

文章编号:1000-582X(2004)12-0028-04

光电成像挠度测量系统的照度和对比度分析*

鲁进,夏哲,朱永

(重庆大学光电工程学院,重庆 400030)

摘要:介绍了光电成像法测量桥梁挠度系统的工作原理。分别从像面照度和对比度两个方面,分析了光电成像系统光度学参数之间的相互制约关系,并从考虑了在地面照度较高的情况下,用高反射率材料代替系统光标靶的可行性。提出了光电成像法桥梁挠度测量系统的光度学参数选择方法,以此实现桥梁挠度的长期、在线监测。

关键词:挠度;光电成像法;照度;对比度

中图分类号: TB133

文献标识码: A

大型桥梁的建设和使用都需要对其安全状况进行长期在线监测,以防止突发事件的发生。桥梁的挠度是评价桥梁安全性的重要参数之一。它是指桥梁上某一横截面处的形心在垂直于轴的方向发生的纵向线位移的大小^[1]。桥梁挠度的测量方法有多种^[2],光电成像法是其中非常重要的一种。它不仅可实现对桥梁挠度的长期在线监测,而且具有非接触、测量距离远、测量精度高的优点,因而具有非常广阔的应用前景。但是如何选择系统的各个部分,构建最优、最经济的系统,关键问题就是分析系统各个部分之间的约束条件。

1 系统的测量原理

光电成像桥梁挠度测量系统主要由 3 部分组成:光标靶、光学成像系统和数字摄像机。光标靶固定在桥梁梁体的待测部位,光学镜头和数字摄像机则通常固定在基座上,如图 1 所示。光标靶发出的光通过光学系统成像在数字摄像机的固体图像传感器上。当桥梁在载荷的作用下发生位移时,光标靶因固定在桥梁上而随之产生位移,其在固体图像传感器上所成像的位置也相应发生变化。图 2 所示的是光标靶所成像在固体图像传感器上的位置变化,并且假设其垂直方向的位置变化量为 Δy 。当光学镜头确定时,整个系统的放大倍率是一定的,用光标靶所成像在固体图像传感器上位置的垂直变化量 y 和放大倍率求乘积,即可得

到桥梁的挠度。因此,整个系统的关键就是确定光标靶所成像在固体图像传感器上垂直方向的位置变化量 Δy 。

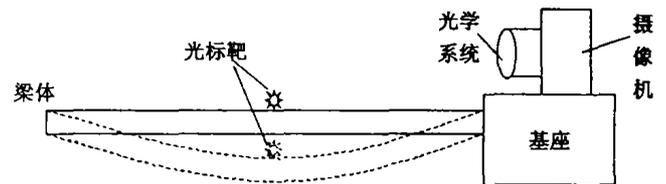


图 1 光电成像桥梁挠度测量系统

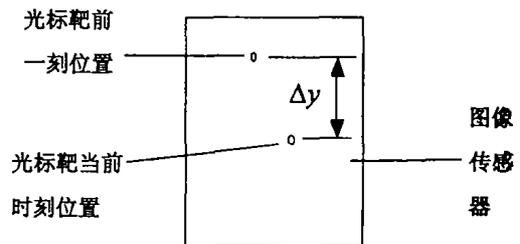


图 2 光标靶成像位置的变化

为了确定这个垂直变化量 Δy ,必须使光标靶所成像能够被固体图像传感器识别。但是,由于固体图像传感器自身的缺陷,这使得光标靶必须具备一定的条件。首先是传感器的照度匹配问题。对于图像传感器应用系统,其光敏面的照度必须要大于图像传感器的灵敏阈即最小照度(图像传感器光敏面的照度就是经光学系统成像的像面照度^[3],最小照度是指在使用最大光圈增益、摄取特定目标时视频信号输出幅度为 100IRE 所对应的入射光的最小值^[3-4])。若像面照度

* 收稿日期:2004-03-08

作者简介:鲁进(1980-),女,重庆铜梁人,重庆大学硕士研究生,主要从事数码影像科技方面的研究。

低于这个最小照度,光标靶所成像便无法被识别出,从而使得挠度测量无法进行。其次,由于固体图像传感器在测量时,空间光敏元感受到的光强转换成输出电压幅值,再通过 A/D 转换器转换成数字编码送入计算机处理。若像面照度大于最小照度,固体图像传感器有信号输出,但假如背景光和光标靶的亮度相差很小,经过 A/D 采样后,并不能区分出背景光和光标靶,也就无法确定光标靶在垂直方向的位置变化量 Δy 。这就要求光标靶和背景所成像的灰度有一定的差别,也即是要求二者具有一定的对比度。因此,为了合理确定整个系统的参数,实现最优的系统集成,必须进行像面照度和对比度的讨论。

2 像面照度计算

发光特性接近余弦辐射体的物体经光学系统成像,其轴上像点的像面照度 E' 和轴外像点像面照度 E'_M 可分别用下列两式表示^[3]

$$E' = \frac{n'^2}{n^2} K \pi L \sin^2 U' \quad (1)$$

$$E'_M = \frac{n'^2}{n^2} K \pi L \sin^2 U' \cos^4 \omega' \quad (2)$$

式中 n' 和 n 分别表示物方和像方的折射率, K 代表光学系统的光透过率, L 为物体的亮度, ω' 为轴外像点对应的视场角, U' 为像方孔径角。对于观测较远的物体,可认为 $\sin^2 U' \approx (D/2f)^2$, 则有^[3]

$$E'_M = \frac{n'^2}{n^2} K \pi L \left(\frac{D}{2f}\right)^2 \cos^4 \omega' \quad (3)$$

式中 D' 为出瞳直径。若整个系统放在同一介质中,由于 ω' 非常小, $\cos \omega'$ 可近似等于 1, 则由式(3)有

$$E'_M = K \pi L \left(\frac{D}{2f}\right)^2 \quad (4)$$

式中 f/D 的值为光圈 F 数。

只要满足光标靶经光学系统所成像的像面照度值高于图像传感器的灵敏阈 E , 即 $E'_M > E$, 光标靶所成像就能够被图像传感器探测到。

一般摄影物镜的透过率为 90% 以上, 而且一般来说, 固体图像传感器上的阈值像面照度为几个勒克斯。例如, 若取固体图像传感器的阈值像面照度为 1 lx, 摄影物镜的透过率为 90%, 则由公式(4)可知

$$E'_M = 0.7L \left(\frac{D}{f}\right)^2 = 0.7 \frac{L}{F^2} \geq 1$$

即

$$\frac{L}{F^2} \geq 1.43 \quad (5)$$

由式(5)可以看到, 像面照度的计算主要由光标靶的

亮度 L 和光学镜头的光圈 F 数两个参数确定, 并且必须满足如图 3 所示的关系。

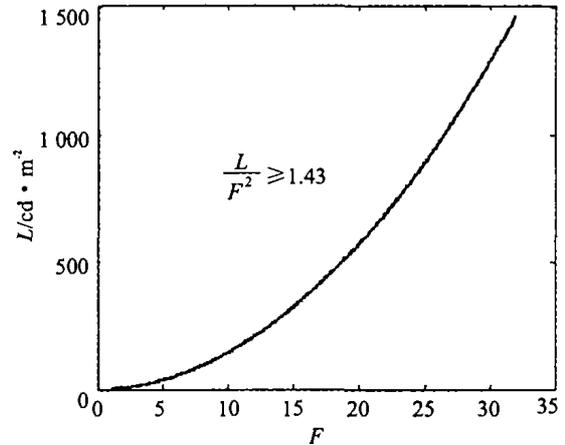


图 3 光标靶的亮度 L 和光学镜头的光圈 F 数的关系

3 对比度讨论

若背景为漫反射体, 则背景的亮度可以计算^[5]:

$$L_B = \frac{1}{\pi} \rho_B E \quad (6)$$

式中 ρ_B 为背景的反射率, E 为背景的照度。

又由应用光学可知, 对于小视场且放在同一介质中的光学系统完善成像时, 物、像面的光亮度满足关系^[6]:

$$\left. \begin{aligned} L' &= KL \\ L'_B &= KL_B \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

对于一个位数为 8 位的 A/D 转换器, 若将光标靶的像的灰度值设定为 255, 则背景的像的灰度值为

$$N = 255 \times \frac{L'_B}{L'} = 255 \times \frac{L_B}{L} = 255 \frac{\rho_B E}{\pi L} \quad (8)$$

在整个系统中, 为了方便进行后续处理, 光源和背景成像后的灰度等级差应根据后续处理的要求来合理选择。假设选择合适的光源和背景所成像的灰度等级差至少为 m , 则有 $255 - N \geq m$, 即

$$255 \left(1 - \frac{\rho_B E}{\pi L}\right) \geq m \quad (9)$$

由于在地面照度达到最高时背景的亮度最大, 此时背景所成像和光源所成像的对比度相差最小, 因此整个系统应根据此时的情况来分析。已知当太阳位于天顶时, 对地面形成的照度最高, 可达 1.24×10^5 lx, 则由公式(6)可计算出背景的亮度最高可达到 $39\,470.4\rho_B$ cd/m², 代入式(9)中, 则有

$$255 \left(1 - 39\,470.4 \frac{\rho_B}{L}\right) \geq m \quad (10)$$

可以看到, 若已知 ρ_B 和 m , 则可以由式(10)选择所需要的光标靶的亮度 L 。假设所选择的光标靶和背

景所成像的灰度等级差为 20 个, 即 $m = 20$, 则由式

$$(10) \text{ 可以知道 } 255(1 - 39470.4 \frac{\rho_B}{L}) \geq 20, \text{ 即 } L \geq$$

42829.58 ρ_B , 其关系如图 4 所示。

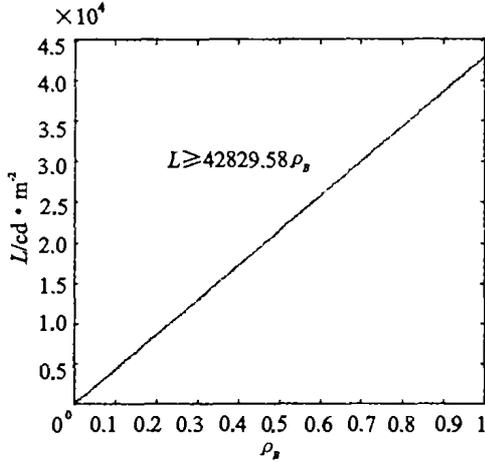


图 4 光标靶的亮度 L 和背景的反射率 ρ_B 的关系

4 用高反射率材料代替光标靶

为了减小损耗, 并延长光标靶的使用寿命, 可以考虑在地面照度较高的情况下, 用一种反射率高的材料作为系统的目标来代替光标靶; 而在地面照度比较低的时候, 仍然采用光标靶作为系统的目标。在这种情况下, 为了能使固体图像传感器有信号输出而且在输出的信号中能够将目标和背景区分出来, 仍需要对像面照度和对比度进行讨论。

4.1 对比度计算

由式(6)可以计算出用高反射率的材料作为系统的目标时的亮度为

$$L_T = \frac{1}{\pi} \rho_T E \quad (11)$$

式中, ρ_T 表示的是目标的反射率。同样将目标的像的灰度值设定为 255, 则背景的像的灰度值可计算为

$$N = 255 \frac{L'_B}{L'_T} = 255 \frac{L_B}{L_T} = 255 \frac{\rho_B}{\rho_T} \quad (12)$$

此时, 同样要求 $255 - N \geq m$, 则有

$$255 - N = 255(1 - \frac{L'_B}{L'_T}) = 255(1 - \frac{L_B}{L_T}) = 255(1 - \frac{\rho_B}{\rho_T}) \geq m \quad (13)$$

因此, 若选定了 m 和背景的反射率 ρ_B , 则由式(13)选择所需要的目标的反射率 ρ_T 。同样, 假设所选择的光标靶和背景所成像的灰度等级差为 20 个, 则由式(13)可以知道 $\rho_T \geq 1.1\rho_B$ 。 ρ_T 和 ρ_B 的关系如图 5 所示。

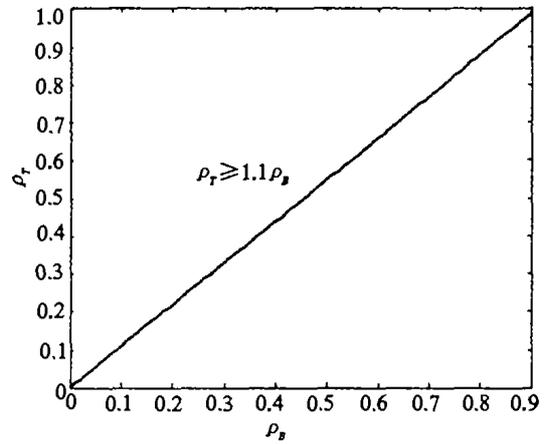


图 5 目标的反射率 ρ_T 和背景的反射率 ρ_B 的关系

4.2 像面照度计算

从前面的分析可知, 除了满足对比度要求外, 还必须满足式(5)的 $\frac{L_T}{F^2} \geq 1.43$, 即

$$\frac{\rho_T E}{\pi F^2} \geq 1.43 \quad (14)$$

由式(14)可以看出, 若选定了目标的反射率 ρ_T 和光学镜头的光圈 R 数, 则可确定出整个系统能够在至少多大的地面照度的情况下采用反射率高的材料作代替光标靶, 并设此时的地面照度为临界照度 E_L

$$E_L = \frac{1.43\pi F^2}{\rho_T} \quad (15)$$

由前面的分析可以知道, 当地面上的照度大于临界照度时, 用反射率高的材料作代替光标靶; 而在地面照度低于临界照度时, 仍然采用光标靶发光体作为系统的目标。由于临界照度远远小于地面的最高照度, 因此由式(9)可以知道, 此时对光标靶发光体的亮度要求也大大降低了, 此时所需要的光标靶的亮度仍可由式(9)计算, 即

$$L \geq \frac{255\rho_B E_L}{\pi(m - 255)} \quad (16)$$

式中, 临界照度 E_L 的值可由式(15)计算。

5 结论

确定了光电成像桥梁挠度测量系统的光标靶、背景、光学镜头和固体图像传感器的参数之间的约束条件, 在系统参数的选择中应根据这些关系加以确定。为了实现更为满意的桥梁挠度监测, 可以采用在地面照度较高的情况用反射靶标代替系统的发光靶标, 而在地面照度较低的情况下使用发光靶标, 使整个系统更加完善, 达到挠度的长期、在线监测的目的。此外, 以上计算没有考虑大气吸收、散射、折射等等因素的影响。为了减小这些因素的影响, 应考虑大气透射比(其值可由 LOWTRANT 软件求出), 将其折算到光学系统的光透过率中, 即用大气透射比乘上光学系统的

光透过率,其它参数不变。

参考文献:

- [1] 刘念东. 桥梁健康监测中激光挠度/位移测量[D]. 重庆: 重庆大学, 2001.
- [2] 徐亚立. 桥梁挠度测量方法的探讨[J]. 铁道建筑, 1996, (6): 32 - 33.
- [3] 王庆友. CCD 应用技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2002.
- [4] 侯雨石, 何玉青. 数码相机 CMOS 图像传感器的特性参数与选择[J]. 光学技术, 2003, 29(2): 174 - 176.
- [5] 张敬贤, 李玉丹, 金伟其. 微光与红外成像技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2001.
- [6] 张以谟. 应用光学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1983.

Analysis on the Illumination and Contrast of Imaging Deflection Measuring System

LU Jin, XIA Zhe, ZHU Yong

(College of Opto-electronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The principle of photoelectric imaging deflection measurement system are presented. The calculation of the image plane's illuminance and contrast are discussed. The relationship among the system's parameters are analyzed. The feasibility of high reflectivital material replacing the system's source are also discussed when illuminance on the ground is high. The result contributes to selecting the parameters of photoelectric imaging deflection measurement system and achieves the long online of deflection.

Key words: deflection; the method of photoelectric imaging; illuminance; contrast

(编辑 张小强)

(上接第 27 页)

Multi-channel and High Precise Time Relay Verification Instrument

LUO Jun, SU Ji-wen, CHENG Jie

(OTES Laboratory, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstracts: As time goes on, the time relay becomes less precise and reliable gradually as a result of abrasion and aging. Thus, it is necessary to verify it periodically. The multi-channel and high-precise time relay verification instrument which developed for this is grounded on MCU AT89C52. In hardware, it adopts the high precise Temperature Compensated Crystal Oscillator (5×10^{-6}) as benchmark, employs the Silicon Bi-directional Thyristors to control the power of the time relay and utilizes the high speed response photo-coupler to separate the input signals of the time relay. As for software, certain skills are introduced to guarantee the precision of the system. And it is possible to communicate with the PC by the RS232 interface, which led to further functions like printing the test report, the simple verification certificate, the verification certificate and so forth. The analysis and application show that the instrument has less uncertainty, higher precise and reliability, and it is more efficient and convenient in operation.

Key words: time relay; TCXO; uncertainty; silicon bidirectional thyristors

(编辑 成孝义)