

关于中国放射化学的现状、 问题和对策的建议*

中国科学院学部

(北京 100864)

关键词 放射化学, 对策

放射化学是一门研究放射性物质及其辐射效应的化学分支学科, 与国家安全、核电建设、经济和社会发展密切相关。现代放射化学包括核能放射化学、环境放射化学、放射性药物化学、放射分析化学、放射性元素化学、核化学等。

放射化学是 19 世纪末随着放射性和放射性核素的发现而诞生的。它对人类知识的拓宽起到了积极作用, 例如将元素周期表扩展了三分之一。人工放射性和核裂变的发现, 开创了核科学技术时代。新中国成立以来, 放射化学为我国的“原子弹、氢弹和核潜艇”做出了不可磨灭的功绩, 为确立我国在国际上的重要地位, 为国家安全、核能利用、核技术开发、人类健康、环境保护以及社会和经济的可持续发展做出了重要贡献。

我国的放射化学在上世纪 50 年代和 60 年代处于黄金时期, 各重点高校均开设放射化学专业。然而, 从上世纪 80 年代以后, 国际上核化学与放射化学的研究和应用出现了下降趋势, 尤其是前苏联的切尔诺贝利核灾难加剧了这种趋势。由于某些媒体和艺术作品对放射性、危险性的不恰当的夸大

渲染, 导致广大公众和青年学生畏惧一切与放射性有关的研究活动, 而其中放射化学受害最深。到上世纪末, 我国的放射化学走到了低谷。目前我国的核化学和放射化学总体水平, 不仅落后于美国、欧洲和日本, 甚至在乏燃料后处理等方面还落后于印度。这种滞后状态已严重危害到我国的国家安全、核能应用以及社会和经济的发展。

放射化学的这种非理性和非科学的下降趋势已引起了国际科学界的高度关注。近年来, 加强放射化学教学和研究的呼声正在逐渐高涨。国际原子能机构于 2002 年召开了专家会, 讨论了如何加强放射化学的行动计划; 同年, 欧洲科学家起草了一份有数百位学者签名的发展放射化学的报告; 美国一批资深科学家已向国会提交了一份长达 50 页的建议书, 提出了各种建议以促进放射化学的教育和科学研究。该建议书着重指出, 由于放射化学的敏感性, 美国开展这类研究工作以及对这类人才的需求是不能简单依靠引进国外力量来满足的。最近, 美国已制定了长远且目标明确具体的放射化学战略规划, 并已经进入实施阶段。事实说明, 放射化学在国际上现已处于复兴阶段。

我国放射化学的落后状况也已引起了中央领导的高度重视, 2004 年, 胡锦涛、江泽民、温家宝等中央领导同志对我国核事业做出了“亡羊补牢, 犹为未晚”, “要奋起直追

* 本文为咨询报告摘要。咨询组成员: 柴之芳、刘元方、王方定、朱永、刘伯里、傅依备、王祥云、顾忠茂、赵宇亮、汪小琳、张生栋、吴王锁、张安运、张华北、刘学刚、刘春立、王祥科、王旭辉
收稿日期: 2010 年 12 月 30 日



中国科学院

的往前赶”,“必须重视此问题,认真研究,作出部署”的重要批示,这也为我国放射化学在新世纪的发展指明了方向。不少科学家积极响应中央号召,呼吁有关部门采取积极措施推动我国放射化学的复苏。经过几年的努力,我国的放射化学现正处于恢复性上升态势中,其主要标志是:放射化学领域的重点实验室正在建立,放射化学作为紧缺学科和特殊学科正在多所高等院校获得重视,放射化学本科生和研究生的招生情况正在好转,放射化学专业毕业生的分配供不应求。

同时,我们也应看到,由于核科学技术地位的上升,现在越来越多的高等院校恢复或新成立了核学院,有的高校甚至制定了相当庞大的招生计划。因此,为适应我国核电、国家安全以及国民经济等发展的需求,现在急需认清我国放射化学的现状,制定切合实际的放射化学研究和教育计划,明确放射化学发展路线图,既满足国家对放射化学的需求,又避免盲目发展,使我国的放射化学走可持续发展的道路。

为此,咨询组认真调研了我国放射化学的现状、挑战和机遇,分析了当前我国核能发展、人类健康、环境保护及国家安全等对放射化学的重大需求和放射化学研究与教育中存在的问题,并提出了相关对策建议。

1 我国放射化学及其分支学科的现状

1.1 核能放射化学

核能是一种能量密度高、洁净和低碳排放的能源,大力发展核能对于确保能源安全、保护环境和应对全球变暖具有重要意义。当前核裂变能可持续发展必须解决两大问题:即铀资源利用的最优化和核废物的最少化及其安全处置,由此给我国的核能放射化学提出了一系列重要课题。针对当前发展热堆燃料循环的需要,应重点发展超铀元素的裂变化学、次要锕系元素的分离化学、裂变元素化学以及镧系/锕系分离化学等。随

着快堆和加速器驱动体系(ADS)燃料循环的引入,必须部署干法研究。锕系元素熔融盐化学是“干法”处理快堆核燃料的基础。应考虑研究超临界二氧化碳和离子液体等新技术用于乏燃料后处理的可能性。要高度关注钍铀核能体系中的化学问题。同时,对聚变化学和材料也应给予重视。

1.2 环境放射化学

环境放射化学在环境保护和核能可持续发展等领域中有重要作用。随着全球核能的新发展、核技术的广泛应用、退役核设施数量的不断增加、核污染场环境整治的迫切需要,以及对高放废物安全性的严重关切,人们需要深入了解放射性核素在环境介质中的扩散、迁移、吸附、解吸以及在生物体中的吸收、富集和载带过程及其有关机制,以便为环境保护和辐射防护提供基础参数,为核能可持续发展服务。目前我国环境放射化学的总体研究水平与国际先进水平相比有较大差距。应紧密结合我国高放废物的最终处置以及核设施退役整治的需求,重点研究关键核素的水溶液化学、胶体和界面化学以及核素迁移的物理化学及生物机制。其中锕系元素在候选地质处置库介质地下水中的化学状态及其迁移行为研究尤为重要。

1.3 放射化学与国家安全

核武器过去、现在、将来仍然是维护国家安全的重要基石。今后以实验室模拟为主,应重点发展中长寿命核素的同位素稀释质谱和加速器质谱分析技术,在放化分析中引入现代分离新技术,进一步完善和发展已有的放化分析方法。需要深化对铀、钚表面化学的规律认识,提高核材料的环境适应能力。用各种先进分析技术和极端实验条件并结合理论计算方法,从多尺度研究核材料的自辐照损伤效应、微结构变化和表面化学状态变化,深入研究化学老化和物理老化机制。进一步加强金属氟化物中氦演化行为的



计算模拟和实验研究间的联系。我国应发展先进的氙退役技术,建立相应的国家标准方法。辐射老化研究目前与国外先进水平的差距很大,远不能满足以科学为基础的核武器库存管理计划的需要。应强化低剂量率下的辐射老化实验研究工作。

1.4 放射性药物化学

应重点研究新的靶向药物的设计、制备、结构及其表征,用于分子水平揭示疾病的发生、发展机理和疗效评价等。优先部署脑放射性药物的研究,对老年性痴呆、帕金森、癫痫、中风及精神分裂等疾病进行早期诊断的放射性药物,重点是设计和研制具有脑内各类受体定量测定功能的新的分子探针;设计和研制具有早期、快速、特异的肿瘤诊断功能的靶向新药,特别是具有受体特异结合的肿瘤显像分子探针,同时还要开展肿瘤的治疗药物研究,尤其是开展治疗恶/恶性肿瘤以及骨转移疼痛方面的放射性药物;研究心肌代谢显像剂、心肌乏氧组织显像剂和血栓显像剂等。在加强正电子显像剂研究的同时,也应重视单光子显像药物的研究。自主研发正电子发射计算机断层扫描仪PET和单光子发射计算机断层扫描仪SPECT等放射性药物诊断仪器。

1.5 放射分析化学

重点依托中国先进研究堆,三大同步辐射装置和中国散裂中子装置等大科学平台,发展新的具有更高灵敏度、准确度、空间分辨率和时间分辨率的核分析方法,实现从分子到原子水平的实时和活体分析。加强核分析在交叉学科(如纳米毒理学、分子环境科学、金属组学等)中的应用。同时发展可为食品安全、国家安全和新型能源服务的新型核方法。在有条件的研究单位,建设国家级放射化学研究平台,尤其是可进行结构和化学种态分析用的放射性装置,实行仪器开放共用。

1.6 放射化学与交叉学科

重点部署放射化学与纳米科学、生命科学与信息技术的交叉融合。由于原子核衰变现象的独特性质,使放射化学方法在研究纳米材料的生物效应及是否进入脑研究等领域,以及定量方法学等方面可发挥不可替代的作用。此外,原子分子在纳米空间的性质和行为,还是一个未知领域。利用射线的特殊穿透性质以及高度选择性,放射化学技术可作为有效的研究方法。从国家战略来看,我国放射化学研究应建立基础研究—民用研究—军事技术转移的一体化研究路线;保证持续的国家投入和前期的集中投入,建设放射化学-纳米技术和环境健康研究等平台。还要高度关注纳米技术与先进核燃料处理和高放废物处置的结合。

1.7 基础核化学和放射化学

迄今为止,超重核研究已取得了一系列可喜成果,但超重核合成的最终目标是找到“超重元素稳定岛”的位置,来回答元素周期表的终点在哪里。而现行的反应机制尚无法达到“稳定岛”中心,这就需要从理论上研究新的合成途径和新的反应机制;从实验技术上引进新思路和更加灵敏的探测技术。此外,远离 β 稳定线核素还没有达到理论预言的中子滴线和质子滴线,还有大量实验工作需要进行。

要高度重视锕系元素化学的研究。相对论量子力学计算方法可解释和预言锕系及超锕系元素的性质。相对论效应也影响锕系金属的性质。例如,固体金属铀存在6个物相,相变过程伴随着体积、电导率、热导率及机械性质的显著变化,这在所有的金属中是独一无二的。

1.8 核化学与放射化学数据中心

乏燃料后处理、高放废物处置和放射性同位素应用等的工艺设计、安全评估及过程控制强烈依赖于理论或模型的计算。为进行

精确可靠的计算,必须编写高质量的应用软件和相关的数据库,这是工艺先进性和安全性的保证,也是一个国家的核心竞争力之一。目前我国在这方面还很落后,建议建立国家核化学与放射化学数据中心,对内负责数据库建设计划的制定,组织实施、质量保证、评估验收、发布与发行及效果追踪;对外参加国际合作和交流。并建议着手建立核化学数据库,高放废物处置数据库和核燃料循环数据库并逐步完善。希望得到政府主管部门、研究机构和核能企业的重视和支持,迅速改变目前的落后状况,促进我国的核能和核技术应用的健康发展。

1.9 放射化学教育

我国放射化学教育有过辉煌历史,也出现过低迷。随着国家需求,特别是核能的加速发展,目前放射化学人才需求旺盛。我国应从国家层面制定长远的放射化学人才规划,对放射化学实行政策倾斜,加大经费支持力度。同时要避免盲目发展,保证放射化学教学质量。可先在有基础的高校逐步恢复放射化学的研究和人才培养;在培养本科人才方面,要规范专业设置,制定详细的教学目标和培养计划。同时,要加强对放射化学教师队伍的培训。

2 我国放射化学当前存在的主要问题

(1)缺乏国家统一规划。包括人才培养,实验室建设、经费分配、重点研究领域等,我国尚未制定为满足国家重大需求的放射化学国家发展目标和统一规划。

(2)人才匮乏。从事放射化学研究的人员近20年来数量急剧减少,尤其是一大批对我国“原子弹、氢弹和核潜艇”做出过重要贡献的、有经验的放射化学专家几乎全部退休;再加上许多中青年放射化学专业人才流向其他领域,造成放射化学专业的大学本科生和研究生在数量和质量上都无法满足社

会各行业的需求,特别是我国核能、国家安全、核医学和交叉学科等的需要。

(3)设施老化。具有放射化学研究方向的研究单位数目不足,且研究水平不能满足国家需求,不少放射化学实验室设施陈旧老化。

(4)经费短缺。经费支持少且不配套,花费了大量经费购买国外核电设备,并正在考虑用巨资引进乏燃料后处理装置,但却不重视自主开展相应的放射化学基础和应用研究,也无经费渠道。

3 对策建议

(1)统筹规划,合理布局。建议尽快设立国家级以科学家为主的“放射化学发展咨询委员会”,从学科前沿及国家重大需求出发,在国家层面对我国放射化学重大研究项目的确定、国家和部门重点实验室的建立以及放射化学人才的培养等进行决策和评价,为国家有关部门提供咨询报告,消除“部门利益高于一切”、“行业垄断、条块分割、政出多门”这些严重阻碍放射化学发展且浪费国家资金的现象。建议该咨询委员会由国务院委托中国科学院学部和工程院学部聘请国内不同单位具有较高学术造诣、处事公正的放射化学专家组成,同时还可吸收部分有战略决策能力的管理专家。结合制定“十二五”国民经济和社会发展规划以及国家科技中长期规划的工作,提出我国核化学和放射化学的战略定位,组织编写我国在新世纪的放射化学和核化学的学科发展战略规划,凝练优先资助方向。

(2)建议教育部调整放射化学学科目录设置,建立放射化学专业基础研究和人才培养基地。可采取多种联合、各有侧重的方式,在2010—2015年期间,每年培养200名放射化学专业本科生、100名硕士生、50名博

(转至70页)