

礦石和礦物 光譜譜片解說

英迪欽科著

地質出版社

礦石和礦物 光譜譜片解說

英 迪 欽 科

地質出版社

1956·北京

Л. Н. Индиченко
РАСШИФРОВКА СПЕКТРОГРАММ
РУД И МИНЕРАЛОВ

Госгеоиздат 1951

本書主要供在礫石和礦物中分析檢定微量元素之用。由中央有色金屬工業綜合研究所孫振生譯，周鴻吉校，張培善校。

礦石和礦物光譜譜片解說

93,000字

著者	英迪欽科
譯者	孫振生
出版者	地質出版社
北京宣武門外永光寺西街3號	
北京市書刊出版業營業許可證出字第004號	
發行者	新華書店
印刷者	天津人民印刷廠

印數(京)1301—2510冊 一九五五年十月北京第一版

定價(10)2.14元 一九五六年八月第二次印刷

開本31"×43¹¹/₁₆ 印張4¹/₁₆ 插頁2附圖15張

礦石和礦物 光譜譜片解說

英 迪 欽 科

地質出版社

1956·北京

Л. Н. Индиченко
РАСШИФРОВКА СПЕКТРОГРАММ
РУД И МИНЕРАЛОВ

Госгеолыздат 1951

本書主要供在礦石和礦物中分析檢定微量元素之用。由中央有色金屬工業綜合研究所孫振生譯，周鴻古校，張培善校。

礦石和礦物光譜譜片解說 93,000字

著者	英迪欽科
譯者	孫振生
出版者	地質出版社
	北京宣武門外永光寺西街3號
	北京市書刊出版業營業許可証出字第045號
發行者	新華書店
印刷者	天津人民印刷廠

印數(京)1301—2310冊 一九五五年十月北京第一版
 定價(10)2.14元 一九五六年八月第二次印刷
 開本31"×43¹/₂" 印張4¹/₁₆ 插頁2附圖15張

目 錄

譯者的幾句話.....	4
前言.....	8
對解釋譜片用參考資料的簡評.....	9
本資料的內容.....	11
光譜圖的說明.....	11
解釋譜片的操作程序.....	14
元素“干擾”譜綫綜合表的說明.....	14
“干擾”元素譜綫波長表.....	54
“干擾”綫綜合表.....	89
元素分析綫的強度對照表.....	92
元素最後綫波長表（以波長降冪順序排列）.....	98
表 1 ——元素分析綫與檢查綫表.....	101
表 2 ——“干擾”分析綫的元素譜綫表（插圖）	
表 3 ——“干擾”檢查綫的元素譜綫表（插圖）	
參考文獻.....	103
元素表.....	104
附錄：光譜譜綫圖片（共15張）	

譯者的幾句話

近幾年來光譜分析事業在我國隨着生產發展的要求已經逐漸地成長起來了。可是有關光譜分析的參考資料倍感缺乏，尤其是有關礦石及礦物光譜分析方面，除魯薩諾夫(А.К. Русанов)著“礦物及礦石光譜分析”(1948)及英迪欽科(Л.Н. Индиченко)著“礦石及礦物光譜譜片解說”(1951)二本書外，沒有比較更實際、更適用、更完整、更系統的參考文獻了。

中國科學院郭沫若院長說：“學習蘇聯——這是坦陳在我們面前的大道，而且是最平直，最捷近，最寬闊的平坦大道”。

我們要結合着國家當前工作任務的需要，認真地學習蘇聯的先進經驗，邊學習邊實踐，把我們的工作做得更好，以便能夠早日過渡到社會主義社會。

根據以上所述原因，引起我們譯出這本書的動機。

本書係蘇聯國立地質書籍出版社1951年出版的“Расшифровка спектрограмм руд и минералов”一書譯出，原著者英迪欽科(Л.Н. Индиченко)。

此書對於複雜的礦石及礦物的微量成分的分析檢定是極其有幫助的。書中共介紹了四十餘種主要元素的研究結果，內容豐富，不但對於初次從事光譜研究工作者，或者不甚富有經驗的光譜工作者，能使其迅速地掌握更豐富的光譜分析知識，而且對於富有經驗的工作者當解釋複雜的微量之多綫光譜時也是有很大的參考價值。尤其對於光譜快速分析工作提供出極其優越的參考資料。我們在實踐中深深体会到蘇聯先進經驗所起到的作用和意義。現在略舉一二例如下：

A. 檢定鎂元素。

在本文中敘述到：“鎂的最靈敏的分析綫為2832.1。可是應該注意到這條綫的位置接近於鐵綫，在鎂含量低而鐵含量高的情況下，鎂綫可能被鐵綫所掩蓋。為了檢定，可以利用鎂綫2795.5，但是此綫同樣也與鐵綫相重合”。

在 А.Н. Дайдель 等著的波長中指示出在 Mg 2852.129(300R)的兩側附近共有以下的幾條鐵綫:

波長 Å	電弧强度
I 2852.958	6
2852.35	2
2852.13	150
2852.129 Mg	300R
I 2851.798	230
2851.50	5

當我們利用 ПС—39 型電弧發生器工作時, Fe 2852.35 及 Fe 2852.13 鐵綫都不出現, 鎂綫與鐵綫 2851.798 相近。如在被分析試樣中鎂含量低, 鐵含量高, 這條鎂綫就被鐵綫所掩蓋。相反地當鎂含量高, 鐵含量低微時鎂綫就掩蓋了鐵綫。在一般的礦石或礦物中鎂的含量都相當高。但是有時在試樣中有微量鐵存在, 而鎂的含量也很低, 那麼在檢定時就比較困難了。根據英迪欽科的經驗指示, 基本上依以下三個原則來確定在試料中是否有鎂存在。

(1) 首先檢查 Mg 2852.129。

如此綫不出現, 可以肯定地認為在被分析試樣中不含有鎂; 或者即是有鎂存在, 而其含量必然低於 0.0001%。

如此綫出現了, 則必須注意是不是鐵綫, 進行比較 Fe 2851.798 (200) 及 Fe 2843.973 (300) 間的相對強度關係; 如 Fe 2843.973 沒有出現, 則此綫就可能是鎂綫了。如 Fe 2843.973 也出現了, 那就需要嚴格地考慮到它們之間的相對強度, 然後判定鎂是否可能存在。

(2) 檢查 2795.53。

此綫為鎂的次靈敏綫, 同樣的也被鐵綫所干擾了, 位於 Fe 2795.544 I (90) 及 Fe 2795.007 I (50) 之間, 但實際上與前一條鐵綫相重合。

倘若 (1) 出現了, 方才有檢查 (2) 之必要。

當鎂含量高時, 以上三條綫合併成為一條綫。如在試料中, 鐵鎂

的含量都不太高，則必須比較鉄譜綫間的相對強度。

(3) 檢查 2832.7。

在進行分析時，若以上兩條鎂綫確實被鉄綫所干擾，並經過鉄譜綫的相對強度對照比較後，還是不能作出十分可靠的決定時，我們建議利用此綫進行檢查。

這條綫為鎂的次靈敏綫，除試料中含有高量鉛或鋅，如閃鋅礦、方鉛礦、煉鋅、電鉛等等有些干擾外，一般不受干擾，比較清晰明顯，可以用來測定鉄礦、爐渣及生鉄等中的鎂。

根據以上所述，我們認為只要掌握着這三個原則，就可以檢定試樣中的鎂。不但迅速簡便，而且也不致作出不正確的分析結果。不然，很可能就把鉄綫誤認為是鎂綫，或者也可能把鎂綫誤認為是鉄綫，因而作出了錯誤的結果。

B. 檢定鎢元素。

鎢的最靈敏綫是 2944.3 及 2946.9。這兩條綫的靈敏度相近似，只不過是第一條綫被鉄綫所干擾。當進行分析時如只有 2944.3 出現，則可以肯定地認為在被分析的試樣中沒有鎢存在。如果以上兩條綫都出現了，可是比較弱些，則必需檢查鎢綫 2724.3 及 2896.0, 2896.4，但這些綫的靈敏度都比較低些。

在分析礦石或礦物時，在試樣中有很多機會都含有鉄；如鎢礦、鎢錫礦以及鉬礦等，應當倍加留意。

如分析東北鎢礦時，2944.3 被鉄綫所掩蓋了。其他幾條綫如 2724.3、2896.0 及 2896.4 都出現，但僅 2946.9 沒有出現。那麼我們就根據這個條件決定在試樣中鎢不存在，而其他四條綫都是其他元素的干擾綫。

以上兩個例子，都是將檢定後的試樣經過嚴格的化學分析對照，証明了檢定的結果是正確的。

僅由這兩個簡略的例子，我們完全体会到蘇聯的先進經驗是可貴的，給我們在工作中帶來了莫大的幫助。但尚須努力學習鑽研，以便進一步提高技術水平，充實經驗。希望本書能對從事光譜工作的同志們或多或少地提供一些參考和幫助。由於我們是初學，業務水平很

低，談不到什麼經驗。同時，俄文程度也很差，因而在翻譯上難免存在着許多的錯誤和缺點，希望同志們多多批評和指正。

在工作中蒙第一屆鋼鐵光譜訓練班一些同志的幫助和支持，特此表示感謝。

譯者 1954年8月於北京

前 言

近幾年來，當研究礦物的成分，尤其當急速需要查明其中是否含有微量雜質時，光譜分析獲得了日益廣泛的應用。

往往由於缺乏註有元素的特徵分析線的適當放大率的鈦光譜圖片，使在解釋譜片中發生了困難。尤其是當不同元素譜線的波長很相近時，解釋譜片頗為困難。

同時，無論在蘇聯或在其他國家，都沒有有一個有助於迅速解釋譜片的實際資料。這就促使了著者開始對本資料的編著。本書適用於蘇聯較廣泛應用的中等色散率攝譜儀（國產 ИСП—22 型及蔡斯 Цейс Q—24 型）並以電弧為光源的分析工作。

為了減輕實際工作，著者製訂了適當的圖片，同時，預先曾試驗了元素的某些譜線可算作為分析線，即在最微量時可出現的譜線。對 44 種主要元素進行了這種試驗（見表 2 及表 3）。至於其他元素的分析線，因著者手邊無適當的材料，故引自參考資料。元素的特徵分析線皆註明於以照相方法製出的鈦光譜圖片上。

為了確定“干擾”^①線，同樣進行了大規模的實驗工作。實驗的結果載於表 2，表 3 中。

絕對不能要求本資料作為光譜分析的指南。眾所周知的波羅維克（С.А. Боровик）和費利波夫（А.Н. Филиппов）[1,6]，曼傑爾什塔姆（С.Л. Мандельштам）[4]，魯薩諾夫（А.К. Русанов）[5]，沙依別（Г. Шейбе）[8]，等著作中皆敘述了光譜分析的方法。因此著者並不談分析方法的一些問題和專用術語，認為研究者對此早已知曉了。而著者的任務僅在於協助研究者迅速可靠地進行解釋譜片的實際工作。本資料首先適合於初次從事研究或經驗不甚豐富的研究者，但是對於熟練的工作者當解釋多線光譜物質的光譜圖片時，尤其是須測定其元

^① 所謂“干擾”線，即指另一元素的譜線在光譜圖片上的位置可能誤認為是其他元素的分析線。

素的微量成分時，本資料亦有參考的價值。

著者本身的工作經驗及蘇聯科學院地質研究所 (Институт геологических наук АН СССР) 實驗室作過實際光譜分析的許多科學工作者的經驗，証實了本圖片及解釋譜片的方法在快速工作方面確有很大的優越性。

對解釋譜片用參考資料的簡評

現時所有解釋譜片用的參考資料的主要組成部分為譜綫圖片。其製造原理如下。用某種方法製出在很大的波長範圍中造成大量光譜綫的鐵光譜圖，在這些圖片上註明其他元素譜綫的位置。解釋譜片的技術歸根於圖片與譜片的對照和在譜片上找出在圖片上註有的各種元素的特徵綫。

此種譜綫圖片是很多，但是它們只是有利於熟練的技術工作者，在圖片上沒有明顯地註出在實際工作中極主要的比較特徵的分析譜綫。此外，大部分的光譜圖片都未考慮到應用於中等色散率儀器。

茲簡單地討論一下最廣泛應用的一些光譜圖片：

1926年巴爾戴(Ж. Бардэ)著[9] 直到最近巴爾戴譜綫圖片還算解釋用中等色散率攝譜儀所拍攝的譜片的主要資料。該圖為各組元素共分幾組的圖片和所有元素的一綜合組的圖片，並包括有2500—3570Å的電弧光譜。圖片上註有每一個元素的很多譜綫，但沒有將解釋譜片所用的分析綫明顯註出。這就使分析工作者的工作複雜了。

1933年沙依別(Г. Шайбе)主編[18] 2300—9260Å鐵的電弧及火花光譜圖片。由於光譜圖的放大率較小，在強度大的鐵綫附近因黑霧很大，故歪曲了圖形，用其解釋譜片是較困難的。在鐵光譜綫上未註明其他元素的特徵分析綫，並缺少波長標尺。

1933年克路克(В. Крук)著[11] 光譜圖片適合於大色散率的儀器，包括有2800—3500Å和5000—5670Å的光譜部分。在圖片上註有31種元素的譜綫，並且為每一元素引用了很多譜綫，但是未分出主

要的。這樣就使工作者的工作複雜起來，尤其對初學者。

1936年廖維(Ф. Лёво)著[17] 該光譜圖片為鐵的火花光譜的個別部分，於此範圍註有各種元素的譜綫。利用附有波長表和照在鐵光譜附近的標尺可於光譜圖中找到各種元素譜綫的位置。由於光譜圖像很小，利用該光譜圖片工作時比較困難。

1937年加特萊爾(А. Геттэрер)和容克斯(Г. Юнкес)著[13] 光譜圖片包括2200—8000Å的電弧及火花光譜，適用於大色散率光譜儀器。譜片上註有30種元素的最後綫。這就限制了它的应用範圍。

1942年高斯列爾(В. Гесслер)著[14] 是用照相方法所製的鐵電弧和火花光譜圖片，包括2227—4555Å。在鐵光譜附近粗糙地註有標尺並用虛綫註明各種元素主要譜綫的位置。圖片上註有每一元素少數譜綫（只是主要的），這是與其他圖片本質上不同之處。因而在作大量分析時顯著地減輕了分析員的勞動力。但該圖片本質上的缺點是標尺粗糙，並缺少一圖片說明書。

1943年布羅德(В. Бродэ)著[10] 圖片包括2310—5090Å部分的電弧光譜。該圖片是反相（白色譜綫標在黑色背景上），因而鐵的弱綫即被掩蓋，並且很粗糙地註明有各種元素的大部的譜綫位置，使用該圖片不太方便。

1948年魯薩諾夫(А.К. Русанов)著[5] 光譜圖包括有2480—3500Å部分的電弧光譜。對研究礦物原料的光譜工作是極有價值的一部實際參考資料。該圖片是將用大色散率儀器攝取的乾板於放大映射儀上用放大的製法製成的。由於譜片是翻印，且色散率大，用此圖片與中型色散率儀器所攝取譜片相對照往往感到困難。

除以上所述各項著作外，還需要指出1939年在波羅維克教授指導下由本書著者所製訂的光譜圖片。該光譜圖片僅在外省的一些光譜試驗室曾应用過，並沒有印行出版。無論在其意圖和製訂技術上，都不能認為滿意。八張圖片包括2330—3500Å的光譜部分。鐵光譜的兩側皆註有其他元素的大量譜綫，其中的一些譜綫在日常工作中是不用的，它們只是使解釋工作困難起來了。

本資料的內容

開始此項工作時，著者首先認為必須檢查個別元素不同譜線的靈敏度和搞清其中當最低含量時可以出現的特徵綫。在解釋用中色散率的攝譜儀拍攝的譜片的實際工作中，往往由於各種元素譜綫的位置極相近，會產生一些困難，因而在工作中也就很易出錯。因此，為搞清所有影響研究礦物原料物質成分的分析工作的情况，進行了大規模的實驗工作。為了使“干擾”綫出現，我們採用了基體成分含量極高的礦物（即高於60—70%），僅在極端情况利用了人造物品——金屬及其鹽類。該項工作的主要部分為15張包括2330—5400Å各種元素分析綫的光譜圖。下列各表作為解釋譜片時必備之附錄。

未標誌出波長的元素“干擾”綫綜合表。

元素“干擾”綫的波長表（引用文獻材料[15]）。

表1載有元素分析綫和檢查綫的波長及圖片編號。

表2及3為元素“干擾”綫。

光譜圖的說明

在實際工作中將譜片與光譜圖片互相對照往往發生很大的困難，其主要原因是：

（1）用放大鏡或光譜映射儀映射譜片的放大率與圖片上譜綫的放大率大有出入。

（2）用照相方法擬製圖片時，強度大的譜綫附近有很大的黑霧，掩蓋了光譜圖形的真相。

（3）用劃圖方法擬製圖片時譜綫的相對強度不相符合。

為了避免上述的困難，本光譜圖是用照相方法儘量避免產生大的黑霧而擬製的。因而用此種方法製成的圖片極易與譜片對照。該圖片

的放大倍數為20倍。衆所周知，中色散率儀器所拍攝之譜片放大20倍後解釋起來極為方便。

爲了實際利用圖片方便起見，在製訂圖片時採取了下列步驟：鐵光譜的上面僅註有特徵綫（稱爲分析綫），建議首先用它解釋譜片。第二行註有被稱爲的檢查綫，如對所找出的分析綫有所懷疑時，可參考該檢查綫。最下一行註有高含量時出現的輔助綫。

某些譜綫屬中性或電離原子，不同著者於波長表中的說法不同。如 $2478.5\text{\AA}$ 鐵綫哈里遜(Гаррисон)[15]認爲中性原子譜綫，而凱澤爾(Кайзер)[16]將其屬於一次電離原子譜綫。同樣，譜綫的性質和自反綫亦有類似的情況： $2897.9\text{\AA}$ 鉍綫哈里遜[15]認爲是較寬的擴散綫，凱澤爾[16]標明了該綫爲最强的自反綫。

此外，不同著者引用不同的譜綫強度標度（見“分析綫強度對照表”）。按凱澤爾10級制，10級綫爲最靈敏的，強度最大的並且是分析綫。按哈里遜的波長表分出分析綫是比較困難的，因爲其中某些分析綫的強度以數千來表示之，同時，對另外一些元素，如Ga的最大強度爲10，Sc爲7。

所以譜綫相對強度僅能爲每單獨一個元素來對照比較，各種元素之間譜綫相對強度是不能對照比較的。這就提醒了著者於光譜圖片中不引用譜綫強度及其特徵，主要是不使經驗少的研究者誤入迷途。所有一些特徵皆載於正文（見92頁）。於圖片上僅註有元素符號及至 $0.1\text{\AA}$ 的波長。

由於長波部分缺少有代表性的鐵譜綫組，解釋譜片是比較困難的。在此部分爲了減輕工作最好與鐵光譜並列地引入一比較廣泛應用元素的混合物光譜，如：鈣，鋁，鉍，鋇，鉻，釩，及其他元素。

表1是元素的分析綫和檢查綫，表中註有64種元素主要譜綫的波長，並註有這些譜綫所在圖片的編號。

表2和3是爲圖片上註有的分析綫和檢查綫所編製的元素干擾綫綜合表。這些表格擬製的目的，是使我們能够在譜片上隨時看出由於譜綫波長甚近，哪些元素可能被誤認爲被分析元素。表中垂直位置爲被分析的元素，水平位置爲當解釋譜片時可能被誤認爲被分析元素的

分析線的某元素譜線。倘若某元素線不干擾被分析元素的分析線，則在方格子中標誌一橫線(“—”……譯者)；倘若某元素線可能被誤認為是被分析元素的分析線，則在方格子中標誌一個點(“·”……譯者)。因為某些元素具有着幾條分析線，所以在方格子中就相對地給出幾個標誌符號；在方格子中上端的符號為表示第一欄中記載的線，次一個符號表示第二欄中記載的線，如此類推。

例如測定鋇，在表2右側記載有二條分析線。在每一個方格子中相對地用二個符號來表明：上端的符號表示錫線 $2839.9\text{\AA}$ ，此線記錄在第一欄中，另一個符號表示錫線 $3175.0\text{\AA}$ 。依水平方向繼續可以看見鉍線，鐳線，鎂線，鈦線，釷線，鎳線以及鈾線都干擾錫線 $2839.9\text{\AA}$ ；鈷線，鉍線，鐳線，鉍線，碲線都干擾錫線 $3175.0\text{\AA}$ 。而只有鐳線同時干擾錫的二條分析線。因而，若有高成分的鐳存在時，則必須依檢查線進行補充檢查，並參考檢查線的“干擾”線綜合表，依以上所述同樣的手續進行分析。同樣應該採用這個表的說明。

綜合表的說明是必要的補充資料。在這個表裏指出了個別“干擾”線相對強度及其每條線對於被分析元素的相對的位置，但沒有指示出波長。波長另列一表。

當需要精確地用比長計測量波長時，元素“干擾”譜線波長表同樣也是有用。解釋光譜圖片的程序是決定於最合理的“拍攝”試樣的程序，當進行試樣燃燒時每一個試樣在感光板的二個地方相應地拍攝二條光譜。第一次曝光攝取第一條光譜，即裝有試樣的電極為陽極時。第二次曝光攝取第二條光譜，即裝有試樣的電極改為陰極。

這個試樣“攝譜”程序是在1927年波羅維克教授提供的，現今已被廣泛採用。他給出一個部分的可能性，即把往往在第一次曝光容易揮發的組份與具有第二次曝光特徵的難熔的組份區別開來。

解釋譜片的操作程序

1. 依表 1 找出圖片號碼，其上已標誌出該元素的分析綫。

2. 於圖片上找到標記着該元素分析綫的相對位置，並在研究的譜片上觀察這個相對位置。倘若在攝取的譜片的相對位置上沒有譜綫出現，則不含有該元素。倘若在攝取的譜片的相對位置上有符合於該元素的譜綫出現了，則須繼續進行檢查。

3. 依表 2 檢查哪一個元素具有位置相近的譜綫(“干擾”)。

4. 倘若有“干擾”綫，則應依“干擾”元素的分析綫檢查其是否存在，並還須依被分析元素的檢查綫檢查其是否存在，對於檢查綫應適當地利用元素“干擾”譜綫綜合表(表 3)。

例如測定磷。

表 1 指示出磷的分析綫載於圖片 № 3 ($\lambda 2553.2\text{\AA}$ 及 $2554.9\text{\AA}$) 上。在圖片上及感光板上找到這個區域。倘若在攝取的譜片上沒有出現這兩條磷綫，則應該認為在被分析的試樣中沒有磷存在。倘若在攝取的譜片上有譜綫出現了，尤其是這譜綫在第二次曝光內更加增強時，則應依表 2 查出有哪幾個元素可能干擾磷的分析綫。從這個表中可以知道僅有四個元素同時有二條綫，干擾磷的二條綫。其次參看第 36 頁上表中說明。由此得知，真正干擾磷的元素是鈷。其次應依鈷的分析綫檢查其是否存在。在圖片 № 3 上 ($\lambda 2534.0\text{\AA}$ 及 $2535.6\text{\AA}$) 按檢查綫測定磷是否存在。這兩條譜綫不被鈷綫所掩蓋。

元素“干擾”譜綫綜合表的說明

以下列出相適應於分析綫的“干擾”元素譜綫的位置。為了精確說明起見，本應當列出“干擾”元素譜綫的波長。但是稜鏡儀器對各個光譜部分具有不同的色散率；因而從紫外綫光譜部分到可見光譜部分波