

新型木塑复合材料及其制备方法研究

张承革, 石友强, 郭睦基, 孙强

(国营第791厂, 重庆401336)

摘要: 目的 研制一种新型木塑复合材料。方法 采用对比试验及验证试验, 合理设计新型木塑复合材料的配方及其制备方法。结果 确定了新型木塑复合材料的最佳配方和最优的制备方法及其工艺参数(板材厚度为12 mm, 混料加热温度为80~90℃, 冷却水的温度为3~8℃)。结论 研制成功的新型木塑复合材料具有抗静电、阻燃防火、附着力强、防潮、防水、防虫、防霉、耐腐蚀、强度高、韧性好、耐老化、缓冲性能好、表面光滑、质量轻、木质感强、无污染、价格低等优良性能, 适合印刷标志。

关键词: 新型木塑复合材料; 配方; 制备方法; 研究

中图分类号: TB484.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2014)03-0137-06

A New Type of Wood-plastic Composite Material and Its Preparation Method

ZHANG Cheng-ge, SHI You-qiang, GUO Mu-ji, SUN Qiang

(State-operated No. 791 Factory, Chongqing 401336, China)

ABSTRACT: **Objective** To develop a new type of wood-plastic composite material. **Methods** The formula and the preparation method of a new type of wood-plastic composite material were reasonably designed by comparison test and verification test. **Results** The optimal formula of a new type of wood-plastic composite material and the most optimized preparation method and technological parameters (plate thickness: 12 mm, heating temperature of material mixing: 80~90℃, temperature of cooling water: 3~8℃) were determined. **Conclusion** The new type of wood-plastic composite material was anti-static, fire-proofing, moisture proof, water proof, insect preventing, mould proof, and had strong adhesive force, high corrosion resistance, high strength, good tenacity, high aging resistance, good buffering effects, smooth surface, light weight, good woody performance, with no pollution and low cost, and is therefore suitable for printing marks.

KEY WORDS: new type of wood-plastic composite material; formula; preparation method; research

弹药包装是确保弹药产品在储存、运输及使用等过程中免受各种不良因素影响的重要屏障和保护载体。长期以来,国内外的弹药包装箱大多采用钢铁、木材等传统材料制造,随着现代弹药装备技术的发展和环境的日益复杂,使用这些材料制造的包装箱存在诸多不足。近年来,随着各种塑料新技术、新工艺的不断发展和弹药包装的多功能化需求,塑料及其复合材料被越来越多地应用于弹药包装,以提高包装物对弹药产品的综合防护能力及环境适应能力。在

世界各国大力关注生态环境的今天,节约资源、保护环境是各行业发展面临的共同课题,开发研究有利于环境保护的生态包装材料代替传统资源消耗型材料是当前和今后发展的重要趋势。一种用于弹药包装的新型木塑复合材料正是在这样的需求背景下研发成功的,现已申请国家发明专利。笔者针对某新型弹药开发研究一种全新的木塑复合包装材料取代传统的包装材料制造包装箱,以满足其质量轻、强度高、耐老化、防潮防水、防静电、阻燃防火等多项功能的要求。

收稿日期: 2013-11-01

作者简介: 张承革(1967—),男,重庆永川人,重庆长江电工工业集团有限公司(国营第791厂)高级工程师,主要研究方向为弹药包装及弹药装配,已获得4项国家专利。

1 新型木塑复合材料研发的提出

为了适应现代战争的发展,2010年随着某枪弹的研发,研制新型包装箱被提上了议事日程,确定用新型包装材料取代传统的木材和普通塑料制造包装箱。新型包装箱与该新武器系统一道进行研制,由此研发新型材料成了头等大事,这种新型材料既要克服钢铁、木材、塑料的缺点,又要成本低。从传统包装的使用情况来看,用钢铁和塑料做的包装箱比较笨重,加大了战士的负荷,不利于机动作战,越来越不适应现代战争快速反应的需要,且成本高。用木材做的包装箱虽然比较轻,价格成本也比较低,但木材不能防潮,受潮会腐朽,易生霉、易被白蚁蛀蚀,不防火,不防静电,且木材越来越匮乏,木材价格也越来越高,大量木材砍伐不利于环境保护。比较木材、钢铁和塑料3种材料,木材的质量比钢铁和塑料轻,而塑料克服了钢铁和木材几乎所有的缺点,能否把木材和塑料混合在一起,使其既有木材质量轻的特点,又具有塑料的优点,这是一个全新的课题。

2 新型木塑复合材料组成及配方研究

2.1 设计思路

新型木塑复合材料研究主要解决3个问题^[1-3]:新型木塑复合材料的性能;材料选择和配方设计;新型木塑复合材料的制备方法。

在性能方面,要求新型材料克服钢铁、木材、塑料的缺点,具备抗静电、阻燃防火、标志印刷附着力强、防潮、防水、防虫、防霉、耐腐蚀、强度高、质量轻、韧性好、耐老化及可加工性能好等优良性能。在材料选择和配方设计上,优化选择木粉、塑料及相关辅助添加剂等,确定合理、优化的材料配方体系。在制备方法上,采用高温混炼、熔融混合法,优化工艺技术途径和制备工艺参数。

2.2 材料选择与配方设计

2.2.1 材料选择

材料的选择是为了达到2个目的,一是要满足新型木塑复合材料具备上述优良性能,适合弹药包装;二是成本要低。为了达到这2个目的,经过多次试验探索,初步考虑将木材制成木粉和塑料粉末,为了满足某项性能而添加其他辅助添加剂,混合加热制成板

材。

根据国内外塑料的现状,决定选用性能比较好、价格比较低的聚乙烯或聚氯乙烯^[4],因为生产聚乙烯或聚氯乙烯的原料乙烯来源广泛,是最基本的化工原料。但用这2种塑料与木粉及其他辅助添加剂混合加热制成的板材质量比较大,为了减轻质量,经过多次对比试验,找到了一种“发泡馒头”的方法,即在混合加热时加入发泡剂将材料发泡形成一些蜂窝状小孔,这样制成的板材不仅质量比较轻,而且缓冲性能好^[5-7]。经过多次试验,发现聚氯乙烯与木粉及其他辅助添加剂混炼后可以挤出发泡,而聚乙烯与木粉及其他辅助添加剂混炼后挤出不能发泡,由此为了减轻质量,塑料材料只能选择聚氯乙烯。在木材选择上,为了降低成本选择废旧木材制成木粉。

众所周知,在塑料的加工工艺上,为了改善塑料的某些性能可以加入某些添加剂与塑料混合在一起加热制成新的改性塑料^[8]。同样在木粉与塑料混合加热时,可以满足某项性能而添加其他的辅助添加剂。为了得到性能优良的木塑材料,在木塑材料的加工过程中添加其他辅助添加剂,具体添加情况为:为了增加木塑材料的抗静电性能添加抗静电剂和碳纤维^[9-10];为了增强木塑材料的阻燃防火性能添加阻燃剂^[11-12];为了增加木塑材料印刷标志的附着力,使其表面印刷的标志不会脱落添加标志印刷附着剂^[13];为了增加木塑材料的强度添加玻璃纤维^[14];为了增加木塑材料的耐老化性能添加抗老化剂;为了发泡添加发泡剂;在加工过程中为了方便挤出成形添加润滑剂;为了解决发泡不均匀的问题添加发泡调节剂;为了解决板材冷却后变形比较大的问题添加轻质碳酸钙,使木粉和塑料钙化。

综上所述,选择的材料为:聚氯乙烯、木粉、抗静电剂、碳纤维、阻燃剂、标志印刷附着剂、玻璃纤维、抗老化剂、发泡剂、润滑剂、发泡调节剂、轻质碳酸钙。

2.2.2 配方设计

为了得到性能优良的板材,先后进行了多个配方设计和对比试验测试,得到了优化的材料配方^[15],见表1。

2.2.3 材料性能验证

为了验证新型木塑复合材料的性能,对新制成的发泡木塑板材进行了相应的验证试验,结果表明各项性能均能满足规定的要求,材料性能验证试验情况见表2。

表 1 优化的材料配方
Tab.1 Optimized material formula

序号	材料成分名称	质量分数 /%
1	聚氯乙烯粉末	49
2	木粉	24
3	玻璃纤维	7
4	碳纤维	3
5	抗静电剂	2.5
6	阻燃剂	2
7	抗老化剂	2.5
8	标志印刷附着剂	1.5
9	发泡剂	4
10	润滑剂	1
11	发泡调节剂	1.5
12	轻质碳酸钙	3

表 2 材料性能验证试验情况
Tab.2 Material performances test

序号	性能项目	试验方法及标准	试验结果
1	防腐蚀性	GJB 150. 11A—2009 ,军用装备实验室环境试验方法第 11 部份: 盐雾试验。	防腐蚀性合格
2	耐老化性能	GJB 150. 3A—2009 ,军用装备实验室环境试验方法第 3 部份: 高温试验。GJB 150. 4A—2009 ,军用装备实验室环境试验方法第 4 部份: 低温试验。	耐老化性能合格
3	防静电性能	GB/T 1410—2006 ,固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法。	防静电性能合格
4	阻燃性能	GB/T 2408—2008 ,塑料燃烧性能的测定: 水平法和垂直法。	阻燃性能达到 HB40 级
5	防霉性能	GJB 150. 10A—2009 ,军用装备实验室环境试验方法第 10 部份: 霉菌试验。	防霉性能合格
6	吸水性能	GB/T 1034—1998 ,塑料吸水性试验方法。	吸水性能合格
7	强度和韧性	GJB 2711—96 ,军用运输包装件试验方法: 方法 1 跌落试验。GJB 2711—96 ,军用运输包装件试验方法: 方法 13 堆码试验。	跌落试验和堆码试验合格
8	加工性能	用木工的工具对新制出来的板材像木材那样进行锯、钻、刨、钉、上螺钉、粘接等加工。	具有优良的加工性能

2.2.4 木塑复合材料板材结构及特性

新型木塑复合材料发泡板材由 3 部份构成见图 1 板材的上面层和下面层是表皮层 ,厚度约为 2 mm ,

表皮层致密光滑 ,比较硬 ,中间是发泡层 ,发泡层比较软 ,固板材既具有强度又有韧性 ,板材的力学性能比较好 ,其检测结果见表 3。发泡层厚度约为 8 mm ,发泡微孔的直径约为 0.4 mm ,中间发泡可以起到减轻质量和缓冲的目的。表皮层致密光滑不吸水 ,发泡层的微孔是封闭的 ,水不可能渗入到里面 ,只会渗湿板材边缘发泡微孔因加工被破坏的部份 ,因此可以起到防水防潮的作用。发泡层的微孔中间是空的 ,不传热 ,可以起到隔热保温的作用。这种结构决定了木塑复合材料具有 4 个显著特点: 强度高韧性好、质量轻、防水防潮性能好、隔热保温。木塑复合材料板材的平面图和切面图分别见图 2 和图 3。

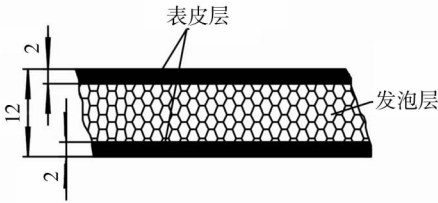


图 1 新型木塑复合材料发泡板材构成
Fig.1 Foaming plate composition of a new type of wood - plastic composite material

表 3 板材的力学性能检测
Tab.3 Mechanical property test of the plate

项目	拉伸强度 / MPa	断裂拉伸 应变 /%	弯曲强度 / MPa	悬臂梁缺口冲击 强度 / (kJ · m ⁻²)
检测数据	22.7	32	44.7	23

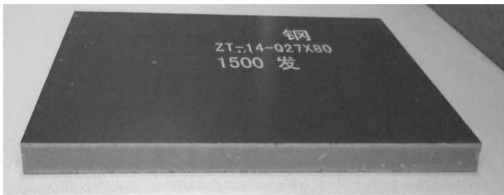


图 2 木塑复合材料板材的平面
Fig.2 Plane figure of the wood - plastic composite material

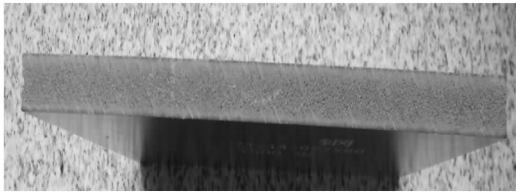


图 3 木塑复合材料板材的切面
Fig.3 Section figure of the wood - plastic composite material

为了验证木塑复合材料板材的质量、防水防潮性能、隔热保温性能,分别用钢铁、木材、塑料、新型木塑复合材料制作成 4 块长度、宽度、厚度均相同的模板进行质量、防水防潮、隔热保温等 3 个对比验证试验,试验结果见表 4。

从表 4 中可以看出,钢铁质量最大,新型木塑复合材料的质量介于木材和塑料之间;钢铁和塑料不吸水,木材吸水量最大,新型木塑复合材料基本不吸水;钢铁热传递时间最短,新型木塑复合材料热传递时间最长,其隔热保温性能最好。

表 4 4 种材料质量、吸水量、隔热保温性能试验结果对比
Tab.4 Comparison of weight ,soakage and heat protection test of 4 materials

项 目	质量/kg	吸水量/kg	热传递时间/min
钢铁	4.3	0	5
木材	2.15	2.16	8
普通塑料	3.2	0	9
新型木塑复合材料	2.43	0.043	23

2.2.5 新材料性能比较

新型木塑复合材料与钢铁、木材和塑料的性能比较见表 5,从表 5 可以看出,新型木塑复合材料的综合性能最好,达到了研制新材料的预期目的。

表 5 新型木塑复合材料与钢铁、木材和普通塑料的性能对比

Tab.5 Performance comparison of the new type of wood-plastic composite material with steel ,wood and common plastic

材料性能	材料种类			
	钢铁	木材	塑料	木塑复合材料
防腐蚀性能	弱	较弱	强	强
耐老化性能	不易老化	不易老化	加入老化剂后不易老化	加入老化剂后不易老化
防静电性能	良好	不防静电	加入防静电剂后可防静电	加入防静电剂后可防静电
阻燃电性能	强	不阻燃	加入阻燃剂后可阻燃	加入阻燃剂后可阻燃
防霉性能	好	弱	良好	良好
吸水性能	不吸水	强	不吸水	基本不吸水
标志印刷性能	差	好	一般	好
强度	高	一般	较高	较高
韧性	差	较差	好	好
质量	重	一般	较重	比钢铁轻,介于木材与塑料之间
价格	高	一般	较高	一般
综合性能	一般	一般	一般	好

3 木塑复合材料制备方法研究

新型木塑复合材料在制备方法上要解决 3 个问题:按上述新型木塑复合材料的总体设计思路,采用高温加热的方法将木材、塑料和其他辅助添加剂混合在一起制成板材^[16-17],但高温加热时木材因高温已经碳化,因此必须寻找新的方法保护木材,防止其碳化;木材、塑料和其他辅助添加剂混合加热发泡的温度;板材表皮层的形成及温度。

3.1 防止木材高温碳化的方法

为了找到防止木材高温碳化的方法,进行了大量的试验,结果表明在高温加热发泡之前先混料,即将木材、塑料和其他辅助添加剂全部制成粉末,并在一定的温度下进行混合,然后再冷却,通过这种加热、混

合、冷却的方式,在木材粉末表面形成一层保护层,保护层可以防止其碳化,冷却的目的是使保护层固化。这种方法需要解决 2 个问题:木材、塑料和其他辅助添加剂混合时各自的粉末尺寸大小问题,即多大尺寸的木材、塑料和其他辅助添加剂混合才能混合均匀,并在木材粉末表面形成一层保护层;在何种温度下混料才能在木材粉末表面形成一层保护层。

3.1.1 木材、塑料和其他辅助添加剂混合时粉末尺寸大小

在木材、塑料和其他辅助添加剂加热混料时,粉末尺寸的大小对于在木粉表面形成一层保护层有很大的影响,根据需要进行选择 7 种不同直径的木材、塑料和其他辅助添加剂进行加热混合对比试验,结果见表 6。

从表 6 可以看出,直径越小效果越好,直径越大效果越差,但直径越小材料价格越高,由此木材、塑料和其他辅助添加剂的直径范围为 0.02~0.06 mm。

表 6 材料尺寸对比试验结果
Tab.6 Comparison results of material size

编号	木材、塑料和添加剂直径/mm	混合效果
1 [#]	0.01	好
2 [#]	0.02	好
3 [#]	0.03	较好
4 [#]	0.04	较好
5 [#]	0.05	较好
6 [#]	0.06	一般
7 [#]	0.07	差

3.1.2 混料温度

木材、塑料和其他辅助添加剂混料时,混料温度是另一个影响因素,对 7 种不同温度进行加热混料对比试验,其结果见表 7。

表 7 混料温度对比试验结果
Tab.7 Comparison results of material mixing temperature

编号	加热温度/℃	混合效果
1 [#]	60	差
2 [#]	70	差
3 [#]	80	好
4 [#]	90	好
5 [#]	100	一般
6 [#]	110	木粉碳化
7 [#]	120	木粉碳化

从表 7 可以看出,混料加热温度为 80 ~ 90 ℃ 时效果比较好,因此混料加热温度为 80 ~ 90 ℃。

3.2 木材、塑料和其他辅助添加剂混合加热发泡的温度

木材、塑料和其他辅助添加剂混料、冷却后,接下来就是发泡制成板材,如何确定合理的发泡温度是关键。在没有经验的情况下,根据需要确定 7 种不同的温度进行对比试验,其结果见表 8。

表 8 发泡温度对比试验结果

Tab.8 Comparison results of foaming temperature

编号	加热温度/℃	板材发泡效果
1 [#]	120	差
2 [#]	130	一般
3 [#]	140	较好
4 [#]	150	好
5 [#]	160	一般
6 [#]	170	差
7 [#]	180	差

从表 8 可以看出,温度为 130 ~ 160 ℃ 时,板材效果比较好,因此木材、塑料和其他辅助添加剂混合加

热发泡的温度为 130 ~ 160 ℃。

3.3 板材表皮层的形成及温度控制

木材、塑料和其他辅助添加剂经过高温发泡后,怎样才能形成表皮层,温度为多少摄氏度形成的表皮层才能满足要求?这是表皮层形成时需要解决的问题。

3.3.1 板材表皮层的形成

怎样才能形成板材的表层皮?通过多次摸索、实验和分析观察,有效的方法是:混合物料在衣架式专用模具中经高温形成熔融物,此时熔融物已完全具备了发泡条件,只是因模具内没有膨胀空间,熔融物并未发泡,所以需要将高温熔融物挤入容积空间比衣架式专用模具容积空间大得多的板材定型模具,高温熔融物在容积空间大的板材定型模具内膨胀发泡形成板材,板材定型模具必须预先用水冷却,熔融物与板材定型模具接触的部份遇冷温度太低不能发泡,形成致密光滑的表皮层,距离板材定型模具表面比较远的熔融物因温度高立即膨胀发泡,这样板材就形成如图 1 的上、下表面有表皮层而中间发泡的 3 层结构。

3.3.2 板材表皮层形成的冷却温度

用水冷却才能形成表皮层,水的温度达到多少度形成的表皮层才能满足要求?经过多次摸索试验,根据需要确定 3 种不同的冷却水温度段,进行对比试验,得到的表皮层厚度结果见表 9。

表 9 冷却温度对表皮层厚度的影响试验结果

Tab.9 Test results of relationship between cooling temperature and case thickness

冷却水温度段/℃	表皮层厚度/mm
1 ~ 2	约 2.5
3 ~ 8	约 2
10 ~ 15	约 1.5

从表 9 可以看出,冷却水温度越低,得到的表皮层厚度越厚,冷却温度越高,得到的表皮层厚度越薄。由此要得到厚度约 2 mm 的表皮层,冷却水的温度为 3 ~ 8 ℃。

4 结语

新型木塑复合材料克服了钢铁、木材和塑料的缺点,具有钢铁、木材和普通塑料所不具备的优良性能,完全可以取代钢铁、木材和普通塑料用于弹药包装和作为民用材料制作家具、用于装饰、装修等。

2011 ~ 2013 年利用该新型木塑复合材料制造的某弹药包装箱成功通过了在海南、新疆、西藏、北城等

地进行的部队寒区、热区及高原试验,经部队试验证明具有以下优点。

1) 该新型木塑复合材料设计先进、合理,具有抗静电、阻燃防火、附着力强、适合印刷标志、防潮、防水、防虫、防霉、耐腐蚀、强度高韧性好、耐老化、缓冲性能好、表面光滑、质量轻、木质感强、无污染等优点,且价格比较低,有利用保护环境,可以进行锯、钻、刨、钉、上螺钉、粘接等加工。

2) 用该新型木塑复合材料制成的包装箱具有质量轻、强度高、承压力大、堆码稳固、抗冲击性能好、抗震动性能高、工艺性好、可回收有利于环保等优点。

参考文献:

- [1] 靳跃钢,高海波. 美军弹药包装设计与试验要求[J]. 包装工程 2013 34(1): 145—149.
JIN Yue-gang, GAO Hai-bo. Ammunition Packaging Design and Test Requirements of American Military[J]. Packaging Engineering 2013 34(1): 145—149.
- [2] 易胜,杨岩峰. 外军弹药包装发展研究[J]. 包装工程, 2012 33(1): 137—141.
YI Sheng, YANG Yan-feng. Ammunition Packaging Development Research of Foreign Armies[J]. Packaging Engineering 2012 33(1): 137—141.
- [3] 李秉旗,宋瑞华. 常规弹药包装设计程序及要求[J]. 包装工程 2011 32(23): 47—48.
LI Bing-qi, SONG Rui-hua. Packaging Design and Requirements of Conventional Ammunition[J]. Packaging Engineering 2011 32(23): 47—48.
- [4] 罗河胜. 塑料材料手册[M]. 广州: 广东科技出版社, 1988.
LUO He-sheng. Plastic Material Manual[M]. Guangzhou: Guangdong Science Press, 1988.
- [5] 孙中振,王珺,王军. 疲劳振动对蜂窝纸板缓冲性能影响[J]. 包装工程 2013 34(23): 1—4.
SUN Zhong-zhen, WANG Jun, WANG Jun. The Effect to Buffer Performance of Honeycomb Paper Plate by Fatigue Vibration[J]. Packaging Engineering 2013 34(23): 1—4.
- [6] 赵英芹,王玉龙,蒋春华. 蜂窝/瓦楞叠合纸板缓冲性能研究[J]. 包装工程 2013 34(23): 60—63.
ZHAO Ying-qin, WANG Yu-long, JIANG Chun-hua. Buffer Performance Research of Honeycomb/Corrugated Fold Paper Plate[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(23): 60—63.
- [7] 朱宏,王冬梅. 发泡聚乙烯醇缓冲机理研究[J]. 包装工程 2013 34(15): 9—14.
ZHU Hong, WANG Dong-mei. Foamed Polyvinyl Alcohol Buffer Mechanism Research[J]. Packaging Engineering, 2013 34(15): 9—14.
- [8] 李东立. 聚丙烯软包装材料的改性研究[J]. 包装工程, 2009 30(9): 13—15.
LI Dong-li. Modification Research of Polypropylene Soft Packaging Material[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(9): 13—15.
- [9] 赵春燕,蔡建. 炭黑填充聚烯烃防静电塑料薄膜性能影响及工艺过程控制[J]. 包装工程 2012 33(15): 138—140.
ZHAO Chun-yan, CAI Jian. Performance Effect and Technology Process Control of Carbon Black Filling Polyethylene Anti-static Plastic Thin Film[J]. Packaging Engineering 2012 33(15): 138—140.
- [10] 李宇明,孙家卫. 包装材料的防静电设计[J]. 包装工程, 2012 33(15): 81—82.
LI Yu-ming, SUN Jia-wei. Anti-static Design of Packaging Material[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15): 81—82.
- [11] 陈卫民,叶平安. 杨木胶合板阻燃性能研究[J]. 包装工程 2012 33(23): 14—16.
CHEN Wei-min, YE Ping-an. Flame Resistance Performance Research of Poplar Plywood[J]. Packaging Engineering 2012 33(23): 14—16.
- [12] 何淑芬,王伟. 弹药木包装箱阻燃处理的研究[J]. 包装工程 2012 33(1): 29—31.
HE Shu-fen, WANG Wei. Flame Resistance Treatment Research of Wooden Packaging Box of Ammunition[J]. Packaging Engineering 2012 33(1): 29—31.
- [13] 刘莹莹,钱军浩. 油墨转移渗透对印刷品质量影响的模型研究[J]. 包装工程 2012 33(3): 126—129.
LIU Ying-ying, QIAN Jun-hao. Model Research on Presswork Quality Affected by Printing Ink Transfer Osmosis[J]. Packaging Engineering 2012 33(3): 126—129.
- [14] 陈愚. 高性能纤维及其复合材料在防护装备上的应用[J]. 包装工程 2011 32(23): 72—74.
CHEN Yu. The Application of High-performance Fibre and Its Composite Material on Defence Equipment[J]. Packaging Engineering 2011 32(23): 72—74.
- [15] 田雁晨,王文广. 塑料配方大全[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
TIAN Yan-chen, WANG Wen-guang. Plastic Formula Works[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2002.
- [16] 北京市塑料工业公司. 塑料成型工艺[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1993.
Beijing Plastic Industry Company. Plastic Molding Technology[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1993.
- [17] 曹宏深,赵中治. 塑料成型工艺与模具设计[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1993.
CAO Hong-shen, ZHAO Zhong-zhi. Plastic Molding Technology and Mold Design[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1993.