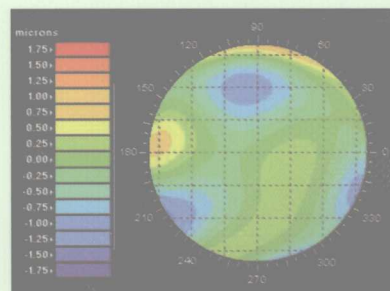
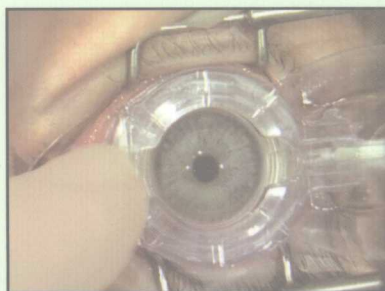
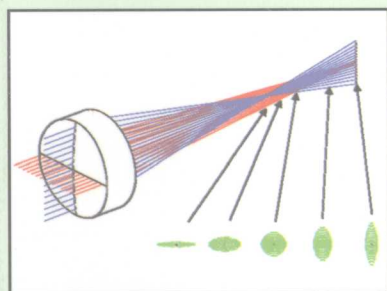


眼科手术新进展

眼波前引导的 屈光手术学

Ocular Wavefront-Guided
Refractive Surgery

◎ 主 编 李耀宇



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

眼科手术新进展——

眼波前引导的屈光手术学

Ocular Wavefront-Guided Refractive Surgery

主 编 李耀宇

 人民军医出版社
PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

眼波前引导的屈光手术学/李耀宇主编. — 北京: 人民军医出版社, 2009.1
ISBN 978-7-5091-2254-9

I. 眼… II. 李… III. 屈光不正—眼外科手术 IV. R779.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 189458 号

策划编辑: 郭伟疆 文字编辑: 贡书君 责任审读: 余满松
出版人: 齐学进
出版发行: 人民军医出版社 经 销: 新华书店
通信地址: 北京市 100036 信箱 188 分箱 邮 编: 100036
质量反馈电话: (010) 51927270; (010) 51927283
邮购电话: (010) 51927252
策划编辑电话: (010) 51927272
网址: www.pmmp.com.cn

印刷: 北京天宇星印刷厂 装订: 恒兴印装有限公司
开本: 787 mm × 1092 mm 1/16
印张: 15.75 字数: 290千字
版、印次: 2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
印数: 0001~2800
定价: 150.00 元

版权所有 侵权必究
购买本社图书, 凡有缺、倒、脱页者, 本社负责调换

内容提要

眼波前引导的屈光手术是当今眼科准分子激光屈光性角膜切削术的最新发展。本书详细论述了眼波前像差检查的原理和各种检查方法，重点介绍了 VISX 波前像差仪的原理、使用方法、使用技巧和复杂情况的处理，并对波前引导的屈光手术、虹膜定位手术、老视手术、飞秒激光技术等进行了全面介绍。书中还加入了特殊病例的手术设计和体会，以病例分析和处理的形式给读者以最直接、最实用的解决方法。本书内容新颖，图文并茂，非常适合眼科医师和有意取得准分子激光机使用资格的医务人员阅读，也可作为全国大型医用设备使用人员上岗资格考试的培训教程。

前言

屈光不正是眼科最重要的疾病之一，佩戴眼镜是最早矫正方法，随后是角膜接触镜技术。尽管放射状角膜切开术和白内障人工晶状体植入术也是屈光不正治疗的可选方法。但是，直到1988年Marguerite McDonald进行了第一例准分子激光屈光性角膜切削术（PRK）和1990年Ioannis Pallikaris进行了第一例准分子激光原位角膜磨削术（LASIK）之后，角膜屈光手术才成为屈光不正矫正的最主流手术，据估计，到目前为止，全世界已有上千万例患者接受了准分子激光角膜屈光矫正手术。

随着准分子激光角膜屈光手术的快速发展，人们对手术的要求越来越高。一方面，眼科医生在寻找更安全、更薄和更易制作的角膜瓣的方法，提出了Epi-LASIK和LASEK等表面切削手术，角膜前弹力层下的SBK手术以及利用飞秒激光来制作薄角膜瓣的LASIK技术。另一方面则是利用先进的检测方法和治疗理念来达到进一步提高视觉质量的目的，波前和角膜地形图引导的个体化屈光手术的出现就成角膜屈光手术的另一个新潮流。

波前像差作为一个物理学概念，已广泛应用于天文学和军事领域。随着准分子激光屈光矫正手术的不断发展，屈光不正的概念在不断延伸和发展，像差理论和波前像差技术已经逐渐被眼科专家所理解和认识。借助于先进的波前像差检查设备，可以检测出人眼存在的各种像差，并通过波前引导的LASIK手术可以将人眼的屈光不正（低阶像差）和高阶像差很好地矫正，从而在矫正视力的基础上还能有效地改善诸如对比度、色彩饱和度、暗视力等人眼的视觉质量。由于技术的先进以及人们对视觉质量的不断追求，波前引导的屈光手术目前在国外已经成为屈光手术的主流和发展方向。主要的准分子激光机厂家都开发出了自己波前像差检查和手术治疗系统。

作为屈光手术人数最多的国家之一，目前我国波前引导的屈光手术开展并不理想，绝大多数医院仍然处于常规屈光手术阶段。主要原因在于：①对像差和波前像差概念及意义的理解或认识不足；②波前引导的屈光手术需要良好的准分子激光设备和波前像差检查设备，国内许多设备还达不到这样的要求；③医生观念的因素；④手术经验的因素；⑤患者对该手术认知滞后的影响等。如果说因设备因素而无法开展手术还可以理解的话，那么相当多的医院已经拥有了相应的准分子激光机和配

套的波前像差检测设备,而手术开展却仍然很少。其中,最重要的原因在于大多数医生并没有很好地理解波前像差的概念,不能正确地使用像差仪,没有真正地理解波前引导手术的意义,从而无法理解和分析像差检查中的各种图形及数据。而如果按照简单的思维去手术的话,自然会导致手术效果的不满意和患者的不理解等,从而失去进一步手术的信心。因此,如何快速提高波前引导的手术的理论水平,已成为该手术推广的主要问题。作为国内波前手术开展比较早,病人数量较多的单位,我们受 AMO 公司屈光部和桦莹公司的委托和信任,已对国内多家医院 VISX 用户进行了波前引导手术的培训。由于国内外没有相应的教材可供参考,需要有一套系统的培训讲义才能更好地解决 VISX 用户所存在的诸多问题。所以,本书最初是以医生培训为目的进行编写的,随着所涉及的内容增多,我们认为必须有详细而系统的基础理论知识才能正确运用好波前引导手术的技术。本书就是在这个思想指导下完成的,同时也是作者对 4 000 多例波前引导手术的体会以及对部分术后效果不理想病例修复的经验总结,以供同仁初学时参考,为国内波前引导屈光手术的推广和发展尽微薄之力。

由于作者都是临床医生,对物理学尤其是光学部分的知识有限,而这些基础知识是临床手术原理的基础,必须绝对严谨无误,因此本书的基础部分是在西安交通大学物理系吴寿镒教授的指导下完成的,同时也参考了 Guang-ming Dai 所著的《Wavefront Optics for Vision Correction》书中的部分内容。本书前四章为基础知识部分,其中第一章重点讲述了像差的概念及分类,第二章则主要讨论波前像差的问题,第三章是波前像差的检查原理和方法,第四章则是角膜激光手术的切削原理。第五章是 VISX 波前像差仪的使用方法和技巧,第六章是波前引导的屈光手术,第七章为虹膜定位手术,第八章是一些特殊病例的手术经验和体会,第九章和第十章分别介绍了老视手术和飞秒激光技术。尽管我们尽了最大的努力,但仍然感到书中的许多内容不是很满意。作为临床医生,我们希望在今后的学习和工作中不断改进。再次感谢 AMO 公司屈光部和桦莹公司的帮助,他们为本书提供了大量的素材。感谢第四军医大学唐都医院眼科的章应华教授和张东杲教授,他们是我走入屈光领域的启蒙老师。更要感谢北京军区总医院眼科和准分子激光中心一起工作的同仁,他们为我科屈光手术的发展付出了巨大的心血和努力。另外,本书的出版得到了北京民众眼科医院和人民军医出版社的大力支持,在此表示衷心感谢。

李耀宇

2008 年 10 月 8 日

目 录

第一章 像 差	1
第一节 像差的概念	1
第二节 像差的分类	2
一、理想成像	2
二、单色像差和色像差	3
三、初级像差和次级像差	8
四、低阶像差和高阶像差	9
五、人眼的低阶像差和高阶像差	9
第三节 像差对眼视觉质量的影响	10
一、像差对人眼视觉质量影响的成因	10
二、像差对人眼视觉质量的影响因素	11
三、像差对视觉质量的影响	12
第四节 屈光手术后高阶像差产生的原因	15
第二章 波前像差	17
第一节 光的波动性和光信息传递	17
第二节 波前像差的产生	18
一、波前像差产生的原因	18
二、波前像差的描述	19
第三节 波前像差的数学表达	21
第四节 波前像差的 Zernike 多项式表示法	27
一、Zernike 多项式的定义	27
二、Zernike 多项式的特性	28
三、Zernike 系数与波前屈光之间的关系	30
四、Zernike 多项式对眼波前的分析	31
五、Zernike 多项式对眼波前的重建	31
第五节 波前像差的傅立叶表示法	33
一、傅立叶光学	33

二、傅立叶级数	33
三、傅立叶数据转换和重建	35
第六节 Zernike 和傅立叶重建的区别	37
一、Zernike 和傅立叶重建的区别	37
二、傅立叶级数和 Zernike 多项式之间的互换	39

第三章 眼波前像差的检查 42

第一节 波前像差检查的历史	42
第二节 波前像差的检测方法	43
第三节 波前像差的主观检测法	44
一、Twyman-Green 干涉仪	44
二、可调节入射光线折射仪	45
三、Scheriner-Smirnov 检测法	45
第四节 波前像差的客观检测法	46
一、Hartmann-Shack 像差仪	46
二、Tscherning 视网膜成像像差仪	49
三、光线追迹像差仪	50
第五节 波前像差检查的应用	51
一、眼部疾病的诊断	51
二、波前引导的屈光手术	52
第六节 VISX 波前像差仪新旧版的比较	53
一、矫正范围和光学区	53
二、检测范围和精度	53
三、治疗范围	53
四、其他功能	54
第七节 像差检查的表示方法和表现形式	54
一、点扩散函数	54
二、均方根值	56
三、高阶像差的百分比	58
四、有效模糊	58
五、主要像差类型在像差检查图中的表现形式	58

第四章 角膜激光手术的切削原理 60

第一节 屈光手术激光的能量类型	60
一、高斯光束	61
二、大礼帽光束	61
三、方案适合的比较	62

第二节 角膜屈光手术的切削深度计算法	63
一、Munnerlyn 公式与近视的矫正	64
二、远视的矫正	65
三、散光的矫正	66
第三节 个性化手术的切削原理	68
一、波前引导的矫正	68
二、切削公式	69
第四节 准分子激光角膜切削的影响因素和补偿	69
一、可变的角膜屈光指数	70
二、角膜弯曲度的差异（余弦效应）	70
三、Munnerlyn 公式和 Zernike 离焦的区别	73
四、角膜组织的脱水	75
五、激光能量的波动	75
六、角膜生物力学的改变和愈合反应	76
第五节 角膜屈光手术切削深度表	77
一、常规 LASIK 手术切削深度表（VISX STAR S4-IR 激光机）	77
二、常用激光器的切削深度比较	80
三、VISX 波前引导手术与传统手术的切削深度比较	80

第五章 VISX Wavefront 像差仪的使用方法 83

第一节 主要硬件的位置和作用	83
一、电脑主机和显示器	83
二、隔离变压器	83
三、电源	83
四、发光二极管	83
五、光度头	83
六、打印机	84
七、电动桌	84
第二节 软件界面概况	84
第三节 开机和机器的校准	85
一、自检	85
二、校准	85
第四节 检查程序的使用	88
一、检查程序的界面设计格式	88
二、建立新病历和寻找旧病历	88
三、新患者的检查	91
四、旧患者的检查	96
五、手动方法检查	96

第五节 浏览程序的使用	97
一、患者寻找界面的介绍和意义	97
二、视图类型及意义	99
三、主要图标的介绍和意义	104
四、打印选项和图像类型	104
五、常用视窗的设置及目的	106
六、挑选患者检查结果应遵循的原则	107
第六节 数据处理程序的使用	108
一、程序界面的介绍和意义	108
二、病人选择界面的使用方法	108
三、术前检查界面的使用方法	109
四、手术设计界面的使用方法	110
五、数据处理界面的使用方法	112
第七节 工具程序的使用	115
一、关机	115
二、临床设置	116
三、治疗设置	118
四、系统设置	119
五、数据库维护	120
六、系统维护	124

第六章 波前引导的屈光手术 126

第一节 历史与现状	126
第二节 手术的意义	127
一、验光结果更准确	127
二、可提升影像的清晰度	128
三、夜间视力更好	128
四、修复手术后的残留问题	128
第三节 术前检查的预备知识	129
一、对验光的理解	129
二、双眼平衡的问题	132
三、对比敏感度检查	132
四、停止使用角膜接触镜	134
五、波前像差仪检查前的注意事项	134
第四节 手术的要求	136
一、手术室环境要求	137
二、手术操作要求	137
三、医生调整和列线图 (Nomogram) 的调整	138

第五节 手术效果的影响因素	139
一、技术本身和设备的影响	139
二、操作者水平的差异	139
第六节 手术效果	140
一、低中度近视散光	141
二、高度近视散光	142
三、远视散光	142
四、混合散光	142
第七节 存在的问题	142
一、学习周期长	143
二、眼球旋转和瞳孔中心改变会明显影响手术效果	143
三、手术愈合过程中的像差变化无法预测	143
四、像差会随年龄而改变	143
五、无法解决角膜特别不规则的问题	144
第八节 波前“优化”手术	144
一、波前优化手术的原理	144
二、波前优化与波前引导切削的区别	144
三、结论	145
第七章 虹膜定位手术	146
第一节 眼球旋转的概念	146
第二节 眼球旋转对屈光手术的影响	147
一、患者手术时的眼球旋转状态	147
二、眼球旋转的影响因素	147
三、眼球旋转对散光矫正的影响	149
四、眼球旋转对高阶像差矫正的影响	149
第三节 眼球旋转的控制方法	152
一、注意灯光亮度的调整	152
二、摆正患者的体位和头位	152
三、角膜缘的标记	152
四、虹膜定位技术	153
第四节 瞳孔大小的变化及其对瞳孔中心的影响	153
一、正常情况下瞳孔的大小和形态	153
二、VISX 波前像差仪对瞳孔的检测	153
三、瞳孔中心和角膜顶点的关系	154
四、与瞳孔有关的一些概念	154
五、瞳孔中心移位的概念	155
六、瞳孔中心移位对屈光手术的影响	156

第五节 虹膜定位的概念	161
一、虹膜的特征性	161
二、虹膜定位技术的优势	161
三、虹膜定位技术的缺点	161
第六节 虹膜定位手术的意义	162
一、确定患者的身份和眼别	162
二、纠正眼球旋转所造成的切削误差	162
三、纠正瞳孔中心的偏离	162
四、同时解决患者的各种像差	163
五、不论 LASIK 还是 PRK 均可使用	163
第七节 虹膜定位实现的方法	163
一、虹膜定位实现的前提	163
二、VISX 虹膜定位实现的原理	164
三、博士伦 Zyoptix100 的解决方案	167
第八节 手术的要点和注意事项	168
一、正确的检查方法	168
二、正确选择检查结果	168
三、调出患者的数据资料	168
四、手术操作	169
五、注意事项	171
六、无法进行虹膜定位时的分析和处理	171
第九节 虹膜定位手术的评价	172
一、不能完全取代常规的 LASIK 手术	172
二、虹膜定位手术准确性的问题	173
三、不能够完全相信机器的提示	173
四、要正确地选择取舍	174
五、保持灯光有一定的亮度	174

第八章 特殊病例的设计和体会	176
-----------------------	------------

第一节 调节过强患者的手术设计	176
一、调节的基础	176
二、调节异常	176
三、调节过强患者的确定	177
四、调节过强患者的波前像差检查	177
五、调节过强患者的手术设计	178
第二节 二次修复手术的手术设计	179
一、原因分析和类型	179
二、术前检查	180
三、手术原则	182

四、手术设计	183
第三节 远视患者的手术设计	186
一、远视的治疗范围	186
二、术前检查	187
三、手术设计应遵循的原则	188
四、手术设计举例	188
第四节 虚拟镜片的使用	190
一、概念	190
二、使用目的	191
三、使用方法	191
四、注意事项	193
第五节 薄角膜高度数患者的手术体会	194
一、常规 LASIK 手术的设计	194
二、波前引导手术的设计	195
三、分区切削 LASIK 手术的设计	195

第九章 老视手术 199

第一节 老视的发生	199
一、老视的发病机制	199
二、老视的临床表现	199
三、近视力的标准	200
四、老视的配镜治疗	200
五、老视的手术治疗	201
第二节 准分子激光多焦老视手术	203
一、手术原理	203
二、病人选择	208
三、术前评估	209
四、术前检查	209
五、手术设计和手术技术	210
六、环境要求	211
七、手术示例	211
第三节 手术后干眼的问题	212
一、及早明确诊断	212
二、积极治疗	212
第四节 对老视手术的评价	213
一、准分子激光老视手术是目前最好的老视手术	213
二、老视手术的局限性	214

第十章 飞秒激光技术	215
第一节 飞秒激光角膜手术的历史	215
第二节 飞秒激光简介	216
一、基本概念	216
二、基本特性	216
三、基本组成	216
四、主要用途	217
第三节 飞秒激光的工作原理	217
一、飞秒激光的光谱	218
二、飞秒激光的工作原理	218
三、Intralase 飞秒激光机的特性	219
四、光路传输系统	219
五、光破裂效应	219
第四节 飞秒激光机的系统组成	221
一、激光控制台	221
二、光束传输装置	221
三、装载台	222
四、控制面板和操纵杆	222
五、手术显微镜	223
六、连接套件	223
七、显示面板和键盘	226
八、系统的电源	226
九、紧急切断按钮	226
第五节 角膜瓣的手术	226
一、基本要求和操作	226
二、软件操作	228
三、操作使用的注意事项	229
四、手术的优点	230
五、手术的缺点	232
第六节 角膜的其他手术	233
一、角膜基质环手术	233
二、角膜移植手术	234
三、其他类型的角膜手术	235
参考文献	236

第一章 像 差

像差是物理学的概念，最早仅仅用于天文学的研究和观测，其目的是补偿大气干扰所造成的天文观测误差，使星空观测更远和更清晰。之后，像差理论进入军事、视觉研究和激光传播领域。其中，像差引入到眼科尤其是眼科手术后极大地丰富和提高了眼科医生对视觉的认识，使原本无法解释和认识的视觉问题得到了重新认识和评价，同时还促使医生运用像差理论来检查患者的视觉质量和指导相关的视力矫正手术，从而更有效地解决人眼视觉质量问题。

第一节 像差的概念

人眼的功能就是“看”。所谓“看见”什么物体，就是指由该物体发出的光，或是由外界照射到物体上反射出来的光，经过眼球这个“光学系统”后会聚到视网膜上所产生的感觉。人眼是自然界赋予我们的一种优质高效的光学系统，而人工制造的各种光学设备，例如照相机、摄像机、显微镜、望远镜等则都是为达到特定目的而设计和生产的光学观测类产品。

一切光学设备从根本上说，都是使物体（光源）射出的光，通过某一由各类透镜（如凹透镜、凸透镜以及它们的适当组合）和反射镜等组成的光学系统，在适当的位置进行成像，并用某种方法（如用照相底片、CCD等）记录下来。而在设计光学系统时，多数情况下采用的是几何光学方法。几何光学中最基本的原理和方法就是光线的反射和折射等，这些在中学物理课程中已有所介绍并为广大眼科医生所熟知。但是，对于光学仪器的研究、设计和生产人员，仅有几何光学知识还远远不够，还必须在此基础上进一步提高。

中学所学习的几何光学，实际上是提出了一种理想状态下的光学系统，系统中的光学元件，如透镜、反射镜等的镜面都可看作是旋转对称的球面，（平面镜则相当于曲率半径为无限大的球面镜），设置时使它们有共同的对称轴，这就是系统的主光轴（也称主轴或光轴）。在几何光学适用的范围内，理想的光学系统能够产生与所要观察的物体完全相似的清晰的像。

但是，现实世界里的光学系统不可能是完全“理想”的，其所形成

的像与原物体之间也不会完全相似或者说是达到严格意义上的清晰,也就是说,和理想状态总有或多或少的偏离。但如果我们把研究的范围限制在光线与光轴之间的夹角 θ 很小的区域(称所谓的近轴区)内,这时,具有共同对称轴的光学系统在用单色光成像时,就会和理想的光学系统十分接近,它们之间的差异在许多情况下是可以忽略的。所谓“夹角 θ 很小”在实用中是指当 θ 足够小时, θ 和 $\sin \theta$ 的值近似相等,此时可以相互代替。

研究光学系统在近轴区内成像规律的学问,称为近轴光学。近轴光学的一个重要分支称为高斯光学。这是因为它的主要理论是由德国科学家高斯(C.F.Gauss)于1841年完成的。它通常只讨论对某一轴线(即光轴)具有旋转对称性的光学系统。如果从物点发出的所有光线经光学系统以后都交于一点,则称此点为物点的完善像。

尽管利用光学系统的近轴区可以获得完善的成像,但是没有什么实用价值。因为,近轴区只有很小的孔径(即成像光束的孔径角)和很小的视场(即成像范围),而光学系统的功能,包括对物体细节的分辨能力、对光能量的传递能力以及传递光学信息的多少等等,正好是被这两个因素所决定的。

在许多情况下,从各个物点所发出的光线不能够都看作在近轴区内,此时 θ 角比较大,就不能再看作与 $\sin \theta$ 近似相等了。这时,成像的质量会逐渐下降。这是因为自然点发出的光束中,远离近轴区的那些光线在系统中的传播光路偏离了理想途径,而不再相交于高斯像点(即理想像点),这时,一点的像不再是一个点,而是一个模糊的弥散斑,物平面的像不再是一个物平面,而是一个曲面,而且像相对于物还失去了相似性。这种成像与原来物体不再准确相似的现象就称之为出现了像差(Aberration)。像差愈大,表示成像的质量愈差。在光学设计过程中,要具体分析出现的是哪几种像差及其产生的原因,并寻找适当的方法使各种像差得到一定程度的校正,从而使其满足设计的要求。同样,对于人眼来说,要想获得良好的视觉质量,也要尽量减小或消除所存在的像差,以提高成像的清晰度和准确度。

第二节 像差的分类

一、理想成像

在讨论像差之前,我们需要了解什么是理想成像。所谓理想成像,是指要求物方和像方的点一一对应,而且还要根据光的可逆原理使像点与物点之间成为共轭点。因此,理想成像应该具有下列性质。

1. 物方每个点对应像方一个点(共轭点)。
2. 物方每条直线对应像方一条直线(共轭直线)。

3. 物方每个平面对应像方一个平面（共轭面）。
4. 光轴上的任何一点的共轭点仍在光轴上。
5. 任何垂直于光轴的平面，其共轭面仍与光轴垂直。
6. 在垂直于光轴的同一平面内横向放大率相同。
7. 在垂直于光轴的不同平面内横向放大率一般不等。

二、单色像差和色像差

像差在总体意义上分为单色像差和色像差。单色光所产生的像差称为单色像差，而复色光所产生的像差为色像差。在现实世界中的像差实际上是由上述两类像差共同组成的。就本书来说，重点所叙述的是单色像差。

1. **单色像差** 通常把由成像系统偏离傍轴条件所引起的几何像差称为单色像差。对于单色光（指光束中，所有光的频率、波长都极为接近，可以看作相等。比如激光器就可以产生品质优良的单色光），像差主要有 5 种，即球面像差、彗形像差、像散性像差、像场弯曲和畸变。前 3 种像差破坏了对点的对应，即破坏了光束的同心性。其中，球差使物点的像成为圆形的弥散斑，彗差则造成彗星状的弥散斑，而像散则导致椭圆形的弥散斑。场曲使物平面的像弯曲，畸变使物体的像变形，破坏了物像的相似性。以下就上述像差的成像原理叙述如下。

(1) **球面像差 (spherical aberration)**: 对于由单个球面镜所构成的光具组，当孔径较大时，由同一物点（点光源）发出的平行光线从镜面的中央（近轴光线）和边缘（远轴光线）通过后会在不同的位置上成像，例如在通过凸透镜之后，近轴光线的会聚点较远，远轴光线的会聚点较近，结果一个物点成像后并不形成对应的一个像点，在某一范围内的观察屏幕上都会看到相应的边缘模糊而对称的像（图 1-1）。这种由轴上物点发出的大角度（远轴）光线经球面镜成像而产生的像差称为球面像差（球差）。

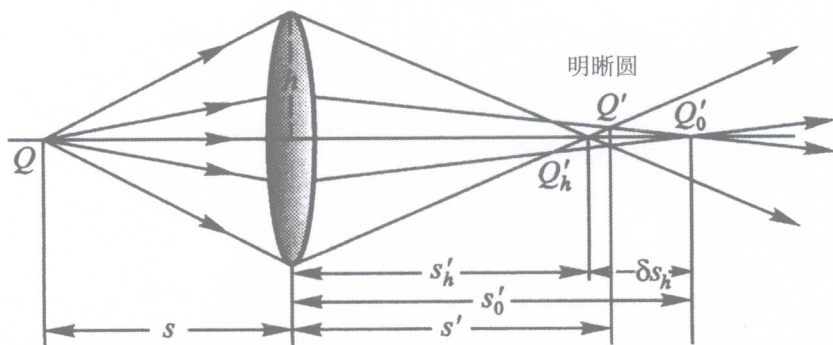


图 1-1 球面像差的成像示意图
(引自：赵建林编著. 光学)