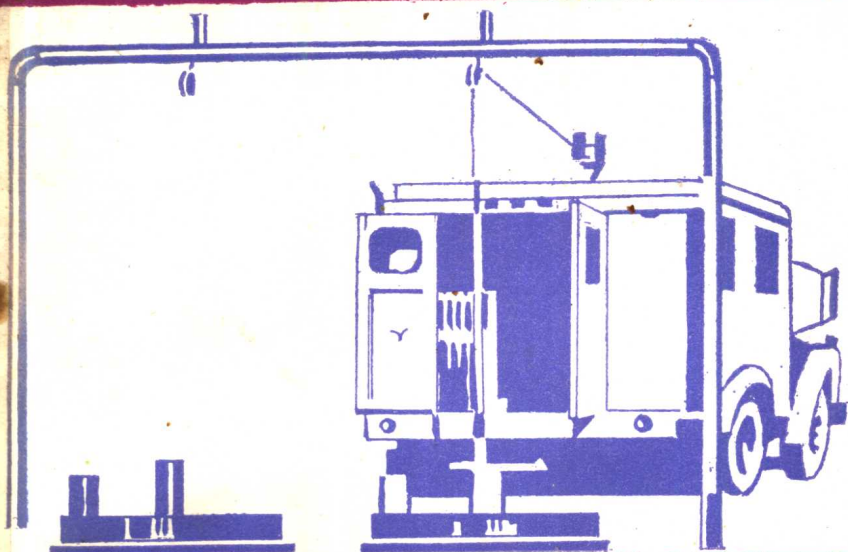


453412



铀

矿勘探放射性测量单位
和仪器校正

162

原子能出版社

铀 矿 勘 探
放射性测量单位和仪器校正

原子能出版社

内 容 简 介

本书是一本译文集。书中介绍了铀矿勘探中放射性测量结果的表示方法,各种校正模型的制作方法,各种放射性探矿仪器的校正和定量测定方法。本书对从事铀矿普查、勘探的物探人员及高等院校放射性物探专业的师生来说,是一本难得的参考书,对使用放射性测量方法探测其它矿产的地质、物探人员也有参考价值。

铀矿勘探 放射性测量单位和仪器校正

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

张家口地区印刷厂印刷

(张家口市建国大街8号)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787\times 1092^{1/32}$ ·印张 $6^{1/2}$ ·字数 142 千字

1982年7月第一版·1982年7月第一次印刷

印数001—2000·统一书号:15175·374

定价: 0.82 元

编 者 按

从世界范围来看，铀矿普查、勘探虽然已有近三十年的历史，其方法和测量仪器也有了很大的发展，但长期以来一直没有很好地解决放射性测量结果的表示方法和仪器校正等问题。多年来，不同国家或一个国家的不同探矿单位采用着多种不科学的非标准测量单位和表示方法，致使不同国家、不同探矿单位、不同地区、不同时期及不同仪器的测量数据不能相互对比；又因过去缺乏合乎要求的仪器校正设备，致使某些仪器的测量结果不可靠，而且难于进行定量测量。

为了解决这一普遍存在的问题，国际原子能机构组织了专门小组进行商讨，提出了铀矿勘探中放射性测量结果的统一的表示方法、校正模型的制作及仪器的校正方法。本书的第一篇文献就是国际原子能机构向各国推荐的具体方法。国外有些国家已采纳了国际原子能机构的建议，开始采用新的表示方法和单位，并已制作或计划制作校正各种放射性勘探仪器的模型；少数国家的各类一级模型已基本建成配套，并正在或计划在各地区制作二级校正模型。目前国外普遍采用混凝土校正模型。

利用可以模拟矿体和地质体的、体积达到饱和的各种混凝土校正模型，能够很精确地校正各种放射性探矿仪器，从而能够进行精确的野外定量测定。例如，利用在合乎要求的模型上校正的轻便 γ 能谱仪进行野外 γ 能谱测量，便可在野外直接得到每个测点的铀、钍、钾含量。

为了便于读者较全面地了解放射性测量结果的表示方

法、模型制作技术、仪器校正及定量测定等方面的问题，特收集了一些有关文章汇编成册。本文集编好以后承蒙贾文懿同志审校，谨表示感谢。

目 录

编者按

- 一、铀矿勘查中放射性测量结果的表示方法及仪器的校正…………… (1)
- 二、校正各类放射性探矿仪器的各种模型和设施… (81)
- 三、校正 γ 能谱测井仪和轻便 γ 能谱仪的新设施…………… (99)
- 四、用混凝土模型校正野外放射性测量仪器的经验…………… (109)
- 五、地面和航空 γ 能谱仪的校正…………… (123)
- 六、航空 γ 能谱仪校正场地的准备及仪器的校正方法…………… (142)
- 七、南非佩林达巴核子研究中心的校正设施——校正铀矿普查仪器的模型…………… (150)
- 八、混凝土校正模型…………… (156)
- 九、 γ 测井中应用数字时间序列分析确定铀含量…………… (158)
- 十、用轻便 γ 能谱仪进行的放射性元素的分析…………… (191)
- 十一、用轻便 γ 能谱仪进行 γ 能谱取样时钾、铀、钍含量的计算…………… (198)

一、铀矿勘查中放射性测量结果的表示方法及仪器的校正*

前 言

目前对铀的需要急剧增长，这是矿物原料勘探史上从未有过的，因此在铀矿勘查中对放射性测量方法的应用和仪器的需求也增大。由于放射性勘探效果好，测量天然放射性仍是一种基本手段。用地面和航空放射性测量，可以对大面积地区进行探测。但是由于一系列原因，在放射性测量中尚不能用统一的方法表示测量结果，以致在不同地区用不同仪器所测结果不能进行比较。回顾过去的情况，甚至还难于确定所完成的测量是否是用合乎质量要求的仪器及适当的方式进行的。

毫无疑问，对能源需求的增长，将使铀矿勘查规模进一步扩大。预计将获得大量测量数据，而这就迫切要求使用统一单位来表示测量结果。

针对这一重要问题，国际原子能机构召集了两次顾问会议，以商讨和推荐国际上能够采用的统一的测量单位和校正方法。在1974年12月的会议上曾准备了本报告的草稿，在

* 本文是国际原子能机构1976年发表的174号技术报告，是国际原子能机构商定的并向其成员国推荐的有关放射性测量结果表示方法及仪器校正的手册。

——译者注

1975年9月的会议上又经过重新考虑和修订。最终的报告，对所有从事铀矿勘查的人员和所有与野外测量天然放射性有关的地质人员和地球物理工作者都有实用价值。本手册是用于提高铀矿勘查效率的第二本资料，第一本手册曾于1974年公布，名称为“铀、钍矿床勘查仪器”。

国际原子能机构感谢五位顾问，A. G. Darnley博士、P. H. Dodd博士、R. L. Grasty博士、Lϕvborg博士和M. Matolin博士。他们参加了会议，并使这本著作得以问世。特别应该感谢A. G. Darnley博士，在他的指导下编写了这本著作，而且他准备了许多材料并编辑了这本书的第一稿。

1. 概 述

约在130年前，有些国家的政府已开始进行地质勘查工作。各国所建立的有关政府部门曾试图在本国范围内用统一的标准来编绘图件资料 and 进行解释。在最近25年内，地球科学的发展已突破了初期阶段的定性描述，已能够采用各种复杂的定量测量方法。但是许多政府由于要节省开支和由于政策的原因，而让独立的工业部门去应用这些较为复杂的方法。因此直到现在为止，很少考虑对这些以分析为基础的新方法确定统一的标准。现在需要毫不迟疑地为尽可能多的方法确定统一的测量单位、标准和校正方法。

过去一般很少有组织地或很少考虑进行有很好编录的系统勘查，结果是不同的找矿者在同一个地区进行多次勘查，工作量有很大重复；部分原因是以前的勘查者没有向后来的

找矿者提供资料，另一个原因是，由于对所完成的测量不能用统一的单位表示，无法对早期工作的可靠性作出评价。

在本世纪内，对矿物资源的需求将迅速增长，对铀的需要将比其他矿产更大。在今后十年内，用于矿产勘查的投资将会很大，勘查工作将有效地和以最少的重复工作量进行。所得结果将以一种永久的记录形式编写。许多国家将开始执行大规模的铀矿勘查计划。在这个过程中将获得大量的资料。为了便于比较，需要把这些新的结果用统一的形式表示出来。这样便可对所得结果进行定量评价，并把地表测量值与基岩的含量值相联系，而且还易于判断所用仪器的灵敏度。

2. 野外放射性测量及其应用

为了在选择适当单位时对可能遇到的各种实际问题有所了解，简要地叙述一下野外放射性测量所遇到的不同情况是需要的。

2.1 地质填图

为了确定岩性或进行岩性比较而进行地质填图时，测量岩石的总放射性变化是有用的。这是勘探第一阶段。对这类测量的主要要求是，测量仪器既要有足够的灵敏度，又要简单。目前有许多种型号的闪烁辐射仪可供使用。这些仪器可用不同的测量单位表示放射性强度。测量单位的多样性不利于保持记录的一致性，因为通常不同操作员只有用同一类型仪器的测量结果才能加以比较。

2.2 高于平均放射性地段的探测

如2.1节所述，对仪器的主要要求是既灵敏又简单。在地质填图中，也同样存在着测量单位（量纲）问题。可能有大量不熟练的操作员在从事此种工作，不管他们使用何种类型仪器，都应该给他们提供量的标准：即在不同的地质条件下多大强度算作高于平均值或异常。当需要对有意义地段进行系统的地面测量时，重要的是，测量结果应以适当方式表示，以便对不同地段的结果进行比较。

2.3 已圈定矿化的定量评价

在确定有放射性存在的情况下，通常需要进行加密测点的定量评价，如在矿山中进行品位评价。在此种情况下所用仪器应尽量完善，以适应矿化性质和测量条件（如在岩石表面上测量，或在矿石堆上测量等）。最好有能直接显示含量的仪器。

2.4 未圈定矿化的定量评价

在新区发现放射性时，需要就地（例如在基岩露头上测定）测定各种放射性元素的绝对丰度和相对丰度。这种测量能补充2.1或2.2节所述的工作，可以获得有关各种放射性元素含量的更确切的数据，或者对已确定为异常的地段进行更详尽的研究。所以仪器应该是灵敏的，读数一致性要好，即要求对仪器进行及时校正。不同的仪器制造者提供的仪器型号不同。为了保持记录的永久性，需要采用统一的表示单位和校正方法。为了适应从正常岩石放射性到矿化放射性的大

变化范围，需要配备不同尺寸的探测器（或采用屏）及含量不同的标准源，以适应放射性测量在钻孔中、水下以及汽车上和飞机上进行。

3. 正确的本底

3.1 天然放射源

天然放射性元素衰变时能放射出 α 粒子、 β 粒子和电磁辐射。从原子核射出的 γ 辐射和来自轨道电子的X射线均是电磁辐射。在X射线和 γ 射线的能量间有相当的重迭。X射线的能量从几十电子伏（eV）至100keV（ 10^5 eV）。与 α 和 β 粒子比较， γ 射线没有质量或电荷，因此构成穿透能力最大的辐射。在野外测量岩石的天然放射性，主要是用探测 γ 辐射的方法进行的。

所有岩石和土壤中均含有很多能放射 γ 射线的天然放射性元素。主要 γ 射线源有以下三种。

①钾-40（约占总量钾的0.012%，所放射的 γ 射线能量为1.46 MeV），

②铀-238和铀-235衰变系列的衰变产物，

③钍-232系列的衰变产物。

铀系和钍系的 γ 射线谱特别复杂。图1是主要天然放射性同位素的衰变图。

在野外还能测到其他一些 γ 射线。宇宙辐射是高能带电粒子和中子构成的辐射流。由于该种辐射与大气和探测器相互作用，便产生能被测到的信号。

原子序数(Z)

81 铊

82 铅

83 铋

84 钋

85 砷

86 碲

87 碘

88 钡

89 镧

90 钍

91 镤

92 铀

粗线框中的
同位素所发射的
 γ 射线用于野外
和实验室的地球
物理测量。

Y——表示年,
D——表示天,
H——表示小时
M——表示分,
S——表示秒。

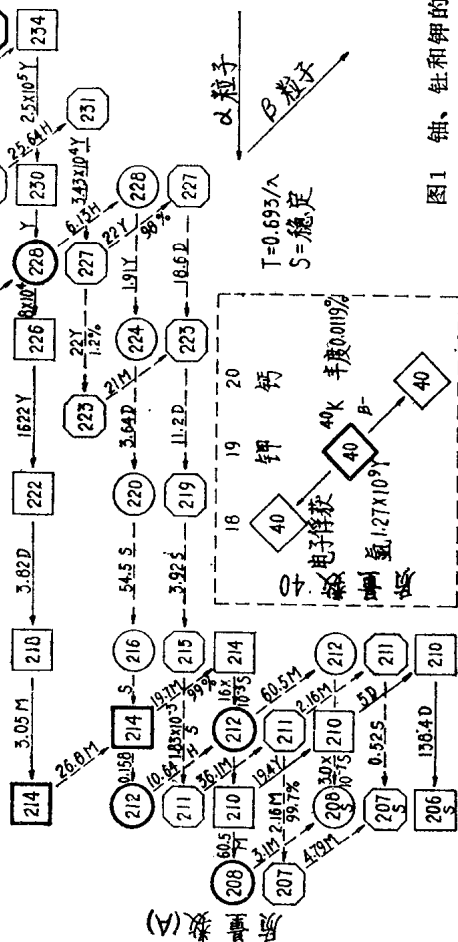


图1 铀、钍和钾的天然衰变系列图

宇宙辐射强度随高度而增大。铀-238和钍-232衰变系列中的放射性气体能扩散至空气中。其衰变产物是重要的 γ 辐射体。氡-222由于具有较长的半衰期（3.8天），因此它能在空气中移动相当长的距离。核武器试验的产物能沉降于地面上，其渗透深度可达15厘米。此种核沉降物所产生的 γ 辐射的能量通常小于1 MeV。仪器结构材料中的痕量放射性元素和电路本身的噪音干扰，在辐射测量中也有影响。对正常的地壳物质来说，“本底”辐射约占总 γ 辐射的5—15%。

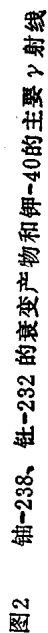
3.2 射线能谱

γ 射线能量是每种同位素在 α 或 β 衰变时所造成的能量不平衡的函数，因此用它鉴别特殊的同位素衰变。 γ 辐射的相对强度用每种放射性元素衰变所产生的 γ 光子数表示。最适于在野外测定铀和钍的是能量为1.765 MeV和2.615 MeV的 γ 射线，因为这些 γ 射线的相对强度大，且能量高，在空气中吸收不明显；此外，又易于从其他 γ 射线中甄别出来。能量为1.461 MeV的 γ 射线用于测量钾。图2所示是铀-238衰变产物所放射的主要 γ 射线及钍-232衰变产物和钾-40所放射的 γ 射线。

3.3 γ 射线与物质的相互作用

γ 射线与物质的相互作用主要有如下三种。

①康普顿散射 在散射过程中光子失出其部分能量而传给电子，从而偏离原来的方向并以某一角度散射出来。对于中等能量的 γ 射线来说，这个过程在很多物质中占主要地位。



②光电效应 在该过程中光子将其全部能量用去轰击出一个束缚电子。对于低能射线，特别是在高原子序数的物质中，该过程占主导地位。

③形成电子对 在核的静电场中，入射 γ 光子的能量被完全吸收而形成正负电子对。此过程只是当光子具有1.02MeV以上的能量时才发生，因为正负电子对各具有相当于0.51MeV的质量。对于高能射线，特别是在高原子序数物质中，该过程占主要地位。

图3展示了这三种吸收过程与 γ 射线能量及介质的有效原子序数($Z_{\text{有效}}$)的关系。当发生康普顿散射时， γ 射线因受康普顿散射而连续损失其能量，直到发生光电效应而使光子完全被吸收为止。应该指出，天然放射性元素所放出的 γ 射线与正常成分岩石的相互作用主要是康普顿散射。在

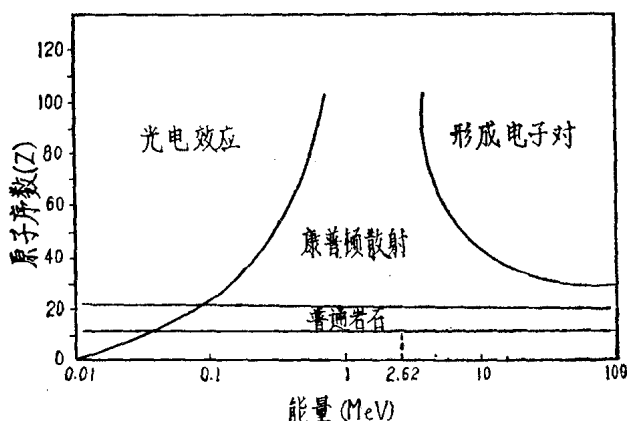


图3 γ 射线与物质的相互作用

地表和空气中发生康普顿散射后，放射性元素原始谱的能量降低，并使低于 200 keV 的能量成分增大。在离地面一米的高度上，含有 3.4% 钾、3 ppm 当量铀和 12 ppm 当量钍的地面所造成的 γ 射线的能量分布示于图 4^[1]。图上分别示出向上和向下的射线通量谱。向下的射线通量（“天光”）是由岩石的 γ 射线在空气中的反向散射所造成的，其值的大小取决于辐射体的分布面积。

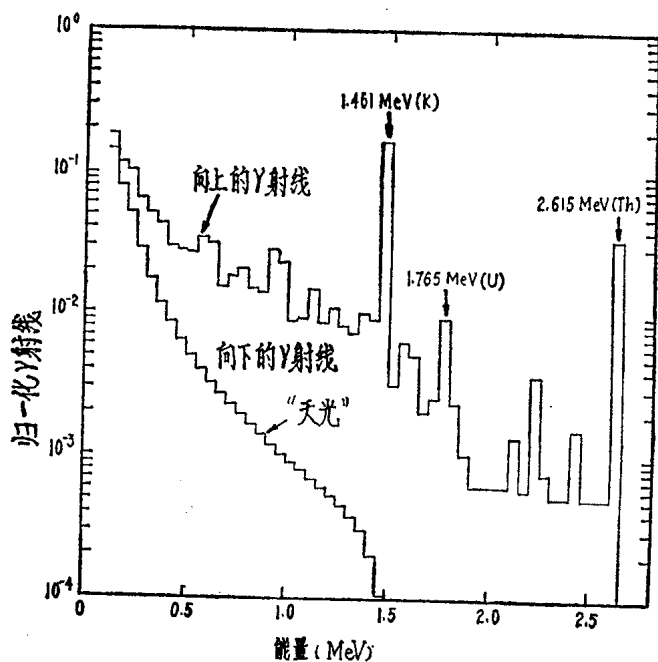
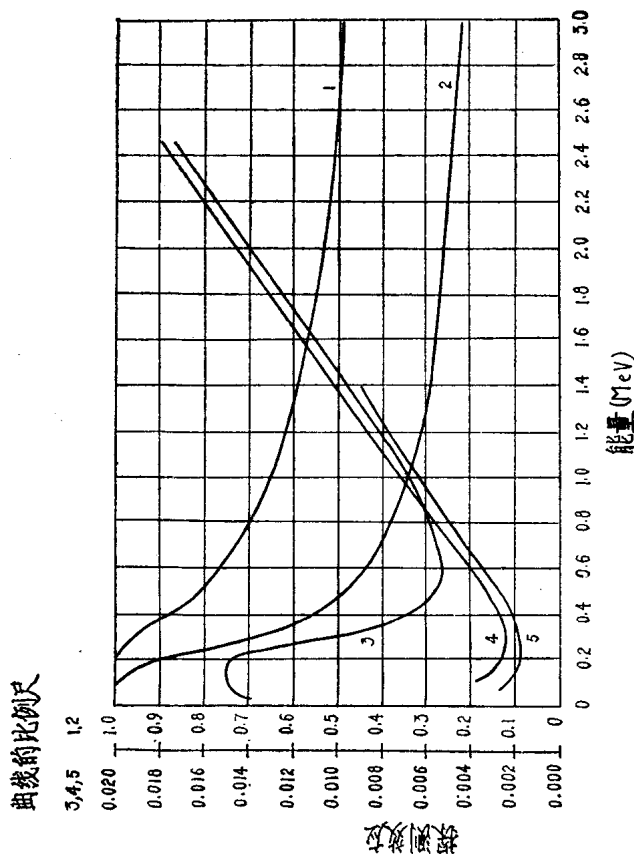


图4 归一化的 γ 射线



- 1——闪烁探测器 NaI (Tl), 晶体高 50 毫米,
2——闪烁探测器 NaI (Tl), 晶体高 20 毫米,
3——盖革计数管, 铍 阴极,
4——盖革计数管, 铜 阴极,
5——盖革计数管, 钢 阴极。

图5 γ 探测器探测效率曲线