

知识工程在机械产品结构设计中的应用

Application of Knowledge Engineering in Mechanical Product Structure Design

中航工业西安航空动力控制科技有限公司 朱煜忻 王宇 丁航 王卫星

[摘要] 复杂机械产品的几何结构设计是产品研发过程中非常重要的一个环节。在对产品设计知识和方法进行总结的基础上,利用知识工程思想和信息技术的优势进行开发,形成一套科学的设计模式,以提高产品结构设计的质量和效率。以产品的最小功能单元为核心,对复杂机械系统的结构设计进行分析,形成显性化的设计知识。结合以特征建模为基础的全参数化驱动的信息技术进行设计模式的革新与改进,形成一个新的机械产品结构设计方法。

关键词: 机械产品 知识工程 几何结构 设计特征 MBD

[ABSTRACT] Geometrical structure design of complex mechanical product is a very important part of the product development process. On the basis of summarized design knowledge and methods, using knowledge engineering philosophy and the advantages of information technology, forming a set of scientific design patterns, design quality and efficiency of products can be improved dramatically. The smallest functional unit of the products as core of complex mechanical system is analyzed in this paper, based on feature modeling of full parametric drive information technology, a completely new design pattern can be innovated and improved, therefore form a new method for structure design of mechanical products.

Keywords: Mechanical product Knowledge engineering Geometrical structure Design feature MBD

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S2.085

信息技术在机械产品几何结构设计中的工程应用大致经历了3个阶段:第1阶段是利用二维制图软件进行工程图纸的绘制(甩图板阶段);第2阶段是三维设计模型(三维数字化样机)的建立和与模型关联的二维工程图的编制;第3个阶段就是目前以工程信息集成为特点的MBD技术的应用。

MBD技术的核心是充分利用三维特征模型的产品定义方式,去挖掘更加方便设计、工艺和制造人员理解的更加高效率的产品定义方法和模式,满足产品研发生

命周期中所有环节的需求。MBD技术的出现为设计方法的革新提供了技术实现途径。

机械产品的构成复杂,在详细设计阶段需要控制的参数和约束条件繁多。利用MBD技术、数据库技术、接口技术等信息技术的优势,结合复杂机械产品本身的技术特点,将设计参数、约束条件和规范准则进行整理归纳,将其中符合信息化技术特点的内容进行程序化和工具化处理,形成一个具有工程实用价值的机械产品几何结构设计方法^[1]。利用该方法能够让设计知识得到利用,设计规范和准则得到贯彻,建立起符合MBD技术要求,具有高度集成信息的设计模型。

1 设计模式的提出与需要进行的关键工作

基于知识工程的机械产品几何结构设计模式总体框架如图1所示。该设计模式是以设计知识和准则为核心内容,利用信息技术来实现的。整体框架分为4个层级,内容逐层递增。基本层完成产品几何构成的梳理,形成基本设计特征、控制参数、设计表单;检索层实现数字化环境下不同设计要素之间的调用与集成;控制层实现基于业务流程的设计知识与资源的整合,完成设计知识和设计准则的程序化、工具化;智能层基于业务场景完成机械产品几何结构设计过程中的知识推送,实现知识的重用和对设计准则的遵守。依据对不同层级的定义,完成系统开发必须进行以下关键工作。

(1)设计知识的提取和工具化。

针对不同的产品和零件以设计流程为基础进行设计知识的梳理,结合信息技术的特点对设计知识进行固化,形成有效的数字化定义。通过软件系统的二次开发,将这些设计知识同工具软件进行整合,从技术层面上保证设计人员在设计过程中通过对工具软件的使用,达到对设计知识的重用和对设计准则的遵守,同时形成符合要求的设计数据模型。

(2)基于设计模型的工程信息的集成。

完整的设计模型应该包括与产品有关的所有设计、工艺、制造以及管理等信息,既有反映其形状和结构的几何信息,又有反映其工程属性和制造要求的非几何信息。由于这些信息支撑着研发不同阶段对数据的需求,因此数据的集成和管理必须得到很好的解决。

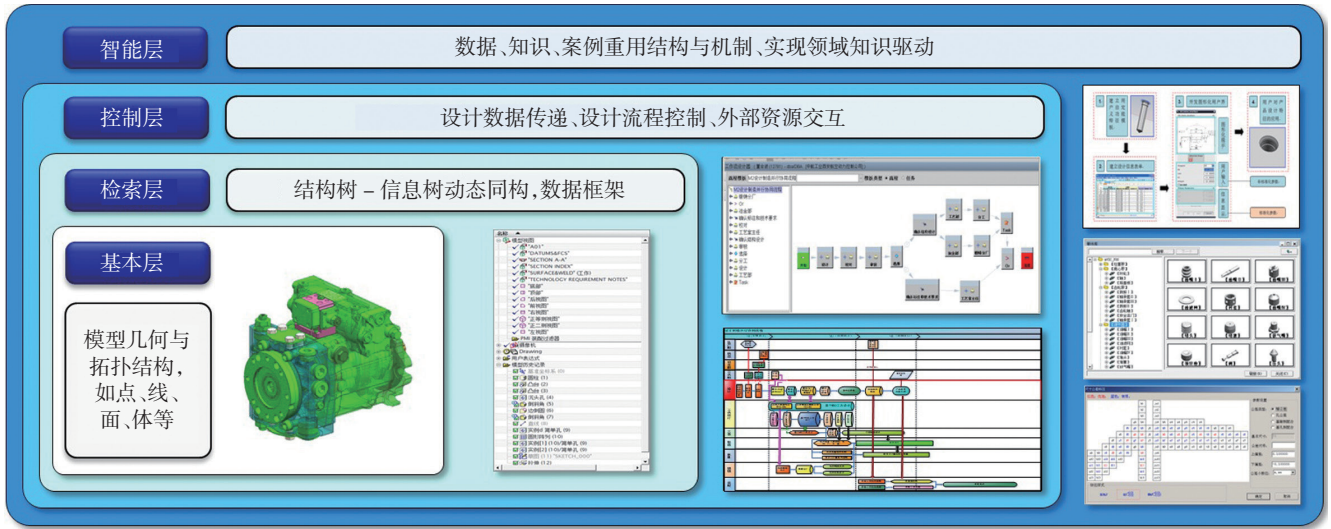


图1 基于知识工程的机械产品几何结构设计模式框架

Fig.1 Geometrical structure design mode framework of mechanical product based on knowledge engineering

(3) 程序的开发和功能的实现。

利用通用软件平台的开放接口,采用图形化界面完成对工具系统的开发。利用软件提供的大量操作函数来实现此前总结的设计知识和准则;利用接口程序和开发环境建立界面友好的菜单和对话框,使用户在设计过程中方便地对设计参数进行控制以及对数据库进行调用,确保符合工程设计的习惯。

2 基于知识工程的设计模式的开发实施过程

2.1 总体思路

根据对机械产品的设计过程和设计信息的分析,通过对复杂产品进行逐层的分解,利用信息技术的特点对分解完成的基本单元进行数字化定义,开发形成具有针对性的工具系统。具体的开发实施过程和技术总体路线如图2所示。

2.2 对产品进行分析归纳以形成符合信息技术要求的设计知识表达形式

机械产品的构成复杂,零件因实现的功能不同而导致几何形状各异,从几何相似性方面进行零件分类会出现一些局限,所以必须先将零件依据其实现的功能进行整体划分,以功能特征为基础,结合几何结构的规律进行归纳总结。

以泵类产品为例,如图3所示,将泵类产品逐层分解为基本功能单元,以零件实现的功能为基础,从功能特征的几何结构相似性上找出规律,总结归纳出机械产品零件几何结构设计的方法。

箱体类零件是其他机械零件或系统安装固定的基础,通过安装在其内部的功能组件完成设计的功能。因此将外形复杂的箱体类零件细分为基本几何结构功能特征,从功能特征的几何结构相似性上找出规律,建立

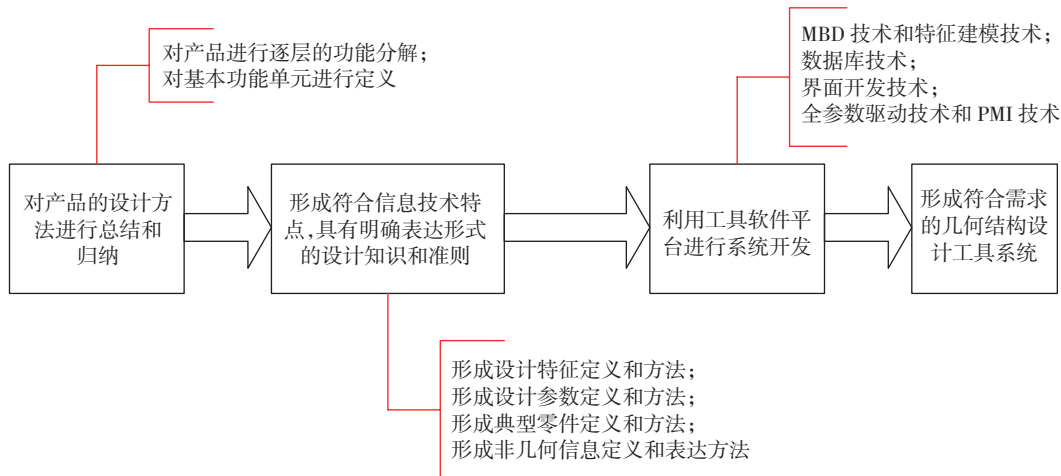


图2 机械产品几何结构设计方法开发技术路线

Fig.2 Technology route of geometrical structure design method development of mechanical product

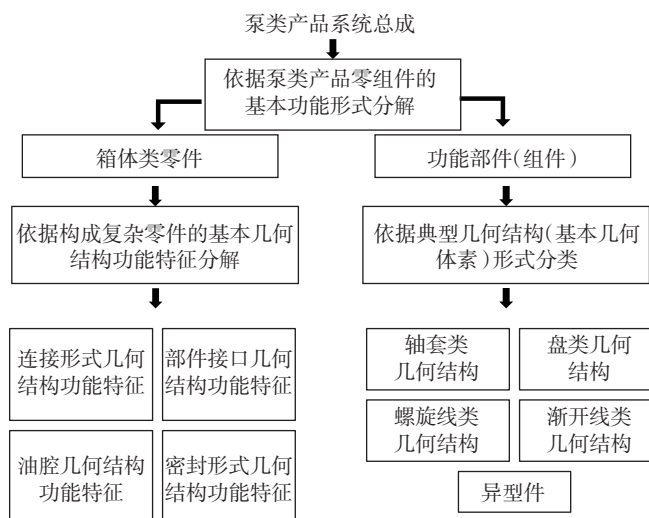


图3 复杂机械产品零部件分解方法实例
Fig.3 Decomposition method case of complex mechanical product parts

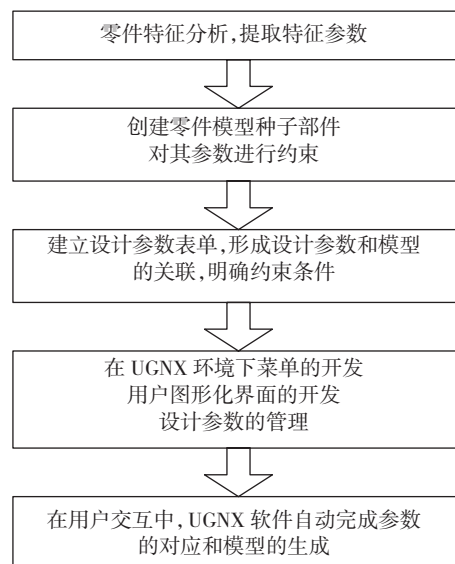


图4 软件开发过程
Fig.4 Software development process

对应箱体设计中常用几何结构功能特征,例如连接形式、功能部件接口、密封形式、油腔等。这些功能特征可再细分,例如连接形式功能特征继续细分为光孔螺柱、丝套螺纹、螺柱过孔、圆柱销、管接头、法兰等具体的几何结构设计特征。在对典型零件的设计知识和方法的总结中,重点反映和固化典型零件的基本几何体素特征。例如含有螺旋线、渐开线、轴套类、盘类等具有明确几何体素特征的零件。无法明确几何体素特征的零件,如凸轮、连接杆等零件按异型件对待。

2.3 利用信息技术进行机械产品几何结构设计系统的开发

目前信息技术在基础理论和工程应用方面已经非常成熟,许多商品化的软件平台如 UGNX、CATIA、Pro/Engineer 等已经广泛应用于航空航天领域。利用这些设计平台的接口,结合对产品设计知识的总结,通过软件开发可以对传统的设计方式进行改进和变革。

软件开发的基本思想是通过已经掌握的知识进行人工智能(知识库、知识规则和逻辑推理等)处理。将 MBD 技术引入到参数化设计中,结合特征建模的方法,弥补传统参数化设计中的不足,使产品设计变得更加灵活、高效和智能。

将产品的设计知识以公式、规则等形式,利用软件的功能嵌入到设计工具当中,用数学公式、函数关系等形式来表达设计的规则。产品的设计参数以设计表单的形式形成产品设计参数库,通过设计参数库来定义产品的几何特征参数^[2]。综上所述,就是将各种知识和方法集成应用到设计过程中,直接指导设计,以最快的速度完成产品的几何结构设计和信息的集成。

以 UGNX 系统为例说明开发过程(图 4)。

(1) 依据与功能特征相对应的几何拓扑结构建立用户自定义特征模板(种子部件),确定该功能特征的基本几何形式^[3]。

通过 UGNX 建立产品功能特征的全参数化几何结构模型,完成具体的产品结构特征设计的几何拓扑结构的描述,由于实现某一特定功能的产品功能特征的几何拓扑结构是有规律的,仅在具体的几何要素(尺寸、公差等)存在一定的差异。因此首先建立用户自定义特征模板,确定该功能特征的基本几何形状。

(2) 确定功能特征的设计参数,建立设计信息及参数表,完整表达几何信息和非几何信息,通过后台函数与用户自定义特征模板进行关联。

功能特征对应具体结构尺寸的大小、加工精度的高低是由一系列设计参数决定的,将这些设计参数完整地建立在一个表单中(表 1),通过后台函数与用户自定义特征进行关联。设计参数表单就是对同一类型的产品结构特征中不同规格尺寸和几何要素的数据的完整记录,通过这个设计参数表单记载了某个具体的产品设计特征的全部设计要求。

(3) 建立用户界面,通过用户对设计参数表单中数据项的选择以及对设计参数的输入,驱动已经建立好的用户自定义特征模板,生成与表单数据或设计参数相符的几何结构。

用户界面的设计可帮助用户使用产品结构特征,用户在图形界面的帮助下,完成选用设计特征、调用具体的设计参数、完成设计特征的定位。应用系统自动生成包含完整设计信息的产品设计特征,完成几何结构的设计。

图形化的用户界面是利用 UG/Open 的开发工具,在

表1 产品设计特征(以光孔螺栓为例)的设计参数表

螺纹规格	钻孔直径 D				钻孔深度 H_1 /mm			上螺桩深度 M_{Depth} /mm			安装孔直径 D_1		安装孔深度 H /mm	圆柱长度 L_{out} /mm	圆柱壁厚 δ /mm
	D /mm	上公差/mm	下公差/mm	粗糙度/ μm	H_1	上公差	下公差	M_{Depth}	上公差	下公差	D_1 /mm	粗糙度/ μm			
M5	4.52	0.08	0	3.2	12	0.05	0	11	0.05	0	6	12.5	0.8	17.6	4
M6	5.62	0.08	0	3.2	14	0.05	0	12	0.05	0	7	12.5	0.8	19.2	4
M8	7.64	0.1	0	3.2	16	0.05	0	14	0.05	0	9	12.5	1	22.1	4

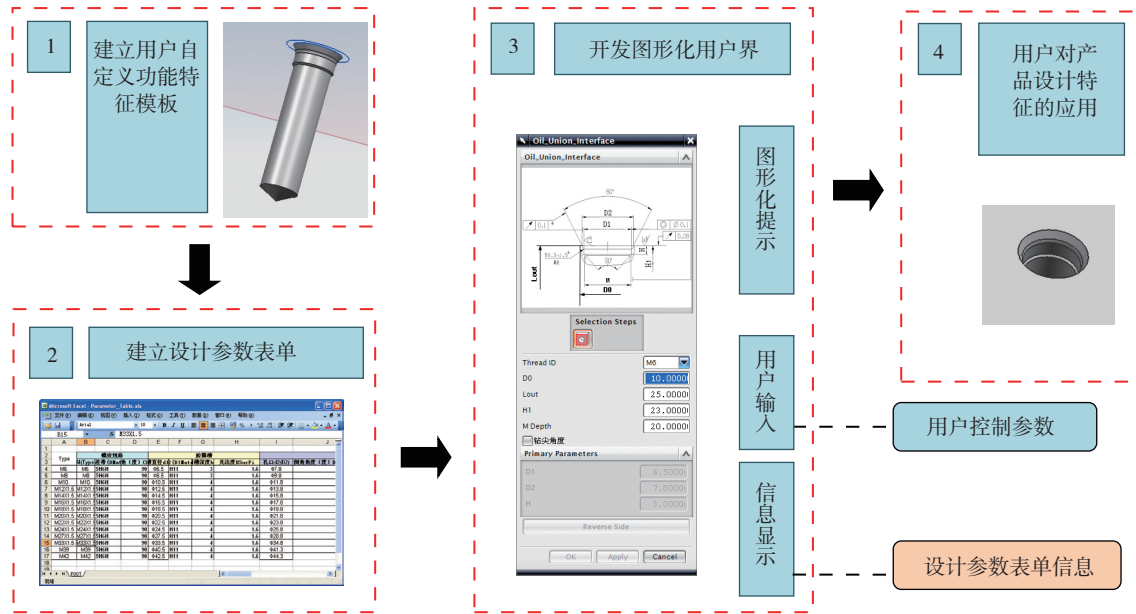


图5 UGNX环境下的开发与使用过程实例

Fig.5 Instance of development and use process in UGNX environment

VC++ 环境下,利用 UG/Open API 封装的 UF 函数,对前面所述的包括对话框、设计参数表单、用户自定义特征进行连接和调用,完成预定的功能^[4](图5)。

对于具有典型几何结构形式的零件,提取其关键参数和简化其几何结构特征,建立全参数驱动的基本几何模型^[5]。在界面的帮助下利用设计参数驱动设计模型的生成(图6)。

通过上述方法,可以将一个复杂的机械产品分解为具有规律,可以用信息技术手段描述和表达的基本功能单元,从而形成清晰明确的设计方法和准则,便于利用现有的商用软件平台进行开发,形成专用的软件工具。根据 MBD 技术的相关要求,对设计模型信息进行规范定义,综合应用参数化驱动技术、PMI 技术、特征建模技术、产品数据管理技术等,形成了具有完整信息和高度集成的设计数据文件。通过上述的二次开发,将设计知识和准则程序化、工具化,形成针对机械产品几何结构设计的专业工具系统。

这种设计模式的使用改变了传统机械产品工程设计的思维方式,简化了几何结构设计过程,使设计人员

在产品设计过程中专注功能的设计,与功能对应的具体几何结构的实现是通过设计知识和参数进行驱动,利用工具软件自动完成的。

在这种设计模式的支撑下,通过对这些具有明确表达形式的基本功能特征和不同类型典型零件的组合作用,可以高效、规范地完成一个复杂机械产品的几何结构设计工作。

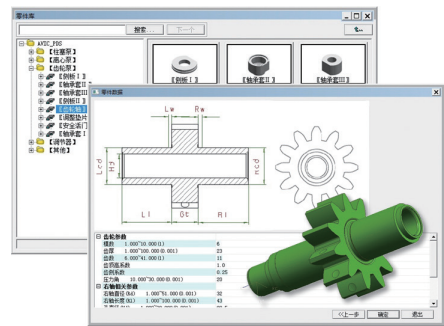


图6 UGNX环境下典型结构形式零件的设计参数控制界面
Fig.6 Design parameter control interface of typical structure part in UGNX environment

(下转第 91 页)

贴合好。综上所述,5组压辊试样中增塑剂含量最高、硬度最小的压辊更加适合于作为自动铺放系统中的橡胶压辊。

表1 不同增塑剂占比下 k 值和压辊变形值

增塑剂占比 /%	k 值 / ($\text{mm}^2 \cdot \text{N}^{-1}$)	增塑剂占比 /%	压辊变形值 /mm
15	0.9	15	2.17
20	1.1	20	3.12
25	1.3	25	3.92
30	1.5	30	4.44
35	1.6	35	4.95

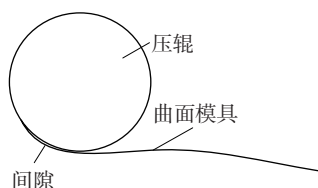


图4 压辊与模具表面贴合不紧密

Fig.4 Interval of roller and the mold surface

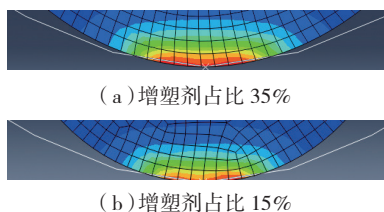


图5 不同硬度下压辊与曲面模具贴合情况

Fig.5 Joint condition of rubber of different hardness and curved surface mold

3 结论

(1) 本文通过调节原料配比,制备5组聚氨酯橡胶压辊试样,测量试样硬度,得出该聚氨酯橡胶硬度与增塑剂占比呈近似线性关系。

(2) 本文选用5组不同硬度的试样分别针对铺放平面模具及曲面模具展开研究,得出增塑剂占比35%的压辊试样更适用于实际铺放。

参考文献

- [1] 陈祥宝. 先进复合材料低成本技术. 北京: 化学工业出版社, 2004: 23-88.
- [2] 李勇, 肖军. 复合材料纤维铺放技术及其应用. 纤维复合材料, 2002, 37(1): 39-41.
- [3] CARROLL G G. Fiber placement process utilization within the worldwide aerospace industry. SAMPE Journal, 2000, 36(4): 45-50.
- [4] HULCHER A B, BANKS W I, PIPES R B, et al. Automated fiber placement of PEEK/IM7 composites with film 120 interleaf layers. 46th International SAMPE Symposium and Exhibition: A Materials and Processes Odyssey, 2001, 46: 1998-2012.
- [5] LUKASZEWICZ D H J A, POTTER K. Through-thickness

compression response of uncured prepreg during manufacture by automated layup. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B—Journal of Engineering Manufacture, 2012, 226: 193-202.

[6] LEE M. Heat transfer and consolidation modeling of composite fiber tow in fiber placement. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute & State University, 2004.

[7] 齐俊伟, 李安然, 黄志军, 等. 关于若干工艺参数对铺带质量影响的研究. 玻璃钢/复合材料, 2011(4): 46-50.

[8] 胡小立. 纤维丝铺放机构的设计研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.

[9] 郝同辉, 蒋涛, 邱丽. 低硬度动态硫化 EPDM/PP DPV 开发. 弹性体, 2005(4): 10-13.

[10] LI J F, SONG C, WANG X F, et al. Study on pressure control of automated fiber placement process. Montreal: The 19th International Conference on Composite Materials, 2013.

(责编 谷雨)

(上接第 88 页)

3 结论

(1) 设计模型的规范性提高。上述方法的使用能够使复杂零件的设计过程得到控制,模型的内在质量得到提升,使模型在今后的重用、编辑、转换等方面得到技术层面的保证。

(2) 信息集成度的提高。利用设计参数表单这种形式将产品的几何信息,包括加工精度信息等非几何信息进行了完整的集成,确保下游应用对数据的需求。

(3) 面向对象的设计得到体现。根据下游应用的具体要求,可以在系统的开发中将工艺要求、计量要求、模具设计的要求进行总结和体现。使得下游系统对设计模型的需求在模型的建立过程中得到满足,设计模型能够在整个业务运行中得到完整流畅的引用,确保了数据的唯一。

(4) 设计效率的提高。通过对整个产品结构设计的分析,发现该系统的使用能够提高设计效率约 38% (统计结果同功能特征以及典型零件数据库的完善程度有关)。通过该系统的使用可以大幅度降低建模的复杂程度,减少建模中出错的概率,从而缩短整个研制周期。

参考文献

- [1] 段坤华, 徐晓慧. 基于机械产品设计知识表示的研究. 机电产品开发与创新, 2012, 25(2): 16-18.
- [2] 王大斌, 朱文华, 魏丕光. 基于知识工程的参数化设计应用研究. 机械设计与制造, 2010(9): 42-44.
- [3] 周临震, 李青祝, 秦珂. 基于 UG NX 系统的二次开发. 镇江: 江苏大学出版社, 2012.
- [4] 汪锐. NX Open API 编程技术. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [5] 黄勇. UG/ Open 应用开发典型实例精解. 北京: 国防工业出版社, 2010.

(责编 李丹)