

层控及层状矿床

(译文集)

国家地质总局宜昌地质矿产研究所
武汉地质学院^{合译}

一九七八年八月

前 言

目前，国际矿床学研究中一个重要趋向是讨论所谓层控或层状型矿床问题。相当普遍地认为许多矿床，其中包括一系列重要的铁、锰、有色金属（铜、铅、锌）、稀有金属、贵金属（金、银）和放射性（铀）矿床都属于这种矿床类型，是矿产资源的最重要来源之一。层控和层状型矿床的广泛性和重要性愈益明显，也引起了我国地质工作者的极大重视。

这本译文集是为了促进我国这方面的研究工作而编辑的。

1976年由 K.H. 沃尔夫 (wolf) 编辑了七卷《层控和层状矿床手册》(1976年出版)，资料大多截止于 1974 年，正由有关部门译成中文出版。因此，本译文集在选题上尽量选择 1975 年以后的资料，也适当选译了一些 1975 年以前的文章。当然，在一个集子里要全面介绍层控及层状型矿床是有困难的，这个集子只能反映该类型矿床的一些片断。

这本译文集的翻译工作是由国家地质总局宜昌地质矿产研究所和武汉地质学院共同完成的。部分译文在编辑时作了删节。原文内照片因出版条件的限制一律省略。

在编辑这个集子的过程中，得到武汉地质学院、宜昌地质矿产研究所许多同志和全国地质图书馆的热情帮助，在此一并致谢。

编 者

一九七八年八月

目 录

沉积来源的层控矿石·····	(1)
第二十五届国际地质大会论文摘要选译·····	(19)
关于在北美科迪勒拉的碳酸盐岩石中勘察重金属矿床的前提和程序的 某些设想·····	(31)
关于密西西比型矿床成因问题的同位素证据的一个评论·····	(41)
马尼托巴省和萨斯喀彻温省弗林弗隆层控铜—锌硫化矿床的成因和变 质作用·····	(53)
新不伦瑞克层状块状硫化矿床中硫的火山——喷气和生物成因的研究·····	(65)
加拿大新不伦瑞克省巴瑟斯特卡里布层控硫化矿床的形变史·····	(73)
加拿大阿尔伯达西南部贝耳特超群某些铜矿床的矿物学、硫同位素组 成及成因·····	(80)
纽芬兰约克港附近块状硫化矿体与蛇绿火山岩的地质关系·····	(93)
用块状硫化矿床解决亚利桑那州前寒武纪地层问题·····	(104)
新南威尔士土木特附近蛇绿岩岩石组合中的层控黄铁矿硫化物矿床·····	(108)
澳大利亚昆士兰西北部元古界白云岩中层状铜矿床的成矿作用·····	(115)
麦克阿瑟地区铅锌银矿床中铅同位素成份的变异·····	(125)
卡累利亚早期前寒武纪硫化物矿石·····	(133)
斯蒂肯约克的金属分布：原生及变质类型·····	(140)
挪威北部宾得尔地区夕卡岩和片麻岩中的层控白钨矿床·····	(149)
✓礁相、白云石化和成矿作用·····	(156)
西欧某些块状黄铁矿矿床的成因·····	(164)
赞比亚铜矿带希布鲁梅西矿体的地质学和古地理学·····	(174)
津巴布韦（罗得西亚）夏姆罗克矿山地质——一个层状铜矿床·····	(185)
津巴布韦（罗得西亚）夏姆罗克铜矿成因的同位素证据·····	(202)
纳米比亚（西南非洲）维特夫累区含铜层的岩石和矿物研究·····	(209)
非岩浆来源的汞矿床？·····	(225)

沉积来源的层控矿石

我们一直认为沉积组合的所有矿石基本上是层状的，就是说，它们成层产出，相对于周围沉积物的层理是整合沉积。概言之，它们明显受地层的限制；在一个既定的地区内，产于一个或几个特定的沉积层位里。有时，铁、尤其是锰和硫化物，由于成岩变化和构造变形，其整合性已遭受某些改造，但是这种影响通常是局部的，在本质上是重要的。

我们现在习以为常地认为矿石产在局部沉积层序中有利的特殊的层位，对一定岩石类型有明显的选择性。可是，它们多半呈不整合的层产出，在特殊的沉积单位中呈交错脉，孔隙和角砾充填物，洞穴和溶洞的内壁层以及细小层出现。所以大范围内它们被限于特殊的地层层位里，但在小范围内又往往是不整合。因此，它们被归于层控矿床。显然，层状矿石也是层控的，但是层控矿不一定是层状的。两者在形态类别上有许多差异，在本文中，将讨论其比较重要的部分。

层控矿石有多种多样，在矿物的勘探中，由于重点放在矿石产地的区域背景上，它们的种类不断地增加。这里只突出三类：石灰岩—铅—锌组合。砂岩—铀—钒—铜组合和砾岩—正石英岩—金—铀—黄铁矿组合。

石灰岩—铅—锌组合

这个组合是世界铅和锌的重要来源之一。它是美国和欧洲铅锌金属的主要来源，并在加拿大和北非两地生产大量的铅和锌。

分 布

较重要的产地有北美、欧洲、苏联、英格兰和北非（见图1）。这类矿床在别处也有，例如澳大利亚，但从勘探的现状来说，似乎小而贫。

早已知名的主要产区是欧洲（尤其是阿尔卑斯区）和美国的一个区域——大致相当于密西西比流域的中、上游。因此被称为“阿尔卑斯型”或“密西西比型”。或分别称为“西里西亚型”和“三州型”（多集中于密苏里—堪萨斯—俄克拉荷马三州的边境）。其它重要的北美产地是南阿帕拉钦山，特别是加拿大北部的派恩—波因特（大奴湖）区。欧洲主要的产地是德国、意大利北部、南斯拉夫、奥地利和波兰南部。阿尔及利亚和突尼斯的几个重要产地正在开采。

这类矿床除了非常广泛的地理分布外，在矿化的时间上也十分长。前寒武纪却不是主要的，仅仅极少几个矿床产在前寒武纪岩石中，如澳大利亚北部的麦克阿瑟（MacArthur）河和杜加尔德（Dugald）河附近的小露头，不过这个时代的矿床既富也不大，具实质性的矿床首先出现在早古生代的沉积物中，重要矿床均产出于从早古生代至少延至中生代末期的地层。较重要的产地和含矿地质时代如下：

寒武纪：美国密苏里的东南，挪威—瑞典边境，撒丁。

奥陶纪：美国田纳西州东部，苏联西伯利亚地台沉积。

泥盆纪：加拿大西北领地的派恩—波因特，西里西亚（从泥盆纪—侏罗纪的西里西亚—克拉考夫矿床）。

石炭纪：英格兰半岛，爱尔兰，苏联的哈萨克斯坦，美国的三州地区。

二迭纪：意大利的特兰托河流域。

三迭纪：东阿尔卑斯（包括布莱伯格），西里西亚。

侏罗纪：西里西亚—克拉考夫省。

白垩纪：阿尔及利亚北部和突尼斯。

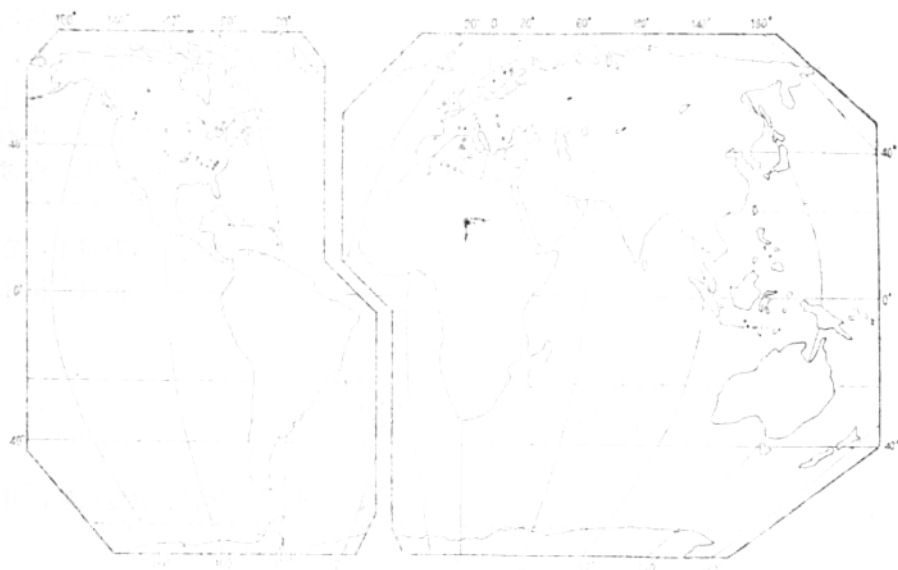


图1 全世界主要石灰岩型铅—锌矿床和矿区的分布

形状和背景

背景明显地影响形状，两者之间有不可分割的联系。。

这些矿石的绝大多数产在沉积的碳酸盐单位中，少量产在共生的砂质和页岩状岩石中。

有关的碳酸盐岩石经常明显地构成礁体的一部分，即生物岩。有时它是礁前角砾岩或者礁后灰屑岩。这种岩石可以是纯石灰岩，而镁石灰岩和白云岩是最常见的围岩。这三者往往都有存在，矿床因而经常沿着整合于伸长的古老礁复合体的地带出现，或者呈整合于较局限的不规则礁和沙洲的局部群产出。这样的礁和共生的碳酸盐堆积体的分布必然与古滨岸线、海底地形、气候有关。因而为礁的形成提供了适合的气候，礁的分布——潜在的寄岩（Host rock）受到古地理的控制。因此，石灰岩铅—锌矿产地的原始区域控制应是古地理。

再从区域意义上来说，迭加其上的是各种各样的构造因素。已知的多数矿床不会远离主要区域断层交叉点的有关礁复合体很远。如在派恩—波因特（图2）这类断层显示出发育于基底岩石中的古老特征，断层在礁及其共生的沉积物的沉积期间和沉积之后继续运动，在图

的右上部（东北部）可见到。在前寒武纪岩石中有一个走向北东—南西的断层带，而且湮没于派恩—波因特古生代碳酸盐岩之下。必需强调，这种类型的主要构造未必总是明显的，总之，可以说，稍有点明显的频率。

现在我们可把范围缩小一些，从一个区域缩到一个地区，在此范围内，矿床经常是清楚的——在一个地区可以有好几个——有产于局部礁—碳酸盐层序的一个或极少数单位的明显趋势。在这些单位里面，它们似乎产在各种各样的场合——沉积特征，沉积和构造相一致的地带，以及在晚期的溶解——喀斯特——空洞中。矿局限于某些沉积特征内，见图3（据克拉汉修改，1967，图1）。克拉汉已将主要的背景列下：

1. 位于不整合之上，为礁体和相变（A₁），压紧固结或构造（A—2）地层尖灭（A₃）山麓堆积或山崩角砾岩（A—4）等的沉积环境中，A—3和A—4与基底地形有关。

2. 位于不整合之下，与不整合面发生之前的喀斯特地形有关的（B₁）或由地下水系的下伏岩层的变薄而产生的（B—2）的溶解崩塌角砾岩里。

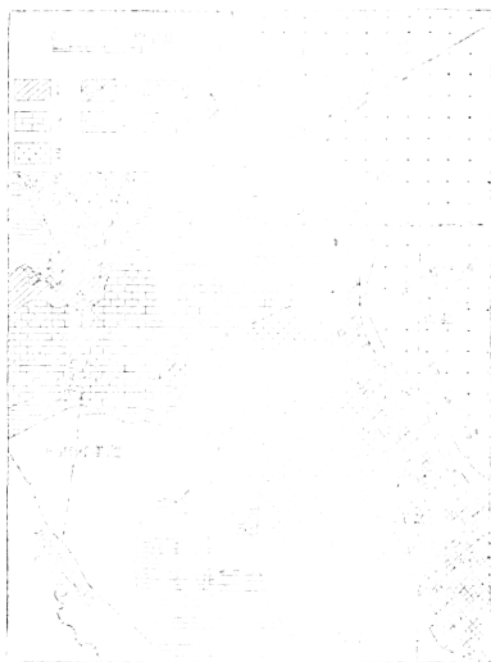


图2 派恩—波因特石灰岩—铅—锌矿床的区域地质背景

1. 礁体杂岩（大致的）；2. 硬石膏—白云岩；
3. 岩盐；4. 碳酸盐；5. 碎屑；6. 前寒武系；
7. 断层。

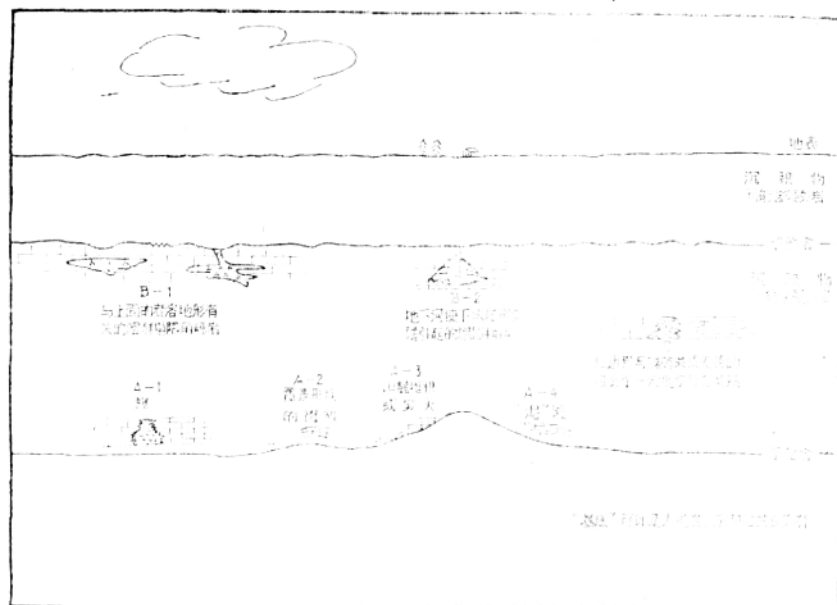


图3 石灰岩—铅—锌矿床产出的地质位置的理想垂直剖面

3. 位于一个岩层里或沉积盆地之间的相变地方“拉丁尼高原礁”的产状类型为根据相进行定位提供了一个很好例子(见图4)。这里的硫化物处于礁后沉积物中,但有时它们可产于礁本身,礁前和礁前角砾岩中,等等。

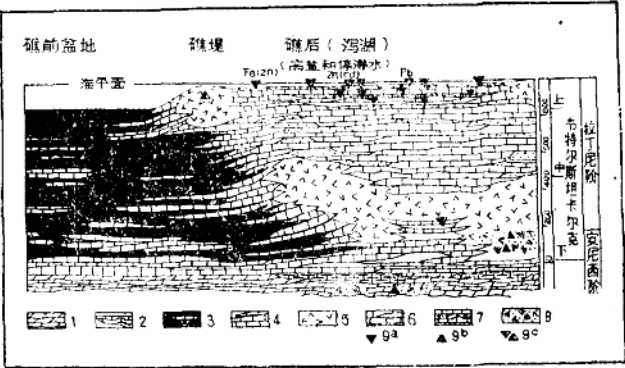


图4 “拉丁尼高原礁”产状类型的剖视图解,其中硫化物主要位于礁后相中,更小的范围是在礁侧的灰岩中

1. “阿尔卑斯壳灰岩(中三迭世)”最上部:波状一块状、薄层含礁石结核沥青灰岩;2. 安山质绿凝灰岩(火山灰及结晶凝灰岩,少量火山砾和泥灰岩、石灰岩薄层);3. “帕特纳奇页岩”:泥灰岩、页岩及成层灰岩的透镜体(见4)(拉丁尼盆地相);4. “帕特纳奇灰岩”:沥青质、泥灰质层状灰岩(拉丁尼盆地相);5-8为“韦特斯坦卡克灰岩”的不同类型(拉丁尼礁相):5. 块状灰岩及白云岩,部分为具生物岩礁(通常是珊瑚群)残存样式的孔洞状灰岩;6. 成层好的灰色灰岩(主要为灰屑),具岩屑和群生藻(伞藻科)、单体藻小块礁;7. 主要为薄层灰岩,具不同层序(礁后单位、凝灰质泥灰岩、滑动构造、“矿石沉积物”等)中的“特殊的相”的夹层;8. 由白云石、石英、不同的铁白云石重结晶作用所造成的孔洞状礁体的晚期成岩蚀变;9.a 具沉积结构的铅-锌(铁)硫化矿石;9.b 在交代体中原生富集的铅-锌硫化矿石,局部伴生少量的铜-锡-碲矿物;9.c 以铁白云石和硫化铁矿石为主,有少量ZnS(PbS)矿石。

与构造和沉积构造相一致的沉积作用的简单例子见图5。在这主题上有许多变化。这种定位往往发生于一个已知沉积单位里的几个性质不同的层位中。

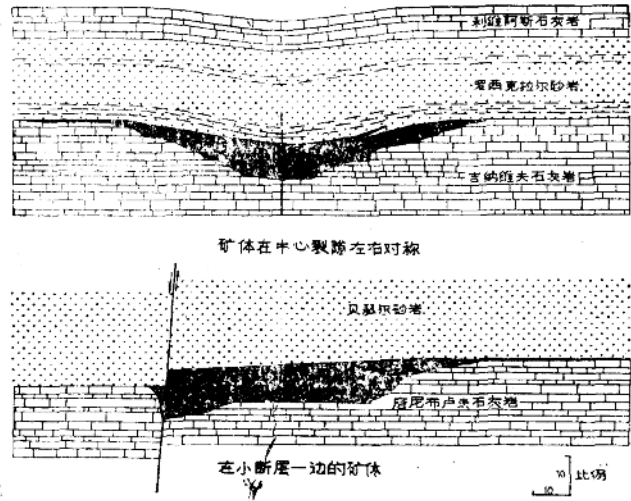


图5 某些石灰岩型铅-锌矿床的横剖面,在矿石中特殊的构造和沉积特征一致;例子是伊利诺斯南部岩区的卡维

再从更小范围来看——在矿山掌子面上所见到的——硫化物块体的形状在细节上变化很大。矿石在一个小范围内有时是真正层状的。硫化物似乎呈层产出，它们可以是极细的纹层，延长1吋或数十呎以上。硫化物更频繁地形成小交切脉，洞穴的内层以及崩塌角砾和其它角砾的胶结物。在许多场合，洞穴仍是张开的，其表面还镶嵌着许多晶体，晶体往往较大而完好。包含岩石褶皱断裂或侵入体（为火成熔融体），有时同它们的矿石一起发生了强烈的变形和变质作用。这种现象在南阿帕拉钦的某些矿床中，尤为明显。

成 份

这类矿床的特征矿物是方铅矿，闪锌矿，重晶石和萤石。因此，它们代表铅、锌、钡和氟在地壳中的显著分凝作用。有些矿床中铅的存在几乎排除了锌，反之亦然，重晶石和萤石可以或多或少的量存在。总之，四种矿物都可以各种各样的比例存在。黄铁矿，特别是白铁矿是常见的次要的硫化物，黄铜矿往往呈少量至痕量组分而经常出现。非硫化物有方解石、霏石及白云石，有时有菱铁矿、铁白云石和胶体氧化硅。

在硫化物中，闪锌矿的特征是颜色淡，铁和锰含量低。然而，像层状硫化物矿床的闪锌矿一样，镉的含量高，硫镉矿是偶见的副矿物。方铅矿以银的含量很低为特征，与层状矿床的方铅矿相反，后者差不多总是明显地含银。

硫化物和共生矿物的形态和结构关系随着小规模产出形态起变化。在矿床是真正层状的地方，或矿石在围岩中呈不规则块体产出的地方结构是多晶质集合体。这里颗粒边界的确切性质尚不明白，但是文献中偶见的照片和素描说明脉状硫化物至少是不均匀的冲击构造（impingement）类型。硫化物呈脉状产出的地方，它们可以是块状或带状的。石灰岩—铅—锌矿石提供了带状的典型例子，这些层或对称或不对称，亦可包括许多条带。最著名的一种构造是块闪锌矿的构造，其中硫化锌呈闪锌矿和纤锌矿的交替带产出。胶体结构常见于脉里和角砾充填物中。这些包括块闪锌矿、黄铁矿和白铁矿的层状共生体以及其它的硫化物和非硫化物。在溶洞内壁呈衬料的晶体生长，最终为晶体的自由生长准备了最佳条件，从而形成了大而完整的晶体和某些很美丽的冲击构造在这种类型的矿石中已见到。

在这些矿石中同位素丰度资料受到很大的重视。

（1）硫：硫不仅呈硫化物存在，也呈硫酸盐存在于重晶石中。这里主要考虑硫化物中的硫。大致有五个主要特征：

a. 对于任何一个矿床或矿区来说， $\delta^{34}\text{S}$ 的平均值差不多比陨石大（或较重），密苏里的乔普林（Joplin）是一个例外，这里 $\delta^{34}\text{S}$ 平均是-4左右，因为只做了几个分析，根据不很可靠。

b. 在单个矿床里 $\delta^{34}\text{S}$ 值的展布是有变化的，但变化可能非常小，且与层状矿床的非常相似。

c. 矿床内部的这种变化往往与大晶体的带状和生长带密切关系。在条带和生长带内 $\delta^{34}\text{S}$ 值趋向于均一，而横切它们则有变化。

d. 在矿床与矿床之间 $\delta^{34}\text{S}$ 有本质的变化。

e. 在这方面已做的工作虽然很少， $\delta^{34}\text{S}$ 同沉积作用之间似乎有一些关系；布朗（Brown）指出在拜内特勒（Bonneterre）沿地层剖面向上部 $\delta^{34}\text{S}$ 有增加的趋势，莫克等指出在意大利

利的戈尔诺 (Gorno) 区域, 在硫相中的 $\delta^{34}\text{S}$ 比盆地相稍高。

不管来源于硫化物硫的同位素成分怎样, 不管在搬运中是否有混杂, 当矿床形成时明显有过沉积分馏作用。

(2) 铅: 像它们的硫化物的硫一样, 这些矿床中的铅是有变化的:

a. 在一些矿床中, 矿床内部的任何变化确实很小, 铅似乎是正常的。这类矿床的产地有阿尔卑斯、西伯利亚和欧洲的比荷卢国家 (Benelux)、英伦诸岛、北非和加拿大 (派恩一波因特)。

b. 其它产地在矿床内部显示实质性的变化, 铅是异常的, 因含有大量的放射性成因的铅, 矿石似乎比围岩更年青, 因此称为“J”类型异常。

c. 在一些矿床中含有异常铅, 放射成因的铅的比例似有系统的变化; J. S. 布朗已指出, 在密苏里东南的郭内特勒矿床, 处于矿床底部的铅多为放射性成因的, 向上减少, 并指出对火成矿区来说, 中心附近更多于放射成因的铅, 向周围逐渐降低。此外, 较早沉积的铅比较晚形成铅, 其中放射成因铅有降低的趋势。

这三种特征表明有些石灰岩—铅—锌矿床的铅来自一些比较基本的和一致的来源, 它们似乎没有受到放射成因铅的污染, 而另一些矿床则受到放射性铅的大量混染。有时, 同位素分带表明这样的混染发生于现在矿化区之内或者其附近。

(3) 铅—硫: 经埃克曼及其同事研究指出, 密苏里东南的一些矿床中铅和硫的同位素成份是有关联的; 方铅矿的铅中放射性成因越高, 它的硫则趋向于越轻 (说明见图 6)。

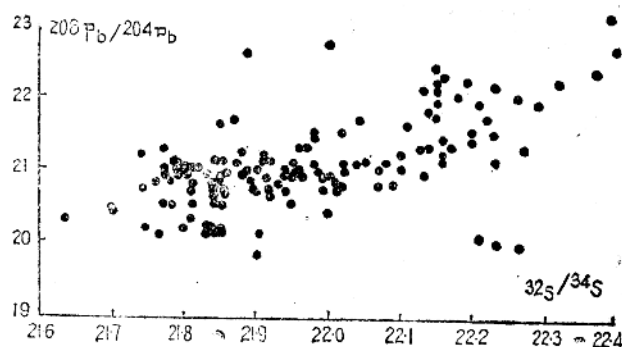


图 6 密苏里东南矿床方铅矿样品变化以及 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ 之间的关系

成因

下列特征似有成因意义, 值得扼要重述。

(1) 在任何一个区域, 硫化物有偏向于某些特殊相和层位的趋势, 而其它与碳酸盐共生的大块体里是没有的。

(2) 大规模的断层构造和矿石产地之间并无一定的区域性的联系。

(3) 液态包裹体表明矿石的形成温度一般在 100°C — 150°C , 极少超过 200°C , 通常小于 100°C , 发生沉淀作用的液体具有高盐度 (一般为 15—25% 的盐) 主要为钠—钙—氟。

(4) 有些液态包裹体有高的重金属含量。

(5) 主要硫化物金属是铅和锌(同铁); 几乎没有铜, 因此没有相应的“石灰岩铜”矿床。

(6) 围岩含有机物质, 有某些液态包裹体且含石油或由石油组成。

(7) $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ 的比值不是火成的硫 ($\delta^{34}\text{S} \rightarrow 0$) 或沉积硫 ($\delta^{34}\text{S}$ 趋于负值) 的比值。它们的硫是重的且有变化。

(8) 铅同位素丰度表明矿床的历史简繁不一, 当存在迁移混染时, 历史就较为复杂。

(9) 硫化物颗粒的边界为冲击构造和增大(连生)类型; 它们没有“均匀构造”, 表明尚未达到退火所需要的温度(方铅矿为 $\approx 200^\circ\text{C}$)。

成因的主要可能性是:

(1) 与沉积作用有关的

a. 从海水中直接沉淀。

b. 从海底喷气中直接沉淀。

c. 碎屑沉积作用。

d. 当沉积物固结时, 沉积物在孔隙液体中的运动, 接着再沉积。

e. 上述作用都伴随着成岩改造, 通常包括矿脉的发育、交代块体和颗粒生长。

(2) 与“外来”溶液活动有关的

a. 火成溶液。

b. 其它深源的含金属溶液 (2a 和 2b 两者比寄岩的形成晚得多, 1b 和 1d 与寄岩形成的时间相近)。

(有关成因讨论部分编略)

砂岩—铀—钒—铜组合

在世界各地, 属于这个常见组合的矿床产于河流相沉积岩中。可是, 最大的发育出现于美国西部和西南部, 目前的大多数剖面系根据那个地区所做的观察。这组矿床构成世界上铀的主要来源之一, 也是美国铀的非常重要的来源。它们也是铜和钒的十分重要的来源。

在已知矿床中这三种金属从来都不是同等重要的。有些几乎只含铀及少量的钒。另一些含铀并有大量的钒。有些几乎全由铜组成, 还有另外一些含不同比例的铜和铀。只有极少数含所有三种金属。似乎没有见到的唯一组合是缺铀的铜—钒组合。矿石类型谱用图解表示在图 7 中。在美国西部显示出有在铀、铀—钒和铜占优势的类型广阔岩间分带。

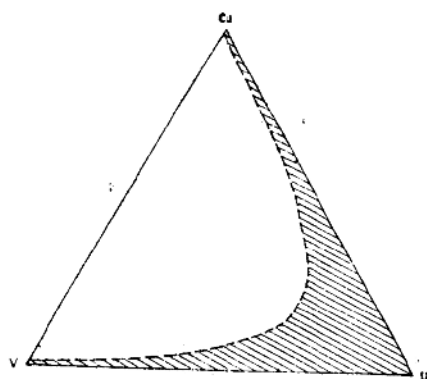


图 7 砂岩型矿床中铀、钒和铜之间的一般丰度关系的定性图。线条区代表金属丰度关系的一般性质。铜和钒通常不一道大量出现

分布、形成和位置

实际上这类矿床的富铀段局限于美国西部，它们产于科罗拉多、阿利桑那、犹他和新墨西哥的科罗拉多高原区以及怀俄明州和南达科塔州。但是，在澳大利亚的北部和西部以及南部的芒特—彭特尔的砂质沉积岩中的铀矿与此类型相似（但是有些可以与下面剖面的砾岩—正石英岩—金—铀—黄铁矿组合的关系较密切）。“科罗拉多高原”区较重要的富铀矿石已在怀俄明、南达科塔和科罗拉多高原区中部发现，而铀和铀—铜矿石在科罗拉多高原区的西南开采量最大。最发育的富铜矿石穿越犹他州和新墨西哥州一个循东南方向的开阔的带里（图8）。砂岩铜矿床广布于全世界，可是只有很小的重要性。

目前我们将科罗拉多高原作为典型区来考虑，所以集中注意此地区。

矿床的时代从石炭纪延至第三纪。铀—钒矿石从三迭纪（史纳鲁姆帕砾岩）和侏罗纪（莫里孙建造）获得最大突破。铜矿床（含有银）主要发育于二迭系—三迭系之间，虽在侏罗纪岩石中有一些铜矿。值得注意的是在任何一个独特的区域，矿床通常局限于厚几英尺或几十英尺的合适地层带里，而分布则很广泛——往往超过数百平方英里。

在这些带内部，单个矿床常呈延伸很长的似透镜体至不规则状的块体产出。在矿床中金属矿物在砂岩和砾岩中呈空隙充填物、或呈细脉或呈碎屑物质和植物化石的交代物产出。所保存的木质细胞构造是交代作用的无可争辩的证据。

此类矿床的特殊背景已为麦凯尔维等人做过适当的总结：

此类矿床的大多数呈板状块体，沿含矿砂岩或砾岩透镜体的长轴方向或沿平行于树干和其它指示流向的标志的方向延伸。因此围岩被解释为古河道沉积。绝大多数矿床产于或靠近透镜体的较厚部分，那里有泥岩夹层或细碎屑，并富于树干及其它类型的碳质物质。矿床往往切穿层理，特别是在形成称作“卷筒”的似结核构造的地方。

这些“砂岩”矿床的常见围岩是粗类型的，例如砾岩、砂岩和粉砂岩。在这其中，矿床是与各种沉积特征有关系：粗粒沉积物与泥岩的接触带、粗单位的厚度、“尖灭”、河道及其外形的各种细节、古木块和其它植物残片。有些小的但有价值的矿床，几乎全由单个的树干化石的交代作用所组成。

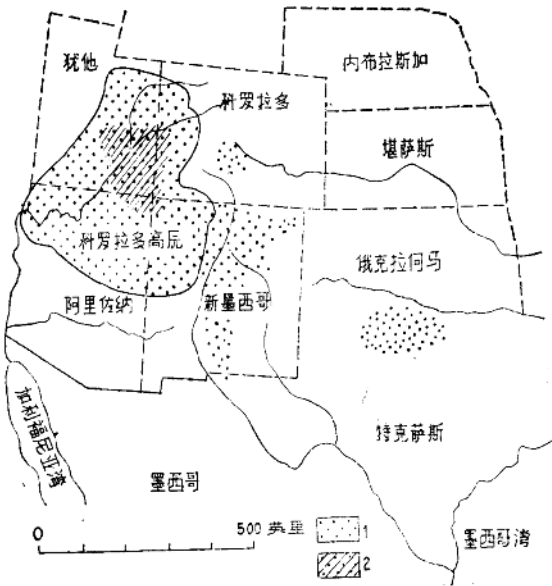


图8 美国西部砂岩铀—钒—铜矿床的大致产区

1. 一般的砂岩型铀—钒—铜矿床分布区
2. 主要的铀—钒矿床分布区

古河道里的矿床横剖面图见图9。一系列的透镜体常与网状河、河曲弯头的演替、及外冲扇形地的特殊部分等有关。这类矿床常见于在泥岩与粗沉积物接触带附近，底部受较不透水的地层所隔。砂岩型铀矿的位置有时不受沉积特征的控制，而是呈卷筒形在剖面上矿体

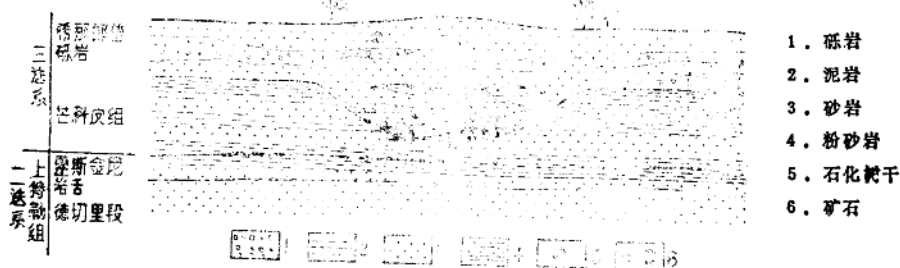


图9 在一个古河床中与植物（树干）伴生的铀富集的简化横剖面

受弯曲、长度比宽度和厚度大，常含于单一的地层单位里。这些卷筒的形成似乎与当时的潜水面或河流的特征有关系（图10）。

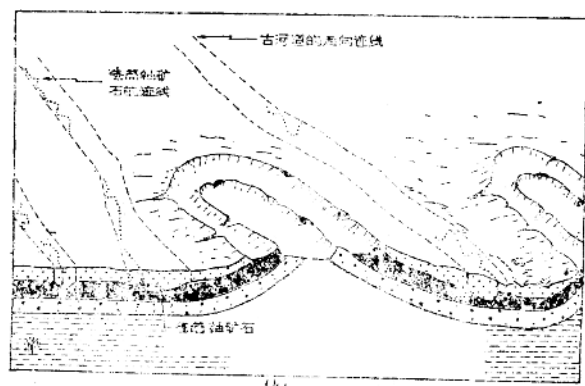
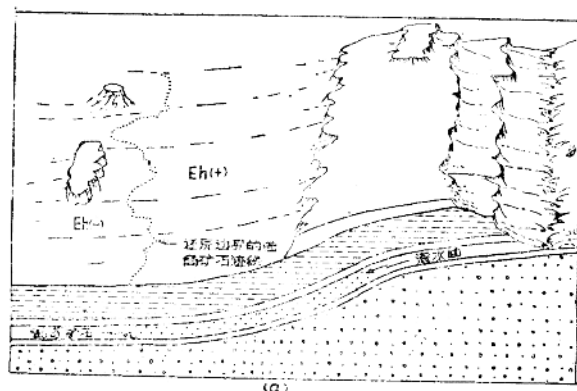


图10 (a)在有利于硫化氢堆积的地球化学条件下，在古河流沉积物中平行于盆地边缘形成的卷筒状铀矿床；(b)在古河道中大致平行于局部构造卷筒状铀矿石

矿石和沉积特征之间的这种关系最明显。可是已经指出,除了各种沉积“控制”外,从区域上来看,矿石的分布,有时给人以与相当大规模构造的一些特征有联系的印象。在许多地方,矿床的集中有不远离主断层带、盐背斜、岩盖穹窿、主褶皱等的趋势。

现将这类矿床概括如下:

- (1) 矿床产于河流—三角洲条件下沉积的大陆相和滨海相的碎屑沉积物中。
- (2) 常显示与粗沉积物透镜体以及粗沉积物和较细沉积物的接触带有关系的结构。
- (3) 除了与局部范围的沉积特征有清楚而独特的关系外,显示与区域范围的构造特征有广泛的和扩散组合 (diffuse group) 的关系。
- (4) 实际上总是与有机碎片共生。

组 份

已经注意到:矿石构成组份“类型”的渐变序列—钒—少量的铀到铀—少量的钒;钒—钒—铜;铀—铜;以及铜—铀到铜。没有见到高钒—高铜组合;钒高的矿石中一般铜就低,反之亦然。一些铜矿石也含值得注意的银。

主要的矿石矿物有:

铀:沥青铀矿、水硅铀矿、 $(\text{USiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$ 、含铀沥青岩(沥青质有机物含铀)。

钒:钒云母、黑铁钒矿 $[\text{VO}(\text{OH})]$ 、混层的钒粘土矿物。

铜:辉铜矿、铜蓝、黄铜矿、斑铜矿。

此外,多数矿床还含黄铁矿和(或)白铁矿。许多产地也含若干“痕量”硫化物,每个矿床中,其数量和组合随矿床而异。特别在富铀矿石中,方铅矿是常见的一种。其它是闪锌矿、硫镉矿、辉砷镍矿、硒铅矿、砷钴矿、辉钼矿和硒铜银矿。还有砷和硒。金属矿物和伴生的硫化物的主要“非金属”共生者是石膏、方解石、白云石、萤石、重晶石和高岭石。

在一个矿床里和几个矿床之间,铀、钒和铜的量变化很大。在许多情况下,单个矿体的品位变动如此大。以至单个分析没有多大意义。海因里希讨论了科罗拉多高原的铀—钒矿石,他是这样写的:

“这类矿床的品位同样变化很大, U_3O_8 含量为0.1—1%,局部更高。许多开采的矿石品位下降为0.2—0.4% U_3O_8 。在科罗拉多琅—派克的马吉 C_2 矿床中,三个矿化的树干化石中最大一个含360磅矿石,据报道其中 U_3O_8 的含量达20%,其它的也含有8—10% U_3O_8 的矿石。在科罗拉多的卡拉米蒂—古尔希的一个矿化木块长80英尺,宽约2英尺,一块较小的宽18吋,长30吋,以及两者间夹的砂岩共生产180吨矿石,其平均品位为: U_3O_8 —5.65%, V_2O_5 —8%, 钨2.6克/吨。”

铀—钒矿石的两个分析见表1。金属含量的变化性显然由于金属矿物在它的沉积透镜体中呈小斑块状(集束)、细脉及不规则条纹产出。铜同样很易变化;分散物质的含铜量平均可在千分之几和3.0%之间。可是在富的小斑块中,特别是木质物质局部受强烈交代形成辉铜矿的地方,铜含量可达60%左右。在这种情况下,辉铜矿含银一般较高。

同位素丰度已受到相当的重视,特别是在该组合的富铀组:

1. 硫:有关硫同位素比值的认识大多数来自 M.L. 詹森 (Jensen), 他研究了许多富铀和富铜矿床。几乎所有矿床的 $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ 比值是高的 ($\delta^{34}\text{S}$ 为负值), 而在矿床内部则显示了本质上的变化。变化范围一般为20%的数量级或更大。这类矿床的硫同位素丰度习性与见于石灰岩—铅—锌矿石和层状矿石里的大不相同, 矿床之间的变化同其它两个组合几乎相

同，虽然可稍大一点。

表 1 犹他州中生代砂岩型铀—钒矿床沥青岩的化学分析结果

	(1)	(2)
挥发物质	49.57	67.11
不溶物质	46.32	26.54
U	1.13	2.88
V	0.23	1.17
S	4.98	1.37
As	痕量	痕量
Se	未见	未见

注释：(1) 来自希纳朗普砾岩的标本。

(2) 来自塔普尔山西边侏罗纪砂岩较下部的标本。

2. 铅：含有高的放射性组份，且是异常铅。米勒 (Miller) 和库尔普 (Kulp) 根据 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 所测定的同位素比值和“年龄”是很易变的。

成 因

J.W. 芬奇对于本类型富铜矿石的重要特征做过很充分的总结，他的观察结果大部分同样地适用于铀—钒类型。下面是有关地层的叙述：

(1) 含矿地层是通称为“红层”的一个大的群。(2) 是碎屑沉积物含铜。(3) 它们随地势而定，堆积于干燥一半干燥的气候带。(4) 它们多数为大陆沉积，由季节河流和其它陆上营力所形成。(5) 它们以含有植物残体为特征，有些地方已受硅化或褐煤化。(6) 在若干层位已找到恐龙足迹，许多地方则以产脊椎动物遗体而著名。(7) 钙质胶结作用是特征的。(8) 常见石膏，呈层状产于得克萨斯和新墨西哥的二迭系和 Permian、内华达东南及亚利桑那北部的三迭系中，其它地方则是分散的或后来形成的薄层。(9) 许多矿层导源于前寒武纪岩石。(10) 沉积时间离落矶山区的火成活动期很近。(11) 多数岩层在太平洋沿岸区侏罗纪造山运动前已形成。犹他州红层顶部的莫里森 (Morrison) 层中有局部的火山灰层。

关于矿床的特征：

(1) 矿床虽见于红层，但极少产在红色地层中，原因何在，众说不一，有的作者认为含铜层因受铜沉积作用的影响或其他作用而漂白，有的认为沉积时就是灰色或者浅色的。(2) 与热液矿床的差别在于没有任何与热液有关的石英或其它脉石，而层中较普遍的见到方解石和石膏，有的没有铜，有的有铜。(3) 多数矿床离侏罗纪火成岩中心太远，不受其影响。(4) 矿床没有显示与第三纪火成岩区的普通自然地理、构造和地理有关系。(5) 新墨西哥州西南和犹他州西北的第三纪深成铜矿床与沉积铜矿床没有自然地理上或构造上的联系。(6) 肯定归因于第三纪岩浆溶液附近的矿床缺铜，所以红层铜的分异作用不导源于这种溶液。(7) 它们含硫化铜，但不同热液矿物组合在一起。(8) 它们不象热液矿石那样局限于特殊的时期，而是经过几个漫长的地质时期形成的。(9) 由于沉积分异的广泛地理分布和离第三纪铜矿一般很远，所以沉积铜矿不归因于来自第三纪铜矿区溶液的浅成硫化物矿化作用。(10) 它们分布于这么大的面积，并有这样一致的特征，必然有一个共同的成因模型。(11) 矿床明显依赖于铜的局部来源，这也就是沉积物的局部来源。(12) 硫化铜以交代炭化植物残体为特征。(13) 矿床只沉积于特殊的沉积环境。

很清楚 (也很重要)，金属矿物无疑产在有利的沉积单位，并位于特殊的透镜体内，其它沉积构造，具地表溶解特征、它们不是层状的。几乎每一个产状特征都指明矿石沉积于目前的位置，显然要晚于沉积作用。所以呈目前形状的矿体无疑是地下溶液活动的产物，这些大家都同意。可是，溶液的正确性质和来源还不了解。

主要有以下的假说:

1. 成矿溶液是地下水, 围岩是自流水和半自流水的蓄水层, 这样的地下水沿着蓄水层运动。它们带着从共生地层 (特别是凝灰岩) 淋滤出来的金属离子 SO_4^{--} 。金属矿物遇到与沉积物中植物腐烂有关的局部还原环境 (以及细菌硫酸盐还原作用) 就沉淀下来。

2. 成矿溶液是深源的, 来自尚未彻底侵蚀的火成岩。溶液沿裂隙运动上升并把它送入围岩。由生物作用或其他作用沉淀下来。

3. 成矿溶液是近地表地下水和深部热液的混合物。

(有关成因讨论部分省略)

维特瓦特斯兰德型的砾岩—金—钽—黄铁矿组合

这组矿床常与砂岩—钽—钽—铜组合的矿床相连系, 两者确实有许多相似处。可是还有一些不同之处, 有鉴于此, 以及维特瓦特斯兰德型两个产地的显著重要性, 把这些矿床作为一个独立的组份来对待。同时读者应知这两个组合具有某些根本联系的可能性。

分布、形状和背景

虽然有可能有若干小的类似, 此类矿床以三个著名产地为代表, 其中两个有很大的经济价值。它们产于世界上三个远远分离的部分, 就是南非的维特瓦特斯兰德、加拿大的布林德河 (Blind River) 和巴西的雅可宾那 (Jacobina)。前二个更为重要, 兰德产金和钽, 布林德河产钽。雅可宾那主要产金。

三个矿床全是前寒武纪的。因为钽和铅在原始沉积之后, 几乎都有一定的分异运动, 又因为铅有不可避免的异常特性, 所以不可能用钽—铅和铅—铅方法精确测定年龄。锆不和独居石中的痕量铅指明布林德河含矿沉积岩的年龄大约为 7500×10^6 年。铅—铅法测定结果指明维特瓦特斯兰德矿床的矿化年龄不少于 2200×10^9 年。只知道雅可宾那沉积岩大概是元古界的。

此类矿床常称为含金砾岩层 (bankets) 或者砾岩矿脉 (conglomerate reefs)。它们在粗砾岩中呈透镜体和在中层中呈浸染状矿体产出为特征, 粗砾岩本身作为岩段出现于砂质层序。正如方才讨论的“砂岩”组矿石一样, 砾岩常以河道堆积的形式构成, 所以矿体在一个方向上较大在另外两个方向上较小。矿体形状不一, 有简单的、长的和弯曲的。在另一种情况下, 矿石明显与网状河和垂直分支砾石层有关, 那时, 矿床的外形轮廓可以十分复杂。

这三处矿床的背景的突出特征是它们的产状与石英—卵石砾岩惊人相似。不仅矿床内部的含矿层或“矿脉”相似, 而且矿床之间也非常相似。兰德砾岩和布林德河砾岩的相似性只能作为离奇的东西来描述。它是目前经济地质学民间故事的既定部分, 这些砾岩似乎是河流型到浅水三角洲型的砾岩。

在维特瓦特斯兰德的金—钽—钽—铜矿形成于四个前寒武系的地层单位里, 从下向上是多米尼昂含矿层、维特瓦特斯兰德、文特斯多尔普和德兰士瓦尔系。分别由各种沉积岩和火山岩组成, 后者由熔岩和凝灰岩组成, 且大部分是安山质的。在每个单位中, 矿化出现于底砾岩或其他砾岩中。上维特瓦特斯兰德含矿层是“兰德型”产地的良好例子。含矿层清楚地沉积于浅水中。所显露的环境是在干燥或半干燥的气候下的封闭盆地和大陆盆地、海滩、海三角洲或湖

三角洲、冰川或河流冰川环境。区域性向由倾斜的外缘似与古老沉积盆地的滨岸线密切重迭，自盆地边缘向中心，砾岩层的数目和粒度降低。与此相一致，随着滨岸线距离的增加，金和铀的富集衰减，然后消失。

在有关沉积环境中与砾岩直接共生的岩石类型是粗砂质和砂质沉积物（石英质和长石质的）及若干页岩。砾岩本身通常密实填充了石英质或长石质基质中的玻璃质石英卵石组成，基质中还有绿泥石和绢云母。金展矿层几乎全产于基质中。冲刷—充填构造、波状层理和网状水道是砾岩层的特征。含砾砾岩与地区下述几种特征有关：

1. 区域不整合。某些砾岩（如德兰士瓦和文特新多尔普系）产在区域不整合上。
2. 层内地层间断。在圭维特瓦特兰层序的不同层位到多米尼昂含矿系中的较小范围，砾岩是沉积在构成轻微不整合的基本上平坦的侵蚀面上。
3. 河床充填物。如巴兰意，砾岩沿着弯曲的或网状河，在局部的侵蚀凹地里和由大规模冲刷所成的宽广盆地中产生。

在这些环境中，矿化作用严格限于砾岩层，砾岩变为粗砂质层的地方，矿化也跟着变弱。除了个别情况有小规模矿化在外部者，矿化作用不能超出砾岩层而穿越层理。

布林德河矿床产于休伦湖（元古代）的砂岩、长石砂岩、粗砂岩和砾岩层序中，其堆积环境和岩性显然非常相似于兰德。本区的主要地质单位见图11。沉积基底由基瓦丁火山岩和沉积岩以及侵入的花岗岩所组成。金矿矿化与基岩与布鲁斯群的底部（密西萨吉）砾岩共生，



图11 布林德河区的简化地质图，铀矿石紧靠克拉克湖、埃利奥特湖以及阿尔果马区布鲁斯群的底部

砾岩本身又与基底地形和密西萨吉河床有关，晚期且遭受褶皱。此层序看来似乎属河流到三角洲类型，受滨岸线的向北沉没而有所改变，并且被海相或湖相粉砂岩和页岩覆盖。德里认为主要矿床位于一个三角洲的三个河道中。这三个河道应理解为一个弯曲的水道，见图12（贝恩1960）。而德里则怀疑是不同的水道，三个矿化区的完整轮廓见图12。

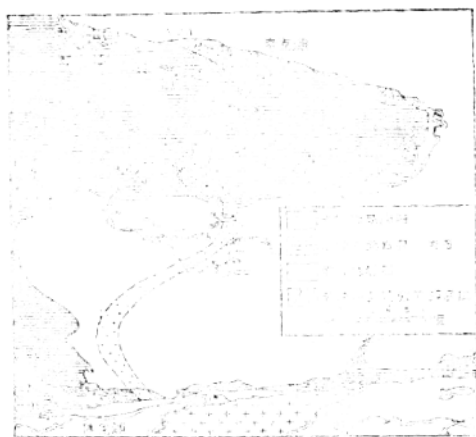


图12 在密西萨吉沉积物下部的含铀河道

关于布林德河的含矿围岩（砾岩），德里记录如下：

“从南面的普朗托矿山到北面的阿尔果马—夸克矿山的所有含矿砾岩均十分相似。在所有的场合，砾岩主要由石英卵石及一些黑色燧石卵石和极少的“外来”卵石组成，嵌在较深色的基质中。基质由细粒石英、长石和绢云母组成，并不含等量的黄铁矿，在矿石级砾岩中一般为基质的15%和25%。重矿物有绿帘石和独居石，铀矿物常常限于这种基质中。含铀砾岩层的厚度变化达12呎，有时几层合并厚度可达20—30呎。

从普朗托矿山到向斜两翼的砾岩所在地，含矿砾岩与基底的关系是变化的；普朗托矿山几乎到处都有底部砾岩，向斜二翼含矿砾岩则位于基底以上100呎，但在原始基底局部形成地形“高点”的地方，也可接近或紧靠基底“制高点。”

含足够量铀的砾岩层的数目不一样，在普朗托是一层底部砾岩，而在向斜的北边清楚的有四或五层。许多其它的砾岩层，通常比较窄或者不够稳定，含有经济价值较次的铀”。

雅可宾那的环境也与前两者相似。矿床产于早元古代雅可宾那系，直接盖于太古代花岗岩和花岗片麻岩之上。雅可宾那系分为两个单位：下部卡纽斯群为夹许多砾岩层的薄层状和交错层状的石英岩；上部为塞拉群的块状石英岩。含矿矿脉限于卡纽斯群，通常明显地位于基底之上。这个群延长的距离至少在20英里之上。在含矿单位中有两种类型的砾岩矿脉层：查布（Chabu）型，砂质基质中具有白色石英卵石，基本不含矿；皮里托索（Piritoso）型（含黄铁矿），含有矿石。

贝特曼这样写道：

在皮里托索型矿层中，红色——粉红色玻璃质石英卵石占矿层的60%，直径多为1—1½英寸。基质多由绿色绿泥石和自由散布的绢云母及细粒黄铁矿组成。有些黄铁矿充填在基质裂隙中。含金富矿体和少量而重要的铀产于此层中，金、铀和黄铁矿之间有清楚的定量关系。含矿层的石英岩呈浅绿色，这与布林德河含铀砾岩的石英岩相似。

雅可宾那产地的一般地质情况见图13。

组 份

这三个主要产区构成一个金——铀成份的整齐光谱。布林德河唯一重要的实际上是铀，仅含少量分散的金；雅可宾那只产金，铀经常存在，但是很少；巨大的维特瓦特兰矿床金和铀两者都重要，世界上唯一最大的金源地，也是世界上三个最大铀源地之一。

维特瓦特兰