

## 铀勘探和技术：保存自己的“诀窍”

市场因素已为应用这部分数据和专门技术

解决环境和其他问题创造了新机会

Arthur Y. Smith 和 Mohamad Tauchid

在 1973 年能源危机及其以后的一段时间内，世界上的许多国家都在铀勘探活动方面花费了大量金钱。

在同一时期，人们曾花费巨大的精力开展铀勘探技术的研究和开发工作，并在灵敏度和精细程度两个方面取得了重大进展。但 1980 年以后则每况愈下；到 1984 年，中央计划经济区域以外国家 (WOCA) 的勘探费用已下降到 10 年前的水平。\* (见附图。)

铀勘探方面的这种收缩产生了许多重要影响：它带来这样一种威胁，即知识和专门技术，尤其是在“兴旺”年代积累起来的勘探数据可能会散失掉；它还使应用非常先进的铀勘探技术的事例减少。一些铀勘探专家由于工作机会减少而离开了铀工业，使用这些技术的知识和技能也跟着“走了”。许多政府机构和商业勘探企业的情况也是如此。

幸运的是，在有些地方，以往铀勘探中积累的技术和数据，已被用于其他重要领域。例如，它们已显示出可用于一般的环境问题，以及地球科学和多种矿产的勘探。

下面首先简单介绍一下铀勘探和铀勘探技术，这也许会对我们了解其应用范围有所帮助。

### 铀勘探

铀勘探象其他类型矿产的勘探一样，是分若干阶段或若干步骤进行的一种活动。阶段的划分则是按所

涉及地区的范围大小进行的。第一阶段，或称普查阶段的目的，是以很少的费用快速调查面积以万平方公里计的广大区域。显然，这一阶段的目的在于发现“矿床”。确切地说，其目的是要在所涉及区域内找出和圈定一些发现矿床的可能性明显地比较大的地区。这项工作是通过大范围的填图来完成的。在图上标明各种已知的或怀疑与铀矿床有关的环境性质和特征，如土壤、河流沉积物、岩石和水中放射性水平较高，铀及其他放射性和非放射性元素的浓度偏高等。

因为在普查阶段找到经济铀矿床的可能性极小，所以开发了一批费用很低、可靠性相当高并能提供尽可能多资料的技术。借助于载有高灵敏  $\gamma$  谱仪的飞机进行的航测，可快速绘制出放射性元素铀、钍和钾的分布图以及总放射性图。对于放射性或放射性元素浓度偏高的地区，可在地表取样并有针对性地分析选定元素的浓度。最终图件的比例，取决于普查区域的大小和数据点的密度。

这样绘制出的图件是“地面真实情况”的近似表述。但有一点是清楚的，即被圈定的地区真实地反映了地质和地表环境的大范围特征。在勘探计划的后续阶段中，人们将更详细地重新调查这些大范围特征，以便使这种近似更加精确，并把注意力“聚焦”于潜在的铀矿床上。

重要的是，要认识到勘探数据具有三维空间的特点——即空间广延性。用来收集勘探数据的技术，都设计成能提供空间分布数据。勘探计划中的单个测定值，无论多么精密多么准确，在描绘空间分布的特征时都是毫无价值的。正是铀勘探技术和铀勘探数据的这一特点，使得它们在铀勘探以外领域具有重大价值。

Smith 先生和 Tauchid 先生都是 IAEA 核燃料循环处工作人员。

\* WOCA = 中央计划经济区域以外国家。

## 铀勘探技术

在用得最广泛的几种铀勘探技术中，以航空 $\gamma$ 能谱测量为基础的技术，在铀行业兴旺时期恐怕得到了最大的发展。带有大体积探头的仪器、能够记录256道甚至1024道数据的多道分析器和数字记录与处理技术的出现，提供了多种高灵敏度和高灵活性的勘测设施。这些计量放射性的“地球化学分析”，是在飞行高度为50至150米的飞机上进行的，灵敏度已达到可探测出飞机下方地面1或2 ppm的铀和钍。

为了达到这种探测水平，需要精心地标定设备。近一些年来，许多国家在建造和应用这类标定设施方面已经做了大量工作。早期的总计数测量和 $\gamma$ 能谱测量，未做过如此精心的标定或根本未做标定。目前正开发一些技术，以便把这些早期的数据校准到可接受的标准。

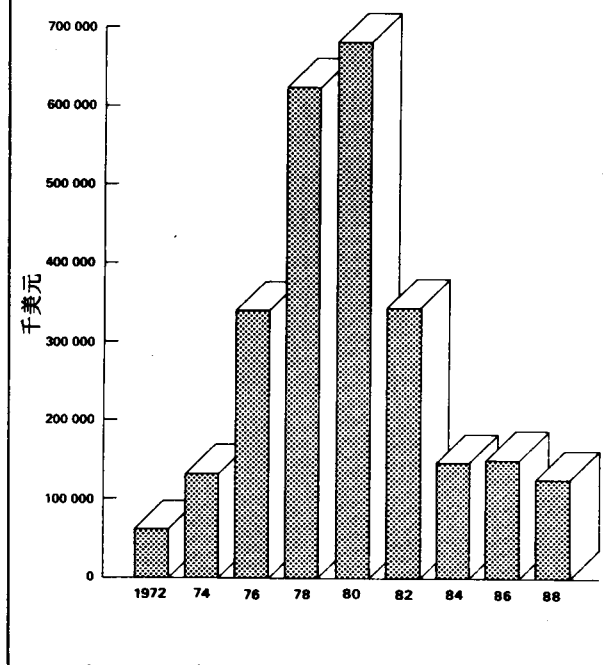
一些地球化学技术也一直在铀勘探方面起着重要作用。按大的取样间隔（大约每10或15平方公里1个样品）搜集水、河或湖的沉积物、或土壤的样品，并用每天能处理数百个样品的便宜而快速的技术分析这些样品。对于可能存在着铜、铅、锌和其他一些元素的区域，可以在测定铀及已知在铀矿床中与其伴生的一些元素（例如钼、金、砷、汞和钒等）的同时，测定上述这些元素。这些数据不是被一个一个地看待，而是使用先进的基于计算机的技术加以综合和标绘，并以覆盖大面积地质体的元素分布图形式表述出来。

氡技术因用于铀勘探计划而有了很大的发展。在这些铀勘探计划中，测量氡的原因是氡与其母体铀密切相关。这种相关性很重要，因为在建于富铀地区的建筑物中可以发现氡浓度异常。在许多国家中，探查和测量建筑物室内氡的最常用技术是 $\gamma$ 径迹探测器（径迹蚀刻）方法。这种方法最初是为铀勘探而开发的，但现在，尤其在美国，也已广泛用于地震预报研究。

## 铀勘探数据

在WOCA国家的广大地区，已经做过铀勘探测量。这些测量通常是用航测方法进行的，测量总放射性或测量 $\gamma$ 能谱。 $\gamma$ 能谱测量可以把铀、钍、它们的子体，以及钾的放射性区分开。近期的测量通

中央计划经济区域以外国家的勘探费用，  
1972—1988年

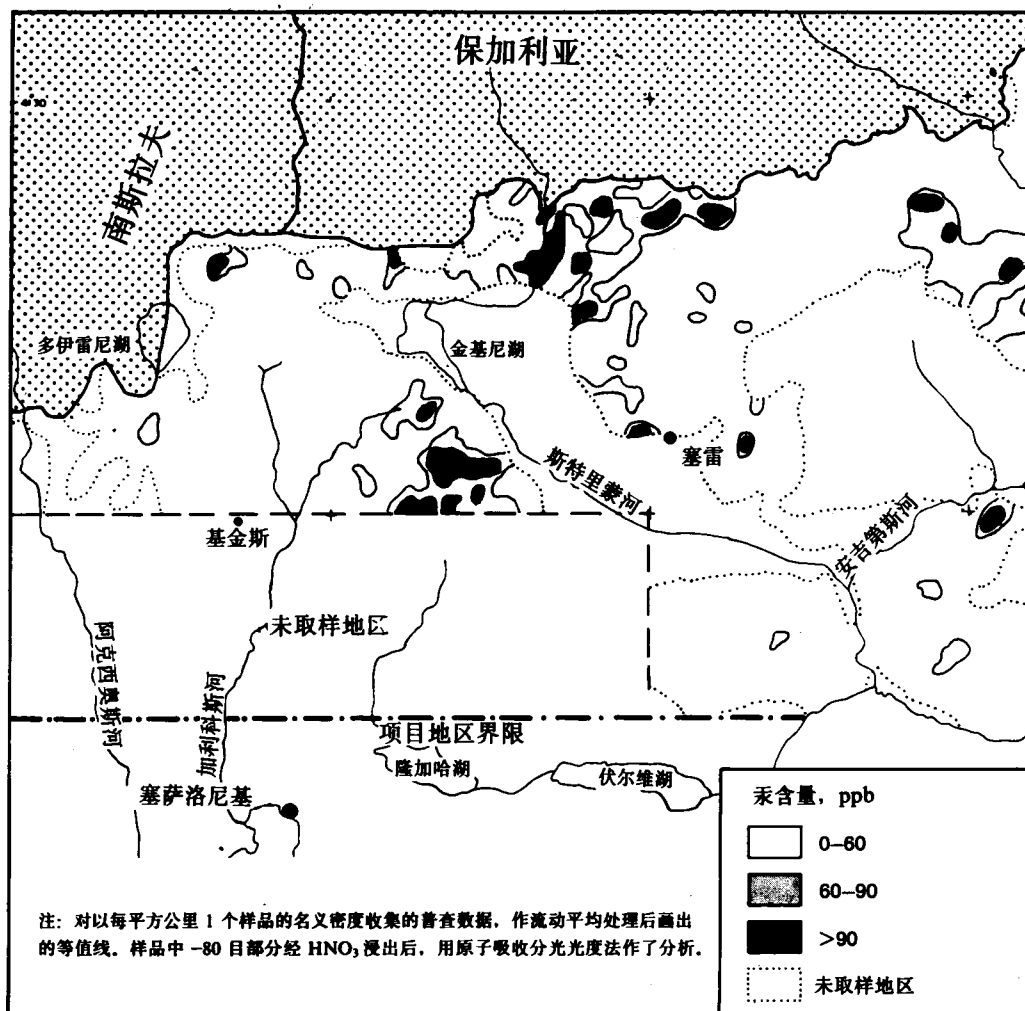


常是用经过精确标定的 $\gamma$ 谱仪进行的。但在早年，标定或是不那么仔细，或是根本未做。总计数测量通常也是如此。虽然这些早期测量的质量参差不齐，但它们还是提供了地区辐射本底的概貌。在重新标定并换算成照射率的单位后，航空和地面的放射性测量结果，便可用来描述被测地区本底放射性的一般分布。

加拿大、瑞典、美国、德意志联邦共和国等国家，已绘制了本底放射性照射率图。这些图已广泛用作判断有无人为放射性污染的参照基准。此外，在识别哪些地区需要检查建筑物内是否可能被天然氧污染方面，这些图也很有用。

IAEA最近的涉及航空 $\gamma$ 能谱测量铀勘探的一些技术合作项目，例如叙利亚的项目，已包含了对勘探数据重新进行计算和以本底辐射图形式把计算结果表述出来的内容。

有关地面钾浓度细微变化的航测图，使人们有可能识别出通常与金和铜矿化相关的那种蚀变地区。 $\gamma$ 能谱测量中包含具有普遍意义的地质信息，因而这些方法在许多国家中已成为进行地质填图的重要附加手段。人们发现，在易于航测填图的富铀地区，建筑物



在希腊北部, 在执行 IAEA 援助的铀勘探项目期间, 标绘出了河流沉积物中的汞含量大面积异常。汞在环境方面的意义使得这些结果在公众健康、农业和渔业等领域有很大价值。

中的氡浓度就较高, 经常达到可危害人体健康的水平。

航空  $\gamma$  能谱测量技术, 在万一发生核紧急情况时也有用。1978 年, 当苏联宇宙-954 号卫星坠落时, 其反应堆的放射性碎片散落到加拿大西北地方的大片土地上。加拿大地质调查局的有经验操作人员, 使用大型  $\gamma$  能谱仪系统迅速成功地发现并标绘出了这些碎片的分布图。\*

在 1986 年苏联发生切尔诺贝利事故以后, 在西方国家中, 第一批警报是由瑞典发出的。瑞典国家辐射

防护研究所, 曾请求瑞典地质公司出动航空  $\gamma$  能谱仪装置进行调查, 因为他们了解该公司的装备和能力。飞机在一天之内改装完毕, 并立即投入了全面标绘放射性落下灰分布的工作, 这项工作前后进行了两次。他们在航空测量方面的技能, 以及在编制和表述地球物理数据方面的专长, 都很宝贵。正是这两者的结合, 使他们有可能向瑞典的每个家庭提供了完整的放射性污染分布图。这些瑞典地质学家除绘制污染图, 使人们知道何处必须进行精确的地面测量和需要采取补救行动以外, 还能够绘制出与事故有关的单个同位素的落下灰分布图。\*

瑞典地质公司和瑞典地质调查局在铀勘探用氡测

\* 见 "Estimating the Fallout on Great Slave Lake from Cosmos-954", by Grasty, R.L., Trans. Am. Nucl. Soc., Fall Meeting, Washington (12-16 Nov. 1978); 和 "The Search for Cosmos-954", by Grasty, R.L., in *Search Theory and Applications*, edited by Heley, K. Brian, and Stone, Lawrence D., Plenum Publishing Corp. (1980).

\* 见 *Airborne Gamma Spectrometer Measurements of Fallout over Sweden after the Nuclear Reactor Accident in Chernobyl, USSR*, by Mellender, H., Swedish Geological Company, Report TFRAP 8803 (1988).

量技术的开发方向，一直名列前茅。由于他们拥有氡测量方面的知识和专长，因而在人们开始意识到氡在房屋中的天然分布可能在该国的某些地区构成危险时，总是请他们去帮忙。

铀和其他元素的地面地球化学数据，除了起到大范围内的抽样作用外，还包含很多对其他领域也很重要的重要的资料。这样的领域除其他商业矿产的地质填图和矿物勘探外，还包括农业的土地利用、畜牧业和人类健康等领域。在希腊北部，在执行 IAEA 援助的铀勘探项目期间，标绘出了大面积的汞含量异常，因而要求从农业、渔业和人类健康等角度进行认真研究。（见附图。）在菲律宾执行类似的 IAEA 援助计划期间，发现河流沉积物中的较重矿物浓缩物的金含量异常，为该地区可能存在金矿提供了线索。

由铀勘探计划得到这类“副产品”的实例，数不胜数。在许多国家中，这些副产品的效益一直未被人们认识到，因为这些国家的主管部门对它们的存在和意义缺乏了解。甚至有些与原子能事务有关的主管部门，也往往不懂其所属核原料部门在执行铀勘探计划期间积累起来的那些数据的价值。

### IAEA 的作用

这些年来，IAEA 在改进和使用铀勘探技术方面一直起着重要作用。它一直在组织有关铀勘探技术的研究和发展方面的会议，不断发表各种文件，内容涉及测试设备的标准和推荐应用这些标准的具体做法。此外，在  $\gamma$  能谱测量领域，机构还为现场仪器标定设施的建设和使用，制订了许多技术说明书。它还制备了一组质量很高的参考物质，可供标定分析地质样品的实验室仪器使用。

IAEA 在其技术合作计划中，通过许多合作项目和培训班，已在供应灵敏的辐射探测仪器和就各种铀勘探技术培训当地工作人员方面，给予了帮助。这些技术包括基于放射性和基于勘探地球化学的技术。

在许多国家中，铀勘探工作人员已成为可在核紧急情况下动用的最能胜任和最有经验的群体。切尔诺贝利事故发生以后，这已在许多国家得到充分证明。他们也常常是唯一可进行环境中氡测量、并拥有相应装备和丰富经验的群体。希望提供这些领域的技术援助的请求仍然很多，它们来自国家地质调查部门和大学地质系，以及原子能委员会下属的核原料部门。



加拿大奇加尔湖，1983 年在这里发现一个大型铀矿床。  
(来源：法国 CEA)

近几年来，IAEA 已将重点从纯粹的铀勘探转移到更广泛地应用这些技术和过去勘探计划积累的数据方面。例如，它最近已通过国际地质对比计划 (IGCP) 与联合国教科文组织 (UNESCO) 进行合作，以支持国际地球化学填图方面的一个新项目。该项目旨在促进和协调地球化学数据的收集和编辑，以便绘制出最终能汇编成地球化学世界图集的区域性地球化学图。IAEA 在应付放射性元素铀、钍和钾方面处于领先地位。编写手册的工作已经开始，内容涉及过去的  $\gamma$  射线数据的使用办法和这些数据的重新校准方法。此外，正在准备一个文件，它将为用于各种目的（包括响应核紧急情况）的航空  $\gamma$  能谱测量，规定一套与当前的科技水平相适应的技术要求和基本方法。

### 未来方向

由于人们对新的铀资源的关心似乎已经减弱，对于 IAEA 在铀勘探和开发方面的作用的疑虑也越来越大。人们常常提到，铀资源是充足的，把钱花在铀活