

# 活化分析的进展

成源棣

(上海原子核研究所)

中子活化分析虽在1936年就由Hevesy和Levi提出。1938年Seaborg进行了第一个带电粒子活化分析。但在40年代活化分析法还很少被利用,1942年反应堆的建成提供了强有力的辐射源,至50—60年代由于高纯材料(如半导体材料、堆材料)要求高灵敏的测试方法,因而此时吸引了许多科学家从事这方面的研究。随着NaI(Tl)探测器的使用,用热中子活化法可分析百万分之一(ppm)至十亿分之一(ppb)范围内的周期表中大部分元素。60—70年代是活化分析大发展时期,在此时期核反应堆仍是最有用的工具,一些适宜于作同位素制备和活化分析的专用小型反应堆逐渐建立起来。同时14MeV中子发生器作为用于非破坏分析测试氧的装置已成套出售。70—80年代可称为活化分析成熟时期,Ge(Li)探测器已普遍使用。在此期间,由于高纯Ge探测器和Si(Li)探测器能有效地测量低能 $\gamma$ 射线和X射线,多道谱仪联结计算机的在线系统的建立,数据处理软件包的不断完善,从而使应用面更为广泛,由地质至生物,由生态学至材料科学,由考古学至法学等,各个领域都有应用。

活化分析的五十年发展历史,可以从多次国际会议中得到反映,自1961年起已召开了六次国际性的“活化分析现代趋向”会议,有关活化分析在各领域中的应用趋势,从第六次会议来看,重点已由材料科学转入环境生态学和生物医学等方面,在地质与法学方面的应用也逐渐增多,可参看表(1)(2)。

我国于1958年建成了第一座重水反应堆和回旋加速器后,即开展了活化分析研究工作。当时开展了反应堆的热中子活化分析工作,主要用于解决我国当时迫切需要的堆材料(如Al、Zr、Be、Ta、Nb等),和半导体材料硅及核燃料铀中的微量杂质分析。至60年代中,随着半

导体材料提出要求分析一些轻元素杂质,这些杂质(如B、C、N、O等)用中子活化法是无法解决的,而带电粒子活化分析轻元素却具有独特优点。利用回旋加速器产生的带电粒子束进行活化分析在我国就逐渐发展起来。同时,采用小型加速器(中子发生器)产生的14MeV快中子活化分析也相继开展,并开始从国外引进了14MeV测定氧的成套装置。至70年代,全国从事活化分析的单位逐渐增加,分析手段有了明显的改进,建立了多道谱仪与Ge(Li)探测器配合计算机的活化分析系统,采用跑兔装置进行短寿命核素分析的计算机在线处理系统已在一些实验室建立起来。我国活化分析已深入应用到各个

表 1 五次活化分析会议情况

年	地 点	文 章		文章 总数
		北美	其它国家	
1961	Texas A & M	23	9	32
1963	Texas A & M	47	28	75
1968	NBS Washington D. C.	107	69	176
1972	Saclay France	21	68	89
1976	Munich Germany	34	142	176

\*代表活化分析与离子束分析专业组的报告

表 2 第六次活化分析会议文章分类

领 域	%文章
环境—生态学	20
生物医学—生物有机	20
材料科学—工业	15
精确度, $\gamma$ 谱, 标准	14
地质—法学	13
大会报告	10
分组报告	8

表 3 我国三次活化分析会议

年	地 点	文 章		文章总数
		活化分析	离子束分析	
1978年 7月13—20日	北 京 (原子能研究所)	70	10	80
1981年 12月4—8日	上 海 (原子核研究所)	95	33	128
1984年 10月29日—11月3日	青 岛 (有色金属研究院)	109	22	131

学科领域。

在中国核物理学会的支持与帮助下,成立了活化分析和离子束分析专业组,并自1978年起,每隔三年召开一次全国性的活化分析(包括离子束分析)会议,至今已召开过三次会议(见表3),除全国性的会议之外,自1982年起,每年举行两次区域性的或全国性的活化分析方面的专业性学术讨论会(见表4),三次全国性的活化分析会议共收到论文报告339篇,已分别以专辑形式发表<sup>(1-3)</sup>,把1963年至1983年所发表的活化分析方面的文章进行分类,见表(5),由此看出在多学科领域中应用的情况,其中以材料科学,环境科学和地质学方面<sup>(4)</sup>的工作较多。最近所召开的第三次活化分析会议反映了目前情况,把所收集到的109篇文章进行分类(见表5),则可看出,应用面更为广泛。

表 4 活化分析专业性学术交流会议

年	地 点	交 流 内 容
1982	山东济南 (山东地矿局实验室)	快中子活化分析讨论会
1982 12月5—10日	江苏无锡 (江苏省原子医学研究所)	人发中微量元素分析讨论会
1983 9月19—24日	安徽屯溪 (北京高能物理所)	活化分析在环境学和地学中的应用 <sup>(4)</sup> 学术讨论会
1983 12月5—10日	浙江普陀山 (上海原子核研究所)	人发中微量元素分析比对第一次讨论会

表 5 1963—1983年活化分析发表文章分类

领 域	%文 章
材 料 科 学	27
环 境 科 学	27
地 质 学	22
生 物 医 学	10
方 法 学	13
考 古	1

七十年代起,我国就开展了离子束分析,由于开展离子束分析的加速器的限制,应用不够广泛。目前,有数台小型静电加速器正在筹建中,即将投入使用,可以预测,明年起,我国离子束分析将有较大发展,因离子束分析技术在我国已有一定基础,有一批从事这方面工作的潜在力量,预计在今后几年内离子束分析方面的工作,将会迅速地开展。

关于我国活化分析应用情况概括如下:

(一)材料科学——活化分析对材料科学的发展,对新技术、新工艺起了很大的促进作用,如用中子活化分析和带电粒子活化分析研究了半导体材料(硅,锗,砷化镓)和高纯金属

(砷、镓、钛、锆、钨、铜、铂等)中的痕量杂质元素,保证了材料的质量。又如对单晶硅产品进行解剖对比分析。为出口高纯锗提供可靠的数据。对高纯氧化铅,氧化钇中杂质测定,为彩色电视摄像管的研制提供信息。又如测定高纯钨中磷等11个杂质元素可提高灯泡钨丝的寿命。高纯铜中痕量氧的多少是决定铜能否作为真空开关材料的关键。又如用活化分析手段研究了钠对集成电路硅片的表面污染,确定了可用表面活性剂代替酸碱来清洗硅片,这不仅降低了成本,也使环境不受污染。

以上所举的一些活化分析对材料科学都为新材料所需工艺的改进提供了数据,对提高产品质量,降低成本促进国民经济中一些重大问题的解决起了良好的作用。

(二) 环境科学—近年来,活化分析在环境科学方面的工作发展较快,已渗透到水圈,土壤,大气圈,宇宙圈和生物圈等环境学中,突出的工作是参加国家重点攻关项目“京津渤地区环境质量评价”中规定的有毒元素和其它重要痕量元素的测定工作。测定的对象有:官厅水库的水,淤泥,悬浮物和生物。蓟运河的水,沉积物和鱼。北京和天津地区的典型土壤的元素背景值。京津渤地区的大气颗粒物的元素颗粒特征等。提供了一批重要的供环境污染物调查和治理所需的基础数据,并归纳了一些有用的环境污染物来源的规律。用中子活化分析法研究了矿泉水中微量元素,对黑龙江省德都县境内的五大连池地,这是我国北方的一个旅游和疗养胜地,以由火山活动形成的冷矿泉水闻名于世,用活化法测定了其中18个元素。又如五台山是我国四大佛教圣地之一,有五台圣水之称。用活化法探讨了矿泉水的医疗作用与其元素组成的相关性。中子活化法在环境学中的应用相当广泛,用此法测定了卷烟及其灰中28种微量元素含量,其中一些有害元素如砷,氯,铬,镉等由卷烟转入烟气,由此说明除吸烟者本人受害外,还危害着周围的人。

(三) 地质科学—由于地学样品的基质十分复杂,用其它方法测定难度较大,如对基性,超基性岩石中的稀土元素的研究测定。稀土元素由于它特有的地球化学性质,成为研究地质学的良好指示元素,根据稀土元素配置模式,可研究岩石的成因,演化,岩体的成因环境直到成矿预测等一系列问题。中子活化分析是测定稀土元素最好的方法,在这方面已完成了大量工作。锆石是研究铀矿中铀源的重要对象,对锆石用不同溶液浸泡前后各元素变化,进行仪器中子活化分析,为铀矿淋滤成因提供数据。活化分析法对矿产资源进行综合利用的研究也起了很好作用。如攀枝花钒钛磁铁矿是我国重要的三大共生矿之一,用活化分析法完成了钒在冶炼过程中的走向调查,提高了综合利用的水平。又对铅锌矿进行测定,其中贵金属银含量达几千ppm,这就提供了可从铅锌矿提炼贵金属的可能性,为进行铅锌矿的综合利用提供了依据。

(四) 生物医学—微量元素与人体健康关系密切。某些疾病与一些元素的缺乏或过多有关。用活化法测定了人发,血清,组织等样品,研究了克山病,肝癌及一些职业病,并用活化法测定了牛黄和人参及其它中草药中的微量元素含量。我国人发中微量元素分析工作进展较快,由于活化法采样少,可对多元素进行同时测定,灵敏度又高,在人发分析中起了主要作用,已形成了一支以核分析方法为主的人发分析队伍,为我国人发正常值以及人发与各疾病的相关性的进一步深入研究打下基础。

(五) 考古与法学—利用快中子活化法测定了古镜的成份,铜:锡~10:1,证明属青铜镜,根据从考古明确年代的墓中发掘而得知在四千年前就有了青铜器。由于不同朝代所生产的瓷器,瓷胎中稀土元素的含量有明显的差别,用活化法可研究古瓷。又如用活化法测定了长沙马王堆一号汉墓出土的枣和梅以及出土稻谷和粟中的微量元素,为考古研究提供了