

若干构造因素对某些岩浆期后金属矿体分布的影响

姜 齐 节

为了生产矿山增长矿量,在岩浆期后矿床的深部和边缘找矿工作具有愈来愈大的现实意义。

热液矿床矿体的生成和裂隙构造联系极为密切,不论是容矿空间或运矿通道均有直接关系。构造裂隙的形成和分布,则又决定于各种构造因素,如火成岩与围岩的接触带、褶皱、断层、及某些与上述构造无关的裂隙带等等。各种地质构造因素正由此进而影响矿体的生成。

为了有效的在矿床深部和边缘进行找矿,研究构造因素对矿体分布的影响,就成了重要课题之一。

本文拟概略地从构造作用的这个方面来探讨其对矿化富集的影响。但由于所从事工作的局限性,文内仅涉及两种构造因素即火成岩与围岩的接触带及褶皱对矿体分布的影响问题。

就我们所见,受火成岩与围岩接触带控制的矿体,其空间位置大约有三种情况:①

- 一、矿体赋存于火成岩与围岩的正接触带;
- 二、矿体赋存于火成岩与围岩的外接触带;
- 三、矿体赋存于火成岩与围岩的内接触带。

在第一种情况下,接触面的形态是影响矿体分布的首要构造因素。赋存于正接触带的矿体,在下列部位较常见到:

1. 火成岩在平面或剖面上的凹部:如某锡矿区二个矿床、以及某铜矿床的矿体(图1)。
- 某些“捕虏体”中的矿化,也可划入这一情况。

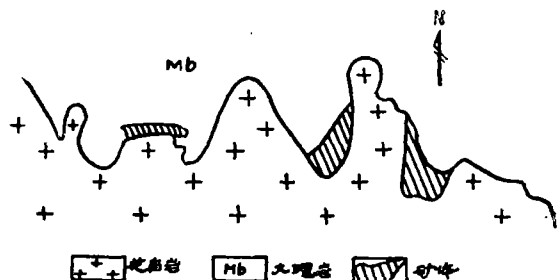


图1 矿体分布图

2. 火成岩在平面或剖面上的凸部:如上述二个锡矿床、某铅锌矿、以及某铜矿的某些矿体(图2、3、4)。

3. 火成岩大规模超复于围岩之上时,它的陡倾斜部位:如某铅锌矿的某些矿体(图5)。

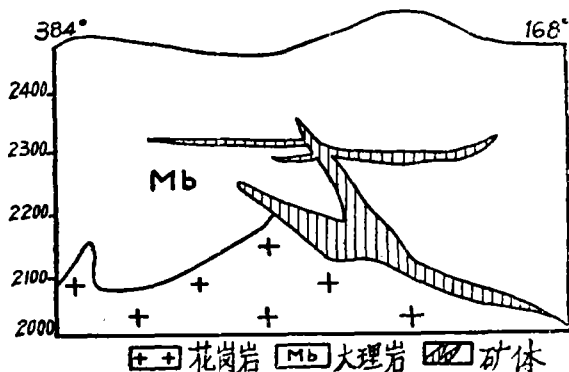


图2 某锡矿床矿体剖面图

① 此处正、内、外接触带的区分,都是对火成岩与围岩的相对位置而言,这与从岩石学角度提出的内、外接触带有所不同。作者理解正接触带为围岩受侵入的机械作用力强烈影响的范围,外接触带位于其外侧之围岩中,内接触带在其内侧之侵入岩中。

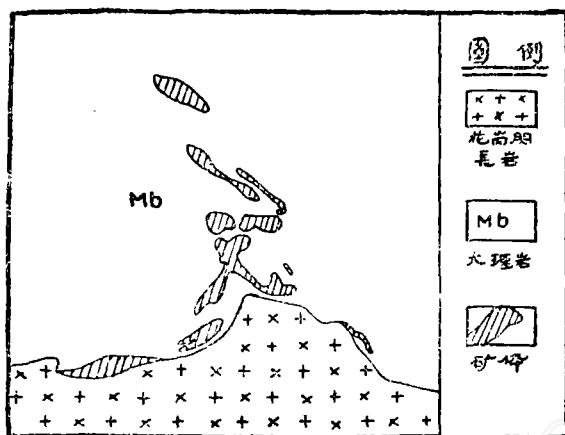


图 3 某铅锌矿矿体分布图

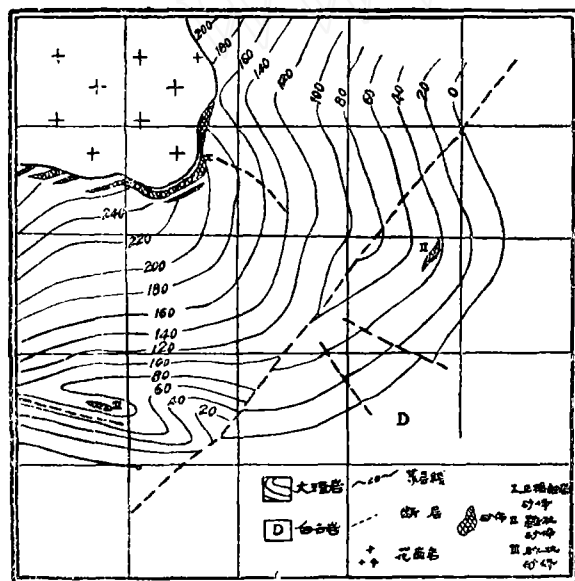


图 4 某矿区平坑矿体分布图

4. 火成岩正常产出(伏于围岩之下)时,接触面由陡变缓的缓倾斜部位:如某铜矿的某些矿体(图6)。

凹部有利于矿体赋存的原因,我们在某铜矿曾进行过专门的研究。该区之褶皱属吕梁期,火成岩的侵入和成矿则属燕山期,在主要侵入体生成之后、成矿之前,尚有大量岩墙侵入。构造变形是多期的,但经研究证明,从火成岩侵入直至成矿以后,构造应力大致保持了同一个方位。通过对西北区段外接触带和正接触带的不同部位分别进行的裂隙统计表明(表1):外接触带发育的裂隙90%以上均与该处之岩层产状保持一定关系,而与褶皱后

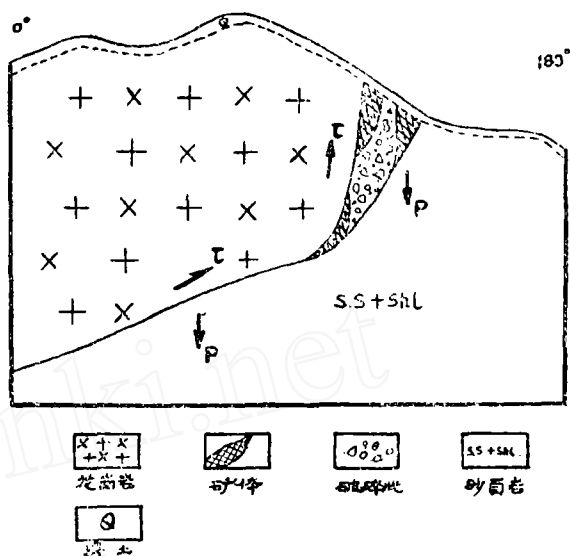


图 5 某铅锌矿南区剖面图

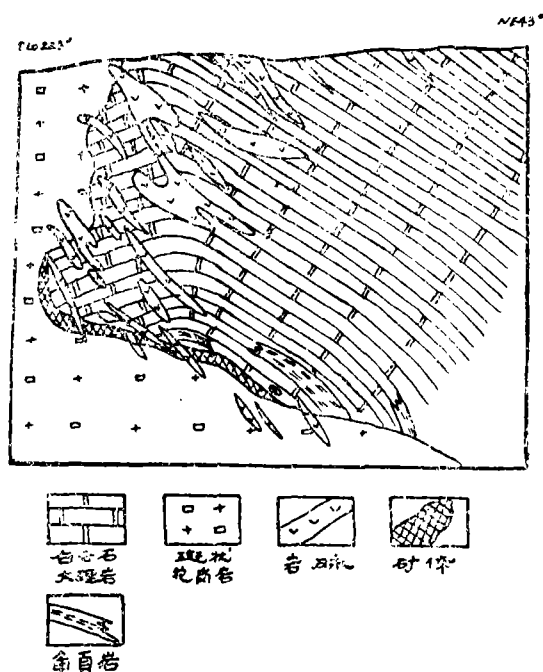


图 6 某铜矿凹部剖面图

迭加的岩墙、断裂等方向显然不符,按H.B.基里诺娃的意见,应为与褶皱同时生成的裂隙。在正接触带火成岩凸部的围岩中,上述类型裂隙的比重有所降低,但在正接触带凹部的围岩中,大部裂隙已不和岩层产状保持一定关系,而属于褶皱后迭加的裂隙。显然,正接触带的火成岩凹部,在褶皱作用后的某一时期曾

各种裂隙数量的相对百分比

表 1

裂隙性质	地区点号	外接触带(地表)				正接触带(坑下)				
						火成岩凹部			火成岩凸部	
		8	9	10	14	N ₄	N ₁	N ₃	N ₅	N ₂
平行层面		2	0	0	0	3	21	0	3	0
垂直层面, 平行岩层走向		42	64	17	46	23	0	0	0	0
垂直层面, 垂直岩层走向		41	23	46	12	15	10	0	20	46
垂直层面, 斜交岩层走向		8	9	38	41	0	10	0	60	19
以上四组总计		93	96	101	99	51	41	0	83	65
斜交层面		6	5	0	2	49	59	100	18	36

特别有利于裂隙发育, 从而构成了对成矿有利的特殊条件。此外, 对火成岩凹部的裂隙与本区外接触带褶皱后迭加裂隙方向所作的比较表明, 二者并不相同,

并且与侵入体生成后的岩墙和断裂方向也不相同(图7)。火成岩凹部的裂隙方位极其散漫不规则, 与火成岩侵入后的构造应力方向无关。因此可以认为, 在

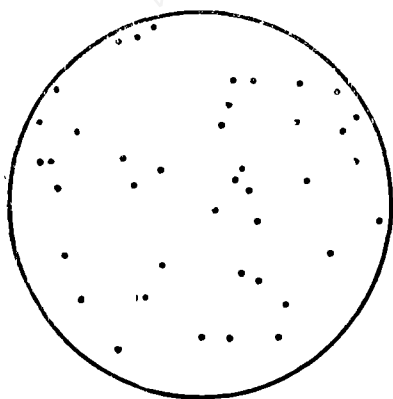


图 7 A. 正接触带围岩中各裂隙统计点
各裂隙组方位

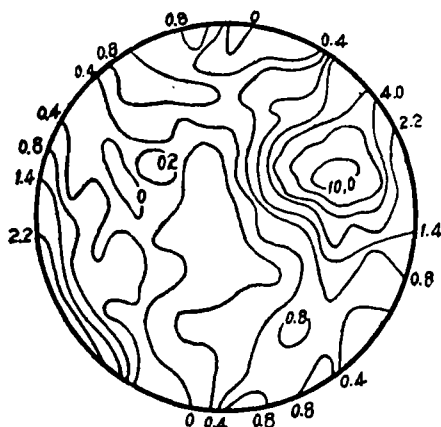


图 7 B. 岩墙方位之统计(498条)
等密綫: 0, 0.4, 0.8, 1.4, 4, 6, 10, (%)



图 7 C. 花岗岩中裂隙方位的统计
(100次测量)
等密綫: 0, 2, 4, 6 (%)



图 7 D. 外接触带围岩中(地表)各统计点
褶皱后迭加的各裂隙组方位的等密
綫等密綫: 0, 1, 2, 3, 5 (%)

凹部发育的裂隙并非火成岩侵入后的构造运动所迭加的,很可能与岩浆本身侵入和收缩时的机械作用有直接关系。凹部的围岩被火成岩包围,在岩浆侵入和冷凝时,应力状态比较复杂,有多种方向的挤压、剪切、或引张存在,这可能就是促进裂隙发育的原因。此外,火成岩常是难渗透和不活泼的岩石,被火成岩包围的凹部,较之其他部位封闭更为良好,有利于促进矿液交代,这也是有利成矿的一个原因。

火成岩的陡倾斜超复部有利于矿体赋存,除超复的火成岩对矿液可能产生屏蔽作用之外,此种部位有利于破裂的发育也是重要原因。在火成岩超复产出的条件下,岩浆上升对接触带的机械作用主要表现为平行接触面的剪切。如果把陡倾斜与缓倾斜的接触面相比(图5),前者由于加入了围岩重力(P)的影响,(P)与(τ)组成了使接触带围岩破碎的力偶,因而促进了破裂发育。(详细的解释借助于Ю.А.柯西金对盐丘重力断层的分析,此处从略)。在缓倾斜的接触带情况则有所不同,重力(P)未参加上述作用。

在火成岩正常产出的条件下,接触面由陡变缓处的缓倾斜部位,有利于成矿的现象,则拟作如下解释:接触面由陡变缓的部位相当于火成岩在剖面上的凹部(图6)。如前所述,在岩浆侵入时,这种情况是有利于裂隙发育的。此外,在岩浆冷凝时,由于体积收缩达7~10%,势必产生大量收缩裂隙,在岩体边缘,裂隙的大部分平行于岩浆凝固时的等温面——接触面(据Ф.И.沃尔弗森和Л.И.鲁金)。接触面的缓倾斜部分,下伏缓倾斜裂隙的存在将使上复围岩因自重而发生引张和剪切作用,从而促进接触带围岩的破碎。但在接触面呈陡倾斜的部位,收缩裂隙也主要呈陡倾斜产出,对围岩的机械作用影响较小。侵入的挤压和收缩的引张两个过程影响的结合,可能就是在由陡变缓处的缓倾斜接触面上矿化富集的原因。

在上述三种情况下见到的矿体,形状和规模都有很大的变化,而且是极其复杂的,但它们常沿接触面发育,少有较大的偏离。

火成岩凸部发育的矿体具有不同的特点。就它们的分布来说局限于接触面上的矿体并不多,或可在接触面附近的围岩中组成平行或交叉的复杂矿脉,或者也赋存于火成岩与灰岩的接触面上,向上或向下延伸到围岩内,形成脉状、筒状或囊状矿体。由此看来,火成岩凸部矿体的发育,可能与凸部所在位置所反映的火成岩侵入前构造脆弱带的存在有关。早期的构造

脆弱带既决定了火成岩形状的突出,又造成了对成矿的有利条件。因此,矿体也经常能沿早期的脆弱带发育,从而延入围岩,不受接触面所局限。

上述四种对成矿有利的部位,并非在任何条件下都同等有利。在某一情况下某种部位具有首要意义的原因,以及它们相互间配合的影响,尚待进一步查明。

在第二种情况——矿体赋存于外接触带的条件下,影响矿体分布的首要构造因素则是围岩的构造。就我们所见,这些情况是有利的。

(1)不同物理性质或化学性质的岩层界面或夹层与接触面的交截。在这种情况下常形成沿层发育的,但不局限于正接触带的矿体。这种情况之所以有利是容易理解的。由于物理性质不同,在构造活动中极易促使层间破碎产生;或因化学性质不同,极易促进沿层的矽卡岩化,这些都有利于矿体生成。作为沿不同岩层界面生成矿体的例子,如某钨矿、某铅锌矿(中区)等的某些矿体。作为沿夹层矿化的例子,如某锡矿矿床的某些矿体。

(2)大断层(有时其位置被大岩墙占据)与接触面的大角度交截:如中南铅锌矿、辽宁某铜矿、吉林某铅锌矿(大断层位置被大岩墙占据)等的某些矿体(图8)。

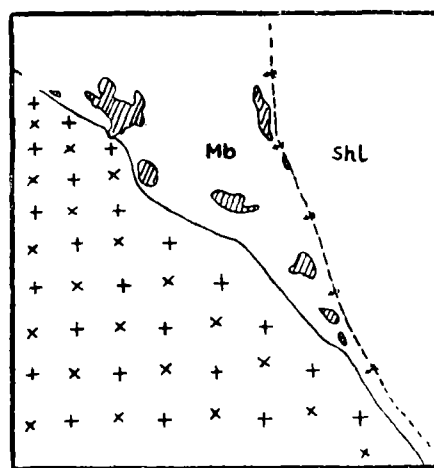


图8 某铅锌矿矿体分布图

1—花岗岩 2—大理岩 3—页岩
4—管状及囊状矿体 5—逆断层

这种矿体多分布于大断层和接触面构成的三角形隅角地区之内,以筒状或囊状、透镜状形体出现。有

时沿断层本身也有规模不大的矿体。两种构造的交截和两次（或两种）构造作用（侵入作用和断层运动）的重迭，促进了隅角地区裂隙和破碎的发育，是矿化富集的构造原因。此外，有时断层之一侧为不活泼岩石，与侵入体共同包围了易于交代的岩石，形成了封闭良好的隅角，也是其中矿体发育的良好条件之一。

（3）一定规模的褶皱与接触面的交截：如辽宁某铜矿的某些矿体（图9）。

这种情况下矿体的生成大多在褶皱轴部附近，由接触面向外分布，矿液沿接触面上升，沿褶皱轴附近的裂隙沉淀，矿体常为不规则之囊状。

第三种情况——矿体赋存于内接触带，这类矿体很少见到。吉林某铅锌矿的某些矿体可作为一个例子。此种矿体呈脉状，产状与矿区内较发育的一组

矿体都很发育。两个区段外接触带裂隙统计结果的对比显示了一个极有趣的现象（表2）。在西北区，

各种裂隙数量的相对百分比 表 2

地区点号 裂隙性质	西北区 (地表)										东南区(地表)									
	3	9	10	14	13	12	11	6	6'	7	5	5'	4	2	1	1'				
平行层面的	2	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	0	11	0	9	0				
垂直层面，平行 岩层走向的	42	64	17	46	17	4	17	0	0	0	31	0	4	0	26	5				
垂直层面，垂直 岩层走向的	41	23	46	12	0	5	19	38	33	42	0	0	0	48	9	26				
垂直层面斜交岩 层走向的	8	9	38	41	43	44	29	11	53	6	54	18	0	4	48	37				
以上四种合计	93	96	101	99	60	53	65	49	86	54	86	18	15	52	92	68				
斜交层面的	6	5	0	2	41	46	35	51	14	45	14	83	85	48	9	31				

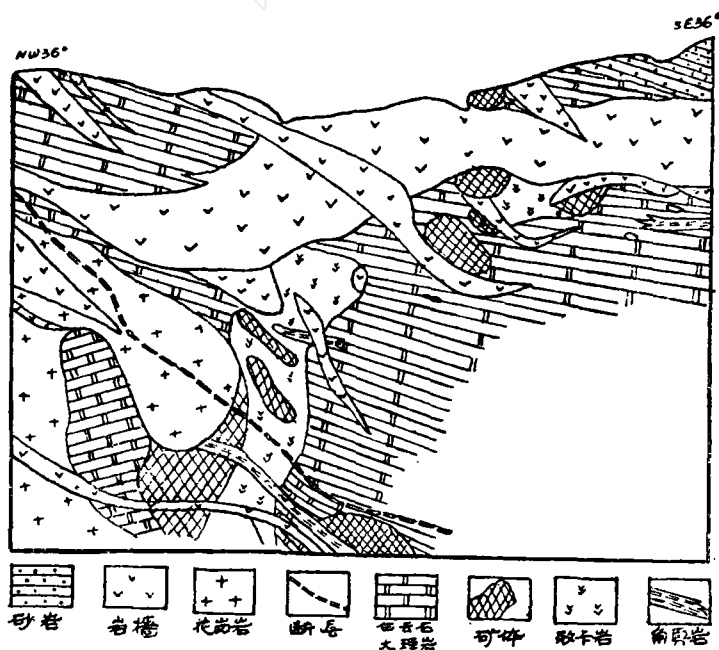


图 9 某铜矿背斜纵剖面图

断裂方向相符。其分布的具体控制因素尚不甚明了。

由上述可见，分布与接触带有关的矿体按照对接触面的相对位置而有所不同，其控制因素有明显的差别。弄清这三种矿体每一种的发育条件，对确定正确的找矿方向是极为重要的。但是我们的工作尚处于初步的探索阶段。

我们曾在辽宁某铜矿探索过正接触带和外接触带矿体相对发育的条件。该矿的西北区段正接触带的矿体极为发育，而东南区段则是正接触带和外接触带的

90%以上的裂隙都与层面保持一定关系，属于与褶皱同时生成的裂隙，后期迭加的裂隙不发育。在东南区，大部裂隙均不与层面保持一定关系，其产状则与侵入体生成后发育的岩墙、断裂方向相合（图7），显然，后期迭加的裂隙相当发育。在进行了多方面比较之后，认为裂隙发育情况的差别很可能是两个区段矿体赋存情况不同的原因。东南区褶皱后迭加的裂隙发育，因此在正接触带外也易于有矿液通道和容矿空间存在，外接触带的矿体因而大量发育。西北区则不同，褶皱后迭加的节理不发育，正接触带由岩浆侵入和冷凝产生的裂隙的作用，相形之下显得极为重要，矿体也多在此处发现。这个结论可能具有一定的普遍意义。

在吉林某铅锌矿，矿体主要赋存于花岗岩内长岩和“闪长斑岩”交截部的隅角内，内接触带的矿体则分布于花岗岩闪长岩中。从最近的工作看来，矿化与“闪长斑岩”时间上最接近，空间上的富集情况也与“闪长斑岩”最密切，但目前尚不明了“闪长斑岩”与花岗岩闪长岩在成因上是否同源。据推测，在内接触带有矿体赋存的侵入体，很可能与矿化并无成因上的联系，或二者间至少应有一定的时间间隔存在。

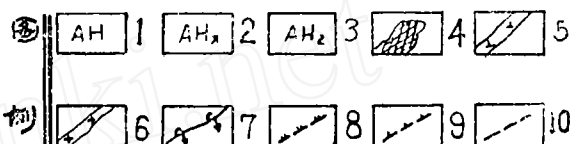
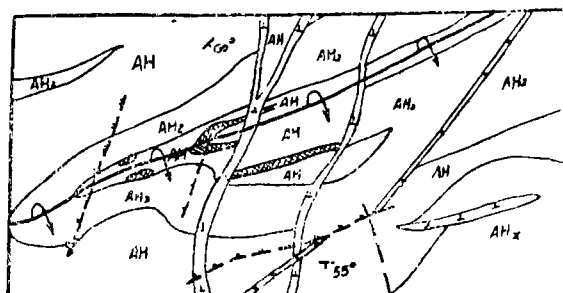
褶皱对矿体分布的影响是多种多样的,大体上可以区分为两种情况:

第一种情况,矿体主要受褶皱生成后的其他构造因素控制,但褶皱中的某些弱化带影响了后期裂隙和破碎的发育,从而在一定程度上影响了矿化带的位置,褶皱本身的若干特征则与矿化情况不常有密切联系。江西的某些钨矿、及前述与褶皱有关的接触带矿体是一些例子,本文不拟详细讨论。

第二种情况,矿体主要受褶皱控制,褶皱的位置和褶皱本身的若干特性对矿体分布和矿化特征都具有极其重大的影响。就我们所见,至少包括下述三类矿体:

1. 褶皱轴部的鞍状矿体:某锡矿二个矿床,某铜矿床等的某些矿体可以作为例子(图4、10)。这种矿体的特点是:

(1) 不同物理性质岩石的互层带常有利于矿体



1—黑云母片麻岩 2—石榴石阳起石黑云母片麻岩
3—角闪斜长片麻岩 4—矿体 5—辉绿岩脉 6—
长石斑岩脉 7—倒转背斜 8—成矿后正斜断层
9—成矿后平推断层 10—性质不明断层

图 10 某铜矿地质图

鞍状矿体上下盘围岩的性质

表 3

地 点	上 下 盘	CuO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	烧 失 量	裂 隙 度 条/米
某锡矿矿床 183 矿体	上盘	54.53	0.64	0.02	0.33	42.58	16
	下盘	53.35	1.37	0.00	0.76	42.80	22
某锡矿 1291 穿1	上盘	50.43	3.31	0.04	1.01	42.98	12—15
	下盘	43.75	8.51	0.00	2.83	40.15	12—15
某锡矿 4000 巷矿体	上盘	52.58	0.52	0.02	0.25	42.17	28
	下盘	47.86	2.22	0.07	3.29	39.70	22

赋存。但矿体上下盘紧邻岩石的物理性质和化学成分却可以没有差别。在有差别存在时,脆性岩石也可在上盘,也可在下盘(表3)。因此,容矿的剥离构造的形成,很难按 A.B. 别克所提出的,以褶皱作用之后,下伏弹性岩石的下滑来解释。剥离的形成很可能仍是褶皱时岩层逐层向上相对滑动的结果,围岩层理的发育是一个极重要的因素。这一点是以后讨论构造因素对矿体影响的原因的出发点。

(2) 矿体多在背斜轴部出现,向斜轴部很少见到。向斜轴部的鞍状矿体出现时,多与脉状矿体共生,且后者的经济意义常较大。

(3) 矿体多在脊线倾斜的背斜中出现,特别是在脊线倾斜度较大的部分。

(4) 褶皱的曲率半径对矿体生成有重大影响,过大是不利的,过小则影响矿体规模。

在某锡矿的某矿床,部分褶皱之轴部附近,尚有沿层发育的管状矿体存在,可能是此类矿体的一个变

种。此外,在此一地区还有受北北西向正断层及北东向层间裂隙交叉控制的管状矿体存在。

2. 褶皱轴部的脉状或网脉状矿体:某锡矿区的某些矿体可以作为例子(图4)。这类矿体的特点是:

(1) 多赋存于向斜轴部。在背斜中出现时,背斜多褶皱剧烈,两翼岩层呈陡峻至倒转产出。岩层褶皱中常至平缓的背斜,极少见到工业矿化。

(2) 多赋存于脊线倾斜的向斜之中。

3. 褶皱翼部的层间脉状矿体:某锡矿矿床及某些铜矿的某些矿体可以作为例子(图11)。这类矿体的特点是:

(1) 多赋存于剧烈褶皱、两翼岩层陡峻至倒转产出的褶皱中。

(2) 多在褶皱两翼岩层的横向小扭曲发育部。

在叙述了这些类型矿体受某些构造因素的影响之后,下面准备进一步讨论这些因素起作用的原因。

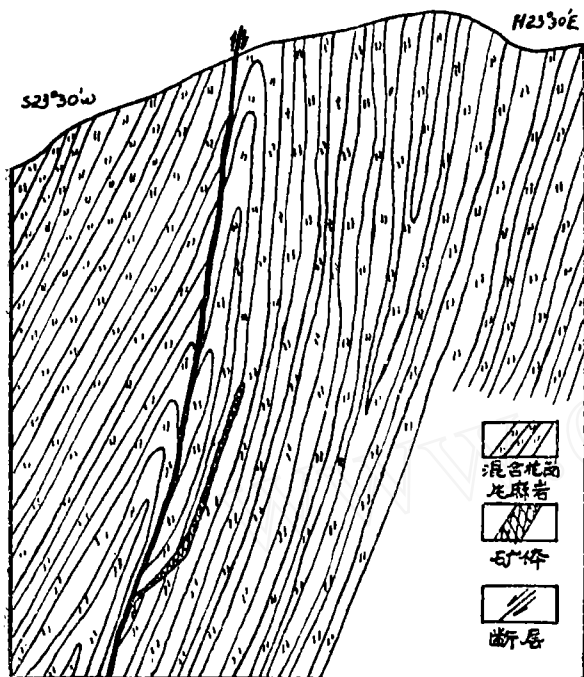
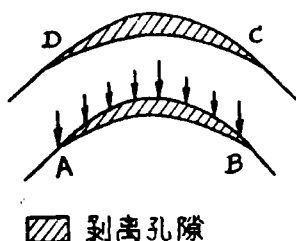


图 11 某矿区剖面图

褶皱的曲率半径。曲率半径对背斜轴部的鞍状矿体有重要影响，A.B.科罗列夫等曾很早就正确地指出过这一点。为了阐明这种影响的原因，有必要讨论决定层间剥离形成的一些重要作用。层间剥离的形成及其规模，主要决定于两个因素：①褶皱作用时的压力及由此导生的层间剪切应力。这种力是促使层间剥离生成的。②层间剥离发生之后，在剥离点 A、B 之间，由于岩块自重的影响，立即产生了向下的剪切应力和弯矩（图12），这种力是抵抗层间剥离生成的。剥离

图 12 层间剥离孔隙保存条件示意图
(褶皱的横剖面)

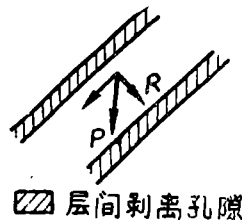
孔隙保存的条件正是要上复岩石能经受住由自重产生的剪切应力和弯矩。我们可以把这种情况简化为均布

静水压力下，无铰拱的稳定条件来看待。

根据 A.H.金尼克对拱的稳定性的研究，当拱的载荷（此处为上复岩石的自重）大于临界力之时，拱即丧失承载能力（剥离孔隙不能保存）。影响拱的临界力数值的主要因素有：材料的抗弯刚度、曲率半径（或跨度）、矢高。临界力数值的大小在不同情况下分别与曲率半径或其平方、立方成反比。

因此，曲率半径影响层间剥离的原因主要表现在这些方面：①曲率半径的大小反映了岩层变形的程度，曲率半径小，说明挤压力大、层间剪切和滑动愈剧烈，产生剥离孔隙的可能性愈大。②在相同的矢高（即剥离高度相同）的条件下曲率半径愈大，拱的临界力愈小，剥离孔隙保存的可能性愈小。这大概就是具有过大的曲率半径的褶皱对成矿不利的原因。

褶皱脊线的倾斜度。脊线倾斜度对背斜轴部鞍状矿体的影响，当然也是通过对层间剥离孔隙的影响来实现的。图 13 所示，在脊线倾斜的褶皱中如

图 13 层间剥离孔隙保存条件示意图
(褶皱的纵剖面)

果发生了层间剥离，抵抗层间剥离的力量（R），只是岩块自重（P）的一个分力，（R）的大小与脊线倾斜度（ ϕ ）有关，（ ϕ ）愈大，（R）愈小，剥离愈易于保存。

脊线倾斜度与脉状及网脉状矿体发育的联系，则可能与褶皱形成时的应力状态有关。褶皱脊线不呈水平延伸而呈倾斜状态，反映了褶皱走向延伸方向有阻力存在，褶皱脊线倾斜度的大小，在一定程度上反映了阻力的大小。因此，在褶皱脊线倾斜的部位，特别是在倾斜度较大的部位，应力状态可能比脊线水平延伸的部位复杂得多，从而有利于裂隙和破碎带的发育。

褶皱剧烈程度对前述第二和第三类矿体的重大影响是容易理解的。褶皱愈剧烈，两翼岩层倾角愈陡峻，（甚至呈倒转状态），岩层在轴和翼的厚度变化也

（下接31页）

砷铂矿化学成份对比表 表 3

	1	2	3	4	5	6
Cu	微	—	0.70	—	—	—
Fe	少量	0.67	0.40	0.56	0.07	—
Ru	—	—	—	—	0.72	1.66
Pd	—	—	—	—	微	—
Pt	53.97	54.25	56.20	56.40	52.57	54.83
As	40.00(?)	41.85	40.60	42.90	40.98	39.89
Sb	—	—	—	—	0.50	—
H ₂ O	—	3.50	1.30	1.62	4.62	2.90

注：表3中1——本文

5——肖德别里

2、3、4、6——根据Минералы СправочникТомI
苏联矿物手册（俄文版）第一卷1960年。

石、磁铁矿、钛铁矿，随后是橄榄石、辉石等硅酸盐矿物，与此同时组成超基性类。这些早期结晶出来的硅酸盐矿物不含有铂族元素。

在硅酸盐矿物结晶之后，是底部硫化物的晶出，这时晶出的矿物有：镍黄铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿等。接着又分出紫硫铁镍矿。大量的铂族元素是在这硫化物阶段晶出的。施聶尔汗 (Schneiderhonn) 在1929~1931年在南非铂矿的研究时也确认大量的铂族元素是在硫化物阶段晶出的，与本区有相似的成矿特点。在这个阶段铂族元素随同大量的挥发

物一起进入硫化物熔浆中。

通过矿石矿物的矿相学研究（300余块光片研究），可将本区硫化物生成阶段划为早期硫化物阶段和晚期硫化物阶段。早期硫化物阶段以磁黄铁矿—黄铜矿—镍黄铁矿—黄铁矿共生组合为代表，为岩浆晚期的产物。铂族元素表现强烈的亲铁性和亲硫性，主要参加到硫化物的结晶格架中。因此镍黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿都含有很高的Pt，只有磁黄铁矿含Pt量较低，而以镍黄铁矿含Pt量最高。这与施聶尔汗研究南非铂矿所得出的情况是相反的。他认为镍黄铁矿含Pt量最低（可能是由于矿石中含有磁黄铁矿较少的原因）。

在早期硫化物向晚期硫化物过渡阶段，硫化物溶液具有氧化和热液阶段的性质。以大量的紫硫铁镍矿代替镍黄铁矿为特征。在紫硫铁镍矿结晶出来稍晚的时候，矿液中硫、铁、镍含量减少，而砷和铂则相对的富集，这就给砷铂矿的形成构成了先决条件，铂族元素就以砷铂矿的形式出现。

晚期硫化物阶段，已完全属于热液的性质，以白铁矿—黄铜矿—针镍矿共生组合为代表，这时铂族元素的活动已进尾声，硫化物中含Pt很低。磁铁矿则往往沿硫化物解理充填。在磁铁矿形成以后是碳酸盐脉的活动，这时已不含有铂族元素。

(上接28页)

愈显著，这当然利于大规模的翼部的层间剪切带和轴部的挤压破碎带发生。相反，在平缓褶皱的条件下，仅能发生翼部岩层微弱的层间滑动和轴部岩层由弯曲而导生的微弱的张裂，不利于大规模的破裂发育。

向斜和背斜对矿体生成的影响的差别，也可能与各自形成时应力状态的特点有关。地壳表层的岩层褶皱为背斜，各岩层向上的弯曲和向上的滑动，由于没

有上复的强大阻力存在，多少是比较自由的。向斜的形成则有所不同，各岩层向下的弯曲和向下的滑动，却受到了地壳的抵抗，大概会困难得多，受力也复杂得多。这可能是鞍状矿体在背斜中较常见到，而脉状和网脉状矿体较常在向斜中见到的原因。

本文涉及到一些矿体的构造分类，只是为了便于叙述某些构造因素对矿体分布的影响。而不是专门提出有关矿体的全面的构造分类问题。

参 考 文 献

1. И. В. 基里诺娃：褶皱形成构式的若干问题 地质出版社 1958 年
2. Ю. А. 柯西金：含油区大地构造 上册 139~141 页 石油工业出版社 1959 年
3. М. Р. 毕令斯：构造地质学 357 页 地质出版社 1959 年
4. Основные вопросы и методы изучения структур рудных полей и месторождений 19~20 页、84 页

Госгеолтехиздат. Москва 1960

5. А. В. 科罗列夫、П. А. 舍赫特曼：岩浆期后金属矿体及其地质分析法 29~31 页 地质出版社 1957 年
6. А. Н. 金尼克：拱的稳定性 建筑工程出版社 1958 年
7. 本所内部资料，目录从略。