

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02C 7/02 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480017537.3

[45] 授权公告日 2009年5月6日

[11] 授权公告号 CN 100485457C

[22] 申请日 2004.6.15

[21] 申请号 200480017537.3

[30] 优先权

[32] 2003.6.26 [33] US [31] 10/606,391

[86] 国际申请 PCT/US2004/018913 2004.6.15

[87] 国际公布 WO2005/006058 英 2005.1.20

[85] 进入国家阶段日期 2005.12.23

[73] 专利权人 埃西勒国际通用光学公司

地址 法国沙朗通

[72] 发明人 本杰明·c·伍利

[56] 参考文献

US6142624A 2000.11.7

US6382789B 2002.5.7

EP0978751A 2000.2.9

EP0295849A 1988.12.21

US6149271A 2000.11.21

审查员 吴坤军

[74] 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

代理人 楼仙英

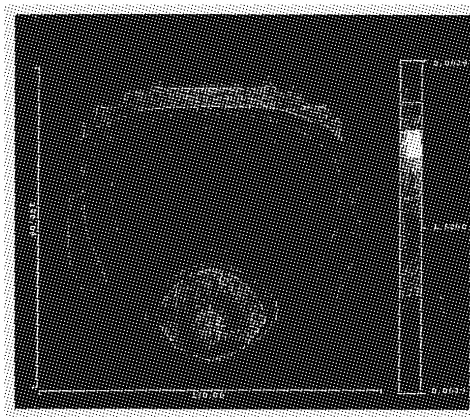
权利要求书5页 说明书10页 附图12页

[54] 发明名称

用于制造渐变附加透镜的方法

[57] 摘要

本发明提供了一种用于设计渐变表面的方法和制造的透镜，利用图像模糊性构造价值函数。透镜表面的形状被任意地定义，并基于价值函数优化成使图像模糊性最小。



- 1、一种用于制造渐变附加透镜的方法，包括 a.) 描述一个渐变附加表面；以及 b.) 利用以下公式的价值函数优化所述表面：

$$MF = MF_{\text{blur}} + MF_{\text{power}} + MF_{\text{other}}$$

其中：

MF_{blur} 为控制图像模糊性的价值函数；

MF_{power} 为控制平均球镜度的价值函数；和

MF_{other} 为控制美观和工艺性限制的价值函数，

其中该方法还包括根据该优化的表面制造所述渐变附加透镜。

- 2、根据权利要求 1 的方法，其中，所述表面被描述为一种连续的表面。

- 3、根据权利要求 1 的方法，其中，根据以下方程式描述所述表面：

$$\text{sag}_{x,y} = \text{Delta}_{x,y} + \frac{c \cdot r^2}{1 + \left[1 - (1+k) \cdot c^2 \cdot r^2 \right]} + \alpha_1 \cdot r^2 + \alpha_2 \cdot r^4 + \alpha_3 \cdot r^6 + \alpha_4 \cdot r^8 + \dots$$

其中：

c 为表面曲率；

r 为离透镜光轴的径向距离；

k 为二次曲线常数；

α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 均为系数；和

$\text{Delta}_{x,y}$ 为作为 x 和 y 的函数的 delta 垂度。

- 4、根据权利要求 1、2 或 3 的方法，其中，

$$MF_{\text{blur}} = \sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} W_{\text{rms}_{\theta_x, \theta_y}} \left(\text{RMS}_{\theta_x, \theta_y} \right)^2$$

其中：

θ_x 为水平的眼旋转角；

θ_y 为垂直的眼旋转角；

$\text{RMS}_{\theta_x, \theta_y}$ 为在眼镜的图像上计算的 RMS 斑点大小；和

$W_{\text{rms}_{\theta_x, \theta_y}}$ 为场位置的权重。

- 5、根据权利要求 1、2 或 3 中任一所述的方法，其中 MF_{power} 为：

$$MF_{\text{power}} = \sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} W_{\phi_{\theta_x, \theta_y}} (\phi_{\theta_x, \theta_y} - P_{\theta_x, \theta_y})^2$$

其中：

P_{θ_x, θ_y} 为预期的球镜度；

θ_x 和 θ_y 为眼旋转角； $\phi_{\theta_x, \theta_y}$ 为实际的球镜度； 和

$W_{\phi_{\theta_x, \theta_y}}$ 为在度误差上特定场点的权重。

6、 根据权利要求 4 中所述的方法，其中 MF_{power} 为：

$$MF_{\text{power}} = \sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} W_{\phi_{\theta_x, \theta_y}} (\phi_{\theta_x, \theta_y} - P_{\theta_x, \theta_y})^2$$

其中：

P_{θ_x, θ_y} 为预期的球镜度；

θ_x 和 θ_y 为眼旋转角； $\phi_{\theta_x, \theta_y}$ 为实际的球镜度； 和

$W_{\phi_{\theta_x, \theta_y}}$ 为在度误差上特定场点的权重。

7、 一种用于制造渐变附加透镜的方法，包括 a.) 描述至少两个渐变附加表面； 以及 b.) 利用以下公式的价值函数优化所述表面：

$$MF = MF_{\text{blur}} + MF_{\text{power}} + MF_{\text{other}}$$

其中：

MF_{blur} 为控制图像模糊性的价值函数；

MF_{power} 为控制平均球镜度的价值函数； 和

MF_{other} 为控制美观和工艺性限制的价值函数，

其中该方法还包括根据该优化的表面制造所述渐变附加透镜。

8、 根据权利要求 6 的方法，其中，所述表面每个都独立描述为一种连续的表面。

9、 根据权利要求 6 的方法，其中，所述表面均根据以下方程式进行描述：

$$\text{sag}_{x,y} = \text{Delta}_{x,y} + \frac{c \cdot r^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k) \cdot c^2 \cdot r^2}} + \alpha_1 \cdot r^2 + \alpha_2 \cdot r^4 + \alpha_3 \cdot r^6 + \alpha_4 \cdot r^8 + \dots$$

其中：

c 为表面曲率；

r 为离透镜光轴的径向距离;

k 为二次曲线常数;

α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 均为系数; 和

$\Delta_{x,y}$ 为作为 x 和 y 的函数的 Δ 垂度。

10、根据权利要求 6、7 或 8 的方法, 其中, MF_{power} 为:

$$MF_{power} = \sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} W_{\Phi_{\theta_x, \theta_y}} (\Phi_{\theta_x, \theta_y} - P_{\theta_x, \theta_y})^2 + W_{add_{\theta_x, \theta_y}} \left[(AddF_{\theta_x, \theta_y} - PF_{\theta_x, \theta_y})^2 + (AddB_{\theta_x, \theta_y} - PB_{\theta_x, \theta_y})^2 \right]$$

其中:

θ_x 为水平的眼旋转角;

θ_y 为垂直的眼旋转角;

P_{θ_x, θ_y} 为预期的球镜度;

$\Phi_{\theta_x, \theta_y}$ 为实际的球镜度;

$W_{\Phi_{\theta_x, \theta_y}}$ 为度数误差上特定场点的权重;

$AddF_{\theta_x, \theta_y}$ 为在透镜前表面上计算的增加度;

$AddB_{\theta_x, \theta_y}$ 为在透镜后表面上计算的增加度;

PF_{θ_x, θ_y} 为用于前表面的增加度数值的目标;

PB_{θ_x, θ_y} 为用于后表面的增加度的目标; 和

$W_{add_{\theta_x, \theta_y}}$ 为用于维持该度平衡的权重。

11、根据权利要求 6、7 或 8 的方法, 其中, MF_{power} 为:

$$MF_{power} = W_{add_{far}} \left[(AddF_{far} - PF_{far})^2 + (AddB_{far} - PB_{far})^2 \right] + \left[\sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} W_{\Phi_{\theta_x, \theta_y}} (\Phi_{\theta_x, \theta_y} - P_{\theta_x, \theta_y})^2 \right]$$

其中:

θ_x 为水平的眼旋转角;

θ_y 为垂直的眼旋转角;

P_{θ_x, θ_y} 为预期的球镜度;

$\Phi_{\theta_x, \theta_y}$ 为实际的球镜度;

$W_{\Phi_{\theta_x, \theta_y}}$ 为度误差上特定场点的权重;

$AddF_{\theta_x, \theta_y}$ 为在透镜前表面上计算的增加度；
 $AddB_{\theta_x, \theta_y}$ 为在透镜后表面上计算的增加度；
 PF_{θ_x, θ_y} 为用于前表面的增加度数值的目标；
 PB_{θ_x, θ_y} 为用于后表面的增加度的目标；
 $Wadd_{\theta_x, \theta_y}$ 为用于维持该度平衡的权重；和
 $AddF_{far}$ 、 $AddB_{far}$ 、 PF_{far} 、 PB_{far} 和 $Wadd_{far}$ 分别对应于远区域的 $AddF_{\theta_x, \theta_y}$ 、
 $AddB_{\theta_x, \theta_y}$ 、 PF_{θ_x, θ_y} 、 PB_{θ_x, θ_y} 和 $Wadd_{\theta_x, \theta_y}$ 。

12、根据权利要求 6、7 或 8 的方法，其中， MF_{blur} 为：

$$MF_{blur} = \sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} \left[W_{rms_{\theta_x, \theta_y}} \cdot (RMS_{\theta_x, \theta_y})^2 + W_{ast_{\theta_x, \theta_y}} \cdot (AstF_{\theta_x, \theta_y} - AF_{\theta_x, \theta_y})^2 \right] \quad (IX)$$

其中：

θ_x 为水平的眼旋转角；

θ_y 为垂直的眼旋转角；

RMS_{θ_x, θ_y} 为在眼镜的图像上计算的 RMS 斑点大小；

$W_{rms_{\theta_x, \theta_y}}$ 为场位置的权重；

$AstF_{\theta_x, \theta_y}$ 为来自前表面的表面象散或对总透镜象散的贡献，如眼睛从前表面看到的；和

$W_{ast_{\theta_x, \theta_y}}$ 为加在不希望有的象散上的权重。

13、根据权利要求 9 的方法，其中， MF_{blur} 为：

$$MF_{blur} = \sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} \left[W_{rms_{\theta_x, \theta_y}} \cdot (RMS_{\theta_x, \theta_y})^2 + W_{ast_{\theta_x, \theta_y}} \cdot (AstF_{\theta_x, \theta_y} - AF_{\theta_x, \theta_y})^2 \right] \quad (IX)$$

其中：

θ_x 为水平的眼旋转角；

θ_y 为垂直的眼旋转角；

RMS_{θ_x, θ_y} 为在眼镜的图像上计算的 RMS 斑点大小；

$W_{rms_{\theta_x, \theta_y}}$ 为场位置的权重；

$AstF_{\theta_x, \theta_y}$ 为来自前表面的表面象散或对总透镜象散的贡献，如眼睛从前表

面看到的；和

$W_{ast_{\theta_x, \theta_y}}$ 为加在不希望有的象散上的权重。

14、根据权利要求 1 或 6 的方法，还包括 c.) 测定一套描述透镜表面的系数以最小化价值函数的数值。

15、根据权利要求 13 的方法，其中，通过以下过程执行步骤 c.) (i) 选择优化变量，其为用于透镜前表面的曲线图和用于后表面的曲线图；以及 (ii) 最小化 MF_{other} 。

16、根据权利要求 10 的方法，其中， MF_{blur} 为：

$$MF_{blur} = \sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} \left[W_{rms_{\theta_x, \theta_y}} \cdot (RMS_{\theta_x, \theta_y})^2 + W_{ast_{\theta_x, \theta_y}} \cdot (AstF_{\theta_x, \theta_y} - AF_{\theta_x, \theta_y})^2 \right] \quad (IX)$$

其中：

RMS_{θ_x, θ_y} 为在眼镜的图像上计算的 RMS 斑点大小；

$W_{rms_{\theta_x, \theta_y}}$ 为场位置的权重；

$AstF_{\theta_x, \theta_y}$ 为来自前表面的表面象散或对总透镜象散的贡献，如眼睛从前表面看到的；和

$W_{ast_{\theta_x, \theta_y}}$ 为加在不希望有的象散上的权重。

用于制造渐变附加透镜的方法

技术领域

本发明涉及用于设计渐变附加透镜的方法。具体的说，本发明提供了一种利用图像模糊性优化设计渐变附加透镜的方法。本发明也提供了用于同时优化透镜的多个渐变表面的方法。

背景技术

使用眼镜矫正屈光异常是公知的。例如，多焦距透镜如渐变附加透镜(“PAL”)被用于治疗老花眼。PAL的渐变表面以逐渐连续的渐增屈光能力的方式由远焦距至近焦距提供了远距离、中等距离以及近距离的视力。

已知许多用于设计和优化渐变表面的方法。这些方法的缺点在于根据表面象差即表面象散和平均度误差、表面形状或表面象差和形状一起定义透镜的性能。根据表面计算结果来优化透镜性能导致透镜将不能最佳地与眼睛结合发挥作用。此外，通过将表面形状限制到特定的数学形状，不能实现最佳的形状设计。更进一步，通过利用表面象差优化透镜性能，优化具有多于一个渐变附加表面的PAL需要单独优化每个表面，这限制了设计者平衡来自每个表面的象差贡献以提供最可能的总体透镜性能的能力。

附图简述

图1是实施例1的透镜的增加度的等曲线图。

图2A和2B是实施例1的透镜的不希望有的象散的等曲线图。

图3A和3B是用于实施例1的透镜的模拟眼睛的RMS斑点大小的等曲线图。

图4是实施例2的透镜的增加度的等曲线图。

图5是实施例2的透镜的不希望有的象散的等曲线图。

图6是用于实施例2的透镜的模拟眼睛的RMS斑点大小的等曲线图。

图7是实施例3的透镜的增加度的等曲线图。

图 8A 和 8B 是实施例 3 的透镜的不希望有的象散的等曲线图。

图 9 是用于实施例 3 的透镜的模拟眼睛的 RMS 斑点大小的等曲线图。

发明内容

在本发明中，提供了一种用于设计渐变表面的方法以及采用该方法生产的透镜。本发明的方法利用图像模糊性构造价值函数。透镜表面(或表面)的形状，被任意地定义并基于所述价值函数优化成使图像模糊性最小。

在一种实施例中，本发明提供了一种用于设计渐变附加透镜的方法，包括，实质上包括，以及包括 a.) 描述一个渐变附加表面；以及 b.) 利用以下公式的价值函数优化所述表面：

$$MF = MF_{\text{blur}} + MF_{\text{power}} + MF_{\text{other}}$$

其中：MF_{blur} 为控制图像模糊性的价值函数；MF_{power} 为控制平均球镜度的价值函数；并且 MF_{other} 为控制美观和工艺性限制的价值函数。

为了本发明的目的，“渐变附加透镜”指的是一种透镜，其具有至少一个渐变附加表面。“渐变附加表面”指的是一个连续的非球面的表面，具有远视力区和近视力区以及一个把远视力区和近视力区连接起来，增加或减少屈光能力的中间视力区。

在本发明方法的第一步中描述表面。该表面可以被描述或表示为连续的、微分连续的或二次微分连续的。用于描述表面的系数必须在局部上而不是整体上控制该表面，以允许在很小的局部区域内优化表面形状。表面可以采用的形状仅受元素的密度或用于描述表面的系数的限制。任选地，表面图像可以强制对称。

优选的表面描述为一种旋转对称的、基底为非球面的表面，并采取以下形状：

$$\text{sag}_{x,y} = \text{Delta}_{x,y} + \frac{c \cdot r^2}{1 + \left[1 - (1+k) \cdot c^2 \cdot r^2 \right]} + \alpha_1 \cdot r^2 + \alpha_2 \cdot r^4 + \alpha_3 \cdot r^6 + \alpha_4 \cdot r^8 + \dots \quad (\text{I})$$

其中：c 为表面曲率；r 为离光轴或透镜中心的径向距离；k 为二次曲线的常数；a₁、a₂、a₃、a₄ 均为系数；并且 Delta_{x,y} 为作为 x 和 y 的函数的 delta 垂度。

$\Delta x_{x,y}$ 可以由任一种方法表示。例如,表面可以被分为多边形的部分,并且每一部分上的表面可以表示为一个应用适当限制条件的多项式。可以改变多边形部分的尺寸以将任意精度的分辨率施加到形状定义上。供选地,表面可以用点 x 、 y 、 z 表示,其拟合为双三次样条(spline)。作为另一种供选方式,样条系数本身可以作为代表该表面的系数使用。仍然作为另一种供选方式,表面可以用 x 、 y 和斜率值表示,其随后拟合为双三次样条。供选地,可以使用非均匀的旋转 bsplines 或 NURBS 或 Bezier 曲线。然而,在每种情况下,必须有一个系数或几个系数来控制表面在局部上的形状,而不影响整个表面。

在本发明方法的第二步中,利用以下公式的价值函数优化所述表面:

$$MF = MF_{\text{blur}} + MF_{\text{power}} + MF_{\text{other}} \quad (\text{II})$$

价值函数的第一部分 MF_{blur} 控制图像质量。图像质量根据图像模糊性的测定而定义,如眼睛绕眼点旋转时眼睛所看到的,以观看透镜的每一部分。眼点典型地位于透镜后约 25 -27 mm 处。

在理想透镜的焦点处,图像模糊性可以计算为并且优选计算为 RMS 斑点大小。供选地,可以使用其它的图像模糊性量度,包括而不局限于 x 上的 RMS 斑点大小和 y 上的 RMS 斑点大小、Strehl 比率、锐度或类似物。一种用于计算图像模糊性的常规方法是通过不提供任何象差的透镜,“理想的”透镜,放置在眼点而模拟眼睛,焦距为约 15-20 mm。理想的透镜随后围绕眼点旋转。供选地,可以使用一种更精致的眼睛模型,如 Gullstrand 示意眼睛模型,该模型允许在视网膜上计算图像模糊性。为了本发明的目的,可以利用市场上可购买的软件包括而不局限于 CodeV、OSLO 和 ZEMAX 进行图像模糊性的计算。

利用 RMS 斑点大小,价值函数的图像模糊性部分由以下公式给出:

$$MF_{\text{blur}} = \sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} W_{\text{rms}_{\theta_x, \theta_y}} (RMS_{\theta_x, \theta_y})^2 \quad (\text{III})$$

其中: θ_x 为水平的眼旋转角; θ_y 为垂直的眼旋转角; RMS_{θ_x, θ_y} 为在眼镜图像上计算的 RMS 斑点大小; 并且 $W_{\text{rms}_{\theta_x, \theta_y}}$ 为场位置的权重,其允许价值函数专用于对通过透镜特定部分的图像质量提供更多的注意。

价值函数的斑点部分将控制图像锐度。如果需要的话，可以加入另一个限制以控制偏斜失真。

MF_{power} 控制贯穿透镜每一部分的平均球镜度。对于渐变透镜，有一个预期的或目标球镜度 P_{θ_x, θ_y} ，其取决于眼旋转角 θ_x 和 θ_y 。实际的球镜度为 $\Phi_{\theta_x, \theta_y}$ 。平均球镜度的价值函数可以根据以下方程式 IV 确定：

$$MF_{power} = \sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} W_{\Phi_{\theta_x, \theta_y}} (\Phi_{\theta_x, \theta_y} - P_{\theta_x, \theta_y})^2 \quad (IV)$$

其中： $W_{\Phi_{\theta_x, \theta_y}}$ 为度误差上特定场点的权重。

相对权重通常在近和远视力区较高并沿着垂直子午线。

MF_{other} 包括涉及美观或工艺性问题的目标或限制。美观问题可以包括，而不局限于最大边缘厚度、基线选择和其它可能影响透镜在眼睛上的外观的透镜参数。工艺性问题包括，而不局限于最小边缘厚度、最大表面梯度、在给定距离的最大梯度变化以及其它被影响并可能受透镜制造过程限制的透镜参数。价值函数的第三部分由以下方程式给出：

$$MF_{other} = MF_{美观} + MF_{工艺性} \quad (V)$$

在价值函数和表面描述图像之间存在相互作用，其将要求置于不同的角度 θ_x 和 θ_y 之间的角距上。如果透镜通过价值函数的角取样相对于由表面系数控制的局部表面轮廓太粗糙，则价值函数可以最小化，然而，在落入 θ_x 和 θ_y 之间的角位置处的透镜性能可以为不受控的。为确保透镜性能在角取样点之间一致，优选 θ_x 和 θ_y 小于透镜表面区域之间的角距，其基本上单独受透镜表面系数的控制。

用于优化整个透镜以利用基于价值函数的图像模糊性满足所有的图像质量、平均度、美观和生产目标的最初透镜构型将由透镜材料、透镜表面轮廓、透镜中心厚度和透镜直径决定。供选地，最初透镜构型可以利用一种常规的渐变透镜设计方法确定，该方法确定了最适宜的渐变表面形状以给出所需的平均球镜度轮廓并且使不希望有的象散最小。在这种情况下，最终的设计将类似于常规设计的形状但将具有改进的光学性能，这是因为利用了基于价值函数的图像模糊性被优化。

本发明方法的最后一步是确定一套用于描述渐变透镜表面的系数以

最小化价值函数的数值。除了用于描述渐变表面的系数之外，也可以使用其它的优化变量，包括透镜厚度和棱镜，以及曲率、二次曲线常数和渐变表面的非球面限制。采用的优化方法可以包括那些设计成寻找价值函数的局部最小值，如用在商业的透镜设计软件包中的 Powell 方法或衰减的最小平方类型的算法。所述优化方法也可以包括那些设计成寻找价值函数的整体最小值，如模拟的退火或遗传算法。优选的方法是将一种整体方法如模拟的退火与一种局部方法如衰减的最小平方算法结合使用。

供选地，并且优选地，最初的透镜构型可以采用一种在改变最终的设计形状方面将提供更多灵活性的过程确定。在该实施例中，用于测定透镜起始点的过程就是首先确定前后的球面曲线，其提供了所需的基底度或距离视力球镜度，这些满足美观和机械的限制。这可以通过作为最佳变量使用前后透镜表面的曲率和透镜厚度，并使控制美观和生产需求的价值函数部分 MF_{other} 最小而实现。

透镜可以被优化为具有最佳变量的单视力透镜，包括透镜厚度、曲率和对称的非球面限制。在该实施例中，使用的价值函数将包括 MF_{other} 、 MF_{rms} 和 MF_{power} ，同时目标 (P_{θ_x, θ_y}) 和权重 $(W_{\phi_{\theta_x, \theta_y}}, W_{\text{rms}_{\theta_x, \theta_y}})$ 被调整到适用于单视力透镜。透镜度为基底度，并且目标是在远视力区提供相当好的性能。

最佳变量随后被设定成仅包括沿垂直子午线的表面系数。度权重 $W_{\phi_{\theta_x, \theta_y}}$ 被设置为零，除了沿垂直子午线以外，在那里，它们被设定为预期的渐变附加轮廓。度目标 P_{θ_x, θ_y} 被设定为提供预期的渐变度轮廓。当采用该价值函数和这些系数进行优化时，最终的透镜将满足美观和生产需求，在远视力区具有良好的性能，并且也提供成用于矫正沿垂直轴的增加度。该透镜可以提供一种良好的起始透镜，其采用全部的价值函数进行优化。供选地，可以使用该全部的价值函数，其中，将 $W_{\phi_{\theta_x, \theta_y}}$ 设定到正常权重，除沿垂直子午线之外将 $W_{\text{rms}_{\theta_x, \theta_y}}$ 设定到零，并且全部表面被优化。作为一个起始点，这将提供一种透镜，其满足度需要并具有沿子午线优化的图像模糊性。

如介绍的，价值函数采用普通形状，为特定参数值和该参数的目标值之间的差值的平方和。本领域技术人员将意识到限制如最小曲率值可以转变为这种或那种形式，存在用于对准或限制组成价值函数的各参数的替

换方法。

迄今所述方法的实施例适合于设计在透镜的前表面或后表面具有渐变附加透镜。然而，在供选的实施例中，本发明的方法可以被用于设计一种透镜，其中，多于一个表面贡献于渐变的度。在本发明的这种方法中，允许同时优化两个表面，这是因为价值函数包括由整个透镜产生的图像模糊性的测定，而且并非仅仅是表面象差。

为了优化多个渐变附加表面，可以修改价值函数，以允许由每一表面贡献的增加度的相对量如下：

$$MF_{\text{power}} = \sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} W_{\Phi_{\theta_x, \theta_y}} (\Phi_{\theta_x, \theta_y} - P_{\theta_x, \theta_y})^2 + W_{\text{add}_{\theta_x, \theta_y}} \left[(\text{AddF}_{\theta_x, \theta_y} - \text{PF}_{\theta_x, \theta_y})^2 + (\text{AddB}_{\theta_x, \theta_y} - \text{PB}_{\theta_x, \theta_y})^2 \right] \quad (\text{VI})$$

其中， θ_x 为水平的眼旋转角； θ_y 为垂直的眼旋转角； $\text{RMS}_{\theta_x, \theta_y}$ 为在眼镜的图像上计算的 RMS 斑点大小；并且 $W_{\text{rms}_{\theta_x, \theta_y}}$ 为场位置的权重，其允许价值函数专用于对通过透镜特定部分的图像质量提供更多的注意； $\text{AddF}_{\theta_x, \theta_y}$ 为在前表面上计算的增加度； $\text{AddB}_{\theta_x, \theta_y}$ 为在后表面上计算的增加度； $\text{PF}_{\theta_x, \theta_y}$ 为用于前表面的增加值的目标； $\text{PB}_{\theta_x, \theta_y}$ 为用于后表面的增加值的目标；并且 $W_{\text{add}_{\theta_x, \theta_y}}$ 为用于维持该度平衡的权重。

“增加度”指的是渐变表面的近和远视力区之间的度数差值。

方程式 VI 显示了对于具有由透镜的前后表面贡献增加度的透镜的情况。价值函数的第一部分与方程式 IV 相同，并提供了全部的透镜平均球镜度轮廓。附加限制为前后表面的增加度提供了目标。如上，应当确保在前增加和后增加上的目标与总度目标一致。

如果透镜被预期成在远区域的增加度贡献采用特定值，方程式 VI 可以简化为：

$$MF_{\text{power}} = W_{\text{add}_{\text{far}}} \left[(\text{AddF}_{\text{far}} - \text{PF}_{\text{far}})^2 + (\text{AddB}_{\text{far}} - \text{PB}_{\text{far}})^2 \right] + \left[\sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} W_{\Phi_{\theta_x, \theta_y}} (\Phi_{\theta_x, \theta_y} - P_{\theta_x, \theta_y})^2 \right] \quad (\text{VII})$$

具有控制由前后表面贡献的相对增加度的能力，可以进行参数设计研

究以确定前后表面之间的最佳度平衡。

当优化具有对增加度有贡献的透镜前后表面的透镜时，价值函数的 blur 部分可以修改为：

$$MF_{\text{blur}} = \sum_{\theta_x} \sum_{\theta_y} \left[W_{\text{rms}}_{\theta_x, \theta_y} \cdot (\text{RMS}_{\theta_x, \theta_y})^2 + W_{\text{ast}}_{\theta_x, \theta_y} \cdot (\text{AstF}_{\theta_x, \theta_y} - \text{AF}_{\theta_x, \theta_y})^2 \right] \quad (\text{VIII})$$

其中： $\text{AstF}_{\theta_x, \theta_y}$ 为来自前表面的表面象散或对总透镜象散的贡献，如眼睛从前表面看到的；并且 $W_{\text{ast}}_{\theta_x, \theta_y}$ 为不希望有的象散的权重。

方程式 VIII 允许控制沿垂直通道由前表面贡献的不希望有的象散量。为证明仅考虑沿中心垂直轴对价值函数的贡献，将 θ_x 设定为零。方程式 VIII 可以被修改成包括不希望有的象散目标，对于整个表面， θ_x 不等于零，或者具有将用于后表面的不希望有的象散目标，但优选的方法是前表面沿中心垂直通道对准象散。

通过选择性地放松用于描述渐变表面的多边形元素之间的限制条件，可以获得供选的优化。例如，可以指明表面的一阶和二阶导数不严格为 0，但可以引入棱镜和倾斜象散的最小水平。可以指定导数的最大值以确保在边界处引入的不连续为极细微的。这些最大值可以根据每一部分的位置改变，其也影响给定的权重。由象散引起的光学象差和较高阶象差在一边并且棱镜在另一边的平衡在获得改进优化整个渐变附加透镜设计时特别重要。

常规的渐变附加透镜设计技术需要沿垂直通道的不希望有的象散小于规定量，通常小于 0.25 屈光度。“不希望有的象散”指的是由一个或多个透镜表面引入或引起的未预期的象散。当多于一个表面贡献于透镜的渐变本质时，每个表面被迫具有少量不希望有的象散，以便对于两个表面不希望有的象散的总量小于 0.25 屈光度。在本发明的方法中，来自一个表面的不希望有的象散贡献可以大于约 0.25 屈光度，这是因为该方法允许同时优化多个渐变表面。一个表面的不希望有的象散可以由其它表面补偿。例如，沿垂直通道大于 0.25 屈光度的对不希望有的象散的正贡献可以由来自后表面的负贡献补偿。因此，在另一实施例中，本发明提供了一种渐变附加透镜包括，实质上包括，并包括第一和第二渐变附加表

面，其中，对于第一渐变附加表面，不希望有的象散大于约 0.25 屈光度。

此外，本发明的方法在设计具有多于一个渐变附加表面的透镜方面为有利的，这是因为它允许透镜的最大不希望有的象散可被减小至利用常规设计方法不能实现的水平。“最大不希望有的象散”指的是在不希望有象散的区域不希望有的象散的最大可测量水平。常规的设计方法需要对每一表面使最大不希望有的象散最小。相比之下，在本发明的方法中，同时优化所有的渐变附加表面，允许来自一个渐变表面的对最大不希望有的总象散的贡献被其它一个或多个渐变表面补偿。

典型地，对于一个渐变表面，最大不希望有的象散被最小化为小于或等于该表面对透镜增加度的贡献，但在屈光度上不小于约 0.75 倍的增加功率。其原因是利用常规的设计技术很难将最大不希望有的象散减小至低于 0.75 倍的增加度并获得对于渐变透镜可接受的渐变度轮廓。例如，对于屈光度 2.0 的附加表面，对于该表面的最大不希望有的象散典型地为约 1.5 和 2.0 屈光度之间。

然而，在根据本发明设计的透镜中，对于单个表面，最大不希望有的象散可以大于该表面的增加度，这是因为该不希望有的象散可以通过同时优化透镜的第二渐变表面而被补偿。因此，在另一实施例中，本发明提供了一种渐变附加透镜，包括，实质上包括，并包括一个具有第一增加度的第一渐变附加表面和一个具有第二增加度的第二渐变附加表面，其中，第一渐变表面的最大不希望有的象散大于第一增加度。

此外，对于一个表面，如果最大不希望有的象散小于该表面的增加度，总的透镜最大象散可以通过本发明的方法降低，通过利用第二 PAL 表面补偿来自其它表面的最大不希望有的象散。因此，利用本发明方法的总透镜最大象散可以小于约 0.75 倍的透镜增加度，并优选约 0.5 倍的透镜增加度。

具体实施方式

通过考虑以下非限制性的实施例将进一步阐明本发明：

实施例 1

提供了具有两个渐变表面的透镜的基线实施例，该透镜在每一透镜表面上具有一部分总增加度。此外，在每一表面上，不希望有的象散峰未被对准，如在美国专利 No. 6,149,271 中所描述的。图 1-3 显示了增加度、不希望有的象散和 RMS 斑点大小。图形为从-60 到 60 度。在这些图形中，透镜直径为 60 mm。这个和所有随后的设计具有的球镜度为 -4.0 屈光度，并且增加度为 2.0 屈光度。

实施例 2

利用本发明的方法提供了一个具有两个渐变表面的透镜。该透镜的球镜度为 -4.0 屈光度，并且增加度为 2.0 屈光度。通过以方程式 I 表示的方程式系数确定透镜表面。前表面由基底的曲率 c 和二次曲线常数 k 定义，并且旋转对称的非球面限制的剩余部分为零。对于定义透镜右半部分的均匀分布点的 4/8 点格子， $\Delta_{x,y}$ 由成套的双三次样条系数进行定义。透镜为左右对称的。透镜的后表面由一个类似的函数定义，后表面上的二次曲线常数 k 为 0。

将用于表示表面的函数最佳拟合到用于实施例 1 的基线设计的表面。这提供了利用本发明的方法同时优化两个表面的起始点。采用衰减的最小二平方类型的优化算法进行优化，最佳变量为前表面上的二次曲线常数（基底曲率保持恒定）、后表面的曲率以及前后表面的样条系数。用于优化透镜的价值函数包括以方程式 IV 表示的球镜度贡献和以方程式 VIII 表示的图像模糊性贡献。透镜在角度 (θ_x, θ_y) 取样 21 个点，其利用左右对称的优势几乎均匀分布在透镜表面上。

目标球镜度 P_{θ_x, θ_y} 被设定为实施例 1 的透镜的实际球镜度。相对于在距离参照点处的数值 1.0，权重因子 $W_{\Phi_{\theta_x, \theta_y}}$ 被假定为以下数值。在计算增加度的近参照点，相对值为 100。在近和远距离参照点之间的沿透镜中心水平通道的点处，该数值被设定为 5。在视力中的点处，权重因子被设定为 0.1。

将 blur 函数对以方程式 VIII 表示的价值函数/的贡献与价值函数 $W_{rms_{\theta_x, \theta_y}}$ 的 RMS 斑点大小部分的相对权重一起使用，根据来自沿中心垂直通道的不希望有的象散 $W_{ast_{\theta_x, \theta_y}}$ 的贡献，将其调整为 10 倍于对价值

函数的贡献。沿中心垂直通道的权重 $W_{rms_{\theta_x, \theta_y}}$ 为远离通道数值的 2 倍，并且沿中心垂直通道的权重 $W_{ast_{\theta_x, \theta_y}}$ 为远离通道数值的 20 倍。图 4 - 6 显示出透镜的综合性能结果。

对于基线设计，当比较图 1- 3 中显示的结果时，不希望有的象散和 RMS 斑点大小的对比显示出降低了最大值以及拓宽了近距离和中间区域。在实施例 2 中，对于屈光度 2.0 的附加透镜，最大不希望有的象散为 1.25 屈光度。

实施例 3

实施例 3 的透镜具有两个渐变表面。除以下特例之外，该透镜的表面、价值函数和优化过程与实施例 2 相同。blur 函数对方程式 VIII 的价值函数的贡献与价值函数 $W_{rms_{\theta_x, \theta_y}}$ 的 RMS 斑点大小部分的相对权重一起使用，根据来自沿中心垂直通道的不希望有的象散 $W_{ast_{\theta_x, \theta_y}}$ 的贡献，将价值函数 $W_{rms_{\theta_x, \theta_y}}$ 调整为与价值函数的贡献相同。

该透镜的综合性能显示在图 7 - 9 的图形中。在该透镜中，对于该屈光度 2.0 的增加度透镜，最大不希望有的象散约为 0.75 屈光度。与常规的 PAL 相比，该透镜在最大不希望有的象散和 RMS 斑点大小以及增加的近距离和中间读取区宽度上显示出很大的减小。

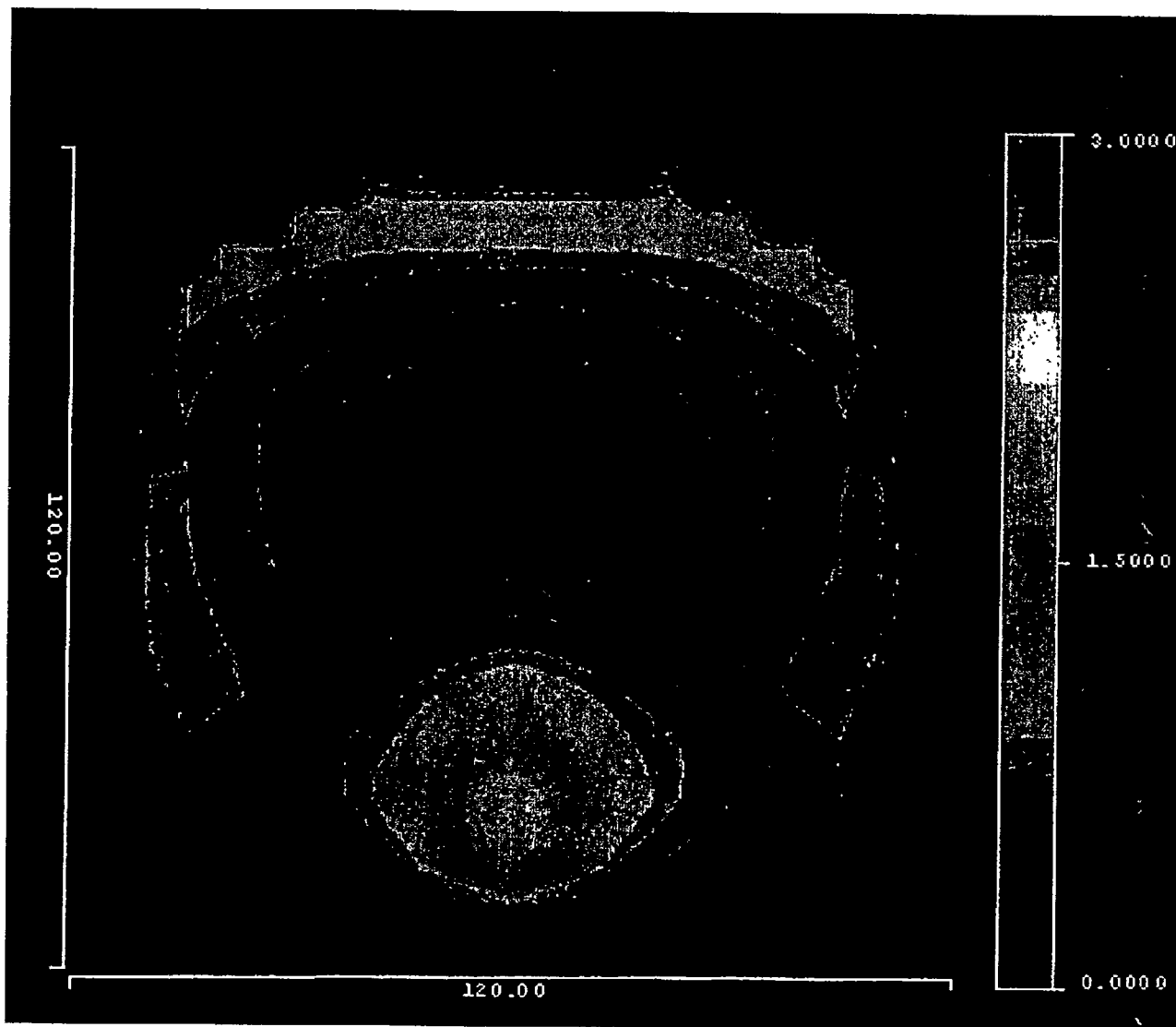


图 1

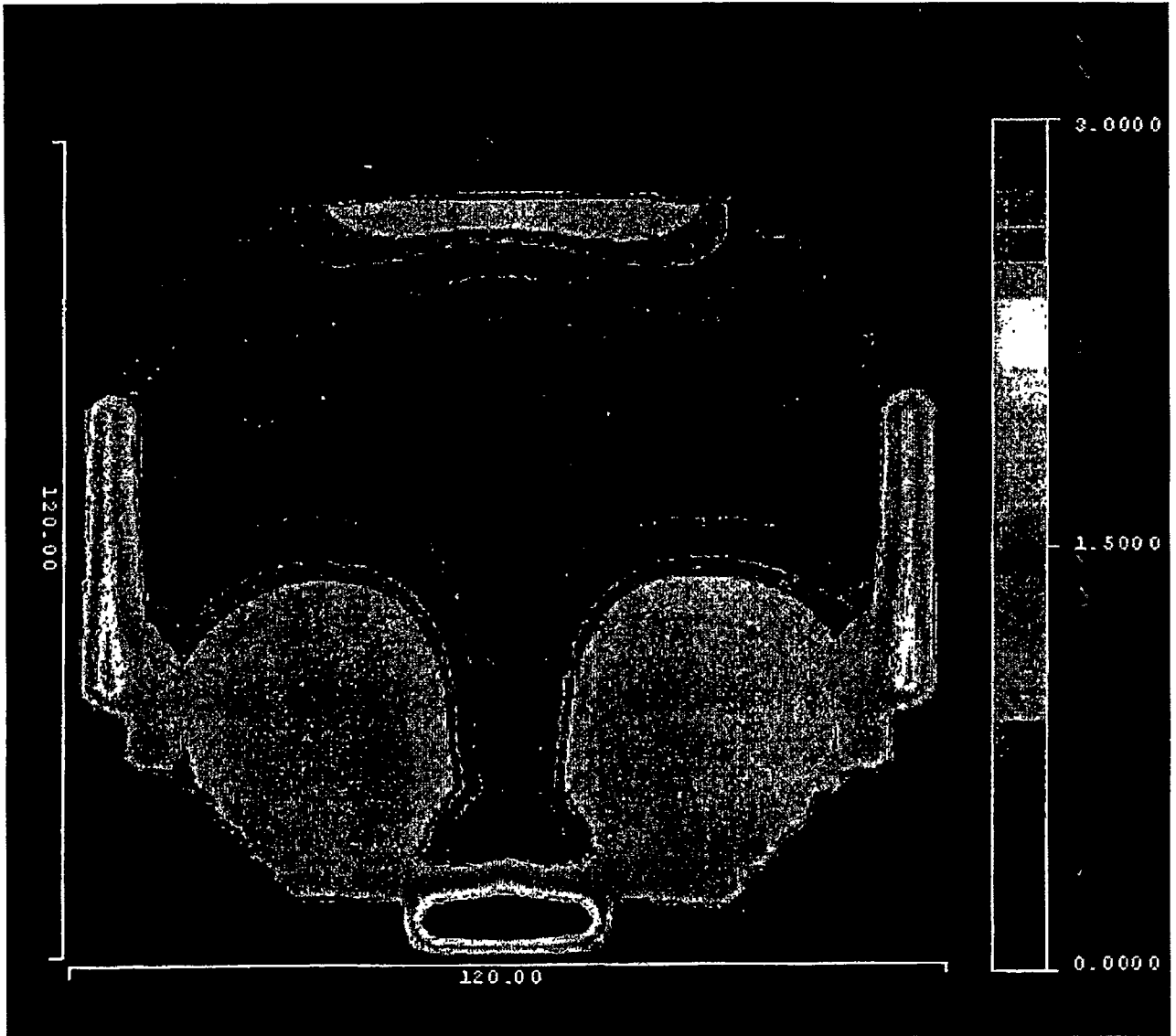


图 2A

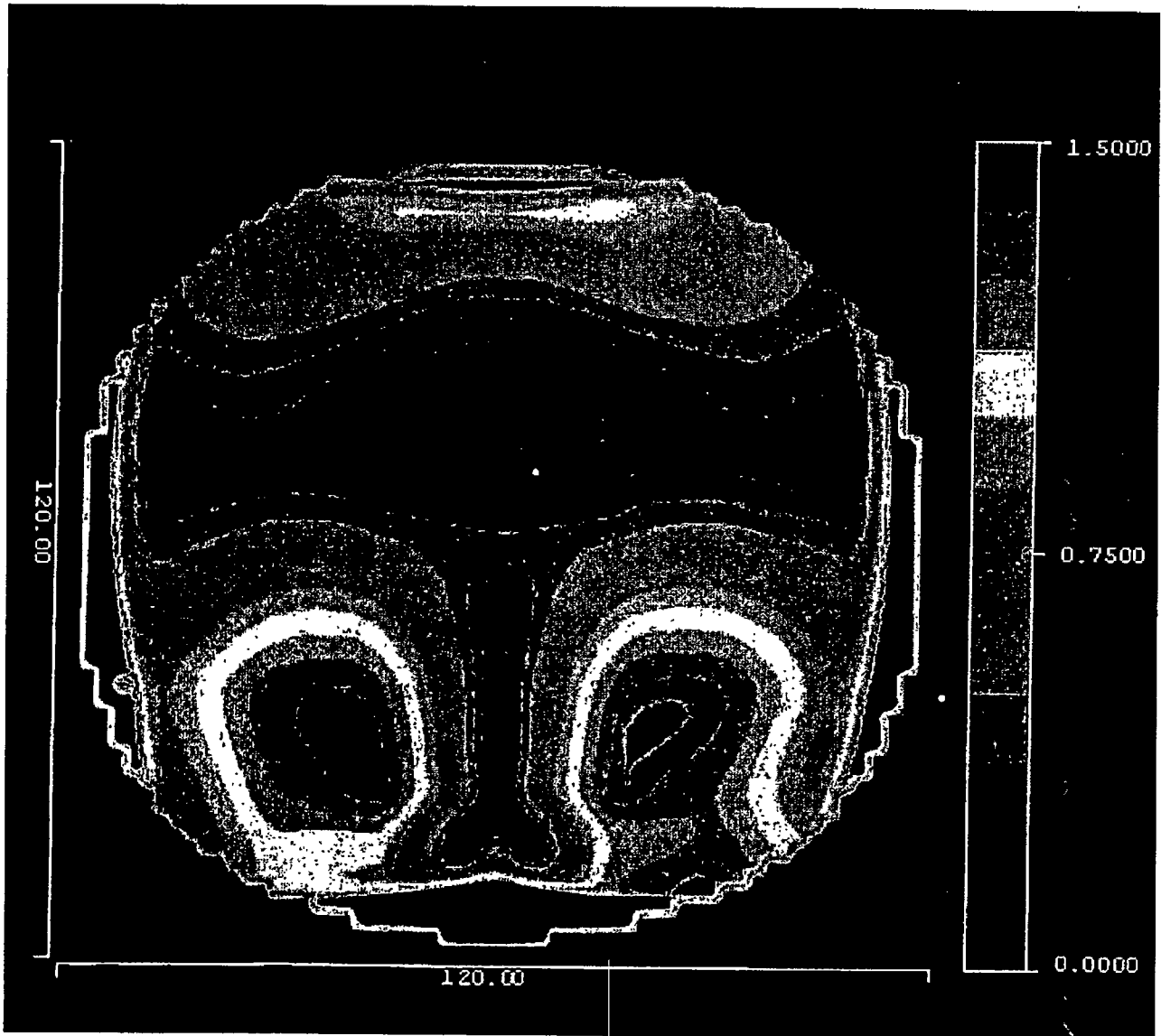


图 2B

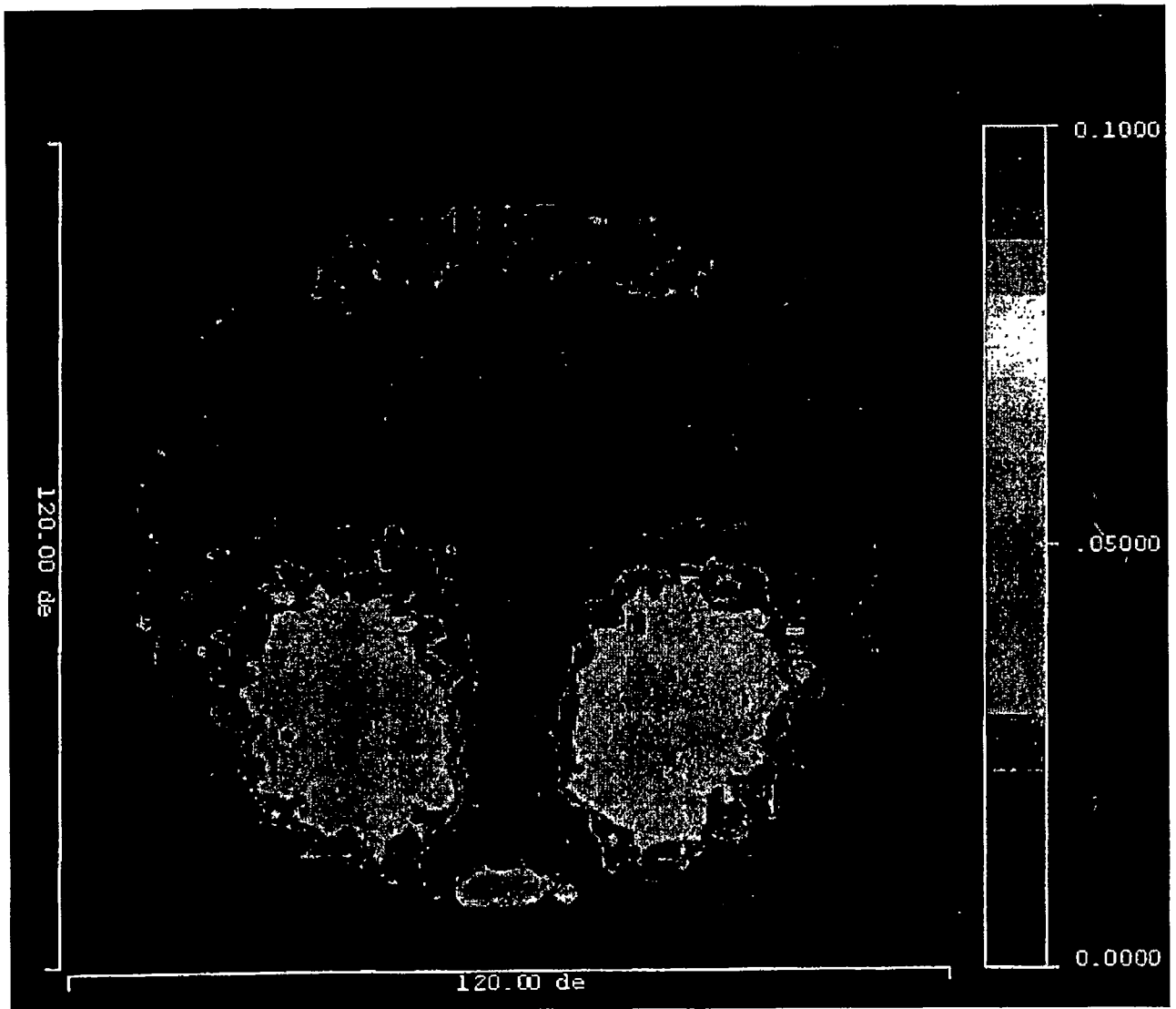


图 3A

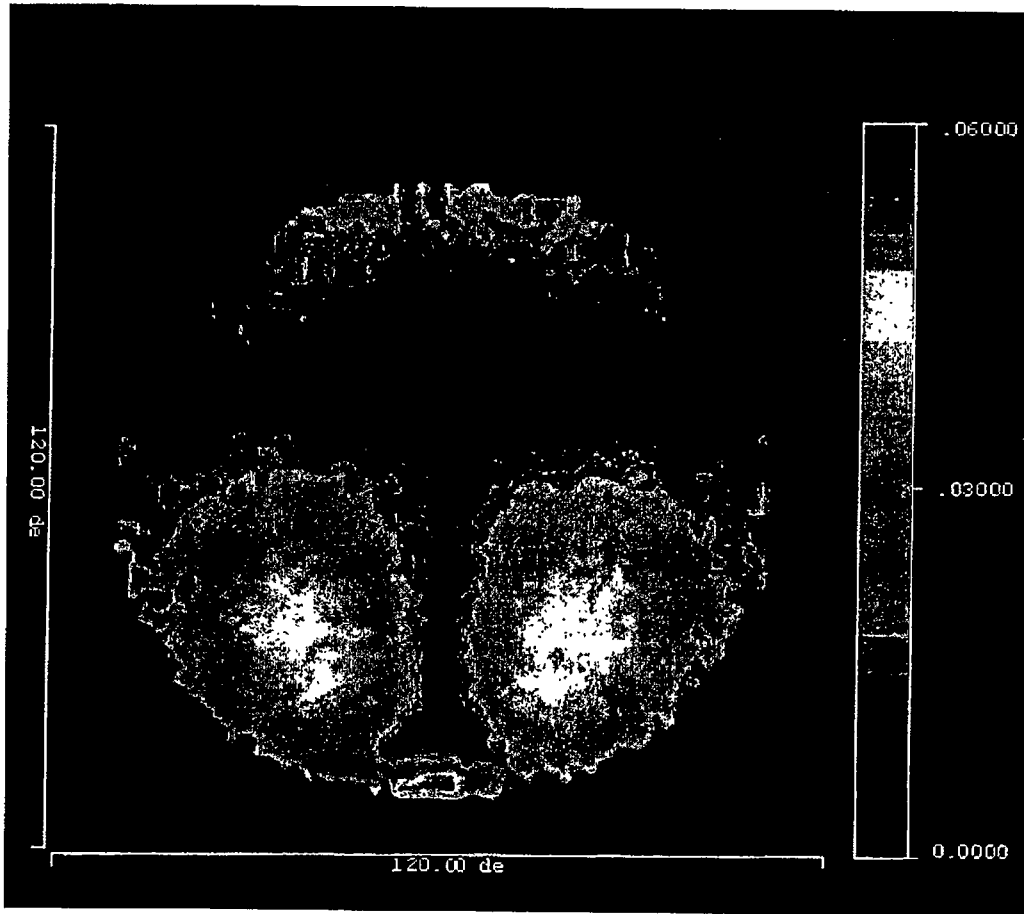


图 3B



图 4

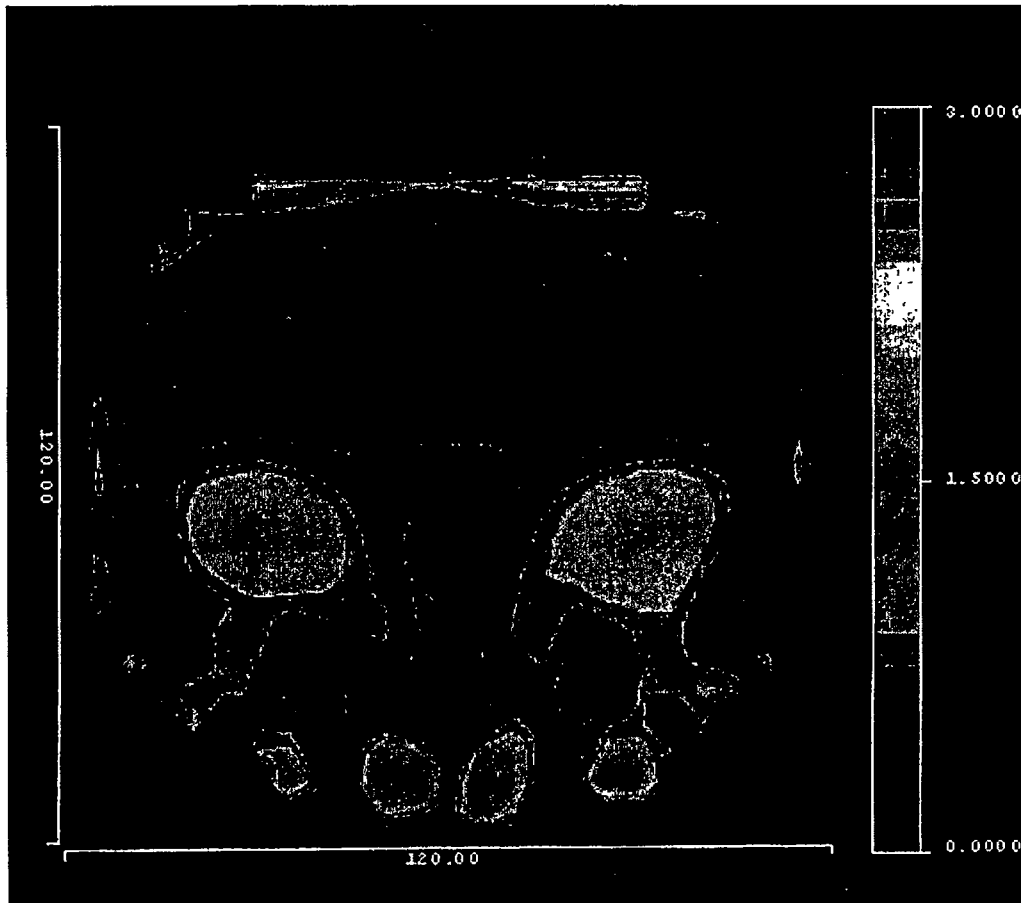


图 5

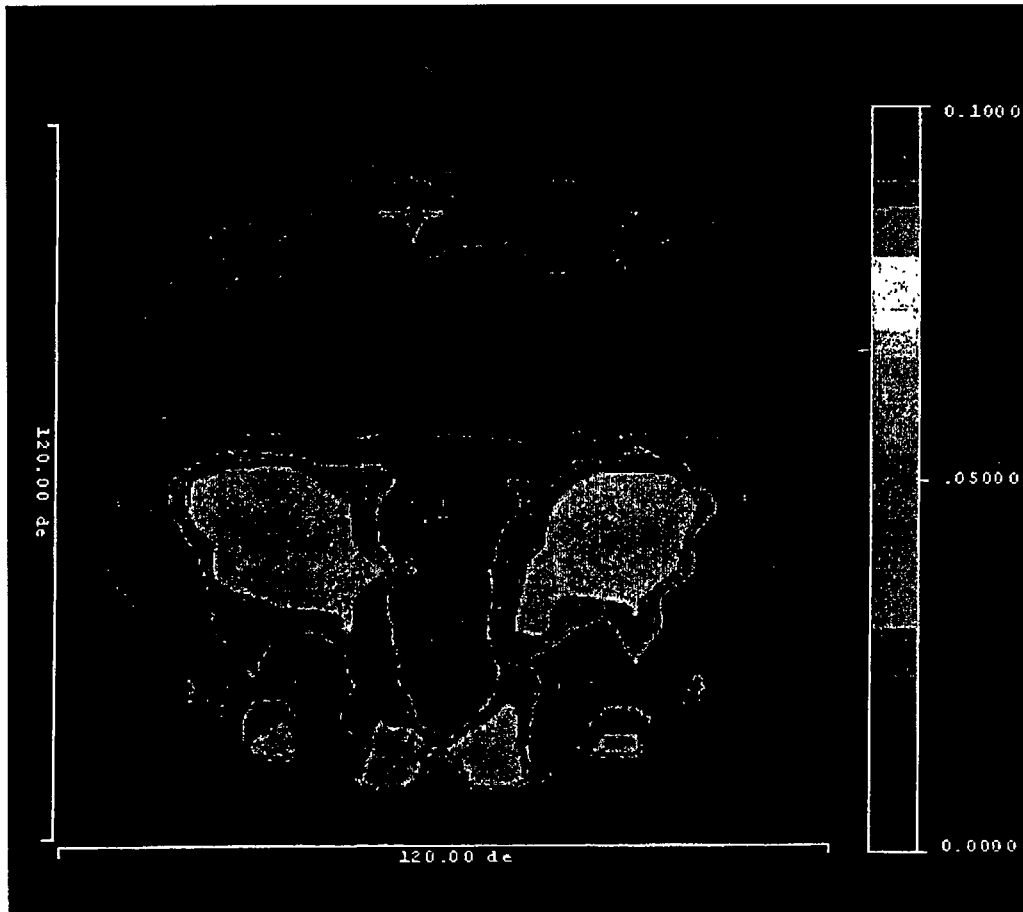


图 6



图 7

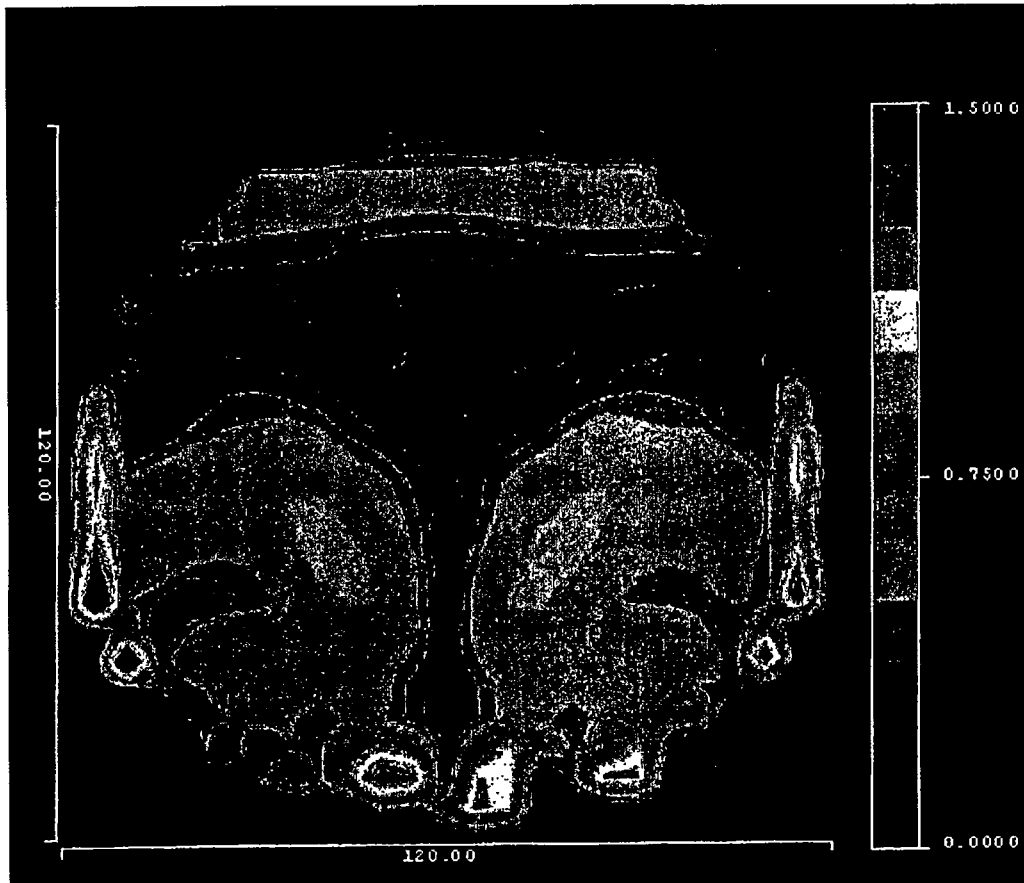


图 8A



图 8B

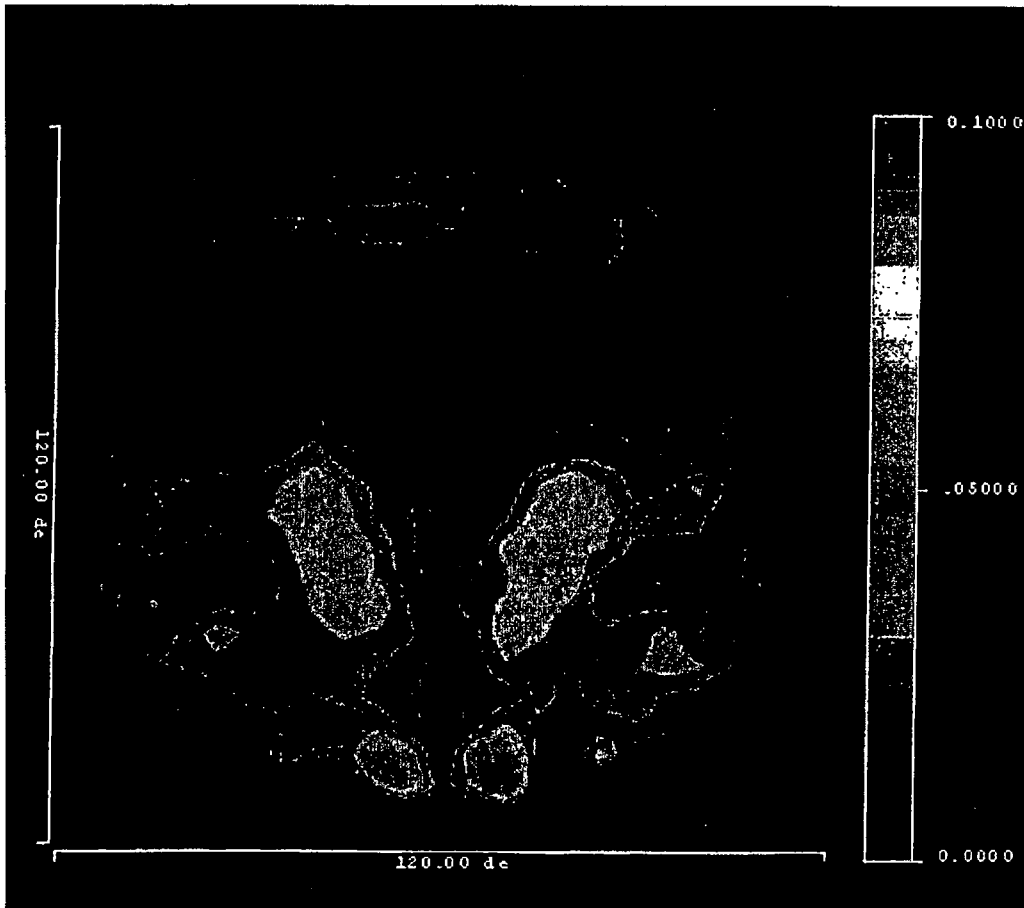


图 9