

转炉炉衬知识

崔之开 编著

冶金工业出版社

出版者的話

目前在轉爐生產中爐襯壽命低是急需解決的問題。再于爐齡低，嚴重地影響轉爐生產。為了提高爐襯壽命，提高工人及技術人員的技術水平成為迫切任務。有鑒于此，我們出版了這本小冊子。

本書分別系統概述了轉爐爐襯的基本知識，傳達了我國各地的經驗。內容包括、原料、結合劑、配料、混料、壓磚、提爐、補爐等。

本書可供培訓工人作教材用，也可供廣大技術人員、學生閱讀。

目 录

前言	1
一、轉爐煉鋼与爐衬	2
二、碱性轉爐爐衬	6
1. 爐衬材料	7
I) 白云石	7
II) 鎂砂	10
2. 結合剂	14
I) 煤焦油、煤焦油瀝青、石油瀝青、蔥油	14
II) 卤水	20
III) 亚硫酸紙浆廢液	21
3. 爐衬泥料的配制	23
I) 結合剂的处理及加入量	23
II) 泥料的粒度配比	23
III) 旧爐衬的回收	23
IV) 卤水鎂砂、紙浆廢液鎂砂配料中添加物的 作用及加入量	30
4. 泥料的攪拌及混合	31
I) 焦油鎂砂和焦油白云石爐衬	31
II) 卤水鎂砂和紙浆廢液鎂砂泥料的混性	33
5. 爐衬的压制	33
I) 搗打法	33
II) 砖砌法	35
III) 混合法	39
6. 烘爐	40
I) 焦油白云石(或焦油鎂砂)爐衬的烘烤	40

II) 卤水镁砂和纸浆废液镁砂爐衬的烘烤	44
7. 补爐	45
8. 影响爐衬寿命的其他因素	47
9. 关于生白云石爐衬的介紹	48
三、酸性轉爐爐衬	50
1. 爐衬材料	50
I) 石英砂	50
II) 矽砖	51
III) 耐火粘土	51
IV) 粘土砖	52
2. 結合剂	52
3. 爐衬泥料的配制	53
4. 泥料的混拌和打結	54
5. 烘爐	54

前 言

五八年九、十两月我国钢铁战线上的辉煌胜利，对完成1070万吨钢的任务提供了有力的保证，但在此时期兴建的几百万座转炉并没发挥其应有的威力，转炉钢产量仅占全部钢产量的四分之一弱。这主要是由于转炉大面积的推广还是近2—3月的事，不论在生产经验和技术力量上都感到非常缺乏，特别是现在要用低矽，锰高硫的土铁炼钢更是给生产带来困难，以致使有些工厂开工以来不能正常生产或炼出合用的钢。

故如何使转炉顺利出钢，就成了当前迫切等待解决的问题。在这本书里主要对当前转炉生产主要问题之一——炉衬寿命问题提供一些资料，也是不久前出版的“土法煅烧白云石”一书的续集。

为了全面起见本书除对碱性炉衬较详细的介绍之外，还加入了酸性转炉炉衬部份。

在编写过程中限于时间和水平在内容上不免有错误之处希望读者指正。

北京钢铁学院 崔之开 五八年十二月北京

一、轉爐煉鋼與爐襯

目前國內高爐生產的煉鋼生鐵成分一般波動于下：

C 2.5—3.8%；

Si 0.5—1.2%（有的生鐵含Si量僅為0.1%）；

Mn 0.5—1.5%（有時生鐵含Mn在0.2%以下）；

P、S 0.2—0.7%（有時生鐵P、S含量高達1%~3%）。

轉爐的任務主要借助於鼓入的空氣和鋼水，熔渣間的劇烈攪動，氧化作用，把生鐵中C、Si、Mn氧化到一定限度，而把P、S氧化到最低限度，並使雜質氧化產物隨氣體（CO、CO₂）逸出或成氧化物進入渣中（MnO、SiO₂、P₂O₅、CaS）以得到為機械工業要求的，具有優良物理、機械性能的鋼。

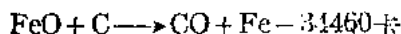
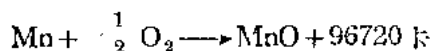
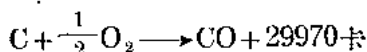
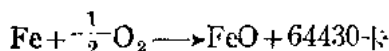
根據煉鋼生鐵成分的不同，我們採用了不同性質的爐襯，對P含量小於0.07%，S含量小於0.05%的生鐵因為P、S合乎規格，不必另外造渣進行P、S脫除工作，對冶煉爐子一般採用主要以石英砂或酸性耐火磚為材料砌成的酸性爐襯。爐內熔渣呈酸性沒有去P、S作用，爐內加熱鋼液主要的熱能來源是靠加入鐵水的物理熱，以及雜質氧化（主要是Si的氧化）和鋼液排出CO變成CO₂放出的大量熱。由風眼鼓入的高壓空氣保證了C、Si、Mn雜質氧化和CO燃燒所需氧氣。

而對高P、S生鐵原料在吹煉中除進行C、Si、Mn等雜質的氧化反應之外，還必須進行P、S的氧化和脫除工作，通常需加入相當於金屬裝入量10—15%的石灰造鹼性渣，使已

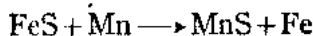
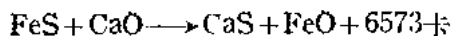
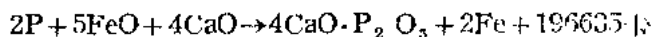
氧化的 P_2O_5 、 FeS 与爐渣中 CaO 作用生成 $(CaO)_4P_2O_5$ ， CaS 并进入爐渣以达到 P 、 S 脱除的目的。因此，熔炼設備必須采用与爐渣性質相适应的碱性爐衬，一般以白云石，鎂砂等碱性耐火材料进行爐衬的搗固和砌制。鋼液加热的热能来源还是靠鉄水带入的物理热以及杂质氧化放热，此时，底吹轉爐主要是靠 P 的氧化、而不主要靠 Si 的氧化放热，但对于侧吹轉爐來說，加热温度主要取决于碳氧化的完全程度，它的发热能力与砂相差不多，因此，在使用砂含量較高的情况下，所用生鉄含磷較低也能使鉄水提高到出鋼所需温度。

爐內各元素的具体反应分別叙述如下：

酸性轉爐：



碱性轉爐除进行以上各反应外，还因加入石灰造渣而引起 P 、 S 脱除反应与杂质的氧化反应同时进行。





除了根据不同成分的生铁原料要求采用相应性质的爐衬之外，对爐衬的工作性能和物理性能还提出以下要求：

I) 在炼鋼高温 (1650°C左右) 不应軟化和熔融。这点也可以說是耐火材料选择的先决条件，否則爐衬将会在炼鋼过程中被1350—1650°C或更高一些的爐液、渣液长期的浸泡而軟化熔融，以致造成爐体的塌垮。

II) 爐衬組織致密結实，密度高强度大，具有在高温使用的情况下能承受压力及其它机械应力不变形，破坏的性质。这点也是材料选择的重要条件之一。我們知道轉爐之所以有高于其它炼鋼爐生产率好几倍的原因是借助于吹入的高速空气对渣子和鋼液的激烈搅拌，一方面保証氧气的充分供給，另一方面促使氧和金屬良好的接触，并通过搅动使气体和杂质氧化产物迅速的离开金屬进入大气或爐渣內。

但也由于这种高速空气的搅动結果发生很大的冲击力，使鋼、渣液連續不断有力的冲刷着爐衬各部使高温条件下的爐衬因这种机械磨损而产生剝蚀破坏现象，对热稳定性差的爐衬，此作用更为明显。下图为轉爐爐內气流搅动的情况。

故对爐衬材料不仅要求有高耐火度，还特別需要有高密度高强度的組織和較大的耐机械冲击力的性能。

III) 要求爐衬在高温下具有抵抗熔融爐渣和鋼液的物理化学浸蚀性能。爐渣鋼液对爐衬浸蚀的作用通常我們包括了两方面的含意；一种是如上节所述高速流动的爐渣和鋼液对爐衬冲刷而使部份顆粒脱落的机械冲蚀作用；另一种是爐衬与熔渣間发生化学作用使爐衬轉为液态熔渣进入熔渣內，导致爐渣性质的改变以及爐衬受到严重破坏，破坏速度很大，

有时每分鐘可达25MM。由于这种腐蝕作用使冲蝕作用更加剧烈，反过来因爐衬旧工作面的剝刻大量新工作面暴露，使腐蝕作用也就加强。对这种现象我們除采用了减少爐衬在高温液体中浸泡时间和选择与熔渣性质相同的爐衬外，要求爐衬具有高密度和强度，低的气孔率以增加对爐衬抗蝕性。

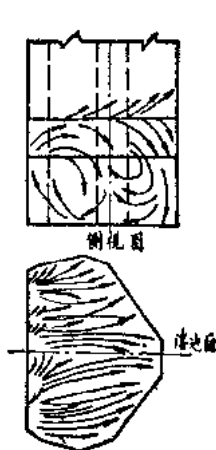


图1 爐液在熔池內循环示意图（风咀处循环）



图2 轉爐爐腔內爐液与爐气循环示意图（爐腔內循环）

IV) 耐急冷急热性。这点对轉爐来說是相当重要，因为轉爐一般冶炼時間极短，从几分鐘到半小时，爐溫經常改变，出鋼前后相差300—400°C。由于这种溫度的变动，使爐衬层与层之間和每层內产生溫度差，而且由于溫度差引起內部应力和剪力、拉张力的产生，使爐衬产生裂紋和表面剝落的现象。因此，要求爐衬材料具有良好的耐急冷急热性。

二、碱性轉爐爐衬

自轉爐煉鋼發明以來，制作碱性轉爐爐衬曾用过矾土瀝青、鎂砂鹵水、鎂砂焦油、白云石焦油、鎂砂-白云石焦油等泥料进行爐衬的搗打或筑砌。当然也有地方用过鎂磚、鉻鎂磚、稳定性白云石磚砌筑爐衬。

随着生产的演进，材料資源及經濟条件的限制和要求，一般認為以焦油白云石、鎂砂-白云石焦油配料搗打爐衬或用这种配料的磚砌制爐衬在使用效果上和經濟价值上更为适宜。在国内各厂中更多的碱性轉爐是偏向于采用焦油白云石爐衬。这是由于：

I) 首先从实践証明焦油白云石爐衬在使用寿命上并不比鎂質材料差具有較高的耐急冷急热性和使鋼渣流动性較好的优点。

II) 其次是由于鎂質材料資源缺乏，供应紧张，价格昂貴，中国菱鎂矿只集中在东北大石桥一带，靠它供应全国各地对鎂砂的需要，不論在經濟上、运输上，都是不合适的。

与此相反，白云石材料几乎遍于全国各省而且品質优良，在煅烧設備、技术上由于土法和簡易煅烧設備成功和推广，基本上可解决碱性爐衬材料供应紧张的局面。

III) 白云石爐衬的采用，增加了CaO含量，減低了MgO含量，使爐衬对熔渣抗浸性增加，以及爐渣由于爐衬中MgO的落入形成高MgO量的爐渣恶化吹炼的情况也会减少。根据这一精神本書对焦油白云石爐衬部份的介紹上也較为詳細。

表 1

我国几处白云石成份 (大都为我院下放同学收集)

产地	化学成份 %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	灼烧减量
太原	0.29	0.15	0.64	20.87	30.95	46.88
山西	< 2	2—3	2—3	17—19	28—29	44—49
唐山	< 1			18—20	32—34	
四川	1.36	0.48	0.48	21.15	30.71	46.19
东北大石桥	0.55	0.35	0.35	25.53	25.27	47.08
北京	1.52	0.57	0.07	24.23	27.61	45.12
包头	0.92			24.9	31.00	
龙泉务	1.20	0.89 (R ₂ O ₃)		17.46	35.59	46.67
怀来	0.5—1.5			20—22	29.21	
铁门关	0.16—2.27	0.47—0.58 (R ₂ O ₃)		18.31—21.53	30—35.5	44.98—46.31

1. 爐衬材料

I) 白云石 生白云石为鈣鎂重碳酸盐类 ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) 其中 MgO 占 21.9%, CaO 占 30.4%, CO_2 占 47.4%, 經高温 (1500~1700°C) 煅烧后矿物分解放出 CO_2 , 剩下 MgO, CaO 以原来矿物中所含 Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 等杂质与部份 CaO MgO 所形成低熔点化合物作熔剂进行结晶长大, 变成我們要求的致密坚硬高度收缩的爐衬材料。煅烧后白云石主要成份是 CaO 和 MgO, 它的总化学成分一般波动如下 (根据国内各地資料調查取得)。

SiO ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
2.09~10.9	2.4~5.02	45—59	31.65~38

为了制成好的爐衬砖, 白云石的化学組成应以杂质較少

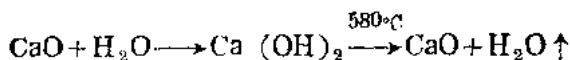
为适宜。因为白云石中最常见的杂质是 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 等, 它们在高温时都能与 CaO 生成低熔点物, 其熔点一般在 $1200 \sim 1450^\circ\text{C}$ 左右, 这就表示在冶炼温度 (1650°C 左右) 中它们会成为液体而被蚀去, 故一般希望煅烧后制品中:

$$\text{SiO}_2 < 2\%, \text{R}_2\text{O}_3 < 2\%, \text{MgO} > 17\%.$$

从成品表面颜色大致可分成黑、黄、白、棕黄、灰褐等几种, 其中黑色和灰褐色烧结程度最好, 黄色及棕黄色次之。在成分上, 黄色、灰褐、棕色颗粒中 MgO 高, SiO_2 等杂质少, 白色的颗粒有两种情况有的较纯含 MgO , CaO 都较高, 因而难烧结, 抗水性差, 但也有地方如北京周口店的白云石煅烧后的白色颗粒经分析其中 SiO_2 占 80% ; 黑色颗粒一般含杂质较多 $\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$ 含量有时可达 20% 。

成品比重一般波动在 $2.7 \sim 2.8$, 成品耐火度波动不定主要取决于它的化学成分, 通常 MgO 、 CaO 含量越高, 熟白云石的耐火度也就越高, (因为纯 MgO 熔点为 2800°C , CaO 为 2570°C) 一般波动在 $1600 \sim 1900^\circ\text{C}$ 间。纯净的 CaO 和 MgO 混合物的熔点可达到 2300°C ($\text{MgO} 35\%$, $\text{CaO} 65\%$)。

由于转炉冶炼时将有剧烈运动的高温碱性的熔渣, 这就要求冶金用白云石必须含有大量可以提高耐火度和抗渣性的自由 CaO 。由于这一部份为冶金工艺所要求的自由 CaO 的存在, 使成品只要较长时间的暴露在潮湿的空气或与水接触后即发生水化作用:



氧化钙水化作用不仅在遇到水时可以发生, 即是在无液体水的情况下, 它亦能由其周围的潮湿空气中吸收水气进行

上列反应并随温度升高而加快直到 580°C 时开始放出水气，又回复到 CaO 的状态。这一特性给我们制造白云石爐衬带来了很大困难和危害。

通常水化作用与下列因素有关，

①白云石的烧結程度：这点一般可从产品颜色中分析出来，其中烧結程度好的黑色、灰褐色、抗水性能强，黄綠色棕色次之，白色浅灰色最差。

②水化速度与顆粒大小的关系：經測定 <0.5 公厘顆粒，經15天水化率达9.65%；8—3 公厘顆粒15天后水化率仅为2.1%因此，为了防止水化，对大顆粒可最多存放1—2周。而小顆粒最好现用现破碎，放入密閉或干燥的设备中。

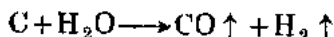
③其次白云石水化与空气湿度沒在空气中暴露時間长短有关。很明显，空气湿度越大，水化速度越高；在空气中暴露時間越长，水化作用也越利害，即使 MgO 长期存放也要发生水化作用。所以水化作用是烧結白云石破坏首要原因，应加以管理，烧制成的不宜堆放过多过久，結合剂的选用上不能采用水性的物质，如卤水 ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 紙浆废液……。

由于水化作用具体給白云石爐衬的制作上带来下列危害：

①使砖体膨胀，爐衬結構疏松，甚至遭到破坏。 CaO 的比重为3.40，而水化后 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 比重为2.343，二者相差1.057，即減輕約 $\frac{1}{4}$ ，这表示了当由 CaO 变成 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 时是伴随着极大的体积膨胀，这种膨胀使制成的砖与爐衬发裂变松大大降低了爐衬对鋼渣冲刷的抵抗力，严重的影响了爐衬寿命。

②降低了爐衬的含炭量。（其坏处在后面焦油部份將詳

細叙述)。当爐村內 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 至高温放出水气时与紅热焦炭相遇，即发生下反应：



这样爐村的炭質减少，因而降低了爐村的抗化学浸蝕性，与抗机械冲刷性。

③阻碍炭質的石墨化作用。（石墨形炭对爐村的耐火性、导热性的作用也将在焦油部份叙述）。根据文献所談由于水份存在能阻碍炭質的石墨化。

总之水化作用对爐村寿命的危害是很大的，使爐村发松。含炭量降低，耐冲刷性、抗渣性降低，故在材料运输加工过程中应采取一切措施防止水化作用的产生。

白云石原料除了尽可能的烧好以外，还必须对出窑的熟料进行严格的挑选工作，除去混在燒結白云石中的焦块或煤块、欠烧白云石，熔渣，以提高熟白云石的质量。烧好的成品比重較大，顏色多呈褐、灰、黑、黄色；輕烧的比重小，多呈白色較易区别。另外还有一种料表面发泡，有熔化现象，或呈玻璃状的黑块，这都由于原料和燃料中 SiO_2 的渗入結束，故其內 SiO_2 較高，也需将它剔出。

Ⅱ) 鑄沙 冶金鎂砂主要由菱鎂矿經高温($1500-1700^\circ\text{C}$)煅烧而成。菱鎂矿，(MgCO_3)的理論成分为：

氧化鎂 MgO	47.82%
二氧化碳 CO_2	52.18%

比重 2.96—3.12，硬度 3.4~5.0，顏色多呈白色~淡黄色。如有杂质存在呈灰色，灰青色、或赤褐色。从外观上看，菱鎂矿白云石和石灰石极相似，为比較起见将它们主要理化性質列于下表2。

表 2

菱镁矿、白云石、石灰石理化性質的比較

理化性質	菱镁矿	白云石	石灰石
分子式·····	$MgCO_3$	$MgCa(CO_3)_2$	$CaCO_3$
硬度·····	3.4 ~ 5.0	3.4 ~ 4.0	3.0
比重·····	2.96 ~ 3.12	2.87	2.72
对冷稀酸的反应·····	不溶解	由起泡至漸漸溶解	起泡且溶解
对冷酸的反应·····	浸蝕	剧烈浸蝕	剧烈浸蝕

我国菱镁矿资源在目前发现蕴藏量大而较为集中。质量优良的矿区只有东北大石桥，下表 3 为大石桥区菱镁矿分布的区域和品位。

表 3

我国东北大石桥菱镁矿产地分布及品位

产 地	MgO	CaO	$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	SiO_2	灼烧减量
牛心山	45.04	2.28	1.32	1.12	50.21
白虎山	45.02	0.90	1.08	2.06	50.90
高丽城山	45.35	0.10		3.22	49.29
官马山	43.67	1.72	1.00	4.16	49.42
圣水寺	45.87	1.08	0.92	2.48	49.62
小圣水寺	46.69	1.15	0.82	0.76	50.50
小高庄屯	46.68	0.08	0.65	2.96	49.70
平二房	45.47	0.44	0.90	3.12	50.04
青山怀	46.20	0.20	1.48	0.56	51.25
范家峪	43.94	0.24	0.36	8.46	46.28
大华子岭	44.50	0.12	1.38	3.26	50.90
庙兒沟	46.92	0.42	0.64	2.60	49.14
郭家堡子	45.84	0.44	0.60	2.62	50.18
前勒馬峪	44.06	2.50	0.96	4.26	49.22
紅土岭子	46.31	痕跡	0.86	3.85	49.20

經高溫煅燒礦物內的二氧化碳全部排出剩下苦土 (MgO) 結晶生成方鎂石, 並由於以原礦物中所含 Fe 、 Mn 、 Ca 等雜質所組成的易熔物為熔劑加速了方鎂石晶體的生成長大過程, 提高了燒結程度, 最後得到組織致密堅硬, 水化性能極低, 高度收縮的優良鹼性耐火材料。這些優良性能的獲得可認為是因在煅燒時氧化鎂的品粒長大, 顆粒總表面積減小, 因之水化程度降低, 材料的高度收縮極小, 氣孔消失, 氧化鎂組織變得致密堅硬, 真比重也隨之增大。這些性質將隨燒結溫度的升高將會變得更優良。所以在可能條件下, 盡量提高煅燒溫度對成品質量是有利的。從下圖 3 可看出

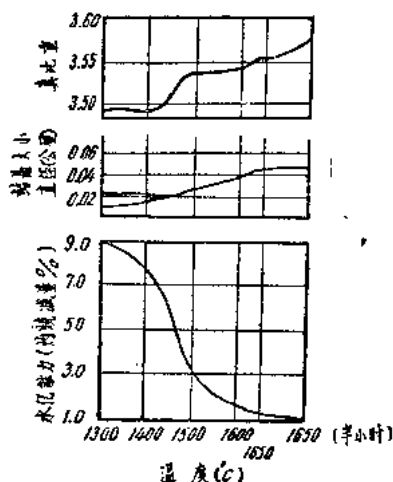


圖 3 煅燒溫度對鎂砂真比重、結晶大小和水化能量的影響

煅燒後鎂砂多呈淡黃色、棕黃色、以至淡棕色, 其成分波動如下 (根據國內各廠所用鎂石資料調查取得)。

CaO	MgO	SiO ₂	R ₂ O ₃
0.8~5.4	85.30~92.70	2.57~7.16	0.94~5.98

鎂砂的耐火度波动很大，主要也取决于化学成分。当高熔点方鎂石（純粹熔点为2800°C）含量越高，則耐火度也越高，一般波动在1800~2000°C之間。

在自然界中絕對純淨的菱鎂矿是不存在的，总是或多或少地含有杂质，其中CaO是最有害的杂质。它在煅烧后呈游离状态，容易吸收水份发生水化作用使制品生成裂纹，或呈矽酸盐状（CaMg SiO₄ 鈣鎂橄欖石），有时形成 2 CaO·SiO₂ 在冷却时产生同質晶型轉化，成品在轉化中产生10%的体积增大，发生松散现象。加入稳定剂如硼酸盐，磷酸盐即可消除此种缺点。其它杂质（SiO₂，Fe₂O₃）虽不如CaO有害，也会降低鎂砂耐火度，因此含量也应有一定限度。

經苏联学者A.П.巴拉林，A.A.彼洛高夫实验确定，不仅輕烧鎂砂（在較低温度850~950°C下烧成，組織松散、比重小）用卤水湿润后具有結合性質，而且經高溫煅烧的鎂砂（燒結鎂砂）也有此种性質。这点也就成了卤水燒結鎂砂配料用以搗打爐衬或用这种配料制成砖坯砌筑爐衬創造了重要前提。

燒結鎂砂的比重一般波动在3.35—3.58，但并不是說比重越大就說明燒結程度越好；还必須与鎂砂化学成分联起系来看才能較正确的評定鎂砂質量（因鎂砂可因氧化鉄含量增加而使它比重增加）。通常也可用煅烧鎂砂品粒大小作評定鎂砂質量的方法之一。煅烧良好的鎂砂品粒应在0.03公厘以上，即便是燒結良好的鎂砂存放時間較长也会发生水化作用。为此，特别是粉碎后的材料应在带盖的干燥仓库內存放。