

# 注塑成型常见缺陷分析原因

## 目录

- 01 短射缺胶缺陷分析
- 02 熔接痕缺陷分析
- 03 困气缺陷分析
- 04 产品缩痕缺陷分析
- 05 流痕缺陷分析
- 06 总结与优化原则



01

## 短射缺胶缺陷分析



Chapter

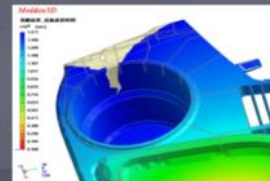


## 01短射缺胶缺陷分析

### 定义与表现

#### 型腔未完全填充

短射是指熔融塑料在注射过程中未能完全充满模具型腔，导致制品局部或整体出现缺料现象，常见于薄壁区域或流道末端。



#### 表面缺陷特征

制品表现为边缘不完整、轮廓模糊或局部凹陷，严重时可能呈现断裂状缺口，影响结构强度和外观质量。

#### 多腔模差异

在一模多腔的模具中，可能出现部分型腔填充完整而其他型腔欠注的现象，通常与流道平衡性相关。



## 原因分析

01

### 工艺参数不当

料筒温度或模具温度过低导致熔体流动性下降；注射压力/速度不足使熔体前端动能耗尽；保压时间过短造成补缩不足。

02

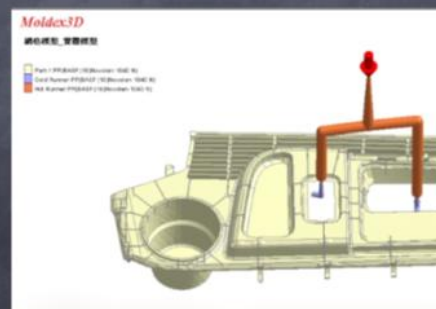
### 材料特性限制

原料熔指（MFI）过低或含有过多再生料，流动性差；润滑剂过量导致熔体回流，实际注射量不足。

03

### 模具设计缺陷

浇口尺寸过小或流道过长增加流动阻力；排气系统不良形成气阻；壁厚突变造成熔体滞留提前冷却。



## 解决措施

### 工艺优化方案

分段提升注射速度（末端减速防困气），增加保压压力（最高可达注射压力的80%）和延长保压时间；将料温提高5-15℃（需在材料允许范围内）。

### 模具改进措施

修改浇注系统（采用扇形浇口或扩大主流道直径），在最后填充区域增设排气槽（深度0.02-0.04mm）；优化制品壁厚设计（避免厚度差超过50%）。

### 设备与材料调整

更换磨损的止逆环和螺杆（间隙控制在0.1mm内）；添加流动促进剂（如硅酮类助剂）或改用高流动性牌号原料（如PP的熔指从20g/10min提升至35g/10min）。



# 02

## 熔接痕缺陷分析



Chapter



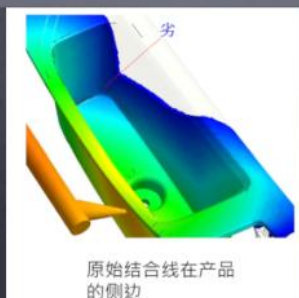


## 02熔接痕定义与表现

01

### 界面融合缺陷

熔接痕是两股或多股熔融塑料在模具型腔汇合时因温度、压力或流速差异导致界面分子链未充分缠结形成的线性或V形痕迹。

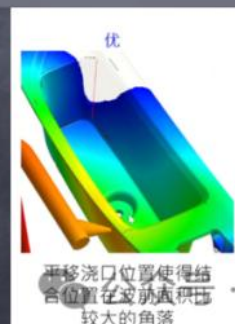


原始结合线在产品的侧边

02

### 外观与性能影响

表现为制品表面可见的凹陷或色差线（如图2实物图），同时使该区域力学性能（冲击强度、拉伸强度）下降30%-50%，成为应力集中点。



平移浇口位置使得结合位置在浇口面积较大的角落

## 原因分析

- 熔接痕的产生是材料特性、工艺参数、模具设计等多因素耦合作用的结果，需系统性分析关键诱因。

### 材料因素：

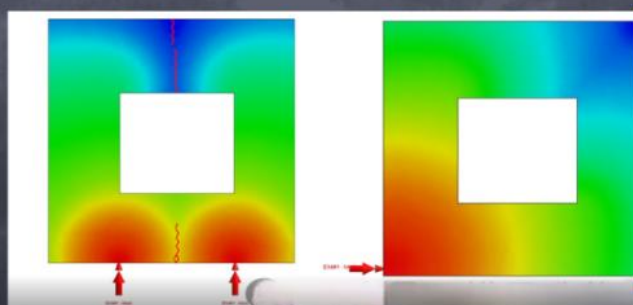
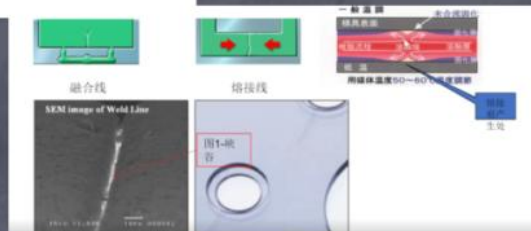
熔体流动性差（如高粘度材料PP/PC）导致汇合前沿温度过低；  
添加剂（如玻纤）取向差异加剧界面分层。

### 工艺参数：

注射速度过低使熔体前锋冷却过度；  
熔体温度低于材料推荐值（如ABS需220-250℃）；  
保压压力不足导致熔体压缩不充分。

### 模具设计：

浇口位置不合理（如对称件采用侧浇口）；  
冷料井缺失导致冷料混入汇合区；  
排气不良（需保持0.03-0.05mm间隙）。



## 解决措施

### 工艺优化

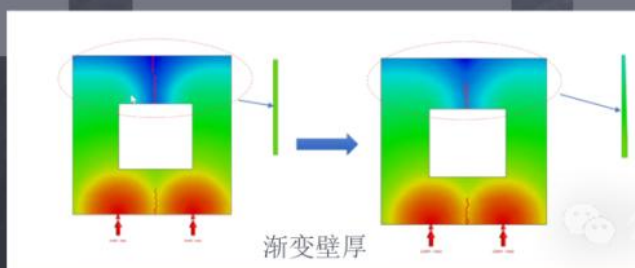
- 提高熔体温度至材料上限（如PA66升至285°C），并延长注射时间（增加10%-15%）；
- 采用多级注射：高速充填至汇合点前切换中速（如80%→50%速度梯度）。

### 模具改良

- 调整浇口布局：优先选用扇形浇口或搭接式浇口以增大汇合角（ $>135^\circ$ ）；
- 增加溢料槽：在熔接痕预期位置设置0.1mm深溢料槽引导冷料排出。

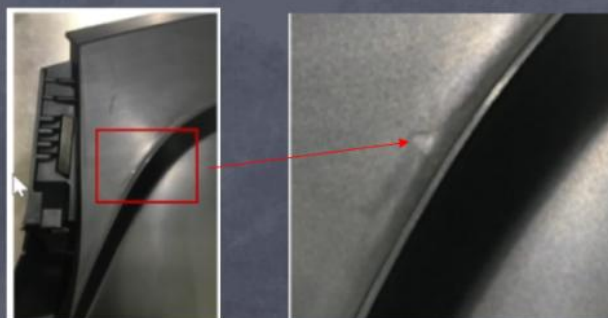
### 材料选择

- 改用低粘度牌号（如ABS 757替代ABS 707）；
- 添加相容剂（如PP制品中加入2%-3%的POE）提升界面融合性。



03

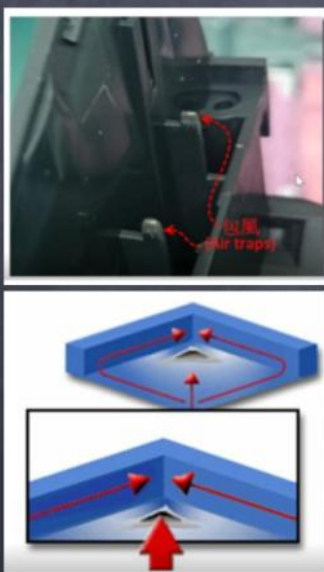
## 困气缺陷分析



Chapter



## 03困气定义与表现



### 末端/边缘困气

表现为熔体无法完全填充模具末端或边缘区域，形成气穴或烧焦痕迹，通常伴随局部发白或表面凹陷，常见于薄壁件或复杂结构件的拐角处。

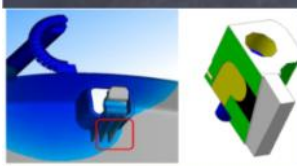
### 内部困气（跑道效应）

熔体在壁厚差异大的区域流动速度不均，导致空气被困在零件中心，形成内部气泡或空洞，可通过X光检测发现，严重时会导致结构强度下降50%以上。

### 双重表现特征

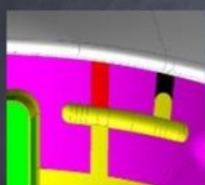
既可能表现为短射（类似充填不足），又可能伴随局部烧焦（高温压缩气体导致），需通过模流分析软件（如Moldflow）进行准确诊断。

## 原因分析



### 模具设计缺陷

排气系统不足（排气槽深度 $<0.02\text{mm}$ 或数量不足）、浇口位置不合理导致熔体填充路径过长（流道长度 $>150\text{mm}$ 时风险显著增加）、型腔壁厚差异 $>2:1$ 时易产生跑道效应。



### 工艺参数不当

注射速度过快（ $>80\%$ 最大速度）导致湍流裹气、保压压力不足（ $<$ 模腔压力的70%）、熔体温度过高（超过材料推荐值 $20^{\circ}\text{C}$ 以上）导致分解产气。

### 材料特性影响

高粘度材料（如PC）流动性差易困气、吸湿性材料（如尼龙）未充分干燥时水分汽化、再生料比例 $>30\%$ 时降解气体增多。

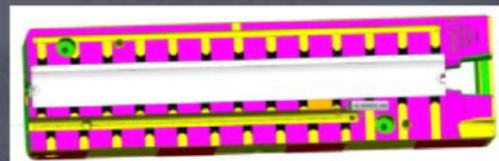


## 解决措施



### 模具优化方案

增加排气槽（每100mm<sup>2</sup>型腔面积设置1个排气槽）、采用阶梯式排气系统（主排气槽0.03-0.05mm，辅助排气0.01-0.02mm）、修改浇注系统（将侧浇口改为扇形浇口以改善流动前沿）。



### 工艺调整方案

采用多段注射控制（第一段30%速度填充流道，第二段60%速度通过薄壁区）、降低熔体温度（ABS建议230-260℃）、增加背压（5-15bar）以提高熔体密实度。



### 辅助技术应用

使用真空排气系统（真空度达到-0.08MPa以上）、添加物理发泡剂（微球发泡剂可降低气体压力）、采用气体辅助成型技术（氮气压力4-6MPa）置换困气区域。



# 04

## 产品缩痕缺陷分析



Chapter



## 缩痕定义与表现

### 表面塌陷缺陷

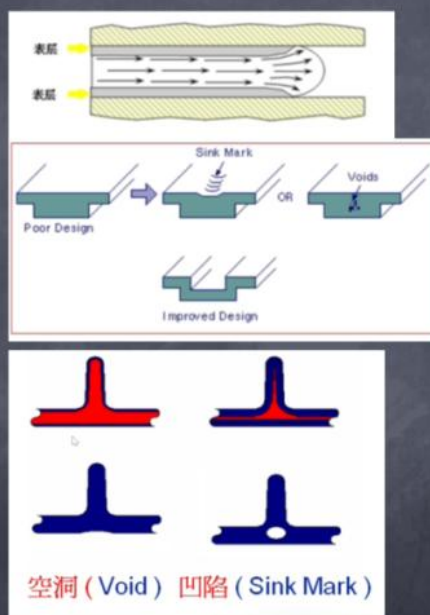
缩痕是指注塑件表面出现的局部凹陷现象，表现为远离浇口位置、厚壁区域或加强筋背面的不规则凹坑，通常伴随光泽差异，影响产品外观和结构强度。

### 冷却收缩特征

当塑件壁厚不均时，厚壁区域冷却速度慢于薄壁区域，内部收缩应力导致表层材料向内塌陷，形成肉眼可见的沉降斑，严重时可能引发内部真空泡。

### 典型发生部位

常见于BOSS柱背面、肋条交汇处、嵌件周边等料流末端区域，以及制品转角等热量集中部位，凹陷深度通常与壁厚差成正比。



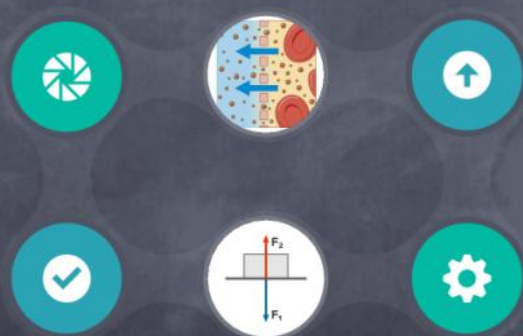
## 原因分析

### 工艺参数失衡

保压压力不足或保压时间过短导致熔体补偿不充分；熔体温度过高使冷却收缩率增大；注射速度过慢造成前沿熔体过早冷却。

### 模具设计缺陷

浇口尺寸过小或流道系统狭窄导致补缩阻力大；冷却回路布局不合理引起局部过热；顶针位置设置不当产生机械应力集中。



### 材料特性影响

使用高收缩率材料（如PP、PE）时体积收缩显著；再生料比例过高导致熔体弹性下降；填料分布不均加剧各向异性收缩。

### 产品结构问题

壁厚突变区域未做渐变处理；加强筋厚度超过主壁厚的60%；装饰性纹理设计加深了视觉凹陷效果。



## 解决措施

### 01 工艺优化方案

将保压压力提升至注射压力的80%-90%；采用分段保压控制，延长厚壁区域保压时间；降低熔体温度10-15°C以加快表层固化；提高模具温度差至30-40°C形成梯度冷却。

### 02 模具改进措施

扩大浇口截面积30%-50%增强补料能力；在缩痕区域增设排气槽（深度0.02-0.04mm）；采用随形冷却水道设计；对型腔表面进行VDI18-20级喷砂处理降低光反射。

### 03 材料选择建议

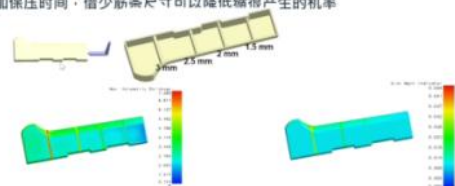
改用玻纤增强材料降低收缩率；添加纳米碳酸钙等成核剂改善结晶均匀性；严格控制再生料掺入比例不超过15%。

### 04 结构设计修正

遵循等壁厚原则，将肋条厚度控制在主壁厚的40%-50%；在BOSS柱根部增加火山口结构；对厚大区域实施掏胶处理并设置缓冲过渡带。

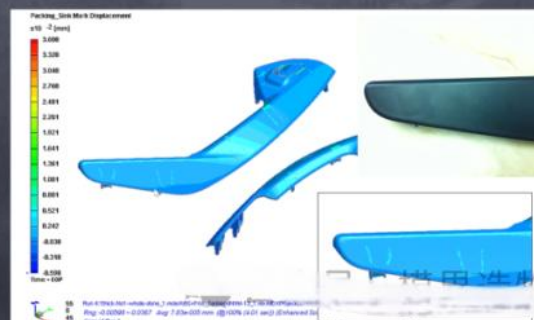
#### Key Features

- ✓ 计算并显示可能产生缩痕的区域
- ✓ 量值越大，表示此区域较容易因为收缩以及保压时间不够造成缩痕
- ✓ 藉由增加保压时间，借少肋条尺寸可以降低缩痕产生的机率



Red region shows higher shrinkage percentage on ribs

Corresponding shrinkage to sink indicator



## 05

## 流痕缺陷分析

Chapter



## 流痕定义与表现



### 同心圆波纹

流痕表现为以浇口为中心，熔融树脂流动时因冷却不均形成同心圆状波浪纹路，常见于注塑件表面，影响外观质量。



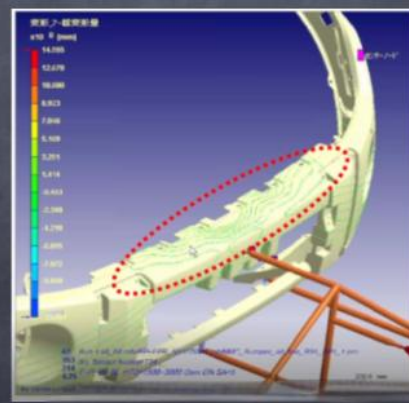
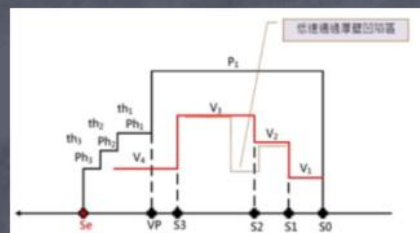
### 冷料沉积

流动前锋温度过低时，树脂前锋与模具接触后快速固化，形成不连续的冷料层，导致表面出现云雾状或放射状纹路。



### 保压不足痕迹

保压阶段熔体补充不充分时，浇口附近因收缩不均产生凹陷状流痕，常伴随光泽度差异。



## 原因分析

1

### 工艺参数不当

熔体温度过低（低于材料推荐值20°C以上）或模具温度不均（温差超过15°C），导致熔体流动性下降，前锋出现滞流分层。

2

### 注射速度过低

速度低于30%额定值时，熔体前锋冷却过快，产生“喷泉流动”效应，形成冻结层与流动层的界面痕迹。

3

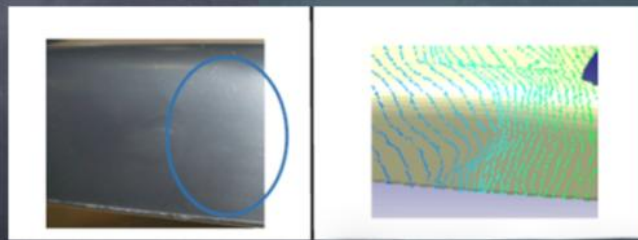
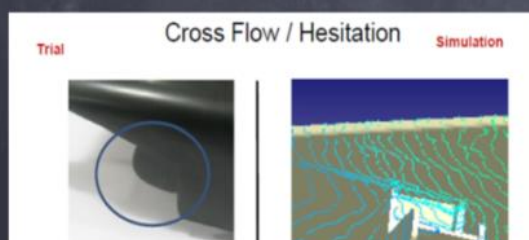
### 浇注系统缺陷

浇口尺寸过小（小于壁厚50%）或流道长径比不合理（ $L/D > 100$ ），造成流动阻力增大，压力损失超过注塑机补偿能力。

4

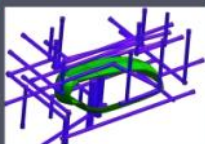
### 材料特性影响

高粘度材料（如PC、PPO）在剪切速率不足时易发生流动不稳定，分子取向差异导致表面折射率变化。



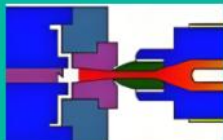
迟滞导致的表面问题

## 解决措施



### 优化温度控制

将熔体温度提升至材料推荐范围上限（如ABS需230-260°C），模具温度采用分区加热，保证温差控制在±5°C以内。



### 调整注射参数

采用多级注射工艺，浇口区域采用高速注射（速度≥80%），末端切换至低速保压，压力梯度控制在5-10MPa/段。



### 改进模具设计

扩大浇口截面积至壁厚的60-80%，流道设置冷料井，型腔表面进行镜面抛光（ $Ra \leq 0.05\mu m$ ）以降低流动阻力。



### 材料预处理

对吸湿性材料（如PA）进行4小时以上80°C烘干，添加0.3-0.5%的流动促进剂（如硅酮类助剂）改善熔体流变性能。



# 06

## 总结与优化原则

Chapter





## 源头控制方法

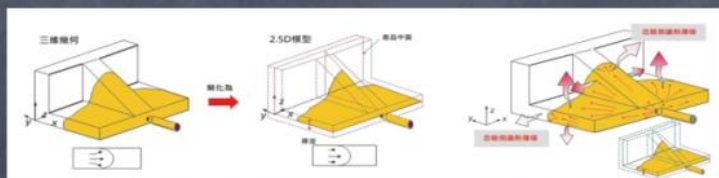
### 材料预处理标准化

建立严格的塑料原料干燥工艺规范（如ABS需80°C烘干4小时以上），配备水分检测仪确保含水率低于0.02%，同时控制原料运输存储环境湿度不超过30%，从源头消除气泡缺陷风险。



### 模具设计验证机制

采用模流分析软件（如Moldflow）在开发阶段模拟熔体流动路径，预测并修正潜在的熔接痕、缩痕问题，确保浇注系统平衡性，冷料井容量不小于主流道直径1.5倍。



### 工艺参数数据库建设

针对不同材料（如PP/PC/PA66）建立成型参数基准库，包含熔体温度区间（如PC需280-320°C）、保压曲线梯度等核心数据，新模具试模时优先调用匹配参数模板。



## 系统优化策略

### ● 闭环温控系统升级

在模具各分区安装高精度热电偶，通过PID算法动态调节模温机输出，使型腔表面温差控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 内，有效解决因温度不均导致的翘曲变形问题。

### ● 智能注塑工艺补偿

部署压力-粘度传感器实时监测熔体状态，当检测到流动前沿速度下降10%时自动提升注射压力5-8%，同时联动螺杆转速补偿，确保复杂结构件完整填充。

### ● 全生命周期模具维护

建立包含5000次循环的PM计划，涵盖滑块导轨润滑（使用高温二硫化钼脂）、顶针系统间隙检测（标准 $\leq 0.02\text{mm}$ ）、排气槽深度修复等18项关键维保项目。

## 质量提升建议

### 过程质量监控体系

引入SPC控制图对尺寸关键特性（如孔径 $\pm 0.05\text{mm}$ ）进行实时趋势分析，设置3 $\sigma$ 预警线，当CPK值低于1.33时自动触发工艺评审，确保过程稳定性。

### 缺陷根因分析流程

建立包含5Why分析、FTA故障树等工具的标准化分析路径，如针对飞边缺陷需依次验证锁模力（吨位 $\geq$ 投影面积 $\times$ 材料压力系数）、模具平行度（ $\leq 0.03\text{mm/m}$ ）、模板刚性等12项要素。

### 跨部门协同改进

组建由模具/工艺/材料工程师构成的QIT小组，每月召开质量会议分析缺陷（如熔接痕不良率 $> 3\%$ ），通过DOE实验确定最优参数组合（如模温提升 $15^{\circ}\text{C}$ +注射速度降低20%），形成标准化作业指导书。

