

CATIA V5 复合材料设计

西安安托公司 浦一飞
中航第一飞机研究院 李金超

摘要 介绍了航空复合材料的应用及 CATIA 软件复合材料设计解决方案。

关键词 CATIA 复合材料 蜂窝夹层 Composite Design

引言

随着航空工业的发展，复合材料的应用显得越来越重要。复合材料的设计与传统金属结构设计不同，需要考虑诸多的因素，如：多种的材料组合、材料的各向异性、材料的铺层顺序、产品的可制造性等。CATIA V5 为复合材料设计提供了一整套完整而专业的解决方案，包括复合材料本体的设计、DMU/CAE 分析、可制造性分析等等。本文以蜂窝夹层复合材料为例，介绍了 CATIA V5 对复合材料从设计、分析到制造的全过程。

一、蜂窝夹层复合材料简介

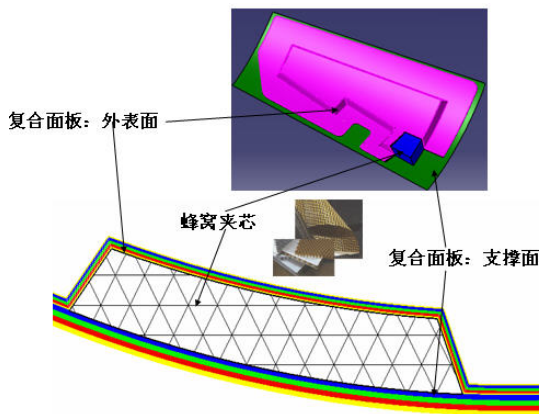


图 1 蜂窝夹层复合材料

蜂窝夹层结构主要由两层面板(蒙皮)中间夹以蜂窝芯材(夹芯)用胶粘剂胶接构成，具有比强度和比刚度高，抗疲劳性能好和耐腐蚀等优点，同时还具有许多特殊功能，如：减震、消音、吸音、吸收和透射电磁波、隔热以及导流和变流等功能。因此随着航空工业的发展，蜂窝夹层结构在飞机结构上广泛应用，如：前缘、后缘翼面，襟翼，扰流片，升降舵，方向舵，

整流罩，地板，隔板等均为蜂窝夹层结构。

蜂窝夹层结构件的构成包括：(图 1)

- a) 面板；
- b) 边缘闭合件；
- c) 蜂窝夹芯。

航空蜂窝夹层结构多采用铝合金板或复合材料板材作面板，用铝、芳纶纸或玻璃布蜂窝

作夹芯材料，用热固性胶粘剂通过加热加压的方法将二者粘接成为整体。蜂窝夹层结构件可按不同的情况分为：

- 1) 按面板材料：分为复合材料面板和金属面板；（本文针对复合材料面板）
- 2) 按夹芯类型：分为蜂窝夹层结构、泡沫塑料夹层结构和蜂窝/泡沫塑料混杂夹层结构；
- 3) 按蜂窝材料：分为金属蜂窝夹层结构和非金属蜂窝夹层结构。

二、CATIA V5 复合材料设计

我们将复合材料的设计划分为：初步设计阶段、详细设计阶段、加工详细设计阶段、加工输出阶段等四个阶段（图 2）。



图 2 CATIA 和合作伙伴共同提供完整端到端的复合材料解决方案

CATIA V5 Composite design(CPD) 复合材料设计以流程为中心，能满足以上各个阶段的用户使用需求，为用户提供完整端到端的复合材料解决方案。

2.1 复合材料初步设计阶段

蜂窝夹层零件复合材料零件是由支撑面，蜂窝和外表面构成（见图 1）；支撑面、外表面分别为铺层复合材料铺层，蜂窝为实体。因此，在进行复合材料设计前，我们必须在 CATIA 曲面设计（GSD）和零件设

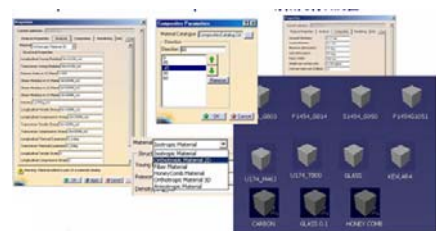


图 3 建立复合材料库

计 (PDG) 中, 准备相关的曲面、相关轮廓线和蜂窝实体, 然后再进入到 Composite Design 中进行复合材料设计。

在初步设计阶段, CATIA 复合材料设计 (CPD) 为用户提供以下功能:

1. 建立复合材料库, 根据用户的需求, 定义复合材料属性, 基本参数包括所属材料库、纤维铺设角度、复合材料有限元属性等。(图 3)
2. 选择定义好的复合材料库、复合材料属性(如纤维方向的命名和排序), 并且设置 CATIA 复合材料环境参数。
3. 根据已经有的支撑面及轮廓定义 Zones Group.1 (区域组 1); 在 Zones Group.1 内定义区域和过渡区, 并且根据设计要求定义层压板相关属性。(图 4)

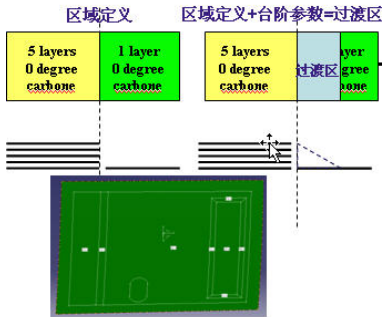


图 4 Zones Group.1 的区域和过渡区域



图 5 边界状态分析

4. 分析边界状态 (图 5)

分析的内容包括:

- 区域之间的边界分析, 分析结果如下:
黄色表示区域外部轮廓。
红色表示两个区域的连接线。
- 过渡区域之间的边界分析, 分析结果如下:
绿色表示区域外部轮廓线。
蓝色表示区域和过渡区域的边界。
蓝绿色表示两个过渡区的边界。

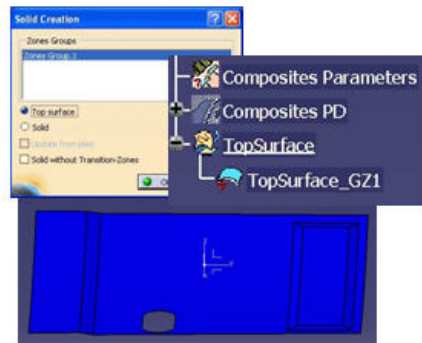


图 6 生成实体和顶层表面

5. 根据分析的结果, 定义强制过渡点 (ITP); 重新进行边界状态分析, 直到满足设计要求。

6. 根据区域组生成顶层表面 (图 6), 该顶层表面为外表面的参考曲面。

7. 曲面修剪 (图 7)

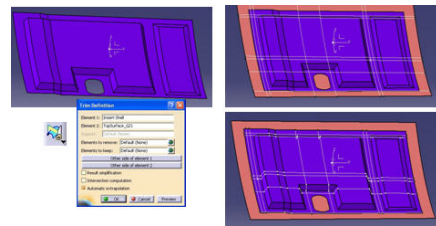


图 7 生成蜂窝外表面

切换到曲面设计 (GSD)，通过 Trim (修剪) 的功能，将顶层表面与蜂窝表面进行修剪；得到蜂窝的外表面。并将相关的轮廓线重新替换到外表面上。

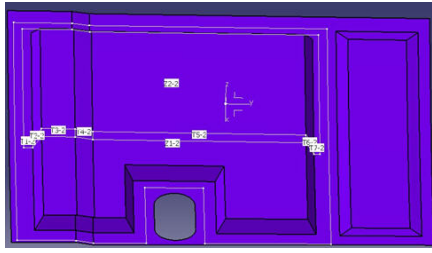


图 8 定义外表面区域组

8. 定义外表面区域组

返回到复合材料设计，根据第 7 步定义好的外表面及轮廓定义 Zones Group.2 (区域组 2)，在 Zones Group.2 内定义区域和过渡区，并且根据设计要求定义层压板相关属性。(图 8)

9. 分析边界状态

如果不满足设计要求，则定义强制点 (ITP)，再重新分析直到满足设计要求。

10. 如果满足设计要求，由定义好的区域组生成铺层表，铺层表为 Excel 或 Text 格式；铺层表包含层压板相关信息：铺层顺序、铺层、材料、纤维铺设方向、几何基准、铺层所在区域。(图 9)

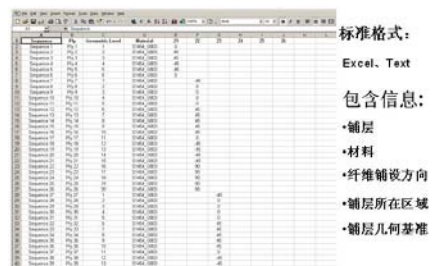


图 9 铺层表

11. 根据设计要求，调整铺层表，调整铺层顺序，并且管理层压板信息直到满足设计要求。

2.2 复合材料详细设计阶段

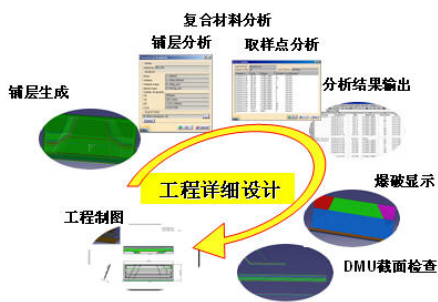


图 10 复合材料详细设计

初步设计完成后，进行工程详细设计，CATIA 复合材料设计 (CPD) 为用户提供以下功能：(图 10)

- 铺层生成
- 复合材料分析
- 爆破显示
- 工程制图定义

CPD 中提供三种铺层的生成方法：

第一种方法是在初步设计阶段中定义好的铺层表或者区域组，导入到 CPD 中直接生成铺层，过渡区铺层的台阶系统将自动生成。(图

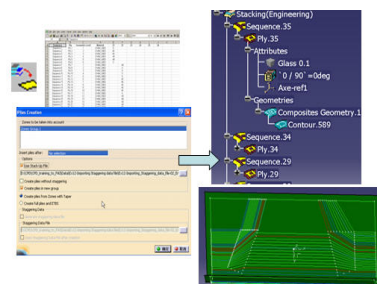


图 11 通过铺层表自动生成铺层

11)

第二种方法是根据初步设计阶段定义好的区域组，生成整张铺层和台阶边界（ETBS），并且生成带 ETBS 的铺层表文件（格式为 Excel 或者 Text）。（图 12）



图 12 根据 ETBS 生成铺层

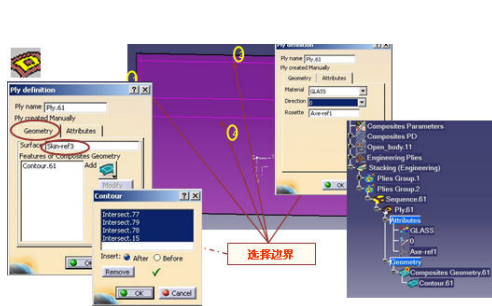


图 13 手工生成铺层

设计工程师可根据台阶边界（ETBS）及铺层文件提供的信息，手工的设计修剪铺层和铺层台阶，直到满足设计要求。

设计工程师也可以调整铺层文件中边界台阶（ETBS）参数和方向，然后再将铺层文件导入到 CPD 中，生成铺层及铺层台阶。

第三种方法是根据铺层轮廓，手工生成单一铺层，这种方法经常用于夹层复合材料蜂窝夹层单一外表面铺层。（图 13）

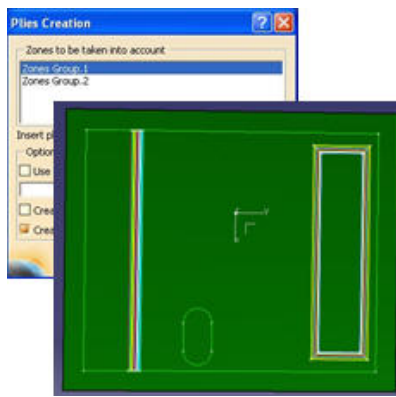


图 14 支撑面铺层

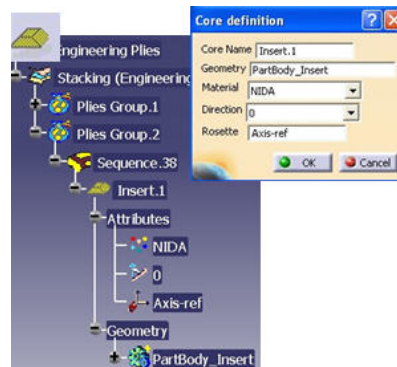


图 15 定义蜂窝芯子

1. 生成支撑表面铺层

将 Zones Group.1（区域组 1，支撑面组），生成支撑面铺层（方法可以参考铺层的生成方法一或二）。（图 14）

2. 定义蜂窝芯子（图 15）

定义铺层组，命名为 Plies Group.2，在 Plies Group.2 中选择蜂窝实体定义芯子（Core）。

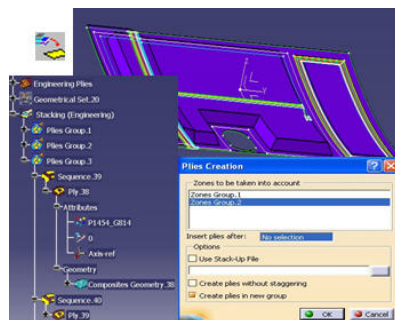


图 16 外表面铺层

3. 生成外表面铺层

将 Zones Group.2 (区域组 2, 外表面组) 生成外表面铺层 (方法可以参考铺层的生成方法一或二)。(图 16)

4. 生成铺层后, 进行复合材料分析。

CPD 提供两种分析方法:

第一种方法可以对设计好的铺层、铺层组或铺层基准进行数字分析 (图 17), 可以得到以下的分析结构:

- 所用材料面积
- 所用材料体积
- 重量
- 中心位置
- 花费评估

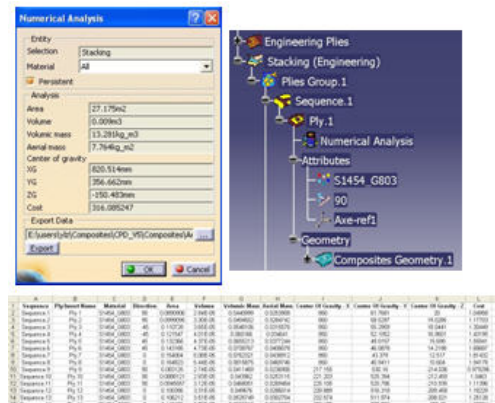


图 17 数字分析

并且分析的结果可以保存在 CATIA 结构树上, 也可以将分析结果输出。

第二种分析方法是取样点分析 Core Sampling Analysis, 只需要选择取样点就可以得到取样点处层压板的特性 (图 18)。可以提取以下信息:

- 取样点处铺层的数量
- 取样点处铺层总厚度
- 取样点处层压板属性 (包括顺序、铺层、夹层件、材料、纤维方向、局部坐标)

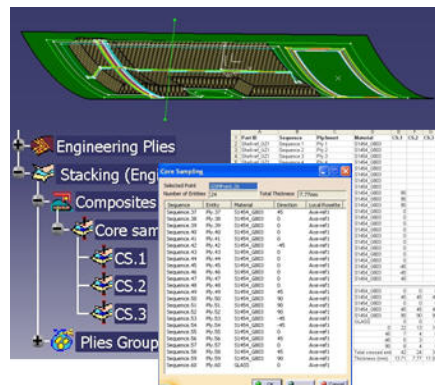


图 18 取样点分析

并且分析的结果可以保存在 CATIA 结构树上, 也可以将分析结果输出。

5. 在铺层生成和分析完成后, 通过铺层爆破 (Ply Exploder) 和电子样机空间分析, 进行铺层真实截面显示。(图 19)

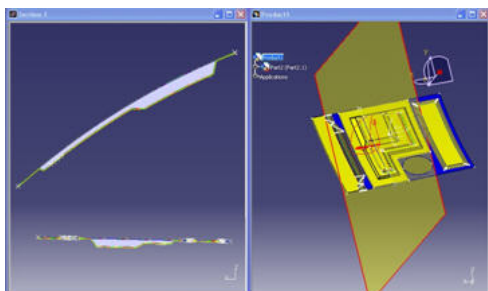


图 19 铺层爆破、截面分析

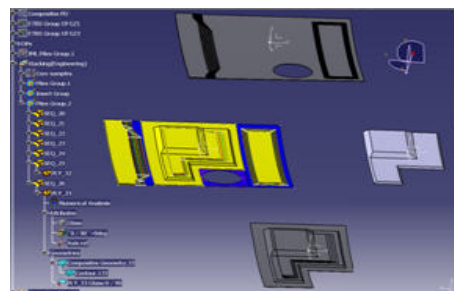


图 20 铺层生成实体

6. 复合材料设计提供可视化铺层实体生成工具，将铺层生成实体，这样设计工程师可以真实了解实际复合材料铺层情况（图 20）；还提供铺层内模曲面（IML : Inner Mold Line）工具，生成相关复合材料模胎曲面。

7. 设计工程师不需要进行数据转换，将复合材料详细设计的结果，直接在 CATIA CAE 中进行网格划分和有限元分析，检查分析设计结果是否满足设计要求；如果不满足要求，重新进行复合材料设计，直到最终满足设计要求。（图 21）

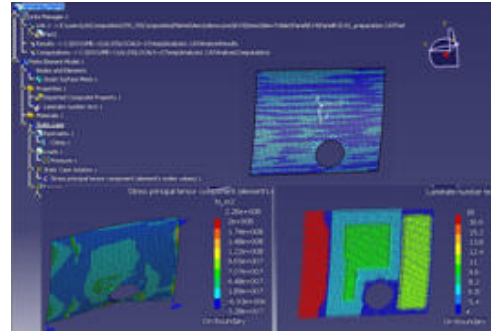


图 21 有限元分析

8. 设计工程师在复合材料详细设计完成后，将设计的产品生成二维工程图。工程图中可包括铺层实体、铺层截面、展开视图及其相关标注、铺层表等。（图 22）

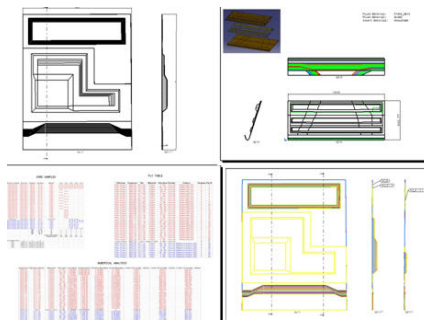


图 22 工程制图

2.3 复合材料加工详细设计阶段

在工程详细设计完成后，进入制造详细设计阶段。复合材料设计（CPD）为用户提供以下功能：（图 23）

- 制造模型定义
- 制造曲面转换
- 毛坯尺寸定义
- 可制造性分析
- 皱褶裁剪
- 平面样图展开

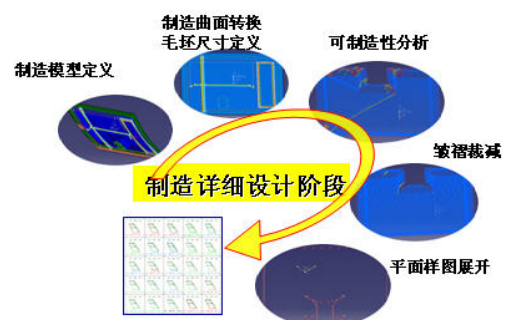


图 23 加工详细设计

具体的步骤如下：

1. 定义制造模型（图 24）

制造工程师根据实际使用的需要，在原始模型上定义制造模型或者定义新的制造模型。在 CATIA 结构树上，Stacking（工程）名字更换为：Stacking（制造）



图 24 定义制造模型

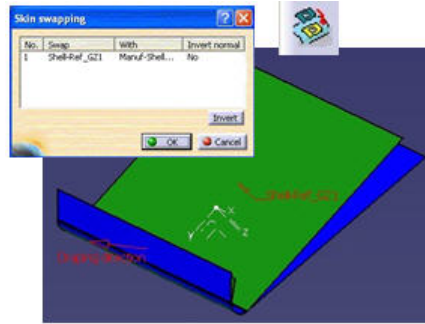


图 25 制造曲面转换

2. 制造曲面转换

考虑到模具曲面和复合材料回弹因素等加工因素，制造工程师将原有的设计曲面转换为制造曲面。（图 25）

3. 定义毛坯尺寸(图 26)

制造工程师在定义好制造曲面上，定义两个边界：工程边界 EEOP（The Engineering Edge Of Part）和制造边界 MEOP（The Manufacturing Edge Of Part）。然后根据制造边界 MEOP 定义复合材料零件的毛坯尺寸。

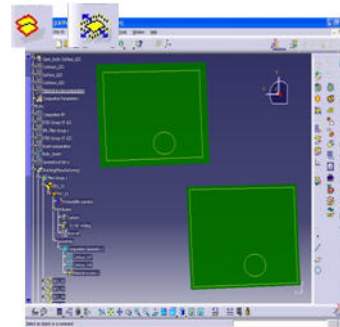


图 26 毛坯尺寸定义

4. 可制造性评估和褶皱修剪

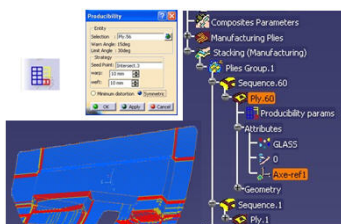


图 27 可制造性评估

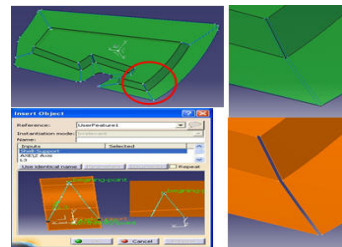


图 28 褶皱修剪

制造工程师将定义好的制造模型，选择铺层、选择种子点、并且指定纤维的径向和纬向的半径，进行可制造性评估，分析纤维铺层在铺设过程中是否会产生褶皱，并且将分析的结果保存在结构树上。（图 27）

制造工程师根据评估的结果，在容易发生褶皱的地方，对铺层进行重新修剪。（图 28）

5. 平面样图展开

制造工程师将每一个铺层在平面上展开，并且可以生成展开的铺层表（Ply Book），供制造商使用。（图 29）

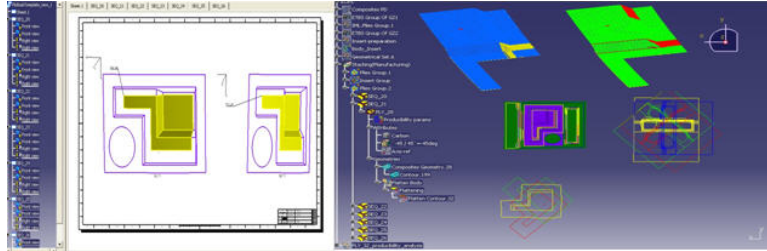


图 29 平面样图展开

2.4 复合材料加工输出

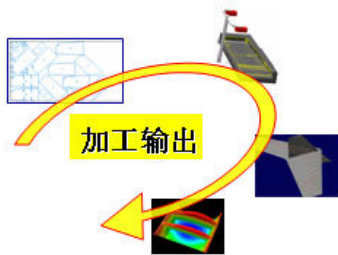


图 30 加工输出

制造工程师将有效的制造信息输出，Dassault Systemes 公司强大的合作伙伴能够确保所有复合材料零件的制造。

（图 30）

制造信息输出的外部文件为 DXF 格式的 2D 展开图和 IGES 形式的 3D 铺层和 2D 展开图。（图 31）

DS 的合作伙伴为 CATIA V5 CPD 提供了完整的生产

制造系统；如 Laser

Projection 提高生产效率和缩短铺层时间，还有以下的复合材料制造方法：Nesting and Cutting of fabrics, Resin Transfer Molding Simulation, Tape Laying Design and Programming, Fibre Placement Automation。

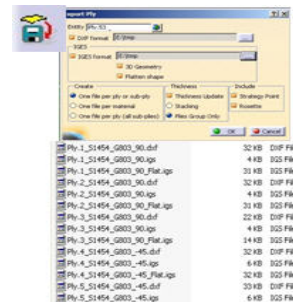


图 31 输出格式

三、CATIA V5 复合材料设计的价值

CATIA V5 Composite design(CPD) 复合材料设计以流程为中心，能满足以上各个阶段的用户使用需求。设计工程师在初步设计阶段，也能考虑到产品的可制造性。比如在初步设计阶段，设计工程师通过的可制造性检查，及时地预测采用什么样的复合材料才能满足复杂的曲面特性；通过可视化的纤维方向，预测在制造过程可能出现的起皱或凸起；从而使设计工

工程师在设计阶段就及时地考虑到产品的可制造性。强大的工程同步功能，能够使工程设计与制造同步，使制造工程师更紧密地与设计工程师合作。

CATIA V5 CPD 与其它的 V5 产品相结合，在保持数据格式唯一性的前提下进行多学科的协同设计，从而为复合材料设计提供了全面的设计手段，加速产品的创新。

- 通过 CATIA 的有限元分析模块，如 GPS, FMS 对复合材料零件进行有限元分析，无须数据转换和重构；
- 通过 CATIA 的 DMU 模块，在电子样机下进行协同设计；
- 通过 CATIA 的 NC 模块，进行加工分析和验证；
- 通过 CATIA 的知识工程模块，进行知识的捕获和重用，并建立企业标准的知识库，提高设计效率。

CATIA V5 CPD 可以满足不同的复合材料工艺设计要求，这些工艺包括：

- 手糊成型工艺 (Fabric hand lay-up process)
- 铺带工艺 (手工和自动) (Tape laying process : manual and automatic)
- 树脂传递成型 (Resin Transfer Molding process)
- 光纤铺放工艺 (Fiber placement process)
- 缠绕成型工艺 (Filament winding process)

CATIA V5 CPD 能够将有效的制造信息输出，DS 的合作伙伴为 CATIA V5 CPD 提供了完整的生产制造系统解决方案：Laser Projection, Nesting and Cutting of fabrics, Resin Transfer Molding Simulation, Tape Laying Design and Programming, Fibre Placement Automation。

综上所述，CATIA V5 Composite Design (CPD) 复合材料设计为用户提供如下价值：

- (1) 紧密集成从概念设计到加工准备的全部流程，减少设计误差，提高设计、生产效率；
- (2) 与传统设计相比，减少 50% 的设计和更改时间；
- (3) 支持复杂的结构件设计；
- (4) 复合材料制造文档与设计数据紧密关联，使生产定义更方便、操作更简单；
- (5) 与专业分析软件的集成，使设计结果更接近于真实，加工变形控制更精确，确保在第一时间制造出正确的产品。