

洛斯阿拉莫斯国家实验室的核化学与放射化学研究

美国洛斯阿拉莫斯国家实验室的核化学与放射化学研究，主要集中在该实验室的同位素和核化学部。除了明显地属于核化学和放射化学学科的研究和发展活动以外，还有很多交叉学科的研究工作。这些研究涉及到各个领域，包括地球化学、生物化学、医学、宇宙化学、大气化学和核物理等。

今年5月4日到7日，同位素和核化学部副主任B. J. Dopesky博士来兰州参观访问时，扼要地介绍了他们部正在开展的和核化学与放射化学有关的主要研究项目。

一、洛斯阿拉莫斯介子物理装置(LAMPF)上的核化学研究

该研究包括两个主要内容，(1) 利用活化法和在线计数器技术研究 π 介子和复杂核之间核反应。(2) 利用和氦喷嘴相连的质量分离器研究800MeV质子引起的散裂反应中生成的远离 β 稳定线的丰中子和缺中子的轻核($A < 70$)。

二、医用放射性同位素研究

洛斯阿拉莫斯实验室在LAMPF建成后利用800MeV的质子束引起散裂反应可以生产大量(主要是缺中子的)放射性同位素。质子束强度为0.5-1mA，一般情况同时照射3-4个靶。大部份靶子是金属靶、厚度达2cm，但也使用如RbBr这样的化合物作靶子。除了生产同位素，部份提供给美国国内其他单位使用外，他们主要集中于生物和医用放射性核素发生器的研制、放射性标记药物研究以及动物体内放射性核素的生物分布的研究。生产的主要放射性核素有 ^{22}Na (正电子湮灭研究)、 ^{127}Xe 、 ^{77}Br (有机化合物标记)、

^{67}Cu (新陈代谢研究)以及 ^{82}Sr - ^{82}Rb 、 ^{68}Ge - ^{68}Ga 、 ^{52}Fe - ^{52}Mn 、 ^{109}Cd - ^{109}Ag 和 ^{44}Ti - ^{44}Sc 发生器，其中除了 ^{68}Ga 用于遗传研究和 ^{44}Sc 用于骨骼扫描外，其余发生器都用于心脏扫描和诊断用。 ^{109}Ag 特别适用于儿童心脏扫描。在所有这些医用同位素中，除 ^{127}Xe 已由布鲁克海文实验室正式用于纽约地区的人的肺和脑的扫描外，其他尚停留在动物体的试验阶段。研究表明， ^{82}Rb 作为梗塞的心脏扫描和诊断的效果很明显，预计今年某个时候， ^{82}Rb 将得到联邦政府有关机构批准正式用于人体心脏损伤的诊断。

三、反应堆中子活化分析

洛斯阿拉莫斯实验室有一座8MW的轻水研究反应堆，中子通量为 9×10^{13} 中子/cm²·s。除了进行裂变研究、中子照相和(n, γ)反应谱学研究等外，中子活化分析也是反应堆活动中的一个重要组成部份。被分析样品在堆内照射，若要分析铀和钚，照射过的样品直接送到中子探测器测量缓发中子，这个方法对铀、钚分析是非常灵敏的。为了分析其他元素，样品再用Ge(Li) γ 谱仪测 γ 活性。通常他们分析大约40种元素，分析灵敏度是足够高的，检出量的下限大大低于这些元素在地壳中的平均含量。分析过程是自动的。控制、运行以及 γ 谱分析均由PDP-11计算机完成。每天可以分析200个样品。这个自动化的活化分析装置是为整个实验室服务的。1984年共分析了17000个样品，其中包括：(1) 铀和钚的分析；(2) 保健和医学组进行实验室周围环境分析和人体内铀、钚分析；(3) 中子活化分析方法的刻度；(4) 火

山空气样品分析；(5) 铍反常研究中的分析等等。

四、铍的异常高浓度研究

地理和地质学家曾发现，在地球历史上某几个时期，由于某种原因地球上的植物和动物突然成批死亡，比较熟悉的就 是恐龙大约在6500万年以前的灭绝。1980年劳伦斯伯克利实验室的阿尔瓦斯雷父子的研究组在分析从丹麦、西班牙和意大利取得的岩石样品中发现，这个时期的地层—白垩纪和第三纪界面—的铍的浓度异常地高。为了解释这些过量铍的来源，他们提出这样一种理论假设：在那个时候直径大约为10公里的彗星撞击地球，引起了爆炸，爆炸物形成极大的黑云覆盖在地球上空，并持续了相当长的时间，结果植物因接收不到太阳光而大批死去，同时以植物为生的恐龙也就灭绝了。其根据是彗星上的铍含量高达 0.5×10^{-6} ，而地球表面铍的含量只有 0.001×10^{-6} ，因此地球上高浓度的铍来自于地球外的空间中。现在铍的异常高浓度已被世界上许多地方的观察结果进一步证实。但是也有一些不同的解释：一种认为高浓度的铍来自于地球形成早期阶段的火山作用；另一种认为来自于超新星的爆炸。但是看来这二种假设不象是铍浓度增加的真正原因。

目前，阿尔瓦斯雷到洛斯阿拉莫斯实验室继续从事这项研究。他们在新墨西哥州的南部采集了不同年代的岩层，通过中子活化、化学分离测定 ^{102}Ir 的 γ 线，发现在相当于6500万年前的白垩纪和第三纪界面上铍的含量较正常含量高 10^3 倍。他们的研究进一步证明，无论是海洋沉积物还是淡水沉积物，都存在铍的异常高浓度现象。这个工作将继续进行，新的计划是研究世界各地其他地质年代岩层上铍含量，但迄今还未发现有意义的铍的异常高浓度。

五、中微子实验

关于太阳能的生成有一个标准太阳模型，这个模型涉及许多轻核之间的核反应，

并伴随着释放各种能量的中微子。其中 $^8\text{B} \rightarrow ^8\text{Be} + e^+ + \nu$ 反应产生的中微子能量高达14 MeV，因此在地球上有可能探测这个中微子来检验太阳能生成的标准模型。

15年前在布鲁克海文实验室有人在5000米深的金矿中用3万8千升的 CCl_4 进行中微子俘获率的测定，通过 $^{37}\text{Cl} + \nu \rightarrow ^{37}\text{Ar} + e$ 反应生成半寿命为35天的 ^{37}Ar 。测定 ^{37}Ar 的活性，他们得到中微子产率为2.1SNU(太阳中微子单位，1SNU = 10^{-26} 俘获/靶原子·秒)，大概只为模型预言值6.1SNU的三分之一。洛斯阿拉莫斯实验室认为，他们的实验进行了10年，结果只反映相对短的时间内中微子的产率。现在正在洛斯阿拉莫斯进行的实验希望能得到数百万年内中微子产率的平均值。因为他们认为，太阳能的生成方式是周期性循环的，目前我们可能处于较低的时期，如果能测到数百万年的平均值，那么实验结果应更接近预言值。

洛斯阿拉莫斯开展的新实验在7500米深处的钼矿内进行。这个深度能屏蔽其他宇宙射线而仅让中微子穿透。 ^{88}Mo 俘获中微子生成半寿命为4.2百万年的 ^{89}Tc ，用质谱计测定生成的 ^{89}Tc 就能得到中微子产率。该实验和一家公司合作开采出2600吨钼矿，从中提炼出13吨 MoS_2 。加热使得和它的同族元素铼从 MoS_2 挥发出来并收集在溶液中，剩下的 MoS_2 由公司处理。溶液中的Tc和Re用 NaClO 氧化再吸附在10立方英尺阴离子交换树脂床上，树脂运回到洛斯阿拉莫斯，在 420°C 下灰化，残渣溶于溶液。目前他们正从事从Re中分离Tc的研究，同时他们正在发展质谱分析技术，因为假定中微子产率是5SNU，那么在2600吨钼矿中只生成 10^7 个原子的 ^{89}Tc ，所以分析灵敏度是十分重要的。

六、核裂变研究

重铀系核裂变性研究在洛斯阿拉莫斯实验室研究了许多年，所用的设备有一台垂直的8MeV范德格拉夫加速器和一台水平的18MeV串列加速器。这二台加速器可以单独

使用,也能串联在一起使用。加速的离子可以是很轻的,也可以是很重的。过去的研究指出,当Fm同位素的质量从254增加时,裂变碎片的质量分布从不对称裂变变成对称裂变($^{258,259}\text{Fm}$),而且 $^{258,259}\text{Fm}$ 裂变碎片的总动能大大高于其他丰中子锕系核裂变的总动能。近来他们研究了裂变核 ^{258}Fm 在不同激发能时碎片的动能分布。研究体系包括 ^{258}Fm 的自裂变, ^{255}Fm 的热中子诱发裂变($E^* = 6.4 \text{ MeV}$),更高激发能的 ^{258}Fm 裂变是用静电加速器通过($^3\text{He}, \text{P}$)反应获得。通过碎片和粒子的三重符合,测量引起裂变以后的散射粒子能量可以确定裂变核 ^{258}Fm 的激发能为 17.5 MeV 。结果指出,当激发能增加到 6.4 MeV 时,裂变碎片动能增加,显示出对称裂变的特征。但激发能进一步增加到 17.5 MeV 时,裂变碎片动能又略为下降。这里可以看到随着激发能增加,裂变从不对称性向对称性过渡,以及壳层结构对于激发能的依赖关系。这方面的研究在不断进行中,上面仅仅是他们许多研究中的一个例子。

七、LEAP计划

LEAP是Large Einsteinium Activation Program的缩写(Activation 恐系 Acceleration之误)。这个计划是美国劳伦斯伯克利、橡树岭、洛斯阿拉莫斯和利物摩四个实验室协作共同提出的研究项目。该计划核心是第一次生产高达 $30-40\mu\text{g}$ 的 ^{254}Es ($T_{1/2} = 276$ 天),并以此为靶子在伯克利实验室用重离子轰击,通过一系列重离子核反应合成和研究丰中子重锕系核、超锕系元素和超重元素的核性质和化学性质。这个计划需要花费1300万美元,并用4—5年时间完成。他们已把这个计划递交给美国能源部等待批准,目前在橡树岭实验室已进行初步的工作以便验证利用反应堆大量生产 ^{254}Es 的可能性。

八、大气研究

洛斯阿拉莫斯实验室进行的大气研究包括3个内容。(1)检测美国西部空气的质量,由此建立一个清洁空气的基准线,从而可以

评价其他地方的空气质量,并预言由于石油处理、煤的燃烧等引起空气污染的程度。测定方法,包括使用在线分析系统测定 SO_2 , CO_2 和 O_3 以及活化法测定Cu, Pb等重金属。该工作刚开始,还未取得结果。(2)火山空气中元素组成分析。目的是希望知道世界各地火山爆发对空气污染和气候的影响。去年位于夏威夷的火山爆发时,他们用飞机采集样品并进行活化分析,分析了35个感兴趣的元素。结果表明,火山空气中许多元素含量大大高于这些元素在地表面中的含量。(3)重甲烷 $^{12}\text{CD}_4$ 或 $^{13}\text{CD}_4$ 的示踪试验。试验目的是,要了解南极洲上空空气的流动和循环方式。该实验和英国、法国、澳大利亚、新西兰、日本联合进行。在洛斯阿拉莫斯实验室的同位素分离器上每年可以分离千克量级的C、N、O稳定同位素,因而每年可生产数公斤的重甲烷。1984年1月、6月和10月他们用飞机在南极上空海拔5500米高空分3次释放,每次释放1公斤的重甲烷。设在南极洲大陆上不同地区的八个观察站收集空气样品,每次释放后要连续取样2个月。最后收到的样品全部集中到洛斯阿拉莫斯实验室用质谱计分析,高灵敏度的质谱计使得在 10^{18} 份空气中只要有20份的重甲烷就能被探测到。目前他们刚在分析1月份释放重甲烷后收集的样品,实验工作量相当大,至少一年后才能知道结果。

除了上述八个研究项目外,在洛斯阿拉莫斯实验室同位素和核化学部,还进行二项与核化学和放射化学有关的研究:(1)放射性废物处理和地下放射性核素的迁移,包括地下核爆炸地区含氚, ^{86}Cl , ^{85}Kr 和 ^{129}I 水的运动。(2)模拟月球陨星和宇宙射线相互作用。在LAMPF上测量暴露给高能中子样品中放射性核素的生成,以便更好地了解高能核过程。由于时间有限Dropesky博士没有作更多的介绍。

(李文新整理)