

学术引领系列



国家科学思想库

中国学科发展战略

放射化学

中国科学院



科学出版社

学术引领系列

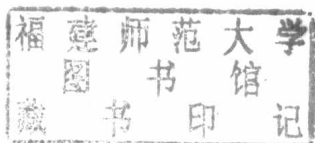


国家科学思想库

中国学科发展战略

放射化学

中国科学院



1032860



T1032860

科学出版社

北京

内 容 简 介

放射化学是利用放射性物质及其辐射效应的一门化学分支学科。随着我国核能事业的快速发展,我国放射化学也面临重要的发展机遇和极大挑战。本书凝结了我国数十位放射化学专家的智慧,就国内外放射化学各分支学科,其中包括裂变能放射化学、聚变能放射化学、环境放射化学、放射性药物化学、放射分析化学、核化学、放射化学与交叉学科、国家安全中的放射化学、放射化学数据库和放射化学教育等方面的发展现状以及面临的问题作了深入分析。结合我国今后社会经济发展对放射化学的重大需求以及放射化学学科的自身发展动力,就我国放射化学中的发展战略和优先发展方向提出了一系列观点和建议。

本书具有权威性、实践性和前瞻性的特点,结构合理,资料翔实,文字精练,并附有大量图表,不仅可满足放射化学及相关专业人员的需求,也适合供科技政策制定者与管理者参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国学科发展战略·放射化学 / 中国科学院. —北京:科学出版社,2013
ISBN 978-7-03-035738-0

I. ①中… II. ①中… III. ①放射化学-科学研究事业-研究报告-中国
IV. ①O615-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 238500 号

丛书策划:侯俊琳 牛玲

责任编辑:杨震 刘冉 / 责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 1 月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2013 年 1 月第一次印刷 印张:28 1/4 插页:1

字数:570 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

中国学科发展战略

指导组

组 长：白春礼

副组长：李静海 秦大河

成 员：詹文龙 朱道本 陈 颢

陈宜瑜 李 未 顾秉林

工作组

组 长：周德进

副组长：王敬泽 刘春杰

成 员：马新勇 林宏侠 张 恒

申倚敏 薛 淮 张家元

钱莹洁 傅 敏 刘伟伟

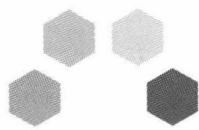
中国学科发展战略·放射化学

研究组

组 长：柴之芳

成 员：(以汉语拼音为序)

陈 靖	顾忠茂	何 辉	傅依备
李 隽	李首健	刘 宁	刘伯里
刘春立	刘广山	刘学刚	刘元方
秦 芝	沈兴海	石伟群	汪小琳
王方定	王祥科	王祥云	王旭辉
韦悦周	吴国忠	吴王锁	叶国安
翟茂林	张安运	张华北	张生栋
张智勇	赵宇亮	朱永贻	



总 序

九层之台，起于累土^①

白春礼

近代科学诞生以来，科学的光辉引领和促进了人类文明的进步，在人类不断深化对自然和社会认识的过程中，形成了以学科为重要标志的、丰富的科学知识体系。学科不但是科学知识的基本的单元，同时也是科学活动的基本单元：每一学科都有其特定的问题域、研究方法、学术传统乃至学术共同体，都有其独特的历史发展轨迹；学科内和学科间的思想互动，为科学创新提供了原动力。因此，发展科技，必须研究并把握学科内部运作及其与社会相互作用的机制及规律。

中国科学院学部作为我国自然科学的最高学术机构和国家在科学技术方面的最高咨询机构，历来十分重视研究学科发展战略。2009年4月与国家自然科学基金委员会联合启动了“2011~2020年我国学科发展战略研究”19个专题咨询研究，并组建了总体报告研究组。在此工作基础上，为持续深入开展有关研究，学部于2010年底，在一些特定的领域和方向上重点部署了学科发展战略研究项目，研究成果现以“中国学科发展战略”丛书形式系列出版，供大家交流讨论，希望起到引导之效。

根据学科发展战略研究总体研究工作成果，我们特别注意到学

^① 题注：李耳《老子》第64章：“合抱之木，生于毫末；九层之台，起于累土；千里之行，始于足下”。

科发展的以下几方面的特征和趋势。

一是学科发展已越出单一学科的范围，呈现出集群化发展的态势，呈现出多学科互动共同导致学科分化整合的机制。学科间交叉和融合、重点突破和“整体统一”，成为许多相关学科得以实现集群式发展的重要方式，一些学科边界更加模糊。

二是学科发展体现了一定的周期性，一般要经历源头创新期、创新密集区、完善与扩散期。并在科学革命性突破的基础上螺旋上升式发展，进入新一轮发展周期。根据不同阶段的学科发展特点，实现学科均衡与协调发展成为了学科整体发展的必然要求。

三是学科发展的驱动因素、研究方式和表征方式发生了相应的变化。学科的发展以好奇心牵引下的问题驱动为主，逐渐向社会需求牵引下的问题驱动转变；计算成为了理论、实验之外的第三种研究方式；基于动态模拟和图像显示等信息技术，为各学科纯粹的抽象数学语言提供了更加生动、直观的辅助表征手段。

四是科学方法和工具的突破与学科发展互相促进作用更加显著。技术科学的进步为激发新现象并揭示物质多尺度、极端条件下的本质和规律提供了积极有效手段。同时，学科的进步也为技术科学的发展和催生战略新兴产业奠定了重要基础。

五是文化、制度成为了促进学科发展的重要前提。崇尚科学精神的文化环境、避免过多行政干预和利益博弈的制度建设、追求可持续发展的目标和思想，将不仅极大促进传统学科和当代新兴学科的快速发展，而且也为人成长并进而促进学科创新提供了必要条件。

我国学科体系系由西方移植而来，学科制度的跨文化移植及其在中国文化中的本土化进程，延续已达百年之久，至今仍未结束。

鸦片战争之后，代数学、微积分、三角学、概率论、解析几何、力学、声学、光学、电学、化学、生物学和工程科学等的近代科学知识被介绍到中国，其中有些知识成为一些学堂和书院的教学内容。1904年清政府颁布“癸卯学制”，该学制将科学技术分为格致科（自然科学）、农业科、工艺科和医术科，各科又分为诸多学科。1905年清朝废除科举，此后中国传统学科体系逐步被来自西方的新

学科体系取代。

民国时期现代教育发展较快，科学社团与科研机构纷纷创建，现代学科体系的框架基础成型，一些重要学科实现了制度化。大学引进欧美的通才教育模式，培育各学科的人才。1912年詹天佑发起成立中华工程师会，该会后来与类似团体合为中国工程师学会。1914年留学美国的学者创办中国科学社。1922年中国地质学会成立，此后，生理、地理、气象、天文、植物、动物、物理、化学、机械、水利、统计、航空、药学、医学、农学、数学等学科的学会相继创建。这些学会及其创办的《科学》、《工程》等期刊加速了现代学科体系在中国的构建和本土化。1928年国民政府创建中央研究院，这标志着现代科学技术研究在中国的制度化。中央研究院主要开展数学、天文学与气象学、物理学、化学、地质与地理学、生物科学、人类学与考古学、社会科学、工程科学、农林学、医学等学科的研究，将现代学科在中国的建设提升到了研究层次。

中华人民共和国建立之后，学科建设进入了一个新阶段，逐步形成了比较完整的体系。1949年11月新中国组建了中国科学院，建设以学科为基础的各类研究所。1952年，教育部对全国高等学校进行院系调整，推行苏联式的专业教育模式，学科体系不断细化。1956年，国家制定出《十二年科学技术发展远景规划纲要》，该规划包括57项任务和12个重点项目。规划制定过程中形成的“以任务带学科”的理念主导了以后全国科技发展的模式。1978年召开全国科学大会之后，科学技术事业从国防动力向经济动力的转变，推进了科学技术转化为生产力的进程。

科技规划和“任务带学科”模式都加速了我国科研的尖端研究，有力带动了核技术、航天技术、电子学、半导体、计算技术、自动化等前沿学科建设与新方向的开辟，填补了学科和领域的空白，不断奠定工业化建设与国防建设的科学技术基础。不过，这种模式在某些时期或多或少地弱化了学科的基础建设、前瞻发展与创新活力。比如，发展尖端技术的任务直接带动了计算机技术的兴起与计算机的研制，但科研力量长期跟着任务走，而对学科建设着力

不够，已成为制约我国计算机科学技术发展的“短板”。面对建设创新型国家的历史使命，我国亟待夯实学科基础，为科学技术的持续发展与创新能力的提升而开辟知识源泉。

反思现代科学学科制度在我国移植与本土化的进程，应该看到，20世纪上半叶，由于西方列强和日本入侵，再加上频繁的内战，科学与救亡结下了不解之缘，新中国建立以来，更是长期面临着经济建设和国家安全的紧迫任务。中国科学家、政治家、思想家乃至一般民众均不得不以实用的心态考虑科学及学科发展问题，我国科学体制缺乏应有的学科独立发展空间和学术自主意识。改革开放以来，中国取得了卓越的经济建设成就，今天我们可以也应该静下心来思考“任务”与学科的相互关系，重审学科发展战略。

现代科学不仅表现为其最终成果的科学知识，还包括这些知识背后的科学方法、科学思想和科学精神，以及让科学得以运行的科学体制，科学家的行为规范和科学价值观。相对于我国的传统文化，现代科学是一个“陌生的”、“移植的”东西。尽管西方科学传入我国已有一百多年的历史，但我们更多地还是关注器物层面，强调科学之实用价值，而较少触及科学的文化层面，未能有效而普遍地触及到整个科学文化的移植和本土化问题。中国传统文化以及当今的社会文化仍在深刻地影响着中国科学的灵魂。可以说，迄20世纪结束，我国移植了现代科学及其学科体制，却在很大程度上拒斥与之相关的科学文化及相应制度安排。

科学是一项探索真理的事业，学科发展也有其内在的目标，探求真理的目标。在科技政策制定过程中，以外在的目标替代学科发展的内在目标，或是只看到外在目标而未能看到内在目标，均是不适当的。现代科学制度化进程的含义就在于：探索真理对于人类发展来说是必要的和有至上价值的，因而现代社会和国家须为探索真理的事业和人们提供制度性的支持和保护，须为之提供稳定的经费支持，更须为之提供基本的学术自由。

20世纪以来，科学与国家的目的不可分割地联系在一起，科学事业的发展不可避免地要接受来自政府的直接或间接的支持、监

督或干预，但这并不意味着，从此便不再谈科学自主和自由。事实上，在现当代条件下，在制定国家科技政策时充分考虑“任务”和学科的平衡，不但是最大限度实现学术自由、提升科学创造活力的有效路径，同时也是让科学服务于国家和社会需要的最有效的做法。这里存在着这样一种辩证法：科学技术系统只有在具有高度创造活力的情形下，才能在创新型国家建设过程中发挥最大作用。

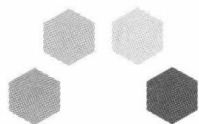
在全社会范围内创造一种允许失败、自由探讨的科研氛围；尊重学科发展的内在规律，让科研人员充分发挥自己的创造潜能；充分尊重科学家的个人自由，不以“任务”作为学科发展的目标，让科学共同体自主地来决定学科的发展方向。这样做的结果往往比事先规划要更加激动人心。比如，19世纪末德国化学学科的发展史就充分说明了这一点。从内部条件上讲，首先是由于洪堡兄弟所创办的新型大学模式，主张教与学的自由、教学与研究相结合，使得自由创新成为德国的主流学术生态。从外部环境来看，德国是一个后发国家，不像英、法等国拥有大量的海外殖民地，只有依赖技术创新弥补资源的稀缺。在强大爱国热情的感召下，德国化学家的创新激情迸发，与市场开发相结合，在染料工业、化学制药工业方面进步神速，十余年间便领先于世界。

中国科学院作为国家科技事业“火车头”，有责任提升我国原始创新能力，有责任解决关系国家全局和长远发展的基础性、前瞻性、战略性重大科技问题，有责任引领中国科学走自主创新之路。中国科学院学部汇聚了我国优秀科学家的代表，更要责无旁贷地承担起引领中国科技进步和创新的重任，系统、深入地对自然科学各学科进行前瞻性战略研究。这一研究工作，旨在系统梳理世界自然科学各学科的发展历程，总结各学科的发展规律和内在逻辑，前瞻各学科中长期发展趋势，从而提炼出学科前沿的重大科学问题，提出学科发展的新概念和新思路。开展学科发展战略研究，也要面向我国现代化建设的长远战略需求，系统分析科技创新对人类社会发展 and 我国现代化进程的影响，注重新技术、新方法和新手段研究，提炼出符合中国发展需求的新问题和重大战略方向。开展学科发展

战略研究，还要从支撑学科发展的软、硬件环境和建设国家创新体系的整体要求出发，重点关注学科政策、重点领域、人才培养、经费投入、基础平台、管理体制等核心要素，为学科的均衡、持续、健康发展出谋划策。

2010年，在中国科学院各学部常委会的领导下，各学部依托国内高水平科研教育等单位，积极酝酿和组建了以院士为主体、众多专家参与的学科发展战略研究组。经过各研究组的深入调查和广泛研讨，形成了“中国学科发展战略”丛书，纳入“国家科学思想库-学术引领系列”陆续出版。学部诚挚感谢为学科发展战略研究付出心血的院士、专家们！

按照学部“十二五”工作规划部署，学科发展战略研究将持续开展，希望学科发展战略系列研究报告持续关注前沿，不断推陈出新，引导广大科学家与中国科学院学部一起，把握世界科学发展动态，夯实中国科学发展的基础，共同推动中国科学早日实现创新跨越！



序

放射化学作为近代化学和核科学的一个重要组成部分，已经经历了一百年的兴衰历史。我国的放射化学，尤其在新中国成立之后，虽然也经历了蓬勃发展和停滞不前的不同阶段，从总体上看，它为我国的国防安全、核能开发和核技术应用，为我国社会主义建设和发展做出了不可磨灭的贡献。

2011年3月11日，日本特大地震海啸引发的福岛核电站的严重核事故，给全世界的核能事业造成了重创。一时间，人们“谈核色变”，对核能产生了恐惧和怀疑。当然这种反应是完全可以理解的。但是，经过冷静的科学分析和思考，正确的对策不应是“因噎废食”，而应认真吸取福岛事件的教训，积极保证核电站的安全运行，继续让核能为人类服务。我国政府也正采取积极的态度，适当调整核能发展速度，谨慎做好核电站的选点工作（如避开地震多发地带和极度缺水地区等），确保核电站运行的绝对安全，继续发展核能事业。

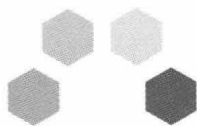
与煤、石油、天然气等传统矿物能源相比，核能本身是一种清洁能源。地球上石油、天然气等能源预计将在几十年内消耗殆尽，煤预计将在两三百年内消耗完。所以，从世界范围内看，核能取代传统矿物能源作为一种主要的能源是必然的发展趋势。当前，法国、美国、英国等发达国家都已表明了要继续发展核能的积极态度，且正在建造先进的第三代核反应堆。由此展望，随着核能事业的进一步发展，我国的放射化学也必然会迎来一个美好的春天。同样，我国其他各种核科技的发展也会促进放射化学的繁荣发展。

在柴之芳院士的领导和组织下，在全国各个放射化学分支学科的多位高水平学者、专家的辛勤努力下，一部涵盖面广、科学性强、内容丰富、信息新颖的近 60 万字的专著《中国学科发展战略·放射化学》付梓问世了。这无疑是中国化学界和核科学界的一桩喜事，值得庆贺。

刘元方

北京大学

2013 年 1 月



前 言

核化学和放射化学是保障核能建设、国家安全和经济社会可持续发展的基础性学科之一。在中国科学院学部“十二五”规划关于学科发展战略研究的部署中，放射化学为首批启动发展战略研究的学科之一。根据学部要求，《中国学科发展战略·放射化学》的宗旨在于科学评估国内外放射化学学科发展的现状，总结当前我国放射化学学科发展存在的问题，科学分析我国核能发展、环境保护、人民健康及国家安全等方面对放射化学的重大需求以及放射化学学科发展面临的机遇和挑战。在此基础上，提出我国放射化学学科的发展战略和相关对策，供有关部门、高等院校、科研院所及其他相关领域参考，并最终服务于我国社会经济发展，推动我国放射化学学科的建设。

本书秉承“立论有据，事实清楚，分析准确，对策合理”的编写方针。第一，系统介绍中国放射化学家的贡献及我国各放射化学分支学科有重要影响力的研究成果，评述有影响的重要工作，进而分析判断我国在放射化学学科的创新能力和实力地位。第二，评述放射化学各分支学科的国际动向和发展趋势，提炼放射化学前沿的重大科学问题，提出新概念、新思路；探索放射化学各分支学科的发展规律，把握放射化学的未来发展方向。第三，从我国现代化建设的长远战略需求出发，系统梳理放射化学对人类社会发展 and 我国现代化进程的影响；提炼符合我国发展需求的新问题和重大战略方向；注重新技术、新方法和新手段研究；客观描述放射化学各分支学科在我国的发展趋势，以及对我国放射化学发展战略的建议。第

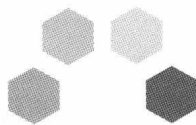
四，科学分析我国目前在放射化学各领域的软硬件、人才储备、管理机制、政策等方面的现状、优势和不足、存在的问题以及应采取的对策等。

《中国学科发展战略·放射化学》由柴之芳院士设计和组织，刘元方院士审定，其编写工作得到了众多放射化学家的大力支持。参加本书撰写的人员包括：绪论，柴之芳；第1章，刘学刚、顾忠茂、叶国安、张生栋、韦悦周、何辉；第2章，吴国忠、李晴暖、李文新；第3章，王祥科、陈长安、盛国栋；第4章，石伟群、赵宇亮、柴之芳；第5章，苏静、陈果、李隽；第6章，汪小琳；第7章，刘春立、张生栋、崔安熙、刘宁、吴王锁、王祥科；第8章，张华北、刘宇、罗志福、罗顺忠、褚泰伟；第9章，张智勇、张生栋、杨通在、倪邦发；第10章，石伟群、赵宇亮、柴之芳；第11章，沈兴海；第12章，秦芝、张生栋、李文新；第13章，王祥云、陈涛、刘春立；第14章，刘广山；第15章，翟茂林、吴国忠、李景焯、吴明红、葛学武、彭静；第16章，吴王锁、李首健。朱永贻院士、刘伯里院士、王方定院士、傅依备院士参与讨论，20位中国科学院专家（包括陈和生、陈佳洱、方守贤、胡仁宇、阮可强、沈文庆、王乃彦、姚建年、詹文龙、张焕乔、朱道本11位院士和陈荣、汲培文、李金英、梁文平、罗顺忠、蒲钊、沈兴海、孙颖、严叔衡9位教授/研究员）对初稿进行了评议，徐洪杰研究员对“钍铀循环放射化学”一章作了重要修改。上报中国科学院化学部后，化学部常务委员会又委托陈凯先院士、陈洪渊院士和王方定院士再次审阅。但是应当承认，由于作者水平有限，且报告涉及面甚广，书中定有不妥之处，敬请广大专家、读者批评指正。

本书在编写过程中得到了中国科学院学部和院士工作局的指导和帮助，谨致衷心谢意！科学出版社编辑主动热情做好本书的出版工作，石伟群和冯一潇在统稿和编辑过程中付出了辛勤劳动，在此一并致谢！



2012年9月



目 录

总 序	i
序	vii
前 言	ix
绪 论	1
第一节 放射化学百年发展历程	1
第二节 中国放射化学重要成果	3
一、基础核化学	3
二、锕系元素化学	5
三、核燃料后处理化学	6
四、放射性药物化学	7
五、放射分析化学	7
六、环境放射化学	9
七、放射化学与国家安全	9
第三节 中国放射化学的战略方向和重大科学问题	11
第四节 中国放射化学当前的主要问题和对策	14
参考文献	15
第一章 铀钚循环放射化学	17
第一节 我国铀钚循环放射化学领域的主要贡献	18
一、为核武器装料生产提供了方法和手段	18
二、为核电闭式循环奠定了科学基础	20
三、奠定了我国整个放射化学学科的基础	23
第二节 国际上铀钚循环的现状、动态和趋势	24
一、美国铀钚循环的现状和动态	24
二、法国铀钚循环的现状和动态	26

三、日本铀钚循环的现状和动态	27
四、俄罗斯铀钚循环的现状和动态	28
五、印度铀钚循环的现状和动态	29
六、国际上铀钚燃料循环的发展趋势	31
第三节 我国铀钚循环对放射化学的需求和若干科学问题	37
一、我国铀钚循环的国家需求	37
二、对我国铀钚循环国家需求的分析	38
三、铀钚循环对放射化学的需求	40
第四节 铀钚循环放射化学的发展建议	43
一、我国科研设施和人才简述	43
二、对科研内容的建议	44
三、管理机制和政策方面的建议	45
参考文献	45
第二章 钍铀循环放射化学	48
第一节 钍与钍铀循环	48
第二节 钍燃料的前处理	52
第三节 钍铀循环的水法后处理	55
第四节 钍铀循环的干法后处理	61
第五节 展望和发展战略建议	66
参考文献	68
第三章 聚变放射化学	71
第一节 我国和世界范围内核聚变发展概况	71
一、核聚变的定义和优点	71
二、世界各国核聚变研究的现状和发展趋势	72
三、我国核聚变研究的现状及其意义	75
第二节 聚变能化学的定义及其主要研究领域	76
一、聚变能化学的定义	76
二、核燃料循环中的化学问题	78
三、等离子体与物质表面相互作用中的化学问题	93
四、聚变材料研究中的化学问题	97
第三节 未来聚变能化学与工艺研究设想	100
一、研究目标和战略规划	100
二、预期成果	103
参考文献	104