

# LED 手机背光支架的精密模具设计与优化研究

卢金清

浙江韩宇光电科技有限公司 浙江 温州 325000

**【摘要】**：LED 手机背光支架作为背光模组的核心承载部件，其精度与表面质量直接影响光学性能与装配精度。随着智能手机向轻薄化、高分辨率方向发展，对支架的尺寸精度、形位公差及表面粗糙度提出了更高要求，推动精密模具技术持续升级。本文以 LED 背光支架为研究对象，结合其结构特点与成型工艺需求，系统分析精密模具设计的关键环节，包括型腔结构、浇注系统、顶出机构、冷却系统及导向定位系统的设计要点。针对成型中易出现的尺寸偏差、表面缺陷及稳定性问题，提出相应的优化策略：如优化型腔布局、调整浇口参数、提升冷却均匀性，并匹配最佳成型工艺参数。研究表明，通过科学设计与精准优化，可将支架尺寸精度控制在 $\pm 0.005\text{mm}$  以内，表面粗糙度达  $\text{Ra}0.02\ \mu\text{m}$  以下，产品合格率提升至 99% 以上。研究成果为背光支架精密模具开发提供理论依据，对提升背光模组性能、助力智能手机产业高质量发展具有重要价值。

**【关键词】**：LED 手机背光支架；精密模具；模具设计；优化策略；成型工艺

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.050

## 1 引言

智能手机作为关键电子终端，其显示效果高度依赖背光模组的性能。LED 手机背光支架作为承载 LED 芯片与导光板的核心结构件，其精度直接影响光学均匀性、装配精度及使用寿命。随着全面屏、折叠屏等技术发展，背光模组日趋轻薄紧凑，对支架的尺寸精度(形位公差 $\leq 0.01\text{mm}$ )、表面粗糙度( $\text{Ra} < 0.05\ \mu\text{m}$ )及力学、耐温性能提出严苛要求。目前支架多采用注塑成型，虽具有高效低成本优势，但成型质量高度依赖精密模具设计。传统方法难以满足微米级精度需求，易出现翘曲、缩痕、尺寸偏差等问题。

开展 LED 背光支架精密模具设计与优化研究具有重要意义：理论上可完善复杂薄壁件的模具设计体系；在实践中可提升合格率、效率与企业竞争力，并为其他精密电子件提供参考。尽管国内外在模具结构、冷却系统及工艺参数优化方面已有成果，但针对背光支架的研究多聚焦材料选型，缺乏对其薄壁复杂结构的针对性模具设计；且现有优化常局限于单一环节，缺少结构与工艺的协同，过度依赖试模，数值模拟与理论分析融合不足。本文针对上述空白，系统开展精密模具设计与协同优化，为高精度背光支架制造提供理论支撑与技术路径。

## 2 LED 手机背光支架的产品特性与成型工艺要求

### 2.1 产品结构特性

LED 手机背光支架作为背光模组的关键结构件，具有薄壁化、结构复杂、高精度等核心特性。其典型结构包括厚度仅  $0.1 - 0.3\text{mm}$  的底座、环绕侧壁、LED 芯片安装槽、导光板定位柱及装配卡扣。底座用于承载光学元件，侧壁起定位与防护作用，安装槽和定位柱对尺寸与形位公差要求极高，卡扣则需兼顾弹性与强度。由于模组空间受限，支架整体尺寸小(通常几十毫米见方)、结构紧凑、间隙微小，对模具精度提出严苛要求。同时，表面须平整光滑，无缩痕、毛刺或划伤，以保障光学均

匀性，并具备优异的尺寸稳定性，防止使用中翘曲变形。

### 2.2 材料性能要求

在材料方面，支架需兼顾成型性、力学性能、光学性能与耐温性。常用工程塑料如 PC、ABS、PMMA 中，PC 因高透光率、良好耐热性与力学强度成为首选。材料应具备优良流动性以适应薄壁充模，避免填充不足或熔接痕；同时需有足够刚度、韧性及热变形温度( $\geq 80^\circ\text{C}$ )，确保装配与使用可靠性。对于透明部件，还需高光学均匀性，无气泡、杂质等缺陷。此外，材料须符合环保标准，不含重金属或有害挥发物，并可通过配方优化提升综合性能。

### 2.3 成型工艺要求

注塑成型是主流制造工艺，对工艺控制要求极高。填充阶段需高注射压力与速度，配合适宜熔体与模具温度，确保熔体快速均匀充填，防止气穴或短射。保压阶段需精准调控保压力与时间：压力过高易导致内应力与翘曲，过低则引发缩痕；时间应覆盖熔体完全凝固，保障尺寸稳定。冷却阶段强调均匀快速散热，冷却系统需保证模温一致，减少收缩差异与内应力，冷却时间依壁厚与材料设定，避免顶处变形。此外，原料须充分干燥以防气泡，注射量需精确控制，螺杆转速应与温度、速度匹配，防止剪切降解。整体工艺需实现高精度、高质量与高稳定性，以满足背光支架严苛的性能要求。

## 3 LED 手机背光支架精密模具的关键设计技术

LED 手机背光支架精密模具的关键设计技术涵盖型腔、浇注、顶出、冷却及导向定位五大系统，需协同优化以满足微米级精度与高表面质量要求。

### 3.1 型腔结构设计

型腔结构设计是核心环节。需严格依据产品三维模型并结合材料收缩率进行尺寸补偿，通过理论计算与试验验证确保精度。分型面通常设于产品最大轮廓处，避免倒扣；复杂结构如

卡扣、定位柱需配合滑块或斜顶机构脱模。分型面配合间隙控制在 0.002 - 0.005mm，防止飞边。型腔表面需抛光至 Ra0.01 - 0.02  $\mu\text{m}$ ，并通过增加壁厚或加强筋提升刚度，防止注射压力下变形。

### 3.2 浇筑系统设计

浇筑系统设计强调调模均匀、熔接痕少。点浇口因进料小、痕迹隐蔽，适用于背光支架。浇口应设于厚壁或刚性区域，薄壁件宜采用多点浇口以均衡流动。主流道采用 2° - 4° 锥度圆锥结构，分流道优先选用圆形截面以减小阻力，尺寸需匹配注射量与浇口数量。冷料井须设置，防止冷料入腔影响质量。

### 3.3 顶出系统设计

顶出系统设计需兼顾平稳脱模与防变形。支架为薄壁件，易损，宜采用顶针与顶板组合方式。顶针布置避开薄弱区，数量与直径依产品尺寸和强度确定，配合间隙控制在 0.002 - 0.005mm。异形或斜顶用于复杂结构脱模。顶板适用于大面积区域，确保受力均匀。复位机构（如弹簧或复位针）与导向装置保障顶出精准回位，避免卡滞。

### 3.4 冷却系统设计

冷却系统设计目标是均匀快速冷却，抑制翘曲。水道应贴近型腔（距 15 - 25mm），分布均匀；复杂区域可采用随形水道提升贴合度。水道直径通常 8 - 12mm，保证流速防结垢。并联水路利于温度一致，串联适合精细控温。水温控制在 20 - 40°C，并配温控装置实时调节，确保冷却稳定性。

### 3.5 导向定位系统设计

导向定位系统保障合模精度。导柱导套材质选用 Cr12MoV 等高耐磨材料，配合精度达 H7/f6，间隙 0.003 - 0.008mm，布置于模具四角以均衡导向。定位销/块精度高于导柱系统，大型模具可采用锥面或曲面定位提升稳定性。润滑装置减少摩擦，延长寿命并保障运动平稳。

## 4 LED 手机背光支架精密模具的优化策略

为提升 LED 手机背光支架的成型质量与模具性能，需实施系统性优化策略，涵盖型腔结构、浇注系统、冷却系统、工艺参数及模具材料与表面处理五个方面。

### 4.1 型腔结构优化

型腔结构优化聚焦于抑制翘曲与尺寸偏差。通过数值模拟分析收缩分布，对型腔曲面进行反变形修正；在转角、分型面等部位设置 0.5 - 1.5mm 圆角，降低应力集中与内应力；推行壁厚均匀化设计，必要时采用平滑过渡结构以减少冷却不均。同时，采用模块化型腔设计便于加工与维护，并结合高精度 CNC 或电火花加工，确保型腔几何精度与表面质量。

### 4.2 浇注系统参数优化

浇注系统参数优化以改善充模均匀性与减少熔接痕为目

标。借助模流分析优选浇口位置与数量，多点浇口需实现同步填充；合理调整浇口直径与长度，在充填效率与外观质量间取得平衡；分流道优先选用圆形截面，并优化其尺寸以降低流动阻力。此外，引入缓冲槽或节流阀可稳定熔体压力，主流道锥度与长度也需要精细调控，减少热量与压力损失。

### 4.3 冷却系统均匀性优化

冷却系统均匀性优化旨在实现温度场一致性。推广随形水道设计（可通过 3D 打印实现），使冷却通道紧贴复杂型腔轮廓；根据局部热负荷差异调整水道间距与直径，高热区加密加粗，低热区适度放宽；采用分区供水与独立温控，精准调节各区域水温。辅以扰流装置增强湍流换热，并定期清理水道防止结垢，保障长期冷却效能，有效控制产品内应力与变形。

### 4.4 成型工艺参数匹配优化

成型工艺参数匹配优化强调多参数协同调控。通过正交试验或响应面法，以尺寸精度、表面质量及合格率为指标，确定最佳注射压力/速度、熔体温度（通常 280 - 320°C）、模温（20 - 40°C）、保压压力/时间及冷却时间组合。薄壁件需高注射速率但避免过高内应力；保压阶段需充分补偿收缩而不致过压；冷却时间应兼顾定型与效率。引入自适应控制技术可实时反馈调节，提升过程稳定性。

### 4.5 模具材料与表面处理优化

模具材料与表面处理优化保障模具寿命与产品外观。优选 S136（高抛光、耐蚀）、H13（耐热韧性好）或 Cr12MoV（高耐磨）等模具钢。型腔表面需镜面抛光至 Ra $\leq$ 0.01  $\mu\text{m}$ ；辅以氮化提高硬度，镀铬增强脱模性与耐腐蚀性。脱模剂应环保无残留，进一步改善脱模效果。

## 5 LED 手机背光支架精密模具设计与优化的数值模拟分析

### 5.1 数值模拟模型构建

数值模拟是精密模具设计与优化的重要工具，可有效预测成型过程中的充模、保压、冷却等环节的问题，为模具设计与优化提供依据。以某型号 LED 手机背光支架为例，采用注塑成型数值模拟软件构建数值模型，模型包括产品三维模型、型腔结构、浇注系统、冷却系统等。

首先，导入产品三维模型，进行网格划分。网格划分需保证网格质量，采用四面体网格或六面体网格，网格尺寸根据产品结构复杂度合理确定，对于薄壁、复杂结构部位，需加密网格，提升模拟精度。然后，定义材料参数，输入所选用 PC 材料的 PVT 特性、粘度特性、导热系数等参数。接着，定义模具结构参数，包括型腔尺寸、浇注系统尺寸、冷却水道尺寸等。最后，设置成型工艺参数，如注射压力、注射速度、熔体温度、模具温度、保压压力、保压时间、冷却时间等。

## 5.2 充模过程模拟与分析

充模过程模拟的目的是分析熔体在型腔中的流动路径、压力分布、温度分布与熔接痕分布,评估浇注系统设计的合理性。通过模拟发现,初始设计的单浇口方案存在充模不均匀、压力损失过大、熔接痕明显等问题。熔体从浇口进入型腔后,向四周流动,由于产品为薄壁结构,流动阻力较大,导致远离浇口的部位充模缓慢,出现填充不足的风险;同时,熔体在流动过程中压力损失较大,需增加注射压力才能完成充模;此外,熔体在型腔的不同部位交汇,形成明显的熔接痕,影响产品强度与外观。

针对上述问题,优化浇注系统设计,采用四点浇口方案,调整浇口位置与尺寸。重新模拟后,熔体从四个浇口同时进入型腔,流动路径均匀,充模速度明显提升,压力分布均匀,压力损失大幅降低;熔接痕数量减少,且分布在产品的非关键部位,对产品质量的影响减小。充模过程模拟结果表明,优化后的浇注系统设计合理,可满足产品成型要求。

## 5.3 冷却过程模拟与分析

冷却过程模拟的目的是分析模具与产品的温度分布,评估冷却系统设计的均匀性。初始冷却系统设计采用传统的直线水道,模拟结果显示,模具各部位温度分布不均匀,型腔边缘部位温度较高,中心部位温度较低,导致产品冷却收缩不均,存在翘曲变形风险。产品的最大温度差达到 $15^{\circ}\text{C}$ ,超过允许范围。

优化冷却系统设计,采用随形水道与分区供水方案,重新模拟后,模具各部位温度分布均匀,温度差控制在 $5^{\circ}\text{C}$ 以内;产品的冷却速度明显加快,冷却时间缩短了20%;产品的温度分布均匀,收缩不均现象得到有效改善,翘曲变形量大幅降低。冷却过程模拟结果表明,优化后的冷却系统具备良好的均匀性与冷却效率,可有效提升产品尺寸稳定性。

## 5.4 翘曲变形模拟与分析

翘曲变形模拟的目的是预测产品成型后的翘曲变形量与变形分布,评估模具设计与工艺参数的合理性。初始模具设计

与工艺参数下,模拟结果显示,产品的最大翘曲变形量达到 $0.05\text{mm}$ ,超过允许的 $0.02\text{mm}$ ,主要变形部位为产品的边缘与卡扣处,变形原因主要为冷却不均与内应力过大。

通过优化型腔结构、冷却系统与成型工艺参数,重新进行翘曲变形模拟。优化后,产品的最大翘曲变形量降低至 $0.015\text{mm}$ ,满足精度要求。变形分布均匀,无明显的局部变形。翘曲变形模拟结果表明,通过多方面的优化,可有效控制产品的翘曲变形,提升产品尺寸精度。

## 6 结论与展望

### 6.1 研究结论

本文系统研究了LED手机背光支架精密模具的设计与优化,得出以下结论:该支架具有薄壁、结构复杂、精度要求高等特点,对材料性能与注塑工艺提出严苛要求。精密模具设计需聚焦五大核心系统——型腔结构需精准补偿收缩并高抛光;浇注系统宜采用点浇口或多点布局以实现均匀充填;顶出系统采用顶针与顶板组合保障脱模平稳;冷却系统通过随形水道提升温度均匀性;导向定位系统须达微米级配合精度。优化策略涵盖型腔曲面修正、浇注参数调优、冷却均匀性提升、工艺参数匹配及模具材料与表面处理改进,并依托数值模拟实现科学预测。最终可实现尺寸精度 $\pm 0.005\text{mm}$ 、表面粗糙度 $Ra < 0.02\ \mu\text{m}$ 、合格率超99%的高质量成型。

### 6.2 未来展望

未来研究可从多方面深化:一是融合数字孪生与人工智能技术,构建智能模具设计与全生命周期管理平台;二是探索微注塑、气体辅助或微发泡等先进工艺,满足更薄、更精的发展趋势;三是推进3D打印在随形冷却水道制造中的应用,研发高耐磨、高精度新型模具钢;四是强化智能化检测(如三坐标、激光干涉仪)与产学研协同,加速成果工程转化。通过技术创新与理论突破,推动LED背光支架模具向高精度、高效率、智能化方向持续升级,为智能手机产业高质量发展提供坚实支撑。

## 参考文献:

- [1] 赵松,汪军,陈召全.特种显示LED背光模块化评估设计方法[J].光电子技术,2019,39(3):215-218.
- [2] 浙江韩宇光电科技有限公司.LED支架高精密度全自动叠片机:CN202110402517.3[P].2023-01-03.
- [3] 苏佳兴,贺蕾.LED支架结构优化设计[J].电子测试,2022(2):118-120.
- [4] 刘正龙.贴片式LED支架包脚成型技术[J].电子工业专用设备.2018,(3).