

GibbsCAM

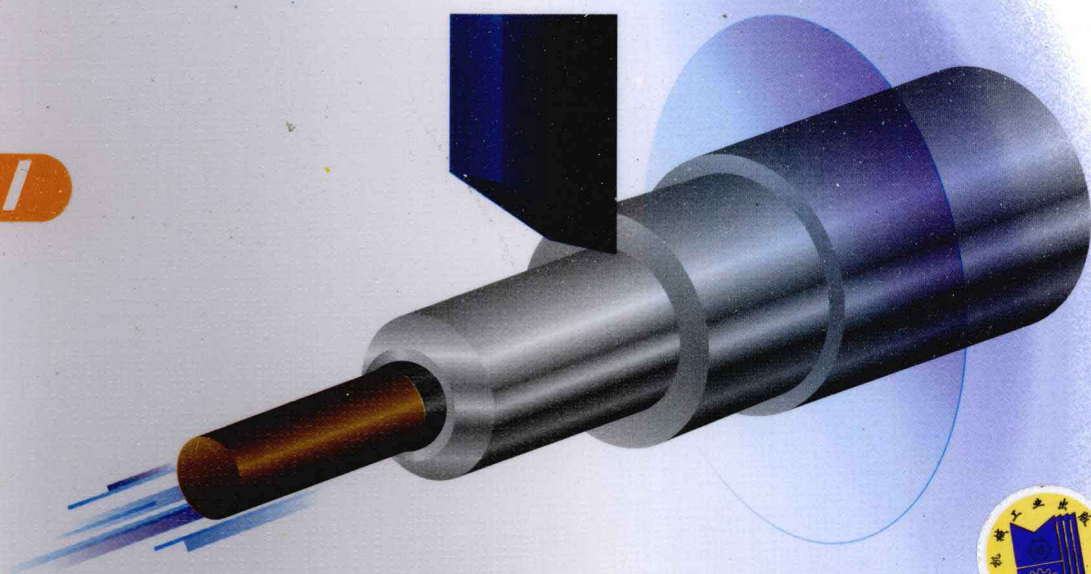
应用系列丛书

GibbsCAM

高级篇

——多任务车铣复合加工

思美创(北京)科技有限公司 编著



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



GibbsCAM 应用系列丛书

GibbsCAM 高级篇

——多任务车铣复合加工

思美创（北京）科技有限公司 编著



机械工业出版社

本书通过功能讲解与实际案例相结合的方式,在理论和实践两个方面对 GibbsCAM 软件进行了详细介绍。书中对每个功能进行分析,并与后续练习相配合,把工作中容易遇到的问题分别作了说明,使读者可以在较短时间内掌握 GibbsCAM 软件。

本书配套光盘中包含了一部分案例的视频指导录像和试用版软件,这也是为了便于读者更快地掌握和学习 GibbsCAM 软件。光盘中也包含了使用软件后给客户带来的价值,这些都会帮助读者更好地理解和应用软件。

本书是思美创(北京)科技有限公司的工程师多年经验的总结,可以作为认证考试参考书和指导书。

图书在版编目(CIP)数据

GibbsCAM. 高级篇. 多任务车铣复合加工/思美创(北京)科技有限公司编著. —北京:机械工业出版社, 2013. 4

GibbsCAM 应用系列丛书

ISBN 978-7-111-40331-9

I. ①G… II. ①思 III. ①车削—计算机辅助设计—应用软件
②铣削—计算机辅助设计—应用软件 IV. ①TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 073995 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 杨明远

版式设计:霍永明 责任校对:姜 婷

封面设计:姚 毅 责任印制:杨 曦

北京云浩印刷有限责任公司印刷

2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·12.5 印张·304 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-40331-9

ISBN 978-7-89433-945-4(光盘)

定价:39.00 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

20 多年来, Gibbs 公司一直是全球先进 CAD/CAM 技术方面的领导者, 能在保持易学易用和高生产率的同时, 提高产品质量。“Powerfully Simple, Simply Powerful”是 Gibbs 公司的经营宗旨和目标。Gibbs 公司的宗旨是为 NC 编程师、机械师、制造工程师提供软件和服务, 使他们的工作更有效。Gibbs 公司的目标是向制造业提供新技术和新方法, 使他们的加工制造更为简单, 进而提高效益和增加利润。为此, Gibbs 公司创造了一些非常直观的图形化交互形象生动的工具, 使用者可以发挥想象力进行操作, 并把原有复杂的工作变为一种享受。Gibbs 公司根据客户需要, 以成功的服务和技术支持为客户提供一个总体的、有效的解决方案。

现在的 GibbsCAM 软件产品线支持 2~5 轴铣削、车削、车铣复合、多任务车铣复合加工和线切割。GibbsCAM 软件同时提供完整的制造建模功能, 包括 2 维、2.5 维、3 维线框, 曲面和实体建模。GibbsCAM 软件的数据转换功能可以访问大部分国内和行业标准的 CAD 数据格式。

为了帮助广大读者以及有志于学习 GibbsCAM 多任务车铣复合加工的技术人员, 帮助他们迅速掌握这一先进的软件, 我们编写了本书。

本书是在原有《GibbsCAM 基础篇》上的延伸, 着重对多任务车铣复合加工进行讲解, 包括常用到的双主轴双刀塔、B 轴双刀塔以及瑞士型机床参数设置, 多任务操作管理器如何同步、机床辅助设备如何应用、多通道多主轴编程等问题进行了详细讲解。书中既有功能讲解的内容, 又有具体练习的题目, 最终使读者达到灵活应用软件的目的。又着重让广大的工程师们通过实战练习学有所获, 并最终应用到实践的生产过程当中去。通过使用能和绝大多数机床搭配使用的 CAM 软件, 可以缩短编程和加工时间, 这才是明智的解决方案。

我们希望为广大 GibbsCAM 爱好者奉献一本完美的教材, 但由于时间有限, 难免有疏漏和不妥之处, 请读者海涵并不吝赐教。

Cimatron 北京代表处成立于 1998 年, 主要任务是进行市场宣传、协调销售业务、加强技术支持, 从而扩大在中国 CAD/CAM 行业的影响, 为用户提供更及时、完整的服务。作为世界知名的工模具制造的软件解决方案供应商, Cimatron 特别看好中国的市场前景和潜在的市场。

2002 年 8 月 20 日, Cimatron Ltd. (NASDAQ: CIMA), 作为面向工模具行业提供 CAD/CAM 解决方案的领导者 and 开发者, 向全世界宣布在中国

北京成立子公司——思美创（北京）科技有限公司，新公司成立后，将在中国进一步推进 Cimatron 软件全面的解决方案，从而进一步为 Cimatron 软件在中国的客户提供更好的服务。思美创（北京）科技有限公司在负责市场、销售、技术支持以及售后服务工作的同时，仍然为代理商在各自区域内的市场、销售、技术支持以及售后服务工作中提供相应的支持。

公司成立至今，分别在无锡、成都、武汉、广州成立了办事处，从而在中国的华东、华南、华中和西南地区进一步推进 Cimatron 软件全面的解决方案，进一步为各区域内的客户提供更好的服务。

我们的解决方案是服务于客户，当然也包括我们的读者。您可以通过公司网站 <http://www.cimatron.com.cn> 获得我们的技术支持，并提出您的宝贵意见。

编 者



目 录

前 言

第 1 章 绪论	1
1.1 多任务车铣复合加工简介	1
1.2 特征预览	1
1.3 多任务车铣复合加工 (MTM) 流程	2
第 2 章 GibbsCAM 车铣复合	3
2.1 GibbsCAM 车铣概述	3
2.1.1 界面	4
2.1.2 坐标系统	4
2.1.3 菜单项目	6
2.2 工件设定	7
2.2.1 机器定义文件	7
2.2.2 车铣复合的坐标系统	8
2.2.3 图素绘制	9
2.2.4 刀具方向	10
2.3 加工	11
2.3.1 工艺	11
2.3.2 Y 轴移动和 C 轴插补	12
2.3.3 使用 C 轴插补旋转铣削	13
2.4 GibbsCAM 车铣复合练习	15
2.4.1 练习 1: 捕捉器	15
2.4.2 练习 2: 连接器	21
第 3 章 多任务车铣复合加工	40
3.1 多任务车铣复合加工界面	40
3.1.1 主面板	41
3.1.2 多重主轴	41
3.1.3 多重刀具组	41
3.1.4 文件对话框	41
3.1.5 刀具对话框	42

3.1.6 各种块中额外信息	43
3.1.7 加工工艺面板	43
3.1.8 主轴显示列表	43
3.1.9 同步控制	44
3.1.10 渲染控制	45
3.2 多任务车铣复合加工零件设置	45
3.2.1 关于 MTM 的设置	45
3.2.2 多任务车铣复合加工 (MTM) 文件对话框	45
3.3 多任务车铣复合加工几何创建	48
3.3.1 设置几何	48
3.3.2 工作群组	49
3.3.3 坐标系统	50
3.3.4 设置两主轴之间的几何	51
3.3.5 使用零件偏移	53
3.4 多任务车铣复合加工 (MTM)	53
3.4.1 MTM 可以做什么	53
3.4.2 MTM 加工	53
3.4.3 安全平面	55
3.4.4 坐标系统和数值输入	58
3.5 多任务车铣复合加工刀具创建	59
3.5.1 关于刀具创建	59
3.5.2 刀具列表	59
3.5.3 刀具对话框	59
3.6 多任务车铣复合加工程序	64
3.6.1 机床程序对话框	64
3.6.2 公用程序	64
3.7 多任务车铣复合加工操作	77
3.7.1 操作列表	77
3.7.2 操作同步器	77
3.7.3 同步控制对话框	78
3.7.4 多任务车铣复合加工渲染控制	83
3.8 多任务车铣复合加工后置处理	85
3.8.1 概念	85
3.8.2 后处理和后处理输出	86
3.8.3 后置处理对话框	86
3.8.4 刀具方向	87
第 4 章 零件创建向导高级篇	88
4.1 零件设置	88

4.2 主轴设置	89
4.3 几何创建及安排	91
4.4 主轴 2 的几何	94
第 5 章 多任务车铣复合加工刀具向导高级篇	96
5.1 基础刀具设置	96
5.2 刀具组 1	97
5.3 刀具组 2	98
5.3.1 外径粗加工	99
5.3.2 外径切断及精加工	100
5.4 车铣复合刀具	101
5.4.1 外径铣削	101
5.4.2 外径钻孔	102
5.5 双主轴设置	103
5.6 瑞士型机床设置	114
第 6 章 GibbsCAM 多任务车铣复合通用零件实例	124
6.1 主轴部分	124
6.1.1 车削端面	124
6.1.2 内轮廓	126
6.1.3 外轮廓	128
6.1.4 根据通道对操作自动分组	131
6.1.5 通道控制和同步操作	131
6.1.6 铣削操作	133
6.2 双主轴零件加工编程	137
6.2.1 零件设置	137
6.2.2 车削端面—主轴端	138
6.2.3 外径车削	139
6.2.4 内圆加工—主轴端	142
6.2.5 外螺纹加工—主轴端	145
6.2.6 切断—主轴端	146
6.2.7 功能操作	147
6.2.8 外轮廓—副主轴	149
6.2.9 内轮廓	152
6.2.10 排序操作	155
6.2.11 外侧螺纹	155
6.2.12 六边形	156
6.2.13 刀塔 1 钻孔操作	157
6.2.14 刀塔 2 钻孔操作	159

第7章 GibbsCAM 多任务车铣复合瑞士风格零件（纵切）实例	163
7.1 设置操作	163
7.2 主轴	164
7.2.1 外侧	164
7.2.2 铣操作	171
7.2.3 外侧钻孔	172
7.3 副主轴操作	176
7.3.1 外圆	176
7.3.2 外径	177
7.4 转换到副主轴	178
7.4.1 卸载主轴	178
7.4.2 切断	179
7.4.3 副主轴回位	180
7.4.4 载入主轴	180
7.4.5 再次确认刀具路径	180
7.4.6 校验同步	181
第8章 GibbsCAM 多任务车铣复合零件的自动翻转	183
8.1 从上到下翻转刀具方向	184
8.2 同步新通道	185
附录 练习工件	187

第1章

绪 论

1.1 多任务车铣复合加工简介

多任务车铣复合加工 (MTM) 即那些用于定义、创建和加工多刀塔多主轴机床的零件加工方式。这个系统允许多个主轴、刀塔和运动轴的协调同步运动。能完成这类加工的机床类型包括含有多轴 (4 轴或更多轴数) 加工的车铣机床、多个零件同步加工的复合机床和瑞士制机床。

为什么叫“多任务车铣复合加工 (MTM) (Multi-Task Machining)”？传统的 2 轴车床和 3 轴铣床只能同时做一项任务 (如换刀、切削加工等)。而多任务车铣复合加工 (MTM) 则是由此发展而来，同时可进行两项或多项任务，且这期间的多项任务之间的控制切换均可通过机床自动控制，而无需人工干预。

MTM 是 GibbsCAM 车削的附加功能，也可以应用到 GibbsCAM 的其他模块。铣削模块需要车/铣功能，旋转铣削操作需要 4 轴联动功能，高级坐标系统需要 5 轴定位功能。

在使用 MTM 之前，用户应当熟练掌握 GibbsCAM 的车和铣加工。也就是说，在使用 MTM 之前，用户最起码应当读过几何创建和车削文档。在 MTM 中，还涉及了一些其他功能的使用。

1.2 特征预览

GibbsCAM 多任务车铣复合加工 (MTM) 功能包含机床定义、准确的循环时间计算、对多主轴多通道编程的完善支持、切削零件仿真、程序优化、支持功能操作和定制化后置系统等。还包括：

- 1) 每一个多任务车铣复合加工 (MTM) 机床均是完全定义的。每一个机床均有其机床定义文档 (MDD) 的完整描述，包括其结构和尺寸。
- 2) 程序编程界面与标准的车削编程界面相同。
- 3) 所有的主轴、坐标系统和对应的几何体素均可方便控制，如显示和隐藏。

- 4) 拖拽和放置相关刀具块到关联的刀塔和在其上的位置。
- 5) 功能操作也包含完整的运行时间控制和仿真。
- 6) 操作的同步管理:
 - ① 针对多通道同步程序的真实时间, 其中包括换刀时间的间隙控制等。
 - ② 相互关联的刀具和操作改变: 进给和速率改变的交互作用; 能够对操作运行时间、操作/轴的顺序调整、刀塔位置的分配进行优化。
 - ③ 单击鼠标左键即可实现同步的插入和移除。
 - ④ 单击鼠标左键即可控制主轴的转速。
 - ⑤ 实时更新所有最新变更。
 - ⑥ 非常准确的时间计算: 快速移动、CSS 运行时间, 自由轴的快速进给时间, 刀塔锁紧、定位和松开时间等。
- 7) 实时的同步切削零件仿真, 支持多重主轴和刀具系统。
- 8) 铣削支持 Y 轴和 B 轴功能。
- 9) 无需手工后续编辑的完整后置处理系统。

1.3 多任务车铣复合加工 (MTM) 流程

多任务车铣复合加工 (MTM) 和 GibbsCAM 的其他加工类型没有本质上的差别, 只是多任务车铣复合加工 (MTM) 拥有更多的功能和辅助特征。总的一些编程原则均是一样的, 如创建一个零件需先建立一个文件; 创建一个加工程序之前需先有加工几何; 创建加工工序需先创建所用刀具; 最后加工操作需进行后置处理才能传递到机床控制系统中。GibbsCAM 的铣和车与多任务车铣复合加工 (MTM) 的工作流程见表 1-1。

表 1-1 加工流程表

铣 和 车	多任务车铣复合加工 (MTM)
新建文件/打开已有文件	新建文件/打开已有文件
创建/修改几何	创建位于第一主轴的几何
创建刀具列表	创建刀具列表, 每个刀塔上的全部刀具
创建加工操作	创建加工操作
校验和切削仿真	创建/修改用于其他主轴加工的几何
后置处理	针对多刀塔刀具进行排序以优化通道连接
	同步操作, 并运行同步检查
	校验和切削仿真
	后置处理

第2章

GibbsCAM车铣复合

2.1 GibbsCAM 车铣概述

车/铣功能需要铣床和车床模块，车/铣功能允许用户在同一个图档中创建铣削和车削的操作。铣削和车削的附加模块可提供最重要的旋转铣削选项，以及提供包裹在圆柱上的刀具路径和利用 C 轴铣削端面的功能。

软件的铣削/车削功能具有在单个主轴上编程的能力，支持具有动力头的单个刀塔车床。在动力头上可以装夹铣削刀具，以沿着 Z 轴方向铣削，朝着主轴夹头方向轴向铣削，或者沿着 X 轴方向径向铣削。为了进行铣削，主轴一定从它的正常功能转换成第三方可编程轴的功能，通常指定为 C 轴。铣削/车削功能允许用户以指定对 C 轴的旋转角度，并对工件进行定位或联动加工。

车铣复合允许用户使用动力刀具简单定位 C 轴角度位置沿轴向或径向加工。螺旋加工功能允许用户将刀具路径包裹在 C 轴，并且允许连续的 C 轴旋转。如果机器有 Y 轴铣削功能，操作可在任意 C 轴位置进行，如图 2-1 所示。

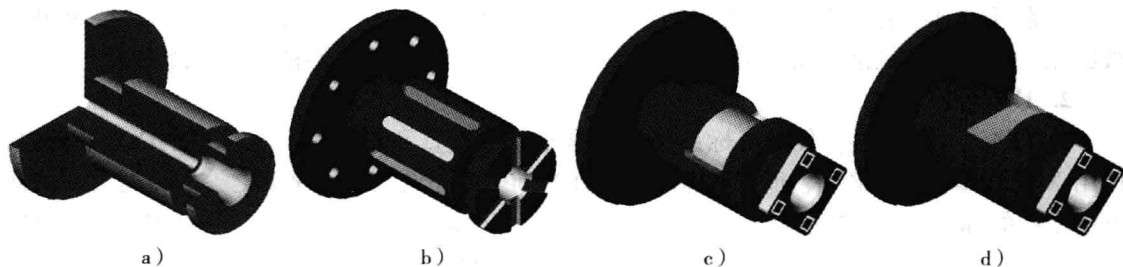


图 2-1 车铣复合

a) 车床 b) 车铣复合 c) 旋转铣削 d) 车铣复合附加 Y 轴

2.1.1 界面

车铣复合功能要求界面层别为 2，界面层别的定义在预设值→界面对话框中，如图 2-2 所示。

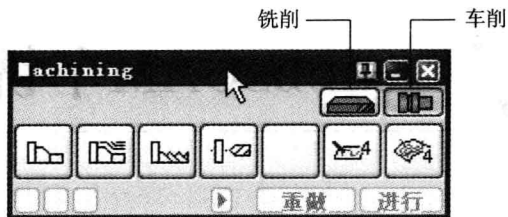


图 2-2 车铣复合功能切换界面

当一个车铣复合的 MDD 被选择，加工面板将包括车和铣的加工策略供选择和切换。

当在车或铣功能间切换时，处理栏中存在的项目将被清空。因为一个处理群组（多个处理中项目在一个列表中）不可以同时包含车和铣的处理项目，车和铣的处理项目必须在不同的处理群组中。

2.1.2 坐标系统

高级坐标系统选项是推荐的模块，如果用户拥有该模块，下面的界面命令是只有拥有该模块的用户才可以使用的。

1. 什么是坐标系统

(1) 一个坐标系统是在空间中的一个平面，并拥有一个原点和 3 个轴

原点是轴相交的交点，并且作为零位参考点，3 个轴指的是水平、垂直和深度轴。在标准车床中的 ZX 平面，Z 为水平、X 为垂直、Y 为深度。

(2) 坐标系统不同于一个工作群组

坐标系统区别于工作群组，多个坐标系统可以在一个工作群组中使用，相同的坐标系统也可以在不同的工作群组中使用。

(3) 坐标系统是图素的一个属性要素（点、线、圆等）

图素可以通过定义的一个坐标系统生成，但是却不隶属于它，图素包含的 CS 要素可以被删除（通过高级铣削的用户坐标系），但是必须有另一个 CS 属性被定义在此图素上。

2. HVD 和 XYZ

这里将讨论轴标签。任何坐标系统都包含水平、垂直和深度轴。在标准的 XY 平面中，使用 X、Y 和 Z 代替水平、垂直和深度轴。在当前坐标系统与主要平面之一一致时，在对话框中使用的标签都有可能变化，X、Y 和 Z 的标签将会取代 H、V、D，文字框中的标签可能是 X、Y 或 Z。对于对话框中使用恰当的文字，无论如何，该值总是和水平、垂直和深度值相同。

3. 坐标系统的格点和轴标记

当在多个坐标系统下工作时，坐标系统的格点和轴标记是非常重要的工具。坐标系统的格点图像化显示当前坐标系统的方位。当显示坐标系统的按钮为开启时，坐标系统的格点和

轴标记将显示在屏幕上（按钮按下）。当产生多个坐标系时，坐标系统的格点将同时显示在屏幕上。

坐标系统的轴标记将显示当前坐标系的原点，它同时确定水平和垂直的方向。在轴的交点位置有 + 或者 - 的标记，用以指示出当前视角下深度的方向。

当水平和垂直轴对齐到原始轴上，轴的系统标签将使用 X、Y 和 Z。在车铣复合的零件中，通常存在 4 个坐标系，ZX 平面，XY 平面和 YZ 平面。另外一个坐标系统的标签为 HY，是因为它的 X 轴反转到了另一方向。在轴的交点上的标记有 + 或 - 的符号。它表示在当前视图下深度的方向。

灰色的格点显示当前坐标系统的平面。高亮线是当前平面和系统毛坯的相交线，如图 2-3 所示。

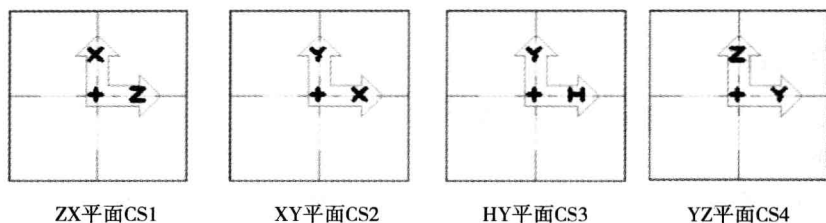


图 2-3 车铣复合坐标系平面

4. 格点亮度

用户可以在菜单栏中左键单击文件→预设置，进入设置面板。在格点亮度下拖动滑块，设置格点的亮度，左键单击应用按钮，成功设置格点亮度，如图 2-4 所示。

5. 坐标系统列表

 坐标系统按钮：这个按钮带出坐标系统列表菜单和系统列表，如果高级坐标系统不可用，则这个按钮只可以在 C 轴机床定义时可用。

坐标系统列表按钮：左键单击并保持坐标系统打开坐标系统列表菜单，在一个车铣复合的图档下，显示 4 个坐标系统，如图 2-5 所示。



图 2-4 格点亮度滑块

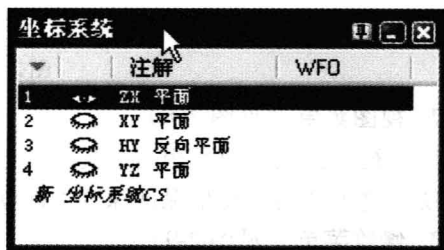


图 2-5 车铣复合坐标系

坐标系统列表：按下坐标系统按钮打开坐标系统列表。对话框显示所有存在的坐标系统。当前坐标系统将高亮显示。强烈建议当多个坐标系统混合使用时，保留坐标系统列表在屏幕上。

每个坐标系统有一个眼睛图标。左键双击该图标切换坐标系统的可见性。当开启时，坐

标系统框架标志将显示在屏幕上。这个动作不影响当前标系统，当前标系统仍然高亮保留在列表中。而坐标系统的坐标格点和轴标记将根据当前标系统。

6. 坐标系统框架标志

通过一个坐标系统框架标志可以显示其他坐标系统的原点。CS 框架指标由 3 条红线显示，3 条红线代表坐标系统的 3 个轴。左键单击红色框架将从一个坐标系迅速切换到另一个。在坐标系统列表下左键双击眼睛图标，将隐藏一个 CS 框架指标。Ctrl + 左键单击选择 / 取消多张眼睛图像。Shift + 左键单击选择一组相邻的坐标系统。关闭坐标系统列表迅速取消选择所有的眼睛，如图 2-6 所示。

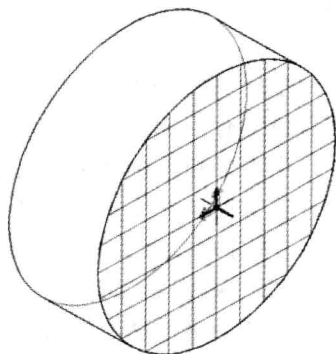


图 2-6 坐标系统框架标志

2.1.3 菜单项目

下面的菜单项目仅适用在多个坐标系统中。

1. 编辑菜单

选择当前标系统：在编辑→选择子菜单。这个项目被选择时，所有的在当前工作群组中并在当前标系统中的图素被选择。在其他标系统中的图素和体或工作群组不会被选择，如图 2-7 所示。

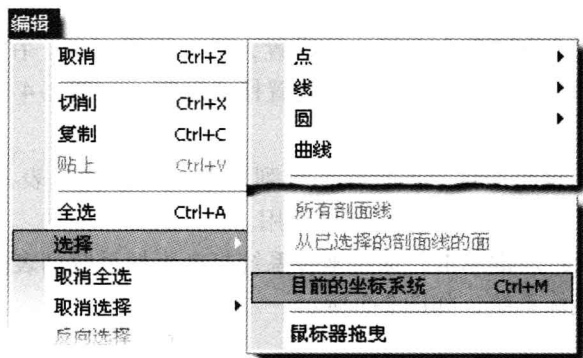


图 2-7 当前标系统

2. 视图菜单 (见图 2-8)

原始视图：这个项目相当于视图面板上的按钮。当选择时，系统旋转视角对齐到当前标系统。这个视角始终是保证深度方向朝屏幕外。它影响工件的显示定位方向。

3. 修改菜单 (见图 2-9)

修改标系统 (XYZ) 和修改标系统 (HVD) 仅在选择了图素的情况下可用。两个项目都是重新分配图素到当前的标系统。

修改标系统 (XYZ)：当它被使用，所有被选择的图素将分配到当前标系统中。图素将停留在相同的 3D 空间，它通过改变颜色反映它现在在当前标系统中的现象。如果标系统修改为不同于它们本身的标系统，所有选择的圆弧将分段 (修改为线性曲线)。



图 2-8 视图菜单

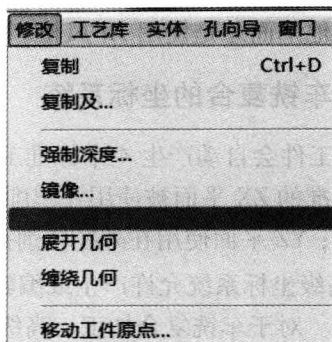


图 2-9 修改菜单

修改坐标系统 (HVD)：当它被使用，所有被选择的图素将分配到当前坐标系统中，而且它们的 HVD 值将保留。这意味着图素将定位在相对应新的坐标系统的位置。

2.2 工件设定

2.2.1 机器定义文件

设定一个 C 轴工件和设定标准的车床工件非常相似。毛坯和指定安全余隙的设定和标准的车床工件完全相同，如图 2-10 所示。

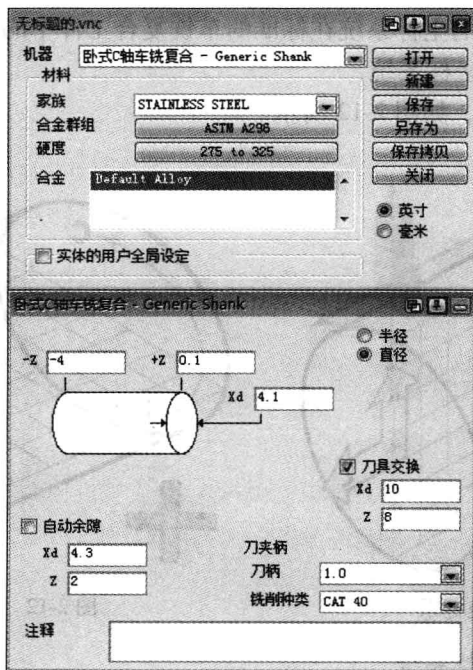


图 2-10 车铣复合工件定义

半径/直径: X 直径风格 (半径 / 直径) 选项仅应用在 ZX 平面上的图素和安全余隙值中。在毛坯定义中, 用户可以选择 Xr 半径或 Xd 直径风格, 车床操作仅产生在 ZX 平面上, 铣床或其他平面总是使用 Xr 风格。

2.2.2 车铣复合的坐标系统

C 轴工件会自动产生 4 个标准工作坐标系统。它们帮助绘图和定义操作加工工件的不同区域。标准的 ZX 平面被使用在车削操作上; XY 平面使用在端面加工上; HY 平面使用在背面加工上; YZ 平面使用在外径铣削操作上。这 4 个标准平面是不可以编辑的。

高级坐标系统允许产生或编辑用户坐标系统在任何平面位置和应用编程铣削操作的定位移动。对于车铣复合加工, 高级坐标系统模块允许在任何方位附加坐标系统, 并且可以在非标准的坐标系统中编程铣削操作。

1. 车削操作

在车削操作中, 加工坐标系统的选择是通过车削工艺对话框中 OD 外径、ID 内径或 Front Face 端面进行的。具体类型的选择决定了当刀具接近和切削工件时, 刀具沿着哪个轴方向。标准的车削坐标系统是 CS1: ZX 平面。车削操作需要指定的刀具方向, 然而, 它不取决于加工坐标系统, 这对正确设定方位产生刀具路径尤为重要。

2. 铣削操作

对于铣削操作, 用户通过适当的坐标定义刀轴的方向。

加工坐标系统的使用决定了刀具如何接近工件, 在铣床操作中通常还决定了刀具接近的刀轴方向。

3. 标准的车削坐标系统

如图 2-11 所示, 适当的坐标系统在标准的车铣复合工件中的应用。

(1) 标准的外径铣削坐标系统

铣削包括 Y 轴和 C 轴, 如图 2-12 所示。

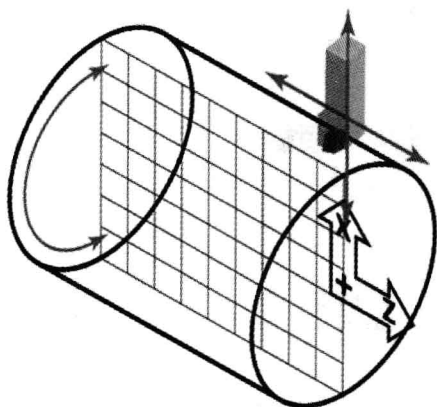


图 2-11 车削坐标系

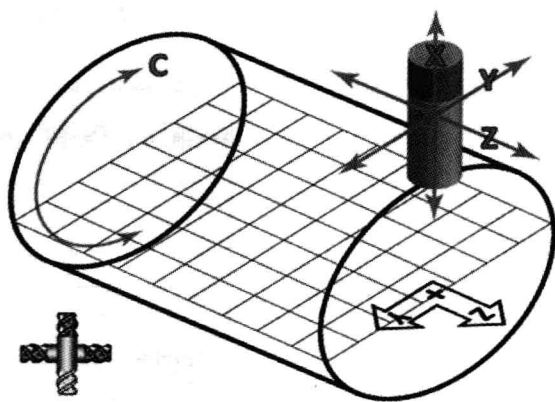


图 2-12 外径铣削坐标系

(2) 标准端面铣削坐标系统

这个坐标系统需要定义像显示中的端面刀具方向, 如图 2-13 所示。