

并行工程

原理及应用

潘雪增 主编

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

经过近十年的发展,并行工程的方法和技术逐渐在航空、计算机、汽车、电子等行业获得成功应用,取得了显著的效益。应用并行工程是现代制造技术的发展方向。本书主要讨论并行工程的基本原理及实现的技术方法。本书既是企业管理人员、产品设计人员、工程技术开发人员的技术参考书,又是计算机、机械、电子等专业的高年级大学生、研究生的教材或教学参考书。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

并行工程原理及应用/潘雪增主编.—北京:清华大学出版社,1997.10

ISBN 7-302-02645-9

并 潘... . 并行控制-理论 并行控制-应用 .TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 18084 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

印刷者: 印刷厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 12.25 字数: 291 千字

版 次: 199 年 月第 1 版 199 年 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-02645-9/ TP·1363

印 数: 0000100000

定 价: 0.00 元

前 言

并行工程(CE—Concurrent engineering)是世界市场竞争日益激烈的产物。随着世界经济的蓬勃发展,客户对产品款式、品种、性能的要求越来越高,对产品质量及售后服务质量的要求越来越严格。为了赢得市场,满足客户的新需求,迫使企业必须改变其设计和生产方式,进一步缩短新产品开发周期(Time),提高产品质量(Quality),降低设计生产成本(Cost),加强售后服务(Service),即围绕 TQCS 展开激烈的竞争。长期以来,新产品的开发大多沿用传统的顺序工程方法,即所谓的“抛过墙”设计开发过程。产品总是从一个部门递交给下一个部门(例如:设计开发部 工艺部 制造加工部 总装测试部等),每次都

根据各自的需要进行修改。由于传统的顺序工程设计方法在设计的早期不能全面地考虑后续过程的多种要求(可制造性、可装配性、可测试性、质量保证等),使所制造的产品存在较多缺陷。故此,要求对原设计进行必要的修改,构成从概念设计到工艺过程设计的多次修改。同时可能在不同的环节中多次重复这一过程,以致造成对原设计改动大,产品开发周期长。另外,由于产品成本的70%是由概念设计阶段确定的,但概念设计修改只占总费用的7%~10%。而产品顺序工程方法的代价是10倍费用;详细设计的修改费用是概念设计修改的10倍;生产工艺制造阶段修改的费用是详细设计修改的10倍。所以也使新产品成本成倍提高。因而,顺序工程方法难以适应激烈的市场竞争的需求。并行工程能保证新产品一次设计制造成功,能适应企业参与激烈的市场竞争的需求。

并行工程是计算机集成制造、网络数据库、集成框架、计算机辅助设计,可制造性、可测试性设计工具集等技术,开发研究到一定阶段的产物。在并行工程中,计算机信息技术扮演了重要角色。要实现企业级并行工程,必须完成相互关联的5个步骤:

1. 可互操作的计算机环境。指能在不同的计算机平台、操作系统、网络、数据库及用户接口之间实现异构互连,实现物理集成。

2. 可互操作的工具和任务。利用统一的数据交换标准和开放式集成框架,提供统一的图形用户界面(GUI),实现数据与异族工具的互操作,并能为企业的不同用户提供直观的视图关系。

3. 自动化的产品数据管理。在并行工程环境中,必须管理产品开发过程中产生的大量数据,并能自动维护版本更新、数据变更,确保产品数据管理的一致性和完整性。

4. 自动化的过程管理。给参与设计的人员提供一组指导性的方法和过程,包括设计方法、设计流程和数据流过程管理。

5. 自动决策支持。设计阶段的决策在很大程度上决定了产品的质量、成本和开发速度。其目的是保持对产品开发周期内所发生的变化进行追踪、考核其对过程的影响;同

时在选择方案时,能提供“取舍”分析,帮助决策。

并行工程的主要目标是,提高新产品开发全过程(包括设计、工艺、制造、销售服务等)中的质量,降低新产品整个生命周期中的成本(包括产品设计、工艺、制造、发送、支持、客户使用乃至产品报废等成本),缩短产品研制开发周期(包括减少设计反复,降低设计、生产准备、制造及投放市场的时间)。

并行工程的显著特点在于重视用户的要求,能从全局优化角度出发,对产品整个开发过程进行集成管理和控制。首先涉及组织模式的变革。在并行工程中新产品开发队伍的组织,既不是按部门划分,也不是按专业分工,而是组织多学科产品开发队伍。其次,从产品的信息集成到产品开发过程的自动集成,强调注重知识、协作和人的有效参与,即从过去单纯的信息集成向人、管理、技术三者集成方向发展。在异构的计算机、网络数据库支撑环境下,在集成的框架平台上,多学科产品开发队伍成员利用各自的 DFX 工具,协同完成新产品开发任务。

并行工程作为现代制造技术的发展方向,日益受到各国工业界和学术界的高度重视。经过近十年的发展,并行工程的方法和技术逐渐在国外的航空、计算机、汽车、电子等行业获得成功的应用,取得了显著的效益。我国 863 CIMS 主题把并行工程列为重要的研究课题之一。我国一些有条件的企业也对并行工程提出了明确的需求。正在开展该领域研究的科技工程人员,企业管理人员及高等院校的相关学科的师生,渴望对并行工程方法学和一些关键技术有比较系统的学习和认识。

因此,本书是为相关专业(计算机、机械、电子、自动化等)的高年级大学生、研究生,以及企业和研究单位的产品设计开发人员、工程技术人员、企业管理人员编写的,同时也适合于其他专业的科技工作者借鉴。本书从基本原理开始阐述、贯彻少而精、突出重点,深入浅出的原则。

本书第一章以发达国家实施并行工程取得明显效益为例,阐明实施并行工程的战略意义、基本方法及基本概念。第二章论述产品生命周期模型,并着重论证了产品概念设计阶段,如能综合考虑制造、装配、测试及质量保证与维护等因素,可保证产品开发一次成功,并能有效地降低生产成本。第三章介绍可制造性设计(DFM)的原理。第四章详述产品设计贯彻DFM原理的基本原则,系统过程控制(SPC)的工具和方法。第五章着重讲述并行工程的组织管理方法:多学科小组的组织管理方法。第六章讲述鲁棒设计理论、方法与技术。第七章关于新产品开发的用户至上工程与质量功能布署QFD。第八章介绍制造工艺与设计规范。第九章讲述几何尺寸与公差分析。第十章通过应用印刷电路板的可制造性设计,例举并行工程的实用效果。第十一章介绍提高产品设计与制造可靠性的措施。第十二章讲述信息技术及其工具在可制造性设计中的重要作用。第十三章简述了传统CAD系统的限制,及基于知识的DFX工具的特点。

本书由浙江大学潘雪增任主编。第一章、第三章、第四章、第七章、第八章、第九章由潘雪增编写,第二章、第五章、第六章、第十章到第十三章由平玲娣编写。潘雪增对全书进行了统编和审查。全书大部分插图、表格以及全书的抄稿工作由顾中梁完成;赵余平等几位同志曾参加初稿的有关章节的资料收集工作;陈瑜承担全书图稿的修改和审核。清

华大学熊光楞教授和出版社责任编辑及其他编辑同志,在书稿的审查中提出了宝贵的意见。对上述各位同志表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免还存在一些不妥之处,殷切希望广大读者批评指正,并希望使用本书的教师和学生提出中肯意见。

编 者

一九九七年四月

目 录

| | |
|----------------------------------|----|
| 前言 | |
| 第 1 章 并行工程概论 | 1 |
| 1.1 并行工程的提出 | 2 |
| 1.2 并行工程是企业竞争的新战略 | 5 |
| 1.3 并行工程的描述工具 | 5 |
| 1.4 并行工程战略 | 10 |
| 1.5 并行工程的效益 | 11 |
| 1.6 小结 | 13 |
| 第 2 章 新产品的的设计开发过程 | 14 |
| 2.1 新产品生命周期模型 | 14 |
| 2.2 新产品生命周期中的技术因素 | 15 |
| 2.3 完整的产品开发过程 | 19 |
| 2.3.1 产品开发的过程管理 | 22 |
| 2.4 产品设计阶段的里程碑和校验点 | 23 |
| 2.5 产品项目的跟踪和控制 | 24 |
| 2.6 小结 | 27 |
| 第 3 章 可制造性设计原理 | 28 |
| 3.1 设计公理 | 28 |
| 3.2 设计准则 | 29 |
| 3.2.1 耦合设计的去耦 | 29 |
| 3.2.2 优化功能要求 | 29 |
| 3.2.3 集成物理部件 | 31 |
| 3.2.4 标准化 | 33 |
| 3.2.5 对称 | 34 |
| 3.2.6 最大的公差 | 36 |
| 3.3 可制造性设计原理应用示例 | 38 |
| 3.4 设置和衡量设计过程的目标 | 40 |
| 3.5 小结 | 41 |
| 第 4 章 产品设计规范和制造工艺公差 | 42 |

| | | |
|------------|--------------------------|-----------|
| 4.1 | 公差容限和工艺能力指数..... | 42 |
| 4.2 | 制造工艺离散性和产品设计规范..... | 43 |
| 4.2.1 | 从 C_p 指数确定预期的废品率 | 44 |
| 4.2.2 | 制造工艺中的故障确定 | 46 |
| 4.2.3 | 电子产品开机合格率的确定 | 46 |
| 4.3 | 制造变化性的测量和控制..... | 48 |
| 4.3.1 | 控制图的产生 | 50 |
| 4.3.2 | 控制图解释 | 53 |
| 4.3.3 | 连续工艺和改善工具 | 54 |
| 4.4 | 设置工艺能力指数..... | 61 |
| 4.5 | 过程控制..... | 62 |
| 4.5.1 | 统计过程控制 | 63 |
| 4.5.2 | 在线过程控制 | 64 |
| 4.6 | 小结..... | 65 |
| 第5章 | 并行工程的组织与管理 | 66 |
| 5.1 | 各部门在并行工程中的职能..... | 67 |
| 5.1.1 | 设计工程部门 | 67 |
| 5.1.2 | 制造工程部门 | 67 |
| 5.1.3 | 其它部门 | 68 |
| 5.2 | 设计准则..... | 68 |
| 5.3 | 并行工程的组织..... | 69 |
| 5.3.1 | 现代设计工程师的品质 | 69 |
| 5.3.2 | 建立有效的产品开发小组 | 70 |
| 5.3.3 | 小组组织步骤 | 71 |
| 5.3.4 | 解决小组争端 | 71 |
| 5.3.5 | 小组领导者的任务 | 72 |
| 5.4 | 并行工程的评价标准..... | 72 |
| 5.5 | 小结..... | 74 |
| 第6章 | 鲁棒设计理论与技术 | 75 |
| 6.1 | 在线和离线质量工程..... | 75 |
| 6.2 | 鲁棒设计技术..... | 76 |
| 6.2.1 | 进行鲁棒设计实验的步骤 | 77 |
| 6.3 | 鲁棒设计工具集..... | 80 |
| 6.3.1 | 损失函数 | 80 |
| 6.3.2 | 正交阵列 | 81 |
| 6.3.3 | 信噪比 | 84 |

| | | |
|------------|----------------------------|------------|
| 6.3.4 | 正交阵列中参数的互作用 | 85 |
| 6.3.5 | 电子噪声数据分析示例 | 86 |
| 6.3.6 | 鲁棒设计实验的统计分析 | 88 |
| 6.4 | 工程设计项目中鲁棒方法的运用 | 90 |
| 6.4.1 | 鲁棒设计实验和传统设计实验的比较 | 91 |
| 6.5 | 小结 | 91 |
| 第7章 | 用户驱动工程与质量功能布署 | 92 |
| 7.1 | 引言 | 92 |
| 7.2 | 质量功能布署 | 92 |
| 7.2.1 | 发展史 | 92 |
| 7.2.2 | 定义 | 93 |
| 7.3 | QFD 和设计系统 | 94 |
| 7.4 | QFD 的四个阶段 | 95 |
| 7.5 | QFD 实例研究 | 98 |
| 7.6 | 小结 | 112 |
| 第8章 | 制造工艺和设计规范 | 114 |
| 8.1 | 电子产品的制造工艺 | 114 |
| 8.1.1 | 印刷电路板 | 114 |
| 8.1.2 | 薄板金属加工 | 115 |
| 8.1.3 | 塑料部件 | 116 |
| 8.1.4 | 装配工艺 | 116 |
| 8.2 | 人工装配的设计规范 | 117 |
| 8.3 | 面向自动化和机器人的设计 | 118 |
| 8.4 | 可制造性设计效率示例 | 121 |
| 8.5 | 小结 | 122 |
| 第9章 | 公差分析 | 123 |
| 9.1 | 公差分析的概念 | 123 |
| 9.2 | 产品设计过程 | 124 |
| 9.3 | 进行公差分析的必要性 | 124 |
| 9.4 | 公差分析的类型 | 125 |
| 9.5 | 一般公差分析示例 | 126 |
| 9.6 | 统计分析示例 | 127 |
| 9.7 | 工艺能力和统计分析 | 128 |
| 9.8 | 公差分析和 CAD 及制造工艺 | 129 |
| 9.9 | 小结 | 129 |

| | | |
|---------------|------------------------|-----|
| 第 10 章 | 印刷电路板的可制造性设计 | 130 |
| 10.1 | 印刷电路设计 | 131 |
| 10.1.1 | PCB 设计选择的示例研究 | 132 |
| 10.1.2 | PCB 的 DFM 的发展 | 133 |
| 10.2 | DFM 程序要求 | 134 |
| 10.2.1 | 相对成本 | 135 |
| 10.2.2 | 复杂度 | 137 |
| 10.3 | 性能测量 | 140 |
| 10.4 | 整个过程 | 141 |
| 10.5 | 小结 | 142 |
| | | |
| 第 11 章 | 提高产品设计和制造可靠性的措施 | 144 |
| 11.1 | 产品可靠性系统 | 144 |
| 11.1.1 | 浴盆曲线和老化实验 | 145 |
| 11.1.2 | 产品可靠性策略 | 146 |
| 11.1.3 | 可靠性设计 | 147 |
| 11.2 | 提高可靠性的设计工具和技术 | 148 |
| 11.2.1 | 可靠性设计论证 | 148 |
| 11.2.2 | 可靠性的应力分析 | 150 |
| 11.3 | 提高设计和制造可靠性的产品测试 | 150 |
| 11.3.1 | 新元件鉴定过程 | 151 |
| 11.3.2 | 产品鉴定和确认测试 | 152 |
| 11.3.3 | 制造工艺和可靠性 | 152 |
| 11.4 | 现场故障跟踪 | 154 |
| 11.5 | 小结 | 154 |
| | | |
| 第 12 章 | 可制造性设计的信息技术 | 155 |
| 12.1 | 信息技术的作用 | 155 |
| 12.1.1 | 市场压力的影响 | 155 |
| 12.1.2 | 信息技术作用的改变 | 155 |
| 12.1.3 | 支持 DFM 的信息流 | 157 |
| 12.2 | DFM 的信息技术要求 | 159 |
| 12.3 | 规划支持 DFM 技术的实现 | 166 |
| 12.3.1 | DFM 中管理部门的作用 | 167 |
| 12.3.2 | 挑选 DFM 实现的小组 | 167 |
| 12.3.3 | 定义标准 | 167 |
| 12.3.4 | 定义关键的功能和支持相应功能的信息 | 168 |

| | | |
|------------------------|----------------------|------------|
| 12 3 5 | 成本和收益估算..... | 169 |
| 12 3 6 | 获得管理部门对项目的批准..... | 170 |
| 12 3 7 | 实验项目的详细实现计划..... | 172 |
| 12 4 | 实现 DFM 技术 | 172 |
| 12 4 1 | 挑选..... | 172 |
| 12 4 2 | 采购..... | 172 |
| 12 4 3 | 培训..... | 173 |
| 12 4 4 | 集成..... | 173 |
| 12 4 5 | 支持..... | 173 |
| 12 5 | 吸取的教训..... | 174 |
| 12 6 | 小结..... | 174 |
| 第 13 章 | 基于知识的工程 | 176 |
| 13 1 | 传统 CAD 系统的限制 | 176 |
| 13 1 1 | 给对象增加智能..... | 177 |
| 13 1 2 | 基于知识的工程的益处..... | 177 |
| 13 2 | 基于知识的系统..... | 178 |
| 13 2 1 | 基于知识的工程的定义..... | 178 |
| 13 2 2 | ICAD 设计语言 | 178 |
| 13 2 3 | ICAD 设计语言结构 | 179 |
| 13 3 | 小结..... | 182 |
| 参考文献..... | | 183 |
| 附录: 中英文术语名词缩写对照表 | | 186 |

并行工程概论

并行工程是集成地、并行地设计产品及其相关的各种过程(包括制造过程和支持过程)的系统方法。这种方法要求产品开发人员在设计一开始就考虑产品整个生命周期,即从概念形成到产品报废处理的所有因素,包括质量、成本、进度计划和用户要求。并行工程把产品从概念、设计到开发的串行过程缩短为并行过程。

过去,产品总是从一个部门递交给下一部门,每次都根据各自需要进行修改。“新产品在各部门间的抛接”是早期电子工业的生动写照。在产品的设计完成后,接着将进行产品的可制造性改造,修改零件图和公差,更新零件表、配置和装配图等文件。然后重组产品,向供应商再次订货。下一步由市场和现场维护部门提交用户使用产品后反应的报告,以及产品性能与产品广告宣传对照的报告。这些部门的技术维护人员还将提交关于保修期内返修率、零部件损坏率、故障预测难易度及维修后产品性能的报告。

但是,由于产品设计和开发部门没有及时吸收后续工序各部门对新产品的改进意见,或由于企业部门之间缺乏必要的管理制度和协调解决措施,致使产品设计缺陷、产品制造质量和售后服务等问题难以及时得到解决。因而使公司产品在市场上的占有份额逐步减少,有时严重到导致公司破产倒闭。

为了改变这种状况,很多公司开发了制造后改善系统。在产品提交制造部门后的再设计中引入了成本降低方案和价值工程,以降低成本和提高质量,并且为此开发了培训程序。新产品的开发仍主要集中在研究和开发部门,但是制造部门、营销维护部门对零件、部件的设计提出了符合公司制造能力的制造工艺要求,和装配、维修方便性要求和准则。这种新的运作方式和系统促进了世界性大公司之间的激烈竞争,促使各公司把竞争策略转向以在产品质量上取得全球性的有利竞争地位为中心。他们纷纷采用并行工程(CE)、可制造性设计(DFM)、连续过程改善(CPI)、全面质量管理(TQM)和“准时生产(JIT)”方法。全球的竞争者们显然采用了不同的新产品开发规则,那些仍然采用传统策略的公司发现他们的市场份额和利润在下降,由于他们不得不和别的公司联合或者是被接管,其独立性也日益下降,甚至于整个公司完全消失。这标志着并行工程和可制造性设计已成为新产品开发不可缺少的手段。近几年,并行工程在美国及西方许多国家十分盛行,它已成为当今工厂自动化方面的一个热点。许多公司先后报道了他们应用并行工程所取得的成果,这些成果已引起了人们极大的重视。

并行工程是新产品概念生成、性能描述、开发、制造和维护机构各部分的直接融合。并行工程的宗旨是制造低成本高质量并满足用户要求的新产品。成功的新产品开发不再只是研究和开发部门的任务,而是整个机构努力协作和配合的结晶。

在世界范围的竞争中,公司必须有迅捷的新产品反应能力,迅速地对用户需求、技术上的进步以及竞争对手的产品作出响应。他们需要新产品来开拓市场,激发用户的需求

欲望,增加他们的市场份额。这些竞争策略成功的关键在于公司迅速推出新产品的能力,能够一次成功地开发、制造并发布用户满意的产品。许多资料表明,电子公司的收入主要来自新产品:新产品的销售取代了老产品的位置,新产品由于在设计和制造中采用了新技术而具有更高的利润。

业务蒸蒸日上的电子公司深知新产品的重要性,并把收入的相当大一部分($>25\%$)投入到新产品的开发中,这大大高于一般公司的投入($5\%10\%$)。并行工程在这种投资的有效应用中作用显著。并行工程技术注重产品概念以迎合市场和用户需要,根据技术要求产生符合公司制造要求的原型,减少了新产品的开发时间和重复工作。

在世界性跨国公司诸如福特(FORD),AT&T和HP等成功开发了并行工程的工具和技术,并在新产品的设计开发和工程制造中获得有效应用。并行工程的新思想引起企业界和学术界的极大兴趣和关注。随着这些思想的确立,公司培训人员、学者和顾问们一起把它们整理并形式化为方法学,传授给公司里的工程师。本书着眼于为那些从事新产品设计和开发的工程师收集并阐释这些新概念、新思想,使他们在开发成功的新产品时充分发挥作用。

在企业或公司内实现并行工程时,除了直接的任务和部门的分工以外,工程师们还应当清楚为实现目标而进行协作的重要性。这是一些在技术学院或常规的大学教育中学不到的技能,但必须得到加强。其价值不亚于通常的工程师技术能力和创造力。组织多学科协作小组是实施并行工程,运用可制造性设计方法,成功开发新产品的一种极好组织形式。在并行工程中,协同和合作精神作为工程师评价的标准之一,加以强调和受到鼓励。

用结构化的分析工具描述一个复杂电子工厂的不同工艺和信息流程,是理解提出新产品复杂性的一个重要环节。为软件工程开发的结构化流程图方法在描述和阐明这些过程时,是非常有效的。

实际上,并行工程并非一种全新的方法。早在20年前,就有人提出了这种方法,但在当时环境下,并行工程由于多种条件限制不能发挥其应有的作用。随着企业向柔性化、集成化、智能化发展,并行工程的作用才得以施展,使企业如虎添翼。

目前,并行工程应用已相当广泛,不仅用于军,也已用于民;就行业而言,并行工程已应用于电子计算机、商用飞机、机械、汽车制造等许多行业;就产品而言,已从简单零件应用到复杂系统(如计算机、飞机等产品)的开发;从生产批量来看,已从单件或小批量生产的产品(如车载导弹发射装置)发展到大批量生产的产品(如汽车),而且有些产品要求具有极高的可靠性(如大型程控交换机)。

本章表述的一些并行工程方法和技术将作为后续章节深入讨论的引论。

1.1 并行工程的提出

世界工业市场竞争的不断加剧,给企业带来了巨大的压力,如何在竞争中求生存、求发展是摆在每个企业面前的现实问题。在美国有许多部门,尤其是那些面临国际竞争的部门,有许多关于美国经济竞争形势的讨论。有很多书、文章和学术研究集中比较了美国产品和国外产品在许多方面的不同,这些比较包括开发成本、生命周期、制造成本、质量、

可靠性和用户的满意程度等。许多美国公司还选派工程师和管理人员对国外的成功者进行研究,期望能洞悉其成功的秘诀。他们发现了同一真理,即“蛮干不如巧干”。

对汽车工业的考察(见表 1.1)表明了并行工程和可制造性设计的主要优点。由表 1.1可见,和美国汽车业相比,日本汽车业在统计数据上占有明显的优势。日本的工科大学和研究所与美国相比并无大的不同,这使我们不得不从别的方面来寻找产生这些差别的根源。

并行工程的影响见表 1.1。由于日本汽车的设计时间和工作量差不多只及美国的一半,他们可以做到一种产品的小批量和短生命周期,并向市场推出大量的不同产品。这种竞争优势带来了成功的销售策略和更大的利润。

表 1.1 美国,日本汽车的设计和周期

| | 美国 | 日本 |
|---------------|---------|---------|
| 设计时间/ 型号(月) | 63 | 50 |
| 设计工作量/ 型号(人数) | 3.5 | 2.0 |
| 平均年产量/ 型号 | 240,000 | 125,000 |
| 平均换代时间(年) | 9.0 | 4.0 |
| 在线生产的型号数 | 40 | 80 |

有了如此多的产品,就可以对市场进行适当的划分,不同的产品针对不同的市场。由于成功产品的主要利润出现在生命周期的前期,产品的更替非常快,在接近获得最佳利润时即被替代。产品在达到饱和前,其销售和利润下降,即被新的产品所取代,新的低成本技术优势使新产品对用户的要求作出更敏捷的反应。

由于从产品开发到占有市场的整个生命周期越来越短,新产品必须凭借其准确的用户需求预测、高品质和富有竞争力的价格才能命中市场。在这种趋势下,很明显来不及去改正设计缺陷和错误并进行产品的重新设计以获得更低的成本和更高的质量。在产品成熟前就向市场发布将损害公司在用户中的信誉,增加公司额外的修改和回收费用。因此有了并行工程的帮助,便可以及时地推出满足用户需求、高质量、低价格的新产品。

并行工程是适应短开发周期要求的产物:新产品的设计要综合考虑各方面的因素。首先最重要的一环是用户,他们将决定产品最终的成功与否。如果对目标用户的要求进行很好的定义和归档,所制定产品的技术要求就可以围绕用户的需要进行。质量功能部署(QFD)方法是用来听取用户意见的,尤其是针对那些用户对当前产品可能的选择和产品功能都相当了解的系列产品。

对制造部门来说,并行工程意味着为获得最低的生产成本和最高的产品质量而制定新产品的技术要求和制造公差。由于制造过程经过了严密的论证,并且运用了过程统计控制和全面质量管理(TQM)工具对其进行控制,产品在提交制造部门后,产量能很快地达到饱和值。

并行工程意味着另一些相关部门如现场维护、质量、市场和制造部门对新产品的设计和技术要求的制定也有很大贡献,他们确保产品有好的保修水平、易维护和可测试性。这些传统上被认为在产品过程中无足轻重的部门,为设计提供可检测的度量的目标,成

为产品目标确定过程的重要参与者。

并行工程的特点是充分重视用户的要求及其优先权,确信质量的提高是改进过程的结果,认为改进设计、制造和支持过程是整个企业永无止境的任务。

在许多工业中,人们越来越认识到在产品周期尽可能早的阶段作出正确决定的重要性,尤其是在产品概念形成和开发阶段。这些阶段只占整个产品成本消耗的很小部分,但此时的正确决策意义重大,因为它们对整个产品的生命周期、成本有极大的影响。图 1.1 显示了这种关键作用。最近的大量数据(表 1.2)也证实了这一点。

图 1.1 产品各阶段对成本的影响

表 1.2 电子产品各阶段对最后成本的影响

| 作出决定的阶段 | 占总成本的百分比(累计数) | |
|---------|---------------|--------|
| | 直接承担的 | 与之相关联的 |
| 概念 | 35 | 4060 |
| 设计 | 58 | 6080 |
| 测试 | 810 | 8090 |
| 工艺计划 | 1015 | 9095 |
| 制造 | 15100 | 95100 |

* 设计在整个开发过程中只占小部分,但决定了以后的成本

| 设计修改所处的阶段 | 所花费用(元) |
|-----------|-------------|
| 设计中 | 10,000 |
| 设计测试中 | 100,000 |
| 工艺规划中 | 1,000,000 |
| 小批量试制中 | 10,000,000 |
| 批量生产中 | 100,000,000 |

* 工程修改进行得越迟,花费越大,费用呈对数增长。

在新产品开发中要牢记的是尽量采用并行工程方法,利用来自市场、制造、质量和维

护等各方面的信息一次成功地设计出产品。本书将给出一些这方面的工具和技术例子。这些工具和技术用来衡量和实现新产品开发并达到目标的过程。

1.2 并行工程是企业竞争的新战略

并行工程促使公司不断地追求更短的开发时间和更快的产品制造速度。表 1.3 表明了这一点。

表 1.3 产品开发和制造时间的日益减少

| 公司 | 产品 | 开发时间(年) | |
|----------|-----|---------|-----|
| | | 旧产品 | 新产品 |
| HONDA | 汽车 | 4 | 2.5 |
| AT&T | 电话 | 2 | 1 |
| NOWISTAR | 卡车 | 4 | 2 |
| 惠普 | 打印机 | 4.5 | 2 |

* 产品开发时间的不断缩短

| 公司 | 产品 | 定单交货时间 | |
|------|-------|--------|-----|
| | | 旧产品(周) | 新产品 |
| 通用电子 | 欠压保护器 | 3 | 2d |
| 摩托罗拉 | BP 机 | 3 | 2h |
| 惠普 | 测试设备 | 4 | 5d |

* 定单交货时间也在不断缩短

如果公司在产品开发或定单制造周期上取得显著进步,将使新产品的开发周期更短,对用户定单的交货期响应更及时,甚至提前交货。如果这些指标大大低于平均水平线,就使产品竞争处于有利的地位。在竞争激烈的当今世界,循序渐进地前进是远远不够的,就算是有 10% 的改善也还不够充分。现在的公司,利用并行工程这一工具进行新产品开发,能在质量、时间和成本上取得呈数量级的显著提高。例如,在 80 年代中期,惠普公司建立的一套程序在 5 年内使其产品质量提高了 1 倍。

莫丘利计算机公司(MERCURY COMPUTERS)是美国马萨诸塞州洛厄尔的一家小公司,生产基于 PC 机的印刷电路板产品。这家公司把 PCB 板的发货周期(从设计的提出到产品交给用户)缩短到不足 90 天。由于该公司利用了公司内部机构与外部供应商的合作来进行 PCB 板的设计、制造、组装和测试,其意义是重大的。这种尝试包括供应商和公司机构在工程师、设备和技术等多方面的广泛合作。深刻理解用户需求和制造及现场过程是这家公司成功的基础。

1.3 并行工程的描述工具

结构化分析(SA)和结构化设计是为软件开发而开发的,它作为层次分解和软件模块

描述的工具。随着软件规模和编程复杂度的增加,结构化分析和设计取代了传统的流程图工具。

结构化分析和设计的一个优点是用图的形式表示出不同系统和部门间的信息流动,它和层次方法相结合,使复杂的系统和过程变得简单明白。管理信息系统成功地运用了结构化分析和设计来进行生产操作细节中信息和数据的设计。同样,结构化分析和设计也可用来描述复杂的市场、销售、制造和质量系统,帮助新产品的开发并推广到制造业和市场。

今天,为适应于不同的应用场合,结构化分析已更为规范化。市场上有许多软件系统可用来开发并绘制结构图。结构化分析简单性在于只需少量几个符号和技术就能表达一个复杂的系统或操作。被描述系统的高层边界称为“上下关系图”,系统被分解为更小更细的单元即“数据流向图”。数据流向图把一个系统从高层和宏观的角度分解为低层微观的特定操作,这个过程称为“自上向下的分解”或“分层”。

一个数据流向图可看作由相关函数构成的网络,它表明了网络成员间的所有数据交换。这些组成成员如下:

- 数据源或目的 用一个圆或椭圆表示。源定义为数据的发源地,目的定义为数据的端目标。源和目的决定了系统研究的范围。在并行工程中,他们代表各部门、供销商和用户。
- 数据存储 用方框或长方框表示。它代表信息的存储器。数据可以存储在电子文件或一个物理空间如文件抽屉中。文件名或存储系统名应标在符号旁边。在一个复杂的图中,同一数据存储可能画在不同的位置上,为的是减少线段的交叉。这时,在符号上应另加一条垂直线段,表明此元素在图中是重复的。
- 数据流向 用一个箭头表示。表征信息在系统不同部分间的转移,便于进行变换或记录。数据名应标在箭头旁。

每次的数据流向和数据存储都应有一个相应的数据字典,数据字典提供一个单独的文件来记录理解数据流向图所需的必要信息。这些信息可以是保存每个数据项的记录和与记录相关的信息。

下面是一个数据字典的例子。

数据字典示例:

部件主文件 = 部件号
 + 货名
 + 供货商
 + 供货商部件号
 + 价格
 + 研制周期
 + 定单数量
 + 手头余量
 + 贮藏位置
 + 部件位置 + ... +

部件结构文件 = 部件/ 装配/ 制造 #
+ 货名
+ 使用量
部件位置文件 = 部件/ 装配/ 制造 #
+ 货名
+ 父部件号

在这个例子中,三个文件通常用来作为一个制造企业中所有部件、制造项目和组件装配的资料,它们可概述如下:

部件主文件 保存了新产品所有部件的属性,如部件号、货名、供应商、价格、研制周期、库存水平及其它的制造信息。

部件结构文件 对完成整个产品所需的所有部件,制造项目和组件装配按其相互关系以自上向下的方式进行记录。每一项由完成它所需的项目清单组成。

部件位置文件 部件转换文件,用来标识每个部件的父部件号或装配单元。

过程 用一个四角圆滑过渡的方框表示。过程可通过重组数据或增删信息来改变系统的数据流;过程也可由不同的数据源来产生新的信息。数据流图的细分进行到每个过程的任务从整体上已容易理解时就应结束。这个不再被分解的过程称为基本过程,它若再细分下去就显得琐碎。

当一个过程在功能上不能继续细分时,其上应记有一个过程特性(也称作 mini-spec 或 p-spec),它给出了过程名称,过程的输入和输出及过程数据转换和产生的详细说明。判定树和判定表等符号方法是通常用于描述过程特性的工具。简而言之,这些工具记录了根据输入数据流做出的过程判定。有关这些工具的详细情况,可参阅有关资料。

下面的示例说明了一个处理库存中短缺部分的过程:

当库存小于需求时,则
 剩余部分拒绝请求
 警告采购部门
 填写短缺警告报表
 给仓库标上红色的短缺标记

如图 1.2 所示的结构化分析单元,在为研究和设计部门提供并解释这些方法、技术、责任和机构不同部分的操作时是很有用的。它是并行工程的一个强有力的文档工具。另外,从中可以轻易地看出过程中的无效部分,这样就能剔除多余的循环和数据转换,对其进行优化。

每个部门都应该有自己的数据流向图,记录他们的步骤、责任和职能。这可以作为记录整个过程及其相互关系的极好工具。采用图的可视化表达要比文字表达的规程和文件易于理解。这样,产品设计师在制做原型和产生数据时就更能迅速地抓住不同部门间的相互联系。

下面为结构化分析应用的示例,在图 1.31.6 的示例中,用结构化分析描述了一个电子工厂的生产系统。组织一个多学科功能小组来为新产品开发作规划提建议时,小组成员很快就会发现其实他们并不了解不同的部门如何完成其任务,也不清楚部门间如何进