

·学科进展与展望·

原始性创新是 21 世纪分析化学面临的最根本挑战

陈洪渊*

(南京大学化学化工学院, 南京 210093)

[摘要] 在 21 世纪, 原始性创新是科学技术领域包括分析化学在内的最根本的挑战。为了实现原始性创新, 人们必须摒弃旧观念, 接受新理念; 而且还首先要树立起为国家目标和高科技发展服务的思想和参与国际竞争的意识。

文中指出了我国分析化学家担负着利用最新科技成就, 发展基于新理论、新原理的分析方法和技术, 并创造具有自主知识产权的新仪器设备的历史使命。文中着重阐述了分析化学的前沿领域和有待解决的核心科学问题。而且, 文中还提出强化国家自然科学基金的资助是动态培养高级科技人才、孕育原始性创新思想和最终促进国家战略目标实现的一条有效途径。

[关键词] 原始性创新, 挑战, 分析化学前沿领域, 分析化学发展战略, 国家自然科学基金

“创新”是推动科学技术与社会进步的法宝, 是科教兴国的灵魂, 也是国家民族振兴的灵魂。本文从几个方面谈谈关于如何推动我国分析化学发展与创新的一点思考和浅见, 与同仁们一起探讨。

1 更新理念促进原始性创新

毫无疑问, 创新是科学技术和社会生产发展的需要, 它将推动分析化学的发展和变革; 而分析化学的发展又将作用于科学技术和社会生产。

分析化学在 20 世纪经历了三次重大变革, 如今已进入分析科学时代。有识之士早就预言: “未来的 21 世纪是光明还是黑暗取决于人类在信息、能源、资源(材料)、环境和健康领域中科学和技术上的进步, 而解决这些领域中的关键问题将是分析科学。”这一认识已被越来越多的人所接受。

分析化学在科学技术中不可或缺的作用和地位已是毋庸置疑的事实。上个世纪末“人类基因测序”被认为是一项像人类登月一样的伟大工程, 在该工程面临进展缓慢的困难时, 是分析化学家对毛细管电泳分析方法的重大革新, 使这项伟大的工程得以提前完成, 从而揭开了后基因时代的序幕。1999 年比利时布鲁塞尔发生的饲料二恶英污染中毒事件引

起全球消费者的恐慌, 导致比利时内阁被迫集体辞职, 当时也是分析化学家拯救了比利时。2002 年获得诺贝尔化学奖的 3 位科学家都是因为率先建立了新的测定生物大分子的方法而获此殊荣。化学和物理学等诺贝尔奖的得主, 约有 1/3—1/4 是提出创新测试方法的科学家。由此足见分析测试在人类科学技术和社会发展中的重要性。

21 世纪的四大科学领域, 即: 生命科学、信息科学、材料科学和环境科学, 特别是生命科学与环境科学的发展, 向分析化学提出了更高、更严峻的挑战。

尽管分析化学面对的门类繁多, 分析方法千差万别, 分析的对象五花八门, 但总是要求: 测定的方法更灵敏、更有选择性和专一性, 获得的数据更准确、更快速, 涉及的时空尺度更广阔, 得到的信息更多维, 测定的体系、环境更微小, 所用的样品更微量等等; 而且还要求遥感遥测、或在极端条件下或现场、在体、在线、无损检测等等。而其中灵敏、准确、快速、自动、智能则是任何时候都追求的永恒主题。

当代分析化学吸收了现代各种科学技术领域的成就, 利用任何可以利用的物质性质, 用来改进老方法, 创造新方法, 使分析化学不断向时空延伸, 扩大了人类的视野, 解决了一个又一个实际问题, 为科学

* 中国科学院院士。

本文于 2003 年 5 月 26 日收到。

技术发展和生产建设提供了有力武器。

回顾分析化学的发展可以看出,每当一种新原理的应用或一种新方法的引入,诸如新的化学反应、化学平衡、界面现象、胶囊介质、固定化方法、吸附与脱附、萃取与反萃取、免疫反应、色谱、电化学、光谱学(显象学)、传感器与传感技术、联用技术、专家系统、化学计量学、过程控制、图象检测、成像技术、软件平台、自动化技术、纳米科技、生化技术、PCR、激光和等离子体等等都导致了新方法的出现,为科学技术、国民经济和社会发展作出了贡献,同时也促进了分析化学学科自身的迅速发展。

虽然一般方法的改进可以解决一些实际的分析问题,但这种适用面有限的个案,还只能说“旧瓶装新酒”、“老树开新花”。而基于新原理而建立和发展的新方法,则将形成新的生长点,拓宽应用领域产生新的理论。这种创新才是源头的创新。如20世纪后期,基于微机电加工技术在分析化学中的应用而产生的微流控全分析系统,显示出巨大的优越性,从而成为一种极富生命力的生长点,这是一种源头的创新。随后提出的“Lab-on-a-chip”,即“芯片实验室”,乃是一种新的理念。一种新理念一旦形成,就会带来一片蓬勃发展的生机!当今,基于“Lab-on-a-chip”这一理念,国际上已经创办了新的杂志,并已定期举行了几届国际会议。这一研究领域在全世界迅速展开,它将分析化学带入一个全新的境界,将又掀起一场巨大的革命。回顾分析化学引起巨大变革的历史,莫不因新方法导入引起整个理念的变化而形成的。

要创新,首先还需要观念上的更新。在我国科学界有时也会出现一种重科学轻技术的现象。科学与技术本是一对孪生兄弟,密不可分。固然二者各有侧重,科学重在发现自然规律;技术重在利用自然规律来发明创造新手段、新工具,以解决生产、科技和社会的需要提出的问题。但两者互相依存,互为因果。分析化学既包含科学又包含技术,它拥有自己的理论体系和内涵,但它又是一门实验性、技术性很强的学科。化学在20世纪作为核心科学为人类作出了重大贡献,这自然包含了分析化学的贡献。就以当今被认为是带头学科的物理学,也是理论物理、实验物理和计算物理,三分天下各居一。科学与技术互相依存、渗透、关联,各司其职,本来就不能分所谓谁重要谁不重要,谁高谁低的!其实,这一点谁都承认。可是在分配资源的时候,往往就有倚重倚轻之分了。以往,分析化学就因为手中不掌握产品

而常受“冷遇”。事实上,世界上科技、生产越是发达的国家,越看得清分析化学学科发展的重要性。被认为科技超级强国的美国,当今大约20万化学家中就有1/5为分析化学家,在各个技术部门尤其在生命和环境科学领域发挥着至关重要的作用,欧洲和日本也如此。我国的分析化学应当为科教兴国、奔小康,努力挑起重担,为实现国家的四个现代化作出更大的贡献。

事实上,分析化学的创新任务特别艰难而繁重!分析化学家更需要敬业、执著,冲破禁锢,解放思想,自强不息,大胆创新。“创新”从某种意义上说是长期潜心、执着研究的积累在特定情况下的闪光,掀翻束缚而在目标方向上的突破,使科学和技术有了跳跃式的前进。创新既不凭空想象也不靠运气,而必然孕育于积累,而后才能产生灵感和跃进。当代科学技术的创新,还必须付出极为辛勤的劳动,是“十年磨一剑”的结果,甚至要花毕生的精力。

总而言之,分析化学尤其在生命科学和环境科学中的重要性已毋庸置疑,分析化学是大有“创新”可为的;加大对分析化学的支持力度是推动分析化学发展以满足客观需要的必要条件。然而分析化学家更新观念亦非常重要,从理念上创新走向源头创新,这是分析化学发展的关键。

2 树立“以人为本、兼收并蓄、服务为先”的理念,加强为国家目标服务的意识,以任务推动学科发展,以创新支撑学科建设

分析化学要创“品牌”,要做出重要贡献,不断满足需要者的期待,才能得到更多的支持。分析化学的研究对象是如此之广泛,当今需要分析化学介入的机会又是如此之多,只要我们介入的意识加强,路子就会越走越宽。我们一定会有新思路,树立“以人为本、兼收并蓄、服务为先”的理念。“以人为本”就是:尊重人才、爱惜人才;支持科学家进行好奇心驱动下和情有独钟的研究,以寻求新发现;鼓励探索,宽容失败;弘扬科学精神,提倡学术争鸣,广开言路,保护不同意见;构建创新环境和营造创新文化。“服务为先”就是把解决问题放在第一位,即使是搞基础研究,同样也要增强为社会服务的意识;对于原始性创新,也不能游离于国民经济发展的进程之外,应紧紧围绕现代化建设的需要开展科技攻关,到科技的第一线去寻找核心的科学问题,积极将自己的科技成果移植到新的领域,或转化为现实生产力,为经济建设服务。分析化学同样有为科学与技术发展和

国民经济服务的职能,责无旁贷。“在服务中求支持,以贡献求发展”这是当今商品经济社会的基本原则,也是分析化学求发展的一种策略。因为广泛的社会需求,分析化学工作者在国内外都是最容易就业的。今天,分析化学总是面临挑战,所要解决的问题总是永远没有完结的时候,这就要求分析化学家不断提出解决问题的新方法和新策略,同时,也赋予分析化学以无限的机遇。任何学科领域如果失去了服务对象,不被需求,将是没有什么前景的。21 世纪的生命科学、环境科学、材料科学和能源科学等领域迫切地要求分析化学发展各种新的测量和表征手段以解决其疑难问题。尤其是作为本世纪科学发展的中心和主导科学的生命科学,基于其研究体系的复杂性,使分析化学面临巨大的挑战。这种挑战性构成了分析科学将成为未来生物学和生命科学发展的中心。不仅是生命科学的研究,当代四大科学领域(生命、信息、环境、资源)、五大危机(人口、粮食、能源、健康与环境)以及与国家安全相关高技术中一些问题的解决都十分仰赖于分析化学的发展。

因此,当前分析化学与生命科学等领域的专家密切合作,进行学科的交叉,增强‘介入’的观念,冲破禁锢和“传统”的束缚,解放思想,更有利于我们跻身去争取承担国家的任务和交叉到其他学科领域去充当参与者的角色,进一步拓宽创新的道路,扩大创新的视野。当今社会,学科的发展是由需要和任务来带动的,但却决不能代替学科建设。学科建设是分析化学发展的核心,应以创新作为学科建设的内涵和支撑。

3 要重视分析仪器装置的研制

分析化学家需要时刻记住二个“转化”:第一是把科学技术的新成就包括一切创新的理念转化为定型的分析测试方法;第二是把分析方法转化为仪器装置(或仪器)。自从 20 世纪中叶以来,物理学、电子学和计算机科学以及生物学的交叉渗透,各种各样的分离、分析测试方法应运而生,分析化学家运用这些现代化的手段以各种创新的理念建立起各种巧妙的方法为科学技术和生产建设解决了一个又一个分析难题,擦亮了人类的“眼睛”,把视野延伸到更广大的时空范围和极为微小的世界。然而,多数分析化学家还仍然只习惯潜心于用现有的仪器设备去寻求新的分离、试测方法以解决面临的问题,还不善于把许多创新成果用来创造出新型的测试工具,以发挥更大的作用。只有很少数的分析化学家从事分析

仪器的研制和开发,将新原理用于创造新仪器。目前大部分分析测试仪器都是由其他科学领域的科学家和工程师完成的。

科学仪器、仪表是产生科学数据的源泉。分析仪器是科学仪器中重要的分支。我国的分析仪器制造业与先进国家的水平差距甚大,大部分高级、大型的分析测试仪仰赖进口。在当前知识经济主导的时代,如果我们没有自主知识产权的技术与装备,我们的产业将沦为殖民地式的经济;如果我们的科学仪器(包括分析仪器)产业不及时赶上,不仅影响科学技术的发展,亦必将危及经济甚至国家安全。但是,分析仪器水平的提高受制因素很多,可谓积重难返,根本问题的解决带有综合性和全局性。但无论如何,从战略高度鼓励更多的分析化学家与相关领域专家携手积极从事、参与分析仪器的研制和开发,已势在必行,主管部门当需大力提倡,分析化学家尤须加以高度关注。

4 自然科学基金坚持正确的定位是原始性创新的有力保证

我国自然科学基金制度自建立以来对我国自然科学基础研究的发展和壮大起到巨大的历史作用,取得了辉煌的成就;培养造就了一大批学科带头人,建立了壮观的学科队伍,奠定了 21 世纪科技发展的坚实基础,成为创新理念的摇篮。我国的自然科学基金资助的范围、强度都有了很大的发展。制度更加健全、完善,作用进一步发挥。

在国际科技竞争日益加剧的今天,如何加速‘源头创新’就成了基金资助中需要解决好的关键问题。我认为,只要坚持定位在支持“基础和应用基础”研究;继续营造宽松的创新环境,并有充分的自由空间;倡导优良的(严谨、求实)学术风气,提倡自由竞争,百家争鸣,又鼓励合作、发扬团队精神;规范评审标准,完善评估体系,这样,原始性的源头创新就有了肥沃的土壤。

基于分析科学的特点,国际上公认的热点研究领域必须赶超,有些未取得共识的‘冷门’课题如言之成理、而又没有充分的理由加以否定的课题也可以考虑支持。当前尽管基金评审已有一套完整规范的方针、原则与方法,但在实际执行中尚需评委的公正和识别能力,建立一支优良的评审队伍就特别重要。基于基金额度的增加,科研单位和高校设备的日益改善,在对待重点项目或重大项目参加单位数方面不必限制过严,可视实际情况应有适当的灵活

性,并以多设重点项目为好。又如由几个单位用不同方法、途径或甚至用同一方法、途径同时去迅速攻克同一个核心的科学问题,也应该是被允许的。关键是要看解决的科学问题是否经过凝练,研究的目标是否集中、明确。

国家自然科学基金通过项目资助培养和造就了大批高级的基础性研究人才。如果说高校和研究单位是定点的培养方式,那么,基金项目资助则是定位在以学科前沿交叉领域为靶标的动点和滚动的人才培养方式,这种方式更具社会实践性和针对性。今后,如何更有计划、有步骤地进行仍是一个值得研究的问题。

5 分析化学的前沿领域和其中的关键问题

5.1 生命科学中的分析化学

分析科学要与解决生命科学的核心科学问题相结合,建立各种分析化学平台、信息的加工与整合系统。生命体系自身的各种复杂过程——化学过程、物理过程,迫切需要超高灵敏度、选择性、在线动态跟踪、单细胞实时分析、单分子检测技术等有效的分析方法,提供高通量的生物信息和数据。更确切地说,生命科学要求分析化学:

- (1)灵敏、选择、无损探测;
- (2)活体-实时-动态跟踪,单细胞、单分子分析;
- (3)新的生物活性分子的发现、分离、提纯和表征技术;
- (4)微量和超微量生物活性物质的原位、实时、在体和在线分析。

以下几点是当前生命科学研究的热点,其中有大量的分析化学问题需要解决,分析化学问题已成了研究工作进展的瓶颈。这些热点是:

后基因组学——基因诊断、基因疗法、基因药物开发——疾病预警;反基因武器、生物分子电子技术、仿生技术——未来战争与防卫的战略。

蛋白组学——如小分子与蛋白质、核酸等大分子作用引起其构象的变化并影响其功能;糖-蛋白化合物结构多样性如何决定其功能的多样性;真核细胞周期调控中的蛋白质磷酸化作用等。

微流控芯片全分析系统(Lab on a chip)
生物芯片、生物传感器和生物信息学
生物分子电子器件
细胞分析化学
单分子、单细胞分析以及实时活体分析
重大疾病的预警与临床快速检测

膜分离技术

中草药有效成分分析——指纹图谱

化学计量学在生命科学中的应用

高分辨率成像和结构、形貌分析——AFM、SECM、STM、X-衍射技术、NMR 以及计算机信息分析技术,很大程度上促进了生物大分子三维结构研究的发展。

SARS 等传染性疾病的快速鉴定

滥用药物的监控及分析

生命体系复杂过程中的分析化学研究

化学生物学及其相关问题:药物作用靶点的识别研究;组合化学药物合成的筛选;高通量的药物分析化学。

各类大小生化分析仪器、临床分析仪器

生命科学的发展,提出的问题和挑战,为分析化学的发展提供了前所未有的机遇。我们要充分认识自然、学习自然,利用自然变化和变迁规律——生物科学的成果,克服传统分析化学中的不足与弱点,发展分析化学的新概念和新思想。如基因检测研究带动了 20 世纪整个生命科学的迅速发展,可以预计,在 21 世纪相当长的时期内,基因研究仍将继续推动生命科学研究向纵深发展,基因检测不仅对生物学研究至关重要,而且对临床医学、环境监控、法学鉴定等领域具有极其重要的意义。这里要特别强调一下纳米技术在生命科学中的作用与价值。最近由美国的 Deamer(加州大学)和 Branton(哈佛大学)等研究小组首先提出的纳米通道(Nanopore)技术引起了世界各国科学家的关注。这种纳米通道技术可以对基因快速测序,并且能多组分(高通量)快速检测。将它用于单分子、单细胞的研究,可以克服 AFM 的缺陷——分子需要固定化,可以直接在溶液中测试。这种技术刚刚起步,有待进一步研发。纳米技术还用于人工器官、介入性治疗、药物载体、血液净化、生物大分子分离等方面,其中有大量化学和分析化学的问题有待解决。

5.2 环境科学中的分析化学

世界各国都极为关注可持续发展的问题,而首当其冲的就是环境保护,绿色化学亦应运而生。分析化学介入环境化学与绿色化学的核心问题,特别要关注以下各项:

环境分析化学,环境过程化学与分析化学,环境生化分析,绿色化学中分析测试问题,环境分析测试仪器。

5.3 材料与信息科学中的分析化学

纳米材料的结构分析,纳米材料的可控组装及表征,纳米材料的谱学分析、界面表征,纳米材料及其成像技术在分析检测中的应用,纳米材料在生命科学中的应用,以上这些研究方向今后应得到加强。

信息科学与分析科学交叉而产生的“多传感器信息融合技术”需要引起特别的重视,它源自军事科学中的电子对抗,可以从复杂的体系中识别和检测特定的微弱信号,目前在许多领域已得到应用。如它能在生命科学中生物信息流的研究,对细胞内信号的传导、电信息流的整合、检测的研究中成功的应用,必将能获得高通量的生物信息。

5.4 过程化学中的分析化学

化学学科应是由化学和化学工程两大部分构成。可是长期以来,这两大领域有许多脱节。化学过程中分析化学问题的研究是今后必须得到加强的领域,尤其是石油化工工程的质控及在线分析以及酶生产工程中的分析问题。

5.5 发展分析化学的新原理、新技术和新方法

分析化学的源头创新和拥有自主知识产权必然基于新原理、新方法和新技术的应用,尤其是新理念的产生和实行。因此,下面的研究内容应是中、长期规划中的重要方面:

发展基于新原理的分析方法和相应的仪器,分子自组装及其分子器件,仿生催化与纳米分子电子器件,极端条件下的分析测试,分析仪器的小型化、微型化和智能化,联机技术智能化,各种传感器和超微电极的研究,新分离和富集方法的研究,“数据融合”在分析化学中的应用,微流控芯片、生物芯片,防

生化武器的高效、小型测试仪器,化工生产和过程化学中的在线分析等等。

目前,我国分析化学从整体水平上看还正是处在蓬勃发展时期,离国际上最先进国家还有相当大的差距,我们只有急起直追,从源头上加大创新力度,才能使我国分析化学赶超国际前列,更好地为我国四个现代化建设和不断提升中国可持续发展的综合国力的总体战略目标服务。

参 考 文 献

- [1] <http://www.nap.edu/openbook/0309084776/html/11.html>, Beyond the Molecular Frontier: Challenges for Chemistry and Chemical Engineering, 2003, The National Academy of Sciences.
- [2] Hirsch R. Analytical Science at the Center of Chemistry and Beyond its Frontier. [Http://www.waters.com/waters-division/waters-website/corporate/releases/speech.pdf](http://www.waters.com/waters-division/waters-website/corporate/releases/speech.pdf), 2000.
- [3] Ronald Breslow. Chemistry and Tomorrow: The central, useful and Creative Science, American Chemical Society, Washington, D. C., 1997.
- [4] David W Deamer, Daniel Branton. Characterization of Nucleic Acids by Nanopore Analysis. *Acc. Chem. Res.*, 2002, 35, 817.
- [5] John J Kasianowicz, S E Henrickson, Howard H. Weetall and Baldwin Robertson. *Anal. Chem.*, 2001, 73, 2 263—2 272.
- [6] 徐光宪. 21世纪是信息科学、合成化学和生命科学共同繁荣的世纪. *化学通报*, 2003, 1, 3.
- [7] 汪尔康主编. 21世纪分析化学序言(高鸿). 北京:科学出版社, 1999.
- [8] 黄本立. 世纪之交的分析化学——回顾与思考. *化学进展*, 2001, 13(2):145.
- [9] 王夔. 科学走向新世纪——中国科学院第十次院士大会学术报告. 北京:科学出版社, 2001, 37—42.
- [10] 方肇伦. 微流控分析芯片. 北京:科学出版社, 2003.
- [11] 朱良漪, 吴树恩. 生命科学时代的挑战和对策. *现代科学仪器*, 2001, 2:3.

ORIGINAL CREATION: THE MOST ESSENTIAL AND ULTIMATE CHALLENGES OF ANALYTICAL CHEMISTRY IN 21ST CENTURY

Chen Hongyuan

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract In 21-century, original creation is the most essential and ultimate challenge in all the scientific and technological fields including Analytical Chemistry. To achieve the original creations, one has to discard the old conception, and accept new ideas

Key words original creation, challenge, frontier fields of analytical chemistry, developing strategy of analytical chemistry, National Natural Science Foundation of China