

氧 气 炼 钢

24476 / 2603

中国科学院化工冶金研究所

1960 年 3 月

氧 氣 煉 鋼

一、引 言

氧气頂吹轉炉煉鋼的特点是：鋼质量好、生产率高、投資少、建厂快、耐火材料消耗少、成本低等。相信我国在解决了大量制造氧氣机的問題后，这种煉鋼方法会得到很大的发展。

我国第一个氧气頂吹轉炉煉鋼厂即将投入生产，从技术上来保証第一个氧气轉炉煉鋼厂能迅速正常生产，是研究与生产单位的共同責任，因之化工冶金所与石景山鋼鐵公司决定先在小炉子上进行此項研究。

此項工作将是比較长期的，第一阶段的主要目的是：从小炉子的冶炼来掌握操作，初步拟定多种冶炼制度（供氧制度、噴枪制度、加料制度、冷却制度、双渣或单渣造渣制度等）；确定最适当的生鉄成分，使之既有利于高炉，又有利于煉鋼；了解最佳的去磷与去硫条件，以使多項主要指标都能得到滿意結果；培养一批熟練掌握操作的技术人員及工人。

进一步的工作将是：深入探索最佳冶炼条件；研究去硫、去磷反应及噴溅过程形成机理；扩大对生鉄原料的适应性；探討高炭停风及准确控制終点的方法，以扩大鋼品种。

在这里所提到的只是初步的結果，深入的工作仍等待进一步展开。

二、实 驗 設 备

利用汇流排来供給 300 公斤轉炉氧气，噴枪及烟罩是用高压水来冷却，轉炉的記錄及控制设备可見下图。直筒形轉炉內径 440 mm。噴枪高度是用手搖来控制。

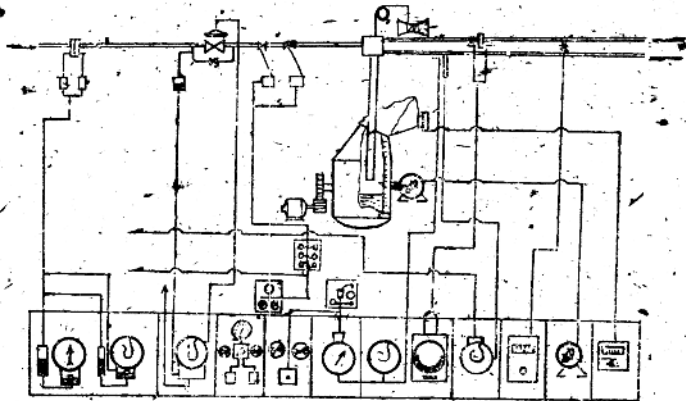


图 1

三、供 氧 問 題

要想掌握頂吹过程，必須首先掌握多个变量間关系，譬如压力、孔径、噴头形式、流量、

噴枪高低、噴枪結構等問題,并且能够將之与冶煉过程中各反应之变化相連。同时还需正确地掌握供氧速度对縮短冶煉時間,减少和防止噴濺,加速去硫、去磷反应以及对实现高炭停風的操作間关系。下面簡單叙述几个問題。

关于需氧量的多少,与生鉄中 $[C][Si][P][Mn]$ 含量;渣中氧化鉄(FeO)含量;过剩热多少;加入冷却剂的种类;渣量等一系列的因素有关。针对石鋼生鉄的具体情况,我們进行了一系列計算^[2],根据計算結果,需氧量可以直接与鋼中 $[C][Si][Mn][P]$ 含量作成图

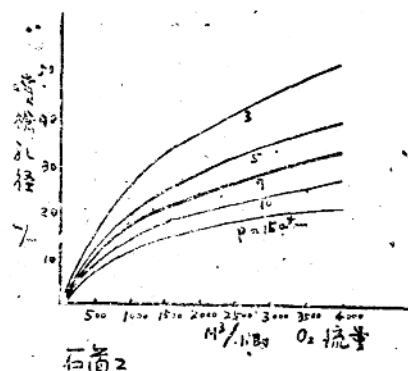


图2 P, Q, D 三者間关系(估算)

表,在操作中結合了实测結果进行校正后,即可試用之来控制終点。

噴枪孔径大小与流量,压力間关系,当忽略膨胀时摩擦損失,同时并将氧氣高速喷射看作理想的絕热膨胀过程,則可以用下述三个式子来表示:

$$P_0 V_0^{1.4} = P_2 V_2^{1.4} \quad (1)$$

$$U_2 = U_c = \sqrt{k \cdot g \cdot P_2 \cdot V_2} \quad (2)$$

$$G = U_2 \cdot A_2 \cdot \frac{1}{V_2} \quad (3)$$

式中 U = 綫速度 P = 压力 V = 比容

G = 質量速度

理論上来看,上述式子必需在 $P_0 > \frac{1}{0.528}$ 大气压时才能成立。

根据这些关系,概略地計算了上述式子,結果列于图2。这些計算結果与实际情况校核后,可以供选择噴枪孔径大小及确定冶煉时使用压力参考。

关于供氧制度对冶煉过程的影响,是一个极为复杂的关系,氧流量增加則有利于縮短冶煉時間,这是显而易见。关于对过程反应的影响,根据实际冶煉經驗,定性的来看,大致可有下述各点:

表1 供氧制度对反应的影响

	噴 枪 高 度	氧 压	帶扩张形状噴头
加 速 去 磷	高	*	有 利
加 速 去 硫	低	高	不 利
防 止 噴 濺	低	高	
促进(FeO)生成	高	低	有 利
加 速 去 碳	低	高	不 利
增 加 $CO \rightarrow CO_2$	高	低	有 利

* 倘有不同意見。

关于对其他反应影响以后还将述及,此处只举两炉实际情况为例,來說明噴枪高低对渣中(FeO)含量的影响。由图3中可以看出噴枪高度的极其显著影响。

在实际操作方面得到的一些經驗說明噴枪結構、加工情况、操作制度对冶煉极有影响。制造及操作不当,会导致噴头迅速损坏^[2]。

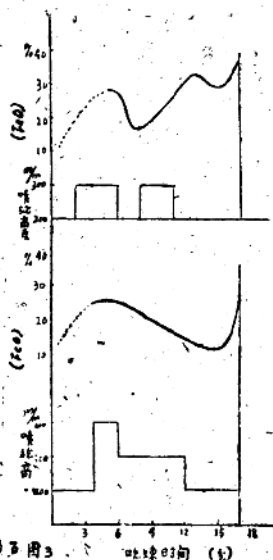


图3 喷枪高度对渣中(FeO)含量的影响

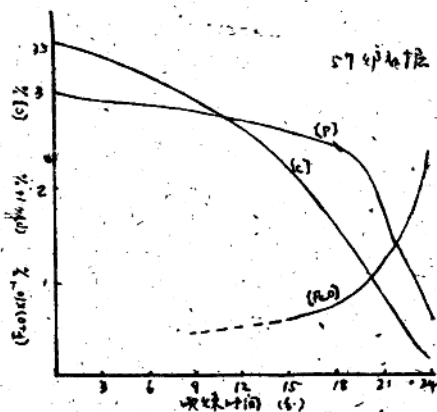
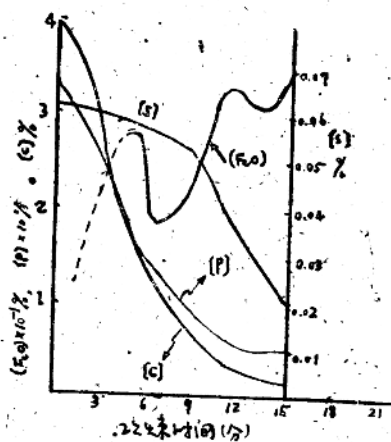
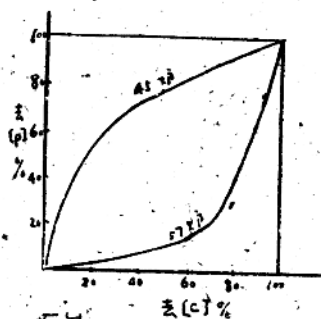


图4 当渣流动性不佳时去磷情况



石笛5

图5 前期去磷情况较佳时的情况



石笛6

图6 去磷去碳相对速度图

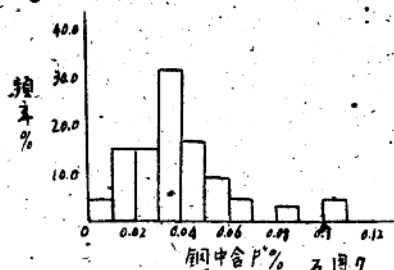


图7 第一阶段钢中含磷频数图

四、去 磷

在目前已经进行工业化生产的纯氧顶吹厂中，一般生铁中含磷均不超过 0.2%，只日本所用生铁含磷在 0.3—0.4%。我国石景山生铁含磷将在 0.3% 左右，选定正确的吹炼制度用以保证含磷的稳定及格是一个重要问题。

从热力学观点来看，影响去磷的主要因素有：温度，渣的碱度，渣的氧化性，渣中 (P_2O_5) 含量等。但在冶炼中更为重要的因素常是属于动力学方面的一些因素。由于去磷反应主要是扩散过程速度控制的，所以搅拌能力（去碳的沸腾及高气流的冲击），渣子流动性，作用时间等的影响常是极其重要的因素。

图 4 表明虽然吹炼时间很长，但由于过程中渣内 (FeO) 含量极低，前期渣流动性极差，故去磷速度极低，相反当前期渣流动性极佳，渣子碱度及氧化性都弱时，则去磷速度在一起初即可以达到较高之程度，这种情况可由 (图 5) 看出来。

第 45 炉和第 57 炉的去磷与去碳相对速度间的主要区别从第 6 图中可以看出来。其主要原因即为渣中 (FeO) 含量不同。在整个过程中提高 (FeO) 含量，无疑对去磷速度有极大的好处。但是在提高前期渣中 (FeO) 含量时，由于喷溅之发展，故常受到很大限制。

在第一阶段 52 炉的冶炼中，钢中含 P 大多在 0.03—0.04% 之间，但由于试验中条件变化较多，故尚有少数钢中含磷超过 0.05% (见图 7)。第二阶段条件已较稳定，在 32 炉统计中，钢中含磷大都在 0.02—0.03% 之间 (见图 8)。由之可见当操作进一步掌握后将含磷在 0.3% 左右的生铁吹炼合格是没有困难的。

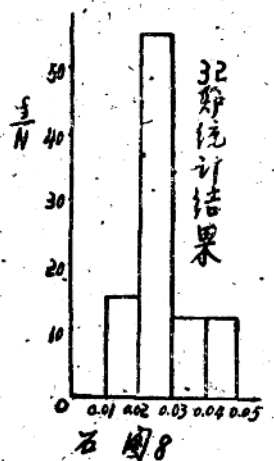


图 8 第二阶段钢中含磷频数图

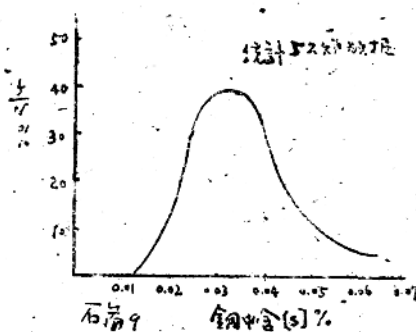


图 9 第一阶段冶炼钢中含磷频率图

五、去 硫

顶吹转炉有巨大的去硫能力，这点是肯定的。但是究竟在石景山的具体条件下（去磷任务重，生铁含 Mn 低等）恰当的含硫量应如何，是一个需要用实验来回答的问题。

在第一阶段冶炼中生铁含硫大都在 0.06—0.08% 之间，成品钢中含硫量可以在 0.02—

0.04% 左右但少数曾高于 0.05%。第二阶段,操作比较稳定,虽然生铁中含硫有较大之波动,但实际去硫反应还是得到很好的发展。在表 II 中列出最近 35 炉之结果。从表上可以看出当生铁中含硫在 0.06—0.08% 范围内,在吹炼大多数钢种时,已经可以满足要求。当然为了进一步改进钢的性能,对生铁中的含硫量似亦不应放松要求。

表 II 去硫对照表

炉号	生铁中 [S]	钢中 [S]	去硫 %	炉号	生铁中 [S]	钢中 [S]	去硫 %
53	0.045	0.039	13	71	0.081	0.029	64
54	0.081	0.048	41	73	0.086	0.041	52
55	0.074	0.033	55	74	0.079	0.028	65
				75	0.089	0.035	61
57	0.084	0.055	35	76	0.086	0.042	51
58	0.077	0.037	52	77	0.079	0.047	41
59	0.066	0.031	53	78	0.063	0.035	44
60	0.065	0.040	39	79	0.071	0.032	55
61	0.074	0.043	42	80	0.066	0.047	29
62	0.063	0.041	35	81	0.069	0.032	54
63	0.063	0.037	41	82	0.067	0.024	64
64	0.071	0.045	37	83	0.066	0.045	32
65	0.078	0.038	51	84	0.072	0.023	68
66	0.08	0.038	53	85	0.086	0.038	56
67	0.07	0.036	49	86	0.090	0.038	58
68	0.08	0.042	48	87	0.069	0.032	54
69	0.078	0.050	36	88	0.068	0.022	68
70	0.075	0.038	49	89	0.065	0.032	51

顶吹转炉可以有极佳的去硫能力,除了与一般冶炼方法具有相同的原因外,还有其本身之特点,即借高温火焰作用去硫。由下述平衡表中可以说明此问题。

表 III 去硫平衡表

炉号	铁水中 [S] Kg	石灰中 [S] Kg	渣中 [S] Kg	钢中 [S] Kg	气中 [S] Kg	总去 S%	其中	
							气体%	炉渣%
13	0.00160	0.00052	0.000642	0.00068	0.000798	67.8	55.4	44.6
24	0.00176	0.00044	0.000280	0.00127	0.000650	42.3	49.9	30.1
27	0.00260	0.00058	0.000822	0.00146	0.000898	54.1	51.6	48.4

由上表可以看出来炉渣去硫虽占一定比例,但是由于石灰本身亦带入一部分硫,所以实际上从铁水至渣中的硫并不十分多,主要去硫是靠炉气。关于这点从酸性纯氧顶吹^[1]结果中亦可得到证实。但是由此不应得到这样的结论,即渣子的状况对去硫全无影响。因为至今在顶吹中关于去硫机理仍不十分清楚,从炉渣中挥发的硫的可能性亦是存在的。在这方面需要进行进一步的工作。

关于锰对去硫的有利影响从右图可以看出,这点从^[1]所收集的关于国外的资料亦可证实: McIlouth [Mn] 1.0%, 去硫率 34.0%; Dofasto [Mn] 1.3%, 去硫率 33%; Linz [Mn] 1.9%, 去硫率 40%; Donawitz 2.5%, 去硫率 56%。但是由于我国锰矿不能满足迅速发展的需要,而在低锰时,亦可维持较高的去硫效率,故认为在我国似无必要过分提高 [Mn] 含量。

六、高碳停风的可能性

目前在这方面正在探索中,在此只能提出一点,即当我们很好地掌握去硫与去磷速度时,完全有可能将去磷与去硫的主要阶段控制在前期或中期,因而可以保证高碳停风

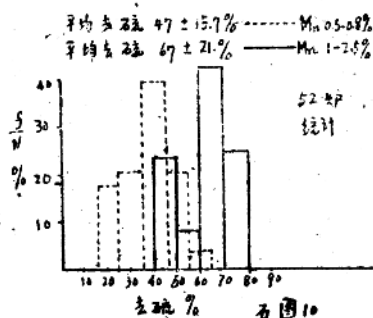


图10 Mn 对去硫的影响

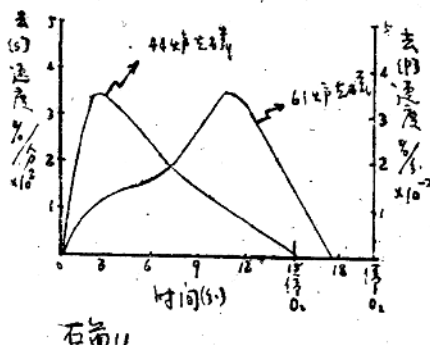


图11 去硫与去磷速度图

时钢之质量。在图 11 举两炉之降磷及降碳速度曲线为例,来说明完全可能使速度率位于中期或前期。下面再列出一简表说明在几炉中间取样中,当[C]在 0.5—0.8% 间, [P][S] 皆已降至合格范围内,由之可以肯定当生铁中含磷在 0.3%, 硫在 0.08% 以下时,亦同样具

炉 号	钢 中 [C]	钢 中 [P]	钢 中 [S]	钢 中 [Mn]	生铁中 [Mn]	生铁中 [S]
55	0.77	0.042	0.046	0.23	0.75	0.074
73	0.52	0.017	0.044	0.091	0.625	0.086
74	0.69	0.013	0.035	0.117	0.657	0.079
77	0.505	0.036	0.045	0.074	0.686	0.079
82	0.736	0.006	0.020	0.132	0.58	0.007
85	0.64	0.012	0.034	0.132	0.527	0.086
86	0.61	0.014	0.035	0.127	0.633	0.090

有实现高碳停风之可能性。

从表中亦可看出来在碳火降落前钢中余锰是较一般的冶炼方法为高。当 C 在 0.5—0.8% 之间时,余锰变化在 15—30%,大多数在 20% 左右。

七 喷溅问题^[5]

顶吹与其他的转炉一样,亦存在喷溅的问题。但是当条件掌握的适当时,喷溅亦有可能防止。

目前在我們吹炼中常遇见的喷溅多是由于两方面原因造成: 由于渣的物理化学性质符合于产生泡沫渣的条件(含有较多的表面活性物质及泡沫稳定剂)因而形成泡沫渣,阻碍炉气之通路;另一类是由于较常时间高喷枪操作,同时温度及含碳量均符合于促使钢渣表面上或在钢液相内(FeO)之过分积累而造成爆发式喷溅。二种原因有时是同时都具备,有时则只有一种。

(FeO) 是一个表面活性物质,当其浓度高时,常易促进泡沫渣形成,但是(FeO)含量在

过程中維持在較高的数值对早期去磷反应的发展是非常有利的，因之在實踐中常感到在这两者之間，有矛盾存在。所以渣中适宜的 (FeO) 含量必須适当加以調整，使同时能照顧到此两方面要求。

(SiO_2) 含量对泡沫渣的形成看来是最为重要的因素。 (SiO_2) 不但是表面活性物质，而且当碱度不够时，或者当其在渣表面被活性吸附而富化时，常易促成网状矽酸根之产生，这样将造成泡沫稳定存在的有利条件。

容积比的影响看来亦是十分重要的。图 12 表示出其重要作用。

在頂吹中由于造成噴濺原因的极端复杂，还有其他一系列的原因，因之仅孤立地从某个单方面去設法解决，常不能見效。在实际中，为了防止噴濺，常需从鉄水成分、温度、炉型、容积比、操作制度等多方面来看消除噴濺。从我們一些炉的冶炼結果可以証明消除噴濺的可能性是存在的。

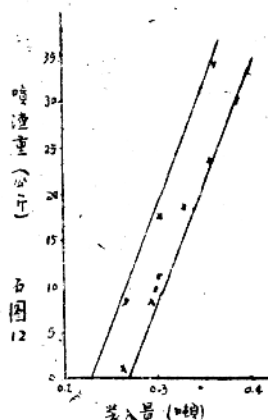


图 12 装入量对噴濺影响

八、烟 尘

烟尘的产生是頂吹轉炉的特点。烟尘的产生机理至今仍不清楚，但显然只从温度角度来进行解释是不适当的。因为末期温度极高，但尘量极少。在冶炼中根据我們的观测，烟尘量常与鋼水中碳含量有联系。当有碳大量存在时，烟尘总是显著地存在，而当碳含量减少时，尘量亦同时减少。在我們双光比色的仪器测量中也完全証实了这点。因之我們比較支持通过形成 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 而形成烟尘的說法，同时它也有可能成为帮助我們了解熔池中碳含量的指示物。

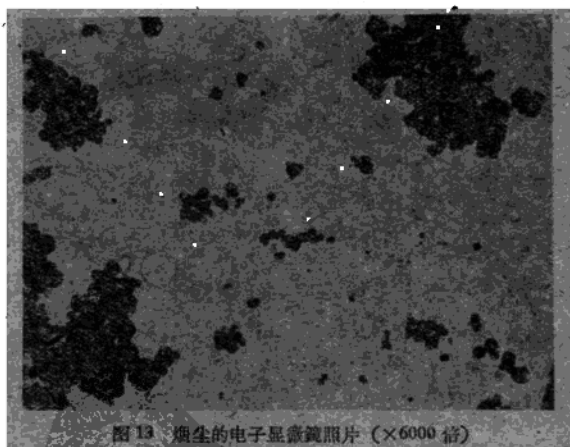


图 13 烟尘的电子显微镜照片 ($\times 6000$ 倍)

产生的烟尘是极細的顆粒，可能是由雾状的 $\text{Fe}(\text{CO})_5$ 分解氧化而成的悬胶体。从图 13 可以看出其大小的数量級在 $0.1-1 \mu$ 左右。但是在考虑其在水中之沉降行为时，不应只从每一个孤立的顆粒大小来考虑，而需考虑到其凝聚情况，根据沉降实验中之照片^[4]可以看出，在水中进行沉降时，其顆粒大小常在 $10-100 \mu$ 左右，有时甚至还大。

九、造渣制度

在实际吹炼中当渣中碱度高于 2—2.5 时，继续提高碱度，已无显著效果，下面二图根据统计分析结果都是不相关的，因之可以说：当碱度在 2.0 以上时在实际中，决定去磷及去硫主要因素不是碱度的继续升高。

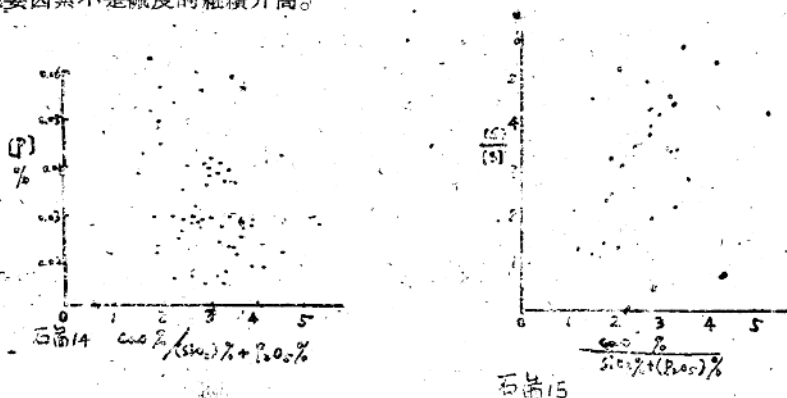


图 14、15 渣碱度对去硫去磷的影响

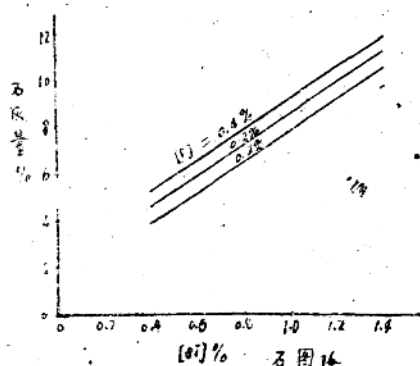


图 16 适宜的加料制度

根据上述的看法，提出适宜的加料制度应该如图 15 所示。如果采用矿石作为冷却剂时，则石灰加入量还需适当提高，以便能够中和矿石带入的 (SiO_2) 。

关于热衡算及冷却制度问题，涉及因素很多，拟在另文中详予阐述。

根据目前冶炼要求，用单渣操作来吹炼石景山生铁其效果已经肯定，这是最简单方法，同时生产率亦必相应的提高。但是当生铁中含矽量高于 0.8% 甚至 1% 时，则单渣操作将会造成渣量较大的毛病，因之在实践中应该探索采用留渣结合倒渣操作的可能性。这个方法的主要内容是：将末期高碱度 $\left(\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5} = 2 - 3\right)$ 及高氧化性渣留在炉内将之与生铁进行充分反应，当碱度降至 1 左右，同时渣中 (FeO) 大大降低了（低于 15%），在此时进行倒渣。倒去一半以上的低碱度渣后，将全部渣料加入炉内。当能实现此种操作时则大大减少渣量，使操作易于掌握，减少喷溅，减少铁损，提高热的利用率。这方面工作正在进一

步进行。

十、鋼中气体

利用純氧頂吹方法进行吹炼,当操作能正确掌握时,气体含量可以大大降低。含氧量大致可在平炉鋼的范围内,这点可以在图 15 中看出来。

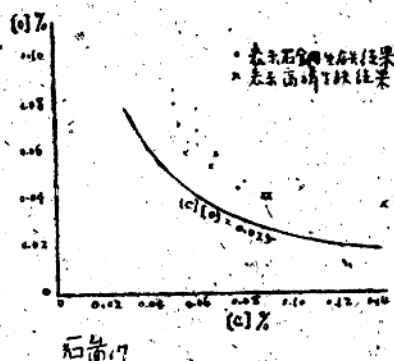


图 17 鋼中含 $[O]$ 及 $[C]$ 的情况

关于含氮量主要取决于氧气中氮的分压及鋼液温度。在我們冶炼中含氮量波动在 0.0015—0.003% 之間。

如果需要利用純氧頂吹轉炉来吹炼中炭鋼时亦需要同时考虑其中含氮問題。在平炉中氮的来源有 4 个方面: (1) 生鉄; (2) 石灰及矿石带来; (3) 气氛中氮将通过炉渣扩散到熔池; (4) 鉄合金。在頂吹当中从气氛中带来的氮可以忽略, 而从炉料及鉄合金带来水分可以通过預热而去除, 因之可以想象利用頂吹方法可以炼出含氮极少的鋼来。

十一、結 論

1. 初步认为适合于我国石景山炼鋼厂条件的生鉄成分应该是: $[C]$ 3.5—4.0% $[Si]$ 0.6—0.8% $[Mn]$ 0.5—1.0%, $[P] < 0.3\%$ $[S] < 0.06—0.07\%$;

2. 当磷在 0.3% 左右, 含 $[Si] < 0.8\%$ 时采用单渣吹炼, 可以无多大困难, 当 $[Si][P]$ 较高, 为了充分发挥渣的作用, 减少渣量亦可以考虑留渣結合中途倒渣操作。

3. 当 $[Mn]$ 在 0.6—0.7% 平均去硫能力 $47 \pm 15.9\%$, 当提高到 1.5—2.0%, 平均去硫能力約在 $67\% \pm 21\%$ 左右。

4. 早期去硫去磷反应都进行的比较好, 当 $[C]$ 在 0.5—0.8% 間 $[P][S]$ 远小于 0.05%, 这将給石鋼生产中炭鋼提供良好条件。

5. 頂吹在掌握不当时亦会产生噴溅, 在这方面需要进一步研究形成机理及防止方法。

6. 进一步工作的重点将在: 准确的終点控制; 高碳停风; 准确控制温度; 扩大鋼品种; 深入探索在頂吹条件下各种反应特点, 扩大生鉄实用范围, 繼續改进提高热的有効利用率等方面。

1960. 1. 15

参 考 文 献

- [1] 純氧頂吹轉爐煉鋼方面一些看法, 化冶所內部資料 1959, 12。
- [2] 純氧頂吹轉爐冶煉生鐵第一階段實驗報告, 化冶所內部資料 1959, 10。
- [3] 鐵性純氧頂吹小結及放射性 P^{32} 之应用, 化冶所內部資料 1959, 10。
- [4] И. П. Бардан 等: Применение Кислорода в Конвертерном Производстве Сталей, Москва 1959
- [5] 頂吹氧氣轉爐渣形成条件及防止方法, 化冶所內部資料 1959, 12。
- [6] 頂吹氧氣轉爐微尘在水中的沉降行为, 化冶所內部資料 1959, 11。