

文章编号:1000-582x(2001)03-0019-03

# 设计关联矩阵与发动机设计过程再造

陈亚华, 刘伟, 徐晓刚

(重庆大学机械工程学院, 重庆 400044)

**摘要:**在保证产品设计质量的前提下缩短产品开发周期需要合理规划设计过程。作者针对发动机设计过程提出一种简单、灵活的设计规划工具——设计关联矩阵。该矩阵直观反映了发动机主要零部件与功能间的关系,可保证设计过程中设计信息的有效、可靠传递。作者结合某汽车制造企业的发动机开发项目,分析了现有设计过程中的主要问题,运用设计关联矩阵对其进行了改进。

**关键词:**设计流程再造; 发动机; 设计关联矩阵

**中图分类号:** TH 122

**文献标识码:** A

激烈的竞争压力迫使现代制造业在不降低质量和不增加成本的情况下尽可能缩短产品开发周期。为此不同的企业在产品设计过程中采取了不同的措施,如并行工程、模块化设计等。对产品开发的设计过程进行重构不失为一种问题解决方案。

大型复杂工程设计的困难来自技术复杂性和管理复杂性,发动机作为一种典型的复杂机械产品,其设计过程也错综复杂,且设计过程与设计对象属性高度相关。例如,一种80 kW 凸轮顶置4缸发动机的设计过程与另一种220 kW V8发动机的设计过程可能有天壤之别<sup>[1]</sup>。作者并不准备为每一种发动机制定一个具体的设计过程,而是试图通过建立设计过程中信息流模型帮助设计人员自己决定设计过程细节,增加设计过程的灵活性、有效性并缩短设计周期。

## 1 发动机设计过程概述

传统上,首先由系统工程师和市场部门共同完成发动机产品的概念设计。接下来由负责曲柄设计的设计师初步判断该设计方案的可行性。历史经验表明,发动机设计方案是否可行很大程度上取决于其曲柄设计是否满足汽车整体设计时分配给曲柄运动的空间约束条件。如果满足,则认为该方案可行,可进行下一步详细设计,否则需要修改概念设计方案。

详细设计开始之前,还要召开一个由主要部件设计师、系统工程师、工艺师和成本核算师等相关人员参

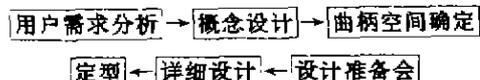


图1 发动机开发过程简图

加的设计准备会。会上将决定一些基本设计参数,如气缸数、气缸中心点位置、凸轮类型与数目、曲柄衬套位置等。会后,各设计小组开始设计自己所负责的部分。设计过程中不可避免会产生各种技术参数冲突,这些冲突一般通过设计师之间各种非正式的交流来解决,此外每周一次的进度确定例会也有助于解决各种设计问题。各部分的详细设计完成之后再完成发动机装配设计。

## 2 详细设计过程中的问题

新产品设计是在各种约束条件下的创造性工作,设计过程充满交互、反复与迭代,发动机设计也不例外,因为发动机各部件相互关联,任何零件设计修改都可能导致其他相关零件重新设计、重新校验而延误设计进度。由于设计修改是不可避免的,因此设计工作本身很难遵守预定时间进度安排。如何有效、可靠地完成设计修改同时保证预定进度计划并尽量缩短设计周期是详细设计阶段的重要课题。

通过对现行详细设计过程的深入调查,发现各系统、零部件设计活动间缺乏协调,设计信息不能及时、可靠传递,是导致设计周期进一步延长的一个主要原因。例如,某设计师对其负责的零件设计进行了修改,

• 收稿日期:2001-01-20

基金项目:国家自然科学基金资助(59975089)

作者简介:陈亚华(1973-),男,重庆市人,重庆大学博士研究生。主要从事机械设计理论、产品开发研究。

根据经验,该设计师将修改意见通知了负责与该零件结构相关的零件设计师,经过讨论各设计师分别采取相应措施,但最后仍然发生了设计冲突。原因是该设计师没有料到自己所做的设计修改不仅影响了结构上与其相关的零件,还通过影响某些相关功能系统而间接影响到另一些零件设计,由于修改结果一开始并没有及时传达到负责与该零件功能相关的零件设计师那里,等到后者发现冲突时,往往已经接近设计完成,此时修改设计或返工必然造成时间的浪费和设计延误。

为改进现有设计过程,缩短发动机开发周期,企业采取了很多措施,其中既包括甘特图、计划评审技术(PERT)等传统项目管理工具,也包括设计结构矩阵(DSM)等现代支持业务流程再造工具<sup>[2]</sup>。这些措施取得了一定的成效,但也暴露出不足。如甘特图上不能看出各零件设计任务之间的相互依赖或相互制约的关系,因而对某项工作的提前或推迟所造成的影响无法直接得出,在时间进度上无法找到关键工作,不同的安排方法也难于比较优劣;虽然 PERT 网络图比甘特图包含更多的信息,反映了工序的依赖关系,但它们仅有一条行进的道路,而没有考虑迭代和反馈的情形;最新运用的 DSM 成功地解决了各零件设计任务间的迭代问题,但由于没有考虑功能对零件设计任务的影响,前述问题仍未得到彻底解决,实际运用效果并不理想。

### 3 设计关联矩阵

从以上分析可见,当前问题的核心是没有系统化的交流机制和规范的形式保障设计过程中设计信息的传递,包括各零部件设计师之间和设计师与系统分析员之间的有效交流。如果设计者不能明白各自需要那些信息,输出那些信息及信息的格式,那么缩短开发时间是不可能的。

在现代设计(特别是方案设计)方法中,都广泛采用矩阵形式表达各种相互关联,如设计结构矩阵和质量屋(House of Quality)等<sup>[3]</sup>,实践证明这是一种简明、有效并易于实现的信息化处理方法。基于此,针对上述发动机详细设计过程中的问题,提出一种既能反映发动机主要零部件之间结构关系又能反映功能关系的矩阵,这里称之为“设计关联矩阵”。如图 2 所示,将主要的零部件和功能(子)系统分别排列在矩阵上方和左侧。矩阵“屋顶”中的黑点表示各零部件之间的相互装配关系,矩阵中的“X”表示零部件和功能(子)系统之间的相互关系。

设计关联矩阵并没有直接给出一个具体的发动机设计过程,但是由于它反映了各零件设计任务之间信息流的相互关系,可以帮助设计师根据具体情况决定设计流程。

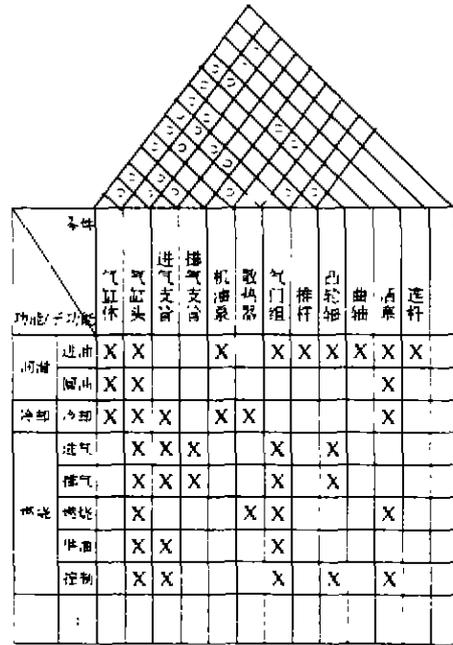


图 2 某型发动机设计关系矩阵

当设计师决定对某零件设计改动时,该设计师一方面根据设计关联矩阵“屋顶”中的黑点确定和该零件有直接装配关系的零件,另一方面可根据矩阵中的“X”查找与该零件间接相关的零件,具体方法是先由该零件所在列确定其所属功能系统,再由各功能(子)系统所在行确定设计变动可能影响到的其它零件。

类似地,当某功能系统需要调整时,系统工程师也可以根据设计关联矩阵确定需要通知哪些设计师。

### 4 workflow

值得注意的是,一方面,运用设计关联矩阵保证了设计信息的传递不会遗漏——如设计修改不仅通知结构上相关零件的设计师,也通知给在功能上相关零件的设计师;另一方面,为了确保只有真正受影响的设计师获取最有用的信息,在运用设计关联矩阵时需要结合判断。每个被通知设计改动的系统工程师和设计师都应该回答下面两个问题:

- 该变动对我负责的系统或零件有影响吗?
- 我该做什么反应?

例如当排气支管设计师决定修改其设计时,从设计关联矩阵中找出结构与排气支管相关的零件(气缸头、进气支管、气门组等)和功能相关系统(进气系统和排气系统),将修改意见分别通知这些设计师和系统工程师。后者评估该改动对各自零件和系统功能的影响,并根据影响的大小采取相应的对策。

对系统工程师而言,首先判断该设计变动对自己的系统功能有何影响,如果对功能没有影响,则继续当前工作流程,不必再通知其它设计人员;如果该变动将导致功能修改,则与引发改动的设计师讨论,确定修改的必要性。除了零件修改等内部因素可能影响系统功能设计外,市场需求变化等外部因素也会变更设计方案。无论是哪种情况,系统工程师都要制定修改后的功能指标,并通知本系统各零件设计师检验设计是否满足修改后的新指标。注意,这里系统工程师并不规定各零件设计师的具体行动,只是通知设计师新的系统需求。例如,为了满足新的排放标准,需要将排气子系统废气再循环率提高1%,系统工程师会通知气缸头设计师检验再循环口设计是否适应增加的流量,但是否需要修改气缸头设计以及如何修改则由设计师自己决定。

对零件设计师而言,接到来自结构相关零件设计师的修改通知或来自系统工程师的功能更新指标后,也需要进行判断,需要视具体情况分别处理。如果改动不会影响自己负责的零件时,继续当前的设计工作;反之,如果这种改动肯定会显著影响现有设计,暂停设计与提出改动的设计师或系统工程师一起讨论问题的解决方案。如图3所示。

整个过程强调的是让各设计师自己决定 workflow, 过程的决策权交给了设计师,提高了设计过程的灵活性和设计效率,保证了设计质量。

由于一个零件的设计修改请求在向其它零件或系统扩散过程中每一步都有判断,保证了设计师和系统工程师得到只与他们最相关的改动信息,其它不相关信息将被过滤。

## 5 结束语

# Engine Design Process Re-engineering with Design Relationship Matrix

CHEN Ya-hua, LIU Wei, XU Xiao-gang

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Shortening lead time while maintaining product quality requires planning the design process carefully. A simple, flexible process-planning mechanism for engine design, the Design Relationship Matrix, is used to achieve it. The matrix represents functional as well as structural relationships between major components to assure that design information is reliably transmitted through the design organization. An investigation of an engine's design process was made in an automobile manufacturer. The authors identified areas for improvement, and synthesized mechanisms to achieve those improvements.

**Key words:** design process re-engineering; engine; design relationship matrix

(责任编辑 钟学恒)

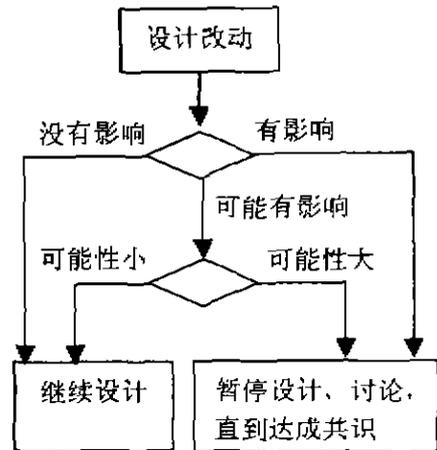


图3 设计师 workflow

用于指导优化设计流程的理论很多,作者提出的设计关联矩阵试图从保障设计信息可靠传递的角度帮助改进发动机设计过程。

发动机设计过程再造是整个发动机开发流程(设计、测试和制造)再造的一部分。希望本研究成果能对其它类似产品设计过程管理研究提供有益的借鉴。

## 参考文献:

- [1] LOCKLEDGE J C, SALUSTRI F A. Defining the Engine Design Process[J]. Journal of Engineering Design, 1999, 10(2): 109-124.
- [2] STEWARD D V. Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 1981, August: 71-74.
- [3] HAUSER J R, CLAUSING D. The House of Quality[J]. Harvard Business Review, 1988, 66(May-June): 66-73.