

编 号: (80)010

# 出国参观考察报告

罗马尼亚、扎伊尔、塞浦路斯、  
英国地质地球化学



科学技术文献出版社

72

2

# **出国参观考察报告**

罗马尼亚、扎伊尔、塞浦路斯、英国

地质地球化学

(限国内发行)

**编辑者:** 中国科学技术情报研究所

**出版者:** 科学技术文献出版社

**印刷者:** 中国科学技术情报研究所印刷厂  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

开本: 787×1092 1/16 印张: 5.75 字数: 147 千字

1980年11月北京第一版第一次印刷

印数: 1—1,730册

科技新书目: 175—29

统一书号: 12176·36

定价: 0.90元

Q6/15 P59/1

## 目 录

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| 罗马尼亚岩矿地球化学分析测试技术.....         | (1)  |
| 前 言.....                      | (1)  |
| 一、罗马尼亚同位素地质年代学及同位素地质工作概况..... | (3)  |
| 二、罗马尼亚的岩矿分析.....              | (10) |
| 三、罗马尼亚地质概况及火山岩地质.....         | (19) |
| 罗马尼亚的第四纪地质.....               | (39) |
| 前 言.....                      | (39) |
| 一、罗马尼亚第四纪地质的基本轮廓.....         | (39) |
| 二、罗马尼亚的黄土.....                | (40) |
| 三、维拉弗朗期河湖相沉积.....             | (45) |
| 四、第四纪玄武岩和火山块集岩.....           | (47) |
| 五、几点体会.....                   | (48) |
| 扎伊尔矿床地球化学.....                | (49) |
| 前 言.....                      | (49) |
| 一、扎伊尔地质矿产概况.....              | (50) |
| 二、沙巴地区铜、钴、铀多金属矿床.....         | (53) |
| 三、基伍省含铈碳酸岩.....               | (59) |
| 四、扎伊尔东部和东北部的金矿床.....          | (62) |
| 五、扎伊尔的铁矿床.....                | (65) |
| 六、扎伊尔的金刚石矿床.....              | (67) |
| 七、扎伊尔其它矿产及有关的地质工作.....        | (70) |
| 结束语.....                      | (71) |
| 塞浦路斯特罗多斯蛇绿岩特征.....            | (73) |
| 一、蛇绿岩问题以及塞浦路斯蛇绿岩的特色.....      | (73) |
| 二、塞浦路斯地质概况.....               | (74) |
| 三、特罗多斯蛇绿岩.....                | (75) |
| 四、特罗多斯蛇绿岩的板块构造背景.....         | (81) |
| 国外有机地球化学进展.....               | (83) |
| 一、有机地球化学的研究动态.....            | (84) |
| 二、国外的有机地球化学实验室.....           | (87) |
| 三、几点认识.....                   | (89) |

# 罗马尼亚岩矿地球化学分析测试技术

中国科学院赴罗马尼亚考察组

## 前 言

李 庆 龙

中国科学院地球化学研究所岩矿、地球化学、分析测试考察组一行四人，应罗马尼亚布加勒斯特地质和地球物理研究所所长约·贝尔奇亚和副所长德·罗曼涅斯库的邀请，于1979年6月1日至21日在罗马尼亚社会主义共和国进行了专业考察。

这个考察组由分析化学（侯瑛）、同位素地质年代学（戴槿谟）、地球化学（李庆龙）和物理测试（彭文世）等专业工作者所组成。其主要任务是考察罗马尼亚火山岩地区的基础地质及成矿特点，室内地质研究工作和分析测试技术以及仪器、设备情况，为我所和布加勒斯特地质和地球物理研究所进行合作研究作准备。

布加勒斯特地质和地球物理研究所所长约·贝尔奇亚博士和副所长德·罗曼涅斯库博士1975年在我所进行访问和学术交流期间曾多次提出和我所进行合作研究的建议。1978年他们又通过我国外经部正式提出为期两年的三项合作研究课题（草案），要求与我们所合作。这三项合作研究课题是：

1. 年轻火山岩的同位素地质年代学合作研究；
2. 中子活化分析的最佳化合作研究；
3. 岩浆作用及其矿产的合作研究。

为了能较好地完成这些合作研究课题，我们就必须对罗马尼亚的火山岩地质、实验设备及分析测试技术进行考察，以便确定双方都感到满意的合作方案。

罗马尼亚分布有大面积的火山岩，其中有许多著名的金、银、铜、铅、锌、汞、铀等大型矿床；罗马尼亚在岩矿分析测试技术方面，特别是在同位素地质年代学方面具有自己的特色；他们的地质科研工作已有200年的历史，对于火山岩基础地质及其矿产有深入的研究，并取得了较好的成果。向罗马尼亚同志学习地质科研经验和科研工作管理经验是我们考察组的另一个重要任务。

我们在罗马尼亚的考察工作分为三个阶段进行：（1）野外地质考察；（2）布加勒斯特地质和地球物理研究所的实验室考察和学术交流；（3）布加勒斯特石油天然气地质和地球物理所参观、考察。

在野外地质考察期间，布加勒斯特地质和地球物理研究所的火山岩地质和矿床学专家穆·布尔克史博士是我们的全程陪同，给了我们很大帮助。我们参观了罗马尼亚著名的阿普赛尼山区和巴亚-马里山区的火山岩地质及其重要矿产地德瓦铜矿山、罗西亚蒙他那金矿山，卡夫尼克多金属矿山等以及克鲁日大学地质地理系，德瓦铜矿山分析室，布拉得金矿陈列馆，克鲁日大学矿物陈列馆、矿床陈列馆、古生物陈列馆、巴亚-马里地质陈列馆等。

在罗马尼亚，无论是科研单位、教学单位还是矿山都对地质、矿物、矿床、古生物等标本的采集、陈列、保护给予很大的重视。他们认为这是进行科研工作、教学工作和普及教育的重要场所之一。克鲁日大学的岩石、矿物、矿床标本都是按构造分区分类进行陈列的，地层、古生物化石标本则按时代排列，标本齐全，内容丰富（其中有些标本是从国外购买或交换来的），配有地质图和照片，都能较好地反映出全貌。

罗马尼亚矿业-石油-地质部在全国设有七个地质中心：

1. 布加勒斯特地质中心，它负责罗马尼亚全国油气田地质和地球物理勘探，包括两个公司和一个研究所；
  2. 德瓦地质中心，它负责该地区的地质研究和金属矿床的勘探，开采和冶炼等；
  3. 克鲁日地质中心，主要负责非金属矿床的地质勘探、开采和加工等；
  4. 巴亚-马里地质中心，负责该地区多金属矿床的寻找、勘探、开采、冶炼和地质研究工作；
  5. 康斯坦萨地质中心，主要负责海底勘探及有关的地质工作；
- 此外还有一个煤炭地质中心和一个放射性矿产地质中心。

所谓地质中心，是由科研单位、设计单位、矿山、冶炼厂、学校、修理厂等组成的一体化组织。我们重点考察的巴亚-马里地质中心就是由普查找矿、勘探、开采、选矿、冶炼、科研所和七所中等专业学校和一所大学以及机械厂、汽车厂等所组成。德瓦地质中心，由地质所、勘探公司、矿山、选矿厂、冶炼厂、分析室等所组成。

德瓦地质中心有罗马尼亚最大的斑岩铜矿、布拉得金矿、罗西亚蒙他那金矿等大型矿山。巴亚-马里地质中心有欧洲最著名的巴亚斯泼利多金属矿山和卡夫尼克多金属矿山等。

布加勒斯特地质和地球物理研究所是罗马尼亚唯一从事基础地质及金属非金属矿床研究的全国性科研机构，它的基础理论研究任务来自罗国家科委，应用研究任务来自矿业-石油-地质部。它对七大地质中心的地质研究所的基础研究起领导和协调作用。该所是我们考察和进行学术交流的重点科研单位。

布加勒斯特地质和地球物理研究所共有1500人，其中高等学校毕业的在300人以上，中等专业学校毕业的或相当中专水平的技术人员约1100人。包括野外地质填图、地震站和印刷厂共40个部分，20个实验室。

该所设有专家委员会，为最高领导机构。下设所长（约·贝尔奇亚）负责日常工作，副所长两人，协助所长分别负责地质部分（地球化学博士日·依约内斯库）和地球物理部分（地球物理博士德·罗曼涅斯库）。

他们的科研计划分五年、十年中长期计划和20年远景规划。根据中长期计划制定年度计划。研究课题一半以上是根据生产部门的需要、经过和生产单位协商签订合同后进行；根据国家的远景规划和中长期计划安排基础地质研究课题和国际性合作项目。

他们非常重视国际科学交流活动和了解国际学术动态。由他们主持和参加的国际学术活动很多；他们和世界上近300个研究单位有正常的交流和联系；许多研究人员个人和国外同专业的科研人员有较多的联系，能够及时交流研究成果；图书馆和国外许多科研和教学单位有图书、期刊、资料交换关系；陈列馆和国外有标本、样品交换。

特别值得指出的是，他们的业务辅助部门，如图书馆、陈列馆、照相室等管理工作搞得有条不紊。该图书馆藏书约20余万册，每年进新书一万册以上，由14名管理人员负责，其中

有六人专门负责新书编录、制卡工作,4人负责编穿孔卡片,新书到后很快就能和读者见面。图书编号、编目自成系统,号码简单,清楚易查。每本书都制有穿孔卡片,卡片上以不同孔号表示该书的书号、专业分类号、出版年月、性质、地区、国家、专业范围、题目号、详细专业分类号、文种号等。

照相室有4人,负责地质图件、标本等的照相及资料复制工作,照相底片均存在照相室,编录登记,归档存放,查用极其方便,又不易丢失、损坏。

我们考察组还安排了三天时间对罗马尼亚石油-天然气地质和地球物理研究所进行了一般性参观。

石油-天然气地质和地球物理研究所共分三个部分:工业生产部分(在普洛耶什蒂)、开采和钻探部分(在肯匹那)和地质部分(在布加勒斯特),都属矿业-石油-地质部领导。我们考察组参观了布加勒斯特石油地质研究部分和普洛耶什蒂的一个野外物探队。

布加勒斯特的地质部分按地质构造和地理条件分为两大部分和两个研究室。主要负责勘探设计、沉积岩石学、古生物、地层学等密切结合生产的应用研究,基础理论研究方面的课题很少。

根据该所副所长的介绍,他们在干部考核和科研工作管理方面有一套严格的制度。对于新开的每一项研究课题都要举行开题答辩,提出设计书,首先在室的专家组进行答辩,研究室专家组答辩通过后,再到所专家委员会答辩,并经过专家委员会讨论通过,所长签字生效。专家委员会未通过,不能执行。经专家委员会集体讨论通过的设计和计划,任何个人,包括院士也无权修改。如果在执行过程中实践证明确实需要修改,必须重新进行答辩,再经集体讨论通过,签字生效。全所每个干部,包括领导干部,每年年终都要进行工作总结,对于新的一年工作做出书面计划,并进行答辩。如果有重要的发明创造,可以随时报所专家委员会进行答辩。所一级一年一度的答辩,室一级季度答辩结果,都要装技术档案,作为提拔干部和进行博士学位答辩的重要依据和条件。

我们在考察期间,和罗马尼亚的科研、生产、教学单位的许多地质学家、同位素地质年代学家以及分析测试专家进行了座谈交流,会见了老朋友,结交了新朋友,增进了中罗两国科学工作者之间的友谊。罗方赠送我们一批珍贵的样品、标本、书刊、资料,使我们对罗马尼亚的地质情况,科研工作和实验室设备条件有了较深入的了解,为两所地质科研工作的合作和交流提供了新的依据和条件。

下面分三个方面介绍。

## 一、罗马尼亚同位素地质年代学 及同位素地质工作概况

戴 樟 谟

### (一) 概 况

罗马尼亚地质年代学工作是在六十年代初期,首先在地质和地球物理研究所建立K-Ar体积法开始的。到六十年代末期,该所又建立 $Ar^{38}$ 稀释法测定年龄,同期罗马尼亚核物理

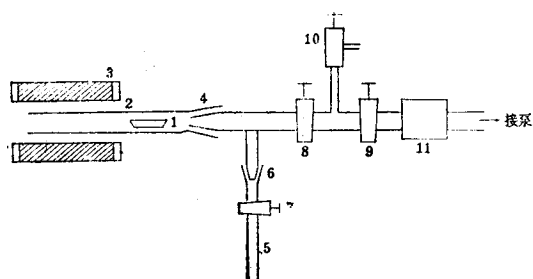


图1 提硫系统

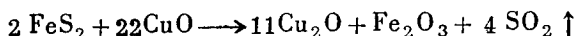
1. 载样瓷舟；2. 石英管；3. 加热炉；4. 磨口；5. 吸收管；6. 磨口；7. 8. 9. 10. 活塞；11. 冷阱。

未得建全配备。为此，六十年代中期，地质和地球物理所副所长依约内斯库曾采用 $\alpha$ -Pb法测定过一些年龄数据。

Rb-Sr法方面，目前地质和地球物理所正在着手配备人员及建立化学处理的实验室，并拟采用罗马尼亚核物理研究所的质谱计（型号未详）进行同位素分析。但由于受到地震的影响，实验大楼破坏，实验室拥挤紧张，导致Rb-Sr法筹建工作也未能取得显著进展。据地质和地球物理所介绍，核物理所也开始着手建立Rb-Sr法年龄测定的准备工作。

稳定同位素地质工作方面，罗马尼亚正在着手开展阶段，地质及地球物理所现今已建立一台提硫的真空装置，并对德瓦（DEVA）地区的硫化物矿床中黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等进行提硫实验。提硫系统装置见图1。

提硫的技术措施是采用氧化铜为氧化剂，把硫化物中的硫转化为二氧化硫，如：



称取几十毫克的硫化物，与六倍量的氧化铜放入瓷舟中混匀。把载样瓷舟放进石英管，位置在加热炉膛外部，提取系统用机械泵和扩散泵抽真空，同时加热炉升温到900℃，待真空度（ $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 托）及温度稳定之后，关闭活塞，把载样瓷舟送入石英管的加热高温区（900℃），进行高温反应，转化所得的 $\text{SO}_2$ 用液氮冷冻在安瓿中，供质谱计做同位素比值测定，据称，其 $\text{SO}_2$ 的转化率>90%。

由于目前该所未备分析硫同位素测定的质谱计，因而该所与克鲁日大学物理系协同，将提取的二氧化硫，交由该大学进行硫同位素质谱测定。因本考察组的原计划考察内容没有同位素年代学和同位素地质方面的内容，罗方一时难于联系和安排考察。据了解克鲁日设有稳定同位素研究所，主要研究工作包括稳定同位素的分离、分析，仪器分析以及稳定同位素的应用等方面，这个所有九台质谱仪。因此，克鲁日稳定同位素研究所和布加勒斯特核物理研究所的有关研究室实验室是今后考察小组应予重视与补点考察的。因此，在介绍罗马尼亚的同位素地质年代学和稳定同位素的研究工作时，仅介绍地质和地球物理所的情况。

## （二）地质和地球物理所开展K-Ar法工作情况

### 1. 机构与人员

研究所下设研究室、实验室及协作组，三者的规模及人员配备大体相当，都直属于所级管理领导。K-Ar法小组与硫同位素小组、能谱小组和x光荧光小组，共四个小组组成核同位

研究所着手开展慢中子活化法（ $\text{Ar}^{40}(\text{n}, \text{r})\text{Ar}^{41}$ ），并与地质和地球物理研究所配合稀释法测定一些阿尔卑斯期的年轻地质年龄工作。关于快中子活化法，即 $\text{Ar}^{39}-\text{Ar}^{40}$ 方法，在罗马尼亚尚未开展。至今罗马尼亚采用K-Ar法测定地质年龄的数据已有1000个左右，其中体积法数据占有600个，慢中子活化法占200个，稀释法占有200个左右。

U-Th-Pb法及Rb-Sr法测定地质年代学方面的工作，目前仍处于准备阶段。在实验方法上未得建立，在仪器设备上（如质谱计）

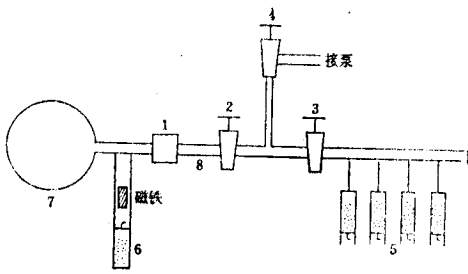


图2 分样系统

1. 金属阀门; 2. 3. 4. 玻璃活塞;  
6.  $\text{Ar}^{38}$ ; 7. 大球; 8. 管道小体积;  
5. 活性炭管。

素及地质年代学协作组, 总共20人, 其中10人为大学毕业以上人员, 10人为专科学校毕业人员。协作组负责人由L·玛利亚 (LEMNE MARIA) 博士领导。从事 K-Ar 法小组人员及专业的有化学、物理、地球物理和地质等大学毕业程度以上人员五人, 并配有五个专科毕业人员, 总共10人, 力量较强。由于地震原因, 房子拥挤, 并拆除了原有的 K-Ar 体积法提 Ar 真空系统, 专门从事  $\text{Ar}^{38}$  稀释法工作。

## 2. $\text{Ar}^{38}$ 稀释剂分样与标定

该实验室所用的  $\text{Ar}^{38}$  稀释剂是向瑞士购买的, 由热扩散的方法制得的商品。原稀释剂  $\text{Ar}^{38}$  的丰度较高, 大于99.9%以上, 但是由于分装过程某原因, 该稀释剂  $\text{Ar}^{38}$  的丰度降为92—93%。

分样是采用定体积比的方法进行的, 分样的系统装置见图2。一个活性炭玻璃小安瓿, 内含~0.01毫升分装过的  $\text{Ar}^{38}$  稀释剂, 焊接在10升大玻璃球的颈部。用一个法国制造的金属截止阀门连接两端, 一端与大球焊接, 构成  $\text{Ar}^{38}$  贮气器, 另一端与~10毫升的定体积玻璃管焊接, 构成定体积取样容器。玻璃活塞2为小体积的截止活塞开关。油脂活塞3与小C管5焊接, 活塞4与金属油扩散泵和机械泵连接。整个分样系统是用夹子固定在铁架之上, 抽真空时, 大球是用灯头烧烤, 不用专门的烘烤炉烘烤去气。一排活性炭是用烘烤炉在300°C下加热抽气。当真空度达到 $10^{-6}$ ~ $10^{-7}$ 托时, 关闭金属阀门1, 用磁铁吸起小安瓿上端的小铁棒, 打碎小尖钩, 让~0.01毫升的  $\text{Ar}^{38}$  扩散充满大球, 供分样使用。

当活性炭去气, 系统获得高真空 ( $10^{-6}$ ~ $10^{-7}$ 托) 之后, 关闭活塞2, 打开金属阀门1, 让  $\text{Ar}^{38}$  从大球中扩散至~10毫升的玻璃管道8中, 平衡10分钟后, 关闭阀门1和活塞4, 打开活塞2和3, 在液氮温度下将分出的这份稀释剂  $\text{Ar}^{38}$  吸入其中的一个小碳管, 吸收20分钟后, 用灯火锻取碳管, 并依次进行分样。

分样器的体积比常数  $K = \frac{V_2}{V_1 + V_2} = 10^{-3}$  ( $V_2$  管道8的准确体积,  $V_1$  为大球及连接的歧管总体积)。当使用0.01毫升的  $\text{Ar}^{38}$  总量时, 初始的  $\text{Ar}^{38}$  分样量约~10PV。由于体积比大, 所以分样量的递减也就快 (即大球中稀释剂量的递减常数~ $10^{-3}$ )。

计算分出的稀释剂量为

$$T_x = T_0 e^{-Kn}$$

$n$ : 分出的稀释剂序号

$T_n$ : 第 $n$ 个分出的  $\text{Ar}^{38}$  稀释剂量

$T_0$ : 原始  $\text{Ar}^{38}$  量

通常把分出的稀释剂, 每隔20个进行一个标定。标定的方法是采用标准大气氩和标准样品进行校正的。大气氩是用麦氏计测定压力计算体积和含量的。最后将稀释剂的标定值  $\alpha$  取对数, 并与稀释剂的分取序号  $n$  作图, 满足线性方程:  $\ln \alpha = b + n \ln(1-K)$ 。求出截距  $b$  与斜率  $\ln(1-K)$ , 并按方程计算出每份分出的稀释剂量。随着标定次数的不断增加, 与不断地修正稀释剂的出分含量。

该分样装置中未采用金属分样阀门, 并使用了玻璃油脂活塞, 体积比常数  $K$  较大, 这是

影响稀释剂纯度和分样准确度的原因。当前该实验室正在积极解决引进国外的金属分样器。

3. 氩提取装置与实验流程

该实验室备有一台玻璃高真空氩提取系统，装置系统图见图3。系统中所采用的部件相当简化，全系统是固定在铁架上，提取氩之前，抽高真空时，采用灯头烧烤，并未采用烘烤箱烘烤抽气。

反应器1的下端是石英制成，上端是玻璃制成，两者是磨口涂脂连接。磨口外部有玻璃冷却水套。石英反应器下端套有一个活动的金属筒，做为加热样品时冷却反应器的水槽。反应器内部的小石英载样管内部有钨丝线圈，它与电极连接，作为内加热器。系统中有二个法国制造的金属截止阀门，一个用于金属泵与系统之间的连接和控制，另一个用于碳管与系统间的连接和控制。在冷阱之前焊有一个稀释剂  $Ar^{38}$ 。全系统抽高真空时，活性炭处于加热  $300^{\circ}C$ ，海绵钛逐步升温至  $1000^{\circ}C$ ，除磨口外，反应器上下端及系统其他部份均用灯头烧烤去气。在一般情况下进行抽气一天，真空度达  $\sim 10^{-6}$  托，关闭阀门。

第二天在做样之前，先用电离真空计测量真空度，检查真空保持性能。并起动抽气泵，将系统再行短时间抽气，关闭金属阀门4，应用其中的一个小碳管，对全系统进行吸气，廿分钟后煅取小碳管，供质谱计分析全系统的本底，检查系统中是否有残留的  $Ar^{38}$  本底。然后加热海绵钛至  $800^{\circ}C$ ，冷阱倒入液氮，打碎  $Ar^{38}$  稀释剂安瓿的尖钩，反应器通冷却水，调节变压器逐步加热钨丝约四十分钟，直至样品熔化。反应器降温，海绵钛降温至室温。用大碳管在液氮温度下吸收廿分钟，关闭阀门，并把大C管所吸收的氩气转入小碳管吸收廿分钟，煅取之，供质谱分析。

该系统与常规所见略异，并不引用氧化铜为纯化剂。实验室应用这种结构和流程的提氩系统，进行了第三纪的年青火山岩  $Ar^{38}$  同位素稀释法测定，得到了与地质上相吻合的数据。但是使用这种系统和流程，进行等时线年龄的测定和研究工作，正在着手进行和探索之中。他们对不同时代的云母、白云母、长石、辉石、闪石、海绿石、全岩等对象测定了年龄，样品用量随年龄及含钾量的大小，从数百毫克至10—20克称量不等。

4. 质谱计及同位素分析

地质和地球物理研究所有一台英制 MS-20 质谱计供  $Ar$  同位素分析，峰值采用数字记录器记录。MS-20 质谱计为  $180^{\circ}$  偏转角，离子偏转半径为 50.8 mm 和 20.7 mm，为双接收器可供测量  $Ar^{36+}/Ar^{40+}$  和  $Ar^{38+}/Ar^{40+}$  比值（见图4）。

该型质谱计具有二种磁铁，即永久性磁铁和电磁铁（改变加速电压），所测荷质比与磁铁关系如表1。

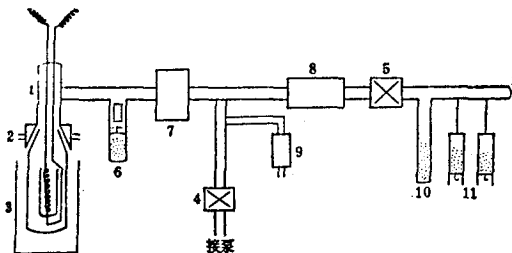


图3 氩提取装置

1. 反应器；2. 磨口；3. 冷却筒；4.5. 金属阀门；6.  $Ar^{38}$ ；7. 冷阱；8. 海绵钛；9. 离子规管；10.11. 碳管。

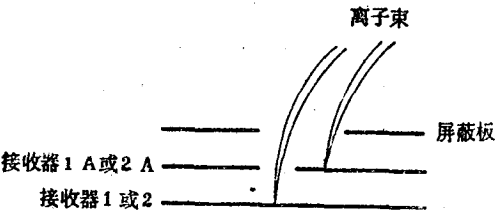


图4 离子束双接收器

表 1

| 永 久 性 磁 铁 |          |         | 电 磁 铁 |         |
|-----------|----------|---------|-------|---------|
| m/e       | 至收集器曲率半径 | 磁 场 强 度 | m/e   | 加 速 电 压 |
| 2—52      | 20.7mm   | 4500高斯  | 1—100 | 1000伏   |
| 12—312    | 50.8mm   | 4500高斯  | 2—200 | 500伏    |
| 2—52      | 50.8mm   | 1850高斯  | 2—400 | 250伏    |
| 12—312    | 50.8mm   | 1850高斯  | 4—800 | 125伏    |

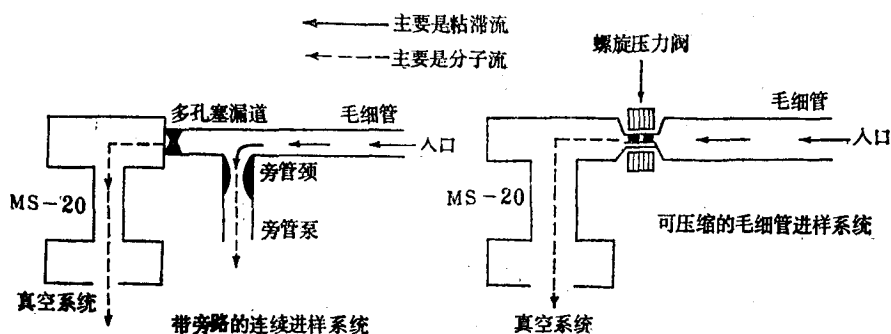


图 5 进样系统

真空获得是借助旋转泵、吸附泵，扩散泵（硅油号：NOT）及离子泵，烘烤温度 200—400°C。质谱计的真空度一般在 $10^{-8}$ 托。该质谱计附有多种进样设备，既方便于大量的气体同位素进样，又方便于微量气体同位素进样。该实验室采用毛细管通道进样，毛细管端与质谱计主体间有螺旋压力阀，以调节控制进样量（见图 5），俾使被测 Ar 同位素以分子流进入分析器，克服了质量歧视效应。质谱分析采用静态法，在放大器为 10 毫伏档时，静态本底没有  $\text{Ar}^{36}$  峰。此时  $\text{Ar}^{40}$  峰也显示极微。该质谱计性能、保护及使用状态良好，未发现有记忆效应的迹象。当每周四天中进行几个样品分析之后，即采取烘烤去气二天。所测峰值很稳定，在连续测量二小时的 Ar 同位素峰值中，各同位素值未见明显变化。

一般分析时，同时焊上四个 Ar 样品，每个样品先后分五次进样，Ar 进样的分压强 $\sim 10^{-6}$ 托，每次测定五组 Ar 同位素，即一个样品共测定 25 组的同位素比值，最后计算取值。

### （三）地质年代学用于测定罗马尼亚几个 结晶基底建造和喷发岩体的年龄

应用 K-Ar 法（包括体积法和稀释法）和 Pb-Pb 法对罗马尼亚的几个地质构造单元：摩尔多瓦、多布罗加、罗马尼亚平原以及东喀尔巴阡和南喀尔巴阡进行了年龄测定（见表 1、2 及图 6）

（1）摩尔多瓦单元是属于俄罗斯地台的一部分，位于罗马尼亚东部，结晶基底属上太古代。采自雅西附近的副片麻岩中根据 K-Ar 法测定黑云母的年龄为  $1336-1422 \times 10^6$  年。

（2）多布罗加和罗马尼亚平原，分别位于东部和南部。采自东部康斯坦萨附近的帕拉

表2 K-Ar 法测定地质年龄数据

| 地质单元/系列                  | 岩 类     | 采 样 地 点       | 测 定 样 品 | Ar克/克<br>10 <sup>-7</sup> | K%   | 年龄10 <sup>6</sup> 年 |
|--------------------------|---------|---------------|---------|---------------------------|------|---------------------|
| 结晶基底<br>(上太古代)           | 更长石副片麻岩 | 摩尔多瓦单元<br>雅 西 | 黑 云 母   | 6.93                      | 5.17 | 1336                |
|                          | 更长石副片麻岩 | 雅 西           | 黑 云 母   | 7.21                      | 4.97 | 1422                |
|                          |         | 多布罗加单元        |         |                           |      |                     |
| 结晶基底<br>(中变质岩系)<br>(中里菲) | 花岗片麻岩   | 帕拉朱-马利        | 微斜长石    | 13.24                     | 6.23 | 1853                |
|                          | 花岗片麻岩   | 帕拉朱-马利        | 微斜长石    | 2.43                      | 3.89 | 747                 |
|                          | 绢云母石英岩  | 弗洛里斯蒂         | 全 岩     | 0.69                      | 1.72 | 508                 |
|                          | 黑云母石英岩  | 古 里 西         | 全 岩     | 0.52                      | 1.51 | 445                 |
|                          | 黑云母石英岩  | 古 里 西         | 全 岩     | 0.52                      | 1.66 | 417                 |
|                          | 云 母 片 岩 | 克拉慕利亚         | 黑 云 母   | 2.70                      | 4.55 | 711                 |
|                          | 云 母 片 岩 | 克拉慕利亚         | 白 云 母   | 1.90                      | 6.33 | 634                 |
|                          | 片 岩     | 克拉慕利亚         | 全 岩     | 1.27                      | 2.65 | 596                 |
| 西太利-切斯特利系列<br>(上里菲)      |         |               |         |                           |      |                     |
|                          | 片 岩     | 米哈-维替朱        | 全 岩     | 1.12                      | 2.63 | 542                 |
|                          | 片 岩     | 米哈-维替朱        | 全 岩     | 1.14                      | 2.40 | 590                 |
|                          | 片 岩     | 米哈-维替朱        | 全 岩     | 1.36                      | 2.90 | 590                 |
|                          | 片 岩     | 米哈-维替朱        | 全 岩     | 0.88                      | 2.11 | 529                 |
|                          | 花 岗 岩   | 麦尔西亚-沃达       | 全 岩     | 0.23                      | 0.56 | 508                 |
|                          | 花 岗 岩   | 哈 姆 西 加       | 全 岩     | 0.78                      | 1.15 | 320                 |
|                          | 花 岗 岩   | 普 里 可 蓬       | 全 岩     | 0.68                      | 3.41 | 264                 |
| 基底喷发花岗岩                  | 黑云母花岗岩  | 普 里 可 蓬       | 全 岩     | 0.58                      | 3.52 | 222                 |
|                          | 斑 岩     | 卡 明 那         | 全 岩     | 1.10                      | 6.65 | 220                 |
|                          |         |               |         |                           |      |                     |
| 三叠系                      |         |               |         |                           |      |                     |

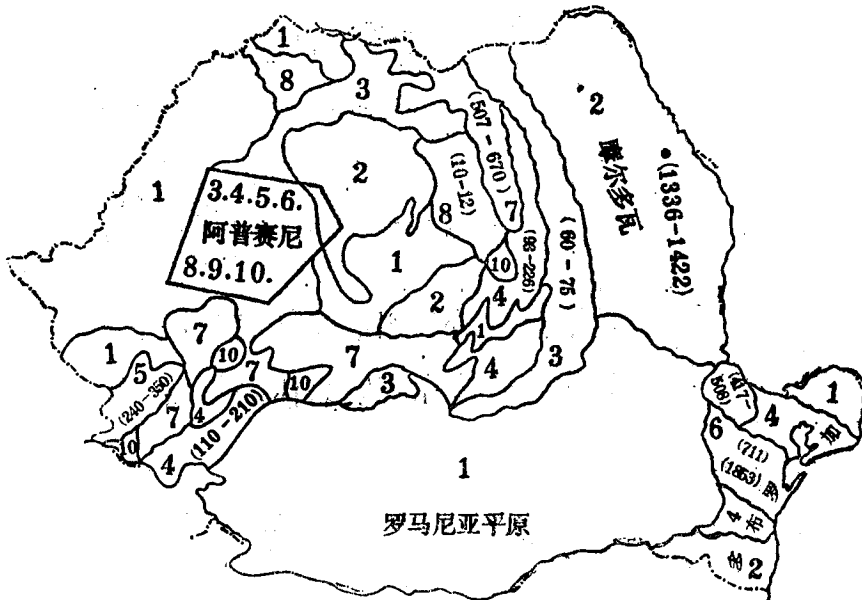


图6 罗马尼亚地质示意图

1. 上新统一第四纪；2. 中新统；3. 老第三系；4. 中生界；5. 古生界；6. 元古界；7. 结晶片岩；8. 新第三系喷发岩；9. 前第三系喷发岩；10. 侵入岩。

表3 K-Ar Pb-Pb 法测定地质年龄数据

| 地质单元/系列                | 岩 类      | 采 样 地 点           | 测定样品  | Ar克/克<br>10 <sup>-7</sup> | K %   | 年 龄<br>10 <sup>6</sup><br>年 | Pb-Pb<br>年 龄<br>10 <sup>6</sup> 年 |
|------------------------|----------|-------------------|-------|---------------------------|-------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 布里替拉-雷拉<br>乌系列(前寒武)    | 白云母片岩    | 东喀尔巴阡<br>瓦利亚-加尔加拉 | 全 岩   | 0.394                     | 0.87  | 507                         | 470                               |
|                        | 花岗云母片岩   | 吉米尼亚              | 白 云 母 | 2.252                     | 7.29  | 419                         |                                   |
|                        | 云母片岩     | 吉米尼亚              | 黑 云 母 | 2.300                     | 7.06  | 408                         |                                   |
|                        | 硫化物矿脉    | 吉米尼亚              | 方 铅 矿 |                           |       |                             |                                   |
|                        | 眼球状片麻岩   | 瓦利亚-纳菲亚           | 微斜长石  | 1.992                     | 9.23  | 281                         |                                   |
|                        | 眼球状片麻岩   | 瓦利亚-纳菲亚           | 微斜长石  | 1.932                     | 9.54  | 263                         |                                   |
|                        | 眼球状片麻岩   | 瓦利亚-巴拉苏           | 微斜长石  | 1.772                     | 9.14  | 253                         |                                   |
|                        |          | 瓦利亚-巴拉苏           |       |                           |       |                             |                                   |
| 哈费马兹似花岗<br>岩类(中前寒武)    | 花岗伟晶岩    | 吐尔费兹              | 更 长 石 | 4.216                     | 10.30 | 510                         | 670<br>620<br>60                  |
|                        | 花岗伟晶岩    | 吐尔费兹              | 更 长 石 | 3.061                     | 9.27  | 413                         |                                   |
|                        | 黑云母花岗闪长岩 | 巴兰-可瓦西            | 全 岩   | 0.913                     | 2.24  | 502                         |                                   |
|                        | 黑云母角闪片岩  | 鲁得那-阿列            | 黑 云 母 | 3.347                     | 6.04  | 650                         |                                   |
|                        | 黑云母角闪片岩  | 鲁得那-阿列            | 全 岩   | 0.871                     | 1.76  | 595                         |                                   |
|                        | 钙云母片岩    | 瓦利亚-多尼            | 黑 云 母 | 0.555                     | 3.27  | 226                         |                                   |
|                        | 白云母伟晶岩   | 鲁得那-瓦列            | 白 云 母 | 1.358                     | 8.71  | 210                         |                                   |
|                        | 硫化物矿脉    | 布拉兹那              | 方 铅 矿 |                           |       |                             |                                   |
|                        | 硫化物矿脉    | 布拉兹那              | 方 铅 矿 |                           |       |                             |                                   |
|                        | 黑云母片岩    | 瓦利亚-莱布拉           | 全 岩   | 0.286                     | 2.72  | 146                         |                                   |
|                        | 黑云母角闪片岩  | 鲁得那-古兹            | 黑 云 母 | 0.447                     | 6.54  | 93                          |                                   |
|                        | 花岗岩      | 鲁得那-古兹            | 黑 云 母 | 0.358                     | 6.57  | 75                          |                                   |
|                        | 金属矿脉     | 鲁得那-瓦列            | 方 铅 矿 |                           |       |                             |                                   |
|                        | 伟晶岩      | 鲁得那-瓦列            | 白 云 母 |                           |       | 74                          |                                   |
|                        |          | 南喀尔巴阡             |       |                           |       |                             |                                   |
| 蒙蒂-阿尔马依系<br>列(前寒武)     | 白云母片麻岩   | 瓦利亚-依西尼塔          | 白 云 母 | 2.40                      | 8.09  | 373                         | 294                               |
|                        | 黑云母片麻岩   | 瓦利亚-拉可尼亚          | 云 母   | 1.88                      | 7.90  | 294                         |                                   |
| 克尔布系列<br>奥格拉登纳<br>(海西) | 绢云母片岩    | 瓦利亚-拉可尼亚          | 全 岩   | 0.43                      | 1.82  | 306                         | 263                               |
|                        | 花 岗 岩    | 瓦利亚-马拉            | 微斜长石  | 0.859                     | 9.28  | 263                         |                                   |
|                        | 花 岗 岩    | 瓦利亚-马拉            | 白 云 母 | 1.801                     | 8.15  | 278                         |                                   |
|                        | 花 岗 岩    | 瓦利亚-马拉            | 更 长 石 | 0.752                     | 4.93  | 203                         |                                   |
|                        | 花 岗 岩    | 帕利尔-马利            | 黑 云 母 | 1.677                     | 7.64  | 320                         |                                   |
| 史菲登尼                   | 花 岗 岩    | 帕利尔-马利            | 黑 云 母 | 1.844                     | 6.43  | 350                         |                                   |
|                        | 花 岗 岩    |                   |       |                           |       |                             |                                   |

朱-马利1000米深的中变质的花岗片麻岩,测定其微斜长石年龄为 $1853 \times 10^6$ 年,其结晶基底属元古代或太古代。

对这个单元的中变质岩系如弗洛里斯蒂的绢云母石英岩和古里西的黑云母石英岩的全岩年龄在417—508百万年之间,对克拉慕利亚的云母片岩测定年龄在631—711百万年范围,对米哈-维替朱的片岩年龄测定在529—592百万年之间。这些数据表明了阿森特造山运动对本区的元古代地层都有不同程度的变质影响,阿森特运动大约结束于寒武纪末期。但是从另一些数据看,本区还发现有加里东运动的迹象。除了阿森特造山运动,本区又有基底喷发花岗

岩出现，这些花岗岩的年龄范围反映了海西运动的存在。

### (3) 喀尔巴阡地区

对东喀尔巴阡山布里替拉-雷拉乌前寒武变质岩系、哈费马兹中前寒武似花岗岩类和列布拉-巴尔纳尔下前寒武变质岩系，测定它们的年龄分别得到507—408百万年、253—281百万年；413—510百万年；595—670百万年和226—93百万年，以及60—75百万年。数据说明，东喀尔巴阡山存在着寒武纪期间造山运动的影响，贝加尔运动和海西运动的影响，还经历着阿尔卑斯运动的影响（见表3）。

南喀尔巴阡山原地岩块为晚元古代和古生代的浅变质系、和海西运动相关的花岗岩类203—263百万年（见表3）。南喀尔巴阡大部分是逆掩在原地岩块之上的推复体，组成复杂，大多为中深变质岩、混合岩，特别是相当部分的混合岩，依靠K-Ar法测定年龄，难于判别地质时代。

### (4) 火山岩的年代测定

罗马尼亚火山岩主要分布在三个地区：东喀尔巴阡山南段该里马尼-哥尔其-哈其塔山区火山岩带；东喀尔巴阡山北段奥阿希-库台山区火山岩带；阿普赛尼山区。还有多布罗加的零星火山。

有关的火山活动分为三个阶段：第一阶段中晚三叠世至早白垩世（210—145百万年左右）为海底基性及超基性岩浆喷发和有关的侵入活动。第二阶段晚白垩世至老第三纪初期的拉拉米运动时期（100—65百万年左右），为安山质为主，并有流纹质岩类的岩浆喷发和花岗岩闪长岩为主的侵入活动，形成“巴纳特”岩类。第三阶段是新第三纪火山岩，为安山质火山岩（7—12；10—25百万年）。

近几年来，罗马尼亚的地质年代学工作，投入较大的力量从事火山岩年龄测定的工作，目前取得了一些数据，其中包括了新第三纪火山岩年龄数据，并紧密配合火山岩地质学家和矿床学家等对各阶段火山岩的细分旋回和成矿问题进行着深入的研究，这是我们从事火山岩工作值得借鉴之处。

## 二、罗马尼亚的岩矿分析

侯 瑛、彭文世

罗马尼亚国家科学技术委员会和矿业-石油-地质部领导的地质地球物理所和分布在不同地区的地质中心各厂矿都有岩矿分析实验室。地质地球物理所是罗马尼亚地质、地球物理和矿业研究中心的负责单位，其岩矿分析实验室规模较大，在水平上具有代表性。地质中心各厂、矿的岩矿分析实验室是依本厂、本矿的生产特点建立的，在分析对象，设备和分析方法等方面各具自己的特色。这些实验室虽有不同的规模和特点，但其基本任务都是对地质人员或厂、矿车间采集的样品进行分析测试，研究和发展各种行之有效的分析测试方法。在分析测试方法研究方面，一般都从本部门的需要出发增加测定元素的种类，扩大各种元素的测定范围和提高分析测试效率。仪器的配备，新技术的引进，新方法的拟定都是围绕这些基本要求进行的。由于地质、地球化学研究工作的提高和地质生产的发展需要进行大批的岩矿分析，因而罗马尼亚分析工作者对研究快速分析方法和提高分析测试效率表现了极大的关注。

为了达到这些要求，他们陆续建立和应用了在地质、地质化学领域中既有广泛用途又有较高生产能力的原子吸收光谱，中子活化和X-射线荧光光谱等现代仪器分析方法。目前，在实际分析工作中，仪器方法所占的比重已经超过了基于普通化学反应的湿法。虽然那些用于岩矿分析的普通化学法还继续保留着，但有很大一部分已被仪器分析所取代。如在日常工作中经常遇到的硅酸盐岩石及其造岩矿物和硫化矿分析，除其中的挥发性组分和变价元素的测定仍沿用旧有的方法外，对于主要组分和各种微量元素的测定都是使用仪器方法完成的。在罗马尼亚的岩矿分析中，仪器分析方法的广泛应用并不仅仅限于中心研究所，地质中心所属厂矿的实验室也是大量采用的。尽管后者大型分析设备比较少，但象原子吸收光谱，火焰光度计，极谱等中小型仪器已经相当普及。

但是，由于小型仪器方法与我国岩矿分析部门的使用情况基本类似，在此就不再加以赘述。下面仅就罗马尼亚岩矿分析中一些主要方法的发展状况概要地介绍如下。

## (一) 岩矿分析方法

### 1. 中子活化分析

以中子活化分析为主的放射化分析法是岩矿分析的一种重要手段。由于灵敏度极高，特别适用于微量元素的测定；同时还具有取样量少，分析效率高和变通度大等优点。因此罗马尼亚的地质研究部门对中子活化分析的应用给予了很大的重视。单位领导人常常给这种实验室以重要的地位，而且这项工作也多由业务水平较高的科技人员来从事。如地质地球物理所就是把中子活化分析实验室划归一个相当于研究室的协作组，以便于所长更直接地领导。

中子活化分析是基于元素的稳定核被中子照射以后形成放射性同位素，然后通过放射性测量仪器测量其放射性强度来求得元素（或同位素）的含量。假如待测元素在样品中的重量为W克，其原子量为M，靶同位素丰度为 $\theta$ ，放射化截面为 $\sigma$ ，中子流通量为f，生成的放射性同位素的衰变常数为 $\lambda$ ，照射时间为t时，则放射性生成核具有的放射性强度遵守下列方程式：

$$A_t = \frac{W}{M} \cdot \theta \cdot 6.023 \cdot 10^{23} \cdot f \cdot \sigma \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

在进行中子活化分析时，为了避免放射绝对测量的麻烦，一般使用比较法，即将已知待测元素重量 $W_s$ 的标准和未知样品在同样条件下照射和测量。然后由测量得到的标准放射性 $A_s$ 和由样品中待测元素生成的放射性A即可按下式计算测定元素的含量W：

$$W\% = \frac{W_s \cdot A}{A_s} \cdot 100\%$$

由于大多数元素的热中子活化截面都比较大，所以热中子活化法是中子活化分析的主要方法。在罗马尼亚也同样如此。在他们已有的工作中全是热中子活化。快中子活化和荷电粒子活化分析在罗马尼亚的地质和地球化学领域中未见开展，因此只能测定原子序数大于11的元素。他们在热中子活化分析工作中，用于照射样品的中子源是距布加勒斯特20公里的玛古列里(Magurele)市物理中心的重水型实验反应堆。用作活化的热中子通量通常为 $5 \times 10^{12}$  中子/厘米<sup>2</sup>·秒<sup>-1</sup>。这与世界各国在中子活化工作中经常使用的中子通量相当。照射样品和标

准的包装与我们使用的方法相同,即将样品和标准分别封装于纯石英安瓿中,以纯铝箔包裹后置于同一铝照射罐中并在原子反应堆的照射孔道进行照射。照射时间视生成核的半衰期及所需的放射性强度等因素而定。由于照射中子流主要是热中子,因此利用的核反应都是 $(n, \gamma)$ 反应。但在照射位置仍有少量的快中子,它们引起的快中子反应有时会干扰对待测元素的测定。在这种情况下,往往需要通过冷却和放射化学分离等方法予以消除。基于 $(n, \gamma)$ 反应进行活化并利用带有Ge(Li)和NaI(Tl)晶体探头的多道 $\gamma$ 能谱仪进行放射性测量可以测定70多种元素。罗马尼亚地质地球物理所的中子活化分析实验室的设备条件已基本具备了这种能力。只是因为研究工作的需要,延期内测定过的元素主要是Au、Pt、Pd、Os、Ir、La、Ce、Yb、Eu、Rb、Sc、Ga、Re、Te等。其中除金的测定使用了放射化学分离流程外,其余的元素都是直接用DIDAC800道 $\gamma$ 能谱仪(法国造)测量。钷( $\text{Sc}^{46}$ )的测量使用NaI(Tl)晶体探头,其它同位素的放射性则用Ge(Li)晶体探头(捷克造)测量。由此可以看出,罗马尼亚地质研究部门的中子活化分析主要是“仪器中子活化分析”。这种情况与国际上的发展趋势是一致的。

对含金硫化矿石样品的放射化学处理流程为:将在原子反应堆中照射过的样品安瓿在特制的烧杯中于金载体和非测定元素的反载体存在下打碎,以王水溶解样品。除去石英安瓿残渣,并蒸发。将试液制成0.5M盐酸溶液,这时金以 $(\text{AuCl}_4)^-$ 形式存在。将此溶液通过高12厘米,直径0.5厘米的Dowex-2离子交换柱。把金淋洗下来后。将其转为6N盐酸溶液,用乙酸乙酯萃取纯化。以氢醌将金还原为金属,在古氏漏斗上过滤,做成测量型进行放射性测量并以化学收率对放射性测量结果进行校正。

## 2. X-射线荧光光谱分析

X-射线荧光光谱是近年来发展很快并受到普遍重视的一种分析测试方法。这种方法能够全面、快速地进行硅酸盐岩石和矿物“常规”分析的手段。但X-射线荧光光谱仪器的完善和成熟还是七十年代前期的事。罗马尼亚地质研究部门对X-射线荧光光谱虽早有使用,但应用带8100型多道分析器、Si(Li)探头和PDP-11-05型电子计算机的X-射线荧光能谱仪(美国造)则是1975年开始的。由于这种设备的生产能力很高并且价格昂贵,因此只在较大单位的实验室里才有这种仪器。

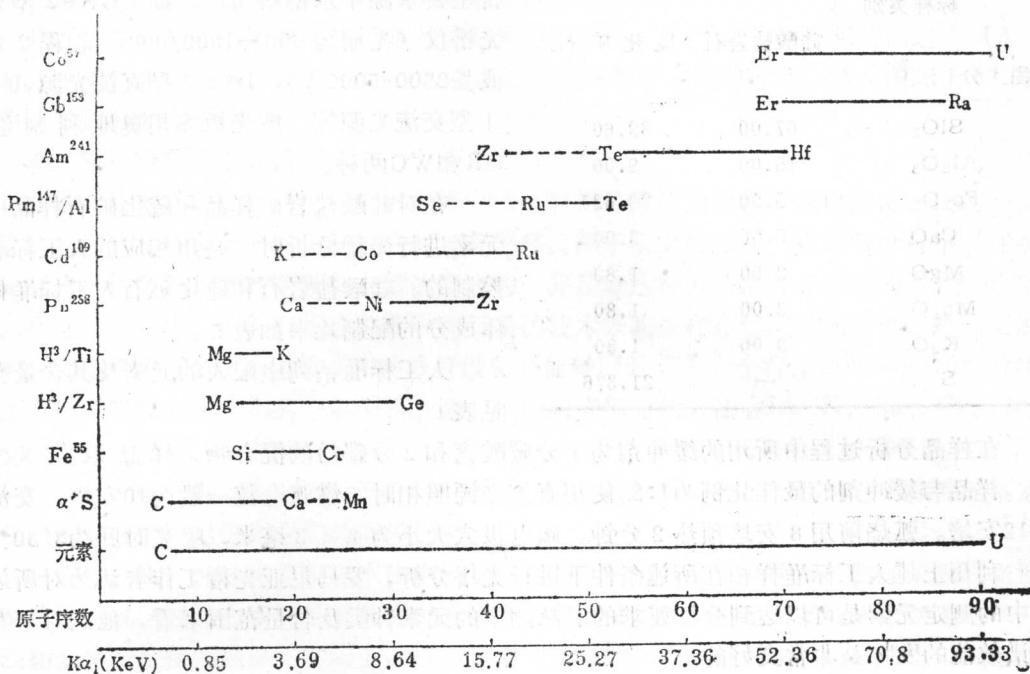
据罗马尼亚地质地球物理所的专家介绍,这种X-射线荧光能谱仪具有的放射源以及使用这些源所能测定的元素如表4所列。

总的来看,这种仪器可以测定原子序数6至92之间的元素。由于该仪器带有多道分析器,故可在同一样品中进行多成份的同时快速测定。例如以 $\text{Cd}^{109}$ 作源时可在10分钟之内同时测定出1%K、Ca, 0.5%Fe, Ti, 10ppm Rb, Sr, Y、Zn、Nb、Mo;而以 $\text{Fe}^{55}$ 作源时可同时测定0.2%的K、Ca、Ti等。

利用这一设备测定元素含量时,可以3克岩矿粉末样品放在塑料盘中测量,不需特殊制样,也勿需使用标准。据称,对于花岗岩,安山岩,灰岩,黄铁矿、黄铜矿和方铅矿等样品,其基体效应的影响可由仪器本身给予校正。

此外,玛古列里市物理中心还制造了一种带有单道分析器和NaI(Tl)晶体探头的台式X-射线荧光分析仪(见图7),其方框图如图8。该仪器具有 $\text{Fe}^{55}$ 、 $\text{Cd}^{109}$ 、 $\text{Pu}^{238}$ 和 $\text{Am}^{241}$ 四种放射源。当用 $\text{Fe}^{55}$ 作源时可测定原子序数14—42的元素,用 $\text{Cd}^{109}$ 作源可测定19—44的各元素,用 $\text{Pu}^{238}$ 源可测定20—39的元素,用 $\text{Am}^{241}$ 作源时可测定原子序数56—62各元素。这种仪器还带有同时放3个样品的转盘并可连续工作12小时。该仪器的重量只有3.5公斤,故很适

表 4 8100型X-射线荧光能谱仪具有的放射源及测定的元素



合野外工作。目前用此仪器已进行过铁、铜、铅、锌、镉、钛、钾、钙等元素的分析。

因仪器良好，操作简便，分析效率高，故地质地球物理所X-射线荧光光谱实验室只有1人从事工作。

国外有人认为，尽管购置新型X-射线荧光光谱仪投资较多，但从经济核算的角度看，这种设备需要的人力少；由于仪器本身的高效率而取得的利润相当大，几乎超过了任何别的分析技术。倘若合理地充分利用这种仪器，用X-射线荧光光谱分析硅铝酸盐的费用将只有湿法化学方法费用的二分之一到三分之一。

### 3. 发射光谱分析

发射光谱法在罗马尼亚地质、地球化学中应用已有多年的历史，主要用来从事岩矿样品

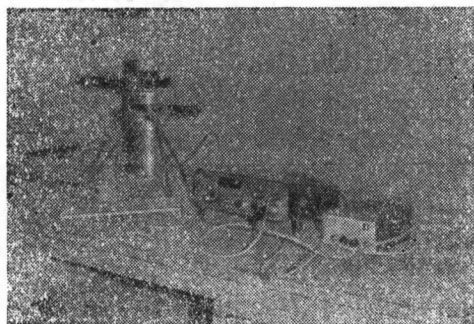


图 7 台式X-射线荧光分析仪

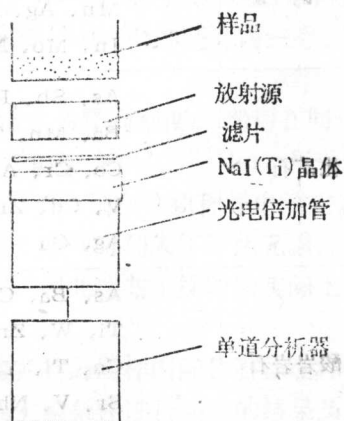


图 8 台式X-射线荧光分析仪方框图

表 5 人工标准样基体成份的配制

| 标样类别<br>组 分                    | 硅酸盐岩石 | 硫化矿石   |
|--------------------------------|-------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 67.00 | 39.60  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15.00 | 9.00   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.00  | 29.624 |
| CaO                            | 5.00  | 3.00   |
| MgO                            | 2.00  | 1.80   |
| Ma <sub>2</sub> O              | 3.00  | 1.80   |
| K <sub>2</sub> O               | 3.00  | 1.80   |
| S                              | —     | 21.376 |

中微量元素的定量和半定量分析。这方面的设备主要来源于东德蔡司厂，如 PGS-2 型光栅光谱仪（光栅为 600—1300/mm，光程 2 米，波长 2300—5000 Å），DG-2 型直流光源，UBI-1 型交流光源等。感光板多用奥地利制造的 OR 和 WO 两种。

在对硅酸盐岩矿样品和硫化矿石样品中的元素进行光谱分析时，是用相应的人工标准样控制的。硅酸盐岩石和硫化矿石人工标准样基体成分的配制比率如表 5。

人工标准系列中配入的元素及其含量范围见表 6。

在样品分析过程中所用的缓冲剂为 1 分碳酸钙和 2 分碳粉的混合物。样品取量为 20 毫克。样品与缓冲剂的最佳比例为 1:3。使用直流光源照相时，燃弧电流一般为 10 安培；交流弧为 12 安培。弧烧前用 8 安培预热 2 分钟。碳电极穴大小为 4 × 3 毫米，曝光时间为 3'30"。

利用上述人工标准样和在所述条件下进行光谱分析，罗马尼亚光谱工作者认为对所述样品中的测定元素是可以达到分析要求的。从测定的元素种类及含量范围来看，他们对于发射光谱效能的发挥是非常良好的。

但是罗马尼亚光谱分析工作者也象国际同行们考虑的那样，使用直流弧或交流弧的发射光谱分析，存在着两个固有的缺点，即这种技术精确度不够高，感光板的处理和读数过程非

表 6 人工标准系列中配入的元素及含量范围

| 样 品 名 称 | 元 素                                                               | 含量范围 (p.p.m) |
|---------|-------------------------------------------------------------------|--------------|
| 闪 锌 矿   | Te, Cu, Pb, Mn                                                    | 30—30,000    |
|         | Cd, Sb, As                                                        | 10—10,000    |
|         | Ti, Bi, Ag, Ga, In, Ge, Ni, Co, Tl                                | 3—3000       |
| 黄 铜 矿   | Pb, Zn                                                            | 30—30,000    |
|         | As                                                                | 12—12,000    |
|         | Mn, Ag, Au, Bi, Co, Cr, Ga, Ge, Cd, In, Mo, Ni, Sb, Tl, V, Te, Ti | 3—3000       |
|         |                                                                   |              |
| 硫化矿石    | As, Sb, Pb, Cu, Zn,                                               | 30—30,000    |
|         | Ba, Mn, Ti, W, Sb                                                 | 10—10,000    |
|         | Co, Cr, Au, Bi, In, Ge, Ni, Mo, Sn                                | 3—3000       |
|         | V, Cd, Zr, Y                                                      |              |
|         | Ag, Ga                                                            | 1—1000       |
| 硅酸岩岩石   | As, Ba, Cu, Cd, La, Mn, Pb, Sb, Ti, W, Zn                         | 3—10,000     |
|         | Ga, Tl, Y, Zr, Bi, Co, Cr, Mo, Ni, Sn, Sr, V, Nb, Li, B,          |              |
|         | Ag, Be, Ga, In, Sc, Yb                                            | 0.9—3000     |
|         |                                                                   | 0.3—1000     |
|         |                                                                   |              |