

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.10.013

异向旋转锥形双螺杆三维造型方法研究^{*}

岳梦岩,薛平,贾明印,王苏炜,王嘉敏

(北京化工大学塑机所,北京 100029)

摘要:采用端面曲线旋转和模拟机加工法两种方式对锥形双螺杆进行造型,从造型后法向螺棱宽度与设计参数的吻合度和两螺杆装配后螺棱侧隙的均匀性两方面对造型方法的准确性进行了评价,并根据造型过程分析了两种造型方法的不同适用范围。结果表明,两种造型方法均不产生干涉;前者通过对螺棱顶角计算方法进行改进后,不仅得到了与设计参数一致的法向螺棱宽度,还具有更均匀的螺棱侧隙,较适于仿真模拟计算的建模和轴向齿廓形状较简单的锥形双螺杆的造型,后者更适于构建轴向齿廓形状更加复杂的螺杆实体。

关键词:锥形双螺杆;三维造型;SolidWorks;端面曲线旋转法;机加工模拟法

中图分类号:TQ322.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2015)10-0066-05

Research in 3D Modeling Methods of Counter-rotating Conical Twin-screw

Yue Mengyan, Xue Ping, Jia Mingyin, Wang Suwei, Wang Jiamin

(Institute of Plastic Machinery and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Two methods of cross section rotation and machining simulation were adopted to model the screw and the modeling accuracy was evaluated from the two aspects which include the alignment between normal screw flight width after modeling and design parameter and the uniformity of screw meshing clearance after assembling. The scopes of the two methods were analyzed by modeling process. The results show that the two methods don't generate interference, and the former which is improved through fixing the screw angle can get the normal flight width consistent with the design parameter and more uniform screw meshing clearance. The methods of cross section rotation is more accurate and suitable for simulation modeling and shaping conical twin-screw with simple axial tooth profile shape and the method of machining simulation is more suitable for modeling complex axial tooth profile shape screw.

Keywords: conical twin-screw; 3D molding; SolidWorks; method of cross section rotation; method of machining simulation

锥形双螺杆挤出机是一种能够提供较大压力的混炼挤出设备,具有产量高、剪切塑化均匀、螺杆强度高优点,适于加工热敏性物料和黏度较高的物料^[1-2],目前已广泛应用于硬聚氯乙烯粉料的造粒和管材、板材、异型材等制品的挤出成型^[3],在塑料加工行业中占有十分重要的地位。锥形双螺杆挤出机的实体造型对满足实际工程需求和建模分析锥形双螺杆挤出机的塑化特性至关重要,螺杆作为挤出机核心部件,其造型结果的好坏直接影响造型效果和仿真建模的准确性。

锥形双螺杆的结构相对平行双螺杆更加复杂,不同功能段螺杆半径以及螺槽尺寸不同,导致实体造型相对困难。目前,锥形双螺杆的造型方式主要包括软件的二次开发和借助三维造型软件直接造型。使用软件二次开发的方法造型相对准确,宋俊

全等^[4]通过对AutoCAD进行二次开发,借助端面曲线方程研究了锥形双螺杆的实体造型;王可等^[5]则通过UG的二次开发,创建螺杆锥形体,切除螺杆齿槽后得到所需螺杆三维模型。软件二次开发的方法需要一定的计算机编程基础,周期较长。借助三维软件直接造型相对简单,且基本能够满足三维建模的需求,何亮等^[6]基于异向旋转平行双螺杆的端面曲线方程,使用三维造型软件Pro-E直接得到了锥形双螺杆的实体。

笔者基于目前广泛使用的三维造型软件——SolidWorks,选取端面曲线旋转法^[4-5]和根据实际加

^{*} 国家自然科学基金项目(21404007),“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD23B0203)

联系人:薛平,教授,主要从事高分子材料加工研究

收稿日期:2015-06-17

工过程得到的机加工模拟法进行异向旋转锥形双螺杆造型,比较了它们的效果,通过对原有的端面曲线旋转法进行修正和改进,提高了造型的准确性,为锥形双螺杆的模拟仿真建模提供了理论依据。同时,通过分析两种不同的造型过程,提出了不同造型方法的适用场合,为不同轴向齿廓形状的螺杆造型提供依据,并大幅减少不必要复杂计算,以进一步提高造型的效率。

1 锥形双螺杆造型方法分析

螺杆设计中,其基本设计参数主要包括螺杆的长径比、大端外径、小端外径、螺槽深度、中心距、螺纹头数、各功能段长度和螺距。通过挤出机产量可进一步计算得出法向螺槽宽度等参数,最终确定螺杆造型所需全部参数^[7-8]。

1.1 端面曲线旋转

锥形双螺杆轴向尺寸时刻变化,取锥形双螺杆轴向一段极其微小的长度,可将锥形双螺杆近似看作啮合异向旋转平行双螺杆,则锥形双螺杆可看作无限个极薄的平行段的叠加。根据啮合异向旋转双螺杆运动原理可知,螺杆端面形状如图1所示,图中 α 为螺棱顶角。

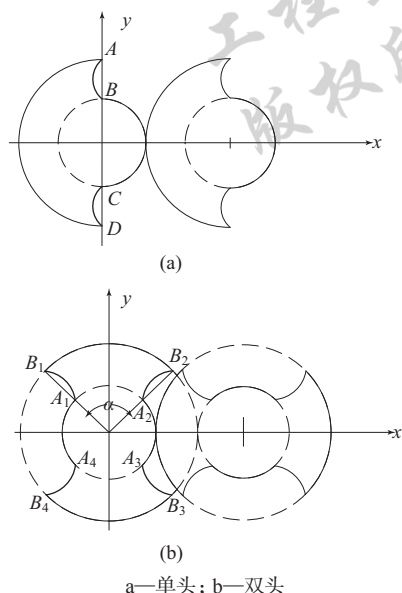


图1 啮合异向双螺杆理论端面曲线^[9]

如图1a所示,单头螺杆端面曲线 AB 和 CD 关于 y 轴对称,曲线 CD 方程如式(1)所示。

$$\begin{cases} x = C_L \cos \omega t - R_s \cos(2\omega t - \frac{3\pi}{2}) \\ y = -C_L \sin \omega t + R_s \sin(2\omega t - \frac{3\pi}{2}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\left(\frac{3\pi}{2} - \arccos \frac{C_L}{2R_s} \leq \omega t \leq \frac{3\pi}{2} \right)$$

式中: R_s ——螺杆底圆半径;

C_L ——理论中心距, $C_L = (R_b + R_s) / 2$, R_b 为螺杆顶圆半径;

ω ——螺杆转动的角速度;

t ——相对运动时的时间参数。

如图1b所示,双头螺杆端面曲线 A_1B_1 和 A_2B_2 关于 y 轴对称,且与曲线 A_3B_3 和 A_4B_4 中心对称, A_1B_1 段曲线方程如式(2)所示。

$$\begin{cases} x = C_L \cos \omega t - R_s \cos(2\omega t - \frac{5\pi}{4}) \\ y = -C_L \sin \omega t + R_s \sin(2\omega t - \frac{5\pi}{4}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\left(\frac{5\pi}{4} - \arccos \frac{C_L}{2R_s} \leq \omega t \leq \frac{5\pi}{4} \right)$$

如图1,圆 $A_1A_2A_3$ 和圆 $B_1B_2B_3$ 分别为螺杆的顶圆和底圆,结合式(1)和式(2)即可得到螺杆端面曲线,从而进行螺杆造型。

若利用理论曲线直接进行旋转得到的螺杆无啮合间隙且容易造成积料死角^[4],因此,需要对理论曲线进行修正。首先采用中心距修正法修正,用实际中心距 C_L' 替代公式中的理论中心距 C_L ;之后,通过螺杆的螺棱侧隙对螺棱顶角进行螺棱间隙修正,修正后的螺棱顶角 α' 按式(3)计算[式(3)中 $\alpha = \arccos(C_L' / 2R_b)$]。

$$\alpha' = \alpha - \frac{\delta_c}{R_s \tan \theta_s} \quad (3)$$

式中: δ_c ——两螺杆轴线所在平面内螺棱侧面间隙;

θ_s ——以内径计算的螺纹升角。

为避免积料死角,可用直线直接代替单头螺杆端面曲线中的 AB 和 CD 或双头螺杆端面曲线中的 $A_1B_1 \sim A_4B_4$,此时螺杆轴向齿廓为矩形;若螺杆轴向齿廓为梯形,则以螺杆底径与弧线的交点为圆心,将替代圆弧的直线旋转一定角度即可。

锥形双螺杆每个截面的端面曲线均不同,但同一导程内,端面变化较小,可使用同一端面曲线旋转进行造型。螺杆每段均造型完毕后,将螺杆的外径进行适当切除可得到符合设计参数的螺杆。使用该方法造型结果如图2所示。

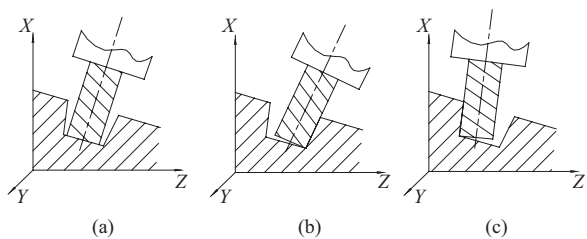


图2 端面曲线法造型锥形双螺杆效果图

1.2 模拟机加工方式

实际加工中,通过加工刀具角度、位置的变化以及螺杆的旋转切除螺槽部分,从而得到所需双螺杆构型,加工过程如图3。分析该加工过程可知,使

用 SolidWorks 能够模拟锥形双螺杆机加工过程,从而得到所需的螺杆三维模型,切除使用的“刀具”形状即为螺槽轴向截面的形状。



a—开槽; b—铣右侧; c—铣左侧

图3 直廓齿形螺旋槽加工原理^[10]

螺槽宽度随着螺杆结构的变化也会阶段性的变化,需要对螺杆的不同部分分别进行造型,并将不同截面进行混合,因此,不同截面的混合效果也是影响螺杆整体造型好坏的因素。由于三维造型软件本身功能的限制,当螺槽宽度变化较大时,截面混合质量会大大降低(如图4所示),而螺棱宽度一般较螺槽宽度小,因此可将切除螺槽的过程转换为旋转建立螺棱的过程以达到同样目的,得到过渡平缓且比较符合实际螺杆结构的三维造型。实际应用中根据螺杆具体尺寸,选择较合适的方式构建螺杆三维的模型,图5为经螺棱扫描得到的螺杆三维造型效果图。

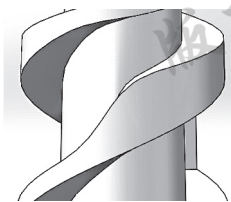


图4 模拟机加工法切螺槽示意图

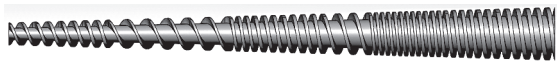


图5 模拟机加工法造型锥形双螺杆效果图

2 锥形双螺杆两种造型方法评价

分别将两种造型方法得到的螺杆装配并进行干涉检查后发现,干涉数量为零,可知,两种造型方法均可以得到啮合良好的螺杆。

2.1 螺棱法向宽度准确性分析

实际生产螺杆时,主要通过参考二维图纸中螺杆的导程以及螺棱宽度等参数对螺杆进行加工,两种造型方法中,螺杆导程都是固定的,因此,可将法向螺棱宽度 e (如图6所示)作为衡量螺杆造型是否准确的标准。分别将两种造型方法得到的螺杆的螺棱尺寸进行统计并比较,结果如图7所示。

由于机加工模拟法直接使用设计尺寸进行造

型,因此其法向螺棱宽度与设计尺寸完全吻合,图7中机加工法所得螺杆的法向螺棱宽度曲线即为设计尺寸曲线。由图7可知,旋转端面曲线得到的螺杆三维图与设计尺寸有偏差。造成这种结果的主要原因是端面曲线旋转法是以锥形双螺杆全啮合无间隙旋转得到的端面理论曲线为基础,在此基础上修正得到的螺杆造型,修正不全面或修正方法不当均会对造型效果造成影响。

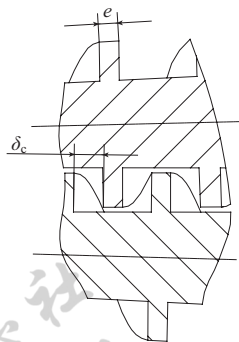


图6 螺杆截面尺寸示意图

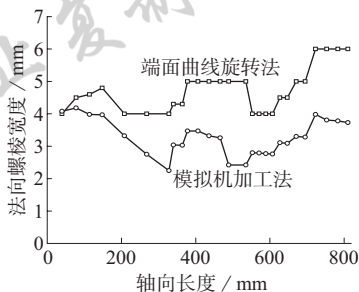


图7 不同造型方法所得螺杆的法向螺棱宽度对比

通过分析端面曲线的旋转过程可对螺棱顶角计算方法提出进一步改进。如图8所示,弧AB经过旋转形成螺杆的螺棱,根据几何关系可知:

$$\sin \phi = \frac{\overline{AC}}{\overline{AB}} = \frac{e}{R_b \alpha''} \quad (4)$$

式中: ϕ ——以外径计算的螺纹升角;

α'' ——改进计算方法后得到的螺棱顶角。

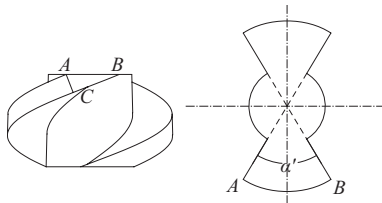


图8 螺杆端面曲线旋转示意图

由式(4)可知螺棱顶角满足 $\alpha''=e/(R_b \sin \phi)$,使用该方法计算得到的螺棱顶角再次对锥形双螺杆进行造型并对法向螺棱宽度进行测量统计发现,此时,螺杆各段法向螺棱宽度与设计长度完全一致,造型效果良好。

2.2 螺杆啮合间隙均匀性分析

锥形双螺杆装配完毕后,两啮合螺杆之间会存在啮合间隙,其包括螺杆顶部与机筒内壁间隙、螺杆径向间隙、螺杆侧向间隙和四面体间隙。啮合间隙是物料流动的通路,对物料的混合十分重要,其中螺杆的径向间隙和侧向间隙是影响压力流和塑化效果的重要参数,最理想的修正方法应保证修正后螺杆所有间隙均匀一致^[5]。根据造型过程可知,无论采用何种造型方法,螺杆顶部与机筒内壁间隙和螺杆径向间隙都是相同的,这由设计参数确定,因此,螺杆侧向间隙 δ_c (如图6所示)是否均匀是衡量螺杆造型效果好坏的重要参数。

分别将上述两种造型方法得到的螺杆进行装配并测量螺棱侧间隙后发现,同一螺棱的上下侧隙不同,将两种造型方法得到的同一螺棱的上下侧隙分别相减,得到螺杆轴向不同位置螺棱侧隙差值分布如图9所示。由图9可知,端面曲线旋转法得到的螺杆侧向间隙差值较小,螺棱侧隙较均匀,造型效果好。

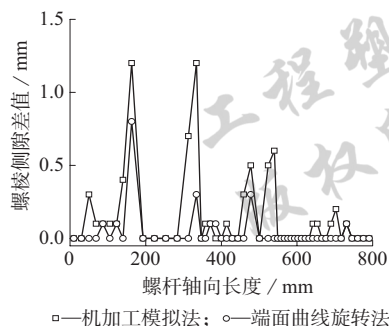


图9 不同造型方法所得螺杆的螺棱侧隙差值对比

2.3 螺杆造型过程分析

分析两种造型方法的过程可知,对端面曲线旋转法相关公式进行修正后,沿螺旋线对端面进行“扫描”可得到轴向齿廓为矩形的螺杆,以螺杆底径与弧线的交点为圆心,将替代圆弧的直线旋转一定角度 γ (如图10)可得到轴向齿廓为梯形的螺杆,旋转角度 γ 满足^[4]:

$$\gamma = \frac{\alpha'}{2} + \arcsin\left(M + \frac{\tan \varphi}{\tan \theta_b}\right) \quad (5)$$

其中:

$$M = \left(\frac{R_b}{H} - 1\right) \sin \frac{\alpha'}{2} - \left(\frac{S}{4} - \frac{\delta_c}{2}\right) \frac{1}{H \tan \phi}$$

式中: γ ——端面曲线摆动角度;

α' ——修正后的螺棱顶角;

φ ——梯形螺棱倾角(如图10);

θ_b ——以外径计算的螺纹升角;

S ——螺距;

H ——螺槽深度。

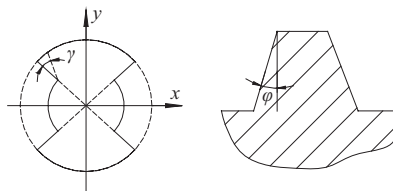


图10 啮合异向双螺杆理论端面曲线旋转示意图

模拟机加工法不需要经过复杂的公式计算,只需要绘制出螺杆的轴向齿廓形状,并经过螺旋“扫描”即可得到所需的螺棱形状,因此,后者更适于轴向齿廓较为复杂的螺杆,且造型过程相对简单。

3 结论

(1) 使用端面曲线旋转法和机加工模拟法两种方式均可对锥形双螺杆进行造型,将端面曲线旋转法的螺棱顶角进行修正后,可得到与法向螺棱宽度设计尺寸吻合的螺棱宽度,且两种造型方法得到的螺杆经装配后,均不产生干涉。

(2) 将两螺杆装配并测量螺棱侧向间隙后发现端面曲线旋转法所得螺杆的侧向间隙更加均匀,造型效果更好。

(3) 端面曲线旋转法得到的螺杆造型更为准确,更适于仿真计算的建模;模拟机加工法则适于任意轴向齿廓形状的螺杆的造型,且齿廓形状越复杂,其造型过程相对简单的优势越明显,但由于该方法得到的螺杆装配后的螺棱齿隙均匀性较差,其不适于模拟仿真建模,主要用于工程演示等对螺杆造型准确性要求不严格的场合。

参考文献

- [1] 苑会林,殷炳发. 锥形双螺杆挤出机在聚烯烃塑料加工中的应用[C] // 第12届全国塑料管道生产和应用技术推广交流会论文集. 北京:[出版者不详],2010:186-190.
Yuan Huilin, Yin Bingfa. Conical twin-screw extruder used in polyolefin plastics processing [C] // Proceedings of the 12th national symposium for plastic pipe production and application technology promotion. Beijing:[s. n.],2010:186-190.
- [2] 曹英寒,陈晋南. 同向锥形双螺杆混合挤出性能的比较[J]. 哈尔滨工程大学学报,2011,32(10):1360-1366.
Cao Yinghan, Chen Jinnan. Study on mixing performance of a co-rotating conical twin-screw extruder[J]. Journal of Harbin Engineering University,2011,32(10):1360-1366.
- [3] 何亮. 锥形双螺杆挤出机螺杆的优化设计[J]. 工程塑料应用,2012,40(4):48-52.
He Liang. Screw design of the conical twin screw extruder[J].

- Engineering Plastics Application, 2012, 40(4):48-52.
- [4] 宋俊全. 锥形双螺杆三维实体造型的开发研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2003.
- Song Junquan. Study on 3D solid modeling of conical twin-screw extruder[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2003.
- [5] 王可, 韩例岑, 孙兴伟. 基于UG软件的锥双螺杆参数化建模研究[J]. 轻工机械, 2010, 28(3):38-40.
- Wang Ke, Han Licen, Sun Xingwei. Research on parametric molding of conical twin-screw based on UG software[J]. Light Industry Machinery, 2010, 28(3):38-40.
- [6] 何亮. 基于Pro/E的锥形双螺杆三维造型设计[J]. 塑料科技, 2012, 40(3):80-83.
- He Liang. Three dimensional design of conical twin-screw based on Pro/E[J]. Plastics Science and Technology, 2012, 40(3):80-83.
- [7] 王洪武. SJSZ-55 锥形双螺杆挤出机螺杆的设计[J]. 上海塑料, 2011(3):35-38.
- Wang Hongwu. The screw design of SJSZ-55 conical twin screw extruder[J]. Shanghai Plastics, 2011(3):35-38.
- [8] 张傲. 锥形双螺杆 C 小室理论容积分析[J]. 科协论坛, 2010(10): 67-69.
- Zhang Ao. Analysis of conical twin screw C c-chamber[J]. Association Forum, 2010(10):67-69.
- [9] 耿孝正. 双螺杆挤出机及其应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003:30-64.
- Geng Xiaozheng. Twin screw extruder & its application[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2003:30-64.
- [10] 王可, 吴秀杰, 孙兴伟, 等. 锥形双螺杆挤出机螺杆的加工方法[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2009(7):93-96.
- Wang Ke, Wu Xiujie, Sun Xingwei, et al. Processing method of screw for conical twin-screw extruder[J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique, 2009(7):93-96.

高性能 3D 打印材料通过欧航局严格测试

3D 打印公司 CRP Group 最近宣布, 其专有的高性能聚合物 3D 打印材料 Windform XT 2.0 材料已通过了欧洲航天局 (ESA) 的筛选除气测试, 这无疑将促进 3D 打印原型和部件在航天领域的应用。

据该公司介绍, 在荷兰 Noordwijk 的 TEC-QTE 实验室的微 VCM 中心, 研究人员对使用碳纤维增强的该材料的带金属涂层和无涂层样本进行了测试。最终这两个样本均通过了基于微 VCM 试验的一般除气测试标准。

所谓的除气测试, 主要是使用筛选技术来确定材料在真空状态下的挥发物含量。主要测试两个参数: 总质量亏损 (TML) 和挥发物质冷凝量 (CVCMM)。另一个参数水汽量 (WVR), 也可以在完成对 TML 和 CVCMM 的测试后获得。

该公司宣称这是一项里程碑式的事件, 标志着将 3D 打印技术用于高耐用最终部件的制造获得了更大的进展。Windform XT 2.0 是一种掺入了碳的高性能聚酰胺系材料, 它能确保 3D 打印和增材制造获得最好的机械性能。

Windform XT 2.0 是一种顶级的激光烧结材料, 它具有高刚度、高强度, 而且质量极轻。

Windform XT 2.0 可替代成品零件进行小批量生产。此外, Windform 系列所有的 3D 打印材料都可以进行 CNC 加工和机械加工。

2014 年在美国, 新墨西哥大学的一群大学生就使用由 Windform 材料和选择性激光烧结 (SLS) 技术打印出的部件打造了一颗 KySat-2 微型卫星, 该卫星在太空运行半年毫无问题。CRP USA 使用 SLS 3D 打印技术与 Windform 材料相结合打印出来的部件十分坚韧、强度又高、质量又轻, 而且 3D 打印能够缩短生产周期, 很适合用于此类卫星制造。

(中塑在线)

未来五年中印两国色母粒市场大有作为

根据 TechSci Research 公司发布的最新研究报告《中国

2020 年色母粒市场的预测及机遇分析》, 中国的色母粒市场将在 2015 ~ 2020 年以年复合增长率 12% 的速度强劲增长。

在过去的五年里, 中国已经从色母粒进口国发展成为母料出口国。包装、建筑、汽车行业等终端用户行业的发展, 推动了中国色母粒市场迅速发展。同时, 小包装的普及、塑料加工设备和塑料产品的销售和分销网络的扩张, 以及软包装市场的增长, 也使得塑料色母粒在包装应用的消费量显著增加。

消费者越来越关注产品的美观和环保, 使得包装行业的色母粒和添加剂母粒需求也快速增长。色母粒为包装带来亮丽的外观, 添加剂母粒则能增强包装的特性, 如耐久性、耐火性和生物降解性等。市场对彩色和生物包装的需求增加, 色母粒和添加剂母粒有望成为未来五年中国母料市场中增长最快的领域。

《中国 2020 年色母粒市场的预测及机遇分析》评估了中国色母粒市场的增长潜力, 并提供有关市场规模、结构和行业行为的数据和信息。该报告预测色母粒市场和需求, 旨在提供前沿的市场情报, 并帮助决策者采取合理的投资评估。此外, 该报告还分析了中国色母粒市场的新兴发展趋势、主要驱动因素、机遇和挑战。

TechSci Research 公司同时也对印度的色母粒市场做了分析报告, 印度的塑料加工设施和终端用户的增加将推动印度色母粒市场的发展。随着包装行业对色彩和创新包装方案的需求以及汽车行业对塑料的偏好以实现轻量化汽车的制造, 印度色母粒市场也将蓬勃发展。

预计到 2020 年, 印度色母粒市场总额将超过 11 亿美元。印度政府已在 2013 年投资 6 400 万美元以建立新的塑料工厂, 同时市场主力也在加大对研发的投资, 以引进先进技术生产色母粒产品, 提高产品质量, 改善现有产品的运营和能源效率。所有这些因素都推动印度色母粒市场的快速发展。

(CPRJ)