

铬铁矿矿床的 成矿规律

Н.В.巴甫洛夫
(苏) И.И.格里戈里耶娃-
丘普雷尼娜



桂林冶金地质研究所

铬铁矿矿床的成矿规律

Н.В.巴甫洛夫

(苏) И.И.格利戈里耶娃-

丘普雷尼娜

桂林冶金地质研究所译

一九七四年五月

021309

内 容 简 介

本书以乌拉尔和古巴岛为例，介绍了地槽区超基性岩及与其有关的铬铁矿矿床成因问题的多年研究成果；论述了侵入体在地质构造中的位置及其形态、时代、岩石与化学成分、内部构造、原始构造和侵入期后构造要素以及铬铁矿矿床与岩石化学成分的关系；讨论了岩石和金属矿物的化学成分及其变化规律；提出了褶皱区超基性岩中铬铁矿矿床的成矿与分布规律。

(И.В.Павлов, И.И.Григорьева-Чупрынина,
《Закономерности формирования хромитовых
месторождений》, Изд. «Наука», М., 1973)

引 言

本书是铬铁矿矿床的多年研究工作成果，目的在于阐明褶皱区铬铁矿矿床的成矿条件与分布规律。

研究工作的对象是乌拉尔与古巴地槽区的某些含铬岩体，同时也把我们积累的 有关 苏联（小高加索）、保加利亚及其他国家一些矿床的资料考虑在内。书中对迄今为止科学界在地槽区超基性岩与铬铁矿矿床成因问题上取得的各种认识作了评述，也提出了应当领先开展的研究课题。进一步则列举了乌拉尔与古巴的六个含铬超基性岩体的实际资料。针对古巴岛的地槽区，介绍了超基性岩体在区域构造中的分布规律，详细描述了卡马圭与马雅里-巴拉柯两大岩体的含铬性，同时，引用了个别矿床的实际资料。对乌拉尔褶皱区，介绍了萨兰诺夫、克柳切夫、南克拉卡与南肯皮尔赛等岩体的含铬性。对每一岩体均在不同的详略程度上介绍了以下几方面的情况：岩体在区域地质构造中的位置，岩体的形态、时代，岩石的岩相与化学成分，岩体内部构造（岩相分布），原始构造与侵入期后构造要素，与侵入体的岩石化学成分有关的铬铁矿矿床的空间位置，矿床的成因，以及其他一些问题。此外，引述了铬铁矿矿床矿体的形态，矿石的结构-构造特征，矿物成分，造矿和附生铬尖晶石的化学成分。研究了橄榄岩建造含铬岩体及某些不构成工业品位的建造岩体中造岩矿物（橄榄石类）与造矿矿物（铬尖晶石）的化学成分特征；分析了铬尖晶石成分与橄榄石成分的相关关系。本书介绍的资料表明，与含铬高的大型矿体的产出有关

I

的岩石,其中橄榄石含有最低量的铁橄榄石组分,但含镁却最高。最后一节,在引用的全部实际材料的基础上,提出了笔者对铬铁矿矿床在地槽区超基性岩体中形成与分布规律的认识。在这一节中,结合建造的专属性列举了有关解决超基性岩体与铬铁矿矿床成因问题的重要资料,介绍了岩浆熔融体在地壳以下深部条件下的形成阶段,岩石与矿石形成的地球化学过程及其在侵入岩房中的分布规律。

本书涉及的问题尚有相当多方面是未查明的,某些只是作为课题提出,有待于今后在更多、更新的实际资料的基础上求得解决。但是,书中概括的情况可以使我们较有根据地对待超基性岩体可能的含铬性的评价问题。

目 录

引言.....	I
第一章 当代有关地槽区铬铁矿矿床成因 的各种认识.....	1
第二章 地槽区某些含铬岩体的地质构造、岩石 成分与矿化特征.....	22
古巴超基性岩体及其含铬性.....	22
马雅里-巴拉柯岩体.....	25
卡马圭岩体.....	50
乌拉尔超基性岩体.....	77
萨兰诺夫岩体.....	77
克柳切夫岩体.....	102
南克拉卡岩体.....	122
肯皮尔赛岩体.....	140
第三章 某些含铬岩体岩石和矿石中造岩矿物与 矿石矿物化学成分的对比.....	165
第四章 地槽区超基性岩体中铬铁矿矿床的形成 与分布规律.....	189
结论.....	205
参考文献.....	227

第一章

当代有关地槽区铬铁矿 矿床成因的各种认识

铬铁矿成因的研究，一般来说离不开超基性岩，尤其是地槽超基性岩的成因。由于对地壳深部和上地幔的成分与构造日益注意，所以目前研究超基性岩的成因问题是颇急需的。对于实际的地质工作，对于提高与超基性岩有关的矿产找矿效果，它也是同样重要的。

地槽构造中的铬铁矿矿床赋存于超基性岩体之中，同时也是这些岩体一系列岩石变种的一个组成部分，因此研究铬铁矿的成因应该从研究超基性岩本身的形成条件入手。

这一章将结合在地壳与上地幔的组成方面由地球物理、地球化学及岩石学取得的新资料，扼要地介绍现代关于铬铁矿矿床成因的一些认识。但首先要叙述一下关于铬铁矿成因认识的发展情况。开初，即在上一世纪前半叶的末期（1847年），作为岩浆矿床的实例，Эли Де-Бомон提到了铬铁矿与铂。

在上一世纪的下半叶（1879~1883年），Groddeck、Arzruni、Cossa等人认为铬铁矿的形成与蛇纹石化有关。到十九世纪末（1894年），Fogt提出铬铁矿见于完全未受蚀变的超基性岩中，从而发展了来源于岩浆的成因假说。二十世纪上半叶，无论是在苏联或是其他国家，铬铁矿成因

问题的研究大力展开，绝大多数人接受了铬铁矿岩浆成因的看法。只是到了本世纪的下半叶，主要是苏联的一些研究人员开始试图论证整个超基性岩，尤其是铬铁矿矿床并非岩浆成因。他们提出，超基性岩与铬铁矿是由交代作用形成的（Бакиров, 1963; Москалева, 1962、1966）。但是用来支持这种认识的论证，目前还极缺少根据。这个观点也还没有为从事实际工作的地质人员所采纳。在我们发表的一篇文章中（Павлов等, 1968），曾经对这种看法进行了分析评论。

以下试图把近二十年来关于超基性岩及与其有关的铬铁矿矿床成因的大量出版物和研究成果加以汇总归纳。

关于铬铁矿矿床以及其他岩浆矿床的岩浆性质，最好的证明是岩石中某一种元素的高度富集，这里所指的就是铬元素在纯橄岩、橄榄岩中的高度富集。又如，与辉长斜长岩、碱性-超基性岩有关的钛矿石，岩石中钛元素也是富集的。铬铁矿矿床和某些其他岩浆矿床在大的区域面积上总的分布规律是与相应的一组岩石的分布规律一致的。

所有岩浆矿床、尤其是铬铁矿，均与酸性不超过橄榄辉长岩的侵入岩有关，因此不存在与再生岩浆有关的问题，所以只能把地壳下的物质当作原始来源。根据 Гутенберг (1964) 的意见，对于构造的形成与岩浆源的补给有重要作用的是近年来用地球物理方法在60~250公里深部确定的软流圈，其中的物质呈塑性状态。多数岩石学家与地球化学家（Washington、Bown、Заварицкий、Баддингтон、Виноградов、Рингвуд）推测地幔物质（Пиролит）的成分应相当于橄榄石、辉石与20~30%长石的混合物，接近于球陨石。

在有关形成岩浆矿床的专属性岩浆来源问题的探讨中，对于球陨石物质分异的想法起着首要的作用。

А.П.Виноградов (1961、1962) 提出一种设想，认为由地幔物质形成地壳的过程可能与分带熔化的机理类似。在挥发物从地幔中溶出与去气作用过程中，地幔物质分解为纯橄岩（或橄榄岩）与玄武岩物质，同时还发生其他化学元素的分离。镁在纯橄岩（橄榄岩）中形成堆积，而且象是从本体中将其余的元素挤掉，只保留组成橄榄石与斜方辉石晶格所必需数量的硅与氧。与镁呈类质同象的镍、钴、铬本身也在纯橄岩和橄榄岩中堆积。其余的多数元素（Na、K、Ca、Al、Si、Ti、P、S、Cu，等等）则在玄武熔浆中积存。玄武熔浆的铁比超基性的残余物富集。

岩浆分异的性质，在探讨岩浆矿床的成因方面也是相当重要的。应该区别地壳下的分异与岩浆房内的分异。至今尚未见到地槽区的铬铁矿矿床与钛矿床共同存在的情况，但在地台构造的条件下这些矿床往往赋存于同一个复杂分异的岩体中。布什维尔德就是一个例子。这使人有根据认为，形成铬铁矿矿床的地槽区超基性岩岩浆熔融体，是在地壳以下的深部条件下就已经从玄武岩类本体中分离出来。

结合大地构造对岩浆金属矿床的分布进行的分析表明，在多数情况下它们产生于固结带、地背斜、地台，或是与延长很大的深大断裂有关，而后者限定了地槽拗陷的构造-岩相带。无论在上述哪一种大地构造条件下，岩浆物质的上升总是沿着延展到地幔很远的深部断裂而实现的。

这样粗略地介绍一下岩石学、地球化学与地球物理方面的问题之后，就可以叙述关于铬铁矿矿石本身的成因。分析大量的以不同角度涉及铬铁矿成因问题的出版物之后可以

说，目前绝大多数研究人员都得出了铬铁矿矿床纯岩浆成因的结论。铬铁矿矿床被认为是超基性橄榄岩岩浆的派生物，虽然在地台区也见有其形成与酸性更高的辉长岩类岩浆有关的情况（布什维尔德、斯奇鲁奥特尔和印度的一些矿床等）。论证日益深入的是，在侵入体形成过程中，铬铁矿的单独堆积产生于岩浆源形成的各个阶段，即由最早期直到最晚期。有愈来愈多的资料说明铬铁矿矿床可以形成于侵入体的不同层位，而且在许多侵入体中见到两层或三层的含矿层，均赋存于辉长苏长岩系向橄榄岩、以及橄榄岩向纯橄岩的过渡带中。比较靠近侵入体下盘或者位于导矿通道范围内的“玄武”层、亦即底部的含铬铁矿层，这个特征也是相当明显的。

日益明确的是造矿铬尖晶石的成分与围岩的岩相特征密切相关。对许多极不相同地区的岩体中铬尖晶石成分的研究表明，由酸性较强的岩石组成的侵入体上部层位，所含的是铝质更多的铬尖晶石，而橄榄岩-纯橄岩与纯橄岩成分的岩体的中部带、特别是下部带，其铬铁矿矿床的铬含量高。

许多研究铬铁矿矿床的人都描述过岩体的垂直分带，表现在由上至下酸性较强的各种岩石转变为超基性的岩石。每一分带的非均质性的原因有以下几方面：岩浆在液态下的重力分异；硅酸盐熔浆熔离为一系列互不混溶的液体；结晶分异；岩浆多次由深部进入而且进入的每一部分之间互不混溶（纯橄岩分离体与橄榄岩、辉岩相间产出，等等）。

铬铁矿矿体的赋存状态不仅有铬尖晶石与橄榄石的结晶颗粒重力分异的原因，而且也取决于岩浆的状态，即其液化程度和粘度，以及在熔浆结晶的不同阶段由于构造作用的影响而使某些岩浆物质在岩浆房中发生的位移。用以上这些原

因可以解释矿体的形态类型并在此基础上划分铬铁矿矿床的成因类型。

许多研究人员非常审慎地认为鲕状、瘤状矿石的形成是由于岩浆熔离为氧化液体与硅酸盐液体，并产生氧化-硅酸盐乳胶体。

其他国家的某些研究人员把矿体的形成解释为：浓集的含矿物质由岩体的低层或地壳下的深部贯入到更高层位已冷凝或半冷凝的岩石之中。此外，他们还认为岩浆源底部含矿物质的浓集是由于重力作用或熔离作用。

几乎其他国家所有的研究人员在探讨各种构造之间的相互关系和矿物在岩石、矿石中的析出顺序时，都有一个共同的出发点，即认为岩浆是“干燥的”，而且不考虑挥发组分的作用及其对物理-化学系统中各种组分性状的影响。

一般认为Keith (1954) 研究提出的 $\text{MgO}-\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系统对于纯超基性熔浆最引人注目。在这个系统中确定纯橄岩的成分相当于橄榄石-铬尖晶石系统中的共熔体，而斜辉辉橄岩的成分相当于含橄榄石、顽辉石、铬尖晶石系统中的橄榄石-铬尖晶石共熔体。至于铬铁矿矿石，则根据该系统($\text{MgO}-\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$)的特征必须是原始熔浆中铬尖晶石组分的浓度定要超过共熔和共结浓度，也就是说，要超过1~2%。但是，超基性岩的 Cr_2O_3 的克拉克值远低于这个数量，因此要按照该系统的定律通过结晶分异而达到含矿富集是不可能的。

从以上介绍的有关铬铁矿的许多著述中可以看出，关于含铬深成岩体的形态、厚度及其内部构造，亦即岩相的分布与原始构造的特点等等，都还研究得很不够。

有时还缺乏根据地过分强调成矿后构造对于铬铁矿矿体

产出条件的影响。还有一种说法，认为产状陡的矿体是由于受到褶皱变形，即原来是水平产出的矿体因为变形而成为陡倾或倾伏的。

特别应该强调的是，无论是苏联的或其他国家的文献，关于矿体在侵入体中分布规律的探讨都失之于空泛。比较明确的只有一点，即冶金级铬铁矿大多赋存在以纯橄岩为主的深部带，而岩体上部层位所含的则是耐火材料级铬铁矿与化工级铬铁矿。

在其他国家，对于物探方法找矿寄托的希望并不大，但在肯皮尔赛岩体却收到意想之外的效果。物探方法与构造-岩相填图及构造钻探相结合可以揭示铬铁矿矿床的分布规律，更好地了解岩体的形态与内部构造。在直接寻找矿体方面，物探的作用也是很大的。

在其他国家一些人的著作中，值得注意的是有一种认识得到了进一步的发展，即关于岩浆熔融体在其形成时期由于熔离作用或一部分岩浆再次侵入以及岩浆在液态下的分异（不混合性）所造成的非均质性问题。在先，苏联的学者也曾提出过这种想法（Бетехтин, 1937; Заварицкий, 1941; Соколов, 1948等）。笔者觉得其他国家一些人的观点（Wijkerslooth, 1941; Petrascheck, 1957）是比较先进的。他们认为，由于不同类的岩浆物质在深成岩体中移动的数量与性质之间的关系不同，以及铬尖晶石在结晶的熔浆中析出的时间延续很长，因而造成铬铁矿矿体的形态类型、成因类型也是多种多样的。

以上介绍的关于铬铁矿成因的种种论点对于找矿无疑都是很重要的，但目前也仅仅是使我们向解决铬铁矿矿体在个别侵入体中的分布规律问题前进一步。

1963年曾在雅典召开过铬铁矿找矿的科学依据问题的讨论会。可惜我们没有这次会议的全部资料，只有一份Kaaden (1964)写的综合材料，其中列举了有关铬铁矿成因的各种观点。这份材料汇集了超基性岩及与其有关的铬铁矿矿床成因的六种论点，反映了关于原始物质产生的位置及其侵入地壳时的状态的各种认识。现介绍如下：

1.侵入的橄榄岩与铬铁矿物质是固态的；层理（互层）是一种变质现象。持此种观点的是Roever和Rost。

2.侵入的是橄榄岩层中再生的半液态（“粥状”）物质。铬铁矿以结晶状态侵入。持此种观点的是Bowen、Tatth、Thayer、Flint和Forster等。

3.橄榄岩岩浆与深部形成的最大的铬铁矿矿石共同侵入。持此种观点的有Hiessleitner、Wijkepslooth、Hess和Schmidt等。

4.侵入的是在莫霍面以下形成的玄武岩物质，随后在岩盘中分异。铬铁矿是在结晶分异过程中在原地通过重力方式形成。持此种观点的是Bailey、Brunn和Borchert。

5.玄武岩岩浆的侵入及其分异均发生在很大的深部，而超基性岩由于构造运动在晚期与铬铁矿一起上升。持此种观点的是Helke、Donat。

6.超基性岩的形成是由于局部的基岩化作用以及基底岩石在花岗岩化过程中的变型活动。持此种观点的是Bemmelén。

研究了土耳其的铬铁矿矿床的Kaaden得出一个结论，认为矿床的形成与半液态（“粥状”）物质从橄榄岩层中侵入有关，换言之即这种物质是从上地幔中侵入的。据他的资料，侵入的铬铁矿是呈结晶状态的。

如果说Kaaden的文章阐述的是铬铁矿在超基性岩中富集的成因观点,则Bailey所著《超镁铁质与超基性岩的成因》一书汇集的是有关超基性岩本身成因的各种认识。

Baily概括了各种出版物中刊载的有关超镁铁质与超基性岩成因的大量资料,并在其主编的《超镁铁质及其同类岩石》一书中(纽约出版)对这些成因观点作了评述。在“超镁铁质”与“超基性”这两个术语的讨论中指出,尽管前者是按矿物成分,后者是按化学成分对岩石分类的,但在使用上却是相当随便的。进一步他又提出,研究超基性岩的岩石学问题在于确定什么样的超镁铁质岩石是地幔物质,作出导致其侵入于地壳的过程的结论。该书作者还“大致地”对超基性岩作了分类,描述了11种组合,认为其中有些是部分地相互超复,而有些还存在着渐变的过渡关系。他的分类如下:

- 1.大型侵入体中成层的辉长-苏长-橄榄岩组合。这种组合形成于有底的岩浆房之中,其形成的原因在于拉斑玄武岩成分的辉长岩类岩浆的结晶作用。

- 2.基性小侵入体与分异岩床中的超镁铁质岩石。镁铁质矿物在碱性、基性岩浆与拉斑玄武岩岩浆结晶过程中富集。方沸粗玄岩-苦橄岩组合。

- 3.同心分带的纯橄岩-苦橄岩组合。这一柱状岩体的直径小于1公里,组成的岩石是角闪辉岩、角闪石岩与纯橄岩。这种岩体的形成与分离结晶过程中的重力成层作用有关。

- 4.阿尔卑斯型橄榄岩-蛇纹岩组合。这种组合包括山脊与岛弧中的大、小岩体。该书作者着重分析了它的成因论点。

- 5.海域的蛇纹岩。

- 6.构成岩基杂岩体的次要组成部分。构成花岗岩、花岗闪长岩杂岩群的各部分,如:橄榄岩-辉岩-角闪石岩-英

闪岩—花岗闪长岩—花岗岩。

7. 环状杂岩体中的碱性超基性岩。这种杂岩见于稳定的或构造薄弱的大陆区。

8. 金伯利岩。岩筒或岩颈、岩墙与岩盖。

9. 超基性熔岩。

橄榄石晶体在基性熔岩溢出地表以前和以后的沉积产物。橄榄石的富集是借助于喷溢时的岩流分异作用。

10. 超基性团块。

熔岩与岩颈中含有各种包裹体或超基性成分的团块。它们可能是同源的（累积的）或偶然的（外来的）捕虏体。

11. 交代与变质的超基性和超镁铁质岩石。上述的任何一种杂岩都可能参与区域变质过程或经受交代作用。

谈到这些岩石组合的成因时，该书作者介绍并讨论了有关地幔物质可能处于何种物理状态以及控制地幔物质上升并侵入地壳的过程等方面的论点。他把所有这些组合分为3组：a) 成层的、层状的侵入体；b) 碱性超基性岩与金伯利岩；c) 造山带的橄榄岩-蛇纹岩组合。

前两组先略去不谈，以下分析一下第3组组合。该书作者指出，对橄榄岩-蛇纹岩组合的岩石成因分析，由于其中变质作用广泛发育而复杂化。他还指出，在围绕超基性岩浆的争论中可以看到一种趋势，即忽视了辉长岩与基性火山岩，但它们几乎无例外地与橄榄岩或蛇纹岩伴生，或者认为它们与造山活动或岩浆活动的另外阶段有关。

他把目前关于上述组合成因的论点归纳为4组。

1. 液态超基性岩浆的论点（Taylor, 1967; Onuki, 1965）。

2. 把超基性岩的来源解释为镁铁质矿物从基性熔浆中富

集而形成 (Green, 1967; Miyashiro, 1966; Challis, 1965)。

3. 这一组包括的论点认为超基性岩或橄榄岩-辉长岩组合是一部分地幔的典型代表物。Taylor (1967) 认为, 侵入的是无水的粥状晶体; Hess (1960) 认为超基性岩是洋壳当中隆起的坚实块段; Dietz (1963) 设想海底扩展可能导致蛇纹岩向大陆坡沉积层发生构造侵入。

4. 这一组的论点是针对再次向上侵入许多公里的超镁铁质岩石。这种看法认为任何成因的橄榄岩如果加入到区域变质作用与变形过程, 则都要成为阿尔卑斯型。这种岩石的共同特点是构造位移与再次侵入 (Den Tex, 1965)。该书作者引述 Hess 的观点时指出, 在野外地质人员与实验岩石学工作者之间所以有争议, 是由于前者根据自己的研究认为超基性岩体的形成是通过液态超基性岩浆的侵入, 而后者认为在允许的温度区间不可能存在这种液态的岩浆物质。

作者在该书的结尾指出, 造山带超镁铁质岩石是固体侵入的论点已经相当流行。但是从前边介绍的有关铬铁矿成因的种种认识中可以看出, 这个问题同样尚未解决, 而且地质学所揭示的许多事实都不能用地幔物质冷侵入地壳上层的说法来解释。

1969年, Wilson 主编的《岩浆金属矿床》一书问世。该书汇编的九篇文章介绍了地台区与褶皱区铬铁矿矿床的特征。除矿床的描述以外, 也涉及了成因问题。这些文章的作者为超基性岩物质来源于地壳下的深部并在地幔条件下分异提供了论据。1970年发表了 Thayer 的文章, 题目是“铬铁矿的堆集是岩石成因的指示因素”, 认为橄榄岩本体在上地幔是完全熔融的, 而针对褶皱区的橄榄岩岩体则试图证明

“通过晶体沉积而产生的分异是发生于上地幔的一个过程”。

在苏联的文献中也有些文章是从构造位置出发来讨论超基性岩与基性岩的成因问题。А.Л.Книпер 在“地表的地幔岩石”一文中总结了超基性岩属于“冷”侵入的各派学说来反对岩浆成因论。但他对岩浆成因的评论却有不少是任意的解释和歪曲实际资料的地方。

Книпер 论证的第一点就是认为很少有可能、甚至完全不可能在上地幔的戈登堡（Гуденберг）波导面* 以上产生超基性熔浆（岩浆）。但是大多数岩石学与地球化学研究人员都持有 Гуденберг 的观点，认为只有在波导面上，即 60~250公里深部（Гуденберг 测定）才可能产生地壳下的基性与超基性熔浆。因此，关于基性岩与超基性岩的不同熔度及其熔融温度与地壳内部和上地幔中温度分布曲线的对比等问题的讨论，不会对已知的情况添加任何新的认识。但在这种讨论当中有一个观点是不确切的，即认为以超基性岩为代表的玄武岩中的异类包裹体（团块）是“地幔碎块”，而且“团块”超基性岩在矿物成分与化学成分上与褶皱带超基性岩体的岩石相同。

然而关于团块本质的认识也是不同的。Wyllie (1969) 曾经正确地指出，不仅要把团块看作是地幔原始成分的典型，而且也应认为是玄武岩熔融以后地幔的残留物质。甚至还是在地壳范围内获取的捕虏体，即在中间贮槽形成的，或至少是在岩浆上升时形成的底部堆积物。

也许，所有这些过程均与团块的形成有关。但是玄武岩与金伯利岩中的异类包裹体的成分相当多种多样，不可能一

* 戈登堡波导面为地幔的下界面，距地球表面平均2898公里——译者