

Solidworks 2005

中文版机械设计

高级应用实例

胡仁喜 郭军 王仁广等编著


内含多媒体教学光盘



Solidworks

COMPUTER AID DESIGN FOR MECHANISM

全面完整的知识体系
深入浅出的理论阐述
循序渐进的分析讲解
丰富典型的实例引导

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

计算机辅助机械设计高级应用实例
COMPUTER AID DESIGN FOR MECHANISM

系列



计算机辅助机械设计高级应用实例系列

SolidWorks 2005 中文版

机械设计高级应用实例

胡仁喜 郭军 王仁广 等编著



机械工业出版社

本书包含机械设计和动力学分析两大部分,以机械工程设计为中心,贯穿从初级建模到高级分析的工程实践全过程。

全书包括草图设计技术、零件造型技术、装配技术、基于装配的关联设计技术和有限元分析技术。是作者利用 SolidWorks 进行产品设计和分析的经验总结。

随书所附多媒体光盘为书中范例源文件,并将范例的制作过程以动画的方式真实再现。本书适合于读者自学或作为机械设计人员的参考工具书,也可作为高校机械专业的课程设计用书及 CAD/CAM 课程教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

SolidWorks2005 中文版机械设计高级应用实例/胡仁喜等编著. —北京:机械工业出版社, 2005.1

(计算机辅助机械设计高级应用实例系列)

ISBN 7-111-15811-3

I. S… II. 胡… III. 机械设计: 计算机辅助设计-图形软件, SolidWorks2005-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 131328 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 曲彩云 责任印制: 李 妍

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·16 印张·390 千字

0001-5000 册

定价: 31.00 元 (含 ICD)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

出版说明

机械设计是一门古老而成熟的学科，自第一次工业革命以来，经过几百年的发展，现在已臻于完善。然而，传统的手工进行计算绘图的机械设计方法在日新月异的社会发展需求面前显得捉襟见肘，力不从心。以计算机为代表的信息技术推动整个社会各方面发展的同时也为机械设计这门古老的学科带来了新的生机，这就是计算机辅助设计（CAD）。

借助计算机提供的信息化平台，机械设计得以摆脱传统手工绘图和计算设计的烦琐和落后，变得高度自动化和精确化。可以说，CAD 技术在继承成熟的机械设计理论的同时已经彻底颠覆了传统机械设计几百年的人工模式。

目前，我国的机械设计学科也正在这场深刻的计算机革命。世界和国产的各种优秀 CAD 软件正已前所未有的速度迅速进入机械设计和制造行业的各个领域。由于目前 CAD 技术在我国机械设计工程界正处于一个快速导入期，各种 CAD 软件由于其自身的性能优势拥有不同的应用人群。本《计算机辅助机械设计高级应用实例系列》丛书针对机械设计行业不同应用对象，精选了目前国内应用最广泛的十二种 CAD 软件，结集成书，力图全景式地介绍目前主流 CAD 软件的功能和特点，为不同需求人群设计一套完整的学习和应用指导工具书。

这套丛书所属各书目具有以下特点：

◆ 版本前沿

本丛书所有讲解对象软件都是世界或国内对应软件的最新版本，编者力图将目前世界上最新的功能最强大的 CAD 软件介绍给读者，使读者能够学习到最前沿的知识。

◆ 内容精深

编者力图跳出目前世面低中端书籍的俗套，站在一个比较高的起点上，对每一个软件进行全貌式的讲解，从低端的基本功能介绍入手，循序渐进地逐步深入，直至对各种软件的高端分析与开发功能进行详细而具体地剖析。在此过程中，贯穿大量而又有机联系的实例，帮助读者在有限的篇幅内轻松而又深入地掌握本软件的知识精髓。

◆ 作者权威

本丛书各书目的作者都是相应软件使用方面的专家和技术权威，都有过相关软件的多年使用或教学经验，也是利用该软件进行 CAD 设计的高手，他们集中自己多年的心血，融化于字里行间，有很多地方都是他们经过反复研究得出的经验总结。

借这套丛书的出版，希望能够对广大读者的能力提高有所裨益。

前 言

随着现代科学技术的发展, 工程设计及其研究工作已经开始从二维设计发展为三维动态结构设计。在结合工程设计实际与总结教学经验的基础上, 编写了《SolidWorks 2005 中文版机械设计高级应用实例》一书。

本书以工程实例贯穿始终, 讲解力求清晰、明了、易懂、易学和易掌握。在编写的过程中吸收了大量工程技术人员应用 SolidWorks 软件的经验, 避免手册式的枯燥介绍, 将重要的知识点嵌入到具体的设计中, 使读者可以循序渐进、随学随用、边看边操作。

全书共分 9 章。第 1 章概括地介绍了 SolidWorks 软件的界面、设计思路和操作风格; 第 2 章讲述草图及其相关技术; 第 3 章介绍零件造型和特征; 第 4 章是本书的重点部分, 按照零件加工和使用上的不同, 选择了具有浓厚工程实际背景的 11 个零件, 将不同种类的零件在 SolidWorks 中的设计一步一步展示给读者。这其中包含了笔者多年来使用 SolidWorks 的经验与体会; 第 5、6 章则针对 SolidWorks 的装配思路和技术进行了讲解; 第 7 章讲解了 COSMOSXPress 这个有限元分析工具, 同时也对有限元理论进行了提纲挈领的阐述; 第 8 章则介绍了著名的有限元分析插件软件 COSMOSWorks 的使用; 第 9 章也是本书一个重点部分和特点之一, 介绍了 COSMOSWorks 软件的静态、模态、热力学、掉落测试、疲劳分析等动力学知识, 通过对 11 个典型的结构计算将 COSMOSWorks 的有限元分析功能淋漓尽致地展现给读者。

本书中有大量的关于 SolidWorks 在机械设计中的应用实例, 而本书的随书光盘中有相应的视频文件。

本书由胡仁喜、郭军、王仁广主编, 参加本书编写的人员还有周广芬、秦建宁、李鹏、周冰、董伟、李瑞、王涛、张俊生、王玮、赵黎、贾红丽、马爱文、袁涛、王佩楷、秦志峰、齐锁来、冶元龙、齐月静、路纯红、赵永玲、许艳君、王敏等。他们根据多年的教学经验和一线设计与加工经验, 编写了本书, 全书实例具有很好的实践操作可行性。考虑到机械设计

理论的复杂性, 所以对书中的理论讲解和实例引导都作了一些适当的简化处理, 尽量做到深入浅出, 抛砖引玉。同时为了帮助读者更加直观地学习本书, 作者随书配制了精美的动画教学光盘, 使本书具有很好的可读性。

全书由浅入深, 循序渐进, 从最简单的三维实体建模到高级分析应用, 作者力求避免当前市面上大多数书籍只停留在 SolidWorks 初级功能介绍的流俗, 深入挖掘 SolidWorks 内在的强大功能, 为读者提供一个全面深入的学习机会, 从本质上提高读者的设计与分析能力。本书既适合做中高等院校的 CAD 或机械设计课程设计教材, 也适合于读者自学或作为机械设计专业人员的参考工具书。

由于作者水平有限, 加上时间仓促, 书中不足和错误在所难免, 恳请各位朋友和专家批评指正。欢迎广大专家和读者来信联系 hurenxi2000@163.com 指导切磋。

作 者
2005 年 1 月

目 录

出版说明

前言

第一篇 建模与装配篇

第 1 章 SolidWorks 概述	3
1.1 怎样有效地应用 CAD 软件	3
1.2 三维设计	4
1.3 界面简介与操作风格	6
第 2 章 草图相关技术	8
2.1 创建草图平面	8
2.2 草图的创建与约束	9
2.3 草图 CAGD 的功能	12
2.4 利用 AutoCAD 现有图形	12
第 3 章 零件造型和特征相关技术	14
3.1 定位特征	14
3.2 基于草图的特征	17
3.3 基于特征的特征	24
3.4 零件的其他设计表达	29
第 4 章 单个零件的创建	35
4.1 管接头类零件的创建	36
4.2 法兰类零件的创建	51
4.3 轴类零件的创建	60
4.4 全切削加工零件的创建	70
4.5 铸、锻毛坯类零件的创建	87
4.6 齿轮类零件的造型	97
4.7 叉架类零件的创建	104
4.8 操作件类零件的创建	117
4.9 螺母紧固件的创建	126
4.10 钣金零件设计	134
4.11 趣味零件造型	139
第 5 章 装配和基于装配的设计技术	145
5.1 零部件的插入	145
5.2 零部件的约束关系	146
5.3 零部件阵列	147
5.4 零部件镜像	150

5.5 子装配.....	152
5.6 零件顺序.....	153
第 6 章 基于装配约束的关联设计技术.....	154
6.1 利用装配约束设计零件的参数.....	154
6.2 基于已有零件轮廓投影进行关联设计.....	157
6.3 干涉检查.....	161
6.4 机构动作模拟.....	163
第二篇 高级分析篇	
第 7 章 有限元法与 COSMOSXpress.....	168
7.1 有限元法.....	168
7.2 有限元分析法 (FEA) 的基本概念.....	169
7.3 COSMOSXpress 应用.....	170
第 8 章 COSMOSWorks 的使用.....	177
8.1 COSMOSWorks 功能和特点.....	177
8.2 COSMOSWorks2005 的启动.....	179
8.3 COSMOSWorks2005 的使用.....	180
第 9 章 工程用有限元分析技术.....	188
9.1 简单拉压杆结构.....	188
9.2 梁的弯扭问题.....	193
9.3 杆系稳定性计算.....	197
9.4 实体振动分析.....	202
9.5 轴承载荷下的零件应力分析.....	207
9.6 压力容器的应力分析设计.....	213
9.7 板中圆孔的应力集中问题.....	218
9.8 温度场分析.....	223
9.9 掉落测试.....	230
9.10 疲劳分析.....	233
9.11 综合分析.....	242

第一篇

建模与装配篇

计算机辅助机械设计高级应用实例系列
COMPUTER AID DESIGN FOR MECHANISM

本篇介绍以下主要知识点：

- ❖ 软件简介
- ❖ 草图的创建与编辑
- ❖ 特征的创建与编辑
- ❖ 部件装配及相关技术



第 1 章 SolidWorks 概述



内容提要

本章主要介绍利用三维 CAD 软件进行机械设计中的目的、效率等先决问题。简要描述了 SolidWorks 的特点、界面环境和操作风格等。



本章重点



CAD 技术概论



SolidWorks 概述

1.1 怎样有效地应用 CAD 软件

CAD 软件的开发是一个重大的技术进步，对于提高设计质量、设计能力、设计效率，起到了前所未有的推动作用。

从二维 CAD 技术来说，设计总要绘图，因为一个工程师无法记住自己的设计（哪怕是较简单的设计）中的全部细节，图形表达就是唯一的方法。这些图首先是给设计者自己看，为了记住、研究和配凑设计自己的构思。其次是给别的工程师看，为了互相交流，共同合作完成设计。最后是为了给制造者看，为了将设计意图在制造车间变成实际零件。可见，绘制工程图，实际上是设计思维的表达手段。

时至今日，软件已经有了质的飞跃，一提起 CAD 已经不是先前想到的“代替手工绘图”。图样画的再规范、漂亮，设计质量没有得到大幅度的提高，这点好处似乎对于 CAD 的应用来说很不够，解决设计技术的创新，提高设计质量才是应用 CAD 的核心。

在 CAD 软件的专业应用上，一直存在两种相当不同的技术风格。

“造型派”认为只要看起来像，至于创建的方法是否合理，设计数据怎样构建是无所谓的。例如：造型派们甚至认为可以使用 CorelDRAW 生成二维机械工程图，用 3ds max 生成三维机械模型，并认为这没什么不对劲的地方。其主要目标是使结果“看着像”，而不是为了设计数据的正确表达。因此，在使用 SolidWorks 或其他三维软件时，经常处在欠约束的状态，也不认为基于装配的参数关联设计有多大的意思。

“设计派”则认为：看起来像是必然的，因为模型正确。但是，整个的模型必须有充要的参数驱动、装配关联设计数据表达。基本的要求是：在设计参数的范围内，模型不会被“拉散”、“扭曲”，而且能够根据设计的需要方便地修改调整 and 进行设计数据的提取。用 CorelDRAW 生成工程图是无法理解的荒唐做法。

设计过程中，自始至终充满了“假如……因此……于是……”这样的思维推理过程。就是说，实际上工程师是在脑子里模拟自己设计的东西未来的样子。一个不懂相关的工艺、测量、装配、调试技术的工程师，无法进行真正的设计，至少不能完成优秀的设计。在 CAD 软件中尽量完整地再现这样的思维过程，在计算机上进行过去生产现场才能完成的过程，这种目标才是 CAD 软件永恒的追求，这就是“虚拟设计”的主要思想。

1.2 三维设计

基于特征的三维参数化软件中，工程师所设计的零件是有颜色、材料、硬度、形状、尺寸等概念的三维实体，甚至是带有相当复杂的运动关系的三维实体。如果能直接以三维概念开始设计，在现有的软件支持下，这个模型至少有可能表达出设计构思的全部参数，整个设计过程可以完全在三维模型上讨论，设计的全部流程都能使用统一的数据。

这样就有可能比较容易地建立充分而完整的设计数据库，并以此为基础，进一步进行应力应变分析、质量属性分析、空间运动分析、装配干涉分析、NC 控制可加工性分析、生成高正确率的二维工程图、外观色彩和造型效果评价、动画生成等。

SolidWorks 是当今最为流行的三维 CAD 软件之一，它具有基于特征、参数化、实体造型等特点。整个设计基于装配关系进行，装配的基础要素是相关的零件，零件是由若干参数化的可以基于装配关系的特征堆砌而成，特征是一些与机械设计的表达意图相关的一些简单几何形体，这些几何形体的基础是参数化的，可以基于装配关系的二维或者三维草图，草图是一些简单类型的图线，可以用几何关系、装配关系和驱动尺寸加以约束。

所谓特征，是指可以利用参数驱动的实体模型。通常，特征应满足如下条件：

- 必须是一个实体或零件中的具体构成之一；
- 能对应于某一形状；
- 应该具有工程上的意义；

改变与特征相关的形状与位置的定义，可以改变与模型相关的那些形位关系。对于某个特征既可以将其与某个已有零件相联接，也可以把它从某个已有的零件中删除掉，还可以与其他多个特征共同组合创建新的实体。

“基于特征”这个术语的意思是：零件模型的构造是由各种特征来生成的，零件的设计过程就是特征累积过程。SolidWorks 零件模型中，第一个实体特征称之为基体特征，代表零件最基本的形状，零件其他特征的创建往往依赖于基体特征。

所谓“参数化”是指对零件上各种特征施加约束形式。各个特征的几何形状与尺寸大小用变量参数的方式来表达，这个变量参数不仅可以是常数，而且可以是某种代数式。如果定义某个特征的变量参数发生了改变，则零件的这个特征的几何形状或尺寸大小将随着参数的

改变而改变，软件会随之重新生成该特征及其相关的各特征，而不需要重新绘制。一个特征的尺寸有几何形状尺寸和定位尺寸两种，与之对应，一个特征参数也可分为几何形状参数和定位尺寸参数。通过控制各种参数，即可以达到控制零件几何形体的目的。

实体模型是三维模型中表达几何体信息最完整和最准确的。实体造型包括了几何体中点、线、面、体以及重量、密度等特性，通过这些特性可以进行两个几何体的干涉检查，可以进行有限元分析中的自动剖分网格，可以进行 2-5 轴的 NC 操作等一系列“虚拟设计”。

设计过程的结束，是在所有零件都被确认的时候，标志是所有零件工程图、机器总装配图、设计说明书、零件和装配工艺都已经确认。对于一个成熟的设计师来说，进入三维设计最大的障碍不是软件应用技术，而是自己的对设计表达的方法。由于多年来习惯于二维工程图表达，习惯于一系列规则的使用，对于描述三维模型上各个特征的类型和相互关系，从思考方法上已经生疏。在这一方面，甚至不如一个新毕业的大学学生的接受能力。

SolidWorks 系统的零件设计的构造过程类似于真实制造环境下的生产过程，如图 1-1。

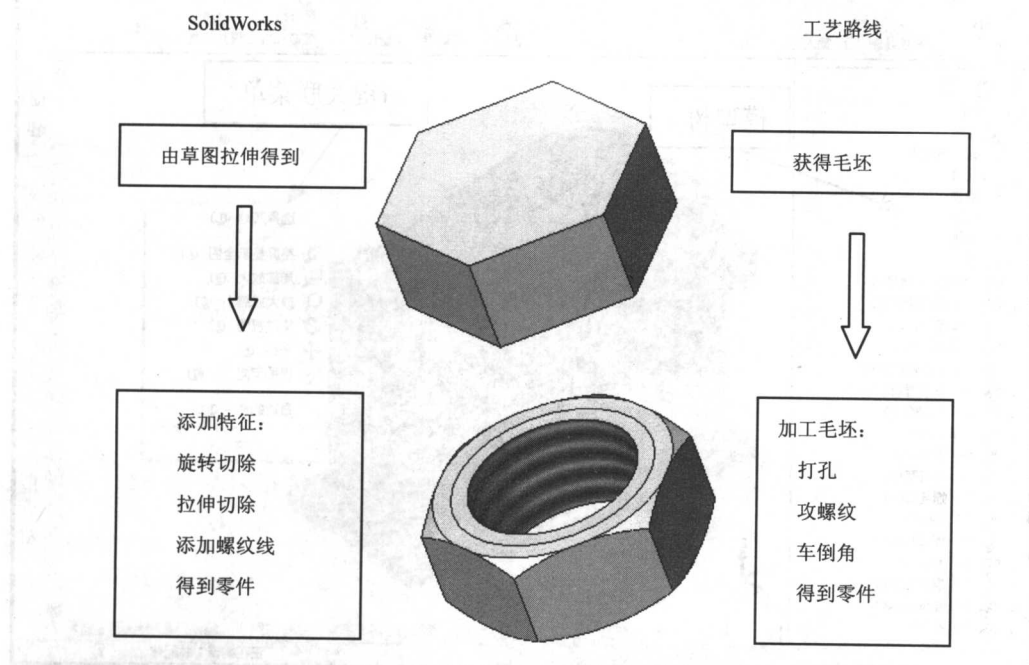


图 1-1 零件设计过程

基于传统二维设计的软件很容易掌握，因为这是一些基于已有知识的内容，软件规则与人的现有规则大多数是符合的。而三维软件就不行了，大量的新的规则，与人的现有规则并不完全一致，怎样结合已有知识掌握好这些软件呢？

掌握软件的效率，对用户来说有个限度。过长，结果就是放弃，这样的例子很多。“洗脑”的过程越长，掌握软件的效率就越低。对于 SolidWorks，其容易学会的程度是目前最好的。

同样的设计，需要用多少时间在软件中完成？对于创新设计，三维设计效率高；而对于检索设计，二维设计效率高。总之，工程师越熟悉的设计，设计的效率就越高。因为许多细

节不需要再次配凑，结论已经很清楚了，设计数据的构建和表达也很清晰。

1.3 界面简介与操作风格

SolidWorks 2005 的界面（此处以装配体为例）如图 1-2 所示。

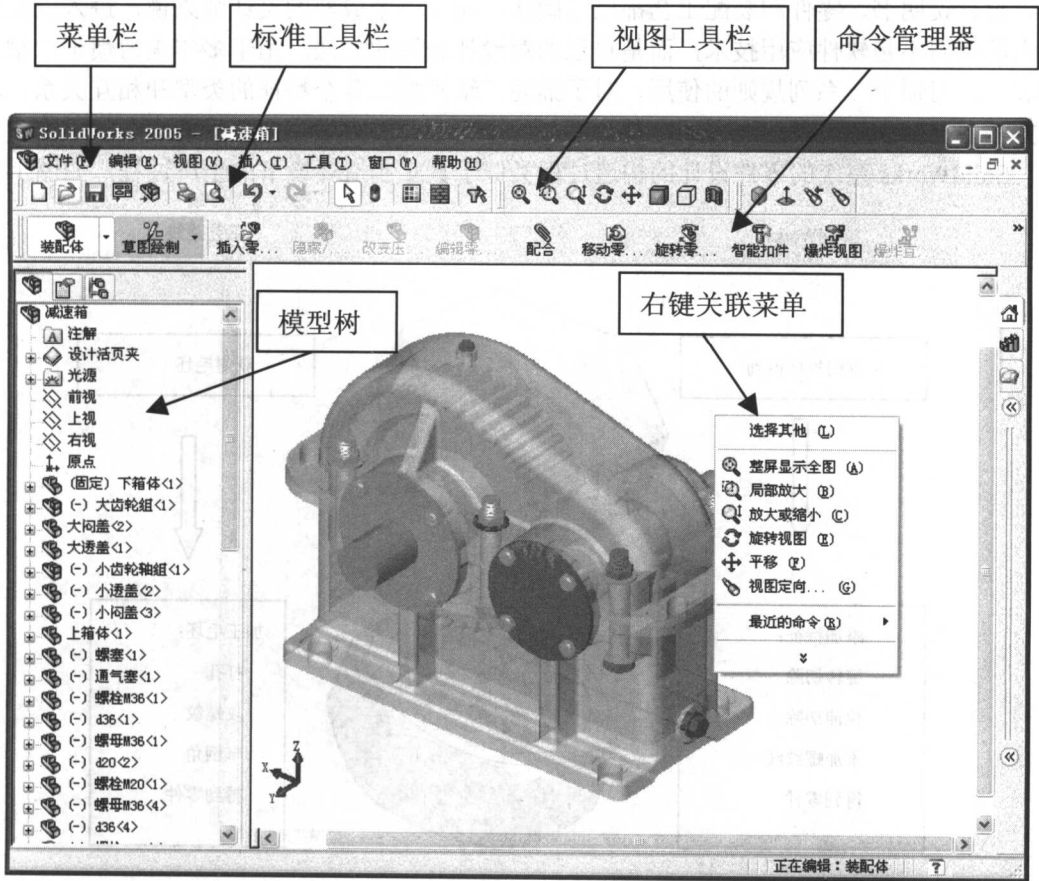


图 1-2 界面

SolidWorks 完全没有命令行交互的操作。所有的操作都是通过功能按钮、菜单、对话框和光标的操作进行。

这种操作风格不像 AutoCAD 那样可以“下命令”进行，而是“商量着”进行的。因此，学会与 SolidWorks 商量，就是最开始必须掌握的技术，这就是软件的操作规则。可以这样比喻，要做一件事情，SolidWorks 说：我能这样、那样做，而用户只需要选定其中的一种。这样商量的过程有时候还挺啰嗦，虽然从原理上讲应当可以直接告诉 SolidWorks 做某件事情。

在商量的过程中，SolidWorks 会“感应、推测”用户的想法，并用动态的一些标记反馈它的判断，所以，必须十分注意光标移动过程中的提示标记。

在经过一段时间的磨合后，就会比较熟练地操作了。这些操作规则的掌握，除了作联系外，充分利用 SolidWorks 优良的、本地化的在线帮助和教学指导功能，是十分必要的。

按照 SolidWorks 的规则，选定任何条目、在任何功能的执行过程中，单击右键，都可以弹出与当前操作相关联的菜单。在这个菜单中，列出了可以继续执行的所有功能选项。

在发生了操作错误的时候（重复的约束、不可能的装配关系、更新零件之后发生的问题等），SolidWorks 会发出相关提示，并引导用户一步一步地定位和解决这个问题。这显然是一个十分有用的功能。

SolidWorks 有一个称为“自适应”的功能，实际上就是“基于装配关系的设计数据关联”。当采用“自顶向下”的方法进行设计时，当基于装配关系的某个零件尺寸发生改变时，基于这个尺寸的其他零件也会自动按照尺寸的改变完成新的计算，得到新的零件。

第 2 章 草图相关技术







内容提要

本章的烤箱设计范例介绍了一种先做出骨架曲线，再参考曲线分别设计出各个零件的设计方式，这是用 Pro-E 进行产品设计的常用方法之一。



本章重点

-  创建草图平面
-  草图的创建与约束
-  草图 CAGD 的功能
-  利用 AutoCAD 现有图形

2.1 创建草图平面

草图是一种二维的平面图，用于定义特征的形状、尺寸和位置，是三维造型的基础。与其说是“草图”还不如说是“截面轮廓”更贴切一些。因为草图是二维的，因此创建任何草图，都必须先确定它所依附的草图平面。这个草图平面实际上是一种“可变的、可关联的、用户自定义的坐标系”。有些类似于 AutoCAD 中的 UCS 的概念，但却是可以参数驱动的。草图设计的过程一般为：先绘图，再修改尺寸和约束，然后重新生成。如此反复，直到完成。

草图平面的创建，可以基于下面的可能：

以基础坐标系创建草图面

在零件设计环境下，创建新草图面时，可以选定某个基础坐标系的某坐标平面作为草图面。SolidWorks 自带一个原始的基础坐标系，包括三个面、三根坐标轴和一个原点，就像 AutoCAD 中的 WCS。在 FeatureManager 设计树中可以选定这样的坐标面，如图 2-1 所示。默认状态下，在图形区域中这些基准面是不可见的，只有在 FeatureManager 设计树中选择某一个时才可以看见。

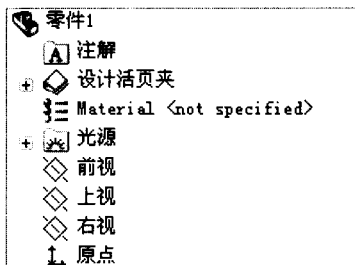


图 2-1 基础坐标系

在已有特征上的平面创建草图面

在创建新草图面时，选定某个特征上的平面，SolidWorks 将根据这个平面创建新的草图面。这个已有特征就成为新特征的基础；新特征将具有与这个“已有特征”的关联关系。当这个基础发生变化时，新特征也会自动关联更新。

在参考面上创造草图面

可以像生成其他特征一样的生成参考平面，从而在参考平面上创建草图面。这样做的直接后果就是草图面本身也可以进行参数驱动，整个草图面上的二维草图也因此具有了可以直接驱动的第三个坐标参数

在装配中创建草图面

在装配环境中创建新零件时，草图面以现有零件上某特征上的平面为基础创建，以后新建的零件，将自动具有在这个面上与原有零件“贴合”这样的装配关系；并能与在这个面上的、老零件的轮廓投影，自动形成基于装配的形状与尺寸关联。

2.2 草图的创建与约束

很多人都熟悉 AutoCAD，他们多数人认为 SolidWorks 的二维绘图功能不如 AutoCAD 好。实际上，SolidWorks 的草图功能相当不错，在绘图操作中，甚至明显好于 AutoCAD。

在 AutoCAD 中，几何关系和尺寸大小一般是同时达到要求的，这是 AutoCAD 最大的缺陷。而 SolidWorks 采用全参数化的数据处理方式，将完全按照人的思维，创建相当复杂的、参数化关联的二维几何图形。从草图的角度，SolidWorks 可能不太舒服；如果从设计的角度，SolidWorks 就十分好用。关键在于要从设计的角度切入使用 CAD 软件，把几何关系和尺寸大小分开来创建。

每个草图都必须有一定的约束，无规矩不成方圆，没有约束则设计者的意图也无从体现。约束有两种，一种对尺寸进行约束，一种对几何形状和位置进行约束。尺寸约束是指控制草图大小的参数化驱动尺寸，当它改变时，草图可以随时更改。几何约束则是指控制草图中几何图形元素的定位方向以及几何图形元素之间的相互关系。

绘制草图前，应仔细分析草图图形结构，明确草图中的几何元素之间的约束关系。一般

情况下系统会根据草图精度设置，自动对草图进行几何关系。如果系统自动添加的约束不合理，可以将其删除。如果过约束或欠约束，都可能引起草图重建失败。分析草图重建失败的原因，如果过约束，则删除多余的约束；如果欠约束，则添加所需的约束。

2.2.1 几何关系的约束

草图是许多根线条、甚至包含由本零件上的其他特征、另外的零件上的某些特征的投影线组合而成。这些线条之间的几何关系和驱动尺寸关系是最终形状的主要约束条件之一。

SolidWorks 可能描述的几何关系是：相互垂直、相互平行、相互相切、点在直线上、同圆心、共线、水平方向、竖直方向、长度相等、固定位置、对称等。

从人的思维习惯上来说，对于任何几何图形，几何约束总是第一条件。所以，在草图创建中，也同样应尽可能使用几何约束确定图线关系。

察看草图上的几何关系，选择菜单“视图”→“草图几何关系”，就可以显示出所有的已存在约束，如图 2-2 所示。

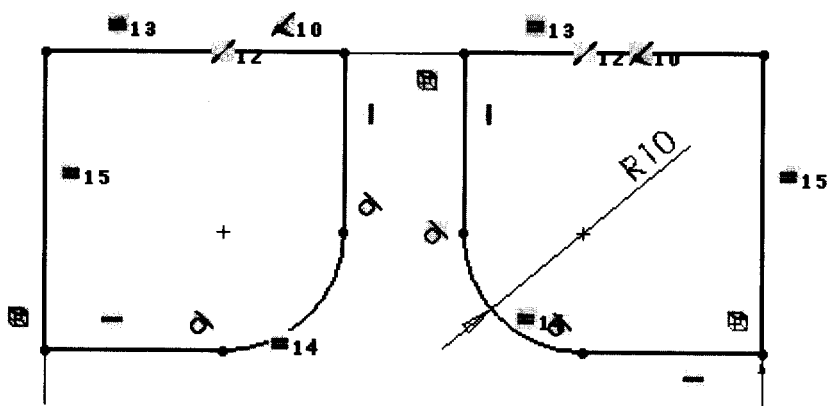


图 2-2 察看几何关系

2.2.2 驱动尺寸的约束

在 SolidWorks 中，除了工程图之外，无论是草图、特征或者装配中的尺寸，都是“驱动”的作用，是所标注对象的几何数据库的内容，而不是对所标注的对象的“注释”。这是个极为重要的概念。所以，标注尺寸的作用和机制，与 AutoCAD 中完全不同，虽然它们看起来挺像。这些驱动尺寸，是在几何关系已经充分确定的基础上，定义那些无法用几何约束表达的，或者是设计过程中可能需要改变的参数。

简单的说，就是在 AutoCAD 中要绘制长度为 100mm 的水平线段，需要事先定义线段的起点和终点，然后才能用尺寸标注工具对线段进行标注。而 SolidWorks 则首先绘制一线段，并不关心它的长短，事后只需要用“智能尺寸”标注该直线为 100mm，则该线段会自动被尺寸所驱动伸长或缩小其自身尺寸为 100mm，如图 2-3 所示。