

鈦 礦 床 的 遠 景 評 价

И. И. 馬 雷 舍 夫

鈦富集于許多各种成因的礦床中。虽然岩漿礦床,外生礦床及變質礦床的成因类型有很多不同,但其礦石絕大多數都是同时对鈦工業最有价值的及最重要的礦物的鈦鐵礦和金紅石。只有生長在鹼性雜岩体中的鈦礦床是例外,它的礦石含更複雜的鈦礦物及一系列稀有及稀土元素。

照例,除少数例外以外,鈦礦床都是由綜合性的礦石構成的,这样就提高了它的价值,但是其加工技術却複雜化了。除那些規模小的金紅石及鈦鐵礦、礦脉之外,对大多数鈦礦床的礦石來說,为了獲得合乎标准的精礦都需要作初步选礦。

对于确定鈦礦床的工業价值來說,具有意义的与其說是其中鈦的一般含量,不如說是富集在最有工業价值的礦物中:如鈦鐵礦,金紅石,鈣鈦礦,鈾鈣鈦礦,鈦鈣鈾絕礦,鈦鉄金紅石中的那一部分鈦。鈦在这些礦物中呈顆粒狀,其大小宜于用机械选礦法分离成精礦。

因此,在研究鈦礦床的初期階段,不僅用礦石的化学分析資料确定它的价值,而且需要其礦物成分的詳細研究結果。其中应計算鈦及其他有用礦物的百分含量,确定礦物顆粒的形狀及大小,礦物結核的性質及其他特征。在解决礦石是否适于机械选礦时了解这些特征是極为需要的。根据以后的选礦試驗結果可确定精礦的回收率(对原礦石百分比)及其質量。

对确定精礦的質量來說,光譜和化学分析資料具有首要意义,因为这些資料可根据其中的鈦及有益和有害雜質的存在情况确定出精礦的价值。

对很多礦床(如鉄、銅、錫等礦床)來說,在經過数十年甚至百余年工業利用的實踐基礎上,已經制定了詳盡的評價标准,根据这些标准地質人員在礦床研究的初期階段就己能划分出这种或那种工業等級。但对鈦礦床來說,这一工作尚处于最初階段,还需要作一些特別的研究工作。

过去开采的只有那些最富的金紅石及白鈦石化鈦鉄礦的現代濱海砂礦及最富的金紅石-鈦鉄礦,鈦鉄礦及鈦鉄-磁鉄礦岩漿礦床。

由于近年來鈦工業的蓬勃發展,其他类型的鈦礦床:中新生代及較老的其中包括受變質的金紅石及鈦鉄礦砂礦床;古代風化壳的白鈦石化鈦鉄礦礦床;金紅石及一系列其他类型的變質礦床也开始具有很大的工業意义。

鈦礦床的工業价值和其他金屬礦床一样决定于一系列的地質經濟因素,其中最主要的是:

1. 礦石的物質成分(質和量),化学成分和礦物組成以及技術加工特性。它們預先决定着最适于工業上精礦的选礦和提取以及進一步技術加工的流程的選擇。在礦床研究的初期階段所獲得的上述資料可以决定礦石是否能用于工業中的問題(考慮到現代的技術水平)此外在了解了礦石中有益組分的平均含量及其在精礦中的可能回收率后,可以确定每一吨礦石中适于提取的組分的价值(按現行价目表的价格計)。

2. 礦床的規模,礦体的埋藏深度,形狀,大小,礦石儲量及其中所含之可以提取的有益組分的儲量均有助于預先确定礦床开采程序的選擇并可預先确定每年开采礦石可能的規模。

3. 礦区的經濟条件(是否有交通綫,水,森林,廉价电能,距加工冶炼厂的远近等)。在世界上鈦礦冶炼厂建設地区的選擇与其說是决定于其中有无鈦的原料基地,不如說决定于在該区可否獲得廉价的电能。因此在一系列的情况下,开采一些礦石較貧但接近于已生產的或正在建設工厂的礦床比开采一些礦石虽較富但距需要这种原料的地区很远的礦床要更合算一些。

上述因素可以决定礦床开采的贏利程度及其工業价值。許多各种成因类型鈦礦床的工業价值直到最近才开始闡明。对其中大部分还没定出评价指标,而目前鈦礦石的评价指标則是对每个礦床用技術-經濟的核算法來确定的。在每一个別情况下,还要解决关于为保証这个或那个鈦礦床可贏利开采之最少礦石儲量問題。

本文中不可能提出根据评价指标所确定的鈦礦床

工業分類，我們僅限于討論成因分類，並提出最有遠景的類型。

由於不同成因類型的鈦礦床有規律地賦存於一定的雜岩體內，及由於不同成因類型礦床的礦石具有規律的成分，因此它的工業分類也就會接近於其成因分類，但為了使工業分類更趨完善，將來需要用评价指标來加以充實。

在作者所提出的下列鈦礦床成因類型分類表中（見附表）只指出它們之中最常遇見有工業價值礦床的那些成因類型。

從表中列舉的所有鈦礦床的成因類型中具有首要意義的是近代及中新世代的濱海砂礦床以及與斜長岩，輝長-斜長岩及輝長岩體有空間和成因關係的岩漿礦床。占第二位的可能是金紅石的變質礦床及輝長岩質岩石的古老風化殼的白鈦石化鈦鐵礦礦床。正是在這些類型中才可以發現最大的和富集的鈦礦床。其選礦技術已經掌握，從其中可以獲得質量很高的鈦精礦及其他有價值的副產品。從意義上來說占第三位的是下表中的其餘各種類型，其中的某些礦床也同樣具有很大的工業意義。

由於缺少已經肯定的评价指标，作者在下面只提出有關礦石中鈦礦物或二氧化鈦的最低儲量及品位的極簡略的數據。這些數據僅僅用數字表示，以作者的意見，當某些礦床達到這種數據時，是可以對其布置勘探工作。

根據賦存於可提取的有價值的含鈦礦物中——金紅石，鈦鐵礦，白鈦礦，鈣鈦礦，鈾鈦鈣礦，鈦鐵金紅石中的鈦的儲量，我們將礦床大致分為：

（a）極大的（獨一無二的）礦床，鈦的儲量超過數千萬噸；

（б）巨大的礦床，儲量由一百萬到一千萬噸；

（в）中等的礦床，儲量由十萬噸到一百萬噸；

（г）小型礦床，儲量由五萬到十萬噸；

（д）無工業價值的礦床，儲量不到五萬噸。

對砂礦來說，上述數字可以降低一倍。

不需要選礦的塊狀礦石的金紅石或鈦鐵礦礦床，如其位於經濟條件良好的地區時，即使其儲量較少也能開采。

按礦石中鈦的品位我們將砂礦床分為：

（a）很富的：每噸砂子中假定的鈦鐵礦含量高過100公斤①。

（б）富的：由50到100公斤/噸。

（в）中等的：由20到50公斤/噸。

（г）貧的：由10到20公斤/噸。

當假定的鈦鐵礦含量少於10公斤/噸，即大約為

20公斤/立方公尺時，砂礦床只有在極個別的情況，即當該礦床為巨大砂礦，且處於特別有利的地質-經濟條件下時，才有價值。

生於古老風化殼中的白鈦石化鈦鐵礦礦床，只有當岩體中鈦鐵礦平均含量不小於50公斤/立方公尺時才具有價值。

岩漿鈦礦床及變質鈦礦床不考慮其伴生元素可以分為富的、一般的、貧的及無工業價值的幾類。

屬於富礦的礦床是那些能從礦石中用機械選礦方法從礦石中獲得回收率不少於原礦的30%，而其二氧化鈦品位不低於40—50%的鈦鐵礦精礦，或者可獲得金紅石精礦回收率不少於5%，而二氧化鈦品位大於90%的礦床。

對其餘各類型礦石相應為：

屬於一般的鈦礦床——鈦鐵礦由20—30%或金紅石由3—5%。

屬於貧的鈦礦床——鈦鐵礦由10—20%或金紅石由1.5—3%。

屬於無工業價值的鈦礦床——鈦鐵礦在10%以內或者金紅石小於1.5%。

如上所述，我們所提出的最低儲量及最低工業品位均具有相當大程度的假定性。因為，如果在砂石中除鈦外尚有其他有價值的易於提取的組分時，則按其相應的價值，含鈦礦物的含量可以更低。這一點特別是針對賦存於鹼性雜岩體中的礦床來說的，因為其礦石的價值不僅決定於其中鈦的含量，而且也決定於一系列稀有元素甚至稀土元素的含量。礦床的地質-經濟條件也同樣具有很大的意義。

在研究和開拓不同成因類型鈦礦床的過程中，上述的概略數字將會確定下來，並將獲得更客觀的，在將來用以擬定鈦礦床的詳細评价指标的資料。

除了表所述應當予以普查和研究的鈦礦床的成因類型外，為了在其中劃分出最大和最富的具有工業價值的礦床起見，還有一系列在目前沒有工業價值的各種成因類型的鈦的礦化現象。其中的一部分規模較小，另一部分是可以提取的鈦礦物品位很貧，再次一部分是那些要求極其複雜和昂貴的選礦程序的礦石。屬於這些類型的有：

（1）生於變質岩系中，在許多地方含一定數量金

①由於含鈦砂礦中，除鈦鐵礦外，常含有金紅石，白鈦石，榍石，獨居石等，砂礦的價值決定於這些有工業意義的礦物的總含量（公斤/噸），它們是用相應的價格表的價格換算為鈦鐵礦的。對岩漿成因的礦床及變質的礦床的綜合礦石來說，為了確定其每噸礦石的價值也要進行同樣的計算。

鉄 礦 床 成 因 分 類 表

按圍岩雜岩系劃分的礦床類型	按主要礦物成分劃分的礦石類型	在一系列礦床中有實際意義的伴生組分	礦體的形狀、大小、礦床相對的規模及其他最重要的因素	礦床的主要時代
I. 岩 漿 礦 床 (晚期岩漿)				
A. 在空間上和成因上与輝長岩侵入雜岩系有关的礦床				
生于輝長岩及輝長-斜長岩體中的礦床	鉄鉄礦石 金紅石-鉄鉄礦石 赤鉄鉄鉄礦石 金紅石-赤鉄鉄鉄礦石 鉄鉄礦-赤鉄鉄礦石 鉄鉄礦-鉄磁鉄礦石(極少)	鉄, 鈾, 磷(較少) 銅(少)	塊狀礦石的礦脉及脉狀扁平礦體, 及浸染礦石帶, 規模由不太大到極大, 在個別礦床中(在具有利于回收精礦的形態和顆粒度的含鉄礦物中)鉄的儲量達到數千萬噸, 這種礦石主要為富礦, 除赤鉄鉄鉄礦石外, 均易于選礦	前寒武紀
生于輝長岩岩體中(在輝長岩、輝長-斜長岩、斜長岩、輝長角閃岩中)的礦床	鉄鉄礦-磁鉄礦礦石 鉄鉄礦-鉄磁鉄礦礦石 鉄鉄礦礦石(很少)	鉄, 鈾, 磷(較少) 銅(少)	除一系列鉄鉄礦-鉄磁鉄礦礦床的礦石不好選礦, 鉄鉄礦精礦回收率小外, 与上述類型相同。礦石一般含二氧化鉄13—20%	前寒武紀 下古生代(較少)
生于輝長-輝綠岩的小型輝長岩質侵入體中的礦床	鉄磁鉄礦礦石	鉄、鈾具有主要的工業意義。 鈾為副產物	浸染礦石帶規模由不太大至極大 礦石經過選礦只能獲得常常含鈾的鉄磁鉄礦精礦 在鉄磁鉄礦精礦中含50—57%的鉄, 12—17%二氧化鉄及1.0%以上的五氧化鈾, 在電法熔煉這些精礦時可獲得優質鋼及低品級含鉄爐渣, 其中含二氧化鉄40—50%	前寒武紀 下古生代(較少)
生于輝長岩質的巨型超基性岩體中(角閃岩、輝石岩, 較少在橄欖岩, 極少在苦閃橄欖岩)的礦床	鉄磁鉄礦礦石 鉄鉄礦-鉄磁鉄礦礦石(較少)	主要是鉄礦床, 其中某些含單個的鉄鉄礦顆粒; 一系列礦床中含達可采數量的鈾	浸染礦石帶的規模由不太大至極大, 其中有時能見塊狀礦石的小型礦體, 大部分礦床是含鉄較貧的鉄磁鉄礦, 其精礦含2—10%, 有時更高的二氧化鉄, 鉄鉄礦精礦从鉄鉄礦-鉄磁鉄礦石中回收率不大	古生代 元古代(較少)
B. 在空間上和成因上与鹼性雜岩系有关系的礦床				
生于超基性鹼性雜岩系中(鹼性輝長岩質岩石)的礦床	鈾鉄礦 鉄磁鉄礦礦石 鉄鈾鉄礦-鉄磁鉄礦礦石	鉄、稀土元素、鈾、鋁、鎢、鉍、鈾(較少)	浸染礦石帶的規模由不太大至極大, 儲量達數百萬噸鉄, 在浸染礦石中能見不大的致密狀礦石體, 礦石易于選礦, 并獲得鉄磁鉄礦及鈾鉄礦或鉄鈾鉄礦的精礦; 在許多情況下, 可附帶獲得燒鈾石及斜鈾石精礦	从元古代 到中生代
生于異性斜長石正長岩-流霞正長岩-磷霞岩雜岩系中(基性異性石類型)礦床	鉄鈾鉄鎢礦石	稀土元素、鈾、鋁	浸染礦石帶在複雜的強烈分異的鹼性岩體雜岩系中呈不厚的假層狀, 礦石的主要價值在于具有高品位的鈾、稀土元素, 部分鋁、鉄為副產品	从元古代 到中生代
生于偉晶岩及霞石正長岩或鹼性正長岩的偉晶岩帶中的礦床	鉄鉄金紅石礦石 鉄鉄礦礦石 金紅石礦石(極少)	在鉄鉄金紅石中含: 鈾鋁、稀土、在一系列礦床中出現燒綠石及螢英石	塊狀礦石的小礦脉及礦巢, 以及規模不大的浸染礦石帶, 鉄的儲量由數十萬到幾萬噸, 对鉄工業說具有次要的意義	从元古代 到中生代
II. 外 生 礦 床				
A. 位于化学風化壳發育地区的礦床				
生于輝長岩質岩塊的風化壳中及其他金紅石及鉄鉄礦含量很富的岩石中的礦床	鉄鉄礦礦石 金紅石-鉄鉄礦礦石 鉄鉄礦常劇烈白鉄石化	在一系列的礦床中, 高嶺土磷灰石(少)可以作为選礦選出的尾礦加以利用	在風化壳中呈巨型浸染礦石帶, 鉄鉄礦含量局部達到每一立方米幾百公斤	在前寒武紀及古生代鉄鉄礦或含金紅石雜岩系上的中新生代風化壳

接上表

按圍岩雜岩系劃分的礦床類型	按主要礦物成分劃分的礦石類型	在一系列礦床中有實際意義的伴生組分	礦體的形狀、大小、礦床相對的規模及其他最重要的因素	礦床的主要時代
巨型湖泊及濱海近代砂礦	白鈦石化鈦鐵礦 白鈦石化金紅石	一系列抗風化的穩定礦物：鎢英石、獨居石及其他，決定于是否在一個地區各種不同岩石被冲刷的風化壳中有這種或那種穩定礦物的存在	有價值礦物的含量由小到極大及極富：金紅石、白鈦石化鈦鐵礦、白鈦石、鎢英石、獨居石及其他，鈦的儲量有時達到數百萬及數千萬噸，其他有價值的礦物的儲量也很大，礦石易于選礦 根據濱海砂礦形成的形狀及條件可分為：砂丘型，規模常很大，但其中有價值的礦物品位貧（每立方公尺十幾公斤） 岸灘型、富礦，但成為薄層狀，有價值的礦物含量由每立方公尺幾十到幾百公斤很大 濱海底流砂礦、是富而極大的礦床，具有厚度，很大的延長及寬度，有價值的礦物的含量由每立方公尺幾十公斤到幾百公斤 常位于濱海地帶的礦床為一系列斷續延長達數十公里的砂礦群所組成	近代
海岸及巨型湖泊岸邊的古代砂礦	白鈦石化鈦鐵礦 白鈦石化金紅石	一系列抗風化的穩定礦物：鎢英石、獨居石及其他，決定于是否在一個地區各種不同岩石被冲刷的風化壳中有這種或那種穩定礦物的存在	與上述類型相同 區別為：砂礦的大部分為更年輕的沉積物所掩蓋，僅個別地方由其掩蓋物上出露，砂子略為固結	中新生代
河流砂礦（沖積的）	白鈦石化鈦鐵礦 白鈦石化金紅石	與上同	常為規模不大或中等規模，及有價值的礦物含量不富的溪流、沼澤及窪地砂礦。鈦鐵礦含量不超過每立方公尺幾十公斤，在最大的砂礦中鈦儲量很少達到一百萬噸	近代及第四紀
殘積-坡積、沖積及濱海砂礦	決定于被冲刷岩石的礦物成分，通常是鈦鐵礦及鈦磁鐵礦，有時為金紅石、鈣鈦礦，鈦鈾鈾礦，鈦鐵金紅石	決定于被冲刷之岩石的礦物成分	有工業價值的礦物只能在原生鈦礦床區域內發現，由于其破壞而形成 通常為不富及規模不大的砂礦：殘積-坡積漂礫礦石，以及河流及濱海砂礦，在重砂中有很多鈦磁鐵礦及鈾鈾酸鹽，在該種砂礦礦石儲量平衡表中沒有大的意義	近代
B. 位于物理風化地區的礦床				
III. 變質礦床				
A. 純變質礦床（Собственно-метаморфические м-нии）				
生于角閃岩中及其他結晶片岩及由玄武岩變質生成的榴輝岩中的礦床	金紅石、金紅石及鈦鐵礦（較少）	磷灰石（少）	浸染礦石帶規模由不大至極大，儲量（能提取金紅石的）可達數百萬噸。金紅石含量在某些礦床中達到百分之幾，除金紅石外，同時尚含一定量鈦鐵礦。礦石易于選礦	前寒武紀
生于高鋁質片岩中（含藍晶石族礦物）的礦床	金紅石、鈦鐵礦（較少）	藍晶石族高鋁質礦物	浸染礦石帶規模由不大至極大：只有當可提取金紅石的品位在1%以上，并附帶可獲得高鋁質礦物精礦的巨型礦床中才有實際意義 在一系列礦床中有鈦鐵礦	前寒武紀
B. 受變質礦床（Метаморфизованные м-нии）				
濱海及巨型湖泊的受變質礦床	金紅石，白鈦石，鈦鐵礦	與近代及中新生代濱海砂礦相同，在一系列礦床中出現有赤鐵、磁鐵礦	該類型礦床與近代及中新生代砂礦的區別是： (1) 經過強烈變質（大部白鈦石及鈦鐵礦變質成金紅石） (2) 很難開采和選礦，只有巨型的及富的，由于原先受過變質的礦床風化壳的沖蝕產物形成的礦床才有工業意義	前寒武紀及古生代
受變質的岩漿礦床	鈦鐵礦、金紅石（部分）	鈦、鈾	塊狀礦石幾乎未受變質，在受變質礦石中其質量有所提高，由于鈦磁鐵礦的溶解及重結晶作用鈦鐵礦自由顆粒的數量增多；同樣也有金紅石重新生長的發生	前寒武紀下古生代（較少）

注：名字由兩個詞組成的礦石礦物成分，如經選礦可選成其組成礦物，則以橫綫相聯而書就（如金紅石-鈦鐵礦礦石，Рутил-ильменитовые）。反之則無橫綫（如赤鐵鈦鐵礦礦石 гематит-ильменитовые）。

紅石或鈦鐵礦的阿尔卑斯型石英脉；

(2) 生于各种不同雜岩系中成小脉和塊狀或浸染狀礦巢的金紅石及鈦鐵礦熱液型礦化，其中包括上述礦物在熱液石英脉中的礦化；

(3) 生于花崗偉晶岩中的金紅石及鈦鐵礦礦巢；

(4) 鈦鐵礦、金紅石、鈣鈦礦及其他鈦礦物的接觸-交代型礦化；

(5) 金紅石及鈦鐵礦等含鈦礦物的勺形近代砂礦；

(6) 見于一系列鋁土礦床中的鈦的較高富集；

(7) 煤系中鈦的富集現象；

(8) 礫石礦床；

(9) 基性噴出岩中的鈦鐵礦浸染体；

(10) 当沒有大而富的原生鈦礦床時而出現于物理風化地区的河流砂礦及一系列其他礦化。

上述类型的前五种，虽然某些地方鈦礦物的含量很高，但其儲量一般微不足道。

第六及第七类礦化中鈦的主要部分或者呈膠体形态或者以白鈦石、銳鈦礦、板鈦礦、金紅石及鈦鐵礦的極其細小顆粒形态出現，只有它的極少部分是大顆

粒的礦物，才可以利用机械选礦方法来提取。由于礦石选礦技術加工的复雜，它們虽然在某些类型的礦床中有大量的鈦富集起來，同时其中的二氧化鈦的品位并可达到10%或更高，但在目前却没有实际意义。

礫石礦床由于缺少从礦石中提取鈦的廉价而又簡便的方法，同样没有实际意义。

而在噴出岩中还没有听說过含鈦礦物可富集到有工業价值的程度。

在缺少巨型的富的原生鈦礦床的物理風化地区之河流砂礦，虽然在个别地段發現高品位的鈦鐵礦，但这些地段規模小，而以整个砂礦來說按其規模虽可能有价值，但鈦鐵礦的含量又达不到工業富集的程度。無論怎样目前尚未發現这种有工業价值的砂礦。

在引証了某些有关不同成因类型鈦礦床的工業价值的見解之后，考慮到在这一問題上缺少参考文献，作者試圖給地質工作者在普查及初步评价这种或那种所研究的礦床时提供某些方向，作者同时并認為在每一个别情况下为了确定礦床的工業价值都应该進行更深入的地質經濟研究。

余鴻彰 譯 刘銘銓 校

(上接第38頁)

表填列，以便考慮在不同岩石等級、鑽進深度的單位消耗量和各种不同类型設備的折旧率，使机場便于討論、核算。

2. 月度机場成本計劃的編制：

机場即根据有关部門頒發的上述資料結合地質指示書進行醞釀、討論，并結合本机的实际情况提出修訂意見，然后由成本核算人員編制机場月度成本計劃表。

在机場月度成本計劃的“成本項目”欄中，“关于材料及动力”一項，应將主要材料按名称逐項列入，否

×××机場月度成本計劃表

計劃工作量	1958年 月份	單位成本控制数
岩石等級		
深度		

成本項目	單位	計 划 單 价	單位成本		总 成 本	
			数量	金額	数量	金額

隊長_____ 計劃主管_____ 机長_____ 成本核算員_____

則，亦可單獨編制“材料及动力消耗計劃表”作为机場月度成本計劃的补充資料（“低值及易耗品攤銷”亦同），这样便于在計劃执行过程中進行費用的事先控制和月終進行考核分析。

依照上述机場月度成本計劃的編制程序和方法，在不少地質隊的實踐过程中証明了它是可行的，亦起到了積極作用。但也有的地質隊提出了，由于月度机場成本計劃的有效考核時間較短，在編制手續上略嫌繁复，因而想利用由有关部門制定出各項費用定額，通过机場职工的共同討論、修訂后，即作为考核机場实际成本的依据，不再編制成本計劃。例如“材料及动力”可編制如下的定額表來代替計劃：

材料名称 及 規 格	單位	單 价	各級岩石的單位耗用量					
			1	2	3	4		12

应当說明，采取上述方法是可行的，且簡化了手續。但由于生產效率的不斷提高和技術的逐漸改進，其定額也必須相應的提高，这需要經常的考查、測定，随时修訂定額，否則便易流于形式。

(第二節完、全文未完)