

岩浆金属矿床基本问题

下 册

〔苏联〕 О·Д·列维茨基 Д·С·柯尔任斯基 著
А·Г·别捷赫琴 Ф·И·沃尔弗松

(内部发行)

中国工业出版社

岩浆金属矿床基本问题

下 册

〔苏联〕 О·Д·列维茨基 Д·С·柯尔任斯基 著
А·Г·别捷赫琴 Ф·И·沃尔弗松

刘海宴等 译 高书平 校

中国工业出版社

本文集內的論文主要是討論与岩漿期后成矿作用有关的問題，而這些問題也是成矿作用中最复杂的問題。論文的作者們對這些問題做了理論上的探討，还提供了很多的实际資料。

本文集的中譯本分上、下兩册出版，上册已于1957年出版；此部分是下册，包括五篇論文。

本书可供我国野外地质工作者、有关科研人員及地质院校师生参考。

А. Г. Бетехтин Ф. И. Вольфсон

А. Н. Заварицкий

О. Д. Левицкий Д. С. Коржинский

В. А. Николаев

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В УЧЕНИИ

О МАГМАТОГЕННЫХ РУДНЫХ

МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Второе издание

Издательство Академии наук СССР

Москва 1955

* * *

岩漿金屬矿床基本問題

下 册

刘海宴等 譯 高书平 校

*

地质部地质书刊編輯部編輯(北京西四羊市大街地质部院內)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路丙10号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

中国工业出版社門市部发行

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $14 \frac{3}{4}$ · 插頁 8 · 字數 320,000

1955年11月北京第一版 · 1955年11月北京第一次印刷

印数 0001—2060 · 定价(科五) 2.10元

*

統一书号: 15165 · 3989(地质-339)

目 录

論胶体溶液在成矿中的意义	О.Д. 列維茨基(1)
緒論	(1)
1. 脉状矿体的一般特点	(1)
2. 脉石英的形态特征	(3)
3. 錫石的形态特征	(7)
結論	(15)
交代作用概論	Л.С. 柯尔任斯基(17)
緒言	(17)
I. 交代作用理論概述	(18)
1. 关于热力学的平衡与相律	(18)
2. 具有完全活动組份的体系	(19)
3. 在交代和变质过程中溶液所起的作用	(20)
4. 交代作用的平衡因素	(21)
5. 滲濾交代作用中的交代分帶	(22)
6. 过滤效应	(28)
7. 滲濾交代作用中組份的相对活动性	(30)
8. 扩散交代分帶	(34)
9. 交代作用中的表面能和粒度	(35)
10. 組份的酸硷性相互作用	(37)
11. 酸度对氧活度的影响	(39)
12. 交代作用中化学成分和矿物成分之间的联系	(40)
II. 交代現象概述	(44)
A. 交代現象的一般特点	(44)
1. 岩漿作用、变质作用和矿化作用的联系	(44)
2. 在岩漿溶液中的酸-硷性状况	(45)
3. 交代作用的划分	(49)
B. 花崗岩化作用、接触变质作用和区域接触变质作用中的交代現象	(50)
C. 接触-反应現象(双交代作用和接触-滲濾交代作用)	(52)
D. 自交代作用, 近接触帶和次火山的酸性淋濾作用	(76)
1. 自交代現象	(76)
2. 近接触帶淋濾作用的一般概述	(80)
3. 云英岩化作用及白云母花崗岩的形成	(82)
4. 砂礫岩的近接触帶淋濾和矿化作用	(84)
5. 热液石英岩	(85)
6. 热液黃鉄矿型矿体	(90)

IV

7. 中、基性成分岩石中的热液酸性分异作用	(92)
II. 区域性岩浆期后交代变质作用	(94)
1. 深成岩浆期后变质作用	(94)
2. 青磐岩化作用	(95)
浅成青磐岩化作用	(95)
次火山青磐岩化作用	(100)
E. 低温脉侧交代作用	(101)
1. 概述	(101)
2. 黄铁矿英岩化作用、滑石菱镁片岩化作用、方解石-絹云母置换作用	(103)
3. 冰长石化作用 (“古别依岩化作用”)	(107)
4. 綠泥石化作用	(109)
結論	(109)
参考文献	(110)
論热水溶液运动的原因	A. Г. 別捷赫琴 (116)
緒言	(116)
1. 对资产阶级学者关于热水溶液运动原因的概念的批判	(116)
2. 問題的提出	(118)
3. 与酸性侵入体有关的矿脉形成的机理	(121)
4. 与基性火成岩有成因联系的銅-鎳硫化物矿床形成的特征	(124)
5. “阿尔卑斯型”脉的形成条件	(127)
6. 交代矿体形成时热水溶液的运动	(130)
結論	(131)
参考文献	(131)
論热液矿床与侵入体的成因联系	A. Г. 別捷赫琴 (133)
緒言	(133)
1. 金属与各种火成岩的联系	(134)
2. 与基性和超基性岩有成因联系的热液矿床	(138)
3. 与酸性火成岩有成因联系的热液矿床	(141)
4. 有关含金属溶液来源的其他一些观点	(151)
5. 矿化与侵入体成因联系研究的实际意义	(153)
結論	(159)
参考文献	(160)
内生金属矿床构造	Ф. И. 沃尔弗松 (162)
緒言	(162)
I. 正岩浆期矿床的构造	(166)
A. 早期岩浆矿床的构造	(166)
B. 由残余熔体形成的晚期岩浆矿床的构造	(166)
B. 熔离矿床的构造	(170)

1. 浸染矿石和矿条	(171)
2. 富矿体	(171)
Γ. 与硷性侵入岩有关的岩浆矿床的构造	(173)
II. 伟晶岩矿床的构造	(174)
1. 剪切裂隙中的脉状矿体	(175)
2. 陡斜和缓斜张力裂隙中的脉状矿体	(176)
3. 与上覆岩层层理整合的透镜状矿体	(176)
4. 上覆岩层中的矿株和矿筒状矿体	(177)
III. 云英岩矿床的构造	(178)
A. 无石英脉的云英岩矿床	(178)
1. 花岗岩中沿两个方向冷缩裂隙交错处发育的网状脉	(178)
2. 沿一个主要方向的冷缩裂隙发育的网脉带	(179)
3. 渗透性弱的上覆岩层之下花岗岩中的网状脉	(179)
4. 相联的陡斜和缓斜裂隙中的含矿云英岩	(180)
B. 云英岩化岩石中的石英脉	(180)
1. 花岗岩类中冷缩裂隙内的矿脉	(180)
2. 张力裂隙中的陡斜矿脉	(181)
3. 剪切裂隙构造带中的矿脉	(181)
4. 两个方向剪切裂隙交错处的矿筒	(182)
IV. 矽线岩矿床的构造	(183)
1. 花岗岩类与石灰岩构造接触带中的陡斜矿体	(184)
2. 花岗岩类与石灰岩构造接触带中的缓斜矿体	(185)
3. 早期矽线岩与石灰岩构造接触带中的巢状和柱状矿体	(185)
4. 碳酸盐与硅酸盐岩石接触处的层间破碎带中的层状矿体	(186)
5. 花岗岩类的逆斜断层中的矿脉和矿脉带	(187)
6. 底辟褶曲中形状复杂的矿体	(188)
7. 石灰岩中逆斜断层交叉处、连结处或弯曲部的筒状矿体	(190)
8. 火成岩中石灰岩捕虏体发育带的巢状矿体	(191)
V. 热液矿床的构造	(191)
A. 褶皱构造	(192)
1. “相似”褶皱脊线中的鞍状矿体	(194)
2. 同心褶皱鞍部的鞍状和板状矿体	(195)
3. 底辟褶皱破碎带中形状复杂的矿体	(197)
4. 块状褶皱中形状复杂的矿体	(199)
5. 背斜鞍部破裂面上的筒状矿体	(200)
6. 巨大构造破碎带上盘岩层和裂隙中形状复杂的和层状的(较少)矿体	(201)
7. 褶皱翼部建造间的破碎带和片理化带中的层状矿体	(203)
8. 建造内的层状矿体	(204)
9. 角岩的角砾岩中形状复杂的层状矿体	(205)
10. 成矿前裂隙同有利于交代的地层交会处的形状复杂的筒状矿体	(206)

VI

B. 黄铁矿类矿床的构造	(207)
B. 热液矿床的裂隙构造	(208)
1. 张力裂隙中的矿脉	(215)
2. 褶皱过程中平行褶皱轴发生的逆掩断层和斜逆掩断层中的矿脉	(215)
3. 侵入岩墙接触处逆斜断层中的矿脉	(216)
4. 与褶皱轴和侵入岩墙斜交的剪切裂隙中的矿脉	(218)
5. 缓倾斜矿体下面剪切裂隙中的陡倾斜矿脉	(219)
6. 伴有羽毛状侧裂隙的主要含矿裂隙弯曲部分的矿柱	(220)
7. 剪切裂隙交叉处或连接处的矿柱	(221)
8. 逆斜断层及与其相连接的羽毛状侧裂隙中的网状脉带	(222)
9. 正断层中的矿脉	(223)
10. 岩墙中的 梯状矿脉	(224)
11. 侵入 岩体顶部的网状脉	(226)
结论	(228)
参考文献	(229)

論膠體溶液在成礦中的意義

О. А. 列維茨基

文內所述礦體的研究資料，証明了部分成礦物質呈水凝膠沉淀。研究了石英和錫石 膠狀集合體的形成條件，以及它們進一步改造時的特點。提出了假設，認為保存下來的 這兩種礦物的膠狀體的數量不等是由于它們在不同類型變質過程中的不同穩定性決定的。得出了結論，成礦物質的最初呈凝膠沉淀比通常所設想的要廣泛得多，並且不僅局限在標準的近地表礦床內。

緒 論

在闡明各種礦床研究結果的地质文獻中，證明膠體溶液在某些類型礦石形成中起着主導作用的資料越來越常見。的確，這種資料大多是關於較低溫的脈狀礦體的，但是在個別情況下所指的顯然是在相當高溫下形成的礦物組合。這使得我們有根據認為，膠體溶液在成礦中的意義比以前所設想的要重大得多；因此在地质文獻中（特別是蘇聯文獻中）對這個問題的注意顯著加多，這尤其是因為有關成礦溶液的膠體性質的概念也令人滿意地解決了由於假設金屬物質從稀薄的真水溶液中沉淀而引起的某些疑問。

在研究某些金屬礦點時，作者曾不止一次地見到過足以證明成礦物質由膠體溶液中沉淀出來的事實，同時，在許多地方所觀察的礦脈，無論如何也不能認為是低溫產物。對這些實際材料，以及由分析這些材料而得出的某些結論和推測加以描述就是本論文的目的。應當提及的是，在本論文中對金屬物質由源地遷移到成礦地區的過程中膠體溶液的作用問題並未加以研究。

作者所曾研究過的礦體是典型的錫石-硫化物金屬建造。因其地质情況、形態等，不屬本論文的任务，本文中不打算進行描述，只敘及對了解其形成條件的一般概念所必需的某些基本特點。

1. 脈狀礦體的一般特點

這裡所敘述的脈狀礦體是較年輕的產物——上中生代或下第三紀的產物。在大多數情況下，它們同一定的侵入體在成因上的聯繫僅僅是推測的，但是整個看來，可以相當肯定地說，這些脈狀礦體屬於與成分極其多種多樣的花崗岩類有關的礦床，這些花崗岩體的一般特點是，它們形成於中深和不深的條件下。礦體就是破碎帶和擠壓帶內礦化的地段，呈標準裂隙充填脈的較少。所有這些礦體通常都賦存在侵入體範圍之外，而位於不同變質程

度的砂頁岩層中。

矿化的破碎带的特点是矿脉的物质常具有显著的角砾结构，其围岩虽然不是具有非常强烈的、但总是明显的綠泥石化和硅化蚀变。包在矿脉中的沉积岩，如頁岩、泥质砂岩等的碎屑通常保存着明显的輪廓，但是有时完全为細粒石英-綠泥石（主要为綠泥石）所交代，有时为电气石-綠泥石集合体所交代。因此，当矿脉形成时，除开口裂隙的充填外，无疑地，交代作用也起着显著的作用。就矿脉的組成而言，特点是在脉石矿物中石英占优势地位，但是比較粗大的鱗片状綠泥石，有时为致密的細微針状电气石，也起着显著的、有时甚至是主要的作用。金属矿物除錫石外，方鉛矿和閃鋅矿为主要成分，在某些地方这两种矿物极为富集；黃鉄矿、磁黃鉄矿，特别是毒砂，則不是很特征的。因此在一般情况下遇到的是石英-綠泥石-硫化物矿脉，在硫化物中方鉛矿和閃鋅矿占优势。

当第二种矿体——裂隙充填脉形成时，交代現象起着較小的作用。这些裂隙充填脉有时伴生有一系列平行細脉，有时很显著的一个矿体变成一系列相距很近的細脉，然后又重新汇合在一起。应当注意到，甚至在单个矿脉的分支处脉体輪廓的細节仍然是清晰的。近矿脉的蚀变一般表現得較弱，在大多数情况下只能看到頁岩和其他围岩的不显著的綠泥石化和硅化作用，有时出现了分散的硫化物浸染体，时而亦可見到电气石化作用。

在組份上矿脉的特征是：在脉石矿物中，石英占优势，經常有不太发育的綠泥石，局部出現相当大量的浅綠色螢石和电气石；在金属矿物中，錫石的分布最广，硫化物——毒砂也大量存在，黃鉄矿、黃銅矿較少，閃鋅矿、方鉛矿微量，黃錫矿則少見。总之，本类矿脉是石英-硫化物矿脉，以鉄的硫化物占优势，同时，在不同的部分硫化物的数量变化甚大，而矿脉在某些部分几乎全部都由石英和錫石所构成。应当強調指出，在划分出的这两种脉状矿体的形态类型中还存在着过渡的变种，而两者的主要差异仅仅能够根据其两端的代表才能确定。在很多矿化的破碎带范围内可以見到在成矿过程中生在自由空洞中的部分矿体，正象裂隙充填脉有时变为含矿的角砾岩或破碎岩石带一样。

矿脉的结构相当复杂。对很多矿体，尤其对第一类矿体而言，以有角砾状构造为其特征，这种角砾状构造是由于矿体成分中存在着在某种程度上被改造了的围岩碎块而造成的。块状矿石也广泛发育，这种矿石对裂隙充填脉来說尤为典型，但是在第一种矿脉中也相当普遍。块状矿石有时具有相当特殊的形状，不管它們是发育在第一种或是发育在第二种矿体中。实际上，甚至在块状构造中，矿体的均匀结构也远远不是普遍的现象。矿石經常具有复杂的块状-带状结构，同时，各带有时具有极古怪的圓形狗牙形輪廓。在块状-带状矿石中，有的地方可以見到圓形透鏡状体，驟然看来，这些析出物給人的印象好像是完全被改造了的围岩捕获体，但实际上，是由成分上与其他物质有显著区别的成矿物质分离的結果而形成的。还需要提到一个有趣的情节，在上述狗牙形-带状矿石中常常出現大量有时相互毗邻的浅色圓形体（直径不超过1—2毫米），这些析出物使得矿石具有极为特殊的斑点状、痘痕状的輪廓。

上述矿脉的矿物成分并不复杂。虽然如此，但矿石中某些矿物，首先是石英和錫石，出現着极其特殊的形状。这就是为什么我們對它們的描述給予重視的原因。

2. 脉石英的形态特征

充填在裂隙空洞并参加到矿化带中去的石英主要为粗粒集合体，乳白色，半透明，大部分具有较高温度矿脉中的普通石英的外貌。但在许多矿脉中还是显示出某些特点，在浅色粒状物质中出现着染色相当深的巧克力褐色的不规则石英晶体，发育有大量带磁白色蛋白石状皮壳的环带状晶体，最后，发育有圆形硅质球粒。下面我们将分别加以描述。

渲染成各种巧克力褐色的石英通常分布在与围岩的直接接触处，或者紧贴在含矿裂隙壁上，或者环绕在矿体中的砂岩和頁岩碎屑的周围。因此，褐色石英在矿体中的位置就能够说明它是较早期沉积的。表面上，它给人一种印象，石英物质是被大量外来物质所污染，这种外来物质或是綠泥石片，或是几乎全部被交代了的頁岩細碎屑，最后，或者是微細的金属矿物包裹体。

对褐色石英作了显微镜研究后，了解到这种颜色实际上是石英中大量存在的气液包裹体造成的。这些包裹体比较均匀地分布着。褐色石英集合体具有粗镶嵌结构或柱状结构，并且各晶粒具特有的羽状构造（图 1a 和图 16）。晶粒内部构造的这个特点是由于在褐色石英中存在大量相距很近且平行分布的浅色石英引起的，这种浅色石英经常具有短紡錘状透镜体的轮廓，并时常汇合在一起。

所有褐色石英都被由浅色石英所构成的稠密細脉网所貫穿。这些細脉奇奇怪怪地弯曲着，彷彿它們把褐色石英划分为相互镶嵌的圆形細粒，并且使得大部分集合体具路石结构（торцовая структура）。

气液包裹体的大量存在和独特的构造，使得能够在显微镜下将褐色石英与周围通常是透明的均匀消光、且晶粒粗大得多的大量脉石英截然区分开。两种变种間的界限一般看来是相当清楚的，模糊不清的时候较少。它們的相互关系可以由自透明石英伸出而在各种方向上切穿褐色石英的細脉来确定。这些細脉同上面所描述的切割褐色石英的弯曲細脉网不同，它們具有直綫状的轮廓，且相当稳定。宽度达 1 毫米或更寬的較大細脉是由透明石英組成的，这种石英外表上与褐色石英不同（图 1a），而与其形成均匀的粒状集合体（图 16）。

应当注意一个有趣的情节，这就是既在褐色石英中存在，又在切穿褐色石英的透明石英細脉中存在的閃鋅矿在结构上的显著差别。第一种情况下，閃鋅矿集合体有时具有复杂的狗牙形-条带状构造，有节奏的重复着深色和浅色的弯曲条带，并且整个具有相当清楚的胶状外貌。而在切割細脉中，见到的是普通粒状閃鋅矿集合体，沒有任何钟乳状构造的痕迹。

上述脉状矿体另一个特点是在致密的粗粒石英块体中有大量具环带构造的晶粒存在。中央部分——核心——具有規則的結晶外形，由普通的乳白色半透明石英所构成。核心被包围在磁白色蛋白石质硅质物的外壳中，这个外壳常具有复杂的同心带状构造。再向外是做为矿脉主要物质的粗粒集合体，就肉眼观察，可以很清楚地同蛋白石质外壳区别开来。应当附带说明一下，这样完全的切面，即核心被細粒集合体所紧密圍繞的情况，并不是到

处都能見到，在許多地方核心常常缺失蛋白石质外壳，而直接与周围粗粒石英相接触。

在显微镜下查明了上述析出物具有极其复杂的构造，其中也包括象前而已經說过的、外表具有完好的单一小晶体輪廓的核心。事实上，核心仅仅有时是均匀的，常常具有較复杂的內部結構。通常可以将核心分为由均匀消光的透明石英所构成的中央部分，以及因大量气液包裹体存在而具有浅褐色的边缘部分。

在核心的边缘部分中，見到清晰的、按顺序出現的晶体生长带，这些带引起了結晶环带构造（图 2a 和 26）。同时，几乎經常也出現着边缘部分的放射状或玫瑰花状构造，这使石英表现出扇形消光。通常，生长带的存在表现在含气液包裹体多少不等的条带的交替上，而不影响由一个生长带过渡到另一个生长带的放射状石英的均匀性；有时，相邻的带較明显地分开，各自具有独立的放射状內部构造，这就更加突出地表现出核心的非均匀性。

在个别情况下，带状石英的中央部分具有更加复杂的构造。例如，有时核心的生长带被細小石英晶粒的不連續条带所分割，或者在中心分布着細粒石英集合体，趋向边缘则变成粗粒和細粒石英的相間带。最后，有时整个核心由細粒块体所构成，这种块体具有特殊的細微鑲嵌結構和毡毛-纖維状結構，并且包括着同构成外壳的蛋白石质块体 类似的 隐粒状硅质物。

因此，对比各种带状石英的中央部分，可以看出从部分为由类似蛋白石质外壳的硅质物所组成的核心开始，到規則的、虽然还不完全是均匀的晶体的核心为止，是一直連續过渡的。

在核心为細粒結構时，能清楚看到的只不过是它的大致輪廓，核心及外壳的界限的細节通常是模糊不清的。单晶体核心的界而要清晰得多，以至于常常可以相当肯定地说，核心和其外壳形成时，在時間上有一个間断。自然，就在这种情况下，核心边缘部分的不均匀性、这些部分所表现的鑲嵌結構或放射状結構，有时也大大掩盖了核心和外壳間的界面。

带状石英外壳最普通的外形如图 3a 和 36 所示。它們的一般特点是明显的同心圆带状构造，带的寬度由百分之几或十分之几毫米到 1—2 毫米。富含气液包裹体也是其特点，这些包裹体有規律的分布使外壳的带状构造更加明显。外壳的外形及其各个带的輪廓都重复着結晶核心的形状，但这仅仅是极大致的。核心具有简单的、与一定的石英晶面相应的規則界面，而外壳則具圓形的、有时是奇奇怪怪的弯曲的輪廓，这种輪廓实质上为钟乳体所特有的。甚至几乎直接粘到核心上的外壳的內带，有时也具有复杂得多的界面，并不与核心的形状一致。特别是某些带的狗牙形輪廓是极其特殊的，每一个带好象是由一系列相毗連的半球所組成。外壳輪廓的这种复杂性是內部构造的直接結果；外壳各带常常是不均一的，由許多相邻的結核所构成，这些結核的联合也决定了外緣的狗牙形輪廓（图 4a 和 46）。同时，每一个結核本身也是不均一的，具有各自的同心圆带状构造，有时也具有放射状构造。

各个带的相互区别不仅仅是气液包裹体的数量不同，同时其构造也各自相异，这些带有时为致密的硅质块体所构成，有时为纖維状正玉髓和玉髓的纖維所构成，有时为扇状消光和鑲嵌状石英所构成，等等不一。并且，所有上述矿物常常见于同一带內，沿着带的走向相互反复交替着。

致密块体有时构成整个外壳，常常是这样的微粒，甚至在最高倍鏡下放大时，也仅仅能得到它們是部分再結晶的蛋白石物质的印象，在这种物质中分散着极微細的石英小粒。很多蛋白石帶，特别是常常具有腎状构造的蛋白石帶，它們的特点是在其中发育着稠密的細微的弯弯曲曲的裂縫网，这些裂縫好像是典型的干裂紋。这些小裂縫也被硅质物所充填，但却是顆粒不太細的、且不含气液包裹体的硅质物，因此，它們形成纖維状浅色条帶。

有时，甚至在蛋白石物质的顆粒极为細小的情况下，其中还是显出各个石英粒的放射状分布，当石英粒合併时，在細粒物质中間，有些地方也出現极其独特的放射纖維状构造的部分。

細纖維状构造常常是很多帶状石英的外壳的特征。纖維状集合体主要是纖維石英——正玉髓，但間或也可以見到由玉髓纖維組成的类似构造。有的地方纖維的分布是彼此严格平行着，垂直于帶的界面，而另些地方却分离成为紧密相邻的扇状束。最后，有时这样的扇状纖維束沿着帶的走向为腎状石英所代替，在这样的石英中已經不能分出单个的纖維，非均一性表现在清楚的、复杂的扇状消光上。总之，这些变种的相互关系使我們可以将纖維状正玉髓和玉髓集合体的发生，視為由于蛋白石硅质物再結晶的結果，而扇形消光的腎状石英的形成則为纖維状集合体选择重結晶的結果。

上述外壳和周围脉石英块体的相互关系的特点如图 5a 和 5b 所示。这里清晰地描绘出核心中央部分（透明的、均一的）和其帶状边缘（具有扇状和放射状构造）間的差別。核心一部分包含在外壳中，一部分則直接同周围脉石英連接（在照片范围之外）。主要由正玉髓和玉髓特有的纖維状集合体所构成的外壳，局部具有相当清楚的腎状构造。纖維集合体逐渐过渡到羽毛状，然后过渡到扇状消光的石英，仍然保存着明显的钟乳状构造，最后，扇状消光的石英变为普通粒状石英。这种变更有两种方式，一部分由于毗邻的外壳部分的重結晶作用而发生核心的增大（亦見图 4b，左側），而一部分是外壳沿着走向过渡到粒状脉石英，或者是逐渐的，或者是突然的。最值得提出的是，核心的增长部分，特别是相毗邻的粒状石英集合体，仍然保留着外壳的原始钟乳状构造，气液包裹体呈帶状分布，这些包裹体向外壳被保存下来的部分延伸着。在直接靠近外壳处，这些残存的原始构造极为清晰（图 6a 和 6b），距外壳愈远，則迅速变暗，完全消失，或很难辨認。总之，可以很清楚的看到外壳的硅质物的部分重結晶，并形成普通粒状石英集合体。

图 7a 和 7b 可以散为这种現象的解释，在这里可以很好地看到某些被压扁了的硅质球粒的部分重結晶的結果，并且在所形成的粒状脉石英中保存着腎状构造的残余。图 8a 和 8b 也是可以作为范例的。在透射光下可以見到帶状石英的一般景象：具有清晰的生长帶的核心和具有特殊的腎状构造的外壳。在正交偏光下图象显然发生了变化，核心和外壳几乎全部都是由普通粒状石英所构成，并且，由于气液包裹物的存在而显示出的圓形钟乳状皮壳帶有时分布在单一巨大石英晶体內部。当进一步重結晶时，仅仅保存下帶状石英外壳的輪廓的一部分，并且常常可以看到硅质物所有原始构造的痕跡几乎全部消失了，面具有一般脉石英的外貌。

石英块体的这种腎状构造的残余經常可見，有时比較清晰，有时模模糊糊。它們的存在使我們可以設想，脉石英的原始外貌，至少其中一部分，和現在所見到的远远不同，因

而，在脉状矿体形成过程中，呈富含水的蛋白石物质（以后受到重结晶作用）存在的二氧化硅的沉积起着不小的作用。

在含錫矿脉中有时见到的极为独特的二氧化硅物质也有利于说明这个假设。这些集合体間或具有相当规则的球形（图 9a 和 9b），但是根据各部分断面来看，更常见的倒是不完全的球状体，是球粒的碎片（图 10）。这些碎片几乎永远具有同心带状构造与放射纖維状构造，同某些受到微弱重结晶作用的带状石英外壳的构造相似。在所描述的球状体中大量气液包裹体的规则分布更增强了这种相似性。个别窄的同心圆有时由几乎区别不开的胶体錫石的粒状集合体所构成。象在带状石英的外壳中一样，一部分二氧化硅纖維是玉髓，也就是說，这是复杂的玉髓-正玉髓集合体。細纖維的放射状构造通常并不是在被描述的球体的整个范围内均有：有的地方各个纖維联結成几乎成为致密块状的扇状集合体，这些集合体有时汇合成一片，引起了个别部分的扇状消光（图 11）。間或由于纖維汇合几乎全部掩盖了硅质物的原始同心圆和放射状构造，而生成不规则的镶嵌状石英集合体。

硅质球粒和周围粒状石英的相互关系完全可以同样地描述。例如，局部地方可以见到离开粒状石英块而沿着纖維伸入纖維状集合体的微小槽状細脉。除此之外，还可以遇见与周围脉石英相連、在各种方向上切过硅质析出体的石英細脉，它們的方向与纖維状正玉髓和玉髓集合体的排列方向无关（图 12）。在这类切割細脉中有时见到錫石微粒，这点更加强调出硅质球粒为較早期的、明显的內生成因产物。同时应当指出，有时被細脉所切割的球粒各部分的内部构造并不和主要硅质块体的一般构造相同。球粒的这些微小部分具有独立的同心圆带状，与它們的外部輪廓相一致（见图 14 的上部），因而造成一种印象，它們似乎是早在构成球粒的硅质物尚未完全固化的时候就已经分离出来了。

除了切割球粒的石英細脉以外，还可以见到不规则的石英“斑点”，这是輪廓非常曲折的粒状石英部分。它們沒有明显的界面，并且模模糊糊地同周围的纖維状集合体合成一片，在其边缘部分保存着纖維状集合体特有的大量气液包裹体。

正象已经談过的一样，硅质析出体只有很少时候具有规则的、近似于球状的外形和明显的界面，最常见的是不规则的，带棱角的。周围的粒状脉石英形成許多海湾状部分伸入球粒的硅质物中，当高倍放大时，就清楚地显示出，甚至乍一看来是直綫形的界限，实际上也是极其不平坦的，面是呈复杂的锯齿状。同时，纖維质集合体也好像流散在周围石英块体中（图 13），并且在与之毗連的粒状石英带中有大量气液包裹体，仅这一点就可以証明这种部分最初是硅质球粒的边缘部分。在另一些情况下，包围着球粒或其碎片的粒状石英集合体虽然没有充滿残余的气液包裹体，但却具有或多或少明显的放射状构造，这种构造和球粒本身的放射状构造相一致。这或者表现为圍繞这些球粒发育着柱状石英晶体的放射状边，这些晶体伸入均粒集合体中很深，或者表现为石英晶粒的粗大放射状构造。最后，在周围石英集合体的外表特征常常反映不出原始构造的特点，这种集合体，驟然觀之，是杂乱排列的镶嵌状晶粒。但是，就在这种情况下，晶粒的光性方位也显示着规律性，这表现在包围球粒的石英块体中出現着清晰的“消光十字”，也就是說，表现在繼承着硅质球粒的放射状纖維集合体的方位（图 14）。在这种情况下，所看到的相互关系能够肯定的說明相毗邻的粒状石英是由硅质球粒的重结晶而发展起来的。这一点在个别同心圆由胶状錫

石构成、而使球粒的矿物成分不均一时表现得特别明显。这种胶状錫石带没有受到重大变化，可以連續地由球粒追踪到周围的粒状石英中，这証明粒状石英是由球粒的重結晶作用而生成的（图 15）。

上述資料表明：第一，矽质球粒是內生的，并且是較早期的产物，因为不只是这些球粒有时含有由胶状錫石所构成的同心圆，而且被含着錫石小晶体的粒状石英的細脉所切割；第二，普通粒状脉石英无疑是由再結晶的球粒的纖維状硅质物生成的，有时原始结构的痕迹几乎全然消失。玉髓-石英集合体轉变为粒状石英的这个过程，在許多情況下，可以由直接同残余球粒相毗邻的粒状石英来肯定地說明，虽然也有根据認為，事实上所有脉状石英不小的一部分最初也是类似的細纖維状集合体。

总结所談到的材料，可以作出以下結論：

在所描述的錫石矿脉（为常見含矿建造相当标准的代表）中，于普通粒状石英間，常遇到外貌显然与粒状石英不同的析出体。其中有为气液包裹体所充滿的褐色石英集合体，以及极細粒的蛋白石质块体和細纖維状玉髓-石英集合体及更常見的正玉髓集合体，这些集合体或者形成带状石英的外壳，或者构成单独的球粒。在所有情況下，上述产物都是內生成因的，有时同胶状錫石同时沉淀，有时（最普通的情況下）被含有金属矿物（其中有錫石和閃鋅矿）的粒状石英細脉所切割。这些硅质析出体的构造特点是肾状輪廓、同心带状和放射状构造，有时发育着特有的干裂紋，所有这些都使我們可以将其视为典型的胶体产物，是氧化硅凝胶从胶体溶液中沉淀而生成的。

此后，胶体硅质产物遭受到复杂的变化。蛋白石物质轉变为細纖維状正玉髓集合体，有时还有玉髓在一起；細纖維集合体逐漸增大，并且轉变为扇状消光的石英，最后，变成普通粒状石英。粒状石英有时保存着这些或那些原始钟乳状结构的痕迹，但是以后的变质作用使得这些原始胶状构造的残余迅即消失，而最終变成所謂“高温”矿脉的脉石英具有的标准外形的粒状石英体。

无疑地，絕非所有粒状石英都可以解释成为最初呈凝胶状析出的硅质物很早受到这类变质作用的产物，沒有任何根据来反对一部分石英是由真溶液（同时也不仅仅是残余溶液）中結晶出来的。再者，当容易受到重結晶作用的物质（如石英）存在时，甚至很难近似地从数量上来判断这两种形成石英方式的作用的大小。仅仅能够十分有把握地証明一部分二氧化硅是呈凝胶状沉淀，同时是在成矿过程的早期阶段；而胶体硅质物的后期变质作用，最后将引起普通脉石英的形成。所以，在脉状体中显然为量很少的标准胶状硅质体本身，还不能作为在成矿过程中胶体硅质溶液也是起很小作用的論据。

为了确定这个問題必須研究在变质过程中比較稳定的其他矿物。属于这类矿物的有錫石，我們将在下而对錫石的形态特征加以描述。

3. 錫石的形态特征

在所描述的脉状矿体中，錫石主要有两种形态：或为显晶质，通常是細粒集合体（晶粒大小常为十分之几毫米）；或为致密的隐晶质块体。前者通常在数量上占优势。

两种变种經常紧密共生，同时显晶质錫石常常围绕致密变种的集合体，在其外围形成特殊的花环，最后，有时形成切断隐晶质錫石块体的細脉。

致密集合体有时为块状的錫石所构成，但是在其中常常也存在着数量不定的細粒石英，这种致密的、结构均一的块体的顏色，由于两种矿物在数量上的不同，由深巧克力褐色到极浅的褐灰色。

显晶质錫石在矿脉中常常形成几乎是单矿物的大小不等的集合体，或者在石英中和綠泥石及其他脉石矿物中成为不均匀浸染体发育着。隐晶质致密变种的特点是呈断續的弯曲条带，一般平行于矿脉的接触带，具有特殊的复杂的狗牙形輪廓。条带的厚度为1—2—3厘米，长几十厘米。在各个条带的范围内，常可見到細粒石英混入物富集程度不同的浅色带和深色带的互层。間或也可以見到較大的析出体，在断面上有时具有相当規則的扁平的透鏡体的外形，因其具均匀的构造和浅黄灰色，很易与灰綠色石英-綠泥石脉石或主要由石英組成的白色脉石区别开来。最后，錫石-硅质物的集合体很突出的特征是呈直径2—3毫米的小球状体存在，在有些地方大量分散在脉石中，而使其具有独特的珠状矿石的外形。

块状錫石集合体一般为深褐色物质，有时甚至放大500—600倍，在其中也不能分辨出各个結晶单体。这种隐晶质块体的均质性往往被破坏：在許多情况下，好象分解成极微細顆粒的集合体，在其中出現各式各样的显晶质錫石集合体，有时为近等軸状—“斑点”状，有时为扁豆体状，甚至細脉状（图16）。同时，可以見到由深褐色致密块体向細粒集合体的逐渐过渡；甚至細脉状体具有不清楚的輪廓。总之，在此情况下粒状集合体是直接生长在隐晶质块体中間，并且和这个块体是統一的整体。

块状錫石集合体通常被較浅的檸檬黃色粒状变种的环带所围绕。这些結晶小花环在有些地方合在一起，形成大片的粒状块体，其中含有深褐色隐晶质的“斑点”。这些环带在某些地方只是相互邻近，或者仍然保持着分离状态，二者之間的空间则为脉石英充填，这种石英含有短柱状錫石晶体和綠泥石片，它們有时被致密的錫石环带边所围绕。环带直接靠近核心深色錫石的內緣，通常由均匀的細粒集合体构成，同时，两种变体的交替常常是逐漸的，正象在上述包含在隐晶质錫石块体里面的細脉中所見到的一样。同样，均匀的細粒集合体也逐漸变化，随着向环带的边缘方向，出現針状錫石，然后为細棒状，最后为短柱状錫石（这是分布較广的显粒状变种所特有的）。总之，在矿质沉淀过程中看不到較明显的間断：隐晶质核心和間围粒状环带在此情况下，实质上是統一的整体。

除了可以証明物质沉积有連續性的关系之外，还可以見到另一种能够說明在時間上或多或少有明显間断的关系。首先，粒状外壳与核心之間有时具有相当明显的分界，不仅顏色較浅，而且結構显然不同。其次，有时有細脉从粒状外壳的外側部分分出，它貫入核心的隐晶质块体中。

一般来講，这些細脉具有清晰的輪廓，也时常具有明显的带状結構。例如，細脉的近脉壁带乃由細粒浅檸檬黃色錫石集合体构成，这种集合体或者可很明显地同褐色隐晶质块体区别开来，或者同隐晶质块体中的粒状結構的各个部分汇合在一起（图17）。向細脉的中部方向，細粒集合体迅即变为棒状或长棒状錫石，这些錫石又为短棒形的柱状晶体所代替。除了这些晶体以外，軸心带中常发育着石英。这些总的来看呈交錯的、而細节上有

时模糊不清的輪廓是直接由粒状錫石外壳分枝出来的錫石細脉的特征。

石英細脉中的粒状錫石部分生成較晚是容易看出的；这里的石英細脉是由上述的充填到各环带間隙之中的較早期石英块体分离出来的。类似的細脉常常也含有綠泥石及柱状和短柱状錫石小晶体，这些小晶体或者分散在石英块体中，或者在裂縫壁上生长起来(图18)。在后一情况下，錫石小晶体以自己的底面同致密錫石块体接合在一起，同时，驟然觀之，使人产生两者为同时生成的印象。但是，在顏色上明显的差別証明了較晚期錫石是独立沉淀的。

正象由上面描述中可以看到的一样，隐晶质和显晶质錫石的空間共生关系反映着它們在生成時間上的密切联系。但是这个時間上的密切关系并不排斥所見到的相互关系有相当大的多样性。

例如，在隐晶质集合体中的粒状錫石析出体（扁豆状、斑点状直到細脉状）就其生长時間而言，大概不能与前者区分开来，这些析出体是在隐晶质集合体本身生成的过程中发生的，并且只不过是金属物质个别部分較完全結晶的結果。粒状环带的形成也沒有显著的間断，但是毕竟要稍晚一些，生长在隐晶质析出体之上，同时，由环带有时分枝出来并貫入到隐晶质块体中的細脉也証明环带生成略晚这一事实。最后，环带之間的石英-錫石集合体可以說時間上明显地更晚。上述含有綠泥石和錫石柱状晶体的石英細脉的发育也証明这一点。

应当說明，明显切割集合体内部隐晶质部分的这种石英細脉，对外部显晶质带而言，有时已經不是純粹的切割細脉了：在这些地方有錫石晶体的分枝伸入石英細脉中，而这些分枝同外部粒状带的物质为統一的整体。换言之，外部粒状带的成长同細脉本身的形成是同时的。

类似的詳細情况可以更加說明所見到的相互关系的矛盾和复杂性，以及或成隐晶质或成显晶质析出来的金属物质在沉淀時間上的相近。

除致密錫石块体（其均匀性仅仅被在其中所見到的粒状部分所破坏）外，还分布着具有特殊的钟乳状外貌的析出体，这种析出体在大多数情况下也同錫石的粒状变种密切共生。它們照例具有明显的同心带状結構，同上述硅质球粒的結構相类似，具深色和浅色带的互层。中央部分一般由隐晶质块体所构成，在极高倍放大情况下仅仅局部可以辨別出个别晶粒。趋向边缘方向，这个块体虽然仍保持着深褐色，却具有細粒結構，并且不明显地过渡到纖維状、放射状集合体。再次为較浅色外部带，最初由針状錫石构成，然后向边缘移动則为較粗粒柱状錫石所构成，最后为短柱状錫石。同时，浅色外部带的針状晶体經常是核心的致密錫石纖維連續的延长部分，但是顏色的变更証明了中央部分同外部錫石成分上的差异，并且表明了錫石沉积条件曾有某些变化。

上面綜合的情况反映出两种錫石变种最普遍的关系，但并不是永远如此。

例如，在图19中可以見到在一个肾状析出体范围内不同結構带的重复出現。此时，象一般情况一样，核心是由含有石英粒的深色隐晶质块体构成。再次为寬大的柱状錫石带，然后又重新是隐晶质变种的深色带，这个带同由細針状集合体所构成的带或多次互层。錫石隐晶质块体沉积在錫石显晶质集合体之上。有时沉积在单个的大晶体之上的这种情况，并

不是少見的，但是無論如何，與次序相反的最普通的相互關係來比較，還是不太常見。

圖20可以作為後面這種情況的寫真。在中央部分見到深色隱晶質錫石的腎狀集合體，具有相當清晰的同心結構。腎狀體邊緣部分的隱晶質塊體為粒狀集合體所置換——首先為細粒狀，然後，逐漸遠離核心面變為比較粗粒的集合體。

一般說來，致密的和顯晶質變種的界限相當清晰。但當高倍放大時可以查明，有些地方深色隱晶質塊體完全逐漸過渡為粒狀的，所以要想區別開它們只有根據不同的顏色，而不能根據結構。因此，分界的特点更好地證明，所有結構複雜的集合體的生成是統一的整體，面在所有場合下，並不能提供根據而將膠狀和顯晶狀錫石的形成從時間上顯然分開。同時，核心的隱晶質塊體為橈狀細脈所切割，這種細脈是外部結晶帶的直接分枝，並且是由作為該帶特征的淺色錫石變種所構成。

所描述的脈狀礦床一般所特有的這種相互關係上的矛盾，大致可以證明同一礦物質（在此情況下為 SnO_2 ）在成礦時間內析出形式的變化。例如，構成集合體核心的深色錫石的腎狀集合體顯然是 SnO_2 ，由過飽和溶液中呈凝膠狀的凝塊沉澱的結果，這種凝膠又轉變為致密的膠狀錫石塊體。其中的裂縫可以在凝膠固結過程中發生。面外部結晶帶及生在干裂紋中的細脈是由錫石從濃度較小的殘余溶液中繼續沉澱而成。

上述類型礦脈中錫石的膠狀單礦物集合體的数量變化很大。有些地方，這種集合體数量很多，而在另一些礦脈中，驟然一看，只是起着極次要的作用，只不過具有礦物學的意义，因為大部錫石為一般的結晶集合體，從其外表看，並沒有甚麼明顯的膠狀結構的痕跡。但是，就在這種情況下，錫石集合體的外貌往往遠不是常見的；其特点是，除了等粒狀集合體之外，還廣泛發育有放射狀集合體，在有些地方成為似球形的，並受到某種程度的變形。

在顯微鏡下，對這類外部呈顯晶質的產物的研究，查明了其內部結構的某些極其突出的特点。有關這些特点我們將在下面加以探討。

首先應當指出，在粒狀塊體中間明顯地看到很多極微小的（直徑為0.1—0.5毫米）具有鐘乳狀、膠狀結構的腎狀體（圖21）。根據斷面來判斷，它們是球狀顆粒，中間部分由隱晶質深色錫石塊體構成。這個致密的核心被一系列同心環帶所包圍，這些環帶由顏色濃淡不一的細纖維狀錫石所構成，它們有時被同“核心”的致密塊體相似的細粒錫石帶和隱晶質錫石帶所分開。外帶的纖維狀錫石逐漸過渡到針狀較淺色錫石，然後又被形成錫石礦石主要部分的普通柱狀錫石所代替。因此，即使在這種情況下，在普通粒狀錫石塊體中間，一下也能很清楚地看出那些為標準膠狀體所固有的結構特征。很特殊的是，當兩個或幾個球粒鄰近發育時，它們的規則形狀就被破壞，相互毗連起來而被壓扁，以平面分界（根據薄片成直線的界面），正象連接起來的液體小滴一樣。

當很多球粒連接發育時，它們匯合成或多或少均勻的細粒塊體。

僅僅在偏光下根據許多消光十字才查明這種塊體最初是由很多變形的、相互擠壓的球粒——“錫石小滴”所構成（圖22）。

上述的球狀體，一般主要賦存在礦脈裂隙的壁上，或者主要生在包裹于礦脈中的圍岩碎屑的界面上。總之，它們一般的分布情況，能夠說明在礦脈形成的初期是它們發生的最