

基于 OpenGL 的异型包装纸盒参数化设计系统的研究

陈锦昌, 曾健

(华南理工大学, 广州 510006)

摘要: 给出了异型包装纸盒参数化设计中关键参数的确定方法, 以系统中的一个异型盒型为例, 论述了异型盒参数化设计过程中各参数之间的关系, 确定了参数化设计的关键参数, 并给出了相关的计算公式。开发了一套能展示立体的线框图、贴图后的效果图以及平面展开的线框图等的设计系统, 为异型包装纸盒的设计提供便利。

关键词: 计算机应用; 异型; 包装纸盒; 参数化; 设计

中图分类号: TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)13-0087-03

Development of OpenGL-based Parametric Design System for Special Shape Packaging Carton

CHEN Jin-chang, ZENG Jian

(South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The determination method of key parameters for parametric design of special shape packaging carton was introduced. Relationship among the parameters in the course of design was discussed with example. The key parameters of the example were determined and the correlative calculation formulas were provided. A corresponding design system with the functions of showing line frame model, rendering model, and evolving drawing etc. was developed, which provide convenience for design of special shape packaging carton.

Key words: computer application; special shape; packaging carton; parametric; design

纸质的包装盒,其质量小、无污染、可回收,利于环境保护和资源再利用,已成为一种非常具有发展前途的包装方式,它在各类包装中占有重要的地位。在包装设计领域,异型盒是指除了直角六面体之外的其他盒型^[1],异型包装纸盒常以其独特的造型吸引着厂商和顾客的目光,逐渐成为一种非常具有发展前景的包装方式。一般的包装设计软件虽然都可以由用户自主在界面内通过 CAD 绘图来实现包装盒的设计。对于异型盒来说,因为异型盒的构造复杂,用户在进行设计时很难根据预期的立体形状来想象盒体展开后的平面图形,而通过绘制平面图形来进行设计只能是一个尝试探索的过程。设计出的盒型如果在盒面之间或者细微的结合部位出现错位,进行修改时就比较盲目,没有直观的效果图来判断错误位置。针对包

装盒设计软件现状,该课题研究的主要目的在于开发一套异型盒参数化设计可视系统,使其对异型包装盒有良好的展示效果,包括异型盒模型结构的展示、参数化交互功能、平面展开的线框图以及模型的渲染效果等。

1 异型盒的参数化设计

在传统的包装盒设计与生产中,设计者一般是先尝试着绘制出二维的平面图,然后进行裁切制作包装盒样品,根据需要,再修改平面图……如此反复修改,才能确定包装盒各部分的尺寸。最后根据二维的图纸,进行生产。这样的过程势必会引起大量的重复劳动,不利于设计过程的迅速进行。一般来说,经常被

收稿日期: 2012-05-03

作者简介: 陈锦昌(1956—),男,广东南海人,硕士,华南理工大学教授,主要研究方向为工业设计,工程图学、计算机图形学,计算机辅助设计。

修改的是一些尺寸,而几何元素间的拓补关系^[2]很少被改动,参数化设计方法为解决这样的问题提供一个很好的途径。

参数化设计^[3]的关键是几何约束关系^[4]的提取和表达、几何约束的求解以及参数化几何模型的构造。如何在计算机内提取几何约束来建立异型包装盒的实体模型、进行异型包装盒特征的分类和特征的参数化以及模型参数化是应用计算机实现异型包装盒参数化设计系统首先要解决的问题。

表面只包含有平面的异型盒,无论是折叠式^[5]的异型盒还是粘贴式的异型盒,它们在成形的过程中表面不会发生弯曲,所有体表构成面都可以在平面内展开,此时就很容易根据其各个平面之间的位置关系以及尺寸关系,通过设计计算来建立数学模型,从而实现参数化。该研究主要以由平面构成的异型盒的参数化设计进行研究。

在参数化设计中,首先要选取制约盒体形状与尺寸的关键参数。如图 1 所示的异型盒是在五棱柱

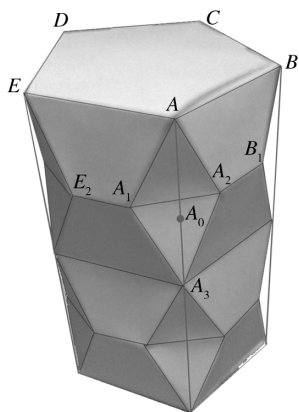


图 1 异型盒的立体结构实例

Fig. 1 Solid frame of special shape carton

柱^[6-7]的基础上,通过侧面的异变而形成的立体。在异变的过程中,该纸盒的形状变化只涉及到盒体,所以在进行参数化设计的时候,可以不对盒盖和盒底进行讨论。正五棱柱纸盒的各侧面都是全等的矩形,在侧棱的中间部位 A_0 处,棱柱开始往盒体中心凹陷,形成一条短边 A_1A_2 ,同时在侧面的中间部位相对于中心向外凸出,形成一条短边 A_2B_1 ,从而构造出新的形状。立体可以分为 2 个相同的大层,每个大层又可以平分为 2 个小层,而这 2 个小层又是对称的,因此在该立体进行分析的时候,只需取它构造中的 1/4 部分(见图 2)即可。

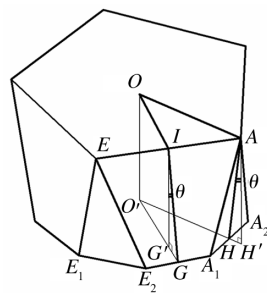


图 2 异型盒顶部构造体

Fig. 2 Top construction of special shape carton

设异变前盒体的高度为 l ,异变后的盒体高度为 Y (见图 3)。其余的参数是关于五棱柱中部异变程度

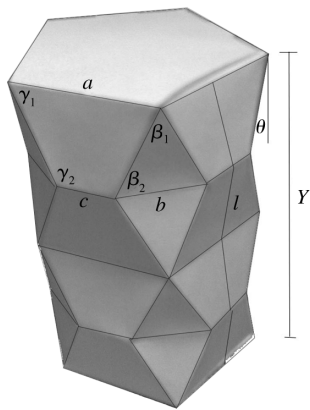


图 3 五棱柱异型盒的参数选取

Fig. 3 Parameter selection of five prism special shape carton

的,这是决定该模型参数化设计简繁的关键参数。为了方便建模贴图,系统中默认异变的层数为 2 层。因为这个模型是规则异变模型,所以在进行参数化设计的时候,只需对结构体(该结构体为整个模型的 1/4)来分析计算即可。在图 3 中为了表示出异型盒在五棱柱的基础上异变的程度,其参数有:

参数 b 为盒体异变后短边的长度(或 c 。由于 $b+c=a$,因此 b 和 c 是重复参数,只需取其中一个作为参数);

参数 γ_1 为异变后增加的梯形中斜边与水平线之间的夹角(或 γ_2 。 $\gamma_1+\gamma_2=180^\circ$);

参数 β_1 为异变后增加的等腰三角形中两腰之间的夹角(腰与底边的夹角)(或 β_2 。 $\beta_1+2*\beta_2=180^\circ$);

参数 θ 为异变后各个体表构成面与铅垂线之间的夹角(由图 2 可知,各个斜面与水平面所成的二面角相等,在进行参数化设计时,只要取一个角度值 θ 就可以将所有斜面的倾斜程度表示出来)。

因为 $b+c=a, \gamma_1+\gamma_2=180^\circ, \beta_1+2*\beta_2=180^\circ$, 所以不可以取 (γ_1, γ_2) 、 (β_1, β_2) 或者 (a, b, c) 的组合为参数; (Y, l) 组合或者由 (Y, l) 中的一个参数与 $(\gamma_1, \gamma_2, \beta_1, \beta_2)$ 中的一个参数形成的组合, 都可以作为控制参数来表示五棱柱盒体的异变程度。客户在要求提供产品样品的时候, 往往会直接给出需要的包装盒异变后的盒高, 如果将 l 定为关键参数进行输入的话, 那么还得通过 Y 来计算出原高 l 的数值之后才能输入系统进行计算, 这样比较麻烦。在进行盒体设计选择参数的时候, 系统直接将异变后的高度 Y 作为一个关键参数来进行输入, 而将 l 作为一个待求参数, 通过计算作为结果输出, 简化计算量。

对于该模型而言, 因为顶面和底面均为正多边形, 所以只要边数和边长 a 确定之后, 这个正多边形也就随之确定下来。在该系统中设定边数为 5, 以正五棱柱作为异型盒异变前的基本形体。此时, 要确定 2 个端面的几何形状, 则只需要一个边长参数 a 即可。 a 作为控制五边形大小的参数, 不受其他参数影响, 所以 a 可以直接作为一个关键参数输入。

综上, 在该设计中, 选取 Y, θ 和 a 作为异型盒的关键参数。相关的计算过程如下:

计算各线段的长度关系(见图 2):

$$OA = \frac{a}{2\sin 36^\circ} \quad OI = \frac{a}{2\tan 36^\circ}$$

$$\text{令 } L_1 = O'H' = \frac{a}{2\sin 36^\circ} - \frac{Y}{4} \tan \theta$$

$$L_2 = O'G = \frac{a}{2\tan 36^\circ} + \frac{Y}{4} \tan \theta$$

异型盒侧棱异变的示意图见图 4, 其中虚线框

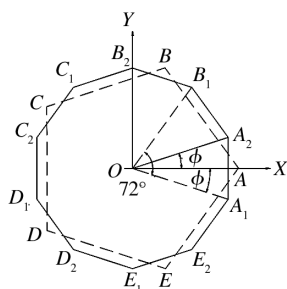


图 4 异变过程示意

Fig. 4 Sketch map of changing process

$ABCDE$ 表示的是异变前的五边形, 实线框 $A_1A_2B_1B_2C_1C_2D_1D_2E_1E_2$ 表示的是异变后的十边形。计算十边形的顶点坐标, 设 A_2 点坐标为 $(M,$

$N)$ 。

$$M = L_1 = \frac{a}{2\sin 36^\circ} - \frac{Y}{4} \tan \theta$$

$$N = \frac{a^2 - 4L_1^2 + 4L_2^2}{4a}$$

$$\text{令 } \phi = \arctan \frac{N}{M}, \text{再令 } R\omega = OA_2 = \frac{N}{\sin \phi}.$$

各顶点坐标值:

$$A_1 \left(\frac{a}{2\sin 36^\circ} - \frac{Y}{4} \tan \theta, \frac{a^2 + 4L_1^2 - 4L_2^2}{4a} \right)$$

$$A_2 \left(\frac{a}{2\sin 36^\circ} - \frac{Y}{4} \tan \theta, \frac{a^2 - 4L_1^2 + 4L_2^2}{4a} \right)$$

$$B_2 (R\omega \cos(72^\circ + \phi), R\omega \sin(72^\circ + \phi))$$

$$B_1 (R\omega \cos(72^\circ - \phi), R\omega \sin(72^\circ - \phi))$$

$$C_1 (R\omega \cos(72^\circ \times 2 - \phi), R\omega \sin(72^\circ \times 2 - \phi))$$

$$C_2 (R\omega \cos(72^\circ \times 2 + \phi), R\omega \sin(72^\circ \times 2 + \phi))$$

$$D_1 (R\omega \cos(72^\circ \times 3 - \phi), R\omega \sin(72^\circ \times 3 - \phi))$$

$$D_2 (R\omega \cos(72^\circ \times 3 + \phi), R\omega \sin(72^\circ \times 3 + \phi))$$

$$E_1 (R\omega \cos(72^\circ \times 4 - \phi), R\omega \sin(72^\circ \times 4 - \phi))$$

$$E_2 (R\omega \cos(72^\circ \times 4 + \phi), R\omega \sin(72^\circ \times 4 + \phi))$$

$$\text{令 } b = \frac{a}{2\sin 36^\circ}, \text{则顶端五边形各个顶点的坐标分}$$

别为:

$$A(b, 0), B(b \cos 72^\circ, b \sin 72^\circ), C(b \cos 72^\circ \times 2, b \sin 72^\circ \times 2)$$

$$D(b \cos 72^\circ \times 3, b \sin 72^\circ \times 3), E(b \cos 72^\circ \times 4, b \sin 72^\circ \times 4)$$

图 5 中的实线框表示异变前的各边位置, 虚线框

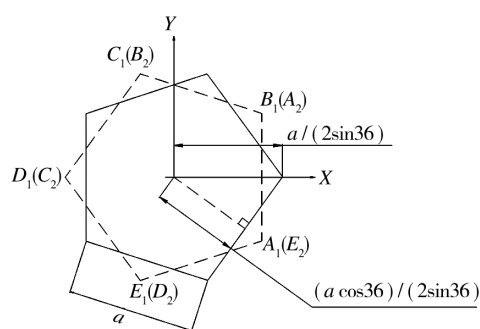


图 5 异变的极限状态

Fig. 5 Limit state of changing

代表异变的极限状态各边位置, 此时 A_1 和 E_2 2 点重合于一点, 相当于顶面五边形旋转 36° 。 θ 同时取得极限值 $\theta_{\max}$, 如果输入的 θ 超过 $\theta_{\max}$, 则没有实际意义, 立体将无法成形, 因此在系统中必须给出 θ 的取

值范围。

$$\tan \theta_{\max} = \frac{\frac{a}{2\sin 36^\circ} - \frac{a\cos 36^\circ}{2\sin 36^\circ}}{\frac{Y}{4}}$$

$$\text{即: } \theta_{\max} = \arctan \left[\frac{2a}{Y\sin 36^\circ(1 - \cos 36^\circ)} \right]$$

求得各点的坐标之后,在 OpenGL 中可以通过顶点连线的方式构建立体。再根据立体中各顶点之间的位置关系来确定纸盒展开后的顶点坐标,在系统中绘制出平面线框图。

2 异型盒的参数化可视系统设计

基于 OpenGL^[8]的异型盒参数化可视系统的流程见图 6。

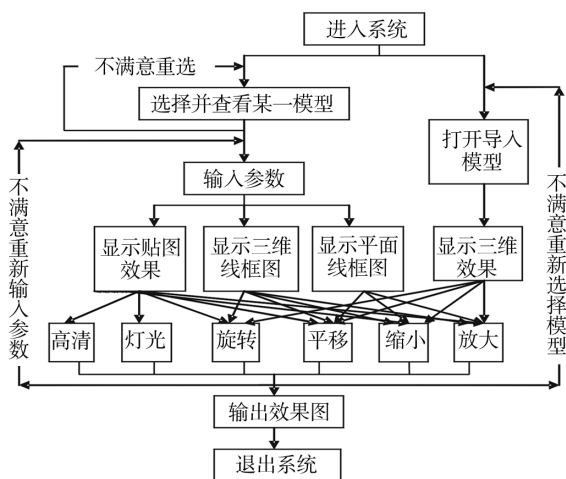


图 6 系统流程

Fig. 6 Flow chart of the system

系统的主要功能有:

1) 参数化的三维实体建模功能。系统可以根据用户所选择的模型和输入的相应参数绘制三维立体模型。也可以导入已有的模型文件,在展示区进行展示。

2) 在展示实体的过程中,可以根据用户的需要,绘制出立体线框图和平面线框图。为了使展示更逼真,还可以对立体进行贴图。

3) 模型经过调整,达到符合用户要求的时候,可以对模型输出效果图,将展示区内的图形以 BMP 文件格式进行保存。

系统的界面见图 7。系统显示的五棱柱异型盒

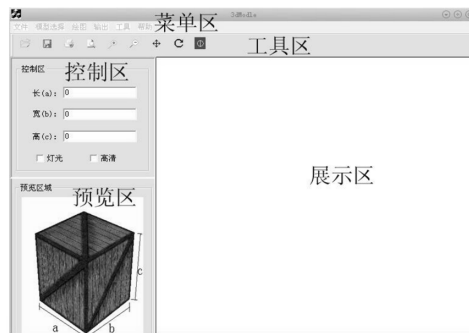


图 7 系统界面示意

Fig. 7 Sketch map of system interface

的平面线框图见图 8,立体线框图见图 9,立体的贴图

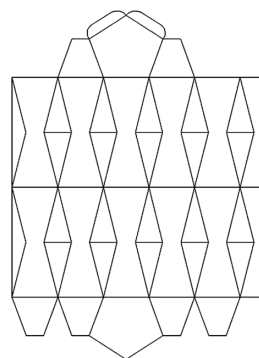


图 8 模型的线框图

Fig. 8 Line frame of model

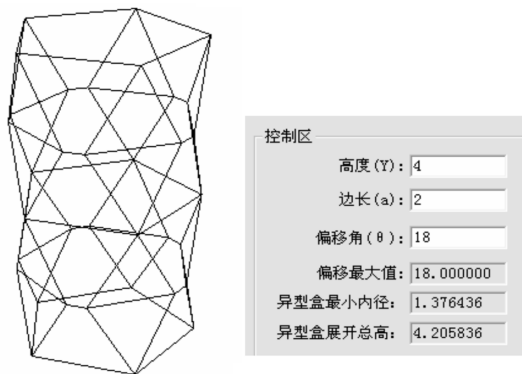


图 9 实例的立体线框图

Fig. 9 Solid line frame of the example

效果见图 10。可以通过关键参数 Y, θ 和 a 的选取,该系统可得到变异过程中异型盒的不同造型效果。

3 结语

从实用性的角度出发,提出对异型盒进行参数化

(下转第 142 页)

- Military Logistics[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(1): 87-89.
- [11] 高飞,葛强,罗磊. 二维条码技术在通用装备保障中的应用研究[J]. 包装工程, 2008, 29(12): 131-133.
GAO Fei, GE Qiang, LUO Lei. Study on Application of 2-dimensional Barcode Technology on General Equipment Support[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(12): 131-133.
- [12] 邵宏,李勤真. 复杂电磁环境下运输可视化系统应用研究[J]. 装备环境工程, 2009, 6(2): 89-92.
SHAO Hong, LI Qin-zhen. Application Research of Transportation Visualization System for Complicated Electromagnetic Environment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(2): 89-92.
- [13] 张伟,王学义,马维宁. 装备保障管理信息可视化框架[J]. 兵工自动化, 2008, 27(10): 46-48.
ZHANG Wei, WANG Xue-yi, MA Wei-ning. Visualization Framework of Information Under Equipment Support Management[J]. O I Automation, 2008, 27(10): 46-48.
- [14] 丁岩松,李明,赵文霞. GIS在装甲装备器材信息管理中的可视化应用研究[J]. 车辆与动力技术, 2007(3): 44-48.
DING Yan-song, LI Ming, ZHAO Wen-xia. Visualization Application Research of GIS in the Materiel Logistics Information Management[J]. Vehicle & Power Technology, 2007(3): 44-48.
- [15] 周宁,张会平,金大卫. 文本信息可视化模型研究[J]. 情报学报, 2007, 26(1): 155-160.
ZHOU Ning, ZHANG Hui-ping, JIN Da-wei. Research on Text Information Visualization Model[J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2007, 26(1): 155-160.

(上接第 90 页)

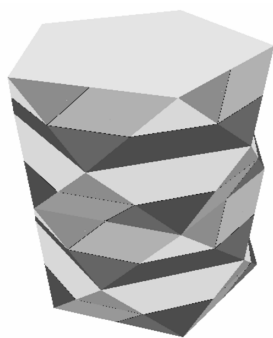


图 10 实例的贴图效果

Fig. 10 Rendering model of the example

设计的思想,通过 OpenGL 平台实现了系统设计所预期的功能。用户可以根据自己的需要,在系统内调整参数,从而改变异型盒的大小和形状,直至达到满意的效果,实现异型盒的参数化设计。系统提供的异型盒展开后的线框图,可以让生产者直观地看到异型盒的裁痕和折痕,为生产提供方便。该研究可以为包装公司展示异型盒产品提供便利,同时也可输出图纸,方便后续的生产。

参考文献:

- [1] 孙诚,金国斌,王德忠,等. 包装结构设计[M]. 北京:化学工业出版社,1995.
SUN Cheng, JIN Guo-bin, WANG De-zhong. Packing Structure Design[M]. Beijing, Chemistry Industry Publishing Company, 1995: 19-22
- [2] VEMURI K R, OH S-I, MILLER R A. Topology-based Geometry Representation to Support Geometric Reasoning[J]. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, 1989(5): 175-187.
- [3] 戴春来. 参数化设计理论的研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2002.
DAI Chun-lai. Research on Parameter Design Theory [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2002.
- [4] GLENN, A KRAMER. A Geometric Constraint engine. Artificial Intelligence, 1992, 58: 327-360.
- [5] LIANG Lu, AKELLA S. Folding Cartons with Fixtures: A Motion Planning Approach[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2000(8): 346-356.
- [6] 赵郁聪,王德忠. 基于正棱柱变异型纸盒的研究[J]. 包装工程, 2007, 28(4): 82-83.
ZHAO Yu-cong, WANG De-zhong. Research on Variation Packaging Carton of Positive Prism[J]. Packing Engineering, 2007, 28(4): 82-83.
- [7] 怀本加·乔治·L,罗斯·拉斯洛. 包装结构设计大全[M]. 上海:人民美术出版社, 2006.
WYBENGA G L, ROTH L. The Packaging Designer's Book of Patterns[M]. Shanghai: People's fine arts Publishing House, 2006.
- [8] 和平鸽工作室. OpenGL 高级编程与可视化系统开发(系统开发篇)[M]. 第 2 版. 北京:中国水利水电出版社, 2006.
Workroom of Peace Bird. OpenGL High Class Program and Convert System Exploitation(Piece of System Exploitation) [M]. 2ed Edition. Beijing: China Water & Power Press, 2006.