

国外铀矿 普查与勘探

原子能出版社

简 介

本书原名为“找铀手册”(Uranium Prospecting Handbook), 1972年由伦敦采矿和冶金研究所出版。1975年再版。本书根据1972年版本选译。书中主要汇编了1971年在伦敦召开的铀矿普查方法讨论会的论文报告。为了与内容相适应, 现易名为“国外铀矿普查与勘探”。

本书内容包括铀矿地质、找矿方法和实验室方法以及仪器设备的现状和电子计算机在铀矿勘探中的应用等。

本书可供铀矿地质人员、物探人员及有关专业院校师生参考。

国外铀矿普查与勘探

[英] S. H. U. 鲍伊等主编

周镭庭 译 · 唐声喈 校

原子能出版社出版

北京印刷二厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 新华书店经售

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $9 \frac{9}{16}$ · 字数 257 千字
1977年4月北京第一版 · 1977年4月北京第一次印刷
统一书号: 15175 · 083 · 定价: 0.95元

目 录

铀矿普查的现状·····	[英] S. H. U 鲍伊 (1)
铀矿床形成的某些环境·····	[澳] R. G. 多德森 (14)
砂岩型铀矿床的普查准则·····	[美] E. W. 格鲁特 (28)
铀矿地球化学普查工作中的中子活化分析法 ·····	[英] D. 奥斯特尔等 (63)
铀矿普查的地球化学方法·····	[法] A. 格兰贝尔 (77)
铀矿水化学普查的设计和解释准则 ·····	[意] M. 达依阿格里奥 (90)
铀矿普查的仪器方法·····	[英] J. M. 米勒等 (105)
铀矿普查用轻便仪器·····	[法] Y. 普依白劳德 (121)
用伽玛能谱法评价铀矿床·····	[丹麦] L. 勒夫布格 (130)
航空伽玛普查法·····	[加] A. G. 达恩利 (146)
加拿大使用的氡法普查·····	[加] W. 戴克 (187)
用于铀矿勘探和评价的测井方法·····	[美] P. H. 多德等 (220)
计算机在铀矿床评价工作中的应用·····	[法] R. 库隆 (258)
1968年的澳大利亚铀矿普查实例·····	[加] J. L. 蒙哥马利 (271)
兰杰 1 号普查实例·····	[澳] G. R. 瑞安 (277)
澳大利亚阿纳姆地的纳巴勒克地区勘探实例 ·····	[英] D. B. 提普勒等 (282)
加拿大布兰德河地区地面伽玛能谱测量试验的实例 ·····	[加] P. G. 基伦等 (287)
苏格兰北部高地的铀矿普查实例·····	[英] M. J. 加拉格尔 (294)

铀矿普查的现状

[英] S.H.U. 鲍伊

摘 要

地质知识是使铀矿普查获得成功的先决条件。因此,普查工作者应尽可能多地掌握有关已知矿床的不同类型以及它们存在环境的资料。了解矿床成因也是极为重要的,特别是进行成矿预测时更为需要。为此,本文论述了各种已知矿体的主要特点,并介绍了有关铀矿成因的某些意见。

没有一种单一的普查方法是万能的。恰当的说法是,所论述的每一种方法都具有特定条件下的专门用途,对各种类型矿床的用途也不一样。如果说有一个方法可以单独列出的话,那可能就是灵敏度很高的总计数率航空伽玛测量(在飞行过程中和结束后都要有严格的地质控制)。最新资料表明,以中子活化分析为基础的地球化学方法也同样有效,并且便宜得多。

本文着重指出继续普查铀矿特别是普查盲矿体的必要性。要使其成为现实,正在试验一些不很成熟的方法,例如测量土壤气体中的氡,分析非放射性矿物中的放射成因同位素铅。此外,还介绍了一些新方法,例如测量放射成因地热,测量大气中的氧及其衰变产物和测量 Rn^{222}/He^4 的可能值。

如果一个人有25年铀矿地质实践的话,他就可以尝试应用各种铀矿普查的方法,同时他也会有这样的体会:即在某一地区最适用的方法,可能在另一地区完全不能用。1955年,第二届联合国国际和平利用原子能会议的文献指出:“在任何类型的矿产勘探中,没有比寻找放射性矿床所使用的方法有更广泛的范围了。

实际上有很多方法可供选择，所以提出了各种各样相应的主张，以致于几乎忘记了成功的普查差不多总是以基础地质知识的应用为依据的。”尽管探测铀矿体的新而重要的方法最近有了发展，但上述原则今天仍然适用。

某些地质情况概述

有些作者曾尝试概括在1945—1955年铀矿普查高潮期间所得到的无数资料。很早以前，戴维逊论述了古砾岩中的铀。此后，尼尔又发表了有关维特瓦特兰岩系砾岩的文章。到现在为止，已出版了许多关于铀矿成因的其他著作，其中包括王·瓦姆贝克有关前寒武纪地盾区的铀的述评，以及加拿大地盾休伦岩系和含铀砾岩的详细论述。最近，铀矿地质工作者集会讨论了世界范围内铀成矿的有利条件。

看来，目前已知铀矿床的最重要特点是它们与前寒武纪岩层有关。在90%以上的铀储量中，有些产于前寒武纪砾岩中，有些虽产于非前寒武纪的地层，但其紧贴的下伏层是前寒武纪的。铀似乎是集中在早期前寒武纪的金属成矿区中，那时地球的外壳发生部分的或整个的溶解，亲岩元素集中在酸性岩石中。铀在成矿区内的重新分布，最可能是由于造山作用以及与之伴随的深熔作用。

几乎所有地质工作者都认为铀亲酸性岩石，同基性岩无关。但是，在很接近岩浆分异物的地方，例如在辉绿岩墙附近，却常见到铀矿脉。铀产于前寒武纪单矿砾岩中的原因还不清楚，但那种简单的砂矿成因已经失去支持。关于河相砂岩中准整合铀矿床的成因也同样是一个没有被广泛接受的假设。年龄测定数据表明，铀矿物有着不同期的结晶；越来越多的证据表明，铀的成因并不是简单的花岗岩被侵蚀并在封闭的盆地中再沉积。某些地质工作者认为，铀主要在花岗岩的耐蚀副矿物中赋存，因此至今保存在碎屑物质中；其他一些人则确信铀在风化过程中被溶解并沉

淀在有利的沉积层中。两种观点看来都未必正确。关于铀矿成因的新资料（这些资料可能适用于绝大部分金属矿床）否定了这些观点。这些资料表明，铀的沉积时间范围很广。例如，比弗洛支地区铀矿床的演化有着互不相关的六个时期，持续的时间超过2200百万年；布兰德河-埃利奥特湖地区的铀矿化年龄自2500至600百万年不等；科罗拉多高原砂岩中的原生铀矿化至少有两个主要成矿期：210和110万年。如上所述，矿物相看来是同造山运动有关，铀可能通过深部断层进入有利的沉积层，但现存矿物中的铀也可能是活动性的，并有过再分布。

不管成矿的事实怎样，重要的是要认识铀及其有利的地质标志，以便确定找铀的远景区。毫无疑问，在一些不认为是有远景的地方将会发现铀矿；同时，随着地质编图的进展，特别是在那些发展中的国家，一些现在还不够清楚的地区将会变成有利地区。

铀矿床类型及其赋存条件

单矿砾岩 含铀的石英卵石砾岩产于较稳定地盾区的前寒武纪克拉通盆地中。在那些地方可望找到新的铀矿床。矿化呈准整合，通常有氧化矿物，如晶质铀矿和钛铀矿。一般则见有某些碳氢化合物，且几乎总是有大量黄铁矿发育。有时富矿集中于1—2个层位内，如布兰德河；也有时广泛分布于不同层位中，维特瓦特斯兰就是如此。品位范围为0.025—0.15% U_3O_8 ，但矿化面积很广并与沉积的特征有关，例如靠近基底、不准合、凹槽形和古河道等。

砂岩 铀矿体产于河相石英砂岩和大陆成因的泥岩中，品位较高（0.2% U_3O_8 ），且有两种不同的类型：科罗拉多高原型和怀俄明盆地型。前者为薄板状的准整合层，是岩化程度中等的长石砂岩。后者呈长的拱形体，分散产于未岩化的长石含量很高的砂岩层中。

科罗拉多型矿床中的铀矿物为晶质铀矿和水硅铀矿，与之共生的还有钒和铜的矿物，而怀俄明矿床中晶质铀矿和水硅铀矿则是仅有的金属矿物。

砂岩中形成铀矿床的最有利环境是：1，较稳定区域内的山间盆地，曾有过区域隆起并出现酸性岩浆岩；2，丰富的层间有机物质；3，有着作为矿化收集空间的构造和地层特征。Eh值和pH值以及封闭压力的细微变化，被认为是铀从溶液中沉淀出来的原因。科罗拉多型矿床很明显是在高度还原条件下就地形成的，它大概比“矿卷”型的怀俄明矿床生成的要早。“矿卷”型矿床很明显是由具有氧化作用的地下水形成的。地下水往下渗透，直至砂岩中的硫化物和其他矿物的氧化将自由态氧用完为止。当还原条件出现并且已占某种优势时，铀产生沉淀。这个过程可能现在仍在进行。

有经验的普查人员能够识别由含黄铁矿的碳质岩相氧化时砂岩变红色或变淡褐色，这对铀的成矿作用特别有利。矿卷型矿床中的氧化-还原界线也可用这种方法识别。

脉型矿床 脉型矿床产于活动带内的金属成矿区中（当然并非活动带内的所有矿床都是脉型的），与浅色岩而不与暗色岩共生。成矿区中的元素通常具有带状分布，分带性在实质上与温度有关，在空间和时间上都有发展。铀如同锡、铜、钴、钒和砷一样，出现在高温热液和中温热液带的矿物中，而不与浅成热液矿物共生。脉型矿床的实例可见于法国、西班牙、葡萄牙和捷克斯洛伐克等地，其主要铀矿物为沥青铀矿。

伟晶岩 到目前为止，伟晶岩仅占世界铀产量中很小的一部分。最重要的矿床见于加拿大安大略省的班克洛夫，铀产于高度变质前寒武纪沉积的杂岩类花岗岩墙和透镜体中。主要的铀矿物为晶质铀矿和铀钍矿，但也有其他放射性矿物，如铀钍铀矿、褐钇铀矿和褐帘石。

在西南非洲斯伐科普门特附近的罗辛地方，大体类似的伟晶岩也产于高度变质的前寒武纪沉积层中。主要的铀矿物为晶质铀

矿，副矿物有铌钛铀矿。还有一些次生铀矿物，如氧化带中的硅钙铀矿。晶质铀矿产于截面为数毫米的细脉内，因此几乎只能采用露天开采的方法。

岩浆岩型铀矿床 铀在酸性岩浆岩中的含量很少超过 40 ppm。然而，在某些过碱性岩中，其含量高达 1500ppm U_3O_8 ，例如格陵兰的伊利莫萨克和拉布拉多的锡耳湖。铀主要集中在难于提炼的矿物中，除非伴生元素（如钼、铍或铌）可作为副产品开采，否则开采铀在经济上是不合算的。

高温交代矿床 唯一的一个重要矿床是澳大利亚昆士兰的玛丽·凯思林。铀矿物（晶质铀矿）与稀土硅酸盐以及硫化矿物一起，产于早期前寒武纪的钙-硅酸盐岩石的石榴石化带中。矿化与芒特-布尔斯泰尔花岗岩紧密共生，受断层和剪切带的控制。

沉积层中的同生铀 铀经常为页岩、泥炭和磷块岩所吸附或呈化学结合态而富集。这种铀矿床通常是低品位的，但有着巨大的铀蕴藏量。可以把瑞典西约特兰和纳尔克区的明矾页岩作为最好的例子。那里的铀呈有机物-铀络合物态，与黄铁矿、石英、长石以及粘土矿物——伊利石、高岭石共生。储量超过 100 万吨 U_3O_8 ，品位为 0.03%。泥炭中的铀品位与此差不多或略高些，例如北、南达科塔州以及加拿大萨斯喀彻温省的铀矿床。同生的铀几乎都来源于海水。这样的铀还见于美国福斯福利亚和博尼山谷建造，那里的含铀磷块岩层厚达数呎， U_3O_8 含量为 0.01—0.02%；卡宾达和西南安哥拉的磷块岩带中有着含铀较富的磷酸盐，含量为 0.05—0.20% U_3O_8 。如果使用硫酸氢铵的试验性工厂研究证明是成功的话，从西非产地提取铀，在经济上是可行的。

普查方法及其应用

航空放射性测量 铀矿普查方法的选择在很大程度上取决于投资额和要求的时间。如果资金丰富并且要求快速得到结果，那

么无疑最好的方法应该是这样：首先取得有关的地质资料，然后选择有利的测区用灵敏的总计数率闪烁仪进行航空测量。总计数率测量的成本不到高灵敏度伽玛能谱测量的三分之一，而在某些情况下它们在普查铀矿体的效果方面差不多是等效的。当然，没有一种普查方法可看作是万能的。航空放射性方法与其他放射性方法一样，受地形特殊条件的影响。例如，地形不应起伏很大，致使飞机保持不了一定的高度，从而达不到精度高于 $\pm 20\%$ 的要求。飞行应尽量保持在最佳的离地高度150米左右。为了使全部面积都能测到，线距应为1000米。气候条件应该适合于低空飞行。地表不应有茂密的植物、沼泽、风成砂或其他表生物物质。它们能够严重削弱，甚至完全屏蔽掉伽玛射线。

航空放射性测量的灵敏度是非常重要的。它应使富集系数为10或略低的异常能被探测到。这里所说的富集系数是指异常面积（米²）与当量 U_3O_8 （%）的乘积。异常的地质解释是更重要的事情，最好在飞机上配备一个有经验的地质人员。这样，可以消除钾或碎屑钍矿物所引起的大部分异常，从而直接降低了地面检查的成本。

航空伽玛能谱测量要求更精确地保持飞行的离地高度，最好使用一台线性的无线电高度计，通常使飞行保持在100米左右。为了使U、Th和K道的计数率达到统计所要求的精度，需要体积为50000厘米³的NaI（Tl）晶体。此外，要保持高度的稳定性以避免各道谱的漂移。大多数现行伽玛能谱仪的一个严重缺点是钾道计数率偏高。康普顿散射使高能射线的能量衰减，这些经散射变为低能的射线都记录于钾道中。这造成了一种假象，使人们认为铀或钍矿化是富钾的。伽玛能谱仪的一个重要用途是追索异常区的研究。此时，可用轻型的固定翼飞机或直升飞机。伽玛能谱仪可能在地质填图中的用途最大，但是总伽玛强度与地质的对比也很好，因为U、Th和K在自然界常密切共生。

当然，补充资料很少会没有用。在这里还要多余地强调一下，为什么在铀矿普查中要特别小心地对待伽玛能谱测量的成

果。原因在于，铀在地表处于不平衡的情况，比地表不存在铀的可能性要多些。于是，当 Bi^{214} 在地表被淋失时，一个综合的铀钍矿点就只在 Tl^{208} 道中有反映，因此会把这个异常忽略掉。所有在地质基础上不能合理解释的异常，都需要作地面检查，因为在100—150米高空用仪器测得的放射性，不能说明矿点的经济价值。

汽车放射性测量 汽车盖革仪和闪烁仪都曾成功地用于普查铀矿床。该法的优点是每哩测线的成本低，可以进行系统测量，也可以简单地安装在汽车上用于其他目的，大多是完成相当面积的不重复测线。方法的缺点是所能探测的面积有限，因射线仅来自汽车路两侧较窄的条带。若把探测器安装在汽车顶部的支柱上，可以在某种程度上克服后一个缺点。

完全稳定的伽玛能谱仪备有一个可卸下的探头，可移至汽车路一侧数百米，便于进行追索研究，因为地面测量（取样）没有航空定量测量所碰到的那种大气衰减或康普顿散射等问题。

步行放射性测量 步行放射性测量在详查中最为重要，用于详查已知的铀成矿区和异常的详细填图。盖革计数管和闪烁仪都可用，但最好用体积为30厘米³碘化钠晶体的轻型闪烁仪。利用这样的仪器，在正常的步行速度下可以测出基岩中小于 $2 \cdot 10^{-6}$ 当量 U_3O_8 的变化。盖革仪器的优点是可以测量 β 射线，这在矿井、坑道检查以及圈定地下矿体的工作中都是有用的。 β - γ 分析是可行的，用此法可很快确定采样物质的平衡状态，尽管精度不是很高。两种类型的仪器都可在覆盖区进行浅孔伽玛测量，寻找基岩中的隐伏铀矿床。

轻便伽玛能谱仪特别适用于铀钍混合矿石的测定，例如在埃利奥特湖-阿格纽湖地区，那里的铀钍比值有着区域性的变化，从4:1变化至1:4。其他砾岩型矿床也可能有同样的情况，例如南非的多米尼安·里夫。

轻便伽玛能谱仪与汽车用及航空用仪器一样，也存在稳定性问题。目前已有数种仪器获得了良好的稳定性。很明显，稳定的

二道、三道或四道能谱仪变为定型产品不过是时间问题。在大部分放射性异常的地质评价中,更为复杂的能谱仪是否会最终取代性能良好的闪烁仪是一个值得研究的问题。

氡气测量 地下气体中氡浓度的定量测定,近年来已成功地用于普查被砂子、泥炭、冰碛物或其他地表物质覆盖的铀矿床。该法特别适用于对铀矿化有利地区的详细普查。有两种类型的仪器:第一种仪器是把探测器插入浅孔中,测量浅孔周围地下气体中的氡;第二种仪器使用一个泵,从孔中抽取地下气体。第一个方法的灵敏度差些,但有它的特殊用途,特别适用于确定矿脉、伟晶岩和其他较窄矿体的形态。它可在覆盖层不很厚的情况下圈定低品位分散的铀矿化,还有相当大的可能性用于追索覆盖下的断层。后一个方法更适用于确定大面积深埋的矿体。戴克成功地应用了水中的氡测量法。他研究了加拿大湖泊和河流样品中的氡气。在英国使用过经改进的测氡仪测量水样。

水化学、河流底沉积和土壤取样法 地球化学方法至今尚未广泛地用于普查铀矿,因为使用射线探测器可以很方便地进行野外半定量测定。然而,很早就认为水化学取样法是一个有价值的方法,适用于森林茂密的山区和其他难以通行的地区,例如湖泊区。已有多种分析方法,可以测定水中0.2微克/升或更低的铀含量。还有一种就地测定的比色法,可测的最低铀含量为1.0微克/升。

近年来,中子活化分析法有了发展,使取水样、河流底沉积样品和土壤样品的地球化学普查法有了新的局面,特别是用于寻找隐伏的铀矿体。这个方法有它独到之处,快速而费用较低,但必须要有反应堆是它的缺点。分析河流底沉积中的铀,可为含铀区的存在提供证据,也可用于详细普查。在多金属勘查工作中采集的河流底沉积样品,很有必要进行铀分析,特别是在寻找伴生的亲岩元素时更是如此。

土壤和风化岩石中的镭(Ra^{226})比铀较不易迁移,因此有人认为测量镭更好。然而,只有很少的证据说明,为什么测镭所得效果,可望比精确测铀要好些。只有当两种元素的化学性态有类似

性时，才可认为铀和镭之间有相关关系。一般说来，可能钍是铀矿存在的较好的指示元素，而中子活化分析或化学分析铀则可作为进一步追索的方法。镭与类似半径的离子（例如 Ba^{2+} 和 Sr^{2+} ）能很好再结合，并在离它的原始母体一定距离上固定下来（例如重晶石）。不测镭的另一个理由是，在平衡态铀矿物中的镭铀比值为1:350万，因此很难设想测镭是寻找铀矿的灵敏方法。

地植物法或生物地球化学法 没有获知有关铀矿普查方面的直接生态学辅助设备，但在土壤覆盖层很厚和植物扎根很深（达20米）的半沙漠地区，分析树叶有助于寻找深部的铀矿体。有两种普查方法。使用第一种方法时，按方格网采集理想品种的乔木或灌木的簇叶，焙烧成灰并分析之。第二种方法是研究指示植物的分布，并把含有与铀伴生的元素的土壤上茁壮生长的植物作为指示植物。

生长在土壤里的植物，其灰中通常的铀含量约为 0.5ppm U；当乔木或灌木扎根在铀矿体上或其附近时，U含量值可达 1—100ppm 或更高。矿体的可探测深度取决于植物根部的习性和地下水循环。在科罗拉多高原，扎根很深的野豌豆（*Astragalus pattersoni*）需要相当数量的硒才能健康成长，而硒又经常与铀共生，因此出现大量的 *Astragalus* 可看作是铀存在的标志。

伴生元素法 用作普查铀的指示元素，不是具有较高的活动性，就是具有较大的丰度。这样，它们才能形成更广泛的分散晕，或在化学性质上比铀容易探测。上述的硒，就是伴生元素的一个良好例子。其他元素，诸如铜、铅、钴、钒、钼或砷，在某些地区应可考虑作为找铀指示的伴生元素。科罗拉多高原的区域金属分带性同造山运动有关。那里呈现有铀和钒的分散晕，但钒的丰度为铀的40—50倍，因此钒是一个良好的铀的伴生元素。

较不成熟的方法

非放射性矿物中的放射成因铅 坎隆等在1958年首先提出，

若非放射性矿物（如方铅矿或黄铁矿）中有着数量反常的放射成因铅（ Pb^{206} 和 Pb^{207} ），则可用它作为附近存在铀矿的指示元素。此后，屠格林诺夫等证实了该法的有效性，并把注意力集中在某一矿物中总量铅中的 $Pb^{206}:Pb^{208}$ 比值上，把它看作是铀的直接找矿标志。然而，他们承认，含钍区内的 Pb^{208} 会产生干扰。很明显，至少在某些环境中该法有着相当大的潜在应用可能。现在需要在世界范围内对该法作进一步的研究，以便确定它的有效性和局限性。同位素比值法有着一个明显的局限因素，就是要用质谱仪进行分析。只有较大的地质研究所和矿山公司才有质谱仪。

地球物理方法 正统的地球物理方法很少用于寻找铀矿体。除了探测伴生元素外，在普查阶段不常用。但是，为了证实铀矿体的存在，某些方法却成功地用于圈定控矿构造和其他地质形态。在寻找隐伏铀矿体的工作中，电阻率法、激发极化法和电磁法都有广泛的应用，通常都与较为直接的方法，例如氡气测量等综合应用。

新 方 法

放射成因热的测量 大家知道，铀及其衰变产物能产生相当数量的放射成因热。1克平衡状态的铀产生0.73卡/克·年。因此，在含有铀矿体的岩石表面，热流应比相同类型的正常岩石要大。以截面积为1厘米²，长1公里的柱体为例，它产生约2.0卡/年。由此可知，即使铀矿体埋得足够深，它的放射成因热也可在地表用热灵敏元件测出。此外，可以进行高分辨率的热红外辐射遥感航测。这类现代化的设备，在3000米的高空上能够测出 $\pm 0.25^{\circ}C$ 的热变化。如果热辐射的正常地表变化会屏蔽放射成因热的变化，那么把探测器插到表层以下即可获得成功。

航空地球化学 虽然严格说来伽玛能谱测量是一种地球化学方法而不是地球物理方法，但研究大气下层中氡及其子体的分布，几乎肯定能够得到更为可靠的基础资料。有两种方法可用：第一，

种方法是用电离室或装在飞机上的其他探测系统测量氡 (Rn^{222})；第二种方法是测量一种或多种衰变产物—— Pb^{210} 、 Bi^{210} 和 Po^{210} 。

不管铀矿床是出露的还是隐伏的，来自铀矿床的氡都同大气相混合。在大气湍流的条件下，氡趋向于分散并随高度增加而降低。但当空气逆变时（它在某些气象条件下是一种白昼现象），氡异常就会建立起来。此外，氡的较长寿命子体也积累起来。钍射气 (Rn^{220}) 的衰变产物都是短寿命的，因此它似乎不是问题。事实上，综合测量 Pb^{212} 与 Pb^{210} 、 Bi^{210} 或 Po^{210} ，其结果可以很好地用来评价大气的混合情况或扰动过程，使航空地球化学更好地作定量测定。氡和钍射气的子体易被气溶胶吸附，因此不难用魏斯法收集。地表条件在定量测定中也是个困难，因为测的氡是地下气体。

铀矿床的评价

评价铀矿床已不是本文讨论的范围，这里仅加以概述。简短地说，它所用的方法与评价其他金属矿床的一般方法相同。但是，许多在初步普查阶段使用的方法，有时对其稍加改变，便可适用于矿床评价。

研究工作通常包括初步验证，它的内容是地质填图、方格网测量和清绘等值线图，用来表示伽玛射线和氡浓度的分布情况。上述图件与有关地形、水系、原生和次生矿物的分布以及平衡状态等所有资料，均有助于更精确地圈定矿体并提供有关矿床类型的有价值材料。下一步的工作视情况而定。如有理由说明要进一步作工作，则通常就是指更详细的填图、坑探、槽探、取样和钻探。

当金刚钻探的岩心采取率很低或有必要布置大规模的钻孔时，可采用测井法。这时，只要在很少量的钻孔内取岩心。当 $\text{U}:\text{Th}$ 比值变化显著时，伽玛能谱测井就很有价值。只有在矿体呈较均匀整合或准整合产出的情况下，才有可能建立伽玛测井曲线

同矿石品位之间的相关关系。铀的永久不平衡会导致错误的结果。当发生这种情况时，必须用常规的化学分析法或中子活化分析法进行多次的检查。不平衡现象通常仅见于次生氢氧化物、磷酸盐或钼酸盐发育的地方。在严重不平衡矿体的主体之外，不平衡的程度从一处到另一处变化得很厉害。

带有 β 探头的计数率仪器很适用于就地分析，并可根据 β 与 γ 射线的比值大体确定不平衡的程度。

结 论

虽然现在仍不排斥有偶然找到铀矿的可能性，但再不能说“只要你去找，就能找到铀矿”。只有以地质知识（虽然现在还不完善）为依据，并使用一种或多种化学的和物理的现行普查方法，才能制订出成功的普查规划。铀是一种亲岩元素。与它一起共生的元素能生成外壳层有8个电子的离子。铀集中在地壳的最外层。在地球早期历史中出现的初步化学分异，几乎肯定地使铀在前寒武纪花岗岩及由酸性岩浆岩所生成的早期石英卵石砾岩中富集。自寒武纪开始，由于岩浆、交代、气化和热液作用，以及沉积旋回和生物作用（铀特别容易与有机质共生），铀发生重新分布。

从地质观点确定选区后，就要决定采取哪一种或哪几种圈定矿体的普查方法。最方便的答案通常是航空放射性测量（最好是能谱测量）或多种方法综合普查。但是，正象前面指出的那样，前者有它的局限性，而后者则可能费用大。根据已知的地质条件或航空摄影资料，以及普查区的地文和生态条件，从事勘查的地质工作者应该决定采用一种或多种普查方法。在加拿大或芬兰的湖泊区，水化学方法将比航空放射性测量更有效；对于森林地区来说，分析树叶可能获得比其他方法更有价值的资料。在铀的产状条件还不清楚的地区，最好先进行踏勘性普查，以确定恰当的普查方法。对河流底沉积分析所得到的任何资料都应仔细地加以

研究。

从目前普查方法的发展来看,测量土壤气体和水中的氡看来是探测隐伏铀矿床的一个好方法。如果能研究出一种比较简单的测定氡同位素的方法,则综合测定 Rn^{222} 和 He^4 有可能给出有关铀富集的极为有价值的资料。测量大气中的 Rn^{222} 及其一种或多种子体,是一种比较容易实行的方法,并有着一定的前途。

到目前为止,还没有进行足够的试验来验证非放射性矿物中异常数量的放射成因铅的存在,但该法在圈定大面积的铀成矿有利区方面可能是有效的。

除非对于铀矿地质和找矿方法的研究工作继续下去,否则低价格的铀储量就不能满足将来进一步的需要。有人或许会认为,可以从露天开采出来的极低品位矿石中萃取铀。这是行不通的。它所产生的问题比解决的问题要更多。从海水中提取铀也是解决不了问题的。说得更恰当一点,在将来,增加储量还得靠现有这几种有经济价值的铀矿床类型。这样的研究工作不要求有过分多的投资,但必须保持下去。在现在这个遥感技术、高级的电子学仪器和地球化学日益发展的今天,几乎可以使人忘记,所有的铀矿床都是由有经验的地质人员在地面上作出评价的。勘定储量和确定矿石处理的难易程度,需要高度熟练的技术。在这方面走捷径是危险的。F.R. 朱宾发现了布兰德河矿田。后来,在1953至1958年期间,钻探了70万呎,从而确定了加拿大很大部分的铀储量。这是已有地质知识和大量常识综合应用的唯一的例子。为了增加储量而作的这种努力是值得仿效的,但这种情况未必会重复发生。同样地,也不能指望布置7个金刚钻孔就能奠定一个大型矿山。作为非地质人员的参考,确切的说法应该是,高品位的矿床通常是储量不大的,而大量的储量则属于低品位的或接近边界品位的。

铀矿床形成的某些环境

[澳大利亚] R.G. 多德森

摘 要

澳大利亚的铀矿物见于多种类型的主岩。产出范围广泛主要是由铀的化学特性决定的,特别是因为铀酰离子的溶解度高。讨论了铀的区域性分布,也讨论了砾岩和砂岩型矿床,概略描述了进行这类矿床普查的地区。论述了澳大利亚的其他铀矿床及其简要的勘探史。讨论了澳大利亚北部新近发现的统称阿利盖特河区的矿石成因问题。矿床成因考虑为同生的。铀从大面积的源区受淋蚀,然后在合适的环境中沉淀出来;铀还从同岩浆活动有关的矿液中沉淀出来。

引 言

有经济价值的铀矿床见于不同的地质环境——喷出岩或侵入岩、变质岩、成层和不成层的沉积岩。早就知道,已知的大型铀矿床都产于沉积岩中。铀矿化所赋存的地质环境的多样性,是由于铀酰离子(UO_2)²⁺的溶解度高,铀与一些元素(如钙、铁、锆和钍)呈类质同象,以及晶质铀矿有着一定的稳定范围。酸性火成岩的平均铀含量约为超基性岩的10倍。火成岩的平均铀含量如下表所示: