

## 深成断层的状况和 铬铁矿矿床的形成

具有经济价值的铬铁矿矿床,在除非洲以外的所有大陆中,通常与属于橄榄岩-纯橄岩岩系的超基性岩阿尔卑斯型侵入体有关。关于阿尔卑斯型超基性岩的成因问题,有三种主要看法:(1)含有或不含悬浮晶体的超基性岩浆从上部地幔侵入到地壳;(2)基性(似玄武岩)岩浆从上部地幔侵入地壳,超基性岩由于它在岩浆囊中的分异作用而发生以后的分离;(3)构造地块的突起和地幔橄榄岩呈固态喷出。作者认为,全部地质资料是与这样的假设很符合的,即阿尔卑斯型含铬铁矿侵入体是从液体的橄榄岩或纯橄岩岩浆得来的,这种岩浆在地槽发育和褶皱初期从上部地幔侵入地壳。除已发表的支持这种看法的论述之外,还可以考虑以下的关系:

(1)有这样的阿尔卑斯型侵入体的实例,它们和水平产出的主侵入体一起,具有规模很小的陡倾斜供给通道。

(2)大的阿尔卑斯型超基性侵入体往往表示在原地或岩浆囊中分异作用的明显特征,其结果使侵入体中的岩相有规律地分布。岩相从上带比较酸性的橄榄岩(和部分辉岩),经过中带的斜方辉橄岩和斜方辉橄岩-纯橄岩,变为下带的主要纯橄岩。

每个岩相带的特征是,其附生铬尖晶石的特殊化学成分(除从下伏带贯入的后成矿体外)和其他带中的附生铬尖晶石极不相同。

(3)超基性岩和铬铁矿矿石呈液态存在,例如铬铁矿矿石被纯橄岩细脉充填;纯橄岩-斜方辉橄岩杂岩则被铬铁矿矿石穿插;这是有确切证据的。

支持橄榄岩呈固态存在的一个主要论点,也就是说不存在侵入的橄榄岩对围岩的接触影响,现在还不能认为已得到证实。因为文献中有时谈到,在超基性侵入体的接触带中围岩受到高温和中温的蚀变。此外,所讨论的侵入体在地槽褶皱的初期阶段侵入,

因而侵入体反复受到构造扰动。因此,在大多数情况下它们的边界是一种构造和位移的接触,这种接触对于那些使地块更易运动的超基性岩发生强烈的边缘蛇纹石化是有利的。

孤立的阿尔卑斯型侵入体,可以由各种不同的作用形成。一种情况是,这种孤立现象是供给通道闭合的结果。另一种情况是,在连续褶皱的条件下,岩浆呈席状侵入沉积层,因此呈香肠构造形成孤立的似透镜状岩体。还有一种情况是,凝固的侵入体,特别是成层的侵入体,可能由于断层而崩解为构造地块,在分异运动以后产生一种类似独立侵入体的景象。

在阿尔卑斯型超基性侵入体中,可以划分出两种侵入体:由于岩浆从地幔的一次供给而形成的侵入体(单相侵入体)和由于两次或多次供给形成的侵入体,即二相或多相侵入体。深成断层(超基性岩浆通过它从地幔侵入地壳)可以闭合,也可以再开放。换言之,单相、二相或多相侵入体的形成与深成断层的状况有关。

由于岩浆的一次或反复供给,铬铁矿矿床形成的条件可能有所不同。

单相侵入体可以只由橄榄岩或纯橄岩组成,也可由二者一起组成,并往往受不同程度的蛇纹石化。这种侵入体呈岩盖、岩床及类似的岩体产出,上部为较酸性的橄榄岩,下部较大,顺序变为纯橄岩。这些关系可以解释为橄榄岩岩浆在原地的结晶-重力分异作用的结果;这种分异作用可能与岩浆流动有关。不排除重力分异作用是发生在结晶分异作用之前的可能性,因为作为未来结晶中心的Sybotaxic group(离子和原子组合)的聚合才会起作用。根据晶体类比,这样的一些组合是可能的,即在重力的作用下能使物质发生分异迁移,引起熔体成层状分布。在纯橄岩和橄榄岩(从不混合的熔体互层凝固的)之间的某种关系可以说明这一点。但是对于橄榄岩熔体,由于熔离而分解为纯橄岩和橄榄岩熔体的可能性,还没有理论上和实验上的证据。

经查明,按不同岩相形成的铬铁矿矿床,是根据成矿铬铁矿的特殊化学成分来区别的,即:铬含量低的铝铬铁矿在上部的橄榄岩带中;铬含量高的在纯橄岩带中;中间成分的在纯橄岩-橄榄岩带中。上述各带岩石的附生铬铁矿中也可看出同样的倾向。这意味着每个特殊带的铬铁矿矿床,就是一个给定带中熔体的衍生物。只有在含矿熔体贯入上覆带中的情况是例外。这些矿体的成矿铬铁矿的成分,是不同于围岩的同生铬铁矿的。

在单相侵入体中,铬铁矿矿床的规模较小。在侵入体的纯橄岩或过渡的纯橄岩-橄榄岩带中,出现最大富集。在正常的橄榄岩中,矿体的数量和规模实际上都不大。

在二相侵入体中,铬铁矿矿床按其形成条件可分为两类。一是包括那些与不同岩相的侵入体有关的矿床,侵入体由橄榄岩岩浆的分异作用形成。此类矿床与上述单相侵入体的铬铁矿矿石有同样的特征。二是包括与从地幔反复供给的超基性岩岩浆有关的矿床。从位于乌拉尔以南的哈萨克斯坦西北的肯皮尔赛含铬铁矿的深成岩体获得了许多资料。

肯皮尔赛深成岩体出露面积达1000平方公里(图1),整合产于前寒武系和奥陶系地层间。岩体南部的供给通道已用物探方法查明。现在出露的部分为橄榄岩,主要属于斜方辉橄岩相,其次是含有纯橄岩的偏平透镜状和似异离体的分凝带状斜方辉橄岩(所谓带状纯橄岩-斜方辉橄岩杂岩)。独立的纯橄岩相大部分分布在该岩体之东南部,小面积见于北部。该岩体内虽有少许蛇纹石化,但仍可看到不同岩相凹凸不平的层理。在背斜东翼之北部,从东接触带(上盘)至西接触带(下盘)为:块状、部分成带状的斜方辉橄岩,含有纯橄岩分凝的带状纯橄岩-斜方辉橄岩杂岩及斑状斜方辉橄岩。这些斑状岩石交代蚀变的角闪橄橄岩和“橄长岩”。

在岩体的东南部,有三个穹形隆起。东南穹窿的西部某些地方,有由交代作用变成角闪橄橄岩和二辉橄橄岩的斑状斜方辉橄岩出露。在两个西部穹窿的轴部有斜方辉橄

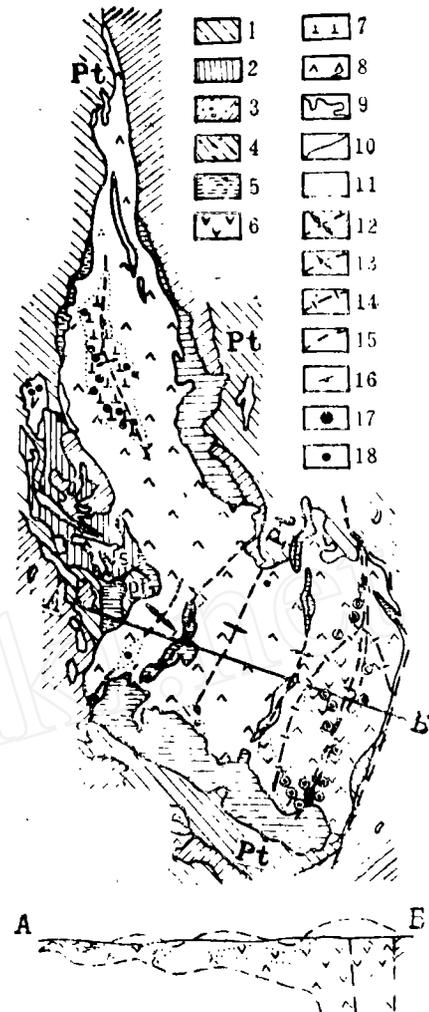


图1 肯皮尔赛超基性深成岩体构造-岩相图

围岩: 1-泥盆系; 2-志留系; 3-奥陶系; 4-元古代; 5-辉长闪长岩; 6-含有最大饱和蛇纹石化的斜方辉橄岩; 7-蛇纹石化纯橄岩-斜方辉橄岩条带状异离体杂岩相; 8-蛇纹石化橄橄岩(斜方辉橄岩等); 9-超基性岩体轮廓; 10-地层界限; 11-超基性岩岩相分界线; 12-岩体的背斜隆起轴; 13-穹窿拗陷轴; 14-岩浆通道; 15-断层线; 16-侵入体接触线倾斜方向; 17-富矿床; 18-贫矿床; 岩体中的穹形隆起; Ⅰ-东南穹窿; Ⅱ-塔加沙赛穹窿; Ⅲ-西南穹窿; Ⅳ-巴且姆申穹窿; Ⅴ-台凯特堪穹窿

岩,具有纯橄岩分凝不大的条带结构。在东南部的穹形隆起,斜方辉橄岩中发现有与顽火纯橄岩互层的纯橄岩。在东部边缘,有斑状斜方辉橄岩,部分地区有二辉橄橄岩。

岩相带的特征可以表现在附生和成矿铬铁矿的化学成分上(表1)。在斜方辉橄岩

肯皮尔赛深成岩体的矿床中成矿铬铁矿的成分

表 1

岩相带	矿床	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO
斜方辉橄岩	库阿加奇河附近, 稠密浸染矿石	28.21	43.00	1.06	14.05	14.50
斜方辉橄岩	巴旦姆申斯克市附近, 块状矿石	22.51	46.04	3.94	12.57	14.94
含有纯橄岩分凝物的斜方辉橄岩(东南部穹形隆起的北部)	基泽尔苏河附近, 不均匀的浸染矿石	10.03	60.60	2.36	14.12	12.69
东南穹窿起的纯橄岩	基干特矿床, 中等浸染矿石	9.78	60.09	3.89	12.51	13.13
同上	斯波尔诺耶矿床, 稠密浸染矿石	7.92	63.91	2.57	11.14	14.46

的上带中见到几个小矿体, 其中铝的含量高, 而铬的含量低。

在含有纯橄岩异离体的下伏斜方辉橄岩带以及带状纯橄岩-斜方辉橄岩杂岩中, 矿体规模稍大, 但铬铁矿的含铝量仍然很高。在深成岩体北部轴部的纯橄岩分凝体中, 矿体规模和上述相似, 但分布较广。这些矿体中铬铁矿的氧化铝也是高的, 它们是中等铬含量的变种。

在岩体的东南部, 有许多铬含量很高而铝含量低的大型铬铁矿矿体产出。矿体排成两行, 走向长分别为23公里和1.5~2.5公里(图1和2)。这两个带在南端和北端合成一个带。西带矿体以20~50°角向西倾, 东带矿体则以较小的角度明显向东倾。穹窿的轴面把两带隔开。矿体以30~45°角延伸到1500公尺的深部(图3)。矿体多为偏透镜体和异离体, 常常形成阶梯状的矿体群。

对于每一次反复侵入的超基性岩浆而言, 判断纯橄岩与其铬铁矿矿石之间的岩浆为同源的证据之一, 就是附生铬铁矿和成矿铬铁矿的所谓铬铁性(fcr值)及纯橄岩和矿石中橄榄石的 $\frac{Fe \cdot 100}{Fe + Mg}$ %比值。

铬尖晶石的铬铁性, 是以铬尖晶石成分中铁铬分子和镁铬分子的总数中, 铁铬分子所占有的百分数表示。根据化学分析结果可用下式计算:

$$f_{cr} = \frac{FeCr_2O_4 \cdot 100}{FeCr_2O_4 + MgCr_2O_4} \%$$

据巴甫洛夫等人的材料, 在东南穹窿含

铬铁矿部分的橄榄石的 $\frac{Fe \cdot 100}{Fe + Mg}$ %为5.71%到8.95%, 而在其他部分为7.09%到9.35%, 即橄榄石平均铁含量较低, 而东南穹窿的铬铁矿部分中镁的平均含量较高。深成岩体的东南穹窿之纯橄岩和顽火橄橄岩中, 附生铬铁矿的fcr值(47.97~73.03%)比其他部分的fcr值(82.85~98.54%)低。

值得注意的是, 岩体的东南穹形隆起的橄橄岩(斜方辉橄岩)中, 附生铬铁矿的fcr值(73.39~95.60%)和岩体其余部分的fcr值(89.48~95.58%)同样都很高。这表明, 岩体东南穹窿的斜方辉橄岩与其他部分的斜方辉橄岩有关系, 二者都属于侵入的第一相(期)。

成矿铬铁矿fcr值与附生铬尖晶石fcr值的趋势一样, 在岩体东南穹形隆起的矿石中fcr值较低(28.03%~49.34%), 而在其他部分则较高(49.67%~89.58%)。

斜方辉橄岩出露在两个矿带之间。据钻孔资料, 纯橄岩和顽火橄橄岩在深部被斜方

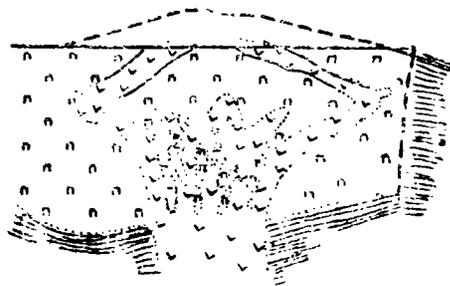


图2 肯皮尔赛深成岩体东南穹窿横剖面图  
(图例同图3)



图3 肯皮尔赛深成岩体东南弯形隆起西部含铬铁矿矿带纵剖面图

1- 橄辉岩，主要为斜方辉橄岩，部分为带状纯橄岩-斜方辉橄岩及第一期侵入的纯橄岩；2- 带状纯橄岩和顽火纯橄岩的扁平透镜体，部分为第二期侵入的斜方辉橄岩；3- 铬铁矿透镜体和异离体；a- 已确定的，b- 推测的；4- 围岩：a- 闪岩，b- 火山沉积岩；5- 岩石边界及确定的、部分外推的矿体；6- 岩石边界和推测的矿体；7- 构造接触带；8- 现代侵蚀面

辉橄岩所代替。这说明第二期的超基性熔体流过供应通道，在较早形成的斜方辉橄岩体的中心部分分成两股。上升的岩浆可使橄辉岩体向穹窿构造凸起。在岩体的穹形隆起的横剖面（图2）上，表示了这样推测。

在这一部分深成岩体的上半部，矿石透镜体和异离体向南倾没，从深成岩体东南穹形隆起的西部含矿带的铬铁矿矿体纵剖面（图3）上可以看到。如图1一样明显，供给通道没有达到深成岩体的北端，因而第二期的熔体也可以沿南北方向往上侵入。这可以引起向南的总的倾没。

总的说来，我们可以断定，在肯皮尔赛深成岩体东南部，储量很大的铬铁矿富矿的形成，与深成断层的反复开放有关；通过这种断层有第二期超基性岩浆侵入。这个更晚的熔体比第一期的橄辉岩岩浆，超基性更高、含铬更富。

应用地球物理方法寻找岩浆通道，可以提供有关超基性侵入体形成历史和其中铬铁矿矿石分布规律的重要材料。然而，这样的通道只有在较大外来（异地）侵入体中，才可能存在。当这种侵入体不大时，构造运动可以从侵入体中切穿这种供给通道。

肯皮尔赛岩体的实例表明，在第二期侵入的超基性岩中，铬铁矿形成的条件与单相侵入体不同。后者，超基性岩浆在深成岩体内进行分异，而铬铁矿矿石是侵入体每个岩相的残余熔体。较晚的侵入相和第一次比较，正如肯皮尔赛岩体所表现的那样，显然

超基性更高、含铬更富。当含矿硅酸盐熔体还在上部地幔中时，它可能会分离成不同的熔体，并作为非均质的纯橄岩和顽火橄辉岩熔体不连续的熔岩上升。

含矿硅酸盐熔体在其从上部地幔上升期间开始结晶，而结晶作用完毕的时间比纯橄岩和顽火橄辉岩的结晶稍晚。铬铁矿矿石的结构和构造，在呈塑性状态流经未完全结晶的周围纯橄岩期间，表现出明显的结晶特征。在少数情况下，可以看到脉状矿和枝状矿以及从主矿体延展出来的矿脉。这说明在最后阶段纯橄岩结晶到这样的程度：在它们里面可以产生断裂。

在铬铁矿矿床中，结核状矿石的形成是常见的。结核矿石的最恰当的解释是：在有含量最适度的挥发组分存在时，含铬铁矿的硅酸盐熔体发生局部熔离作用。含矿硅酸盐熔体以及纯橄岩和橄辉岩熔体在最后阶段析出的挥发组分，能使围岩（橄辉岩）发生交代的橄辉石化，并在小范围内引起交代铬尖晶石的形成。

最后，应当指出，在侵蚀很深的大型阿尔卑斯型纯橄岩-橄辉岩侵入体中，如果有纯橄岩岩浆占优势的相继供给的迹象，就有希望找到储量大的富矿。

译自《International Association of the Genesis of Ore Deposits》，  
p.96-100

作者：G.A. 索科洛夫  
韩伟元译 贝震校