

核技术在矿产勘探、开采和处理中的应用

概述典型应用和原子能机构在该领域的活动

Rolf J. Rosenberg 和 Jacques Guizerix

矿物原料是能源生产和制造业的基础。虽然原料费用在最终产品成本中所占比例可大可小，并不总占主要部分，但是能否得到原料在任何情况下都是重要的。在发展中国家，国内原料有两种作用：它们既是收入的直接来源，又是发展本国制造业的重要基础。

矿物原料的共同特性是它们的不可再生性，即使目前世界上仅仅少数地区有较高的消费水平，我们也能看到其中某些原料即将耗尽。如果我们想保证未来能得到原料，就必须采取行动。我们必须开发更有效和更经济的矿产勘探和开采方法；必须采用可节约能源和原材料的高效生产方法；必须重新利用废料。

核分析技术对于提高原料勘探、开采和处理的效率，对于节约能源与材料，有着巨大的潜力。因此，它们能够为国民经济和发展计划作出贡献。其优越性在于它们分析迅速，常常可作特殊元素或多元素分析，使用简单，能够用在其它技术无法应用的场合（例如热的、粉尘的或腐蚀性的环境），或必须从器壁外进行控制测量的场合。此外，由于这种分析能够对全部或大部分工艺物流连续进行取样，所以它们能给出比基于单个样品的分析更有代表性的结果。最重要的是它们能够给出接近实时的结果，因而就可以使测量结果用于在线过程控制。

基础地质研究

所有的矿产勘探都是以全面了解所研究具体地区的地质过程和地质学为基础的。核技术对年龄测定和获得不同岩石类型中元素分布的知识是特别有用的。

Guizerix 先生是机构物理和化学处工业应用和化学科科长，Rosenberg 先生是该科的工作人员。

就分析元素而言，中子活化分析（NAA）已广泛用于基础地质研究。对许多元素来说，它是最灵敏的分析方法之一。甚至可以分析小型稀有的样品，例如月球样品或分离后的矿物。总之，NAA 是准确的，可在不破坏样品的情况下应用，能够用于多元素分析，并且容易自动化。

使用仪器化的 NAA，能够测定岩样中 40 多种不同元素。（已通常用它分析月球样品和小的矿石样品中的 40 种元素）。对于一般的岩样，同非核技术相比，NAA 最适宜用来分析卤族元素、铋、稀土元素、金、铂族元素、铀和钍。

地球化学勘探

有机和无机沉积物、植物和水的化学组成，都可以反映其下伏岩石的组成。其它类型的某些沉积物或多或少是从它们的原始位置迁来的，可以反映其搬运路线上某一位置的岩石化学组成。因此，可以根据沉积物和水的元素组成追踪具有经济意义的矿化。在沉积物中，大多数元素的浓度为百万分之几，因此需要灵敏的分析方法。

在地球化学组成分析方面，NAA 也在一些国家获得了应用，尤其用于分析金、铂族金属，有时用于分析铀。经常采用高度自动化的操作，使分析费用大大降低。某些国家，包括加拿大、芬兰、联合王国和美国，都有一些 NAA 实验室，它们每年分析一万或数万个地质样品。

铀的地球物理勘探

铀元素由一些放射性同位素混合物组成，它们的衰变可形成一系列子体核素。这些核素是放射性的，能够用来示踪铀的矿化。有一种方法是以直接测量铀子体核素（尤其是铋-214）的 γ 放射性为基础



γ-γ 和中子-中子测井记录，以及得到这些结果所需的设备。

的。这可以用一个轻便型γ 探测仪，只测量地面上方的总本底辐射水平，或测量岩石表面或各个漂砾的总活度来完成。用车载或机载的γ 测量系统也能进行这种测量。

另一种方法是测量铀的衰变产物氡同位素。氡是一种很容易迁移的惰性气体，可通过岩石裂缝上升到地面。可以用测量其α 放射性的办法加以测量。

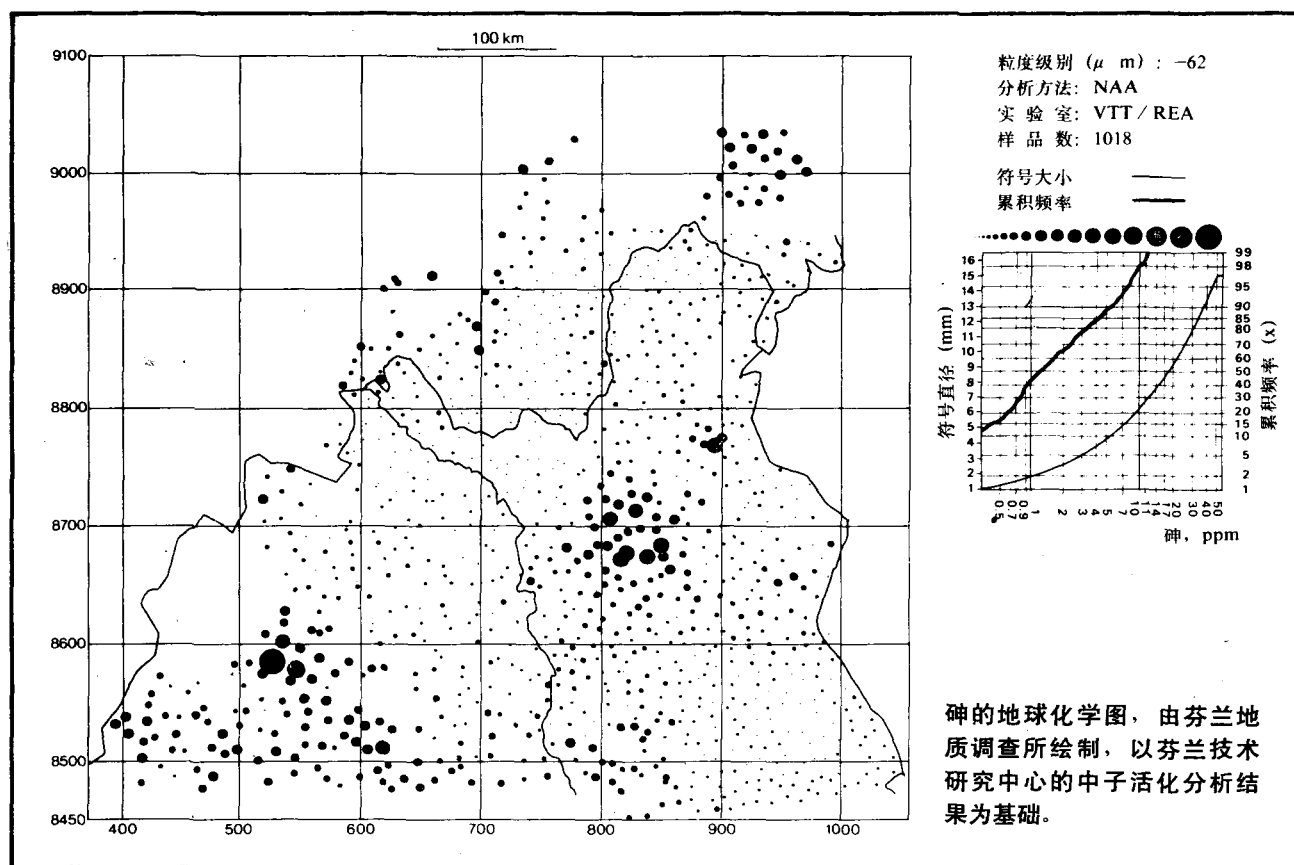
测井

在石油和矿产勘探中，钻探是判断矿石有无开采价值所要求的。钻探总是昂贵的，对于钻进数千个钻

孔（1米深）的情况更是如此。因此，应该从钻孔获取尽可能多的资料。

虽然岩芯样品能够送往实验室分析，然而在大多数情况下，就地分析就能更快一些。为此，已发展了几种能量色散X射线荧光分析仪（轻便型或车载型），一种很方便的技术是使一个探头通过整个钻孔，从而取得周围岩石的分析数据。

若干核测井装置已作为常规设备使用，其它一些还处在发展中。最直接的测井技术是记录天然放射性（总计数或γ 能谱）。这种技术可直接给出有关铀、钍和钾的信息和间接给出关于矿物组成的信息，例如可



以获得关于煤的信息。煤层具有与其围岩不同的放射性元素浓度。

其它核测井探头是以辐射与围岩的相互作用为基础的。探头由辐射源和与该源屏蔽开的探测器组成。源放出的辐射与周围物质发生一些反应。在这些反应中, 辐射的性质改变。测量新的辐射, 就能得出关于岩石组成的结论。使用核辐射的优点在于它常具有很强的穿透力, 因而能得到充水钻孔的资料, 并能同时分析大体积的岩石。

γ - γ 探头。 这些探头由一个 γ 源和一个或几个适合于测量 γ 辐射的器件(闪烁探测器)组成。从岩石散射到探测器的 γ 辐射强度与岩石的密度有关。因此, 该技术最常用于煤和石油的勘探。煤的密度比周围岩石的低得多, 因而在 γ - γ 测井记录中能够比较容易地辨认出来。该方法还能探测孔隙度的变化, 使它可用来探测出含油、含气或含水的岩层。它也能探测出高密度的金属矿。

中子 - 中子测井仪。 目前正在使用一种以中子与物质相互作用为基础的测井仪器。当快中子与物质相互作用时, 最重要的反应是中子的散射和俘获。在

叫作弹性散射的过程中, 快中子发出时的高速度被逐渐减慢。这个减慢过程在含氢的环境中是很快的。通过测量用快中子照射岩石期间的热中子通量, 就能求得氢的含量。该方法也能用于石油、天然气或水的测井。这种测井仪通常用于石油和天然气的勘探, 种类不同的几种中子 - 中子测井仪正在作为常规设备被使用。

钻孔元素分析也可用X射线荧光技术和一种叫作“俘获 γ 活化分析”的技术完成。这两种技术都未广泛应用, 但已发现某些应用是很有希望的。这种 γ 技术对煤矿勘探特别有用。使用这种技术能够求得煤的几乎全部组分, 这意味着能准确估算出灰分的含量和发热量。该方法还可用来探测特种金属, 对铜和银的勘探已取得了良好效果。

采矿应用

在采矿过程中, 核技术主要用于铀、煤和石油的回采。在铀矿开采中, 利用岩石的放射性来区分矿石和采矿废石, 以及确定矿石的品位。在采煤时, 重要的事情是要知道坑道中煤层的厚度, 避免开采废石。

一种已成功应用的技术基于测量岩石发出的天然 γ 辐射的吸收情况，但在主岩放射性活度低时是不适用的。在后一种场合虽曾试用过 γ 背散射技术，但至今尚未取得很成功的结果。

在石油回采中，放射性示踪剂用于解决各种不同的问题。一个例子是对注水采油进行的研究。当油层中压力太低时，石油靠它本身的压力流不出来。在这样的情况下，通常采用把各种流体注入油田的方法迫使石油流出。此时，可以使用把放射性示踪剂注入一口油井的方法来研究这种过程的效率。有关的操作包括加压，然后分析放射性示踪剂向附近其它油井的迁移情况。

矿石处理

在矿石处理以及金属、煤和石油的回采和提纯过程中，有许多地方可以使用核技术。目前已在这些过程的不同阶段，使用着多种核子控制系统、元素分析仪和示踪方法。在矿石处理中，最常使用的核技术是X射线荧光光谱技术，能够用它进行元素的在线分析。目前世界上已有几家公司出售X射线荧光分析仪，已有若干台在使用。用它可同时对于若干处理点进行分析。通常，至少要对进料、最终产品和尾料进行分析。测量系统一般有两种：一种是把探头插入容器或主工艺管道；另一种是自动取样，通过管道把样品送到分析仪。用一个探头可以同时测定几个元素。

利用 γ 射线的吸收和散射等核技术，能够测量封

闭容器中的料位。吸收技术更有效，但当人们只能接近容器的一个侧面，或者当容器的直径太大时，只能用背散射技术。一些典型的应用是自动控制炉子、贮藏容器和运输装置中物料的充填高度。当物料是热的、有腐蚀性的、或物料的物理状态妨碍其它方法的使用时，可用 γ 吸收技术。

对于流体通道，例如管道的直径不变的情况，可用 γ 射线吸收技术来测量物料的密度。对于水和矿石的混合物，当流量已知时，可直接测量被运送矿石的数量。也可把专门的探头插入矿浆，以测定其密度。在受控条件下，密度正比于矿浆中矿石、煤或特定金属的数量。

如果物料的密度已知，就能够用 γ 射线吸收技术去测量物料的重量。一个典型的应用是测量运输带上物料流的重量。

煤的水含量通常是用前面提到的中子技术进行在线测定的，其原理与测定钻孔中的水和石油的原理相同。总的说来，NAA、俘获 γ 射线或缓发 γ 射线技术，对过程分析很有用，其道理与测井相同。核辐射的穿透能力很强，可以分析大体积的粗料。尽管中子活化技术具有明显的优点，但尚未广泛应用。其可能的原因是人们不愿意在工业设备里使用放射源。

然而在生产煤和使用煤的工厂中，比较喜欢使用中子活化分析器，因为煤对NAA来说是一种很适宜的基质。能够准确地迅速地测定碳和粉尘中的所有重要组分。

哥伦比亚的地球化学和放射性调查工作之一部。当地的地质学家在一名原子能机构专家指导下，边参加调查边接受在职培训。（来源：M. Tauchid, IAEA）



示踪剂在矿石处理中的应用

放射性示踪技术由于若干重要理由而广泛用于矿石处理的研究和最优化。在矿石处理方面,大多数操作的规模都很大。因此,其特性并不总是同根据中间规模试验预测的一样。在工业过程中,较小的改进也会带来相当大的节约,放射性示踪法为研究矿石处理过程的行为提供了唯一的可能性。

放射性示踪法在其它许多方面的应用中,还用于研究物料的流动、掺合和粉碎。其它的用途包括研究物理、化学反应,研究金属和熔渣的分离,测定反应容器中工艺物料的体积,和研究反应容器的磨损。在质量控制方面,示踪方法也用于鉴定金属中夹带的非金属。

原子能机构在该领域的活动

机构在促进核方法在矿产资源领域的应用方面有长期传统。已组织了若干专题讨论会、大会、小组会、咨询组会议和顾问会议,并印发了许多技术报告。

机构也通过它的技术合作计划,持续地支持发展中国家的要求。有三个领域已引起人们极大的注意:铀矿床的勘探和开发;发展使用核分析技术以支持矿产勘探计划的实验室;示踪剂在矿石处理中的应用。例如,机构已支助了反应堆中子活化分析的发展;14兆电子伏中子活化分析;能量色散X射线荧光实验室以及它们在地质研究和矿产勘探方面的应

用。机构已通过举办培训班、派遣专家组和提供培训金培训而提供了设备和培训。

例如在罗马尼亚,原子能机构正在支助极深孔石油勘探用测井仪的研制工作。一些国家已实施了若干关于铀勘探和开发方面的项目。

机构的物理和化学处在该领域主办了一项更广泛的研究计划。1986年,它完成了一项在矿产勘探、开采和处理方面应用核分析技术的协调研究计划(CRP)。该处和机构其它部门正在进行的和已计划的活动有:

- 1987年11月,将在美国举行勘探和开采天然资源方面的一项计划的第一次研究协调会议。这项已进入其第二个年头的协调研究计划,包括涉及澳大利亚、加拿大、中国、匈牙利、日本、波兰、美国、苏联和越南的五个合同和五项协议。
- 1987年6月,已在芬兰举行有关工业在线元素分析中的核分析技术的咨询小组会。
- 1987年11月,将在美国举行用于元素分析的钻孔核测井技术目前趋势的顾问会议。
- 原子能机构核数据科,正在组织一项关于编纂地球物理和核分析技术所需的核截面数据的计划。已举行了一系列会议,并计划再举行一些会议。
- 核燃料循环处有一项关于铀矿勘探、开采和处理方面的范围广泛的计划。1987年计划召开13个会议,内容涉及铀勘探技术、铀地质、采矿和矿石处理,以及铀资源等。一些会议的直接目的是形成一本供发展中国家研究小组使用的参考手册。

