

# 钨锡矿床的成矿预测

柳志青

## 预测区的选择

中国东南部钨锡矿床成矿带的划分,各家不一,但总的看法是把一百多万平方公里按北东方向划分为若干成矿带,成矿带内再分亚带。笔者认为,这样划分,靶区太大,不利于找矿。我们把一千多个矿床、矿点按储量大小标在地质图上,发现矿床的排列并不都按北东方向,而是几十个或几百个矿床、矿点密集一团分布,我们称之为富集区。因为密集区仅分布于花岗岩、构造矿源层等多种有利地质条件复合处,因而多呈面状分布。一个密集区的面积一般为数千平方公里,个别较大或较小。我国较重要的钨锡矿床密集区有:①崇余、②余赣、③三南粤北、④武功山、⑤闽西、⑥郴州、⑦湘桂、丹池、个旧等,除此之外尚有数十个较次要的钨锡矿床富集区。在一个富集区内,往往几个大型或特大型矿床占全区储量的大部分。密集区之间常稀疏分布一些矿床,但多数工业意义不大。因此找矿重点应布置在这些密集区。密集区主要受下列因素控制。

**1. 花岗岩** 众所周知,我国南方钨锡矿床与多旋回的花岗岩,主要是燕山期花岗岩有成因联系,但并不是都能形成矿床。笔者统计,闽、赣、粤、湘、桂五省(区)大小1270个燕山期花岗岩体,其中仅409个岩体及其附近有钨锡矿化,即67%的岩体及其附近没有钨锡矿化。显然,我国非产钨锡省份,这个比率要大得多。关于成矿花岗岩的特征,多年来南京大学地质学系、贵阳地球化学研究所等许多单位进行了深入的研究,取得了显著的成果,但问题并未完全解决。我国南方409个与花岗岩体有关的1200个钨矿床、矿点,其中特大型矿床数仅占总数的0.8%,但储量却占62%;大型矿床占1.7%,储量占20%;中型矿床占4%,储量占12%;小型矿床矿点占93.5%,储量占4%(矿床规模是笔者自行规定的)。这些数据说明,即使判出哪些是成钨花岗岩,其中绝

大多数也不能形成较大工业价值的钨矿床。锡矿床与花岗岩的关系同钨矿床基本相同。

我国南方几省,钨锡找矿工作开展了几十年,地表出露的大中型矿床大多已被发现,现在主要是找隐伏、半隐伏矿床。与这类钨锡矿床有成因联系的花岗岩,绝大多数是隐伏岩体。既是隐伏的,怎样确定它们是成矿或非成矿岩体呢?不少大中型钨矿床都是在勘探和开采多年后才找到深部的隐伏花岗岩,有些大型钨锡矿床的下部,至今仅发现一些角岩,没有花岗岩。因此,钨锡矿和某一特定的花岗岩有成因联系,也还是无法预测。要确定隐伏花岗岩是否是成矿花岗岩,显然比评价勘探一个矿床难得多。事实上,发现复式花岗岩体及其外围有矿化,这就是证明该花岗岩是成矿的最好证据。因为运用地球化学等标志判别花岗岩是否成矿,也是确定花岗岩体内及外围是否有矿化,然后再进行矿物、地球化学对比。

由于绝大多数钨锡矿床与花岗岩有成因联系,因此隐伏岩体的预测就显得很重要。密集区内的燕山期花岗岩多呈小岩体或隐伏岩体,岩株和岩基远比非密集区少。小岩体或隐伏花岗岩体侵入到寒武纪砂、板岩后形成厚度不等的热变质带。由于各岩体热变质带总厚差别很大,因而很难进行定量预测。随着远离岩体,一般是黑云母、白云母、红柱石、堇青石角岩带,绿帘石、阳起石、黑云母、白云母角岩带,绢云母、绿泥石斑点板岩带,三个带的厚度分别用 $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 表示,据笔者研究,它们在不同岩体外,均呈一定比例变化,由此根据实际资料得出下面三个经验公式:

$$h_1 + h_2 = 4h_3$$

$$h_1 = 0.85h_2$$

$$h_1 = 0.57(h_2 + h_3)$$

这样仅根据一或二个热变质带的厚度就可以大致确定花岗岩的隐伏深度, $h_3$ 和 $h_2$ 的大小可以利用地形,用剖面法求出,也可根据钻孔资料求出。

**2. 矿源层** 既然华南绝大部分燕山期花岗岩不能形成大中型钨锡矿床, 这就说明形成大中型钨锡矿床还有其他控制条件。笔者在1976年提出寒武系是钨矿床的主矿源层, 后经多旋回花岗岩富集成矿的假设。笔者的统计资料表明, 当燕山期花岗岩侵入寒武系(砂板岩)时, 形成大型、特大型钨矿床占大型、特大型矿床总数的78%, 中型占65%, 燕山期花岗岩侵入震旦系时形成的大型矿床占4%, 中型占10%; 相应地与板溪群有关的大型、特大型矿床占4%, 中型占8%, 与泥盆系有关的大型、特大型占8%, 中型占12%。统计资料表明, 锡矿主要和泥盆系、三迭系有关。近年来的很多研究工作表明, 华南一带从板溪群到第四系, 均有钨锡成矿元素富集的层位, 有些还形成砂矿和古砂矿。不能因为这些地层中均有富集钨锡的层位就都称之为矿源层, 这样反而迷失了预测方向。必须研究不同层位的成矿几率。统计表明, 我国南方主要有下面五个矿源层:

板溪群: W、Sb、Au、Cu、Pb、Zn,

震旦系: W、Be、Cu、Ag,

寒武系: W、Be、Mo、Bi、U、TR、Ta、Hg,

泥盆系: Sn、W、Cu、Bi、As、Sb、Hg、FeS<sub>2</sub>、Pb、Zn,

三迭系: Sn、W、Cu、Bi、Pb、Zn、As。

五个矿源层中, 寒武系是钨的主矿源层, 泥盆系、三迭系是锡的主矿源层。当然燕山期花岗岩侵入于其他地层中时也能成矿(因华南是钨锡地球化学异常区), 但多半是形成小矿或矿化点, 而侵入于主矿源层时形成大中型矿的可能性大。当燕山期花岗岩侵入于加里东或海西一印支期花岗岩体中心部位时, 多半无矿或仅形成一些小矿。特别有意义的是, 当燕山期花岗岩侵入于寒武系时, 往往形成以钨为主的矿床; 当燕山期花岗岩同时侵入于寒武系和泥盆系时, 形成的矿床往往以钨锡为主; 如果花岗岩侵入于泥盆系, 而寒武系深埋于泥盆系之下, 尽管花岗岩上侵时肯定通过了寒武系, 但形成的矿床往往以锡为主。这证明成矿物质不是来源于深部, 而是浅源。据地层和一些典型矿田剖面资料估计, 成矿物质大部分是在花岗岩顶板以下

1~2公里间隔中改造矿源层后于岩体内集中, 然后靠气化热液活化转移成矿, 部分是在矿源层内就近改造富集成矿。

要特别指出的是, 当燕山期花岗岩侵入到矿源层时, 并不是都能形成成矿花岗岩, 因为成矿物质在地层中的分布也是极不均匀的。统计资料表明, 当燕山期花岗岩侵入到不同地层时, 从板溪群→震旦系→寒武系→泥盆系, 无矿岩体的相对数量反而增加, 同时中型、大型、特大型钨锡矿床的数量也明显增加。这说明, 随着时间的演化, 钨锡在地层中由较均匀的富集逐步转化为高度富集与分散。这种情况在泥盆系更加明显, 当泥盆系附近有含钨较富的寒武纪砂板岩隆起成为成矿物质供应源时(含钨锡较富的标志是燕山期花岗岩侵入时有较多的钨锡矿化), 往往在泥盆系中形成古砂锡矿或含钨锡特别富的层、相, 但相应地就要形成更大面积的贫钨锡的层、相。因此泥盆系广泛分布的地区, 非成矿岩体往往特别多, 但形成的特大型矿床也特别多。

**3. 等深规则** 在一个密集区内, 各矿田的含脉间隔上下限基本一致, 三南粤北密集区上限在1300~1400米标高附近, 如石人嶂、梅子窝、大吉山、锯板坑等矿田等。含脉间隔上限可根据地表出现“五层楼”脉带的线脉带为标志, 适当上推。有些矿田上部剥蚀了, 看上去低一些, 对比一下, 恢复原貌, 还是这个数字。崇余、余赣富集区上限也大致是1300~1400米标高。也有更高或更低, 如郴州密集区上限达1700~1800米标高, 湘桂密集区燕山期含脉间隔上限仅1000~800米。含脉间隔下限因工程限制, 多没见底, 根据部分密集区资料, 估计在上限之下1800米左右。如瑶岗仙钨矿田地表浅脉带高达1700米, 估计还可上推50米左右, 而0米标高还有夕卡岩钨矿化, 含脉间隔显然可达1800米。含脉间隔上限一般比含脉间隔低400米(也有相同的), 因此, 如果含脉间隔上限是1300米时, 在标高700米以下地区就不必找隐伏矿田, 如果有的话, 早该出露地表了。但在这一标高之下, 在矿田内部找隐伏矿体还是可行的。

因为密集区各矿田含脉间隔基本一致, 花岗岩顶板标高就决定了矿体产出的位置。一般花岗岩顶板标高低于含脉间隔上限1000

米时矿体多产于花岗岩外接触带，称为外接触带矿床。如果花岗岩顶板标高不低于含脉间隔之下850米时，矿体主要产于内接触带，称为内接触带矿床。

等深规则指的是各矿田含脉间隔近于一致，不是含矿间隔。等深，说明裂隙形成时所处的构造应力场处于相近的深度间隔内，至于工业矿化，涉及更多的因素，多半是不等深的。

一个密集区受到剥蚀程度较大时，很多大中型矿床往往出露地表，成为采矿中心，如剥蚀较浅，则常有大量隐伏矿。因此，确定剥蚀深度对密集区的远景预测有重要意义。一般地表出现线脉带即说明剥蚀不深，此外也可由已知矿脉产于花岗岩体内或外时花岗岩顶板标高来外推。

应用等深规则时要注意密集区成矿后的隆起是否均匀，解决办法是研究地貌和构造。

根据个别钨锡矿田地层剖面资料，可以恢复成矿时侵蚀截面距含矿间隔上下限的深度，由此可计算出成矿时的压强。因为含脉间隔是等深的，所以下面根据瑶岗仙钨矿田算出的压强数据可适用于南岭地区。瑶岗仙钨矿田石英脉向上穿入侏罗纪煤系地层达200米左右（考虑到剥蚀，可上推到250米左右），煤系地层总厚达1300米，按45°倾角换算成垂直方向的假厚度为1840米，因而估计成矿时含脉间隔下限距地表为3390米左右。设上覆岩石平均比重为2.65，则裂隙下限附近成矿溶液所受的压强应力为900工程大气压。假设成矿裂隙中矿液处于密闭状态，矿液比重为1，则上限处矿液的压强为720工程大气压，而上限处围岩及其中孔隙溶液的压强为420工程大气压。这样一来，上限附近成矿溶液与围岩的压强差达300工程大气压。事实上裂隙带下部花岗岩和角岩的有效孔隙度远远小于上部热变质较浅的岩石，加上上部裂隙远比下部发育，在300工程大气压推动之下，成矿溶液必然要向上漏出，于是上限处压强下降到720~420工程大气压之间。上部矿液的漏出，促使形成远比下部宽的蚀变带，如漂塘、上坪、锯板坑、芭蕉坑、瑶岗仙、梅子窝等矿田。

**4. 矿点和大矿** 矿点、异常点、大中型矿山星罗棋布，这是最好的预测区的选择标

志之一。就矿找矿一向行之有效，近年来不少大中型矿床就是这样找到的，因此切勿因为有了这样或那样的新理论而忘了这一点。

**5. 密集区类型** 根据上述四点，我们可以较准确地划分出密集区，四点中没有用构造标志，因为它已包含在上述四点中了。

①板溪型密集区：主要分布在江西古陆及其附近。矿源层为板溪群。矿床与燕山期中酸性浅成侵入体有关，如阳储岭斑岩钨矿；或与燕山期花岗岩有关，如司徒钨矿；或者与火成岩关系不明，如湘西钨铋金矿。不论哪一类钨矿床，大多数是以白钨矿为主，黑钨矿很次要。

②崇余型密集区：矿源层为震旦—寒武系以寒武系为主，泥盆系、石炭系有时也起一定作用。矿床与多旋回花岗岩中的燕山期小岩体或隐伏岩体关系最密切。矿化主要分布于岩体外带，如崇余、余赣、三南粤北密集区，但内带矿化也相当重要，特别是花岗岩侵位较高的地区，如武功山、闽西密集区，均以内带矿化为主。矿床类型以石英脉型为主，蚀变花岗岩型次之，白钨矿、锡石、绿柱石、硫化物一般皆属次要。矿田水平分带不明显。

③郴州型密集区：作为矿源层的震旦—寒武系和泥盆系在区内均有出露，多旋回花岗岩发育。燕山期花岗岩顶峰常同时或分别侵入于震旦—寒武系和泥盆系。属于本类型者有郴州和湘桂密集区等。矿床类型主要是石英脉型和接触交代型，目前虽未发现大型蚀变花岗岩型矿床，但远景是肯定的。矿石矿物以黑钨矿、白钨矿、锡石为主，铜、铅、锌硫化物及铍矿物亦具有相当重要的地位。矿田水平分带明显。要特别指出的是，郴州密集区是目前我国钨储量最大的密集区，但据笔者预测，湘桂密集区的远景应超过郴州密集区。在湘桂区加里东、印支期花岗岩即有锡矿化，泥盆系、侏罗系中有古砂锡矿化层位，并局部达到工业品位。燕山期花岗岩小岩体侵位较低，顶峰侵入于寒武系和泥盆系。这些矿源层又为形成岩体外接触带的接触交代型矿床和石英脉矿床提供了丰富的成矿物质来源。由于燕山期含脉间隔上限较低，因此，燕山期很多大中型钨锡矿床将呈隐伏或半隐伏状态。这是今后普查评价时应注意的。

④丹池型密集区：江南古陆西南部是一锡钨多金属地球化学异常区，为丹池一带的泥盆系提供了丰富的成矿物质。丹池区内没有震旦—寒武系出露，燕山期小岩体顶峰侵入于泥盆系。矿床类型以接触交代型、脉型、层间交代充填型为主，工业矿化主要分布于岩体外接触带。此类型密集区，如果花岗岩侵位较高而剥蚀较浅，则蚀变花岗岩型矿床也有一定意义。矿化以锡为主，铜、铅、锌、砷、锑、汞可有重要意义，而钨多属次要。

⑥个旧型密集区：矿源可能为三迭系，部分为二迭系，燕山期花岗岩侵入其中，工业矿化主要产于岩体外带。矿化以锡、铜为主，铅、锡、钨、铍等均有一定价值。矿床类型以接触交代型、脉型、层间交代充填型为主。如果花岗岩侵位较高而剥蚀较浅，蚀变花岗岩型矿床也有一定意义。

除上述类型外还有很多类型，如海陆丰型密集区，元宝山型密集区等等，这里不叙述了。

## 矿床与矿点评价

在评价矿床与矿点时，除了要考虑上述五点外，可以从以下几方面入手。

1. 区域多阶段矿化与矿床类型 脉状钨锡矿床的多阶段矿化十分显著，以往是通过单个矿床划分成矿阶段进行研究。通过综合对比，我们发现华南各钨锡矿床的多阶段矿化具有共同顺序，总共可分为六个成矿阶段，这就是区域多阶段矿化。相隔很远的钨锡矿床，对应的矿化阶段具有相似的矿物组合。这和不同地区同一层位地层具有相近的化石群一样。很多矿床往往缺失一些矿化阶段，尽管有缺失，但矿化阶段的顺序不变，不同时代与花岗岩有关的钨锡石英脉均可能有六个阶段，说明这六个阶段和花岗岩热液的演化有关。

徐克勤教授指出：“过去认为不相同的两大类，如高温热液类的钨铁锰矿石英脉与接触交代类的夕卡岩型钨矿两者……，实际上是同一矿化作用在不同性质的围岩中所产生。同样的成因关系一般地适用于上述两大类的锡、钼、铁、铜、铅锌等矿床。”经过详细研究，笔者曾指出（1976、1978），钨锡铍接触交代（充填）矿床，钨锡铍蚀变

花岗岩矿床和钨锡铍石英脉矿床一样，也可划分出六个矿化阶段，它们一一对应。每阶段与钨锡铍石英脉一样，具有大致相同的矿物组合和蚀变组合。在许多细脉浸染型花岗岩矿床中，可以看到不同阶段石英脉的穿插关系，从而直接得出上述结论，对于浸染状矿化的岩体，则可通过蚀变和测温的研究得出结论。

在这三类矿床中，每一矿床都可通过1~6阶段中的任意几个组成，由此可形成数十种矿物组合类型，不胜其繁。如将成矿阶段作为划分矿床亚类的依据，则一目了然（表1）。

既是区域多阶段矿化，它就受区域地球化学特征（主要是矿源层）控制。同是第五阶段，在富锡地区可以有大量锡石，在贫锡地区可以无锡。其他阶段矿物也如此。根据区域多阶段矿化，就不必每到一个矿点都去寻找穿插关系以确定阶段，而可以直接按矿物组合类型和蚀变组合类型划分矿化阶段。要指出的是，第五阶段在锡矿田内往往特别发育，有时可进一步划分几个亚阶段。

成矿阶段、成矿类型和矿床规模之间没有固定的关系。例如，不能认为阳储岭式、瑶岗仙式、锯板坑式、盘古山式多为中—巨型。在这四式中，实际上小型矿床、矿点数远比中—巨型矿床多，就如斑岩铜矿床中有很多规模巨大者，但绝大多数斑岩铜矿是小型或矿点一样。

2. 矿床、矿田的多阶段矿化分带 矿田水平分带发育完善与否，与矿源层有很大关系。当花岗岩顶峰仅侵入于寒武系时，矿田分带多数不明显，主要是缺少硫化矿床。当花岗岩侵入于泥盆纪、三迭纪灰岩时，容易形成完美的分带，特别是当花岗岩又同时侵入于寒武系时更是如此。分带完善时，从岩体向外一般依次为TR→Nb、Ta→W、Be、Mo、Bi、Sn、Cu→Sn、Pb、Zn→Pb、Sb→Sb、Hg，不同矿田略有变化。这里要说明的是，尽管这一分带顺序与温度下降是一致的，但不能得出Sb、Hg是最晚形成的概念。因为Sb、Hg的硫化物和卤化物沸点极低，蒸气压很大，当花岗岩侵入后，它们不可能以这样的形式从矿源层中转入炽热的岩体内。矿源层内Sb和Hg的硫化物在花岗岩的烘烤下，必将向较冷的方向转移并富集于

花岗岩气化热液钨锡铍矿床成矿阶段与分类表 表1

阶段或亚类	标型矿物组合	标型蚀变组合	裂隙充填型实例	接触交代型实例		蚀变花岗岩型实例
				钙质围岩	硅铝质围岩	
一、钨钼型	白钨矿、黑钨矿、辉钼矿、黑云母、钾长石	钾长石化、黑云母化、钠长石化	白石岭、大龙山、樟斗、樟东坑、大明山	卡房、柿竹园、祥林铺	中甲	行洛坑、红岭
二、钨铍型	黑钨矿(白钨矿)、绿柱石、自然铍(辉铍矿)、电气石、白云母、钠长石	钠长石化、电气石化、白云母化、萤石化、云英岩化	千亩田、荔坪、大吉山、卡房、塘湖山、大龙山	打磨山和香花岭含铍磁铁矿条带, 祥林铺	隘上黑钨矿、电气石岩	大吉山、下桐岭、九龙脑、行洛坑、虎形山
三、钨锡型	黑钨矿、锡石、黄玉、锂白云母	白云母化、黄玉化、萤石化、云英岩化	西华山、漂塘I带、隘上	柿竹园	隘上黑钨矿、黄玉岩	墨烟山
四、钨锡铜型	黑钨矿、锡石、黄铜矿、闪锌矿、铁锂云母、黄玉	铁锂云母化、黄玉化、萤石化、云英岩化	锯板坑、上坪、漂塘II带	卡房		洪水寨、老虎头
五、钨锡硫化物型	黑钨矿(白钨矿)、锡石、黄铜矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、硫盐	萤石化、绢云母化、绢云岩化、云英岩化、绿泥石化	芭蕉坑、徐山、珊瑚、浒坑、邓埠仙、瑶岗仙、马拉格、大厂	铅厂、大厂、老厂	瑶岗仙毒砂、黄玉层	徐山、浒坑
六、钨锡萤石碳酸盐型	黑钨矿、白钨矿、锡石、萤石、碳酸盐、硫盐	萤石化、碳酸盐化	大山、卡房、杉木冲、茶山塘	东山		东山

注：蚀变花岗岩型除六阶段，均可能形成铋钨矿床或铋钨铍矿床。

有利的构造部位，而花岗岩的气化热液是在花岗岩硬化并将温度下降到400°±以下时才开始强裂活动的。因此，尽管形成温度低，汞、铋矿床及部分铅矿床的形成时间却可以早于高温热液矿床。更多的铋汞矿床可能和花岗岩无关。

花岗岩顶板起伏对分带有很大影响，顶板较高处往往易形成早阶段矿化，较低处往往易形成晚阶段矿化，一般高差达百米以上时出现这类分带，这可能和岩体不同部位冷却速度不同有关。

矿田分带明显受等深规则控制。当花岗岩顶峰侵位较低时，从岩体向外，矿床类型的分带往往是蚀变花岗岩型→接触交代型→裂隙充填型。当花岗岩侵位较高时，从岩体向外，矿床类型的变化可变为裂隙充填型→蚀变花岗岩型→接触交代型。如邓埠仙钨矿北组脉，花岗岩侵位达1200米，岩体顶部为蚀变花岗岩型钨矿床(有似伟晶岩)，向下有黑钨矿石英脉产出；又如430花岗岩体，顶峰侵位达1000米，顶部为云英岩化、钠化钨

铋蚀变花岗岩，顶峰之下十多米即出现黑钨矿硫化物石英脉，向下部钾化带、石英脉逐渐增多，外接触带有含铍条纹岩；再如414钨铋矿床，花岗岩顶峰侵位达1000米，顶部为强钠化、锂云母化钨铋花岗岩，下部钾化带有辉钼矿、黑钨矿石英脉(新坊钨矿)。

外接触带矿床的脉动分带，主要表现为顺向，仅少数矿床硫化物阶段表现为逆向分带；内接触带型矿床，硫化物阶段呈现于矿脉下部的现象稍多。这种现象可能和等深规则及岩体冷却速度有关。必须注意把多阶段脉动分带和一个阶段内的沉降分带区别开来，这对评价及理论研究有重要意义。一些石英脉往往由几个阶段矿化形成，因此也就可能有几次黑钨矿形成。尽管脉内几个阶段的主要矿物组合可表现为顺向分带，但几次形成的黑钨矿却可受浓差分带控制，在不同矿脉中分别表现为顺向或逆向分带。如把这些黑钨矿作为一个阶段产物来研究FeO/MnO比值变化规律，就会得出完全不同的结论。至于如何区别这二种分带，请参阅

《脉状钨矿床成矿预测理论》一书。

### 3. “五层楼”分带和脉带等厚规则

1963年徐克勤指出,地表出现云母石英细脉,深部可能有大脉。1965年李亿斗等以漂塘矿田为例,把脉带的垂直变化分为微脉带、小脉带、中脉带、大脉带等四个带。同年冶金地质932地质队以庄培元同志为首,提出“五层楼”分带;微裂隙蚀变带、稀疏—密集细脉带、细脉薄脉带、薄脉带、大(薄)脉带(以梅子窝钨矿床为例)。1976年和1980年,笔者在对比十几个“五层楼”分带矿床后,提出综合的“五层楼”分带。为便于统一,将脉幅小于1厘米者称为线脉,1~5厘米者称为细脉,5~30厘米者称为薄脉,大于30厘米者称为大脉。发育完整的大脉带,自上向下依次出现:线脉带、细脉带、薄脉带、大脉带、尖灭带。每一带内均可能出现线脉、细脉、薄脉、大脉,但多少不一,将这些不同的石英脉(或云母脉)脉幅分类相加,最多者即作为带名。例如细脉带即指带内细脉总厚度最大者,在细脉带内仍可出现线脉、大脉。

“五层楼”分带主要有四种类型:①宝山型,这是一种最常见的类型,上部为一密集的线脉带、细脉带,脉带两侧细脉产状基本一致,或成极小的交角,向下细脉合并变大。②芭蕉坑型,在地表明显地分布有二条以上线脉带、细脉带,最外侧二条脉带在剖面上有一较大夹角,称为收敛角。脉带在剖面上呈V形。向深部,脉带合并,带内主脉变大。脉带合并的位置取决于收敛角的大小。③石窝里型,脉带内有若干大脉,剖面上呈雁行状排列,脉带上部,垂直脉带走向可依次出现线脉带、细脉带、薄脉带。④平案脑型,这是一个躺倒的“五层楼”分带,水平方向上,从花岗岩体向外,依次为尖灭带→大脉带→薄脉带→细脉带→线脉带,垂直方向分带不明显。

“五层楼”分带上部的细脉、线脉可以有千百条。这种分带仅发育于外接触带或接触型矿床中。内接触带矿床没有“五层楼”分带,内接触带石英脉向上尖灭处也可有几条或十几条分枝细脉,但和上外接触带的千百条不能相提并论,不能称之为“五层楼”。

有些地质队根据地表细脉带向深部打

钻,结果并没有打到大脉带,这是为什么?能否预测?

经笔者研究,在线脉带下部至大脉带这一范围内,脉带内的总脉幅,在不同标高近于相等。我们将这一现象称为脉带总脉幅等厚规则。等厚规则在水平方向也适用。运用等厚规则时,测量石英脉的宽度,必须包括小至1毫米的线脉在内。不少人举例反对等厚规则,所举例子大多根据编录资料,在50年代,小于5厘米的石英脉不编录,在60年代,70年代,小于1厘米的石英脉不编录,显然,得出的结论是不等厚。几年来,笔者运用等厚规则进行深部预测,收到满意的效果。

锯板坑钨矿地表千米标高处(0线)脉带内石英脉总厚约10米,笔者和932地质队庄培元同志在1978年11月预测0米标高脉带总厚度为10米。脉带向西侧伏。1979年4月,该队综合组认为0米标高大脉的总厚度小于2.5米。1979年英国C.S.Denholm在“中国广东省钨矿综合计划报告”中,认为“锯板坑仅是个中小型矿床”,所画的剖面图在0米标高脉带尖灭。1979年下半年打了两个深孔,在8线0米大脉总厚为11.14米,在12线0米处大脉带总厚为9.10米,与我们的预测相比,误差为10%±。1979年7月,笔者在瑶岗仙钨矿考察,根据69—71细脉带在5中段石英脉总厚度达2.5米,预测10~16中段将出现总厚达2.5米的大脉带,品位达2%±(据下面将叙述的浓差分带理论)。经一年多勘探,于1980年12月于11中段见到了大脉带,主要矿脉脉幅为87厘米、43厘米、25厘米、10厘米,加上一细脉,总厚为2.5米,品位为2.6%。江西芭蕉坑脉带的预测经过更能说明等厚规则的可靠性。芭蕉坑脉带在60年代经地质队勘探,认为是四条平行的脉带,倾向为南20°西(图1)。勘探报告认为,由于主要作用期的动力是后期的张力,因此脉体较小,矿化深度也不大。经70年代生产勘探后,发现四条脉带在10中段合并,在74勘探线勘探出合并后的主脉幅为87厘米,矿山地质人员在1977年发表的论文认为合并的主脉向南20°西倾,向下逐渐尖灭(据地质队76孔)(图2)。笔者对74线不同中段四条脉带及其间1毫米以上石英脉、云母脉均进行了测量,得出如下数

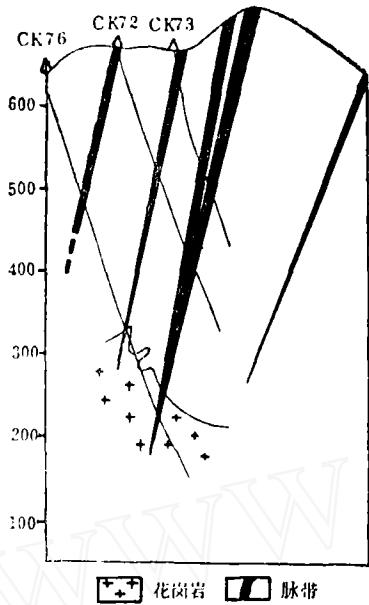


图1 芭蕉坑74线剖面  
(据地质队勘探报告)

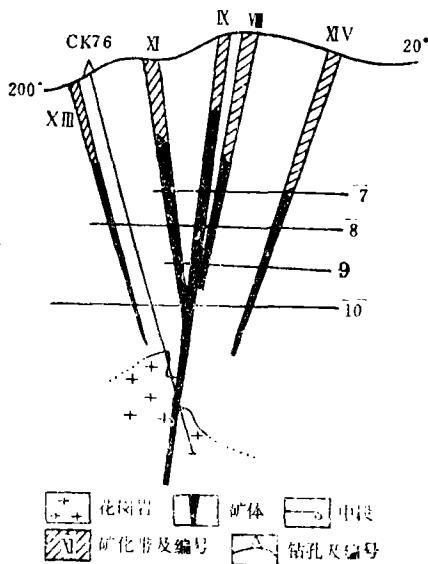


图2 74号探线剖面图  
(据张石柱)

据:

中段	条数	最大脉幅 (厘米)	总脉幅 (厘米)
7	580	11	409
8	292	19	413
9	178	35	421
10	118	87	426

据此,我们认为脉带总脉幅垂直变化符合等厚规则,再据收敛角,预测在11中段(320

米附近),脉带将进一步合并成一条4米左右的大脉及少量细脉。这一大脉将一直延伸到14中段以下。76号孔没有钻到这条大脉,说明大脉应倾向北20°东,于是我们将74线剖面作了改动(图3)。以后的钻探证明图3的预测是正确的,钻到了4米宽的大脉。

同构造上的等间距规则一样,等厚也不是1厘米不差。等厚规则是针对带脉和脉组的,并且主要适用于协调式脉带或脉组,对于不协调式脉带或脉组仅部分适用。岩石物理性质在较大范围内的明显变化,也是影响等厚的一个因素。等厚规则必须结合矿床构造类型应用。

现在我们进一步研究,为什么外接触带矿床有“五层楼”分带而内接触带矿床没有呢?众所周知,在绝大多数情况下,花岗岩接触外带发生明显的热变质。从花岗岩向外,依次出现角岩、斑点角岩、斑点板岩,岩石的重结晶程度依次下降。据我们研究,随着重结晶程度的下降,岩石强度也逐渐下降,于是造成裂隙条数、密度、带宽在不同热变质带的有规律变化。由于裂隙带的张开是等厚的,于是上部裂隙条数多的地方形成线脉带、细脉带,下部裂隙条数少的部位形成薄脉带、大脉带。1980年钱良华对瑶岗仙501脉带的“五层楼”分带进行研究,证

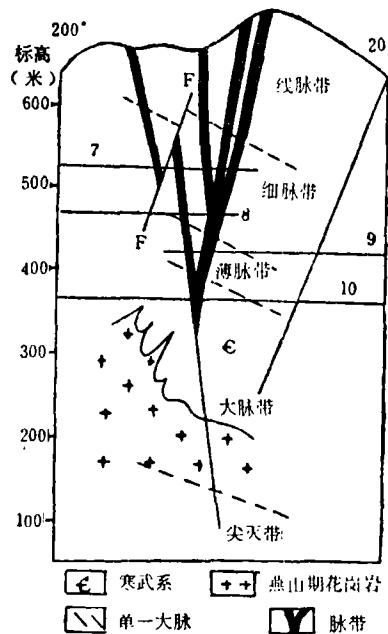


图3 芭蕉坑74线剖面分带

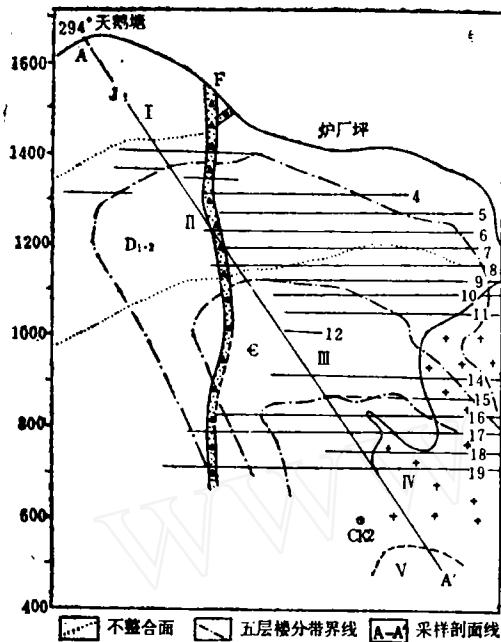


图4 49—501脉带纵剖面图

实“五层楼”分带与岩石抗剪强度与抗张强度的变化有密切的联系(表2及图4)。表中三、四级中段岩石强度偏高,但对分带影响不明显,说明岩性的局部变化对“五层楼”分带影响不大。表2中采样剖面见图4。“五层楼”分带特征见表3、4。

4. 矿床与矿田构造 脉状钨锡矿床主要充填于剪切裂隙、张剪复合裂隙,少数充填于张裂隙中。剪切裂隙可分为正剪切裂隙、逆剪切裂隙、平移剪切裂隙及正平移、逆平移二种过渡类型。剪切裂隙二壁有时有擦痕,但位移量一般极小。剪切雁行裂隙排列方向与裂隙夹角一般小于 $20^\circ$ 或近于 $80^\circ$ 。在较脆性岩石中,各种剪切裂隙面光平,在较塑性岩石中,剪切裂隙面往往呈各种形态的波状起伏,波峰或波谷延伸方向即为裂隙壁位移方向。裂隙两壁位移方向即是裂隙最大延伸方向,也就是裂隙的侧伏方向。在这一方向,裂隙总厚度附合等厚规则。张裂隙两壁无位移,裂隙面不平整,延伸短浅。主干裂隙旁的张性羽状裂隙与主干裂隙的夹角近于 $45^\circ$ 。当张裂隙是雁行排列时,排列方向与裂隙夹角近于 $45^\circ$ 。张裂隙在形成时即可能充填矿液,而剪切裂隙在形成时经常是闭合的。仅当外力消失后因弹性回跳或岩体冷凝收缩、不均匀隆起等原因张开后,才有可能充填矿液。多阶段矿化与不同性质裂隙张开顺序有一定关系。正确地进行裂隙配套,可以预测矿化阶段。

矿田内的较大断裂,往往切割矿体,但这些断裂多在成矿前就形成了,在成矿时它

501号脉带五层楼分带与岩石强度关系

表2

分带	中段	标高(米)	主脉幅(厘米)	围岩	抗压强度	抗剪强度	抗张强度
线脉带	地表一	1685	3.4	侏罗纪砂页岩	900	80.4	29
		1512	156	侏罗纪砂砾岩	832	117	64
细脉带	二	144	40	泥盆纪砂岩	957.6	115.5	55.7
	三	1378	14	"	1239	266	229
	四	1318	43	"	778.8	222.2	
	五	1273	27	"	872	149.8	103
	六	1230	40	"	631.4	139	122.4
	七	1195	48	"	856	146	79.63
	八	1147	36	寒武纪砂岩	740	119.15	76.71
	薄脉带	十	1033	30	寒武纪砂板岩	806	148.8
十一		1041	43	"	870.2	180.1	147.5
十二		986	15	"	1697.3	180.1	76.44
十三		952	26	"	848	168.5	133.85
十四		909	30	"	971	160	105
十五		862	61	"	1090	192.7	136
大脉带	十六	828	73	"		227.1	
	十八	248	140	"	1291	283	243
	十九	708	170	以下为花岗岩	822.8	237	219

外接触带矿床脉带形态结构垂直分布

表 3

分带	带名	脉幅变化特点及产生位置	含脉率 (%)	含脉密度 (条/米)	深度间隔 (米)	工业价值
1	线脉带	以小于 1 厘米的云母、石英线为主, 个别石英脉宽达 5 厘米以上	1~5	8~10	100~250	无
2	细脉带	以 1~5 厘米云母、石英细脉为主, 个别脉宽达 10 厘米以上	3~10	2~8	100~350	小
3	薄脉带	以 5~30 厘米石英脉为主, 个别脉宽达 50 厘米以上	5~25	2~5	100~300	中一大
4	大脉带	以 0.1~1 米宽石英脉为主, 也有细脉, 个别脉宽大于 4 米, 产内外接触带	5~50	0.5~5	100~500	大一无
5	尖灭带	脉幅以 0.5~4 米向下逐渐尖灭, 产于花岗岩中			100~300	小一无

内、外接触带矿床特征对比表

表 4

主要特征	外接触带矿床	内接触带矿床
脉带(脉组)垂直变化规律	分为线脉带、细脉带、薄脉带、大脉带、尖灭带, 共计“五层楼”	分为线脉—细脉带, 薄脉—大脉带, 共计“三层楼”
线脉带和细脉带地表特征	含脉密度 2~10 条/米, 脉带长、宽比为 5~20	含脉密度 0.5~3 条/米, 脉组长、宽比为 1~5
含脉间隔上限为 1350 米时, 隐伏花岗岩体顶板相对高度	隐伏花岗岩体顶峰标高为 -250~350 米	隐伏花岗岩体顶峰标高为 350~1200 米
脉带、石英脉延伸深度	脉带延深较大	石英脉延伸较浅
工业储量分布位置	绝大部分储量位于外接触带, 2、3、4 带可能有工业意义	绝大部分储量位于花岗岩内, 2 带可能有工业意义
总脉幅垂直变化情况	在外接触带总脉幅变化不大	在内接触带总脉幅变化不大
含脉间隔	二类矿床含脉间隔近于一致	

们往往控制整个矿田的构造, 要特别注意研究。成矿前断裂往往阻挡矿液。这些断裂经常在矿液充填前错开成矿裂隙, 然后矿液才充填裂隙, 造成断裂晚于矿脉的假象, 区别的办法之一是在断裂和矿脉交切处观察(包括用显微镜)石英生长方向。成矿前断裂带控制富矿柱的位置和延伸方向, 有时石英即充填于其中, 但这类断裂不是导矿构造。

脉状钨锡矿床, 矿田的构造类型, 研究得较清楚的有以下几类:

**梯形构造:** 矿液受一组平行的逆冲或斜冲断裂控制, 脉带或脉组长度一般为 500~1000 米, 延深一般大于 800 米。脉带走向与断裂的夹角为 60~90°, 脉带侧伏方向与控矿断裂倾向一致。延倾伏方向, 脉带总脉幅等厚。梯形构造在剖面上常呈对倾脉带。

**入字型构造:** 向着主干断裂, 脉带的总

厚度明显增加, 但脉条数变化不大。脉带在它和断裂交线向上延深最大, 且等厚。

**雁行构造:** 在平面及剖面上均可出现。一般石英脉雁行排列方向与控矿断裂两盘位移方向一致, 或者受控矿断裂派生出的次一级断裂控制。脉带可沿断裂位移方向交替延伸很远。

**叠瓦构造和对倾叠瓦构造:** 受一组冲断裂或斜冲断裂控制。脉带产状与断裂平行, 或成 45° 交角。脉带的延长和延深近于相等, 各组的含脉间隔与脉组的延长近于相等。经常出现二脉带对倾的现象。

**木排构造:** 脉带或脉组受一组平移断裂控制, 裂隙性质亦为平移。脉带或脉组的延深明显小于延长。

**S 或反 S 型构造:** 岩块两端因断裂作用, 使岩块发生扭转, 形似被扭的“粉笔”,

即可形成张性反S型构造。如有与“粉笔”平行的剪切裂隙，则形成剪切反S型构造。

**帚状构造：**石英脉成弧形弯曲，一头收敛一头撒开。帚状构造多位于断裂的一侧。

蚀变花岗岩型矿床与交代作用密切相关，但研究表明，矿液的活动主要受裂隙控制。蚀变花岗岩中矿体往往与密集的细脉带相伴随，如下桐岭、行洛坑钨矿田，因此它的矿床与矿田构造与脉状矿床很相似，但岩体的形状变化与冷凝收缩裂隙对矿体也起很大的控制作用。

接触交代型矿床的产出位置与岩体形态有很大关系，多半易产于岩体形态复杂处，因这些地方在构造变动时最易破碎，利于矿液活动。不纯灰岩热变质后形成的石榴石辉石角岩层，因有较大的有效孔隙度，也利于矿液的活动。层间破碎带往往能形成很有希望的矿体。要特别指出的是裂隙的发育与否对此类矿床的形成具有重要意义。例如柿竹园接触交代多金属矿床，夕卡岩中有石英细脉穿插，细脉愈多，矿化愈富，反之则贫。香花岭含铍条纹岩也和剪切裂隙有关，条纹多分布于裂隙两侧，裂隙愈密集矿化愈富。大厂、隘上的倾层状矿体也和陡倾斜的裂隙有关，矿层同时受有利层位和裂隙带控制。

综上所述，可以看出抓好矿床、矿田内断裂与裂隙的配套研究对钨锡矿床的预测有很大意义。如再配合岩体形态、有利层位、褶皱等因素进行综合分析，则效果更佳。

**5. 矿物微粒浓差运离分带理论** Beydell (1924, 1927) 认为成矿物质以胶体溶液形式进行搬运。现代矿床学家认为胶体溶液不稳定，无法解释蚀变围岩中的矿染现象和细脉浸染型矿床的形成而加以反对。他们认为成矿物质以卤化物或络合物真溶液形式进行搬运。但是这样一来又有许多现象无法解释。如为什么灰岩和夕卡岩中有黑钨矿石英脉。有些规模很大，如湖南柿竹园有20万吨WO<sub>3</sub>，是以黑钨矿的形式产出，围岩是夕卡岩和灰岩，令人震惊！广西水岩坝延深达700米的黑钨矿石英脉全部产于灰岩中，仅根部插入花岗岩。这种现象不是个别的，粤、桂、滇、赣、湘、闽等省（区）已发现了十多个这类矿床。既然钨以络合物的形式进行搬运，那么当成矿溶液与过量的灰岩反应时，就应形成白钨矿，而不是黑钨矿。显

然这里有矛盾。

晶洞的水晶上常有一些其他矿物的小晶体，它们绝大多数附着在水晶的朝上的晶面上，这说明在溶液中矿物析出后，并没有长于洞壁。显然，刚析出的矿物微粒因粒度太小，仅能在溶液中作布朗运动。当他们长到一定大小时，才因重力作用而沉降在向上的晶面上，然后继续长到大晶体。矿物微粒在晶洞中搬运的距离小于晶洞的高度。如果裂隙中形成了矿物微粒—晶芽，它也只有经历生长，沉降才能达到裂隙壁。根据水岩坝钨矿床延深700米的石英脉中有很多黑钨矿，说明黑钨矿晶芽在深部花岗岩中就形成了，然后随热液向上搬运，搬运的距离可达700米以上。这样，络合物分解后，可以看成是含有大量大小以10<sup>-7</sup>~10<sup>-8</sup>厘米的矿物微粒的溶液，并且在溶液中当然也可有还没有分解的络合物。在溶液运动过程中，络合物可继续分解，并可进入围岩，形成浸染状白钨矿。大的矿物微粒就是晶芽。

在热液中，设单位体积中含有n<sub>0</sub>个同样大小球形矿物微粒，其大小在10<sup>-7</sup>~10<sup>-8</sup>厘米之间，假定n<sub>0</sub>足够小，使三、四个微粒相碰的概率小到可以忽略，热液相对于微粒认为是静止的。那么矿物微粒因布朗运动造成的单位时间中单位体积内相碰总数等于：

$$N = 8 \pi D a n_0^2 \quad (1)$$

微粒数减少一半所需时间等于：

$$T = (8 \pi D a n_0)^{-1} \quad (2)$$

式中D为布朗扩散系数，a为微粒半径。

假定矿物微粒与液体组成封闭系统，则微粒的运动方程为：

$$\frac{2V_{\infty} \rho a^2}{9 \eta k} \frac{d^2 R_0}{dt^2} + \frac{dR_0}{dt} = V_{\infty} \quad (3)$$

式中V<sub>∞</sub>为远离流线弯曲处流体的速度，ρ为矿物微粒密度，η为粘滞系数，k为使流线弯曲的物体的半径，R<sub>0</sub>=r/k为微粒的无因次座标（r为微粒的半径向量），t为时间，V<sub>无</sub>=V<sub>0</sub>/V<sub>∞</sub>为微粒的无因次速度（V<sub>0</sub>为微粒所在处液体的速度向量）。式中2V<sub>∞</sub>ρa<sup>2</sup>/9ηk是问题的唯一相似准数，称为Stokes准数。从(3)式可知，当a很小时St<sub>1</sub>→0，微粒的速度V<sub>无</sub>≈ $\frac{dR_0}{dt}$ ，即微粒完全循着流线，任何时间都不会到达裂隙表面。这样，它们继续向上搬运，直到他们相

碰聚合成较大微粒，或者当流体进入微细裂隙后因k值明显变小而发生惯性沉降，如图5。既然黑钨矿能从微粒的形式进行搬运并发生惯性沉降，它就可以在灰岩的裂隙中形成黑钨矿晶体。

根据(3)式，当石英脉中黑钨矿呈自形晶生于脉壁，品位低至中等时，砂包的出现与脉幅有关，脉幅小的k值小，黑钨矿微粒发生惯性沉降的频率高，于是造成薄脉中黑钨矿较富，大脉中黑钨矿相对贫，并易形成砂包。如果黑钨矿呈自形，且平均品位较高，据(1)、(2)式，微粒聚合的速度大，于是造成大脉中黑钨矿的富矿柱。据此，笔者在《论矿脉钨矿床储量预测》一书中预测黄砂钨矿床硫化物阶段大脉中黑钨矿常呈砂包出现。

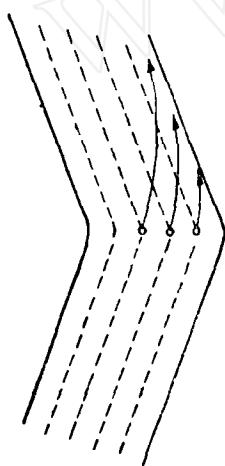


图5 矿物微粒因惯性效应而沉降于裂隙壁变化系数很低和很少出现砂包的现象，此时，黑钨矿多呈半自形或他晶形产出。

以后的矿山生产证明，预测是正确的。如果是后阶段矿化叠加在早期石英脉中（早期石英脉可以无矿或仅有较弱的矿化），第二次裂隙张开时裂隙面将极不平整，甚至形成角砾破碎带。这样一来k值将大大下降，能发生惯性沉降所需的矿物微粒的最小粒径大大缩小，于是形成品位变化系数很低和很少出现砂包的现象，此时，黑钨矿多呈半自形或他晶形产出。

方程(3)对于解释一个阶段形成的矿体中的分带有很大意义。如果有二种矿物在脉中同步消长，由于这二种矿物微粒同处于一个流动体系中，可以设想这二种微粒的运动轨迹是一致的，也就说 $S_{tk}$ 值应是一致的。

计算表明，当一个绿柱石微粒半径为黑钨矿微粒半径的1.63倍时，二者同时沉降。这二个微粒的体积比  $V_{Be}/V_W = 4.3$ 。我们称之为矿物微粒浓差运离分带同步值。锡石、黄铜矿与黑钨矿的分带同步值分别为：

$$\begin{aligned} V_{Sn}/V_W &= 1.1 & V_{Cu}/V_W &= 2.2 & V_{Cu}/V_{Sn} &= 2.1 \end{aligned}$$

当石英脉中绿柱石总体积/黑钨矿总体积大于4.3时，出现上钨下铍分带，反之则出现

上铍下钨分带，对于其他矿物，同步值也适用。如浙江萤石脉中萤石含量远大于石英，于是出现上石英下萤石分带，桃林铅锌矿中重晶石和萤石的含量远大于方铅矿和闪锌矿，于是出现了传统分带理论无法解释的上铅锌，下萤石重晶石分带。同步值解释了很多锡铜矿床的分带，如黄铜矿和锡石总体积比大于同步值时，即出现上锡下铜分带，反之则为上铜下锡分带。同步值可用于预测，例如已知大厂锡矿深部有较富的铜矿，据此可算出，铜的储量应不少于锡储量的60%，已知有的铜储量远不到此数。

由于 $S_{tk}$ 值大小还与k值大小有关，因此，对比地表不同脉幅中同一矿物的含量，也能对深部大脉中该矿物含量是否增高作出预测。据理论分析及实际资料，在云母、石英线中特别富集，而在云母、石英细脉中较少的矿物，正是深部大脉中稀少的物矿。云母、石英线中稀少，而在云母、石英细脉、薄脉中较富的矿物，在深部大脉中经常富集。在云母、石英线，云母、石英细脉皆贫，而在薄脉稍富的矿物，往往在深部大脉中特别富集，在云母、石英线脉→薄脉中同样贫的矿物，深部大脉中也很贫。出现上述规律是很自然的，当热液中矿物微粒很贫时，它们不易聚成较大的矿物微粒，在较宽的裂隙中，它们不能发生沉降。根据(4)、(5)式，这些微粒只有在长距离搬运过程中，在较长时间内逐渐长大，并进入很细小的裂隙中才能发生沉降。沉降在脉壁的矿物微粒不断长大成晶体，由于热液中微小矿物不断向这些矿物晶体扩散沉降，使向上运动的热液中所含矿物微粒的浓度下降。这样一来，线脉及裂隙中就很少有矿物微粒沉降。运用这一规律，曾对多处细脉带进行深部预测，均获成功。

综上所述，我们认为，在成矿过程中，矿质是以真溶液、胶体溶液、悬浊液三种形式进行搬运的。在搬运过程中，由于真溶液中络合物的不断分解和矿物微粒的不断聚合长大，三种搬运形式的数量比例随着矿质的浓度、搬运距离、通道的形态大小等原因而变化。当矿物微粒长到某一临界大小时，便可能发生沉降。在矿液运移过程中，不同矿物微粒的原始浓度影响到搬运的距离，浓度大的搬运距离小，浓度小的搬运距离大。由此造成的分带，就是矿物微粒浓差运离分带。