

TF5-18C₂

68097

工業技術叢書

生鐵的去硫法

李振華編著

科學技術出版社

91

總號：0074 分號：4-17 定價：3,100元

版權所有 不准翻印

編著者：李振華

編輯者：工業技術通訊編委會 責任校對：黃耀華

1952 年 2 月發排（新華） 1952 年 5 月付印（科技）

一九五二年五月初版

北京造 0001—4000 冊

科學技術出版社 北京崇文門內盤甲廠 17 號

總 經 售

三聯·中華·商務·開明·聯營

聯 合 組 織

中國圖書發行公司

編者的話

硫對鋼鐵的害處很大，如果處理得當，不但可以得到良好的鋼鐵，而且可以節省很多的焦炭，增加煉爐的生產率。目前在增產節約運動中，對於生鐵的去硫，是值得研究與注意的一個問題。本書介紹了生鐵去硫的各種方法，提供了許多有關去硫的實際資料，內容具體，文字通俗，可供一般冶煉工作者的參考。

工業技術通訊編委會 1952年2月

目 次

一	硫對鋼鐵的害處.....	1
二	爐內去硫	3
	1 減低原料中所含的硫量.....	3
	2 改變爐渣的化學成分.....	4
	3 提高爐內的溫度.....	9
	4 增加爐渣的流動性.....	13
	5 使用經濟的爐渣體積.....	23
	6 加長鐵水和爐渣接觸的時間.....	24
	7 錳、碳、矽對去硫作用的影響.....	25
三	爐外去硫	29
	1 碳化鈣去硫法.....	30
	2 苛性鈉去硫法.....	30
	3 碳酸鈉去硫法.....	31
	4 各種混合劑去硫法.....	46
四	總論	51

— 硫對鋼鐵的害處

生鐵中的硫，是由焦炭、鐵礦以及熔劑所含的硫分還原到鐵水裏面（而主要的來源是焦炭），與鐵化合成硫化鐵而存在。這種硫化鐵有很大的害處，因它能減低鐵的熔點，使鐵變脆。含硫較多的鐵水，流動性較差，使翻砂的鑄件容易生成氣孔，所以含硫高的生鐵，不適宜於鑄造，而且在退火時，成品表面容易生成白色的氧化層，使成品壽命縮短。

通常生鐵中含硫約為 0.03~0.05%，如果增加到 0.2%，對於生鐵含碳的總量，雖然沒有多大變化，但能阻止碳的石墨化，促進化合碳的生成，這樣便增加了生鐵凝固時的收縮率。我們知道白口鐵的收縮率比灰口鐵要大，就是因為白口鐵中含化合碳較多的緣故。根據厄白飛（C. Ebbefeld）研究的結果，當鐵水中含硫量增加時，則石墨碳減少，而化合碳和收縮率便隨着增加，如表 1 所示。如果把含硫量高達 0.2~0.4%，而含砂又很低的生鐵，放在冷水中急速冷卻，便會發生碎裂的現象。

表 1 鐵水中含硫量對於鑄件收縮的影響

試 號	鐵 水 的 成 分 (%)								鑄 件 總 收 縮 率 (%)	澆 鑄 溫 度 (°C)
	總 碳 量	石 墨 碳	化 合 碳	石墨碳 總碳量	Si	Mn	P	S		
1	3.10	1.90	1.20	61.3	1.48	0.61	0.43	0.077	1.225	1,305
2	3.22	1.88	1.34	58.4				0.20	1.292	1,232
3	3.10	1.33	1.77	42.9				0.31	1.482	1,278
4	3.09	0.00	3.09					0.39	1.626	1,263

煉鋼的生鐵原料中，如果含有多量的硫，那麼鋼中的硫化鐵就有分佈在純鐵體（Ferrite）周圍的趨勢。因為它的熔點較低（1,193°C），當鋼水凝固時還呈液體狀態，最後在純鐵體結晶的周圍生成一層薄膜，這種組織叫易熔體（Eutectic, 85% FeS + 15% Fe）。易熔體的熔點很低

(988°C)，在軋壓溫度就開始熔化，使鋼材加工時發生熱脆的現象。

除了便於切削，鋼的含硫量可以稍高外，普通鋼的含硫量約為 0.02~0.04%，如果超過這個數值很大時，不但鋼材橫切方向的拉力強度很小，而且容易增加腐蝕性。

加錳可以去硫，如果加入量比起與硫直接化合所需要量稍多時，則與硫化合生成硫化錳，可以減少硫的害處，但用量不可過多。

由於以上這些原因，我們對於鋼鐵的含硫量，不能不加以注意。鋼鐵含硫的成分，依照它的用途而有不同，一般的情形如表 2、3。

表 2 生鐵的一般成分

生鐵類別	生 鐵 成 分 (%)				
	C	Si	S	Mn	P
貝塞麥鐵	4.00~4.50	1.00~2.00	0.04以下	0.5~1.0	0.05以下
湯馬斯鐵	4.00~4.50	0.20~0.90	0.08以下	0.8~1.6	1.5~2.2
鹼性平爐鐵	3.50~4.00	1.00~1.50	0.05以下	0.3~1.5	0.05以下
可鍛生鐵	3.75~4.30	0.75~2.00	0.05以下	0.5~1.0	0.02以下
鑄物生鐵	3.00~4.50	1.50~3.00	0.04以下	0.5~1.0	0.5~1.0
鍛造生鐵	4.10~4.40	1.50以下	0.10以下	0.5~1.0	1.0~3.0

表 3 鹼性平爐碳鋼的一般成分

鋼的號碼	碳 鋼 成 分 (%)				
	C	Si	S	Mn	P
1	0.14以下	微量	0.02~0.05	0.20~0.40	0.03~0.05
2	0.15~0.25	微量	0.02~0.05	0.35~0.50	0.03~0.05
3	0.26~0.35	0.15~0.30	0.02~0.05	0.40~0.55	0.03~0.05
4	0.36~0.45	0.15~0.30	0.02~0.05	0.15~0.30	0.03~0.05
5	0.46~0.55	0.15~0.30	0.02~0.05	0.15~0.20	0.03~0.05
6	0.56~0.70	0.15~0.30	0.02~0.05	0.15~0.30	0.03~0.05

註：表 3 中鋼的號碼愈大，含碳量愈多，因此鋼的強度也隨着增加，但鋼的延性却漸次減低。

二 爐內去硫

生鐵去硫的方法，不外乎爐內去硫和爐外去硫兩種。現在先談爐內去硫的方法。

1 減低原料中所含的硫量

原料中含硫愈低，生鐵中的硫也愈少；例如國內某些冶煉廠，因為焦炭品質的提高，大大地減低了生鐵中的硫分。

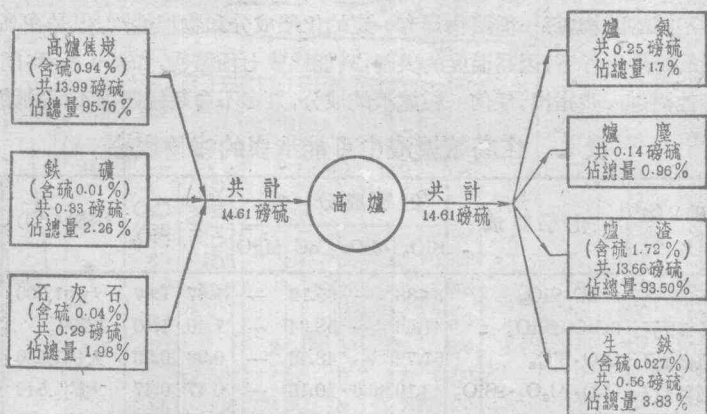


圖 1 高爐冶煉一噸生鐵的過程中，硫的分佈情形

圖 1 表示每煉一噸生鐵，爐料中帶入的硫分在高爐冶煉過程中分佈的情形。從這圖中，很明顯的指出了爐料中有 95.76% 的硫是由含硫 0.94% 的焦炭帶入的，因此焦炭中的硫分是生鐵含硫量的主要來源，同時爐渣又不能吸收大量的硫（由經驗得知，當爐渣鹼度在 1.0~1.1 時，爐渣含硫約為 1.6~2.0%），爲了提高生鐵的品質和產量，焦炭中的硫分，愈低愈好。通常焦炭約含 0.5~2.5% 的硫，但高爐所用的焦炭，其含硫量最多不能超過 1.5%，而最好在 1% 以下。

2 改變爐渣的化學成分

高爐爐渣的化學成分，主要的有四種氧化物，即 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 和 MgO ，這四種氧化物的總量約在 90% 以上，此外還有 FeO 、 MnO 、 MnS 、 CaS 、 TiO_2 、 K_2O 和 Na_2O 等。但是通常爲了研究和計算爐料方便起見，都採用 $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO} = 100\%$ ，其中 CaO 和 MgO 爲鹼性物質，而 SiO_2 和 Al_2O_3 爲酸性物質，其餘的化合物都略去不計。

馬可夫 (McCaffery)、藍肯 (Rankin) 和雷特 (Wright)、康爾洛 (Colclough) 等的研究結果，認爲爐渣在熔融狀態下，是由好幾種不同的礦物所組成，如果改變爐渣中各種礦物的含量，可以控制爐渣的性質。此外，馬可夫又證明了上述四種主要的氧化物至少可以產生二十二種不同的礦物，每一種礦物都有一定的化學成分和物理性質，但是在高爐的操作條件下，因爲溫度的限制，只能造成七種礦物，如表 4 所示；同時他更進一步指出，任何一種爐渣的成分，最多不會超過四種不同的礦

表 4 在高爐爐渣中可能造成的礦物成分

礦物名稱	化學組成	化學成分 (%)				$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2}$	$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$	熔點 (°C)
		SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO			
正矽鈣石	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	34.88	—	65.12	—	1.87	1.87	大約 1,700
多矽鈣石	$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$	41.66	—	58.34	—	1.40	1.40	1,700
單矽鈣石	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	51.72	—	48.28	—	0.93	0.93	大約 1,530
鈣斜長石	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	43.19	36.65	20.16	—	0.47	0.47	大約 1,540
鋁方柱石	$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	21.91	37.18	40.91	—	1.87	1.87	大約 1,580
鎂方柱石	$2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$	44.07	—	41.14	14.79	1.27	0.93	1,350~1,400
鈣橄欖石	$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	38.39	—	35.84	25.77	1.60	0.93	大約 1,500

* 正矽鈣石 (Calcium orthosilicate)

多矽鈣石 (Calcium sesquisilicate)

單矽鈣石 (Calcium bisilicate)

鈣斜長石 (Anorthite)

鋁方柱石 (Gehlenite)

鎂方柱石 (Aikmanite)

鈣橄欖石 (Monticellite)

表 5 在 1,500 °C 時各種爐渣的相對去硫能力

爐渣中沒有 MgO				爐渣中含有 5% MgO				爐渣中含有 10% MgO			
SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	相對 去硫 能力	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	相對 去硫 能力	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	相對 去硫 能力
50	5	45	1.6	50	6	39	1.5	50	5	35	1.5
	15	35	0.6								
46	5	49	3.8	46	6	43	3.2	46	5	39	3.0
	15	35	0.8		14	35	1.3		9	35	1.9
44	5	51	6.0	44	6	45	4.0	44	5	41	3.5
	21	35	0.8						11	35	2.1
42	5	53	6.7	42	6	47	5.5	42	5	43	4.3
	23	35	1.1		18	35	1.7		13	35	2.3
40	5	55	9.6	40	6	49	8.8	40	5	45	6.9
	25	35	1.0		20	35	1.6		15	35	2.5
38	5			38	6	51	17.0	38	5	47	11.5
	7	55	7.5		8	49	10.0		7	45	10.6
	25	37	1.7		22	35	1.8		17	35	3.1
36				36	6	53	8.5	36	5	49	20.0
	7				8	51	18.5		7	47	16.0
	9	55	3.2		10	49	13.1		9	45	12.0
	11	53	13.2		12	47	9.8		11	43	8.5
	25	39	2.4		24	35	2.4		19	35	3.0
34	7			34	6	55	3.4	34	7	49	26.0
	9				10	51	19.0		9	47	23.0
	11	55	3.8		12	49	14.0		11	45	15.0
	13	53	5.9		14	47	11.1		13	43	10.0
	15	51	12.2		16	45	7.4		15	41	7.7
	25	41	3.3		24	37	3.0		21	35	3.7
32	11			32	12	51	13.0	32	11	47	37.0
	13	55	1.4		14	49	16.0		13	45	24.0
	15	53	2.4		16	47	11.4		15	43	12.0
	17	51	13.7		18	45	9.2		17	41	9.1
	25	43	3.3		24	39	3.9		23	35	4.2
30	21	49	6.2	30	16	49	23.0	30	11	49	8.4

物所組成。高爐操作者必須要認識爐渣的性質，進而控制爐渣，使爐渣的熔點低，去硫能力又好。

爐內去硫的作用，一種是發生在爐渣與鐵水的接觸面，一種是由於剛還原的鐵水向下滴落，經過爐渣時，被爐渣吸去一部分硫化鐵；除了這兩種作用外，再也沒有第三種了。爐渣與鐵水的接觸面發生的化學作用，荷爾布(Holbrook)和約瑟夫(Joseph)兩人曾作過仔細的研究。他們在實驗用的感應電爐內熔化 12 公分含硫 0.8% 的生鐵，並在融熔的鐵水上加 5 公分爐渣（其體積與 12 公分的鐵水差不多相等）。這種爐渣是用各種不同的成分配合而成的。然後使鐵水保持 $1,500^{\circ}\text{C}$ ，並將各種爐渣和鐵水接觸的時間限定為 30 分鐘，這樣便可比較各種不同成分爐渣的去硫能力。如表 5（表 5 中的數據是由荷爾布和約瑟夫兩人實驗結果中選集而成）。由他們實驗的結果，認為去硫效率最好的爐渣，有下列三種不同的成分，如表 6：

表 6 去硫效力最大的爐渣成分和鹼度

種 類	鹼 度	爐 渣 成 分	
		$\text{Al}_2\text{O}_3(\%)$	$\text{MgO}(\%)$
1	1.2~1.4	7	5~10
2	1.0~1.3	11	5~10*
3	1.0~1.2	15	1~5

註：表中的鹼度是指 $\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2}$ 而言。

* 據‘鋼鐵的冶煉、壓製和處理’(The Making, Shapping and Treating of Steel)一書第 295 頁說明，第 2 種爐渣的 MgO 成分僅 1~5%，但作者參考美國鋼鐵學會(A.I.M.E.)出版的鋼鐵叢刊(Iron and Steel Division)第 120 卷，荷爾布和約瑟夫兩人發表的‘高爐爐渣相對的去硫能力’(Relative Desulfurizing Powers of Blast Furnace Slags)一文中的鹼度與相對的去硫能力曲線，如圖 2，認為 MgO 的成分應改為 5~10%。

荷爾布和約瑟夫並指出爐渣去硫的效率與氧化鋁的含量有關，在表 6 中，以第 2 種爐渣的去硫效率最大，在圖 2 中也可看得出來。所以現在工廠中高爐的爐渣，大都採用含有 11~15% 的 Al_2O_3 。

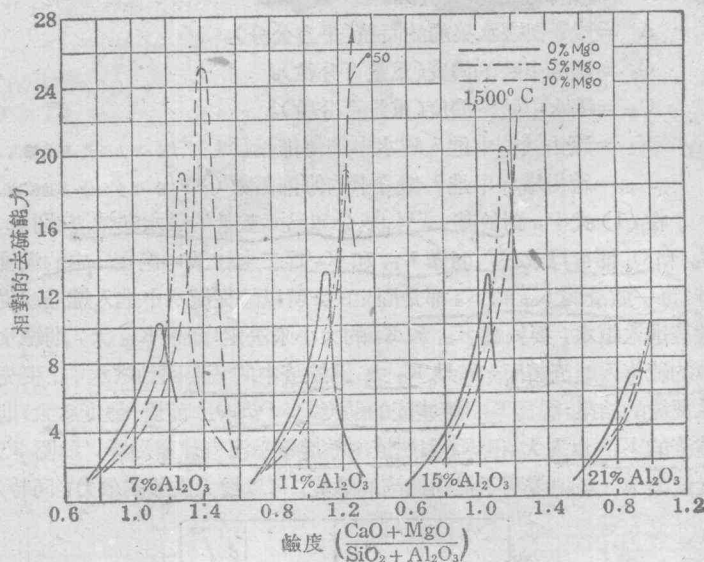


圖 2 鹼度對於相對去硫能力的影響

註：相對的去硫能力 = $\frac{\text{爐渣中硫的含量}(\%)}{\text{鐵水中硫的含量}(\%)}$ 。

此外，關於去硫的問題，張祿經先生也做過深入的研究，他在 1943 年美國鋼鐵學會出版的鋼鐵叢刊上，發表了一篇很有價值的論文‘硫在爐渣和鐵水接觸面傳佈的動力作用’ (Kinetics of the Transfer of Sulphur Across a Slag-metal Interface)。他假定鐵水中的硫進入爐渣中的速率是與鐵水中硫的濃度成正比；同樣，爐渣中的硫進入鐵水中的速率，則與爐渣中硫的濃度成正比。所以他假定鐵水中的硫進入爐渣中去，經過爐渣與鐵水接觸面的動力作用是第一級反應，也就是濃度是決定傳佈速率的唯一因素。這樣他和哥德曼 (Kenneth M. Goldman) 從實驗中所得的結果，便可以用數學方程式表示出來：

$$\frac{dw}{dt} = \frac{dC_s S}{dt} = AK_m C_m - AK_s C_s \dots\dots\dots(1)$$

式中 $\frac{dw}{dt}$ = 每單位時間內硫由鐵水進入爐渣中的質量 (公分/分)。

S = 爐渣的重量(公分)。

A = 爐渣與鐵水接觸的面積(平方公分)。

C_s = 爐渣中硫的濃度(重量百分數)。

C_m = 鐵水中硫的濃度(重量百分數)。

K_s = 硫由爐渣中進入鐵水中的傳佈係數 (公分/分·平方公分·單位濃度)

K_m = 硫由鐵水中進入爐渣中的傳佈係數 (公分/分·平方公分·單位濃度)

在(1)式中，對於某一已知成分和已知重量的鐵水和爐渣。則 A 、 C_m 和 C_s 都可以求得，而僅 K_m 和 K_s 為二未知數；但在一定的溫度時，每一爐渣的 K_m 和 K_s 都是固定的，所以硫從鐵水中進入爐渣或從爐渣進入鐵水，要根據 K_m 和 K_s 的大小來決定：如果 K_m 大，則鐵水中的硫傳入爐渣裏面；如果 K_s 大，則爐渣中的硫要回到鐵水中。張先生實驗的結果，認為 K_m 隨爐渣的鹼度 (CaO/SiO_2) 而變，鹼度愈大，則爐渣的 K_m 也愈大，但 K_s 與爐渣的鹼度幾乎沒有什麼影響，如圖 3。從這裏進一步地證明了提高爐渣的鹼度，可以增大去硫的效力。同時，

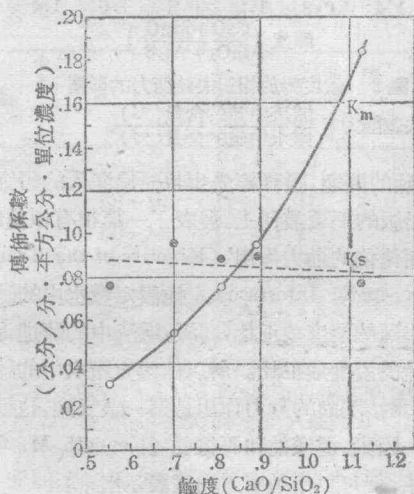


圖 3 鹼度對 K_m 和 K_s 的影響

註：圖 3 是在 $1,540^\circ\text{C}$ 試驗五種不同的爐渣(在表 7 中標有**符號者)後所得的結果。

我們也可以由下面兩個實際資料(圖4、5), 看出這一結論是正確的。

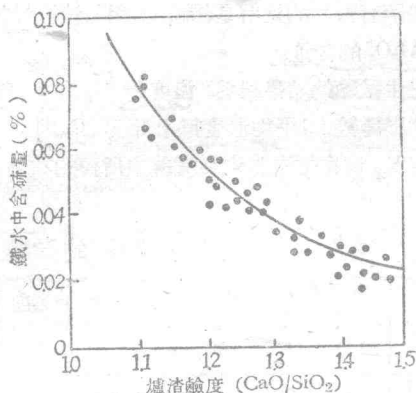


圖4 鞍鋼某高爐的爐渣鹼度與鐵水中含硫量的關係

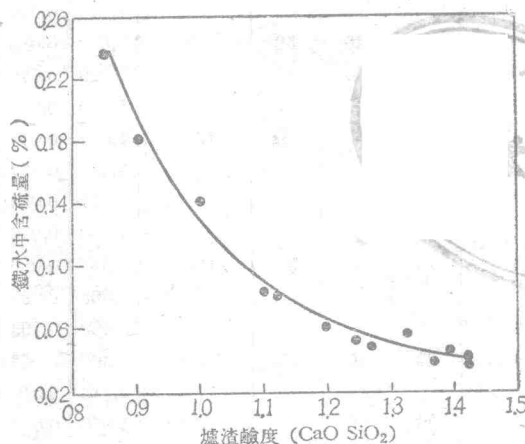


圖5 蘇聯南部某高爐的爐渣鹼度與鐵水中含硫量的關係

3 提高爐內的溫度

過去一般人認為：溫度如果超過爐渣的熔點，對於去硫沒有什麼影響；也有人說：溫度增加對去硫是有幫助的，但這種幫助不是由於溫度

本身,而是由於溫度增加以後,使爐渣的流動性變好的緣故。這些否認溫度本身對去硫有幫助的見解是錯誤的,因為流動性的好壞,主要是決定於鹼度和 Al_2O_3 的含量。

張祿經先生試驗的結果認為:溫度對 K_m 和 K_s 都有顯著的影響,尤其對 K_m 的影響較大;平均溫度每上升 10°C ,則 K_s 約增加 6%,而 K_m 增加約 12%。現在把張先生從實驗中所得的數據,列於表 7,以供參考:

表 7 溫度對 K_m 和 K_s 的影響

爐渣號數	主要成分(近似值) (%)			鹼 度	溫度	K_s	K_m
	Al_2O_3	CaO	SiO_2	$(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$	$(^\circ\text{C})$		
** 1530	15	30	55	0.55	1,540	0.077	0.031
** 1535	15	35	50	0.70	1,525	0.088	0.042
					1,540	0.096	0.054
** 1040	10	40	50	0.80	1,540	0.088	0.076
** 1540	15	40	45	0.89	1,520	0.079	0.075
					1,540	0.090	0.096
** 1545	15	45	40	1.12	1,525	0.071	0.151
					1,540	0.077	0.183
					1,547	0.084	0.196
					1,560	0.090	0.229
1550	15	50	35	1.43	1,547	0.086	0.257
					1,565	0.095	0.300
					1,580	0.103	0.341
2340	23	40	37	1.08	1,406	0.062	0.030
					1,553	0.070	0.094
2838	28	33	34	1.12	1,576	0.054	0.090
					1,582	0.055	0.098

從表 7 中,我們可以看出溫度的增加對於去硫是有很大的幫助。

在一定的鹼度下,爐渣去硫的能力,隨溫度的提高而增大,根據蘇聯科學家研究的結果,得出下列的關係:

$$t = 1,521 + 30 S_s - 61 B - 1,660 S_m \dots\dots\dots (2)$$

式中 t = 鐵水的溫度, $^{\circ}\text{C}$ (鐵水的溫度 = 爐渣的溫度 - 45°C);

S_s = 爐渣中的含硫量(%);

B = 鹼度 $\left(\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} \right)$;

S_m = 鐵水中的含硫量(%)。

如果用曲線來說明溫度對鐵水中含硫量的影響,則一般情形,如圖 6 所示。該圖是蘇聯某工廠某號高爐,關於溫度與去硫的大概情況。

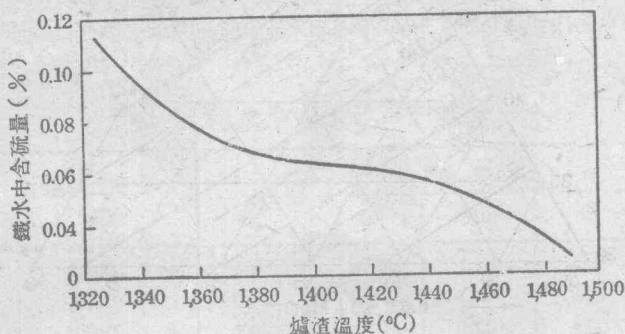
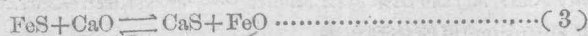


圖 6 爐渣溫度對於鐵水中含硫量的影響

此外,哈取(Hatch)和卡卜曼(Chapman)曾於1949年研究溫度對去硫效力的影響,首先他們把其他一切條件固定(如鐵水和爐渣的化學成分等),而僅改變溫度,經過了許多次的實驗,證明溫度的本身對於去硫的效力是有幫助的。他們用含硫量 0.005~0.020% 的鐵水,和含29~40% SiO_2 , 6~27% Al_2O_3 , 30~50% CaO 和 1~19% MgO 的爐渣試驗結果,把溫度由 $1,500^{\circ}\text{C}$ 下降到 $1,425^{\circ}\text{C}$,則生鐵中增加的硫量約為 0.001~0.004%,如圖7所示。

我們知道,去硫的化學反應是:



根據這個反應,如果爐渣中含有多量的 CaO ,可以促進去硫的速度,但是如果爐渣中 FeO 多,則阻止了去硫的作用。爐渣中 FeO 的來源是較多的,主要的有:

(一)沒有還原的鐵礦;

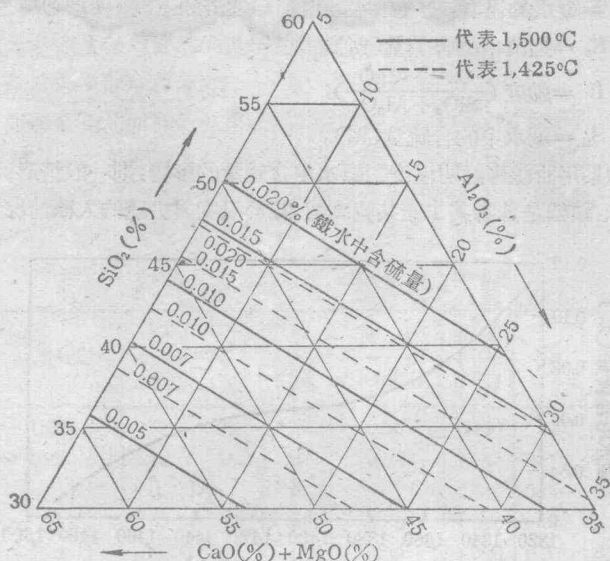
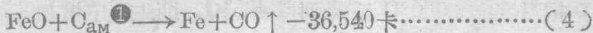


圖 7 在 1,500°C 及 1,425°C 時鐵水中的等硫線 (爐渣中含有 1.5% 硫)

(二) 鐵水下滴時在風嘴附近氧化；✓

(三) 由反應式 (3) 所產生。

如此大量的 FeO 和 CaS 積集在爐渣和鐵水的接觸面，使去硫反應逐漸緩和。但是事實上並不如此，根據蘇聯科學家以及荷蘭布和約瑟夫等研究的結果，有一部分 FeO 能與鐵水中的碳立即發生如下的反應：



這樣當 CO 氣體上升逸出時，便產生攪動作用，不但打破了 (3) 式近似平衡的狀態，而且將積集於接觸面的 CaS 帶入爐渣中，然後由於擴散作用 (Diffusion) 再傳佈到各處。

碳雖然能與氧化鐵發生 (4) 式的反應，促進去硫的作用，但是 (4) 式是一個吸熱反應，作用時必須吸收大量的熱，所以在高溫時才有利於

① C_{am} 表示非晶體 (am—аморф) 碳素

去硫反應的進行，大約在 $1,800^{\circ}\text{C}$ 才能作用完全（煉鐵爐內去硫作用是不完全的），因此，溫度高，去硫的能力就大，爐渣中的氧化鐵也較小，同時使矽的還原量增加，工廠中常流傳着：‘高矽低硫或低矽高硫’，就是這個道理。

一般說來，高温和正常的爐渣，或是正常的溫度和偏於鹼性的爐渣，都可煉得低硫生鐵；反過來說，如果是正常的溫度，又是偏於酸性的爐渣，或者低温和正常的爐渣，便得高硫（約在0.06%以上）的生鐵。

根據最近國內某鋼鐵公司多次試驗的結果，也可以看出溫度對硫的影響，如表 8：

表 8 溫度與生鐵成分的影響

爐缸溫度 ($^{\circ}\text{F}$)	生 鐵 的 成 分 (%)			
	Si	S	Mn	C
2,500	0.80	0.050	1.10	4.25
2,550	0.95	0.040	1.20	4.27
2,600	1.05	0.030	1.30	4.30
2,650	1.15	0.027	1.40	4.35
2,700	1.30	0.024	1.50	4.40
2,750	1.50	0.022	1.60	4.45

4 增加爐渣的流動性

爐渣的流動性，對於去硫的影響很大，流動性好，則去硫的效率高。
爐渣的流動性，主要是決定於：

1 CaO/SiO_2 的比值 研究 CaO/SiO_2 的比值，對於爐渣流動性的影響，首先必須將爐渣中 MgO 和 Al_2O_3 的含量固定，然後再改變 CaO 和 SiO_2 的比值。

表 9 是表示含 5% MgO 和 20% Al_2O_3 的爐渣，改變 CaO/SiO_2 的比值後的影響情形。從表 9 中，我們可以看出，當 CaO/SiO_2 的比值從 0.875 增加到 1.206 時，鋁方柱石漸漸增多，替換了鈣斜長石的含量，但對於鎂方柱石和單矽鈣石的成分，改變很少。