

# 基性、超基性岩浆的成矿作用及其 有关矿床成因与构造分类

王述平

岩浆矿床的研究和其他成因的矿床一样,是在地质勘探工作的基础上,对于一个矿区或矿田的全面性的综合研究,借以进行矿床评价、探索深部和外围找矿及勘探方向。

镍、铬、钴、钼、钒、钛等岩浆金属矿床富集在基性、超基性岩内,与岩石种类,岩相分布、岩浆结晶条件和岩体的内部构造有着密切的关系。岩浆侵入的大地构造位置及结晶环境直接影响分异作用的好坏,同时对于形成不同类型的有用金属矿床,亦有影响。

不同成因类型的岩浆矿床是火成岩结晶作用不同阶段的产物,各不同阶段有其不同的控制条件。早期岩浆矿床以重力分异作用为主,晚期岩浆矿床的富集作用则较为复杂,一般说来流动构造与矿石富集关系更为密切,原生节理起着辅助作用;原生节理是在流动构造的基础上产生的,在区域构造的影响下发生再活动,控制着不同的贯入式矿床。

确定矿床的成因类型可以大致推定矿体的规模,但在确定构造控制因素后则对于预测矿体延深、延长及探索新矿体的帮助更大。因此结合成矿作用研究岩浆矿床的成因分类与构造分类,对于指导岩浆矿床的找矿及勘探工作是非常重要的。

作者下面将试探性地讨论矽酸盐矿物、金属氧化物和硫化物的晶出作用,并说明岩浆分异和结晶分异作用同时进行产生熔离作用的重要性及不连续反应系列矿物与残浆反应过程中对金属元素的富集作用。

并结合大地构造讨论火成岩原生构造活动,分析构造活动的内因和外因,特别强调指出流动构造对于分凝式矿床的找矿意义和流动分异作用对于矿体的富集作用;肯定了 $S'$ 、 $D'$ 及 $Q'$ 对于贯入式矿床的控制作用。

文中提出了岩浆矿床成因类型与构造类型相结合的初步划分意见,并倡议采用压滤式和增添热液富集式等几个新的类型。

这些尝试性的探讨,都还不很成熟,由于作者所掌握的资料还有一定片面性,更难免有错误的地方。这里仅把一些初步意见发表出来,提供从事于这方面工作的同志们参考和批评指正<sup>1)</sup>。

## 一、基性、超基性岩及铬、镍等元素的富集作用

基性、超基性岩的分布不如酸性岩普遍,它主要产于褶皱山带和岛弧之中,与地槽的发展历史有关系。如加里东期阿帕拉什褶皱带、海西期乌拉尔褶皱带及阿尔卑斯期东、西

1) 本文实际资料大部是作者与鲍世强、孙廷绵、李章大、吴毓辉、吕志雄、林秀勤等同志进行岩浆矿床研究的成果;关于力学理论方面,曾得到牛实为同志的很多帮助。

印度島弧。我国海西期內蒙、秦岭、祁連山、昆仑山、龍門山褶皱帶及喜馬拉雅褶皱帶等均較发育。其次产于古老地盾或地台內部,如南非的布什維尔德、南罗得西亚及我国的滇西准地台等地区。第三种是产于地台边部深断裂旁的准褶皱帶(或地盾中的次一級褶皱帶)中,如东北及河北北部所发现的一些岩体羣可以作为例子。

大地构造条件、原岩浆的化学成分及其所形成的不同的火成岩建造,和围岩的性質均影响火成岩分异作用的好坏和原生构造发育程度,而这些都是控制岩浆矿床金属富集的主要条件。

岩浆金属矿床是火成岩的副矿物成分在分异过程中富集而成的,因此研究岩浆矿床的成因,必須首先注意岩浆分异作用。

一般所指的分异現象多偏重于結晶分异作用,如所謂重力分异即早期晶出的暗色矿物如橄欖石、輝石或金属矿物鉻尖晶石、磁鉄矿等由于其比重較高,下沉到岩浆底部,或有时淡色矿物結晶較早則漂浮于岩浆上部,使火成岩形成不同的岩相,有时产生岩浆矿床的富集作用。

近年以来发现火成岩,尤其是基性、超基性岩的不混溶現象,如异离体、似层状及带状岩体等普遍存在,因此許多岩石学家<sup>1)</sup>都非常注意液态岩浆的熔离作用。

經常可以发现粗粒巨晶状的純橄欖岩或輝岩在輝石橄欖岩中成异离体出現。这种純橄欖岩异离体构成鉻鉄矿的找矿标志,可以大致推定鉻的富集作用如下:

在輝石橄欖岩的熔热岩浆中,四面体的酸根[SiO<sub>4</sub>]之間为共同的氧原子所連接,其配位数等于4,在結晶分异过程中这些組分首先成固溶液状态聚集,当温度下降达到富鎂的橄欖石結晶点时开始晶出,在矽氧結晶格架外部富集 Cr<sup>3+</sup>,在揮发份参加的条件下列离成純橄欖岩异离体,因此我們认为这种异离体是結晶分异作用和岩浆分异作用同时进行的产物。

鉻可以类质同象混入于早期結晶的富鎂橄欖石的結晶格架中,华格和密切尔(Wager & Mitchell, 1945)测定了輝长岩中的橄欖石,发现其中含有1,000克/吨的鉻,在基性岩浆晚期分化的橄欖石中含有不足2克/吨的鉻。这是由于高温时鉻在橄欖石中經常置換鎂,不易置換 Fe<sup>3+</sup>,因此早期晶出的富鎂橄欖石,在缺氧的条件下集中了岩浆中一部分鉻,另一部分則以鉻酸鉻阴离子[CrO<sub>4</sub>]或 Cr<sup>3+</sup> 殘留于岩浆中<sup>[1]</sup>。当富鎂橄欖石与殘浆发生反应, Cr<sup>3+</sup> 又析出,并在条件适合时富集成晚期岩浆矿床。最近的資料表明鎂質較高的純橄欖岩异离体,且其中貴橄欖石的鎂橄欖石分子数較高的,有利于找到晚期岩浆鉻鉄矿床。

岩浆中 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:FeO 可以表示原岩浆的氧化程度<sup>[2]</sup>,似影响鉻尖晶石的結晶作用,如某矿区在地表部分常見分散的早期鉻尖晶石矿物,无工业价值,其 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:FeO 比值亦低,到深部則发现晚期岩浆鎂富鉄鉻鉄矿的小矿体,其 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:FeO 比值亦較高,从地表向深部其 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:FeO 的关系

表 1 純橄欖岩的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:FeO 变化关系

純橄欖岩 (→深部)				
MgO	38.19	40.46	41.67	42.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeO	5.10	5.00	1.60	1.44

1) 列文生-列星格、別梁金、格里戈尔耶夫、格劳特、芬涅尔等人。

如表 1:

利用  $MgO$  值的变化作为横坐标, 投出之  $Fe_2O_3:FeO$  曲线, 基本上可以代表原岩浆氧化作用向深部减弱<sup>1)</sup>, 愈向深部含镁愈富, 可见深部较富镁的橄榄石中富集, 铬元素较多, 铬尖晶石矿物不形成分散的早期矿物, 而在残浆中析出, 并在岩浆晚期富集成矿。苏联乌拉尔肯皮尔赛等矿区的勘探成果表明: 铬铁矿的富集带在岩浆通道附近, 一方面由于深部岩浆分异较好, 同时也可能是由于深部氧化条件较差的缘故。

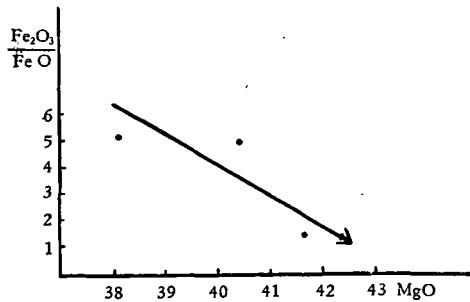
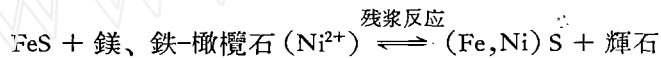


图 1 氧化条件与铬尖晶石的结晶关系

因早期结晶作用的氧化作用较差, 有少量铁、镍、钴、铜的硫化物出现, 但由于这时硫的数量不多, 镍就几乎完全分配于最先结晶的矽酸盐中。过去认为早期富镁橄榄石可能移去岩浆中的镍及部分钴, 与残浆反应重新熔化, 而镍即自此岩浆中以液态硫化物相分离出来。但最近林伍德认为镍与镁的原子半径虽大小相似, 但负电性不同, 镍的负电性大于镁, 而与  $Fe^{2+}$  接近, 因此镍在橄榄石结晶格架中代替  $Fe^{2+}$  的可能性较代替镁的可能性更大<sup>[3]</sup>。因此我们可以把鲍文(Bowen)的式子略加变动表示如下:



这样可以表明硫化铜镍矿床都是属于晚期岩浆熔离作用下形成的, 镍的富集作用曾经历过较为复杂的阶段。

有人认为, 原岩浆含镁愈高, 含铬矿的可能性愈大; 反之, 原岩浆含钙、铁高而含镁低, 对于形成高品位的铬铁矿不利。这一点是符合上面的假说的。我们根据几个镍矿区的岩石分析资料还认为: 铁质较高的超基性岩对于富集硫化铜镍矿床较为有利。这些现象都与上述铬镍在不同性质的岩浆中的富集作用有关。

基性岩中的橄榄辉长岩、橄榄苏长岩等偏于超基性, 含橄榄石, 容易富集硫化铜镍矿床, 而与斜长岩伴生的辉长岩或苏长岩则常发现钒钛磁铁矿。钒钛磁铁矿常与粗粒辉长岩及磷灰石等气成矿物伴生, 说明其富集时氧化条件较好。

以上有关基性、超基性岩的地球化学和矿物、岩石的简述, 都是有关岩浆矿床成因方面的主要问题。这两方面都受下面将要谈到的构造条件的影响。

## 二、火成岩的构造控制条件

火成岩的构造控制条件包括大地构造因素和火成岩的原生构造两个方面。

火成岩的原生构造, 即流动构造和原生节理, 是在柔性岩浆流动及开始冷凝时期所形成的。这些构造主要由于侵入的火成岩内力影响所产生, 兹分别介绍如下:

1) 蛇纹石化后  $Fe_2O_3$  增加, 但由于蛇纹石化也代表氧化程度增高, 因此, 这一比值还是可以参考。作者在这里只提出一个研究方向。

### (一) 流动构造

原生流动构造分为綫状构造和层带状构造两种。綫状构造是矿物长轴及异离体或捕虏体与岩浆主要流动方向一致,这是由于岩浆从紊流转向层流时产生差异性运动,先结晶的矿物受两个相互平行的流面上的切应力所产生的扭轉作用,使这些矿物的长轴轉向与流动方向一致,形成綫状构造(图 2 I 虛綫)。

层带状构造又分为似层状及带状两类:前者为暗色岩层(往往含矿)和淡色岩层之間的近于水平的互层,是殘浆产生差异性运动时,流层間的切应力加速矿物結晶,并使粘性相同的熔浆和化学組成相同的矿物聚結在一起,形成似层状构造,在地台区侵入体的底部較为常見。后者为受側压力作用較強、不同种类的岩相形成直立的带状构造,以地槽区侵入体中較为常見。

### (二) 断裂构造

断裂构造是岩浆冷凝过程中及成岩后所产生的。岩浆冷凝时由于其內力而产生的裂縫称为原生节理,成岩后受区域性压应力作用所产生的活动称为次生裂隙或簡称裂隙。

原生节理有纵节理( $S$ )、横节理( $Q$ )、斜交节理( $D$ )、层节理( $L$ )及偶尔出現的边緣节理等。当侵入体沿长轴方向流动,粘性增大,在差异性运动的基础上,由于围岩的摩擦阻力,及与流动方向平行的鉛垂面上預先产生的切应力,再受以后岩浆冷凝收縮时的张应力作用,产生纵节理( $S$ )、横节理( $Q$ ),并于粘性較大的內部引起粘性剪裂,形成斜交裂隙( $D$ )。原生节理常受区域动力影响发生再活动。区域横压力使纵节理上下錯动发生迭瓦状裂隙羣( $S'$ ),同时斜交节理由水平剪断,发生雁行状裂隙羣( $D'$ );以后横节理亦发展为张裂隙( $Q'$ ),层节理有时亦有活动( $L'$ )。作者綜合了几个矿区的实际資料,提出原生节理再活动为晚期岩浆貫入式矿床的构造控制因素,并分别采用  $S'$ 、 $Q'$ 、 $D'$  及  $L'$  代替克劳斯的  $S$ 、 $Q$ 、 $D$  及  $L$ 。原生节理及其再活动的构造裂隙与应力条件如图 2 所示。

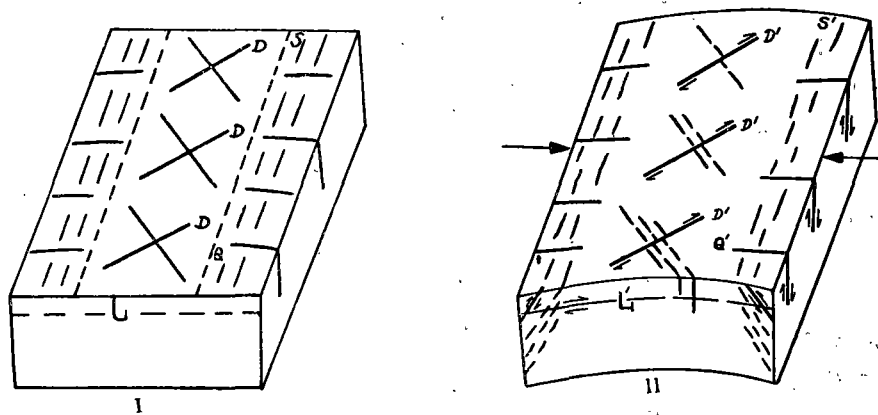


图 2 原生构造及其再活动的应力、应变关系

- I. 火成岩各种原生构造示意图;  
II. 各組原生构造再活动的現象。

### (三) 岩浆矿床与大地构造及火成岩构造的关系

岩浆活动时期所处的大地构造位置不同,并在大地构造发展的不同阶段固结,形成不同的岩浆岩建造。同时对构造裂隙的发育程度和发展变化也有影响,例如褶皱带和地台区的构造和运动性质不同,因此影响其中的矿床成因和产状。

地盾和地台区的岩浆活动,由于结晶基底不易透过,只有被新的地壳运动破坏产生断裂才出现侵入活动。在这里以中基性、中酸性岩喷出开始,继之有基性到中性岩的侵入,晚期则偏于碱性。侵入体的最大特征是多为浅成岩相,分异较好,原生构造较为明显,底部有似层状构造,其中常发现晚期岩浆分凝式矿床(如我国西南一钒钛磁铁矿床),在偏于超基性的基性杂岩体中能发现熔离分凝式的硫化铜镍矿床。岩浆活动的最后阶段为橄榄玄武岩流的喷出。

褶皱带的侵入体则可以划分为前造山期、同造山期及后造山期三类。

前造山期运动的特点是在地槽内具有最大沉降幅度的垂直变位,此时所产生的张力,使地壳发生断裂,在这种条件下岩浆活动和地盾及地台区类似,有基性岩流的海底喷发和由原生玄武岩浆派生的基性、超基性岩的多次侵入,侵入体以辉长岩类为主。由于环境较好,岩体分异也较好,原生构造发育,再度侵入的岩体有时不超出第一次侵入的大岩体范围,且受原生构造再活动的严格控制。后期区域构造运动的复合现象常常改变原来的裂隙性质。贯入式钒钛磁铁矿和铂矿经常与这种侵入体有关。

在同造山期中非地槽性质的褶皱区的构造运动和地槽性质的褶皱区的运动性质不同。

非地槽性质的褶皱带中,硬性基底的岩石在褶皱作用时不发生塑性变形,而是发生横断裂,各断块变位的同时上层沉积岩受到塑性变形,常伴有断层和逆掩断层。

这些地带具备地台区与地槽区的过渡性质,经常发现深部已分异的玄武岩浆,沿深断裂的次一级断裂带侵入,形成基性-超基性的小岩体群;其长轴方向与断裂带平行或斜交,有再度侵入的现象及具流动构造的晚期岩浆分凝式矿床。

在地槽性质的褶皱带中,由原生橄榄岩浆派生的超基性岩广泛活动,因褶皱形成的过程波及整个地层,侵入体发生变形,分异很差,经常产生带状或边部片麻状构造,有时含矿岩体为深部分异的大岩体内有直立的异离体群,其中可能有晚期岩浆分凝式铬铁矿的富集。构造活动愈强烈,则岩浆活动次数愈频繁,晚期岩浆矿床以贯入式为主,此时浸染状矿体则常较分散,不容易构成分凝式矿床(实例见后)。

以后有基性、中酸性岩小侵入体及中深花岗岩基沿褶皱带平行分布,因动力干扰,原生构造常不明显。

在后造山期分为垂直运动和水平运动两类,前者伴有断裂和酸性、中酸性火山喷发;后者则形成褶皱山脉的横断裂,造成中酸性、碱性小型侵入体的上升通道。火成岩在这一阶段形成的也比较多,以稀有金属矿床较为发育。因为岩浆运动是发生在硬性的围岩中,原生构造也最明显。

在大地构造旋回的特定阶段的火成岩,互相有成因联系,在时间和空间上常相伴生的各种岩石构成一个杂岩体,某一类型的杂岩体生成于一定的大地构造发育阶段的就属

于同一建造,例如超基性岩建造就是褶皱带輝岩-純橄欖岩所組成的岩石組合。

地壳活动相类似的区域有着类似的岩浆活动,同一构造发展阶段的不同时代的岩石組合,可能属于同一个建造,并可进行对比。

参照近年来苏联对于岩浆建造的研究所指出的三个主要因素,作者建議在研究岩浆矿床时,采用构造条件代表侵入体的大地构造环境、内部构造及其再活动等因素,并将一个岩浆建造分成若干岩石系列,岩浆矿床伴随一定的岩石系列产出,且有时集中于某几个特殊的岩相,构成各种不同的成因类型;由于构造条件的不同,又产生不同的构造类型。这些再加上矿物、岩石和地球化学因素,构成控制岩浆矿床的三个基本条件。

### 三、岩浆矿床的成因类型和构造类型

在討論岩浆矿床的成因类型和构造类型之前,首先說明几个問題:一个是所謂异母岩矿床<sup>1)</sup>,晚期岩浆矿床常有这样的特点,即重金属矿物因分异作用趋向于侵入体底部,集中于暗色岩相或超基性部分,但由于揮发份及应力影响常貫入于上部淡色岩相或偏基性岩体中,斜长岩內的貫入式鈾鈦磁鉄矿及斜輝橄欖岩內的貫入式鉻鉄矿都是比較典型的例子。

基性岩体受深部新岩体的热力影响,其中橄欖石或輝石在蛇紋石化、紆閃石化等蝕变过程中析出鎳、鉄等組分,与深岩浆源的硫化气体結合而成的鎳、鉄及銅的硫化物矿床也属于这一类,但以热液作用为主导因素。

其次是热液迭加現象,硫化銅鎳矿床往往受热液富集作用影响。曾見到輝綠岩、橄欖輝长岩及橄欖岩中含熔离状态的硫化物,兼具杏仁状构造。这些岩浆矿床多具热液富集的特征,必須在討論岩浆矿床成因时加以注意。

此外,参考侵入体的构造条件划分矿床的构造类型,对指导勘探工程方面能起較大作用,結合成因类型可以就矿找矿或預測盲矿体的隱伏地段。因此,作者在这里从构造条件的研究入手,适当地应用地質力学分析,試將岩浆矿床划分为几个不同的构造类型和成因类型,一并討論。

#### (一) 早期岩浆分凝式矿床

目前較多数学者公認属早期岩浆矿床的,只有南非的布什維尔德鉻鉄矿等少数几个矿床。布什維尔德位于南非德兰士瓦中部,岩体分布面积达 39,000 平方公里,为世界最大的一个杂岩体。主要岩体分为东西两部,东部岩体走向南北,傾向西或南西 10—45°。組成岩盆的主要岩石:上部为鈣长岩系列,下部为輝石岩系列,包括古銅輝岩、斜輝橄欖岩及鉻鉄岩等。这些不同的岩石在岩体下部富矿的临界带构成明显的薄层状。

鉻鉄岩賦存于古銅輝岩內,分为带头层及下側斯蒂尔波德层两个矿带,中夹数米厚的輝石岩。矿层厚度虽不过数米,但延展广闊,規模宏大,富矿中鉻尖晶石成分占 95%。

鉻尖晶石矿物一般均为細粒自形至略圓形,自上而下从稠密浸染状过渡为致密块状的鉻鉄岩,但往往具古銅輝石的核心。临界带的輝石岩、苏长岩和富鉻岩石成不足 3 厘米

1) 相当于索科洛夫的“异岩浆矿床”(見参考文献[4]第 104 頁),因原名易与“异源岩浆”相混,故改用此名。

到数十厘米的薄层状,铬铁矿层也成较规则的似层状。

可以推想在地台区较为宁静的环境下,重力分异作用的结果,使钙长岩和辉石岩及铬铁矿分开。但似层状构造的形成是熔浆在压力下发生差异性运动的结果,同时各层间粘性的差异和流速的变化使不同岩石的固结时间有先后,以致发生不同条带岩石间的熔蚀交代甚至沿先结晶岩石的裂隙侵入的现象。

铬铁矿下部有些铬尖晶石和辉石是早期结晶后下沉到较热的岩浆库底部重熔再结晶而成,推想其过程是重熔的铬铁矿液在挥发份参加下与熔浆不混熔而下沉,然后与辉石熔浆同时再度晶出,因此常在铬铁矿下部见到铬尖晶石成链状构造,而有时与辉石岩包体边部的古铜辉石成嵌晶结构。有时还可以看到铬铁矿与古铜辉石之间为一层斜长石薄膜所隔开,三朴森认为这种斜长石与铬铁矿由古铜辉石交代而成的意见也是值得注意的。

总之,根据最近资料<sup>[6]</sup>,可以初步肯定铬铁矿是岩浆重力分异作用的结果,沉积于辉石岩系列底部,仅有一部分铬铁矿和古铜辉石是原地生成的。矿液的不混熔现象仅是一个补充程序,矿床成因应属于早期岩浆分凝式。矿床的构造类型应属于似层状。铬尖晶石矿物的铬铁比值为 1.33—1.64,质量较差。

我国有一含铬铁矿超基性岩体,位于震旦纪地盾的次一级褶皱带中。围岩为前震旦纪片麻岩及寒武奥陶纪石灰岩;含矿岩石为单斜辉石橄辉岩(已蛇纹石化)。岩体沿两者间的北北西走向的不整合面侵入,成单斜构造,岩体均向西南倾斜;再度侵入的辉石岩侵入于橄辉岩之间,辉长岩沿超基性岩东侧作不规则的带状分布。以上三个岩石系列均属于深部分异逐次侵入的结果,由于侵入后的分异作用及围岩同化作用,各不同系列又分异成几个岩相。

根据李璞同志的研究,橄辉岩体有异常分异现象:上部为含辉石纯橄辉岩、辉石橄辉岩,下部为橄辉岩及石榴石化橄辉岩。矿体主要赋存于石榴石化橄辉岩中。这些岩石含 MgO 较一般略低( $MgO:FeO = 1.20-3.10$ ),底部含矿岩石中更低(1.20)。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 稍高, CaO、FeO、MnO 都显著较高,而 CaO 在含矿岩石(石榴石化橄辉岩)中高达 22.9,而这种岩石中的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:FeO 的比值为 9.31:1.92,等于 4.8,比上部纯橄辉岩(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:FeO = 1.62)高得多。

岩体中发现大量石灰岩包体和钙铝石榴石交代辉石的现象,甚至经变质形成钙铁石榴石岩或透辉石岩,其化学成分也是 MgO 低, FeO、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 高。可以假定 CaO 的含量高是岩浆上升时同化了部分石灰岩的结果,由于大量钙质渗入于 MgO-FeO-SiO<sub>2</sub> 的系统中,降低了岩浆的结晶温度,并促使结晶过程由橄辉石直接转变为普通辉石。这就一方面产生了橄辉岩的逆向分带现象,同时在岩浆早期氧化条件突然增高的条件下高铁铬尖晶石大量晶出,并得到一定程度的富集。

可见围岩同化作用对于岩浆岩的逆向分带起着主要作用,而铬尖晶石矿物在含 MgO 较低的橄辉岩中分布较多,也与围岩成分的混入有关。

矿体呈不规则的透镜状,延长方向大致与岩带分布一致。矿体与围岩界限常为渐变关系,有局部富集现象。矿石成稠密浸染、斑点状浸染及条带状稠密浸染三种结构。铬尖晶石的条带状分布说明含矿溶液是在定向应力影响下结晶的。

所有矿石中的铬尖晶石均以高铁铬尖晶石为主,常成 0.2—0.5 毫米的自形晶,有时被

大片单斜辉石包裹,但多分布于橄榄石的晶隙之间,可以确定铬尖晶石大量开始结晶在橄榄石之后,结束于大部辉石结晶之前,当时还有大量岩浆存在,故列为早期岩浆矿床。矿石  $\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{FeO}$  多低于 1。

作者初步认为,早期岩浆分凝式铬铁矿的构造类型以似层状为主,是在吸取灰岩中钙质及氧化程度较高的情况下形成的。表面看来,这一早期岩浆矿床实例好象有许多矛盾,但实质上却能够更好地说明上节中的一些看法。

## (二) 晚期岩浆分凝式矿床

1. 晚期岩浆分凝式铬铁矿矿床: 属于此类型的可以一地槽区的超基性岩体为例。岩体侵入于浅变质的志留-泥盆纪地层中,是海西期产物,为纯橄榄岩-斜辉橄榄岩建造,以斜辉橄榄岩为主。现就一最大侵入体加以说明(图 3):

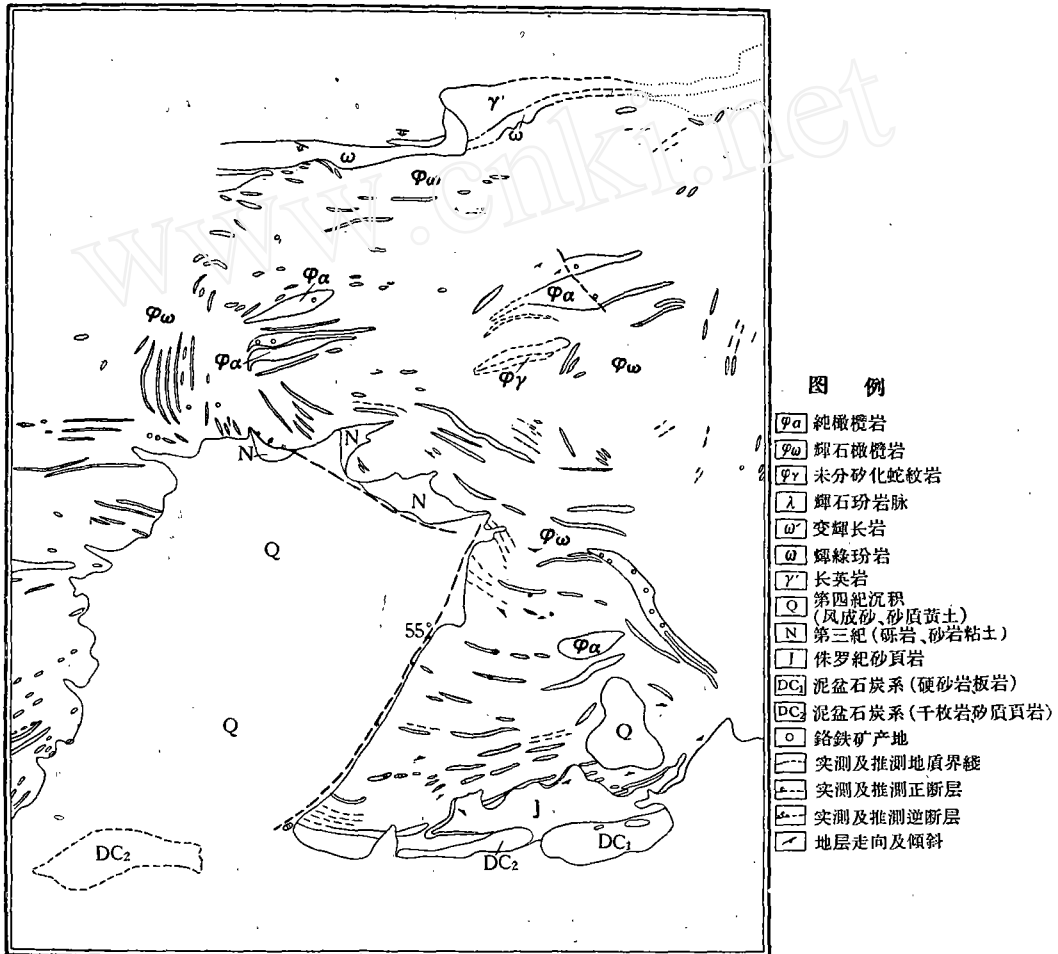


图 3 岩体中纯橄榄岩条带分布示意图

岩体中纯橄榄岩略成东西向条带状平行出现,产状近于垂直,占整个岩体面积的 9.5%,常沿山脊分布。纯橄榄岩与斜辉橄榄岩的接触界限呈较迅速的渐变。有时可以见

到斜輝橄欖岩內的輝石成綫形排列,与純橄欖岩延長方向平行,鉻鉄矿均富集于純橄欖岩內。因此認为含矿純橄欖岩是斜輝橄欖岩中的异离体,推測岩漿在深部已发生熔离作用,在純橄欖岩中熔漿未能完全汇集的条件下,稍晚于造山运动时期侵入,經流动而形成窄长直立的扁豆体。

純橄欖岩均已蛇紋石化,斜輝橄欖岩內的殘留橄欖石为貴橄欖石 [ $2V = 88^\circ(+)$ ],輝石为頑火輝石 [ $2V = 75-78^\circ(+)$ ]。

純橄欖岩的分布情况,大体来說,东北部为北东走向;东南部为北西走向,西部則为东西走向,矿体受流动构造的控制。推測当純橄欖岩异离体在流动过程中,尚有一定程度的重力分异作用,当围岩較陡受围岩压力較大时发生横向分异現象,純橄欖岩有向侵入体底盘汇集趋势,脉状或带状矿体常集中在底盘的純橄欖岩异离体中,尤以岩体轉弯汇集較大时其外側轉弯处易形成較大的矿体。且当純橄欖岩体向某一方向側伏时,矿体亦同时側伏,且下部較上部好。

例如,主矿带純橄欖岩异离体呈楔形,东寬西窄,其中有数条矿脉,走向和純橄欖岩一致,矿石类型为条带斑杂状、块状及浸染状相互排列(图4)。有的矿区見到豆状矿石,具明显的流动构造,这說明矿体具备熔离特征,且仍发生一定的流动性。

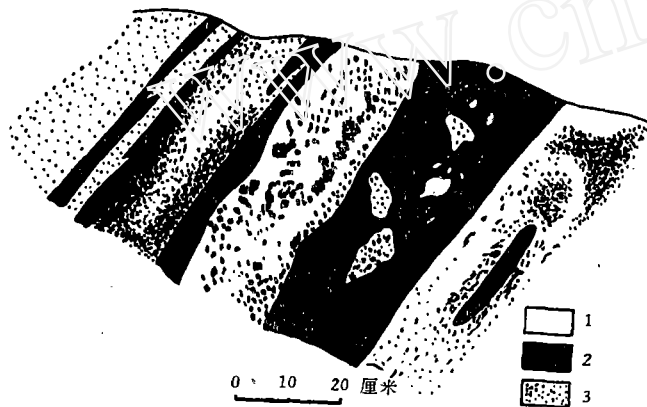


图4 稠密浸染及致密块状的鉻尖晶石条带(根据袁榮林)

1. 純橄欖岩;
2. 致密块状的鉻尖晶石条带;
3. 浸染状鉻鉄矿。

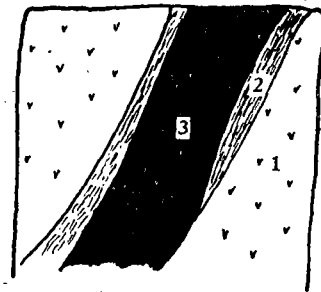


图5 压滤式矿床的产状(根据袁榮林)

1. 大块純橄欖岩;
2. 流紋状純橄欖岩;
3. 矿脉。

有时矿体和直接围岩(具有稍紅色条紋的无矿純橄欖岩)与块状純橄欖岩有較明显的界綫(如图5)。这种似脉状矿体中尚有不含矿的純橄欖岩包体,两者之間界綫比較清楚,为含矿熔融体和条带状純橄欖岩熔漿由下部稍向上移动而挤入于大块純橄欖岩縱节理中。类似这种成因的鉻鉄矿体(可能包括图4的右下方致密块状小扁豆体),即液态熔漿压滤挤入在已結晶的矿物中,沿原生节理成定向排列的矿体,属于同母岩漿成因。

鉻尖晶石分析結果証明,大部均属于含鎂的鉛鉻鉄矿。矿石的鉻鉄比值高,可見晚期岩漿矿床一般質量較好。

目前在我国不少地区均发现有这种純橄欖岩-輝石橄欖岩杂岩体,因此类似这种带状构造的矿体产状,可以划为一种构造类型。

**2. 西南钒钛磁铁矿矿床:** 矿区附近为震旦纪地层及古生代地层, 以震旦系的底砾岩不整合复于前震旦纪闪长岩及花岗岩之上, 在早二迭世以前仅有幅度不大的升降运动。规模广阔的海西运动发生在早二迭世以后, 在北西西-南东东褶皱带上有北 30° 东断层构造的迭置, 构成岩浆活动的主要通道。橄辉石岩及辉长岩侵入于阳新石灰岩中, 辉长岩的生成时代晚于早二迭世。

中生代陆相沉积也沿着这些山间槽谷分布。燕山运动使区内中生代地层的褶皱轴綫及断层綫一律呈南北走向, 并使以前的断裂軟弱带复活, 以后的一些构造活动具有明显的继承性, 至今尚未衰減。

辉长岩体, 走向北 30° 东, 倾向北西 40—50°, 岩体规模很大。辉长岩整合侵入于晚震旦世大理岩中, 呈岩盆状, 在岩体西南端受到海西晚期花岗岩的同化混染作用, 岩体西北边缘及东北端与晚三迭世地层及部分正长岩呈断层接触。自上而下为辉长岩—片麻状辉长岩—粗粒辉长岩—粗粒辉长岩—片状细粒辉长岩。

其中细粒辉长岩部分为晚期侵入的, 粗粒辉长岩则侵入更晚, 片麻状辉长岩是一种具有明显流动构造的岩石, 一般寬数百米, 其中辉石、长石常分别集中而成条带状。钒钛磁铁矿成浸染状, 且含界限清楚的小矿条或矿化带, 矿体基本上产于片麻状辉长岩的下部 (图 6):

岩体分异较好, 底部矿体形成水平薄层的似层状构造, 在晚期岩浆层流运动所产生的差异性运动条件下, 结晶分异作用及岩浆分异作用 (分熔作用) 同时进行, 形成了斜长岩与含矿辉长岩及矿液之间的平行条带, 底部有钙质渗入, 挥发份较多地段可以形成致密状矿石, 及粗粒辉长岩。

矿石中以磁铁矿、钛铁矿、钛铁晶石、磁赤铁矿为主, 及少量硫化物等, 钛铁矿成独立晶体分布于磁铁矿的粒状集合体中, 其散粒状的占 95%, 成固体熔离等其他结构的不过 5%。在浸染状铁矿物周围有棕闪石及绿泥石的蚀变圈, 这证明晶出时有挥发性成分参加, 海棉状晶铁结构表明其结晶结束晚于辉石及拉长石。

矿床的构造类型为似层状, 这是地台区晚期岩浆分凝式矿床常见的构造类型。研究辉长岩体的分异作用及流动构造。对于找矿及勘探有重要意义。

**3. 东北某硫化铜镍矿床:** 此硫化铜镍矿床产于辉长岩—橄辉岩杂岩体内, 岩体羣侵入于地槽区与地台区邻接处深断裂旁的次一级剪裂带内。围岩为前震旦纪片麻岩及石炭二

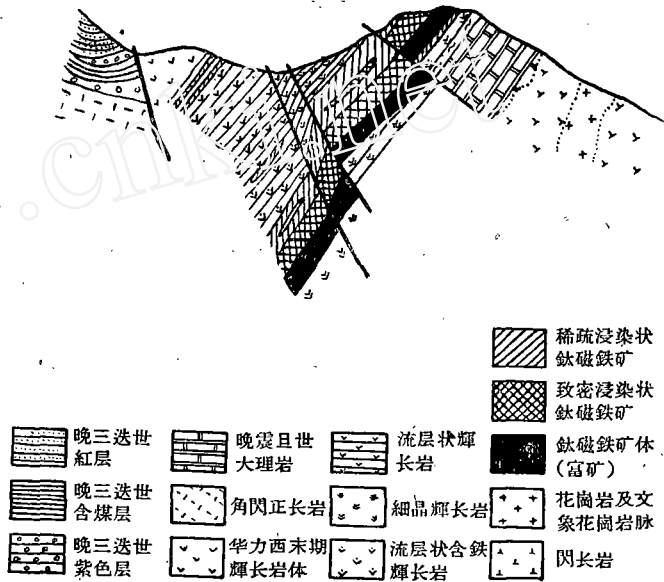


图 6 西南—钒钛磁铁矿似层状矿体剖面示意图 (采用《地质学报》41 卷第 2 期第 96 页图 1, 原据徐亮资料)

迭纪砂页岩。中生代砂页岩及煤系广泛分布于深断裂构成之地堑带中,宽约 10 公里,成北东东方向延展。

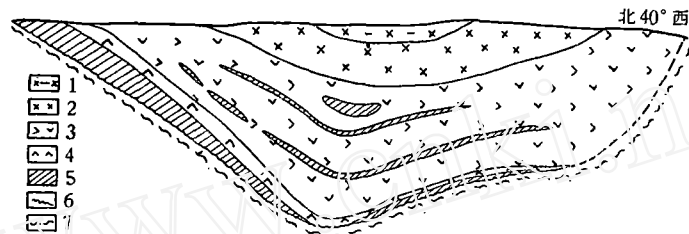
该区前震旦纪地层褶皱轴多呈北西向,深断裂为北东东向,其次一级剪裂则呈北西走向。海西期黑云母花岗岩分布于矿区附近。

基性-超基性杂岩由南西向北东共分 4 个岩体群,三个岩石系列,分别为:

- (1) 橄辉岩-辉岩-辉长岩;
- (2) 橄岩-橄辉岩-辉岩;
- (3) 含长辉岩-辉长岩-闪长岩。

介于(2)(3)两系列之间尚有由片麻状辉长岩穿插的复杂岩相的岩体群  $MgO:FeO$  为 1.90—3.65,主要矿体赋存于第(2)系列岩体群内。

含矿岩体大致沿一背斜轴部的断裂带侵入,走向北 $25^{\circ}$ 西,略成盘状,两侧向中心倾斜 $60-70^{\circ}$ ,岩体深度由南向北由浅变深(图 7)。



1 辉长岩; 2 辉岩; 3 橄辉岩; 4 橄岩; 5 矿体; 6 破碎带; 7 片麻岩。

图 7 东北某镍矿盘状矿体纵剖面示意图

岩体分异现象较好,自上而下分别为辉长岩、辉岩、橄辉岩及橄岩 4 种岩相,但辉长岩较薄,辉岩较厚,橄岩最厚,粒度向下变粗,其中偶然见有上悬矿体存在。

橄辉岩出露于南端,厚约数十米,向北变薄,主要矿体位于其中,岩石粗粒(> 3 毫米—1 厘米)的含矿较富,较富的矿石中硫化物呈海绵状晶铁结构,脉石有斜方辉石、橄岩、次闪石等。

矿体上部含长辉岩内的贵橄石的镁橄石分子数为 94%,矿体中则减低到 81%,同时含矿岩石  $MgO:FeO$  比值约小一倍(3.65 → 1.90),富镁橄石向富铁橄石变化,镍元素含量增多,说明镍的转移以置换橄石结晶格架中的  $Fe^{2+}$  为主,所以富铁超基性岩对富集镍矿有利。

从辉长岩到下部的橄岩,其  $NiS:NiSO_3$  比值从 1:4 增加到 1:1。镍的亲硫性较强,晚期岩浆中硫离子浓度增高,遇到析出的镍,在约  $1500^{\circ}C$  左右,可以形成硫化物乳滴,在挥发份较高的条件下较易聚集,并随熔浆流动,故常平铺于岩体底部成薄而宽的盘状矿体。这种受重力及流动分异作用控制的整合矿体,是地槽边缘较稳定的残留地块内分凝式矿床的特征。可以岩体凹部及流动构造作为找矿标志。且一般含矿岩石颗粒粗而蚀变强,辉石多已次闪石化。

矿石呈浸染状、斑点状构造及海绵状晶铁结构,矿石矿物以磁黄铁矿、镍黄铁矿及黄铜矿为主,黄铁矿、墨铜矿、斑铜矿及磁铁矿、钛铁矿等次之。岩体边部有红砷镍矿及砷镍矿等热液期矿物。

类似这种类型矿床中的钴,多与镍黄铁矿成类质同象共生,铂则除在硫化物中呈类质同象产出外,常成砷化物等,是硫化物最后一个世代。

这一矿区如与康滇地盾中部的一个硫化铜镍矿床对比,则可以发现后者由于超基性岩浆与石灰岩发生同化作用,超基性岩的熔点降低,使其分异现象更为完全,自上而下有閃长岩—輝长岩—似层状輝石岩—橄欖岩等不同岩相。岩体成盆状,矿体亦成盆状集中于底部超基性岩蚀变较强部分。由于重力分异在地台区较流动分异占优势,因此构造类型与地槽区不同。岩浆底部的适宜形状有利于矿体富集,不象褶皱带边缘的硫化铜镍矿床,有时甚至可以产生单斜状小侵入体内,这是值得注意的。

作者认为褶皱带边部的硫化铜镍矿床的几个岩石系列均为深部分异逐次侵入的结果,由于深部岩浆分异,使超基性熔浆部分在深部就富集了镍元素,这一部分熔浆在某次岩浆活动中,形成含矿的岩体群系列,矿床的特征是含镍较高,  $Ni:Cu > 2$ , 最高可达4.5,并常先沿深断裂上升侵入于次一级断裂带内,因此小岩体内可有极大型矿床。因深部分异结果,小岩体本身有时分异现象并不明显,在找矿和勘探时不能忽略这种分异较差的小岩体。

原地分异是地台区硫化铜镍矿床的基本特征,一般  $Ni:Cu < 1$ , 很少达1.5,类似我国西南和加拿大的萧德贝里等地的矿床,易被掩盖于盖层下面,埋于较深处,只有在成矿后构造适宜的条件下可以出露地表。地台区硫化铜镍矿床的特征是大岩体内有极大型矿床,也是今后物探、化探地质工作者应当深索的对象。

### (三) 晚期岩浆贯入式矿床

**1. 东北某铬铁矿:** 矿区位于褶皱带的超基性岩体内,岩体沿北北西向断裂侵入于石炭二迭纪地层中,属纯橄欖岩—斜輝橄欖岩杂岩体。岩体长数公里,其中分布有百余个纯橄欖岩分离体,占全岩体面积百分之二十左右。从南向北计可分为三个岩体群,其中第一、二两岩体群中纯橄欖岩一般长数百米,宽数十米;第三岩体群中一般长数十米,最宽数米。第一岩体群走向近于东西,第二、三岩体群则以北北西为主,其中第三岩体群多为隐伏岩体,几个岩体群的产状及排列显示岩浆侵入时期的流动现象。各种不同岩相平均计算结果  $MgO:FeO$  为5.2。

现就勘探程度较高的第一、三岩体群加以分析。第一岩体群的大纯橄欖岩中,结晶粒度常在1厘米以上至数厘米,  $Fe_2O_3:FeO$  比值接近1.5,深部为中粗粒,粒度为0.5—0.8毫米。  $MgO:FeO = 2.79$ , 很低,残留橄欖石极少,  $+2V = 73^\circ$ , 较富铁质,可见这种大分离体含铁较高。其中均匀散布着早期自形的富铁铅铬铁矿,其结晶大小和橄欖石晶体成正比,但一般粒度很细,且成分散状态。

在第一岩体群东南有贯入式铬铁矿体沿北  $45^\circ$  东,倾向北西  $65^\circ$  的断裂带侵入,矿体成小的扁豆体断续相连,并向北  $40^\circ$  西方向侧伏,矿石不但为致密块状,晶体粗大,为铅铬铁矿,且与第一岩体群早期结晶的副矿物的化学成分不同。矿体附近有窄小的再度侵入的纯橄欖岩,其  $Fe_2O_3:FeO$  在0.15以下,少量铬尖晶石副矿物成文象结构,晶出较晚,说明成岩时氧化条件差,可能来源于深部。

第三岩体群有几个小的含矿纯橄欖岩体,均未出露地表,较大者20余米,宽10米,岩

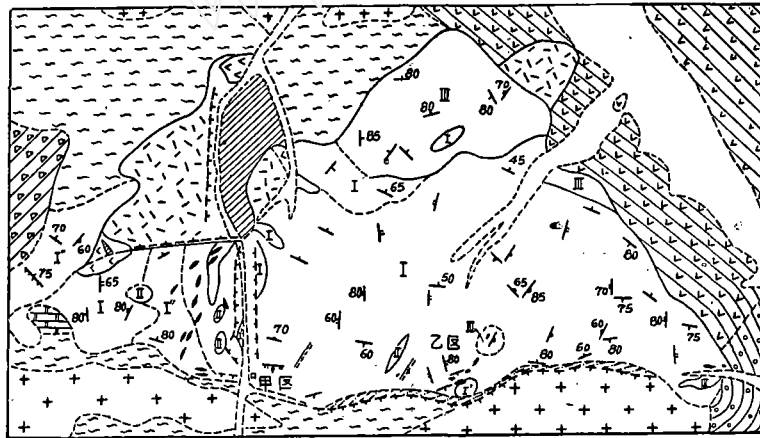
体外围为不含矿粗粒純橄欖岩,粒度为 1.5—2 厘米,  $MgO:FeO = 5.64$ , 貴橄欖石較富鎂,  $+2V = 78-82^\circ$ , 核心部分为含矿中粒純橄欖岩,两者  $Fe_2O_3:FeO$  均近于 1。矿体具备稠密浸染状及致密块状两种特征,为鋁鉻鉄矿,而产于純橄欖岩核心部分,沿岩体长軸近东西向及南北向縱、橫节理貫入的鉻鉄矿呈致密块状夹于浸染矿石中間,系橄欖石結晶后尚未凝固的矿液沿母岩原生节理压滤进去的,属于晚期岩漿压滤式矿床。

岩脉穿插的数目,可以表示裂隙发育的程度,第一岩体羣岩脉密度可达 36%, 第三岩体羣則仅为 12%, 可見北部在成岩过程中的构造活动不及南部剧烈,故氧化条件較差,分异作用較好,这有利于晚期岩漿矿床富集,因此在純橄欖岩分离体内找矿应多注意北部,而南部則应进一步追索貫入式矿体。

根据作者所掌握的初步資料,成迭瓦状排列的矿体,当傾角变緩时矿体变大,其貫入条件显然受  $S'$  裂隙的控制。从以上的簡單介紹也可以了解岩漿矿床的成因类型和构造类型是找矿及勘探的决定性因素。

**2. 华北一鈾鉍磁鉄矿:** 矿区主要为前震旦紀的片麻岩、大理岩及超基性岩、基性岩、花崗岩构成結晶基底,上复岩层以侏罗紀及白堊紀陆相沉积为主。推測超基性岩、基性岩的侵入时代属前震旦紀。

最初該区为一个不深的地槽,連續沉积了泥灰岩、砂頁岩及石灰岩等,以后由于較大的沉降幅度,各种沉积岩受較长時間的压力和五台运动的影响,大部分已变质为片麻岩,一般片理和褶皱軸大致成东西走向。呂梁运动初期发生垂直变位时产生的张力,造成了东西



片麻岩类	安山岩	滑石片岩帶	斜交节理
大理岩	砾岩层	致密块状矿体	断层
花崗岩	粗面岩	橫节理	逆断层
花崗閃长岩	中生代地层	縱节理	平移断层
二长輝长岩			
暗色斜长岩			

图 8 河北某地区地质构造綱要略图

方向的断裂。其中有以斜长岩为主的基性杂岩体侵入。岩带东西长数十公里,南北寬数公里。东西向的大断裂在基性岩侵入之后还有活动,在斜长岩体的南緣发现长达 10 公里的一个逆断层,在其附近百余米范围内斜长岩均已滑石片岩化,片理也呈东西向,其岩相分布及岩体构造如图 8。

斜长岩体受大断裂方向的控制其断裂也以东西向为主,并

控制了再度侵入的基性岩及鈾鉍磁鉄矿矿体。按基性岩类的侵入次序,大致可区分为以下几个系列:

- (1) 斜长岩——偶尔可发现早期浸染状矿石。

(2) 輝长岩 (包括少量二长輝长岩等)-輝长伟晶岩——富綠泥石的浸染状及致密块状貫入式矿体。

(3) 苏长岩 (包括少量拉长岩)-苏长伟晶岩——富磷灰石型的浸染状及致密块状貫入式矿体。

斜长岩均經自变质变为鈉黝帘石化斜长岩,輝长岩兼受矽閃石化,以(1)(2)两系列变质最深。

本区矿体均与再度侵入的輝长岩、苏长岩密切伴生,并于晚期受揮发份影响及应力作用貫入于斜长岩原生节理再活动的断裂带內。每一个大的矿化带都伴有破裂构造。

矿体主要沿大岩体南部边缘发育,估計此处走向北 $70^{\circ}$ 东,傾向南东 $70^{\circ}$ ,受側压力影响产生的逆斜断层,是貫入式矿体的通道。

图9是較为典型的迭瓦状矿体羣,能看出当傾斜变緩时矿体变厚的特征,矿体羣向东北方向側伏,断續延深数百米,应屬逆斜断层性质,与 $S'$ 的性质吻合,根据力学分析側伏現象是迭瓦状貫入式矿体的显著特征之一。

在斜长岩体西部,其再度侵入的輝长岩类及矿体,走向均为北 $20^{\circ}$ — $30^{\circ}$ 东,有数十个矿体断續排列成三个主要成矿带,其附近岩石破碎,甚至成为糜稜岩,构造分析查明,断裂带是在斜交节理的基础上发育起来的(图10)。矿体产状的最大特征是成較大的单一矿体,延长延深均极大。这是由于侵入体中部粘性較高,容易产生粘性剪裂,受这种构造条件

控制的矿体成巨大扁豆体,与岩体边部受剪力发生的小而密的逆向裂隙羣控制的迭瓦状矿体羣不同。因此,确定构造类型就可以預測盲矿体的可能賦存状态。

綜合上述,并与阿帝朗达克(Adirondacks)等国外資料略加对比,还可以发现貫入式钒鈦磁鉄矿虽賦存于斜长岩內,但其母岩則为再度侵入的輝长岩及苏长岩类。这样矿体深部分异再度侵入的所謂异母岩矿床,应为地槽区钒鈦磁鉄矿的特征。

$S'$ 及 $D'$ 为晚期岩浆貫入式矿床的主要控制因素,其他裂隙則較为次要,結合矿带分布情况,在侵入体边部沿长軸方向迭瓦状矿床发育,而中間部分形成雁行状矿床。

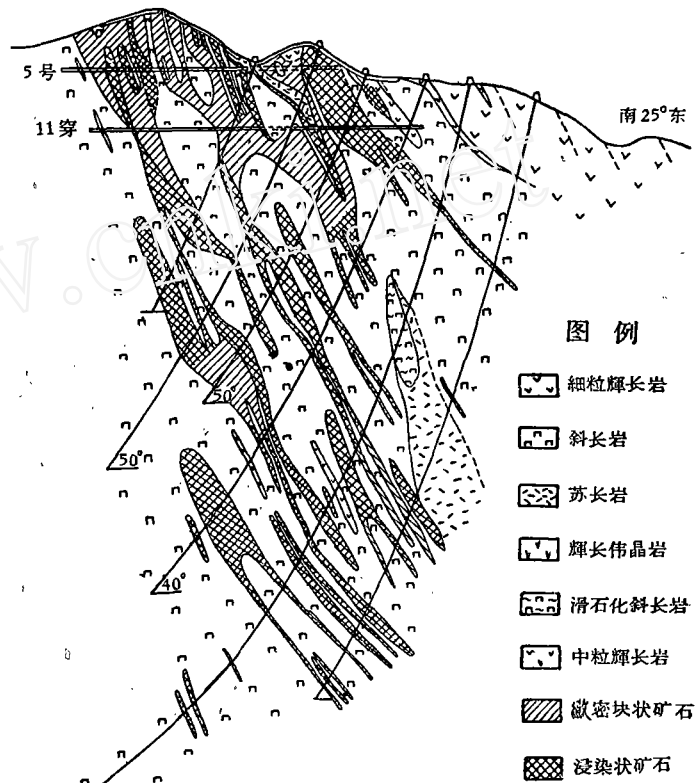


图9 迭瓦状貫入式矿体羣剖面示意图

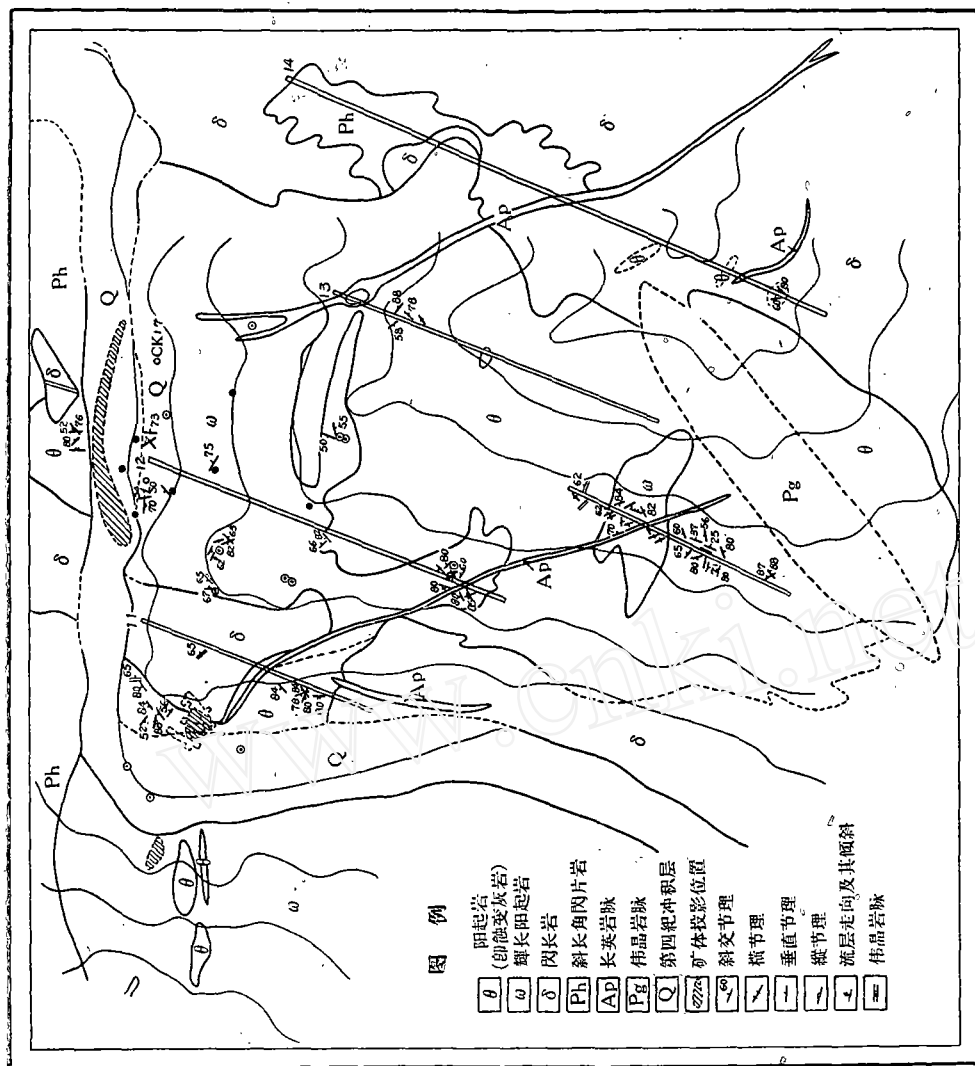


图 11 秦岭—硫磺铜矿床平面示意图

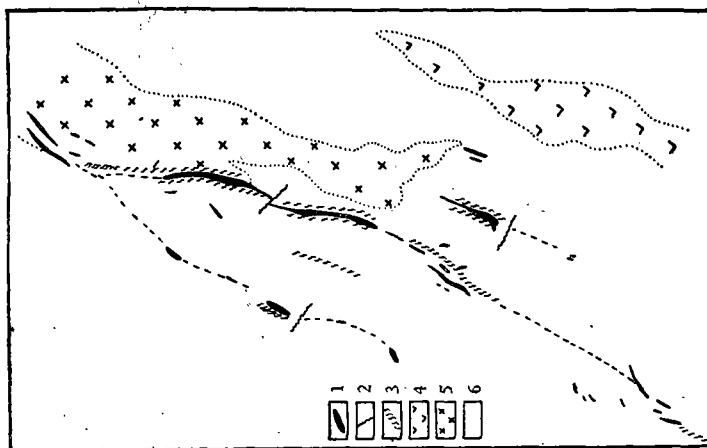


图 10 雁行状贯入式矿体平面图

(根据翟裕生)

1. 矿体; 2. 断层; 3. 剪裂带(S);
4. 二长辉长岩; 5. 矿染辉长岩; 6. 斜长岩。

矿石有致密块状(往往含磷灰石或綠泥石)及具海綿晶鉄结构的浸染状(包括斜长石、綠泥石、磷灰石浸染状)两种,金属矿物鉄磁铁矿在磁铁矿内成固体溶离结构,此外有少量粒状鉄磁铁矿,黄鉄矿、黄銅矿、磁黄鉄矿及尖晶石等。矿体边部綠泥片岩普遍存在,但綠泥石交代钒鉄磁铁矿及斜长石等矿物,为成矿后的热液活动产物。

有时钒鉄磁铁矿貫入于斜长岩与輝长岩之間或矿染輝长岩内,后一情况則属同母岩矿床,但在矿体中不占重要位置。

**3. 秦岭—硫化銅镍矿床:** 該硫化銅镍矿床位于秦岭褶皱带中央隆起部分;是由蚀变輝岩、輝长岩及閃长岩等組成的杂岩体。矿床产于蚀变輝岩、輝长岩系列内。围岩为前寒武紀的副片麻岩及斜长角閃岩,一般片理方向为北 70°—80° 西,傾向南西 70—80°。

基性岩体的分布与本区东西向的构造綫接近一致,由于构造活动頻繁,基性岩体分异很差,蚀变輝岩—輝长岩分布无一定規律。岩体产状为陡傾斜的似层状,傾向北东,  $MgO:FeO = 1.07—1.56$ 。岩体下盘由于閃长岩体的侵入遭到很大的破坏。矿化带沿河滩約呈北 70°—80° 西 的方向延展,和纵节理的方位一致(图11)。

在坑内外詳細观察发现有一組走向北 70—80° 西,傾向南西 80°,表面粗糙、开口,但在坑内外均可見到轉为北 50° 东方向,傾向南东 80°,节理面亦从粗糙轉为平滑,可以看出纵裂隙曾被这一組剪切裂隙复杂化,影响矿体向东側伏。同时另一方面有时节理面也向北 40° 西方向轉化,此时在剖面方向上傾向也向北东(傾角約 75°)轉化,有时切断前一組裂隙,在剖面上形成 X-型断裂带,同时貫入式硫化銅镍矿床成交叉状构造,如图 12。

至于西部河床两旁,在主矿体延長綫上发育的两个筒状矿体,則分别受纵裂隙、横裂隙(北 15° 西,傾向北东, 50°—60°)及斜交裂隙(北 50° 东,傾向南东, 80° 左右)的控制。其特点是矿体短而粗,向深部分岔尖灭。斜交裂隙的又一次活动,控制着伟晶岩及长英岩脉的发育,且往往切穿矿体。

矿石有浸染状、网状及角砾状、块状几种。矿石物质組成以磁黄鉄矿、黄銅矿及黄鉄矿为主,并有镍黄鉄矿

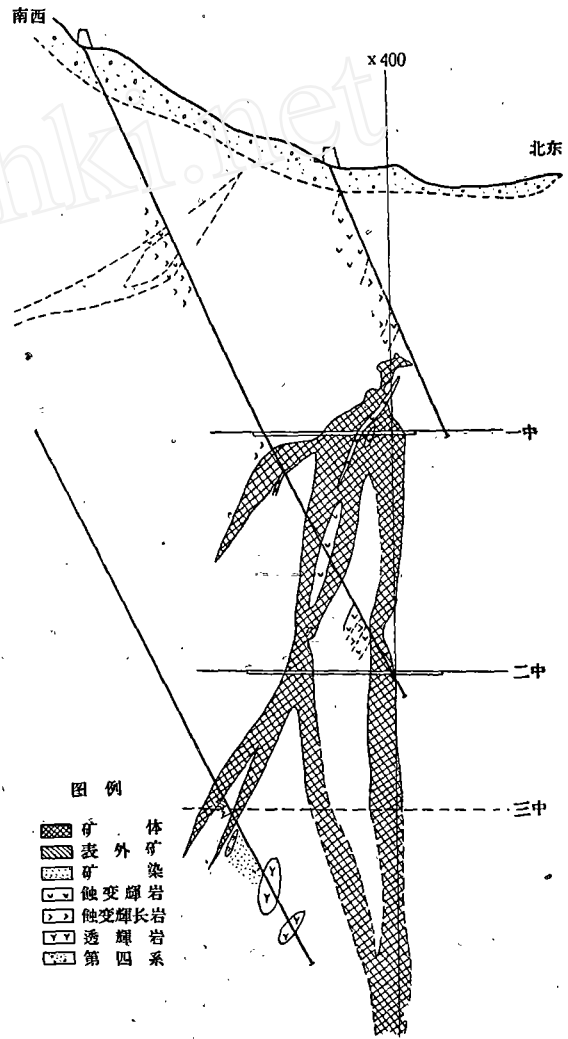


图 12 交叉状貫入式矿体剖面图

及輝鉄鎳矿等。鎳黄鉄矿常在磁黄鉄矿中成火焰状結構。黄銅矿在磁黄鉄矿外围成固体分离現象,原属岩浆期产物。但也可見到黄鉄矿被黄銅矿溶蝕的現象。矿体内的蝕变輝岩角砾中可見到很大的阳起石及黑云母,围岩綠泥石化現象亦明显。

該区矿石中 Ni:Co 稳定地保持着 6:1 的比值,而 Ni:Cu 則在 1:2 或 1:1 之間 (Co: Ni = 1:15—50)。

化驗資料表明磁黄鉄矿向深部含鎳量減低,晶胞常数偏大<sup>1)</sup>,其  $a$ -軸之間差数为 0.379 Å,  $c$ -軸差数为 0.00486 Å,說明它們之間的晶出环境不同。銅的化探异常值比鎳的大数倍,而且幅度、梯度均較大,且有鎳异常一定有銅异常,有銅异常不一定有鎳异常。在坑下常見到矿体被黄銅矿細脉穿插。这些現象都說明向深部热液迭加現象明显。西部河床两旁的矿体,含銅、鈷、鎳均低,硫化物在閃长岩中均有散染,这說明热液迭加現象与閃长岩有关系;后两个矿体受热液迭加作用較強。

由以上情况可見,在岩浆晚期已有浸染状硫化物貫入于基性岩近东西向裂隙帶中。以后閃长岩侵入,裂隙活动加剧,汽水溶液沿裂隙上升,并重熔了一部分硫化物形成块状矿石,这种矿床受到明显的热液富集作用,应划归晚期岩浆熔离貫入-热液富集式。其特点是成矿帶沿侵入体边部  $S'$  发育,但被  $Q'$  及  $D'$  复杂化,构造活动多次复合,有热液富集作用,矿石中銅、鈷含量均特別高。至于比較典型的未受热液迭加作用的貫入式矿床,在华北几个地区均有发现,大体說来岩石种类以輝长岩及輝长岩-輝石岩杂岩体較为普遍,矿床規模小,矿体常沿岩体长軸方向分布,但常受  $S'$ 、 $Q'$  或  $D'$  交叉控制,因限于篇幅不再举例。

#### (四) 晚期岩浆压濾式矿床

晚期岩浆压濾式可以华北某鉻鉄矿床为例,超基性岩沿前震旦系东西方向的断裂帶侵入。以蛇紋石化純橄欖岩为主,并为再度侵入的异剝透輝岩-角閃岩及含鈷磁鉄矿的輝閃岩-輝长閃长岩系列穿插。东南方向有含鈷鈷磁鉄矿的基性杂岩体侵入,岩体属于以純橄欖岩为主的輝岩-純橄欖岩建造,純橄欖岩的  $MgO:FeO = 4.47—5.42$ 。岩体岩相分布及构造如图 13 所示。

純橄欖岩构成岩体的主要部分,分异現象不明显,以  $45^\circ$  傾角向北傾斜。鉻晶尖石多成自形,属早期岩浆产物。在純橄欖岩内成稀疏浸染状或条帶浸染状。

稠密浸染到致密块状矿体呈透鏡状,有一定的方向性,产于純橄欖岩下部鎂質較高部分(参看表 1 及图 1)。其产状与母岩原生节理一致,接触界綫比較清楚,往往边部有稠密浸染的鉻尖晶石,这种矿体生成于晚期岩浆的較晚阶段,应属于晚期岩浆压濾式矿床,当純橄欖岩大部結晶后,在揮发份参加的条件下鉻尖晶石与橄欖石殘浆以近似共結組分結晶<sup>[4]</sup>。在应力的影响下鉻尖晶石熔浆經過橄欖石裂隙間压入于純橄欖岩原生节理内。由于压濾作用是貫入矿体矿液集中的主要作用。建議凡属同母岩内的透鏡状貫入体,均应划归本类型,和异母岩貫入式矿床区别。

矿石种类以鎂富鉄鉻鉄矿及鎂富鉄鋁鉻鉄矿为主。

1) 上部  $a = 5.9736 \text{ \AA}$ ,  $c = 11.4300 \text{ \AA}$ ; 下部  $a = 6.0115 \text{ \AA}$ ,  $c = 11.4786 \text{ \AA}$ 。

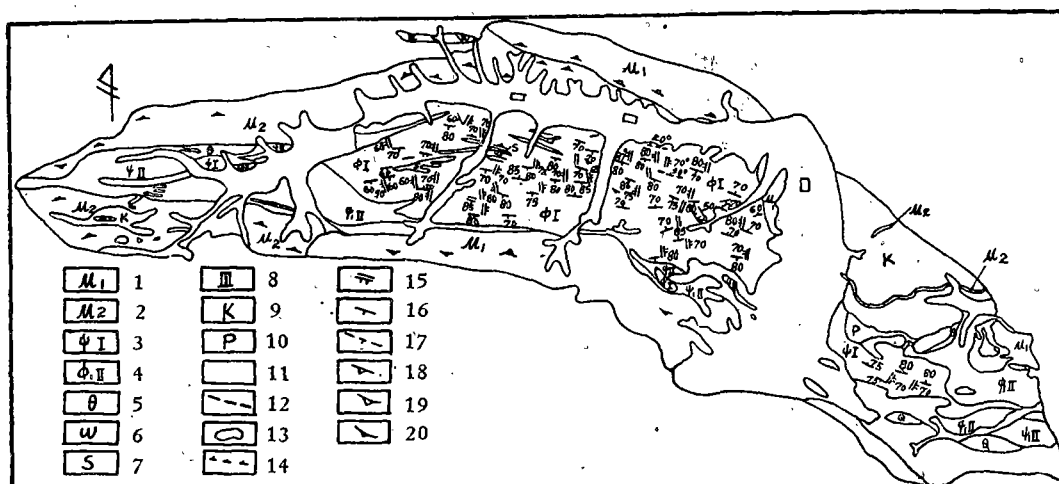


图 13 华北某地超基性岩体构造纲要略图

1. 花崗片麻岩; 2. 注入片麻岩; 3. 蛇紋石化純橄欖岩; 4. 角閃岩; 5. 透輝岩; 6. 閃長輝長岩;  
7. 滑石菱鎂片岩; 8. 輝閃岩; 9. 砾岩; 10. 流紋岩; 11. 黄土; 12, 13. 地層界限; 14. 断层;  
15. 横节理; 16. 纵节理; 17. 层节理; 18. 斜交节理; 19, 20. 片理走向与傾角。

根据全区数十个矿体的统计材料所作的玫瑰图(图 14)和本区純橄欖岩原生节理方位对比,可以证明压滤式矿床受原生节理  $S$ 、 $Q$  及  $D$  的控制;可按照岩石鎂鉄比值及氧化条件和构造条件三方面的综合资料进行矿区的找矿及评价工作。

在其他矿区这种矿床往往产于輝橄岩中的純橄欖岩异离体内。华北某地的钒鉄磁鉄矿及西南一硫化銅鎳矿床,都有这种成因的矿体发现。能否构成一个类型尚待进一步研究。

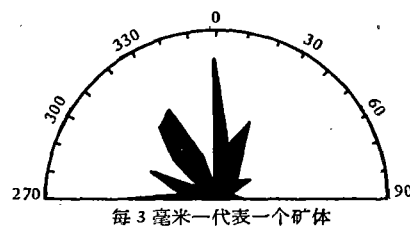


图 14 铬鉄矿矿体露头走向方向性的玫瑰图解(根据赵宗博)

### (五) 其他类型的岩浆矿床

目前尚待继续研究的还有两种成因类型:一种是西南一侵入于輝長岩、輝石岩、輝橄岩内的橄欖岩岩墙中有硫化物富集。岩墙受节理  $S'$  及  $D'$  控制,硫化物为紫硫鉄鎳矿及黄銅矿,黄鉄矿较多,磁黄鉄矿较少,不含鎳黄鉄矿。这是由于含挥发份的汽水溶液成分与橄欖岩蛇紋石化过程中析出的  $Ni$ 、 $Fe$  等离子结合,于  $400^{\circ}$ — $500^{\circ}C$  时形成。由于岩浆晚期还是有一部分硫化物存在,故列为蚀变岩墙-热液富集式。

东北某地的片麻岩中的輝綠岩、橄欖輝長岩岩墙,硫化物既有熔离现象,又具杏仁状构造,这更可以说明这一问题。在另一矿区,在輝長岩—輝橄岩岩床内的硫化銅鎳矿床与透閃石化、蛇紋石化及滑石化作用的热液富集有关,以整个輝橄岩相普遍浸染着硫化物为其特征。还有一种小的基性、超基性岩体,受深部侵入体的热力作用形成的硫化銅鎳矿床,如某地含砾岩石为中粒蚀变輝長岩墙,沿北  $20^{\circ}$ — $30^{\circ}$  西的破裂带侵入。矿体与岩墙走向一致,矿体上部有块状及細脉状矿石,主要矿物为紫硫鉄鎳矿与磁黄鉄矿;中部以細脉

状为主, 矿物为黄铁矿及少量黄铜矿, 紫硫鉄镍矿渐少, 下部以浸染状为主, 大部为黄铁矿, 矿石中铜、镍、钴含量均高, 但规模不大。

基性岩体与矿体规模相差并不甚大。从深部热液矿物的增加及矿体有时侵入于片麻岩中, 都说明热液影响较大, 其来源与后来的酸性岩石内的汽水溶液有关系, 类似这种矿床应划归异母岩-热液富集式。作者曾几次发现硬蛇纹石脉中有铬鉄比值較低的致密块状铬鉄矿, 有理由怀疑与蛇纹石化作用热液富集有关。

綜合以上各种不同矿区的具体情况, 試将岩浆矿床的成因类型和构造类型, 作一尝试性的划分如表 2:

表 2 岩浆金属矿床的成因类型及构造类型

成矿阶段	成因类型	构造类型	主要控制因素	矿区实例	铬镍矿石一般特点	矿石构造、结构	备注
I. 早期岩浆矿床	1. 浸散式	透鏡状	結晶分异作用	西北某铬鉄矿	高鉄铬尖晶石; 铬鉄比值較低	細粒自形浸染状, 与围岩界限不明显	
	2. 分凝式	似层状	同上	南非布什維尔德铬鉄矿	同上	細粒自形稠密浸染状	
II. 晚期岩浆矿床	3. 残浆分凝式	带状或似层状	重力分异及流动构造	西南一钒鉄磁鉄矿及某些铬鉄矿	鉛铬鉄矿等; 铬鉄比值高	条带斑杂状、海綿晶鉄結構	同母岩矿床
	4. 残浆貫入式	迭瓦状或雁行状	原生节理再活动	东北某鉍鉄矿、华北一鉍鉄磁鉄矿	同上; 铬鉄比值高; 但与围岩中副成分不同	致密块状、海綿晶鉄結構	异母岩矿床
	5. 压滤式	扁豆状	原生节理	华北某铬鉄矿	同上; 但与围岩中副成分相同	稠密浸染状到致密块状	同母岩矿床
	6. 熔离分凝式	盆状或盘状	重力分异及流动构造	东北及西南某硫化銅镍矿床	磁黄鉄矿、镍黄鉄矿、黄銅矿組合	浸染状及斑点状、海綿晶鉄結構	同上
	7. 熔离貫入式	交叉状或筒状	原生节理再活动	东北及华北某硫化銅镍矿床	同上; 但镍黄鉄矿减少变为磁黄鉄矿、镍黄鉄矿、黄銅矿、黄鉄矿組合	以致密块状、角砾状为主	异母岩矿床
III. 晚期岩浆-热液富集式	8. 熔离貫入-热液富集式	同上	同上	秦岭一硫化銅镍矿床	同上; 有热液期磁黄鉄矿、黄銅矿、黄鉄矿迭加	同上	同上
	9. 蚀变岩墙-热液富集式	浸染状	同上及围岩断裂带	东北某硫化銅镍矿床	磁黄鉄矿、紫硫鉄镍矿、黄銅矿、黄鉄矿組合	稀疏浸染状	同母岩矿床
	10. 异母岩-热液富集式	不規則状	同上	华东某硫化銅镍矿床	同上	浸染状、块状及角砾状	异母岩矿床

#### 四、其他方面的几个主要問題

其他方面的几个主要問題包括基性、超基性岩的蚀变現象和找矿标志, 矿石的結構构造, 以及矿石的物质組成和铬尖晶石种类等方面。

首先蚀变現象以自变质作用为主, 但往往有热液蚀变或区域变质作用迭加于其上, 必須加以注意。例如蛇纹石化作用常沿橄欖石的裂隙发育, 而在节理面兩側变质程度較深。压滤式矿体边部也因蚀变較強, 常造成薑黄色的窄带, 是直接的找矿标志。

岩体深部由于压力增大, 裂隙較不发育, 自变质現象較弱(A. H. 查瓦里茨基)。在区域应力影响下自变质程度加深; 貫入式鉍鉄磁鉄矿边部綠泥綫閃片岩发育, 应属于热液蚀变的迭加現象, 再度侵入的岩体也能引起。

矿石的构造结构和物质组成是判断岩浆矿床的成因类型的主要标志, 例如矿石的带状构造和海綿晶鉄结构都是晚期岩浆矿床的主要标志, 前者表明岩浆晚期差异性运动条件下的产物, 后者证明矿石结晶晚于脉石。不论研究哪一个问题, 都不应忽略与岩浆矿床有关的几个基本条件。

关于铬尖晶石类矿物及其分类, Г. А. 索科洛夫及 H. B. 巴甫洛夫均有专门著作, 不过巴甫洛夫的分类方法以原子比值为计算单位, 对于区分有限类质同象的铬尖晶石矿物更为明显, 因限于篇幅, 在这里就不详细介绍了。

### 主要参考文献

- [1] 兰卡瑞及薩哈瑪 铬的地球化学。地球化学专輯第1輯, 地质出版社, 1956。
- [2] V. M. 戈尔德施密特 地球化学。科学出版社, 1959, 第22, 512頁。
- [3] A. G. Ringwood The principles governing force elements distribution during magmatic Crystallization. P. I. Geochemical & Cosmich. Acta. Vol. 17. № 3—4 1955.
- [4] Г. А. 索科洛夫 烏拉尔铬鉄矿。地质出版社, 1957, 第86頁。
- [5] The Origin of Certain Chromite Deposits of the Eastern Part of the Bushveld Complex. Eugene N. Cameron & Mark E. Emerson. Economic Geology Volume 54 No. 7; 1959.
- [6] 地质部地质科学研究所主編 国外铬鉄矿資料专輯。1961。
- [7] V. M. 戈尔德施密特 火成岩及矿物中的稀有元素。地质出版社, 1959。
- [8] H. A. 叶利塞耶夫 构造岩石学。地质出版社, 1957。
- [9] Osborne Certain Magmatic Titaniferous Iron Ores & Their Origin. Economic Geology Volume XXIII, 1928.