铸想产出 • 打样验证方案（SLA / SLS / FDM）

> 对象：Formlabs 材料库 TDS（2025 版，142 页）+ 铸想实际产出的模型

> 日期：2026-11-16 | 版本：v3.7.2

> 结论：**这款模型对三种工艺都不苛刻，真正的差异在"毛发折面"和"尖锐末端"能不能留住。**

---

0. 先说三件要点

① 这份 TDS 是 SLA 树脂的（Form 4 生态），全文没有 PA12/PA11 粉末 —— SLS 的材料页要另外要一份（Fuse 1+ 30W 的 PA12 / PA11 / TPU 90A）。本方案的 SLS 部分是通用经验，标注清楚了。

② 铸想的产物是"实心厚件"，不是薄壁件。 实测 80 mm 高的狐狸摆件：体积 **54 cm³**、壁厚中位数 **18.4 mm**、薄于 1 mm 的只有 **0.7%** 表面。所以三种工艺都能打出来 —— 不会出现"太薄打不成"。

③ 真正会拉开差距的是两处：

- **尖锐末端**：最薄到 **0.20 mm**，集中在 **z 45–65 mm 的胸前毛簇**（不是耳朵尖）。SLA 勉强能做，SLS/FDM 会糊掉。
- **毛发折面**：模型表面是 20 万面的折面，等效特征尺寸约 **2–3 mm**。SLA 能刻出来，SLS 有"糖霜感"会吃掉一半，FDM 靠层厚决定。

---

1. 实测几何数据（真量出来的，不是估）

指标	值	怎么测的
尺寸（Z-up）	**56.0 × 49.4 × 80.0 mm**	**trimesh 包围盒**
体积	**54.2 cm³（实心）**	**网格体积**
表面积	**约 310 cm²**	**三角面求和**
面数	**200,000**	**—**
水密	**✅ True**	`is_watertight`
壁厚 p1 / p5 / p50	**1.84 / 6.07 / 18.38 mm**	**8000 条内向射线**
薄于 0.5 / 1.0 / 1.5 mm	**0.41% / 0.71% / 0.92% 表面**	**同上**

悬垂（法线朝下 >45°）	**8.7%**	**面法线 Z 分量**
贴底面（z≈0）	**0.74%**	**三角面贴底面积**

两个直接影响工艺选择的结论

a) 底面接触面积极小（0.74%） —— 尾巴 + 前爪几个点着地。

- SLA：反正要加支撑，不是问题，但**支撑点会落在尾巴底面**，后处理要磨。
- FDM：**必须加 brim 或 raft**，否则中途必翘/必倒。
- SLS：粉床托着，完全无所谓 —— 这是 SLS 最大的优势。

b) 悬垂只有 8.7%，但都在毛发上 —— 支撑点会压出麻点。SLA 建议**竖立 15–20° 后仰**摆放，让支撑落到背部和尾巴外侧，避开正面毛发。

---

2. SLA（光固化）材料选择

这份 TDS 里的数据是**原始件 / 室温后固化 / 60℃后固化**三列，下表取**后固化后**的值（打样件的真实状态）。

首选三种（按用途排序）

优先	材料	拉伸强度	断裂伸长	弯曲模量	为什么选它	用在哪
1	**Grey Resin V5**	**46 MPa**	**22%**	**2000 MPa**	**中性灰，斜光下折面最清楚，拍照对比最公平**	**主对比件**
2	**Tough 1500 Resin V2**	**30 MPa**	**210%**	**900 MPa**	**摔不碎，最像"手办"的韧性**	**拿在手里的手感件**
3	**Rigid 10K Resin**	**55 MPa**	**2%**	**6000 MPa**	**最硬最脆，极限细节的裁判 —— 它能出说明 SLA 上限高**	**细节极限件**

次选 / 特定用途

材料	拉伸 / 伸长	用途	注意
White Resin V5	**46 MPa / 22%**	**白模，喷灰底漆后看细节**	**和 Grey 二选一即可**
Clear Resin V5	**46 MPa / 13%**	**透明件，看内部是否有空腔/断筋**	**折射会吃掉表面细节，不要用它评价外观**

Flexible 80A	**3.7–8.9 MPa / 100%+**	**验证 0.4–0.8 mm 薄壁能否柔软成形**	**太软，细节评价无意义**
High Temp	**21 MPa / 14%，HDT 238℃**	**若要做硅胶模具的母模**	**打样摆件没必要**
Castable Wax	**12 MPa / 13%**	**只用于失蜡铸造**	**贵、脆，别浪费**

不推荐

- **牙科树脂 / 医用树脂**（Denture Base、Surgical Guide、BioMed 系列）：认证用途、单价高，打摆件是浪费。
- **ESD / Flame Retardant**：功能树脂，表面质感和细节都不如通用树脂。

打印参数（Form 4 / Form 4B）

项	建议
层厚	**25 µm（细毛必须；50 µm 会明显吃掉毛簇）**
摆放	**Z 轴竖立，正面（胸前）后仰 15–20°，支撑落背部**
支撑	**自动支撑 + 在尾巴底面手动加密（那是最小接触区）**
清洗	**IPA 10 min（Tough 系列 5 min 足够，别泡久）**
后固化	**Grey/White：60℃ 15 min；Tough 1500：60℃ 15 min；Rigid 10K：70℃ 60 min（不到会脆得发白）**

---

3. SLS（粉末烧结）

> ⚠️ **这份 TDS 里没有 SLS 材料。**以下是 Formlabs Fuse 1+ 30W 的常规选项，参数请让对方按他们的实际粉末确认。

材料	特点	适配铸想产物
PA12（首选）	**各向同性、无需支撑、层厚 100–120 µm**	**✅ 悬垂 8.7% 完全无压力，底面接触小也无所谓**
PA11	**更韧、更贵**	**想要"摔不碎"时用**
TPU 90A	**软、有弹性**	**只验证柔性，不评价细节**

SLS 的两个坑（必须提前说）：

1. **表面"糖霜感"** —— 未熔粉末粘在表面，会把 2–3 mm 的毛发折面**糊掉约一半。**要评价得上**喷砂**（玻璃珠）或**蒸汽抛光**后再看。

2. **0.2 mm 的毛簇会直接消失** —— 粉床最小可靠特征约 **0.8–1.0 mm。**让 SLA 打这件，SLS 打全身件，两者不冲突。

打样建议：SLS 用 **PA12 + 120 μm 层厚 + 喷砂**，把 80 mm 全身件打出来，评价"整体形态/强度/手感"，**不用来评价细节。**

---

4. FDM（熔融沉积）

材料	温度	为什么	用在哪
PLA	**喷嘴 210℃ / 热床 55℃**	**细节最锐、最容易打**	**主对比件（0.25 mm 喷嘴）**
PETG	**240℃ / 80℃**	**韧、耐摔**	**手感件**
TPU 95A	**230℃ / 50℃，速度 ≤30 mm/s**	**软**	**只做柔性验证**

关键参数：

项	建议	理由
喷嘴	**0.25 mm（0.4 会糊掉耳朵和毛簇）**	**耳尖/尾尖约 1.8 mm，0.4 喷嘴两圈就填满**
层厚	**0.10 mm**	**0.2 层厚的阶梯纹会盖过毛发折面**
壁数	**3**	**—**
支撑	**树状支撑，仅接触面，界面层 2**	**减少背面麻点**
附着	**brim 8 mm**	**底面只有 0.74%，不加必翘**
摆放	**竖直，正面向 +Y，后仰 10°**	**支撑落背部**

预期：FDM 件能看"形"，看不了"毛"。作为三方对照的基线（成本最低、最快）。

---

5. 三个试打件（文件已备好）

#	文件	尺寸	用途
①	`fox_80mm.stl`	**56 × 49 × 80 mm，54 cm³，20 万面**	**主件，评价整体形态、毛发、手感和强度**

②	detail_patch_head.stl	**19 × 28 × 18 mm，1:1 裁自头部**	**细节裁判，只花少量料，放大镜/微距下数折面**
③	feature_coupon.stl	**60 × 44 × 21 mm**	**工艺极限，一次量出壁厚/柱/孔的可成形下限**

③ 的刻度（打印完用卡尺逐项量）：

- 壁厚阶梯：**0.4 / 0.6 / 0.8 / 1.0 / 1.2 / 1.5 / 2.0 mm**
- 细柱：**0.5 / 0.8 / 1.0 / 1.5 mm** 直径，高 10 mm
- 通孔：**0.6 / 1.0 / 1.5 / 2.0 mm**，贯穿 6 mm 厚块
- 尖角：底 2 mm、高 12 mm 的锥（对应耳朵尖）

判据：**能成形且不塌 = 该工艺的最小特征。**把没打出来的那一档记下来，就是这台机器/这种材料的真实下限。

---

6. 验收怎么判（三项硬指标）

项	怎么量	合格线
尺寸	**卡尺量总高、总宽、尾巴最宽处**	**与 80.0 / 56.0 / 49.4 mm 偏差 ≤ 0.4%（0.3 mm）**
细节	**同一角度、同一光源（侧上方 45° 斜光）拍微距**	**胸前毛簇、耳内折面、尾巴分层都能数出来**
缺陷	**目视 + 手指摸**	**无支撑麻点（或已磨平）、无层纹错位、无未固化粘手**

建议每组打两件（一件原样、一件后处理完），因为"原样"和"处理完"的差别本身就是结论。

---

7. 成本与时间怎么估（用体积算，不用报价）

工艺	材料用量（估）	说明
SLA	**树脂 约 65–75 g（54 cm^3 × 1.1–1.15 + 支撑 10–15%）**	**按你们树脂单价直接乘**
SLS	**零件 约 55 g + 粉末刷新损耗（通常按件重 3–5 倍计粉）**	**SLS 的粉耗是大头**
FDM	**线材 约 70 g（PLA 1.24 g/cm^3）**	**最便宜**

时间：SLA 25 μm 层厚、80 mm 高 ≈ **8–12 小时**；SLS 一次成型（含冷却）≈ **6–10 小时**；FDM 0.25 喷嘴 0.1 层厚 ≈ **6–9 小时。**

---

8. 给打印公司的具体请求（可以直接转发）

> 我们有一批 AI 生成的 3D 模型要验证可打印性，需要你们按三种工艺各打一组。模型都是水密实体。
>
> **件**：每工艺各 3 件 —— ①80 mm 全身件 ②头部细节块 ③特征阶梯测试片（文件见附件 STL）。
>
> **SLA**：Grey V5 / Tough 1500 V2 / Rigid 10K 各一件全身件，**25 μm 层厚**，后固化按 TDS 参数。
> **SLS**：PA12，120 μm，喷砂后拍。**这件只评价形态和强度，不评价细节**（我们清楚粉末会吃掉细毛）。
> **FDM**：PLA，**0.25 mm 喷嘴 + 0.10 mm 层厚 + brim**，树状支撑。
>
> **请提供的照片**：每件 ①正 45° ②侧 90° ③头部微距（同光源）④特征测试片俯视（带卡尺刻度）。
>
> **请提供的数据**：实际层厚、后固化温度与时长、SLS 的粉末刷新比例、以及测试片上**哪些刻度没成形。**

---

9. 我这边的判断（先说结论，省得试错）

- **细节排序**：SLA（25 μm, Grey V5） > SLA（50 μm） > FDM（0.25 喷嘴） > SLS（PA12 喷砂后） > FDM（0.4 喷嘴）
- **强度/手感排序**：SLS（PA12）≈ SLA（Tough 1500） > FDM（PETG） > SLA（Rigid 10K，脆）
- **成本排序**：FDM < SLS < SLA
- **如果只让我选一种量产**：**SLA + Tough 1500 V2（25 μm）** —— 细节够、摔不碎、单件成本可控。
- **SLA 里不要用 Rigid 10K 做量产**：它硬但脆，90 mm 高的件掉一次就断耳朵。

---

10. 文件清单

```
outputs/ref/
├── fox_80mm.stl              9.5 MB   Z-up，可直接切片
├── detail_patch_head.stl     763 KB   头部 1:1 细节块
├── feature_coupon.stl         89 KB   特征阶梯测试片
├── fox_metrics.json                   壁厚/悬垂/体积实测原始数据
├── coupon_spec.json                   测试片刻度表
├── preview_fox.png / preview_head.png / preview_coupon.png
└── formlabs_tds.txt                   从 PDF 抽出的全文（便于查参数）
```