

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.11.014

模内热切注塑模设计与挤切因素工程分析

畅国伟,王冰,吴裕农,杨亘

(顺德职业技术学院,广东佛山 528300)

摘要: 现有的部分企业在模内热切注塑技术规范中,规定了与切刀运动方向垂直的切刀横截面积须小于注塑机喷嘴截面积,但在多切刀模内热切注塑模中,这一规定并不适用。针对此问题,首先介绍了典型模内热切注塑模的主要结构,以这种结构为案例,结合熔融塑料的体积弹性模量估算,通过熔融塑料在受切刀挤压时熔融塑料体积变化与压力增量的关系分析,得出若在注塑结束、塑料熔体尚未凝固时启动切刀,则压力变化很小,因此切刀的截面积小于注塑机喷嘴截面积不是必要条件;若切刀启动时间较迟,则流道和浇口处的塑料熔体已经凝固,被挤出的半熔融塑料并不是被挤回到注塑机中,而是被容纳于切刀附近的溢料槽。由此明确了切刀动作在注塑行程过程中时机优化的指导思想,以及溢料槽设计的补充思想。

关键词: 注塑模;模内热切;溢料槽;搭接浇口;切刀;熔融塑料;体积弹性模量

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)11-0071-05

Design of Injection Mould with Hot-cutting In-mould and Engineering Analysis for Extruding-cutting Procedure

Chang Guowei, Wang Bing, Wu Yunong, Yang Gen

(Shunde Polytechnic University, Foshan 528300, China)

Abstract : In technical specifications of hot-cutting in-mould technology of some companies, the cross-sectional area of the cutter perpendicular to the direction of cutter motion shall be less than that of the injection molding machine nozzle, but in the injection mould with multi-cutter, the specification is not applicable. According to the problem, the main structure of typical injection mould with hot-cutting in-mould was first introduced. Then taking the structure as an example, and combining with estimating the bulk modulus of molten plastic, the relationship between molten plastic volume change and its pressure increment when the cutter extrudes was analyzed. The conclusion is obtained that, if starting the cutter when the injection is finished and the melt is not yet solidified, the pressure increment is little, so it is not necessary for limiting cross-sectional area of the cutter being smaller than that of injection molding machine nozzle, if starting the cutter later, the melt in the runner and gate is solidified, the half molten plastic is not pushed back into the injection molding machine, instead, is mainly accommodated by the material overflow trough nearby cutter. Thus the guiding ideology of the timing optimization of the cutting action in the process of injection molding and a supplementary thought for the design of overflow trough are confirmed.

Keywords : injection mould ; hot-cutting in-mold ; material overflow trough ; lap gate ; cutter ; molten plastic ; bulk modulus

注塑技术的发展是当前家电制造业和汽车制造业等工业领域技术进步的一个子项。在众多注塑相关技术发展中,注塑模模内热切技术是近几年发展和应用火热的一个方向。这个领域涉及到两个关键的技术点,一个是相关模具结构的多样创新,一个是模具中溢料槽的应用和作用^[1-8]。

注塑模内热切技术最初是利用模具顶出动作而实现的^[9],后来进展到使用气压、液压驱动的系统,然后发展到使用时序控制的增压器液压系统。当前使用时序控制的增压器液压系统的模内热切技术适应性最好,已经在很多企业得到应用,并且仍在发展完善之中。在增压器液压系统中,推动微型液

压缸的液压油由超高压液体增压器提供,液压增压器所提供的压力达到 80~100 MPa。

现有的部分企业在模内热切技术规范中,规定了切刀挤切面积与注塑机喷嘴之间的相互关系,即规定了与切刀运动方向垂直的切刀横截面积须小于注塑机喷嘴截面积,但这一规定可能会带来以下问题,即对于多切刀的大型模具,即使一个切刀的挤切横截面积小于注塑机喷嘴横截面积,多切刀时各切刀横截面积相加的总横截面积也会超出并大于注

联系人: 畅国伟,教授,主要从事塑料成型工艺、模具设计和制造的科研和教学

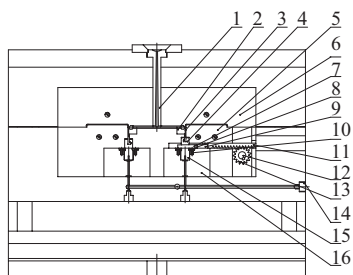
收稿日期: 2017-09-08

塑机喷嘴面积,所以需要对该规定进行进一步的工程分析。

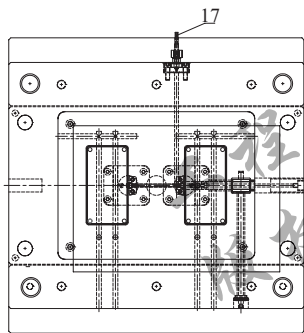
笔者首先介绍了典型模内热切注塑模的主要结构及动作原理,以这种结构为案例,进行了挤切因素工程分析,为模内热切注塑模具的相关设计提供参考。

1 模内热切注塑模具主要零部件及动作原理

图1为一套简单典型时序控制的增压器系统的模内热切注塑模具,零件是形状简单的浅盒形件,采用搭接浇口,二板模形式^[10]。



主剖视图



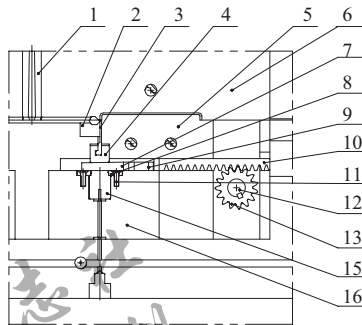
下模平面图

- 1—浇口套; 2—切刀导向块; 3—切刀; 4—切刀刀架; 5—下模型芯;
6—上模型芯; 7—切刀高度调整块; 8—微型液压缸压板;
9—连接块; 10—平头螺钉; 11—齿条; 12—齿轮轴; 13—齿轮;
14—油路端封; 15—微型液压缸; 16—液压缸安装座; 17—油路接入

图1 模内热切注塑模具

模内热切注塑模具主要相关零部件有:切刀导向块2、切刀3、切刀刀架4、微型液压缸15和微型液压缸安装座16。工作过程为:模具闭合,注塑,保压,在保压的最后阶段,微型液压缸15启动,切刀3完成切断(切断过程实际是挤压过程),在切刀剪切过程中,切刀导向块2起对切刀3运动的导向作用,切刀3安装在切刀刀架4上,微型液压缸15通过切刀刀架4推动切刀3。切刀3的回程通过安装在切刀刀架4中的弹簧完成。其中切刀是企业标准件,切刀头部尺寸需客户制定加工;微型液压缸压板8需客户依模具空间自行设计;微型液压缸15是企业标准件。

对于需要切刀高度可以轻微调整的情况,这套模具右侧型腔设计了可以通过齿轮齿条微调的斜面机构,如图2所示。设计了切刀高度调整机构,采用小锥度的斜面垫块即切刀高度调整块7在微型液压缸15上面,切刀高度调整块7通过连接块9连接齿条11,齿轮13驱动齿条11。模具试模合配时通过转动齿轮轴12可以模拟切刀顶出状态,便于调整切刀高度。生产时也可以通过微转动调整齿轮轴来调节切刀刀具高度,以实现优良的剪切质量。



各零件标号同图1

图2 切刀高度调整机构

连接块9是工字型零件,把切刀高度调整块7和齿条11通过各自的T型槽连接起来,同时允许切刀高度调整块7作垂直方向的滑动(相互在T型槽方向可垂直滑动,这样液压缸才能通过它再推动刀架,但是不会带动齿条做上下方向移动,齿条只做水平运动)。图2所示的切刀高度调整机构是非典型结构,也可设计其它机构来进行切刀高度调节。

1.1 时序控制的增压器原理

模具闭合时触碰到行程开关(行程开关两部分分别安装在定模和动模上),行程开关发出信号给时序控制器,时序控制器根据设定的时间输出高压油给油缸,计时的起始点由行程开关给出信号时间开始。计时时间分为4部分,即 T_1 , T_2 , T_3 , T_4 。 T_1 时间是切刀顶进延迟时间,这个时间是注塑加保压时间之和,这个时间内切刀不动。试模时如果发现产品有缩水,可根据缩水程度延长 T_1 时间致不缩水为止,如产品不缩水则可缩短时间至发生缩水,这样既可获得不发生缩水的时间临界值,然后在加上一时间余量。 T_2 是切刀顶进时间,即压力油上压时间,无特殊情况3s即可。 T_3 是切刀持续顶进时间,这个时间可设定为产品冷却时间的50%~80%,不需要设定为与冷却时间完全相等,因为浇口部分先冷却。 T_4 是切刀后退时间,一般情况2s即可,这时时序控制器泄压,油缸压力为零,切刀架内的弹簧受

力于模具,将切刀与油缸归位,一个周期动作完成。

1.2 搭接浇口、溢料槽和切刀导向块

图3是切刀剪切局部放大图,可以看出浇口采用的是搭接浇口。搭接浇口是模内热切采用的较多的一种浇口形式,除了搭接浇口,还有边浇口和牛角浇口也是模内热切技术经常采用的浇口形式。浇口被“切断”的过程,事实上是用平头的切刀,在塑料熔体尚未完全凝固的时间段内,通过挤压,将如图4所示的体积为 $M \times N \times S$ 的塑料熔体,挤回浇注系统中。为了给被挤回的塑料提供空间,模内热切模具在分流道和浇口之间设计了溢料槽。

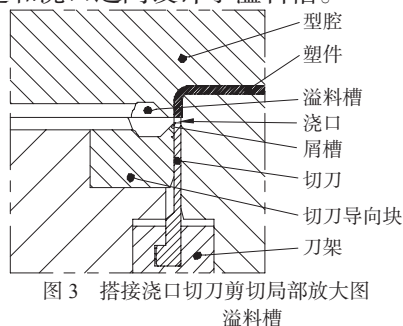


图3 搭接浇口切刀剪切局部放大图

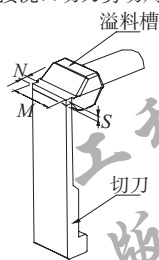


图4 切刀、溢料槽及浇口处被挤出的熔体体积

设注塑机喷嘴面积为 A , M 为切刀宽度, N 为切刀厚度, N 值越小热切体积越小,对热切越有利;当前企业采用的搭接浇口尺寸设计中,搭接浇口宽度略小于 N ,但两者相差很小,故可将切刀热切截面面积视为 $M \times N$,切刀热切挤压量可看作一个尺寸为 $M \times N \times S$ 的六方体(S 为切刀行程,见图4)。切刀行程 S 一般选择2~4 mm,挤压行程小对热切有利。

在切刀导向块距离与塑料熔体接触平面以下2 mm处设计水平方向的屑槽特征,深度可取为0.30 mm,宽度0.60 mm,作用是容纳剪切时延着切刀导滑面挤进的少量塑料,屑槽中所存的少量塑料“碎屑”会在下次剪切时被切刀推到切刀顶端,而后随注塑熔体进入型腔,一般不会影响注塑件质量,同时也不会造成切刀的行程凝滞。

切刀未顶出状态时,应当保证切刀最低位置高于浇口底面0.10~0.20 mm。切刀顶出后,切刀与上模型芯的最短距离为0.005 mm,处于几乎接触但并未接触的状态。切刀侧面与零件外侧距离取为

0.15 mm,理论上这个值越小剪切效果越理想,但是考虑到切刀强度也不能太小。下模型芯及切刀导向块设计切刀导向斜角特征,便于切刀合配及安装。

2 模内热切技术工程分析

针对上述介绍,切刀热切截面积为 $M \times N$,在部分企业技术规范中认为应保证 $M \times N \leq A$,这样设计的浇口可以保证在浇口位置的熔体相对于注塑机喷嘴截面积 A 没有进一步被压缩,因而注塑压力损失较小,同时切刀动作挤出时有充分的喷嘴面积保证少量熔体回流。但在多切刀模具中, $M \times N \leq A$ 并不容易实现,故对模内热切技术因素进行工程分析,以探讨 $M \times N \leq A$ 的必要性。

如果把塑料熔体整个型腔看作一个不可压缩的液态整体,则可以把一个切刀的热熔塑料挤压量,与塑件整体的体积和流道体积做一个比较。本例为一模两腔,取一个盒形件的体积,加上主流道体积、分流道体积计算从主流道到一个盒形件之间的部分,溢料槽的体积只计算一个,通过ProE计算零件和浇注系统体积 $V=27088 \text{ mm}^3$,单个切刀挤出体积 $V_j=M \times N \times S=10 \text{ mm} \times 1.5 \text{ mm} \times 1.2 \text{ mm}=18 \text{ mm}^3$ 。

体积弹性模量(K)即单位体积压缩量所需的压力增量。 K 可描述均质各向同性液体的弹性,可表示为单位面积的力,表示不可压缩性。低黏度熔体塑料的 K 难以查到,熔融塑料的 K 资料缺少,故笔者采用类比估算。此处估算以文献[11]普通液压油的 K 为基础进行估算。

液体的 K 可以用式(1)表示。

$$K = -\Delta P \cdot (V / \Delta V) \quad (1)$$

式中: ΔP ——液体压力变化量, Pa;

V ——液体加压前的体积, m^3 ;

ΔV ——加压后液体体积变化量, m^3 。

因此有:

$$\Delta P = -K \cdot \Delta V / V \quad (2)$$

式(1)和式(2)中, ΔV 为负值。表1为不同种类液压油的 K 值。表1所列的聚酯、聚苯醚等液压油可视为常温下处于熔融状态的聚合度较低的树脂,聚合度高时,一般认为 K 会随分子量增大而有

表1 不同种类液压油的 K 值

液压油种类	K / GPa
聚 α 烯烃	1.23
聚酯	1.79
聚苯醚	2.54
直链全氟聚醚	0.98
支链全氟聚醚	0.84

一个先增加后降低的过程。估算认为,注塑常用的塑料熔体的 K 值数值范围与上表各类液压油的大致接近。

当液压油(可视为熔融状态的树脂)夹带气体时,其 K 值下降为纯液压油(或树脂)的 25%。注塑状态下,一般可以认为塑料熔体中是含有气体的,因此按照较大值估算,可认为注塑常用的塑料熔体的 K 值为 0.5 GPa,这一估值处在较高的位置,以此计算可以代表大部分注塑常用的塑料熔体。

2.1 考虑切刀挤出的塑料由整个型腔和浇注系统容纳

若在注塑结束后,切刀立即执行动作,此时切刀的挤压会造成全体熔融塑料的压力提升,提升的压力值计算如下:

$$\Delta P = -0.5 \times 10^9 \times [(-18 \times 10^{-9}) / (27088 \times 10^{-9})] = 0.33 \text{ (MPa)}$$

从计算结果可以看出,相比于注塑压力和保压压力(约 35~245 MPa),这个由切刀挤压造成的整体注塑熔体压力变化是很小的。

2.2 考虑切刀挤出的塑料仅由溢料槽容纳

实际上从一般工程经验理解知道,切刀的挤压虽然不足以在整体注塑熔体中造成压力的波动,但是被挤压的塑料熔体至少在切刀附近会造成较大压力的波动,特别是在塑料熔体接近于凝固的时候,即流道和型腔的塑料流动性已经消失的时候,此时的压力波动较大,故这部分被切刀挤出的塑料必须有空间(即溢料槽)容纳^[12]。

因此当熔融塑料大部分已经凝固,只有溢料槽内的塑料会被挤压时,以溢料槽的体积作为总体积重新计算。假设切刀启动的时候,主流道、分流道和型腔的塑料已经凝固和接近凝固,这时可以被压缩的“液体”只有溢料槽里面的塑料熔体,由 ProE 计算得到溢料槽体积为 465 mm³,则提升的压力值计算如下:

$$\Delta P = -0.5 \times 10^9 \times [(-18 \times 10^{-9}) / (465 \times 10^{-9})] = 19.3 \text{ (MPa)}$$

从熔体注塑压力的范围是 35~245 MPa 这看,此局部压力的上升相当于注塑压力的 8%~60%,如果此处估算塑料熔体 K 值更高一点,则这个局部压力变化数值还会更高。但这个压力的波动只与塑料熔体的种类等即自身特性因素 K 值和挤出的相对体积比例有关,而与注塑压力无关。

通过以上工程方法的分析,可以知道采用模内热切时,模内热切的切刀启动时间与切刀挤压所引起的局部熔融塑料压力变化有大的关系。即塑料熔

体没有凝固的时候,切刀所造成的塑料挤压量不足以在整个注塑型腔和浇注系统内引起较大的压力,因此对于企业设计中所认为的切刀宽度与搭接浇口宽度乘积 $M \times N$ 所得面积应小于等于注塑机喷嘴截面积 A 的经验设计方法,通过以上分析可以认为其是非必要条件。多切刀模内热切时,多个切刀同时动作,则各 $M \times N$ 之和必然会大于 A ,单一切刀的 $M \times N \leq A$ 没有意义。在实际注塑时,在切刀剪切挤压的时间段内,浇口与流道已经凝固,这使得因剪切挤出造成多余塑料熔体而导致的压力升高现象只发生在切刀与溢料槽附近,离注塑机喷嘴较远,对喷嘴处的影响相对较小。且通过适当的溢料槽尺寸设计,可以将这种压力波动限制在溢料槽附近,使其很难传递到注塑机的喷嘴处,故此时 $M \times N$ 是否必须小于等于 A 已不再是模内热切注塑模具设计时的一种必要条件。

3 结语

采用模内热切时,选用不同模内热切的切刀启动时间,可以决定切刀挤压所引起的局部熔融塑料压力变化的大小。若在注塑结束、塑料熔体尚未凝固时启动切刀,则压力变化很小,无需使 $M \times N \leq A$; 如果切刀启动时间选择比较迟的时刻,则需要设计制造相对大的溢料槽,溢料槽大小的设计,对剪切时切刀附近熔体局部压力的变化有决定作用。以上结论可为模内热切模具尤其是多切刀模内热切模具的实际设计制造提供一定的依据。如在实际应用中碰到热切毛刺边较大等情况时,在参照现有企业模内热切技术标准的同时,可在现有规范基础上适当加大溢料槽的尺寸,从而获得较好的切刀剪切质量。

参考文献

- [1] 赵战锋. 面条机搅拌杯多重倒扣成型注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(8): 73-77.
Zhao Zhanfeng. Injection mould design for multiple undercut forming of noodle machine stirring cup[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(8): 73-77.
- [2] 陈红波, 李小龙. 自动切除平板电视面框侧浇口废料的注射模设计[J]. 模具制造, 2009(12): 51-52.
Chen Hongbo, Li Xiaolong. Design of auto-sheared injection mold for edge gate of fpd cabinets[J]. Die & Mould Manufacture, 2009(12): 51-52.
- [3] 杜林芳, 苗秋玲. 汽车内饰把手气辅注射成型模具设计[J]. 中国塑料, 2017, 31(4): 102-105.
Du Linfang, Miao Qiuling. Design of gas-assisted injection molds

- for car interior door handles[J]. China Plastics, 2017, 31(4):102-105.
- [4] 李代叙,赵欣. PVC 管件自动切断浇口注塑模具设计[J]. 模具技术, 2016(6):37-40.
- Li Daixu, Zhao Xin. Design of injection mould for automatic cutting gate of PVC pipe fitting[J]. Die and Mould Technology, 2016(6):37-40.
- [5] 畅国伟,张凤兰. 自动脱螺纹注塑模液压马达脱螺纹与推板推出动作关系的工程分析[J]. 工程塑料应用, 2015, 43(5):78-82.
- Chang Guowei, Zhang Fenglan. Engineering analysis for relations between actions of hydraulic motorunscrewing and ejector plate ejecting in automatic unscrewing injection mould[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(5):78-82.
- [6] 吕召胜,谈桂春,赵志鸿,等. 2015 年我国工程塑料加工技术进步[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(5):116-125.
- Lyu Zhaosheng, Tan Guichun, Zhao Zhihong, et al. Advance in processing technology of engineering plastics of China in 2015[J]. Engineering Plastic Application, 2016, 44(5):116-125.
- [7] 左军超. 聚合物熔体绕环形腔充型流动特性的可视化研究[D]. 大连:大连理工大学, 2015.
- Zuo Junchao. Visualization study on polymer injection molding in ring-shape cavity[D]. Dalian:Dalian University of Technology, 2015.
- [8] 汪峰,俞伟飞. 汽车内饰前门把手后射法气辅注塑成型模具设计[J]. 模具技术, 2016(4):15-19.
- Wang Feng, Yu Weifei. Injection mould design of auto-inner ornament front doorknob by using gas-assisted rear firing method[J]. Die and Mould Technology, 2016(4):15-19.
- [9] 陈爱平. 注塑模具模内自动剪浇口技术[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(1):62-64.
- Chen Aiping. Technology of cutting gate inner mould automatically for injection mould[J]. Engineering Plastic Application, 2013, 41(1):62-64.
- [10] 宋满仓,赵辉,常泓,等. 浇口凝料机构的微流控芯片注射模设计[J]. 模具工业, 2016, 42(7):63-67.
- Song Mancang, Zhao Hui, Chang Hong, et al. Injection mould design for the micro-fluidic chip with automatic gate cutting mechanism[J]. Die & Mould Industry, 2016, 42(7):63-67.
- [11] 岳国良,李楠. 航空液压油体积弹性模量的测定方法[J]. 合成润滑材料, 2011, 38(1):19-21.
- Yue Guoliang, Li Nan. Measuring methods bulk elastic modulus of aviation hydraulic fluids[J]. Synthetic Lubricants, 2011, 38(1):19-21.
- [12] 罗孝辉. 模内热切在汽车外饰塑件上的研究与应用[J]. 模具工业, 2016, 42(3):58-64.
- Luo Xiaohui. Research and application of hot cutting in mould for vehicle exterior plastic parts[J]. Die & Mould Industry, 2016, 42(3):58-64.

9 月份我国出口塑料制品规模达 219.5 亿元

2017 年 9 月我国出口塑料制品规模达 219.5 亿元,同比增长了 8.1%。出口量为 96.4 万 t,同比增长了 12.1%。

前三季度我国出口塑料制品吨数为 858.4 万 t,同比增长了 12.7%;出口金额为 1941.3 亿元,比去年同期增长 15.2%。

9 月进口初级形状的塑料规模为 298.8 亿元,同比去年增长了 37.7%

前三季度我国进口初级形状的塑料总量为 2 111.7 万 t,同比增长了 12.9%;进口金额为 2 421.5 亿元,同比增长了 23.8%。进口均价为 1.15 万元 /t,同比增长了 10.4%。

(PVC 塑料网)

中德科学家探讨海洋塑料垃圾降解问题

塑料工业的发展在给人类社会生活、生产带来方便的同时,也导致大量的废旧塑料垃圾不断产生。近日,中德海洋塑料污染研讨会在国家海洋局第一海洋研究所举行,中德科学家就海洋微生物系统如何解决海洋塑料垃圾问题展开研讨。

塑料进入食物链影响生态

塑料被广泛应用于商业、工业、医药和市政等领域。自 20 世纪 40 年代开始大规模生产以来,塑料的产量迅速增加,从 20 世纪 50 年代的每年 150 万 t 大幅增加到 2013 年的 2.99 亿 t。随着海洋塑料污染问题日益严重,海洋塑料垃圾越来

越受到重视。

研究表明,60%~80% 的海洋碎片来自于陆地活动,且这些碎片中约 80% 为塑料,多数的海洋塑料碎片是经环境分解后的微型塑料,绝大多数直径小于 5 mm。由于塑料的持久性和普遍性,塑料垃圾正在破坏、威胁着海洋环境,它已经开始渐渐地进入食物链,严重影响海洋生态系统的健康和可持续发展。

让海洋微生物成治污神器

据悉,国家海洋局第一海洋研究所海洋生态研究中心关注黄海生态和海洋微生物研究三十多年,从黄海等海区分离获得了丰富多样的微生物资源,建立了我国近海海洋微生物资源库。通过对菌种功能筛查和定向研究,将所整理的资源分为生态环境益生菌(光合细菌为主)、潜在药源菌(放线菌、真菌为主)、环境污染修复菌(例如石油降解菌)等类群并将资源信息上交国家海洋微生物资源平台。

在众多海洋塑料污染物中,主要成分为聚对苯二甲酸乙二酯(PET)的各类食品包装占有很大一部分比例。在过去十几年中,德国、日本、奥地利和中国的几个课题组分别报道了从放线菌类细菌以及环境宏基因组中分离出来的 PET 水解酶,证明了 PET 生物降解的可能性。通过重组表达和定向进化等方法,这些水解酶已被生产、改造并应用于特定生物反应器内的小规模 PET 降解中,为 PET 绿色生物降解的工业化奠定了基础。

(半岛全媒体)