

现代医用检验电子仪器

XIAN DAI YI YONG JIAN YAN DIAN ZI YI QI

主 编 甘心照 陈仁渔
副主编 钱 钟 张保平 王 锐 刘凤军



南京大学出版社

现代医用检验电子仪器

主 编 甘心照 陈仁渔
副主编 钱 钟 张保平 王 锐 刘风军
编 委 樊树耀 刘 辉 宁新宝 汤圣璩 钱 英 李 丰
车子义 贾景华 施廷华 管素圣 徐欣渡 朱昭广

南京大学出版社

1993. 南京

(苏)新登字第 011 号

现代医用检验电子仪器

主 编 甘心照 陈仁渔
副主编 钱 钟 张保平 王锐 刘凤军
责任编辑 李曾沛

南京出版发行
(南京师范学院)

南京马群印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:24 插页:8 字数:584千

1993年7月第1版 1993年7月第1次印刷

印数:1-3000

ISBN 7-305-02066-4/TH·5

定价:18.80元

前 言

本书继《用于治疗类的医疗电子仪器与设备》、《常用医疗诊断电子仪器》和《近代电子医疗设备与技术》之后出版的第四部“医用电子仪器与设备”类的科技书籍。与前三册一样,重点放在介绍仪器设备的基本原理和整机(或部分)电路分析上,有关维修方面的内容也放在即将出版的《现代医用电子仪器设备维修技术》中去。

现代医用检验电子仪器发展十分迅速,种类繁多,新品层出不穷。本书在内容安排上,按照实现生化检验的三大类分析法顺序编排:第一部分为“比色法”,包括光电比色计、紫外分光光度计、红外吸收分析仪、荧光分析仪、原子吸收分光光度计、火焰光度计、生化分析仪、气相色谱仪和质谱仪;第二部分为“电极法”,包括酸度计和滴定仪、血气分析仪以及钾钠分析仪;第三部分为其它方法,包括电泳仪与光密度仪、血细胞计数器、离心机。

本书内容着重于医学电子工程方面,最适合于“医用仪器设备”、“生物医学工程”等专业作教材或教学参考书;又可供从事于医用电子仪器设备的设计、使用和维修技术人员阅读;还可以作为检验师(士)、药品分析工作者、仪器分析工作者、环境保护监测工作者和法医等技术人员的参考书。

同已出版前几册一样,本书在筹备和编写过程中,得到了作者单位以及许多同志的支持,特别是周吉刚、李玉岭、周师群、许松毅等专家学者为本书提供了不少的帮助,在此我们谨向他们致以衷心的感谢!

书中错误和遗漏之处在所难免,欢迎广大读者及同行批评指正!

编者

1993年7月

DJS80/07

目 录

第一部分 比色法

第一章 光电比色计	1
第一节 比色分析的基本理论	1
一、光的性质	1
二、光的吸收原理	2
三、朗伯-比尔定律(Lambert-Beer law)	3
第二节 光电比色计的基本结构	5
第三节 GBS-1 型光电比色计	8
一、工作原理	8
二、仪器结构	8
三、电路分析	9
第四节 GD-811 型连续式比色计	10
一、工作原理	11
二、仪器结构	12
三、电路分析	13
第二章 紫外分光光度计	17
第一节 721 型分光光度计	17
一、主要技术参数	18
二、工作原理	18
三、光学系统	18
四、仪器结构	19
五、线路分析	21
第二节 751G 型分光光度计	25
一、主要技术参数	25
二、工作原理	25
三、光学系统	26
四、仪器结构介绍	27
五、电路分析	28
第三节 753B 型分光光度计	31
一、主要技术参数	31
二、仪器结构原理	31
第四节 岛津 UV-260 型分光光度计	35
一、仪器的主要技术参数	35
二、仪器的结构原理	37
三、主要电路图及其简介	39
第三章 红外吸收分析仪	44

第一节 红外分光光度计	44
一、概述	44
二、结构原理	45
三、主要元件	47
四、光学系统介绍	52
五、电路系统介绍	55
第二节 红外气体分析仪	57
一、基本原理	57
二、光学系统	57
三、接收器	58
四、电气系统	59
第四章 荧光分析仪	61
第一节 概述	61
一、光致发光	61
二、荧光发光	61
三、描述荧光的参数	61
第二节 荧光分析的常用方法及其特点	62
一、常用方法	62
二、荧光分析的特点	
第三节 荧光分析仪器	63
一、荧光仪器的基本结构	61
二、常用的几种荧光仪器类型	66
三、荧光仪器在医学检验中的应用	74
第四节 影响荧光测量的几种因素	74
一、荧光的温度效应	75
二、pH 值的影响	75
三、感光分解作用影响	75
四、散射光的影响	75
五、高次光的影响	75
六、高浓度试样测量导致误差的影响	75
第五章 原子吸收分光光度计	77
第一节 概述	77
一、基本原理	77
二、用途	79
三、特点	79
第二节 一般结构原理	80

一、仪器的一般结构	80	七、数据处理系统(简介)	124
二、光学系统	81	八、石墨炉电源电路	127
三、原子化器	83	第六章 火焰光度计	131
四、单色器	88	第一节 火焰光度计的原理与结构	131
五、检测器	90	一、原子光谱分析原理	132
六、信号处理系统	90	二、火焰光度计的结构和主要器件	133
七、显示器	91	第二节 6400-A型火焰光度计	139
八、原子吸收分光光度计的类型	92	一、仪器主体结构	139
第三节 WFX-110B(MC)型微机原子吸收分光		二、工作条件和技术性能	145
光度计	93	第三节 HG-3型火焰光度计	145
一、主要特点	93	一、仪器主体结构	145
二、仪器的主要性能指标	94	二、工作条件和技术性能	148
三、整机主要结构	94	三、改进型HG-4A简介	149
四、光源	96	第四节 EEL150型火焰光度计	149
五、原子化系统	97	一、基本原理和特点	149
六、光学系统	99	二、工作条件和技术性能	150
七、检测系统	101	第五节 IL943型火焰光度计	151
1. 光电转换器	101	一、基本结构和特点	151
2. 电子放大器	101	二、工作条件和技术性能	153
3. 控制器	102	三、控制键与操作循环	154
八、气路控制系统	108	四、错误代码	158
九、微机系统	109	第七章 生化分析仪	
附录：“A S-01型原子吸收微处理机”简介		第一节 工作原理及结构	160
.....	109	一、连续流动自动分析仪	160
第四节 Z-8000型偏振塞曼原子吸收分光光度		二、分立式自动分析仪	163
计	110	三、离心式自动生化分析仪	164
一、塞曼效应及其原理简介	110	第二节 DU生化分析仪	165
二、偏振塞曼原子吸收分光光度计的		一、DU生化分析仪各部分组成框图	165
基本原理	113	二、样品室	166
三、燃烧器系统简介	114	三、单色仪	167
四、光度测量部分简介	116	四、主要电路介绍	167
五、石墨炉原子化器简介	116	1. 电源板	167
六、光度计内部电路	117	2. 前置放大(检测)板	169
1. 光电倍增管高压电源(HV电源)	117	3. 控制板	169
2. 模拟信号处理电路	117	4. (吸样槽)温控板	175
3. 模数(A/D)变换启动信号		5. 吸样/分配板	177
整形电路	120	6. 打印接口板	177
4. 空心阴极灯电源	121	第八章 气相色谱仪和质谱仪	180
5. UV thoron 电源	121	第一节 气相色谱仪	180
6. 直流(DC)电源	121	一、色谱技术与色谱仪的基本概念	180
7. 模拟记录输出电路	121	二、气相色谱仪的结构原理	181
8. 气体控制部分	123		

第二节 质谱仪	196	八、标准碳酸氢根(SB)	230
一、质谱仪的组成	197	九、缓冲碱(BB)	230
二、静态质谱仪	197	十、碱超(BE)	230
三、动态质谱仪——飞越时间质谱仪	199	十一、细胞外液碱超(SBE)	230
第二部分 电极法		十二、血氧	230
第九章 酸度计和滴定仪	202	十三、 P_{O_2} 的定义	231
第一节 pH值的测定原理	202	十四、氧饱和度	231
一、pH值	202	十五、氧含量	231
二、测量原理	202	十六、P50 测量	231
三、酸度计电极的结构与性能	204	十七、温度校正值	232
第二节 酸度计的类型及结构特点	207	十八、血气分析中的计算值	232
一、分类	207	十九、血气分析参考值	233
二、结构特点	207	第三节 IL-1302型血气酸碱分析仪	233
第三节 几种典型酸度计电路介绍	208	一、IL-1302血气酸碱分析仪的特点	233
一、PXD-2型酸度计	208	二、IL-1302血气酸碱分析仪	
二、PHS-2型酸度计	209	的基本结构	234
三、PHS-25型酸度计	213	三、IL-1302血气酸碱分析仪	
四、PHS-3、PHS-3E数字式酸度计	215	的电路分析	236
五、PHGS-4电脑型多咱酸度计	216	1. 电源供应板	236
第四节 新型元件ISFIT在酸度计中的应用	217	2. 电极讯号处理板	239
一、ISFET结构和原理	217	3. 多功能接口板	241
二、典型测试电路	221	4. 键盘板和控制板	242
第五节 自动电位滴定仪	223	5. CPU板	245
一、工作原理	223	6. 1302打印系统	246
二、仪器结构	224	第十一章 钾钠分析仪	251
三、控制电路	224	第一节 离子选择性电极	251
第十章 血气分析仪	226	一、离子选择性电极的分析原理	251
第一节 血气分析的检测电极	226	二、离子选择性电极的分类	253
一、pH电极的工作原理	226	三、离子选择性电极的特点	255
二、二氧化碳分压(P_{CO_2})电极		四、离子选择性电极的性能	256
的工作原理	227	五、离子选择性电极的应用	257
第三节 血气分析的生理基础	228	六、应用离子选择性电极的测量方法	258
一、pH定义	228	第二节 钾钠分析仪的一般介绍	260
二、酸-碱生理	228	一、钾钠分析仪与火焰光度计的比较	260
三、血红蛋白缓冲系统	228	二、钾钠分析仪的基本结构	260
四、碳酸/碳酸氢根缓冲系统	229	三、几种典型仪器介绍	261
五、Henderson-Hasselbach公式	229	第三节 IL501钾钠分析仪	264
六、 P_{CO_2} 定义	229	一、仪器特点	264
七、 CO_2 总量(CO_2 含量)	230	二、管路(流程)系统	265
		三、传感系统	265
		四、操作键和显示器选择开关	
		与显示组件	266

五、测量显示电路	267	五、重要零部件工作原理	306
六、逻辑控制电路	269	第三节 DXJ-2型血细胞计数器	308
七、电源电路	274	一、功能与原理	308
第三部分 其它方法		二、技术性能及特点	314
第十二章 电泳仪与光密度仪	276	第四节 PC-603型血细胞计数器	315
第一节 电泳法的基本知识	276	一、技术参数	316
一、简介	276	二、管路系统和工作原理	316
二、电泳原理	276	三、中路分析及调整方法	318
第二节 电泳仪的一般结构	278	1. 总体方框图	318
一、电泳仪的分离	278	2. 检测板电路	319
二、电泳仪的结构	278	3. 血红蛋白板电路	321
第三节 DY-W I型电泳仪	279	4. 流体压力计板电路	322
一、工作原理	279	5. 电源电路板	323
二、电路分析	280	第五节 血细胞计数器发展简况	325
第四节 BS-423型稳压电泳仪	282	第十四章 离心机	326
一、工作原理	283	第一节 离心机的构造	326
二、电路分析	283	一、普通离心机	326
第五节 两种光密度仪介绍	285	二、高速、超速(冷冻)离心机	326
一、DGS-1型电泳光密度扫描仪	285	第三节 离心机转头	329
二、DG-3050型光密度计	287	一、转头的种类及用途	329
第六节 贝克曼光密度测定仪	287	二、转头的选择	331
一、概述	287	第三节 几种典型的冷冻离心机	331
二、基本原理	289	一、FL-0.4L型低速冷冻离心机	331
第十三章 血细胞计数器	299	二、日立 20PR-52D 系列高速 冷冻离心机	332
第一节 概述	299	三、日立 85P-72 制备型超速 冷冻离心机	341
第二节 血细胞计数器的基本原理	300	主要参考文献	344
一、电阻抗法计数原理	301	附：“医用电子仪器与设备”科技丛书	344
二、血细胞的分类计数	302		
三、定量测定原理	302		
四、血红蛋白测定原理	304		

第一章 光电比色计

目前临床化学试验的常规测定中,大多数采用吸收光度测定法,光度测定是对于光的强度的测量。物质可以吸收光或使光散射;物质也可以受光的激发而发光,例如荧光。总之,当物质与光发生作用时,可以显著地改变光的性质,而这种变化正是光度测量法的物理基础。近代的光度测量是用电子仪器来完成的。由于光和电流的速度极快,所以光度测定几乎可以在瞬间完成。光度测定法所以在临床化验中占有非常重要的地位,这也是原因之一。吸收光度测定法是基于物质对光的选择性吸收而建立起来的分析方法。它包括比色法、可见及紫外分光光度法以及红外光谱法等。在这一章我们介绍以比色法为基本理论设计的光电比色计。

利用溶液的颜色深浅来测定溶液中物质含量的方法,称为比色法。用光电池代替人眼睛进行比色分析,又称为光电比色法。光电比色法测定的条件是在可见光范围,并要求测定物为有色物,或经过一定的化学处理使无色的测定物变成有色化合物(如血清非蛋白氮),或使其溶液变成有色液(如血葡萄糖),再进行比色。

光电比色计就是利用光电比色法来测量溶液浓度的仪器,即利用物质对光的选择性吸收的现象,来测量溶液浓度的仪器。这种仪器结构简单,使用方便,灵敏度较高,而且价格低廉。在物理学、化学、食品工业、制药工业、土壤分析、环境保护、医学、科学研究等各个领域得到广泛的应用。目前,光电比色计在各级医院广泛使用,已经成为生化检验中必不可少的仪器。本章首先介绍一下比色理论,然后重点介绍几种国产型光电比色计。

第一节 比色分析的基本理论

许多化学物质的溶液具有颜色(无色的化合物也可以加显色剂经反应生成有色物质),当有色溶液的浓度改变时,颜色的深浅也随之改变,浓度愈大,颜色愈深。因此,可以用比较溶液颜色深浅的方法来测定有色溶液的浓度。这种方法叫做比色分析法。

一、光的性质

光电比色计是基于物质对光的选择性吸收而建立起来的分析方法。因此,对光的性质作一些简要介绍。

光具有两象性,即波动性和粒子性。波动性就是指光按波动形式传播。例如光的折射、衍射、偏振和干涉等现象,都可以用光的波动性来解释,并证明光的波动性质,光的波长 λ 、频率 ν 与速度 c 的关系为:

$$\lambda \cdot \nu = c$$

式中 λ 以 cm 表示, ν 以 Hz 表示, 光在真空中的速度约等于 3×10^{10} cm/s。

人眼能感觉到的光称为可见光; 其波长在 400~750nm 之间。在可见光之外是红外光和紫外光。

光同时又具有粒子性, 例如光电效应就明显地表现其粒子性。根据光的粒子性学说, 光是由“光量子”或称“光子”组成的。在辐射能量时, 光是以一份一份的能量 E 的形式辐射的, 同时光被吸收时, 能量也是一份一份被吸收的。光是具有 $h\nu$ 的颗粒所组成的, 这种颗粒称为光子。光子的能量与波长的关系为:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

式中 E 为光子的能量(J—焦耳), ν 为频率(Hz), h 为普朗克常数(6.626×10^{-34} J·s)。不同波长(或频率)的光, 其能量不同, 短波能量大, 长波能量小。

二、光的吸收原理

不同的溶液呈现不同的颜色, 这是物质对光选择性吸收造成的。实践证明: 溶液呈现的颜色是其主要吸收光的互补色。把两种颜色的光按一定的强度比例混合, 若能够得到白色光, 那么这两种颜色的光就叫做互补色。如红光和青光、绿光和紫光、黄光和蓝光等是互补色。表 1-1 列出了溶液颜色与吸收光颜色之间的关系。

我们可以举例说明互补色之间的关系。例如, 一束白光通过高锰酸钾溶液时, 绿光的大部分被溶液吸收, 除紫色光外, 其余颜色的光两两互补。因此, 高锰酸钾溶液呈紫色。在作比色分析时, 选择适当的滤光片, 就是根据这一原理。

表 1-1 溶液颜色与吸收光颜色的关系

物质颜色	吸 收 光	
	颜 色	波 长(nm)
黄 绿	紫	400~450
黄	蓝	450~480
橙	绿 蓝	480~490
红	蓝 绿	490~500
紫 红	绿	500~560
紫	黄 绿	560~580
蓝	黄	580~600
绿 蓝	橙	600~650
蓝 绿	红	650~750

前面提到人眼能感觉到 400~750nm 波长范围的光线。我们看到的白光是一种混合光, 它是由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等各种色光按一定比例混合而成的。各种色光的波长范围不同, 物质的颜色正是由于物质对于不同波长的色光具有选择性吸收而产生的。不同的物质对光具有选择性的吸收, 其本质是因为不同的物质具有不同的结构的缘故。物质是在不断运动着的, 构成物质的分子及原子处于一定的运动状态, 每个状态属于一定的能级。当原子核外的电子由某一能级跃迁到另一能级时, 就要吸收或辐射电磁波, 从而产生特征性的原子吸收或发射光谱。

分子和原子一样,也有它的能级。分子内部的运动可以分为电子运动,原子在其平衡位置附近的振动以及分子本身绕其重心的转动。因此,分子具有电子能级、振动能级和转动能级。当分子吸收能量之后受到激发,就要从原来的基态能级跃迁到受激态能级,从而产生吸收光谱。分子吸收光能具有量子化的特征,即它只能吸收等于两个能级之差的能量。假设 E_1 和 E_2 分别为分子跃迁前(基态)和跃迁后(受激态)的能量,那么,

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$$

当某一波长的光子能量恰好等于分子的跃迁能 ΔE 时,分子才会吸收此光能,引起转动、振动或电子能级的跃迁。特定的分子跃迁能量与分子内部结构有关。不同物质的分子由于结构上的差异,所需要的跃迁能量也不同,于是就呈现出不同的特征吸收光谱。由于其结构的复杂性,分子的特征吸收光谱是光谱带。

由计算可知,电子能级跃迁所产生的吸收光谱(即所需要的光能)位于紫外和可见光部分;振动和转动能级跃迁所产生的吸收光谱位于红外部分。

测量物质的分子吸收光谱的仪器包括光电比色计和分光光度计,是光谱分析仪器中常用的仪器。

三、朗伯-比尔定律(Lambert-Beer law)

1. 朗伯-比尔定律的表达式及其物理意义

当一束平行单色光通过有色溶液时,入射光线的一部分被器皿反射回来,一部分被溶液吸收,另一部分则透过溶液,如图 1-1 所示。它们之间有以下关系:

$$I_0 = I_a + I_r + I_t \quad (1-1)$$

式中:

I_0 —入射光强度

I_a —吸收光强度

I_r —反射光强度

I_t —透过光强度

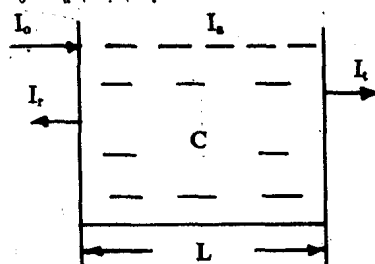


图 1-1 一束平行单色光通过有色溶液

由于在实际测定中,所用的比色皿都是同质料同规格的,反射光的强度为一定值,不会引起测量误差,所以反射光的影响可以不加考虑。则上式可简化为:

$$I_0 = I_a + I_t \quad (1-2)$$

从式 1-2 可知,当入射光强度 I_0 为一定时,被吸收光强度 I_a 愈大,则透过光强度 I_t 愈小。也就是说,光强度的减弱仅与有色溶液对光线的吸收有关。

那么,溶液对光线的吸收与哪些因素有关呢?实践证明:溶液的浓度 C 愈大,液层厚度 L 愈厚(即光线在溶液中所经过的路程愈长),则溶液对光线吸收得愈多。它们之间的关系由下式决定:

$$\lg \frac{I_0}{I_t} = kCL \quad (1-3)$$

这个公式就是朗伯-比尔定律。

公式中的“ $\lg \frac{I_0}{I_t}$ ”表示什么?当 $I_t = I_0$ 时, $\lg \frac{I_0}{I_t} = 0$, 表示溶液完全不吸收光线, 即溶液为无色透明; 当 $I_t \leq I_0$ 时, $\lg \frac{I_0}{I_t}$ 之值很大, 表示溶液对光线吸收较多, 即溶液颜色较深; 当 $I_t = 0$ 时, $\lg \frac{I_0}{I_t}$ 为无穷大, 表示光线被溶液完全吸收, 即溶液完全不透光。

可见 $\lg \frac{I_0}{I_t}$ 表示了溶液对光线的吸收程度, 一般称它为“吸光度”, 用 A 表示; 或称“光密度”, 用 E 表示。

于是式(1-3)可以改写为:

$$A = kCL \quad (1-4)$$

式中:

k —吸光度系数

C —溶液浓度

L —液层厚度

其中, $k = \frac{A}{CL}$, 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、溶液种类和温度一定的条件下, k 为定值。 k 值愈大, 表示该物质对光的吸收能力愈强, 浓度改变时引起吸光度的改变愈显著, 因此比色测定时灵敏度愈高。

在比色分析时, 常把透过光的强度和入射光的强度之比 I_t/I_0 定义为透光度 T :

$$T = \frac{I_t}{I_0} \quad (1-5)$$

透光度可以用百分数表示, 如 $T = 0.3$, 可写为: $T = 30\%$; 因 T 的最大值为 1, 即 $T = 100\%$, “ $100 \times T$ ”则称为百分透光度, 如 $T = 0.3$, 其百分透光度为: $100 \times 0.3 = 30$ 。

于是式(1-3)可改写为:

$$\lg \frac{I_0}{I_t} = -\lg \frac{I_t}{I_0} = -\lg T = kCL$$

或

$$A = -\lg T = kCL \quad (1-6)$$

这就是通常表示朗伯-比尔定律的数学公式, 即吸光度等于透光度的负对数。

2. 朗伯-比尔定律适用范围

朗伯-比尔定律是各种吸收光谱仪器的理论基础, 亦称为光的吸收定律。

朗伯-比尔定律只适用于平行的单色光。在光电比色计中是用滤光片来获得近似单色光的, 波长范围较宽; 在分光光度计中用分光单色器代替了滤光片, 使单色光的纯度大大提高。

在朗伯-比尔定律中, 当液层厚度固定时, 溶液的吸光度与溶液的浓度成正比。这一关系称作比尔定律。当浓度固定时, 溶液的吸光度正比于液层厚度。这一关系称作朗伯定律。朗伯定律在任何条件下适用, 比尔定律在浓度过高时失效, 即只适用于低浓度。

3. 朗伯-比尔定律在光电比色计中的应用

假定有两种有色溶液, 其中一种是已知浓度的标准溶液, 另一种是待测溶液。根据公式(1-6)有:

$$\text{在标准溶液中: } A_s = k_s C_s L_s \quad (1-7)$$

在待测溶液中: $A_x = k_x C_x L_x$ (1-8)

将式(1-7)除以式(1-8)可得:

$$\frac{A_s}{A_x} = \frac{k_s C_s L_s}{k_x C_x L_x} \quad (1-9)$$

如果上述两种溶液的液层厚度相等,温度相同,而且是同一种物质的两种不同浓度的溶液,测定时所选用的单色光的波长亦相同,则有: $L_s = L_x$, $k_s = k_x$,代入式(1-9)可得:

$$\frac{A_s}{A_x} = \frac{C_s}{C_x} \quad (1-10)$$

由此可见,在上述条件下,吸光度与浓度成正比。这一关系式就是光电比色计的设计依据,也是比色分析的基本计算公式之一。式中标准溶液的浓度 C_s 为已知, A_s 和 A_x 可用光电比色计测量出来,则待测溶液的浓度 C_x 即可求出:

$$C_x = \frac{A_x}{A_s} \cdot C_s \quad (1-11)$$

第二节 光电比色计的基本结构

利用光电池、光电管等光电转换元件来测量通过有色溶液后透射光的强度,从而求出被测物质含量的方法叫光电比色法,基于此而设计的仪器叫光电比色计。光电比色计只能在可见光范围内测量有色溶液的浓度。光电比色计的基本结构都是由光源、单色器(滤光片)、比色皿、光电检测器、放大电路和显示装置等单元构成。结构框图如图 1-2 所示。

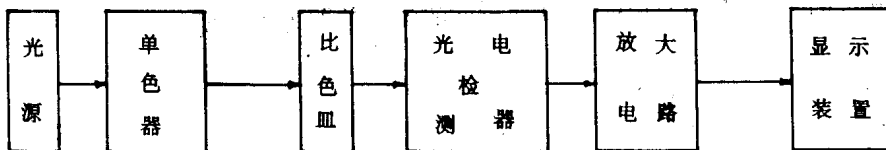


图 1-2 基本结构框图

简单的工作过程是:光源产生的复合光经单色器选择出所需要的单色光,此单色光被比色皿内的待测样品吸收掉一部分以后,照射在光电检测器上,光电检测器将溶液吸收后所剩余的光信号转换成电信号,放大后送到显示装置,将测量结果显示出来。

下面简单介绍一下各单元的特点、作用。

1. 光源

在光电比色计中常采用的光源有钨丝灯、卤钨灯等。

(1) 钨灯

钨灯是可见光区和近红外区最常用的光源,适用波长范围为 320~2500nm。特点是结构简单、发光强度高、寿命长(1000 小时以上)、价格较便宜。

(2) 卤钨灯

卤钨灯是在钨灯中加入适量的卤素或卤化物(如碘钨灯加入纯碘、溴钨灯加入溴化氢)制成,发光效率明显提高。

卤钨灯适用的波长范围也是 320~2500nm。

2. 单色器

单色器是从复合光中选择出较纯的单色光的装置。光电比色计采用滤光片作单色器。

滤光片又叫滤色片,通常是用一块单层或双层特制玻璃制成。是一些有各种颜色的玻璃片。滤光片的作用在于从含有各种波长的白光中,选择一近似的单色光通过待测溶液,其余的光线则被滤光片吸收。滤光片所透过的光线的波长范围愈窄(即愈接近于单色光),滤光片的质量愈好。

由于有色溶液对光的吸收具有选择性,因此进行比色测定时,对滤光片必须加以选择,否则灵敏度很低,导致测定结果不准确。选择滤光片的一般原则是:滤光片最大透过的光线应该是溶液最大吸收的光线。从颜色上看,滤光片的颜色与待测溶液的颜色应为“互补色”。

常用的滤光片有吸收滤光片和干涉滤光片。

(1) 吸收滤光片

吸收滤光片又叫玻璃滤光片,是在熔化状态的玻璃中掺以不同的添加剂制成的。特点是价格便宜,热稳定性较好,但半宽度大,透光度小。滤光片除了带通滤光片外,还有一种截止型滤光片。截止滤光片没有半宽度的概念,其特性是透光部分的透光度接近 100%,其它部分的透光度迅速下降为零。

滤光片所透过的单色光的纯度,常用其光谱特性曲线的半宽度来表示。图 1-3 是一块蓝色滤光片的透光度曲线,曲线上与最大透光度 T_M 相对应的波长(480nm)叫峰值波长。与最大透光度的一半 $\frac{T_M}{2}$ 相对应的 A、B 两点间的波长差即为半宽度。

$$\text{半宽度} = \lambda_2 - \lambda_1$$

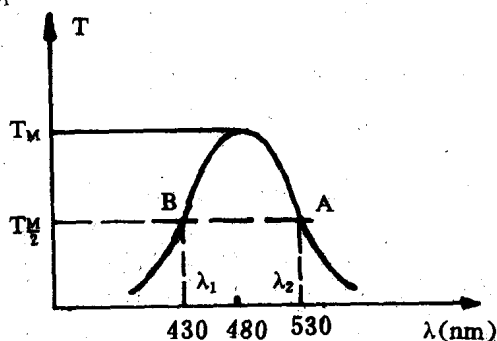


图 1-3 一块蓝色滤光片的透光度曲线

半宽度越小,透过的单色光越纯。

(2) 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,在空间经不同路程相叠加时,若光程差为波长的整数倍时,互相加强;若光程差为半个波长的奇数倍时,互相削弱。干涉滤光片就是利用光的干涉原理产生窄带光谱的元件。特点是半宽度窄,性能优良,但价格较贵。

3. 比色皿

比色皿又叫比色杯或吸收池,它是用来盛装所分析的样品液的容器。在可见光区,常用无色光学玻璃或有机玻璃制成;在紫外区,用石英玻璃制作。一般为长方形,也有圆形的,同一测定中使用的几只比色皿的光径(内径)必须一致。

对比色皿的要求是透光性能好,对化学试剂具有高度的耐腐蚀性。比色皿应注意清洁,不能有硬质纤维磨擦透光面,取放比色皿时要拿不透光面。使用时,透光方向要一致,不要人为造成比色皿透光本领的改变。

4. 光电检测器

光电检测器是利用光电效应将光能转换成电能的器件。在光电比色计中所使用的光电检测器主要有光电池和光电管。

(1) 光电池

某些半导体材料受光照射时,在受光面和背面之间会产生电位差。利用这种光电效应原理制出的光电转换元件叫光电池。常用的光电池有硒光电池和硅光电池。

光电池受光连续照射时间过长或受强光照射后,光电流会很快上升至一较高数值,然后逐渐下降,这种现象称为光电池的疲劳。其表现为光电流逐渐减少,仪器示值减小。所以在使用中不要连续使用过久,在插入滤光片之前不要开亮灯泡,以免强光照射光电池。此外,光电池易受潮而使光电流的大小不稳定,保存和使用时要注意防潮。

光电池的优点是结实、便宜、光电流较大、使用方便。缺点是内阻小、信号不便于放大。同时光电池的寿命短,一般不足一年。

(2) 光电管

一些金属和非金属物质,受到适当波长的光波照射时,其内部电子会因动能增加而逸出物质表面,产生电子发射,这种现象称为外光电效应。光电管是利用外光电效应制成的光电转换元件。

光电管产生的光电流一般仅为光电池的十分之一左右,光电流虽小,但内阻大,因此输出的信号易放大。

光电管结构简单、价格便宜,工作时间长。

5. 放大器

光电比色计在检测器的后面均加有放大电路,将电信号放大到足够大以后,再送到显示装置。也有的仪器(如 581-G 光电比色计)没有放大器,它们是将光电池输出的信号直接加到高灵敏度的检流计上显示,但是灵敏度低。

放大器有普通放大器和对数放大器。普通放大器输出的信号为透光度 T 和吸光度 A (如 GBS-1 型光电比色计)。因为 $A = -\lg T$,所以 T 在表盘上刻度是线性的, A 的刻度是非线性的对数刻度。用普通放大器的仪器不能直接读取浓度 C ,也不能测量高浓度的溶液。测出的数值需要计算或查标准曲线才能求出溶液的浓度。优点是电路简单,成本低。带对数放大器的电路(如 GD-811 型连续式比色计),通常是将光电管输出的信号光经前置放大级作阻抗转换并放大后,输给对数放大电路,经过对数放大,再送给显示装置。具有对数放大的仪器,可以线性显示透光度 T ,也可以线性显示吸光度 A ,亦可直接读取待测样品的浓度。

6. 显示装置

显示装置是用来显示测量结果的,常用的有检流计、磁电式动圈电表。

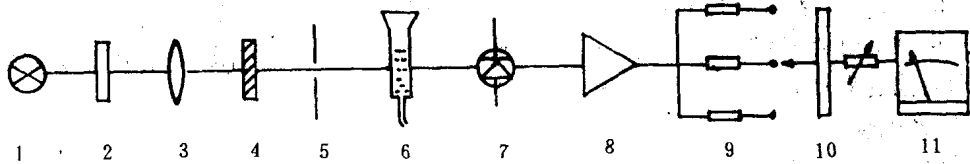
检流计(如 581-G 型光电比色计的显示装置)是一种高灵敏度的电流检测机构,其电流常数(指示光点每移动一毫米时流经检流计的电流)可达 $10^{-8} \sim 5 \times 10^{-10} \text{A/mm}$ 。从光电池输出的电流不经放大便可以推动其光点移动。

磁电式动圈电表(如 GBS-1 型光电比色计的显示装置)的工作原理与检流计相似,不同之处是将悬吊式变为水平式,前后轴承代替上下吊丝,指针代替光点。磁电式动圈电表体积较小,坚固耐用,目前使用比较广泛。

第三节 GBS-1 型光电比色计

GBS-1 型光电比色计是一种普及型光电比色计,与 581-G 型光电比色计比较,具有以下几个特点:光源灯采用溴钨灯;滤光片采用复合滤光片和干涉滤光片;比色皿采用流动式比色皿,误差小,使用方便;光电检测器采用进口硒光电池,寿命长,稳定性好;线路增加了电子放大电路;显示部分采用动圈式表头,提高了抗震性和可靠性。

一、工作原理



1. 光源灯 2. 隔热玻璃 3. 透镜 4. 滤光片 5. 光栏 6. 流动式比色皿 7. 光
电池 8. 放大器 9. 增益粗调 10. 增益细调 11. 显示仪表

图 1-4 GBS-1 型光电比色计工作原理图

如图 1-4 所示,光源灯位于透镜的焦点上,所以光源灯发出的复合光,经过透镜后便成为一束平行光。在光源灯和透镜之间加有一块隔热玻璃,这是一块截止型滤光片,用来滤除红外线,防止光源灯产生的热量进入测量系统影响测量结果。经透镜射出的平行光经滤光片的选择,将分析所需要的单色光选择出来。经过光栏和流动式比色皿,照射到硒光电池的感光面上,溶液的浓度不同,对光的吸收也不同,透过流动式比色皿照射到光电池的光强也不同。光电池将光信号的强弱转换成电信号的大小,此电信号经过放大器放大,增益粗调、细调的调节,最后由显示仪表将测量结果显示出来。

二、仪器结构

该仪器可大致分为光路和电路两大部分。现将光路系统结构介绍一下。

1. 光源灯及透镜

本仪器采用 5V10W 溴钨灯,发光效率高、色温高、光强高。为了延长溴钨灯的使用寿命,将其设计在欠压状态工作。溴钨灯的额定电压为 5.5V,实际工作在 4.2V。

灯泡位于仪器的右后部,安装在一个可以上下调节,左右旋转的架子上。在更换灯泡后需作适当调整,使光电池接收的能量最大。

光源灯发出的光经一块隔热玻璃到达会聚透镜。会聚透镜和隔热玻璃也安装在一个可上下左右调节的架子上,必要时可作适当调整,以使透镜射出的光准确地通过滤光片孔。

2. 滤光片装置

该仪器有十块滤光片,4块干涉滤光片,六块复合滤光片。所有滤光片的半宽度均较窄,单色性好。

滤光片放置在一个可以转动的滤光片盘上,使用时,只要拨动侧门外的滤光片盘,就可以更换不同波长的滤光片。

滤光片和流动式比色皿之间有一个光栏。这是一个开有一个透光孔的薄圆铁片,和滤光片盘同轴。有一个调节手柄。当手柄拨向最下面时,光栏的透光孔正好处于光路中,使透镜射出来的光能通过滤光片而到达光电池。当手柄在其它位置时,光路均被切断。

3. 流动比色皿和排液系统

本仪器的比色皿是一个上部带有漏斗的方形杯子,下部通过一段橡胶管连到一个塑料架上。平时,由于排液架内部弹簧的作用,滑杆端部的橡胶将排液孔紧紧堵住,使比色皿内部的液体不能外流。排液时,只需按一下仪器上部的排液按钮,滑杆及其端部的橡胶便向下移动,排液孔被松开,比色皿内部的液体即可排出。废液排出后,只要将按钮松开,在弹簧的作用下,排液孔又被自动堵住。

由于本机只使用一只比色皿来工作,所以消除了多个比色皿之间出现的误差。

4. 光电池

本仪器采用进口硒光电池,稳定性好,寿命也较长(>3年),无明显的疲劳现象,可连续工作八小时。光电池被封装于一个塑料盒内,更换也较方便。

仪器的电路系统主要由稳压电路和放大电路组成。有一个电源变压器,一个带散热片的稳压电源调整管和一块印刷电路板。

三、电路分析

整个仪器的电路由光源灯稳压电路、放大器稳压电路、放大器电路几部分组成,整个电路装在一块线路板上。

1. 光源灯稳压电路

光源灯稳压电路如图 1-5 所示,它输出一个 4.2V 浮地电压供电源灯和指示灯使用。电源变压器 B 的初级接有电源开关,当开关开路时,其常闭接点对显示仪表短路,防止仪表指针来回摆动,对指针起到保护作用。变压器次级输出电压为 18V,经二极管 D_1 、 D_2 全波整流、电容器 C_1 滤波后加在一个具有差动放大的串联型稳压电路上,取样电压来自 W_1 可调电阻上,基准电压来自 WY_1 稳压管,调节 W_1 可改变输出电压。其中 R_5 接辅助电源,由 D_3 、 D_4 、 C_4 、 C_3 组成二倍压整流电路, R_6 、 WY_2 组成一简单稳压电路。

2. 放大器稳压电路

放大器稳压电路如图 1-6 所示。它输出 $\pm 6V$ 稳定电压供放大器使用。这是一个整流滤波后,经稳压二极管(WY_{3-4})的稳压电路。两稳压管中间为地电位。