

基于粘性胶带的缠绕捆扎机构设计

魏炳方¹, 杭鲁滨², 罗玉峰¹

(1. 南昌大学, 南昌 330031; 2. 上海工程技术大学, 上海 201620)

摘要: 针对一种新型胶带捆扎机构, 分析了其对柔性塑料袋的缠绕捆扎过程; 引入断裂力学概念, 基于断裂能量释放机理, 建立了胶带剥离的力学模型; 研究了胶带剥离速度与剥离力关系, 得到了实现胶带缠绕捆扎所需的最小驱动力; 最后, 对弹簧支座位置进行了优化, 使捆扎机构在最小驱动力条件下, 能够实现对成束后塑料袋的捆扎。

关键词: 粘性胶带; 弹簧支座; 最小驱动力; 剥离力; 优化

中图分类号: TB486+.03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2013)03-0068-04

Design of Winding Packaging Mechanism Based on Adhesive Tape

WEI Bing-fang¹, HANG Lu-bin², LUO Yu-feng¹

(1. Nanchang University, Nanchang 330031, China; 2. Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: Adhesive tape is commonly used in packaging industry. For a new tape packaging mechanism, the winding and packaging process of flexible plastic bag using adhesive tape was analyzed. A mechanical model of tape peeling was established based on fracture energy release mechanism and by introduction of fracture mechanics concept. The relationship between tape peeling speed and peeling force was studied and the minimum driving force of winding packaging was obtained. In order to realize packaging of plastic bag under the minimum driving force, the position of spring pedestal was optimized.

Key words: adhesive tape; spring pedestal; minimum driving force; peeling force; optimize

常用的捆扎材料有: 聚丙烯带、尼龙带、聚酯带、钢带等^[1]。由于包装对象、包装工艺的多样化, 使包装机械在原理与结构上存在很大差异, 即使是能够完成同样包装功能的机械, 也可能具有不同的工作原理和结构^[2]。粘性胶带是包装业中常用的捆扎材料之一, 用粘性胶带捆扎成束后塑料袋具有结构紧凑的优点, 因而粘性胶带在导管、线束的成束后塑料袋的捆扎、纸箱的封口等场合得到广泛的应用。

文中采用涂覆压敏胶的聚丙烯膜为基材的粘性胶带作为捆扎带, 设计了一种新型胶带缠绕捆扎机构, 能够实现对塑料袋袋口旋拧成束并将其捆扎, 从而实现袋口的封口功能。并基于断裂能量释放机理^[3], 研究了胶带剥离速度与剥离力的内在关系, 通过对缠绕捆扎过程的力学分析, 求得了实现胶带缠绕

所需的最小驱动力。在驱动力 F_1 最小的条件下, 为了使弹簧有足够的刚度保证胶带对成束后塑料袋的缠绕质量, 提高缠绕捆扎机构的可靠性, 对弹簧支座位置进行了优化。

1 胶带缠绕捆扎机构的工作机理

1.1 胶带缠绕捆扎机构的机构简图

胶带缠绕捆扎机构见图 1a, 其机构简图见图 1b, 胶带的有效拉力 F 与剥离点 P 的切线之间的夹角称之为剥离角 θ (在该机构 θ 取 30°), 缠绕捆扎机构能够缠绕成束后塑料袋的最大直径 $D = 20 \text{ mm}$; 被缠绕成束后塑料袋相对胶带缠绕捆扎机构运动。

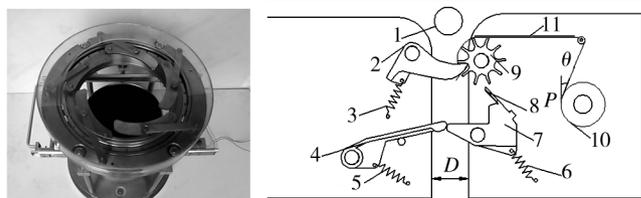
1.2 捆扎机构的工作原理

胶带缠绕捆扎机构完成对成束后塑料袋缠绕捆

收稿日期: 2012-11-23

基金项目: 上海市科委重点支撑项目(12510501100)

作者简介: 魏炳方(1984-), 男, 江西人, 南昌大学硕士生, 主攻包装机械。



a 胶带捆扎机构

b 胶带捆扎机构的机构简图

1-被捆扎成束后塑料袋;2-棘爪;3,5,6-弹簧;4-型面;7-切刀架;8-刀片;9-棘轮;10-胶带圈;11-胶带具有压敏胶粘结材料的粘性面,胶带的非粘性面张紧在棘轮上

图1 胶带缠绕机构

Fig. 1 Structure diagram tape winding mechanism

扎的过程见图2,主要包含如下5个过程:缠绕的初始

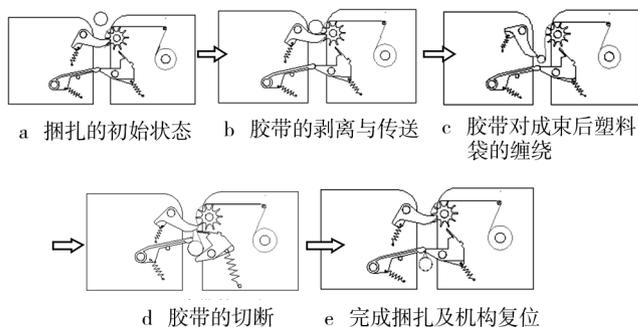


图2 胶带缠绕捆扎机构工作流程

Fig. 2 Work flow of adhesive tape winding packaging mechanism

状态、胶带的剥离与传送、胶带对成束后塑料袋的捆扎、胶带的切断、完成捆扎及机构复位。

1.3 机构特点

胶带粘结面易剥离:棘爪与棘轮的啮合将胶带夹持住,棘爪型面与棘轮的齿面啮合区较小(3 mm),使得粘性胶带末端与棘爪的粘结接触面较小,从其上易于剥离,同时保证捆扎的自适应进行。

该机构结构紧凑,利用多弹簧协调操作,机构实现自动复位,减少了驱动数目,巧妙实现了胶带对成束后塑料袋的捆扎。

2 胶带剥离的动力学分析

缠绕捆扎机构要完成对成束后塑料袋的缠绕,驱动力 F_1 大于缠绕所需的最小力。要确定驱动力 F_1 , 先要确定有效拉力 F 。胶带剥离过程力学模型见图3, 其结构参数包括:胶带圈的半径为 R , 能够绕着 O 转动,剥离角 θ 、剥离速度 v 、胶带圈的角速度 ω 、有效拉

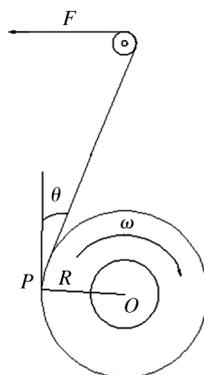


图3 胶带剥离模型

Fig. 3 Adhesive tape peeling model

力 F 。

根据胶带剥离过程中的能量守恒得到应变能释放率 G 的方程^[4]:

$$G = \frac{F}{b}(1 - \cos \theta) + \left(\frac{F}{b}\right)^2 \frac{1}{2Eh} \quad (1)$$

其中: F 为作用在胶带的前端有效拉力; G 为应变能释放率; b 为胶带的宽度; h 为胶带的厚度; E 为胶带的弹性模量; θ 为剥离角。当 $\theta \geq 30^\circ$ 时,式(1)的二次项可以忽略^[5],即

$$G = \frac{F}{b}(1 - \cos \theta) \quad (2)$$

能量释放率 G 的另一定义^[6]:

$$G = \frac{\partial U_M}{\partial A} \quad (3)$$

其中: U_M 机械能, A 为胶带的单位面积。Ciccotti M 等人对剥离力定义^[7]:

$$F_0(v) = \frac{\partial U_M}{\partial x} \quad (4)$$

$$G = \frac{\partial U_M}{\partial A} = \frac{1}{b} \frac{\partial U_M}{\partial x} = \frac{F_0(v)}{b} \quad (5)$$

$$\text{即: } F_0(v) = bG \quad (6)$$

以式(2)代入式(6),可得有效拉力 F 计算式:

$$F = \frac{F_0(v)}{1 - \cos \theta} \quad (7)$$

对于特定型号的胶带剥离力 $F_0(v)$ 是定值,通过查阅胶带的技术参数可获得胶带剥离力 $F_0(v)$ 的值^[8]。

3 捆扎所需驱动力的确定

驱动力大小是决定捆扎的整个过程是否能顺利

进行的先决条件。在直径 $d=15\text{ mm}$ 的被捆扎成束后塑料袋以速度 $v=0.15\text{ m/s}$ 相对胶带缠绕捆扎机构运动的条件下完成成束后塑料袋的捆扎过程,通过实验测试可得,被捆扎成束后塑料袋在即将脱离棘爪的位置所需驱动力最大,即在 $\alpha=85^\circ, \beta=30^\circ$ 的位置,见图 4。在该位置上,被捆扎成束后塑料袋主要受弹簧 1

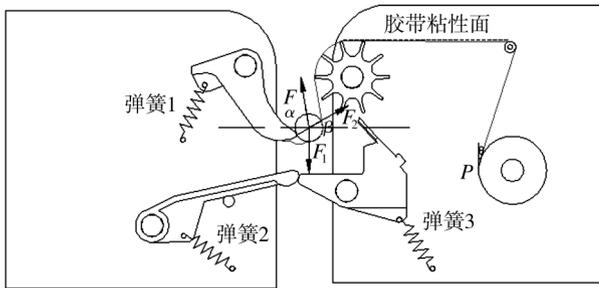


图 4 胶带缠绕过程中的受力分析

Fig. 4 The stress analysis of adhesive tape winding process

作用在棘爪的弹力 F_2 、胶带的有效拉力 F 、驱动力 F_1 的作用。

由图 4 所示,在 x 和 y 方向受力平衡得:

$$F \sin \alpha + F_2 \sin \beta = F_1 \quad (8)$$

$$F \cos \alpha = F_2 \cos \beta \quad (9)$$

$$\text{由(8)、(9)两式得: } F_1 = F \sin \alpha + F \tan \beta \cos \alpha \quad (10)$$

实验采用聚丙烯膜为基材,规格: $40\ \mu\text{m} \times 12\ \text{mm} \times 100\ \text{m}$ 的粘性胶带,当剥离速度不变的前提下,胶带的剥离力是定值^[9],已知该胶带的剥离力 $F_0(v) = 0.3\ \text{N/mm}$ 。由胶带的剥离力 $F_0(v)$ 及式(7)可以确定胶带的有效拉力 $F = 2.24\ \text{N}$ 。当 $\alpha = 85^\circ, \beta = 30^\circ, F_0(v) = 0.3\ \text{N/mm}$ 。由式(10)求得驱动力 $F_1 = 2.35\ \text{N}$,作用在棘爪弹簧 1 的弹力 $F_2 = 0.23\ \text{N}$ 。

4 弹簧支座位置优化

由于弹簧 1 支座位置的布置直接影响缠绕机构对成束后塑料袋的缠绕效果,在驱动力 F_1 最小的条件下,为了使弹簧有足够的刚度保证胶带对成束后塑料袋的缠绕质量,提高缠绕捆扎机构的可靠性,所以必须对弹簧支座的位置进行优化^[10]。

缠绕捆扎机构对成束后塑料袋的缠绕过程中弹簧长度及旋转角度的变化见图 5,其中 O_1A_1 为拉伸弹簧的初始位置,此时正好对应初始长度,其初始长度

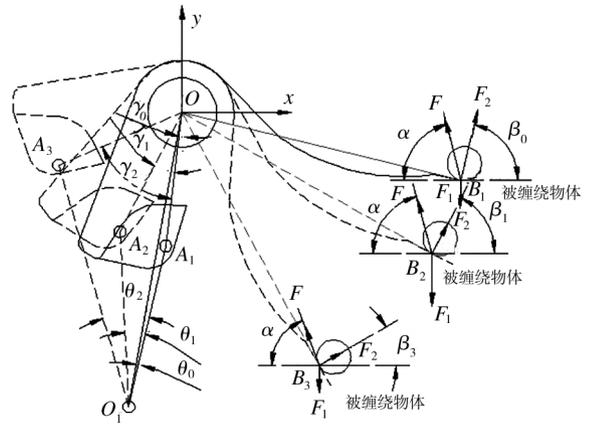


图 5 缠绕机构在缠绕成束后塑料袋过程中的角度变化
Fig. 5 Angle changes of the winding mechanism in the process of winding plastic bags

$H_0 = 40\ \text{mm}$,刚度 $k = 0.18\ \text{N/mm}$,弹簧丝直径 $d = 0.8\ \text{mm}$,弹簧中径 $D = 9\ \text{mm}$,工作圈数 $n = 25$ ^[11]。缠绕捆扎机构对成束后塑料袋的缠绕过程中,弹簧由初始位置 O_1A_1 逐渐变化到 O_1A_3 , F_2 与水平方向的夹角由 β_0 逐渐变化到 β_2 ,弹簧的实际长度以及弹簧对 O 点力矩 M_1 分别由公式(11)、(12)求得,

$$\overrightarrow{OA_i} + \overrightarrow{A_iO_1} + \overrightarrow{O_1O} \quad (i=1,2,3) \quad (11)$$

$$M_1 = \overrightarrow{OA_i} \times \overrightarrow{A_iO_1} \quad (i=1,2,3) \quad (12)$$

F_2 对 O 点的力矩 M_2 由式(13)求得:

$$M_2 = \overrightarrow{F_2} \times \overrightarrow{OB} \quad (13)$$

在弹簧其他参数保持不变的情况下,对图 5 所示的弹簧支座位置进行优化,即以原点位置 O 为圆心, OO_1 为半径的圆弧上对弹簧支座进行优化。在对成束后塑料袋捆扎过程中,以 F_2 对 O 点所做的功与弹簧力对 O 点所做的功之差最小,建立目标函数。

$$\text{目标函数: } f(x) = \min \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} (M_2 - M_1) dy \quad (14)$$

以 F_2 对 O 点产生的力矩在初始位置必须大于弹簧弹力对 O 点产生的力矩,且在 OO_1 为半径的圆弧上的任一位置上,捆扎机构完成成束后塑料袋捆扎过程中, F_2 对 O 点做的功要大于弹簧对 O 点做的功为约束条件,建立约束条件。

$$\text{约束条件: } \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \gamma_1 M_2 dy \geq \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \gamma_1 M_1 dy \quad (15)$$

已知条件为 $OO_1 = 51.3\ \text{mm}$, $OA_1 = 11.3\ \text{mm}$, $OB = 30\ \text{mm}$, $F = 2.24\ \text{N}$, $\alpha = 85^\circ$ 。以弹簧旋转角度 γ 为设计变量, $\gamma \in [30^\circ, 60^\circ]$ 。在 MATLAB^[12] 建立优化目标函数(14)的 M 文件: fun. m 和约束函数(15)的 M

文件: fun1. m, 利用 $fmincom()$ 函数进行求解。优化后的力矩曲线见图 6, 曲线 2, 3 分别是 M_1 优化前与

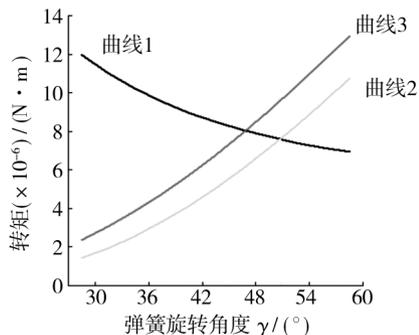


图 6 弹簧支座在不同位置下的力矩曲线

Fig. 6 The spring pedestal torque curve in different location

优化后的力矩曲线, M_2 是 F_2 对 O 点的力矩曲线。

5 胶带缠绕实验

为校验 F_1 的理论计算值是否合理, 及验证胶带捆扎机构能否实现对成束后的塑料袋进行捆扎, 对胶带捆扎机构进行多次实验测试, 实验采用的胶带规格: $40 \mu\text{m} \times 12 \text{mm} \times 100 \text{m}$, 即单层胶带的厚度为 $40 \mu\text{m}$, 胶带宽度为 $12 \mu\text{m}$ 。成束后的塑料袋直径 $d=15 \text{mm}$, 成束后的塑料袋以 $v=0.15 \text{m/s}$ 的速度相对胶带缠绕机构运动。通过对 F_1 多次测量, 其平均值为 2.68N , 该数据与理论设计的 2.35N 很接近, 有力地证明该设计研究的正确性。捆扎效果见图 7, 从多次的

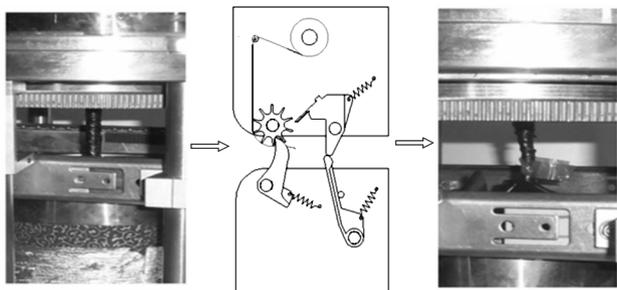


图 7 试验效果

Fig. 7 The test result

实验效果来看, 胶带缠绕捆扎机构的能够很好地实现袋口的捆扎, 具有很强实用价值。

6 结论

1) 对胶带缠绕机构的缠绕 5 个过程进行了分

析, 将断裂力学的一些基本原理用于胶带的剥离, 并对粘性胶带的剥离进行力学分析, 求得完成缠绕捆扎所需的最小驱动力, 该力学计算模型可以用来确定胶带(剥离处于稳定区)不同剥离速度下的最小驱动力, 在驱动力 F_1 最小的条件下, 对弹簧支座位置进行了优化, 改善了缠绕捆扎机构对成束后塑料袋的缠绕质量, 提高了机构的可靠性。

2) 胶带缠绕捆扎机构的结构紧凑, 缠绕捆扎性能可靠, 为胶带剥离及对成束后塑料袋的缠绕捆扎进一步理论研究和实用性推广打下坚实基础。

参考文献:

- [1] 马爽, 孙彬青. 包装工程导论[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2007.
MA Shuang, SUN Bin-qing. Fundamentals of Packaging Engineering [M]. Beijing: Graphic Communication Press, 2007.
- [2] 朱建萍. 包装机械设计方法研究[J]. 包装工程, 2007, 28(7): 89-91.
ZHU Jian-ping. Research on the Design Methods of Packaging Machinery [J]. Package Engineering, 2011, 32(6): 89-91.
- [3] 程靳, 赵树山. 断裂力学[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
CHENG Jin, ZHANG Shu-shan. Fracture Mechanics [M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [4] KENDALL K. Thin Film Peeling-the Elastic Term[J]. Phys D: Appl Phys, 1975(8): 1449-1450.
- [5] HONG D C, YUE S. Deterministic Chaos in Failure Dynamics: Dynamics of Peeling of Adhesive tape [J]. Physical Review Letters, 1995, 74: 254-258.
- [6] CICCOTTI M, GIORGINI B, BARQUINS M. Stick-slip in the Peeling of an Adhesive Tape; Evolution of Theoretical Model [J]. Adhesion and Adhesives, 1998, 18: 35-39.
- [7] CICCOTTI M, GIORGINI B, DVALLET, et al. Complex Dynamics in the Peeling of an Adhesive Tape [J]. Adhesion and Adhesives, 2004, 24: 143-147.
- [8] QB/T 2422—98, 封箱用 BOPP 压敏胶粘带[S].
QB/T 2422—98, Sealing BOPP Pressure Sensitive Adhesive Adhesive Tape [S].
- [9] DE R, ANANTHAKRISHNA G. Lifting the Singular Nature of a Model for Peeling of an Adhesive Tape [J]. The European Physical Journal B, 2008, 61: 475.
- [10] 魏宗平. 基于可靠性约束的变载荷圆柱螺旋压缩弹簧的优化设计[J]. 机械设计与制造, 2006, 28(5): 28-30.

(下转第 115 页)

扩大曲线变得平缓,大多数波长处扩大值明显减小,起到了修正的作用。

3.3 模型的进一步验证

按照有效网点面积率的计算公式^[10]进行修正,可得到式(4),计算得出修正后与未修正的结果,见表1。

$$a_{eff} = \frac{\sum_{\lambda} (R_{\lambda}^{R_{\lambda}} - R_{\lambda,s}^{R_{\lambda}})(R_{\lambda,t}^{R_{\lambda}} - R_{\lambda,s}^{R_{\lambda}})}{\sum_{\lambda} (R_{\lambda,t}^{R_{\lambda}} - R_{\lambda,s}^{R_{\lambda}})^2} \quad (4)$$

表1 纸张上有效网点面积率的计算结果

Tab.1 Calculation result of effective dot area rate

有效网点 面积率/%	未修正			修正后		
	C	M	Y	C	M	Y
10	17	11	17	15	10	16
20	34	23	32	30	21	31
30	47	34	46	43	32	44
40	60	44	58	56	42	56
50	70	54	69	67	51	67
60	79	66	78	75	64	76
70	86	75	87	83	72	86
80	91	84	91	89	82	90
90	96	92	96	96	92	96

从表1可以发现,对于各色油墨和各色网点修正后的结果基本上优于修正前的结果。另外做了2种纸张的实验,修正结果都好于没修正的结果。

4 结论

主要从减小光学网点扩大的误差出发对YNSN模型进行修正,适用于白色偏青的常用纸张,但是没有考虑如何减小机械网点扩大误差,因此预测模型还需要进一步改进和提高。

参考文献:

[1] 解盟. 印刷质量对网点扩大的影响[J]. 印刷技术, 2010, (21): 55-56.

(上接第71页)

WEI Zong-ping. Optimization Design Based on Reliability for Variable Load Cylinder Helix Compression Spring [J]. Machinery Design&Manufacture, 2006, 28(5): 28-30.

[11] 成大先. 机械设计手册, 弹簧[K]. 第5版, 北京: 化学工业出版社, 2010.

CHENG Da-xian. Handbook of Mechanical Design, Spring

XIE Meng. The Effect on Print Quality of Dot Gain [J]. Print Technology, 2010(21): 55-56.

[2] ROGERS G L. Optical Dot Gain in a Halftone Print [J]. Image Sci Tech, 1997(41): 643-656.

[3] ARNEY J S, ENGELDRUM P G, ZENG H. An Expanded Murray-Davies Model of Tone Reproduction in Halftoning Imaging [J]. Image Sci Tech, 1995(39): 502-508.

[4] RUCKDESCHEL F, HAUSER O. Yule-Nielsen Effect in Printing; a Physical Analysis [J]. Appl Opt, 1978(17): 3376-3383.

[5] ARNEY J S, WU T, BLEHM C. Modeling the Yule-Nielsen Effect on Color Halftone [J]. Image Sci Tech, 1998(42): 335.

[6] CLAPPER F R, YULE J A C. The Effect of Multiple Internal Reflections on the Densities of Halftone Prints on Paper [J]. Opt Soc Am, 1953, 43(7): 600.

[7] 白春燕, 张逸新, 秦承红, 等. Murray-Davies 网点面积率预测模型 [J]. 包装工程, 2008, 29(8): 39-42.

BAI Chun-yan, ZHANG Yi-xin, QIN Cheng-hong, et al. Murray-Davies Model for Predicting Dot Area [J]. Packaging Engineering, 2008, 29(8): 39-42.

[8] 成刚虎, 熊康鹏. 组介堡方程的理论价值及局限性研究 [J]. 中国印刷与包装研究, 2010(5): 24-28.

CHEN Gang-hu, XIONG Kang-peng. The Theoretical Value and Limitation of Neugeaur Equation [J]. The Printing and Package Research in China, 2010(5): 24-28.

[9] 刘浩学. 网点面积的测量与计算 [J]. 北京印刷学院学报, 2000(7): 8-13.

LIU Hao-xue. The Measurement and Calculation of Dot Area [J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2000(7): 8-13.

[10] 周世生, 李举, 孙帮勇, 等. 调频网点有效网点面积率计算研究 [J]. 包装工程, 2006, 27(6): 57-60.

ZHOU Shi-sheng, LI Ju, SUN Bang-yong, et al. Research of Dot Area Transfer Function with FM Halftoning [J]. Packaging Engineering, 2006, 27(6): 57-60.

[K]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.

[12] 魏巍. MATLAB 应用数学工具箱技术手册 [K]. 北京: 国防工业出版社, 2004.

WEI Wei. MATLAB Applied Math Toolbox Technical Manual [K]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004.