

木塑复合材料成型工艺及影响因素的研究

于艳滨 唐 跃 姜 蔚

(青岛科技大学机电工程学院, 青岛 266061)

摘要 论述了木塑复合材料的成型工艺,着重对影响木塑复合材料挤出成型性能的因素如成型设备、工艺条件、基体树脂种类、木粉含量及木粉粒径、添加剂等进行了相应的分析,为深入开展木塑复合材料的加工研究提供了分析资料。

关键词 木塑复合材料 挤出 注塑 木粉

木塑复合材料是以木质纤维(木粉、稻壳、秸秆等)和塑料(多为废弃热塑性塑料)为主要原料,经过预处理和共混等使之结合成为一种新型的复合材料。这种材料克服了单一材料的缺点,充分发挥材料中各组分的优势,不仅改进了材料的物理性能和加工性能,降低成本并扩大应用范围,而且还提高了材料的附加值。它既能替代天然木材,又能解决废弃塑料无处消耗的环境问题,因而越来越受到人们的重视。

木塑复合材料兼有木材和塑料的特性,力学性能好,既有木材良好的加工性,又有塑料的易成型性,且热导率和热稳定性增加,热扩散系数低。半成品可锯、可刨、握钉力好,其成品美观、寿命长、不开裂、不易翘曲变形,且吸湿膨胀率低、强度高、质量轻、稳定性好;耐腐蚀,抗强酸强碱、防蛀、防水、不生真菌、抗紫外线,适于室外使用;另外,木塑复合材料还具有环保性能好、可回收利用、原材料来源丰富等优点,其加工设备简单、成本比纯木材或塑料低 40%~60%。基于木塑复合材料的各种优点,它已被广泛应用于日常生活的各个领域。据美国弗吉尼亚理工大学的测试结果显示,木塑复合材料托盘比美国最好的硬木托盘的重复使用率高 10 倍^[1];木塑复合材料可以制成室内的门窗、地板、楼梯、家具、装饰材料等,以及户外设施如护栏、阳台、车棚等。北京奥运场馆部分项目的建设也采用了这种材料。另外木塑复合材料还可以应用在车辆内装饰、铁路轨枕和园林方面,随着木塑复合材料制备工艺和设备的完善,它将会在更多的领域得到广泛的应用。

1 木塑复合材料的成型工艺

1.1 木塑复合材料的成型方法

木塑复合材料的成型方法主要有压制成型、挤出成型和注射成型。

(1) 压制成型 这种成型方法是直接把物料送

入到模具中,然后利用油压机压制成型,它分为冷料热压和热料冷压两种形式。冷料热压是将冷的粒料加入到模具中,然后对物料进行加热、加压,使之充满整个模具型腔,最后进行冷却定型;热料冷压是将挤出机挤出的熔融物料迅速送入模具中压制成型。

(2) 挤出成型 先将物料预处理,然后利用单螺杆或双螺杆挤出机对物料进行混炼,最后通过机头将物料挤出成型。挤出成型方法简单,生产效率高,是目前加工木塑复合材料最主要的方法。挤出成型主要有一步法和多步法两种。一步法是将木粉的干燥、木粉与塑料颗粒的混合及挤出成型集中在一组设备上一步完成,如图 1 所示;多步法是将上述过程分别在不同的设备上完成,如图 2 所示。由于一步法在实际加工过程中往往因干燥、混合不彻底而出现制品质量变差、密度分布不均匀等问题,所以大多数企业主要还是采用多步法(主要为两步法,

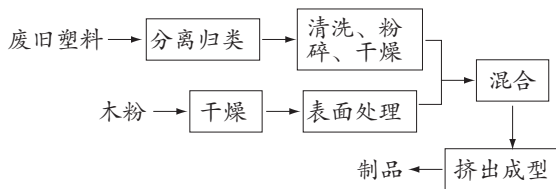


图 1 一步法挤出成型木塑复合材料工艺流程

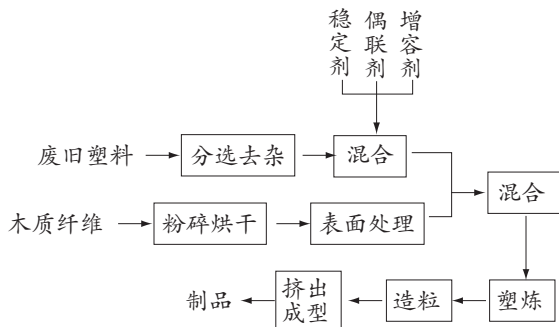


图 2 两步法挤出成型木塑复合材料工艺流程

即先造粒后成型)进行木塑复合材料的加工生产。

(3) 注射成型 将经过干燥和表面处理的木粉与基体树脂置于高速混合机中,经充分搅拌混合后注射成型;或者搅拌混合后再用单螺杆或双螺杆挤出机造粒后再注射成型,这两种方法分别称为一步法和两步法,如图3所示。一步法可省去造粒工序,但对设备的要求较高;两步法的造粒过程对物料进行了二次混合,提高了木粉在树脂基体中的分散性,而且造粒后再注射成型的方法加料较为容易,但是会使整个工艺过程比较复杂^[2]。

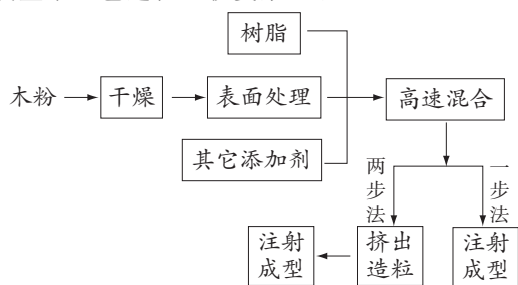


图3 一步法和两步法注射成型木塑复合材料工艺流程

木塑复合材料生产中需要研究的最关键技术是如何提高物料在输送流道内的流动性和混合程度。其中主要的研究热点有:①如何提高亲水性木粉与疏水性塑料的相容性;②如何使聚合物基体由单组分向多组分方向发展,并能使回收的聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚氯乙烯(PVC)等多种废弃塑料和木粉同时混合成型;③如何使木粉的含量由低含量向高含量发展,以降低成本,赢得市场;④如何提高木塑复合材料的强度,以及加工时更容易填充一些高强度填料如玻璃纤维等,从而扩大应用领域;⑤如何通过设计改进混炼设备和成型模具,以解决木塑复合材料混合性差、难成型等缺点,提高生产效率。

1.2 木塑复合材料的挤出成型设备

目前应用于木塑复合材料挤出生产的设备主要有单螺杆挤出机、锥形双螺杆挤出机、平行双螺杆挤出机。

单螺杆挤出机的输送作用是靠摩擦来实现的,由于木粉比较蓬松,木粉与塑料的导热性差,挤出困难,使木粉在螺杆及流道内停留时间过长,容易出现烧焦现象,而且单螺杆挤出机的混炼效果不好、排气效果也差,致使它在加工木塑复合材料中受到很大的限制。但是由于单螺杆挤出机结构比较简单,维修费用也低,故仍受到很多生产厂家的青睐。为满足使用要求,已开始对单螺杆挤出机进行各种改进。

双螺杆挤出机的输送原理是正位移强制输送,

没有压力回流,加料容易;排气效果好,能够充分地排除木粉中的可挥发成分;螺杆螺棱互相啮合,强烈的剪切作用使物料的混合、塑化效果更好;物料停留时间短,不容易出现木粉烧焦现象。因此双螺杆挤出机已成为目前木塑复合材料的主要加工设备。双螺杆挤出机又分为锥形双螺杆挤出机、平行双螺杆挤出机两种。

锥形双螺杆挤出机对于木塑复合材料的加工具有独有的优势,被称为低速、低能耗性设备。物料在锥形双螺杆挤出机中的停留时间较短,停留的时间分布也较窄,对熔体温度的控制很好。这些特点有助于消除物料的降解,对于剪切和热敏感材料的加工大有裨益。同时,由于该机型加料段的螺杆直径和表面积大,非常有利于高含量木粉、蓬松的混合物的压实和输送。低转速条件下,锥形双螺杆的高扭矩自然形成对物料的压缩及柔和的塑化,可以改善聚合物熔体对木粉的润湿,此外,螺杆计量段的直径较小,能保证粘性熔体充分流入机头。

平行双螺杆挤出机已拓展进入传统的锥形双螺杆挤出机的领地——PVC/木粉的加工,可用来直接加工木粉和植物纤维,完成木粉干燥后再与熔融树脂混合连续挤出,即采用双阶挤出机组分别进行对木粉的干燥和树脂的熔融;也可以采用另一种平行双螺杆挤出机——其前端为脱水、脱挥发装置,将木粉加入挤出机主料口,先进行脱水、脱挥发成分,然后通过侧加料器加入树脂、添加剂,进行塑化挤出,这种挤出机相对较长,熔融的温度较低,避免了熔料的烧结。同时也有利于木粉混合的均匀性和精确控制木粉与塑料的配比。

2 影响木塑复合材料性能的因素

以木塑复合材料挤出为例,影响木塑复合材料性能的因素主要包括挤出成型工艺条件、基体树脂的种类1 木粉的含量(木塑比)及木粉粒径1 各种添加剂(润滑剂1 偶联剂1 增容剂等),以及木塑复合材料挤出成型的设备等。

2.1 挤出工艺条件对木塑复合材料性能的影响

(1) 挤出成型温度的影响 木塑复合材料在挤出加工过程中主要受机筒温度和机头温度所影响,机筒温度主要对复合材料的混炼和塑化效果有决定性的影响,机头温度则对挤出成型有重要影响。

机筒温度的升高会使复合体系熔体表观粘度下降,有助于提高熔体的流动速率,但是温度过高会使木粉烧焦,还会导致粘度过低而不能产生足够的机

头压力,同时也不利于冷却定型,易使制品表面出现熔接痕,使制品表面粗糙、强度差,影响挤出制品质量。因此在满足物料充分塑化的前提下应尽量降低机筒温度。

机头口模到冷却定型的机头过渡段的温度控制对挤出制品质量的影响十分显著。如果此段的温度过低,则会使木塑复合材料的粘度增大,流动困难,流道壁面处的物料会过早地冷却固化,使物料不能充满机头流道,难以挤出成型;如果将此段的温度升高,则挤出制品表面质量会有很大的改善。物料通过过渡段进入定型段是呈熔融状态,为了得到充分的定型,机头的温度应该分段控制,即温度逐渐降低。由此可见,机头温度对于木塑复合材料的挤出成型是非常关键的。一般机筒的温度应控制在 135 ~150 ℃,机头的温度比其略低,为 125 ~135 ℃。

(2) 挤出机螺杆转速的影响 从固体输送理论和粘性流体输送理论可知,提高螺杆的转速可以提高挤出的产量,降低生产成本和提高劳动生产率。但是随着螺杆转速的增加,物料在流道内受热的历程就会缩短,其熔融效果就会变差,而且在口模处物料来不及冷却就被顶了出来,这样会使制品冷却不均匀,造成制品表面出现波纹,影响挤出成型的质量和制品外观,严重时会造成制品不成型,使生产不连续。同时由于挤出速度过快,挤出制品会存在内应力,在口模挤出后表面会变得粗糙甚至破裂;当降低螺杆转速时,物料以层流向前推进,物料得到充分的冷却定型,所得制品表面十分光滑,外观质量较好,但是产量很低。同时由于螺杆转速很低,使木粉在流道内的停留时间过长,容易引起木粉的烧焦。因此,在挤出木塑复合材料时对挤出机螺杆应设定一最佳转速,既能提高制品的质量又能提高产量,达到一个最优的生产条件。

(3) 其它工艺条件的影响 除了温度和螺杆转速对木塑复合材料的性能有重要影响外,冷却速度、机头压力、排气等也对其有一定的影响。机头口模处的冷却速度要适中,如果冷却速度过快,则物料表面会迅速形成固化层,堵塞流道导致挤出无法进行;如果冷却速度很慢,则物料不易成型,造成制品表面不均匀、出现分段现象。机头压力对木塑复合材料制品的质量有很重要的影响,当机头压力较小时,容易使挤出的制品不密实,制品表面易出现波纹,得不到外观较好的制品,因此只要在允许的压力范围内,压力越高制品越密实,挤出的质量就越好。排气效

果对制品性能的影响也不小,当原材料受热时,其本身带有的水分和其它可以挥发的物质会通过排气孔排出,如果排气效果不好,则会在制品内形成气孔影响制品质量。

综上所述,挤出的工艺条件对木塑复合材料的性能都有一定的影响,但是它们的作用不是孤立的而是相互制约、相互影响的。只有综合地调节各种工艺条件才能得到性能良好的制品。

2.2 基体树脂对木塑复合材料性能的影响

由于木质纤维只能承受 200℃的加工温度,所以木塑复合材料的树脂基体一般采用 PE、PP 和 PVC 等加工温度低的热塑性树脂,不同基体树脂的木塑复合材料在拉伸性能、弯曲性能、冲击强度和热变形温度上都是有差别的。分别以 PE、PP、PVC 为基体,木粉的填充量为 50%,制备 3 种木塑复合材料,各自的性能参数见表 1。

表 1 不同基体树脂的木塑复合材料的性能						
树脂基 种类	拉伸强 度/MPa	断裂伸 长率/%	弯曲强 度/MPa	弯曲弹 性模量/MPa	简支梁缺口冲击 强度/kJ·m ⁻² (23℃)	热变形 温度/ ℃
PE	21.40	3.00	34.59	1855	4.3	106.3
PP	18.38	2.09	35.01	2550	3.45	137.5
PVC	21.54	1.96	48.29	3776	3.51	75.8

由表 1 可见,PE/木粉复合材料在拉伸性能1 冲击强度方面相对于 PP/木粉1 PVC/木粉复合材料具有一定的优势,而在弯曲强度1 热变形温度方面与其它两种差别不大,这说明 PE/木粉复合材料的综合性能较好。目前国内生产的木塑复合材料大部分采用 HDPE^[3]。PP/木粉复合材料在拉伸性能、弯曲强度方面与 PE/木粉复合材料相近,但其热变形温度最高,因此在制备耐热性能要求高的木塑复合材料时,可优先选用 PP 为基体树脂。PVC/木粉复合材料虽然在拉伸强度1 弯曲强度方面最好,但是由于其热变形温度很低,这就限制了其应用的领域。

2.3 木粉含量及其粒径对木塑复合材料性能的影响

木塑复合材料中木粉含量的多少直接影响到木塑复合材料的加工性能与制品的力学性能。

笔者以 HDPE 为基体树脂,分别加入 0、30、40、50、60 份木粉制得木塑复合材料,其拉伸强度1 冲击强度1 弯曲强度及弯曲弹性模量如图 4 ~图 7 所示。

由图 4、图 5 可以看出,当木粉的含量由 0 份增

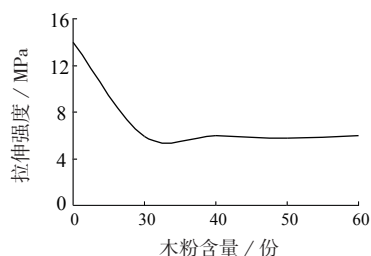


图4 木粉含量对 HDPE/木粉复合材料拉伸强度的影响

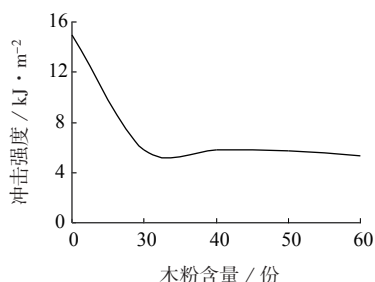


图5 木粉含量对 HDPE/木粉复合材料冲击强度的影响

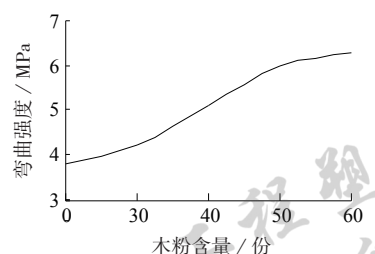


图6 木粉含量对 HDPE/木粉复合材料弯曲强度的影响

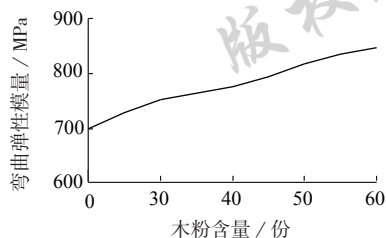


图7 木粉含量对 HDPE/木粉复合材料弯曲弹性模量的影响

加到 30 份时,其拉伸强度和冲击强度分别从 14.1 MPa 下降到 6 MPa 和从 15.6 kJ/m^2 下降到 5.2 kJ/m^2 ,下降率分别达 57.4% 和 66.7%。这是因为木粉的填充量增大,加剧了木粉的聚集现象,颗粒引起应力集中和缺陷的几率增大,使 HDPE/木粉复合材料的拉伸强度和冲击强度急剧下降。但随着木粉含量的进一步增加,两者的变化率都不大,处于一个非常稳定的阶段。因此在加入木粉的初级阶段要考虑加入适当的增容剂,以改善木粉与 HDPE 界面的相容性,提高材料的拉伸强度和冲击强度。

虽然木粉的加入降低了材料的韧性,使拉伸强度和冲击强度降低,但由图 6、图 7 可以看出,木粉的加入同时又提高了材料的刚性,因为木粉加入后仍然保持纤维束状^[4],有一定的长径比和较高的强

度,当木粉加入到一定程度时,对体系的增强作用更加明显,这主要表现在随着木粉含量的增加其弯曲强度和弯曲弹性模量明显增大。

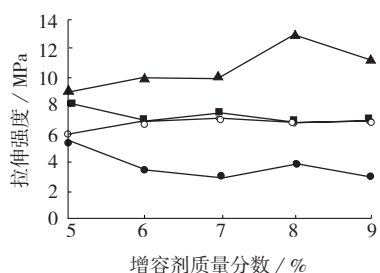
青岛科技大学橡塑材料与工程教育部重点实验室深入地研究了木粉粒径对木塑复合材料性能的影响,他们发现粒径较大的木粉有利于复合材料弯曲性能和冲击性能的提高,其拉伸强度随着木粉粒径的增大而呈现先上升后下降的趋势,在粒径为 $200 \mu\text{m}$ ^[5] 时出现最大值,当粒径在 $150 \sim 850 \mu\text{m}$ 范围内有利于熔体流动速率(MFR)的提高,密度随着粒径的增大而减小,并得出粒径为 $180 \sim 250 \mu\text{m}$ 的木粉可赋予木塑复合材料良好综合性能的结论。

2.4 添加剂对木塑复合材料性能的影响

植物纤维结构中含有很多羟基,这些羟基形成了分子氢键和分子间氢键,从而使植物纤维有较强的极性和亲水性,而热塑性塑料多数为非极性(PVC 除外),具有疏水性,将两者混合时,在该复合体系中会有一个非常清晰的分界面,两种物料缺乏应有的粘结强度,不能表现出其固有的力学性能方面的优势。为了改变这种情况,必须提高两种物料的界面相容性。常用的方法是在配方中加入增容剂或偶联剂,如异氰酸盐、过氧化异丙苯、铝酸酯、钛酸酯类、硅烷偶联剂、马来酸酐接枝 PE 或 PP[(PE-g-MAH) 或 (PP-g-MAH)]^[6]、(乙烯/丙烯酸酯)共聚物(E/AK)、(乙烯/乙酸乙烯酯)共聚物(E/VAC)等。

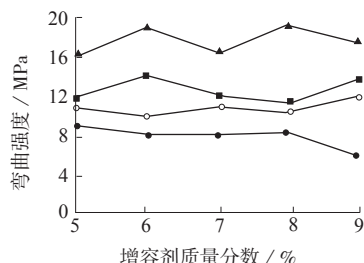
增容剂的用量对材料的性能影响很大。若增容剂用量太少,则对木纤维包覆得不完全,难以形成良好的增容及分子层,起不到有效的改善界面相容性的效果,而且对木粉表面易反应的羟基基团消耗不够,材料易吸湿变形;而增容剂用量过多,则纤维表面会覆盖过多的增容剂而形成多分子层,易造成木粉与树脂之间界面结构的不均匀性,而且一般增容剂的力学性能都弱于树脂基体,用量过多反而会造成材料力学性能的下降^[7];另外,增容剂中含有极性的可以与木粉表面羟基反应的官能团,过多的剩余官能团存在于复合材料中也不利于材料的使用寿命。图 8 和图 9 分别示出不同增容剂用量对 HDPE/木粉复合材料性能的影响。

由图 8 可以看出, E/AK、PE-g-MAH 的质量分数为 6% ~8% 时对材料拉伸强度的影响不大;而 PP-g-MAH 的质量分数达到 8% 时复合材料的拉伸强度达到最大值;HDPE/木粉复合材料的拉伸强度随



▲—PP-g-MAH; ■—E/AK; ○—PE-g-MAH; ◆—E/VAC

图8 不同增容剂对 HDPE/木粉复合材料拉伸强度影响^[8]



▲—PP-g-MAH; ■—E/AK; ○—PE-g-MAH; ◆—E/VAC

图9 不同增容剂对 HDPE/木粉复合材料弯曲强度影响

着 E/VAC 用量的增加而逐渐降低。

从图9看出,不同增容剂对体系的弯曲强度影响不大,不过在 PP-g-MAH 的质量分数达到6%和8%时,材料的弯曲强度最大;E/AK 和 PE-g-MAH 的质量分数小于9%时,HDPE/木粉复合材料的弯曲强度随着其用量的增加而逐渐增大;E/VAC 在4种增容剂中对弯曲强度的影响最小。在木塑复合材料的性能研究中,一般情况下加入增容剂都会增加界面结合力,提高材料的弯曲性能。

由于木粉比较蓬松,木粉与塑料的导热性差,挤出困难,使木粉在螺杆及流道内停留时间过长,容易出现烧焦现象。为了避免这种情况,还要加入适量的润滑剂来改善加工性能,提高物料的流动性。目前常用的润滑剂有聚乙烯蜡、硬脂酸锌、石蜡、乙撑双脂肪酸酰胺等。

润滑剂的加入对木塑复合材料力学性能的影响

不明显,但是木塑比超过60%时^[9],润滑剂的含量必须增大到2%,否则不能顺利挤出,润滑剂的加入可使挤出速度增大,还能提高制品的外观质量。

3 结论

目前木塑复合材料的最主要成型方法为挤出成型,其成型技术已经比较成熟;注射成型借助于挤出成型技术发展迅速,并且越来越多地受到研究者和厂家的关注。

木塑复合材料的挤出成型过程非常复杂,影响因素很多,其中挤出温度、螺杆转速和木粉含量是最明显和最直接的影响因素,其它因素对木塑复合材料性能的影响不大。但是各个因素之间是相互联系、相互制约的。不能依靠单一地改变某一个条件来得到具有良好综合性能的木塑复合材料。目前木塑复合材料制品已经得到广泛应用,有几个研究热点已取得一些突破。预计在未来的几年内木塑复合材料会作为一个行业进入社会的各个领域。

参考文献

- [1] 刘磊.绿色环保物流器具——塑木复合托盘[J].物流技术及应用,1999,4(3):37-40.
- [2] 王超,何继敏.木塑复合材料注射成型的研究进展[J].工程塑料应用,2008,36(6):81-84.
- [3] 孙小民,刘伯元,刘英俊,等.不同树脂基木塑复合材料的性能对比[J].上海塑料,2007(4):16-19.
- [4] 刘波.木塑复合材料制备及性能的研究[J].辽宁化工,2007,36(12):797-798.
- [5] 李兰杰,刘得志,陈占勋.木粉粒径对木塑复合材料性能的影响[J].现代塑料加工应用,2005,17(5):21-24.
- [6] 季建仁.木塑复合材料加工工艺初探[J].塑料制造,2006(7):55-57.
- [7] 薛平.木塑复合材料及挤出成型特性的研究[J].中国塑料,2001,15(8):53-59.
- [8] 吴远楠,武军.不同增容剂对 HDPE 基木塑复合材料力学性能的影响[J].包装工程,2006,27(6):85-86.
- [9] 方晓钟.润滑剂对 PE 木塑复合材料力学性能和加工性能的影响[J].聚合物与助剂,2007(1):24-27.

THE RESEARCH OF WOOD PLASTIC COMPOSITES MOLDING TECHNIQS AND CENTRAL INFLUENCING FACTORS

Yu Yanbin, Tang Yue, Jiang Wei

(College of Electromechanical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266061, China)

ABSTRACT The molding technics of wood plastic composites was elaborated, and the influencing factors such as molding technics condition, resin types, wood flour content, wood flour diameter and polymer additives were also analysed. The analytical datum were provided for further study of processing of wood plastic composites.

KEYWORDS wood plastic composites, extruding, injection, wood flour

欢迎读者到邮局订阅本刊,邮发代号:24-42

2009 年定价 12 元 / 期,全年 144 元