



地球物理勘探方法小丛书

放射性勘探

秦馨菱 著

地 质 出 版 社

目 錄

出版者的話	3
引 言	5
第一节 放射性測量的基本原理	
原子构造和放射性	6
放射性輻射和放射規律	9
放射性平衡	11
第二节 盖革-弥勒計数器和閃爍計数器	
盖革-弥勒計数管	16
和計数管联用的电子綫路	23
閃爍計数器	28
第三节 放射性測量中的一些基本知識	
放射强度的單位	32
計数器的标定	35
放射性測量中包含的誤差	38
放射性測量中的安全規程	40
第四节 測量方法	
放射性矿物	43
放射性測量中遇見的几种影响	45
探測方法	48
第五节 放射性測井	
引 言	55
天然 γ 測井	55
中子測井	58
γ γ 測井	62

地球物理勘探方法小叢書

放射性勘探

秦馨菱 著

地質出版社

1958·北京

地球物理勘探方法小叢書

放 射 性 勘 探

著 者 秦 馨 菱

出 版 者 地 質 出 版 社

北京宣武門外永光寺西街3号

北京市書刊出版業營業許可証出字第050号

发 行 者 新 華 書 店

印 刷 者 天 津 市 第 一 印 刷 厂

天津市和平區和平路377號

印数(京)1-5,000册 1958年9月北京第1版

开本31"×43" 1/32 1958年9月第1次印刷

字数40,000字 印張 1張

定价(8)0.20元 統一書号: T15038·484

出版者的話

自从党在八届二次代表大会上提出鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义的总路线以来，全国各地每一项建设工作都不断出现了大跃进，大丰收。在总路线的光辉照耀下，全党办地质，全民办地质的响亮号召，使地质工作紧密结合了群众，从而也出现了前所未有的力量和规模。目前全国各省、自治区、市、专区，正以大力组织队伍，发动群众上山找寻资源。相信在很短时间内，我们将取得较第一个五年期间更为辉煌的成果。

地球物理探矿方法，是地质工作中的一种新技术、新方法。它根据地底下岩石矿物物理性质的变化，使我们有可能了解更多的深部情况。人们单纯依靠肉眼从地表去观察地质时代已经过去。人们不仅要向出露地表部分索取资源，同时也要向被掩盖了的矿体索取储量。物探在这一方面具有尖兵的作用，它可以提高普查勘探的效率，大大节约布置山地工作的费用。

物探方法需要仪器，从仪器取得物理数据，最后再把数据转译成为地质语言，这样一个过程，就显得比一般地质工作要复杂一些。所以某些人往往有一种错觉，认为物探太科学，不好懂，或多或少存在一些神秘思想。为了破除迷信，解放思想，大力配合物探事业的发展，我们就着手编写“地球物理勘探方法小丛书”，内容力求简明易懂，使具有初中文化水平的人可以自行阅读。这些小册子，可以作为培训干

部的教材，也可以作为地質人員了解物探工作的參考資料。我們想通过陸續出版這些小冊子，使地質部門的物探工作更易为人了解，使大家都可以購置儀器，大家都有可能建立物探隊伍的力量。

這些小冊子，除了在文字上要求簡明易懂外，力求消除过于繁雜的物理計算，着重明確所能解決的主要任務。因此，它并不能完全包括方法本身的工作內容，例如磁法，除了找磁鐵礦，目前还更广泛地用来进行地質填圖性的工作，在磁法找磁鐵礦一書中，就沒有必要加以敘述，余者类推……。

閱讀這些小冊子后，如果感到敘述不清楚，要求进一步給予幫助和解答時，請函本社，以便作復。如有錯誤，請隨時函告本社，以便改正。

地 質 出 版 社

引 言

在发现放射性以后的头四五十年里，放射性元素仅是有学术上的意义和兴趣的物品。虽然制造夜光表等少数的工艺上和某些医疗过程中有时要用到它们，但它们活动的范围基本上是限制在物理学家或化学家的实验室里。自从约十年前人类发明了利用原子能的方法以后，放射性同位素在各门科学和应用技术上的应用才日渐推广；放射性矿物的勘探才受到重视。

最初勘探的对象是比较富集的铀矿床。以后随着需要的增长和技术的改进，钍矿也成为探测的目标了；品位为0.01%的铀矿也变成了很有经济价值的矿石。铀和钍本不算稀少，它们在地壳中的总含量都比金或银还多，只是分布较为分散，所以容易使人觉得它们应算为稀有的元素。也正是因为它们的分散，才使得到处都有发现它们的可能；在火成岩、沉积岩、变质岩和海水里都有。

用来检验和测量放射性辐射的仪器起初都是“实验室型”的仪器：有的须在一定的工作环境下才能使用，有的则每次使用前必须先仔细调整和校准，还有的则笨重不易移动。由于实际的需要和电子学的进步，现在已有很多种检验放射性辐射或专用来探测放射性矿物的仪器：小的重仅二、三公斤，携带容易，操作简便；大的构造比较复杂，但灵敏准确，宜于作定量测计。有的可以背在身上作步行搜索，有的可装在汽车或飞机上作地面或空中的快速普查，另外还有的

适宜于在地下，在水中或井下使用；但不論輕巧或复杂，特点都是操作簡便，結果可靠。

由于仪器的种类繁多和使用方便，以及对原子能原料的迫切需要，放射性矿物的勘探已經发展成了真正的群众性工作。在苏联和美国，購買放射性探测仪器已經和买照像机一样的方便和普通。农人們种树挖井，或修路开河，凡有“破土”的地方都順便用放射性探测仪器来测量一下。为探测其他矿床或研究地层而打的鑽井当然更須用放射性测井仪来探索一下井下的情况。就連地震勘探队所鑽的炮井，也必須經過放射性测井之后才允許廢棄填盖。在作某一种物理探矿法測探的同时，順便作一下放射性測量，仅使成本略有增高，但往往可以由此而发现很有經濟价值的放射性矿床。倘若說在作其他物理探矿測量时不順便作一下放射性測量就是一种浪費，也并不为过。

本文是为物探队的行政队长、地質人員、和未学过放射性探测的物探干部而写的。文中将把放射性測量的基本原理，所用的仪器，以及工作方法等作一簡略的介紹。預祝他們在与經常的物探工作同时作的放射性順便普查中，探尋到可用的放射性矿床，为祖国的原子能工业准备好条件。

第一节 放射性測量的基本原理

原子构造和放射性

所有的物質都是由九十几种元素构成的；元素的最小单

位叫做原子。这几十种元素的原子构造都很相似，都是里面有一个原子核，在核的外面有些电子繞着核旋轉；而原子核本身則是由質子和中子組成的。中子是不帶电的；質子帶有一份正电，电子則帶有一份負电。如把氫原子的質量当作1，則中子的質量，和質子的質量也都各自約等于1；而电子的質量則仅为 $\frac{1}{1840}$ 。构造最簡單的原子是普通氫的原子，它的原子核就是一个質子，外面有一个电子繞着它轉。重氫（氘，讀如刀）的原子核是由一个質子和一个中子組成的，在氘核的外面也有一个电子繞着它轉动。超重氫（氚，讀如川）的原子核是由两个中子和一个質子組成，在氚核的外面也有一个电子繞着它轉。普通氫核，氘核和氚核，都各自包含有一个質子，所以都帶有一份正电；在它們外面各有一个帶一份負电的电子繞着它們轉，所以普通氫原子，氘原子和氚原子都是不帶电的。构造第二簡單的原子是普通氮气的原子，它是由一个氮核和兩個繞着它旋轉的电子所組成；而氮核是由兩個中子和兩個質子构成的，这个結構非常坚固，我們以后还要常遇見它。此外还有一种氮，它的原子核是由一个中子和兩個質子构成的；在这个核之外也有兩個电子繞着旋轉。天然元素中构造最复杂的要算鈾原子了，它是由一个鈾原子核和外面的92个繞着它轉的核外电子所組成的；鈾原子核共有三种，构造都很复杂；第一种是由146个中子和92个質子构成，第二种是由143个中子和92个質子构成，第三种則是由142个中子和92个質子构成。

由上可見，一个原子的重量大致是等于它的原子核内所包含的中子数和質子数的总和；而在这个原子核外面环繞的

电子数目則和原子核內所包含的質子数相等。倘如我們把这九十几种元素按它們的核內的質子数的多少排列起来，我們將看見原子的核外电子的数目將陸續增高，但它們的化学性質和物理性質則有週期性的变化。把元素这样排成的表叫做週期表，这个規律是俄国的化学家門德雷耶夫首先发现的。化学性質相同的原子，其重量虽不一样，但在週期表上却占着同一个位置，这些原子即叫做同位素。前面已經提到过，氫有三种同位素即普通氫，氘和氚，它們的符号是 ${}_1\text{H}^1$ ， ${}_1\text{H}^2$ 和 ${}_1\text{H}^3$ （在符号中拉丁字母表示元素的名字，左下的脚碼代表原子核內的質子数，也叫做原子序数，右上的角碼代表原子核的总重量）；鈾也有三种同位素，它們並沒有各自的名字而仅有符号如： ${}_{92}\text{U}^{234}$ ， ${}_{92}\text{U}^{235}$ ， ${}_{92}\text{U}^{238}$ （減写为 U^{234} ， U^{235} ，及 U^{238} ）。

当一个原子核太大，构造太复杂，里面包含的中子数和質子数都太多的时候，这个原子核就不稳定，就有一个趋势要抛出一个或几个小块而变成一个較輕和較稳定的原子核。

• 这种性質叫做放射性。有时这个較輕的第二代的原子核也还不够稳定，它又可以放出几种輻射而变成第三代的原子核；如这个第三代也不稳定，它也可以繼續放射，而变成第四代以至第五第六代……一直到蜕变成一个稳定的原子核为止。放射性元素的原子如这样一代代的繼續蜕变終至变成一种稳定的元素，我們說它們形成了一个放射系列。天然的放射系列有三个：一个是以 U^{238} 为首的，一个是以 U^{235} 为首的，还有一个是以釷 ${}^{232}(\text{Th}^{232})$ 为首的。

放射性輻射和放射規律

放射性元素所放出来的輻射共有三种，叫做 α 射綫， β 射綫和 γ 射綫。 α 射綫是些名叫 α 粒子的微粒組成的； α 粒子就是前面提到过的氦原子核。它在空气中最远的射程是8公分，一层薄薄的紙就能把它擋住。在一块岩石的表面之下 30μ （即 0.03mm ）处的放射性原子所放射出来的 α 射綫就不可能突破岩石的表皮而射到外面来。倘若想借測量 α 射綫的方法来判断一块岩石标本内是否含有放射性的元素，那就必須先把这块标本研成粉末才能进行測量。

β 射綫是一些名叫 β 粒子的微粒所組成的； β 粒子就是些高速的电子。它們在空气中的射程最远可达8公尺上下，一块 3mm 厚的鋁片能把它們隔住。在一般的岩石里它們的行程能达几个公厘（ mm ）。

γ 射綫与前两种射綫不同，它不是微粒性的而是些波长很短的电磁波；波长仅为 10^{-8} 至 10^{-13} 公分（ cm ），也就是說比普通医用的X光的波长还要短数十倍，比人眼睛可見的光波的波长要短数千倍至数十万倍。它的穿透力很强，能穿透25公分厚的鉄板，或2公尺厚的岩层；在空气里，如用灵敏的仪器在150余公尺的远处也能察觉到它。因此在一般的放射性測量工作中，多是使用对 γ 射綫敏感的仪器来測量放射性矿物放出的 γ 輻射。这样，在地面上就可以探尋埋藏在地面下一公尺半至二公尺深处的放射性矿物，或是把仪器裝在飞机上，在50至150公尺的高处进行航空放射性測量。就連穿透力最强的 γ 射綫还受着复盖层这么多的限制，由此也可以了

解为什么应该尽量地在所有破土的地方或鑽孔中作一作放射性測量了。

放射性的元素放射出某种粒子来而蜕变成另一种元素完全是原子核内部一种自发的反应，和原子核外的环境是没有关系的。不論这个元素是自由存在或是在某种化合物中，也不論外面的温度和压力是如何，放射蜕变的速度并不受影响。試驗証明，在一段很短的时间之内，放射蜕变的原子数目和这段时间开始时存在的原子数成正比，也就是：

$$-dN = \lambda N dt \quad (1)$$

式中 $-dN$ 表示在 dt 时间内因放射蜕变而减少的原子数； N 是在时间 dt 开始时存在的原子数； λdt 叫做放射常数，是表示在每秒钟内要放射蜕变的原子的比例数，意即在每单位时间内有百分之几或千分之几的原子要放射蜕变。放射性愈强的元素它的放射常数 λ 就愈大，也就是说在每单位时间内将有较大的一个比例数的原子要放射蜕变；放射性弱的元素它的 λ 值就小。設当一开始时有若干放射性的原子存在，过一段时期之后，因为放射蜕变而少掉了百分之几；再过同样一段時間之后，又将因放射蜕变而自剩下的数目中又少掉个百分之几。如此，虽然每段時間內都是有百分之几的原子要放射蜕变，随着尚存的原子数目的漸少，每单位時間內要放射蜕变的原子数也逐漸减小；要想使原有的原子数完全蜕变无存必須等无穷长久的時間才行。如将(1)式积分即可求得在時間 t 时所存余的原子数 N 为：

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

式中之 N_0 是开始时(即 $t=0$ 时)的原子数。由(2)式也可以

看出，当 $t \rightarrow \infty$ 时 N 始为零。

由于上面的理由，說一种放射性元素的寿命有多长是没有意义的；所有的放射性元素的寿命都可以算是无限长的。为了表示某种元素放射的快慢或多少时间后尚残余多少，我們采用了“半衰期”这个名詞。半衰期就是指由于放射蜕变而使原子的数目减为原来的一半所需的时间。半衰期 T 和放射常数有下列的关系：

$$T \text{ (以秒計)} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (3)$$

从上面的第(2)式，或是从常識的推理可以看出，过了十个半衰期之后，所余的放射性原子的数目就仅为起初的千分之一了。

放射性元素的半衰期长短不同，有时甚为悬殊。某些元素的半衰期短至数百万分之一秒；但也有的长达数百万万年，例如釷 232 (Th^{232}) 的半衰期是 1.39×10^{10} 年，而鈾 238 (U^{238}) 的半衰期是 4.5×10^9 年。半衰期既和放射常数成反比，所以可知半衰期愈短的元素，它的放射性愈强。因而鈾的放射强度比釷要强三倍，那就是說，含鈾1%的矿石所产生的放射輻射将和含釷3%的矿石所产生的輻射强度相当。在鈾的放射系列中有一个放射性元素叫鐳，它的半衰期为1622年，所以它的放射强度比鈾大三百万倍。一克鐳所产生的輻射强度将与三吨鈾所产生的輻射强度相当。

放 射 性 平 衡

根据前面的公式(2)我們知道某种放射性元素因为不

停的放射蜕变，它的数量随着时间按指数函数的规律逐渐减少。如下面图 1 所示，放射常数愈大，半衰期愈短的元素减少愈快；放射常数较小，半衰期较长的元素减少较慢。倘如放射常数很小，半衰期很长，则元素的数量减少非常缓慢，如图中的虚线所示。

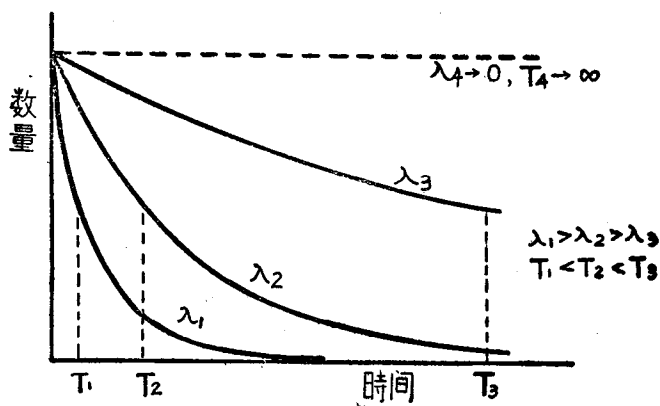


图 1

某个放射性元素因为放射出 α 或 β 射线来而蜕变成另一种元素，我们为方便计把前者称做母元素，后者叫作女元素。倘如女元素也是放射性的，让我们看一看它一面生成一面又在因放射蜕变而减少的情形：

先假设母元素的放射常数很小，半衰期很长，而女元素的放射常数很大，半衰期很短。我们将见在短时期内母元素的数量并未显的有什么改变，如图2中的直线所示，而女元素的数量先是较急速而然后较缓慢的增加到一恒定的值，以后其数量将保持不变，如图2中的曲线所示。这时，在每单位

時間內有多少女元素生成，同時也就有多少女元素因為放射變而消失。女元素的數量不隨著時間而改變；母，女兩種元素的數量幾乎保持着一個恆定不變的比值。這種情況叫做“長期平衡”。在這個情形之下，倘如我們設法測知了女元素的數量。那麼我們就可以推算出母元素還殘余多少。在一個放射系列中，許多元素有時可以同時處在“長期平衡”的狀態。

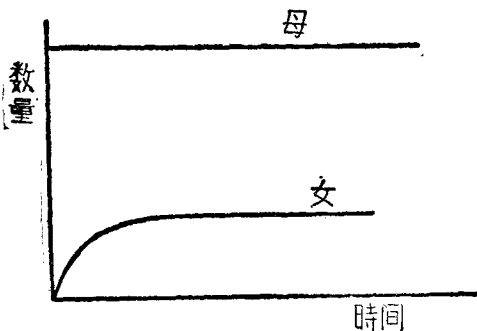


圖 2

為了把上面的道理說的更清楚一點，讓我們舉一個比喻如下：設有父子二人，父親很有錢，但很節約；兒子只跟父親要錢花，但花錢很痛快。假定父親有一千萬元，他答應每天僅拿出一百萬分之一即十元錢給兒子；而兒子則很痛快的要把每天入款的一半花掉。父親的財產很不算少，每天只拿出一百萬分之一來，所以在短時期之內看不出有什麼改變，所以每天給兒子的錢數差不多老是十元；現在讓我們看看兒子手中的錢數是怎樣變化的：第一天他收到十元，立刻花掉五元，所以還存五元。第二天他又收到十元，即共有十五元；他立刻花掉七元五角，而只剩下七元五角。第三天他又收到

十元，花去八元七角五分，仍存着八元七角五分。……几天之后，他手中的存款就接近十元了，他每天仍收入十元，共有20元，再花去十元，所以仍存十元。这时他每天收入多少，也花出多少，他手中的款额就不再改变，而与他父亲的存款大约保持一个一定的比。这也是达到“长期平衡”了。

今设想母元素的放射常数并不很小，即半衰期并不很长，女元素的放射常数仍很大，即半衰期很短的情形。在此情况下，母元素的数量将按指数曲线的规律逐渐减少；而女元素的数量将先增大至一个极大值以后，再随母元素衰减的规律逐渐减少，它的数量在减少的过程中和母元素保持一定的比（如图3）。这种情形叫做“动平衡”。这时也可以从女元素的数量来推算母元素的多少。

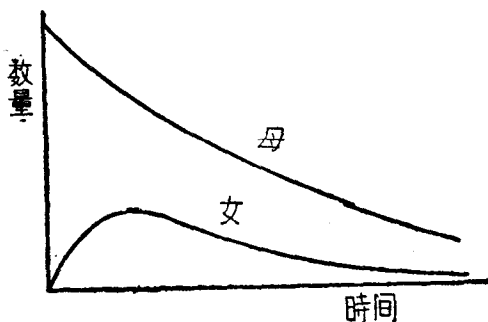


图 3

倘如母元素的放射常数很大，而女元素的放射常数较小；则母元素一直在减少，女元素则看它的放射常数如何小法，或则先增加而后减少，或则一直在增加但先颇迅速而后

較緩慢。無論如何母女二種元素的数量沒有一定的比值，所以就沒有平衡可言。

放射性平衡是每個作實地探測的人必須熟知的觀念。倘如忽略了平衡的條件，往往能從測量的結果得出錯誤的結論。在一般的探測工作中，鈾礦往往是探測的對象，但是鈾元素蛻變時只放射 α 射綫，是不能用普通的探測儀器來測量的。在鈾的放射蛻變系列中有一個放射性很強的元素叫做鐳，它是鈾的第五代子孫，放射強度很強，除了放射 α 射綫之外，同時還放出很強的 γ 射綫。因此我們可以用普通的探測儀器來測量鐳放出的 γ 射綫，找到了鐳以後，就可能說找到了鈾。但是在這裡我們必須注意平衡或不平衡的問題。

倘如這個礦床埋藏很深，也不靠近什麼斷層或裂縫因而不會受到風化或淋濾的作用，這礦床里的鈾元素和鐳元素的平衡還未受到破壞，所以我們可以借着測量鐳放出的 γ 射綫的強度來推想鈾的多少。倘如礦體是露出地面的，或者埋藏不深而附近也有斷裂等跡象，礦床就很可能受到了地下水的利用。地下水和岩石內的黃鐵礦起作用而產生硫酸；鈾是親氧的，易被溶解的礦物，所以就有可能被溶解及運走。鐳是不大怕酸也不易溶解的，它受到地下水的影響較小，因而損失也小。在這裡鈾和鐳的数量的比已經改變，放射平衡已經被破壞了。倘如我們不考慮放射平衡有沒有受到破壞，而只企圖借 γ 射綫的測量從鐳的数量來推想鈾的存量，結果一定要失之過高。這被運走的鈾的溶液，可能到達了適當的地点又沉積下來而形成了次生鈾礦。倘如沉積的時間還不夠長（還不到鐳的半衰期的十倍，即一萬餘年），則放射平衡還沒有達