



朱根娣 编著

临床常用检验仪器

——原理·构造·维护

L I N C H U A N G C H A N G Y O N G

上海科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

临床常用检验仪器:原理·构造·维护/朱根娣编.
—上海:上海科学技术文献出版社,2002.8
ISBN 7-5439-1941-9

I.临… II.朱… III.医学检验-医疗器械
IV.TH776

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 002614 号

责任编辑:吕梅萍

封面设计:徐利

临床常用检验仪器

—原理·构造·维护

朱根娣 编著

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路2号 邮政编码 200031)

全国新华书店经销

常熟市华顺印刷有限公司印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 10.75 字数 268 000

2002年8月第1版 2002年8月第1次印刷

印数:1-2 100

ISBN 7-5439-1941-9/T·679

定价:23.00 元

绪 论

随着医学技术的不断进步,医用检验仪器已成为现代医院中重要的辅助诊断仪器。尤其是各种新的检验分析方法和仪器原理的出现,更加快了医用检验仪器的发展和更新。目前医用检验仪器主要包括临床血液学检验、临床生化检验、免疫学检验、微生物学检验和聚合酶链反应(PCR)技术。

在临床血液学检验方面,基于 Coulter 原理,各类仪器结合高科技检测技术,提高了“分类”的准确性。目前“五分类”仪器检测原理主要分为两大类,一类为应用各种物理检测技术,如激光法、电阻法、电磁波技术等;另一类则应用物理与细胞化学结合原理,进行白细胞分类。流式细胞仪作为实验室的“CT”,近年来在基础研究和临床应用等方面,都得到了很大发展和广泛应用。同时,各类型的凝血自动测定仪也得到了很大发展。

在临床生化检验方面,主要应用了光谱技术、电化学技术、电泳技术和层析技术等。近年来各类中、大型分立式全自动生化仪相继问世,其具有速度快、同步分析项目多、全自动清洗等特点,适应了临床生化检测项目随意组合化、大工作量的发展需求。某些大型生化分析仪可将常规生化检验、特种蛋白检测、药物浓度监测甚至离子分析同台进行。临床生化仪器中另一方面发展是“干化学”分析,具有操作方便、设备简单、标本用量小、测定范围广等优点。

在免疫学检验方面,随着单克隆抗体技术的建立及免疫标记技术的出现,如同位素标记、免疫酶标记等,具有快速、敏感、特异等优点,促进了免疫分析技术的发展。近年来出现的电化学发光免疫分析技术,使免疫学检测进入了新阶段。

在微生物学检验方面,近年来主要有连续性血培养监测系统和快速细菌鉴定系统。微生物仪器检测另一进展是快速检测细菌生化反应的色原或荧光底物及成套鉴定系统的应用。

PCR 技术,又称无细胞分子克隆法,是近年来发展起来的一种快速的特定

DNA 片段体外扩增法,即一种在体外模拟自然 DNA(脱氧核糖核酸)复制过程的核酸扩增技术。PCR 技术本身的发展及与其他分子生物学技术相结合,正广泛应用于基因分离、克隆和核酸序列分析、遗传病和传染病诊断等领域。

本教材着重于对目前临床上常用的各类典型的检验仪器作一系统、全面的介绍。在内容选择上,淘汰陈旧的仪器设备,以常用的、大型的、智能化的新型检验仪器为主,并突出介绍仪器的原理、结构、性能和应用。全书共十章,其中前五章主要介绍有关临床生化检验方面的应用技术和典型仪器,有光电比色计、分光光度计、电解质分析仪、血气分析仪和全自动生化分析仪。第六章主要介绍分离分析技术应用的典型仪器——电泳仪。第七、八章主要介绍有关免疫学检验方面的应用技术和典型仪器。第九、十章着重介绍有关临床血液学检验方面的应用技术和最新仪器。编写过程中力求文字通俗易懂,深入浅出,体现专业特色。每章后附有一定量的思考题,供读者学习后自测。

由于水平有限,编写时间仓促,难免存在不足或不妥之处,敬请各位专家和广大读者批评指正。

编 者

2002.6

目 录

绪论

第一章 光电比色计

第一节 比色分析的基本理论	(1)
第二节 光电比色计的基本结构	(5)
第三节 GD821 型连续式比色计	(14)
复习思考题	(24)

第二章 分光光度计

第一节 单色器	(25)
第二节 分光光度计的光学系统及调零方法	(33)
第三节 721 型分光光度计	(35)
第四节 荧光分光光度计	(43)
第五节 HP8453 分光光度计简介	(45)
复习思考题	(47)

第三章 血气分析仪

第一节 血气分析理论	(49)
第二节 离子选择性电极	(51)
第三节 血气分析电极	(56)
第四节 工作原理及基本结构	(59)
第五节 AVL995 型血气分析仪	(63)
第六节 CIBA-CORNING 248 血气分析仪简介	(67)
复习思考题	(69)

第四章 电解质分析仪

第一节 电解质的工作原理及基本结构	(70)
第二节 AVL983(4、5)型电解质分析仪	(72)
第三节 AVL988-3 电解质分析仪简介	(90)
复习思考题	(94)

第五章 自动生化分析仪

第一节 工作原理及基本结构	(95)
第二节 SYNCHRON LX20 全自动生化仪	(100)
第三节 日立 7170(A)全自动生化仪	(109)
复习思考题	(113)

第六章 电泳仪

第一节 电泳法的基本原理和电泳仪的结构	(114)
第二节 DY - W2 型中压电泳仪	(117)
第三节 电泳光密度扫描仪介绍	(121)
第四节 HYDRASYS 电泳仪介绍	(123)
复习思考题	(125)

第七章 酶标仪

第一节 酶标仪的工作原理及基本结构	(126)
第二节 UNISKAN II 酶标仪简介	(130)
复习思考题	(133)

第八章 IMX System 全自动酶免疫分析仪简介

复习思考题	(140)
-------------	-------

第九章 血细胞计数器

第一节 血液的组成、特点及血细胞计数参数	(141)
第二节 血细胞计数原理	(142)
第三节 血红蛋白测量原理	(147)
第四节 PC - 603 型血细胞计数器	(148)
第五节 Beckman - Coulter Ac. T 五分类血细胞计数器介绍	(150)
复习思考题	(156)

第十章 流式细胞仪

第一节 流式细胞仪的基本原理	(157)
第二节 EPICS - XL 流式细胞仪系统介绍	(158)
复习思考题	(163)

第一章 光电比色计

光电比色计(Photoelectric Colorimeter)是用来测量有色溶液浓度的仪器。由于它具有结构简单、使用方便、灵敏度高、价格低廉等特性,故在物理学、化学、医学、食品工业、制药工业、土壤分析、环境保护等各个领域得到了广泛的应用。

在医学生化检验方面,光电比色计可以用来测量血红蛋白、黄疸指数、无机磷、氨基酸、酚、肽键、蛋白质、糖类、乙糖胺、脱氧核糖核酸、类固醇等许多生化指标,为疾病的诊断提供可靠的依据。目前,光电比色计在各级医院得到了广泛应用,是不可缺少的常规仪器之一。

第一节 比色分析的基本理论

许多化学物质具有颜色,有些无色的化合物也可以和显色剂作用而生成有色物质。事实证明,当有色溶液的浓度改变时,颜色的深浅也随着改变。浓度越大,颜色越深;浓度越小,颜色越浅。因此,可以通过比较溶液颜色深浅的方法来确定有色溶液的浓度,对溶液中所含的物质进行定量分析。如纳氏管比色法,它是按浓度由高到低,配好一系列标准浓度管,然后拿待测样品和标准管逐个比较,看和哪一个标准管的颜色最相近,便读取该标准管的浓度值为待测样品的浓度值,这就是(目视)比色法。这种方法虽然比较简便,但是系列标准管不易保存,误差较大。后来改用光电检测元件代替目视来测量被测溶液中物质的含量,这种方法叫光电比色法。利用这种方法制成的仪器叫光电比色计。

光电比色计属于吸收光谱仪器范围,因此,这里首先对光的有关知识作一简要介绍。

一、光的性质

从物理学中我们知道,光具有波动和微粒两种性质,通称光的波粒两象性。在一些场合,光的波动性比较明显;在另一些场合,光则主要表现为微粒性。

首先,光是一种电磁波。可以用描述电磁波的术语,如振动频率(ν)、波长(λ)、速度(c)、周期(T)来描述它。我们日常所见到的白光,便是波长在 400~760nm 之间的电磁波,它是由红橙黄绿青蓝紫等色,按照一定比例混合而成的复合光。不同波长的光被人眼所感受到的颜色是不同的。在可见光之外是红外线和紫外线。各种色光及红外线、紫外线的近似波长范围如表 1-1 所示。

表 1-1 各种色光及红外线、紫外线的近似波长范围

单位: nm

颜 色	波长范围	颜 色	波长范围
远红外线	10 001~1 000 000	绿	501~560
中红外线	2 501~10 001	青	481~500
近红外线	761~2 500	蓝	431~480
红	621~760	紫	401~430
橙	591~620	普通紫外线	191~400
黄	561~590	真空紫外线	1~190

除了波动性外,光还具有微粒性。在辐射能量时,光是以单个的、一份一份的能量($E=h\nu$)的形式辐射的。式中 ν 是光的频率, h 为普朗克常量。同样,光被吸收时,其能量也是一份一份地被吸收的。因此,我们可以说,光是由具有能量($h\nu$)的微粒所组成的,这种微粒被称为光子。由式中可知,不同波长的光子具有不同的能量。波长越短,即频率越高,能量越大。反之亦然。光子的存在可以从光电效应中得到充分的证明。

二、光的互补及有色物质的显色原理

若把某两种颜色的光按照一定的比例混合,能够得到白色光的话,则这两种颜色的光就叫做互补色。图 1-1 中处于直线关系的两种光为互补色。如绿光和紫光为互补色,黄光和蓝光为互补色等等。



图 1-1 互补色光示意图

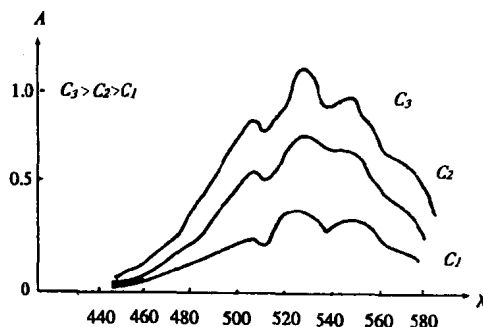


图 1-2 高锰酸钾溶液的光吸收曲线

物质的颜色与光的吸收、透过、反射有关。由于物质的性质和形态不同,所以呈现出不同的颜色。透明物质的颜色就是它透过光波的颜色。不透明物质的颜色是其反射光波的颜色。有色溶液对光的吸收是有选择性的。各种溶液之所以会呈现不同的颜色,其原因是因为溶液中的有色质点(分子或离子)选择性地吸收某种颜色的光所致。实践证明,溶液所呈现的颜色是它的主要吸收光的互补色。如一束白光通过高锰酸钾溶液时,绿光大部分被选择吸收,其他的光透过溶液。从互补色示意图可以看出,透过光中除紫色外,其他颜色的光两两互补。透过光中只剩下紫色光,所以高锰酸钾呈紫色。

通常用吸收曲线来描述溶液对各种波长的光的吸收情况。让不同波长的光通过一定浓度的有色溶液,分别测出它对各种波长的光的吸收程度(用吸光度 A 表示,后面讲述),以波长为横坐标,吸光度为纵坐标作图,所得到的曲线称为溶液的吸收曲线或吸收光谱图。例如,高锰酸钾的吸收曲线如图 1-2 所示。图中 C_1 、 C_2 、 C_3 分别代表不同的浓度, $C_1 < C_2 < C_3$ 。

从图 1-2 中可以看出,在可见光范围内,高锰酸钾溶液对波长为 525nm 左右的绿色光吸收程度最大,而对紫色和红色光很少吸收。

对于任何一种有色溶液,都可以测绘出它的吸收曲线。光吸收最大处所对应的波长叫最大吸收波长。浓度不同的同一种溶液,其吸收光谱的形状和最大吸收波长是一样的,也就是说,不同的物质都具有其特定的吸收光谱。如同根据指纹可以辨认众人一样,在光谱分析中,可以根据吸收光谱的不同来鉴别物质。

从图 1-2 中还可以看出,溶液的浓度越大,对(绿)光的吸收程度越大。因此,可以利用这部分光线通过溶液后被吸收的程度来确定溶液的浓度。如可用绿色光来对高锰酸钾溶液进行比色测定。

由于有色物质对光的吸收具有选择性,因此,在进行比色测定时,只能用光波中能被有色溶液吸收的那部分光线,即应该用单色光进行比色测定。至于不被有色溶液吸收的光线,则应设法在未透过有色溶液之前或之后将其消除掉。滤光片就起这个作用。根据前面所叙述的理由可知,选择滤光片的原则应是:滤光片的颜色应与待测溶液的颜色为互补色。

三、朗伯-比尔(Lamber-Beer)定律

溶液颜色的深浅与浓度之间的数量关系可以用吸收定律来描述,它是由朗伯定律和比尔定律相结合而成的,所以又称朗伯-比尔定律。

当一束平行单色光照射到均匀、非散射的溶液时,光的一部分被吸收,一部分透过溶液,一部分被比色皿的表面所反射。设入射光的强度为 I_0 ,吸收光的强度为 I_a ,反射光的强度为 I_r ,透过光的强度为 I_t 。则它们之间有如下关系:

$$I_0 = I_a + I_r + I_t$$

在实际比色分析时,所用的比色皿都是同质料、同规格的,因此反射光的强度为一定值,不会引起误差,即反射光的影响可以不加考虑。这样,上式可简化为:

$$I_0 = I_a + I_t$$

当入射光的强度一定时,被吸收的光的强度越大,透过光的强度就越小。这就是说,光强的减弱仅仅与有色溶液对光的吸收有关。

在比色分析中,常把透过光的强度占入射光的强度的百分比 $[(I_t/I_0)\%]$ 称为透过率或透射比,用 T 表示,即 $T = (I_t/I_0)\%$ 。 T 越大,表明有色溶液的透光程度越大。

当一束平行单色光通过有色溶液时,由于溶液吸收了一部分光线,光线的强度就要减弱。溶液的浓度越大、透过的液层越厚、入射的光线越强,则对光线的吸收就越多。如果入射光的强度不变,则光的吸收只与液层厚度及溶液的浓度有关。它们之间的关系可以用下式表示:

$$A = K \cdot C \cdot L$$

式中, A 为吸光度; K 为吸(消)光系数; C 为溶液的浓度; L 为液层厚度。此公式说明:在入射光一定时,溶液的吸光度与溶液的浓度及液层厚度成正比。此式就是光的吸收定律的数学表达式,又叫朗伯-比尔定律。这一定律是比色分析和其他吸收光谱分析的理论基础。

吸光系数 $K = A/(C \cdot L)$,它表示有色溶液在单位浓度和单位厚度时的吸光度。在入射光的波长、溶液的种类和温度一定的条件下, K 为定值。 K 值越大,说明比色分析时的灵敏度越高。

吸光度 A 与透射比 T 的关系如下:

$$A = -\lg T$$

即吸光度 A 与透射比 T 的负对数成正比。

四、定量方法

用光电比色计和分光光度计测定有色溶液的浓度有计算法和标准曲线法两种。计算法必须严格遵守朗伯-比尔定律的应用条件,方能得到准确的结果。

(一) 计算法

根据被测溶液浓度的大致范围,先配制一已知浓度的标准溶液。用同样的方法处理标准与被测溶液,使其成色后,在同样的实验条件下,用同一台仪器分别测出它们的吸光度。

在标准溶液中: $A_s = K_s \cdot C_s \cdot L_s$

在待测溶液中: $A_x = K_x \cdot C_x \cdot L_x$

将两式相除可得: $A_s/A_x = K_s \cdot C_s \cdot L_s / (K_x \cdot C_x \cdot L_x)$

如果测定时选用相同厚度的比色皿使 L 相等,并使用同一波长的单色光,再保持温度相同,则 K 也相等。这样上式可简化为:

$$A_s/A_x = C_s/C_x$$

由此可见,在满足上述条件下,溶液的吸光度与其浓度成正比。这一关系式是设计光电比色计和分光光度计的基础,也是比色分析的基本计算公式之一。式中标准溶液的浓度已知, A_s 和 A_x 可以用光电比色计测量出来,这样,待测溶液的浓度便可以由下式求出:

$$C_x = C_s \cdot A_x/A_s$$

由于仪器的性能和工作环境都是在不断变化的,因此,在采用计算法时,必须每次都要对标准液和被测液进行测量,然后利用上式进行计算,否则,会带来较大的测量误差。再者,光电比色计在使用时,一般都或多或少会偏离朗伯-比尔定律,故欲得到准确的测量结果,常采用标准曲线法。

(二) 标准曲线法

这种方法分以下几步进行:

- (1) 先配制 5 种以上标准浓度的溶液;
- (2) 测出每种溶液的吸光度 A ;
- (3) 做 A 、 C 标准曲线图,如图 1-3 所示。

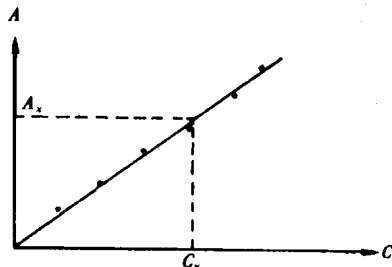


图 1-3 标准曲线

有了标准曲线图,便可以对溶液进行测量。在同样工作条件下,用仪器测出 A_x 后,查标准曲线,即可求得被测溶液的浓度值 C_x 。

为了方便工作,现代光电比色计大都加有对数运算放大器,使用时只要选用一种合适的标准溶液进行定标,然后便可以直接读取溶液的浓度值,使工作效率大大提高。

第二节 光电比色计的基本结构

利用光电池或光电管等光电元件作检测器,来测量通过有色溶液的透射比或吸光度,进而求出物质含量的方法叫光电比色法。基于这种方法而设计成的仪器叫光电比色计。一般的光电比色计由光源、滤光片、比色皿、光电检测器、放大和显示等6部分组成。光电比色计的方框图如图1-4所示。

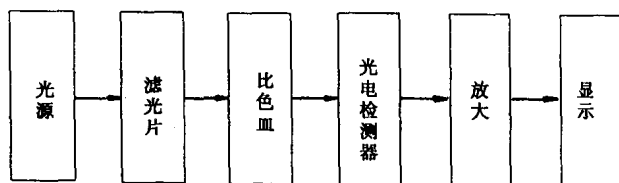


图1-4 光电比色计方框图

光源发出的复合光经滤光片滤除后,变为近似的单色光。此单色光通过比色皿时,被比色皿中盛放的样品液吸收掉一部分,然后照在光电检测器上。光电检测器将照在它上面的光信号的强弱转变为电信号的大小,最后由显示部分将测量结果显示出来。

一、光源

理想的光源应在整个所需要的波长范围内具有均匀的发光强度,也就是说,它的光谱应该包括所用的波长范围内所有波长的光,光的强度应该足够大,并且在整个光谱区中,其强度不应随波长有明显的变化。实际上,这种理想的光源并不存在,所有光源的光强都随波长而变。在可见光范围内常用的光源有钨丝灯和卤钨灯。

(一) 钨丝灯

钨丝灯是可见光区和近红外区最常用的光源,它适应的波长范围在320~2500 nm之间,如图1-5所示。钨丝灯靠电能将钨丝加热至白炽而发光,它的光谱分布与灯丝的工作温度有关。钨丝灯的特点是结构简单、价格便宜、寿命较长,通常可以工作1000 h以上。

其不足之处是,在点燃时钨丝会不断向外蒸发出钨分子。灯丝的温度越高,蒸发速度越快。钨丝的蒸发会使灯丝变细,缩短寿命,更重要的影响是蒸发出的钨分子到达灯泡的内壁时,会沉积在内壁上,随着工作时间的延长,内壁沉积的钨会越来越厚,使灯泡透出来的光越来越弱。严重的会使灯壁发黑,无法使用。使用卤钨灯可以解决这一问题。

(二) 卤钨灯

卤钨灯是在钨灯中加入适量的卤素或卤化物(如碘钨灯内加入纯碘,溴钨灯中加入溴化氢)而制成的,有时也被称作钨卤素灯或卤素灯。其灯壁多采用石英或高硅氧玻璃。卤钨灯有比普通钨灯高得多的发光效率和长得多的寿命,这主要是因为卤钨灯中,钨蒸气在靠近灯壁的低温区与卤素相结合,生成了挥发性的卤化钨气体。由于灯泡内的热对流,使卤化钨气体产生流动。当卤化钨碰上高温灯丝时,又分解成卤素和钨。钨沉积在灯丝上,而卤素再

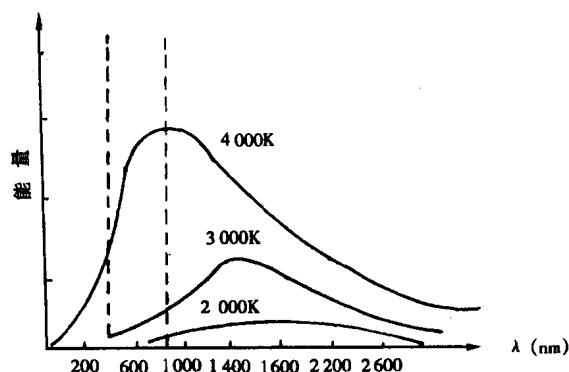


图 1-5 钨丝灯的能量曲线

继续扩散到温度较低的灯壁区与钨化合。这一过程一般称为卤钨循环或钨的再生循环。这一循环大大减少了钨在灯泡内壁的沉积,它不但延长了灯泡的寿命,还提高了灯泡的性能。卤钨灯的寿命通常可达 2 000 h 以上,它的另一优点是体积比同功率的钨丝灯要小得多。

钨灯(包括卤钨灯)的发光稳定度与所加的电压有密切的关系。已知在可见光区,其能量输出的波动约为所加电压波动的 4 次方倍。为了获得稳定的测量结果,保持光源灯发光的稳定性是非常重要的,这就要求给光源灯提供稳定的供电电压。

这两种钨灯既可以用交流供电,也可以用直流供电。在交流供电时,通常采用磁饱和稳压器供电。在直流供电时,通常采用电子稳压电路供电。目前,绝大部分采用直流供电。

二、滤光片

滤光片又叫滤色片,其作用是控制波长或能量的分布,即它只让一定波长范围内的光通过,而将其余不需要的波长的光滤去,相当于电路中的带通滤波器。滤光片通过的波长范围越窄、透射比越大,说明其质量越好。

滤光片通过单色光的纯度,通常用其光谱特性曲线的半宽度表示。图 1-6 是一块蓝色滤光片的透射比曲线。曲线上与最大透射比 T_M 所对应的波长(480 nm),叫峰值波长。与最大透射比的一半($T_M/2$)相对应的 A、B 两点之间的波长差,叫半宽度。即:半宽度 = $\lambda_2 - \lambda_1$ 。图 1-6 中的半宽度 = $530 - 430 = 100$ nm。半宽度越小,表示透过的单色光越纯。

常用的滤光片有吸收滤光片、干涉滤光片、复合滤光片等。

(一) 吸收滤光片

吸收滤光片又叫玻璃滤光片,它是在熔化的玻璃中掺以不同的添加剂制成的。这种滤光片所呈现的颜色就是其透过光的颜色。其优点是热稳定性较好、价格便宜,是普通光电比色计最常用的滤光片。根据其性能的不同,吸收滤光片又可分为带通滤光片和截止滤光片两类。带通滤光片的透光特性如图 1-6 所示。这类滤光片的半宽度较宽,通常在 100 nm 左右;最大透射比较小,通常在 20 左右。

(二) 截止和复合滤光片

截止滤光片的特性是其透光部分的透射比接近 100,而其他部分的透射比则迅速下降为 0,透光部分不存在两端截止的通频带,因此,它没有半宽度的概念,其透光特性如图 1-7 所示。从图 1-7 还可以看出,两块截止滤光片、两块带通滤光片,或一块截止与一块带通滤

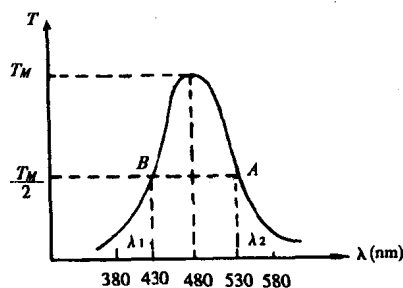


图 1-6 吸收滤光片的透光曲线

光片,可以组成一块新的带通滤光片,这样的滤光片叫复合滤光片。复合滤光片可以得到比玻璃滤光片窄得多的半宽度。

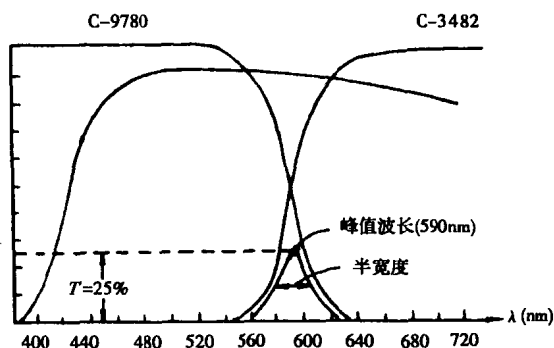


图 1-7 截止滤光片的透光特性

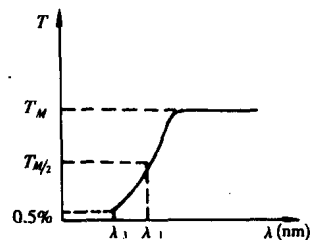


图 1-8 截止滤光片的名义值

截止滤光片的名义值用半高波长和陡度表示,如图 1-8。半高波长是指曲线前沿 $T_{M/2}$ 处所对应的波长,图 1-8 中用 λ_1 表示。透射比下降到 5% 时所对应的波长称为截止波长,图 1-8 中用 λ_2 表示。陡度定义为:陡度 = 半高波长 / ($\lambda_1 - \lambda_2$)。

国产比色计中 62、65、67 号 3 块滤光片为截止滤光片。

目前,国内生产的光电比色计一般只附有常用的 42 号、50 号和 65 号 3 块滤光片。滤光片的编号是其峰值(或半高)波长的代号。如 42 号和 50 号的峰值波长分别为 420 nm 和 500 nm,65 号的半高波长为 650 nm。如需要其他波长的滤光片,可以自行购买。

滤光片的透光特性与温度有关。温度升高时,不但它的半宽度会加宽,峰值波长也会起变化。温度变化还从其他途径影响比色分析。因此,在光源灯和滤光片之间常加上一块隔热玻璃,以减少温度的影响。

此外,虽然一般不认为透明玻璃是滤光片,但是普通玻璃确实不能透过波长小于 300nm 而大于 2 600nm 的光波。故工作在红外和紫外波段的光学仪器必须使用特殊的透光材料,如紫外区使用石英玻璃,红外区使用岩盐、氟化钙等。

(三) 干涉滤光片

由光的干涉原理可知,来自同一光源的两束光线,在空间经不同的路径而相互叠加时,若光程差为波长的整数倍,则互相加强;若光程差为半个波长的奇数倍,则互相减弱。

干涉滤光片就是利用光的干涉原理来产生窄谱带光束的元件。它大多采用多层镀膜等复杂的工艺制成。干涉滤光片的半宽度可以做得很窄,如可达几个纳米,透射比可以做得很大,如 70% 以上。

干涉滤光片虽然性能优越,但其价格昂贵。峰值波长和最大透射比会随着时间而发生改变,甚至失效。

另外还有一种滤光片叫中性滤光片,可以用它作吸光度的标准。它实际上是一个衰减器,在所使用的波长范围内,它对所有的波长进行大致相同程度的吸收。需要说明的是,这种滤光片上的标称吸光度值,可能与实际值有偏差,使用时要以实际使用的波长下的测定值为准。

三、比色皿

比色皿又叫比色杯、比色池、比色槽、吸收池等,它主要用来盛装比色分析时的样品液。在可见光范围内,比色皿常用无色光学玻璃或塑料制成;在紫外区,常用石英玻璃来制作。

比色皿的形状一般为方形,圆形的比较少。此外,还有流动比色皿、微量比色皿、可拆卸比色皿等,如图 1-9 所示。除了盛放液体的比色皿之外,还有用来盛装气体的比色皿。气体比色皿需加有盖子。

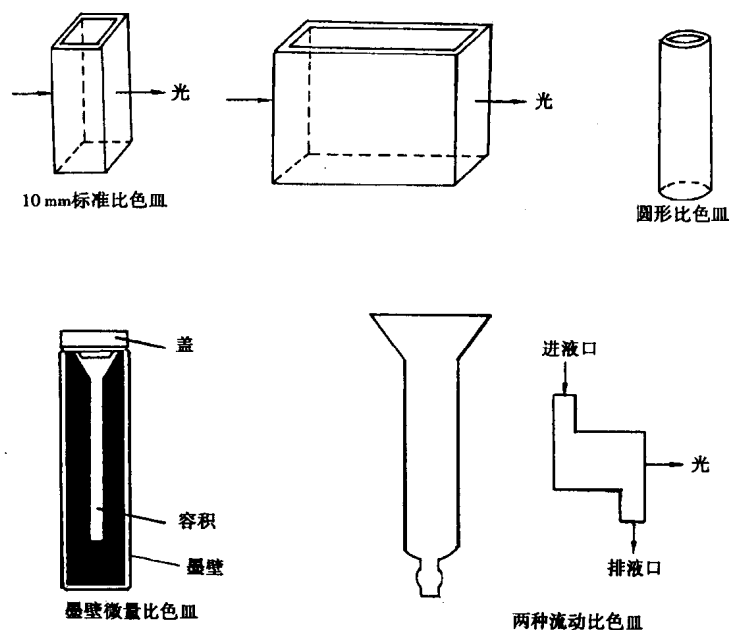


图 1-9 比色皿的形状示意图

由于经常用来盛装各种化学溶液,比色皿除了要求具有良好的透光特性之外,还应有较强的耐腐蚀性。

尽管可以做成各种形状和尺寸,但国际上规定,液层厚度为 10mm 的比色皿为标准比色皿。

在使用中应该注意的是,每台仪器所配的比色皿都是成套的,所以台与台之间所带的比色皿不能混用,否则会带来较大的测量误差。在同一测定中所使用的所有比色皿的光径(内径)必须一致。检验比色皿是否符合要求的方法是:先在各比色皿中放入相同的溶液,然后放入仪器进行测量。在其他条件不变的情况下,读出的透射比误差应小于 0.5%。否则说明误差太大,不应再使用。

比色皿的内壁和透光外壁都应注意清洁,不能用硬质纤维或用手去摸。其不透光的两壁是供拿取的。不透光的两壁被磨成毛沙面或其他不透光面,以示区别。

使用比色皿时,其放置方向也应注意。因为透光方向换向后,其透光性可能会发生改变。有的比色皿上标有箭头,用来指示光的方向。

使用时,溶液不要放得太满,以防液体溢出。一般加液量只要稍多于 $1/2$ 即可。若有液体溢出,一定要把其外表的水分擦干。否则,会产生光的反射和折射,严重影响测量结果。

四、光电检测器

前面已经述及,光电检测器是用来将光能转换成电能的器件。在检验仪器中常用的光电检测器有光电池、光电管和光电倍增管等。

光电检测器必须满足以下 3 个条件:

- (1) 光电转换须满足恒定的函数关系;
- (2) 波长响应范围宽;
- (3) 灵敏度高,响应速度快,产生的电信号易于检测和放大,噪声低。

(一) 光电池

某些半导体材料受光照射时,受光面和背光面之间会产生电位差,如果在这两面之间连接上检流计,会看到有电流通过,这种光电转换器件称为光电池。如硒光电池、硅光电池等,其中硒光电池应用较广,它的结构如图 1-10 所示。

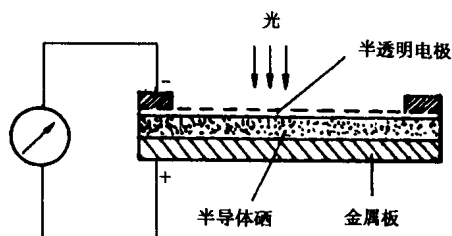


图 1-10 硒光电池结构示意图

在作为电极之一的金属板(如厚 $1\sim 2\text{ mm}$ 的铁、铜、铝板)上,涂上一层厚约 0.1 mm 的 P 型半导体硒。然后,再在硒上溅镀一层半透明的金属薄膜(如银或氧化锡等),作为另一极。经过热处理后,在硒半导体和金属薄膜的分界面上形成一层阻挡层——PN 结,其附加电场的方向由金属膜指向硒。这一阻挡层既能够阻止硒半导体中的空穴向金属膜中扩散,也能够阻止金属膜中的电子向硒半导体中扩散。当光通过金属膜照射到半导体上时,半导体中处于束缚状态的电子吸收了光子的能量后,成为自由电子,这时可以顺利地通过阻挡层到金属膜上。因此,在金属膜电极上便积累了较多的电子。另一极由于失去了电子,积累了较多的空穴,这样就产生了“光生电动势”。这种现象由于是在物体内部产生的,有时也把它叫做“内光电效应”。如果有外电路将两电极接通,便有(光)电流流经外回路。所产生的光电流与入射光强成正比。从其工作原理我们可以看出,光电池不用外接电源,只要受光照射,便能产生电流。应用起来很方便。

不同材料的光电池,其光谱灵敏范围不一样。硒光电池的工作范围在 $380\sim 750\text{ nm}$,包含了整个可见光范围。图 1-11 是硒光电池和人眼对不同波长的光的感应曲线。

在普通室内照明的条件下,硒光电池产生的光电流有几十至几百微安。用三用表就可以测量出来。方法是先将表置于 $100\mu\text{A}$ 或 $50\mu\text{A}$ 档,用正表棒接硒光电池的正极——背面铝

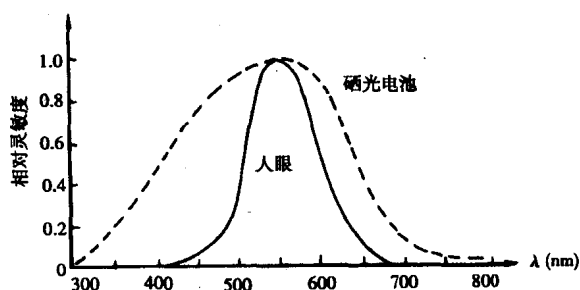


图 1-11 硒光电池和人眼对不同波长光的感应曲线

片,负表棒接负极——正面集电环。在一般的室内照明条件下,测得的电流为几十微安以上。当光电流非常微弱或没有时,说明光电池已经失效。

硒光电池受光连续照射的时间过长或受强光照射后,光电流会很快上升至一个较高的数值,然后逐渐下降,这一现象叫做光电池的疲劳现象,其表现为仪器上的指针或反射光点慢慢后退。因此,光电池不要连续使用过久。在插入滤光片之前,不要开亮灯泡,以免强光照射。如果光电池已经疲劳,最简单的恢复办法是把它置于暗处一段时间,使其慢慢恢复灵敏度。另外,光电池很容易受潮而致使其产生的电流大小不稳定,平时保存要防潮、防光,最好用深色纸包起来放入干燥器皿中。

光电池的优点是结实、便宜、使用方便,不需外接电源就可以直接送到微安表或检流计上去显示。其缺点是对光的响应速度慢,不能检测脉冲光束;内阻小,不便进行信号放大等。

常用的光电池除了硒光电池外,还有硅光电池。和硒光电池相比,硅光电池最大的优点是使用寿命长——可使用 10 年以上。它几乎无疲劳现象,是很受欢迎的一种新型光电池。

不同厂家生产的硅光电池,其光谱灵敏范围不一样。如有的工作在 300~1100 nm,有的工作在 500~1000 nm,还有的工作在 380~750 nm。所以,使用硅光电池时,一定要事先弄清楚其工作波长,即光谱灵敏度范围。

除了光谱灵敏范围之外,光电检测元件的另一个重要指标是积分灵敏度,简称灵敏度。灵敏度是指在单位光通量照射下,光电转换元件所产生的光电流的大小。一般光电池的灵敏度为几百微安/流明。

(二) 光电管和光电倍增管

一些金属和非金属物质,受到适当波长的光照射时,其内部电子会因动能增加而逸出物体表面,产生电子发射,这种现象称为外光电效应。光电管和光电倍增管都是利用外光电效应而制成的光电转换元件。外光电效应有下列特性:当入射光谱的分布不变时,所产生的光电流与入射光强成正比;对光的响应速度快,一般小于 10^{-8} 秒,可以测量脉冲光束。

其光谱灵敏范围与阴极上的光敏材料有关。更换不同型号的光电管时,一定要注意这一指标。

1. 光电管

光电管有中央阴极式、中央阳极式和平行板式 3 种。无论哪种结构,其工作原理是一样的。现以中央阳极式加以说明,如图 1-12 所示,玻璃泡内的一半内壁上涂以金属膜作阴极,阳极一般为圆环形,位于玻璃泡的中央。使用时,在阳极和阴极之间加几十至几百伏的电压。没有光照射时,光电管内无电流通过。当有光照射阴极 K 时,阴极便发射电子。在所加电压

产生的电场作用下,电子奔向阳极,经外回路后,又返回阴极。这样,便在电路中出现了电流。

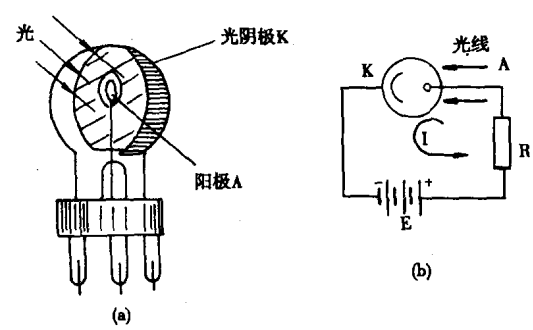


图 1-12 光电管及其电路

用来检测光信号强度的光电管内通常是被抽成真空的。它所发射的电子数正比于照到阴极上的光强,即入射的光越强,所产生的光电流越大。

光电流流经负载电阻 R (R 通常为几兆欧至几十兆欧) 时,便在该电阻上产生电压 IR 。在同样强度的光信号照射下,光电管产生的光电流比光电池产生的小,一般都需要放大后才能推动仪表显示。但光电管的灵敏度比光电池高,即使光电流小于 $10\mu A$,它也能测出来。

由于光电管的负载电阻很大,所以其极间及连接导线之间的绝缘、屏蔽显得十分重要。在制造时,其管脚周围都进行过特殊的绝缘处理来提高输入阻抗。修理过程中,在拆装光电管暗盒、更换和调节其内部元件时,切忌用脏工具和手去拨弄高阻及光电管的管脚部分,以免降低其绝缘性能。

光电管的光谱灵敏度范围与阴极所用的材料有关。更换光电管时,一定要注意其光谱灵敏度范围(即工作波长范围)。

光电管加上工作电压后,即使无光照射它,它也会产生一微小的电流,这一电流称为暗电流。暗电流由两部分组成,一部分是阴极的热电子发射,另一部分是漏电流。对于一般光电管,其漏电流为 $10^{-9} \sim 10^{-11} A$ 。暗电流常随温度、湿度等条件变化。当光照很弱时,光电流可能和暗电流的数量级相等。暗电流的存在限制了光电管能够检测的最小光通量的变化,并且在工作中要经常校对零点,以消除暗电流的影响。

表 1-2 是几种常见国产真空光电管的特性。

表 1-2 几种常见国产真空光电管的特性

型 号	GD-5	GD-6	GD-7
光阴极材料	CsSb	AgOCs	KNaSb(Cs)
光谱灵敏度范围(nm)	185~600	600~1200	350~850
灵敏度峰值波长(nm)	400±20	800±100	450±120
额定工作电压(V)	30	30	100
最高工作电压(V)	100	100	≤200
额定工作电压下的灵敏度(μA/lm)	≥30	≥10	≥45
额定工作电压下的暗电流(A)	≤3×10 ⁻¹¹	≤8×10 ⁻¹¹	≤8×10 ⁻¹⁰

2. 光电倍增管

光电倍增管是检测微弱光信号最常用的光电转换元件,它的灵敏度比光电管高 200 多倍。光电倍增管由阴极和多个倍增极组成(习惯上把最后一个倍增极叫阳极),每个倍增极上的电压是依次递增的。