

工業礦物原料叢書

黑色冶金輔助原料

戈弗傑茵著

中央人民政府地質部編譯出版室編印

黑色冶金輔助原料

(熔劑和耐火材料)

戈弗傑茵 著

中央人民政府地質部編譯出版室編印

本書係蘇聯地質部礦物原料研究所主編的「對礦物原料之質量方面的工業要求叢書」(Требования промышленности к качеству минерального сырья)(爲簡便起見,我們簡稱「工業礦物原料叢書」)的第六十五冊「黑色冶金輔助原料(熔劑和耐火材料)」(Выпуск 65, подсобное нерудное сырье для черной металлургии),戈弗傑茵(М. С. Гофштейн)著,蘇聯國家地質出版局1948年出版。原書由蘇聯地質部審定爲地質工作者的手冊,對黑色金屬冶煉用的輔助非金屬原料的工業要求有簡明的敘述。由本部翻譯室翻譯,編譯出版室校對出版。

工業礦物原料叢書 第四號
黑色冶金輔助原料
подсобное нерудное сырье
для черной металлургии

(флюсы и огнеупоры)

原著者: 戈弗傑茵

М. С. Гофштейн

中央人民政府地質部編譯出版室編印
(北京安定門外六鋪炕)

新華書店總經售

北京市印刷一廠印刷

一九五三年九月北京第一版第一次印刷(1-5000冊)

原 序

現代冶金工廠是基本生產並為生產服務的複雜的綜合性企業，其生產品和生產量根據它的生產能力、分佈的區域及產品的種類來決定。

這種綜合性企業通常包括開採某種礦物原料的採礦企業及其加工企業。

很明顯，每個冶金工廠的生產不僅需要鐵礦、燃料、動力和水，同時也需要多種輔助原料，其中最重要的就是熔劑和耐火材料。因此除了準備礦石和燃料基地而外，同時準備輔助原料基地也極為重要。

由於熔劑和耐火材料的使用量很大，又是一種大量消耗而且比較便宜的原料，因此其產地應盡量靠近工廠以及交通方便的地區。當然，熔劑和耐火材料的標準質量也應合乎冶金工廠所提出的技術要求。

本書能夠幫助地質工作者正確的進行準備黑色冶金用的熔劑和耐火材料基地的工作。

目 錄

原 序

一、概論、種類、性質及技術要求·····	(1)
(一) 熔劑·····	(1)
石灰岩·····	(1)
螢石·····	(18)
鋁土礦·····	(20)
(二) 耐火材料 ·····	(21)
白雲岩·····	(21)
石英岩·····	(29)
耐火黏土·····	(37)
菱鎂礦·····	(50)
二、原料基地的簡明評述 ·····	(52)
三、質量試驗·····	(69)
四、產量和消費·····	(79)
·參考文獻 ·····	(83)

一、概論、種類、性質及技術要求

所謂黑色冶金用的輔助非金屬原料，通常是指煉鐵和煉鋼時，熔劑和耐火材料這兩大類而言。熔劑照例是應用天然產物，無需預先加工（粉碎除外）；而耐火材料極大多數的情況是使用製成品。因此前述耐火材料比較正確的稱呼就不是輔助[原料]，而是輔助[材料]。但是，我們很多冶金工廠都是在自己的車間中生產耐火材料的製成品。對於這些工廠來講，輔助材料已經不是成品，而是製造這些成品的礦產（黏土及石英岩等）。所以本書便把生產耐火材料的原料包括在黑色金屬冶煉的輔助非金屬原料中。

熔劑用非金屬原料中佔首要地位的是石灰岩，其次為白雲岩、螢石和鋁土礦。在耐火材料原料中則首推黏土，其次是石英岩，再其次是白雲岩和菱鎂礦。至於其他岩石如鉻鐵礦、高鋁質岩石、含滑石菱鎂石、鎂橄欖岩等原料，因其生產耐火材料的範圍很小，本書不予研究。

（一）熔 劑

石 灰 岩

黑色金屬冶金用的非金屬原料中，石灰岩在用作熔劑方

而是首屈一指的，當高爐生產時石灰岩作為爐料成分直接參與技術操作過程，因此石灰岩的化學成分和物理性質不僅直接影響生產過程的進行，而且也影響高爐的生產率以及高爐熔煉的其他技術經濟指標。

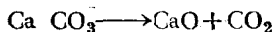
提高高爐的生產率和增加其最大利用係數在很大程度上都是由於爐料——礦石、焦炭以及石灰岩——的成分和配合比例來決定。

石灰岩是主要的熔劑，石灰岩中含有 CaO 和 MgO ，一般並參雜有 SiO_2 和 Al_2O_3 ，在冶煉過程中形成矽酸鹽，鋁矽酸鈣和鋁矽酸鎂，從而生成具有一定化學成分和物理化學性質的爐渣，使得礦石中的有益成分煉成金屬，並清除掉有害的雜質（主要是硫）。

冶煉一噸生鐵，如果用克里沃羅格 (Кривой рог) 礦石，消耗石灰岩大約 0.55 噸，用土拉 (Тула)、里別茨克 (Липецкий) 和刻赤 (Керченский) 礦石，則消耗石灰岩大約 0.75 噸。

煉鋼時（基性馬丁氏過程及托馬氏過程等），作為熔劑用的石灰岩，其主要用途是清除磷和硫，使之沉入爐渣。根據生鐵中所含的磷和其他雜質的多寡，石灰岩的消耗量可自 8% 到 12%。

高爐中的石灰岩由於溫度漸漸升高，起加熱分解作用，按下列方程式分解：



當溫度昇高到 700° — 750° 時，該化學反應就顯著地開始，而分解的速度決定於石灰岩塊的大小、成分、結構和高爐氣體的成分。碳酸鈣的主要成分是在 900° — 1000°C 時纔分解。

在高爐內逐漸失去 CO_2 的石灰岩即變成石灰並和其它的爐料一同沉到高爐的下部。由表及裏的分解作用，使石灰岩的孔隙更為增多，但大體上仍保持石塊原來的的外形和體積。

增大石灰岩的空隙度有利於高爐冶煉過程的進行，同時也提高了爐料的透氣性(газопроницаемость)。由於分解的關係，石灰岩塊的強度大大減小，產生許多石灰碎屑，當材料在爐內運動時，這些碎屑就侵入礦石、焦炭及初生爐渣中，同時部分由於上層材料柱的壓力而下沉。高爐筒中大部分石灰已熔入液態爐渣中，因此促使最後高爐爐渣的形成。

從石灰岩在冶煉過程中的作用的簡短敘述中即可以明顯看出：黑色冶金工業在利用石灰岩化學成分的同時，一點也不能忽略它的物理機械性質。

化學成分純粹為碳酸鈣的石灰岩在自然界中幾乎見不到。通常石灰岩中總有雜質和包裹體，其中最普遍和最重要的是二氧化矽、氧化鋁、硫酸鈣、磷、氧化鐵以及少許（有時相當大量）氧化鎂。

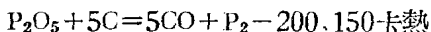
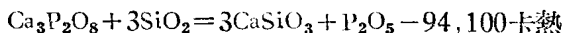
按其對冶金過程進程影響的特性，石灰岩中的雜質可分為三類：有害的、無害的和有益的。

有害的雜質是那些直接損壞金屬質量的物質。

無害的雜質對金屬的質量不發生有害的影響。僅僅惡化冶金工作的技術經濟指標。

有益雜質能改善金屬的質量或操作過程的進程。

硫和磷屬於有害的雜質。這些雜質呈磷鈣鹽，硫酸鈣和部分黃鐵礦等包裹體存在。在高爐過程中，磷由於還原作用，幾乎完全轉入生鐵中。在高溫下五氧化二磷受還原劑的作用，被二氧化矽把它從磷酸鈣中排擠出來。僅僅當矽酸化合物的濃度不大時（那時五氧化二磷的濃度佔優勢），碳化鐵中的磷酸化合物纔呈熔融狀態存在（基性的馬丁爐、托馬氏爐爐渣）。高爐爐料中二氧化矽比五氧化二磷要多許多倍，當高溫時按下列反應形成爐渣：



當熔煉富磷爐料時（托馬氏生鐵），爐料中的磷不到10%轉變成爐渣。當熔煉貝氏生鐵時，爐渣中磷僅微有痕跡。因此，可以認為幾乎全部爐料中的磷都轉入生鐵中。

由於生鐵中磷的含量不能超過已確定的規格，因此石灰岩中磷的允許含量應照顧到其他爐料組份中磷的含量。僅僅

當熔煉鑄造用生鐵、托馬氏生鐵和含磷生鐵時，存在於石灰岩中的磷纔不認為是有害的雜質。

當冶煉貝氏生鐵、少磷生鐵和木炭生鐵時，磷的染污性 (загрязненность) 應當無條件地認為是有害的。

爐料中的硫，主要是分佈在爐渣與生鐵之間，僅少部分 (10%) 的氣態硫為高爐氣體所帶去。如果爐的工作正常，爐渣鹽基度和黏度適當，則由於脫硫作用，大部分硫 (80—90%) 轉變為爐渣。由於爐中生鐵的脫硫作用是靠石灰質爐渣進行，因此爐料中硫量的提高使得石灰岩熔劑的消耗量增加，同時也使技術操作過程複雜化。

因此與含磷不同，石灰岩因含硫而具有相當大的染污性，使它完全不適於用作熔劑材料。

二氧化矽和氧化鋁屬於無害的雜質，它們在石灰岩中的含量歸根到底是石灰岩流動能力的主宰；石灰岩中二氧化矽和氧化鋁愈多，則它的流動能力愈小。採用石灰岩作熔劑時，其中所含的二氧化矽和氧化鋁增大了爐料中氧化物的總含量。

由於石灰岩中 SiO_2 和 Al_2O_3 含量的增加， CaO 的含量則不得不隨之減少，所以有它們是很不利的。因為有了它們，便降低了石灰岩中氧化鈣的份量，而且要使一般的無害雜質變成爐渣，亦須消耗石灰岩。

由此可見有用的石灰質含量（游離的 CaO ），也就是在高爐過程中能促使礦石的酸性雜質和焦炭灰變成爐渣的氧化鈣含量顯著減低，這便使得熔劑和燃料的消耗增加，當然也就提高了每噸金屬的成本。

由於冶金用石灰岩中有害雜質的含量極少（有害雜質含量很高的石灰岩在黑色金屬冶煉上是不用的），其評價可根據無害雜質的含量來進行，可很快以不熔殘渣加以確定。

根據蘇聯南部用頓涅茨焦炭工作的工廠中的實際材料，石灰岩中不熔殘渣的含量增加1%，就使高爐爐渣量增加1.0—1.4%，並多消耗焦炭0.4—0.5%。所以石灰岩中不熔殘渣量的增加，大大降低了石灰岩作熔劑的優點。

因為在高爐過程中石灰岩的基本作用在於把礦石中的廢石和焦炭灰變為爐渣，也就是主要把爐料中的二氧化矽和氧化鋁變成爐渣，所以理想的熔劑是石灰岩，完全不是所含有的這些雜質。石灰岩的熔冶能力應等於100%，但實際上石灰岩往往未達此值。因為石灰岩中經常含有二氧化矽和氧化鋁雜質，降低了它的熔冶能力。假使高爐中一份 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 = R$ 變成爐渣，需要消耗一份氧化鈣 CaO 或 1.8CaCO_3 ，則石灰岩的熔冶能力可以在下式求出：

$$100 - (R + 1.80) = 100 - 2.80R$$

由上式，如果不熔殘渣 $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 增加 $1R$ ，石灰岩的

熔冶能力就減小2.8 R。根據這個公式，便可推算出石灰岩的熔冶能力。

列文孫—列辛格（Певинсон—Лессинг）院士按照石灰岩的熔冶能力（%）曾做如下的分類：

熔冶能力	熔劑質量
97—100	優等
91—97	上等
85—91	中等
85以下	下等

根據這個分類並利用前述的計算公式，能評價各個作熔劑原料的石灰岩產地。

採用含大量無害雜質的熔劑其缺點主要是減低了高爐的生產率。如果所用的礦石一定，理論上高爐生產率與每單位爐渣的焦炭消耗量成反比。因此爐渣量增加，焦炭的消耗量就提高，也就減少了冶煉生鐵的數量。

可惜得很，要想用一般的公式來確定經濟效果是不可能的，因為還有很多其他的因素（如鼓風量等）同時起作用。

石灰岩中錳、鐵的氧化物以及鎂的氧化物屬於有益的雜質。

熔煉馬丁式生鐵時採用含錳石灰岩是特別有利的，因為在這種情況下就沒有必要在爐中再加錳礦。

當高爐熔煉時，採用含鐵石灰岩或含大量氧化鈣的貧褐鐵礦的價值很大，因為它們既是礦石又是熔劑。

如果用具有強去硫能力的強灰質爐渣在高爐中工作，特別宜於採用富含氧化鎂的石灰岩（白雲石化石灰岩）作熔劑。氧化鎂可增加爐渣的流動性，降低其熔融溫度，從而減輕了高爐的正常工作（即令是強石灰質爐渣）。

除化學成分有一定外，熔劑用石灰岩還應當具有一定的物理機械性質，其中包括：（1）磨損強度；（2）壓碎強度。

磨損強度。通常認為熔劑石灰岩這一性質沒有甚麼決定性的意義，因為在高爐熔煉的條件下更重要的是石灰岩的機械強度，由對壓碎的瞬時抵抗力所決定。

如果這種見解對熔劑直接用於高爐過程時有某種程度的正確性，那麼對石灰岩未直接用於高爐以前的全部措施來說，這個特徵是非常重要的。

磨損強度不夠的石灰岩產地，不能作為大規模機械化開採熔劑企業的最優等的基地。這類石灰岩在開採和運至碎礦工廠的過程中，在碾碎、堆入倉庫、裝車、行車到冶金工廠及卸車的過程中產生了大量不適用於高爐的碎屑。因此，如果石灰岩的磨損強度不夠時，它能用作熔劑的出路也就大大減少了。這類產地僅僅當直接靠近冶金工廠，作為地方性的

基地，並且當作小規模的非機械化開採時，才能有經濟價值。假使其他消費者能够綜合應用這些無定型的碎屑，則它們值得予以注意。

高爐內的石灰岩與其他原料同時遭受到一系列的機械作用。壓碎是其中最厲害的。當爐料在爐內下沉時其主要物質向燃燒帶移動，同時爐料又以較氧化帶本身為小的速度沿爐的軸心下沉。根據這個說法，現代高爐中爐料下沉的速度沿高爐爐脖的半徑由中心向外圍逐漸增大。由於爐中材料的運動，就產生了壓力，如果石灰岩的壓碎強度不夠，勢必形成大量的碎屑和岩粉，致使爐料的透氣性大大變壞，並有損鐵的還原作用。

因此，對壓碎抵抗力很低的石灰岩，雖熔冶能力甚佳，也不能被公認為完全合乎高爐熔劑的要求，對現代化巨型高爐尤其如此。

塊子大小和均勻程度以及碎屑的含量是冶金上對石灰岩質量的最重要要求之一。

裝在爐中的石灰岩塊的大小，應當是當溫度達 950° - 1000° 時石灰岩能完全分解為適當。如果塊子過大，分解勢必遲誤，一部分要在爐的下層纔能分解。這樣焦炭過量消耗和爐渣生成作用惡化便難避免；但石灰岩塊過小，也會使爐料的透氣性變壞，從而常常增加無害雜質的數量，同樣使高爐生

產形成不利的複雜情況。

因此，用作熔劑石灰岩塊的大小應當規定其上下的界限。

關於高爐爐料中石灰岩塊的大小或熔劑塊子大小均勻程度的變化問題有着頭等重要的意義。如果石灰岩塊的均勻程度最大，其他爐料成分的塊子大小也適當的話，就可保證還原氣體對爐料的最有效的沖洗和氣流的均勻，從而有利於還原作用，並節省焦炭的消耗。

用馬丁爐熔煉時，附加石灰岩主要是爲了把金屬中的磷和硫排除出去。

高爐爐渣往往有這樣的成分： $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 與 $\text{CaO} + \text{MgO}$ 的比例大致等於一個單位，而對馬丁爐爐渣，則這個比值爲 1:2.5。因此無害雜質 SiO_2 和 Al_2O_3 在石灰岩中的評價對馬丁爐和高爐熔煉有所不同。

如同前面一樣，設 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 的和等於 R ，則基性物質 $\text{CaO} + \text{MgO}$ 須消耗 $2.5R$ ，折合碳酸鹽爲 $5.5R$ 。把這些數字與前面高爐熔煉時石灰岩熔冶能力的公式比較一下，便可看出：石灰岩中二氧化矽和氧化鋁在煉鋼時所起的負作用比用作高爐熔劑時要大些。

根據這一點，用作馬丁爐熔劑時，對 SiO_2 和 Al_2O_3 的要求應該比較嚴格。由於極大量的 SiO_2 和 Al_2O_3 積聚於碎屑材

料中，因此石灰岩黏染碎屑的數量亦應較高爐中的為少。

由於煉鋼時附加熔劑的主要目的在於把燐變為爐渣，含鎂石灰岩和白雲岩作為熔劑便不恰當，因為在該情況下 MgO 所起的積極作用比氧化鈣要小。煉鋼時為了加速作用，常用石灰代替石灰岩。

高爐和馬丁爐生產對石灰岩的技術要求

熔劑石灰岩尚無全蘇通用的標準。供給黑色冶金工廠用的石灰岩往往是按照黑色冶金工業部每 3—4 年由研究更換的技術條件進行。蘇聯南部和中部工廠高爐生產用的石灰岩最新的技術條件是 1945 年全蘇礦物原料研究所會同黑色冶金工業部所擬定的。蘇聯東部（烏拉爾、西伯里亞）工廠對熔劑石灰岩的質量採用特殊的技術條件。

南部和中部高爐及煉鋼生產工廠目前對熔劑石灰岩的黑色冶金技術要求歸納如下：

被採用的一切種類的石灰岩按其化學成分，分成級和等。級又分為普通級、特別級和白雲石化級，普通級和白雲石化級本身又各分為兩等。

凡 CaO 含量不少於 49.5% 而不熔殘渣不超過 4.5% 的石灰岩屬於普通級。

凡 CaO 的含量不少於 47—43%，不熔殘渣為 6—10% 及

磷不超過0.005%的石灰岩。屬於特別級。

白雲石化級的石灰岩第一等應含 MgO 不少於 10%， CaO 為 40—35%；第二等 MgO 不少於 6%， CaO 為 44—40%，不熔殘渣都不超過5%。

普通級熔劑石灰岩第一等和第二等的區別是前者 CaO 含量高，不熔殘渣含量低（第一等 CaO 不少於 52% 及不熔殘渣不超過2%；第二等 CaO 不少於 49.5% 及不熔殘渣不超過 4.5%）。

普通級熔劑石灰岩供熔煉馬丁式生鐵、托馬氏生鐵、鑄造生鐵、貝氏生鐵和高爐鐵合金用。

特別級石灰岩是用於以焦炭熔煉少磷的高級生鐵，為甚麼要把這種石灰岩單獨劃成一級呢？因為蘇聯南部冶煉高級生鐵的工廠用的是含少量二氧化矽的礦石，熔煉這些礦石要求特別附加不足的二氧化矽到爐料中去，同時南方的石灰岩含不熔殘渣的量高，含磷質少，利用這類石灰岩在該情況下是合理的，在經濟上也是合算的。

白雲石化石灰岩由於能增加爐渣的流動性，每施用於基性石灰質爐渣，且可很好地控制硫分。高爐爐料中硫的含量如果提高，就有必要以鎂置換爐渣中的部分氧化鈣。

因此，白雲石化石灰岩和普通石灰岩一樣，可以供熔煉一切標號的生鐵之用，並且應用於基性石灰質爐渣中冶煉時