

三活叶技术資料三

总 号: 293

热 加 工: 087

内部資料 注意保存

倒置式两排风口冲天炉 的实践与探討

第一机械工业部新技术先进经验
宣传推广联合办公室

1965.11.

目 录

一、前言	1
二、改进前后炉子熔炼情况对比	1
三、对熔炼效果机理的初步探讨	9
四、几种不同风口结构形式的效果	15
五、初步结论与看法	20
参考文献	

倒置式两排风口冲天炉的实践与探讨

南京第二机床厂、南京工学院 賴濂桂 周重光等

一、前言

本厂的主要产品有插齿机、剃齿机、珩齿机、齿轮倒角机及普通车床等。产品零件具有較厚大的导轨，要求耐磨性較高，需要硬度配对的零件也較多。大部分齿轮、蜗轮及工作台类零件，都系采用合金耐磨铸铁或高强度孕育铸铁制造，而合金元素多半在炉前加入，故要求铁水出炉温度較高。为此，我們学习了外地先进经验，結合本厂具体情况，由领导、工人、技术人員及南京工学院师生組成一个試驗小組，对冲天炉的結構及熔炼操作进行了大胆的革命，把三排风口改为倒置式两排风口，还采用了大风量、风压进行强化熔炼。经半年来的生产实践证明，当层焦铁比保持 $1:8 \sim 9$ 时，铁水出炉温度由过去的 $1400 \sim 1430^{\circ}\text{C}$ 提高到 $1450 \sim 1500^{\circ}\text{C}$ 左右，铸铁温度有了提高，铸件废品率較64年降低1半以上（内外废由6.8%降低至2.3%）。

二、改进前后炉子熔炼情况对比

試驗的結果表明：将原有三排风口冲天炉改为两排风口，并将主輔风口按傳統的截面分配法倒过来，即第一排风口（原主风口）的截面积較小，第二排风口（原第三排风口）的截面稍較大，并把排距增大，第二排风口角度变小后，熔炼效果起了显著的变化。

改进前后炉子的总体簡图如图1所示。其結構参数的变化情况列于表1，操作工艺参数的变化情况列于表2。

① 铁水温度均由鉑鉑——鉑热电偶配303电位計在铁水包內測得，热电偶經江苏省計量所校正。

在生产过程中，一直使用北京焦。其块度为40~90毫米(层焦)成分为：固定碳80~84%；灰分12~15%；挥发物<1.5%；水分<3.0%；硫<1.0%。生铁是徐州的，其成分为：碳3.7~4.0%；硅2.2~2.75%；锰0.1~0.3%；磷<0.3%；硫<0.05%。废钢是由废品收购站送来，成分繁杂。但以中碳钢为多。经清理滚筒除锈。在操作方面一直保持开渣口操作。

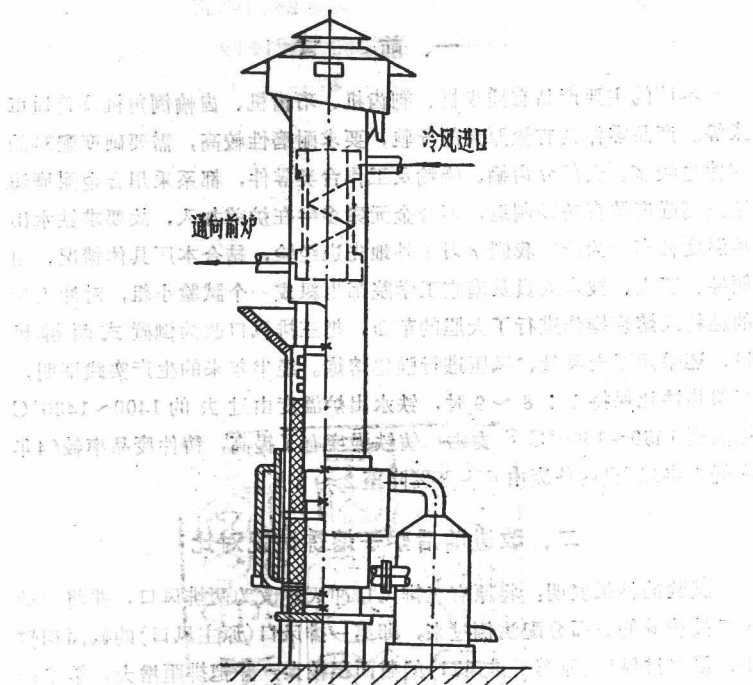


图1 冲天炉结构总体图。

炉子结构改进后铁水温度显著提高。从图2可见：采用倒置式两排风口后，从开炉到达正常铁水温度的时间缩短了，当层焦比为1:8~9时，最高温度可达1500℃左右，提高了近50~60℃，而且高温持续时间很长，铁水温度稳定。三排风口时的铁水温度我们取自沈阳铸造研

究所 64 年在厂里进行测量时所得数据。

提高铁水温度对铁水及铸件质量的影响如下：

1. 改善了金相组织；由于铁水温度的提高石墨呈更好的散乱細片状分布。虽然铁水的过热使含碳量有所增加，但石墨片的长度及厚度非但没有增加反而有所变小，这可由图 3 及图 4 看出。

表1 冲天炉主要结构参数

参 数 細 目		改 进 前 (三排)	改 进 后 (倒置两排)
风 口 排 数		3	2
风 口 主 要 结 构 参 数	排 距		
	第一排至第二排(毫米)	360	600
	第二排至第三排(毫米)	360	600
	第一排风口大小×角度×个数	$\phi 45 \times 10^\circ \times 5$	$\phi 30 \times 5^\circ \times 5$
	第二排风口大小×角度×个数	$\phi 25 \times 15^\circ \times 6$	
	第三排风口大小×角度×个数	$\phi 23 \times 20^\circ \times 6$	$\phi 42 \times 0^\circ \times 6$
	风口总截面积占預热带炉子截面积百分比(%)	3.48	2.99
	第一排风口截面积占总风口截面积百分比(%)	59.2	30
	第二排风口截面积占总风口截面积百分比(%)	25.8	0
	第三排风口截面积占总风口截面积百分比(%)	15	70
炉 径	风口区直径(毫米) $D_{\text{风}}$	620	600
	熔化带直径(毫米) $D_{\text{熔}}$	750	750
	預热带直径(毫米) $D_{\text{預}}$	700	700
有效高度 H (毫米)		4500	4800
H/D 預		6.42	6.85
炉缸深度(毫米)		220~230	130~150
底焦高度(毫米)		≈1600	≈1600

表2 操作工艺参数

名 称	改 进 前	改 进 后
风带压力(毫米汞柱)	110~115	110~125
送风强度(米 ³ /米 ² 分)*	140~160	160~180
层焦铁比	1:8~9	1:8~10
热风温度(°C)	80~125	80~125
底焦装入高度(毫米)	1600	1600
风机名牌压力(毫米水柱)		3500
风机名牌风量(米 ³ /分)		84
风机功率(瓩)		40

* 按預热带炉径計算。

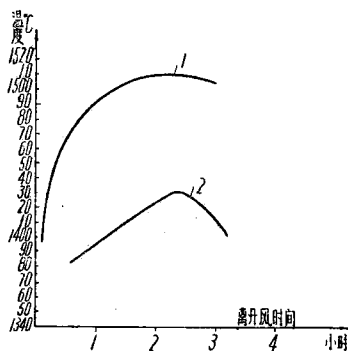


图2 改进前后铁水的温度变化曲线:

- 1——改进后二排倒置风口;
2——改进前三排不倒置风口。

随着铁水过热度的增高,使原生铁中粗大的石墨能更好地溶解于铁水中。正如文献〔1〕指出:铁水的过热使作为结晶核心的超显微石墨夹杂物减少,使作为晶芽的非金属包含物聚集和消失,从而导致石墨化程度降低,结果使石墨析出物细化。

从基体组织来看也有改善。珠光体含量和分散度都增高且呈卷曲索乱状分布(见图5及图6)。这可能是由于铁水的过热度增大而将一些难熔



图3 改进前铸件的石墨形状， $\times 100$ 。

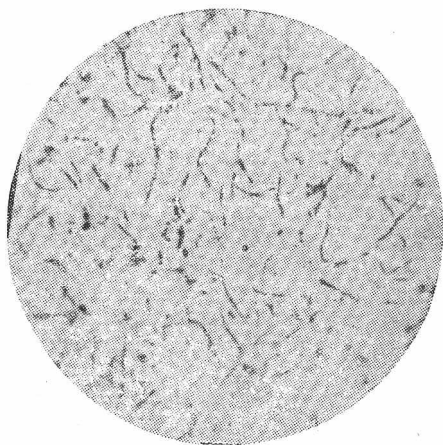


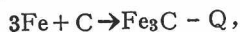
图4 改进后铸件的石墨形状， $\times 100$ 。



图5 改进前铸件的基体组织, $\times 400$ 。 图6 改进后铸件的基体组织, $\times 450$ 。

元素和非金属夹杂物熔解, 使微观的畸变区域的数量和大小减少, 因而铸铁在自生晶芽形成速度很大的情况下, 以极大的过冷度凝固。

铁水温度的提高有利于下述反应向右方进行〔2〕:



即是在铁水中化合炭的含量将有所增加, 故能获得较细的石墨和分散度较高的珠光体, 从而提高了铸件的致密性和机械性能。

2. 提高了机械性能。

一般來說: 随着铁水温度的提高, 机械强度也有所提高 (因为在临界过热温度下①, 随着铁水的过热, 石墨析出物细化)。但其提高的程度

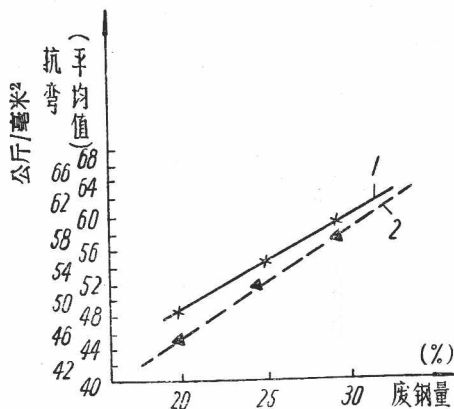


图7 废钢量、温度与强度之关系:

1——铁水温度1450~1500°C;

2——铁水温度1400~1440°C。

① 指1500~1600°C。

随配料的不同（牌号的不同）而异，对低牌号的铸铁来说，提高幅度较大，对高牌号铸铁而言其提高幅度较小（因为高牌号铸铁本身石墨析出物就较小）。图7表示不同温度及废钢加入量时的抗弯强度变化曲线。由图8可知：当温度从1400°C升至1450°C时强度增加较快。温度由1450°C升到1500°C时强度增加较慢。当高牌号铸铁出铁温度接近1500°C时，再进一步提高温度，其强度提高就不明显了。因为铁水温度已接近临界点，石墨析出物就难于再细化了。铁水温度对铸件抗弯及挠度的影响如图9、10所示。

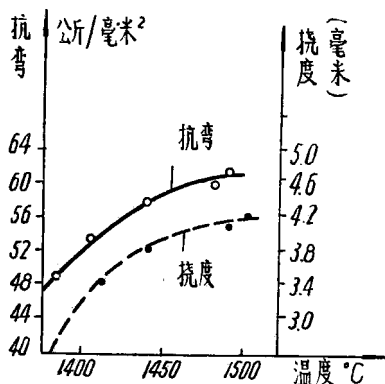


图8 抗弯、挠度随温度变化曲线，
(废钢量为30%时)。

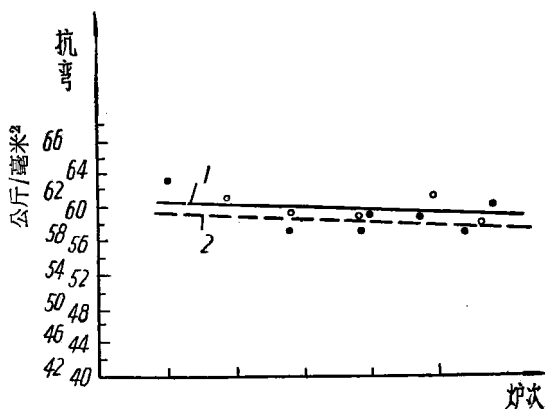


图9 废钢加入量30%时的抗弯强度：

1 — $t=1450\sim1500^{\circ}\text{C}$ ；

2 — $t=1400\sim1440^{\circ}\text{C}$ 。

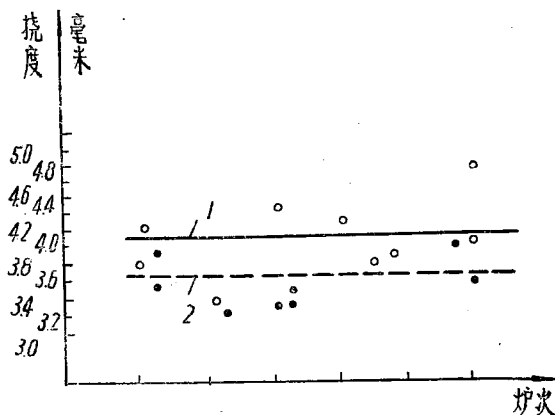


图10 温度对挠度的影响:

- 1 —— 废钢30% $t=1450\sim1500^{\circ}\text{C}$;
 2 —— 废钢30% $t=1400\sim1440^{\circ}\text{C}$ 。

表3 改进前后加料口炉气成分及元素烧损情况

名 称		改 进 前				改 进 后					
加料口炉气平均成分	CO ₂	13.5~14.5				15.5~16.5					
	O ₂	0.2~0.5				0.1~0.3					
	CO	9~11				6.0~8.0					
加料口炉气平均温度		220~350°C				200~300°C					
金属元素平均烧损值	C	+28.5~32%				+30~38%					
	Si	-16.8~20%				-14.4~16.0%					
	Mn	-25.8~30%				-22.8~25%					
炉渣平均化学成分	SiO ₂	CaO	FeO总			SiO ₂	CaO	FeO总			
	44.0	30.0	2.5			44.0	31.6	1.9			
	45.0	31.5	4.5			45.0	32.5	3.5			

3. 減少了元素燒損，降低了廢品率。由於鐵水溫度的升高使鑄件氣孔、縮松、夾渣、澆不足等缺陷大大減少，回爐鐵數量也減少了。廢品率從過去的6~8%降低至2~3%。

從加料口爐氣成分(表3)來看：這種爐氣具有較強的氧化性。但是，硅、錳的燒損並沒有增加，反而有所下降，爐渣中FeO的含量也由2.2~4.6%降低至1.9~3.5%。

將改進後的情況與國內外先進指標比較(表4)[3]，可以看出：現在在我廠這種倒置式兩排風口沖天爐的各項指標已經進入了國內外的先進水平。下面對鐵水溫度提高的機理作一些初步的探討和分析。

三、對熔煉效果機理的初步探討

我國現在使用的三排風口沖天爐大多是照蘇聯的設計，在有關沖天爐的理論方面也承襲了蘇聯的傳統看法，特別是馬林巴赫的一些看法。

據馬林巴赫的實驗表明：底焦中一氧化碳含量急驟增加發生在第一排風口以上180~230毫米的高度處，而一氧化碳含量增高區的上限一般位於第一排風口中心線以上450~550毫米的高度處。我們所做的底碳燃燒試驗已證明了這一點(圖11)標準三排風口沖天爐的排距和風口比就是按照這一實驗數據。和主要熱量應集中在第一排風口而第二、三排風口

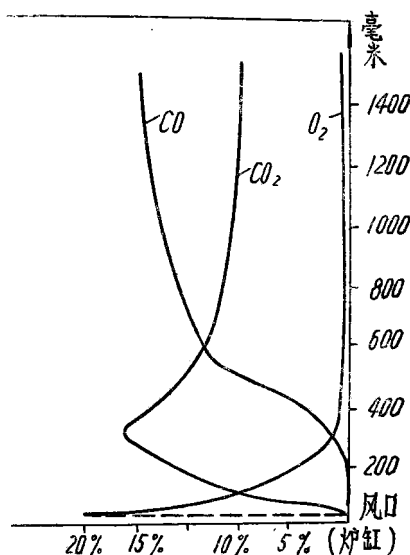


圖11 底焦燃燒試驗爐沿爐身高度爐氣變化情況。

注：送風強度 $109 \text{ 米}^3/\text{米}^2 \cdot \text{分}$ ；
焦炭塊度40~60毫米。

必需燃去由于二氧化碳还原而产生的一氧化碳的原则而定的。于是据计算的结果第一排风口截面积应占总风口截面积的80%，称为主风口，其余两排共占20%称为辅风口〔4〕。总之，他认为风口区不应有二氧化碳还原反应出现。因为这一反应非但消耗底焦，而且还吸收热量，因而是我们所不希望的。资料〔6〕也叙述了这种看法。使用的结果也确是证明了在三排风口区没有一氧化碳的存在。

在三排风口上方，由于高温气流与赤热焦碳的作用，总免不了有一个还原带出现。而且，它有可能随着炉子熔炼的强化而延长。因为随着炉子熔炼的强化必将使炉气温度升高，这有利于二氧化碳的还原而使还原带延长，使化学热损失较大（从标准三排风口典型炉气成分说明这点），这可能是过去各种强化措施难于提高炉子热量利用率的重要原因之一。

倒置式两排风口冲天炉的生产实践，对这种传统看法提出了怀疑。由于减小了第一排风口的进风量，而且扩大两排风口间的距离，显然为风口区内二氧化碳的还原创造了条件。根据从生产炉风口区间所取炉气的成分可以看出（表5）在风口区内一氧化碳的最高含量为15~18%，从文献〔7〕中也可得出这种证明。虽然如此，但铁水温度不但没有降低，反而显著提高。我们通过热平衡的粗略计算，这种炉子的热效率为41.18%（表6），据文献〔3〕及表4可知：这已属于国内外先进水平。

表5 两排风口间炉气成分

試样号 \ 成分%	CO ₂	O ₂	CO
1	10.2	0.4	18.0
2	10.0	0.9	14.6
3	8.7	2.4	15.2

表6 改进后热平衡计算

A. 热量收入

焦炭燃烧	7156千卡	92.90%
金属氧化	323千卡	4.78%

空气带入	226千卡	2.92%
計	7705千卡	100.00%

B. 热量支出

熔剂分解	192 千卡	2.46%
CO ₂ 还原	2240 千卡	29.03%
炉气带走	601 千卡	7.78%
铁料熔化过热	3166.0千卡	41.18%
渣吸热	495 千卡	6.42%
炉身冷却水吸热	290 千卡	3.77%
其它	721 千卡	9.36%
計	7705 千卡	100.00%

倒置式两排风口冲天炉，与双风带冲天炉有相似之处，但又不是双风带冲天炉。因为它的风口并没有双风带冲天炉排数多，上下风口进风量的分配也不是几乎相同〔3〕而是有着非常明显的差别。更主要的，从熔化后炉衬侵蚀情况(图13)来看，它没有两个明显的侵蚀最大区，而只有一个。因此，我们认为倒置式两排风口冲天炉有别于现在文献所提供的国内外冲天炉，而具有自己的特点。

这种炉子的最大特点是：由于风口的倒置改变了炉内底焦燃烧的传统规律。不但在风口区出现了一氧化碳，而且在有意识为二氧化碳的还原创造条件的情况下(如增大排距至600~650毫米，将两排风口由不倒置改为倒置以减少第一排风口进风量等)，反而取得一些效果(因为上部有一个很集中的高温区)，甚至层焦铁比为1:9的时候铁水温度还能较长久地保持在1480°C左右。这种有意使二氧化碳还原的做法显然是与过去的传统理论不符。

根据熔炼后测定的炉衬侵蚀情况以及一些专门的底焦燃烧实验〔4〕〔5〕〔7〕而对沿高度上炉气成分变化规律进行了有根据的推测和计算，并将三排及倒置二排风口冲天炉的情况分别绘于图12及图13内。

从图中可以看到在倒置二排风口冲天炉的风口区有不少的一氧化碳存在，虽然这会降低一些风口区的炉气温度，但只要对二氧化碳的还原量有适当控制(即控制第一及第二排风口的风口比和排距)使炉气的温度下

降不太大时，对铁水温度的下降不会有什么影响。关于这一点，生产实践的效果就是良好的证明。我们对炉气理论温度进行的粗略计算表明：在我厂现行条件下，第二排风口区以下一氧化碳含量平均值为14%处的炉气温度约为1550~1600°C，在这种情况下铁水可能处于保温阶段。加之下部炉气的最高温度较之三排风口时并没有很大变化（计算结果约为1700°C），这将使铁水温度又有所升高，因而获得较高的铁水出炉温度。

由于燃烧规律的改变相应地改变了炉内热量分布规律。

由于风口区一氧化碳的产生，并在第二排风口附近进行燃烧而发生了有利于提高炉气温度的热量转移。

当然，风口区由于二氧化碳的还原而稍为降低了炉气温度。但在这里所消耗的热量并没浪费，而是由一氧化碳将其“保存”起来在第二排风口处再予“释放”。根据我们粗略的计算表明：

在第二排风口上部的炉气温度由于一氧化碳的燃烧而升高了约200~280°C。这对提高该处燃烧焦点的温度以及迅速形成高温区和对铁水的过热真可谓雪中送炭了。

由于高温区向上移动200~300毫米左右(图12, 13)。由此带来的结果将是使铁水过热带拉长。这是倒置式两排风口冲天炉铁水温度提高的原因之一。但主要

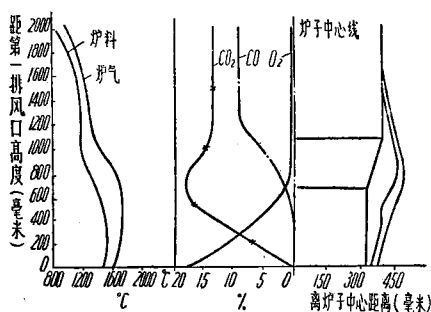


图12 改进前炉内温度，炉气成分，炉衬侵蚀情况分布曲线。

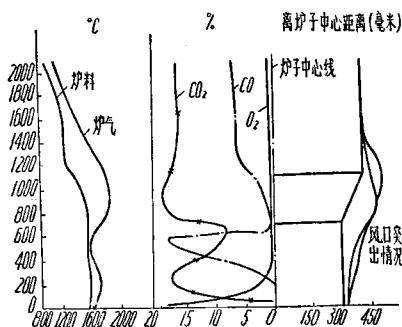


图13 改进后炉内温度，炉气成分，炉衬侵蚀情况分布曲线。

的原因是由于热量分布的改变而加强了主要热交换区的热交换作用，减少了炉气的化学热损失。

在送风强度以及底焦加入量不变和底焦高度变化不大的情况下，倒置两排风口冲天炉主要燃烧区的最高燃烧温度较三排高，从而加大了炉气与炉料间的温度差，增强了热交换的效果。其次，还因为高温区的上移使之更接近底焦附近的熔化带因而更使炉料与炉气之间的温度差加大，使炉料易于熔化而缩短了熔化带的宽度。

由于在熔化带以及它附近的过热带内，炉料(铁液)的温度不高，在这种情况下正在熔化的铁料相对于最高温度区的距离，对铁水温度起决定性的作用。假如铁料和刚熔化的铁液能直接进入最高温度区则可获得通过直接辐射传来的较多热量〔3〕。我们还应该注意铁料在吸收熔化潜热时温度不会上升的特点，正是由于这一特点而使熔化带内的热交换效果不致因铁水温度的升高而减弱，这显然是熔化带及其附近的过热带内的炉气温度升高进而增强热交换效果的极其有利的条件。

由于三排及倒置式两排风口冲天炉的底焦加入量变化不大，送风强度没有什么改变。因此，倒置式两排风口冲天炉由于燃烧焦点的上移并接近底焦面，而减小了高温炉气流经赤热焦炭的长度，加上热交换在此区域内的加强使炉气温度下降很快，使二氧化碳得不到充分还原。加料口炉气的燃烧比从58升到71，炉气的化学热损失减少了，热效率得到了进一步提高。炉气成分的变化见表3。

第二排风口以下焦炭燃烧强度的减小以及二氧化碳的还原使第二排风口的侵蚀出现特殊形状而有利于保持铁水温度。

从图2可见倒置式两排风口冲天炉的铁水温度在较长时间內保持在较稳定的高温水平。这一方面说明这个炉子在熔炼时底焦高度波动不大，易于操作。同时与炉衬侵蚀后上风口的结构有关。由于送风强度的大小对铁水温度有着很大的影响，而过去的三排风口冲天炉则往往由于炉衬的侵蚀使炉膛直径扩大而感到熔化末期送风强度不足，铁水温度很难长期保持在较高水平。我们发现倒置式两排风口冲天炉上排的每个风口总是侵蚀很少而凸出于被侵蚀的四周炉衬之外(如图13阴影部分所示)，其凸出长度可达60~100毫米左右。这很明显是铁水温度得以长时间保

持稳定的关键所在。因为它的凸出防止了熔炼后期由于炉膛的扩大，送风强度的不足使炉子中心底焦的燃烧强度降低。

上风口凸出的原因我们认为主要是由于在它的下方燃烧强度、炉气温度等的降低而减小了对炉村的热负荷。加之空气在风口内的高速流动对它多少起着一些冷却作用。另一方面，上排风口向下斜改为水平的或向上斜，有利于炉气向上运动，减少风口处炉气“反烧自身”的现象。因此，它能较四周的炉衬侵蚀量少而凸出于外了。

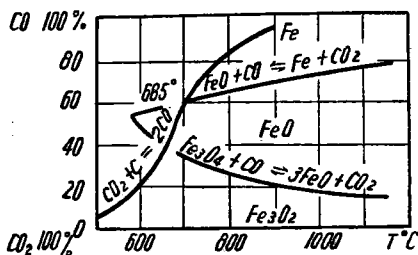


图14 有固定碳存在下各级铁氧化物的稳定区。

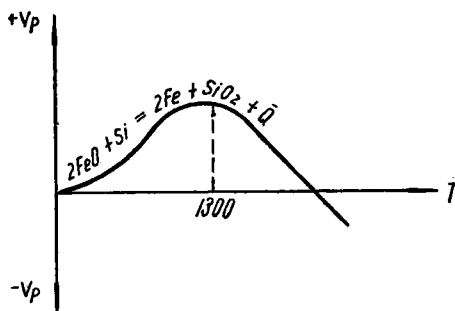


图15 硅氧化反应速度与温度的关系。

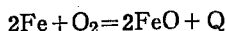
由于风口区还原带的出现使合金元素的烧损减少，炉渣中氧化铁的含量保持在较低水平。

从表3可以看出：倒置式两排风口冲天炉的元素烧损并没有增加，反而有一些减少。

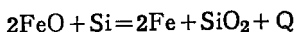
元素烧损减少的原因之一在于第二排风口以下的风口区气氛从过去的强氧化气氛变成了弱氧化性气氛。从图14可见，随着CO含量的增加，铁和其它元素氧化的趋势减小。

从下列两个反应式自由能随温度的变化规律可以看出：随着温度的升高反应自由能 ΔZ^0 也不断增大。显然，温度的升高

不利于硅和铁的氧化。



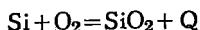
$$\Delta Z^0 = -115190 + 25.5 T$$



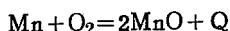
$$\Delta Z^0 = -100480 + 22.485 T$$

因此，随着铁水温度的提高 Fe 的氧化减少，炉渣中 FeO 必将下降，硅的烧损也得减少。从图15可见温度在高于 1300°C 时硅被 FeO 氧化的速度也降低了〔8〕。

从硅、锰元素的直接烧损反应式来看，也是随着温度条件的升高而减弱。



$$\Delta Z^0 = -215670 + 47.985 T$$



$$\Delta Z^0 = -162200 + 25.30 T$$

表 3 上所列加料口炉气成分对炉料而言虽具有较强的氧化性，但由于这种气体成分主要存在于予热带内，气体所接触的是固体炉料，铁料表面被氧化后，将生成一层致密的 Fe_3O_4 铁鳞。正由于这层铁鳞的作用而阻止了铁料的继续氧化。故铁料的氧化程度却不至于有多少增加。

四、几种不同风口结构形式的效果

自58年大跃进以来，我国在强化冲天炉熔炼方面普遍采用了三排小风口、曲线炉膛、予热送风以及开渣口操作等强化措施，使我国冲天炉生产水平向前跨进了一大步。

我们觉得要强化冲天炉熔炼，除了解决强化燃料燃烧这一根本问题外，还须注意炉内气流及热量分布的合理化。

正如文献〔5〕的编者所指出的，“在讨论冲天炉效果时，不能单从热平衡来考虑，而应同时考虑热量分配问题，即这些热量是否用在最需要的地方”。

我们基于前述的粗略分析在南京第二机床厂进行了一系列有关风口结构对熔炼效果影响的生产性试验。试验结果表明，不同风口结构之熔炼效果是有差异的。

我们除对三排倒置以及大间距两排风口的结构在厂里进行验证性试验外，着重对倒置式两排风口的结构进行了试验。试验结果及其比较列