

Unigraphics 应用指导系列丛书

UG 自由形状特征建模 培训教程

[美] Unigraphics Solution Inc. 编著

龚 勉 翻 译

章 军 审 校

清 华 大 学 出 版 社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本教材是《Unigraphics 应用指导》系列丛书之一,根据美国 UGS 公司的优秀教材翻译而成。内容安排涉及自由形状特征的大部分内容,并且安排一定数量的基础练习,以基础和常用为准则,内容叙述力求简明,通俗易懂。

本系列丛书可作为 UG 培训的基础教材,也可以作为大专院校机械类专业的 CAD/CAM 专业教材,同时为广大 UG 用户和 CAD 爱好者提供 UG 的中文参考资料。

版 权 声 明

本系列丛书为优集系统(中国)有限公司独家授权的中文版培训教程与使用指导。本书的专有出版权属清华大学出版社所有。在没有得到本丛书原版出版者和本丛书出版者的书面许可,任何单位和个人不得复制与翻印。

版权所有,违者必究。

“Copyright 2000 by Unigraphics Solutions Inc.

Original English language Edition Copyright

2000 by Unigraphics Solutions Inc. All rights reserved.”

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

书 名:UG 自由形状特征建模培训教程

作 者:[美] Unigraphics Solution Inc. 编著

翻 译:龚 勉

审 校:章 军

出 版 者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑:刘建昌

印 刷 者: 印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:11.75 字数:265 千字

版 次:2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-900637-96-6

印 数:0001~4000

定 价:27.00 元

Unigraphics 应用指导系列丛书序

Unigraphics (简称 UG) 是当前世界上最先进和紧密集成的、面向制造行业的 CAID/CAD/CAE/CAM 高端软件。它为制造行业产品开发的全过程提供解决方案,功能包括:概念设计、工程设计、性能分析和制造。

Unigraphics 是知识驱动自动化技术领域中的领先者。它实现了设计优化技术与基于产品和过程的知识工程的组合,显著地改进了如汽车、航天航空、机械、消费产品、医疗仪器和工具等工业的生产率。

Unigraphics 为各种规模的企业递交可测量的价值;更快地递交产品到市场;使复杂产品的设计简化;减少产品成本和增加企业的竞争实力。它已成为世界上最优秀公司广泛使用的系统,这些公司包括:通用汽车、波音飞机、通用电气、普惠发动机、爱立信、飞利浦、松下、精工和柯达,今天 Unigraphics 在全球已拥有 17000 多个客户。

Unigraphics 自 1990 年进入中国市场以来,发展迅速,已经成为中国航天航空、汽车、机械、计算机及外设、家用电器等部门首选软件。目前在上海、北京、广州、成都设有四个办事处,全国授权培训点 13 个。

计算机辅助技术发展与应用极为迅速,软件的技术含量和功能更新极快。为了帮助我们的客户正确、高效地把 Unigraphics 应用于产品开发过程中,满足广大用户了解和学习 Unigraphics 的需求,UGS 公司与清华大学出版社联合组织出版这套 Unigraphics 应用指导系列丛书。

系列丛书由两部分组成:

(1) UG CAD/CAE/CAM 培训教程

培训教程均采用全球通用的、最优秀的学员指导(UG Student Guide)教材为来源,组织国内优秀的 UG 培训教员与 UG 应用工程师编译。最后由 UGS 公司指定的专家们审校。

(2) UG CAD/CAE/CAM 使用指导

使用指导汇集有关专家的使用经验,追求简洁清晰的风格形式,帮助广大用户快速掌握和正确应用相应的 UG 模块与功能。

系列丛书的读者对象为:

(1) 已购 UG 的广大用户

培训教程可作为离线培训与现场培训的教材,或自学参考书。

使用指导可作为快速入门或进一步自学提高的参考书。

(2) 选型中的 UG 潜在用户

培训教程可作为预培训的教材,或深入了解 UG 模块与功能的参考书。

(3) 在校机械、机电专业本科生与研究生

培训教程可作为 CAD 专业课教材,研究生做课题中的自学参考书。

使用指导可作为快速入门或进一步自学提高的参考书。

(4) 机械类工程技术人员

培训教程可作为再教育的教材或自学参考书。

使用指导可作为快速入门或进一步自学提高的参考书。

系列丛书的编译、编著、审校工作得到优集系统(中国)有限公司与各UG培训中心的大力支持,在此表示衷心的感谢。

参与系列丛书的编译、编著、审校的全体工作人员认真细致地写稿、审稿、改稿,正是他们付出的辛勤劳动,系列丛书才得以在短时间内完成,在此也表示衷心的感谢。

最后要感谢清华大学出版社北京清大金地科技有限公司,在系列丛书的策划、出版过程中给予的特别关注、指导与支持。

UG软件在继续发展与升版,随着新版本、新模块与新功能的推出,UG系列丛书也将定时更新和不断增册。

由于时间仓促,书中难免有疏漏与出错之处,敬请广大读者批评指正。

Unigraphics 应用指导系列丛书工作组

2001年10月

前 言

UG 是 Unigraphics 的简称,是美国 UGS 公司的核心软件产品。UG 软件以强大的功能、先进的技术、优质的服务闻名于 CAD/CAM/CAE 领域,经过将近半个世纪的不断完善、开拓与发展,积累了航天、航空、汽车和机械等众多专业领域的丰富经验和技術,形成独具特色的优秀 CAD/CAM/CAE 软件。

UG 所采用的复合建模方法,使用方便、功能强大、应用灵活,用户可以根据企业产品的特点,选择一种最合适的建模方法。同时,各种方法可以在建模过程中交替使用,以满足不同领域用户快速、方便、合理的各种复杂零件的建模要求。

自由形状特征建模是 CAD 模块的重要组成部分,也往往是评价一种 CAD 软件建模能力的重要依据,因为绝大多数的实际产品都必须使用自由形状特征来完成建模。因此,快速、正确地理解和掌握自由形状特征对于用户显得非常重要。由于自由形状特征的建模在 CAD 模块有一定的难度,专业术语和概念较多,市场上中文教材和参考资料缺乏,中文翻译不够统一,这都给广大用户和读者用好 UG 带来一定的困难。

本教材是《Unigraphics 应用指导》系列丛书之一,以美国 UGS 公司的优秀教材 Student Guide 为主要参考依据。内容安排涉及自由形状特征的大部分内容,并且安排一定数量的基础练习,以基础和常用为准则,内容叙述力求简明,通俗易懂。本系列丛书可作为 UG 培训的基础教材,也可以作为大专院校机械类专业的 CAD/CAM 专业教材,同时为广大 UG 用户和 CAD 爱好者提供 UG 的中文参考资料。

在本书的编写和修改过程中,得到 UGS 公司高级顾问洪如瑾女士的大力帮助和指导,并且为本书的最后定稿做了大量细致认真的审阅和修改工作,在此表示特别的感谢!

本书由上海 UGS 公司章军工程师主审,对本书做了非常仔细和认真地审阅和修改,并且提供了大量的修改建议,在此表示衷心的感谢!

限于作者水平,书中的缺点和错误,恳请读者批评指正。

译 者
2001 年 10 月

目 录

第 1 章 概述.....	1
1.1 课程简介	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 曲面构造的一般方法	1
1.1.3 全息片体	1
1.1.4 使用对象和预先要求	2
1.2 课程内容安排	2
1.3 上机练习	3
1.4 参考资料	3
第 2 章 曲线的构造和编辑	4
2.1 概述	4
2.1.1 曲线的分类	4
2.1.2 曲线的多项式和阶次	4
2.2 样条	5
2.2.1 概述	5
2.2.2 样条的构造方法	6
2.2.3 样条的阶次	6
2.2.4 单段样条和多段样条	7
2.2.5 定义点和节点	7
2.2.6 封闭样条	7
2.2.7 从文件输入点	7
2.2.8 曲线分析的显示	8
2.2.9 指定斜率	9
2.2.10 选点方式	10
2.2.11 拟合方式	10
2.2.12 改变权值	10
2.3 二次曲线	11
2.3.1 概述	11
2.3.2 通用二次曲线	12
2.4 规律曲线	17

2.4.1	概述	17
2.4.2	控制规律曲线的方向	18
2.4.3	规律子功能	18
2.5	螺旋线	21
2.5.1	概述	21
2.5.2	操作步骤	21
2.5.3	螺旋线半径方式	21
2.5.4	定义方向	22
2.6	样条分析	25
2.6.1	概述	25
2.6.2	样条分析	25
2.7	编辑样条	29
2.7.1	概述	29
2.7.2	编辑定义点	30
2.7.3	编辑极点	32
2.7.4	改变斜率	34
2.7.5	改变曲率	35
2.7.6	改变阶次	36
2.7.7	改变刚度	36
2.7.8	拟合	37
2.7.9	光顺	37
第 3 章	自由形状特征	39
3.1	概述	39
3.1.1	应用范围	39
3.1.2	曲面构造基本原则和技巧	39
3.1.3	曲面的类型	40
3.2	基本概念及术语	41
3.2.1	全息片体	41
3.2.2	体的类型	41
3.2.3	自由形状构造结果	42
3.2.4	行与列	42
3.2.5	补片的类型	43
3.2.6	曲面的阶次	43
3.2.7	公差	43
3.2.8	栅格线	44
3.3	直纹	45
3.3.1	概述	45

3.3.2	操作步骤	45
3.3.3	指定参数	46
3.3.4	对齐方式	47
3.4	通过曲线	51
3.4.1	概述	51
3.4.2	操作步骤	51
3.4.3	阶次与补片类型	53
3.4.4	封闭特征	53
3.4.5	对齐方式	54
3.4.6	第一条(最后一条)截面线串的约束条件	56
3.5	过曲线网格	62
3.5.1	概述	62
3.5.2	操作步骤	63
3.5.3	对话框选项	64
3.5.4	线串的选择	65
3.5.5	脊柱线	65
3.6	扫描	71
3.6.1	概述	71
3.6.2	引导线串(1~3条)	71
3.6.3	截面线(1~150条)	73
3.6.4	插值方法	74
3.6.5	公差	74
3.6.6	脊柱线	75
3.6.7	方位控制——使用一条引导向线	75
3.6.8	比例控制——使用一条引导线	76
3.7	截面体	88
3.7.1	概述	88
3.7.2	截面类型	89
3.7.3	拟合类型	89
3.7.4	Highlight Conic	89
3.7.5	脊柱线串	89
3.7.6	确定体长度	90
3.7.7	顶点线串	91
3.7.8	Rho	91
3.7.9	五点方式	91
3.7.10	圆角-rho	92
3.7.11	圆角-桥接	93
3.8	延伸	98

3.8.1	概述	98
3.8.2	自相交片体	99
3.8.3	一般操作步骤	100
3.8.4	相切延伸	100
3.8.5	法向延伸	101
3.8.6	角度延伸	101
3.8.7	圆弧延伸	102
3.8.8	规律控制延伸	102
3.9	偏置面	105
3.9.1	概述	105
3.9.2	距离公差	105
3.9.3	关联偏置	105
3.9.4	编辑偏置面	106
3.9.5	操作步骤	106
3.9.6	偏置距离	106
3.9.7	变距偏置	106
3.10	桥接片体	108
3.10.1	概述	108
3.10.2	操作步骤	108
3.10.3	主曲面和侧面的选择	108
3.10.4	连续类型	109
3.10.5	拖曳和重设置	110
3.11	修剪片体	111
3.11.1	概述	111
3.11.2	操作步骤	112
3.11.3	选择步骤	113
3.11.4	投射方向	113
3.11.5	保留或删除区域	113
3.12	面倒圆	115
3.12.1	概述	115
3.12.2	圆角类型	117
3.12.3	半径方法	117
3.12.4	选择步骤图标	118
3.12.5	其他选项	118
3.13	软圆角	126
3.13.1	概述	126
3.13.2	操作步骤	127
3.13.3	Rho 和 Skew	128

3.13.4	其他选项	128
3.14	缝合	130
3.14.1	概述	130
3.14.2	操作步骤	130
3.14.3	选项说明	131
3.15	增厚片体	131
3.15.1	概述	131
3.15.2	操作步骤	132
3.15.3	选择目标实体	133
3.16	表面分析	134
3.16.1	概述	134
3.16.2	截平面	134
3.16.3	一般操作步骤	134
3.16.4	显示类型	135
3.16.5	分辨率	135
3.16.6	曲面的选择	136
3.16.7	半径分析	136
3.16.8	反射分析	137
3.16.9	斜率, 距离分析	138
3.16.10	曲面曲率分析的说明	138
第 4 章	编辑自由形状特征	141
4.1	概述	141
4.1.1	编辑自由形状特征的类型	141
4.1.2	编辑时延迟更新和更新控制	142
4.1.3	恢复原始片体	142
4.1.4	编辑原始片体/编辑复制体	142
4.2	参数化编辑方法	143
4.2.1	概述	143
4.2.2	编辑方法	143
4.2.3	编辑选项	145
4.3	移动定义点	145
4.3.1	概述	145
4.3.2	移动定义点对话框	146
4.3.3	移动单个点	147
4.3.4	移动多个点	147
4.4	移动极点	147
4.4.1	概述	147

4.4.2	移动极点对话框	148
4.4.3	移动定义的极点	148
4.5	等参数修剪/分割	150
4.5.1	概述	150
4.5.2	修剪类型	150
4.5.3	修剪参数	151
4.5.4	分割参数	151
4.5.5	操作步骤	152
4.6	改变阶次	152
4.6.1	概述	152
4.6.2	增加阶次	152
4.6.3	降低阶次	152
4.7	改变刚度	153
4.7.1	概述	153
4.7.2	减小刚度	153
4.7.3	增大刚度	154
4.7.4	输入阶次参数	154
4.8	改变边缘	155
4.8.1	概述	155
4.8.2	编辑类型	155
4.8.3	主、从片体	155
4.8.4	只改变边缘	156
4.8.5	边缘和法向	158
4.8.6	边缘和横向切线	159
4.8.7	改变边缘曲率	161
4.9	片体边界	162
4.9.1	概述	162
4.9.2	操作步骤	162
附录 A	Point From File 数据格式	164
附录 B	167

第 1 章 概 述

1.1 课程简介

1.1.1 概述

自由形状特征 (Free Form Features) 是 CAD 模块的重要组成部分,也是体现 CAD/CAM 软件建模能力的重要标志。只使用特征建模方法就能够完成设计的产品是有限的,绝大多数实际产品的设计都离不开自由形状特征。

现代产品的设计主要包括设计与仿形两大类。无论采用哪种方法,一般的设计过程是:根据产品的造型效果(或三维真实模型),进行曲面数据采样、曲线拟合、曲面构造,生成计算机三维实体模型,最后进行编辑和修改等。

UG 自由形状特征的构造方法繁多,功能强大,使用方便,全面地掌握和正确、合理地使用该模块是用好 UG 的关键之一。体基于面,面依靠线,因此,用好曲面的基础是曲线的构造。在构造曲线时应该尽可能仔细精确,避免缺陷,如曲线重叠、交叉、断点等,否则会造成后续加工的一系列问题。

1.1.2 曲面构造的一般方法

根据产品外形要求,首先建立用于构造曲面的边界曲线,或者根据实样测量的数据点生成曲线,使用 UG 提供的各种曲面构造方法构造曲面。一般来讲,对于简单的曲面,可以一次完成建模。而实际产品的形状往往比较复杂,一般都难于一次完成,对于复杂的曲面,首先应该采用曲线构造方法生成主要或大面积的片体,然后进行曲面的过渡连接,光顺处理,曲面的编辑等方法完成整体造型。

1.1.3 全息片体

所谓全息片体 (Smart Sheet) 就是指全参数化、全相关曲面。在 UG 系统中,大多数命令所构造的曲面都具有参数化的特征,在 Free Form Features 中称为 Smart Sheet。这类曲面的共同特点是都由曲线生成,曲面与曲线具有关联性,即当构造曲面的曲线编辑修改后,曲面会自动更新。

为了保证所构造曲面的参数化特性,即关联性、宜于编辑的性能,构造曲面时应该注意以下几点:

- 避免使用非参数化命令构造曲面（Through Point，From Pole，From Point Cloud，Foreign 四种方法为非参数化方法，尽可能不要使用，本教材不介绍这些命令）；
- 构造曲面的曲线尽可能采用草图方法生成。
- 编辑曲面时尽可能采用参数化的编辑方法，即使用 Edit →Feature →Parameters 方法来编辑曲面，而 Edit →Free Form Feature 方法均为非参数编辑方法，如果必须使用，建议采用编辑复制体方法（Edit a Copy）。
- 尽可能采用实体切割、抽空方法建模。

1.1.4 使用对象和预先要求

本教材是《Unigraphics 应用指导系列丛书》之一，以 UGS 公司的 Student Guide 教材为主要依据。可作为 UG 基础培训的中文教材，也可用于大专院校机械类学生的 CAD 课程教材，并为使用 UG 的工程技术人员提供参考。

作为曲面建模的基础教程。要求读者预先完成 UG 基础，特征建模和各种曲线构造方法等课程。无需其他特别的专业基础知识。

1.2 课程内容安排

在特征建模课程中，已经完成基本曲线和其他多种曲线的构造方法，是进行曲面建模的基础。曲面构造在 CAD 部分有一定难度，牵涉的基本概念和各种术语较多，为了精简教材内容，避免重复，前面已经介绍过的概念，后续课程的内容一般不再重复。因此，对于初学者要求尽可能按顺序进行，本课程主要介绍以下内容：

1. 曲线的构造和编辑

- 样条曲线的构造和编辑方法。
- 二次曲线的构造和编辑方法。
- 规律曲线的构造和编辑方法。
- 螺旋线的构造和编辑方法。

2. 曲面构造的常用类型和方法

- 基本概念和术语。
- 基于曲线的构造方法：直纹面、通过曲线、过曲线网格、扫描和截面体。
- 基于片体的构造方法：延伸片体、桥接片体、增厚片体、面圆角、软圆角、偏置面。
- 表面分析：包括半径分析、距离分析、表面反射分析、曲率分析。

3. 曲面编辑方法

- 参数化的编辑方法。
- 非参数化的编辑方法。

移动定义点 (Move Defining Point)
移动极点 (Move Pole)
等参数修剪/分割 (Isoparametric Trim/Divide)
改变阶数 (Change Degree)
改变刚度 (Change Stiffness)
改变边缘 (Change Edge)
改变片体边界 (Sheet Boundary)

1.3 上机练习

上机操作是学习 UG 的重要内容, 本教材提供了一定的练习, 并且包括较为详细的具体操作步骤。读者可以根据步骤自己独立完成练习。内容安排力求简明, 具有一定的针对性。同时, 练习的内容有一定的前后连续性, 即前面的练习可能会在后面的练习中再使用。因此, 要求读者保存好前面的练习, 以备后续练习的使用。

课程最后还设计有综合练习, 同时提供简要的操作说明, 目的是使读者能够较为全面地掌握曲面构造的基本方法和步骤, 提高学习 UG 的效率和兴趣。

1.4 参考资料

- 需要更加全面地了解和掌握 UG 的曲面构造, 请参考 UG 用户手册 (UG Document)。
- 需要学习更多的练习操作, 请使用 UGS 公司编写的 CAST 教程。

注:

CAST (Computer Aid Self-Teaching) 是计算机辅助自学教程的缩写。

- 需要获得技术咨询和问题解答, 可以上网: <http://www.ugs.com.cn>

第 2 章 曲线的建立和编辑

2.1 概 述

2.1.1 曲线的分类

1. 计算曲线

以数学形式定义的曲线，例如：

- 直线
- 二次曲线(Conic)：圆弧、圆、椭圆、双曲线、抛物线等。

根据其他几何体的计算而定义的曲线，例如：

- 抽取曲线(Extract Curve)
- 交线 (Intersection)
- 投射曲线 (Project)
- 偏置曲线 (Offset)
- 桥接曲线 (Bridge)
- 曲线缠绕/曲线展开 (Wrap/Unwrap)
- 曲线简化 (Simplify)
- 曲线连接 (Join)

2. 构造曲线

过点、极点或用参数用户定义的曲线，例如：

- 样条 (Splines)
- 螺旋线 (Helixes)
- 规律曲线 (Law Curves)

2.1.2 曲线的多项式和阶次

由不同幂指数变量组成的表达式称为多项式。多项式中最大指数称为多项式的阶次。例如：

$$7X^2 + 5X - 3 = 35 \quad (\text{阶次} = 2)$$

$$2t^3 - 3t^2 + t = 6 \quad (\text{阶次} = 3)$$

曲线的阶次用于判断曲线的复杂程度，而不是精确程度。对于 1、2、3 次曲线，可以判断曲线的顶点和曲率反向数量，观察图 2-1 的公式。

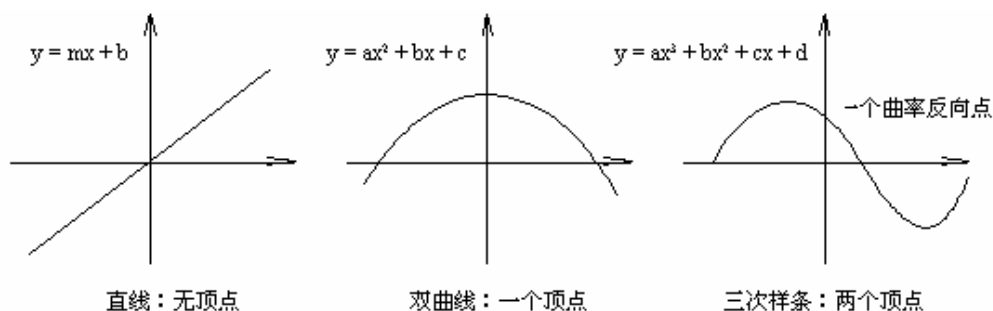


图 2-1 最大顶点数 = 阶次 - 1

低次多项式有特别的名称，见表 2-1。一般来讲，最好使用低阶次的多项式，UG 使用的样条的最高阶次是 24。

表 2-1 低次多项式有特别的名称

阶次(Degree)	多项式名称
1	Linear (线性)
2	Quadratic or Conic (二次)
3	Cubic (三次)
4	Quartic (四次)
5	Quintic (五次)

低阶次曲线的优点：

- 更加灵活。
- 更加靠近它们的极点。
- 使得后续操作(加工和显示等)运行速度更快。
- 便于数据的转换，因为许多系统只接受 3 次曲线。

高阶次曲线的缺点：

- 灵活性差。
- 可能引起不可预见的曲率波动。
- 造成数据转换的问题。
- 导致后续操作执行速度变慢。

2.2 样 条

2.2.1 概述

样条 (Spline) 是构造曲面的重要曲线，它可以是二维平面样条，也可以是三维空间

样条。样条种类很多，UG 采用 NURBS 样条。NURBS 使用广泛，曲线拟合逼真，形状控制方便，能够满足绝大部分实际产品的设计要求。NURBS 已经成为当前 CAD/CAM 领域描述曲线和曲面的标准。

NURBS 是英文 Non-Uniform Rational B-Spline(非均匀有理 B 样条)的缩写。

编者注：样条起源于车身设计，车身设计时通常需要将一系列无规则的离散点连接成光滑曲线，手工绘图采用一根弹性材料做的样条，通过调整样条外形，使其尽量逼近离散点从而绘制出所需的曲线。

利用计算机绘制曲线必须给出公式，如圆弧、椭圆和双曲线等，将一系列离散点连接成光滑曲线通常称为曲线拟合，实际上是定义公式的问题。人们从绘制车身曲线得到启发，根据材料力学方法，将样条看成为弹性细曲梁，从而创造出样条计算公式。

2.2.2 样条的构造方法

- By Poles (过极点法)

样条不通过定义的极点，定义的极点作为样条的控制多边形顶点，该方法有助于控制样条的整体形状。

- Through Points (过点法)

样条精确通过每个定义点，该方法常用于逆向工程中的仿形设计。

- Fit (最小二乘方拟合样条)

将一系列定义点拟合成样条的方法，所有在样条上的点和定义点之间点距离平方之和是最小的。该方法有助于减少定义样条所需的点数，并确保样条的光顺。

上述三种样条构造方法见图 2-2。

- Perpendicular to Plane (垂直于平面法)

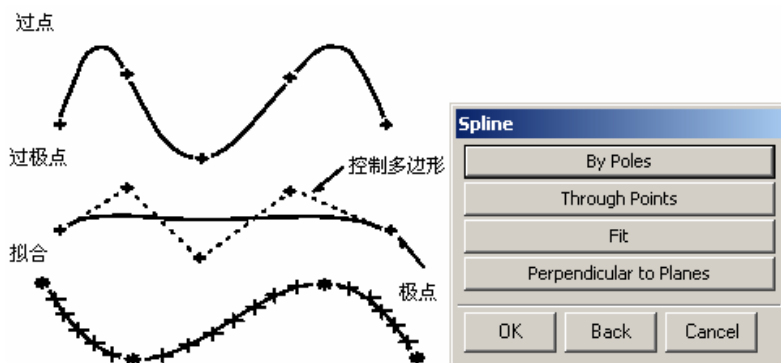


图 2-2 样条构造方法

2.2.3 样条的阶次

所谓阶次(Degree)是定义样条曲线多项式公式的次数。样条的阶次与构造样条的段数