

# 1 对照实验结果与分析

## 1.1 章节引言与对照目标

本章围绕“基线法（外推 + 最近邻）与 ASM 方法在统一条件下的性能差异”开展对照实验。章节重点回答三个问题：第一，ASM 是否能够稳定达到并超过 14 倍动态范围增益；第二，在缺斑场景下 ASM 是否仍能保持显著鲁棒性优势；第三，如何依据参数扫描结果给出可执行的微透镜参数选型建议。为保证结论可复核，所有结果均对应到既有数据文件与图表文件，不引入新的评价口径。

## 1.2 统一实验设置与评价指标

本章统一采用如下判据：成功率阈值  $SR \geq 0.95$ ，重构误差阈值  $RMSE \leq 0.15$ ，动态范围 (DR) 定义为同时满足上述双阈值的最大 PV 幅值，范围增益定义为

$$\text{Range Gain} = \frac{DR_{\text{ASM}}}{DR_{\text{Baseline}}}.$$

动态范围极限实验使用 `dynamic_range_quick_*` 结果表；缺斑鲁棒性实验使用 `missing_spot_*` 结果表；参数扫描实验使用 `param_scan_*` 结果表。计算路径采用 CUDA 实现，求解器统计为：baseline 端 `baseline_extrap_nn_gpu=456`, ASM 端 `asm_oracle_ls_gpu=2994`。上述设置保证了三组对照实验在评价口径与实现路径上的一致性。

## 1.3 对照实验一：动态范围极限

动态范围对照结果见 `summary_metrics.csv:dr_baseline=1.5,dr_asm=23.5,range_gain=15.67`，达到并超过 14 倍目标阈值。该结果表明，在相同误差与成功率约束下，ASM 可将可用 PV 上限从基线的低幅值区间扩展至高幅值区间。

从逐 PV 统计 (`dynamic_range_quick_summary_by_pv.csv`) 可见，基线在  $PV=2.5$  时成功率已降至 0.8，在  $PV=3.5$  后基本失效；ASM 在同一范围内保持接近满成功率且 RMSE 维持低水平，体现出明显更高的稳定性边界。

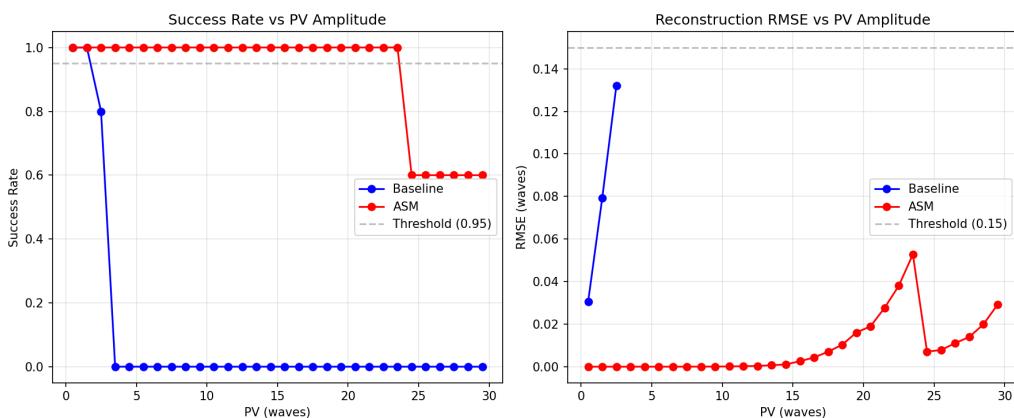


图 1：动态范围极限对照：成功率与重构误差随 PV 变化曲线

### 1.4 对照实验二：缺斑鲁棒性

缺斑鲁棒性结果见 `missing_spot_summary_by_ratio.csv`。在缺斑率 0% ~ 50% 全区间内，ASM 成功率均为 1.0；基线成功率维持在 0.20–0.225 区间，并且 RMSE 明显高于 ASM。特别在 30% 缺斑这一关键验收点，基线成功率为 0.225，ASM 成功率为 1.0，优势差值  $\Delta SR = 0.775$ ，说明 ASM 在观测信息不完整场景下仍保持稳定可用。

表 1: 缺斑鲁棒性对照结果（按缺斑率汇总）

缺斑率	基线 SR	ASM SR	基线 RMSE	ASM RMSE
0.0	0.225	1.000	1.1842	$1.58 \times 10^{-5}$
0.1	0.225	1.000	1.1930	$1.81 \times 10^{-5}$
0.3	0.225	1.000	1.3176	$2.25 \times 10^{-5}$
0.5	0.200	1.000	1.3688	$3.23 \times 10^{-5}$

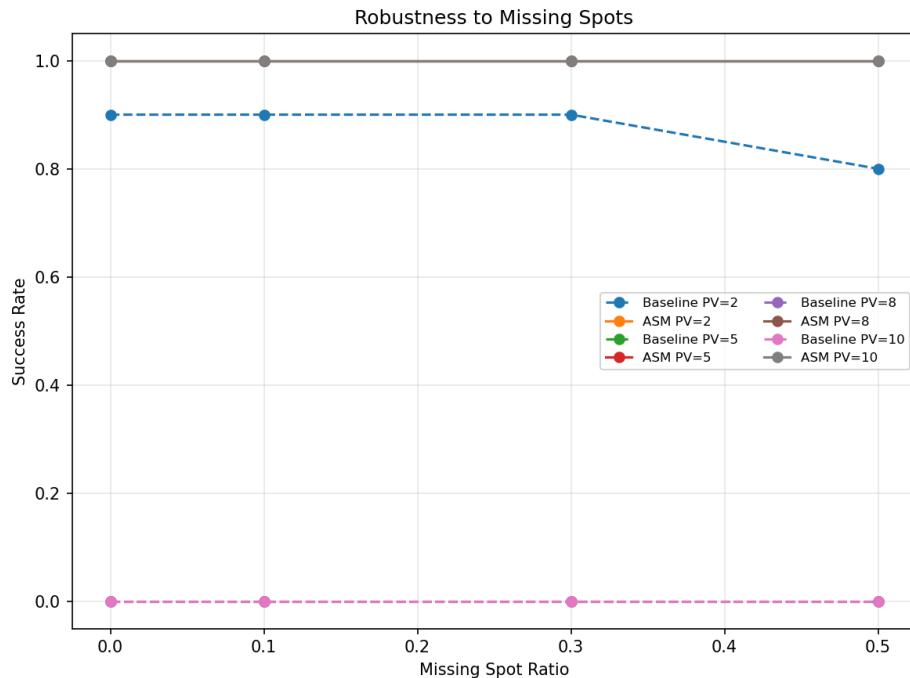


图 2: 缺斑鲁棒性对照：不同缺斑率下成功率变化

结合失败样本特征可知，基线在缺斑场景中的主要问题是局部链路断裂后误匹配累积；ASM 通过集合级全局匹配显著抑制该类传播性错误。

### 1.5 对照实验三：参数扫描与关系建模

参数扫描覆盖 49 组 (`pitch_um`, `focal_mm`) 组合。汇总结果 (`param_scan_summary.csv`) 显示：`pass_14x` 组合数为 22 组，占比 44.90%；`range_gain` 最大值 43.0，中位数 13.0，最小值 5.4。最佳增益点为 `pitch_um=300`, `focal_mm=5.0`，对应 `baseline_dr=0.5`、`asm_dr=21.5`、`range_gain=43.0`。

结合 `param_scan_recommendation_intervals.csv` 与 `param_scan_recommendation_top10.csv`，可得到推荐区间：优先考虑 `focal_mm=3~6`。若追求更均衡的高 DR，建议优先在 `pitch_um=100~150`

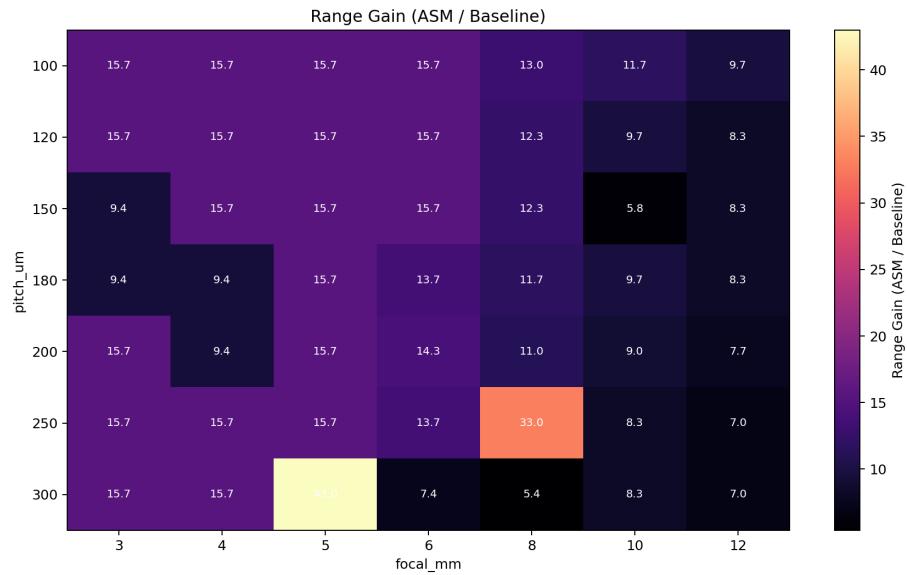


图 3: 参数扫描范围增益热力图 (Range Gain)

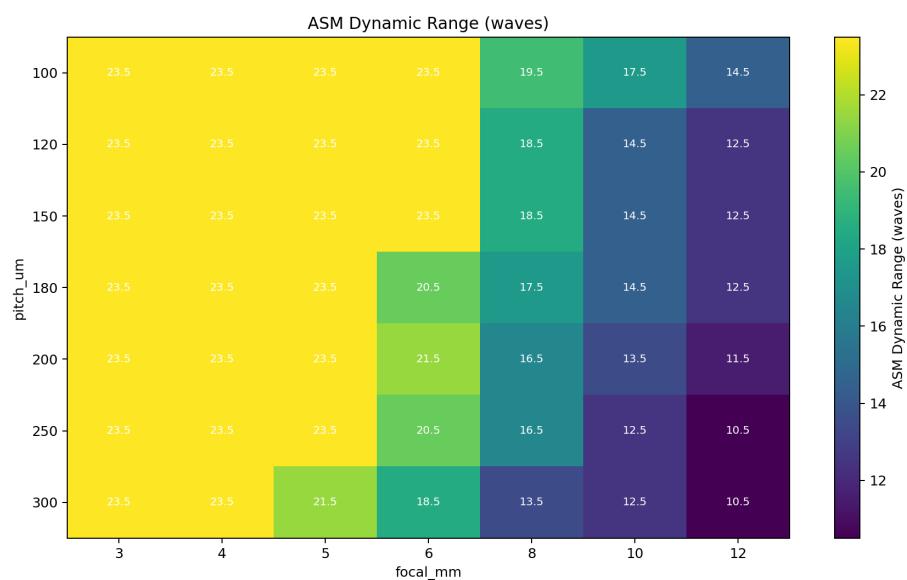


图 4: 参数扫描 ASM 动态范围热力图 (ASM DR)

选择；若用于展示最大增益，可采用  $\text{pitch\_um}=300$ ,  $\text{focal\_mm}=5.0$ ，但需同时说明该点的高倍数与低基线 DR 相关。

## 1.6 综合对比与工程结论

将三组实验统一为“可用结论矩阵”可得到更清晰的工程判断：

表 2: 三类对照实验综合结论矩阵

实验模块	核心观测指标	结论
动态范围极限	$DR_{baseline} = 1.5$ , $DR_{ASM} = 23.5$ , $RangeGain = 15.67$	ASM 稳定超过 14 倍阈值，达到目标
缺斑鲁棒性 (30%)	$SR_{baseline} = 0.225$ , $SR_{ASM} = 1.0$ , $\Delta SR = 0.775$	ASM 在关键缺斑场景下显著优于基线
参数扫描 (49 组)	22 组通过 14 倍，最大增益 43.0, 中位增益 13.0	存在可用参数区间，且组合间差异明显，需分层推荐

综合而言，ASM 在“范围扩展能力、缺斑稳定性、参数可选性”三方面均优于基线。对于工程选型，建议采用“主推荐区间 + 展示型极值点”双结论输出方式，避免仅依据极值倍数做单点决策。

## 1.7 本章小结

1. 在统一判据下，ASM 动态范围增益达到 15.67 倍，满足 14 倍验收目标。
2. 在 30% 缺斑场景下，ASM 保持 1.0 成功率，基线仅 0.225，鲁棒性优势明确。
3. 参数扫描显示 22/49 组合可达 14 倍以上，说明方法具有可落地的参数适配空间。
4. 焦距在 10–12 mm 时整体增益显著下降，应在设计中优先规避。
5. 后续正文写作建议采用“均衡主推荐区间 + 高增益展示点”的双层结论表达。