

高碱度烧结矿译文选

孙迪鹏译

孟庆辉校

湘潭钢铁厂

湘潭市金属学会

一九七八年五月

目 录

铁酸二钙 (C_2F) 烧结矿的研究、生产和使用

美共和钢铁公司 (1)

高碱度烧结矿的应用

美伯利恒钢铁公司腊克瓦纳厂 (10)

腊克瓦纳烧结厂操作的改进

美伯利恒钢铁公司腊克瓦纳厂 (17)

超高碱度烧结矿的生产工艺和自动控制特点

西德鲁奇公司研究部 (18)

现代烧结厂的设计特点

述 评 (21)

铁酸二钙(C_2F)烧结矿的研究、生产和使用

M.P. 弗道克、T.G考尔及R.E. 卡斯纳

(美国共和钢铁公司)

在强化操作的高炉上,使用予焙烧熔剂的好处,已经是被公认的事实了。正因为有这么多的好处,加上当前炉料中非自熔性的球团用量日益增加,我们对研究含有大量熔剂的烧结矿生产怀着极大的兴趣。这种烧结矿一般叫做为高碱度烧结矿。碱度高到什么程度才能完全取代石灰石,取决于炉料熔剂的需要量及烧结矿的使用量。根据国内外的一般情况,高碱度烧结矿的碱度范围大致在1.6~4.0之间(B/A)。

本文叙述的是超高碱度烧结矿的研究、生产和使用情况,该种烧结矿是专门同高比例球炉料配合使用的。因为这种烧结矿矿相主要是铁酸二钙,所以我们把它叫做铁酸二钙(C_2F)烧结矿。铁酸二钙这种矿物组成含有41.7%的 CaO 和53.8%的 Fe_2O_3 。我们所讨论的烧结矿含 CaO 从34~42%,其碱度(CaO/SiO_2)从高硅烧结矿的4.0直至低硅烧结矿的10以上

早期研究:共和钢铁公司中心试验室对 C_2F 烧结矿的研究开始于1959年。那时企图用碱性耐火材料和钢渣生产出一种具有 C_2F 矿相的原料。这种原料很容易在实验室烧结锅上以正常烧结的方法,用石灰石55%,低硅精矿45%的混合料生产出来。这种 C_2F 烧结矿具有比当时生产的所有种类的烧结矿显著优越的特性,尤其是垂直烧结速度快,可以部分抵销由于混合料中石灰石加入量大而引起产量低的问题。这个令人鼓舞的结果,提示我们采用普通烧结原料去生产高炉使用的 C_2F 烧结矿。

矿相分析:如上所述, C_2F 烧结矿严格地说是从矿相考察中发展起来的。我们对于生产这种以 C_2F 为主要矿相的烧结矿有兴趣,是因它能含有大量的熔剂,并保持产品的稳定。对范围广泛的各种碱度烧结矿的分析、观察,得到的结论是:决定烧结矿矿相的是 CaO/SiO_2 而不是碱性物/酸性物。另外,这些研究还指出,熔剂配量较高的物料在烧结过程中比低碱度物料矿相反应进行得更快,也能更容易地达到矿相平衡。一般当烧结矿 CaO/SiO_2 低于1.6时,具有多种矿相组成,远未达到矿相平衡,这种烧结矿的结构可以形容为氧化铁漂浮在玻璃质或硅酸盐结晶的海洋中。 CaO/SiO_2 1.6以上,到1.8以上则更加明显,矿相和显微结构方面出现了一个突出的变化。借鉴碱性耐火材料工艺,这种烧结矿可以假设是一种“直接键”结构,也就是说,氧化铁现在已成了连续相,都是以 C_2S 存在的硅酸盐成了分散相。当 CaO/SiO_2 更高时就出现以铁酸钙为主而不是氧化铁为主了。

生产 C_2F 烧结矿要求有足够的石灰去满足这些分子式:

$2CaO \cdot SiO_2$, $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ 和 $CaO \cdot Fe_2O_3$ 。在烧结过程中,这些矿相似乎是依上述次序形成的。 MgO 在高碱度烧结矿中,起难熔相的作用,以镁铁矿($MgO \cdot FeO$)

表 1

 C_2F 烧 结 矿 同 普 通 烧 结 矿 性 质 比 较

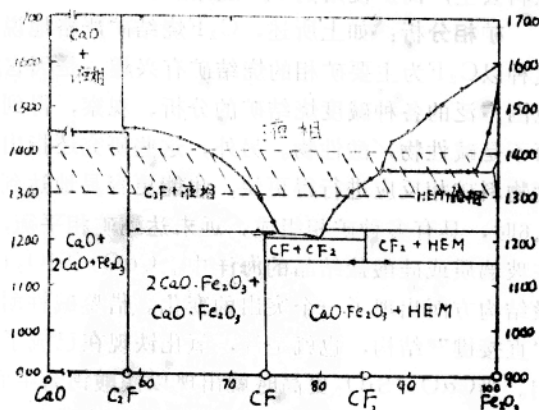
	C_2F 烧 结 矿	普 通 烧 结 矿
化 学 成 分 (%)		
CaO	34.2	8.06
MgO	1.3	0.44
Al_2O_3	1.5	1.46
SiO_2	4.4	9.12
Fe	41.500	56.2
$2CaO \cdot Fe_2O_3$	65/70	
CaO/SiO_2	7.77	0.87
转鼓指数 % > 1/4 吋 (6m/m)	64/72	70/100
还 原 指 数 H ₂ 还原达 90% 时的分钟	65/70	70/100
稳 定 性 煮沸后 < 1/8 吋 (3m/m)	1.1	0.6
垂直烧结速度 吋/分钟	1.0/1.15	0.7/0.85

的形式存在, 很少以 $MgO \cdot Fe_2O_3$ 的形态出现。只要混合料的粒度、配料, 混合和点火操作适当, 这样 C_2F 烧结矿内游离的氧化钙和氧化铁是极少的。

在实验室烧结锅上生产 C_2F 烧结矿是没有任何困难的。当首次尝试以生产规模进行试验时, 就碰到严重的过熔的问题, 致使试验被迫中断。这种严重的过熔可以在图4中得到介释。在 $CaO-Fe_2O_3$ 系统的相图上存在一个熔点极低的低谷, 相应的成分与二铁酸钙或铁酸一钙相合。首次工业试验的过熔粘结, 正如曲线上所说明的, 是因为我们恰好跌进这个低熔点深谷里。成分在此低熔范围内的混合料燃料

用量的限制范围是很窄的, 要么过熔, 要么就不能烧结。从图4上还可以看出, 正常的烧结温度和液固相关系线, 在低谷多石灰的 C_2F 一边。混合料的粒度是成功地生产超高碱度烧结矿的基本因素。

试验和经验指出, 氧化铁向氧化钙的扩散胜于氧化钙对氧化铁的扩散。因此, 对于 C_2F 烧结矿的混合料来说, 熔剂粒度较铁矿粒度粗些, 是很要紧的。这样能改善烧结和矿相反应的条件, 从而制得优质的烧结矿。粒度较粗的铁粉, 氧化铁不能全部都与石灰进行反应, 因而, 烧结矿含游离氧化钙过多质量不稳

图 4 $CaO-Fe_2O_3$ 相图

中P打刺区域是普通烧结矿的
温度范围

定，容易水解。

工业试验：头五次试验在共和钢铁公司四个烧结厂里进行，共生产了约9000吨高纯度的高炉用 C_2F 烧结矿。各次试验的持续时间从5小时到6天。6天试生产的 C_2F 烧结矿表明其适用于高炉，并验证了预期的增铁节焦效果。有了这个经验，就同意搞一次持续时间较长的生产，计划在共和公司的加特斯顿，阿拉厂的2#高炉检修期间进行。这次搞了四个半星期，堆存了18000吨 C_2F 烧结矿，打算用它来在2#高炉中作最终的评价。在生产了二个星期之后，发现对于设备良好的工厂来说，组织 C_2F 烧结矿的生产不会碰到什么意外的困难。

表2列出了加特斯顿试生产的主要数据，虽然生产率低于我们的要求，但这次试验指出了达到优质高产的操作范围。

图5（略）是烧结矿堆存后三个月的外观。从图上的情况及不断的粒级分析来看，对于产品的耐风化性似乎并不感到担心。当这些物料运往2#高炉进行试验的时候，矿堆中心的粉化程度令人大吃一惊。有65%以上的物料小于8毫米。首先是假设20%的正硅酸钙的转化是造成粉化的原因。但这是不对的，真正的原因是，雨水在堆中间形起一个“高压锅”的作用，堆中未经反应的石灰水所产生很高的温度和湿度，从而使产品粉化了。测定成品堆四个月后的堆心温度达到80℃，这就证实了上述的结论，在高炉冶炼试验前全部堆存的 C_2F 烧结矿不得不重新过筛。

表3总结了高炉冶炼试验的结果。这次试验证实了以 C_2F 烧结矿代替石灰石，可以在相应降低焦比的同时，大幅度增产的论点。技术经济指标的数据说明了这一点，产量由620吨上升到710吨，焦比由700公斤/吨下降到640公斤/吨。在试验中，因玛诺河矿已用尽，所以用列勃林矿代替。在试验中炉渣碱度有升高的趋势，引起了炉渣的流动性问题，括弧内的数据是校正到相同的炉料和炉渣碱度时的情况。

我们感到表中列出的烧结矿的优越性还是保守的，如果能排除装料方面的问题再延续冶炼一段时间，估计使用 C_2F 高炉指标，产量能达到726吨铁/天，焦比降到610公斤/吨铁、 C_2F 烧结矿的使用比达到312公斤/吨铁。

上述试验以及以前所有的试验， C_2F 烧结矿都是使用低 MgO 的石灰石生产的。如果要用烧结矿全部代替熔剂，那么烧结矿就必须含有一定量的 MgO 去满足造渣的需要，这就要求在烧结混合料中使用石灰石和白云石的混合熔剂。研究工作指出，白云石逐渐增多取代石灰石，会减少烧结的过熔现象。随着白云石加多烧结的燃料需要量也加大，同时产品的还原性下降。

用含铁粉尘和轧钢皮来生产 C_2F 烧结矿：如前所述，在生产 C_2F 烧结矿时，粉状含铁原料对于形成所希望的物相是特别有效的。因此，瓦斯灰、瓦斯泥和除尘器粉尘都可以作为 C_2F 烧结矿的重要原料。在研究 C_2F 烧结矿的过程中，正好因为推行严格的“环境污染法”而产生了一个如何处置整个钢铁工业收集到的粉尘和泥浆的问题。这些情况促进了共和钢铁公司有兴趣去建设一个主要用回收的废料来生产 C_2F 烧结矿的烧结厂。无论我们的实验室或者我们的工厂都不能为设计这样的工厂提供一些资料。于是，通过德兰福公司安排，委请鲁奇公司设在德国法兰克福的烧结中间试验场来进行这项工作。鲁奇公司使用我们所提供的典型的原料，按共和钢铁公司的要求，对于生产 C_2F 烧结矿的混合料进行了大量的研究工作，这项工作的主要数据包括在表3和图6至图7中。

图6中指出了几种基本的试验混合料组成。图中的意思是以含铁原料为100%，生产 C_2F

表 2

加 特 斯 顿 C_2F 烧 结 矿 生 产 情 况

混合料组成 (%)			
石灰石		59.0	
含铁原料		41.0	
棕 矿		25.0	
玛诺河		5.5	
瓦斯泥		3.0	
瓦斯灰		7.5/41.0	
焦粉加入量		7.5	
吨/ m^2 · 小时平均		0.66	
最 大		0.99	
转鼓试验 %			
>6mm		72.5	
筛 分 组 成			
25—50	20.8	矿相组成(近似) %	
12.5—25	23.7	C_2S	20
6.1—12.5	53.7	CAF	8
<6.1	8.8	C_2F	55
化 学 组 成 (%)		其他	
Fe	32.70	熔剂置换值:	
CaO	39.53	157公斤烧结矿	
MgO	2.88	=100公斤石灰石	
SiO_2	6.95		
Al_2O_3	2.22		
P_2O_5	0.55		
B/A	4.62		
C/S	5.57		

烧结矿计算的石灰石用量再加在它的上面。混合料 I、II 和 IV 组依次的是细粉原料加入量逐渐

表 3

加特斯顿 2*高炉C₂F烧结矿冶炼试验 (炉缸直径 8m)

炉料组成	基准期	C ₂ F
棕矿	22.55%	22.28%
玛诺河矿	15.04	1.74
加特斯顿烧结矿	41.91	40.80
达克顿烧结矿	8.76	8.16
碎铁	4.10	4.10
轧钢皮	7.64	7.96
列勃林矿	—	14.36
送风制度		
风量 (m ³ /分)	2030	2060
风温 (°C)	740	790
湿含量 (克/m ³)	39.0	37.3
炉顶温度°C	150	170
铁水化学成分(%)		
Si	1.20	1.04
Mn	0.85	0.79
P	0.552	0.540
S	0.036	0.030
C	4.23	4.56
技经指标		
产量 (吨/天)	620	710 (700)
焦比 (公斤/吨铁)	700	640 (650)
炉料比 (公斤/吨铁)	1700	1390 (1470)
熔剂加入量 (公斤/吨铁)	256	
C ₂ F加入量 (公斤/吨铁)	0	345 (330)
燃料喷吹 (公斤/吨铁)	0	0

下降,轧钢皮用量逐渐上升。在含铁原料中,第1组混合料的粉状原料占82%,轧钢皮占12%而第Ⅳ组混合料则由38%的粉料和62%的轧钢皮组成。第Ⅶ、Ⅷ和Ⅸ混合料代表由粉尘、矿石和

吹出灰量(公斤/吨铁)	192	152 (167)
渣量(公斤/吨铁)	465	420 (439)
炉顶煤气CO/CO ₂	1.69	1.63

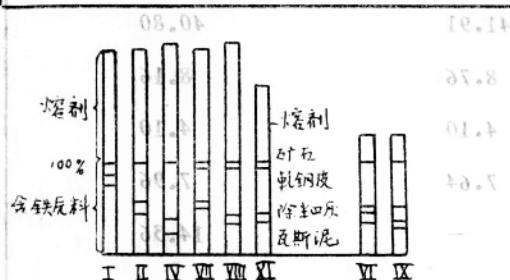
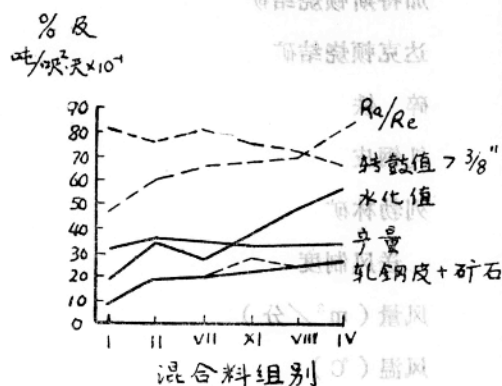


图6 鲁奇公司试验的混合料组成

图7 混合料中增加粗粒含铁原料对于C₂F烧结矿质量的影响

轧钢皮组成的混合料。除了这些以外，还包括Ⅵ和Ⅸ组制成碱度2.2的混合料。熔剂由两份石灰石和一份白云石组成，配入量由2.2碱度的21%增至轧钢皮配量很高的第Ⅳ组C₂F混合料的57%。

表4概括了各种混合料的产量和质量特点。这些数据是从面积0.06 m²的烧结锅上取得

表4 具有代表性的烧结技术指标

名 称	C ₂ F 烧 结 矿						2.2 碱 度 烧 结 矿	
	I	II	VII	XI	VIII	IV	VI	IX
混 合 料 组 别	I	II	VII	XI	VIII	IV	VI	IX
轧 钢 皮 + 矿 石 %	8.0	18.4	19.3	27.0*	26.5	43.4	43.4	55.9
焦 粉 用 量 %	2.0	2	2	3	3	0	0	0
混 合 料 水 分 %	6.5	6.5	5.6	5.6	5.7	4.8	6.0	6.1
垂 直 烧 结 速 度 (mm/分)	29.8	30.5	31.7	31.0	31.0	32.8	25.4	21.8
产 量 吨/m ² ·小 时	1.39	1.59	1.55	1.46	1.48	1.54	1.60	1.36
R _a /R _e 当返矿用量30%时 (返矿平衡值:返产生/返使用)	47.4	60.5	65.7	67.3	70.1	82.4	83.8	87.6
水 化 指 数 % < 3mm	18.4	34.0	27.0	36.8	49.0	57.6	4.0	1.4
转 鼓 指 数 > 9mm %	81.6	76.4	81.0	76.0	73.0	66.7	57.2	65.0

* 比计算的C₂F烧结矿少了6.5%石灰石

的，真空度700毫米水柱， C_2F 烧结矿的料层高度380mm， $R=2.2$ 的烧结矿料层高度254mm返矿配入量为30%，可以看出，用碳量低，烧结速度快，产量高，返矿少和强度好，这些都是特别有利的。产品的强度好，所以返矿率低。

表4中的水解试验，是将烧结矿在100%的湿度和104℃的温度下保持16个小时后，测定其粒度降低到3mm以下的情况。这是一种严格的温度试验，希望能用以评价产品的耐风化性。至此，我们还不能确定一个合理的耐风化性的可靠指标值。试验值53%和64%这两种烧结矿，在露天放置100天后，粒度降低到3mm以下的为25和30%，同样的样品在一个星期的露天堆存后，粒度下降率为0.7%和4.5%。

水洗粉矿和轧钢皮代表含铁原料中的最粗粒度部分。这种粒度接近于熔剂。图7表示出含铁原料的粗粒度部分，以矿粉和轧钢皮之和表示，对 C_2F 烧结矿产品质量的影响。粗粒部分增加，则返矿率提高，转数强度下降，水解指数明显上升，产量却无显著地变化。

图8是从烧结锅取样和烧结机试验连续取样化学成份的曲线。烧结锅试样的化学分析标在曲线的两端，烧结和取样的化学分析标在中间。这在很大程度上说明烧结矿的化学成份是能控制住的，即使混合料变换也没有关系。烧结锅试验的样品成份波动实际上比烧结机试验还大。

为了说明第Ⅶ组混合料的 C_2F 烧结矿同高比例球团矿一起冶炼的高炉效果，作了理论上的估计，如表2所列（略）。当用230公斤 C_2F 烧结矿代替188公斤熔剂矿时，预计高炉产量由2470增加到2766吨/天，焦比则由470下降到430公斤/吨铁，也就是说产量提高12%的同时焦比下降8.3%。这种大幅度的改进用一般措施是不容易达到的。

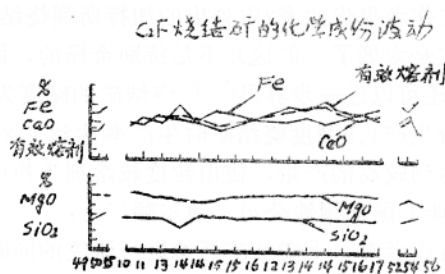


图8 C_2F 烧结矿的化学成份波动

结语：本文简述了研究 C_2F 烧结矿过程中所碰到的和解决的问题。 C_2F 烧结矿在一个能够控制混合料成份的烧结厂里，用范围很广的熔剂和含铁原料，很容易实现生产。这种烧结矿的突出好处是可以钢铁厂的粉尘、瓦斯泥和轧钢皮等原料，以经济上合理的生产率来进行生产，而不需过分的燃料消耗。由于 C_2F 烧结矿的有效熔剂值很高，所以 C_2F 烧结矿用量不大，相应的烧结厂的规模也就很小了。 C_2F 烧结矿的熔剂置换值，大致是1.35~1.6公斤烧结矿可以代替1公斤熔剂。 C_2F 烧结矿的粒度自然都集中在6~50mm的范围内，并具有比普通高碱度矿好得多的机械强度。它具有良好但有波动的还原性以及足够但不恒定的耐风化性。它在节焦增铁方面的效果同自熔料炉和高碱度炉料是一致的。它对钢铁生产的价值和应用，特别在造渣和改善操作方面，正如本文前面所提到的，是今后要加以研究的一个课题。

生产 C_2F 烧结矿的详细技术资料，是共和钢铁公司的专有情报，正在申请专利。

附：讨论

R. A. 雷蒙（美国伯利恒钢铁公司）：

我感到报告中有一点值得进一步商榷。作者认为铁酸二钙的混合料中很重要的是保持熔剂的粒度比铁矿粗。由于铁矿粉表面积很大，促进了氧化铁同石灰石之间的反应，所以希望达到这样的条件。但是我认为这并不是主要的。

例如我们腊克瓦纳烧结厂在1968年二月里生产了9500吨碱度（ $\text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ）4.5的烧结矿。生产这种超高碱度烧结矿的混合料中含有大约35%粒度小于9.5 mm的大湖矿粉。混合料中30%的白云石粉，粒度小于3.2 mm，比矿粉粒度要细得多。这种烧结矿的生产率为 $1.25\text{T} / \text{m}^2 \cdot \text{小时}$ ，ASTM转鼓强度为75.7%大于3目（6.68 mm）。还有一点值得一说的是，这种烧结矿的 CaO / SiO 为4.2，并含有白云石带来的 $\text{MgO} 7.4\%$ 。腊克瓦纳超高碱度烧结矿的矿相分析指出，烧结矿的液相主要由铁酸二钙组成，因而成了主要的强度结构。镁铁矿、红铁矿和硅酸盐渣相，也参杂在其中。

在作者报告的表2中列出的加特斯顿烧结厂 C_2F 烧结矿的生产率为 $0.66\text{T} / \text{m}^2 \cdot \text{小时}$ ，那那实在是太低了。但这并不是特别奇怪的，因为混合料粒度太细，降低了它的透气性。从表2中还可以进一步算得 C_2F 烧结矿的碱度为4.62。我上面已经说过，我们腊克瓦纳厂今年二月份生产4.5碱度烧结矿时生产率达到 $1.25\text{T} / \text{m}^2 \cdot \text{小时}$ 。这就说明，为了改进料层的透气性达到较高的产量，使用粒度较熔剂为粗的矿粉是可行的，产品的物理性质也能得到保证K. 哈斯（国家钢铁公司 魏尔顿厂）：

与作者对 C_2F 烧结矿开始进行研究的同时，球团矿作为一种优良的炉料对烧结矿提出了挑战。很快就出现了一种看法，认为烧结是一种没有前途的工艺方法，至多只能起到回收含铁废料的原始作用。然而，铁酸二钙烧结矿是一个转折点，它说明烧结过程能够为高炉生产出理想的炉料。

球团矿正在成为日益增多的高炉的主要原料。将来烧结可能起两方面的作用，就是加工含铁废料和生产与高比例球团配合使用的烧结矿。铁酸二钙似乎可以同时完成这两方面的任务。首先从表2中列出的 C_2F 的化学成份和使用方式来看，可以把这种烧结矿当作熔剂加入，而不再当作传统的含铁炉料部分。它实际上已成为含铁熔剂，不再同球团一样是一种主要的铁份来源。高炉炉渣化学成份和碱度由 C_2F 烧结矿来控制，与通常的高炉由石灰石控制一样。其次，作者指出，为了生产高质量的产品，重要的是混合料中的熔剂粒度应当比矿粉粗些。这对利用那些细粒度的废料，比如氧气顶吹转炉和平炉灰是有利的，这样就会促使这些物料通过烧结厂来加以处理。

按照一定的矿相组成，而不是按照一定的化学成份或碱度来生产烧结矿的概念，是很有趣的。用一种日益得到证明的观点来看，烧结矿的强度取决于它的矿相，因此矿相就成了为了获得高强度烧结矿必定要研究的东西了，但必须永远牢记，这种特殊的烧结矿矿相的化学成份必须要符合高炉的要求。

我想提出以下几个问题：

- 1、为了满足高炉炉渣对 CaO / MgO 比例的要求，使用石灰石和白云石的混合熔剂是

必要的,使用混合熔剂同单独使用低 MgO 的石灰石相比, C_2F 烧结矿的强度有什么差别?

2、按照混合料中希望熔剂粒度大于矿石的观点,认为什么样的熔剂粒度比较好?我感到熔剂的粒度是部分地取决于矿石粒度的。

3、不知作者能否进一步提供风化试验的详细资料,特别是原始样品的质量和粒度,以及风化试验中的强度试验方法?国家钢铁公司对炉料快速风化问题的研究很感苦恼,我们发现要弄清试验数据同实际的风化情况之间的关系是困难的。

最后,我想对作者所作的报告作一点补充。所报告的高炉冶炼试验确实反映出铁酸二钙烧结矿在节焦增铁方面还有潜力。

作者的答复:

在这种烧结矿生产中使用石灰石和白云石的混合熔剂,对于强度没有什么明显的影响。用白云石代替石灰石,会产生液相减少的效应,烧结的燃料用量增加,产品的耐风化性差。

我们生产这种烧结矿所要求的熔剂粒度是6目(3.3 mm)以下100目(0.147 mm)以上,其中大约50%以上大于20目(0.33 mm)。我们认为含铁原料控制在 $1/3$ 时(3.2 mm)以下是合理的。

为了测定 C_2F 烧结矿对水化的敏感性,我们设计了一个简单的试验方法。把粒度在 $3/4$ 时(19 mm)和 $3/8$ 时(9.6 mm)之间的烧结矿5公斤,同0.45公斤的水一起放在一个19立升的罐内,该罐有盖密封,盖的中心有一个1.6 mm直径的小孔,此罐放在烘箱内,在 104°C 的温度下供16个小时,然后将试样冷却,用 $1/8$ 时(3.2 mm)的筛网过筛,小于 $1/8$ 的量作为试样的风化指数。如报告中所讲到的,我们不能从这个试验中确定一个在烧结矿贮存期间可以确保稳定性的指数。

译自 Iron making proceeding 1968年

高碱度烧结矿的应用

(美国伯利恒钢铁公司腊克瓦纳烧结厂)

R. A. 雷蒙, E. W. 弗尔顿

高炉工作者很久以来就认识到在高炉料中使用经过焙烧的熔剂, 对于提高生铁产量和降低焦比的意义, 自熔性烧结矿就是向着高炉的全部熔剂, 都经预先焙烧这个方向所迈出的第一步。到1960年, 大部分钢铁厂为了提高生铁产量和降低焦比, 均采用了自熔性烧结矿。然而, 即使做到如此, 每生产一吨铁水仍要加入好几百磅生熔剂。因此, 研究人员必定会以全部取消生熔剂入炉为目标, 继续努力, 在实验室和中间试验的规模上对那种比自熔性碱度高得多的高碱度烧结矿进行研究。这种高碱度烧结矿在腊克瓦纳厂的生产中得到了成功的应用。本文叙述这种烧结矿的发展情况。

概 况

实验室试验结果表明, 对于腊克瓦纳厂的原料、碱度 ($\text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) 从自熔性的1.0提高到高碱度的2.3, 转鼓强度和单位生产能力变化不大, 进一步的试验表明, 当碱度由2.3提高至4.0, 烧结矿的强度显著增高, 但产量急骤下降。矿相研究指出, 在高碱度烧结矿中, 铁酸钙粘结相是主要的强度结构, 而自熔性烧结矿则以磁铁矿为主。1966年二月, 腊克瓦纳厂在烧结厂和高炉进行联合试验的目的是想在10#高炉上全部取消生熔剂入炉, 当碱度从1.0增至2.3, 操作上改变不大, 可以有效地产量和产品的转鼓强度不变。在10#高炉上, 高碱度烧结矿的使用量由二月份的12%, 增加到四月份的53%, 同时球团用量则由85%降至47%。在此期间, 铁水的日产由2828吨增至3035吨, 焦比由941磅(426公斤)降至914磅(413公斤)。10#高炉的生熔剂加入量由二月份的531磅(240公斤)降至四月份的0。下面将叙述实验室研究、烧结厂的实际操作情况及高炉上的结果。

实 验 室 试 验

烧结试验方法 我们实验室烧结锅试验方法在设计时模拟了烧结厂的操作和原料的处理条件。称重后的混合料在一个浆式逆流混合机中连续混合, 在混合过程中间隔一定时间加

入1500°F (830℃) 的热返矿和水份。最终烧结混合料的温度在点火之前达到1780°F (82℃)

将热的经过混合的烧结混合料加入至直径为10吋 (254 mm) 园形铸铁烧结锅中, 抽风面积为0.6呎² (0.017 m²)。在2300°F (1280℃) 的温度下点火一分钟, 热强度为15000英热单位/呎²·(40650大卡/m²·分)。所有试验均以风箱废气温度达到最高值时为终点。

经过烧结后, 成品倒出称重并取样分析, 并用1吋和1/4吋 (25.4和6.35 mm) 的筛子进行筛分。这种方法所给出的小于6.35 mm的指标意味着在破碎、冷却和筛分过程所产生的返矿, 而大于6.35 mm的部分则表示烧结的成品。将重复四次的试验成品中, 6.35—25.4 mm的那部分缩分成25磅 (11.3公斤) 转鼓试样。转鼓试验按ASTM法以25转/分的速度转200转。烧结矿的强度指标是以经转鼓后大于1/4吋 (6.35mm) 的百分数来表示。

烧结试验结果 实验室试验对六种烧结矿碱度进行了研究。每一种碱度及其熔剂加入量如表1。随着碱度的增加, 在配料当中白云石加入量按比例地替代了大湖铁矿粉。

表1 不同碱度的熔剂加入量

碱度	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$	白云石加入量 %
0.5		0
1.0		7
1.5		14
2.0		20
2.5		26
4.0		38

系曲线中可以看出, 当碱度为1.5时的转鼓指标最差。在高碱度的范围内, 碱度为2.5时, 烧结矿的强度大体上同酸性烧结矿相似。碱度超过2.5强度就迅速上升。

在酸性烧结矿的范围内不同用碳量对于强度的差别不大。较低的用碳量转鼓指数为64.9%, 较高的用碳为65.5%, 但是, 随着碱度的增加, 用碳量高的强度要明显地高于用碳低的。例如, 碱度为4.0时, 用碳低的转鼓指数为73%, 而燃料用量高的转鼓指数为79%, 一般来说, 在碱度很高的时候, 与较低碱度相比, 少量的燃料增加对于强度的改善的效果更为明显。

当其他条件保持恒定, 包括燃料用量, 混合料水份, 混合料温度, 及风箱真

所有试验的原料用量, 采用固定炭为5.8%和6.6%这两个等级。这个燃料量计算时不包括返矿, 但包括所有的原料, 即瓦斯灰、滤饼和粉矿所含的炭量。含碳5.8%的用量是前几年烧结厂实际生产自熔性烧结矿时的平均水平。采用较高的6.6%固定炭用量是为了了解燃料用量稍为增加对于产量和烧结矿强度的影响。

从图1中碱度对强度的关

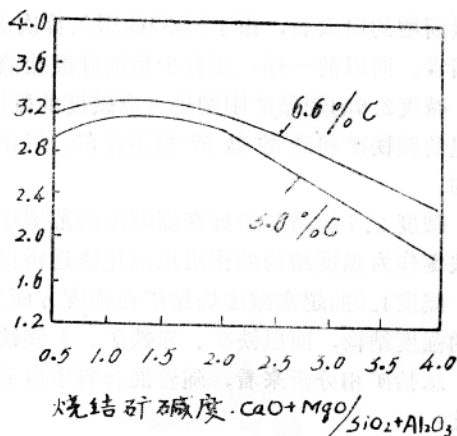


图1 碱度对腊克瓦纳烧结矿强度的影响 (模拟生产条件的实验室试验)

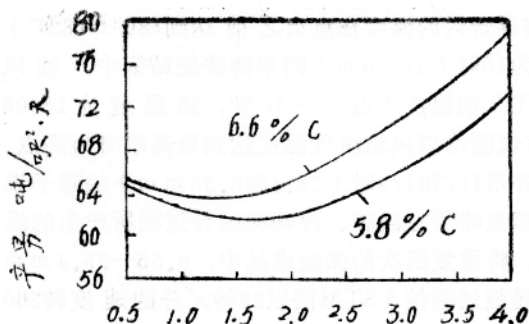


图2 碱度对腊克瓦纳厂产量的影响(实验室模拟生产条件试验)

矿相研究 对于选定的六种碱度烧结矿都进行了矿相研究。

用腊克瓦纳混合料在试验室生产的0.5碱度的烧结矿是属于酸性的,它主要由磁铁矿熔融相所组成,在磁铁矿结晶的边缘由于氧化而出现少量赤铁矿。磁铁矿结晶的进一步长大以及磁铁矿连桥是它的主要强度结构,硅酸盐脉石渣所起的作用较小。

碱度1.0的烧结矿称为自熔性烧结矿。这种烧结矿主要由磁铁矿组成,但在毛细孔周围存在的赤铁矿已有所增加。氧化铁连桥继续成为主要的强度结构,但氧化铁已作为次要的强度因素而出现。氧化铁基体可定义为氧化铁连桥的进一步发展,在有氧化铁连接晶粒的地方,晶粒已不明显,氧化铁同以假设为单晶机构,硅酸盐脉石渣相仍旧只起较小作用。

碱度1.5的烧结矿正处于向高碱度烧结矿过渡,对这种产品的矿相分析指出,它主要由磁铁矿组成,但是赤铁矿也有相当数量的存在,而铁酸二钙则是少量的。镁铁矿由于混合料中加入少量渐增的白云石,由于MgO的引入首次出现了少量的镁铁矿。氧化铁基体则是较小的强度因素,同以前一样,还有少量的硅酸盐渣相。

碱度2.0的烧结矿刚刚进入高碱度的范围。可以看到大量的磁铁矿,赤铁矿和铁酸二钙,少量的镁铁矿和硅酸盐渣相还存在。氧化铁连桥和氧化铁基体作用大致相仿地组成了强度结构。

碱度2.5烧结矿恰好在高碱度的范围中,与较低碱度相比,可以看到更多的镁铁矿。氧化铁键作为强度结构的作用比氧化铁连桥更重要了,但大量的铁酸二钙也构成了强度。

碱度4.0的超高碱度烧结矿在强度方面发生了突变。占主导地位的铁酸二钙液相成了主要的强度结构,而磁铁矿、赤铁矿、(镁铁矿石)及硅酸盐渣相退居次要。

总结矿相分析来看,随着混合料中白云石加入量的增加,烧结矿碱度提高时出现如下的变化:

- ①赤铁矿含量增加。
- ②铁酸二钙含量增加。
- ③(镁铁矿石)含量增加。
- ④氧化铁键的作用上升,氧化铁连桥作用削弱。

空度,碱度从0.5变至2.0的范围内,烧结矿的单位产量只有稍稍的下降,但碱度一超过2.0烧结矿单位产量的下降就很明显,在较低用碳量的条件下,碱度从0.5升至4.0单位生产率由2.9吨/呎²·天(31.25吨/m²·天)下降至1.8吨/呎²·天(19.4吨/m²·天)左右,较高的用碳量,单位生产率在同样的碱度范围内则由3.2吨/呎²·天(34.4吨/m²·天),下降至2.3吨/呎²·天(24.0吨/m²·天)(见图2)。

碱度升高烧结生产率下降的原因是:

- ①白云石分解CO₂逸出,烧损很大,
- ②高碱度烧结矿熔融层加厚,使烧结气体经过时的阻力增加。

⑤在最高碱度4.0时，铁酸二钙成了主要的液相，它提供了优良的强度结构，反映在超碱度烧结矿具有良好的转鼓指数上。

工厂的实际应用

根据上述研究结果和国内外的发展趋势，腊克瓦纳厂决定在它的烧结厂和10#高炉上给予实际应用。

烧结厂概况：腊克瓦纳厂用的矿石，从货船卸入矿石场，并由此运往破碎厂房将大块矿石破碎并进行中和，经过中和的矿石运至筛分楼，在5/16吋（8.25mm）的筛网上过筛。筛下的粉作为混合矿运至烧结厂矿仓。

烧结厂包括两台各自独立的 6×106 呎（ $1.9 \times 35\text{m} = 66.5\text{m}^2$ ）的烧结机生产系统，产品排入一个共用的环式鼓风冷却机。每一生产系统配备有八个料斗，放置筛下混合矿，冷返矿，白云石，干瓦斯灰焦粉和含铁添加物。焦粉在烧结厂用棒磨机磨至1/8吋（3.18mm）原料及冷返矿采用板式给料器给到配料皮带上。滤饼（湿瓦斯灰）直接于一次混合之前放到皮带上。混合机和热返矿在一次混合机内得到混和，然后运至二次混合机中，二次混合机后的混合料水份由电阻水份控制仪加以自动控制（由伯利恒钢铁公司研究并获得专利，雷姆赛工程公司承制）。在二次混合机中，水份以蒸气形式加进去，如有需要也可以补以少量的冷水。二次混合机出口的混合料混为 80°C （ 180°F ）由二次混合机排出的混合料。经过装在系统上的两个直径为2呎（610mm）的回转耙式混合机进一步调理。

最终混合料用振动给料机装入有称量设备的料斗中，混合料从该料斗经过辊式给料机喂入烧结机。辊式给料机的速度由探针控制以保证维持恒定的料层高度，一般来说该机速度是不变的。

每台烧结机由两台 6×6 呎（ $1.9 \times 1.9\text{m}$ ）焦炉煤气点火炉进行点火，它有24个垂直燃烧器，可以避免火焰喷射至耐火砖上。每台烧结机的抽油烟机功率为 10000 呎³/分（ $5050\text{m}^3/\text{分}$ ）。

机尾卸下的烧结矿破碎机然后送到一个固定条筛，每台烧结机上产生的小于1/4吋（6.35mm）热返矿，都放入一个共用的盘式运输机，然后分别排入各自的一次混合机中。大于1/4吋（6.35）烧结矿送入到直径为65呎（19m）的环冷机上，该机的生产能力为4500/吨天冷却后的产品，在送进料仓之前再用1/4吋（6.35mm）冷筛一道，然后在料仓下装车运往高炉。

操作 1966年二月末决定由自熔性烧结矿向高碱度烧结矿过渡，腊克瓦纳的良好操作要求能够生产尽可能多的烧结矿。实验室资料指出，腊克瓦纳混合料当碱度过2.3时熔结矿产量将会下降。确定碱度2.3作为高碱度的极限是为了避免在高炉使用未经筛分的矿石。

在十天之内白云石加入量较自熔烧结时加了一倍，碱度升至2.0。在三月份大部分时间维持这个碱度，然后逐步地提高到四月份平均碱度2.3。

要想保持烧结矿产品碱度的恒定，需要时时小心地调节混合料的组分，因为每天生产出来的轧钢皮、瓦斯灰和滤饼（湿瓦斯灰）的数量是变化的，当它们生产出来，就要求烧结厂用掉。举一个特殊的例子来说，在24小时的时间里，为了维持2.0的碱度，要作如下的操作上的变动：白云石由19变至21%，矿石由35变至39%，瓦斯灰由2变至6%，轧钢皮由15变

至10%，滤饼由10变至12%。冷返矿和热返矿的加入量则保持了一个相对稳定的比例。

在高碱度烧结生产期间，混合料水份自动控制仪和 $\phi 2$ 呎（610mm）回转耙式混合机对混合料的调理，有助于将烧结矿的生产和强度保持在一般的水平上。

表2指出了腊克瓦纳烧结厂包括自熔性和高碱度范围的操作的实际情况。表3指出的自熔性变为高碱度时，在烧结矿产量和强度方面的变化很小。

筛分分析指出高碱度烧结矿大于1吋（25.4mm）的较少，小于1吋（25.4）大于6目3.3mm）则较多，而小于6目（3.3mm）的粉末较自熔性烧结矿为少。当高碱度烧结矿代替自熔性烧结矿时，高炉上起码的改进（下面将会说到）可以归因于粒度组成的均匀化。

表 2 烧 结 厂 自 熔 性 和 高 碱 度 烧 结 矿 生 产 操 作

时 间	两台机 平均日 产（已 校正误 差） 吨/天	利用系 数吨/ m ² 小 时	转鼓指 数>6. 35mm （%）	成 品 筛 分 组 成 %	成 品 化 学 分 析 %	碱 度
1966年7月	3844	1.41	59.8	+4" + 2" + 1.05" + 0.525" + 3目 + 6目 - 6目	Fe CaO MgO SiO ₂ Al ₂ O ₃ Mn P TiO ₂	
1966年2月	3783	1.38	60.0	1.3 1.11 24.0 41.6 65.8 87.5 12.5	60.2 4.0 2.76 5.88 0.73 0.52 0.04 0.15	1.02
1966年3月	3901	1.39	58.7	1.0 10.8 23.4 43.0 69.0 89.4 10.6	60.1 4.06 2.53 6.50 1.48 0.63 0.05 0.15	0.83
1966年4月	3885	1.42	59.5	0.1 5.4 16.8 38.0 62.5 87.3 12.5	57.8 8.40 5.36 5.63 1.22 0.74 0.04 0.16	2.00
				0.0 3.0 1.45 47.6 78.3 90.4 9.6	54.5 8.64 5.90 5.20 1.20 0.57 0.04 0.16	2.27

表 3 自 熔 性 改 变 为 高 碱 度 的 结 果

时 间	B/A	吨/m ² .小时	转鼓>1/4吋(6.1mm)
1966年1月	1.02	1.41	59.8
1966年4月	2.27	1.42	59.6

高炉实况 1966年2月当试验在

10#高炉上开始进行的时候，就计划通过增加高碱度烧结矿和减少球团矿用量来做到撤除炉料中的全部生熔剂矿。同时这个过渡过程也提供了一个良好的机会去研究使用大量高碱度烧

结矿对于高炉操作的影响。

在讨论使用高碱度烧结矿之前我们先简单说明一下炉子的概况和以前的用料情况。10#高炉的炉缸直径为29呎11吋（9.43m）工作

名 称	1966年1月	1966年2月	1966年3月	1966年4月
铁水产量吨/天 (未经校正)	2828	2828	2969	3035
铁水产量吨/天 (校正到正常操作)	2978	2947	3070	3126
焦 比 磅(公斤)/吨铁水	995 (450)	941 (426)	902 (408)	914 (413)
综合焦比(加上天然 气喷吹当量)磅(公 斤)/吨铁水	1119 (508)	1063 (482)	1031 (467)	1029 (466)
伊利球团用量%	85	85	36	26
马摩拉球团用量%	0	0	12	21
烧结矿用量%	10	12	51	53
生 铁 矿 %	0	0	0	0
碎 铁 用 量 %	5	3	1	0
含 铁 炉 料 综 合 含 铁 量 %	62.2	62.2	60.3	58.4
生熔剂加入量磅 (公斤)/吨铁水	587 (266)	531 (240)	114 (516)	0
烧结矿中含的熔剂磅 (公斤)吨/铁水	35 (15.4)	4 (1.8)	405 (183)	482 (218)
渣 量 磅(公斤)/吨铁水	709 (320)	700 (316)	612 (277)	551 (250)
风量呎 ³ /分(m ³ /分)	122800 (3480)	123500 (3498)	120900 (3425)	122700 (3477)
热 风 压 力 磅/时 ² (公斤/Cm ²)	27.5 (1.91)	28.8 (2.00)	30.3 (2.10)	30.5 (2.12)
热风温度°F(℃)	1731 (944)	1697 (900)	1722 (940)	1676 (913)
热风湿度克/m ³	24.6	26.8	27.7	23.2
炉 顶 压 力 磅/时 ² (公斤/Cm ²)	5.0 (0.35)	5.0 (0.35)	5.0 (0.35)	5.0 (0.35)
炉顶温度°F(℃)	270 (132)	236 (113)	280 (138)	317 (160)
铁水含Si% S%	0.82 0.03	0.92 0.027	0.78 0.028	0.60 0.033
焦炭灰分% S分%	7.5 0.80	7.4 0.80	7.4 0.76	7.6 0.77
转 鼓	60.9	61.1	60.9	60.8