

炼铜 造渣与配料

张 志 道 編 著

冶 金 工 業 出 版 社

煉銅的造渣与配料

張志道 編著

編輯：吳學文 設計：韓晶石 校對：胡瑞華

—— * ——

冶金工業出版社出版（北京市灯市口甲45号）

北京市書刊出版業營業許可証出字第093

國家統計局印刷廠印 新華書店發行

—— * ——

1959年2月第一版

1959年4月北京第二次印刷

印數4,000冊（累計7,000冊）

開本787×1092·1/32·33,000字·印張1.3

—— * ——

統一書號 15062·1480 定價0.16元

出版者的話

在火法煉銅生產中，無論是用土法生產或洋法生產，造渣與配料都是十分重要的工作。銅礦石品位低及其組成複雜，決定了產出大量爐渣的必然性。因此，正確地選擇渣型，準確地進行配料，就成為冶煉過程正常進行的重要關鍵。在全民煉銅運動中，廣大幹部和群眾，如能儘快地掌握爐渣的性質和作用、熟練地運用配料方法，將十分有助於煉銅工業的發展。本書的出版，希望能在這方面起到一些作用。

本書比較系統地論述了爐渣的性質、煉銅生產對爐渣的要求和各種造渣成分對爐渣的影響；介紹了用簡單算術四則運算的簡易配料計算方法。書中並結合國內土法煉銅情況，討論了直接煉粗銅的條件及造冰銅的一些問題，提出了在土法煉銅中根據礦石中銅硫比來決定是否直接煉粗銅的觀點，並給以理論上的解釋，這對各地選擇冶煉流程有所幫助。

本書主要是為從事土法煉銅工作的一般技術幹部和有一定閱讀能力的工人編寫的。由於造渣與配料原則在土法生產和洋法生產中都是一致的，所以大中型煉銅廠的工人也可以用作學習中的參考書。

前 言

在炼銅生产中，造渣与配料是极其重要的問題。造渣是决定炉子生产状况的主要条件，而炼銅的配料更是生产当中必須掌握的重要工作。

发展炼銅事业，包括土法生产与洋法生产，都須要注意造渣与配料的問題，因为炼銅的生产过程包含着将有用金属从矿石中提取出来而与炉渣分离的化学过程。

本書根据我国土法炼銅的情况，参照炼銅工厂的生产經驗，从理論上来闡述炼銅的造渣与配料問題，并介紹了必要的实例計算，以便对广大炼銅工作者在掌握炼銅的規律上有所帮助。

編写時間短促，內容不够完整，尚希讀者提出指正。

目 录

前 言

第一章	銅矿石的分类	1
第二章	炼銅的造渣	3
	造渣与煉銅的关系	3
	对煉銅爐渣的要求	4
	爐渣的分类	5
	爐渣的性質	7
	各种造渣成分对爐渣的影响	10
第三章	炼銅产粗銅的条件	14
第四章	炼銅的造冰銅	21
	冰銅的成分	21
	冰銅的性質	21
	冰銅的品位	24
第五章	配料的方法	27
	配料的基本条件	27
	选择煉粗銅生产流程的概算	30
	选择标准渣成分及加熔剂的計算	33
	煉冰銅过程的配料計算	36
第六章	配料計算及驗証	40
	产粗銅的配料計算	41
	产粗銅及冰銅的配料計算	43
	产冰銅的配料計算	45
	配料的驗証	47

第一章 銅矿石的分类

銅和周期表中的36种元素組成化合物。在自然界中含銅矿物多于240种，但其中許多是很少碰到的，而且沒有工业上的价值。自然界中分布最广的銅矿列举于下：

1、自然銅

2、硫化矿

黃銅矿 CuFeS_2 硫砷銅矿 Cu_3AsS_4

輝銅矿 Cu_2S 斑銅矿 Cu_3FeS_3

銅 藍 CuS 黝銅矿 Cu_3SbS_3

3、氧化矿

赤銅矿 Cu_2O 石 青 $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$

黑銅矿 CuO 矽孔雀石 $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

孔雀石 $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ 胆 矾 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

这些矿物中以硫化矿意义最大。世界上的銅矿床，80%是硫化物的，我国的銅矿床也是以硫化矿为主。輝銅矿与黃銅矿是最主要的硫化矿床，其次为斑銅矿和銅藍，黝銅矿和硫砷銅矿存在的数量不多。氧化矿物中，以孔雀石、石青、矽孔雀石等分布較广。

銅矿石有原生的与次生的两种。原生矿是指地壳下部原来生成的矿床；次生矿則是地表面风化与溶浸的以及高温水热变化以后生成的矿床。黃銅矿、硫砷銅矿、黝銅矿等属于原生的；輝銅矿与銅藍可能是原生的，也可能是次生的；氧化矿則是属于次生的。

按照銅矿物在矿石中之性質，分为自然銅、硫化矿石及

氧化矿石三类。自然銅在天然界中的存量很少。通常遇到的是混杂的矿石、共生矿石与散点矿石。矿石中除銅矿物外，尚含有脉石：矽酸盐、鋁矽酸盐及其他矿物和金屬氧化物等。

銅矿物常常与其他矿物共生在一起。在硫化矿石中，黃鉄矿常是伴生矿物。黃鉄矿是黃色結晶明亮的矿物，往往有人誤認為銅矿或金矿，其实它含硫与含鉄都很高。此外銅矿石中通常还有鋅，也会碰到含銅鉛鋅的矿石，也有含鎳的銅鎳矿石以及多金屬矿石。在銅矿石中还有相当少量的貴金屬（金銀等）以及稀有金屬（硒碲等）。这些元素在国防上及現代工业上都有很大的价值，例如硒是制造坦克、飞机及雷达的材料。銅矿石还含有鉍、錫、釩等金屬。

第二章 煉銅的造渣

造渣与煉銅的关系

煉銅過程中的造渣問題是很重要的。有色金屬礦的熔煉，包括銅礦石的熔煉，有時被人看作是熔煉爐渣的操作。爐渣的性質和特征決定着熔煉過程的好壞，換句話說，造渣的好壞就是熔煉進行正常與否的標志。所以，在煉銅當中對於造渣應該給予極大的注意。

爐渣是從礦石中煉出來的廢物，它基本上就是金屬氧化物的合金。所有熔煉的用意在於使原料中的有用金屬和脈石分開。火冶的過程就是富集的過程，在渣中集中着所有的脈石，而有用金屬濃集在冰銅或粗銅內。為了獲得良好的爐渣，通常必須在礦石中加入熔劑。礦石中的氧化物和熔劑中的氧化物，在熔煉過程中形成爐渣。

礦石中大半都只含有少量的銅，甚至經過選礦後的銅精礦，其含銅量一般也只是9~15%。由於礦石或精礦中銅的含量低，熔煉後生成的冰銅量是不多的，因此爐渣構成熔煉產物的大部分，生成的爐渣占礦石重量的80~100%。在煉貧礦石時，隨著熔劑量的加大，渣的產量有時占礦石重量的120%，甚至更多些。另外燃料經過燃燒後殘留下來灰分也將進行造渣。

✿ 正確的選擇爐渣的成分在很大程度上決定着熔煉的效果，因而對於冶金工作者來說，這是很重要的工作，需要不斷地進行研究。在全民動員大力發展煉銅工業中，為了能使

广大群众迅速掌握起这门炼铜技术，使炼铜炉能顺利地投入生产并正常地生产下去，首先须要把炼铜中的造渣问题搞清楚些。

对炼铜炉渣的要求

由于矿石的成分是各色各样的，炉渣的性质也就不会完全一样，因此选择合理的炉渣成分，应该作为炼铜中的重要技术条件。对于炼铜炉渣的要求，总的来讲有下列一些：

1、炉渣要有合适的熔点，以满足熔炼中化学反应过程的要求。假如熔点过低，熔化过快，以至矿石中的金属铜来不及反应完全而部分地进入渣中，而造成金属的大量损失；相反，如果熔点过高，则熔化困难，燃料消耗增大，高熔点渣需要高的炉温，从而给冶炼过程带来许多不良条件。因为在熔炼中应保持炉渣的过热状态，所以一般要求炉渣的熔点要低，通常为 $1050\sim 1150^{\circ}\text{C}$ 。

2、渣的成分应该保证获得的熔炼产物是纯洁的，也就是要使金属产品（冰铜或粗铜）的质量达到要求。在铜矿石的还原熔炼中，跟铜一起还原的尚有铁的化合物。尽管铁有着比铜更大的对氧的亲合力，但氧化亚铁有时仍然可以被还原成金属铁，熔解于铜中，使产品质量大为下降。应当选择适当的渣成分，力求避免这一点。

3、炉渣应该保证从矿石中将有用金属尽量的回收，使矿石中所含的铜最大限度地提取出来。在这里必须考虑两个因素：渣中的含铜量与生成的渣量。总的目的是减少炉渣的有用金属含量，也就是降低炉渣中铜的总损失。这须要从两方面着手：一方面降低渣的含铜，另一方面也要考虑到减少

渣量。

4、炉渣应该具有一定的粘度，通常是希望渣有較小的粘度。事实上渣是具有高粘度的东西，所以要想办法降低渣的粘度。但有时过低的粘度也是不希望的，如在鼓风炉中，粘度过低的渣，很快的通过风口上方的高温区，沒有很好的过热就流入炉缸，冰銅或粗銅与渣分层就困难了。目前，有的土法炼銅的老炼銅工常要求粘度高的渣，如須要能拉成絲的渣才能把銅炼出来，就是这个道理。总的来講，粘度太高是不好的，那会影响炉子的处理能力，甚至熔体在炉缸内放不出来，使炉子发生严重事故。另外，粘度高，势必流动性不好，渣与銅的沉淀分离也就困难。

5、炉渣的比重应该是尽可能的小。冰銅比重与炉渣比重相差至少要大于1，粗銅比重与炉渣比重差一般达到3~5。黑銅因含杂质較多，其比重較粗銅比重小。渣与銅的比重差愈大，則沉淀作用愈完全，銅水与炉渣分离愈好。

6、渣在价值上应该是便宜的，也就是造成一种在冶炼上經濟效果最好的渣。生产当中常常需要注意冶炼的成本，所以应该选择一种渣成分，它需要加入的熔剂量最少。另外应该采用本地的便宜的熔剂，采用含有有价值金屬的熔剂，如含金的石英岩或含銅的石灰石等。自然这种渣成分在冶炼中必須合乎生产上的要求，如渣含銅低，耗費燃料少。因此，选择炉渣时必須把上述各种条件綜合起来全面考虑。

爐渣的分类

构成炉渣的化学成分有：二氧化矽 (SiO_2)，氧化鉄 (FeO)，氧化鈣 (CaO)，三氧化二鋁 (Al_2O_3)，氧化

鎂 (MgO), 氧化鋇 (BaO), 氧化鋅 (ZnO), 等等。

二氧化矽是酸性的, 氧化鐵、氧化鈣等均屬鹼性, 三氧化二鋁則是兩性的, 既是酸性的又是鹼性的, 它在酸性渣中呈現鹼性, 在鹼性渣中又呈現酸性。

通常根据渣中二氧化矽含量的不同而將爐渣分成酸性渣與鹼性渣, 二氧化矽含量大於40%的為酸性渣, 二氧化矽小於35%的為鹼性渣。另外, 又根据在酸性氧化物中之氧與鹼性氧化物中之氧的比例, 而將爐渣分成不同種類。

根据下列公式中的常数K值, 可以判斷出渣的大致性質。一般將K值稱為渣的矽酸度。

$$K = \frac{\text{酸性氧化物中之氧}}{\text{鹼性氧化物中之氧}}$$

通常按矽酸度將爐渣分為四類, 見表1所列。

表1

爐渣按矽酸度的分類

爐 渣 名 稱	分 子 式
0.5 矽 酸 度 渣	$4\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$
	$4\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
1 矽 酸 度 渣	$2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$
	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
1.5 矽 酸 度 渣	$4\text{FeO} \cdot 3\text{SiO}_2$
	$4\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$
2 矽 酸 度 渣	$\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$
	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

炉内金属氧化物在高温区域熔融造渣，其反应主要是 SiO 与 FeO 、 CaO 生成 $\text{SiO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{CaO}$ 系统的作用。根据采用的矽酸度不同，炉渣的性质也随着改变。在炼铜过程中通常采用 1~1.5 矽酸度。

爐渣的性質

1. 造渣温度或称渣的生成温度：炼铜时中采用的炉渣，其造渣温度的范围，在 $1000 \sim 1400^{\circ}\text{C}$ ，实际上生成 $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ 的反应在 $800 \sim 1100^{\circ}\text{C}$ 就激烈进行，并且随温度的升高而加速。根据研究测知，以氧化镁取代氧化钙将增高造渣温度，而以氧化钡取代氧化钙将减低造渣温度，以氧化锰取代氧化铁，造渣温度没有显著的变化。造渣温度常高于已生成的渣的熔点约 $50 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 。

2. 渣的熔点：存在于炉渣中的各种氧化物，在单独存在时都有相当高的熔点，主要的造渣组成成分的熔点如下：

二氧化矽	1710°C
氧化鉄	1360°C
氧化鈣	2570°C

当将各种氧化物混合，酸性的与碱性的共同熔炼得出的炉渣，其熔点就比纯氧化物低得多。实际上炼铜的炉渣，在大多数情况其熔点是界于 $1050 \sim 1150^{\circ}\text{C}$ 。

炉渣的熔点与纯物质的熔点是有区别的。所谓渣的熔点，是指在該温度时，渣已由不均匀浆糊状态变为均匀而流动的状态。因此熔点的概念是有一定范围的，即从开始熔化到完全熔化，中间有一段温度的距离，称为熔化温度间隔。通常酸性渣有較长的熔化温度间隔，而碱性渣的熔化温度間

隔較短。随着矽酸度的增加，开始熔化的温度降低，而完全熔化的温度还是相当高，熔化温度間隔也随着加大。这就是提高渣中二氧化矽成分时，渣的开始熔化温度降低而粘度反而增大的原因。矽酸度与熔化温度間隔的关系見表 2：

表 2

矽酸度与熔化温度間隔的关系

矽 酸 度	熔 化 温 度 間 隔
1	30°C
1.5	80°C
2	280°C

3. 渣的粘度：渣的粘度对銅的冶炼有很大的意义，因为它首先影响着渣和冰銅的分离，再則，粘度太高时，自炉內放出熔体就很困难。大型冶炼厂在鼓风炉熔炼时，粘度太高也会发生炉子的咽喉口堵塞或渣流动不良等事故。目前土炉炼銅生产中遇到这样的困难也是不少的。

粘度与温度的关系是温度升高則粘度下降。对酸性渣來說，其粘度随温度升高而均匀下降；对碱性渣則情况相反，当冷却到一定温度时，其粘度才剧烈增加。

酸性渣比碱性渣粘度高。炉渣粘度往往随二氧化矽的增加而很快升高，如二氧化矽含量达50%时粘度就很大了。对酸性渣而言，增加氧化鉄則粘度下降，若增加氧化鈣时，粘度下降之速度較增加氧化鉄为慢。

酸性物料、鋅的化合物、三氧化二鋁、氧化鎂和四氧化三鐵都將使爐渣粘度增高。

爐渣粘度可以根據從爐內流出的爐渣流動性來調節。在土法煉銅中，有將熔劑按着其對渣粘度的影響來區別的，看渣的稠稀程度來加熔劑。流動性不好的為稠，即粘度大，流動性好的為稀，即粘度小，例如能使爐渣粘度減小的鐵礦石（作熔劑時）稱為稀礦，能使爐渣粘度增加的石英石則稱為稠礦。渣稠則加入稀礦，渣稀則加入稠礦。

為使爐渣的粘度減小，一般儘可能使爐渣過熱，過熱溫度通常要求 200°C 。

解決二氧化矽（ SiO_2 ）含量過高的礦石的熔煉問題時，為了降低渣的粘度，加入氧化錳（ MnO ）比加入氧化鐵（ FeO ）的效果更好。有少量的 MnO 在渣中渣的粘度就能降低很大，當含 MnO 為2~4%時，渣的粘度很低。在渣中加入這種成分，使渣的粘度降低而避免了酸性渣的短處，但又保留了酸性渣的長處。 MnO 通常是以二氧化錳（ MnO_2 ）的礦石形式加入的，另外氧化鈉（ Na_2O ）與螢石（ CaF_2 ）都能改善渣的流動性。

4. 渣的比重：渣的比重一般要求儘可能的小，因為整個熔體就是借着渣與銅的比重不同而分離的。因此，沉淀作用是很重要的，渣與銅的比重差愈大，則沉淀愈易完全，渣與銅的分離也愈良好。表3中列有各種成分的比重，從此表就能辨別各種成分對渣比重的影響。

SiO_2 有着比其他造渣成分都要小的比重，所以渣中 SiO_2 的含量增多時，渣的比重會顯著降低。

Fe_3O_4 的比重最大。渣中的 Fe_3O_4 是有害成分，它既要

表 3

各种渣成分的比重

成 分	FeO	Fe ₃ O ₄	BaO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
比 重	5	5.18	5.0	3.32	3.4	3.6	2.51

增大渣的比重,又提高渣的粘度,所以一般都要求减少 Fe₃O₄ 进入渣中的数量。Fe₃O₄ 的量多了有时还会在渣与铜之间造成一层隔膜,因为其比重介于渣与铜(包括冰铜与粗铜)之间,使沉淀更为困难。

5. 渣的溶解度: 炉渣对于金属铜与硫化亚铜 (Cu₂S) 的溶解度都要求尽可能的小。金属硫化物在含大量铁的碱性炉渣中的溶解度比在酸性炉渣中大, 增加 SiO₂ 在渣中的含量这个溶解度便会降低。另外增高温度也会增加炉渣对硫化亚铜的溶解度。

炉渣的酸碱性是按其中所含的二氧化矽及碱性氧化物如氧化铁、氧化钙等来区别的。当炉渣中含二氧化矽为 30~35% 以下时, 这种炉渣就被称为碱性的, 当含二氧化矽在 40~45% 以上时, 则称为酸性的。

各种渣成分对渣渣的影响

对于有色金属的冶炼来说, 炉渣的基本成分是 SiO₂, FeO 与 CaO。它们三者的和构成渣总量的 80~90%, 因此炉渣的性质基本上是由这三个化合物的系统所决定。

现在分别就这三种主要的渣中成分作下列介绍:

1. 二氧化矽: SiO_2 是炉渣中的主要成分。在渣中升高 SiO_2 的含量, 就会增加渣的酸度。酸性渣的粘度大, 所以增加 SiO_2 的成分时, 会使渣的粘度增加, 流动性不好, 这对渣来说是有害的。除了使粘度增加外, SiO_2 能使渣的比重降低, 因为 SiO_2 的比重比其他造渣成分小, 仅为 2.51, 这对于渣和铜分离有好处, 这是优良炉渣所希望的条件。另外增加渣中 SiO_2 的含量对于炉渣的金属硫化物溶解度也可以降低, 这也是有利的。在炼铜生产中, 一般都保持 SiO_2 在渣中的一定含量。但 SiO_2 高的渣由于其粘度大往往焦炭消耗量会增加。

在炉渣中 SiO_2 的理论含量可以在很大的范围内变动, 鼓风炉自热熔炼含 30~33%, 半热熔炼含 35~40%, 吹炉熔炼含 22~28%。当处理含铁高的铜矿石时, 过多使用熔剂当然是不利的, 但 SiO_2 的含量也不能过低, 一般还是加入石英石熔剂, 使其保持在 35~36% 左右, 最低也不应低于 30%。在熔炼含二氧化矽高的酸性矿石时, 为了减少碱性熔剂的用量, 往往将渣中的 SiO_2 量规定得高一些, 但一般也在 45% 以内, 最高时可达 50%。当炉渣中 SiO_2 的含量达到 50~55% 时, 渣的粘度已经很大, 从炉内放出炉渣就很困难, 冶炼几乎不能进行了。在土法炼铜中, 有的地方由于矿石含二氧化矽高, 而没有进行很好的配料, 往往因加入熔剂的数量不够或没有加入, 从而造成炉渣放不出来的现象。在土炉炼铜中, 也可以根据矿石成分的不同为炉渣选定不同的 SiO_2 含量, 一般土炉熔炼 SiO_2 可保持在 33~45%。

2. 氧化铁: 氧化铁具有较大的比重, 从而使渣的比重迅速增高, 造成渣与铜的分离沉淀不良。同时 FeO 最不好的影响便是增加了渣对金属硫化物的溶解度, 所以一般认为含氧

化鉄多的碱性炉渣中，含銅量比酸性炉渣多。另一方面， FeO 对于炉渣的流动性是有好处的，特別在酸性渣中加入 FeO ，会很快的降低炉渣的粘度，这样使炉渣流动順暢，炉子的熔炼也就比較容易掌握。但炉渣中含 FeO 过多时，往往容易过氧化，而生成磁性氧化鉄 (Fe_3O_4) 的机会与数量都将增多。磁性氧化鉄对渣的性質的不良影响就多了：它提高渣的比重与渣的粘度，在操作中磁性氧化鉄过多时，会生成炉瘤，使炉子的生产受到妨碍。所以在熔炼时要尽可能的防止渣中 Fe_3O_4 的含量增多。一般都要使炉渣中的鉄保持 FeO 的形态。炼銅炉渣中 FeO 的含量应保持在 20~55% 的范围内波动，通常是 30~45%。用含 Fe 来表示时，即为 23~35%。

3. 氧化鈣： CaO 的比重不大，为 3.32。因此，在炼銅的炉渣中，假如用 CaO 代替 FeO ，則渣的比重便会降低，这点对渣和銅的分离是有利的。 CaO 能降低渣的粘度，但一般比 FeO 要緩慢些。有时 CaO 对于改善渣的流动性是有效的，所以一般認為在炼銅炉渣中增加 CaO 的成分可以降低炉渣的含銅量。当然需要顧及到渣量的問題，如果加入大量的石灰石，用 CaO 代替 FeO ，虽然渣的含銅量低，但渣量增大，銅的总損失仍可增大，所以在决定渣中 CaO 量时也要全面考虑。炼銅的炉渣一般 CaO 保持在 5~15% 的范围内波动。

除了这三种主要成分的影响以外，其他几种成分对于炉渣影响也作簡單說明：

1. 氧化鎂： MgO 有高的熔点，約为 2800°C ，属于难熔氧化物，对炉渣來說会升高渣的熔点。 MgO 的比重不大，在炉渣中含少量的氧化鎂，起的作用与氧化鈣一样，但是如果超过 12%，則会使渣的熔点急剧增高。