

文章编号 :1009 - 038X(2001)03 - 0311 - 04

玻璃瓶样造型设计与实现

卢立新¹, 蔡莹¹, 孙芳慧²

(1. 无锡轻工大学机械工程学院, 江苏无锡 214036; 2. 无锡市科技咨询服务中心, 江苏无锡 214001)

摘要:建立了玻璃瓶样设计的造型模型, 利用参数化圆弧光滑连接曲线和 Bezier 曲线构造瓶体外轮廓. 采用体积控制设计方法, 较好地满足了旋转类瓶体的造型、设计要求.

关键词:造型设计 玻璃瓶样 ;CAD ;包装容器

中图分类号: TB472

文献标识码: A

The Modeling Design and Realization of Glass Bottle

LU Li-xin¹, CAI Ying¹, SUN Fang-hui²

(1. School of Mechanical Engineering, Wuxi University of Light Industry, Wuxi 214036, China; 2. Wuxi Science and Technology Consulting Service Centre, Wuxi 214001, China)

Abstract: The modeling model for glass bottle was proposed. The parametric smooth curve of circle arc and Bezier curve were utilited to form the bottle contour. The volume of bottle was controlled through adjusting the parameters of the contour curve and structure.

Key words: modeling design ; glass bottle ; computer-aided design ; packaging container

玻璃容器因其具有气密性好、化学稳定性高、光洁卫生、外形美观、价格低廉、可回收利用等特点, 已广泛应用于化妆品、食品、药品、饮料、化学产品等的包装.

目前, 我国的玻璃瓶样以传统的经验设计为主, 瓶体外轮廓的设计仍是按照徒手勾画, 多段圆弧逼近的过程进行, 设计中结构描述不准确, 造型变化少, 精度低; 当容器形状较为复杂, 特别是新型、异型容器的设计需经过反复的设计修改, 设计周期长, 劳动强度大, 很难适应由于市场激烈竞争而要求不断开发新产品的需求, 须采用计算机辅助设计这一有效的方法才能加以解决. 为此, 作者选择玻璃容器中应用最为广泛的旋转类玻璃瓶为研究对象, 研制开发了玻璃瓶样 CAD 系统.

作者介绍了玻璃瓶样 CAD 系统研制开发中所采用的造型设计方法.

1 造型模型的建立

玻璃瓶样的设计, 关键是其外轮廓的设计. 系统采用两种造型模型构造瓶体外轮廓.

1.1 参数化圆弧光滑连接曲线

过瓶体轴心线作瓶体主剖切面, 选取其中上、下两截面间外轮廓曲线 lmn 为研究对象. 如图 1 所示, 曲线 lmn 由二段圆弧 lm 、 mn 光滑连接而成. 设两截面的距离为 h , 瓶体上截面间处的直径为 D_1 , 下截面处的直径为 D_2 , 则有:

收稿日期 2000 - 12 - 28 修订日期 2001 - 04 - 30.

作者简介: 卢立新(1966 -), 男, 江苏宜兴人, 工学硕士, 副教授.

万方数据

$$\alpha = \pi - 2 \tan^{-1} \left(\frac{2h}{D_2 - D_1} \right)$$
$$R_2 = \frac{h}{\sin \alpha} - R_1$$

改变参数 $\mu = R_1/R_2$, 可构造不同形状的外轮廓.

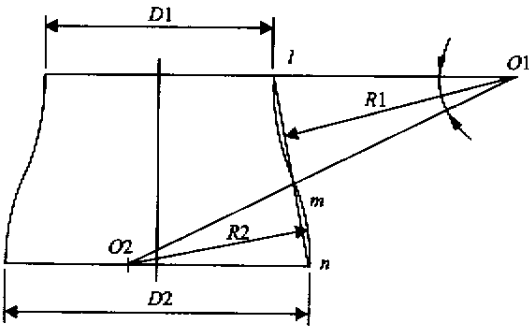


图 1 圆弧光滑连接曲线尺寸关系

Fig.1 Geometry of arc connecting curve

1.2 Bezier 曲线

利用 Bezier 曲线进行造型设计, 具有构图直观, 使用方便以及凸包性等优点, 其曲线形状是通过一组多边形折线 (称为控制多边形) 的各顶点而唯一的定义出来的. n 次 Bezier 曲线通常由 $n + 1$ 个顶点来定义, 其参数向量表达式为:

$$P(t) = \sum_{i=0}^n P_i B_{i,n}(t) \quad (0 \leq t \leq 1)$$

式中, $P_i (i = 0, 1, \dots, n)$ 是控制多边形各顶点的位置向量;

$B_{i,n}(t)$ 是基函数, 且有

$$B_{i,n}(t) = \frac{n!}{i!(n-i)!} t^i (1-t)^{n-i}$$

通过调整控制多边形顶点, 可构造不同形状的外轮廓.

2 造型设计原理方法

玻璃瓶设计中, 由于瓶口几何尺寸已标准化, 一般可直接选用标准结构和尺寸. 故下面将着重讨论瓶体过渡段、瓶身、瓶底的外轮廓造型设计.

2.1 瓶体过渡段

设计中瓶体过渡段表面应保证瓶口到瓶身的光滑过渡, 系统按两种瓶型分别采用不同的造型方法.

(1) 普通瓶型瓶体过渡段, 采用参数化圆弧光滑连接曲线构造其外轮廓. 根据设计输入的基本参数, 系统获得瓶口与瓶体过渡段联结处直径 D_{j1} 、瓶体过渡段与瓶身联结处直径 D_{j2} 、瓶体过渡段高度 h_j . 同时根据设计人员选择的瓶体过渡段结构形式,

得出圆弧连接曲线造型段高度 h_{j2} , 利用参数化圆弧光滑连接曲线模型可构造出瓶体过渡段表面. 如图 2 所示,

$$\alpha = \pi - 2 \tan^{-1} \left(\frac{2h_{j2}}{D_{j2} - D_{j1}} \right)$$
$$R_2 = \frac{h_{j2}}{\sin \alpha} - R_1$$

当设计人员选择设计结构形式为整段圆弧表面时, $h_{j2} = h_j$

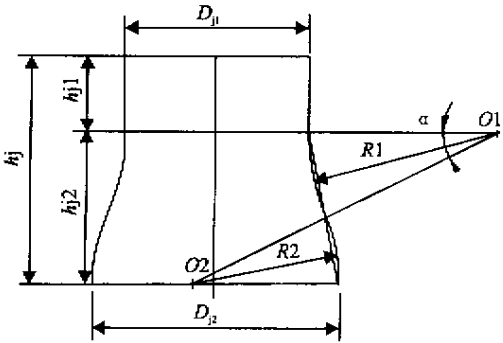


图 2 普通瓶型瓶体过渡段

Fig.2 Bottle neck with ordinary shape

(2) 异型瓶型瓶体过渡段, 采用 Bezier 曲线构造其外轮廓. 此时由设计人员人机交互先绘制曲线控制多边形, 系统自动获取图形信息, 结合设计参数 D_{j1} 、 D_{j2} 、 h_{j2} , 构造 Bezier 瓶体过渡段外轮廓.

考虑到设计人员绘制控制多边形只是大致确定轮廓外形, 且瓶体过渡段表面与瓶口、瓶身须光滑连接, 因而构造 Bezier 曲线前应对控制多边形节点进行预处理.

同时对于 Bezier 曲线, 当 n 较大时, 多边形对曲线控制能力减弱, 造成实际直观性差, 故本系统选用 2 次、3 次 Bezier 曲线构造异型瓶型瓶体过渡段外轮廓.

根据控制多边形结点数 N , 分为:

- a. 当 $N = 3$ 时, 采用一条 2 次 Bezier 曲线构造其外轮廓;
- b. 当 $N = 4$ 时, 采用一条 3 次 Bezier 曲线构造其外轮廓;
- c. 当 $N \geq 5$ 时, 采用 2 条或 2 条以上 2 次、3 次 Bezier 曲线合成构造其外轮廓, 此时须保证相邻两条曲线光滑连接. 由 Bezier 曲线的性质可知, 曲线 $P_n(P_0, P_1, \dots, P_n; t)$ 与曲线 $P_m(P_n, P_{n+1}, \dots, P_{n+m}; s)$ 在 b_n 处几何 c_1 连续的条件是 b_{n-1} 、 b_n 、 b_{n+1} 共线. 为此, 系统在相邻两条曲线的相关节点 P_i 、 P_{i+1} 之间增设一节点 $P_{i,i+1}$, 使

$$P_{i,i+1} = (1-a)P_i + aP_{i+1}, \quad 0 < a < 1$$

构造时以 $P_{i,i+1}$ 分别作为前一曲线的终点和后一曲线的始点即可保证两曲线光滑连接。

下面以 $N = 5$ 为例简要说明,如图 3 所示,控制多边形 $P_0P_1P_2P_3P_4$,在节点 $P_1、P_2$ 间增设节点 $P_{1,2}$,且有

$$P_{1,2} = (1-a)P_1 + aP_2 \quad 0 < a < 1$$

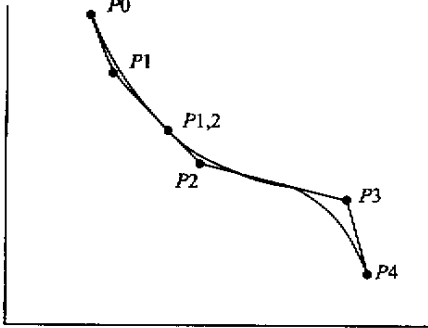


图 3 控制多边形

Fig.3 Control polygon

这样分别以 $P_0P_1P_{1,2}$ 为控制多边形构造 2 次 Bezier 曲线段,以 $P_{1,2}P_2P_3P_4$ 为控制多边形构造 3 次 Bezier 曲线段。

异形瓶型瓶体过渡段设计流程见图 4。

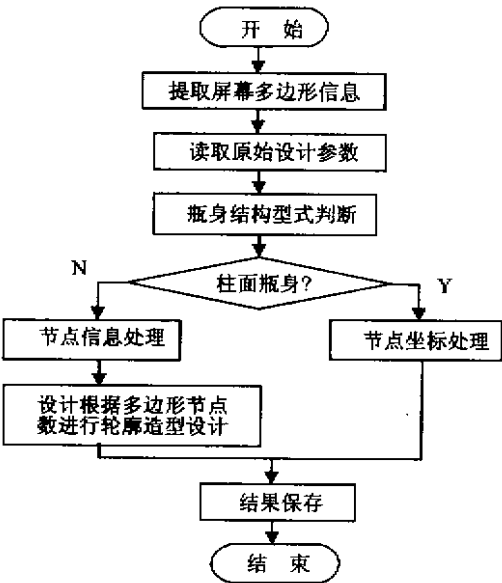


图 4 异形瓶型瓶体过渡段设计流程

Fig.4 Design diagram of bottle neck with special shape

2.2 瓶身

根据设计人员的设计要求,可构造圆柱、圆锥瓶身表面,也可构造 Bezier 瓶身表面。Bezier 瓶身表面的构造方法与 Bezier 瓶体过渡段表面相同。

2.3 瓶底

选择了实际设计中最常用的 4 种瓶底结构,即圆角、双圆角、圆角内凹以及球冠形内凹瓶底供选

择设计,其中圆角、双圆角、圆角内凹瓶底结构较为简单,本文不作说明。

球冠形内凹瓶底结构的设计,为了使平底与凸底两部分光滑过渡,避免因非光滑过渡而引起的局部应力集中,凸底、凸底与平底的过渡部分的主剖切轮廓仍采用参数化圆弧光滑连接曲线模型构造。其主剖切轮廓尺寸关系如图 5 所示。

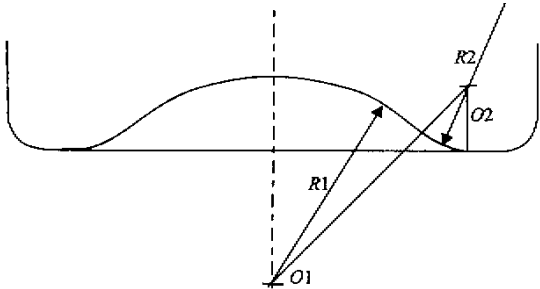


图 5 球冠形内凹瓶底结构

Fig.5 Inner-concave bottle bottom with spherical shape

2.4 瓶体内轮廓设计

内轮廓设计根据瓶壁厚大小进行并保证壁厚均匀。对于由圆弧光滑连接曲线模型构造的外轮廓瓶体部分,其内轮廓主要是通过相应调整圆弧半径 $R_1、R_2$ 进行。而由 Bezier 曲线构造的外轮廓瓶体部分的内轮廓设计,设计中作了适当的简化,首先对外轮廓控制多边形作等距平移,得到内轮廓控制多边形。然后根据设计原始参数对此控制多边形作必要的调整处理,以此构造其内轮廓。

2.5 体积控制设计

瓶容量的计算,理论上只需求瓶体内轮廓包容体积,但考虑到实际生产过程中,玻璃瓶内轮廓形状无法控制,故设计中根据瓶体外轮廓体积 V_{out} 和瓶质量 G 进行,即瓶容积 V 为:

$$V = V_{out} - G/g$$

式中, g 为玻璃密度。

瓶体外轮廓体积的计算,只要确定外轮廓线上任意点的坐标,求得相邻两点为一段瓶体的体积,即可用分段求和的方法获得。

若设计要求的瓶容量为 V_b ,容许偏差为 Δ ,当 $|V_b - V| \leq \Delta$ 时,设计符合要求;否则,需调整有关参数重新设计。

根据容积偏差的大小,设置两种调整方法:

(1) 偏差较小时,在保证用户所要求的瓶总高、最大直径不变的情况下,通过增加瓶颈高度 h_j ,同时减小瓶身高度 h_s ,这时瓶容将减小;反之瓶容将增大。设计中构造一调整因子 $k, k = \sqrt[3]{V/V_b}$ 。瓶颈

高度调整为 $h'_j, h'_j = k \cdot h_j$. 瓶身高度相应调整为 $h'_s = h_j + h_s - h'_j$. 实践证明, 利用调整因子能保证设计瓶容较快地收敛于所要求瓶容.

(2) 偏差较大时, 系统显示设计瓶样, 交互选择修改参数. 考虑到影响瓶容的主要因素是高度和瓶身直径, 故系统设置的修改参数为瓶总高 H 和最大直径 D . 通过调整 H 或 D , 使设计容积收敛于要求瓶容.

3 结 语

系统利用参数化圆弧光滑连结曲线和 Bezier 曲线构造瓶体外轮廓, 采用体积控制设计方法, 可较好地满足旋转类玻璃瓶样的造型、设计要求. 本造型系统的建立, 为后续进一步开展玻璃瓶具 CAD/CAM 的研究奠定了基础.

参考文献:

- [1] 范垂德, 汪士治, 燕公度编译. 玻璃模具与瓶型设计[M]. 北京: 轻工业出版社, 1981.
- [2] 孙家广, 陈玉健, 辜凯宁等. 计算机辅助几何造型技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1991.
- [3] WOLFGANG Bohm, FARIN G. A Survey of Curve and Surface Methods in CAGD[J]. CAGD, 1984, (1): 23 ~ 29.
- [4] 卢立新, 蔡莹. 玻璃瓶样 CAD 系统研制[J]. 包装工程, 2001, (1): 44 ~ 46.
- [5] 王德忠. 包装计算机辅助设计[J]. 北京: 印刷工业出版社, 1999.
- [6] 郭朝勇. AUTOCAD R14 二次开发技术[J], 北京: 清华大学出版社, 1999.

(责任编辑 朱 明)