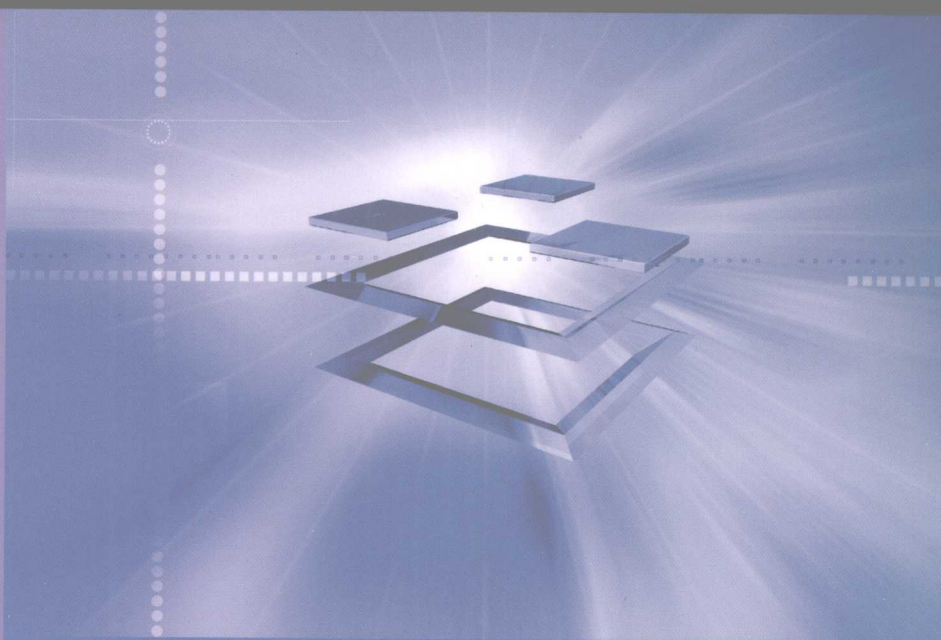




唐敦兵 钱晓明 刘建刚 著

基于设计结构矩阵 DSM的产品设计与开发



科学出版社

www.sciencep.com

基于设计结构矩阵 DSM 的 产品设计与开发

唐敦兵 钱晓明 刘建刚 著

国家自然科学基金资助(50505017,50775111)

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了设计结构矩阵在产品设计开发及过程建模管理中的具体应用及相应的方法和关键技术。本书主要内容包括:基于设计结构矩阵的模块化产品设计,基于设计结构矩阵与公理化设计集成的产品创新设计,基于设计结构矩阵的计算机辅助工程变更管理,基于设计结构矩阵的过程模型形成及任务分配研究,基于设计结构矩阵的并行产品开发过程重构建模,基于设计结构矩阵的产品并行开发过程迭代分析,以及基于设计结构矩阵的产品并行开发过程仿真和优化。

本书可以作为机械类、管理类、计算机应用类本科生和研究生以及MBA学生的辅助教材,也可以作为工程技术人员与企业项目管理人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

基于设计结构矩阵 DSM 的产品设计与开发/唐敦兵,钱晓明,刘建刚著. —北京:科学出版社,2009
ISBN 978-7-03-022829-1

I. 基… II. ①唐…②钱…③刘… III. ①矩阵法分析-应用-产品-设计
②矩阵法分析-应用-产品-技术开发 IV. TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 130894 号

责任编辑:牛宇锋 / 责任校对:张 琪
责任印制:赵 博 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 1 月第一次印刷 印张:11

印数:1—3 000 字数:211 000

定价:36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新蕾〉)

前 言

为了适应不断变化的市场环境的挑战,人们不断寻求新的产品设计开发及管理手段。特别是随着市场竞争的日益激烈,产品开发周期越来越短,对产品设计开发能力的要求越来越高。产品设计开发能力是企业获得发展的根源所在,原因在于产品开发过程(包括概念设计、初步设计和详细设计)花费的成本占总成本的18%,而对产品价值的影响程度却达到了80%~90%。从这个意义看,企业的竞争是产品设计开发模式、方法和过程的竞争。因此,有关产品设计开发及其过程的系统化方法和工具一直是工程设计领域受关注的重点对象。

产品设计开发尽管是一个工程问题,但其中却包含着丰富的科学内涵,德国学者在20世纪70年代就提出“设计就是科学”。世界各国许多学者在不断地探讨各种支持产品设计开发及过程建模的相关方法和工具,设计结构矩阵(design structure matrix, DSM)正是其中之一。设计结构矩阵是通过数学矩阵的形式描述某一类型设计因素(如设计参数、设计活动等)相互间依赖、制约等复杂关系。通过设计结构矩阵能较为完整地反映与预见产品设计及其过程中的潜在问题,为产品设计中的工程更改、产品结构优化(如产品设计分解与模块化)及过程重组等提供规划、分析和实施的基础。

自Steward博士提出设计结构矩阵的概念以来,在国内外的学术界和工业领域,DSM已得到了较为广泛的研究和应用。国外有少数的书籍在介绍“产品设计与开发”时提到了设计结构矩阵,国内也只有少数期刊发表过利用设计结构矩阵作应用性研究的文章,目前国内还没有一本能全面地介绍设计结构矩阵的专著。

本书总结了作者多年来在设计结构矩阵方面的研究成果,较为系统地介绍了设计结构矩阵及其在产品的设计、开发及过程建模与管理中的应用,内容较为全面,理论与实例相结合,希望能使读者充分理解设计结构矩阵及其在工程上的应用。本书共分为七章,前三章主要介绍设计结构矩阵在工程设计方面的应用,后四章主要介绍设计结构矩阵在产品开发过程建模及管理方面的应用。本书的主要学术特色如下:

(1) 探讨了基于设计结构矩阵进行产品结构聚类的方法,为产品模块化设计提供了实质性的指导方法。

(2) 提出了一种基于设计结构矩阵和公理化设计集成的设计思想,展开一种实用的产品创新设计方法研究,为产品创新设计提供一种有效的理论指导和技术支持。

(3) 工程变更是产品开发中的非常频繁的现象,本书提出了一种基于设计结构矩阵的工程变更影响分析模型和相关算法,为工程变更的有效管理提供了技术基础。

(4) 提出了由产品结构 DSM 模型向开发过程模型的映射方法,同时,运用遗传算法原理,实现了过程模型中的并行开发任务的智能化分配。

(5) 研究了基于设计结构矩阵的并行产品开发过程重构算法,为有效预测和管理产品开发过程中的返工现象并尽可能降低迭代出现的概率提供了理论依据。

(6) 在产品开发过程中,会出现多个项目同时进行的情形,怎样进行多项目开发过程的优化规划,使得企业资源等最优程度地得到利用? 基于设计结构矩阵并运用遗传算法的基本原理开发了一种智能化多项目规划算法。

(7) 以设计结构矩阵为仿真工具,对产品开发过程中的并行迭代现象进行了详细分析,实现了并行产品开发过程模型的仿真算法并分析了仿真结果。

希望本书的出版能对提升企业的项目管理、过程规划及产品创新开发能力具有较好的参考价值。同时,还希望对培养产品设计开发领域的本科生和研究生有所帮助。最后,感谢国家自然科学基金对本书研究的支持。

由于作者学术水平有限,书中难免存在不足之处,恳请同行及读者批评指正。

唐敦兵

2008年9月

目 录

前言

第 1 章 基于 DSM 的模块化产品设计	1
1.1 设计结构矩阵 DSM 简介	1
1.2 产品结构聚类划分的意义	3
1.3 产品结构 DSM 模型的建模方法	4
1.3.1 基于零件的 DSM 概述	4
1.3.2 基于零件的 DSM 产品结构建模	5
1.4 数值化产品结构 DSM 模型的聚类划分	8
1.4.1 行列元素的分类	8
1.4.2 产品结构 DSM 模型聚类划分	8
1.5 基于遗传算法的产品结构 DSM 模型智能聚类划分	14
1.5.1 遗传算法概述	14
1.5.2 产品结构 DSM 模型聚类划分遗传算法实现步骤	15
1.5.3 产品结构 DSM 模型的二维编码及种群初始化	15
1.5.4 适应度函数和选择概率的算法建模	17
1.5.5 交叉和变异方法及算法运行参数	20
1.5.6 实例验证	21
1.6 本章小结	24
参考文献	25
第 2 章 基于 DSM 与公理化设计集成的产品创新设计	27
2.1 引言	27
2.2 公理化设计与设计结构矩阵的分析	27
2.3 公理化设计与设计结构矩阵集成的内在机制	30
2.3.1 DM 与 DSM 同步演化的基本框架	31
2.3.2 基本要素的数学描述	32
2.3.3 公理化设计矩阵和设计结构矩阵同步演化的形式化表达	33
2.3.4 公理化设计矩阵转化为设计结构矩阵的算法研究	37

2.4 实例验证	38
2.5 本章小结	40
参考文献	41
第3章 基于 DSM 的计算机辅助工程变更管理	43
3.1 引言	43
3.2 工程变更概述	44
3.2.1 工程变更的定义及原因	44
3.2.2 工程变更传播	45
3.2.3 工程变更研究的必要性	47
3.2.4 工程变更管理研究现状	49
3.3 基于 DSM 的变更影响分析模型	51
3.3.1 产品开发周期和变更评价标准	52
3.3.2 变更影响分析对象模型和流程	53
3.3.3 变更影响分析方法	56
3.4 基于 DSM 的工程变更影响分析实例	60
3.5 基于 DSM 的工程变更传播分析	65
3.5.1 变更传播初步预测	66
3.5.2 基于 DSM 与图论的变更传播预测方法	67
3.6 工程变更传播预测实例	70
3.7 基于 DSM 的工程变更管理系统开发	73
3.7.1 系统结构设计	73
3.7.2 系统数据库设计	75
3.7.3 系统界面介绍	77
3.8 本章小结	80
参考文献	85
第4章 基于 DSM 的过程模型形成及任务分配研究	87
4.1 引言	87
4.2 产品结构 DSM 模型向开发过程的映射研究	88
4.2.1 DSM 模型及过程 BOM 模型的形式化描述	88
4.2.2 产品结构 DSM 模型向过程 BOM 模型的映射	91
4.2.3 过程 BOM 模型向过程 DSM 模型的映射	95

4.3 并行开发过程中基于 DSM 的任务分配研究	98
4.3.1 基本定义	99
4.3.2 基于遗传算法的并行开发任务智能分配解决方案	102
4.4 本章小结	105
参考文献	106
第 5 章 基于 DSM 的并行产品开发过程重构建模	108
5.1 引言	108
5.2 设计活动间关系的分类	109
5.3 基于 DSM 的并行设计过程参考模型	111
5.4 耦合活动集识别算法	112
5.5 并行设计过程结构化模型的建立	115
5.6 并行设计过程的收敛性研究	117
5.6.1 有关信息进化的基本概念	119
5.6.2 基于信息进化矩阵的并行设计收敛性分析	121
5.6.3 实例研究	123
5.7 本章小结	124
参考文献	124
第 6 章 基于 DSM 的产品并行开发过程迭代分析	125
6.1 引言	125
6.2 产品开发过程中的迭代问题	125
6.3 产品开发过程中的串行迭代	127
6.4 产品开发过程中的并行迭代	129
6.4.1 并行迭代的几个重要概念	131
6.4.2 模糊层次分析法的几个概念	131
6.4.3 一致性判别定理	132
6.4.4 基于模糊一致矩阵的 DSM 数字化算法	134
6.4.5 应用实例	136
6.5 并行迭代中的工作量与时间计算	137
6.5.1 并行迭代中的工作量	137
6.5.2 并行迭代中的工作时间计算	140
6.5.3 并行迭代中的并行度	141

6.6 本章小结	142
参考文献	143
第7章 基于 DSM 的产品并行开发过程仿真和优化	145
7.1 引言	145
7.2 产品并行开发过程仿真	145
7.3 过程仿真的执行策略和模型	146
7.3.1 过程仿真的执行策略	146
7.3.2 过程仿真的多项目集合模型	147
7.3.3 过程仿真的时间模型	148
7.3.4 过程仿真的资源模型	148
7.3.5 过程仿真的队列模型	149
7.3.6 过程仿真的任务延期处理模型	150
7.4 并行开发过程的仿真步骤和算法	151
7.4.1 并行开发过程的仿真步骤	151
7.4.2 并行开发过程的仿真算法	152
7.5 应用示例和结果分析	154
7.5.1 应用示例	154
7.5.2 结果分析	157
7.6 基于资源约束的多项目调度优化	161
7.6.1 问题描述和调度模型	161
7.6.2 启发式调度规则	162
7.6.3 基于遗传算法的任务调度优化算法设计	163
7.6.4 应用示例	165
7.7 本章小结	167
参考文献	167

第 1 章 基于 DSM 的模块化产品设计

1.1 设计结构矩阵 DSM 简介

设计结构矩阵(design structure matrix, DSM)最初是由美国学者 Steward 博士提出的,用于对产品开发过程进行规划和分析的矩阵工具^[1]。最初的 DSM 是由有向图发展而来的,一个 DSM 是由排列顺序相同的行列元素组成的一个方阵。在 Steward 定义的 DSM 中,用矩阵的行列元素表示过程中的活动,用矩阵的非对角线单元格来表示对应的行列元素之间的联系,用矩阵单元相对于对角线的上下位置来描述对应行列元素之间联系的方向,在对角线下方表示关系/信息的发布,是正向的,在对角线的上方表示关系/信息的反馈(图 1.1)。20 世纪 90 年代初期, Eppinger 等进一步发展了 Steward 的 DSM,提出了对 DSM 模型进行技术结构的运算,不仅可以将任务重新排序,而且能将任务简化或分解成更小的任务,避免了过程的瓶颈问题^[2,3]。从形式上而言,设计结构矩阵一般可分为布尔型 DSM 和数字化 DSM。

布尔型 DSM(又称为二值 DSM),是指在矩阵的单元格中以二值的形式进行标示(如“×”和空白,或者“0”和“1”)。图 1.1 为布尔型 DSM 简单示意图,该图示意的 DSM 模型共有六个行列元素:A、B、C、D、E、F。任意一个行元素和任意一个列元素对应的单元格中的标示符表示着这两个元素之间的有向联系:如果位于对角线下方的单元格被标示符“×”填充,则表示这两个元素之间有正向联系(如图中 A→B 和 B→D 等);如果该单元格中为空白,则表示这两个元素没有正向联系;如果位于对角线上方的单元格被标识符“×”填充,则表示这两个元素之间有反向联系(如图中 B←C 和 D←E 等);如果该单元格中为空白,则表示这两个元素之间没有反向联系;对角线单元没有意义,用黑块标识。

	A	B	C	D	E	F
A		×		×		
B	×		×			×
C						
D		×			×	
E						
F	×		×			

图 1.1 布尔型 DSM 简单示意图

20 世纪 90 年代中后期, Smith、Eppinger 等提出了数字化的设计结构矩阵(numeric design structure matrix, NDSM)^[4~7],如图 1.2 所示,即运用具体的数值

	A	B	C	D	E	F
A		2				
B	2					
C				4	1	
D			3			1
E			2	3		1
F				1	4	

图 1.2 数字化 DSM 简单示意图

来定量地描述 DMS 模型中行列元素之间联系的强弱。NDSM 是在布尔型 DSM 基础上的数字化。与布尔型矩阵相比较, NDSM 能够更加详细和具体地表达行列元素之间联系的强弱, 使得 DSM 模型能够更加真实地反映实际目标系统, 并且有利于对 DSM 模型进行进一步的运算和分析。20 世纪 90 年代后期, Yassine、Eppinger 等以 NDSM 为基础构造出工作转移矩阵(work transformation matrix, WTM), 并把它运用于过程模型的任务规划、迭代等问题的研究中^[8~13]。近年来 Yassine、Browning 等又

提出 Multi-DSM 的概念, 用来把一个大的 DSM 模型分解成多个小的 DSM 模型, 或者把几个小的 DSM 模型合并成为一个大的 DSM 模型^[15]。

根据领域的不同 DSM 模型可以分为如下四类^[17]: 基于零件(component-based)的 DSM、基于团队(team-based)的 DSM、基于任务(task-based)的 DSM、基于参数(parameter-based)的 DSM。基于零件的 DSM(又被称为物理领域 DSM)把零件作为模型的行列元素, 通过定义和研究子系统和零部件之间的交互对系统或产品进行建模和分析; 基于团队的 DSM 把组织实体作为模型的行列元素, 基于组织中不同的实体之间的信息流来建模和分析组织结构; 基于任务的 DSM(又被称为基于活动的 DSM)把任务/活动作为模型的行列元素, 在任务/活动之间的信息需求关系的基础上对过程模型进行建模和分析; 基于参数的 DSM 把系统参数作为行列元素, 根据系统参数之间的相互关系对系统结构进行建模和分析。DSM 模型的分类情况及各种类型的基本特征如表 1.1 所示。

到目前为止, 已经开发出来的 DSM 运算方法有如下六种^[17]: 划分(partitioning)、撕裂(tearing)、绑定(banding)、聚类(clustering)、仿真(simulation)、特征值分析(eigenvalue analysis)。划分是对 DSM 矩阵的行列元素重新排序的过程, 通过划分使所得到的 DSM 模型中信息反馈尽可能地少, 也就是使矩阵通过行列元素的重新排序而尽可能地变换为下三角阵; 撕裂是通过寻找耦合任务中具有最小依赖关系的任务并进行解耦, 以尽可能地降低模型中的信息反馈量; 绑定要在不考虑反馈的情况下, 根据相邻元素之间信息依赖情况, 对元素在 DSM 模型中对应的行进行绑定, 从而找出相对并行活动和瓶颈活动; 聚类是把 DSM 模型中联系紧密的行列元素归入同一类型的过程, 从而使得聚类内部各元素之间的联系强度很高, 而聚类之间的联系强度很低; 仿真是指运用信息流 DSM 模型、信息变化概率 DSM 模型以及变化冲击 DSM 模型来对整个过程的持续时间和成本进行仿真; 特征值分析是指通过对 WTM 的特征值和特征向量进行分析来研究过程模型的动态收

敛性能。对于不同的 DSM 类型可以进行不同的运算,不同类型的 DSM 可以执行的运算情况如表 1.1 所示。

表 1.1 DSM 模型分类及特征

DSM 类型	描 述	应 用	运 算
基于零件	多构件关系	系统结构,工程和设计	聚类
基于团队	多团队的接口特征	组织设计,接口管理, 团队集成	聚类
基于任务	任务/活动的输入/ 输出关系	项目规划,活动次序,项目 全部时间评估	划分,撕裂,绑定, 仿真,特征值分析
基于参数	参数确定点,和必要的先例	低水平活动的次序 和过程建构	划分,撕裂,绑定, 仿真,特征值分析

1.2 产品结构聚类划分的意义

产品结构是产品开发的核心,它直接影响着产品开发过程、开发人员组织结构、产品生产配送、产品市场战略。麻省理工学院的 Ulrich 和 Eppinger 等对产品结构进行了如下定义:产品结构是一个把产品功能分配到物理零部件的规划,它由产品模块分布技术规划以及模块之间交互的技术安排组成^[18]。

在产品开发中(特别是在复杂产品开发中),常常根据系统工程理论把复杂产品分解成为规模较小的、易于开发的、有较为独立功能的、可独立(或相对独立)进行开发的子系统(模块),在各子系统开发完成后再对所有的子系统进行集成,来完成产品的总体功能。这样的分解聚类过程可以降低开发的复杂程度,并通过并行过程加快开发速度。但是,如果产品结构的分解聚类不当就会造成子系统之间的联系过多,而难以完成各子系统的集成;会使各开发团队之间产生过多的交互,而增加产品开发的时间和团队间的交互成本;会增加开发过程的迭代次数,增长产品开发周期。因而产品结构的聚类划分在产品开发中是至关重要的一个过程。

目前对产品结构进行聚类划分的研究文献主要有, Siddique 和 Rosen^[19] 及 Nelson 等^[20] 用最优化的方法来进行产品结构的规划; Otto 和 Wood^[21] 使用功能结构图(function diagram/structure)的方法对产品结构进行模块化规划; Zakarian 和 Rushton^[22] 使用 Hatley/Pirbhai 方法实现产品结构的模块化。当前的这些对产品结构进行模块化的技术和方法普遍是以创建目标产品的功能结构为开始,然后通过聚类或者分组把子功能归入模块中,这些方法在开发新产品的模块化产品结构中是十分有用的方法。但是上述方法存在着如下不足:①过分依赖于产品的功能结构,离开功能结构的前提就无法进行下去;②只能用于开发新产品的模块化

结构,不能对已有的产品结构进行模块化分析,不利于企业对产品结构知识的总结、回顾和提升;③对模块内部以及模块之间的零部件之间的接口的表达过于抽象,很难理解,不利于跨领域或跨学科的交互;④很难进行模块化聚类 and 集成化聚类的划分;⑤不利于将智能算法引入产品结构的聚类划分中。

在文献[23]和[24]的基础上,我们开发出了使用改进的四点刻度法对 DSM 模型进行建模和数字化的方法,给出了对产品结构 DSM 模型进行聚类划分方法,从而很好地解决了现有产品结构聚类划分方法中存在的上述五个问题,以下将对此进行详细介绍。

1.3 产品结构 DSM 模型的建模方法

1.3.1 基于零件的 DSM 概述

基于零件的 DSM 模型与其他类型的 DSM 模型一样是由排列顺序相同的行列元素组成的方阵。在基于零件的 DSM 模型中每一个行列元素都与产品结构拓扑树中的零件节点相对应;这些行列元素可以通过聚类划分而形成若干个聚类,其中的每一个聚类都与产品结构拓扑树中的部件节点相对应;整个产品结构 DSM 模型与产品结构拓扑树中的产品节点相对应。产品结构 DSM 模型中的非对角线单元格表示各零件之间的联系,对角线下方单元格表示方向为正向的联系,对角线上方单元格表示方向为反向的联系,单元格中的数值为对应零件之间的联系强度,空白单元格表示对应的零件之间没有关系,对角线单元格没有意义,用黑块标识。图 1.3 中产品 A 的产品结构 DSM 模型,共有六个零件组成,其中 C_1 和 C_3 两个零件形成聚类 1, C_2 、 C_6 、 C_4 和 C_5 形成聚类 2,该 DSM 模型对应的产品结构可以对应于图 1.4 所示的树状结构。

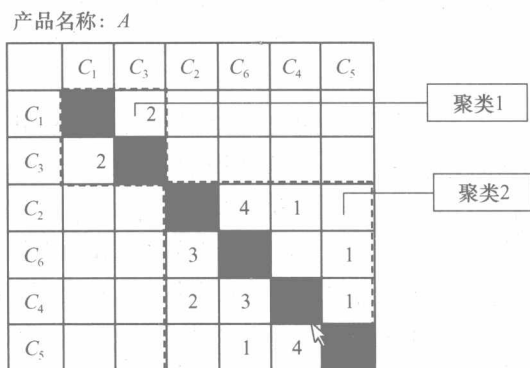


图 1.3 产品 A 的产品结构 DSM 模型

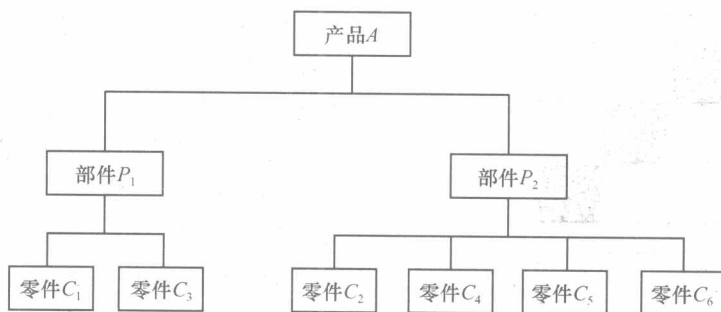


图 1.4 产品 A 的树状结构

1.3.2 基于零件的 DSM 产品结构建模

基于零件的 DSM 模型是用 DSM 方法对产品结构进行研究和分析的起点和基础,同时也是整个研究过程中的瓶颈问题。根据麻省理工学院的 Ulrich 和 Eppinger 等产品结构的定义^[18],可以看出产品结构主要包含两个组成部分:组成模块及这些组成模块之间的关系,这两部分共同作用来实现产品的整体功能。考虑到产品结构的内涵以及 DSM 方法的特征,本节按如下的步骤进行基于零件产品结构 DSM 模型的建模:确定产品结构 DSM 模型的行列元素;确定各行列元素之间的联系及联系的方向性,得到二值标识矩阵;确定各行列元素之间的依赖强度,得到数字化产品结构 DSM 模型;检查 DSM 模型中各个元素及其关系,得到遗漏的关系,剔除不必要的关系。

产品结构 DSM 模型中行列元素之间的联系是多种多样的,为了得到更加准确和详细的行列元素之间联系的信息,需要对这些联系进行分类。根据文献^[23],把行列元素之间的联系分成以下四类:

(1) 空间联系(spatial)。

表示两个元素的物理空间和排列的结合,描述了两个元素之间的连接和定位。

(2) 能量联系(energy)。

表示元素之间交流和传递的能量。

(3) 信息联系(information)。

表示两个元素之间交流或传递的数据和信号。

(4) 物料联系(material)。

表示两个元素之间交流所需要的物料。

两个行列元素对应的 DSM 模型单元格划分为四个象限,用四个象限的分量来分别描述这两个行列元素之间的上述四种联系:用第一象限的分量描述空间联系,用第二象限的分量描述能量联系,用第三象限的分量描述信息联系,用第四象限的分量描述物料联系。图 1.5 描述了涡轮增压器模型中涡轮动叶片(H)、转轴(O)、压气机叶轮(E),三个行列元素之间四种联系的四向量描述,图中“×”标示代

编号	H	O	E
H		×	
O	×	×	×
E	×	×	

第二象限: 能量联系
第三象限: 信息联系

E	S
I	M

第一象限: 空间联系
第四象限: 物料联系

图 1.5 四向量单元格 DSM 描述示意图

表对应的两个行列元素之间在所处的联系类型上有联系,空白则代表对应的行列元素之间在所处的联系类型上没有联系。

如此,得到的是一个四向量布尔产品结构 DSM 模型。二值产品结构 DSM 模型能够被建立来描述不同行列元素之间的基本的依赖结构和信息流,可以对模型进行定性的初步分析。但是这种初步的分析远远无法满足实际的需要,因而需要

对二值产品结构 DSM 模型进行数字化。要对二值矩阵进行数字化就必须有一个量化的标准来区分这些联系的相对的重要性。在文献[23]的基础上,给出了四点刻度法对 DSM 进行数字化。表 1.2 为四点刻度法的四种类型的权重。

表 1.2 四点刻度权重及含义

刻 度	权 重	含 义
高	3	联系强度高
中	2	联系强度中等
低	1	联系强度低
无	0	无任何联系

分别对四种类型的联系进行四点刻度法的数字化运算,得出的数字化产品结构 DSM 模型中的每个单元格都有四个向量,是个四向量矩阵。对四向量矩阵进行进一步的分析和处理是很困难的,而且矩阵中的每一个向量上的分析结果可能不一致,甚至会产生矛盾,不利于从整体上把握产品结构 DSM 模型中各行列元素之间的关系。为了解决这个问题对四向量矩阵进行了降维处理,最终得到一个综合的单向量 DSM。降维处理的过程如下:

(1) 确定四种类型联系中每一种相对重要性,对于不同领域的产品每一种类型的联系的重要程度不同,例如,在电子信息产品中信息联系的重要性较高,而在能量传递类产品中能量联系重要性较高,在本文中,假设四种联系的相对重要性均相同。

(2) 对四向量 DSM 模型中的每一个单元格,按式(1.1)计算四个向量的综合权重:

$$W_{i,j} = \alpha S_{i,j} + \beta E_{i,j} + \gamma I_{i,j} + \kappa M_{i,j} \quad (1.1)$$

式中: $W_{i,j}$ 为 DSM 单元格 (i,j) 对应的行列元素的综合权重; $S_{i,j}$ 为单元格 (i,j) 的空间联系(spatial)的权重; $E_{i,j}$ 为单元格 (i,j) 的能量联系的权重; $I_{i,j}$ 为单元格 (i,j) 的信息联系的权重; $M_{i,j}$ 为单元格 (i,j) 的物料联系的权重; α 为空间联系在四个矢量中的相对重要性; β 为能量联系在四种联系矢量中的相对重要性; γ 为信息联系在四种联系矢量中的相对重要性; κ 为物料联系在四种联系矢量中的相对重要性; 在

本文中取 $\alpha=\beta=\gamma=\kappa=1$ 。

(3) 用(2)中计算所得的 $W_{i,j}$ 来填充单元格 (i,j) ，这样就得到了单向量、数值化产品结构 DSM 模型。

对所得的单向量、数值化产品结构 DSM 模型进行进一步检查，查漏补缺，剔除冗余。其中权重大于等于 2 的单元格所对应的行列元素之间的联系称为强联系；权重大于 0 且小于或等于 2 的单元格所对应的行列元素之间的联系称为弱联系；权重等于 0 的单元格(本文中用空白标示)所对应的行列元素之间为无联系。

如此，就完成了用基于零件的 DSM 对产品结构进行建模。现以某型号涡轮增压器来说明产品结构 DSM 模型的单向量、数值化形式。产品结构 DSM 模型的行列元素与目标产品结构的组成零件相对应。经过识别，某型号涡轮增压器的 DSM 模型的行列元素为，涡轮进气壳、涡轮排气壳、底支架、涡轮喷嘴环、压气机叶轮、轴承减振器、扩压器、涡轮动叶、进气消音滤清器、滚珠轴承、甩油盘、轴承座、压气机出口涡轮壳、隔热屏、转轴。并对这 15 个行列元素(零件)依次分别进行编号为, A~O, 如图 1.6 所示。

项目名称:轴流涡轮增压器产品结构 DSM 模型															
行列元素名	涡轮进气壳	涡轮排气壳	底支架	涡轮喷嘴环	压气机叶轮	轴承减振器	扩压器	涡轮动叶	进气消音滤清器	滚珠轴承	甩油盘	轴承座	压气机出口涡轮壳	隔热屏	转轴
编号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
A				3				3							
B			3					4					1	6	
C		3													
D	6							3							
E							3	6	6				3		9
F										6		3			
G					9								1		
H	5	3		9	3										6
I					2										
J						3					6	4			5
K										6					
L						6				4					
M		1			7		4							5	
N		5											5		
O					6			9		4					

图 1.6 某型号轴流涡轮增压器产品结构 DSM 模型的数值化形式

1.4 数值化产品结构 DSM 模型的聚类划分

1.4.1 行列元素的分类

为了便于对不同类型的行列元素采取不同的聚类划分和评价方法,需要对产品结构 DSM 模型中的行列元素进行分类。根据所属聚类的不同行列元素可以分为三类(图 1.7):Bus 聚类元素、独立元素、普通聚类元素。

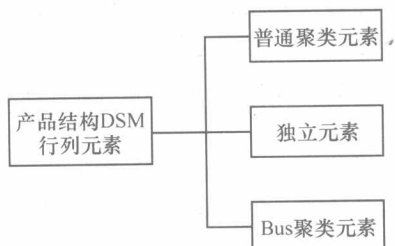


图 1.7 行列元素分类

在产品结构 DSM 模型中, Bus 类元素指的是与大部分其他行列元素都有联系的元素,这类元素类似于计算机中接口技术中的“Bus”的定义^[23],因而称之为 Bus 类元素。在一个产品结构 DSM 模型中所有的 Bus 类元素构成了一个 Bus 聚类。在产品开发项目中 Bus 类元素由对整个产品结构中各组成部分都较为熟悉的团队来完成,以便于更好地协调 Bus 类元素和其他元素之间的关系,有利于集成团队从整体上把握整个产品结构的完成。

在产品结构 DSM 模型中有时会出现一些与其他行列元素联系很松散的元素,这类元素比较独立地存在于整个产品结构模型之中,不属于任何聚类,称之为独立元素。在产品开发项目中,独立元素的完成很少受到来自其他元素的影响,同时也很少影响其他元素的完成,因而可以并行于其他行列元素来完成。

在产品结构 DSM 模型中,除了 Bus 聚类之外的其他聚类,称之为普通聚类(简称聚类),组成普通聚类的元素被称为普通聚类元素(简称聚类元素)。在产品开发项目中一个普通聚类的组成元素往往由一个集成开发团队(integrated product team, IPT)负责完成,方便了由聚类内部各元素之间的联系而产生的开发人员之间的信息交互。

1.4.2 产品结构 DSM 模型聚类划分

对产品结构 DSM 模型进行聚类划分的目标:①发现 DSM 模型中元素的最优聚类(即子集或模块)实现产品结构的模块化划分;②每一个聚类(模块)都应尽可能地独立于其他聚类(即聚类与聚类之间的联系被消除或者最小化),实现聚类之间的非耦合或较低程度的耦合,从而使得每一聚类或模块都能够独立或较为独立地进行开发,有利于在开发过程中对每个聚类实施并行工程来缩短开发周期,能够降低开发团队之间交互的复杂度,减少开发过程的迭代次数;③元素之间的联系应尽可能地位于聚类内部,通过加强开发团队内部的交互来减少团队之间的交互;