

# 光学仪器进展

上海光学仪器研究所  
新天光学仪器研究所  
一九八二年

# 目 录

## 前 言

|                  |         |
|------------------|---------|
| 1. 光学仪器概述 .....  | ( 1 )   |
| 2. 物理光学仪器 .....  | ( 3 )   |
| 3. 光学计量仪器 .....  | ( 49 )  |
| 4. 显 微 镜 .....   | ( 73 )  |
| 5. 大地测量仪器 .....  | ( 95 )  |
| 6. 航测和遥感仪器 ..... | ( 126 ) |
| 7. 光刻技术和仪器 ..... | ( 133 ) |
| 8. 光学测试仪器 .....  | ( 145 ) |

# 前 言

现代科学发展的一个显著特点是纵横交叉,彼此渗透,边缘学科不断露头 and 进展迅速。光学领域也是如此,其发展方兴未艾,它不但作为瞄准、制导和侦察仪器在国防工业中有着重要的应用,而且是国家建设事业中必不可少的工具。七十年代以来,在激光技术,全息照相,信息处理、遥感技术、纤维光学、集成光学、光通讯、非线性光学、自适应光学、生理光学等新领域都取得了显著进展。同时光学还渗透到天文学、宇航、计标机、大规模集成电路制造以及环保事业等学科,它在现代技术中的重要性更是不言而喻了。所以光学仪器的先进与否,是衡量一个国家的四个现代化水平的标志之一,光学是一门引人注目的学科。

为了介绍现代工程光学的发展概况,纵观工程光学的进展历程,分析它的现状并予示今后的动态,这里分别对隶属于工程光学的八大类产品作了评述,书中还附有大量表格,汇集了国内外现阶段生产的各类仪器的性能数据。辅助文字部份,进步说明当前工程光学的发展状况。

本书旨在对工程光学的进展作一扼要的介绍,主要包括国内外发展概况,技术发展预测,国内外差距和建设。由于篇幅有限,不能对各项新技术、新产品、新工艺和新材料作深入浅出的介绍。如果读者要进一步了解所报导的内容,逕请与编者联系。

为便于读者的联系,兹将各章的编者介绍如下:

|            |            |     |
|------------|------------|-----|
| 1. 光学仪器概述  | 上海光学仪器研究所  | 陆汉民 |
| 2. 物理光学仪器  | 新天精密光学仪器公司 | 吴国安 |
| 3. 光学计量仪器  | 上海光学仪器研究所  | 祝绍箕 |
| 4. 显微镜     | 上海光学仪器研究所  | 陈祥祯 |
| 5. 大地测量仪器  | 浙江大学       | 杨国光 |
| 6. 航测遥感仪器  | 武汉测绘学院     | 刘葆樾 |
| 7. 光刻技术和仪器 | 浙江大学       | 袁君毅 |
| 8. 光学测试仪器  | 上海光学仪器研究所  | 钱振帮 |

本书由光学仪器研究所技术情报室承担编辑和订正工作,在编辑工作中得到各单位的领导和有关同志的大力支持,他们在百忙中抽空阅查文献资料和国内外产品样本,提供了大量有价值的技术数据和资料,在此一一致谢。

不容置疑,要对领域宽广,发展迅速的光学学科作一恰如其份的评述是困难的,也是编者水平所不及的,因此还有许多差错之处,恳请批评指正。

## 一、光学仪器概述

光学工业是仪器仪表工业中的重要组成部分,随着工农业和现代科学技术的不断发展,光学工业在国民经济中的地位和作用也越来越显得重要。光学仪器已普遍地被人们视为现代工业、现代农业、现代科学和现代国防的眼睛,是人类揭示微观和宏观世界的重要手段。事实也正是如此,世界上一切事物的信息。将有60%至70%是通过眼睛传输给大脑,然后再进行分析和处理的。所以眼睛是人自身的最理想的光学仪器。目前光学仪器已普遍渗透到各个领域,如资源勘探、地形测绘、地震预测、气象观察、宇航工程、交通运输、医疗卫生、工程建设、机械、文化教育、环境保护、公安、国防、各类产品质量控制和现代科学研究等。几乎所有部门都像人离不开眼睛一样地需要光学仪器。所以世界上许多工业发达的国家都十分重视光学工业的发展,并把它看作为科学技术高度密集的一个工业部门,国外一些大的光学仪器制造业还特别重视科研和新产品的发展,他们抓住那些有发展前途的新兴工业系统所需要的光学仪器和设备进行开发研究工作,如电子工业、遥感技术等。目前美国、西德、日本和英国在世界光学仪器产值中占绝对优势。这四个国家的光学仪器出口额佔世界光学仪器总出口额的76%,几乎垄断了国际市场。而美国除大量出口外,还从别国进口他们所需要的光学仪器,进口额大于出口额。国外随着激光、电子技术、计算机技术、光学信息处理等方面的发展,不断研制出许多新型的光学仪器供应市场。近几年来计算机在光学仪器中应用越来越广泛,发展十分显著。图象信息处理方面的仪器设备也已商品化。概括起来说,国外的光学仪器正向着高精度、高分辨、多功能、自动析测的方向迅速发展。

新中国成立后,在党和国家机关的正确领导下,光学工业经过二十多年的发展,已初步形成了种类比较齐全的工业系统。全国从事光学工业的职工人数,根据中国科学院付院长严济慈同志在中国光学学会成立大会开幕词中的估计数,大约有15万人之多。他们主要分佈在一机部(包括国家仪器仪表总局)、五机部、科学院和高等院校,其次分佈在二、三、四、六、七机部,轻工部、公安部、卫生部等。目前一机部和国家仪表总局业务归口的约有126个中小企业,3.6万名职工,其中科技人员占7%左右,生产200来个品种。而科学院系统约有一万多名职工,从事基础理论,新材料和新产品的研究。目前我国光学工业所需要的光学玻璃、光学晶体基本上可做到自给自足。计量光学仪器已满足我国机械工业和各地区计量室的需要。常规的军用光学仪器也能满足国际上的需要。在这些方面改变了过去完全依靠进口的局面。其他如显微镜、物理光学仪器、测绘仪器、照相机等产品在数量上、品种上和质量上也有很大的发展,并且还有少数产品出口。在这里特别值得一提的是显微镜通过1979年的全国评比会议以后发生了很大的变化,经过一年的努力已试制成功十多种新型的显微镜。结构新颖,造型美观、并有一定的独创性。改变了以往型号落后的面貌。总之我国光学工业是在前进、发展着。近几年来大型精密光学仪器:新元件、新材料也不断涌现。如激光干涉测长机、三坐标测量机、数字式光学分度头、光学传递函数测定仪、高精度显微密度计,大型投影仪、真空光量计、激光拉曼分光光度计、红外分光光度计、显微密度计、手术显微镜、大型卧金相显微镜、0.7秒光学经纬仪、激光测距仪、大型纠正仪、万能光具座、扫描电子显微镜,多光谱扫描仪、图形发生器、投影光刻机、2400条/毫米物理光栅、1000毫米长100条/毫米的计量光栅、

及零位光栅、红外光栅,双频激光器及各类高级镜头等。其中不少大型仪器已配上了电子计算机。以上所述说明了我国光学工业正向着世界现代先进水平的目标前进着。我们光学工业战线上的每个职工应为此而感到高兴。但是我们与外国先进水平相比,我们的差距还很大,问题也不小,主要表现在基础比较薄弱、制造工艺落后,管理方式处于小手工业管理办法、产品型号落后、特别是那些量大面广的产品基本上还处于国外50—60年代的水平,比较先进的高档的光学仪器品种方面的短缺较大,特别在物理光谱仪器和航测仪器方面的供需矛盾突出,如冶金工业中需要的40多种光学仪器中目前只能生产近30种,航测仪器的39种中只能生产9种,且在产量与质量还存在一定的问题。很多大型精密仪器还处在研制过程中或还未正式投入生产。跟不上国民经济和科学技术发展的需要。因而我国在进口设备中仪器仪表的进口数还占相当大的比例。以往光学仪器的进口占仪器仪表进口中65%左右,在1981年高教系统要求购买仪器设备的投标数中,光学仪器也佔40%左右,造成了大量外汇消耗,对国家建设和人民生活水平的提高带来了一定的影响,而且由于大量进口还打击了我国光学仪器制造发展,挫伤了广大科技人员的积极性和创造性。为了改变当前这种落后状态,我们的工业部门、制造单位的领导和广大职工都应该引起足够重视,明确和安排好主攻方向,各单位在发挥各自特长的基础上迅速联合起来,争取在最短的时期内把我国的光学工业搞上去,为早日实现“四化”建设作出应有的贡献。

下面就如何加快光学工业的发展谈谈初浅的见解。

### 1. 加强领导,统一指挥

我国已有一支15万人的光学队伍、相当的科技力量和科研、生产基地。在国际上也不渺小的一支队伍。但是受工业体制的影响,它分散在全国48个部委,各自经营,互未通气。再加上“四人帮”的干扰、破坏和我们自己工作上的缺点,我们的发展速度不如国外。为了迅速改变这个状况,充分发挥社会主义制度的优越性,把光学工业搞上去,建设加强领导,把中央机关所属单位和地方各局所属单位的发展规划、工作计划综合平衡、统一指挥。把各方面的力量组织起来、协调各单位的任务。国家仪器仪表总局的建立也正是为了加强领导,进行统一指挥而创造的必备条件。各基层单位都应珍惜这个条件、服从仪表总局的领导。在发挥各自优势力量上的基础上促进联合。合作搞科研、合作搞生产、相互促进,共同提高。在搞好本行业、本地区的联合基础上,以自愿为原则,注意发挥跨地区、跨行业搞联合的作用。西德奥普托公司与西门子电子公司他们为了各自的利益,也十分注意在技术上,配套方面进行合作,促进了他们电子工业和光学仪器的发展。我们是社会主义企业,就更应该在国家机关的领导下加强合作,只有这样,我们的光学工业才能尽快地发展,才能在较短的时间内赶上和超过国际水平,与国际上光学仪器制造商进行竞争中保持生存,促进发展。

### 2. 改革现有的体制结构 搞好专业化生产

实现四个现代化的目的是为了提 高生产效率,减轻劳动强度,创造出更多的社会物质财富,从而提高人民生活水平。目前在相当一部分企业中存在着各自为政,分兵把守、自成体系的状况。我们认为这种状况不仅浪费国家人力、财力和资源,而且也不利于提高生产效率和工作效率。西德、日本、美国等在生产光学工业方面除了少数几个大公司从事多品种综合生产外,多数是一些中小企业,人数在300—400人以下,但他们的专业性很强。就是大公司下面的生产企业也都有它自己特色的产品。因此在投资少,人员少的情况下能取得较高的生产效率。而且标准化、系列化,通用化方

面也搞得好。致使他们达到产品发展快,盈利高的目的。整机厂所需的器材和关键元件主要靠协作配套,甚至从国外购买。而不是搞大而全、小而全、万事不求人的那一套。目前我国在电视机生产方面已有成熟的搞专业化生产的经验。光学仪器行业中也同样生产着量大面广的产品(如生物显微镜、水准仪、经纬仪等)。因此有必要根据我国的现状和地区的特点对量大的产品组织专业化协作生产,以求减少消耗、降低成本、提高生产效率。对一些技术难度高、数量少的大型精密仪器可安排在研究所或企业实力较强的单位生产。前阶段虽已在几个大城市成立了专业公司,为组织专业化生产创造了初步的条件,但这还仅仅是个开始。在当前提倡择优发展,保护竞争,促进联合的情况下,更应该加强专业公司领导作用,把本系统中各企业的方向定正,并组织好体制的改革和企业的改造。使已有的专业公司在一、二年里真正具有独立战斗的能力和指挥的权力。当然,从长远的观点来说,如把全国光学工业的企业和单位都集中在一个技术经济体系下。那么这种经济结构的威力将是更加巨大。

### 3. 改革技术引进和产品进口政策

为了加速我国重点工业和科学技术的发展,适当引进一些技术或进口一些产品,解决国内一时的急需是有必要的,但技术引进、产品进口都应以促进我国自身工业生产和科学技术的发展为主要目标,要讲究经济效果,要防止前阶段由于盲目引进或进口造成国家经济上的损失和国家声誉降低。我们要合理地使用国家有限的外汇。为此建议把过去以满足使用而进口的仪器设备为主的方针改变为以促进生产为主的方针。换句话说进口少量的元器件或材料供生产部门使用,由他们来发展品种、扩大生产满足国内市场的需要。将来使用单位要进口的仪器设备,除与国计民生直接有关的、并且非进口不可的项目外,从今起凡是使用部门要引进和进口的项目都要经过全国统一的机构和有关制造部门的领导与技术专家审定,以防止某些使用单位盲目追求先进,不讲经济效益,任意挥霍国家外汇的现象产生。如果用户所需要的仪器制造单位虽有力量但未研制或虽已生产但受某些关键元器件质量不过关而未投入大量生产者,我们应迅速组织有关单位进行研制或提高质量。对一时质量过不了关的元器件由国家从原打算进口整机的外汇中抽出一部分来购买国外的元器件,供制造单位发展品种和提高产量。这样不仅同样能达到满足国内市场的需要,而且还能节省外汇和促进民族工业的发展。最近我们对各种不同仪器需要进口元器件所耗费的外汇与进口整机所耗费的外汇作了一个粗略的比较,通常在一比五到一比十左右,也就是说,从整机进口费中抽出百分之五到百分之十的外汇来购买元器件,由国内的制造厂生产整机,就能顶上一个进口仪器,可为国家节约90%左右的外汇。另一方面我们也不能因为进口而挫伤元器件制造厂的积极性,也应让元器件的质量很快地搞上去,在批量生产中元器件的还是应立足于国内。对已经进口的单位也应实行经济考核,要充分发挥仪器设备的作用,要限期为国家回收资金。据了解前阶段进口的光学仪器中有不少是没有充分利用,不是不会用,就是不会修。不是性能不好,就是干脆坏了。因此加强进口仪器的服务和维修工作也是十分必要事。

### 4. 加强科研力量,建立专业研究所

由于激光技术,信息处理、数据处理和计标技术等方面的迅速发展,光学工业需要研究解决许多新的技术问题,同时其他学科的发展也对光学工业提出了更高更复杂的要求,因此必须要有一支强大的科研队伍,进行应用技术研究和开展技术的研究。对光学仪器制造工业中所需的新材料、新

元件、新工艺、新技术和新产品进行深入的研究工作,才能很好地适应于大型精密仪器迅速发展的需要。国际上一些大公司为了保持他们的优势和在市场上的竞争能力,都建立了相应的研究机构,集中许多优秀的科技人员进行应用技术的研究和新产品的开发研究。我国科学院系统虽有几个研究所从事基础理论,激光技术等方面的研究,但在光学仪器方面长期以来一直没有一个独立的研究所。虽则中央和地方机关一直想建立这样的研究所,但始终没有下定最后的决心。另外生产厂与科研单位和高等学校的分工也应明确、各有侧重。高校和科学院的一些研究所应从事基础理论和探索性的研究,工业部门的研究所主要力量应放在应用技术和开发研究上,同时对行业中存在的共性技术难关和测试方法进行攻关,使科研成果达到实用化。而生产厂应尽快地利用科研成果发展新品种,增加产量,提高质量,降低成本上下功夫,也就是应加强企业管理、改革工艺、发展生产,满足国民经济建设的需要。但是由于在光学仪器制造行业至今没有建立一个独立的科研机构,使很多技术基础工作,元材料的开发、技术攻关等处于无人顾问的状态,现有的一些小型研究机构由于和工厂的分工不明,仍然使目前生产上存在的关键问题得不到解决。使我们的光学仪器造成能力始终处于低、中、档的水平和处于十分被动的局面。目前我国正处于国民经济的调整时期,从国内的需要和国际上生产光学仪器的情况来看,光学仪器仍是十分热门的产品,国外很多厂商来中国谈判,企图购买我国的产品进行贸易活动,而我们也可乘机进行出口,打开在国际市场上的销路。因此从各方面的因素分析,广大科技人员建议在光学仪器行业应迅速建立独立的科研机构,适应国民经济调整的需要。

### 5. 加强工艺研究

虽则我国在光学特种工艺的试验研究方面由于国家重视,在一些研究所和学校取得了较好的成绩(如光栅刻划技术和光学镀膜方面),但是在光学仪器制造中所遇到的很多新的工艺没有及时地开展试验研究,由于为数不少的单位对工艺的研究重视不够,只满足于一般的加工方法,所以在发展新产品中遇到的一些关键另部不易攻克,这是造成新产品不能迅速上马的主要原因之一。另外加工设备也比较陈旧,除少数单位有精密度较高的设备外,多数单位是采用低、中档精度的通用设备,专用设备很少,这样就不利于仪器精度的提高、质量的稳定和批量的扩大。因此加强工艺试验研究应放在企业的重要议事日程上来是时候了,否则将影响到企业的竞争能力和产品的出口。

### 6. 加速发展光学测试技术

上海光学仪器研究所测试中心站是国家仪器仪表总局(一机部系统)的光学测试研究中心和行业质量管理中心。历年来已为行业产品质量的提高和产品技术性能的测试等方面起了很大的作用,在全行业中享有一定的威信。当前正对行业中的测试难题如光栅测试,杂散光测试、象质评价、高精度角值、线值的测试等进行试验研究。但由于新技术和新产品的发展,目前的一些测试仪器和试验设备已陈旧了,技术力量也较薄弱,为了继续发挥这个老基地的作用,建议上级领导机关充实技术力量,在物力、财力上多加支持,适当进口一些国内没有的性能优良的测试仪器,充实扩大测试室和实验手段。为今后开展质量论记和发许可证创造条件。

### 7. 努力培养科技人员

光学是一门十分复杂的学科,它需要很多具有高度科学知识的人才参加研究和设计工作。近几年国际上光学信息处理、激光技术和计标机技术的蓬勃发展,使目前在职的科技人员的知识已深感

不能适应了。而新的大学生又来不及得到补充,特别在电子技术人员方面的问题更大,在大的光学仪器制造厂电子人员只佔技术人员总数的10%左右,而小厂就更少,甚至没有电子专业人员。因为过去高等院校培养大学生,在光学专业方面主要是培养光学设计,结构设计和加工工艺等方面的人才,没有估计到电子工业发展那么快,对光学仪器影响那么大,所以电子专业人员培养较少。为了改善这种状况,以满足当前大型精密仪器的发展需要,建议从二方面加强培养:(1)建议大专院校多设置些电子技术方面的专业,如数字显示技术、计算机、软件、控制技术、计算机与外部设备接口,图象处理等等,把培养出来的大学生补充到现有的研究所和工厂。(2)对在职的科技人员分批分期地进行轮训,扩大知识面或提高某一方面的专业知识。另外为了摸索我们自己发展光学工业的道路,建议组织本行业中的技术管理骨干到美国、西德、日本等一些光学工业比较发达的国家进行技术经济方面的考察与进修,了解他们的发展动向和学习技术经济管理方面的经济。

总之我们要很好地组织领导,充分发挥我国的有利条件,努力为国民经济建设事业提供先进的可靠的光学仪器,为加速祖国的“四化”建设作出更大的贡献。

## 二、物理光学仪器

物理光学仪器是利用物理光学原理(例如:光的色散、衍射、干涉、偏振和选择性的光谱吸收、反射和散射原理等),而建立起来的光学仪器,它已广泛地应用于农业、轻工业、制药业、食品工业、地质、冶金、机械、石油、化工等国民经济各部门,同时它已广泛地应用于物理学、化学、生物学、天文学、高能物理学、医学、各种空间科学和最近才发展起来的各种边缘科学、例如环境保护学、分子生物学以及各种仿生工程学等科学研究之中。物理光学仪器已成为我国实行农业、工业、国防和科学技术现代化而必不可少的检测手段和实验工具。因此发展物理光学仪器对我国社会主义建设的四个现代化将起着极其重要的作用。

物理光学仪器种类繁多、分类的方法也很不统一。有按工作原理分类的,有按应用范围和对对象分类的,也有按仪器结构分类的等等。根据我国仪器仪表工业管理和制造的历史情况和实际需要,采用按使用对象和工作范围的原则进行分类是比较合适的,也是目前采用比较多的一种分类方法。按照这个原则,物理光学仪器可分为四大类:

1. 发射光谱仪器;
2. 吸收光谱仪器;
3. 遥感光谱仪器;
4. 物理参数测定仪。

按波长或频率妥善整理的辐射称为光谱,所谓“妥善整理”与分光系统的工作原则直接有关系,对于经典的传统光谱仪器而言,“妥善整理”就是按波长或频率在空间排列好的辐射;对于新原理的调制光谱仪器而言,“妥善整理”就是按波长或频率或相应的调制频率由电子计算机从总的干涉图中一个一个地取出的辐射信号,前者是空间色散原理,后者是时间色散原理。总而言之,光谱是物质固有的有秩序的标志,是人类认识和了解它的基本信息,从这个意义上而言,光谱是物质的语言。光谱仪器是利用空间的或时间的色散原理而建立起来的光学仪器,它是物质语言光谱的分解和记录的工具,是物质语言光谱的翻译工具。

根据实用光谱学的分类,光谱按波长可分为:

- |                    |                                                |
|--------------------|------------------------------------------------|
| 1. 远紫外光谱区(真空紫外光谱区) | 10~2000埃( $\text{\AA}$ )                       |
| 2. 近紫外光谱区          | 2000~3600(或4000)埃( $\text{\AA}$ )              |
| 3. 可见光谱区           | 3600~7600埃( $\text{\AA}$ )                     |
| 4. 近红外光谱区          | 0.76~2.5微米(7600~25000 $\text{\AA}$ )           |
| 5. 中红外光谱区          | 2.5~50微米(25000~500000 $\text{\AA}$ )           |
| 6. 远红外光谱区          | 50~100微米(500000~10 <sup>6</sup> $\text{\AA}$ ) |

从光谱的形成而言,有发射光谱和吸收光谱之分。粒子(例如原子、分子、离子等)由原先已获得一定的能量,在运动过程中以一定的量值释放出去能量而形成光谱,这个光谱称为发射光谱。粒子由于吸收了其它物质的发射光谱而形成自己的吸收带或线,这就是该粒子的吸收光谱。因此,发射光谱仪器是把激发粒子光谱的光源作为研究分析的对象,而吸收光谱仪器是把激发光源作为照射研究分析对象(例如试样)的工具。因此,这二大类仪器在原理上和结构上是有很区别的。

遥感光谱仪器是利用测定和比较地物的辐射光谱,反射光谱以及它们的混合光谱而大面积地高速度地查清地物的存在区域和数量以及它们发展的阶段等,这是新发展起来的空技术的重要组成部分。

物理参数测定仪随着轻工业、农业和医疗事业的发展,应用愈来愈广泛,品种也愈来愈多,这类仪器一般结构比较简单,但其中有的测量精度是很高的,加工工艺是很复杂的。因此,过去在我国这类仪器的发展是缓慢的、是没有受到重视的,其实这是不对的。这类仪器对轻工业、农业、医疗事业和国际尖端工业有着直接的影响。目前,各种折射仪和单色仪等却是供不应求的。可以预料,随着我国四个现代化建设的发展,物理参数测定仪必定会得到应有的发展,它的应用范围一定会愈来愈广泛。我们不能再忽视这点情况了。

### 一、发射光谱仪器

发射光谱仪器主要是用来进行各种发射光谱分析和原子光谱学等有关的工业和科学研究之中。

发射光谱分析学已成为目前物质成份分析中的独立学科,並得到广泛的应用,它与化学分析法比较、有如下优点。

1. 分析灵敏度普遍比化学分析高。一般而言,发射光谱分析相对灵敏度可以达到0.1~10ppm,绝对灵敏度可以达到 $10^{-9}$ 克,甚至于 $10^{-11}$ 克,如果采取化学富集或物理浓缩,它的分析灵敏度还可以提高。分析灵敏度在某些工业或科学研究之中是具有十分重要意义的。例如,在半导体单晶硅中, $10^8$ — $10^9$ 个硅原子中只要有一个杂质原子的存在,其导电性将会发生变化;在原子能材料铀中如含有 $10^{-5}\%$ 的硼的存在,铀核的特性将产生明显的改变,甚至于不能维持连锁反应,等等。

2. 选择性好,发射光谱分析虽然存在着第三元素的干扰,但与化学方法比较,它的分析选择性是好的。特别是对于一些化学性质相近的元素,如铈和钼、锆和铪、铷和铯以及稀土元素之间,用一般化学分析方法是难于分别测定的,而光谱分析方法由于选择性好,就比较容易地进行各种元素的测定。光谱分析的实际经验证明,所谓第三元素的干扰,经过适当的试样处理和合理的操作规程,对于确定的试样和被测元素是完全可以克服的。

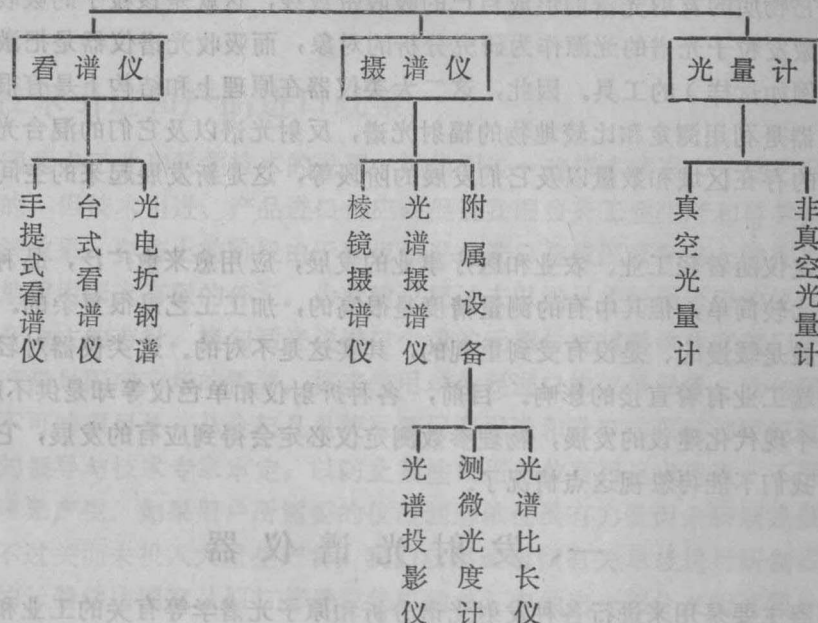
3. 消耗试样少,可以进行微量分析。一般情况下,有几毫克到数十毫克的试样就可以进行光谱全分析。如果采用激光显微光谱分析技术时,取样量可少至微克数量级。光谱分析实质上可以做到

无损分析。上述优点是化学分析方法所不可得到的。

4. 操作简便、分析速度快, 适应于高速化和自动化的需要, 例如在岩矿分析中, 可以同时几十种元素进行分析, 这对地质普查是非常重要的。冶金部门采用的光电直读式的光量计, 可以在炉前 1~2 分钟内同时分析几十种元素, 并给出比较精确的结果。光量计在国外对金属冶炼设备的大型化, 高速化和自动化的发展已起了极其重要的作用。

由于发射光谱分析方法在国内外都比较成熟, 因此这种仪器也得到了相应的发展和推广, 根据目前所应用的仪器, 发射光谱仪器可以分为三大类 (请参看下表)

## 发 射 光 谱 仪 器



**看谱仪** 自从1923年在英国首先采用看谱镜进行磨料分类以来, 已近六十年了, 在这近六十年中, 新的光谱分析方法和分析仪器得到了广泛而深入的发展, 曾两次严重地冲击过看谱仪器的生存和发展。但是, 由于看谱分析操作简便、仪器使用方便形象直观等原因, 它依然矗立在工业分析部门中, 广泛地应用于材料分类, 磨料分类和其它半定量或定量的光谱分析之中, 成为工业光谱分析中的不可缺少的组成部份。因此, 看谱不仅没有淘汰, 而且得到了新的发展。

看谱仪的主要发展方向是采用高效率的色散元件—光栅和实现光电化。近十几年来, 无论是手提式的或台式的看谱仪, 均已采用了复制的反射式衍射光栅, 其不但色散率大, 分辨率高, 而且可以缩小仪器的体积和减轻仪器的重量。近十年来, 新天精密光学仪器公司生产的34W型验钢镜、台式看谱镜是一种比较先进的携带式看谱仪。东德蔡司厂生产的工业看谱仪虽然仍是棱镜式的台式看谱仪, 但其使用和操作都比较方便。

为了克服人眼的主观性, 减轻眼睛的疲劳, 同时又保持看谱仪的基本优点, 新天精密光学仪器公司生产的51W型光电析钢仪实现了看谱仪的光电化。经过几年的使用考验, 它的性能是稳定的, 灵敏度是较高的, 同时对操作室没有恒温的要求。这种仪器对我国目前的实际情况是非常需要的, 是值得推广的。

**摄谱仪及其附属设备** 摄谱仪可以同时摄取物质的大量信息, 可以对多种元素进行同时分析, 三十年代到五十年代初期, 摄谱仪在包括光谱分析的应用光谱学中佔着绝对优势的地位。与看谱仪比较, 摄谱仪在分析精度和灵敏度方面也有显著的提高。因此, 摄谱仪得到了迅速的发展和推广。正如众所周知, 棱镜摄谱仪与光栅摄谱仪比较, 是存在着一系列的缺点。

由于光栅刻划技术的复杂性, 长期没有解决大量应用经济实惠的复制光栅, 棱镜摄谱仪首先得到了发展和推广, 三十年代它已基本形成了系列, 例如小型棱镜摄谱仪、中型棱镜 (玻璃的或石英的) 摄谱仪。五十年代初期, 苏联还生产了一种特大型棱镜摄谱仪。以后, 东德、苏联和我国分别生产了一种万能玻璃三棱镜摄谱仪, 当时, 这些棱镜摄谱仪曾在实际工作中起了重要的作用。

五十年代以后, 光栅刻划技术得到了提高, 复制光栅已逐步地实现了批量生产。同时光栅摄谱仪的理论, 特别是平面光栅摄谱仪的光学系统, 得到了完善, 因此, 光栅摄谱仪形成了系列, 并广泛地应用于光谱分析的实际工作之中。

真正批量生产的主要是中型和大型平面光栅摄谱仪 (请参看表 1)。凹面光栅摄谱仪虽然出现和发展得较早, 但由于其成象质量差和体积庞大, 始终没有超出光谱学的研究实验室, 在光谱分析的日常工作中没有得到推广。

目前, 我国生产的平面光栅摄谱仪无论在质量上或数量上均能满足国内的实际需要。进口这种仪器和它的附属设备已没有任何价值和必要 (参看表 1)

用摄谱仪所获得的仅仅是光谱图, 为了要得到物质成份和含量的数据, 必须要测定光谱线的波长和强度。测定波长的方法很多, 但它们都必须测定谱线之间距, 然后根据标定的已知谱线的波长换算被测谱线的波长。测定谱线间距的仪器, 我们称它为光谱比长仪或简称为比长仪。目前, 国内外所采用的比长仪有两种。一种是精度为0.01毫米的光谱比长仪, 另一种是精度为0.001毫米的阿贝比长仪。在实际工作中, 光谱比长仪应用较少, 也可以用其它测长仪代替。

测定谱线的黑度, 以及换算为强度, 都必须采用测微光度计。这种仪器实质上是一种透过率测定和换算的仪器。

为了观察光谱, 粗略地了解谱线的强度和识别谱线的波长, 在摄谱工作中还采用了一种放大倍数为20倍的专用投影仪, 我们习惯地称为光谱投影仪。

上述三种仪器, 再加上谱板显影, 定影和干燥用的设备, 构成为摄谱仪的附属设备, 其中测微光度计和光谱投影仪是光谱分析实际工作中不可缺少的设备。

**光量计** 光量计又称光电直读光谱仪, 前者为我国制造部门的习惯用词, 后者为我国应用部门的习惯用词, 其实质略有差别。严格地说光电直读光谱仪应该包括光电析钢仪, 即双通道的光电直读光谱仪。光量计是摄谱仪的光电化方案, 光电析钢仪是看谱仪的光电化方案。

光量计是1944年在美国首先应用于工业分析工作之中, 它的出现与光电子学技术的发展和摄谱仪的分析速度远远不能满足当时金属冶炼术新发展 (例如氧气炼钢等) 的要求是分不开的。五十年代开始, 光量计就在国外的大中型金属冶炼炉前分析工作得到了广泛的采用, 成为冶炼部门自动化中不可缺少的重要仪器之一。我国六十年代曾开始了光量计的研制工作, 但由于林彪和四人帮的干扰破坏, 直到七十年代才试制和生产了光量计。目前, 国内基本上是可以供应光量计的。表 2 中所载的是国内外的主要产品, 我国几家著名的生产单位都具有生产各种光量计的能力。

有色金属分析主要是在可见和近紫外光谱区, 因此普通的非真空光量计就能满足需要。钢铁工业中对碳、磷、硫的分析是很重要的, 然而这三种元素的灵敏谱线均在真空紫外光谱区 (C1657埃,

P1775埃和S1807埃)。由于这个原因,钢铁工业中用的光量计必须是真空,因为波长L1900埃的谱线会被空气所吸收。一般地说,真空度保持在 $10^{-3}$ 毫米水银柱时。这三种元素的灵敏线的吸收是可忽略不计的。真空光量计用的光源必须在惰性气体(一般采用氩气)的保护下工作和清洗电极头。

光量计绝大部分是采用凹面光栅成像系统,其主要原因是为了减少光能在反射中的损失,简化结构和缩小仪器的内部体积等。近十多年来,国内外的设计者们为了进一步减小仪器的体积和降低仪器对工作室的恒温要求,采用了高槽密度与曲率半径小的凹面光栅和内部恒温措施,例如美国甲雷、爱希公司的750型真空光量计和日本岛津的VE~IM真空光量计。目前,光量计的通道可达70~80道左右。国内外光量计的技术参数参见表2。

**激发光源** 发射光谱分析中被测元素必须借助于激发光源才能雾化并激发自己固有的光谱。因此,发射光谱分析的灵敏度和再现性在很大的程度上取决于激发光源的性能,特别是当光谱仪器本身已相当完善的目前情况下,改进和发展新型的激发光源已成为进一步完善和提高发射光谱仪器的主要途径。因此,目前国内外均在致力于研究新的激发光源。

在改进和发展以往的古老激发光源,例如火花、电弧和火焰等的基础上,出现了几种多变脉冲式激发光源。有频率400周的和500周的。增加频率的基本目的是增加单位时间内所产生的激发能量和同时不至于使电极热到影响工作的程度。采用脉冲式激发方式对割去电容放电曲线的尾端部分是有很大大好处的,因为这个尾部是促使谱线强度变化的主要原因。飞利浦公司生产的500周多变脉冲光源发生器就具有以上特点。因此,它不仅能力强,而且稳定性好,这种光源在国外有单独的商品出售。

在发射光谱分析工作中值得推广的新光源还有等离子体光源,辉光放电光源和喷射电极光源。这三种光源已逐步推广到各种摄谱仪工作之中。等离子体光源的温度高,灵敏度高,而且稳定性好,设备也不复杂。目前有三种等离子体:电感耦合高频的,电容耦合微波的和直流等离子体,对于光谱分析而言,其中以电感式等离子体为最适合。辉光放电光源是一种引人注目的新动向。它对分析高含量的物质带来了满意的效果,这是其它光源长期无法解决的问题,也是光谱分析长期受着化学分析和X—荧光光谱分析的冲击的致命弱点。辉光放电光源同时又能进行表面逐层分析,为材料保护层的研究提供了有力的手段。

喷射电极光源是一种新的放电形式,它能激发过去比较困难激发的铸铁(特别是灰铸铁)、轧钢或钢锭等材料。目前英国的兰克、希尔格公司生产这种光源。

最后必须强调一下众所周知的激光器也是一种高效率的激发光源。激光作为激发光源具有亮度强、方向性好、单色性好和偏振性强的优点。激光拯救了已几采被淘汰的传统的拉曼分光光度计,使它得到了新生。激光可使直径为几微米的照射面积的温度急速上升至一万度以上,此时任何难熔金属都会立刻气化而成蒸汽流。如果再用火花激发这些元素蒸汽,则可以进行微区难熔金属的光谱分析。这种方法灵敏程度高,可达 $10^{-11}$ 克,同时光谱的背号也很弱。另外,利用激光可使难熔金属气化形成原子云,吸收空心阴极灯源的光谱,进行原子吸收光谱分析。

## 二、吸收光谱仪器——分光光度计

吸收光谱法又称分光光度法,它是利用物质对光的选择性吸收的原理,进行物质的成份和含量的分析,即定性和定量的分析。吸收光谱仪器又称分光光度计,是实现这种光谱分析方法的手段。目前,它已广泛地应用于钢铁、有色金属、轻纺工业、食品工业、制药工业、农业、医疗事业,环

境保护和其它工业以及科学研究各个领域之中。

吸收光谱仪器与发射光谱仪器不同的主要部份是:吸收光谱仪器把光源当作照明试样的工具,发射光谱仪器把光源当作研究的对象。因此,吸收光谱仪器对单色仪的要求较低,对光度计系统则要求高。分光光度计的三个组成部份(光度计、单色仪和接收测量系统)的变型和发展,主要是取决于光度计的结构。随着工作光谱区的不同,单色仪、光度计和接收测量系统各有不同。所以,分光光度计可按波长不同进行分类。正如上面已指出的一样,光度计的结构对整个仪器结构 and 应用范围影响较大,所以分光光度计又可按光度方式即单光束和双光束分类,同时也可以按应用范围分类。目前在实际工作中均是采用以上三种方法的混合分类法,即把分光光度计分为:

1. 紫外可见分光光度计;
2. 红外分光光度计;
3. 原子吸收分光光度计;
4. 荧光分光光度计;
5. 拉曼分光光度计;
6. 干涉调制分光光度计;
7. 双波长分光光度计;
8. 光声光谱仪;

近三十年来,吸收光谱仪器比发射光谱仪器发展得快得多,其主要表现在两方面,一个方面是仪器的结构和性能改进速度快,对新技术敏感性特别强。从贝克曼公司的紫外可见分光光度计的发展历史就可以清楚地证明这一点。四十年代初期,贝克曼的分光光度计还是带着笨重的蓄电池和表头读数,五十年代这种仪器已光电化和自动化了,六十年代和七十年代这种仪器已高度自动化和采用了微处理机。另一方面,发展了许多新原理的分光光度计,六十年代出现的激光拉曼分光光度计,七十年代出现的双波长分光光度计和光声光谱仪等。目前,吸收光谱仪器的应用范围愈来愈大,它方兴未艾、前途很大,但目前,我国的分光光度计的研制和生产非常薄弱,产品品种极少,又不成系列,性能和自动化程度低,稳定性差,远远不能满足国内市场的需要,许多分光光度计仍在大量进口,从目前国际市场来看,分光光度计的产量占整个光谱仪器产量的60~70%左右。因此,建议国家把分光光度计的研制和生产放在其它光谱仪器生产的首位。

**紫外可见分光光度计** 这是发展得最早(1941年贝克曼公司制造的),变型最多和性能最稳定的产品,也是结构比较简单和应用技术比较成熟的产品。国内外各个厂家生产的品种均较多(参看表3)。

由于篇幅的限制,我们对这种仪器不能详细介绍,但是,必须指出两点:

1. 现代化的紫外可见分光光度计的主要特点是性能稳定和自动化程度高。许多产品已采用了微处理机,进行数据处理和操作控制,输出方式有自动记录式、数字显示和打字机输出等等。
2. 目前国内外生产此产品的厂家很多其中以美国的贝克曼和泊金、埃尔姆公司、英国的尤尼卡姆公司,日本的岛津和日立等公司的产品性能稳定,系列化强和自动化程度高。这些厂家是我们研制和生产分光光度计的主要学习对象。

**红外分光光度计** 红外分光光度计是应用于波长为2.5微米到一毫米的光谱区,一般地说,2.5~50微米称中红外光谱区,50微米到一毫米为远红外光谱区,而0.76到2.5微米的光谱区称近红外光谱区。目前的红外分光光度计主要是指中红外远红外光谱区用的仪器,根据习惯的叫法,大于

50微米的仪器称远红外分光光度计。

五十年代红外分光光度计就已形成了完善的系列,那时,多数产品是棱镜的、自动记录式的仪器,仪器的性能较差,自动化程度也低。但是,它的应用范围很广。它曾把传统的拉曼摄谱仪和分光光度计挤到一边去了,曾佔领了整个分子光谱分析和研究领域,成为光谱分析中的热门。近二十年来,红外分光光度计没有本质的改进,例如分辨率基本没有提高,主要是采用了光栅,扩大了工作光谱区,采用了电子技术的新成就,例如先是半导体电路、后是集成电路;先是电子计算机和后是微处理机等,大大地提高了红外分光光度计的技术性能和自动化程度,同时对操作方便也作了很多改进。随着仪器结构的改进,系列化程度的提高,元器件成本降低和生产批量增大,红外分光光度计的价格也愈来愈便宜,这为进一步普及红外分光光度计提供了经济条件。

目前国内外生产红外分光光度计的厂家不少,产品也较多(参看表4)。

我国的红外分光光度计发展也比较早(和日本差不多时间),1963年长春光机所就试制成功了高精度的双光束红外分光光度计,但是,我国始终没有很好地形成红外分光光度计的系列产品试制和生产的基地。历年来我国已进口的红外分光光度计的总数是可观的。为什么起步早而收效低,这是值得工业管理部门和企业单位领导深思的。

**原子吸收分光光度计** 原子吸收光谱分析方法的基本原理,早在光谱分析诞生的那一年(1860年)就由德国物理学家克希霍夫建立起来了。但是适用的原子吸收分光光度计由于为了克服基体对分析元素浓度的干扰,要求分辨率特别高而长期没有设计制造出来。直到1955年澳大利亚的物理学家沃尔什提出采用能发射出宽度很窄的谱线的空心阴极灯,实现了共振吸收,从而很顺利地克服了近一百年没有解决的设计问题,成功地建立了现代原子吸收分光光度计的设计理论。1961年出现了原子吸收分光光度计。1967年美国珀金、埃尔姆公司生产的原子吸收分光光度计已基本定型。经过十多年的发展,目前世界上有十几个国家生产了几十种不同型号的原子吸收分光光度计(参看表5)。根据不完全的统计1964年全世界有400台,1965年增加到800台。1969年增加到一万台,目前约有十万台左右,原子吸收分光光度计的产量增加得如此之快,说明它的生命力量是很强的,应用范围是很广的。

原子吸收分光光度计是在紫外可见分光光度计的基础上改建的,其主要区别是在于光度计部份,即采用了空心阴极灯源和增加了原子化系统。除这两部份以外,原子吸收分光光度计的发展和改进是与紫外可见分光光度计的发展和改进一致的。现在我们重点地简单介绍一下目前的发展情况。

空心阴极灯源一般采用单元素的,现在已发展采用多元素灯源,从而可以减少换源时间和麻烦。

原子化系统是原子吸收分光光度计改进的中心。目前,一般原子吸收分光光度计只是采用火焰雾化系统和氘灯扣除背景。为了提高原子化的温度增加灵敏度,可采用无火焰的石墨坩埚进行原子雾化,它的灵敏度可以提高一万倍。此时,利用氘灯扣背景显然是不行的。为此,国外已采用塞曼效应扣除背景的方法。塞曼效应扣除背景的方法在理论上看来是很理想的。

最后必须指出,随着磁光谱技术的发展,很可能出现一种多通道的原子吸收光量计。这种将出现的新型仪器是建在法拉第前方相干散射的原理之上的。

目前,双光束的仪器显示出许多优点,但随着磁光谱技术发展和应用,单光束仪器肯定会超过双光束的仪器,显得经济实惠。

国内的仪器生产的品种不成系列,自动化程度很低,必须大力加强。

**荧光分光光度计** 荧光分光光度法是利用光照射试样而产生反映物质特性的荧光光谱来进行定性和定量的光谱分析,荧光分光光度计是在紫外可见分光光度计的基础上建立起来的,他们之间的区别在于荧光分光光度计必须要有一个激发荧光的单色仪。因此,荧光分光光度计有两个单色仪,一个作激发荧光的单色光源用,另一个作荧光的分光用。

近数年来,曾一度认为前途不妙的荧光测定法取得了一定的进展,使荧光分析的灵敏度比一般分光光度法高2~3个数量级。目前,它已广泛地应用于医学、制药、岩矿、环境保护、石油化工、食品和农业等方面。

近年来,荧光分光光度计也有所改进。为了提高仪器的分辨率和减少杂散光,无论是激发单色仪或分光单色仪均采用了强光双单色仪系统。

国外产品品种较多(参看表6),但国内尚未生产。荧光分光光度计结构简单、制造方便,建议这个缺口必须迅速补起来。停止进口这类仪器。

**拉曼分光光度计** 拉曼散射是1928年印度物理学家拉曼和苏联光学家曼彻斯特与兰茨别克分别独立发现的。在世界上多数国家称它为拉曼散射,在苏联等国则称为联合散射。拉曼散射的发现为光谱工作者提供了一个利用紫外可见光谱区的仪器可以研究本来必须用红外光谱仪器才能分析研究的物质的振动光谱和旋转光谱。因此,这是实用光谱技术的一大进展。三十和四十年代拉曼光谱技术得到了很大的发展,但是后来遇到了谱线弱和被分析化合物的多样性的困难,特别是由于光线弱产生的谱线不强的困难,在五十年代几乎被红外分光光度计所淘汰。六十年代激光的出现又拯救了它,使它再度发展。到六十年代末期在美国已出现了激光拉曼分光光度计系列产品,七十年代世界各主要国家也分别生产了激光拉曼分光光度计。在国内已试制这种产品,但尚未批产。目前激光拉曼分光光度计主要是采用大功率的氩离子激光器和强光光栅单色仪。

**干涉调制分光光度计** 干涉调制分光光度计有两大类,一类是干涉调幅式,另一种是干涉调频式。后者是同传统的光谱仪器一样,建立在空间色散的原理上的,后者则完全是一种新原理的光谱仪器,它是建立在时间色散的原理上的。这两类光谱仪的主要共同优点是光强大,因为它们都是无狭缝的仪器,仪器的光强约大200~300倍左右。此外,干涉调频分光光度计具有摄谱仪的优点,即同时可以测量大量的信号( $n$ ),其信噪比的增益为 $\sqrt{n}$ 倍。

干涉调制分光光度计是五十年代提出的,六十年代大力发展,形成了产品的系列,七十年代已有批量商品出售于市场,但我国只作了一些尝试,基本是空白。

干涉调幅分光光度计有两种:

1. 选举性干涉调幅法(简称SiSAM式)

2. 栅栏调幅法

比较成熟的干涉调频分光光度计有三种:

1. 带付氏变换的干涉调频法,又称付里叶光谱仪。

2. 阿达玛编码变换法,又称阿达玛光谱仪。

3. 激光调频法。

这种仪器由于光强大,在红外光谱区,特别是远红外光谱区显得威力更大。

**双波长分光光度计** 第二次世界大战以来,紫外可见和近红外分光光度计得到了迅速的发展。它在许多工业和科研部门仍是日常分析工作用的仪器之一。这种仪器无论是单光束的或者双光束的,都要求被测试样必须是透明的,即呈真溶液状态。但是,在现代科学技术和生产实践中往往

需要测定混浊的或悬浊的样品,甚至要求直接测定活生物体组织,这时传统的紫外可见和近红外分光光度计就显得毫无办法了。

1951年美国宾夕法尼亚大学的查斯为了测定生物细胞的悬浊液肌肉组织,第一次设计制造了手动扫描的双波长分光光度计,克服了传统的紫外可见和近红外分光光度计无法测定混浊试样的缺点。所谓双波长分光光度计,就是用两种不同波长的单色光 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ ,分别交替地照明同一个样品。这两种单色光应该有相同的光路,用两个相同的单色仪来提供。这两种单色光用调制器进行时间分离。因此,在光电接收器接收到一个交变信号,根据比尔定律可得:

$$-\lg \frac{I_1}{I_0} = \varepsilon_1 L \Delta C + \Delta A_1 \dots \dots (1)$$

$$-\lg \frac{I_2}{I_0} = \varepsilon_2 L \Delta C + \Delta A_2 \dots \dots (2)$$

式中 $I_1, I_2$ 分别为单色光 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 的透过样品后的光强, $I_0$ 为两单色光 $\lambda$ 射样品之前的光强, $\varepsilon_1$ 和 $\varepsilon_2$ 分别为 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 的吸光系数, $L$ 为样品池长度, $\Delta C$ 为待测成份的浓度, $\Delta A_1$ 和 $\Delta A_2$ 为由于散射等原因在 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 处引起的背景吸光度的变化。

在传统的分光光度计中, $\Delta A$ 是无法消除的,因此它也无法测定混浊样品。双波长分光光度计则可以消除 $\Delta A$ 值。将公式(1)减去公式(2)则得:

$$-\lg \frac{I_2}{I_1} = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) L \Delta C + (\Delta A_1 - \Delta A_2) \dots \dots (3)$$

由于 $\lambda_1$ 接近于 $\lambda_2$ ,则 $\Delta A_1 \approx \Delta A_2$ ,所以公式(3)改写为:

$$-\lg \frac{I_2}{I_1} = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) L \Delta C \dots \dots (4)$$

由公式(4)可知,两波长的吸光度之差与待测组分的浓度成线性关系。因此,它的测定可以排除各种原因引起的背景强度所带来的吸收干扰。

双波长分光光度计可以逐个直接地测定两个以上的组分的样品,此时并不需要予先把组分分离开来。双波长分光光度计还可以进行微分光谱测定,扩大了它的应用范围。

由于双波长测定是测定两个信号之差,因此它对外电源,环境变化等外界因素很不敏感。双波长分光光度计可以同时测定样品溶液中正在进行的两个现象,这对生物化学的研究具有明显的好处。

近十几年以来,双波长分光光度法得到了广泛的应用。1968年出现了第一台商品化的产品——日立公司的“356”型双波长双光束分光光度计。随后,日立公司又制造了“156”型双波长分光光度计,它具有数字显示,手动扫描。1972年美国阿明科公司制成了DW-2型紫外—可见双波长分光光度计。1974年日本岛津公司制造了UV-300型双波长分光光度计。1975年日立又制造了“556”型记录式双波长分光光度计,我国北京第二光学仪器厂也制造了双波长分光光度计。

**光声光谱仪** 双波长分光光度计解决了混浊状样品,凝胶和生物组织等的光谱分析。但是对于固体或半固体(例如涂料、膜层和粉状物等)进行光谱分析是困难的,甚至是不可能的。匀质固体的传统光谱分析方法是反射光谱分析,但这时要求波测反射率要高,表面要清洁,不允许有光的散射等。因此,如何解决粉状固体样品的吸收光谱分析就成了一个必须解决的难题。

近几年以来发展起来的光声光谱仪器解决了上述难题。光声光谱仪是基于光声效应的。光声效

应早在1880年就被比尔发现了,当时,比尔用快速断续的光束照明密闭容器内的固体或液体时,能产生同样频率的声能。若连接一个微音器,经过放大则可以听见声音。其原因是照明的光能被样品吸收后转变为热能,使密闭容器内的温度发生变化,随着容器内的压力也产生相应的变化。光能大,则热能也大,容器内的压力也大,光能发生变化,压力也相应变化,其变化频率相同。这种压力的变化用光声池可以接收下来。如果利用不同波长的光束照明样品,则获得波长与光声效应的函数关系曲线。实质上,这就是样品的吸收光谱图。不同的物质成分具有自己独特的吸收光谱图,这就是定性光谱分析的原理。光声信号的大小与光源的强度有关。同时与样品吸收能量的大小有关。已知光源的能谱从光声信号中加以扣除,则得出吸收能量的大小,这便是光声定量光谱分析的原理。单光束的测定受到许多外界因素的影响,精度很低;为此必须采用双光束的测定来排除这些外来的干扰。在双光束仪器中,光声参比池中采用炭黑吸收体为参比物。

光声信号除了与光源能量有关外,它与光束的调制频率,填充气体的性质等也有密切的关系。为了保证最佳的信噪比,调制频率一般小于200赫。热导率高的气体具有很好的热转换效率,从而有利于增强光声信号的强度。热容量的增加会导致光声信号的强度降低。

1977年才第一次出现商品化的光声光谱仪(R-1500型等),目前,光声光谱仪已在半导体、金属学、材料的表面研究。医学、生物学和大气中痕量污染物的检验等方面得到了广泛的应用。光声光谱仪方兴未艾,前途很广。

### 三、物理参数测定仪

物理参数测定仪是利用光学原理通过测定物质某项光特性来了解和分析物质的光学仪器。这种仪器在轻工业、食品工业、制药工业、医疗事业、农业和畜牧业等各方面需要量较大。一般地说,这类仪器原理简单,结构不复杂。目前,正向光电化和自动化发展。

物理参数测定仪按原理可分为折射仪、偏振仪、单色仪和干涉仪等,下面分别简单地加以介绍。

**折射仪** 利用光的折射定律测定被分析物质对光的折射率的光学仪器,统称为折射仪。物质的折射率是确定某些物质的纯度和浓度的指标,是工业自动化流程中必须加以控制的物理参数。折射仪是四十年代发展起来的光学仪器,目前有阿贝折射仪和V棱镜折射仪两大类,但它的变种较多。这些变种的仪器主要是用于医疗卫生或食品工业中的专用仪器。过去这种仪器主要是采用目视观察测量(在我国现在仍然是这样)。目前已逐步实现了投影读数或光电显示或自动记录。解放眼睛,减轻疲劳,克服主观的误差是这种仪器发展的主要方向。目前,国内生产的阿贝折射仪的测量范围为1.3~1.7,西德奥普托公司生产的阿贝折射仪,采用了两只折射棱镜,扩大折射率的测量范围为1.17~1.85。为了用于工业流程控制系统之中,阿贝折射仪或V棱镜折射仪必须实现光电化,提高仪器的自动化程度,以便能准确地监视流体的折射率变化,监测物质的化学动态变化,工业持流程的顺利进行。英国兰克、黑尔格公司生产的M541和M550型折射仪,采用了光电记录和比较测量的原理。英国伯明汉林公司生产的R300型光电记录式折射仪可以直接记录折射率。美国光学公司生产的阿贝—白利折射仪有自动温度校正。范围为60~115°F。

目前,国内生产的折射仪有目视阿贝折射仪、投影阿贝折射仪和V棱镜折射仪,结构和性能比较稳定,但很不先进,尚未实行自动化,不能直接用于工艺流程中。因此必须进行改进,采用先进的电子技术。目前,这种老式仪器也远不能满足国内市场的需要。

**偏振仪** 偏振仪是利用光的偏振特性而建立起来的光学仪器，它主要是用来测定光学活性物质的旋光度，分析物质成份，含量和结构的。目前，这种仪器广泛地应用于制药、医疗、制糖、橡胶、酿酒与矿物油等工业分析中。

偏振仪的历史悠久，品种不少，名称也很多。根据工作原理，偏振仪可分为三大类：偏振计，旋光分光光度计和圆二色性旋光分光光度计。

偏振计又可分为角度偏振计和糖度偏振计，后者又称糖量计，糖量计实质上就是一种专用的角偏振计，目前，美国佩公司生产的243S型糖量计比较先进。国内从五十年代末期就已开始生产这类仪器，例如众所周知的圆盘旋光仪。原来是目视，后来逐步改为数字式的，我国生产的偏振计只能作比较测量，因此，不适用于工业新产品的研究之中。同时高精度的偏振计均无生产。至于下面将介绍的旋光分光光度计和圆二色性旋光分光光度计尚是空白的。

偏振计中采用了滤光片和光谱灯的适当组合，获得单色光的照明。随着工业的发展，它对测量技术和测量仪器的灵敏度以及精度的要求也愈来愈高；因此，这种固定分挡改变单色光的波长的方法就不能满足工业发展的要求了。从五十年代中期起，开始出现了一种可以连续改变单色光波长的旋光分光光度计。这种仪器从紫外光谱区（4000埃）到可见区均可以连续改变波长，实质上这就是紫外可见分光光度计的一部份，其差别在于有一套旋光装置。旋光分光光度计所以要求扩大到紫外光谱区，其主要原因是，几乎所有的有机物质，例如氨基酸类固醇和蛋白质等，波长愈短，则其旋光度愈大，灵敏度也愈高。另外，旋光分光光度计可用来研究分子中非对称电子的存在，或碳原子处于非对称的空间结构。这种非对称性的程度与旋光色散的本领有关。利用这点可以进行物质的定性和定量光谱分析，这就是旋光光谱分析。美国佩金、埃尔姆公司和日本分光工业公司等均生产旋光分光光度计。美国佩公司生产241MC型旋光分光光度计，波长为240~650毫微米，最大旋光角为80°，旋光精度 $\pm 0.002^\circ$ （当 $\geq 1^\circ$ 时） $\pm 0.2\%$ （当 $> 1^\circ$ 时），其重复性为0.002°，该仪器自动化程度很高，有打字机或电子计算机输出。

五十年代，日本的物理光学家注意到，由于有些物质的吸收带表现出分子的不对称性（因为在分子中存在着发散团），所以它对左、右旋圆偏振光的吸收率之差值各有不同，物质的这种性能称为圆二色性。这种圆二色性与它的浓度和光程度差有关。根据这个原理，建立了圆二色性定性和定量光谱分析。圆二色性旋光分光光度计还可以研究某些物质的立体结构，对构型、形态和测定法拉第效应等。日本、美国和法国均生产圆二色性旋光分光光度计。法国若宾、伊冯公司生产的Mark3型圆二色仪（简称）是圆二色性旋光分光光度计的第三代产品，比较先进。

总之，偏振仪对食品工业和制药工业等影响很大，用途很广。为此，建议填补空白，大力发展我国适用的各种偏振仪，为我国的轻工业和医疗卫生事业作出贡献。

**单色仪** 利用光的色散原理将白光分解为单色光的光学仪器称单色仪，单色仪是各种光谱仪器不可缺少的核心部份。单色仪可作单色光光源用，也可以测定各种元器件和仪器设备的光谱特性，例如光谱透过率，光谱反射率和光谱响应等。这种仪器历史悠久，品种较多。根据目前应用情况和工作原理可以分为：万能单色仪、强光单色仪、高分辨率单色仪和真空紫外单色仪等四大类。

万能单色仪是一种普遍使用的单色仪，有棱镜式和光栅式的，少数还采用可换棱镜式的。这种仪器焦距短，附件多，操作方便和用途广。国内生产的多数是棱镜式的，因此，生产一种万能光栅式单色仪是很有必要的。为了扩大销路，关键在于附件多而全和波长范围要大（一般从紫外到中红外）。

强光单色仪是研究和测试弱光源和弱光谱特性的一种有效的仪器。为了增加仪器的光强，必须增大仪器的相对通光口径和光学元件的透射率和反射率。在扩大仪器口径的同时，必定会增加仪器的杂散光的程度。为此，强光单色仪往往采用双单色仪的光路系统。如果采用光栅式水平对称光路系统，增高狭缝也是提高仪器光强的好办法。普通单色仪的狭缝最高为20毫米，一般为10毫米，而这种光路其狭缝高度可达80毫米以上，国外有强光单色仪的商品，国内尚缺。

高分辨率单色仪主要是用于同位素分析，这种仪器的色散元件是由光栅和高分辨率色散元件，例如法布里—珀罗标准具，相组合而形成的一种高分辨率色散元件组。为了要使光栅和标准具能同步进行光谱扫描，往往仪器主体必须抽真空或充有特定的气体。法国若宾、伊冯公司在六十年代中期就已生产过这种产品，曾畅销欧美各地。

最后一种是真空紫外单色仪，由于许多物质的远紫外光谱（ $< 2000$ 埃）为我们认识和了解它能提供很多信息。因此，对测定有关物质的远紫外光谱特性就显得非常需要和迫切。从五十年代开始，苏联、美国、英国、法国和日本等技术先进国家都分别生产过各种用途的真空紫外单色仪。这种仪器实质上就是真空紫外光电扫描计，即单通道的光电直读光谱仪。目前，这种仪器的自动化程度均很高，可配打字机和计算机。

单色仪主要是应用于各种基础科学，技术科学、工艺研究和测试之中，它对我国科学技术现代化有直接的影响，因此，它的发展和生产也是不可忽视的。

**干涉仪** 利用光的干涉原理建立起来的光学仪器称为干涉仪，两束以上的光产生干涉匹配条件是各束光均是相干的和存在光程差。因此，设计干涉仪的目的就是创造两束以上的相干光源，先分后合，使它们产生干涉，形成特定的干涉图像。当正常情况下（即在光路中不存在光程差的变化时）干涉图像是规则的。被测物质进入光路后必定引起各束光路之间的光程差的变化，使规则干涉图像变形或位移。根据干涉图像的变化或位移，可以了解引入物质的几何参数和光学性能，例如光学表面的平面性，物质的折射率不均匀性，气体的流动速度，方向和密度分佈等。因此，干涉仪的应用范围很广。

干涉仪的种类繁多，但根据其工作原理可以分为两大类：双光束干涉仪和多光束干涉仪，双光束干涉仪在光学计量、光学测试气体、动力学和材料力学等方面应用较广，多光束干涉仪是一种高分辨率的色散器件，因此，在一般光学性能的测试方面采用较少，特别是像陆束板和阶梯光栅几乎不采用。双光束干涉仪的种类很多，其差别仅在于排列光学另件的位置有所不同。总的来说，双光束干涉仪的光学另件都是根据二次曲线，例如圆、椭圆、双曲线和抛物线等而排列的。目前在光学参数测定方面应用比较广泛的是迈氏干涉仪系统和马氏干涉仪系统。目前国外生产的干涉仪种类较多品种齐全。国内只试制过迈氏干涉仪系统中的泰曼干涉仪和小口径的马氏干涉仪。国内所以至今

尚未能生产干涉仪，其主要原因是光学另件的要求高，平面性 $< \frac{\lambda}{20}$ ，光学加工精度达不到。干涉仪的生产直接标志着一个国家的高精度光学平面的加工水平和测试水平。近二十年以来，我国进口的各种干涉仪的数量也不小。因此，建议组织几个有基础的企业，攻克高精度平面加工和测试的难关，建立稳定生产各种干涉仪的工艺条件。

表 2—1 光 栅 摄 谱 仪 技 术 数 据

| 工 厂       | 国 别   | 型 号     | 焦 距<br>(米) | 波长范围<br>(毫微米) | 光 栅 刻 线<br>(槽/毫米)                                              | 光 栅 刻 划 面 积<br>(毫米×毫米) | 线 色 散 倒<br>数 (埃/毫米) | 理 论 分 辨 率<br>(万) |
|-----------|-------|---------|------------|---------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|------------------|
| 北京光学仪器厂   | 中 国   | WSP—2   | 0.5        | 230—350       | G <sub>1</sub> 1200                                            | 30×30                  | 一级16; 二级8           | 一级3.6; 二级7.2     |
| 四平光学仪器厂   | 中 国   |         |            |               |                                                                |                        |                     |                  |
| 柳 本       | 日 本   | JE-50E  | 0.5        | 200—800       | G <sub>1</sub> 1180                                            |                        | 一级16                |                  |
| 上海光学仪器厂   | 中 国   | 31W1    | 1          | 200—600       | G <sub>1</sub> 1200                                            | 40×60                  | 一级8                 | 7.2              |
| 新天光学仪器厂   |       |         |            |               |                                                                |                        |                     |                  |
| 北京第二光学仪器厂 | 中 国   | WPG-100 | 1          | 200—800       | G <sub>1</sub> 1200 闪烁波3000 Å<br>G <sub>2</sub> 1200 闪烁波5700 Å |                        | 一级8; 二级4            | 一级6; 二级12        |
| RSV       | 西 德   |         | 1          | 200-1000      | G <sub>1</sub> 600, G <sub>2</sub> 1200                        | 62×42                  | 16.8, 8.4           | 3.72; 7.56       |
| 岛 津       | 日 本   | GE-100  | 1          | 200-1200      | G <sub>1</sub> 600, G <sub>2</sub> 1200                        | 52×52                  | 16.8, 8.4           | 3.12; 6.24       |
| 奥普铁卡      | 意 大 利 | B5      | 1.2        | 185-1000      | G <sub>1</sub> 1200, G <sub>2</sub> 2160                       |                        | 6.8, 3.6            | 3, 5             |
| RSV       | 西 德   |         | 1.5        | 200-1000      | G <sub>1</sub> 600, G <sub>2</sub> 1200                        | 100×50                 | 11, 5.6             | 6, 12            |
| 甲雷.爱希     | 美 国   |         | 1.5        | 210-7800      | G <sub>1</sub> 600, G <sub>2</sub> 1200                        |                        | 10.9, 5.4           |                  |
| 希尔格.瓦茨    | 英 国   | E778    | 1.7        | 200-1200      | G <sub>1</sub> 1200                                            | 84×84                  | 4.8                 | 10.08            |
| 岛 津       | 日 本   | GE-170  | 1.7        | 200-5600      | C <sub>1</sub> 600, G <sub>2</sub> 1200, G <sub>3</sub> 2160   |                        | 9.7, 4.8, 2.6       |                  |
| 北京光学仪器厂   | 中 国   | WSP-1   | 1.8        | 230-1000      | G <sub>1</sub> 600, G <sub>2</sub> 1200, G <sub>3</sub> 1200   |                        | 9, 4.5, 2.25        |                  |
| 上海光学仪器厂   | 中 国   | 31W2    | 2          | 200-1000      | G <sub>1</sub> 600, G <sub>2</sub> 1200                        | 70×95                  | 8.4                 | 5.7 11.4         |
| 新天光学仪器厂   | 中 国   | 802W    | 2.10       | 2000~10000 Å  | G <sub>1</sub> 1200                                            |                        |                     |                  |
| 蔡 司       | 民 德   | PGS-2   | 2.075      | 200—800       | G <sub>1</sub> 651, G <sub>2</sub> 1300                        |                        | 7.4 3.7             |                  |
| 彭德.阿托米克   | 荷 兰   | B/A     | 3          | 200—          | G <sub>1</sub> 600, G <sub>2</sub> 1200                        |                        |                     | 5.06, 10.12      |
| 希尔格.瓦茨    | 英 国   | E543    | 3.4        | 200—          | G <sub>1</sub> 576                                             | 104×56                 | 1.6                 | 5.99             |
| 希尔格.瓦茨    | 英 国   | E543    | 3.4        | 200-1000      | G <sub>1</sub> 576                                             |                        | 4.9                 |                  |
| 岛 津       | 日 本   | GE-340  | 3.4        | 200-1000      | G <sub>1</sub> 600, G <sub>2</sub> 1200                        | 128×56                 | 5, 2.5              | 7.68, 15.36      |
| 柳 本       | 日 本   | JE-71   | 3.4        | 200-1000      | G <sub>1</sub> 590, G <sub>2</sub> 1180                        |                        | 5.1, 2.6            |                  |
| RSV       | 西 德   | SPN     | 3.5        | 200-3000      | G <sub>1</sub> 600, G <sub>2</sub> 1200                        | 128×102                | 4.75, 2.4           | 7.57, 15.1       |

表 2-2 光 量 计 技 术 数 据

| 工 厂       | 国 别 | 型 号                | 波 长 范 围<br>(Å)                      | 光 栅 规 格<br>(槽/mm)    | 焦 距<br>(mm) | 线 色 散<br>(Å/mm)     | 测 量 通 道<br>(个) | 备 註                                                        |
|-----------|-----|--------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------|---------------------|----------------|------------------------------------------------------------|
| 北京第二光学仪器厂 | 中 国 | WZG-200            | 1775~3392                           | 凹面光栅1152             | 2000        | 4.34                |                | 能同时分析20多个元素                                                |
| 沈阳分析仪器厂   | 中 国 | WLP-8              | 2200~4100                           |                      | 1050        |                     | 12             | 分析浓度: 一般为0.01~10%<br>分析误差: 一般为5%左右                         |
| 沈阳分析仪器厂   | 中 国 | WGD-731            | 2100~6000                           |                      |             |                     | 12             | 一次分析原素: 11个; 分析浓度<br>0.003~10%, 分析误差<5%<br>分析速度(单个试样)2~3分钟 |
| 吉林四平光学仪器厂 | 中 国 | WLD <sub>1</sub> A | 2000~4500                           | 凹面光栅1200             | 1500        | 5.5                 | 20             | 分析误差<5%,<br>工作方式: 8小时连续                                    |
| 甲 雷. 爱 希  | 美 国 | 750                | 1775~5050                           | 2400                 | 750         | 5.05                | 30             | 带有可控波形光源                                                   |
| 应用研究实验公司  | 美 国 | 28C                | (一级)1700~5000<br>(二级)1800~2500      | 2700                 | 500         | (一级)7.0<br>(二级)3.5  | 37             | 电源分光计和计算机装在一个机柜内,<br>内部恒温, 分析时间12秒。                        |
| 应用研究实验公司  | 美 国 | QU-80              | 1740~4070                           | 2160                 | 1000        | 4.6                 | 60             | 最多可装80个光电倍增管, 10°~30°<br>温室                                |
| 应用研究实验公司  | 美 国 | 29500              | 1700~2350                           | 2160                 | 1000        | 4.6                 | 60             |                                                            |
| 应用研究实验公司  | 美 国 | QU-127C            | 1700~4070<br>1912~4575<br>2560~6100 | 2160<br>1920<br>1440 |             | 4.63<br>5.2<br>6.95 | 32             |                                                            |
| 应用研究实验公司  | 美 国 | Quantometer<br>80  | 1900~6100                           | 1440                 | 1000        | 6.94<br>3.47        |                | 样本(1975.2)                                                 |
| 应用研究实验公司  | 美 国 | QU-3400            | 1700~4070                           | 2160                 | 1000        | 4.63                |                | 样本(1977.1)                                                 |

# 光 量 计 技 术 数 据

| 工 厂         | 国 别 | 型 号      | 波 长 范 围<br>(Å)                 | 光 栅 规 格<br>(槽/mm)  | 焦 距<br>(mm) | 线 色 散<br>(Å/mm)    | 测 量 通 道<br>(个) | 备 注                                   |
|-------------|-----|----------|--------------------------------|--------------------|-------------|--------------------|----------------|---------------------------------------|
| BAIRO—ATOMK | 美 国 | 1000     | (一级)3460~7670<br>(二级)1730~3835 | 1440               | 1000        | (一级)6.6<br>(二级)3.3 |                | 样本(1976.2)                            |
| BAIRO—ATOMK | 美 国 | FAS—2GT  | 2100~5900<br>7664              | 1667               | 1000        |                    |                | 样本(1980.2)                            |
| 兰克.希尔格      | 英 国 | E1000    | 1596~8643                      | 1800               | 1000        | 3.7                | 60             | 采用六块光栅,可单独成组合使用,分析范围广,分辨本领高,消除背景谱线干扰。 |
| 兰克.希尔格      | 英 国 |          |                                | 1200               |             | 5.5                |                |                                       |
| 兰克.希尔格      | 英 国 |          |                                | 1221               |             | 5.4                |                |                                       |
| 兰克.希尔格      | 英 国 |          |                                | 576                |             | 11.6               |                |                                       |
| 兰克.希尔格      | 英 国 |          |                                | 2294.5(二块)         |             | 2.86               |                |                                       |
| 兰克.希尔格      | 英 国 | E950     | 1740~4477                      | 2442               | 750         | 5.46               | 15, 30         | 最多可装71个通道,局部恒温,全息光栅两块。                |
|             |     |          | 2365~6074                      | 1800               |             | 7.41               | 45, 60         |                                       |
| 岛 津         | 日 本 | GVM—100  | 1700~4100                      | 曲率半径1000mm<br>2160 | 1000        | 4.6                | 3              | 样本(1979.4.5)                          |
| 岛 津         | 日 本 | UE—IM    | 1700~4100                      | 2160               | 1000        | 4.6                |                | 体 积 小                                 |
| 岛 津         | 日 本 | ICDG—100 | 1700~4600                      | 1920               | 1000        | 5.2                | 48             | 备有等离子源<br>样本(1979.4)                  |

光 量 计 技 术 数 据

| 工 厂       | 国 别 | 型 号     | 波 长 范 围<br>(Å) | 光 栅 规 格<br>(槽/mm) | 焦 距<br>(mm) | 线 色 散<br>(Å/mm) | 测 量 通 道<br>(个) | 备 注                         |
|-----------|-----|---------|----------------|-------------------|-------------|-----------------|----------------|-----------------------------|
| 岛 津       | 日 本 | GEM—340 | 2000~10000     | 1200              | 3400        | 2.5             | 20             | 照相、直读两用。                    |
| 岛 津       | 日 本 | GQM—75  | 1850~4300      | 曲率半径750mm<br>2400 |             | 5.5             |                | 样本(1979.9)                  |
| 岛 津       | 日 本 | GEW—170 | 2400           | 1200              | 1700        | 4.8             | 48             | 样本(1979.9)                  |
| 若宾、伊冯     | 法 国 | JY480   | 1680~5900      | 1800              | 1000        | 5.6             | 48             | 最多可装86个光电倍增管,采用全息光栅,带有等离子光源 |
| 菲 利 浦     | 荷 兰 | SM150   | 1900~7000      |                   | 1500        |                 |                | 样本(1970)                    |
| OPTICA    | 意大利 | ESA—1   |                | 平面光栅<br>2160      | 1000        |                 |                | 样本(1972)                    |
| OPTICA    | 意大利 | ESA—3   | 1600~5000      | 2160              | 1200        |                 |                |                             |
| ISIAIMBLE | 比利时 | PV8300  | 1700~4300      | 1440              | 1500        | 5.5             | 80             | 样本(1974)                    |
|           |     |         |                |                   |             |                 |                |                             |
|           |     |         |                |                   |             |                 |                |                             |
|           |     |         |                |                   |             |                 |                |                             |
|           |     |         |                |                   |             |                 |                |                             |

表2—3紫外—可见分光光度计的性能参数表

| 项目                | 中国上海<br>分析仪器厂 | 上海分析仪器<br>厂<br>上海第三分<br>析仪器厂 | 上海第三分<br>析仪器厂 | 上海第三分<br>析仪器厂 | 上海分析仪器<br>厂 | 天津光学仪<br>器厂    | 美 国 贝 克 曼                             |                                                       |                                                              |                                                                     |                                                                 |                                                  |                                                                                       |
|-------------------|---------------|------------------------------|---------------|---------------|-------------|----------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 型 号               | 72            | 721                          | 710           | 730           | 751         | WFD—G          | C—Ⅲ                                   | M—Ⅳ                                                   | M—Ⅴ                                                          | M—Ⅳ                                                                 | 24                                                              | 25                                               | 26                                                                                    |
| 波长范围(nm)          | 420~700       | 360~800                      | 190~2500      | 195~850       | 200~1000    | 200~1000       | 190—800带光<br>电倍增管的氙<br>灯              | 同 左                                                   | 同 左                                                          | 同 左                                                                 | 90~1000                                                         | 同 左                                              | 同 左                                                                                   |
| 分 辨 率(nm)         |               |                              | 260nm处<br>0.2 | 0.2           |             |                | (190—800)<br>优于0.2                    | (190—800)优于<br>0.2(800—3000)<br>优于1.2                 | (190—800)<br>优于0.05                                          | 优于0.05<br>(190—800)<br>优于0.3<br>(800—3000)                          | 优于4                                                             | 优于0.2                                            | 优于0.2                                                                                 |
| 波 长 精 度<br>(nm)   |               | ±3                           | ±0.4~9.0      | 0.75          | ±0.4~5.0    | 0.3            | (190—800)<br>±0.5                     | ±0.5(190—800)<br>±2.5(800—<br>3000)                   | ±0.1<br>(190—800)                                            | ±0.1<br>(190—800)<br>0.5<br>(800—3000)                              | ±0.5                                                            | ±0.5                                             | ±0.5(200—700)<br>±0.1(700—900)<br>±0.25                                               |
| 波 长 重 复 性<br>(nm) |               |                              | 为波长精<br>度之一半  |               | 0.3%T       |                | 0.1(估计)<br>(190~800)                  | 0.1(估计0.02)<br>(190—800)<br>0.5(估计0.1)<br>(1800—3000) | ±0.1<br>(190—800)<br>(估计0.02)                                | ±0.1<br>(190—800)<br>±0.5<br>(800—3000)                             |                                                                 |                                                  |                                                                                       |
| 光 度 测 定<br>范 围    |               |                              |               |               |             |                |                                       |                                                       |                                                              |                                                                     | a)数显0-2000吸收<br>0-8000浓度<br>b)记录0-0.1,<br>0-0.25<br>0-0.5,0-1.0 | 0-20吸收<br>-0.3-吸收<br>(连续零位控制)<br>-0.25-1.9吸<br>收 | 0-2000A 0-5,0-1.0,<br>0-8000浓度 0-2.0A,<br>0-100%T 0-25,<br>0-500-25,0-100,<br>0-200%T |
| 光 度 精 度           |               |                              | ±1%T          | ±0.75%T       | ±0.5%T      |                | 1.0A处0.003<br>2.0A处0.005<br>3.0A处0.03 | 同 左                                                   | 同 左                                                          | 同 左                                                                 | ±0.5%或0.001                                                     | 同 左                                              | 同 左                                                                                   |
| 光 度 重 复 性         |               |                              |               | 0.5%T         |             |                |                                       |                                                       |                                                              |                                                                     | ±0.25%或0.001                                                    | 同 左                                              | 同 左                                                                                   |
| 杂 散 光<br>(或噪声)    |               |                              |               | 1%            |             |                | <0.1%<br>370nm                        | <0.1%270nm<br><0.1%370nm<br><0.1%2734                 | <0.0001%<br>240—500<br><0.001%<br>210—690<br><0.01%<br>在极限范围 | <0.001%<br>240—500<br><0.001%<br>210—690<br><0.01%2740<br><0.1%极限范围 | <0.1%370nm                                                      | <0.1%,<br>220nm                                  | <0.1%<br>220nm                                                                        |
| 灵 敏 度             | >0.01E        | >0.01                        |               |               |             |                | 0.0005A 每小<br>时 0.005 每天              | 同 左                                                   | 同 左                                                          | 同 左                                                                 | 0.0004Abs/Hz                                                    | 同 左                                              | 同位吸收<br>同 左                                                                           |
| 光 学 系 统           |               |                              |               |               |             |                | 双光束及单光<br>束比率记录单<br>色器、滤光镜<br>/光栅     |                                                       | 双光束及单光<br>束比率记录,<br>双单色器,滤<br>光镜/光栅                          | 同 左                                                                 |                                                                 |                                                  |                                                                                       |
| 光 源               |               |                              |               |               |             |                |                                       |                                                       |                                                              |                                                                     | 115VAC±1.5V<br>50/60Hz<br>230VAC±3.0V<br>50/60Hz                | 同 左                                              | 同左2安倍<br>同左1安倍                                                                        |
| 狭 缝 宽 度(mm)       |               |                              |               |               |             |                |                                       |                                                       |                                                              |                                                                     | 0.8处宽<br>1.5mm高度                                                | 手调2.0mm                                          | 同左                                                                                    |
| 色 散 元 件           | 棱 镜           | 棱 镜                          | 棱 镜           | 光 栅           | 棱 镜         | 光栅1152<br>G/mm | 一块光栅在<br>250nm处闪<br>烁                 | 一块光栅在 250<br>nm处闪烁另一<br>块在1200处闪烁                     | 二块光栅,一<br>块在 250 处闪<br>烁,另一块在<br>1200处闪烁                     | 二块光栅,一<br>块在 250 处闪<br>烁,另一块在<br>1200处闪烁                            |                                                                 |                                                  |                                                                                       |
| 接 收 器             |               |                              |               |               |             |                |                                       |                                                       |                                                              |                                                                     |                                                                 |                                                  |                                                                                       |

紫外—可见分光光度计的性能参数表

| 型<br>号<br>项<br>目  | 美国 Coleman        |                           |                  |                 |                  |                   | 美国 鲍许隆姆公司         |                       |                           |                       |                         |                     |                   |                           |
|-------------------|-------------------|---------------------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|
|                   | Junior<br>11      | Junior<br>11A             | Junior<br>111    | 295             | 330              | 350               | Spectronic<br>20  | Spectronic<br>mini 20 | Spectronic<br>21/PV       | Spectronic<br>21/UV-M | Spectronic<br>21/UV-D   | Spectronic<br>21/MV | Spectronic<br>70  | Spectronic<br>88          |
| 波 长 范 围<br>(nm)   | 325—825           | 325—825                   | 335—825          | 400—700         | 320—710          | 320—710           | 340—600           | 400~800               | 340~1000                  | 200—1000              | 200—1000                | 340—1000            | 325—925           | 325—925                   |
| 分 辨 率 (nm)        |                   |                           |                  |                 |                  |                   |                   |                       |                           |                       |                         |                     |                   |                           |
| 波 长 精 度<br>(nm)   |                   |                           |                  |                 |                  |                   | ±2.5              | ±3                    | ±2                        | ±2                    | ±2                      | ±2                  | ±1                | ±1                        |
| 波 长 重 复 性<br>(nm) | ±1<br>(585)       | ±1<br>(585)               | ±1<br>(585)      | ±2<br>(585)     | ±2               | ±2                |                   |                       |                           |                       |                         |                     |                   |                           |
| 光 度 测 定<br>范 围    | 0—100%T<br>0—2.0A | 0—100%<br>0—2.0A          | 0—100%<br>0—2A   | 0—100%T<br>0—2A | 0—100%<br>0—2.0A | 0—100%T<br>0—2.0A | 0~100%T<br>0~2.0A | 0—100%T               | 0—100%T<br>0—2.000A       | 0—100%T<br>0—2A       | 0—100%T<br>0—2.000A     | 0—100%T<br>0—2A     | 0—100%T<br>0—2.0A | 0—100%<br>0—1.000A        |
| 光 度 精 度<br>(%)    |                   |                           |                  |                 |                  |                   | ±2                | ±3                    | ±2                        | ±2                    | ±2                      | ±2                  | ±1                | ±1                        |
| 光 度 重 复 性         | ±0.5%T            | ±0.5%T<br>±0.005A<br>0.4A | ±0.5%T<br>±0.03A | ±0.5%           | 0.5%             | 0.5%              | ±2%T              | ±2                    | ±0.3%T<br>±0.003A<br>0.4A | ±0.3%T                | 0.3%T<br>0.003A<br>0.4A | ±0.3%T              | ±1.0%T            | ±1.0%T<br>±0.011A<br>0.4A |
| 杂 散 光<br>(或 噪 声)  |                   |                           | 0.1%T            |                 |                  |                   | <0.5%             | <0.5%                 | <0.3%T<br>340nm           | <0.3%T<br>220nm       | <0.3%T<br>220nm         | <0.3%T<br>340nm     | <0.5%<br>325nm    | <0.5%<br>325nm            |
| 灵 敏 度             |                   |                           |                  |                 |                  |                   |                   |                       |                           |                       |                         |                     |                   |                           |
| 光 学 系 统           | 单 光 束             | 单 光 束                     | 单 光 束            | 单 光 束           | 单 光 束            | 同 左               | 单 光 束             | 单 光 束                 | 单 光 束                     | 单 光 束                 | 单 光 束                   | 单 光 束               | 单 光 束             | 单 光 束                     |
| 光 源               | 钨 丝 灯             | 钨 丝 灯                     | 钨 丝 灯            | 钨 丝 灯           | 钨 丝 灯            | 同 左               | 钨 丝 灯             | 钨 丝 灯                 | 钨 丝 灯                     | 钨 丝 灯                 | 钨 丝 灯                   | 钨 丝 灯               | 钨 丝 灯             | 钨 丝 灯                     |
| 狭 缝 宽 度<br>(mm)   | 20                | 20                        | 80               | 20              | 9                | 同 左               | 20                | 20                    | 10                        | 10                    | 10                      | 10                  | 8                 | 8                         |
| 色 散 元 件           | 小阶梯光栅             | 同 左                       | 透射光栅             |                 | 600G/mm          | 同 左               | 光栅600G/mm         |                       | 光栅1200/mm                 | 同 左                   | 同 左                     | 同 左                 | 同 左               | 同 左                       |
| 接 收 器             | 光 电 池             | 同 左                       | 同 左              | 同 左             | 同 左              | 同 左               | 光 电 管             | 光 电 管                 | 宽波段光电管                    | 同 左                   | 同 左                     | 同 左                 | 双光电池              | 同 左                       |

紫外—可见分光光度计的性能参数表

| 项 目           | 美国 鲍许隆姆                   |                           |                         |                              | 美国 凯利            |                     | 英国 尤尼长姆                                      |                               | 曼京贝                  |                      |                                        |                      |                      |
|---------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------|---------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------------|----------------------|----------------------|
|               | Spectronic<br>100         | Spectronic<br>110         | Spectronic<br>200       | Spectronic<br>210            | 170              | 118                 | SP <sup>6</sup><br>250<br>350                | SP <sup>6</sup><br>450<br>550 | SP <sup>8</sup> —100 | SP <sup>8</sup> —150 | SP <sup>8</sup> —200                   | SP <sup>8</sup> —250 | SP <sup>8</sup> —300 |
| 波 长 范 围(nm)   | 325~925                   | 200~1000                  | 190~800                 | 190~900                      | 180~2650         | 165~800             | 325—1000                                     | 195—1000                      | 190—800              | 190~900              | 185~950                                | 185~950              | 190~900              |
| 分 辨 率(nm)     |                           |                           |                         |                              | 0.07             | 0.1/350<br>0.03/200 |                                              |                               |                      |                      |                                        |                      |                      |
| 波 长 精 度(nm)   | ±1.0                      | ±1                        | ±0.5                    | ±0.3                         | ±0.4             | ±0.5                | 1                                            | 1.0                           | ±0.5                 | ±0.5                 | ±0.3                                   | ±0.3                 | 1                    |
| 波 长 重 复 性(nm) |                           |                           |                         |                              |                  |                     | 0.5                                          | 0.5                           | ±0.25                | ±0.25                | 0.1                                    | 0.1                  |                      |
| 光 度 测 定 范 围   | 0—100%T<br>0—2.000A       | 0—100%T<br>0—2.000A       | 0—100%T<br>0—2.00A      | 0—0.200A<br>0—2.000A<br>0—3A |                  |                     |                                              |                               |                      |                      |                                        |                      |                      |
| 光 度 精 度(%)    | ±1                        | ±1                        | ±0.5                    | ±0.3                         |                  |                     | ±0.005A                                      | ±0.005A                       | ±0.5%                | 同 左                  | ±0.0015A在1A<br>±0.003A在2A<br>±0.02A在3A | 同 左                  | ±1或<br>±0.002A       |
| 光 度 重 复 性     | ±0.5%T<br>±0.005A<br>0.4A | ±0.5%T<br>±0.005A<br>0.4A | 60,120,240<br>480nm/min | 60,120,240<br>480nm/min      |                  |                     | 0.5%                                         | 0.5%                          | ±0.25%               | ±0.25%               | 同 上                                    | 同 上                  |                      |
| 杂 散 光(或噪声)    | <0.5%<br>325nm            | <0.5%<br>220nm            | 0.1%<br>220nm           | 0.1%<br>220nm                |                  |                     | <0.02%/220nm<br><0.01%/340nm<br><0.03%/370nm | 同 左                           | <0.05                |                      | 220nm                                  |                      | <0.4%<br>在340nm      |
| 灵 敏 度         |                           |                           |                         |                              |                  |                     |                                              |                               |                      |                      |                                        |                      |                      |
| 光 学 系 统       | 单 光 束                     | 单 光 束                     | 双 光 束                   | 双 光 束                        |                  |                     | 单 色 器                                        | 同 左                           | 同 左                  | 同 左                  | 双 单 色 器                                | 同 左                  |                      |
| 光 源           | 钨 丝 灯                     | 钨 丝 灯<br>氘 灯              | 同 左                     | 同 左                          |                  |                     | 氘 灯                                          | 同 左                           | 氘 灯<br>石 英 卤 灯       | 同 左                  |                                        |                      | 氘 灯 钨 丝 灯            |
| 狭 缝 宽 度 (mm)  | 8                         | 2                         | 2                       | 0.1;0.2;0.5<br>1.0;2.0;5     |                  |                     | 8                                            | 同 左                           | 0.2,0.5,1.2          | 同 左                  | 0.1,0.2,0.5,<br>2                      | 同 左                  | 0.3                  |
| 色 散 元 件       | 光栅1200/mm                 | 同 左                       | 同 左                     | 同 左                          | 棱镜、光栅<br>双 单 色 器 | 棱镜、光栅               | 全 息 光 栅                                      | 同 左                           | 同 左                  | 同 左                  | 同 左                                    | 同 左                  | 光栅5/4                |
| 接 收 器         | 双 光 电 池                   | 同 左                       | 宽 波 段 光 电 管<br>倍 增      | 同 左                          |                  |                     |                                              |                               |                      |                      |                                        |                      | 9 级 光 电 倍 管<br>增     |