

双层帘布式快门动态仿真

何 斌

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 提出了一种用于双层帘布式快门动态仿真软件, 通过空间遥感相机的应用, 证明此软件是双层帘布式快门设计的有效工具。

关键词: 帘布; 快门; 仿真

1 引言

连续曝光双层帘布式快门的主要特点是效率高, 曝光时间调节范围大, 且连续可调, 以上特点非常适用于空间相机的快门机构, 但由于结构参数无法用传统计算方法确定, 为采用这种快门机构造成了困难, 本文阐述了应用 CAD 技术开发一种专用仿真软件, 可灵活, 准确的给出快门结构参数, 解决了快门结构参数难以确定的问题。

2 快门工作原理

双层帘布式快门主要由内外层帘布, 透光开口和主从动轮组成, 如图 1 所示。 B_1, B_2, B_3 , 表示透光开口部分, D_1, d_1 表示主从动轮, l, L 分别表示内外层帘布长度, P 表示像面, 快门的运动方式采用主动轮 D_1 控制内外层帘布保持同向平稳运动, 运动方向如图 1 所示, 每次曝光

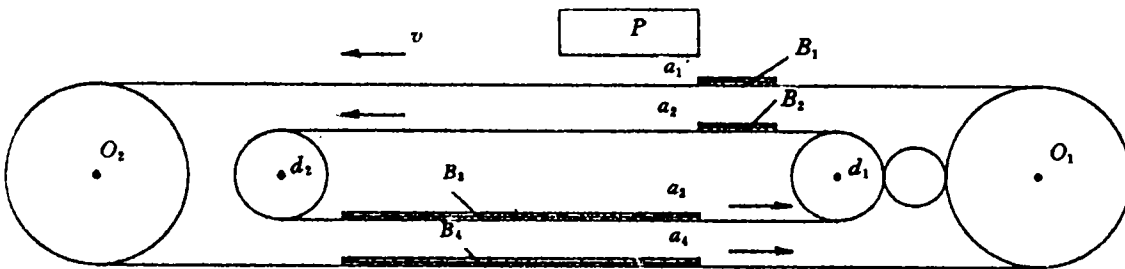


图 1 双层帘布式快门示意图

的工作过程: 图 1 所示为最长曝光时的初始状态, 通过调节 B_1 与 B_2 的透光狭缝大小来确定曝光时间, 当主动轮 D_1 带动内外层帘布进行同向运动时, 像面 P 开始曝光; 当 B_1 与 B_2 的

透光狭缝离开像面后,此像面曝光完成,而照相周期直到 B_1 与 B_2 的透光狭缝返回到初始状态时才算完成,若此时输片机构已将下一幅像面送到,将进行下一幅的曝光,快门机构可连续上述过程,直到停止照相为止。

3 问题的提出

双层帘布式快门结构参数的确定,需要满足快门无二次曝光和外层帘布长度极小的条件,快门无二次曝光就是帘布开口 B_1, B_2, B_3, B_4 在一次曝光之后,四个开口不再重合产生透光狭缝。换句话说,在一个照相周期内,只有一次曝光,无二次曝光出现。外层帘布长度达到极小是为使整个相机结构紧凑,寻求无二次曝光的外层帘布长度及内外层帘布长度比的最优解,以上两个问题用传统方法很难解决,而应用 CAD 技术可以在较短的时间里得到满意的结果,因此,如何应用计算机系统功能程序开发一种双层帘布式快门动态仿真及结构参数优化软件是要解决的问题,主要包括三个方面:①建立完成一次曝光无二次曝光的数学模型②利用点线等基本图素单元动态显示③进行参数优化计算。

4 数学描述

设 B_1, B_2, B_3, B_4 帘布开口部分及像面长度分别为 $L_{b1}, L_{b2}, L_{b3}, L_{b4}, L_p$, 且 $L_{b1} = L_{b2}, L_{b3} = L_{b4}$; D_1, d_1 轮的半径分别为 R, r , 两轮的中心间距为 S 。

如图 1 所示, $a_1(t), a_2(t), a_3(t), a_4(t)$ 分别表示 B_1, B_2, B_3, B_4 沿帘布运动方向的第一点位置坐标, 且 $a_1(0) = 0, a_2(0) = 0$ 。若帘布的运动速度为 V , 内外层帘布长度为 l, L , 且 $l/L = n_1/n_2$ ($n_1 < n_2, n_1, n_2$ 为整数), 那么, 在任意时刻 t , B_1, B_2, B_3, B_4 开口部分第一点位置函数关系如下:

$$a_1(t) = (Vt) \text{Mode}(L) \quad (1)$$

$$a_2(t) = (Vt) \text{Mode}(l) \quad (2)$$

$$a_3(t) = (a_3(0) + Vt) \text{Mode}(l) \quad (3)$$

$$a_4(t) = (a_4(0) + Vt) \text{Mode}(L) \quad (4)$$

第一次完成全像面曝光的条件为:

$$L_{b3} > 2L_p + L_b \quad (5)$$

$$L_{b1} < L_p$$

照相周期 T 为:

$$T = n_1 \cdot L/V \quad (6)$$

像面, P, D_1, d_1 的位置关系满足条件:

$$a_4(0) < L - L_{b1} - 2L_p \quad (7)$$

$$a_3(0) < l - (\pi + 2)r \quad (8)$$

出现二次曝光的情况如下:

情况 1: 当 $L_p/V < t < i \cdot L/V$ ($i = 1, \dots, n_1$) B_4 在 D_1 的上边, B_1 在 D_1 的下边运动时,

① B_3 在 d_1 的上边, B_2 在 d_1 的下边时:

$$\left. \begin{aligned} a_4(0) - L_p < a_1(t) < a_4(0) - L_p + L_{b1} \\ a_3(0) - L_p < a_2(t) < a_3(0) - L_p + L_{b2} \\ a_3(0) - a_2(t) < a_3(t) < 3L_p - L_{b2} \\ a_4(0) - a_1(t) < a_4(t) < 3L_p - L_{b1} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} a_4(0) - L_p + L_{b1} < a_1(t) < a_4(0) - L_{b1} \\ a_3(0) - L_p + L_{b2} < a_2(t) < a_3(0) - L_{b2} \\ a_3(0) - a_2(t) - L_{b2} < a_3(t) < a_3(0) - a_2(t) \\ a_4(0) - a_1(t) - L_{b1} < a_4(t) < a_4(0) - a_1(t) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} a_4(0) - L_{b1} < a_1(t) < a_4(0) + L_{b1} \\ a_3(0) - L_{b2} < a_2(t) < a_3(0) + L_{b2} \\ a_3(0) - a_2(t) < a_3(t) < 2L_p \\ a_4(0) - a_1(t) < a_4(t) < 2L_p \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

② B_2 在 d_1 的上边, B_3 在 d_1 的下边时:

$$\left. \begin{aligned} a_4(0) - L_p < a_1(t) < a_4(0) - L_p + L_{b1} \\ a_4(0) - a_1(t) < a_4(t) < 3L_p - L_{b1} \\ L_p - L_{b2} < a_2(t) < L_p + L_{b2} \\ a_3(0) - a_2(t) < a_3(t) < a_3(0) + L_p - L_{b2} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} a_4(0) - L_p + L_{b1} < a_1(t) < a_4(0) - L_{b1} \\ a_4(0) - a_1(t) - L_{b1} < a_4(t) < a_4(0) - a_1(t) \\ L_{b2} < a_2(t) < L_p - L_{b2} \\ a_3(0) - a_2(t) < a_3(t) < a_3(0) + 2L_p - L_{b2} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} a_4(0) - L_{b1} < a_1(t) < a_4(0) + L_{b1} \\ a_4(0) - a_1(t) < a_4(t) < 2L_p \\ 0 < a_2(t) < 2L_p \\ a_3(0) - L_{b2} < a_3(t) < a_3(0) + 2L_p \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

情况 2: 当 $L/V < t < i \cdot L/V$ ($i=1, \dots, n_1$) B_1 在 D_1 的上边, B_4 在 D_1 的下边运动时, 同样有六个不等式方程组(15)–(20), 推导方法与情况 2 相同。

由上可知, 判别快门机构是否出现二次曝光, 即判断任意时刻 t 的 $a_1(t), a_2(t), a_3(t), a_4(t)$ 是否为(9)–(20)不等式方程组的解, 若是其中一个不等式方程组的解, 就满足出现二次曝光的条件。

5 动态仿真及参数优化

5.1 动态仿真

由于双层帘布式快门是一连续运动机构, 为了能够在计算机屏幕上直接观察到整个机构的位置关系, 以及有无二次曝光的实验效果, 利用工作站上系统功能程序 GPR 开发快门连续

运动的仿真模块,此模块可显示任意时刻连续运动机构的各种状态,及 B_1, B_2, B_3, B_4 的位置关系。

5.2 结构参数计算及优化

由出现二次曝光的情况可知,若 $a_1(t), a_2(t), a_3(t), a_4(t)$ 值是不等式方程组的解,那么就必须改变结构参数。影响是否出现二次曝光的因素有:像面与主动轮的位置尺寸,外层帘布长度,内外层帘布长度比,最大狭缝宽度。

计算及优化的算法如下:

Step1. 设定相机的照相周期 T , 驱动轮的速度 V , 外层帘长度以及内外层帘布长度比 n_1/n_2 。

Step2. 令 $L_{b3} = 2L_p + L_{b1}$, 求出像面 P 与驱动轮 $D1$ 的最小位置尺寸。

Step3. 由(5)任意给出 L_{b1}, L_{b2} 的数值, 并将 T 离散化 $\Delta t = T/n$ (n 为整数)。

Step4. 根据 Step1, Step2, Step3 得到的初值, 在 $(0, T)$ 内计算 $a_1(t), a_2(t), a_3(t), a_4(t)$ 的值, 并用式(9)~(20)来判断是否出现二次曝光。

Step5. 若有二次曝光, 那么 $L_{b1} = L_{b1} - 1, L_{b2} = L_{b2} - 1$, 返回 Step4 直到无二次曝光为止。

Step6. 对参数 L, L_{b3} 优化:

若参数 L 使 Step4 计算无二次曝光, 则 $L = L - 1$, 返回到 Step4, 直到有二次曝光时, $L = L + 1$ 。

若参数 L_{b3} 使 Step4 计算无二次曝光, 则 $L_{b3} = L_{b3} + 1$, 返回到 Step4, 直到有二次曝光时, $L_{b3} = L_{b3} - 1$ 。

Step7. 若 Step6 优化失败, 那么将 n_1/n_2 增大或减少, 返回 Step4 直到得到参数极值为止。

6 实 例

设计照相周期为 1.4s, 曝光时间 $1/100s - 1/400s$, 内外层帘布长度比 3:4, 像面长度 114mm, 主从动轮半径 $R = 30mm, r = 20mm$ 的双层帘布式快门, 采用动态仿真软件得到无二次曝光的快门优化结构参数: $L_{b3} = 263(mm), L_{b1} = L_{b2} = 25(mm), L = 1021(mm)$ 。

7 结 论

应用动态仿真软件解决了双层帘布式快门结构参数计算和优化问题, 与传统计算方法相比它具有节省实验经费, 省时, 准确可靠的特点。经过对实际空间遥感相机双层帘布式快门的计算仿真, 取得了良好地效果, 为双层帘布式快门设计提供了一种有效的技术工具。

Dynamic Simulation on Double Layer Curtain Shutter

He Bin

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

Abstract

Dynamic simulation software on double layer curtain shutter is proposed in this paper. It is proved that this software is an effective tool for designing double layer curtain shutter on space sensitive camera.

Key words: Curtain, Shutter, Simulation.