

鉻鐵礦及其 化學分析法的研究

(修訂本)

郭承基 鍾志成 著

地質出版社

鹽鹼湖及其 化學分析法的研究

（總計畫）

謝家榮 謝家榮 著

地質出版社

鉻鐵礦及其 化学分析法的研究

(修訂本)

郭承基 鍾志成 著

地质出版社

1959·北京

說 明

鉻鐵礦礦物種類的鑑定，直接關係着鉻鐵礦的選礦及冶煉等問題；而在鑑定鉻鐵礦時，要求正確地測定其中亞鐵的含量。過去一般測定岩石及礦物中的亞鐵時所用的方法，對於鉻鐵礦來說都是很難適用的。所以如何準確地測定鉻鐵礦中的亞鐵，是一個非常重要而又非常困難的問題，過去一直沒有得到徹底的解決。此外，關於鉻鐵礦的工業類型的分析法以及與鉻鐵礦在成因上有關的超基性岩中鉻及鎳的分析方法等，直到目前為止一般所用的方法，在操作方面是相當繁雜的。而且為了進行礦床的評價與勘探，分析的礦樣數目往往是很大的，這樣就有必要研究快速而節省費用的分析方法。此次由中國科學院地質研究所郭承基及鍾志成等同志創用了一種新方法，即“磷酸溶礦法”，用這種方法解決了與鉻鐵礦分析方面有關的一部分關鍵性的問題。同時對於：（1）岩石及礦物中亞鐵的測定；（2）鐵礦中亞鐵與全鐵的快速分析；（3）鈮鉭礦等鉍鉍酸鹽礦物中四價鈮與六價鈮的快速測定；（4）游离石英的物相分析；（5）矽酸錳礦（蕃薇輝石等）中錳的快速分析；（6）岩石及礦物中鈦的比色測定；（7）稀土元素礦物中鈰的快速分析；（8）鈮（鉍）鐵礦中亞鐵與錳的連續測定以及（9）三十餘種元素在野外的簡便定性分析法等也進行了試驗。

就总的方面來看，這種方法的主要特點是：不僅在分析時間上較過去所用的方法大為縮短，適于大批分析，而且有些在所用的試劑方面（例如亞鐵的測定）對於每一個礦樣的分析成本，可以降低百分之二十五以上。此外，對於今後磷酸絡合物的研究提供了一條新的途徑。

磷酸在岩礦分析及礦物鑑定上的應用，將隨着今后的研究而推廣到其他元素的定性與定量分析方面。同時過去認為不溶于酸的礦物，差不多都可以用磷酸來溶解，所以作為一種溶劑及礦化劑來說，在高溫高壓的狀態下，磷酸在成礦方面所起的作用，可能比我們現在所想像的要重要的多。因此關於磷的地球化學性質的研究，是值得加以考慮的問題。

本書由楊開慶，柴靈璧二同志校訂。

目 錄

一、序言.....	5
二、鉻的地球化学特性.....	9
三、鉻鉄礦.....	11
四、鉻鉄礦的分析方法.....	16
五、超基性岩中鉻的快速分析法.....	40
六、鉻鉄礦的化学組成.....	44
七、結論.....	47

說 明

鉻鐵礦礦物种类的鑑定，直接关系着鉻鐵礦的選礦及冶煉等問題；而在鑑定鉻鐵礦時，要求正确地測定其中亞鐵的含量。過去一般測定岩石及礦物中的亞鐵時所用的方法，對於鉻鐵礦來說都是很難適用的。所以如何准确地測定鉻鐵礦中的亞鐵，是一個非常重要而又非常困難的問題，過去一直沒有得到澈底的解決。此外，關於鉻鐵礦的工業类型的分析法以及與鉻鐵礦在成因上有关的超基性岩中鉻及鎳的分析方法等，直到目前為止一般所用的方法，在操作方面是相当繁雜的。而且為了進行礦床的評價與勘探，分析的礦樣數目往往是很大的，這樣就有必要研究快速而節省費用的分析方法。此次由中國科學院地質研究所郭承基及鍾志成等同志創用了一種新方法，即“磷酸溶礦法”，用這種方法解決了與鉻鐵礦分析方面有关的一部分關鍵性的問題。同時對於：（1）岩石及礦物中亞鐵的測定；（2）鐵礦中亞鐵與全鐵的快速分析；（3）鈷鉭礦等鉍鉍酸鹽礦物中四價鈷與六價鉍的快速測定；（4）游离石英的物相分析；（5）矽酸錳礦（蔷薇輝石等）中錳的快速分析；（6）岩石及礦物中鈦的比色測定；（7）稀土元素礦物中鈾的快速分析；（8）鈷（鉍）鐵礦中亞鐵與錳的連續測定以及（9）三十余种元素在野外的簡便定性分析法等也進行了試驗。

就总的方面來看，這種方法的主要特点是：不僅在分析時間上較過去所用的方法大為縮短，适于大批分析，而且有些在所用的試劑方面（例如亞鐵的測定）對於每一個礦樣的分析成本，可以降低百分之二十五以上。此外，對於今後磷酸絡合物的研究提供了一條新的途徑。

磷酸在岩礦分析及礦物鑑定上的應用，將隨着今后的研究而推廣到其他元素的定性與定量分析方面。同時過去認為不溶于酸的礦物，差不多都可以用磷酸來溶解，所以作為一種溶劑及礦化劑來說，在高溫高壓的狀態下，磷酸在成礦方面所起的作用，可能比我們現在所想像的要重要的多。因此關於磷的地球化學性質的研究，是值得加以考慮的問題。

本書由楊開慶，榮靈璧二同志校訂。

一、序 言

鉻鐵礦為鉻元素的唯一主要來源，按照工業上的分類，鉻與鐵和錳統稱為黑色金屬。由於鉻為金屬中非常穩定的元素，所以當其他的金屬經過鍍鉻後，即能防止腐蝕。例如鉻鐵合金可以增加鐵的穩定性，冶煉成不銹鋼，為國防工業以及機器工業方面所不可缺少的重要原料。在耐火材料及化學工業方面，鉻鐵礦也占有相當重要的地位。近年來在蘇聯更發展了新的用途，例如把鉻鋁合金用作無線電工業方面的器材，鐵、鋁、鉻的合金用於熔鑄新型鋼及電熱材料等。所以關於鉻鐵礦的勘探與研究，直接關係着祖國的大規模的經濟建設，是我們地質工作者的重要任務之一。

關於鉻鐵礦的研究工作應該加強室內與野外的聯繫。就大地構造、超基性岩體（分布、時代、性質、化學成分、礦物組成及分異作用等）、圍岩、鉻尖晶石類礦物（物理性質、化學組成及工業類型）以及元素的共生關係等進行系統的集體研究工作。唯有這樣，我們才有可能根據比較全面的事實來判斷某一礦床的經濟價值，而減少或消除工作中的盲目性。

在本書中所涉及的問題，主要是關於鉻鐵礦的化學分析的一方面，至於有關鉻鐵礦的礦床類型、工業評價等問題，可另外參考其他專著。

為了研究鉻鐵礦的化學組成和決定它的工業類型，化學分析是不可避免的。就鉻鐵礦來說，它在工作上的用途主要決定於 Cr_2O_3 與 FeO （全部鐵換算為 FeO ）的比值，在化學分析方面，要求快和準確。至於鉻鐵礦化學組成的研究，除了進行各種元素的全分析以外，還必須分別測定其中二價鉻

与三价铁的含量。

我們在各种礦物溶解試驗的过程中，發現磷酸在高温时是現在已知的最強溶剂，甚而至于在硫酸与氫氟酸的混合酸以及王水中不溶解的礦物，用磷酸可以很快地把它溶解。大多数过去認為“不溶于酸”的礦物，如某些氧化礦物、矽酸鹽类礦物，鈦鉍鉬酸鹽礦物以及硫酸鹽类礦物等都可以用磷酸來溶解，这样就为各种元素的快速分析法，提供了有利的条件。而且更重要的是由于磷酸与焦磷酸絡合物的特性（特有的顏色、退色以及穩定性等），使我們能夠很容易地進行許多种元素的定性、定量、某些元素在礦物或化合物中的存在状态以及比色分析等。

过去在岩石和礦物的分析方面，很少把磷酸当作溶剂來使用，其中比較主要的可以举出：（1）謝尼曾經在1937年应用磷酸及硫酸的混合酸將鉻鉄礦溶解后，測定其中的亞鉄（Шенный, A.B., Zavodskaya Lab. 6, 1937）；考腦皮基氏在1939年曾經应用磷酸溶解鉻鉄礦后測定其中的亞鉄（Konopicky, K., and Caesar, F., Ber. deut. keram Ges., 20, 362, 1939）。此外謝尼也曾經用磷酸溶礦法測定錳礦（主要是硬錳礦、軟錳礦等）中的錳。

作者等由另外一种角度，初步地研究了磷酸在定性及定量分析方面的应用。其中主要包括：（1）鉻鉄礦中亞鉄的測定法；（2）岩石及礦物中亞鉄的測定法；（3）鉻鉄礦中亞鉄与鉻的連續測定法；（4）鉻鉄礦工業类型的快速分析法；（5）岩石及礦物中微量鉻的快速分析法；（6）超基性岩中鉻的快速測定法；（7）超基性岩中鎳的快速分析法；（8）岩石及礦物中鈦的快速分析法；（9）鉄礦中亞鉄与全鉄的連續測定法；（10）鈷鉭礦等鉍鉬酸鹽礦物中

四价鈾与六价鈾的連續測定法；（11）游离石英的物相分析法；（12）鈦磁鉄礦中鈾的快速分析法；（13）鈾鉄礦及鉬鉄礦中亞鉄与錳的連續測定法；（14）鈾鈷礦等中鉛的快速測定法；（15）一百多种礦物的溶解試驗；（16）三十余种元素和酸根的簡便鑑定法等。

关于鉻鉄礦中亞鉄的測定，过去多用硫酸在耐压管中加热溶解的方法，但是这种方法缺点很多，主要为：（1）操作不便而且不适于大批礦样的分析；（2）需要時間太長，工作效率低；（3）礦物有时很难全部溶解，影响測定結果。

A. B. 謝尼的磷、硫混合酸-五氧化二鈾法其溶礦操作虽然容易掌握，但其主要缺点为：（1）存在有系統誤差；（2）溶礦过程中發出大量的硫酸白烟。为了克服这些困难，在測定方法試驗的过程中，發現磷酸为最有效的溶剂，而且礦样溶解以后所有的元素形成溶液（可溶性的絡合物，如矽、鉍及鉬等），磷酸本身在高温时沒有氧化或还原現象。但現在市面上所出售的磷酸，或多或少地存在有少量的硝酸和硫酸，因而使測定結果發生誤差。最后作者改用了磷酸-五氧化二鈾法，本方法的优点是操作簡便，結果正确，而且适于大批礦样的分析。其他岩石及礦物中亞鉄的測定，过去一般多采用硫酸与氢氟酸溶礦的方法，而这种方法的主要缺点是：（1）氢氟酸的价錢較貴；（2）必須使用白金仪器；（3）發生有毒气体等。所以作者在測定其他岩石及礦物中的亞鉄时，也都改用了磷酸溶礦的方法。为了進一步提高工作效率，还利用測定完亞鉄后的溶液，進行了其他元素的分析，例如測定完鉻鉄礦中的亞鉄后，就利用同一溶液進行鉻的測定；測定完磁鉄礦中的亞鉄后，隨即進行全鉄及鈦的測定；測定完鈾（鉬）鉄礦中的亞鉄后，就可進行游离石英与

錳的測定等。这样可以省略大部分的操作手續。尤其对于鉻鉄礦工業类型的決定方面，提供了快速的分析方法。

与鉻鉄礦在成因上有非常密切关系的超基性岩中微量鉻和鎳的分析，具有特殊的意义。假如用过去的方法進行分析时，不可避免地要投入相当大量的人力与物力。所以在这一方面也改用了磷酸溶礦的方法，省掉了許多繁雜的操作手續。

在鈾礦分析方面，也進行了一部分关于鈾的定性及定量的分析試驗，現在可以利用磷酸，檢查出礦物或礦石中是否含有鈾，假如其中有鈾存在，还可以進一步大致決定其為四价鈾或六价鈾。另外也利用磷酸解决了瀝青鈾礦等礦物中四价鈾与全鈾的連續測定問題，以及各种鉍鉍酸鹽鈾礦中四价鈾与全鈾的快速分析法。

矽酸錳礦（例如薔薇輝石）中錳的測定以及岩石和礦物中鈦的測定等，应用磷酸溶礦的方法，也都可以節省很多的時間。

根据野外地質勘察工作上的需要，同时考慮野外的的工作条件，应用磷酸溶礦的方法，進行了一部分元素的定性分析試驗。目前已經有數十种元素可以用磷酸溶礦的方法很容易地檢查出來，而且有时还可以決定某些元素在礦物中的存在状态。

如上所述，我們虽然在兩年多的時間內，根据工作上的需要，在陈毓蔚、蔣鳳亮、王守信、李靜嫻及周如春等同志的積極參加下，進行了一些关于磷酸在岩礦分析方面的研究工作，但这僅僅不过是工作的开始，更重要的如磷酸在成礦方面的作用，以及应用磷酸溶礦的方法進行金屬、鋼材的分析和礦物的物相分析等，还没有進行。現在綜合各种情况來判斷，在分析化学的領域內，大多数的元素可以利用磷酸的

非常強的溶解能力以及磷酸與焦磷酸絡合物的特性等來進行快速而準確的測定。在本書中所介紹的方法只是與鉻鐵礦有關的一部分，其他試驗的結果將另外介紹。

在本書的初版中，關於分析方法方面，敘述不夠詳盡，對於實際進行這項工作的同志們，感到很大的不便。所以在這次再版時，尽可能地克服了這一缺點，同時在內容方面也增加了一些，以供各方面工作的同志們的參考。另外，作者願意指出，任何比較完善的分析方法，都需要自己去親自試驗，通過多次的試驗去掌握某種方法的關鍵，否則是不會成功的。

總之，磷酸的研究工作，現在還沒有脫離感性認識的階段，其中有好些重要的問題尚待解決。同時在我們已經進行過的工作中，也難免存在一些缺點和錯誤，將在今後的試驗過程中，不斷的加以改進。作者更希望同志們提出寶貴的批評與指正。

二、鉻的地球化學特性

鉻(Cr)在地殼內的存在量(重量百分比)為0.035%，其在火成岩中的平均含量為200克/噸，較鉀為少(1000克/噸)，較鈉為多(150克/噸)。鉻一般為親石元素，但是氧化還原電位對於鉻的分佈，有非常重要的意義。所以當沒有氧存在或存在的氧在數量上不足以氧化全部的鉻時，它才呈現顯著的親銅性，而普通岩漿硫化物中鉻的平均含量只不過為0.02克/噸。在許多方面，鉻與鐵的地球化學性質類似，所以查瓦里茨基在共生元素的分類中，把它歸入鐵組一類。

鉻主要在岩漿分異過程中的初期晶出，即於高溫高壓下生成鉻鐵礦等礦物。尤其在超基性岩中，鉻的含量特別丰

富，例如純橄欖岩中鉻的含量為3400克/噸。此外鉻鐵礦常產于橄欖岩、輝岩、橄欖輝石岩及滑石片岩中。與鉻有共生關係的元素，如Mg、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、Al及Ti等，在各種火成岩中含量變化的變化，如表1所示：

表1

元素 \ 岩類	超基性岩	基性岩	中性岩	酸性岩
Cr	多(鉻鐵礦)	少(鉻鐵礦)	稀	無
Fe^{2+}	多 { 橄欖石 鉻鐵礦 }	多 { 輝石 鈦鐵礦 }	中 { 角閃石 磁鐵礦 }	少(黑雲母)
Fe^{3+}	中 { 磁鐵礦 鉻鐵礦 }	多 { 輝石 磁鐵礦 }	中 { 角閃石 磁鐵礦 }	少 { 磁赤鐵礦 赤鐵礦 }
Mg	多 { 橄欖石 鉻鐵礦 }	中(輝石)		
Al	少(鉻鐵礦)	中 { 斜長石 輝石 }	多 { 斜長石 剛玉 }	中(長石)
Ti	少	多 { 鈦鐵礦 鈦輝石 }	中(鈦鐵礦)	少 { 鈦鐵礦 金紅石 }

與造山運動同時活動的超基性岩漿，由元素的共生關係來看，鎂的含量遠大於鐵，同時鉻及鎳的含量大，磷及鈦的含量則較少。假如，有斜長石存在時，其中鈣的含量大於鉀及鈉，這是超基性岩初期分化物的一般關係。在中期分化物中，Mg/Fe的比值較初期為小，鉻與鎳的含量也較少，鈦與磷則相當豐富。鈦除存在於一般的共生礦物中外，並形成少量的鈦鐵礦及榍石等，磷則生成磷灰石。到超基性岩分異作用的末期，Mg/Fe的比值更小，同時鉻及鎳的含量也更少；相反地，鈦與磷則非常豐富，生成大量的鈦鐵礦，榍石及磷灰石等礦物。所以就全體的含量來說，雖然大部分的鉻在超

基性岩的分異作用的初期階段晶出，而一般多成細粒狀結晶分散于岩石中，只有少量的鉻由于分異作用后期的揮發性成分，在殘漿內集中而形成具有工業價值的鉻鐵礦礦床。

一般鉻多集中于富于鎂橄欖石的超基性岩中，而在鐵橄欖石中則含量較少，此可能為在高溫的狀態下， Fe^{3+} 不容易被 Cr^{3+} 所置換的緣故。在矽酸鹽類礦物中， Cr^{3+} 置換其他金屬元素生成鉻柘榴石、鉻透輝石、鉻綠帘石及鉻雲母等，這些礦物僅僅在其生成時，有充分的鉻存在才有可能。

如上所述，鉻在岩漿礦床中形成三價的氧化物（如鉻尖晶石），或矽酸鹽類礦物。而在次生礦物中，鉻本身則形成六價的陰離子 $[\text{CrO}_4]^{2-}$ ，如鉻酸鉛礦等。

三、鉻 鐵 礦

在礦物學上，把一群可以用 $\text{R}^{\text{II}}\text{R}^{\text{III}}_2\text{O}_4$ 的化學式表示的礦物，稱為尖晶石。尖晶石類礦物分為以下三組：（1）鋁尖晶石 $\text{R}^{\text{II}}\text{Al}_2\text{O}_4$ ；（2）鐵尖晶石 $\text{R}^{\text{II}}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ；（3）鉻尖晶石 $\text{R}^{\text{II}}\text{Cr}_2\text{O}_4$ 。

鉻鐵礦為鉻尖晶石類礦物的總稱，由 x-射綫的研究，知道尖晶石類礦物為復氧化物，而不是鋁酸鹽、鐵酸鹽及鉻酸鹽。因鉻尖晶石類礦物形成類質同像體，所以有類似的或漸變的物理及化學性質。結晶皆為等軸晶系六八面體， $a_0 = 8.103 \sim 8.35 \text{ \AA}$ ，單位晶格中所含的原子數皆相等（三價元素 Cr ， Fe^{3+} 及 Al 為 16，二價元素 Mg 及 Fe^{2+} 為 8）。其化學組成可以 $\text{R}^{\text{II}}\text{O}$ 、 $\text{R}^{\text{III}}_2\text{O}_3$ 的一般式來表示。 R^{II} 主要為 Mg ($0.78 \text{ \AA}$) 及 Fe^{2+} ($0.83 \text{ \AA}$)， R^{III} 為 Al ($0.57 \text{ \AA}$)、 Cr^{3+} ($0.64 \text{ \AA}$) 及 Fe^{3+} ($0.67 \text{ \AA}$)。因 Mg 與 Fe^{2+} ， Cr^{3+} 與 Al 及 Fe^{3+} 各形成

离子同形系列，即离子半徑互相类似，所以在鉻鉄礦的結晶期內，等价的元素彼此以各种不同的比例互相代替，并由于代替量的不同，鉻鉄礦的物理性質（比重、折光率及磁性等）及結晶性質（單位晶格的大小等）也發生对应的变化。但由于变化很小，同时影响这些变化的因素比較复雜，所以关于鉻鉄礦的詳細鑑定，除由化学分析的方法决定其化学組成外，現在还没有适当的可供鑑定的物理方法。例如用 x -射綫的方法檢查鉻鉄礦时，在含 Cr^{3+} 及 Fe^{3+} 很少的种类中，其單位晶格的边長为 $a_0 = 8.103 \text{ \AA}$ ，当 Cr^{3+} 增加时， a_0 可以增加到 $8.3 \text{ \AA}$ 以上，而当 Fe^{3+} 增加时， a_0 可达 $8.4 \text{ \AA}$ 。如此，其变化的范围既小，同时 a 随 Fe^{3+} 及 Cr^{3+} 含量的增加而增加，所以由 x -射綫的研究不能詳細鑑定鉻鉄礦的种类。其他的物理性質，同样也是很难利用的。例如关于鉻鉄礦的顏色僅僅知道当鉄的含量高时，变为完全不透明，同时磁性較強，但是这些事实并没有定量的意义，对于鉻鉄礦的鑑定來說，当然不可能成为决定性的因素。直到現在为止，关于比重、折光率与鉻鉄礦的成分上的对应关系，还缺少系統的、精密的研究，因此这些性質还不能用來有效地鑑定鉻鉄礦的礦物种类。至于鉻鉄礦工業类型的决定，当然除了采用化学的分析方法外，尚沒有任何簡便的办法。

鉻尖晶石类礦物种类的鑑定，不僅在礦物及礦床成因的研究上有其重要的意义，同时对于解决机械选礦的問題也是非常重要的。其次关于鉻尖晶石类礦物的分类，一直到現在可以說还没有得到合理的解决。过去虽然有許多学者曾經提出过数种的分类法，但都缺乏实践的意义，而且其中大多数是与事实不相符合的。在1948年，由索科罗夫（Г.А. Сокolов）提出的分类法，事实上比較是最詳盡而合理的。这种

分类法是根据铬铁矿中的五种主要成分 (MgO 、 FeO 、 Cr_2O_3 、 Al_2O_3 及 Fe_2O_3) 的分子百分比而分类的。 $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \frac{1}{2}\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的分子百分比大于 29.2% 或与 Al_2O_3 的分子比小于 8.33% 者称之为“铬铁矿”， $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \frac{1}{2}\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的分子百分比小于 29.2% 而大于 12.5% 或 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 及 Fe_2O_3 的分子百分比皆大于 8.33% 者称之为“铬尖晶石”， $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \frac{1}{2}\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的分子百分比小于 12.5% 者称之为“尖晶石”。再按 Fe_2O_3 、 FeO 及 MgO 的分子百分比的大小，分别加以“铁”、“富铁”、“亚铁”及“镁”等字头，秩序井然，不仅便于记忆，而且观其名可概略推知其化学成分上的特征。

这种分类法如表 2 所示：

关于铬铁矿中主要成分 (MgO 、 FeO 、 Cr_2O_3 、 Fe_2O_3 及 Al_2O_3) 上的变化，就总的趋势来看，一般有以下的关系：

- (1) Cr_2O_3 与 Al_2O_3 大致有相反的消长关系；
- (2) Cr_2O_3 与 MgO 大致有相同的消长关系；
- (3) Al_2O_3 与 Fe_2O_3 有明显的相反的消长关系；
- (4) MgO 与 FeO 有明显的相反的消长关系；

以上的关系一方面可以由铬铁矿中等价离子的彼此置换而得到解释，在另一方面也可以用来推论铬铁矿生成当时的岩浆成分。因为岩浆成分上的差异不仅直接影响到铬铁矿的质量，同时也指示岩浆分异作用所代表的阶段。这样对于铬铁矿成矿规律的研究或在推论是否可能生成大规模的矿床时，可以提供一部分有力的证据。当然铬铁矿的能否集中而形成具有工业价值的矿床，除了岩浆成分的因素外，还受着其他条件，如大地构造、围岩及结晶当时的物理化学环境等的限制，所以有必要从多方面来进行研究。在元素共生关系研究的范围内，应该从铬铁矿及与其在成因上彼此有关的岩

铬尖晶石类

$Cr_2O_3 + \frac{1}{2}Fe_2O_3$	Fe_2O_3	MgO 0~12.5% FeO 50~37.5%
50.0~37.5%	由3.0到0%	铁铬铁矿 $FeCr_2O_4$
27.5~29.2%		铁铝铬铁矿 $Fe(Cr, Al)_2O_4$
29.2~20.8%		铁铬尖晶石 $Fe(Cr, Al)_2O_4$
20.8~12.5%		铁铝铬尖晶石 $Fe(Cr, Al)_2O_4$
12.5~0 %		铁尖晶石 $FeAl_2O_4$
50.0~37.5%	由3.0到8.33%	富铁铁铬铁矿
37.5~29.2%		富铁铁铝铬铁矿
29.2~20.8%		富铁铁铬尖晶石
20.8~12.5%		富铁铁铝铬尖晶石
12.5~0 %		富铁铁尖晶石
Al_2O_3 由0到8.33% $Cr_2O_3 + \frac{1}{2}Fe_2O_3$ 由 12.5到50%		双铁铬铁矿 $Fe(Cr, Fe)_2O_4$
Al_2O_3 } 皆大于8.33% Cr_2O_3 } Fe_2O_3 }		双铁铬尖晶石 $Fe(Cr, Al, Fe)_2O_4$

礦物的分類(分子百分比)

表 2

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%
鉻鐵礦(Mg, Fe)Cr ₂ O ₄		鎂鉻鐵礦MgCr ₂ O ₄
鉀鉻鐵礦	鐵鉻鐵礦	
鉍鉻鐵礦(Mg, Fe)(Cr, Al) ₂ O ₄		鎂鉍鉻鐵礦 Mg(Cr, Al) ₂ O ₄
鉀鉍鉻鐵礦	鐵鉍鉻鐵礦	
鉻尖晶石(Mg, Fe)(Cr, Al) ₂ O ₄		鎂鉻尖晶石 Mg(Cr, Al) ₂ O ₄
鉀鉻尖晶石	鐵鉻尖晶石	
鉍鉻尖晶石(Mg, Fe)(Al, Cr) ₂ O ₄		鎂鉍鉻尖晶石 Mg(Cr, Al) ₂ O ₄
鉀鉍鉻尖晶石	鐵鉍鉻尖晶石	
尖晶石(Mg, Fe)Al ₂ O ₄		鎂尖晶石MgAl ₂ O ₄
鉀尖晶石	鐵尖晶石	
富鉻鉻鐵礦		富鉻鎂鉻鐵礦
鉀富鉻鉻鐵礦	鐵富鉻鉻鐵礦	
富鉻鉍鉻鐵礦		富鉻鎂鉍鉻鐵礦
鉀富鉻鉍鉻鐵礦	鐵富鉻鉍鉻鐵礦	
富鉻鉻尖晶石		富鉻鎂鉻尖晶石
鉀富鉻鉻尖晶石	鐵富鉻鉻尖晶石	
富鉻鉍鉻尖晶石		富鉻鎂鉍鉻尖晶石
鉀富鉻鉍鉻尖晶石	鐵富鉻鉍鉻尖晶石	
富鉻尖晶石		富鉻鎂尖晶石
鉀富鉻尖晶石	鐵富鉻尖晶石	
高鉻鉻鐵礦(Mg, Fe)(Cr, Fe) ₂ O ₄		鎂高鉻鉻鐵礦 Mg(Cr, Fe) ₂ O ₄
高鉻鉻尖晶石(Mg, Fe)(Cr, Fe, Al) ₂ O ₄		鎂高鉻鉻尖晶石 Mg(Cr, Al, Fe) ₂ O ₄