

经济地质

75 卷 第 四 期

美国

ECONOMIC GEOLOGY

and

the Bulletin of the Society of Economic Geologists

1980

(六月一七月)

地 质 出 版 社

3,2
4

美国《经济地质》

中译本、半季一期

1980年6月—7月

75卷·第4期

编辑者：美国《经济地质》中译本编辑部

出版者：地质出版社
(北京西四)

印刷者：地质印刷厂
(北京安德路47号)

发行者：新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

统一书号：15038·新694 定价：1.00元 开本：787×1092¹/₁₆ 印张：5³/₄ 字数：138,000

E

《经济地质》75卷第五期目录

(预 告)

内华达州 Carlin 金矿床的地质概况和稳定同位素研究

亚利桑那州 Pima 县 Sierrita 斑岩铜矿床 Ruby-Star 花

岗闪长岩中与破裂有关的渗透性的演化问题

英格兰约克郡黑色页岩成岩过程中痕量元素进入黄铁矿内的结合作用

不列颠哥伦比亚 Britannia 区中受形变的中生代火山成因的 Cu-Zn 硫化物矿床

堪萨斯州中南部二叠统红层型铜矿化的矿物学特征及其共生组合

怀俄明州黄石地热区土壤汞的分布及土壤中汞的异常发育

Cu-Fe-Zn-S 体系的研究: 闪锌矿的矿相 关系英国康

沃尔西南部早期和主期矿化的年代问题

科学通讯

加拿大安大略 Timmins 地区某一太古代“斑岩型”铜矿床的 N-Kb 模式

Duluth 杂岩体中石墨的成因

自动射线照相在含铀样品结构分析的若干应用

讨论

从板块构造观点对沉积磷矿床时空分布特征进行再评价 —— 讨论和问答

目 录

北卡罗来纳州Hamme地区Tungsten Queen矿床变形前热液成因的结构和构造证据

.....M. P. Foose, J. F. Slack, M. Casadevall (1)

北卡罗来纳Vance县Hamme矿区的 Tungsten Queen 矿床: 变质石英-钨锰矿脉的稳定同位素研

究 T. Casadevall和R. O. Rye (7)

利比亚Wadi Shatti地区上泥盆统铁岩中成岩菱铁矿和磁铁矿的碳、氧同位素比值

..... K. M. Hargari, S. N. Ahmad和E. C. Perry, Jr. (20)

澳大利亚西部 Kambalda 的 Juan 杂岩体中镍矿石的分布、岩石学和成因

..... R. J. Marston和B. D. Kay (26)

巴布亚新几内亚、新不列颠 Uasilau-Yau Yau 斑岩铜矿远景区的地质年代学

..... J. B. Whalen和I. Mc-Dougall (44)

印度西部前寒武系中 Ambaji 和 Deri 两个层状块状硫化物矿床的成因和变质作用..... M. Deb (49)

次生氧化硅中的铀: 一种可能的 普查标志 R. A. Zielinski (64)

科学通讯

沉积卤水中的溶解甲烷: 对流体包裹体 PVT特性上的可能影响..... J. S. Hanor (73)

与有机物质伴生的矿床中铀的产出形式..... A. H. Vassiliou (87)

参考文献目录..... (85)

第五期目录 (预告)..... (封三)

北卡罗来纳州Hamme地区Tungsten/Queen

矿床变形前热液成因的脉构和构造证据

M. P. Foose, J. F. Slack, M. Casadevall

摘 要

Hamme 钨矿区是由北卡罗来纳山麓一系列陡倾斜的石英-黑钨矿脉组成。矿脉集中在早古生代 Vance 县深成岩体边缘附近,沿该深成岩体与卡罗来纳板岩带中绿片岩相的变泥质岩和变火山岩的南部接触带分布。Tungsten Queen 矿床产在这些石英脉中的 Sneed-Walker 脉中。该脉厚 0—10 米,走向 N35°E,在板岩带岩石和花岗岩深成体中延伸长约 3500 米。该矿床已采到近 520 米深,矿床中包含有 8 条呈雁行状排列的矿脉,这些矿脉在 S10°E 和 S10°W 之间的走向上呈 42—65°角倾伏。矿脉通常被包在石英-绢云母-云英岩的薄透镜体里。主要矿石矿物是钨锰矿,并伴有分散产出的黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿和黝铜矿。脉石矿物以石英占绝对优势,伴有少量萤石、绢云母和碳酸盐。

小构造和矿物结构研究表明,围岩及矿脉里的矿石矿物和脉石矿物至少遭受过两期变形。第一期变形产生了比较平缓的敞开的和微倾伏的褶皱;第二期变形是一期强烈的右旋剪切作用,产生了陡倾伏的紧密褶皱和大量北东走向的剪裂隙。这一期变形还导致矿石矿物和脉石矿物与脉壁呈明显的斜交排列,并且可能形成了雁行状分布的矿脉。

在矿脉相对未变形的部分,自形的钨锰矿晶体晶簇垂直于脉层排列。某些柱状晶体在其顶端具有硫化物帽,并且在光片里显示出同心状生长带。这些特征与在未变质的含钨热液脉矿床里(象秘鲁的 Pastor Bueno, 英国的 Carrock Fell, 葡萄牙的 Panasqueria) 所见到的结构很类似。矿物结构和小构造的关系表明, Tungsten Queen 矿床是通过线性断裂的开放空间充填形成的,并且后来至少经历了两期褶皱和剪切作用的变形。

前 言

Hamme 钨矿区在北卡罗来纳州 Vance 县北部和弗吉尼亚州 Mecklenburg 县南部长 13 公里,宽 2 公里呈北东向带状延伸。该区产有美国最大的石英-黑钨矿型脉状矿床。区内可见到 50 多条含钨脉 (Espenshade, 1947),自第二次世界大战以来该区共生产了约 1 百万吨的 WO_3 。矿山开采在钨价格出现急剧下跌之后于 1971 年终止;目前该区无采矿活动。

本文的主题是 Hamme 钨矿区一个脉状矿床即 Tungsten Queen 矿床中矿脉里矿物和小构造之间的关系。Tungsten Queen 矿床的矿山开采是在深达 520 米和长约 2000 米的 8 个主平巷上进行。在区内最深的矿山——1700 主平巷——上所观察到的上述关系已证明是最有权威性的。该主平巷只是最近才开放, Espenshade (1947) 和 Gair (1977) 以前研究时都未能利用。与在 1700 主平巷上所看到的脉中矿物与小构造之间的关系类似的关系在 700、1100、1300 和 1500 几个主平巷上也可看到。

这次研究进一步充实了我们以前对由脉中矿物及有关的小构造所显示出的某些特征的初步观察 (Slack 等, 1978; Foose 和 Slack, 1978)。我们的目的是确定和证明矿化与变形之间的关系,以便更好地弄清楚 Tungsten Queen 矿床的成因。在最近发表的一篇论文里, Casadevall 和 Rye (1980) 概括了以前关于 Tungsten Queen 矿床成因及其区域地质情况的论述。他们的著作是通过稳定同位素的研究来探讨该矿床的成因。

矿床概况

Hamme 地区位于南阿巴拉契亚山麓卡罗来纳板岩带内。该区的含钨石英脉沿 Vance 县花岗岩深成体与围岩——板岩和千枚岩——的西部接触带分布 (图 1)。围岩时代被认为是晚前寒武纪到早古生代 (Glover 和 Sinha, 1973; Wright 和 Seiders, 1977); 类似于 Vance 县深成岩的花岗岩经 Rb-Sr 和 U-Pb 法绝对年龄测定为 520—620 百万年 (Fullagar, 1971; Glover 和 Sinha, 1973)。虽然 Hamme 地区的地质历史研究

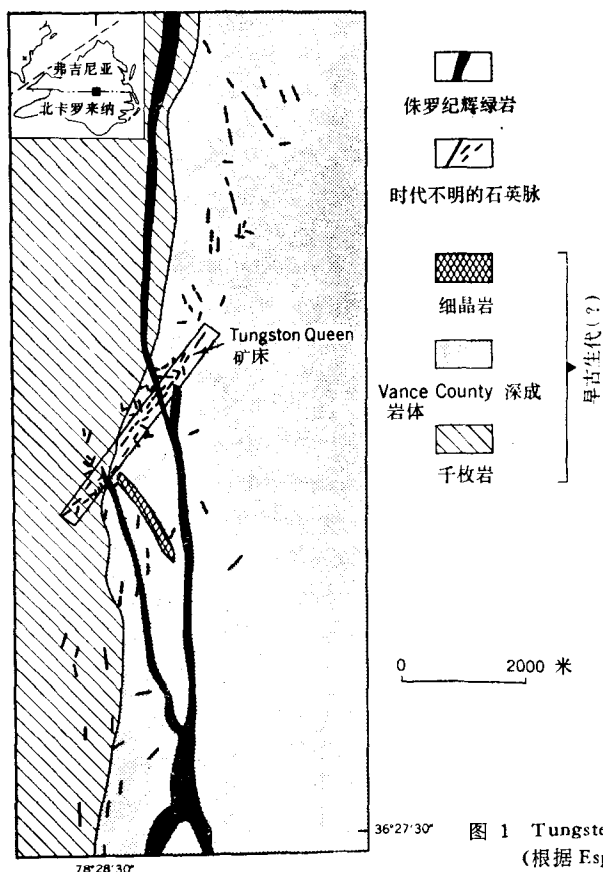


图 1 Tungsten Queen 矿床简要地质图
(根据 Espenshade 1947 年的图修订)

得远远不够详细,但是通过与其有关的板岩带岩石的研究表明该区具有复杂的地质历史,即包括至少两期变形作用、变形过程中及其变形后短期内发生的花岗岩侵入体的侵位、以及一期变质作用 (Tobisch 和 Glover, 1971; Glover 和 Sinha, 1973)。

Espenshade (1947) 通过对 Hamme 地区的填图查明该区矿脉主要沿三个方向分布 (图1)。在该区南部,矿脉主要为南—北走向,而该区北部的矿脉呈近 $N35^{\circ}W$ 方向摆布。在该区中部,脉的走向以 $N35^{\circ}E$ 占绝对优势,但是南—北走向及北—西走向的矿脉也很常见。这几组脉中哪一组最重要是不清楚的,因为所有三组脉中都产有钨矿物。然而,主要的钨矿产量是来自该区中部花岗岩与千枚岩接触带附近的北—东走向的脉中。

Snead-Walker 脉是 Tungsten Queen 矿床产出的—条矿化脉。它沿 $N35^{\circ}E$ 方向断续延伸约 3500 米。该脉宽 10 米,通常向东南陡倾。矿脉的最主要内部特征是具有由下列诸因素所显示出来的条带: (1) 白云母的薄层富集; (2) 千枚岩或片岩的板状或透镜状包体; (3) 矿石矿物丰度的变化; (4) 石英颜色或结构的细微变化; (5) 有次生褐铁矿沿其沉积的薄的分离带。矿脉和脉中

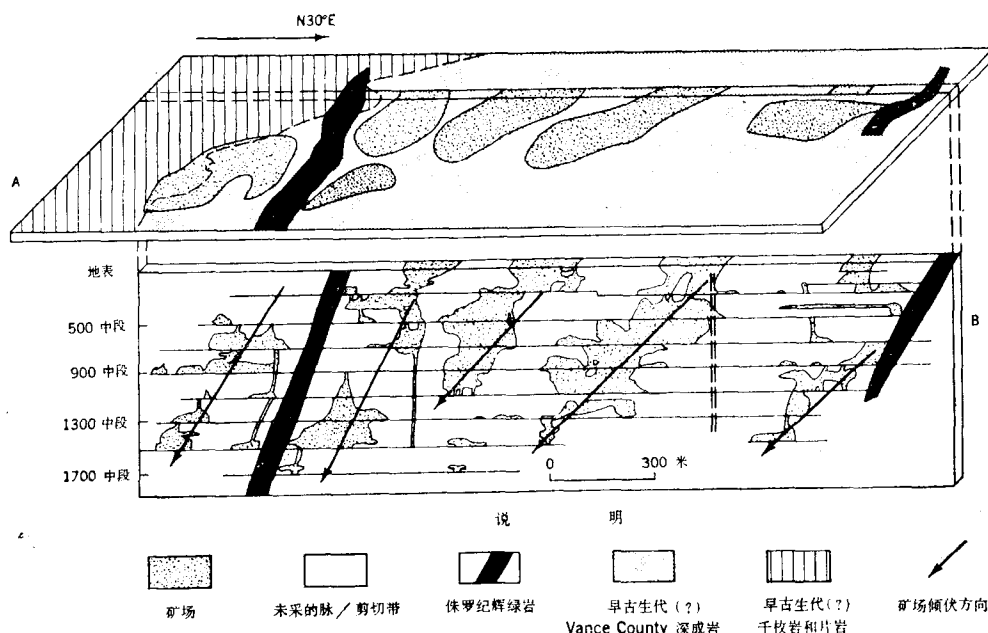


图 2 Hamme 矿山的平面示意图 (A) 和纵剖面 (B) (根据 Gair 1977 年的图修订)

的条带有增厚和变薄现象，在一些地段，矿脉变窄到只有少量几个薄的石英细脉，或变薄到完全没有。

Galr(1977)查明有8条矿脉，这些矿脉在矿山的北部是包含在绢云母化和被剪切了的花岗岩里的，而向南是产生蚀变了变沉积岩和变火山岩里(图2)。这些脉在 $S10^{\circ}E$ 和 $S10^{\circ}W$ 之间的走向上呈 $42-65^{\circ}$ 角倾伏，并且与围岩中所见到的主褶皱和小褶皱的轴向平行。矿脉和主褶皱呈雁行状排列，并且由北一东逐渐偏向东。早侏罗世的Postor岩墙(1.89亿年；T. J. Casadevall, A. K. Sinha, C. W. Naeser, J. D. obradovich, S. Kish, R. D. Dallmeyer; 未刊资料)在两处切割了矿脉。

矿物特征及结构

矿脉中的基本矿物特征，Espenshade(1947)已

有论述。钨锰矿——黑钨矿系列的含锰端元矿物——是主要矿石矿物。它产在以石英为主、并有少量萤石、绢云母和碳酸盐(方解石、菱锰矿、铁白云石、白云石)的脉石里。其它矿石矿物包括黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿和黝铜矿。据报道还有极少量的金、白钨矿、辉钼矿、斑铜矿、磷灰石、绿柱石、黄玉和石榴石(Espenshade, 1947; Shawe等, 1976)。在富含硫化物的地区最近还发现有微量的碲铅矿、Volynskite(?)及脆硫铜铋矿(?) (J. F. Slack, 未刊资料, 1977)。该矿脉的矿物在整个矿山显著地均一，并且无论沿走向或随深度变化都缺乏明显的分带性。

大多数钨锰矿都呈被粒状石英基质所包围的2—10毫米大的棱角状颗粒产出。在一些情况下，这些碎片状颗粒所经受的扰动很弱，因为它们的原始自形形态仍然很明显。长1—5厘米、宽达1厘米的自形钨锰

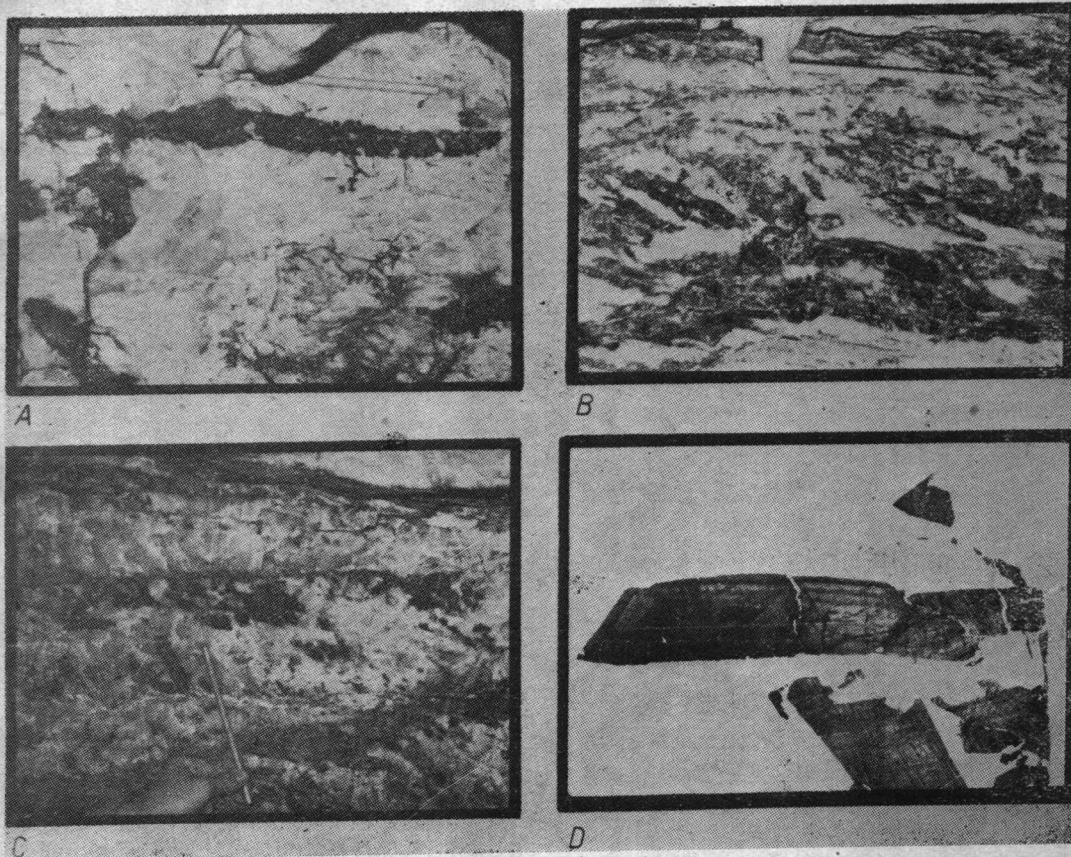


图3 脉中矿物的照片。A. 1500主平巷中产于石英基质里的巨大自形钨锰矿晶体(35厘米长)。晶体轻微破碎，但它的柱状形状无明显改变。B. 1736采场里与脉层呈斜交排列的菱形钨锰矿颗粒(深灰色)。铅笔平行于脉的主方向。C. 产于1736采场里的一个富含钨锰矿层。钨锰矿颗粒富集于脉层的边缘附近。在铅笔的左边有一柱状颗粒的晶簇，该晶簇在晶体顶端有由闪锌矿和很小的黄铁矿颗粒(肉眼看不见)所组成的薄帽。D. 石英基质里2.5厘米长的柱状钨锰矿晶体的透射光显微照片。该晶体是由位于照片右边的普通基质生长成的钨锰矿颗粒晶簇的一部分。颜色条带平行晶体面。该样品是由J. Gair从1300主平巷里采集的

矿。偶而还可见到长达35厘米的晶体(图3A)。

钨锰矿颗粒具有两种方位。颗粒典型地沿长轴方向呈南—北方向排列,与呈近 $N35^{\circ}E$ 走向的矿脉—围岩接触带呈 $25-40^{\circ}$ 的交角(图3B)。颗粒的这种斜交排列在表明脉发生了变形的大量破碎颗粒和小褶皱存在的地方是很常见的。在变形不明显的地方,某些自形钨锰矿颗粒垂直于或紧贴着由薄的绢云母和千枚岩带所显示出来的脉层排列。在个别情况下,这些垂直排列的柱状颗粒中的一些形成了多颗粒的晶簇(图3C)。

在薄片里,钨锰矿晶体显示出明显的红、褐和黄色的颜色条带。几个条带状钨锰矿样品的显微探针研究表明,不同条带的颜色是由铁含量的微小变化造成的,FeO含量(重量百分数)从0.15到1.16(Bird和Gair, 1976)。其中一个薄片(图3D)还显示出一簇柱状钨锰矿晶体具有平行于颗粒棱的颜色条带。

硫化物矿物呈稀疏的细脉或呈他形颗粒的晶簇产出。硫化物象某些钨锰矿晶体一样通常形成与脉层呈等角度斜交排列的细脉。在存在小褶皱的地方,这些细脉还平行于褶皱轴面。硫化物颗粒的晶簇比较少见。在相对未扰动的地区(1736采矿面),闪锌矿和少量黄铁矿在自形钨锰矿晶体顶端形成覆盖层(图3C)。在同一采矿面,边长达1厘米的黄铁矿立方体被包在石英里。

石英和萤石呈他形颗粒产出。石英通常为细粒状,并且显示出由于颜色的微弱变化(透明的、模糊的或不透明的)和由颗粒大小不同所造成的明显的条带。薄片研究表明大多数石英具有等粒状结构。大多数萤石呈薄的不连续的细脉产于矿脉里,并且很少作为钨锰矿破碎颗粒的基质。在一些地区,萤石富集形成了将矿脉与相邻围岩隔开的一层薄层(宽 <20 厘米)。局部地段,石英裂理方向和萤石细脉的排列方向大致趋向南北,并与脉层斜交。

片岩和绢云母的薄的不连续细脉产于石英里,并在矿脉里形成很容易识别的层。这些包体的褶皱可能是矿脉里石英不那么均匀的某些地区里变形的唯一标志。包体在岩性上与产于脉系北部的绢云母化花岗岩围岩很相似。大多数层平行于脉的围岩接触带,但某些表现出与矿物颗粒所显示出的排列相同的斜交排列。

小构造

在Tungsten Queen矿床里可见到与两期褶皱有关的小构造。当石英里存在片岩或绢云母的薄的交互层时褶皱看得更为清楚。然而,在由矿石矿物的不同

富集或由次生褐铁矿或赤铁矿的薄膜所显示出的层内这种构造也可看到。两期褶皱作用在相邻的片状围岩里是很明显的。

所能看见的最早期的褶皱是一组波长1—2米、振幅约1米的平行开放褶皱(图4A, B)。这些褶皱大部分其轴微向东南倾伏,虽然一些微向南倾伏,褶皱轴面倾斜从很陡变化到近于水平。这些构造之间通常呈低角度交切,矿山坑道揭露到的很少,因此,这些褶皱可能要比所能见到的更为普遍。

更多的褶皱是较晚期的紧密到等斜褶皱,其特点是波长为50厘米,振幅约为1米(图4C, D)。大多数向南陡倾伏。轴面走向近南北向,与倾向东南的脉的围岩呈 $25-40^{\circ}$ 的锐角接触。这些褶皱始终显示出顺时针的右旋不对称。

这两期褶皱之间的时代关系在1710采矿面上看得最清楚,在那里可看到一个缓倾伏的(较老的)褶皱被一个向南陡倾伏的(较年轻的)褶皱重褶(图5)。由于重褶的结果,这个较老褶皱的轴面从近于水平变为直立,褶皱轴也从微向东南倾伏变为微向西南倾伏。而较年轻褶皱的倾伏从严格依赖于以前所存在的层理方向变化到稍微依赖于以前所存在的层理方向,但是它的褶皱轴面走向始终保持南北方向。

矿石矿物和脉石矿物由于受这两期褶皱影响而发生了变形。在较老的开放构造里,石英层的厚度在褶皱顶部周围仍然近于不变,而包在石英内的颗粒的变形和重新组合不明显。然而,在较年轻的褶皱里,石英层在褶皱枢纽处变厚,而在褶皱翼部变薄(图4C)。在少数地区,石英的优先裂理方向限制了天然的轴面劈理。由钨锰矿的富集所显示出的层被褶皱,并且在褶皱鼻内单个的钨锰矿颗粒可能被稍微变弯。在轴部地带,某些钨锰矿颗粒平行于褶皱轴面排列。而当此现象出现时,硫化物和萤石呈限定弱的轴面叶理的细脉产出。在多数情况下,较年轻褶皱的轴面平行于由褶皱作用不明显的地区里的矿物所显示出的斜交排列方向。

这两期褶皱与区域变形的关系不清楚。Espenshade (1947)曾指出,在Vance县深成岩体及某些石英脉内存在着微向北和微向南倾伏的线理和皱纹;它们可能与上面所论述的微倾伏的早期褶皱有关。在该区以西25公里的Virgilina地区,已查明有两期变形(Tobisch和Glover, 1971)。在那里,在第一期变形期间开始形成的轴微向东北和西南倾伏的散开的弯曲型褶皱可能与在该矿山内所见到的比较早的一组褶皱相当。第二期变形产生了一组共轭的褶皱,这组褶皱在Hamme地区没有见到,因此,Tungsten

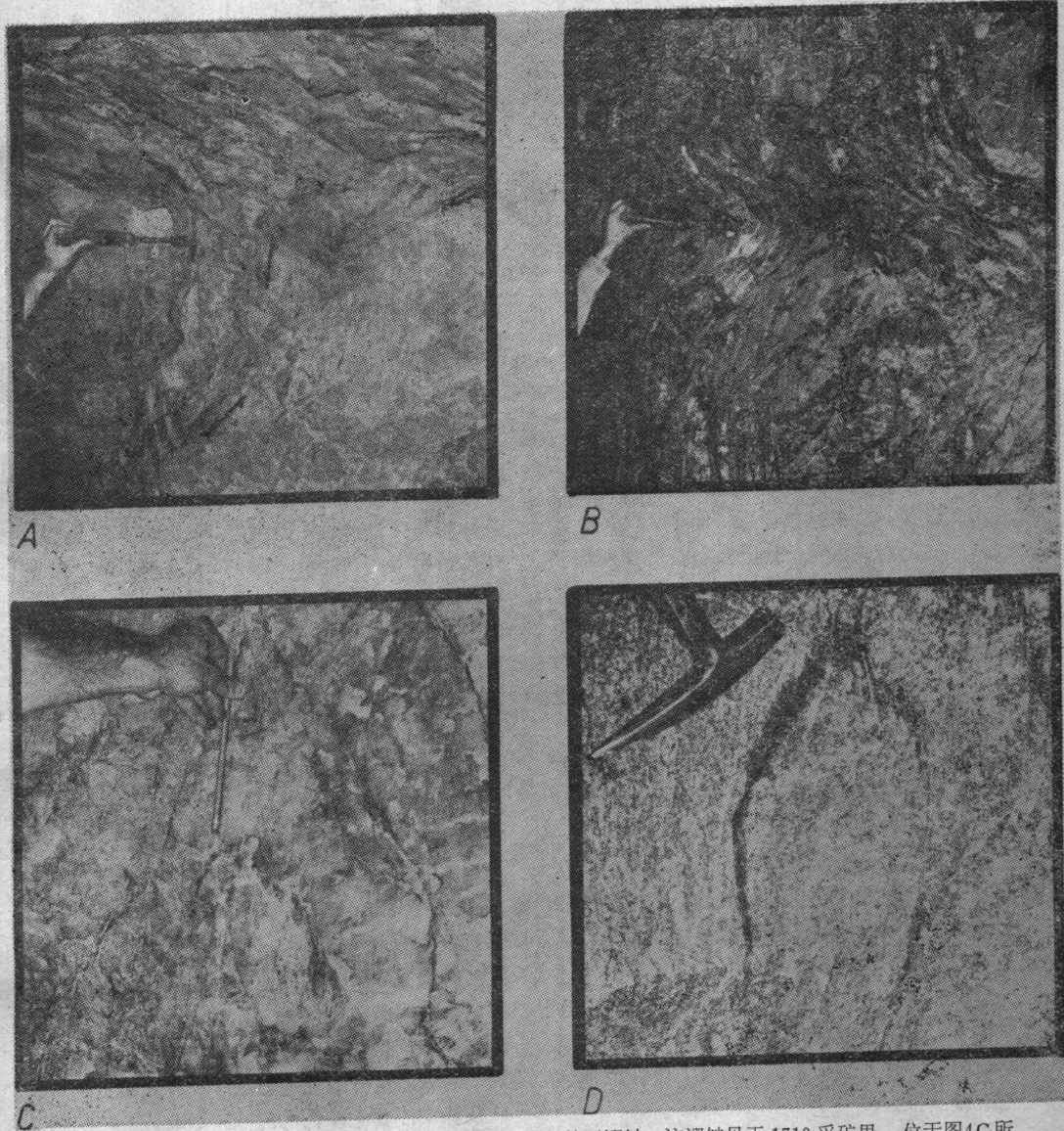


图 4 矿脉及围岩中的褶皱构造。A. 石英脉里微倾伏的敞开褶皱。该褶皱见于 1710 采矿里，位于图 4C 所表示的陡倾伏的年轻褶皱附近。脉层平行于箭头所示方向；轴面平行于铁锤方向。B. 1100 主平巷上片状围岩里微倾伏的敞开褶皱。该褶皱在型式上与变了形的石英脉里的敞开褶皱相似。轴面大致平行于铁锤方向。C. 完全形成于石英脉里（1710 采矿）的陡倾伏褶皱。石英的流出加厚了枢纽，钨锰矿层被褶皱，硫化物被顺着褶皱轴面排列。D. 形态类似于图 4C 中褶皱的陡倾伏褶皱，该褶皱完全发育于千枚岩围岩里。褶皱具有显著的轴面叶理。暗色层系富含黑云母

Queen 矿床中较年轻的向南陡倾伏的褶皱显然与所报道的任何区域构造无关；但确实平行于较大的褶皱和钨矿脉，Gair (1977) 认为这些较大的褶皱和钨矿脉与局部的右旋剪切活动有关。

讨论和结论

矿物和小构造的关系表明，矿石沉淀发生在脉及

其围岩剪切作用和褶皱作用之前。在产生微倾伏的开放褶皱的第一期变形过程中发生了脉里矿物的轻微的重新组合。但是，破碎的和褶皱了的钨锰矿颗粒，某些钨锰矿、硫化物、萤石及片状包体在轴面上的成行排列，以及由某些石英所表现出的破劈理都表明，矿物的大量重新组合是伴随着第二期紧密褶皱发生的。

矿物和片状包体呈斜交排列表明，整个矿床明显

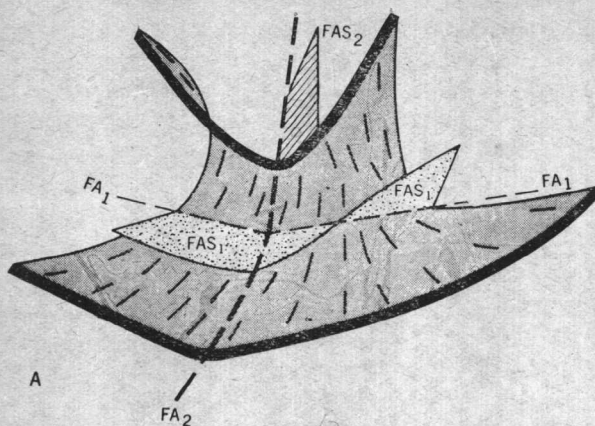


图 5 表示1710采矿面上两期构造关系的略图,这里褶皱轴为FA₁、褶皱轴面为FAS₁的较早期的敞开褶皱被褶皱轴为FA₂、褶皱轴面为FAS₂的紧密褶皱所重褶

地与第二期变形有关。在存在着第二期小褶皱的地方,钨锰矿、硫化物细脉的排列以及石英的裂理都平行于褶皱轴面。在不存在褶皱的地方,矿物颗粒和包体的排列方向相同。矿物颗粒和包体大致呈南北向的排列是与呈北东走向的主脉大不相同的,并且与右旋单剪力一致。由N35°E方向的剪力所产生的应变椭圆的长轴方向与向北排列的矿物颗粒的方向相同。扁率的主方向与拉长的矿物和第二期褶皱轴面相垂直。由第二期褶皱所显示出的右旋对称也与由右旋剪切所引起的变形相一致。

在变形过程中,钨锰矿颗粒呈近于刚体状态存在。虽然某些颗粒变弯了,但多数破裂为带棱角的碎块。钨锰矿碎块之间的空间当时即为塑性的石英、硫化物和萤石所充填。在剪切作用及有关的褶皱作用过程中,钨锰矿颗粒平行于主延伸方向旋转。相反,许多其它矿物发生了塑性变形;石英流到小褶皱的顶部,使枢纽加厚,并且硫化物、萤石及石英在原地呈平行于褶皱轴面排列。

剪切作用和褶皱作用过程中脉状物质的变形可能为矿脉的分布提供了一个可能的解释。Gair (1977)指出,矿脉平行于向南陡倾伏的褶皱(即前面所指的较年轻的一组褶皱)延伸。我们认为,矿脉可能相当于被变薄的褶皱翼所连接的变厚的鼻部。在褶皱过程中,石英和钨锰矿可能运移到褶皱的鼻部,形成矿脉,而沿褶皱翼部的变薄作用可能导致具有经济意义的脉变得太薄。换句话说,矿脉可以部分地代表着岩脉厚度的原始变化。褶皱鼻部可能形成于存在着岩脉扁豆体或岩脉显著增厚的地方。后来发育的褶皱可能改造了这种富集而形成现在所看到的矿脉。

矿脉内的变形作用显然是不均匀的。虽然大多数

地区都被褶皱和剪切,但仍保存有某些相对未变形的地段。在这些地段内(特别是1736号采矿面),结构关系提供了关于岩脉最初特征的资料。钨锰矿晶体簇的存在,矿物顶端具硫化物的覆盖层的少量柱状钨锰矿晶体的出现,以及在薄片里所见到的致密成分的生长条带都是很重要的。这些构造与许多未变形的热液钨矿脉中的构造极为近似,在这种钨矿脉里矿石沉淀是在几个阶段里通过开放空间充填而进行的。成因上类似的脉状矿床在中国的江西省也有论述(赣南调查组, 1976);另外在秘鲁的Pasto Bueno (Landis和Rye, 1974),英国的Carrook Fell (Shepherd等, 1976)以及葡萄牙的Panasqueira (Kelly和Rye, 1979)都有报道。这些地区都含有在矿物上和构造上与Hamme矿床类似的矿石,其中的含钨石

英脉与花岗岩侵入体伴生,并且局限于花岗岩与围岩接触带附近。在Pasto Bueno和Carrook Fell地区,柱状黑钨矿晶体的晶簇沿脉壁富集,在某些地区,脉的多期张开和矿化产生了对称性的条带状矿石。与这些脉侵位有关的强烈的热液蚀变形成了典型的石英-绢云母云英岩,这些云英岩可能是在Hamme矿山所见的局部强烈绢云母化围岩的类似物。Tungsten Queen矿床与其它几个矿床根本不同,因为在Hamme地区,后期的变形作用使矿脉发生强烈变形,局部使矿石发生重新移动,并且使大多数原生构造关系变得模糊不清。

我们认为,Tungsten Queen矿床的矿石是在局部褶皱构造之前形成的,而这种褶皱构造我们认为其发育时间比Vance县深成岩侵位和冷却要晚。在花岗岩侵入的同时或侵入之后立即就有一个北东走向的断层或剪切带在花岗岩与围岩接触带附近形成。沿这种破裂分布的开放通道容纳了矿化溶液。石英、钨锰矿及脉中的其它矿物的沉淀可能是在几个阶段里通过开放空间充填发生的,并且在相邻的围岩里发育的石英-绢云母蚀变就与之有关。保存在某些自形柱状钨锰矿晶体里的致密生长条带表明,晶体是在大的晶簇或晶洞里慢慢生长的。许多充填脉的矿物,特别是石英、萤石和硫化物原来的自形程度都比较高,并且可能与钨锰矿有比较密切的空间(以及共生)关系。后来沿脉系发生的垂直运动产生了在脉里以及相邻的千枚岩围岩里所见到的微倾伏的敞开褶皱。以右旋剪切作用占优势的更年轻的运动使矿物与脉壁呈斜交排列,并形成了紧密的、几乎直立的陡倾伏的褶皱构造。呈雁行状排列的矿脉(这种矿脉也具有陡倾伏的

(下转第7页)

北卡罗来纳 Vance 县 Hamme 矿区的 Tungsten Queen 矿床：变质石英-钨锰矿脉的稳定同位素研究

T. Casadevall 和 R. O. Rye

摘 要

北卡罗来纳州 Vance 县的 Tungsten Queen 矿，是晚前寒武纪或早古生代的一个大型石英-钨锰矿脉型矿床。矿床在中古生代经受了闪岩级区域变质作用。矿床中保存有大的条带状钨 锰矿晶体以及 矿脉矿物和围岩低的 $\delta^{18}\text{O}$ 值均表明，这种矿脉属于有大气降水参加的变质前热液成因。矿脉和围岩中石英-绢云母的氧同位素分布表明变质温度为 $550^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ 。所有其他同位素的分布（可能除了氢的同位素分布以外），看来都反映了没有明显受到变质事件干扰的原始热液的分布。这种矿脉的稳定同位素体系，明显类似于与造山带中浅部侵入体伴生的较晚钨锰矿/黑钨矿-石英脉的稳定同位素体系。两个矿物组合中共生硫化物之间的硫同位素分馏，可以表明原始矿化温度大约为 260°C 和 320°C 。热液硫来自某一深部源。碳同位素数据表明，在碳酸盐沉淀过程中流体中存在有沉积有机组分。除了共生石英和绢云母之间的再平衡之外，矿脉中矿物的 ^{18}O 体系看来反映了原始热液的分布情况，并表明这种矿脉在变质作用过程中基本上是一个封闭体系。矿脉中矿物的流体包裹体中的含水矿物和水，其 δD 值的范围接近于 50%，这可能也反映了这种热液脉体系的原始变化。

前 言

北卡罗来纳州 Vance 县 Hamme 矿区的 Tungsten Queen 矿床，呈一条单一的脉体产出，其地质概况和矿物成分都与某些脉型石英-黑钨矿矿床类似。而后者一直是进行流体包裹体和稳定同位素详细研究的对象 (Landis 和 Rye, 1974; Shepherd 等, 1976; Kelly 和 Rye, 1979)。这些研究和近来所作的其他系统的稳定同位素研究，对于了解未变形的和未变质的脉型矿床，特别是南北美洲科迪勒拉山系中的脉型矿床的成因，起了重要的作用 (如 Rye, 1966; Ohmoto 和 Rye, 1970; Rye 和 Sawkins, 1974; Casadevall 和 Ohmoto, 1977)。本文的目的，是应用稳定同位素方法来研究一个较古老的矿床，而这个矿床看来与较年轻的脉型矿床有许多类似之处。

以前对于 Tungsten Queen 矿脉的研究，只是简要地涉及它的成因问题。White (1945) 提出，Hamme 矿

区的矿脉是由来自花岗岩的热液流体沉淀而成的，而且位置局限于花岗岩-片岩接触带。Espenshade (1947) 也认为这些钨矿脉是由“来自深部的溶液”沉淀的，并指出这些矿脉交代了相邻的部分容矿岩石。Gair (1977) 认为是变质成因，富二氧化硅的成矿溶液是沿剪切带中的拖曳褶皱和翘曲向上运移形成石英矿脉的。他断言，这些矿脉交代了变形的片状岩石，并沿袭了原有褶皱构造的形态。而我们的资料连同最近对矿脉结构和构造的研究 (Foose 等, 1980) 都确实表明，该矿床是一条充填了开放空间而成的脉，后来才经受剪切和变质作用。放射性年龄测定研究也表明，该矿床是在前寒武或寒武纪时形成的，在中古生代才发生了变形 (T. J. Casadevall, R. D. Dallmeyer, S. Kish, C. W. Naeser, J. D. Obradovich 和 K. Sinha, 未发表的资料)。本文提供了评价闪岩级变质作用对于显然是一个简单的热液脉体系的稳定同位素体系的影响的机会，同时对于了解 Hamme 矿床的成因也有

(上接第 6 页)

产状)可能就是在本次右旋剪切作用时形成的。

作者地址：

M. P. F. and J. F. S.

U. S. Geological Survey

Reston, Virginia 22092

T. J. C.

U. S. Geological Survey

Hawaiian Volcano Observatory

Hawaii National Park, Hawaii 96718

译者：刘瑞珊

校者：卞树仁

参考文献目录见 85 页

所帮助。

地质概况

Tungsten Queen矿山位于北卡罗来纳州 Vance 县 Hamme 钨矿区 (图 1), 产于 Piedmont 地质省东缘的卡罗来纳板岩带中。Espenshade(1947)、White(1945)

和 Parker (1963, 1968) 已对这个区的地质情况作了讨论。根据所识别出的一条大的碎裂带 (Nutbush Creek 碎裂带, Casadevall, 1977) 和目前的地质年代学研究结果 (T. J. Casadevall, R. D. Dallmeyer, S. Kish, C. W. Naeser, J. D. Obradovich 和 K. Sinha, 未发表的资料) 对当地的地质概况又重新作了解释。

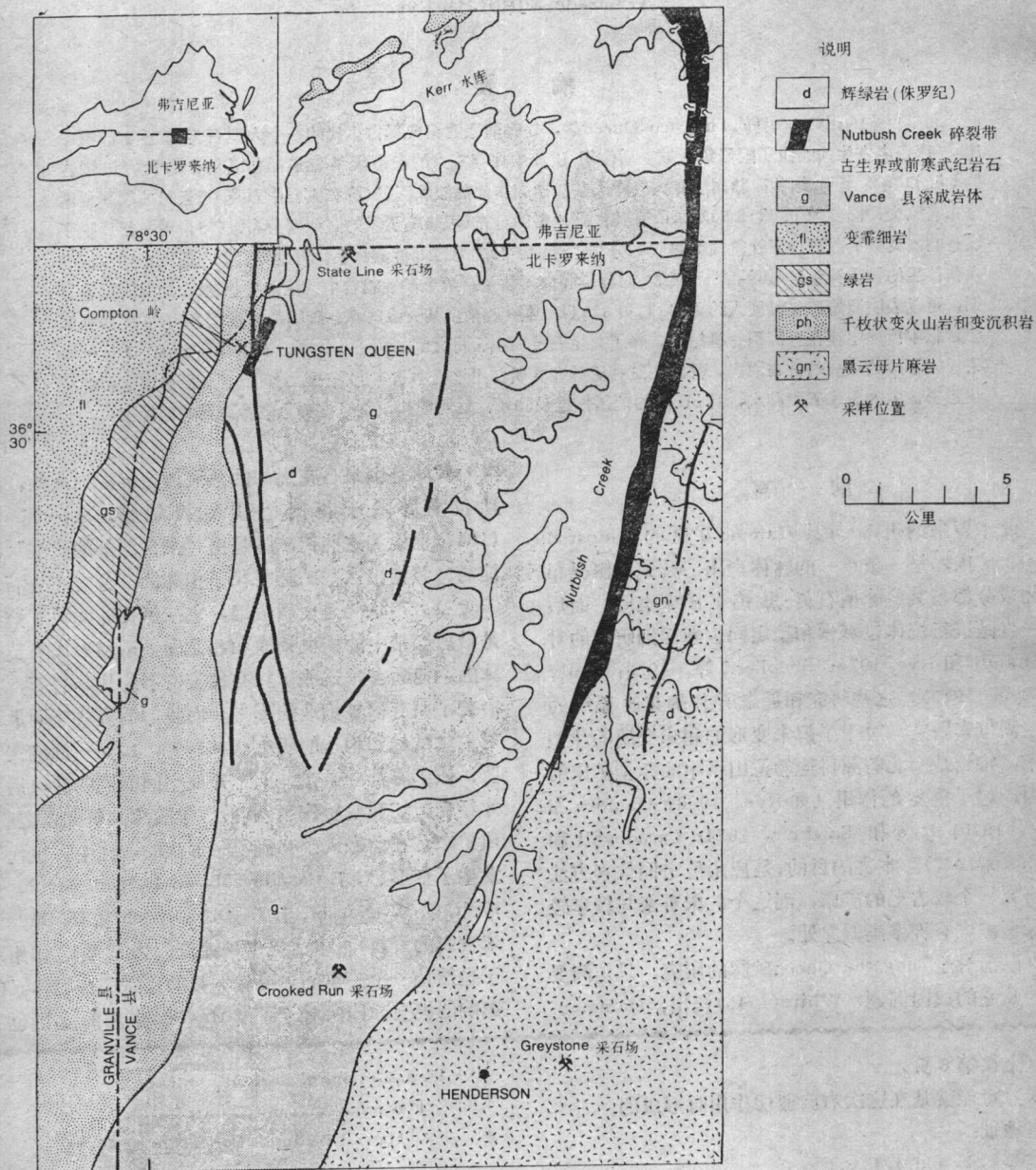


图 1 北卡罗来纳和弗吉尼亚的 Hamme 钨矿区的综合地质图

图中所示是地表样品和 Nutbush 河碎裂带的位置, 该碎裂带的宽度尚未精确知道, 图上可能放大了。黑方块是 Tungsten Queen 矿脉的地表投影区。据 Parker (1963) 和 Casadevall (1977) 综合修改

在Tungsten Queen 矿(图1)附近由东向西横跨Hamme 整个钨矿区,呈现出三个主要地质单元。中间的一个单元是一个大的钠长石花岗闪长岩体(约35平方公里),被叫做Vance County 深成岩体,Tungsten Queen 矿床位于该岩体的西缘。Raleigh 带的黑云母片麻岩(Glover和Sinha, 1973; Parker, 1977)位于该岩体的东麓。该区的第三个主要地质单元,是卡罗来纳板岩带中经受过区域变质的变火山岩和变沉积岩系,位于Vance County 深成岩体的西缘。在这个岩系中,变质程度由东部较低的绿色片岩增高到西部较高的闪岩相(Parker, 1963; Tobisch 和 Glover, 1969)。再往西,这个岩系广泛褶皱成一个呈北北东走向的向斜,其轴部为Virgilina 绿岩带的变火山岩(Glover 和 Sinha, 1973)。该深成岩体与变火山岩接触的性质还是一个悬而未决的问题。Espenshade(1947)和 Parker (1963)都认为,这种接触是侵入接触,即 Vance County 深成岩体侵入相邻的而且可能是同岩浆(Glover 和 Sinha, 1973)的变火山岩系中。在花岗闪长岩和卡罗来纳板岩带的岩石中,都侵入有成矿后的侏罗纪辉绿岩岩墙(T. J. Casaderall, R. D. Dallmeyer, S. Kish, C. W. Naeser, J. D. Obradovich 和 K. Simba, 未发表的资料)。

区域地质的另一个单元是两条窄长的千枚质岩石(图1),这两条岩带在东部把 Vance County 深成岩体与Raleigh 带片麻岩分开,在西部将其与 Virgilina 向斜的变火山岩和变沉积岩分开。根据现有的航磁资料、陆地卫星摄影和局部地质资料的研究,发现了一条大的碎裂带,这条碎裂带贯穿了北卡罗来纳 Vance 县和弗吉尼亚 Mecklenburg 县的 John Kerr 水库的 Nutbush 河流域(Casadevall, 1977)。这条呈南北走向的碎裂带与一条千枚糜棱岩带吻合,后者把 Vance 县深成岩体与 Raleigh 带的片麻岩分开。陆地卫星拍照的第二条线型构造和航磁资料显示的一条不太明显的区域线型构造,与沿该深成岩体西缘分布的千枚岩一致。接触带及其附近岩石的碎裂性质说明,目前的露头样式,可能部分是由于断层作用造成的(T. J. Casadevall, 未发表的资料)。这个碎裂带的发现,对于了解 Vance 县深成岩体的侵位方式及其目前的出露水平、Tungsten Queen 矿体的保存程度和该区的探矿潜力均具有重要意义。

Tungsten Queen 矿脉

Espenshade(1947)对Hamme 钨矿区的近90条石英脉作了鉴定并描述,其中大约有50条含有钨锰矿,最重要的一条便是Tungsten Queen (或Sneed-Walker)

矿脉。Tungsten Queen 矿脉属于新墨西哥Albuquerque 地区Ranchers勘探开发公司所有,从1943年以来都在断断续续地开采,至1971年已经生产了大约7200吨钨。

Tungsten Queen 矿脉,沿N35°E延伸约3000米,在Vance 县钠长石花岗闪长岩深成岩体西缘的剪切带中及其附近向东陡倾,倾角为70—90°。该矿脉的西南部延伸到卡罗来纳板岩带的绿泥石-绿帘石片岩中,Parker(1963)将其填绘为千枚岩。采矿活动在西南方向尚未超出深成岩体-片岩(千枚岩)接触带的范围。侏罗纪的辉绿岩岩墙切割该脉的北端和南端。

这条矿脉宽度变化较大,有的地方不到1米,有的地方可达10米,是一条致密的块状粒状石英脉,中间夹有与该脉体平行或略为平行的绢云母或富绢云母的围岩细脉、滑塌物或隔板。在主脉中没有见到晶簇或空晶洞,不过有一条不含矿的未变形的横切石英脉(样品TC-1500-1)含有象人那么大小的晶洞。脉体与围岩的接触非常清晰,在采矿过程中,通常会出现干净的、无矿的壁或围岩。有开采价值的钨矿仅限于该脉体中。虽然钨矿是分散性地分布在该脉中,但是Ranchers 勘探开发公司的地质学家们已经确定出一些“矿脉”或“富矿体”(Gair, 1977; 图2)。

沿该脉与围岩接触带的花岗闪长岩的结构,为弱片理化到强糜棱岩化。脉体和围岩是受同一事件而发生变形的。(Foose 等, 1980)。宏观上,该侵入体最显著的特征是在等粒的钠长石和绿褐色黑云母的基质中发育有带蓝色的石英颗粒。长石颗粒发生了变形和破裂,并含有大量的绿帘石和绢云母包体。石英具波状消光,通常边缘环有更细粒的、没有发生过变形的糖粒状石英。黑云母片在平面光下通常具有浅褐色的核心和绿色的边,这说明开始出现绿泥石化。在长石以及石英颗粒中见有绢云母片。

在本研究中,主要是研究了Tungsten Queen 矿脉的西南部分,这部份已开采到离现在地表高度(130米)之下520米的深度。该矿目前已不开采,许多老的巷道已不能再进入。与本研究有关的野外工作主要集中在6号矿井横巷以南地区,特别是1700中段的1710和1736采区。脉体和围岩样品位置示于图2。所有地下样品的位置,都可以通过表1中所给出的座标在Gair(1977)关于该脉的图上准确地确定。地表样品的位置示于图1,并在表1中作了描述。

矿物学

区分围岩的原始热液蚀变和脉体形成过程中形成的稳定同位素分布与变质作用过程中产生的稳定同位

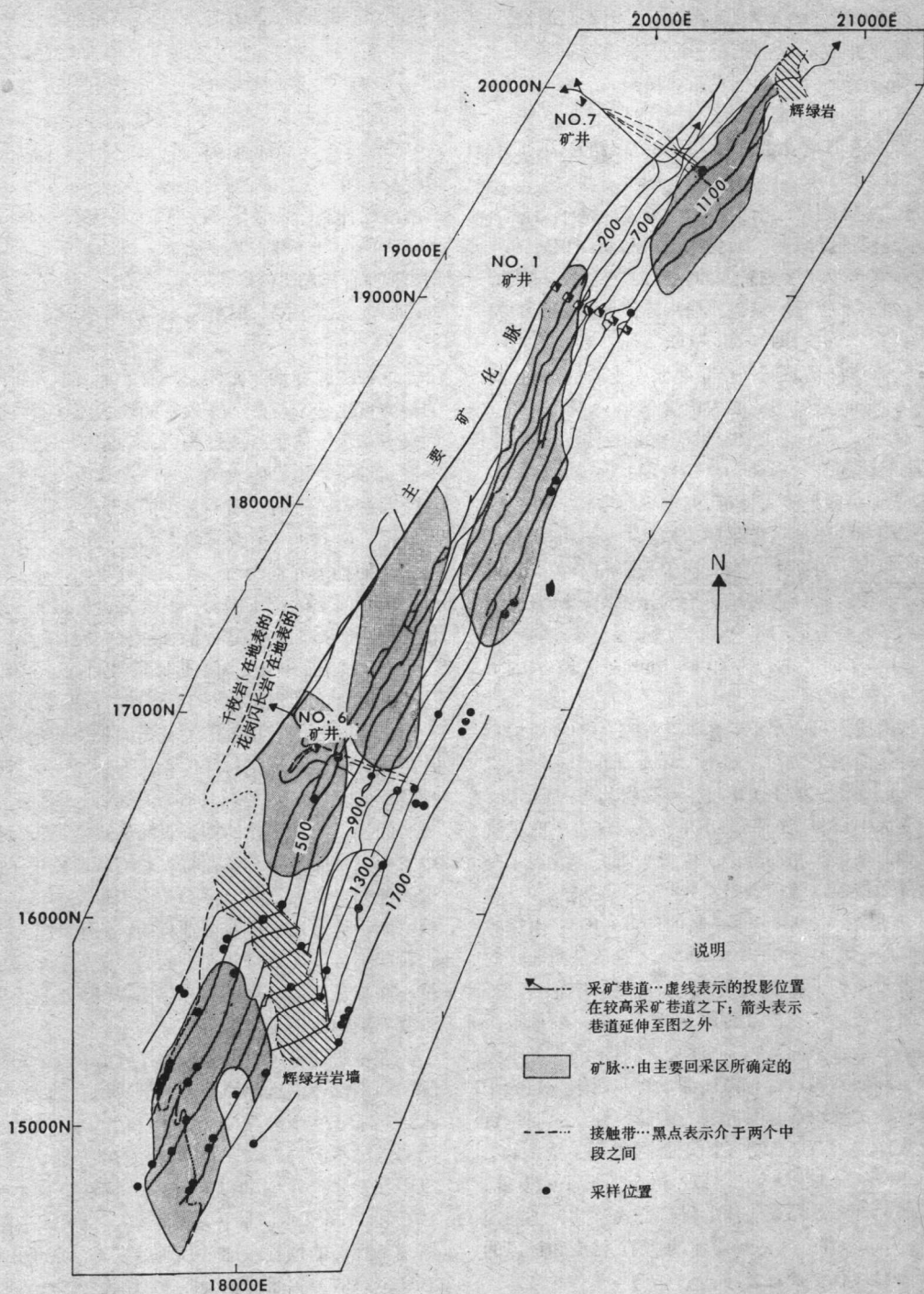


图 2 北卡罗来纳Vance县 Hamme 矿区 Tungsten Queen 矿脉的采矿巷道、地下样品位置和主要地质特征的水平投影图

地下主矿脉与采矿巷道相当。矿山的座标是位于1943年美国矿业局任意确定的一个原点的东边和北边，距离以英尺计。据 Gair (1977) 修改

素分布,对于解释 Tungsten Queen 矿脉的稳定同位素数据具有重要的意义。根据结构关系,我们把矿物的共生次序分成热液、变质和变质后阶段(表1和2)。虽然要区分每个阶段脉体中所有矿物相的共生位置是很困难或者是不可能的(White, 1945; Espenshade, 1947),但是还是可以把在矿化作用过程中形成的的大多数矿物相与变质作用过程中产生的矿物相区分开来。该脉中的大多数矿物都是在热液矿化过程中形成的,并在变质作用过程中发生了重结晶作用。产于围岩中的一些石英、绢云母、碳酸盐,或许还有黄铁矿,可能是在变质作用过程中形成或重结晶的。而围岩中所有的绿泥石和绿帘石或许都是在变质作用过程中形成的。

Tungsten Queen 矿脉的矿物成分及其共生次序,以及每个矿物相的估计体积丰度均列于表2。体积丰度主要是根据在1700中段1710、1736采区所做的观察作出的。对许多钨锰矿、石英、萤石及碳酸盐样品进行了流体包裹体研究。没有见到原生包裹体,这种包裹体可以用来提供有关原始热液流体的资料。次生包裹体也是既小又少,因此关于变质流体的性质几乎没有得到什么资料。

钨锰矿是Hamme矿区脉体中唯一重要的钨矿石。局部有少量的白钨矿,其中有些可能是浅成的。Tungsten Queen 矿脉中的钨锰矿晶体,在双抛光的薄片看起来是褐红色至褐黄色。晶体最长的达35厘米。偶而见有暗褐色的条带,这些条带所含的FeO达1(重

量)%(Bird和Gair, 1976);然而在钨锰矿的化学成分与其在矿山中心的产出位置之间并没有发现什么相关关系。钨锰矿晶体一般都发生了破裂,但是未见有重结晶的迹象。这些晶体颗粒都很大,并具有细小的成分条带,这说明它们是在类似于在其他含钨矿床,比如秘鲁 Pasto Bueno(Landis 和 Rye, 1974);葡萄牙 Panasqueria (Kelly 和 Rye, 1979) 及科罗拉多的 Sunnyside(Casadevall和 Ohmoto, 1977)矿床中所见到的空洞中生长的。钨锰矿偶尔为板状晶体,看来是垂直于脉壁生长的,这也证明是在空洞中生长的。尽管这些晶体颗粒很大,但却见不到流体包裹体。

石英是Tungsten Queen 矿脉中数量最多的矿物。它在手标本中呈粒状,但在薄片,可见到它发生了重结晶和退火,由此消除了原生流体包裹体。据发现,有少量的包裹体是次生包裹体(直径不到10微米),其中许多含有液体CO₂,但未见子矿物。

绢云母是该脉中另一个最多的矿物。或者呈片状稀疏地产于粒状石英中,或者呈致密的、变形的块体产于该脉体和邻近的围岩中。绢云母通常为无色至白色,但是也有呈绿色(HW-122-u)、粉红色和紫红色(62—80)的块体。在脉中以及在与脉体邻近的围岩中,绢云母通常分布在石英豆荚体周围。在Tungsten Queen矿脉露头西边大约500米的Compton岭(TC-CR-1; TC-CR-2图1)以及从1号矿井附近(图2)的钻孔岩心(S-727-213)通过浮选收集的样品中,同绿柱石、辉钼矿、黄铁矿和石英一起见有粗粒绢云母(白

表 1 Tungsten Queen 矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD 和 $\delta^{13}\text{C}$ 资料

地 表							
样 号	位 置	矿 物	$\delta^{34}\text{S}$	$\delta^{18}\text{O}$	δD	$\delta^{13}\text{C}$	说 明*
TC-1-76	Crooked Run 采石场 (已废)(图1)	全 岩	6.8	5.5			弱片理化花岗岩闪长岩
		黄铁矿					
TC-2-76	State Line 采石场 (图1)	全 岩		5.3	-127		弱片理化花岗岩闪长岩
		黑云母		1.2			具有细晶岩/石英分凝体
		石 英		7.2	-75		云英岩转石; ^{18}O 石英-绢云母 温度 = 472℃
TC-CR-1	Compton 岭 (图1)	石 英		5.8			
		绢云母		2.4	-130		云英岩转石; ^{18}O 石英-绢云母 温度 = 572℃
TC-CR-2	Compton 岭 (图1)	石 英		7.2			
		绢云母		4.6	-52		黑云母片麻岩
TC-GB-3	Greystone 采石场 (图1)	黑云母		3.6			
S-727-218'	1号矿井附近(图2)	石 英		6.3	-52		钻孔岩心的云英岩样, 具体位置不清; ^{18}O 石英-绢云母 温度 = 522℃
		绢云母		3.9			
		辉钼矿	-1.3				
		黄铁矿	2.6				

续表 1

矿 山 坐 标

样 号	北	东	矿 物	$\delta^{34}\text{S}$	$\delta^{18}\text{O}$	δD	$\delta^{13}\text{C}$	说 明
500 中段								
HW-63-u	15,783	17,930	闪锌矿	-0.1				脉
	15,783	17,930	石 英		7.9			
HW-54-u	15,346	17,730	方铅矿	-4.2				脉
	15,346	17,730	石 英		8.2			
HW-81-u	15,300	17,700	黄铁矿	1.6				脉
HW-82-u	15,300	17,700	黄铁矿	2.7				500中段上面340英尺
HW-45-u	15,120	17,580	黄铜矿	0.1				脉
U-384-65'	16,700	18,500	黄铁矿	6.0				围岩, 蚀变的花岗闪长岩
U-384-88'	16,700	18,500	黄铁矿	6.5				围岩, 蚀变的花岗闪长岩
U-384-85'	16,700	18,500	绿泥石		3.4	-91		围岩, 绿泥石片岩
U-384-5'	16,700	18,500	磁铁矿		0.2			蚀变的花岗闪长岩
HW-39-u	15,205	17,624	石 英		8.6			脉
HW-74-u	16,028	18,233	石 英		8.3			脉
HW-40-u	15,205	17,624	钨锰矿		0.4			脉
	15,205	17,624	石 英		8.1			
HW-83-u	15,174	17,598	全 岩		4.5			围岩
HW-57-u	15,412	17,768	全 岩		6.9			围岩
HW-70-u	15,963	18,088	黑云母		5.0	-57		辉绿岩岩墙中的黑云母伟晶岩脉, 可能为变质成因的
HW-65-u	15,826	17,950	石 英		7.7			
	15,826	17,950	白云石		11.3		-2.4	共生位置不清, 可能是变质的或变质后的
700 中段								
HW-99-u	15,160	17,735	黝铜矿	-0.5				脉
	15,160	17,735	黄铜矿	-0.7				脉
HW-104-u	15,350	17,860	方铅矿	-3.2				脉
	15,234	17,790	石 英		9.1			脉
	15,350	17,860	石 英		9.4			脉
	15,160	17,735	石 英		8.6			脉
	14,660	17,560	全 岩		4.3			绿泥石片岩围岩
	16,800	18,400	水			-43.3		冷泉
	14,856	17,422	菱锰矿		6.4		-11.1	脉, 可能是原始热液的
900 中段								
HW-124-u	14,928	17,728	石 英		8.6			脉, $\Delta^{34}\text{S}$ 黄铁矿-闪锌矿温度 = 291°C
	14,928	17,728	黄铁矿	-0.2				
	14,928	17,728	闪锌矿	-1.2				脉, $\Delta^{34}\text{S}$ 闪锌矿-方铅矿温度 = 241°C
	14,928	17,728	方铅矿					脉, $\Delta^{34}\text{S}$ 黄铁矿-方铅矿温度 = 236°C
	14,928	17,728	萤 石			-46		
HW-122-u	14,784	17,650	绢云母		6.1			脉中的隔板
HW-132-u	15,847	18,320	辉绿岩		5.5			脉与辉绿岩接触带附近的样品, 轻微蚀变
HW-145-u	16,740	18,588	全 岩		5.4			花岗闪长岩, 弱片理化
	16,740	18,588	石 英		7.8			脉
	16,740	18,588	绢云母		2.8			
62-80	未 确 定		石 英		8.9			$\Delta^{18}\text{O}$ 石英-绢云母温度 = 468°C
			绢云母		5.3	-77		紫红色绢云母
62-55	未 确 定		石 英		9.3			脉

续表 1

样 品	北	东	矿 物	$\delta^{34}\text{S}$	$\delta^{18}\text{O}$	δD	$\delta^{13}\text{C}$	说 明
1100中段								
TC-5-76	15,690	18,300	辉绿岩		6.3			侏罗纪辉绿岩岩墙
1300中段								
HW-202-u	14,734	17,784	黄铁矿 绢云母	1.6				脉
HW-204-u	14,920	17,695	闪锌矿	-1.1	6.0	-57		脉
	14,920	17,695	黝铜矿	-3.7				脉
	14,920	17,695	黄铁矿	2.7				脉
HW-207-u	15,110	17,996	黄铁矿	5.1				脉
	15,110	17,996	石 英		8.1			
	18,160	19,578	闪锌矿	-2.3				脉; $\Delta^{34}\text{S}$ 闪锌矿-方铅矿温度 = 326℃
	18,160	19,578	石 英		8.1			
	18,160	19,578	方铅矿	-4.2				脉; $\Delta^{34}\text{S}$ 黄铁矿-方铅矿温度 = 306℃
HW-200-u	18,160	19,578	黄铁矿	-1.4				脉; $\Delta^{34}\text{S}$ 黄铁矿-闪锌矿温度 = 331℃
	14,716	17,793	绢云母		5.7	-45		脉
	15,772	18,452	石 英		9.8			共生位置不清, 可能是变质或变质后的
HW-211-u	15,772	18,452	白云石		8.8		-1.5	
	15,612	18,398	黑云母		4.8	-49		侏罗纪辉绿岩岩墙的黑云母伟晶岩
HW-258-u	15,612	18,398	石 英		7.4			
	15,612	18,398	钨锰矿		-0.4			
	15,612	18,398	萤 石			-44		
HW-258-u	16,754	18,284	萤 石			-44		脉
HW-215-u	18,144	19,565	石 英		6.6	-52		脉
	18,144	19,565	钨锰矿		0.0			
	18,144	19,565	萤 石			-48		
HW-214-u	16,990	18,950	萤 石			-70		绿色萤石脉 (晚期热液脉)
	16,990	18,950	方解石		11.8		-10.1	
HW-205-u	14,916	17,692	方解石		12.3		7.6	脉; 共生位置不清
1500中段								
HW-240-u	17,260	19,349	石 英		8.4	-54		脉
	17,260	19,349	钨锰矿		-0.7			
	17,260	19,349	萤 石			-55		脉
HW-243-u	17,503	14,304	黄铁矿	5.0				脉
U-1261-233	16,836	18,784	黄铁矿	1.9				围岩
TC-1500-1	15,160	18,150	石 英		7.8	-31		具有大晶簇的横切脉
	15,160	18,150	铁白云石		5.7		-10.6	变质或变质后的
TC-1500-2	15,600	18,500	方解石		7.2	-13	-10.6	绿泥石包围的变质围岩中的方解石石香肠
TC-1500-4	16,600	18,820	石 英		7.9			脉
TC-1500-5	16,300	18,500	石 英		8.2			变质或变质后的脉, 无色自形石英
	16,300	18,500	方解石		5.1		-10.4	包形晶, 带有石英
1600中段								
TC-1600	16,500	18,900	绿帘石			-37		和弱片理花岗岩闪长岩分离的, 可能是变质的, 可能是热液蚀变的残留物