

十二、核反应化学的若干活跃领域

核反应化学是研究原子核运动的基本规律——核反应、核衰变和核结构的一门学科。当前人们建立了先进的加速器：不仅可以加速周期表上全部稳定元素，还可以得到放射性束流。加速粒子的能量已从低能、中能，一直到高能 ($E > 200\text{MeV/A}$) 区。与核物理相比，放射化学的最大优点是可对核反应重产物 Z 和 A 作精确鉴定。随着各种高分辨探测仪器、计算机技术以及自动控制的快速化学分离装置的出现，给核化学技术注入了新的活力，现在使用的放射化学分离可以从重离子轰击过的靶中鉴定出上百个放射性产物，并得到它们生成截面数据。而快速化学分离装置可用来分离和鉴定半衰期为秒级的放射性核素。因此，国际上著名的重离子研究中心，如美国的劳伦斯—伯克利实验室 (LBL)、德国的重离子研究所 (GSI) 以及法国的加尼尔 (Ganil)、前苏联的杜布纳 (Dubna) 等都有高水平的核化学研究组从事重离子核化学研究。目前特别活跃的领域有：

(一) 垒下熔合反应研究

过去认为全熔合反应要求入射离子能量高于两核相互作用的库仑势垒，但约在 60 年代前发现当入射能在库仑能势垒以下或附近，熔合反应截面比经典的一维势穿透模型计算值大几个数量级，这就是垒下反常现象。迄今现有的理论还不能完全解释实验结果。

垒下熔合研究对合成更重的超铀元素也极有意义。如果降低入射能，虽然全熔合截面下降，但熔合核的激发能较低，裂变几率会小于几个数量级，于是通过中子蒸发退激而生成的超铀核的幸存率就大为增加。利用这种冷熔合反应，目前已合成了四个超铀核 ($Z=107-110$)。有关 $Z=111, 112$ 的合成已见报导，是否利用冷融合反应合成的，尚不得而知。

(二) 中能重离子反应

中能反应处于低能反应向核子—核子碰撞起主要作用的高能反应过渡区。近年来，由于法国、日本和中国建成了中能重离子加速器，并陆续投入使用，使中能重离子反应研究有了新的进展。其中核化学研究主要有重靶余核生成研究和重离子碰撞中线性动量位移研究。

(三) 超铀和超重元素的合成

至今人们用重离子反应合成和鉴定了直到 $Z=112$ 的新超铀元素，合成更重的超重核仍然是最有吸引力的研究课题。合成超重核的一个困难是目标核中子数不足，未能接近中子幻数 184。因此在今后的工作中将继续使用丰中子 ^{48}Ca 、 ^{50}Ti 和 ^{238}U 作为入射离子，而用最重的 ^{248}Cm 、 ^{254}Es 作靶核，为合成超铀元素提供更大的远景。

对于重超铀元素的化学性质研究和超重元素化学性质的预告也正在进行中。考虑相对论效应；预期超重元素大都为贵金属，而 112 号 (类汞) 和 114 号 (类铅) 可能是惰性气体或液体。因此重核元素的化学性质研究对验证相

对论效应，发展原子物理和超重元素的分离和鉴别都有重大意义。美国在 80 年代中提出了花费 1000 多万美元的制备大量镱的活化课题 (LEAP) 计划，其核心是生产 $40 \mu\text{g}^{254}\text{Es}$ ，作为各种重离子轰击的靶核，尝试合成超重核及新的丰中子超铀核，研究短寿命的重铀系元素的化学性质。

(四) 远离 稳定线核素的合成

除了向周期表的尽头延伸外，对核化学家来说，合成更多的远离 稳定线的新核素，向稳定线两侧扩展也是十分诱人的研究方向。据理论预言，中子滴线、质子滴线以及自裂变半衰期限制的边界内共存在 6000 个核素。除了稳定存在的约 256 种核外，人们已经合成了约 2050 个原子核。即考虑了生成方法和鉴别手段的限制，估计尚能发现的新核素有 600 个。这些核素的合成及衰变性质的研究，可以验证现有的原子核理论对于极丰中子和极丰质子极端情况下的正确性。法国加尼尔用新型的大接受度双核磁谱仪管线 (LISE) 和高精度、大接收度磁谱仪管线 (STEG) 装置鉴别了 ^{10}B 、 ^{29}F 等 50 种新核素，基本上填满了 $Z < 10$ 元素滴线内的同位素空缺，并发现了如 $(3p^+, 2^- + p)$ 等几种新的衰变方式。我国近年还新发现了 ^{208}Hg 、 ^{185}Hf 、 ^{202}Pt 、 ^{237}Th 、 ^{235}Am 和 ^{135}Gd 等新核素。