

第十七章 优化

介绍

ZEMAX 提供了十分强大的优化功能, 它有能力去改善那些给出一个合理的起始点和一系列参变量的镜头设计。参变量可以是曲率, 厚度, 玻璃, 圆锥系数, 参数数据, 特殊数据, 和一些多种结构的数值数据。ZEMAX 使用了活动的阻尼最小二乘法, 这个运算法则能够优化由加了权重的目标值组成的评价函数, 这些目标被值称为“操作数”。ZEMAX 有一些不同的默认评价函数, 这些将在后面的章节中介绍。在评价函数编辑界面中可以很容易地改变这些评价函数, 有关这一过程的详细内容请参见“评价函数的修改”一节。

优化需要三个步骤: 1) 一个可以进行光线追迹的合理光学系统; 2) 变量的设定; 3) 评价函数的设定。合理的光学系统是一个比较模糊的概念, 它仅仅意味着通过优化运算法则将一个缺乏考虑的设计方案转化成一种特殊的方案是不可能的(虽然有一些例外情况)。变量和那些为了优化运算法则能取得一些进展而至少有一个的因素, 在各种不同编辑界面中将详细说明, 这些将在下一节中叙述。为了得到优化界面, 请选择工具, 优化。在使用优化之前, 你必须指定所有的变量。

这一章中叙述的优化功能使用的运算法则被设计用来查找评价函数的“局部”最小值。然而, ZEMAX-XE 和 EE 也有能力去搜索评价函数的“全局”最小值。全局最小值是一个评价函数的最小可能值, 如果评价函数选择合适, 那么这意味着是这个问题的最有可能的解决方案。全局优化功能不适合于初学者, 也不适合那些交互式的设计。详细内容请参见“全局优化”一章。

变量的选择

在镜头数据编辑界面中, 当高亮条在要改变的参数上时, 按 Ctrl-Z 可设定变量以供优化使用。注意 Ctrl-Z 是一个切换器。多重结构和特殊数据的编辑界面中也包含可用 Ctrl-Z 设成变量的数值数据。玻璃不能直接设成变量, 因为它们是不连续的。为了优化玻璃, 请参见本章后面的“玻璃优化的选择”部分。

版权声明: 本文由“光学在线”收集及整理, 所有版权归文章原作者所有(本站均注明出处和作者), “光学在线”是一个介绍光学及相关科学的专业网站, 其宗旨在于推广光学和相关学科以及光电产业在中国的传播和发展, 不为任何赢利目的, 所以传播此文的目的旨在进行学术性质的交流, 如果您有任何意见和看法, 请与我们联系(info@photics.net), 我们会在最短的时间内给您答复并采取相应的补救措施!

默认的评价函数的定义

评价函数是一个如何使一个光学系统接近一组指定的目标的数值表示。ZEMAX 使用了一系列操作数，它们分别代表系统不同的约束和目标。操作数代表的目标如像质，焦距，放大率，和其他一些。

这些评价函数与列表中的每个操作数的目标值和实际值之差平方的加权和平方的平方根成比例。评价函数是这样定义的，所以 0 值代表理想状态。优化运算法则将使这些函数值尽可能小，所以评价函数应该是你想系统达到的结果的一种表示。也不是非要用默认的评价函数，你可以如后面介绍的那样来构建你自己的评价函数。

定义一个评价函数的最容易的方法就是在评价函数编辑界面的菜单条中选择工具，默认评价函数选项，这时出现一个对话框，这将允许你选择一些选项来构建默认评价函数。每个选项都将在下面的段落中进行介绍。

优化类型的选择

ZEMAX 可以使用几种不同评价函数类型。默认评价函数通过使用四个基本选择来构建的，它们是：优化类型，数据类型，参考点，和综合方法。这些选择在下表中进行叙述。

默认优化类型

名称	说明
RMS	RMS 是均方根的简称。到目前为止，这种类型使用最为广泛。RMS 是所有单个误差平方的平均值的平方根
PTV	PTV 是波峰到波谷的简称。在一些不常见的情况，RMS 和误差的最大范围同样不重要，例如，所有的光线要到达探测器或光纤的圆形区域内的情况。在这些情况下，波峰到波谷 (PTV) 可能是判断执行结果的一种比较好的指示器。这种评价函数类型将努力减小 PTV 误差范围

默认优化数据类型

名称	说明
Wavefront	波前差是在波形中测量的像差
Spot Radius	在像平面上的横向光线像差的半径范围
Spot X	在像平面上的横向光线像差的 X 方向范围
Spot Y	在像平面上的横向光线像差的 Y 方向范围
Spot X and Y	在像平面上的横向光线像差的 X 方向和 Y 方向的范围。这 X 和 Y 成分被分别考虑,但一起被优化。除了保留像差的符号外,其他的都与 Spot Radius 相似,这符号将产生一些比较好的其他结果。注意在计算像差半径时,将去掉符号

默认的优化参考点

名称	说明
Centroid	数据的 RMS 和 PTV 计算是以从视场点得到的所有数据的质心为参考的。质心参考通常是首选,特别是对于波前优化。对于波前优化,涉及到质心减去活塞,波前的 X-倾斜和 Y-倾斜,它们中没有一个是降低像质的。当彗差存在时,因为彗差使像心偏离主光线,所以质心参考还将产生一些有用的结果。过去使用主光线是因为它方便计算,但实际上是当 ZEMAX 认为没有执行损失时来处理它的复杂部分的
Chief	数据的 RMS 和 PTV 计算是以主波长的主光线为参考的
Mean	这项选项仅当在选择优化数据类型为波前时才有效。仅除了减去的是活塞(平均波前),而不是 X-和 Y-倾斜外,平均参考的其他方面都与质心参考类似。由于光程差为 0 的精确点是任意的,所以对于那些质心参考不是首选的情况,平均参考通常优先于主光线参考

评价函数的物理意义

注意评价函数的数值是有其物理上的意义的。如果评价函数是 RMS-Wavefront-Centriod , 那么评价函数的数值是波形的波前均方根误差 ; 如果评价函数是 RMS-Spot Radius-Chief , 那么一个 0.145 的数值意味着斑点的均方根尺寸为 0.145 个镜头长度单位 , 如果镜头长度单位是毫米 , 那么均方根值相对应是 145 微米。

初学的设计者经常会问斑点半径的均方根评价函数会产生一个与波前均方根评价函数不同的合适方案。它们不一样的基本的原因是光线像差是与波像差的导数成比例的 , 因此 , 期望一项的最小值与另一项的最小值相对应是不合实际的。通常使用的处理规则是如果系统接近衍射极限 (假定 PTV 波前误差小于 2 个波长) , 那么就使用波前差 , 否则则使用斑点半径。

通常讲 , 以质心为参考的评价函数优先于以主光线为参考的评价函数。然而 , 最好的方法总是用不同的评价函数来重新优化最后的方案 , 来检验哪个评价函数为要设计的系统提供一个最好的结果。例如 , 以质心为参考的波前差均方根通常能产生较好的低频率 MTF 响应 , 但其中频率 MTF 响应则比以主光线为参考的均方根优化的差。

瞳孔综合方法的选择

这里有两种用来构建评价函数的瞳孔综合方法 : 高斯积分法 (GQ) 和距阵法 (RA) 。对于差不多全部的有实际意义的情况来说 , GQ 法则具有许多优点。GQ 法则使用一些精心挑选的加权的光束来计算在入瞳面上的 RMS 和 PTV 像差 (严格地说 , PTV 法则不是 GQ 法则 , 但很相似) 。在一些瞳孔照度分布函数和 GQ 评价函数法则中使用的所有光线的权重是根据在波长和视场对话框中设定地权重而定的。对于 RMS 评价函数 , 使用的权重和光束的选择是基于在由 G. W. Forbes, J. Opt. Soc. Am. A 写的论文 (Vol.5, No.11, November 1998, p1943) 中叙述的方法 ; 对于 PTV 评价函数 , 光束的选择是基于 Chebyshev 多项式的解答 , 这在剑桥大学出版社出版的《数值方法》中描述 ; 如果你对这些方法的原理和精度的详细信息感兴趣 , 请参见这些参考书。GQ 比其他一些已知的方法精确的

多，而需要的光线则较少。使用渐晕因子时，由于光线模式只是简单重新分布，所以 GQ 也能计算得很好。

RA 法则追迹通过光瞳的一网格的光线。“网格”尺寸确定了被追迹的光线的数目，这将在后面的章节中介绍。“删除渐晕”选项（这也在后面的章节中介绍）允许将渐晕光线从光束中删除。上文中提到的渐晕光线是那些被表面孔径剪截的光线，而不是那些由于使用渐晕因子而改变的光线（参见“约定和定义”一章）。RA 的优点是能够精确地计算渐晕在评价函数中影响，这对于那些故意拦住有问题的光线的系统，如挡光望远镜和照相机镜头，是很有用的。RA 的另一优点是速度和精度。通常，它比 GQ 法则需要更多的光线来完成一给定的精度。最后一条：除非你使用表面孔径，否则不要使用 RA 法则。

环带 (Rings)

“环带”设定仅在 GQ 法则中使用，它确定了每个视场和每种波长将有多少条光线被追迹。对于轴上视场（旋转对称系统中 0 视场角），光线的数量等于环带的数量。对于对称系统的其他所有视场，每个环带要追迹的光线的数量等于“臂”数的一半。由于系统的左右对称性，仅仅只有一半的光线被追迹。对于每种指定的波长都要追迹每一条光线。例如，如果你的系统有一个轴上视场、两个轴外视场、三种波长、四个选择的环带，则要追迹的光线的数量为 $3 \times (4 + 4 \times 3 + 4 \times 3) = 84$ 。对于那些不旋转对称的系统，每个环带要追迹的光线的数量等于“臂”数，而不依赖于视场。在前面的哪个例子中，这意味着 $3 \times 3 \times 4 \times 6 = 216$ 条光线。ZEMAX 将自动为你计算这些数值；在这里介绍它的唯一的理由是因为你应理解默认的评价函数是如何定义的。越多的光线被追迹，优化运行的时间就越长。

臂(Arms)

“臂”设定也仅仅在 GQ 法则中使用。它确定了瞳孔上有多少光线的半径臂被追迹。默认 6 条等间隔的臂被追迹（或者如果系统是旋转对称的则为 3 条）。这个数值可以被变成 8，10，或者 12。对于大部分普通的光学系统，6 条臂已足够了。

你应该根据你的系统存在的像差状态来选择环带和臂的数量。确

定正确的环带数量的一个简单的方法是先选择最小值，1。然后进入优化对话框记下评价函数。现在返回默认函数工具，选择两个环带。如果评价函数变化得很多，那么返回默认函数工具，选择三，如此直到评价函数不再明显改变（可能是 1%）。重复这个过程来选择臂数（6 条臂差不多总是足够的）。选择比要求更多的环带和臂并不能改善优化结果，它只会不必要地降低运算法则的速度。追迹更多的光线不能帮助你找到更好的解决方案。

➡ 选择比要求更多的环带和臂并不能改善优化结果，它只会不必要地降低运算法则的速度

网格(Grid)

“网格”仅由 RA 法则使用，它的值决定了要使用的光线的数量。网格尺寸可以是 4*4（每种波长在每个视场中有 16 条光线），6*6（每种波长在每个视场中有 36 条光线）。如果网格上的光线落在入瞳的外面，那么这条光线将被自动省略，因此实际使用的光线要比网格尺寸的乘积少。通常选择大的网格尺寸来得到更精确的结果，其代价是降低执行速度。然而，选择大的网格密度和之后选择“删除渐晕”选择栏（这将在以后的章节中介绍）可能会有一个优点。其原因是大的网格尺寸会以光线充满整个光瞳，然后将那些被拦住的操作数删除掉。它的结果将是一个正确反映系统孔径的合理的光线数量。

删除渐晕>Delete Vignetted)

“删除渐晕”选择栏仅被 RA 法则使用。如果它被选择，那么评价函数使用的所有光线都将在整个系统中被追迹，如果某条光线被某一表面孔径拦住，后者它未到达某一表面，或者它在某一表面上发生全反射，那么它将从评价函数中被删除。这将使评价函数中的光线的总数保持为一最小值。它的缺点是如果一个方案被优化时其渐晕改变了，那么它的评价函数将不得被更新。如果可能的话应使用渐晕因子后再用 GQ 法则，它是比使用删除渐晕更好的选择。如果需要，可以在优化过程中通过用 SVIG 在评价函数中调整渐晕因子。

注意，不管光线是否被拦住，ZEMAX 都将尽量追迹评价函数中定义的每条光线。例如，假设主光线的高度已用 REAY 定下来了，

版权声明：本文由“光学在线”收集及整理，所有版权归文章原作者所有（本站均注明出处和作者），“光学在线”是一个介绍光学及相关科学的专业网站，其宗旨在于推广光学和相关学科以及光电产业在中国的传播和发展，不为任何赢利目的，所以传播此文的目的旨在进行学术性质的交流，如果您有任何意见和建议，请与我们联系（info@photics.net），我们会在最短的时间内给您答复并采取相应的补救措施！²³⁴

并且有一个中心挡光拦住了主光线,但 ZEMAX 仍将追迹主光线并使用这操作数结果,就好象它可以被追迹一样。ZEMAX 不能检查、判定光线是否被拦住,因为它在优化过程中引入了一个实质的操作。

通常,要避免由表面孔径引起的光线渐晕,如果可能请使用渐晕因子来确定光束的形状尺寸。因为要在一部分未被拦住的光线的基础上进行优化,就必须定义一个宏指令来执行所要求的计算。然而,这个方法在优化中几乎无效,因为当光线在被拦住与否之间不规则跳动时,镜头参数的微小的变化将会导致评价函数不连续的变化。

设定厚度边界值(Setting thickness boundary values)

边界约束可以自动产生,并通过检查设定的空气和/或者玻璃的边界值使其包含在评价函数之中。如果它被选择,那么操作数 MNCG、MXCG 和 MNEG 被加到评价函数之中来分别限制玻璃面的最小中心厚度、最大中心厚度和最小边缘厚度,操作数 MNCA、MXCA 和 MNEA 被加到评价函数之中来分别限制空气空间的最小中心厚度、最大中心厚度和最小边缘厚度。

自动边界约束的特点意味着在有或者没有平面镜的光学系统中可以节省常规边界约束。更复杂的镜头,如那些带有复杂的光轴断点或者多重结构的系统,需要手动将一些附加的边界约束加到评价函数中。

起始面(Start At)

“起始面”选项被用来在评价函数编辑界面的操作数列表中的指定位置上加入默认评价函数。ZEMAX 将尽量把默认评价函数放在已存在的对象之后。如果默认评价函数已被编辑,那么用来确定起始点的运算法则可能会无效。为了控制默认起始值,请参见操作数 DFMS 的解说。

假设轴对称(Assume Axial Symmetry)

如果它被选择,那么在构造和计算评价函数时,默认评价函数将使用镜头的左右和旋转对称性。这样更少的光线将被追迹,加快了优化的速度而不降低精度。在那些带有光轴断点的系统和不旋转对称的

系统中，默认值是不选，这意味着不使用对称性。然而，如果你正在设计一个镜头，ZEMAX 认为它是不对称的，但是它的不对称不影响像差，那么可以不考虑这个系统对称性的默认值是否有用。例如，如果使用了一些倾斜而平直的折叠平面镜，这些平面镜并不会消除系统的左右对称性，但 ZEMAX 将会默认系统的对称性已不存在了。一些梯度折射率表面也使用不对称的折射率变化条件，它常常为 0（它们仅仅在公差规定中使用）。在一些情况下，选择这个选择栏可以加快优化速度。也可参见操作数“USYM”的叙述。

如果你不理解这一特性，那就使用它的默认值。

忽略垂轴色差(Ignore Lateral Color)

默认的话，对于每个视场 ZEMAX 以一个公共的参考点来引用 RMS 或 PTV 计算。对于每一个视场点，所有波长的所有光线都被追迹，并且主波长的主光线或者所有光线的质心被用来作为参考点。如果“忽略垂轴色差”被选择，那么每个视场都要计算一个独立的参考点。这对于设计那些有意将各种波长的色光分开的系统，如一个棱镜或者分光系统，是十分有用的。这个选项可以使评价函数独立优化各种色光。

相对 X 权重(Relative X Weight)

当计算 RMS 或者 PTV 的 X+Y 像斑评价函数时，相对 X 权重是用来加在垂轴像差的 X 成分上的额外权重。这个设置对其他评价函数没有影响。如果相对 X 权重小于统一值，那么 Y 成分的权加得很重；如果这个相对 X 权重大于统一值，那么 X 成分得权加得很重；如果等于默认统一值，那么两个成分平等地加权。这个控制对于那些有意形成间隙像的系统，如分光系统，是十分有用的。

有关默认评价函数的缺陷

默认的评价函数易于建立，在数值上有效，以及适用于大量的优化问题。然而，大部分光学设计在设计过程中，需要对默认评价函数进行扩展或修改。如下节所介绍那样，ZEMAX 在评价函数的定义中提供了重大的机动性。

注意，如果波长或视场的数值或权重改变了，那么你必须重建默认评价函数；如果你正在使用 RA 法则，在优化过程中渐晕影响略有变动，就必须重建默认评价函数。

如果波长或视场的数值或权重改变了，必须重建默认评价函数

有关照明光束的优化

如果没有定义光瞳的照度分布函数（有关光瞳的照度分布函数定义的详细内容，参见“系统”一章），ZEMAX 在构建默认评价函数时采用均匀照明。如果照明是不均匀的，那么默认评价函数中的光线将根据照度分布因子来确定权重。由于选择的光线可能会不足于用来充分描绘照明光束，因此在使用照度分布因子时要使用大量的光线（前面已说明的）。关于照度分布函数的更多的内容，请参见“约定和定义”一章。

评价函数的修改

用户可以修改评价函数。为了改变评价函数，在主菜单栏中选择编辑，评价函数。可以使用插入或删除键来添加新的操作数或者删除一些操作数。通过选择工具，更新，可以更新当前评价函数值和每个操作数的值。

操作数的设置过程是在第一列中键入名称，然后在余下的数据域中填入数据。定义一个操作数可能需要八个数据域：Int1, Int2, Hx, Hy, Px, Py, 目标值，和权重。Int 的值是一个整数参量，它的含义依赖于选择的操作数。通常，Int1 是表面指标，Int2 是波长指标，但不一定总是这样。不是所有的操作数都使用所有提供的数据域。

对于那些使用 Int1 来指出表面编号的操作数，这个参数说明了在哪个表面上求出对象的值。同样的，当 Int2 被用作波长指示符时，它说明了将使用那种波长。Int2 必须是等于波长编号的整数值。参数 Int1 和 Int2 还有其他的用途，如下所述。

许多操作数要使用 Hx，Hy，Px，和 Py；它们是归一化的视场和光瞳坐标（参见“约定和定义”一章中的“归一化的视场和光瞳坐标”

部分)。注意 ZEMAX 不会通过检查来判断指定的 Hx、Hy、Px 和 Py 坐标是否在单位圆之内。例如，一个坐标为 (1 , 1) 的光瞳实际上是在入瞳的外面，但当追迹那些光线时，除非这些光线在几何上不能被追迹，否则不会出现错误信息。

目标值是想要指定参数达到的值。将目标值和操作数值的差值平方，总计所有操作数的这个值来产生评价函数值。目标值和操作数值本身是不重要的，重要的是两者的差值。差值越大，其对评价函数的贡献就越大。

权重对于哪个参数也是相当重要的。除了在特殊情况下用 -1 外，权重可以是大于 0 的任何数。当一个操作数的权重为 0，优化法则计算时将忽略这个操作数。如果权重大于 0，那么这个操作数将被作为一个“像差”，随着评价函数被最小化。如果权重小于 0，ZEMAX 将把这个权重严格地设为 -1，这表明这个操作数将被作为一个 Lagrangian 乘数。Lagrangian 乘数将强迫优化法则去寻找一个能严格符合指定约束的解决方案，而不管其对其他操作数的影响。

评价函数定义如下：

$$MF^2 = \frac{\sum W_i (V_i - T_i)^2 + \sum (V_i - T_i)^2}{\sum W_i}$$

所有 i 的总和仅包括正权重的操作数，而所有 j 的总和仅包括 Lagrangian 乘数操作数。选择这样的约定以便于当符合条件时，增加用来控制边界条件的 Lagrangian 乘数不会对评价函数产生影响。

除非有一个强制要求需要用 Lagrangian 乘数，否则一般将不用它。虽然有例外情况，但 Lagrangian 乘数会降低优化速率，如果光学系统与评价函数最小值差得很远，它会执行得很差。尽管在优化调用之间需要重新调整权重，但使用加了权重的约束条件通常更加可靠。

优化操作数

下面的表格对那些可用的操作数进行了说明。第一个表格是“快速参考”指南，它根据综合主题对操作数进行了分类。第二个表格提供了每个操作数（按字母顺序排列）的详细说明，并规定了哪些操作

数使用哪些数据域。注意，在详细说表的表格中一些操作数（如 SUMM）使用 Int1 和 Int2 来表示其他参数，而不是表面和波长。如果操作数不使用某个数据域，则显示“—”。

优化操作数分类

类别	相关操作数
基本光学特性	EFFL , PIMH , PMAG , AMAG , ENPP , EXPP , LINV , WFNO , POWR , EPDI , ISFN , EFLX , EFLY , SFNO , TFNO
像差	SPHA , COMA , ASTI , FCUR , DIST , DIMX , AXCL , LACL , TRAR , TRAX , TRAY , TRAI , OPDC , PETZ , PETC , RSCH , RSCE , RWCH , RWCE , ANAR , ZERN , TRAC , OPDX , RSRE , RSRH , RWRE , TRAD , TRAE , TRCX , TRCY , DISG , FCGS , FCGT , DISC , OPDM , RWRH , BSER
MTF 数据	MTFT , MTFS , MTF A , MSWT , MSWS , MSWA , GMTA , GMTS , GMTT
包围圆能量	DENC , GENC
镜头数据的约束	TOTR , CVVA , CVGT , CVLT , CTVA , CTGT , CTLT , ETVA , ETGT , ETLT , COVA , COGT , COLT , DMVA , DMGT , DMLT , TTHI , VOLU , MNCT , MNET , MXCT , MXET , MNCG , MNEG , MXCG , MXEG , MNCA , MNEA , MXCA , MXEA , ZTHI , SAGX , SAGY , CVOL , MNSD , MXSD , XXET , XXEA , XXEG , XNET , XNEA , XNEG , TTGT , TTLT , TTVA , TMAS , MNCV , MXCV , MNDT , MXDT
参数数据的约束	P1VA , P1GT , P1LT , P2VA , P2GT , P2LT , P3VA , P3GT , P3LT , P4VA , P4GT , P4LT , P5VA , P5GT ,

	P5LT ,P6VA ,P6GT ,P6LT ,P7VA ,P7GT ,P7LT , P8VA , P8GT , P8LT
特殊数据的约束	XDVA , XDGT , XDLT
玻璃数据的约束	MNIN , MXIN , MNAB , MXAB , MNPD , MXPB , RGLA , GCOS , GTCE , INDX
近轴光线数据的约束	PARX , PARY , PARZ , PARR , PARA , PARB , PARC , PANA , PANB , PANC , PATX , PATY , YNIP
实际光线数据的约束	REAX , REAY , REAZ , REAR , REAA , REAB , REAC , RENA , RENB , RENC , RANG , OPTH , DXDX , DXDY , DYDX , DYDY , RETX , RETY , RAGX , RAGY , RAGZ , RAGA , RAGB , RAGC , RAIN , PLEN , HHCN , RAID , RAEN , RAED , IMAE
元素位置的约束	GLCX , GLCY , GLCZ , GLCA , GLCB , CLCC
系统数据的改变	CONF , PRIM , SVIG
一般数学操作	ABSO , SUMM , OSUM , DIFF , PROD , DIVI , SQRT , OPGT , OPLT , CONS , QSUM , EQUA , MINN , MAXX , ACOS , ASIN , ATAN , COSI , SINE , TANG
类别	相关操作数
多重结构(变焦)数据	CONF , ZTHI , MCOV , MCOL , MCOG
高斯光束数据	GBWA , GBW0 , GBWZ , GBWR , GBWD

关于梯度折射率控制的操作数	I1GT , I2GT , I3GT , I4GT , I5GT , I6GT , I1LT , I2LT , I3LT , I4LT , I5LT , I6LT , I1VA , I2VA , I3VA , I4VA , I5VA , I6VA , GRMN , GRMX , LPTD , DLTN
幻像控制	GPIM
光纤耦合控制	FICL
带 ZPL 宏指令的优化	ZPLM
用户自定义操作数	UDOP
评价函数控制操作数	BLNK , ENDX , USYM , DMFS , SKIS , SKIN
非连续元件系统对象数据的约束	NPXG , NPXL , NPXV , NPYG , NPYL , NPYV , NPZG , NPZL , NPZV , NTXG , NTXL , NTXV , NTYG , NTYL , NTYV , NTZG , NTZL , NTZV , NPGT , NPLT , NPVA
光学虚拟全息系统的光学结构的约束	CMFV

优化操作数和数据域的用法

名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
ABS0	绝对值	操作数编号	—	—
ACOS	指定编号的操作数的值的反余弦值。如果标记是 0, 则其单位为弧度, 否则为度	操作数编号	标记	—
AMAG	角放大率。这是像空间和物空间之间的近轴主光线角度的比值。对于非近轴系统无效	—	波长	—

ANAR	在像面上测量的相对于主波长中主光线的角度差半径。这个数定义成 $1 - \cos$, 这里是被追迹的光线与主光线之间的角度。参见 TRAR	—	波长	—
ASIN	指定编号的操作数的值的反正弦值。如果标记为 0 , 则其单位为弧度, 否则为度	操作数编号	标记	—
名称	说明	Int1	Int2	H_{xy}, P_{xy}
ASTI	指定表面产生的像散贡献值, 以波长表示。如果表面编号值为 0 , 则是针对整个系统。这是由塞得和数计算得到的第三级色散, 对非近轴系统无效	表面	波长	—
ATAN	指定编号的操作数的值的反正切值。如果标记为 0 , 则其单位为弧度, 否则为度	操作数编号	标记	—
AXCL	以镜头长度单位为单位的轴向色差。这是两种定义的最边缘的波长的理想焦面的间隔。这个距离是沿着 Z 轴测量的。对非近轴系统无效	—	—	—
BLNK	不做任何事情。用来将操作数列表的各个部分分隔开。在操作数名称右边的空白处将随意地输入一注释行; 这个注释行将在编辑界面和评价函数列表中同样显示	—	—	—
BSER	瞄准误差。瞄准误差定义成被追迹的轴上视场的主光线的半坐标除以有效焦距。这个定义将产生像的角度偏差的测量	—	波长	—
CMFV	<p>结构评价函数值。这个操作数调用了在两个用来定义一个光学虚拟全息系统的结构系统的任一个中定义的评价函数。结构编号的值是 1 或 2 , 分别代表第一或第二结构系统。操作数编号可以是 0 , 这将从这个结构系统中获得整个评价函数的值, 也可以是整数, 这说明了从中记录数据值的操作数行号。例如, 假定结构编号是 2 , 操作数编号是 7 , CMFV 将获得第 2 个结构文件的评价函数中第 7 个操作数的值。</p> <p>如果在这个被优化的可逆系统中有一个以上的光学虚拟全息表面, 结构编号可以加上 2 来指代使用的第二个表面的参数, 或者加上 4 来指代使用的第三个表面的光学结构, 等等。例如, 值为 7 的结构编号指代现存的第四个光学虚拟全息面的第一个结构系统。</p>	结构编号	操作数编号	—

COGT	边界操作数，它强制使指定编号的表面的圆锥系数大于指定的目标值	表面编号	—	—
COLT	边界操作数，它强制使指定编号的表面的圆锥系数小于指定的目标值	表面编号	—	—
名称	说明	Int1	Int2	H_{xy}, P_{xy}
COMA	指定表面产生的彗差贡献值，以波长表示。如果表面编号值为 0，则是针对整个系统。这是由塞得和数计算得到的第三级彗差，对非近轴系统无效	表面编号	波长	—
CONF	结构。这个操作数用来在评价函数求值过程中改变结构编号，这将允许对全部结构进行优化。这个操作数不用目标值和权重这两栏	新编号	—	—
CONS	常数值。这个操作数用来为其他操作数的计算输入一个常数值。这个值与目标值相同	—	—	—
COSI	指定编号的操作数的值的余弦值。如果标记是 0，则其单位为弧度，否则为度	操作数编号	标记	—
COVA	圆锥系数值。得到一个表面的圆锥系数	表面编号	—	—
CTGT	中心厚度大于。这个边界操作数强制使指定编号的表面的中心厚度大于指定的目标值。也可参见“MNCT”	表面编号	—	—
CTLT	中心厚度小于。这个边界操作数强制使指定编号的表面的中心厚度小于指定的目标值。也可参见“MXCT”	表面编号	—	—
CTVA	中心厚度值。强制使指定编号的表面的中心厚度等于指定的目标值	表面编号	—	—
CVGT	曲率大于。这个边界操作数强制使指定编号的表面的曲率大于目标值	表面编号	—	—

CVLT	曲率小于。这个边界操作数强制使指定编号的表面的曲率小于目标值	表面编号	—	—
CVOL	圆柱体体积。这个操作数计算了包含指定范围的表面的最小圆柱体的体积，以镜头长度的立方为单位。在计算中仅使用球面顶点和半口径，不用矢高。指定的表面范围内不包含坐标断点	第一个表面的编号	最后一个表面的编号	—
CVVA	曲率值。这个操作强制使指定编号的表面的曲率等于指定的目标值	表面编号	—	—
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} ,P _{xy}
DENC	<p>衍射法的包围圆能量。这个操作数计算指定包围圆，矩形，X 方向，Y 方向能量的区域的半径（径向），以微米为单位。</p> <p>Int1 指采样密度，1 是 32*32，2 是 64*64，等等</p> <p>Int2 是整数的波长编号；0 代表全部波长</p> <p>Hx 指视场编号</p> <p>Hy 是要求能量的区域，必须在 0 和 1 之间，包含这两个数。</p> <p>Px 是指类型：1 代表包围圆，2 代表 X 方向，3 代表 Y 方向，4 代表矩形</p> <p>如果采样密度太低，则得到的半径值为 1e+10。也可参见 GENC</p>	采样密度	波长	见左所述
DIFF	两个操作数之差（操作数 1-操作数 2）。这两个自变量是要参加减法运算的操作数的行号	操作数 1	操作数 2	—
DIMX	最大畸变值。它与 DIST 相似，只不过它仅规定了畸变的绝对值的上限。视场的整数编号可以是 0，这说明使用最大的视场坐标，也可以是任何有效的视场编号。注意，最大的畸变不一定总是在最大视场处产生。得到的值总是以百分数为单位，以系统作为一个整体。这个操作数对于非旋转对称系统可能无效。	视场	波长	—

DISC	归一化的畸变。这个操作数对整个可见视场计算标准化畸变, 得到对于 f- 条件下的最大非线性度值的绝对值。这个操作数对于那些 f- 镜头的设计十分有用	—	波长	—
DISG	广义畸变, 以百分数表示。这个操作数计算在任意波长、任意视场的光瞳上任意光线的畸变, 以任意一个视场为参考。使用方法和所做的假设与在分析菜单一章中介绍的网格畸变一样	参考视场	波长	是
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
DIST	指定表面产生的畸变贡献值, 以波长表示。如果表面编号值为 0, 则使用整个系统。同样, 如果表面编号值为 0, 则畸变以百分数形式给出。这是由塞得系数计算出的第三级畸变, 对与非近轴系统无效	表面编号	波长	—
DIVI	第一个操作数除以第二个操作数的除法。这两个自变量是参加除法运算的操作数的行号	操作数 1	操作数 2	—
DLTN	N。计算梯度折射率表面的最大和最小轴上折射率之差。通过计算表面两端的矢高来计算要用的最大和最小 Z 坐标。参见“梯度折射率表面的使用”一节	表面编号	波长	—
DMFS	默认评价函数的起始面。如果后来创建了一个默认评价函数, 这个操作数只是用来指明其被附加在哪个面之后的一个标记。在这个操作数之后显示的行号和默认评价函数对话框中的默认的行号“起始面”一样。	—	—	—
DMGT	口径大于。这个边界操作数强制使指定编号的表面的口径大于指定的目标值。这个口径值是在主电子表格中显示的半口径的两倍。	表面编号	—	—
DMLT	口径小于。这个边界操作数强制使指定编号的表面的口径小于指定的目标值。这个口径值是在主电子表格中显示的半口径的两倍。	表面编号	—	—

DMVA	口径值。这个操作数强制使指定编号的表面的口径等于指定的目标值。这个口径值是在主电子表格中显示的半口径的两倍。	表面编号	—	—
DXDX	轴向 X 像差相对于 X 光瞳坐标的导数。这是光线特性曲线图在指定光瞳坐标处的斜率	—	波长	是
DXDY	轴向 X 像差相对于 Y 光瞳坐标的导数。这是光线特性曲线图在指定光瞳坐标处的斜率	—	波长	是
DYDX	轴向 Y 像差相对于 X 光瞳坐标的导数。这是光线特性曲线图在指定光瞳坐标处的斜率	—	波长	是
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
DYDY	轴向 Y 像差相对于 Y 光瞳坐标的导数。这是光线特性曲线图在指定光瞳坐标处的斜率	—	波长	是
EFFL	有效焦距，以镜头长度单位表示。它是针对近轴系统的，对于非近轴系统可能会不准确	—	波长	—
EFLX	在现定 X 平面上的，指定范围内的表面的主波长的有效焦距，以镜头长度单位表示	第一表面的编号	最后表面的编号	—
EFLY	在现定 Y 平面上的，指定范围内的表面的主波长的有效焦距，以镜头长度单位表示	第一表面的编号	最后表面的编号	—
ENDX	结束执行。终止评价函数的计算。所有余下的操作数都被略过	—	—	—
ENPP	相对于第一个面的入瞳位置，以镜头长度单位表示。这是近轴光瞳位置，仅对中心系统有效	—	—	—
EPDI	入瞳口径，以镜头长度单位表示	—	—	—

EQUA	平等操作数。这个操作数强制使所有在指定范围内的操作数有一个在由目标值指定的公差范围之内的相同的值。这个操作数的值是这样计算的 :如果每个值与平均值之差超出了目标值, 则找到指定范围内的所有值的平均值, 再求出差值的绝对值的总和。参见 SUMM 和 OSUM	第一个	最后一个	—
ETGT	边缘厚度大于。这个边界操作数强制使指定编号的表面的边缘厚度大于指定的目标值。如果代码为 0, 则边缘厚度是在沿着+y 轴方向的半径值为半口径处计算的 ;如果为 1 则沿着+x 轴方向 ;如果为 2 则沿着-y 方向 ;如果为 3 则沿着-x 方向。也可参见 “ MNET ”	表面编号	代码	—
ETLT	边缘厚度小于。这个边界操作数强制使指定编号的表面的边缘厚度小于指定的目标值。如果代码为 0, 则边缘厚度是在沿着+y 轴方向的半径值为半口径处计算的 ;如果为 1 则沿着+x 轴方向 ;如果为 2 则沿着-y 方向 ;如果为 3 则沿着-x 方向。也可参见 “ MXET ”	表面编号	代码	—
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} ,P _{xy}
ETVA	边缘厚度等于。强制使指定编号的表面的边缘厚度等于指定的目标值。如果代码为 0, 则边缘厚度是在沿着+y 轴方向的半径值为半口径处计算的 ;如果为 1 则沿着+x 轴方向 ;如果为 2 则沿着-y 方向 ;如果为 3 则沿着-x 方向。也可参见 “ MNET ”	表面编号	代码	—
EXPP	相对于第一个面的出瞳位置, 以镜头长度单位表示。这是近轴光瞳位置, 仅对中心系统有效	—	—	—
FCGS	归一化的弧矢场曲。这个场曲值是对于每种波长、每个视场计算的。对这个值归一化, 得到一个合理的结果, 甚至是对于非旋转对称系统也适用。参见分析菜单一章中的场曲特性	—	波长	H _x , H _y
FCGT	归一化的子午场曲 ;参见 FCGS	—	波长	H _x , H _y
FCUR	指定表面产生的场曲贡献值, 以波长表示。如果表面编号值为 0, 则是计算整个系统的场曲。这是由塞得系数计算出的第三级场曲, 对非近	表面编号	波长	—

	轴系统无效			
FICL	<p>光纤耦合效率。采样密度定义了这个联合体使用网格尺寸；1 是 32*32，2 是 64*64。波长必须是单色光，这个波长编号在 Int2 栏中说明。Hx 的值是整数的视场编号。如果 Hy 为 0，则以考虑到物方发射光纤；如果 Hy 为非 0 值，则物方发射光纤被忽略。Px 和 Py 分别用来定义发射和接收光纤的 NA。计算出来的值是相对于统一值的总的光纤耦合效率。详细内容参见分析菜单一章。这个操作数仅用在 ZEMAX 的 XE 和 EE 版本中</p>	采样密度	波长	见左所述
FOUC	<p>离焦分析。无论当前使用的默认设置是什么，这个操作数得到和由离焦分析特性计算出来的结果相同的计算和参考阴影图之间的均方差。要使用这个操作数，先要在离焦分析特性中定义要求的设置，然后在设置框中按下保存键。数据选项 difference 必须被选中以得到一个有效值。操作数 FOUC 将得到计算和参考阴影图之间的均方差。使用这个操作数时，将优化光学系统的波前像差来产生参考阴影图</p>	—	—	—
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
GBW0	<p>在指定表面的像空间中的高斯束腰。如果 Hx 为非零值，则计算 X 方向光束，否则计算 Y 方向光束。Hy 的值用来定义输入光束的腰宽，Px 用来定义第一面到输入束腰位置的距离。详细内容参见高斯光束特性</p>	表面编号	波长	见左所述

GBWA	在指定编号的表面上的高斯光束尺寸。如果 Hx 为非零值, 则计算 X 方向光束, 否则计算 Y 方向光束。Hy 的值用来定义输入光束的腰宽, Px 用来定义第一面到输入束腰位置的距离。详细内容参见高斯光束特性	表面编号	波长	见左所述
GBWD	在指定表面上高斯光束的曲率半径。如果 Hx 为非零值, 则计算 X 方向光束, 否则计算 Y 方向光束。Hy 的值用来定义输入光束的腰宽, Px 用来定义第一面到输入束腰位置的距离。详细内容参见高斯光束特性	表面编号	波长	见左所述
GBWR	在指定编号的表面后的光学空间的高斯光束的偏差。如果 Hx 为非零值, 则计算 X 方向光束, 否则计算 Y 方向光束。Hy 的值用来定义输入光束的腰宽, Px 用来定义第一面到输入束腰位置的距离。详细内容参见高斯光束特性	表面编号	波长	见左所述
GBWZ	像空间高斯光束束腰到指定表面的距离。如果 Hx 为非零值, 则计算 X 方向光束, 否则计算 Y 方向光束。Hy 的值用来定义输入光束的腰宽, Px 用来定义第一面到输入束腰位置的距离。详细内容参见高斯光束特性	表面编号	波长	见左所述
GCOS	玻璃价格。这个操作数得到指定表面使用的玻璃的在玻璃目录中的相对价格因子	表面编号	—	—
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}

GENC	<p>几何法的包围圆能量。这个操作数计算指定包围圆，矩形，X 方向，Y 方向能量的区域的半径（径向），以微米为单位。</p> <p>Int1 指采样密度，1 是 32*32，2 是 64*64，等等</p> <p>Int2 是整数的波长编号；0 代表全部波长</p> <p>Hx 指视场编号</p> <p>Hy 是要求能量的区域，必须在 0 和 1 之间，包含这两个数。</p> <p>Px 是指类型：1 代表包围圆，2 代表 X 方向，3 代表 Y 方向，4 代表矩形</p> <p>如果采样密度太低，则得到的半径值为 1e+10。也可参见 DENC</p>	采样密度	波长	见左所述
GLCA	指定编号的表面的法线的空间向量的 X 方向分量	表面编号	—	—
GLCB	指定编号的表面的法线的空间向量的 Y 方向分量	表面编号	—	—
GLCC	指定编号的表面的法线的空间向量的 Z 方向分量	表面编号	—	—
GLCX	指定编号的表面的顶点的空间坐标的 X 分量	表面编号	—	—
GLCY	指定编号的表面的顶点的空间坐标的 Y 分量	表面编号	—	—
GLCZ	指定编号的表面的顶点的空间坐标的 Z 分量	表面编号	—	—
GMTA	<p>弧矢和子午的几何传递函数响应曲线的平均值。参数 Int1 必须是一个整数 (1, 2, ……), 1 产生 32*32 的采样密度，2 产生 64*64 的采样密度，等等。Int2 可以是任意有效的波长编号，也可以是 0，代表全部波长。Hx 的值必须是一个有效的视场编号 (1, 2, ……)。Hy 是空间频率，以周期每毫米表示。Px 是一个标记，如果其为 0，则衍射极限被用来缩放传递函数值(推荐使用)，否则不缩放。详细内容参见这一章中的“操作数 MTF 的使用”部分的说明。</p>	见左所述	+	+
GMTS	弧矢的几何传递函数响应曲线，详细内容参见操作数 GMTA	见左所述	+	+

名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} ,P _{xy}
GMTT	子午的几何传递函数响应曲线，详细内容参见操作数 GMTA	见左所述	+	+
GPIM	光栏鬼像。GPIM 控制光栏鬼像（和随意的鬼像）相对于像面的位置。二次反射的鬼像形成光瞳像，如果在焦面附近形成，则将以杂散光污染像面。这就是常见的通过照相机镜头可观察到的在太阳附近的“太阳光晕”像。 这个操作数计算任一个特定的或所有可能的光栏鬼像，得到像面到离其最近的鬼像的距离的绝对值。这个操作数以这种方式定义，以便于可以简单地以 0 作为目标、加权、以及优化，来消除光栏鬼像的影响。如果参数 Int1 和 Int2 被设成特定的表面编号，则计算特定的鬼像，如果任意一个或者两个都是-1，那所有可能的表面联合起来被考虑。例如，如果 Int1 是 12，Int2 是-1，那么要考虑所有第一次在第 12 面反射的二次反射光线，然后是 11，10，9，等等，如果两个数都是负数，则所有的鬼像都要考虑。通过把在 Hx 栏中“模式”标记从 0 改为 1，同样的操作数也可以用来探测和控制鬼像（它与光栏鬼像不同）或者通过把模式设成 2 来控制光栏鬼像放大率。 WFB 和 WSB 栏将列出发现的相对于参考的最差的组合和更深层的分析。仅那些带有变化折射率的表面可能被认为是鬼像发生器。第一次从平面镜反射的被忽略。	第一表面	第二表面	见左所述
GRMN	梯度折射率表面的最小折射率。这个边缘操作数设定了在编号为“表面编号”的梯度折射率表面中指定编号的波长的最小允许的折射率。这个折射率在六个地方被核对：前顶点，+y 前顶端，+x 前边缘，后顶点，+y 后顶端，+x 后边缘。也可参见“IntGT”，“IntLT”和“GRMX”	表面编号	波长	—
GRMX	梯度折射率表面的最大折射率。这个边缘操作数设定了在编号为“表面编号”的梯度折射率表面中指定编号的波长的最大允许的折射率。这个折射率在六个地方被核对：前顶点，+y 前顶端，+x 前边缘，后顶点，+y 后顶端，+x 后边缘。也可参见“IntGT”，“IntLT”和“GRMN”	表面编号	波长	—
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} ,P _{xy}

GTCE	玻璃的膨胀系数。这个操作数得到指定表面使用的玻璃在玻璃目录中列出的热膨胀系数 1。	表面编号	—	—
HHCN	超半球条件的检验。ZEMAX 追迹指定光线到指定表面,计算 x,y,z 截止坐标。然后在该表面的矢高计算式中使用 x,y 坐标来判断 z 坐标产生的结果。如果 z 坐标不一样,则 HHCN 得到 1, 否则,得到 0。这个操作数可以用来防止优化得到一个需要超半球形状的表面的解决方案。	表面编号	波长	是
IMAG	像分辨率。无论当前使用的默认设置是什么,这个操作数得到与几何像分析特性计算得到的结果一样的部分分辨率。为了使用这个操作数,先要在几何像分析特性中按要求定义设置值,然后在设置框中按一下保存键。操作数 IMAE 将得到与像分析特性一样的分辨率(归一化)。参见下面的“用操作数 IMAE 的优化”中的说明。	—	—	—
INDX	折射率。得到任一表面任一定义波长的当前折射率。	表面编号	波长	—
InGT	折射率“n”大于。这个边界操作数限制了在编号为“表面编号”的梯度折射率表面在梯度折射率镜头中六个点之一处的编号为“波长”的波长的折射率。如 n=1,这个点是前顶点;n=2 是+y 前顶端 n=3 是+x 前边缘 n=4 是后顶点;n=5 是+y 后顶端;n=6 是+x 后边缘。在所有的情况中,这个操作数限制使指定点的折射率大于指定的目标值。例如,“I4GT”限制了在梯度折射率镜头后顶点处的最小折射率。在所有的情况中,+y 顶端和+x 边缘的距离是由在主电子表格中设定的大量的前半口径和后半口径来定义的。也可参见“GRMN”和“GRMX”,它们是与之相似的操作数,但更容易使用	表面编号	波长	—
InLT	折射率 n 小于。这个操作数与“InGT”相似,但它限制了最大的折射率值,而不是最小值。关于参数“n”的完整说明请参见“InGT”	表面编号	波长	—
InVA	这个操作数与“InGT”相似,但它仅仅限制了当前折射率的值。关于参数“n”的完整说明请参见“InGT”	表面编号	波长	—

名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
ISFN	像空间 F/#。这个操作数是无穷远共轭的近轴 F/#。参见 “ WFNO ”	—	—	—
LACL	垂轴色差。这是定义两种极端波长的主光线截点的 y 方向的距离。对于非近轴系统无效	—	—	—
LINV	系统的 Lagrange 不变量，以镜头长度单位表示。用近轴边缘光线和主光线数据来计算这个值	—	波长	—
LPTD	这个边界操作数通过改变符号来限制梯度折射率元件中的轴向剖面外形的斜率。参见 “ 梯度操作数的使用 ” 一章	表面编号	—	—
MAXX	得到指定范围内的操作数最大值。参见 MINN	第一表面	最后表面	—
MCOG	多重结构操作数大于。它用来限制多重结构编辑界面中的值	MC 操作数编号	结构编号	—
MCOL	多重结构操作数小于。它用来限制多重结构编辑界面中的值	MC 操作数编号	结构编号	—
MCOV	多重结构操作数的值。它用来直接确定或者计算多重结构编辑界面中的值	MC 操作数编号	结构编号	—
MINN	得到指定范围内操作数的最小值。参见 MAXX	第一表面	最后表面	—
MNAB	最小的阿贝常数。这个强制使在 “ 第一表面 ” 和 “ 最后表面 ” 之间的表面的阿贝常数大于指定目标值。也可参见 “ MXAB ”。这个操作数仅考虑使用模拟或库玻璃	第一表面	最后表面	—
MNCA	最小空气中心厚度。这个边界操作数强制使在 “ 第一表面 ” 和 “ 最后表面 ” 之间的用空气 (即不是玻璃) 当作一种玻璃类型的每一个表面的中心厚度大于指定的目标值。也可参见 “ MNCT ” 和 “ MNCG ”。这个操作数同时控制多个表面	第一表面	最后表面	—

MNCG	最小玻璃中心厚度。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的用非空气的玻璃类型的每一个表面的中心厚度大于指定的目标值。也可参见“MNCT”和“MNCA”。这个操作数同时控制多个表面	第一表面	最后表面	—
名称	说明	Int1	Int2	H_{xy}, P_{xy}
MNCT	最小中心厚度。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的每一个表面的中心厚度大于指定的目标值。也可参见“MNCG”和“MNCA”。这个操作数同时控制多个表面	第一表面	最后表面	—
MNCV	最小曲率。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的每一个表面的曲率大于指定目标值。也可参见“MXCV”。这个操作数同时控制多个表面	第一表面	最后表面	—
MNDT	最小的口径与厚度的比率。控制表面的口径与中心厚度的比率的最小允许值。仅考虑那些带有非统一折射率的表面。也可参见“MXDT”。这个操作数同时控制多个表面	第一表面	最后表面	—
MNEA	最小空气边缘厚度。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的用空气(即不是玻璃)当作一种玻璃类型的每一个表面的边缘厚度大于指定的目标值。也可参见“MNET”, “MNEG”, “ETGT”, 和“XNEA”。这个操作数同时控制多个表面。这个边界操作数仅用于表面的“+y”顶端边缘。关于非旋转对称表面的限制可参见 XNEA	第一表面	最后表面	—
MNEG	最小玻璃边缘厚度。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的用非空气的玻璃类型的每一个表面的边缘厚度大于指定的目标值。也可参见“MNET”, “MNEA”, “ETGT”, 和“XNEG”。这个操作数同时控制多个表面。这个边界操作数仅用于表面的“+y”顶端边缘。关于非旋转对称表面的限制可参见 XNEG	第一表面	最后表面	—

MNET	最小边缘厚度。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的每一个表面的边缘厚度大于指定的目标值。也可参见“MNEG”、“MNEA”、“ETGT”和“XNET”。这个操作数同时控制多个表面。这个边界操作数仅用于表面的“+y”顶端边缘。关于非旋转对称表面的限制可参见XNET	第一表面	最后表面	—
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} ,P _{xy}
MNIN	最小 d 光折射率。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的表面的 Nd 值大于指定的目标值。也可参见“MXIN”。这个操作数仅考虑用模拟或库玻璃的表面	第一表面	最后表面	—
MNPD	最小 P _{g,F} 。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的表面的局部色散的差值大于指定的目标值。也可参见“MXPD”。这个操作数仅考虑用模拟或库玻璃的表面	第一表面	最后表面	—
MNSD	最小半口径。强制使指定表面范围内的表面的半口径大于指定的目标值	第一表面	最后表面	—
MSWA	弧矢和子午的方波调制传递函数的平均值。详细内容参见“MTFT”	采样密度	波长	见左所述
MSWS	弧矢的方波调制传递函数值。详细内容参见“MTFT”	采样密度	波长	见左所述
MSWT	子午的方波调制传递函数值。详细内容参见“MTFT”	采样密度	波长	见左所述
MTFA	弧矢和子午的调制传递函数的平均值。详细内容参见“MTFT”	采样密度	波长	见左所述
MTFS	弧矢的调制传递函数值。详细内容参见“MTFT”	采样密度	波长	见左所述
MTFT	子午的方波调制传递函数值。它计算了衍射MTF值。参数 Int1 必须是一个整数 (1, 2,), 1 产生 32*32 的采样密度, 2 产生 64*64 的采样密度, 等等。Int2 必须是有效的波长编号, 或者 0, 其代表全部波长。Hx 的值必须是一个有效的视场编号 (1, 2,)。Hy 是空间频率, 以周期每毫米表示。如果采样密度相对于 MTF 的计算精度过低, 则所有的操作数 MTF 都将得到零值。如果子午和弧矢 MTF	采样密度	波长	见左所述

	都需要, 则将它们操作数 MTFT 和 MTFS 放在相邻的行中, 它们将同时被计算。详细内容参见这一章中的“操作数 MTF 的使用”的说明			
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
MXAB	最大的阿贝常数。这个强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的表面的阿贝常数小于指定目标值。也可参见“MNAB”。这个操作数仅考虑使用模拟或库玻璃	第一表面	最后表面	—
MXCA	最大空气中心厚度。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的用空气(即不是玻璃)当作一种玻璃类型的每一个表面的中心厚度小于指定的目标值。也可参见“MXCT”和“MXCG”。这个操作数同时控制多个表面	第一表面	最后表面	—
MXCG	最大玻璃中心厚度。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的用非空气的玻璃类型的每一个表面的中心厚度小于指定的目标值。也可参见“MXCT”和“MXCA”。这个操作数同时控制多个表面	第一表面	最后表面	—
MXCT	最大中心厚度。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的每一个表面的中心厚度小于指定的目标值。也可参见“MXCG”和“MXCA”。这个操作数同时控制多个表面	第一表面	最后表面	—
MXCV	最大曲率。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的每一个表面的曲率小于指定目标值。也可参见“MNCV”。这个操作数同时控制多个表面	第一表面	最后表面	—
MXDT	最大的口径与厚度的比率。控制表面的口径与中心厚度的比率的最大允许值。仅考虑那些带有非统一折射率的表面。也可参见“MNDT”。这个操作数同时控制多个表面	第一表面	最后表面	—
MXEA	最大空气边缘厚度。这个边界操作数强制使在	第一表面	最后表面	—

名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
	“第一表面”和“最后表面”之间的用空气(即不是玻璃)当作一种玻璃类型的每一个表面的边缘厚度小于指定的目标值。也可参见“MXET”,“MXEG”,“ETLT”,和“XXEA”。这个操作数同时控制多个表面。这个边界操作数仅用于表面的“+y”顶端边缘。关于非旋转对称表面的限制可参见XXEA		面	
MXEG	最大玻璃边缘厚度。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的用非空气的玻璃类型的每一个表面的边缘厚度小于指定的目标值。也可参见“MXET”,“MXEA”,“ETLT”,和“XXEG”。这个操作数同时控制多个表面。这个边界操作数仅用于表面的“+y”顶端边缘。关于非旋转对称表面的限制可参见XXEG	第一表面	最后表面	—
MXET	最大边缘厚度。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的每一个表面的边缘厚度小于指定的目标值。也可参见“MXEG”,“MXEA”,“ETLT”,和“XXET”。这个操作数同时控制多个表面。这个边界操作数仅用于表面的“+y”顶端边缘。关于非旋转对称表面的限制可参见XXET	第一表面	最后表面	—
MXIN	最大 d 光折射率。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的表面的 Nd 值小于指定的目标值。也可参见“MNIN”。这个操作数仅考虑用模拟或库玻璃的表面	第一表面	最后表面	—
MXPD	最大 P _{g,F} 。这个边界操作数强制使在“第一表面”和“最后表面”之间的表面的局部色散的差值小于指定的目标值。也可参见“MNPD”。这个操作数仅考虑用模拟或库玻璃的表面	第一表面	最后表面	—
MXSD	最大半口径。强制使指定表面范围内的表面的半口径小于指定的目标值	第一表面	最后表面	—
NPXG	非连续的物体位置 x 坐标大于	表面编号	物体	—
NPXL	非连续的物体位置 x 坐标小于	表面编号	物体	—
NPXV	非连续的物体位置 x 坐标值	表面编号	物体	—

NPYG	非连续的物体位置 y 坐标大于	表面编号	物体	—
NPYL	非连续的物体位置 y 坐标小于	表面编号	物体	—
NPYV	非连续的物体位置 y 坐标值	表面编号	物体	—
名称	说明	Int1	Int2	H_{xy}, P_{xy}
NPZG	非连续的物体位置 z 坐标大于	表面编号	物体	—
NPZL	非连续的物体位置 z 坐标小于	表面编号	物体	—
NPZV	非连续的物体位置 z 坐标值	表面编号	物体	—
NTXG	非连续的物体位置 x 倾斜大于	表面编号	物体	—
NTXL	非连续的物体位置 x 倾斜小于	表面编号	物体	—
NTXV	非连续的物体位置 x 倾斜值	表面编号	物体	—
NTYG	非连续的物体位置 y 倾斜大于	表面编号	物体	—
NTYL	非连续的物体位置 y 倾斜小于	表面编号	物体	—
NTYV	非连续的物体位置 y 倾斜值	表面编号	物体	—
NTZG	非连续的物体位置 z 倾斜大于	表面编号	物体	—
NTZL	非连续的物体位置 z 倾斜小于	表面编号	物体	—
NTZV	非连续的物体位置 z 倾斜值	表面编号	物体	—
NPGT	非连续参数大于。Hx 的值用来定义参数编号	表面编号	物体	见左
NPLT	非连续参数小于。Hx 的值用来定义参数编号	表面编号	物体	见左
NPVA	非连续参数等于。Hx 的值用来定义参数编号	表面编号	物体	见左
OBSN	物空间数值孔径。这个操作数仅对有限远共轭系统才有用，并且它是针对轴上点的主波长计算的	—	—	—

OFF	这个操作数用来指明操作数列表中的一个不常用的条目。在评价函数求值时，操作数 OFF 将自动被转换成操作数 BLNK。OFF 仅用来表明一种评价函数操作数不被认同。	—	—	—
OPDC	指定波长的主光线的光程差	—	波长	是
OPDM	相对于平均 OPD 的光程差；这个操作数是以光瞳上的所有光线的平均 OPD 为参考来计算这个 OPD 值的。OPDM 有着与 TRAC 同样的约束。详细讨论可参见 TRAC	—	波长	是
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} ,P _{xy}
OPDX	相对于一个移动了和倾斜的球面的光程差，这个球面可以使 RMS 波前差最小化；在这里 ZEMAX 用了质心参考。OPDX 有着与 TRAC 同样的约束。详细讨论可参见 TRAC	—	波长	是
OPGT	操作数大于。这个操作数用来使任意一个操作数有一个不等式约束	操作数编号	—	—
OPLT	操作数小于。这个操作数用来使任意一个操作数有一个不等式约束	操作数编号	—	—
OPTH	光程长度。这是指定光线到达指定编号的表面的距离，以镜头长度单位表示。这个距离是从有限远共轭系统的物点开始测量的。这个光程长度是根据介质的折射率和附加表面（如光栅和二元光学系统）的相位角计算得到的。参见 PLEN	表面编号	波长	是
OSUM	在两个指定操作数之间的所有操作数的值的总和。参见 SUMM	第一操作数	最后操作数	—

PnGT	参数“n”的值大于。这个边界操作数强制使指定编号的表面的参数 n 的值大于指定的目标值。符号“n”应该填入 1 和 8 之间的一个数。例如，“P3GT”强制使参数 3 的值大于目标值。表面类型不同，参数值也有不同的意思。关于参数值的说明可参见“表面类型”一章	表面编号	—	—
PnLT	参数“n”的值小于。这个边界操作数强制使指定编号的表面的参数 n 的值小于指定的目标值。符号“n”应该填入 1 和 8 之间的一个数。例如，“P5GT”强制使参数 5 的值小于目标值。表面类型不同，参数值也有不同的意思。关于参数值的说明可参见“表面类型”一章	表面编号	—	—
PnVA	参数“n”的值。这个边界操作数强制使指定编号的表面的参数 n 的值等于指定的目标值。符号“n”应该填入 1 和 8 之间的一个数。例如，“P1GT”强制使参数 1 的值等于目标值。表面类型不同，参数值也有不同的意思。关于参数值的说明可参见“表面类型”一章	表面编号	—	—
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} ,P _{xy}
PANA	在近轴光线和指定表面的交叉点处的 x 方向的法线。这是指在当前的坐标系统中，指定的近轴光线与指定编号的表面的交叉点处的表面法线矢量的 x 分量	表面编号	波长	是
PANB	在近轴光线和指定表面的交叉点处的 y 方向的法线。这是指在当前的坐标系统中，指定的近轴光线与指定编号的表面的交叉点处的表面法线矢量的 y 分量	表面编号	波长	是
PANC	在近轴光线和指定表面的交叉点处的 z 方向的法线。这是指在当前的坐标系统中，指定的近轴光线与指定编号的表面的交叉点处的表面法线矢量的 z 分量	表面编号	波长	是
PARA	近轴光线在指定编号的表面的折射光线的 x 方向余弦	表面编号	波长	是
PARB	近轴光线在指定编号的表面的折射光线的 y 方	表面编号	波长	是

	向余弦			
PARC	近轴光线在指定编号的表面的折射光线的 z 方向余弦	表面编号	波长	是
PARR	近轴光线在指定表面的半径坐标, 以镜头长度单位表示。这是指在当前坐标系统中, 光轴到指定编号的表面和指定近轴光线的交叉点的半径距离。	表面编号	波长	是
PARX	近轴光线在指定编号的表面的 x 坐标, 以镜头长度单位表示	表面编号	波长	是
PARY	近轴光线在指定编号的表面的 y 坐标, 以镜头长度单位表示	表面编号	波长	是
PARZ	近轴光线在指定编号的表面的 z 坐标, 以镜头长度单位表示	表面编号	波长	是
RATX	近轴光线 x 方向光线的正切。这是指这条近轴光线在指定编号的表面的折射光线与 Y-Z 平面的夹角的正切值	表面编号	波长	是
RATY	近轴光线 y 方向光线的正切。这是指这条近轴光线在指定编号的表面的折射光线与 X-Z 平面的夹角的正切值	表面编号	波长	是
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
PETC	匹兹伐曲率, 以镜头长度单位的倒数表示。对非近轴系统无效	—	波长	—
PETZ	匹兹伐曲率半径, 以镜头长度单位表示。对非近轴系统无效	—	波长	—
PIMH	在指定波长的近轴像面上的像高	—	波长	—
PLEN	光程长度。这个操作数计算指定光线在指定的表面 1 和表面 2 之间的总的光程长度 (包括折射率), 一般总是追迹主波长的光线	表面 1	表面 2	是
PMAG	近轴放大率。这是近轴主光线在近轴像面的高度与物高的比率。仅对有限远共轭系统有用。注意, 尽管系统不能理想聚焦, 也可使用近轴像面。	—	波长	—
POWR	指定编号的表面的权重 (以镜头长度单位的倒数表示)。这个操作数仅对标准表面才有效	表面编号	波长	—
PRIM	主波长。这个操作数用来在评价函数求值过程	—	波长编	—

	中改变主波长的编号。这个操作数不用目标值和权重两栏		号	
PROD	两个操作数的乘积。这两个自变量是参加乘法运算的两个操作数的行号	操作数 1	操作数 2	—
QSUM	均方和。这个操作数将第一和最后操作数 (包括这两个) 之间的所有操作数先平方, 再加起来, 然后取和数的平方根。也可参见 SUMM, OSUM, EQUA	第一操作数	最后操作数	—
RAGA	空间光线的 x 方向的余弦。这是指光线在空间坐标系统中的方向余弦。空间坐标系统的原点在空间参考表面上	表面编号	波长	是
RAGB	空间光线的 y 方向的余弦。参见 “ RAGA ”	表面编号	波长	是
RAGC	空间光线的 z 方向的余弦。参见 “ RAGA ”	表面编号	波长	是
RAGX	空间光线的 x 坐标。这是指空间坐标系统中的坐标, 以镜头长度单位表示。空间坐标系统的原点在空间参考表面上	表面编号	波长	是
RAGY	空间光线的 y 坐标。参见 “ RAGX ”	表面编号	波长	是
RAGZ	空间光线的 z 坐标。参见 “ RAGX ”	表面编号	波长	是
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
RAED	实际光线的出射角。这是指指定表面的法线和光线的折射光之间的夹角。也可参见 RAID	表面编号	波长	是
RAEN	实际光线的出射角。这是指指定表面的法线和光线的折射光之间的夹角的余弦。如果在该表面前的玻璃是一梯度折射率介质, 则不能得到一个正确的结果。也可参见 RAIN	表面编号	波长	是
RAID	实际光线的入射角。这是指指定表面的法线和入射光之间的夹角。也可参见 RAED	表面编号	波长	是
RAIN	实际光线的入射角。这是指指定表面的法线和入射光之间的夹角的余弦。如果在该表面前的玻璃是一梯度折射率介质, 则不能得到一个正确的结果。也可参见 RAEN	表面编号	波长	是
RANG	光线相对于 z 轴的角度, 以度表示。这个光线	表面编号	波长	是

	是相对于当前的 z 轴来测量的			
REAA	实际光线在指定编号的表面的折射光的 x 方向余弦	表面编号	波长	是
REAB	实际光线在指定编号的表面的折射光的 y 方向余弦	表面编号	波长	是
REAC	实际光线在指定编号的表面的折射光的 z 方向余弦	表面编号	波长	是
REAR	实际光线在指定编号的表面上半径坐标, 以镜头长度单位表示	表面编号	波长	是
REAX	实际光线在指定编号的表面上 x 坐标, 以镜头长度单位表示	表面编号	波长	是
REAY	实际光线在指定编号的表面上 y 坐标, 以镜头长度单位表示	表面编号	波长	是
REAZ	实际光线在指定编号的表面上 z 坐标, 以镜头长度单位表示	表面编号	波长	是
RENA	在实际光线与指定表面的交叉点处的 x 方向的法线	表面编号	波长	是
RENB	在实际光线与指定表面的交叉点处的 y 方向的法线	表面编号	波长	是
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
RENC	在实际光线与指定表面的交叉点处的 z 方向的法线	表面编号	波长	是
RETX	实际光线在 x 方向的光线正切值 (斜率)	表面编号	波长	是
RETY	实际光线在 y 方向的光线正切值 (斜率)	表面编号	波长	是
RGLA	合理的玻璃。这个操作数限制了可取的相对于当前载入的玻璃库中的实际玻璃的折射率、阿贝常数和局部色散的偏离值。完整的说明可参见“玻璃选择的优化”一节。这个约束条件对指定的表面范围内的表面都有效。	第一表面	最后表面	—
RSCE	以镜头长度单位测量的, 相对于几何像质心的 RMS 斑点尺寸 (光线像差)。这个操作数类似于 RSCH, 只不过参考点是像质心, 而不是主光线。详细内容可参见 RSCH	环带	波长	H _x , H _y
RSCH	相对于主光线的 RMS 斑点尺寸 (光线像差)。	环带	波长	H _x , H _y

	这个操作数使用高斯积分法来估算指定视场坐标和波长的 RMS 斑点尺寸。得到的结果是以镜头长度单位表示的。使用的方法仅对带有圆孔径的系统才是准确的。Int1 栏用来定义要追迹的光线的环带数 (使用不超过要求的环带来得到结果)。仅使用 Hx 和 Hy 来定义视场点, 不用 Px 和 Py。如果“波长”的值为零, 则一个带有加权波长的多色光被用来计算			
RSRE	以镜头长度单位测量的, 相对于几何像质心的 RMS 斑点尺寸 (光线像差)。这个操作数类似于 RSCE, 只不过它使用矩形网格的光线, 而不用高斯积分方法。这个操作数一般总是认可渐晕。网格值为 1 则表示 4 条光线, 2 表示追迹每个象限追迹一个 2*2 网格 (16 条光线), 3 表示每象限追迹一个 3*3 网格 (36 条光线), 等等。已考虑到系统的对称性	网格	波长	Hx , Hy
RSRH	类似于 RSRE, 只不过参考点是主光线	网格	波长	Hx , Hy
RWCE	相对于衍射质心的 RMS 波前差。这个操作数对于最小化波前偏差是有用的, 这个波前偏差于斯特列尔比率和 MTF 曲线下的面积成正比。其单位为波长。参见 RWCH。详细内容可参见 RSCH	环带	波长	Hx , Hy
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
RWCH	相对于主光线的 RMS 波前差。其单位为波长。由于已减去平均 OPD, 这个 RMS 实际上是指标准的波前偏差。参见 RWCE。详细内容可参见 RSCH	环带	波长	Hx , Hy
RWRE	类似于 RSRE, 只不过是计算波前差, 而不是斑点尺寸	网格	波长	Hx , Hy
RWRH	类似于 RSRH, 只不过是计算波前差, 而不是斑点尺寸	网格	波长	Hx , Hy
SAGX	XZ 平面上指定表面在半口径处的矢高, 以镜头长度单位表示	表面编号	—	—
SAGY	YZ 平面上指定表面在半口径处的矢高, 以镜头长度单位表示	表面编号	—	—

SFNO	在任意定义视场和波长时计算的弧矢工作 F/#。参见 TFNO	视场	波长	—
SINE	指定编号的操作数的值的正弦值。如果标记为零，则单位为弧度，否则为度	操作数编号	标记	—
SKIS	如果对称则跳跃。如果镜头是旋转对称的，则评价函数的计算从指定的操作数编号继续下去	操作数编号	—	—
SKIN	如果不对称则跳跃。参见 SKIS	操作数编号	—	—
SPHA	指定表面产生的球差贡献值，以波长表示。如果表面编号值为零，则为整个系统的总和	表面编号	波长	—
SQRT	操作数的平方根。这个自变量是要求平方根的操作数的行号	操作数编号	—	—
SUMM	两个操作数之和。这两个自变量是要相加的操作数的行号。参见 OSUM	操作数 1	操作数 2	—
SVIG	设置渐晕因子。当包括这一项时，将更新当前结构的渐晕因子	—	—	—
TANG	指定编号的操作数的正切值。如果标记为零，则单位为弧度，否则为度	操作数编号	标记	—
TNFO	在任意定义视场和波长时计算的子午工作 F/#。参见 SFNO	视场	波长	—
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
TMAS	总质量。计算指定表面范围内的玻璃镜头的质量。仅对那些带有圆形边缘的平面和球面标准表面有效。关于如何计算元件的质量和体积的说明可参见“报告菜单”一章	第一表面	最后表面	—
TOTR	镜头的总途径 (长度)，以镜头长度单位表示	—	—	—

TRAC	在像面半径方向测定的相对于质心的垂轴像差。与其他操作数不一样的是，TRAC 精确根据评价函数编辑界面中其他 TRAC 操作数的分布来正确工作。TRAC 操作数必须由视场点和波长一起来分组。ZEMAX 将一起追迹一个共同视场点的所有的 TRAC 光线，然后根据这些集体数据来计算所有光线的质心。仅可用默认评价函数工具来将这个操作数输入到评价函数编辑界面中，而不建议用户直接使用	—	波长	是
TRAD	TRAR 的 x 分量。TRAD 具有与 TRAC 一样的约束。详细说明可参见 TRAC。	—	波长	是
TRAE	TRAR 的 y 分量。TRAE 具有与 TRAC 一样的约束。详细说明可参见 TRAC。	—	波长	是
TRAI	在指定表面半口径方向测定的相对于主光线的垂轴像差。类似于 TRAR，只不过是针对一个表面，而不是指定的像面	表面编号	波长	是
TRAR	在像面半径方向测定的相对于主光线的垂轴像差	—	波长	是
TRAX	在像面 x 方向测定的相对于主光线的垂轴像差	—	波长	是
TRAY	在像面 y 方向测定的相对于主光线的垂轴像差	—	波长	是
TRCX	在像面 x 方向测定的相对于质心的垂轴像差。参见 TRAC。仅可用默认评价函数工具来将这个操作数输入到评价函数编辑界面中，而不建议用户直接使用	—	波长	是
TRCY	在像面 y 方向测定的相对于质心的垂轴像差。参见 TRAC。仅可用默认评价函数工具来将这个操作数输入到评价函数编辑界面中，而不建议用户直接使用	—	波长	是
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}

TTGT	总厚度大于。这个边界操作数强制使指定编号的表面的总厚度 (包括表面的前、后矢高) 大于指定的目标值。如果代码为 0 , 则在+y 方向上半径为半口径处计算厚度 ; 如果代码为 1 则在+x 方向上 ; 如果代码为 2 则在-y 方向上 ; 如果代码为 3 则在-x 方向上	表面编号	代码	—
TTHI	从第一个和最后一个指定的表面之间的表面的厚度的总和。注意 , 这个和数是相容的 , 而不是两个表面之间的厚度	第一表面	最后表面	—
TTLT	总厚度小于。参见 TTGT	表面编号	代码	—
TTVA	总厚度等于。参见 TTGT	表面编号	代码	—
UDOP	用户自定义操作数。用来优化在外部编译程序中计算得到的数值结果。参见 “ 用户自定义操作数 ” 一节 , 也可参见 ZPLM	宏指令编号	数据编号	是
USYM	如果评价函数中有这个操作数 , 它将通知 ZEMAX 假设镜头中存在轴对称 , 尽管 ZEMAX 探测到不存在对称性。在一些特殊的情况下这将加快评价函数的执行速度。参见这一章中前面的默认评价函数说明中的 “ 假设轴对称 ”	—	—	—
VOLU	元件的体积 , 以立方厘米表示。这个结果数值仅对于那些由平面和球面限制的区域才有效。总体积 , 计算在指定表面范围内的镜头和空气空间的体积 , 仅对平面和带有圆形边缘的标准球面才有效。参见 “ 报告菜单 ” 一章中关于如何计算元件的质量和体积的说明	第一表面	最后表面	—
WFNO	工作 F/#。这是由像空间中实际边缘光线相对于主光线作出的角度计算出来的。	—	—	—
XDGT	特殊数据值大于。Int2 的数字必须在 1 和 200 之间 , 用来说明选择哪个特殊数据值	表面编号	数字	—
XDLT	特殊数据值小于。Int2 的数字必须在 1 和 200 之间 , 用来说明选择哪个特殊数据值	表面编号	数字	—

名称	说 明	Int1	Int2	H _{xy} ,P _{xy}
XDVA	特殊数据值等于。Int2 的数字必须在 1 和 200 之间，用来说明选择哪个特殊数据值	表面编号	数字	—
XNEA	空气表面的最小边缘厚度。这个操作数检查表面周边大量点的边缘厚度，确保所有点的厚度至少是指定最小厚度。参见“MNEA”	第一表面	最后表面	—
XNEG	玻璃表面的最小边缘厚度。这个操作数检查表面周边大量点的边缘厚度，确保所有点的厚度至少是指定最小厚度。参见“MNEG”	第一表面	最后表面	—
XNET	最小边缘厚度。这个操作数检查表面周边大量点的边缘厚度，确保所有点的厚度至少是指定最小厚度。参见“MNET”	第一表面	最后表面	—
XXEA	空气表面的最大边缘厚度。这个操作数检查表面周边大量点的边缘厚度，确保所有点的厚度不超过指定最大厚度。参见“MXEA”	第一表面	最后表面	—
XXEG	玻璃表面的最大边缘厚度。这个操作数检查表面周边大量点的边缘厚度，确保所有点的厚度不超过指定最大厚度。参见“MXEG”	第一表面	最后表面	—
XXET	最大边缘厚度。这个操作数检查表面周边大量点的边缘厚度，确保所有点的厚度不超过指定最大厚度。参见“MXET”	第一表面	最后表面	—
YNIP	近轴 YNI 值。这个数值是由近轴边缘光线高度乘以折射率乘以入射角得到的。这个数与指定表面的 narcissus 贡献值成正比。参见《应用光学》，Vol.22,18,p3393	表面编号	波长	—

ZERN	泽尼克边缘系数。Int1 , Int2 , Hx 和 Hy 数据值分别用来说明泽尼克系数项的编号 (1-37), 波长编号, 采样密度(1=32*32 , 2=64*64 , 等等), 和视场位置。注意如果你多个仅系数项编号不同的 ZERN 操作数, 则在编辑界面中它们应被放在相邻行中。否则将降低计算速度	系数项	波长	见左
ZPLM	用来优化在 ZPL 宏指令中计算得到的数值结果。参见“用户自定义操作数”一节。也可参见 UDOP	宏指令编号	数据编号	是
名称	说明	Int1	Int2	H _{xy} , P _{xy}
ZTHI	这个操作数控制多重结构中某一范围的表面的总厚度的偏差。这类似于操作数 TTHI, 只不过它是一个不等式操作。其指定的目标值是每个定义的结构 TTHI 值之间最大允许差值。例如, 假设有 3 种结构, 其 TTHI 3 8 的值分别是 17, 19, 和 18.5, 如果目标值小于 2 则 ZTHI 得到 2 (即 19-17), 否则 ZTHI 得到目标值。为了保证所有的变焦结构有相同的长度, 可使用 0 的目标值	第一表面	最后表面	—

运算操作数 (SUMM , OSUM , DIFF , PROD , DIVI , SQRT) 连同参数操作数 (CVGT , CVLT , CTGT , CTLT , 等等...) 一起可以用来定义十分普通而又复杂的优化操作数, 如在“复合操作数的定义”一节中论述的一样, 这些将在本章后面部分可以见到。

因为参数之间差别是空间的, 如有效焦距 (几十个毫米或者更多) 和 RMS 斑点尺寸 (微米), 所以对于一些以镜头长度单位测量的量加上一个为 1 的权重通常是足够的。然而, 带有这个权重的有效焦距的残留值不可能为零。提高权重可以使得到的系统的焦距更接近于要求的有效焦距。在定义 ETGT (边缘厚度大于) 操作数时, 这种影响是显而易见的。通常, 一个目标值为零的 ETGT 将产生一个刚好略小于零的值。与提高权重相比, 规定一个值为 .1 或者一些类似数字的目标值更加简单有效。

在改变操作数列表之后, 可以通过选择工具, 更新来更新每个操

作数的当前值。这对于通过核对来了解每个操作数的值是多少，哪个操作数对评价函数有最大的贡献，是十分有用的。贡献值的百分数定义如下：

$$\% \text{贡献值}_i = 100 \times \frac{W_i(V_i - T_i)^2}{\sum_j W_j(V_j - T_j)^2}$$

这里下标 j 表明所有操作数的总和。

这个评价函数将被自动和镜头文件一起被保存。

边界操作数的理解

边界操作数，如 MNCT、CTGT、DIMX 和其他一些，运行起来与特殊目标值的操作数，如 TRAR 和 TEAY，稍微有些不一样。当你给一个参数规定一个边界时，你将指定一个目标值作为边界的定义。例如，要保持表面 5 的最小中心厚度为 10mm，你可以使用一个普通的命令，如 CTGT 5 10（这里 5 在 Int1 栏中，10 在目标值栏中）。如果你更新评价函数，然后观察那个操作数的“数值”栏，这个数值会有两种可能情况：1) 如果违反了边界条件，那是指中心厚度小于 10，那么这个厚度的实际值将被显示；2) 如果没违反边界条件，那是指中心厚度大于 10，那么数值 10 将被显示。

这个规则十分简单：如果违反了边界条件，则显示实际值；如果没违反边界条件，其数值将被设成目标值，因此被优化法则略过。如果在优化过程中违反了边界条件，那么这个数值将自动被更新，而且优化法则将尽力纠正这个违反边界条件的参数。

那些限制某一范围内的表面的操作数稍微复杂一些。这些多个表面操作数将得到一个表征在指定表面范围内所有被违反的边界条件的总体的影响。例如，操作数 MNCT 1 10 将限定表面 1 到表面 10 的表面的最小中心厚度。如果目标值为 3.0，这规定了边界，那么操作数的值与目标值之差是在表面 1 和表面 10 之间的中心厚度小于 3.0 的所有表面的中心厚度与 3.0 之差值的总和。如果在指定范围内中心厚度小于 3.0 的表面只有一个，比如说其中心厚度为 2.5，则操作数的值为 2.5。如果增加另一个中心厚度小于 3.0 的表面，比如说其中心厚度为 2.2，那么这个操作数的值为 1.7（2.5 减去 .8，.8 是 3.8 减

去 2.2)。操作数的目标值和结果数值之间的总的差值为 3.0-1.7 或者 1.3。1.3 的差值是由第一面的违反值 0.5 和第二面的违反值 0.8 得到的。

如果这些边界操作数的值的计算看起来很乱,不要着急,ZEMAX 将为你完成所有的计算。你要做的所有的事是指定边界类型(如 MNCT 和 MNET)、边界范围(表面 1 到表面 10,或者其他)和要求值(3mm 或者其他)。如果所有的边界约束都符合,则操作数的值等于目标值,否则操作数值与目标值不同,评价函数值将增大。增加的评价函数将引起优化法则去寻找该操作数贡献值的减少方法。

如果边界操作数看起来没有工作,那么需要去检查几件事情:

- 1) 确保你定义的变量在边界操作数中有一定影响。一个常见的错误是定义了一个操作数 MNCT,而在指定的表面范围内有一些“固定”厚度。如果这个厚度违反了边界条件,而且它不是变量,那么 ZEMAX 不能修改它。操作数不能忽略被违反的且固定的边界条件。
- 2) 如果有少量残留误差,可试着提高边界值。例如,假设 MNCT 使用的目标值为 0.0,而它的结果为一个很小的数值(如-.001),这个问题不是这个操作数没作用,这仅仅是残留误差太小了,明显地提高了评价函数值。一般来说,将目标值提高到 0.1 或者其他数值,要比提高权重更好。提高权重仅只能导致一个更小的违反值,而不能符合边界条件。
- 3) 核对一下,看看是否有一个对评价函数来说是合理的贡献值。你可以很容易在贡献值百分数一栏中找到它。通过贡献值百分数栏的浏览,你可以核查一下有问题的操作数对于总的评价函数是否有足够的影响。如果没有,可以提高权重,或者参见前段关于改变目标值的建议。

理解边界操作数对于掌握 ZEMAX 优化来说是至关重要的一部分,如果你有一定的实践经验,你将会发现它们提供了极好的控制性和机动性。

MTF 操作数的使用

这些操作数仅支持 ZEMAX 的 XE 和 EE 版本的

MTF 操作数，如 MTFT，MTFS，和 MTFA，提供了直接优化衍射 MTF 的功能。这是一个十分强大的功能，然而，使用 MTF 操作数需要留心一下使用者的部分。

对于那些不是接近于衍射极限的系统，提供了相当的几何 MTF 操作数：GMMT，GMTS，和 GMTA。这些操作数代替衍射操作数被用在那些像差大于约 2-5 个波长的系统。

MTF 操作数可正确地计算出像由分析，衍射菜单选项得到的图形一样的完整的衍射或几何 MTF 值。因此，那些 MTF 曲线图中产生非法数据（由于在光瞳有太多的 OPD，详细内容可参见“分析”一章）的系统在优化过程中也将产生没有意义的数字。例如，优化一个从平行平板平面开始的镜头的 MTF 是不合实际的，因为对这样的系统通常不能正确计算 MTF。同样，MTF 优化与 RMS 斑点半径或者 RMS 波前差比起来是相当慢的，通常要慢 5 到 50 倍。注意，如果你对于相同的视场和波长数据同时使用 MTFT 和 MTFS 操作数，应该将它们放在编辑界面的相邻两行中；否则 MTF 将计算两次。如果采样密度相对于 MTF 的精确计算来说太低了，则这个 MTF 操作数将得到零值，而不是一个无效的数字。

在更新评价函数编辑界面的显示内容，进入和退出优化对话框时，执行的速度很明显是很慢的。在一些评价函数被修改的时候，如果已输入了几个 MTF 操作数，ZEMAX 将花几分钟在慢速计算上来更新屏幕。

一个好的方法是使用 RMS 波前差交替地设计你的系统。通常来讲，一个低 RMS 波前差的系统将有一个合理的 MTF 结果。在设计十分接近最后形式之后，再试着选择到 MTF 优化来“提高”系统。在如果任何 MTF 操作数之前将所有的默认评价函数全部删去也是一个好的注意，当然那些需要的边界约束除外。

MTF 操作数使用一些操作数数据栏，如 Int1，Int2，和 Hx，其用法与大多数操作数不一样。Int1 栏确定要使用的采样密度。如果其值为 1，则说明使用 32*32 的网格，2 则为 64*64 网格，等等。使用可

版权声明：本文由“光学在线”收集及整理，所有版权归文章原始作者所有（本站均注明出处和作者），“光学在线”是一个介绍光学及相关科学的专业网站，其宗旨在于推广光学和相关学科以及光电产业在中国的传播和发展，不为任何赢利目的，所以传播此文的目的旨在进行学术性质的交流，如果您有任何意见和看法，请与我们联系（info@photics.net），我们会在最短的时间内给您答复并采取相应的补救措施！²⁷²

以正确计算数据的最小的网格尺寸 ;详细内容可再参见“分析”一章。

Int2 栏和大多数操作数的一样，是选择波长。然而输入一个零值用来指明计算多色光。在这种情况下，计算加权波长的多色光 MTF 值。显而易见，这要比单色光 MTF 计算慢。

Hx 栏用来指定视场位置，它必须是 1 和定义的视场数之间的整数。

Hy 是以周期每毫米表示的空间频率，与镜头系统单位无关。可以输入任意值，如果这个值超过截止频率，操作数将得到 0。这个值不必是某一个值的整数倍；就和 MTF 数据图一样，将使用一个适合邻近数据点的立方条来计算 MTF 的精确值。

目标值和权重栏和其他操作数一样使用。当然，如果目标值被设为 1.0，空间频率为非零值，那么这个操作数的值将永远不可能达到这个目标值。

优化的执行

为了开始优化，可从主菜单栏中选择工具，优化。将显示带有如下选项的优化控制对话框。

优化选项

条款	说明
自动(Automatic)	一直执行到系统确定系统不再有明显改善为止
1 个循环(1 Cycle)	执行单个优化循环
条款	说明
5 个循环(5 Cycle)	执行 5 个优化循环
10 个循环(10 Cycle)	执行 10 个优化循环
50 个循环(50 Cycle)	指定 50 个优化循环
无限循环(Inf. Cycle)	执行无限个优化循环，一直执行循环直到按下“终止”选项

终止(Terminate)	终止优化的运行，并返回到控制对话框
退出(Exit)	关闭优化对话框
自动更新(Auto Update)	如果选中这一项，ZEMAX 在每个优化循环结束时将自动更新和重画所有打开的窗口。这允许使用任意分析特性来监视优化进程
CPU 数量(# CPU s)	选择要在其上分布优化任务的 CPU 的数量。如果选择大于 1 的数，即使是在只带有单个 CPU 的计算机上，这个单个的 CPU 将分时执行多个同时的任务。其默认值是操作系统探测到的处理器的个数

选择自动将使优化一直运行直到不能再取得任何进展。其他选项将执行指定数目的循环。自动模式被强烈推荐。运行一定数目的循环所要的时间由于下列条件的变化而变得非常大，它们是：变量的数目；系统的复杂性；求解数的数目；操作数的数目；当然还有计算速度。如果一个循环花的时间太长了，或者它看起来好象中止了，或者你认为这个设计方案不能取得充分的进展，可以点击终止来结束优化的运行。

当优化开始时，ZEMAX 首先更新系统的评价函数。如果有一些操作数不能被计算，则优化不能开始，并且显示一条错误信息。如果操作数需要追迹那些漏过一些表面或者在一折射边界发生了全反射的光线，那么这些操作数不能被计算。如果这样的错误信息显示了，通常起始镜头规定是错误的，或者对象光线定义错了（这不会发生在默认评价函数中，但可能发生在用户自定义光线中）。如果评价函数在优化过程中不能被求值，则 ZEMAX 将自动将之恢复。所以初始系统必须是计算所有在评价函数中操作数。

复合操作数的定义

虽然由一些预先确定的操作数组合而成的默认评价函数可以很好地适合于多数光学设计，但有时也需要加一些特殊的约束到评价函数中。ZEMAX 允许你在简单的模块之外定义你自己的操作数，这比

定义大量特殊的操作数要好。ZEMAX 承认非常全面的操作数定义。建立这些操作数有两个诀窍。首先，使用某些权重为零的操作数来定义你想要的参数，其次，使用运行的操作数来定义它们之间的关系。例如，假设你要求表面 3 的厚度和表面 4 的厚度之和为 10。有一个操作数可以做到这一点，TTHI。其命令结构如下：

编号	类型	Int1	Int2	目标值	权重
1	TTHI	3	4	10	1

然而，注意到有另一个方法可以计算同样的事情，仅作参考：

编号	类型	Int1	Int2	目标值	权重
1	CTVA	3		0	0
2	CTVA	4		0	0
3	SUMM	1	2	10	1

操作数 1 使用中心厚度值 (CTVA) 命令来摘录表面 3 的厚度值。同样，操作数 2 用来摘录表面 4 的厚度值。两个操作数的零权重可确保优化法则忽略这个约束；这仅仅被用作是中间步骤。现在，操作数 3 计算两个操作数 (编号 1 和编号 2) 之和。其结果是表面 3 和表面 4 的厚度之和，这是操作数 3 的结果，它有一个非零的权重。优化法则将尽力使和数为 10。

如果单个操作数 TTHI 可以做同样的事情，为什么要转到这个麻烦的三个步骤的过程。其原因是这个命令可以被扩展来利用非常普通的操作数。例如，假设你想要使表面 5 的曲率半径是以表面 8 的球面顶点为中心的。考虑一下以下的命令，看看你能否理解它是如何做的：

编号	类型	Int1	Int2	目标值	权重
1	CVVA	5		0	0
2	TTHI	5	7	0	0
3	PROD	1	2	1	1

这个 CVVA 命令摘录了表面 5 的曲率, 这个曲率是我们要控制的。TTHI 5 7 计算了从第 5 面到第 8 面的距离 (注意, 要得到到第 8 面的距离, 我们只加到第 7 面, 因为第 8 面的厚度给出了到第 9 面的距离)。由于表面的曲率为其半径的倒数, 所以这个曲率和这个距离的乘积必须为 1; 因此, 操作数 3 的目标值为 1。操作数 3 也是这个序列中唯一加了权的操作数。

现在考虑必要条件, 表面 5 的厚度必须大于表面 4 的曲率半径的两倍加上表面 2 的圆锥常数 (这是没有意义的, 仅是这个方法中机动性的说明):

编号	类型	Int1	Int2	目标值	权重
1	CTVA	5		0	0
2	CVVA	4		0	0
3	CONS			2	0
4	DIVI	3	2	0	0
5	COVA	2		0	0
6	SUMM	4	5	0	0
7	DIFF	1	6	0	0
8	OPGT	7		0	1

操作数 1 摘录了表面 5 的 (中心) 厚度。操作数 2 摘录了表面 4 的曲率。操作数 3 设置了一个值为 2 的常数, 操作数 4 把值 2 除以曲率 (产生曲率半径的两倍)。COVA 摘录了圆锥常数, SUMM 把操作数 5 和操作数 4 加起来。操作数 7 得到厚度和半径两倍加上圆锥常数之间的差值。由于我们想要前者超过后者, 我们设定了大于约束条件的操作数; 这是唯一一个有非零权重的操作数。

玻璃选择的优化

玻璃的优化是手动的, 这于其他数据稍有不同。因为在玻璃图中不存在一些连续统一的玻璃, 所以直接优化可选择的玻璃是一个困难

的、不可预知的过程。有两种方法可以处理这个问题：使用模拟玻璃或者使用输入玻璃。输入玻璃通常更优越，但这仅适用于 ZEMAX 的 XE 和 EE 版本。

使用模拟玻璃

模拟玻璃方法是使用一些简单的参数将离散分布的玻璃理想化，然后在强制使这些参数值或者计算出的折射率类似于可用的玻璃的同时优化这些参数。这就是“模拟”玻璃的方法。模拟玻璃将在“玻璃库的使用”一章中详细介绍。模拟玻璃方法的一个缺点是优化的参数和最后的折射率值可能不会和实际存在的玻璃相对应；另一个缺点是模拟玻璃仅在可见光谱中才可认为是正确的。这一章中介绍的常规优化使用这个方法。

优化玻璃需要几个步骤。首先，在镜头数据编辑界面中使用玻璃求解将适当的玻璃改为“模拟”玻璃。有关模拟玻璃的信息，可参见“玻璃库的使用”一章。当你将玻璃从“固定”变为“模拟”，ZEMAX 将给折射率、阿贝常数和部分相对色散做出一个合适的猜测。如果你想变玻璃的话，你只能改变这些数据。可以通过点击在这三个数据条目后的“可变”框来将它们变为变量。

在玻璃栏上快捷键 Ctrl-Z 也可以工作；它可以使折射率、阿贝常数和部分色散成为变量。现在可以通过常用的方法使用优化特性来优化模拟玻璃数据值。

不加约束的玻璃优化将会导致选择一种高折射率的材料。这是因为为了得到相同的光学效果，一个带有高折射率（折射超出边界条件很多）的表面要求的曲率比低折射率的表面要小。表面的曲率越小，它导致的像差就越小。然而不幸地是，高折射率材料是昂贵的，重的，难以加工的，而且是易碎的，易被划伤的，或者易受污点和划痕影响。而且，非常高的折射率的玻璃往往是不存在的；几乎没有 N_d 约大于 1.9 的可用玻璃（对于可见光谱而言）。 V_d 值也被限定在大约 20-80 之间。因此这是在优化过程中将 N_d 和 V_d 限制在某一合理范围内的根本原因。部分色散偏差也必须被限制在一定的范围之内。

有两种限制 N_d 、 V_d 和 $\Delta P_{g,F}$ 值的方法。最简单的方法是在操作数

列表的某处增加 RGLA 操作数。操作数 RGLA 测量了模拟玻璃到在当前载入玻璃目录中与之最接近的玻璃在玻璃图上的折射率、阿贝常数和部分色散的“距离”。例如，假设你正在优化折射率和阿贝常数，而且你已经指定使用 Schott 和 Hoya 目录(这些在通用数据窗口中说明)，操作数 RGLA 将计算到这两个目录中每种玻璃之间的“距离”。如果最小的“距离”小于在操作数 RGLA 中指定的目标值，那么符合边界条件，操作数的值等于目标值。如果最接近的玻璃与之的“距离”远大于目标值，则 RGLA 的操作数值为实际“距离”。“距离”是通过将阿贝常数乘以 0.01 以及将相对色散偏差乘以 10 来定义的。任意两种玻璃的“距离”给出如下：

$$d = [(Nd_1 - Nd_2)^2 + 10^{-4}(Vd_1 - Vd_2)^2 + 10^{+2}(\Delta P_{g,F1} - \Delta P_{g,F2})^2]^{1/2}$$

使用 RGLA 的最好的方法是定义一个覆盖所有你正在优化的表面的范围。其目标值开始时为 0.05。由于在玻璃图上不同玻璃的间隔通常都小于 0.05，所以这将允许玻璃在整个玻璃图上任意移动。优化结束后，将目标值提高到 0.02 左右，重新优化。这将促使优化系统在实际玻璃附近选择合理的折射率和阿贝常数。约束折射率和阿贝常数的另一个方法是使用 MNIN、MXIN、MNAB、和 MXAB 控制。这些操作数是最小和最大的折射率和阿贝常数的记忆体，它们在前面的表格中已被说明。这些操作数可以将优化限制在玻璃图上的一个矩形范围内。一起使用 RGLA 和 MXIN 是十分有效的，例如，可以限制在折射率小于某一个值的现有的玻璃范围内选择玻璃。

在某些时候，你可能想将你的变量折射率转换成一种实际玻璃的折射率。通常在优化的 Nd 和 Vd 值与当前玻璃目录中的实际玻璃的值没有一种理想的匹配。然而，ZEMAX 将搜索这个目录，使用类似于前面的 RGLA 定义的最小平方数的准则来找到一种“最匹配”的玻璃（部分色散项被忽略）。目录中与变量折射率参数相差最小的玻璃就是选中的玻璃。这种玻璃也将在“表面数据概述”中汇报。这个显示的折射率数据是从 Nd 和阿贝常数计算得到的数据，而不是最匹配玻璃的数据。在将模拟玻璃转换成实际玻璃以后，通常需要另一次优化运行。对于那些具有灵敏的色差平衡的系统，仅仅因为模拟玻璃的色散和实际玻璃的色散是不可能一样的，所以不可能使用变量玻璃

来找到最佳玻璃。

输入玻璃的使用

输入玻璃的方法直接改变玻璃类型，然后重新优化来看看新的玻璃是否产生一个更好的结果。可以通过简单地改变玻璃类型，然后重新优化来手动使用这种方法，或者使用在下一章“全局优化”中介绍的全局优化技巧来自动控制这个过程。全局优化方法实际玻璃目录的材料，在这层意义上它也是比较优越的方法。

关于这个优化玻璃的选择方法的说明可参见下一章“全局优化”中的“优化玻璃的选择”的说明。

变焦和多重结构镜头的优化

变焦镜头的优化和常规的单个结构镜头的优化事实上是一样。详细内容可参见“多重结构”一章。

特殊数据的优化

➡ 这段说明仅与使用 ZEMAX-EE 的用户有关

ZEMAX-EE 支持的某一些表面，如泽尼克表面，泽尼克相位表面，扩展多项式表面，和二元光学表面，使用了特殊数据值。这些数据可以被编辑，可以从 ASCII 码文件中载入，以及可以用作变量来优化。关于编辑界面的详细内容可参见“编辑菜单”一章。

要使一个特殊数据值成为一个变量，可打开特殊数据编辑界面。当特殊数据编辑界面显示以后，把光标移到你要优化的值所在的行和列，然后按 Ctrl-Z（在主界面中使用同样的命令来设置变量）。现在当运行优化程序时，这个变量将被优化。

使用特殊数据值时也有几个边界约束。XDVA、XDGT、和 XDLT 分别是指特殊数据值、特殊数据值大于、和特殊数据值小于。显示的电子表格中 Int1 栏指出了使用操作数的表面的编号，Int2 指定了使用哪个特殊数据值。

非连续群体中对象的优化

在非连续群体中优化变量在根本上与其他数值参数的优化没有

什么不同。变量的设置使用和镜头数据编辑界面中的参数同样的方法。

其困难之处是优化非连续对象的方法是一种不可预知的方法，以这种方法光线可能（或者可能不会）通过非连续群体。对于非连续对象，如棱镜，棱镜在位置和尺寸上的微小的改变不会明显地影响光路。然而，对于一些对象，如光管，对象定义的微小改变可以明显地影响光路。如果对象的位置和角度稍微有点改变，那些曾经通过该对象的光线可能会完全避开该对象。在输出计算中这通常会引起一些错误，优化将会执行地很差，或者根本就不能执行。

对于这些系统，使用全局优化法则将使优化有效地执行下去，这种法则不是特别依赖于输出计算。

一些非连续系统的另一个问题是出瞳可能不是入瞳的合理像。由于这个缘故，如果系统是一个非成像系统，它不能在出瞳上形成入瞳的像，将使用矩阵法，而不是用高斯积分法。

使用 IMAE 操作数的优化

IMAE 操作数通过发射大量光线进入入瞳，计算通过所有的表面口径到达其他表面的那部分光线，来估计光学系统的效率。如果仅使用硬边缘的表面口径，如圆形口径，使用这个操作数的优化可能不会顺利地执行下去。这是因为 ZEMAX 在每个变量值上作一个非常微小的微分变化，然后计算这个操作数值的有限变化，来估计这个操作数值的输出。对于 IMAE 操作数，如果没有光线足够靠近口径来从渐晕变成无渐晕或者 vice-a-versa，那么变量值的微小变化可能不会改变这个效率估计值。

其解决方法是在一个用户定义表面上用软边缘口径来代替硬边缘口径。软边缘口径有一个传输率，在整个口径的大部分区域是一样的，但接近边缘时，传输率将在一个小区内逐渐降为零，而不是忽然变化。

筛选器功能因实现这一功能而被包含在 ZEMAX 之内，如例子 DLL 文件中介绍的那样。详细内容可参见“表面类型”一章中“用户

自定义表面”。细节可参见例子 US_FILTER4.DLL 的说明。

梯度折射率操作数的使用

有几个优化操作数被用在优化中来控制梯度折射率材料的性质。它们中的一些介绍如下。

DLTN

DLTN 用来控制梯度折射率镜头中折射率的最大的总的变化。Int1 用来定义表面编号，Int2 用来定义波长编号。DLTN 定义如下：

$$DLTN = n_{\max} - n_{\min}$$

这个最小和最大折射率值是在极端 z 轴坐标， z_{\min} 和 z_{\max} 处计算的。在成形之前， z_{\min} 和 z_{\max} 是用来构造镜头的空格的最小和最大坐标位置的 Z 轴坐标。对于凸球面，它们对应于球面顶点。对于凹球面，它们对应于表面上的最大矢高处。

LPTD

LPTD 用来控制材料中梯度的外形。仅用 Int1 来定义梯度折射率表面的编号。LPTD 是制造光程差的缩写，这个约束用来使非线性外形保持单调上升或下降。仅当坐标梯度的二次或三次项是变量时才使用它。这个操作数仅对梯度折射率 5 表面有效。

LPTD 可以使用值为零的目标值。这个边界约束执行如下的条件：

$$\frac{\partial n}{\partial z_{\min}} > 0 \text{ 和 } \frac{\partial n}{\partial z_{\max}} > 0, \text{ 或者 } \frac{\partial n}{\partial z_{\min}} < 0 \text{ 和 } \frac{\partial n}{\partial z_{\max}} < 0$$

这个最小和最大折射率值是在极端 z 轴坐标， z_{\min} 和 z_{\max} 处计算的。在成形之前， z_{\min} 和 z_{\max} 是用来构造镜头的空格的最小和最大坐标位置的 Z 轴坐标。对于凸球面，它们对应于球面顶点。对于凹球面，它们对应于表面上的最大矢高处。如果这个操作数的残留差值小于零，则可以稍微减小这个目标值（试着减小 0.1）。改变目标值通常比提高权重更有效。对于虚构的空格，操作数 LPTD 的值必须为零。始终要检查梯度外形，确保其斜率不改变符号。

用户自定义操作数

➡ 这段说明仅与使用 ZEMAX-EE 的用户有关

版权申明：本文由“光学在线”收集及整理，所有版权归文章原始作者所有（本站均注明出处和作者），“光学在线”是一个介绍光学及相关科学的专业网站，其宗旨在于推广光学和相关学科以及光电产业在中国的传播和发展，不为任何赢利目的，所以传播此文的目的旨在进行学术性质的交流，如果您有任何意见和看法，请与我们联系（info@photics.net），我们会在最短的时间内给您答复并采取相应的补救措施！

有很多的时候需要执行很复杂的计算，并且要优化计算的结果。ZEMAX 已经提供了一些这样的计算，如操作数 MTF A，它追迹大量光线，计算 MTF 值，然后返回一个结果数值到评价函数编辑界面的“值”栏中。有限的一些操作数可以在评价函数中由它自己执行；其范例可参见这一章前面的“复合操作数的定义”一节的说明。

然而，这有一些问题，因为只有用户自己定义的程序才有足够的机动性来定义操作数计算的数据。有两个方法可以达到这个目的。

- 1) 通过使用 ZPL 宏指令
- 2) 通过使用在外部定义和编辑的程序

ZPL 宏指令的使用比较简单，易于与 ZEMAX 结合，而且几乎不需要什么编程经验。然而它受 ZPL 宏指令语言的性能的限制，而且 ZPL 宏指令是被通译的，这对于复杂的计算意味着降低执行速度。对于执行速度还算较快的比较简单的宏指令，ZPL 宏指令优化通常是比较好的选择。

在外部定义的程序对于编程来说是比较复杂的，需要外部 C 语言或者其他语言编译器，以及至少需要一些编程经验。然而，在外部定义的程序比由 ZPL 宏指令语言提供的程序复杂得多，而且，由于外部程序是被编译的，所以它们的运行速度明显比较快。这个速度差异是戏剧性的，通常越复杂的计算越有益于在外部编译的程序。实际上，在外部定义的程序可能是十分复杂的，在返回到 ZEMAX 之前可追迹成千上万条光线或者做十分冗长的计算。注意，可以基于由其他分析程序计算得到的数据用分界面来优化镜头，如偏离光线分析程序。ZPL 和执行用户自定义操作数的外部编译方法详细介绍如下。

用 ZPL 宏指令的优化

如果 ZPL 宏指令语言足够用来执行要求的计算，那么在评价函数中使用操作数 ZPLM 来调用 ZPL 宏指令。宏指令执行要求的计算，然后使用 ZPL 关键字 OPTRETURN 得到其结果。

操作数 ZPLM 是容易使用的。Int1 和 Int2 分别用来指定宏指令编号和数据域的编号。宏指令编号用来说明将执行哪个 ZPL 宏指令，

而数据域编号则说明由宏指令计算的哪个数据将被优化。

宏指令编号必须是在 0 到 99 之间的一个整数。例如，如果一个操作数 ZPLM 的 Int1 值为 17，那么宏指令编号为 17，这个要执行的宏指令必须命名为 ZPL17.ZPL。宏指令名总是必须使用宏指令编号的两位数表示法。如果宏指令编号为 6，那么要执行的宏指令应该是 ZPL06.ZPL。ZPL 宏指令文件必须在 ZPL 宏指令的默认文件夹中。详细内容可参见“文件菜单”一章。

数据域编号必须是 0 到 50 之间的一个整数，包括这两个数。这个编号指出了在内存中与镜头相关的空间数组中的位置。在宏指令的执行过程中，宏指令关键字 OPTRETURN 指明了哪个编号的数据域用来存放宏指令计算的结果。总共有 51 个数据域，调用一个宏指令可以用来同时优化 51 个不同的值。例如，假设你需要一个宏指令来计算从第一面到像面的总长度（这在效果上是操作数 TOTR 的一个用户自定义的翻本）。这个宏指令看起来可能像这样：

```
n = nsur( )
```

```
x = 0
```

```
for l = 1,n,1
```

```
    x = x+thic(i)
```

```
next
```

```
optreturn 0 = x
```

注意关键字 OPTRETURN 的使用。这个关键字将“x”的结果储存在空间数组位置 0 中。假设这个宏指令被命名为 ZPL15.ZPL。为了优化 x 的结果，在评价函数编辑界面中增加一个 ZPLM 评价函数操作数，其 Int1 是 15，Int2 是 0。更新评价函数之后，它的“值”和由 TOTR 得到的一样，也可以用相同的方法优化。

ZPLM 也可使用 Hx，Hy，Px，和 Py 数据域。这些数据域可以被 ZPL 宏指令分别用 ZPL 函数 PVHX，PVHY，PVPX，和 PVPY 读取。“PV”是“传递数据”的一个记忆体。

关于数据域编号需要直到一个非常重要的事情。如果它的值为零，则执行宏指令，得到 OPTRETURN 0 中的值。然而，如果数据域编号不是零，那么不执行宏指令，而代替使用前面调用该宏指令时储存的数值。这种约定有着实质性的好处。如果宏指令计算了许多数值，它们所有都需要被优化，则这个宏指令只要调用一次，而多次使用 ZPLM 操作数就可以得到这个数据。这比多次调用宏指令有效得多。例如，假设名为 ZPL11.ZPL 计算三个数值，它们三个都需要优化。在这个宏指令中将使用 OPTRETURN 来储存这三个数据：

OPTRETURN 0 = x

OPTRETURN 1 = y

OPTRETURN 2 = z

那么在评价函数中用三个 ZPLM 操作数来摘录这个数据，仅调用一次这个宏指令来执行优化：

ZPLM 11 0

ZPLM 11 1

ZPLM 11 2

仅在 ZPLM 11 0 中调用宏指令 ZPL11.ZPL。注意，仅当 Int2 的值为零时，可以使用 Hx、Hy、Px、和 Py 的值，因为仅在这种情况下，宏指令才被求值。

最后，在宏指令执行过程中镜头数据不能有任何改变，这一点十分重要。这些改变将涉及到后面其他操作数求值。ZEMAX 不能将已经求值的镜头数据恢复到对 ZPLM 指定的宏指令求值之前的状态。同样，ZPLM 也不应用在默认评价函数的中间，而应该放在 ZEMAX 默认定义的那部分评价函数的前面或后面。如果在宏指令操作的过程中镜头数据被改变了，ZEMAX 将无法知道哪个数据被改变了，而且不能不能将镜头数据恢复到没改变时的原始状态。

只允许 ZPL 宏指令执行对镜头数据的拷贝数据进行优化，而不是对实际数据进行优化，这样可以避免出现上述情况，然而这个功能当

前不被支持。其原因是有时候宏指令在对后面的操作数进行求值之前需要改变镜头数据。在这种情况下，应执行两个宏指令。第一个应按要求修改数据，第二个应将数据恢复到原始条件。这两个宏指令，和执行改变镜头数据的插入操作数一起，都可以在评价函数编辑界面中列出。

使用外部编译的程序的优化

创建一个用户自定义操作数 (UDO) 的第二种方法是编写一个外部窗口程序来计算数据，然后使用动态数据交换 (DDE) 来将数据输入 ZEMAX 中或从 ZEMAX 中输出。DDE 界面在“ ZEMAX 扩展 ”一章中进行说明。那里介绍的内容在这里不再复述；这里的说明是在假定已理解那一章的内容的前提下进行的。

操作数 UDOP 被用来从评价函数内部调用一个外部客户程序。客户程序可能通过制造多个联系到 ZEMAX 服务器的 DDE 调用来执行要求的计算，然后使用 DDE 界面将结果返回到 ZEMAX。然后将计算得出的数据放在评价函数编辑界面中的“值”栏中，这样才可能以通常的方法被优化。

UDOP 是很容易使用的。Int1 和 Int2 的值分别用来指定客户程序编号和数据域编号。客户程序编号指出了哪个客户程序将被执行，而数据域编号则指出了由客户程序计算的哪个值将被优化。

客户程序编号必须是 0 到 99 之间的整数。例如，如果一个 UDOP 操作数的 Int1 的值被设为 17，那么客户程序编号为 17，被执行的客户程序必须被命名为 UDO17.EXE。客户程序名必须始终使用与客户程序编号相对应的一个两位数。如果客户程序编号为 6，那么要被执行的客户程序应该是 UDO06.EXE。客户程序文件必须放在 ZEMAX 主目录下的 \UDO 目录中。当到达一个其数据域编号为零的 UDOP 操作数，ZEMAX 将调用这个客户程序。假设客户程序编号为 17，客户程序将以如下的语法结构被调用：

UDO17.EXE 缓冲器代码 Hx Hy Px Py

这缓冲器代码是由 ZEMAX 提供给客户程序的一个整数值，它是

唯一能识别正确镜头的标识符。因为 ZEMAX 能够同时对多个镜头进行求值,缓冲器代码被用作一个标识符,以便于当客户程序申请或返回数据时,它和正确的镜头相联系。注意在优化时,ZEMAX 将同时对许多镜头进行求值,将计算出输出的细微差异,这个优化将继续下去。客户程序必须计算指定镜头的数据。

一旦客户程序开始执行,客户程序必须执行一下一个关键的步骤:

- 1) 建立与 ZEMAX 服务程序相连的 DDE 链。
- 2) 将正确的镜头数据加载到 ZEMAX 服务程序的存储器中。
- 3) 计算要求的数据。
- 4) 将数据传输回 ZEMAX。
- 5) 清除 ZEMAX 服务程序的存储器中的内容。
- 6) 终止 DDE 链,并退出。

具有代表性的是,DDE 链是由 ZCLIENT 编码维持的,这在 DDE 一章中介绍(当然如果愿意的话,用户自己可以自由编写它们)。ZCLIENT 调用了用户定义的用户函数来计算操作数数据。

为了将正确的镜头数据加载到 ZEMAX 服务程序的存储器中,必须发送一个单个的名为 GetUDOSystem 项目到 ZEMAX 服务程序中。其语法结构为“GetUDOSystem,缓冲器代码”。这将使 ZEMAX 从系统存储器中重新得到这个正确的镜头数据,并且后面所有的 DDE 调用都是对这个镜头的操作(如光线追迹)。然后通过随意使用在 DDE 一章中定义的任意一个 DDE 项目调用来计算数据。一旦数据被计算完毕,最多有 51 个值可以被放在一个长格式的字符串中。使用项目 SetUDOData 将数据传回服务程序,最后回到 ZEMAX 内的优化程序。其语法结构为“SetUDOData,缓冲器代码,data0,data1,data2,data3,……,data50”。任何一个省略的数据项被认为是零。所有的数据必须是自由格式的整数、指数、和浮点数。

关键的是客户程序要用 SetUDOData 返回一个字符串,即使它只

包括一个缓冲器代码，而其余都是空的。ZEMAX 将等着客户程序返回这个字符串。因为 ZEMAX 无法知道计算将用多长的时间，所以 ZEMAX 将一直“暂停”，直到它得到这个数据。如果客户程序计算失败了，或者没有返回这个数据，ZEMAX 将不能完成这个操作数的执行，或者将永远暂停。在 ZEMAX 内部按下 ESC 键将会“中断”求值，使 ZEMAX 跳过对这个操作数求值。

可以通过客户程序的用户函数将控制返回到 ZCLIENT 来终止 DDE 链。

一个计算 3 个数据项，分别被称为 a, b, c, 的范例编码可以阅读如下：

```
void UserFunction(char *szCommandLine)
{
    double a, b, c;
    char szBuffer[500], szSub[256];
    int buffer_code;

    /* 得到识别镜头的缓冲器代码 */
    buffer_code = atoi(GetString(szCommandLine, 0, szSub));

    /* 将正确的镜头数据设置到服务程序储存器中 */
    sprintf(szBuffer, "GetUDOSystem,%i",buffer_code);
    PostRequestMessage(szBuffer, szBuffer);

    /* 这里是计算数据的地方.....，这些行省略了 */

    /* 现在得到标记为 0, 1, 2 的数据*/

    /* 如果行的总长度超出 255 个字符，则不要使用 SetUDOData ,
*/
```

版权声明：本文由“光学在线”收集及整理，所有版权归文章原作者所有（本站均注明出处和作者），“光学在线”是一个介绍光学及相关科学的专业网站，其宗旨在于推广光学和相关学科以及光电产业在中国的传播和发展，不为任何赢利目的，所以传播此文的目的旨在进行学术性质的交流，如果您有任何意见和看法，请与我们联系（info@photics.net），我们会在最短的时间内给您答复并采取相应的补救措施！

```
/* 而使用 SetUDOData。详细内容可参见有关 ZEMAX 扩展的章节。 */  
  
sprintf(szBuffer, SetUDOData,%l,%0.7f,%0.7f,%0.7f ",buffer_code,  
a,b,c);  
  
PostRequestMessage(szBuffer, szBuffer);  
  
}
```

注意，对客户程序的一个简单调用可以得到多个数据。这是数据域编号用来摆放的地方。数据域编号可以是 0 和 50 之间的数字，包括这两个数。这个编号指出了数据在与存储器中的镜头相对应的全局数组中位置。在客户程序的执行过程中，客户 DDE 项目“SetUDOData 用来得到一个有 51 个数的长字符串（或者少一点；空格和省略值被认为是零）。这些数据必须是数值，被存放在镜头缓冲器中，以供后面的 UDOP 使用。在实际应用中，DDE 项目名限制在 255 字符之内，这限制了 SetUDOData 只能传送远小于 51 项的数据；但是 DDE 项目“SetUDOData”通过一次传回一个数据可以在这个限制附近工作。

➡对于任意一个 DDE 项目名有一个 255 个字符的限制；因此 SetUDOData 被限制只能通过少量的数值。为了在这个限制附近工作，可以使用 SetUDOData，这在“ZEMAX 扩展”中说明。

总共有 51 个不同的数据域，因此一个客户程序调用可以用来同时优化 51 个不同的值。这个数据域编号值指出了哪个得到的数值将被放在那个 UDOP 操作数的“值”栏中。

UDOP 也允许使用 Hx, Hy, Px, 和 Py 数据域。这些数据也可以被客户程序读取，因为它们在命令行中跟在缓冲器代码后面被传送过去。

有一个非常重要的事是要知道数据域编号。如果它为零，则执行客户程序，并且将从数据位置 0 得到的值放到值栏中。然而，如果数据域编号不为零，则不执行客户程序，由客户程序的一个前面的调用储存的先前值将被代替使用。这个约定的优点是它的实用性。如果客

户程序要计算许多数值，这些数值都需要被优化，则客户程序仅需要调用一次，只要用多个的 UDOP 操作数就可以得到这些数据。这比多次调用客户程序有效得多。

例如，假设一个名为 UDO25.EXE 的客户程序计算了三个数值，它们都需要优化。在这个客户程序中，通过使用“ SetUDOData , buffercode , x , y , z ”将这些数值传送回去。然后只调用一次客户程序，评价函数中的三个 UDOP 操作数就可以记录这些数据，并执行优化，这三个操作数是：

UDOP 25 0

UDOP 25 1

UDOP 25 2

仅在操作数 UDOP 25 0 的求值过程中调用客户程序 UDO25.EXE。注意，仅当数据域值为零时，才使用数值 Hx , Hy , Px , 和 Py , 因为仅在这种情况下客户程序才被求值。

与 ZPL 宏指令的使用不同的是，UDO 在求值过程中可以随意改变镜头数据，这个因为所有的 DDE 命令都是针对镜头数据的一个复制本执行的，而不是针对正在被执行的实际镜头数据。

有一个被称为 UDO_DEMO.C 的范例 UDO 源代码文件，它可以由 ZCLIENT 编译和连接。这个可执行的文件需要被重命名为 UDOxx.EXE，这里 xx 是一个两位数的整数。这个 UDO 范例得到 6 个值：Hx , Hy , Px , Py , 和两个虚拟常数，分别放在编号为 0 到 5 的数据位置中。

使用建议

在初期设计过程中，优化时很少需要对每个视场的所有波长的所有光线进行追迹。因此，可以通过在优化时限制使用的视场和波长的数目来大大减少执行的时间。如果选择的视场和波长的权重被设为零，则在构建评价函数时默认评价函数运算法则将跳过这些零权重的视场或波长。其结果是追迹的光线少了许多，加快了执行速度。

例如，如果一个镜头在五个视场点被求值，则评价函数中仅包含第一、第三、和第五视场是可行的。当然，在设计的前期，需要包括所有的光线，默认评价函数需要被重新构建。

由一些技巧可以用来改善执行结果。除非优化方案坚持用不实际的设计，否则不要对变量设置边界操作数。边界操作数增加了计算的难度。只要可能，尽量使用求解来代替明确的操作数。例如，如果可能的话，则用曲率求解来控制焦距，而不用操作数。

优化与现代镜头设计的技术是不可分的，而且，只有实践才能是设计者精通使用优化法则。那些精通其他软件优化法则的使用者可能会发现 ZEMAX 更易于使用，而且只要少量经验，界面使用的技巧容易掌握，设计者可以专心于设计本身。如果你刚刚接触计算机化的镜头优化，则没有比实际操作更好的方法来学习它了。

全局最佳方案

这个产生评价函数的最小可能值的设计被称为是“全局”最佳方案，是最好的可能设计的定义。然而，没有已知的优化法则对于一个任意的设计问题都普遍可以发现其全局最佳方案，除非你想“直接找到”一个优化法则（换句话说，就是试验所有的无数可能解决方案来判断哪个是最好的）。使用计算机帮助的光学设计的技术有两个基本组成。首先，设计者必须能够确定一个合适的初始方案，第二，他或者她在优化过程中必须扮演一个监督员的角色。一个好的监督员知道什么时候、如何备份和尽量使程序进入一个更有效的方向。

不幸地是，这通常需要相当多的经验，甚至通常是相当枯燥无味的。一个经验丰富的设计者在寻找一个新的、更好的设计模式时，通常要靠直觉、分析和幸运三者结合。ZEMAX 为执行这个全局最佳方案的搜索提供了一个自动操作的能力；这个特性将在下一章介绍。

第十八章 全局优化

介绍

➡ 这个特性仅对 ZEMAX 的 XE 和 EE 版本有效。这一章中的资料关键依赖于用户已经阅读和掌握了前一章中有关“优化”的资料。

在最近几十年之内，镜头优化的约定方法是使用阻尼最小二乘法 (DLS)。DLS 有着许多引人注目的特征；它是一个有效的方法，并且在搜寻评价函数的“局部”最小量它也是一个非常好的方法。在上下文中，局部这个词意味着在不增加评价函数的情况下，从解决方案的当前位置出发可以得到的评价函数的最小值(这是一个理想化的事物，实际上，DLS 只能跳过一个很小的增加评价函数的区域)。

为了使这个问题形象化，你可以想象你正在旅行，努力想从山的一边的一个起始点出发去寻找一个山谷的底部。你想找到这个山谷的最低点。假设你不能看到这个山谷，这里是烟雾朦胧的，你所能看到的所有的是离你现在站的地方非常近的地形。你可以测定哪条路是下山的，你可以沿着那个方向一直走下去，直到斜坡又变成上山了；在那个点你可以发现一个新的下山方向。你可以一遍又一遍地重复这个过程，直到抵达一点，在那里所有的方向都是上山的。这个最低点是一个局部最低点，至少是这个山谷的底部。

这个方法的问题是一旦你到达了局部最小量，将无法去测定其他地方是否已经没有一个更好更低的最小量。例如，如果你从这一点出发从任意一个方向往山上走，直到一个局部山峰，然后继续往前走，下山进入下一个山谷，最后你将抵达一个新的局部最低点。判断这个新的最低点是低于还是高于前面那个山谷的最低点。查明答案的唯一方法是走一趟。

你可能会问，既然计算机是如此快速，为什么不试着算出每个可能的结构来判断哪个是最好的。为了得到这个问题的作用域的一个感性认识，可以考虑一个带有六个自由度的双胶合镜头(自由度表明它们是优化的变量)。如果你假设每个值可以取 100 个可能值(一种粗略的采样方法)，则将有 $1E+12$ 种不同的可能系统。如果对每个系统求值需要追迹 20 条光线(一种低的估值方法)，而且你每秒钟可以对一个

表面追迹 1,000,000 条光线，则需要的时间大约为 $8E+07$ 秒，或者大约为 2.5 年。对于一个四片的镜头（16 个变量）在三个视场和三个波长中求值，使用 100 条光线来求值，将需要 $1E+32$ 次系统求值，或者需要几十亿倍的宇宙寿命的时间。

有一个解决全局优化问题的方法是（十分感谢地）不需要这种不合情理的计算努力。这些运算法则包括虚拟的退火，多个起点，高级系统，神经网络，和其他一些。所有这些法则都有其长处和弱点，这些超出了本章的讨论范围。

ZEMAX 的功能

在 ZEMAX 中有两个独立的全局优化法则，每个都有其不同的用途。你可能使用的第一个运算法则被称为“全局搜索”，在仅给出评价函数和初始设计的情况下它用来寻找一个新的设计形式。全局搜索使用起始运算法则，多个起点，约定的阻尼最小二乘法，和一些高级启发式系统的统一体来搜索一个新的设计形式。全局搜索运算法则对于搜索一个有前途的设计形式是十分有用的，但是，它通常不能产生一个“最终”的设计方案。第二个运算法则就是用来实现这个用途的。

第二个运算法则被称为“锤形”优化（镜头设计者常说的对一个设计进行锤打来挤出最后一点成果）。一旦发现了一个好的、合理的起始点，锤形法则将用尽一切方法来搜寻一个最佳方案，这可能比经验和全局优化法则优越。锤形法则仅需要一个部分优化的镜头和以 ZMX 文件形式存在的评价函数。

虽然全局优化法则是十分有用的，但是要认识到不能保证总是，甚至是有时能发现真正的全局最小量，这一点是重要的。当然，也无法去测定一个方案是否是这个全局最小量，甚至它是你所找到的最好的方案（记住关于这个问题的宇宙寿命的比率）。

➡ 要认识到不能保证总是，甚至是有时能发现真正的全局最小量，这一点是重要的。

全局搜索和锤形法则两者都需要非常大的计算上的努力才是有效的。这两个法则不能有意交互使用！（DLS 优化就是为了这个）。如果你设置了一个全局优化，当计算机工作时你在旁边观察，你将会被迫感到失望的。当你设置了这个问题，让计算机运行几个小时，或

者甚至是几天，全局优化是十分有效的，但不能只运行十几分钟。理想的情况是在晚上停止工作时设置一个问题，让全局搜索(或者锤形，这要根据你的需要)工作一个通宵。在第二天早上，你将会看到一个有用的结果。

全局搜索法则

在你开始一个全局搜索之前，你必须拿出一个很粗略的起始点。“很粗略”意味着这个设计有正确数目的表面，一个定义的光阑面，和选择的初始玻璃。视场和波长必须被定义，你也需要定义一个评价函数，关于这个过程的全部内容可参见“优化”一章。这个粗略的设计方案可以是一个平行平板玻璃，其最后一面用一个曲率求解来控制焦距。如果不用一个求解来控制焦距，那么这个系统最后将会有有一个想要的近似焦距。同样，变量参数也必须全部被定义。在开始全局搜索之前必须保存这个镜头。

ZEMAX 使用一个这个起始焦距作为一个比率参数，因此，这个起始设计方案至少应该有一个近似正确的焦距。

在主界面上，选择工具，全局搜索。在这个对话框上有四个按钮：开始，停止，继续，和退出。

选择开始。ZEMAX 将初始文件拷贝到从 GLOPT_01.ZMX 到 GLOPT_10.ZMX 的文件中，然后开始搜索。ZEMAX 将开始查看从你定义的范围中取出的镜头参数的不同的结合体。优化将会从一个最近产生的镜头开始继续下去，知道 ZEMAX 认为这个新镜头已被充分优化。

对于每个产生的新镜头都一样，ZEMAX 将拿这个新镜头的评价函数与迄今为止发现的最好的十个镜头的评价函数相比，根据需要将它放入十个最好镜头的列单中的正确位置，保留其他的镜头文件。如果镜头有着比 GLOPT_10.ZMX 还要高的评价函数，则它将被放弃。不定地重复这个循环。每次发现一个新镜头比十个镜头的列单中最差的镜头要好，它将被放在列单中的正确位置。在几百个镜头被替换后(这可能需要对几万个镜头进行求值)，最后得到的一批镜头有希望包含有一些非常好的设计方案，或者至少有一些有前途的形式。

这个法则也会周期性地返回到十个镜头的列单中的镜头上来判断它们能否继续被改善。有时，一些镜头将被改善，然后放回到十个镜头

的列单中。假如这种情况发生,如果被替换的旧镜头有着与新镜头一样的基本形式,则旧镜头将被丢弃。这样做将在十个镜头的列单中保持一定的差异。

为了终止搜索,选择停止按钮。根据运算正在做些什么,它可能立即退出,或者它将需要几秒钟。一旦法则已经被终止,你可以点击退出按钮。你现在可以打开从 GLOPT_01.ZMX 到 GLOPT_10.ZMX 中的任意一个文件。

继续按钮与开始按钮十分相象,然而,继续按钮首先将载入已存在的从 GLOPT_01.ZMX 到 GLOPT_10.ZMX 的文件,并将它们的当前评价函数放到十个最好镜头的列单中。因此,继续按钮将从前一个运行结束的地方开始搜索。继续按钮不会删除已存在的十个最好的镜头,相反,开始按钮会删除这些文件,然后完全基于当前镜头数据编辑界面中的镜头重新开始搜索。如果当一个完全无关的镜头数据放在镜头数据编辑界面中时选择继续按钮,ZEMAX 将使用在镜头数据编辑界面和评价函数编辑界面中的当前数据来优化镜头,但是将分别用旧的 GLOPT 文件各自的评价函数作为比较目标。

全局搜索很少会自己找到全局最小量。其原因是全局搜索集中力量用来搜寻一个新的、有前途的设计形式,而不是正确集中来搜寻每种形式的最好的可能方案。这后面的工作将留给另一个称为“锤形优化”的法则,这将在下节中介绍。

锤形法则

在检查由全局搜索产生的设计形式之后,你或许想去研究它们中一两个。有着最小评价函数的那个并不总是最好的(虽然如果你能很好地设计你的评价函数,它应该是)。例如,第二好的解决方案可能更易于构造。无论你使用什么标准来测定这个最有前途的解决方案,你现在是想用这个选择的镜头作为一个起始点来寻找最好的可能方案。锤形优化将得到这个镜头,并通过做一些调整和优化来尽力精炼它。这个镜头每次被改善,它将被保存到磁盘中一个临时文件中。锤形优化仅需要一个带有一些变量和一个评价函数来得到起始点的 ZMX 文件。锤形优化界面显示了开始的评价函数和迄今为止发现的最好的评价函数。虽然好的结果在几分钟之内可能是坏的,但是法则被允许运行几个小时,最适宜的是通宵。为了终止这次搜寻,可选择停止按钮,

版权声明: 本文由“光学在线”收集及整理,所有版权归文章原作者所有(本站均注明出处和作者)。“光学在线”是一个介绍光学及相关科学的专业网站,其宗旨在于推广光学和相关学科以及光电产业在中国的传播和发展,不为任何赢利目的,所以传播此文的目的旨在进行学术性质的交流,如果您有任何意见和看法,请与我们联系(info@photics.net),我们会在最短的时间内给您答复并采取相应的补救措施!

然后选择退出按钮。

如果 ZEMAX 不正常终止,最后保存的锤形文件可以在临时文件中建立。这个临时文件名是由这个起始镜头文件名构造的。如果正在被优化的镜头被存放在文件

C:\ZEMAX\SAMPLES\MYFILE.ZMX

中,那么这个临时文件将被称为

C:\ZEMAX\SAMPLES\MYFILE_HAMMER.ZMX。

锤形法则也可以有效地用在一个不是由全局搜索产生的部分优化的设计方案。可以自由在任意设计方案上使用锤形法则。

玻璃选择的优化

如果一块玻璃由一种由折射率、阿贝常数、和部分色散偏离描述的“模拟”玻璃构成,则模拟玻璃参数也可以和其他数值参数一样被设成变量和被优化。然而,这种模拟玻璃的方法有一个严重的缺点。在使用模拟玻璃找到一个好的解决方案之后,必须将模拟玻璃转化成实际玻璃。然后使用新选择的玻璃重新优化这个设计方案。

不幸的是,对于许多系统新优化的设计方案将比使用模拟玻璃的方案要差。甚至更大的失败是,使用实际玻璃的最佳方案有着和使用模拟玻璃发现的方案不同的形式。

传统上,为了找到一个更好的玻璃组合,设计者应该查找玻璃图上的候选玻璃,代替用作新的玻璃选择,再重新优化。如果新的方案是更好的,则这个玻璃选择将被保留;否则,一组新的玻璃组合将被用来求值。只要设计者愿意继续搜索,这个过程将一直继续下去。

代替玻璃的使用

ZEMAX 通过允许玻璃有与之相对应的一种“代替”状态来自动操作这个过程。如果一块玻璃被作为一种代替玻璃(使用玻璃求解对话框),那么在优化过程中,全局优化(锤形和全局搜索)将自动反复执行近似玻璃的代替。这允许 ZEMAX 不仅可以优化数值指示值,如半径和厚度,还可以允许不用求助于玻璃色散的理想化来指导玻璃选择的优化。

为了使用这个代替特性,在玻璃求解对话框(通过在任意一个玻璃名称上双击是得到这个对话框的快捷方法)中自由设置每块玻璃的状

态，使之变成“替代”。

一旦定义了玻璃的代替状态，然后调用 锤形或者全局搜索优化。ZEMAX 在寻找更好的设计方案过程中将自动改变玻璃类型。系统默认 ZEMAX 可从任意一个当前作用的目录中选择任意玻璃，这些目录在系统的通用对话框中指定。

选择玻璃的限制

实际上，通常必须限制用作代替玻璃的可用玻璃，其原因如下：

目录中的“玻璃”不是全部都是实际玻璃；它们一些是那些不适合使用的液体，气体，晶体，和塑料。

许多玻璃是非常昂贵的，重的，脆弱的，或者具有其他一些不适合使用的机械性质。

或许，仅有某几个目录是想要用来作为新选择的玻璃，而其他目录必须仍被用作光学系统中的其他表面。

由于这些原因，ZEMAX 提供了一些可选的方法来限制用作代替玻璃的可用玻璃库：

通过定义仅用在某些指定表面的特殊目录。

通过定义一个“模板”，它包括关于代替玻璃的价格，耐酸能力，耐污染能力，和其他一些性质的限制。

通过在玻璃目录中，以各种情况为基础来“排除”玻璃。

通过在评价函数中定义“惩罚”，它阻止选择带有不合使用的性质的玻璃。

玻璃求解对话框准许一个目录名的描述说明来用作候选代替玻璃。如果没有给出目录名（如目录名区域是空的），则可以从在系统的通用对话框中选择来使用的所有目录中选择玻璃。如果给出了目录名（如 Hoya），则仅选择那一个目录中的玻璃。如果需要的话，这允许不同的表面可以从不同的目录中选择玻璃。这种以非常普通的方法来限制要考虑用作代替玻璃的玻璃数量的方法也是很有用的。注意，用户自定义目录也可以被指定使用。没有扩展可以被指定，ZEMAX 自动添加了.AGF 扩展。

可以定义一个玻璃置换模板基于玻璃的价格，AR，SR，FR，CR，和 PR 代码值来限制选择所有目录中的哪些玻璃。关于定义模板的信息可参见“工具”一章中的“玻璃代替模板”一节。

版权声明：本文由“光学在线”收集及整理，所有版权归文章原作者所有（本站均注明出处和作者），“光学在线”是一个介绍光学及相关科学的专业网站，其宗旨在于推广光学和相关学科以及光电产业在中国的传播和发展，不为任何赢利目的，所以传播此文的目的旨在进行学术性质的交流，如果您有任何意见和看法，请与我们联系（info@photics.net），我们会在最短的时间内给您答复并采取相应的补救措施！²⁹⁶

为了防止选择某种玻璃,可在玻璃目录对话框中对那种应该避免的玻璃选择“取消代替”。详细内容可参见“玻璃目录的使用”一章。排除玻璃的优点是目录中的其他玻璃仍旧可以使用,而不必去定义一个独立的目录。

惩罚是评价函数中的一个操作数,如 GCOS, GTCE, 和 INDX, 如果玻璃有不受欢迎的性质时它们用来增加评价函数。这是一个效率最低的方法,因为即使一个由于太高了而不被认为是好的方案的结果评价函数结束了,玻璃仍旧可以被选择,而且后面的镜头继续优化。然而,这对于定义玻璃间的关系是有用的,例如,最小化构成一个胶合面的两块玻璃的 GTCE 差值(为了防止镜头在热压下被破坏)。

使用建议

这里有几个最佳化全局优化法则(全局搜索和锤形)的执行结果的技巧:

果可能的话,将光阑放在第一面。如果你的入瞳在系统中间,你可以通过使用一个虚拟的第一面作为光阑来模拟它,然后用一个负的厚度来得到表面 2。这提高了执行的性能,因为 ZEMAX 不需要去计算入瞳在哪里。如果合适的话,你可以将这个厚度变成一个变量。这个技巧对于本身有入瞳畸变的系统不能很好地工作,如广角镜头。

在最后一个玻璃表面的曲率上使用边缘光线角度代替操作数 EFFL 来控制有效焦距。撤消一个变量将明显减少这个问题的维数,而操作数 EFFL 需要一个额外的光线追迹,降低了评价函数求值的速度。

在像平面前的最后一个厚度上使用边缘光高求解(如零光高)。大多数镜头对轴上视场的 0.7 光瞳带要纠正地很好。如果你的直觉要求,你也可以使用其他的光瞳带。这个求解将确保由全局搜索产生的每个设计方案都在焦深之内,就好象曲率求解确保正确的焦距。这两个求解一起可以将全局搜索法则产生的结果改善几个数量级。对于锤形优化,用一个变量来代替这个求解来考虑最佳的散焦。

使用操作数 MNCT 和 MNET。它们是避免出现负的中心和边缘厚度的基本操作数。ZEMAX 使用这些边界约束来决定搜索中每个操作数的适当范围。解决方案将在方案空间的这些不合适的区域内徘徊,除非你特别禁止它。

版权声明: 本文由“光学在线”收集及整理,所有版权归文章原作者所有(本站均注明出处和作者)。“光学在线”是一个介绍光学及相关科学的专业网站,其宗旨在于推广光学和相关学科以及光电产业在中国的传播和发展,不为任何赢利目的,所以传播此文的目的旨在进行学术性质的交流,如果您有任何意见和建议,请与我们联系(info@photics.net),我们会在最短的时间内给您答复并采取相应的补救措施!

保持你的评价函数尽可能相似。在默认评价函数构造中使用 2 或者 3 个环带 (参见 “ 优化 ” 一章) 通常是一个好主意。对于锤形优化你通常要用更多的环带数。

乐于多运行几个长运转。在一个设计问题开始之前为了得到设计形式的想法, 一个或者稍多一些的运转将被用来探测有前途的设计方案, 最后一个运转用来确保你所决定的设计方案已不能被改善了 (锤形优化对于这个最后任务有着明显的好处)。

使用代替玻璃, 而不用模拟玻璃, 特别在使用锤形优化时。对于一个使用模拟玻璃的设计方案使用锤形优化没有多少好处, 因为最后这些玻璃需要被转化回实际玻璃, 然后重新优化。代替玻璃十分有用, 特别在设计过程的后期, 这时设计形式已被决定下来。

如果你计划连续好几天运行一个搜索, 你可以减暗或者关闭你的显示器, 或者使用屏幕保护程序来保护你的荧光粉, 以免其老化。

锤形法则可以被终止, 然后重新开始, 这不会有信息的重大丢失。在优化过程中, 它自动保存任何被改善的设计。

如果一个全局搜索被终止, 在下一次通过选择继续按钮, 而不是开始按钮, 来继续这个搜索。

当优化程序在运行时, 它将支配计算机的资源。其他应用程序仍然可以运行, 但是它们是低反应的, 在 Windows NT/2000 下, 通过打开任务管理器可以减少给 ZEMAX 的资源, 然后选择 ZEMAX.EXE 程序; 右击鼠标; 然后选择 SET Priority → LOW。

如果一定数量的时间没有用户操作, 一些计算机可以被变成进入 “ 睡眠 ” 模式。为了允许 ZEMAX 继续运行, 这个特性可能需要被禁止, 即使很长一段不用从键盘或者鼠标输入。

总结

最后再次强调一下, 全局最小量搜索特性对于任意一个特殊问题将永远不可能找到一个全局最小量。它擅长于发现可供选择的设计形式, 用手工去寻找这些形式将是冗长无味的。它是加到你的工具箱中的一个功效非常强大的工具; 它不是一个光学设计技巧的替代品。

全局搜索法则有着非常强大、自由的组成, 因此每次不会有两个产生准确的同样结果的运转。有时这个解决方案是差的, 有时是好的, 但是对于持续时间相似的运行, 它们的结果通常是不一样的。

版权声明: 本文由 “ 光学在线 ” 收集及整理, 所有版权归文章原作者所有 (本站均注明出处和作者), “ 光学在线 ” 是一个介绍光学及相关科学的专业网站, 其宗旨在于推广光学和相关学科以及光电产业在中国的传播和发展, 不为任何赢利目的, 所以传播此文的目的旨在进行学术性质的交流, 如果您有任何意见和看法, 请与我们联系 (info@photics.net), 我们会在最短的时间内给您答复并采取相应的补救措施!