

# 经济地质

75 卷 第二期

美国

ECONOMIC GEOLOGY

and

the Bulletin of the Society of Economic Geologists

1980

(三月——四月)

地质出版社

35  
(2)

# 美国《经济地质》

中译本、半季一期

1980年3月—4月

75卷第2期

统一书号：15038·新654 定价：1.00元 开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：9.875 字数：236,000

编辑者：美国《经济地质》中译编辑部  
出版者：地质出版社  
印刷者：地质印刷厂  
发行者：新华书店北京发行所发行  
各地新华书店经售



# 目 录

确定密西西比河谷型矿床成因的若干考虑——第二部分*	E. L. Ohle (1)
日本矽卡岩矿床的特征及与酸性岩浆作用的关系	岛崎 吉彦 (10)
西澳Hamersley铁矿矿区铁矿与条带状含铁建造关系的结构和矿物学研究	R. C. Morris (18)
$Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 体系的总平衡及其对蚀变/矿化作用过程的某些意义	J. J. Hemley, J. W. Montoya, J. W. Marinenko 和 R. W. Luce (39)
新墨西哥Santa Rita斑岩和矽卡岩中的流体包裹体	S. N. Ahmad和 A. W. Rose (54)
以波希米亚地块为例论古老地块的活化及成矿作用	J. H. Bernard 和 V. Škvor (71)
加拿大萨德伯里苏长岩的构造史和变质史: 古地磁证据	W. A. Morris (79)
爱达荷岩基内的第三纪花岗质岩石及其与矿化的关系	E. H. Bennett (95)
怀俄明州Granite山两个花岗岩体中含铀矿物的U—Th—Pb体系的初步研究	J. S. Stuckless和I. T. Nkomo(104)
怀俄明州某些砂岩型铀矿石中的共生铀石和晶质铀矿	K. R. Ludwig和R. I. Grauch(110)
Ag—Au—S体系	M. D. Barton(115)
$PbS-Sb_2S_3-Bi_2S_3$ 和 $PbS-FeS-Sb_2S_3-Bi_2S_3$ 体系中的相关系	L. L. Y. Chang, D. S. Walia 和 C. R. Knowles(127)
科学通讯	
流体包裹体冷/热台的改进	(139)
贵金属脉状矿床银-锑-砷矿物中的流体包裹体	(142)

86

PA577/02

# 确定密西西比河谷型矿床成因的若干考虑——第二部分

E. L. Ohle

## 摘 要

任何解释密西西比河谷型矿床来源的成因理论必须符合矿床形成时出现过的地质背景的各个方面。盆地卤水理论也不例外。遗憾的是,关于形成机制的许多方面,在地质学家中仍然存在很大的分歧,诸如:金属的来源、金属释放的时间、盐溶液的起源、金属是怎样被携带的、沉积的原因以及为什么产于它现在所处的地方等等。关于这些问题的事实和设想本文都加以讨论,得出的结论是:在此假说能被全面接受之前,还需要做大量的研究工作。

## 前 言

将密西西比河谷型矿床的成因归因于盆地同生水的作用,首先是White在1958年提出的,而后在1963年得到Hall和Friedman的大力支持。这是我从事这类矿床研究工作40年的后20年中普遍采纳的一种成因模型。并且不无理由认为,某些必须用任何有效的成因假说来解释的地质现象看来是支持卤水模型的。许多这样的事实是美国地质调查所经过巨大的努力在50年代后期得出来的,并在许多刊物上加以报道过(Heyl等,1959,1964;Hall等,1968,1969;Hosterman等,1964;Heyl,1969;Roedder,1976,1977;Erickson等,1979;以及其他)。这些报告中值得注意的是Roedder(1977)等许多人从流体包裹体中得出的大量温度和成分资料;以及White(1968)对Salfon Sea,Lebedev(1967)对Cheleken,Carpenter等(1974)对墨西哥湾海岸各地所描述的有关含金属热卤水的资料;最后还有关于红海卤水的许多研究成果。

这些实际观察结果结合着Beales和Jackson(1966)首次提出的关于Pine Point矿床的描述和成因模型大大推动人们去接受同生水作为金属运载体的看法。

尽管不是所有的地质学家对密西西比河谷型矿床的分类都一样,而我把所有主要(但不是全部)产于碳酸盐岩石中的低温铅锌矿床,不管它们产在哪里,也不管它们是否含有异常的J-铅,都包括在这个类型内。这比某些地质学家把不含J-铅的Pine Point矿床和Silesia矿床与含有J-铅的密西西比河谷矿床本身以及

Appalacluan矿床、Metalline矿床和Laisvall矿床分为不同类型的矿床的做法要广义些。

Pine Point矿床的地理位置和构造位置,实际上处于一个含烃和蒸发岩的深沉积盆地的边缘,这确实为下列事实提供了强有力的证据,即:盆地水是在压实作用期间排出,并通过多孔的泥盆纪礁相向上运移,然后遇到了还原硫而沉积下方铅矿、闪锌矿。拟合是干净利落的,我们可以以此作为典型实例来说明所有的密西西比河谷型矿床是如何形成的。

但是难题在于把这一模型引用到其他大多数矿区,显然,我们并不了解全过程。本文的目的是引起人们对Pine Point模型的那些不适合于其他地区的实际情况的重视,并希望促进研究工作以排除那些明显的矛盾。

把密西西比河谷型矿床解释为盆地卤水成因的理论的总的方面是相当简单的:金属离子是盆地沉积物的一个组成部分,在石化作用的某一瞬间被同生水萃取并排出,然后搬运到目前我们发现矿石的地方,由于某种机制而沉积下来。细节部分是非常复杂的,因而还没有普遍公认的一致意见,即使在单个矿区也没有。如关于矿源层的性质、金属是如何保留并迁移到溶液中、溶液的特性以及怎么会含有这么多的盐、管道系统、作用的时间(除了最一般的方式外),还原硫的来源、沉积的原因或为什么出现在它沉积的地方。事实上,除了如象来自流体包裹体那样的少数事实外,过去所写的东西有许多是纯理性的推



论,大多数证据是随意的而不能使人信服,而且我想,如果尽量用条件性的词句取代武断的陈述,推论会更准确些。十分坦率地讲,地质学家并不了解密西西比河谷矿床为什么在它们所在的地方沉积的物理化学原因,并且他们也不知道为什么矿床不在看来完全相似的别的地方出现。他们勘探的地点,大多数是通过地层学、岩石学和构造关系的经验性研究而选择的。幸而有些获得成功。

我不愿在此重复我在1959年列出的各矿区与矿床成因有关的地质特征,我只是提醒注意图1,表示美国中部地区最重要的矿区的地理位置和地层上的分布,作为我目前讨论的背景材料。必须知道这些矿区的位置和巨大的规模及其矿物成分的多样性,才能鉴别任何成因理论所面临的一些问题。要在这里提出的一件重要事情是:每一个矿区所产出的矿石,在矿物成分以及外观方面是如此的截然不同,以至鉴别出任何可能到你手中的离群的标本来源绝无困难。这些个性产生了一些问题,即是否每一个矿区都有其区别于其他矿床的不同的来源、不同的管道系统和不同的成矿时间。从图1还使人注意到,矿石产出的地层间隔很大,在米苏里东南部的寒武系到三州地区和米苏里中部地区的Mississippian-Pennsylvanian系(石炭一二叠系),从最老到最新的主岩时间间隔有两亿多年。

在研究和推测卤水如何形成这些矿床时,必须记住总的矿床区域背景以及着随时间的推移而产生的这些背景变化。今天我们只能在非常广阔的时限内确定矿床的成因;但是在此广阔的时间间隔内,地质背景,特别是构造,已经历了深刻的变化。例如,以现有的情况来解释古生代形成的矿床,看来是很不现实的。只有在那种关键的相当短暂的时间间隔出现的地质情况才具有任何意义的。譬如,如果Ozarks周围的矿床是在古生代早期或中期形成的,那就不适于将我们今天所了解的Ozark穹隆作为模型的必要部分,因为目前的穹隆直到古生代晚期还没有形成。同样,Ozark地区地下水(或任何其他种类的流体)的水动力系统必定和今天有很大的差别,如很多人所认为的那样,当时Pennsylvanian页岩覆盖了这一地区。在那种环境下,卤水和淡水的分布肯定和目前的情况不一样。实际上,Pennsylvanian页岩盖层首次被突破,使淡水可能接近老的碳酸盐岩石,并可能释放出聚集的石油和天然气的时候,这也许是这一地区历史上最重大的水文事件之一。但是,具有象矿石年龄这样如此模糊的概念,对矿石沉积时淡水-半咸水界面的位置这样一个基本事实甚至也搞不清楚。确实,精确测定

矿床年龄的方法的发展,如Beales等(1978)正在试验的古地磁方法一样,可能是未来最有用的先进方法之一。如果我们能够在比较接近的范围内测定矿床形成的时限,我们就会有好得多的条件发展一种适合所有构造、岩石、地貌和当时的水动力条件的模型。后来的地质事件是没有成因意义的,尽管它们可能具有经济上的意义。

为了有说服力,密西西比河谷型矿床的成因模型应考虑到从开始到完结的全过程。由设想的作用的某些方面的每一个特殊研究所得出的结论,必须在总体上与被采纳的模型相符。野外资料和实验数据,既不能相互否定,也不能相互支配。所有的基本事实必须相互一致,任何似乎存在的矛盾,必然是来自我们对它们的意义的解释,而不是来自事实本身。因而,需要更多的地质推理来全面说明成矿作用过程。在这方面,Wolf(1976),Roedder(1976,1977),Hitchon(1977),Heyl(1969)和Dozy(1970)的努力是特别值得赞赏的。Wolf(1976)曾苦苦构思打算提出一个完整的模型,公开地包涵各种矛盾、推理的死角和那些目前还不能简单地回答的重要问题,其结果是既鼓舞人心又令人沮丧。

现在让我们转到盆地卤水假说所必需的某些特定因素方面,很明显,由于这些因素的缺失,在地质学家之间的一致意见是显而易见的。对成矿作用的每一步,都有广泛分歧的看法。但是,因为在那种必须考虑为正常的,区域范围内缓慢进行着的地质作用中,每一步都是承前继后的一个组成部分,因此不可能引进一个与整个“锁链”无关的截然相反的步骤。本文希望能唤起其他学者们的研究兴趣以取得更需要的答案。指出这一点使人不好意思,即,虽然石油地质学家们曾经密切地注视盆地的发育、沉积物的熟化以及流体的运移已有100多年,但在作用的许多基本因素方面仍然存在着截然不同的意见。

## 矿源层

实际上,不同矿区的各地层柱中的每一种岩石,包括火成岩和变质的基底岩石,都曾被假定为密西西比河谷矿床中的各种金属的原始来源。当盆地卤水理论第一次被提出来的时候,受到最大注意的是黑色页岩和长石砂岩,前者是由于它们的特高金属含量,后者是由于长石含有铅。在这理论出现的时候,对每一个矿区来说,就是应当去找出其最可能的来源,因为在各种盆地中已有上千口石油钻孔,各种岩石的分布已了解得很清楚了,迁移的途径被认为就是向上的。然而,年复一年地过去了,对这类特定的鉴定工作似乎

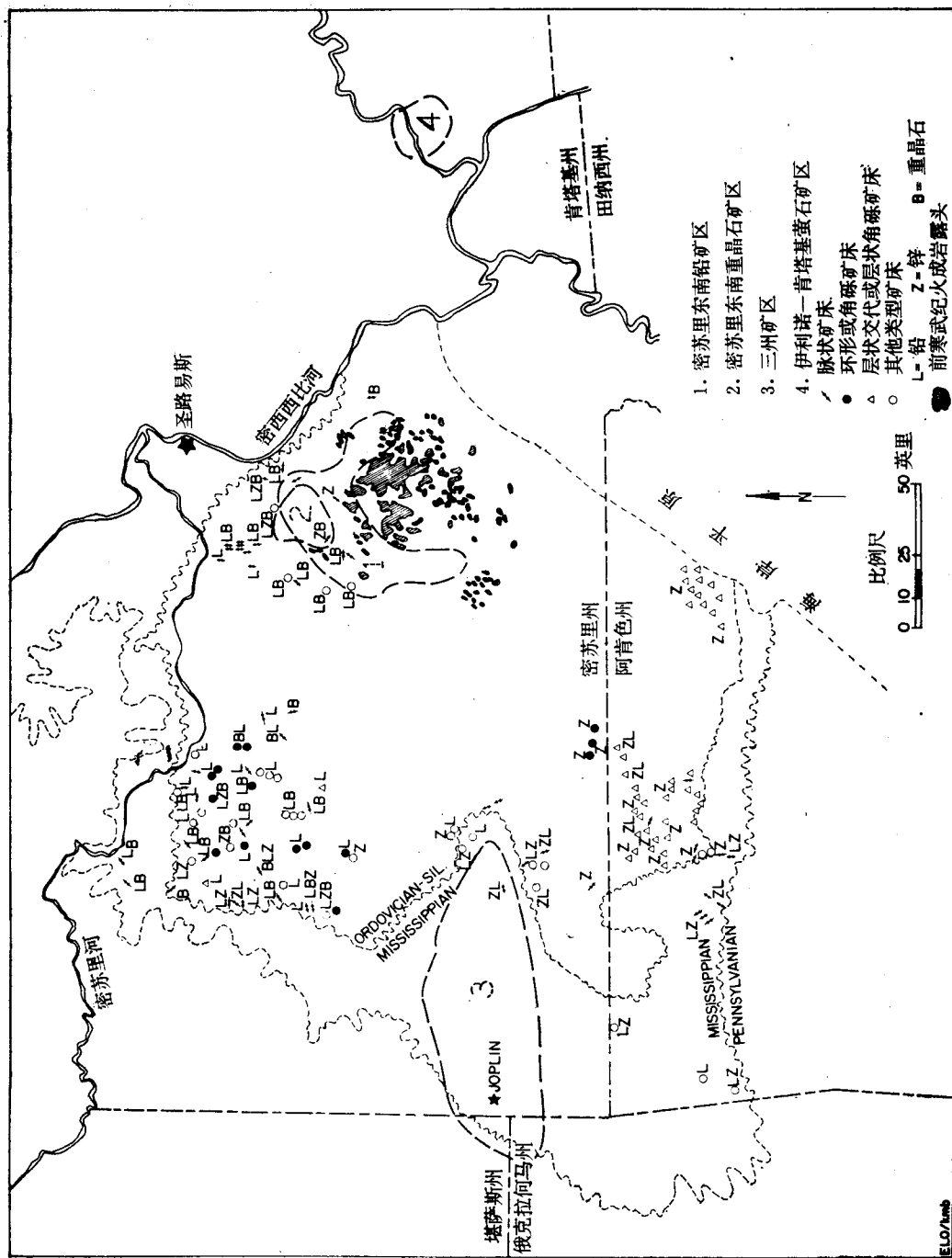


图 1 Ozark地区矿体类型及矿石矿物显示分布图。主岩的时代：1和4区为晚寒武世；3区为石炭—二叠纪；4区为石炭纪；阿肯色州东北部为早奥陶世；密苏里州中部为石炭—二叠纪

很少注意,而矿源层概念却变得日益分歧和复杂。对长石砂岩和真岩发生了怀疑。长石砂岩并不十分丰富,而且虽然含铅,但不能提供足够的锌、镉、钴、镍和铜。至于页岩,当它石化之后是非常不透水的,并且存在一个问题,就是一旦第一股水被挤出来时,是否能获取它们相对高的金属含量?在管道系统中,把一个沉积建造既当作金属的来源又兼作给水层,似乎也不恰当。同样,用实验室研究(包括样品的粉碎和淋取)证明金属的获取率的办法,与自然条件差距太远,以致不能令人十分信服。此外,曾对密西西比河谷页岩中的铅做过分析,但未显示有同位素异常的 $\gamma$ -铅成分。

由于不知道金属是怎样固定在沉积物中的,因而使整个含于沉积物中的金属可获得性问题更为困难。它们是吸收?吸附?以溶液囚禁在水中?还是囚禁在矿物晶格中亦或是其他别的什么形式(Wolf, 1976, p. 643, 引自Chilingarian)?

Thiede和Cameron (1978)最近提供证据表明,蒸发岩层序中的某些组分含有数量可观的铜、铅和锌以及这是一种重要的金属源的可能性,从高盐度流体包体得到了支持。还有不少地质学家提出,蒸发岩作为沉淀成矿金属的可能的硫源也是很吻合的。然而,正如下面所要指出的那样,某些密西西比河谷矿床现在是在100英里范围内没有层状蒸发岩的地方,再加上没有蒸发岩被淋滤过的事实也需要得到解释。

在密西西比河谷地区工作的一些学者觉得上述的潜在金属来源不是不够,就是不可能、或者就是不存在,因而为了避开这些局限性,他们已经转向红层砂岩。Carpenter和Grethan (1979)曾对此有过评述。红层,特别是透水的砂质红层,有相当高的金属含量并与碳酸盐和赤铁矿胶结物共生,这些金属组分在某些条件下是可以被活化的。显然,明显带有红色的岩层在密西西比河谷地区目前并不丰富,但可能在某个时候它们曾经存在过,或者某些广泛分布的棕色砂岩可能曾作为同样的矿源层。在Cheleken的地层剖面中有大量红层的产出可能具有重要意义。

直到最近,还曾有人提出,盆地中的任何岩石,也可能是所有的岩石,实际上都可能是矿液的潜在亲体。因为差不多所有岩石含有的多种金属至少也达几个ppm,而且因为沉积物多达若干立方英里,因而就有可能用数学的方法去证实所含金属的适当数量。当然,问题在于你自己对它的真实的可获得性的相信程度。受热的卤水扫过一个足够大面积的岩石能够淋取出大量的金属吗?它又怎样把金属转移到现在我们发现矿体的场所呢?而且它怎样能完成这样巨大的

淋滤工作(会使岩石温度升至 $100^{\circ}\text{C}$ ),而不留下痕迹?或者,确曾留下有痕迹而尚未被发现?应该有可能辨认出那些曾经一度被利用过并且理应受强烈影响的通道,难道不能计算出它们可能被减掉的金属含量吗?

## 时间问题

正如前面提到过的,如果能用某些方法测定矿床形成的大致年龄的话,那就会对密西西比型矿床的形成理论起到必要的指导性的作用。特别是对盆地卤水假说,尤其是如此,因为关于矿区附近地区的盆地发育历史了解甚多。现在提出来的许多概念,如可能的矿源层、卤水迁移的方向、不存在异常地热梯度所能达到的温度,等等,都可以得到加强或被否定。譬如,如果矿床是Mississippian期的或更老些,而要求的是充分发展了的伊利诺斯盆地的模型,那就将不可信。因为直到古生代晚期,那里还没有深的伊利诺斯盆地。同样,如果你知道了在伊利诺斯盆地和米苏里铅矿带之间有一条隔断透水层的巨大的北西走向的Ste. Genevieve断层系统(图2)存在的话,它就会对你认为卤水是从伊利诺斯流向Ozarks的可能的古水文学的想法发生影响。如果我们知道了哪一段地质时间具有关键性的话,我们就可能对整个模型的许多其他因素确定得更精确。

我们的模型中包含有时间因素的另外一方面,与一些矿区中主岩的角砾岩化作用和矿石的沉积作用明显的同时性有联系。崩塌角砾岩和有关的倾伏而平缓(pitch-and-flat)构造的发育是许多地方成矿场地准备的一个主要部分。矿液的循环经常利用先存的、与不整合有关的喀斯特孔洞,如在阿巴拉契亚、田纳西州中部和三州矿区那样,但是矿液本身就是使角砾岩的空间扩大的活泼的溶剂。围岩的碎块有时完全包裹在矿石矿物和脉石矿物之中。至少有一处,即弗吉尼亚州的Bowers-Campbell矿山,有角砾岩块被沉积白云石的溶液消化的强有力的证据。

大多数地方,天水形成溶洞的作用远在矿石进入之前,而且热液的溶解作用还可以在矿石沉积了之后再延续一个时期,矿石间隔在整个时间间距内相对来说只是一个短暂的阶段。这个时期必然是在碳酸盐主岩石化为硬而脆的石灰岩和白云岩之后。我个人的感觉是:单纯的溶液的潜蚀和崩塌不能解释见于东田纳西州某些窄小而有角砾充填的孔洞,而且必须把促使岩爆型张性碎裂成为岩穴裂缝的区域性压力考虑进去。如果这是正确的话,那么与卤水流动时期相吻合的挤压期的时间就又是关键性的问题了。它们能有一

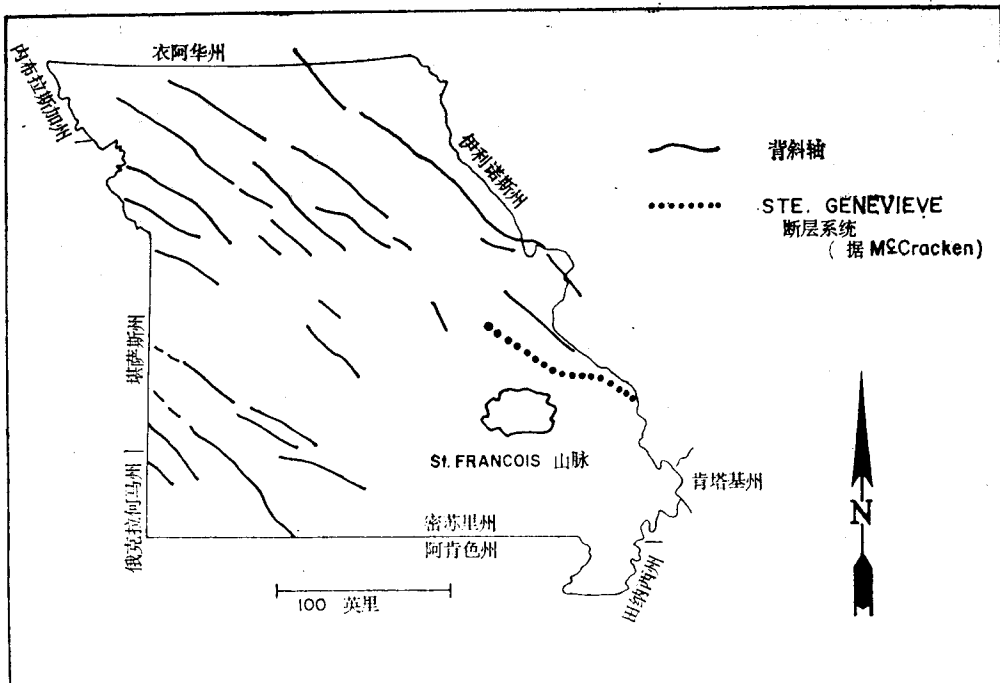


图 2 密苏里州主要背斜轴及Ste. Genevieve 断层系统位置图 (据 McCracken, 1971) Forest city 盆地占据密苏里州的北半部, 以及毗邻各州的一部分

个共同的原因吗? 我们不应该试着把卤水流与那种造成横跨Forest 城和密执安盆地之间的北西向背斜格式类型的盆地变形作用联合起来考虑吗? (见图2、图3, 据 McCracken, 1971; Ells, 1969; Lockett, 1947)。

还有一些与卤水假说及其时间问题有关的十分重要的问题, 即, 沉积盆地中成矿金属活化是在大量积存的层间水被排出的早期还是晚期? 在蒙脱石转变为伊利石的成岩作用晚期释放出来的淡水对成矿作用起什么作用? 金属是来自主岩建造较老的、较年轻的还是同时的沉积物? 每一种这种考虑都必然给这一模型带来一些限制。早期的迁移可能更可取些, 因为从原始的松软的沉积地区有效地把金属扫进溶液中去并被带到沉积的场所是最易实现的。然而问题的发生特别与下古生界岩石中的那些矿床有关。譬如, 米苏里东南部, 在Bonnetterre时期盆地发育是那样的不完善, 以至迁移的温度和压力动力难以发生。进而与石油有关的硫也很难得到。它究竟来自何方? 金属和卤水两者都来自较年轻的建造并沿着地层剖面向下迁移(虽然构造上可能是向上的)的情况不是似乎更可能些吗? 这最后一种安排, 对那些产在象田纳西州的那样带有非常结实的碎屑的角砾岩中的矿床似乎更可能些。在这种情况下, 那种与Knox 沉积物同时的卤水就是矿液的看法, 似乎基本上是不可能的。

利用与石油有关的硫以形成矿石矿物带来了盆地成熟度的问题。虽然石油地质学家对于盆地发育过程中石油和天然气的形成时间和迁移时间存在着意想不到的分歧, 但是近来占优势的思想是: 形成石油必须深埋数千英尺并伴以温度的升高, 对于天然气来说(温度和深度)还要稍高一些。显然, 这是在大多数水被挤出这个系统之后的事了。同样显而易见地, 如果硫和金属来自同样成熟的盆地, 它们在释放时间上必须尽可能接近以便它们碰到一起。从金属—石油—天然气的大概顺序来看, 它们都来自完全相同的来源是不大可能的。似乎金属在主要的水释放的早期比较易于活动, 而石油和天然气则在深埋之后。当然也可能不是这样。

在试图阐明时间问题时, 必须对相当一部分找油的同行们的意见给以重视, 他们认为石油运移是在早期而不在后期。由石油地质学者了解到的一个在提出成矿模型时也应该牢记的有趣事实是: 石油进入油藏的运移基本上结束了储油岩的成岩作用。这似乎表明, 携带金属的卤水不能发源于现在含油的岩层, 除非是它在石油到达之前就已迁移出来。

在大多数矿区中, 都有一个矿石矿物和脉石矿物的生成顺序, 正如色带(color bandnig)和流体包体资料所表明的, 在矿石沉积时期中溶液成分和温度必曾有过一个均匀而小规模的变化。这个变化也可能



是由流动中化学成分逐渐改变而引起的。在有些矿区中，实际反向的或重复的顺序曾被注意到，这表明存在一个脉冲式的流动。这类不连续的波动也能解释 Viburnum 角砾岩的情况，那里可以圈绘出至少三个不同方向各具不同矿物成分的角砾岩。因晚期角砾岩割早期角砾岩，顺序问题是明显的。这种现象是否反映切卤水来自不同的源地？或者，各不同方向的角砾岩仅仅是在角砾岩发育的瞬间参与活动的溶液化学成分不断变化中的一个片断？

### 矿液 的性质

由于不能直接看到密西西比河谷型矿液的活动，恢复这些矿液的最好的线索，除了流体包裹体分析之外，还来自它们与高浓度盐分一起携带相当多种低浓度金属之外还能完成哪些工作的观察结果。以下各点是最重要的：(1)它们能使石灰岩白云岩化；(2)在许多情况下，它们使主岩硅化；(3)它们能溶解碳酸盐岩石。

完成所有上述任务的能力是同等重要的，而且如果成因类型要取得完全信任的话，就不能忽略这些任务中任何一个。如果同一种流体不能完成密西西比河谷矿液所完成的其他任务的话，只说明这种或那种流体可以运输金属是不能令人信服的。

作为流体包裹体研究的一项成果：近十几年来，在了解密西西比河谷型矿床方面前进最快的或许是在流体运载体的成分和温度这些领域中。如果象一般认为的那样，包裹体是成矿流体的样品，那么这些微小的液泡就为各种成因模式提供了肯定的信息。暂不去考虑 Roedder (1976) 所简洁总结过的详尽事实，我们把注意力直接放在对这些事实的各种解释和主要的分歧和不确定之处。总之，问题是要确定溶液是如何在矿石沉积时期达到它们所在的条件中的。

在大多数所研究过的矿区中，流体包裹体的含盐度落在15—30%范围内，以氯化钠为主要盐分。对于如何得到这样高的盐度，或许最广泛持有的看法是薄膜的渗滤作用。薄膜渗滤作用的确可以提高含盐量，但对此也存在一系列问题，即它是否能把含盐量提高这么多；如米苏里矿区旁边的 Forest City 盆地这样浅的盆地的压力绝不足以通过这种作用使盐份增加到目前所见的3—6倍。

如果薄膜渗滤不能解释高盐度卤水的话，那么还有什么其他的可能性呢？想到的只有下列几种：头两种可能是一，直接与蒸发岩接触，如在 Pine Point, Cheleken 及红海地区那样；二是有一股高盐度的岩浆液体的流入。它们两者都有在许多重要区内看不到

的地质特征的问题，那就是在几个矿区的 100 英里范围内没有大量蒸发岩，在地下深处也不见有重要的火成熔融体的直接迹象（伊利诺斯州南部的 Hicks 穹隆除外）。

第三种可能性是：岩浆对密西西比河谷含矿流体有重大影响的概念，在今日是不大可能被普遍接受的，但是人们不能不为在斑岩铜矿以及其他与火成岩紧密共生的矿床中，愈来愈多地发现高盐度卤水的报道而得到深刻印象。应该承认，这些矿床在某些化学性质方面是不同的。

第四种产生卤水的机制要利用 King (1947), Adams 和 Rodes (1960), Fisher 和 Roddan (1969), Bush (1970) 及 Renfro (1974) 等人提出的浅海蒸发环境，或者 Harris (1973) 提出的在浅的陆棚和盆地中产生白云岩化、高比重卤水的环境，而不要求完整的萨布哈滩的环境。这种机制具有吸引力，因为密西西比河谷型矿床几乎总是和白云岩化作用共生。确实，在密西西比河谷，除了白云岩之外，很少见有矿石产于任何其他碳酸盐岩中，除非其中含有萤石。或许，这种在岩石的成岩作用早期促进了钙质软泥转化的高盐度溶液的作为同生流体存在，而在稍后的时期完成金属的搬运任务。

当然；如果 Folk 和 Land (1975) 以及 Badiozaman (1973) 的论点是正确的，即分布最广泛的白云岩是由稀的而不是超盐度水的活动造成的，那么整个这个与区域性分布的白云岩和浓缩的成矿卤水的关系概念就会崩溃，尽管用它解释局部围绕着含盐流体包体的矿床的蚀变晕圈可能是正确的。几乎所有流体包体测得的钙的含量都大大超过镁，而海水却相反，这一事实表明成矿卤水沿着流动的通道，通过石灰岩的白云岩化作用确曾失去过镁。

正如 Roedder (1976) 曾指出的，硫化物矿物中的流体包裹体资料，似乎排除任何的地下水为主的成因模型的想法。确实，在硫化物沉积的时候，把稀的地下水从这个情景中排除出去似乎是绝对必要的，尽管地下水晚期阶段脉石形成作用中曾经参与；而在许多情况下，脉石形成的温度要低得多。因为矿床是在距地表十分近的地方形成的，为解释在此深度缺乏淡水，似乎要求某些特殊的条件。就 Ozark 地区而论，其本身所表明的可能性为：

(1) 如果矿石是在 Pennsylvanian 页岩完全覆盖 St. Francois 山脉时形成的，则地表水要到达寒武—奥陶系和 Mississippian 期岩石是非常受限制的，目前所知的从穹隆溢出的上升泉就不应该存在。

(2) 如果卤水流是强大的，地下水则可能已

经被此系统淹没了。这可能是对的,但看来很奇怪,如果那里有过一股强大的上升的矿液流,那么在 Old Lead Belt 和三州地区的矿体就应当很少在不透水层之下形成平坦矿体的趋势。

(3) 在浅层成矿环境中不存在深的、淡的地下水,这可能表明矿石是在密西西比河谷处于干旱时形成的。这可能是指志留纪或二叠纪。不幸的是,这几个时期的非海相岩石,在 Ozark 地区均未出现,但是它们却出现在于蒸发岩丰富的俄克拉何马州和密执安州。几乎可以肯定米苏里州的降雨量是有限的,可能与上涌的卤水相遇的淡水很少。

尽管对流体包体和油田卤水的相似性已做过很多介绍,但实际情况是成矿流体的含盐度为15—30%,比油田卤水高出 3/4 还要多得多。这一不涉及金属含量本身的事实,表明成矿卤水如果没有特殊来源的话,必曾有过非常特殊的经历。

任何想把油田卤水和密西西比河谷型矿床联系起来考虑的人,都应很好回顾一下 Cordell (1972) 和 Burst (1969) 关于石油的形成作用和盆地卤水迁移课题的重要讨论。他们关于流体的容积、温度以及其释放时间的早或晚的结论,必然与正在讨论的成矿模型有关。同样,深入了解石油的早期运移说与晚期运移说的正反两面的强烈争论,给人们的印象是,有关盆地的发育、成熟度和流体的排出作用的全部课题都了解得非常差 (Weeks, 1961; Wilson, 1975)。如果我们要把我们的成因模式与石油地质学家的模式结合起来,我们就必须尽可能多地了解盆地的发育情况。

如前面所指明的,一种矿液的某些特点可以从它做了些什么来推导。直到最近,在密西西比河谷的这种证据尚未被充分利用。Carenter 等 (1974), Carpenter 和 Grethen (1979) 以及美国地质调查所 (Erickson 等, 1979) 近来对地球化学的研究是特别值得注意的。多年来大多数注意力很自然地集中到矿石本身,但是岩石蚀变中矿液的作用和碳酸盐的溶液的作用是同样重要的。

作为矿液活动结果的石灰岩重结晶作用和白云岩化作用到处可见,但是在田纳西矿区表现得最为突出。尽管矿石从不大量地产在石灰岩中,但是它确实喜欢产在粗粒的白云岩层中,它是矿体边界之外不远的石灰岩的相当层。许多产在角砾岩中的矿石也出现在细粒“原始”白云岩和石灰岩成互层的地区,石灰岩被溶解掉而白云岩崩塌下来。在角砾岩中,石灰岩碎块从次要到不存在,而白云岩碎块则轮廓分明并呈棱角状,这种溶解石灰岩而不溶解白云岩的能力,肯

定会对矿液的成分和历史产生某些抑制作用。这可解释为溶液的 pH 值随溶液的流动而变化? 还有,既然成矿溶液不大可能在长距离地通过石灰岩之后仍然保留溶解石灰岩的本领,这不是对作为通道的岩层性质提供了线索吗?

在其他矿区,特别是在三州矿区,可以找到燧石结核被破碎的很多例子,看上去好象它们是由内部的膨胀压力而爆开的。Sawkins (1969) 认为这是化学角砾岩化作用的一个实例,这种现象对水泥学家来说是非常熟悉的,他们已经注意到在高 pH 环境下某些硅质集合体的碎裂化作用。如果矿液在漫长的地质时期内使燧石发生类似的反应,那么关于它的化学成分又能说明些什么呢? 类似的角砾岩化关系,包括有细粒白云岩碎块和粗粒而形状奇特的白云石基质,在好几个矿区中都可以见到,化学角砾岩化作用可能在密西西比河谷矿区是一种比过去一般所认识到的更为重要的作用。

对野外地质工作者来说,近年来从实验室得来的关于盆地卤水是否能在同一时间搬运金属和足够数量的硫,并生成矿石矿物的资料是非常混乱的。如果金属和还原硫不是一起搬运的话,那么怎样才能使适量的还原硫在整个相当长的时期内持续到达矿石沉积的场所,并混进矿液中去? 关于这个问题,在地球化学家之间是有许多争论的,而这是至关紧要的问题,解决得愈快愈好。从一种结论摇摆到另一种结论使得成因模型很混乱。其中之一是在一种溶液还是不止一种溶液,或一种溶液和一种来自不同来源的固体或气体的概念之间,来回摇摆。因为不掌握这种基本事实,就根本不可能重建一个可以信赖的水动力系统,其结果便是浑沌一团。

从野外观点来看,可以这样说:在整个矿区范围内(以英里计),精细的成分带以及带有闭塞端的高度复杂的三维孔洞中包体温度顺序,使得急需解释两种溶液的局部混合是怎样参与其中的? 因为条带构造表明矿液在很大范围内曾经具有完全相同的成分和温度。如果混合作用是在进入构造上已准备好场地之前发生的,显然,实现这一点是没有什么问题的。然而,因为地球化学资料表明,当金属和还原硫碰到一起的时候,硫化物就很快地发生沉淀,所以这里还有一个逻辑问题需要解释 (McLimans, 1979)。因此一个不涉及混合作用的模型显然具有各种优点。与围岩的相互作用或许可以解释这种现象,但是矿石碰巧产在多种不同类型的岩石中的事实表明,没有一种主岩是主要的。如果沉积作用是从一个与冷却、压力降、中和作用等有关的单一溶液中产生的,那么就会较容

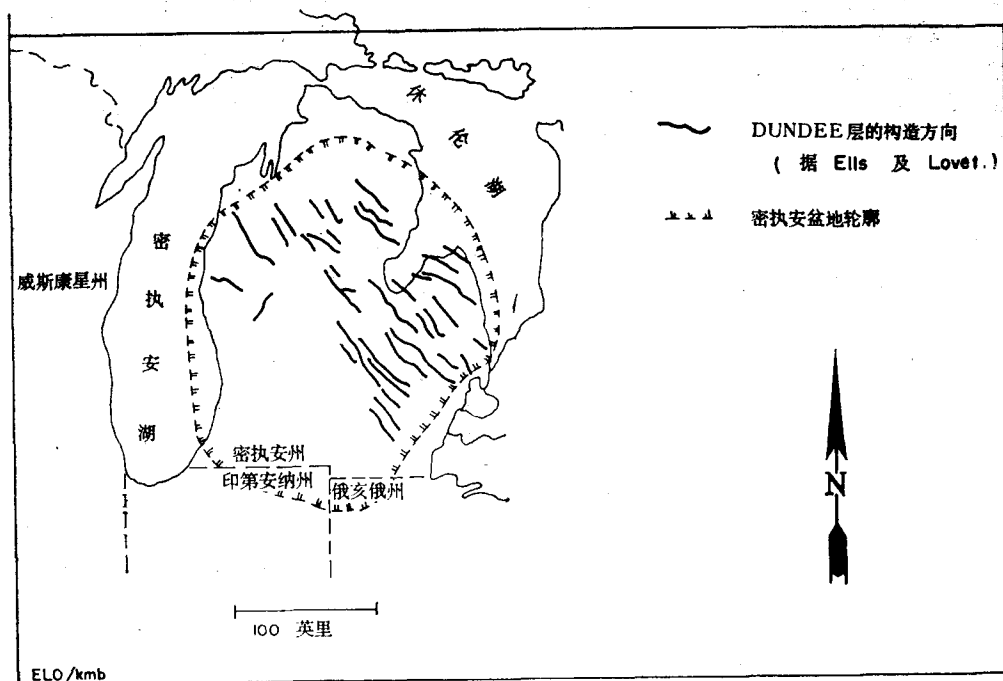


图 3 密执安盆地构造方位图  
(据 Ells, 1969, 和 Lockett, 1947)

易产生一个与矿石表现和分布的事实相符合的结果。

需要更多调查卤水成矿问题的一个方面是在世界范围各油田水中系统地收集金属分析的资料。现在可以得到的数量少得可怜。石油公司照例是不作这种分析的，而且实际上在80年代中期以前，在高盐度溶液中去进行难以测定的金属的仪器还得不到。Carpenter和Grethen (1979), Carpenter等 (1974) Hitchon (1977) 和其他几个作者给出的数据是非常有帮助的，但还需要有更多的数据去确定区域的格式。虽然已有了几百个数据，但还需要上千个才行。

### 温 度

由液体包裹体表明的温度是不可能没有异常的地热梯度的。现在的一些盆地对此而言是太浅了，而在矿床形成时恐怕还要浅些。因而需要有热柱或同生水的深部环流才能使水得到充分加热。这同一营力也可为水流提供动力。这种温度要比大多数油气藏的温度高些，例如在墨西哥湾海岸油藏温度为93℃，气藏温度为104℃，事实上，墨西哥湾海岸生产的90%的石油温度低于150℃，深度比大多数美国中部地区盆地深得多，这进一步表明许多包裹体温度是高度异常的 (Paul H. Jones, 私人通讯, 1979)。

另一个考虑是，大多数包裹体温度对于在许多成

因模型中，作为组成部分的硫还原细菌的有效繁殖率来说是太高了。这是很多成因类型的一个组成部分。H<sub>2</sub>S不是来自较浅的、侧向移动的较冷的来源。该处细菌可能更起作用吗？或者H<sub>2</sub>S不是来自硫酸盐和烃的交互作用吗？这些当然涉及与看来曾是非常丰富的卤水相混合的问题。硫捕 (sulfur trap) 或还原硫系统的产出可能是矿石呈斑块状产出的主要关键。

在过去的几十年间，在美国中部地区曾发现了表明古生代火成活动的许多直接证据 (Kisvarsanyi和Kisvarsanyi, 1976; Heyl, 1972)。其中包括新、老铅矿带附近Bonneterre时期的爆破角砾岩、附近的泥盆纪火山道、Hicks穹隆以及上密西西比湾巨大的火成侵入体，以及田纳西州和肯塔基州中奥陶系中几层斑脱岩。热源的存在是不容置疑的。事实上，上涌热卤水在美国中部地区可能曾到处出现过，这可由许多矿区以及无数的采石场中显示相同流体包裹体条件的闪锌矿、方铅矿、重晶石和萤石而得以表示出来。然而，由于从基底上来的热流的分布不均一，流量可能是不一样的。这可能就是矿石级矿化作用局部产出的另一因素。

### 运移的途径

不幸的是，导致形成经济矿床的流动着的矿液没

有留下已经辨认出来的、明显的、可以说明问题的痕迹。然而,根据存在于矿床形成时的构造环境的指引,可以得出某些有关流线的可能方向的结论。由于应用了水动力学定律,溶液将经由最方便的通道沿着压力梯度向下流。主要的驱动力可能是由压实作用,或构造压缩,或上涌热柱,或密度差所提供的。扩散作用、毛细管作用和重结晶压力是存在的,但可能不是主要的因素。不论哪一种驱动力,其强度都是中等的,所以只能利用旧有的通道而不是用新打开的通道。透水性的岩层或任何连通的裂缝都不可以忽略,就好像不透水页岩或岩墙必将引导或限制流通不能被忽略一样。分支断层必然会对传导的效能发生影响。而且也象其他条件那样重要,必然要有一个出口,因为需要有大量低品位的溶液通过矿道。观察今天密西西比河谷地区强烈的裂隙和断层,人们会惊叹要有多少矿液到达这里才能形成一个矿体!

几个密西西比河谷矿床突出的特点之一是矿床沿着岩相变化线产出的趋势,诸如礁相至外礁相、大陆架白云岩相至盆地石灰岩相、或碳酸盐相至页岩相。密苏里东南部可能是最明显的例子了,但田纳西州、不列颠哥伦比亚(Macqueen和Thompson, 1978),和Pine Point矿区也都显示了这一特点。这究竟是由于在不同岩石中促使矿石矿物沉淀的化学反应所引起的呢,还是由于诸如浓缩矿液的渗透率这类物理因素所引起的,还不清楚。在Pine Point,多孔的礁相由于

倾斜而向下延伸到邻近的盆地中去,在那里,可清楚地见到礁相作为同生水溢出的通道(当然,倘若倾斜作用是成矿前的),但这种情况是独一无二的。在Viburnum走向和其他含礁相的地区,这些礁相构造带趋向于平行盆地边缘分布,它们未曾明显地被倾斜过,因而它们并不伸入深部的潜在的卤水源。在这类情况下,其他类型的层间渗透性和裂隙必曾被利用过。

## 结 论

在结束这篇关于密西西比河谷型矿床成因的盆地在结束卤水假说某些问题的评述时,恳请所有地质学家对它持以探询和批判的态度。在我们的面前摆着一个有希望的概念,但是被接受作为一个最终的答案又太匆忙了,或许我们对它的作用的了解还很模糊。在所有的能被了解之前,尚有进行大量研究的余地。我的意见是,如果经常地注意这些惊人的矿床形成时所出现的全部地质背景的话,那么我们的解释可能会更正确一些。

### 作者地址:

P. O. Box 15787  
Salt Lake City, Utah 84115

译者: 朱上庆

校者: 郑闰初

参考文献目录见144页

# 日本矽卡岩矿床的特征及与酸性岩浆作用的关系

岛崎 吉彦

## 摘要

日本的大多数矽卡岩矿床,在成因上均与白垩纪或中新世的酸性火成岩活动有关。Ishihara, (石原,1977)将日本花岗质岩石分成含磁铁矿的和不含磁铁矿或钛铁矿的两大系列。本文描述了与两类花岗质岩石相伴生的矽卡岩矿床的特点。1,绿帘石矽卡岩通常见于与含磁铁矿花岗岩类有关的矿床中;而斜长石-斜辉石矽卡岩则见于与钛铁矿花岗岩类有关的矿床中。2,铁钙蔷薇辉石(理论式为 $\text{Ca}_5\text{FeSi}_6\text{O}_{18}$ )产于与钛铁矿花岗岩类伴生的某些矿床中。3,以钙铝榴石-钙铁辉石组合为特征的某些白钨矿矽卡岩,也是与钛铁矿花岗岩类伴生的。4,含金矽卡岩趋向于与含磁铁矿的花岗岩类相伴生。

上述事实揭示了各种氧化态花岗质岩浆与各种氧化态的有关矽卡岩成岩水溶液之间的关系。这种关系强有力地表明矽卡岩的成岩溶液基本上来源于花岗质岩浆。在较浅部的环境中这种关系并不明显,这表明流体同各种氧化态物质的相互作用。

## 前言

近几年来,花岗岩石学的研究取得了显著进展。在许多有关花岗质岩石成因的最新论著中,石原及其同事们的著述特别值得注意(例如Ishihara, 1971; Kanaya和Ishihara, 1973; Tsusue和Ishihara, 1974; Ishihara, 1977)。下面是这些论著的要点。花岗质岩石可分为两类,即磁铁矿系列和钛铁矿系列。这两个系列的花岗质岩石,其特征是除了 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值外,大部分化学组成几乎是相同的。磁铁矿系列的花岗质岩石特征是含有作为次要氧化物的磁铁矿和钛铁矿,且 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比值较高。钛铁矿系列的花岗质岩石,只含有微量的钛铁矿,基本上没有磁铁矿存在。

澳大利亚的岩石学家们,对花岗质岩石提出了类似的分类。根据岩石的各种特点推测,澳大利亚东南部的Lachlan褶皱带和欧洲西部的海西造山带中(Chappell和White, 1974; White等, 1977)识别出的I-型花岗质岩石和S-型花岗质岩石,与在日本识别出的磁铁矿花岗岩类和钛铁矿花岗岩类似乎是相当的,但仅仅是极一般的相当。

主要根据K-Ar年龄(Kawano和Ueda, 1967; Ishihara和Saski, 1973),在日本岛弧可识别出以下各花岗岩带(图1):早白垩世Kitakami岩带;中白垩世Abukuma岩带;中至晚白垩世Sanyo-Naegi岩带;中至晚白垩世Ryoke岩带;晚白垩世至早第三纪

Nikko-Uetsu岩带;早第三纪Sanin-Shirakawa岩带;第三纪Hidaka岩带;中新世日本西南部外带和中新世Joshin-Kobu岩带。

在图1中略去了白垩纪以前的花岗质岩石和零星见于所谓中新世Green Tuff地区的花岗质岩石,因为它们仅在局部地区出现,而且与日本矽卡岩矿床没有重要的关系。如图所示,每一个花岗岩带都往往属于两个系列中的某一个系列。然而,某些例外是值得注意的。例如Kitekami岩带北部展布的花岗岩属于钛铁矿系列,而这个岩带主体部分的花岗岩却属于磁铁矿系列;Abukuma岩带中花岗质岩石的性质由东向西逐渐变化,即由磁铁矿系列变为钛铁矿系列。类似的特点在日本西南部内带中也可见到。Sanyo-Naegi岩带两端的花岗质岩石(图1中H)属于磁铁矿系列,与该带中部和东部花岗质岩石所属的系列不同<sup>①</sup>。尽管图中未作表示,但Sanyo-Naegi岩带中的岩石逐渐获得了向北通过的磁铁矿系列的特征,结果使Sanyo-Naegi岩带和Sanin-Shirakawa岩带之间出现明显连

① 最近Ishihara (1979)认为,该带的西端是Sanin-Shirakawa岩带的延伸部分。然而,Sanyo-Naegi岩带西端的侵入年龄(一般约为90百万年)与该带中部和东部的侵入年龄是连续的(60—90百万年),而与Sanin-Shirakawa岩带的年龄(40—60百万年)却完全不同。基于这一事实,Sanyo-Naegi岩带在本文中仍按照图1所示的界限确定。





图1 日本花岗岩质岩石(点区)分布图(据Ishihara修改, 1977)。H和L表示具高磁化率和低磁化率的花岗岩(分别与磁铁花岗岩和钛铁花岗岩相当)的分布区; FM, Fossa Magna; MTL, 中央构造线; HK, Hidaka; KT, Kitakami; AB, Abukuma; NU, Nikko-Uetsu; JK, Joshin-Kobu; SI, Sanin-Shirakawa; SY, Sanyo-Naegi; RY, Ryoke; 和SWO, 日本西南部花岗岩带外带

的特征变化。

Ishihara 及其同事们提及某些矿床类型和两个花岗岩系列之间的关系。例如, 锡-黑钨矿的矿化作用被援引作为钛铁花岗岩类的主要特征之一; 而白钨矿-金的矿化作用和斑岩铜矿床, 则被认为仅与环太平洋地区的磁铁花岗岩类有关 (Ishihara, 1977)。

本文将对日本矽卡岩矿床的某些特性进行总结。然后, 将从岩浆和矽卡岩成岩溶液的氧化状态的观点出发, 对这些特性和伴生花岗岩类之间的关系加以讨论。Burt (1971) 推算了日本某些矽卡岩矿床在形成时的相对氧逸度和二氧化碳逸度, 本研究所得的氧逸度的推算值与他的推算值并无多大差别。

### 日本矽卡岩矿床

日本岛弧分布有许多矽卡岩矿床。虽然目前大约

只有10座矿山从事生产, 但在过去进行开采的矿山却超过了100座。这些矿山正在生产或者一直生产着这样一些金属, 如 Cu、Zn、Pb、Fe、Au、Ag、W、Mo、As 和 Sn 等。矿床几乎只与酸性(少数情况下乃至中性)岩浆作用有关。Shimazaki (1975) 从 Cu/Zn + Pb 比值的观点出发, 概述了近年来在日本开采的矽卡岩矿床的性质。该文对49个主要矿床的产地、生产的金属种类以及有关火成岩活动的类型等都涉及到了, 这里不再重复。本文中所有各矿山名称之后的括弧内的数字表示 Shimazaki 所定的矿山编号 (1975, 表1)。

除了前文概述的花岗质岩石的活动性外, 还观察到了这类岩石在某些岩带中的喷出相。许多矽卡岩矿床形成于与这些喷出岩类有关的较浅的地质环境中。在白垩纪至早第三纪的酸性岩浆生成物中, 只有 Sanyo-Naegi 的花岗岩活动保留有覆盖广大面积的喷出岩等量物。这些喷出岩可在日本西南部内带沿 Sanyo-Naegi 岩带和 Sanin-Shirakawa 岩带间的边界一带见到(参见 Shimazaki, 1975, 图3), 在不同地

区它们分别被叫做 Nohi, Ikuno 和 Takada 流纹岩。这类酸性喷发活动, 被认为对某些矽卡岩矿床的形成起了极为重要的作用。举例来说, Kamioka (17), Nakatatsu (26) 和 Tsumo (36) 等矿区就是如此。

日本岛弧在中新世曾发生过强烈的酸性岩浆作用, 并形成了众多的矽卡岩矿床。由于未经充分侵蚀, 所以大多数矿床是在与喷发岩有关的现代侵蚀面附近开采的, 从而表明这类矿床是在比较浅的环境中形成的。这类矿床包括 Waga-Sennin (7), Ōhori (9), Akatani (16), Hōei (45), Obira (46) 等。富含铝和锌的矿床, 不管其形成年代如何, 只形成于此种浅成环境中 (Shimazaki, 1975)。

相反, 人们发现许多矿床特别是日本东北部和日本西南部内带中的矽卡岩矿床, 一般与前文中提到的各类花岗岩侵入体有关。这类矿床包括 Kamaishi

表 1 日本矽卡岩矿床的分类和表示

磁 铁 矿 系 列 (I)			钛 铁 矿 系 列	
(II) 较 浅 环 境	Katsuraoka (1)	Fe, Zn	Kamioka (17)	Zn, Pb, Cu, Ag, Au
	Waga-Sennin (7) ●	Fe, Cu, Ag	Nakatatsu (26)	Zn, Pb, Cu, Ag, Mo
	Ōhori (9) ●	Zn, Pb, Cu, Ag, Au	Tsumo (36)	Fe, Zn, Cu, Pb, W, Ag, Au
	Magome' (12) ●	Pb, Zn, Ag	Sasagatani (37)	Zn, Cu, As, Ag, Au
	Iide' (15) ●	Zn, Pb, Cu, Ag	Hōci (45) ●	Zn, Sn, Cu, Pb, Ag
	Akatani (16) ●	Fe, Cu, Ag, Au	Obira (46) ●	As, Cu, Sn, Zn, Pb, Ag
较 深 环 境	Kamaishi (4)	Fe, Cu, Ag, Au	Yoshioka (27) (Sasano 矿床)	Cu, Ag
	Ōminé (5)	Cu, Ag, Au	Sanpō (29)	Fe, Cu, Ag
	Akagané (6)	Fe, Cu, Ag, Au	Kawayama (38)	Cu, Zn, Ag
	Yaguki (11)	Fe, Cu, W, Ag, Au	Kuga (39)	Cu, W, Zn, Sn, Ag, Au
	Chichibu (14)'	Fe, Zn, Cu, Pb, As, Ag, Au	Fujigatani (40)	W, Cu, Ag, Au
	Yoshiwara (44)	Fe, Cu, Ag, Au	Yamato (43)	Cu, Ag

(I) = 由深成相判断的酸性岩浆作用的性质;

(II) = 矽卡岩矿床的形成深度, 由与酸性岩浆作用有关的深成相或喷出相判断;

● = 与中新世酸性岩浆作用有关的矿床。

(4), Yaguki(11), Sanpō (29), Kawayama(38), Fujigatani(40) 等。正如下面将要论述的, 这些矿床形成于较深的环境中, 似乎与其相伴生的花岗质岩石有关。

在下文中将要强调指出, 伴生的酸性岩浆作用以及矽卡岩矿床形成的深度, 对于控制矽卡岩成岩溶液的氧化状态是重要的。日本矽卡岩矿床的成因分类如表 1 所示, 这一分类是以矿床形成的估计环境为基础的, 表内还列出了以下讨论将引用的某些有代表性矿床产出的金属名称和种类, 某些代表性的矿床在下文中论述中将要援引到。关于金属产量的数据引自国际贸易和工业部过去 31 年 (1941—1971) 未发表的年度报告 (Shimazaki, 1975), 最近的产量也考虑到了。

### 绿帘石矽卡岩和斜长石-斜辉石矽卡岩

在矽卡岩体内部及其附近, 有时可见到由于从碳酸盐岩石中提供钙, 由诸如页岩和凝灰岩等高铝岩石生成的高铝矽卡岩 (aluminous skarns)。在此情况下, 矽卡岩氧化铝的含量与其周围高铝岩石没有多大不同, 但是岩石中氧化钙的含量却明显地增加了。这类高铝矽卡岩, 通常包括绿帘石-斜黝帘石、斜长石、斜辉石、阳起石、石英、榍石等矿物。其中绿帘石矽卡岩和斜长石-斜辉石矽卡岩可以作为这两类高铝矽卡岩的代表。

绿帘石矽卡岩, 在多数情况下差不多均以单矿物形式产出, 含有微量的石英、阳起石、斜长石和葡萄石。斜长石-斜辉石矽卡岩, 主要由斜长石和斜辉石

组成, 偶尔含有少量的石英、阳起石、斜黝帘石和榍石。如图 2 所示, 这两种矽卡岩的主要化学成分, 如钙、铝和金铁等几乎都是相同的, 但  $Fe^{3+}/Fe^{2+}$  的比值有较大的差别。事实表明, 矽卡岩成岩溶液的氧化状态, 是影响这两类高铝矽卡岩形成的主要因素, 即绿帘石矽卡岩可能是在较高的氧化状态下形成的, 而斜长石-斜辉石矽卡岩是在较低的氧化状态下形成的。

图 3 系 Lion (1973) 编制的用以表示绿帘石稳定性的氧逸度-温度图解。如图 3 所示, 绿帘石的稳定范围, 随氧逸度的增加而向高温和低温两个方向扩展。在氧逸度较低条件下, 有过量的石英出现时, 绿帘石变得不稳定, 而钙长石+钙铁辉石组合却变得稳定起来, 如在天然斜长石-斜辉石矽卡岩中所看到的那样。这种关系支持了上面介绍过的假说。

图 2 包含了采自 Yoshioka 矿山 Sasano 矿床斜长石-斜辉石矽卡岩的斜长石和斜辉石的电子显微探针研究成果 (27)。岩石的基本化学成分也标绘在图 2 中。连接线表示斜长石中钙长石的含量以及伴生斜辉石中钙铁辉石的含量, 这些含量从黑云母角页岩一侧到矽卡岩体一侧 (甚至在手标本上也可看出) 逐渐增加。这大概是由于从矽卡岩体一侧提供的钙和铁的化学势梯度造成的。

图 4 表示具绿帘石矽卡岩和斜长石-斜辉石矽卡岩的矽卡岩矿床的分布情况, 以及绿帘石本身在矿床内及其周围产出频率的情况。在某些与磁铁矿花岗岩类相关的矿床, 如 Kamaishi (4), Akagané (6), Yaguki (11) 和 Chichibu (14) 等矿中, 独特地观察到

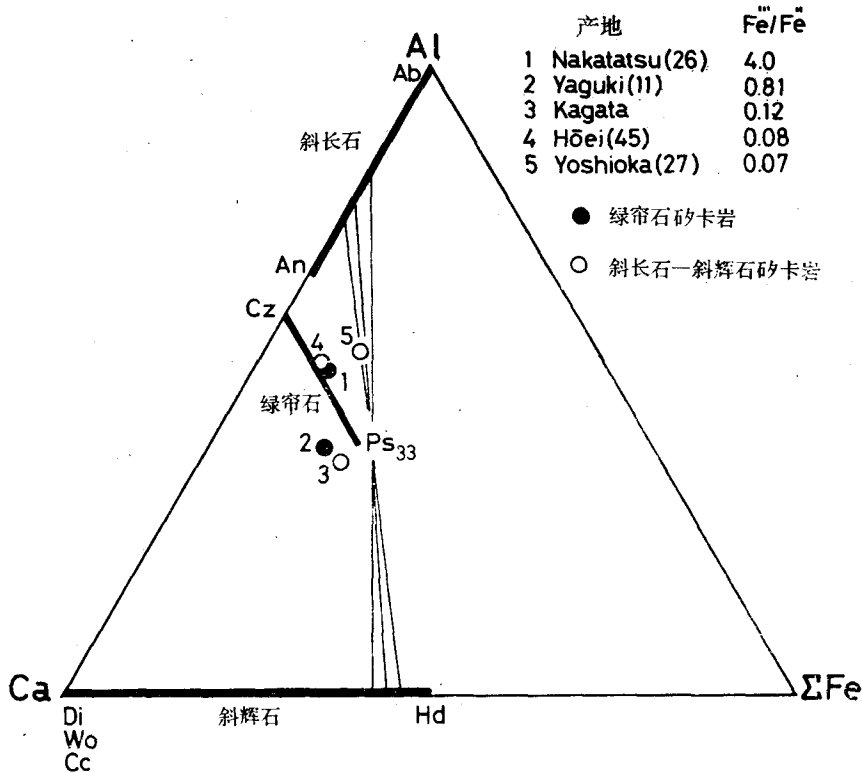


图 2 表明绿帘石砂卡岩和斜长石-斜辉石砂卡岩主要成分的 Al—Ca—全Fe 图解。斜长石 和斜辉石的连线表示来自 Yoshioka 矿山(27)晚期砂卡岩与其相互伴生的各相的组分。Ab, 钠长石; An, 钙长石; Cc, 方解石; Cz, 斜黧帘石; Di, 透辉石; Hd, 钙镁辉石; Ps<sub>33</sub>, 含 33%克分子富铁绿帘石的绿帘石; Wo, 硅灰石

了绿帘石砂卡岩。在与喷发岩相关的矿床, 如 Kamioka(17) 和 Nakatatsu (26) 矿山中也观察到了绿帘石砂卡岩。促成这类矿床的砂卡岩成岩溶液, 估计可能是较为氧化的。尽管 Kamioka 矿山(17)的砂卡岩矿床被认为是由于砂卡岩成岩溶液与原生石灰岩中的石墨发生反应, 而在还原环境中形成的(例如 Burt, 1971), 但根据矿床周围绿帘石砂卡岩的大量出现可以推测, 在这个区域占优势的原始砂卡岩成岩溶液是氧化状态的。仅在较高氧逸度下稳定并富含富铁绿帘石(Pistacite)的绿帘石成分支持了这一推论(Lion, 1973), 矿化作用晚期赤铁矿的沉淀作用也支持了这一推论。

斜长石-斜辉石砂卡岩可见于与钛铁矿花岗岩类相关的少数矿床中, 如图 4 所示。这种砂卡岩也见于 Kitakami 岩带的矿床中, 如 Yamaguchi (3) 和 Ōminé (5) 矿山的矿床中。Ōminé 矿山的矿床(称为 Kamaishi 的 Nippo 矿床)象在 Kitakami 岩带中所描述的那样是与钛铁矿花岗岩类相伴

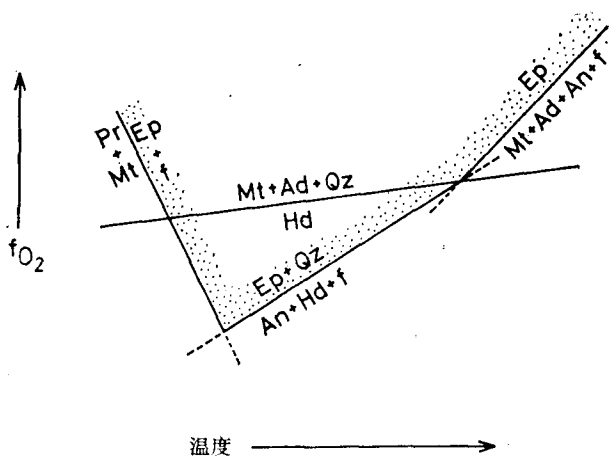


图 3 绿帘石的氧逸度-温度关系图解(据 Lion 简化, 1973)。Ad, 钙铁榴石; An, 钙长石; Ep, 绿帘石; Hd, 钙铁辉石; Mt, 磁铁矿; Pr, 葡萄石; Qz, 石英; f, 含水的流体

生的\*。如下文所述, 在与钛铁矿花岗岩类岩石有关

\* 此处原文有误, 是译意。

的矿床中独特发现的一种矿物，即铁钙蔷薇辉石的产状，也是从这些矿床报道的 (Matsueda, 1974)。矿床生成于角砾岩化黑云母角页岩中，成筒状或透镜状体，沿垂直方向延伸达 600 米以上。矽卡岩成岩溶液由于长距离地通过高铝沉积物 (现已转变为黑云母角页岩)，很可能被还原了。在这些矿床的下部，近来已进一步证实存在着普通的石灰岩成因的石榴石-斜辉石矽卡岩，其性质与 Kamaishi 矿山 (4) 中发现的矽卡岩相类似 (Hamabe 和 Kawahata, 1979)。

在天然矽卡岩矿床中尽管相的关系确定于除了氧逸度以外的许多因素，诸如基本化学成分、温度、总压力、 $H_2O$  和  $CO_2$  的分压等等，但绿帘石在矽卡岩矿床中的产状可能是形成作用的氧化状态的近似指示物，因为绿帘石 (外加石英) 在相对还原的状态下，其稳定性是有限的，此种情形定性地示于图 3 中。根据这一设想，矽卡岩矿床中绿帘石的含量多少定性地示于图 4 中。富绿帘石或贫绿帘石的矿床分类，主要是根据作者最近的研究，然而对某些矿床，却是利用其他一些研究者的描述性工作成果 (例如日本矿山工业会社, 1965)。

Lion (1973) 的实验工作清楚地表明，绿帘石中富铁绿帘石的含量强烈地受氧逸度的影响。含有 33% 克分子富铁绿帘石分子的绿帘石，只有在氧逸度高于  $Cu-CuO$  缓冲剂氧逸度的条件下才是稳定的。根据作者的初步研究，这样的绿帘石见于 Kamaishi (4)，Akagane (6)，Yaguki (11) 和 Kamioka (17) 等矿山的矿床中。图 4 所示的大多数矽卡岩矿床中，绿帘石通常呈黄绿色，虽然尚未经过分析，但看起来或多或少地富含富铁绿帘石的分子。然而，在 Fujigatani 矿山 (40) 的矿床中，沿黑云母角页岩和钙铝榴石-钙铁辉石矽卡岩之间的分界，有无色的斜黝帘石产出。虽然 Ito (1960) 曾把它当作绿帘石描述过，但矿物中的富铁绿帘石分子变化范围，在 10—15% 克分子之间，而且其生成作用明显地不太受氧逸度的影响。为了更好地确定矽卡岩成岩溶液的氧化状态，必需对其他矽卡岩中绿帘石矿物的成分进行检验，遗憾的是，至今尚

- 与深成岩类伴生的矽卡岩矿床
- ▲ 与喷出岩类伴生的矽卡岩矿床
- 具绿帘石矽卡岩的矽卡岩矿床
- 富绿帘石的矽卡岩矿床
- 贫绿帘石的矽卡岩矿床
- 具斜长石-斜辉石矽卡岩的矽卡岩矿床



图 4 日本绿帘石矽卡岩和斜长石-斜辉石矽卡岩的分布，以及矽卡岩中绿帘石的产出频率

未为此目的积累起足够的定量资料。

作为结论性意见，应该注意的是，具有绿帘石矽卡岩的矽卡岩矿床和比较富含绿帘石的矿床，与磁铁花岗岩类有关，而具有斜长石-斜辉石矽卡岩的矿床和比较贫于绿帘石的矿床，则与钛铁花岗岩类有关。与喷发岩类有关的矽卡岩矿床属于前者，尽管在 Hōei 矿区 (45) 的矿床中具有典型的斜长石-斜辉石矽卡岩。可以把这种关系理解为表示矽卡岩成岩溶液的氧化状态与酸性岩浆作用的性质有一定关系，特别是在矿床与深成岩伴生的情况下更是如此。尽管本文表明的相互关系就它们本身来说并不足以确定这种联系，但却存在着表明同一联系的其它事实，将在下文中进行讨论。

### 铁钙蔷薇辉石和含白钨矿钙铝榴石-钙铁辉石矽卡岩的产状

日本矽卡岩中大量白钨矿的沉淀，被认为是在相对还原的环境中进行的，即在氧逸度低于  $FeS-FeS_2$ -