

Economic Cost Evaluation for Polymers Filled and Modified by Minerals

Xueyong Zhou¹, Jianping Dong²

1. Department of Food Science, Tianjin Agricultural University, Tianjin, China 300384

2. Department of Finance, Tianjin Agricultural University, Tianjin, China 300384

1. e-mail address: zhouxueyongts@163.com, 2. e-mail address: dongjianping68@163.com

Abstract: The weight cost and volume cost of polymers decreases after filled by mineral powder. The energy saving of filled polymers has been calculated according to the weight cost by research units. As the density of mineral is 2-3 times as much as polymers, the number of products would decrease due to the increased density of filled polymer under the same technological conditions. Therefore, an unreliable result of energy saving would be obtained if the profit were evaluated by weight cost method. The product measurement standard of polymer is on the basis of volume. When the processing mould of product is fixed, the higher the polymer volume per weight, the more products would be manufactured. For this reason, the volume cost of filled polymer showed the real processing capacity, and the checking method of the volume cost is a reasonable way to evaluate the economic cost of filled polymer. The concept of critical cost of filled polymer was put forward in this paper, a formula for calculating the critical cost was derived. As long as the cost of filled polymer is lower than the critical cost, the mineral filling has economic value.

Key words: polymers; mineral filling; economic cost; evaluation

聚合物填充改性经济成本评价方法研究

周学永¹, 董建萍²

1. 天津农学院食品科学系, 天津, 中国, 300384;

2. 天津农学院财务处, 天津, 中国, 300384;

1. e-mail address: zhouxueyongts@163.com, 2. e-mail address: dongjianping68@163.com

摘 要: 聚合物中填充矿物可使其质量成本和体积成本降低。长期以来科研单位一直使用质量成本作为节能降耗的依据, 由于矿物密度是纯树脂的密度 2-3 倍, 在相同工艺条件下填充聚合物密度的升高必然引起产品制造件数的减小, 因此, 采用质量成本核算利润会导致节能降耗虚高的假象。聚合物制品是以其体积作为生产计量单位的, 当产品的制造模型固定后, 单位质量的聚合物体积越大, 可供制造的产品数量越多。因此, 体积成本能够真实反映填充复合物的实际生产能力, 体积成本核算法是评价填充聚合物经济效果的合理途径。本文提出了填充聚合物临界成本的概念, 推导了临界填充时填料成本的计算公式。只有当填充复合物成本低于临界填充成本时, 矿物填充才有经济学意义。

关键词: 聚合物; 矿物填充; 经济成本; 评价

1 引言

利用矿物填料或淀粉实现聚合物(塑料、橡胶等)的填充改性, 其目的是想在经济上或材料的某些性能上得到预期的效果, 例如提高硬度、耐热性、降解性和降低成本等^[1-3]。在我国, 大多数塑料填充企业以降低成本为目的。但实际上, 不少科研单位或生产企业在填充聚合物成本核算上却陷入了误区, 这些单位往往以质量成本作为产品盈利的依据, 在项目立项阶段

片面夸大了矿物填充在降低制造成本方面的作用, 其结果是生产企业不仅没有达到预算利润, 而且劣质产品的流通影响了填充企业的信誉。由于填充聚合物密度变大, 与纯聚合物相比导致单位质量的填充物体积减小, 在相同的工艺条件下必然引起产品的制造件数减少。矿物填充量控制在什么范围内才能创造出最佳性价比的复合物, 与矿物填料种类、改性剂用量及加工条件有关。笔者从全新角度对矿物填充聚合物成本

计算问题作出剖析, 希望对聚合物填充企业开发项目起到指导作用。

2 填充聚合物成本分析

2.1 质量成本分析

通常认为在聚合物中使用矿物填料, 由于填料价格按质量计算远低于所填充的高分子树脂, 故填充的聚合物的成本将显著下降^[4]。假定填料在基体中均以单个粒子存在, 填料颗粒之间和填料与基体之间不存在任何空隙, 此时填料在基体中的真实密度等于填料本身密度。填充塑料原材料价格 P 按下式计算:

$$P_{\text{质}} = P_1 W_1 + P_2 W_2 \quad (1)$$

式中: P_1 、 P_2 分别为基体聚合物与填料的质量价格, 吨/元; W_1 、 W_2 分别为基体聚合物与填料在填充塑料中占的质量分数, %, 其中 $W_1 + W_2 = 100\%$ 。

由于 $W_1 + W_2 = 1$, 而 P_2 总小于 P_1 , 故 $P_{\text{质}} < P_1$ 。以滑石粉矿物填料和聚乙烯树脂为例, 计算填充量与成本之间的关系, 见表1。聚乙烯树脂售价按11000元/吨计算, 超细滑石粉售价按1000元/吨计算。

Table 1 Analysis of weight cost of filled polymer (talcum powder filling polyethylene)

表 1 填充聚合物质量成本分析 (以滑石粉填充聚乙烯为例)

滑石粉含量, %	滑石粉成本, 元	聚合物成本, 元	填充聚合物成本, 元/吨
0	0	11000	11000
10	100	9900	10000
20	200	8800	9000
30	300	7700	8000

由表 1 可知, 随着矿物填充比例的增加, 填充符合物的质量成本明显将低, 当填充量为 10%、20% 和 30% 时, 质量成本分别下降 9.1%、18.2% 和 27.3%。

2.2 体积成本分析

填充制品以质量为计价单位, 与纯聚合物相比自然获利较多, 但对于以个数为价单位的塑料制品, 如工业配件、玩具、日用品桶、盆、杯子等, 情况就不同了。由于填料密度在大多数情况下都大大高于基体树脂的密度, 而通过注塑成型或模压成型塑料制品,

其模具腔型体积是固定的, 成型时必须是充满的, 要想得到预期形状和尺寸模塑制品, 在有填料的情况下需要更多物料, 就是说同样质量物料, 由于填料体积小, 填充塑料的总体积将少于纯基体树脂体积, 模塑出的制品数将少于纯树脂成型同样制品的个数, 就可能出现反而不合算的情况, 这是必须考虑的。例如采用纯高密度聚乙烯制作塑料杯子, 设杯子体积为 0.0001 m^3 , 忽略制品成型收缩率和模具腔流出物料的损失。高密度聚乙烯密度 0.92 g/cm^3 , 若想得到 10000 个杯子, 需要 1 m^3 树脂, 即 920 kg。在基体树脂大分子和滑石粉之间不存在空隙, 滑石粉填充比例为 20%, 同样 920 kg 物料体积为:

$$V = M W_1 / \rho_1 + M W_2 / \rho_2 \quad (2)$$

式中: $M=920 \text{ kg}$; W_1 、 W_2 分别为高密度聚乙烯和滑石粉的质量分数; ρ_1 、 ρ_2 分别为高密度聚乙烯和滑石粉的密度, $\rho_1=0.92 \text{ 吨/cm}^3=920 \text{ kg/m}^3$, $\rho_2=2.75 \text{ 吨/cm}^3=2750 \text{ kg/m}^3$ 。

根据上述数据计算则有:

$$V = 920 \times 0.8 / 920 + 920 \times 0.2 / 2750 = 0.8 + 0.067 = 0.867 \text{ m}^3$$

改用填充体系后, 模具的型腔容积并不改变, 而物料又要完全充满型腔, 故 920 kg 填充高密度聚乙烯仅能生产 8670 个杯子, 比用纯塑料少出 1330 个产品。考虑填充聚合物的得失时, 就必须计算填充节省的材料能否抵偿 1330 个杯子产品带来的损失。填充聚合物的体积成本分析见表 2。

Table 2 Analysis of volume cost of filled polymer (talcum powder filling polyethylene)

表 2 填充聚合物体积成本分析 (以滑石粉填充聚乙烯为例)

滑石粉含量, %	滑石粉体积, m^3	聚合物体积, m^3	填充聚合物成本, 元/ m^3
0	0	1.087	10120.0
10	0.036	0.978	9854.2
20	0.073	0.870	9544.0
30	0.109	0.761	9195.4

由表 2 可知, 随着矿物填料填充比例的增加, 填充复合物的体积成本减小, 表明矿物填充后, 从经济效

果的角度上讲是有利的。与表 1 相比,当滑石粉填充比例相同时,体积成本高于质量成本,这也正是说明,由于矿物密度高于聚合物,导致单位质量填充物的产出能力变小,故以体积成本考核填充聚合物的经济效益是合理的。

2.3 填充聚合物临界成本分析

采用廉价矿物填充聚合物,一般而言填充后复合物的体积成本会降低,也就是说从经济的角度上将是有利的。但如果填料成本过高,其结果也可能适得其反。笔者将填充复合物成本恰好与纯聚合物成本相同时的情况,称为临界填充,此时依靠填充所获得的经济效果为零。

填充聚合物的体积成本可按下式计算:

$$P_V = \frac{P_1 W_1 + P_2 (1 - W_1)}{\frac{W_1}{\rho_1} + \frac{(1 - W_1)}{\rho_2}} \quad (3)$$

式中 P_V 为填充聚合物的体积成本,元/ m^3 ;当填料含量为 0 时,聚合物体积成本 $P_{V0} = P_1 \rho_1$ 。

整理得:

$$P_2 = \frac{W_1 P_V}{\rho_1 (1 - W_1)} + \frac{P_V}{\rho_2} - \frac{P_1 W_1}{1 - W_1} \quad (4)$$

当体系处于临界填充时, P_V 与 $P_1 \rho_1$ 相等,故有:

$$P_{2\text{临}} = \frac{P_1 \rho_1}{\rho_2} \quad (5)$$

如果已知填料和聚合物密度及聚合物售价,就可以由式(5)计算求得临界填充时填料的成本价 $P_{2\text{临}}$ 。应当指出的是, P_2 不仅包含填料的售价,还应当包括填料改性、加工所分摊的费用。对于滑石粉填充聚乙烯而言, $P_1 = 11000$ 元/吨, $\rho_1 = 0.92$ 吨/ m^3 , $\rho_2 = 2.75$ 吨/ m^3 , $P_{2\text{临}} = 3680$ 元/吨。

3 讨论

从理论上讲,聚合物填充廉价矿物可以降低成本、获得经济效益。但对于一个塑料加工企业来说,其经济效益的评价则受多种因素的制约,概括说来有如下几个方面值得重视。

(1) 正确处理填充量与产品质量的关系

经过成本测算可知,矿物填充量越高,成本下降越明显。因此,很多企业将提高填充量作为攻关方向。

然而随着填充量增加,样品的加工性能变差,表现为熔融指数变小、流变性能变差、废品率增高^[5-6]。如果是薄膜产品,则在吹制过程中易出现断膜现象,浪费很大。就产品性能来说,填料增加则拉伸强度和断裂伸长率一般呈下降趋势。虽然有报道称聚丙烯扁丝中添加少量碳酸钙可以提高拉伸强度,但当添加量超过 7.5% 时,拉伸强度便开始急剧下降。这是因为填料作为分散相实际上是被分割在基体树脂构成的连续相中,即使填料的颗粒之间没有空洞或气泡而完全充满基体树脂,但在受力截面上基体树脂的面积必然小于纯树脂构成的材料。在外力作用下,基体树脂从填料颗粒表面被拉开,因承受外力的总面积减小,所以填充塑料的拉伸强度较未填充体系有所下降。矿物填充必须在保证产品质量不受损的前提下进行,否则就达不到降低成本的目的了。

(2) 正确选择填料细度

曾有些企业在对填料细度的认识上存在误区,片面地强调粉料细度,认为粉料越细,其分散性和流动性越好^[7-8]。实际上这种说法既没有得到实验数据的支持,也缺乏理论根据。物质分割得越细,比表面积就越大,相应地必然大大增加体系总的表面自由能。表面自由能过高属于热力学不稳定体系,粒子有相互聚结而降低表面自由能的趋势。因此,从热力学的角度来讲,粉料越细,就越容易聚结成团,导致分散性变差^[9]。在实际生产当中会发现,同一种填料细度越高,吸油值越大,当填充比例相同时,颗粒越小混炼流动性就越差。为了达到合适的加工效果,细颗粒必然耗费更多的活化剂(如偶联剂等)和其它助剂,加工成本增加。当然这并不是否认细颗粒的优点,应该承认在分散好的前提下,细颗粒更能提高填充制品的质量。但从加工成本的角度而言,除非能使产品性能得到优化,否则一定要选择合适的填料细度。

(3) 考虑设备投资和设备磨损

矿物填料填充虽然可以降低聚合物成本,但为了实现这一目的,还必须添置一些设备。因为矿物粉体是不能直接加到塑料载体中来生产最终产品的,首先要将矿物粉体进行活化改性处理,然后与载体树脂混合加工成母料,最后将母料与树脂按一定比例混合才能用于产品制造。在这一系列环节过程中,与用纯聚合物生产商品的企业相比,所需要的设备多,加工成本大。此外,矿物填充还有可能加剧设备磨损,造成设备维护的成本增加^[10]。无机材料硬度越大,设备磨损越严重, CaCO_3 的硬度为 3,高岭土的硬度为 7-8,

滑石粉的硬度为1。由于高岭土硬度大,设备磨损严重,无法在塑料制品中大量添加。又有应用证明,长期使用大量的CaCO₃的加工设备,如挤出机的螺杆料筒,磨损比纯树脂要大3-4倍,而滑石粉的硬度小得多,磨损也会明显减少,可与树脂基本相近。

4 结论

(1)聚合物中填充矿物可使其质量成本和体积成本降低,其中前者的下降幅度高于后者。由于体积成本能够真实反映填充复合物的生产能力,故体积成本核算法是评估填充聚合物经济效果的合理途径。

(2)提出了填充聚合物临界成本的分析方法,推导了临界填充时填料成本的计算公式。只有当填充复合物成本低于临界填充成本时,填充才有经济学意义。

(3)通过填充使聚合物成本降低,往往伴随着加工成本的增加和产品某些方面的性能劣化,因此,填充改性要从实际使用目的和要求出发,抓住主要矛盾设计合理的原辅材料配方,选择适宜的加工路线并确定最佳工艺条件,才能达到预期效果。

致 谢

天津农学院科技发展基金(No.2008D016)和天津市自然科学基金重点项目(No.08JCZDJC18800)联合资助。

Reference (参考文献)

- [1] DeArmitt C., Breese K. D. Filled polypropylene: a cost-performance comparison of common fillers[J]. *Plastics*

- Additives and Compounding*, 2001, 3(9), P28-33.
- [2] Wu M, Shaw LL. On the improved properties of injection-molded, carbon nanotube-filled PET/PVDF blends[J]. *Journal of Power Sources*, 2004, 136, p37-44.
- [3] Rahmat AR, Rahman WAWA, Sin L T, Yussuf AA. Approaches to improve compatibility of starch filled polymer system: A review[J]. *Materials Science and Engineering C*, 2009, 29, P2370-2377.
- [4] Zou Xuemei. Preparation and application of filled master batch of calcium carbonate[J]. *Science and Technology of Plastics*, 2004, (1), P35-38.
邹雪梅. 活性碳酸钙填充母料的制备与应用[J]. *塑料科技*, 2004, (1), P35-38.
- [5] Song Y, Zheng Q. Linear viscoelasticity of polymer melts filled with nano-sized fillers[J]. *Polymer*, 2010, 51, P 3262-3268.
- [6] Leblanc JL. Rubber-filler interactions and rheological properties in filled compounds[J]. *Progress in Polymer Science*, 2002, 27(4), P627-687.
- [7] Xu Dingyu, Zong Fuqiang. Dispersity of ceramics filler in polyethylene film[J]. *Plastics*, 1990, 19(5), P13-17.
徐定宇, 宗复强. 陶瓷填充材料在聚乙烯膜中的分散[J]. *塑料*, 1990, 19(5), P13-17.
- [8] Lopez IJ, Dolidze V, Aliev FM. Relaxation processes in polymers filled with nanoparticles[J]. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2010, 356, P574-577.
- [9] Zhou Xueyong, Li Caiwen, Wang Lingxiang. Aggregation characteristics of nano powder and measures to enhance the dispersibility[J]. *Sulphur phosphate and Bulk materials Handling Related Engineering*, 2006, (1), P17-20.
周学永, 李彩文, 王玲香. 纳米粉体的团聚特性和提高分散性的措施[J]. *硫磷设计与粉体工程*, 2006, (1), P17-20.
- [10] Sole B M, Ball A. On the abrasive wear behaviour of mineral filled polypropylene[J]. *Tribology International*, 1996, 29(6), P457-465.