

第三届全国高速摄影与光子学 会议论文选集

《论文选集》编辑组 编

科学出版社

1987

内 容 简 介

高速摄影是研究高速运动物体与瞬变现象最有效的方法之一,在国内
外受到广泛重视。1982年11月在中国光学学会高速摄影与光子学专业委
员会主持下召开了第三届全国高速摄影和光子学会议,有92个单位、240
余名代表参加,交流论文110余篇。本《选集》精选43篇论文,着重反映当
前我国在高速摄影和光子学领域内所取得的新成就,可供从事高速摄影工
作的广大科技人员、高等院校有关专业的师生参考。

第三届全国高速摄影与光子学 会议论文选集

《论文选集》编辑组 编
责任编辑 陈德义

科学出版社 出版
北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987年2月第一版 开本:787×1092 1/16
1987年2月第一次印刷 印张:17 1/4
印数:0001—1,000 字数:399,000

统一书号:15031·777
本社书号:4370·15—4

定价: 4.05 元

前 言

随着我国科学技术的不断进步和发展,“高速摄影”这门学科已发挥了越来越重要的作用,它能形象而准确地记录瞬变过程的时空信息,为人们提供直观而生动的图象,为研究瞬变过程的运动规律和变化机理提供了极为有效的测试手段。

我国自1974年10月在西安召开第一届全国高速摄影会议之后,于1979年10月在杭州又召开了第二届全国高速摄影和光子学会议。会后由科学出版社先后出版了《全国高速摄影会议论文选集》(1978年)和《第二届全国高速摄影与光子学会议论文选集》(1982年)。第三届全国高速摄影与光子学会议由中国光学学会高速摄影和光子学专业委员会于1982年11月在四川乐山召开,参加这次会议的正式代表和列席代表共计二百四十余人,他们来自各研究院、高等院校和工厂,以及部委机关等九十二个单位。提交会议的论文报告共计一百一十余篇。参加这次会议的人数之多,发表的论文报告数量之大都远远超过了前两届会议。这充分反映了自1979年以来的三年时间内,我国高速摄影和光子学又获得了迅速的发展和提高。

提交这次会议的学术报告,内容丰富,领域增大,学术水平都有显著的提高。论文反映了我国基础较好的光学机械式高速摄影机在品种、性能和质量上都有新的发展和提高;光测技术在精度和方法上得到了进一步的发展;在应用领域方面也有了较大的扩展;激光、全息、干涉、纹影、阴影和莫尔条纹技术与高速摄影技术的结合也越来越受到广大科技工作者的重视。微微秒变象管、微通道板增强器、网格板制作技术和单管X射线闪光管及其线路等报告,前两届会议均无此内容,反映了本次会议的特色和进步。为了使第三届会议的论文报告获得广泛的交流及应用,中国光学学会高速摄影和光子学专业委员会邀请了有关专家对提交本届会议的论文报告进行了评选,选取43篇论文编辑成此选集,供从事高速摄影和光子学工作的广大科技人员和高等院校有关专业的师生参考。

提交本届会议的论文数量较大,又受到本选集篇幅的限制,必有不少较高水平的论文未被选入,已选入的论文也不一定尽善尽美,在编辑过程中也难免有疏漏和错误之处,请同志们批评指正。

《第三届全国高速摄影和光子学会议论文选集》编辑组

一九八四年四月

目 录

理论分析、设计方法与测试

关于间歇式高速摄影机中采用偏心滑轮机构的讨论	李德熊 (1)
摆杆式定片机构设计	朱文开 (8)
间歇式高速摄影机双曲柄连杆机构抓片爪动态特性分析及设计改进	芦 铿、刘建华、杨绪凯 (16)
偏心调节式双曲柄抓片机构分析	杨绪凯、刘建华 (23)
棱镜补偿相机的新设想	郑潮蓂、胡玉禧 (32)
转镜补偿相机设计的若干问题	姚文学 (38)
对等腰三角形截面转镜的初步探讨	孙凤山 (49)
各种形式快门对转镜式分幅相机性能的影响	谭显祥 (56)
转镜相机设计中的精度分析	许家隆 (61)
转镜扫描相机时间分辨率的测试	陈俊人、王水才、史 珂、樊丽瑛 (66)
用爆轰波形测试扫描相机的时间分辨率	周创志、李国珠 (70)
脉冲照明鼓轮高速摄影装置的原理及设计	韩心志 (75)

高速摄影装置及有关器具

LBS-16A 型棱镜补偿相机的设计	张焕星、戴洪恩 (81)
ZFD-50 型高速摄影机	许家隆、苗兴华、郎见林、樊丽瑛、王淑岩 (87)
XF-70 型狭缝鼓轮高速摄影机	陈良益、周绍祥等 (94)
XGII 型狭缝式高速摄影机的多台联动	包光祥、郑增荣 (101)
高精度间歇式摄影机快门同步控制系统	肖天明 (108)
激光高速摄影的微处理机自动同步系统	张国顺、黄小康、宁宣经 (114)
一种扫描与分幅两用的转镜式高速摄影机	谢忠仁、杨梦生 (119)
图象消转仪	冯俊卿 (127)
光纤网格器件及其在高速摄影中的应用	袁益谦 (135)
一种微微秒扫描变象管	牛慈笨、张焕文、陈国夫 (141)
高速摄影用脉冲光源的参数选定	陈大华、潘兆祥、舒莲美、褚定昌、黄国萍 (146)

有关的光学测试技术

一种新型脉冲激光全息相机	刘常龄 (153)
序列脉冲激光器作高速全息摄影光源时几个问题的讨论	王国志、王正荣 (158)
介绍两种类型的 VISAR 测速仪	胡绍楼、王文林、俞 诚、戴静华 (165)
用动态莫尔轮廓法测量机翼模型的颤动	吴敏达、倪树槐 (170)
用莫尔条纹法测量高速变化的位移场	张寒虹、奉孝中、胡晓军 (181)

爆炸力学测量中的脉冲X光技术·····	中国科学院力学研究所二室(执笔 金辉)	(186)
高速电视摄影技术·····	赵宗尧、李自田、欧忠玲	(192)

高速摄影的应用

ZSK-29 型相机在等离子体研究中的应用·····	张景隆、吕松朋	(198)
高速光学技术进展·····	吴世法	(203)
高速闪光摄影应用于纺织业的初步探讨·····	王树茂、唐子麦、陈信	(212)
高速摄影在露天深孔爆破中的应用·····	富治荣、高晓初	(218)
露天矿梯段爆破的高速摄影分析·····	吴子骏、许德民、李保珍	(223)
高速摄影技术在海洋石油平台钢管桩试验研究中的应用·····	林玉驹	(229)
高速摄影在研究金属雾化制粉中的应用·····	顾小民、孙松年等	(233)
双影象狭缝摄影方法在弹道测试中的应用·····	零五一场光测室(执笔 沈佩珂)	(238)
平面飞层运动规律的高速纹影阴影观测·····	温殿英	(242)
三维分幅高速摄影和炸药爆速的测量·····	杨慕松、谭显祥、靳天麒	(247)
SJG 型鼓轮扫描相机及其应用·····	徐光碧、杨建明	(252)
平面多点爆破过程的光学实验研究·····	陶从良	(258)
象平面与物平面不平行时的高速摄影数据解析问题·····	吴灵光	(264)

关于间歇式高速摄影机中采用偏心滑轮机构的讨论

李 德 熊

摘 要

本文用作者推导得到的近似公式和精确公式,讨论了单个偏心滑轮、差相 90° 和 180° 的双滑轮机构的工作特性。分析表明,它们的运动特性都近似余弦函数,差别仅在于偏心半径不同。文中还给出工作角内的象移公式。同时指出,用缩小工作角的途径可以大大改善这种输片机构的工作特性。

间歇式高速摄影机的拍摄频率,受间歇机构和胶片机械特性的限制。为了提高拍摄频率,除对传统的抓片机构型式及胶片片孔受力情况作改进外,也有人研究新的输片方式。Renold^[1,2] 提出的偏心滑轮机构,可在连续输片的条件下,在片门处周期地得到一段胶片近似为静止的瞬间。但是他的分析很不严谨。本文作者曾对这种机构作过一些分析^[3,4]。本文就是在这个基础上再作进一步的讨论。

(一)

所谓偏心滑轮机构,目的是要在连续恒速供片和收片的条件下,在片门处得到周期地停、动的胶片运动特性。滑轮的作用是周期地“贮存”和“送出”胶片,使在每一转的某一段时间里,片门前的胶片近似为静止不动。

Renold 的文章中说,利用两个差相 90° 的滑轮,在 y 方向上(图 1)相当于一个正弦变化和一个余弦变化的叠加,结果可以得到一段较直的线性变化。这个说法当然是错误的。因为平面三角中有现存的公式

$$\sin \alpha + \cos \alpha = \sqrt{2} \cos(\alpha - 45^\circ) \quad (1)$$

告诉我们,一个正弦变化和一个余弦变化的合成结果,仍是一个余弦变化,只是幅度增大了 $\sqrt{2}$ 倍,相位移了 $\pi/4$ 而已。

在滑轮机构中,因为随着转过的位置不同,胶片在滑轮上的包角大小也不同,还不能直接用这个简单关系来解释。参考文献[1]中用滑轮四个各差 90° 的位置来说明可选择合理结构参数使水平分量对片环长度变化无影响,也不能令人信服,因为实际有用的工作范围恰恰只是在一个 90° 的范围之内。参考文献[3]和[4]就是从考虑这一点出发,直接分析输片机构中一段胶片长度的变化速度。

在分析之前,首先对图 1 中的安排作了一些修改。因为按图 1 的结构,随着偏心滑轮

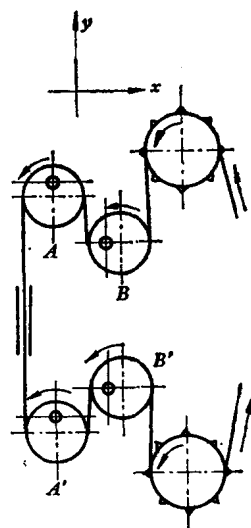


图 1

A, A' 的转动, AA' 段的胶片要作沿光轴方向(x 方向)的往复移动。如不受片门处缝宽的限制,其移动量(也就是离焦量)为 $2e$ (e 为偏心半径)。图 1 可以修改成如图 2(a)或(b)所示的结构。

参考文献[3]和[4]中按类似(b)的结构,分析和比较了单个滑轮(图 3)、两个滑轮差相 90° (图 4) 和差相 180° (图 5) 三种情形。

对于单个滑轮的情形(图 3),讨论从输片齿轮上的 a 点到导轮上的 h 点这段胶片的长度 L 随偏心滑轮转过 α 角的变化。可以写出:

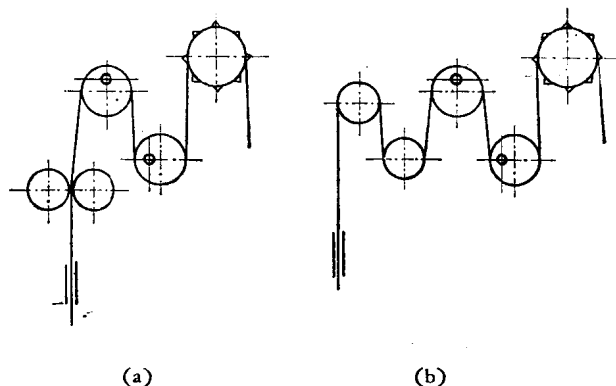


图 2

$$\begin{aligned} L &= \widehat{ab} + \overline{bc} + \widehat{cd} + \widehat{df} + \overline{fg} + \widehat{gh} \\ &= l_1 + (R + r) \left(\frac{\pi}{2} - \beta_1 \right) + l_2 + (r + r_e) \left(\frac{\pi}{2} - \beta_2 \right) \end{aligned} \quad (2)$$

式中

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= \overline{bc} = \sqrt{A_1^2 - (R + r)^2} \\ A_1^2 &= \overline{OO_1^2} = x_1^2 + y_1^2 = (x_{01} - e \cos \alpha)^2 + (y_{01} + e \sin \alpha)^2 \\ l_2 &= \overline{fg} = \sqrt{A_2^2 - (r + r_e)^2} \\ A_2^2 &= \overline{O_1O_2^2} = x_2^2 + y_2^2 = (x_{02} + e \cos \alpha)^2 + (y_{02} + e \sin \alpha)^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

参考文献[3]中假设 β_1 和 β_2 都很小,求得近似公式

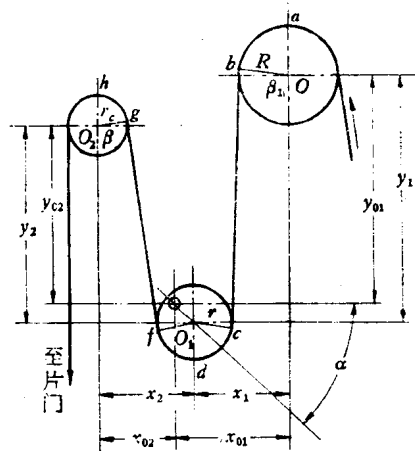


图 3

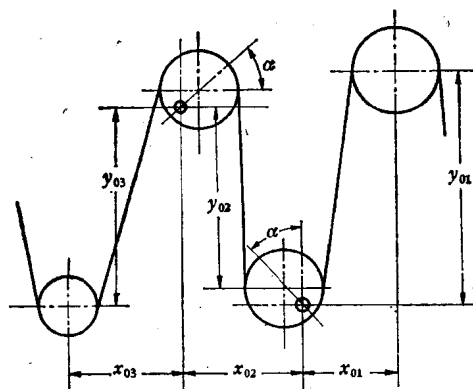


图 4

$$dL/d\alpha = 2e \cos \alpha \quad (4)$$

[4]中则求得 $dL/d\alpha$ 的精确公式为:

$$\begin{aligned} \frac{dL}{d\alpha} = & \frac{l_1}{A_1^2} e(x_{01} \sin \alpha + y_{01} \cos \alpha) + \frac{l_2}{A_2^2} e(-x_{02} \sin \alpha + y_{02} \cos \alpha) \\ & - (R+r) \frac{e^2 - x_{01}^2 - y_{01}^2}{2A_1^2} + (r+r_c) \frac{e^2 - x_{02}^2 - y_{02}^2}{2A_2^2} \\ & - \frac{1}{2} (R - r_c) \end{aligned} \quad (5)$$

对于两个滑轮差相 90° 的情形 (图 4), 相类似地得近似公式为^[3]:

$$dL/d\alpha = 2\sqrt{2} \cos(\alpha - \pi/4) \quad (6)$$

精确公式为^[4]:

$$\begin{aligned} \frac{dL}{d\alpha} = & \frac{l_1}{A_1^2} (x_{01} e \cos \alpha + y_{01} e \sin \alpha) - \frac{R+r}{2} \frac{x_{01}^2 + y_{01}^2 - e^2}{A_1^2} \\ & + \frac{l_2}{A_2^2} [x_{02} e (\sin \alpha - \cos \alpha) + y_{02} e (\sin \alpha + \cos \alpha)] \\ & - \frac{2r}{A_2^2} [2e^2 + y_{02} e (\sin \alpha - \cos \alpha) - x_{02} e (\sin \alpha + \cos \alpha)] \\ & + \frac{l_3}{A_3^2} (-x_{03} e \sin \alpha + y_{03} e \cos \alpha) - \frac{r+r_c}{2} \frac{x_{03}^2 + y_{03}^2 - e^2}{A_3^2} \\ & + \frac{R+2r+r_c}{2} \end{aligned} \quad (7)$$

(7)式中诸 l_i 和 A_i^2 可由图 4 推得.

对于两个滑轮差相 180° 的情形 (图 5), $dL/d\alpha$ 的近似式为^[3]:

$$dL/d\alpha = 4e \cos \alpha \quad (8)$$

它的精确公式^[4], 对于左图 (a) 为:

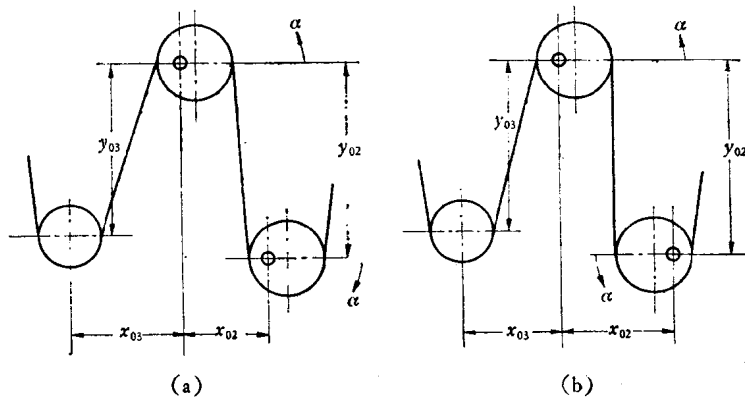


图 5

$$\frac{dL}{d\alpha} = \frac{l_1}{A_1^2} (x_{01} e \sin \alpha + y_{01} e \cos \alpha) - \frac{R+r}{2} \frac{e^2 - x_{01}^2 - y_{01}^2}{A_1^2}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{l_2}{A_2^2} (2ey_{02}\cos\alpha + 4e^2\sin\alpha\cos\alpha) + \frac{4r}{A_2^2} ex_{02}\cos\alpha \\
& + \frac{l_3}{A_3^2} (-x_{03}e\sin\alpha + y_{03}e\cos\alpha) + \frac{r+r_c}{2} \frac{e^2 - x_{03}^2 - y_{03}^2}{A_3^2} \\
& - \frac{R-r_c}{2}
\end{aligned} \tag{9}$$

对于右图(b)为:

$$\begin{aligned}
\frac{dL}{d\alpha} = & \frac{l_1}{A_1^2} (-x_{01}e\sin\alpha + y_{01}e\cos\alpha) + \frac{R+r}{2} \frac{e^2 - x_{01}^2 - y_{01}^2}{A_1^2} \\
& + \frac{l_2}{A_2^2} (2x_{02}e\sin\alpha + 2y_{02}e\cos\alpha) - \frac{r}{A_2^2} (4e^2 - x_{02}^2 - y_{02}^2) \\
& + \frac{l_3}{A_3^2} (-x_{03}e\sin\alpha + y_{03}e\cos\alpha) + \frac{r+r_c}{2} \frac{e^2 - x_{03}^2 - y_{03}^2}{A_3^2} \\
& + \frac{R+r_c}{2}
\end{aligned} \tag{10}$$

(二)

三个近似公式[公式(4),(6)和(8)]清楚地说明胶片运动速度是偏心滑轮转角 α 的余弦函数,它们的差别仅在于前面的系数。所谓差相偏心滑轮机构,并不能改变这种机构的余弦运动特性,而只是改变了偏心半径的大小,即对于相同的 $dL/d\alpha$,也就是说对于同样大小的画面高度 H ,差相 90° 的偏心半径可较单个滑轮缩小 $\sqrt{2}$ 倍。如从偏心半径要求小的角度出发,则差相 180° 更为有利。

四个精确公式[公式(5),(7),(9)和(10)]的直观性要差一些,它们与机构的结构参数 $x_{0i}, y_{0i}, R, r, r_c$ 有关。但经过大量计算表明^[4], $dL/d\alpha$ 随 α 变化最小的情形,还是和余弦函数相接近。

$dL/d\alpha$ 按余弦规律随 α 变化的最大变化率为:

$$\gamma = \frac{\left(\frac{dL}{d\alpha}\right)_{\max} - \left(\frac{dL}{d\alpha}\right)_{\min}}{\left(\frac{dL}{d\alpha}\right)_{\min}} = \frac{\cos 0 - \cos(\pi/4)}{\cos(\pi/4)} = 41.42\%$$

适当选择结构参数后,单个偏心滑轮情形的一组结果例如:

$$x_{01} = 15, y_{01} = 22, x_{02} = 10, y_{02} = 20$$

$$R = 7.5, r = 5, r_c = 5, e = 1.684$$

α	$-8\pi/32$	$-7\pi/32$	$-6\pi/32$	$-5\pi/32$	$-4\pi/32$	$-3\pi/32$	$-2\pi/32$	$-\pi/32$	0
$dL/d\alpha$	2.3776	2.6104	2.8141	2.9870	3.1278	3.2359	3.3107	3.3524	3.3612
α	$\pi/32$	$2\pi/32$	$3\pi/32$	$4\pi/32$	$5\pi/32$	$6\pi/32$	$7\pi/32$	$8\pi/32$	
$dL/d\alpha$	3.3378	3.2831	3.1984	3.0850	2.9445	2.7786	2.5891	2.3780	

$$\gamma = \frac{3.3612 - 2.3776}{2.3776} \times 100\% = 41.37\%$$

在上述 $-\pi/4 \sim \pi/4$ 的工作角范围内,“贮”片长度应该等于(不小于) $H/4 = 19/4 = 4.75\text{mm}$ (对于 35mm 胶片考虑),这个长度的计算公式可写成:

$$\begin{aligned} s &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} \left[\left(\frac{dL}{d\alpha} \right)_{i+1} + \left(\frac{dL}{d\alpha} \right)_i \right] (\Delta\alpha) \\ &= \left\{ \frac{1}{2} \left[\left(\frac{dL}{d\alpha} \right)_1 + \left(\frac{dL}{d\alpha} \right)_n \right] + \sum_{i=2}^{n-1} \left(\frac{dL}{d\alpha} \right)_i \right\} \times (\Delta\alpha) \end{aligned} \quad (11)$$

式中 n 为计算时所取离散点数,这里 $n = 17$, $\Delta\alpha = \pi/32$ 。将上表中的数据代入后,得

$$s = 48.3938 \times \frac{\pi}{32} = 4.751(\text{mm})$$

类似地,可以列举差相 90° 的一组结果如下:

$$x_{01} = 10.25, y_{01} = 35, x_{02} = 10.5, y_{02} = 15, x_{03} = 10, y_{03} = 8.8$$

$$R = 8, r = 4.5, r_c = 4.5, e = 1.26$$

$$\gamma = 40.92\%, s = 4.757$$

差相 180° 的结果的例可参看[4],这里不再列举。

(三)

改善“贮”片速度的均一性的一个可行途径是缩小工作角,这对于余弦函数来说是特别有效的。例如将工作角从 $\pi/2$ 缩小成 $\pi/4$,则对于按余弦函数变化的 $dL/d\alpha$ 来说,

$$\gamma = \frac{\cos 0 - \cos(\pi/8)}{\cos(\pi/8)} = 8.24\%$$

这一点从上节列表所列举的数中也可清楚看到。但如将工作角范围(胶片近似静止的范围)缩小一半,这时,要求的贮片长度也相应地应缩小一半,即应满足 $s = 19/8 = 2.375\text{mm}$ 。在不改变以上各例中其它结构参数,仅改变偏心半径 e 的情况下,对单个偏心滑轮的情形,可以举一组结果如下:

$$e = 1.556$$

α	$-4\pi/32$	$-3\pi/32$	$-2\pi/32$	$-\pi/32$	0	$\pi/32$	$2\pi/32$	$3\pi/32$	$4\pi/32$
$dL/d\alpha$	2.8837	2.9850	3.0559	3.0961	3.1061	3.0862	3.0374	2.9606	2.8570

$$\gamma = 8.72\%, s = 2.376$$

对于差相 90° 的一组结果为:

$$e = 1.165$$

$$\gamma = 7.97\%, s = 2.377$$

对于差相 180° 的情形,也可作类似的计算,我们不再列举。

(四)

我们是在片门前后胶片的运动特性满足完全补偿条件的假设下进行讨论的(这样才

能保证片环始终处于受控状态,从而消除了片环的振动)。由于偏心滑轮机构的“贮”片速度不是恒定,而输片齿轮是作恒速输片的,则如果片门附近不附加定片针,胶片在片门处将始终是运动着的,这就导致曝光过程中有附加象移(定片针的使用,有利于消除象移,但同时切断了片门上下的补偿联系,这是 Renold 文中的又一矛盾),象移速度等于偏心滑轮机构的输片运动速度 $dL/d\alpha$ 与考虑传动比后折算到偏心滑轮轴的输片齿轮的恒定速度 $H/2\pi$ 之差,如图 6 中所示。

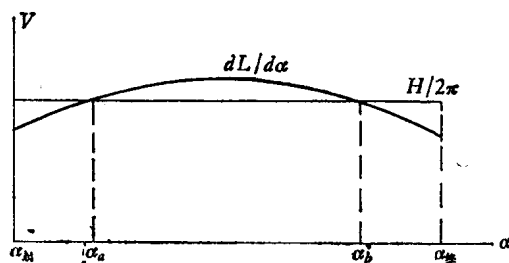


图 6

$$V_{\text{象移}} = \frac{H}{2\pi} - \frac{dL}{d\alpha} \quad (12)$$

于是可求得象移

$$\delta = \int_{\alpha} V_{\text{象移}} d\alpha = \int_{\alpha} \frac{H}{2\pi} d\alpha - \int_{\alpha} \frac{dL}{d\alpha} d\alpha \quad (13)$$

对于任一转角 α 而言,它相当于图 6 中两条曲线下方的面积之差,而对于全部工作角而言,这个面积之差等于零(在我们讨论的情形中,两个面积均等于 $H/4$ 或 $H/8$)。

求(13)式的导数[也就是(12)式]并使等于零,可以求出对应正或负的最大象移 $\delta_{\max}$ 的偏心滑轮转角,它相当于图 6 中的 α_a 和 α_b 。

我们举 90° 差相的近似公式(6)式为例。

先求偏心半径 e 的大小,它可由下式求得:

$$\frac{H}{4} = \int_0^{\pi/2} \frac{dL}{d\alpha} d\alpha = \int_0^{\pi/2} 2\sqrt{2}e \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{4}\right) d\alpha = 4e$$

即

$$e = H/16$$

将 $e = H/16$ 代入(6)式后代入(12)式并令它等于零,得

$$V_{\text{象移}} = \frac{H}{2\pi} - \frac{\sqrt{2}H}{8} \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{4}\right) = 0$$

或

$$\cos\left(\alpha - \frac{\pi}{4}\right) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0.9003 = \cos(\pm 0.4503)$$

因此

$$\alpha_a = \frac{\pi}{4} - 0.4503 = 0.3351 = 19^\circ 11' 59''$$

$$\alpha_b = \frac{\pi}{4} + 0.4503 = 1.2357 = 70^\circ 48' 1''$$

将 α_a 或 α_b 代入(13)式,可求得最大象移量

$$\begin{aligned} 2\delta_{\max} &= 2 \left[\int_0^{\alpha_a} \frac{H}{2\pi} d\alpha - \int_0^{\alpha_a} \frac{dL}{d\alpha} d\alpha \right] \\ &= 0.01054H \end{aligned}$$

对于 35mm 胶片, $H = 19$,

$$2\delta_{\max} = 0.2\text{mm}$$

对于 $dL/d\alpha$ 的精确公式,要求它的积分是十分困难的。可以用作图或插值的方法求 α_a , 然后计算它前面各离散采样点的“贮”片长度与恒速输过片长之差,再乘上倍数 2,即可近似求得最大象移量 ($2\delta_{\max}$)。

仍以前面二节中所列举的四组数据为例,分别求得最大象移量为(对于 $H = 19$):

单个偏心滑轮, $\pi/2$ 工作角: $2\delta_{\max} = 0.19\text{mm}$,

$\pi/4$ 工作角: $2\delta_{\max} = 0.019\text{mm}$,

90° 差相滑轮, $\pi/2$ 工作角: $2\delta_{\max} = 0.20\text{mm}$,

$\pi/4$ 工作角: $2\delta_{\max} = 0.022\text{mm}$ 。

可以看到,工作角缩小为 $\pi/4$ 时,象移量仅 0.02mm 左右,完全可以不采用定片针。

参 考 文 献

- [1] Walter Renold, Phased Roller Movement, *Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, V. 94, 1976, (High Speed Optical Techniques), 62—66.
- [2] 孙延录,关于差相滑轮机构在高速摄影和电视图象记录中应用的可能性,电影技术, No. 1, 1980, 1—12.
- [3] 李德熊,关于间歇式高速摄影机中所谓差相滑轮机构的讨论,工程光学, No. 1, 1981, 47—56.
- [4] 李德熊,关于间歇式高速摄影机中所谓差相滑轮机构的讨论的补充,工程光学, No. 1, 1981, 57—64.

摆杆式定片机构设计

朱 文 开

摘 要

摆杆式定片机构由于存在着原理误差,故并未引起人们重视,应用也不广。作者通过分析认为,通过选择合适的机构参数,可以把原理误差减少到工程设计允许范围以内(例如 5μ 左右)。

本文给出了摆杆式定片机构原理误差的解析式和最佳定片机构尺寸的计算方法,并对结构设计中的刚度和强度及动平衡、润滑诸问题提出注意要点。最后给出一个计算实例和实测误差结果数据。

引 言

众所周知,摄影机中定片机构的工作精度几乎决定了摄影象质(清晰度)和图象判读的质量(稳定度)。本文从寻求最小定片误差出发对摆杆式定片机构设计给出我们的分析及计算结果。

摆杆式定片机构最佳尺寸的确定

图 1 画出了摆杆式定片机构的工作原理图。 $N-N$ 为片门,即胶片曝光所经过的片道。定片针绕 O 点,由与抓片机构同步回转的偏心轴 O_1 带动摆动。定片时,爪₁、爪₂、爪₃ 进入片孔,胶片曝光,获得景物的潜影。此时由于三爪的弧形运动,胶片会产生微小移动,我们称之为定片误差 Δ 。 Δ 的存在导致了影象模糊。

我们知道,摄象综合鉴别率为:

$$N = \frac{N_0 \cdot N_F}{N_0 + N_F + N_F \cdot N_0 \cdot \Delta} \quad (1)$$

式中 N_0 , N_F 分别为物镜和底片分辨率。

如 $N_0 = 200$ 线对/mm, $N_F = 80$ 线对/mm 则得曲线 $N = f(\Delta)$, 如图 2 所示。

当 $\Delta = 3\mu$ 时, $N = 48$ 线对/mm; $\Delta = 5\mu$ 时, $N = 44$ 线对/mm; $\Delta = 10\mu$ 时, $N = 36$ 线对/mm。可见, $\Delta = 5\mu$ 左右,综合摄影鉴别率有 44 线对/mm 左右,是较为适中的。

图 3 中画出了一个定片爪工作图。图中我们建立直角坐标系 XOY , 原点 O 在摆动中心, X 轴平行片道 $N-N$ 。图中所示: $N-N$ 为片门方向; θ_1 为摆杆前工作角; θ_2 为摆杆后工作角; R 为 O 点到爪初始定片点 C 的距离; a 为片道到 X 轴的距离; b 为摆杆摆动 θ_2 时 X 轴到爪尖的距离; α 为定片爪的工作面修正角。我们主要就是通过选择 α 角的大小来获得最小定片误差的。 $(a + b)$ 为定片爪的工作行程。

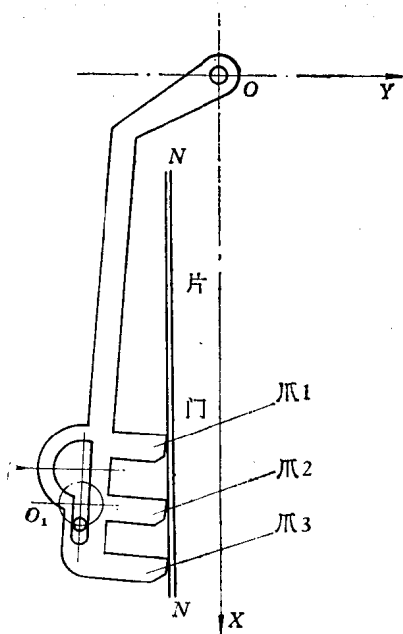


图 1

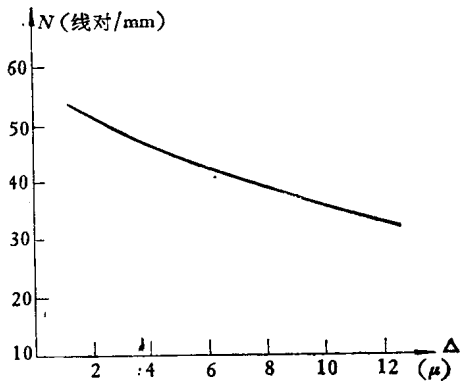


图 2

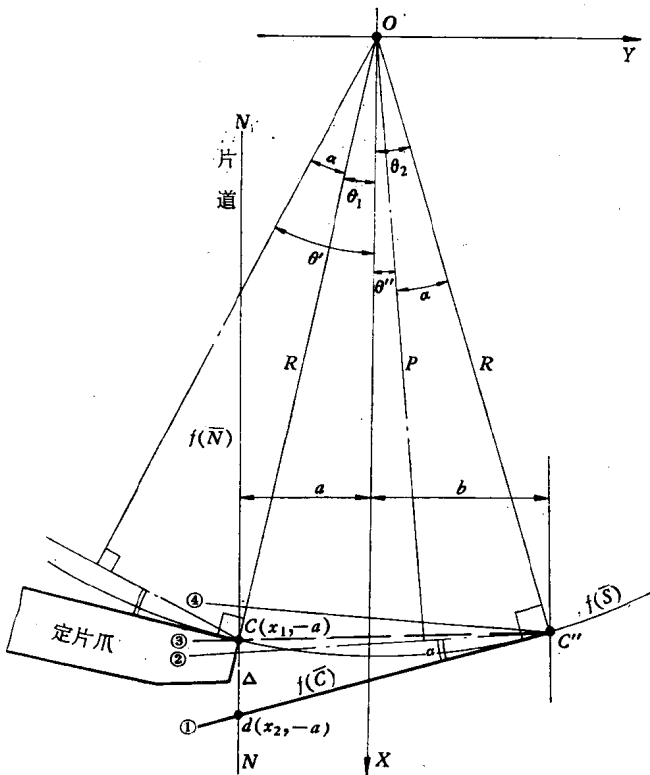


图 3

由图 3 可得:

$$\Delta = x_2 - x_1 \tag{2}$$

式中 x_1 可由片门函数 $f(\bar{N})$ 和圆函数 $f(\bar{S})$ 求得。 x_2 可由 $f(\bar{N})$ 和定片爪工作面函数 $f(\bar{C})$ 求得。即：

$$\begin{cases} f(\bar{N}) = y - a = 0 \\ f(\bar{S}) = x_1^2 + y^2 - R^2 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} f(\bar{N}) = y - a = 0 \\ f(\bar{C}) = x_2 \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta - R \cdot \cos \alpha = 0 \end{cases} \quad (4)$$

则得：

$$\Delta = a \cdot \operatorname{tg} \theta + R \frac{\cos \alpha}{\cos \theta} - \sqrt{R^2 - a^2} \quad (5)$$

式中, θ ——摆杆摆角, 自度量, 为定片爪工作面法线 P 与 OX 轴之夹角。以 OX 为准, 顺时针为负, 逆时针为正。 θ 值范围: $\theta' < \theta < \theta''$ 。

$$\begin{cases} \theta' = \theta_1 - \alpha \\ \theta'' = \theta_2 - \alpha \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \theta_1 = \arcsin \frac{a}{R} \\ \theta_2 = \arcsin \frac{b}{R} \end{cases} \quad (7)$$

在 $\theta_1 \sim \theta_2$ 范围内, 以 θ 为自度量可以作出 $\Delta = f(\theta)$ 曲线如图4。由图可见, 只要我们在 0 和 $\frac{|\theta_1| + |\theta_2|}{2}$ 范围内适当选择 α 值即可取得最好结果。

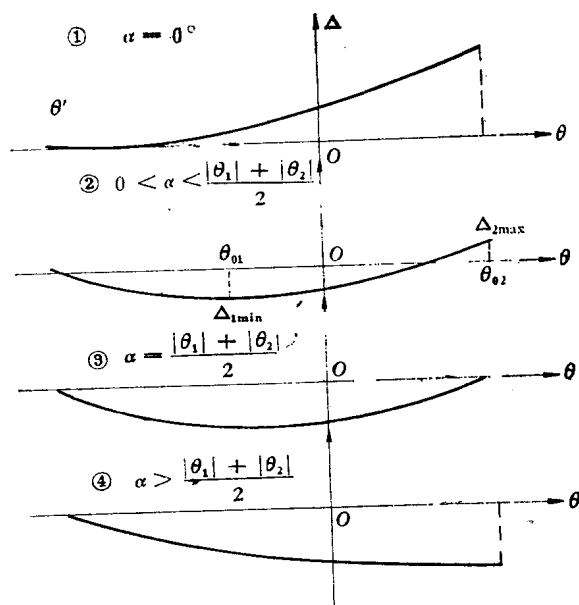


图 4

最佳 α 应满足下述要求：

$$\begin{cases} |\Delta_{1min}| = |\Delta_{2max}| \leq [\Delta] \\ \Delta_{1min} + \Delta_{2max} \leq [\delta \Delta] \end{cases} \quad (8)$$

式中: $[\Delta]$ ——允许定片误差, $[\delta\Delta]$ ——定片误差之绝对值互差。

最佳 α 角值求解法有二种。

1. 极值函数求解法。令 $[\delta\Delta] = 0$, 用求导法并令 $\frac{\partial\Delta}{\partial\theta} = 0$, 求出 $\Delta_{1\min}$ 时的 θ_{01} 值, 再把此值代入(5)式可得 $\Delta_{1\min}$ 。把 $\theta_{02} = \theta_2 - \alpha$ 代入(5)式可得 $\Delta_{2\max}$ 。再按(8)式, 即可求出 α 值, 试解如下:

$$\frac{\partial\Delta}{\partial\theta} = a \cdot \sec^2\theta_{01} + R \cdot \sec\theta_{01} \cdot \operatorname{tg}\theta_{01} \cdot \cos\alpha = 0$$

得

$$\begin{aligned} \theta_{01} &= \sin^{-1}\left(\frac{-a}{R \cdot \cos\alpha}\right) \\ \begin{cases} \Delta_{1\min} = a \cdot \operatorname{tg}\theta_{01} + R \cdot \frac{\cos\alpha}{\cos\theta_{01}} - R \cdot \cos\theta_{01} \\ \Delta_{2\max} = a \cdot \operatorname{tg}\theta_{02} + R \cdot \frac{\cos\alpha}{\cos\theta_{02}} - R \cdot \cos\theta_{02} \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

式中

$$\begin{aligned} \theta_{02} &= \theta_2 - \alpha \\ \Delta_{1\min} + \Delta_{2\max} &= a(\operatorname{tg}\theta_{01} + \operatorname{tg}\theta_{02}) + R \cos\alpha \left(\frac{1}{\cos\theta_{01}} + \frac{1}{\cos\theta_{02}} \right) \\ &\quad - 2R \cos\theta_1 = [\delta\Delta] = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

经过运算化简, 可得:

$$\sin^4\alpha + b \cdot \sin^3\alpha + c \cdot \sin^2\alpha + d \sin\alpha + e = 0 \quad (11)$$

式中

$$\begin{cases} b = -\frac{(4BD + 2AC)}{4A^2 + 4B^2} \\ c = \frac{C^2 - 2A(A - E) + 4B^2 - D^2}{4A^2 + 4B^2} \\ d = \frac{2C(A - E) + 4BD}{4A^2 + 4B^2} \\ e = \frac{(A - E)^2 + D^2}{4A^2 + 4B^2} \end{cases}$$

式中

$$\begin{cases} A = a \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) - R \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ B = a \cos(\theta_1 + \theta_2) + R \cos\theta_1 \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ C = 2R \cos\left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right) \\ D = 2R \cdot \cos\left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right) \\ E = R \cdot \cos\theta_1 \cdot \cos(\theta_1 - \theta_2) \end{cases}$$

式(11)是以 $\sin\alpha$ 为自变数的一元四次方程, 一般说来它有四个根。它们为下述两个二次方程式的 2×2 个根之和:

$$\begin{cases} \sin^2 \alpha + \left(\frac{b + \sqrt{8y + b^2 - 4c}}{2} \right) \cdot \sin \alpha + \left(y + \frac{by - d}{\sqrt{8y + b^2 - 4c}} \right) = 0 \\ \sin^2 \alpha + \left(\frac{b - \sqrt{8y + b^2 - 4c}}{2} \right) \cdot \sin \alpha + \left(y - \frac{by - d}{\sqrt{8y + b^2 - 4c}} \right) = 0 \end{cases}$$

式中的 y 为下述三次方程的任一实根:

$$8y^3 - 4cy^2 + (2bd - 8e)y + e(4c - b^2) - d^2 = 0$$

显然,通过上述烦杂运算我们可以求得 α 的最佳值,然而,我们通常还是用下述方法求解,要方便得多.

2. 数字计算机求解法. 直接由计算机计算 Δ 大小,并按 $[\Delta]$, $[\delta\Delta]$ 要求判别是否达到优化条件,应用前述公式(5),(6),(7),并取

$$\begin{cases} [\Delta] = 6\mu \\ [\delta\Delta] = 0.5\mu \\ 0 < \alpha < \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \\ \text{取步长因子 } h = 0.02 \end{cases}$$

计算框图如图 5 所示.

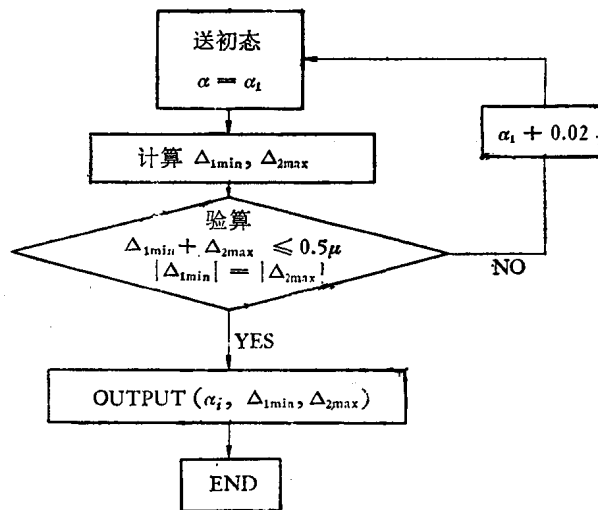


图 5

一个实例

已知: 例如按机构设计可设下述参数:

$$\begin{cases} \text{三爪 } R_3 = 64.75\text{mm}, a = -0.9\text{mm}, b = 1\text{mm} \\ \text{二爪 } R_2 = 60.00\text{mm}, a = -0.9\text{mm}, b = 1\text{mm} \\ \text{一爪 } R_1 = 55.25\text{mm}, a = -0.9\text{mm}, b = 1\text{mm} \end{cases}$$

计算结果: