

# 简要介绍计算光学

邓子平 [多物理场仿真技术](#)



光能被人看得见感受到，因此在早期是和天文学，力学，几何，热等最早发展起来的自然学科，但是由于认知的限制，在相当长一段时间内，光被认为是一种沿直线传播的微粒流，这种理论能很好解释光沿直线传播，反射，折射等现象，但无法解释偏振，干涉，衍射等现象，后来惠更斯提出了光的机械波动理论，再后来托马斯和菲涅尔等人测定了光的波长，完善了光的波动理论，解释了光的干涉，衍射现象，大大推动了光学的发展；再后来麦克斯韦在前人基础上建立了麦克斯韦方程，预言了电磁波的存在，并提出光也是一种波长较短的电磁波，事实证明光也是电磁波的一种。

很多人都听说过19世纪笼罩在物理学晴朗天空中的两朵乌云，这是19世纪最后一天，英国著名物理学家威廉·汤姆森(即开尔文男爵)在新年祝词上回顾物理学取得成就提出的，其中一朵乌云是关于光的波动理论以太论与实际实验相结果互矛盾；第二朵乌云也就是黑体辐射实验结果和经典物理理论相差甚远。正是这两朵“乌云”导致了后来相对论和量子力学的出现和发展。而这两个问题也都恰恰和光学有关。

简单介绍了光学的发展历史，可以看出，光的本质非常复杂，远远超过人们可见光的理解范畴。而事实上，目前用来解释光本质的使用的是光的“波粒二象性”，即光既有波动特性，又有经典的粒子的特性。

1905年爱因斯坦提出了光量子的概念，简称“光子”，指出光子是传递电磁相互作用的基本粒子，光子的静止质量为0，光子以光速运动，具有能量和质量。光子的能量和光的振动频率成正比，当物体发出光或者吸收光时候，都需要通过光子来传递能量，人所看见的光也就是来自于光子发出的能量，光既然是一种电磁波，也就有频率和波长，人类肉眼可见的电磁波频率范围在400纳米到760纳米之间，1纳米等于 $10^{-9}$ 次方米。

光学的研究和应用范围相当广泛。本文简要介绍一下计算光学相关的一些理论，研究方法。

## 几何光学

几何光学是以光线作为基础概念，用几何的方法研究光在介质中的传播规律和光学系统的成像特点的学科。几何光学把研究光经过介质的传播问题归结为如下几个定律：直线传播，独立传播，折射

和反射。这是研究光的传播现象，规律以及物体经过光学系统成像特性的基础。

几何光学主要研究光学系统的成像问题，涉及到一些光学参数，成像关系，传播介质设计等等。是计算光学中主要内容之一。

## 波动光学

前面介绍过光本质上是一种电磁波，所以可以用麦克斯韦方程来描述，而几何光学，则是当波长趋于0的时候的波动光学的一种近似。后续会更详细的介绍电磁波理论，并介绍光的电磁波的相关特点。

## 干涉

光的干涉现象是光的波动性的重要特征。1801年杨氏双缝干涉实验证明了光可以发生干涉。其后，菲涅尔等人用波动理论很好的说明了干涉现象的各种细节。光的干涉技术在科学技术的许多方面都有广泛的应用。光波服从波的叠加原理，在两个或者多个光波叠加区域，某些点的振动始终加强，另一些点的振动始终减弱，该区域内在观察时间里形成的光强强弱分布的现象称为光的干涉现象。光波的频率相同，振动方向相同和相位差恒定是能产生干涉的必要条件。满足干涉条件的光波称为相干光波，相应的光源成为相干光源。

## 衍射

光的衍射是光的波动性的主要标志之一。建立在光的直线传播定律基础上的几何光学不能解释光的衍射现象，这种现象的解释要依赖于波动光学。历史上最早成功地运用波动光学原理解释衍射现象的是菲涅耳(1818年)，他把惠更斯在17世纪提出的惠更斯原理用干涉理论加以完善，发展成为惠更斯-菲涅耳原理，从而相当成功地解释了光的衍射现象。在光的电磁理论出现之后，人们知道光是一种电磁波，因而光波通过小孔之类的衍射问题应该作为电磁场的边值问题来处理。但一般这种普遍解法很复杂，实际所用的衍射理论都是一些近似解法。

## 偏振光

根据偏振的特点，可以分为自然光，偏振光，部分偏振光。光矢量的方向和大小有规则变化的光称为偏振光。自然光在传播过程中，由于外界的影响，造成各个振动方向上的强度不一样，叫做部分偏振光。

## 傅里叶光学

傅里叶光学是把通信理论，特别是其中的傅里叶分析(频谱分析)方法引入到光学中逐步形成的一个分支，它是现代物理光学的重要组成部分。

光学系统通常是用来成像的，从物平面上的复振幅分布或光强分布得到像平面上的复振幅分布或光强分布。从通信理论的观点来看可以把物平面上的复振幅分布或光强分布看作是输入信息，把物平

面叫作输入平面，把像平面上的复振幅分布或光强分布看作是输出信息，把像平面叫作输出平面。光学系统的作用在于把输入信息转变为输出信息，只不过光学系统所传递和处理的信息是随空间变化的函数，而通信系统传递与处理的信号是随时间变化的函数。

光学系统和通信系统具有相似，不仅在于两者都是用来传递和变换信息，而且在于这两种系统都具有一些相同的基本性质，如线性和空(时)间不变性等，因此都可以用傅里叶分析（频谱分析）方法来描述和分析。通信理论的许多经典的概念和方法，如滤波、噪声中信号的提取，相关、卷积等，都被移植到光学中来，形成了光学传递函数、光学信息处理、全息术等现代光学发展的新领域。

## 现代光学系统

随着技术的发展，利用现代光学技术，发展出了各种现代光学系统，比如激光光学系统，傅里叶光学系统，扫描光学系统，光纤光学系统等等，这些都是现代光学快速发展的成功应用。

综上所述，计算光学既涉及到用几何光学，又有波动光学计算特性，比常人想象的可见光概念复杂的多，光学串起了从宏观到量子微观，从普通成像到电磁波等几乎整个理论物理体系。

商业光学软件种类繁多，常见的有

ZEMAX

ASAP

OPTIAMP\_DESIGN

CODE-V

speos

还有刚被ANSYS收购的FDTD solution