

# CATIA

## 从草图到运动仿真

### ——汽车发动机建模与仿真

曹砚奎 编著

CATIA  
CONG CAOTU DAO YUNDONG FANGZHEN  
QICHE FADONGJI JIANMO YU FANGZHEN



化学工业出版社

# CATIA

## 从草图到运动仿真

——汽车发动机建模与仿真

曹砚奎 编著



CATIA  
CONG CAOTU DAO YUNDONG FANGZHEN  
QICHE FADONGJI JIANMO YU FANGZHEN



化学工业出版社

· 北京 ·

本书针对我国汽车前市场的应用普及资料远少于汽车后市场维修资料的情况编写而成。全书分为两篇，第一篇对 CATIA 软件及其操作做了简单的介绍；第二篇以汽车发动机为参照，详细介绍了各主要部件从草图到建模以及装配后的运动仿真的绘制方法，并在章节后列出了建模数据表，为读者学习绘制提供了方便。

本书可供汽车专业职业院校在校学生和汽车应用型本科学生学习仿真建模使用，也可作汽车研发技术人员的技术参考资料，还可适用于汽车专业教师制作仿真演示教具。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

CATIA 从草图到运动仿真——汽车发动机建模与仿真 /  
曹砚奎编著. —北京：化学工业出版社，2016.12  
ISBN 978-7-122-28240-8

I. ①C… II. ①曹… III. ①汽车-发动机-计算机  
辅助设计-应用软件 IV. ①U464-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 241397 号

---

责任编辑：陈景薇  
责任校对：宋 夏

文字编辑：张燕文  
装帧设计：王晓宇

---

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 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司  
787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$  字数 316 千字 2017 年 1 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：58.00 元

版权所有 违者必究

## FOREWORD 前言

随着经济的发展,汽车使用需求量不断增加,对我国的汽车制造业发展提出了更高的要求。尽管近几年来有关汽车的科技图书大量涌现,但大多数书籍适用于汽车维修,适合汽车制造领域的工程技术人员和职业院校学生使用的书籍则很少,对于汽车职业院校教师用来制作仿真模拟教具的指导教材就更少了。这已经成为困扰职业教育适应汽车制造企业发展的瓶颈问题,对于我国建设创新型国家汽车人才队伍的成长发展也极为不利。法国 Dassault System 公司的 CATIA 软件在世界 CAD/CAE/CAM 制造领域居领导地位,广泛应用于航空航天、车辆生产、机械制造、船舶制造、电子电器等行业领域,它的集成式解决方案覆盖所有的产品设计和制造领域。CATIA 特有的电子样机模块功能和混合建模技术为企业生产提供了极为方便的解决方案,迎合了当代汽车制造企业提高生产力和竞争力的需要。本书适合所有工业制造领域的大、中、小型企业的工程技术人员自学使用,更适于职业院校汽车专业教师用于制作仿真模拟教具和学生学习汽车零部件的仿真制作。希望本书能够使 CATIA 软件在汽车专业基础应用领域中发挥作用,能够为培养汽车专业创新型人才提供技术支持。

本书由曹砚奎编著,在本书编写过程中提供帮助的有魏尚林、庄可亨、秦国英、韩宇、张文青、刘树春、张军田、王恩奇、张志宝、秦玉平、戚克辉、李建光、李伟、王超、许峰、王晓涵、蒋丽双、郝静、崔秀杰等,在此对以上人员表示衷心的感谢!由于笔者水平所限,不妥之处在所难免,希望广大读者不吝赐教。

**编著者**



## 第 1 篇 CATIA 软件简介及用户基本设置操作

### 第 1 章 CATIA 软件界面介绍/2

- 1.1 CATIA 软件介绍/2
- 1.2 CATIA 设计工作界面使用/2
- 1.3 工具命令/4

### 第 2 章 CATIA 基本设置/5

- 2.1 管理模式设置/5
- 2.2 选项设置/5

### 第 3 章 CATIA 基本操作/8

- 3.1 指南针/8
- 3.2 结构树/8
- 3.3 视图工具/9
- 3.4 测量工具/9

## 第 2 篇 汽车发动机建模及运动仿真

### 第 4 章 活塞及活塞环的建模/12

- 4.1 活塞/12
- 4.2 活塞的建模/13
- 4.3 活塞环的建模/20
- 4.4 活塞及活塞环建模参数/22

### 第 5 章 连杆及活塞销的建模/23

- 5.1 连杆/23
- 5.2 连杆的建模/23
- 5.3 活塞销的建模/28
- 5.4 连杆及活塞销建模参数/30
- 5.5 活塞连杆组装配/30

### 第 6 章 曲轴的建模/37

- 6.1 曲轴/37

- 6.2 曲轴三维模型的创建/37
- 6.3 曲轴三维模型几何特征添加/47
- 6.4 曲轴三维模型修饰特征添加/60
- 6.5 曲轴建模参数/61
- 第7章 飞轮及曲轴正时齿轮的建模/63**
  - 7.1 飞轮的建模/63
  - 7.2 曲轴正时齿轮的建模/65
  - 7.3 飞轮和曲轴正时齿轮建模参数/73
  - 7.4 曲轴飞轮组装配/73
- 第8章 气缸及曲轴箱的建模/81**
  - 8.1 气缸体/81
  - 8.2 气缸的建模/81
  - 8.3 缸套的建模/86
  - 8.4 曲轴箱的建模/86
  - 8.5 气缸、缸套及曲轴箱建模参数/88
  - 8.6 曲柄连杆机构的装配/89
- 第9章 气缸盖及气缸垫的建模/97**
  - 9.1 气缸盖/97
  - 9.2 气缸盖的建模/98
  - 9.3 气缸垫的建模/106
  - 9.4 气缸盖建模参数/109
- 第10章 气门组零件的建模/110**
  - 10.1 配气机构/110
  - 10.2 凸轮轴支承座的建模/110
  - 10.3 气门弹簧的建模/112
  - 10.4 气门的建模/116
  - 10.5 气门弹簧座及锁片的建模/118
  - 10.6 气门及气门弹簧建模参数/122
- 第11章 气门传动组零件的建模/123**
  - 11.1 换气过程/123
  - 11.2 凸轮轴的建模/123
  - 11.3 凸轮轴基础模型几何特征添加/126
  - 11.4 凸轮轴正时齿轮及其附属部件的建模/130
  - 11.5 凸轮轴及凸轮轴正时齿轮建模参数/138
  - 11.6 配气机构零部件装配/139



## 第 12 章 气缸盖的装配及正时同步带的建模/149

- 12.1 气缸盖的装配/149
- 12.2 同步正时带的建模/150
- 12.3 同步正时带建模参数/158

## 第 13 章 火花塞及喷油器的建模/160

- 13.1 火花塞/160
- 13.2 火花塞的建模/160
- 13.3 电源插头螺母的建模/164
- 13.4 火花塞密封垫片的建模/165
- 13.5 火花塞的装配/166
- 13.6 喷油器/167
- 13.7 喷油器的建模/167
- 13.8 火花塞及喷油器建模参数/183

## 第 14 章 发动机运动仿真/185

- 14.1 曲轴飞轮组的虚拟装配/185
- 14.2 曲轴飞轮组的运动仿真/188
- 14.3 活塞连杆组的虚拟装配/191
- 14.4 曲柄连杆机构的虚拟装配/194
- 14.5 曲柄连杆机构的运动仿真/197
- 14.6 配气机构的虚拟装配和运动仿真/203

## 参考文献/212

# 第 1 篇

## CATIA 软件简介及用户基本设置操作





# 第 1 章

## CATIA 软件界面介绍

### 1.1 CATIA 软件介绍

CATIA 软件是法国达索公司开发的高档 CAD/CAE/CAM 一体化软件, 诞生于 20 世纪 70 年代, 1994 年后达索公司重新开发的 CATIA V5 版本开创了 CAD/CAE/CAM 软件基于个人计算机的新模式、新风格, 极大地方便了学习和使用。CATIA 软件以其强大的曲面设计功能在飞机、汽车、轮船等设计领域享有很高的声誉。CATIA 的曲面造型功能体现在它提供了极丰富的造型工具来支持用户的造型需求。例如其特有的高次 Bezier 曲线曲面功能, 次数能达到 15 次, 能满足特殊行业对曲面光滑性的苛刻要求。CATIA V5 版本能够运行于多种平台, 特别是微机平台。这不仅使用户能够节省大量的硬件成本, 而且其友好的用户界面, 使用户更容易使用。

CATIA 是欧洲、北美和亚洲顶尖汽车制造商所用的核心系统。CATIA 在造型风格、车身及发动机设计等方面具有独特的长处, 为各种车辆的设计和制造提供了端对端 (end to end) 的解决方案。CATIA 涉及产品、加工和人三个关键要素。CATIA 的可伸缩性和并行工程能力可显著缩短产品上市时间。一级方程式赛车、跑车、轿车、卡车、商用车、有轨电车、地铁列车、高速列车等在 CATIA 上都可以作为数字化产品, 在数字化工厂内, 通过数字化流程, 进行数字化工程实施。

CATIA 的技术在汽车工业领域内是无人可及的, 并且被各国的汽车零部件供应商所认可。近来一些著名汽车制造商做出采购决定, 如雷诺、丰田、沃尔沃、克莱斯勒等, 足以证明数字化车辆的发展动态。

### 1.2 CATIA 设计工作界面使用

启动 CATIA V5 软件的方法有两种, 一是在安装有 CATIA 软件的电脑桌面上双击 CATIA 快捷图标; 二是单击 Windows 任务栏中按钮, 依次选择“程序”→“CATIA”→“CATIA V5”。

如图 1-1 所示, CATIA V5 菜单界面有十三个大类, 每一个大类里面又分别有不同的设计平台。在这些设计平台中, 汽车设计人员需要学习的有机械设计类中的零件设计、装配设计、工程制图, 形状设计类中的创成式外形设计, 数字化装配类中的虚拟仿真工作平台和运动机构仿真工作平台。

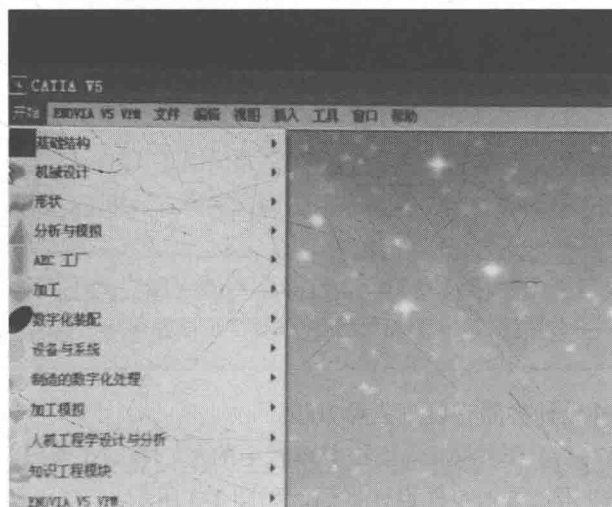


图 1-1 CATIA V5 菜单界面

### 知识链接：CATIA 界面

CATIA V5 工作界面包括指南针、结构树、菜单栏、标题栏、消息区、公共工具栏、专属工具栏和图形区等，如图 1-2 所示。

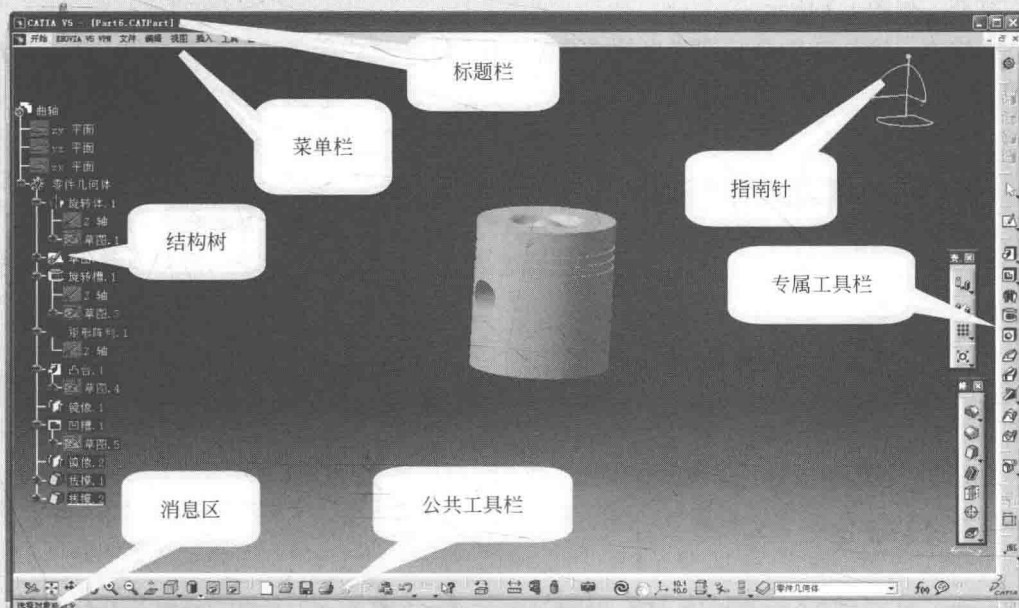


图 1-2 CATIA V5 工作界面

① 指南针位于 CATIA V5 工作界面的右上角，代表模型的三维坐标系，用于在对三维立体模型进行旋转操作时的方向指示。

② 结构树以树状结构显示模型的组织结构，并对建模过程中的参数进行修改，同时为选择操作对象提供方便。结构树显示创建特征，自动以父树、子树的方式显示层次关系。

③ 菜单栏位于 CATIA V5 界面的左上标题栏下面,包括“开始”“ENOVIA V5 VPM”“文件”“编辑”“视图”“插入”“工具”“窗口”“帮助”等。

④ 标题栏显示文件的名称和属性等信息。

⑤ 消息区实时显示与当前操作相关的信息,引导用户操作。

⑥ 公共工具栏位于 CATIA V5 界面的下边沿,由标准、视图、测量等组成。在工作界面切换时公共工具栏图标是不变的。

⑦ 在制图作业中工作台特有的功能通过操作专属工具栏内不同的图标来实现。

⑧ 图形区显示三维实体模型或平面草图,具有不同的显示效果。

新建模型进入零件设计界面有以下三种方法。

方法一:打开 CATIA 工作界面后,点击菜单栏中的“文件”,在弹出的菜单中选择“新建”,选择 Part 后点击确定按钮,进入零件设计界面,如图 1-3 所示。

方法二:点击“开始”菜单,选择“机械设计”再选择“零件设计”,进入新建零件设计窗口界面。

方法三:在 CATIA 界面按下 Ctrl+N,在屏幕右下角弹出的新建对话框中选择或输入 Part,确定后进入零件设计工作界面。

已有模型进入零件设计界面有以下两种方法。

方法一:点击公共工具栏中的文件夹,在弹出的“选择文件”中,选中所需要的模型文件,点击打开,如图 1-4 所示。

方法二:输入 Ctrl+O 后在弹出的“选择文件”中,选中所需要的模型文件,点击打开,如图 1-4 所示。

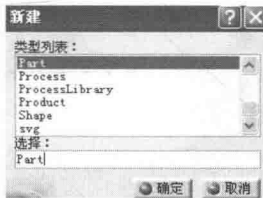


图 1-3 选择 Part

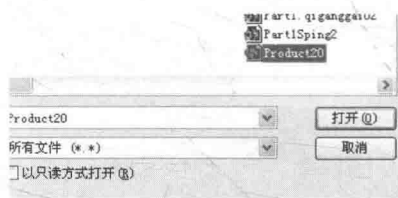




图 1-4 选择文件并点击打开

## 1.3 工具命令

CATIA 界面有四个工具模块,每一个模块有相应的工具命令。在界面的左上方有菜单选项,在“插入”选项中有 CATIA 所有的绘图命令,这些命令同时显示在右边工具条中,在工具条中还隐藏着许多命令,可通过拖动工具条将其显示出来以便使用。右击工具条会显示更多的命令。点击对应的选项即可加入到工具条中。

① 移动图形操作方法:点击鼠标中键或点击该软件屏幕下方的平移图标,即可平移模型。

② 旋转放大缩小图形操作方法:点击鼠标中键同时按住右键移动鼠标或点击旋转图标可以旋转模型;点击鼠标中键再点击右键后放开或选择缩放按钮可以缩放模型。



## 第 2 章

# CATIA 基本设置

设置符合操作者使用习惯的 CATIA 工作模式，可以提高工作效率。

### 2.1 管理模式设置

创建管理模式快捷方式步骤如下。

① 右键单击桌面上的 CATIA 图标，复制后粘贴在空白处创建一个新的 CATIA 快捷方式图标。

② 右键单击新建的 CATIA 图标，弹出快捷菜单选择“属性”，进入属性对话框。

③ 在属性对话框中选择“快捷方式”选项卡，在“目标(T)”文本框中找到“CNEXT.exe”，在其后输入“空格-admin 空格”（不包括引号），单击“确定”即运行管理模式，如图 2-1 所示。

双击管理模式快捷方式图标，弹出管理模式对话框，单击确定进入管理模式。进入管理模式后工作界面标题栏会显示“管理模式”字样。



图 2-1 创建快捷方式

### 2.2 选项设置

选项设置在普通模式下进行，主要对用户界面、运行方式和运行状态进行设置；标准设置只能在管理模式下进行设置，主要对软件的默认设置和格式设置进行更改。

#### (1) 选项设置方法

点击“工具”菜单，选择“选项”，进入选项界面，如图 2-2 所示。

① 在“常规”选项中，将用户界面样式 P2 改为 P1 管理员模式，数据保存可改为自动保存，并点击自动备份的时间频率。在工程制图中一般不设置自动保存，而是在制图作业时每隔一段时间根据需要点击保存进行图纸的保存作业。

② 在“机械设计”的“草图编辑器”选项中，选择设置网格单位是 mm。点捕捉是指在制图作业时，作业线自动捕捉端点。设置“使草图平面与屏幕平行”“光标坐标的可视化”“几何图形”“创建几何约束”和“创建尺寸约束”等平面作图作业需要的设置，如图 2-3 所示。

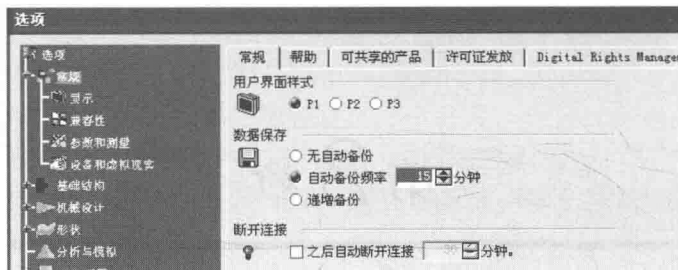


图 2-2 “常规”选项

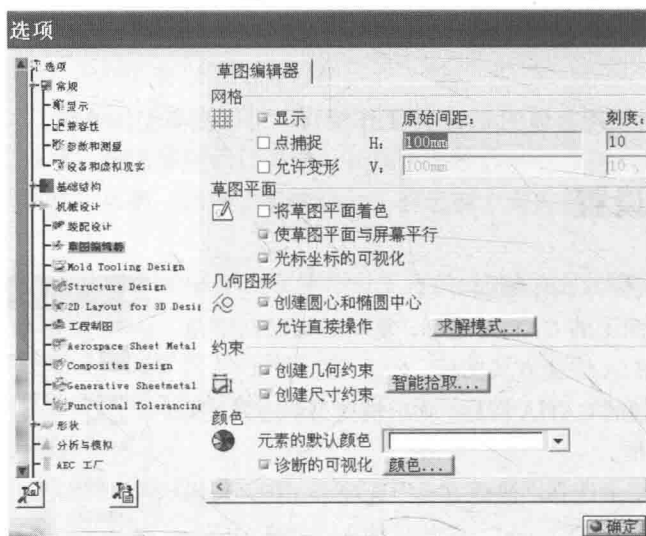


图 2-3 草图选项设置

③ 选择设置诊断可视化，在制图作业过程中不当操作即以不同的颜色显示出来。若过分约束则显示粉红色；不一致约束则显示红色；等约束（即完全约束）则显示绿色；未更改则显示紫色。

### (2) 视图显示设置

在“选项”中依次选择“机械设计”“工程制图”，选择“视图”选项卡，选中“生成轴”“生成螺纹”“生成中心线”“生成圆角”“应用 3D 规格”5 个复选框，如图 2-4 所示，然后单击“确定”完成设置。

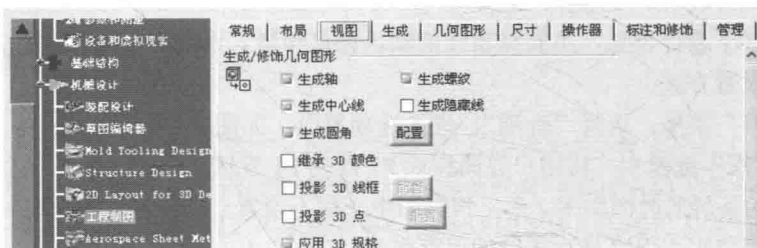


图 2-4 视图显示设置

### (3) 快捷键设置

为了方便工程技术人员的制图作业，对于工具条上的命令可通过设置快捷键的方式进行设

定，便于快速操作。现以凸台命令 $\square$ 快捷键为例介绍设置方法。

① 在工具栏中右击选择“自定义”或点击 CATIA 界面的工具按钮选择“自定义”。

② 如图 2-5 所示，选择“所有命令”，在右边选择“凸台”，点击“隐藏属性”按钮。

③ 在命令属性加速器栏内点击 Ctrl（或 Shift、Alt）按钮，再点击“其他”，选择 B 点击“添加”，在“加速器”中出现“Ctrl+B”，关闭快捷键设置。

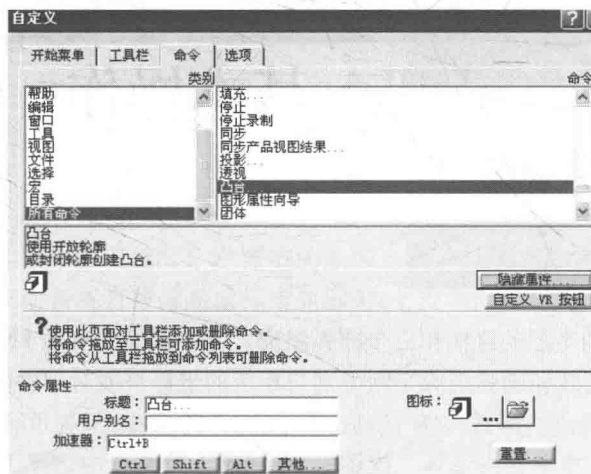


图 2-5 设置快捷键

常用快捷键见表 2-1。

表 2-1 常用快捷键

快捷键	功能	快捷键	功能	快捷键	功能
Ctrl+Z	保存	Ctrl+Tab	快速切换窗口	F1	实时帮助
Ctrl+S	保存文件	Ctrl+Page UP	放大	F3	隐藏/显示结构树
Ctrl+O	打开文件	Ctrl+Page Down	缩小	Ctrl+鼠标左键	任意选择目标
Ctrl+N	新建文件	Shift+F3	进入结构树模式	Shift+鼠标左键	连续选择目标



## 第 3 章

# CATIA 基本操作

### 3.1 指南针

指南针由与坐标轴平行的直线和三个圆弧组成，其中在 x 轴和 y 轴方向各有两条直线，z 轴有一条直线。这些直线和圆弧组成平面分别与相应的坐标平面对应；如图 3-1 所示。有关指南针的操作方法如下。

① 显示/隐藏：在菜单栏中选择“视图”，在视图下拉菜单中选择“指南针”即可对正处于显示状态的指南针进行隐藏或正处于隐藏状态的指南针进行显示。

② 旋转/平移：拖动指南针顶端可使模型自由旋转，选中对应的平面，当鼠标变成手型时可以平移模型，拖动对应的弧线，模型可绕 x 轴、y 轴、z 轴旋转，拖动对应的轴线，模型可绕 x 轴、y 轴、z 轴方向平移，见图 3-1。

③ 改变形体位置和角度：将鼠标移动到指南针的底座方形点处，此时鼠标指针形状变成 $\oplus$ ，拖动鼠标将指南针附着在形体上后，可以通过指南针改变形体的位置和角度，如图 3-2 所示。

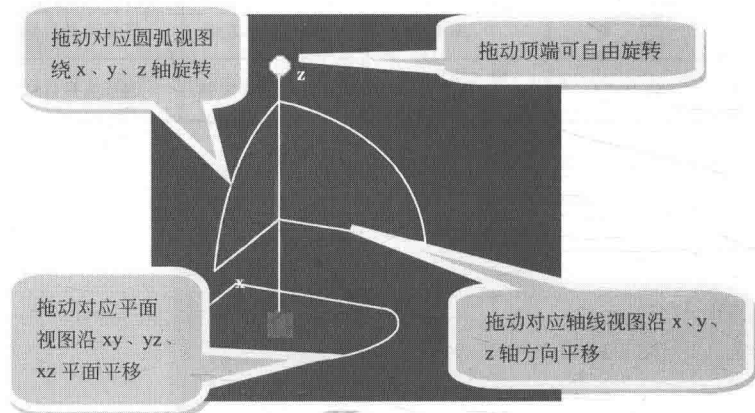


图 3-1 指南针

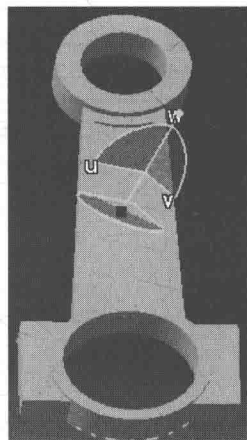


图 3-2 指南针的操作

### 3.2 结构树

结构树是指以树状层次结构的形式显示组织对象的操作记录。结构树根的节点种类与

CATIA 的模块相关。例如零件设计工作台模块的根节点是 Part，如图 3-3 所示。结构树的操作方法如下。

#### (1) 进入操作模式

方法一：在结构树上单击结构线。

方法二：单击屏幕右下角的坐标系。

方法三：同时按住 Shift+F3 键。

#### (2) 显示或隐藏结构树

方法一：按 F3 键即可隐藏/显示结构树。

方法二：在菜单栏选择“视图”，然后在下拉菜单中选择“规格”即可。

#### (3) 翻阅结构树

当结构树的长度大于屏幕高度时，在窗口的左侧会出现滚动条，拖动滚动条或直接滚动鼠标滚轮即可上下翻阅结构树。

#### (4) 展开折叠结构树

单击 ⊕ 符号标记，即可展开结构树的下一层，单击 ⊖ 符号标记，收缩结构树该节点展开的所有。

#### (5) 结构树的尺寸调整

按住 Ctrl 键滚动鼠标滚轮即可调整结构树的尺寸。

#### (6) 移动结构树

单击结构树节点的连线按住鼠标左键可拖动结构树到指定的位置。



图 3-3 结构树

## 3.3 视图工具

视图工具在 CATIA 界面的下边沿，如图 3-4 所示。视图工具由左至右依次是飞行模式、适应窗口模式、平移模式、旋转模式、放大视图、缩小视图、法线视图（沿选定平面的法线方向观察模型）、切换试图方向、切换视图模型、隐藏/显示、交换可视空间。



图 3-4 视图工具

## 3.4 测量工具

在测量工具栏中的测量工具由左至右依次为测量间距、测量项和测量惯量，如图 3-5 所示。

#### (1) 测量间距

测量间距是指测量模型中两个元素之间的距离和角度等参数。


在测量工具栏中单击测量间距图标 ，即会弹出测量间距对话框，然后点击模型中需测量的两个元素即可显示出测量值，如图 3-6 所示。



图 3-5 测量工具

在链式模式  中测量间距时，第一次测量需选择两个元素，以后的测量是以前一个元素作为再次测量的起始元素。

#### (2) 测量项

测量项是指测量模型中单个元素的尺寸参数。例如边线的长度、圆弧的半径和角度、曲面的面积、实体的体积等。



图 3-6 测量间距





在测量工具栏中单击测量项图标, 弹出测量项对话框, 在测量项对话框中可测量长度、面积、体积等, 如图 3-7 所示。



图 3-7 测量项

### (3) 测量惯量

测量惯量是指测量零部件的惯量参数, 如面积、质量、重心位置、对点的惯量矩、对轴的惯量矩等。

在测量工具栏中单击测量惯量图标, 弹出测量惯量对话框, 选择测量区域展开对话框, 如图 3-8 所示。惯量参数测量分为 3D和 2D两种模式。

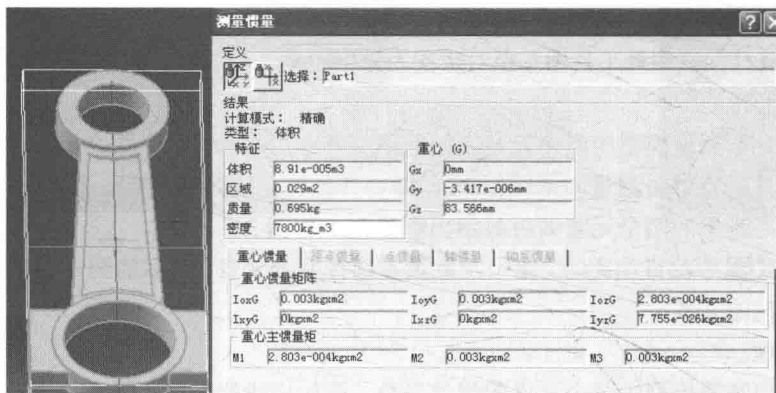


图 3-8 测量惯量