

矿石物相分析

B.B. 多利伏-多布洛沃尔斯基 合著
Ю. Б. 克利門科

陈树元 唐肖玫 合译

冶金工业出版社

矿石物相分析

王德成 主编
地质部地质研究所 地质部地质研究所 地质部地质研究所
地质部地质研究所 地质部地质研究所 地质部地质研究所
地质部地质研究所 地质部地质研究所 地质部地质研究所

地质部地质研究所

礦石物相分析

B. B. 多利伏 - 多布洛沃尔斯基 合著
Ю. B. 克利門科

陈樹元 唐肖玫 合譯

冶金工业出版社

本書系根据苏联冶金出版社出版的、多利伏 - 多布洛沃尔斯基及克利門科所著《礦石物相分析》1947年版譯出。原書評閱者为 B. C. 綏罗柯姆斯基教授。

本書为各种有色及黑色金屬礦石化学物相分析的实际指南。除物相分析方法外，在本書中还討論了礦石取样，粒度分析，礦物比重分离及磁場分离諸問題，並列举了許多礦物的物理性質及化学性質。

本書主要供給物相分析試驗室的試驗人員使用，也供給从事研究有色及黑色金屬礦石的科学工作者、礦冶学院及中等專業学校的学生使用。

本書由陈樹元和唐肖玫翻譯，夏宗光、唐肖玫、陈樹元校对。

目 錄

原序	1
----	---

I. 總的部分

物相分析的任务, 意义及方法	3
礦石取样	11
粒度分析	31
礦物的比重分离	57
重液	57
礦物的重液分离	63
礦物在熔融鹽中分离	71
礦物的磁場分离	77
磁鉄	78
电磁鉄	79
戴氏管型磁选机	81
礦物的选择溶解	84

II. 專門部分

銅礦	99
銅礦物和銅礦石	99
硫化銅礦的物相分析方法	104
氧化銅礦的物相分析方法	107
組成复雜的銅礦的物相分析方法	108
銅礦物相分析的若干特殊情况	109
鉛礦	118
鋅礦	123
鋁土礦	129
錳礦	134
鈷礦	139

1468782

含鈷的硫化礦·····	139
含鈷的磁硫鐵礦·····	141
含鈷的氧化褐鐵礦·····	142
鉬礦·····	143
鎢礦·····	146
錫礦·····	149
砷礦·····	151
銻礦·····	154
鉍礦·····	156
汞礦·····	153
鐵礦·····	160
鐵礦物和鐵礦石·····	160
鐵礦的物相分析·····	161
鐵礦中的有害雜質和有用雜質·····	166
物相分析方法·····	166
錳礦·····	172
硫酸亞鐵還原法·····	174
草酸還原法·····	174
本生法·····	175
鉻礦·····	181
附錄·····	184
參考文獻·····	222

原 序

本書是有色及黑色金屬礦石化學物相分析的實際指南，其中完全沒有涉及到理論的問題。

編寫本書所引用的主要資料是有用礦物機械加工研究所（Механобр）的多年工作經驗，所列举的物相分析方法多半是該研究所對各種礦床的礦石進行一系列的工業評價工作時整理出來的。

雖然近年來對有用礦的物質成分的研究及其物相分析，在各工業部門中所起的作用越來越大，但至目前為止，無論在蘇聯文獻或國外的文獻中，還沒有任何一種物相分析的著作。而只在某些書籍或少數雜誌論文中能夠找到關於此類問題的極少資料。這種情況促使著者將本書出版，而本書也只歸納著者所擁有的資料，無論如何絕不奢望對問題做到全面的闡述。有很多類型礦石的物相分析方法均未能制出，另有許多類型的礦石，只能根據取個別礦床礦石所做的某些試驗，對其可能的工作方向提出見解，結果，只能對少數類型的礦石制定出物相的分析方法，這些方法已經應用許多不同礦床的礦石驗證，可以介紹到各工業企業所屬試驗室的日常實際工作中去。

本書共分兩部分，即总的部分和專門部分。在总的部分中簡要地討論了取樣，粒度分析，比重分離，礦物磁場分離以及礦物的選擇溶解等問題。在專門部分中列举出物相分析的方法。

后面的附錄中提供了許多礦物的若干物理性質和化學性質，此外，在最后的表中还列举出物相分析最常用的各種酸鹼溶液的數據。

作為本書討論對象的問題的特點，就在於必須考慮不同礦床的礦石所具有的獨特性質和特征，這些特征和性質常使所制定的方法應用到某種具體礦石時有很大的變更。因此，就特別需要交流經驗和總結對各種礦床的礦石進行研究的結果。

著者預先向報導其對各種礦石應用本書方法所得結果，方法

的變更，改進和簡化或在各試驗室中制定新方法的各位同志，表示感激。

我們希望本書在戰后恢復和進一步發展國民經濟中起着特殊重要作用的我國礦物資源的利用方面，能夠有些幫助。

著者認為也有必要向審閱本書並給予許多寶貴指示的 B. A. 倫得克維斯特和 B. C. 綏羅柯姆斯基以及為審閱本書個別章節並給以許多業為著者採納之意見的 C. M. 布切里尼可夫，B. A. 格拉茲可夫斯基，特別是 A. П. 克瓦斯可夫表示感激。

研究所研究員 B. B. 多利伏 - 多布洛沃爾斯基

技術科學副博士 Ю. B. 克利門科

於斯維爾德洛夫斯克

有用礦物機械加工研究所

I. 总的部分

物相分析的任务，意义及方法

合理分析^①近來常称为物相分析(фазовый анализ)，它是研究有用礦物質成分這門相當廣泛的科學的一部分。

自然界中存在的礦物聚集体，如果其中有一种或数种礦物具有可資利用的經濟价值，就称为有用礦(полезное ископаемое)。某一有用礦的价值不僅与其各組成部分的总价值有关，而且也和其它的各組成部分的存在形态有关，因为組成部分的形态决定着該礦工業处理的难易程度，决定着能否全部提取以及費用大小等。

有用礦組成中沒有价值的礦物称为脈石或圍岩，而有价值的礦物常簡称为礦物。

有用礦按其中有价值礦物的性質分为礦石(руда)和非金屬礦(нерудное ископаемое)，称为礦石者主要为那些有用礦，即此礦的有价值礦物可作为制取各种金屬的來源；然而，現在在化学工業和其它某些工業部門中作为礦物原料而应用的有用礦也算作是礦石，例如：磷灰石礦和磷鈣土礦，硫礦，重晶石及石墨等。煤和作为各工業部門原料來源的大部分非金屬礦通常均屬非金屬礦，例如：玻璃生產应用的石英砂，建筑材料工業应用的大理石或石灰石，陶瓷業及造紙業等应用的粘土和高嶺土等。

要合理利用某种有用礦，只有在詳細研究組成該礦的所有礦物組成和性質时才有可能。礦物組成越复雜，就越难选择技術上可能与經濟上有利的工業处理礦石的方法。由於技術上和經濟上的原因，在大多数情況下，在進行主要技術操作过程前，要先進行机械处理过程，其目的在於选別有用礦，就是使有用礦物和脈石分开。使礦物分离而進行的全部操作过程总称为有用礦的机械选礦。

① 本書原名为“рациональный анализ руд”，应譯为“礦石合理分析”，为使讀者易於了解本書的內容，所以採取了通用的名詞“礦石物相分析”——譯者註。

如果有用礦不僅含有一種有用礦物，而含有兩種或數種有用礦物，其中每種礦物均為進行各種生產或同一工業部門各種操作過程應用的原料，例如多金屬礦石以及含有有價值非金屬礦物的礦石，在此種情況下，機械選礦之目的不只使有用礦物和脈石分離，而且也使各有用礦物彼此分離。

有些礦石為各種礦物的混合體，而且其中某些礦物含有同一種有價值的元素，例如某些含氧化鐵和矽酸鐵的鐵礦（鐵石榴石）或含氧化鋁、氫氧化鋁和矽酸鋁的鋁土礦。在這些情況下，機械選礦的任務就在於由總的混合礦中，將那些工業處理過分複雜和昂貴的礦物分離而除去。

所有機械選礦過程都是根據被分離礦物的物理性質和物理化學性質進行的。

有用礦的許多化學處理過程和濕法冶煉處理過程，例如金礦的混汞與氰化以及氧化銅礦的濕法冶煉提取銅等過程，都是利用各種礦物的不同化學性質進行的。

無論是用化學方法和濕法冶煉，還是用機械選礦方法處理時，礦石均應磨碎到盡可能是單體礦粒的混合體。單體礦粒分離所必要的磨細度、以及將礦石各成分分離或將其中某些成分選擇溶解所能得到的結果，均由礦石結構決定，也就是由組成礦石的礦物顆粒之結合情況、分離特性以及顆粒大小來決定。因此，只有對有用礦的物質成分和結構作詳盡研究以後才能正確而確切有根據地選擇礦石的某種處理過程。

詳盡研究有用礦的直接任務就是解決下面一系列的問題：

1. 測定有用礦的全部或部分定量組成，即說明該礦由哪幾種礦物組成以及其中每種礦物含量如何的問題。解決這個問題是此項研究工作的最主要的基本任務。

2. 研究某種元素在它所組成的各種礦物中的分佈情況。這個問題是非常重要的，因為有價值元素常常以不同形態的化合物包含在礦石中，它們具有不同的化學性質和物理性質，因而也要求採用不同的過程或者改變同一個技術操作過程。

3. 測定某种元素与礦石中有关礦物成分的結合情况，这里的有关礦物是指此元素在其中以类質同像混合物的高分散包裹体存在，或者与它生成吸附型的化合物。需要指出，在研究礦物形态和結合情况时，常常不必对有价值元素進行研究，而需要对沾染礦石的最有害元素進行研究。例如鉄礦及錳礦中的磷和硫即为最常研究的这类元素。

4. 确定某种元素同礦石中各礦物結合的特性。了解結合的特性，在解决能否進行机械选礦或去掉有害雜質的問題时，以及在說明有价值元素在机械选礦过程中損失的原因时都是特別重要的。

5. 測定礦染脈石中礦物（一般是有价值者）粒度的特性。有价值元素与有用礦的成分結合成高分散包裹体的情况是很常見的，例如：金礦，白金礦及其伴生礦物。在这种情况下，極為重要的是不僅要說明有价值元素在有用礦的礦物成分中的分佈情况，而且要測定其相应的礦物包裹体在各成分或圍岩中的分散程度，即确定有价值礦物的粒度分佈情况。知道了包裹体的粒度，就可以正确而有根据地确定礦粒达到完全破开或完全分离所必要的磨細度。

6. 說明在不同的磨礦細度时，單体礦粒与不同性質的礦物結合体間的比例关系。

在各种礦物破碎度或磨細度不同的条件下，只知道未破碎前礦石中有价值礦物顆粒包裹体的粒度特性，尚不能最終判断破碎后最終磨礦產品內礦物由結合体中彼此分离的程度或与脈石分离的程度。在这种情况下，就需要說明該礦於不同磨細度时單体顆粒与不同性質的礦物結合体間之比。为了順利地解决這個問題，通常必須測定磨細礦物的粒度組成，即測定与礦物成分無关的总的粒度特性。

這個問題的解决除了达到上述目的外，在解决關於有用礦破碎及磨礦的一系列問題时也有特別重要的意义。在任何此类技術操作过程以前都要進行碎礦和磨礦，因此，对磨礦產品的粒度組

成進行正確、準確和足夠可靠的評價，這對掌握或控制任何技術操作過程均起着極重要的作用。

7. 說明礦物共生界限的特性。

8. 測定礦物顆粒表面大小。

9. 說明某一些礦物成分生在另一些成分當中的狀況。

上述的幾個問題，當然未包括在研究有用礦時所應該解決的全部問題。在個別情況下，還必須要說明許多特殊的問題，而這些問題是關於某種有用礦的獨特性質和對它選擇合適的處理過程的。

研究礦石物質成分，對於各種不同工業部門來說都有極大的意義。可以舉錳礦作為例子。測定錳在錳礦中是以怎樣的礦物形態存在，可決定該礦是否適用於：（1）用鋁熱法制取錳鐵（軟錳礦同鋁的作用過分劇烈，往往發生爆炸）；（2）生產錳，這時必須用軟錳礦或黝錳礦；（3）在電氣工業中製造干電池時作為抗極化劑應用，這時錳及礦石中雜質存在的形態是很重要的問題；（4）作干燥劑應用，這時最好的礦物是水錳礦及褐錳礦等。

解決了關於磷同錳礦及鐵礦中礦物成分結合形態的問題，可以在試驗室研究的基礎上解決關於能否用機械方法脫磷的問題。

類似這樣的例子可以舉出很多。

但是用什麼方法來解決研究有用礦的任務呢？

化學分析方法。化學分析方法在研究有用礦時經常得到廣泛的應用，無論在對所研究礦石作全分析，即測定全部化學成分時，無論在分析研究所得各種產品時，都廣泛的應用化學分析方法。

利用化學分析及礦物分析的結果，常常可以立刻決定出礦石中所含某些礦物的數量，至少可以對礦石中各種成分含量的可能變動範圍得到一定的概念。

化學分析問題在本書中完全沒有談到，因為一方面化學分析問題非常廣泛，而本書篇幅有限，另一方面關於礦石的化學分析方法的文獻很多。

但在此处有必要提出，無論对原礦和研究所得產品的化学分析問題均得採取十分認真的态度。做分析工作應該特別仔細，因为在这部分工作中的任何誤差都必然要引起錯誤的結果和重复一次或許多次試驗。此外，由於在本書中对研究所得產品的分析沒有指出具体的分析方法，这样就不得不認真地選擇適於此种產品的分析方法。選擇时要經常考慮到分析產品的特点。例如：分析含草酸的溶液时，必須採用加入硫酸的蒸發方法或用其他方法來破坏草酸；分析含过氧化氫的溶液时，必須煮沸溶液來破坏过氧化氫等等。

光譜分析和 X 射線光譜分析方法。此法可在極短時間內完全了解所研究礦石的化学組成，不但了解它的定性組成，而且也了解它的定量組成。当然測定其定量組成的准确度是不大的，但在大多数情況下，特別是對於含量不多的元素來說，这一准确度还是足够的。对所研究礦物預先進行光譜分析或 X 射線分析时，就大大地簡化了進一步的工作，並且只要准确測定最重要成分的含量，而可省去繁重而冗長的化学全分析操作。

X 射線結構分析方法。此法在許多情況下均為准确說明所研究礦石礦物組成的唯一可能方法。

热分析方法。应用此法可顯然地簡化所研究礦石礦物成分的測定。以礦物岩相方法和化学物相分析方法不能完成的礦物成分的准确測定，应用热分析方法往往可以很容易地完成。

光譜分析、X 射線光譜分析、X 射線結構分析和热分析等分析方法，每一种都是一項單獨的学科，本書未予敘述，而介紹有兴趣的讀者去看專門的文獻。

礦物岩相分析方法。此法在研究有用礦时对解决几乎所有的問題都有廣泛应用。

在顯微鏡下觀察不透明的或透明的薄片时可以測出該有用礦的礦物成分。此时，可以确定各种礦物的結合情况並說明礦石的結構，即測定出各种礦物顆粒的数量和顆粒大小。

像这样的顯微鏡觀察，在确定使礦石每个顆粒都只含一种礦

物而須磨細的粒度時有時，有着決定性的意義。

然而在許多情況下，尤其是在使用組成複雜的有用礦工作時，無論顯微鏡觀察還是化學分析和礦物岩相分析等都不能夠回答該礦由怎樣的礦物組成，其結合情況以及浸染情況如何。

實際上，組成複雜的有用礦往往含有成各種化合物形態存在的有價值元素，而這些化合物又存在於結合很致密的共生體內且常夾雜其他成分（如鐵的氧化物），所以只應用礦物岩相分析方法而要得出準確的定量結果，是非常困難的，甚至常常是不能解決的。困難就在於方法本身的不完善，而且在於要製備和觀察成百的磨片才能保證結果可靠，這個操作是相當麻煩和複雜的。實際上，礦物岩相分析結果的準確性和可靠性，決定於所觀察礦粒的平均粒度和含量是否符合於全部礦石中礦粒的平均粒度和含量，所以同所測顆粒的數目直接有關。由此可知，如果礦石浸染均勻而較富，可以觀察較少量的薄片就夠了，如果礦石較貧或浸染極不均勻，為得到同樣的準確度，就必須製備和觀察大量的磨片，這在實際上常常是很困難的，也是很經濟的。由於這個原因，必須採用其他方法，使其可以對大量的有用礦試驗而且有可能對預先經某種方法製得的比較均勻的物料進行顯微鏡分析。

礦物岩相分析方法是研究有用礦的內容豐富的一個單獨部分，此法在專門文獻中另有詳細敘述，本書不再討論。

需要指出，不久前發明的電子顯微鏡研究方法，开辟了廣闊的發展遠景，無疑地，在礦物岩相分析中將獲得廣泛的應用。

化學的研究方法（有時稱物相分析），即礦物合理化學分析（рациональный химико минералогический анализ），此法的根據為不同礦物對適當地選擇的溶劑所起的作用不同，在所選的溶劑中有一些礦物迅速而完全地溶解，而另外一些礦物完全不溶解或溶解極慢，此法可以對較大量的物料操作並可得到可靠的準確結果。

實際中化學處理時可取樣 100—200 克，必要時可取 1—2 公斤，也就是說所取重量達到顯微鏡視場內可見量的幾萬倍和幾十

万倍。

化学的研究方法是本書研究的主要内容。選擇溶解的方法有許多优点，但是当礦石含有化学惰性或低活性成分而需要用很長時間來溶解它們时，此法就不够有效而且非常麻煩。此外如果礦石中所有礦物成分的化学性質很相近，对这些成分不可能得到有選擇溶解作用的溶剂，則此法也同样地不能適用。

当溶解方法难於直接应用到某种礦石时，如果預先將礦石选別为几种比較簡單的成分，則問題能容易解决得多。

对礦物進行此种选別的方法是利用其物理性質的不同，其中常用的有下列方法：

手选礦粒方法。在顯微鏡下或在双筒放大鏡下，根据礦粒的顏色和形狀的不同進行选別。

由於這項操作極為精細和麻煩，所以不能应用这个方法來得到大量的选別礦粒。

粒度分析方法。此法系使破碎的礦石按其粒度大小進行分級。它具有很大意义並在實際中廣泛地应用。在本書中对本法予以討論。

礦物重力分离法。根据礦物比重的不同來分离礦物的重力方法也是非常有效的。礦石預先經過破碎和按粒度分級以后，一般將其分成不同密度的数部分。对所得到的各部分進行顯微鏡觀察和化学分析，要比直接分析原礦容易得多，而且所得的結果也比較准确。应用重力分离法分离礦物时通常要使用重液，在本書中重液的闡述頗为全面。

磁选方法。根据礦物磁導率不同的磁选方法常是相当方便的，在本書中对本法予以簡單敘述。

靜电分离法。此法很少应用，但有时使用其他方法不能分离或难分离的某些礦物，应用靜电分离法可以分离得相当完全。由於本法应用很少，在本書中沒有討論。欲了解本法者請閱讀專門文献。

根据其他物理性質來分离的一些方法，在研究有用礦时極少应用。

因此，作为本書討論对象的物相分析是研究有用礦的方法之一。其任务是以化学方法研究有用礦中所含价值元素（有时为有害雜質）按化合物形式分佈的数量情况。

有許多情况使得物相分析方法不適宜於孤立地來討論。首先，在对有用礦進行物相分析时，若不採用某些其他輔助方法，如粒度分析，重力分析及磁性分离等方法，常常是不行的。因此，在本書中对这些方法均叙述了基本的概念。其次，对各种礦石進行物相分析时，常常產生一些虽然超出物相分析范围但又和它有关系的问题。这些问题超出物相分析范围，当然也超出了本書的范围，可是对这些问题又不能完全保持緘默，所以在討論關於礦物選擇溶解的问题时，对一般研究有用礦所採用的主要方法給以簡單叙述。

最后必須着重指出，只有採用上述一系列的研究方法深入地研究礦石，才能对該礦石的物質成分和特性得出有足够根据的可靠的結論。正确選擇与綜合利用这些方法就可順利地解决每个具体情况下所提出的問題。只有在仔細考慮所研究礦石特性的基礎上經過周密考慮的工作才可能成功地达到預計之目的。

正是由於必須仔細考慮到作为研究对象的每种礦石的特性，这才不致把本書認為是对一切礦石均能应用的方法彙編。当开始工作时就應該牢牢記住，每种礦石的物相分析均为一項研究工作，其中常常有很大的困难和意外的問題產生。

產生这些困难的原因最通常是具有同样化学成分但生於不同礦床內而造成的礦物性質的不同。

因此，在着手研究礦石时，对本書中所述的研究方法只可作为研究礦石可能方法的啓示來看，同时，在工作过程中要仔細檢驗这些方法对該礦石是否適用。

当然，也可能有这种情况，即所举方法对个别类型的礦石完全不能应用，於是就必須要制定新的研究方法。

每个从事物相分析的化学家，對於类似的这些情况應該有所准备。

礦石取樣

送到試驗室的礦石數量一般來說都是比研究該礦所要求的數量多得多。因此，送到的礦樣經常需要縮分及磨碎到進行研究時所需要的數量和粒度。

縮分後樣品的成分應該很準確地代表原取樣的礦石成分。應用不合於此條件的樣品進行工作不僅無益而且有害，因為工作的結果只能是曲解物質的真實狀況。所以樣品的縮分是個極重要的問題，因為初看起來似乎是不大的允許誤差，不僅能夠曲解研究結果，而且還會使研究失去任何價值。

如果礦石的成分完全是均勻的話，從這樣礦石中取樣就只要由其任一部分取出所需要的數量。然而礦石常是不均勻的混合體，它是由各種礦物成分和不同粒度的礦粒組成的。

因此，取出成分符合原礦的樣品，這並不是一項那麼簡單的操作。取樣方法的繁簡，樣品重量以及粒度等均與所研究礦石的性質有關。

我們簡單地討論一下礦石有哪些性質影響到均勻或不均勻而決定樣品的最小重量及粒度。

1. 礦石中含有有價值元素礦物的礦染特性有極大的意義。礦染可能均勻或不均勻；可能粗或細。當然，礦染越細越均勻，礦石就越均勻，樣品重量可以越小；相反地，礦染越不均勻或越粗，礦石就越不均勻，因而在組成上能夠代表原礦成分的樣品重量就越大。

2. 礦物中有價值元素的含量對其在原礦中含量之比，所起作用很大。如果礦石很貧而有價值元素在礦物中含量很高，很顯然，即使礦染比較細，礦物數量也是不很大的，礦石的組成會很不均勻，而取樣重量應該很大。礦石中有價值元素含量低，這一點本身無論如何均不能作為採取小量樣品的一個條件。如果取極貧的金礦（含有少量稀見的天然金的包裹體）作為極端例子的話，很顯然，取樣的重量應該極大，因為當取樣很少時可能得到