

复杂产品制造工程变更 管理实务

金玉兰 著

Engineering Changing Management Practice of
Complex Product Manufacturing

管理
MANAGEMENT



复杂产品制造工程变更 管理实务

金玉兰 著

Engineering Changing Management Practice of
Complex Product Manufacturing

管理
MANAGEMENT



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

工程变更是中国发展先进制造业所面临的现实问题之一。本书从企业实务运作需求出发,以供应链视角相对系统地分析了制造企业工程变更管理中的各种问题,例如工程变更数据管理、变更成本控制、变更流程设计、变更沟通管理、变更执行计划制定、变更物料库存管理、工程变更管理信息系统设计等,提供了一套满足复杂产品制造相对完整的工程变更管理方案,方便企业中的管理人员、工程技术人员、有共同研究兴趣的专家学者及社会各界人士参考。本书也可以作为工业工程专业的辅助教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

复杂产品制造工程变更管理实务 / 金玉兰著.

—上海:上海交通大学出版社,2019

ISBN 978-7-313-18367-5

I. ①复… II. ①金… III. ①制造业-工业
企业管理-研究-东南亚 IV. ①F433.064

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 021940 号

复杂产品制造工程变更管理实务

著 者:金玉兰

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

印 刷:常熟市文化印刷有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

字 数:175千字

版 次:2019年2月第1版

书 号:ISBN 978-7-313-18367-5/F

定 价:59.00元

地 址:上海市番禺路951号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:10.25

印 次:2019年2月第1次印刷

版权所有 侵权必究

告 读 者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0512-52219025

前 言

工程变更在生产制造业是普遍存在的业务活动,它通常贯穿于整个产品生命周期,对于企业生产运营管理的各个环节,甚至对于整个产品供应链上的经营主体存在不同程度的影响。企业运营过程中,客户需求、工艺技术要求以及供应商能力等诸多因素都可能因时空而改变。产品制造系统必须能够针对这些变化进行适当的产品规格调整、设计改变及作业修正,以使系统运作能维持整体协调性,在达成客户需求的同时最大程度降低这些改变对制造系统造成的冲击,降低企业工程变更成本。

复杂产品通常具有自动化程度高、可靠性要求高、精密程度高等特点。就如何保证这些产品规格及品质满足客户需求变化而言,工程变更管理是企业最基础、最重要,也是最难做好的工作之一。相对简单产品,复杂产品无论是在产品功能结构、产品工艺和产品技术难度,还是在供应链及库存的管理上,工程变更的管理及执行都是制造企业面临的重大挑战。

产品本身的复杂性使得产品物料众多且供应链相对较长,涉及工程变更影响的范围更加广泛,必然导致工程变更管理过程中的风险加大,为了控制这些风险必须建立一套行之有效的流程和系统。如何在整个产品生命周期范围内,从供应商、企业本身及客户的多维视角看待整个工程变更管理过程,将使得企业建立贴近实际需求的有效管理模式成为可能。

工程变更管理是发展先进制造业必须研究和解决的现实问题。许多典型的复杂产品都是国家优先发展的战略重点。诸如半导体制程设备、新能源产业中的太阳能和 LED 设备、海洋工程装备、大飞机、船舶以及导弹等军工装备。工程变更管理具有很强的实践性,与世界主要制造强国相比,我们仍然缺乏这类复杂

产品制造工程变更管理的实际经验。因此,有必要应用现代管理思想和方法对复杂产品工程变更管理进行深入的研究,并根据企业实际状况加以本土化的灵活运用,才能取得较为理想的效果。

国内目前谈及工程管理的书籍文献非常之多,但研究制造企业工程管理的尚不多见,尤其专注于探讨制造企业工程变更管理的更少。少量科技文献研究了制造企业工程变更管理的某一些具体问题,例如 BOM 变更管理的问题、工程变更流程问题等。几乎很难见到从供应链视角相对系统地阐述制造企业的工程变更管理问题,这些问题包含工程变更成本问题、工程变更执行计划制定方法问题、工程变更物料库存管理问题、工程变更管理信息系统设计问题等。本书从企业实务运作需求出发,将在这些方面尝试进行剖析并提供一些解决思路和方法,以供应链视角提供一套满足复杂产品制造完整的工程变更管理方案,方便企业中的管理人员、工程技术人员、有共同研究兴趣的专家学者及社会各界人士参考。本书也可以作为工商管理辅助教材使用。

在本书撰写过程中,笔者调研了部分从事复杂产品生产的典型企业,实际征询了在这些企业生产运作第一线的管理人员、工程技术人员、实际生产者及系统操作者的意见,也得到了部分专家学者的热情指点和帮助。鉴于企业保密要求及这些受访者个人意愿,这里虽不能一一列出他们的名字,但他们对于本书的贡献是毋庸置疑的,在此特别感谢这些默默奉献的人。本书在撰写过程中也参阅了大量的中外文参考书和文献资料,在此对国内外有关作者表示衷心的感谢。本书的成稿也得益于上海工程技术大学教学科研专项基金的资助,在此特别感谢上海工程技术大学各级相关领导及同事们的关心和支持。

由于受作者水平和时间所限,书中如有错误和遗漏之处,敬请读者提出宝贵意见。

金玉兰

2018年9月

目 录

Contents

第 1 章 绪论	001
1.1 工程变更的概念	001
1.2 工程变更管理研究的重要性	002
1.3 何谓复杂产品	003
1.4 为何从供应链视角看工程变更管理	005
1.5 工程变更管理研究现状	005
1.6 工程变更管理实践中的问题	009
1.7 工程变更管理问题的探索	010
第 2 章 工程变更的驱动因素及影响分析	011
2.1 引言	011
2.2 工程变更的驱动因素	011
2.3 工程变更的基本信息要素	013
2.4 工程变更的影响分析	016
2.5 工程变更的分类	022
2.6 小结	027
第 3 章 工程变更成本分析	029
3.1 引言	029
3.2 工程变更成本发生阶段分析	030

3.3	工程变更成本结构分析	031
3.4	工程变更物料成本分析	034
3.5	小结	036
第 4 章	工程变更库存管理策略	037
4.1	引言	037
4.2	工程变更影响物料分类	037
4.3	工程变更影响物料库存控制策略	039
4.4	小结	041
第 5 章	工程变更的数据管理	042
5.1	引言	042
5.2	工程变更的数据管理模式	042
5.3	产品 BOM 数据	045
5.4	工程图面及文件数据	048
5.5	工程变更表单数据	056
5.6	小结	088
第 6 章	工程变更管理流程设计	089
6.1	引言	089
6.2	工程变更管理闭环控制过程	089
6.3	工程变更各部门管理职能	094
6.4	供应链视角的工程变更沟通过程	098
6.5	工程变更主要流程设计	098
6.6	工程变更流程监控指标	130
6.7	小结	131
第 7 章	工程变更执行计划的制定方法	132
7.1	引言	132
7.2	工程变更执行计划的影响因素	132
7.3	制定工程变更执行计划的基本原则	135
7.4	工程变更执行计划制定方法模型	136

7.5 小结	140
第 8 章 工程变更管理信息系统设计	141
8.1 引言	141
8.2 工程变更管理信息系统框架	141
8.3 工程问题的收集模块	141
8.4 工程问题的评估及反馈模块	142
8.5 工程变更执行模块	143
8.6 工程变更统计分析报表	146
8.7 工程变更管理线上学习及测试系统	146
8.8 小结	147
参考文献	148
索引	152
后记	154

第 1 章

绪 论

1.1 工程变更的概念

变更是一个广义的概念,对企业而言,它有可能是企业发展战略的变化,企业组织机构的转变,产品开发策略的改变。对于有产品开发或产品加工功能的企业而言,也有可能是一个产品零部件的设计变更,产品生产工艺路线的变更,一次设计任务的变更,等等。

产品生命周期可分为几个阶段:需求分析阶段、概念设计阶段、制定开发计划、详细设计、制造、销售、使用、报废等阶段;产品工程变更是针对已完成或初步完成的设计提出变更需求,根据变更阶段的不同,可能有一些生产准备和原材料采购等工作已经进行,甚至部分产品已经上线生产,乃至产品已经发往了客户现场。因此变更将不可避免地会影响到企业的生产,增加产品的成本。

工程变更(Engineering Change)是科技产品或工程建设中经常会发生的。工程变更是订单或合同变更的一部分。产生工程变更的原因很多,例如原来的产品增添新的功能,原设计图修改以便提高生产效率,采购寻找替代性原料以降低成本,客户服务针对客户抱怨修改产品规格,或研发部门改正原来的设计瑕疵等。基本上,企业里的任何人都可以提出工程变更的申请(ECR-Engineering Change Request),再交由各部门代表所组成的委员会经过正式的程序评估之后,发出工程变更命令(ECO-Engineering Change Order),才可正式将之付诸实施。工程变更必须妥当地控制与管理,才可以避免造成不必要的损害,例如呆料或库存余数必须处理,新的原材料必须及时取得以避免造成新产品延迟推出等问题。

综上所述,工程变更的内容极其广泛,对其很难下一个确切的定义。①文献[1]认为:增加或减少原始合同工作范围的修改或者造成影响完成原合同工作范围的费用或工期的修改统称为工程变更;②文献[2]认为:在合同的实施过程中相对原合同条件的变化,合同术语统称为工程变更;③文献[3]认为:变更是由于施工条件的改变,项目控制者(咨询工程师、监理工程师)采取的使工程顺利进行的一种措施。

变更的含义,主要表现在两个方面,即合同方面的变更和狭义的工程变更,前者指对原合同文件的修改与补充协议,包括:增加工作范围外任务,改变合同工期,改变合同规定的程序和方法,改变合同某一方面原承诺提供的条件或改变合同双方责任、权利和义务的规定;后者指合同范围内的修改与补充,以及对全部工程项目或部分工程项目其中的任何一种进行变更,包括:工作任务的增减,工程量的增减,改变质量标准或类型,改变某部分工程的位置、高程、基线和尺寸,改变施工工序或工作时间。

综合以上各种工程变更的含义,一般认为工程变更可定义为:在合同实施过程中,当合同状态改变时,为保证工程顺利实施所采取的对原合同文件的修改与补充,相应调整合同价格和工期的一种措施。所谓合同状态是指:合同条件、工作范围与合同价格、工期和施工条件三者之间相互协调、相互制约、相互依存的一种状态^[4]。

对制造企业而言,工程变更是指对产品及其组件的形态、装配、材料、尺寸和功能等所做的修改。它可以是简单的对文档的订正,也可以是复杂的对产品设计和制造全过程的重新设计。工程变更管理(ECM-Engineering Change Management)即通过建立严格的更改业务流程,在手工或计算机工具支持下,使更改活动始终处于严格的可控状态,并记录更改涉及的所有对象的变化,保证相关信息的一致性和完整性^[5]。

1.2 工程变更管理研究的重要性

由于社会的变迁和技术的高速发展,市场环境变化越来越快,主要呈现出以下特征^[4]:①更大的突变性;②更大的不确定性;③更大的复杂性;④更大的变化速率;⑤更大的多样性;⑥更小的稳定性;⑦更小的同一性;⑧更小的可预测性。在这样一个快速变化的社会中,无论是来自企业内部的对产品进行改进的修正型变更还是来自市场和客户的产品变型性变更都日益增加,如何管理好频繁发

生的工程变更是缩短产品开发周期、提高企业市场反应速度的关键。

通常情况下,工程变更都较难控制。依据工程变更发生的阶段,从需求分析阶段到销售阶段,工程更改的影响范围越来越广,涉及企业内部的各职能部门从销售、采购、库存管理,到生产、设计等部门,甚至延伸至企业的联盟伙伴或最终用户。如果缺乏有效的工程变更管理,会导致以下问题的产生:

(1) 无效生产。变更信息没有及时发放到相关的生产部门,导致生产部门按照老的设计版本生产出无效部件。

(2) 过期的废旧库存。变更信息没有有效地传递给库存管理部门,器件作废后,还遗留有库存、甚至对废旧器件再下订单。

(3) 延长产品开发周期。变更流程通常需要跨部门之间的合作,如果信息在部门间流通不畅,则容易导致变更流程在某一个节点的停滞,从而导致整个变更流程的停顿,最终延长整个产品开发周期。随着计算机支持协同工作技术的发展,传统的集中式设计、生产的制造模式已被打破。为了灵活地响应市场变化,提高企业的敏捷性,不同的企业依据各自不同的资源优势结成虚拟企业组织或动态企业联盟。在这样的协同工作环境下,工作人员来自不同企业,处于不同的地理位置,他们使用不同的计算机软硬件,产品数据的表达形式也各不相同,发生工程变更的概率增加;同时,一些复杂产品的设计是在分布式的开发团队间协同工作下完成的,增加了变更处理实施的难度。

因此,如何对工程变更进行有效的管理是一个需要更多关注的研究课题。

1.3 何谓复杂产品

随着人类生产生活方式的发展变化,越来越多的产品复杂程度在增加,人们趋于从系统角度开发、生产、认识和使用这些产品,把这些产品通常称之为产品系统或者复杂产品系统。英国萨西克斯大学(University of Sussex)科技政策研究所和布莱顿大学(University of Brighton)创新管理研究中心联合创办的复杂产品系统创新中心在20世纪90年代中期提出了复杂产品系统(CoPS, complex product and system)概念,并系统地研究了复杂产品的定义、特性和创新过程规律及创新管理技术。他们认为所谓复杂产品系统是指高成本、大规模、定制的、技术与工程密集型的产品、子系统、系统或设施。确定一个产品是否为复杂产品系统主要考虑其成本、项目周期、复杂程度、技术不确定性、系统层次、定制化程度、风险、零部件种类、知识和技术含量、软件应用范围等因素。例如飞机、飞行

模拟器、航空控制系统、轨道交通系统、武器装备、建筑设施、海上石油平台、通信网络、船舶、列车等工程化的产品系统。李伯虎、柴旭东^[6]等人将复杂产品定义为客户需求复杂、产品组成复杂、产品技术复杂、制造过程复杂、项目管理复杂的一类产品。例如:航天器、航空器、汽车、船舶、复杂机电产品、武器系统等。刘继红、王峻峰^[7]认为复杂产品是具有以下特征的技术系统:功能的多样性、结构的层次性、技术的复合性、管理的综合性。

综上所述,由于研究人员的立场和目的不同,复杂产品的内涵和外延也不尽相同。为了限定本书关注的范围和重点,本书从容易被读者解读的角度给出复杂产品的定义:

(1) 组成产品物料种类及数量多。复杂产品通常有成千上万,甚至是数百万的零部件。例如:汽车零件通常有2~3万个,飞机一般为20~50万个,船舶约有150~300万个,大型客机零部件总数达到300~400万个,半导体设备通常有1~3万个。

(2) 产品组成结构层次多。复杂产品通常具有非常多的结构层次,由很多次系统、部件、零件组成。每个次系统、部件又包含了多个子系统、部件、零件。组成产品的物料清单结构通常达到三层以上。

(3) 产品涉及技术领域多。复杂产品通常涉及多个学科领域的综合,例如飞机包括机械、液压、气动、控制系统、电子、软件等学科领域的子系统。半导体设备涉及包括机械、电子、气动、真空技术、洁净技术、自动控制系统、软件、表面处理、金属材料、非金属材料等。

(4) 参与研发、制造及管理的主体多。对复杂系统的整合会涉及各种技能与工程投入,其范围远远超越了个体生产厂商所具备的能力。因此复杂产品研发、制造过程中涉及的参与主体很多。在整个产品物料供应链体系上通常有成百上千、上万,甚至几十万供应商的合作。在企业内部通常也需要很多部门的协同合作才得以完成。

(5) 项目研发制造周期长。复杂产品项目研发制造周期长源于产品技术的复杂性以及物料数量种类的复杂性,也源于参与主体管理沟通过程的复杂性。从供应链角度看,在数量如此庞大的参与主体之间实际进行项目沟通管理所花费的时间甚至都远远大于实际产品制造的时间。通常复杂产品无论是研发周期还是制造周期,都花费数月或者几年甚至几十年的时间。如何缩短复杂产品研发和制造周期是所有从事这一类型产品的企业或单位所面临的重要课题。

复杂产品在国民经济和国防建设中占有相当重要的地位,甚至关系到国家

根本利益和国际地位。例如,中国的“两弹一星”、运载火箭、载人飞船、高铁、大型舰船、潜艇等复杂产品的研制成功不仅奠定了国家在世界中的政治地位,也对国民经济的其他行业发展产生了良好影响。复杂产品供应链体系上涉及的产业均受益于复杂产品的发展。因此研究复杂产品所涉及的问题具有重大意义。

1.4 为何从供应链视角看工程变更管理

首先,在全球化背景下,现代制造业供应链体系越来越庞大,复杂产品供应链资源更加广泛,复杂产品工程变更不可避免涉及企业整个供应链体系的上下游企业,工程变更管理必须放在全球化背景下重新予以审视。其次,供应链资源国际化程度越来越高,工程变更涉及产品和物料进出口问题的情况也越来越多,也加剧了工程变更管理的难度。再次,工程变更信息传递及影响过程涉及客户、企业本身及供应商多个利益攸关方,工程变更管理流程及系统设计必须将这些关联主体予以考虑才能达到更好的沟通效率及符合预期的沟通效果。

1.5 工程变更管理研究现状

对于工程变更管理,国外的研究开始较早,且研究范围广泛^[8]。早期的研究集中在印刷电路板^[9]和大规模集成电路^[10]设计等的工程更改方面,一方面是由于这些产品对工程更改需求较频繁;二是其更改过程相对规范,更改的影响范围较窄。随着越来越激烈的市场竞争,工程变更研究逐渐扩展到生产制造、建筑工程、软件工程等领域。工程变更管理最初是通过纸质系统来实现的,但是因为基于纸质的工程变更管理在同一时刻只允许一个人或一组人访问系统数据和资料文档,同时无法方便地保存更改对象的多状态,往往是经过多次更改后,原有的更改对象只存在一至两种状态,这给企业带来了不少混乱^[11]。后来,信息技术被引用进来解决这些局限性,出现了计算机辅助的变更管理系统。

目前工程变更管理相关的研究可以分为两类^[4]:第一类是关于工程变更管理方法的研究,例如如何减少工程变更管理对生产和库存造成的影响;第二类是关于工程变更管理工具的研究,主要是研究基于计算机来分析工程变更管理问题,或者为工程变更管理问题提出合适的解决方案的工具。

1.5.1 关于工程变更方法方面的研究

工程变更方法方面的研究工作有:文献^[12]提出了通用的工程更改管理的

对象模型,实现了零件的版本自动升级、产品结构的自动维护和描述数据的半自动版本维护。文献[13]认为工程变更管理的三要素是变更流程人员、组织和产品数据,产品数据管理系统是实施工程变更管理的基础;分析了三要素的特点及其相互联系,阐述了工程变更管理的目的和它不同于数据管理、流程管理的特殊性,指出工程变更管理的主要目的是降低变更成本、提高变更效率和减少变更错误,提出了以产品数据管理系统为基础,以变更流程为主线的工程变更管理策略,并且在汽车行业进行企业实际应用。文献[14]提出了根据工程变更的影响分类和紧急程度分级,通过采用不同的流程和优先级从总体上缩短变更周期,对工程变更及其影响的范围进行分析,但其主要是对工程变更进行定性研究,并没有提及具体实现和实施效果。Cohen 等^[13]提出一种 C-FAR(Change Favorable Representation)方法来描述变更及变更传播,跟踪和评估工程变更。该方法以 EXPRESS 建模语言为基础,并作了一些扩展;用矩阵形式表达不同实体的各属性之间的变更影响关系,基于此表达变更和变更传播,分析变更影响,选择变更路线等。

1.5.2 关于工程变更工具方面的研究

随着信息技术的发展,越来越多的研究机构借助于计算机和网络来解决以往基于纸质文件管理工程变更所带来的局限性。这方面已有一些研究工作,如 Krishnamurthy 和 Law^[16]提出的产品设计文档的版本树模型。关于变更处理流程也已有许多研究,如根据具体企业的应用提出一种较为详细的流程^[13]。

一般来讲,计算机辅助工程变更管理系统可以分为三类^[17]:

(1) 简单的应用系统。例如运用文字处理系统来准备 EC 文档和用来存储 EC 数据的电子数据表格。

(2) 专门为支持基本的 EC 活动所开发的应用系统。Huang 等人^[18]建立的一个独立于其他应用系统的基于 web 的工程变更管理系统,可以更好地实现信息共享、数据同步访问和处理、更快捷的沟通和反馈方式。

(3) 产品数据管理系统(PDM)和企业资源管理系统(ERP)。因为工程变更是针对全生命周期内数据的更改,而且涉及这些数据相关的组织和人员,采用独立的工程变更系统增加了变更数据与其他应用系统的集成难度,人员组织方面也容易带来混乱;而 PDM 系统从数据、人员、流程等方面都提供了更全面的管管理,把工程变更纳入 PDM 范畴可以更快捷方便地实现工程变更的管理,当前很多对变更管理的研究都属于第三种类型——基于 PDM 系统展开的。事实上许

多 PDM 也提供了工程变更管理模块,如 SDRC 公司的 Metaphase、PTC 公司的 WindChill、IBM 公司的 ProductManager、EDS 公司的 IMAN 等。

当前基于 PDM 系统的工程变更研究大体上可以分为三种^[19]:

1) 变更模型的创建

一般只从理论上展开对变更要素的描述,最基本的还是要建立各种模型,包括数据、组织及流程模型等,在模型的基础上开展其他研究。如 Peter Pikosz 等^[20]分析了多家公司的某些具体因素,如更改提前期等对变更设计的影响,分析了应用 PDM 系统支持变更过程的可能性,给出了工程变更中流程、信息、人员组织等之间的关系模型;Peng^[21]给出了一个基于 STEP(Standard for the Exchange of Product data,产品数据表达与交换标准)标准的 EXPRESS-G 格式的变更数据模型,从而实现对完整产品数据在其生命周期内的管理;Cohen 等^[15]提出一种能预测或评估工程更改结果的 C-FAR 方法,用以 EXPRESS 建模语言描述的产品信息模型实现工程更改的表示、传播和定性评估,把更改和更改评估推进到属性层次;赵小羽等^[22]研究了工程变更的数据、组织及过程模型,提出了基于 PDM 系统的具体的实施方法,可以为企业实施工程变更管理提供解决方案;刘东升^[12]通过把工程更改对象划分为元模型对象、更改控制对象和被更改对象等三类,提出一个通用的工程更改请求对象模型;朱浩等^[23]给出了跨企业工程更改的管理策略,分析了工程更改的过程、信息、资源、组织和功能建模过程,以过程建模为中心,构建了 5 个视图建模的关联关系,通过多视图关联分析,形成了系统的 ECM 建模体系;万立等^[24]在 Windchill 的基础上建立了面向对象的工程变更管理模型,实现了基于产品数据之间关联关系的配套更改检查;刘士军等^[25]将扩展的变迁时间间隔 Petri 网应用于工程更改流程的建模,从而满足了流程处理中对并行性、同步性和回溯反馈等的要求。

2) 变更过程控制的研究

过程控制是工程变更研究中必不可少的部分,好的过程控制可以提高企业的变更效率,降低变更带来的成本损失。这方面的研究,如 Dalel^[26]针对一家跨国工程公司给出了一个具体的工程变更控制过程,并分别分析了库存、采购、财务、销售等部门应该针对变更做出的反应,是早期关于工程变更流程方面介绍比较全面的文献;Qiao 和 Zhang 等^[27]给出了一种变更过程控制方法,在过程模型和工作流技术的基础上提出了一种变更信息描述方法,并通过开放数据库共享和集成变更信息,为制造企业提供了一种有效的集成变更信息和控制变更过程的方式;朱海平等^[28]在 PDM 系统集成的基础上研究工程更改技术,讲述了如何

在工程变更过程中实现对变更对象的同步控制从而实现变更对象的协同工作;蒋斯来^[29]通过对波音公司更改控制组织机构、更改类别、更改来源等内容的讨论,给出了对波音公司飞机制造中工程变更过程控制方法的具体描述,对航空行业变更管理有很好的指导作用。

3) 变更影响分析的研究

从产品生命周期范围内分析变更对其他产品数据、成本及时间等的影响。变更影响分析一直是变更管理的关键,同时也是一个难点,很多文献中也对此进行了研究。如 Kamel Rouibah 等^[30]讨论了产品开发涉及多家企业的工程变更管理的问题,给出了通过参数捕捉驱动协作的方法,利用参数之间的关系决定涉及的供货商和合作伙伴;C-JHO 等^[31]分析零部件的变更主要受其直接父部件数量和它们的变更数量的影响,并在此基础上展开了对变更影响的分析;C.Ou-Yang 等^[32]提供了一个 PDM 和 MRP(Manufacturing Resources Planning-制造资源计划)应用的集成环境,通过应用作业成本法(ABC, Activity Based Costing)支持设计者在重设计过程中进行库存报废成本分析;杨煌俊等^[33]提出了变更实现的方法和变更传播的机制,利用产品结构实现零部件的变更影响分析;王际坤等^[34]利用关系矩阵描述工程变更,提出了一种定性定量相结合的分析工程变更影响的方法,给出了从费用角度评估工程变更的框架。

目前大多数支持工程变更管理的计算机系统存在以下几方面问题:

(1) 由于工程变更方法的研究与具体企业的实际情况密切相关,随企业产品的复杂程度、生产组织方式和开发周期等因素而变化,在一个企业行之有效的方法到另一个企业可能行不通,因此以往的研究主要针对具体企业而进行。例如,文献[13]中提出的工程变更管理的三要素是:人员组织、数据管理、变更流程,但是他们提出的工程变更流程只是基于某一个企业的具体应用。

(2) 没有对变更流程进行有效的控制。在通常情况下,一个问题会导致一个或多个产品数据的更改,变更流程通常是一个复杂的由多个子流程相互协作完成的,但是不能满足协同工作环境中工程变更管理的要求。目前基于 PDM 的工程变更的研究并不是非常完善^[35],主要表现在工程变更工作流程不封闭,难以跟踪变更的真正起点,不能对已执行变更做出合理评估,也无法在已执行变更基础上执行新的变更从而实现工程变更的持续改进;工程变更工作流程缺乏监控和评审环节,管理不完整。工程变更过程涉及产品全生命周期,但目前研究仅限于产品设计阶段,无法完整体现整个变更。

(3) 系统缺乏对变更传播进行分析的支持机制。对一个部件提出的变更通

常会导致其他部件或文档的变更,从而影响到其他工作人员的工作。文献[36]将这种影响定义为雪球效应(The snowball effect),然而关于这方面研究的文献却很少。

(4) 系统实际应用效果不理想。由于工程变更主要是对产品数据的更改,此外还涉及这些产品数据相关的组织和人员,一般将它纳入产品数据管理(PDM)的范畴,由 PDM 系统进行管理。但是这些系统在实际应用中碰到了很多的困难。Kidd 和 Thompson^[37]通过调查发现目前的系统大多数效率低、速度慢。例如,他们指出在同一时间内只有一个人可以查看变更文档,并且审阅流程经常由于某些瓶颈而停止。Pikosz 和 Malmqvist^[38]通过对三个瑞典公司的 ECM 进行研究后,发现计算机系统对 ECM 提供的支持很低。Huang and Mak^[39]通过调查得出 ECM 的活动仍然由人工完成,只有少数几个公司使用计算机系统进行管理。他们发现在 100 家英国的公司中仅只有两家公司使用计算机系统支持 ECM 流程,三分之一的公司使用计算机系统记录和跟踪工程变更。虽然 PDM 系统具有巨大的潜在优点,Huang and Mak 发现只有少于三分之一的公司使用 PDM 系统。

1.6 工程变更管理实践中的问题

工程变更是企业生产经营活动中的一项重要业务。当用户需求变更、供应商发生变化、产品出现质量问题以及产品生产制造过程中出现偏差时,都有可能提出工程变更的要求。工程变更的影响不仅涉及产品设计小组,而且涉及制造和采购等许多部门。一般而言,大多数的公司在工程变更的管理方面还有可能遭遇一些下面所列举的问题,如缺乏一个工程变更审核的程序,只有研发或少数人决定做工程变更而已;工程变更的程序所需的时间太长;没有专人负责工程变更相关事宜;工程变更的数据没有在用料表(BOM)上及时更新;工程变更造成的呆料或库存的损失,没有事先评估;工程变更没有及时更新,有些项目仍使用旧料号或旧版本;工程变更的成本和效益缺乏事先评估;会计或财务事后才被知会有关工程变更事宜;工程变更影响的部门无法事先得知,造成工作上延误或重工;计算机软件缺乏工程变更管理的功能,或功能不完整;缺乏事后的追踪,致使用料表(BOM)的准确性下降而无法达到预期的成效。

总之,这些问题可分为两类^[8]:

(1) 不完整性:对于变更的管理只是针对单个部件、缺乏系统的控制机制、