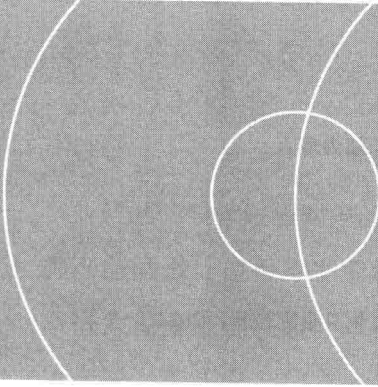


石 鑫◎著

产品设计过程的 本体表示与重用



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



产品设计过程的 本体表示与重用

石 鑫◎著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

同类产品的设计过程存在着极大的相似性,对设计过程的重用可以提高设计效率。本书采用基于本体的知识表示方法对设计过程进行表示和重用,首先,给出过程本体的定义特点,建立基于过程本体的设计过程二维视图表示框架;其次,建立基于过程本体的设计过程本体层次模型,分析相关知识,并抽取设计过程本体的类、关系及属性,构建设计过程本体库;再次,提出设计过程本体重用实施模式,由设计过程本体的构建、内部运作和设计过程的重用构成;最后,设计并实现设计过程重用原型系统,以飞机垂直尾翼蒙皮的设计过程为对象进行实践应用。

本书适合管理科学与工程、工业工程、知识管理、流程管理等相关专业的师生、研究人员和实践工作者使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

产品设计过程的本体表示与重用/石鑫著. —北京:电子工业出版社,2014.7

ISBN 978-7-121-22666-2

I. ①产… II. ①石… III. ①工业产品—产品设计 IV. ①TB472

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第141617号

策划编辑:许存权

责任编辑:许存权

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:720×1000 1/16 印张:8.5 字数:150千字

版 次:2014年7月第1版

印 次:2014年7月第1次印刷

定 价:55.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前言

Preface

产品的设计过程对产品的质量和成本起着重要的决定作用，同类产品的设计过程存在着极大的相似性，对设计过程的重用可以从很大程度上提高设计效率、降低设计成本和改进设计质量。本体作为一种知识表示方法，为解决设计过程的形式化问题提供了一种途径，能够从一定程度上支持设计过程的重用。本书以产品设计过程重用为目的，在全面阐述产品设计过程和过程本体表示方法的基础上，系统地介绍了采用基于本体的知识表示方法对设计过程进行表示和重用。结构上体现系统性，内容上体现技术性，力图改变以往以单一知识表示方法对设计过程的表示和重用。本书具有以下特点：

第一，针对设计结果的表示和重用，即产品或零部件的表示和重用的研究较多，而针对产品设计过程的表示和重用很少，本书侧重于对过程的表示，深入研究对设计过程进行系统且标准化的表示。

第二，本体知识表示方法已被一些研究机构和学者广泛应用于产品设计领域知识的表示，尽管本体的知识表示的能力较强，但在表示复杂且庞大的设计过程领域时很难描述过程性知识，存在一定

的局限性。本书提出一种过程本体的新概念，采用过程本体对设计过程知识进行表示，从而表示复杂层级关系的过程知识。

本书共7章，包括产品设计过程和知识表示方法的基本理论和方法，面向重用的过程本体表示方法，基于过程本体的设计过程本体层次模型，基于过程本体的设计过程本体库，设计过程本体的重用，原型系统设计及应用。

在本书的编写过程中，自始至终得到了同淑荣教授的悉心指导和帮助，她做了大量细致的工作，在此表示诚挚的感谢。

另外，本书在研究撰写和出版过程中得到了西安财经学院的支持和资助，在此表示诚挚的谢意。

本书适合管理科学与工程、工业工程、知识管理、流程管理等相关领域的师生、研究人员和实践工作者使用。

特别注明，本书为国家自然科学基金资助项目（项目名称：基于基因工程的产品设计过程重用，项目编号：70771091）、国防科技工业技术基础科研项目（项目编号：Z142008A001）。

限于编者的理论水平和实践经验，书中难免存在一些不足和疏漏之处，恳请读者批评指教，以期今后修正。

作者

1.1	研究背景 / 1
1.2	国内外研究现状 / 2
1.2.1	设计过程理论 / 2
1.2.2	设计重用 / 5
1.2.3	设计知识表示 / 10
1.2.4	本体知识表示 / 12
1.2.5	存在问题分析 / 16
1.3	研究意义和研究内容 / 17
1.3.1	研究意义 / 17
1.3.2	研究内容 / 18

2.1	设计过程 / 19
2.1.1	设计过程的概念 / 19
2.1.2	设计过程的特点 / 19
2.2	设计过程重用 / 20
2.2.1	设计过程重用的含义 / 20
2.2.2	设计过程重用对知识表示的要求 / 22
2.3	过程本体 / 25
2.3.1	本体的概念 / 25

- 2.3.2 本体的特点 / 26
- 2.3.3 过程本体的提出 / 28
- 2.3.4 过程本体的特点 / 31
- 2.3.5 基于过程本体的设计过程表示框架 / 34

2.4 本章小结 / 35

3.1 过程本体层次模型的建立框架和步骤 / 36

- 3.1.1 过程本体层次模型的建立框架 / 36
- 3.1.2 过程本体层次模型的建立步骤 / 37

3.2 设计过程本体层次模型的建立 / 38

- 3.2.1 设计过程的一般模型 / 38
- 3.2.2 设计过程本体基本层次模型 / 40
- 3.2.3 设计过程本体分级层次模型 / 43

3.3 与过程本体相关的设计过程知识 / 47

- 3.3.1 与过程本体相关的输入输出知识 / 47
- 3.3.2 与过程本体相关的组织知识 / 49
- 3.3.3 与过程本体相关的工具知识 / 50
- 3.3.4 与过程本体相关的活动知识 / 52

3.4 本章小结 / 54

4.1 设计过程本体库的构建框架和步骤 / 55

- 4.1.1 设计过程本体库的构建框架 / 55
- 4.1.2 设计过程本体库的构建步骤 / 56

4.2 设计过程本体库的构建 / 58

- 4.2.1 设计过程本体库的构成 / 58
- 4.2.2 设计过程本体库的类 / 59
- 4.2.3 设计过程本体库的关系 / 60
- 4.2.4 设计过程本体库的属性 / 61
- 4.2.5 设计过程本体库的类图 / 64

第3章

36

基于过程本体的设计过程本体层次模型

第4章

55

基于过程本体的设计过程本体库

4.3 飞机蒙皮实例应用 / 67

4.3.1 飞机蒙皮概述 / 67

4.3.2 飞机蒙皮设计过程一般模型 / 69

4.3.3 飞机蒙皮设计过程本体库构建 / 70

4.4 本章小结 / 73

74

第5章

设计过程本体的重用

5.1 设计过程本体重用的实施 / 74

5.1.1 设计过程本体重用的实施模式 / 74

5.1.2 设计过程本体重用的实施流程 / 76

5.1.3 设计过程本体重用的实施框架 / 77

5.2 异构本体重用的实施 / 81

5.2.1 异构本体的含义 / 81

5.2.2 本体映射的含义 / 83

5.2.3 基于相似度计算的本体映射 / 85

5.3 异构设计过程本体的重用 / 85

5.3.1 基于属性的相似度计算 / 85

5.3.2 基于属性相似度计算的设计过程本体映射 / 87

5.4 本章小结 / 91

94

第6章

原型系统设计与应用研究

6.1 设计过程重用原型系统设计 / 94

6.1.1 体系结构 / 94

6.1.2 功能模块 / 95

6.1.3 工作流程 / 97

6.1.4 开发环境 / 99

6.2 飞机垂直尾翼蒙皮设计过程本体 / 100

6.2.1 蒙皮设计过程 / 100

6.2.2 蒙皮设计过程本体模型 / 101

6.3 飞机垂直尾翼蒙皮设计过程重用系统 / 103

6.4 本章小结 / 108

7.1 结论 / 109

7.2 创新点 / 112

7.3 展望 / 112

1.1 研究背景

良好高效的设计过程是提高产品质量、降低产品成本、缩短产品开发周期的重要保证,对以往成功的设计过程进行重用,有利于提高新的设计过程的设计水平,有利于提升新的设计过程的设计质量,有利于提高新的设计过程的设计效率^{[1][2]}。由于可重用性对可重用对象的要求较高,要求可重用对象能被充分理解,方便存取,且具有通用功能,因此设计过程的形式化问题成为设计过程可重用化的关键,即对设计过程的表示一定程度上决定设计过程可重用范围的大小。

本体是一定领域内重要实体、属性及其相互关系形式化描述的基础,这种形式化描述通过统一领域内实体、属性和关系,能够满足一定领域范围的功能共性,提高了可重用的范围^{[3][4][5]},可见,基于本体的知识表示方法在知识表示方面有很大潜力,将对知识的共享和重用起到一定的支持作用。

采用本体对设计过程进行表示,表现出较强的描述能力,一定程度上支持了对设计过程的重用。但是,由于设计过程大多用活动和过程来描述,而活动和过程是密切相关的,过程可以展开为一系列活动,并强调活动间的关系,每一项活动又都对对应着一个实现的过程,而本体表示方法很难用形式化的方法来区分过程与活动逐层展开的相互关系,容易导致知识表示和知识理解上的异议。可见,本体在表示复杂且庞大的设计过程时,很难描述和表示设计过程中

各个活动之间错综复杂的关系以及信息之间传递的关系。

鉴于此,文中以产品设计过程重用为目的,在采用本体知识表示方法的基础上,提出过程本体的概念,建立设计过程本体层次模型,对设计过程具有层次性的结构描述和表示,并通过统一设计过程领域内的概念、属性以及关系,构建基于过程本体的设计过程本体库,进而对设计过程进行全面、系统且标准化的表示,最终满足设计过程重用对设计过程可形式化和功能共性的要求,将对设计过程的重用和共享起到一定的支持作用。

1.2 国内外研究现状

文中的研究涉及设计过程理论、设计重用的理论与方法、设计知识表示的理论与应用、本体知识表示的理论与应用四个方面,相关的国内外研究现状如下。

1.2.1 设计过程理论

产品设计过程是一个复杂过程,对这样一个过程实施管理,必须对产品设计过程的定义及阶段界定进行研究。

(1) 产品设计过程定义的研究

关于过程定义的研究很多,Webster^[6]辞典中认为,过程是“制造某种事物的经营系统的一系列动作、变化或功能,直至最后结束或产生结果”。IEEE定义^[7]过程是“为一个指定目标而进行的一系列步骤”。

有关产品开发过程的定义也较多,如Feiler和Humphrey^[8]认为“产品开发过程是为达到产品制造或改进目标而进行的一系列有序步骤”,强调产品开发过程是一系列既定步骤,过程元素是过程组件,同时,过程元素也是外在的、没有可视化子结构的原子级活动,是

基本过程的抽象化。

Osterweil^[9]将产品开发过程上升为一种方法、路线，定义产品开发过程为“创造一个产品的系统化方法”。

Kusiak^[10]对产品开发过程的定义是“产品开发过程是对某产品从（形成）概念到生产这一特定工作流的一种既定方法，它要求考虑整个产品生命周期中有关产品和生产的信息”。

Paulk等^[11]则定义产品开发过程为“人们用来开发和维护产品的一些活动、方法、实践和信息转换”，该定义将方法、实践等列入了过程内容之中。

（2）产品设计过程阶段界定的研究

不同研究人员提出了各种不同的产品设计阶段划分方式，比较经典的如下：

德国的Pahl & Beitz提出的工程设计模型包括四个主要阶段：任务说明、概念设计、具体化设计和详细设计，各个阶段之间存在反馈^[12]。

英国的French提出的设计过程模型与Pahl&Beize的模型类似，也包括四个阶段，分别是问题分析阶段、概念设计阶段、模式具体化阶段和详细设计阶段^{[13][14][15]}。其中，从问题分析阶段到模式具体化阶段的各个阶段中存在反馈。

Asimow^[16]提出的设计过程模型分为七个阶段，分别是：可行性研究、初步设计、详细设计、生产计划、分配计划、消费计划和报废计划。不同于前两个模型的是，Asimow模型反映了产品生命周期。

Ulrich & Eppinger^[17]按照产品特点，将产品开发过程分为三种，

分别是：一般产品开发过程、螺旋式产品开发过程和复杂系统开发过程。其中，螺旋式产品开发过程模型针对软件等特殊产品。

日本的斋藤优^[18]把产品开发过程分为设想、R&D、实用化和商品化四个阶段。

我国设计过程研究起步较晚，但随着工业经济的快速发展，设计过程研究在学术界和工业界都得到了高度关注，形成了一些典型设计过程模型，主要如下：

戚昌滋^[19]提出机械产品开发的一般进程模式，包括可行性研究阶段、初步设计阶段、详细设计阶段、改进设计阶段和生产阶段。

傅家骥^[20]提出的侧重于产品创新的开发过程的三阶段模型，包括发现/决策、准备/开发和实现阶段。

在我国企业实践中，新产品开发一般被划分为7个阶段：调查研究；新产品开发的构思；新产品开发构思的精选和决策；编制计划任务书、设计任务书或设计建议书；新产品设计；新产品的试制和鉴定；新产品的市场开发。考虑到产品全生命周期，产品开发过程可分为6个阶段：可行性研究、产品设计、产品制造、销售、使用和报废及回收。

可以看出，欧美的几种典型设计阶段划分均将工艺设计的主要工作内容包含进详细设计阶段，国内通常将工艺设计作为产品设计与生产制造之间的中间环节。这些典型的设计过程模型尽管在划分设计过程阶段和确定各阶段所包含设计任务上有所不同，但其实质都是基于设计过程分解的观点对设计过程进行阶段性划分，并对每个阶段所包含的设计活动以及每个阶段的输入和输出进行说明。可见，它们都提出了从产品全生命周期的角度认识产品设计过程，为设计过程的表示和重用奠定了基础。

1.2.2 设计重用

设计重用可有效缩短产品的设计开发周期,提高设计质量,从而实现快速响应,有关设计重用的研究在国内外得到广泛的重视,并取得了丰硕的成果。

国内外关于设计重用的研究是在二十世纪五六十年代,随着零件分类系统的建立而发展起来的,零件分类系统的建立鼓励设计人员更多地重用已有的产品设计^[21]。在1998年6月,英国Brunel大学召开了工程设计的国际会议,设计重用成为当时的大会主题,标志着设计重用研究达到了一个阶段性的高潮。

通过对设计重用进行研究,将设计重用理论与方法的研究归纳为以下几个方面。

(1) 设计重用理论研究

国外学术界和工业界都积极开展了关于设计重用理论方面的研究,主要有:英国Brunel大学的Sivaloganathan和Shahin总结了1998年工程设计会议的成果,将设计重用研究分为7类,并提出了为使设计重用成为设计者的标准工具还需进行的研究^[21],Shahin和Andrews等研究了设计重用模型^[22];英国Strathclyde大学CAD中心的研究人员研究了概念设计重用并提出了概念设计重用的系统模型;剑桥大学工程设计中心(Engineering Design Center, EDC)的学者通过分析不同领域的3300种产品零部件设计实例,研究了零部件重用在工程实践中的现状以及重用的意义^[23];世界著名机械设计自动化软件供应商SDRC研究了关于设计知识的重用,以及在此基础上的产品开发系统;Stanford大学人工智能实验室和美国国家标准技术研究所(National Institute of Standards and Technology, NIST),在其设计仓库项目中将设计知识重用作为关键技术进行了研究^[24]。在设计重用理

论研究方面还包括Bushy和Deasley等认为过度重用会限制设计的创新性^[21]，Bushy认为缺乏重用的原因，包括环境、组织、动机、认知和工程师等方面的原因^[21]。

（2）设计重用工具和方法研究

在设计重用的工具和方法方面，Shahin等描述了一种通用、柔性化的参数化或变动设计的方法，该方法是建立在CSG实体建模技术基础之上的。此后，又提出了更加通用的方法，称为参数化CSG^[25]。Andrew和Sivaloganathan采用“功能树”作为存储概念设计和方案设计的基础^[26]。Su以专家系统和人工神经网络技术，作为存储和检索设计知识的方法^[27]。Burgess等开发了标准件的设计数据库，并且列举了系统的基本特征^[28]。

由Gruber提出的基于本体的重用方法也被广泛应用，本体（Ontology）概念起源于哲学领域，在哲学中的定义为“对世界上客观存在物的系统描述，即存在论”，是客观存在的一个系统的解释或说明，关心的是客观现实的抽象本质。近年来，本体在计算机科学领域和人工智能领域得到了广泛而深入的应用，Gruber认为“本体是概念化的明确的规范说明”^[29]。本体是客观世界现象的抽象模型，本体精确定义了概念及它们之间的联系并给出了精确的数学描述，且本体具有共享性，因此基于本体的系统具有可重用性，正是基于此，提出了以本体为基础的设计知识重用理论^{[30][31]}。基于本体的设计知识重用包括以下几个步骤：构建领域本体概念模型、本体加工与语义标注、构建基于本体的设计知识库、基于本体的知识检索和知识推送^{[32][33]}。

（3）设计重用应用系统研究

在设计重用应用系统研究方面的建立，是基于对过去设计知识

的规范性建模，其中设计模型的建立是设计重用系统建立的关键，设计模型既包括设计结果信息，是客户需求的物理实现和体现；又包括设计过程信息，是将抽象的需求转化为物理的可实现的系统定义。围绕设计模型的建立，产生了以下几种比较重要的设计重用系统：设计维护系统；企业级的设计过程模型；Shahin、Andrews和Sivaloganathan建立的设计重用系统；设计范围模型；设计原理模型；基于实例的进化模型。

对设计重用的应用研究还包括：Alberto Jose^[34]对基于产品族的模块化设计进行了详细的综述；Culley^[35]对基于电子分类的零部件分类的标准组件进行了重用研究；Lilia^[36]^[37]、George^[38]^[39]等对设计重用系统的研究。

（4）设计过程重用研究

在产品设计过程重用方面，Ishino等^[40]学者研究了设计步骤知识的获取和评价；Zdrahal^[41]、Luh^[42]分别对设计历史的内容及其建模进行了研究。

Chen等详细研究了设计过程，即设计者在设计过程中想要什么，以及他们怎样使用过去的信息^[43]。目前CAD工具对支持设计过程重用的作用是非常有限的，要开发支持设计过程重用的计算机环境，必须研究产品过程信息资源的计算机表示。Duffy等提出了设计重用的过程模型^[44]，该模型包括六个知识部件和三个主要过程。Sivaloganathan认为设计过程重用应在产品开发、设计过程重用的认知、设计过程重用建模以及设计过程重用系统等方面进行深入研究^[45]。Stanford大学KSL的研究则集中在过程知识重用的基础理论方面^[46-47]；Markus等人详细分析了过程知识重用的各种情形，包括重用的各种目的、影响重用效果的主要因素，并对如何成功地重用过

程性知识提出了系统性的建议^[48]。Fabrice等人研究了面向产品平台的制造过程知识的重用问题,并以汽车空调装配线设计为例给出了具体的应用案例^[49]。

(5) 国内相关研究

国内关于设计重用方面的研究主要集中于几所大学的研究机构,分别是清华大学、浙江大学、上海交通大学、同济大学和重庆大学等。

清华大学CIMS工程技术研究中心以熊光楞教授为核心的学术团队,分析了协同设计中产品模型信息传递技术存在的问题,提出了基于产品特征信息重用的设计仿真协同技术^[51]。熊光楞教授还认为设计历史包含的内容很丰富,应捕获、记录产品设计过程中的主要过程信息,提出了综合考虑产品数据、产品设计过程中的理性信息的产品历史建模方法,既可以为产品设计过程提供与产品有关的信息,又能为设计人员提供设计决策的理性信息,有利于保证产品模型的一致性,有利于设计重用^[52]。

上海交通大学模具CAD国家工程研究中心以阮雪榆院士为核心的学术团队,研究了机械产品的重用策略,给出了机械产品设计重用层次与设计重用空间的概念,总结概括了设计重用的使能技术^[53];概括并研究了设计重用中的若干重要问题,诸如设计重用的概念、过程模型、重用层次和类型、关键技术及支持重用的设计历史建模等,为设计重用研究提供了一致的理论体系框架^[54];研究了基于重用的新产品开发过程模型,提出基于产品平台重用和关键部件重用的新产品开发方法、给出不同企业新产品开发的重用策略^[55];提出了基于CBR的同构模具CAD软件工艺设计模型,并详细分析了模型中CBR推理机、交互工艺生成模块、综合数据库、工艺知识库、