

哈爾濱工業大學

課程設計結題報告

題目 基于 ASAP 分光系统的优化仿真

院系 理学院光电信息科学与工程

班级 1610201

学号 161020111

学生签字

指导教师签字

哈尔滨工业大学课程设计任务书

学生姓名	李一丹	学号	161020111	专业	光电信息科学与工程
指导教师	赵秀丽	职称	副教授	单位	理学院光电科学系
课 设 题 目	基于 ASAP 分光系统的优化仿真				
立 题 背 景 与 意 义	<p>ASAP 软件能够高效模拟系统的光学踪迹与能量分布情况。实验室现有的分光系统分光效率较低,原因是原有的分光系统入射光路构造不合理,侧入射的光并打到 340nm 分光板上后,340nm 波段的光透射后仅有极小部分光通过滤光片;其余波段效率较低是由于平透镜曲率半径不合理,光路不准直所致。</p> <p>需要进行光路改进,设计好优化后的光路,利用 ASAP 软件进行优化仿真得到最佳透镜曲率半径,提高能量利用率。</p>				
主 要 研 究 内 容 与 要 求	<p>内容: 优化分光系统的光路,实现卤素灯准直并实现各波段能量利用率最大化,尤其是在 340nm 波段。</p> <p>要求:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 学习使用 ASAP 软件,对基本操作尤其是四个使用步骤熟练掌握,进行分光系统优化后的光路设计与结果分析; 2. 光路设计要与实际情况相符,如光源设置,分光板与滤光片的透射率。 3. 利用 ASAP 的结果分析,找到最佳曲率半径,使分光效率最高。 				

指导教师签字:

年 月 日

摘 要

实验室现有分光系统由 10 片可分出不同波长的分光板及其相应的滤光片构成，光线依次出射。但分光效率并不高，原因是原有的分光系统入射光路构造不合理，侧入射的光并打到 340nm 分光板上后，340nm 波段的光透射后仅有极小部分光通过滤光片；其余波段效率较低是由于平透镜曲率半径不合理，光路不准直所致。

本课题用 ASAP 软件对该系统进行了优化，ASAP (Advance System Analysis Program) 本质上是一种灵活高效的光学系统建模工具。通过蒙特卡罗射线追踪技术，可以模拟光与机械结构的相互作用。优化后的光学系统，光线在 340nm 处变侧入射为正入射，孔径由 6mm 增为 12mm，成功构造出几何模型与新光路。为了确定合适的曲率半径来准直光路，依次设置设置步长 0.5mm, 0.2mm, 0.05mm，改变平透镜的曲率半径，进行了光线追踪与结果分析，多次重复得到曲率半径的最优解 6.7mm，这个结果的误差在 $\pm 0.74\%$ 范围内。将优化后的光强分布与优化前的仿真结果做了对比，辐射照度翻四倍以上，空间分布更均匀。

关键词：ASAP；分光系统；辐射照度

Abstract

The existing spectroscopic system in the laboratory consists of 10 splitter plates with 10 different wavelengths, and 10 filters with corresponding wavelengths, which emit light in turn. However, the spectral efficiency is not high, because the original optical path of the optical system is not properly constructed, and only a small part of the light transmittance is filtered after the light through the spectrograph of 340nm. The low spectral efficiency of the other wavelength bands is caused by the unreasonable radius of curvature of flat lens and the light path is not straight

ASAP is fundamentally a flexible and efficient optical system-modeling tool. It is able to simulate, by Monte Carlo ray-tracing techniques, the interaction of light with optical and mechanical structures. After the optimization of the optical system, the direction of the light at 340nm from side incident to positive incident, and the aperture of lens increases from 6mm to 12mm. The geometric model and the new optical path are constructed successfully. In order to determine a proper radius of curvature to collimate the optical path, step lengths of 0.5mm, 0.2mm and 0.05mm were set in order to change the radius of curvature of the flat lens. Light tracing and result analysis were carried out. The optimized light intensity distribution is compared with the simulation results before the optimization, the radiation illumination is more than four times higher and the spatial distribution is more uniform.

Keywords: ASAP, Spectrophotometer system, Illumination

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT	II
第 1 章 绪论	1
1.1 课题背景	1
1.1.1 原有分光系统缺点	1
1.1.2 改进目标.....	1
1.2 ASAP 的介绍及应用	2
1.2.1 ASAP 简介	2
1.2.2 ASAP 应用	2
1.3 本文的主要研究内容.....	2
第 2 章 分光系统的构建	3
2.1 几何模型	3
2.1.1 实物尺寸.....	3
2.1.2 几何设计.....	4
2.2 介质与镀层	5
2.2.1 透镜介质.....	5
2.2.2 全吸收，全反射与全透射镀层定义	5
2.2.3 分光板镀层定义.....	5
2.2.4 滤光片镀层定义.....	6
2.3 光源设定	6
2.4 本章小结	7
第 3 章 优化分析	8
3.1 光线追踪	8
3.2 求最优曲率半径	8
3.2.1 较大范围内	8
3.2.2 较小范围内	9
3.2.3 优化前后对比	11
3.3 本章小结	11

结 论.....	12
参考文献.....	13
附录 A 源代码	14
A.1 介质与镀层	14
A.2 几何定义	16
A.3 光源	18

第 1 章 绪论

1.1 课题背景

1.1.1 原有分光系统缺点

实验室现有分光系统由 10 片可分出不同波长的分光板及其相应的滤光片构成。

光从光源经过透镜聚焦，打到了 340nm 的分光板上反射，选定波长的光被分光板反射了极大部分，再经过仅允许透射对应波长的滤光片，可以分出集中在 340nm、405 nm、450nm、492nm、510nm、546nm、578nm、630nm、700nm、800nm 波长的光。

如表1-1所示，经过实验检测，分光系统在 405nm 分光效率较高，但在其余波段附近分光效率极低，原因是原有的分光系统入射光路构造不合理，侧入射的光并打到 340nm 分光板上后，仅有小部分光透射经过滤光片；其余波段效率较低是由于平透镜曲率半径不合理，光路不准直所致。

表 1-1 实际实验测试光强结果

Table 1-1 The actual experiment test light intensity results

波长 (nm)	340	405	450	492	510	546	578	630	700	800
电压测试结果	0.579	1.076	0.432	0.237	0.264	0.320	0.339	0.228	0.291	0.355

1.1.2 改进目标

本课题的目的是对该分光系统进行优化，改进目标如下：

1. 利用 ASAP 软件修改原有光路，使光线由侧入射改为正入射，提高 340nm 波长光的分光效率。

2. 设光源到透镜距离一定，利用 ASAP 软件控制光源入射时经过的平透镜曲率半径变量，提高其余波段分光效率，得到曲率半径的最优解。

3. 用 ASAP 软件仿真得到的分光效率与原分光系统进行对比。

完成本课题要学会使用 ASAP 软件，下一节将对 ASAP 软件进行相关介绍。

1.2 ASAP 的介绍及应用

1.2.1 ASAP 简介

ASAP (Advance System Analysis Program) 本质上是一种灵活高效的光学系统建模工具。通过蒙特卡罗射线追踪技术, 可以模拟光与机械结构的相互作用。它是在一个独立的、全局的坐标系中完成的。可对光束进行反射、折射、衍射、散射、偏振、相干等分析。每个 ASAP 项目都分为四个步骤: Build the system (建立几何模型)、Create source/beams (创建光源)、Trace rays(光线追迹) 和 Perform the analysis(执行分析)。[1] ASAP 软件最早由美国 BRO 公司研发, 属于高级系统分析程序类软件。此软件具有非序列光线追迹引擎, 能够高效模拟复杂的成像系统与非成像系统的光学踪迹与能量分布情况。除此之外, 还能够仿真高斯光束, 利用高斯光束分解的方法对光的传播与波阵面进行精确的分析。还能够模拟光线中光的传播与光纤耦合, 相干光学系统等。[2] ASAP 提供两种编程方式, 单式工作窗和脚本语言。[1] 在本项目中使用脚本语言来定义几何结构与光源。

1.2.2 ASAP 应用

ASAP 软件在汽车车灯光学系统、生物光学系统、相干光学系统、光学成像、光导管系统、照明及医学仪器设计等诸多领域都有应用。该软件于 2004 年才被允许销售到我国, 国内已有的基于 ASAP 的应用有对变焦光学系统的分析 [3], 对 led 灯光学特性的模拟 [4], 探究影响光学图像因素的分析 [5] 等应用。

1.3 本文的主要研究内容

第一章为绪论, 阐述了论文的背景, 讨论了原有分光系统的缺点及优化后分光系统的改进目标; 对 ASAP 软件的背景, 使用方法及一些应用进行了介绍; 阐述了论文的主要内容与章节安排。

第二章构建了优化后的光学系统模型, 调研并定义了透镜介质, 分光板, 滤光片等光学器件; 定义了不同波长的光源, 为下一步的光线追踪做准备。

第三章以第二章的光学系统模型为基础, 进行光线追踪及结果分析; 设置了较大的步长, 找出了曲率半径的大致范围, 之后设置较小的步长, 得到误差允许范围内的曲率半径最优解。

结论部分对本课题进行了总结与分析。

第 2 章 分光系统的构建

2.1 几何模型

2.1.1 实物尺寸

改进后分光系统实物设计的尺寸如图2-1所示，该尺寸图由史慕予、于溪畅同学一组所设计。

对入射孔径，出射孔径，分光板间距，分光板倾角，透镜位置等都有严格的定义，和原系统相比，又多加了一个入射部分，内置一反射镜改变光线方向，并将透镜孔径由 6mm 改为了 12mm，增大了光线入射量，除了入射部分，其余部分几乎无改动，光线从光源发出后，经透镜会聚，打到反射板上，再依次经过各个分光板和滤光片，在出射孔出射，在此基础上在 ASAP 软件中进行几何模型构造。根据

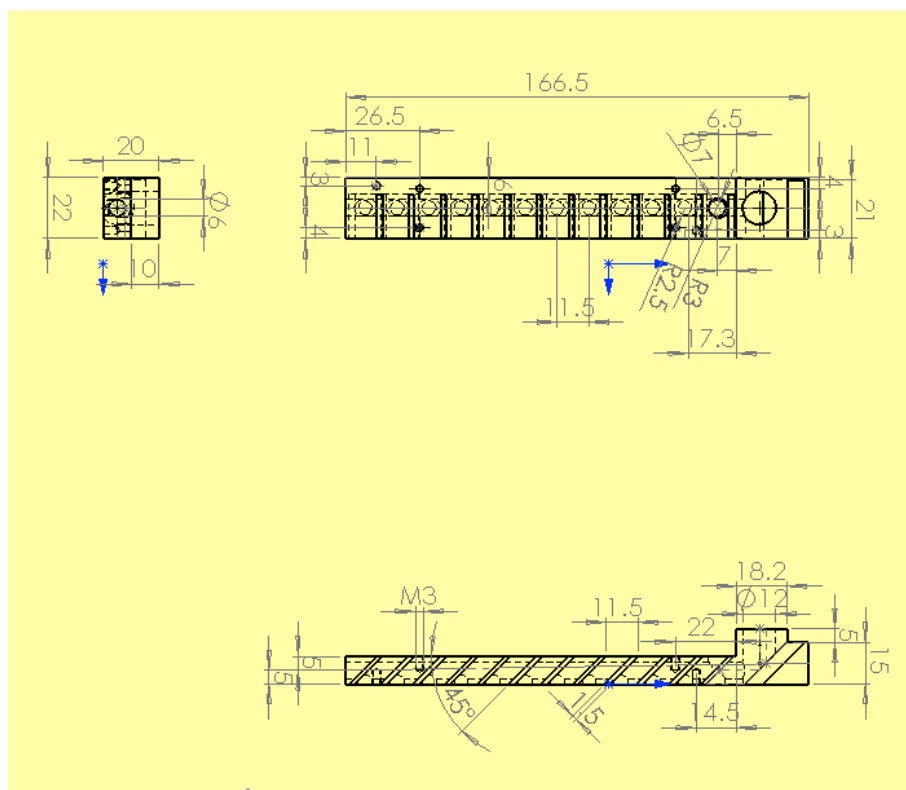


图 2-1 器件尺寸

Fig.2-1 Dimensions of the device

图2-1，可整理出用 ASAP 软件构造模型时会用到的几何参数，如表2-1所示。

表 2-1 实物的几何参数

Table2-1 Geometric parameters of the object

名称	数值	单位
分光板, 反射镜倾角	45	°
入射孔径	12	mm
出射孔径	5	mm
反射镜边长	2	cm
分光板间距	11.5	mm
分光板长	1.5	cm
分光板宽	1.4	cm
点光源到透镜距离	1.5	cm
光阑 1 孔径	12	mm
光阑 2 孔径	6	mm
光阑 2 到透镜中心垂直距离	9.1	mm
光阑 2 到透镜中心水平距离	9	mm
光阑 2 到反射镜中心水平距离	2.5	mm
光阑 2 到反射镜中心垂直距离	10.7	mm

2.1.2 几何设计

构造好的几何模型如图2-2所示，有一孔径为 12mm 的平透镜，凸面的曲率半

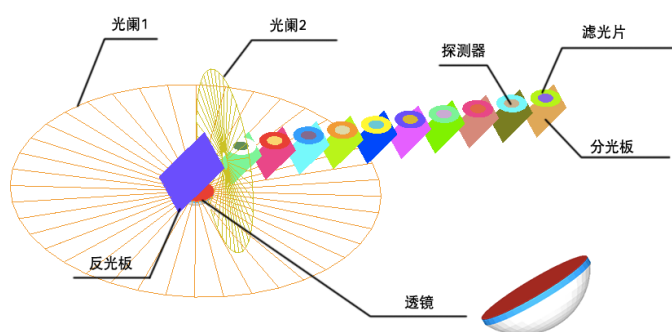


图 2-2 几何模型

Fig. 2-2 The geometric model

径未知需求最优解，平面与凸面间边缘小于 1mm，其周围的圆环是一个起全吸收作用的光阑 1，内径为透镜孔径，经过边长为 20mm 的反射镜反射，光线经过一内孔径为 6mm 的全吸收光阑 2，沿光线入射方向有等间距 11.5mm 的 10 个分光板，长宽为 15mm×14mm，旋转角度都为 45 度，共有十个出射孔径大小的探测器，大小为 5mm，之前有一略大于孔径的滤光片。

2.2 介质与镀层

定义好几何模型后，确定介质和镀层，在 ASAP 中介质与镀层的定义要确定在每个波长。介质定义实体，镀层定义边界。

2.2.1 透镜介质

在本分光系统中介质有空气和透镜，空气介质由于系统预存无需定义，只需定义透镜介质。

透镜的材质为二氧化硅，其折射率的 Sellmeier 方程 [6] 为

$$n^2 = 1 + \frac{0.696166\lambda^2}{\lambda^2 - 0.0684043^2} + \frac{0.4079426\lambda^2}{\lambda^2 - 0.1162414^2} + \frac{0.8974794\lambda^2}{\lambda^2 - 9.896161^2} \quad (2-1)$$

波长 λ 的单位为 μm 。由公式2-1可知不同波长下二氧化硅对应的折射率，如表2-2所示。

表 2-2 二氧化硅介质折射率与波长的关系

Table2-2 The relationship between refractive index and wavelength of silica media

波长 (nm)	340	405	450	492	510	546	578	630	700	800
折射率	1.4787	1.4696	1.4656	1.4628	1.4618	1.46	1.4588	1.457	1.455	1.453

2.2.2 全吸收，全反射与全透射镀层定义

透镜介质设定好后，透镜前表面与后表面的镀层设定为对光源所有波长全透射，透镜边缘镀层设定为全吸收。透镜外围光阑 1 镀层以及光阑 2 镀层也设定为全吸收防止多余光线干扰。反射板设定为全反射，十个出射孔径大小的探测器设定为全吸收，便于计算终止在该界面的光线。

2.2.3 分光板镀层定义

在十个分光板表面定义十个对应不同波长的镀层，如表2-3所示。设定分光板理想化即无吸收，透射率已知，反射率与透射率和为 1。

如表2-3中 578nm 对应的分光板，已知对 578nm 波长附近的光透射率为 0.72%，则反射率为 99.28%；对其余波段的透射率为 97.82%，反射率为 2.18%。按照此方法在 ASAP 软件中用脚本语言定义了对应十个波长下的分光板镀层。

表 2-3 分光板的透射率

Table2-3 Transmittance of the splitter

分光板对应波长 (nm)	选定波长透过率 (%)	其余波长透过率 (%)
340nm	0.4676695	97.4987
405nm	0.36468	95.697
450nm	0.4889	96.75536
492nm	0.02158	94.84
510nm	0	94.2
546nm	0.2886	95.9477
578nm	0.72	97.82
630nm	2.0739	97.12468
700nm	0.09697	98.36
800nm	0.12	95

2.2.4 滤光片镀层定义

在十个滤光片表面定义十个对应不同波长的镀层，如表2-4所示。设定滤光片理想化即对应波长有一定透过率，其余部分全部吸收，透射率已知，反射率皆为 0。

如表2-4中 340nm 对应的分光板，已知对 340nm 波长附近的光透射率为 68.07%，反射率为 0%；对其余波段的透射率为 0%，反射率为 0%，即全吸收。按照此方法在 ASAP 软件中用脚本语言定义了对应十个波长下的滤光片镀层。

表 2-4 滤光片的透过率

Table2-4 Transmittance of filters

波长 (nm)	340	405	450	492	510	546	578	630	700	800
透过率 (%)	68.07	74.95	81.33	87	82.18	76.32	79.34	84.37	78.57	87.76

2.3 光源设定

使用光源型号为 JC/CH 12V20W，光源光谱如图2-3所示。

辐射照度是指光源每平方厘米的辐射能功率，单位为 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ [7]， $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ 指某一波长对应的辐射照度。由图2-3可见，光源在 400nm 处辐射照度小，提高分光系统 340nm 与 405nm 的分光效率是必须的。

本课题中所需十个波长对应辐射照度如表2-5所示，340nm 的辐射照度图中未给出明确数值，由图像延长线暂定为 $0.02\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ 。按表2-5的数值分别定义十

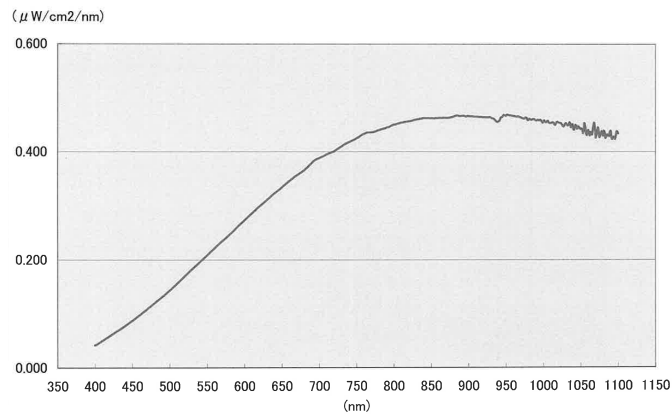


图 2-3 光源光谱

Fig.2-3 The light source spectrum

个波长的光源强度，光线追踪后对十个探测器上的光强进行分析。

表 2-5 十个波长对应辐射照度

Table2-5 Light source radiant illumination

波长 (nm)	辐射照度 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$)
340	0.02
405	0.04518
450	0.08703
492	0.1352
510	0.15778
546	0.20497
578	0.24317
630	0.31
700	0.388
800	0.44869

2.4 本章小结

本章调研并定了分光板，滤光片与光源的详细参数，完成了 ASAP 软件构建项目的四个基本步骤中前两个步骤，建立几何模型与创建光源。相关的源代码可在文末附录找到。

第 3 章 优化分析

3.1 光线追踪

如图3-1，是开始光线追踪后的光路图，光线经过透镜打到反射镜上，再经过一光阑，依次打到各个分光板上再透过滤波片出射，图3-1中光线不同反射面上颜色不同，清晰可观。不过在图3-1中，为了直观表示光路给读者，只定义了 2.5 万条光线，避免太多光线导致遮挡几何形状，实际光线数目单个波长的光源光线数目定为 25 万条，十个波长总共 250 万条光线。

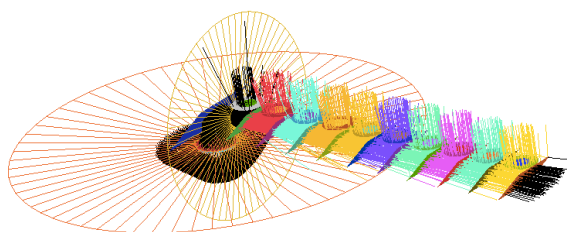


图 3-1 光线追踪

Fig.3-1 Rays tracing

3.2 求最优曲率半径

3.2.1 较大范围内

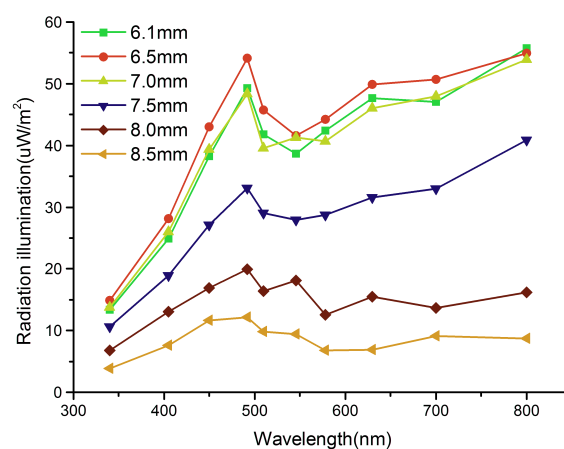


图 3-2 当透镜曲率半径为 6.1mm ~ 8.5mm 时，十个探测器上的辐射光照度

Fig.3-2 When the lens radius of curvature is 6.1mm ~ 8.5mm, the Irradiance on the ten detectors

为方便，在本章节中，所有的辐照光强度单位由 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 改为 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ， $1\mu\text{W}/\text{cm}^2=10^4\mu\text{W}/\text{m}^2$ ，便于保留更多非零位数，提高结果精确度。

改变透镜的曲率半径 R ，当 R 为 6.1mm, 6.5mm, 7.0mm, 7.5mm, 8.0mm, 8.5mm 时，十个探测器上的辐射光照度 ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) 如表3-1所示。整理表中数据后如图3-2， $R=6.1\text{mm}$ 时，除了 340nm 与 800nm 波段与 $R=6.5\text{mm}$ 时分光效率相近，其余波段的分光效率都小于 $R=6.5\text{mm}$ 时的分光效率， $R>6.5\text{mm}$ 时，随着 R 增大，分光效率变低，证明在 $R=6.5\text{mm}$ 附近时分光效率最高。

此时 R 变化步长为 0.5mm，这个结论的误差在 $E = \pm 0.5/6.5 = \pm 7.69\%$ 范围内，误差较大，以 6.5mm 为中心，减小步长到 0.2mm 进行下一步的细化分析。

表 3-1 当透镜曲率半径为 6.1mm, 6.5mm, 7.0mm, 7.5mm, 8.0mm, 8.5mm 时，十个探测器上的辐射光照度 ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)

Table3-1 When the lens radius of curvature is 6.1mm,6.5mm,7.0mm,7.5mm,8.0mm,8.5mm, the Irradiance ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) on the ten detectors

探测器	R=6.1mm	R=6.5mm	R=7.0mm	R=7.5mm	R=8.0mm	R=8.5mm
340nm	13.37	14.88	13.76	10.58	6.75	0.0388
405nm	24.91	28.16	26.05	18.91	13.09	7.62
450nm	38.27	43.01	39.39	27.17	16.9	11.6
492nm	49.32	54.15	48.4	33.06	19.91	12.1
510nm	41.83	45.69	39.57	29.03	16.4	9.84
546nm	38.69	41.61	41.33	27.91	18.08	9.4
578nm	42.39	44.21	40.63	28.71	12.55	6.75
630nm	47.63	49.86	46.04	31.54	15.45	6.9
700nm	47	50.73	47.95	32.97	13.7	9.07
800nm	55.77	54.93	53.89	40.91	16.2	8.67

3.2.2 较小范围内

以 $R=6.5\text{mm}$ 为中心，改变透镜的曲率半径 R ，当 R 为 6.3mm, 6.5mm, 6.6mm, 6.65mm, 6.7mm, 6.75mm, 6.8mm, 6.9mm 时，十个探测器上的辐射光照度 ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) 如表3-2，整理数据对比如图3-3。

一开始设 0.2mm 的步长，比较 R 为 6.3mm, 6.5mm, 6.7mm, 6.9mm 时，十个探测器上的辐射光照度， $R<6.7\text{mm}$ 时，随着 R 增大，分光效率变高， $R>6.7\text{mm}$ 时，随着 R 增大，分光效率变低，证明在 $R=6.7\text{mm}$ 附近时分光效率最好，这个结论的误差在 $E = \pm 0.2/6.7 = \pm 2.98\%$ 范围内。

表 3-2 当透镜曲率半径为 6.3mm, 6.6mm, 6.65mm, 6.7mm, 6.75mm, 6.8mm, 6.9mm 时, 十个探测器上的辐射光照度 ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)

Table3-2 When the lens radius of curvature is 6.3mm,6.6mm,6.65mm,6.7mm,6.75mm,6.8mm,6.9mm, the Irradiance ($\mu\text{W}/\text{m}^2$) on the ten detectors

探测器	R=6.3mm	R=6.6mm	R=6.65mm	R=6.7mm	R=6.75mm	R=6.8mm	R=6.9mm
340nm	12.6669	15.0569	15.0569	15.4442	14.6961	14.7034	14.5507
405nm	22.7839	30.9576	30.5303	31.0726	28.6114	29.5331	28.4178
450nm	34.7864	49.5507	48.6878	51.6057	42.6994	46.6897	43.8334
492nm	44.4767	61.7156	60.3396	68.1105	52.6785	57.0869	53.5169
510nm	38.2907	51.4071	49.9384	58.3262	45.1544	48.508	44.7993
546nm	35.748	48.392	47.3131	55.5079	43.5965	42.8669	43.3178
578nm	39.2514	48.2954	47.7213	54.3362	41.9822	46.4228	42.9295
630nm	40.4528	58.5216	57.7807	64.8195	48.6895	53.4492	51.5016
700nm	43.7643	61.3547	58.3677	64.4565	52.0032	55.4777	54.2444
800nm	52.3645	71.6053	67.8012	76.4334	60.4821	65.2746	63.8841

再计算 $R=6.8\text{mm}$, $R=6.75\text{mm}$, $R=6.65\text{mm}$, $R=6.6\text{mm}$ 时的光强分布与 $R=6.7\text{mm}$ 时对比, 随着 R 增大, 分光效率变高, $R>6.7\text{mm}$ 时, 随着 R 增大, 分光效率变低, 证明在 $R=6.7\text{mm}$ 附近时分光效率最好。这个结论的误差在 $E = \pm 0.05/6.7 = \pm 0.74\%$ 范围内, 这个误差在实际应用允许的范围之内。

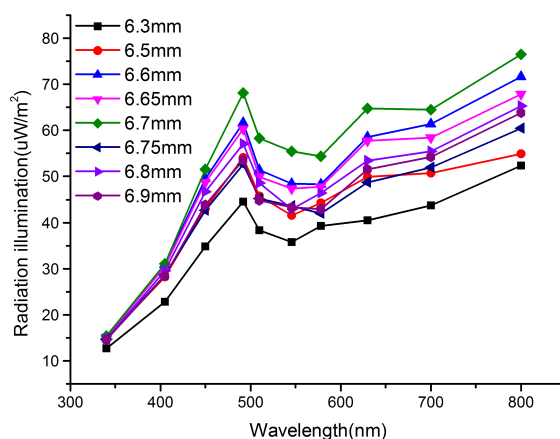


图 3-3 当透镜曲率半径为 6.3mm ~ 6.9mm 时, 十个探测器上的辐射光照度

Fig.3-3 When the lens radius of curvature is 6.3mm ~ 6.9mm, the Irradiance on the ten detectors

图3-4是 $R=6.7\text{mm}$ 时, xz 平面上十个光强探测器的光强分布图, z 峰值选取的是中心轴线, 峰值分布可以和图3-3中 $R=6.7\text{mm}$ 的图像相对应。

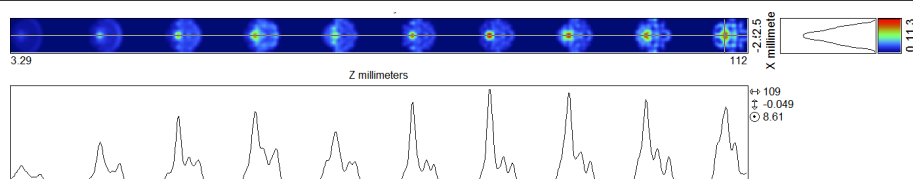


图 3-4 xz 平面上十个探测器的光强分布

Fig.3-4 The intensity distribution of 10 detectors on the x-z plane

3.2.3 优化前后对比

表3-3是与马相如同学做的原分光系统光强分布与优化后系统的光强分布对比。原分光系统的入射孔径为 6mm，改进后为 12mm，与原系统相比，改进后的系统在探测器上的辐射光照度分布更为均匀，且照度翻四倍以上，一是孔径增大入射光通量随之增大；二是有了合适的曲率半径，使得光路聚焦不会偏上或偏下，充分利用了每一块分光板与滤光片；三是在 340nm 分光板处变侧入射为正入射提高了 340nm 波段光利用率。

表 3-3 优化前系统与优化后系统对比

Table3-3 Comparison between the system before optimization and the system after optimization

波长 (nm)	优化前 (透镜孔径 6mm)	优化后 (透镜孔径 12mm)
340	0.05762	15.4442
405	1.15224	31.0726
450	2.30017	51.6057
492	3.71703	68.1105
510	3.88739	58.3262
546	4.35800	55.5079
578	5.19025	54.3362
630	6.77493	64.8195
700	7.80729	64.4565
800	9.95812	76.4334

3.3 本章小结

本章完成了 ASAP 软件构建项目的四个基本步骤中后两个步骤，光线追踪与结果分析。通过控制步长的方法改变曲率半径得到最优解， $R=6.7\text{mm}$ ，这个结论的误差在 $E = \pm 0.05/6.7 = \pm 0.74\%$ 范围内。并将优化后的光强分布与优化前的仿真结果做了对比，照度翻四倍以上，分布更均匀。

结 论

在老师指导下，经过一个小学期的努力，学习并使用 ASAP 软件对分光系统进行优化仿真，成功完成了以下任务：

1. 对 ASAP 软件的基本操作与四个使用步骤熟练掌握，对它的背景以及近年来在国内的应用有一定的了解，学习了 ASAP 脚本语言。

2. 通过调研，整理出了分光系统中透镜介质，分光板与滤光片在不同波长下的详细设置参数，并由光源的光谱分布设定合适的光源。

3. 利用 ASAP 软件，根据优化后分光系统的尺寸，介质、镀层参数设置与光源分布，编写了一套脚本语言进行优化后分光系统的模型构造。

4. 在原始光路的基础上构造出新光路。依次设置设置步长 0.5mm, 0.2mm, 0.05mm, 改变平透镜的曲率半径，进行了光线追踪与结果分析，多次重复得到曲率半径的最优解 6.7mm，这个结果的误差在 $\pm 0.74\%$ 范围内。

5. 用 ASAP 软件仿真得到的光强与原分光系统的仿真结果进行了对比，优化后的分光系统探测器上光强翻四倍以上，分布更为均匀。

参考文献

- [1] ASAP Primer[M/OL]. US: Breault Research Organization[2014-08-04]. <http://www.breault.com/knowledge-base/asap-primer>.
- [2] 王东方. 光学工程中光学软件的应用探析 [J]. 科研, 2015(23):9-9.
- [3] 方丽, 林峰, 邱怡申, et al. ASAP 模拟变焦系统中鬼像的研究 [J]. 应用光学, 2009, V30(6):958-963.
- [4] 闫春光, 檀柏梅, 袁景玉, et al. 基于 ASAP 软件的 LED 光学特性模拟 [J]. 现代显示, 2008(9):58-61.
- [5] 林远芳, 郑晓东, 郑赅, et al. 基于 ASAP 的“光学图像相加减”效果仿真及实验验证 [J]. 实验技术与管理, 2016, 33(3):105-111.
- [6] Akowuah E K, Gorman T, Ademgil H, et al. Numerical Analysis of a Photonic Crystal Fiber for Biosensing Applications[J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 2012, 48(11):1403-1410.
- [7] 周翔训. 紫外辐射照度计检定装置自动控制系统研究 [D].[S.1.]: 济南大学, 2015.

附录 源代码

A.1 介质与镀层

```
SYSTEM NEW
RESET
UNITS MILLIMETERS
WAVELENGTHS 340 405 450 492 510 546 578 630 700 800 NANOMETERS
MEDIA 1.4787 1.4696 1.4656 1.4628 1.4618 1.4601 1.4588 1.4571 1.4553 1.4533
'SIO2'
COATINGS PROPERTIES; 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 'TRANSMIT'
COATINGS PROPERTIES; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 'ABSORB'
COATINGS PROPERTIES; 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 'REFLECT'
COATINGS PROPERTIES; 0.99532331 0.0046766948 0.025013 0.974987
0.025013 0.974987 0.025013 0.974987 0.025013 0.974987 0.025013 0.974987 0.025013
0.974987 0.025013 0.974987 0.025013 0.974987 0.025013 0.974987 'REFLECT340'
COATINGS PROPERTIES; 0.04303 0.95697 0.9963532 0.0036468 0.04303
0.95697 0.04303 0.95697 0.04303 0.95697 0.04303 0.95697 0.04303 0.95697 0.04303
0.95697 0.04303 0.95697 0.04303 0.95697 'REFLECT405'
COATINGS PROPERTIES; 0.0324464 0.9675536 0.0324464 0.9675536 0.995111
0.004889 0.0324464 0.9675536 0.0324464 0.9675536 0.0324464 0.9675536 0.0324464
0.9675536 0.0324464 0.9675536 0.0324464 0.9675536 0.0324464 0.9675536 'RE-
FLECT450'
COATINGS PROPERTIES; 0.0516 0.9484 0.0516 0.9484 0.0516 0.9484 0.9997842
0.0002158 0.0516 0.9484 0.0516 0.9484 0.0516 0.9484 0.0516 0.9484 0.0516 0.9484
0.0516 0.9484 'REFLECT492'
COATINGS PROPERTIES; 0.058 0.942 0.058 0.942 0.058 0.942 0.058 0.942 1 0
0.058 0.942 0.058 0.942 0.058 0.942 0.058 0.942 0.058 0.942 'REFLECT510'
COATINGS PROPERTIES; 0.040523 0.959477 0.040523 0.959477 0.040523
0.959477 0.040523 0.959477 0.040523 0.959477 0.997114 0.002886 0.040523 0.959477
0.040523 0.959477 0.040523 0.959477 0.040523 0.959477 'REFLECT546'
```


A.2 几何定义

ENT OBJECT;OPTICAL Y -4.3 6.75 0 ELLIPSE 6 6 'L.FRONT' SHIFT 0 -10 -9.1
INTERFACE COATING TRANSMIT AIR SIO2

ENT OBJECT;OPTICAL Y 0 -50000 0 ELLIPSE 6 6 'L.BACK' SHIFT 0 -10 -9.1
INTERFACE COATING TRANSMIT AIR SIO2

ENT OBJECT;TUBE Y -4.3 6 6 0 6 6 0 0 'L.EDGE' SHIFT 0 -10 -9.1 INTERFACE
COATING ABSORB AIR SIO2 BOUNDS -.2 +.3

ENT OBJECT;PLANE Y 0 ELLIPSE 60 60 0.1 SHIFT 0 -10 -9.1 INTERFACE
COATING ABSORB AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Z 0.5 ELLIPSE 30 30 0.1 INTERFACE COATING ABSORB
AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Z -6 RECTANGLE 10.5 ROTATE X 45 0 -6 SHIFT 0 -2.5
-4.7 INTERFACE COATING REFLECT AIR AIR

ENT OBJECT;RECTANGLE Z 5.75 7 7 16 0 360 'L340' INTERFACE COATING
REFLECT340 AIR AIR ROTATE X 45 0 5.75

ENT OBJECT;RECTANGLE Z 17.25 7 7 16 0 360 'L405' INTERFACE COATING
REFLECT405 AIR AIR ROTATE X 45 0 17.25

ENT OBJECT;RECTANGLE Z 28.75 7 7 16 0 360 'L450' INTERFACE COATING
REFLECT450 AIR AIR ROTATE X 45 0 28.75

ENT OBJECT;RECTANGLE Z 40.25 7 7 16 0 360 'L492' INTERFACE COATING
REFLECT492 AIR AIR ROTATE X 45 0 40.25

ENT OBJECT;RECTANGLE Z 51.75 7 7 16 0 360 'L510' INTERFACE COATING
REFLECT510 AIR AIR ROTATE X 45 0 51.75

ENT OBJECT;RECTANGLE Z 63.25 7 7 16 0 360 'L546' INTERFACE COATING
REFLECT546 AIR AIR ROTATE X 45 0 63.25

ENT OBJECT;RECTANGLE Z 74.75 7 7 16 0 360 'L578' INTERFACE COATING
REFLECT578 AIR AIR ROTATE X 45 0 74.75

ENT OBJECT;RECTANGLE Z 86.25 7 7 16 0 360 'L630' INTERFACE COATING
REFLECT630 AIR AIR ROTATE X 45 0 86.25

ENT OBJECT;RECTANGLE Z 97.75 7 7 16 0 360 'L700' INTERFACE COATING
REFLECT700 AIR AIR ROTATE X 45 0 97.75

ENT OBJECT;RECTANGLE Z 109.25 7 7 16 0 360 'L800' INTERFACE COATING

REFLECT800 AIR AIR ROTATE X 45 0 109.25

ENT OBJECT;PLANE Y 5 ELLIPSE 2.5 2.5 'A1' SHIFT 0 0 5.75 INTERFACE
COATING ABSORB AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 5 ELLIPSE 2.5 2.5 'A2' SHIFT 0 0 17.25 INTERFACE
COATING ABSORB AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 5 ELLIPSE 2.5 2.5 'A3' SHIFT 0 0 28.75 INTERFACE
COATING ABSORB AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 5 ELLIPSE 2.5 2.5 'A4' SHIFT 0 0 40.25 INTERFACE
COATING ABSORB AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 5 ELLIPSE 2.5 2.5 'A5' SHIFT 0 0 51.75 INTERFACE
COATING ABSORB AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 5 ELLIPSE 2.5 2.5 'A6' SHIFT 0 0 63.25 INTERFACE
COATING ABSORB AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 5 ELLIPSE 2.5 2.5 'A7' SHIFT 0 0 74.75 INTERFACE
COATING ABSORB AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 5 ELLIPSE 2.5 2.5 'A8' SHIFT 0 0 86.25 INTERFACE
COATING ABSORB AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 5 ELLIPSE 2.5 2.5 'A9' SHIFT 0 0 97.75 INTERFACE
COATING ABSORB AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 5 ELLIPSE 2.5 2.5 'A10' SHIFT 0 0 109.25 INTERFACE
COATING ABSORB AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 4.95 ELLIPSE 5 5 'T340' SHIFT 0 0 5.75 INTERFACE
COATING TRANSMIT340 AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 4.95 ELLIPSE 5 5 'T405' SHIFT 0 0 17.25 INTERFACE
COATING TRANSMIT405 AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 4.95 ELLIPSE 5 5 'T450' SHIFT 0 0 28.75 INTERFACE
COATING TRANSMIT450 AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 4.95 ELLIPSE 5 5 'T492' SHIFT 0 0 40.25 INTERFACE
COATING TRANSMIT492 AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 4.95 ELLIPSE 5 5 'T510' SHIFT 0 0 51.75 INTERFACE
COATING TRANSMIT510 AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 4.95 ELLIPSE 5 5 'T546' SHIFT 0 0 63.25 INTERFACE
COATING TRANSMIT546 AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 4.95 ELLIPSE 5 5 'T578' SHIFT 0 0 74.75 INTERFACE
COATING TRANSMIT578 AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 4.95 ELLIPSE 5 5 'T630' SHIFT 0 0 86.25 INTERFACE
COATING TRANSMIT630 AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 4.95 ELLIPSE 5 5 'T700' SHIFT 0 0 97.75 INTERFACE
COATING TRANSMIT700 AIR AIR

ENT OBJECT;PLANE Y 4.95 ELLIPSE 5 5 'T800' SHIFT 0 0 109.25 INTERFACE
COATING TRANSMIT800 AIR AIR

A.3 光源

WAVELENGTH 340 NM GRID ELLIPTIC Y -20 -6 6 -6 6 500 500 SHIFT Z -9.1
SOURCE POSITION 0 -25 -9.1 FLUX TOTAL 200 SOURCES 1

WAVELENGTH 405 NM GRID ELLIPTIC Y -20 -6 6 -6 6 500 500 SHIFT Z -9.1
SOURCE POSITION 0 -25 -9.1 FLUX TOTAL 451.8 SOURCES 2

WAVELENGTH 450 NM GRID ELLIPTIC Y -20 -6 6 -6 6 500 500 SHIFT Z -9.1
SOURCE POSITION 0 -25 -9.1 FLUX TOTAL 870.3 SOURCES 3

WAVELENGTH 492 NM GRID ELLIPTIC Y -20 -6 6 -6 6 500 500 SHIFT Z -9.1
SOURCE POSITION 0 -25 -9.1 FLUX TOTAL 1352 SOURCES 4

WAVELENGTH 510 NM GRID ELLIPTIC Y -20 -6 6 -6 6 500 500 SHIFT Z -9.1
SOURCE POSITION 0 -25 -9.1 FLUX TOTAL 1577.8 SOURCES 5

WAVELENGTH 546 NM GRID ELLIPTIC Y -20 -6 6 -6 6 500 500 SHIFT Z -9.1
SOURCE POSITION 0 -25 -9.1 FLUX TOTAL 2049.7 SOURCES 6

WAVELENGTH 578 NM GRID ELLIPTIC Y -20 -6 6 -6 6 500 500 SHIFT Z -9.1
SOURCE POSITION 0 -25 -9.1 FLUX TOTAL 2431.7 SOURCES 7

WAVELENGTH 630 NM GRID ELLIPTIC Y -20 -6 6 -6 6 500 500 SHIFT Z -9.1
SOURCE POSITION 0 -25 -9.1 FLUX TOTAL 3100 SOURCES 8

WAVELENGTH 700 NM GRID ELLIPTIC Y -20 -6 6 -6 6 500 500 SHIFT Z -9.1
SOURCE POSITION 0 -25 -9.1 FLUX TOTAL 3880 SOURCES 9

WAVELENGTH 800 NM GRID ELLIPTIC Y -20 -6 6 -6 6 500 150 SHIFT Z -9.1
SOURCE POSITION 0 -25 -9.1 FLUX TOTAL 4486.9 SOURCES 10