

中国科学院图书馆藏

# 原子能原料地质

地质出版社

1955年出版  
[1955]

和平利用原子能国际会议报告集

# 原子能原料地质

地质出版社

1958·北京

10883

ДОКЛАДЫ ИНОСТРАННЫХ УЧЕНЫХ  
НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
ПО МИРНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
Женева-1955

ГЕОЛОГИЯ  
АТОМНЫХ СЫРЬЕВЫХ  
МАТЕРИАЛОВ

ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ  
Москва-1956

本書根据1956年苏联国立地质保藏科技书籍出版社出版的“原子能原料地质”(Геология Атомных Сырьевых Материалов)一书译出。该书为苏联科学院科学情报研究所翻译的1955年在日内瓦和平利用原子能国际会议上主要是资本主义各国学者报告集。第一部分由刘少华、胡伦积、霍广盛、石家碧译出，第二部分由李志贤、官静嫻、任士宝、谢仲武译出，第三、四部分由王耀粉、韩淑真、崔广盛、徐维龙、杨伯勋、王玉田、高荣森、曹祥英译出。本书第二部分经陆森、秦国兴两同志校阅，最后三章经殷育才同志校阅。

原子能原料地质

出版者 地质出版社

北京宣武门外永光寺西街3号

北京市书刊出版业营业登记证出字第050号

发行者 新华书店

印刷者 天津市第一印刷厂

|                                         |                                      |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| 印数(京)1—1,700册                           | 1958年7月北京第1版                         |
| 开本31"×43 <sup>1</sup> / <sub>32</sub> " | 1958年7月第1次印刷                         |
| 字数100,000字                              | 印张14 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> 插页8 |
| 定价(10)2.5元                              |                                      |

# 目 錄

|          |   |
|----------|---|
| 前言 ..... | 5 |
|----------|---|

## 一、鈾的地質学和地球化学的一般問題

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 14. 含鈾区 .....           | 7   |
| 300. 鈾礦床成因假說的簡述 .....   | 24  |
| 17. 岩漿分異作用中的鈾 .....     | 51  |
| 16. 美國火成岩中的鈾 .....      | 70  |
| 49. 鈾的有机地球化学 .....      | 90  |
| 299. 某些鈾礦物的同位素地質学 ..... | 100 |

## 二、区域概述

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 1114. 鈾礦床和鈾礦床 .....       | 109 |
| 471. 美國的鈾礦床 .....         | 203 |
| 20. 美國的脉狀鈾礦床 .....        | 217 |
| 759. 英國的放射性礦物資源 .....     | 229 |
| 761. 英屬殖民地的放射性礦物 .....    | 235 |
| 760. 中非联邦的放射性礦物 .....     | 237 |
| 328. 法國及其領地的鈾礦床 .....     | 242 |
| 968. 葡萄牙及其非洲領地的鈾礦普查 ..... | 254 |
| 1122. 西班牙的放射性礦床 .....     | 265 |
| 1071. 澳大利亞的鈾礦和鈾礦 .....    | 269 |
| 301. 美國的鈾礦床地質 .....       | 274 |

## 三、鈾矿床各論

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 1105. 申戈洛布維的鈾礦床 ..... | 287 |
|-----------------------|-----|

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 473. 科罗拉多高原的鈾钒銅礦床 .....                   | 334 |
| 39. 科罗拉多高原辛納隆普和琴尔層系中的鈾礦床地質 .....          | 352 |
| 29. 区域構造对科罗拉多高原鈾礦床成因及分布的影响 .....          | 375 |
| 32. 科罗拉多高原沉積岩層区域滲透性能及其对鈾礦床分<br>布的影响 ..... | 385 |
| 130. 塞拉·德·扎科宾納(巴西巴伊亞州)地区的鈾礦床 .....        | 394 |

#### 四、普查方法和仪器

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 502. 作为普查鈾礦床标志的近礦圍岩蝕变 .....             | 401 |
| 509. 普查鈾礦时采用的植物方法 .....                 | 410 |
| 511. 在野外測量放射性的仪器和方法 .....               | 421 |
| 518. 厚的鈾放射源放出的 $\gamma$ -射綫在空中的散射 ..... | 437 |
| 512. 应用閃爍計数器的測井 .....                   | 445 |

## 前 言

使用大量的、取之不竭的原子能資源的可能性，給科学和技術的發展開闢了新的非常廣闊的前程。現在很難找到有一門自然科学或技術能夠不受原子核物理学上的新成就的影响，因此，和平利用原子能的問題，对人类來說，有着極其偉大的意义。

一九五五年八月在日內瓦召开的关于和平利用原子能的國際科学技術會議，引起了全世界科学輿論界的極大注意，就充分說明了这一点。

参加會議工作的有來自73个國家的1400多名科学家和学者，他們共做了1067个报告，會議的参加者在相互諒解和創造性的合作气氛中討論了約五百个报告和報導。有效地交流了关于和平利用原子能方面的知識和經驗。这种知識和經驗的交流，不但对科学发展有着貢獻，而且对科学家和学者們的國際間合作的發展和巩固也有着同样的巨大貢獻。

苏联的广大科学技术界对在日內瓦討論的关于和平利用原子能的問題感到了極大的兴趣。为了使苏联的讀者們了解这次會議的材料，苏联科学院决定，在聯合國准备公布日內瓦整个會議的文献之前，先行出版俄譯本的七册專輯，共包括外國科学家的215个报告。

七册專輯名为：

1. “原子能原料地質”，
2. “核子动力冶金学和放射对物質的作用”，
3. “实验反应堆和反应堆的物理学”，
4. “原子动力学”，
5. “核子燃料化学”，
6. “放射性同位素的应用”，

7. “电离放射定量 ( дозиметрия )”。

本書專述关于原子能原料的地質問題，書中一共包括28个报告，在这些报告中陈述关于鈾的地質学和地球化学的一般問題、鈾和鈾的礦床及其普查方法、放射性測量仪器。

編輯委员会

# 一、鈾的地質学和 地球化学的一般問題

## 含 鈾 区<sup>①</sup>

M. P. 克列彼尔, Д. Г. 万 特

和其他金屬礦床一样,大多数重要的鈾礦床都是集中在界綫不定的地区或区域内。在这些广大的地区內,鈾最初的聚集,可能是在地壳形成时發生的。后来,由于地球化学和造山运动的相互作用,使鈾重新組合和部分地聚集成有工业价值的礦床。

含鈾区是一个輪廓不定的广闊的地区,其中鈾礦床和富含鈾的岩石分布相当广。一般可以發現不同时代的几个类型的礦床。比較大的鈾礦床,大多集中在这些地区,例如,在落基山和其鄰近的,从新墨西哥和亞利桑那到达科塔和蒙大拿的广大地带;在加拿大地盾的西部和南部;在南非地盾的东北部和澳大利亞地盾;在中欧的礦山(рудные горы)及其鄰近地区,以及可能在費尔于納省区——俄罗斯的卡拉套。

同时还有些广大的地区,其中假如把磷塊岩或者黑頁岩中貧乏的共生集中的鈾不算在內的話,那末鈾礦床很少或者完全沒有。例如,在美利堅合众國的东部,在阿巴拉契亞山及其鄰近的地区內,虽然在黑頁岩、偉晶岩和在石灰岩的一些很小的后成的鉀鈉鈾礦床中鈾有一些貧乏的共生集中,但並沒有發現大的鈾礦床。

含鈾貧乏的阿巴拉契亞地区的主要地質特点,在許多方面是与礦山和落基山脉地区的富鈾礦床的特点相似的。它們都是剧烈变形的地

①第14号报告,美國Uranium Provinces. M. R. Klepper and D. C. Wyant  
—U. S. Geological Survey.

槽帶，并為各類花崗岩類的深成火成體所破壞；它們都被由於侵蝕作用而從這些大山脉上破壞下來的碎塊所保護及局部為碎塊所遮蓋。由賓夕法尼亞陸相岩石組成的阿巴拉契亞地區的三疊紀盆地和高原，與落基山脉內的高原及山間凹地，以及鄰近的三疊紀盆地和較近年青的盆地相似，也與礦山的邊緣部分的平原相似。

但是在阿巴拉契亞區內，鈾的聚集不多，礦石是低級的，並且主要是同生成因的（黑色頁岩和偉晶岩），而在落基山的許多地區內發現的是幾種類型的大的後成礦床。在礦山內，大的脈礦床在許多年來，曾是鈾的主要產地〔1, 302—305頁〕，關於富含有鈾的煤，在不久以前曾有記載〔2〕。

加拿大、南非、芬諾-斯堪的納維亞和巴西等地盾的地質發展程序大体上是一致的，但前兩個地區內有較大的鈾礦床，而後兩個地區可以認為是目前暫時還未發現的礦床的可能存在地區。

## 鈾的地球化學

關於在岩石或天然液態化合物中鈾含量的資料是相當少的，雖然對這種元素在地殼中分布數量的估計大致是正確的，但僅僅是個近似的值。烏里（Ури）和勃朗（Броун）的計算〔3, 233頁〕說明，鈾是地球中的一個普通元素，其特點是原子分布為0.0002（矽為10,000）。根據弗列依舍爾（Флейшер）〔4, 圖2〕的計算，地殼內鈾的含量占0.0002%，或者其含量與鎢及鉬的含量相同。

根據弗朗德爾（Фрондель）和弗列依舍爾的材料〔5, 170頁〕，大約有103種礦物中含有呈重要組份出現的鈾（鈾占1%以上）。在其中三分之一的礦物中，鈾是四價的，其餘均為六價。在這些鈾礦物中，15種為簡單氧化物或氫氧化物，20種為複雜的鈦酸鹽、鉍酸鹽和鉭酸鹽，14種為矽酸鹽，8種為釷酸鹽，8種為砷酸鹽〔5, 171—173頁〕。

在某些海成的炭質頁岩、褐煤和石煤中，以及在火成岩的顆粒間薄膜中，可以發現形狀不規則的鈾的化合物。在大的金屬礦床中，主要的鈾礦物是氧化物（瀝青鈾礦、晶質鈾礦、鈾石〔коффинит〕）、釷

酸鹽（鉀鈣鈾礦、鈣鈣鈾礦）和絡鈦酸鹽（鈦鈾礦和鈦鈦鐵礦）。在自然界中，呈天然元素或簡單硫化物、砷化物或碲化物狀的鈾是見不到的。由於鈾能在幾個氧化階段中存在，因此，在各種地質環境中都可以遇到它。

## 引起鈾聚集的過程

在含鈾區內，工業礦床的形成是由許多地質因素決定的。其中主要是由造山現象的影響而產生的地球化學作用。關於地球化學輪迴的概念〔6, 7, 189—190頁, 243—263頁, 336—368頁, 8, 247—254頁〕，雖然是理想化的和不全面的，但它能使我們把地史和造山史中引起鈾聚集的過程結合起來；這樣，也就能幫助我們預測，在什麼地方有鈾的聚集和某個地區內的潛力如何。

把地球化學輪迴看成由下列三個連續的階段組成的便很容易理解了，即：第一階段中主要是岩漿作用；第二階段與風化和沉積作用相聯系；第三階段與變質作用相聯系。在岩漿和變質階段期間生成了岩漿，岩漿移動、冷凝和使早就存在的岩石變質，這時可以產生岩漿和變質成因的金屬礦床。在圍岩和金屬礦床風化和後來沉積期間，鈾可能遭到沉積變質作用而聚集在沉積物中。

岩漿的形成、上升和結晶作用，以及最終火成岩的形成，就是造山輪迴的一部分。在岩漿岩中鈾的含量幾乎是從岩漿岩形成的最初階段到最後階段不斷增長。鈾的動態和矽、鹼類和稀有元素——鈦、鉍、鈳、鉭和稀土元素是一樣的〔7、9、10、11〕。

最早的分異體主要是由橄欖石、輝石和基性斜長石類，也即由在晶格中含有極少量鈾的礦物組成的。這些岩石一般含有小於0.001%的鈾。最晚期的分異體含有大量的黑雲母和副礦物。其中某些礦物的晶格中可能含有0.001%至百分之几的鈾，而象花崗閃長岩、正長岩和花崗岩類的岩石含有0.0002到0.0006%的鈾。拉爾森（Ларсен）和費依爾（Фейр）清楚地證明了：南加利福尼亞岩基的岩石中，從最老的輝長岩到最年青的花崗岩，鈾的含量是逐漸增長的〔12, 83頁〕。正

長岩（鹼性的）和花崗正長岩（矽酸—鹼性）岩系中最年青的岩石，例如，富含鈉長石的尼日里亞的鈉閃花崗岩〔13〕、科羅拉多的石英玻登岩〔12，87頁〕和由許多分散很廣的岩蓋所組成的偉晶岩（Л.Р.佩支〔Пейдж〕的口頭報導），含有0.001至0.01%的鈾；加拿大西部的偉晶岩為儲量很大的、平均含鈾0.2%的礦石物質〔14〕。

現在已經確定，噴出岩所含的鈾一般要比侵入岩多含0.5—1倍。根據阿達姆斯的材料〔12〕，噴出岩含鈾0.00008至0.00154%，而平均含鈾為0.00056%（根據取自世界上許多地區的從玄武岩到流紋岩的50次分析所得的結論）。阿達姆斯的材料證明，鈾的含量是隨着鉀的含量增加而增加，因此也隨着岩石酸度的增加而增加。

噴出岩中鈾的平均含量所以很大，可能是由於大部分鈾在噴出岩漿結晶過程中呈分散狀態被攫取，而在深成火成岩體的岩漿中，很大部分鈾都集中在殘留的流体中，從中形成偉晶岩和礦脈。此種說法與大多數地質學者的意見是一致的，那就是酸性岩體附近是熱液鈾礦床發展的最有利的條件。

在一些比較含鈾的岩石中，絕大部分的鈾產生在一般的副礦物中，例如，磷鉍礦、鈳石、獨居石、褐簾石中〔10、15、9、16、〕。在其他岩石中鈾和稀有的副礦物，例如，瀝青鈾礦、鈳石、方鈳石、鈳鈾礦和黑稀金礦有關。

大部分侵入岩也含有鈾，它成易溶于弱酸的化合物存在。哈爾列依（Харлей）〔17〕確定了，以弱酸淋蝕的方法可以消除某些花崗岩的總放射性的90%左右。他肯定地說，溶解在酸性溶液中的放射性物質是沿着裂隙或由於表生富集作用而在礦物顆粒的表面聚集。

拉爾森和費依爾〔12，80頁〕指出：“外表新鮮的大部分火成岩中的鈾，一般約有40%易于淋蝕”。他們認為，造成放射性的淋蝕的鈾可能發現在：

1. 原生矽酸鹽的變生體中（推測是這些副礦物，如鈳石、褐簾石和鈳石）；
2. 岩石顆粒間的空隙中，為晚期岩漿或熱液活動的產物；
3. 某些非變生的、部分可溶解的放射性副礦物，如磷灰石中；

4. 風化的分散產物，如鐵的氧化物中，呈吸附离子狀。

保維 (Бови) [18, 330 頁] 用放射綫照象發現了“……在未蝕變的花崗岩中，重礦物 (副礦物) 几乎造成了岩石的总的放射性。”但是，在由于气成作用和地下水的影响而略微蝕變的岩石中，放射性元素散布在裂隙內和長石及石英的顆粒表面。

虽然可溶解在酸中的这种物質的成因和性質尚未完全确定，但是由其本身的存在，使我們可以做出重要的結論。

首先可以肯定，有大量的鈾被地下水从火成岩中淋濾出來，然后成次生礦床集中在煤或其他沉積岩中。其次，这种易溶于酸的物質可能成为殘余岩漿流体的產物；这就提示了，火成岩中的可溶于酸中的鈾与礦脉中的和其他类型后成礦床中的鈾之間可能有密切的联系。

經推測，岩漿成因的礦脉和其他后成鈾礦床是由富鈾的岩漿晚期分異体造成的，如果当时的構造条件是有利的話。假如在成礦期以前就有了裂隙和張开的空洞，礦脉就可能形成。如果沿着裂隙在相当的时间沒有造成張开的空洞，那么殘余流体中的大部分鈾就停留在結晶火成岩的最后部分中，部分成为真正的鈾礦物，部分成为可溶解的顆粒間的薄膜。

关于热液礦床与異常含鈾的火成岩的关系的材料相当貧乏。貝因 (Бейн) [1, 282 頁] 指出了在含鈾偉晶岩發育地区內沒有热液鈾礦床的情况，但可以举出許多关于異常含鈾的火成岩 (其中包括偉晶岩) 与热液鈾礦床緊密共生的例子。我們举出下面几个例子：

1. 在科罗拉多的“前進山脉 (Передовой хребет)”，含有晶質鈾礦的上白堊紀和下第三紀礦脉在空間上和可能在成因上与含鈾的石英玻登岩有密切的联系 [19]；同一时代的含晶質鈾礦的某些礦脉在前寒武紀的含鈾偉晶岩附近也可以找到。

2. 在薩克森、西里西亞和捷克的礦山和依斯保林山 (Исполиновые горы)，含鈾的花崗岩、含鈾的偉晶岩和瀝青鈾礦礦脉緊密共生 [20, 21, 22]。

3. 在加拿大前寒武紀地盾，密切共生的有含瀝青鈾礦的偉晶岩和含晶質鈾礦的礦脉；它們可能不是同时代的。这种共生情况發現于戈

尔德菲尔茨区和斯塔克 (Стак) 湖附近。除此而外, 在大奴湖 (Большое Невольничье озеро) 东面的偉晶岩 [23, 63頁, 71頁] 以及沙列布阿 (Шарлебуа) 湖旁很有价值的含鈾的偉晶岩 [14, 24] 僅位于戈尔德菲尔茨区的品質鈾礦脈以东160公里。在格蘭維爾 (Гренвиль) 亞省 (субпровинция) 含鈾的偉晶岩分布得很广, 并且在那里可見到含鈾的礦脈, 但是其中沒有一个是具有工業价值的; 在这个亞省中, 重要的含鈾碳酸鹽 (方解石-螢石偉晶岩) 在班克罗夫特 (Банкрофт) 附近也有發現 [23, 136—151頁]。

虽然可以作为論証基礎的例子極少, 作者們还是傾向于蘭格 (Ланг) 的見解 [25, 5頁], 即火成岩的放射性變異可能为热液鈾礦床附近的标志。但是这并不是一定的; 在岩漿冷却的最后階段的構造条件, 很可能在相当大的程度內决定了殘余岩漿流体能否結晶成偉晶岩、岩脈或者他种岩石。当大部分鈾在这个最后階段內都聚集在脈中的情况下, 与这种脈共生的火成岩也可能不会成为異常含鈾的岩石。

富有鈾的侵入岩和岩脈, 以及沉積岩和變質岩中鈾的集中, 在受風化和侵蝕破坏时, 在适当的条件下会使鈾从該区中帶走或者就地再行沉積。

鈾的蓄存或者鈾自鈾区内帶出, 在相当大的程度上与該区的气候、地形及岩相有关。气候可能是最重要的因素。在温和潮湿的气候条件下, 地下水水位很高, 風化強烈, 而風化的產物則力趋变成泥質礦物。在排水时, 溶解了的或被粘土礦物吸附了的鈾不断地由鈾区向海洋移动。

在另一个極端的情况下, 在干燥气候中, 地下水水位位于离地面很深的地方, 或者这种水完全沒有。風化作用表现为圍岩的自然崩解。在这种情况下, 由岩漿活动而帶至地表的鈾便不易从該地区中流走。降水从火成岩露头中得到鈾, 沿着长距离地下通道很快下沉到很深的地方, 到土壤和底土中。这样它們可能遇到良好的岩相条件, 使鈾再行沉積, 并構成新的, 可能是較富的鈾的集中。粘土礦物的数量不会太多, 因此只有小部分的鈾在被这些粘土顆粒吸附时損耗掉了。无疑地, 在美國西部和費爾干納的卡拉套, 鈾的許多次生富集都是由于

数百万年来良好的干燥气候条件所致。

溶解在地下水和地表水中的铀可以被有机物吸出，并聚集在其组织中[26]；沉积成次生矿物，如，钾钒铀矿和板菱铀矿[27]；被某些粘土、有机质和磷酸盐矿物和胶体矽酸盐所吸附[28]；从石油中被吸出，而呈金属有机化合物[29, 30]。由此种方法形成的矿床中，包括有大部分含铀的泥煤、褐煤、煤和次生铀矿石——复杂的金属-铀盐的磷酸盐、碳酸盐、钒酸盐、硫酸盐、砷酸盐等堆聚的许多地段[31, 37]。在许多情况下，例如，在科罗拉多高原的许多矿床中，尚不清楚次生矿物是由于原生矿物的就地（*in situ*）氧化造成，还是由于在有利的地质条件下铀从转移的溶液中沉淀而造成。

由于铀从移动的溶液中沉淀出来而形成铀的工业聚集的可能性决定于溶液的浓度，在相当长时期中溶液在有限地区范围内运动的延续时间，以及能使铀脱离溶液的合适的吸收器或有利物理条件，例如，相对湿度和干燥程度的存在。

许多含有少量或中量铀的矿物，例如，独居石、锆石、磷钒矿、钛铀矿、铌钒矿、黑稀金矿在化学和机械作用中是比较稳定的。在有些地方这些稳定矿物聚集在含有这些矿物的岩石附近的河成或者海或砂矿中；但是绝大部分均分散在陆成和海滨的沉积物中，不能形成较大的富集。

砂矿一般是不长久的，但是某一部分却由于胶结作用而很坚固。有一些地质学家认为：维特瓦特尔斯兰和勃莱茵德·里维尔（Блянд Ривер）的含铀礫岩是经过变质的隐蔽砂矿，然后可能由于热液而富集[32]；而另外一些地质学家则认为：这些矿床不可能是砂矿[33]。有些研究者坚决支持关于这些礫岩是热液成因的假说[34]。

地下水和地表水中没有被吸出的溶解的铀流入海中。显然，这种铀的大部分在溶液中的停留时间并不久；例如，戈尔德史密斯[35]和拉塞尔（Рассел）[36]曾指出：在地质时期中从地表被带走的铀几乎全部都在沉积物中，而不是在海水中[29, 44页]。铀可以被有机物从海水中提出而进入其组织[37, 38]或者被一些粘土、有机物质和磷酸盐吸收或者吸附[28, 39]。在这些过程中提出来的铀，一部分细微地

分散在大量沉積物中，而另些部分却相当多地（由0.005至0.02%）集中在海成磷塊岩和緩慢堆積起來的黑色瀝青頁岩的薄層中。

当沉積岩埋藏很深的时候，一般在大地槽变形时期它們会变成結晶岩石或者变成与介質成平衡状态的熔体。在各种不同深度和在不同压力作用的影响下，在液体靜压力或定向压力下的岩石会变質成为片麻岩、結晶片岩、角閃岩等，并且在某些情况下可能变成岩漿。由于这些作用的结果可以造成鈾的散布和集中。

当岩石熔化时，起初熔体應該象岩漿后期的液体分馏物，并且相应地富有矽、鉀、鋁、水，以及可能含有鈾和力求聚集在殘余花崗岩流体中的一些稀少元素。如果这是正确的話，那么某些作为超变質作用產物的岩漿應該相当富有鈾，并且由于含有相当大量的水而特別有利于造成富鈾的热液。这种見解可以用这个事实來証明，就是世界上大部分較大的脉狀鈾礦床和許多含鈾的偉晶岩均位于古老的地盾或者岩体内〔1,289頁〕，这些地方的岩石大概至少是一个超变質作用时期的產物。在其他古老的地盾和岩体内僅僅發現很小的或者无工業价值的鈾礦床的这一事实，可能是因有特殊的不均勻的地壳的结果；但也可能在有利的环境中，在这些古老的地段还有尚未顯露的礦床。

在不甚強烈的变質作用的条件下，也可能發生鈾的迁徙和鈾的集中，这是正确的。海相黑色頁岩一般含有大量的共生鈾，而只有不多的石墨片岩含有異常数量的这种金屬，尽管在其中或者在其附近有后成富集的一些例子。在澳大利亞北部的拉姆·詹格尔(Рам Джангл)境内，在炭質片岩和石墨片岩中發現瀝青鈾礦礦床和次生含鈾礦物的礦床与銅礦物共生在一起；在中亞細亞(苏联)，含鈾綠松石、水鈾鋳礦、鉭鈾銅礦(вольбортит)和其他次生的鈾和鈾的礦物局部地集中發現在志留紀的石墨片岩〔40, 41, 42〕和寒武紀的砂質片岩和炭質片岩中〔43〕；在大湖区(Великие Озера)的鉄山(Железный хребт)区内，在石墨片岩和与其共生的前寒武紀的鉄礦床中，局部見有鈾的異常富集〔9, 44〕。

看起來十分正确的是：这些类型的礦床与其說是由于鈾从岩漿源泉帶出而造成，不如說是由于在較弱的变質作用的条件下与黑色片岩

共生的鈾的迁移和局部集中而造成。

鈾的集中过程总起来可以这样说：由于造山运动的影响而發生的岩漿作用使鈾在分異的晚期產物內集中起来，即在偉晶岩、鹼性侵入岩的小岩体、岩脉和其他后生礦床內集中。鈾在火成岩中的集中是同生的，其規模虽然可能很大，但金屬含量經常很低。与岩漿岩有关的鈾的礦脉和其他后成礦床，一般很少見，但其中有些含有高級礦石。

風化和沉積作用既能使鈾集中，又能使鈾分散，这主要是取决于气候。在化学和机械作用下穩定的某些原生含鈾礦礦物聚積在砂礦中。其他一些含鈾的礦物則溶解，鈾被地下水和地表水搬运开去，在气候条件良好的情況下，其中部分的鈾便沉積在适当的岩層中，造成各种不同类型的后成礦床。大部分顯著的后成礦床，例如，含鈾的褐煤含有低級礦石，但其中有些礦床在規模上是很大的。

部分溶解的鈾抵达海洋，从海水中沉積在磷塊岩或黑色頁岩中，成为大量但低級的共生集中。變質作用能造成鈾的富集，或者把过去的岩石变为岩漿，再从岩漿中產生富含鈾的分異物，或者鈾从含鈾的岩石中“蒸發”，再在良好的地質条件下富集。

## 造山作用对鈾集中的影响

从上面的概論中可以很清楚地理解，在不同的地質条件下，各种作用均能促使鈾的集中。在区域的造山运动發展过程中，周圍的环境和在一定时期內活动的各种过程都在強烈地改变。由此可以推測，世界上所有大的鈾礦床，除了在磷塊岩和黑色頁岩中的低級礦石的礦床外，均生在造山帶附近，因为在这些帶範圍內產生的侵入或噴出的岩漿是鈾的原生來源。虽然各种造山帶的歷史在細節上有所不同，但它們都經過四个主要階段〔45, 780—785頁；46, 4—23頁；47〕：（1）原始地槽階段；（2）原始造山运动階段；（3）次生造山运动階段及（4）最后的分異上升和局部下降階段。

在原始地槽階段，由于在主要的穩定單元之間的地段的下降，在造山帶內發生了褶皺作用。硬砂岩、泥板岩、砂質頁岩和海底噴溢產物（主

要是細碧岩)都堆積在原始地槽中。往海岸方向逐漸过渡为第一个輪迴的石英砂岩的泥質頁岩和石灰岩集中在原生地槽附近的活動陸棚內。

在原始造山運動階段中，原始地槽劇烈地變形；並且有中性成分的造山運動同生的岩基侵入和次生地槽的形成。其中堆積着原始山脈的碎裂物質，主要為硬砂岩、泥質頁岩，局部地區是第二次輪迴的長石砂岩和石英砂岩。

在次生造山運動階段，地槽帶發生了新的變形；發生了从中性到酸性和鹼性成分的火成岩的侵入和噴出。在山脈附近的地區內堆集有大陸沉積物。

可能富含鈾的花崗岩和正長岩的高度分異的小侵入體，在該階段將近后期或者就在后期主要侵入到次生地槽區域和與其鄰近的大陸塊段部分內，或者局限於原始地槽中。四個階段中的最後一個階段的特点是具有塊狀的地質構造和一般有高原玄武岩的噴出。

在原始地槽發展階段和原始造山運動階段形成的鈾的大量集中几乎是很少見的。對於造成同生富集來說，沉積作用進行得太快，主要是矽鎂成因的岩漿改變着自己的成分，由超基性變成中性。通常它們分異得還不夠，不足以成為大量鈾的負荷體。在原始地槽帶中——主要在火山山脈中，例如，俄勒岡—加利福尼亞的海岸山脈（Береговой хребет）、菲律賓群島、加勒比（Кариби）區、阿留申—堪察加、在新英吉利東部的許多地方和南部的彼得蒙（Пьемонт）帶中，——鈾礦床的缺乏証實了這些結論的一般規律性和正確性。

對於鈾的集中極為有利的階段是次生造山運動階段及其後一階段。含鈾的海成黑色頁岩和磷塊岩可以沉積在次生地槽的海洋部分和在與其鄰近的大陸塊段地區內。在這個階段過程中形成的高度分異的花崗岩和正長岩的侵入體，可能成為鈾的重要而積極的火成體；如果有良好的構造條件，鈾就會在岩漿期後的階段中呈脈狀和其他類型的後成礦床而富集。

在次生造山運動階段的末期和在其後面一個階段（其特點主要是塊狀地質構造和高原玄武岩的噴出），早期形成的鈾的原生集中遭到風化和侵蝕作用的影響；在良好的氣候條件下，可能產生各種類型