

3D DRAWING & CRAFT TECHNIQUES OF PRODUCT DESIGN

▲ 高等教育“十二五”全国规划教材 中国高等院校设计专业系列教材

产品设计三维表现技法

主编：薛刚 张诗韵

王楠 林英博 高华云 编著

图书在版编目 (C I P) 数据

产品设计三维表现技法 / 王楠、林英博、高华云编著. ——
北京: 人民美术出版社, 2011.3 (2012.9 重印)
ISBN 978-7-102-05483-4

I . ①产… II . ①王… ②林… ③高… III . ①三维—工
业产品—计算机辅助设计 IV . ①TB472-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 022741 号

高等教育“十二五”全国规划教材
中国高等院校设计专业系列教材

产品设计三维表现技法

主 编: 薛 刚 张诗韵

编 著: 王 楠 林英博 高华云

编辑出版: 人 民 美 术 出 版 社

地 址: 北京北总布胡同 32 号 邮编 100735

网 址: www.renmei.com.cn

电 话: 设计艺术编辑室: (010)65122584

发 行 部: (010)65252847 邮购部: (010)65229381

责任编辑: 吉 祥

责任校对: 马晓婷 文 娅

装帧设计: 张子健

责任印制: 赵 丹

制版印刷: 影天印业有限公司

经 销: 新华书店总店北京发行所

版 次: 2011 年 6 月第 1 版 2012 年 9 月第 2 次印刷

开 本: 889 毫米 × 1194 毫米 1/16 印张: 9.5

印 数: 2001-4000

ISBN 978-7-102-05483-4

定 价: 44.00 元

版权所有 侵权必究

如有印装质量问题影响阅读, 请与我社联系调换。

总序

肇始于20世纪初的五四新文化运动，在中国教育界积极引入西方先进的思想体系，形成现代的教育理念。这次运动涉及范围之广，不仅撼动了中国文化的基石——语言文字的基础，引起汉语拼音和简化字的变革，而且对于中国传统艺术教育和创作都带来极大的冲击。刘海粟、徐悲鸿、林风眠等一批文化艺术改革的先驱者通过引入西法，并以自身的艺术实践力图变革中国传统艺术，致使中国画坛创作的题材、流派以及艺术教育模式均发生了巨大的变革。

新中国的艺术教育最初完全建立在苏联模式基础上，它的优点在于有了系统的教学体系、完备的教育理念和专门培养艺术创作人才的专业教材，在中国艺术教育史上第一次形成全国统一、规范、规模化的人才培养机制，但它的不足，也在于仍然固守学院式专业教育。

国家改革开放以来，中国的艺术教育再一次面临新的变革，随着文化产业的日趋繁荣，艺术教育不只针对专业创作人员，培养专业画家，更多地是培养具有一定艺术素养的应用型人才。就像传统的耳提面命、师授徒习、私塾式的教育模式无法适应大规模产业化人才培养的需要一样，多年一贯制的学院式人才培养模式同样制约了创意产业发展的广度与深度，这其中，艺术教育教材的创新不足与规模过小的问题尤显突出，艺术教育教材的同质化、地域化现状远远滞后于艺术与设计教育市场迅速增长的需求，越来越影响艺术教育的健康发展。

人民美术出版社，作为新中国成立后第一个国家级美术专业出版机构，近年来顺应时代的要求，在广泛调研的基础上，聚集了全国各地艺术院校的专家学者，共同组建了艺术教育专家委员会，力图打造一批新型的具有系统性、实用性、前瞻性、示范性的艺术教育教材。内容涵盖传统的造型艺术、艺术设计以及新兴的动漫、游戏、新媒体等学科，而且从理论到实践全面辐射艺术与设计的各个领域与层面。

这批教材的作者均为一线教师，他们中很多人不仅是长期从事艺术教育的专家、教授、院系领导，而且多年坚持艺术与设计实践不辍，他们既是教育家，也是艺术家、设计家，这样深厚的专业基础为本套教材的撰写一变传统教材的纸上谈兵，提供了更加丰富全面的资讯、更加高屋建瓴的教学理念，使艺术与设计实践更加契合的经验——本套教材也因此呈现出不同寻常的活力。

希望本套教材的出版能够适应新时代的需求，推动国内艺术教育的变革，促使学院式教学与科研得以跃进式的发展，并且以此为国家催生、储备新型的人才群体——我们将努力打造符合国家“十二五”教育发展纲要的精品示范性教材，这项工作长期的，也是人民美术出版社的出版宗旨所追求的。

谨以此序感谢所有与人民美术出版社共同努力的艺术教育工作者！

中国美术出版总社社长
人民美术出版社



目录

1 第一章 形态造型三维表现的基础理论

第一节 无所不能——二维与三维表达	2
第二节 虚实之间——R3D 与 V3D 造型	8
第三节 前沿动态——V3D 的发展动态	13
思考与训练	16

17 第二章 形态造型的成型原理

第一节 四大元素——三维形态构成元素	18
第二节 纸上谈兵——三维形态造型成型种类	31
第三节 形态历程——三维形态造型成型过程	35
思考与训练	40

41 第三章 形态造型的建立方法

第一节 各显其能——造型建立典型方法	42
第二节 现实建立——R3D 建立三维造型	62
第三节 虚拟成型——V3D 建立三维造型	70
思考与训练	80

81 第四章 形态造型三维探索与设计

第一节 表面功夫——视觉触觉与肢体触觉	83
第二节 方案求证——造型材料功能实验研究	90
第三节 直接建造——三维空间直接建立造型	93
思考与训练	94

95 第五章 产品造型的三维表达

第一节 矩阵演出——产品模型的种类功能	96
第二节 运筹帷幄——产品模型的制作策略	98
第三节 金戈铁马——产品模型的物质条件	100
第四节 火光之间——典型材料产品模型加工范例	105
思考与训练	120

121 第六章 产品造型的表达策略

第一节 展示策略——造型展示的策略分析	122
第二节 样态展示——造型展示的系统表现	123
第三节 主题情节——形态情景化主题展示	137
思考与训练	147

第一章 形态造型的成型原理

●内容概述

1. 四大元素
三维形态构成元素
空间中的点、线、面、体
2. 纸上谈兵
三维形态造型成型种类
基础、复杂、高级、模糊形态造型
3. 形态历程
三维形态造型成型过程
演变成型过程与推导成型过程

●教学重点
空间中的点 线 面 体
三维造型的成型过程

●学习难点
三维造型的成型过程

●学时计划
课内合计学时：16 学时
(理论 8 学时，实验 8 学时)
课外研修学时：20~40 学时

第一节

四大元素——三维形态构成元素

本节从构成造型的元素：点、线、面、体进行逐步讲解，把物体构成的要素讲解清楚。针对四种要素需要掌握的知识要点进行深入讲解。让读者能够清楚明白地理解、掌握立体造型的构成要素。对于本节中所讲的点、线、面、体不仅仅限于二维的空间，而是延伸到三维空间，是三维空间中的点、线、面、体。这个与以前学过的知识有所区别。

一、空间中的点

点本身没有大小、方向，只具有位置的空间属性。

现实空间（三维空间）中的点与二维空间不同的是，在空间中的点所具有三个位置参数。如空间中的点A（X=100，Y=117，Z=12）。因为数据量会增加，所以二维向三维的转化过程必须事先在头脑中有清晰的概念，在空间转换时才能游刃有余。

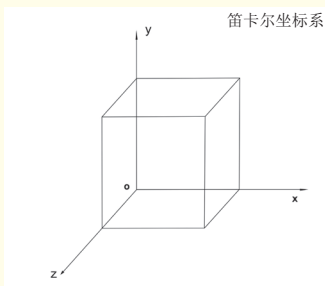
二、空间的线

线具有位置、长度与方向的空间属性。

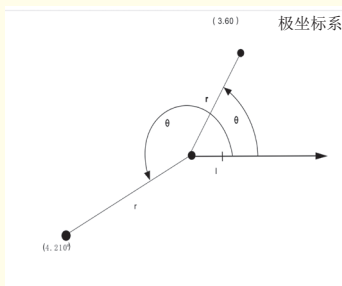
曲线在数学中定义为点移动的轨迹。当点移动的方式是有规律时，可以用方程式来描述曲线。曲线可以分为平面曲线和空间曲线。空间中的线不同于平面中的线，描述的方式可以用不同的方式，所以在描述的时候就可以用到不同的坐标系进行曲线的描述。

知识扩展

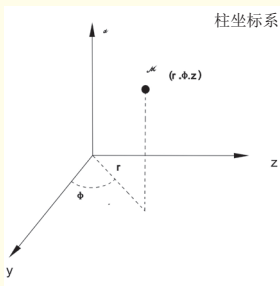
空间中的不同的坐标系



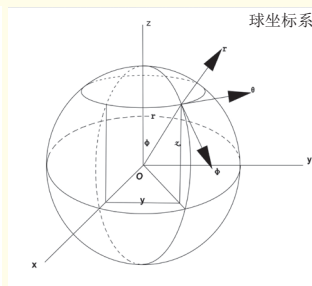
直角坐标系（笛卡尔坐标系）
直角坐标系和斜角坐标系的统称。相交于原点的两条数轴，构成了平面放射坐标系。如两条数轴上的度量单位相等，则称此放射坐标系为笛卡尔坐标系。两条数轴互相垂直的笛卡尔坐标系，称为笛卡尔直角坐标系，否则称为笛卡尔斜角坐标系。笛卡尔坐标，表示点在空间中的位置，但却和直角坐标有区别，两种坐标可以相互转换。



极坐标系
在平面内由极点、极轴和极径组成的坐标系。在平面上取定一点O，称为极点。从O出发引一条射线Ox，称为极轴。再取定一个长度单位，通常规定角度取逆时针方向为正。这样，平面上任一点P的位置就可以用线段OP的长度ρ以及从Ox到OP的角度θ来确定，有序数对（ρ，θ）就称为P点的极坐标，记为P（ρ，θ）；ρ称为P点的极径，θ称为P点的极角。

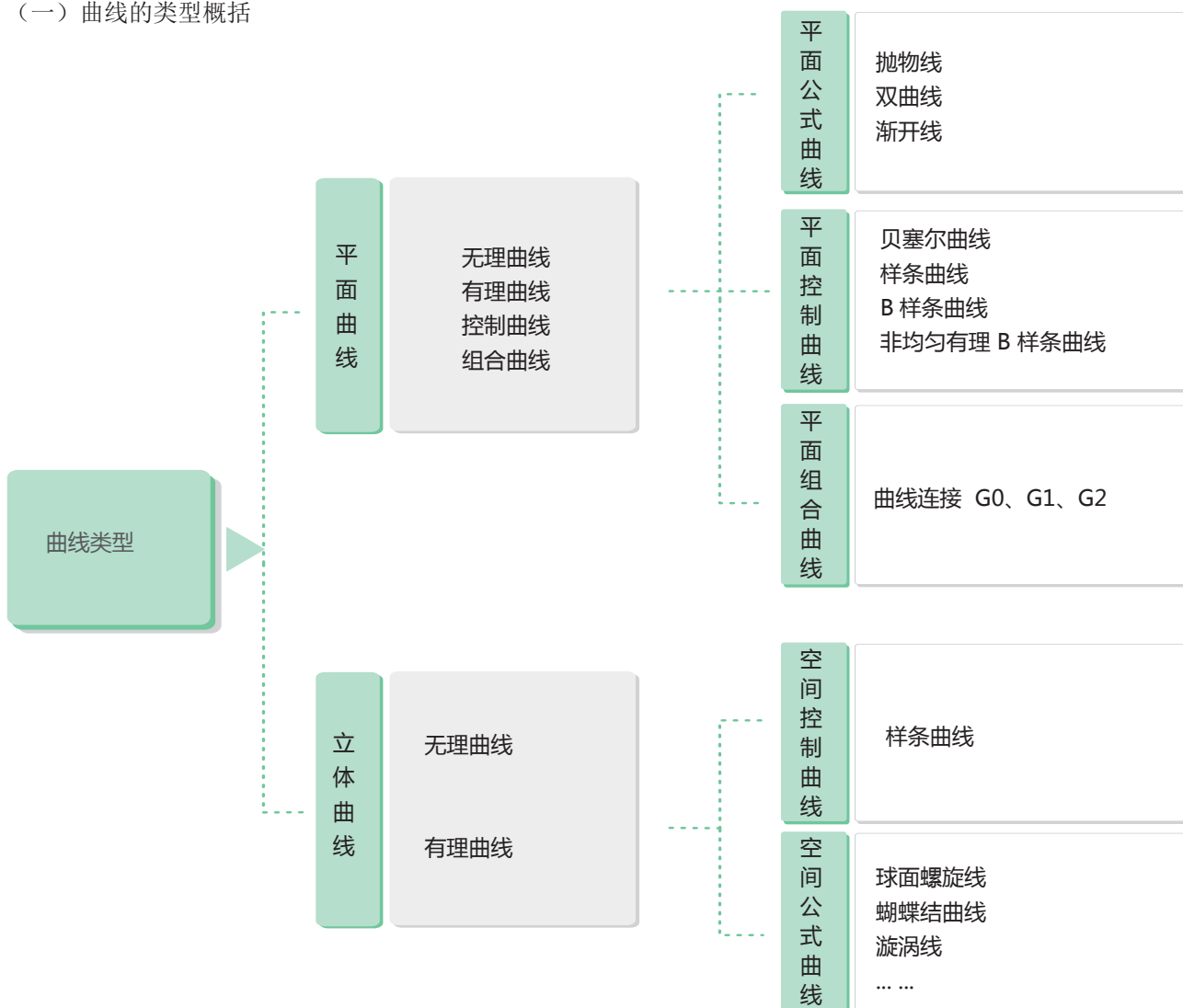


柱坐标系（圆柱坐标系）
柱坐标系中的三个坐标变量是r、φ、z。与直角坐标系相同，柱坐标系中也有一个z变量。

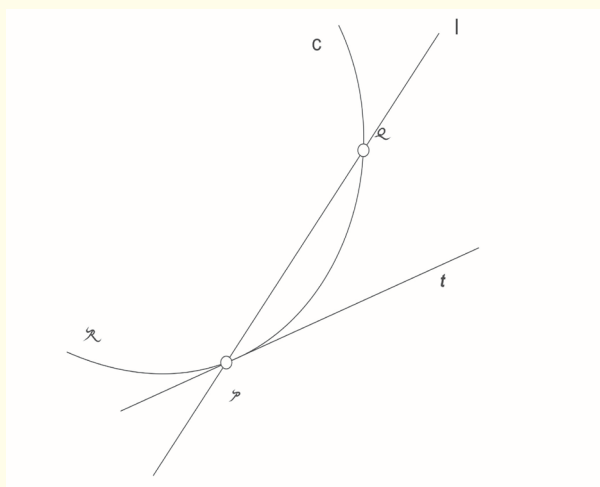


球坐标系
球坐标是一种三维坐标，分别由原点、方位角、仰角、距离构成。球坐标系在地理学、天文学中有着广泛应用。在测量实践中，球坐标中的θ角称为被测点P（r，θ，φ）的方位角，90° - θ成为高低角。

(一) 曲线的类型概括



知识扩展



在讲解曲线的时候需要了解几个定义：

曲线的切线、切点、法线、曲率。

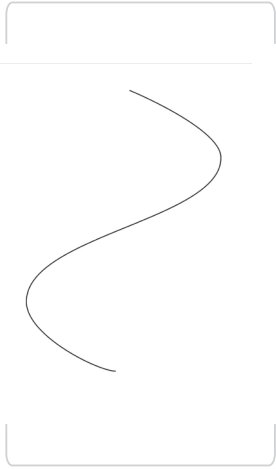
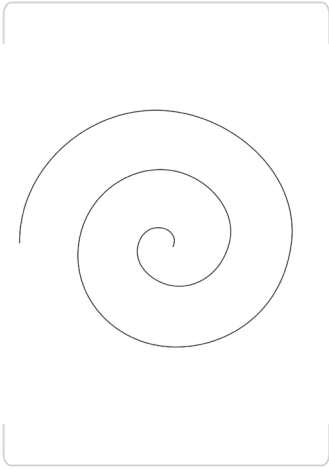
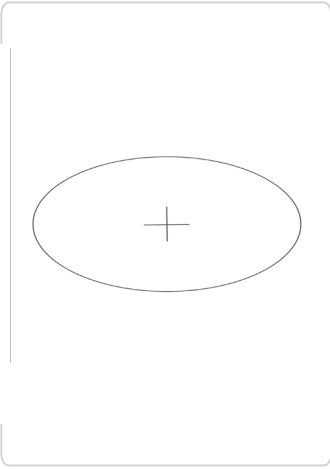
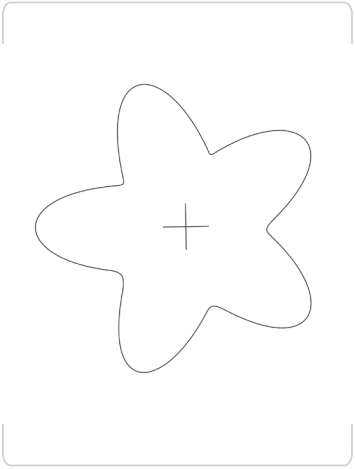
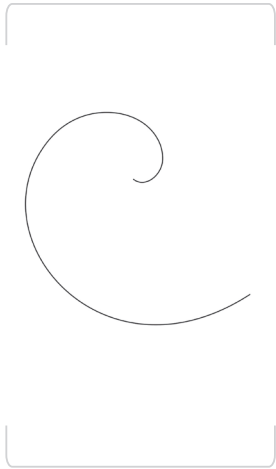
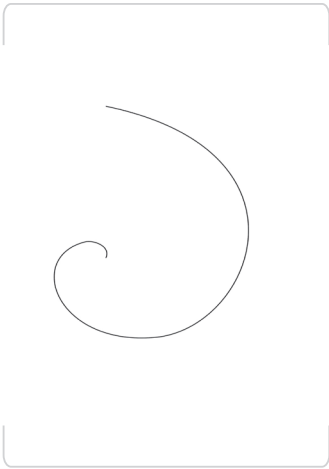
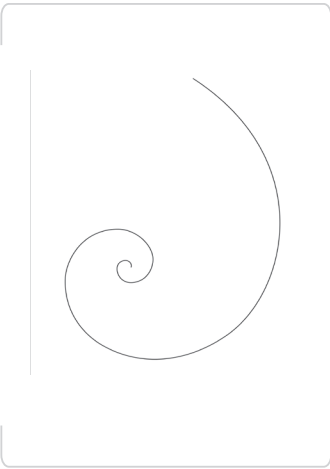
切线：切线是一条刚好触碰到曲线上某一点的直线。当切线经过曲线上的某点（即切点）时，切线的方向与曲线上该点的方向是相同的，此时，“切线在切点附近的部分”最接近“曲线在切点附近的部分”（无限逼近思想）。

切点：切点是切线与曲线的交点。

法线：法线是过曲线上一点而且和曲线在这一点切线垂直的直线，或过曲面上一点而且和曲面在这一点切平面垂直的直线。

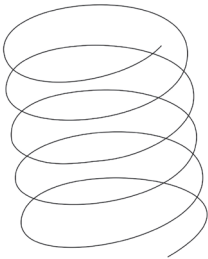
曲率：曲率是描述曲线弯曲程度的量。曲率愈大，表示曲线的弯曲程度愈大。

(二) 典型的公式定义曲线

正弦曲线	螺旋曲线	椭圆曲线	梅花曲线
笛卡尔坐标系 $x=50\cdot t$ $y=10\cdot\sin(t\cdot360)$ $z=0$	柱坐标 $x = 100\cdot t \cdot \cos [t \cdot (5\cdot180)]$ $y = 100\cdot t \cdot \sin [t \cdot (5\cdot180)]$ $z = 0$	笛卡尔坐标系 $a = 10$ $b = 20$ $\text{theta} = t\cdot360$ $x = a\cdot\cos(\text{theta})$ $y = b\cdot\sin(\text{theta})$	柱坐标 $\text{theta} = t\cdot360$ $r=10+(3\cdot\sin(\text{theta}\cdot2.5))^2$
			
渐开线	阿基米德螺线	对数螺线	双曲余弦
采用笛卡尔坐标系 $r=1, \text{ang}=360\cdot t$ $s=2\cdot\pi\cdot r\cdot t$ $x0=s\cdot\cos(\text{ang})$ $y0=s\cdot\sin(\text{ang})$ $x=x0+s\cdot\sin(\text{ang})$ $y=y0-s\cdot\cos(\text{ang})$ $z=0$	柱坐标 $a=100$ $\text{theta}=t\cdot400$ $r = a\cdot\text{theta}$	柱坐标 $\text{theta} = t\cdot360\cdot2.2$ $a = 0.005$ $r = \exp(a\cdot\text{theta})$	笛卡尔坐标系 $x = 6\cdot t-3$ $y = [\exp(x)+\exp(0-x)]/2$
			

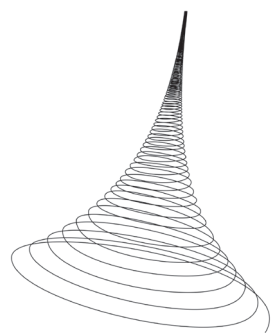
螺旋线

笛卡尔坐标
 $x = 4 \cdot \cos [t \cdot (5 \cdot 360)]$
 $y = 4 \cdot \sin [t \cdot (5 \cdot 360)]$
 $z = 10 \cdot t$



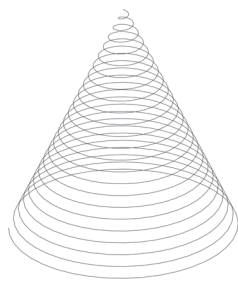
螺旋上升曲线

圆柱坐标方程
 $r = t^3 \cdot 10$
 $\theta = t^3 \cdot 360 \cdot 6 \cdot 3 + t^3 \cdot 360 \cdot 3 \cdot 3$
 $z = t^3 \cdot (t + 1)$



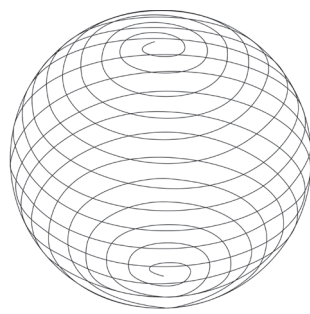
螺旋线

圆柱坐标
 $r = t$
 $\theta = 10 + t \cdot (20 \cdot 360)$
 $z = t \cdot 3$



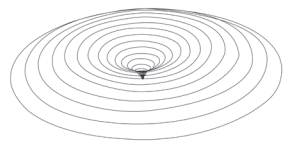
球面螺旋线

采用球坐标系方程
 $\rho = 4$
 $\theta = t \cdot 180$
 $\phi = t \cdot 360 \cdot 20$



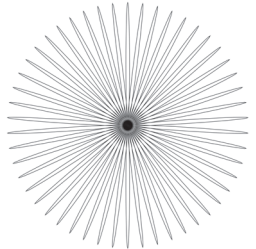
漩涡线

球坐标
 $\rho = t \cdot 20^2$
 $\theta = t \cdot \log(30) \cdot 60$
 $\phi = t \cdot 7200$



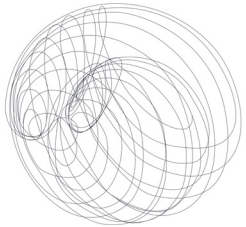
太阳线

球坐标系
 $r = 1.5 \cdot \cos(50 \cdot \theta) + 1$
 $\theta = t \cdot 360$
 $z = 0$



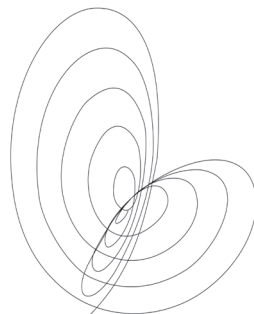
双鱼曲线

球坐标系
 $\rho = 30 + 10 \cdot \sin(t \cdot 360 \cdot 10)$
 $\theta = t \cdot 180 \cdot \cos(t \cdot 360 \cdot 10)$
 $\phi = t \cdot 360 \cdot 30$



蝴蝶结曲线

笛卡尔坐标系
 $x = 200 \cdot t \cdot \sin(t \cdot 3600)$
 $y = 250 \cdot t \cdot \cos(t \cdot 3600)$
 $z = 300 \cdot t \cdot \sin(t \cdot 1800)$



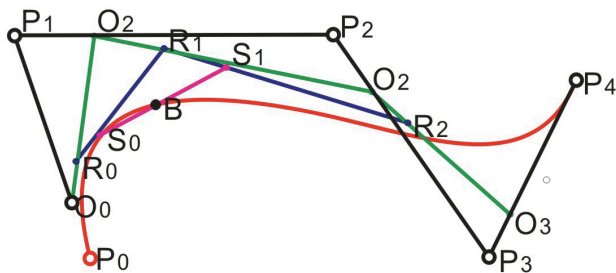
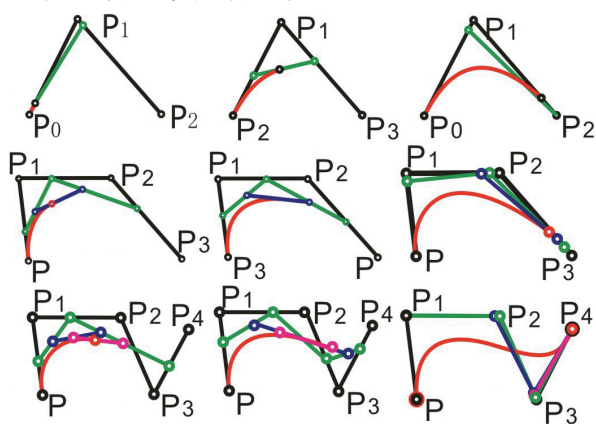
(三) 可编辑控制曲线

1. 贝塞尔曲线

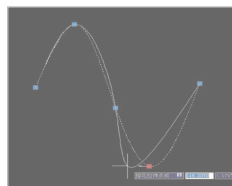
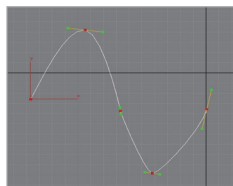
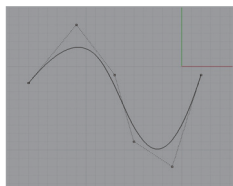
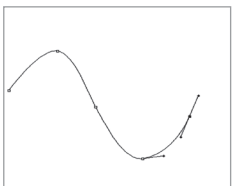
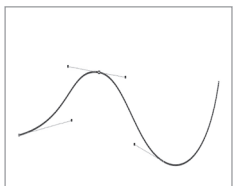
贝塞尔曲线是绘制图形运用得较多的基本线条之一。它通过控制曲线上的点（起始点、终止点以及相互分离的中间点）来创造、编辑曲线图形。其中起重要作用的是位于曲线中央的控制线。这条线是虚拟的，中间与贝塞尔曲线交叉，两端是控制端点。移动两端的端点时贝塞尔曲线改变曲线的曲率（弯曲的程度）；

移动中间点（也就是移动虚拟的控制线）时，贝塞尔曲线在起始点和终止点锁定的情况下做均匀移动。贝塞尔曲线上的所有控制点、节点均可编辑。 n 阶贝塞尔曲线共有 $n+1$ 个控点，第0个为起点，第 n 个为终点，有 $n-1$ 个中间点[1到 $(n-1)$]。通常使用的是三阶贝塞尔曲线，所以有4个控制点、2个中间点。

贝塞尔曲线的生成过程



贝塞尔曲线在软件中的应用：AutoCAD、CoreDraw、FreeHand、Photoshop、Illustrator、3Dsmx、Rhino



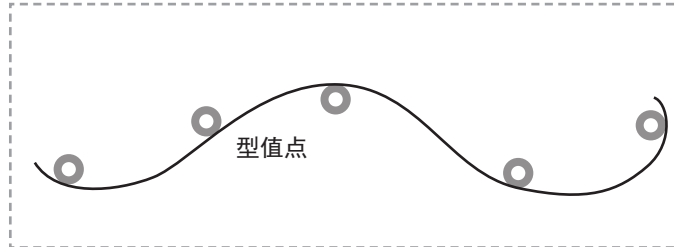
2. 样条曲线与B样条曲线

样条曲线是经过一系列给定点的光滑曲线。曲线的大致形状由这些点控制，一般可分为插值样条和逼近样条两种。插值样条通常用于数字化绘图或动画的设计，逼近样条一般用来构造物体的表面。早期样条曲线是借助于物理样条得到的，放样员把富有弹性的细木条等，用压铁固定在曲线应该通过给定的型值点处，样条做自

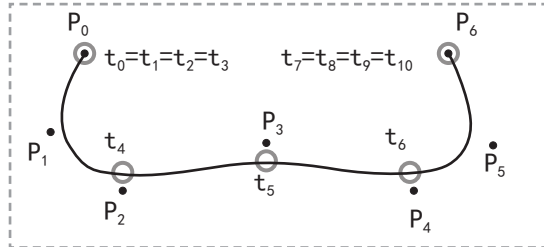
然弯曲所绘制出来的曲线就是样条曲线。样条曲线不仅通过各型值点，并且在各型值点处的一阶和二阶导数连续，该曲线具有连续的、曲率变化均匀的特点。

B样条曲线是样条曲线一种特殊的表示形式。B样条曲线是贝塞尔曲线的一种，是贝塞尔曲线的改进。对于B样条曲线的分类，其中一种方法是按节点在曲线定义域内是否均匀分布而划分为均匀与非均匀。

早期样条曲线



B样条曲线



3. 非均匀有理 B 样条曲线 (NURBS)

这是一种用途广泛的样条曲线，不仅用于描述自由曲线和曲面，还提供包括能精确表达圆锥曲线曲面在内的各种几何体的统一表达式。自 1983 年，SDRC 公司成功地将 NURBS 模型应用在它的实体造型软件中，NURBS 已经成为计算机辅助设计及计算机辅助制造的几何造型基础，得到了广泛应用。

NURBS 曲线有些关键要素：CV 点、编辑点、节点、曲线的阶数。

(1) CV 点：是 control point 和 contral vertex 的缩写，简称为控制点。这是数学化的概念，在实际的应用中，每个 CV 点的位置和排列的次序决定了该

条曲线的样态和特征。

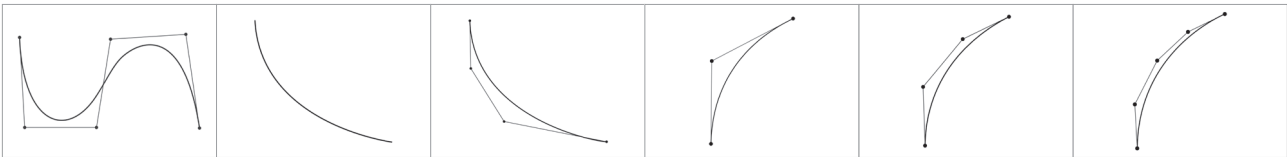
(2) 编辑点：一条曲线上最为直接的组成要素，直接存在于曲线上。改变编辑点就可以直接改变曲线。调整编辑点的时候对曲线的影响非常大，所以一般情况下都会调整 CV 点而不会调整编辑点。

(3) 节点：是调整曲线的重要组成要素，是曲线上曲率发生变化的位置。

(4) 曲线的阶数：根据数学方法计算一条曲线的时候通常会把 Degree 成为次方，也就是我们所说的阶数，也可以理解为曲线公式的复杂程度。

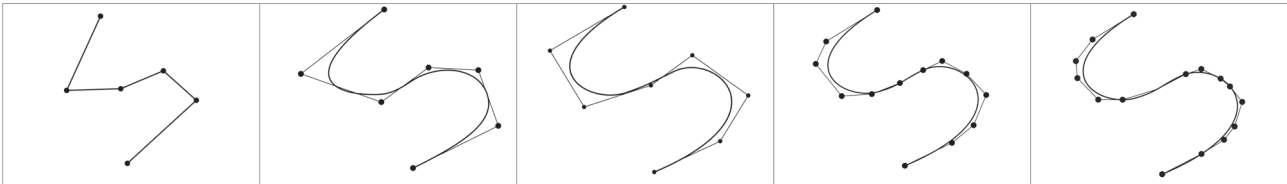
(5) 曲线的权值：曲线或曲面的权值是控制点对曲线或者曲面的牵引力。

CV 点



同一条曲线的 CV 点越多，曲线越精确，运算量也就越大。所以要合理地控制 CV 点的数量，既得到高质量的曲线又没有很大的运算量。

阶数



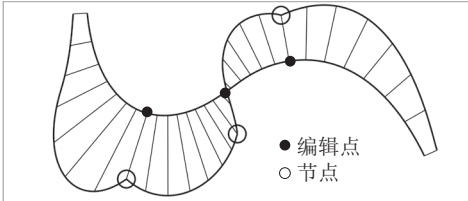
曲线的阶数越高，曲线越复杂，阶数越低，曲线就越简单。一般普通造型的时候，为达到合理与高效率的控制运算量，曲线的阶数大都控制在 3 以内。在改变曲线阶数的时候，增加曲线的阶数，曲线的形态不会发生改变，只会增加 CV 点的数量。相反的，减少曲线的阶数，则曲线的形态会发生改变，CV 点的数量会减少，曲线的质量降低。

权值



权值越高，曲线或曲面会越接近控制点。普通情况下，一条曲线在没有修改控制点权值的时候，其控制点的权值是相同的，当修改权值之后，其曲线的曲率也会发生改变（当需要把物体导出至其他程序时，一般会将权值设置为 1）

节点与编辑点

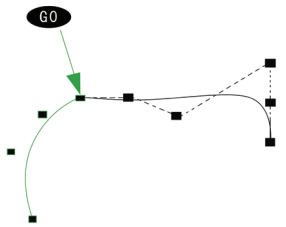
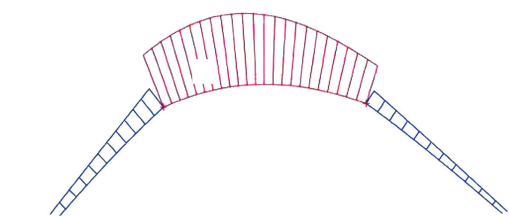
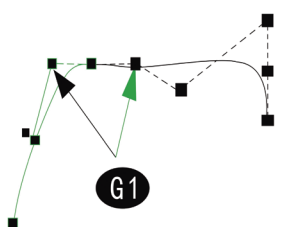
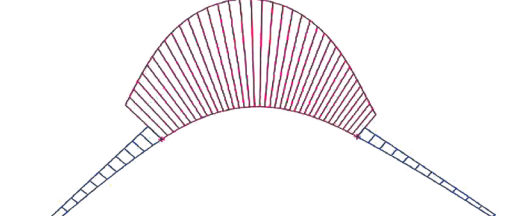
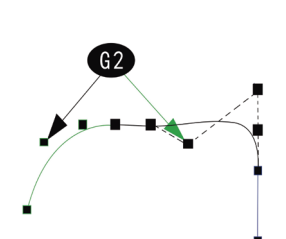
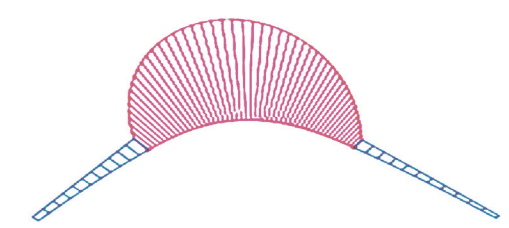
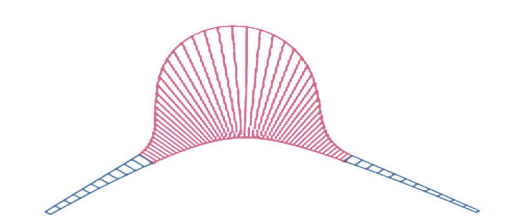


节点可以帮助判定曲线变化的程度和位置，节点就是曲率发生变化的分界点。

（四）曲线连续

用于描述两条曲线或曲面的连续关系的名词。一般的软件只支持 G2 以下的连续，高级一些的软件则可以支持到 G3 以上的连续。对于学生而言，G0、G1、G2 是需要掌握的，G3 以上只需要达到了解的程度就行。曲线和曲面的连接定义是有紧密关系的，所以下面图标也会将曲面连续的特点进行陈述。

连续类型	定 义	效果特点	应用范围	连接阶数
G0	两个对象连接或者两个对象的位置连续	保证曲线、曲面间没有距离（间隙），完全接触	普通边角与呈现造型产生锐利的边缘，应尽量避免	无微分连续
G1	相切连续，切线连续，产生完整曲面反射	反射线连续成扭曲状，这种连续是方向的连续，没有半径连续	制作简单，成功率高，适用于一般产品，G1 连续即可，常用于民用日常品	一阶微分连续 切线方向一致 长度不一致 3 阶曲线
G2	曲率连续 两个对象的曲率是连续的	将产生横过形状边界的完整和光滑的反射纹	视觉效果好，是曲面连续追求的目标，但是这种曲面不容易制作，用于高级曲面的高级产品	二阶微分连续 最少 3 阶曲线 6 个 CV 点 （软件要有阶数概念，否则做不出 G2 以上的曲面连续）
G3	曲率变化率连续	节点处曲率的变化率也是连续的，比 G2 更顺畅，曲率的变化可以用一个一次方程表现为一条直线	视觉效果和 G2 差别小，适合在汽车这种大面积曲面，需要完美反光效果而要求表面曲率变化非常平滑	三阶微分连续曲线 至少是 7 阶曲线 7 阶 8 个 CV 点
G4	曲 率 变 化 率 的 变 化 率 连续	曲率的变化率开始缓慢，然后加快，再慢慢结束，计算方法更加复杂	几乎不会用在小家电一类的产品设计中，通常用于追求完美反射效果的复杂曲面	曲线至少是 9 阶曲线 10 个 CV 点，如果软件中没有阶数观念，那么软件就不可能做到 G4 过渡的品质

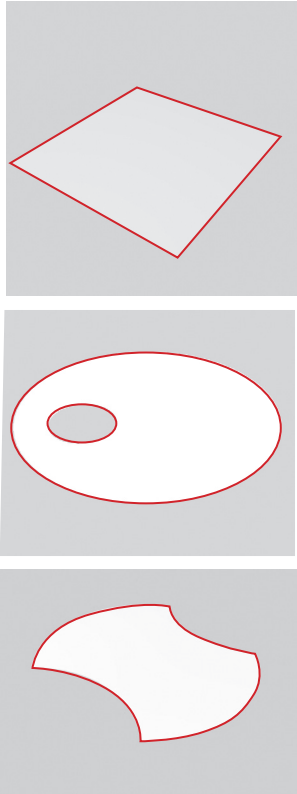
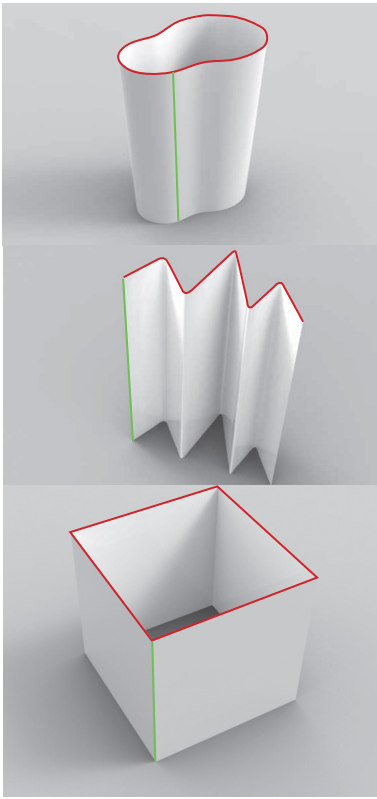
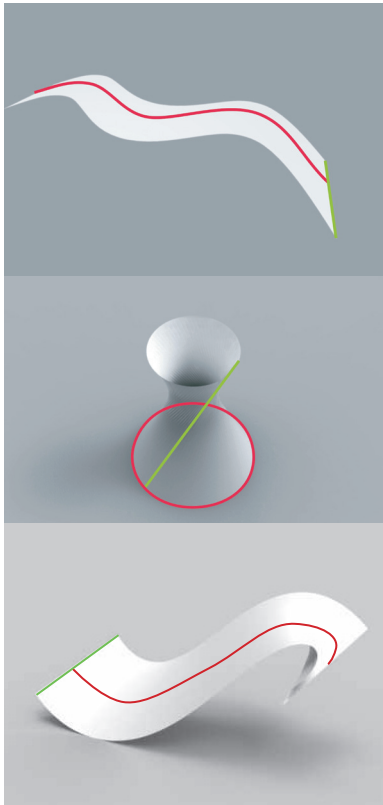
图 示	曲率表示
	
	
	
	

* 此表中同时解释曲线和曲面的连接关系

三、空间中的面

曲面，数字的定义是曲线在空间中运动的轨迹。
这里所指的面只有面积的属性，而没有体积的属性。
从空间的曲线生成曲面的过程是复杂的，大致可以分成三个类型：

- (一) 平面 (由处于同一平面的线围合形成的面)
- (二) 单曲面 (由空间中的直线和曲线交叉形成的面)
- (三) 双曲面 (由空间中曲线和曲线交叉形成的面)

(一) 平面	(二) 单曲面：由直线和曲线（包括开放线与闭合线）构成的面	
挤压面（线性拉伸面）	直纹面（斜纹面）	
同一平面内的直线或曲线构成的面。 1. 由多条直线构成 2. 由多条开放曲线构成 3. 由多条闭合曲线构成 4. 混合构成	曲线（开放曲线和闭合曲线）按照一个方向移动形成曲面（曲线与直线的方向是垂直方向）。曲线沿某一矢量方向拉伸一段距离而得到的曲面。这种曲面有两个特点：直线方向有平面特征，曲线方向有曲面特征。	指的是将一条直线沿曲线方向（非垂直方向）运动形成的曲面。在两曲线间，把参数值相同的点用直线段连接而成的曲面。
		

知识扩展

曲面派生曲面

等半径倒圆曲面：一定半径的圆弧段与两原始曲面相切，并沿着它们的交线方向运动而生成的圆弧型过渡面。

变半径倒圆曲面：半径值按一定的规律变化的圆弧段与两原始曲面相切，并沿交线方向运动而生成的圆弧型过渡面。

等厚度偏移曲面：与原始曲面偏移一均匀厚度值的曲面。

变厚度偏移曲面：在原始曲面的角点处，沿该点曲面法矢量方向偏移给定值而得到的曲面。

混合曲面（桥接曲面）：在两个（或多个）分离曲面的指定边界处，生成一个以指定边界为生成曲面的边界线，与所选周围原始曲面圆滑连接的中间曲面。

延伸曲面：在曲面的指定边界线处，按曲面的原有趋势（或某一给定的矢量方向）进行给定条件的曲面扩展而生成的曲面。

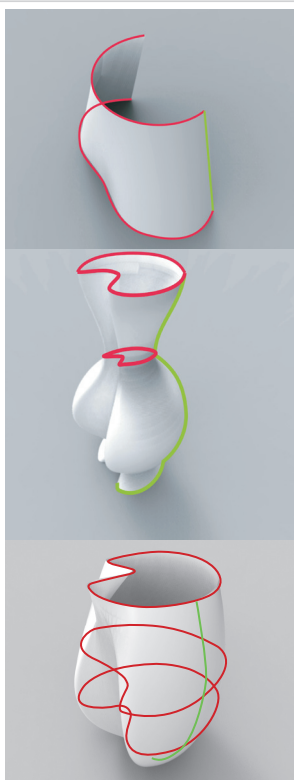
修剪曲面：把原始曲面的某一部分去掉而生成的曲面。

拓扑连接曲面：有公共边界线的两个曲面进行拓扑相加后的曲面。

（三）双曲面：由两条或两条以上曲线平行方向构成的曲面类型，不同曲线沿一个方向渐变移动行成的曲面

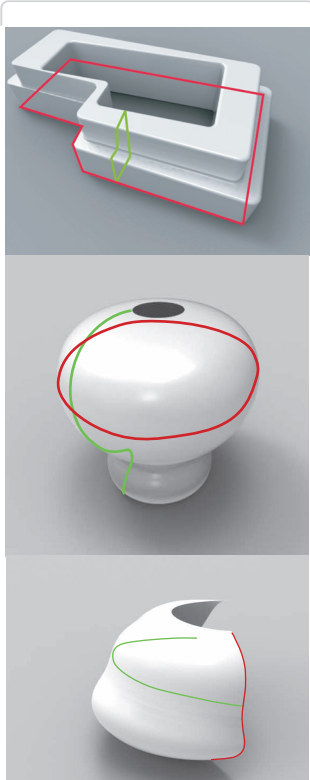
扫描面

截面发生曲线沿一条、二条或多条方向控制曲线运动、变化而生成的曲面。可根据各条发生曲线与脊骨曲线的运动关系，把扫描面分为平行扫描曲面、法向扫描曲面和放射状扫描曲面。



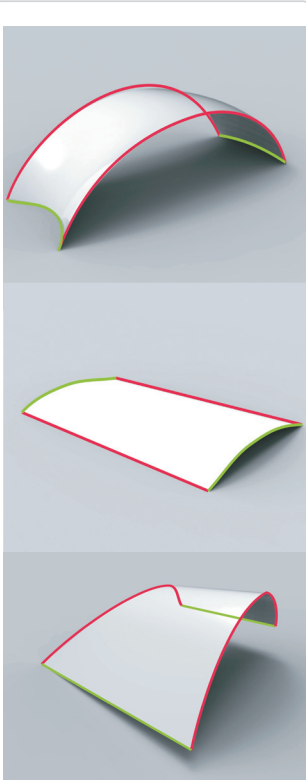
回旋面

平面曲线沿路径（包括折线）移动形成的曲面。轮廓曲线绕某一轴线旋转某一角度而生成的曲面。



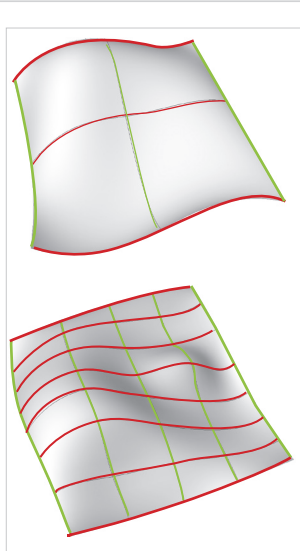
边界曲面

由边缘曲线渐变移动形成的曲面



网格曲面

由一组曲线构成的曲面。根据曲线的分布规律，网格曲面由一组横向曲线和另一组与之相交的纵向曲线构成



（四）曲面连接（曲线连接的表格中有关系比较见 P24、25）

曲面连接包括：G0- 位置连续、G1- 切线连续、G2- 曲率连续、G3- 曲率变化率连续、G4- 曲率变化率的变化率连续。

G0 连续。两个对象相连或两个对象的位置是连续的。在每个表面上产生一次反射，曲面间没有缝隙而是完全接触。

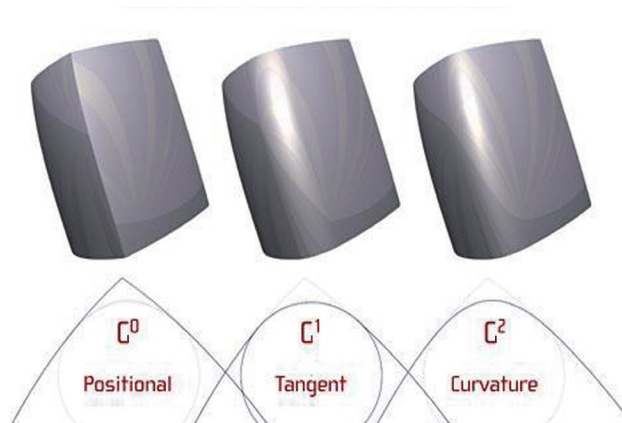
G1 连接。两个对象光顺连续，也称为切线连续。将产生一次完整的表面反射，反射线连续但呈扭曲状，这种连续仅是方向的连续而没有半径连续。

G2 两个对象光顺连续，也称为曲率连续。将产生横过边界的完整的和光滑的反射纹。曲率连续意味着在任何曲面上的任一“点”中沿着边界有相同的曲率半径。

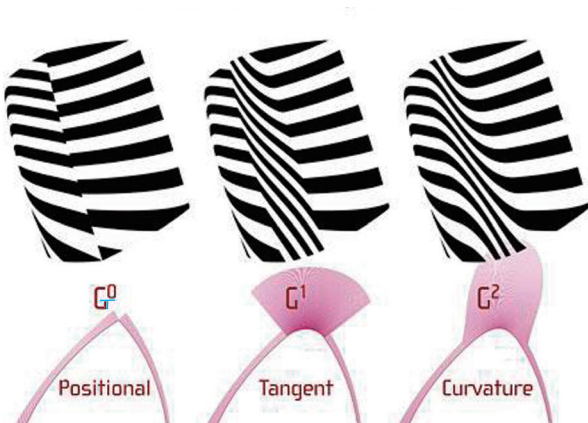
G3 曲率变化率连续。在接点处曲率的变化率也是连续的，这使得曲率的变化更加平滑。这种连续级别的表面有比 G2 更流畅的视觉效果。通常只用于汽车设计。

G4 曲率变化率的变化率连续“变化率的变化率”。它使曲率的变化率开始缓慢，然后加快，然后再慢慢地结束。这使得 G4 连续级别能够提供更加平滑的连续效果。只有要求极高的曲面才会用到。

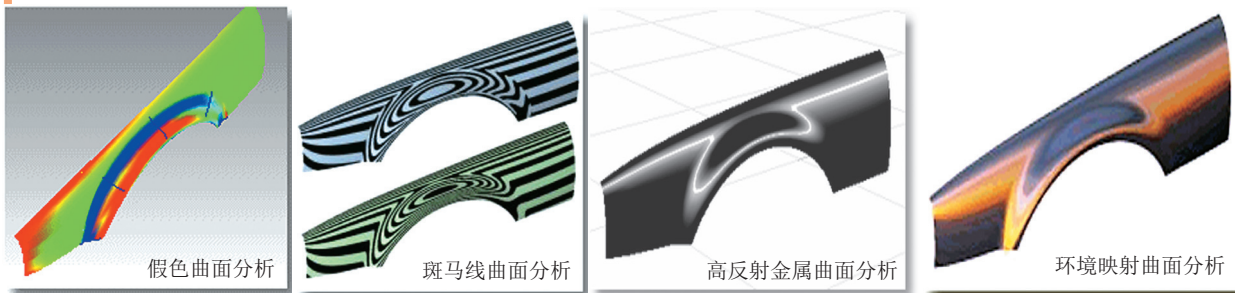
曲面连接光影效果



曲面连接条纹检测效果



曲面检测方式



（五）曲面的检查与评估

构造曲面后，需要进行曲面的检查，检查曲面是否光滑、扭曲，以及曲率变化情况等，以便及时修改。检查曲面光滑的方法可对曲面进行渲染处理，通过透视、透明度和多重光源等处理手段产生高清晰度的逼真性和观察性良好的彩色图像，再根据处理后的图像光亮度的分布规律来判断出曲面的光滑度。图像明暗度变化比较均匀，则曲面光滑性好，如果图像在某区域的明暗度与其他区域相比变化较大，则曲面光滑性差。另外，可显示曲面上的等高斯曲率线，进而显示高斯曲率的彩色光栅图像，从等高斯曲率线的形状与分布、彩色光栅图像的明暗区域及变化，直观地了解曲面的光滑性情况。

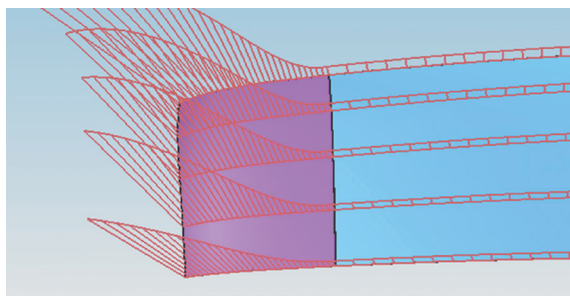
通过曲面动态截面线曲率梳分析对曲面进行检查；通过曲面的U、V截面方向曲率梳分析；通过曲

面平行坐标方向的截面曲率梳分析；放射状或垂直于一条曲线的截面曲率梳分析等。

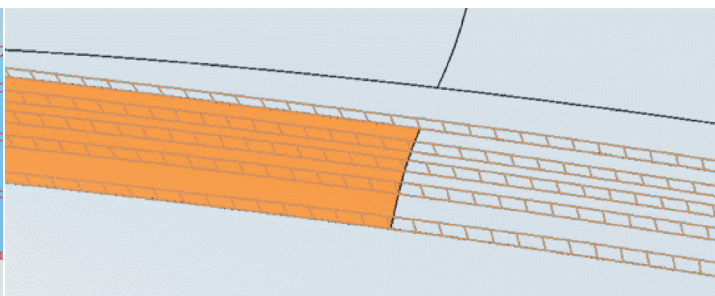
在不同特征的情况下运用不同的曲率梳分析方法能很好地判断曲面之间的连续性。以下是通过曲面动态截面线曲率梳分析的各种方法：

1. 通过曲面的U、V截面方向曲率梳分析，这种方法主要应用在几个曲面在一个方向上，并且在U、V方向上有一个方向对齐的情况下。
2. 通过曲面平行坐标方向的截面曲率梳分析，这种分析方法在车身曲面曲率梳分析中运用得最多，主要分析曲面在拼接处的连续性，如车身外表面曲面X、Y、Z三个方向的截面曲率梳分析等。
3. 放射状或垂直于一条曲线的截面曲率梳分析，在需要分析曲面其他指定方向截面曲率梳时，可以使用这种分析方法。

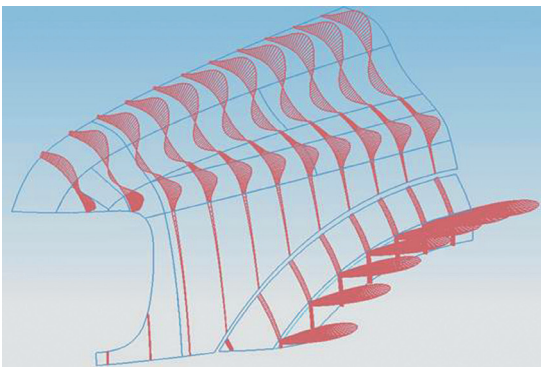
V 向截面曲率梳



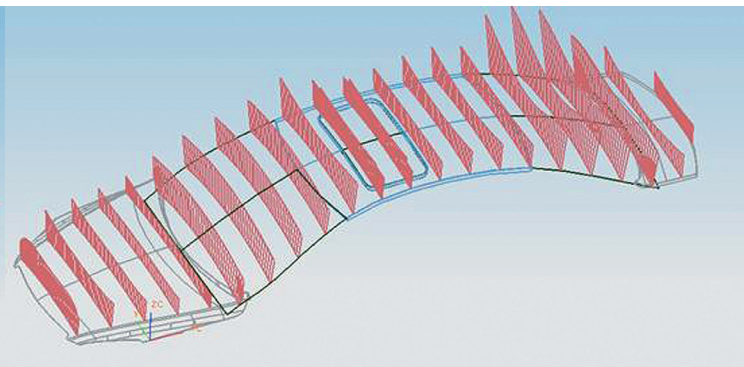
V 向截面曲率梳



U 向截面曲率梳



U 向截面曲率梳



四、空间中的体

空间中体的概念比较简单，就是占据空间的体积的物体。有两种情况：一种是实体；一种是表面体。在真实空间中指的是实体是内部匀质材质的物体，而表面体是指类似于外壳等的壳体。在虚拟空间中，实体指的是一般在工程软件中建立的实体模型例如 Pro/E 和 UG 等。表面体指的是在展示软件中由若干空间曲面组成的闭合的曲面体，例如 3Dsmax 和 Rhino。

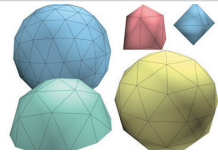
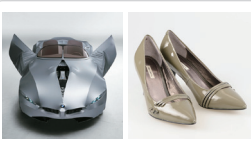
体的形成过程实际也就是造型形成的过程。这里

只是简单介绍一下体的种类，具体的形成过程将在造型的种类中进行详尽介绍。

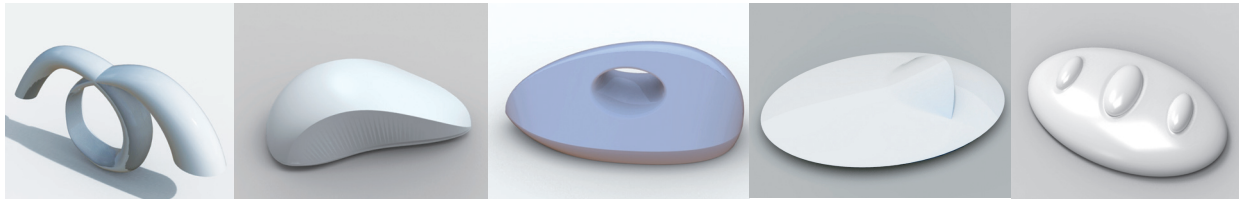
基本形成造型体：包括拉伸体、旋转体、扫描体、等厚体、缝合体、倒圆体、倒角体。

工艺特征形体：包括凸台、凹腔、孔、键槽、螺纹、筋等。

拓扑操作对体进行并、交、差布尔运算及用曲面片体修剪体而生成新的实体。

实体		表面体	
V3D	R3D	V3D	R3D
PRO/e, UG 等实体软件	实心物体、石块、木块	3Dsmax/RHINO 等软件	壳、外壳、皮球
			

不同的空间中的体



知识扩展

曲面造型技巧：曲面体的外观多由自由曲面组成，共同点是曲面光滑。从直观上是保证曲面光滑而且圆顺，不会引起视觉上的凸凹感，从理论上是指具有二阶几何连续、不存在奇点与多余拐点、曲率变化较小以及应变能较小等特点。要达到这些要求就必须掌握曲面的造型技巧。

1. 巧妙分析、灵活分割：不能用一张曲面去描述一个复杂的三维造型，这样的曲面会不光顺，产生大的变形。可根据应用软件曲面造型方法，将其划分为多个区域来构造几张曲面，然后将其缝合，或用过渡面将其连结。当今的三维 CAD 系统中的曲面几乎都是定义在四边形域上。因此，在划分区域时，应尽量将各个子域定义在四边形域内，即每个子面片都具有四条边。而在某一边退化为点时构成三角形域，这样构造的曲面也不会在该点处产生大的变形。
2. 建立光滑的曲面片控制线：曲面的品质与生成它的曲线即控制线有密切关系。因此，要保证光滑的曲面，必须有光滑的控制线。曲线的品质主要考虑以下几点：①满足精度要求、②曲率主方向尽可能一致、③曲线曲率要大于将做圆角过渡的半径值。

在建立曲线时，利用投影、插补、光顺等手段生成样条曲线，

然后通过其“曲率梳”的显示来调整曲线段函数次数、迭代次数、曲线段数量、起点及终点结束条件、样条刚度参数值等来交互式地实现曲线的修改达到其光滑的效果。有时通过线束或其他方式生成的曲面发生较大的波动，往往是因为构造样条曲线的 U、V 参数分布不均或段数参差不齐引起的。这时可通过将这些空间曲线进行参数一致性调整，或生成足够（视形状与精度而定）数目的曲线上的点，再通过这些点重新拟合曲线。在曲面片之间实现光滑连接时，首先要保证各连接面片间具有公共边，更重要一点是要保证各曲面片的控制线连接要光顺，这是保证面片连接光顺的必要条件。此时，可通过修改控制线的起点、终点约束条件，使其曲率或切矢在接点保证一致。

3. 将轮廓线删繁就简再构造曲面：我们看到的曲面轮廓往往是已经修剪过的，如果直接利用这些轮廓线来构造曲面，常常难以保证曲面的光顺性，所以造型时在满足零件的几何特点前提下，可利用延伸、投影等方法将 3D 轮廓线还原为 2D 轮廓线，并去掉细节部分，然后构造出“原始”曲面，再利用面的修剪方法获得曲面外轮廓。

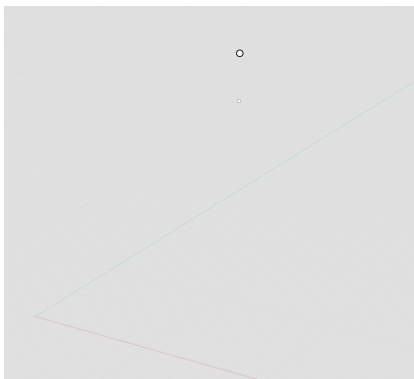
第二节

纸上谈兵——三维形态造型成型种类

一、基础形态造型

基础形态造型是指造型由基础形态造型构成。主要指空间中的点、直线和由直线构成的面和体，点、空间中的点连线、三点构成的平面，基础造型（如方体、圆球体、圆柱体、圆锥体等）以及扩展变形物体。

空间中的点



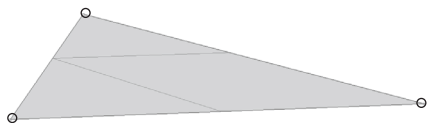
空间中的多个点



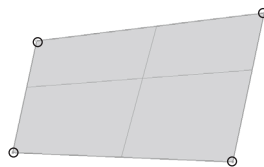
空间中多个点的连线



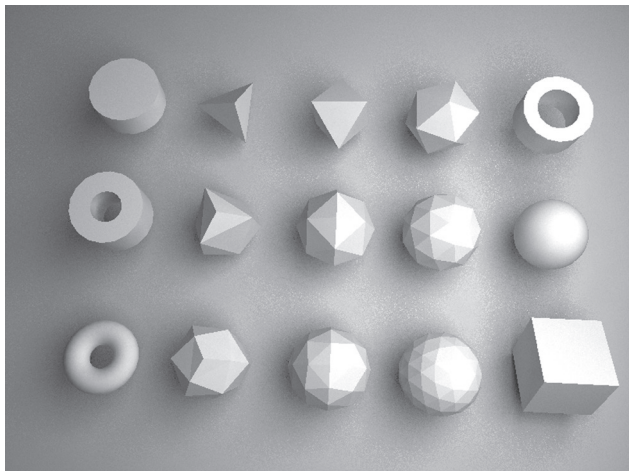
空间中三点连成的面



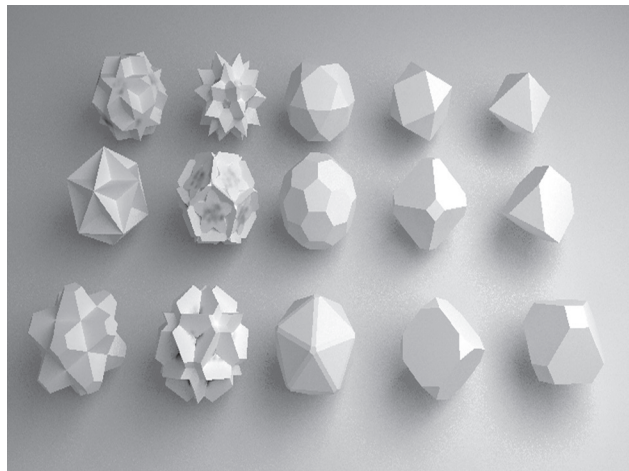
空间中四点连成的面



平面体（四面体、五面体……）



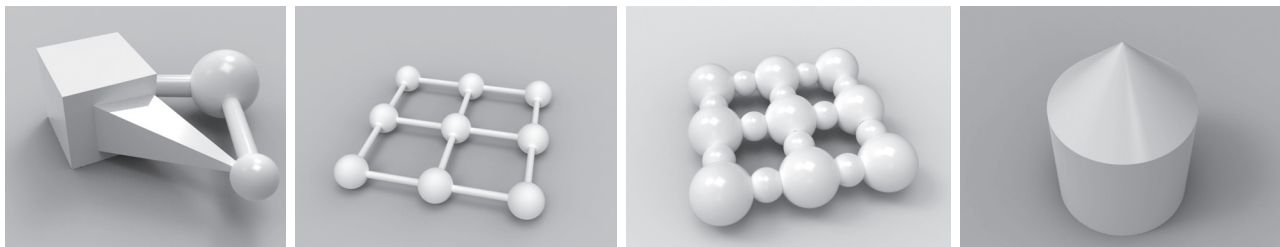
多面体变形，原有形体的基础上进行简单变形



二、简单形态造型

简单造型是指造型为基础造型元素的位置组合与研究。通常指位置的组合和造型的简单叠加。

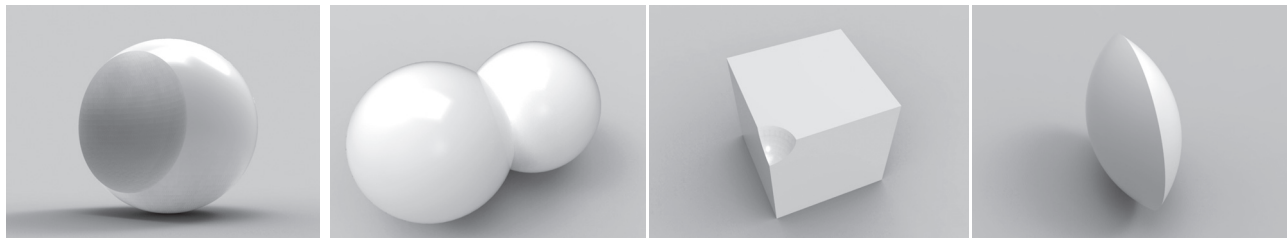
空间中的面（体）的直接连接



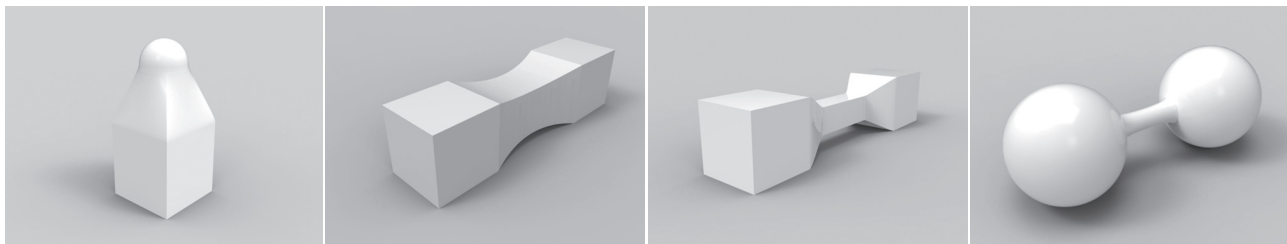
三、复杂形态造型

复杂造型是指三维造型中曲面体的相加、相减、相交成型、曲面体间的简单过渡连接。

空间中多面体的相加相减与相交。



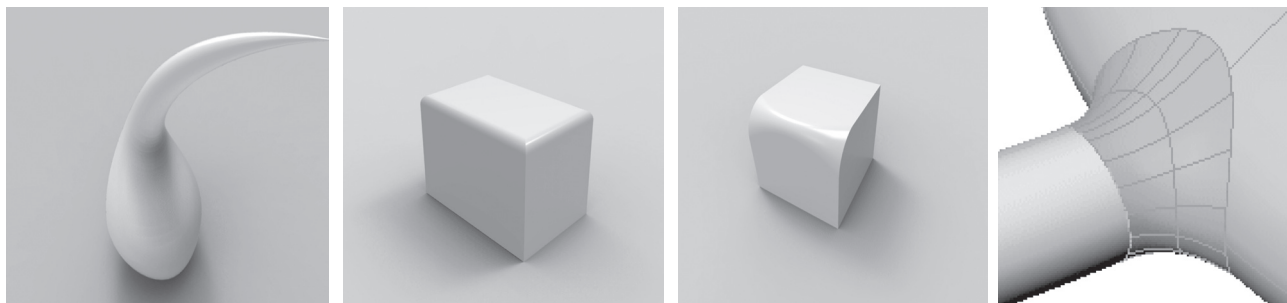
空间中面与面（体）和过渡连接



四、高级形态造型

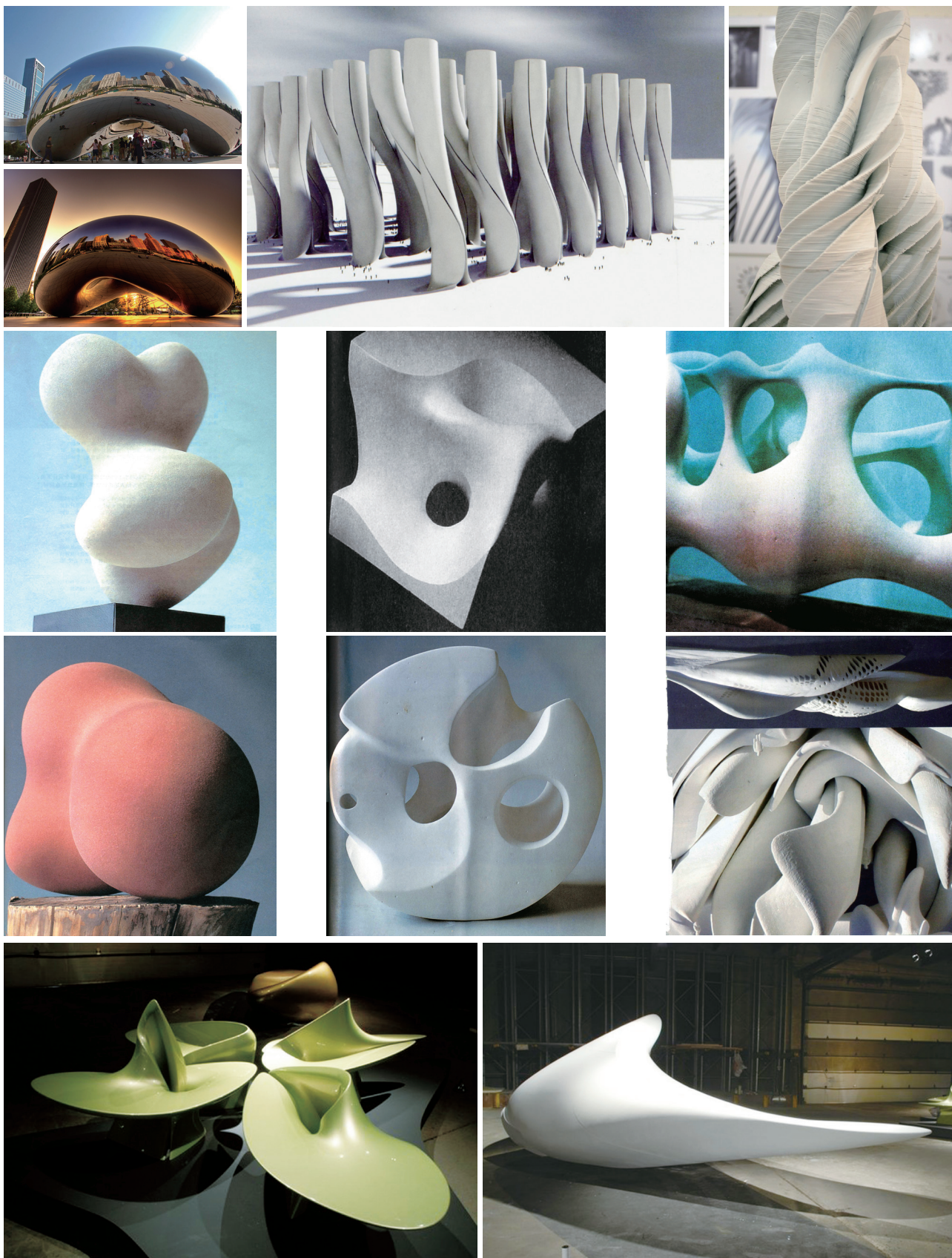
高级造型指的是经过多次变化已经模糊基本造型的立体造型。对于复杂形态造型，指的是可以明显看出曲面的组成关系，但是到了这个阶段，就不是那么轻易地看出曲面产生的步骤。因为造型表面已经没有明显的基础造型特征。经过了这个阶段，可以称之为高级形态造型。造型多为双曲面体。

空间中面和面（体）的过渡连接（面和面之间或物体之间有空隙搭接两物体）



案例欣赏

空间中的面、体做拉伸、旋转、扭曲产生的派生造型



五、模糊形态造型

模糊形态指的是各种形态的综合、组织，及表面造型的肌理处理，造型建立后的表面肌理处理，造型建立后的整体处理及调节而形成的复杂的琐碎的造型集合体。



第三节

形态历程——三维形态造型成型过程

传统整体造型形成的过程一般可以分为两种情况：演化成型与推导成型。

一、演化成型

常见的创建造型过程。是造型从整体到细节、粗略到细致、模糊造型到明确造型的形成过程。在 R3D 中，一般会用于模糊建立的方法，例如使用油泥建立造型、雕塑塑造也大多是先塑型，再逐渐刻画细部，形成最终造型。在 V3D 中，3dsmax 的多边形建模是典型的演化成型的方式，先通过基础造型的组合和编辑建立造型原型，再进行多边形编辑（包括点、边界、多边形等）与修改（包括挤压、拉伸、导边、桥接等命令），最后经过圆滑处理命令，形成最终造型的过程。

演化成型的一般步骤是：

- （1）确定构成造型的基本元素。
- （2）确定基本元素间的空间关系。
- （3）建立基本造型原型，将基本元素进行空间塑造（包括相交、连接、贯穿与挤压、拉伸、导边、桥接等手法）。
- （4）对造型原型进行修改，将造型中局部不完美，或有缺陷的地方进行重建。
- （5）利用曲面间的匹配、过渡、融合等手法，对造型进行细微调整，以确定相关细节。
- （6）对造型进行后期整理与调整后，得到最终造型。

二、推导成型

在设计三维造型的时候，会经常出现一种情况：设计的最终造型是具有特征的造型，这种关键造型要素本身就是需要最终实现的结果，在正常推导顺序的时候，通常需要经过繁杂的实验和调整才可以得到的关键造型。例如将两个不同造型进行相互交叠组合，会得到一条相贯线，位置不同会引起结果的不同。想要得到设计好的曲线就只能碰运气，期待得到好的结果。在这种情况下就可以使用推导成型的方法，以该条关键线为造型要素，将整体造型推导出来，是非常有效的建立造型的方法。在 R3D 中通常会使用关

键线和切片建立造型的方法。例如扎制彩灯的过程（做出支撑龙骨框架，再蒙皮的过程）等。在 V3D 里面曲面软件通常使用这种建立过程，是在虚拟空间中先建立关键曲线，再将关键线形成曲面，再将曲面组合，最后形成整体造型。是常见的造型过程。由局部到整体的成型过程。从已知的局部造型特征与结果逐渐推导出整体造型。逆向地将次要造型元素与关键造型元素相匹配，通过类似步骤最终得到整体的造型，或者由特定曲线或特定曲面展开，再反求出其他相关造型要素的过程。

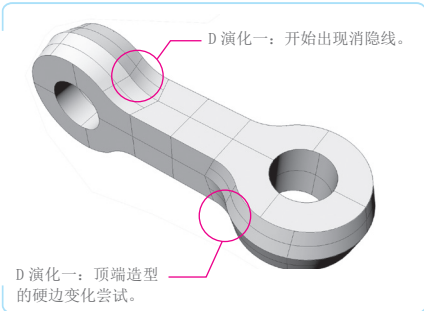
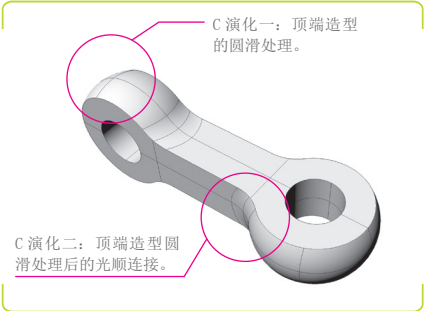
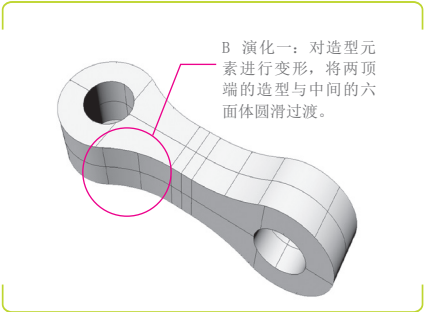
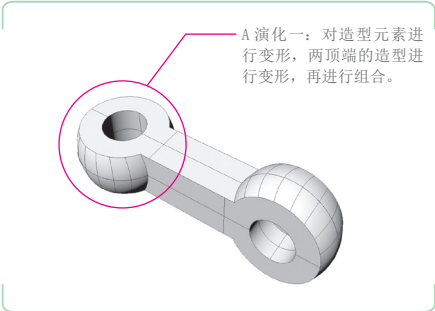
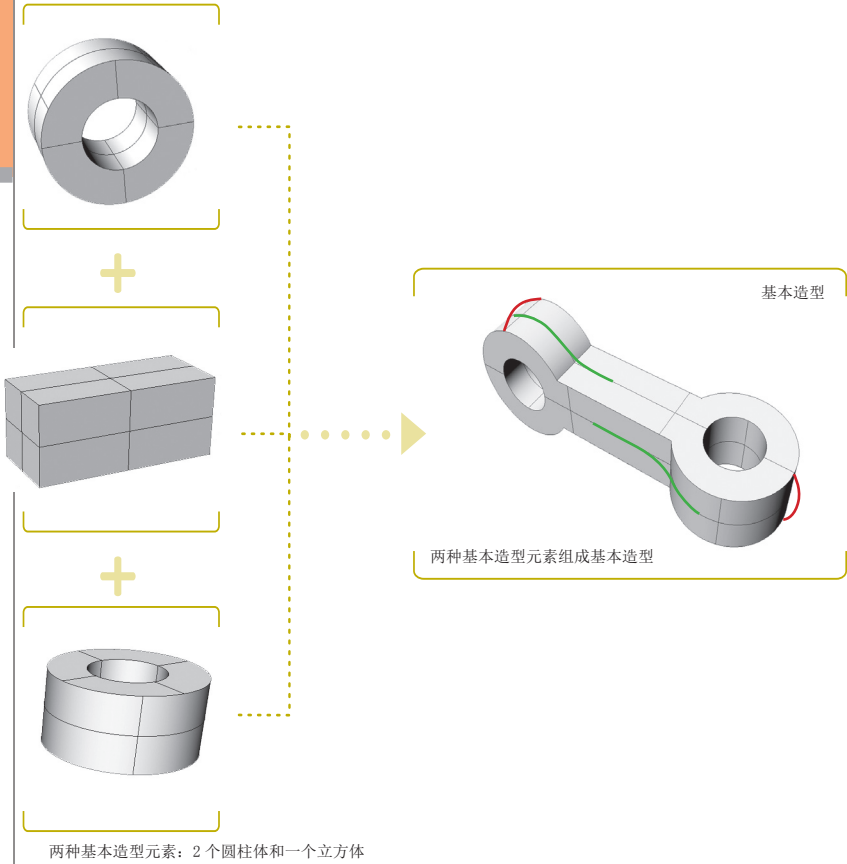
推导成型的一般步骤：

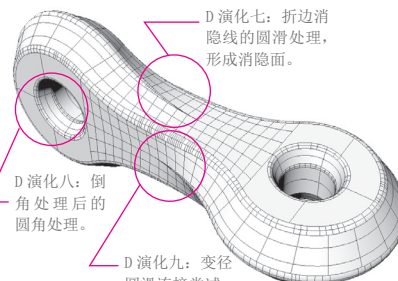
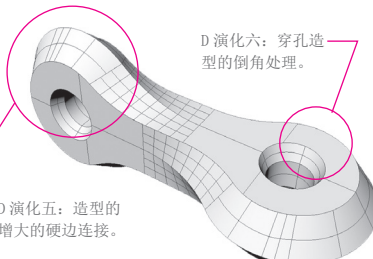
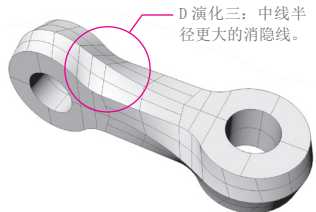
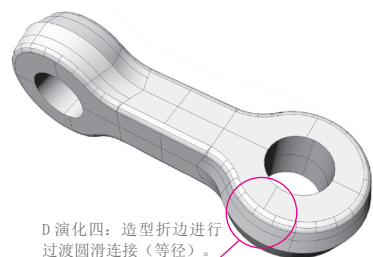
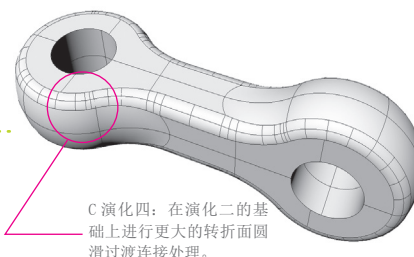
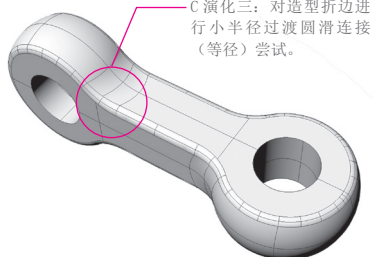
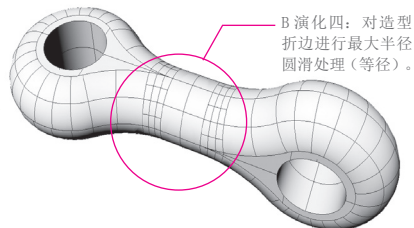
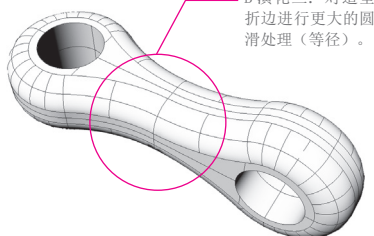
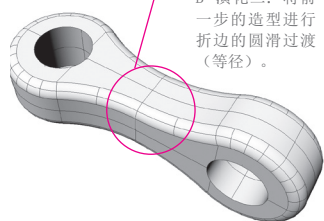
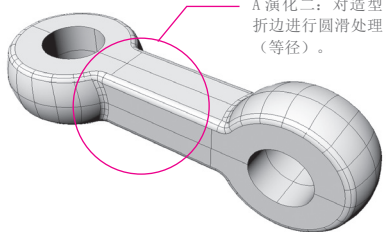
- （1）分析最终造型的特征造型因素。
- （2）在空间中进行关键造型因素的制作。
- （3）利用关键造型元素形成的边界或者关键线作为次要造型的造型要素，再逐次推导出次要造型的其他造型元素，进行局部造型的建立。
- （4）若造型复杂则多次重复步骤 3，直至造型完成。
- （5）检查造型，细节曲面进行重建，调整，直至完成最终造型。

对于曲面体而言，推导成型的步骤是：

- （1）先将整个曲面体以曲面特征为分割前提，划分为若干区域。
- （2）将分割后的曲面的形成要素——曲线，进行分析找出关键曲线。
- （3）制作出关键曲线。
- （4）以关键线形成曲面。
- （5）将这些曲面组合成为一个整体。
- （6）对局部曲面间连接不完美处进行调整与重建。
- （7）最终得到目标曲面体。

演化成型过程演示
由基本造型元素组合再进行细部处理，得到高级造型的过程。



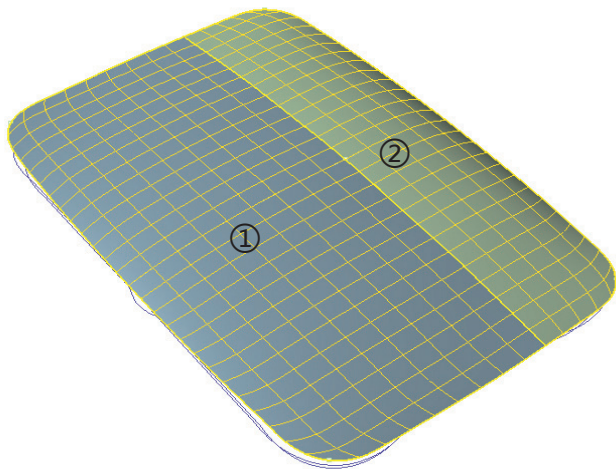
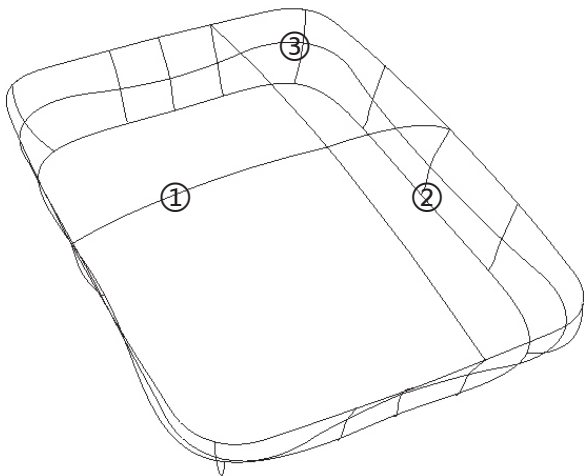


推导成型过程演示



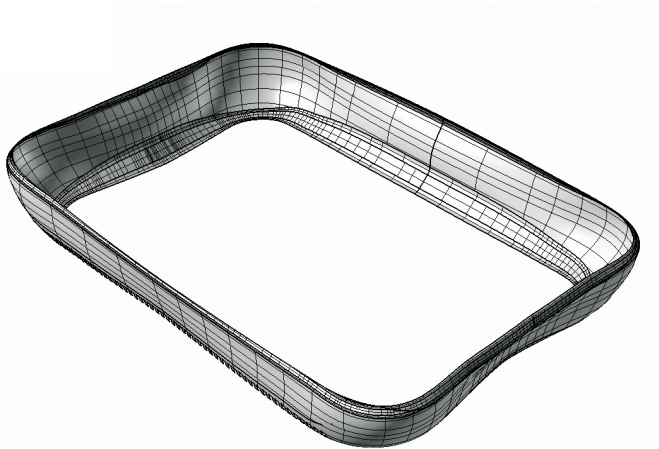
(1) 这是最终的造型形态，是由 3 个曲面①②③构成的立体造型的上部，在推导成型过程中需要了解最终的曲线造型的造型要素和成型的条件以便进行下一步工作的准备。将整体造型分割为多个曲面。

(2) 分析最终造型的特征造型因素。在造型上进行关键要素的确定，并且确定关键造型要素(曲面①②③)的位置和形状，并且根据分析的结果进行确定曲面的要素(关键曲线)的制作，形成线框文件，为下一步制作曲面做准备。



(3) 利用上一步骤的结果，使用曲线制作曲面，形成曲面①与曲面②，并且能够得到后续的曲面的成型因素(曲面的边缘会成为相邻曲面的成型要素)，接下来去顶相邻曲面的成型要素，为下一步的制作做准备。

(4) 利用上一步骤的结构进行后续的曲面的制作，完成曲面③的制作，再以曲面的边缘为关键线制作底部曲面，直至整个造型的整体模型完成。这也是利用关键造型元素形成的边界或者关键线作为次要造型的造型要素，再逐次制作推导出次造型的其他造型元素进行局部造型建立的方法。





（5）在整体造型完成后再进行相关的曲面的分割和重组，直至完成最终的造型细节，为下一步的表现打下基础。同时检查造型细节曲面，进行重建，调整，直至完成最终造型。

案例欣赏

该案例的最终造型及形象欣赏



IPTV
SET-TOP BOX
IPTV数字机顶盒外观设计

IPTV
SET-TOP BOX
IPTV数字机顶盒外观设计



思考与训练

思考题：

1. 三维造型的成型过程是什么样的？
2. 如何创造美观、丰富的三维造型？
3. 在制作三维造型的时候如何决定制作过程？