



CATIA

环境中的设计

CAE及应用

何文军 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



CATIA 环境中的设计 CAE 及应用

何文军 编著



机械工业出版社

本书以工程设计人员为对象,针对设计过程中遇到的各种零部件、装配体存在的问题,运用现代 CAE 分析工具进行深入浅出的分析,从而有效指导设计。在 CATIA 环境中,通过案例说明具体的分析步骤。使用 CATIA 的设计人员可以直接按照本书所述步骤进行实际的分析;而使用其他系统的设计人员也可以通过阅读本书学习设计 CAE 的思想和方法。

书中在叙述 CAE 分析方法时,避免讲述高深的有限元和力学理论,而是用设计人员熟悉的工程语言讲清楚各个步骤以及这样做的原因,以期读者可以从原理上理解并能够举一反三。

本书适合于想要运用现代 CAE 工具来提高设计水平的设计人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

CATIA 环境中的设计 CAE 及应用/何文军编著. —北京:机械工业出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-111-39080-0

I. ①C… II. ①何… III. ①机械设计—计算机辅助设计—应用软件
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 151650 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:孔 劲 责任编辑:孔 劲

版式设计:纪 敬 责任校对:张 媛

责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·12 印张·236 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-39080-0

定价:38.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

作者于 20 世纪 90 年代在海外从事研究工作，并长期接触各种工业领域的 CAE 应用。很有感触的是，原来在国内大学研究、执教力学和有限元分析时，最困惑的是没有太多的工程实际的需求，而在海外，大到飞机和汽车，小到照相机、电饭煲，大量地使用 CAE 来做设计。近年来，国内的设计部门也开始重视 CAE 的应用了。但是，在设计人员和 CAE 分析人员当中，可以发现一些比较有趣的现象。

首先，国内有一种普遍的现象认为 CAE 是分析人员，即专职强度分析人员和专职部门的工作。很少有设计部门的领导主动地将 CAE 有机地应用在设计中。

其次，分析人员不重视一些看似“简单的”分析工作，无视分析对象的需要，片面地追求模型复杂化和大型化，材料最好是复杂非线性的，好像非得如此才能显示出自己本领高强。

最后，大多讨论均着重于网格处理，不问分析类型的需要而片面强调网格的规整性，花费大量的时间用于网格处理，而忽视了及时得出分析结果的重要性和时效性。

出现上述种种似是而非的现象的原因有很多，其中一个重要的原因是：设计人员设计业务繁重，难以抽出时间学习与其使用的设计系统（CAD）不一样的 CAE 工具，而且独立于 CAD 系统的 CAE 工具均基于有限元术语，与设计人员所熟悉的工程语言差异较大。为了使 CAE 真正地对提高产品设计品质起到促进作用，有必要对各种不同的认识加以梳理，并从实际应用的角度，提供一本设计人员所熟悉的工程语言形式的、可以在设计的同时快速应用 CAE 的具有指导意义的书籍。

本书面向设计人员，目的不是讲述有限元的知识，而是通过设计人员熟悉的 CAD 系统（在这里选择国内外广泛使用的 CATIA），利用集成在其中的 CAE 分析工具，通过对单个零部件、装配体分析的各种案例来具体讲述在设计工作中应如何活用 CAE 的使用技巧（Know-How）以及各种注意事项，使 CAE 成为设计的好帮手。书中所述方法，对使用其他工具的设计人员也同样适用。

本书第一章通过对零部件的分析，详细解说 CAE 分析的一般手法，而第二章的壳体分析和第三章的装配体分析，是对 CAE 应用的具体展开。

编 者

目 录

前言

第 0 章 设计 CAE 的理念

第 1 章 实体零部件分析

1.1 分析准备	12
1.1.1 分析的对象	12
1.1.2 打开三维 CAD 模型文件	13
1.1.3 在 CAD 模型的零部件上定义材料	14
1.1.4 切换工作台到分析工作台：静分析	15
1.1.5 切换工作台到分析工作台：固有振动分析	16
1.2 前处理（网格和特性的定义）	18
1.2.1 定义新的网格	19
1.2.2 变更或确认已有网格定义	20
1.2.3 局部尺寸、弦高的设定（可选项）	21
1.2.4 定义特性	22
1.2.5 网格和特性的检查与确认（可选项）	23
1.3 文档管理	28
1.3.1 变更分析文件的文件名	28
1.3.2 计算文件和结果文件的路径设定	28
1.3.3 指定存放暂时产生的数据文件的路径	29
1.3.4 通过 Tool/Options（工具/选项）来设定	30
1.4 静应力分析的步骤	31
1.4.1 静应力分析的前处理（约束、载荷的定义）	31
1.4.2 静应力分析的计算求解	41
1.4.3 静应力分析的后处理	44
1.4.4 检查分析结果的精度	67
1.4.5 设计变更时的分析更新	72
1.5 固有振动分析的步骤	74
1.5.1 固有振动分析的前处理（约束、质量的定义）	74
1.5.2 固有振动分析的求解	76
1.5.3 固有振动分析的后处理	78
1.6 在分析终了之前	83
1.6.1 清除无用的中间数据	83

1.6.2 保存文档	84
1.7 虚拟部件的应用	84
1.7.1 虚拟部件的种类	85
1.7.2 虚拟部件的机械行为	86
1.7.3 虚拟部件的应用实例：万向节的应力分析	91
1.8 单个零部件分析时的常见错误及其对策	92
1.8.1 错误信息 1	92
1.8.2 错误信息 2	93
1.8.3 错误信息 3	93
1.8.4 错误信息 4	94
1.8.5 错误信息 5	94
1.8.6 错误信息 6	95
1.9 动态响应分析	96
1.9.1 力激振和锤击试验、调和响应分析	96
1.9.2 基础激振和振动台试验、瞬态响应分析	103
第 2 章 壳体分析	
2.1 壳体的概念和理论概要	110
2.2 壳体网格划分的一般指南	112
2.2.1 网格生成的高效化	113
2.2.2 网格生成的高效化实例一：带有多个加强筋的曲面网格	113
2.2.3 网格生成的高效化实例二：有大量点焊的壳体面装配网格的快速生成	116
2.3 壳体的特性	119
2.3.1 全体特性	119
2.3.2 局部特性	122
2.4 壳体部件的静应力分析和固有振动分析	127
2.5 壳体分析的设计联动	133
第 3 章 装配体分析	
3.1 装配连接	143
3.1.1 连接（Connection）的种类	143
3.1.2 固定连接（Fasten）	144
3.1.3 滑移连接和接触连接的分别	146
3.1.4 螺栓紧固连接	147
3.1.5 使用虚拟部件的连接	150
3.1.6 焊接的模拟	150
3.1.7 用户定义连接	151
3.2 实体零部件构成的装配体分析	152
3.2.1 运用知识工程工具进行设计的快速检验	152
3.2.2 变速器装配体分析	156

3.2.3 考虑接触状态的固有振动分析	160
3.3 壳体部件构成的装配体分析	164
3.3.1 壳体部件构成的装配体分析案例 1——飞机机翼的分析	164
3.3.2 壳体部件构成的装配体分析案例 2——汽车发动机箱盖的分析	168
3.4 混合装配体分析	174
3.4.1 混合装配体特有的连接关系	174
3.4.2 混合装配体分析案例：汽车制动踏板的分析	177
参考文献	182

第 0 章 设计 CAE 的理念

首先，来回顾 CAE 发展的历史。

1. 设计 CAE 发展历程

在讲述设计 CAE 的概念之前，先来了解 CAE 在历史上是怎样提出的。大家都知道，“有限元”一词在 20 世纪 60 年代开始使用，而 CAE 概念的提出则是在 1980 年前后。当时，SDRC 的创始人 Jason E. Lemon 教授认识到有限元法（FEM）分析不能仅是停留于被动的工作，而应直接作为辅助设计人员的一种主动性的工程（Engineering）手段来使用，故而提出了计算机辅助工程（Computer Aided Engineering），即 CAE 理念。随后，这种理念至少在概念上得到了大多数人的赞同，但未能在实际中真正得到实践。

从 FEM 到 CAE 的发展，可以说是一条从单纯的分析工具到设计辅助工具之路。可将其发展轨迹简单地归纳在图 0-1 中。

从FEM到CAE的发展：从单纯的分析工具到设计辅助工具之路

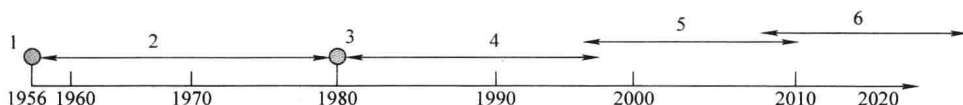


图 0-1 从 FEM 到 CAE 的发展历程

- 1—飞机机翼的结构分析，有限元方法的命名（Turner、Clough、Martin）
- 2—有限元方法的发展主要是在学术研究领域，开始出现如 NASTRAN、ANSYS、ABAQUS 的通用软件
- 3—开始考虑将分析作为整套工程方法的一个环节而应用于制造业中，真正开始确立“Computer Aided Engineering”（Jason E. Lemon）
- 4—企业内部出现以从事分析为主要业务的专业技术人员。业务本身主要还是以线性结构分析为主，分析工具和设计工具 CAD 相互独立，偶尔也自己编写程序
- 5—从 20 世纪 90 年代后期以来，设计人员开始在设计中灵活运用 CAE，其分析工作涵盖线性和非线性结构分析
- 6—设计人员继续扩大 CAE 在设计中的应用，涵盖面扩展至流体、电磁和一部分的多物理场

从图 0-1 中可以看到，在 20 世纪 80 年代以前，作为设计系统的计算机辅助设计（CAD）和 FEM 是各自独立发展的，通用分析软件，如 NASTRAN、ANSYS、ABAQUS 等都是这样发展起来的。最初的分析大都是二维（2D）模型，FEM 的网格也是预先在纸上画好模型，然后经人工手动地勾画出网格再输入到计算机中的。因为当时 FEM 本身还处在发展过程中，其使用群体除很少一部分为工业部门的人员外，绝大多数是学术研究部门的人员。CAE 概念提出的 20 世纪 80 年代，人们虽然意识到必须使以 FEM 为主体的分析工具成为设计人员的设计手段，但在实际

中，情况并未发生大的变化。原因主要是，由于技术水平的限制，CAE 软件本身并未在设计人员对软件的使用方面做出很大的努力。CAE 软件虽然和 CAD 建立了数据模型的输入关系，但其用户界面（Graphical User Interface, GUI）还是要求用户必须能够理解 FEM 的理论才能够使用 CAE 工具。

事实上，从 20 世纪 80 年代到 90 年代中期，即使是单纯的线弹性材料的应力分析，也属于分析人员的工作，分析人员从设计部门取得对分析工作的要求和分析模型，然后利用通用的 FEM 工具来做分析。这期间，三维（3D）CAD 有了长足的发展，出现了全部用数字化 3D CAD 设计的产品，如波音 777。应该说，FEM 在产品的设计过程中的应用取得了相当大的进步。可是，分析的主要任务是设计的后验校核和事故分析。这种三维设计流程称为传统的三维设计流程（见图 0-2）。

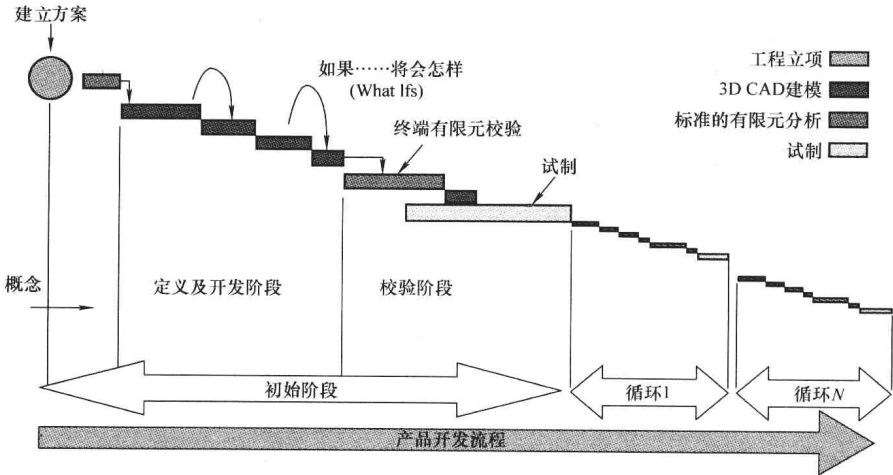


图 0-2 传统的三维设计流程：分析的的主要任务是设计的后验检查

而具体到某个企业，传统的三维设计流程中的 CAE 分析流程，可以用图 0-3 来表示。由图 0-3 可知，在企业里，CAE 主要是事故分析型的分析工作，即由分析专家担负的 FEM 分析工作。一般而言，实际工作中，由于设计工期的紧迫性，事故分析型的分析工作甚至在产品试制开始后还未能完成。因此，在很多情况下，CAE 沦为了一项仅是锦上添花的工作，而不是必不可少的工作。

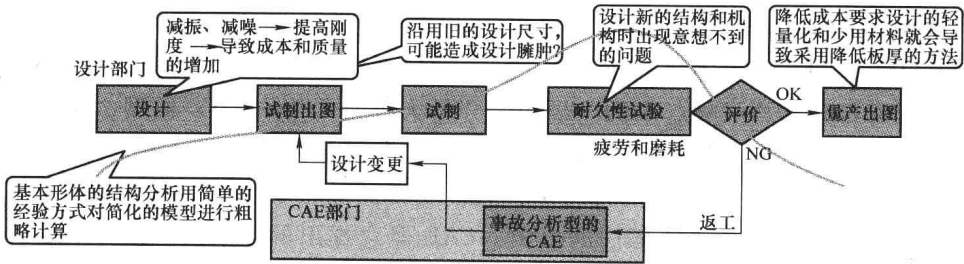


图 0-3 传统设计流程

从信息管理部门（IT 部门）的角度来看，还可以列举其他一些问题。即使在同一企业的同一部门里，CAE 分析工具往往存在多个系统/工具并存的局面。这种情况在一定程度上成为企业有效应用 CAE 的壁垒。多个系统/工具的并存不但造成使用的不便，培训成本也随并存的系统/工具数目的增加而增加。同时，还要将几何界面中的 CAD 数据导入到 FEM 界面中，在转换过程中容易造成数据丢失。FEM 界面要求使用者具备 FEM 的专业知识（要理解各个求解器的单元库），而真正的设计现场的一线人员不会使用。同时，大部分的设计产品是装配体，而不是单个的零件，装配体里各个部件之间的连接条件是定义在有限元数据上的，而不是定义在设计数据（如 CAD 数据）上的，因此装配分析的定义也需要由 FEM 专家才能够进行。

20 世纪 90 年代后期，3D CAD 有了长足的发展，CAD 系统走过了从非参数到参数化，从非知识工程化到知识工程化的道路（见图 0-4）。而商业化 CAD 的战国时代已基本结束，特别是高端 CAD，通过各种方式的并购只剩下几大主流软件。而 CAE 相对而言却还存在多家竞争的局面，还没有谁能够有相对高的集约度。在这种背景下，一些优秀的设计人员开始尝试在设计中灵活运用 CAE。这些设计人员以汽车行业的居多。因为 20 世纪 90 年代后期，汽车设计的 3D CAD 的数字化，大大缩短了汽车产品设计的周期，设计人员希望能够尽快得到可以对自己的设计有指导意义的分析结果，尤其是那些以线弹性结构分析为主的分析。而且，设计人员灵活运用 CAE 的分析工作是在自己熟悉的 3D CAD 系统中进行的，因为有些 CAD/CAE/CAM 系统提供了在同一系统中进行设计和分析的功能。另外，设计人员也认识到，如果把分析工作放到自己的 CAD 系统之外，在检验多个设计方案时，参数化的数据就失去了参数化的大部分意义，还需输出多个模型给分析人员，并需要向分析人员解释自己的设计意图。另一方面，这种设计意图在设计早期是不很成熟的，因此，结果就是设计人员不能向分析人员提出分析的需求。此外，也没有用来保存作业流程的手段，当设计变更时，就要重新进行 FEM 建模工作。这些都是传统设计中 CAE 所面临的问题，其结果就是导致产品设计研发品质和效率的低下。

近年来，从单纯的 CAD/CAM/CAE 到以产品生命周期（Product Lifecycle Management, PLM）为重点的时代以来，CAE 的发展与 PLM 的发展越来越不可分割，CAE 游离于 CAD 之外就越来越适应设计的需求。以前的设计主要是以单纯的产品形体为主，而现在的 CAD 则强调设计的智能化，不仅所有的数据均参数化，而且还可利用设计表，即各种设计方案可通过 EXCEL 表格来驱动，用户还可自己定义特征、规矩等。此外，设计数据不仅仅是形体和数据，而是多样的。例如，焊接有各种各样的定义，这些定义都包含在设计数据中。这些定义在设计模型中的信息是企业的重要财富，即知识产权（Intellectual Property, IP）。正是这些信息，使得一个模型不仅可显示设计的形状，而且也包含了设计的思路。

而在传统的设计过程中，为了运用 CAE 工具，将设计的数据从 CAD 系统中转

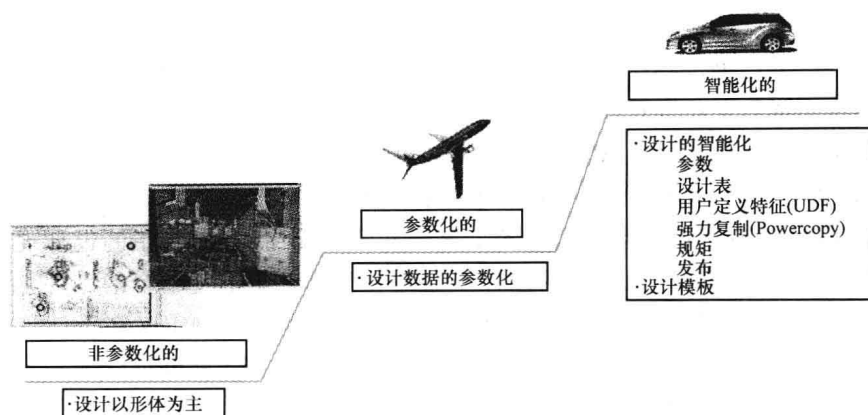


图 0-4 CAD 的进化

换到 CAE 工具时，上述所有丰富的设计信息、知识产权就会全部丢失。因为输出的数据只是孤立的外形。设计变更一次就需生成一次 CAE 的模型，而且原来定义在 CAD 系统中的设计信息，如焊接的焊点或焊缝的位置和长度等，必须在 CAE 软件中重新定义，给企业造成巨大的浪费。在这种情况下，因为可以充分利用这些设计信息进行 CAE 分析，集成 PLM 的 CAE 系统就显得非常重要了。在此，把面向设计且以设计为依据的 CAE 分析工作，称为设计 CAE。

2. 设计 CAE 与分析 FEM

(1) 区分 CAE 和 FEM 以及计算力学 在很多情况下，许多人对 CAE、FEM 和计算力学不加区分。面向设计且以设计为依据的设计 CAE 不同，FEM 作为一种计算方法，更注重的是分析计算的算法；计算力学是 FEM 的延伸，也是以方法论为主；而 CAE 是以工程目的和设计目的为主。企业需要考虑的是如何使自己的产品在市场上具有竞争力。由于历史的原因，国内大部分企业没有 CAE 经验，常是只会使用工具而不知如何定义条件，有时还出现本末倒置，把做网格当做 CAE 的现象。在本书中注重了分析的工程应用，所以均以 CAE 来称呼分析。

(2) 设计人员 CAE 和分析人员 CAE 的关系 还有一点需要澄清的是，面向设计人员的 CAE 和面向分析人员的 CAE 是有差别的。分析的目的和使用的人员、采用的工具都与设计有所不同。分析工具面向的是分析家，而设计工具面向的是设计师。考虑到三维设计和分析的主要目的是为了在最短时间内完成高品质的产品设计，可以从质量工程学的狩野方法 (Kano Method, 见图 0-5) 来看面向设计人员的 CAE 和面向分析人员的 CAE 的不同和分工。最早运用质量工程学方法来表现设计人员 CAE 和分析人员 CAE 之间关系的是美国密歇根大学的菊池教授 (见笔者和他的谈话^[1])。下来将具体分析二者之间的有机联系和对设计负有的不同责任及目标。

设计期待的是什么？对企业来说，从设计的观点出发，针对设计人员的期待和针对分析人员的期待是不同的。我们从用户的满意度和产品设计要求的满意度两方

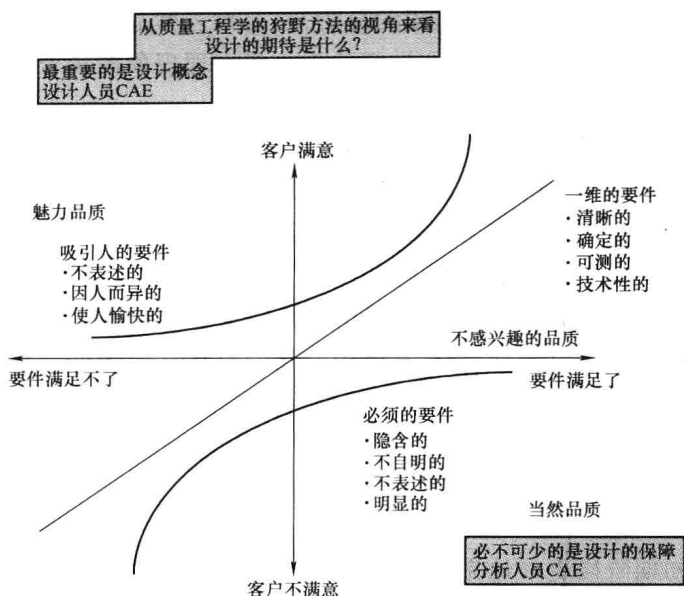


图 0-5 从质量工程学的观点来看 CAE

面来考量。对于产品品质来说，有些品质即使是消费者也不关心的或者不感兴趣的，而这些消费者不感兴趣的品质又都是必须满足的，可以称为当然品质；还有一种品质称为魅力品质，也就是一个产品所含有的为消费者所感受到的魅力。而产品只具有当然品质而没有魅力，就不具备竞争力。以汽车为例，车子的制动性能是一种当然品质。大家在购买汽车时，当然认为在踩踏制动后汽车就会减速并停止行使。在当然品质出问题时，产品就要被召回，给企业造成直接经济损失。而汽车的油耗性能和外形特征等，属于魅力品质的范畴。在客户挑选产品时，对于当然品质，在潜意识里认为当然是必须具备的，从而更关心魅力品质。在企业产品的设计实践中，设计人员是创造魅力品质的主体，因为大部分的魅力品质在设计人员定下产品的设计参数时就已经决定了。而分析人员本应担负的工作是对产品性能作最终的保证，即保证产品的当然品质。

(3) 设计人员 CAE 和分析人员 CAE 的业务分工 设计人员 CAE 和分析人员 CAE 的分工也是有区别的。由于业务的中心是设计本身，CAE 是服务于设计的，必然就要求设计人员不应将大量的时间和精力用在 CAE 的具体操作上，但要求 CAE 可以提供大部分设计所需要的分析结果。这样一来，设计人员 CAE 的特征是，要求大部分的分析工作是可以自动化或半自动化的，如网格要尽量可以自动生成；其工作是对主要设计目标进行分析，并以单一目标的线性分析为主；目的是从分析的结果来定型（产品的形体、尺寸）。这些设计人员 CAE 特征使得设计人员能够对设计方案进行快速检验和修正，进而提高设计的品质。

而分析人员的 CAE（主要是有限元分析），是对当然品质的保障。其主要内容包括对强度以外的设计目标的 CAE 详细分析，多物理现象的耦合分析，用于强度保障的多目的非线性分析等。

因此，二者的分工是有所不同的。而目前国内很多企业里 CAE 应用的一个最大的问题是只有分析人员的有限元，而没有设计人员的 CAE。这恰恰背离了 CAE 最初提出时的理念——CAE 作为设计工具服务于设计人员。

还有重要的一点，就是能否从 CAE 回到 CAD，而这将决定产品的魅力品质，但目前却被忽略了。一般来说，如果 CAE 系统是独立于 CAD 的，那么产品发生设计变更时，数据则不方便回到 CAE 系统中，这会给设计带来问题。如果两个系统是集成的，那么变更后的数据就可以直接反映到 CAE 系统中，变成用于分析的数据，而 CAE 分析后的计算数据又可回到 CAD 系统中，进一步优化设计。因此，从 CAE 回到 CAD 也是非常重要的。

3. 设计 CAE 的理念

在设计的初期阶段更好地完善设计对降低产品的成本是很重要的。如图 0-6 所示，设计的初期阶段设计的自由度较高，此时模具和夹具等生产制造设备也还没有成型，更改设计的成本相对较小。而随着设计的展开，设计更改的成本就越来越大，设计的自由度相对来说就小很多。

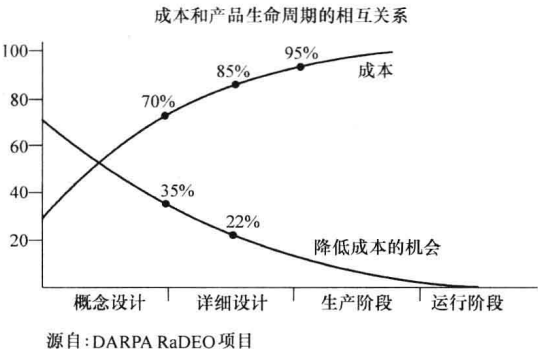


图 0-6 设计成本和设计流程的关系

作为设计 CAE 的一个重要特点，就是在产品设计的早期阶段，通过快速地检查各种不同类型的设计方案，来提高产品设计的品质。可以把设计 CAE 的概念简单地归纳成如图 0-7 所示的几条。

设计自由度比较高的阶段	WHEN
设计人员	WHO
在设计部门内部	WHERE
为了能在短期内进行高品质/低成本的产品设计	WHY
各种各样的设计方案的分析比较	WHAT
活用含有使用技巧(KNOW HOW)的CAE工具	HOW

图 0-7 设计 CAE 的概念

而可以期待设计 CAE 在提高产品设计早期阶段的质量, 缩短产品研发周期, 减少试制后的设计返工和提高设计人员的技能等方面起到良好的作用。这样一来, 要有高质量的产品设计, 那么 CAE 就不是可有可无的, 而是必不可少的工作。但实际上, 在国内认识到这一点的人还不多见。

理想的情况是, 设计和分析在同一环境下, 也就是在 PLM 集成平台, 就可以实现设计—分析的快速循环, 使得传统产品开发变成短期的开发过程, 即设计—分析的循环型产品开发过程, 也就是基于 CAE 或基于分析的设计 (见图 0-8)。

因此, 图 0-3 所示的企业的设计流程就会变成如图 0-9 所示的运用了设计 CAE 的理想设计流程。在这里, 一个显著的特点是设计部门基于 CAE 在设计的前期阶段来定义产品的外形和尺寸, 实现了 CAE 工作的前置 (Front-Loading), 在产品试制前就尽量完善设计, 以减少试制样品的数目, 缩短工期, 从而实现短时期高质量的设计。

4. 推广和应用设计 CAE

在知道设计 CAE 的好处以后, 在实际设计工作中推广设计 CAE 大概不会有太大的问题。可是, 事实上, 却很少在国内发现有推广设计 CAE 的优秀事例。原因大致有如下几种。

1) 企业没有应用 CAE 的传统和经验。

2) 有一种观念是, 设计业务已经忙不过来了, 设计人员抽不出时间来做分析, 认为还是让专门从事分析的人来干为好。但另一方面, 要把模型准备好, 还要把分析条件准确无误地告诉专门的分析人员也觉得不容易。

3) 认为 CAE 不是设计部门的工作, 但设计人员对越来越复杂化的设计要求却不知如何下手。

4) 设计人员认为 CAE 很难——既需要具备有限元的专门知识, 还要会使用专门的工具, 因此担心只会 CAD 的一般设计人员用不好 CAE。

5) 分析人员则认为, 分析的工作越来越多, 没有处理的案子积压得太多, 没有时间做那些看似“简单的”强度和刚度分析。但正是这些看似简单的强度和刚度分析, 在多数情况下决定了设计的质量。

总的来说, 人们都理解在设计人员日常业务中引入 CAE 的有效性, 但没有认识到实际的紧迫感; 感到有必要在设计人员日常业务中引入 CAE, 但对设计现场能否用好 CAE 有不安和担心。不从认识上消除这些担心, 就难以在设计现场推广应用 CAE, 这也是没有引进设计 CAE 的一个原因。要从认识上消除这些担心, 就要先来看看实际工作中大量的设计人员是如何进行设计业务的。设计人员在设计一个产品时, 在考虑强度、刚度、振动的设计要求时, 不外乎以下三种方法:

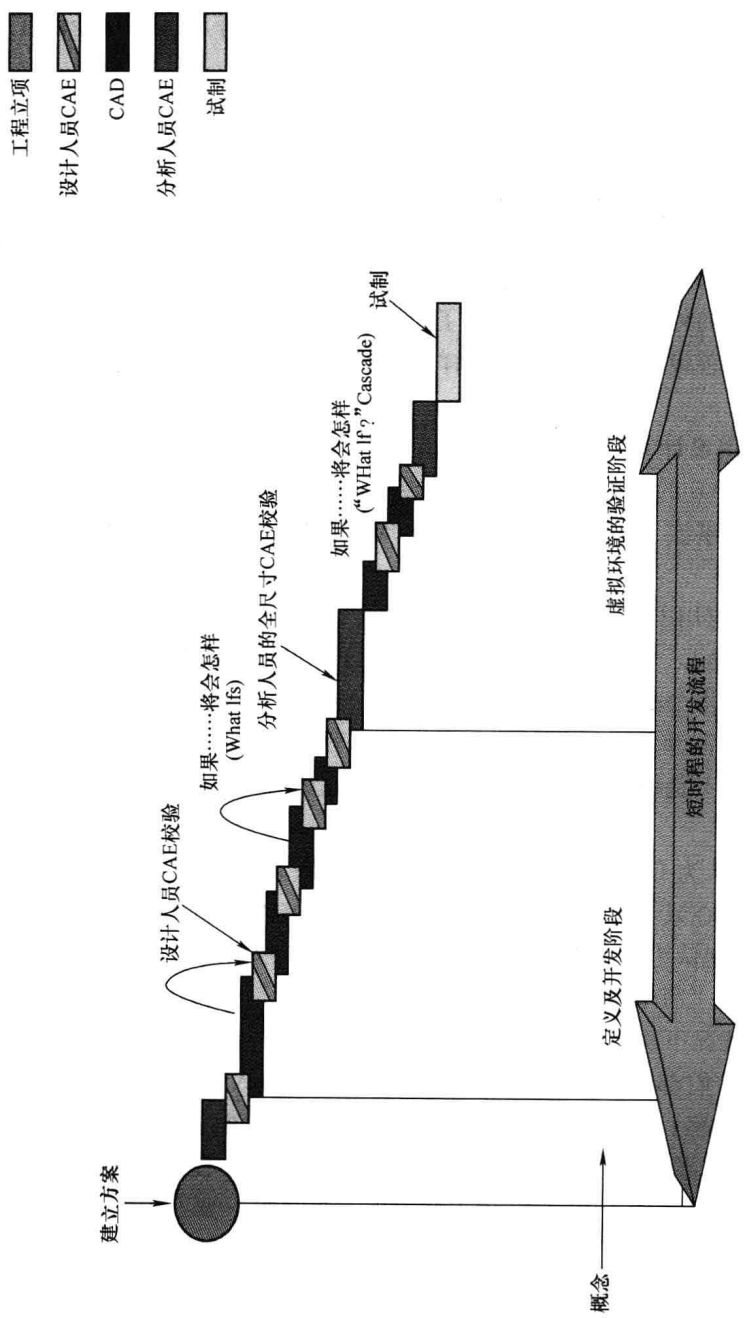


图 0-8 理想的产品开发流程

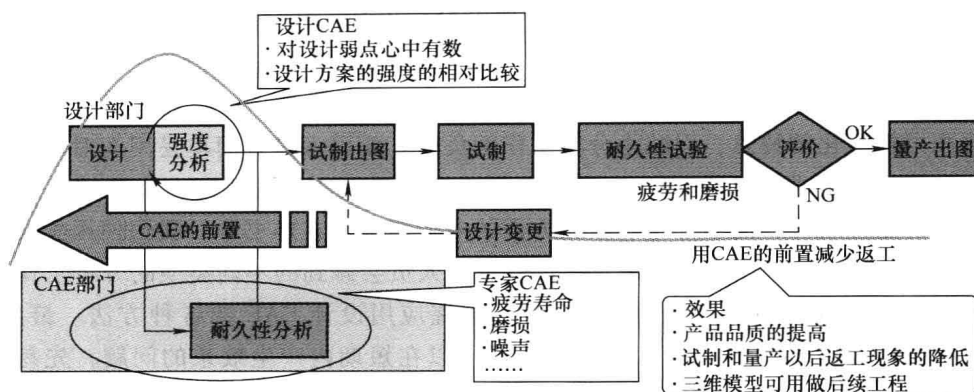


图 0-9 将 CAE 工作前置 (Front-Loading) 了的理想的设计流程

- 1) 应用前人的传承经验。
- 2) 用过去实际设计的产品加以变化，即设计样式的沿用。
- 3) 查看机械设计手册，查找可以引用的公式和指南。

对于第一点，很多企业由于历史的原因，积累不多，没有很多可以运用的经验。而第二点，也因为实际产品的复杂化和多样化，可以沿用的设计样式是有限的。对于第三点，也因产品的复杂化和多样化，越来越难以找到现成的公式和指南。

这些实际设计工作中的困难，不仅是我国企业的难题，也是世界上各国企业所面临的难题。笔者在和本田技术研究所的人员交流过程中，得知在“本田”这样的国际先进的生产企业里，在引入设计 CAE 以前，刚分配来的毕业生加入企业进行设计工作时，老的设计人员告诉他们设计工作要靠勘（即感觉）、经验和胆量。在“本田”把这称为 KKD 设计（KKD 是勘、经验和胆量三个汉字在日语读音的首个罗马字母^[2]）。而由于汽车设计对象的复杂性，这种摸着石头过河式的 KKD 设计方法显然不能适应现代汽车工业的要求。现在本田大量地采用了设计 CAE，实现了从 KKD 设计到设计 CAE 的转变。其实，给设计人员提供 CAE 这个工具，情况肯定不会比 KKD 设计时差。

如何让设计人员积极使用 CAE？

首先，要认识到意识改革的必要性，特别是担负设计工作的领导人员的重视很重要。在领导人员认识和理解了设计 CAE 的重要性和优越性以后，问题就成功了一半。另外，如果企业原来就有专门从事分析的人员，就要明确设计人员 CAE 和专家 CAE 的分工和协作关系，让专门从事分析的人员积极参与设计 CAE 的推广和应用工作，如开发针对企业产品的分析工作流程（Scenario 或 Workflow）、自动化的分析模板等供设计人员使用。同时，专门从事分析的人员也担负着企业最复杂的分析工作，如多场耦合的仿真模拟，复杂非线性、复杂材料行为的模拟工作。如果