

全国“核技术及应用”发展战略研讨会论文集

中国核学会 编

2003.10.15—17

山东·威海

主办单位：

中华人民共和国国防科学技术工业委员会
中华人民共和国国家自然科学基金委员会
中国核学会

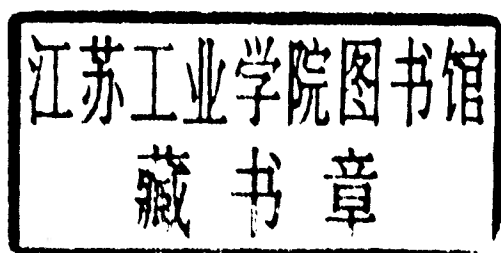
协办单位：

中国核工业集团公司
中国同位素与辐射行业协会
清华大学
北京大学
北京师范大学
华东大学

原子能出版社

全国“核技术及应用”发展战略研讨会 论文集

中国核学会 编



原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

全国“核技术及应用”发展战略研讨会论文集/中国核学会编. —北京:原子能出版社,2003.10
ISBN 7-5022-3014-9

I. 全… II. 中… III. 核技术-发展战略-学术会议-中国-文集 IV. TL-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 090248 号

内 容 简 介

本书收录了在 2003 年 10 月于山东威海市召开的“全国‘核技术及应用’发展战略研讨会”论文 19 篇。内容涉及核技术应用发展预测和展望,核技术在工业、农业、医学及国防等方面应用,以及与此相关的环境保护、人才培养、核安全、辐射安全等。

文章对我国最新科研成果进行了较为详细的介绍,从不同的视角探索了产学研结合开发核技术应用的道路,探索了市场经济条件下如何参与国际竞争,以及如何争取国家支持。本书适于从事同位素与辐射技术应用开发与研究的管理人员、科研生产人员及有关院校师生参考。

全国“核技术及应用”发展战略研讨会论文集

出版发行	原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 邮编:100037)		
责任编辑	傅 真		
责任校对	冯莲凤		
责任印制	丁怀兰 刘芳燕		
印 刷	保定市印刷厂		
经 销	全国新华书店		
开 本	880 mm×1230 mm 1/16		
字 数	228 千字		
印 张	8.25		
版 次	2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷		
书 号	ISBN 7-5022-3014-9		
印 数	1—500	定 价	40.00 元

版权所有 侵权必究(如有缺页,倒装,请与出版社联系调换)

目 录

大力发展军民两用的核技术应用 为国防现代化和国民经济建设服务	王乃彦(1)
核技术应用产业化前景光明	范霁红(7)
核技术发展与基础研究	郭之虞(10)
清华集装箱检查系统与工业 CT 的发展历程对“核技术及应用”的启示	康克军(16)
^{60}Co 辐射成像集装箱检测技术	安继刚 向新程(23)
离子束材料改性技术研究进展及相关政策建议	周宏余等(31)
辐射加工发展概况	孙家珍(44)
医疗器械辐射灭菌的进展及天然橡胶乳液辐射硫化的工业应用	朱南康(49)
我国辐照食品的产业化发展	陈殿华(62)
中国核农学和航天农学的成就及发展建议	温贤芳(72)
中国放射性同位素技术之现状与展望	罗志福(80)
医学影像诊断和放疗设备的现状和发展	
——核物理和核技术在医学中应用的现状和前景	包尚联(86)
面向 21 世纪的电子束烟气净化技术	徐光 罗经宇(95)
走中外合资道路 促进同位素技术产业化发展	中国同位素公司(101)
我院核技术产品发展状况及思考	钱天林(108)
推进核技术产业化的几点体会	叶敏坤(113)
清华大学工程物理系“核科学与技术”人才培养的实践与体会	程建平(115)
中国、美国、日本同辐技术产业经济效益比较	朱树中(120)
拓展核技术应用领域,建立军民结合新体制	
中国工程物理研究院 四川久远科技股份有限公司	(128)

大力发展军民两用的核技术应用 为国防现代化和国民经济建设服务

王乃彦

摘要:核技术应用正在国防现代化建设、工业、农业、粮食、生命科学、材料科学、信息科学、环境保护和人民健康等方面发挥着重要的作用。但是和国外的情况相比,也从国内的需求情况看,我国的核技术应用的情况存在着明显的差距和严重的不足。

据统计,美国和日本的国民经济总产值中核技术的贡献约占3%~4%。美国核技术产生的年产值约为3 500亿美元(其中核能部分约占20%,非核能部分约占80%),日本约为1 500亿美元(核能和非核能各占一半),如果也按照3%~4%的比值来测算,我国核技术应用的年产值应达到3 000~4 000亿元人民币,这和我当前核技术应用的产值相差约一个数量级,据不完全统计,我国核技术应用产业为386亿元人民币(其中核能约86亿元,非核能部分约为300亿元)。这说明我国核技术应用有着一个很大的市场和很好的发展前景。

但是国内一些从事核技术应用产品的企业由于规模小,资金不足,技术不够先进,产品质量以及承担风险的能力差,在激烈的市场竞争中处于被动的地位,虽然也有个别的企业做得很好,但毕竟是少数。目前我国核技术应用有相当一部分被国外厂商占有,在参加WTO后,这种势态还会进一步发展。

核技术是一项军民两用的技术,核探测技术、核仪器仪表、核放射源等已广泛地应用于国防建设、国防科学研究的各个方面。实际上核技术的许多发展和应用是来源于军事需求,因此发展核技术,实现产业化也对国防建设有着重要的意义。

因此呼吁国防科工委和有关部门对我国核技术的发展和应用给予大力的支持,在政策上和组织上采取必要的措施,加速推动其发展。

关键词:核技术应用;国防现代化;国民经济建设

一、核技术的应用和产业化的广阔前景

1. 核技术在信息、微电子学、半导体材料、材料改性等方面有着广泛的应用

射线束加工是注入离子束或中子束于材料的表面以改变固体表面层的性质,用12 MeV电子加速器对硅整流器件(可控硅)的辐射改性已经得到了广泛地应用,用金属离子源(MEVA)注入到材料表面,增强材料表面的力学强度和耐摩擦性等已广泛地应用于刀具加工、汽车工业与航空航天工业,在核反应堆上运用中子嬗变掺杂(NTD)制造的N型高阻硅,电阻率已达 $30\text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上,少子寿命可以达到 $1\,000\text{ }\mu\text{s}$,均匀性好,成品率高,适宜于制备优质高阻材料。

在20世纪70年代离子注入已成为微电子线路加工的手段之一,80年代该技术应用于超大规模的集成电路的制备,离子束刻蚀相对于光束和电子束刻蚀具有分辨率高(可达 $0.01\text{ }\mu\text{m}$)、曝光时间短的优点。由于器件的尺度要求愈来愈小,芯片加工过程中能量的积聚要求愈来愈小,用低温等离子体刻蚀方法要取代高温沉积法,成为大规模集成电路生产精细图案高保真转移的惟一经济可行的办法,现在微电子工业的全球销售额已达到1 600亿美元,其中三分之一的微电子器件设备是采用等离子体技术处理,以“奔腾”芯片为代表的半导体微处理器的复杂生产过程中的三分之一和等离子体技术有关。

目前全世界用于集成电路生产方面的离子注入机就有3 000多台。离子束注入半导体的年产

值全世界为 1 000 亿美元。美国为 600 亿美元(美国核电产值每年为 700 亿美元),我国为 200 亿元人民币,预计在本世纪中将会有更大的发展。

运用氧离子注入到半导体硅片上,在很薄的单晶硅层下,形成绝缘的 SiO_2 层,这种半导体材料称为 SOI (Silicon on Insulator)。它具有功耗小,时间响应快,体积小等优点,在军用和民用上都有着很好的发展前景。

2. 辐射加工发展迅速

辐射加工作为原子能工业的轻工业在世界各地发展迅速,并形成产业,年产值约为 200 亿美元,每年以 20% 左右的速度增长,年总产值已接近国民经济总产值的 1% 左右,用于辐射加工的电子加速器超过 1 000 台,其总功率为 45 MW, ^{60}Co 放射源的辐照装置多于 200 座,强度已达 1 亿 Ci。

与辐射加工有关的反应是辐射交联、辐射固化、辐射接枝和辐射裂解。主要是高分子化合物的辐射化学反应过程由于受辐照时发生化学反应量,在很宽的温度和剂量率范围内正比于吸收剂量,因此较容易做到控制聚合物中发生化学和物理变化的程度。一般来说,高分子化合物的相对质量为 10^5 以上,而在每一个高分子化合物中平均只要有一个化学键发生了交联或解裂,就会对其物理性质产生重要的影响,而所需的辐照剂量并不大。

到 2002 年我国用于辐照加工方面有 64 座装源能力为 30 万 Ci 以上的辐照装置,分布在 20 个省市自治区的 41 个市县中,实际装源量约为 1 700 万 Ci,比 1994 年增长 183%,有 56 台功率为 5 kW 的电子束加速器,其中进口 33 台,总功率为 3 532 kW,有 22 台用于热缩材料的生产,34 台用于辐照电线电缆,功率为 5 kW 以下的工业用加速器 8 台,主要用于聚乙烯发泡,聚合物接枝和涂层固化等生产。国际上辐照加工业几乎以每三年翻一番的速度在增长,国内也发展迅速,中科院首家股份制企业,长春热缩材料股份有限公司是亚洲热缩材料综合能力最强的企业,是中国热缩材料研究基地,控制着全国的热缩母料,2002 年由科技部认定为重点高新技术企业。由中国工程物理研究院主办的久远科技股份有限公司具有精良的加工设备,专门从事辐射加工产业的应用研究和产品开发,年生产能力超过亿元,在辐射加工领域已具有雄厚的基础。

和发达国家相比,我国的辐射加工产业差距较大,主要是产品品种少,产业规模小,许多重要的产业领域尚属空白,不适应市场的需要,因此存在着很大的发展空间,以辐照电线电缆为例,随着城市电网改造的加快,国内每年需要 $1\sim 10\text{ mm}^2$ 的阻燃电线就达 200 万 km,航天航空,海上石油开采、通讯、核电等领域需要大量的特种线缆,而且在耐温性、耐环境老化、耐开裂性方面都提出了更高的要求,经辐射交联后,其耐温性、耐化学试剂性显著提高,力学性能和耐开裂性也获得改善,电学性能也有好的变化。200 万 km 的线缆如果每米按 5 元计算,总产值约 100 亿元,其中一部分产值应算做辐射加工贡献。

高分子聚合物的辐射交联的应用尤为广泛,聚乙烯,聚氯乙烯和橡胶经过辐照后,阻热性,防止化学腐蚀性和力学强度方面得到明显改善,表 1 列举了高分子聚合物的辐射交联的商业产品。

交联的阻热性的高分子绝缘线已广泛地应用于汽车工业,航天航空工业,电讯行业和家用电器,在日本、法国、美国、巴西、韩国、印尼都应用橡胶分子的辐射交联显著改善汽车轮胎的物理性能,辐射交联后的价格要贵好几倍。

3. 食品辐射有利于储藏和保鲜

1980 年,FAO / IAEA / WHO 在日内瓦开会宣布“任何食品当其总体平均吸收剂量不超过 10 kGy 时,没有毒理学危险,不再要求做毒理学实验,同时在营养学和微生物学上也是安全的”。目前全世界已有 42 个国家批准辐照食品 200 多种,年市场销售总量达 30 万 t,食品辐照加工已列为国际重点推广项目。

表 1 高分子聚合物的辐射交联的商业产品

产 品	应用范围
交联的聚乙烯 PVC	热绝缘性能好、化学性能好的线，加热系统的管道
聚乙烯泡沫	绝缘物质，包装物和悬浮物质
热收缩管和片	食品包装，绝缘物质，防腐蚀物质
交联的橡胶	高品质的汽车轮胎，房屋顶层的保护层(防气候变化)
交联聚氨酯(日本)	制动传感器的绝缘电缆
交联的尼龙(日本)	汽车中隔热和防化学腐蚀的部分
超级防热的 SiC 的光纤(日本)	金属和陶瓷组件
硫化天然橡胶(马来西亚)	外科手术套

食品辐照与其他众多的食品保藏方法相比的优点在于：第一，可以杀菌、消毒、降低食品病原菌的污染。第二，食品的辐照处理是在常温下进行，特别适用于要保持原有风味的食品和含芳香性成分的食品的杀菌和消毒。第三，能耗低、无毒物残留、无污染。第四，辐照鲜活食品可以促进早熟、抑制发芽、减少农产食品腐烂和损失。辐照相对于二溴乙烯化学保鲜方法有很大的优点，因为二溴乙烯会破坏臭氧层，在不久的将来将要被禁止使用。

现在美国在 1 000 家的超级市场上出售辐照的牛肉，有 35 个国家有 7 万 t 的食品经过辐照。在 IAEA 的帮助下，越南建造了 40 万 Ci 的⁶⁰Co 源对冷冻虾和其他食品进行辐照。

我国食品辐照于 1958 年开始，先后批准了 18 种辐照食品管理方法，制定了 17 种产品的辐射加工工艺标准。据不完全统计，我国累计辐照食品数量已近 60 万 t，年辐照的产品达 10 万 t 左右，并且发展迅速，辐照食品已进入了商业化应用阶段。板栗是中国出口量很大的一种农产品，但是每年发霉，生虫造成的损失达 50%，用加速器对板栗进行辐照，可使板栗不再发霉、生虫，在板栗产区建立辐照中心，一个辐照中心就可使板栗每年增收 260 万元，而投资只要 280 万元。我国有 600 个板栗的乡镇，市场需求很大，比板栗产量大得多的红枣、核桃等农产品同样有霉变、虫害的问题，在农业方面辐照加速器有着很大的市场。据估计它相当于我国汽车工业产值总和的发展空间。

4. 核医学发展极为迅速

辐射灭菌消毒的医疗用品种类很多，包括金属制品、塑料制品以及一次性使用的高分子材料医疗用品等共计上千种，中西药与化妆品也都可以采用辐射消毒灭菌，辐射消毒灭菌将取代常规的化学消毒方法，因为化学方法所采用的消毒剂环氧乙烷具有强的致癌效应，而要去掉这些残留物将大大提高成本，从而丧失市场竞争能力，美国从 2000 年开始停止使用化学消毒法，欧共体及其贸易伙伴自 1991 年起就明文禁止在医疗保健行业采用环氧乙烷，溴甲烷熏蒸法进行灭菌处理。我国也是 1989 年保护环境的“蒙特利尔议定书”的签约国，随着我国加入 WTO，用辐射消毒彻底取代化学消毒灭菌法要在 2005 年完成，辐射消毒灭菌将成为主流，全世界医疗器械消毒年产值约为 1 200 亿美元，其中美国占 500 亿美元，在发达国家中，医疗卫生用品的辐射消毒约占钴源装量的 80%，而中国不足 10%；为反恐斗争的需要，2001 年美国邮政部已购买 8 台电子束加速器，每台价值 500 万美元，对每天通向政府重要机关的文件进行“杀毒”。俄罗斯、印度等国家，在非典发生期间，用紫外光和 X 射线来杀死 SARS 病毒已得到应用，美国已有单位研制出低能电子束加速器，它是可移动式，成本为几万美元，估计将来可降低为几千美元一台。

核医学产业可以分为两个方面：第一，放射性药物，它包括体内和体外的诊断药物和治疗药物。第二，放射性治疗和诊断装置，它包括加速器、钴源装置、CT、NMR、PET，等等，诊断药剂约

有 100 多种,其中最常用的是同位素 $^{99}\text{Tc}^m$,1996 年在美国市场销售额为 5.31 亿美元,2000 年为 7 亿美元,估计 2020 年可达 160 亿美元,核治疗药剂在美国 1996 年为 0.48 亿美元,2000 年为 0.62 亿美元,预计 2020 年可达 60 亿美元。

根据国内主要几家放射性药物生产单位所提供的数字统计,我国 1998 年核诊断药物的产值为 1.5 亿元,治疗药物约为 3 000 万元,这两项与美国相差 30 倍以上。1995 年全国正式注册生产和销售同位素的厂家有 43 家,生产 70 多种核素的 800 多个品种(主要是放射性药品、放射免疫试剂盒、放射性示踪剂和放射源)。2002 年产值为 4 亿元,其中放射免疫盒为 2 亿元。在放射免疫药盒市场中面临着国外企业的很大的竞争对手,例如美国 DPC 公司在天津的德普公司,专门从事免疫药盒的分装,年产值 7 000 万元,占领了 1/3 的国内市场,预计 2003 年该公司的产值将达到 1 亿元。

装源机(Brachytherapy)发展极为迅速用以治疗癌症,将高比活度,小尺度的放射源(^{192}Ir ,直径 1 mm)嵌入癌组织处,可以使治疗的时间从 10~20 h 减短为 10~20 min,并减少对其他正常组织的破坏。

核医疗器械和装置在发达国家中也不断完善、增加和更新,用于癌症放射治疗的装置,在发达国家中大约为 100 万人平均有一到两台,全世界约有 2 000 台 ^{60}Co 装置和 6 000 台加速器用于治疗处于人体内部深部位的癌组织,用直线加速器产生大于 20 MeV 的电子和 X 射线来杀伤癌组织,最新的治癌方法是采用质子和重离子,它的优点是可以更有效地破坏癌组织和减少副作用。例如用 ^{14}C 离子束治癌已取得很好的效果,日本放射科学国立研究所对 1 100 个骨、肝、肾癌的病例都获得很好的治疗效果。

据 1990 年统计,在美国采用放射性药物的医院已有 7 000 多个,共有 γ 相机和单光子断层扫描 11 000 多台,每年接收放射性药物诊断和治疗的病人为 2 000 万人次,日本采用放射性药物的医院有 1 100 多个,共有 γ 相机和单光子断层扫描 1 700 多台,每年用放射性药物约 150 万人次。我国使用放射性药物的单位约为 1 000 个,共有 γ 相机和单光子断层扫描约 120 台,每年病人约有 100 万人次左右。在全世界每年耗用的放射性药物中美国约占 1/3,日本占 1/25,中国占 1/200。医用电子直线加速器在全世界已接近 1 万台,美国有 900 多台,每年创造产值 180 亿美元,日本有 2 000 多台。我国目前大约有 400 万癌症患者,拥有医用直线电子加速器不到 100 台,医学专家估计,我国至少应有 500 台。核医疗器械至今还在继续发展, γ 刀用于肿瘤的切除,手术精度可达到 0.1 mm。

核医疗器械的国内市场绝大部分都被国外产品占领,如不采取有力措施,情况会更为严重。

5. 核技术在农业中的应用

发展与环境友好的农业以增产更多的粮食,核技术在农业中大有作为,辐射育种已经获得了 1 000 多种新的农作物,在全世界播种面积达几千万公顷,产生了巨大的经济效益和社会效应,20 世纪 50 年代辐射育种只占农作物新品种的 9%,而现在已上升到 50%以上,辐射源除了采用 γ 射线以外,越来越多地采用中子、离子束、激光和等离子体辐射源。

我国早在 1996 年就培育出首批主要粮食作物和棉花的新品种,如“原丰早”水稻,“鲁棉 1 号”棉花,“鲁原早 4 号”玉米,“太辐 1 号”小麦等,我国已经在 40 多种植物上培育和推广新的农作物品种 513 个,约占世界的 1/4,辐射诱变育种的年种植面积保持在 900 万公顷以上,约占我国各类作物种植面积的 10%,每年为国家增产粮、棉、油 30~40 亿 kg,社会效益近 60 亿元。

采用昆虫的辐射不育技术代替农药来控制病虫害的生长。一个保守的估计,由于虫害造成世界粮食每年减产 25%~30%,虽然已经用了大量的农药,即每年已用了约 250 亿美元的农药,这样大量的使用农药带来了环境的严重污染,在许多国家已经用昆虫不育技术来取代杀虫剂。用人工在大量繁殖昆虫时,用辐射使雄性昆虫失去繁殖能力,然后放回自然,雌性昆虫和不育的雄性

昆虫交配，产生的卵不能繁衍后代，最终可导致这种昆虫的灭绝。这种技术曾成功地用于杀灭果蝇和新大陆螺旋蝇，在墨西哥、美国、智利、阿根廷和秘鲁等国家已成功地用来杀灭和控制地中海蝇，在坦桑尼亚也成功地消灭了 tsetse 蝇，tsetse 蝇能传播锥虫病，它对动物危害很大，并造成人的思睡病，在非洲的许多国家严重的限制了农业的发展，在埃塞俄比亚正在开展一个控制和消灭 tsetse 蝇的大计划。

我国也曾用这一技术来控制棉花的棉铃虫的生长，并取得了很好的效果。棉铃虫的灾害可以造成棉花减产 20%。1992 年我国棉铃虫灾害严重，5 000 万亩棉田受害，棉花减产 40%，防治费用和受害损失约 1 000 亿元。完善大规模人工饲养棉铃虫的技术和辐射技术，建立具有周产 500 万头以上生产能力的棉铃虫养虫工厂，在 10 万亩以上的范围内释放辐射过的棉铃虫，可以使棉铃虫危害下降到 1%，并大量的减少化学杀虫剂的使用。保护环境，减少污染。

采用核素示踪技术研究肥料(特别是新型生长素微量元素)的吸收，改进施肥技术，增加农作物的产量。微量的稀土元素在生物体内新陈代谢过程中起着重要的生理作用，可以增加植物体内叶绿素的含量，提高光合作用效率，增加农作物的结实率，如可使小麦增产 1.7%~8.5%，玉米增加双穗率，增加穗长和粒重，甜菜增加产量和含糖量。

核分析技术、核径迹探测技术可用来研究微量元素在农作物中的分布、吸收、蓄积、迁移等新陈代谢的规律。在分子生物学水平上，研究微量元素的生物效应，同时还应该开展这些微量元素通过食物链最后进入人体内可能产生的生物效应，尤其是稀土、Se、Zn 等微量元素的效应。

核农业技术的发展会成为改造传统农业，促进农业科学技术进步的一种高新技术，也是使我国农业的发展走上环境更为友好，又能增加产量的路子。

6. 核技术在环境治理中的应用

核技术在 21 世纪的环境科学和环境监测以及保护方面会遇到最大的机遇和挑战。

首先在环境监测方面，可以充分应用现有核分析技术所具有的高灵敏度、高准确度，恶劣条件的适应性，对环境进行实时、远距离监测，对环境污染物质化学种态及其效应进行分析和评估，对新型污染物进行鉴别和溯源分析，应该说核分析技术已成为环境监测分析的质量保证体系中的重要组成部分。

核技术已广泛用于治理环境污染，利用辐射处理污染、废水和其他生物废弃物的方法和传统的填埋、投海、焚烧等处理方法相比有显著的优点。它不会造成环境的二次污染，美国已有半生产性的辐射处理废水工厂 40 多座，经处理后的水的各项指标，几乎都优于常规处理法，运用辐射处理污泥的技术也已成功运行十多年，处理费用低，处理后的污泥，仍保持有其原来的养分。

针对燃煤电厂排放的 SO_2 和 NO_x 对大气造成的污染，采用电子束烟气脱硫脱硝技术是一条切实可行的办法，电厂排烟中的 N_2 、 O_2 和所含水分，经电子束辐照后，产生大量的 $\text{OH}^\cdot$ 、 $\text{O}^\cdot$ 、 $\text{HO}_2^\cdot$ 等氧化自由基，这些自由基与烟气中的 SO_2 或 NO_x 相互作用，发生氧化反应，并生成 H_2SO_4 和 HNO_3 ，所生成的雾状 H_2SO_4 和 HNO_3 与注入反应器中的 NH_3 相互作用生成白色粉状的硫酸铵和硝酸铵，这些副产物可以直接用做化肥，这些方法的优点在于同时脱除 SO_2 和 NO_x 的效率高，分别可达 90% 和 80%，无二次污染，无需废水处理，副产物可用做农业化肥。因为该项技术从 70 年代才开始，经过了 20 多年的努力，现在已从实验室研究发展到中试装置，并获得成功，可以认为建设工业规模的电子束烟气治理示范性工程的条件已经成熟，日本荏原制作所和我国电力部合作，1997 年在成都建成世界上第一台大型示范试验装置，日本荏原制作所和日本中部电厂合作，在日本名古屋建造了处理 62 万标方/小时的烟气净化装置。

目前全世界 15 个国家和地区的火电厂采用烟气脱硫，装机总容量达 24 000 万 kW，其中 80% 为湿法，即传统的湿石灰石——石膏法脱除烟气中的 SO_2 ，10% 为喷雾干燥法，10% 为其他方法。这些方法产生二次污染大，大量废水还要进一步处理。目前日本拥有 1 800 套装置，总处理能力超

过 5 000 万 kW,美国为 8 000 万 kW,德国也在 4 000 万 kW 以上。将来都有被新的方法所取代的趋势。

等离子体技术处理三废具有技术优势,它可用于有害物质分解、城市垃圾的高温焚烧、废水废气等处理。

在化学工业中乙炔有“有机合成工业之母”的称号,仅 60 年代全世界乙炔产量已达到 1 000 多万 t,但传统煤乙炔化工逐步被石油—乙稀化工所取代,这是因为煤制乙炔工艺会造成严重的环境污染,由于氢等离子体技术的发展,为煤转化为乙炔研究创造了条件,煤在氢等离子体条件下,在 3 700 K 左右的温度与氢离子相互作用生成乙炔,这不仅可以减少污染,还可以达到资源的综合利用。

二、几点建议

1. 建议将核技术应用及产业化列入国家的中长期发展规划,统筹安排国家核技术产业化的工作和各项产业的布局。国家应该有一个部门来归口这些工作,克服目前无人管的状态。

2. 加快管理体制的改革,建立现代化的企业制度。

目前许多核技术应用是在科研院所里发展起来的,运行机制落后,吃大锅饭的现象依然严重,职工的工作积极性不能充分调动,资产经营意识淡薄,不适应市场经济的要求,在市场上产品缺乏竞争力。要从体制改革入手,遵照“产权清晰,责权明确,政企分开,科学管理”的原则,推动科研院所的核技术应用企业建立现代企业制度,形成符合市场规律的经营管理和激励约束制度,从而使科技企业真正地走向市场。按照国家有关法规适时深化产权制度改革,通过更广泛地引入其他社会法人参股,合理确定科技和经营骨干持股比例,实现股权多元化,使企业的股权结构更加合理,使生产经营与资本运作有机结合,促进产业发展。

3. 加大资金投入,建立几个大型的核科技应用的龙头企业。

产业化成功的主要标志是产品的规模和市场占有率。我国核技术应用一直形不成规模,资金投入不足也是一个重要原因,要把规模做大,只靠科研院所那一点微弱的投资和滚动的发展是不行的,目前核技术应用的许多领域所用的技术是比较成熟的,而且市场需求也是比较明确的,存在的风险不大。只要领导能下决心,加大投资,就能够形成规模。把产业做大,投入的资金就能增值。建议国防科工委在关注核电、核燃料的同时,划出一块经费投入到核技术应用及其产业化。国防科工委作为政府部门应该关注和支持我国核技术应用基础研究的发展,使我国核技术应用及产业化发展有自己的基础,有后劲。另一方面,可以用一笔经费支持发展几个龙头企业,可以和农业部、环保局、卫生部、经贸委、科技部协作共同投资,共同开发一些项目,并集中力量一定要把它抓好,要从实验室阶段开始,抓到中试阶段,直至产品投产,产品产业化所需资金可采取个人、部门和国家共同承担的方式,这样各方承担风险,就有利于发挥各方面的积极性。

作者简介:王乃彦,国家自然科学基金委副主任,中国核学会理事长,中国科学院院士。

核技术应用产业化前景光明

范霁红

由国防科工委、国家自然科学基金委和中国核学会主办,中国核工业集团公司、中国同位素与辐射行业协会、清华大学、北京大学、北京师范大学、山东大学等协办,众多研究单位和企业参加的这次“全国核技术及应用发展战略研讨会”,得到了政府主管部门、科技界和企业界的高度重视。作为一个以发展核技术及应用为己任的国家授权投资机构,有幸参加这次会议我们感到由衷的高兴。

中国核工业集团公司是 1999 年 7 月 1 日经国务院批准成立的 10 大军工集团公司之一。除了承担核军工科研生产的指令性任务外,我们集团公司以发展核电、核燃料循环和核技术应用作为 3 大支柱产业。我们有完整的核技术科研体系,包括铀矿地质、铀矿采冶、同位素分离、核燃料组件、乏燃料后处理、三废治理、核物理、受控核聚变、核化学化工、反应堆、核电站、同位素、辐射防护、放射医学、加速器、核探测技术和仪器设备,以及相关的有机化学、化学分析、稀有元素化工等。核技术通过与传统产业的结合和在其他高新技术领域(如医药和材料领域)的交叉渗透,将会产生巨大的经济效益和社会效益。核工业集团公司在发展核技术及应用方面,应当承担国家队的角色。利用今天这个难得的机会,向大家介绍一下中核集团开展核技术应用产业化的一些情况和打算。

2001 年中核集团公司将核应用技术列为集团公司的三大支柱产业之一,成立了高新技术产业领导小组,核技术应用产业步伐明显加快,以原子高科和中核高通为代表的若干骨干企业进行了改制,实现了投资主体多元化,建立了比较规范的现代企业制度,近几年核技术应用产业的销售收入每年都以 10% 以上的速度增长。2002 年同位素及其制品、辐射加工、核仪器及核医疗设备、环保设备的销售收入近 3.5 亿元。

但是,这样的销售收入和产业化程度,相对核工业集团这样一个特大型的企业集团,以及核技术应用产业本身的产业化潜力,差距是巨大的。目前主要存在以下问题:

1. 产业规模小、发展步伐不够快。虽然近几年销售收入增长每年达到 10% 以上,但中核集团内产业化基础薄弱,加之体制、机制、资金、人才等多方面的因素,相对核应用技术产业这样一个正处于快速成长期的朝阳产业,发展的步伐仍然不够快。产业化程度低,规模小、骨干企业的数量少。虽然一些骨干企业引入社会资金进行了改制,但大量的项目还留在院所进行着作坊式运作,改制的道路仍然任重道远。

2. 发展后劲不足。从技术来源的角度讲,高科技行业需要持续的技术开发,开发成果进行产业化后,再用产业化的收益进行新的开发,产业化的雪球滚大后,对开发投入的要求也增加了。国家投入和几十年的积淀形成了目前我们核应用技术产业化的基础,但由于目前产业化工作比较薄弱,支撑不了持续的技术开发,特别是越滚越大的技术开发。因此,在国家资助减少后,科研开发投入不足,高水平成果少,关键技术和工艺研究不到位,产品科技含量不高,创新后劲不足,今后可进行产业化的项目减少。

3. 科研与生产结合不够,科研成果转化为生产力的能力较差。许多具有市场前景的成果仍停留在实验室阶段。从机制的角度看,市场中企业对利润的追求是产业化最大的动力,企业应当成为产业化的主角,科研成果的产生和转化都应当围绕着企业的利润目标进行。而在集团公司内部,这种机制还远远没有形成,院所等事业体制仍然是主角,造成科研成果的转化缺乏有力的推动。

为有利于解决上述问题,中核集团公司在 2003 年 6 月成立了高新技术产业化办公室,集中对

以核技术应用为主体的高新技术产业进行管理,并作为集团公司对高新技术产业进行投资和经营的机构,按分公司的模式运行。这样一个措施,标志着中核集团公司以一个企业主体的身份,正式介入核技术应用产业。以中核集团公司的资金、技术、品牌,赋以市场化运作机制,必将对国内核技术应用产业的发展产生重大的影响。

根据高新技术产业化办公室的初步设想,核工业集团关于核技术应用产业发展的重点有 4 个方面:

1. 同位素生产。主要是钴-60 和钼-99、碘-131 的生产,也包括其他一些短寿命同位素;由于辐照产业的快速发展,对钴-60 的需求增加很快,目前我国市场上的钴-60 几乎全部依赖进口,主要供应商为加拿大 Nordion 公司、英国 Reviss 公司和俄罗斯 Yamak 公司。我们已计划在国内进行大规模的钴-60 生产,以满足国内市场的需求和少量出口。钼(钨)-99 是主要的医用放射性同位素,我们也计划要建造专门的同位素生产堆进行大规模生产,主要出口,同时满足国内的需求。

2. 同位素产制品生产和应用。主要包括诊断药盒、放射性药物和放射性示踪剂等。在免疫药盒市场中,国外企业是很大的竞争对手,其技术水准和营销能力都较强;放射性药物国内的药物品种、性能以及研发能力和国外相比都有差距;国外的放射示踪技术广泛应用于油田测井、管道检漏、河海堤防检测等领域,国内示踪技术应用的广度和深度上与发达国家存在较大差距,存在着较大的发展空间。

3. 放射线仪器设备。包括测量、检测和治疗用的各类核仪器仪表、核医疗仪器设备、火灾报警器、爆炸物探测、集装箱检测、加速器等。我们准备根据市场需求,推出一些技术领先的重点产品。特别是加速器在国民经济中的应用领域日益增加,因其灵活性而易被使用者接受,近年来增加速度很快。集团公司要集中力量,组织进行消毒灭菌、探伤检测和同位素生产的系列加速器研制生产和产业化。

4. 辐照加工。我国的辐射加工产业与国外相比差距明显,主要是产品品种少,产业规模小,许多重要产业领域尚属空白,不适应市场需求,因此,存在着很大的发展空间。以辐照电线、电缆为例,随着城市电网改造的加快,国内每年需要 $1\sim 10\text{ mm}^2$ 阻燃电线就达 200 万 km。航空、航天、海上石油开采、通讯、核电等领域需要大量的特种线、缆。食品和农产品辐照更有广阔前景。辐照检疫处理可有效地推动防止农业虫害传播,可用于进出口物品的杀虫或灭卵。加入 WTO 后,贸易对象国已经发生因我国商品包装用木材含有害病虫拒绝入境等事件,因此发展大规模辐照站技术用于辐照杀虫和灭卵具有较好的前景。医疗用品辐照消毒灭菌种类繁多,包括金属制品、塑料制品以及一次性使用的高分子材料医疗用品等共计上千种,中成药与化妆品也都可采用辐射消毒灭菌。2005 年以后化学灭菌方法(环氧乙烷)被彻底从用于消毒灭菌的医疗用品中排除后,辐射消毒灭菌将成为主流。我们计划组建专门的辐照服务公司,开展消毒灭菌和材料改性等方面的服务。

在发展过程中,要综合发挥中核集团在资金、品牌、技术和其他资源,与社会资本结合,利用社会优秀经营管理人才,建立并控制若干体制完善、机制创新的高新技术企业,使集团公司逐步成为核技术应用产业领域的主导企业。

在中核集团内部,要逐步整合和优化资源配置,对核应用技术产业的多个领域和项目区分类别,分工分层推进。对有重大行业影响和市场前景巨大的项目,集团公司要直接投资,发展过程中要着力经营“中核”品牌,提高“中核”品牌的知名度和信誉度,增强在产品市场和资本市场的竞争力。

坚持资本市场和产品市场并重,通过资本运作,把蛋糕变大,谋求以较少量的资本,控制较大的产业规模,同时获得资本的增殖。

在市场竞争度高的领域或项目,坚持民营领先的原则。集团公司只谋求相对控股,以便更好地发挥民营企业运营机制的优势。大胆从社会上引进经营管理方面的优秀人才参与管理,建立合理

的约束和激励机制,让他们更好地融入我们的事业。

鼓励技术创新,依赖技术优势的产品都要建立技术开发基地。科研院所是核应用技术产业化的源泉,要加大投入,把科研院所建成产业化的创新基地,加强关键技术创新与集成,产业化才能够保持良好的发展势态。中核集团公司要充分利用各种政府的科技产业化资金渠道,支持科研院所产业化基地的建设。集团公司也要直接投资支持院所进行新产品开发,有计划有目标地建立核技术应用产业的创新基地。

要建立完善成果转化机制,形成集团公司、院所、技术骨干个人共赢的局面,并保持院所对核心技术进行持续开发的能力。承认院所和技术骨干在技术成果中的贡献和利益,利用技术成果形成的产品,必须要从销售收入中返回一定的比例给技术成果提供方,形成的产品销售收入越高,技术成果的价值越大。鼓励院所将技术成果形成的收益,部分用于奖励技术骨干,部分用于新技术的开发。

加大与国外技术合作的力度。利用我们的技术基础,通过与国外合作掌握更高水平的技术可以提高我们的发展水平,加快我们的发展速度,缓解我们后劲不足的问题。同时,利用国外技术,可以摆脱产业发展为技术能力所限的状况,拓展产业化的范围。

产业化要紧紧围绕市场需求,集团公司要组织对核技术产业国内外市场的研究。研究发展趋势、研究用户需求、研究竞争对手,在深入研究市场的基础上提出产业化项目。在深入研究国外核应用技术产业发展的历程和现状,根据中国的经济文化发展水平,预测核技术产业在中国甚至国际市场的发展趋势,提出我们的发展思路和策略。

产业要发展,离不开政府的支持。我们希望政府主管部门给我们更好的政策环境和更多的资金支持。

产业要发展,离不开好的体制、机制和资金支持。我们真诚希望中国核工业集团外有兴趣的投资参与我们事业,既促进了良好的企业体制建立,又补充我们资金的不足。

产业要发展,离不开科技。我们真诚希望核科技界的支持和合作,我们期待和你们进行共同的研究开发,协力推进核技术产业化。

由于核技术应用是核技术与其他产业领域的交叉渗透,因此,我们十分希望其他领域的研究机构和企业介入,特别是药品和医疗器械行业、食品行业、高分子材料行业的企业,我们真诚地希望和你们通力合作,共同努力,打造核技术应用产业的光明前景,也使我们合作双方赢得更大的发展。

作者简介:范霁红,男,1965年生,1995年获北京大学理学博士,专业核物理及核技术专业博士学位。长期从事计划、规划和战略管理工作;2003年6月任中国核工业集团公司高新技术产业化办公室主任。

核技术发展与基础研究

郭之虞

摘要: 基础研究是核技术发展的重要推动力之一,也是核技术应用的重要领域之一。射线和粒子束与物质相互作用的知识,为研制核探测器、防护辐射危害、以及开展各种核技术应用工作打下了基础。粒子加速器技术的发展有两条主线:一是中高能加速器,以各种对撞机和同步辐射装置为代表,主要为高能物理和科学研究服务;二是低能强流加速器,以辐照加速器和医用加速器为代表,主要为国民经济和社会发展服务。各种应用核技术,如核分析技术、辐射加工与离子束加工技术、无损检测技术、核医学成像技术和肿瘤放疗技术、放射性核素示踪技术、放射性核素测年技术和放射性药物等,在形成一种成熟的技术之前一般先要经过前期的基础研究阶段。要发展拥有自主知识产权的核技术,离不开前期的基础研究。核分析技术、同步辐射、放射性核素测年和放射性核素示踪等核技术在物理、化学、材料、信息、生物、医学、地学、环境、考古等多种学科的基础研究中有广泛应用。我国与核技术相关的基础研究近年来取得了不少有意义的进展,也还存在着一些问题,主要是队伍建设有待加强,经费渠道不够完善。本文据此提出了五条建议。

关键词: 核技术;基础研究;应用;问题;建议

一、引言

1896年贝可勒尔发现天然放射性现象,是原子核物理学开端的标志。此后人们为了探测各种射线,鉴别其种类并测定其能量,逐步建立起一系列的探测方法和仪器。1919年人类首次用人工的方法实现了核反应,用射线轰击原子核引起核反应的方法很快成为研究原子核物理的主要手段。但是用天然射线源能够研究的核反应很有限,人们开始寻找一种可以产生具有不同能量的各种粒子束的装置,于是粒子加速器应运而生。1932年首次用加速器进行了核反应实验。因此可以说,核技术的两个主要的支撑技术:粒子加速器技术和核探测技术,都是源于基础研究的需要而产生并发展起来的。

20世纪40年代核物理和核技术研究进入了大发展的阶段。核武器和核能的出现极大地刺激了核物理和核技术的发展。第二次世界大战之后,核技术开始大规模地转移到国民经济的应用中去。射线和粒子束技术,以及放射性核素技术的应用逐渐形成规模。到70年代,核技术已经形成了许多新兴的产业部门。半导体探测器的出现和计算机的使用,进一步促进了核技术的发展,进入80年代以后,核技术在很多方面已进入了技术成熟阶段。但无可否认的是,基础研究仍然是核技术发展的重要推动力之一,也是核技术应用的重要领域之一。

高能物理、重离子物理和放射性核束物理的探索,不断对粒子加速器和探测器的研制提出新的要求。各种核分析技术、同步辐射、放射性核素测年和示踪技术已被广泛地应用于凝聚态物理、材料科学、化学、生物、医学、环境、地球科学、考古等学科的研究之中。在各项核技术的发展和應用研究中,也需要对射线和粒子束与物质的相互作用有一个清晰地了解,这方面的基础研究对于核技术的发展也是必不可少的。

二、核技术发展中的基础研究

(一)射线和粒子束与物质的相互作用

射线和粒子束通过物质时与物质发生相互作用,一方面射线和粒子的能量逐步损失、被散射或吸收阻止,另一方面物质在射线和粒子束的作用下产生电离、激发、溅射、次级射线或次级粒子发射等物理效应。目前所研究的射线和粒子束的范围已由开始时较为单一的自发辐射产生的 X 射线、 γ 射线、 β 射线及 α 粒子,扩充到各种能量、各种核素的离子束、中子束、同步辐射,甚至团簇离子束。这些研究一方面提供了核结构信息,另一方面也为研制核探测器、防护辐射危害以及开展各种核技术应用工作打下了基础。

人们很早就知道, γ 射线与物质相互作用会发生光电效应、康普顿效应和电子对效应, β 射线(快速电子流)与物质相互作用会引起原子的电离和激发,产生轫致辐射,入射电子本身则会被散射和吸收,并有一最大射程。虽然离子与物质相互作用也会引起原子的电离和激发以及入射离子的散射和吸收,但其规律较为复杂。直到 20 世纪 60 年代中期 Lindhard 等人提出了离子射程的 LSS 理论及低速重离子在物质中的阻止本领,才建立了比较完备的关于离子在物质中的射程及能损的理论体系。60 年代末期,Sigmund 由级联碰撞理论提出了元素靶在离子轰击下的溅射公式。80 年代 Ziegler 等人又提出了新的原子间相互作用普适势,并编制了著名的模拟离子在固体中能损及射程的 TRIM 程序。这些基础研究工作为离子注入及离子束分析技术奠定了重要的基础。

在粒子束技术不断发展的同时,粒子束与物质相互作用引起的辐照损伤的研究也在不断发展、深化。例如强流粒子束及团簇离子束技术的出现促进了强流粒子束(或团簇离子束)与物质相互作用,特别是非线性辐照损伤研究热潮的兴起;低能离子注入及离子束辅助沉积技术的发展又促进了分子动力学模拟方法在辐照损伤研究中的应用。

中子与物质的相互作用,如散射、慢化、扩散和辐射俘获等,对于反应堆技术至关重要,故很早就进行了仔细的研究。但近年来随着中子散射技术的发展,中子在晶体中的散射(包括衍射)和在液体中的散射也得到了充分的研究。后者可用于软物质的研究,为生命科学的研究提供了新手段。

(二)粒子加速器物理与技术

多年来粒子加速器技术的发展有两条主线:一是中高能加速器,以各种对撞机和同步辐射装置为代表,主要为高能物理和科学研究服务;二是低能强流加速器,以辐照加速器和医用加速器为代表,主要为国民经济和社会发展服务。

第一类加速器主要是同步加速器和射频直线加速器。二战后,在加速器物理方面,自动稳相原理和强聚焦原理相继提出;在技术方面,射频技术借助于雷达技术而得到迅速发展。这就从两个方面为同步加速器和射频直线加速器的发展打下了基础。对撞机和同步辐射装置的核心是储存环,其粒子动力学行为十分复杂,粒子运动的不稳定性、束腔相互作用、动力学孔径等问题都是当前加速器物理研究的热点。为减小高能量下的同步辐射损失,下一代电子对撞机将是直线对撞机,其技术难度更大,更富有挑战性。目前国际上同步辐射装置已发展到第三代,同时,第四代同步辐射光源也在酝酿之中,并提出了多种方案。目前最新的动向是采用能量回收直线加速器(ERL),即用一台约 700 MeV 的中能超导电子直线加速器通过电子返航技术反复加速,把电子加速到 2~3 GeV,产生同步辐射。美、英、德、日、俄等国都在进行设计与研制。近年来的另一个研究热点是中能(约 1 GeV)强流质子直线加速器,它可用于散裂中子源、加速器驱动洁净核能系统、核废料嬗变等多种用途。美、德、法、意、日、韩等国都在进行研究。由于质子在加速过程中速度变化很大,须采用多种不同的加速结构。对于低能端射频四极场(RFQ)加速器之后所采用的加速结构,目前有多种方案,尚在研究之中。射频超导加速技术近年来发展很快,国际上新设计的中高能加速器几乎都采用超导加速器。我国从 20 世纪 80 年代后期起,相继建造了北京正负电子对撞机、兰州重离子加速器

和合肥同步辐射装置,并开展了射频超导加速技术的研究。近年来又建造了兰州重离子储存环和合肥同步辐射二期工程,北京正负电子对撞机二期工程也已经启动。此外还对上海第三代同步辐射光源进行了预研究,散裂中子源也在酝酿之中。最近又启动了红外和深紫外自由电子激光的研究。

第二类加速器主要是用于辐照加工的高频高压(地那米)加速器和绝缘磁芯变压器加速器、用于放疗和无损检测的电子直线加速器、用于离子注入的倍压加速器、用于放射性药物生产的回旋加速器。这类加速器技术在国际上已基本成熟,国内也有所研制,特别是放疗用电子直线加速器在国内市场已占有较高的份额。烟气脱硫脱硝需要特大功率的电子加速器,日本、荷兰等国和我国都在研制。近年来,国际上开始用加速器中子源进行中子照相和硼中子俘获治癌(BNCT)的研究。这类应用需要强流质子加速器,RFQ为首选类型。在我国,北京大学和中科院高能所也已开始此项研究。

除了上述两类加速器以外,还有两类加速器虽然数量相对较少,但也十分重要。一类是用于核分析技术和原子、分子物理研究的小型静电加速器,国际上已实现商品化生产。另一类是用于国防研究的强脉冲高压加速器和感应直线加速器,我国在这方面已经有了较好的基础。

(三)应用技术的前期基础研究

各种应用核技术,如核分析技术、辐射加工与离子束加工技术、无损检测技术、核医学成像技术和肿瘤放疗技术、放射性核素示踪技术、放射性核素测年技术和放射性药物等,在形成一种成熟的技术、能够投放市场或投入日常使用之前,一般先要经过前期的基础研究阶段和技术、产品的开发阶段。而通过基础研究的创新所产生的新原理、新方法、新技术,又是技术和产品开发的基础。要发展拥有自主知识产权的核技术,离不开前期的基础研究。例如在美国,中子照相技术诞生在阿贡国家实验室,生产 $^{99}\text{Tc}^m$ 的放射性核素发生器是在布鲁克海文国家实验室研制成功的,而工业CT的先驱者之一就是北德克萨斯大学的摩根(Morgan)教授。又如在我国,清华大学研制的可移动集装箱检测装置的核心部件X波段小型加速管,就是在国家自然科学基金的资助下先行研制的。

三、核技术在基础研究中的应用

(一)核分析技术

各种射线和粒子束与物质相互作用会使入射的初级射线和粒子的参数发生变化,在有些情况下还会产生次级射线和次级粒子。这些变化和次级发射在很大程度上取决于靶物质本身的组成、结构和特性。因此,对于物理、化学、生物、地质、考古等学科所研究的各种实体与物质,射线与粒子束技术亦是有力的分析手段。通常我们将这类技术统称为核分析技术。

核分析技术主要包括活化分析技术、离子束分析技术和超精细相互作用核分析技术三大类。活化分析技术始于1936年,是检测荷能中子束或带电粒子束轰击试样所产生的缓发辐射。其中中子活化分析灵敏度高、精度好,业已在生命、环境、地学的元素分析中得到广泛应用,近年来更是发展了分子活化分析和体内活化分析技术。离子束分析技术始于60年代末,主要有核反应分析(NRA)、背散射(RBS)、质子激发X荧光发射(PIXE)和沟道效应等方法,在凝聚态物理和材料科学中有广泛应用。微束分析方法的建立,进一步将其应用领域扩展到生命、环境、地学、考古等学科。超精细相互作用核分析技术则是基于各种核效应的核分析方法的总称,包括穆斯堡尔效应、扰动角关联效应、核磁共振效应、正电子湮灭效应和中子散射技术等,这类方法既能提供原子核及其近邻原子的信息,又能提供宏观平均信息,所应用的学科领域也更为宽泛。

核分析技术在高温超导材料的研究中发挥过重要作用。1987年首先发现的超导体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 的分子式和分子结构就是用中子衍射的方法确定的。人们根据中子衍射显示的结构,正确地解释了铜氧面和铜氧链在超导机制中的作用。此后,离子束分析技术在高温超导薄膜的制

作研究中也起到了重要的作用。又如在生物大分子的研究中,核磁共振技术和中子散射技术都是十分重要的研究手段。

(二)同步辐射

20 世纪 40 年代末在电子同步加速器上观察到的同步辐射,具有波长范围宽且可调、亮度高、准直性好、偏振性好、时间分辨好等优点,在物理、化学、材料、信息、生物、地学等多种学科中有广泛应用,是形貌分析、微区分析、表面分析、动态分析的有力工具。例如,利用 X 光形貌术可以研究晶体材料中的各类缺陷及相变等,利用光电子能谱可以研究高温超导体、类金刚石薄膜等材料的电子结构,利用衍射方法可以进行天然微小单晶和生物大分子的结构分析,利用 X 光小角度散射可以研究人工聚合物等材料的有序—无序动力学、相分离、畴结构等,以及生物组织的神经传递、肌肉收缩等功能,利用时间分辨光谱可以研究新型发光材料、激光材料,以及蛋白质、核酸、癌细胞等生物大分子的激发态与能量转移等。还可以利用同步辐射光刻技术进行亚微米器件工艺的基础研究,如掩模制备、高反差图形加工、光刻分辨率和灵敏度的实验研究等。

(三)放射性核素测年

20 世纪 40 年代末美国科学家利比建立了 ^{14}C 测年方法。该方法很快成为过去数万年时间范围内最精确的测年方法,使地质学和考古学从基于地层序列的相对纪年研究进入了绝对纪年的时代。80 年代兴起的加速器质谱计使小样品 ^{14}C 测年成为可能,其测量精度可达 $0.2\%\sim 0.3\%$,测量本底可好于 5 万年。加速器质谱方法的高灵敏度还使利用其他宇宙成因核素测年成为可能。例如,利用 ^{10}Be 和 ^{26}Al 可以测量岩石的暴露年龄与侵蚀速率,以及陨石的暴露年龄和居地年龄等。

测年也可以利用天然放射性核素衰变的母子体平衡关系,典型的有钾—氩法和铀系不平衡法。近年来,激光探针微区 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年技术和使用热电离质谱计(TIMS)的铀—钍定年技术先后出现。前者可以在数亿年的时间范围内对小样品进行测年,后者可以在数十万年的时间范围内进行高精度测年。

基于核技术的测年方法还有利用样品受辐照历史的电子自旋共振(ESR)法、热释光(TL)法和光释光(OSL)法,以及利用铀的自发裂变效应的核裂变径迹(FT)法等。其中光释光方法近年来借助于激光技术的进步得到了很大的发展。

放射性核素测年技术在很多情况下可以发挥十分关键的作用。以考古学为例,意大利都灵大教堂一直作为圣物珍藏的耶稣裹尸布,经世界上三个加速器质谱实验室用 ^{14}C 测年,被证明为 13 世纪制造的赝品。在我国的夏商周断代工程中,加速器质谱 ^{14}C 测年为夏商周年代框架的建立作出了关键性的贡献。周口店北京猿人的年龄,则是用核裂变径迹法测定的。

(四)放射性核素示踪

放射性核素示踪技术具有灵敏度高、方法简便、不受环境和化学因素影响等优点,在各种学科的研究中得到广泛的应用。在地球科学和环境科学的示踪研究中通常采用自然界中存在的放射性核素。例如,利用 ^{14}C 研究全球各大洋的洋流循环模式,利用 ^{10}Be 示踪火山岩浆的来源从而验证板块俯冲理论,利用 ^{36}Cl 示踪地下水的渗透率等。利用 ^{129}I 示踪核泄露已成为当前进行核核查的重要手段。化学、生物与医学的示踪研究则多采用放射性核素标记化合物的方法,最常用的有 ^{14}C 、 ^3H 、 ^{32}P 、 ^{131}I 等标记的化合物。示踪技术在化学反应动力学、生物大分子结构与功能关系、蛋白质生物合成、药物代谢动力学等研究中都是十分有效的研究手段。DNA 碱基排列和遗传密码的关系就是借助于 ^{32}P 示踪方法揭示的。可以说,如果没有放射性核素示踪技术,就不会有今天的生物基因工程。

近年来加速器质谱计成为示踪核素测量的新手段,使示踪灵敏度得到极大地提高,开拓了示踪研究的范围。例如,研究用 ^{14}C 标记的基因毒性物质和 DNA、组蛋白的加合及其加合物的体内代谢动力学,现在用加速器质谱计可以在环境剂量的水平下进行,其灵敏度可达 $5\times 10^{-17}\text{ mol}$ 加合