

怎样测定 岩石和地球的年龄

E. C. 布尔克謝尔著



地质出版社

219

XX

怎樣測定岩石和地球的年齡

E. C. 布尔克謝尔 著

王 立 文 譯

地質出版社

1956·北京

Е. С. ВУРКСЕР
КАК ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ВОЗРАСТ
ГОРНЫХ ПОРОД И ЗЕМЛИ
ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УССР
КИЕВ—1954

本書主要談一談利用放射性來測定岩石和地球的年齡，可作地質院校學生及一般自然科學愛好者的讀物。

怎样測定岩石和
地球的年齡

24000字

著者 E. C. 布 尔 克 謝 尔
譯者 王 立 文
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零伍零号
發行者 新 華 書 店
印刷者 地 質 印 刷 厂
北京廣安門內教子胡同甲32号

編輯：吳樹仁 技術編輯：張華元 校對：張曉光
印數(京) 1—6300册 一九五六年七月北京第一版
定價(10) 0.17元 一九五六年七月第一次印刷
開本 31" × 43" 1/32 印張 1張

目 錄

緒言.....	4
試圖測定地球年齡的歷史概況.....	8
放射性的發現和放射性元素.....	10
放射性元素在自然界的分布.....	13
用鉛法測定礦物的年齡.....	15
用氮法測定礦物年齡.....	18
氡法.....	20
鈾鐳法.....	21
碳法.....	22
用放射性方法測定礦物和岩石年齡的結果.....	24
參考文獻.....	30
附錄.....	31

緒 言

研究地球的成分、構造和歷史的科學，叫做地質學。地質學的任务就是要儘可能完全地來追溯地球的歷史。

為了這個目的，地質工作者要研究地殼的岩層，以便查明在地球存在的整個時間中地理條件、氣候條件、以及動植物界發生了哪些變化。

研究了以前存在過的動植物的化石以後，可以確定：地殼的哪些地層古老些，哪些地層年輕些，和在哪些地層中保存着最初生物的殘跡。

以前在地球上繁殖過的某些生物，在其本身的發展中曾廣泛地分布過，但以後被其他的生物代替了。這些生物的殘骸至今尚保存於岩石中。地質學家利用這些殘骸來確定岩石生成的相對時間，因而稱它們為標準化石。

在烏克蘭南部的許多地方，開采一種名叫介殼石灰岩的建築石料。介殼石灰岩沉積是在淺海底形成的，古時這種淺海曾分布在烏克蘭的南部。根據組成介殼石灰岩層的貝殼的性質，地質學家能確定這種岩石生成的時間。

但是，並不是在所有的岩石中都含有以前曾生存過的生物的化石。在極古老的石灰質、粘土質和砂質岩石中，我們一般是找不到各種生物化石的，它們因受溫度和壓力的影響形成片狀構造和結晶結構，因此其中所含的貝殼和古老生物的殘骸都已被破壞了。

在地史上數以幾百萬元計的漫長的時間間隔，叫做代。

最古的代名叫太古代，或生命的开始代。在組成太古代地層的岩石中，是找不到生物化石的。

繼太古代之后是元古代，或最簡單的生命代。在元古代的劇烈變質的岩石中，能找到極少數以前曾生存過的生物的化石，雖然如此，但是這些化石卻能證明：棲居在遠古的海洋中的生物是各種各樣的。我們能遇到矽質海綿化石、各種軟體動物貝殼和最古老的甲殼類化石。

在地球上發生這樣許多不同的生命，是需要很長一段時間的；因此，應當假定，在太古代時地球上就有生命存在了，因此，將元古代稱為最簡單的生命代就未必正確了。

在地史上最古老的兩個代中，地球上曾發生過巨大的火山噴發作用，以及強烈的造山運動。

下一個代，即古生代或古老的生命代，為我們保存了豐富的材料，那就是以前曾存在過的動植物的化石，這樣的化石在以前海底和淺海灣處形成的石灰質、砂質、礫質和粘土質沉積中我們是常常可以看到的。根據這些化石能夠很完全地了解到古生代動植物界的情況。

由於氣候和自然地理條件的變化，滅絕了一些生物，而在進化的過程中又出現了一些新的生物，因此有可能將古生代劃分為五個地質紀。其中前三個紀（寒武紀、志留紀、泥盆紀）是以地層已被充分研究的地方而得名的。下一個紀（石炭紀）的名稱來源是由于在這個紀中沉積了大量的煤。第五個紀名叫二疊紀，是以該紀地層已被研究過的俄羅斯彼爾姆省而命名的。

早在古生代的初期，海里已出現了象魚這樣的複雜生物。在沿岸一帶曾有過甲冑魚類，這種魚有骨質的外部復蓋。而在大海中有過兇猛的似鯨魚類。

6
在古生代的後半期地球上出現了巨大的兩棲類——堅頭類，頗象現代的蛙類；其頭部長滿骨質甲冑。

石炭紀時地球上的植物多是蕨類。蕨類植物很大，在河、海、湖的沿岸，以及在大陸的沼澤平地形成森林。

巨大的植物——鱗木和封印木，高達40公尺，在石炭紀的地層中可以發現，頗象現代的石松。

石炭紀的森林是昏暗而潮濕的。聽不到鳥兒的歌唱、沒有蝴蝶飛翔，也沒有蜜蜂嗡嗡，因為當時在植物中沒有顯花植物。大概，只有巨大的堅頭類高聲哇叫。

在二疊紀地球上動植物界的性質有了很大的變化。松柏類植物發育；出現了巨大的爬蟲類，其中有可怕的猛獸。

二疊紀是向下一個代——中生代的過渡紀，中生代即中期生命代，中生代的海里，發育着鱗鯉類軟體動物和高級的棘鱗類。

中生代劃分為以下各紀：三疊紀（是根據組成三疊紀地層的三個統而命名），侏羅紀（因侏羅山而得名）和白堊紀（根據當時沉積於海底的白色岩石——白堊而命名）。

在地球上動物界中爬蟲類開始起主要的作用，這些爬蟲類早在二疊紀時就已出現了，牠們的體軀甚大——長達30公尺以上。

在莫斯科蘇聯科學院古生物博物館中有巨大的鱗甲類骨骼，這些骨骼是俄國地質學家發現的。根據牙齒的構造可將鱗甲類劃分為兇猛的——似獸齒類，和草食性的——鉅齒龍類。

在北美中生代的白堊紀沉積中曾發現過巨大翼手龍的骨骼；假如這種動物現在還活着的話，牠會自由地將一個成年人帶到空中去。

在白堊紀的海中曾繁殖过似蛇狀的爬虫类——中水龍。这种动物的骨骼曾在頓涅茨盆地里發現过，現保存在契尔內舍夫（Ф. Н. Чернышев）地質博物館中。

在中生代时地球上出現了鳥类。我們所知道的最初的鳥，即名謂始祖鳥的化石，是在巴伐利亞的石印板岩地層中發現的。

始祖鳥的外形与現代鳥类是根本不同的；始祖鳥滿嘴是牙，兩翼上各有三个長着爪的趾，而軀干的末端有着蜥蜴类般的尾巴。

我們不打算詳細地描述各种軟体动物、棘皮动物、甲壳动物，这些动物的遺体常常可作为标准化石，地質学家根据它們能确定出海底和淡水盆中形成的各种岩層的年齡。

我們現在是生活在新生代，或新的生命代，新生代分为兩個紀：第三紀和第四紀；現在的时代即屬於第四紀。

在第三紀时，象在以前的各紀一样，地球的面貌是不断地改变的。大陸的外形發生了变化，出現了高山，地球漸漸地趋向現在的样子。

在第三紀地球上的哺乳类得到了最广泛的分布；在第三紀末出現了猿猴。

在新生代的第四紀期間，大約是在五十万年前左右，地球上出現了現代人的祖先。

地壳的岩層能夠使我們根据沉積的成分、动植物的化石來了解它們形成的条件，以及古时候动植物界的情况，但是却不能十分准确地鑑定出各个代和各个紀的相对的和絕对的延續時間。

試圖測定地球年齡的歷史概況

鑑定地球年齡的最初嘗試早在十八世紀就曾作過的。

十八世紀二十五年代，發現萬有引力定律的英國學者牛頓認為，當時地球僅存在了6030年。他為了尊敬宗教信仰，曾以教堂書籍“舊約全書”為基礎，花費了幾年的工夫去正確地計算這個數字。

他的同代人和同國人，天文學家哈雷（Галлей），在1715年以科學的方法作了鑑定地球年齡的首次嘗試。哈雷的根據是，地下泉水和地表水均能溶解岩石和土壤中所含的鹽。這種鹽會被河流搬運到大洋中，在這裡漸漸地堆積起來。由於水能蒸發，常呈雨和雪的狀態重新返回大陸，而鹽就留在大洋中了。

哈雷所鑑定的地球年齡，比起牛頓所鑑定的要多得多，但是，由於他沒能掌握河流所搬運的水量以及水的化學成分的十分準確的資料，他也犯了錯誤。

後來，許多學者都使用了哈雷所提出的方法。海洋的年齡是根據水中所含的氯和鈉來計算的，根據某些科學家的資料，海洋的年齡為九千萬到三萬五千萬年。

這個方法的缺點是，我們不知道大洋中的水在變成液體狀態時的原始成分。此外，海洋中所含的鹽類，如同其中的水一樣，是不斷地與陸地交換。

含鹽的飛沫能被風吹到很遠的地方，然後它會象由岩石和土壤中淋溶出的鹽類一樣，又被河流搬回大洋。於是海洋便因其中堆積了含有鹽類的海底沉積，而改變了自己的形狀，這尤其能夠用以解釋某些地方有巨大的石鹽礦的原因。

過去也曾利用過其他方法，即用研究沉積物在海洋中形成的速度的方法，來計算地球的年齡，或更正確點說，地史的延續時間。雨水不斷地將土壤沖刷到河流中，而河流將又把它搬運到海中並在那里沉積起來。象德聶伯這樣的河，每年能搬運幾百萬噸的砂子和粘土，使它們沉積在大海中。

根據已形成的沉積物的厚度，可以斷定它形成過程的延續時間，但是在地質學家之間對沉積物形成的速度問題卻沒有一致的看法。根據一些學者的資料形成一公尺厚的沉積物需要三千年，但根據另一些學者的資料來看則需要一萬年。

沉積物的形成速度是由許多條件來決定的，它在地史期間哪怕是對成分相似的一些岩石來說也是會改變的。

在整个地史期間所形成的沉積岩的總厚度約為一百公里；然而，要形成這樣的厚度需要三億——十億年。但是還應當考慮到，在地球上是不會有一個地方能夠找到沉積岩的全部厚度的。

這個方法的主要缺點，在於我們不能準確地確定出已經形成的沉積岩的厚度，也不知道在地球存在的各個時期沉積岩沉積速度曾有过哪些變化。

以算出從原始灼熱物質到目前狀態的地球冷卻的速度為基礎的計算所得到的結果是完全不可靠的，因為地球火熱液態階段存在的本身，在目前還是值得懷疑的。

近來在50年以前，十九世紀的著名物理學家之一——威廉·湯姆遜（Вильям Томсон）根據冷卻學說，測定地球的年齡約為四千萬年。

根據碳酸鹽岩——石灰岩、白云岩、白堊的數量來計算地質年代的延續時間的嘗試是很有意義的。這些岩石都含有二氧化碳，其中有許多遇到鹽酸時噼噼作響，放出二氧化

碳。地球上的碳酸鹽岩中所含的二氧化碳比大气圈中所含的多几万倍。

假如知道了，一年中因火山噴發、动植物呼吸、煤、石油和木材燃燒生成多少二氧化碳，以及植物消耗了多少，再和碳酸鹽岩中所含的二氧化碳数量对比一下，則可以算出地球地質史的延續時間是二億五千万年。但是我們并不知道，在整个地質年代中每年所生成的二氧化碳的数量是否有过变化。

上述各种方法中沒有一个方法能夠达到十分准确的程度，只是放射性現象的發現，才使鑑定地球絕對年齡的問題得到解决。

放射性的發現和放射性元素

1896年法國物理学家安里·別克列尔(Анри Беккерель)發現了鈾的極可貴的性質，即不断地放射不能看見的光綫。进一步研究了这种所謂放射性現象后，發現了釷，以及从前不知道的化学元素——鐳和釷也具有这种性質。

放射性現象是因放射性元素原子核的自行衰变而引起的，这种衰变的同时，会放出（氦的原子核的）正电 α -質点或电子。

例如，鐳就能不断地放射出 α -質点。它的原子核（原子量为 226）当变成气体元素氦（原子量为 222）时，就要失去一个質点。被分离出去的 α -質点和两个电子相結合时，就成为氦的原子，氦的原子量为 4。在每个單位時間內要衰变一定量的鐳的現有原子；一半任何現有数量的鐳变为其他元素都需要 1590 年。

氦的寿命較鐳为短，它要經過后来的一系列的变化，最后生成不再破坏的原子量为 206 的鉛原子，这种鉛与原子量为 207.2 和由原子量为 204、206、207 和 208 的原子混合物所組成的普通鉛是不同的。

鉛的諸同位素的特征是具有相的化学性質，并且都只是它的異种而已。

每种放射性元素原子的放射性衰变作用都是以固定的速度進行的，与广大的温度和压力的变化范围、化学藥品的作用，以及在地壳岩層內的磁場和电場是无关的。

由此可見，放射性元素是可以作为地球年齡的度量标准的，这个标准在地球地質史上是不会改变的。

当然，鐳存在的短促性会引起一个問題：如果經過 1590 年它就剩下一半，再經過 1590 年就剩下四分之一，而再經過 15900 年就只剩下原來数量的一千二十四分之一，那末它会以怎样的状态保存于地球之中呢。

鐳是由鈾礦石中提取的，在鈾礦石中鈾和鐳的数量常常是有固定的比率的。目前已經証明，从鈾中能不断地生成鐳，因此，新生成的鐳就能补偿因其繼續衰变而損失的鐳。

鈾的原子，因具有極大的原子量(238)，破坏得比鐳緩慢得多。一半現有数量的鈾变成鉛时，需要四十五億二千万年。

原子量为 238 的鈾是整个放射性元素族的族長，这些放射性元素是因原子衰变而依次地、一个由另一个產生的。

这一族的成員是鐳、氦和釷——寿命短促的元素，但是它們在門德雷耶夫元素周期表中都占有一定的位置。

鈾族元素衰变的最終產物是原子量为 206 的鉛和原子量为 4 的氦（以八个原子中有一个鈾原子完全衰变計算）。

第二族放射性元素是錒鈾或原子量为 235 的鈾組成的。

鈾元素是由 99.28% 的原子量為 238 的原子和 0.71% 的原子量為 235 的同位素組成的；此外，其中含有極少量的原子量為 234 的鈾的同位素的原子，即鈾 238 的原子的衰變產物。原子量為 235 的鈾的壽命比鈾 238 要短促得多。一半的鈾變成鉛時，需要八億九千一百萬年。

鈾在進行時，能生成鐳、錒（它們在門德雷耶夫元素周期表中占有一定的位置），而最後生成原子量為 207 的鉛的同位素。

一個鈾的原子完全衰變後，能生成七個氦的原子和一個鉛 207 的原子。

第三族放射性元素是以原子量為 232 的釷為首的，和上述元素比較起來，釷的壽命為最長。它的半衰變期為一百三十九億年。

釷的原子發生衰變過程中能生成許多元素，其中包括新釷、射釷和釷射氣，衰變的最終產物是原子量為 208 的鉛的同位素和氦，而且一個釷的原子能生成六個氦的原子和一個鉛 208 的原子。

除了上述的三族天然化學元素外，還有鉀、銣、銑、釷也具有放射性。這些元素經過放射性衰變後，能生成不具放射性的穩定元素；因此不能生成新的族。

鉀是一種輕的、極為常見的元素，是由原子量各為 39（93.29%）、40（0.012%）和 41（6.7%）的三種同位素組成的。三種鉀的同位素中，只有原子量為 40 的一種同位素具有放射性。它的半衰變期為三億年，同時有一部分原子因放出電子而變成鈣（88%），而另一部分因將電子奪取至原子核而變成氫（12%）。

銣是由原子量各為 85（72.8%）和 87（27.2%）的兩種

同位素組成的，鈾的較重的同位素具有放射性。它的原子在放出電子後能生成原子量與之相同的錒。鈾的半衰變期是極其漫長的——六百億年。

釷和釷的放射性衰變作用進行得極為緩慢，加之對它們的研究尚不夠充分，所以我們就不談它們了。

放射性元素在自然界的分布

許多研究工作證明，在地球上能遇到的所有的岩石中都含有放射性元素。

沒有一種岩石或礦物是不含鈾和釷元素的，不過它們的含量是微乎其微的，因此測定它們時需要極灵敏的方法。岩石中鈾的含量為百萬分之幾，而釷的含量為十萬分之幾。

含鈾和釷較多的是所謂酸性岩，即富含矽酸的岩石。花崗岩和偉晶岩就屬這種岩石。含鈾和釷較少的是基性岩石（含矽酸的數量較少的），其中含這些元素的數量非常少的是矽酸最貧乏的超基性岩石——橄欖岩、純橄欖岩。

由晶質岩石組成的沉積岩所含的放射性元素的數量，比酸性岩石所含的少，比超基性岩所含的多。

不同地區的相同的岩石之中，其放射性元素的含量是大不相同的。例如，芬蘭花崗岩中含 $13.5 \cdot 10^{-4}\%$ 的鈾，而莫三鼻給花崗岩中則含 $3.8 \cdot 10^{-4}\%$ 。

各個科學家們計算各種岩石中放射性元素平均含量所得到的資料，有很大的出入，這是因放射性元素在各個地區的岩石中分布得不均勻，因而難以確定它們的平均含量。

在表 1 中，我們根據 霍爾姆斯 (A. Холмс)，和維諾格拉多夫 (А. П. Виноградов) 所整理的最新的資料列舉了

有关放射性元素在各种岩石中的平均含量的資料。

表1

岩 石	鐳的含量 ($10^{-10}\%$)		鈾的含量 ($10^{-4}\%$)		鈾的含量 ($10^{-4}\%$)	
	根据霍 尔姆斯	根据維諾 格拉多夫	根据霍 尔姆斯	根据維諾 格拉多夫	根据霍 尔姆斯	根据維諾 格拉多夫
酸性火成岩	3.1	1.4	9.1	4.0	29.0	13.0
中性火成岩	2.1	—	6.2	—	17.0	—
基性岩	1.1	0.4	3.2	1.2	15.0	4.0
沉積岩	1.5—0.9	—	4.4—2.6	—	11.0—1	—
超基性岩	0.5	0.2	1.47	0.7	—	2.0
俄罗斯平原的 土壤(上層)①	—	0.95—0.28	—	0.93—0.12	—	9.1—2.6

地壳中大量的鈾和鈾是呈分散状态存在的。鈾是比鈾較常見的元素。在各种岩石中鈾和鈾的数量比为 3 : 1。不論鈾或鈾，主要都是集中在地壳的上部，尤其是在上面的花崗岩壳中，形成許多少見的礦物或呈分散状态存在。

在超基性和基性岩中我們是看不到任何鈾礦物或鈾礦物，鈾和鈾在这种岩石中是呈分散状态存在的。

在花崗岩和偉晶岩中鈾是呈礦物状态——独居石、褐帘石，偶而呈鈾石状态存在的；与鈾共生时，是呈方鈾石状态存在的。鈾在地壳中不能形成揮發物，也不能变为水溶液。

由于鈾的某些化合物在高温下具有揮發性，所以它能由鈾中游离出來，在偉晶岩中形成含鈾極富的黑色礦物——瀝

①根据直接測定的資料。維諾格拉多夫：土壤中稀有元素与分散元素的地球化学。苏联科学院出版社，1950，頁232和233。

青鈾礦。

在自然界中鉀比鈾和釷的分布要多得多。地壳中鉀的平均含量达2.6%。它在岩石中形成常常可以遇到的鉀礦物——正長石和微斜長石、白云母；此外，在鉀鹽礦層中能遇到鉀鹽、鉀鹽鎂礬、光鹵石和鉀芒硝礦物。

銣在自然界中是很少見的，它的化学性質頗与鉀相似。銣不能形成純銣礦物，而是呈混入物加入到某些其他富含鉀的礦物中，例如加入到淡藍綠色的天河石礦物中，即鉀長石——微斜長石的变种中以及加入到玫瑰紫色的含鋰的云母——鋰云母中。在这些礦物中銣的含量可达3%。

在由鉀和鎂的氯鹽組成的天然光鹵石中，也可遇到为量不多的銣的混入物。

因为地球的花崗岩壳下面是基性岩和超基性岩，所以地球中的放射性元素的含量是随着深度的增加而减少的。

用鉛法測定礦物的年齡

礦物年齡——指从它生成时起至研究它时止——的鑑定，是基于鉛的生成：來自鈾的其原子量为206，來自錒鈾的其原子量为207，而來自釷的其原子量为208。这种方法适用于鑑定含有数量相当多的鈾和釷的鈾礦物和釷礦物。

由于这种方法是基于求出现在在礦物中的原始放射性元素的含量及經放射性衰变后生成的鉛的同位素的含量的資料，因此必須是在整个礦物存在期間，沒有失去过或从外界獲得过原始的元素及放射性衰变的中間產物和最終產物。

当礦物是被包含在結晶岩中时，就沒有这种可能了。而如果礦物曾与外界接触过，則鈾、鉛和中間气体產物——氦

的損失是可能的。

第二个条件乃是在極漫長的一段时间內放射性衰变速度的穩定性，測定地球年齡的所得結果完全決定于这一条件。

正确鑑定礦物年齡的第三个条件乃是鉛同位素的化学分析和質譜鑑定的准确性。分析工作的現代技術有可能在这里达到極大的准确性。

我們已經說过，在大大地超过岩石熔点的广大温度範圍內，放射性衰变的速度是不变的。甚至几万个大气压範圍內的压力对它也无影响。

甚至都有放射性衰变速度在地球的整个地質歷史过程中沒有改变的直接証明。研究在某些透明礦物中，如云母和冰洲石中，生成的呈色环狀存在的所謂多色暈就能得到这种証明。

多色暈的生成是因放射性礦物的極小的晶粒加入云母或冰洲石的晶体中而發生的。礦物所發射的 α -質点在云母或冰洲石体内傳播得不远，只有千分之几公分，而在空气中它們能傳播好几个公分。每种放射性元素放出具有其特有速度的 α -質点，所以它們在空气中能傳播一定的距离，是为射程。在諸如云母或長石这样致密的介質中，射程是相当小的，但却同样是穩定的。

原子量为238的鈾的 α -質点的射程，在云母中为12.6微米^①，而鐳的 α -質点为16微米。

当自己的途程終結时， α -質点在云母或冰洲石中發生化学变化，呈現淡黃褐色的环狀，环的半徑是和 α -質点的射程相适当的，而顏色的強度是和礦物存在的時間相当的。

①微米为一公分的千分之一。