

瓦楞纸箱局部增强技术的研究

肖志坚^{1,2}

(1. 浙江东方职业技术学院, 温州 325011; 2. 浙江三浹包装有限公司, 温州 325006)

摘要:以 02 型瓦楞纸箱为研究对象,根据纸箱承载重量设计原理及预定强度要求,对瓦楞纸箱箱体进行局部复合,增强纸箱在流通、堆码、储藏等环节的物理性能,以实现减量化生产。实验和生产案例表明,在选择合适复合材料和工艺的前提下,采用瓦楞纸箱局部增强技术生产相同抗压强度的纸箱,生产成本比常规工艺低 13%。对瓦楞纸箱减量化设计具有一定的指导意义。

关键词:瓦楞纸箱; 减量化设计; 局部增强复合技术; 抗压强度; 生产成本

中图分类号: TB484.1; TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)07-0017-04

Research of Localized Strengthening Technology of Corrugated Box

XIAO Zhi-jian^{1,2}

(1. Zhejiang Dongfang Vocational & Technological College, Wenzhou 325011, China; 2. Zhejiang Sanjia Packing Co., Ltd., Wenzhou 325006, China)

Abstract: 02 pattern corrugated box was taken as research objective. Local composite strengthening of the corrugated box was carried out according to the weight-bearing principle of cartons and intended strength requirements to enhance the physical properties of cartons in circulation, stacking, storage, and other aspects and realize reduction production of corrugated box. Experiment and production practice showed that under the premise of selecting appropriate composite materials and processes, application of the local composite strengthening technology can produce the carton with the same compressive strength whereas the cost is 13% lesser than the conventional process. The purpose was to provide guidance for reduction design of corrugated box.

Key words: reduction design of corrugated box; local composite strengthening technology; compressive strength; production costs

低碳经济时代,采用减量化设计生产加工瓦楞纸板(箱)是绿色包装行业发展的重要趋势。所谓瓦楞纸箱减量化设计就是满足有效保护内装产品性能完好的前提下,通过改变原纸配料、结构设计及生产工艺技术等多个方面,降低原材料使用量和生产成本^[1]。在瓦楞纸箱减量化设计众多方案中,采用瓦楞纸板局部增强技术是瓦楞纸箱减量化设计的典型工艺之一。该工艺从改变纸板结构入手,在确保纸箱整体强度的同时,一定程度上降低整箱用纸量,为实现纸箱减量化提供了技术支撑^[2]。

1 生产工艺

1.1 传统型纸箱生产工艺

传统型多层瓦楞纸箱批量化生产主要是利用多层瓦楞纸板生产线一次性制板,在线完成规格分切,再利用多色水性印刷开槽切角机完成印刷、开槽、压线、切角等工艺,最后制成成品瓦楞纸箱。

1.2 局部复合型瓦楞纸板(箱)工艺设计

1.2.1 工艺设计目的

传统型瓦楞纸箱 6 个面均为相同层数和厚度的

收稿日期: 2012-09-13

基金项目: 浙江省新产品试制计划(2012D60SA300008,2012D60SA300006);浙江省大学生科技创新项目(2012R455002);2012 年度温州市哲学社会科学项规划课题(12wsk311)

作者简介: 肖志坚(1977-),男,硕士,浙江东方职业技术学院副教授、高级工程师,华南理工大学访问学者,主要研究印刷包装材料和工艺。

瓦楞纸板,若要增加纸板或纸箱物理强度,尤其是纸箱抗压强度和堆码强度,必须通过增加纸张定量或纸板层数来实现。以 0201 型瓦楞纸箱为例,分析包装商品后的储存和堆码发现:纸箱箱体部分在商品流通和储存环节中对内装物的防护和承重起到了至关重要的作用,故通过提高整箱用料定量和增加层数的提高纸箱强度的传统加工工艺,从某种程度上讲是一种材料浪费。在此基础上,提出了采用瓦楞纸箱箱体局部复合加强工艺技术,生产加工高强度瓦楞纸箱^[2]。

1.2.2 生产工艺设计

瓦楞纸箱箱体局部复合加强工艺是对瓦楞纸箱主承压面进行局部复合的一种减量化设计工艺,其工艺流程见图 1。整个流程分为 2 个阶段,第 1 阶段是

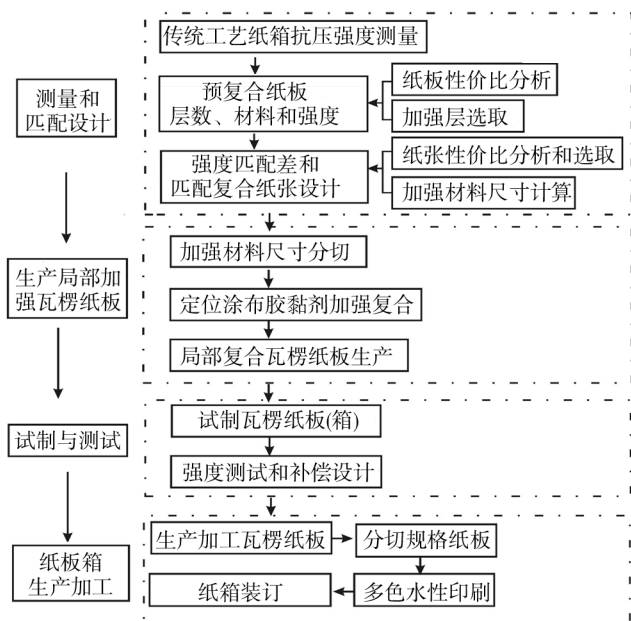


图 1 局部复合加强型瓦楞纸箱生产工艺流程

Fig. 1 Production process of local composite strengthened corrugated box

测量传统工艺纸箱抗压强度,并匹配设计待复合纸板和复合材料;第 2 阶段是根据匹配设计用料生产加工箱体局部复合的瓦楞纸板。

2 瓦楞纸箱抗压强度设计模型

瓦楞纸箱抗压强度是纸箱设计和制作的最重要技术指标,直接影响到纸箱堆码高度和对内装物的防护能力。瓦楞纸箱抗压强度计算公式:

$$P = P_x \left[\frac{(ax_z)^2}{(Z/4)^2} \right]^{1/3} ZJ \quad (1)$$

其中: P_x, ax_z, Z, J 分别为纸板综合环压值、瓦楞常数、瓦楞纸箱周长、纸箱常数,其中纸箱常数和瓦楞常数随瓦楞楞型而定^[3]。由式(1)可知:在纸箱规格和瓦楞类型确定的前提下,纸板综合环压强度与纸箱抗压强度成正比。纸板综合环压强度 P_x 计算式:

$$P_x = (\sum R_l + \sum R_m \gamma) / 100 \quad (2)$$

式中: R_l 为箱纸板、夹层的环压强度; R_m 为瓦楞原纸的环压强度; γ 为瓦楞压楞系数,即压制单位长度的瓦楞芯纸所需的瓦楞原纸。

由式(1)、(2)可知,要想 2 种工艺生产的同规格和型号的瓦楞纸箱具有相同的抗压强度, $P_1 = P_2$,必须满足:

$$P_{x1} \left[\frac{(ax_{z1})^2}{(Z/4)^2} \right]^{1/3} ZJ_1 = P_{x2} \left[\frac{(ax_{z2})^2}{(Z/4)^2} \right]^{1/3} ZJ_2 \quad (3)$$

$$P_{x1} (ax_{z1})^{2/3} J_1 = P_{x2} (ax_{z2})^{2/3} J_2 \quad (4)$$

实验中选取 3 层 A 型瓦楞纸板局部复合替代 5 层 AB 型瓦楞纸板,由 K. Q. Kellicutt 公式常数表可以查到:A 和 AB 型瓦楞纸板 ax_z 分别为 8.36 和 13.36, $J_1 = J_2 = 1.10$ 。可得:

$$P_{x2} = P_{x1} (ax_{z2})^{2/3} = 1.367 P_{x1} \quad (5)$$

可以认为只要能够保证复合后纸箱箱体的综合环压强度是传统工艺瓦楞纸箱的箱体综合环压强度的 1.367 倍,就可以实现 2 种不同工艺的纸箱在流通过程中具有相同的抗压强度和堆码强度。

3 局部复合工艺关键技术

3.1 局部复合加强方案设计

实验设计 2 种箱体复合工艺,其一是箱体局部复合增强法,二是四棱局部复合加强法。前者属于连续性复合,生产工艺容易实现机械化、批量化作业;后者属于间断性复合,批量化生产有一定的难度,需开发配套的复合设备,但成本控制和强度改进效果优于前者。

3.1.1 箱体局部复合增强法

根据式(1)可知,纸箱箱体综合环压强度直接决定了纸板边压强度和纸箱抗压强度,且当箱型和楞型一定的情况下,与纸箱抗压强度成正比。箱体局部复合增强工艺是针对纸箱承重主体部分——纸箱箱体一周,进行复合增强,提高纸箱箱体综合强度,但不增加上下摇盖的用料,有效降低了整箱用料。该复合工

艺属于连续型局部复合,适合工业化批量生产,较易实现。

3.1.2 箱体四棱局部复合加强法

箱体局部复合加强工艺主要是结合纸箱抗压强度测试原理,且充分考虑箱体不同部位在承压过程中作用不同的机理而设计的工艺方案。该方案主要包括箱体四棱加强复合和四角局部加强复合等工艺,极大地节省了复合纸张,同时还可以根据纸张纤维方向进行横纵向复合,更加突出了生产成本与抗压、堆码强度的性价比,通常箱板纸纵向环压强度是横向环压强度的 1.1~1.2 倍;但该工艺与第 1 种复合工艺方法相比,存在一定的不足,主要体现在未复合处耐破度、戳穿强度、平压等方面改进有限,且复合加强相对分散,不利于批量机械化生产加工,往往用于设计制作内包装缓冲衬垫。

3.2 强度匹配设计

3.2.1 强度匹配计算

由瓦楞纸箱抗压强度设计模型可知:只要能够保证局部复合后纸箱箱体的综合环压强度是传统工艺瓦楞纸箱的箱体综合环压强度的 1.367 倍,就可以实现 2 种不同工艺的纸箱在流通过程中具有相同的抗压强度和堆码强度。匹配设计时可以直接通过式(5)完成匹配计算。

3.2.2 数据库建立

为了高效匹配设计,必须建立有效的数据库,主要包括 2 个方面:其一是常用纸张环压指数数据库;其二是复合纸张环压指数与原纸成本性价比数据库^[4-6]。

3.3 复合材料尺寸计算

为了更好地控制生产成本,必须精确计算加强纸张规格尺寸和使用量。以 0201 型纸箱为例,设纸箱长、宽、高分别为 L, B, H ,其结构见图 2。

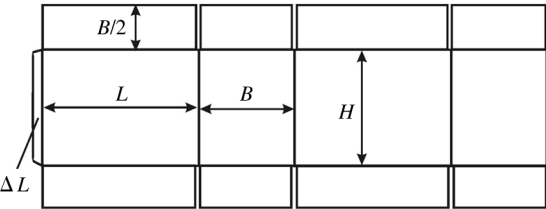


图 2 0201 型瓦楞纸箱结构

Fig. 2 Structure diagram of 0201 corrugated box

计算复合纸张规格时,首先确定复合层,如果在

面、里纸层复合,那么复合纸张可以直接计算:

$$L' \cdot B' = [2(L+B) + \Delta L]H \tag{6}$$

式中: L' 为纸箱展开图长度,也为复合纸张长度; B' 为纸箱高度,也为复合纸张的宽度; ΔL 为纸箱接舌宽度,一般选 4 cm。

如果复合层为瓦楞层,计算长度时,还须乘以相应的压楞系数,数值参照表 1,那么复合材料规格即可通过式(7)计算:

$$L' \cdot B' = \gamma [2(L+B) + \Delta L]H \tag{7}$$

表 1 国内 4 种常用单瓦楞基本技术参数

Tab. 1 The four basic technological parameters used in corrugated cardboard in China

楞型	楞高 h/mm	常用压楞系数(γ)
A	4.5~5.0	1.58
B	2.5~3.0	1.38
C	3.5~4.0	1.50
E	1.1~2.0	1.30

式(6)和(7)为单只纸箱尺寸,当批量化作业时,须乘以批次数量。

事实上除了上述三大要素外,复合层材料、胶粘剂对纸板复合成本和复合后的强度也会造成一定的影响,需设计者适当考虑。

4 生产成本案例分析

某 0201 型 5 层 AB 型瓦楞纸箱,长、宽、高分别为 60,50,30 cm,面、里纸均为 200 g/m² 的 A 级牛皮纸,单价(p)4000 元/t,A,B 瓦楞和夹芯均选用 112 g/m² 的 A 级瓦楞纸,单价(p)3200 元/t。公司为了控制生产成本,计划采用局部复合增强工艺技术,在保证纸箱整体抗压强度相同的前提下,选用面、里纸与传统工艺同材质的 3 层 A 型瓦楞纸板替代,复合层选择瓦楞层箱体部分,比较 2 种工艺加工相同抗压强度纸箱成本差异。瓦楞纸和箱板纸等级参照 GB 13023—91 和 GB/T 3024—2003。

解答过程如下。

1) 强度理论计算。

由式(2)和(5)可知:只要保证 $P_{x_2} = P_{x_1}(ax_1/ax_2)^{2/3} = 1.367P_{x_1}$,就可认为纸箱具有相同的抗压强度,即 $1.367(\sum R_{s_l} + \sum R_{s_m}\gamma) = (\sum R_{s_l} + R_{s_m}\gamma) + R_{\text{复合}}\gamma$ 。因 2 种工艺采用相同的

面、里纸张,因此:

$$\Rightarrow 1.367(R_{\text{夹芯}} + \sum R_{5m}\gamma) = R_{3m}\gamma + R_{\text{复合}}\gamma$$

$$\Rightarrow 1.367(1 + 1.58 + 1.38)R_{\text{瓦楞}} = 1.58(R_{\text{瓦楞}} + R_{\text{复合}})$$

$$\Rightarrow R_{\text{复合}} = 2.43R_{\text{瓦楞}}$$

根据 GB 13023—91 和 GB/T 3024—2003,可知 112 g/m² 的 A 级瓦楞纸环压指数 $r_{\text{瓦楞}} = 7.1(\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{g})$, 带入可得 $R_{\text{复合}} = 1932 \text{ N}$ 。

2) 复合纸张选用。

如果公司建立了复合纸张数据库,查阅数据库,就可以快速匹配出性价比最优的纸张,这里暂先查阅 GB 13023—91 和 GB/T 3024—2003 中的数据进行匹配设计。

选用不同级别箱板纸复合加强时,其对应的定量为:选用 A 级箱板纸 210 g/m²,选用 B 级箱板纸 241 g/m²,选用 C 级的箱板纸 297 g/m²。

选择不同瓦楞纸张复合加强时,其对应的定量为:选用 A 级瓦楞纸 210 g/m²,选用 B 级瓦楞纸 251 g/m²,选用 C 级的瓦楞纸 351 g/m²。

设计匹配时需要结合当地实际原纸价格,选用性价比最佳纸张进行复合。这里选用 B 级箱板纸 241 g/m² 箱板纸为复合加强材料,主要考虑到 B 级箱板纸和 A 级瓦楞纸张的价格相近^[5]。

3) 原纸成本对比。

传统工艺生产一只纸箱原纸成本(P)为:

$$P_{\text{传统}} = S(P_{\text{面纸}} + P_{\text{里纸}} + P_{\text{芯纸}} + \gamma_A P_{\text{瓦A}} + \gamma_B P_{\text{瓦B}}) =$$

$$1.79[0.8 \times 2 + 0.36 \times (1 + 1.58 + 1.38)] = 5.42 \text{ 元}$$

进行局部复合加强生产一只纸箱原纸成本为:

$$P_{\text{复合}} = S(P_{\text{面纸}} + P_{\text{里纸}} + P_{\text{芯纸}} + \gamma_A P_{\text{瓦A}} + S_{\text{箱体}} \gamma_A P_{\text{复合}}) =$$

$$1.79(0.8 \times 2 + 0.36 \times 1.58) + 0.67 \times 1.58 \times 0.77 = 4.7(\text{元})$$

2 种工艺的成本比为:0.87,即采用局部复合新工艺生产成本为传统工艺的 87%。

4) 强度测试对比。

分别按照上述 2 种工艺制箱 5 只,在标准环境中处理 24 h 后测量对比(标准环境温度为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$,相对湿度 45% ~ 55%)。测试指标包括抗压强度和整箱定量,其结果见表 2。

此种工艺与传统工艺对比,在确保纸箱箱体强度的同时,降低了纸箱整箱定量。

5) 匹配设计效果和成本影响因素。

根据设计和实验测量结果,分析 2 种工艺生产成

表 2 强度和整箱定量对比

Tab.2 Intensity contrasts and entire box quantitative

纸箱种类	抗压强度/N		整箱质量/g	
	样品测量值	样品平均值	样品测量值	样品平均值
五层普通型	1400,1430,1390,1421,1400	1408	1482,1488,1488,1478,1477	1483
三层增强型	1450,1440,1430,1428,1426	1434	1267,1278,1275,1300,1290	1282

本影响因素,并制作关系图,见图 3。

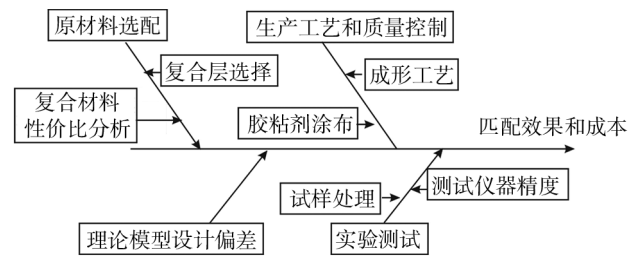


图 3 匹配设计成本影响关系

Fig.3 Matching design and cost impact

5 结语

实验表明,使用局部复合新工艺生产该类型纸箱,其生产成本为传统工艺的 87% 左右。事实上,如果对面纸或者里纸张进行复合加强时,成本比会更低,如果采用单面瓦楞局部复合时,其结果又会有一定的差异。

瓦楞纸箱局部复合加强工艺的开发和推广对实际生产有着非常积极的意义。该工艺从改变纸板结构入手,在增加纸箱整体强度的同时,又能降低整箱用纸克重,为实现纸箱减量化提供了技术支撑,是低碳经济时代瓦楞纸箱减量化设计是重要方向之一。纸箱企业可以结合当地的原材料价格选择性性价比最佳的纸张进行加强复合,可以实现生产相同强度的瓦楞纸箱,降低 13% 的生产成本。

参考文献:

[1] 肖志坚. 瓦楞纸板(箱)减量化设计加工研究现状[J]. 包装工程,2012,33(7):128-132.
XIAO Zhi-jian. Current Status of Design and Manufacturing of Corrugated Fiberboard (Box) for Reduction[J]. Packaging Engineering,2012,33(7):128-132.

- [6] 招云芳,陆舍铭,曲国福,等. HS/GC-MS 法对卷烟包装材料中挥发性有机化合物的检测[J]. 分析测试学报, 2009,28(8):954-957.
ZHAO Yun-fang, LU She-ming, QU Guo-fu, et al. Analysis of Volatile Compounds in Packaging Materials Using HS/GC-MS[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2009,28(8):954-957.
- [7] 孙林,杨柳,缪明明,等. 吹扫捕集-串联双检测器气相色谱法同时测定卷烟包装材料中的 6 种溶剂残留[J]. 中国烟草学报, 2008,14(3):8-12.
SUN Lin, YANG Liu, MIAO Ming-ming, et al. Simultaneous Determination of Six Solvent Residues in Cigarette Packaging Materials by Purge-and-trap Coupled to Gas Chromatography with Series Connected Dual Detectors[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2008,14(3):8-12.
- [8] 刘春波,陆舍铭,李希强,等. 吹扫捕集-气相色谱检测卷烟包装材料中的苯系物[J]. 光谱实验室, 2008,25(5):801-804.
LIU Chun-bo, LU She-ming, LI Xi-qiang, et al. Determination of Benzene Series, Benzaldehyde and Phenol in Cigarette Packing Material by Purge-Trap and Gas Chromatography[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2008,25(5):801-804.
- [9] 蒋次清,段晓洁,王岚,等. 卷烟与食品包装材料中挥发性有机化合物的比较分析及其安全性探讨[J]. 包装工程, 2010,31(15):10-14.
JIANG Ci-qing, DUAN Xiao-jie, WANG Lan, et al. Comparison Analysis and Safety Probe to Volatile Organic Compounds in Packaging Material of Cigarette and Food[J]. Packaging Engineering, 2010,31(15):10-14.
- [10] 王宗英,邵云. 卷烟包装发展趋势分析[J]. 包装工程, 2004,25(6):171-172.
WANG Zong-ying, SHAO Yun. Analysis on Developing Trend of Cigarette Packaging[J]. Packaging Engineering, 2004,25(6):171-172.
- [11] 吴迪,胡群,段昌群,等. 卷烟行业可降解包装材料发展趋势[J]. 云南环境科学, 2002,22(1):9-11.
WU Di, HU Qun, DUAN Chang-qun, et al. Developing Trend of Degradable Packing Materials in Cigarette Industry[J]. Yunnan Environmental Science, 2002,22(1):9-11.
- [12] 王理珉,魏杰,胡群. 卷烟主要包装材料环保性能概述[J]. 包装工程, 2004,25(6):168-170.
WANG Li-min, WEI Jie, HU Qun. Summary on Environmental Protection Performance of Cigarette Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2004,25(6):168-170.
- [13] 王理珉,胡群,马静,等. 卷烟内衬材料生物降解率的测定[J]. 烟草科技, 2004,204(7):10-13.
WANG Li-min, HU Qun, MA Jing, et al. Biodegradation Experiments on Cigarette Packet Inner Liner[J]. Tobacco Science and Technology, 2004,204(7):10-13.
- [14] 王理珉,马静,胡群. 卷烟包装材料的透湿透氧性能研究[J]. 湖南包装, 2004(3):27-28.
WANG Li-min, MA Jing, HU Qun. Research on Moisture Permeability and Oxygen Penetrability of Cigarette Packaging Materials[J]. Hunan Packaging, 2004(3):27-28.

(上接第 20 页)

- [2] 陈希荣. 解读《“十二五”规划》探索瓦楞纸箱行业未来发展之路[J]. 印刷技术, 2011(2):15-19.
CHEN Xi-rong. Interpretation of " " 十二五 " Planning " to Explore the Corrugated Box Industry Future Development Road[J]. Printing Technology, 2008(2):36-39.
- [3] 杨瑞丰. 瓦楞纸箱生产使用技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2008.
YABG Rui-feng. Corrugated Box Production Technology[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2008.
- [4] GB/T 6544—2008, 瓦楞纸板[S].
GB/T 6544—2008, National Standards for Corrugated Fiberboard[S].
- [5] 唐少炎,魏星,吴若梅,等. 瓦楞纸箱配纸方法的研究[J]. 包装工程, 2011,32(9):27-29.
TANG Shao-yan, WEI Xing, WU Ruo-mei, et al. Study of Paper Matching Method for Corrugated Box[J]. Packaging Engineering, 2011,32(9):27-29.
- [6] 孙诚. 纸包装结构设计[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2010.
SUN Cheng. Paper Packaging Structural Design[M]. Beijing:China Light Industry Press, 2010.
- [7] GB/T 13023—2008, 瓦楞芯(原)纸[S].
GB/T 13023—2008, National Standards for Corrugating Medium[S].
- [8] GB/T 13024—2003, 箱纸板[S].
GB/T 13024—2003, National Standards for Linerboard[S].