

烏拉尔铬铁矿

Г. А. 索科洛夫 著



196

地质出版社

烏 拉 尔 銘 鐵 矿

Г. А. 索 科 洛 夫 著

朱 福 湘 李 秉 倫 袁 啟 林 譯

地 質 出 版 社

1958 • 北 京

09985

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ТРУДЫ

ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

вып. 97. СЕРИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (№ 12) 1948

Г. А. СОКОЛОВ

ХРОМИТЫ УРАЛА, ИХ СОСТАВ, УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ
И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

本書按原文應譯作“烏拉爾鉻鐵礦及其成分、結晶條件和分布規律”，為了簡便起見，我們將其簡稱為“烏拉爾鉻鐵礦”。

本書由朱福湘、李秉倫、袁啟林譯，由錢鏡陽、劉永康等校。

烏拉爾鉻鐵礦

著者	Г. А. 索科洛夫
譯者	朱福湘、李秉倫、袁啟林
出版者	地質出版社
	北京宣武門外永光寺西街3號
	北京圖書刊出證營業許可證出字第050號
發行者	新華書店
印刷者	天津人民印刷廠

印數(京)1—1,150冊	1958年5月北京第1版
開本317×437/16	1958年5月第1次印刷
字數180,000	印張6 ⁵ / ₈ ，插頁15
定價(10)1.30元	

目 錄

緒 言	4
第一章 烏拉尔鉻鐵礦礦石的化學-礦物成分	6
鉻尖晶石類礦物及其分類	6
副成分鉻尖晶石類礦物和造礦鉻尖晶石類礦物中的有限的類質同像	8
鉻尖晶石類礦物的分類	9
烏拉尔鉻鐵礦礦石的非金屬礦物	15
按化學成分劃分烏拉尔鉻鐵礦礦石的類型	17
第二章 烏拉尔超基性岩體及其中鉻鐵礦礦床的分布	32
按岩石成分劃分的烏拉尔超基性岩體類型	32
烏拉尔超基性岩體的形狀	35
南克拉卡岩體的形狀、岩石成分和內部構造	36
鉻鐵礦礦床的地質位置	47
第三章 烏拉尔鉻鐵礦礦石的結構及構造	48
礦石顆粒的形狀和大小	49
鉻鐵礦礦石的結構	56
半自形粒狀結構的細粒含礦浸染體	56
含有自形或主要是半自形的* 鉻尖晶石類礦物的細粒含礦浸染體	58
半自形粒狀結構的中粒浸染體	58
中粒和粗粒的塊狀礦石	60
鉻鐵礦礦石中的純橄欖岩捕房體	62
鉻鐵礦礦石的構造	65
粗網狀構造中含礦浸染體	65
脈混合岩狀和角礫狀構造	67
團塊狀礦石	69
斑點狀礦石構造	76
球狀構造	79
對角礫斑雜狀礦石構造及其形成條件研究的總結	80
鉻鐵礦礦石結晶作用的近似共結順序	80
關於鉻鐵礦礦石的帶狀構造	88
第四章 鉻鐵礦礦床的成因類型、鉻鐵礦礦床成因類型的分類	101
烏拉尔型鉻鐵礦礦床預測的某些基本原理	111
結 論	112
參 考 文 獻	141

圖版 I—XXVI

* 原書為半自形，應為自形之誤（校者）

緒 言

研究鉻鐵礦礦床的最主要的任務，正如研究任何其他礦床一樣，就是闡明生成這些礦床的具體地質條件，並說明具有不同礦石構造、不同化學-礦物成分的大小各式各樣礦體的形成作用。

諸如此類的研究，對於提高找礦和勘探效率的實際意義和必要性是顯而易見的。對於鉻鐵礦礦床，這一點在蘇聯戰前進行的鉻鐵礦資源調查工作總結中已獲得了極好的證明。肯皮爾賽礦床的發現和勘探，薩拉諾夫礦床、維爾布留日也果爾礦床、阿拉帕也夫礦床及其他礦床的補充勘探都是在研究工作者廣泛的科學研究幫助之下完成的。上述礦床的發現、勘探和補充勘探使蘇聯在各種成分的鉻鐵礦儲量方面列入世界頭幾位之中，已經探明的鉻鐵礦儲量現在能夠而且在很長時期內能夠充分地保證蘇聯工業的需要和輸出。但是，仍然有必要在與生產礦山有經濟連繫的地區之外尋找鉻鐵礦礦床。此外，鉻鐵礦的研究工作的資料，對於合理地指導在生產鉻鐵礦山地區大力進行的工業勘探，以及解決鉻鐵礦的使用和加工技術中新發生的問題，在一定程度上是必需的。

因而，儘管已經查明的鉻鐵礦的資源是很雄厚的，鉻鐵礦的研究工作雖不是目前首要的，但仍是具有現實意義的工作。

本書試圖對鉻鐵礦礦床成因問題中有关基性岩漿——大家都知道，這是工業鉻鐵礦的唯一來源——結晶時鉻鐵礦聚集的地質-岩石條件和机理（механизм）着重地加以研究。以前許多研究工作證明，工業鉻鐵礦礦床屬於超基性岩漿結晶過程中形成的岩漿礦床。

鉻鐵礦礦床生成的理論主要問題之一是闡明促使鉻鐵礦礦石在含有 Cr_2O_3 平均含量不超過0.3%—0.5%的岩漿中聚集起來的物理化學過程和環境的條件。

A. H. 查瓦里茨基院士的假說最完滿地回答了這個問題，這一假說又被蘇聯科學院通訊院士別傑赫琴詳細地闡明（參看本書76—77頁）。當然，對於鉻鐵礦結晶和聚集的机理和條件有待進一步查明。

這一點通過對自然界中實際觀察到的下列事實和關係的研究便可實現：含鉻鐵礦侵入體的岩石成分，組成侵入體的超基性岩石和基性岩石之間的相互關係；礦體的形狀和礦體與圍岩的相互關係；礦石集合體的結構；礦石的化學變化和礦石礦物成分等。

研究礦石結構和構造是具有特殊意義的，因為構造和結構是一種在一定程度上能表明形成礦體的机理條件和物理-化學條件的象形文字。本書主要的部分正是對

这种“象形文字”加以解釋。作者能有机会接触烏拉尔許多在形狀、岩石成分、內部結構及地質环境不同的超基性岩体内的礦床，这对問題的解决是很有利的。从所收集來的大量标本中，發現了各种各样的結構和構造的特征。

作者認為有必要对烏拉尔的鉻鉄礦石的化学-礦物成分以及烏拉尔 鉻鉄礦床与 鉻鉄礦岩体的关系分別在第一章和第二章作簡短的闡明，附在本書主要的一章——第三章之前。因为沒有这两章，第三章和結尾的第四章的内容將會是很难理解的。

第一章以研究文献資料和勘探隊报告中的广泛取样資料为主。作者的資料和他在苏联科学院地質研究所鉻鉄礦組的同事們的資料也充分地加以利用。作者本人同意本書中根据化学成分將鉻尖晶石类礦物和鉻礦石作出的分类。

在第二章中主要是利用了地質科学研究所鉻鉄礦組在作者領導下五年來進行的工作成果。参与这一工作的，除作者之外，尚有С. А. 卡申、В. П. 罗吉諾夫、Н. В. 巴甫洛夫、В. П. 費多罗夫及А. А. 菲利莫諾娃。有关这方面的資料一部分已發表过，一部分記述在报告的原稿中。

在本書最后的第四章中，作者試圖根据鉻鉄礦結晶条件的結論和礦体与含鉻鉄礦岩体的岩相的关系，來改進并發展現有的鉻鉄礦礦床的分类法。这些原始資料也可用來粗略地研究烏拉尔类型的超基性侵入体中鉻鉄礦礦床的分布規律。这些規律以及根据这些規律得出來的預測鉻鉄礦礦床的原理，在第四章的后半部分加以叙述。

作者不准备去討論鉻鉄礦礦床上的淺成岩漿現象。气成-热液作用不会造成鉻鉄礦的礦体，只能使岩漿階段所形成的礦体變質。在變質时礦床出現了新的特征（原生矽酸鹽的綠泥石化作用和蛇紋石化作用，鉻尖晶石类礦物的變質作用，外接触帶的形成作用，岩漿期后礦物所形成的交錯礦脉等），这些特征在大多数情況下，很容易与在岩漿階段，特別是在后成岩漿階段形成礦体（从而形成礦脉）时的原始特征区别開來。

同样也沒有必要來討論礦体的次生構造破坏（一般說來，礦体的次生構造破坏是一个对实践有重要意义的問題）。热液作用及鉻鉄礦床的次生構造在苏联研究者的許多最近著作中加以闡明。作者的資料对这类問題的新結論并未提出根据。

最后，作者認為應該对苏联科学院地質科学研究所鉻鉄礦組的同志們——С. А. 卡申、В. П. 罗吉諾夫、Н. В. 巴甫洛夫及А. А. 菲利莫諾娃表示真誠的感謝。多年來和他們一起对烏拉尔鉻鉄礦的情况進行的研究工作就是本書的原始材料的主要來源，同时也是据以对結論和總結進行評價的經常手段。

還應該指出А. Н. 查瓦里茨基院士和А. Г. 別傑赫琴院士的鉻鉄礦成因的著作大大有助于对鉻鉄礦体形成這一問題的進一步闡明。

作者对通讀本書底稿并提出自己意見的В. А. 奧勃魯契夫院士及Д. П. 格里戈列夫教授致以深切的謝意。Д. С. 別梁金院士給作者提出了許多寶貴的批評和意見，作者对自己的老师別梁金院士也致以深切的謝意。

第一章 烏拉尔鉻鐵礦礦石的化学-礦物成分

正如緒言中所說的，本書的主題是关于礦体原來形成时鉻鐵礦礦石的結晶条件和結晶过程的問題。因此在研究鉻鐵礦礦石的化学-礦物成分时，我們把主要的注意力放在原生礦物，特別是金屬礦物——鉻尖晶石类礦物上。

岩漿期后礦物——輝石类、角閃石类、石榴子石、符山石、蛇紋石类、綠泥石类以及其他礦物，对鉻鐵礦石的化学-礦物成分的研究意义，只是有助于确定超基性岩漿結晶时造礦的相对時間，并指出含礦熔融体化学变化的某些方面。对这些礦物的鑑定將在本文內依次提出。

鉻尖晶石类礦物及其分类

鉻尖晶石类礦物的成分是可变的，因为組成鉻尖晶石类礦物的二价和三价金屬的氧化物的相对数量是变化的。鉻尖晶石类礦物是以类質同像的关系結合起來的。当然，查明在自然条件下，这一类最重要的礦物的有限类質同像是極为重要的。为了这个目的，作者曾利用了圖解法。既然鉻尖晶石类礦物的一般实验式是 $RO:R_2O_3$ ，那末任何一种鉻尖晶石类礦物是由50%（分子）的二价元素氧化物和50%（分子）的三价元素氧化物組成的。因此我們可以单独地用圖表画出二价元素氧化物和三价元素氧化物的含量的变化。在这种情况下，对三价元素我們有一个三組份系（ Al_2O_3 ， Cr_2O_3 ， Fe_2O_3 ），这就有可能利用三角形來表示。二价元素的氧化物較為复雜，因为在鉻尖晶石类礦物成分中可有 MgO ， FeO ， ZnO ， MnO ， NiO 等。可是根据已有的資料，后三种氧化物的含量很小，把 MnO 和 ZnO 与 FeO 合併， NiO 与 MgO 合併，这样，二价元素的氧化物就可以認為是二組份系。对于二价元素的氧化物，这就有可能用直綫來表示二組份系的成分。

我們想到，在辛蒲生（Simpson 1920）的圖表上（这个圖表后来被瓦赫罗麥耶夫〔Вахромеев 1935〕具体化了），下列假定分子式就是組成的成分：（1） $FeO \cdot Al_2O_3$ ，（2） $FeO \cdot Cr_2O_3$ ，（3） $MgO \cdot Al_2O_3$ 和（4） $MgO \cdot Cr_2O_3$ 。該圖表的最大缺点是在所注意到的氧化物中沒有 Fe_2O_3 ，这一点在当时多尔特（Doelter, 1927）已指出。

在別傑赫琴所提出的（Бетехтин和Кашин, 1937）鉻尖晶石类礦物的三角形重心圖表中，已經注意到 Fe_2O_3 ，因此鉻尖晶石类礦物的成分在圖表上得到了充分的反映。然而別傑赫琴仍然利用下列假定分子式：（1） $MgO \cdot Al_2O_3$ ，（2） $MgO \cdot Cr_2O_3$ ，（3） $FeO \cdot Cr_2O_3$ ，（4） $FeO \cdot Fe_2O_3$ 。尽管这些假定分子式較辛蒲生的合理一

些。所以从圖表上不能直接地知道各种氧化物的含量。除此之外，在 MgO 、 FeO 和 Cr_2O_3 这些氧化物中每一种参与两个假定分子式，这样也就使成分的比較發生困难。在圖表上引用假定分子式是不恰当的，因为在从事鉻尖晶石类礦物分类問題的研究者中間應該采用哪一种假定分子式还没有一致的意見。为了补充辛蒲生和別傑赫琴的上述意見，我們指出，集明（Зимин）建議用 $MgCr_2O_4$ ， $FeAl_2O_4$ ， $FeFe_2O_4$ 和 $FeCr_2O_4$ 这些分子式來計算鉻尖晶石类礦物的成分。当用氧化物作为組份时，上述一切困难和假定性也就沒有了。

在过去作者的一篇論文中（1940），曾建議采用奧散（Озанн）的三角形來表示鉻尖晶石类礦物的成分。三价元素氧化物（ Al_2O_3 ， Cr_2O_3 ， Fe_2O_3 ）分列在三角形的頂点，二价元素的氧化物含量标在一个向量綫上，这一向量綫是通过代表三价氧化物含量值的几何点在三角形內或三角形的一边依既定方向画出的。現在作者建議用下法（圖1）画出二价元素氧化物的向量綫。几何点沿 Cr_2O_3 的等含量綫（亦即平行于与 Cr_2O_3 頂点相对的一边）投在 Cr_2O_3 — Al_2O_3 这一边上。从 Cr_2O_3 的等含量綫与三角形 Cr_2O_3 — Al_2O_3 这一边的交点引垂綫，在垂綫上以既定的比例尺标出 FeO 的含量（分子百分数）。如果需要表示像 MnO ， ZnO ， NiO 这类氧化物的含量，那末在相当于50%（分子）的垂綫的另一端向下标出这些氧化物是很方便的。垂綫的所有其余部分表示 MgO 的含量。 FeO 的点区今后我們把它叫做圖表的左区。

用这种圖表法表示鉻尖晶石类礦物成分时，按个别氧化物和按二价和三价元素的氧化物在圖表上比較所有画上的成分或其一定成分是極其方便的。在研究鉻尖晶石类礦物的化学成分的变化規律时，这种方法有着極重要的意义。

將分析結果画到圖上的方法如下。用通常的方法把分析結果^①換算成純淨的鉻尖晶石类物質，然后求出每一种氧化物的分子量，使氧化物 RO 和 R_2O_3 的总数相等。为此，將 R_2O_3 — RO 的分子量之差的三分之一从 R_2O_3 的分子量中减去，把該差数的三分之二加到 FeO 的分子量上。被修正过的分子量換算成分子百分数。这时 R_2O_3 和 RO 之分子百分数的总和恰好等于百分之五十。根据三价元素氧化物的含量，在三角形內得到一个几何点，沿着平行于 Al_2O_3 — Fe_2O_3 边的綫，把該点引到 Cr_2O_3 — Al_2O_3 边上，并根据 FeO 的数字，在圖的左区得到一个对应点。用这两点便确定出鉻尖晶石的成分。

在我們介紹的圖上，画了140个鉻尖晶石类礦物的分析材料，这些尖晶石產于苏联各超基性岩体的礦床中。从許多鉻鉄礦礦石或选出的精礦的全分析中，只选出这样的全分析：（1）已經知道非金屬礦物成分和矽酸的含量不超过3.5%，这样，用适当的換算方法就可以把在所分析样品中与鉻尖晶石类礦物伴生的矽酸鹽和其他非金屬礦物中的氧化物从分析中除去，而不致有大的錯誤。（2）除去非金屬礦物之

①对于分析結果的要求，見下一段。

后, R_2O_3 和 RO 之比不超过 1.2, 也就是鉻尖晶石类礦物的變質作用是不大的, 同时可用折合 Fe_2O_3 为 FeO 的方法使上述比例为 1 ●, 以此除去變質作用的影响, 而不致有大的錯誤。

審查已經發表的外國礦床的鉻尖晶石类礦物的全分析, 表明这些分析完全符合苏联各礦床的鉻尖晶石礦物的成分。只有德蘭士瓦礦床的造礦鉻尖晶石礦物的鉄和鋁的含量有顯著的增高。因此其标准成分已經画到圖上。

仔細研究苏联鉻尖晶石类礦物成分圖表, 对于目前我們注意的下面兩個問題, 可以做出極重要的結論: (1) 超基性岩和鉻鉄礦礦床中所有鉻尖晶石类礦物的有限类質同像, (2) 將鉻尖晶石类礦物作合理的分类。

副成分鉻尖晶石类礦物和造礦鉻尖晶石类礦物中的有限的类質同像。

如果我們的圖(圖1)上在三角形的内部画出限定鉻尖晶石类礦物的点区的綫, 那末該綫便在三角形面積上分出靠近 $Al_2O_3-Cr_2O_3$ 和 $Cr_2O_3-Fe_2O_3$ 兩边的那一部分。因此, 產自超基性岩和鉻鉄礦礦床的鉻尖晶石类礦物中的类質同像是受限制的, 首先受 Fe_2O_3 的含量的限制。而在圖的側区, 按二价元素的含量來說, 鉻尖晶石类礦物成分顯然亦受到限制。

在大多数情况下, Fe_2O_3 的含量不超过 5% (分子), 在个别的例子中, 含量增高到 10—13%, 而具有 33% (分子) Fe_2O_3 的鉻尖晶石是非常稀少的。 Al_2O_3 的含量不低于 5% (分子), 也就是完全不含氧化铝的副鉻尖晶石类礦物和造礦鉻尖晶石类礦物是沒有的。在超基性岩石和鉻鉄礦礦床的鉻尖晶石类礦物中, FeO 的含量不低于 9—10% (分子), 也不超过 32% (分子), MgO 的含量范围是 13—41% (分子)。因此, 在所研究的鉻尖晶石类礦物中, 沒有純粹的或近于純粹的鎂質鉻尖晶石类礦物以及近于或完全不含 FeO 的鉻尖晶石类礦物。

在天然的鉻尖晶石类礦物中, 查明的二和三价元素的有限类質同像, 当然和从中分出鉻尖晶石类礦物的介質的化学成分的特点有关。

从中分出鉻尖晶石类礦物的超基性岩漿是鎂質矽酸鹽熔融体, 其中含有一定量鉄的氧化物。因此, 在鉻尖晶石类礦物和矽酸鹽的成分中, 必定有 MgO 和某些数量的 FeO 同时出現。随着从超基性岩漿向基性岩漿的过渡, 鉄的氧化物在岩漿中所起的作用逐渐增大。在輝長岩类岩石中, 磁鉄礦(以及鈦鉄礦)是后成岩漿礦床的副金屬礦物和造礦礦物。此外, 岩漿(形成超基性岩岩体岩石的岩漿)在成分上同輝長岩类岩漿越相近, 鉻尖晶石类礦物成分中氧化鉄就越起着顯著的作用, 而氧化鎂則相反。如果按超基性岩体(該岩体中鉻尖晶石类礦物大多数都在我們的圖上反映出來)在異剝古銅輝橄岩、輝岩和輝長岩的現代侵蝕断面上分布的广泛程度把它

●巴甫洛夫(Н. В. Павлов)为了作學位論文, 在从論文和報告的摘引上、分析上并加以換算等方面作了巨大的工作, 作者非常感謝他允許使用这些資料。

們排列一下的話，那末可得到下列順序，肯皮爾賽—戈洛山—阿卡爾金—哈利洛夫—維爾布留日也果爾—克拉卡（Крака）—烏發列依（Уфалейский）—哈巴爾寧（Хабарнинокий）—伊特庫爾（Иткульский）—下塔吉爾（含鉻的）。雖然我們不了解不同岩石在每一岩體中在數量上的真正比例，但是表上所列的順序幾乎準確地符合於按照在鉻尖晶石中鐵的氧化物最大含量的增加而列出的岩體的順序（見圖1）^①。在布什維爾德岩體中，完全和從前的結論一致，其中輝長岩類岩漿岩是極多的，並且它和烏拉爾不同，有超基性岩的鎂鐵橄欖岩建造，鉻尖晶石類礦物的特征是含有極高的 Fe_2O_3 。對波布日耶（在那里輝長岩的同源岩漿是主要的）的鉻尖晶石類礦物，我們也看到 Fe_2O_3 的含量極高。

前面我們只是討論了在鉻尖晶石類礦物中氧化鐵的最大含量。然而鉻尖晶石類礦物的成分和從中析出鉻尖晶石類礦物的介質的化學變化之間的依賴性的問題，像圖表所表明的，是相當複雜的問題。這裡我們僅做出上述結論，因為對此問題充分的探討是專門研究的對象^②。

鉻尖晶石類礦物的分類

博爾迪列夫介紹了最嚴密的和完整的尖晶石族礦物的分類法。分類的原則在“描述礦物學教程”（第三版，1935）中作了敘述。在鉻尖晶石類礦物方面，別傑赫琴又加以重述（別傑赫琴和卡申，1937）。使用我們推薦的圖表，特別容易表示出每種礦物在圖上的位置。在基礎三角形的內部畫三條綫，每條各等於 Al_2O_3 ， Cr_2O_3 ， Fe_2O_3 三種氧化物的8.33%（分子）^③的含量。這樣我們得到七個區，每區都與一定氧化物的礦物形式相應（圖2）。在產自超基性岩和鉻鐵礦礦床的鉻尖晶石類礦物的成分中，由於三價元素的類質同像的局限性，可以忽略兩個區域：

- （1）靠近 Fe_2O_3 頂點的區域，
- （2）沿 Al_2O_3 — Fe_2O_3 邊分布

的區域。其餘五個區域相當於下列礦物（暫時只考慮到礦物的化學式中的三價元素氧化物）。

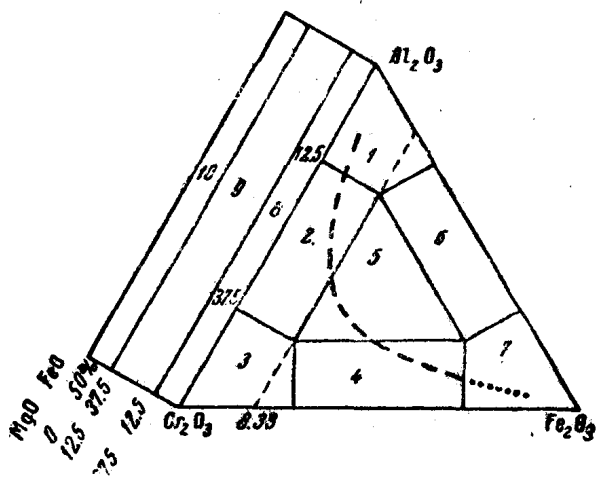


圖 2. 在三角形圖表上，鉻尖晶石類礦物種的區域

Cr_2O_3鉻鐵礦（區域3）

①我們在對比中除去了薩拉諾夫岩體，因為組成該岩體的橄欖岩的脈石岩尚不清楚。

②這是H. B. 巴甫洛夫在1946年完成的論文題目。

③ $8.33 = 50/6$ ；這個數字表示三組份之一加入到礦物式子中的條件（博爾迪列夫，1935）。

Al_2O_3鉻尖晶石 (区域 1)
 $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$富鉻尖晶石 (区域 2)
 $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{Fe}_2\text{O}_3$富高铁鉻鐵礦 (区域 4)
 $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Fe}_2\text{O}_3$富高铁富鉻尖晶石 (区域 5)

考慮到二价元素，我們要在圖的側區画出 12.5% (50:4) 的 FeO 和 MgO 的含量綫。這兩條綫把鉻尖晶石类礦物成分分为三个区域。在化学式中只有 MgO 时，在礦物名字上加个“鎂”字 (区域 8)，只有 FeO 时，在礦物的名字上加上“亞鐵”二字 (区域 10)。在礦物分子式中有 MgO 也有 FeO (区域 9) 时，在礦物名字上不加任何字。結果我們得到下列 15 种礦物：

亞鐵鉻鐵礦	鉻鐵礦	鎂鉻鐵礦
亞鐵富鉻尖晶石	富鉻尖晶石	鎂富鉻尖晶石
亞鐵鉻尖晶石	鉻尖晶石	鎂鉻尖晶石
亞鐵高铁鉻鐵礦	高铁鉻鐵礦	鎂高铁鉻鐵礦
亞鐵高铁富鉻尖晶石	高铁富鉻尖晶石	鎂高铁富鉻尖晶石

如圖 (圖 1) 所示，帶“亞鐵”二字的礦物在分析數目之中沒有它的代表，因此，實際上礦物的數目減少到十個。但是在这个系統中，還應保留帶“亞鐵”二字的礦物群，因為從多爾特 (Дельтер) 那里所引來的個別分析遇到這類礦物。由於這些分析很難計算成純淨的鉻尖晶石类物質，所以我們沒有把它們畫在圖上。

上邊所述的各種礦物名稱似乎是與博爾迪列夫按組份分類的方法和原則很相符合，博爾迪列夫的礦物名稱 (別傑赫琴也採用過的) 與本文所引用的名稱之間有一些差別。對於含有 MgO 和 FeO 兩種組份的礦物，上兩位研究者採用“鎂”字頭，作者覺得它與分類系統是有矛盾的^①，尤其是在另外的情況下，博爾迪列夫遵循着這個系統，正確地稱礦物 MgFe_2O_4 為鎂鐵礦 (магноферрит)。

在鉻尖晶石类礦物的命名方面，作者主要的新建議如下：(1) 要把分子式為 $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Cr}_2\text{O}_4$ 的礦物叫做鉻鐵礦，而不是像至今沿用的把分子式為 FeCr_2O_4 的礦物叫做鉻鐵礦。(2) 完全名稱帶有“鎂”和“鐵”的字樣。為了讀者方便起見，把我們的 (C 行) 和博爾迪列夫 (B 行) 的鉻尖晶石类礦物的名稱列表比較如下 (見表 1)：

把成分稍微特別的礦物仍然命名為“鉻鐵礦”並不會引起紊亂，因為在礦物學的文献中，這類礦物的各種氧化物的含量也沒有精確地固定範圍。通常還要記住，鉻鐵礦的分子式是 FeCr_2O_4 ，但是部分的鐵可以被鎂代替，而部分的鉻又可以被鋁代替。

① 對於礦物 FeCr_2O_4 採用鉻鐵礦這個根深蒂固的名字，當然就不得不把礦物 $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Cr}_2\text{O}_4$ 叫做“鎂鉻鐵礦”。然而按照邏輯系統來說，應把礦物 MgCr_2O_4 叫做鎂鉻鐵礦。博爾迪列夫還沒給礦物 MgCr_2O_4 命名。

博尔迪列夫 (B 行) 和索科洛夫 (C 行) 的铬尖晶石类矿物的名字 表 1

		Mg	Fe ²⁺	MgFe ²⁺
Al	B C	尖晶石 镁铬尖晶石 ①	铁尖晶石 亚铁铬尖晶石	铁镁尖晶石 铬尖晶石 ①
Cr	B C	X ② 镁铬铁铬	铬铁铬 亚铁富铁铬	镁铬铁铬 铬铁铬
AlCr	B C	铬尖晶石 铁富铬尖晶石	铝铬铁铬 亚铁富铬尖晶石	富铬尖晶石 富铬尖晶石
Fe ³⁺ Cr	B C	X 铁高铁铬铁铬	X 亚铁高铁铬铁铬	铁高铁铬铁铬 高铁铬铁铬
AlFe ³⁺ Cr	B C	铁铬尖晶石 铁高铁富铬尖晶石	X 亚铁高铁富铬尖晶石	高铁富铬尖晶石 高铁富铬尖晶石

所介绍的铬尖晶石类矿物的名称, 在许多情况下, 与各位研究者所提出的名称是相同或者是极为接近的, 因此, 对于矿物学家并不是陌生的。例如欣采 (Hintze, 1933) 把分子式为 FeCr_2O_4 的矿物也和我們一样叫做亚铁铬铁铬, 而分子式为 MgCr_2O_4 的矿物, 很接近于我们的名称, 叫含镁铬铁铬。分子式为 MgCr_2O_4 的矿物, 季拉克托尔斯基 (Дилакторский, 1933) 认为合理的名称为镁铬铁铬, 而多尔特 (1927) 提議礦物種名: 铁铬铁铬, 含镁铬铁铬。

在本書寫成以后, 斯蒂文斯 (Stevens, 1944) 發表了关于西半球铬铁铬成分的論文。作者也利用了奥散三角形來表示三价元素的铬尖晶石类矿物成分。在斯蒂文斯的三角形圖上, 铬尖晶石类矿物本身点子的分布不超出在我們的圖表上所表示的范围。斯蒂文斯利用了铬尖晶石类矿物的基本晶胞中的該元素的平均原子数來代替氧化物分子量。但是这并不能改变事情的本質, 因为在铬尖晶石类矿物中, 各氧化物分子量的比例等于相应的元素原子数的比例。

現在對我們最重要的一点是, 斯蒂文斯也和我們一样, 把具有 Al 和 Fe^{3+} 的某些类質同像混合物的 $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ 成分的铬尖晶石类矿物叫做铬铁铬, 同时再从中分出铝铬铁铬 (Aluminian chromite) 和铁铬铁铬 (Ferrian chromite) 二个亞种。

斯蒂文斯的建議証實了我們把分子为 $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ 的铬尖晶石类矿物叫做铬铁铬的基本建議, 以及从此引伸出來的命名都是适时的。

①含铁的镁铁尖晶石叫做铁尖晶石, 在铬尖晶石类矿物的系統中, 比較正确地采用铬尖晶石來代替鐵尖晶石的名称, 而用镁尖晶石來代替尖晶石。

②“X”記号表示博尔迪耶夫沒給該礦物命名。

前面列举的有合理名称的各种铬尖晶石类矿物，对于尖晶石类的矿物的普通分类来说是足够的。但对研究铬铁矿床和含铬铁矿岩体这一特别目的，需要比较详细地区分铬尖晶石类矿物，以便有可能在某岩体或矿床的具体情况下，用不同的名称来表示铬尖晶石矿物各个不同的成分。这样就有必要再分为亚种，并给每一亚种以一定的名称。

如图1所示，属于富铬尖晶石种的铬尖晶石矿物有着广泛的分布，这一种我们再分为三个亚种，即把富铬尖晶石区分为三个相同的长方形（图3）。在中间的长方形中分布着富铬尖晶石，靠近 Al_2O_3 顶角的长方形则是铝富铬尖晶石，而靠近 Cr_2O_3 顶角的长方形则是铝铬铁矿①亚种。暂时还没有必要把其余种再分为亚种。

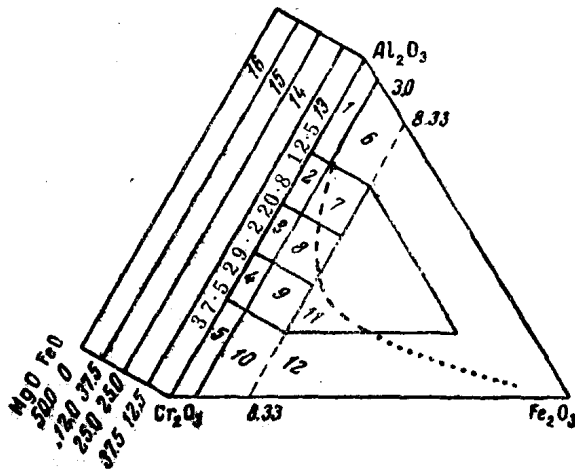


图8. 在三角形图表上，自然的铬尖晶石类矿物种，亚种和变种的分区

- 1—铬尖晶石；2—铝富铬尖晶石；3—富铬尖晶石；
4—铝铬铁矿；5—铬铁矿；6—富铁铬尖晶石；7—
富铁铝富铬尖晶石；8—富铁富铬尖晶石；9—富铁
铝铬铁矿；10—富铁铬铁矿；11—高铁富铬尖晶
石；12—高铁铬铁矿；13—铁；14—含铁的；15—
含铁的；16—铁

字，而无着重点的表示变种的名字。

必须解释一下表上左栏的数字。作为确定种和亚种的第一个标准，我们采用了 $Cr_2O_3 + \frac{1}{2}Fe_2O_3$ (分子%) 的含量。对于分布在三角形中的不多于8.33% Fe_2O_3 含量的点子，我们把 Fe_2O_3 含量的一半加到 Cr_2O_3 的数字中去后，就好像把该点移置到三角形 $Cr_2O_3-Al_2O_3$ 的一边。这样我们仍然留在某一点所在的那一种小长方形的范围之内。如果我们只是受 Cr_2O_3 (或 Al_2O_3) 的含量数字的限制，那么在某些情况下，由于 Fe_2O_3 的值，点子有时落在这一个有时落在另一个种的区域。在图表的 $Cr_2O_3-Al_2O_3$ 边上，50.0—37.5—29.2—20.8—12.5—0等数字分别与图上 $Cr_2O_3-Al_2O_3$ 边上的种和亚种的小长方形的界限相对应。这些很容易按博尔迪列夫 (1953) 所述的法则计算出来。关于8.33数字的值已如上述了。

再次着重指出，我们把铬尖晶石类矿物的分类扩大只是为研究铬铁矿床和含铬铁矿岩体这一目的，现在我们用几个例子来表明使用这一分类的好处。在这一分类中，名称本身便可指出超基性岩体中造矿的铬尖晶石类矿物或副铬尖晶石类矿物所固有的化学成分的特性。

根据博尔迪列夫的分类和命名，产自戈洛山、维尔布留日也果尔、乌发列依、库塔尔斯坦、

除确定亚种之外，研究者的兴趣要求根据铁的低氧化物、氧化物在某些种内加以细分，并确定其名称。根据此点，我们可把每一种——铬铁矿、富铬尖晶石（及其亚种）和铬尖晶石——分为含 Fe_2O_3 低的（8%分子以内）和含 Fe_2O_3 较高的（3—8%分子），后一种我们用“富铁”二字加在种或亚种名字之前。在图上，上述两种之间的界限是百分之8的 Fe_2O_3 的含量线。除上述划分外，亦需按其分子式中有 FeO 和 MgO 的矿物来分类，当 $FeO > MgO$ 时叫“含铁的”，而 $MgO > FeO$ 时为“含镁的”。在图表上这两种的界限是图表侧区25%（分子） FeO 的含量线。

在表2上完全表明了铬尖晶石类矿物的分类，有着重点的表示种和亚种的名

①“铝富铬尖晶石”（“Хромохромпикотит”）的名称更确切些，但不好发音，因此我们所采用的名称说明 Al_2O_3 比铁有一些提高。

表 2

铬尖晶石类矿物的分类(分子%)

$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 1/2\text{Fe}_2\text{O}_3$	Fe_2O_3	MgO 0—12.5% FeO 50—37.5%	MgO 12.5—25.0% FeO 37.5—25.0%	MgO 25.0—37.5% FeO 25.0—12.5%	MgO 37.5—50.0% FeO 12.5—0%
50.0—37.5%		正铁铬铁矿* (ferrochromite) FeCr_2O_4	铬铁矿 (Хромит) (Mg, Fe) Cr_2O_4 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	铬铁矿 (Хромит) (Mg, Fe) Cr_2O_4 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	正铁铬铁矿* (ferrochromite) MgCr_2O_4
37.5—29.2%		正铁铝铬铁矿* (ferroaluminochromite) $\text{Fe}(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$	正铁铝铬铁矿 (Алюмохромит) (Mg, Fe) $(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$ 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	正铁铝铬铁矿 (Алюмохромит) (Mg, Fe) $(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$ 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	正铁铝铬铁矿* (ferroaluminochromite) $\text{Mg}(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$
29.2—20.8%		正铁富铬尖晶石* (ferrochromite) $\text{Fe}(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$	富铬尖晶石 (Хромпикотит) (Mg, Fe) $(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$ 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	富铬尖晶石 (Хромпикотит) (Mg, Fe) $(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$ 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	富铬尖晶石* (ferrochromite) $\text{Mg}(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$
20.8—12.5%		正铁铝富铬尖晶石* (ferroaluminochromite) $\text{Fe}(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$	铝富铬尖晶石 (Алюмохромпикотит) (Mg, Fe) $(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_4$ 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	铝富铬尖晶石 (Алюмохромпикотит) (Mg, Fe) $(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_4$ 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	正铁铝富铬尖晶石* (ferroaluminochromite) $\text{Mg}(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$
12.5—0%		正铁尖晶石* (ferrochromite) $\text{Fe}(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$	尖晶石 (Пикотит) (Mg, Fe) Al_2O_4 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	尖晶石 (Пикотит) (Mg, Fe) Al_2O_4 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	正铁尖晶石* (ferrochromite) MgAl_2O_4
50.0—37.5%		富铁正铁铬铁矿* (ferrochromite) (ferrochromite)	富铁正铁铬铁矿 (Субферри-Хромит) (ferrochromite) 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	富铁正铁铬铁矿 (Субферри-Хромит) (ferrochromite) 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	富铁正铁铬铁矿* (ferrochromite) (ferrochromite)
37.5—29.2%		富铁正铁铝铬铁矿* (ferroaluminochromite) (ferroaluminochromite)	富铁正铁铝铬铁矿 (Субферри-Алюмохромит) (ferroaluminochromite) 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	富铁正铁铝铬铁矿 (Субферри-Алюмохромит) (ferroaluminochromite) 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	富铁正铁铝铬铁矿* (ferroaluminochromite) (ferroaluminochromite)
29.2—20.8%		富铁正铁富铬尖晶石* (ferrochromite) (ferrochromite)	富铁正铁富铬尖晶石 (Субферри-Хромпикотит) (ferrochromite) 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	富铁正铁富铬尖晶石 (Субферри-Хромпикотит) (ferrochromite) 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	富铁正铁富铬尖晶石* (ferrochromite) (ferrochromite)
20.8—12.5%		富铁正铁铝富铬尖晶石* (ferroaluminochromite) (ferroaluminochromite)	富铁正铁铝富铬尖晶石 (Субферри-Алюмохромпикотит) (ferroaluminochromite) 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	富铁正铁铝富铬尖晶石 (Субферри-Алюмохромпикотит) (ferroaluminochromite) 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	富铁正铁铝富铬尖晶石* (ferroaluminochromite) (ferroaluminochromite)
12.5—0%		富铁正铁尖晶石* (ferrochromite) (ferrochromite)	富铁正铁尖晶石 (Субферри-Хромпикотит) (ferrochromite) 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	富铁正铁尖晶石 (Субферри-Хромпикотит) (ferrochromite) 含铁的 (铁质) 含铁的 (铁质)	富铁正铁尖晶石* (ferrochromite) (ferrochromite)
Al_2O_3 0—8.33 $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 1/4\text{Fe}_2\text{O}_3$ 12.5—50.0		正铁高铬尖晶石* (ferrochromite) $\text{Fe}(\text{Cr}, \text{Fe})_2\text{O}_4$	高铬尖晶石 (Феррихромит) (ferrochromite) (Mg, Fe) $(\text{Cr}, \text{Fe})_2\text{O}_4$	高铬尖晶石 (Феррихромит) (ferrochromite) (Mg, Fe) $(\text{Cr}, \text{Fe})_2\text{O}_4$	正铁高铬尖晶石* (ferrochromite) $\text{Mg}(\text{Cr}, \text{Fe})_2\text{O}_4$
Al_2O_3 , Cr_2O_3 和 Fe_2O_3 每种均大 于8.33%		正铁高铝富铬尖晶石* (ferroaluminochromite) (ferroaluminochromite)	高铝富铬尖晶石 (Феррихромпикотит) (ferroaluminochromite) (Mg, Fe) $(\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Al})_2\text{O}_4$	高铝富铬尖晶石 (Феррихромпикотит) (ferroaluminochromite) (Mg, Fe) $(\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Al})_2\text{O}_4$	正铁高铝富铬尖晶石* (ferroaluminochromite) $\text{Mg}(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_4$

* 作者还不知道有更确切的分析

哈巴尔宁和薩拉諾夫岩体中的礦床，絕大多數的鉻尖晶石类礦物属于鉻尖晶石类礦物的一个类型——富鉻尖晶石。

根据我們的分类，薩拉諾夫和哈巴尔宁的鉻尖晶石类礦物主要属于高铁鋁鉻鐵礦变种，而產自其余岩体的鉻尖晶石是属于鋁鉻鐵礦亞种，礦物的名字就指出了前一种与后一种比較起来在成分上的特点—— Fe_2O_3 含量的增高，并且在兩群之中鉻的含量比在富鉻尖晶石中的平均含量要高。除此之外，薩拉諾夫鉻尖晶石类礦物的分析材料与含鉄的富鉄鋁鉻鐵礦变种相符，可是哈巴尔宁則与含鎂的变种相符。

根据博尔迪列夫的分类，肯皮尔賽、克拉卡和伊特庫尔岩体的最主要礦床的鉻尖晶石类礦物，在名字上没有区别。一般都属于鎂鉻鐵礦类型。根据我們的分类，肯皮尔賽的鉻尖晶石类礦物和克拉金和伊特庫尔部分的鉻尖晶石类礦物都属于含鎂的鉻鐵礦变种，而克拉卡 and 伊特庫尔的很大一部分鉻尖晶石类礦物应该叫做含鉄的鉻鐵礦，这样也指出了各种鉻尖晶石类礦物的成分特点。

產自布什維尔德岩体的鉻尖晶石类礦物，根据博尔迪列夫的分类，应该为富鉻尖晶石，因此它完全不能从烏拉尔鉻尖晶石类礦物的大类中分出。我們的擴大分类要求把这种鉻尖晶石类礦物列入含鉄的鋁富鉄富鉻尖晶石。这个名字更能反映布什維尔德鉻尖晶石类礦物成分的全部特性。

反对所提出的名字的意见是完全可能的，因为某些名称驟然看来很复杂、但是正如作者認為，掌握这样的名字比掌握按现在的分类作出的鉻尖晶石类礦物种的分类表只是稍微困难一些。研究者首先应该分析鉻尖晶石类礦物成分的变化特点。了解它們之后，就不难記住并得到系統的和嚴格的概念，由此概念便可得出所推薦的鉻尖晶石类种和亞种以及变种的名字。同时在研究鉻鐵礦礦床的实践中，“亞鉄”和“鎂”种及其变种的名称，除去鎂鉻尖晶石外，是很少需要的。因为在天然的鉻尖晶石类礦物中，这些种还没發現，若根据以前关于產自鉻鐵礦礦床和超基性岩石中的鉻尖晶石类礦物中的有限类質同像的說法，这些名称也是不太可能的。

根据上述，我們認為从所介紹的分类中引用标示天然鉻尖晶石类礦物所必需的名称表是很有益的。

鉻鐵礦和富鉄鉻鐵礦	(含鉄的或含鎂的)
鋁鉻鐵礦和富鉄鋁鉻鐵礦	(" " ")
富鉻尖晶石和富鉄富鉻尖晶石	(" " ")
鋁富鉻尖晶石和富鉄鋁富鉻尖晶石	(" " ")
鉻尖晶石和富鉄鉻尖晶石	(" " ")
鎂鉻尖晶石	(" " ")
高铁鋁鐵礦	(" " ")
高铁富鉻尖晶石	(" " ")

想來，这么多的名称和这些名称的性質，將不会嫌其繁雜，这对于鉻鐵礦礦床研究者的好处是很明顯的。

作者曾有机会研究鉻尖晶石类礦物的化学成分和薄片上的鉻尖晶石类礦物的顏色之間的关系(索科洛夫, 1940)。对不同的鉻尖晶石类礦物所得的透射曲綫表明，鉻尖晶石类礦物固有一种或多或少地吸收光波的寬間隔的性質，因此在透射光綫中，鉻尖晶石类礦物的顏色按其本性是 A 型吸收光譜的补色，A 型吸收光譜在費爾斯曼院士的著作中有所敘述(1936)。

低鉻高鋁的鉻尖晶石類礦物在厚度0.03公厘的正常薄片_中，呈淡褐綠色調，而與這種色調相應的是吸收帶寬度最小的地方。隨着鉻的相對含量的增加，吸收帶也就增大，顏色過渡為橙褐色和紅褐色。 Fe_2O_3 含量增加，像在圖1已經看到的，與不少於12.5%（分子）的 FeO 有關。在 Fe_2O_3 含量增加時，光波的吸收性大大地增加，顏色過渡為褐色區，以至完全不透明。

根據上述鉻尖晶石類礦物的顏色及其化學性質之間的一般關係，便有可能在顯微鏡下按薄片（0.03公厘）的顏色大致確定鉻尖晶石類礦物類型（見表3）。

表 3

鉻尖晶石類礦物的種和亞種	薄片（0.03 公厘）的顏色
鎂鉻鐵礦	淡褐玫瑰色或褐橙色，常帶橄欖色調
鉻尖晶石	淡褐橙色，常帶橄欖色調
鋁富鉻尖晶石	褐橙黃色，帶橄欖色調
富鉻尖晶石	褐紅色
鋁鉻鐵礦	褐紅色或褐紫色
鉻鐵礦	暗褐紅色或暗褐紫紅色
高鉻鉻鐵礦	不透明
高鉻富鉻尖晶石	

不應該把鉻鐵鐵礦和鐵富鉻尖晶石與不透明的受變質作用的鉻尖晶石類礦物混淆起來。不透明的受變質的鉻尖晶石類礦物的成分並不與未經變化的鉻尖晶石類礦物的化學計算式相合。根據經變質作用的地段或全部礦粒的顯微結構特點，可以把它們區別開來（卡申，1937；羅吉諾夫等，1940；盧依克〔Луйк〕，1940；費舍爾〔Фишер〕1929）。

烏拉爾鉻鐵礦礦石的非金屬礦物

研究組成鉻鐵礦礦石的鉻尖晶石類礦物種之後，現在來研究鉻鐵礦礦石的其他礦物。在這種情況下，為了判斷這些礦物對礦石的一般化學成分的影響程度，這些礦物的分布對我們特別有興趣。

提到組成鉻鐵礦礦石的各种礦物（鉻尖晶石類礦物除外）的分布情況，必須指出對鉻鐵礦礦石的原生和次生成礦作用典型的下列要素：

1. 原生成礦作用

（a）烏拉爾鉻鐵礦的原生岩漿矽酸鹽類礦物——橄欖石和少量輝石——由於被岩漿期後的礦物代替，在大多數情況下，只留下少量的殘余物質。岩漿期後（主要是熱液式的）成礦作用的主要礦物是不同結構的蛇紋石和綠泥石。這些礦物代替了