

DOI: 10.3969/j.issn.1672-8874.2012.03.033

## 应用光学实验教学体系的构建

王睿, 程湘爱, 宁禹, 王泽锋, 王红岩

(国防科学技术大学 光电科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

**[摘要]** 应用光学是光学工程重要的技术基础,也是一门应用性极强的课程。科学设置与课程配套的实验教学环节是充分调动学员学习兴趣、牢固掌握应用光学基础知识和技能的关键环节。在调研分析国内外应用光学实验教学现状的基础上,结合自身的教学体会和本单位的实际情况,对如何科学地设置应用光学实验环节的教学体系进行了系统的研究,并提出了构建设想。

**[关键词]** 光电专业;应用光学;实验;教学体系和教学内容

**[中图分类号]** G642.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8874(2012)03-0104-05

### The Exploration of the Establishment of Applied Optics Experimental Teaching System

WANG Rui, CHENG Xiang-ai, NING Yu, WANG Ze-feng, WANG Hong-yan

(College of optoelectronic Science and Engineering, National university of defense technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Applied optics is opto-engineering technical foundation. Its practicality is extremely strong. Setting up experiments scientifically can inspire the students' interest to learn and make their mastery of knowledge better. In the light of the domestic and overseas experimental teaching actuality of applied optics, and our teaching experience and the status quo. We research systemetically how to establish scientifically applied optics experimental teaching system and put forward our suggestions.

**Key words:** opto-electric; applied optics; experiment; system and content of teaching

应用光学是光学工程重要的技术基础,也是我院光电专业本科学员的专业必修课,对其知识的掌握程度对今后学员解决相关科研及工程技术问题有着不可低估的作用。我们知道,光是一种重要的自然现象,自人类诞生之日,它就在人类生活和社会实践中发挥着不可替代的作用,使我们看到了客观世界中斑驳陆离、瞬息万变的景象,使我们感受到温暖,使大地万物茁壮成长等等,所以,光学也和天文学、几何学、力学一样,是一门最早发展起来的学科。<sup>[1]</sup>应用光学是光学的重要分支,是为设计各种光学仪器而发展起来的专门学科,因此,它与我们的日常生活、生产、军事等紧密相联,是一门应用性极强的课程,这也是该课程的突出特点。同时,在教学实践中,我们还发现应用光学课程具有两个明显的教学特点:一是符号、公式繁多。随着学习知识的增多,遇到的公式和符号也会越来越多,容易造成混乱。二是概念多。易遗忘和混淆。因此,除了加强理论上的比较学习外,通过实践解决应用问题的过程来加深对知识的理解和印象,不失一种非常有效的学习方法。针对这些特点,我们认为,增设应用光学实验教学环节,科学系统地设置实验教学体系和内容是有效提高应用光学学习效果,激发学员学习兴趣和创造力的重要途径。

### 一、应用光学课程实验教学现状分析

目前,国内外知名大学都已认识到实践教学对知识掌握的重要性,在应用光学相关课程中都安排有实践环节,同时加强课程实验教学,但国内光学实验的设置普遍偏重物理光学,与光电专业本科教学内容相关的应用光学类实验偏少,系统性偏弱,课时偏少,且每所大学因定位不同对相关内容设置的侧重点也有所不同。如浙江大学国家级精品课程《应用光学》,课程设置包含4个课程实验(17学时)和光学系统CAD设计等实践环节;天津大学国家级精品课程《工程光学》(含《应用光学》和《物理光学》),《应用光学》课程实验仅4学时。国外应用光学实验课程设置较多,课时充足,且教学内容设置的梯次性、系统性和实用性均好,但有些内容在国内现有条件下还较难实现。如亚利桑那大学,其光科学学院开设了20多门光学相关课程,涵盖了从经典光学理论到前沿光学新技术应用的众多领域,由浅及深,门类齐全,同时还依托毗邻的光学产业,注重培养学生把理论知识转化为生产力的能力。其中,本科阶段开设的《Geometrical & Instrumental Optics》是光学专业的必修课程,与国内《应用光学》相对应,分四个学期讲授,内容丰富、分类详细,从如何清洁光学元件等基

**[收稿日期]** 2012-07-02

**[作者简介]** 王睿(1976-),女,吉林通化人,国防科学技术大学光电科学与工程学院副教授,博士,硕士生导师。

础知识讲到基本光学原理、理想光学系统、光学材料特性、光学系统中的光束限制、望远镜成像系统、照相机等光学仪器、像差测量计算等等，旨在使学生掌握广泛而深厚光学基础知识和基本应用；《Fundamentals of Applied Optics Laboratory》和《Practical Optics》被列为研究生课程，前者讲授光学系统、高斯光学、像差理论、光源、探测技术和光学工程技术等内容，指导学生搭建光学实验平台和使用基本测量实验设备和技术；实验验证应用光学、几何光学和辐射度量学的基本原理。后者以科研实践为主体内容，从日常生活和科研中常见的光学仪器入手，讲授基础光学知识是如何被实际运用，按照内容深浅先后分为三部分在三个学期开设，并组织学生到周边的光学企业参观学习，鼓励学生组建科研团队与企业合作开展光学技术应用研究，体验采用商用光学软件、遵照光学行业标准完成研究任务等。<sup>[2]</sup>

目前，我院《应用光学》课程教学仍以课堂讲授为主，其内容涵盖几何光学基本原理、光学系统、辐射/光度学到像差及像质评价等，但并没有系统地设置相关的实验教学内容；与课程内容相关的实验设置偏少，且仅有的实验内容安排在《光电技术实验》课程中在大四开设，其开设时间与《应用光学》课程教学间隔近1年，学员在做相关实验时，对已学的应用光学知识大都遗忘，教学效果并不令人满意。今年春季学期，我院新增开《应用光学综合设计》课程，分软件设计和实验测量两个环节，以提高学员综合运用应用光学知识、光学设计和解决相关工程问题的能力，通过教学实践，发现学员学习兴趣和热情极高，学员普遍反映收获很大，但同时我们也发现了三个主要问题：一是与《应用光

学》课程教学间隔偏长，约1个学期，学员对相关知识大都遗忘；二是课程安排在春季学期末，正值考试高峰期，学员普遍反映有兴趣、有热情，但时间不够；三是40学时的课时偏少，需要补充相关知识和实践的时间不足。

鉴于这些，我们结合我院的培养目标和实际情况，对应用光学实验环节的教学体系进行了系统思考和研究，并提出了构建设想。希望通过这些实验，使我院本科学员能系统地掌握应用光学的基础知识和技能，能有效提升独立解决相关工程实际问题的能力，同时激发学员的学习兴趣和创造力，为快速适应任职单位需要打下坚实的基础。

## 二、实验教学体系的构建方法

在《应用光学》理论讲授外，同步增设实验教学环节，其目的主要是激发学员的学习兴趣和创造力，使所学理论能与实际相结合；加强对应用光学核心基础知识的理解和综合运用能力的培养；使学员掌握基本的光学技能、基本光学测量仪器的使用方法和技术；提高学员光学系统的设计和解决相关工程问题的能力。根据课程的特点和定位，我们确定了以下构建方法：

### （一）提炼核心训练点，确定实验教学内容

这是构建实验内容的核心和前提，核心训练点的选择主要包括五个方面：核心基础知识点、知识理解的重点和难点、常用的基本概念、常遇的基本问题、常用的基本技能。对于核心基础知识点，不同课程选择的线索是不同的，在我们的课程中，我们以构成光学元件为线索展开，由元件到系统构建再到系统评价，提炼核心基础知识，表1是我们提炼的应用光学的核心训练点。

表1 应用光学的核心训练点

类别	具体知识点	
核心基础知识	基本光学元件	透镜：单透镜（厚、薄、凹、凸）、组合透镜
		平面镜和棱镜（多种常见的棱镜）
		平行玻璃板（光学玻璃）
		滤光片的作用和工作原理
		辅助光学元件：场镜，光锥，浸没透镜，光阑
	基本光学结构	望远镜、显微镜、照相机和投影仪
	基本问题	像差及消像差、辐射度学和色度学
知识理解的重点和难点	重点	理想光学系统的成像性质及物像关系的计算
		焦面/点、主面/点、节面/点的成像性质
		常用光学元件的光线传播规律及功能
		典型辅助光学系统的成像性质
		显微镜、望远镜、照相机和投影仪的设计原理、功能及主要性能参数
		平面镜和棱镜系统成像和转动方向的判断
		视场光阑和孔径光阑含义及位置的确定
		光学系统色彩的匹配
		光学系统像面位置光亮度 and 光照度的计算
		像差的概念理解与消像差
		光学系统成像质量的评价方法、评价指标及其内涵
		光学系统外形尺寸的计算与设计

续表1:

知识理解的重点和难点	难点	节面/点的成像性质
		组合光学系统成像性质的计算
		物像空间不变式
		人眼的分辨率和测量仪器的对准方式
		眼睛的缺陷和目视光学系统的视度调节
		空间深度感觉和双眼立体视觉
		屋脊和屋脊棱镜的成像性质
		棱镜转动定理的理解与应用
		远心光路及场镜的性质
		视场光阑和孔径光阑位置的确定
		辐强度、辐亮度的概念理解与计算
		像差的概念理解与消像差
常用基本技能	(1) 光源、光学平台、光学导轨、光学夹持器和光学调节架等常用光学实验仪器的使用	
	(2) 熟悉光学镜片的常用清洁工具,并掌握其清洁方法	
	(3) 常用光学元件的使用	
	(4) 透镜及光具组焦距和基点的测定	
	(5) 光学系统的搭建与调节	
	(6) 望远镜、显微镜、照相机和投影仪的使用	
	(7) 光谱仪的使用	
	(8) 阿贝折射计的使用	
	(9) 激光的扩束和准直	
	(10) 成像光学系统像差的检测	
常遇的基本问题和基本概念	常遇的基本问题	涉及的常见基本概念和理论
	光线在介质中的传播	反射和折射定律、斯涅尔定律、平行光、非/球面波
	光具组的使用	基点、基面、焦点、焦距、主点、节点
	如何设计光学系统	视场、光瞳、光阑、远心光路、分辨率、放大率
	像差及评价	6种像差、消像差、星点检测、分辨率检测
	光学系统能量传播	辐/光通量、辐/光照度、辐射/光亮度
	色彩的混合	颜色混合定理
	照相机	分辨率、景深、焦深、像素
光学系统与人眼/光电探测器配合	视角、人眼分辨率、视度调节、明视距离	

#### (二) 根据课程应用特点,确定能力训练形式

学习《应用光学》的最终目的是能进行光学系统设计,使设计的系统达到某种应用目的,因此,光学系统的设计能力就体现了学员对应用光学知识的综合运用能力,增设光学系统设计的实践内容自然是综合运用能力训练的必要环节,其训练形式选用实际必用的能力形式——大型光学软件应用设计,同时辅以综合实验。

#### (三) 紧密结合实际应用,精选实验依托系统

精选3-4种日常生活最为常用、军事经典应用或体现科技前沿的典型光电系统,以此为依托,将核心训练点贯穿其中,体现知识的应用性、综合性与趣味性。

#### (四) 把握知识的系统性,科学安排教学环节

注重与其它相关专业课程内容的衔接,与光学系统设计相关的必要知识做适当的补充,保证知识的整体性;区分知识掌握的梯次性,以先单元后系统、先基础后综合为

顺序,以简单演示、复杂操作为原则,科学安排实验的内容、顺序和授课形式。

### 三、实验教学体系的构建

根据学院的人才培养目标<sup>[3]</sup>,结合上述构建方法与原则,我们提出了以下的构建设想,详见表2。实验教学内容的设置以构成光学系统的基本元件、基本结构和基本问题为线索展开,将核心训练点和综合运用能力的训练贯穿其中。从表2可以看到,实验内容很多,想在有限课程学时内通过学员实际操作完成所有内容比较困难,而且效果不一定好。为了兼顾课时和教学效果,我们将学习时间分为课上和课下,课上时间采用分级教学,以简单演示、复杂操作为原则安排授课形式;课下时间学员可根据自己的时间和学习情况,在开放实验室内自行操作,具体安排如下:

(1) 对于基础知识(表2中实验1-3),拟在应用光

学课堂教学中在讲授相关内容时进行相关的实验内容,采取课堂演示和播放视频录像等方式,学员可在课下实验室开放时间进行实际操作。

(2) 对于与基本结构、基本问题相关的实验内容(表2中实验4-9),拟在相关课程内容讲授完毕后,安排学员进行实际操作,共计划16学时,可安排4个上午的时间完成,实验4、5、7,实验6,实验8,实验9各占4个学时,其它时间实验室开放,学员可继续进行实验体会与摸索。考核形式为实验操作和实验报告。

(3) 实验10安排在课程教学结束后开设,以《应用光学综合设计》课程的身份出现,目前我们正以这种方式开

展教学,现行40学时,建议60学时,考核形式为软件设计报告、实验操作和答辩。对于学有余力的学员,我们也鼓励他们充分利用实验室条件开展自主设计性实验,实验室开放时间均可进行,同时根据学员需求选配辅导老师。

以上要求学员动手操作的课内实验成绩占应用光学课程总成绩的30%。另外,我们建议《光电技术实验》课程取消与应用光学相关的基础实验内容,该部分内容移到应用光学课程教学中;《应用光学综合设计》建议在大三春季学期开学前三周集中开设;《光电技术》安排在《应用光学》课程结束后开设。

表2 应用光学实验环节教学体系和内容的构建设想

序号		实验名称	选设依据	实验目的	实验内容
1	基本元件	透镜实验	透镜是构成光学系统不可缺少的光学部件之一,焦距、基点(节点、主点)是描述和研究光学系统的重要参数	(1)研究透镜及组合透镜的基本光学特性 (2)掌握焦距、基点(节点、主点)的常用测量方法和光学特性 (3)光谱仪的使用	(1)基本光学特性实验 (2)折射定律、反射定律 (3)光学平台、光学导轨、光学调节架等常用光学实验仪器的使用 (4)焦距和基点的测量 (5)多种光源光谱特性的测量
2		棱镜实验	棱镜以其特有的光学特性,成为光学系统另一重要的光学部件,对其成像特性和使用方法的理解决至关重要	(1)研究典型棱镜(三角棱镜、五角棱镜、靴形棱镜、屋脊棱镜)的光学特性 (2)加深对棱镜成像规律、转动定理、展开原理的理解 (3)掌握与透镜配合使用的方法	(1)折射率的测量 (2)棱镜的展开原理(平行玻璃板) (3)棱镜与透镜的配合使用
3		辅助光学系统	在光电系统中,往往使用辅助光学系统减小系统尺寸,提高信噪比等	(1)掌握常用辅助光学系统的功能、光学特性及使用方法	(1)场镜、光锥、浸没透镜的光学特性 (2)各种光阑的光学特性
4		人眼特性实验	在日常生活中,目视光学系统最为常用,其设计与人眼特性密不可分	(1)了解人眼的光学特性 (2)加深对描述人眼特性关键参数含义的理解	(1)人眼分辨率 (2)立体视觉特性
5	基本结构	望远镜和显微镜实验	望远镜和显微镜是应用非常广泛的两种典型光学仪器,其结构设计思想是进行其它复杂光学系统设计的核心基础	(1)深刻理解望远镜和显微镜的设计思想和基本参数内涵 (2)学会利用已有光学器件搭建出两类光学系统 (3)加深对光学系统光阑、视场、光瞳和分辨率的理解 (4)掌握该类目视光学系统与人眼/光电探测器配合的使用方法	(1)两大光学系统的设计原理和基本结构 (2)远心光路 (3)人眼/光电探测器与光学仪器的配合
6		投影仪与照相机实验	投影仪和照相机是大家熟知、日常应用最广泛的两类典型光学器材	(1)掌握其设计原理和特点 (2)了解核心性能指标及使用方法	(1)投影仪和照明系统的设计原理和基本结构 (2)照相机的设计原理;光圈、景深、焦深以及主点和节面的测量

续表2:

7	基本问题	辐射度学	它是光学系统能量设计的必备基础	(1) 增强对辐照度、辐亮度等基本概念的理解	与四大系统融为一体
8		像差	任何一个实际光学系统都不可能理想成像,因此,像差是光学系统设计和成像质量评价的重要指标。对其特性的理解是光学系统设计的前提和基础	(1) 增强对像差的理解 (2) 了解像差的评价方法 (3) 了解消像差的常见方法	(1) 观察像差 (2) 像差的测量与评价 (3) 如何消像差
9		色彩混和实验	颜色混合定律是色度学的基本原理,也是彩色光学相机数据处理的基础,在日常生活和工作中广泛应用	(1) 加深对颜色混和定律的理解 (2) 熟悉其运用特点	(1) 色度学基本原理
<p>通过上述实验,学生对构成光学系统的基本部件(透镜、棱镜、辅助光学系统)、基本结构(望远镜、显微镜、照相机和投影仪)、基本问题(像差、辐射度学、色度学)有了整体、实际的认识和理解,学到了一些基本的实验方法(如焦距、基点和折射率的测量等)和技能。</p>					
10	综合运用	综合设计 <sup>[4]</sup>	在上述实验的基础上,要求学员运用应用光学基础知识、方法和技能,设计并构建出满足设计指标的光学系统,以培养学员独立分析、解决实际工程问题和综合运用知识的能力	(1) 加深对光学设计的理解 (2) 掌握典型光学系统的设计过程、构建方法、器件选择、像质评价及检测方法 (3) 学会使用 Zemax 设计光学系统	(1) 望远镜、显微镜设计与优化 (2) 照相机、投影仪的设计与优化(选开) (3) 激光准直与扩束的设计与优化(选开) (4) 其他有实际应用价值的相关题目

#### 四、结束语

本文在对应用光学课程内容系统研究的基础上,提炼出应用光学的核心训练点;并充分考虑课程的特点,提出四点实验教学体系的构建方法;同时结合课程定位、自身的教学实践以及学院的实际情况,提出我院应用光学实验教学体系的构建设想,以激发学员的学习兴趣和创造力,打牢学员的知识基础,提升学员解决相关综合问题的能力。通过本文的研究,理顺了应用光学实验环节的教学体系,明晰了实验教学内容、开设时间、开设形式和考核方式,为下一步应用光学实验教学改革指明了方向,同时对其他类似课程实验教学体系的构建也具有一定的参考价值。

#### [参考文献]

- [1] 赵凯华,钟锡华. 光学(上册)[M]. 北京:北京大学出版社,1984:1-8.
- [2] 宁禹,程湘爱,王睿,王泽锋. 借鉴先进经验推进我校《应用光学》课程建设[J]. 教育理论与教学研究,2011(8):48-50.
- [3] 本科课程标准(光电科学与工程学院·学科(技术)基础与专业课程部分)[Z]. 长沙:国防科学技术大学,2009:21-27.
- [4] 王睿,宁禹,胡浩军. 应用光学综合设计[Z]. 长沙:国防科学技术大学,2012:1-13.

(责任编辑:卢绍华)