

第二届全国高速摄影 与光子学会议论文选集

《论文选集》编辑组 编

科学出版社

32813

TB872
45

第二届全国高速摄影 与光子学会议论文选集

《论文选集》编辑组 编



S031207+

科学出版社

1982

内 容 简 介

高速摄影是研究高速运动物体与瞬变现象的重要工具,在科学研究、国防建设和工农业生产中有重要用途,受到了国内外的广泛重视。

1979年10月由中国科学院主持召开了第二届全国高速摄影及光子学会议,会上交流论文、资料一百余篇,本选集是从中选出31篇编成的,它介绍了高速摄影的新方法和设计经验、制造经验、整机、附件、应用效果等,可供从事高速摄影方面工作的广大科技人员和高等院校有关专业的师生参考。

第二届全国高速摄影 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

*

1982年10月第一版 开本:787×1092 1/16

1982年10月第一次印刷 印张:17

印数:0001—1,800 字数:391,000

统一书号:15031·428

本社书号:2715·15—4

定价: 2.65 元

前 言

“高速摄影”是研究高速流逝过程的重要手段，它能形象而准确地记录下高速运动物体的空间随时间的变化关系，揭示其运动规律和变化的机理，取得其它测试手段所不能取得的效果，在科学研究、国防建设、工农业生产等方面，有着愈来愈广泛的应用。

高速摄影在国内外是一项颇受重视、发展迅速的一门学科。截止 1978 年，已召开过十三届国际高速摄影会议；我国于 1974、1979 年分别召开了第一、二届全国高速摄影会议。近年来，由于产生图象方法的多样化，已经突破了传统的“摄影”概念，于是创立了“光子学”一词，它包括了所有能够提供可见信息的各项技术与各种设备。“光子学”是从“电子学”一词类比来的，“光子学”以光子做为信息载体，论述光子的发射、特性及其效应，以及有关的探测、记录和测量设备。国际上从第十三届专业会议开始，我国从第二届专业会议开始，正式使用“高速摄影与光子学会议”这一名称。可以预期，随着光子学的发展，高速摄影的内容将日臻丰富和完善。

第二届全国高速摄影与光子学会议，由中国科学院主持，参加会议的有中国科学院，国防科委，一、二、三、四、五、七机部，高等院校，冶金部，化工部，省、市所属科研单位等等，提供交流的论文、资料 100 余篇。与第一届会议相比，论文、资料的数量增加 30%，质量也有显著提高，反映了我国高速摄影与光子学的迅速发展。

我国高速摄影事业的发展有近二十年的历史，经历了从无到有，从易到难，从单一化到多品种，从试制到小批量生产这样一个过程，某些类型的高速摄影机已达到世界先进水平。从第一届专业会议以来，我国的专业队伍有了较大的发展，在基础理论的探讨，新产品的研制，定型产品的投产，应用技术的完善，教学内容的充实等方面，都取得了可喜的成绩。这一情况，在本届会议的论文报告中得到了充分的体现。为在更大范围内进一步宣传、推广这次会议的成果和交流经验，在有关单位的协助下，选取 31 篇论文编辑成此选集，供从事高速摄影与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。

由于我们的水平有限，在编辑过程中难免有疏漏和错误之处，请读者批评指正。

《第二届全国高速摄影与光子学会议论文选集》编辑组

一九八〇年六月

目 录

2000 年的高速摄影·····	龚祖同 (1)
------------------	-----------

高速摄影装置及器件

ZSK-29 型铍转镜高速扫描摄影机·····	中国科学院西安光机所 29 号研制小组 (6)
70 毫米棱镜补偿式高速摄影机·····	姚文学、孙淑梅、唐善隆 (10)
LBS-2000 型高速电影摄影机及其应用·····	顾伯勋 (26)
XG1 型狭缝式高速摄影机·····	浙江大学光仪系狭缝相机研制组 (38)
曝光时间为毫微秒级的通用快门变象管·····	宋宗贤、牛憨笨 (47)
微微秒脉冲磷酸盐钹玻璃激光器·····	唐贵琛 袁佩霞 (54)
高速摄影用脉冲氙灯的研究·····	陈大华、诸定昌、陈林棠、舒莲美、黄国萍 (59)
高速粉末快门·····	黄 福 (66)

理论研究,测试

转镜条纹相机中最佳转速的计算·····	陈俊人 (71)
转镜式高速分幅相机的光学传递函数及分辨率·····	毛信强 (78)
高速转镜扫描相机扫描速度的测定·····	赖国吉 (87)
高速电影摄影机间歇抓片机构特性分析·····	杨观廉 (94)
变象管荧光屏图象瞬态参数的测量·····	王奎祿 (103)
关于条纹变象管物理实质的讨论·····	高耀龙 (110)
棱镜补偿器的全视场运动方程及其有关问题的讨论·····	胡 庸 许家隆 (115)
快门系数为 1:1 的完全补偿系统·····	荣志敏 (131)

控 制 系 统

变象管相机的快门脉冲发生器·····	高继魁 (141)
获得高稳定延迟脉冲的方法及其在多幅变象管相机中的应用·····	曹文钦 (153)
一种高速摄影机用的直流电机控制线路·····	查冠华 (163)
提高可控型转镜高速摄影机同步精度的电控制方案·····	张伯珩 (168)

特种高速摄影

400 千伏高速 X 射线摄影机及其应用·····	张 奇 于祖哲 王培刚 刘光诒 王月坡 尹元昭 (179)
用傅氏全息图进行高速全息摄影·····	王国志 王正荣 (190)
激光高速摄影技术·····	林玉驹 (197)
分幅高速干涉摄影及其应用·····	夏生杰 王春奎 傅裕寿 吴宝根 (204)
激光高速阴影照相的研究及发展·····	张国顺 (212)

应 用

高速摄影在等离子体诊断中的应用·····	二机部五八五所高速摄影组 (224)
工业炸药爆轰过程的高速摄影观测·····	富治荣 (231)
高速转镜相机在爆炸丝测试中的应用·····	陈乐瑗 (241)
激光干涉技术在测速中的应用·····	田清政 (246)
风洞实验中高速摄影技术的应用·····	李桂春 (258)

2000 年的 高 速 摄 影

龚 祖 同

摘 要

本文介绍了国际上正在发展的微微秒、亚微微秒高速摄影技术,对 2000 年高速摄影的前景作出展望。

引 言

在实现四个现代化的过程中,科学技术现代化必须走在前面,摆在我们广大科技工作者面前的任务是光荣而艰巨的,我们必须树雄心、立壮志、脚踏实地努力工作,为赶超世界先进水平做出自己的贡献。俗话说:“知己知彼,百战不殆”。在高速摄影领域,国外正在从事哪些研究工作?有什么苗头?到 2000 年将达到什么水平?……这些都是我们在制订赶超规划中应当了解的。下面简单地谈谈自己的看法。

当前的应用研究

激光问世以后,与其联系着的光子学 (Photonics) 逐步成长,高速流程物理发展很快。微微秒脉冲对液体、固体及化学生物学的高速流程有广阔的用途。这些流程大都是微微秒数量级的,过去因缺乏测试手段,长期无法研究。将超短流逝过程的测试方法应用到分子、原子过程中,也是研究核反应过程的必需手段。现在,高速摄影记录已进入微微秒阶段,并向亚微微秒前进。举例简述如下:

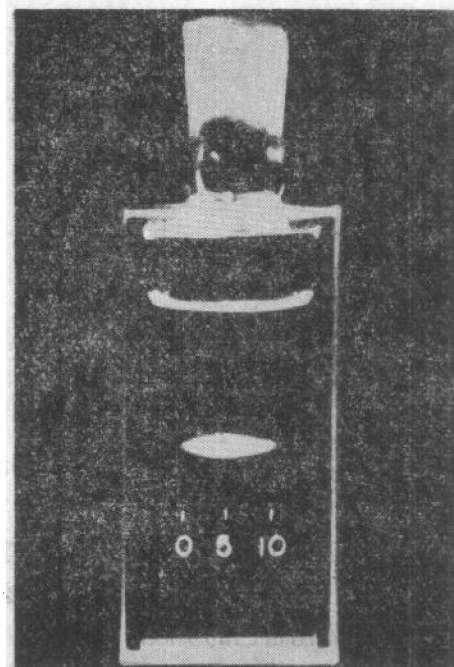
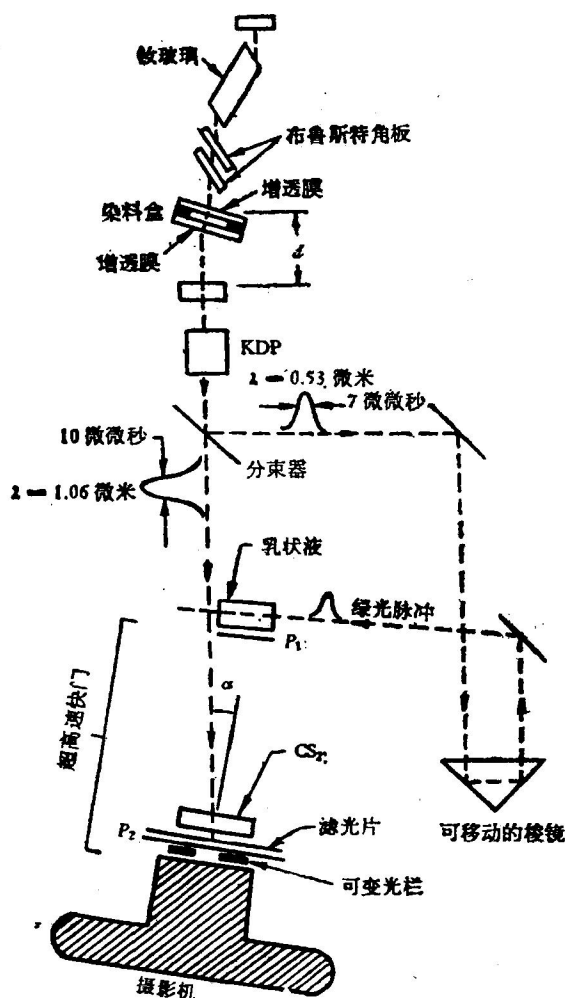
1. 在克尔盒中用 CS_2 代替硝基苯,用这种克尔盒快门的相机,可以拍摄到光脉冲在液体中的飞越。快门开启时间约为 10 微微秒,该光脉冲在 10 微微秒时间内前进 2.3 毫米 ($n = 1.33$)。

实验装置的原理图见图 1,摄影结果见图 2。

一个锁模钕玻璃激光器发出一连串超短脉冲,它们具有周期 5 微微秒,经 KDP 倍频,得绿色可见光。这绿色脉冲通过延迟进入长方液槽,槽内含有用牛奶混浊的溶液。绿色脉冲的电矢量是垂直的,使大部分光散射到相机里去。超高速快门是一种新型的克尔盒,直接由超短红外脉冲引起双折射。盒内的 CS_2 放在两块正交偏振片 P_1, P_2 之间,盒厚 1 厘米。红外脉冲是在图 1 平面内平面偏振的, CS_2 内的功率密度为 100 兆瓦/厘米², 脉冲宽度 ≥ 7 微微秒。双折射 ($\delta n_{\parallel} - \delta n_{\perp}$) 由下式给出:

$$\delta n_{\parallel} - \delta n_{\perp} = n_{2B} \overline{E^2}(t)$$

式中 n_{2B} 为非线性克尔系数。当脉冲达到 100 兆瓦/厘米² 的峰值功率密度时 ($E = 19.4 \times 10^6$ 伏/米), 双折射达 0.84×10^{-5} 。



2. 双光子荧光法测脉冲宽度。从钕玻璃激光器取得的锁模激光脉冲提供了超短光脉冲的宽度测量。用光电探测器和示波器的直接测量方法,已不适用于瞬时地分辨光脉冲,近年来发展了一种具有亚微微秒时间分辨率的间接测量法。该方法的基础是建立在产生二次谐波的非线性过程,见图3。光脉冲被分离为两束,它们经

过不同的光程再会聚到非线性晶体上.如果使两束光不同地偏振或使之非共线,当一束光被阻挡或两个脉冲到达晶体的时间相差过大,那末可使二次谐波不出现.通过改变一束光的光程可以调节两个光脉冲的重叠.两束光同时到达将产生最强的二次谐波.二次谐波法出现不到一年就被双光子荧光法所代替(图4).在图4(a)中,输入光脉冲被分成两束,经反射使它们面对面地进入有机染料液中,染料荧光持续时间是与双光子吸收成比例,当双光子在时间上相符合时,出现最强的吸收.图4(b)为荧光示踪照片.

利用二次谐波和双光子荧光法,可以准确地估计脉冲的宽度。更直接更精密的方法是用扫描摄影机。

3. 瞬时感生光栅法(图 5)。锁模超短激光脉冲的出现, 提供了激发固体和液体的原子、分子的有力工具。从同一激光器发出的双脉冲同时到达待测样品的同一点, 双脉冲有一小夹角, 能产生分子或原子的激发态, 从而形成瞬时感生光栅。一个延迟可调的探测脉冲被这感生光栅所衍射, 衍射与瞬时感生光栅的强度成比例, 当激发态逐渐衰退时, 衍

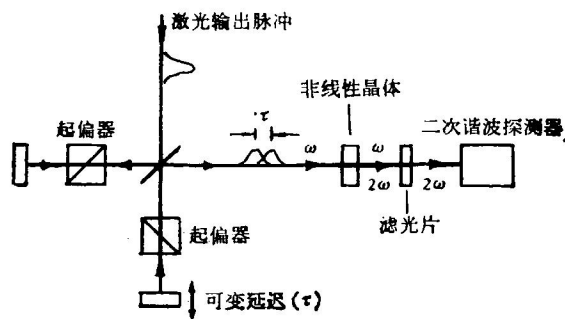
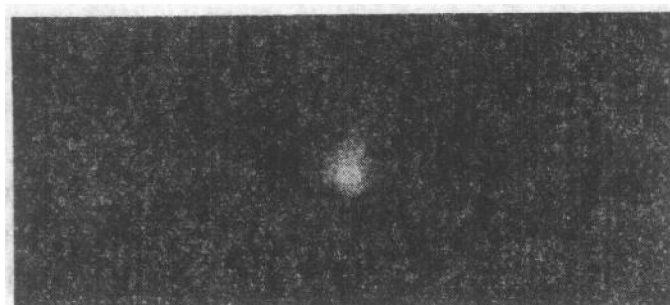
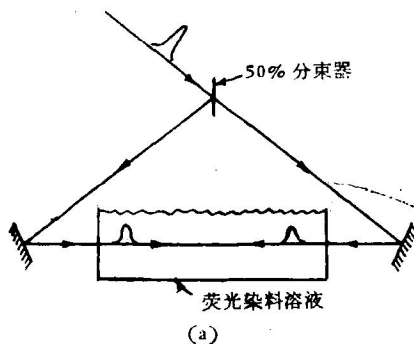


图 3



(b)

图 4

射也逐渐减弱而趋于零。由于延迟脉冲的延迟时间是已知的,所以激发态的持续时间也就测出来了.用感生瞬时光栅法可测许多毫微秒和微微秒现象.例如玫瑰精 (Rhodamine) 6G 分子的旋转松弛时间为 1.7—3.8 毫微秒.图 6 是瞬性感生光栅装置的示意图以及用于 10^{-4} 克分子玫瑰精甲醇溶液的典型实验结果.

4. 用微微秒激光研究光合作用. 当今世界十分关心粮食增产与人口增长的速度关系的时候,对农业科学的要求愈来愈迫切. 农业方面的一个重要问题是一个光合作用:

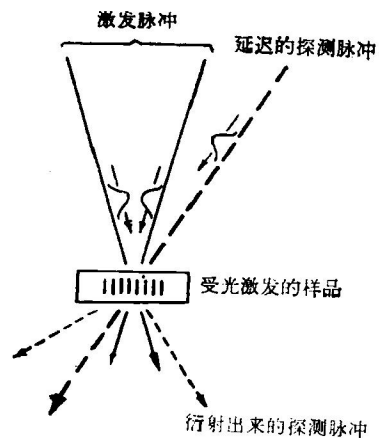
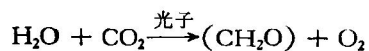


图 5

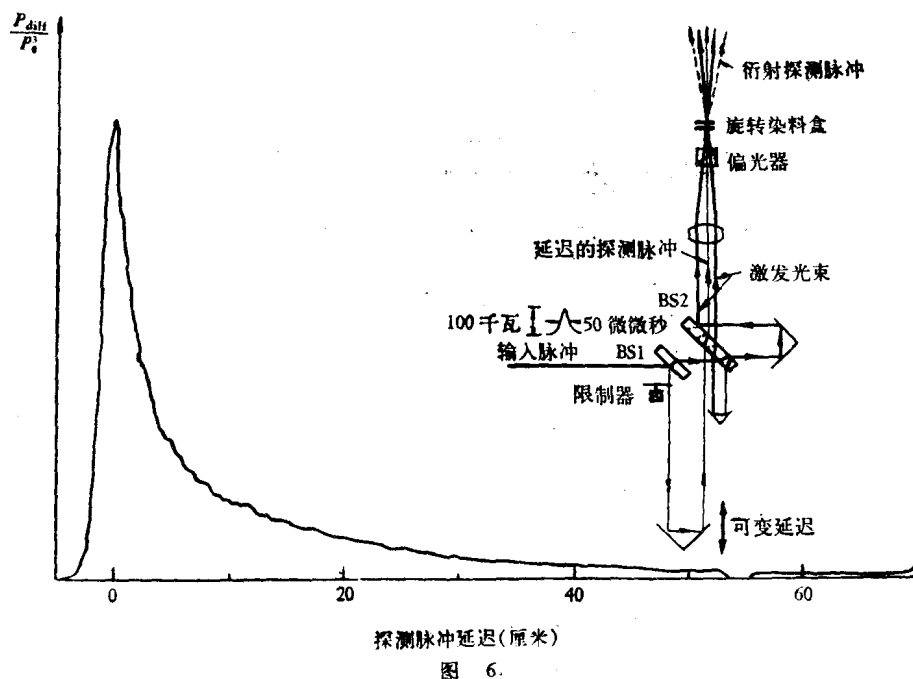


图 6.

水、 CO_2 与光用来产生碳水化合物。这个过程可用激光超短脉冲来研究。假定 Chla (叶绿素分子) 的排列如图 7 所示, 叫做一个光合单位。图中黑点表示叶绿素分子, RC 表示反应中心, 其它色素分子输送能量给叶绿素分子。这种无辐射的能量转移, 大家相信是偶极子与偶极子的相互作用, 而这个作用与距离 R 的六次方成反比, 浓度为 0.1 克分子时, 每步时间是 1 微微秒。这激发跳跃于相邻分子之间, 直至这激发被 RC 所俘获。这迁移时间可以用

荧光持续时间从第一次叶绿素分子的激发算起。实验所得的时间数据可以考验不同的光合单元的理论。

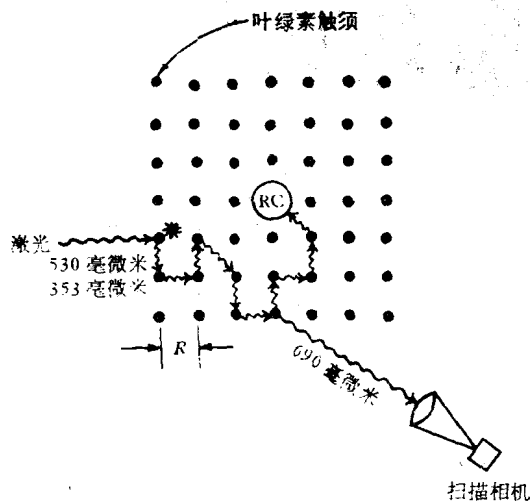


图 7

2000 年的高速摄影

1. 向毫微微秒发展。高速摄影机的时间分辨率现已达到亚微微秒级, 如前面介绍的, 已用来观测植物的光化过程。首先测激子移到反应中心的时间, 再推断光化的形貌。将来向毫微微秒级前进将可观测激光核聚变过程。随着放大技术的改进, 人们有一天会看到电子绕原子核的旋转。

2. 向高时-空分辨率发展。科学的世界往往用一个原子模型来代表, 可是谁也没有见到过原子, 更没有看到过原子核的电子轨道。原子轨道半径只有 5.3×10^{-11} 米, 我们需要有放大 1.9×10^8 倍的显微镜装置; 氢原子核里电子轨道速度为 2.2×10^6 米/秒, 我们需要有时间分辨率为 10^{-14} 秒的高速摄影机, 而

且要解决测不准定律所造成的困难。现在的电子显微镜只有 2×10^5 倍,尚差三个数量级;现在高速摄影机的时间分辨率只达 10^{-12} 秒,尚差两个数量级。

3. 向宇宙深处探索奥妙。从恒星上来的光,据说是多少亿年前就发射出来了,到达地球时受到大气抖动的影响,要用自适应方法去纠正。高速摄影与天文望远镜相结合能够研究大气抖动问题。这种研究有助于改进卫星与地面信号畸变问题。西德 Erlangen-Nurnburg 大学指出气珠散斑现象,用中速摄影机把星象的瞬时图拍摄下来,再加处理,提高分辨率约 50 倍。

4. 向小型化、自动化和稳定可靠进军。人类征服自然的活动已经深入到广阔无垠的宇宙。在各种用途的卫星、宇宙飞船上,要安装许多测量和观测仪器,它们必须是小型、高度自动化和抗干扰的。高速摄影机自然也必须满足这些要求。例如,美国研制的使用超 8 毫米胶片的间歇式高速摄影机 VIC-8,摄影频率 1—250 幅/秒,相机体积 $70 \times 40 \times 130$ 毫米³,重量只有一公斤半。

5. 与光子学相结合向不可见光深入。超高速开关就要利用激光脉冲。

时间分辨在 X 光领域可以更高 (10^{-18} 秒,在 1 千电子伏时)。

硬 X 射线激光器可能要用大功率的微微秒脉冲来作光泵,对生物领域将是一个推动。光子-光子在真空中碰撞试验将会在最近开始。

趋向超短脉冲和大功率发展。

6. 向实时输出想办法。高速摄影的目的是要获得高速目标的信息,但由于现在和实时处理技术很少结合,所以从摄影到取得信息为时过久,不能发挥及时利用的效果,这是走向现代化的一个缺陷。相信到 2000 年在这方面会改观。现有的可能途径,一是用磁带记录,二是用热塑料或光塑料记录。记录到的信息,予以再现或直接输入计算机得出数据。将来无疑会有更多的方法。

7. 对危险区进行高速摄影。向剧毒或爆炸性过程取得高速信息并输出到安全区域,这需要与信号传输技术相结合,因此快速电视、电荷耦合器械和远距离光信息传输技术都要相应结合。

在人类社会发展的历史长河中,科学技术的发展起了先导作用,推动着社会向前发展。电和蒸气机的发明,引起了工业上的革命,促使封建社会的解体和资本主义的诞生。社会主义比资本主义有着无以伦比的优越性,它为科学事业的发展开辟了广阔的道路。人们借助于显微镜对细微物体观察,使医学、生物学、冶金、材料等学科迅猛发展;借助于望远镜探测太空奥秘,促进了天文学的发展;八十年代的高速摄影已进入微微秒领域;可以预测,到 2000 年势将跨入毫微微秒领域,人们将更有效地借助于高速摄影这个科学研究的有力工具来验证和修正过去物理、化学和生物机制理论,发现新的现象,促进理论的发展。它的技术价值也将是难于估价的。

参 考 文 献

- [1] M. A. Duguay, *Am. Scient.*, **59** (1971), 550.
- [2] H. P. Weber, *J. Appl. Phys.*, **38** (1967), 2231.
- [3] M. Maier, *Phys. Rev. Lett.*, **17** (1966), 1275.
- [4] J. A. Armstrong, *Appl. Phys. Lett.*, **10** (1967), 16.
- [5] D. W. Phillion, *Appl. Phys. Lett.*, **27** (1975), 85.

ZSK-29 型铍转镜高速扫描摄影机

中国科学院西安光机所 29 号研制小组

摘 要

本文介绍中国科学院西安光学精密机械研究所研制的一种 ZSK-29 型铍转镜扫描高速摄影机, 以及设计中的某些问题。这种铍转镜扫描高速摄影机是一种同步摄影机, 具有 27 毫米/微秒的扫描速度。

反射镜扫描高速摄影机是研究高速瞬变过程的有效工具之一, 它通过狭缝扫描可以给出被研究现象在某一选定方向上随时间扩展的空间信息。这种摄影机主要应用于高温等离子体的诊断, 以及激光辐射、燃烧和爆炸击波传播等高速流逝过程的记录研究。

ZSK-29 型铍转镜扫描高速摄影机是便于实验室使用的一种同步型摄影机, $900 \times 500 \times 200$ 毫米³的摄影机安装在高低、方位、俯仰皆可调节的支架上, 如图 1 所示。

ZSK-29 型铍转镜扫描高速摄影机主要性能指标如下:

1. 扫描速度 27 毫米/微秒, 当狭缝宽度为 0.018 毫米时, 具有 1.46×10^{-9} 秒的时间分辨率。
2. 当转镜处于工作角的中间位置时, 对胶片的等效相对孔径为 $F/10.93$ (扫描方向为 $F/18.75$, 空间方向为 $F/7.75$)。
3. 配有两种主物镜, 焦距分别为 189 毫米和 80 毫米, 相对孔径均为 $F/3.5$ 。
4. 长焦距摄影距离 2 米时, 线视场 $\phi 100$ 毫米; 短焦距摄影距离 3.17 米和 20 米时, 线视场分别为 $\phi 400$ 毫米和 $\phi 2500$ 毫米。
5. 光谱范围 4341~6563 埃。

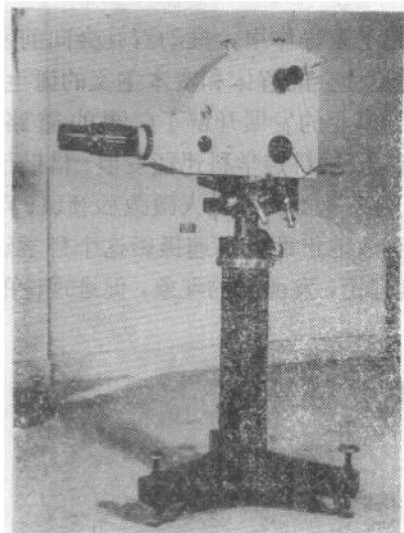


图 1 ZSK-29 型扫描高速摄影机结构外形图

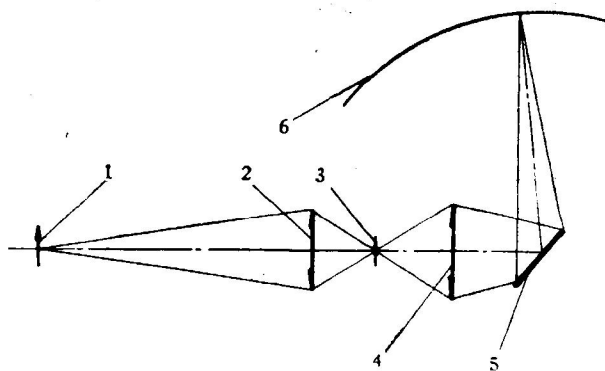


图 2

6. 采用 35 毫米胶片,片容量 1.5 米,每次记录长度为 400 毫米(用片量 450 毫米),记录条纹高度 22 毫米。

7. 空间方向照相分辨本领:当扫描速度为 27 毫米/微秒时,长焦距系统为 18.6 对线/毫米;当扫描速度 3.8 毫米/微秒时,短焦距系统为 33 对线/毫米。

8. 拍摄速度选择的重复精度为 $\pm 0.5\% \sim \pm 0.7\%$,机械延时角为 140° 时,拍摄起点分散性不大于 ± 10 毫米。

9. 铍转镜额定最高工作转速为 42.6 万转/分,摄影转速分七挡: 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42 万转/分。

此外,该相机备有零点胶片记录装置、机械快门、爆炸快门、检焦镜(放大倍率 $25\times$, 视场 $\varnothing 7$ 毫米)、取景器(放大倍率 $8\times$, 视场 $\varnothing 22$ 毫米)、旋转狭缝盘(狭缝长 10.24 毫米,缝宽序列为: 0.12; 0.094; 0.073; 0.056; 0.043; 0.033; 0.025; 0.018 毫米等)。

ZSK-29 型铍转镜高速扫描摄影机利用空气涡轮驱动二面体铍制反射镜高速旋转,使将光学系统的视场狭缝象在固定感光胶片上扫描记录。在狭缝上所成的象是被研究目标在该方向上随时间变化的空间状态。这种定片的狭缝扫描记录方式,较之动片的扫描记录方式具有高得多的扫描速度,它可以达到毫微秒量级的时间分辨率,而后者仅达到毫秒~微秒量级的时间分辨率,但后者记录时间很长,而转镜扫描通常记录几十微秒。ZSK-29 型铍转镜扫描高速摄影机的光学原理图如图 2 所示。被摄目标 1 通过主物镜 2 成一次象在狭缝 3 上,被狭缝切割的物象再经投影镜 4、铍转镜 5 投影到弧形胶片上。当铍转镜在涡轮驱动下高速旋转时,沿狭缝长度方向扩展的目标象就被连续地记录在胶片上。反射镜中心反射点的扫描象迹是一条帕斯卡尔蜗线,胶片代替圆的设计,不少人都进行过仔细讨论^[1,2,3],本文不予重述。

本文需要讨论的是,为了保证被摄目标在可见光范围内得到足够的感光密度,系统设计要尽可能提高仪器的相对孔径和简化光学部件以提高光透过率。为此,整个仪器的设计长度和象差平衡与该投影镜的参数选择有密切关系。采用大的放大倍率显然不利于系统象差的校正,影响到成象质量问题。尤其是二级光谱的校正将出现困难,因为投影镜的二级光谱与其放大倍率加 1 的平方成正比,而且将物镜的二级光谱放大其放大倍率的平方倍。大的倍率会使二级光谱的校正成为突出问题。而目前国内现有的光学材料还没有适合于很好校正这一象差的玻璃,尽管 TF_3 等在理论上可使二级光谱减小 $1/3$,但因投影镜大的相对孔径,较大阿贝数的 TF_3 不易使二级光谱与色球差得到同时较好的校正。为了紧凑仪器结构,缩短尺寸,该投影镜选用 $2.15\times$ 的放大倍率、焦距为 139.7 毫米,相对孔径为 $1/2.46$ 的双高斯系统,但由于其孔径光阑置于中部,入瞳不会离开实际光阑太远,故此将主物镜设计为一个与投影镜光瞳相匹配的远瞳系统。为消除杂光在主物镜前加了遮光罩。整个系统考虑了各光学组元间的正负象差匹配和平衡,单色象差尚好,正如方案设计时所预料,二级光谱较大,几何值为 2.92 毫米,波象差为 12.5λ ,经照相实验表明,象质还是可以的。

众所周知,扫描高速摄影机的时间分辨率是一个非常重要的指标,通常以下式给出^[4]:

$$t = \frac{b'}{v} \quad (1)$$

式中 b' 为狭缝象的宽度, v 为狭缝象的扫描速度。由于衍射现象, 狭缝宽度有一个极限值, 不可任意缩小缝宽来提高时间分辨率。设光学系统在象面上分辨率为 N 对线/毫米, 根据一级近似, 可以认为狭缝象极限宽度为 $b' = \frac{1}{2N}$, 在该相机中极限缝宽为:

$$b = \frac{1}{4.3N}$$

由象的衍射理论可知, 光学系统的分辨率对于 $\lambda = 5500$ 埃, 可用下式计算:

$$N = 1470 \frac{B}{R} \cos \varphi \quad (2)$$

式中 B 为转镜垂轴宽度 (光束充满时), R 为扫描半径, φ 为拍摄中点位置时的转镜工作角。于是有:

$$b' = \frac{1}{2N} = \frac{R}{2940 B \cos \varphi} \quad (3)$$

同时, 当材料允许极限线速度为 v_p 时, 转镜允许极限转速为 $n_p = \frac{v_p}{\pi B}$, 此时扫描速

度为:

$$v = 4\pi R n_p = \frac{4R}{B} v_p \quad (4)$$

将式 (3), (4) 代入 (1), 时间分辨率表示为:

$$t = \frac{1}{11760 v_p \cos \varphi} \quad (5)$$

该式表明, 在角 φ 确定后, 理论上的时间分辨率只与材料的极限速度相关。材料极限速度越高越好。试图以增大扫描半径来提高时间分辨率是得不偿失的。因为增大扫描半径虽然提高了扫描速度, 但一般要引起相对孔径的减小。

高的转镜转速在获得较高时间分辨率的同时, 不可忽略的是, 转镜表面由于受离心力的作用而发生变形^[5,6], 会导致时间分辨率的下降。根据材料力学, 转镜旋转时在离心力作用下的横向变形是用下式表述:

$$\Delta = \frac{\sigma \rho a b^2 \omega^2}{2E} \quad (6)$$

式中 σ 为泊松比, ρ 为材料密度, a 为转镜半厚度, b 为转镜半宽度 (即 $\frac{B}{2}$), E 为弹性模

量, ω 为转镜角速度。由该式可以看出, 选用 $\frac{\sigma \rho}{E}$ 值小的材料, 其横向变形量亦小。计算表

明, 铍的 $\frac{\sigma \rho}{E}$ 值几乎等于钢的 1/100, 在相同情况下, 铍转镜的镜面变形小的多。这就是我

们在 ZSK-29 型高速扫描摄影机中采用铍转镜的原因。我们在该相机中应用铍转镜是由长、宽、厚为 $43 \times 20.6 \times 8$ 毫米³ 的铍镜和钢轴组成, 二者以高强度环氧树脂粘结, 铍镜面形达 0.2 光圈, 镜面光洁度 ∇_{13} , 反射率对于 $\lambda = 5200 \sim 5600$ 埃为 89%, 铍转镜涡轮如图 3 所示。

ZSK-29 型铍转镜扫描高速摄影机的控制系统基本上采用薄膜组件, 在线路中采取了有效的抗干扰措施和程序保护措施, 在关键部件采取了温度补偿措施, 采用了新的光电转

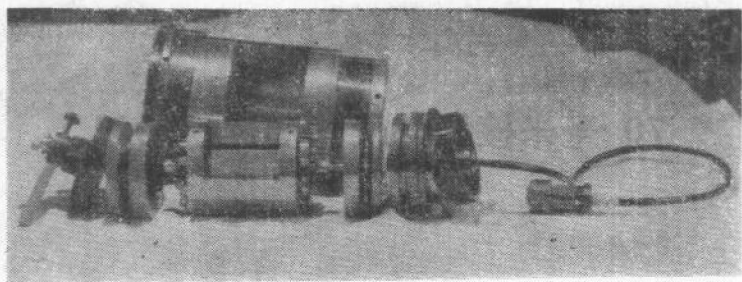


图3 铍转镜涡轮组件

换线路。因此电控制系统重复性好,整个工作程序稳定可靠,拍摄速度选择的重复精度在 $\pm 0.5\% \sim \pm 0.7\%$ 之间,拍摄起点的分散性以下式表示:

$$\Delta l = 4\pi R\alpha \frac{\Delta T}{T} \quad (7)$$

式中 $\frac{\Delta T}{T}$ 选择为摄影速度的重复精度, R 为扫描半径, α 为机械延时角。该相机最大延时角可达 270° , 延时角的调节方便可靠。转镜转速达到预定拍摄速度时,控制系统自动给出 $+300$ 伏的脉冲去触发被摄目标,使被摄高速事件的始端记录在胶片的拍摄起点上,实现同步控制。

ZSK-29 型铍转镜扫描高速摄影机在研制过程中,承蒙宁夏有色金属研究所提供高强度铍料,并进行了铍转镜体的粗加工;上海微形轴承厂提供了高速滚动轴承;南京 3304 厂提供了狭缝制作工艺技术;西安仪表厂提供了热锻纯铬工艺技术,在此特致谢忱。

参 考 文 献

- [1] J. M. Kelly, Proc. of the 5th Intern. Congress on High-Speed Photography, New York, 1962, 72—84.
- [2] W. C. Davis, *Appl. Opt.*, 3(1964), No. 11, 1217—1222.
- [3] A. C. Дубовик, *Ж. НуПФук*, 2 (1957), № 4, 293—303.
- [4] A. C. 杜鲍维克, 高速流逝过程摄影记录, 科学出版社, 1976, p. 48.
- [5] A. Evez, Y. Portom, *Appl. Opt.*, 5(1966), No. 5, 727—733.
- [6] T. E. Holland, W. C. Davis, *J. OSA*, 48(1958), 365—371.

70 毫米棱镜补偿式高速摄影机

姚文学 孙淑梅 唐善隆

摘 要

本文结合 70 毫米棱镜补偿式高速摄影机的研制成功,较系统地阐述了此类型相机总体设计中应遵循的原则。

作为高速摄影仪器,应在其理论提供的可能基础上提高仪器的成象质量,以便在一个画幅内获得尽可能高的空间信息量。同时在现有技术条件下提高相机的摄影频率,以求最终提高相机的总信息量。

一个适合于补偿原理要求的高质量的光学系统设计,是我们实现获得最大信息量的必要前提。

根据确定的光学系统数据,选择适宜的曝光条件(如快门的类型及其位置,快门运动方向及其速度,曝光窗高度,全曝光时间和局部曝光时间的选择等)有可能发挥光学系统的最大效能。

此类型相机,在摄影过程中胶片高速连续运动。因此为相机提供良好的输片运动学和动力学特性,是确保光学系统成象质量的重要措施。这就要求相机传动链尽可能简化并有足够的精度和良好的动平衡特性。片道配置和输片元件参数确定要合理。高速回转件要精密动平衡,以减小振动,保证象质。要有满足具体输片特性要求的高质量的电控系统。

实践证明,上述各环节若都能精心设计、加工、装调,则相机最后实验结果是可以达到预期设计要求的。

相机性能参数

35 毫米胶片摄影机,画幅尺寸 18×22 毫米²,结象尺寸受到限制,不能满足高精度姿态角测量要求。70 毫米胶片摄影机可以弥补这个缺点。本相机性能参数如下:

1. 摄影频率: 500 幅/秒, 750 幅/秒, 1000 幅/秒,
1500 幅/秒, 2000 幅/秒 (小画幅时);
200 幅/秒, 400 幅/秒, 600 幅/秒,
800 幅/秒, 1000 幅/秒 (大画幅时)。
2. 画幅尺寸: 9.5×55 毫米²; 19×55 毫米²。
3. 主物镜: $F = 130$ 毫米, $D/F = 1/2.8$, $2W = 4^\circ 22'$;
 $F = 300$ 毫米, $D/F = 1/3.5$, $2W = 10^\circ 6'$;
 $F = 1000$ 毫米; $D/F = 1/4$, $2W = 3^\circ 20'$ 。

4. 动态照相分辨率: 中心大于 40 对线/毫米;
边缘大于 35 对线/毫米.
5. 胶片规格: 标准 70 毫米带孔胶片.
6. 片容量: 60 米.
7. 相机本体自由度: 方位 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$,
俯仰 $-10^{\circ} \sim +25^{\circ}$.
8. 有效曝光时间: 50 微秒 (拍频 2000 幅/秒).
9. 起动时间: 0.3~0.5 秒.
10. 胶片初始模糊段: 0.8~1 米.
11. 画幅不稳定性: 0.04~0.1 毫米.
12. 电源: 交流 220 伏 $\pm 10\%$, 频率 50 赫.
13. 离合器吸合电流: 0.7 安.
14. 讯号: 接片, 时间零点, 时标, 画幅计数.
15. 取景检焦镜: 7 倍 (反射式).
16. 滤光片: 中性 (K_9), 浅黄 (JB_8), 浅黄 (JB_6), 橙色 (CB_6).

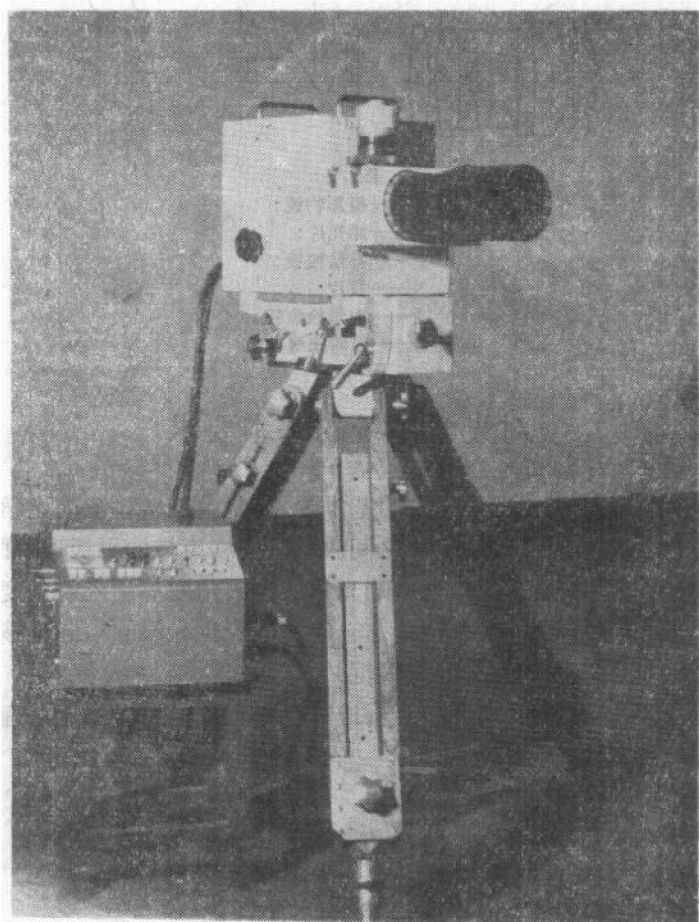


图 1