



本文提出了一套车用复合材料产品设计体系模型，将制造设计、信息模型、评价模型、创建知识库四个方面综合考虑，使复合材料产品设计时有可供参考的知识库，然后在制造的各个阶段都能够得到评价模型及时、全面地评价，并利用信息模型和反馈信息改进设计，最终达到能够生产出合格产品的目的。

并行工程下面向制造的车用复合材料产品设计体系模型

□ 广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院/李能文 陈东 耿富荣 李永祥 徐希宇

随着消费者对油耗降低及环保意识要求的日益增加，使得围绕如何降低汽车整备质量的研究课题越来越多。在汽车轻量化技术中，复合材料应用在汽车上的多少已经成为发达国家衡量汽车设计和制造水平的一个重要标志。复合材料为车身结构件的功能一体化以及发挥二次减重潜力提供了无限的空间，以宝马I3为例，其车身复合材料用量达到310kg（其中碳纤维

车身138kg，外饰件43kg，内饰件129kg），占车身整备质量的50%以上，相比传统钢制车身减重2/3，比铝合金还要轻30%，整备质量相比传统电动车减轻了约250~350kg。
传统金属零件的设计和制造是单向串行结构的开环系统，每一阶段依赖于前一阶段的完成，并制约后一阶段的进行，而复合材料产品更强调设计与制造的集成，更注重在设计阶段解决制造的问题。在

复合材料产品制造中，由于柔性增高，有可能在较大范围内适应工艺和性能要求，即：不同的工艺过程具有满足相应的设计方案和技术指标的能力。但不同的工艺过程适合于不同的树脂体系，所用设备的复杂度不同，生产成本高低也不同，因此在进行复合材料产品设计时不仅要考虑功能和性能要求，解决由于不合理的结构设计和工艺选择造成的制造缺陷和工艺可行性，而且

要考虑制造的经济性。

并行工程下面向制造的设计

汽车产品的早期设计决定了约70%的总成本 and 产品质量，后续修改设计的费用将成指数上升。基于复合材料的独特性和汽车产品更新换代加速，促使车用复合材料产品在设计阶段应尽早考虑产品结构生命周期内所有因素。在传统的产品设计方法中引入并行工程的理念，建立一种新的、适合车用复合材料产品的设计体系和开发模式，即以提高产品质量、降低成本和缩短开发周期为目标，以信息技术为基础，集成地、并行地设计产品及其相关的制造过程及支持过程的系统化工作模式，力图从概念设计就考虑到产品报废的整个生命周期中的所有因素。

作为产品开发的新模式，对并行工程研究的一个重要工具为面向制造的设计方法DFM (Design for Manufacture)，包括零件性能设计DFF (Design for Fabrication)、产品装配设计DFA (Design for Assembly)、面向成本的设计DFC (Design for Cost) 等。采用DFM方法是为了实现“设计为了制造”的目的，其根本在于产品设计和工艺规划集成在一个共同的活动，即在产品实现的各个阶段能够保持设计调整和完善的柔性。典型的DFM过程如图1所示，包括在共享信息的基础上，利用产品可制造性评价知识库，及时、全面地评价产品各阶段的设计，并利用反馈信息改进设计，最终得到满足要求的合格产品。

车用复合材料产品设计体系模型

并行工程下面向制造的设计是指产品设计需要满足产品制造的要求，具有良好的可制造性，使得产品以最低的成本、最短的时间、最高的质量制造出来。因此，要实现平行工程下面向制造的车用复合材料产品设计，应包括：根据产品信息输入调用特征库生成产品信息模型，导入到评价模块，利用相关的知识库为评价模块提供支持进行评价，其总体结构和功能示意如图2所示。

1. 车用复合材料产品信息模型

要进行制造可行性评价，需要构建能够识别的评价对象的信息模

型。除了设计信息外，还需要包括评价过程的不同阶段所需的、考虑到制造和工艺方面的信息，即要生成包括特征、功能、精度、材料以及工艺等在内的完整描述产品的全部信息。因此，以计算机图形学为基础的车身复合材料产品的几何建模系统已不能适应评价体系的需求。

针对车用复合材料产品，需要运用特征建模技术，来完整描述产品信息和完成信息模型的搭建，以解决体系不同评价模块对产品信息的描述与获取。由于产品信息内容较多，为了使问题简化，可以按产品特征信息、工艺信息、功能信息以及材料信息四大类，来实现包括产品的基本信息、形状和精度等特征信息以及在工艺设计阶段所需的成形方法和工艺参数等产品信息

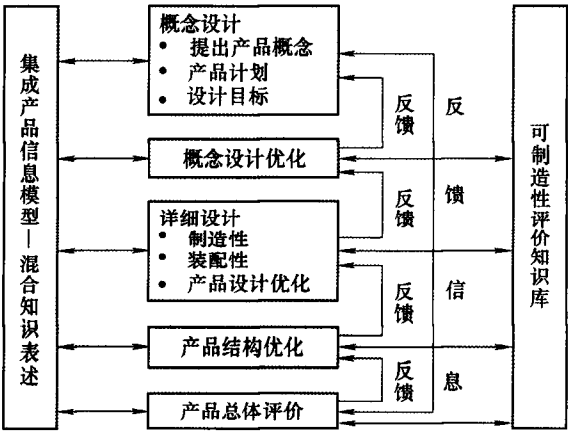


图1 面向制造的设计 (DFM) 示意图

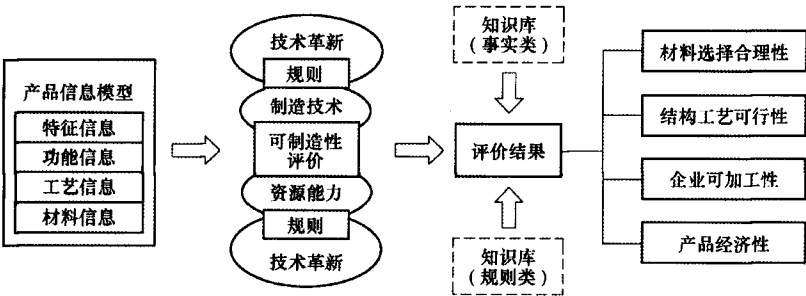


图2 并行工程下面向制造的车用复合材料产品设计体系总体结构和功能示意图

描述。

特征信息可分为总体特征信息和形状特征信息两类。其中总体特征信息是产品的基本信息，包括产品名称、质量、主要尺寸、基本厚度、生产周期、产量等。而形状特征信息是产品的具体几何信息，包括：特征类型（如：面板类、梁类、管类、球壳类等）、几何参数、孔精度等。工艺信息是在工艺设计阶段需要的信息。功能信息是用来描述产品功能相关的描述，包括功能要求和环境要求。材料信息是描述材料组成的信息，包括树脂基体、增强体、增强材料形式等。

2. 车用复合材料产品设计评价模型

按照核心可制造性概念 (Core Manufacturability Concepts, CMCs)，产品面向制造的设计中涉及到兼容性 (compatibility)、复杂性 (complexity)、设计质量 (quality)、制造效率 (efficiency) 和兼顾性 (coupling) 等几大类。在不同的环境下和不同的分析角度下，面向制造的设计有不同的含义。车用复合材料产品设计可制造性评价主要从企业资源能力约束和

产品制造技术约束两方面入手，其评价流程如图3所示，即首先根据材料选择合理性、结构工艺可行性、企业可加工性等定性指标，判断出所设计的产品能否在目前的制造环境中顺利加工出来，再根据经济性指标定量评价优化选择。

针对车用复合材料产品设计，定性评价模块可分为三部分，其中：材料选择合理性主要涉及产品功能要求和服役环境的材料性能需求以及材料选择原则，包括材料与功能或环境的匹配性、材料低成本高效率的选择原则等；结构工艺性主要考虑形状特征与成型方法的匹配以及常见的容易产生制造缺陷的特征的可制造性，包括最小内圆角半径、成型孔约束等；可加工性是企业制造资源本身的约束，包括产品尺寸匹配、生产周期及产量约束、成型设备和经济精度性约束等。

对于定量评价目前有较为成熟的多属性模糊数学的理论方法将经济性评价目标中的模糊信息量化，从生产成本和生产周期等评价指标特征值去考虑，采用不同的加权系数，通过总体评价函数来进行反映，这里就不一一详述。

3. 车用复合材料产品设计知识库的构建

知识库是将领域知识和专家经验有效地转化成能够工作和运行的形式，采用有效的数据结构，以便灵活地操作所存储的知识。要构建知识库，需要按照评价指标对所涉及的知识进行分类。因为复合材料的再设计和可行性评价的许多知识都属于经验知识，涉及的知识复杂且面广，难以用精确的数学模型表达，需要采用基于规则和面向对象相结合的方法来完成知识的表示。

知识按照其获取方式分为直接获取知识和间接获取知识，可以采用基于规则和面向对象相结合的方法对不同形式的知识进行表示。对于车用复合材料产品设计知识库而言，其知识库系统组织和获取过程如图4所示，其中，企业或供应商的实际制造资源情况、材料性能数据信息知识以及复合材料产品制备的时间成本量化指标等来自相关领域的事实类知识（如：书本、设备手册等）可以归纳为直接获取知识，根据现象和数据归纳出决策性的知识后存储在知识库中；而材料选择原则知识、结构工艺性分析知识等间接获取知识则需要知识工程

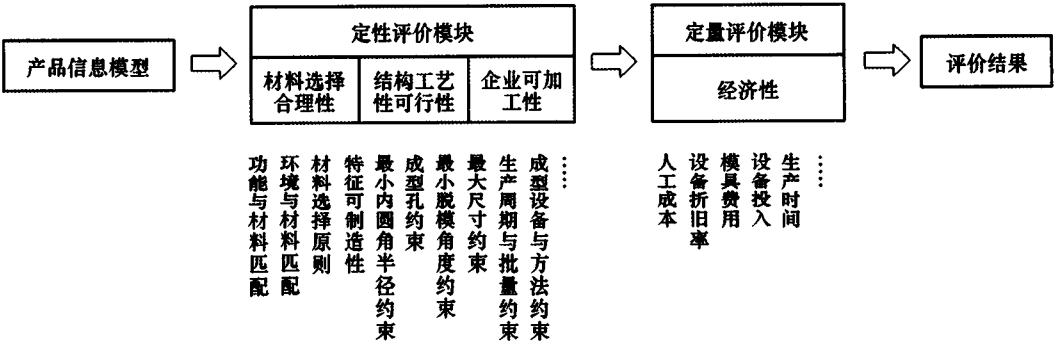


图3 车用复合材料产品设计体系评价流程

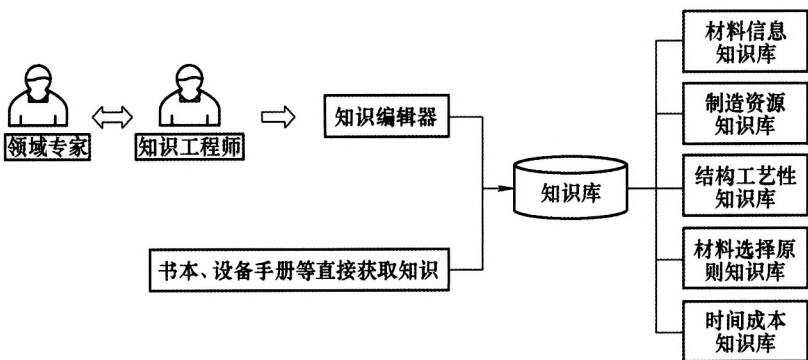


图4 车用复合材料产品设计体系知识库系统组织和获取过程

师与领域专家沟通交流后用知识编辑器等工具储存在知识库中。

结语

复合材料的一系列优点，使其在汽车领域的应用越来越广泛，然而由于复合材料产品的性能强烈依赖于成型工艺和结构设计，不合

理的设计会导致性能的不达标和制造困难而需要设计的返工，从而影响产品的开发周期和生产效率，因此，从可制造性的角度去评价设计方案的可行性是非常必要的。随着汽车工业4.0的来临，数字化不仅在研发链，而且在产品研发过程中发挥着重要作用。数字化产品建模、

成组技术、产品数据管理、计算机辅助装配规划（CAPP）、并行工艺设计（CEPP）等相关技术的日趋成熟，建立可评价的车用复合材料产品集成设计系统已成为可能。

AUTO1950



李能文，男，1985年生，博士，主要从事复合材料在车身轻量化领域应用方面的研究工作。

Guido Hanel 被任命为Kiekert AG董事会新任主席

全球汽车门锁系统技术先导者Kiekert AG（凯毅德股份有限公司，以下简称“凯毅德”）的监事会通过了调整凯毅德董事会结构和设置的决议，董事会成员将由三人减少为两人，此决议于2018年7月1日起生效。Guido Hanel博士被任命为凯毅德董事会新任主席，接替即将离开的Karl Krause。Guido Hanel曾在德国亚琛工业大学学习机械工程，并获得了机床和生产工程实验室（WZL）博士学位。Hanel自2006年以来一直在凯毅德担任高级管理职位，于2017年9月被任命为董事会成员，担任首席运营官

（COO）。在此之前，Hanel担任项目、计划和质量职能的执行副总裁；他在凯毅德的职业生涯起始于工程结构、制造和生产计划职能，

随后担任凯毅德最大工厂捷克驻地的总经理。Hanel管理职能方面的经验还来自于此前在德国伍伯塔尔达威力集团的总经理职位。



新任主席 Guido Hanel 博士



Karl Krause 博士