



中国矿业大学“211工程”三期创新人才培养项目资助

产品平台设计 与产品族开发

*Product platform design
and product family development*

李中凯 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学“211 工程”三期创新人才培养项目资助

产品平台设计与产品族开发

李中凯 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了产品平台设计与产品族开发的基本原理、方法和应用,反映了当前基于平台的产品族研究与应用的最新成果。其中,理论方面包括平台参数分类、平台调节原理模型、平台优化目标模型和平台重构过程模型等;方法方面包括客户需求处理方法、产品性能设计方法、平台调节重构方法、平台优化重构技术、平台稳健重构技术和平台方案评价方法;应用方面介绍了空分装备整机客户需求分析实例,介绍了注射成型机、大型压缩机、空气膨胀机、板翅式换热器、通用电动机等产品的产品平台设计方法和技术。

本书内容丰富翔实,深入浅出,具有较强的前沿性和实用性,可供从事产品族与产品平台开发以及其他机械产品设计的研究人员参考,也可作为企业管理人员、工程技术人员、计算机应用人员和高校有关专业教师和学生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

产品平台设计与产品族开发/李中凯著. —徐州:

中国矿业大学出版社,2013.7

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1907 - 7

I. ①产… II. ①李… III. ①产品设计 IV.

①TB472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 127655 号

书 名 产品平台设计与产品族开发

著 者 李中凯

责任编辑 付继娟 张 岩

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 9 字数 168 千字

版次印次 2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷

定 价 16.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

在当今动态多变、激烈竞争和不断细分的市场环境下,企业需要以更好的质量、更低的价格和更高的性能,提供满足多样化市场需求的系列产品。因此,产生了客户需要增加产品外部多样化,而企业需要减少产品内部多样化的矛盾。产品族或基于平台的产品开发(Product Family or Platform-based Product Development)就是解决该矛盾的有效策略,能够从设计角度使企业以大规模生产的效率提供满足客户需求的定制产品。“工程师设计平台,而不再设计单个产品”,产品平台设计日益成为主宰产品竞争力的决定性因素。

客户对系列化产品的不同需求主要表现在功能特征差异和性能指标差异两个方面。模块化产品平台通过功能模块的添加、替换和移除,实现满足不同功能的系列产品。在系列产品的性能差异方面,参数化产品平台通过可调节变量的放大或缩小,保持平台公共变量恒定,实现不同性能指标的系列产品。本书面向参数化平台的产品族设计,引入可重构设计理念,对参数化产品平台和产品族的各类设计方法进行系统介绍,并体现了从客户需求分析到产品结构设计的一体化过程,反映了当前参数化产品平台研究与应用的最新成果。

全书共分7章。第1章描述了参数化平台设计的基本理论,分析了参数化平台的开发特点、参数分类、原理模型和优化模型等,为设计方法的研究构建了理论基础。第2章阐述面向产品平台设计的客户需求分析方法,对客户需求进行重要度分析与预测,指导产品平台的设计改进。第3章就产品性能设计方法进行探讨,构建产品性能的多目标优化模型,使用智能计算方法求解,实现产品性能指标的优化。第4章从自顶向下的角度,提出参数化平台的调节重构设计方法,分两个阶段进行平台常量设计和可调节变量设计。第5章阐述了单阶段产品平台优化重构设计方法,构建了平台优化重构模型,并使用混合协同进化算法求解。第6章从自底向上的角度,探讨基于稳健设计理论的产品平台再设计方法,通过多步运算,实现平台常量共享策略的细分。第7章研究参数化平台的通用性与产品性能权衡评价方法,建立定量评价指标,通过矩阵运算的方法排除额外的辅助参数,提高评价准确度。在设计方法章节,配合不同实例产品进行工程应用的说明。

本书不仅为对产品族和产品平台设计技术感兴趣的学生、咨询人员、技术人员和企业管理人员提供比较完整的,并具有学术性、前沿性和实用性的基于平台的产品设计的理论、方法和工具,而且为企业信息主管提供了产品平台设计系统的初步解决方案。

作者衷心感谢谭建荣教授、冯毅雄副教授等对本书的关心和支持。参加本书编写工作的还有王瑞硕士、白涛硕士、崔海龙硕士和郭强硕士等,在此表示感谢。

因本书内容较新,涉及范围较广,特别是对一些新概念的认识和新问题的分析可能会有不妥之处,恳请专家和同行批评指正。

书中部分研究成果得到国家自然科学基金和中国博士后科学基金资助项目的支持,特此感谢。

著 者

2012 年 9 月

目 录

1 产品平台设计的基本理论	1
1.1 引言	1
1.2 产品平台可重构设计模型	2
1.3 产品平台可重构设计方法的集成	12
1.4 相关概念的对比与分析	15
思考题	18
2 产品动态需求的灰理论分析与预测	19
2.1 引言	19
2.2 质量屋需求分析问题描述	20
2.3 需求重要度的灰理论分析与预测	26
2.4 深冷式空分装备的需求分析实例	34
思考题	42
3 产品平台的智能计算性能设计	43
3.1 引言	43
3.2 智能计算方法概述	44
3.3 产品性能优化问题描述	46
3.4 多目标进化优化设计方法	50
3.5 注射性能多目标优化应用	55
思考题	60
4 产品平台的多目标进化调节重构方法	61
4.1 引言	61
4.2 产品平台的两阶段调节重构设计方法	62

4.3 基于拥挤距离排序的多目标粒子群算法	66
4.4 基于模糊集合理论的 Pareto 选优	71
4.5 空气压缩机产品平台的调节重构实例	72
思考题	84
5 产品平台的混合协同优化重构技术	85
5.1 引言	85
5.2 参数化平台设计改进的需求分析	86
5.3 多共享产品平台重构设计问题描述	87
5.4 混合协同进化的产品平台优化重构方法	90
5.5 增压透平膨胀机产品平台的优化重构实例	96
思考题	103
6 产品平台的模糊聚类稳健重构方法	104
6.1 引言	104
6.2 产品平台的稳健重构设计建模	105
6.3 模糊聚类的产品平台稳健重构方法	108
6.4 板翅式换热器产品平台的稳健重构实例	114
思考题	123
7 产品平台的通用性与性能权衡评价	124
7.1 引言	124
7.2 产品平台设计的评价特征	125
7.3 产品平台的相似度设计方案评价	125
7.4 工程应用	130
思考题	134
参考文献	135

1 产品平台设计的基本理论

1.1 引言

为了满足细分市场条件下的多样化客户需求,有两种方式来设计一组相应的产品:一种是用一次设计一个产品的方式来规划一组产品的设计,这将导致产品种类的“爆炸”,而不利于实现规模经济效益;另一种是将这组产品作为一个族来规划多重产品的设计,即面向产品族进行设计。这两种方式的主要区别在于通用性使得产品族中产品之间存在相互联系。虽然客户需求的多样性驱使设计朝着个性化方向发展,但开发和生产的复杂性却驱使设计朝着通用化方向发展,以满足客户对定制时间和价格(成本)的要求。产品族或基于平台的产品开发,是实现大批量定制的有效策略。

产品平台(Product Platform)是系列化产品共享的通用特征、组件或子系统,可以派生出满足相关市场需求的多种产品。产品族(Product Family)是基于产品平台派生出的一系列相关产品。参数化产品平台(Scale-based Product Platform)是产品平台设计的一个分支,它在保持平台公共变量恒定的情况下,通过可调节变量的放大或缩小,实现满足不同性能指标的系列产品。其中,平台通用性和实例产品性能的权衡是参数化产品平台设计的重要问题。参数化产品平台主要关注于产品设计变量取值的合理共享,因此,在平台框架下对产品的数学模型进行求解,基于产品独立优化设计结果进行面向平台的产品重构设计,获得优化的平台常量和可调节变量集合、平台常量值和实例产品可调节变量值,成为该类产品平台开发的关键。

在参数化产品平台重构的原理方面,该平台保持平台公共变量恒定,通过可调节因子的放大或缩小,实现不同性能的派生产品,其重构过程包括产品平台选择和实例产品设计两个任务。但是,在参数化产品平台的特点、设计参数分类、原理模型、优化模型和可重构设计方法体系等方面,有待进行深入研究。

因此,本章首先分析了参数化产品平台区别于模块化产品平台的特点,构建了参数化产品平台可重构设计的原理模型和优化模型。在此基础上,提出了产

品平台可重构设计的理论框架和方法体系,并对与产品平台可重构设计相关的几个理论和概念进行分析和对比。

1.2 产品平台可重构设计模型

1.2.1 基于平台的产品设计方式

在大规模定制生产模式中,企业的产品是以市场需求为向导的。市场网格划分方法,以市场需求为横坐标,以产品的成本、性能为纵坐标,每个网格都代表一组具有特定性能和成本并满足相关市场需求的产品。模块化产品平台和参数化产品平台通过不同的调节方式,覆盖各自的市场划分网格。

图 1-1 的市场网格包括三种产品平台调节方法,分别是水平调节、垂直调节和混合调节。水平调节适用于模块化产品平台,基于相同的接口,通过模块的添加、替换或移除组成不同的产品。垂直调节适用于参数化产品平台,在常量参数不变的情况下,通过可调节变量在限定范围内的变化,实现不同性能的实例产品。混合调节适用于适应性产品平台,综合使用水平调节和垂直调节方法,具有较大的潜在经济效益,但是调节难度最大。

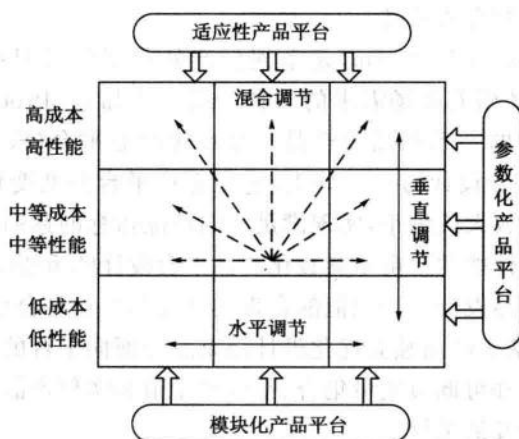


图 1-1 基于市场网格划分的产品平台调节方式

空气压缩机产品族的市场网格划分如图 1-2 所示。在活塞式、螺杆式和离心式空气压缩机产品中,电动机模块可水平调节以用于不同类型的产品;同时,变速箱尺寸可进行垂直调节,以满足不同功率空压机的传动需求。其他产品市场网格划分的应用还有计算机、办公家具、商务飞机和软件产品等。



图 1-2 空气压缩机产品族的市场网格划分

产品族是共享公共特征、组件和子系统的实例产品的集合，公共产品平台 (Common Product Platform, CPP) 表达了产品族中通用的组件、结构和设计参数等。产品族模型既要描述公共产品平台，又要描述各实例产品相互区分的特征，如图 1-3(a) 所示。产品平台重构的核心目的是在保持产品外部多样化的前提下，提高产品族的平台通用性，如图 1-3(b) 所示。对参数化产品平台重构来说，就是要寻找两类变量：一类变量（即平台常量）的变化对产品性能变化不敏感，可在系列产品中取相同的值，既能提高平台通用性，又不损害实例产品的性能；另一类变量（即可调节变量）的变化对产品性能变化非常敏感，需要在各实例产品间取不同的值，实现系列产品的性能差异。

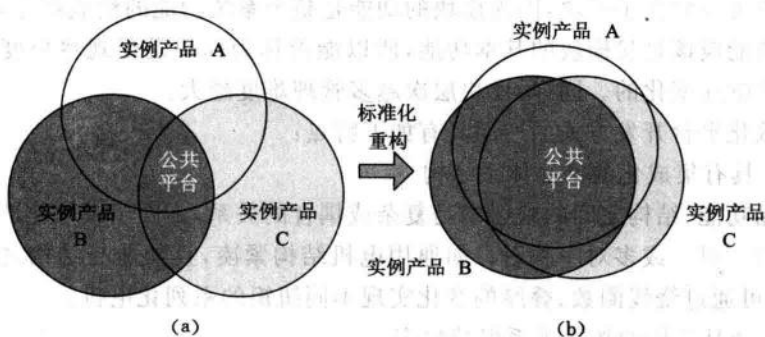


图 1-3 产品平台重构设计示意图

(a) 低平台通用性的产品族模型；(b) 高平台通用性的产品族模型

1.2.2 参数化产品平台开发的特点

由以上市场网格划分和产品平台调节方式的论述,可知模块化产品平台和参数化产品平台是两种基本的平台开发方式,两类平台分别适用于不同类型的产品。

采用模块化平台开发方式的产品具有模块化、接口标准化和可配置的特点,典型产品如计算机、汽车和电梯等。模块化产品平台开发的特点包括:

(1) 模块具有独立的功能

在模块化的产品结构中,零部件的功能与产品功能是一一对应的关系,这样对于零部件的更改和产品功能的改善不会造成其他零部件和功能的调整,也就是将产品的功能抽象与产品零部件的具体实现分离,模块自身的单独发展不会影响其他模块。

(2) 标准的几何连接和一致的输入、输出接口

为了实现同类模块之间的互换,严格的尺寸接口和输入输出接口的定义是必须的。几何连接接口,可以是机械领域的销、面、键和螺栓等,也可以是电气领域的信号、能量等。

(3) 模块是依赖产品平台的存在而存在的

虽然模块的功能是自我包含、自我实现的,但是模块的存在和划分必须以产品平台的整体功能为前提。模块的功能和互换性都是依赖于产品平台的功能和配置变化而存在的,失去产品平台的定义和产品平台的配置需求,模块的存在是没有意义的。

(4) 模块是有层次的,并且受观察角度和范围的影响

模块可以包含子模块,因为模块的功能是整个系统功能的组成部分,所以子模块的功能应该是父模块的基本功能,所以能否称为模块是受观察角度和定义范围的影响而变化的。同样,模块层次越多管理难度越大。

参数化平台开发方式的产品具有如下特点:

(1) 具有集成化的产品体系结构

产品功能、结构之间的映射多是复杂或耦合的关系,不同于模块化产品体系结构中的一对一或多对一映射。如通用电机结构紧凑,且功能与结构之间存在耦合,但可通过绕线圈数、叠厚的变化实现不同扭矩的系列化电机。

(2) 产品结构的拓扑关系保持恒定

基于通用的产品拓扑结构,在满足约束的前提下改变关键部件的几何尺寸,可实现不同性能的派生产品。如 Rolls Royce 公司的 RTR322 航空发动机,拓扑结构不变而将风扇直径扩大 1.8 倍,形成不同推力和转矩的 RB550 系列航空

发动机。

(3) 已知产品设计的输入/输出模型

建立产品设计变量与性能参数之间的数学模型,输入一组设计变量值,能够得到产品的性能参数值。如商用客机运算程序(General Aviation Synthesis Program, GASP)输入引擎直径、效率因数和机翼重量等设计参数,能够得到巡航速度、巡航距离和整机成本等性能参数。

产品平台设计是实现大规模定制的有效策略。不论何种产品平台开发方式,其设计目标都是在提高产品外部多样性的同时,降低产品内部多样性,以满足客户个性化需求,同时节约产品的设计、生产及装配成本。模块化产品平台与参数化产品平台的比较如表 1-1 所示。由表可知两类产品平台的区别主要在于核心问题、定制方式和关键技术等。两类产品平台模式既可单独使用,也可相互结合,各有利弊,如何选择应视具体产品的特点而定。

表 1-1 模块化产品平台与参数化产品平台的比较

	模块化产品平台	参数化产品平台
核心问题	建立公共模块与个性化模块	划分平台常量与可调节变量集合
定制方式	通过个性化模块的添加、替换或移除	通过可调节变量取值的放大或缩小
关键技术	模块粒度划分 模块配置	产品平台常量参数规划 可调节变量的设计
设计瓶颈	产品功能和模块共性程度间的平衡	平台通用性和实例产品性能的权衡
适用范围	部件接口特性明显,易于标准化和通用化的产品	整体性能对部分设计参数调控敏感的产品

1.2.3 产品平台设计参数的分类

参数化产品平台的重构,关键在于对影响产品性能的设计参数进行合理的取值,使得既能实现平台参数的共享,又能优化各实例产品的性能。分析参数化产品平台的计算模型,得到图 1-4 所示的以下五类设计参数:

(1) 性能优化目标集合 F

为了提高客户满意度而优化的产品性能指标,如通用电机效率大于 70% 即实现了市场的平均水平,但效率越高越好。产品成本等属性也属于性能优化目标的一种形式。

(2) 平台常量 C

在产品族的各实例产品中保持通用的设计变量。平台常量通常对产品性能

的变化不敏感,可在系列产品中取相同的值,而不显著影响产品性能。如不同转矩的通用电机使用芯片的直径和厚度相同。

(3) 可调节变量 S

在各实例产品间存在变化的设计变量。通过可调节变量的放大或缩小,实现不同实例产品的性能差异。如通用电机产品族仅通过叠厚的调节就能实现不同转矩的系列电机。平台常量和可调节变量共同构成了产品平台的设计变量集合 X 。

(4) 设计约束集合 G

约束包括等式约束和不等式约束,用于保证设计的合理性和产品性能满足客户需求,如通用电机功率必须等于 300 W ,转矩必须等于 $0.05\text{ N}\cdot\text{m}$ 、 $0.1\text{ N}\cdot\text{m}$ 等。

(5) 设计常量集合 Z

设计常量是由材料、产品拓扑结构、模具尺寸等决定的,在各实例产品设计中恒定的参数,如通用电机极数 $p=2$ 。

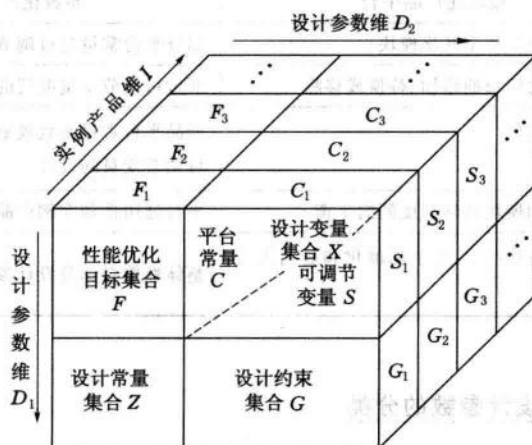


图 1-4 参数化产品平台设计参数的分类

针对平台常量 C 和可调节变量 S 的规划策略,从设计角度,希望平台常量 C 的载体零件总的设计复杂度最大,可调节变量 S 的载体零件总的设计复杂度最小,使生成新产品时所发生的设计费用最少;从模具角度,希望 C 中尽可能包括铸造件, S 中尽量不包括铸造件,以减少新产品开发的制模费用;从制造与装配角度,希望 C 中尽量包含那些装配接口较复杂的零部件,它们之间的装配总是在接到订单之前完成的;从服务角度,应尽量将那些容易损坏的零部件包含在 C

中以扩大批量从而降低成本,以便在售后服务中保有一定的储备量;从管理角度,希望 C 中包含价值较低的零部件,以降低库存成本。

由于平台参数在产品族中取固定值,因此,应该使产品定制对产品生命周期各阶段的活动的影响降低到最低程度而且不导致客户化程度的降低。因此如何选择平台参数就显得至关重要。假设决定产品主要性能参数(型谱) F 的设计变量集合为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} = X_1 \cup X_2$, 即 $F = h(x)$, 其中 X_1 为平台参数, X_2 为定制参数。考虑产品平台方案而导致的产品生命周期中所发生的生产活动变化,可得平台参数的规划策略:

(1) 设计。由于 X_1 为平台参数,与 X_1 相关的零部件(称为载体零件)不需作修改或只需作少量的修改; X_2 为定制参数,因此 X_2 的载体零件需要进行设计,有可能是全新设计、非参数化的变型设计、参数化的变型设计。载体零件越复杂就越难设计,其设计周期也将更长,设计费用也将更高。总是希望生成新产品时所发生的设计费用最少。因此希望 X_1 的载体零件总的设计复杂度最大, X_2 的载体零件总的设计复杂度最小。

(2) 模具。 X_2 中的载体零件通常希望不要包括那些铸造件,这样在对 X_2 作定制设计时,不需要更换新的模具,可大大减少制模费用。因此, X_1 中尽可能包含铸造件。

(3) 制造。对于不同的加工方式,其费用也有很大差异,希望 X_2 中的参数变化导致的加工费用变化(更换刀具、夹具等)较少。

(4) 装配。希望 X_1 中尽量包含那些装配接口较复杂的零部件,它们之间的装配总是在接到订单之前完成的,因此对于后续的定制生产,其装配周期、交货期都将得到较大程度的改善。

(5) 服务。产品售后服务对于维持客户关系、维护企业声誉是至关重要的,售后服务一个重要体现在于产品维修。应该尽量将那些容易损坏的零部件包含在 X_1 中以扩大批量从而降低成本,以便在售后服务中保有一定的储备量。

(6) 管理。除非很好地实施了准时生产、闭环物料需求计划等技术,否则总是存在着大量的库存,而库存总是包含那些按一定批量进行大规模生产的零件,在生产管理中,希望库存越少越好,因此希望 X_1 中包括那些价值较低的零部件。

另一方面,在确定平台参数时,还需要考虑以下因素:

(1) 设计变量之间相关性。相关性是指一个设计变量与另一个设计变量要么同时作为平台参数,要么都不作为平台参数,例如制动钳缸径和油缸数量,它们同属于制动钳零件,具有相关性。

(2) 平台参数的选择。平台参数的选择对于产品性能将产生一定影响,从定性的角度来分析,产品平台战略是以牺牲产品的部分性能作为代价的,因为在

产品平台上生成产品族只是通过模块组合和调整定制参数的值而得到的,它们毕竟只是整个设计变量系统中的一部分, X_1 中包含的设计变量越多,越会降低产品平台的定制灵活性。因此,希望 X_1 中包含的参数越少越好,并尽可能包含对产品性能影响较小的参数。因此,对于上述平台参数的规划策略需要综合权衡,选择适当的 X_1 将依赖于一定的设计和制造经验。

1.2.4 产品平台可重构设计的原理模型

研究参数化产品平台区别于模块化产品平台的实现机理,建立参数化产品平台可重构设计的原理模型如图 1-5 所示。

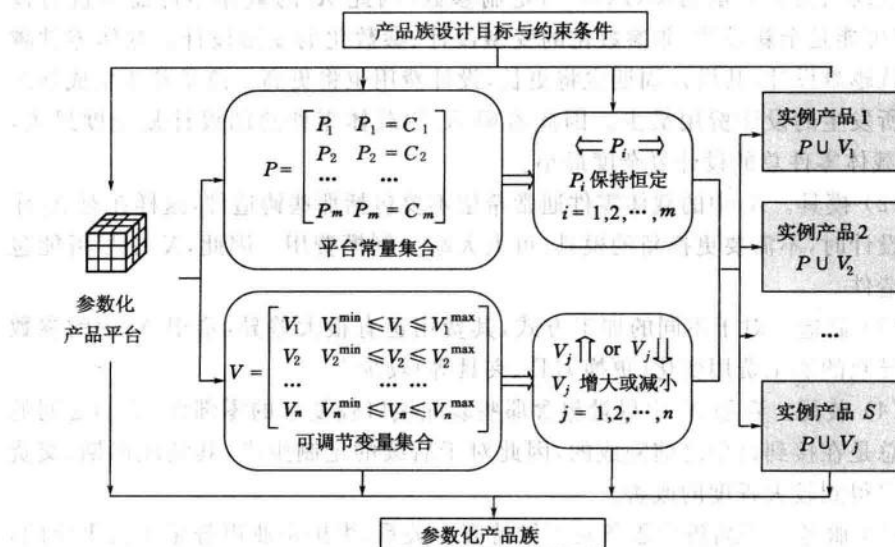


图 1-5 参数化产品平台可重构设计的原理模型

产品平台包括平台常量集合 P 与可调节变量集合 V ,在设计目标与约束条件的共同作用下,通过变量的调节实现不同性能的实例产品。在派生产品生成过程中,常量参数值保持恒定,每个可调节变量在其限定范围内增大或减小。常量参数值与各组可调节变量值相结合,构成每个实例产品的设计参数。即通过可调节变量的变化,实现产品平台到派生产品的演化过程。

基于可调节变量的航空涡扇发动机产品平台模型如图 1-6 所示。在分析航空发动机结构与性能模型的基础上,以 CFM56—2 为基本型号产品,通过调节风扇直径,得到 CFM56 系列发动机,形成了覆盖广泛市场需求、提供不同功率

和推力的航空涡扇发动机产品族。航空发动机的主要性能参数包括：① 推重比（或功率重量比）。对喷气发动机而言，推重比是指发动机的推力与其自身重量的比值，即表示发动机单位自重所能产生推力的大小。② 单位迎面推力。对喷气发动机而言，单位迎面推力指发动机的推力与其最大迎风面积之比，代表发动机每单位迎风面积所产生推力的大小。显然，当其他的性能相同或相近时，应该选用推重比和单位迎面推力较大的发动机。

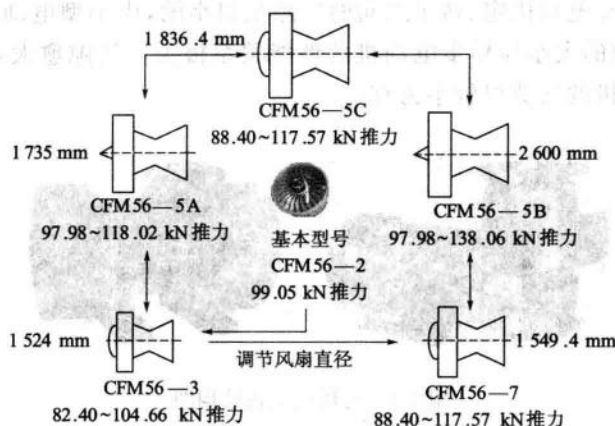


图 1-6 基于变量调节的航空发动机产品族

成功使用参数化产品平台的著名实例是 Black & Decker 公司通用电动机 (Universal Motor) 的设计与生产。20 世纪 80 年代，该公司经过通用电动机的重构和标准化，基于相同的生产线，仅通过调节电机叠厚和绕线圈数，就能够获得不同功率和转矩的系列化电动机。其中，电动机叠厚从 0.8 英寸调至 1.75 英寸，电动机功率覆盖 60 W 至 650 W 范围，可用于该公司生产的 120 多类电动工具产品。通过提高电机平台的通用化程度，极大地降低了电动机的生产成本。该通用电动机的运算实例被用于许多参数化产品平台设计方法的研究文献中，成为对比各参数化平台设计方法效率的标准算例。

通用电动机的基本结构如图 1-7 所示，包括定子和转子两大部分，定子与转子之间有一个较小的气隙。定子由定子铁芯、定子绕组和机座三部分组成，转子由转子铁芯、转子绕组和转轴组成。定子铁芯由导磁性能较好的、0.5 mm 厚且冲有一定槽形的硅钢片叠压而成。对于容量较大 (10 kW 以上) 的电动机，在硅钢片两面涂以绝缘漆，作为片间绝缘。定子绕组是异步电机定子部分的电路，它也是由许多线圈按一定规律连接而成。一般根据在槽内布置的情况，定子绕组有单层绕组及双层绕组两种基本类型。容量较大的异步电动机都采用双层绕

组。双层绕组在每槽内的导线分上下两层放置,上下层线圈边之间需要用层间绝缘隔开。小容量异步电动机常采用单层绕组。槽内定子绕组的导线用槽楔紧固。机座的作用主要是固定和支撑定子铁芯。中小型异步电动机一般都采用铸铁机座,并根据不同的冷却方式而采用不同的机座类型。转子铁芯也是电动机主磁通磁路的一部分,一般也由 0.5 mm 厚冲槽的硅钢片叠成,铁芯固定在转轴或转子支架上。整个转子铁芯的外表面呈圆柱形。转子绕组分为笼型和绕线型两种结构。异步电动机定、转子之间的气隙是很小的,中小型电动机一般为 0.2 ~ 2 mm。气隙的大小与异步电动机的性能关系极大。气隙愈大,磁阻也愈大。一般异步电动机的气隙以较小为宜。

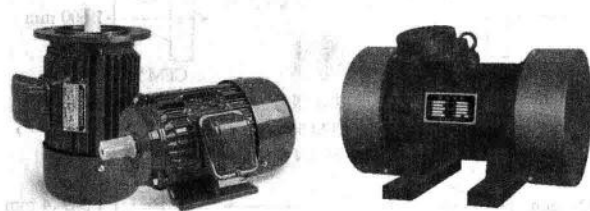


图 1-7 通用电动机结构图

产品平台的重构既要满足单个实例产品自身的设计约束,如功能、结构和性能指标等,又要满足产品平台的通用性约束,如图 1-8 所示。根据平台常量在所有实例产品中的共享情况,参数化产品平台分为单平台和多平台两种方式。

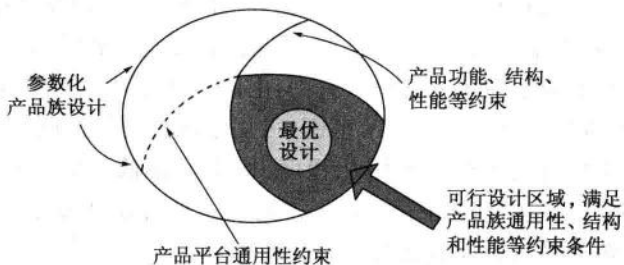


图 1-8 满足多约束的产品平台可重构设计

单平台仅允许变量在所有实例产品中全部共享或全部独立,而多平台则允许变量在某些产品集合中共享,在另一些产品集合中独立。因此,多平台产品族比单平台产品族具有更好的多样性特征,但也增加了设计的复杂度。