

量为 E_0 ，纤维含量为 V_f ，则纤维含量增加后的弹性模量 E 可以通过以下公式近似计算：

$$E = E_0 \times (1 + k \times V_f)$$

其中， k 为纤维含量对弹性模量的影响系数，通常根据试验数据确定。假设在某一实验条件下， $k = 0.5$ ，当纤维含量 V_f 从 0 增加到 0.3（即 30%）时，弹性模量的变化可以通过上述公式计算得出。假设初始弹性模量 $E_0 = 2.5 \times 10^9 \text{ Pa}$ ，则当纤维含量为 30%时，弹性模量 E 为：

$$E = 2.5 \times 10^9 \times (1 + 0.5 \times 0.3) = 2.875 \times 10^9 \text{ Pa}$$

通过仿真分析，可以得到不同纤维含量下聚苯硫醚 PPS 材料在过盈配合中的应力分布和变形量。为了更直观地展示纤维含量对材料性能的影响，以下表格列出了不同纤维含量下聚苯硫醚 PPS 材料的弹性模量、屈服强度和过盈变形量的具体数值。这些数据来源于实验与仿真分析的结果，为设计优化提供了重要的参考依据。

表 1 不同纤维含量下聚苯硫醚 PPS 材料的力学性能及过盈变形量

纤维含量 V_f	弹性模量 $E(\text{Pa})$	屈服强度 $\sigma_y(\text{MPa})$	过盈变形量 $\Delta d(\text{mm})$
0	$2.5 \times 10^9 \text{ Pa}$	50	0.2
0.1	$2.75 \times 10^9 \text{ Pa}$	60	0.18
0.2	$3.0 \times 10^9 \text{ Pa}$	70	0.15
0.3	$3.25 \times 10^9 \text{ Pa}$	80	0.12

从表 1 中可以看出，聚苯硫醚 PPS 材料的力学性能和过盈变形量随着纤维含量的增加呈现出明显的规律性变化。当纤维含量从 0 增加到 0.3 时，弹性模量从 $2.5 \times 10^9 \text{ Pa}$ 显著提升至 $3.25 \times 10^9 \text{ Pa}$ ，这表明材料的刚性得到了显著增强。具体而言，每增加 10% 的纤维含量，弹性模量分别增加了 $2.5 \times 10^8 \text{ Pa}$ 、 $2.5 \times 10^8 \text{ Pa}$ 和 $2.5 \times 10^8 \text{ Pa}$ ，说明纤维含量对弹性模量的提升效果较为稳定。

屈服强度也随着纤维含量的增加而提高，从 0 纤维含量时的 50 MPa 增加到 0.3 纤维含量时的 80 MPa。这表明纤维的加入显著提升了材料的承载能力。具体来看，纤维含量为 0.1 时，屈服强度增加了 10 MPa；纤维含量为 0.2 时，屈服强度增加了 20 MPa；纤维含量为 0.3 时，屈服强度进一步增加了 10 MPa。这说明在纤维含量较低时，屈服强度的提升较为明显，而在较高纤维含量时，提升幅度有所减缓。

过盈变形量则随着纤维含量的增加而逐渐减小。在 0 纤维含量时，过盈变形量为 0.2 mm；当纤维含量增加到 0.1 时，变形量减少到 0.18 mm；纤维含量为 0.2 时，变形量进一步减少到 0.15 mm；而在 0.3 纤维含量时，变形量降至 0.12 mm。这表明纤维含量的增加使得材料在过盈配合时的变形能力降低，

材料的塑性变形能力受到限制。这种变化对于板间连接器的装配性能和变形适应性有着重要影响。在实际应用中，需要根据连接器的具体工况和性能要求，合理选择纤维含量，以平衡材料的刚性、强度和变形适应性，从而优化连接器的整体性能。如图 1 所示。



图 1 纤维含量对聚苯硫醚 PPS 材料屈服强度和过盈变形量的影响

4 纤维含量对连接器装配性能及变形适应性的影响分析

为系统评估不同玻纤增强工程塑料在板间连接器过盈配合中的性能差异，本节选取四种常用材料——尼龙（PA66）、聚苯硫醚（PPS）、聚对苯二甲酸丁二醇酯（PBT）和液晶聚合物（LCP）进行对比分析。纤维含量统一设定为 30%，过盈量为 0.05 mm，以保持对比条件一致。

4.1 力学性能与变形行为对比

四种材料在 30%玻纤增强下的基本力学性能如表 2 所示。LCP 表现出最高的弹性模量和拉伸强度，但其各向异性显著，沿取向方向与垂直方向性能差异较大。PPS 具有优异的耐热性和尺寸稳定性，但脆性较高；PBT 韧性较好，但耐热性相对较差；PA 则在强度、韧性和成本之间取得了较好平衡。

表 2 30%玻纤增强工程塑料力学性能对比

材料	PA66	PPS	PBT	LCP
弹性模量(GPa)	3.25	5.8	4.2	10.5
屈服强度(MPa)	80	120	95	160
断裂伸长率(%)	5	3	4	2
热变形温度(°C)	255	260	210	280

在过盈装配过程中，各材料的应力分布和变形行为存在显著差异（图 2）。LCP 由于极高的刚度和低断裂应变，表现出最小的变形量（0.08 mm），但应力集中最为明显，最大等效应力达到 95 MPa。PPS 的变形量略大于 LCP（0.10 mm），应力集中程度次之，最大等效应力为 78 MPa。PBT 和 PA 的变形量较大，分别为 0.13 mm 和 0.15 mm，表现出更好的塑性变形

能力和应力分布均匀性，其最大等效应力分别为 65 MPa 和 58 MPa。

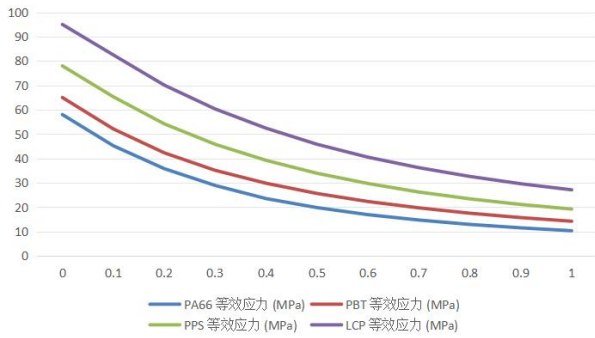


图 2 四种材料在过盈装配中的等效应力分布对比

4.2 装配力与工艺适应性分析

装配力大小直接反映了过盈配合的难易程度。30%玻纤增强 LCP 所需的装配力最大，比 PA 高出约 40%；PPS 次之，比 PA 高约 25%；PBT 与 PA 较为接近，略高约 10%。高装配力不仅增加了工艺难度，也提高了零件损伤的风险。

参考文献：

- [1] 刘伟,陈志强.玻纤增强塑料力学性能研究[J].复合材料学报,2020,37(4):1123-1130.
- [2] 王鹏,赵建华.过盈配合连接件变形机理分析[J].机械设计与制造,2019,57(6):78-82.
- [3] 李明,张晓东.玻璃纤维含量对复合材料性能的影响[J].材料科学与工程学报,2021,39(3):145-152.
- [4] 何俊,徐立国.过盈配合连接结构有限元仿真分析[J].力学进展,2018,48(9):893-900.
- [5] 陈磊,王东.纤维增强复合材料疲劳性能及优化设计[J].材料工程,2022,50(1):34-40.

从工艺适应性角度，PA 和 PBT 对过盈量和装配误差的容忍度较高，适合大批量生产环境；PPS 和 LCP 则需要更精确的尺寸控制和装配工艺，但其高温性能优异，在高温环境下仍能保持良好的连接紧固度。

基于以上分析，四种材料各有其适用场景：

PA：综合性能均衡，成本较低，适用于大多数常规应用场景；

PPS：耐高温性和尺寸稳定性优异，适用于高温工作环境；

PBT：韧性好，耐疲劳性强，适用于振动环境下的连接；

LCP：刚度和强度最高，各向异性明显，适用于空间受限的高精度连接场合。

5 结语

纤维含量对玻纤增强塑性材料力学性能及连接器过盈配合变形行为具有关键影响。合理调控纤维含量可兼顾连接器的刚性与变形适应性，提升装配可靠性和使用寿命。未来需进一步探索纤维分布优化及界面强化技术，结合多维度仿真与先进工艺，推动高性能连接器的设计与应用发展。