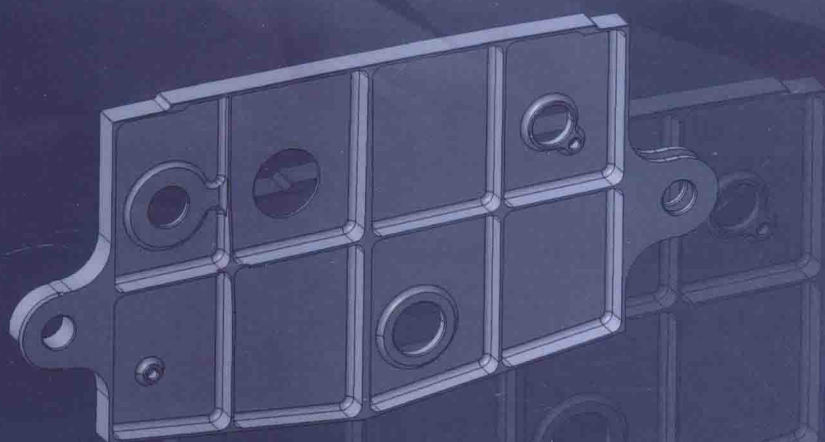


航空数字化工程技术丛书



沈阳飞机设计研究所结构部 编著



飞机结构机加件

CATIA V5

规范化建模

航空工业出版社

航空数字化工程技术丛书

飞机结构机加件 CATIA V5 规范化建模

沈阳飞机设计研究所结构部 编著

航空工业出版社

内 容 提 要

本书给出了使用 CATIA V5/LCA 软件进行飞机结构零件构型实现的规范性方法和工作流程,并针对流程中需要的基础知识和技术关键进行了详细的介绍。全书内容共分 10 章,第 1 章介绍了规范化建模的工作流程并对为什么要采用这样的方法进行了解释和说明,第 2 章至第 8 章详细阐述了规范化建模所运用的知识点和方法,第 9 和第 10 章介绍了通过 CATIA V5/LCA 二次开发提高工作效率的方法,其中第 5 章减材法建模是本书最基本、最核心的内容。

本书内容新颖、语言浅显,适用于具备一定 CATIA V5 基础的设计员学习使用,也可供各大型机械系统设计团队建立设计规范和流程,或大专院校的师生应用 CATIA V5 参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

飞机结构机加件 CATIA V5 规范化建模 / 沈阳飞机设计研究所结构部编著. -- 北京 : 航空工业出版社, 2015. 4

ISBN 978 - 7 - 5165 - 0693 - 6

I. ①飞… II. ①沈… III. ①飞机构件—模具—计算机辅助设计—应用软件 IV. ①V222 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 053004 号

飞机结构机加件 CATIA V5 规范化建模 Feiji Jiegou Jijiajian CATIA V5 Guifanhua Jianmo

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑 2 号院 100012)

发行部电话: 010 - 84936597 010 - 84936343

三河市华骏印务包装有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2015 年 4 月第 1 版

2015 年 4 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 13.75

字数: 317 千字

印数: 1—3000

定价: 55.00 元

编审委员会

主 任：褚晓文

副 主 任：杨 旭 王向明

编写人员：魏金龙 宋 扬 王德刚 黄亚时 樊海东 金凤新
戚 岩 王云俊 孙 鹏 陈冬梅 王 博

审 委：景绿路 吴宏伟 毕世权 姚佰栋 朴春雨 王鸿庆
孙志彬 刘利阳 孙彦鹏 倪艳红 许广兴 孙忠志
刘 燕

序

日新月异的数字化技术使现代飞机的设计手段快速发展，用于飞机结构和各系统设计的应用软件功能日益强大，呈现出网络化、智能化、综合化和直观化的特质，将设计师们从繁重的手工或半手工设计状态中解放出来，大大缩短了现代飞机设计、生产的周期。

飞机机体结构设计的飞机设计中占有重要地位，是飞机其余各大系统设计的依托和基础，在飞机整个设计过程中，机体结构的设计具有定量化工作量大、短时期用工集中、下游需求急迫等特点。为适应这一特点和需求，采用高智能化的统一的应用软件和并行研发协同组织 IPT (Integrated Product Team, 并行产品综合设计工作组)，是时下飞机设计制造部门开展工作的首选。

在航空领域内，普遍采用基于法国达索公司 CATIA/LCA 定制的软件平台进行结构构型设计或专业协同。国内 CATIA 软件的大规模应用始于 2003 年，主要集中在飞机设计所和制造厂。随着应用时间、深度和广度的逐步增长，CATIA 模型的可读性、维护性和重用性等问题逐渐显露，低质量模型带来的繁琐和枯燥的重复劳动大大影响了基层设计人员的工作效率和热情，设计和制造部门也愈加关注这一问题。我们认为，解决上述问题急需对模型的建模方法进行“规范化”定义。

沈阳飞机设计研究所的结构设计师们在总结自己多年 CATIA V5/LCA 软件应用心得和借鉴国内外同行经验的基础上，依据在几个重点型号设计上的应用效果，对结构零件的“规范化”构型问题给出了自己的思路或建议，相信对航空厂、所设计人员和关注这一领域的人士能有所帮助。

本书由沈阳飞机设计研究所多名在飞机结构各专业具有深厚 CATIA V5/LCA 软件应用经验和型号设计经验的设计人员编写完成，在书中他们对自己长期的工作经验积累进行了提炼与升华，同时也借鉴参考了国内外同行的部分巧妙解决方案或方法。这是一本有实用价值的工程设计参考书，特向大家推荐。

中国科学院院士：李天

前 言

本书向读者推荐了一种适宜的经过实战考核过的采用 CATIA V5/LCA 软件进行飞机结构机加类零件构型实现的方法。

“零件构型实现”是飞机结构设计过程中的重要一环，采用 CATIA V5/LCA 软件完成结构构型在航空业内已成为一种常态，它直观、快速，也便于多专业间的技术协调和后续零件制造、装配与使用维护等。

现代飞机结构复杂，涉及零件众多，常常数以万计，结构零件的构型亦千差万别，不一而同。采用 CATIA V5 软件对零件进行构型的方法也多种多样，不一而足。如果在飞机结构设计过程中不预先规定适宜的构型方法，后续模型的审校、应用和修改将会产生各种各样的问题，尤其对于大型机加壁板、框或梁类零件，问题会更加突出，常常难以审校或更改。

因此，在飞机结构设计前，有必要给出实现结构构型适宜的原则或规范化的方法，以避免后续可能出现的诸多问题。

本书主要内容均集中在采用 CATIA V5 软件如何适宜、规范地构建结构零件，尤其是大型机加结构零件的三维模型上，对规范化建立三维模型过程提出了以“减材”思想为核心的包括 13 个步骤的具体流程，在围绕每一个步骤的具体技术内涵描述中，给出了分析比较结果和经验性的意见或建议。

编写说明

本书的编写是由沈阳飞机设计研究所结构部组织编写完成的。主题筹划、编写组织由景绿路、魏金龙和宋扬等完成，主要的校对和统稿工作由宋扬完成。书中使用的主模型是由黄亚时从飞机结构件中提取出典型特征并经过脱密处理后构建的。集中编写前樊海东率先完成了一个编写实例，供全体编写人员参考使用。全文校对后的文字集中修改工作由王博完成。

参编人员中有研究员1人、高级工程师7人、工程师4人，这些人具备多年CATIA V5设计应用经验，对CATIA V5在国内的应用发展有较为深入的了解，对如何使用好CATIA V5进行飞机结构构型设计也有很多独到的见解。另外，参编人员中有5人有在国外参加民用客机结构设计的经历，对国外著名飞机设计公司的CATIA V5应用规范有一定程度的了解。

本书各章编写情况如下：第1章宋扬、魏金龙；第2章孙鹏；第3章戚岩；第4章王云俊；第5章王德刚；第6章樊海东；第7章黄亚时；第8章金凤新；第9章陈冬梅；第10章王博。另外，张明对本书的内容也提出了建设性的意见。

沈阳飞机设计研究所的相关总师和有关领导及设计人员在本书编写过程中也给予了大力支持和帮助，在此一并表示谢意。

目 录

第 1 章 飞机结构规范化的建模方法	(1)
1.1 传统建模方法的弊端与解决措施	(1)
1.2 规范化建模流程及技术关键	(2)
1.2.1 规范化建模流程	(2)
1.2.2 参数化设计的意义	(4)
1.2.3 关联设计的意义	(4)
1.2.4 减材法建模的意义	(5)
1.2.5 减材法建模的优势和适应范围	(6)
1.3 小结	(7)
第 2 章 创建新模型	(8)
2.1 LCA、CATIA V5 的界面和环境设置	(8)
2.1.1 LCA、CATIA V5 平台启动	(8)
2.1.2 LCA 界面和基本操作	(10)
2.1.3 CATIA V5 界面和环境设置	(13)
2.2 在 LCA、CATIA V5 设计平台上创建新模型	(15)
2.2.1 在 LCA 中新建零件和装配	(15)
2.2.2 在 CATIA V5 中新建零件和装配	(19)
2.3 建立模型毛坯	(20)
2.3.1 使用凸台 (“Pad”) 建立毛坯	(20)
2.3.2 使用旋转体 (“Shaft”) 创建毛坯	(26)
2.3.3 使用肋 (“Rib”) 创建毛坯	(29)
2.4 小结	(32)
第 3 章 关联设计	(33)
3.1 CATIA V5 关联的类型	(33)
3.2 Publication 机制	(35)
3.2.1 Publication 机制简介	(35)
3.2.2 Publication 的使用	(35)
3.3 自上而下的关联设计	(42)
3.3.1 自上而下的关联设计简介	(42)

3.3.2	自上而下的关联设计实现方法	(43)
3.3.3	自上而下的关联设计的应用	(44)
3.4	小结	(49)
第4章	草图设计	(50)
4.1	草图环境设置	(50)
4.2	草图设计流程	(51)
4.3	草图定位	(52)
4.4	草图设计工具简介	(53)
4.4.1	轮廓 (“Profile”) 工具	(53)
4.4.2	操作 (“Operation”) 工具	(54)
4.4.3	约束 (“Constraint”) 工具	(54)
4.5	设计基准的选择	(56)
4.6	参数化定义	(57)
4.7	草图检查分析	(57)
4.8	草图设计实例	(58)
4.8.1	毛坯草图设计	(59)
4.8.2	协调开孔草图设计	(60)
4.8.3	零件布置草图设计	(61)
4.8.4	参数化设计的应用	(62)
4.9	小结	(63)
第5章	减材法建模	(65)
5.1	减材法建模流程	(65)
5.2	构建规范化的零件外轮廓曲面	(65)
5.2.1	切割曲面	(65)
5.2.2	生成直纹面	(68)
5.2.3	规范化命名	(72)
5.3	生成零件外轮廓	(73)
5.3.1	毛坯外轮廓切割	(73)
5.3.2	生成零件下陷	(76)
5.4	减材法建模	(79)
5.4.1	负实体	(79)
5.4.2	创建内部建模基准	(79)
5.4.3	协调开孔	(79)
5.4.4	创建系统通孔	(82)
5.4.5	减材法零件细节设计方法	(83)
5.4.6	结构树调整方法	(95)

5.4.7 完成零件减材法建模	(98)
5.5 小结	(100)
第6章 超级拷贝	(101)
6.1 超级拷贝的优点	(101)
6.2 超级拷贝流程	(102)
6.3 超级拷贝的创建及实例化	(102)
6.3.1 超级拷贝对话框简介	(102)
6.3.2 超级拷贝使用方法示例	(105)
6.3.3 超级拷贝应用示例简介	(110)
6.3.4 用超级拷贝建立零件	(113)
6.4 小结	(116)
第7章 三维标注	(118)
7.1 环境设置	(118)
7.2 规范性引用文件	(122)
7.3 三维标注流程	(122)
7.4 常用菜单工具介绍	(123)
7.4.1 标注平面的创建工具 (“Views”)	(123)
7.4.2 尺寸/几何公差/标识创建工具 (“Annotations”)	(123)
7.4.3 捕获工具 (“Capture”)	(124)
7.5 数模的标注方法	(124)
7.5.1 创建及更改标注平面	(124)
7.5.2 建立单一基准和基准体系	(125)
7.5.3 尺寸/几何公差标注	(126)
7.5.4 捕获 (“Capture”)	(131)
7.5.5 标注数据集的开/关	(134)
7.6 小结	(134)
第8章 模型维护与更改	(136)
8.1 零件属性的更改	(136)
8.1.1 在 CATIA V5 中更改零件属性	(136)
8.1.2 在 LCA 中更改零件属性	(138)
8.2 关联设计的维护与更改	(140)
8.2.1 “导入”方式关联设计更改	(141)
8.2.2 “CCP”方式关联设计更改	(143)
8.3 设计基准的替换	(144)
8.3.1 新、旧基准直接替换	(145)
8.3.2 整体替换基准	(146)

8.4	草图的更改	(148)
8.5	零件几何体的更改	(149)
8.6	曲面、曲线相关特征的更改	(158)
8.7	小结	(165)
第9章	材料、工艺附注	(166)
9.1	建立材质属性库	(166)
9.2	建立材料信息数据库	(168)
9.3	材料信息数据库、材质属性库的导入及维护	(169)
9.4	建立热处理数据库	(169)
9.5	建立表面处理数据库	(170)
9.6	建立其他工艺附注库	(170)
9.7	热处理库、表面处理库及其他工艺附注库的导入及维护	(171)
9.8	材料信息标注	(171)
9.9	热处理标注	(173)
9.10	表面处理标注	(175)
9.11	其他工艺附注库标注	(180)
9.12	小结	(182)
第10章	标准件库的建立和应用	(183)
10.1	标准件库的建立	(183)
10.1.1	标准件库目录 (“Catalog”) 分类	(183)
10.1.2	建立标准件 “Catalog”	(184)
10.1.3	建立标准件的参数化模型	(185)
10.1.4	组合式标准件的建立	(196)
10.1.5	标准件命名原则	(197)
10.1.6	标准件参数化模型的导入	(198)
10.1.7	在 LCA 中添加属性	(198)
10.2	标准件库的应用	(201)
10.2.1	在 LCA 中调用标准件库	(201)
10.2.2	标准件库的维护	(203)
10.2.3	标准件库 “Catalog” 中浏览和检索	(204)
10.3	小结	(205)
参考文献		(207)

第1章 飞机结构规范化的建模方法

一般 CATIA V5 培训教程和建模指导手册都是以介绍功能模块为主，先讲解点、线、面和草图的创建方法，再讲解各模块中每个功能的操作方法。按照这种方式完成 CATIA V5 基础培训的设计员在进行结构建模时，其思路通常是运用基本建模元素堆砌成最终模型。这种传统思维有些类似于进行雕塑创作，先利用基本建模元素完成大概的整体形状甚至仅仅是一个局部特征，然后对细节进行局部修剪，最终完成整个零件。对于初学者来说，这种方法的确能够很好地表达出头脑中随时出现的“设计灵感”，但机械设计毕竟有别于艺术创作，它具有可重复和规范化等方面的要求，尤其在飞机结构设计这样重大项目的设计中更需要避免建模方法的非规范化。因为随着结构模型数量的增加，非规范化的建模方法会在整个研制流程中显现出弊端，例如设计员间校对、判读的工作量增加，模型后期维护难度加大等。为避免这些弊端，这就需要在建模方法上预先有所“行动”。

对于习惯了使用传统方法进行零件建模的老设计员来说，改变建模思路需要一个过程，也许对于某些人来说这个过程是痛苦的，这主要是因为采用规范化建模方法所带来的好处，并非所有的设计人员都能够在构型设计中直观感受到，只有在后续校对、维护或使用等整个模型生命周期中才能体会到它的益处。

本章首先对飞机结构建模过程中已经暴露出的弊端进行说明，然后有针对性地提出相应的解决措施，最后将这些解决措施、手段与建模流程融合在一起形成规范化的建模方法。

1.1 传统建模方法的弊端与解决措施

随着设计规模的扩大，CATIA V5 设计员和团队领导者不断地发现传统建模方法面临越来越多的弊端，如果这些弊端得不到有效克服，将导致设计员被束缚在大量的重复劳动中，直接影响设计团队的工作效率。目前发现的弊端涵盖设计、校对、制造和更改等几个环节，其中较为突出的见表 1-1。

针对表 1-1 中的各种弊端，逐条找出合理可行的解决措施，这些措施总结起来共包含 3 项技术关键和 1 项规范化要求。技术关键包括减材法建模、关联设计和参数化设计，规范化要求包括“扁平化”模型结构树。将这 3 项技术关键和 1 项规范化要求与模型建模步骤结合在一起就构成了规范化的建模流程。

表 1-1 目前发现的弊端

序号	阶段	弊端	解决措施
1	设计	某些可在制造过程中实现的结构特征无法在模型上实现	采用模拟机械加工的“减材”建模方法
2		模型自动更改消耗计算机时长	规范化建模流程，减小模型复杂程度，减小模型数据量
3		协调更改后相关模型需手动更改	采用“关联设计”和“参数化设计”
4	校对	模型校对需首先摸索建模思路	采用规范化的建模方法
5		缺少统一的三维模型校对标准	采用统一的“校对模板”
6	制造	设计模型结构工艺性不佳	采用模拟机械加工的“减材”建模方法
7		设计模型结构复杂导致数控模型建模错误率高	
8	更改	更改接近根节点的尺寸会导致整个模型绝大多数特征更新，对于复杂模型很可能根本无法实现简单更改	采用“扁平化模型结构树”，实现对模型的“垂直管理”

1.2 规范化建模流程及技术关键

现代化的大规模工业设计与制造在每个环节都需要执行相应的标准，否则很难实现协调一致。过去我们的建模方法以能够实现为目的，现在我们的建模方法应该立足于有利于大规模工业设计与制造及提高设计员工作效率。针对目前已经发现的弊端，我们推出以减材法建模、关联设计、参数化设计和“扁平”结构树管理为核心的规范化建模流程。

1.2.1 规范化建模流程

以飞机设计过程为例，在飞机详细设计开始前由总体在 ENOVIA 数据管理平台中发布飞机理论外形数据，之后各级设计者利用关联设计思想创建设计基准。设计基准确定后，首先按需求建立模型毛坯，然后用参数化设计思想进行协调草图与零件布置草图的设计。在零件的详细设计阶段直接关联引用协调草图和零件布置草图的结果在模型毛坯上采用模拟机械加工方式进行减材法建模，出现设计更改时直接更改协调草图与零件布置草图即可。

使用关联设计和参数化设计的目的是为了减少因顶层参数变化而带来的返工工作量。采用减材法建模是为了保证模型具备良好的可修改性和工艺性。

关联设计的介绍和方法将在第 3 章“关联设计”中进行讲解。参数化设计的方法

在第4章“草图设计”中有应用示例。减材法建模是种新颖的方法，将在第5章“减材法建模”中详细说明。

完整的建模流程如图1-1所示。按照该流程及其规定的方法就可以创建出符合设计制造一体化的规范化的模型。这样的模型具备一个好的特性，就是其可修改性特别强。相信很多设计员都思考过“什么样的模型才是好模型”，相信很多常年从事结构设计的设计员会认为“可修改的模型才是好模型”。在第8章“模型维护与更改”中专门讲解了修改方法，这种采用减材法建立的模型较传统方法建立的模型在可修改性上要好多。

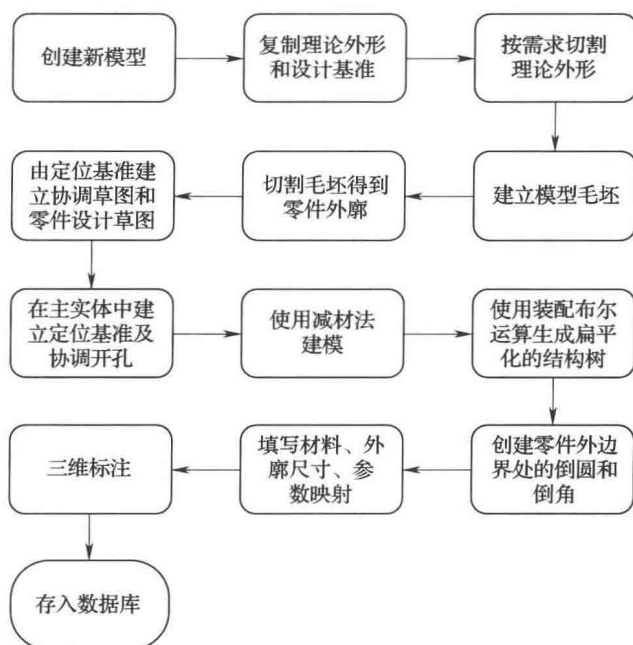


图1-1 规范化建模流程图

规范化建模流程中所涉及的相关知识与本文的对应关系如下：

①“创建新模型”和“建立模型毛坯”所需要的相关知识在第2章“创建新模型”中进行讲解；

②“复制理论外形和设计基准”“按需求切割理论外形”“切割毛坯得到零件外廓”和“在主实体中建立定位基准及协调开孔”所需要的相关知识在第3章“关联设计”中进行讲解；

③“由定位基准建立协调草图和零件设计草图”所需要的相关知识在第4章“草图设计”中进行讲解；

④“使用减材法建模”“使用装配布尔运算生成扁平化的结构树”和“创建零件外边界处的倒圆和倒角”所需要的相关知识在第5章“减材法建模”和第8章“模型维护与更改”中进行讲解；

⑤ “三维标注”所需要的相关知识在第 7 章“三维标注”中进行讲解；

⑥ “填写材料、外廓尺寸、参数映射”所需要的相关知识在第 9 章“材料、工艺附注”和第 10 章“标准件库的建立和应用”中进行讲解。

1.2.2 参数化设计的意义

关联设计解决了设计引用基准自动更新的问题。那么，模型的详细设计参数是否也可智能更新？答案是肯定的。例如，系统管路通孔更改后，其开孔加强部位设计参数在点击自动更新后也可同时智能更新完毕，且更新结果完全符合设计要求，无需另外手工更改。首先，假设在系统管路通孔加强边的设计中通孔半径为 r ，加强边区域宽为 δ ，则在设计加强边时使用公式令加强边半径 $R = r + \delta$ ，当协调尺寸 r 更改后加强边半径尺寸 R 可自动更新。

为实现类似上述功能，需要使用 CATIA V5 知识工程中的参数 (Parameters)、公式 (Formulas) 和设计表 (Design Tables) 等功能。本书将在第 4 章的协调开孔草图设计和零件布置草图设计中重点介绍使用公式和参数进行设计的方法。

CATIA V5 知识工程的基本思想是将人工智能（包括知识库、知识逻辑、逻辑推理等）与 CAD 系统有机结合的知识方法，这些知识可用来策划、设计和完成一种产品、项目或工程，熟练运用可明显减少建模时间。知识工程本身所涉及的功能非常丰富，在 CATIA V5 中属于高阶应用技术。本书提取出有助于规范化建模的功能融合在第 3 章至第 5 章中进行实例介绍。

1.2.3 关联设计的意义

众所周知，飞机设计是一项复杂的系统工程，需要多专业协调合作才能够完成。如何使数以万计的零件彼此间协调一致是飞机设计师必须面对的一个难题，采用关联设计恰恰是解决这个难题的关键。

在 CAD、PDM 发展初期，飞机设计师们普遍采用纸制协调单的形式来明确跨专业间的零件尺寸及接口关系。这种模式在进行飞机改型研制时是可行的，因为在飞机改型研制工作中绝大多数设计约束与原型机一致且不可更改，相应的协调工作量也比较小。在新飞机研制时就必须改变这种传统的模式，因为在设计过程中会出现多轮设计迭代，每次迭代都会带来协调关系的变化，如不采取相应的措施，设计师将不得不对已经完成设计的零件进行多轮的重复设计，导致无谓的浪费。

为解决上述问题，提高新机研制效率，设计师可在零件设计时将上级装配的基准和已经完成的协调信息作为设计输入，并保留链接关系，同时也需要发布用于约束下级零件设计的相关信息，以供下级零件设计使用，这就是关联设计的思想。

例如，当飞机外形局部修整后，相关设计师从 PDM 中打开设计模式的零件后可立即发现模型有更新同步的提示，通常设计师仅通过点击“更新”命令就可以完成模型外形的自动更新。

利用关联设计这样的思路还可以解决很多工作中面临的实际问题，我们将在第3章中进行更为详细的介绍。

1.2.4 减材法建模的意义

目前国内的机械工程师对于机械加工及工艺性的了解普遍源于高校学习时期的金工实习课，且一般毕业后直接进入设计团队，因此对零件的制造过程和工艺知识了解不够。正因为零件设计师在零件生产工艺方面知识的薄弱，导致在设计工作中易出现工艺性差、局部无法加工、无法装配等问题。目前飞机上使用的零件制造方法可大致分为机加、锻造、铸造、钣金、焊接和三维（3D）增材制造等。除钣金、焊接和3维增材制造技术外，其他制造技术均可看作是在“毛坯”件上去除材料的方式来实现的。那么，如果在设计时采用模拟机械加工的方法，即在适当的毛坯上用刀“雕刻”出符合设计要求的零件，这样显然可避免设计出的数模无法加工。

另外，三维数模发放给生产厂后，生产厂需将三维数模转换成工艺数模。在这个过程中，越复杂的模型越容易在转换过程中出现问题，尤其是采用传统建模方法生成的模型，因为两者之间的思路完全不同。如果采用减材法建模则可很好地解决这个问题。

初用减材法建模时往往会使人产生“虽然建模思路清晰但建模过程混乱”的感觉，为解决这个问题，特对模型的结构树做了规范化的要求。非规范化数模的结构树通常是非扁平的，即根节点下几乎全是一级节点，形似自上而下的环环相扣的“链”，链条中下节点依赖上节点的存在而存在。CATIA 模型结构树中，下级节点与上级节点也存在定位关系、尺寸约束等依赖关系，上级节点更改后，下级节点几乎全部需要自动跟随更新，即便更新过程中不出现错误也会消耗大量的计算时间（模型复杂时尤为严重），如果自动更新出现错误就不得不逐个节点手动进行更改，部分节点甚至不得不重新设计。为解决这个问题就必须减少模型结构树的级数，使整个模型结构树就像一棵枝繁叶茂的大树，这样对模型结构树中单个特征的管理就非常类似于管理学概念中的扁平化管理。创建如图1-2所示模型的扁平化与非扁平化结构树对比示意图1-3。

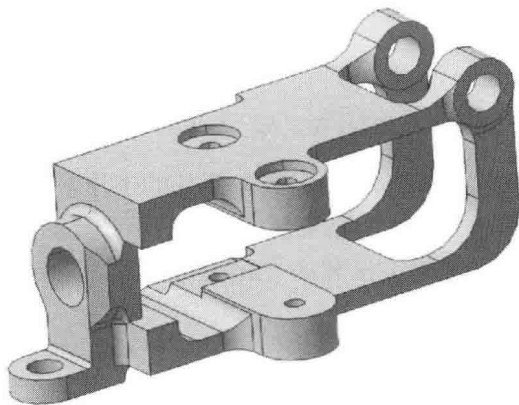


图1-2 示例模型

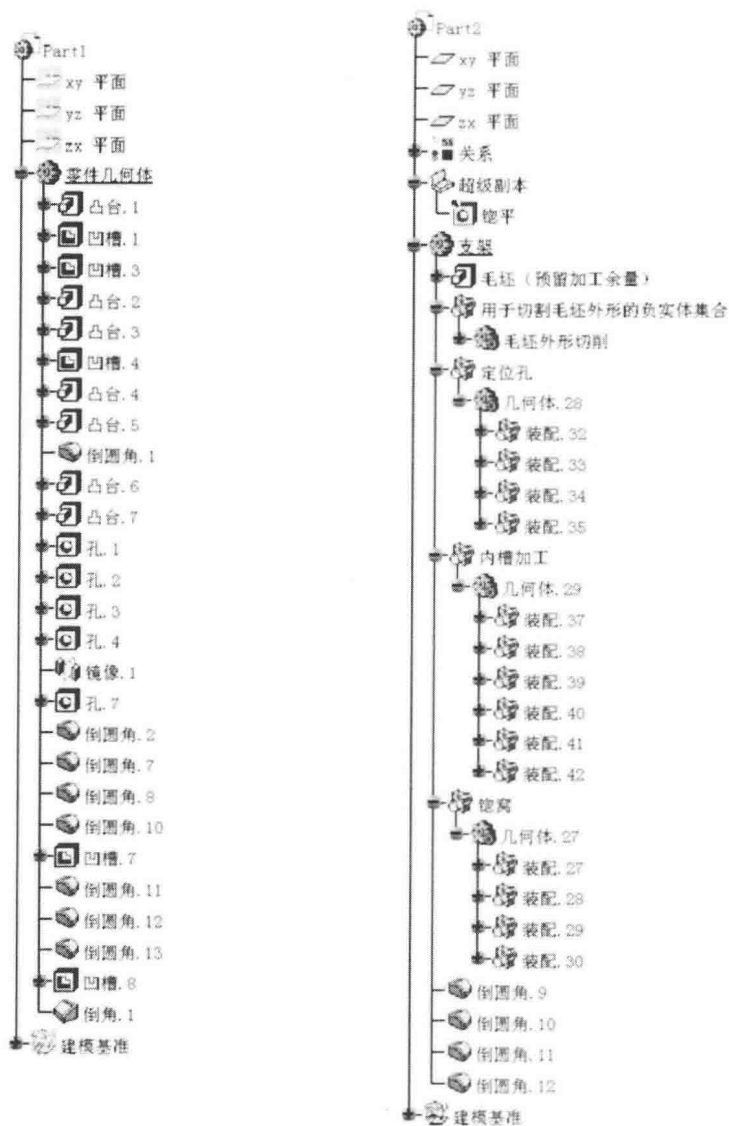


图 1-3 “非扁平化”（左）与“扁平化”（右）结构树对比

虽然按规范化结构树存放模型特征会带来额外的工作量，但这样既可以保证建模思路清晰明确，还可以极大地减少自动更新所带来的不必要的工作量，利大于弊。

将这种模拟机械加工的建模方法和扁平化结构树管理结合在一起就是本书要重点推荐的减材建模方法。

1.2.5 减材法建模的优势和适应范围

减材法建模的优势：一是建模思路简单，尤其对飞机结构中常用的厚板机械加工