

平面偏振光偏转角测量技术的应用

徐丽珊

平面偏振光偏转角的测量技术，通过测量光束经过某种物质时偏振面的旋转角度来测量物质的某种特性。此项技术对待测样品不产生影响，所以在无损测量、科学研究、工业和医疗中应用广泛，在生物和化学领域以及新兴生命科学领域中也有重要应用，随着科学技术的发展，此项技术将具有更为广泛的应用前景。

平面偏振光偏转角的测量技术

平面偏振光偏转角测量系统主要包括激光器（Laser）、起偏器（Polarizer）、法拉第调制器（FC）、检偏器（Analyzer）和光电探测器（Photo electric detector）几个重要组成部分。其基本原理如图 1，将待测样品放在两个正交放置的偏振片之间，偏振光通过待测样品后其振动面发生偏转，当到达检偏器时，偏振光的振动方向与检偏器的透振方向不再垂直，从而有光入射到光电探测器，传统方法是旋

转检偏器，使透射光强最小，这时检偏器转过的角度即为待测样品使光偏转的角度，但随着光电检测技术的发展，人们逐渐采用光电探测器直接测量通过检偏器的光强，通过入射光强 I_0 与透射光强 I 的关系，得到待测样品使振动面旋转的角度。这项技术不影响或者破坏样品的性质，所以应用到越来越多的领域。

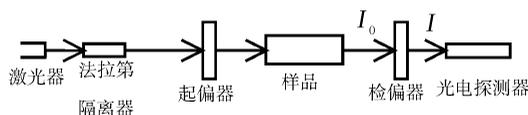


图 1 平面偏振光偏转角测量基本原理图

平面偏振光偏转角的测量技术的应用

旋光溶液浓度测量 偏振光通过某种物质后，其振动面将以光的传播方向为轴线转过一定的角度，这种现象叫作旋光现象。旋光现象不仅在石英等晶体中发现，在某些液体中也有发现。如松节油

组合而成。

目前主要的复合制导模式有光学多模制导、射频/红外多模制导和毫米波/红外多模制导几种形式。双模寻的复合制导技术已日趋成熟，各国正在积极研制三模复合寻的制导技术，例如日本研制对空导弹用的微波+毫米波+红外三模寻的头，这种导弹具有更高的命中精度、更强的抗干扰能力。如美国新研制的 AGM-88E “先进反辐射导弹”（AARGM）采用被动反辐射导引头+主动毫米波雷达+GPS/INS 新型多模制导装置；美陆军的“联合通用导弹”则采用半主动激光/红外成像/毫米波雷达三模导引头。“战斧”巡航导弹 BGM-109B 采用惯性导航+地形匹配+电视景象匹配复合制导模式。

三、精确制导技术的发展趋势

本世纪是信息技术高速发展的时代，依赖于信息技术的精确制导技术是军事技术研究的热点。参与此项技术研究的国家越来越多，研究发展的力度越来越大。随着信息技术的发展，精确制导技术必将取得惊人的成果，制导武器的“眼睛”越发雪亮，

精确打击能力将跃上新的台阶，精确制导技术的发展已呈现出以下几个特点。一是多色或多模复合制导将逐步发展成为精确制导的主要方式，红外成像和主动、被动雷达制导技术是发展的重点。二是普遍采用中制导和末制导复合制导技术，打破飞行距离对打击精度的束缚，实现远程精确打击。中制导将普遍采用惯导+全球定位系统复合制导；末制导采用双/多模寻的和自动目标识别算法。三是提高目标识别及在复杂战场环境下的自适应跟踪和抗干扰能力。四是导引头模块化、多样化、复合化和智能化，实现一弹多头，满足多种作战要求。五是发展“人机结合”控制技术。美国“斯拉姆”空地导弹和新一代“战斧”巡航导弹，就是典型的“人机结合”控制武器。六是发展惯性导航和全球定位系统一体化技术，即将 INS 和 GPS 作为一个整体装入导弹系统，这种一体化 INS/GPS 具有更好的抗干扰性能，质量轻、体积小、便于武器安装。

（北京燕郊华北科技学院 065201）

等纯液体、糖的水溶液和酒石酸溶液等。实验表明对于有旋光性的溶液，振动面的旋转角度 ψ 正比于光所通过的溶液长度 l 和旋光性溶液的浓度 C ，即

$$\psi = \alpha l C, \quad (1)$$

系数 α 叫作比旋光率，单位为度/分米·(克/厘米³)，标志着溶液的特性，与入射光的波长、溶剂有关，当溶剂改变时，它也随之发生很复杂的变化。式(1)常用于测定旋光溶液的浓度。这种测量方法既迅速又可靠，在生产上已被广泛采用，这种用来测量旋光溶液浓度的仪器叫旋光仪。其基本原理如图2所示。单色光源发出的光经过起偏器 P 后变为平面偏振光，待测溶液放在玻璃管 T 内，偏振光经过溶液后偏振面的旋转角 ψ 可以通过旋转检偏器 A 来测定。一般的应用对精度要求不高， ψ 的单位用度表示，浓度 C 的单位用 g/cm³ 表示，长度的单位用 dm 表示。但对精度要求较高的实验，需要在检偏器 A 后面放入光电探测器 PD，通过分析旋光前后的光强关系，得到旋光角 ψ 。在药物分析中，用旋光仪测出旋转角度，查出所测溶液的旋光率，即可利用(1)式较准确地测定溶液浓度。

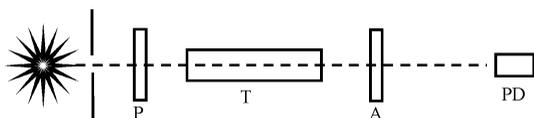


图2 旋光仪原理

制糖工业中用到的糖量计就是根据此原理设计的。许多有机药物、生物碱、生物体中各种糖类、氨基酸等都具有旋光性，并常有右旋和左旋两种旋光异构物。区别右旋和左旋对于了解分子结构和有关性质非常重要。某些药物的右旋和左旋异构物虽然分子式相同，但疗效迥异，如氯霉素只有左旋异构物才有疗效，人工合成的合霉素是右旋和左旋两种氯霉素的混合，其疗效就只有纯左旋氯霉素的一半。研究旋光物质的左右旋性质一般也是利用糖量计进行的。

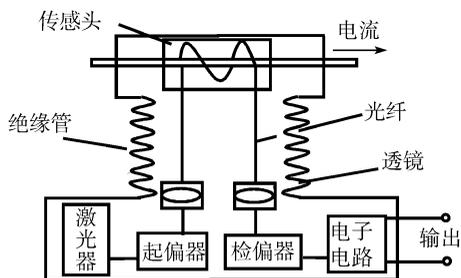


图3 光纤电流传感器测量电流原理框图

光纤电流传感器 目前应用比较成熟的电流测量仪器是电磁感应式电流互感器 (Current transformer, 简称 CT)，用于来测量电流已有 100 多年时间，具有重要的意义。然而随着电力系统传输的电力容量越来越大，电网电压等级越来越高，传统的电磁感应式结构已呈现出与之不相适应的弱点。绝缘结构日趋复杂、造价高、耗费材料多；充油易爆炸；如果输出负荷处于开路，输出端有高压，易受电磁干扰；在故障电流下铁芯易饱和而产生不能容许的测量误差。为了克服 CT 的缺点，人们开始关注光学传感技术，把光电子技术应用于超高压大电流的电力网络中。这就是光学电流传感器 (Optical current transducer, 简称 OCT)。如图3所示，OCT 是利用法拉第磁光效应原理实现电流测量的。在光学各向同性的透明介质中，外加磁场可以使在介质中沿磁场方向传播的平面偏振光的偏振面发生旋转，即发生了法拉第磁光效应。根据磁光效应，一束平面偏振光沿磁场方向通过磁光材料拉制成的光纤，偏振面发生旋转的角度 η 由下式决定

$$\eta = VIB, \quad (2)$$

式中 V 为光纤的 Verdet 常数，与物质的性质有关， l 为磁场中的通光路径的有效长度， B 为光纤所在的磁场强度。此时的磁场是由载流导体中的电流产生的，由磁场和电流的关系就可以达到测量电流的目的。目前，这类传感器被认为是最具前途的一种高压大电流测量装置。同样，式(2)还可以用来研究物质的旋光特性。当样品的长度和所在磁场已知时，通过检偏器1测量原始光强，通过检偏器2测量光经过样品后的光强，最后经过能谱仪分析经过样品前后光强变化，可得到样品的法拉第偏转角度 ϕ ，再根据式(2)就可确定样品的 Verdet 常数 (图4)。

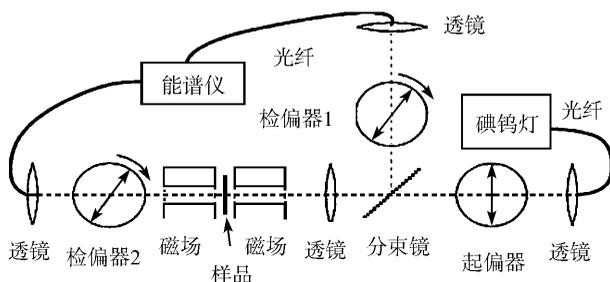


图4 测量材料的透射率、反射率和法拉第旋转实验装置图

磁光成像使亚表面缺陷探测可视化的研究近年来由于激光和光电技术在信息与军事方面的飞速发展，出现了探测精细表面下细小缺陷的技术。

目前表面无损检测技术已经比较成熟，但对精密表面以下的亚表面却没有理想的检测手段。比较成熟的传统检测手段对亚表面缺陷无能为力，如渗透法只适于检测表面开口缺陷，X、 γ 射线照射法、超声波检测法等适于深层内部缺陷。国内外曾经出现的激光冲击、超声显微镜等新技术，也因为系统复杂、成本高、性能不理想等原因没有发展为成熟技术。磁光/涡流显微成像技术，是一种新兴的涡流无损探测方法，综合应用了电涡流效应与法拉第磁光效应，目标是实现对亚表面细小缺陷的可视化无损检测。

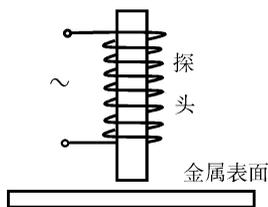


图5 磁光/涡流显微成像检测原理

涡流检测就是运用电磁感应原理(图5)，用正弦波电流激励探头线圈，当探头接近金属表面时，线圈周围的交变磁场在金属表面产生感应电流。对于平板金属，感应电流的流向是以线圈同心的圆形，形似旋涡，称为涡流。同时涡流也产生相同频率的磁场，其方向与线圈磁场方向相反。涡流通道的损耗电阻，以及涡流产生的反磁通，又反射到探头线圈，改变了线圈的电流大小及相位，即改变了线圈的阻抗。因此，探头在金属表面移动，遇到缺陷或材质、尺寸等变化时，使涡流磁场对线圈的反作用不同，引起线圈阻抗变化，通过涡流检测仪器测量出这种变化量就能鉴别金属表面有无缺陷或其他物理性质变化。此时，磁光传感元件将磁场的这种变化转换成相应的光强变化，即可对缺陷实时成像。

影响涡流场的因素有很多，诸如探头线圈与被测材料的耦合程度，材料的形状和尺寸、电导率、导磁率以及缺陷等等。因此，此项技术可以解决金属材料探伤、测厚、分选等问题。

磁光记录 磁光记录是近十几年迅速发展起来的最先进的信息存储技术，它兼有磁盘和光盘两者的优点。磁光盘广泛用于需要大规模数据实时收集、记录、存储及分析的领域，特别是对于集音、像、通讯、数据计算、分析、处理和存储于一体的多媒体计算机来说，磁光存储系统的作用是其他存储方式无法代替的。磁光记录的主要过程大致可分为：信息的写入和擦除，信息的读取两部分。具有

垂直各向异性的磁性薄膜为记录介质，采用数字信号存储。记录时，在外磁场作用下热磁写入。根据不同材料的性能，分为居里点写入和补偿点写入。图6a显示了磁光存储介质的记录原理：在外加磁场H的同时再加上表示信息的脉冲激光束，激光束照射的介质部分由于吸收光能而温度升高，假设磁矩垂直于膜面向下，我们定义为“0”状态。信息写入时，磁光读写头的脉冲激光聚焦在介质表面(通常激光斑的直径 $1\mu\text{m}$)，被照射的部分温度升高，当达到居里点或补偿点时，被照射的部分变为顺磁状态，在冷却过程中通过读写头的线圈施加一个反偏场，使之反向磁化，磁矩垂直于膜面向上，为“1”状态，从而实现信息的写入。当记录信号以后，需要对信号读出，这就是磁光记录的重放过程(图b)。该过程是用光读出记录在介质内的磁化强度的取向的，整个过程利用了光和磁的相互作用——克尔效应：一束线偏振光照射磁性记录介质的某一区域时，其反射或透射光为椭圆偏振光，以椭圆的长轴为标志的偏振面相对于入射光的偏振面有一转角，其大小由这一区域的磁矩取向决定。不同局域的磁矩指向对应于不同的偏角，由此可读取记录信号。

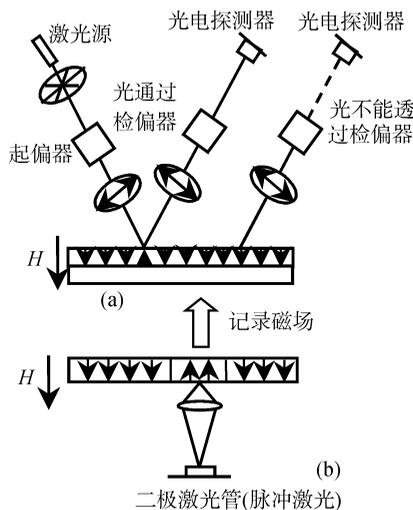


图6 信息写入和信息读取

重金属原子气体的宇称不守恒(PNC)的研究原子物理中对弱作用效应的研究有很多种，其中最有趣的是重金属气体的旋光效应。虽然许多实验与理论结果已有发表，原子跃迁中宇称不守恒的效应仍不十分明确。在Tl、Pb与Bi等元素的基态中，最值得探讨的跃迁是磁偶极(M_1)跃迁。宇称不守恒作用力的效应，使原子波函数含微量相反宇称。因此 M_1 跃迁变成电偶极(E_1)和 M_1 跃迁的混合，

高考物理命题热点——质谱仪

丁庆红

杨昌梅

质谱仪是将物质粒子转换成离子并通过适当的电场、磁场将它们按空间位置、时间先后、飞行轨道稳定与否实现荷质比分离，并检测强度后进行物质成分分析的仪器。质谱仪主要由进样系统、真空系统、电学系统、检测系统和数据处理分析系统组成。质谱方法最早于 1913 年由 J. J. 汤姆逊确定，以后经 F. W. 阿斯顿等人改进完善。现代质谱仪经过不断改进，仍然利用电磁学原理，使离子束按荷质比分离。质谱仪的性能指标是它的分辨率，如果质谱仪恰能分辨质量 m 和 $m+\Delta m$ ，分辨率定义为 $m/\Delta m$ 。现代质谱仪的分辨率很高，可测量原子质量精确到小数点后 7 位数字。

目前常用的质谱分析技术有以下四种：离子阱质谱、飞行时间质谱、四级杆质谱和傅立叶变换离子回旋共振质谱。

质谱仪最重要的应用是分离同位素并测定它们的原子质量及相对丰度。测定原子质量的精度超过化学测量方法，大约 2/3 以上的原子的精确质量是用质谱方法测定的。由于质量和能量的当量关系，由此可得到有关核结构与核结合能的知识。对于可通过矿石提取的放射性衰变产物元素的分析测量，可确定矿石的地质年代。质谱方法还可用于有机化学分析，特别是微量杂质分析/测量分子的分子量，为确定化合物的分子式和分子结构提供了可靠依据。由于化合物有着像指纹一样的独特质谱，质谱仪在工业生产中也得到了广泛应用。

近年来，对质谱仪的考查成了高考理科综合物理学科的命题热点。

一、高考物理试题注重考查质谱仪的工作原理

【例 1】（2001 年全国理综）图 1 是测量带电粒子质量的仪器工作原理示意图。方法是某有机化合物的气态分子导入图 1 所示的容器 A 中，使它受到电子束轰击，失去一个电子变成正一价的分子离子。分子离子从狭缝 s_1 以很小的速度进入电压为 U 的加速电场区（初速不计），加速后，再通过狭缝 s_2 、 s_3 射入磁感强度为 B 的匀强磁场，方向垂直于磁场区的界面 PQ。最后，分子离子打到感光片上，形成垂直于纸面而且平行于狭缝 s_3 的细线。若测得细线到狭缝 s_3 的距离为 d ，导出分子离子的质量 m 的表达式。

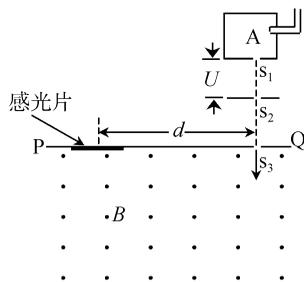


图 1

【解析】以 m 、 q 分别表示离子的质量和电量，以 v 表示离子从狭缝 s_2 射出时的速度，由动能定理可得 $qU=(1/2)mv^2$ ，射入磁场后，在洛伦兹力作用下做圆周运动，由牛顿定律可得 $qvB=mv^2/R$ ，式中 R 为圆的半径。感光片上的细线到 s_3 狭缝的距离 $d=2R$ ，解得 $m=qB^2d^2/8U$ 。

【点评】本题考查有机质谱仪的基本工作原理：以电子轰击或其他方式使被测物质离子化，形成各种荷质比 (e/m) 的离子，然后利用电磁学原理使离

电偶极 (E_1) 跃迁成分的多少，决定了旋光角的大小，对于 Tl 原子气体在 1283nm 的跃迁附近一个吸收长度上的 PNC 效应的旋光角度约为 10^{-7} 弧度 (rad)；Pb 原子气体在 1279nm 的跃迁附近一个吸收长度上的 PNC 效应的旋光角度约为 10^{-6} rad；对于 Bi 原子气体在 648nm 的跃迁附近一个吸收长度上的 PNC 效应的旋光角度约为 10^{-7} rad；而钐原子气体在 639nm 跃迁处的 PNC 效

应旋光角更小，约为 10^{-11} rad。这方面的实验与数值计算近年来颇受重视。

近年来，随着光电检测技术的飞速发展、仪器设备分辨本领越来越高，平面偏振光偏转角度测量得更加精确，这无疑拓宽了此项技术的应用领域，为其得到更广泛的应用提供了技术支持，使其得到了更广阔的发展空间。

（济南市山东中医药大学理工学院 250355）