

PC 螺杆的实验研究

潘文喆

(德科摩橡塑科技有限公司, 东莞 523118)

摘要 自行试制一根聚碳酸酯(PC) 螺杆, 通过试验对其进行验证分析, 证明了其产量高、转速低、自洁性好, 对温度控制精度可达 $\pm 1^{\circ}\text{C}$; 该螺杆切实可用; 为生产实践提供了具有实用价值的参考依据。

关键词 聚碳酸酯 螺杆 实验研究

聚碳酸酯(PC) 是分子链的重复结构单元为碳酸酯型的聚合物。其可以分为脂肪族 PC 和芳香族 PC。脂肪族 PC 的熔点低、亲水性强、热稳定性和力学强度均较差, 结晶能力强, 性脆, 实用价值不高。在工程上具有实用价值的是芳香族 PC^[1]。笔者主要研究芳香族 PC。

PC 无毒、无味、无色或者微黄色, 具有优于其它塑料的诸多性能, 如力学强度极高, 冲击强度突出等, 是常用塑料中冲击强度最高的一种塑料; 其在较大的温度范围内能够保持较好的尺寸稳定性, 并具有较好的耐热性和耐寒性; 其使用温度范围较广, 可在 $-100\sim 130^{\circ}\text{C}$ 使用, 并可在 110°C 条件下长期使用, 能够经受 $20\sim 30\text{ min } 120^{\circ}\text{C}$ 高温消毒灭菌; 其透明性极好, 厚度为 2 mm 时的透光率可达 90% , 折射率高, 耐候性、印刷性好, 耐酸及耐油, 阻止香味的渗透性好, 吸水性低。PC 的典型性能参数见表 1^[2-3]。

表 1 PC 的典型性能参数

项目	数值	项目	数值
密度/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	1200	介电常数(10^3 Hz)	2.9
吸水率/ $\%$	0.15	体积电阻率/ $\Omega\cdot\text{cm}$	2.1×10^{16}
成型收缩率/ $\%$	0.5	介电强度/ $\text{kV}\cdot\text{mm}^{-1}$	18
拉伸强度/ MPa	56~66	介质损耗角正切(10^6 Hz)	0.0083
断裂伸长率/ $\%$	60~120	拉伸弹性模量/ GPa	$2.1\sim 2.4$
洛氏硬度	80	缺口冲击强度/ $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$	$17\sim 24$
弯曲强度/ MPa	80~85	弯曲弹性模量/ GPa	$2.1\sim 2.4$
长期使用温度/ $^{\circ}\text{C}$	110	热导率/ $\text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$	0.2
热变形温度 (1.82 MPa)/ $^{\circ}\text{C}$	130~135	线膨胀系数/ $10^{-5}\cdot\text{K}^{-1}$	7.2

PC 还具有很好的成型加工性能, 除大量用于注射成型外, 还可以通过挤出吹塑、注塑吹塑、共挤吹塑、共注吹塑、注拉吹、挤拉吹等成型工艺制造塑料制品。其制品主要用作婴儿牛奶瓶、饮水瓶、饮用水桶等; PC 塑料合金可用于吹塑汽车保险杠、仪表板、汽车通风管等工业制件^[2]。由于 PC 具有以上诸多优良性能及广泛用途, 人们对其成型工艺及成

型设备的研究越来越多。然而, PC 极易吸潮, 一旦其含水量超过 0.02% 时, 制品质量将受到严重影响; 其熔体粘度较高, 成型加工温度范围很大, 一般为 $230\sim 270^{\circ}\text{C}$, 而熔体对温度非常敏感, 温度控制精度需在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 内。

不论采用何种成型工艺和设备制备 PC 制品, 首先要考虑的问题是螺杆设计。然而, 由于 PC 胶料价格非常昂贵, 极易吸潮, 循环回收次数有限, 很少厂家愿意投入大量的人力物力对 PC 螺杆设计进行深入研究, 导致 PC 螺杆设计的研究进展缓慢。

笔者自行试制了一根 PC 螺杆, 通过试验对其进行验证, 证明了该 PC 螺杆产量高、转速低、自洁性好, 切实可用, 也为生产实践提供具有实用价值的参考依据。

1 实验部分

1.1 原材料

本实验采用的蓝色 PC 色母是从广州塑美塑胶颜料有限公司采购的, 是由厂家按标准色板直接进行配制, 没有统一牌号, 产品质量可靠, 颜色稳定、不变色、不退色、分散性好、无黑点、无麻点; 透明色透明度高、无晶点、无色粉线、耐候、耐迁移、耐溶剂性好。

采用的 PC 是用于吹塑 18.925 L PC 饮水桶的德国拜耳模克隆(Bayer Makrolon) WB1239, 来自 2008 年 8 月 14 日 CAMPUS 塑料数据库的主要性能参数见表 2。

回收料指的该牌号 PC 饮水桶经过破碎再次使用的回收料, 属于自制。

1.2 实验仪器、设备

高温熔体压力变送器: BYY773 型, 广州通力测试技术研究所;

塑化装置: 自制;

表 2 德国拜耳模克隆 WB1239 的主要性能参数

项目	测试条件	标准	数值
熔体流动速率(体积) / $\text{cm}^3 \cdot (10 \text{ min})^{-1}$	300℃, 1.2 kg	ISO 1133	2.5
熔体流动速率(质量) / $\text{g} \cdot (10 \text{ min})^{-1}$	300℃, 1.2 kg	ISO 1133	2.5
密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$		ISO 1183	1200
松密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	球粒	ISO 60	660
吸水率 /%	23℃, 50% R H	ISO 62	0.12
成型收缩率 /%	60 ×60 ×2, 50 MPa	ISO 294 - 4	0.75
拉伸弹性模量 /MPa	1 mm/min	ISO 527 - 1, - 2	2300
屈服应力 /MPa	50 mm/min	ISO 527 - 1, - 2	64
屈服应变 /%	50 mm/min	ISO 527 - 1, - 2	6.6
名义断裂拉伸应变 /%	50 mm/min	ISO 527 - 1, - 2	>50
球压硬度 / $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$		ISO 2039 - 1	110
缺口冲击强度 / $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$	23℃, 3.2 mm	ISO 180 / A	85P
最大穿透力 /N	23℃	ISO 6603 - 2	5500
玻璃化转变温度 /℃	10℃ /min	ISO 11357 - 1, - 2	150
热变形温度 /℃	1.80 MPa	ISO 75 - 1, - 2	130
导热性 / $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$	23℃	ISO 8302	0.20
气体渗透性 / $\text{cm}^3 \cdot$ $(\text{m}^2 \cdot 24 \text{ h} \cdot \text{MPa})^{-1}$	N_2 ; 100 μm film	ISO 2556	130
折射系数	Procedure A	ISO 489	1.587
透光率(透明材料) /%	2 mm	ISO 13468 - 2	87
注塑熔体温度 /℃		ISO 294	310
注塑模具温度 /℃		ISO 294	90
注射速率 / $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$		ISO 294	200

PC 螺杆: 如图 1 所示, 其主要设计参数见表 3, 自制。



图 1 自制 PC 螺杆的示意图

表 3 自制 PC 螺杆的主要设计参数

项目	数值	项目	数值
螺杆直径/mm	90	螺杆有效长度/mm	2250
螺杆加料段长度/mm	990	螺杆加料段槽深/mm	11.2
螺杆压缩段长度/mm	630	螺杆计量段长度/mm	450
螺杆计量段槽深/mm	4.7	螺棱宽度/mm	9
螺杆混炼段长度/mm	180	螺杆混炼段槽深/mm	6
混炼段与机筒 间隙(单边)/mm	0.6	混炼段螺旋槽数量	5 进 5 出

2 结果与讨论

2.1 产量分析

在机头背压均为 28 MPa 的条件下, 采用 100% 新料进行测试, 设置不同螺杆转速, 并测量其对应的产量, 结果如图 2 所示。

理论上^[4], 对于普通三段式螺杆, 其产量随着螺杆转速的增加而呈线性增加, 但是当螺杆到达一定转速之后, 其产量的增加速度逐渐减缓, 最后趋向于下降。当其螺距与螺杆直径相等, 在机头完全打开的情况下, 理论熔体输送效率最大为 45.4%。从

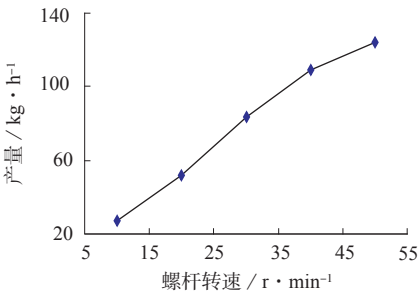


图 2 100% 新料时产量与螺杆转速的关系

图 1 和图 2 可以看出, 虽然该螺杆在计量段后设置了 2D 长度的螺旋混炼段, 但是其产量与螺杆转速的关系仍与三段式普通螺杆基本相同。结合图 2 中的实验数据以及表 2 中的设计参数, 可以计算出实测熔体输送效率约为 44%, 非常接近前人研究的最大理论输送效率 45.4%。从图 2 还可以看出, 该螺杆的最佳转速为 40 r/min 左右。

在机头背压均为 28 MPa 的条件下, 采用 100% 回收料进行测试, 设置不同螺杆转速, 并测量其对应的产量, 结果如图 3 所示。从图 3 可以看出, 其产量与螺杆转速的关系与之前的结论基本相同, 结合图 3 中的实验数据以及表 2 中的设计参数, 可以计算出实测熔体输送效率为 37% ~41%, 并且随着螺杆转速的升高而下降。

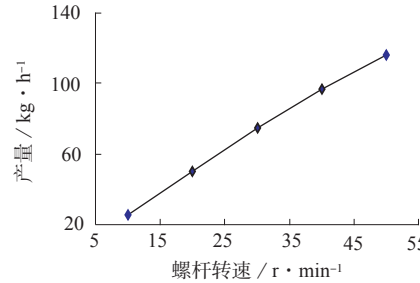


图 3 100% 回收料时产量与螺杆转速的关系

可见, 采用 100% 新料或者 100% 回收料, 产量均随着螺杆转速的增加呈线性增加, 但当螺杆转速达到 40 r/min 后, 其产量的上升趋势逐渐减缓; 实测熔体输送效率比较接近, 并且比较接近最大理论熔体输送效率, 说明其实测产量高。

2.2 塑化混炼效果分析

使用 100% 新料的测试实验证明, 螺杆转速为 10 r/min 时制品的透明性最好; 螺杆转速为 20 r/min、30 r/min 和 40 r/min 时制品的透明性也很好; 但是螺杆转速为 50 r/min 时制品有点模糊不清, 并夹有少量晶点。

使用 100% 新料并添加少量蓝色色母粒的实验表明, 在不同的螺杆转速下, 制品的颜色分布非常均

匀,完全不存在局部颜色深浅不同的现象。

PC 饮水瓶的生产实践表明,50% 新料与 50% 回收料最难混合均匀,在 PC 饮水瓶表面很容易产生水印痕迹。该螺杆采用 50% 新料与 50% 蓝色回收料的混合测试结果表明,螺杆转速在 40 r/min 以下时,制品的透明性均较好,没有水印痕迹;但是螺杆转速为 50 r/min 时,制品的透明性不好,有水印痕迹,说明熔体的塑化混炼效果不佳。

使用 100% 回收料的实验表明,在不同的螺杆转速下,制品的颜色分布非常均匀,不存在局部颜色深浅不一现象。

可见,该螺杆转速小于 40 r/min 时,塑化混炼效果均非常好,即该螺杆适合低速运行。

2.3 停留时间分析

将螺杆转速保持在 30 r/min 的情况下,将添加少量蓝色色母粒的 100% 新料连续运行一段时间后,确保从机头里出来的熔体完全是蓝色,接着换上不添加任何色母粒的 100% 新料连续运行 3 min 后,从机头里出来的熔体已经完全没有颜色;再用 100% 回收料并添加少量蓝色色母粒连续运行 5 min 后,从机头里出来的熔体才完全是蓝色;再接着用 100% 回收料不添加任何色母粒连续运行 3.5 min 后,从机头里出来的熔体也完全没有颜色;最后换上 100% 新料并添加蓝色色母粒连续运行 2 min 后,从机头里出来的熔体就已经完全是蓝色。设置几个不同的螺杆转速,再重复做几次步骤相同的清洗测试实验。结果表明,螺杆转速越大,与以上各步骤相对应的清洗时间越短。此外,在实验过程中也没有发现黑点等不良现象,说明没有较难清洗而炭化变黑的熔体停留在螺杆混炼段。

可见,采用 100% 新料清洗螺杆更容易一些,清洗时间随着螺杆转速的增加而缩短,即该螺杆的清洁性很好。

2.4 温度影响分析

设置计量段和混炼段温度为 230℃,采用 100% 新料时,螺杆转速最快是 10 r/min,实测温度与设置温度的偏差在 $\pm 1^\circ\text{C}$,塑化出来的熔体透明性不够好,还夹有很多晶点;采用 100% 回收料时,螺杆转速最快可达 25 r/min,实测温度与设置温度的偏差在 $\pm 1^\circ\text{C}$,塑化出来的熔体透明性也不够好,也夹有一些晶点。

设置计量段和混炼段温度为 240℃,采用 100% 新料时,螺杆转速最快是 30 r/min,实测温度与设置温度的偏差在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 内,塑化后的熔体透明性基本可以接受,晶点较少;采用 100% 回收料时,螺杆转速最快可达 50 r/min,实测温度与设置温度的偏差在 $\pm 1^\circ\text{C}$,塑化后的熔体透明性非常好,完全没有晶点。

设置计量段和混炼段温度为 250℃,任意配比新料与回收料,螺杆转速最快均可达到 50 r/min,实测温度与设置温度的偏差在 $\pm 1^\circ\text{C}$,塑化后的熔体透明性非常好,完全没有晶点。

设置计量段和混炼段温度为 260℃,任意配比新料与回收料,螺杆转速最快均可达到 50 r/min,实测温度比设置温度偏高 1~2℃,塑化出来的熔体透明性非常好,完全没有晶点,但是其粘度大大降低,流动性非常好,其制品的冲击强度降低。

机筒加热圈外表面配有冷却风机时的测试结果如上所述。把机筒外表面的冷却风机全部拆除之后,设置计量段和混炼段温度为 250℃,采用 100% 新料,设定不同的螺杆转速,实测温度与设置温度的偏差在 $\pm 5^\circ\text{C}$,塑化出来的熔体透明性均很好,没有晶点,但是其粘度的变化很大,流动性变化也很大,制品质量、冲击强度等性能均有较大差异。

可见,不同的设置温度对螺杆的影响很大,螺杆计量段和混炼段的最佳设置温度为 250℃,说明熔体在螺杆计量段和混炼段里没有由于强烈的剪切与混炼引起温度剧烈上升,在机筒加热圈外表面配有冷却风机时就可以控制温度精度在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 内。

3 结论

设计的 PC 螺杆产量高、转速低,塑化混炼效果好,清洁性好,螺杆计量段和混炼段的最佳设置温度为 250℃,对温度控制精度可达 $\pm 1^\circ\text{C}$,表明该螺杆切实可用,也为生产实践提供具有实用价值的参考依据。

参考文献

- [1] 李树,贾毅.塑料吹塑成型与实例[M].北京:化学工业出版社,2006:53-59.
- [2] 于丽霞,张海河.塑料中空吹塑成型[M].北京:化学工业出版社,2005:35-36.
- [3] 吴梦旦.塑料中空成型设备使用与维修手册[M].北京:机械工业出版社,2007:270-273.
- [4] 朱复华.挤出理论及应用[M].北京:中国轻工业出版社,2001:208-209.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF PC SCREW

Pan Wenzhe

(Dekuma Rubber and Plastic Technology co. Ltd. , Dongguan 523118, China)

ABSTRACT A new PC screw was trial-produced, and it was analysed and verifcated. The results indicated that it could in-crease output, and it had low roational speed and good cleanness. Its control accruacy for temperature reached $\pm 1^{\circ}\text{C}$. The PC Screw was proved feasible and it offered valuable reference for production.

KEYWORDS polycarbonate, screw, experimental research

欢迎订阅 2011 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘
邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘, 请注明
订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业
技术类刊物, 月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版。本刊为中文
核心期刊, 是中国工程塑料工业协会会刊, 荣获首届、第二
届、第三届国家期刊奖等 26 项国家、省部委级优秀期刊奖,
入选美国化学文摘(CA)千种表。2011 年定价 15 元/期, 全
年 180 元。1986 年以来的期刊价目见表 1。欢迎读者来函
(附名片) 免费索取样刊。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计
量专业技术类刊物, 双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版。本
刊为中国科技核心期刊, 荣获 6 项省部委级优秀期刊奖, 被
美国化学文摘(CA)收录。2011 年定价 15 元/期, 全年 90
元。创刊号以来的期刊价目见表 2。欢迎读者来函(附名
片) 免费索取样刊。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 我社
已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2010 年底共 38
卷 254 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售; 同
时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2010 年底共
19 卷 77 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售。
分别利用这两种合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、
期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的
全文, 又可根据读者自定义的关键词进行全文检索, 非常方
便、实用。

《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 500 元; 《化学分
析计量》合订本光盘优惠售价 200 元。

邮局汇款:

收款单位: 山东省济南市 108 信箱杂志社
邮编: 250031 传真: (0531) 85947355 85878057
电话: (0531) 85878057 85878223 85878278

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

网上订购: <http://www.epa1973.com>

表 1 《工程塑料应用》单册期刊、合订本价格表

年 份	期 数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
1986 ~1989	16	0.825	13.2	19
1990 ~1992	12	1.4	16.8	23
1993、1994	10	2.4	24	30
1995	6	2.8	16.8	23
1996	6	3	18	24
1997	6	3.5	21	27
1998	12	3.5	42	48
1999	12	4	48	54
2000	12	5	60	66
2001	12	5.5	66	78(两本)
2002	12	6	72	84(两本)
2003	12	6.5	78	90(两本)
2004	12	7	84	96(两本)
2005	12	7.5	90	102(两本)
2006	13	8	104	116(两本)
2007	12	9	108	120(两本)
2008	12	10	120	132(两本)
2009	12	12	144	156(两本)
2010	12	13	156	168(两本)
2011	12	15	180	180(单册)
合计	225		1100(优惠)	1200(优惠)

表 2 《化学分析计量》单册期刊、合订本价格表

年 份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
创刊号 ~1998	9	3	27	33
1999 ~2001	14	4	56	62
2002	6	5	30	72
2003	6	6	36	
2004	6	7	42	93
2005	6	7.5	45	
2006	6	8	48	108
2007	6	9	54	
2008	6	10	60	66
2009	6	12	72	78
2010	6	13	78	84
2011	6	15	90	90(单册)
合计	83		550(优惠)	600(优惠)