

爐渣氧化鐵含量對脫硫的作用*

魏 奔 崑

(北京鋼鐵學院)

根據由爐渣完全離子化理論導出的硫分配比公式:

$$\frac{(\%S)}{[S]} = \frac{2.56 f_S}{T_3 - \dots} \cdot \frac{\sum n_s \sum n_r}{n_{FeO}},$$

在充分引用活度系數的條件下,研究爐渣氧化鐵含量對脫硫的作用。文內採用三種鹼度的爐渣進行了計算,結果證明文獻內前人對 FeO 作用四種分歧的評價不是相互矛盾的,而相反地是有內在聯系的;它們說明 FeO 在不同條件下顯示不同的作用,而這些不同的作用都可用上列硫分配比公式統一地表示出來。最後,對該公式能否適用於鹼性化鐵爐及側吹鹼性轉爐爐渣,以及對該公式存在的某些缺點和問題進行了討論。

爐渣氧化鐵含量對脫硫的作用,文獻上存有分歧的結論。早在1934年Bardenheuer和Geller^[1]即指出純氧化鐵有脫硫作用,1600°C時硫的分配比(%S)/[S]為3.6。Grant和Chipman^[2]研究平爐渣的脫硫作用,指出渣中氧化鐵含量在3—70%範圍內變化對硫分配比沒有影響,但高爐渣^[3]及電爐渣^[4]脫硫的研究均指出氧化鐵含量愈低,硫分配比愈高。利用平爐渣數據,Bishop, Lander, Grant和Chipman^[5]又進行處理分析,確定在鹼度 $(N_{CaO} + N_{MgO} + N_{MnO}) / (N_{SiO_2} + N_{Al_2O_3} + N_{P_2O_5})$ 小於2.4範圍內,爐渣氧化鐵含量增高,則硫分配比加大。Rossa, Grant和Chipman^[6]曾根據分子理論討論了氧化鐵含量對硫分配比的影響,但他們未能成功地用一種脫硫反應或一個硫分配比公式統一地解釋上述氧化鐵的四種分歧的作用。Самарин, Шварцман和Темкин^[6]利用爐渣完全離子化理論,用計算証實純氧化鐵渣的硫分配比為3.6。Борнацкий^[7]對鹼度為2的爐渣進行同樣的計算,證明當氧化鐵由20%降到10%時,硫分配比無大變化,但當氧化鐵低於7%時,則硫分配比有顯著的增大,而當氧化鐵為1%時,硫分配比達25.5。他的計算未聯系到純氧化鐵渣的脫硫作用,同時更未考慮到,在某些一定情況下,氧化鐵含量愈高,脫硫作用愈好。本文旨在通過理論計算,證明由爐渣完全離子化理論導出的硫分配比公式,在引用活度系數的條件下,可以統一地解釋上列四種分歧的結論,並對該公式在冶煉工藝實踐應用上作進一步的討論。

眾所周知^[5,7,8],鐵液內[S]按分配定律進入爐渣:

$$[FeS] = (Fe^{++}) + (S^{--}), \quad (1)$$

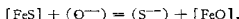
而爐渣內 Fe^{++} 結合 O^{--} 又按分配定律進入鐵液:

$$(Fe^{++}) + (O^{--}) = [FeO], \quad (2)$$

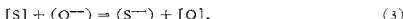
所以脫硫反應可寫為:

* 本文於1963年4月26日收到。

• 本文曾在1962年12月全國第一次冶金過程物理化學學術報告會上宣讀。



或



假定炉渣内酸根离子有 SiO_4^{--} , AlO_3^{--} 和 PO_4^{--} , 则无论根据式(1)抑式(3)均可导出:

$$\frac{(\%S)}{[\%S]} = \frac{32 L_s f_s}{\gamma_{S^{--}}} \cdot \frac{\Sigma n_+ \Sigma n_-}{n_{\text{FeO}}}, \quad (4)$$

式中: $\Sigma n_+ = n_{\text{CaO}} + n_{\text{MgO}} + n_{\text{MnO}} + n_{\text{FeO}};$

$$\Sigma n_- = n_{\text{CaO}} + n_{\text{MgO}} + n_{\text{MnO}} + n_{\text{FeO}} - n_{\text{SiO}_2} - n_{\text{Al}_2\text{O}_3} - n_{\text{P}_2\text{O}_5} + n_s$$

各克分子数 n 均指 100 克炉渣内各组份的克分子数;

L_s ——硫的分配常数,用式(5)表示:

$$L_s = \frac{\gamma_{\text{Fe}} + N_{\text{Fe}} + \gamma_{\text{S}^{--}} N_{\text{S}^{--}}}{[\%S]}, \quad (5)$$

f_s ——铁液内硫的活度系数;

$\gamma_{\text{S}^{--}}$ ——渣液内硫离子的活度系数,

而

$$\lg \gamma_{\text{S}^{--}} = 1.53 \Sigma N_{\text{SiO}_4^{--}} - 0.17^{[8]}, \quad (6)$$

$$\Sigma N_{\text{SiO}_4^{--}} = \frac{n_{\text{SiO}_2} + 2 n_{\text{P}_2\text{O}_5} + 2 n_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{\Sigma n_-}. \quad (7)$$

各式中的克分子分数 N 均按 Темкин 法^[9]计算.

根据文献^[6], $L_s = 0.052 - 0.095$. 如按 $L_s = 0.08$ 计算,则式(4)变为:

$$\frac{(\%S)}{[\%S]} = \frac{2.56 f_s}{\gamma_{\text{S}^{--}}} \cdot \frac{\Sigma n_+ \Sigma n_-}{n_{\text{FeO}}}. \quad (8)$$

作者选定三种不同碱度的,符合碱性化铁炉、侧吹碱性转炉及平炉典型操作的炉渣,其成分见表 1,并依式(8)计算硫分配比.在计算时,炉渣的氧化铁含量作适当的变更,而其它氧化物的比例,包括碱度,则基本上维持不变.计算的实例另行发表^[10],计算的综合结果见表 2.为了相互比较起见, f_s 都按 1 计算.图 1 及 2 分别给出 $\Sigma n_+ \Sigma n_- / n_{\text{FeO}}$ 和 $(\%S)/[\%S]$ 对 $(\%FeO)$ 的关系.

表 1 计算用的炉渣成分

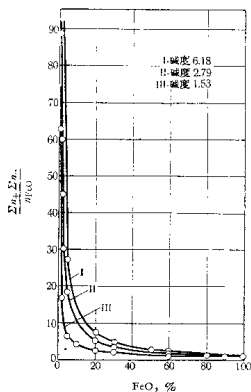
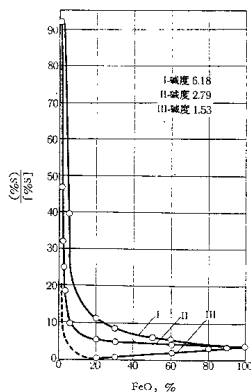
炉 渣	炉 渣 成 分, %								$\frac{\%(\text{CaO} + \text{MgO})}{\%(\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5)}$
	SiO_2	P_2O_5	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	FeO	S	
碱性化铁炉	23.9	—	5.95	49.75	16.90	1.0	1.0	1.5	2.79
侧吹碱性转炉	5.3	3.5	6.3	43.6	10.8	—	30.0	0.5	6.18
平 炉	14.8	1.4	1.6	41.3	4.1	6.6	30.0	0.2	2.80
平 炉	26.2	—	3.5	35.1	5.0	—	30.0	0.2	1.53

由理论计算得到下列结论:

(1) 氧化铁对 $\Sigma n_+ \Sigma n_- / n_{\text{FeO}}$ 起着双方面作用,但由于 n_{FeO} 对分母所引起的作用较大,总的来讲,随着 n_{FeO} 的增加, $\Sigma n_+ \Sigma n_- / n_{\text{FeO}}$ 值逐渐变小.这说明增加炉渣氧化铁含量对脱硫在绝大多数情况下(低碱度炉渣除外)是不利的.当 n_{FeO} 增加时, $\Sigma n_+ \Sigma n_- / n_{\text{FeO}}$

表 2 不同碱度时 $\Sigma n_+ \Sigma n_- / n_{FeO}$ 和硫分配比对 % FeO 的关系

% FeO	项 目 碱 度	$\Sigma n_+ \Sigma n_- / n_{FeO}$			(%S)/[%S]		
		1.53	2.79	6.18	1.53	2.79	6.18
0.5		62.6	176.0	—	—	92.1	—
1.0		—	88.3	—	—	47.1	—
1.5		—	59.2	—	—	32.2	—
2.0		16.5	44.6	—	—	24.8	—
3.0		—	29.7	—	—	16.5	—
5.0		5.78	17.9	26.9	—	10.2	39.5
10		4.02	—	—	—	—	—
20		2.46	4.91	6.80	0.3	5.6	11.1
30		1.97	3.50	4.57	0.6	5.1	8.6
50		—	—	2.74	—	—	6.3
60		1.50	1.98	2.30	2.0	4.5	5.9
80		1.42	—	—	3.5	—	—
90		1.41	—	—	3.6	—	—
100		1.39	1.39	1.39	3.6	3.6	3.6

图 1 $\frac{\Sigma n_+ \Sigma n_-}{n_{FeO}}$ 对 % FeO 的关系图 2 $\frac{(\%S)}{[\%S]}$ 对 % FeO 的关系

值的下降率是不一致的。当 $FeO < 2-3\%$ 时, 每增加 0.5% FeO 使 $\Sigma n_+ \Sigma n_- / n_{FeO}$ 值大大地下降; 当 $FeO > 10-20\%$ 时, $\Sigma n_+ \Sigma n_- / n_{FeO}$ 值下降率较缓; 而当 $FeO > 50-60\%$ 时, $\Sigma n_+ \Sigma n_- / n_{FeO}$ 值下降率更缓, 几乎接近一常数而不变。

(2) 比較图 1 內 I, II 及 III 三条曲綫, 可以看出, 当氧化鉄含量相同时, 碱度愈大, 則 $\Sigma n_+ \Sigma n_- / n_{FeO}$ 值愈大, 这說明炉渣的碱度增高对脫硫有利。

(3) 研究脫硫作用或硫分配比时, 在一定炉渣碱度下, 不能孤立地只考虑氧化鉄的作用, 必須把鉄液內硫的活度系数 f_s 和渣液內硫离子的活度系数 γ_s ——全面地一并考虑。随着成分的不同, 生鉄的 $f_s = 3-6$ 。由式(6)表示的 γ_s ——是按平炉类型的炉渣推出, 在本計算中假定也适用于碱性化鉄炉、碱性轉炉, 甚至低碱度类型的炉渣。 γ_s ——对硫分配比有很大影响。它可抵消一部分, 甚至大部分 $\Sigma n_+ \Sigma n_- / n_{FeO}$ 值对脫硫的有利作用。对高碱度的炉渣, 随着氧化鉄的增加, 一般来讲, $\Sigma n_+ \Sigma n_- / \gamma_s n_{FeO}$ 值是下降的。但对低碱度的炉渣, 随着氧化鉄的增加, $\Sigma n_+ \Sigma n_- / \gamma_s n_{FeO}$, 因之硫分配比, 在一定范围内是可能上升的, 計算中碱度 1.53 的炉渣(图 2 曲綫 III)便是如此。但在这种情况下, 縱然硫分配比随氧化鉄的增加而上升, 但它的最高值也不超过純氧化鉄炉渣的 3.6, 此值远較高碱度炉渣的硫分配比为小。

明显地可以看出, 根据炉渣完全离子化理論和活度系数的引用, 氧化鉄对脫硫的作用可以較全面地予以解釋。不同学者对不同氧化鉄含量对脫硫作用的不同估价, 正如文献提出的四种分歧的結論, 实际上不是相互矛盾, 而是有內在联系的。它們說明氧化鉄在不同条件下显示不同的作用, 这些不同作用都可用式(8)統一地表示出来。

上面提到的 Борнацкий^[7] 的理論計算采用了同样的方法, 但他未計算含 20—40% FeO 的炉渣, 也未采用 γ_s ——; 因之, 他未发现 γ_s ——对低碱度渣在一定范围内有促使硫分配比升高的影响。

显然, 图 2 中曲綫 III 指出硫分配比有一最低值。計算証明, 出現最低值的碱度随炉渣成分不同而不同, 同时相当于最低值的 % FeO 也随炉渣成分而异。进一步的計算指出, 曲綫 III 在高氧化鉄区域出現一“駝峯”, 但此駝峯值大于 3.6 不多, 所以一般來說, 可认为低碱度渣的硫分配比是逐步上升到 3.6 的(參閱表 3 以純 CaO-FeO-SiO₂ 三元系炉渣計算的結果)。

表 3 純 CaO-FeO-SiO₂ 炉渣的硫分配比对 % FeO 的关系

% FeO	項 目 碱 度	(%) / [%S]		
		2.0	2.5	2.8
1		19.2	—	—
5		2.8	8.4	12.7
10		1.2	5.2	6.2
20		—	3.8	5.1
30		—	3.5	4.4
40		—	3.5	4.1
60		2.6	3.8	4.4
70		3.6	4.2	4.4
80		3.9	4.0	4.1
90		3.7	3.7	3.8
100		3.6	3.6	3.6

对炼鋼工艺來說, 增加炉渣氧化鉄含量意味着提高金属鉄的消耗, 因之, 某些炼鋼工作者企图用提高炉渣氧化鉄含量以增加脫硫作用是值得商榷的。

在二氧化硅以 SiO_4^{4-} 形态存在于渣中的假定下, 式(8)不能应用于高氧化硅含量的炉渣。当 $SiO_2 > 30\%$ 时, 則 $\Sigma SiO_4^{4-} > 1$ 而 N_O ——成負值, 再用式(6)以計算 γ_s ——即不合理。图 2 曲綫 III 不能用式(8)計算的部分用虛綫示意地表示出来。对于一般含二氧化硅高于 30% 的高炉渣, 如欲利用式(8)計算硫分配比, 則必

表4 碱性化铁炉脱硫资料

来 源	炉 号	炉渣温度, °C	生铁配入 S, %	铁液成分, %					炉 渣 成 分, %								(%) / (%) S		
				C	Mn	Si	P	S	CaO	MgO	MnO	ZnFeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	实际	计算	
上海 ⁽¹²⁾	3-198	1390	0.66	3.40	0.39	1.90	0.305	0.055	41.73	18.17	0.34	2.60	27.0	6.50	1.0	1.45	26.3	36.3	
	3-199	1400	0.66	3.08	0.21	0.92	0.30	0.19	47.08	16.41	0.51	2.20	25.46	6.40	1.0	1.94	10.2	41.6	
	3-205	1390	0.96	2.64	0.25	1.78	0.45	0.24	40.26	16.41	0.63	0.80	31.10	6.80	1.0	3.74	15.5	22.6	
	3-18A-210	1375	0.96	2.54	0.27	1.55	0.42	0.16	40.50	13.55	0.57	0.45	31.00	4.80	0.58	3.71	22.8	41.4	
	3-21A-213	1340	1.76	2.68	0.22	1.90	0.36	0.16	45.17	15.42	0.46	1.63	28.70	5.40	1.0	4.30	41.6	33.0	
武钢 ⁽¹³⁾	2-8-82-1	1425	0.58	3.31	1.12	1.70	0.44	0.015	48.45	17.12	0.48	1.40	23.70	4.80	—	1.49	124.0	95.0	
	5	—	—	—	—	—	—	—	40.17	41.2	19.6	1.2	1.8	28.6	6.5	—	0.56	11.9	19.4
	6	—	—	—	—	—	—	—	0.022	32.5	28.6	0.6	2.9	26.0	9.2	—	1.26	42.0	21.6
	7	—	—	—	—	—	—	—	0.015	40.3	23.2	0.6	2.0	25.8	6.5	—	3.08	96.0	50.3
	8	—	—	—	—	—	—	—	0.015	62.4	9.0	0.6	0.4	18.8	12.5	—	2.50	250.0	268.0

表5 侧吹碱性转炉脱硫资料

来 源	炉 号	试 样	铁液成分, %						炉 渣 成 分, %						(%) / (%)		
			C	Mn	Si	P	S	CaO	MgO	MnO	ZnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	实际	计算
唐山 ⁽¹⁴⁾	5-1118	不留渣法, 氧化渣	0.05	0.18	—	0.024	0.036	46.00	5.31	6.97	23.40	15.06	1.20	3.60	0.203	5.3	7.3
	1-1657	不留渣法, 氧化渣	3.33	0.36	0.14	0.605	0.067	49.80	6.80	5.81	5.20	25.86	2.97	2.86	0.287	4.3	9.0
	3-836	不留渣法, 氧化渣	4.45	0.62	0.90	0.224	0.404	44.56	7.91	5.64	12.50	18.58	2.13	4.81	0.292	4.6	19.5
	9-822	不留渣法, 氧化渣 31 分后样	0.51	0.31	0.02	0.051	0.096	47.19	6.40	6.26	13.08	8.76	—	16.85	0.105	1.1	8.0
	9-822	不留渣法, 氧化渣 36 分后样	0.10	0.22	0.10	0.065	0.063	47.02	8.50	5.68	16.04	8.20	—	18.27	0.180	2.8	6.8
唐山 ⁽¹⁵⁾	9-823	不留渣法, 氧化渣 28 分后样	0.07	0.14	0.02	0.058	0.071	46.20	5.20	3.55	21.60	6.00	—	12.65	0.300	4.2	7.6
	9-823	不留渣法, 氧化渣 32 分后样	0.04	0.10	0.08	0.050	0.053	42.20	6.00	3.42	31.60	5.40	—	10.85	0.214	4.0	7.4
	3-548	后吹试验, 氧化渣后第一次样	0.06	—	—	0.046	0.055	27.80	7.71	0.47	48.80	6.64	2.86	4.49	0.172	3.1	4.8
	4-2541	不留渣法, 氧化渣后第二次样	0.07	—	—	0.013	0.045	38.66	9.00	0.70	34.20	12.28	0.84	3.09	0.122	2.3	6.0
	4-2542	不留渣法, 氧化渣后第三次样	0.04	—	—	0.019	0.033	38.99	4.87	0.35	41.50	8.54	1.76	2.91	0.202	3.5	6.0

須先确定二氧化硅在渣中的存在形态(可能是更复杂的硅酸根离子, 鋁酸根离子也类似), 再求出相当于式(6) γ_s —对存在的阴离子的关系, 这些問題尚有待进一步的研究, 但从理論上推导, 利用式(8)計算高炉渣的硫分配比的可能性是存在的。

式(8)符合于平衡状态, 对平炉純沸騰末期的炉液, 式(8)基本上是适用的^[7]。作者利用一些碱性化鉄炉和側吹碱性轉炉实际操作的数据根据式(8)进行計算(見表4及表5), 得出下列結論: (1)碱性化鉄炉脫硫反应可认为达到平衡, 这和高炉內脫硫反应达不到平衡的情况不同^[11]; (2)側吹碱性轉炉实际的硫分配比低于計算值, 这可能由于脫硫反应未达平衡, 而更主要的原因是由于气化去硫反应的存在^[15]。

式(8)的 L_s 与温度有关, 純氧化鉄渣硫分配比与温度的关系, 根据較近的資料^[16], 由式(9)表示:

$$\lg \frac{(\%S)}{[\%S]} = \frac{2620}{T} - 0.827, \quad (9)$$

由式(4)換算得出:

$$\lg L_s = \frac{2620}{T} - 2.476, \quad (10)$$

式(10)指出 L_s 随温度上升而下降, 但根据 Борнацкий^[7] 的式(11):

$$\lg L_s = -\frac{3160}{T} + 0.46, \quad (11)$$

則 L_s 随温度上升而增加, 这种分歧尚待于进一步的研究, 由于 f_s 及 γ_s —或多或少地也与温度有关, 由式(8)推論硫分配比与温度的关系更显复杂, 至于增高温度引起动力学方面脫硫的影响, 以及三氧化鉄能帮助化渣, 从而使脫硫反应易于进行, 这里不加討論。

結 論

理論計算証明, 由炉渣完全离子化理論导出的硫分配比公式:

$$\frac{(\%S)}{[\%S]} = \frac{2.56 f_s}{\gamma_s} \cdot \frac{\sum n_{+} \sum n_{-}}{n_{FeO}}.$$

在引用活度系数的条件下, 可以較全面地解釋文献中氧化鉄对脫硫的四种不同评价, 即:

- (1) 純氧化鉄渣可以脫硫;
- (2) 平炉渣氧化鉄量在 3—70% 范围变化对硫分配比无影响;
- (3) 电炉(或高炉)渣氧化鉄含量愈少, 則硫分配比愈高;
- (4) 对低碱度炉渣在一定碱度范围内, 增加氧化鉄含量能使硫分配比加大, 上列四种分歧的結論不是相互矛盾的, 而是有內在联系的, 它們說明氧化鉄在不同条件下显示不同的作用, 而这些不同的作用都可用上列公式統一地来表示。

由于假定二氧化硅以 SiO_4^{4-} 形态存在于炉渣中, 这个公式不能应用于酸性渣, 同时硫分配比与温度的关系尚有待于进一步的闡明。

采用碱性化鉄炉实际操作的数据进行計算, 得知碱性化鉄炉內的脫硫反应达到平衡, 側吹碱性轉炉由于有气化去硫反应的存在, 实际的硫分配比則較計算值为小。

参 考 文 献

- [1] Bardenheuer, P., Geller, W.: *Mitt. K. Wilh. inst. Eisenforsch.*, 1934, 16, 77.
- [2] Grant, N. J., Chipman, J.: *Trans. AIME*, 1946, 167, 134.
- [3] Hatch, G. G., Chipman, J.: *Trans. AIME*, 1949, 185, 274.
- [4] Rocca, R., Grant, N. J., Chipman, J.: *Trans. AIME*, 1951, 191, 319.
- [5] Bishop, H. L., Lander, H. N., Grant, N. J., Chipman, J.: *Trans. AIME*, 1956, 206, 862.
- [6] Самарин, А. М., Шварцман, Л. А., Темкин, М.: *Ж. физ. химии*, 1946, 20, 111.
- [7] Борнацкий, Н. И., 胡可夫: 平炉钢脱硫, (冶金工业出版社, 1955年), 8页, 11—12页, 108页.
- [8] Самарин, А. М., Шварцман, Л. А.: *Изв. АН СССР, Отд. техн. н.* 1948, (9), 1457.
- [9] Темкин, М.: *Ж. физ. химии*, 1946, 20, 105.
- [10] 魏寿崑: 活度在冶金物理化学中的应用, (中国工业出版社, 1964年).
- [11] 上海冶金工业局: 全国转炉会集资料汇编, 第一册, (上海科技出版社, 1959年), 53—57页, 80—81页.
- [12] Carter, S. F.: *Trans. Am. Foundrymen's Soc.*, 1953, 61, 52.
- [13] 作者个人搜集资料.
- [14] Filer, E. W., Darken, L. S.: *Trans. AIME*, 1952, 194, 253.
- [15] 魏寿崑、王 崑、王光耀、万天骥: 北京钢铁学院 1952—1962 年论文集, 炼钢部分, (北京钢铁学院, 1962年), 1—20页.
- [16] Томили, И. А., Шварцман, Л. А.: *Изв. АН СССР, Отд. техн. н.*, 1956, (10), 122.

THE EFFECT OF THE IRON OXIDE CONTENT IN MOLTEN SLAGS UPON DESULPHURIZATION

WEI SHOU-KUN

(Peking Institute of Ferrous Metallurgy)

ABSTRACT

As regards the effect of the iron oxide content of molten slags upon desulphurization in iron- and steelmaking, different conclusions have been given in the literature:

(1) pure iron oxide slag has a desulphurizing effect and gives a sulphur-distribution ratio of 3.6 at 1600°C;

(2) variation of the iron oxide content of openhearth slags from 3 to 70% has practically no effect upon the sulphur-distribution ratio;

(3) with electric furnace (or blast furnace) slags, the less the iron oxide content, the higher the sulphur-distribution ratio; and

(4) with less basic slags within a certain range of basicity, increase in the iron oxide content brings about an increase in the sulphur-distribution ratio.

In the present paper, through calculations with the help of the sulphur-distribution ratio formula:

$$\frac{(\%S)}{[\%S]} = \frac{2.56f_2}{\gamma_s} \cdot \frac{\sum n_+ \sum n_-}{n_{FeO}}$$

derived from the complete-ionization theory of slag constitution and with the introduction of activity coefficients, it has been shown that the above-mentioned four conclusions are not contradictory against one another, and between them there exists an intimate relation. They simply signify that under different conditions iron oxide exerts different actions, and all these different actions could be amalgamated and generalized under the same formula.

On the assumption that SiO_2 is present as SiO_4^{4-} in the slag, the formula is not suitable for application to acid slags, while at the same time the effect of temperature upon the sulphur-distribution ratio needs further investigation.

The formula has been used to evaluate the sulphur-distribution ratio of basic cupola and basic side-blown converter slags from data in actual practice, and the following results have been obtained:

(1) desulphurization in the basic cupola practice has practically reached equilibrium; and

(2) in basic side-blown converter practice, owing to the presence of gaseous desulphurization, the sulphur-distribution ratio found in actual practice is less than that calculated from the formula.