

基于SolidEdge模拟瓦楞纸板三维成形的折弯问题研究

王斐¹, 母军¹, 王作雨²

(1. 北京林业大学, 北京 100083;

2. 青岛科力特信息技术有限公司, 青岛 266000)

摘要: **目的** 基于SolidEdge模拟瓦楞纸箱的三维成形效果,通过偏置折弯线,使基于钣金环境的折弯命令按照瓦楞纸箱的需求从开槽中线处折叠。**方法** 提出折弯过程中存在的问题,针对一块简化的瓦楞纸板(尺寸为150 mm×80 mm),从折弯方式、板厚和板的幅面规格等3方面,分析折弯命令对其成形过程的影响,并对折弯线向固定端的偏置距离进行优化。**结果** 折弯方式为“材料外侧”对折弯命令的影响最小,随着板厚的增加对折弯命令的影响加大,且初始偏置距离为 $0.25t$ (t 为板厚),板的幅面规格对折弯命令无影响。**结论** 将折弯线向固定端偏置 $0.26t-0.05$,可以解决二维向三维成形的折弯问题。

关键词: 瓦楞纸板; Solid Edge; 折弯问题; 偏置距离

中图分类号: TB484.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2014)17-0043-05

Simulation of Bending Problem in the 3D Molding of Corrugated Cardboard Based on SolidEdge

WANG Fei¹, MU Jun¹, WANG Zuo-yu²

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Qingdao Kolyte Information Technology Co., Ltd., Qingdao 266000, China)

ABSTRACT: Objective To simulate the 3D design of the corrugated box based on SolidEdge, through offset of the bending line, the bending command based on the sheet metal environment was used as the demand of corrugated box folding from the slotted midline. **Methods** The problems existing in the bending process were brought up, a simplified 150 mm by 80 mm corrugated cardboard was analyzed for the effect of bending command on the molding process from the aspects of bending method, thickness of the plate and board size. The offset distance moved to the fixed end of the bending line was optimized. **Results** The bending mode of “Outside of the material” had the minimal impact on the bending command; with the increase of the plate thickness, the effect on bending command increased, and the initial offset distance was $0.25t$; the size of plate had no effect on the bending command. **Conclusion** If the bending line offset to the fixed end was $0.26t-0.05$, the bending problem from 2D to 3D molding may be solved.

KEY WORDS: corrugated cardboard; Solid Edge; bending problem; offset distance

20世纪80年代以来,我国瓦楞纸箱制造业得到快速发展^[1-2],国内外对瓦楞纸箱的研究^[3-4]越来越多。随着计算机的飞速发展,计算机已渗透到各行各业,其应用范围日益扩大、深入。与此同时瓦楞纸箱的设计结

构也由手工设计发展到计算机辅助设计。目前,国内外的包装CAD设计软件^[5-9]很多,如ArtiosCAD, TOPS Pro, Impact CAD, BOX-VELLUM, Eng View Package Designer,北大方正包装,包装魔术师等,但是很多软件

收稿日期: 2014-03-05

作者简介: 王斐(1990—),女,吉林人,北京林业大学硕士生,主攻包装材料与结构。

通讯作者: 母军(1970—),女,河北人,博士,北京林业大学副教授,主要研究方向木质复合材料与包装材料。

只能通过3D模拟演示功能生成纸箱效果图,不能生成真实的立体图。SolidEdge软件钣金环境中的折弯命令能将瓦楞纸板按折叠先后顺序折成瓦楞纸箱,生成真三维图,并通过干涉检验准确地分析和验证纸箱和内装物的装配关系,避免设计浪费或设计不足。

1 SolidEdge软件简介

SolidEdge^[10]是Siemens PLM Software公司推出的一款功能强大的三维CAD设计软件。作为一款普及型的CAD软件包,采用Para Solid作为软件核心,将CAD系统与世界上最先进的实体造型引擎结合在一起,基于Windows友好界面,具有极佳的易用性。它支持至顶向下和至底向上的设计思想,建模功能强大,能高效地实现零件设计、钣金设计、装配设计、焊接设计和工程图设计等,且内嵌的仿真分析^[11-14]功能可对瓦楞纸箱模型的性能进行分析。

2 折弯过程存在的问题

在SolidEdge软件中,钣金环境中的折弯命令不能按照瓦楞纸板的要求从开槽中线处折叠。要将瓦楞纸板展开图转化成真三维图,先将钣金中的草图通过“平板”命令转化成瓦楞纸板,再单击钣金环境中的“折弯”命令,会出现相应的命令条,然后单击命令条中的“折弯选项”按钮,对折弯半径进行设置。对于瓦楞纸板的折弯,理论上折弯半径为0,现将折弯半径近似假设为一个很小的值,此处为0.2 mm。通过“草图步骤”绘制折弯线,最后对“折弯位置”和“移动侧”进行选择,完成折弯命令。

假设瓦楞纸板楞型为A型楞,则其厚度为5.5 mm。在钣金环境中生成厚度为5.5 mm的瓦楞纸板,假设选择“材料外侧”折弯方式对一块简化的瓦楞纸板(尺寸为150 mm × 80 mm)进行折弯,且折弯线距板左侧50 mm,见图1。其中 L_1 为瓦楞纸板折起端开槽线到折弯线的距离, L_2 为固定端开槽线到折弯线的距离,且 $L_1=L_2$,理论上折弯后 $L_{1折}=L_{2折}$ 。箱坯上的开槽^[15-16]是为了便于摇盖折叠,其宽度一般为纸板厚度加1 mm或更多,此处取 $t+2$ 。由图2可知,实际折弯后 $L_{1折}$ 与 $L_{2折}$ 并不相等。由此,对瓦楞纸板成箱过程中用SolidEdge软件折弯命令存在问题,其后果是每折弯一次便存在

偏差,瓦楞纸板成箱过程会经过多次折叠,多次积累使成形立体纸箱误差较大。瓦楞纸箱主要用于包装物品,如果纸箱存在尺寸偏差,那不仅不能起到辅助快速设计和校对作用,还可能给生产和实际使用带来严重的经济损失。

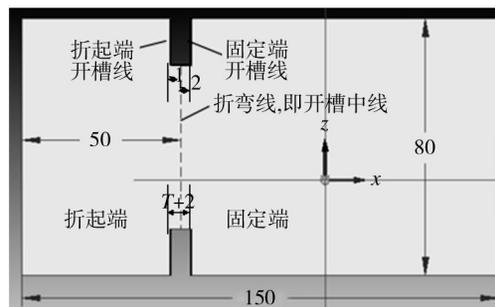


图1 150 mm × 80 mm板

Fig.1 150 mm × 80 mm Plate

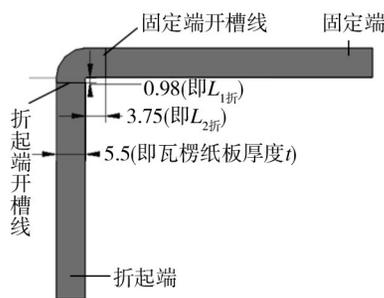


图2 A楞瓦楞纸板折弯

Fig.2 The bending diagram of type A corrugated cardboard

3 折弯问题的分析

对图2中的板分别从折弯方式、板厚和板的幅面规格等3方面分析对折弯命令的影响。

3.1 折弯方式的选择

SolidEdge折弯命令中有3种折弯方式,分别是折弯外侧、材料外侧、材料内侧。折弯外侧是指折弯后折起端比折弯线多一个折弯半径和瓦楞纸板厚,材料外侧是指折弯后折起端比折弯线多一个瓦楞纸板厚,材料内侧是指折起端在折弯线内侧折起。考虑到折弯方式的影响,在1~10 mm范围内任意选择一个厚度,假设为4 mm,分别选择不同的折弯方式对板进行折弯,结果见表1。由表1可知,折弯方式为“材料外

侧”对应的 $L_{1折}$, $L_{2折}$ 偏差最小,由此,折弯方式选择“材料外侧”对瓦楞纸板进行研究。

表1 不同折弯方式的影响

Tab.1 The effect of different bending mode

折弯方式	$L_{1折}$	$L_{2折}$	$L_{1折}$ 与 $L_{2折}$ 的差值
材料内侧	5.01	0	5.01
材料外侧	1.01	3	1.99
折弯外侧	0.81	3.2	2.39

3.2 板厚影响

将厚度为1~10 mm的瓦楞纸板按照“材料外侧”

的折弯方式对折弯线进行折弯,折弯数值见表2。由表2可知, $L_{2折}$ 与 $L_{1折}$ 的差值 Δl 随着纸板厚度的增大而增大,且厚度每增加1 mm,差值增大的距离约为0.5 mm。差值 Δl 与板厚 t 的关系为 $\Delta l \approx 0.5t$,因为未折弯时 $L_1=L_2$,折弯后 $L_{1折} < L_{2折}$ 。若向固定端偏置差值 Δl 的一半,即约为 $0.25t$,从表2可知向固定端偏置 $0.25t$ 后差值 Δ 比 Δl 小很多,由此向固定端移动 $0.25t$ 可行。

3.3 瓦楞纸板幅面规格的影响

假设板厚为4 mm,将折弯线向固定端偏置 $0.25t$,板的尺寸大小及具体数据见表3。由表3可知板的大小对折弯无影响。

表2 1~10 mm板厚对折弯命令的影响

Tab.2 Effect of 1~10 mm thickness on bending command

纸板厚度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L_{1折}$	1.07	1.05	1.03	1.01	0.99	0.98	0.96	0.94	0.92	0.9
$L_{2折}$	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
差值 Δl	0.43	0.95	1.47	1.99	2.51	3.02	3.54	4.06	4.58	5.1
偏置 $0.25t$ 后的差值 Δ	0.07	0.05	0.03	0.01	-0.01	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08	-0.1
$\Delta/2$	0.035	0.025	0.015	0.005	-0.005	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05

表3 不同幅面规格对折弯命令的影响

Tab.3 Effect of different size on bending command

板的大小	$L_{1折}$	$L_{2折}$	$L_{1折}$ 与 $L_{2折}$ 的差值
150 mm × 80 mm	2.01	2	0.01
300 mm × 160 mm	2.01	2	0.01
600 mm × 320 mm	2.01	2	0.01

4 偏置距离的优化

折弯中线偏置 $0.25t$ 后,差值虽很小但依然存在。偏置 $0.25t$ 后 $L_{1折}$ 和 $L_{2折}$ 的差值 Δ 与瓦楞纸厚度 t 的关系见图3。由图3可知,板厚为1~4.75 mm时,随着板厚的增加,偏差越来越小;板厚为4.75~10 mm时,随着板厚的增加,偏差越来越大。由图3可以看出,基本呈线性相关。为减小偏差,对偏置距离进行修正。因偏置 $0.25t$ 后折起端与固定端的差值为 Δ ,假设在偏置 $0.25t$ 的基础上向左(即折起端)偏置 $\Delta/2$,即向固定端偏置距离 $y=0.25t-\Delta/2$ 。

$\Delta/2$ 与板厚 t 也存在线性关系。用Origin软件绘

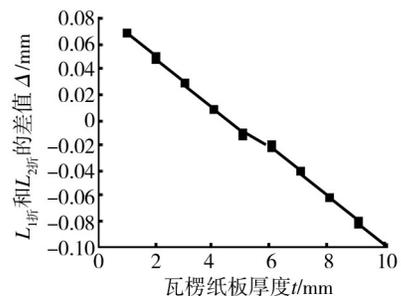


图3 偏置 $0.25t$ 后 $L_{1折}$ 和 $L_{2折}$ 的差值 Δ 与板厚关系

Fig.3 The relationship between difference Δ of $L_{1折}$, $L_{2折}$ and plate thickness at an offset of $0.25t$

制出 $\Delta/2$ 与板厚 t 的关系图并进行线性拟合,见图4。假设线性方程为 $\Delta/2=kt+b$,因为拟合直线通过点(2, 0.025)和(10, -0.05),求得斜率 $k=-0.0094$,保留小数点后2位 $k=-0.01$ 。将任意点带入线性方程求得 $b=0.05$,因此 $\Delta/2=-0.01t+0.05$ ($1 \leq t \leq 10$),偏置距离 $y=0.26t-0.05$ ($1 \leq t \leq 10$)。随板厚的增加,不同偏置距离对 $L_{1折}$ 和 $L_{2折}$ 差值(绝对值)的影响见图5,可以看出板厚为1~10 mm时,偏置 $0.26t-0.05$ 后的偏差范围在0~0.01范围内浮动,优化后的偏置距离合理。

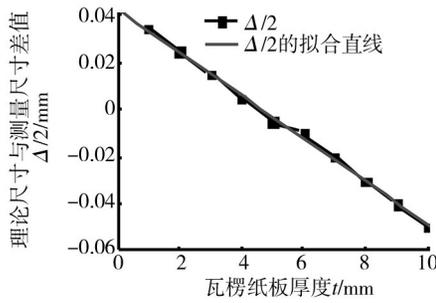


图4 $\Delta/2$ 与厚度 t 的关系

Fig.4 The relationship between $\Delta/2$ and t

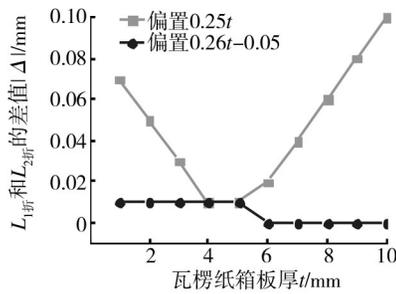


图5 不同偏置距离对应 $L_{1折}$ 和 $L_{2折}$ 差值与板厚关系

Fig.5 The relationship between thickness and difference of $L_{1折}/L_{2折}$ with different offset distance

5 实例验证

对一个尺寸为 600 mm × 400 mm × 500 mm 的 A 楞 0201 纸箱进行折弯, 形成真立体图及俯视图见图 6。图 6a, b 中的立体图差异不大, 但图 6c, d 俯视图的局部放大图可以看出向固定端偏置 0.26t-0.05 后, 折起端和固定端近乎不存在偏差, 且未偏置时多次折叠的偏差积累也被消除。

6 结语

基于 SolidEdge 模拟瓦楞纸板到纸箱的三维成形过程, 考察了瓦楞板折弯方式、厚度和板面规格等条件对折弯命令执行误差的影响, 其中折弯方式为“材料外侧”对折弯命令的影响最小, 随板厚增加对折弯命令的影响加大, 板的幅面规格对折弯命令无影响。将折弯中线向瓦楞纸板折弯固定端偏置 0.26t-0.05 后, 折弯后的开槽两边距离相等。

SolidEdge 软件的真立体图能直接检测内装物与

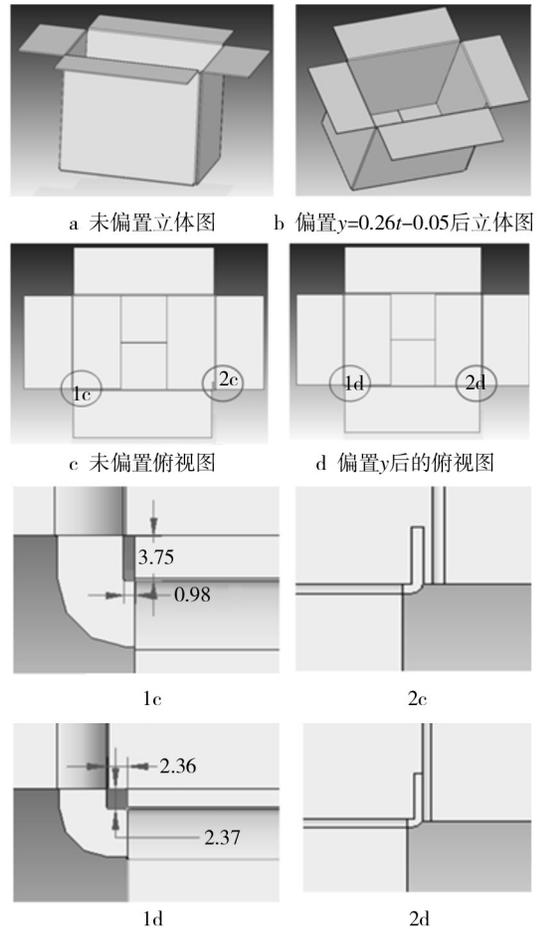


图6 0201 箱真立体图、俯视图及局部放大

Fig.6 True stereo image, vertical view and local amplification figure of 0201

瓦楞纸箱是否发生干涉, 若发生干涉可直接对立体图进行修正, 为设计者和生产企业带来便利, 避免材料的浪费。解决折弯问题对瓦楞纸箱生成真立体图至关重要, 纸箱展开图在折叠成立体结构时, 满足瓦楞纸板从开槽中线处折叠的要求, 使纸箱的三维成形能满足纸箱尺寸的要求。若将这些设置内置到软件中, 改善软件的立体成形保真效果, 还需对软件进行开发及更深入的探究。

参考文献:

[1] 王志星. 中国纸包装行业发展历程[J]. 上海包装, 2009(1): 62—64.
WANG Zhi-xing. The Development Process of Chinese Paper Packaging Industry[J]. Shanghai Packaging, 2009(1): 62—64.
[2] 高德, 刘壮, 董静. 瓦楞纸板包装材料的性能及其发展前景[J]. 包装工程, 2005, 26(1): 1—4.
GAO De, LIU Zhuang, DONG Jin. The Property and Prospect

- of the Corrugated Paper Board[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(1): 1—4.
- [3] 张志昆. 瓦楞纸箱抗压性能试验研究[J]. 包装工程, 2012, 33(15): 44—47.
ZHANG Zhi-kun. Experiment and Research on Compressive Property of Corrugated Carton[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15): 44—47.
- [4] BENJAMIN F. Corrugated Box Compression—A Literature Survey[J]. Packaging Technology and Science, 2013, 21(1): 6—20.
- [5] 马杨晓, 罗毅, 赵友明, 等. 四款纸盒CAD设计软件的对比分析[J]. 印刷技术, 2010(18): 46—48.
MA Yang-xiao, LUO Yi, ZHAO You-ming, et al. Comparative Analysis of Four Kinds of Packaging Carton CAD Software [J]. Print Technology, 2010(18): 46—48.
- [6] JORIS S, VERGEEST M. The Position of CAD Development in Design Research[J]. Tools and Methods for Concurrent Engineering, 1996, 23: 119—129.
- [7] MITCHELL H, ELINOR B, CYNTHIA T, et al. The Use of ArtiosCAD Software in Corrugated Packaging Design Courses [J]. Technology Education Journal, 2011, 101: 350—361.
- [8] 陈满儒. TOPS Pro—一个功能强大的包装优化设计软件[J]. 包装工程, 2004, 25(2): 135—137.
CHEN Man-ru. TOPS Pro—A Total Optimization Packaging and Palletization Software[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(2): 135—137.
- [9] 王璐. 包装魔术师—让包装设计多变有趣[J]. 技术前沿, 2010(12): 54—55.
WANG Lu. The Packaging Magician—Make Packaging Design Variable and Interesting[J]. Forefront of the Industry, 2010(12): 54—55.
- [10] 王潍, 王劲, 王艳芳, 等. Solid Edge 基础应用与实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
WANG Wei, WANG Jin, WANG Yan-fang, et al. Application and Practice of Solid Edge[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2011.
- [11] 何自芬, 张印辉. 基于有限元法的包装箱抗压性能研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 39—41.
HE Zi-fen, ZHANG Yin-hui. Study of Compression Resistance of Packaging Box Based on Finite Element Method[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 39—41.
- [12] 段艳健, 钱怡. 基于ANSYS Workbench的瓦楞纸箱抗压性能仿真研究[J]. 包装工程, 2012, 33(9): 23—26.
DUAN Yan-jian, QIAN Yi. Simulation Study of Compression Strength of Corrugated Box Based on ANSYS Workbench[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9): 23—26.
- [13] TALBI N, BATTI A, AYAD R, et al. An Analytical Homogenization Model for Finite Element Modelling of Corrugated Cardboard[J]. Composite Structures, 2009(8): 280—289.
- [14] ABOURA Z, TALBI N, ALLAOUI S, et al. Elastic Behavior of Corrugated Cardboard: Experiments and Modeling[J]. Composite Structures, 2004(63): 53—62.
- [15] 彭国勋. 瓦楞包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2013.
PENG Guo-xun. Corrugated Packaging Design[M]. Beijing: The Printing Industry Press, 2013.
- [16] 彭国勋. 物流运输包装设计[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2012.
PENG Guo-xun. The Packaging Design of Logistics Transport [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2012.
-
- (上接第42页)
- [9] 刘海江, 周呈呈. 钢卷包装中周向内捆带及卷眼捆带的力学性能分析[J]. 包装工程, 2013, 34(15): 70—74.
LIU Hai-jiang, ZHOU Cheng-cheng. Mechanical Property Analysis of Radial Strap and Inner Circle Strap in Steel Coil Packaging[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 70—74.
- [10] 刘海江, 郭瑞玲. 考虑层间作用的冷轧钢卷抗凹性分析[J]. 包装工程, 2012, 33(1): 58—61.
LIU Hai-jiang, GUO Rui-ling. Dent Resistance Analysis of Cold Steel Coil Considering Interlayer Effect[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 58—61.
- [11] ZHANG Fu-xiang, LI Wen-zhong. Application of Modern Design Methods in the Graduation Designs of Mechanical Engineering Science[J]. Communications in Computer and Information Science, 2011, 243(1): 330—336.
- [12] GEDIG M, STIEMER S F. Methods for Selection of Efficient Forms in Conceptual Structural Design[J]. Proceedings, Annual Conference—Canadian Society for Civil Engineering, 2008(2): 1204—1213.
- [13] GRIERSON D E. Structural Analysis for Structural Design[J]. Analysis and Computation, 1994: 133—144. (余不详)
- [14] ZHOU Ran, SU Shu-qiang, YAN Li-ping, et al. Effect of Transport Vibration Levels on Mechanical Damage and Physiological Responses of Huanghua Pears[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 46(1): 20—28.
- [15] BRUCE E. Common Load Factors For Structural Design[J]. Natl Swedish Inst for Building Research, 1983: 12—13. (余不详)