

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.03.009

开口塑料桶高温堆码强度有限元分析及安全评价^{*}

郑海友¹, 计宏伟¹, 冯智劼²

(1. 天津商业大学机械工程学院, 天津 300134; 2. 天津出入境检验检疫局, 天津 300201)

摘要: 为评价开口塑料桶盛装液体危险品的安全性, 利用 Solidworks Simulation 有限元分析软件对两种典型开口塑料桶进行了高温堆码强度模拟分析, 计算了塑料桶在高温堆码条件下的应力场和位移场, 得到了堆码载荷作用下应力状态和变形分布。模拟分析结果表明, 提梁开口塑料桶堆码高度为 2.625 m 时, 其承受的最大 Mises 应力超过了材料的屈服极限, 因而其堆码高度不能达到 3 m 的要求; 无提梁开口塑料桶堆码高度可以达到 3 m, 其桶盖与桶底设计更合理。

关键词: 危险品; 开口塑料桶; 高温堆码; 有限元分析

中图分类号: TB485.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)03-0034-05

Finite Element Analysis and Safety Evaluation of High Temperature Stacking Strength for Opening Plastic Buckets

Zheng Haiyou¹, Ji Hongwei¹, Feng Zhijie²

(1. Tianjin University of Commerce, School of Mechanical Engineering, Tianjin 300134, China;

2. Tianjin Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Tianjin 300201, China)

Abstract: In order to evaluate the safety of opening plastic buckets containing dangerous liquid goods, the high temperature stacking strength for two kinds of typical opening plastic buckets, one with handle and another without handle, were carried out using Solidworks Simulation finite element analysis software. The stress fields and displacement field were calculated under high temperature stacking load. The stress state and the deformation distribution were obtained. Numerical simulation results indicate that the maximum of Mises stress of the plastic bucket with handle exceeds the material's yield strength when the stacking height is 2.625 m. Thus, the stacking height of plastic bucket with handle cannot meet the requirement of 3 m. In addition, the stacking height of opening plastic bucket without handle can reach 3 m, which show that the design of its cover and bottom are reasonable.

Keywords: dangerous goods; opening plastic bucket; high temperature stacking; finite element analysis

塑料桶广泛应用于各种危险品的储存和运输, 它具有抗冲击、耐压、防潮、不生锈、质轻、抗腐蚀等优异性能, 是一种比较理想的危险品包装容器, 在出口危险货物包装中越来越受到用户的青睐^[1]。以化学品为代表的危险品种类日益增多, 新产品不断涌现, 对其进行有效地包装保证其储运安全成为新的研究内容^[1-5]。目前开口塑料桶罐类产品主要用于盛装固体, 由于其使用方便, 在国内外多种 3 类、8 类和 9 类液体危险品也开始采用开口塑料桶作为包装容器。值得注意的是, 目前尚无关于盛装液体危险品的开口塑料桶安全评价检测方法和判定标准, 一旦洒漏会对人身和环境产生不同程度的危害和影响, 存在安全隐患。因此对开口塑料桶在储运过程中的力学行为进行研究及安全评价具有重要的意义。在危险品储运过程中, 堆码及跌落是塑料桶

发生机械损伤的主要因素, 通常通过堆码试验和跌落试验对塑料桶的强度进行安全评价^[6]。然而, 采用试验方法评价危险品包装的强度也存在着一定的局限性: 第一, 一般以水等非危险液体替代危险液体作为包装容器的内装物进行试验, 难以模拟塑料包装容器所承受的真实工况; 第二, 试验需要的成本较高; 第三, 很难得到整个包装容器的全场变形和应力分布。随着有限元技术的发展, ABAQUS, ANSYS, NASTRAN, Solidworks Simulation 等大型通用有限元分析软件已广泛应用于塑料制品的设计和成型仿真分析之中^[7-15], 取得了良好的实际应用

^{*}2012 年国家质检总局科技计划项目 (2012IK212), 国家自然科学基金项目 (11072176)

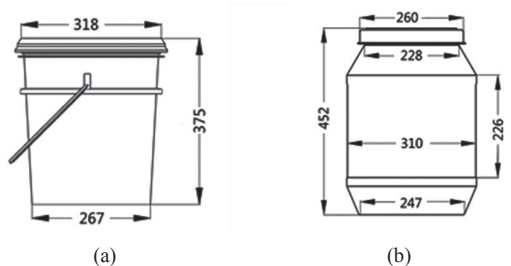
联系人: 计宏伟, 教授, 主要从事复合材料力学测试研究

收稿日期: 2014-01-07

效果;通过模拟计算直接得到结构的全场变形和应力,对评价结构的完整性、优化产品设计提供可靠的解决方案。笔者基于 Solidworks Simulation 建模分析软件,对两种开口塑料桶在高温条件下的堆码强度进行模拟分析,预测包装容器结构的完整性和产品设计的合理性,并对产品的堆码能力进行评价。

1 开口塑料桶结构尺寸与材料性能

笔者以提梁开口塑料桶和无提梁开口塑料桶为研究对象,应用 Solidworks Simulation 建模分析软件,对这两种典型的开口塑料桶进行高温堆码强度模拟分析,预测产品的堆码能力。提梁和无提梁开口塑料桶的结构形态和几何尺寸如图 1 所示。



a—提梁开口塑料桶;b—无提梁开口塑料桶

图 1 塑料桶的结构尺寸

提梁开口塑料桶结构采用开口式并安装提梁,桶口直径为 318 mm,桶底直径为 267 mm,桶高为 375 mm,壁厚为 2.7 mm;容量为 20 L;由高密度聚丙烯 (PP-HD) 和高密度聚乙烯 (PE-HD) 为主要原料制成。样品由天津某塑料制品有限公司制造。

无提梁开口塑料桶结构采用非提梁式开口桶,桶口直径为 228 mm,桶底直径为 247 mm,桶高为 452 mm,壁厚为 3.2 mm;容量为 20 L;由 PE-HD 制成。样品由天津某塑料制品有限公司制造。

根据 GB/T1040.1-2006《塑料拉伸性能的测定》的规定,分别从提梁开口塑料桶和无提梁开口塑料桶上取样并制作标准拉伸试件,应用岛津 AG-5TA 型电子万能材料试验机进行 40℃拉伸试验,测得两类包装容器材料的力学性能列于表 1 和表 2。

表 1 提梁开口塑料桶材料 (PE-HD/PP-HD) 的力学性能

弹性模量 / MPa	屈服极限 / MPa	强度极限 / MPa
493.40	16.30	22.20

表 2 无提梁开口塑料桶材料 (PE-HD) 的力学性能

弹性模量 / MPa	屈服极限 / MPa	强度极限 / MPa
563.60	15.52	21.60

2 堆码工况与建模

2.1 堆码工况

堆码载荷按照国家出入境检验检疫行业标准《SN — T0370.2-2009 出口危险货物包装检验规程

第二部分性能检验》的堆码载荷要求进行施加,规定出口危险货物包装的堆码高度不小于 3 m,堆码环境温度不低于 40℃。

堆码载荷 (P) 按式 (1) 计算:

$$P = W \times \frac{H-h}{H} \quad (1)$$

式中, W 为包装件 (桶 + 内装液体) 质量, kg; h 为桶高度, m; H 为堆码高度, m; $(H-h)/h$ 为堆码个数 (进位取整)。

内装物的密度取为 1 g/cm³ 的液体,桶内盛装液体的体积为容器最大容量 (20 L) 的 98%。

塑料桶自重及包装件重 W 计算:

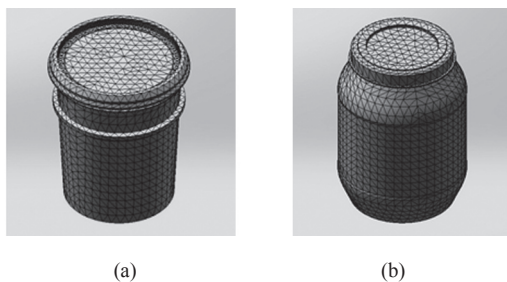
20 L 提梁开口塑料桶自重 1.05 kg; 包装件重 $W=1 \times 20 \times 1000 \times 0.98 / 1000 + 1.05 = 20.65$ kg

20 L 无提梁开口塑料桶自重 1.85 kg; 包装件重 $W=1 \times 20 \times 1000 \times 0.98 / 1000 + 1.85 = 21.45$ kg

2.2 有限元模型与边界条件

首先在 Solidworks Simulation 中完成两个塑料桶的几何建模,然后在 Solidworks Simulation 中直接进行有限元模拟。避免了在一个 CAD 软件中建模,然后导入另一个有限元软件中进行分析的繁琐步骤,建模与模拟分析所有流程在同一软件中完成。

在 Solidworks Simulation 中完成建模后,然后打开 Solidworks Simulation 插件,进入 Solidworks Simulation 有限元环境中,进行有限元网格划分和边界条件处理。有关参数设置如下: (1) 将塑料桶底部着力部分进行固定,作为固定位移约束边界条件; (2) 对塑料桶顶部实际受力部分 (桶顶部与上层包装容器底部接触部分) 加均布载荷; (3) 采用三维四面体单元对塑料桶进行网格划分,提梁开口桶划分的单元数为 12 902 个,无提梁开口桶划分的单元数为 10 656 个,有限元网格划分模型如图 2 所示。



a—提梁桶有限元网格模型;b—无提梁开口桶有限元网格模型

图 2 塑料桶有限元网格模型

3 堆码强度模拟与结果分析

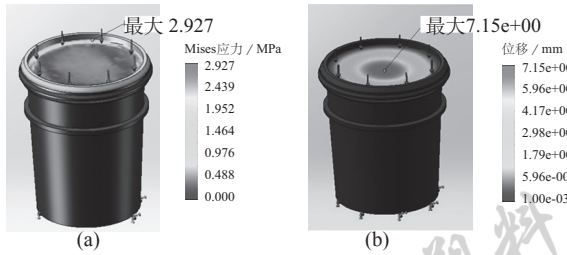
3.1 堆码强度有限元模拟

笔者进行堆码强度模拟分析时,材料按各向同

性处理,受载过程考虑 40℃温度条件对材料力学性能的影响。材料的变形发生在弹性范围内,材料的弹性模量从表 1 和表 2 中选取,泊松比取 0.38。

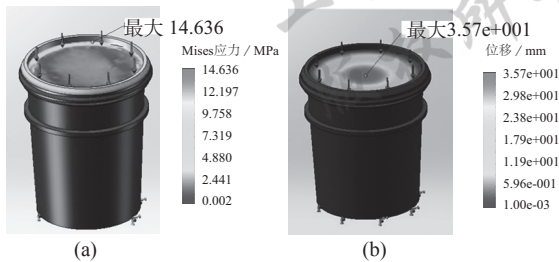
(1) 提梁开口塑料桶的堆码强度模拟结果。

容量 20 L 的提梁开口塑料桶采用直接堆码方式加载,上层桶的压力直接作用于底层桶的桶盖接触面上。由桶的几何模型可知,堆码时上下层桶之间的接触面积为一环形(即受力面积),测得环形面积为 2 455.89 mm²,经计算得出单层堆码所受压力为 0.0824 MPa,桶高为 375 mm。本工况分别按 1 层、5 层、6 层堆码载荷计算,相当于堆码高度为 0.75、2.25、2.625 m。模拟结果如图 3、图 4 和图 5 所示,最大 Mises 应力和最大位移计算结果列于表 3 中。



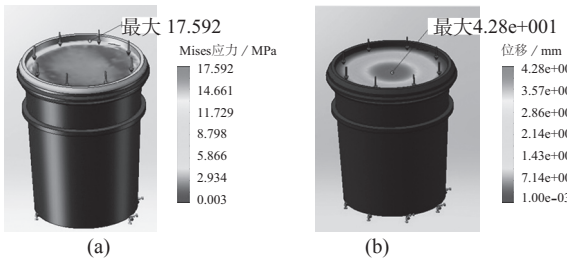
a—Mises 应力场; b—位移场

图 3 提梁塑料桶 1 层堆码模拟结果 (0.75 m)



a—Mises 应力场; b—位移场

图 4 提梁塑料桶 5 层堆码模拟结果 (2.25 m)



a—Mises 应力场; b—位移场

图 5 提梁塑料桶 6 层堆码模拟结果 (2.625 m)

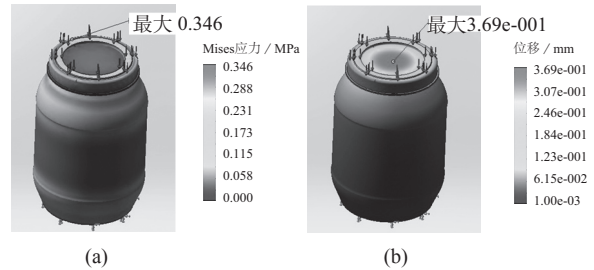
表 3 提梁开口塑料桶应力和位移计算结果

堆码高度 / m	最大应力 / MPa	最大位移 / mm	屈服极限 / MPa	强度极限 / MPa
0.75	2.927	7.15		
2.25	14.636	35.70	16.30	22.20
2.625	17.592	42.80		

(2) 无提梁开口塑料桶的堆码强度模拟结果。

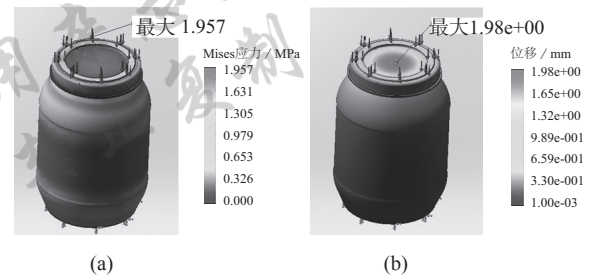
容量 20 L 的无提梁开口塑料桶采用直接堆码方式加载,堆码时上下层桶之间的接触面积为 2 676.57 mm²,计算得出单层堆码所受压力为 0.011 1 MPa,桶高为 452 mm。

本工况分别按 1 层、7 层堆码载荷计算,相当于堆码高度为 0.904 m、3.616 m。模拟结果如图 6、图 7 所示;最大 Mises 应力和最大位移列于表 4 中。



a—Mises 应力场; b—位移场

图 6 无提梁塑料桶 1 层堆码模拟结果 (0.904 m)



a—Mises 应力场; b—位移场

图 7 无提梁塑料桶 7 层堆码模拟结果 (3.616 m)

表 4 无提梁开口塑料桶应力和位移计算结果

堆码高度 / m	最大应力 / MPa	最大位移 / mm	屈服极限 / MPa	强度极限 / MPa
0.904	0.35	0.37	15.52	21.60
3.616	1.96	1.98		

3.2 模拟结果分析

对于容量 20 L 的提梁开口塑料桶来说,从图 3、图 4、图 5 及表 3 可以看出,堆码载荷作用下最大 Mises 应力作用在桶盖上,并靠近桶口附近,最大位移发生在桶盖的中心位置;从应力云图上可看出,提梁开口塑料桶的侧壁上分布的应力相对较小,说明侧壁承担的堆码载荷较少,没有充分发挥桶侧壁的承载能力。模拟结果显示,随着堆码载荷的增加,桶的最大 Mises 应力和最大位移随之迅速增加。当堆码高度达到 2.25 m 时,桶的最大 Mises 应力为 14.636 MPa,小于屈服极限,结构处于弹性变形状态;此时桶盖中心的位移为 35.70 mm。当堆码高度达到 2.625 m 时,桶的最大 Mises 应力上升到 17.592 MPa,已经大于材料屈服极限,结构处于塑

性变形状态,塑料桶很容易泄漏;此时桶盖中心的位移增加到 42.80 mm。

对于容量 20 L 的无提梁开口塑料桶来说,从图 6、图 7 及表 4 可以看出,堆码载荷作用下最大 Mises 应力作用在桶盖与桶口接触位置,最大位移也发生在桶盖的中心。从应力云图上看,无提梁开口桶的侧壁上承担了许多堆码载荷,可见该结构形式能够充分发挥桶体和桶盖各部分的承载能力。从模拟结果来看,当堆码高度达到 3.616 m 时,桶的最大 Mises 应力为 1.96 MPa,远小于材料屈服极限,结构处于弹性变形状态,桶能够正常使用;此时桶盖中心的位移也只有 1.98 mm。

4 结论

对两种开口塑料桶力学性能参数进行了实验测定,并根据出口危险货物包装检验规程的堆码测试标准,设计了相应的堆码条件。在此基础上,应用 Solidworks Simulation 有限元软件对两种塑料桶在高温堆码条件下的应力场和应变场进行了分析。得到如下结论:

(1) 两种开口塑料桶高温堆码时,最大 Mises 应力均出现在桶盖与桶口接触位置,最大位移均出现在桶盖中心位置。

(2) 在容量 20 L 提梁开口塑料桶上堆码 6 层时(堆高 2.625 m),其承受的最大 Mises 应力超过了屈服极限,因此其堆码高度不能达到 3 m 的要求。这主要是由于桶盖和桶底在堆码时接触面积小,以及桶体形状设计不合理所致。

(3) 容量 20 L 无提梁开口塑料桶堆码高度可以达到 3 m,其桶盖、桶底和桶体设计较为合理。

参考文献

- [1] 万敏,陶强,崔鹏,等.危险品包装的发展及常见质量问题探讨[J].包装工程,2011,32(3):103-106.
Wan Min, Tao Qiang, Cui Peng, et al. Development of dangerous goods packaging and discussion on common quality problems[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3):103-106.
- [2] 冯智劼,侯倩,毛国柱,等.中散包装与危险品包装生命周期评价比较研究[J].包装工程,2013,34(23):48-53.
Feng Zhijie, Hou Qian, Mao Guozhu, et al. Comparison study of life cycle assessment for dangerous goods packaging and intermediate bulk container[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(23):48-53.
- [3] 周建伟,王振林.危险品包装的安全监管与检测技术[J].包装工程,2007,28(8):52-55.
Zhou Jianwei, Wang Zhenlin. Safety supervision and detection technology of dangerous goods packaging[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(8):52-55.
- [4] 周建伟,王振林.危险品包装容器检测新系统开发[J].包装工程,2008,29(5):37-38,45.
Zhou Jianwei, Wang Zhenlin. Development of new automatic test equipment for dangerous goods packaging[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(5):37-38,45.
- [5] Joanne Ellis. Analysis of accidents and incidents occurring during transport of packaged dangerous goods by sea[J]. Safety Science, 2011, 49(8):1 231-1 237.
- [6] 朱金禄,蒋伟.出口危险货物塑料桶性能检验中的问题[J].机电信息,2006(10):31-32.
Zhu Jinlu, Jiang Wei. The problems in performance examination for export dangerous goods packaging[J]. Mechanical and Electrical Information, 2006(10):31-32.
- [7] 朱海燕,肖小亭,张婧婧,等.ABS / 铝粉共混物注塑件翘曲变形的模拟分析[J].工程塑料应用,2010,38(11):35-38.
Zhu Haiyan, Xiao Xiaoting, Zhang Jingjing, et al. Numerical analysis on warpage of ABS / aluminium blends in injection moulding[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(11):35-38.
- [8] 王志明,周璇,吴旭东.电动工具外壳注塑模拟与成型方案优化[J].工程塑料应用,2012,40(1):36-38.
Wang Zhiming, Zhou Xuan, Wu Xudong. Injection simulation and molding project optimization for electric tools shell[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(1):36-38.
- [9] 付秀娟,邓宁.壳体制品注塑工艺参数 CAE 优化分析[J].工程塑料应用,2008,36(6):43-45.
Fu Xiujuan, Deng Ning. Optimal analyzing for injection molding parameter of shell part[J]. Engineering Plastics Application, 2008, 36(6):43-45.
- [10] Durul Ulutan. Determination of tool friction in presence of flank wear and stress distribution based validation using finite element simulations in machining of titanium and nickel based alloys[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2013, 213(12):2 217-2 237.
- [11] Connor C P J O, Martin P J, Sweeney J, et al. Simulation of the plug-assisted thermoforming of polypropylene using a large strain thermally coupled constitutive model[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2013, 213(9):1 588-1 600.
- [12] Lou Yanshan, Hoon H. Prediction of ductile fracture for advanced high strength steel with a new criterion:Experiments and simulation[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2013, 213(8):1 284-1 302.
- [13] 孙健华,袁国定,顾海.基于 CAE 技术的磁疗仪后盖翘曲分析及参数优化[J].制造业自动化,2013(18):154-156.
Sun Jianhua, Yuan Guoding, Gu Hai. The warp analysis and parameter optimization of magnetic therapy apparatus back cover based on CAE technology[J]. Manufacturing Automation, 2013(18):154-156.

- [14] Erdim H, Lazoglu I, Ozturk B. Feedrate scheduling strategies for free-form surfaces [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2006, 46(7-8): 747-757.
- [15] 王连东, 杨东峰, 崔亚平, 等. 预成形管坯压制成形汽车桥壳的

- 变形分析 [J]. 中国机械工程, 2013, 24(19): 2670-2674.
- Wang Liandong, Yang Dongfeng, Cui Yaping, et al. Deformation analysis of automobile housings pressed and formed by pre-formed tube [J]. China Mechanical Engineering, 2013, 24(19): 2670-2674.

请 订 阅 最 新 塑 料 专 业 书 籍

您可通过邮局或银行汇款向杂志社订阅最新塑料专业书籍 (订价中均已含书价 10% 的挂号邮寄费), 欲订阅更多书籍, 请联系杂志社。汇款时请注明书籍 ISBN、书名、订购册数、金额、收件人、邮编及详细地址。如需发票, 请来信或电话告知。

邮局汇款:

收款单位: 山东省济南市 108 信箱杂志社
 邮政编码: 250031 传真: (0531)85947355
 电 话: (0531)85878223 85878057

银行汇款:

户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所
 开户银行: 济南市工商银行经十一路支行
 帐 号: 1602001229014425546

ISBN	书 名	出版年份	订价 / 元
9787122184832	连续玻璃纤维实用技术拾零	2014	54
9787122178923	合成树脂及应用丛书—— 氟树脂及其应用	2014	108
9787122188694	多晶硅与硅片生产技术	2014	75
9787122185365	高吸附纤维及其应用	2014	64
9787122188427	二氧化钛光催化活性	2014	53
9787122179777	高新技术科普丛书—— 新型与特种纤维	2014	39
9787122182555	高岭土加工与应用	2014	64
9787122175007	注射成型	2014	218
9787122185358	高新技术科普丛书—— 多孔固体材料	2014	39
9787122178299	塑料型材生产新技术	2014	32
9787122185051	注塑成型工艺技术与生产管理	2014	40
9787122183736	含能高分子材料球形化技术	2014	64
9787122185440	纳米复合磁性材料—— 制备、组织与性能	2013	64
9787122183217	高分子工程基础	2013	42
9787122181190	橡胶材料及工艺学	2013	75
9787122178602	有机硅材料基础	2013	50
9787122178862	木质复合材料无损检测及 可靠性研究	2013	53
9787122172945	高吸水性聚合物	2013	108
9787122177957	塑料制品与加工丛书—— 塑料板材与加工	2013	97
9787122171146	塑料制品与加工丛书—— 塑料弹性材料与加工	2013	75
9787122166890	塑料制品与加工丛书—— 塑料异型材与加工	2013	86
9787122164988	塑料制品与加工丛书—— 塑料建筑材料与加工	2013	75
9787122154385	纳米涂料的制备及应用	2013	64
9787122158307	腰果酚及腰果酚类树脂	2013	42

ISBN	书 名	出版年份	订价 / 元
9787122169044	有机光电材料与器件	2013	40
9787122176110	非金属矿加工与应用 (第3版)	2013	50
9787122179562	橡胶加工简明读本	2013	43
9787122172983	膨润土加工与应用 (第二版)	2013	65
9787122172938	环境友好型防锈颜料—— 复合铁钛粉应用研究论文集	2013	53
9787122165695	塑料光学手册	2013	108
9787122165626	现代橡胶技术丛书—— 生胶及其共混物	2013	75
9787122169099	塑料中有毒有害物质 检测技术	2013	75
9787122168313	现代橡胶技术丛书—— 功能橡胶制品	2013	53
9787122165633	橡胶材料简明读本	2013	42
9787122162854	泡沫塑料基础知识读本	2013	51
9787122162069	现代橡胶技术丛书—— 橡胶补强填充剂	2013	53
9787122164186	英汉·汉英高分子词汇 (第3版)	2013	108
9787122163479	现代橡胶技术丛书—— 橡胶压延与挤出	2013	53
9787122162205	现代橡胶技术丛书——轮胎	2013	53
9787122159724	新材料丛书——新型纺织纤维	2013	54
9787122159281	塑料薄膜的印刷与复合 (第3版)	2013	97
9787122163004	太阳能电池薄膜技术	2013	53
9787122162748	现代橡胶技术丛书—— 橡胶硫化	2013	53
9787122154934	新材料丛书——功能膜 及其应用	2013	53
9787122155061	新材料丛书——高性能纤维及 复合材料	2013	54