

工程光学的发展趋势

辻内顺平

(日本 千葉大学 工程系 成像科学部, 日本 千葉)

摘要 过去,光学对物理学的发展起了非常重要的作用。现在,由于与光学相关的环境的重大改善,即激光的出现、光电子学与计算机的发展,使光学或工程光学的应用迅猛发展。本文综合工程光学中的一些进展以总结它的新近发展趋势。

关键词: 全息术; 干涉术; 光计算

1 引言

光学是物理学最古老的学科分支之一,每当在物理学中取得突出进展时,光学都起了非常重要的作用。由于人眼对光敏感,人类视觉对研究光现象起过独特的贡献。因此,光学的波长范围曾大都局限于可见光,光学只涉及电磁波中非常窄非常局部的现象。

在激光出现之前,光学技术主要用于制做各种光学仪器。在涉及经典光学仪器,如望远镜、显微镜、照相机等范围内,几何光学处于主导地位。这一时期物理光学也有很多应用,如干涉仪和光谱仪,但不是这一时期的主流。这个阶段的光学称之为经典光学。从物理学上来讲,它好象已达到完美,没什么令人感兴趣而需要去研究的东西了,这意味着从学术观点来看,经典光学已不再具有任何魅力。

激光出现后,光学有了一种理想光源,它近于单色、功率高、发源于点光源。这使光学再次成为物理学的热点,使物理光学易于应用。同时,电子学和计算机技术的发展激发了光学的新应用。光学现在已应用于科学技术的许多领域,可以说它目前已成为科学和工业的基础技术,同时仍然是物理学的一个重要分支。与之相对应的就是在支撑和激励光学技术以适应于应用领域各种要求方面,工程光学变得十分重要。

本文恰是从上述背景出发,回顾工程光学的动向,借助对光学技术某些新进展的研究探讨,来展示其发展趋势。

2 经典光学与光学工艺

经典光学的主要应用曾是光学仪器，光学设计是制做仪器开始阶段最主要的工作，这项工作需要大量光线计算，而当时三角函数对数表是仅有的计算工具，计算要用手写，不易发现错误。

加工透镜、棱镜和反射镜所需光学表面都是非常困难的工作。研磨、抛光这些表面很费时间，当然产品的质量也就成问题了。干涉仪，如菲佐和牛顿干涉仪已被应用，样品与母板之间产生的干涉条纹是检验的标准，但这多半是定性的而不是定量的，以这种方法加工出来的光学元件有各种误差，这就带来了仪器性能的不稳定性。

光学仪器制造基于机械加工，如何精细加工光学元件，如何精密安装光学零件，都是主要课题。没有有效工具和方法去评价、调校仪器的最佳性能是解决这些问题的一个障碍。

3 激光与光学

1960年第一台红宝石激光器发出红光，随后各种各样的激光器相继研制出来。这些激光器用来作为光学工程中的单色平行光源，同时电子学和计算机也应用于光学使光学技术变得可靠稳定。人们常说从一个点源发出的单色光是光学中的理想光，但它的实现相当困难，甚至不可能。然而，激光器发出的光满足这些要求，并且功率高，这就使得物理光学的应用变得容易与方便。

几个例子如下：干涉术曾是非常精巧与需要技巧的技术，仅能用于很好配置的实验室内。然而，由于激光的高空间与高时间相干性，它就变得非常容易使用，最近甚至准备用于户外与工厂中。全息术是由 Gabor 于 1948 年发明的，但直至激光出现，它才变成一种新的光学技术。当今全息术已成为人们最感兴趣、最有用的光学技术之一。多普勒测速曾是微波领域的一种技术，正是激光使光学领域中激光多普勒测速得到实际应用，主要是应用于医学。散斑是激光高相干性引起的一种现象，在相干成像如全息成像中是不受欢迎的，但最近它们被用来提供被测表面运动与粗糙度方面的信息。这就是散斑干涉术和散斑照相术，已经成为光学计量中的重要技术。

除了这些例子，由于应用高功率高相干性激光而出现了各种新技术，如光通信、光纤传感、光加工、光贮存、光计算、光波导技术等。这些新技术强有力地拓展了光学的应用，使光学成为科学与工业中非常有用的工具或者基础技术。

4 光学中的电子学与计算机

在光学发展的早期阶段，人眼是光学实验中最重要工具。这意味着波段范围仅限于可见光。紫外与红外曾是难得研究的特殊波段。电子学的发展带来了各种光探测器，利用它们可以十分方便地测得光能量，这就使早先用人眼难于进行的光能定量测量变得容易了。与电子学对应的计算机的迅猛发展对光学有很大影响。大量光探测器，包括线阵传感器、摄像管和 CCD 成像器件等被研制出来，这些器件与计算机结合能方便地用于评价光学像。光学像的

计算机处理成为近代工程光学中非常重要，非常令人感兴趣的技术之一，它为光学技术找到了广泛的应用。

波长范围的扩展使可见光波段以外的光学成像成为可能，红外、紫外成像得到实际应用。事实上通常的光学元件，如透镜与反射镜，至今仍主要考虑可见波段，从现在起必须更多地研究用于非可见波段的材料和元件。

近来在光学工业中，计算机还广泛用于加工控制。利用数控机床可以加工各种高精度非球面。光学测量，比如干涉术，数据分析曾是一个困难的任务，而新近的干涉仪都有计算机辅助条纹分析器，它们不仅给出原始数据，还给出各种相关参数，用以评价被测光学系统的性能。这对于光学仪器达到高性能有很大助益。

5 工程光学的某些进展

5.1 全息术

近来，全息三维显示方面新技术的发展再次活跃起来。计算机辅助技术使这个领域呈现新势头。日本的一个研究小组^[1]研制出一种医用全息立体合成系统，它使医学图像三维显示出来，用于医学诊断、外科手术及教学。用通常的医学成像方法，如X射线照相法、计算机辅助等高术核磁共振成像等方法得到原始像，输入计算机后再构三维像，并可提供记录下来的原始像。计算机与全息图合成光学系统之间的接口是一种液晶空间光调制器(LCSLM)，这种调制器在合成全息图过程中起调合作用。

日本东京工业大学的一个研究小组^[2]正在研究一种利用计算机合成体全息图的方法。这种系统有一种机构，它能记录数个分布在厚乳剂平板上的二维微全息图。记录下来的微全息图像由计算机计算并显示在LCSLM上，这样就可以对彩色全息图或移动目标全息图进行合成。

麻省技术研究所^[3]，正在从事全息电视的实验。他们利用声光调制器与旋转多面体反射镜的组合，把全息图信号转换成三维图像。这种技术隐含着显示运动三维图像的一种新趋势，很有可能成为未来的全息电视。LCSLM作为全息图记录器件，很使人感兴趣。有几个研究小组^[4]正在研究把它用于未来电视的可行性。这些新技术指出靠计算机与电子学制作与传输全息图的可能性，以此来替代传统的使用光学平台的方法。

全息术的另一种引人注目的应用是为安全目的。小的模压全息图贴到信用卡、计算机软件、录相带，甚至银行票证与邮票上。理由是全息图难于复制，故用以避免仿造。但全息图制作与印刷的新近发展使这种理由成为一种错觉。新的技术，如用计算机加工微全息图或微光栅正在走向实际应用。

全息光学元件有应用前景，许多光学元件，诸如光谱仪的光栅、光栅尺、扫描器等，都已用全息技术制作出来，其中大多数已得到实际应用。另一种值得注意的应用是飞机前视屏中的全息合成器，类似的系统最近已用于汽车^[5]。这种合成器将帮助安全驾驶。但制作全息图的材料将是问题，因为它必须是厚全息图以选取窄波段，全息图还要寿命长，因为它将贴到前面的窗玻璃上，直接承受阳光强烈照射。

5.2 干涉术

由于探测器和计算机的发展，新近的干涉仪采用了各种自动条纹分析技术。而过去的干

涉都采用观察黑白相间条纹形态去分析干涉图,但对于这些条纹强度分布信息却几乎没有利用。采用摄像管和计算机产生了一种新技术,连续选取几个干涉图,其参考光束与测量光束之间的位相差逐个改变一个恒定量。通过像探测器求得各干涉图的强度分布,然后送入计算机进行数字分析给出最终结果^[6]。这种方法全用干涉图上所有采样点的强度分布,测量精度高,例如可达 $\lambda/100$,这就是相移干涉术,近期大多的干涉仪表都采用这种方法。

这种相移干涉术需逐一改变测量光束与参考光束之间的位相差,这通常是由一种能改变参考光和测量光束之间位相差的机构相实现。一种替代的方法是改变光源波长,这种方法不需要任何机械移动,激光二极管对此方法很适用,因为它们易于操作并且价格低廉^[7]。通常是由改变激光器的注入电流来实现输出波长改变的,但由于输出波长和注入电流之间的非线性,使得难于精确设定位相。有人提出一种新方法用计算机迭代经数字计算获得干涉图的位相分布和位相改变量^[8]。利用这种技术,很易建造干涉仪,只要相移机构完善精细,结果将等同或优于传统干涉仪。

近代干涉仪不仅包括光学系统而且还有计算机系统,以分析干涉图。在这种趋势下,新的相移机构和计算机起着重要作用,这将改变干涉仪的概念,它不再只是光学系统,而是复合系统。计算机计算各种参量以评价样品,例如像差系数,形状的 RMS 误差,还有系统的点扩散函数和 OTF。

5.3 光计算

光计算是工程光学和信息学中的全新课题。最近,电子芯片的高度集成带来了 I/O 线的密集分布,以致产生更高的线间电容和电感,这就使信号处理的最大速率或频率受到限制。计算机中的信息传递靠的是电流,随之而来的热噪音就成为问题。期望光计算能给出解决这些困难的办法。光学有可能从三个方面对信息处理做出贡献。

第一种是经典光学信息处理技术的扩展与进一步发展。事实上在五十年代至七十年代,许多类型的相干与非相干光学系统^[9]都曾被研究用于信息处理的目的。这些系统中的处理技术都是所谓的并行处理技术,这仍是目前处理像的唯一方法。然而,这是一种模拟运算,不可避免地有误差、功能有限、灵活性小,与计算机的发展相比,前景显得黯淡无光。

第二种可能性是光学互连^[10]。这是光通信技术在计算机中的应用。计算机中信号传递将由激光来实现。在光通信中,光纤是传递载有信息的光的主要媒介。但在光计算中,利用自由空间的光传递将是有好处的。芯片间以激光束连接代替电路连接来进行信号传递,这使计算机中信号传递变得更简单、容易了。不用忧虑电子线路中的电容电感和噪音的影响。全息光学元件、光波导、光开关和主动光学元件都将为实现这种系统提供有力支持。

第三种是利用光学技术和元件创造全新结构的计算机。也许,通用计算机结构扩展到光计算中,将具有十分有限的性能,并不令人振奋,但利用光学系统完全并行处理和空间传递特性,一种全新系统可能创造出来。事实上,关于这一点已有很多建议,但没人能说清前景是已经出现还是没有。

光计算的关键部件之一是空间光调制器 (SLM)。近几十年来,各种各样的 SLM 已被提出来,但大多数都只是实验装置,离实际应用还很远。最近由于电子学市场,诸如袖珍 TV、TV 投影仪和 Laptop 计算机等对于液晶 TV 屏的需求,使这方面的工作取得很大进展。其中一些已经可以用来作为光计算和光电系统中的 SLM。这种情况刺激了其它类型 SLM 的研制,使光计算的未来可能性变得更有指望。

参 考 文 献

- [1] J. Tsujiuchi, "Development of automatic hologram synthesizer for medical use, I. General description", *Practical Holography VI*, S. A. Benton, Editor, Proc. SPIE, 1667, 86—89, 1992. M. Suzuki and T. Saito; "Development of automatic hologram synthesizer for medical use, II. Hologram synthesizing machine and viewer", *ibid.*, 90—97, 1992. T. Yamamoto, T. Misaki and T. Kato; "Development of automatic hologram synthesizer for medical use, III. Image processing for original medical images", *ibid.*, 98—103, 1992. K. Kasazumi, M. Kato, M. Uno, I. Kobayashi, K. Adachi, T. Ohtani and K. Kanai; "Development of automatic hologram synthesizer for medical use, IV. Liquid crystal spatial light modulator", *ibid.*, 104—109, (1992).
- [2] M. Yamaguchi, N. Ohyama and T. Honda, "Holographic three-dimensional printer: New method", *Appl. Opt.*, 31, 217—222, (1992)
- [3] S. A. Benton, "Experiments in Holographic Video Imaging", *Holography*, P. Greguss and T. H. Jeong, Editors, SPIE Institute for Advanced Optical Technologies, IS 8, 247—267, (1990).
- [4] N. Hashimoto, K. Hoshino and S. Morokawa, "Improved real-time holography system with LCDs", *Practical Holography VI*, S. A. Benton, Editor, Proc. SPIE, 1667, 2—7, 1992. K. Sato, K. Higuchi, H. Katsuma; "Holographic television by liquid crystal device", *ibid.*, 19—31, (1992)
- [5] R. E. Evans, A. P. Ramsbottom and D. W. Sheel, "Head-up display in motor cars", *Proc. of 2nd International Conference on Holographic Systems. Components and Applications*, IEE Conf. Pub. No. 311, 56—61, (1989)
- [6] J. H. Bruning, "Fringe scanning interferometers", *Optical Shop Testing*, D. Malacara, Editor, John Wiley and Sons, New York, 409—437, (1978)
- [7] Y. Ishii, J. Chen and K. Murata, "Digital phase measuring interferometry with a tunable laser diode", *Opt. Letters*, 12, 233—235, (1987)
- [8] K. Okada, A. Sato and J. Tsujiuchi, "Simultaneous calculation of phase distribution and scanning phase shift in phase shifting interferometer", *Opt. Commun.*, 84, 118—124, (1991)
- [9] G. O. Reynolds, J. H. DeVellis, G. B. Parrent, Jr. and B. J. Thompson, *The New Physical Optics Notebook: Tutorials in Fourier Optics*, SPIE, Bellingham, 387—473, (1989)
- [10] D. H. Hartman, "Digital high speed interconnects: a study of the optical alternative", *Opt. Eng.*, 25, 1086—1102, (1986)
- [11] H. K. Liu and T. H. Chao, "Liquid crystal television spatial light modulators", *Appl. Opt.*, 28, 4772—4780, (1989)

Recent Trends of Engineering Optics

Jumpei Tsujiuchi

*(Department of Image Science, Faculty of Engineering, Chiba University 133 Yayoi-cho,
Inage-ku, Chiba 263, Japan)*

Abstract

Optics played very important roles in physics in the past, and recently applications of optics or engineering optics have developed extensively because of an important change of circumstances around optics, i. e. advent of lasers, development of electronics and computers. This paper reviews recent trends of engineering optics by studying some achievements in engineering optics.

Key words: Holography, Interferometry, Optical computing