# 中国放射化学的现状、问题和对策*

放射化学咨询组

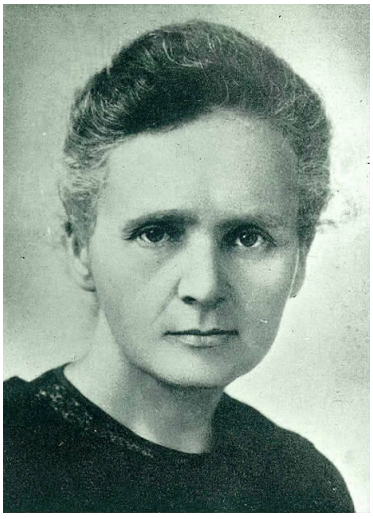
（中国科学院化学部 北京 100190）

**摘要** 文章系统阐述了目前中国放射化学的发展现状及存在的问题，并针对所存在的问题，提出了一系列对策及建议，希望借此推动我国放射化学的可持续发展。

**关键词** 放射化学，现状，对策，建议

DOI：10.3969/j.issn.1000-3045.2011.07.024

放射化学是研究放射性物质及其辐射效应的一门化学分支学科。现代放射化学主要包括核能放射化学、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。



居里夫人

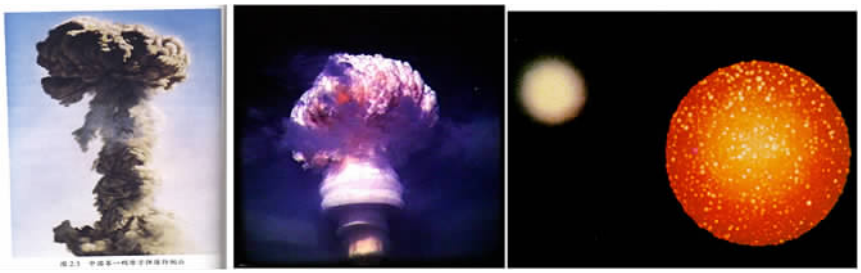
放射化学是19世纪末随着放射性和放射性核素的发现而诞生的一门学科。它对于人类知识的拓宽起到了积极作用，例如将元素周期表扩展了1/3。人工放射性和核裂变的发现，开创了核科学技术时代。新中国成立以来，放射化学为确立我国在国际上的重要地位，为国家安全、核能利用和核技术的开发应用、为人类健康、环境保护以及社会和经济的可持续发展做出了重要贡献。

我国的放射化学在上世纪50和60年代处于黄金时期，各重点高校均开设放射化学专业，为我国的“两弹一艇”做出了不可磨灭的功绩。然而，从上世纪80年代以后，国际上核化学与放射化学出现了下降趋势，尤其是前苏联的切尔诺贝利核灾难加剧了这种趋势。由于某些媒体和文艺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。放射化学科研和教育多年持续下降，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原子能机构、美国和欧洲等国际和地区性学术组织的高度关注。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

* 本文摘自中国科学院学部咨询报告“中国放射化学的现状、问题和对策”

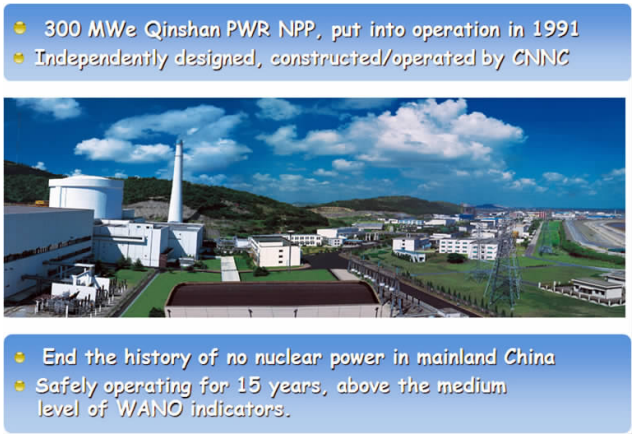
收稿日期：2011年3月9日



上世纪 60—70 年代放射化学的重大贡献

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关放射化学的报告，征集了数百位著名学者的签名；美国一批资深科学家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的放射化学战略规划，并已经进入实施阶段。

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”，“要奋起直追的往前赶”，“必须重视此问题，认真研究，作出部署”的重要批示，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；教育部已正式将核化学与放射化学列入与无机化学、有机化学和物理化学等相同地位的学科目录；放射化学已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。




秦山核电站 I 期

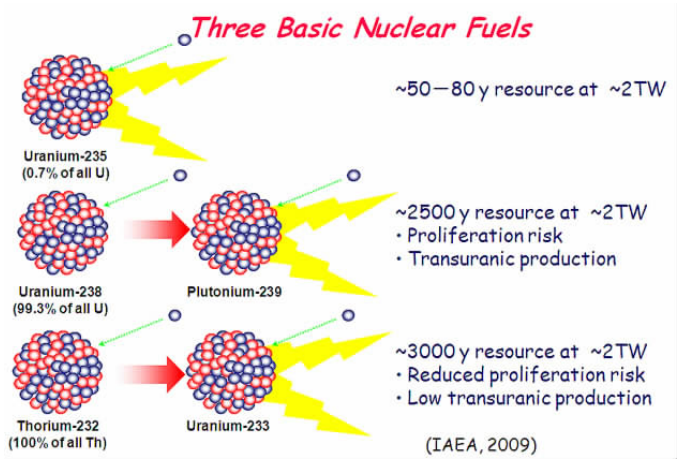
同时，我们也应看到，由于核科学技术地位的上升，现在越来越多的高等院校恢复或新成立了核技术学院，有的高校甚至提出了相当庞大的招生计划。现在的问题是认清我国放射化学的现况，为适应我国核电，国家安全以及国民经济等发展的需求，制定切合实际的放射化学研究和教育计划，明确放射化学发展路线图。既要满足国家对放射化学的需求，又要避免盲目发展，使我国的放射化学走可持续发展的道路。

本咨询报告的宗旨在于科学评估我国放射化学的现况、挑战和机遇，分析当前我国核能发展、人类健康、环境保护及国家安全等对放射化学的重大需求，针对放射化学研究和教育中存在的问题，提出可供采取的国家对策。

## 1 一些重要放射化学学科的现况及发展趋势

### 1.1 核能放射化学

我国正在积极发展核能，但当前核裂变能可持续发展必须解决两大问题：铀资源利用的最优化和核废物的最少化。这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，应当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。在 2015 年前，建议优先开展如下 4 个领域的研究工作，包括：(1)先进二循环流程相关的基础放射化学研究；(2)Zr、Ru、Tc 在后处理过程中化学种态研究；(3)Np 的化学种态和走向控制；(4) 与高放废液中镧系 / 锕系分离相关的放射化学基础问题。




核燃料够吗?

随着快堆和加速器驱动体系(ADS)燃料循环的引入,今后的先进燃料循环技术将能够处理热堆和快堆 -ADS 乏燃料,因此必须部署干法基础研究。其优点在于试剂耐辐照性能好、流程设备简单、成本较低、有利于防核扩散等。锕系元素熔融盐化学是“干法”处理快堆核燃料的基础,其中有大量的物理化学问题需要研究。要重视氚铀镎钚的过程化学以及浓钚化学尤其是临界问题的研究。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。

对聚变化学和材料的基础研究也应给予高度关注。

## 1.2 环境放射化学

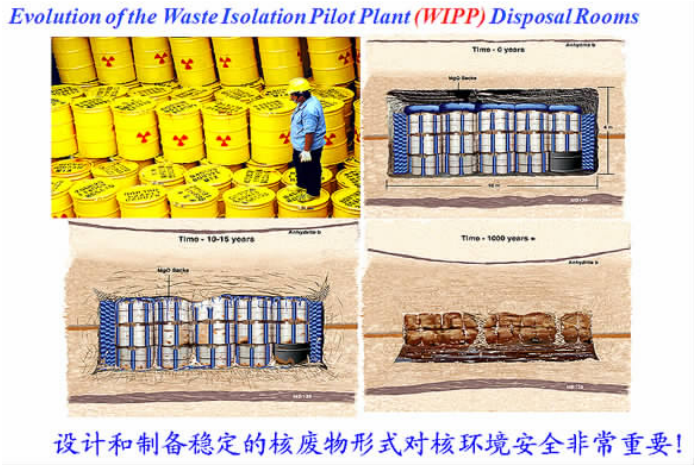
环境放射化学是 20 世纪 50 年代产生的一门放射化学与环境化学高度交叉的学科,与环境中放射性核素的健康效应密切相关。在过去半个多世纪里,作为环境化学与放射化学的一个结合点,环境放射化学在世界范围内得到快速发展,在环境保护、核能可持续发展等领域发挥了重要作用。目前,随着全球核能的新发展,核技术的广泛应用、退役核设施数量的不断增加、核污染场环境整治的迫切需要以及对高放废物安全性的严重关切,人们需要更深入了解一些弱吸附性放射性核素和超铀核素在环境介质中的扩散、迁移、吸附、解吸以及在植物和水生生物中的吸收、富集和载带过程及其有关机制,以便为环境保护和辐射防护提供基础参数,为核能可持续发展服务。环境放射化学正面临着重要的发展机遇和挑战。

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还有较大差距。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。为了计算放射性核素在地下水中的化学种态分布,需要建立高质量的热力学数据库。

## 1.3 放射化学与国家安全

核武器过去是、现在是、将来仍然是维护国家安全的重要基石,我国核试验放射化学的研究是从上世纪 50 年代末开始的,为国家安全和放射化学的发展做出了重要贡献。禁核试后,研究方式转入以实验室模拟为主,今后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。

在铀、钚表面化学研究方面,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




放射性废物如何安全处置

力。应加强分析技术在核材料学科中的渗透与应用研究，采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，深化研究化学老化和物理老化机制。值得注意的是，铀钚材料的分析研究对仪器的依存度很大，我国应重视自主研制分析仪器并加大投入。

要进一步加强金属氚化物中氦演化行为的计算模拟和实验研究间的联系。在氢同位素分离技术方面，需进行工程化应用研究。在氚监测与测量技术方面，需尽快开发氚的在线测量技术。我国应发展先进的氚退役技术，建立相应的国家标准方法。我国现阶段 ICF 用氘氚靶制备技术研究与能力建设取得了长足的进展，应开发高性能贮氢材料，探索高密度贮氢材料直接用于制备成 ICF 用氘氚燃料靶丸的可行性。

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。核武器的老化实质是材料的老化，但更重要的是人的老化问题！我国急需培养放射化学年轻学科带头人和实验师、工程师！更需要有才华的青年科学家加入到国家安全的放射化学研究中！

### 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。应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，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；肿瘤诊断药物的重点是设计和研制具有早期、快速、特异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 / 良性肿瘤以及骨转移疼痛方面的放射性药物。心血管疾病的放射性药物应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（例如纳米毒理学、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

放射化学的交叉学科研究包括放射化学技术在纳米、生物、医学、核能材料、环境等领域中的应用，以及由此发展的新的研究方向。基于学科交叉的基础和应用研究，是我国在放射化学领域获得创新成果的机遇。同时对促进我国经济、社会的可持续发展以及国家制订相关的决策和方针提供可靠、定量的科学依据。

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，放射化学方法在研究纳米材料的生物效应及是否进脑等领域，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，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，固体金属钚存在 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，这是工艺的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，特别是核能的积极发展，目前放射化学人才需求旺盛。据不完全统计，现在国内已经有 25 所高校设立了“核科学与技术学院”，其中 10 所院校设有“放射化学（或核化工）专业，每年招收本科生约 100 余人，研究生约 30 人。但是目前放射化学教育的总体状况还是远远不能适应国家重大需求。各级政府部门应高度重视，统筹规划，联合行动，制定长远的放射化学人才战略；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。要加强对放射化学教师队伍的培训。各有关研究院所、核能企业应大力支持，充分发挥企业优势，加强科研、教学与生产实际相结合，充分调动企业支持教育，教育回报企业，做到学校与科研院所及企业的资源共享。

## 2 我国放射化学当前的主要问题

(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，没有制定为满足国家重大需求的放射化学国家发展目标。

(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“两弹一艇”做出过重要贡献的、有经验的放射化学专家已几乎全部退休；加上许多中年和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，更不能适应我国核能、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量不足，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，已投入大量经费购买国外核电设备，并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，缺乏经费渠道。

上述问题已严重影响到我国的国家安全、核能建设以及社会经济发展。

## 3 对策与建议

(1)统筹规划，合理布局。尽快设立以科学家为主的国家级“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”这种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科院学部和中国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,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,建议在 2010—2015 年期间,我国每年应培养 200 名放射化学专业本科生,100 名硕士生,50 名博士生,以及 20 名博士后。2016—2020 期间,在此基础上,根据国家需求,适量增加。 同时,一定要高度重视放射化学教学质量,不要滥竽充数。既要避免上世纪末濒临灭亡、后继乏人的尴尬局面,又要避免一哄而上,造成人才过剩、教育资源浪费。

(3)建议科技部采取倾斜政策,支持放射化学基础、应用基础和应用研究。结合我国核能、高放废物处置、放射性药物、环境健康、核应急、核反恐、国防以及重大交叉科学等,建议从“十二·五”开始,每年安排一批放射化学研究项目。

(4)建议国家自然科学基金委员会等相关部门通过多种方式,重点支持核能、核环境、放射性药物、放射分析以及国家安全中的具有原创性的基础研究课题,扶持放射化学学科领域的优秀青年骨干成长。

(5) 建议设立国家核化学与放射化学数据中心。该中心可依托于有条件的高等院校或科研院所建设,并开展积极有效的国际合作。

(6)建议在重点高校或研究院所设立放射化学国家重点实验室。

(7)建议国防科工局加强对放射化学领域的重点实验室以及特殊学科的支持。

## 主要参考文献


1 世界核能协会网站资料.http://www.world-nuclear.org

2 中华人民共和国国务院.国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年).

3 国防科学技术工业委员会,科学技术部,国家环境保护总局.高放废物地质处置研究开发规划指南.2006 年 2 月.

4 http://nnsa.energy.gov/news/2466.htm

5 http://www.srsweb.org/

6 http://www.snm.org/

7 National Academy of Sciences, National Research Council, USA. Nuclear Science Series: Radiochemistry and Radiochemical Techniques.2006, 1-3 650.

8 IAEA, Vienna .The emerging applications of radiation nanotechnology, 2004, IAEA-TECDOC-1438.

9 http://www.radiochemistry.org/sitemap.html

10 徐玉明.中国核电发展形势与人才培养.1st National Meeting on Improving Education and Training For Chinese Nuclear Power Industry Personnel,2009, May 25-29.


## The Curent Status, Issues and Strateies of Radiochemistry in China


Advisor group of Radioactive Chemistry

(Division of Chemistry Sciences, CAS 100190 Beijing)



**Abstract** The paper systematically reviews the current progress of and existing problems with radiochemistry in China, put forward a series of strategies and suggestions in view of existing issue, with the hope to push the sustainable development of radiochemistry in China.



**Keywords** radiochemistry, current status, strategy, suggestion