

岩石放射性测年：常见问题解答

如今大多数人认为，地质学家利用放射性测年法已经证明地球及其岩石已有数十亿年的历史。许多教科书、大众媒体和博物馆都轻率地将数百万年的岩石和化石年龄当作事实呈现出来。

几十年来，生物学家们一直大胆宣称，虽然我们今天无法观察到一种生物进化成完全不同的另一种生物，但“时间才是关键……只要有足够的时间，‘不可能’就会变成可能，‘可能’就会变成大概率，‘大概率’就会变成几乎肯定。我们只需要等待：时间本身就能创造奇迹。”¹

然而，似乎很少有人了解这些放射性测年方法的工作原理。甚至没有人费心去探究这些结论背后的假设是什么。所以，让我们仔细研究一下这些方法，看看它们究竟有多可靠。

原子——我们今天观察到的基本现象

每种化学元素，例如碳和氧，都由其特有的原子构成。每个原子都由三个基本部分组成。原子核包含质子（每个都带一个正电荷的微小粒子）和中子（不带电荷的粒子）。围绕原子核运行的是电子（每个都带一个电荷的微小粒子）。

每种化学元素的原子核内中子数可能略有不同。同一种化学元素的这些略有不同的原子被称为该元素的同位素。然而，尽管中子数不同，但任何化学元素的每个原子始终具有相同数量的质子和电子。例如，每个碳原子都包含六个质子和六个电子，但每个原子核中的中子数可以是六个、七个甚至八个。因此，碳有三种同位素，分别命名为碳-12、碳-13 和碳-14（图 1）。

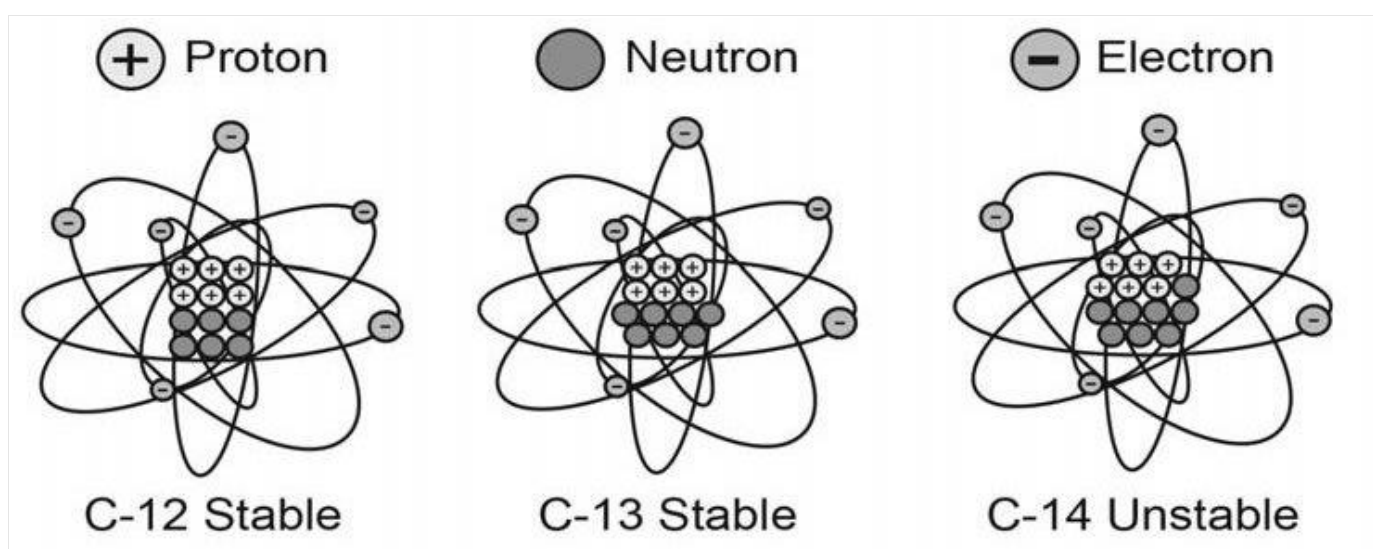


图 1. 碳元素稳定原子和不稳定原子的比较。碳原子核内有六个质子，围绕原子核运动的六个电子赋予了碳特定的化学性质。原子核内中子的数量是变化的，但过多的中子会导致原子核不稳定，例如碳-14。

放射性衰变

某些元素的某些同位素具有放射性；也就是说，它们不稳定，因为它们的原子核过大。为了达到稳定状态，这些原子必须进行调整，尤其是在原子核内部。在某些情况下，这些同位素会释放粒子，主要是中子和质

子。（这些运动的粒子构成了盖革计数器等仪器所测量的放射性。）最终得到的是稳定的原子，但由于这些变化导致原子具有不同的质子数和电子数，因此它们属于不同的化学元素（不是碳）。

将一种元素的同位素（称为母体）转化为另一种元素的同位素（称为子体）的过程称为放射性衰变。因此，发生衰变的母体同位素被称为放射性同位素。实际上，它并非我们通常意义上的衰变过程，例如水果的腐烂。子体原子的质量并不逊于产生它们的母体原子。它们在各个方面都是完整的原子。更确切地说，这是一个元素嬗变的过程，即将一种元素转化为另一种元素。

地质学家通常使用五种母体同位素作为放射性测年法的基础：铀-238、铀-235、钾-40、铷-87 和钐-147。这些母体放射性同位素分别衰变为子体同位素：铅-206、铅-207、氩-40、锶-87 和钐-143。因此，地质学家将岩石的年代测定称为铀铅（两种）、钾氩、铷锶或钐钐测年。需要注意的是，碳-14（或放射性碳）测年法不用于测定岩石的年代，因为大多数岩石不含碳。

与放射性碳（ ^{14}C ）不同，其他用于测定岩石年代的放射性元素——铀（ ^{238}U ）、钾（ ^{40}K ）、铷（ ^{87}Rb ）和钐（ ^{147}Sm ）——据我们所知，如今在地球内部已不再形成。因此，上帝很可能是在创造最初的地球时创造了这些元素。

今日岩石化学分析

地质学家首先必须选择合适的岩石单元进行年代测定。他们必须找到含有这些母体放射性同位素的岩石，即使含量微乎其微。通常情况下，这种岩石单元是由熔融岩浆冷却形成的。例如，花岗岩（由地下冷却形成）和玄武岩（由地表熔岩流冷却形成）。

下一步是测量岩石样本中母同位素和子同位素的含量。这项工作需要在配备精密仪器的专门实验室中进行化学分析，这些仪器能够提供非常高的准确度和精密度。因此，通常很少有人对化学分析结果提出异议。

然而，正是对母同位素和子同位素化学分析的解读，才使得这些放射性测年方法存在潜在问题。为了理解地质学家如何利用放射性“时钟”从这些化学分析中“解读”岩石的年龄，让我们借助沙漏“时钟”（图2）来类比。

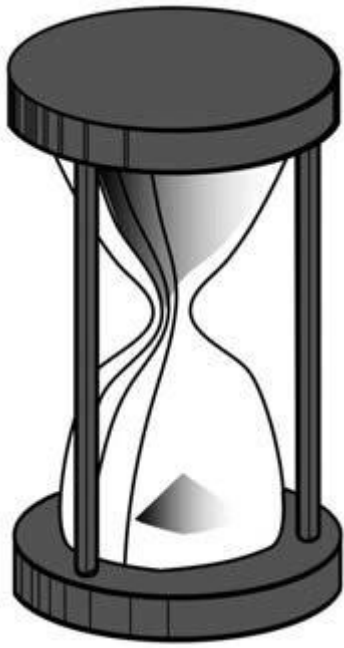


图 2. 参见第 11 章“[碳年代测定：问题解答](#)”。

在一个沙漏中，细沙以稳定的速度从上层玻璃碗落到下层玻璃碗。在零时，沙漏被倒置，使所有沙子都落到上层玻璃碗中。一小时后，所有沙子都落到了下层玻璃碗中。因此，仅仅半小时后，一半的沙子应该在上层玻璃碗中，另一半应该在下层玻璃碗中。

假设现在有一个人，他没有观察到沙漏何时被倒置（即时间零点），现在想要“读懂”这个“时钟”。他走进房间，发现一半的沙子在上层碗里，一半的沙子在下层碗里。因为他知道沙子落下的速度（一碗沙子一小时落完），并且假设所有的沙子最初都在上层碗里，所以 he 可以计算出这个“时钟”显然是在半小时前开始的。

解读放射性“时钟”

将这种类比应用于解读放射性“时钟”应该很容易理解。顶部玻璃碗中的沙粒（图 2）代表母体放射性同位素（铀-238、钾-40 等）的原子。沙粒的下沉相当于放射性衰变，而底部的沙粒则代表子体同位素（铅-206、氩-40 等）。

如今，地质学家采集岩石样本进行年代测定时，会分析其中所含的母同位素和子同位素，例如钾-40 和氩-40。他假设岩石中所有的子氩-40 原子都是自岩石形成以来，由母钾-40 原子放射性衰变产生的。因此，如果他知道钾-40 放射性衰变为氩-40 的速率（即沙粒下落的速率），就可以计算出岩石中氩-40（如今已检测到）的形成时间。由于岩石形成之初假定不含氩-40，那么计算出的从岩石中完全不含氩-40 到最终形成氩-40 的这段时间，就一定是岩石的形成日期（即岩石的年龄）。

因此，利用放射性方法测定岩石年龄的方法很容易理解。如果知道岩石中母体放射性同位素的衰变速率（如图 2 所示的沙漏“时钟”中沙子下落的速率），以及岩石中子体同位素的含量（底部沙子的量），那么岩石的年龄就是自岩石形成以来（即自沙漏“时钟”倒置以来），子体同位素通过母体放射性同位素的衰变在岩石中积累所需的时间。

但如果假设是错误的呢？例如，如果向岩石（顶部碗状部分）中添加了放射性物质，或者自岩石形成以来衰变速率发生了变化呢？

必要假设

从沙漏的类比中，我们很难直接看出放射性“时钟”的可靠性受到三个无法证实的假设的限制。毕竟，沙漏的可靠性是可以检验的，例如，将沙漏倒置以启动计时，然后观察沙粒下落并用可靠的时钟计时。相比之下，没有地质学家在待测岩层形成时在场，因此无法观察和测量其初始成分。也没有地质学家在场测量该岩层中放射性“时钟”在岩石形成后数百万年间的运行速度。因此，每位地质学家在使用放射性“时钟”测定岩石年代时都必须做出三个关键的（但无法证实的）假设：

1. 岩石形成时的初始条件是已知的，或者可以确定的。
2. 岩石中的放射性“时钟”必须不受任何干扰或外部影响（例如风化作用或地下水的影响）；也就是说，所有子同位素的原子都必须是由母放射性同位素的原子发生放射性衰变而来的。
3. 母体放射性同位素的放射性衰变率在岩石形成以来的数百万年里一定保持不变，并且以我们今天测量到的同样缓慢的速度进行衰变。

现在让我们更详细地探讨这些问题。

假设 1：零时刻的条件

大多数岩石形成时并没有地质学家在场，因此无法检验原始岩石中是否已含有与其母体放射性同位素同时存在的子同位素。例如，对于氩-40，人们只是简单地假设火山熔岩等岩石在喷发、流动和冷却时并不存在氩-40。对于其他放射性“时钟”，人们假设通过分析岩体或岩层的多个样本，如今可以确定岩石形成时子同位素（铅、铯和钷）的含量（通过所谓的等时线技术，该技术仍然基于未经证实的假设 2 和 3）。

然而，许多近期发生的熔岩流在喷发后不久就接受了检测，结果无一例外地显示其氩-40 含量远超预期。例如，1996 年对圣海伦斯火山火山口（据观察，该火山口于 1986 年形成并冷却）的熔岩样本进行分析时，发现其氩-40 含量极高，计算出的“年龄”竟高达 35 万年！同样，新西兰瑙鲁霍伊山侧面的熔岩流，已知年龄不足 50 年，其“年龄”却高达 350 万年。因此，可以合乎逻辑地得出结论：如果已知年龄的近期熔岩流由于继承了火山喷发过程中产生的额外氩-40 而导致钾氩法测年结果偏高，那么年龄未知的古代熔岩流也可能同样继承了额外的氩-40，从而导致测年结果偏高。

其他放射性“时钟”也存在类似的问题。例如，以大峡谷玄武岩（由地表熔岩冷却形成的岩石）的年代测定为例。在大峡谷西缘，有一些古老的火山，它们在峡谷形成之后喷发，熔岩从岩壁倾泻而下，流入峡谷。显然，这些喷发发生在近期，是在如今峡谷壁上裸露的所有岩层沉积之后。根据这些岩石中钾和氩同位素的含量，这些玄武岩的年龄可达 100 万年。但是，当使用铷和锶同位素对同样的岩石进行年代测定时，得到的年龄为 11.43 亿年。这与大峡谷东缘深处古老玄武岩层的铷锶同位素测年结果相同。5. 峡谷顶部和底部的熔岩，以及近期形成的熔岩，为何基于相同的母同位素和子同位素，年龄却相同？一种解释是，近期和早期的熔岩流都继承了相同的铷锶元素化学成分，而非年龄，它们都源自地球上地幔深处的同一源头。该源头本身就含有铷和锶。更糟糕的是，从峡谷顶部流出的这些年轻的玄武岩，其钐钕测年结果约为 9.16 亿年，6 而铀铅测年结果则约为 26 亿年！7

假设 2：无干扰或污染

与遗传问题一样，放射性同位素污染问题在岩石放射性测年教科书中已有详尽记载。8 与沙漏的密封两层不同，岩石中的放射性“时钟”会因雨水渗入地下以及火山下方的熔岩流动而受到污染，导致母同位素或子同位素的得失。同样，当熔岩从地底深处通过岩浆

通道上升并最终喷发到火山时，岩浆通道壁岩的碎片及其同位素会混入熔岩中，造成污染。正是由于这种污染，新西兰瑙鲁霍伊火山（Mt. Ngauruhoe）形成时间不足 50 年的熔岩流，其铷锶同位素测年结果为 1.33 亿年，钐钕同位素测年结果为 1.97 亿年，铀铅同位素测年结果更是高达 39.08 亿年！[9](#)

假设 3：衰减率恒定

在过去一百多年里，物理学家们在实验室里仔细测量了母体放射性同位素的衰变速率，发现它们基本保持不变（在测量误差范围内）。此外，他们也无法通过加热、加压或电场和磁场显著改变这些衰变速率。因此，地质学家们一直认为这些放射性衰变速率在数十亿年的时间里保持不变。然而，这是一种巨大的推断，其时间跨度跨越了七个数量级，且缺乏任何确凿的证据来证明这种推断的可靠性。尽管如此，地质学家们仍然坚持认为放射性衰变速率一直保持不变，因为这能让这些放射性“时钟”正常工作！

然而，最近发现的新证据表明，只有过去放射性衰变速率并非恒定才能解释这一现象。例如，新墨西哥州花岗岩中微小晶体的铀放射性衰变产生的铀铅“年龄”为 15 亿年。然而，[同样](#)的铀衰变也产生了大量的氦，但只有相当于 6000 年氦气从这些微小晶体中泄漏出来。氦气泄漏作为一种测年方法无疑更加准确，因为

它基于众所周知的物理定律。这意味着，在氦气泄漏的这 6000 年间，铀的衰变速度必然非常快。铀的衰变速率至少比今天测得的速率快 25 万倍，因为相当于 15 亿年缓慢衰变产生的衰变产物（铅和氦）实际上在短短 6000 年内就积累了！

因此，用于测定岩石年代的放射性“时钟”所依据的必要假设是无法证实的。过去没有地质学家对这些时钟进行过检验，但即使是世俗地质学家也已证明，这些时钟存在诸多问题。岩石可能从其来源继承了母同位素和子同位素，也可能在穿过其他岩石到达当前位置的过程中受到污染。或者，流入的水可能将同位素混入岩石中。此外，放射性衰变速率并非恒定不变。因此，如果这些时钟基于错误的假设并产生不可靠的结果，那么科学家就不应该相信或宣扬所谓的数百万年的放射性“年龄”，尤其因为它们与上帝圣言中记载的宇宙真实历史相矛盾。

因此，我们看到，尽管利用放射性同位素测定岩石年代的一般原理以及相关的化学分析方法看似合理，但正如世俗文献所记载，经常会得到异常甚至相互矛盾的结果。因此，那些声称的数百万年的“年龄”是完全不可靠的。

这是否意味着我们应该弃用放射性“钟表”？令人惊讶的是，它们其实很有用！利用放射性同位素测定岩

石年代的基本原理是合理的；只是之前的假设存在错误，导致测年结果偏高。虽然放射性同位素无法给出岩石的绝对年代，但它们可以提供相对年龄，使我们能够比较任意两个岩层，从而确定哪个岩层形成得更早。它们还可以帮助我们比较世界各地不同区域的岩层，找出哪些岩层形成于同一时期。此外，如果物理学家研究为什么同样的岩石会测出不同的年代，他们或许能够发现关于放射性元素在过去异常行为的新线索。

同一块岩石的不同日期

通常，地质学家不会使用全部四种主要的放射性同位素测年法来测定岩层的年龄。这被认为是一种不必要的浪费。毕竟，如果这些测年法真的有效，那么它们对同一岩层的年龄测定结果应该相同。然而，有时使用不同的母体放射性同位素对同一岩层的不同样本（或矿物）进行测年，却会得出不同的年龄结果，这表明可能存在一些问题。¹¹

近期研究利用四种常用的放射性测年法对来自同一岩层的相同样本进行了年代测定。¹² 其中，选取了位于大峡谷岩层序列深处的四个岩层（图3），因为它们已被充分研究和表征。这四个岩层如下：

1. 卡德纳斯玄武岩（东部峡谷深处的熔岩流）

2. 巴斯急流辉绿岩岩床（玄武岩浆挤入岩层之间冷却形成）
3. 布拉马角闪岩（峡谷深处玄武岩熔岩流，后来发生变质作用）
4. 精灵峡谷花岗闪长岩（一种被认为是峡谷中最古老的岩石单元的花岗岩）

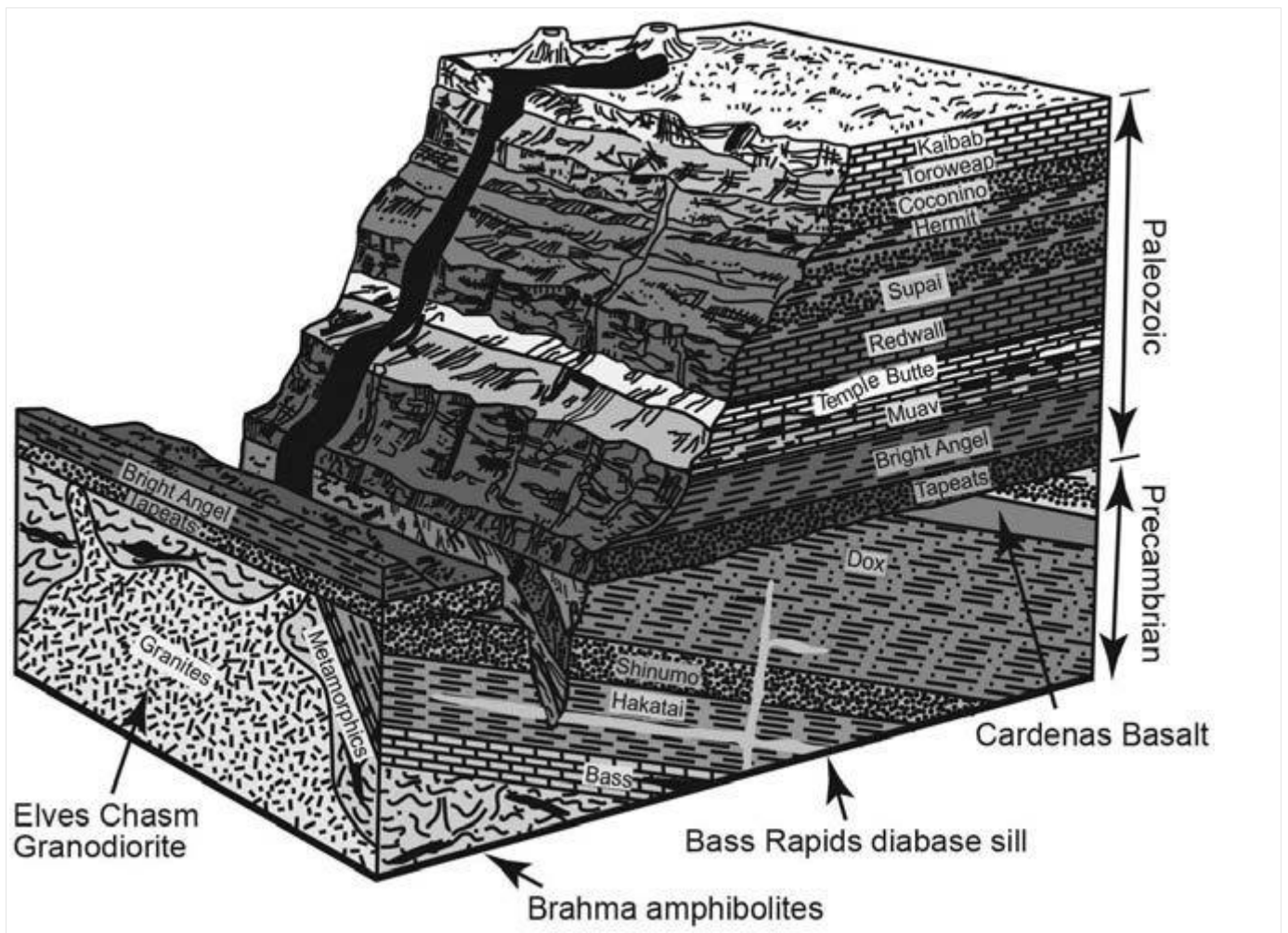


图 3. 地质示意图，示意性地展示了大峡谷峡谷壁和峡谷内部暴露的岩层及其相互关系。较深的岩层形成较早，峡谷壁上部的岩层沉积在其上。图中标出了文中提及的岩层单元名称。

表 1 列出了所获得的年代数据。图 4 以图表形式展示了利用所有四个放射性测年法得到的这些岩石单元的假定年龄范围。

表 1. 大峡谷四个岩层单元的放射性测年结果。（误差范围见括号内。）

岩石单元	年龄（百万年）			
	钾氩	铷锶	铀铅	钐钕
卡德纳斯玄武岩	516 (± 30)	1111 (± 81)	—	1588 (± 170)
巴斯急流辉绿岩岩床	842 (± 164)	1060 (± 24)	1250 (± 130)	1379 (± 140)
梵天角闪石	—	1240 (± 84)	1883 (± 53)	1655 (± 40)
精灵裂谷花岗闪长岩	—	1512 (± 140)	1933 (± 220)	1664 (± 200)

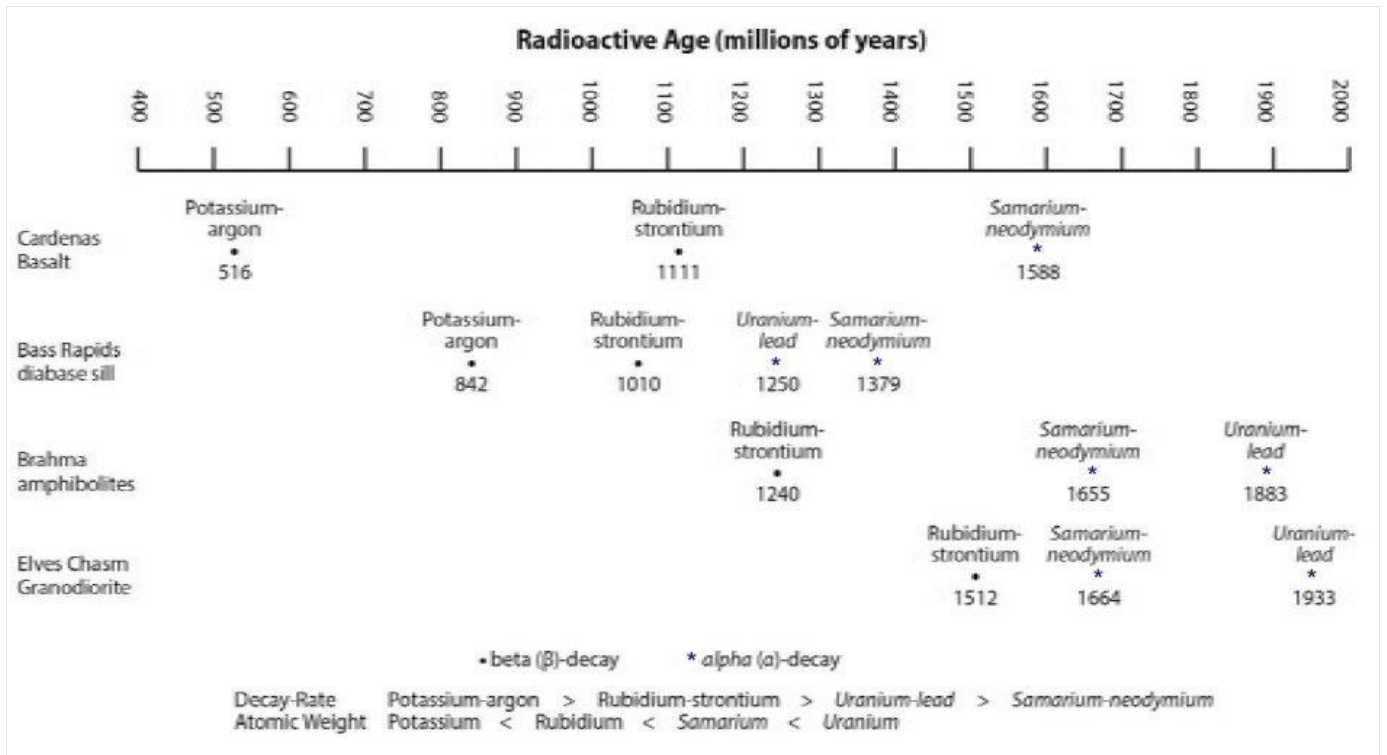


图 4 展示了使用不同放射性测年方法对大峡谷四个岩层单元的相同样品进行年龄测定的结果。两种方法的结果完全不一致，年龄范围巨大，远远超出所有实验室测量固有的分析误差。图中标出了两种放射性衰变类型。所得年龄的系统性规律与衰变类型、衰变速率和原子量相关，这表明过去放射性衰变加速可能存在某种潜在的物理原因。

显而易见，各岩层的年龄并不一致。例如，在卡德纳斯玄武岩中，铷锶年龄是钾氩年龄的两倍多，而钐钕年龄是钾氩年龄的三倍。

然而，测年结果呈现出三个明显的规律。两种方法（钾氩法和铷锶法）测得的年龄总是比另外两种方法（铀铅法和钐钕法）测得的年龄更年轻。此外，钾氩法测

得的年龄总是比铷锶法测得的年龄更年轻。而且，钐钐法测得的年龄通常比铀铅法测得的年龄更年轻。

那么，这些模式意味着什么呢？每个岩层单元中的所有放射性元素“时钟”都应该在同一时间开始“滴答”——也就是每个岩层单元形成的那一刻。那么，我们该如何解释它们各自记录的年龄却各不相同呢？答案既简单又深刻。每种放射性元素在过去的衰变速度必然不同，而且衰变速度也更快！以卡德纳斯玄武岩为例，钾氩原子钟的读数为 5.16 亿年，而铷锶原子钟的读数则为 11.11 亿年，钐钐原子钟的读数则为 15.88 亿年。因此，如果这些原子钟在过去的读数速度如此不同，那么它们不仅不准确，而且这些岩石的年龄可能根本没有数百万年！

但过去放射性衰变速率为何会有所不同呢？我们目前尚未完全了解。然而，观测到的年龄模式提供了一些线索。钾和铷通过 β 衰变进行放射性衰变，而铀和钐则通过 α 衰变进行衰变（图 4）。前者总是产生较年轻的年龄。我们在 β 衰变中也观察到了另一种模式。如今，钾的衰变速度比铷快，并且总是产生较年轻的年龄。这两种模式都表明，过去这些母原子的原子核内部发生了一些变化，加速了它们的衰变。衰变速率的变化取决于母原子的稳定性。相关研究仍在继续。

相对年龄

请再次查看图 3，这是一张地质图，描绘了大峡谷两侧岩层的形成过程，以及科罗拉多河沿岸峡谷深处的岩层单元。该图显示，放射性测年法准确地证实了最上层岩层的形成时间晚于其下方的岩层。这是合乎逻辑的，因为构成最上层的沉积物沉积在下方岩层之上，因此形成时间晚于下方岩层。所以，解读这张图可以让我们了解各个岩层和岩层单元相对于其他岩层的形成时间。

根据放射性测年法，我们可以得出结论：峡谷深处的这四个岩层单元（表 1）相对而言都比峡谷壁上的水平沉积层更古老。通常，这些水平沉积层中最下层或最古老的岩层被标记为早寒武世至中寒武世

¹³，因此被认为大约有 5.1 亿至 5.2 亿年的历史¹⁴。其下方的所有岩层则被标记为前寒武纪，并被认为超过 5.42 亿年。因此，所有四个已测定年代的岩层单元（表 1）均为前寒武纪岩层（图 3）。除了卡德纳斯玄武岩的钾氩测年结果外，所有放射性测年法均正确显示，这四个岩层单元的形成早于寒武纪，因此它们属于前寒武纪岩层。

（但这些前寒武纪岩层单元与其上方的水平沉积层之间的时间间隔最多约为 1650 年——即创世到洪水之间的时间——而非数百万年。）

同样，从相对意义上讲，布拉马角闪岩和埃尔维斯峡谷花岗闪长岩比卡德纳斯玄武岩和巴斯急流辉绿岩岩床更古老（相差数小时或数天）（图 3）。放射性测年法再次正确地表明，这两个岩层比它们上方的岩层更古老。

那么，我们为什么会期望放射性时钟得出的相对年龄符合逻辑规律呢？（实际上，较年轻的沉积层也呈现出类似的总体规律¹⁵——图 5。）答案同样简单却意义深远！大峡谷底部岩层单元中的放射性时钟形成于创世周期间，其运行时间比位于地层序列上部、形成于洪水后期的较年轻沉积层中的放射性时钟更长。

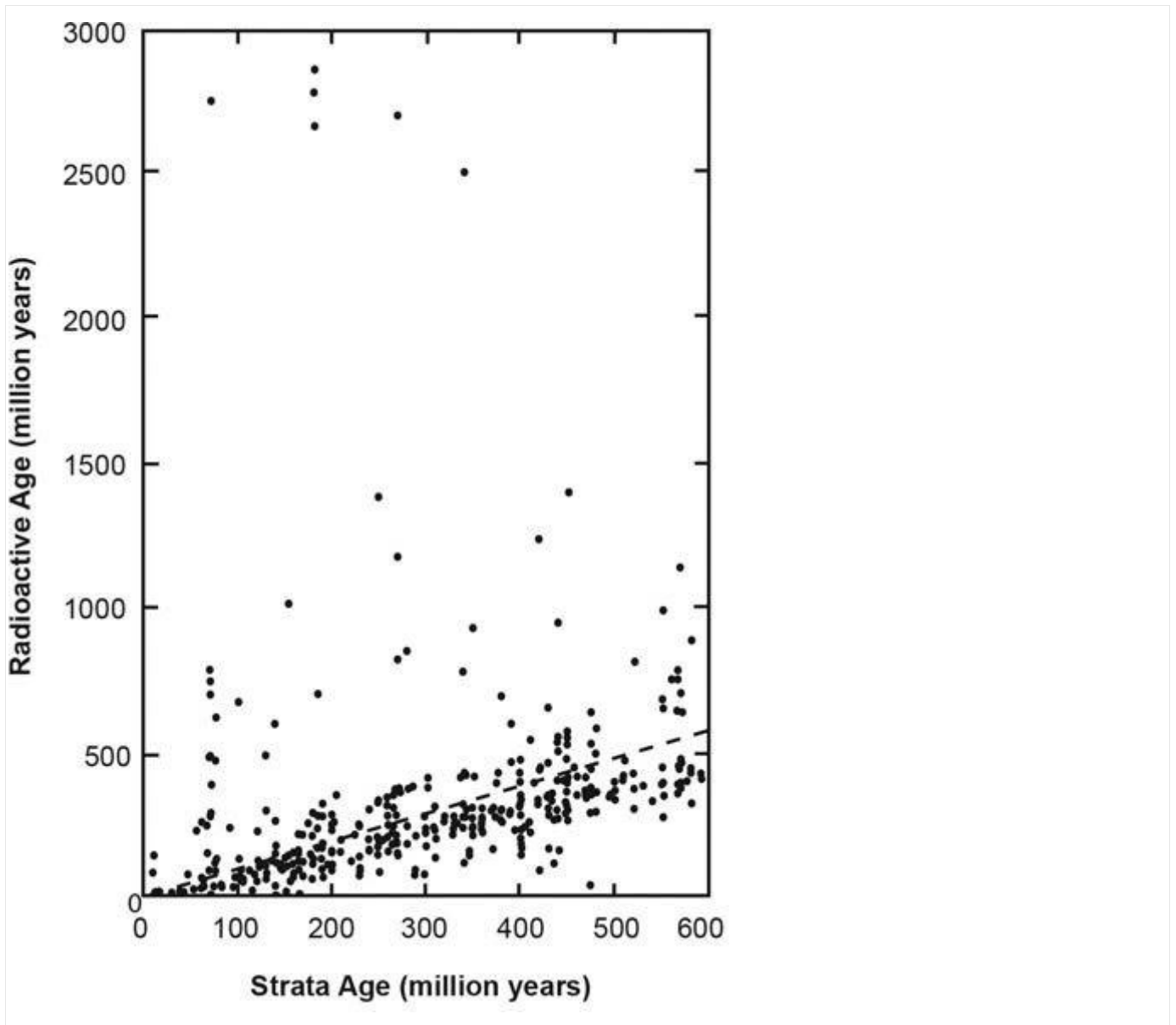


图 5. 通常情况下，岩层的放射性年龄与其在岩层记录中的相对位置对应的地层年龄相符。图中，岩层单元的放射性年龄（纵轴）与根据相对位置确定的地层年龄（横轴）相对应。可以清楚地看到，两者通常吻合，放射性年龄的顺序与岩层在序列中的相对位置一致。这正是由潜在的系统性物理原因导致放射性衰变加速所造成的结果。

因此，尽管接受数百万年的放射性测年结果是错误的，但原则上，这些放射性时钟仍然可以帮助我们确定地

球历史上岩石形成的相对顺序。不同的放射性时钟在过去以不同的速度运行，因此标准的古老年龄肯定不准确、不正确或绝对。然而，由于地球早期形成的岩石中的放射性时钟运行时间更长，它们通常会得出比后期形成的岩层更古老的放射性年龄。因此，除了矿物成分和其他岩石特征之外，岩石的相对放射性年龄也可能用于比较和关联其他地区的类似岩石，以确定哪些岩石是在《创世记》（上帝亲眼目睹的地球历史记载）中所描述的事件期间同时形成的。

读完这篇文章，你心里是否有一些触动？有没有一些新的想法，或者值得你认真思考的问题？或许，你也开始重新思考自己的信仰和人生的方向。

如果你愿意，现在就可以向上帝祷告，打开心门，成为祂的儿女。祷告不需要华丽的言辞，只要一颗真诚的心。你可以这样祷告：

天父上帝，

今天我来到你面前，愿意立定心志，宣告我相信耶稣基督是我的救主，是我生命的主。我愿意离开过去那些不讨你喜悦的生活方式，求你赦免我的过犯。靠着你的恩典，帮助我学习顺服你、爱人如己，活出你所赐的新生命。求圣灵每天引导我、扶持我，使我一生荣耀你的名。奉主耶稣基督的名祷告，阿们。

如果你已经做了这个祷告，愿你知道，你并不孤单。信仰的道路需要陪伴和成长。鼓励你在自己居住的地方，寻找一间合适的教会，与弟兄姐妹一同聚会、学习和成长。

如果你有任何疑问，或在信仰上需要帮助，欢迎随时写信与我们联系。我们愿意倾听，也愿意与你一同前行。