

光学系统计算技术的发展

THE DEVELOPMENT OF CALCULATING TECHNIQUE OF OPTICAL SYSTEM

陈晃明

一、历史的回顾

光学系统计算技术的发展已有 300 年的历史。早在 1611 年,著名的天文学家开普勒在他的《屈光学》一书中,首先总结出来有关透镜成象的理论问题。他的这部著作是近代光学仪器的理论基石。16 世纪末叶到 17 世纪初期是第一批光学仪器(照相和放映机、望远镜、显微镜)的发明时期。该时期的主要任务是,找出光学系统所造成的象的位置和大小,求出透镜和反射镜的焦距。

在最早的一批光学仪器中,人们首先认识到作为物镜的简单透镜存在色差,它给成象质量带来了严重的缺陷。有关消色差的理论尚未形成,色差被看成是单透镜独有的象差,因为它掩盖了简单透镜的其他象差,例如系统轴上的球差。

牛顿对光学仪器理论的发展作出了极其重要的贡献。他发现了棱镜的色散现象,并以此为依据证明简单透镜不可能消除色差。但是,他错误地把这种不可能性推广到由两块或若干块透镜组成的系统。这就使牛顿只限于把球面反射镜或抛物面反射镜作为望远镜物镜。牛顿提出的确定物和象的位置和大小的关系式,即著名的“牛顿公式”,至今仍在应用。他提出“光线”的概念,同时推导出单个反射球面的球差公式,并指出确定细微象散光束焦点的方法,为近代“几何光学”理论奠定了基础。

惠更斯于 1678 年提出光的波动学说。这个学说

经过麦克斯威尔等人的进一步补充和完善,总结出一系列光和电磁波现象,发展成为现代的“波动光学”。它阐明了“几何光学”无法解释的许多问题,无疑对促进光学仪器的进一步发展具有重大的意义,特别是在光学工艺、光学测量和检验以及象质鉴定方面。

到了 17 世纪,斯涅尔观察到光经过两种不同介质的界面时发生折射的现象,提出光的折射定律。为了纪念他在光学史上这一不可磨灭的功绩,他的折射定律至今被称为“斯涅尔定律”。根据这一定律,可以从理论上分析各种单透镜所产生的单色象差,并找出消象差的途径。值得提到的是,数学家笛卡尔认为,要消除单透镜的球差,必须使用非球面。他用解析方法求出了非球面的方程式,即“笛卡尔卵形曲面”。他甚至还设计出了磨制非球面的专用机床。

18 世纪中叶,欧拉从理论上驳倒了牛顿关于不能消除由两块或若干块透镜组成的系统的色差的错误见解,适当地选择由冕玻璃和火石玻璃胶合或非胶合的双透镜物镜,成功地实现了消色差。这种物镜是现代光学望远镜和显微镜的主要构件。现代光学仪器理论进一步证实,在适当选择玻璃对时,双胶透镜具有三个自由度,即能够消除三种象差——色差、球差和彗差,或者在不消除彗差时,对于一定的人瞳位置消除象散。

根据记载,从 1836 年照相术发明时起,只经过

了4年,到1840年,远远超过当时技术水平的伯兹瓦尔照相物镜的研制成功,是光学系统计算技术发展史中的一项重大事件。这种物镜具有较大的相对孔径和较大的视场,满意地校正了色差以后,同时良好地校正了球差、彗差和象散。它的应用至今已达150年之久,是最佳的人像和风景镜头。伯兹瓦尔照相物镜是用解析法设计出来的,即采用通过光学系统各个表面的光路计算,然后求出系统象差变化的方法,来确定最佳透镜曲率半径的“尝试法”。

1844年,高斯提出了完整的理想光学系统理论,确定了组合光学系统的主平面、焦平面的基本概念。他的理论被称为“高斯光学”,是近代光学仪器理论宝库中的一个重要组成部分。

阿贝在光学仪器制造业中起了巨大的作用,他解决了一系列实际问题,例如用阿贝折射计可测量玻璃的折射率。他正确地估价制作新品种玻璃的意义。按照他提出的要求,享有世界盛名的肖特厂曾经制作出重冕玻璃和轻火石玻璃。在此基础上,光学玻璃品种日趋完善,实际上使一大批大孔径、大视场物镜的消象差条件得到了满足。

20世纪初期,摄影光学已经拥有形形色色的结构:台劳于1895年研制了三透镜消象散型物镜,盖格于1900年研制了视场达 135° 的“革别尔冈”式广角物镜,鲁多尔费于1902年研制了“天塞”式四透镜物镜。在这个时期,借助赛特的三级象差理论,还研究了一系列最简单的光学系统。赛特象差理论的实践意义在于研究光学系统的象差性质,指出校正象差的可能性。但是,这些研究并不能够满足实际设计光学系统的需要,因此,开始产生引入和修正三级象差理论的企图是很自然的。苏联斯留萨列夫根据三级象差理论对双胶物镜作了研究之后,在他的《光学系统计算方法》一书中,提出了计算高级象差影响的修正式。

1929年康拉德的《应用光学和光学设计》,系统地阐明了光学象差的概念,提出了各种计算几何象差的公式,被认为是光学系统计算技术的经典公式。

二、广角光学

从30年代起,苏联著名光学家米·米·鲁西诺夫教授在广角航空摄影测量方面,作出了突出的贡献。1959年9月,他作为第一批苏联专家应邀来华讲学,10月1日登上天安门参加了我国国庆十周年大典。他在我国半年多的讲学期间内,开设了“光学

系统外形尺寸计算”和“技术光学”两门课,指导了三个科研组。他是象差渐晕理论和特广角航空照相物镜的创始人。他的“鲁沙镜头系列”在苏联享有盛名,也为我国修建青藏公路进行航空摄影测量时所采用。他的理论强调系统类型的选择,对于光学系统计算具有决定性的意义。系统的类型决定了校正象差的可能性和一定的光学特性(相对孔径、视场、焦距和外形尺寸);同时还必须注意到,光学结构中所包含的透镜数目并不能确定光学系统的类型,例如,用三块透镜,可以组成一系列形形色色的用途不同的光学特性相异的光学系统。所有这些系统具有完全不同的性质和校正象差的可能性,这些性质和校正象差的可能性是不能够用三级象差理论来研究的。

过了整整30年,当中苏两国实现关系正常化以后,于1989年10月米·米·鲁西诺夫教授再一次来华讲学,介绍了他最近出版的专著《光学系统的组合》。他提出的“二级象差理论”不但在苏联,而且在我国光学界引起了极大的兴趣。这是打破常规在象差理论上的挑战,他以渐开线折射面为例作了说明。他所完成的卓有成效的工作,是对光学系统计算宝库的新贡献。

三、计算机给光学系统计算技术带来了革命

60年代初期,计算机给光学系统计算技术带来了革命。过去靠手工作业设计计算一个高质量的照相机镜头需要三个月或半年以上的时间,而今借助计算机设计周期可以缩短为十几个小时或更短的时间,并且在精度上得到保证,光学设计师已经从繁重的手工劳动中解放出来。随着计算机的换代更新,容量和速度不断提高,诸如包含非球面的高倍率、大数值孔径显微物镜,强光力和特广角照相和投影物镜,都能够轻而易举地设计出来。

在计算机上编制的自动设计、象质评价和绘图等多种功能的光学软件是70年代取得的最新成果,虽然从历次国际会议上发表的论文来看,各国光学家在所采取的自动设计方法上有着差别。80年代以来,这一工作发展为利用计算机建立数据库、玻璃库、标准化、专家系统和人工智能化,使光学系统计算技术进入一个崭新的阶段。

新的计算技术不但使光学仪器的产品质量获得提高,而且不断推出新产品。例如鱼眼镜头,这是

(下转第11页)

田轻烃和天然气。

炼油厂要提高原油加工深度，搞好综合利用，增加轻质油品和化工用油的产量。

2、要继续贯彻节约用油和压缩烧油的方针。

建议国务院指定有关部委抓紧制定有关保护油气资源和节约用油法规，颁发相应的考核标准和奖惩办法，指定专门机构负责监督执行。

积极开展多种煤基转化燃料代油（如油煤浆、水煤浆等）的试验研究工作，寻找节约烧油新途径。

3、要从宏观经济效益出发，制定石油进出口政策。

石油出口虽然可以换取外汇，但是石油并不是我国优势资源，石油不应作为我国出口的优势产品。石油出口的收益，不能单纯以换取多少外汇来衡量，应以这些原油出口或留在国内加工所产生的经济效益和社会效益进行综合比较后确定。根据对外开放，对内搞活的方针，原油也可以有进有出。我国地域辽阔，原油生产大部分分布在东北、沿海的炼油厂，在经济上有利的前提下，可以加工进口原油，替代进口油品和石油化工产品，也可以出口。

4、要从我国一次能源的综合平衡出发，研究用好1亿多吨石油的最优结构。

我国一次能源不足，加之使用不尽合理，已成为发展国民经济的制约因素。目前我国一次能源的生产结构，煤炭约占73%，石油和天然气约占

22%。能源的使用，只有从它本身的属性出发，量才使用，发挥特长，扬长避短，交替互补，才能物尽其用，取得宏观经济的最大效益。例如动力煤用于蒸汽机车，其热效率只有6~8%，如改用内燃机车，有效热效率可提高到23%左右，加上油的热值高，每吨油约可代煤6吨。而煤和石油作为电站锅炉燃料，由于热效率大体相当，每吨油只能代煤2吨。石油既是优质能源，又是宝贵的工业原料，用于加工制造各种内燃机油料、润滑油料及各种化工、化纤产品要比煤炭更为有效，因此从宏观上看，电站锅炉使用煤炭，内燃机油料和化工原料使用石油是合理的。

总之，当前石油工业老的主力油田已处于开发后期，维持稳产的代价和难度越来越大；西部地区的石油勘探形势不错，但受资金、技术、装备等诸多方面的影响，开发速度不可能很快。因此，原油产量在近期内难有大的增长。在这种情况下，研究如何用好当前生产的一亿多吨石油有更现实的意义。

建议由一个专门的、综合性的技术经济部门，利用投入产出模型，用数学规划进行优化，以国民收入最大为目标函数，考虑到资源、市场、投资、人才、进出口等约束条件，寻求最优模式，为计划部门提供多方案的信息，作为决策的参考。

本文作者童以豪（Tong Yihao）系中国能源研究会会员，高级工程师。

（上接第49页）

一种超特广角的照相或投影物镜，视场角达到180°或大于180°最大的可达270°。它首先被采用放映球幕电影，这是继宽银幕电影以后，电影技术中的一大突破，使观众增加了立体感。鱼镜头头和电子显示系统配合，构成鱼镜头头天象仪，星云变换由计算机程序控制，其放映效果不比传统的哑铃式天象仪逊色。鱼镜头头还在水下电视、海上模拟、管道检测方面获得了广泛的应用。

四、结 论

光学系统计算技术发展的历史表明，许许多多的光学先行者所培植的光学仪器之树已经开花结果。不难看到，这些鲜花美果离不开树的根基——即他们曾经建立起来的，至今仍然行之有效的光学

仪器理论。例如，前面提到的双胶物镜在适当选择玻璃组合的条件下，可以消除球差、色差和彗差等三种象差，改变入瞳位置时可以消除象散的理论，是不能够利用计算机的快速运算加以否定的。计算机只有遵循光学仪器理论的基本原理求解方能获得圆满成功。又如，设计超特广角鱼镜头头时，仍然离不开斯涅尔定律和米·米·鲁西诺夫的象差渐晕理论。滥用计算机只会导致败坏理论的威信，并且是徒劳的。充分利用计算机的高速度、高精度和大容量，同时结合光学仪器理论的基本原理，研制具有人工智能的新型多功能光学应用软件，是现代光学仪器工作者所追求的目标。

本文作者陈晃明（Chen Huangming）系北京理工大学工程光学系教授。