



附DVD教学视频光盘

刘文 王国辉 谭建波 编著

SolidWorks

模具设计

入门、技巧与实例

SOLIDWORKS

MUJU SHEJI

RUMEN JIQIAO YU SHILI

知识点讲解

+

工程实例

+

应用提示

+

语音视频讲解

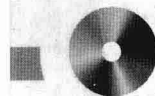
附赠超值
DVD

55 个工程实例原始及最终文件，高效学习
415 分钟模具设计语音视频讲解，即看即会
超值习题源文件，边学边练，全面提升技能



化学工业出版社

TG76-39
L685



22

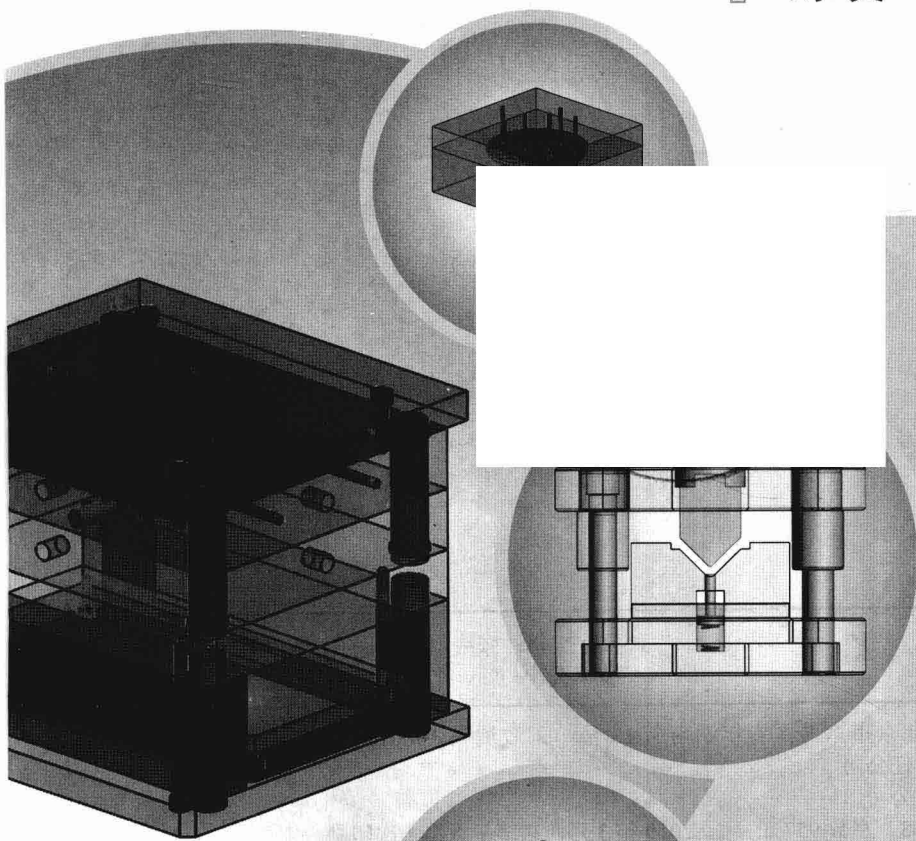
附DVD教学视频光盘

SolidWorks

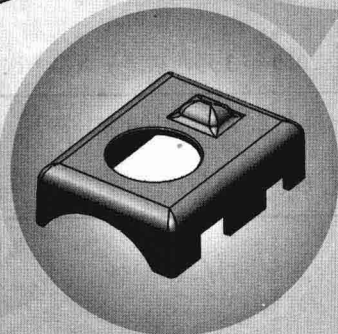
模具设计

入门、技巧与实例

□ 刘文 王国辉 谭建波 编著



TG76-39
L685



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

SolidWorks 模具设计入门、技巧与实例/刘文, 王国辉, 谭建波编著. —北京: 化学工业出版社, 2010. 1

ISBN 978-7-122-07152-1

I. ①S… II. ①刘… ②王… ③谭… III. ①模具-计算机辅助设计-应用软件, Solid Works IV. ①TG76-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 212113 号

责任编辑: 李军亮
责任校对: 边涛

文字编辑: 张绪瑞
装帧设计: 韩飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装订: 三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 33 字数 957 千字 2010 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 78.00 元 (附光盘)

版权所有 违者必究

前 言

SolidWorks
模具设计入门、技巧与实例

⌘ 关于 SolidWorks2009

SolidWorks2009 是一套优秀的 CAD/CAE/CAM 集成软件, 采用了用户熟悉的 Windows 操作界面, 以功能强大、技术创新、易学易用、价格适中等优点吸引了越来越多的工程技术人员和高等院校师生。自问世以来, 现已经成为世界上广为普及的三维 CAD/CAM 系统的标准软件之一, 被广泛应用于航空航天、机械、电子、汽车、家电、玩具等各行各业中。SolidWorks 功能强大, 囊括了零件设计、产品装配、模具开发、钣金件设计、造型设计、自动测量、机械仿真设计、应力分析、数据库管理等多种功能。它的出现改变了传统的模具设计方式, 参数化设计及全关联数据库使产品的设计更加容易, 大大缩短了产品的开发时间。

⌘ 本书特色

(1) **权威指南:** 由资深的一线模具教学老师和模具设计工程师, 根据软件实际应用, 结合工程开发经验精心编写。实例多为生活中广泛应用的产品, 如纯净水桶、端盖等。

(2) **由浅入深:** 针对软件使用经验不足的用户, 进行手把手式讲解; 对于有经验用户, 更多关注模具设计方法和技巧, 由浅入深、循序渐进, 不断提升读者的模具设计能力和软件熟练程度。

(3) **即学即会:** “知识点讲解” + “工程实例” + “应用提示” + “语音视频教学”, 模具设计实操技能即学即会。

(4) **技术拓展:** 详细讲述 SolidWorks 模具设计功能模块和插件的应用方法, 并对不同模具探索不同的设计方法, 使用户全面了解冲压、注塑、压铸、挤压模具设计需要掌握的扩展工具, 拓展技术层面, 一次学习, 终身受用。

⌘ 内容导读

全书共 8 章, 根据模具设计方法和模具类型进行分类讲解。第 1 章讲解 SolidWorks2009 基础, 了解 SolidWorks 的基本功能和应用技巧; 第 2 章讲述 SolidWorks2009 模具设计基础, 全面介绍基于 SolidWorks2009 的模具设计功能, 模具设计方法、分模方法; 第 3 章介绍冲压模具设计的一般方法; 第 4 章基于插件的冲压模具设计, 以 Logopress3 为例探索冲压模插件的使用方法和应用范围; 第 5 章介绍注塑模具设计的一般方法; 第 6 章基于插件的注塑模具设计, 以 IMOLD V8 为例探索注塑模插件的使用方法和应用范围; 第 7 章介绍挤压成形模具的设计方法和技巧, 包括模具

设计方法、模具装配体设计、模具工程图、模具 CAE；第 8 章介绍压铸模具的设计方法和技巧，包括排溢系统的设计、模具工作仿真。

⌘ 附赠超值 DVD

- (1) 55 个工程实例原始及最终文件，高效学习；
- (2) 415 分钟模具设计语音视频讲解，即看即会；
- (3) 超值习题源文件，边学边练，全面提升技能。

⌘ 适合的读者对象

- (1) 模具设计与产品结构设计的初学者；
- (2) 从事模具设计需要提升技能的工程技术人员；
- (3) 应用型高等院校、高职高专与中等职业教育在校学生；
- (4) 想快速掌握 SolidWorks 软件并应用于实际模具设计的各类读者；
- (5) 可作为各类相关专业培训机构和学校的教学参考书。

本书第 1、2、7、8 章由刘文编写，第 3、4 章由王国辉编写，第 5、6 章由谭建波编写，同时朱文峰、沈旭明也参加了部分内容的编写工作。

本书力求严谨细致，但由于时间仓促，书中难免出现疏漏与不妥之处，敬请专家和读者批评指正。

编著者

欢迎订阅化学工业出版社模具专业图书

书 名	书号	定价/元
金属压铸模具设计——全国高职高专工作过程导向规划教材	05704	26
中小型模具报价估算方法与实例	05776	28
冲压模具技术问答	01405	22
塑料模具技术问答	05782	28
模具制造技术问答	05431	28
冲压模具简明设计手册 第二版	04487	88
压铸模具简明设计手册	06580	89
模具识图	03684	32
模具钳工速查手册	03268	42
模具钢选用速查手册	03605	36
模具制造基础与加工技术	04761	38
多工位级进模设计标准教程	02799	38
模具制造工艺入门	02999	16
冲压模具设计及实例精解 (附光盘)	02190	38
模具专业课程设计指导丛书——模具制造工艺课程设计指导与范例	03267	22
模具专业课程设计指导丛书——冲压模具课程设计指导与范例	01923	32
模具专业课程设计指导丛书——塑料模具课程设计指导与范例	05132	29
UG NX 注塑模具设计入门与技巧 100 例 (附光盘)	03952	38
UG 冲压模具设计与制造 (附光盘)	01902	52
Pro/E 冲压模具设计与制造 (附光盘)	01942	55
Pro/E 注塑模具设计与制造 (附光盘)	01459	56
模具机械加工工艺分析与操作案例	01013	18
模具数控铣削加工工艺分析与操作案例	01048	22
模具数控电火花成型加工工艺分析与操作案例	01449	18
模具数控电火花线切割工艺分析与操作案例	01461	18
Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 模具设计基础与实例教程 (附光盘)	00888	39
UG 注塑模具设计实例教程	00297	28
Pro/E 注塑模具设计实例教程	00337	28
Pro/E 模具数控加工实例教程	00738	32
锻造模具简明设计手册	8104	55
挤压模具简明设计手册	8237	33

以上图书由化学工业出版社 机械·电气分社出版。如要以上图书的内容简介和详细目录,或者更多的专业图书信息,请登录 www.cip.com.cn。如要出版新著,请与编辑联系。

地址:北京市东城区青年湖南街 13 号 (100011)

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

编辑电话: 010-64519274

投稿邮箱: qdlea2004@163.com



目 录

SolidWorks
模具设计入门、技巧与实例

第1章 SolidWorks2009 基础	1
1.1 草图绘制	1
1.1.1 草图绘制的基本步骤	2
1.1.2 草图绘制技巧	2
1.1.3 草图工具	2
1.1.4 草图绘制实例	5
1.2 零件特征建模	10
1.2.1 特征工具	10
1.2.2 零件建模实例	14
1.3 装配体设计	22
1.3.1 装配体概述	22
1.3.2 装配体设计方法	23
1.3.3 爆炸装配体	38
1.3.4 干涉检查	41
1.3.5 零件与装配体的配置	42
1.4 工程图设计	53
1.4.1 SolidWorks 图纸转 DWG/DXF 格式图纸方法	53
1.4.2 CAD 图块的快速调用	54
习题	57
第2章 SolidWorks2009 模具设计基础	60
2.1 SolidWorks2009 与模具设计	60
2.1.1 SolidWorks2009 的模具设计技术优势	63
2.1.2 SolidWorks 模具解决方案	65
2.1.3 SolidWorks2009 模具设计方法	66
2.2 SolidWorks2009 模具工具	73
2.2.1 模具设计工具概述	73
2.2.2 曲面实体工具	77

2.2.3	模具分析诊断	82
2.2.4	修正工具	84
2.2.5	分模工具	88
2.3	SolidWorks2009 分模设计	92
2.3.1	装配体分模	92
2.3.2	分型线分模	95
2.3.3	曲面分模	100
2.3.4	组合工具分模	103
2.3.5	压凹分模	106
2.3.6	插入型芯分模	111
	习题	116
第3章	冲压模具设计 I	118
3.1	SolidWorks 钣金设计	118
3.1.1	SolidWorks 钣金设计基础	119
3.1.2	钣金件的 SolidWorks 计算	134
3.2	冲压模具设计基础	140
3.2.1	冲压工序分类	140
3.2.2	冲压模具介绍	142
3.3	标准件与通用件的建立	143
3.3.1	标准件的建立	143
3.3.2	标准件与通用件的管理与调用	155
3.4	冲压成形分析与设计	157
3.4.1	BlankWorks 冲压成形分析	157
3.4.2	Simulation 零件优化设计	159
3.5	冲压模具设计实例	166
3.5.1	自下而上的切舌模设计	166
3.5.2	自上而下的内斜楔弯曲模设计	177
	习题	191
第4章	冲压模具设计 II	193
4.1	级进模设计基础知识	193
4.1.1	级进模的特点	193
4.1.2	采用多工位级进模的条件	194
4.1.3	级进模的设计步骤	194
4.2	Logopress3 级进模设计概述	196
4.2.1	Logopress3 概述	196
4.2.2	Logopress3 的菜单和工具栏介绍	199
4.2.3	Logopress3 的基本设计思路	200
4.3	基于 Logopress3 的零件展开	200

4.3.1	分步展开	200
4.3.2	零件展开	201
4.4	Logopress3 单工序模设计实例	210
4.4.1	准备阶段	211
4.4.2	设计阶段	215
4.4.3	完成阶段	221
4.5	Logopress3 级进模设计实例	236
4.5.1	零件展开	236
4.5.2	料带排样	242
4.5.3	模板设计	251
4.5.4	冲裁冲头的装配	256
4.5.5	安装成形冲头	258
4.5.6	在装配体工程图中插入 BOM 表	262
4.5.7	弹簧力计算	266
4.5.8	模具动画	266
	习题	267
第 5 章	注塑模具设计 I	270
5.1	注塑模设计基础	270
5.1.1	塑料制品的成型方法	271
5.1.2	注塑模结构组成	272
5.1.3	注塑模分类	275
5.1.4	注塑模 CAD	278
5.1.5	注塑模 CAE	279
5.2	注塑模设计实例	283
5.2.1	中空吹塑成型模具设计	283
5.2.2	自卸螺纹模具设计实例	294
5.2.3	复杂浇道注塑模设计	302
	习题	320
第 6 章	注塑模具设计 II	322
6.1	IMOLD V8 注塑模设计概述	322
6.1.1	IMOLD V8 模具设计特点	323
6.1.2	IMOLD V8 的启动	323
6.1.3	IMOLD 菜单和工具条介绍	324
6.2	IMOLD V8 注塑模设计的基本流程	325
6.3	IMOLD 注塑模设计实例	325
6.3.1	数据准备	325
6.3.2	项目管理	328

6.3.3	分型设计	331
6.3.4	布局设计	336
6.3.5	浇注系统设计	338
6.3.6	模架设计	342
6.3.7	顶出机构设计	347
6.3.8	冷却系统设计	350
6.3.9	添加标准件	355
6.3.10	完成模具设计	359
习题	.....	359
第7章 挤压成形模具设计	.....	361
7.1 挤压模设计基础	.....	361
7.1.1	挤压工艺分类	361
7.1.2	冷挤压模具	362
7.1.3	液态挤压模具	364
7.2 基于草图块的整体式冷挤压模具设计	.....	365
7.2.1	建立模具装配体	365
7.2.2	添加模具运动约束	375
7.3 挤压模具装配体设计	.....	377
7.3.1	挤压模具的装配	377
7.3.2	挤压模具装配及分解过程的动画实现	384
7.3.3	挤压模具工作过程的动画仿真	386
7.4 挤压模具工程图设计	.....	388
7.4.1	设置图纸格式	388
7.4.2	零件工程图	392
7.4.3	模具装配体工程图	404
7.5 基于 SimulationXpress 的模具 CAE	.....	411
7.5.1	应力分析概论	411
7.5.2	SimulationXpress 应用实例	412
7.5.3	推杆的校核	424
7.6 基于 SolidWorks Simulation 的模具 CAE	.....	425
7.6.1	定制模具材质库	426
7.6.2	结构 CAE 技术在模具设计中的应用	428
7.6.3	基于 SolidWorks 的模具应力校核	428
习题	.....	435
第8章 压铸模具设计	.....	437
8.1 压铸模工艺基础	.....	437
8.1.1	压铸件的特点	438
8.1.2	压铸件的材料	438
8.1.3	压铸件的工艺性	438

8.1.4 压铸设备	439
8.2 压铸模设计基础	439
8.2.1 压铸模具的基本结构组成	439
8.2.2 压铸模具的设计步骤	442
8.2.3 浇注系统设计	444
8.2.4 排溢系统设计	450
8.3 基于 SolidWorks 的压铸模设计	456
8.3.1 内螺纹采用圆锥齿轮传动旋出压铸模	456
8.3.2 基于 IMOLD 的压铸模具设计	490
习题	512
参考文献	517

第 1 章

SolidWorks2009 基础

模具是工业生产的主要工艺设备。随着计算机技术的发展,手工方式逐渐被各种模具 CAD 软件代替, SolidWorks 就是应用最广泛的设计软件之一。但是,万变不离其宗,设计手段的变化并不意味着设计理论和方法的变化,模具 CAD 软件的本质只是模具设计理论的“封装”。当然,设计手段的先进性也会大大提高设计的效率和效果。

SolidWorks 提供的模具设计手段主要有零件建模、曲面建模、钣金设计、消费产品设计、装配体设计、工程图等。SolidWorks 中的零件、工程图和装配体是完全相关的,但又可以对它们单独操作,允许二维与三维模型之间暂时脱离关系,又允许它们随时同步,所以能够方便地修改模型。

本章将通过 SolidWorks 提供的模具设计手段的介绍,使读者了解 SolidWorks 用于模具设计的基本工具,为后续模具设计打下基础。



本章要点:


- 草图绘制
- 零件特征建模
- 装配体设计
- 工程图设计

1.1 草图绘制

SolidWorks 的草图绘制分为两种:一种是二维草图,另一种是三维草图。两者之间的区别在于二维草图必须选择一个绘图面,才能进入草图绘制状态;而三位草图则无需选择草图面,可直接进入绘制状态,从而绘制空间的草图轮廓。

草图绘制是三维设计的基础, SolidWorks 是一个基于特征的参数化设计软件。草图和特征紧密相关,在运用该软件进行模具零部件设计时,一般是先建立一个基准特征(拉伸、旋转、扫描等),然后再在这个基准特征上建立各种特征(圆角、倒角、切除等),以达到零件的设计要求。任何一个三维零件都是由许多特征组成的,而空间任何一个特征都可视为一个二维的草图轮廓在空间里的变化。因此,在设计三维零件前一定要给出实体特征的草图。因此,熟练掌握草图绘制,是进行 SolidWorks 零件设计的一个不可或缺的重要技能。

1.1.1 草图绘制的基本步骤

- ① 单击“草图”工具栏上的“草图绘制”按钮，或选择菜单“插入”|“草图绘制”命令，进入草图绘制界面；
- ② 选择草图绘制基准面；
- ③ 利用草图绘制工具和草图辅助工具绘制草图；
- ④ 根据需要进行尺寸标注，添加几何关系约束。

1.1.2 草图绘制技巧

由于二维草图绘制模式具有参数化尺寸驱动的特点，同时还可以增加几何约束（如水平、垂直、对称和相切等），因此，在草图绘制时充分利用以下技巧可以得到事半功倍的效果，提高设计效率。

- ① 夸张绘图。在进行剖面绘制时，对于一些尺寸极小的几何图素，可以在绘制时夸大其尺寸差异，然后通过修改尺寸来加以修正。
- ② 分布绘制。对于一些复杂的草图，最好的办法是先绘出一部分，定义好它的位置尺寸及各种几何关系，再逐步进行，避免出错。
- ③ 尽可能利用阵列、镜向功能，既可以减少标注尺寸，又方便修改。
- ④ SolidWorks 采用了 SDRC 创建的变量化技术，即通过形状控制与尺寸控制相结合的方式支持草图绘制，在设计时不必完全定义草图，设计者可以把满足要求的形状设计放在首位，尺寸细节可以在后续的设计中继续完善。变量化技术的采用使 SolidWorks 更易于捕捉设计者的意图并易于修改模型，更加提高了修改的灵活性。

1.1.3 草图工具

“草图”绘制工具栏如图 1-1 所示，既包括直线、圆等“草图绘制实体”工具，也包括剪裁实体、转换实体引用等“草图工具”，这里只介绍在模具设计中常用的几个草图工具。

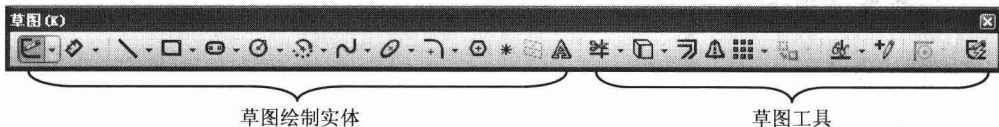


图 1-1 “草图”绘制工具栏

(1) 转换实体引用

“转换实体引用”是将已经生成的模型的边线、环、面、曲线、外部草图轮廓线、一组边线或一组曲线等直接引用到草图中，使其成为草图中的草图元素，同时保持和原始模型的边线、环等的“在边线上”几何约束关系。“转换实体引用”的操作步骤如下。

- ① 在打开的草图上，选择模型边线、环、面、曲线、外部草图轮廓线等要转换的实体，如图 1-2(a) 所示。

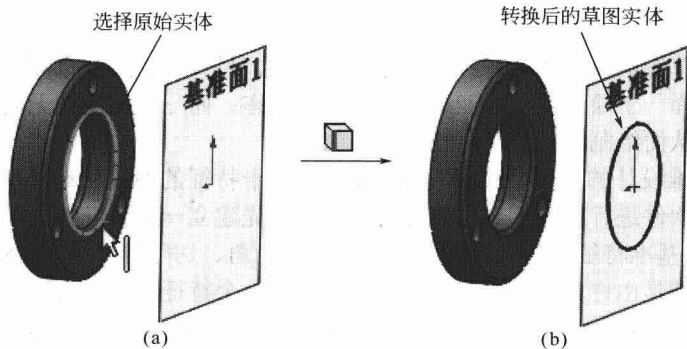



图 1-2 转换实体引用



② 单击“草图”工具栏上的“转换实体引用”按钮，所选边线即转换到打开的草图基准面上，如图 1-2(b) 所示。



提示：SolidWorks 会在每个原始实体和相对应的草图实体之间生成“在边上”的几何关系，如果重建模型时原始实体改变了，转换后的实体也会随之改变。

(2) 等距实体

“等距实体”是将已有的草图实体沿其法向偏移一段距离，其操作对象既可以是同一个草图中已有的草图实体，又可以是已有模型边界或其他草图中的草图实体，如图 1-3 所示。

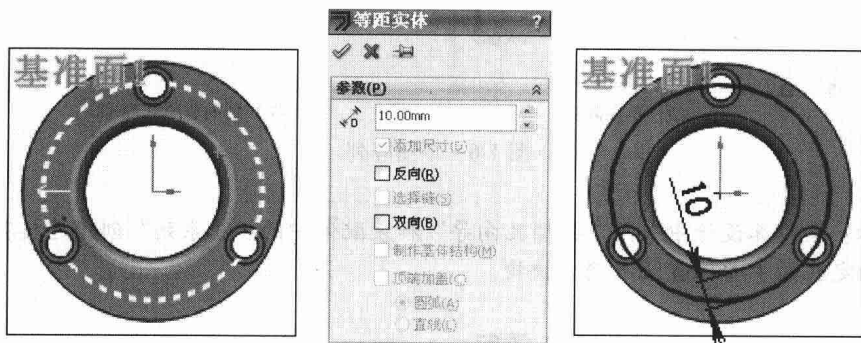


图 1-3 等距实体

如果选用“双向”、“顶端加盖”方法等距实体时可以快速绘制键槽草图和矩形，如图 1-4 所示。

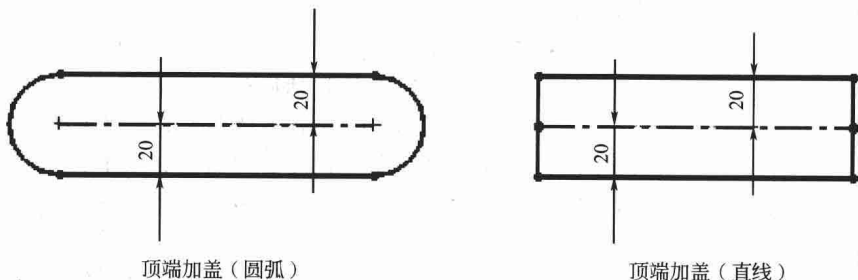



图 1-4 “顶端加盖”等距实体

(3) 构造几何线

“构造几何线”是将草图上或工程图中所绘制的图形转换为构造几何线。构造几何线仅用来辅助生成最终会被包含在零件中的草图实体和几何体。构造几何线是作为生成草图时的辅助线，本身并没有特别的作用，当由草图生成特征时，构造几何线将被忽略。

运用“构造几何线”的操作步骤如下：

- ① 在绘图区选择草图实体；
- ② 单击“草图”工具栏上的“构造几何线”按钮，该草图实体变成构造几何线；如果选择的是构造几何线则变成草图实体，如图 1-5 所示。

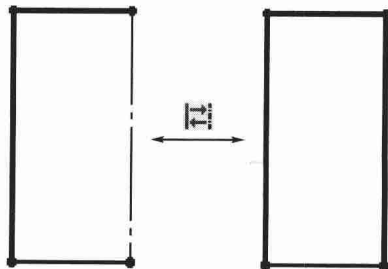


图 1-5 构造几何线



提示：当需要在构造几何线和草图实体之间切换时，还可以选择要转换的对象，在弹出的属性管理器中勾选或取消勾选“构造几何线”即可，该方法更为方便快捷。

(4) 草图阵列

草图阵列包括线性草图阵列和圆周草图阵列两种：利用线性草图阵列可以将草图中的图形生成线性排列，如图 1-6(a) 所示；利用圆周草图阵列可以将草图中的图形生成圆周排列，如图 1-6(b) 所示。

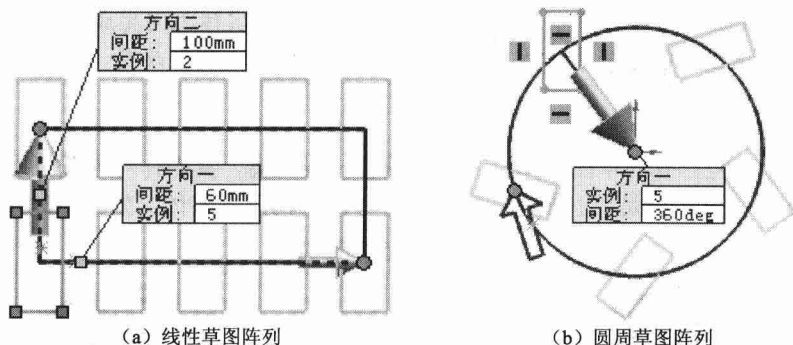


图 1-6 草图阵列




提示：在模具设计中采用“异型孔向导”和装配体中的“孔系列”创建连接孔时用草图阵列来确定孔的中心位置既准确又快捷。

(5) 镜向

① 镜向已有的草图 “镜向实体”工具用来沿中心线镜向所选实体。SolidWorks 会在每一对相应的草图点（镜向直线的端点、圆弧的圆心等）之间应用一对称关系。如果更改被镜向的实体，则其镜向图像也会随之更改。

镜向已有草图图形的具体操作步骤如下。

- 在打开的草图中，单击“草图”工具栏上的“镜向实体”按钮，系统弹出“镜向”属性管理器，如图 1-7 所示。
- 激活“要镜向的实体”列表框，在绘图区选择要镜向的草图实体。勾选“复制”复选框。
- 激活“镜向点”列表框，在绘图区选择要镜向所绕的任意中心线、直线、模型线性边线或工程图线性边线，如图 1-8 所示。

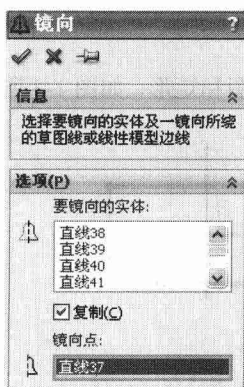


图 1-7 “镜向”属性管理器

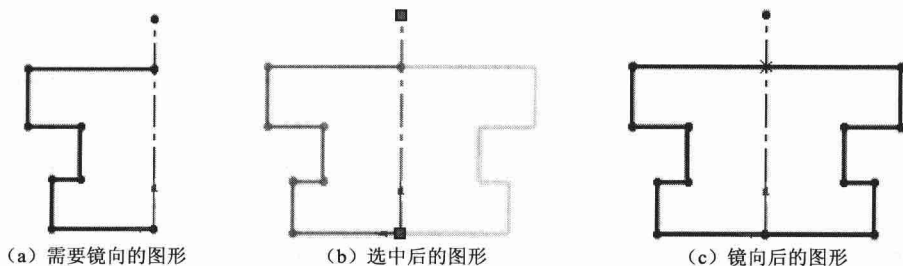



图 1-8 镜向草图实体




提示：用户也可以先选择镜向对象，再单击“镜向实体”按钮，如果选择的要镜向的实体中包括中心线，则系统默认以该中心线自动完成镜向。

② 动态镜向草图实体 动态镜向是事先选择镜向所绕的草图实体，然后绘制要镜向的草图实体。



动态镜向草图实体的操作步骤如下。

- 在打开的草图中，单击“草图”工具栏中的“动态镜向实体”按钮，或选择菜单“工具”|“草图工具”|“动态镜向”命令，选择镜向所绕的实体，此时在所绕实体上下方会出现“=”号，如图 1-9(a) 所示。
- 在对称线的一侧绘制图形，如图 1-9(b) 所示。
- 系统自动生成对称图形，如图 1-9(c) 所示。
- 一次完成对称图形，如图 1-9(d) 所示。

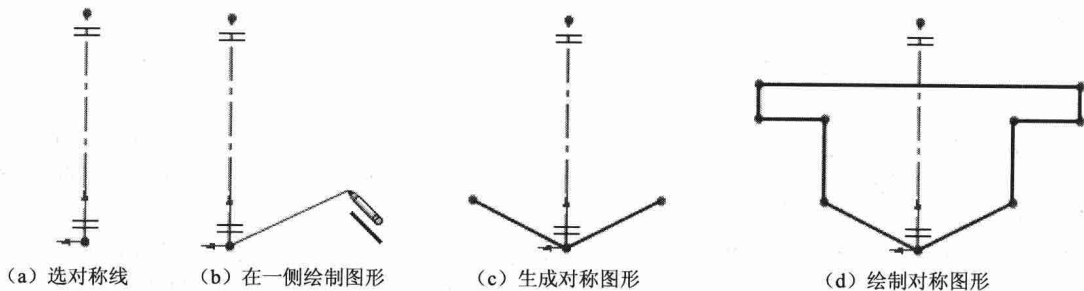



图 1-9 动态镜向草图

- 再次单击“草图”工具栏中的“动态镜向实体”按钮，结束动态镜向草图实体。

1.1.4 草图绘制实例

下面通过一草图介绍草图绘制的一般方法和步骤，如图 1-10 所示。

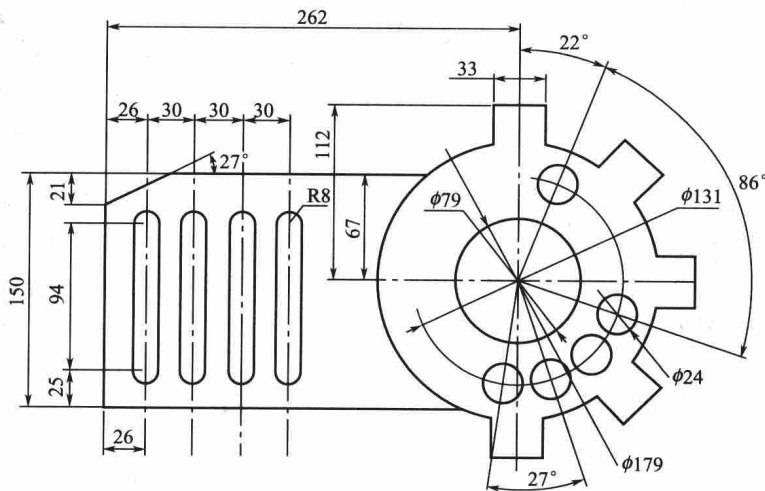






图 1-10 草图

操作步骤如下所示。

- 选择“文件”|“新建”命令，弹出“新建 SolidWorks 文件”对话框，单击“文件”图标，然后单击“确定”按钮。
- 在 FeatureManager 设计树中选择“前视基准面”选项，单击“草图”工具栏上的“草图绘制”按钮，进入草图绘制。
- 单击“草图”工具栏上的“圆”按钮，以原点为圆心绘制两个同心圆，直径分别为“179”和“79”，如图 1-11 所示。
- 单击“草图”工具栏上的“中心线”按钮，过原点分别绘制一条水平中心线和一条竖直中心线，如图 1-11 所示。

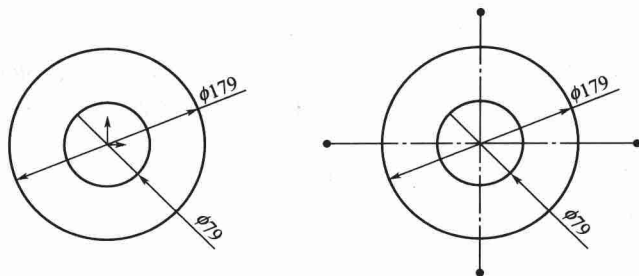







图 1-11 绘制圆和中心线

⑤ 单击“草图”工具栏上的“圆”按钮，以原点为圆心绘制一个直径为“131”的圆，在“圆”属性管理器中，勾选“作为构造线”复选框。效果如图 1-12 所示。

⑥ 单击“草图”工具栏上的“中心线”按钮绘制一条与竖直中心线成 22° 夹角的中心线，单击“草图”工具栏上的“圆”按钮，以此中心线与步骤⑤绘制的圆的交点为圆心绘制直径为“24”的圆，如图 1-13 所示。

⑦ 单击“草图”工具栏上的“中心线”按钮绘制一条与步骤⑥绘制的中心线成 86° 夹角的中心线，单击“草图”工具栏上的“圆”按钮，以此中心线与步骤⑤绘制的圆的交点为圆心绘制直径为“24”的圆，效果如图 1-14 所示。

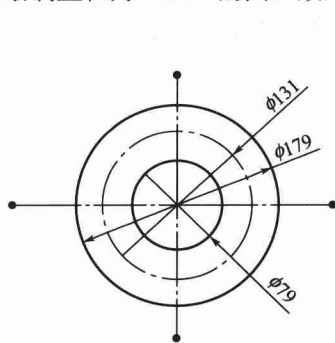


图 1-12 绘制圆

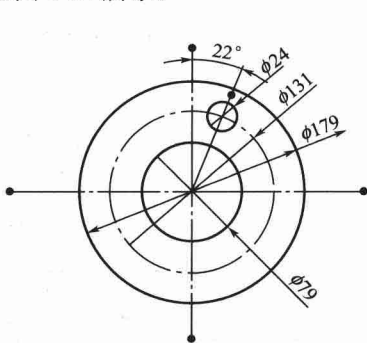


图 1-13 绘制中心线和圆(一)

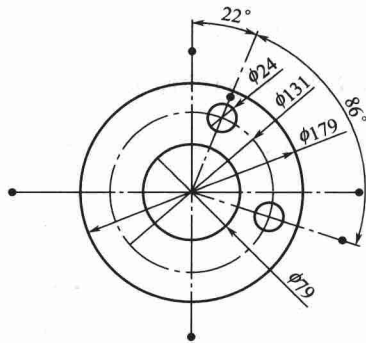



图 1-14 绘制中心线和圆(二)

⑧ 选择步骤⑦绘制的圆，单击“圆周草图阵列”按钮, 或选择菜单“工具”|“草图绘制工具”|“圆周阵列”命令。在“圆周草图阵列”属性管理器中，以辅助圆圆心作为圆周阵列中心，

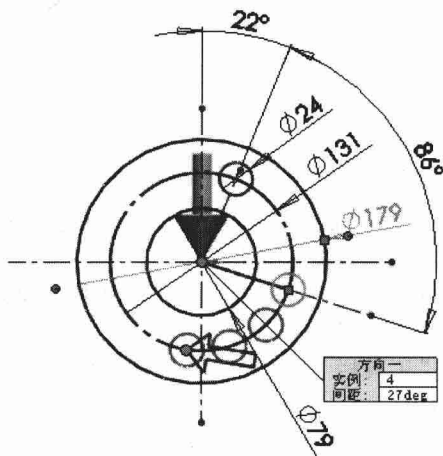
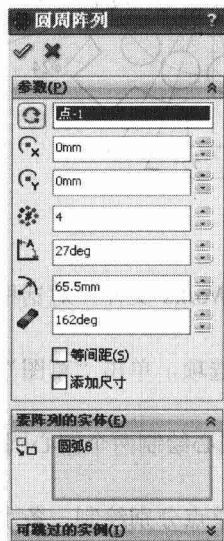


图 1-15 圆周草图阵列