怎样找鈾礦

普罗克托
美国 海阿特 合著
勃洛克
文裔譯

地质出版社

URANIUM

Where It Is and How To Find It

by

Paul Dean Proctor
Edmond P. Hyatt
Kenneth C. Bullock

EAGLE ROCK PUBLISHERS
Salt Lake City — 1954

这是一本介紹有关鈾礦的通俗讀物。主要是說明各种含鈾礦物的性質及鑑定特征、鈾礦床的成因及其类型、美國鈾礦產地的分布情况、在野外進行找礦的方法等等，介紹了主要的找鈾工具——蓋革計数器、閃爍計数器的基本原理及使用方法。

原書在美國出版，內容有許多不健康的成分，如以發財致富來鼓勵人們去尋鈾礦等。象这样的地方以及其他不合我國國情，沒有參考价值的部分，均經刪去。

本書适于一般地質人員特別是搞普查工作的地質人員參考，也适于具有中等文化水平的讀者閱讀，借以獲得尋找这种原子能原料——鈾礦的基本常識。

怎样找鈾礦

著　　者　〔美〕普罗克托、海阿特、勃洛克
譯　　者　文　　裔
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
發 行 者　新　華　書　店
印 刷 者　地 質 出 版 社 印 刷 厂

印数（京）4,001—12,000　1958年8月北京第1版
开本 31″×43″ 1/32　1958年11月第2次印刷
字数49,000　印張 $2\frac{3}{16}$
定价(10)0.30元

序　言

若干时来就感到需要一本鈾矿勘探的通俗而实用的指导書籍。虽然已經出版过少数几本象“勘探指南”一类的东西，但却沒有一本对矿物学和盖革計数器等問題作过比較詳細的介紹。直到目前，还沒有找出一条直接而又合乎邏輯的途径来对个人进行訓練，使其成为一个強有力的勘探者。本書之編写，就是希望能够弥补这些不足的某些部分。那些对鈾、它們的产状、已知的分布情况以及可能而尚未发現矿床的地区感到兴趣的人，对本書一定会相当发生兴趣的。

在进行鈾矿勘探以前，某些基本事情是应当知道的。这里面包括工业❶用鈾矿物的知識，鈾矿床的类型，美国已知鈾矿床的地理位置，有希望的勘探地区，以及可以帮助找矿的一些資料来源等。一旦个人决定进行勘探时，就应当具备一些基本的关于野外装备（这些装备对他是必需的）的知識，必須了解对于找矿有极大用处的各类工具，以及懂得最易保証获得成功的合理的野外勘探方法。

关于鈾的問題，尽可能地叙述通俗，以便一般人士和地質工作者或工程师們都能用得上这本書。并且希望通过大量的地图和图解来闡明这个問題。仅就这些特点而言，就足以使得本書成为鈾矿勘探者的一件具有相当价值的工具。

每一位作者对写作本書而言，都具有极优越的条件。前面的一位作者曾化了一年多时間在野外研究科罗拉多高原地区

---

❶ 原文为“商業”的意思，为适合我國具体情况，故改用“工業”，以下均仿此——譯者。

的鈾、鋼和銀的成矿作用，并且是美国地質調查所的地質学家，数年以来，均从事于美国西部金屬矿床之研究。其余两位作者也具有多年的野外工作和講授地質学的經驗。三位作者都曾发表过許多有关地質方面的研究文章。目下又都是积极而成功地参与地質勘探工作。

对本書的准备工作，有些人曾化費了不少的时間，謹对他們表示謝意。感謝汉布林（W.K.Hamblin），安德生（D.Anderson）麦克法兰（J.McFarlane）和彼得生（D.Peterson），謝謝他們給書中所繪的許多插图。特别应該归功于犹他大学斯托克斯博士（Dr.W.L.Stokes）以及海阿特博士(Dr.C.E.Hyatt)的是他們曾审閱本書原稿，并且进行了評論。还有一些未列名的人也对本書提出了意見和建議。布里根·揚大学的格恩(R.Gunn)負責了全書中每章开始角落上的精美滑稽插图工作❶。最后，如果沒有原子能委員会的地質工作人員和美国地質調查所所发表的一些有用的資料，則要想列举書本中的許多事实，也就是不可能的。虽然作者們不能专門向他們致謝，但对他們所給予的資料，仍应表示謝忱。

犹他州普罗沃
1954年6月

P.D.普罗克托
E.P.海阿特
K.C.勃洛克

❶ 这些滑稽插圖在譯本中略去。

目　录

序言……3
第一章　一些动人的事情……6
第二章　具有經济价值的鈾矿物……8
物理性質　鈾礦物　礦物鑑定表
第三章　鈾矿床的类型……16
偉晶岩礦床　脉礦床　層狀礦床　砂礦床
第四章　在什么地方去寻找鈾矿床……25
美國西部　美国中部　美国东部
第五章　資料的其他来源——地图……60
第六章　盖革計数器和紫外光灯……61
盖革計数器　閃爍計数器　紫外光灯
第七章　野外工作程序……65
找出礦層　方格法
第八章　总結……69

第一章　一些动人的事情

几百年以来，煤——这个經历了多少世代的日光的化石——是人类能量的主要来源。几千万年以前，在潮湿气候下，繁殖于沼泽和低地上的树木与植物，被埋藏和保存起来，并且渐渐地轉变成煤，变成了我們現代文化的賜与者。直到現在，在人类对能量的无休止的利用中，每年所消耗之煤的数量都在增加。各个工业国家，都是在煤藏量和其他有用矿物的基础上发展起来的，匹茲堡、伯明翰以及其他的大城市，也就是因为靠近煤矿区而且易于采出煤矿才建立和发展起来。

过去的地質条件，就决定了我們目下煤矿藏的位置。由于辛勤的勘探和細心的搜索寻覓，这些位置都已瞭如指掌。基于这些資料，我們对美国可利用的煤的总量，已經作出估計。我們知道，煤的儲藏量还够用几百年。但是对鈾的情况是不是也了解得这样詳細了呢？还沒有！

我們且看一下人类所利用的能量的第二个最大的来源，——石油。假設将由石油和天然气所供給的能量单位加起来，則它較之在美国的其他主要能量的来源大約还要超过百分之二。虽然石油自古即已知道，但对其潛在能量的大量利用，則还是十九世紀末的事情。1859年，美国鑽探的第一口油井开始出油。这年，在美国約出产了二千桶石油。但在今天，每年則有二十亿桶以上的石油由油井里流出来。石油工业的这种惊人的发展，是由于那些勇敢的人們寻求能量資源的結果。他們努力的結果，使得这个国家主要出产石油的各州都为人所熟悉了。迄今，借着所积累起来的知識，新油田不断

地发现，較之将枯竭的老油田还要快，揣測、仔細的探索和已知資料的应用等等，都是石油地質学家在成功地寻找黑色的金子——石油——中的法宝。对鈾——这个地球上的另外一个財宝——而言，将也是不会例外的。

当那比正午的日光还要明亮的亮光闪爍在洛薩拉莫附近的沙漠地区上时❶，只有少数几个人才認識到了人类对能量来源的概念必須馬上改变。十多年以后的今天，許多人都确信，在今后的世界中，石油和煤将不再統治着能量的王国，而将讓位于新国王——鈾了。这是不是科学家的狂妄梦想呢？請看事实吧！在洛薩拉莫爆炸的一枚較小的原子彈，其所放出来的能量足够将爆炸之处的土地熔为綠色的玻璃，并且将吊原子彈的一座鋼塔不仅是熔化，而是几将其完全气化了。所产生出来的放射的能量比太阳还要明亮。可以很科学地說，如果分裂一磅鈾 235，使其可利用的能量全部釋放出来，根据計算，它們可以相当于 1500 吨煤或200,000加仑的汽油所放出来的能量。拿爆炸来說，一磅鈾分裂后所放出来的能量，等于10,000吨TNT炸葯爆炸所放出来的能量。如果找到了足够的鈾，再加上对它放出能量的速率能够进行很好的控制的話，那么人类就可能已經到达了一个理想的世界。

这些动人的事实的意义是怎样呢？这就是要求我們知道在什么地方、用什么方法来得到这种“材料”。此外，更重要的是，我們所需要的鈾在今后的数十年中，必将——也許是不会太慢的——代替作为能量主要来源的煤和石油。您，作为一个勘探工作者，一个地質工作者，一位工程师，在您探索和寻找鈾矿中，就是使这些理想成为事实的人。

---

❶ 美国第一次試驗原子彈爆炸在洛薩拉莫(Los Alamos)——譯者。

鈾是否也象煤和石油那样丰富呢？不是的！伟大的造物主只給了我們数量有限的这种元素。而且它的分布还不是偶然的，而是受到一定的地質条件的制約。你必須首先了解有关其分布的問題。这些問題了解后，就可以确定什么地方藏得有矿了。現在对鈾的需要是急迫的。可以想象二十年以后，当工厂以这种元素来作燃料时将是一副怎么样的图画。鈾的寻找者是有一个战斗而光明的前途的。

第二章　具有經济价值的鈾矿物

矿物是构成地壳的建筑材料。矿物学家們已經認識和描述了1600种以上的矿物，其中約有200种左右在我們的金屬和非金屬工业中是具有工业价值的。美国地質調查所已認識到了149种以上的鈾和釷的矿物，但是，仅有10种左右才是重要的有工业价值的矿石。

几种最常見的矿物是：石盐（食用的盐），冰，石英（砂里面很多），云母（电器絕緣材料），滑石（用在滑石粉中），石膏（就是做石膏模型的石膏）和方解石。

对所有矿物的識别和鑑定，是基于某些基本的概念，这就是：

1.矿物是天然产出的；

2.矿物是无机物；

3.矿物是均質的，也就是說各部分都是相同的；

4.每种矿物都具一定的物理性質。如硬度、顏色、光泽……等等；

5.它的化学成分是相当固定的，可以用簡单的分子式表示出来。

物 理 性 質

矿物的物理性質是勘探工作者識别矿物和鑑定矿物最有用的法宝。对于鈾和釷的矿物鑑定来說，它們最重要的物理性質可以簡述于下：

顏色 最常見的放射性矿物，大多数都具有特殊的顏色，单凭目力就极易辨認，矿物的顏色主要是由于它的化学成分而来的，工业上用的鈾矿呈淡黃色和綠色以至黑色。

硬度 矿物的硬度，就是表示矿物抵抗磨擦或刻划的程度。硬度可以排列成一个等級由1（象滑石那样柔軟）到10（如同我們所知道的最坚硬的物質——金刚石）。一个矿物，若是它的硬度为1的話，那就象手上的肌肉或一张紙一样的柔軟。手指甲的硬度大約为2，迴形針的硬度为3，鋼刀刀口的硬度为5，窗上的玻璃，其硬度在5与6之間。（5.5）。石英这种矿物的硬度为7，比它还硬的，就只有少数几种矿物了。假若矿物在自然界中呈小的集合体或粉末状时，硬度的决定就会感到困难。否則根据上面所說的原則来看，确定矿物抵抗刻划的能力乃是一件极其簡单的事情。一个矿物，如果能够刻划指甲，但同时又能被迴形針所刻划，那么，它的硬度就在2与3之間，或者簡单的說为2.5。

大多数的鈾矿物，其硬度都在6以下，具有鮮艷顏色之鈾的氧化物，其硬度在2与3之間。

解理和断口 矿物中的元素（如鈾，釷，氧等等）有規律的排列，使得矿物在某一方向上具有原子結合得較強，而在其他方向上原子的結合則較弱。当矿物順利地沿着結合較弱的方向裂开时，就常常产生一个平滑而容易反光的平面，这种易于破裂成为平面状的性質，就叫作解理。解理可能沿着

一个或几个方向。假設矿物的破裂是不平坦的，或者是带有曲綫，象壳状（貝壳状）一样的面，这种性質就叫着断口。有些鈾矿物具有三个方向的解理，有些具有两个方向的解理，有些具有一个方向的解理，而再有些則沒有解理，只有从貝壳状到參差不齐状的断口。

光澤 光泽就是一个矿物表面反光的情形。一些最普通的光泽为：

1.金屬光泽——表面反光好象一种金屬；
2.玻璃光泽——看起来象有光亮的玻璃面一样；
3.脂肪光泽——表面反光好象一种脂肪的表面；
4.絲絹光泽——具有絲絹一样的光泽；
5.松脂光泽——象树脂一样，近乎蜡的光泽；
6.珍珠光泽——象珍珠的光泽一样；
7.黯淡光泽——只有微小的反光（例如粘土）；
8.土状光泽——沒有任何明显光的反射。
9.灑青光泽——象灑青或焦油一样。

絕大部分的鈾矿物都具有土状、珍珠、玻璃、黯淡或灑青光泽。

比重 比重就是单位体积的矿物的重量与同体积的水的重量之比，介水的比重为1。假設一种矿物的比重为3.5，那即是說一定体积的这种矿物，它的重量是等于同体积水重的3.5倍。純粹鈾矿物的比重在3与10之間。

習性 矿物的习性就是矿物所具有的特殊形态，包括它的生长的一般形状和不規則性。矿物的习性可能为結晶体（具有一定的形状，例如，立方体、錐形、柱形……等等）、圆顆粒、放射状、結核状、带状和块状……等等。鈾矿物最普通的习性为片状或鱗状、土状物質和被膜状。

荧光 矿物在受到紫外綫的照射时，在黑暗中产生可見的光的性質，就是荧光。特殊的荧光灯（紫外光灯）即是用来检驗这种具有荧光的矿物的。紫外綫的光源可以用交流电或蓄电池来产生。（見第六章）。

鈣鈾云母是能够发出鮮明荧光的唯一重要的鈾矿物，其他一些鈾矿有时也能发出微弱的荧光。

放射性 某些矿物，包括一切含鈾和釷的矿物，以及其他一些矿物，具有能够从它們的原子中放射出微小的物質質点的作用，就叫做放射性。要知道这一种性質，必須有特殊的設备，在本書第六章当再詳为論述。

鈾 矿 物

地質学家将鈾矿物分为两大类：这两大类就是原生矿物和次生矿物。大多数的原生矿物都是由地球深处的灼热气体和溶液所形成。次生矿物則是原生矿物受到风化作用、地下水作用或其他自然作用的結果变化而成的。由于这种化学作用的結果，原生矿物很容易变为次生矿物。图 2 表明犹他州瑪里斯維尔(Marysvale)地区由地表面到地下水平面以下鈾矿物組合的变化。

原生鈾矿往往产于脉矿床（板状体）和伟晶岩（粗粒火成脉岩）之中。一般呈黑褐色以至于黑色，比重很大，时常具有黯淡的瀝青光泽。原生矿物在象加拿大北部那样风化作用不甚厉害的地区，可在地表岩石中找到。科罗拉多高原上也有許多地方发現。

各种常見的組成矿石的鈾矿物簡略叙述如下：

原生鈾礦 瀝青鈾矿（pitchblende）是最重要的原生鈾矿，也几乎是所有高品位鈾矿石的主要矿物。比屬刚果、

捷克斯洛伐克和加拿大产出特多。美国也有。瀝青鈾矿常成圓粒而不規則的块体，破碎后具有象玻璃一样的曲面（貝壳状断口）。瀝青鈾矿比鋼还重，其硬度与鋼相差不远，呈灰黑色或綠黑色。

晶質鈾矿（uraninite） 其物理性質大都与瀝青鈾矿相似，不过多呈小立方体形状的晶体，而很少呈圓形和不規則的块体。

其他鈾的原生矿物，尚未发現有聚集較多而具有重要意义的。

次生鈾礦 次生鈾矿的特征，是顏色鮮艳，包括有黃色、橙色和綠色。常呈土状或粉末状物質，或者是細小的晶体群，或者呈扁平的片状。次生矿物几乎产于任何类型的岩石中，但这些类型的岩石中却不一定都能发現原生矿物。茲将几种最普通的次生矿物簡述如下：

鉀釩鈾矿（carnotite） 多年以来就是釩、鐳和鈾的有經济价值的重要来源，广泛地产于美国科罗拉多高原地区。常产于砂岩中，呈淡黃色（金絲雀黃色）之土状物質，包圍石英顆粒。

釩鈣鈾矿（tyuyamunite） 釩鈣鈾矿与鉀釩鈾矿相似，不过更显得黃得发綠，并能发出一种微弱的苹果紅的螢光。

鈣鈾云母（autunite） 它是一种具有鮮亮檸檬黃色的物質。質地柔軟，呈小片状和半透明的晶体。当受到紫外綫照射时，常常发出鮮明黃色或苹果綠色的螢光。

銅鈾云母(torbernite) 和变銅鈾云母(meta-torbernite)是鮮明的綠色矿物。質地柔軟，呈透明鱗片状的晶体。常常发出鮮明的綠色螢光。

矿物鑑定表

編制矿物鑑定表——表1——是用为帮助勘探者以便他們在野外寻找所希望的鈾矿和釷矿时，可以对每种矿物所观察到的性質作一比較。

各类鈾矿物的顏色、光泽和习性的特征，頗易鑑定，鑑定了它們就容易了解矿物是屬于表中哪一类。解理和断口只要有一个能放大十倍左右的放大鏡，就可以很好地来鑑别了。

硬度是比較难于鑑定的，除非是大的碎片才可以給以鑑定，可是大多数的鈾矿物都具有特殊的片状或膜状的习性。对于比重来說，情况也差不多。

矿物鑑定表是以鈾矿物的顏色为基础来排列的。知道矿物的顏色后，在表的左边先从上往下找，找到相应的顏色，然后自左至右，再来检驗另外的物理性質，可以看到，顏色較暗的矿物，其硬度等于4或超过4，而顏色較鮮明的矿物，其硬度往往小于3。对矿物其他性質进行仔細研究的話，最終就可以知道該矿物是屬于表中的哪一种。假若一种矿物用鑑定表鑑定不出来的話，那可能就屬于另外一种稀有的鈾矿物，在这种情形之下，最好将矿物交有关单位进行特殊鑑定。

礦物鑑

（常見的鈾矿物

顏色	光澤	硬度	解理和断口
灰黑色 綠黑色	瀝青狀；暗淡；土狀或玻璃光澤	5至6	參差狀与貝壳狀断口
灰黑色； 綠黑色； 褐黑色	瀝青狀；暗淡；或玻璃光澤	5至6	參差狀与貝壳狀断口
黑玉的黑色	金剛光澤	4	貝壳狀
黑色； 棕黑色； 灰黑色	半金剛光澤暗淡，或脂肪光澤	5至7	參差狀到貝壳狀断口
豬肝褐色	玻璃光澤	5—6	貝壳狀断口
黑色； 紅褐色； 橙色；綠色	新鮮面是玻璃光澤；暗淡；脂肪光澤	4至5	貝壳狀断口
淡黃色	土狀光澤； 珍珠光澤	2至3	解理順着一个方向
綠黃色	土狀；珍珠狀	2至3	在三个方向內都有解理
檸檬黃色； 硫磺黃色； 蘋果綠色	珍珠光澤	2至3	在一个方向內解理良好
蠟樣黃色； 淡綠色； 草黃或橙黃色	珍珠光澤； 脂肪光澤	2至3	在二个方向內有解理
黃至深橙色或褐色；各种顏色	暗淡；腦光澤；脂肪狀；玻璃光澤	2至3	貝壳狀或參差狀断口
蘋綠色； 翠綠色； 苹果綠	珍珠光澤		沿兩个方向有解理
金黃色；淺黃色； 淡紅色或綠褐色	松脂光澤	5至6	貝壳狀到參差狀断口；具良好之解理

定表

和鈾矿物）　　表 1

比重	習性	光泽	名称及化学成分
6至9	塊狀；圓滑的表面；条帶	无	瀝青鈾矿 （鈾的氧化物）
8至10	小立方体假的晶体；塊狀	无	晶質鈾矿 （鈾的氧化物）
4至5	圓粒狀和晶体	无	鈦鈾矿 （鈦和鈾的氧化物）
6.5至9	等軸晶系；在砂礦中常常为水所侵蝕	无	方鈷石 （鈷和鈾的氧化物）
4至6	塊狀或粗粒晶体；有时为放射狀	无	鈽鈺矿 （鈾和稀土元素）
4至5	晶体；塊狀；或致密狀	无	鈷　石 （含鈷矽酸鹽）
4至5	土狀塊体；薄被膜狀	黃色短波光綫	鉀釩鈾矿 （鉀和鈾的釩酸鹽）
3至4	鱗片狀；薄被膜狀和土狀	无；或具微弱的苹果綠色	釩鈣鈾矿 （鈣和鈾的釩酸鹽）
3	薄板狀；云母狀；土　狀	亮黃色；或苹果綠色	鈣鈾云母 （鈣和鈾的磷酸鹽）
4	放射狀集合体；纖維狀；或塊狀	无；或可能有極微弱的綠色	矽鈣鈾矿 （鈣和鈾的矽酸鹽）
4至5	塊狀皮殼狀	无	脂鉛鈾矿 （主要为鈾之氧化物，并具有水和鉛）
3至4	假云母狀的方形晶体；松軟的塊狀	无；或微弱的綠色	銅鈾云母和变銅鈾云母 （銅和鈾的磷酸鹽）
4至5	片狀或板狀結晶	无	独居石 （鈰和稀土元素的磷酸鹽）

第三章　鈾矿床的类型

这一章的目的，是使讀者对所希望发現鈾矿石的产状类型能有一个明确地了解。了解了这些事实以后，就能够認識和区分可能发現的矿床，并且对其垂直方向和水平方向作出某些推断。

具有工业价值的任何一种类型的鈾矿床，必須含有足够的 U_3O_8（氧化鈾），有开采、运輸和生产产品的价值。一般来說，任何金屬矿床都必須具备这种条件。这种有工业价值的鈾矿床类型包括伟晶岩、各种不同的脉状矿床和层状矿床。下面几节即将說明这些矿床类型，以便讀者更好地了解它們。

偉晶岩矿床

伟晶岩矿床为板状到扁豆状的矿体，可以切穿围岩，也可以与围岩平行。就表面輪廓而言，矿体通常呈扁豆状，长度可以从几呎乃至数百呎以上。寬度可以从象紙一样的薄到100呎以上。往往产于巨大的侵入火成岩体之中或其附近。

伟晶岩矿床有两种主要的类型：（1）簡单偉晶岩类　其中含有与花崗岩所含相同的矿物，即长石、石英、云母。这种伟晶岩非常普遍，但却不含鈾矿物。（2）复杂伟晶岩类　其中含有簡单伟晶岩中的一些矿物，同时又包含一些稀有的矿物，如棒状的电气石（一种宝石矿物），綠色的綠柱石，稀土元素矿物等等。元素如鋰、硼、氯等，也可在各种复杂伟晶岩中发現。然而直到現在，証明具有工业价值的复杂伟

晶岩矿床，还只有少数几种。美国主要伟晶岩的地区如本書图19所示。

在复杂伟晶岩中，容易看到的表层指示性矿物有銅鈾云母、鈣鈾云母，矽鈣鈾矿（uranophane）以及其他矿物。这些矿物都是瀝青鈾矿的蝕变产物。在这种表层的下部即可找到瀝青鈾矿。图1即表明理想化的伟晶岩几何图形，以及可能产有有价值的鈾矿物的一般地带。

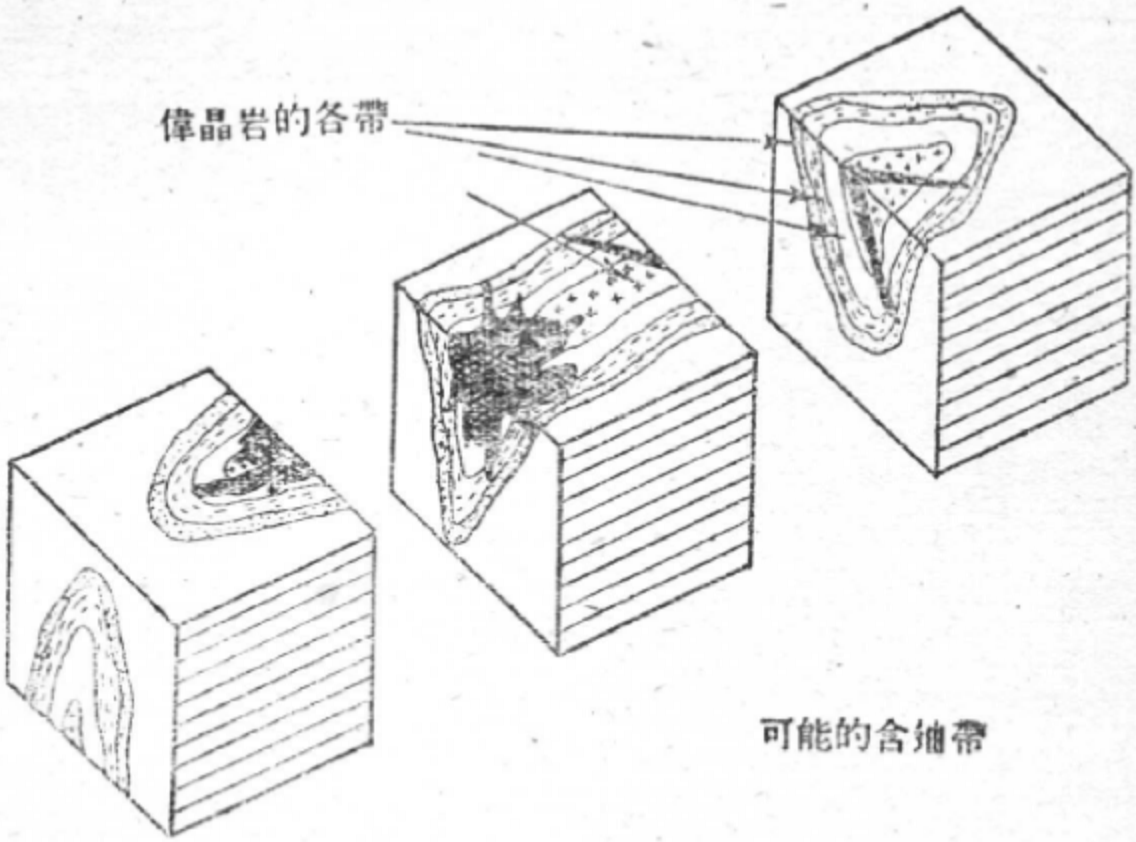


图 1．分帶偉晶岩体的理想图（根据經济地質專报第2号）.

脉 狀 矿 床

鈾的脉状矿床是由鈾矿物在地壳岩石的裂縫中沉积而形成。裂縫充填一詞也即是用于此处。象伟晶岩一样，矿脉也是呈板状到扁豆状的矿体。它們的寬度可以从一吋的几分之一

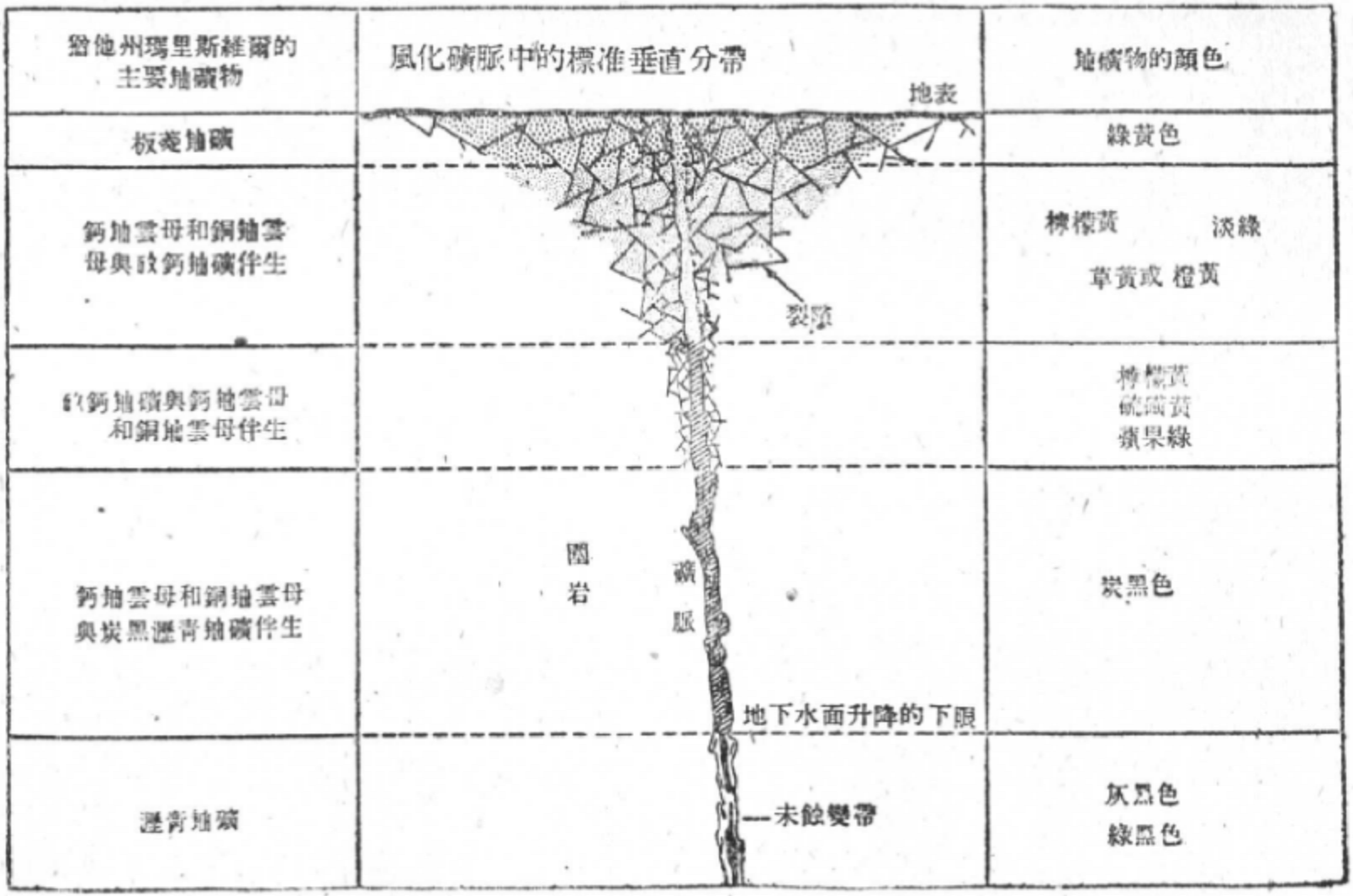


图 2. 在風化礦脈中，次生鈾礦和原生鈾矿的帶狀分布
（仿斯图加德〔Stugard〕及其他，美国地質調查所通报第220号）

到数呎。长度也不一定。有些可以伸延到数千呎。矿脉与包围它們的围岩（不含有用矿物的岩石）通常成一角度，可以从垂直到很平緩的傾斜。矿脉物質与围岩往往截然不同，但在新加入的物質和蝕变了的或变化了的围岩之間，也可显示出一条过渡带。并不是一个矿脉的全部都含有鈾矿物，而是沿着走向的部分地区，常可发現一些有价值的鈾矿的富集。这些富集的地区就叫做“富矿体”。在某些象这样的富矿体中发現的U_3O_8达到百分之75。

在脉状矿床中常常找到的鈾矿物有：矽鈣鈾矿、鈣鈾云母、銅鈾云母、炭黑状瀝青鈾矿（sooty pitchblende）以及瀝青鈾矿等。在温和而潮湿的气候下，这些矿物間的关系如图2所示。象加拿大的一些地方，温度較低，由于地下水运动的深度受到限制，仅可能发現矿脉下部的一些矿物。

怎样才可以大致鉆計一下地表下面的矿脉可能具有的深度呢？在矿脉含有氧化了的矿物时，就非得进行一些勘探工作不可。假若在地表上出現了原生带的瀝青鈾矿，同时矿脉也明显地暴露出来，那么，一般的情况就是矿脉的深度可以假定的暴露出来的矿脉长度的二分之一。然而，更加有鑑别意义的乃是这个地区另外一些矿脉的习性。假設这些矿脉为浅的，則新发現的矿脉也很可能具有同样的类型和习性。

許多鈾的脉状矿床的例子已經知道了。最近在美国西部犹他州瑪里斯維尔附近所发現的鈾矿脉，就証明是具有开采价值的。另外一些矿脉在科罗拉多州的杰姆斯頓(Jameston)、中央城（Central City）以及卡莱布（Caribou）（图17）；华盛頓州的林肯郡；爱达荷州以及其他一些地方均有所发現。图16和21表明一些重要脉状矿床的位置。

最有名的脉状矿床似为加拿大西北区的大熊湖的鈾矿。

該处以瀝青鈾矿为主要的金屬矿物，它以断层或裂隙充填形式产于围岩之中。其伴生矿物有自然銀、黃鉄矿、黃銅矿、石英以及碳酸盐等。其他的元素为鈾、鎳、鉛和鉍。后面所講的这几种元素，虽然在瑪里斯維尔的脉状矿床中尚未发現，但在許多其他鈾的脉状矿床中却非常普通。非洲許多大矿都是脉型的，捷克斯洛伐克的約希姆斯塔尔（Joachimsthal）也是。

層狀矿床

鈾的层状矿床，就是在层状沉积岩中内部成层的那些矿床。它們好象蛋糕中夾着一层一层的餡一样。已知的主要层状矿床有两种：（1）均一层状矿床　这类矿床所含的鈾矿物很分散，品位低，同时在整个矿层中含量非常均一；（2）砂岩型矿床　在这类矿床中，鈾矿物以局部富集或成富集带而产出，矿床中各部分含量頗不一致，矿体无論长、寬、深，一般不超过几百呎，充其量其长度能达到几千呎而已。这就好象一层蛋糕里面夾着一粒一粒的葡萄干一样。但直到目前，还不可能預言当另外咬一口蛋糕或打开一块岩石时，是否就会咬到葡萄干或发現鈾矿。关于这两类矿床，还要在下面更詳細地予以討論。

均一层状鈾礦床　在均一层状矿床中，鈾矿物一般均为显微大小，肉眼是不能辨認的。不过，这种含鈾矿层还是具有明显的不同，是可以很快就辨認出来的。借助于盖革計数器（Geiger counter）或閃爍計数器（Scintillation counter）就可以測定层内鈾的富集程度（見图7）。据已知，一些磷酸盐岩层，某些石英岩、特殊的煤以及許多黑色頁岩，都是含有这类鈾矿床的岩石。

已知含鈾的磷酸盐岩石還产于落基山脉的各州中；特别是犹他州、愛达荷州、怀俄明州以及蒙大拿州。在东部仅产于佛罗里达州。广大的国納西磷酸盐岩石中含有不够开采价值的鈾。在佛罗里达州，鈾与含磷酸盐的砾岩或巨砾伴生。这些代表着佛罗里达西部中央的砾岩层。鈾是作为加工磷酸盐岩石的一种副产品而出产的。在落基山脉中，鈾也与磷酸盐岩层伴生，如所知之磷灰岩建造。偶而用肉眼也可以見到鮮明顏色的次生鈾矿，但一般而言，是不是有鈾仍然須要用优良的盖革計数器和闪砾計数器測定才能知道。图20表明美国含鈾磷酸盐岩石的分布情况。

在石灰岩层中发現也含有大量鈾矿的有：佛蒙特州的米尔頓白云岩，犹他州和怀俄明州的第三紀石灰岩，密苏里州的斯培尔根石灰岩，以及具有重要价值的新墨西哥州格兰类的侏罗紀托迪尔托石灰岩。图15表明犹他州和怀俄明州石灰岩层中鈾矿床的位置，图12則表明托迪尔托石灰岩矿床的位置。

在瑞典的黑色頁岩里含有具有工业价值的鈾；目前这种頁岩正在被直接当着鈾矿来开采。在美国的中西部各州如肯塔基、印第安納以及再向西去的堪薩斯、俄克拉何馬和密苏里等地，也有数千平方哩的含鈾頁岩。图 3 說明印第安納州含鈾黑色頁岩矿床的产状。同样的頁岩在美国西部各州也有产出，如犹他、愛达荷以及其他各州等，但却很少作过詳細的勘探。在美国，目前还不認为含鈾頁岩有工业价值。图20表明美国黑色頁岩的分布情况。

据悉，达科他、怀俄明、犹他、內华达以及堪薩斯和科罗拉多諸州都有含鈾的煤矿床。虽然已經获悉其中含有巨大的低品位的儲量，但至今对这些矿床仍未进行多大的研究

工作。

图15表明第三紀褐煤（軟煤）在达科他-怀俄明地区的分布情况。

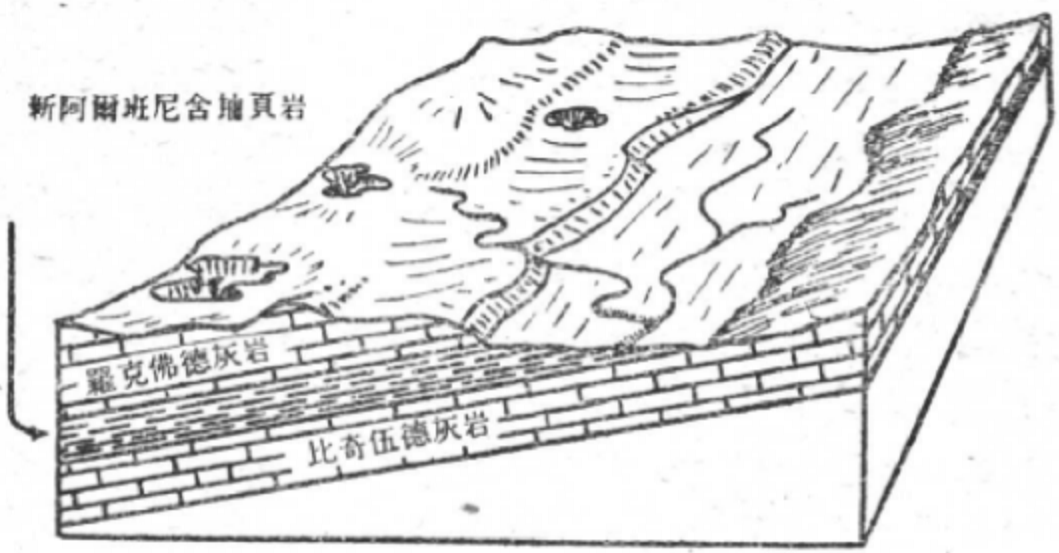


图 3．印第安納州新阿尔班尼含鈾頁岩的立体示意图

砂岩型鈾礦床　层状鈾矿床的第二个主要产状，也就是最好的和产量最多的，就要算砂岩型鈾矿床了，其中鈾矿物产于砂岩层内的富集带中。最有名的矿床就在犹他-亚利桑那-新墨西哥-科罗拉多一带的科罗拉多高原（图６）。在南达科他的黑山区（图14）、怀俄明（图15）以至于在宾夕法尼亚的砂岩中，都有了重要的发現。在这里产状是鈾矿物充填于砂岩的空隙中。部分原有的沉积岩为后来的鈾矿物所交代。常常可以找到为金屬矿物所交代的植物化石乃至于木材的化石。

鉀鈒鈾矿（淡黃色的矿物）、鈒云母、銅鈾云母、鈣鈾云母乃至于瀝青鈾矿均为砂岩中的重要鈾矿物。通常与之伴生的物質有碳化了的木头和植物残体、地瀝青、氧化鉄或鉄銹以及一些綠色和蓝色的銅矿。

矿体与砂岩层面近于平行。不过，矿石偶而也有橫切岩

层的。矿体的厚度由紙一样薄到30呎厚或30呎以上，但长度却可由几呎到几千呎。图4表示这些矿体的一般形态和产状。

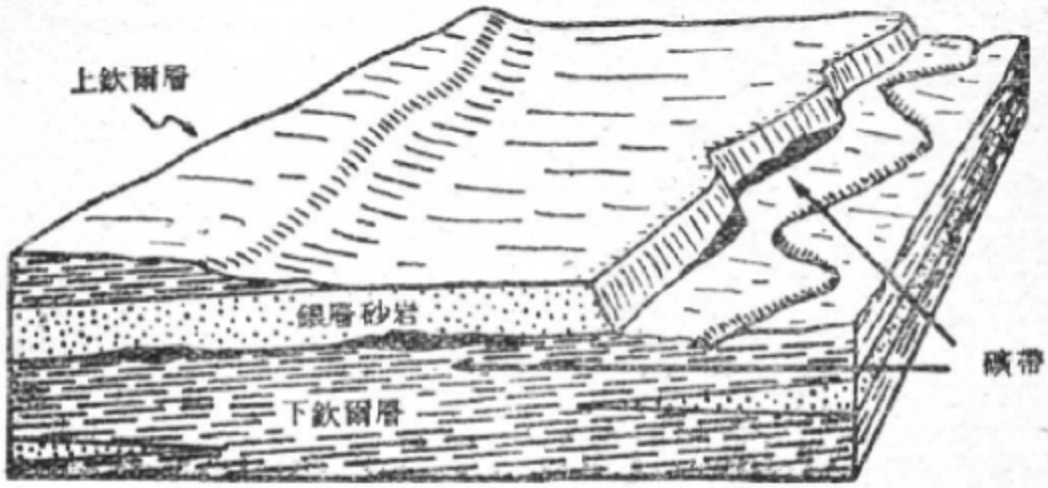


图 4. 典型砂岩型鈾礦床的立体示意图

砂岩型矿体产于浅色（从浅黄色到灰色，有时为白色）的砂岩层中，通常与一系列的淡紅色、紅色、深紅色和紫色的頁岩及砂岩間互成层。石灰岩在这种岩层剖面中很少或是沒有。产量最多的地层包括蒙科皮（Moenkopi）、辛納隆普（Shinarump）、欽尔（Chinle）、莫里森（Morrison）、凱蔭塔（Kayenta）、文格特（Wingate）、以及其他一些地层。在宾夕法尼亚州的毛庄克（Mauch Chunk）砂岩中含有鉀釩鈾矿。在苏联，鈾矿床所在的岩石，其类型和年代与科罗拉多高原的那些岩石頗为相似。

砂矿床

在上面討論中未包括进去的还有砂矿床。它們表現为鈾矿物和其他稀有元素矿物富集于未固結的岩石中，如砾石矿床。在加利福尼亚州第一次发現的砂金，是从該州色特

（Sutter）的一个制造厂的砾岩中发现的。普通含有有价值矿物的砾石矿床均較薄，寬約数十呎，但却非常长。砾石矿床并非全部均含有极重的含鈾矿物。由于矿物的比重极大，因此，它們常富集于河床中水流速度改变的一些地方，这些地方沉积了一些原始的沉积物。这些地方就在弯曲河床的內侧，或者是河床中存在有天然的障碍的地方，例如一些坚硬岩层构成石坎，即可以引起水的回旋或者是使水流速度減低。图 5 就是表明一个理想的砂矿床。

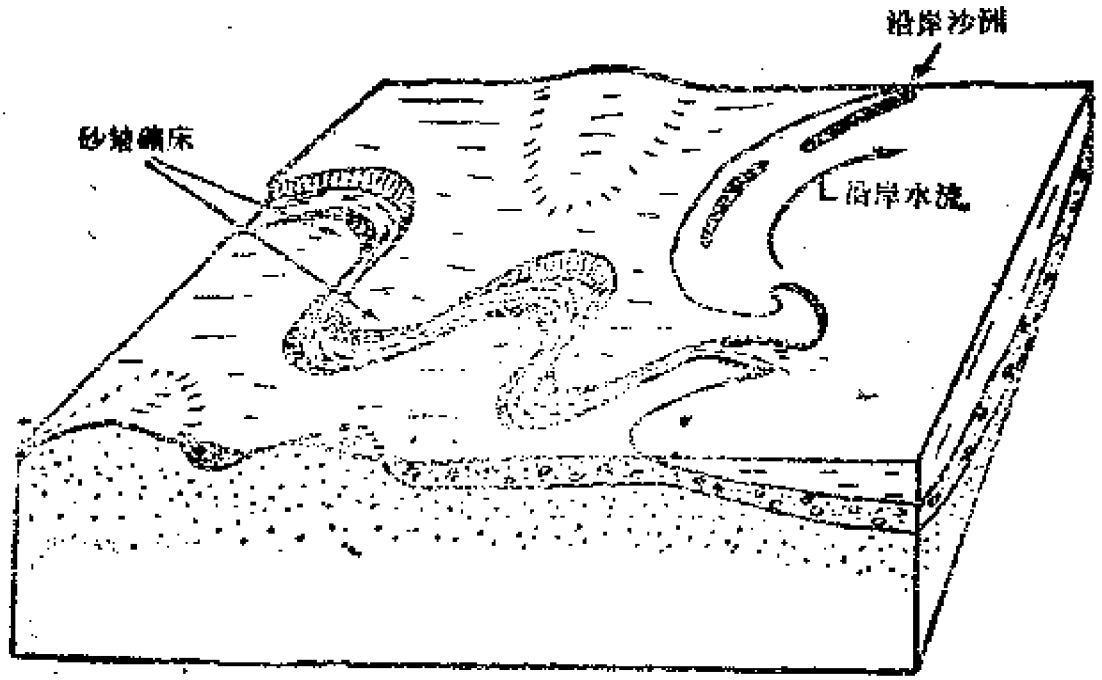


图 5. 砂鈾礦床地区的立体示意图

已知具有工业价值的砂鈾矿床并不太多，主要是因为最普通的鈾矿物可溶解于水，并且与水发生反应。具有經济价值的砂矿物，一般都非常稳定，而且是不溶解的。

象鈮鈰矿（samarskite）——一种稀土族矿物，黑色天鵝絨状，具有較深的紅棕色的条痕，这种矿物有时含有相当数量的鈾，在砂矿中可能是比較重要的。它們在化学上比較

稳定，产于蒙大拿州菲利浦兹堡(Philipsburg)附近的砂矿床中。钛铀矿（brammerite）——一种黑色矿物，具有綠色的条痕——也含有可观数量的铀，产于爱达荷州史坦莱盆地（Stanley Basin）的砂金中，同时也产于南卡罗莱納、北卡罗莱納以及佛罗里达州一些孤立的海岸砂砾沉积中。美国东部的較老的阿帕拉契亚山脉中，沿着河流的部分砾石沉积也可能含有这类矿物。

第四章　在什么地方去找铀矿

这一章的目的，是在于指出在美国有可能勘探到铀矿床的地区。許多地区是已經很出名的，而其他一些地区則只进行过肤浅的观察，或根本就沒有进行过什么勘探工作。这些进行得較少或未进行过勘探的地区，都极可能是具有工业价值的铀产地。不过，俗語所謂“如欲猎象，就得到产象之国”。找铀也是这样。这就是，如欲找铀，就得到那些已知产铀的地方去找。

为便于討論起見，可将美国在地理上分为三个主要区域：即（1）西部，（2）中部以及（3）东部。

美国西部

直到目前，美国发现铀最多的地方，均在落基山脉以西的地区。这一地区几乎每天都发现新的矿床。可以沒有什么疑問地說，这些新发现的地方，有一些必将被証明为极有价值的铀矿。原子能委員会最近发表的有关铀的評論中談到，在1949年的时候，据所知，除犹他-亚利桑那-新墨西哥-科罗拉多四州交界处的科罗拉多高原以外，只有少数几个地方

产有鈾矿。例如，在1949年的时候，內华达州仅发現鈾矿床一处；而在四年以后，就发現了24处。这些矿床中包括有砂矿床、脉状矿床、伟晶岩矿床、浸染矿床和砂岩等类型的鈾矿床。自从原子能委員会的总結报告发表以后，在該州中又发現了其他的矿床。对于西部每一州来講，情况可能都是相似的。

为了使讀者易于了解美国西部的矿床，下面将对各种类型的鈾的产状分别予以討論。其矿床类型可以分为砂岩石灰岩型❶、均一层状矿床、砂矿床、脉状矿床以及伟晶岩型矿床等。

砂岩型鈾礦床 砂岩中的鈾矿床在美国是人們最熟悉的一种鈾的矿化作用的地質产状类型。实际上，在西部各州已发現了上百个的这种产地。极大多数矿床的所在地以及优良的矿区，均位于一个已受高度切割的区域和沒有人烟的地方，这就是众所周知的犹他-亚利桑那-新墨西哥-科罗拉多四州交界处的科罗拉多高原。虽然在这个地区已經发現了数以百計的矿床，但是，仍然还有上千上万平方哩不了解的地区，有待于詳細的勘查。

对于本章中的許多資料而言，我們必須感謝許多政府部門中的地質工作者，因为他們对于这些矿床都曾提出过报导。

基于在每一矿床中所发現的矿物群，我們了解到了这一地区的几种不同砂岩类型矿床，它們可以分四种主要的类型：（1）鈾-釩矿床，（2）鋼-鈾-釩碳化木矿床，（3）瀝青鈾矿床，以及（4）其他类型的矿床。

---

❶ 即是砂岩型礦床。——譯者

就地理上而言，鈾-釩矿床都集中于科罗拉多高原地区。从矿物上看，这些矿床中包含有鉀釩鈾矿和釩云母，并且在某些矿层中，砂岩里面沾染了鉄銹状的氧化物。四个主要的建造（根据辨認的方便和作地質图的方便来划分的）叫做蒙科皮建造、辛納隆普建造、欽尔建造、以及莫里森建造的沙特瓦什（Salt Wash）砂岩层（一个亚建造），其中含有具有价值的矿石。其他建造也有含鈾的，但90%左右的鈾产量均来自上列之岩石单位。而在这90%中，几乎有65%是屬于沙特瓦什岩层的，20%左右屬辛納隆普建造。

在这些矿床中，鈾-釩矿物充填于砂粒四周的空隙之中。在局部地方它們可能交代植物化石，包括巨大的木材化石，甚至也可能以交代古代动物骨骼的形式而出現。图8到图11表明了广泛分布的侏罗紀和三叠紀地层，以及其中已知的鈾矿产。图上也表明了有兩州中的莫里森建造、欽尔建造底部以及納瓦約砂岩（Navajo sandstone）的分布情况。許多頗值勘探的地区都位于这些建造的分布范围之內。图上也說明了通向这些岩石单位露头地区的主要道路。

由于这些建造对于已知鈾矿床而言是非常重要的，所以似乎也有必要将其岩石加以簡要的描述。蒙科皮建造其面积在几千平方哩以上，位于犹他州的南部和东南部、新墨西哥州的西北部和亚利桑那州的北部和东北部。其厚度从200呎到2000呎。岩石包括：薄层褐色砂質含石膏頁岩、紅褐色砂岩以及頂部及其附近一些白色砂岩和粉砂岩层。在犹他州南部的白峽谷（White Canyon）地区，建造中部为浅黃色和灰色的粗砂質砂岩，它們形成石崖，而与上复的形成斜坡的頁岩成为明显对照。同样的情形，也可在犹他州西南部的里茲（Leeds）地区看到。鈾矿床就发現于頁岩和粉砂岩內或互

层的浅色砂岩中。

辛納隆普建造直接复盖于蒙科皮建造之上，其特征就是广泛地分布于科罗拉多高原，厚度极不规则；在 50 呎到200呎之間。本建造一般均为粗粒的、淡黃色到褐色风化了的易碎岩石。扁豆状的砾岩层(固結的細砾石层)非常普遍。更明显的特征大概要算丰富的木材碎片和树木（直径从一呎到一呎以上）化石。在有些地方，部分化石紧密排列，好象是石化了的树木堆一样。在辛納隆普建造的大多数地区，其特征为含矿岩层作石崖状及桌面状复盖层复盖于脆弱的頁岩之上。大多数已知鈾矿均产于岩石单位中較厚而呈扁豆状的部分之內，位于古老河道的充填物的底部之中或其附近，同时也产于本建造底部的附近。

欽尔建造与蒙科皮建造相似，但是为深紅色和棕色之砂岩-頁岩所組成。同时，各种不同顏色的頁岩——灰色的、紅色的、淡紅色的、淡紫色的、綠色的——在較暗色的岩层中相互成层。本建造直接复盖于辛納隆普建造之上。其砂岩中石化了的木材也很普遍。欽尔建造中的淡褐色、特别是灰色的砂中，是含鈾最富饒的层位。深紅色的岩层中尚未发現过鈾矿。在犹他州的銀层（ Silver Reef ）地区，这些淡色的砂岩层位于本建造底部上面600呎或 600 呎以上之处。建造的厚度变化不一，在犹他州南部，变化幅度几乎达到1100呎。

莫里森建造是目前科罗拉多高原含鈾最丰富的地层。因此，这里需要說明有关沉积岩的类型及其可能的成因的一些重要事实。正如斯托克斯（Stokes）所指出，鈾、鈒、鐳等矿物的矿床是分散地分布于本建造的下部。在野外可以看到下部一个明显不同的砂岩层，厚度可达100呎，叫做沙特

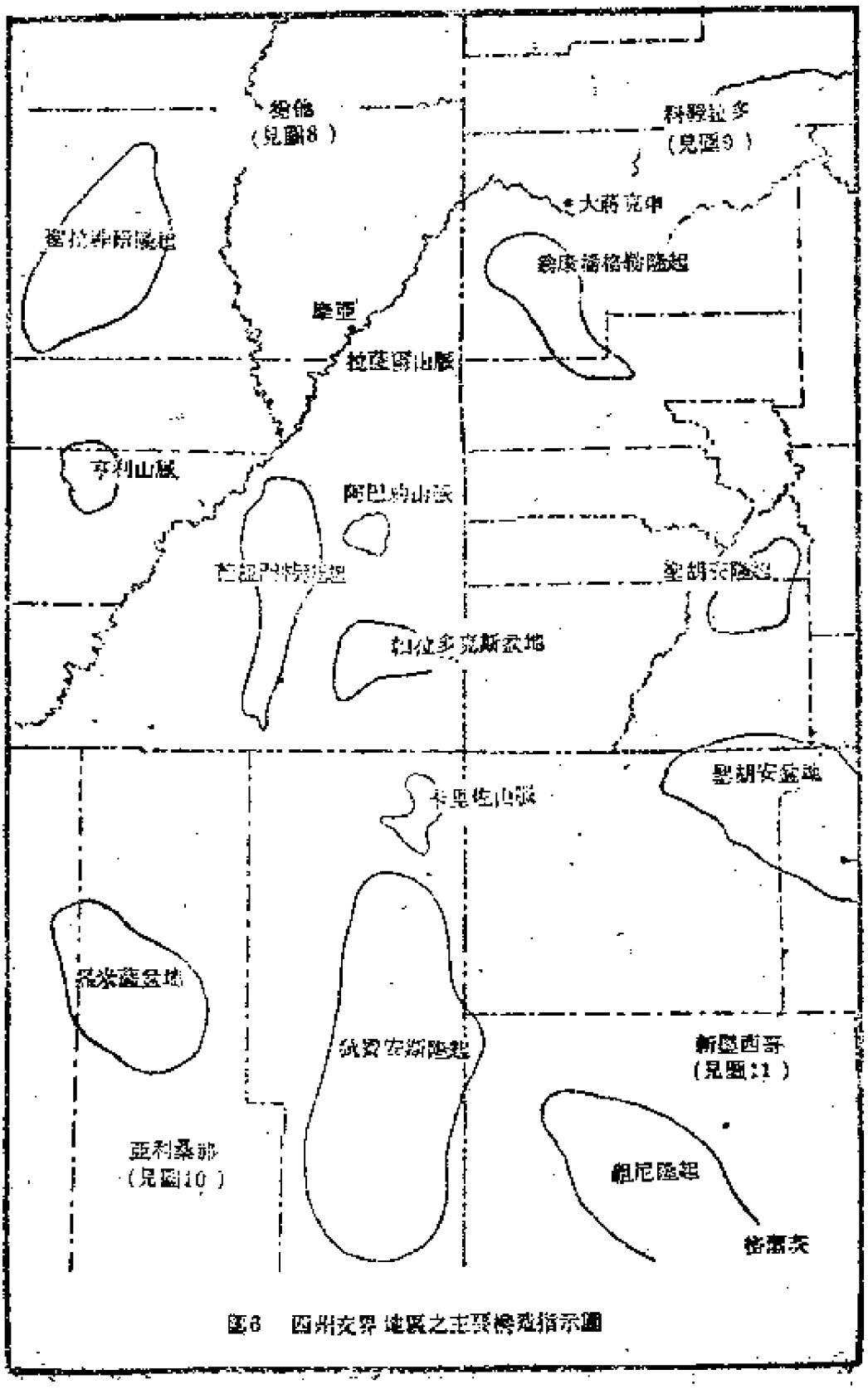


圖8　四州交界地區之主要構造指示圖

瓦什层。它位于非常細粒的泥砂和頁岩下面。这种細粒結构的沉积岩也包括膨潤土（变質了的火山灰）頁岩。

在沙特瓦什的从褐色到淡黃色砂岩中，含有重要的金屬矿床。砂岩层的不規則性是本层的特征。厚的扁豆体、沉积物的扁豆状形态、頁岩扁豆体、所含的粘土球以及显著的含碳层、石化树木、恐龙骨骼、蘆苇状植物的痕迹等等，这些的出現表明了为一大陆沉积环境。人們認为，具有时常变迁着的河流的大氾濫平原，以及这些河床被含有砂砾的水流不断地充填和再割切着，这就是莫里森建造沙特瓦什层的古代沉积条件。而鈾矿床則存在于河床沉积层增厚的地方。

在此建造中，鉀釩鈾矿和釩鈣鈾矿是重要的含鈾金屬矿物。許多釩矿物如黑水釩矿、水釩矿、薄晶釩鈣石以及其他一些釩矿物，則往往是这些鈾矿物的伴生物。金屬矿物充填于砂粒四周，同时交代树木化石和砾子小球。在斯托克斯的詳細描述中指出，这一重要的含矿岩层从科罗拉多州的布留山脉（Blue Mountains）一直延綿到亚利桑那州的卡里佐山脉（Carrizo Mountains），以及从犹他州的亨利山脉（Henry Mountains）一直延綿到科罗拉多州的尤拉凡（Uravan）和要格納（Egnar）。

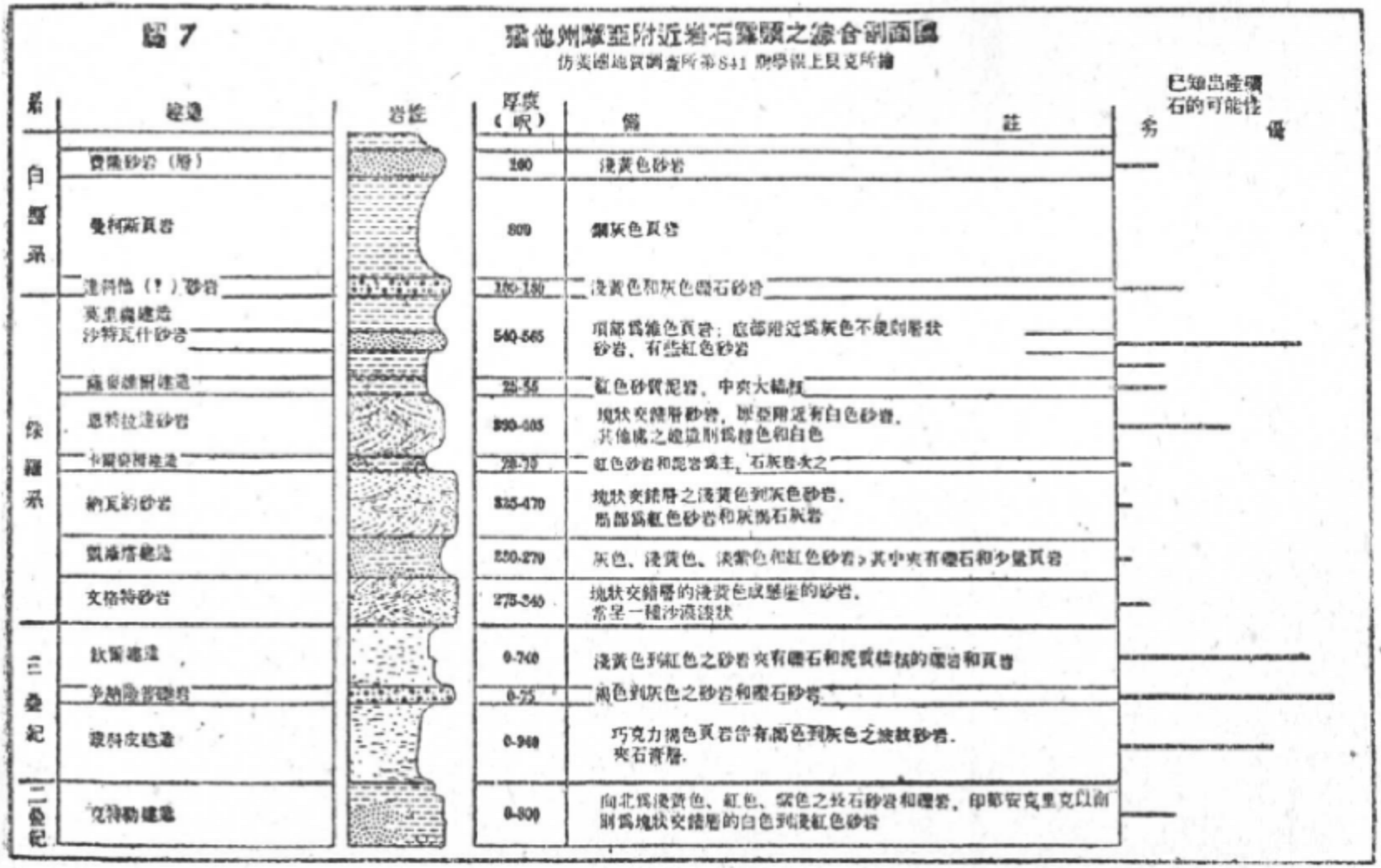
細粒的沉积物沉积于沙特瓦什砂岩之上。細粒結构的沉积岩，其均一性和沒有河床的存在，就表明了这是一块地形起伏很小的稳定地区。沉积物所进行沉积作用的面积在360,000平方哩以上。

从砾岩和火山灰沉积于莫里森建造的頁岩层受过輕微的侵蝕面上看来，似乎在接近莫里森时期的末期，沉积环境曾經有过剧烈的变化。斯托克斯認为在这一广闊的地区中，可能曾經有过在沙漠环境中偶然发生的傾盆大雨而造成的洪

圖 7

猶他州蘇亞附近岩石露頭之綜合剖面圖

仿美國地質調查所第841 期學報上貝克所繪



流，以及因之而引起残余碎石沉积的重新分布。在这些砾岩中，“胃石”（gastrolith）（可能为恐龙的胃石)❶ 非常丰富。铀矿床不多或者沒有。莫里森建造的最后的沉积相为一些页岩，它們和沙特瓦什层上面的页岩极其相似。

砂岩类型矿床找矿綫索　对勘探工作者来說，在上面所述的任何建造中，具有实用价值的有下列几点必須注意：（1）碳化了的植物对决定铀矿的位置是重要的，但却并非是根本的；（2）长石砂岩（或者是含有石英和丰富长石顆粒的砂岩）；（3）砂岩必須是河床或水道沉积的；（4）砂岩必須是淡色的，不能是深紅色或褐色的；（5）古代河床常常制約着矿床的位置；（6）与上面因素存在的同时，破裂或破碎了的岩石地区，对铀矿的富集，也是有利的。

銅-鈾礦床　已知的大多数銅-鈾矿物产地，均在犹他州南部和亚利桑那州北部的三叠紀蒙科皮、辛納隆普和欽尔建造之中（見图8和图10）。产量最丰富的地带是在恰好位于蒙科皮建造之上的辛納隆普建造中。但是，在犹他州的白峽谷和紅峽谷(Red Canyon)地方，銅-鈾矿床是位于欽尔建造中部附近的砂岩层里，含矿砂岩的顏色，是从鮮明的淺灰色到淡黃色。矿床的一般位置，是在古代河床沉积层較厚部分附近的扁豆状砂岩中。就这一点而言，它們与較老的鈾釩矿（鈾-釩矿床）的产状是相类似的。虽然銅与鈾往往共生，但是，在綠色斑点状的銅矿露头的地方，如果沒有鈾矿的明显标志，則也可能錯認。鈾可能位于露头的表面。正如原子能委員会的地質学家們所指出，对于具有几千吨的銅-鈾矿床而言，如果化驗露头的边沿之后証明含 0.04% 以上的

❶ 爬虫类、鳥类胃中的石子，由于消化器官的运动而被磨圓，其化石与骨骼化石常在一起——編者。

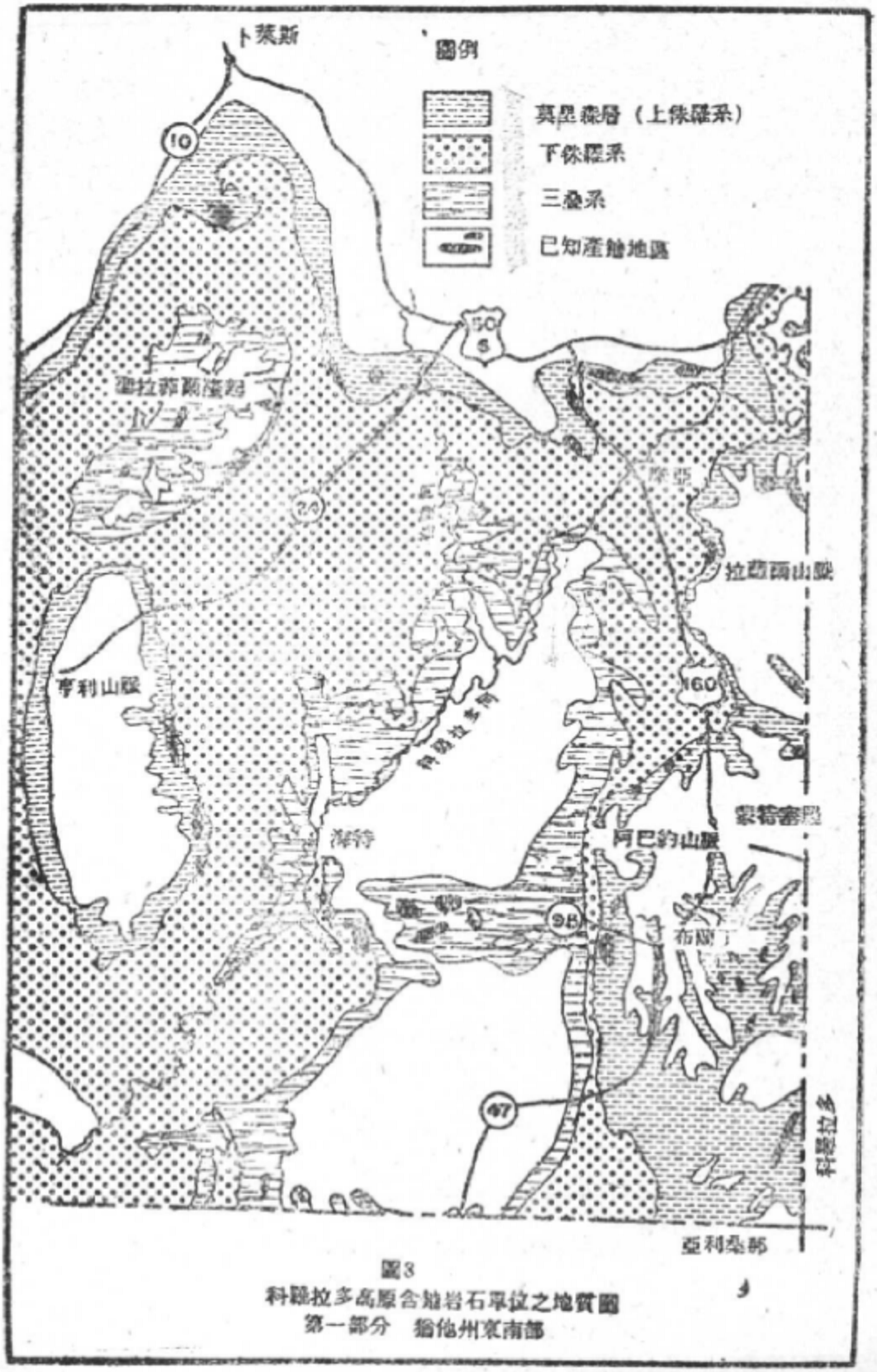


圖3
科羅拉多高原含鈾岩石單位之地質圖
第一部分　猶他州東南部



圖9
科羅拉多高原含鈾岩石單位之地質圖
第二部分　科羅拉多州西南部

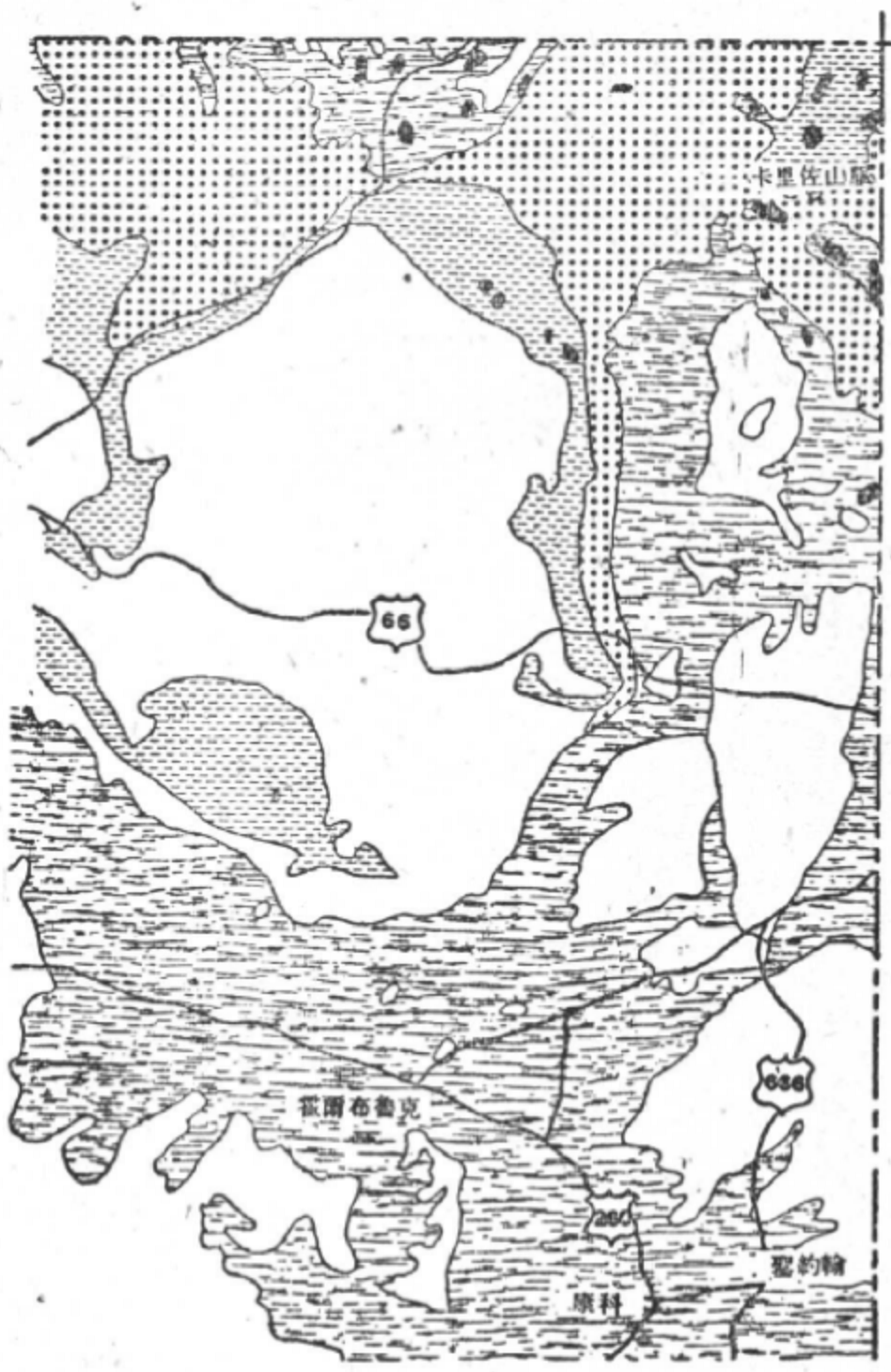


圖10

科羅拉多高原含鈾岩石單位之地質圖
第三部分　亞利桑那州東北部

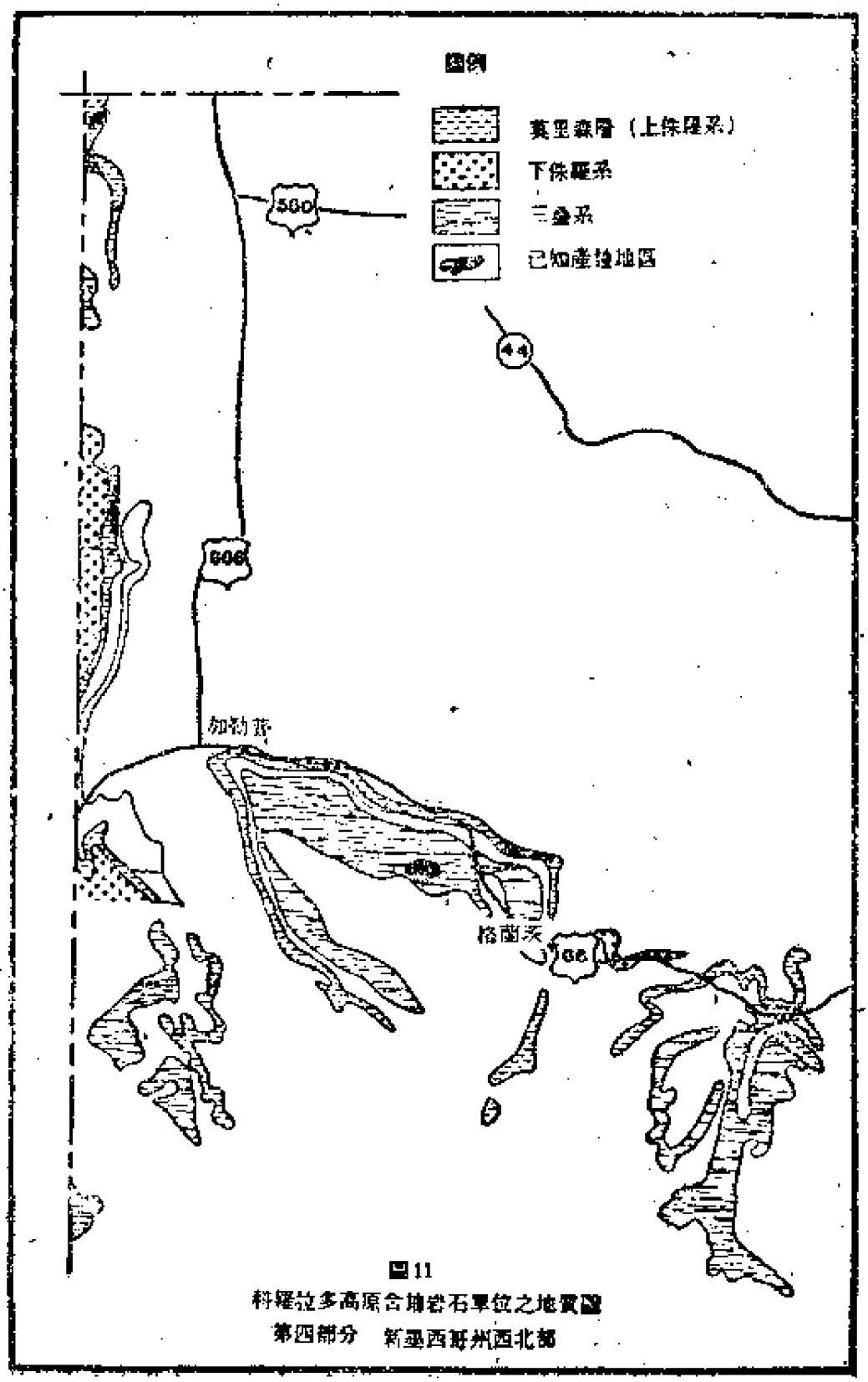


圖11
科羅拉多高原含油岩石單位之地質圖
第四部分　新墨西哥州西北部

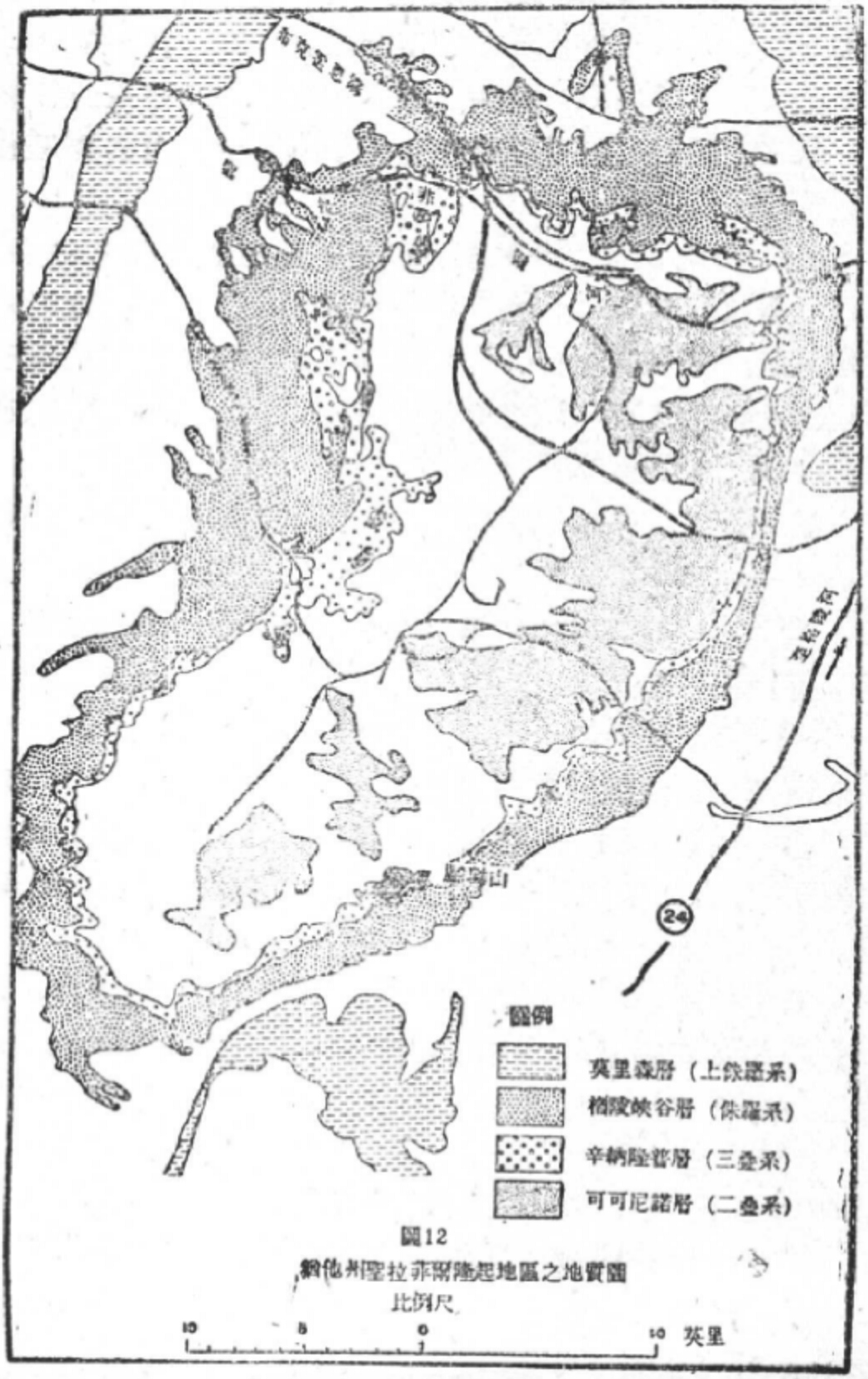


圖12

新他州聖拉菲爾隆起地區之地質圖

比例尺

U_3O_8时，則此一矿床可以認为是一个可开采的矿区。未經氧化的部分，可能含有百分之几十或更多的U_3O_8矿石。在图2中，假設地表即为露头的表面，而下面为露头的里面部分，則这一图解，就可以当作是一个想象中的內部变化情况图。

灘青-砂岩礦床　含鈾灘青砂岩矿床主要位于犹他州中东部的圣拉菲尔隆起（San Rafael Swell）。这一类矿床，一般只限于在辛納薩普砾岩的底部。某些鈾矿物也发現于岩石剖面中再上几百呎的文格特砂岩內。同样类型的矿床也沿着犹他州的沃特波克特(Waterpocket)褶皺带向南伸延。

鈾的产出，只限于中粒到粗粒、多孔而含有地灘青物質的砂岩扁豆体中，或者是限于砾岩中。大家都知道，木化石、树干的化石、树枝化石以及树叶化石等，与顆粒間的地灘青物質在一起，对发現鈾矿位置，是具有重要意义的。

黑色粉末状的科水釩矿（corvusite）与細粒的黃鉄矿、一般所認識的鉀釩鈾矿、鈣鈾云母、銅鈾云母和翠砷銅鈾矿，与一些氧化鉄、氧化銅以及碳酸盐，甚至某些鈷矿物等与灘青-砂岩类型的矿体共生。矿床中几乎往往可以发現石膏。

这类矿石的品位到达0.2%的U_3O_8。由于在这些矿床中辨認原生鈾矿物困难，所以只有在許多勘探工作者都会利用盖革計数器来检驗放射性以后，才成为一种重要类型的矿床。

科罗拉多高原以外的砂岩类型礦床　最近曾經在南达科他州黑山（Black Hill）周围的下白堊紀砂岩、宾夕法尼亚記（石炭紀）的明尼留薩建造（Minnelusa formation）以及寒武紀的戴德伍德建造（Deadwood formation）中发現了鈾矿石（見图13）。

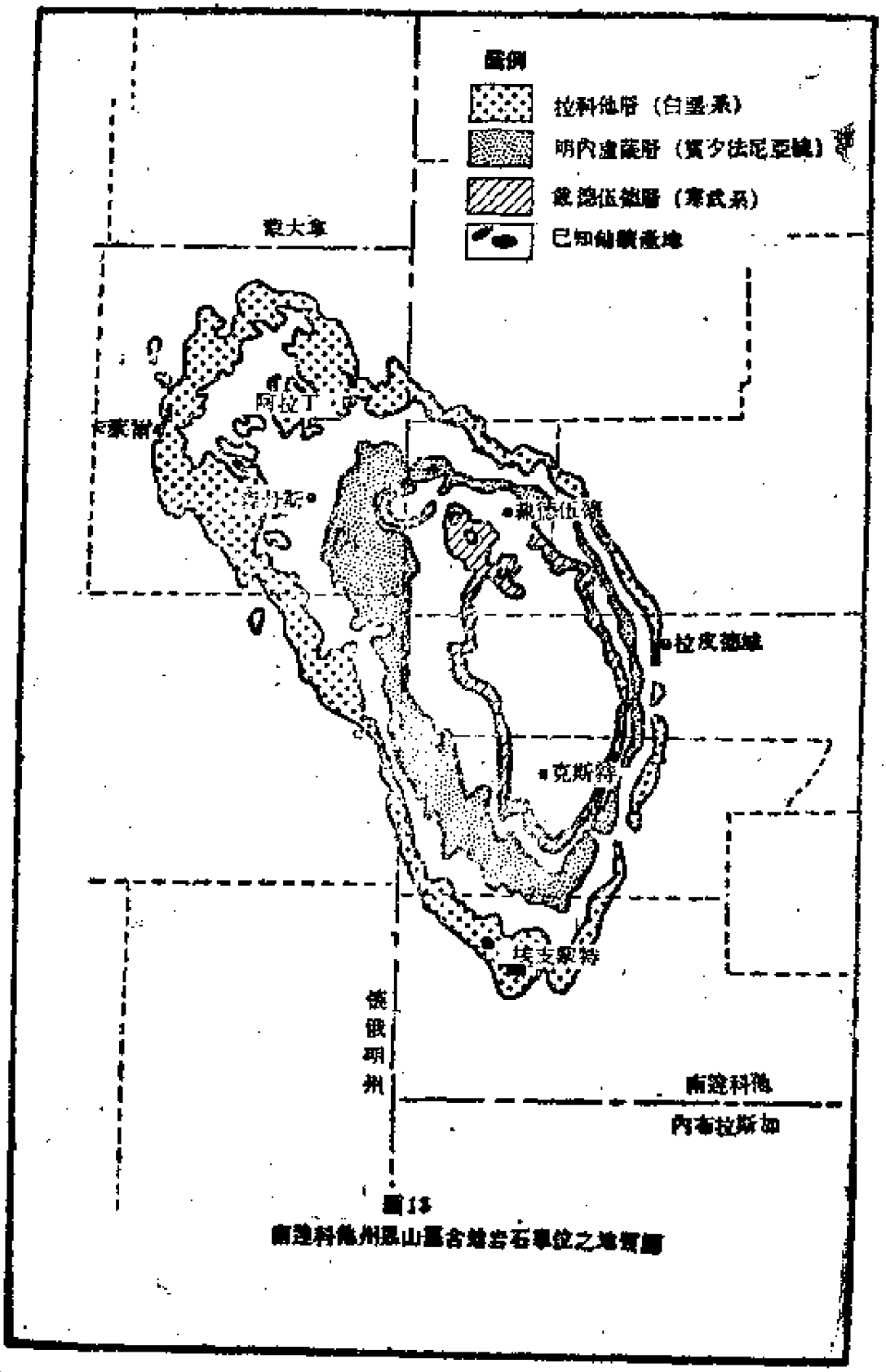


圖13
南達科他州黑山區含鈾岩石單位之地質圖

下白堊紀砂岩围繞着黑山以及熊窩山脉（Bear Lodge Mountains）。所发現的矿石是在埃支蒙特（Edgemount）附近，有些則在黑山北部。明內盧薩建造和戴德伍德建造的露头仅出露于中央山的周围。在明內盧薩建造和戴德伍德建造中发現有几个小矿床。矿石产于白堊紀和宾夕法尼亚紀砂岩中較易透水的部分。矿床形成于有利条件的地区中，从平面看去，就象“河流中的一群鱷魚”。金屬矿物包括鈾釩鈾矿、鈣鈾云母以及矽鈣鈾矿。岩石中呈鮮黃色的斑点，是凭肉眼即可以鑑别的找矿标志。不过，应該小心的是必須把它与鉄銹狀的氧化鉄区分开来。矿物中含有过量的釩时，可以使其顏色变得更暗一点，与岩石的天然顏色相似。象这一类的地区，就需要用盖革計数器来确定所經过之处有沒有矿石存在的可能。

在过去两年中，怀俄明州曾一度风行着鈾的勘探热潮和鈾的发現热潮。事实上，这两年所进行的勘探工作之多，可以与前半世紀相等。在这一州中，至少有八处发現了鈾的矿化作用。由于这些都是屬于砂岩类型的矿床，所以附带将其位置及鈾的产状作一簡单的說明。本州中的矿位置見图14。

在怀俄明州的卡萊尔(Carlile)和阿拉丁（Aladdin），位于黑山的西緣，有42位左右的个人发現者都发現了含 U_3O_8 最达到0.2%的矿石。至少有9个人所找到的矿床有极大可能性是具有工业价值的。矿石屬于鈾釩鈾矿类型，产于白堊紀的拉科他砂岩中（见图13）。

在怀俄明州康弗尔斯(Converse)郡和約翰生(Johnson)郡坎貝尔（Campbell）的蓬普金孤山（Pumpkin Buttes）附近，发現了600平方哩的地区內有星散的鈾矿床。将經过选择后的标本化驗，发現含 U_3O_8 达27%。在下始新世的瓦

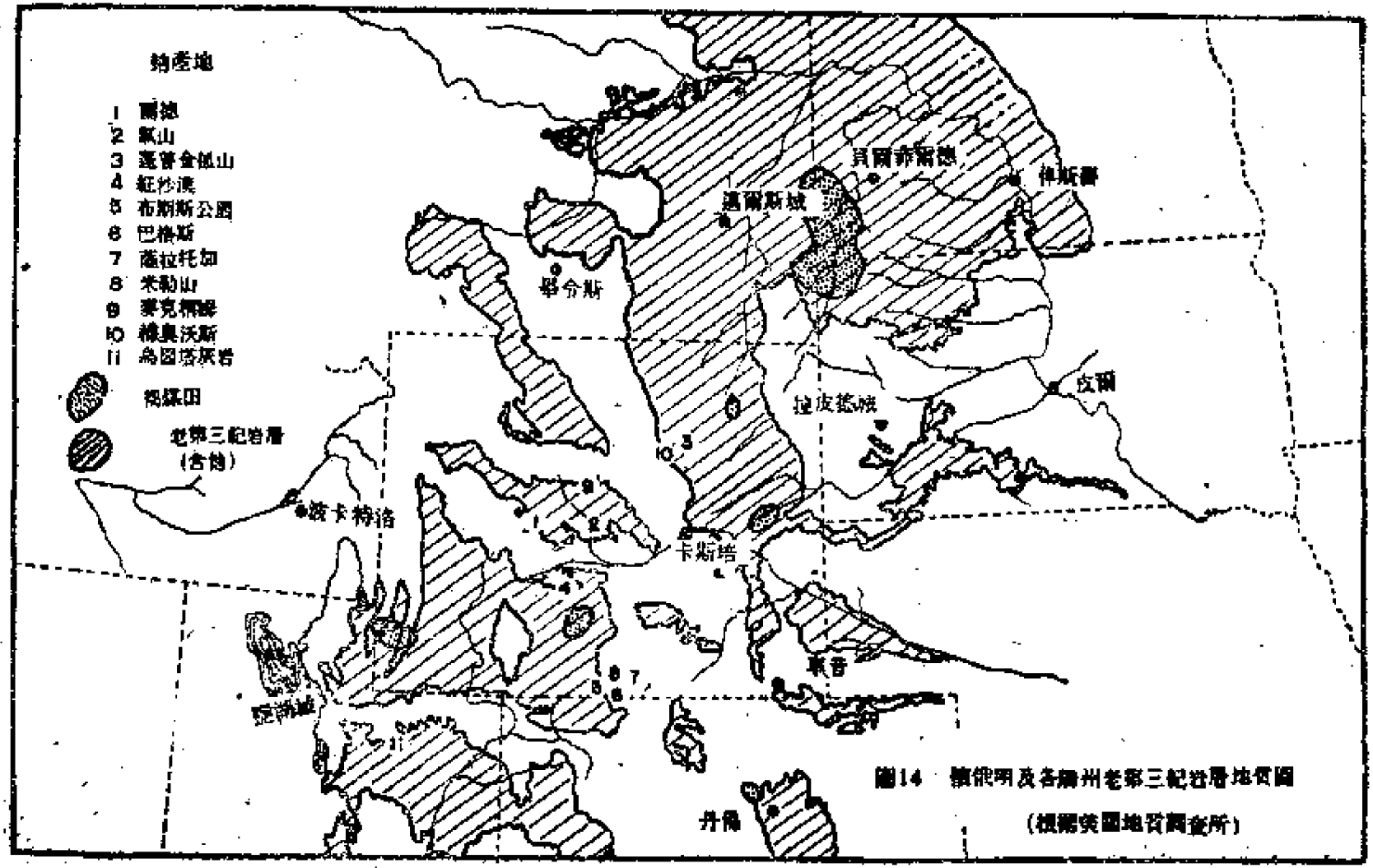


圖14 懷俄明及各鄰州老第三紀岩層地質圖

(根據美國地質調查所)

薩赤（Wasatch）砂岩中，鈾矿物为鉀釩鈾矿和矽鈣鈾矿。火山凝灰岩或火山灰层具有少量的放射性，并复盖于这些砂岩的上面。

在本州的紅色沙漠区中，板菱鈾矿以浸染状产于下始新世瓦薩赤建造的砂岩中。最近在克魯克斯山口(Crooks Gap)地区以北15哩之处，亦有发現。唯尚未証实是否具有工业价值。

1953年秋季，在弗瑞芒特（Fremont）郡之气山（Gas Hill）区，地質学家与勘探者有同样之发現。在这里下始新世的温德河（Wind River）建造中，发現了一种不常見的鈾矿物——砷鈣鈾矿（uranospinite）。最近在气山北部进行的航空放射性測量中，也发現了同样类型的矿床。

在怀俄明州南部的巴格斯（Baggs）地区、薩拉托加（Saratoga）和米勒山（Miller Hill）等处，一些經营畜牧場的人和美国地質調查所在第三紀的砂岩中发現了一种黃色的鈾矿物。这些矿床的大小及其組成目前尚不知道(見图14)。

怀俄明州发現了許多砂岩类型的矿床，說明了这一州是一个有利的勘探鈾的地区。拉弗博士（Dr. Love）指出，根据与已知产地有直接关系的火山凝灰岩和火山灰，可以推出在含有凝灰岩的第三紀沉积物露头处，能够找到这类鈾矿床的地区。他在最初寻找几个矿床获得成功之后，使他的理論得到了有力的証明。这也說明了在怀俄明这一州上千上万平方哩的土地下面，是可能有着含鈾地层的。

脉矿床 最有名的脉矿床产于美国以外的加拿大、南非和捷克斯洛伐克。不过，在經过仔細勘探以后，最近在美国国内也发現了具有工业价值的鈾的脉矿床。在美国西部諸州，含有瀝青鈾矿和一些瀝青鈾的蝕变产物的鈾矿脉，已在

犹他州瑪里斯維尔附近发現和开采着。其他的这一类型的矿床，在科罗拉多州的詹姆斯城（Jamestown）和其附近、华盛頓州的林肯郡（Lincoln County）、愛达荷州的柯尔达伦（Coeur d'Alene）、犹他州的西部、蒙大拿州的海伦納（Helena）附近、怀俄明州的森丹斯（Sundance）、新墨西哥州的西南部以及整个加利福尼亚州和亚利桑那州南部的各地均有发現（見图15）。

在犹他州的瑪里斯維尔东北，最初的一个脉矿床是普拉特·西格米勒（Pratt Seegmiller）发現的。他原来是卡車司机服务站的一名工作人員，后来才改行作一个勘探工作者。許多地質学家都未能将这些矿床辨認出来，而西格米勒借着紫外光灯和盖革計数器就发明了主要的脉矿床地区。这一地区在瑪里斯維尔东北几哩之处，位于花崗岩状的火成侵入体边緣上或其附近。許多鈾矿脉的标志都发現于侵入体的接触处或在其附近被其侵入的火山岩中。各个矿脉的寬度由几吋到几呎，其中尚有瀝青鈾矿的富矿体，位于地表以下較深的一些地方。在地表或地表附近，鈣鈾云母、銅鈾云母以及其他一些次生矿物，均产于蝕变較甚的松軟岩石內。圍岩的外表特征一般为鉄銹色的粘土，带有深褐色和一些紫色和黑色。在火山岩复盖区，还发現有鈾的成矿作用的其他迹象。

比較有希望的勘探地区是位于瑪里斯維尔四周。在瑪里斯維尔南边和北边的图沙尔山（Tushar Mountain）中，有一些小的侵入岩頸。这些有侵入活动的地区，必須仔細进行勘探，看是否可能有鈾矿。柯吞伍德（Cottonwood）峽谷和布利昂（Bullion）峽谷，也是寻找鈾矿有希望的两个地区。在布利昂峽谷地区，特别是那些含有螢石的矿脉，必須仔細

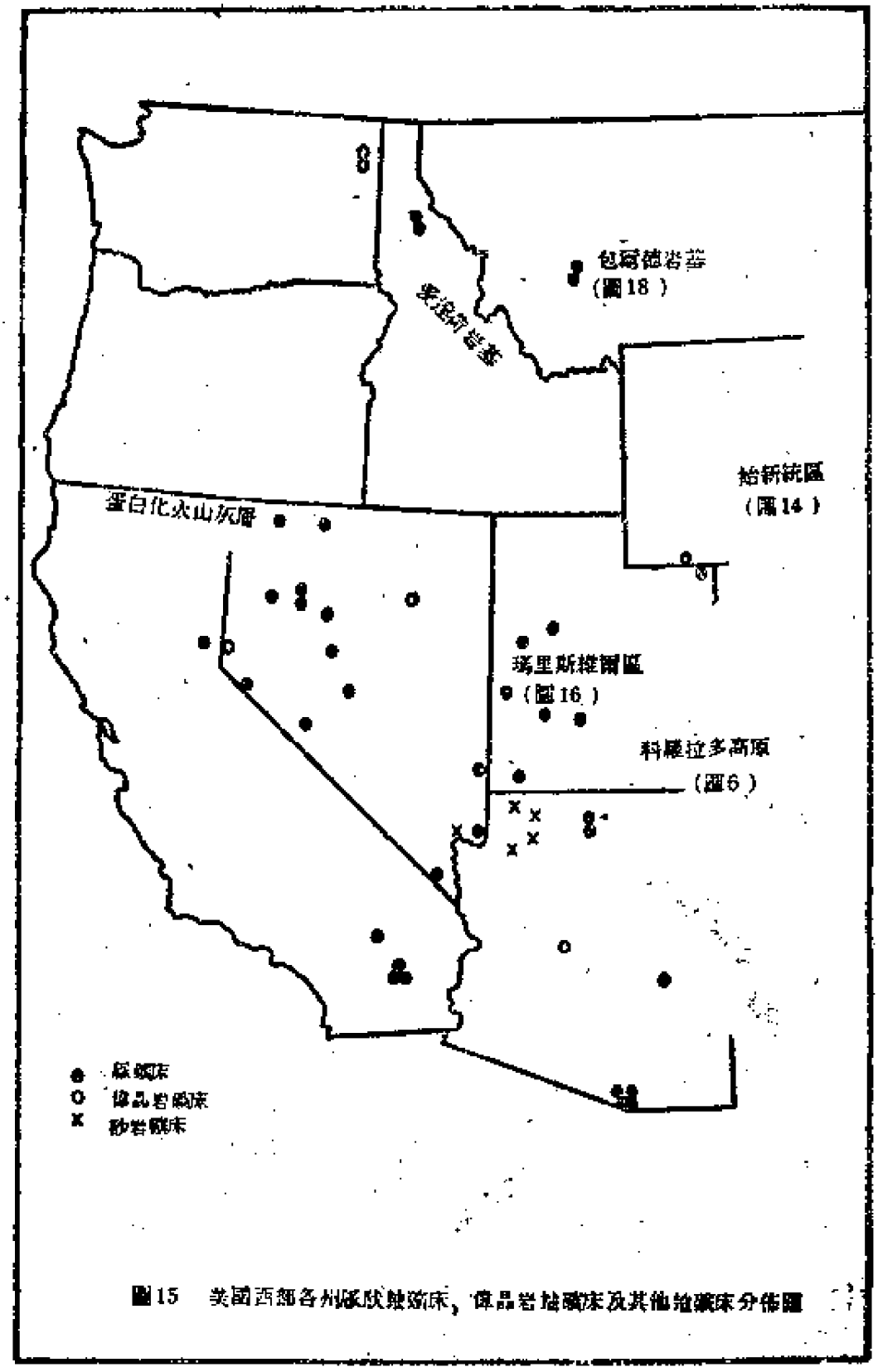


圖15　美國西部各州鹼質鈾礦床，偉晶岩鈾礦床及其他鈾礦床分佈圖

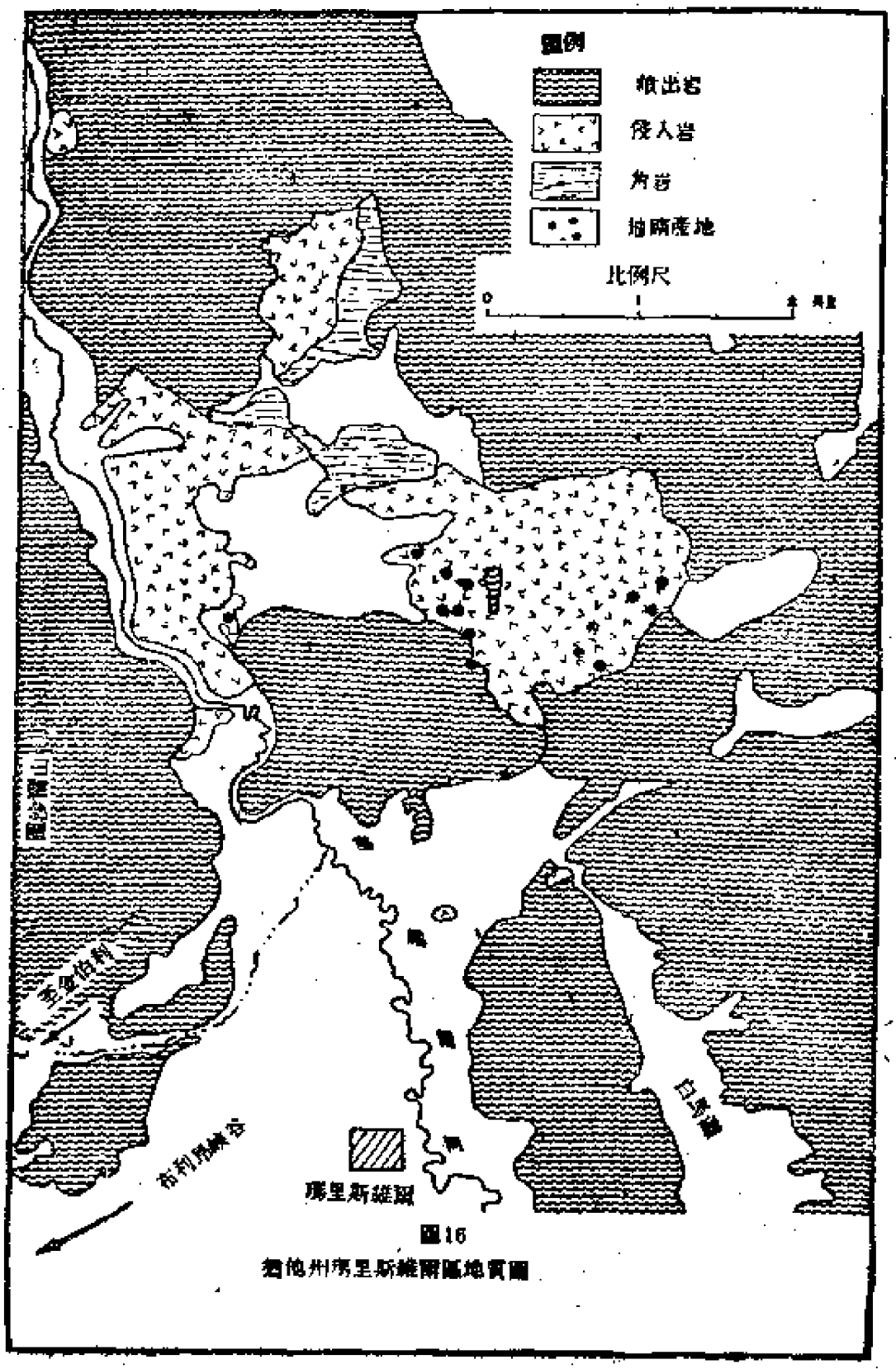
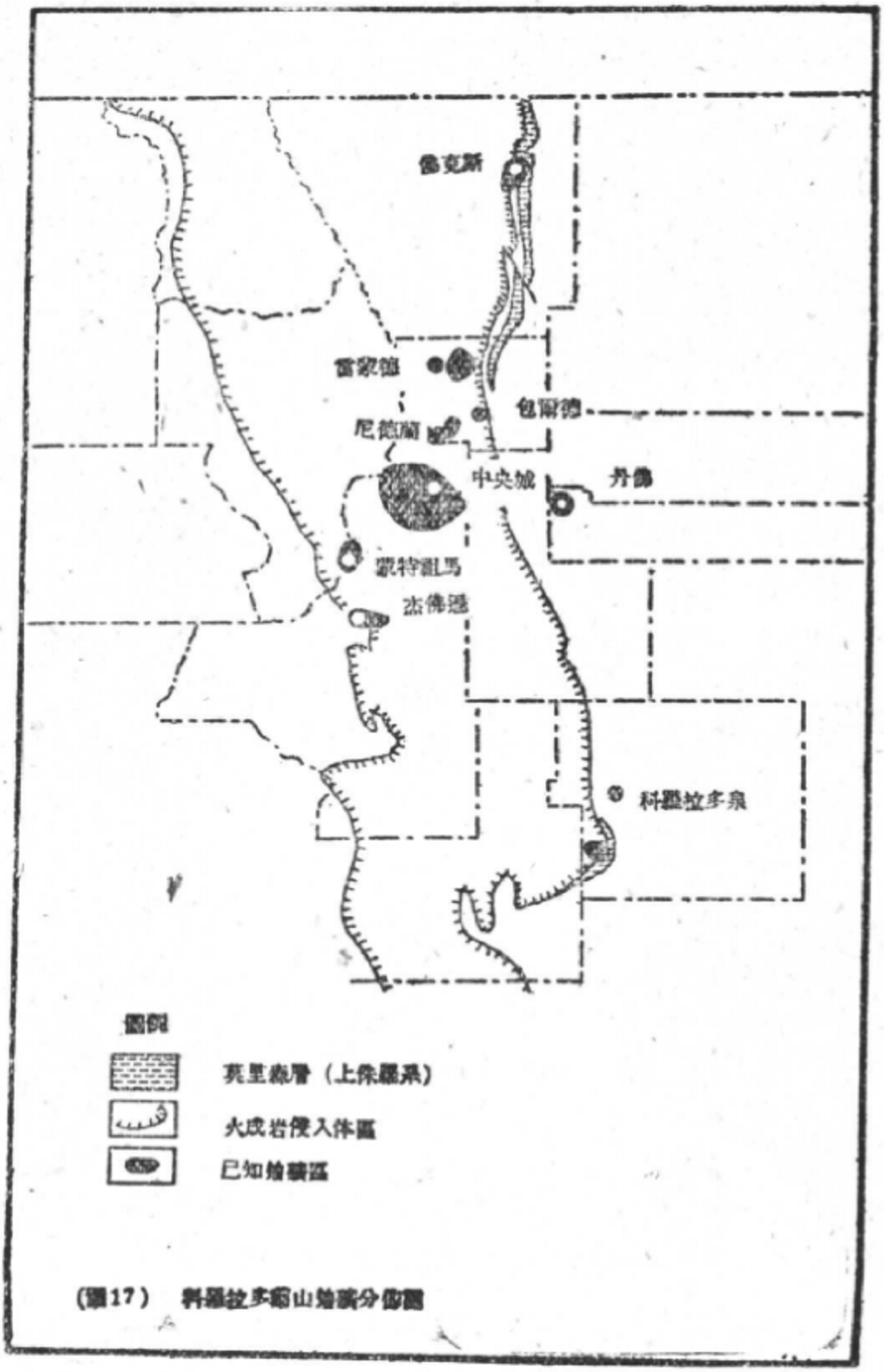


圖16
猶他州瑪里斯維爾區地質圖



（圖17） 科羅拉多前山鈾礦分佈圖

检驗，看是否含有放射性的矿物。瑪里斯維尔南部的鹿迹矿区（Deer Trail Mine）（早先的一个鉛-銀矿区），和其西北部金伯利（Kimberly）的老金矿区，这些矿区的矿石交代作用，都必須进行研究。总而言之，最有希望的寻找鈾矿的地区是位于：（1）火成岩侵入体附近，（2）具有由褐色到黃色斑点的松軟火山岩和火成岩中，（3）螢石产地的附近（見图16）。

直到目前，在美国西部所发現的最大多数的脉矿床，都是位于科罗拉多州的詹姆斯城附近。事实上，大多数的鈾矿脉都发現在科罗拉多州的前山(Front Range)的这一部分。迄今，已发現的矿床在二十处以上（見图17）。

在詹姆斯城，金屬矿物以炭黑状的瀝青鈾矿块体与一种紫色的玻璃状具有明显而完整解理的矿物——螢石伴生。黃鉄矿、方鉛矿、閃鋅矿、有时还有黃銅矿，均在矿脉中共生。脉矿床很小，但是波集于波登岩（Bostonite——又名歪正細晶岩，是一种沒有石英的花崗岩岩脉）岩脉中。这些岩脉也都具有放射性，可能是今后低品位鈾矿石的良好来源。

卡里布（Cavibou）矿区也是以其出产瀝青鈾矿而著名。矿床位于科罗拉多州尼德兰西北五哩之处。科罗拉多州戈尔頓（Golden）西北之拉尔斯頓·克里克（Ralston Creek）矿区，在1953年也成为了一个有前途的矿区。在这里，鈾是沿着矽化了的角砾岩中的平緩裂縫中产出。如果能在这一地区加強放射性勘探，就还可能发現其他类似矿床。

在科罗拉多州克利尔·克里克（Clear Creek）郡的愛达荷泉地区西北四哩之处，发現了小型鈾矿。鈾矿一般都是以小的扁豆体或富矿体分布于矿脉之中。化驗結果含 U_3O_8 达百分之0.188。經过标本精选后，U_3O_8 的含量則超过百分

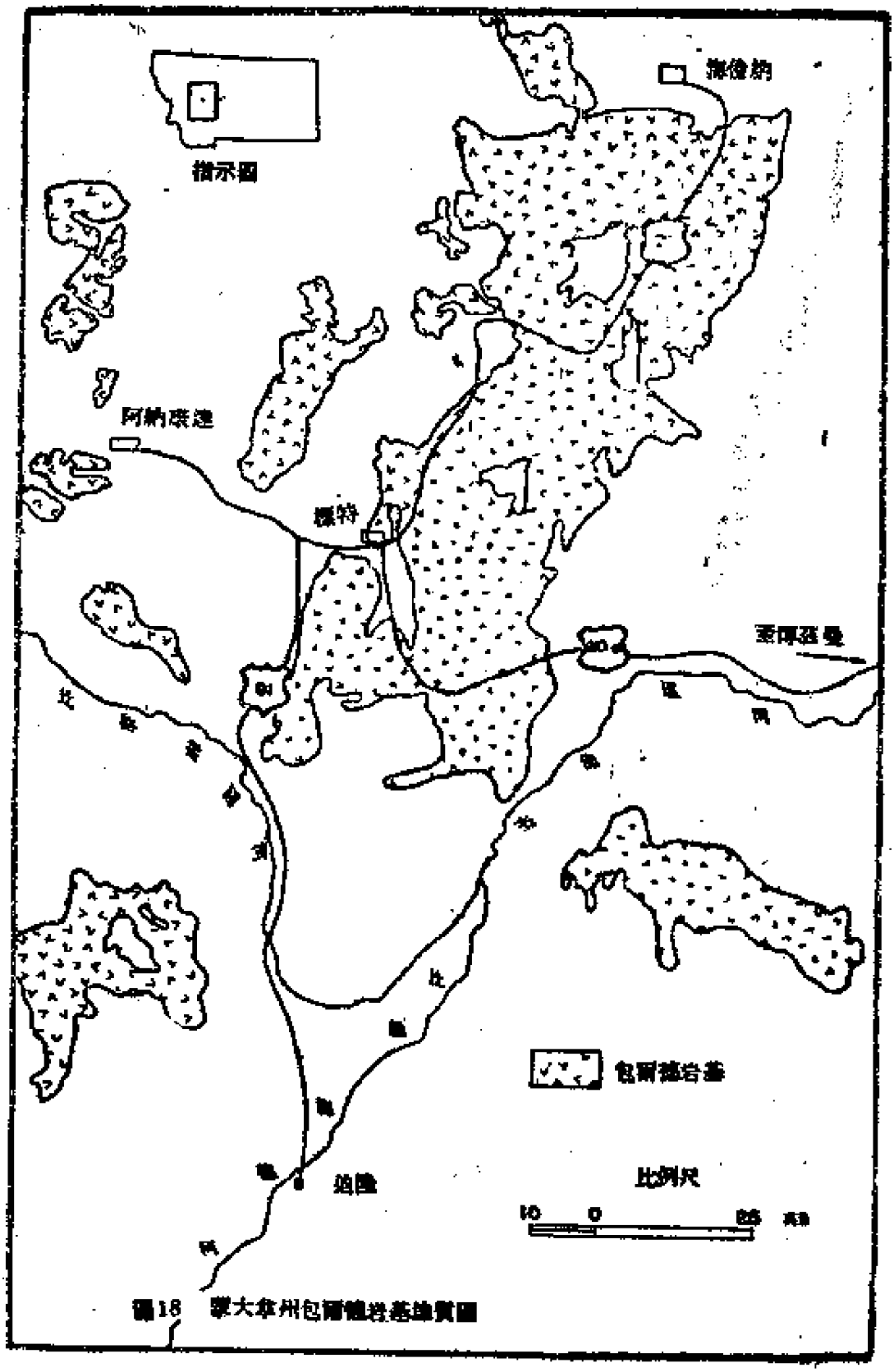


圖16 蒙大拿州包爾德岩基地質圖

之2.4。

正如梯德罗（Te·lrow）所述："簡而言之，中央城（Central City）、乔治城（Georgetown）以及拉尔斯頓抓山(Ralston Buttes)地区，都是位于一个含鈾带。"鈾矿勘探如能对这一地区及其附近进行詳察，一定可以得到良好的結果的。一个科罗拉多矿业学校的教授說道："十五年来，据我所知，科罗拉多州的戈尔頓附近地区是不可能有鈾矿的。我們学校的传达員不知道这件为人所熟知的事情。去年，他出去的时候，竟在离学校数哩以内的地方找到了一处鈾矿。"

其他的脉矿床产地　其他的脉矿床产地，在美国西部各地均有发現。在图15中，对此即有說明。正如我們已經知道的，在蒙大拿州杰佛逊（Jefferson）郡克兰錫（Clancy）附近。愛达荷州的柯尔达伦、以及华盛頓州的林肯郡最东部，都有灑青鈾矿矿脉。在克兰錫地区，矿石产于其他侵入体中花崗岩岩脉附近之深灰色、矽質的和含黃鉄矿的矿脉之中。其他的鈾矿脉，則于最近发現于內华达州拉弗洛克（Lovelock）东北約二十五哩之处的花崗岩岩体中。亚利桑那州的皮馬（Pima）郡和摩海弗(Mohave)郡也发現了灑青鈾矿。在摩海弗郡，鈾与銀矿物和鋅，及鉛的硫化物共生。矿脉平均有数百呎长，但并非所有的矿脉均露于現在的地表之上。在該矿脉中，鈾的成矿作用之特征为斑点状或富矿体状，并且一般都是与鋅矿物——閃鋅矿（树脂状，有完善的解理）共生。

脉矿床的勘探綫索　据所知，某些矿脉中的氧化鈾含量可达百分之70—80的U_3O_8，很明显，根据这一价值来看，体积較大的脉矿床比砂岩类型的矿床其价值要大得多。不过，目下所开采的，其体积还是較小。如果原生鈾矿物是在

地表的話，它們往往并不明显，因而目前正在开采的矿区中，其废棄的废渣或矿石，均可能含有鈾。必須用盖革計数器或闪爍計数器来检驗，才能肯定。在过去，带苹果綠的矿物如鋼鈾云母或鈣鈾云母，都可能被誤認为是鋼矿物。然而运用紫外光灯或盖革計数器，即可識别。

最有希望发現灑青鈾矿脉矿床的地区，在科罗拉多前山和犹他州的瑪里斯維尔地区。每一地区約数百平方哩。很多地区都有待于仔細地勘探。蒙大拿州的包尔德岩基（巨大的侵入岩体）也是一个极有希望的产鈾地区。在这个侵入体接触带的周围，如果进行仔細的地面观察，就会証实这地区很有希望。这一地区在过去的鉛、鋅、銀、金、銅等丰富的金屬出产，說明了这里的"象"是丰富的，目下需要的就是"打猎者"（見图18）。

其他可勘探地区就是那些过去曾經出产过鉛、鋅、銅和銀的矿区。在世界上的大矿区中，鈷和鎳甚至是与鈾伴生的更重要的伴生元素。愛达荷州的黑鳥区（Blackbird）似乎是一个这样的鈾的勘探地区。

鈾的成矿作用与火山活动之时常发生联系，說明了对美国西部所有地区之斑岩岩幹及小型侵入岩頸，有必要进行彻底的放射法勘探。这些地区均可在美国的地質图上找到。姑无論在这些地区是否有过金屬生产，进行勘探工作总会有一些成功的希望的。

鈾和螢石矿脉

美国地質調查所在科罗拉多、犹他、怀俄明和新墨西哥諸州經过詳細的研究之后，証明在許多螢石矿床中，鈾并非是一个不普遍的組份。它往往产于紫色螢石矿脉中。（記住，螢石是具有玻璃光泽，解理极完全，用刀片即可将其划

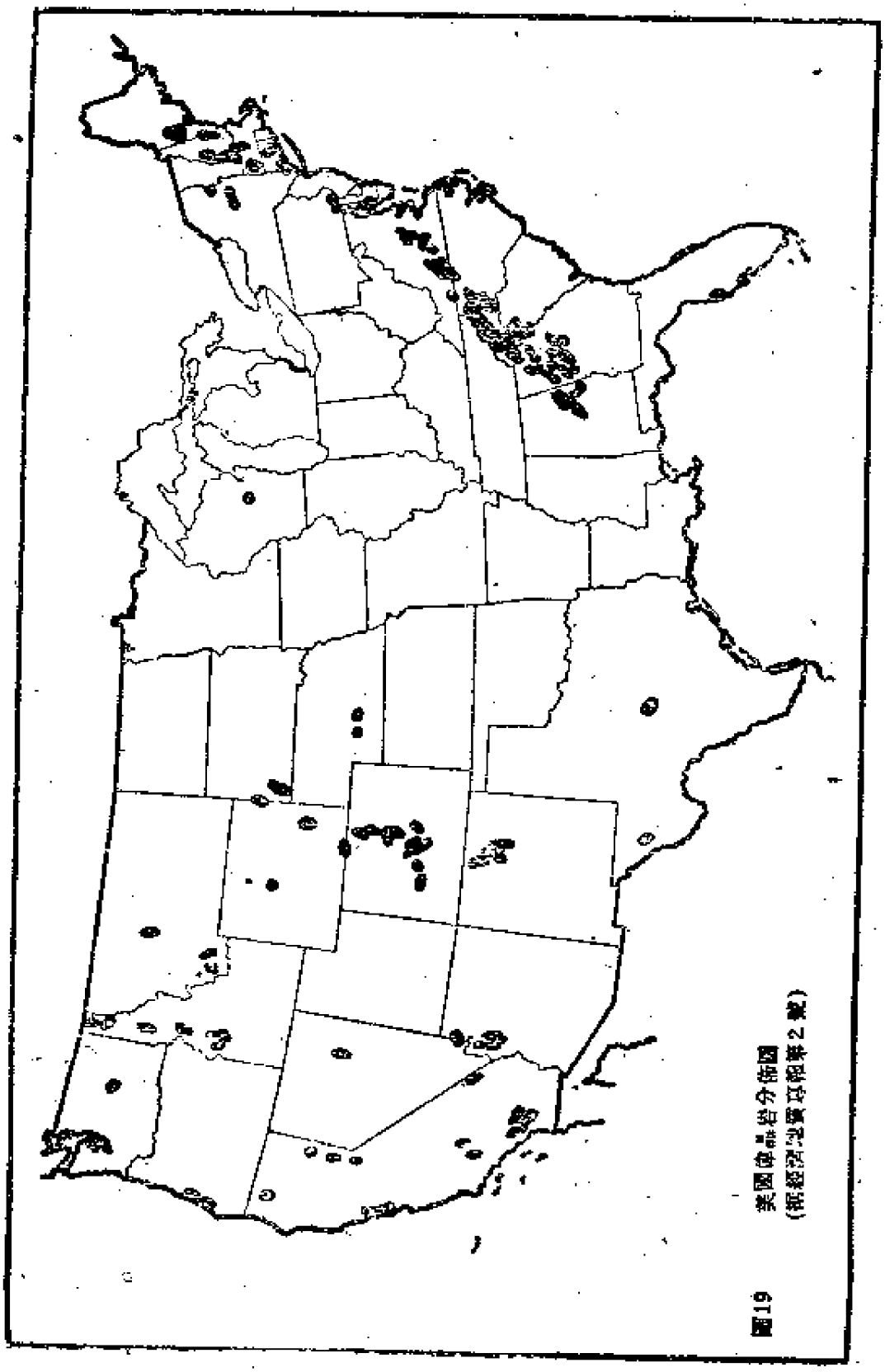


図19　米国の地域分布図
（地域区分については第2表）

伤）。科罗拉多州詹姆斯城附近的矿脉，就是一个实例。犹他州西部的托馬斯山脉（Thomas Range）发現許多管状体（这是在石灰中由于变代作用而形成的几乎是垂直的圆形或次圆形矿体）。許多最近发现的矿床，都是在犹他州西南部的华华山（Wah Wah Mountain），其中鈾产于螢石脉和其附近的圍岩中。一些毛布状的螢石变代体也发現含有有价值的鈾 迄今，所发現与螢石共生的鈾，已在二十处以上。一般而言，螢石及与之共生的鈾是与第三紀侵入岩和火山岩流有关。鈾的平均含量为百分之0.003到0.45的U_3O_8。

螢石矿脉的勘探綫索： 下面綜合了少数几个在美国西部螢石脉的位置。并非所有的螢石脉都与鈾共生，可能許多地方都未曾用盖革計数器或閃爍計数器来检驗过。用这些工具对螢石脉物質和圍岩进行詳細的鑑定可能发現其他的鈾矿床。紫色螢石是最利于含鈾的矿物。由于某些螢石发螢光，所以可以用紫外光灯来找到微量螢石从而探溯它的矿源地区。

偉晶岩地区

几乎在每一次的伟晶岩中所发現的鈾，其在矿物学上的价值是远大于这些矿石在工业上的价值。伟晶岩中含鈾和釷，但是往往含量很小，沒有什么价值。图19表明美国的重要伟晶岩地区。应該指明，对于这一类型的矿床，不必完全抱以絕望的态度。就是最近，在科罗拉多州戈尔頓地区西北的伟晶岩矿床中，就运出过一批工业上用的鈾矿石。

伟晶岩矿床的勘探綫索 用盖革計数器或閃爍計数器对岩石堆或伟晶岩物質进行仔細的检驗，似乎是最有效的，最容易发現这一类矿床的办法。重要的是其伴生矿物，必須記住，簡单的伟晶岩（成分同花崗岩）大多数均不含鈾。如

果发现了一个不常见的矿物組合（复杂类型的伟晶岩），就很可能有机会至少发现鈾矿物。

砂磷床 独居石是一种稀土金屬的磷酸盐，与鈦緊密共生，产于愛达荷州尼兹·帕尔士（Nez Perce）郡东南部的黑砂矿床中。在这一地区的一些砂中，平均可取得百分之29的独居石。其中平均含氧化鈦（放射性物質）百分之1.3。其他地区包括阿达郡（Ada）的；博埃斯盆地（Boise Basin）的黑砂亚当郡（Adams）的米多斯（Meadows）、蛇河（Snake River）、約翰·德灣（John Day Creek）；坎阳郡（Canyon County）的柏地河（Payette River）；克利沃特郡（Cleav Water）的奥罗芬納（Orofina）和頓特（Dent）；愛达荷郡的瓦伦（Warren）地区；勒姆希郡（Lemhi）的里斯堡（Leesburg）；林肯郡（Lincoln）的米尼多卡（Minidoka）；以及在奥威希郡（Owyhee）的阿瑞納（Oreana）亦均有发現。斯塔利（Staley）認为砂金及与之伴生的独居石产于沿愛达荷岩基的西部边緣，南面从博埃斯河的南佛克（Fork）起，北面終于皮尔斯（Pierce）。这一段距离至少有600哩。还有許多河流尚未从事調查。虽然在东部的砂矿床产有大量的鈦鉄矿与磁鉄矿，然而，在火成侵入体的东边边界还未見到比較多的产有独居石的象征。自从在愛达荷岩基东部水系的伟晶岩脉中发現产有放射性矿物以后，可能在这些东部地区有进行更多的研究之必要。

褐煤 正如上述，鈾产于西部諸州及某些中西部諸州之含鈾煤中。最大的鈾的分布地区是在北达科他、南达科他、蒙大拿和怀俄明諸州的褐煤中（见图14）。怀俄明州西南一个年代較老的煤层地区中也含有百分之0.007的鈾。不过，在該地区所取得的許多标本中却并不含鈾。在南达科他、北

达科他、蒙大拿和怀俄明的褐煤地区，未风化的煤中鈾的浓集沒有超过百分之0.01的。怀俄明的紅沙漠地区，虽然在风化了的煤的标本中含鈾量在百分之0.002到0.007之間，但实际含鈾量的百分比可能要大一些。在内华达州的丘吉尔城，一种含灰份較高的褐煤經化驗后，得知含鈾百分之0.05。含灰份如果极高，对大量燃燒煤来回收鈾是一种阻碍。不过怀俄明州的鈾却非这样。

磷鹽岩 第一次知道蒙大拿州磷酸盐建造中含鈾是在1944年。在美国地質調查所的后繼工作中証实了这一建造在广大的地区内都含有鈾。美国西部諸州磷酸盐矿床的分布如图20所示。

頁岩 某些黑色頁岩业經美国地質調查所取样和检驗，看其中是否含鈾，直到現在，对其中之鈾，尚无特殊之发現。与磷酸盐建造共生的黑色頁岩局部地显示有少量的鈾。密西西比紀的黑色頁岩，例如犹他州曼宁峽谷（Manning Canyon）頁岩和朗特瑞尔（Long Trail）頁岩，似乎是頗值勘探的岩层。其他頁岩，如内华达州的埃利（Ely）和埃尔柯（Elko）附近的露头，亦頗有进行放射性調查的价值。亚利桑那州南部和新墨西哥州也发現有黑色頁岩，必須进行詳細之研究。

寻找鈾的人不要抱着希望想从研究这些类型的矿床中找到高品位的矿体。实际上这种机会是不多的。不过，今后的得看地質工作和冶金工作的发展，看对这些頁岩能否将其用来作为一种鈾的低品位的来源。拿銅为例来說，这可以說是一个有力的先兆。在1900年时，从来也不考虑只含百分之一的銅的矿石有什么工业价值。而到今天，这却成为美国銅的重要来源和后备。在鈾矿石中，目前最低的限度是含 U_3O_8 百

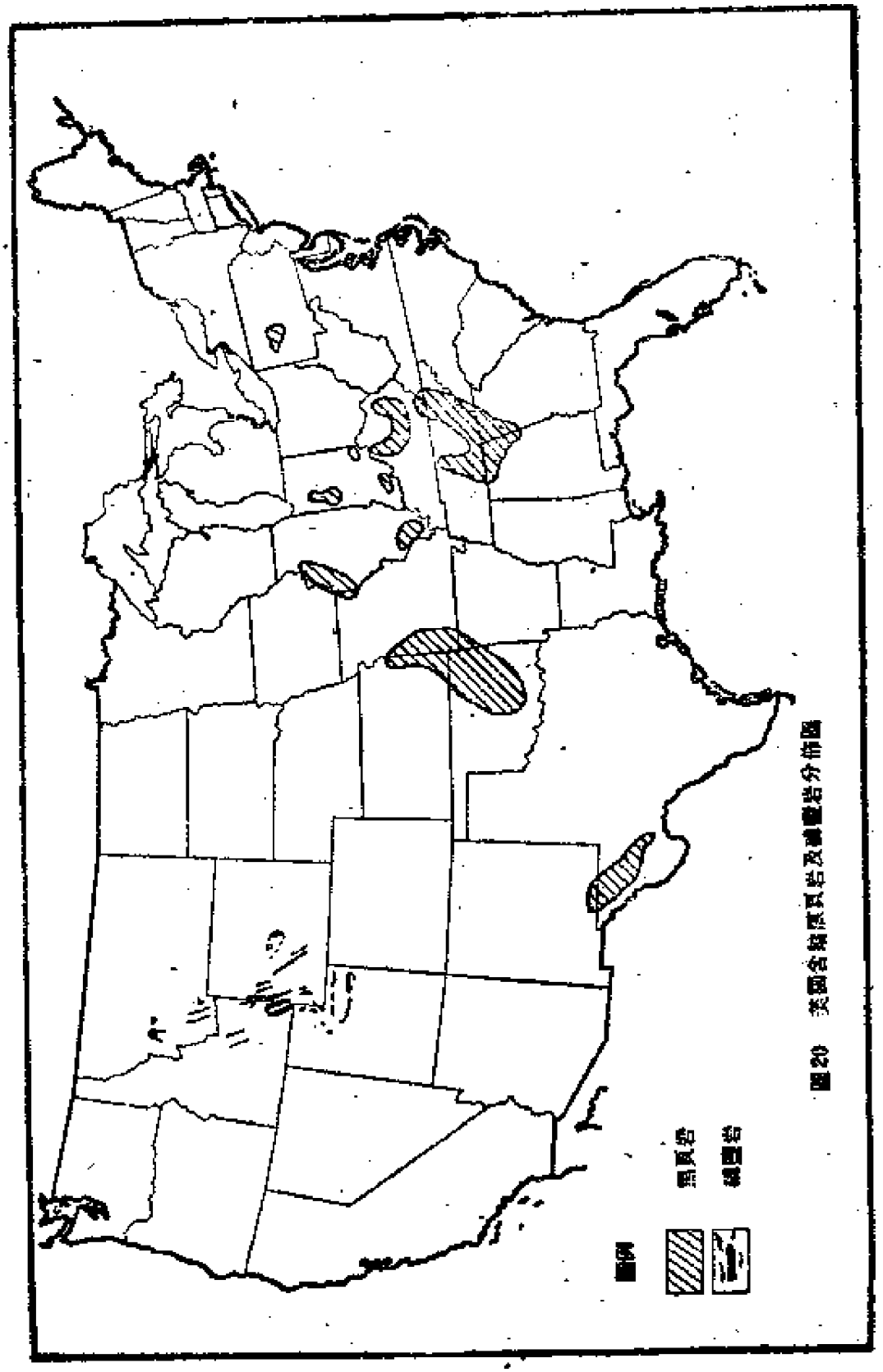


图20 美国含油页岩及绿圆岩分布图

分之0.1。我們完全可以有把握預言，十年以后，当这种在自然界中比較稀少的金屬的提煉方法有所进步并且需求量加大时，此一含量之限度还会降低一半或一半以上。

石灰岩 迄今尚未証实石灰岩是适宜于鈾的成矿作用的主体。然而，其所以缺乏这类矿床，主要可能是由于很少在石灰岩环境中进行勘探的原故。石灰岩中鈾釩鈾矿和氧化鈾的最有成就的发現是在新墨西哥州的格兰茨(Grants)附近。此处之鈾釩鈾矿填充于侏罗紀深灰色的托迪尔托（Todilto）石灰岩裂隙中，以及被复于其层面之上。可能瀝青鈾矿产于其中，并且与层面平行。新墨西哥州的格兰茨矿床如果不是时常暴露出一些比較鮮明顏色的鈾釩鈾矿，則也就很可能象其他石灰岩层一样被放过了。

托迪尔托石灰岩中鈾的产状，說明了其他时代的石灰岩中，也有进行比較广泛搜索之必要。在犹他州东北烏因塔（Uinta）建造中的淡水石灰岩，也有其他发現。就是在最近，在怀俄明州米勒山（Miller Hill）附近火山凝灰岩的夾含的一层淡水藻球石灰岩层中，发現了另外的一个产地，还有一个发現就是在这一州的侏罗紀森丹斯建造的海相石灰岩中。在这一矿床中，一种黃色的鈾矿物被复着石灰岩中的裂縫，并填充其中的細微通道。很可能和新墨西哥州格兰茨的矿床相似。

美 国 中 部

1949年的时候，美国中部尚未发現有放射性的矿物。1953年，在密执安州北部曾发現了脉矿床和侵染矿床。同时在密苏里州圣日內維夫城的布尔根采石場以及堪薩斯州东部的石灰岩中也发現了鈾。俄克拉何馬州的北中部发現有与鈾

共生的瀝青石，并且还发現有浸染矿床，越过州界，一直延长到堪薩斯州以內。在堪薩斯州最东南部分产煤地区的一个鑽孔中，也曾經有过小量鈾矿之記載。

虽然在美国的这一地区尚未发現具有工业价值的巨大矿床，但是最近在密执安州发現的脉矿床和在密苏里、堪薩斯以及俄克拉何馬諸州发現的其他矿床，就說明了在該地区需要进一步的加強勘探工作来測定鈾的資源。

所有的煤都必須用放射性方法来进行檢驗。在美国整个这个地区的瀝青砂岩，都应当彻底地檢驗，各种炭質石灰岩也应当仔細檢驗。密执安半島的老岩层中，发現具有工业价值矿床的机会較多。在这一古代的岩石組合中的其他地方，都可能借盖革計数器和閃爍計数器的詳細勘探而得到新发現。

美国東部

直到目前为止，在美国东部仅发現了数量有限的鈾矿床。現在已了解到的有两个主要类型的矿床：（1）与沉积岩伴生的鈾或地层控制的鈾矿床；（2）侵晶岩中的鈾。

在沉积矿床中，如果我們将田納西州也算做东部地区的話，則至少有五个矿床是值得提出来說明的。佛蒙特州的鈾产于米尔頓白云岩（Milton Dolomite）中（一种含有元素鎂的石灰岩）。在宾夕法尼亚州东部，发現鉀釩鈾矿产于宾夕法尼亚紀的砂岩层中。这些就叫做毛庄克統(Mauch Chunk)，它們是美国东部巨大煤系的下层岩石单位。产状的类型与美国西部科罗拉多高原的重要矿床极为相似。由于鉀釩鈾矿是基本的鈾矿物，同时又因为它产于一种从典型的浅色到浅黃色的砂岩之中，因此，我們有理由相信，在这些砂岩层中，

必可发現其他的矿床。在目前，寻找工作只宜限于砂岩层中。大量的鉄銹可能将黃色的鉀鈒鈾矿盖住，因此，要想进行良好的勘探工作，則盖革計数器和閃爍計数器实为基本之工具。

在佛罗里达州的西海岸附近，鈾与磷質沉积共生。磷酸盐小砾組成了上新統博恩谷建造（Bone Valley formation）的一部分。在矿区的詳細工作說明了該层中只有几个部分含鈾。在磷盐岩地区，必須进行进一步的勘探。

品位較低而分布却頗广的，就要算最近在美国东部黑色頁岩中所发現的鈾了。在1949年时，誰也沒有談过这些，但到1953年，在肯塔基州和田納西州的泥盆紀新阿尔班尼-恰塔努加（New Albany-Chattanooga）黑色頁岩中，就至少已經調查了十六个产地（見图20）。在佐治亚、亚拉巴馬、弗吉尼亚、西弗吉尼亚、印第安納和伊利諾諸州，也都有同样特征的黑色頁岩。如果沿頁岩露头处进行仔細的放射性調查，就可能发現局部地区有高度浓集的鈾。頁岩的油井切穿处必須用放射法来分析，看是否含有鈾，分析表明，在含鈾地区中，每吨頁岩含鈾不足0.2磅。

目前来說，这些矿床都是品位极低的，不具有工业价值。随着鈾应用于动力供应界，这些黑色頁岩，由于它們含有鈾，将局部地被开拓出来。

火成岩类型　美国东部的火成岩类型产状包括伟晶岩类型和浸染类型两种。前者，正如已經談过，其体积常常較小，并且沒有工业价值。这一类型的矿床在美国的分布如图19所示。伟晶岩带是順着美国东部的古阿帕拉契亚山脉走向已发現之鈾的产地，北起佛蒙特和紐約二州，南迄佐治亚州。

不久前在花崗岩中发現了浸染矿床（鈾矿物的小量浓

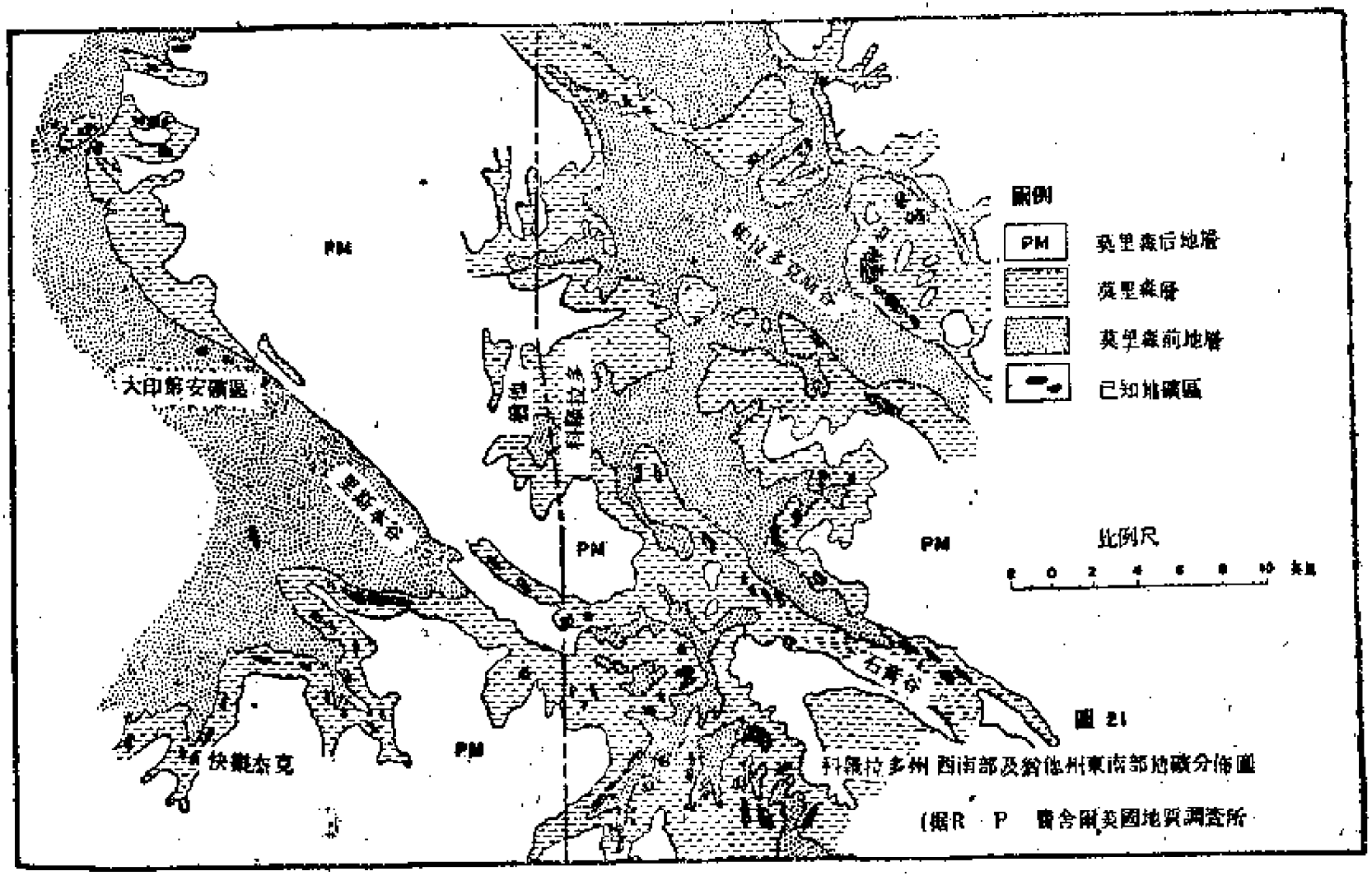


圖 21

科羅拉多州西南部及猶他州東南部地礦分佈圖

(據R P 費舍爾美國地質調查所

集，例如鈦鈾矿）。这些矿床，一般而言，与美国东部之伟晶岩矿分布相似。

砂矿床　在北卡罗萊納州的中西部发現有含有稀土金屬、鈦和一些鈾的砂矿床。在較南边的地方，沿佛罗里达州的东海岸，也发現了广闊的放射性矿物的堆集。其中某些矿床位于内陆距海岸几哩之处，为古的海滩和沿海沙滩矿床。如果进行仔細的調查工作，可能发現具有工业价值的矿床。在这些砂中，可能取得磁鉄矿、鈦鉄矿（鈦的来源）、和鋯石（鋯的来源）等副产品。此外，在古阿帕拉契亚山脉火成岩杂岩体的北部含矿地区，以及由那里流出来的水流，都必須彻底研究，看是否有其他矿床。卡罗萊納各河流上游的砂矿床系来自含矿地区，其中含独居石一磅到五十磅。在下游的独居石含量則减少了。

第五章　資料的其他來源——地图

在决定了鈾矿勘探的一般区域之后，就有必要进一步来研究地区的形势。比較詳細的地图对这一工作是頗有帮助的，同时还可指出勘探工作者所必須知道的一些特殊地形。

从事寻找鈾矿的勘探工作者，应該备有該区的最新的、大比例尺的地形图，例如五万分之一或二万五千分之一的地形图，这对精确确定一个人的所在位置是特别有帮助的，同时还可使人准确地到达某鎮某乡。

比較詳細的由小比例尺到大比例尺的地質图和攝影地質图，对每一个州的广大地区也是适用的。某些最近出版的地質图上載有前几章所述的含鈾地层。对于找鈾可能有意义也可能无甚意义之地質构造，在这些地質图上标出甚詳，同时

还附注有必要的資料来解說之。

另外还有一种极其有用的地图，叫做航測異常图（airborne anomaly map）。这些地图是根据某一地区航空測量时所得到的闪爍計数器上的讀数編汇及解說而成。其作用是在于表明所飞过地区的異常或不平常的放射性讀数。在地图上的其他符号之上画有等放射性綫（类似于等高綫，叫做 iso-rdas）。这种图的重要性，就是在于表明出放射性較平均所应有者为高的地区。很显然，这些地区就是勘探者們所应当进行最彻底的勘探的地区。

在去野外之前，首先研究一下这些地图，这样就可以节省时間。否則，也許就在鈾矿附近探来探去，浪費时間。

第六章　盖革計数器和紫外光燈

鈾矿物具有一种大家所熟悉的和独特的特性，偶尔其他少数几种矿物也具有这种特性，这就是所謂放射性。这是由于从鈾原子中能自发地放射出一种极小質点的射綫的原故。

这种質点，主要的有所謂的"γ-射綫"。这种射綫具有高度的穿透力，象我們所熟悉的 X-射綫那样。由于这一特性，它对鈾矿勘探者是非常重要的。γ-射綫在前进时，可以穿透厚六吋以上的鉄板和加倍厚的岩石和混凝土。所以几乎完全都是埋藏在一层薄岩石下面的鈾矿床，可以因它們的γ-射綫而被检驗出来。

盖革計数器

检驗这种射綫，尤其是在野外，目前所知道的最实用的方法，就是应用所謂的盖革計数器。这种仪器主要包括有一

个干电池的电源和一个特别的探棒。如果这个探棒受到γ-射綫冲击，就会产生一种电訊号，通过耳机将其放大，成为一种听得见的声音而将其检驗出来，也可以通过闪光或一个校准了的指針将其检驗出来。有些仪器可以将此三种訊号联合起来表現。大多数計数器都有一个調节灵敏度的选择开关（selector switch）。有了它，則即或是很少量的放射性也可检驗出来。此种仪器也可用以检驗大量的放射性，这时可将选择开关置于灵敏度較小的位置上，以防損坏仪器。

无論运用那种計数器进行检驗，放射性的強度和数量均受到許多因素的影响。应当記住的是，分布面广而品位低的矿床，其在計数器上所表現的讀数与品位高、体积小而距离較远的矿脉所表現的讀数可能一样。厚的复盖面会吸收射綫，而距离較远也会減低讀数。在底岩、复盖岩及（或）土壤潮湿或为水所飽和时，計数器之讀数将因之而減低。

在勘查一个单个矿床或地区以前，必須考慮到宇宙射綫以及来自所有岩石的自然射綫（一般是花崗岩中的射綫較高而玄武岩和沉积岩中的射綫較低）。这些射綫，无論在任何地区，大致都具有一个固定的讀数，謂之背景讀数（background count）。这一讀数必須以一个固定的盖革計数器每天在不同的时間和在不同的地点进行測定。必須时常測定背景讀数，这样，当到达一个具有高度放射性的地区时，才会发覚出来。必須将它們的測定与仪器的校准結合起来，在取其他重要讀数之前，也应予以測定。原子彈的烟塵将使背景增高。

盖革計数器有好几种不同的型号，每种都具有不同的特点，因此使用以前，必須仔細閱讀所附之說明書。在使用任何一个新仪器之先，第一件須要做的就是根据已知放射性的

数量将仪器校准。已知的校准法有好几种。最好的校准法就是根据具有已知放射性标本进行試驗。此种試驗可借助于另外已經校准的仪器完成之，或者是用一块已經分析过的特殊矿石标本来进行校准也是可以的。夜光表也是一种有效的校准标准。如果在野外，可以在出发到放射性尚不知道的地区以前到正开采着的鈾矿試驗一下計数器，这是很便利的。

仪器經过仔細校准之后，可以估計出一个矿床中或者是标本中放射性矿物的数量，以 U_3O_8 的百分比表示。当一个地区或一个地带所表現的放射性强度为背景的两倍到四倍时，就应当对此地区或地带进行彻底之研究。

盖革計数器正如精巧的手表和收音机一样，必須妥为保护，以期在使用时能获得最大之效果。虽然这一仪器是可以抵抗野外的一些恶劣条件，但是勘探者还是应該尽量地使这一最有用的勘探工具不致受到濫用。有少数几条通常的規則是值得注意的。未受过訓練的人决不可对仪器作任何修理或内部調整，遇到困难的情况时，最好是将仪器送回制造处修理。在換干电池和装耳机等等之前，必須对仪器上所附說明書中提出之規則詳为閱讀。当在一个新地区进行探測时，一般是将其灵敏度放于最低。如果有点微小的信号时，可仔細地再将灵敏度提高一点。这样，即可保护計数器的机械装置，使其不受損害。

必須避免寒冷和潮湿的条件，就象避免瘟疫一样。无論是寒冷或潮湿都可能使計数器遭到严重的損害，从而无法使用。太热了也会使仪器受到永久性的破坏。

当不計数时，应当不使放射性物質靠近盖革計数器。此点頗为重要，因为放射性的塵埃和小質点很容污染仪器，以致使仪器的讀数永不能再精确。

有关盖革計数器在野外的用法可参閱下章。

閃爍計数器

在放射性測量方法的近代发展中，制成了一种与盖革計数器使用原則不相同的新型仪器。此种仪器可以記录光的閃光（或称閃爍）次数，这种閃光是一个特殊晶体受 γ-射綫作用而产生的。其灵敏度較某些盖革計数器强百倍。这并不是說必需寻找放射性很低的矿床，而是說应用閃爍計数器时，在較远的地方即可很容易地将放射性矿床检驗出来。这一仪器可以适用于航空勘探和地面勘探。在有公路网的大片地区内，可以利用汽車上裝置閃爍計数器来进行快速勘探。

手提閃爍計数器其重量不比盖革計数器为重，可适用于单人的勘探。閃爍計数器的用法与盖革計数器极为相同，对其他仪器的保护法也可适用于此种仪器。

紫外光灯

螢光，正如本書开始时所指出，在某些时候是鑑定某些鈾矿和其他矿物时最有价值的一种性質。紫外綫是激发矿物中螢光性質的有力工具。螢光是在几乎完全的暗室中将紫外綫照射到做检驗的标本上而进行检驗的。如果标本在紫外綫照射下发光，就說明其具有螢光，仪器若附有黑筒的話，就是白天在室外也可以观察到螢光。

紫外綫的另一重要用途就是在試驗室中对那些在天然状态时本身不能发螢光的鈾矿物进行試驗。有一个簡单的办法，就是在小的火焰上将一些矿石粉末，同少許氟化鋰或氟化鈉一起熔融，然后試驗其螢光。如果矿石里面有鈾时，由熔質造成的玻璃珠就会放出黃綠色的螢光。討厌的是某些象

鈾一类的物質会混淆鈾的發光。由于鈾以外的物質也会发發光，所以应当仔細，不要将这一試驗作为有鈾或沒有鈾的最后判断。

第七章　野外工作程序

找出矿層

在某些地区，象科罗拉多高原，含鈾沉积岩岩层近于水平。水系发育成为峽谷而切入层状岩石。这些峽谷或多或少可以走进去。在这些地区的詳細地質图中，含鈾层表現为树枝状的图形，其中个别岩层或建造远远地延伸到深沟之中。在这种地質图上确定位置是一件簡单的事情，因为它具有明显的沟谷特征。借着仔細地确定在地質图上的始点，当所希望的地层或建造沿峽谷壁出現时，就可以比較容易地測定或找出它們。如果可能的話，一个人应当选择含矿层位处于悬崖底部附近的地区，因为这些悬崖在許多情况下都是不容易爬上去的。

測定或寻找矿层时，应当注意具有鮮明顏色的鈾矿物、銅矿物等等，同时应当注意放射性較背景有显著增高时所經过的岩石单位。在調查时，如果所用的仪器灵敏度較高，則每隔50呎或100呎就应該有30秒到60秒鐘的停留，設若仪器的灵敏度較低，則停留的时間应該长一些。在一个地点的停留，能够得到邻近地区的更接近于正确的讀数，从而增強了勘探的效力，特别是对于那些人們可能横越过的小而狹窄的鈾矿体，或者是仅仅有部分露头的成层矿床。在每一次停留，或者是每一測点处，都应当将計數器或其探棒在指南針

的每个方向上对一下位。对于方位型盖革計数器尤其应当如此。通常最好是将仪器就直接放在地上。

对任何放射性異常或讀数特别高的地区进行詳細研究以前，最好是先作一个短距离的調查，以不超过几百碼为限。为了迅速而仔細地确定具有高度放射性的地区，勘探者或其同伴应当将所有之讀数（当計数器由一地移至另一地时）記在地图上。了解了一个人的一跨步有多长，又記住了跨步的数目，于是就可以作出一幅較为精确的地图，从而将所要求之地区很快地确定下来。

当沿着一个厚的地层或几个相邻的地层的走向（或长度）进行調查时，最好是沿着一个地层走500碼，然后在距离这个地层的这一边或另一面50呎远之处又往回走。这样"一来一去"的下去，整个地区即可全部仔細地勘探完毕。

如果一个人发現在其勘探之区域或观察到某一单个地区具有較高的讀数，显然所应当做的事情就是詳細地調查这一地区，測点或"停留"的距离可以縮短到25呎左右，这样，便得出了一个具詳細輪廓的放射性異常的地区。

仅仅凭着盖革計数器的讀数这样来决定的地区，还須要十分仔細地鑑别一下暴露出来的岩石，看其中是否有象第二章中所描述的那些矿物沒有。每种代表性的样品必須取5磅到10磅。取样可以有不同的方法，但精确地取样則需要打一个直穿过岩层（从該层的頂部直到底部）的孔道。通常有三吋和一吋深即可。矿体的素描图和每一样品所取自的地方必須記录下来。

如果第一次調查沒有找到矿石，这就是說明勘探者应当沿地层轉移到另一地区，然后再重新进行前面所說的同样的勘探程序。

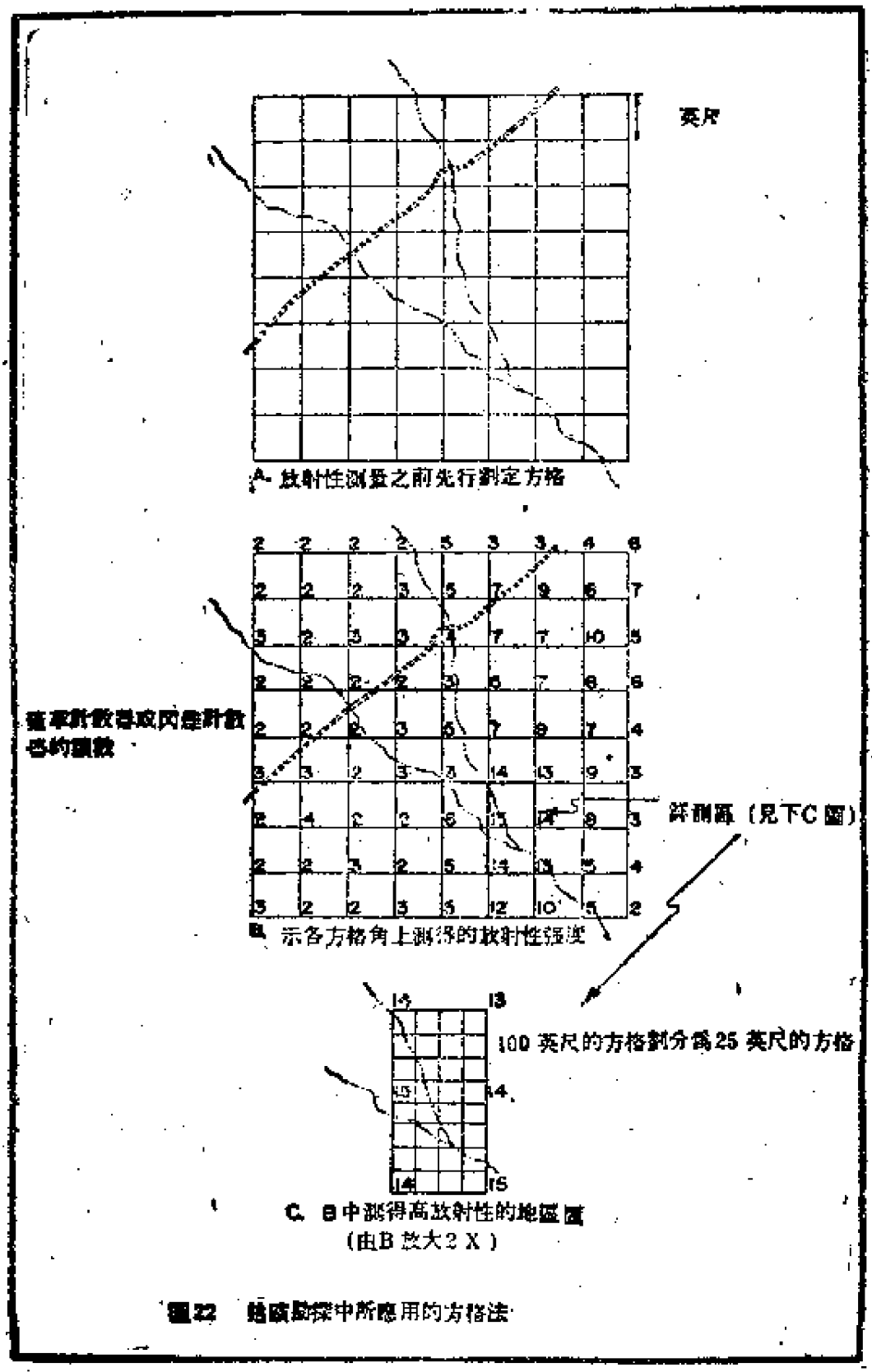


圖22　鈾礦勘探中所應用的方格法

任何次进行調查时，含矿岩层的某些地質特征及伴生矿物必須不断地予以注意。这样就可以得到一个肉眼的鑑别和放射性調查的机会。

方格法

在某些地区，含鈾地层或岩层并不是十分显著的。而在利用航空閃爍勘探和汽車閃爍勘探所測得的放射性異常之地区，勘探者可以运用一种調查的方式，叫做方格測量法。

为了詳細地进行工作，应該对某一地区进行研究，而不要仅仅限于研究一个露头的岩层。地区的选择最好是一个四方形，每边长100呎左右。图22即表明一个标准的格子划分。

将計数器在每边长100呎的四方形的四个角落上进行測量，由計数器的探棒可以得出每一角落的讀数。将讀数記入地图上相应的方格中。如果在这一个100呎的方格中得出了較高的放射性，則可将这一高讀数附近的方格再四分之，这样便得到一些每边长25呎的方格，然后依前述摆法繼續探測，直到找出眞正的具有高放射性的地区为止。

必須再度地強調一下，应当检查一下背景，并应在作出实际勘探讀数以前将其減去。

不幸的是，正如"所有閃爍者，并非都是黃金"一样，"所有有放射性者，并非都是鈾"，因为許多其他的物質也具有放射性的性質。氡气和鈾分裂后的其他一些副产物，如果富集到足够数量时，也能得到較高之讀数，不过，如果在裂隙中发現氡时，則可能是在其附近找到鈾矿物的綫索。經常发現的其他主要放射性物質——或者与鈾矿物共生，或者不共生——就是元素釷。对于此种有問題之矿石，必須进行可靠之化学分析，以便明确其放射性是否由鈾而来。

第八章 总 結

在准备进行勘探时，勘探者必須知道他是在找什么，然后就是如何进行寻找。只有少数几种含鈾矿物是重要的，其中有些甚易辨認。在原生矿物中，瀝青鈾矿——一种灰色或黑色的、炭黑状的、土状或玻璃状的矿物——是最重要的一种鈾矿物。此种矿物主要发現于脉矿床中，同时也发現于砂岩矿床和其他类型的矿床中。晶質鈾矿，除了其发育異常良好之晶体外，与瀝青鈾矿是相类似的。这也是一种重要的原生鈾矿物。有数种黃色和綠色矿物，其中含有一些鈾，它們之中有少数几种也是鈾的重要来源。这几种就是鉀釩鈾矿，矽鈣鈾矿、銅鈾云母和鈣鈾云母。它們都是由原生鈾矿物蝕变而来的。

无論在地理上或在地質上，鈾矿物的分布頗广，但目前其主要来源却只有少数几种类的产状和地区。某些伟晶岩矿床和許多脉矿床中所含 U_3O_8 的量已具有經济上的意义。伟晶岩矿床分布于美国东部的阿帕拉契亚山脉和西部一些州中。这些伟晶岩矿床一般均未經仔細检驗过，頗有待于今后之工作。犹他州瑪里斯維尔的重要脉矿床，是美国迄今所发現的最好的脉矿床。在这里，瀝青鈾矿及其共生矿物产于侵入二长岩和熔岩流之接触处或其附近。其他一些含鈾脉矿床則发現于美国西部，特别是科罗拉多州的东部，蒙大拿州的西部以及內华达州。随着繼續不断的寻找，其他一些矿床亦必定将被发現出来。

鈾矿的第三个来源是层状矿床。这种层状矿床可以是均一层状矿床，也可以是砂岩类型矿床。含鈾岩石的均一层状

矿床分布颇广，不过直到目前，所发现之均一层状矿床还只可供小型开采。在这些矿床中，有某些含鈾頁岩、石灰岩、煤以及磷酸盐岩石。我們可以确信，随着采矿方法的进步，这种低品位的含鈾岩石必将更多地被采掘出来。目前在佛罗里达的磷酸盐岩石中，正进行着鈾的回收工作。在瑞典，黑色頁岩是这个国家的鈾的主要来源。

在美国，最重要类型的鈾矿床，是在砂岩中发现的那些矿床，在科罗拉多高原，正进行着規模巨大的采矿工作。在这里，鈾矿物产于砂岩的孔隙中，并且常常与植物化石、地灑青以及綠色的銅矿物共生。直到現在，侏罗紀地質期的莫里森建造，仍然是开采鈾矿的主要来源。在科罗拉多高原地区——犹他、科罗拉多、新墨西哥、亚利桑那——的三叠紀辛納隆普硃岩中，发現了重要而分布广泛的鈾矿床。其他的有希望的砂岩类型鈾矿床，則发現于怀俄明州广泛分布的始新統岩石中，以及南达科他和內华达黑山区的几个年代較古的砂岩建造中。

装备得好的和有准备的勘探者，是有希望成功的勘探者。他应当带上在野外工作中最重要的装备物品。最重要的装备之一就是盖革計数器。盖革計数器是要經常用来检驗埋藏着或部分暴露出来的矿体附近的放射性量的。閃爍計数器因其灵敏度高，对于进一步的詳細工作是必要的。

某些鈾矿物在紫外綫照射下会“发光”或发螢光。勘探者能够配备上这样一盞灯将会是很有用的。

根据进行勘探不同的地区，就需要有不同的野外装备和服装。特别应当注意脚、防止坏的天气、急救品、盖革計数器的干电池、刀子、火柴等等。