

高低瓦楞辊齿形尺寸参数研究

潘光华, 柏子游, 王冬梅

(深圳职业技术学院, 深圳 518055)

摘要: **目的** 研究一种“高低瓦楞辊”组的齿形及具体尺寸,为制造高低瓦楞辊组提供设计参数,从而生产出高低瓦楞夹芯。**方法** 在分析传统“等高瓦楞辊”齿形及有关标准尺寸参数基础上,预先确定基本尺寸参数值,并采用 AutoCAD 设计制图得出瓦楞辊齿形其他尺寸参数,然后模拟瓦楞辊滚压纸板过程,并测量纸板在瓦楞辊齿上的包角。按照纸板成形过程中张力的必要条件验算纸板成形的可行性,反复设计验算。**结果** 得出了高低瓦楞辊齿形尺寸参数值。**结论** 这种齿形尺寸参数的高低瓦楞辊能使纸板在瓦楞辊齿上的包角值为 340° 和 332° ,达到纸板成形过程张力要求,可作为高低瓦楞辊齿形尺寸参数。

关键词: 瓦楞辊; 高低瓦楞辊; 等高瓦楞辊; 齿形; 包角; 尺寸参数

中图分类号: TB486⁺.03

文献标识码: A

文章编号: 1001-3563(2014)09-0047-05

Tooth Size Parameters of High and Low Corrugated Roller

PAN Guang-hua, BAI Zi-you, WANG Dong-mei

(Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China)

ABSTRACT: **Objective** To provide a new tooth profile and size of "High and Low corrugated roller", in order to provide a reference for corrugated roller group and corrugated sandwich manufacturing. **Methods** It was based on the analysis of some traditional "equal-high corrugated roller tooth" profiles and relative standard size parameters. Parameter values of basic sizes were determined firstly, and the other size parameters of corrugated roller tooth were then obtained by AutoCAD software. After that, the rolling process of corrugated roller on the cardboard was simulated and the wrap angle of the cardboard on the corrugated roller was measured. The feasibility of cardboard forming was verified according to necessary condition of tension in cardboard forming process. **Results** The high and low corrugated roller tooth size parameter values were obtained. **Conclusion** Using the "High and Low corrugated roller" with this tooth size parameter values, the cardboard could form a wrap angle of 340° or 332° on the corrugated tooth roller, which meets the tension requirement of the paperboard forming process and can be used as the size parameter for "High and Low corrugated roller".

KEY WORDS: corrugated roller; high and low corrugated roller; equal high corrugated roller; tooth shape; wrap angle; size parameter

目前,大多数产品包装均采用传统瓦楞纸板包装。在包装冰箱、空调等贵重物品和玻璃、瓷器等易碎物品时,为防止箱内物品因挤压、碰撞受损,一般在

箱中塞满泡沫塑料(如 EPS 发泡塑料),但会造成白色污染,而且泡沫塑料包装也被很多发达国家禁止进口,由此需要一种既有良好的回弹性又能有效抵抗二

收稿日期: 2014-01-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(50905120);深圳职业技术学院校重点项目(2213K3040005)

作者简介: 潘光华(1964—),男,湖南人,深圳职业技术学院副教授、高级工程师,主要研究方向为印刷包装设备。

通讯作者: 王冬梅(1970—),女,河北人,博士,深圳职业技术学院教授,主要研究方向为运输与环保包装。

次冲击能力的包装材料。鉴于此,有关研究者提出了高弹瓦楞纸板结构^[1-4]的设想,由于存在高楞低楞相间排列的高低瓦楞夹芯 2,当高楞被挤压损坏,低楞仍具有回弹性及二次抗冲击性能。

瓦楞纸板的生产首先是瓦楞夹芯的生产,传统瓦楞纸板的等高瓦楞夹芯是采用一对共轭等高瓦楞辊加工,并且瓦楞辊的尺寸参数已标准化^[5-7]。而高弹瓦楞纸板中的高低瓦楞夹芯还没有相关的生产方法,只存在使用高低瓦楞辊组滚压生产工艺的设想^[8-9],更没有涉及到高低瓦楞辊的齿形尺寸参数。事实上,瓦楞夹芯成形的必要条件是齿前的纸板张力大于齿后的纸板张力,纸板在成形过程中才不会断裂^[10-13],而对于高低瓦楞辊组,只有某些特定尺寸参数的齿形才满足这个条件。该项目就是研究高低瓦楞辊的齿形及具体尺寸参数,为进一步设计制造高低瓦楞辊组提供参数。

1 齿形参数分析

传统瓦楞辊的齿形大致分为 2 类:准渐开线齿廓(即在标准渐开线齿形基础上适当加大齿沟宽,减小齿形厚度形成)和圆弧-直线齿廓(齿顶和齿根均为圆弧,以两圆弧相切的直线作为齿侧边)^[14-15]。准渐开线齿廓瓦楞辊不适合在生产线上应用,不适合高速生产,同时滚压出的瓦楞夹芯存在破裂、成楞不到位等问题。圆弧-直线齿廓不仅可以保证瓦楞夹芯质量,而且可用于高速生产线上,由此高低瓦楞辊齿形齿廓曲线应为圆弧-直线齿廓。

如图 1 所示的高弹瓦楞纸板结构中,等高瓦楞夹芯与传统瓦楞纸板中的等高瓦楞夹芯相同,同样采用传统瓦楞辊齿形轧压完成。高低瓦楞夹芯因其相邻两齿顶高不同,则瓦楞辊齿形及参数也不同,更无法套用 QB/T 1447.1—2000《单面瓦楞纸板机·瓦楞辊》,但齿形齿廓曲线仍可采用圆弧-直线齿廓,只是

具体齿形参数与之不同。为了达到二次抗冲击能力,避免断裂以及延长瓦楞辊寿命等目的,高低瓦楞辊齿形设计应遵守:齿顶圆弧半径必须小于齿根圆弧半径,且两者差值应控制在 0.3 mm 左右,齿形夹角控制在 $50^\circ \sim 60^\circ$ 之间^[16-18]。

2 高低瓦楞辊齿形参数设计

瓦楞辊齿形需要设计的参数见图 2。上瓦楞辊中,齿形 AB 段是与两圆弧相切的直线, BC 段是齿顶圆弧(半径为 R_1), CD 段是与两圆弧相切的直线, DE 段是高齿齿根圆弧(半径为 R_2), EF 段是与两圆弧相切的直线, FG 段是齿顶圆弧(半径为 R_1), GH 段是与两圆弧相切的直线, HI 段是低齿齿根圆弧(半径为 R_3)。下瓦楞辊中,齿形 ab 段是与两圆弧相切的直线, bc 段是齿根圆弧(半径为 R_2), cd 段是与两圆弧相切的直线, de 段是高齿齿顶圆弧(半径为 R_1), ef 段是与两圆弧相切的直线, fg 段是齿根圆弧(半径为 R_2), gh 段是与两圆弧相切的直线, hi 段是低齿齿顶圆弧(半径为 R_4)。上、下瓦楞辊的齿顶圆直径均相等(d_1),分度圆直径均相等(d),低齿齿根圆直径均相等(d_2),齿数为 Z ,模数为 m , $d=mZ$,高齿的齿顶高=齿根高= m ,高齿的全齿高= $2m$,上瓦楞辊低齿的齿根高为 $2m/5$,下瓦楞辊低齿的齿顶高为 $2m/5$, $d_1=mZ+2m$, $d_2=mZ-2m$ ^[19], $d_3=d-2\times 2m/5$, $d_4=d+2\times 2m/5$, $R_2=R_1+0.3$ ^[20-21], $\theta_1=360^\circ/2Z$,齿厚侧边夹角 θ_2 ,齿槽侧边夹角 θ_3 ,圆弧 R_3 与 d_3 圆及 θ_3 两侧边相切,圆

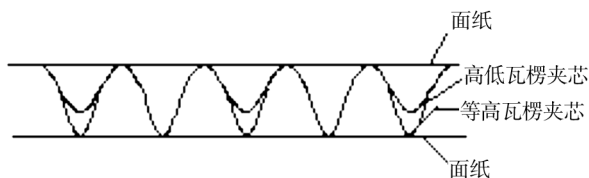


图 1 高弹瓦楞纸板结构

Fig. 1 Structure of highly elastic corrugated paperboard

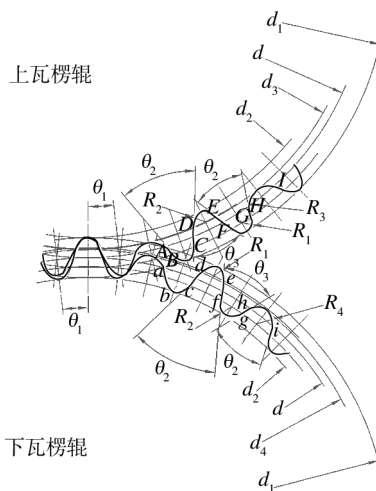


图 2 共轭瓦楞辊齿形尺寸参数

Fig. 2 Tooth size parameter of Conjugated corrugated roller

弧 R_4 与 d_4 圆及 θ_2 两侧边相切。

在齿形参数项目中,自变量集 = {齿数 Z , 模数 m , 齿顶圆弧半径 R_1 }, 反复选取自变量值—计算—AutoCAD 作图, 使因变量 $\theta_3 > \theta_2$, 且 θ_3 值为 $50^\circ \sim 60^\circ$, 并控制差值 $R_3 - R_4$ 尽可能小。其中模数 m 参照 GB 1357—78 所规定的标准模数系列选取, 齿顶圆弧半径参照 QB/T 1447.1—2000 确定。

该研究中, 自变量集 = {齿数 Z , 模数 m , 齿顶圆弧半径 R_1 } = {28, 5, 2.5}, 计算并设计出瓦楞辊齿形参数见图 3。其中 $\theta_3 = 54^\circ$, $\theta_2 = 41^\circ$, 显然 $\theta_3 > \theta_2$, 且 θ_3 在 $50^\circ \sim 60^\circ$ 之间, 上瓦楞辊低齿齿根圆弧半径与下瓦楞辊低齿齿顶圆弧半径的差值比较小 ($R_3 - R_4 = 1.17$)。

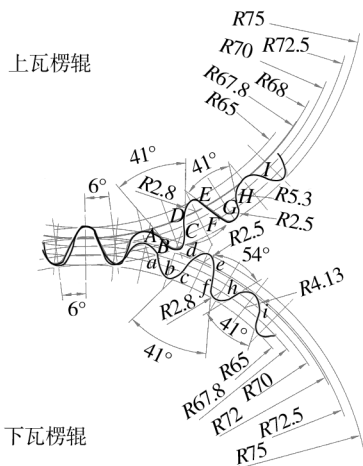


图3 高低瓦楞辊齿形参数

Fig. 3 Tooth size parameter of high and low corrugated roller

3 高低瓦楞辊齿形参数可行性分析

美国科帕尔公司进行了系列实验测试, 研究出了瓦楞纸板进入瓦楞辊间的受力模型, 这个模型同样适用于高低瓦楞辊滚压出高低瓦楞夹芯的力学研究。

原纸板在高低瓦楞齿顶间受力模型见图 4, 在齿顶间取出一原纸板单元体, 该单元体受到初始张力 (T)、最终张力 ($T+dT$)、法向力 (N)、离心力 (C)、摩擦力 (f_N), 此外还有重力, 由于相比之下相差悬殊, 重力可忽略不计。按水平和竖直 2 个方向列出单元体力平衡的微分方程式^[22—24]:

$$(T+dT) \cos\left(\frac{d\theta}{2}\right) - f_N - T \cos\left(\frac{d\theta}{2}\right) = 0 \quad (1)$$

$$-(T+dT) \sin\left(\frac{d\theta}{2}\right) + N + C - T \sin\left(\frac{d\theta}{2}\right) = 0 \quad (2)$$

取极限, 忽略二阶微量, 求解微分方程得:

$$\frac{T_2}{T_1} = e^{f \cdot \theta} \quad (3)$$

从式(3)可以看出, 纸板成形时, 其张力与摩擦因数及包角乘积成指数关系。如果已知摩擦因数 f 及纸板在每个齿顶处的包角 θ , 就可比较出纸板在齿顶前后的张力, 如果 T_2 大于 T_1 , 纸板不会断裂, 结果可行。

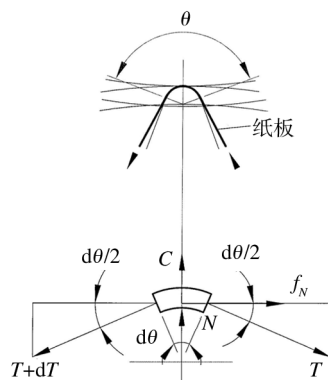


图4 瓦楞齿顶间纸板受力分析

Fig. 4 Mechanical analysis of paperboards

用 AutoCAD 精确按图 3 中设计的瓦楞辊参数滚压纸板时的包角值见图 5。图 5a 为高齿运动到上下瓦楞辊中心线时纸板在各齿上的包角值, 其总包角值 $\sum \theta = 340^\circ$; 图 5b 为低齿运动到上下瓦楞辊中心线时纸板在各齿上的包角值, 其总包角值 $\sum \theta = 332^\circ$ 。纸板在各齿顶处摩擦因数 f 的大小随纸板湿度状况剧烈变化^[24], 一般来说, 纸板湿度为 10% 时, 摩擦因数 $f=0.4$, 公式(3)得出的关系与实际测量数据非常吻合, 所以生产时只要将纸板湿度控制在 9% ~ 12% 之间, 摩擦因数取 0.4 比较合理, 与上述张力分布的理论模型完全符合。有:

$$\text{图 5 中 a 位置时, } \frac{T_1}{T_2} = e^{f \cdot \theta} = 10.74$$

$$\text{图 5 中 b 位置时, } \frac{T_1}{T_2} = e^{f \cdot \theta} = 10.155$$

可见, 高低瓦楞辊在滚压纸板过程中, 不管是高齿处中心位置还是低齿处中心位置, T_2 远大于 T_1 , 说明纸板均不会断裂。

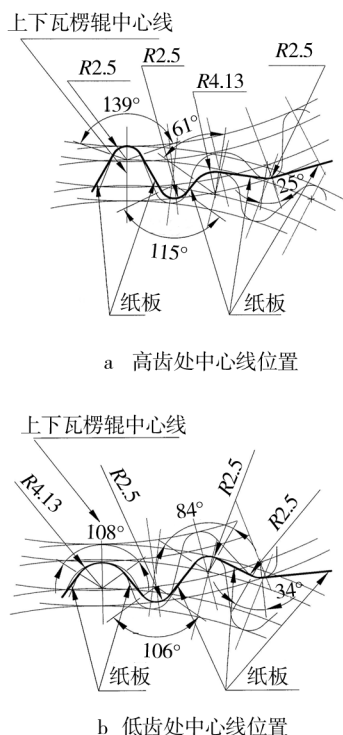


图5 成形时纸板包角值

Fig. 5 Wrapping value of paperboards

4 结语

文中设计的瓦楞辊参数是在自变量(模数 m 、齿数 Z 、齿顶圆弧 R_1)反复选取试凑下得出的齿形参数,并且计算上瓦楞辊低齿的齿根圆直径(d_3)及下瓦楞辊低齿的齿顶圆直径(d_4)采用公式:($d_3 = d - 2 \times 2m/5$, $d_4 = d + 2 \times 2m/5$),也是反复试凑低齿齿高时总结出来的,事实上 d_3, d_4 也是自变量。用此齿形参数进行受力计算,研究显示此齿形参数的共轭瓦楞辊完全可生产出高低瓦楞夹芯。由于自变量多,其组合的自变量组数更多,得出的齿形参数太多,不便于生产及使用管理,所以实际生产中齿形参数应归纳出几种齿形尺寸,作为标准齿形参数推广。

参考文献:

- [1] 王冬梅. 高弹瓦楞纸板: 中国, 200620059241. 4[P]. 2006-05-16.
WANG Dong-mei. High-elastic Corrugated Paperboard: China, 200620059241. 4[P]. 2006-05-16.
- [2] 邓帮华, 王群, 张永会, 等. 用于瓦楞辊防护的 WC-12Co 涂层组织和性能研究[J]. 热喷涂技术, 2011(3): 60—65.
DENG Bang-hua, WANG Qun, ZHANG Yong-hui, et al.

The Microstructure and Performance of WC-12Co Coatings Used on the Corrugated Roller[J]. Thermal Spray Technology, 2011(3): 60—65.

- [3] 生利英. 45 钢瓦楞辊表面强化处理工艺的研究[J]. 热加工工艺, 2010(24): 256—280.
SHENG Li-yin. Study on Surface Strength Treatment Process for Corrugated Roller of 45 Steel[J]. Hot Working Technology, 2010(24): 256—280.
- [4] TOKUNO M. Deformable Pneumatic Corrugator Roll Cuts down on Roll Crushing[J]. TAPPI, 1981(3): 64.
- [5] QB/T 1447.1—2000, 单面瓦楞纸板机·瓦楞辊[S].
QB/T 1447.1—2000, Single Corrugated Paperboard Manufacture·Corrugated Roller[S].
- [6] 熊桂超, 杜群贵. 单面瓦楞机的瓦楞辊机构中心距变动方程[J]. 科学技术与工程, 2011(22): 60—64.
XIONG Gui-chao, DU Qun-gui. The Equation of the Changing Center Distance of Single-sided Corrugating Machine Corrugating Roller[J]. Science Technology and Engineering, 2011(22): 60—64.
- [7] WERTHMANN B, HUNGER J, GRIEBENOW W. Study about Hard Particles in Fluting Papers in Relation to Abrasion of Corrugator Roll[J]. Wochenblatt Fur Papier Fabrication, 1979(4): 107.
- [8] 王冬梅. 瓦楞辊及瓦楞辊组: 中国, 200720171440. 9[P]. 2007-12-07.
WANG Dong-mei. Corrugated Roller and Corrugated Roller-group: China, 200720171440. 9[P]. 2007-12-07.
- [9] 刘军伟. 包装机械设计方法初探[J]. 装备制造技术, 2012(8): 217—218.
LIU Jun-wei. The Design Methods of Packaging Machinery [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2012(8): 217—218.
- [10] 魏效玲, 李波, 陈蕊, 等. 基于 SOLIDWORKS 与 ADAMS 的瓦楞辊动力学仿真[J]. 包装工程, 2013, 34(11): 77—79.
WEI Xiao-ling, LI Bo, CHEN Rui, et al. Dynamics Simulation of Corrugated Roller Based on SOLIDWORKS and ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(11): 77—79.
- [11] 黄孝成. 高速瓦楞纸板成型机的运动学与动力学研究[D]. 武汉: 华中理工大学, 1998.
HUANG Xiao-cheng. Kinematics and Dynamics Research on the Former of High-speed Corrugate Paperboards[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 1998.
- [12] 吴斌方, 袁博, 严明霞, 等. 基于 UG 和 ANSYS 软件的瓦楞辊振动与模态分析[J]. 包装工程, 2013, 34(3): 55—58.
WU Bin-fang, YUAN Bo, YAN Ming-xia, et al. Vibration and Modal Analysis of Corrugated Roller Based on UG and ANSYS Software[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(3): 55—58.

- [13] 魏春梅,周世棠,张静. 瓦楞辊的结构动力学仿真[J]. 包装工程,2004,25(4):41—42.
WEI Chun-mei, ZHOU Shi-tang, ZHAN Jing. Structure Dynamic Simulation for Corrugating Roller[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(4):41—42.
- [14] DENIEIS J. The Case for Semi-automatic Transmissions[J]. Automotive Engineer, 1997, 22(10):28—31.
- [15] 李善为,吴玉月,李金禄,等. Pro/E 软件在包装机械设计中的技术应用[J]. 湖南包装,2011(1):8—10.
LI Shan-wei, WU Yu-yue, LI Jin-lu, et al. Pro/E Software Technology Application in Packaging Machinery Design[J]. Hunan Packaging, 2011(1):8—10.
- [16] 张蓬山. 瓦楞辊的齿形设计[J]. 包装工程,1998,19(4):34—35.
ZHANG Peng-shan. Tooth Shape Design of Corrugated Roller[J]. Packaging Engineering, 1998, 19(4):34—35.
- [17] 智书平,王振林. 瓦楞辊的齿形设计[J]. 中国包装工业,1999(12):23—24.
ZHI Shu-ping, WANG Zhen-lin. Tooth Shape Design of Corrugated Roller[J]. Chinese Packaging Industry, 1999(12):23—24.
- [18] 郭彦峰,张艳,王家民. 瓦楞辊参数化设计及 CAD 系统[J]. 包装工程,2004,25(5):179—181.
GUO Yan-feng, ZHANG Yan, WANG Jia-min. The Corrugated Roller Parametric Design and CAD System[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(5):179—181.
- [19] 孙恒. 机械原理[M]. 北京:高等教育出版社,1987.
SUN Heng. Theory of Machines and Mechanisms[M]. Beijing: Higher Education Press, 1987.
- [20] 王振林. 瓦楞辊齿形与齿轮齿形的比较[J]. 中国包装,1992,12(3):75—76.
WANG Zhen-lin. Comparison the Tooth Shape of Corrugate Roller with that of Gear[J]. China Packaging, 1992, 12(3):75—76.
- [21] 龚发云,张哲,魏春梅,等. 高速单面瓦楞机瓦楞辊机构的中心距运动学方程[J]. 包装工程,2008,29(7):43—45.
GONG Fa-yun, ZHANG Zhe, WEI Chun-mei, et al. Kinematics Equation of the Center Distance of High-speed Single-sided Corrugating Machine Corrugating Roller[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(7):43—45.
- [22] 程锡璠. 瓦楞成型及有关瓦楞辊的设计问题[J]. 包装与食品机械,1985(4):11—19.
CHEN Xi-pan. Corrugated Forming and Design on Corrugated Roller[J]. Package and Food Machine, 1985(4):11—19.
- [23] 魏春梅,魏兵,周世棠. 高速单面瓦楞机系统的研究综述[J]. 包装工程,2007,28(5):175—177.
WEI Chun-mei, WEI Bing, ZHOU Shi-tang. Overview on High Speed Single Sided Corrugating Machines[J]. 包装工程,2007,28(5):175—177.
- [24] 王振林. 瓦楞原纸缠绕瓦楞辊顶端包角的计算[J]. 包装工程,1993,14(2):69—72.
WANG Zhen-lin. Calculation of the Wrap Angle of the Corrugated Paper around the Corrugating Roll[J]. Packaging Engineering, 1993, 14(2):69—72.

(上接第31页)

- SUN Lan-ping, XU Hui, ZHANG Bin, et al. Current Technologies and Trends of Preparation of Food Ingredients Microcapsules[J]. Farm Products Processing, 2008(5):12—17.
- [12] 郝红,梁国正. 微胶囊技术及其应用[J]. 现代化工,2002,22(3):60—62.
HAO Hong, LIANG Guo-zheng. Microencapsulation Technology and Its Application[J]. Modern Chemical Industry, 2002, 22(3):60—62.
- [13] 康智勇,项爱民. 聚乙烯醇包装膜研究进展[J]. 塑料,2003,32(5):65—69.
KANG Zhi-yong, XIANG Ai-min. Breakthrough of Study on PVA Packaging Film[J]. Plastic, 2003, 32(5):65—69.
- [14] 于晓萍. 分光光度法快速测定蔬菜水果中 VC 的含量[J]. 河北化工,2007,30(11):76—77.
YU Xiao-ping. Rapid Determination of VC Content in Fruits and Vegetables by Spectrophotometry[J]. Hebei Chemical Industry, 2007, 30(11):76—77.
- [15] 百度文库. 自然科学[EB/OL]. 2012-03-15. <http://wenku.baidu.com/view/9988b726a5e9856a561260bc.html>.
Baidu Library. Natural Science[EB/OL]. 2012-03-15. <http://wenku.baidu.com/view/9988b726a5e9856a561260bc.html>.
- [16] 张其昌,林跃鑫. 魔芋葡甘聚糖对柑桔的保鲜效果研究[J]. 植物生理学通讯,1986(5):138—140.
ZHANG Qi-chang, LIN Yue-xin. Effect of Konjac Glucomannan on the Preservation of Citrus Fruits[J]. Plant Physiology Journal, 1986(5):138—140.
- [17] 李乐农,吴振球. 羧甲基魔芋葡甘聚糖精粉用于柑桔贮藏保鲜的研究[J]. 湖南农业大学学报,1996,22(2):131—133.
LI Le-nong, WU Zhen-qiu. The Research in Carboxymethyl Konjac Gulcomannan Powder Used for Citrus Fresh-keeping[J]. Journal of Hunan Agricultural University, 1996, 22(2):131—133.