

## 螺旋转子泵性能测试

丁向荣<sup>1</sup>, 王超<sup>1,2</sup>

(1. 淮安信息职业技术学院, 淮安 223003;

2. 江苏电子产品装备制造工程技术研究开发中心, 淮安 223003)

**摘要:** **目的** 测试、分析高速螺旋转子泵在不同转速下的性能。**方法** 对高速螺旋转子泵进行三维建模, 并建立其理论流量数学模型, 进行样机试制及装配。搭建螺旋转子泵性能测试硬件及软件系统, 通过 Labview 对信号进行控制和采集。**结果** 螺旋转子泵实际流量与流量波动随着转速的升高呈线性增加, 流量波动从转速为 2700 r/min 时的 0.43 L/min 增大到转速为 8400 r/min 时的 1.76 L/min。螺旋转子泵转速小于 5800 r/min 时, 转速增加与实际流量增加基本呈线性关系, 当转速超过 7000 r/min 时, 实际流量基本不再增加。**结论** 螺旋转子泵的实际输出流量及流量波动随转速增加而增大, 实际输出流量的增大提高了螺旋转子泵的输出压力, 而流量波动的增大降低了螺旋转子泵的稳定性的。

**关键词:** 螺旋转子泵; 测试系统; 流量; 泄漏

**中图分类号:** TB486; TH326 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)23-0177-05

## Performance Test of Helical Rotor Pump

DING Xiang-rong<sup>1</sup>, WANG Chao<sup>1,2</sup>

(1. Huaian Vocational College of Information Technology, Huaian 223003, China;

2. Research Center of Jiangsu Electronics Equipment Manufacturing, Huaian 223003, China)

**ABSTRACT:** The work aims to test and analyze the performance of helical rotor pump (HRP) operating at different speeds. Three-dimensional model of HRP and mathematical model of theoretical flow rates were built. Prototype of HRP was processed and assembled. Hardware and software system used to test the performance of HRP was established. The signals were controlled and captured by Labview. The actual flow rates and flow rate fluctuation of HRP linearly increased with the increase in the rotational speeds. Flow rate fluctuation was observed and went up to 1.76 L/min from 0.43 L/min when the rotational speed increased to 8400 r/min from 2700 r/min. When the rotational speed was lower than 5800 r/min, the increase of rotational speed was basically linear with the increase of the actual flow rate. However, the actual flow rate basically no longer increased when the rotational speed exceeded 7000 r/min. The actual output flow and flow rate fluctuation of the HRP increase with the increase in the rotational speed. The increase of actual output flow improves the output pressure of the HRP; however, the increase of flow rate fluctuation decreases the stability of the HRP.

**KEY WORDS:** helical rotor pump; testing system; flow rates; leakage

液压技术为包装机械提供动力, 特别是在重型包装机械领域的应用十分广泛<sup>[1-3]</sup>。液压泵在金属自动包装生产线、集装箱运输、液压棉花打包机、泡沫塑料成型机和注塑机等包装运输中起到举足轻重的地位<sup>[4-7]</sup>。在包装领域, 小型化、高稳定性的液压泵设计优化对重型包装机械的发展具有重要意义, 然而液

压泵小型化后, 端面油封长度变小, 造成齿轮泵内部泄漏加剧<sup>[8-10]</sup>。Jurgen 等<sup>[11]</sup>把泵体和端盖设计为一体, 通过数值模拟求解出齿轮泵的最佳径向间隙, 提出一种小型化齿轮泵减小泄漏的方法。Kollek<sup>[12]</sup>研究了齿轮泵小型化后, 扭矩、压力和流量之间的关系。通过 Ansys 对泵体进行了静力学分析, 提出了泵体的优化

收稿日期: 2017-05-22

基金项目: 2015 年江苏省高级访问学者项目 (2015FX010)

作者简介: 丁向荣 (1973—), 女, 硕士, 淮安信息职业技术学院副教授, 主要研究方向为电子技术应用。

方法。Kollek 加工出分度圆直径为 14 mm 的外啮合齿轮泵转子，并对样机低速工作时进行了性能测试。为了检测设计的螺旋转子泵的性能，文中搭建小型化螺旋转子泵测试系统，并对试制样机进行性能测试。

### 1 螺旋转子泵三维模型及样机试制

螺旋转子泵的结构主要由转子、泵体、滑动轴承、前端盖、后端盖、弹性挡圈和油封等组成，见图 1a。使用内六角螺钉将螺旋转子泵的前端盖和后端盖固定在中间泵体上，密封圈通过螺钉压紧固定在密封端面上，主动轮伸出端通过联轴器与电主轴或电机相连。螺旋转子通过滑动轴承固定在泵体内，工作时在滑动轴承内旋转运动。已经加工、装配完毕的高压高速螺旋转子泵样机见图 1b。

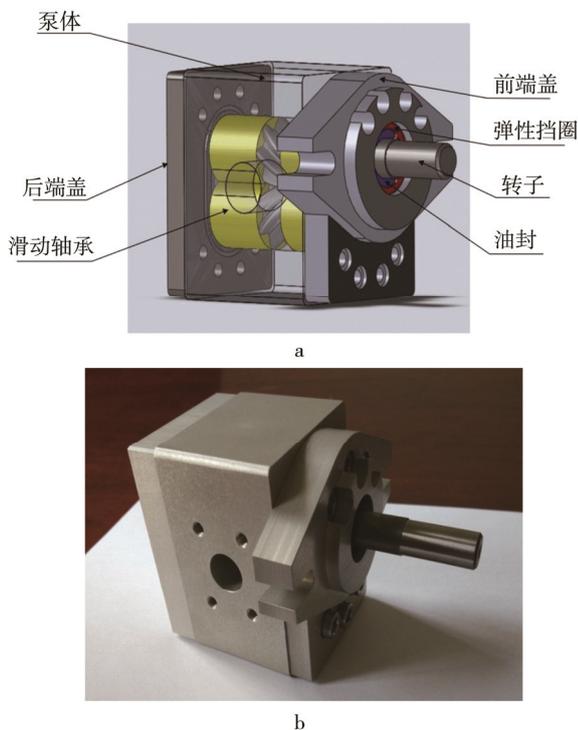


图 1 转子泵三维模型及样机  
Fig.1 The 3D model and prototype of HRP

在图 2 中，主动轮和从动轮相互啮合，当主动轮带动从动轮转动时，液压油经过输油腔从入油口被输送到出油口，因此在入油口形成低压腔，液压油从油箱被吸入到泵体内部，而出油口处的液压油被不断挤压形成高压腔，并最终排出转子泵，保证了转子泵的正常工。根据螺旋转子泵的工作原理，输油腔内的压力从高压腔至低压腔由高到低阶梯分布，而这种压力差的存在造成了液压油在转子-泵体间的泄漏趋势。由于高压腔与低压腔存在较高的压力差，使螺旋转子泵工作时在转子啮合处更容易发生泄漏，因此螺旋转子泵的加工精度及装配精度对其流量和泄漏的影响至关重要。

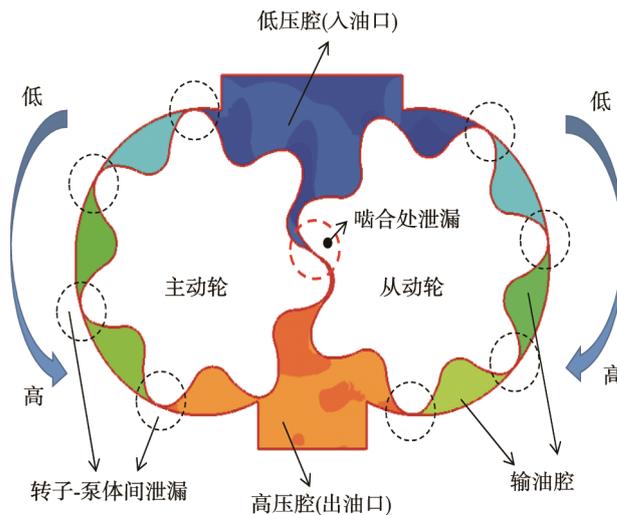


图 2 压力分布  
Fig.2 Pressure distribution

### 2 流量数学模型建立

螺旋转子泵的排量是指转子每转 1 圈所排出流体的体积 (mL/r)，流量是单位时间内流过的流体体积 (L/min)。在不考虑轴向和径向间隙泄漏的情况下，转子泵的排量实际就是齿轮的齿形表面与泵体内壁之间的体积。单个齿距排量为：

$$\bar{V} = 2Rr \cdot \frac{\pi m_n}{\sin \beta} + \frac{R_b}{p} \cdot \left(\frac{\pi m_n}{\sin \beta}\right)^2 - \frac{1}{3} \left(\frac{R_b}{p}\right)^2 \cdot \left(\frac{\pi m_n}{\sin \beta}\right)^3 \quad (1)$$

式中： $p$  为螺旋参数； $m_n$  为法向模数； $R_b$  为基圆半径； $r$  为圆弧半径； $\beta$  为螺旋角； $R$  为节圆半径。齿宽  $B$ ，模数  $m_n$ ，螺旋角  $\beta$  之间的关系为：

$$B = \frac{\pi m_n}{\sin \beta} \quad (2)$$

式 (1) 化简为：

$$\bar{V} = 2RrB + \frac{rR_b B^2}{2p} - \frac{R_b^2 B^3}{12p^2} \quad (3)$$

$$\bar{V} = \frac{m_n R_b \pi B}{2 \cos \beta} + \frac{\pi^2 R_b^2 B}{6 Z_0^2} \quad (4)$$

$$\bar{V} = \frac{m_n^2 Z_0 \pi B^3}{4\sqrt{(1 + \tan^2 \alpha) \cdot B^2 - m_n^2 \pi^2} \cdot \sqrt{B^2 - m_n^2 \pi^2}} + \frac{m_n^2 \pi^2 B^3}{24((1 + \tan^2 \alpha) \cdot B^2 - m_n^2 \pi^2)} \quad (5)$$

$$Q = \frac{2\pi \bar{V} \cdot n}{10^6} \quad (6)$$

式中： $n$  为转速 (r/min)； $\bar{V}$  为排量 (mL/r)； $\alpha$  为压力角； $Z_0$  为齿数； $Q$  为流量 (L/min)。

### 3 测试系统搭建

#### 3.1 硬件系统

螺旋转子泵测试系统目的是测试样机的流量和

转速，原理见图 3。测试系统主要由油箱、吸油过滤器、被测样机（HRP）、扭矩转速传感器、电主轴、溢流阀、节流阀、流量传感器、回油过滤器等组成。当电主轴工作时，带动扭矩传感器和转子泵旋转，完成吸油过程。随着电主轴的旋转，液压油由转子泵的出油口排出，进入溢流阀和节流阀，液压油经流量传感器返回油箱。

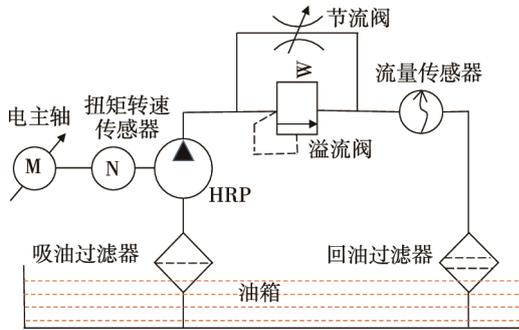


图 3 测试系统原理

Fig.3 Schematic diagram of testing systems

### 3.2 软件系统

Labview<sup>[13-15]</sup>是一个使用图形符号来编写程序的编程环境。Labview 程序的最大特点是模拟了真实的仪器，有着非常友好的用户操作界面。在螺旋转子泵测试系统中，采用 NI 公司所开发出的 Labview 语言对输出的流量，转速等模拟量信号进行采集，见图 4。测试系统的控制是由 G 语言完成，实现了程序的可视化界面，能使操作者更加直观和清晰的进行程序的编写，所有的命令指令都是以图片的形式表现出来，模拟了物理仪器，使流量、速度等的信号采集和处理直观、方便。

### 4 螺旋转子泵流量测试

为了检测螺旋转子泵样机的性能，文中使用搭建的试验台对螺旋转子泵进行了不同转速下流量、流量波动及泄漏情况测试。螺旋转子泵在转速分别为 2700, 3900, 5100, 8400 r/min 情况下所测得出油口处

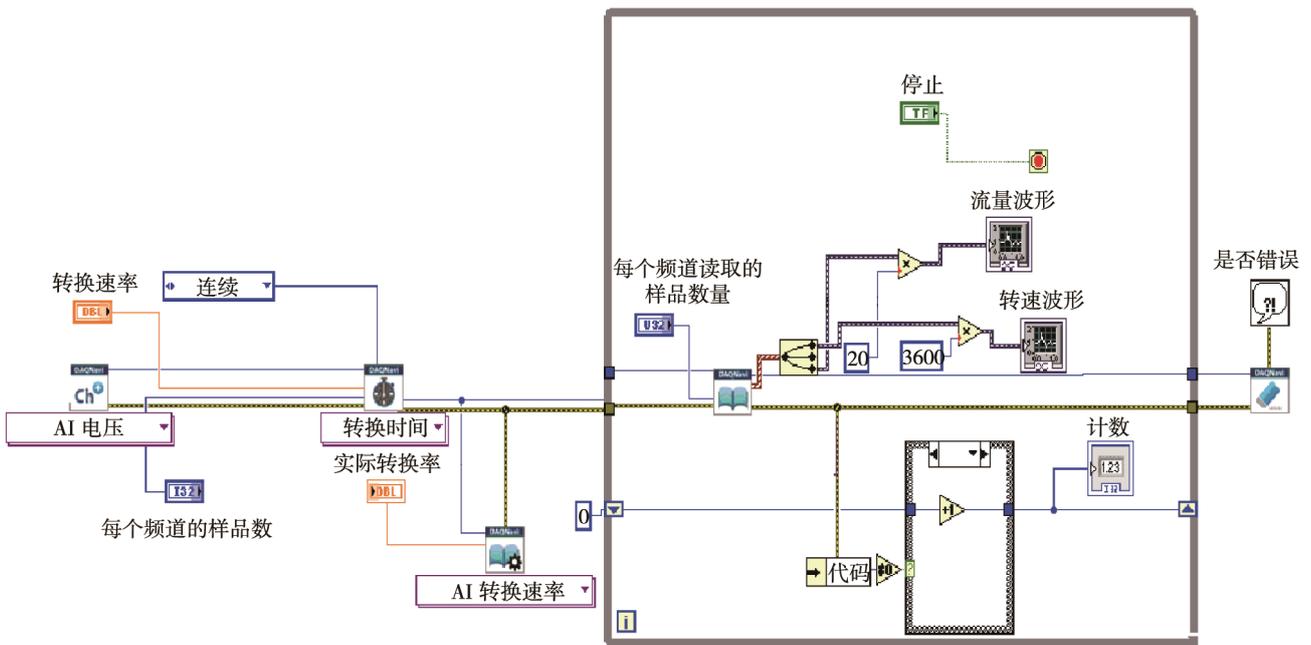


图 4 测试控制系统

Fig.4 Test control system

的瞬时流量及流量波动情况见图 5。由图 5 可知，随着转速的升高，转子泵出油口处的瞬时流量不断增大，这与螺旋转子泵理论流量变化趋势一致，见式 (6)。同样可以看出，螺旋转子泵在工作过程中产生流量波动也随着转速的升高而变大，流量波动从 2700 r/min 时的 0.43 L/min 增大到 8400 r/min 时的 1.76 L/min。这说明随着转速的升高，螺旋转子泵的流量输出变得不稳定，原因是螺旋转子的振动随转速的升高而变得剧烈。需通过提高螺旋转子泵的加工及装配精度，优化螺旋转子泵的结构参数和改进螺旋转子泵

密封方案来降低其流量波动。

螺旋转子泵在不同转速运行时实际流量与理论流量之间的关系见图 6，可以看出螺旋转子泵的理论流量随转速的升高呈线性增加趋势。实际流量却始终小于理论流量，这说明螺旋转子泵在工作时始终有泄漏发生。螺旋转子泵的泄漏正如第 1 节中的分析，由于高压腔与低压腔及各个输油腔之间存在的压力差使螺旋转子泵内部有泄漏趋势，而转子、泵体等零件的加工精度、装配精度及密封设计缺陷导致了最终的泄漏现象。由图 6 可知，转速对螺旋转子泵实际流量

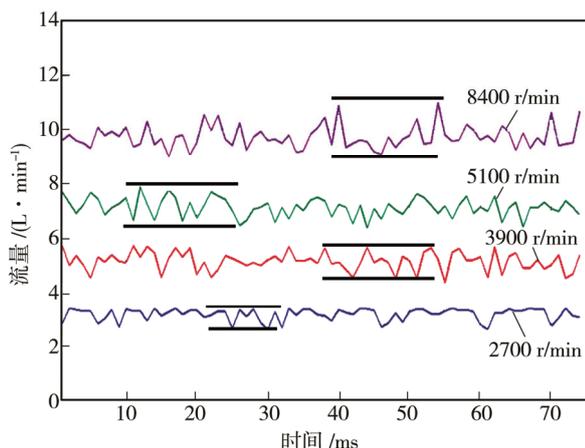


图5 流量波动

Fig.5 Flow rate fluctuations

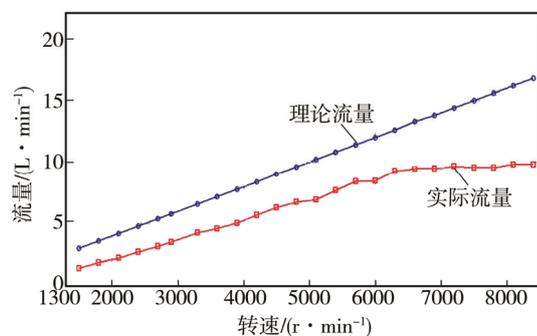


图6 转速对流量的影响

Fig.6 Effects of rotational speeds on flow rates

的影响分为以下3个阶段。当转速小于5800 r/min时,螺旋转子泵的实测流量随转速升高线性增加,由此可以推断转子泵在5800 r/min的转速下工作时的泄漏量与转速呈线性关系。当转速达到5800 r/min时,实际流量随转速的增加缓慢;当转速超过7000 r/min时,实际流量基本不再增加,说明此时的泄漏问题已经相当严重。实测的流量数据评价了目前设计的螺旋转子泵性能,显示了现阶段研制的螺旋转子泵的额定转速基本达到5800 r/min,其最大输出流量达到7.73 L/min。

## 5 结语

文中完成了螺旋转子泵理论流量的数学建模,建立了螺旋转子泵三维模型并试制了样机。搭建了螺旋转子泵性能测试系,通过Labview语言对输出的流量、转速等模拟量信号进行控制和采集。讨论了螺旋转子泵运行时不同转速对实际流量及流量波动的影响,发现螺旋转子泵在运行过程中发生了泄漏。测试结果反应了螺旋转子泵的真实状况,虽然结果说明螺旋转子泵在高速下(转速大于5800 r/min)会发生比较严重的泄漏现象,但测试系统的建立与测试结果对

螺旋转子泵的参数、结构优化和密封设计的改进具有重要意义,更有利于提高高压打包机、泡沫塑料成型机和注塑机的包装质量。

## 参考文献:

- [1] 黄建龙,毛建军,李兴慧.铜包装线液压升降平台刚度的研究[J].机床与液压,2010,38(16):50—52.  
HUANG Jian-long, MAO Jian-jun, LI Xing-hui. The Stiffness Study of Hydraulic Lifting Platform of Copper Packing Production Line[J]. Machine Tool and Hydraulics, 2010, 38(16): 50—52.
- [2] 储建华,邹阳,冯宝林.水泥包装机自动套袋装置设计[J].包装工程,2014,35(21):50—53.  
CHU Jian-hua, ZOU Yang, FENG Bao-lin. Design of Automatic Bagging Equipment for Cement Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(21): 50—53.
- [3] 信义兵,高跃飞,刘海涛,等.一种自动升降输送平台设计[J].包装工程,2015,36(17):67—71.  
XIN Yi-bing, GAO Yue-fei, et al. LIU Hai-tao. Design of an Automatic Lifting Conveying Platform[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(17): 67—71.
- [4] 李鄂民,王中龙,李怀印,等.铜板自动包装生产线整形机液压同步控制系统的设计与改进[J].液压与气动,2010(1):75—77.  
LI E-min, WANG Zhong-long, LI Huai-yin, et al. The Design and Improvement of Synchronous Hydraulic Control System for the Automatic Packaging Line of Copper Plates [J]. Hydraulic and Pneumatic, 2010(1): 75—77.
- [5] 黄建龙,宋波,党兴武.铜包装线整形机液压缸支撑架的有限元分析[J].新技术新工艺,2010(6):12—14.  
HUANG Jian-long, SONG Bo, DANG Xing-wu. The Fem Analysis of the Shaping Machine Hydraulic Cylinder Support Part of Copper Automatic Packaging Production Line[J]. New Technology and New Technology, 2010(6): 12—14.
- [6] 陈锡栋,陈伟.集装箱用液压倾倒平台的设计[J].机械设计,2001,18(7):36—38.  
CHEN Xi-dong, CHEN Wei. Design of Hydraulic Dumping Platform for Container[J]. Mechanical Design, 2001, 18(7): 36—38.
- [7] 杜启平. MYD200型棉花打包机液压踩压系统维修经验点滴[J].中国棉花加工,1995(4):19—20.  
DU Qi-ping. Cotton Packer of MYD200 Hydraulic Pressure on the System Maintenance Experience[J]. China Cotton Processing, 1995(4): 19—20.
- [8] MUCCHI E, ELIA G, DALPIAZ G. Simulation of the Running in Process in External Gear Pumps and Experimental Verification[J]. Meccanica, 2012, 47: 621—637.
- [9] EATON M, KEOGHK P S, EDGE A. The Modelling, Prediction, and Experimental Evaluation of Gear Pump Meshing Pressures with Particular Reference to Aero-

- Engine Fuel Pumps[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering, 2006, 220(15): 396—404.
- [10] LEE G S, JUNG S Y, BAE J H. Design of Rotor for Internal Gear Pump Using Cycloid and Circular-Arc Curves[J]. Journal of Mechanical Design, 2012, 134(1): 1—12.
- [11] JURGEN S, HELMUTHEL B, HELMUT J. Development of a Novel Miniature High-pressure Fuel Pump with a Low Specific Speed[J]. Journal of Automobile Engineering, 2013, 227(7): 997—1006.
- [12] KOLLEK W, OSIN P, STOSIAKA M, et al. Problems Relating to High Pressures Gear Micro-pumps[J]. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2014(14): 88—95.
- [13] 苏仔见, 倪攀, 许少伦. LabVIEW 在运动控制系统实验平台的应用和实现[J]. 实验室研究与探索, 2011, 30(10): 38—40.
- SUN Zai-jian, NI Pan, XU Shao-lun. Realization of Motion Control System Experimental Platform Based on LabVIEW[J]. Research and Exploration in Laboratory, 2011, 30(10): 38—40.
- [14] 徐正元. 基于 LabVIEW 的数据采集系统[J]. 中国科技信息, 2017(9): 62—65.
- XU Zheng-yuan. Data Collection System Based on LabVIEW[J]. China Science and Technology, 2017(9): 62—65.
- [15] 王显军. LabVIEW 对串口采样测量数据的处理[J]. 电子测量技术, 2014, 37(3): 107—111.
- WANG Xian-jun. Serial Port Sampling Date Processing Using LabVIEW[J]. Electronic Measurement Technology, 2014, 37(3): 107—111.

## 《绿色印刷》特色栏目征稿函

绿色是世界各国普遍认同的, 不仅体现可持续发展理念、以人为本、先进科技水平, 也是实现节能减排与低碳经济的重要手段。绿色印刷的产业链主要包括绿色印刷材料、印刷图文设计、绿色制版工艺、绿色印刷工艺、绿色印后加工工艺、环保型印刷设备、印刷品废弃物回收与再生等。通过绿色印刷的实施, 可使包括材料、加工、应用和消费在内的整个供应链系统步入良性循环状态。大力发展绿色印刷、绿色包装, 是发展循环经济的本质要求, 是建立资源节约型社会、促进人与自然和谐发展的有力举措。

鉴于此, 本刊拟围绕“绿色印刷”这一主线, 作系列的专项报道。编辑部特邀请绿色印刷领域的专家为本栏目撰写稿件, 以期进一步提升本刊的学术质量和影响力。稿件以研究论文为主, 也可为综述性研究, 请通过网站投稿, 编辑部将快速处理并优先发表。

编辑部电话: 023-68792294 网址: [www.packjour.com](http://www.packjour.com)

《包装工程》编辑部