

铅同位素地质研究 的基本问题

地质部宜昌地质矿产研究所
同位素地质研究室 编著

地质出版社

内 容 提 要

本书对近几年来国内外大量的铅同位素资料进行了综合和评述。对铅同位素地质学的基础理论、测试技术作概略的介绍外，着重阐述了普通铅年龄计算方法以及铅同位素在矿床研究、测定地球、元素、陨石和月球年龄中的应用。书中提供了大量实际资料和数据，附有较多的图表和参考文献。可供教学、科研及从事野外地质调查和找矿勘探的广大地质工作者参考使用。

铅同位素地质研究的基本问题

地质部宜昌地质矿产研究所
同位素地质研究室 编著

•

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

张家口地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

•

1979年12月北京第一版·1979年12月北京第一次印刷

印数1—3,090册·定价1.20元

统一书号：15038·新452

目 录

前 言	(1)
绪 论	(2)
第一章 铅的地球化学和铅同位素组成	(5)
第一节 铅的地球化学性质	(5)
第二节 铅同位素组成	(7)
1. 关于同位素的基本知识	(7)
2. 铅同位素	(9)
第三节 铀、钍衰变成铅的过程	(10)
第二章 自然界中的铅同位素	(15)
第一节 自然铅的同位素分类	(15)
第二节 自然界铅同位素的分布	(18)
1. 陨石和月岩中铅的同位素组成	(18)
2. 各类地壳岩石中铅同位素组成	(23)
3. 矿石中铅同位素组成	(26)
第三章 铅同位素比值测定	(29)
第一节 样品采集及制备	(29)
1. 采样方法	(29)
2. 样品制备	(30)
第二节 铅同位素质谱分析	(31)
1. 质谱计同位素分析的一般原理	(31)
2. 铅同位素质谱分析	(32)
第四章 铅同位素演化与计时	(35)
第一节 普通铅法的一般原理	(35)
1. 普通铅法与铀-钍-铅法的区别	(36)

2. 普通铅法的基本假设或模式	(37)
3. 普通铅演化的基本公式及常用符号	(37)
第二节 正常铅的同位素演化及其年龄测定	(41)
1. 正常铅的基本特征	(41)
2. 正常铅年龄计算的几种方法	(41)
3. 模式年龄比较	(49)
第三节 正常铅同位素演化理论研究的某些新 进展	(55)
1. 开放体系演化模式	(55)
2. V值线性增加模式	(59)
3. 正常铅两阶段演化模式	(61)
第四节 模式年龄评价	(74)
1. 各种模式的设计思想及常数值的选用	(74)
2. 所谓“真实”年龄	(76)
3. 模式年龄结果对比与评价	(79)
第五节 异常铅的同位素演化及其年龄的测定	(80)
1. 异常铅的基本特征	(81)
2. 异常铅的分类	(83)
3. 异常铅的年龄计算方法	(90)
第五章 铅同位素在矿床研究中的应用	(95)
第一节 铅同位素在矿床中的一般特征	(95)
1. 铅同位素相对稳定的矿床	(95)
2. 铅同位素明显变化的矿床	(99)
第二节 成矿时代和成矿史的研究	(111)
1. 近似单阶段演化的矿床	(111)
2. 具多阶段演化历史的矿床	(114)
3. 关于成矿期(世)的划分问题	(122)
第三节 矿床成因和物质来源的研究	(127)
1. 与岩浆活动有关的矿床	(129)

2. 与沉积岩或古老基底岩石有关的矿床	(131)
3. 同生沉积矿床	(135)
4. 变质成因矿床	(135)
5. 与海水有关的矿床	(136)
6. 多来源多成因矿床	(137)
第四节 在划分成矿带、成矿区中的应用	(138)
第五节 铅同位素在找矿勘探中的应用	(146)
1. 在寻找铀、钍等放射性矿床中的应用	(146)
2. 在寻找金矿中的应用	(148)
3. 在寻找和评价铜、铁、铅、锌等金属矿床中的应用	(152)
4. 铅同位素在矿床规模评价上的应用	(156)
第六章 铅同位素与地球史及天体史的研究	(166)
第一节 地球年龄和元素年龄研究	(166)
1. 地球年龄测定	(166)
2. 元素年龄测定	(172)
第二节 陨石及月球年龄研究	(174)
1. 陨石年龄测定	(174)
2. 月球年龄测定	(175)
第三节 铅同位素与地幔演化模式	(178)
1. 根据大陆古老岩石的初始铅同位素推断地球演化	(178)
2. 根据大洋玄武岩铅同位素探讨地球成因及其演化	(185)
附录 1: 各种普通铅法年龄计算表	(196)
附录 2: 铅同位素研究中常用常数	(207)
附录 3: 我国某些矿床中方铅矿铅同位素数据	(209)
附录 4: 国外某些矿床的铅同位素数据	(215)
参考文献	(236)

前 言

我国同位素地质工作在毛主席革命路线指引下正在蓬勃发展之中。近几年来新设了不少实验室,获得了大量数据,取得了一定成果。在当前寻找富铁富铜和其他国家急需矿种的生产实践中,广大地质人员更迫切希望通过铅等稳定同位素的分析测定来探讨成矿时代矿床成因和矿质来源,总结成矿规律,指导找矿勘探。

基于上述考虑,我们将分散于国内外有关杂志,书刊中的资料(包括最新资料)特别是国内研究成果加以综合整理,编写了《铅同位素地质研究的基本问题》一书,供广大地质工作者,特别是从事野外地质生产和找矿勘探的同志们参考。

本书除对铅同位素的某些基本理论、测试技术作一般的介绍外,重点放在铅同位素地质年龄测定和应用铅同位素研究矿床问题上。作为铅同位素地质学组成部份的 U-Th-Pb 法年龄测定考虑到在已出版的同位素地质年代学书籍中已有详细叙述,所以未加评介。在矿石年龄计算和矿床地质应用章节中尽可能地多附一些图表和实际例子,希望能起到参考书和工具书的作用。全书附图较多,以避免过多的文字描述。书末附录了我国现有的(已收集到的)和正文中涉及的一些国外矿区的详细的铅同位素数据和1960年拉塞尔和法奈尔著《铅同位素地质学》一书出版以来所新发表的有关铅同位素地质研究的重要文献目录,可供深入研究时查阅。

本书由陈好寿同志编著。书中引用的国内某些矿床的铅同位素数据除我室测定外,主要由中国科学院贵阳地球化学研究所提供,在此表示感谢。由于笔者水平有限,加之文献浩繁未能窥其全貌,错误之处,敬请批评指正。

一九七九年

绪 论

恩格斯指出：“科学的发生和发展，一开始就是由生产决定的。”“社会一旦有技术上的需要，则这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”

十九世纪末，正是在社会生产力巨大发展的推动下，近代自然科学发生了一系列重大突破，自五十年代以来，由于与物理、化学、数学等近代科学的广泛而深入的结合，近代地质学同样经历着从方法，内容到学术理论的更新。别特是放射性的发现和研究使人们能够从物质组成的更深层次—原子核和基本粒子来探索和测度地球、地球物质及天体的形成，运动和演化过程。于是一门新兴的科学，核子科学和地球科学的边缘分枝科学—同位素地质学应运而生了。

在五十年代，同位素地质学还主要着眼于计时，并很快在测定地质年代，陨石及其它星球年代，探索地球史、天体史、生物史及人类发展史等方面得到了广泛应用。从六十年代以后，稳定同位素开始愈来愈普遍地运用于矿产和海洋资源以及能源的开发，用于探索岩石，矿床成因，研究岩浆物质和金属物质的来源，矿产形成条件和地壳、地幔演化等等。

铅同位素地质学或地球化学是同位素地质学或地球化学的一个重要分支，它不但可以用于计时，别特是测定矿床年龄、地球、元素和陨石年龄更有独特之处，而且也是探索矿质来源，矿床或岩石成因、成矿过程，成矿条件等一系列地质作用和地质过程的重要“信息”，因此比之某些仅能用于计时的年代学方法（如K-Ar法等）和某些不能用于计时稳定同位素如硫、碳、氧等的研究来更有其独到的优点。因此得天独厚地受到人们的重视

就不足为奇了。

在诸同位素研究中，铅同位素是研究较早发展较快、资料较丰富、成果也较显著的同位素之一。1927年阿斯顿首次用质谱计测定了铅的同位素丰度，此后，阿斯顿（1936）、霍姆斯（1937）、尼尔（1938）陆续测定了各种来源的普通铅丰度变化，并开始用于探讨铅矿石的成因。接着尼尔、汤姆逊、墨凡（1941）、威特和兴麦隆（1943）、霍姆斯等（1946）在测定各种样品的铅同位素组成的大量实践的基础上，开始应用普通铅法计算铅矿石的年龄。至六十年代末期，有关论述铅同位素的报导已不下1000份。1973年11月美国经济地质学家协会在美国地质协会年会上专门举办了关于稳定同位素用于矿床问题的讨论会，并有大量文章报导。苏联在1970年11月和1972年9月也在莫斯科召开了两次关于“地球化学中应用稳定同位素”的全苏讨论会，也发表了大量有关铅同位素地质的文章。目前世界上一些重要的铜、铁、铅、锌、金等多金属矿床和放射性矿床如美国的密西西比河流域，苏联的阿尔泰、澳大利亚的布罗肯希尔、加拿大的萨德伯里等矿床以及日本的黑矿、非洲的金矿等均进行了铅及其他稳定同位素的测定，在确定矿区，估价矿床规模，查明成矿物质来源，矿化年龄以及追索矿体等方面均取得了一些重要成果。

有关铅同位素地质学方面的专著主要有两本。1960年拉塞尔和法奈尔写了《铅同位素地质学》（英文版）一书，对铅同位素的一些基本理论，U-Th-Pb法及普通铅法年龄测定以及在探索成矿时代，矿床成因方面作了较详细叙述，并附有大量的矿石铅同位素数据，但时至今日该书的某些观点和材料已显得陈旧和过时了。十年以后，又一本有关铅同位素的专著问世（多伊，1970《铅同位素地质》，已翻译出版），该书作者也把主要精力集中在对U-Th-Pb法的叙述上，对于普通铅则主要对岩石铅描述较详，而对于在矿床学研究中的应用则过于简单。特别是对地质生产关系十分密切的，作为一种地球化学探矿方法在找矿勘探和矿

床评价方面的应用，上述两本书均被忽视，不能不说是严重的不足。此外，在兰卡玛编著的《同位素地质学》（1954）和《同位素地质学进展》（1963，英文版）两本巨著中铅同位素地质占有相当的份量。1967年，苏联曾将一些英文文献译成俄文，搞了一本《多金属矿床中的铅同位素》的译文集，其它有关铅同位素的资料则大量分散在地质年代学、矿床学，地球化学专著及有关杂志中，自1963年兰卡玛《同位素地质进展》一书发表以来，大量分散在各种书刊中有关铅同位素在矿床问题方面的应用资料尚未能系统加以整理。

我国的同位素地质事业，包括铅同位素地质工作近20年来，在开展U-Th-Pb法及其它方法年龄测定的同时，也用普通铅法和铅同位素分析对我国一些金属矿床进行了成矿时代和矿床成因的研究，积累了一批数据，取得了一些初步成果。

目前我国的铅同位素地质工作还受到测试技术的某些限制，在应用于定量解释某些地质问题时，还必须进一步提高分析精度。同时，铅同位素的研究最好与硫、氧、碳以及锶等其它稳定同位素的研究紧密配合，以对地质事件作出更加合理的解释。

第一章 铅的地球化学和铅同位素组成

第一节 铅的地球化学性质

铅为自然界的常见元素之一，位于门氏元素周期表的第六周期、第四族、原子序数82。原子量207.2，原子半径 $2.15 \text{ \AA}$ ，离子半径 $\text{Pb}^{+2}=1.32 \text{ \AA}$ ， $\text{Pb}^{+4}=0.84 \text{ \AA}$ 。

铅为亲硫元素，但根据铅在陨石物质的不同相中的分布情况看出（表1—1）铅的地球化学特点既具亲硫性，又具亲石性。

表1—1 铅在陨石物质中的含量

陨 石 相	铅 平 均 含 量 克/克
硅 酸 盐 相	$n \times 10^{-6}$
陨 硫 铁 相	$n \times 10^{-5} - 10^{-4}$
铁 相	$n \times 10^{-8}$

铅在岩浆岩中的分布与岩石的酸性成正比（表1—2），硅质岩中铅是基性岩中铅的二倍。花岗岩含铅高于辉长岩之类的岩石达六倍之多。纽豪斯在火成岩的次要组分中未找到硫化铅矿物。诺达克等分析了57个岩浆硫化物，发现其中含铅仅0.001%，证明在与基性岩有关的矿石中铅几乎是不存在的。

铅在岩石中分布的特点与铀钍相同，因而有人认为岩浆岩中铅的分布规律与铀、钍的含量有关，并提出自然铅大部分是放射性成因的。但是研究表明：在30亿年内放射性成因铅积累的量仅是岩石圈中铅总量的20%，因此岩石中铅的分布只是与它的地

表1—2 岩石和矿物中铅的含量*

矿 物	铅含量(ppm)	岩 石	铅含量(ppm)
铬 铁 矿	15	超 基 性 岩	3
钛磁铁矿	20	闪 长 岩 类	5
橄 榄 石	1	基 性 岩	5
辉 石	6	辉 绿 岩	6
闪 石	15	石英闪长岩	8
黑 云 母	25	花岗闪长岩	15
白 云 母	15	花 岗 岩	20
斜 长 石	10	石英二长岩	25
透 长 石	21	流 纹 岩 类	30
钾 长 石	27	正 长 岩	12
钾 长 石	100	铅 土 矿	7—140
(伟晶岩)		(可变的)	
冰 长 石	62	磷 酸 盐 类	100
锆 石	10—300	长石砂岩类	5—30

* 均为平均值, 据韦德普赫尔, 1956

球化学性质相关。

岩石中铅的存在状态, 大多认为是以类质同象作用置换岩石中离子半径与它接近的元素, 如 K^{+1} 、 B^{+2} 、 S^{+2} 等, 其中 K^{+1} 是被置换的最主要元素 ($K^{+1} = 1.33 \text{ \AA}$ 、 $B^{+2} = 1.43 \text{ \AA}$ 、 $S^{+2} \text{ \AA}$)。从离子电荷这一点来看, 铅在岩浆中易于被含钾矿物所捕获是可能的, 铅离子半径比钾小, 但价比钾高一倍, 因而铅可以进入早期钾长石晶格中。实际证明, 大部分铅富集在钾长石组成中, 但铅的非常高的负电性 (Pb^{+2} 为 1.6, K^{+1} 为 0.8) 显然会减弱这种趋向, 在某些硅酸盐矿物中铅可部分交代钙。

岩石中除一部分铅以类质同像形式聚集于钾长石中外, 而另一部分铅则以显微包裹体铅矿物 (方铅矿) 或者自然铅的形式存在, 在许多火成岩, 特别是在花岗岩中的硅酸盐矿物中发现有铅的痕迹, 铅显然是成 Pb^{+2} 离子存在的。

铅在热液矿床中与锌在一起，也可以与铜、银在一起，许多这类矿床与花岗岩共生。但根据近年来稳定同位素的研究证明，过去认为属低温或超低温热液的铅锌矿床很多不是岩浆成因的。

常见的铅矿物有方铅矿、白铅矿、钼铅矿、钒铅矿、车轮矿等。

第二节 铅同位素组成

1. 关于同位素的基本知识

按照现代的概念，任何一种元素的原子都是由原子核和围绕原子核旋转的电子层所组成，原子核是集中在极微小体积中的凝集体，其半径比原子本身的半径大约要小十万倍。原子核是由更小的质点组成的，这些质点即中子和质子，后者有时称为核子。原子核的基本性质就是带电荷和有质量。每一个原子核具有正电荷 Z ，它相当于原子核的质子数， Z 也等于元素周期系中元素的序数。电荷 Z 决定着元素的化学性质，若 Z 值不变化，则这个元素的化学性质始终不变，原子核的质量取决于质子和中子数，将这个数目表示成整数，就称为质量数，以 A 表示。相应地 $A = Z + N$ 。质子数(Z)相等而中子数(N)不相同的原子即为同位素，在元素周期表中占有同一位置。同位素按其原子核的稳定性可分为稳定同位素和放射性同位素。前者，原子核稳定，未发现可有测知的变化；后者，原子核不稳定，能自发地放出粒子或射线变成别的同位素。 A 值相同而 Z 值不同者则称为异位素。

自然界稳定同位素的数目大约为300种。具有偶数 Z 的元素的同位素比具有奇数 Z 的元素的同位素要多。人工取得的同位素超过600种。但是它们都是不稳定的，在放射性衰变后可转变为稳定的同位素。

原子的自然衰变伴随着大量能量的释放。当射出一个 α -质点时，所放出的能量是4—8百万电子伏特。

所有原子的衰变都遵循着一个统计法则，这个法则表示在每单位时间内衰变原子的量与原子的原始数目成正比，通常用下列公式表示：

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

式中 N_t —— 经过时间 t 后原子的数目；

N_0 —— 原子的原始数目；

λ —— 放射性衰变常数；

e —— 自然对数的基数 ($e = 2.71828182 \dots$) 衰变常数 λ 是表示在单位时间内 (年、一昼夜、小时、分、秒) 有多少放射性原子发生衰变。通常用半衰期来表示放射衰变的进程。半衰期 T 等于任何数量的放射性物质减少一半时所需要的时间，半衰期与衰变常数的关系可用下列公式表示：

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{\lambda T}; \quad 2 = e^{\lambda T}; \quad \ln 2 = \lambda T$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

如果原来的原子数目是 N ，那么经过时间 T 后还剩下 $1/2 N$ ，经过 $2T$ 以后还剩下 $1/4 N$ ，经过 $3T$ 以后剩下 $1/8 N$ ，等等。放射性衰变的速度不受地球上任何物理-化学现象的影响，在全部地质时间中被认为是固定不变的。

原子的放射性及其转变与原子核的成分的变化有关。现在所知道的有四种原子衰变类型。这四种衰变在成因方面在某种程度上是彼此有关的，并且在地球的热力学条件中是自发地进行的，这四种衰变就是 α -衰变、 β -衰变、 K -层电子捕获和重核的分裂，对于人工同位素还有正电子 (β^+) 衰变。

(1) α -衰变，即放射出 α -射线，它是一种带有两个单位正电荷的 α -粒子组成的，它具有两个质子和两个中子，质量数是 4 个单位，实际上 α -粒子是氦的原子核，放射性同位素经过一次 α -衰变，其原子序数 (即核电荷) 减少 2，质量数减少 4 个单位。

(2) β -衰变, 即放射出 β -粒子或叫 β -射线, β -射线包括 β -射线和 β^+ 射线, β -射线的性质类似于阴极射线的电子。放射性同位素经过一次 β -衰变后,其质量数不变,但核电荷增加或减少一个形成质量数相同而核电荷数不同的同量异位素。

(3) K-层电子捕获, 是指原子核捕获K-层轨道上的一个电子很快地与核内质子结合形成中子并放出中微子的过程。放射性同位素发生K-层捕获以后, 其核电荷减少一个单位, 但质量数不变。

(4) 重核分裂, 或叫自发分裂, 是指天然放射性元素的原子核自发地分裂成质量数相近的两个或三个碎块, 这些碎块以巨大的速度向四面飞散, 同时发出中子和能量。

还有一种衰变形式叫 γ 辐射, 即放出 γ 射线, 它是一种类似于光线的电磁波, 具有很强的穿透物质的能力。 γ 辐射不是一种独立的核衰变过程, 只有当 α 衰变和 β 衰变后处于激发态的原子核转化为稳定态时才放出 γ 射线。

2. 铅同位素

尽管人们对铅的认识已有数千年的历史, 据记载, 我国在公元前2000年就开始用铅铸造货币, 名叫“铅刀”。然而对铅同位素的了解还是近半个世纪的事情。当20世纪初发现了铀、钍和钍三个放射系后才确定天然铅是几种铅的混合物, 是由 Pb^{204} 、 Pb^{206} 、 Pb^{207} 和 Pb^{208} 组成的, 后三种是(或部份是)放射成因的, 是 U^{238} 、 U^{235} 和 Th^{232} 经过一系列放射衰变而产生的最终产物。铅的四个稳定同位素在自然界的变化的变化是很大的, 欲求其固定不变的平均丰度是不可能的, 表1—3是不同作者在不同时期所提出的习用丰度。法夸尔等(1953)的数据是用不同的质谱计和采用氯化铅、碘化铅等不同的化合物形式对光谱纯铅样品进行对比测定得到的, 结果比较一致, 以后, 帕米尔等(1953)和拉塞尔等(1954)用同样的样品进行测定, 也得到了比较一致的结果, 布罗迪和托姆金斯等(1957)的数据是对试剂纯 PbO 样品进行测定

得到的，结果也都比较一致。

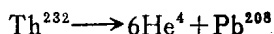
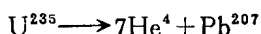
表1—3 铅同位素习用丰度

作 者	同 位 素 组 成			
	Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸
阿斯顿(1936)	1.5	28.3	20.1	50.1
尼 尔(1938)	1.5	28.3	22.7	52.3
汤姆逊、墨凡(1941)	1.55	22.53	22.60	53.34
威特和卡麦隆(1943)	1.37	25.15	21.11	52.38
希布斯(1950)	1.37	26.26	20.82	51.55
狄皮勒和摩勒(1951)	1.31	26.79	20.55	51.35
	1.36	25.42	21.11	52.10
法夸尔和帕米尔等(1953)	1.44	23.69	22.54	52.33
	1.45	23.64	22.61	52.30
帕米尔和爱特肯(1953)	1.46	23.94	22.32	52.37
拉塞尔等(1954)	1.44	23.70	22.54	52.33
伍哈特和柯林斯等(1956)	1.40	25.2	21.7	51.7
布罗迪和托姆金斯等(1957)	1.7	23.7	22.1	52.5

除上述四个铅的稳定同位素外，还有四个放射性铅同位素，是上述三个衰变系列的中间产物之一，在U²³⁸系列中有Pb²¹⁰和Pb²¹⁴，在U²³⁵系列中有Pb²¹¹，在Th²³²系列中有Pb²¹²。除Pb²¹⁰外，其它几个的半衰期都小于12小时（见表1—5），此外，还有人工放射性铅同位素如Pb¹⁹⁸、Pb¹⁹⁹、Pb²⁰⁰、Pb²⁰¹、Pb²⁰²、Pb²⁰³和Pb²⁰⁵，它们的半衰期都甚短，这样短的半衰期在地质历史中意义不大。

第三节 铀、钍衰变成铅的过程

自然界的铅同位素由于铀、钍的放射性衰变而不断积累。简化的衰变过程如图1—1所示，其表达式如下：



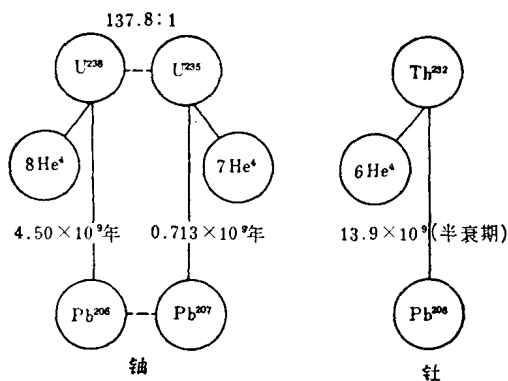


图 1—1 铀、钍衰变成铅示意图

详细衰变系列见表1—4~1—6。

由于 U^{238} 、 U^{235} 和 Th^{232} 不断地衰变成 Pb^{206} 、 Pb^{207} 和 Pb^{208} ，所以地球历史中这三种同位素的丰度在不断地增加；而 Pb^{204} 到目前为止还不知道与那种放射系列有关，可能是宇宙成因的，即在行星形成之前就已经存在了。大量的研究表明， Pb^{204} 在古老的矿铅和陨石中相对含量比较高，在现代普通铅中含量较低，随时间的积累现象几乎观察不到，至今仍保持原来的丰度，没有增加也没有减少，所以普遍认为 Pb^{204} 不是放射产物。图1—2表示在地球存在的45.5亿年间地壳中U、Th和Pb之间的同位素

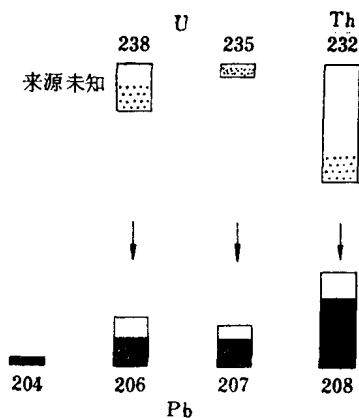


图 1—2 地壳中铀、钍和铅之间同位素关系

黑色—原始铅；下端白色—45.5亿年中U、Th衰变的铅；黑点—已衰变掉的U、Th；上端白色—还剩下的U、Th

表1—4 铀⁻²³⁸ 的衰变系列

元 素	核 素	衰变方式	半 衰 期
铀 I	U ²³⁸	α	4.51×10 ⁹ 年
铀 X ₁	Th ²³⁴	β ⁻	24.10天
铀 X ₂	Pa ^{234m}	β ⁻	1.175分
铀 I	Pa ²³⁴	β ⁻	6.66小时
镭	U ²³⁴	α	2.48×10 ⁵ 年
钍	Th ²³⁰	α	8.0×10 ⁴ 年
镭射气	Ra ²²⁶	α	1622年
镭 A	Rn ²²²	α	3.8229天
镭 B	Po ²¹⁸	α, β ⁻	3.05分
镭 C	Pb ²¹⁴	β ⁻	26.8分
镭 C'	At ²¹⁸	α, β ⁻	1.5—2秒
镭 C''	Bi ²¹⁴	β ⁻ , α	19.7分
镭 D	Rn ²¹⁸	α	0.019秒
镭 E	Po ²¹⁴	α	1.64×10 ⁻⁴ 秒
镭 F	Tl ²¹⁰	β ⁻	1.32分
镭 G	Pb ²¹⁰	β ⁻	19.4年
	Bi ²¹⁰	β ⁻ , α	5.013天
	Tl ²⁰⁸	β ⁻	4.19分
	Po ²¹⁰	α	138.401天
	Pb ²⁰⁸	稳定	—

丰度变化关系。图下端黑色部份代表原始铅的丰度，它们是地球形成以前的组份，白色部份代表45.5亿年中 U和Th 衰变产生的放射成因铅，总高度代表现代铅同位素的平均组分。上端的黑点部份为已衰变的铀、钍，白色部份代表还留下的放射性同位素U和Th的丰度。可以看出，U、Th 的丰度不断减少，Pb²⁰⁶、Pb²⁰⁷和Pb²⁰⁸的丰度不断增加，据计算，地球铅约 2/3 是原始铅，1/3 是地球形成以后放射成因积累的铅。在U²³⁸、U²³⁵和Th²³² 三个放射