

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.07.011

LED 透镜注射成型工艺稳健性优化分析^{*}

杜遥雪¹, 周阳¹, 张贤宝², 李坚勇², 殷小春³

(1. 五邑大学机电工程学院, 广东江门 529020; 2. 震德塑料机械有限公司, 广东佛山 528300;

3. 华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心, 广州 510640)

摘要: 采用稳健设计方法, 以 LED 透镜折射率变化为实验目标, 模具温度 (A)、熔体温度 (B)、保压压力 (C)、保压时间 (D)、冷却时间 (E) 为影响因素, 设计了 $L_{16}(4^5)$ 正交实验矩阵, 并对 LED 透镜的注射成型过程采用 Moldflow 软件进行模拟分析, 获得最优工艺参数的组合为 $A2B4C4D3E4$ 。结果表明, 保压压力对 LED 透镜折射率的影响最大, 保压时间次之, 模具温度、熔体温度、冷却时间对折射率的影响不大, 保压压力越大, 信噪比越大, 折射率变化越小; 优化后采用较高的保压压力和较长的冷却时间, 可以改善透镜内部残余应力, 减小体积收缩率, 折射率变化和翘曲变形量减少, 透镜各个方向上光的相移明显降低, 从而提高了 LED 透镜的光学性能和成型质量。

关键词: LED 透镜; 注射成型; 稳健设计; 折射率; 翘曲变形

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)07-052-05

Steady Experimental Design of Injection Molding Process for LED Lens

Du Yaoxue¹, Zhou Yang¹, Zhang Xianbao², Li Jianyong², Yin Xiaochun³

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuyi University, Jiangmen 529020, China; 2. Chende Plastics Machinery Co. Ltd., Foshan

528300, China; 3. National Engineering Research Center of Novel Equipment for Polymer Processing,

South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Using steady experimental design method, refractive index variation of LED lens as experiment objective, and mold temperature (A), melting temperature (B), holding pressure (C), holding time (D) and cooling time (E) as influence factor, $L_{16}(4^5)$ orthogonal experiment matrix is designed. Injection molding process for LED lens was simulated through Moldflow software, and optimum processing parameter $A2B4C4D3E4$ is obtained. The results show that the influence on refractive index of LED lens is holding pressure first, holding time second, and mold temperature, melting temperature and cooling time unobviously. The greater holding pressure is, the greater signal-to-noise ratio is, and the smaller refractive index changes is. The optimization result indicate that higher holding pressure and longer cooling time can improve interior residual stress and reduce volume shrinkage, which make refractive index variation, warpage deformation and optical phase shift in all direction reduce. Therefore, optical performance and processing quality of LED lens are improved.

Keywords: LED lens; injection molding; steady experimental design; refractive index; warpage deformation

LED 透镜作为一种光学元件, 在光学仪器、光电子产品、绿色照明等领域应用十分广泛。对于采用注射成型方法加工的透镜, 双折射是其面临的主要质量问题。双折射会使透过 LED 透镜的光线产生相位差, 在成像时出现双重影像, 对成像效果造成不良影响, 而且很难通过像差矫正来完全消除^[1-5]。稳健设计方法是提高 LED 透镜注射成型质量的有效方法之一, 通过选择可控因子或参数水平使目标值的变异尽可能小, 用较低的费用设计出较高质量的产品, 从而满足工艺性和经济性的要求^[6-8]。

实际问题中存在不少误差因素, 在生产或使用阶段往往不可控, 这些误差因素会影响产品的质量。

在注射成型工艺参数优化中采用稳健设计方法, 就是通过引入信噪比来降低误差因素对产品质量的影响, 使产品性能随误差因素变化而变化的可能性减小, 根据信噪比大小对产品的工艺参数进行修改, 最终对产品的性能、质量和成本综合得到最合理的结果^[9-11]。为此, 笔者针对注射成型工艺参数对 LED 透镜折射率的影响, 以 LED 透镜的折射率变化为实验优化目标, 采用 Moldflow 软件中翘曲模块的 3D

^{*} 广东省省部产学研结合项目 (2013B090600066)

联系人: 杜遥雪, 教授, 博士, 主要从事聚合物成型加工 CAD/CAE

收稿日期: 2015-04-12

网格双折射分析功能,研究注射成型工艺参数中的模具温度、熔体温度、保压压力、保压时间、冷却时间对 LED 透镜折射率的影响,应用稳健设计方法获得其中关键因素及最优工艺参数。

1 透镜有限元模型

将设计好的 LED 透镜三维模型转化为 STL 格式,导入 Moldflow Plastics Insight 中,建立浇注系统并进行 3D 网格划分,共有 24 805 个四面体单元,如图 1 所示。

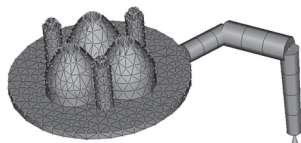


图 1 LED 透镜有限元模型

LED 透镜材料采用聚碳酸酯,它具有优良的抗冲击、抗蠕变、耐寒、耐热、力学和电绝缘性能,同时具有较好的透明度,制品成型收缩率小,注塑件尺寸精度高。推荐的注射成型工艺参数为模具温度范围 65 ~ 88 ℃、熔体温度范围 265 ~ 277 ℃、制件顶出温度 123 ℃,未取向材料折射率为 1.59^[12-14]。

2 实验设计与分析

2.1 实验设计

实验采用稳健设计方法,这是一种正交实验矩阵的设计方法。该方法的主要工具是正交表和信噪比,信噪比作为特征数用来衡量质量,正交表则用来安排实验,选择最佳的参数组合。实验设计的基本步骤为:规划实验,确定实验要达到的目标;识别噪声因子,确定因素和水平;选用正交表;进行正交实验;分析实验结果。

本实验为获得最佳的注射成型工艺参数组合,从而优化 LED 透镜的成型工艺,提高 LED 透镜的成型质量,因此选择 LED 透镜的折射率变化为实验优化目标。噪声因子通常是噪声、加工误差、磨损量等有害成分,对于实验因素的选择,考虑到在 LED 透镜注射成型过程中,注射的温度、压力、时间以及保压的压力、时间和模具温度、冷却时间等工艺参数是影响成型制品质量的关键,选择模具温度 (A)、熔体温度 (B)、保压压力 (C)、保压时间 (D)、冷却时间 (E) 共 5 个工艺参数作为影响因素,各影响因素选取 4 个水平,参数水平设计见表 1。根据工艺参数和参数水平的数量,选择 $L_{16}(4^5)$ 的正交表见表 2。

2.2 实验分析

利用表 1 所确定的各因素水平及 $L_{16}(4^5)$ 正交

表 1 工艺参数与水平

参数	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4
$A / ^\circ\text{C}$	70	75	80	85
$B / ^\circ\text{C}$	265	269	273	277
C / MPa	30	50	70	90
D / s	8	10	12	14
E / s	6	8	10	12

矩阵所确定的实验顺序,对 LED 透镜进行充填→冷却→流动→翘曲模拟分析。为了使实验的抗干扰性更好、质量性能更稳定、方案更可靠,鉴于模拟干扰因素和误差因素的考虑,在参数设计中把 5 个工艺参数全部作为误差因素考虑,将模具温度偏差 1 ℃、保压压力偏差 1%、冷却时间偏差 0.1 s 作为噪声考虑。将表 2 中正交矩阵的 16 组工艺参数分不同组合输入 Moldflow 软件,并分别进行 3 次实验。

通过冷却→充填→保压→翘曲模拟分析,将 LED 透镜模拟分析结果计算整理后记入表 2(表 2 中 Y_i 分别指 3 次实验中 LED 透镜翘曲之后折射指数中的更改, η 是信噪比的大小, K_i 是在某个工艺参数第 i 水平下信噪比的总和, R 代表某个工艺参数影响下质量目标的极差, P 为最佳结果下对应水平)。

表 2 实验正交矩阵与结果

序号	A	B	C	D	E	Y_1 / mm	Y_2 / mm	Y_3 / mm	η / dB
1	1	1	1	1	1	0.1247	0.1250	0.1115	18.38
2	1	2	2	2	2	0.0977	0.0984	0.0938	20.30
3	1	3	3	3	3	0.0649	0.0641	0.0609	23.97
4	1	4	4	4	4	0.0587	0.0590	0.0507	25.00
5	2	1	2	3	4	0.0637	0.0741	0.0589	23.62
6	2	2	1	4	3	0.0776	0.0819	0.0737	22.18
7	2	3	4	1	2	0.0793	0.0630	0.0621	23.27
8	2	4	3	2	1	0.0642	0.0730	0.0678	23.30
9	3	1	3	4	2	0.0602	0.0603	0.0756	23.64
10	3	2	4	3	1	0.0665	0.0651	0.0603	23.87
11	3	3	1	2	4	0.0859	0.0842	0.0854	21.39
12	3	4	2	1	3	0.0729	0.0982	0.1090	20.48
13	4	1	4	2	3	0.0572	0.0722	0.0726	23.39
14	4	2	3	1	4	0.1088	0.0762	0.1018	20.30
15	4	3	2	4	1	0.1074	0.0869	0.0815	20.67
16	4	4	1	3	2	0.0872	0.0838	0.0838	21.42
K_1	87.65	89.03	83.37	82.43	86.22				
K_2	92.37	86.65	85.07	88.38	88.63				
K_3	89.38	89.3	91.21	92.88	90.02				
K_4	85.78	90.2	95.53	91.47	90.31				
R	6.59	3.55	12.16	10.45	4.09				
P	2	4	4	3	4				

由表 2 可知,以 LED 透镜折射率为实验目标,模具温度、熔体温度、保压压力、保压时间、冷却时间为工艺参数,进行模拟分析的结果表明最优工艺参

数的组合为 A2B4C4D3E4。由于该工艺参数没有出现表 2 中,因此再单独进行一次模拟分析,获得 LED 透镜翘曲之后折射率变化为 0.0578。

上述实验结果表明,保压压力对 LED 透镜折射率的影响最为显著,因此采用单因素实验的方法对其影响规律进行研究。选择基准工艺参数组合为模具温度 75℃、熔体温度 277℃、保压时间 12 s、冷却时间 12 s,将实验结果记入表 3。

表 3 保压压力单因素实验结果

项 目	保压压力 / MPa						
	50	60	70	80	90	100	110
翘曲之后折射率的变化	0.0702	0.0576	0.0645	0.0600	0.0578	0.0505	0.0483
翘曲变形量 / mm	0.1068	0.1007	0.0938	0.0827	0.0708	0.0606	0.0504

3 实验结果及分析

通过表 2 结果可以建立 LED 透镜翘曲之后折射指数中的更改的信噪比总和与各因素水平的关系如图 2 所示。由表 2 可知,各因素对 LED 透镜折射率的影响程度,其中保压压力最大,保压时间次之,模具温度、熔体温度、冷却时间对折射率的影响不大。而由图 2 可知,保压压力对 LED 透镜折射率的影响最大,保压压力越大,信噪比越大,折射率变化越小。这是因为保压压力会影响熔体的收缩,改变制品的残余应力,从而影响折射率变化。由表 2 可以得到,LED 透镜折射率变化最小的最优工艺参数组合为 A2B4C4D3E4,即模具温度 75℃、熔体温度 277℃、保压压力 90 MPa、保压时间 12 s、冷却时间 12 s。采用该工艺参数模拟分析得到的 LED 透镜翘曲之后折射率的变化为 0.0578,小于所有实验中的大多数结果。

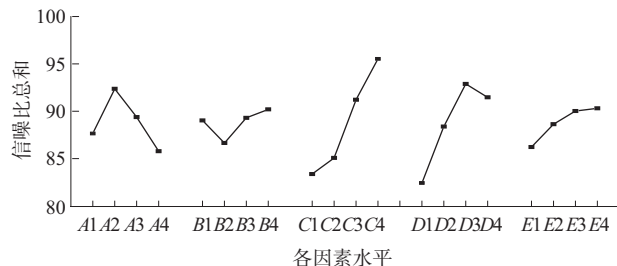


图 2 信噪比总和与各因素水平的关系

通过保压压力的单因素实验,得到保压压力对 LED 透镜折射率变化的影响规律如图 3 所示。由图 3 可知,保压压力在 50~60 MPa 时,透镜的折射率随保压压力的增大而减小;保压压力在 60~70 MPa 时,透镜的折射率变化随保压压力的增大而增大;保压压力在 70~110 MPa 时,透镜的折射

率变化随保压压力的增大而减小。

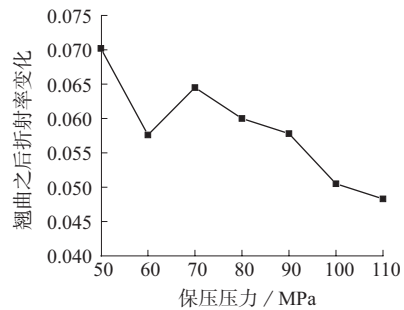


图 3 保压压力对折射率变化的影响

通过保压压力的单因素实验,得到保压压力对 LED 透镜翘曲变形量的影响规律如图 4 所示。由图 4 可知,LED 透镜的翘曲变形量随保压压力的增大而减小。保压压力过高导致脱模后制品的残余应力增大,易产生飞边,影响制品的使用性能,而保压压力不足则导致制品收缩过大。因此必须选择适当保压压力,根据图 2 和图 3 选择最佳的保压压力为 90 MPa。

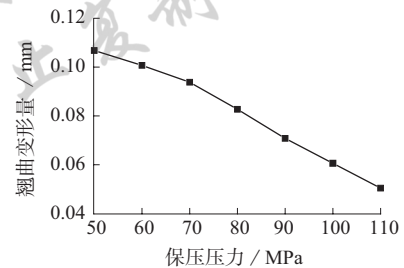


图 4 保压压力对翘曲变形量的影响

图 5 为优化前后 LED 透镜的折射率变化。

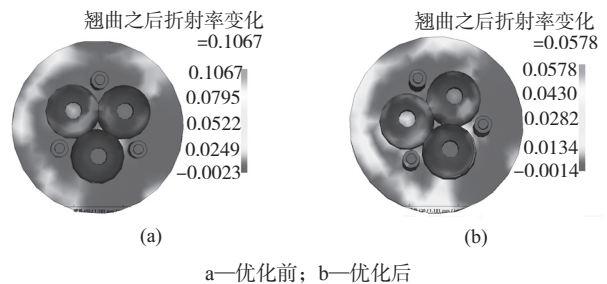
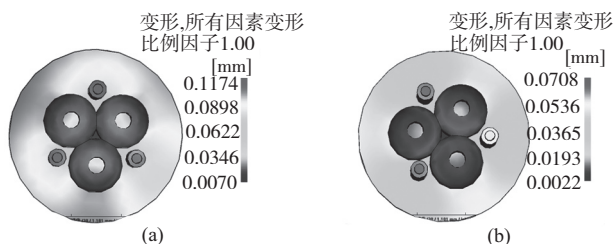


图 5 优化前后的折射率变化

优化前模具温度 70℃、熔体温度 265℃、保压压力 30 MPa、保压时间 10 s、冷却时间 8 s,优化后模具温度 75℃、熔体温度 277℃、保压压力 90 MPa、保压时间 12 s、冷却时间 12 s。由图 5 可知,优化前的翘曲之后折射率变化为 -0.0023~0.1067,优化后的翘曲之后折射率变化为 -0.0014~0.0578。由于优化后采用更高的保压压力和较长的冷却时间,而较高的保压压力有利于提高透镜制品的密实程度,减小体积收缩率,提高制品精度,从而可以改

善透镜内部残余应力,降低翘曲变形量及折射率变化,提高了LED透镜的光学效果和成型质量。

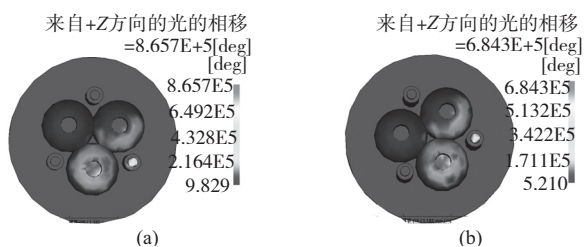
图6为优化前后LED透镜的翘曲变形量。由图6可知,优化前的最大翘曲变形量为0.1174 mm,优化后的最大翘曲变形量为0.0708 mm,经过优化后LED透镜的翘曲量明显减少。保压压力的提高可以减小透镜制品的体积收缩,相应降低了其翘曲变形量,从而提高了LED透镜的光学性能。



a—优化前; b—优化后

图6 优化前后的翘曲变形量

图7为优化前后LED透镜的+Z方向光的相移变化。其它两个方向上的情况与+Z向相同。由图7可知,优化前来自+Z方向的光的相移为 8.657×10^5 deg,优化后来自+Z方向的光的相移为 6.843×10^5 deg。平行于光的传播方向的偏振光波与垂直于光的传播方向的偏振光波,在穿过制品后产生相位差。相位差过大会导致明显的偏振现象,严重影响光学元件的成像效果。通过优化后LED透镜各个方向上光的相移都有明显降低,大大改善了透镜的光学效果。



a—优化前; b—优化后

图7 优化前后的光的相移

4 结论

(1) 采用稳健设计方法,以LED透镜折射率变化为实验目标,模具温度、熔体温度、保压压力、保压时间、冷却时间为影响因素,获得最优工艺参数的组合为A2B4C4D3E4,即模具温度75℃、熔体温度277℃、保压压力90 MPa、保压时间12 s、冷却时间12 s。

(2) 保压压力对LED透镜折射率变化的影响最大,保压时间次之,模具温度、熔体温度、冷却时间对

折射率的影响不大,保压压力越大,信噪比越大,折射率变化越小,通过保压压力的单因素实验获得了保压压力对LED透镜折射率及翘曲变形量的影响规律。

(3) 优化结果表明,采用较高的保压压力和较长的冷却时间,可以改善透镜内部残余应力,减小体积收缩率,折射率变化和翘曲变形量减少,透镜各个方向上光的相移明显降低,从而提高了LED透镜的光学性能和成型质量。

参考文献

- [1] 蒋丰泽,刘义伦,陈磊,等.工艺参数对注射压缩成型微透镜阵列基板双折射率的影响[J].中南大学学报:自然科学版,2014,45(8):2610-2616.
Jiang Fengze, Liu Yilun, Chen Lei, et al. Effects of compression parameters on birefringence of injection compression molded microlens array substrate[J]. Journal of Central South University: Science and Technology Edition, 2014, 45(8):2610-2616.
- [2] 陈宇宏,袁渊,周克斌,等.注射压缩成型和注射成型平板的光学性能对比研究[J].工程塑料应用,2010,38(9):25-28.
Chen Yuhong, Yuan Yuan, Zhou Kebin, et al. Contrast on optical properties of injection molded with that of injection compression molded transparent panel[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(9):25-28.
- [3] 罗家胜,杜遥雪,李霆.注射成型中LED非球面透镜折射率变化的优化仿真[J].五邑大学学报,2013,27(3):46-51.
Luo Jiasheng, Du Yaoxue, Li Ting. Optimized simulation of LED aspheric lens'refractive index variety in injection molding[J]. Journal of Wuyi University, 2013, 27(3):46-51.
- [4] 王志斌,解莎莎,张跃宾,等.基于阵列式连体透镜的LED二次光学设计[J].光学技术,2011,37(5):538-542.
Wang Zhibin, Xie Shasha, Zhang Yuebin, et al. Secondary optical design of array-siamesed LED lens[J]. Optical Technique, 2011, 37(5):538-542.
- [5] 李海涛,张苏娟,张伟,等.液体封装LED汽车远光灯光学设计[J].光子学报,2012,41(11):1327-1330.
Li Haitao, Zhang Sujuan, Zhan Wei, et al. Optical design of LED automotive high-beam filled with liquid[J]. ACTA Photonica Sinica, 2012, 41(11):1327-1330.
- [6] 陈魁.试验设计与分析[M].2版.北京:清华大学出版社,2005.
Chen Kui. Design and analysis of experiment[M]. 2nd ed. Beijing:Tsinghua University Press, 2005.
- [7] Liu Tianlei, Du Yaoxue. Numerical simulation on the mixing behavior of pin unit under vibrant enhancement[J]. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2011, 50(12):1231-1238.
- [8] 李小林,洪剑城.Moldflow在注射压缩成型中的应用[J].工程塑

- 料应用,2012,40(3):49-52.
- Li Xiaolin, Hong Jiancheng. Application of Moldflow in injection-compression molding[J]. Engineering Plastics Application,2012,40(3):49-52.
- [9] 杜遥雪,周阳,胡建朋,等.多物理场耦合叶片塑化单元聚合物混合性能研究[J].塑料工业,2014,42(6):50-54.
- Du Yaoxue, Zhou Yang, Hu Jianpeng, et al. Study on polymer blending property in vane plasticizing unit under multiphysical field couple[J]. China Plastics Industry,2014,42(6):50-54.
- [10] 胡泽豪,卫伟,刘娟,等.基于神经网络集的注射成型工艺参数多目标优化[J].中国塑料,2010,24(8):64-71.
- Hu Zehao, Wei Wei, Liu Juan, et al. Multi-objective optimization of injection molding processing parameters based on neural networks ensemble[J]. China Plastics,2010,24(8):64-71.
- [11] 伍先明,陈志钢,杨军,等.塑料模具设计指导[M].3版.北京:国防工业出版社,2012.
- Wu Xianming, Chen Zhigang, Yang Jun, et al. Plastic mold design and instruction[M]. 3rd ed. Beijing:National Defense Industry Press,2012.
- [12] 谢春稳,王克俭.变厚度透镜注射压缩成型的三维数值模拟[J].高分子材料科学与工程,2013,29(9):169-174.
- Xie Chunwen, Wang Kejian. 3D numerical simulation of injection compression molding optical lens with variable thickness[J]. Polymer Materials Science and Engineering,2013,29(9):169-174.
- [13] 柳天磊,王建鸿,杜遥雪.注塑机螺杆混炼元件混炼性能对比研究[J].工程塑料应用,2013,41(4):51-54.
- Liu Tianlei, Wang Jianhong, Du Yaoxue. Comparative study on plasticizing properties of screw mixing units for injection machine[J]. Engineering Plastics Application,2013,41(4):51-54.
- [14] 谢志国,李伟平,李程,等.亮度均匀的LED路灯透镜设计与研究[J].光学与光电技术,2012,10(5):84-88.
- Xie Zhiguo, Li Weiping, Li Cheng, et al. LED streetlight lens design and research based on luminance uniform distribution[J]. Optics and Optoelectronic Technology,2012,10(5):84-88.

金发科技新材料基地拟落户四川

金发科技在6月9日的公告中表示,拟在四川省成都市双流县投资兴建新材料生产研发基地,并设立成都金发科技有限公司,拟定注册资本5亿元,以自有资金出资。该公司表示,此次对外投资设立全资子公司,有利于加大对华西市场的辐射力度,拓宽公司营业收入来源,保证公司持续稳定发展,提升公司的盈利能力和综合竞争力。

今年年初,金发的武汉基地开始建设,迈出了华中市场布局的关键一步。在西部市场上,此次成都投资也相当有战略意义。该公司在2014年7月合并了四川绵阳的两家全资子公司,更名为四川金发科技发展有限公司。该公司2014年的产量达到了89 kt。

但金发科技已经跳出了传统材料生产企业的模式,大力进军供应链管理、金融等领域。该公司拟与广州御银科技股份有限公司及广州市其它民营企业尝试联合设立花城银行股份有限公司,拟定注册资本人民币50亿元,其中,金发科技拟出资15亿元,认购花城银行30%的股份。

金发表示,本次参与发起设立民营银行,时值金融改革推动民营银行发展的历史时刻,民营银行面临巨大的发展机遇和良好前景,花城银行的成立将促进金融改革、建立多层次的金融市场,建立公司立体金融服务生态体系,有针对性地提供多种渠道的金融配套服务。

通过整合公司自身优势及资源,推动金融资本与实业资本融合发展,拓宽公司融资渠道,盘活公司可用资源,推动公司业务发展,延伸市场的价值链,形成新的利润增长点,保证公司发展战略规划的实现。2015年3月,金发宣布设立了全资子公司珠海金发大商供应链管理有限公司,希望借此进一步挖掘和整合行业供应链资源,扩大原材料采购和贸易渠道,降低公司原材料采购成本;同时公司在充分考虑珠海市横琴新区区位优势的基础上,通过借助当地经济政策优势,

积极开展供应链服务,拓展经营渠道和业务范围,整合市场优质资源,提升公司的盈利能力和综合竞争力。

(环球塑化网)

RoHS2.0 限制 4 种邻苯二甲酸酯,医疗设备 2021 年纳入管控

欧盟官方公报(OJ)发布了RoHS2.0修订指令(EU)2015/863,正式将邻苯二甲酸(2-乙基己基)酯(DEHP),邻苯二甲酸甲苯基丁酯(BBP),邻苯二甲酸二丁基酯(DBP),邻苯二甲酸二异丁酯(DIBP)列入附录II限制物质清单中,至此附录II共有10项强制管控物质,详见表1。

表1 RoHS2.0 修订指令附录II 共有十项强制管控物质

限制物质	限量(质量分数)/%
铅(Pb)	0.1
汞(Hg)	0.1
镉(Cd)	0.01
六价铬(Cd VI)	0.1
多溴联苯(PBB)	0.1
多溴联苯醚(PBDE)	0.1
邻苯二甲酸(2-乙基己基)酯(DEHP)	0.1
邻苯二甲酸甲苯基丁酯(BBP)	0.1
邻苯二甲酸二丁基酯(DBP)	0.1
邻苯二甲酸二异丁酯(DIBP)	0.1

此修订指令发布后,欧盟各成员国需在2016年12月31日前将此指令转为各国的法规并执行。且2019年7月22日起所有输欧电子电器产品(除医疗和监控设备)均需满足该限制要求;2021年7月22日起,医疗设备(包括体外医疗设备)和监控设备(包括工业监控设备)也将纳入该管控范围。此外,已属REACH附件XVII第51条邻苯管控的玩具产品将不受此指令中DEHP, BBP, DBP的管控。

邻苯二甲酸酯作为增塑剂在电子电器中使用广泛,相关企业必须高度重视并及时采取相关应对措施,以降低贸易风险。

(慧聪塑料网)