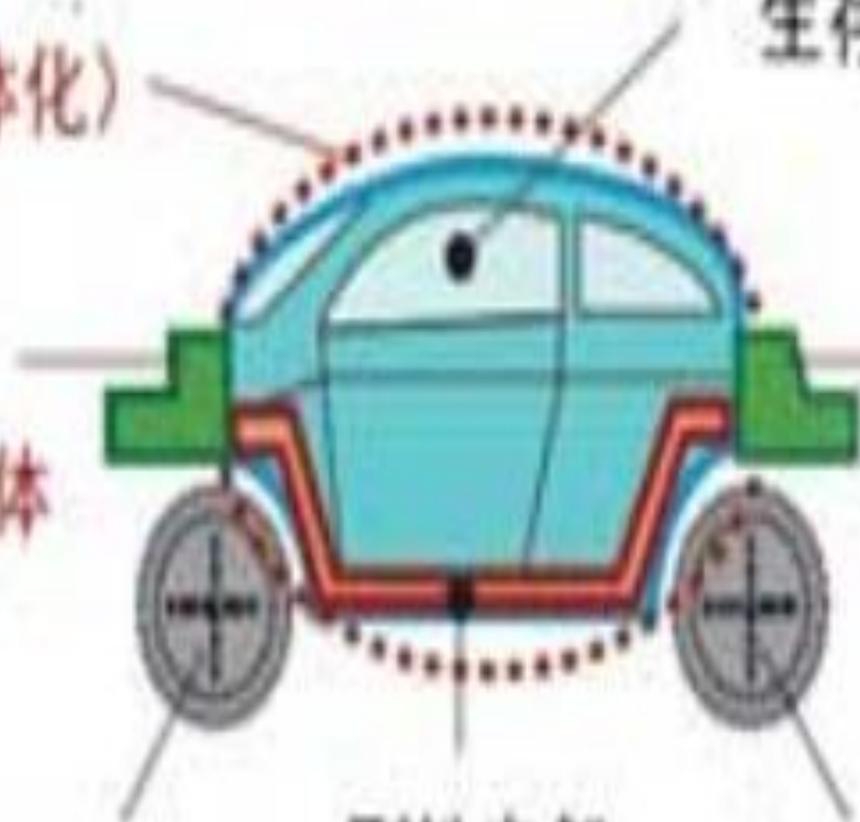
CFRTS
能量吸收体

CFRTS
能量吸收体

车轮 (操舵机构)

刚性车架

车轮 (驱动机构和马达)



粘接在一起的通风罩



中空构造

碳纤维增强复合材料（CFRP）

CFRP使用的树脂有不同特性的两大类：一类是聚丙烯（PP）、聚酰胺（PA）、聚醚醚酮（PEEK）、聚醚酮酮（PEKK）、聚苯硫醚（PPS）、聚醚酰亚胺（PEI）、聚丁烯对苯二甲酸酯（PBT）、聚对苯二甲酸乙二醇酯（PET）、聚碳酸酯（PC）、聚酰胺酰亚胺（PAI）、热塑性聚酰亚胺（TPI）、Nylon6、Nylon66等热可塑性树脂（CFRTP）；

碳纤维增强复合材料（CFRP）

另一类是环氧树脂（EP）、不饱和聚酯树脂（UPR）、乙烯基酯（VE）、氨基甲酸酯（URE）、热固性聚酰亚胺（PI）等热固化性树脂（CFRTS）。由于树脂性能及用途的不同，特性不同，因而，它们的加工工艺也各不相同。

碳纤维增强复合材料（CFRP）

预浸渍碳纤维增强热固性树脂（CFRTS）已经广泛应用于结构部件，它在力学性能、耐化学腐蚀、热稳定性和整体耐久性等方面优于碳纤维增强热塑性树脂材料（CFRTP）。然而，碳纤维增强热固性树脂（CFRTS）的加工性能和可回收再利用率较低，成型周期通常比较长，应用于大规模生产有一定的局限性。

碳纤维增强复合材料（CFRP）

研究表明,热固性聚合物的加工涉及化学反应过程;而热塑性聚合物通过热量和压力的材料处理,在室温下冷却就可以成型,加工周期短。另外,热固性聚合物,一旦成型,既不能加热也不能重塑;热塑性聚合物,可多次加热和重塑,具备循环再制造及高回收利用性。这些优势使它的大规模生产应用成为可能。因此,热塑性碳纤维材料(CFRTP)被认为是一个更好的选择。

碳纤维增强复合材料（CFRP）

热可塑性树脂成型与通常的树脂成型基本相同，小尺寸部件的射出成型可在10秒内完成，即便是尺寸非常大的部件的冲压成型，也可在1分钟~数分钟内完成。由于加工效率高，因此成本比较低。不过，与热固化树脂相比，热可塑性树脂的熔融粘度较高，因此，对于成型机械的压力要求比较高，所以，加工大尺寸部件时必须使用大型冲压机。

CFRP的种类及成型方法

CFRP的成型材料（中间基材）大致分为：碳纤维布（编织物）、片状模压料、颗粒状料和预浸料几种。

但是，它们的加工成型方法却各不相同，差别很大，并且它们的特性也有所不同。CFRP的制备工艺种类很多，不过，能够实现量产的成型技术主要有以下几种。

CFRP的种类及成型方法

树脂传递成型技术：主要材料是碳纤维布（编织物）它的成型方法基本上是在模具中，通过树脂的固化过程完成的。主要应用于一些面积较大的驾驶室、车身、座椅等部件，需要提高机械特性的强化材料。这种加工工艺称为树脂传递成型技术。

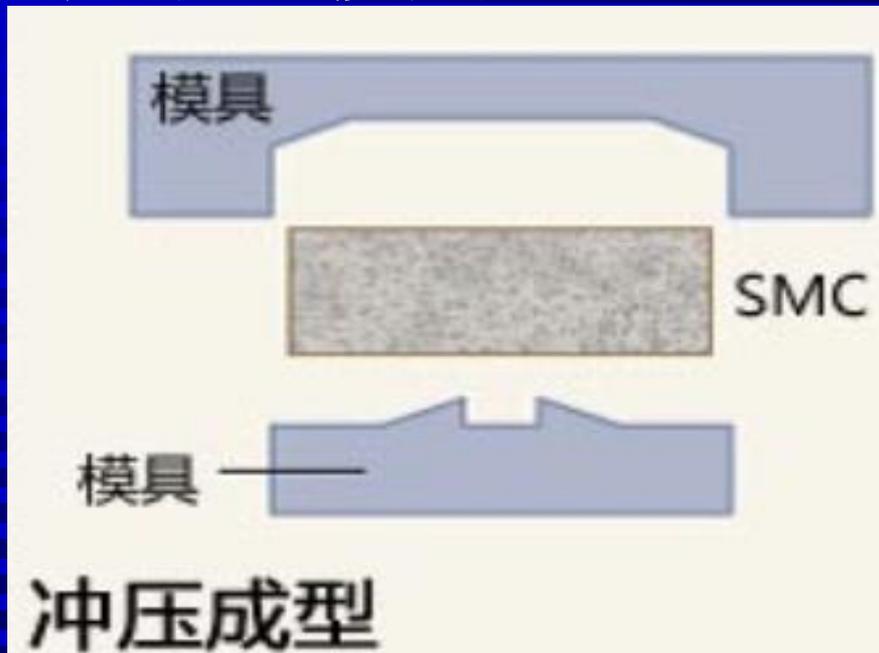


CFRP的种类及成型方法

树脂传递成型技术需要首先对碳纤维布进行预成型处理，制作成符合产品形状的预成型体后置入模具内，然后注入环氧树脂，采用真空抽气，使碳纤维布迅速浸渍树脂，并消除气泡；对模具进行加热，达到一定温度后让成型体逐步固化。

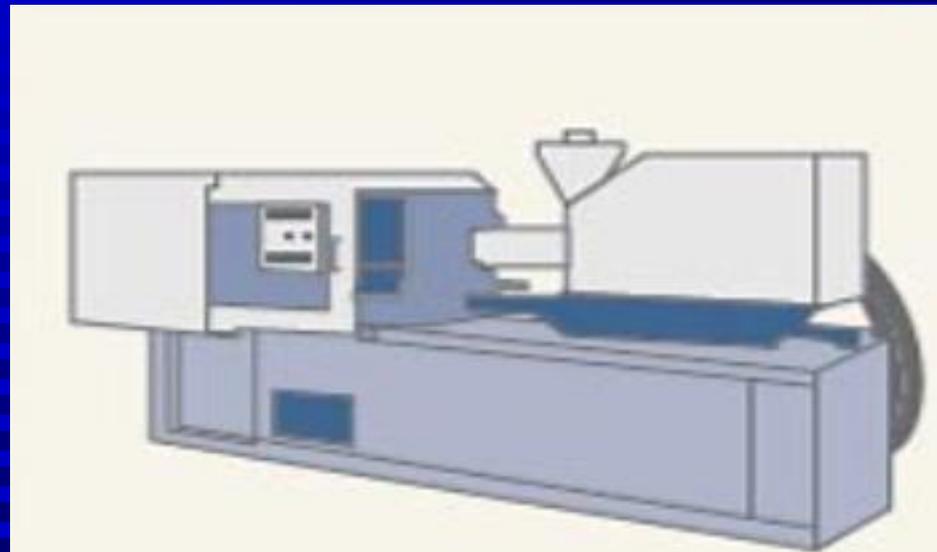
CFRP的种类及成型方法

冲压成型：主要是片状模压料，把它均匀地分散浸渍在树脂（主要是非饱和聚酯树脂）中，它的纤维不是连续的，是被切断的，因此，它的自由度比较高。浸渍后放入模具边加热，边冲压成型，成型周期相对较短，2~3分钟即可完成；热可塑性片状模压料也可通过冲压成型加工，无需固化反应，成型周期较短。



CFRP的种类及成型方法

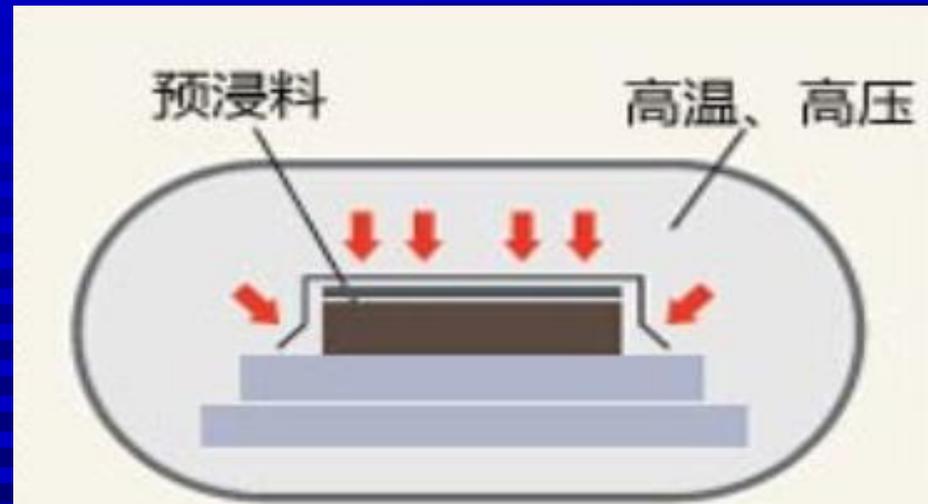
射出成型技术：主要材料是颗粒状料，是纤维比较短的碳纤维料，可制成在普通射出成型机上使用的成型材料，只有使用热可塑性碳纤维能采用这种加工方法，处理方式与树脂成型基本相同。这种方式称为射出成型工艺。



射出成型

CFRP的种类及成型方法

热压罐成型：主要是预浸料，是用树脂（主要是环氧树脂）浸渍织物的片材或单向纤维构成的带状物（非织物），在高温、高压的状态下成型的CFRP，这种称为热压罐成型工艺。由于其升温、冷却都需要一定的时间，因而成型周期时间长，一般约为2~4小时；但是这种工艺可获得高刚性、高强度且高精度的成型产品。

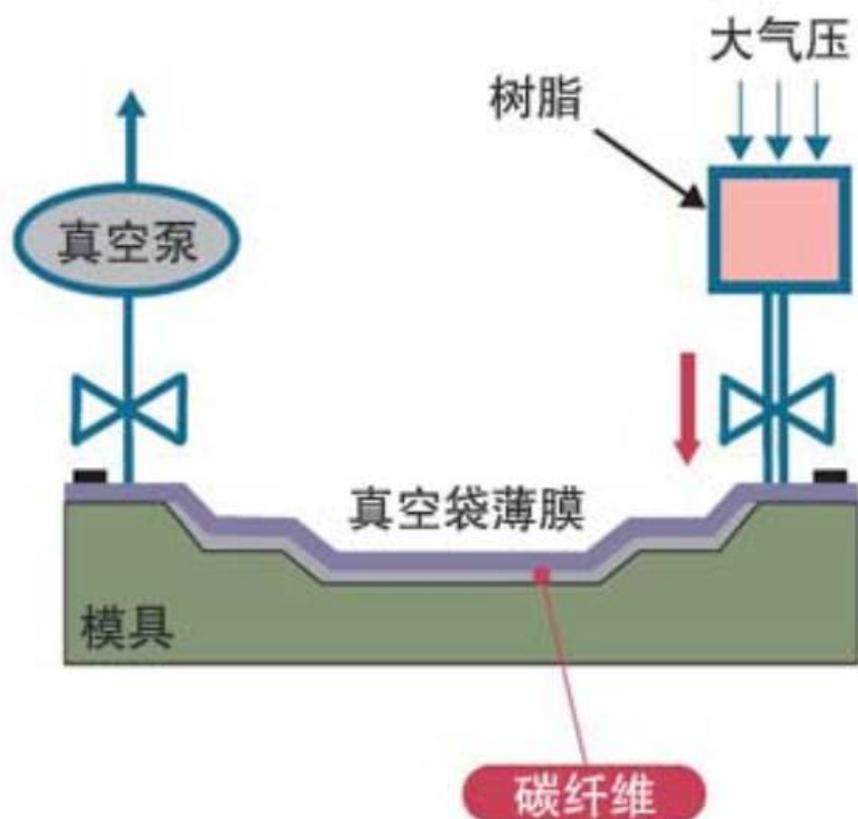


热压罐成型

VaRTM

车顶

赋形→装袋→真空吸引→注入树脂



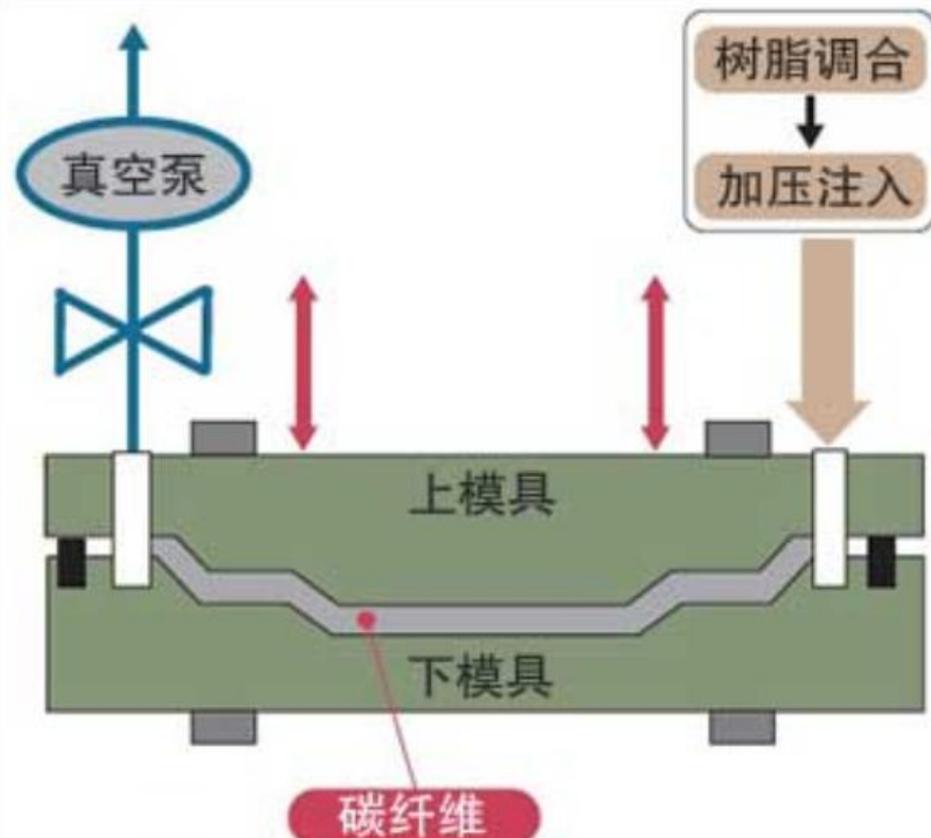
单面型·真空设备(◎)

230分钟(×~△)

RTM

发动机罩、地板等

赋形→真空吸引
注入树脂



双面型·树脂注入装置(△~○)

45分钟(△~○)

CFRP成型工艺的局限性

现有工艺或多或少存在着一定的局限性，例如：树脂传递成型技术、液体模塑成型技术需要将增强材料预先置入模具中，树脂在混合后采用压力和真空的手段注入模具腔体，在高温作用下产生固化的复合材料，虽然可以满足增强材料的织物形态要求，但是树脂的粘度、温度、喷射压力、真空度以及树脂注入效果的控制，决定了产品成型的品质。

CFRP成型工艺的局限性

除此之外，在整个生产过程中又受到设备性能、原材料形状、原材料特性、制成品形状、结构、品质、加工成本、效率、环保等诸多因素的制约。

鉴于以上原因，影响了碳纤维的生产效率、成品率、产品性能，导致其生产成本居高不下。同时也影响了汽车制造企业采用碳纤维增强材料的信心。

成型工艺课题的解决方案探索

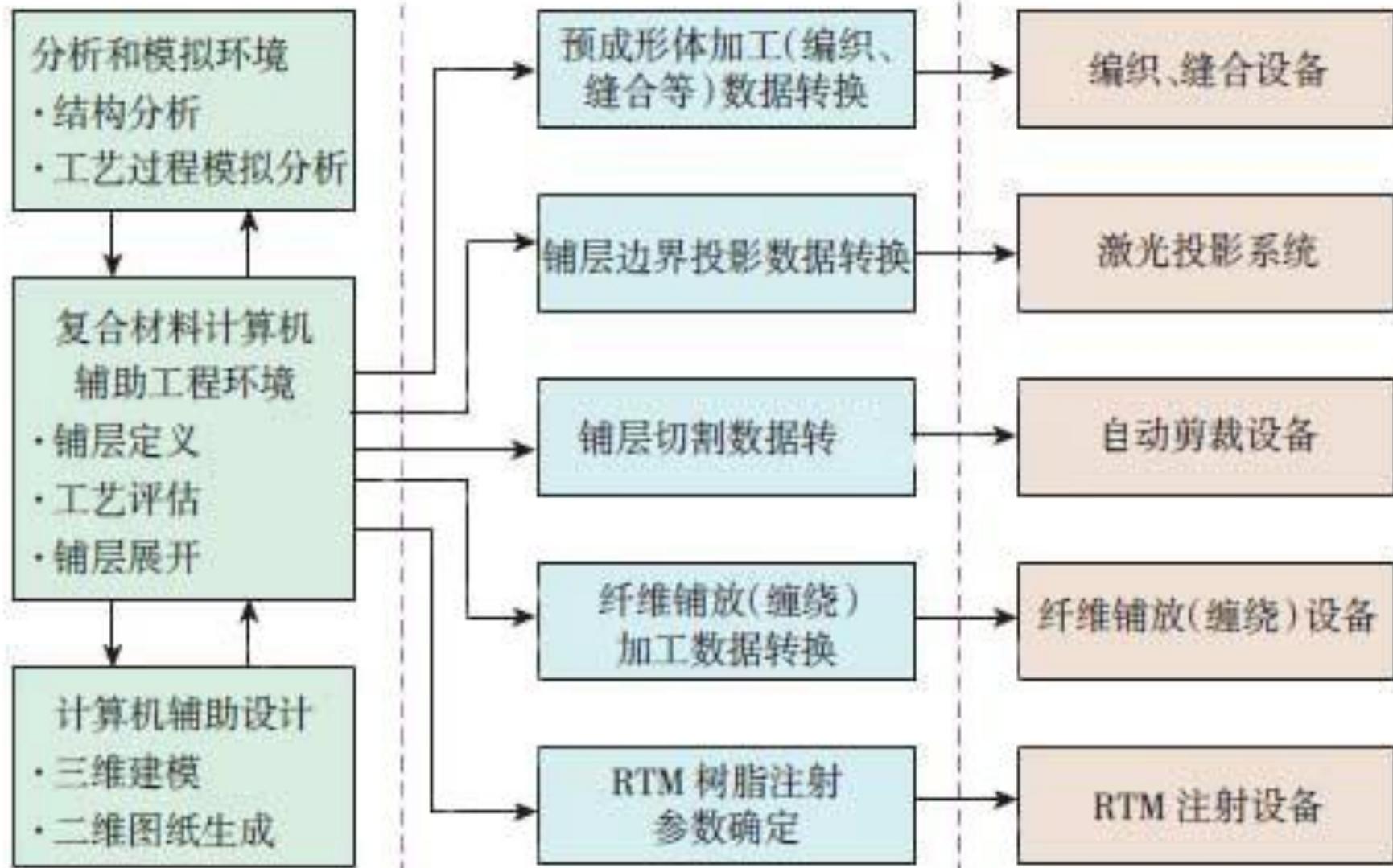
其实，解决CFRP成型技术问题的关键还在于对CFRP增强材料更深入的研究和了解。其中包括：增强体材料的形态多样性，树脂基体的化学结构特殊性、在高温状态下需要具备较高的尺寸稳定性、热氧化稳定性、较低的吸湿性、耐热性、耐辐射性以及优异的力学性能等综合技术性能方面的深入研究和了解。

成型工艺课题的解决方案探索

一种碳纤维成型工艺的推出的背后凝聚着工程技术人员的心血，大量的研究和实验数据。我曾经接触过一项CFRP新工艺研发方案，利用计算机技术分析、筛选了大量的实验数据和资料，采用优选法对筛选出来的工艺流程进行模拟试验，大大缩短了研发周期，节省了资金的投入，提高了效率，加快了产品投放市场步伐，使生产企业和科研部门的关系更加融洽。

成型工艺课题的解决方案探索

在这次科研项目中，我们集中综合了包括计算机编程、自动化控制等多学科技术人员在内的强有力团队，利用先进的传感器技术和控制技术，可全面监控碳纤维成型的全过程，对树脂温度、喷射压力、成型加工过程温度、压力进行适时、有效的控制及调整，就会大幅度提高碳纤维制品的成品率，进而实现降低生产成本、提高效率的目标。



复合材料构件数字化设计

复合材料构件数字化制造

复合材料构件数字化设计制造

CFRP国外发展状况

目前，日本、德国、美国经过长期对碳纤维增强材料的研究，已得到长足的发展。尤其是在汽车的应用方面走在世界碳纤维材料技术的前列。国外的成熟技术值得我们借鉴，不过，国外科研部门和企业 in 课题研究方面的投入力度、对技术创新目标孜孜不倦的追求、长远的战略目光和执着的精神更是我们必须学习的。

CFRP国外发展状况

在CFRP（碳纤维增强树脂基复合材料）应用领域领跑全球的是德国宝马公司。该公司为纯电动汽车“i3”作为全球首款采用碳纤维增强树脂基复合材料（CFRP）骨架的量产车，选择了热固化性CFRP作为骨架材料。i3的基本构造是利用热固化性CFRP制造上半部分的骨架，使其与铝合金底盘合为一体。与钢铁材质相比，这种基本构造实现的轻量化效果高达350kg。



上部骨架 (CFRP 制造)



底盘骨架 (铝合金制)

锂离子电池

CFRP国外发展状况

BMW i3是以树脂传递成型（RTM）的工艺对约150个部件进行接合的方式组装骨架，取代了传统汽车组装线上的焊接工序。约150个部件听起来感觉似乎很多，但与利用钢板制造框架相比，数量已经减少了约2/3以上。

CFRP国外发展状况

i3的基本构造，特别是CFRP骨架带来的好处不仅仅是轻量化，还颠覆了原有的汽车制造方法和材料采购。为了在全世界率先将CFRP骨架应用于量产车，宝马与德国的碳制品厂商西格里集团合资，涉足碳纤维生产领域。之后，其合资伙伴西格里集团为了确保碳纤维原料——聚丙烯腈（PAN）纤维的采购，又与三菱丽阳成立了合资公司。

CFRP国外发展状况

三菱丽阳开发的PCM (Prepreg Compression Molding) 法成型的热固化性CFRP, 重量比铝合金减轻了约40%。它使用2~3分钟即可固化的环氧树脂和碳纤维制造预浸材, 然后再放入模具加热, 在3~10MPa的高压下冲压成型。成型周期仅约10分钟, 在热固化性CFRP中生产效率上佳。由于是在高温高压下冲压, 表面平滑性好, 涂装品质可满足作为外板使用的要求。

CFRP国外发展状况

i3在业界引发了最高级别的关注，而日本有一项技术受到的期待不亚于此，那就是日本的国家项目“革新碳纤维基础技术开发”，他们正在着手研究的碳纤维全新制造方法。该项目旨在寻找可替代聚丙烯腈（PAN）纤维的新原料，提出具有原料特性而且低成本的新的制造工序。目标是以10倍的生产效率、1/2的耗电量，量产能够应用于汽车等领域的碳纤维。

CFRP国外发展状况

日本东丽公司与丰田共同开发的热可塑性（CFRP）部件被2014年11月18日上市的丰田燃料电池车“MIRAI”采用。与已开始普及的热固化CFRP相比，热可塑性CFRP具有生产效率高而成本低的特点，有望成为最适合汽车使用的CFRP。但热可塑性CFRP也存在尺寸精度等方面不及热固化CFRP的问题。

CFRP国外发展状况

该部件的制造方法是，先把切割成规定长度的碳纤维均匀分散在聚酰胺（PA）中，制造成片状中间基材，然后对该基材冲压成型。热可塑性树脂具备无需固化反应的特点，因此实现了约1分钟的成型循环时间。这一时间与汽车组装工厂的节拍时间基本相同，可轻松满足汽车量产生产线的要求。

CFRP国外发展状况

帝人集团旗下的东邦特耐克丝公司开发出了用于热固化型（CFRP）的高耐热树脂。这种树脂由双马来酰亚胺（Bismaleimide，简称BMI）树脂改性而来，其玻璃化温度达到320℃以上，连续使用温度也相应提高约20℃以上。可在250~300℃温度下连续使用。今后的目标是将其用于汽车领域。

结论

碳纤维增强复合材料在汽车上的普遍应用，还需要一个过程，在国内这个过程可能还要长一些。鉴于以上问题的存在，我们的汽车业和碳纤维行业要想有所突破和发展，就必须加大对碳纤维材料、树脂、加工技术、加工设备及工艺进行不断深入地研究和创新。

谢谢！