

一种基于配光优化的非对称LED路灯的设计方法

申请号：[201110409020.0](#)

申请日：2011-12-09

申请(专利权)人 [中国科学院长春光学精密机械与物理研究所](#)

地址 [130033 吉林省长春市东南湖大路3888号](#)

发明(设计)人 [王尧](#) [刘华](#) [卢振武](#)

主分类号 [F21S8/00\(2006.01\)I](#)

分类号 [F21S8/00\(2006.01\)I](#) [F21V5/04\(2006.01\)I](#)
[F21W131/103\(2006.01\)N](#) [F21Y101/02\(2006.01\)N](#)

公开(公告)号 [102494279A](#)

公开(公告)日 [2012-06-13](#)

专利代理机构 [长春菁华专利商标代理事务所 22210](#)

代理人 [张伟](#)



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102494279 B

(45) 授权公告日 2014. 03. 12

(21) 申请号 201110409020. 0

(22) 申请日 2011. 12. 09

(73) 专利权人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 3888 号

(72) 发明人 王尧 刘华 卢振武

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 张伟

(51) Int. Cl.

F21S 8/00(2006. 01)

F21V 5/04(2006. 01)

F21W 131/103(2006. 01)

F21Y 101/02(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101482652 A, 2009. 07. 15, 说明书第 8 页

最后 4 段至第 11 页.

CN 102168838 A, 2011. 08. 31, 说明书第 4~16 段.

CN 201568890 U, 2010. 09. 01, 说明书第 13 段.

KR 1020110129193 A, 2011. 12. 01, 全文.

CN 101922676 A, 2010. 12. 22, 说明书第 108~201 段.

审查员 吴莉芳

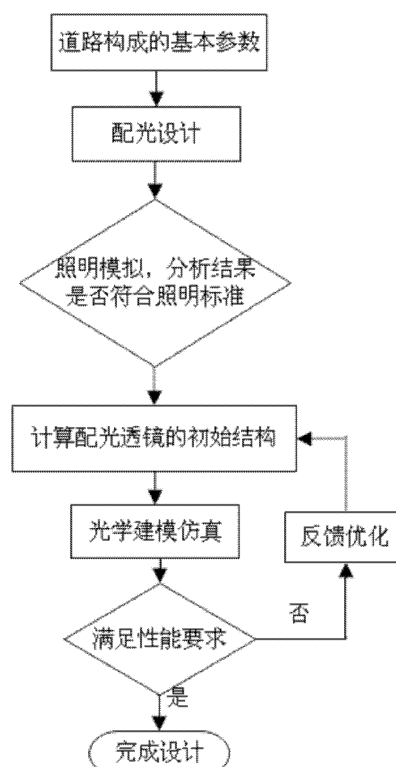
(54) 发明名称

一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法

(57) 摘要

一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法属于非成像 LED 照明领域,解决了亮度均匀性不足,产生“斑马效应”,危害道路安全的缺欠,该方法包括:了解道路构成基本参数;配光设计;照明模拟,分析照明标准;计算配光透镜初始结构;光学建模仿真;满足性能要求;完成设计。本发明综合考虑了使用功能、道路等级和各项道路照明评价指标进行配光优化,满足道路照明设计标准,真正符合城市道路照明的要求;LED 路灯配光透镜在垂直道路方向上非对称,光线向机动车道方向偏移,极大提高了光能利用率;在设计过程中进行了差值优化反馈,光线经过透镜后的光能分布更接近理想状态,提升了透镜的性能。

权利要求书2页 说明书6页 附图5页



1. 一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法,其特征在于,该设计方法包括如下步骤:

步骤 1) 确定街道构成的基本参数,设定各项道路照明评价指标,根据道路使用功能和道路等级,确定其照明标准值;

步骤 2) 以一段道路上相邻两根灯杆之间的路面为目标面进行配光优化,计算出每个路灯在目标面上的照度分布值和亮度分布值,通过每个路灯在目标面上的照度分布值和亮度分布值计算出各项道路照明评价指标;

步骤 3) 配光优化实际上就是求 Q 的最大值,同时满足道路照明的相关标准,以各项照明标准值为优化条件,能量利用系数 $Q = \frac{L_{av}}{E_{av}}$ 为优化目标,求解目标路面照度,获得路灯的配光分布;其中, L_{av} 为路面平均亮度, E_{av} 为路面照度平均照度;

步骤 4) 以 LED 光源中心为原点,建立直角坐标系和球坐标系,根据能量守恒定律,由直角坐标系表示的目标面上的区域分布和由球坐标系表示的出射光线光能的分布相等,通过目标面上的照度分布值建立出射光线与目标面上的小矩形区域一一对应关系;

步骤 5) 根据折射定律和步骤 4) 中的出射光线与目标面上的小矩形区域的能量关系,计算出出光面特征点的表面法线矢量;利用给定出光面上任一点的直角坐标和出光面特征点的表面法线矢量,计算出所有出光面上特征点的坐标值;

步骤 6) 将出光面上的特征点直角坐标拟合为曲面,在机械仿真软件中构建出 LED 配光透镜的初始结构模型;通过光学仿真软件中进行光学仿真,得到目标面照度的模拟值,若目标面照度的模拟值与目标面的照度分布值存在偏差,则需要通过优化反馈函数进行优化反馈,以最终优化得到的目标面的照度分布值,重复步骤 4) 和步骤 5),得到配光优化非对称 LED 路灯出光面特征点的坐标值,完成基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法;

其中优化反馈函数是指在光学仿真软件中进行光学仿真,得到目标面照度的模拟值为 $E'(x, y)$,若 $E'(x, y)$ 与配光优化得到的目标面照度 $E(x, y)$ 存在偏差,定义优化反馈函数

$$\eta_i(x, y) = \beta_i(x, y) \cdot \beta_{i-1}(x, y) \cdots \beta_1(x, y)$$

$$\beta_i(x, y) = \begin{cases} r_1, & \frac{E(x, y)}{E_i'(x, y)} \leq r_1 \\ \frac{E(x, y)}{E_i'(x, y)}, & r_1 < \frac{E(x, y)}{E_i'(x, y)} \leq r_2 \\ r_2, & \frac{E(x, y)}{E_i'(x, y)} > r_2 \end{cases}$$

其中

式中 r_1 表示 $\beta_i(x, y)$ 的最大值, r_2 表示 $\beta_i(x, y)$ 的最小值,其数值可根据需要自行确定,则 $E_{i+1}(x, y) = \eta_i(x, y) \cdot E(x, y)$,其中,第 i 次优化后得到的照度为 $E_i'(x, y)$,则第 $i+1$ 次优化的目标照度 $E_{i+1}(x, y)$ 。

2. 如权利要求 1 所述的一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法,其特征在于,步骤 1) 街道构成的基本参数包括:LED 路灯到路面的距离 h ,路灯间距 L ,机动车道宽度 W_1 ,

人行道宽度 W_2 , 路面简化亮度系数 r 。

3. 如权利要求1所述的一种基于配光优化的非对称LED路灯的设计方法, 其特征在于, 步骤2) 道路照明评价指标包括: 路面平均亮度 L_{av} 、路面亮度总均匀度 U_0 、路面亮度纵向均匀度 U_L 、路面照度平均照度 E_{av} 、路面照度均匀度 E_0 、眩光限制阈值增量 TI 和环境照度比 SR 。

一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于非成像 LED 照明领域,涉及一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法。

背景技术

[0002] 用 LED 代替传统的高压钠灯作为道路照明的光源,是目前城市道路照明建设的发展趋势。

[0003] 目前的 LED 路灯配光透镜,均以提高照度均匀性为目标来进行设计,而忽略了亮度、眩光和环境照度比的影响。实际上道路照明并不单单考量照度的均匀性,根据《城市道路照明设计标准》(CJJ 45-2006)的相关规定,道路照明要同时满足以下参数的要求:路面平均亮度、路面亮度总均匀度、路面亮度纵向均匀度、路面平均照度、路面照度均匀度、眩光限制阈值增量和环境照度比。这些参数根据道路使用功能和道路等级的不同而有不同的标准值。单纯的追求照度均匀性,会导致亮度均匀性不足,产生“斑马效应”,危害道路安全。因此,需要综合考虑所有道路照明设计参数标准,进行配光优化,得到符合道路照明标准的配光曲线,进而根据此配光曲线设计出的 LED 路灯配光镜,这样才能真正满足道路照明需要。

[0004] 另外,LED 芯片具有一定尺寸,其发出的光经 LED 配光透镜后的理论设计光能分布与实际光能分布会存在一定的偏差,尤其是经过透镜边缘部分的光线,这种效果更为明显。以往 LED 路灯透镜在设计过程中均未考虑这方面的影响,因此制约了 LED 路灯配光镜性能的进一步提升。

发明内容

[0005] 针对现有技术存在的问题,本发明提供了一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法,该设计方法设计的透镜的配光曲线经过配光优化,可以解决亮度均匀性不足,产生“斑马效应”,危害道路安全的缺欠,提升了 LED 路灯配光透镜的性能。

[0006] 一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法,该设计方法包括如下步骤:

[0007] 步骤 1) 确定街道构成的基本参数,设定各项道路照明评价指标,根据道路使用功能和道路等级,确定其照明标准值;

[0008] 步骤 2) 以一段道路上相邻两根灯杆之间的路面为目标面进行配光优化,计算出每个路灯在目标面上的照度分布值和亮度分布值,通过每个路灯在目标面上的照度分布值和亮度分布值计算出各项道路照明评价指标;

[0009] 步骤 3) 以各项照明标准值为优化条件,能量利用系数 $Q = \frac{L_{av}}{E_{av}}$ 为优化目标,求解目标路面照度,获得路灯的配光分布;其中, L_{av} 为路面平均亮度, E_{av} 为路面照度平均照度;

[0010] 步骤 4) 以 LED 光源中心为原点,建立直角坐标系和球坐标系,根据能量守恒定律,由直角坐标系表示的目标面上的区域分布和由球坐标系表示的出射光线光能的分布相等,通过目标面上的照度分布值建立出射光线与目标面上的小矩形区域一一对应关系;

[0011] 步骤5) 根据折射定律和步骤4) 中的出射光线与目标面上的小矩形区域的能量关系, 计算出出光面特征点的表面法线矢量; 利用给定出光面上任一点的直角坐标和出光面特征点的表面法线矢量, 计算出所有出光面上特征点的坐标值;

[0012] 步骤6) 将出光面上的特征点直角坐标拟合为曲面, 在机械仿真软件中构建出 LED 配光透镜的初始结构模型; 通过光学仿真软件中进行光学仿真, 得到目标面照度的模拟值, 若目标面照度的模拟值与目标面的照度分布值存在偏差, 则需要通过优化反馈函数进行优化反馈, 以最终优化得到的目标面的照度分布值, 重复步骤4) 和步骤5), 得到配光优化非对称 LED 路灯出光面特征点的坐标值, 完成基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法。

[0013] 本发明的有益效果是: 本发明综合考虑了使用功能、道路等级和各项道路照明评价指标进行配光优化, 满足道路照明设计标准, 真正符合城市道路照明的要求; LED 路灯配光透镜在垂直道路方向上非对称, 光线向机动车道方向偏移, 极大提高了光能利用率; 在设计过程中进行了差值优化反馈, 光线经过透镜后的光能分布更接近理想状态, 提升了透镜的性能。

附图说明

[0014] 图1为本发明一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法的 LED 路灯配光透镜设计流程图。

[0015] 图2为本发明一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法的非对称 LED 配光透镜结构示意图。

[0016] 图3为本发明一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法的配光优化目标面示意图。

[0017] 图4为本发明一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法的配光优化得到的配光曲线图。

[0018] 图5为本发明一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法的光源和目标面能量映射关系示意图。

[0019] 图6为本发明一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法的折射矢量关系图。

[0020] 图7为本发明一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法的 LED 路灯配光透镜的配光光曲线图。

具体实施方式

[0021] 如图1所示, 一种基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法, 该设计方法包括如下步骤:

[0022] 步骤1) 确定街道构成的基本参数, 设定各项道路照明评价指标, 根据道路使用功能和道路等级, 确定其照明标准值;

[0023] 步骤2) 以一段道路上相邻两根灯杆之间的路面为目标面进行配光优化, 计算出每个路灯在目标面上的照度分布值和亮度分布值, 通过每个路灯在目标面上的照度分布值和亮度分布值计算出各项道路照明评价指标;

[0024] 步骤 3) 以各项照明标准值为优化条件, 能量利用系数 $Q = \frac{L_{av}}{E_{av}}$ 为优化目标, 求解目标路面照度, 获得路灯的配光分布; 其中, L_{av} 为路面平均亮度, E_{av} 为路面照度平均照度;

[0025] 步骤 4) 以 LED 光源中心为原点, 建立直角坐标系和球坐标系, 根据能量守恒定律, 由直角坐标系表示的目标面上的区域分布和由球坐标系表示的出射光线光能的分布相等, 通过目标面上的照度分布值建立出射光线与目标面上的小矩形区域一一对应关系;

[0026] 步骤 5) 根据折射定律和步骤 4) 中的出射光线与目标面上的小矩形区域的能量关系, 计算出出光面特征点的表面法线矢量; 利用给定出光面上任一点的直角坐标和出光面特征点的表面法线矢量, 计算出所有出光面上特征点的坐标值;

[0027] 步骤 6) 将出光面上的特征点直角坐标拟合为曲面, 在机械仿真软件中构建出 LED 配光透镜的初始结构模型; 通过光学仿真软件中进行光学仿真, 得到目标面照度的模拟值, 若目标面照度的模拟值与目标面的照度分布值存在偏差, 则需要通过优化反馈函数进行优化反馈, 以最终优化得到的目标面的照度分布值, 重复步骤 4) 和步骤 5), 得到配光优化非对称 LED 路灯出光面特征点的坐标值, 完成基于配光优化的非对称 LED 路灯的设计方法。

[0028] LED 路灯配光透镜由基面、入光面和出光面三个面组成, 基面 11 为透镜的底部平面, 在上述基面上有一个凹孔, 形状为球形或椭球形, 构成透镜的入光面 12, 除基面和入光面外的另一面为出光面 13。如图 2 所示 (a) 为 LED 路灯配光镜的三维视图, (b) 为 LED 路灯配光透镜在 xoy 平面的截面图, (c) 为 LED 路灯配光透镜在 yoz 平面的截面图, (d) 为 LED 路灯配光透镜在 xoz 平面的截面图。LED 路灯配光透镜关于 yoz 平面非对称, 光线在 y 轴方向上偏向机动车道分布; 关于 xoz 平面对称, 在沿道路的 x 轴方向上呈对称分布。

[0029] 以适用于沥青路面主干路的 LED 路灯配光镜为例, 进一步说明一种基于配光优化非对称 LED 路灯的设计方法。

[0030] 第一步, 配光优化

[0031] (1) 明确各项道路照明评价指标, 路面平均亮度 $L_{av} \geq 1.5 \text{cd/m}^2$, 路面亮度总均匀度 $U_0 \geq 0.4$, 路面亮度纵向均匀度 $U_L \geq 0.7$ 、路面照度平均照度 $E_{av} \geq 201 \text{x}$ 、路面照度均匀度 $E_0 \geq 0.4$ 、眩光限制阈值增量 $TI \leq 10\%$ 和环境照度比 $SR \geq 0.5$ 。

[0032] 确定街道构成的基本参数, 包括: LED 路灯到路面的距离 $h = 10 \text{m}$, 路灯间距 $L = 30 \text{m}$, 机动车道宽度 $W_1 = 7.5 \text{m}$, 人行道宽度 $W_2 = 5 \text{m}$, 路面简化亮度系数 r 如《城市道路照明设计标准》(CJJ 45-2006) 中表 A.0.2-1 所示。

[0033] (2) 如图 3 所示, 以一段道路上相邻两根灯杆之间的路面 21 为目标面进行配光优化。第一根灯杆的位置为原点, 垂直于道路长度的方向为 x 轴, 沿道路长度的方向为 y 轴, 建立直角坐标系 (x, y), 将目标面的平均分为 $M \times N$ 个矩形区域, 坐标值为 (x_i, y_j) , $i = 1, 2, \dots, M$, $j = 1, 2, \dots, N$, 每个路灯在目标面上的照度分布可以表示为

$$[0034] \quad E(x, y) = E_x(x) \cdot E_y(y)$$

[0035] $E_x(x)$ 和 $E_y(y)$, 均为高斯或余弦函数多项式, 以 $J = 2, K = 3$ 的余弦函数多项式为例

$$[0036] \quad E(x, y) = \left(\sum_{i=1}^J a_i \cos^{m_i} \frac{\pi(x - \theta_x)}{2(W_1 + W_2)} \right) \left(\sum_{i=1}^K b_i \cos^{n_i} \frac{\pi(y - \theta_y)}{2L} \right)$$

[0037] 其中 J 表示多项式 $E_x(x)$ 的项数, $a_1, a_2, \dots, a_J$ 表示多项式 $E_x(x)$ 各项系数, $m_1,$

$m_2, \dots, m_j$ 表示多项式 $E_x(x)$ 各项次数, θ_x 表示多项式 $E_x(x)$ 的相移量, K 表示多项式 $E_y(y)$ 的项数, $b_1, b_2, \dots, b_K$ 表示多项式 $E_y(y)$ 各项系数, $n_1, n_2, \dots, n_K$ 表示多项式 $E_y(y)$ 各项次数, θ_y 多项式 $E_y(y)$ 的相移量。

[0038] 亮度值定义为：

$$[0039] \quad L(x_i, y_j) = \frac{r(x_i, y_j)}{10^4 \cos^3 \gamma(x_i, y_j)} \cdot E(x_i, y_j)$$

[0040] 其中, γ 表示路灯与 (x_i, y_j) 点的连线和竖直方向之间的夹角 22° 。每个矩形区域的照度值和亮度值均为所有路灯叠加的结果, 分别记为 $E_{\text{total}}(x_i, y_j)$ 和 $L_{\text{total}}(x_i, y_j)$ 。

[0041] 路面平均亮度 L_{av} 、路面亮度总均匀度 U_0 、路面亮度纵向均匀度 U_L 、路面照度平均照度 E_{av} 、路面照度均匀度 E_0 、眩光限制阈值增量 TI 和环境照度比 SR , 均可根据路面照度分布 $E_{\text{total}}(x_i, y_j)$ 和路面亮度分布 $L_{\text{total}}(x_i, y_j)$ 来表示。路面平均亮度的表达式为：

$$[0042] \quad L_{\text{av}} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N L_{\text{total}}(x_i, y_j)}{MN}$$

[0043] 路面平均照度的表达式为：

$$[0044] \quad E_{\text{av}} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N E_{\text{total}}(x_i, y_j)}{MN}$$

[0045] 路面亮度均匀度的表达式为：

$$[0046] \quad U_0 = \frac{\min(L_{\text{total}}(x_i, y_j))}{L_{\text{av}}}, i=1, 2, \dots, M, j=1, 2, \dots, N$$

[0047] 路面照度均匀度的表达式为：

$$[0048] \quad E_0 = \frac{\min(E_{\text{total}}(x_i, y_j))}{E_{\text{av}}}, i=1, 2, \dots, M, j=1, 2, \dots, N$$

[0049] 其中 $\min(L(x_i, y_j))$ 和 $\min(E(x_i, y_j))$ 分别表示目标面的亮度和照度最小值。路面亮度纵向均匀度表示为：

$$[0050] \quad U_0 = \frac{\min(L_{\text{total}}(x_{\text{center}}, y_j))}{\max(L_{\text{total}}(x_{\text{center}}, y_j))}, j=1, 2, \dots, N$$

[0051] 其中 $\min(L_{\text{total}}(x_{\text{center}}, y_j))$ 和 $\max(L_{\text{total}}(x_{\text{center}}, y_j))$ 分别表示同一车道中心线上的最小亮度和最大亮度值。眩光限制阈值增量表示为：

$$[0052] \quad TI = 65 \frac{L_v}{L_{\text{av}}^{0.8}}$$

[0053] 其中, L_v 称作等效光幕亮度, 是 $E_{\text{total}}(x_i, y_j)$ 和 $L_{\text{total}}(x_i, y_j)$ 的函数。环境照度比表示为：

$$[0054] \quad SR = \frac{E_{\text{av}2}}{E_{\text{av}1}}$$

[0055] 其中 $E_{\text{av}1}$ 表示机动车道平均照度, $E_{\text{av}2}$ 表示人行道的平均照度。

[0056] 配光优化就是用更少的光达到道路照明标准中规定的技术参数, 其能量利用系数 $Q = \frac{L_{\text{av}}}{E_{\text{av}}}$, 配光优化实际上就是求 Q 的最大值, 同时满足道路照明的相关标准, 如下所示

[0057]

$$\max(Q(a_1, a_2, m_1, m_2, b_1, b_2, b_3, n_1, n_2, n_3, \theta_x, \theta_y)) = \max\left(\frac{L_{av}(a_1, a_2, m_1, m_2, b_1, b_2, b_3, n_1, n_2, n_3, \theta_x, \theta_y)}{E_{av}(a_1, a_2, m_1, m_2, b_1, b_2, b_3, n_1, n_2, n_3, \theta_x, \theta_y)}\right)$$

$$[0058] \quad L_{av}(a_1, a_2, m_1, m_2, b_1, b_2, b_3, n_1, n_2, n_3, \theta_x, \theta_y) \geq 1.5$$

$$[0059] \quad E_{av}(a_1, a_2, m_1, m_2, b_1, b_2, b_3, n_1, n_2, n_3, \theta_x, \theta_y) \geq 20$$

$$[0060] \quad U_0(a_1, a_2, m_1, m_2, b_1, b_2, b_3, n_1, n_2, n_3, \theta_x, \theta_y) \geq 0.4$$

$$[0061] \quad E_0(a_1, a_2, m_1, m_2, b_1, b_2, b_3, n_1, n_2, n_3, \theta_x, \theta_y) \geq 0.4$$

$$[0062] \quad U_L(a_1, a_2, m_1, m_2, b_1, b_2, b_3, n_1, n_2, n_3, \theta_x, \theta_y) \geq 0.7$$

$$[0063] \quad TI(a_1, a_2, m_1, m_2, b_1, b_2, b_3, n_1, n_2, n_3, \theta_x, \theta_y) \leq 10$$

$$[0064] \quad SR(a_1, a_2, m_1, m_2, b_1, b_2, b_3, n_1, n_2, n_3, \theta_x, \theta_y) \geq 0.5$$

[0065] 要得到目标面的照度分布,就要解出 $a_1, a_2, m_1, m_2, b_1, b_2, b_3, n_1, n_2, n_3, \theta_x, \theta_y$ 的值,这是一个有约束的最优化求解问题,用计算机软件可以解出。其配光曲线如图 4 所示,31 为沿道路长度方向上的光强分布,32 为垂直于道路长度方向的光强分布。

$$[0066] \quad a_1 = 0.4876 \quad a_2 = 0.5137$$

$$[0067] \quad m_1 = 0.3541 \quad m_2 = 0.4089$$

$$[0068] \quad b_1 = 0.2578 \quad b_2 = 4.9541$$

$$[0069] \quad b_3 = 12.5745 \quad n_1 = 27.6667$$

$$[0070] \quad n_2 = 0.7878 \quad n_3 = 0.2971$$

$$[0071] \quad \theta_x = 0.3111 \quad \theta_y = 0$$

[0072] 第二步,初始面型设计

[0073] 根据配光优化得到的目标面照度 $E(x, y)$,结合能量守恒定律建立 LED 光源与路面的能量映射关系,构建 LED 路灯配光透镜的初始模型。

[0074] (1) 如图 5 所示,以 LED 光源中心为原点,沿道路长度的方向为 x 轴,垂直于道路长度的方向为 y 轴,建立直角坐标系 (x, y, z) ,将目标面沿 x 轴平均分为 $m = 50$ 份,沿 y 轴平均分为 $n = 100$ 份,得到 $m \times n$ 个面积相等的小矩形区域 41,目标面上点的坐标值为 $(x_i, y_j, 3000)$, $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ 。

[0075] 相应的,建立与上述直角坐标系重合的球坐标系 42 (u, v, z) , u 表示出射光线与 x 轴的夹角 43, v 表示出射光线和 x 轴组成的平面与 z 轴之间的夹角 44。将出射光线沿 u 轴分为 m 份,沿 v 轴分为 n 份,出射光线坐标为 $(u_i, v_j, 0)$, $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$,出射光线与目标面上的小矩形区域是一一对应的,根据能量守恒定律,出射光线的光能分布与目标面上照度分布满足如下关系 45:

$$[0076] \quad \int_{u_{i-1}}^{u_i} \int_{v_{j-1}}^{v_j} I(u, v) \sin u \, du \, dv = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \int_{y_{j-1}}^{y_j} E(x, y) \, dx \, dy$$

[0077] 其中, $I(u, v)$ 为给定 LED 光源的光强分布。

[0078] (2) 根据折射定律和第二步 (1) 中的出射光线与目标面上的小矩形区域的能量映射关系,计算出出光面特征点的表面法线矢量 $\vec{N}$ (px, py, pz),如图 6 所示:

$$[0079] \quad [1 + n^2 - 2n(\vec{O}(x, y, z) \cdot \vec{I}(u, v, z))]^{\frac{1}{2}} \cdot \vec{N}(px, py, pz) = \vec{O}(x, y, z) - n \cdot \vec{I}(u, v, z)$$

[0080] 其中 $\vec{I}(u, v, z)$ 表示入射到出光面的光线单位矢量, $\vec{O}(x, y, z)$ 表示从出光面出射的光

线单位矢量。给定出光面上任一点的坐标 (px_0, py_0, pz_0) , 根据出光面特征点的表面法线矢量 $\vec{N}$ (px, py, pz), 迭代计算出所有出光面上特征点的坐标值 (px, py, pz) 。

[0081] (3) 在将出光面上的特征点拟合为曲面, 在机械仿真软件 UG 中构建出 LED 配光透镜的初始结构模型。

[0082] 第三步, 反馈优化

[0083] 在光学仿真软件 TracePro 中进行光学仿真, 得到目标面照度的模拟值为 $E'(x, y)$, 若 $E'(x, y)$ 与配光优化得到的目标面照度 $E(x, y)$ 存在较大偏差, 则要进行优化反馈。

[0084] 定义优化反馈函数

[0085] $\eta_i(x, y) = \beta_i(x, y) \cdot \beta_{i-1}(x, y) \dots \beta_1(x, y)$

[0086] 其中 $\beta_i(x, y) = \begin{cases} r_1, & \frac{E(x, y)}{E_i'(x, y)} \leq r_1 \\ \frac{E(x, y)}{E_i'(x, y)}, & r_1 < \frac{E(x, y)}{E_i'(x, y)} \leq r_2 \\ r_2, & \frac{E(x, y)}{E_i'(x, y)} > r_2 \end{cases}$

[0087] 式中 r_1 表示 $\beta_i(x, y)$ 的最大值, r_2 表示 $\beta_i(x, y)$ 的最小值, 其数值可根据需要自行确定。则 $E_{i+1}(x, y) = \eta_i(x, y) \cdot E(x, y)$, 其中, 第 i 次优化后得到的照度为 $E_i'(x, y)$, 则第 $i+1$ 次优化的目标照度 $E_{i+1}(x, y)$ 。

[0088] 以 $E_{i+1}(x, y)$ 作为目标面的照度分布, 按照第二步的方法对出光面进行优化设计, 直至目标面的模拟照度满足要求为止。

[0089] 此实例进行了 4 次反馈, 得到较为满意的设计结果, 图 7 为最终配光曲线图, 61 为沿道路长度方向上的光强分布, 62 为垂直于道路长度方向的光强分布。LED 路灯配光透镜光学效率为 90% 以上, 沿道路长度方向上配光角度 $65 \sim 75^\circ$, 结果全部满足沥青路面主干路的照明要求。

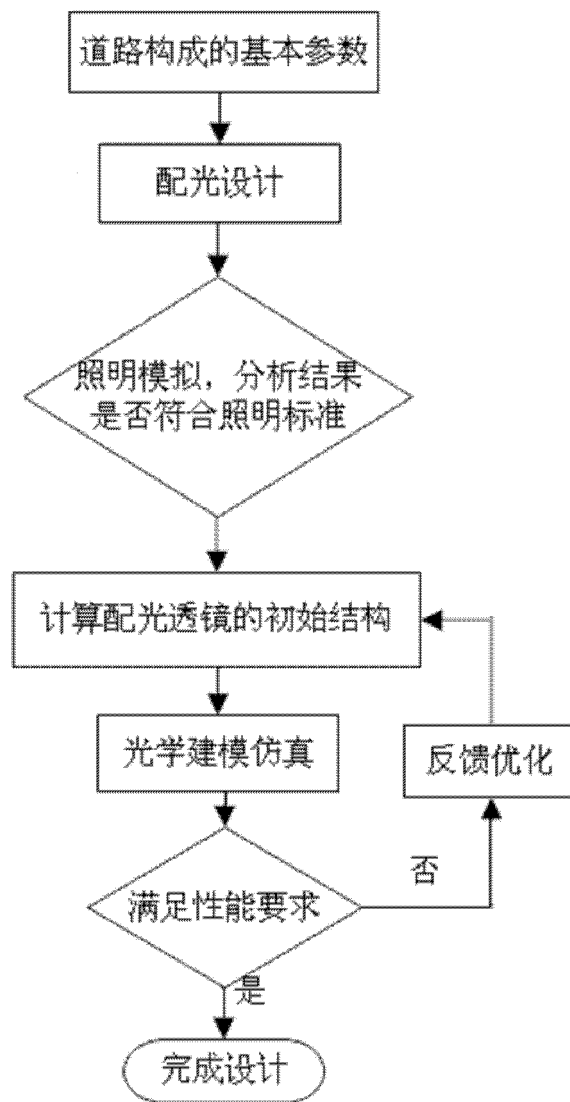


图 1

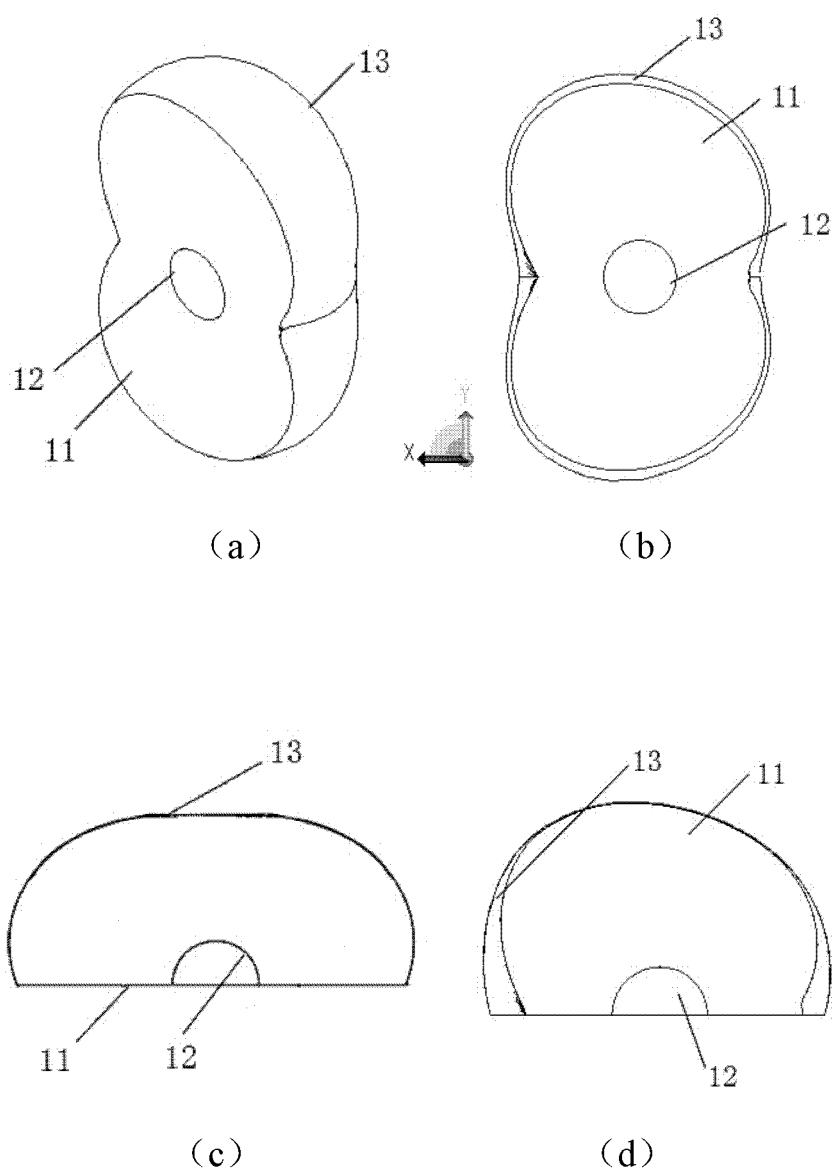


图 2

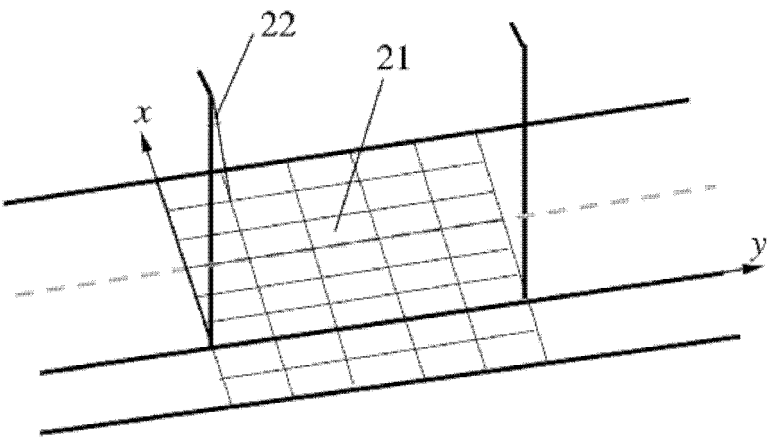


图 3

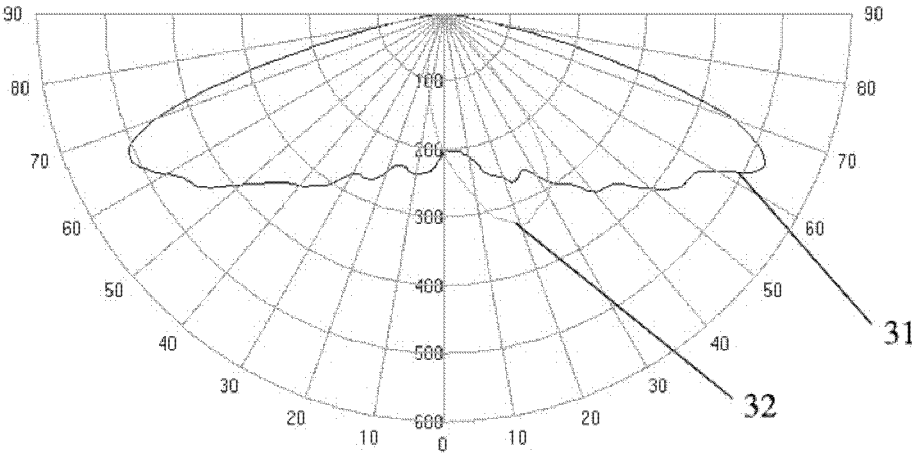


图 4

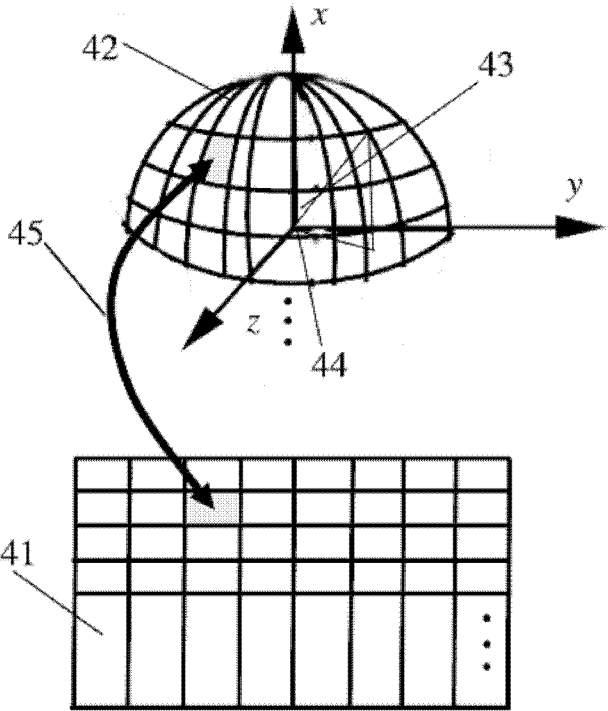


图 5

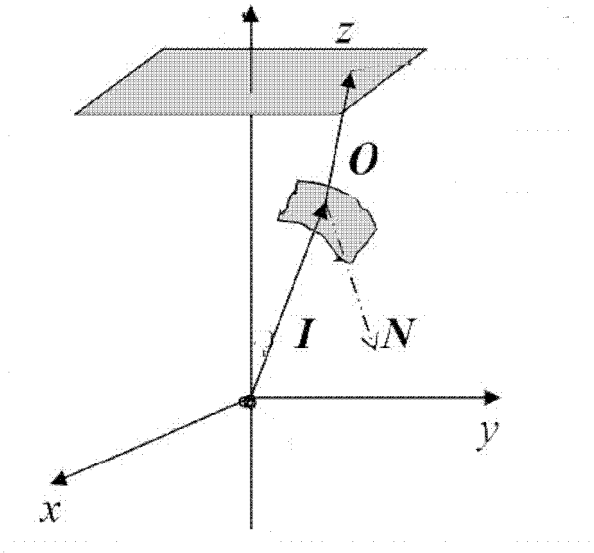


图 6

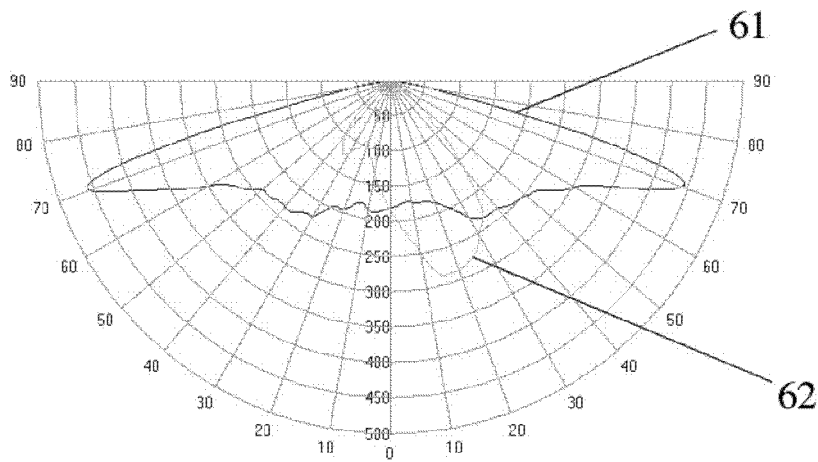


图 7