

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.09.016

基于正交试验法塑料齿轮浇注系统优化及收缩分析

游彦茹,刘泓滨,高利

(昆明理工大学机电工程学院,昆明 650500)

摘要:以塑料齿轮为研究对象,在 CAD 软件 UG 中建立齿轮模型。应用 Moldflow 分析工具,选用聚甲醛 (POM) 材料,采用点浇口填充方式,以注射成型质量中的翘曲变形量和体积收缩率为质量指标,运用 CAE 模拟技术结合正交试验,分析塑料件结构、浇口个数和浇口尺寸 3 因素对塑料件质量的影响规律。用极差分析法分别研究产生最小翘曲变形量和体积收缩率时的最优因素。运用多目标综合平衡法,选出同时满足最小体积收缩率和翘曲变形量的因素组合,并对最优参数方案进行模拟验证,进而得出最优浇注系统方案。

关键词:塑料齿轮;浇注系统;翘曲;体积收缩;综合平衡法

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)09-0063-05

Optimization of Gating System and Shrinkage Analysis of Plastic Gear Based on Orthogonal Experimental Method

You Yanru, Liu Hongbin, Gao Li

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract : Taking plastic gear as the research object, the gear model was established in UG. With application of Moldflow analysis tool, choosing the POM as raw material, feeding by pin point gate, the warpage and volume shrinkage rate in the injection molding were treated as quality objective. The orthogonal experimental method and CAE technology were applied to study the effects of the plastic parts structure, the gate number and gate size on the quality of the plastic parts. Two optimum parameter combinations for warpage and volume shrinkage were obtained by range analysis. The process parameter combination giving attention to both warpage and volume shrinkage is selected by integral balance method, and the optimized process parameter is verified by simulation.

Keywords : plastic gear ; gating system ; warping ; volume shrinkage ; integral balance method

塑料齿轮是近 50 年来发展起来的一种具有质轻、惯性小、噪声低、自润滑性好等特点的新型非金属齿轮。塑料齿轮的加工方式有切削加工和非切削加工两类,非切削加工又包括压缩成型和注射成型等方式,精密塑料齿轮加工主要采用注射成型^[1]。浇注形式和成型工艺的不同会对塑料件的注射成型过程产生不同影响,进而影响塑料齿轮的收缩及翘曲,并影响产品质量。笔者采用数值分析模拟及正交试验相结合的方式,运用 Moldflow 模拟研究不同塑料件结构、浇口个数和尺寸对塑料齿轮翘曲及体积收缩的影响,从而指导塑料齿轮注塑模浇注系统的设计。

1 模型结构及浇注系统

1.1 塑料齿轮模型结构及处理

选取 3 种不同结构的塑料件进行模拟实验,其均为最简单的片状标准渐开线直齿圆柱齿轮,且为腹板和轮缘-轮毂式基本结构,模数为 2,齿数

为 50,齿宽为 5 mm,压力角为 20°,中心孔直径为 10 mm,键槽为 4 mm×4 mm。用 C 表示塑料件结构模型,C1 的结构模型为未设置加强筋,C2 和 C3 的结构模型分别设置了不同个数对称错开的加强筋。均通过 UG 对齿轮进行建模,以 .IGS 格式导入 Moldflow CAD Doctor 2012 中对模型进行修改,将修好的模型用 Moldflow 采用双层面网格对模型划分网格,网格边长均为 3 mm,经修改最大纵横比为 6,网格匹配率在 95% 以上。3 种不同塑料件结构模型如图 1 所示。

1.2 不同形式浇注系统设计

先对 3 种结构模型进行浇口位置分析,如图 2 所示。经分析,3 种塑件结构 (C1, C2, C3) 最佳浇口位置均分布在齿轮中心孔周围。

联系人:刘泓滨,教授,硕士生导师,主要从事数字化设计与制造等方面的研究

收稿日期:2014-06-16

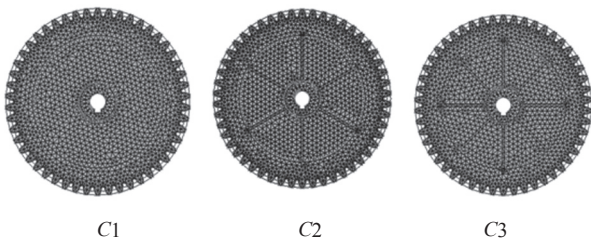


图 1 3 种塑料齿轮网格模型

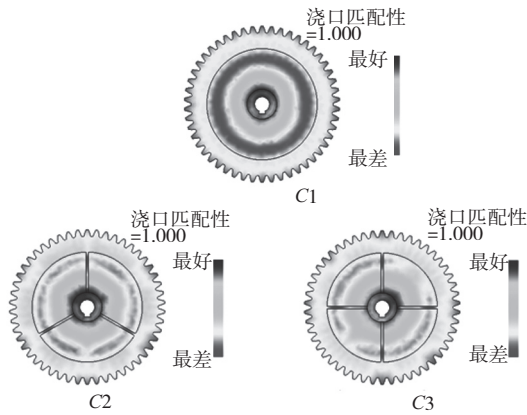


图 2 3 种模型浇口位置分析结果

对每一种结构的塑料件均按照 3 种不同浇注系统方案进行填充模拟分析,均为一腔一模。3 方案均为最简单的点浇口,布置在齿轮中心孔端面上,用 N1 表示 3 个点浇口, N2 表示 4 个点浇口, N3 表示 5 个点浇口,以模型 2 为例的 3 种点浇口方案如图 3 所示。

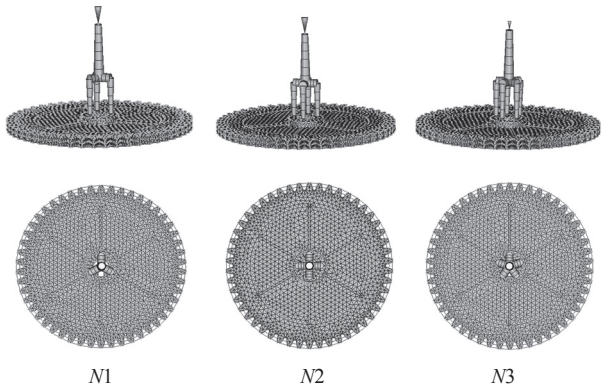


图 3 不同形式浇注系统设计方案

浇注系统各部分形状及尺寸如表 1 所示。用 S 表示浇口尺寸, S1 代表浇口厚度为 1 mm, S2 表示浇口厚度为 1.5 mm 和 S3 表示浇口厚度为 2 mm。分析浇口个数及尺寸变化时,对不同结构塑料件的成型收缩率的影响。

同时每个方案均设置了相同的冷却系统,冷却系统各参数如表 2 所示。

表 1 浇注系统结构尺寸

尺寸	点浇口	与点浇口连接的分流道	与主流道连接的分流道	主流道
直径 / mm	1.5	始端 4 / 末端 2.5	5	始端 4 / 末端 6
长度 / mm	1 / 1.5 / 2	20	7	30

表 2 冷却系统结构尺寸

水管直径 / mm	水管与塑料件间距离 / mm	管道数量 / 个	管道中心之间距 / mm	塑料件之外距离 / mm
8	8	6	26	50

2 工艺条件与方法

2.1 工艺条件

因聚甲醛 (POM) 材料的强度、刚性和耐应力开裂性均比较好,且具有耐热性能、化学稳定性较好等优点,是塑料齿轮最常用的材料,故选用 POM 作为分析材料^[2]。塑料齿轮原料选用 Du Pont Europe 生产的 ACETALS (POM) 系列材料,牌号为 Delrin 100P,在数值模拟中选用与 Delrin 100P 相似的 Delrin 100P NC010 的 POM 进行分析。其主要的工艺参数为熔体温度 215℃,模具温度 90℃,允许最大剪切应力 0.45 MPa 和允许最大剪切速率为 40 000 /s。

模拟时不论浇口形式如何变化,都选择相同的工艺参数,在进行分析时,先进行冷却、填充、填充与保压分析,根据分析结果对工艺参数做了优化处理,得到的最优工艺参数如表 3 所示。再按照最优工艺选用“冷却+填充+保压+翘曲”序列对塑料件进行成型收缩分析^[3]。

表 3 注射成型工艺参数

模具温度 /℃	熔体温度 /℃	注塑压力 /MPa	保压压力 /MPa	保压时间 /s	冷却时间 /s
100	215	44	44	20	15

2.2 正交试验

正交试验设计是根据正交性从全面试验中挑选出部分具备“均匀分散,齐整可比”特点的代表性点进行试验,研究多因素多水平的一种高效率、快速、经济的实验设计方法^[4]。

表 4 所示 C, N, S 因素及其水平。假设各个因素之间不存在交互作用,选用正交表 L₉(3⁴),将最后一列设置为空列,取前 3 列对以上 3 因素 3 水平的正交结果进行分析。

3 结果分析

3.1 翘曲变形分析

提取每一试验结果中的最大翘曲变形量为分析目标,用 Z 来表示。再采用极差分析,确定不同

表4 实验因素及水平

水平	因素		
	<i>C</i>	<i>N</i> / 个	<i>S</i> / mm
1	1	3	1
2	2	4	1.5
3	3	5	2

因素及水平对目标的影响,以便得到最优的参数组合,表5列出了详细数据。

表5 实验数据及翘曲变形极差分析

实验序号	因素			<i>Z</i> / mm
	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>S</i>	
1 [#]	1	1	1	1.471
2 [#]	1	2	2	1.429
3 [#]	1	3	3	1.437
4 [#]	2	1	2	1.417
5 [#]	2	2	3	1.411
6 [#]	2	3	1	1.403
7 [#]	3	1	3	1.433
8 [#]	3	2	1	1.389
9 [#]	3	3	2	1.408
<i>K</i> 1 / mm	4.337	4.321	4.263	
<i>K</i> 2 / mm	4.231	4.229	4.254	
<i>K</i> 3 / mm	4.23	4.248	4.281	
<i>k</i> 1 / mm	1.4457	1.4403	1.4210	
<i>k</i> 2 / mm	1.4103	1.4097	1.4180	
<i>k</i> 3 / mm	1.4100	1.4160	1.4270	
<i>R</i> / mm	0.0357	0.0307	0.0090	

表5中 K_i 的3个数值分别是 C , N , S 的第 i 个水平所对应的翘曲变形量之和; k_i 则表示 i 水平的平均值;极差 R 是同一列中 k_1 , k_2 , k_3 这3个数值中最大与最小的差值,反应了因素水平对翘曲变形量的影响程度。

由表5可以看出,塑料件结构变化引起的极差值最大为0.0357 mm,浇口个数变化引起的极差值次之为0.0307 mm,而浇口尺寸变化引起的极差值最小为0.009 mm,说明影响翘曲最重要的因素是塑料件结构 C ,其次是浇口个数 N ,而浇口尺寸 S 为次要因素。对于翘曲变形,当塑料件结构为3、浇口个数为4个,浇口尺寸为1.5 mm时为最佳方案,即 $C3N2S2$ 。

结合实验数据及极差 R 的水平可以看出,随着塑料件结构复杂程度的增加,塑料件1到塑料件3的翘曲量呈减小趋势。这是因塑料件1上无加强筋,而塑料件2和3在结构上分别增加了对称分布的加强筋。

塑料件设置浇口个数增加,翘曲变形量先下降后上升,说明浇口个数不是越多越好。当浇口个数为4时,塑料件1的翘曲变形量由1.429 mm减小到塑料件3的1.389 mm,减少了2.8%。但对塑

料件1,其翘曲变形量大于塑料件2和3。

另外,随着浇口尺寸的增加,塑料件翘曲变形量基本没有变化,这是因大尺寸的浇口虽有助于提高型腔的填充压力和延长浇口封闭时间,便于较高压力的熔体进入型腔,增加塑料件密度,并降低塑料件尺寸收缩。但对小型塑料件,过大的浇口尺寸增加了流程,使得注射速率减小,同时增加了流动阻力,使得塑料件的翘曲变形增加。因此点浇口的尺寸是由塑料件的大小及塑料的性能而定的。

3.2 体积收缩分析

对试验所得的最大体积收缩率数据进行极差分析,确定不同因素及水平对目标的影响,以便得到最优的参数组合,表6列出了具体数据。

表6中 K_i 的3个数值分别是因素 C , N , S 的第 i 个水平所对应的体积收缩率之和; k_i 则表示 i 水平的平均值;极差 R 是同一列中 k_1 , k_2 , k_3 这3个数值中最大与最小的差值,反应了因素水平对体积收缩率的影响程度。

表6 实验数据及体积收缩率极差分析

实验序号	因素			体积收缩率 / %
	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>S</i>	
1 [#]	1	1	1	15.89
2 [#]	1	2	2	16.34
3 [#]	1	3	3	16.43
4 [#]	2	1	2	15.95
5 [#]	2	2	3	16.64
6 [#]	2	3	1	16.17
7 [#]	3	1	3	16.03
8 [#]	3	2	1	16.38
9 [#]	3	3	2	16.21
<i>K</i> 1 / %	48.66	47.87	48.44	
<i>K</i> 2 / %	48.76	49.36	48.5	
<i>K</i> 3 / %	48.62	48.81	49.1	
<i>k</i> 1 / %	16.22	15.96	16.15	
<i>k</i> 2 / %	16.25	16.45	16.17	
<i>k</i> 3 / %	16.21	16.27	16.37	
<i>R</i> / %	0.05	0.50	0.22	

由表6可以看出,浇口个数的极差值最大为0.5%,是影响体积收缩最重要的因素。其次是浇口尺寸,而塑料件结构为次要因素。因素的重要程度依次为 N , S , C 。当塑料件结构为3、浇口个数为3个,浇口尺寸为1 mm时体积收缩率最小。即最优顺序为 $C3N1S1$ 。

通过实验数据和极差 R 的水平可以看出,在分析的3个目标因素中,浇口个数对体积收缩率的影响最大,随着浇口个数增加,体积收缩率有增加趋势,同样说明浇口个数不是越多越好。浇口个数为3时的体积收缩率平均值最小为15.96%,浇口个数

为5时的体积收缩率较浇口个数为4时有所减少。同时由表6可以看出,当设置浇口个数为3时,塑料件3到塑料件1的体积收缩率由16.03%减少到15.89%,减少了0.14%。

浇口尺寸对体积收缩率的影响较大,随着浇口尺寸增加,体积收缩率明显增加,由16.15%增加到16.37%,增加了0.22%。虽然较大尺寸的浇口能延长浇口的封闭时间并提高型腔的填充压力,进而使具有较高压力的熔体压入模型腔体,并减小塑料件尺寸收缩。但对小型塑料件,过大的浇口尺寸增加了流程,使得注射速率减小,增加了流动阻力,使得塑料件的体积收缩率增加。因此点浇口的尺寸是根据塑料件的大小来定的。

随着塑料件结构复杂程度的增加,塑料件1到塑料件3的体积收缩率未呈减小趋势。塑料件3的体积收缩率最小为16.21%,和塑料件1的体积收缩率相当。而塑料件2的体积收缩率为16.25%与塑料件1相差不大。这说明在塑料件上设置加强筋的数目对体积收缩率影响不大。

4 正交试验多目标综合平衡法的运用

综合平衡法是先对每个指标分别进行单指标的直观分析,进而得到每个指标的影响因素主次顺序和最佳水平组合,然后对各指标的分析结果进行综合比较和分析,得出较优方案^[5]。

由正交试验法分析所得的3因素对3指标的的主次顺序为:翘曲变形量为 $C>N>S$;体积收缩率为 $N>S>C$ 。以翘曲变形量最小为质量目标得到的最佳组合为 $C3N2S2$;以体积收缩率最小为评估指标值得到的最最佳组合为 $C3N1S1$ 。

从因素影响趋势和主次可知塑料件的结构 C 的影响对翘曲变形量最大,而从体积收缩率来看 C 因素是次要因素,但两者分析的结果表明,塑料件3均为最优方案。所以选择塑料件3最合适,这样才能保证塑料件的体积收缩率和翘曲变形量最小。因此可得出 $C3$,即塑料件结构为第3种形式时是最佳水平。

从因素及趋势的主次分析可知浇口个数对产生体积收缩率的影响最大,而从翘曲变形量考虑,浇口个数对体积收缩率影响又较大。浇口个数为4时,虽然其翘曲变形最小,但体积收缩率最大,而浇口个数为3时,情况与之相反。综合来看,当浇口个数为5时,其翘曲变形较 $N2$ 略有增加,而体积收缩率较 $N1$ 增加幅度也不高。因此选择浇口个数为5最合

适,这样才能保证塑料件的翘曲变形量和体积收缩率均较小,生产出合格产品,提高产品质量。故得出 $N3$,即浇口个数设置为5时为最佳水平。

从因素和趋势的主次关系可以得出,浇口尺寸 S 对体积收缩率也造成较大的影响,当为 $S1$,即浇口厚度为1 mm时最好,但对于翘曲变形问题,则 $S2$,即浇口厚度为1.5 mm时最好,但对于体积收缩率这单个目标, $S2$ 仅次于 $S1$,所以选取 $S2$,即浇口厚度为1.5 mm时为最佳水平。所以得到满足要求的最优组合为 $C3N3S2$ 。

5 优化后的浇注系统模拟分析

选用综合平衡法分析得到的最优的参数,运用Moldflow软件对齿轮模型进行模拟分析,对浇注系统优化前后的结果进行分析对比。图4是优化后的翘曲变形量和体积收缩率。

由图4a和图4b可见,翘曲变形量最大值为1.408 mm,最大体积收缩率为16.21%,虽然该翘曲变形量并非试验中的最小量,但相比试验8所得到的最小翘曲变形量1.389 mm,仅相差0.019 mm,且体积收缩率比与8[#]试验所对应的下降了0.17%。

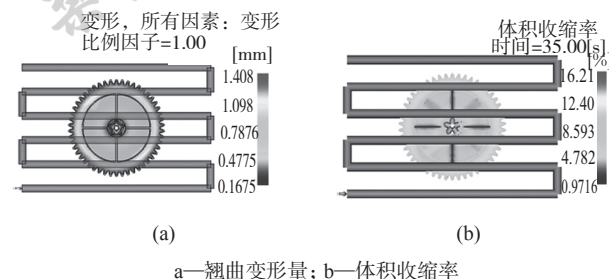


图4 优化后的翘曲变形量和体积收缩率

另外,最优工艺下的体积收缩率相比1[#]试验中得到的最小的体积收缩率15.89%仅增加了0.32%。而优化后的翘曲变形量与其1[#]试验中对应的翘曲变形量1.471 mm相比,下降了0.063 mm。采用优化所得的浇注系统参数对塑料件进行数值模拟分析,获得了较小的体积收缩率和翘曲变形量,此次优化方案是可行的。

6 结论

以注射成型中的翘曲变形量和体积收缩率为质量指标,运用CAE模拟技术结合正交试验,分析了塑料件结构、浇口个数和浇口尺寸3因素的变化对塑料件质量所产生的影响,对每个指标结合极差分析的方法,进行了单项目标的优化分析,进而获得了比较好的参数组合。

因各因素对翘曲变形量和体积收缩率的作用

趋势及塑料件质量的影响程度不同,进而采用综合平衡法,分析得出同时满足最小的翘曲变形和体积收缩率的因素组合,并对该因素组合方案进行模拟。对模拟结果进行分析,其比正交试验中所得的最小体积收缩率相差了 0.32%,与正交试验中该最小体积收缩率下对应的翘曲变形量相比下降了 0.063 mm。通过优化,塑料件的翘曲和收缩都得到了一定控制,塑料件的质量得到提高,进而为齿轮浇注系统的优化提供了一定参考。

参考文献

- [1] 李健心.精密塑料齿轮注射模型腔设计及制造工艺[J].模具工业,2000(7):30-31.
Li Jianxin. Design of the cavity and manufacture technology of the injection mould for precision plastic gears[J]. Die & Mould Industry, 2000(7):30-31.
- [2] 周应国,申长雨,陈静波,等.工艺参数对注塑制品翘曲影响的CAE分析[J].工程塑料应用,2006,34(11):28-31.
Zhou Yingguo, Shen Changyu, Chen Jingbo, et al. CAE analysis of the effect of process parameter on warpage of injection molding part[J]. Engineering Plastics Application, 2006, 34(11):28-31.
- [3] 郭志英,李德群.注塑制品翘曲变形的研究[J].塑料科技,2001(1):22-28.
Guo Zhiying, Li Dequn. Research in warped deformation of injected part[J]. Plastics Science and Technology, 2001(1):22-28.
- [4] 林权.基于正交试验法的注塑件工艺参数多目标优化[J].现代塑料加工应用,2011(4):41-44.
Lin Quan. Multi-objective optimization of injection molding process based on orthogonal experimental method[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2011(4):41-44.
- [5] 林权.基于综合平衡法的注塑工艺参数多目标优化设计[J].塑料科技,2011(1):84-88.
Lin Quan. Optimized design of injection molding processing parameters for multi-object based on integral balance method[J]. Plastics Science and Technology, 2011(1):84-88.

研究人员主张在针灸疗法中采用更多塑料

日前,澳大利亚研究人员发表论文,称塑料的广泛应用可使古老的针灸疗法受益。在一次性针灸针中,塑料可替代铜线圈手柄,防止针头弯曲,而且更加环保。这项研究成果发布在《医学针灸》期刊网站上。

来自皇家墨尔本理工大学的研究人员介绍道,在临床实践上,针灸医生往往很难将一根很长的针插入组织中,因为又长又细的针容易弯曲。因此医生常使用较粗的针进行针灸,但容易引起病人的痛感;或者他们在行针过程中,会捏住针手柄,但这可能造成感染风险。因此,在针灸过程中将针头弯曲风险降至最低对提高病人舒适度和安全性而言非常重要。

为了找出哪种类型的手柄对抵抗针头弯曲的效果最佳,他们比较了两种最常用的手柄设计:铜线圈和塑料。

他们测试了针灸针对这两种不同手柄的负载能力,以及不同长度的针灸针所使用的不锈钢丝的硬度。

结果显示,两种不同类型的针灸针所使用的不锈钢丝硬度所差无几。但采用铜线圈手柄的针灸针远比采用塑料手柄的容易弯曲,针体需要更多铜丝制成。30 mm的针灸针,塑料手柄类型比铜线圈手柄类型的平均压曲力高出近 47%,长度为 66 mm 时,则高出近 31%。

研究人员称,以塑料手柄替代铜线圈手柄对环境也有积极作用。一次性针灸针的年均使用量约为 20 亿根,其中近一半采用铜线圈手柄。若换成塑料手柄,可以每年节省 100 t 铜线圈和 2000 万 m 医用级不锈钢。(中塑在线)

美国能源部推进可再生碳纤维研究

美国能源部日前宣布,能源效率和可再生能源办公室为加强美国能源安全、环境质量和经济活力,正加快能源效

率、可再生能源技术以及基于市场的解决方案的开发。为推进以农业残留物、木本生物质等可再生非食物基原料生产具有成本竞争力的可再生高性能碳纤维材料,将对两个项目进行 1 130 万美元资助。

这两个项目分别由阿拉巴马州伯明翰的南部研究所(SRI)以及科罗拉多州哥顿的国家可再生能源实验室(NREL)进行研究。其中,SRI 将获得 590 万美元,用于创新一个针对非食用生物质糖类转化为丙烯腈的多步骤催化过程;NREL 将获得 530 万美元,用于研究和优化多通路生产生物质衍生的丙烯腈。此项目将研究开发新的生物质转换技术,以使生产高性能碳纤维的重要原料丙烯腈成本降至 2.2 美元/kg 以下。而美国能源部计划在 2020 年以前,将生物质可再生碳纤维的生产成本降至约 11 美元/kg 以下。

美国能源部正帮助制造商利用碳纤维相关材料减少车重,从而改善燃油效率。研究表明,当车重减少 10% 后,燃油经济就能提高 6%~8%。碳纤维相关材料可以对清洁能源技术组件进行优化,其中包括风力涡轮机叶片、加压燃料电池储氢容器以及节能建筑保温材料等。此前,美国能源部还宣布了一项 1000 万美元资金项目,用以推进先进生物燃料、可再生生物质产品的生产。(中国聚合物网)

超薄低相位差 PC 膜开发成功

近日,日本旭硝子公司通过注塑方式成功开发出厚度薄至 100 μm 、相位差更低的聚碳酸酯(PC)薄膜 Carbogalss C110C-LR。该产品主要用于氧化铟锡(ITO)、透明导电膜的基本膜等,其相位差在 10 nm 以下。以往面向智能手机等电子设备的透明导电膜基材多选用聚对苯二甲酸乙二酯(PET)薄膜,然后在其上涂敷 ITO 膜。而在触摸面板等领域,应用程序和要求品质呈现多样化,除 PET-ITO 外,其它材料的用途开发也十分活跃。(色母粒网)