

同位素与辐射技术对经济发展和科学研究的贡献¹⁾

卓 韵 裳

(清华大学工程物理系)

摘 要

同位素与辐射技术是核科学技术向非核科学领域扩展和渗透而形成的一门交叉技术。它分为七项应用技术。同位素仪表、核医学、同位素示踪、辐射加工、固体材料辐射改性、核分析技术和核农业。同位素仪表是不接触被测物的控制手段,它是核技术应用中经济效益最大的一个方面。同位素示踪,其示踪剂不改变所加体系的原有状态和特性,探测灵敏度极高甚至可做到对原子数目一个个地进行计量。利用辐射可对物质或材料进行改性和对医疗用品进行消毒。核分析技术灵敏度高,准确性好,又不损坏样品,可作痕量或超痕量元素分析。总之,同位素与辐射技术具有其他技术不可替代的优点,已经而且将为人类带来越来越显著的经济效益和社会效益,是一门应用广泛的新技术。

核科学技术的发展从 1896 年发现天然放射性起已有 91 年的历史了。它大致经历了三个阶段,即实验室研究阶段、军用发展阶段和军用、民用并行的阶段。

民用核技术是从第二次世界大战以后五十年代开始的。民用核技术主要是指核动力和同位素与辐射技术。

同位素与辐射技术实质上是核科学技术向非核领域扩展和渗透而形成的一门交叉技术。就应用的本质而言,它主要包括两部分:同位素的核特性以及电离辐射与物质相互作用所产生的各种物理效应、化学效应和生物效应。通常,按照应用的原理并结合应用特点把同位素与辐射技术分为七项应用技术:同位素仪表、核医学、同位素示踪、辐射加工、固体材料辐射改性、核分析技术、核农业。

1. 同位素仪表

它是一种利用放射性同位素和核辐射对非电参数实现检测和控制的一种新型仪表。一般由放射源、核辐射探测器和电子学仪表三部分组成。从 1951 年美国制成第一个厚度计用于橡胶生产以来,它已成为技术发展成熟、经济效益最大的一个应用方面。近二十年来,世界同位素仪表(这里指工业仪表)增长了 40 倍,平均

年增长率为 20—30%,经济效益显著,投资回收期短。据美国 1978 年统计,同位素仪表的平均价格约为 1.2 万元/台,投资回收期一般为 2—3 个月,多至一年。

同位素仪表的特点是不接触被测物,是非破坏性的控制手段,因此可在高温、高压、高粘度、高腐蚀和高毒性等情况下对密闭容器和非密闭容器的物料进行检测和控制。同位素仪表发展最早和用得最多的是物位计、厚度计和密度计。例如 γ 射线料位计(即物位计),是利用 γ 射线穿过物质后它的强度发生变化的原理,对物料的位置进行监控。无论容器内物料是否处于高温、高压状况还是有无腐蚀性和毒性,它都能对物料位置进行监控。这是因为探测器与放射源处于被测对象的两边,不接触被测物,利用 γ 射线从放射源发射出来,穿过被测物后被探测器收集,根据 γ 射线的通量密度的变化来监控物位。清华大学工程物理系研制和生产的 γ 射线料位计,在我国水泥、焦化、冶金、矿山、煤炭、石油化工、轻工等多种工业部门使用,应用厂家近 400 家,遍及 27 个省市自治区。仅 1982 年统计,水泥行业应用的 346 台 γ 料位

1) 本文引用了《同位素与辐射技术》一书。

计,只因水泥增产一项,每年增加产值 6000 余万元,每年增加利润 1600 多万元。由于此仪表在生产中经济效益显著,获得 1985 年国家科学技术成果推广二等奖。西方国家的厚度计、密度计等每台每年经济效益为 3500—5000 美元,苏联与东欧国家平均每台每年经济效益为 3500—5000 卢布。

核测井是利用辐射与物质相互作用的各种效应或利用岩石本身的放射性,对地层物理性质以及井下技术参数进行探测的一种先进物探方法。油田测井现在越来越深,核测井有着不可替代的优点。其主要特点是直观、准确、可靠,受外界干扰小,获得的井下信息多。当前国外广泛利用自然 γ 能谱测井、中子- γ 测井、碳/氧比能谱测井等方法。美国斯伦贝谢公司是世界最大的油气测井跨国公司,为世界许多国家测井服务。我国也请这家公司为几个油田测井,获得了较好的效果,但为测一口井,所化外汇高达数十万美元。我们必须利用国内的力量,自力更生地解决核测井的问题。目前,世界现有石油总产量的三分之一是由核测井作出的贡献。

放射性同位素火灾预警装置,是利用在空气中烟雾粒子较浓时, α 射线的电离效应显著降低这一原理制成的。它安放在宾馆、库房、图书馆等重要场所。据 1978 年的统计,美国生产这一装置盈利一亿多美元。我国在全国安装了三百万个家用火灾预警器,火灾被消灭在“萌芽”状态,它所产生的经济效益和社会效益是难以估算的。

2. 核医学仪器和仪表

它是当今同位素与辐射技术中产值最大、发展最快的一种仪器仪表。对于疾病的早期诊断与预防具有特殊重要意义。七十年代发明的 XCT 即 X 射线断层显象技术,可诊断人体脏器和组织有无异常,肿瘤部分及其大小,因此发明者获得了 1979 年诺贝尔奖金医学奖。以后有 ECT 即单光子发射断层显象 (SPECT) 和正电子发射断层显象 (PET),两种 ECT 不仅可以诊断脏器、组织结构形态而且还可对脑、心、肺

和神经系统的代谢与功能进行研究。核磁共振断层显象 (NMRCT) 是近年来发展迅速的一种显象技术,它的最大优点是在进行检查时不需要往体内引入放射性物质,而且可以根据需要取得与人体长轴成任意角度的断面图象。NMRCT 获得有关脏器组织的化学结构和生理生化信息。目前在美国,每两个患者,就有一人要求助于核医学。癌症病人中有 70% 需要进行放射治疗。放射性标记有机化合物与放射自显影方法的出现为生物医学带来革命性的影响。如今,生命科学所取得的成就中有 70% 体现了同位素与辐射技术的贡献,特别是分子生物学与近代生物工程,几乎一步也离不开同位素与辐射技术。

3. 同位素示踪技术

它是用同位素作为示踪物质,对体系的群体特性和行为进行考查的一种信息技术。所谓群体是指原子、分子、无机体、有机体等一类物质的集合体。由于示踪剂与被示踪物质的物理、化学性质甚至生物医学行为完全相同或几乎完全相同,因此,用微量的示踪剂对所加体系的原有状态和特性没有影响,而探测灵敏度却极高(约 10^{-6} — 10^{-16} g)。目前最先进的探测技术甚至可以对原子数目一个个地进行计量。同位素的核特性不受周围环境及其他物理、化学因素的影响,因而可在任何条件下进行物质与各种现象的静态和动态的研究。同位素示踪技术在工业上的应用,所创造的经济效益是可观的。如我国采用这一技术,有效地探明水库的渗漏情况,为水库防渗加固提供了科学依据。从 1974 年起,南京水利科学研究所采用同位素示踪技术完成了四个病险库坝的观测任务。其中对安徽省龙河口水库用 Na^{134}I 示踪技术取得实测资料,使这座水库摘掉了重点险库的帽子,重新发挥工程效益,还节省加固费数百万元。

4. 辐射加工技术

它是利用电离辐射与物质相互作用的物理效应、化学效应和生物效应,对物质或材料进行加工处理的一种手段。它包括辐射化工、医疗

用品辐射消毒、食品辐射保藏、“三废”辐射治理。据1982年统计，世界辐射加工年产值为20—30亿美元，年增长率为15—20%。例如，聚乙烯有机高分子经电离辐射(10^7 — 2.5×10^7 rad)照射后，其线性分子链发生交联，直到变成三维网状结构为止。辐射交联聚乙烯绝缘电线电缆比普通电线电缆(由聚乙烯作绝缘层)，具有优良的性能。普通电线电缆聚乙烯绝缘层在120℃只能维持10h就会软化，而辐射交联聚乙烯绝缘层在150℃下，其性能可以保持10000h，而在120℃材料几乎可以无限期使用。所以，美国的电讯电线有90%需用辐射交联聚乙烯绝缘电线。而且美国还明确规定，飞机用电缆，必须100%使用辐射交联聚乙烯产品。

医疗用品辐射消毒由于消毒彻底，操作简便，又节约能源，因而成为现今的重要新型消毒手段。它具有热消毒法和化学消毒法所不具备的独特优点。辐射剂量为 10^5 — 10^6 rad时，可使活的细菌、霉菌、真菌的数量减低到百万分之一。辐射剂量达到 10^6 — 4×10^6 rad时，可使病毒数量减少到百万分之一。辐射消毒可在常温下进行，因此它最适于由热敏感材料制成的医疗用品(如尼龙、塑料、乳胶制品、生物制品、敷料及各种镀锌、镀铬医疗器械等)的消毒。消毒后可长期保存。上述医疗用品用加热消毒法是不合适的，而且加热消毒法消毒不彻底，消耗能源大。化学消毒法所采用的消毒剂一般是环氧乙烷。它是一种致癌物质，医疗用品经环氧乙烷消毒后，必须存放两周以上，使其残存量低于2 ppm才能使用。但是消毒存放期过长，又会出现再污染，因为待消毒物品在消毒时，必须用透气性的包装材料，否则达不到良好的消毒效果。另外用环氧乙烷消毒时必须严格控制消毒操作条件：温度50—60℃，湿度30—58%以及环氧乙烷的浓度等。条件稍有改变就会影响消毒效果。西欧共有25个消毒中心，美国辐射动力公司(RDI)正在兴建两个消毒中心。美国有一个12 MeV电子加速器从事医疗用品消毒已超过15年，并始终进行放射性监测，没有发现医疗用品有高于本底的放射性。

日本过去是世界肝炎高发区，仅七十年代初采用一次性医疗用品辐射消毒后，十几年来日本已基本消灭了肝炎的交叉感染，肝炎患者大为减少。在发达国家，医疗用品辐射灭菌消毒已占一次性医疗用品消毒处理量的35%，估计到1990年可达80%。

5. 固体材料辐射改性技术

它使固体材料(半导体、金属、陶瓷、金刚石、绝缘体、电介质和磁性材料等)在电离辐射作用下，物理、化学性能发生变化。固体材料辐射改性技术可分为三类：一是离子注入技术，即在真空条件下，经加速的高速离子轰击固体材料，在其表面形成一定深度的注入层，而使材料表面的物理性质、化学组成和结构发生改变，从而使材料改性；二是半导体材料电子束辐照改性，原理和离子注入技术类似；三是中子嬗变掺杂。离子注入技术最初是对半导体器件进行离子注入掺杂试验。到七十年代初，离子注入技术促进了大规模集成电路的诞生，以后又推动了大规模集成电路向超大规模集成电路发展，向超高速集成电路进军。这就有力地推动了电子计算机的飞速发展。半导体离子注入掺杂优于常规的热扩散工艺，它能够调节掺杂深度和浓度，并控制掺杂元素在注入层内的分布，而且还可以在常温下实现半导体浅结的制作。离子注入还具有直接性特点，横向扩散小，大面积注入也很均匀，产品质量可以大幅度提高，一般可使成品率提高100—1000倍。再者，离子注入过程是在真空下进行的，因而没有外源性杂质污染，高度清洁。目前，离子注入技术与其他四项技术(细线条加工、计算机辅助设计、材料制备和集成电路设计)构成了大规模、超大规模集成电路研究和生产的五大基础技术。世界集成电路的市场销售额在1984年达到210亿美元。

金属表面离子注入处理具有巨大的工程应用价值。在目前世界范围内，材料磨损和腐蚀造成的损失十分惊人。据工业发达国家估计，每年因材料、设备腐蚀造成的直接损失约为当年国民经济总产值的2—4%。例如，美国1982

年全国因材料及设备腐蚀而造成的经济损失高达 1260 亿美元。我国在 1980 年估算的腐蚀损失约 200 亿人民币。采用离子注入技术可在一种机械性能良好但不耐腐蚀的金属表面形成一种抗腐蚀层,使这种金属既有良好的机械强度又耐腐蚀。英国在 1978 年曾对近 100 家工厂和实验室的离子注入工作情况进行调查,结论是离子注入可使金属耐磨性能提高 10 倍左右,使金属腐蚀钝化临界电流下降 10—100 倍。美国海军实验室利用离子注入技术克服了航空轴承的海水气氛腐蚀问题,使轴承寿命延长九倍。

6. 核分析技术

它是利用核物理和核化学的原理、方法和仪器进行的物质的成分和结构的分析。根据其工作原理,大体可归纳为三类:活化分析、离子束分析和核效应分析。

活化分析是建立在核转变基础上的元素分析技术,主要是中子活化分析。堆中子活化分析被公认为是痕量和超痕量元素分析的仲裁方法。离子束分析的基本原理是以不同能量的离子束射到样品表面,通过对离子与样品的相互作用而产生的弹性散射、溅射、核反应、X 射线与可见光光子等各种物理效应的分析和测量,可以获得样品的成分、结构、杂质含量及其分布的信息。核效应分析法是利用粒子与物质相互作用的其他效应的分析方法,如中子散射和中子衍射分析、穆斯堡尔效应分析、正电子湮没技

术、扰动角关联、核磁共振等。例如,质子 X 射线荧光分析技术特别适合于生物和环境样品的分析。我国曾应用这一分析技术分析了越王勾践剑的成分等,取得了良好的效果。

7. 同位素与辐射在农业中的应用(核农学)

辐射技术的应用主要包括辐射育种,农产品、畜产品和水产品的辐射保藏,昆虫辐射不育,小剂量刺激增产等。我国在辐射育种方面处于世界领先地位,占全世界辐射育种法选育品种的 1/3。一年中粮食、皮棉、油料的增产数量所带来的经济效益约为 30—40 亿元。墨西哥采用昆虫辐射不育技术根除了果蝇,每年可以避免 15 亿美元的虫害损失。同位素示踪在农业上的应用更为广泛,效益也很显著。如美国和苏联,采用磷-32 示踪研究磷肥的合理施用,每年获益近千万美元。

同位素与辐射技术所产生的经济效益是巨大的,全世界在 1960—1985 年期间同位素与辐射技术仅工业应用的累积总经济效益估计为 800 亿美元左右。

上面仅仅是用举例来说明同位素与辐射技术在经济发展中所显现的威力,足以说明它是具有巨大经济效益的新技术。

- [1] 瞿兴林,核技术, No. 11(1987), 2.
- [2] 陈鹤鸣等,核技术, No. 1(1987), 8.
- [3] 薛祉纶、胡序胜,核技术, No. 2(1987), 5.

1988 年第 10 期《物理》内容预告

九十年代物理学总论(李喜先编译);从尼尔斯·玻尔的复合核到高速转动的原子核结构问题(B. Herskind);长度单位——米不再是基本单位吗?(关洪);等组分(浓度)溶液晶体生长方法及其应用(陈万春);光学传递函数在全面评价象质中的应用(周武元);拉丝成品模用生长型多晶金刚石(程月英等);等离子体合成超细粉末技术应用(杨世才);低温温度测量(冉启泽);欧姆加热共蒸镀膜制备 Y-Ba-Cu-O 超导薄膜(曹效文等);射线减弱系数的能谱测量法(蒋锦江等);

金属玻璃线膨胀系数及退火对线膨胀系数影响的测定(姚慈顺等);微弱信号检测讲座第四讲:引力波检测(胡恩科等);光学矩阵运算(I)(陈岩松);罗兰与运动电荷磁效应(宋德生);高居里温度 PTCR 半导体陶瓷及其制备(刘梅冬);钛酸铋钠钡系超声用压电陶瓷材料简介(王天宝等);介绍《近代物理讲座》一书(荣毓敏);物理学新词条第七批:原子和分子物理(中国物理学会名词委员会)。