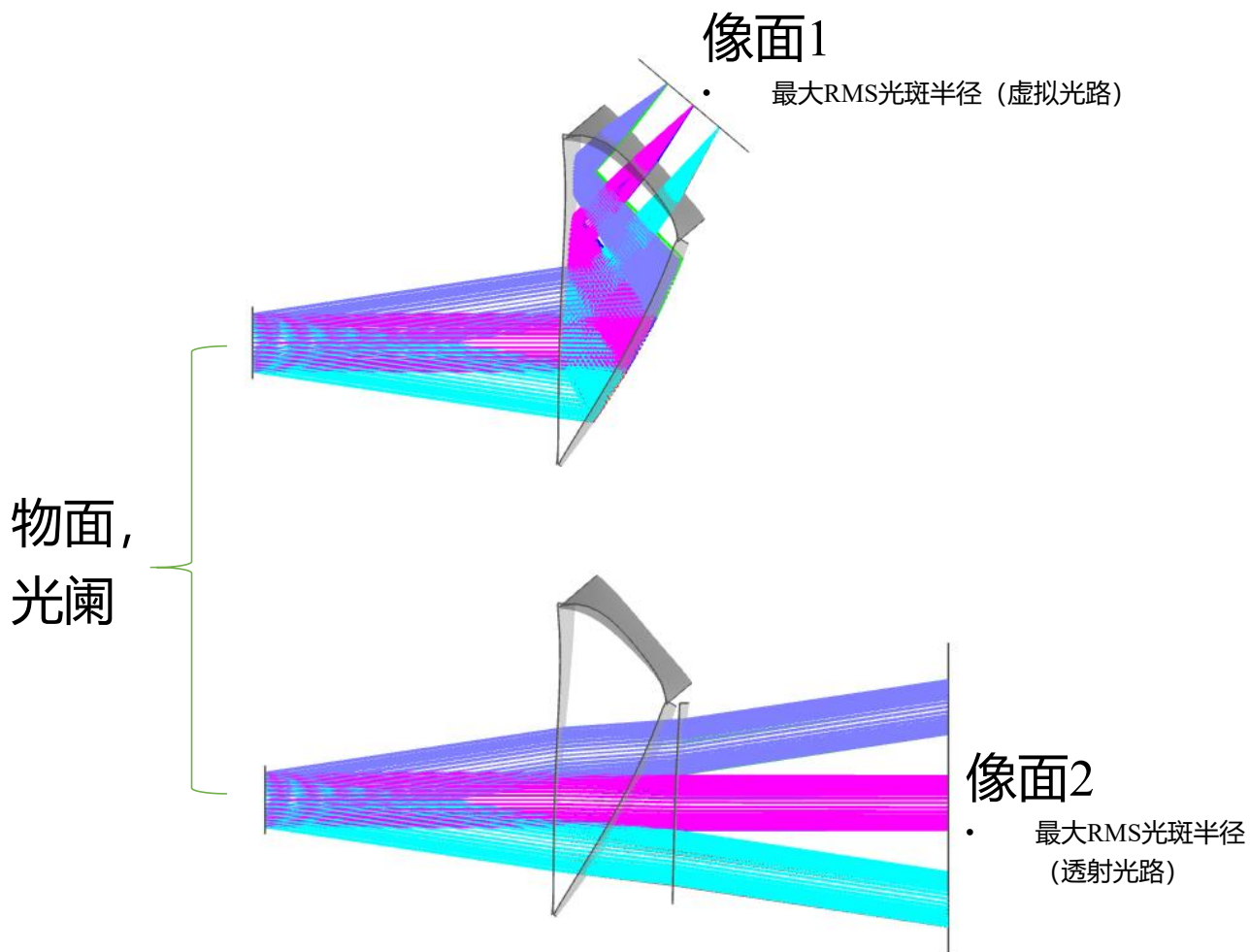


棱镜-透镜式头戴显示系统



头戴显示(HMD)系统 [1]

FFS（自由曲面）棱镜-透镜式头戴显示系统广泛应用于光学透视式增强现实（AR）与混合现实（MR）设备中，例如智能头戴设备、工业辅助装配、医学可视化以及仿真训练系统。该类光学系统通过自由曲面棱镜实现光路折叠、虚像投射和透视光路合成，具备结构紧凑、重量轻、光效率高以及出瞳较大等优势，特别适合集成式、轻量化的AR-HMD应用。在本案例中，将通过设计一个典型的自由曲面棱镜-透镜组合式光学透视头戴显示系统，演示在VLU中的光学系统设计流程，包括初始结构生成，成像质量分析，评价函数定义，优化。



物体规格:

- 平面波尺寸: 由出瞳直径定义
- 波长: 绿光可见
 - 推荐使用 550 nm
- 视场: 由角度定义
 - 推荐使用 $(0^\circ, 0^\circ)$ 、 $(0^\circ, 8.5^\circ)$ 、 $(0^\circ, -8.5^\circ)$ 、 $(8.5^\circ, 0^\circ)$ 、 $(-8.5^\circ, 0^\circ)$ 、 $(8.5^\circ, 0^\circ)$ 、 $(-8.5^\circ, -8.5^\circ)$ 、 $(-8.5^\circ, 8.5^\circ)$ 、 $(8.5^\circ, -8.5^\circ)$ 、 $(8.5^\circ, 8.5^\circ)$

系统规格:

1. 出瞳直径: 6 mm
2. 显示屏: 7 mm (对角)
3. F/#: < 4

额外系统限制:

1. 出瞳距: > 15 mm

像质要求:

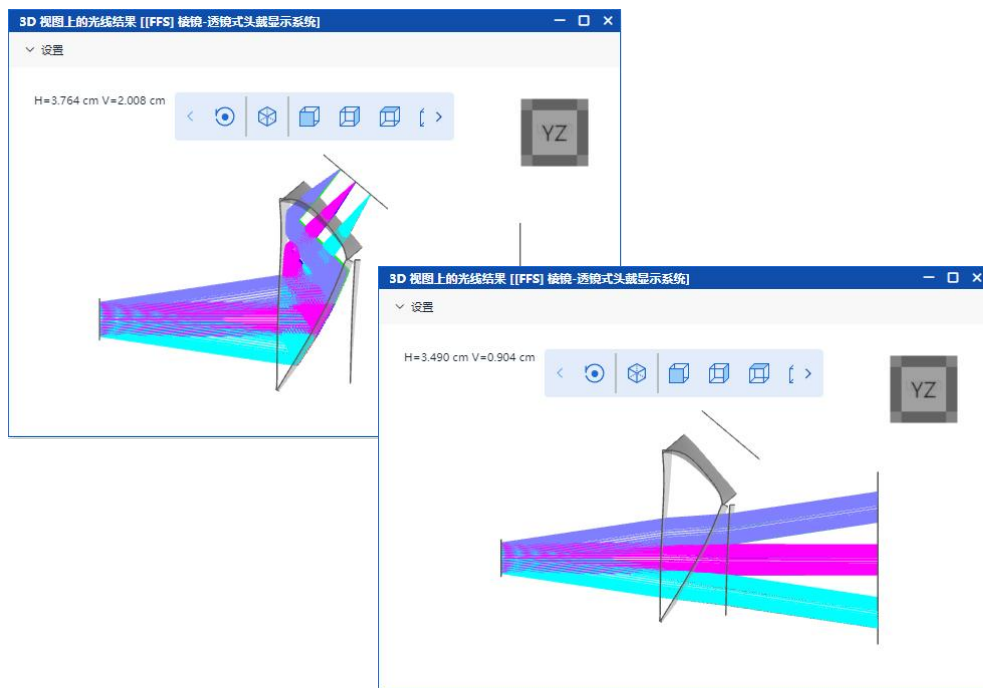
1. 最大RMS光斑半径 (虚拟光路): < 12 μm
2. 最大RMS光斑半径 (透射光路): < 0.0005 (direction cosines)

加工要求:

1. 非球面数量: ≤ 3

设计结果

- 设计结果如下，像质，[系统规格](#)、[额外系统限制](#)以及[加工要求](#)均满足预期设计目标。

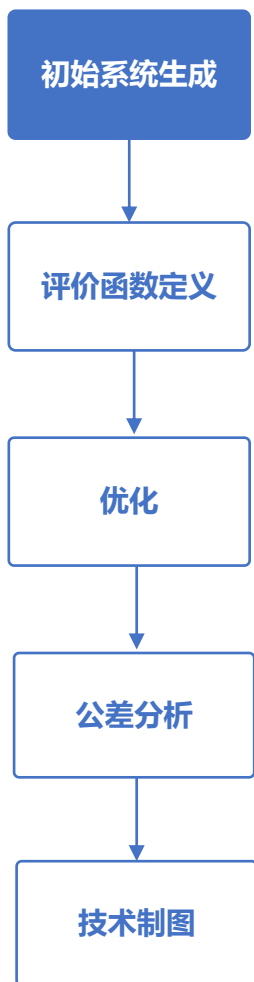


优化后系统的3D光线追迹视图

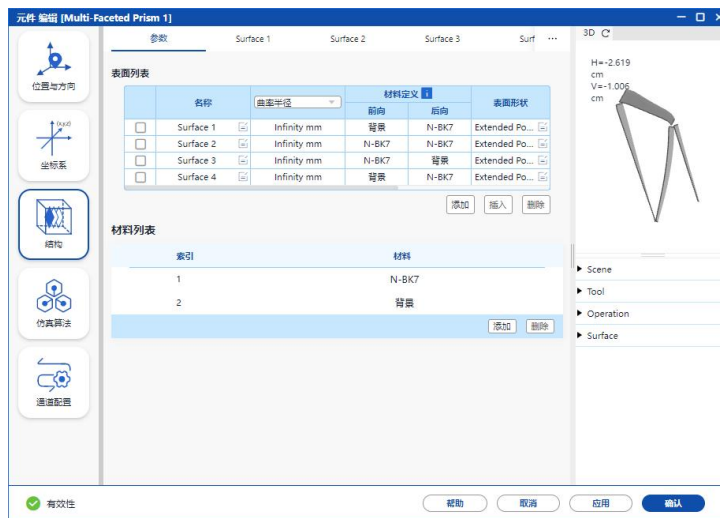


像质要求	初始系统	优化后的系统	目标
1. 最大RMS光斑半径 (虚拟光路)	69.386 μm	10.613 μm	< 12 μm
2. 最大RMS光斑半径 (透射光路)	0.0005209	0.000471	< 0.0005 (direction cosines)

工作流程



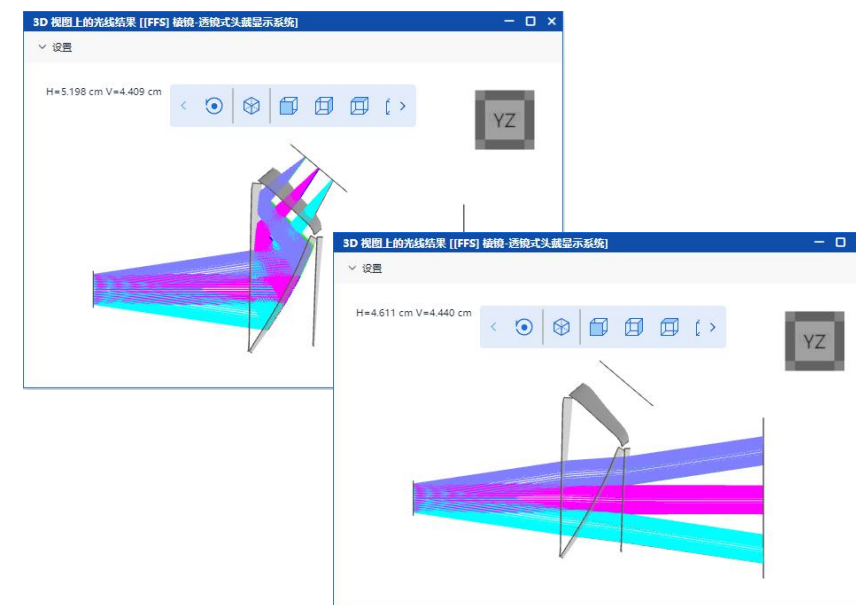
- 根据案例说明，可以参考[文献](#)中提到的专利“US2014/0009845 A1”中的自由曲面棱镜作为初始系统：



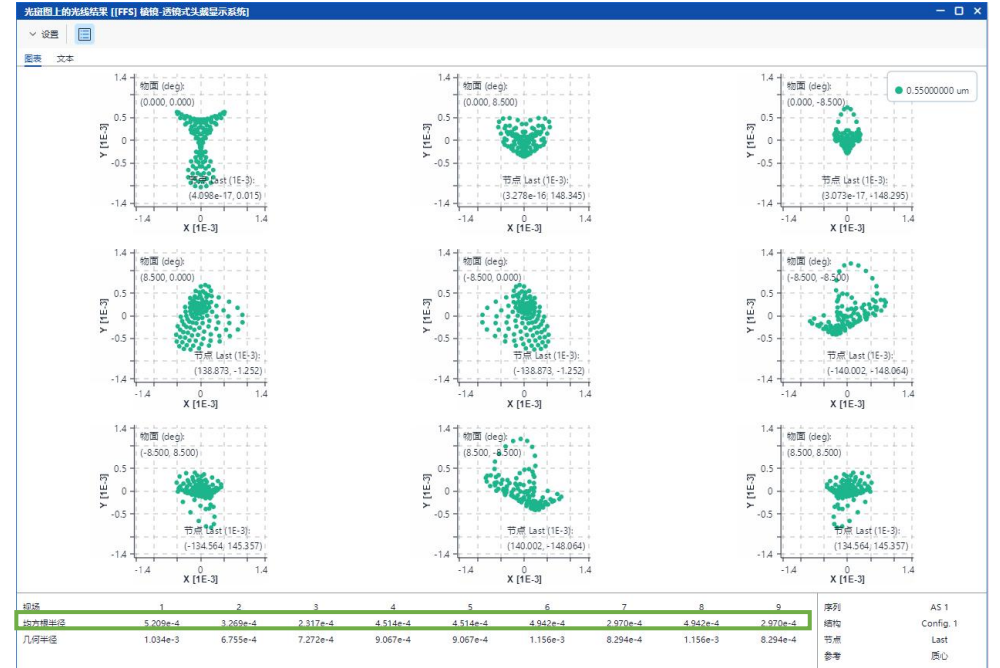
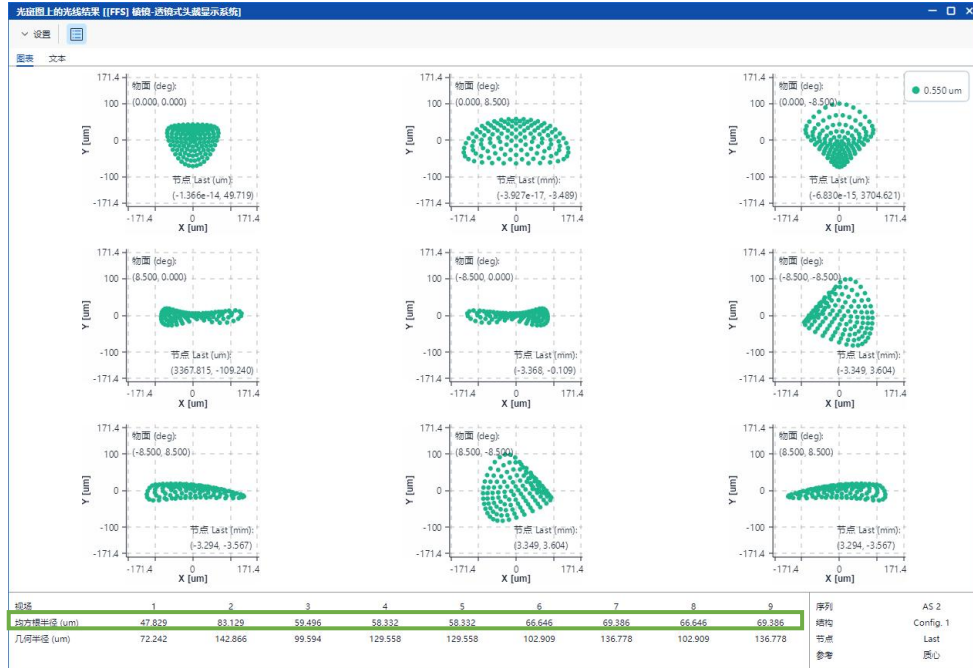
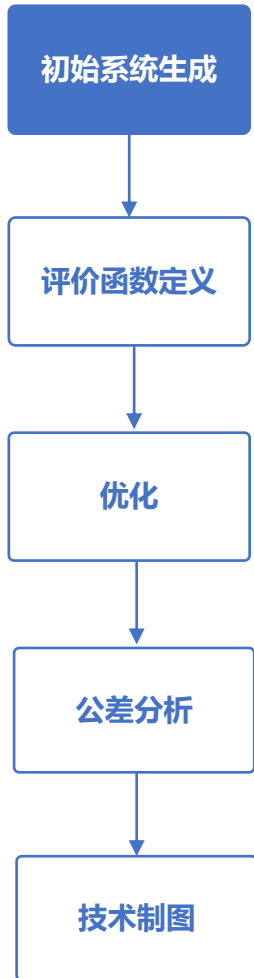
“US2014/0009845 A1” 棱镜的结构被手动搭建



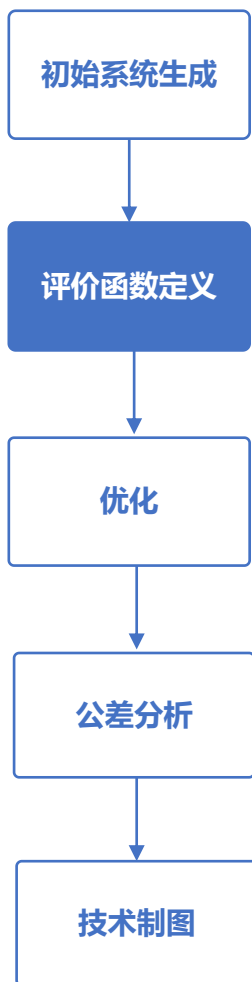
- 添加光源
- 添加像面1, 2



得到的最终初始系统



像质要求	初始系统	目标
1. 最大RMS光斑半径 (虚拟光路)	69.386 um	< 12 um
2. 最大RMS光斑半径 (透射光路)	0.0005209	< 0.0005 (direction cosines)



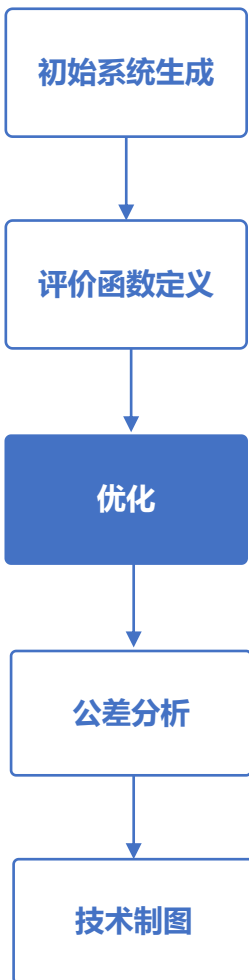
- 根据系统规格、额外系统限制以及像质与加工要求，定义了各种与之对应的评价函数。

评价函数数: 0.03902636

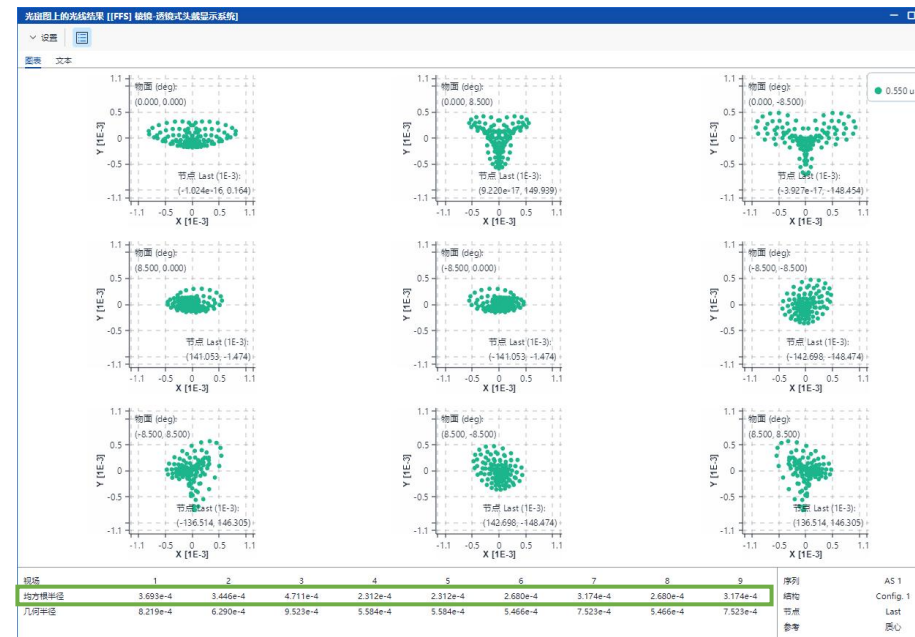
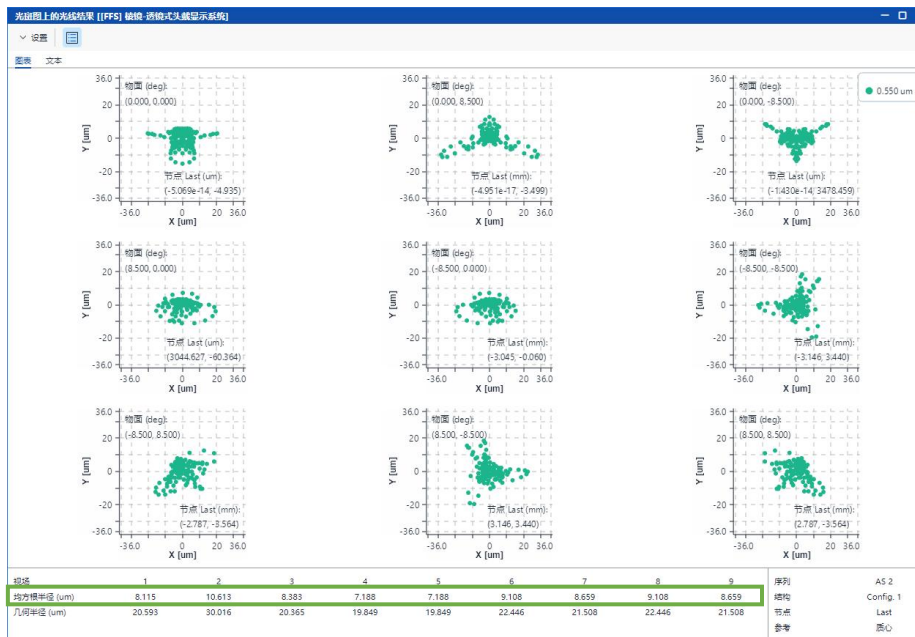
ID	评估	权重	评价标准	值	% 贡献
1	Image Quality				
1.1	Spot Radius RMS	1.00000000	= 0.00000000 mm	0.04433937 mm	5.03756787
1.2	Spot Radius RMS	1.00000000	= 0.00000000 mm	0.07735180 mm	15.33143388
1.3	Spot Radius RMS	1.00000000	= 0.00000000 mm	0.05402940 mm	7.48001152
1.4	Spot Radius RMS	1.00000000	= 0.00000000 mm	0.05408838 mm	7.49635040
1.5	Spot Radius RMS	1.00000000	= 0.00000000 mm	0.05408838 mm	7.49635040
1.6	Spot Radius RMS	1.00000000	= 0.00000000 mm	0.06289906 mm	10.13748578
1.7	Spot Radius RMS	1.00000000	= 0.00000000 mm	0.06434557 mm	10.60911559
1.8	Spot Radius RMS	1.00000000	= 0.00000000 mm	0.06289906 mm	10.13748578
1.9	Spot Radius RMS	1.00000000	= 0.00000000 mm	0.06434557 mm	10.60911559
2	Image Quality				
2.1	Angular RMS	1.00000000	= 0.00000000	4.89936780e-4	6.15066383e-4
2.2	Angular RMS	1.00000000	= 0.00000000	3.61756325e-4	3.35331358e-4
2.3	Angular RMS	1.00000000	= 0.00000000	2.85573660e-4	2.08967236e-4
2.4	Angular RMS	1.00000000	= 0.00000000	7.24131169e-4	1.34361977e-3
2.5	Angular RMS	1.00000000	= 0.00000000	7.24131169e-4	1.34361977e-3
2.6	Angular RMS	1.00000000	= 0.00000000	6.43427096e-4	1.06081730e-3
2.7	Angular RMS	1.00000000	= 0.00000000	6.81271104e-4	1.18927377e-3
2.8	Angular RMS	1.00000000	= 0.00000000	6.43427096e-4	1.06081730e-3
2.9	Angular RMS	1.00000000	= 0.00000000	6.81271104e-4	1.18927377e-3
3	Real Ray				
3.1	Position Local (Real)	1.00000000	= 0.00000000 mm	0.05327965 mm	7.27385376
3.2	Position Local (Real)	1.00000000	= -3.50000000 mm	-3.48045979 mm	0.97836382
3.3	Incident Angle	1.00000000	= 0.00000000 deg	0.03378161 deg	2.92416966
4	Real Ray				
4.1	Incident Angle	1.00000000	= 0.00000000 deg	2.99794930e-5 deg	2.30298161e-6
5	Dimension				
5.1	General 3D	1.00000000e-3	= 0.00000000 mm	0.92942905 mm	2.21347381
5.2	General 3D	1.00000000e-3	= 0.00000000 mm	0.93912468 mm	2.25989575
5.3	General 3D	1.00000000e-3	= 0.00000000 mm	0.05218228 mm	6.97730958e-3

像质要求 1-2

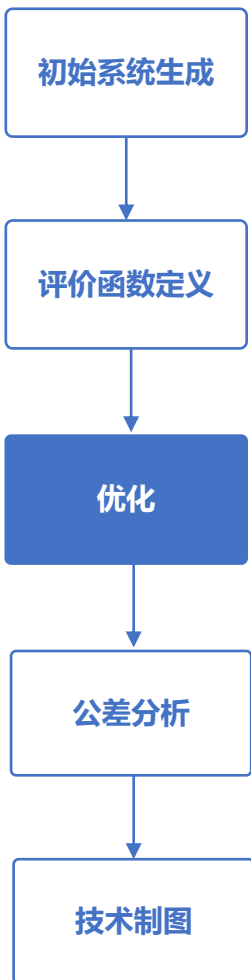
系统规格 2



- 通过采用POWELL算法进行优化后，满足了像质要求 1-2、系统规格 2-3。



像质要求	优化后的系统	目标
1. 最大RMS光斑半径 (虚拟光路)	10.613 um	< 12 um
2. 最大RMS光斑半径 (透射光路)	0.000471	< 0.0005 (direction cosines)



- 通过采用POWELL算法进行优化后，满足了像质要求 1-2、**系统规格 2-3**，此外**系统规格 1**、**额外系统限制 1**与**加工要求 1**在初始系统生成时已满足。

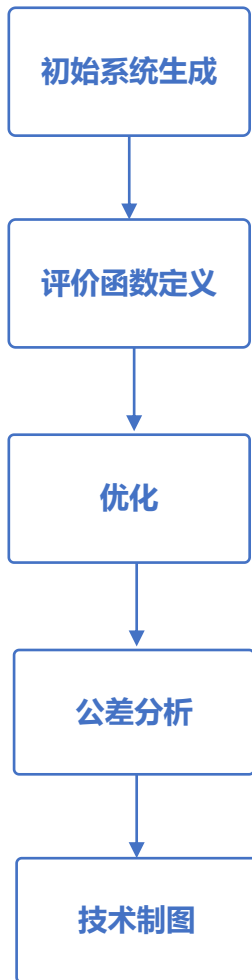
Item	Value	Target	Unit	Current Value	Current Value
3.1	Position Local (Real)	1.00000000	= 0.00000000 mm	-1.45757529e-4 mm	4.60137958e-3
3.2	Position Local (Real)	1.00000000	= -3.50000000 mm	-3.50006703 mm	9.73080109e-4
3.3	Incident Angle	1.00000000	= 0.00000000 deg	4.21819483e-5 deg	3.85371272e-4

系统规格 2

环境与结构		光学参数 (mm)	
压强 (Pa):	101325.00000000	角放大率:	-0.57417203
温度 (°C):	20.00000000	后焦距:	10.75710121
最大视场 (deg):	8.50000000	有效焦距:	24.49622847
光阑尺寸 (mm):	10.00000000	入瞳直径:	6.00000000
总长 (mm):	32.18136382	入瞳位置:	0.00000000
系统孔径大小 (mm):	6.00000000	出瞳直径:	10.44982985
系统孔径类型:	Entrance Pupil Diameter	出瞳位置:	-17.60820108
		像方空间 NA:	0.12155963
		物方空间 NA:	3.00000000e-10
		近轴成像高度:	3.66098587
		近轴放大率:	0.00000000
		近轴处理 F/#:	4.08270474
		工作 F 数:	3.66764293

系统规格 3

其他要求	优化后的系统	目标
1. 实际像高	3.5 mm	= 3.5 mm
2. F/#	3.67	< 4



指南链接	
	镜头设计模板工具, 快捷工具
	评价函数
	优化流程
	公差分析流程
	技术制图工具

内容	信息
标题	棱镜-透镜式头戴显示系统
发布日期	2025/11/25
所需软件包	光学镜头设计工具包 v1.0
软件版本	2025R2
分类	应用场景

包罗万象

All Inclusive

迅捷高效

Efficient and Fast



<http://www.luoxun.com/>