

高炉精料的准备

文集

1

中国工业出版社

76.212

284

21

高炉精料的准备

文 集

1

陈大受 楊永宜 編譯

3655/09

中国工业出版社



高炉使用“精料”生产，是强化高炉冶炼和降低焦比的有效手段，是高产、优质、低消耗、低成本的基础。近几年来我国“精料”工作——冶炼前矿石的加工准备工作，有了一些发展，并取得了显著的效果。国外在“精料”方面也有不少经验，值得介绍。本书就是基于这一目的而编的。

本书选编了国内外有关的18篇文章，介绍了我国、苏联以及日本、西德在精料工作方面一部分生产技术经验和科学研究成果。

本书由北京钢铁学院炼铁教研组陈大受、杨永宜二位同志编译。本书可供炼铁及烧结工作者参考。

高炉精料的准备

文集

1

陈大受 杨永宜 编译

*

冶金工业部图书编辑室编辑（北京道市大街73号）

中国工业出版社出版（北京德胜门内大街10号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行，各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $4^{11/16}$ ·字数123,000

1963年2月北京第一版·1963年2月北京第一次印刷

印数001—690·定价（10-6）0.75元

*

统一书号：15165·2036（冶金-296）

目 录

烧结的发展趋向和优质烧结矿的生产

1. 烧结生产的发展趋向和存在問題……………楊永宜 (1)
2. 鞍鋼烧结生产經驗……………楊世农 (10)
3. 山东生产高碱度自熔性烧结矿的
經驗;……………山东省冶金工业厅 (23)
4. 高碱度烧结矿的生产工艺………… (苏)B. Я. 米列尔等 (37)
5. 高碱度烧结矿的初步研究……………孔令坛 (46)
6. 烧结矿强度的研究…………… (苏)B. Я. 米列尔等 (49)
7. 自熔性烧结矿中的鉄酸鈣…………… (日)完藤内伯 (67)
8. 大阪制鋼所的自熔性烧
结矿…………… (日)胸部义胜 平井敏夫 (72)

新型烧结机和新烧结方法

9. 真空一鼓风烧结…………… (苏)B. A. 索洛金等 (77)
10. 烧结厂石灰石焙烧机的
掌握…………… (苏)B. H. 克里瓦謝也夫等 (83)
11. 广畑制鉄所新型烧结机性
能試驗…………… (日)安永道雄 等 (88)
12. 戸畑一号烧结机…………… (日)永嶋治久 等 (94)
13. 用烟煤和热风在带式烧结机上
烧结高磷鉄矿…………… (西德)卡尔·海頓 (99)
14. 往烧结机上布料的問題…………… 唐先觉 (100)

炉料分级的效果

15. 炉料分级对高炉产量的影响…………… (日)辻畑敬治等 (107)
16. 鉄矿石分级对高炉行程的影
响…………… (日)鳥越年高等 (112)

球团矿的发展和生产

- 17. 球团矿生产的发展和基本理論問題…… 陈大受 (116)
- 18. 細磨精矿粉的化学接触剂造块法…… (苏) A. 馬依可夫斯基 (138)

1. 燒結生產的發展趨勢和存在問題

楊承宜

最近十多年，由於使用自熔性燒結礦，高爐冶煉過程及技術經濟指標發生了自從1828年高爐使用熱風以來的又一次革命性變化。焦比從本世紀以來長期的1.0左右降低到0.6左右，甚至突破了0.5的記錄；冶煉強度也因為燒結礦的良好物理性能而得到很大提高。蘇聯，瑞典和我國較早掌握自熔性燒結礦生產。近幾年日本，西歐和美國也迅速推廣了這一新技術，日本還創造了很低的焦比記錄，試看以下的統計數字〔1，2〕：

燒結礦年產量（百萬噸）

年 別 國 別	1930	1940	1950	1957	1958	1959	1960	1970 (計劃)
蘇聯	—	6.2	12	41.3	47.2	55.66	64.06	—
美國	5	10.0	25	—	—	—	61.5	75

據 T·埃司1959年對西歐三十多個工廠的調查〔3〕，幾乎所有西歐的高爐車間都計劃擴充燒結生產能力，有的計劃用100%燒結礦，包括英國、法國和西德一些最大的煉鐵廠。

這就無怪很多國家都在系統地研究燒結的基本理論、工藝流程和改進設備。

最近十年來球團礦在造塊工藝中異軍突起，不少人曾估計它即將全部取代燒結。其粒度均勻，還原性和強度好，堆比重大等種種優異的物理性能，的確都超過燒結礦，但球團礦在一個致命性的環節上——自熔性或熔劑性——落後於燒結礦。高碱度球團礦要求很窄的焙燒溫度，目前大規模工業生產還難控制到這種精密程度。因此，除了美國的鐵石英岩精礦粉因為含鐵很高，製成非自熔球團礦在高爐內仍然只需不多的石灰石，因而大量生產了球團礦外，一般的富礦粉和精礦粉仍以生產自熔性燒結礦更為容

易和合算。因此，自熔性燒結礦今日在世界上還占壓倒的優勢。

1960年美國生產球團礦1365萬噸；燒結礦6150萬噸；蘇聯生產的人造富礦目前還只有燒結礦。

當然，球團礦需要進一步研究，這是一個有前途的造塊方法，尤其在綜合利用含有少量有色金屬的礦石和部分金屬化等方面，都有優異的前途。但也應看到，與之競爭的燒結礦的某些缺點（如粒度不均勻，勞動條件較差），也是可以不斷克服的。

一、碱度提高的新方向和强度问题

對於全部使用燒結礦的高爐，一般1.2~1.4的碱度已可以完全取消高爐配料中的石灰石。但部分使用生礦的高爐，對更高碱度的要求過去一直未得解決。問題在於高碱度和強度的矛盾。過去很多試驗證明，含CaO超過18~20%的燒結礦很容易風化碎裂。

一個很有意義的發現是蘇聯B.Я. 米列爾教授的研究（本書已載有他的論文），即用細精礦粉生產碱度5.0以上，含CaO高到36%超高碱度的燒結礦，而其強度仍然很好。像錳鋼系統中錳的作用一樣，最初加入的錳使鋼逐步變硬變脆，但進一步增加錳，鋼的脆性反而消失了。北京鋼鐵學院煉鐵試驗室用石鋼遷安精礦粉初步試驗証實了米列爾等的發現。當生產碱度1.2~1.8的燒結礦很困難時，越過這一階段，將碱度提高到3.5~4.0得到了和一般燒結礦轉鼓指標相似的燒結礦，只是大塊成品少一些，粒度更為均勻。

米列爾認為，這一質變的原因是：碱度低於2.0的燒結礦中連接（粘結）體是比較脆的各種玻璃質，而高碱度燒結礦中主要連接相是鐵酸鈣晶体，使燒結礦容易風化的硅酸鈣只是以細小析出物形態存在於鐵酸鈣中。控制較小的返礦粒度（0~8毫米），較低的垂直燒結速度（以防急冷），使石灰石均勻分布於細小的精礦粉中，用略高的燃料比（分解石灰石多）即可獲得很好的超高碱度燒結礦。

這種高碱度燒結礦的遠大前途在於那些必須部分使用生礦的

高炉上；当这类高炉也能全部取消石灰石时，焦比降低将出现一次飞跃，这对我国很多中小型高炉和石钢类型的大高炉有很大的现实意义。另一重要方向是和自熔的球团矿联合使用，将为高炉既提高冶炼强度又降低焦比创造最有利的条件。

为了改进烧结矿的强度，在英国和苏联进行了大量的烧结矿矿相研究。B.Я.米列尔等在试验中有一项新的发现：影响烧结矿强度的重要因素之一是它的气孔结构。强度好的烧结矿气孔很小，大部分为2.0~0.5毫米，均匀分布于烧结矿中使之成海绵状，气孔大(5~10毫米)的烧结矿因孔壁脆，强度不好。烧结生成的液相，其粘度对气孔结构有很大影响；粘度过小容易生成粗大气孔，而从粘稠状到完全流动的温度区域长的液相有利于生成较小的气孔。米列尔认为碱度为1.2~2.0的烧结矿，液相流动性太高。

二、热风烧结和煤气烧结，抽风与吹风

要降低烧结矿中的 FeO 和 Fe_2SiO_4 以改进还原性，必须降低混合料的固定碳。又因为有的国家烧结用燃料供应不足，开始探索用煤气或热风来代替一部分固体燃料。两种方案都在试验室研究的基础上，进行过工业试验或已投入生产。

苏联捷尔任斯基工厂在50米³烧结机上试用过煤气烧结；用的是高炉煤气，使混合料含碳降低到1.6~2.0%（↓~50%），成品含 FeO 4.3%，转鼓指数略低于一般烧结矿，但高炉无不良反应。由于设备运转未掌握好，试验期中产量降低38%〔4〕。

热风烧结在苏联耶拉基也夫工厂是通过燃烧一部分高炉煤气来加热烧结用空气的，这种燃烧-预热器一般置于点火器之后，占烧结机长度 $\frac{1}{3}$ 左右或更多。该厂预热温度为150~200℃时，烧结燃料减少约10%（试验室预热到300℃，可以节约30%燃料），产量和质量都有改进。在苏联库钢和亚速钢厂其后也都试验过。

使用热风較突出的是德国罗歇林 (Röchling) 鋼鉄厂, 采用了考貝式热风炉, 燃烧高炉煤气, 預热温度为 840°C [5]。燒結机为 $39\sim 42\text{米}^2$, 热风用于燒結帶点火器后面 6 米长一段。用冷风时产量为 $18\sim 26\text{吨}/\text{米}^2\cdot\text{日}$, 用热风后为 $30\text{吨}/\text{米}^2\cdot\text{日}$; 燒結矿的强度更好(返矿自配料中用 $35\sim 50\%$ 降低到 20% 左右); $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值自 $1\sim 3$ 增加到 $3.5\sim 4.0$; 每噸燒結矿共用 28米^3 高炉煤气和 3.5米^3 焦炉煤气, 固体燃料减少約 25% 。

使用热风燒結的优点在我国山东土法大堆吹风燒結中得到很好的証明。这种燒結堆厚达 $1.2\sim 1.4\text{米}$, 燒結中間层和上层的空气在通过下部成晶层时得到很好的預热作用, 因而混合料中的固定碳只有 $2.5\sim 2.8\%$ (比一般燒結机低約 25%), 試驗証明还可以降低到 2.0% 左右, 燒結矿中的 FeO 一般不多于 8% 。

山东燒結过程的另一特点是冷却慢, 而且是在氧化性气氛中緩慢冷却的, 这非常有利于各种鉄酸鈣的形成, 减少急冷引起的内部热应力。图 1A 是我們教研組在山东濰坊用 $\text{Pt}-\text{PtRh}$ 热电偶測出的燒結堆上下各层温度变化的曲綫^①。由图 1A 可以看出: 如果冷却速度 $v(^{\circ}\text{C}/\text{分})$ 按下式計算

$$v = \frac{T_{\text{最高}} - T_{\text{停風}}}{t}$$

$T_{\text{最高}}$ ——燒結过程中的最高温度;

$T_{\text{停風}}$ ——卸出或停風时的温度;

t ——冷却期的时间, 分钟。

則在图 1B 一般的燒結层中, v 为 $150\sim 250^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$, 而在山东燒結堆中只有 $4\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{分钟}$, 相差 $30\sim 50$ 倍。

这个优点 (氧化性退火冷却) 是目前一切其他燒結方法所沒有的。

北京鋼鉄学院地质教研組初步用显微鏡鑑定, 証明山东燒結矿結晶比較完整和发展, 分布均匀, 都比鞍鋼的燒結矿好。

① 測定的最高温度可能略偏高, 因在瓷保护管外加了一层鋼管保护, 后者有一定氧化和放热。測定者宋书亭。

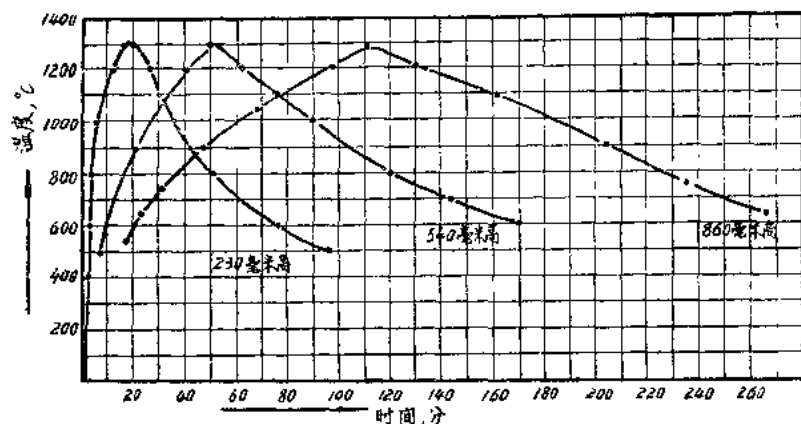


图 1 A 山东吹风烧结堆中各层的温度曲线

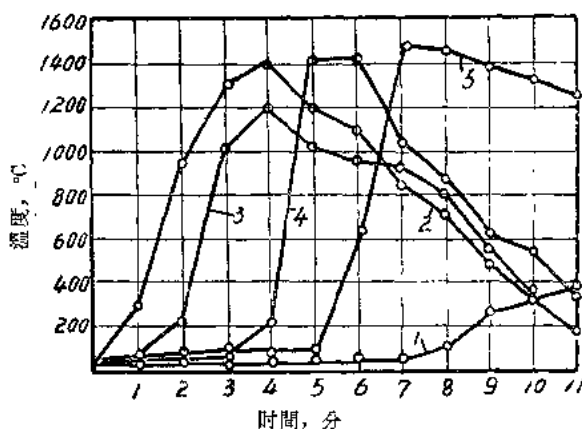


图 1 B 250毫米厚烧结层中的温度曲线

1—废气总管中的温度；2—离料面50毫米的温度；
3—离料面100毫米的温度；4—离料面150毫米的
温度；5—离料面200毫米的温度

山东大堆烧结法的唯一缺点是劳动生产率太低，然而他所揭示的热风和慢冷原理，大大值得研究并在大型烧结机上推广。

实际上，在美国和加拿大已经有吹风式烧结机在生产〔6〕。大家承认，对于细精矿粉，吹风法能保证料层更好的透气性，因而可以使用更厚的料层（可分多层分批加料）。苏联B·索洛金和

A. 巴尔芬諾夫的試驗还証明，同样的矿粉，吹风燒結比抽风燒結法得到的成品质量更好，而且产量也更高（見本书索氏的論文〔10〕）。

三、燒結过程的强化

混合料中配加一部分石灰作熔剂（現在倾向于增加它在熔剂中的比例），預热混合料（用热返矿預热的方案看来缺点很多）已是國內外到处行之有效的加快燒結速度的措施。熔剂中使用一部分白云石或白云石化的石灰石已在國內外很多燒結厂推广，过細的精矿粉制成小球以改善料柱的透气性首先在英国研究，我国鞍鋼和日本一些燒結厂已成功地采用这项新技术。

1959~1960年，我国石鋼將50米²帶式燒結机风量提高到100米³/米²·分，相应并加厚了料层，証明在保証质量的条件下能提高产量〔7〕。1960年，苏联高炉和燒結會議也建議今后燒結机的风量应加大到这一水平，西方国家的設計实际已采用这种风量（如美国319米²燒結机，用2台19800米³/分的风机）。

苏联有一个車間將50米²的燒結机加寬了0.5米，并改裝了大风机，引起了設計界很大的重視。

四、燒結机及设备的演变

目前在按重量配料，改进混料和造球效果方面，在破碎机、点火器、抽风机等結構及特性指数方面，以及在除尘、自动化各方面都在不断改进完善之中。由于石灰在配料占的比例日大，苏联奥列施金等发明的圆盘式石灰焙燒机是值得推广的。

随着高炉产量的提高，要求建立更大的燒結机以簡化燒結厂的結構，降低生产成本，提高劳动生产率。50年前最初的帶式燒結机不过6米²，現在已經发展扩大几十倍了。

我国和苏联现在使用标准化的75和50米²的帶式燒結机（还有少量18米²的）。苏联設計了200和320米²的大型燒結机〔2〕。但迄今尚未投入生产。

美国近年来新建的烧结机大都在 200米^2 以上，日本的多为 130米^2 。

美国亚里古柏工厂去年有一台 319米^2 的烧结机投入生产[8]，长56.12米，宽5.6米，用两台 $19800\text{米}^3/\text{分}$ （负压90毫米水银柱）的抽风机，日产量达到7500吨（台时产量还低于我国目前的水平）。该烧结机系属于特拉佛-鲁尔基式（德国一个化学-冶金公司的名称），其特点是：（1）风量大，设计能力超过 $100\text{米}^3/\text{米}^2 \cdot \text{分}$ ；（2）为了保证大型烧结机的连续生产，有容量很大的中间贮矿槽；（3）使用环带式冷却机（不同于一般的冷却盘），每小时能冷却444吨烧结矿到 $60\sim 70^\circ\text{C}$ ；（4）从冷却机出来的烧结矿，过筛，分级然后送往高炉车间；（5）操作高度自动化。

苏联设计的大型烧结机充分考虑了所有原料的混匀和贮备量以保证烧结过程的稳定性，便于自动控制和调节；使用了机尾冷却（冷却到 250°C ）和带式冷却机（冷却到 100°C 以下）；使用含碳量不同的双层配料和混合料预热等措施。

大型烧结机的基建投资比同样抽风面积的多个小烧结机也要低。它的唯一缺点是：设备检修时，停顿了一个生产力非常巨大的设备。据德国资料， 130米^2 烧结机比 75米^2 的投资约低20%；生产费用（包括动力）低20%以上[11]。

五、烧结矿的冷却问题

高炉使用热烧结矿造成很坏的劳动条件，且不安全，又严重地损坏运矿车、矿槽、称量车等上料设备。故世界各国均采取冷却烧结矿的方针。在我国，这个问题还没有很好解决。

烧结机上卸下的烧结矿平均温度为 $500\sim 600^\circ\text{C}$ （未烧透的还要高），要冷却到 100°C 以下每吨烧结矿需要 $2500\sim 3000\text{米}^3$ 的空气。因此靠自然冷却太慢，都用强迫送风冷却，只有西欧一些小厂，由于生产规模小，采用堆置于斜坡上自然冷却二、三天（像炼焦厂焦炭熄火后堆置的斜坡一样）。

过去国外常用的冷却机为圆盘式（我国武钢已有这种设备）

和鏈帶式。近年來歐美和日本多半採用魯爾基式環帶式冷卻器，這種冷卻機由很多帶爐篦的台車在環形軌道上運轉，上有煙罩蓋住，從上面抽風進行冷卻。前述美國319米³及日本新建的燒結機都用這種冷卻設備；外觀有點像冷卻盤，其實結構已經不同，見圖2〔9〕。

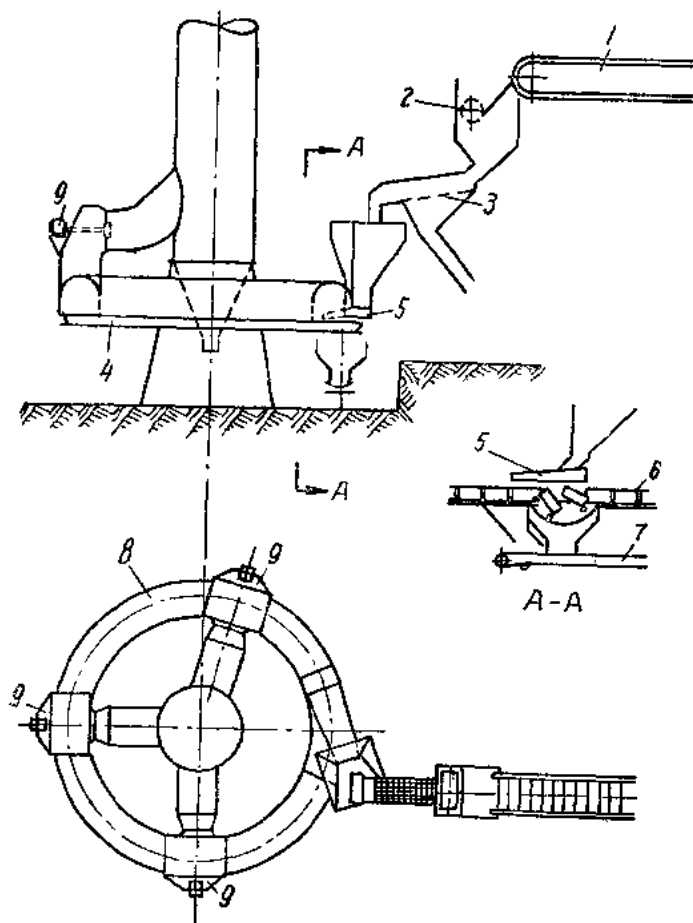


圖 2 魯爾基環帶式冷卻器型式之一（美國佛洛金漢廠用）

1—燒結機；2—單輥破碎機；3—震動篩；4—環帶式冷卻機；5—振動給料機；6—冷卻機的台車（共32台，1525×1525）；7—冷卻燒結礦的運輸帶；8—固定罩蓋；9—抽風機

1960年，美国 U.S. 鋼鐵公司新建一座空心式冷却竖窑，高30米，最大直径13米，每日能冷却3800吨燒結矿。竖炉的特点和优点是热交换效率高，炉料停留時間較长，因而冷却速度慢，这对减少热应力是有利的；冷却燒結矿后的热风温度較高，可以利用作其他用途（如預热燒結矿，热风燒結等用途）。缺点是燒結矿在窑中可能磨損多一些。使用情况尚无具体报导。

总之，燒結矿的冷却問題从現有設備看，并不是一个不能解决的問題。

六、燒結原料的准备

每种矿粉都有自身独特的燒結性能，但也有一些共同的要求：（1）不仅高炉需要含 SiO_2 低的鉄矿石，自熔性燒結矿也要求 SiO_2 較低的矿粉，当矿粉中含 SiO_2 多，要避免生成 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ，多生成鉄酸鈣作晶粒間的粘接相是困难的；我們用烟筒山含 SiO_2 高到30%的貧粉試驗制造自熔性燒結矿时深有体会。因此，选矿問題常常是燒結原料首先应解决的問題。（2）鉄矿粉，焦粉，石灰石粉及一切其他燒結料成分稳定，这样才能保証得到成分稳定的高炉燒結矿；愈是生产規模大的車間，这一問題愈重要。

（3）焦末和熔剂的粒度。1960年苏联高炉和燒結工作者會議推荐将熔剂和燃料的粒度破碎到2~0毫米，鉄矿粉的上限为6~8毫米，并增加熔剂中石灰的用量，以提高产量并改善质量。

燒結矿在高炉上已有五十多年的使用历史，最初只是解决高炉炉尘和矿粉的废物利用問題，它对高炉冶炼指标的革命性作用是最近十年左右才發揮出来的。可以預料，随着生产技术的改进，它还将繼續在煉鉄工业中作出重大的貢獻。

参 考 资 料

1. Mining Journal, 1961.257.
2. А.Парфенов Основы Агломераций железных Руд.
3. Iron & St.Eng.1960 N-10.
4. Металлург, 1958,N.4.

5. Stahl und Eisen 1961, N.8, 498~501頁.
6. Iron and Steel Eng'g 1957, N.8.
7. 大风量烧结的理論和实践; 石景山鋼鐵公司資料.
8. British Steelmaker, N.7, 1961.
9. Черная Металлургия Кап. стран. I, p.40.
10. В.Сорокин. Агломерация железных руд под воздействием давления. Металл. и горная промышленность. 1962, N.2.
11. Stahl und Eisen, 1962, 19期.

2. 鞍鋼燒結生產經驗

鞍鋼中央試驗室 楊世农

几年来, 由于改进操作及采用新技术, 鞍鋼人造富矿生产有了很大的改进。在强化細精矿燒結方面, 采用燒結混合料中配入生石灰、用蒸汽預热混合料及小球燒結等措施, 使鞍山燒結总厂燒結車間年平均生产率, 自1957年的1.39~1.61吨/米²·时提高至1960年的1.74~1.87吨/米²·时。在燒結矿质量方面, 采取了燒結矿二次过篩与含氧化鎂燒結等措施。

本文就以下四項主要的生产經驗, 予以論述: 熔剂的合理使用, 小球燒結, 混合料預热, 燒結矿过篩及二次过篩。

一、熔剂的合理使用

鞍鋼燒結矿碱度历年逐漸上升, 見表1, 至1958年碱度已至1.2。

鞍鋼燒結矿碱度的变化

表 1

年 度	1951	1954	1955	1956	1957	1958	1960	1961
碱度 $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$	0.24	0.68	0.81	1.0	1.1	1.2	1.15*	1.16*

* 大部分生产的燒結矿中加入了白云石。

燒結生產採用的熔劑有石灰石粉、消石灰、生石灰粉與白云石粉四種，其物理、化學性質見表2、表3。

熔劑的篩分組成 (1961年)

表 2

熔 劑 名 稱	粒 度 篩 分 組 成, 毫 米, %				
	>6	3—6	1—3	0.5—1	<0.5
石 灰 石 粉	—	20	30	20	40
生 石 灰 粉	10	40	10	16	21
白 云 石 粉	—	18	12	26	44
消 石 灰	10	16	9	16	49

各種熔劑的化學成份 (1961年)

表 3

熔 劑 名 稱	化 學 成 份, %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	燒 減
石灰石粉	2.04	1.96	51.90	1.17	0.015	0.011	39.70
生石灰粉	2.11	2.20	71.60	1.01	0.015	0.013	25.50
白云石粉	4.43	3.57	5.60	36.77	0.043	0.010	—
消石灰	5.40	1.40	55.96	10.10	0.014	0.050	26.00

在製造熔劑性燒結礦時，配入各種熔劑均不同程度地強化了燒結過程，這是由於：

1) 改善了混合料的成球性，提高了小球的強度。

2) 混合料的軟化終了溫度從1250°C降低至1200°C，縮短軟化範圍50°C左右，使料層溫度從1400°C以上降至1300~1320°C時仍能保證燒結礦的熔化程度，因而改善了料層的透氣性。

1. 石灰石粉的作用：在燒結細粒精礦時，配入3~0毫米的石灰石粉，可使燒結機生產率由0.8~1.0噸/米²·時提高到1.2~1.3噸/米²·時。在大量使用10~0毫米的富礦粉時，由於混合料透氣性較好，其強化的作用較小。

2. 消石灰的作用：燒結細粒精礦時使用部分消石灰代替石灰石粉，有助於精礦的成球，並分布更均勻，從而顯示出良好的結果。以第二燒結車間的生產為例，消石灰的用量由0%增至5%時，燒結機生產率顯著上升，見表4。

消石灰用量对烧结机生产率的影响

表 4

消石灰用量, %	0	2	4	5	
生产率, 吨/米 ² ·时	1.36	1.40	1.49	1.52	

生产实践及试验室试验结果证明, 过多的消石灰用量会由于料层透气性过好而导致烧结矿强度变坏, 返矿率升高, 虽然垂直速度加快, 但产量下降 (见图1)。增高料层厚度与适当的压料, 可减轻这种作用。

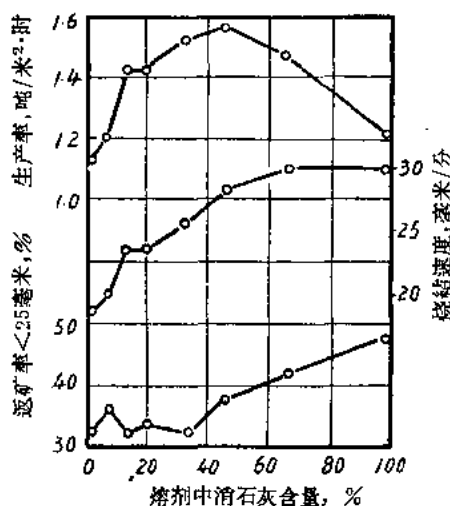


图1 熔剂中消石灰用量对各项指标的影响 20%, 最大不得超过25%。

3. 生石灰的作用: 以生石灰代替石灰石或消石灰作熔剂, 可对烧结过程起以下三方面的作用。即:

- 1) 生石灰经打水消化成消石灰以后, 有助于细精矿的成球;
- 2) 其消化时所放出的热量, 可提高混合料温度;
- 3) 少部分在点火前尚未消化的生石灰, 在烧结时吸收过湿层的水分, 因而可以改善料层的透气性。

第一烧结车间的长期生产实践证明, 配入生石灰是强化烧结过程极有效的手段, 与单独使用石灰石比较, 一般可提高生产率30~40%。适宜的生石灰用量为总原料消耗量的5~6%。