

中国金属学会学术论文集

燒 結 文 集

中国金属学会 主編
鞍山市金属学会

鞍 山 市 金 属 学 会

· 1965 ·

目 录

1964年炼铁、烧结、炼焦联合学术年会纪要..... (I)

中国金属学会副理事长、冶金工业部副部长刘彬同志讲话(摘要)..... (II)

一、烧结矿的产品质量

1. 烧结矿矿相组成与其还原性和强度

的关系.....鞍山黑色金属矿山设计院 赵 德 冀德祥 汤景余 (1)

2. 高碱度烧结矿.....北京钢铁学院炼铁教研组 (15)

3. 高碱度烧结矿的研究.....武钢钢铁研究所 孙梦新 伍蔚理 (21)
房钢伦 任志祥

4. 低品位铁矿高碱度烧结矿的生产.....重钢炼铁厂 梁长乐 王在林 (34)

5. 采用热风和煤气烧结法生产自熔性烧结矿

的实验室研究.....鞍钢钢铁研究所 冯忠岐 陈道腹 (43)
李贤干 等

6. 烧结原料中和的研究.....本钢第二钢铁厂 本钢中心试验室 (55)

7. 铁矿石还原性的矿相法检验报告.....武钢钢铁研究所 任志祥 (62)

8. 烧结料水份的初步研究.....武钢钢铁研究所 习乃文 (70)

发 言..... (75)

二、烧结过程的强化

9. 包头磁铁精矿小球烧结试验.....包钢钢铁研究所 付 式 陈德言 (82)
胡桂生 等

10. 强化烧结过程的若干问题.....中南矿冶学院团矿教研室 蔡汝卓 刘孟星 (90)
左文亮 等

11. 硫酸渣粒化烧结试验.....重庆冶金研究所 (104)

发 言..... (110)

三、球团矿及其他造块

12. 迁安磁铁精矿球团矿.....北京钢铁学院炼铁教研室 陈大受 (114)

13. 国外铁矿造块工业的实践.....鞍钢烧结总厂 张明鉴 (123)

14. 鞍钢球团矿的生产现状及改进途径.....鞍钢烧结总厂 魏明生 徐鸿钧 (136)

15. 铁矿热压团块介绍.....武钢钢铁研究所 丁 矩 (143)

发 言..... (146)

四、其 他

16. 烧结机机尾除尘试验.....鞍钢烧结总厂 席德之 (151)

17. 烧结生产自动化的现状

.....鞍山黑色金属矿山设计院 曾肇祥 洪 灏 彭 健 (155)

专业组会议纪要..... (162)

燒結礦相組成與其 還原性和強度的關係

趙 德 龔德祥 湯景余

(鞍山黑色金屬礦山設計院)

一、簡 介

本文內容是對燒結礦礦相結構與其強度、還原性關係的研究結果。研究的對象為鞍山、凹山、包頭及雙塔山磁選精礦製的燒結礦。其中對鞍山高硅燒結礦及凹山低硅燒結礦研究得比較詳細。此外，還對由不同品位鞍山磁選精礦所製成的球團礦的還原性作了初步探討。

試驗中對每一種礦樣都同時作了礦相鑑定、還原性試驗及轉鼓強度試驗，以觀察礦相結構、還原性及強度三者之間的關係。結果表明：無論那一種燒結礦，當碱度為 1.0 左右時，其中金屬氧化物絕大部分以磁鐵礦狀態存在，而固結方式則各有不同。鞍山型燒結礦是靠燒結過程中形成的液相（玻璃質和鈣鐵橄欖石）把磁鐵礦顆粒粘結在一起，這種燒結礦的強度低，還原性比較差。凹山燒結礦則是靠磁鐵礦的連晶固結，玻璃質含量少，填充在磁鐵礦晶粒之間，不起粘結作用。燒結礦的結構致密，還原性差，強度也不很好。隨著碱度的提高，燒結礦的礦相變化很大，一般趨勢是燒結礦的還原性隨碱度的提高而上升，轉鼓指數下降。當碱度增加到一定限度時，礦相變化不顯著，還原性接近於穩定，或者下降。

球團礦還原性與品位之間的關係不太明顯，但碱度對還原性的影響很大，一般都是碱度高者還原性好。同時也發現碱度相同時，球團礦的還原性比燒結礦好。

二、研 究 方 法

試驗用礦樣的準備基本上和普通燒結試驗一樣，即把燒好的燒結礦餅趁熱敲成大塊，從上、中、下三部位取礦相鑑定試樣，把其餘者篩分，大於 15 毫米者為成品，小於 12 毫米者作返礦。為了取有代表性的化學分析和還原試驗用的礦樣，把轉鼓後大於 5 毫米者全破碎至 3~5 毫米，然後取樣送化學分析及作還原性的試驗。準備自熔性燒結礦試樣時，混合料中熔劑部分均用 2.0% 消石灰，其餘用石灰石。

礦相鑑定是在顯微鏡下觀察燒結礦的光片及薄片，用破碎到 3~0 毫米綜合礦樣製成的團塊及配合薄片測定礦物的含量。礦物鑑定除依靠顯微鏡外，還配合了油浸方法及 X 光分析來完成的。

燒結礦與球團礦的還原性試驗採用圖 1 所示的裝置，選擇的試驗條件是：試樣粒度 3~5 毫米，重量 50 克，用純 CO 氣體作還原劑，用量 50 立升，還原溫度 850°C，還原時間 40 分鐘，用減重法計算還原度。計算方法如下：

$$g/Q \times 100 = \text{還原度, \%}$$

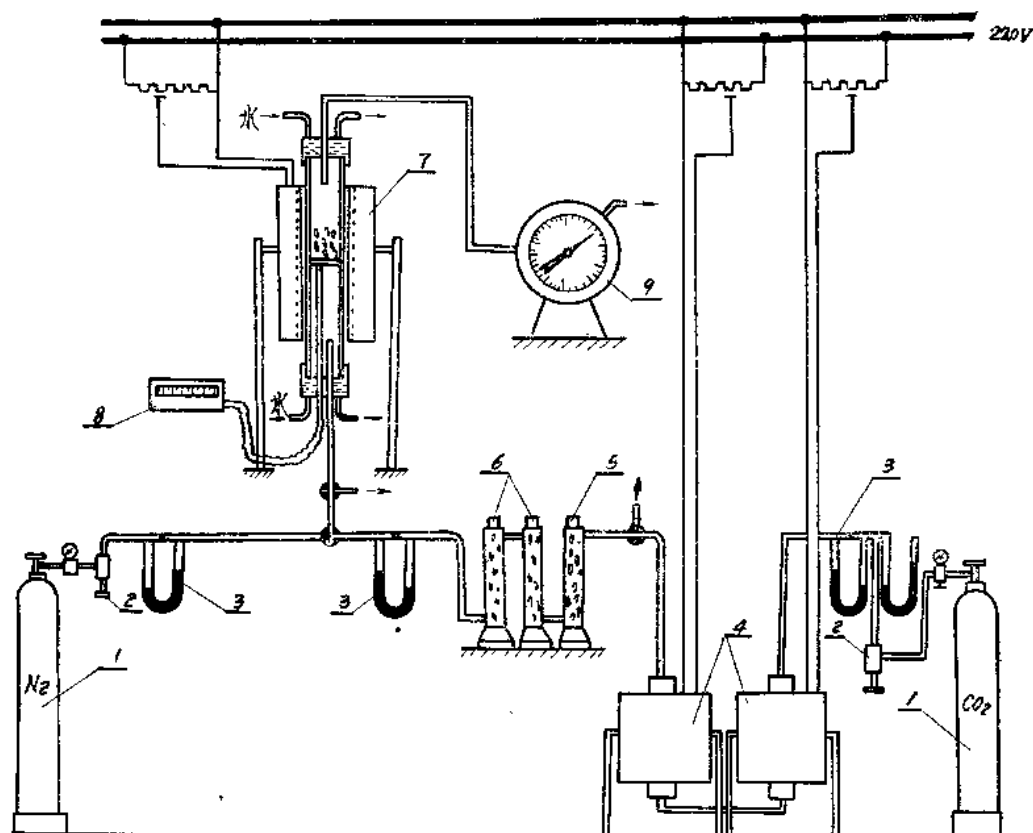
式中：g—還原後燒結礦的失重，克；

Q—50 克礦樣中的含氧量，克；

$$Q = 1/2(TFe \times 0.429 - FeO \times 0.112), \text{ 克};$$

按上述条件进行试验，测得各种烧结矿的还原度一般在35~75%，大部分在45~65%之间，符合于烧结矿在高炉中间接还原的范围。因此，可以认为所测得各种烧结矿的相对还原度，能够互相比较。该装置的优点有：

- 1) 试验时间短，适合于在试验室使用；
- 2) 制取还原剂方便，操作简单，容易控制。



1—贮气罐(CO₂、N₂)；2—针形阀；3—流量计；4—电炉(发生CO用)；5—玻璃丝；6—吸收剂；7—还原炉；8—自动控制器；9—湿式流量计

图 1 还原性试验装置示意图

三、各种精矿的物理化学性质

准备还原性试样(烧结矿)用精矿的化学性质如表1。

制 烧 结 矿 用 精 矿 的 化 学 成 分

表 1

精 矿 名 称	化 学 成 分, %						
	TFe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂
鞍 山 精 矿	61.44	24.42	12.90	0.46	0.67	0.22	—
四 山 精 矿	68.18	18.65	1.70	0.68	0.62	0.24	1.25
包 头 精 矿	65.55	19.68	3.97	0.39	2.24	—	—
双 塔 山 精 矿	61.00	24.63	2.90	2.03	0.67	—	8.14

从表 1 可以看到,各种精矿的化学成分相差悬殊,如凹山精矿为比较典型的低硅精矿,鞍山精矿则为比较典型的高硅精矿,包头精矿的自然碱度比较高(0.60),双塔山精矿含 TiO_2 达 8.14%。

精矿的物理性质除凹山精矿粒度比较粗之外(0.2~0 毫米),其他三种都属于细精矿(含小于 200 网目者 70% 左右)。

四、烧结矿矿相组成与还原性、强度的关系

下面分别论述对各种烧结矿的矿相鉴定和还原性、强度的试验结果。

1. 鞍山烧结矿

制成不同碱度和混合料中不同含碳量的鞍山烧结矿的化学成分、含氧量、还原性和强度列于表 2。各种不同碱度的烧结矿的矿相组成列于表 3 及图 2。烧结矿碱度和还原性、强度的关系列于图 3。

鞍山烧结矿的化学成分、还原度和强度

表 2

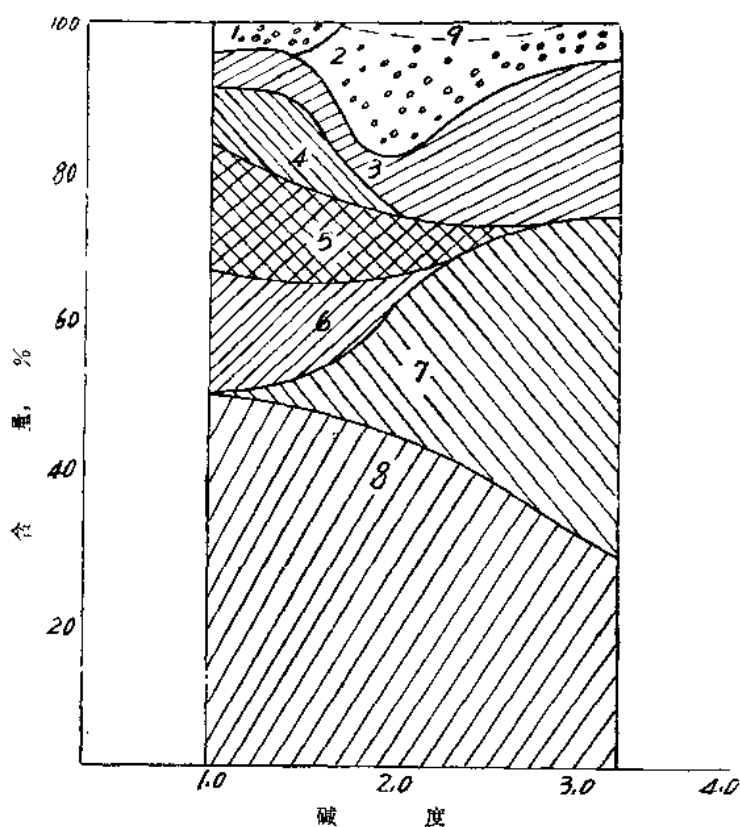
编 号	混 合 料 含碳, %	化 学 分 析, %				碱 度 CaO/SiO ₂	含 氧 量 %	还 原 度 %	转 鼓 指 数, %
		TFe	FeO	SiO ₂	CaO				
A-1	3.5	53.89	18.85	12.7	9.92	0.87	20.90	41.5	15.20
A-2	3.5	52.01	14.55	11.76	13.12	1.2	22.2	58.6	23.00
A-3	4.0	49.99	15.20	11.11	18.05	1.63	19.74	61.9	
A-4	4.0	49.24	13.00	10.26	18.97	1.83	18.88	75.0	15.50
A-5	4.3	39.92	13.66	9.04	23.13	2.56	15.64	74.2	
A-6	5.6	37.65	13.65	9.8	33.8	3.43	14.70	75.0	12.50
A-7	3.0	51.50	13.87				20.54	63.7	19.16
A-8	3.5	51.10	14.90				20.22	59.5	15.88
A-9	4.0	50.80	15.57	10.86	16.85	1.55	20.06	56.0	17.72
A-10	4.5	50.80	18.14				19.76	58.4	16.10

鞍山烧结矿的矿相组成

表 3

编 号	矿 物 组 成, % (容积)								
	磁铁矿	赤铁矿	铁酸钙	玻璃质	钙铁橄榄石	硅酸钙	游离氧化钙	高温石英	铁橄榄石
A-1	49.5	16.8	0.5	18	8.0	4.5	0.4	—	2.3
A-2	48.5	16.4	1.3	12.5	11.6	4.5	3.5	—	1.8
A-3	47.5	11.7	5.8	11.7	4.4	3.5	11.4	0.9	—
A-4	45.5	14.0	13.0	1.0	1.3	2.9	19.2	3.1	—
A-5	38.0	2.0	32.0	—	—	17.1	10	0.6	—
A-6	28.0	0.6	44.8	—	—	21.2	4.6	—	—
A-7	51.0	11.3	3.5	33.2	0.9	—	—	0.1	—
A-8	50.0	11.9	3.5	31.8	2.8	—	—	—	—
A-9	47.5	7.5	3.3	15.6	23.5	2.6	—	—	—
A-10	49	7.4	4.3	28.8	3.9	3.9	—	—	—

从表2及图3可以看出, 碱度在0.87~2.0这个区间烧结矿的还原性随着碱度的提高而显著增加; 碱度超过2.0以后, 还原性缓慢上升; 至碱度大于2.5, 碱度与还原性关系曲线变成水平(图3)。



1—铁橄榄石; 2—游离氧化钙; 3—硅酸钙; 4—钙铁橄榄石; 5—赤铁矿; 6—玻璃质; 7—铁酸钙; 8—磁铁矿; 9—高温石英

图2, a 不同碱度鞍山烧结矿的矿物组成

的矿相简单, 基本上只有磁铁矿、铁酸钙和硅酸钙三种矿物, 其中绝大部分磁铁矿熔于铁酸钙中而构成烧结矿的主要矿相。有许多微小气孔(20μ 左右), 强度很好。X光鉴定表明, 这种烧结矿中的铁酸二钙($2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)比较多。烧结矿的碱度为2.5时, 还原性最好的原因可能是由于其中有許多微孔, 增加了还原气体与烧结矿的接触表面积。碱度继续增加, 烧结矿的矿物组成只是磁铁矿减少, 而铁酸钙和硅酸增加, 不再有相的变化, 因而还原性稳定。

试验中还把烧结矿的碱度固定在1.5, 研究了混合料中含碳量与烧结矿矿物组成、还原性与强度的关系(见表2, 图2, 图5)。由试验结果可知, 在碱度固定时烧结矿的转鼓指数随着混合料中含碳量的增加趋向下降, 还原性也随之降低。但其变化的幅度不如碱度对还原性影响那样大。矿相鉴定表明, 在混合料中含碳量变化时, 对烧结矿中铁氧化物含量的影响不太明显, 而对液相粘结物的形态及矿物的结晶程度影响很大。当混合料中含碳低时, 磁铁矿的结晶程度差(见图6, a), 主要粘结物是玻璃质, 多孔洞, 所以还原性比较好, 而强度较差。随着混合料中含碳量的增加, 磁铁矿的结晶程度提高(见图6, c, d), 生成大粒结晶, 这时液相粘结物以钙铁橄榄石代替了玻璃质, 孔洞变少, 因此, 烧结矿的强度趋向于变好, 而还原性下降。

烧结矿的矿相结构随着碱度的不同, 变化很大(如图2, a), 如碱度小于1.5时烧结矿中铁的氧化物主要以磁铁矿形态存在, 依靠烧结过程中钙铁硅酸盐液相(即玻璃质和钙铁橄榄石)把均匀分布的磁铁矿结晶颗粒粘结在一起(见图4, a), 只是在孔洞边缘液相比较多的地方有一些次生赤铁矿以嵌边结构存在于磁铁矿的周围(图4, b)。这种烧结矿的强度还好。碱度从1.5到2.5这个区间烧结矿矿物组成的变化显明。从碱度为1.5开始, 烧结矿中玻璃质、钙铁橄榄石和次生磁铁矿的含量急剧下降, 而铁酸钙和硅酸钙的含量增加得很快。至碱度为2.5之后烧结矿中几乎不含玻璃质和钙铁橄榄石(见图4, e, f), 这时烧结矿

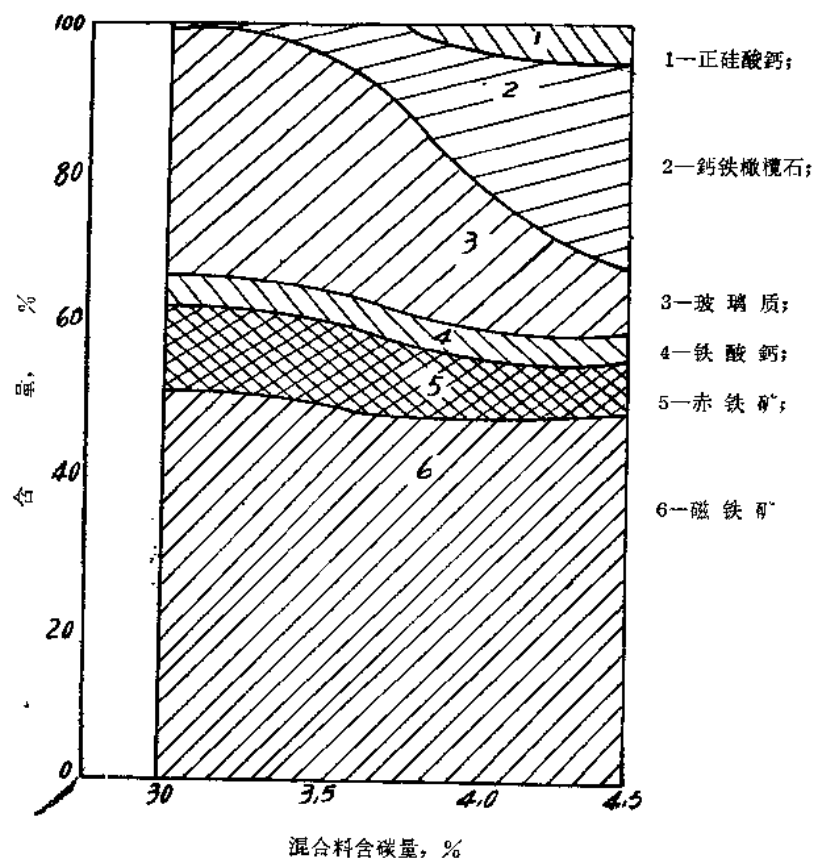


图 2,b 烧结料中含碳量不同与鞍山烧结矿矿物组成的关系

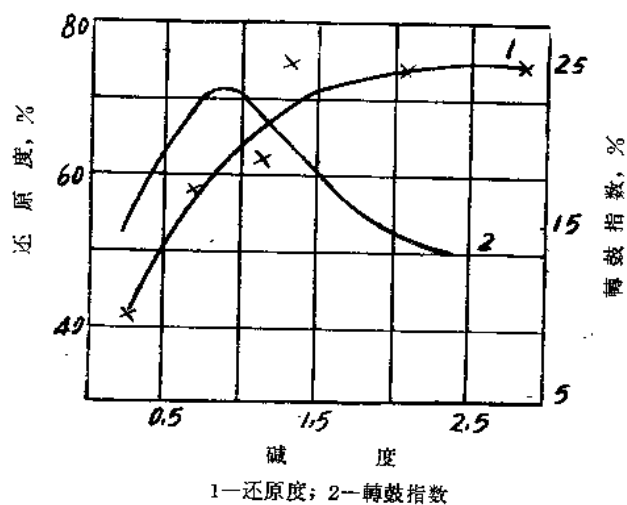


图 3 鞍山烧结矿碱度和还原性的关系

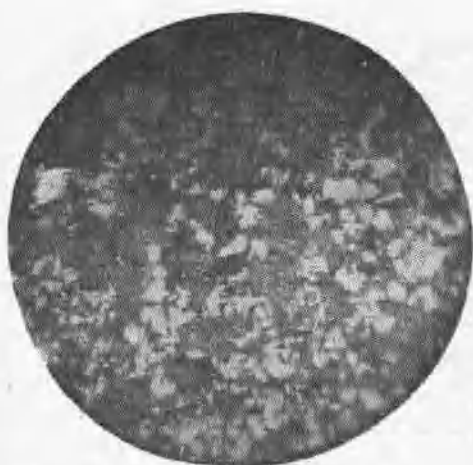


图4,a 碱度0.87, 磁铁矿不规则粒状晶体反光 (放大225倍)

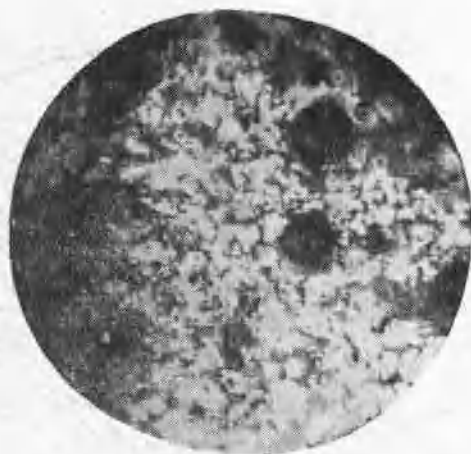


图4,b 碱度0.87, 沿磁铁矿边缘氧化成次生赤铁矿反光 (放大225倍)

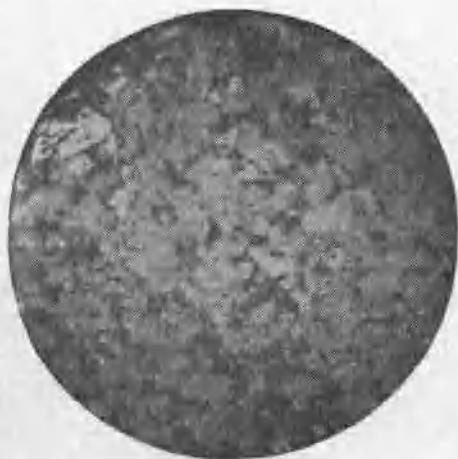


图4,c 碱度1.85, 铁酸钙的板状晶体反光 (放大225倍)



图4,d 碱度1.85, 在球状CaO周围形成铁酸钙致密反映圈反光 (放大225倍)



图4,e 碱度2.54, 磁铁矿和铁酸钙不规则晶体反光 (放大225倍)

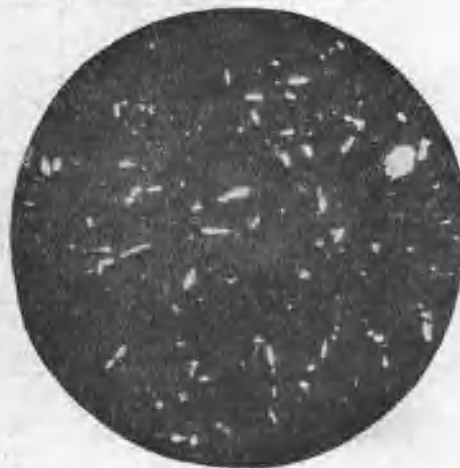


图4,f 碱度2.54, 正硅酸钙的短柱晶体透射光 (放大90倍)

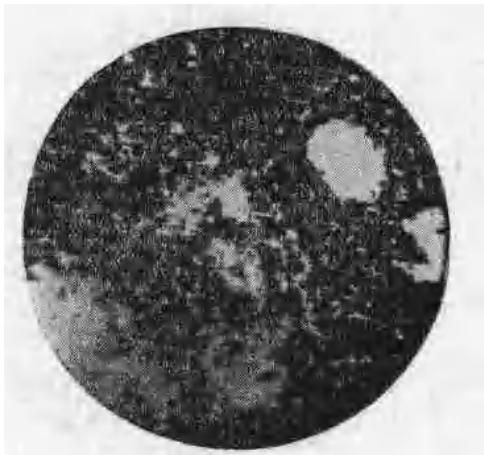


图4,a 碱度0.87,铁钙橄榄石的板状晶状透射光(放大90倍)

图4 不同碱度的鞍山烧结矿的矿相结构

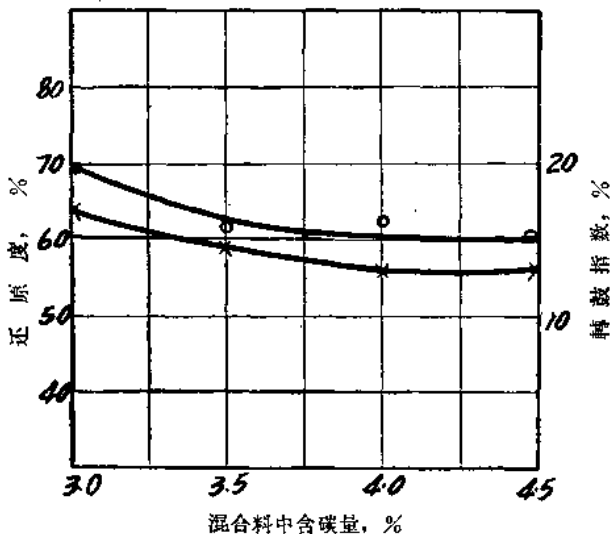


图5 混合料中含碳量与烧结矿强度、还原性的关系

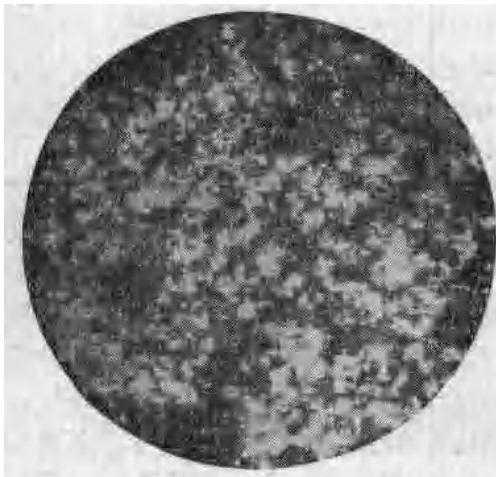


图6,a 混合料含碳3.0%,磁铁矿结晶不规则,粘结物是玻璃质反光(放大225倍)

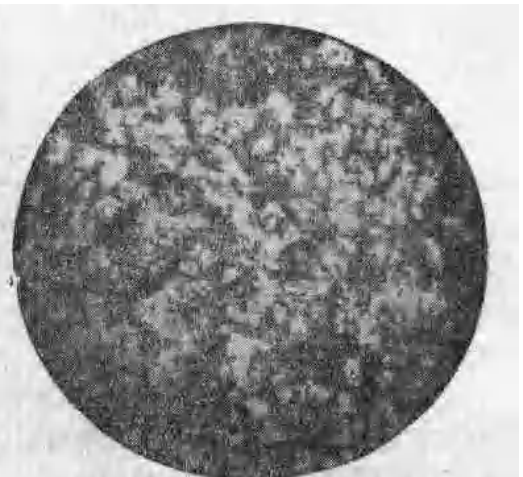


图6,b 混合料含碳3.5%粘结物为玻璃质反光(放大225倍)

2. 凹山烧结矿

凹山精矿的特点是粒度比较粗,物理形状多呈茅状及三角状,因而成球性很差,纯精矿烧结很困难。为了强化烧结过程以制出有代表性的烧结矿试样,必须向混合料中加一部分消石灰。由于精矿中含 SiO_2 很少,虽然只加2.0%消石灰,烧结矿样的碱度已达到1.0以上,所以还原试验用的矿样碱度都大于1.0。

凹山烧结矿与鞍山烧结矿的化学成分相差很大,主要表现在含铁高,含 SiO_2 低。从而,烧结矿的矿相组成也和鞍山烧结矿有显著不同。

不同碱度的凹山烧结矿及混合料中含碳不同时所制成烧结矿的化学成分、还原性、强度列于表4,烧结矿的矿物组成列于表5,图7,碱度与烧结矿强度、还原性的关系如图8。

由表4及图10可以看出,凹山烧结矿同鞍山烧结矿一样,还原性随着碱度的增加而提高。如碱度为1.4时,还原度只有47%,碱度增加到3.16(即烧结矿中含碳8.0%),还原度达到最高为69%,若碱度再增加,则还原性趋向于下降。烧结矿的转鼓指数则随碱度的升高而下降。

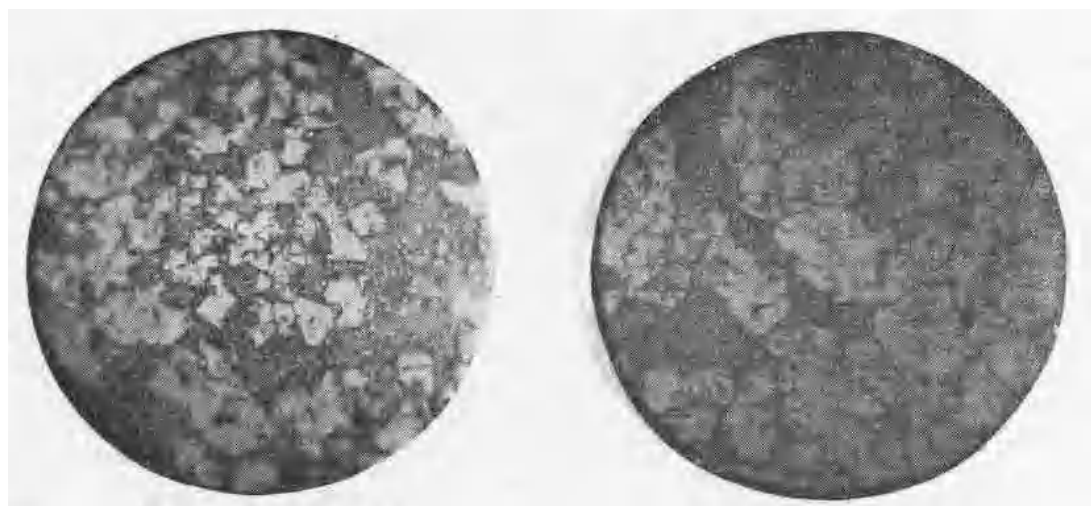


图6,c 混合料中含碳4.0 磁铁矿结晶比较好, 粘结物为玻璃质及钙铁橄榄石反光(放大225倍)

图6,d 混合料含碳4.5% 磁铁矿成大颗粒, 粘结物主要为钙铁橄榄石反光 (放大225倍)

图 6 不同碳量的鞍山燒結礦矿相结构

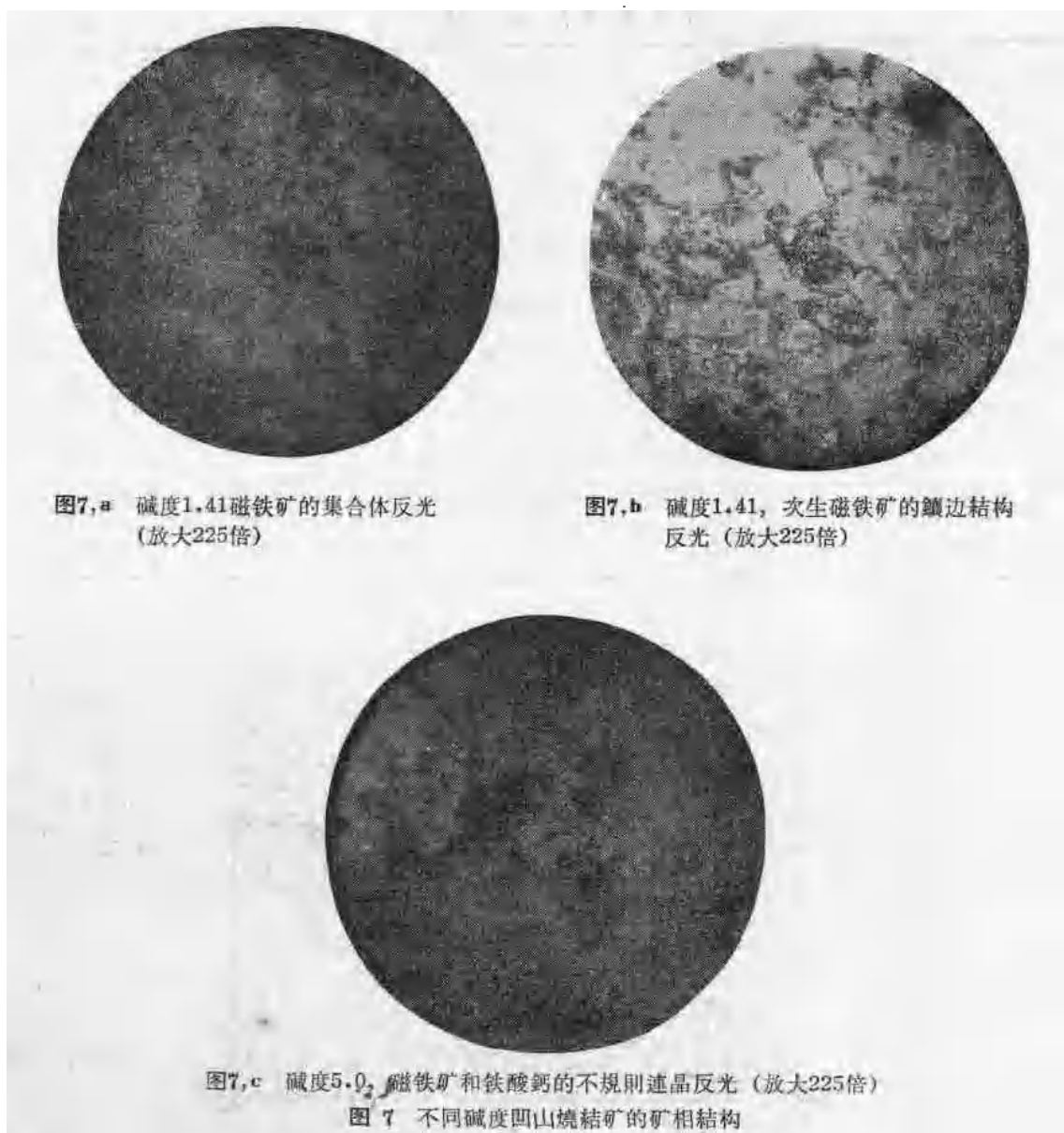
四山燒結礦的化学成分、还原度和强度

表 4

編 号	混 合 料 含 碳 %	化 学 成 分, %				碱 度 CaO/SiO ₂	含 氧 量 %	还 原 度 %	轉鼓指数 %
		TFe	FeO	SiO ₂	CaO				
B-1	4.8	66.21	28.98	2.44	3.45	1.41		47	19
B-2	4.8	65.25	24.23	2.76	4.20	1.52		53.5	21.2
B-3	4.8	64.77	31.47	2.52	5.26	2.08		61	27
B-4	4.8	64.48	27.88	2.66	4.46	2.13		55.48	22
B-5	4.8	62.46	26.84	2.60	8.03	3.16		69.0	21
B-6	4.8	58.90	14.34	2.10	8.5	4.05	24.76	56.6	17
B-7	4.8	57.1	15.31	1.96	9.86	5.03	22.90	60.6	13
B-8	5.0	65.6	34.41	3.16	3.33	1.05	24.86	36.2	
B-9	4.5	65.5	29.44	2.92	3.02	1.04	25.50	43.6	
B-10	4.0	65.8	29.72	3.0	3.52	1.17	25.90	46.3	
B-11	3.5	65.25	24.57	2.78	3.02	1.09	25.26	53.3	

矿相鉴定证明, 四山燒結礦的碱度小于 2.0 时, 其矿物組成只有磁铁矿、赤铁矿和玻璃质 (图 7), 其中磁铁矿占 90%, 其他两种矿物的含量很少。这种燒結礦的矿相是由大面积磁铁矿集合体組成, 很少显出磁铁矿晶体的顆粒外形。在孔洞的边緣由于冷却时氧化的结果有一部分次生赤铁矿存在于磁铁矿的周圍 (见图 9)。有少量玻璃质填充于磁铁矿結晶顆粒之間, 起不到粘結作用。由于燒結礦結晶完好, 气孔少, 故还原性比較差, 强度也不好。

随着碱度的提高 (超过 2.0) 与燒結礦中玻璃质减少的同时, 有铁酸鈣出現, 其含量随 CaO 含量的增加而上升, 磁铁矿相应地减少。如碱度由 2.0 增加到 4.0 时, 玻璃质从 4.4 减少到 1.0, 磁铁矿由 90% 减少到 77%, 而铁酸鈣增加 13.8%, 在矿相中磁铁矿和铁酸鈣的交接方



式是不规则的连晶，很少见到完整的铁酸钙晶体。这种烧结矿的还原性高，转鼓指数低。

碱度超过3.16后铁酸钙增加不明显（因为 CaO 的绝对含量增加的不多），烧结矿还原性有下降的趋势，这可能是由于混合料中 CaO 含量增加，降低了软化温度，在含碳量不变的条件下，烧结时熔化的比较严重，烧结矿结构变得致密，还原气体向内部扩散比较困难的结果。如果与提高碱度的同时适当地降低混合料中的含碳量，预计当碱度超过3.16%时，还原性应该稳定而不会降低（因为烧结矿相组成没有显著变化）。

把碱度固定为1.0左右，而变化混合料中的含碳量时，烧结矿中 FeO 的含量随着含碳量的增加而上升。相反，还原性随混合料中含碳量的增加而降低。但含碳量的增加对烧结矿的矿物成分的影响并不太明显（见图8,b），玻璃质含量为6~8%，其余为金属氧化物。

值得引起注意的是，凹山烧结矿中含 Al_2O_3 比较高（1.0~1.5%），还含有1.25% TiO_2 ，这两种化合物的存在对烧结矿的还原性有没有不良影响尚值得进一步研究。

凹山燒結礦的礦物組成

表 5

編 号	礦 物 組 成, % (容 积)			
	磁鉄礦 ⁺	赤鉄礦	鉄 酸 鈣	玻 璃 質
B-1	90.0	7.8	—	2.2
B-2	88.8	5.0	—	6.2
B-3	90.0	5.6	—	4.4
B-4	71.0	12.3	12.5	4.2
B-5	77.0	8.2	13.8	1.0
B-6	80.0	4.5	14.7	0.8
B-7	84.0	8.4	—	7.6
B-8	84.0	10.0	—	6.0
B-9	77.5	14.5	—	8.0
B-10	86.0	7.0	—	7.0

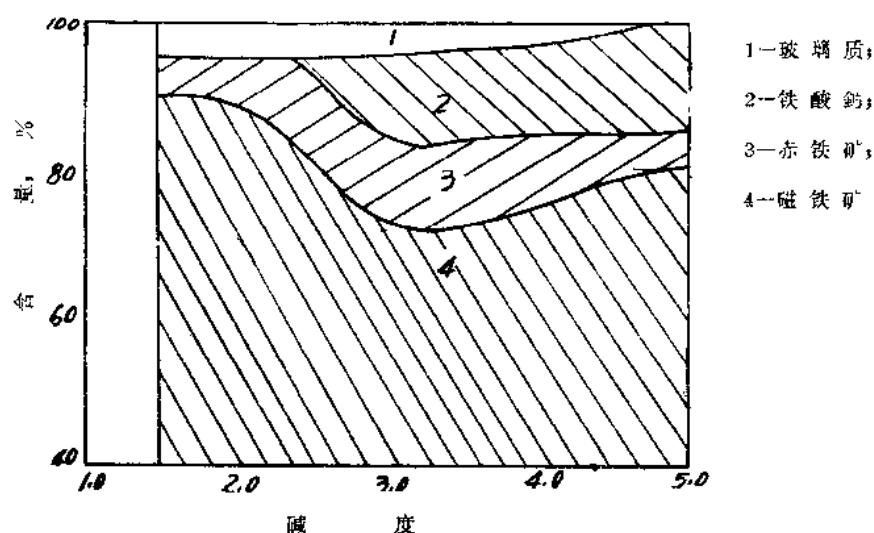


图8,a 不同碱度的凹山燒結礦礦物組成

3. 包头燒結礦

包头精矿的特征是自然碱度比較高 (0.6), 虽然品位并不很高 (含鉄65.5%), 但含 CaO 2.4%, 而 SiO_2 只是3.9%, 亦属于低硅精矿。

不同碱度及混合料碳量不同所制成包头燒結礦的化学成分、还原性及强度列于表 6, 混合料中含碳量对还原性、强度的影响如图11。

表 6 及图11所列的試驗結果表明: 低碱度时 (0.7), 包头燒結礦的还原性很差, 只有 25.9%。但随着碱度的增加, 还原性上升的很快。如碱度从0.7提高到3.01, 还原度从25.9% 上升到70.0%, 即提高一倍多, 碱度超过3.01, 还原度有下降趋向, 燒結礦的轉鼓指数亦随碱度的变化而不同。总的趋势是: 碱度提高轉鼓指数下降。但低碱度时, 轉鼓指数也比較低,

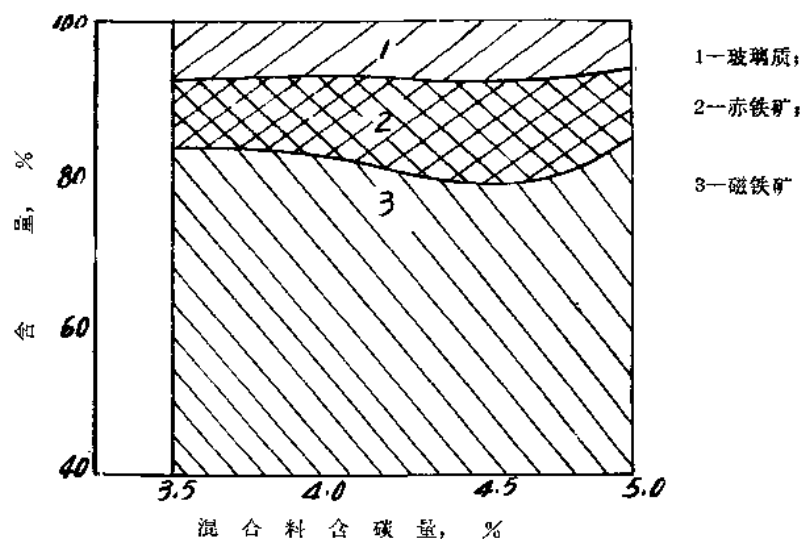


图8, b 混合料含碳不同时凹山烧结矿的矿物组成

包头烧结矿的化学成分、还原度和强度

表 6

编 号	混 合 料 含碳, %	化 学 成 分, %				碱 度 CaO/SiO ₂	含 氧 量 %	还 原 度 %	转鼓指数 %
		TFe	FeO	SiO ₂	CaO				
P-1	4.5	65.3	25.6	4.46	3.13	0.7	25.14	25.9	1.3
P-2	4.5	62.6	20.7	4.62	5.47	1.18	25.26	41.3	16.4
P-3	4.5	59.8	16.85	4.62	9.84	2.16	23.76	63.5	16.3
P-4	4.5	56.3	13.89	4.58	13.78	3.01	23.06	70.6	10.5
P-5	4.5	54.2	16.08	4.52	17.01	3.78	21.50	66.2	9.79
P-6	4.0	61.7	28.87	—	—	—	24.38	47.0	19.4
P-7	4.5	61.9	20.7	4.70	6.93	1.48	24.36	46.3	15.73
P-8	5.0	61.1	21.87	—	—	—	23.80	43.7	27.5

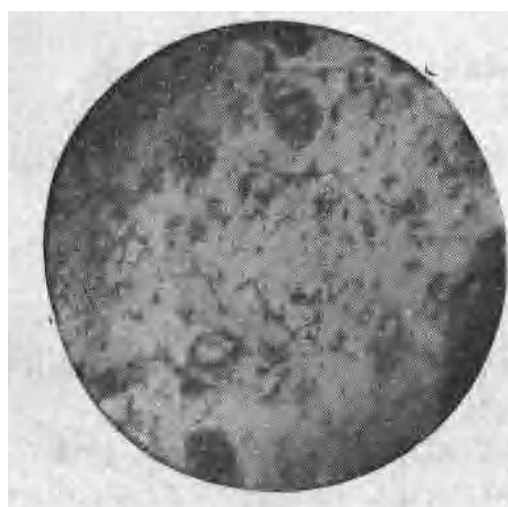


图9, a 混合料含碳量3.5%时的磁铁矿颗粒反光 (放大225倍)

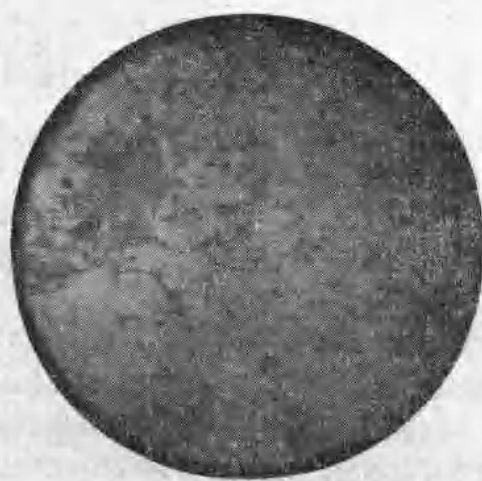


图9, b 混合料含碳量4.0%时的磁铁矿颗粒反光 (放大225倍)

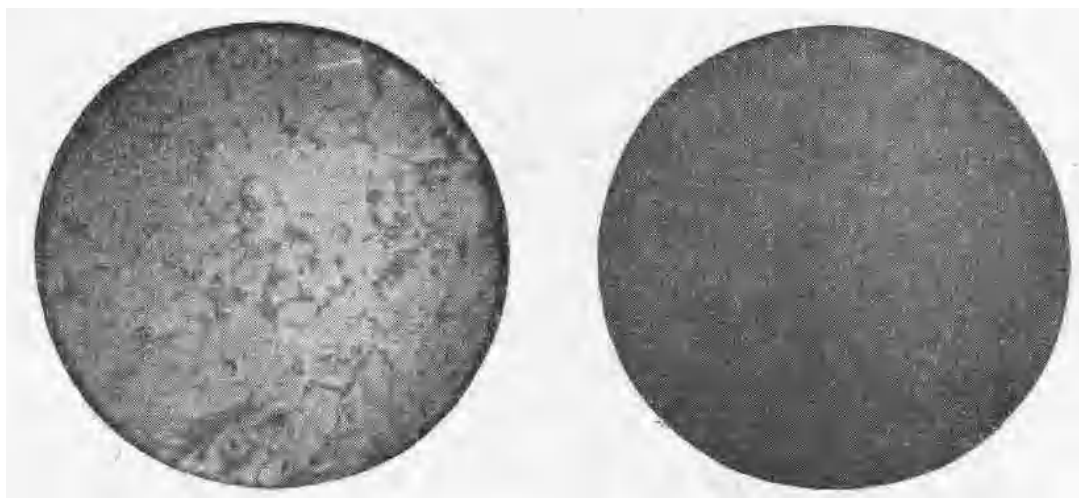


图9,c 混合料含碳量4.5%时的磁铁矿颗粒
反光(放大225倍)

图9,d 混合料含碳量5.0%时结晶粗大的磁铁矿颗粒
反光(放大225倍)

图9 混合料含碳量不同的凹山烧结矿的矿相结构

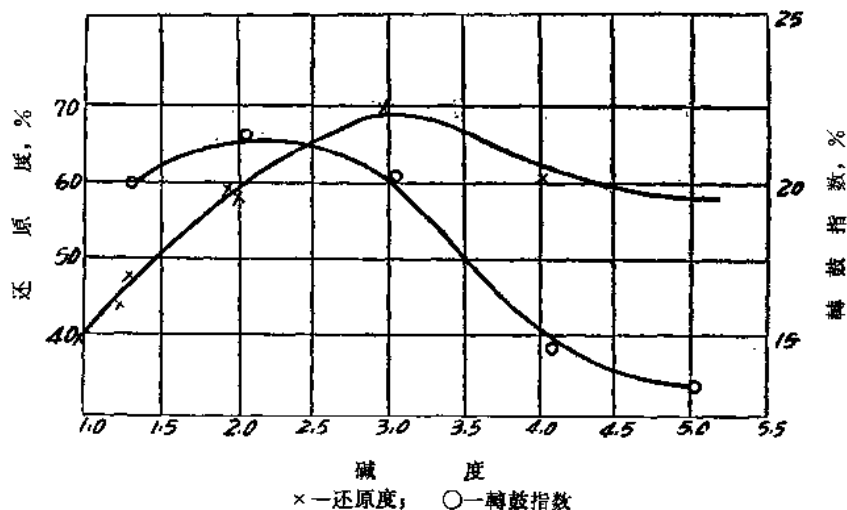


图10 不同碱度的凹山烧结矿的强度及还原性

如碱度0.7时转鼓指数为13%。从碱度1.2开始, 转鼓指数随着碱度的提高而下降, 烧结矿中FeO的含量亦随碱度的提高而降低。

若把碱度固定为1.48, 随混合料中含碳量的增加, 烧结矿中FeO含量上升, 还原性随混合料中含碳量的增加而下降, 转鼓指数与混合料中含碳之间没发现什么规律。

4. 双塔山烧结矿

如上述, 双塔山精矿由于含8.14% TiO_2 , 尽管含 SiO_2 不高(2.9%), 但含铁也只有61.0%, 另外含 Al_2O_3 比较高(2.03%)也是这种精矿的特征之一。

不同碱度及混合料中含碳不同所制成烧结矿的化学成分、还原性和转鼓指数列于表7。从表中可以看出, 当碱度为1.64时还原性最好, 混合料含碳量与还原性的关系也和其他烧结矿一样, 随着混合料中含碳量增加, 烧结矿中FeO含量上升, 还原性下降。

应当指出, 双塔山烧结矿的特点是含FeO高和还原性很不好。如当碱度为2.58时, 烧结

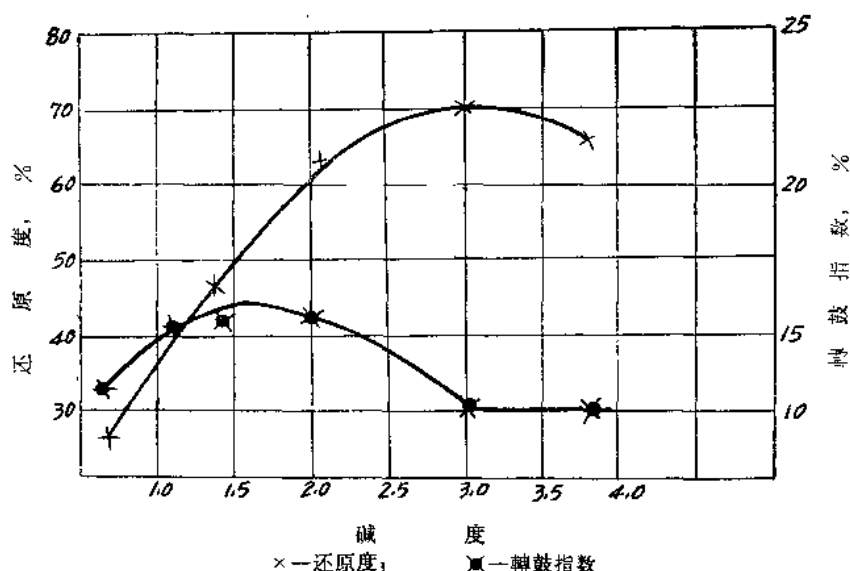


图11 包头烧结矿碱度与烧结矿强度、还原性的关系

双塔山烧结矿化学成分和还原度

表 7

编 号	混 合 料 含 碳 %	化 学 成 分, %				碱 度 CaO/SiO ₂	含 氧 量 %	还 原 度 %
		TFe	FeO	SiO ₂	CaO			
L-1		60.5	25.54	3.06	3.35	11.00	23.74	45.1
L-2		59.0	25.54	3.16	5.18	1.64	23.00	52.8
L-3		56.4	21.23	3.28	8.48	2.58	22.40	49.7
L-4	3.2	59.6	24.31				23.58	46.5
L-5	3.6	61.7	18.78	2.88	4.74	1.64	25.00	43.1
L-6	4.0	61.4	21.87				24.36	41.2

矿中FeO的含量高于20%，还原度只有50%，混合料中含碳只有3.2%时，烧结矿中FeO含量高达24.3%，还原度只有46.5%（碱度1.64）。双塔山烧结矿中含FeO高和还原性很差的原因，很可能与其中含有比较多的TiO₂和Al₂O₃分不开。TiO₂和Al₂O₃在烧结中的存在方式及其对烧结矿相的影响尚待进一步研究。

5. 鞍山球团矿

为了比较球团矿和烧结矿的还原性质，在试验室把鞍山磁选精矿分选成四种品位，即含铁62%，64%，66%和68%。用这些不同品位的精矿分别制成两种不同碱度的球团矿，并测定它们的还原性。试验的粒度和烧结矿一样为3~5毫米（由大粒球团矿破碎而成）。各种球团矿的化学分析和还原性试验结果如表8。

尽管对球团矿还原性的研究还不够详尽，但从所得的试验结果中可以看出，球团矿也和烧结矿一样，碱度对还原性的影响很大。碱度提高，还原性上升。如用铁份62%的鞍山精矿制成碱度0.67的球团矿，其还原度是67.6%。而把碱度提高到1.3时，还原性上升到78.4%。由高品位精矿制成的球团矿也是一样（见表8），如用品位68%的精矿分别制成碱度为0.71和1.5的球团矿，它们的还原度分别为53.8%和76.8%，相差很大。

鞍山球团矿的化学成分和还原性

表 8

編 号	精 矿 品 位, %	化 学 分 析, %				碱 度		含 氧 量 %	还 原 度 %
		Ti ₂	FeO	SiO ₂	CaO	CaO	SiO ₂		
P-1	62	56.2	6.17	10.92	7.38	23.40	23.40	67.6	
P-2	62	53.9	3.86	10.16	13.29	22.72	22.72	78.4	
P-3	64	61.35	7.33	9.14	4.30	25.38	25.38	52.8	
P-4	64	58.30	7.33	8.82	6.85	24.80	24.80	66.1	
P-5	66	62.45	7.53	6.78	3.68	25.96	25.96	57.6	
P-6	66	59.5	2.32	6.76	6.44	25.30	25.30	71.0	
P-7	68	63.00	9.91	5.52	3.88	26.14	26.14	53.8	
P-8	68	60.45	7.20	5.10	7.63	25.12	25.12	76.8	

五、 几 点 結 論

由試驗結果可得出以下几点結論:

1. 碱度不同对燒結矿矿物組成影响很大, 鞍山高硅燒結矿在碱度小于 2.0 时, 燒結矿的粘結相是玻璃质和鈣铁橄欖石, 碱度大于 2.0 时粘結物是硅酸鈣和铁酸鈣。低硅四山燒結矿在碱度小于 2.0 时含一部分玻璃质, 但不起粘結作用。碱度再提高, 玻璃质减少, 铁酸鈣增加。无论那种燒結矿, 都随碱度的提高与 SiO₂ 結合的非游离的氧化物逐漸减少, 从而还原性上升, 轉鼓指数下降。

2. 碱度是影响燒結矿还原性的主要因素, 各种燒結矿的还原性都随碱度的提高而上升。碱度提高到一定限度后, 还原性趋向于下降或稳定, 一般碱度在 2~3 时还原性最高。

3. 当碱度大于 1.5 时, 燒結矿的轉鼓指数, 一般都随碱度的提高而下降。

4. 用高硅精矿生产高碱度燒結矿时, 随碱度的不断提高应当增加混合料中的含碳量。相反, 用低硅精矿生产高碱度燒結矿时, 应当随着碱度的提高适当降低混合料中含碳量。

5. 如果碱度一定时, 燒結矿中 FeO 的含量随着混合料中含碳量的增加而提高, 还原性下降, 轉鼓指数降低。

6. 球团矿的还原性和燒結矿一样, 随着碱度的提高而上升。

7. 燒結矿中含 CaO 使还原性上升的原因, 可能是由于 CaO 改变了 Fe₂O₄ 的結晶格子, 使之容易还原。

高 碱 度 燒 結 矿

北京鋼鐵学院煉鉄教研組高碱度燒結矿研究小組

1961年苏联 В. Я. 米列尔教授在“Сталь”杂志上提出了高碱度燒結矿生产工艺的研究結果，提出用細粒的磁选精矿粉，生产自熔性燒結矿，其强度、粒度和还原性均較碱度为1.25的燒結矿优越，因此建議用两种碱度0.7和5.0的燒結矿代替碱度1.25的燒結矿，同样可以免除高炉配料中的石灰石，而炉料的粒度組成将会显著改善，有利于高炉冶炼的强化^[1]。

两年来，結合煉鉄专业学生的实验課和結业专题研究，在实验室里做了初步的研究。用单一的迁安精矿和配入30%龙烟富矿粉，分別作了实验，燒結矿的碱度高达4.0，5.0和6.0。实验的結果与 В. Я. 米列尔等的結果基本一致。碱度低于3.0的情况下，随着碱度升高，燒結矿的轉鼓指数降低，但随着燃料消耗量的增加，碱度較高的燒結矿的轉鼓指数改善較为迅速。当燃料高过一定限度之后，燒結矿在冷却过程中自然粉碎，这可能由于高温下形成了过多的正硅酸鈣和冷却过程中产生結晶变形所致。碱度高过4.0的燒結矿，轉鼓指数突出的改善，粒度均匀、还原性好。在燒結工艺方面，碱度愈高，配料中燃料消耗量愈多，才能保证燒結矿的成品率和产量。高碱度燒結矿的混合料透气性好，具有較高的垂直燒結速度。虽然配料中石灰石粉占很大的比重，但是对石灰石粉的粒度，并不需要特別严格的要求^[2]。

我国一些工厂使用天然矿石冶炼，高炉配料中尚有相当数量的石灰石，若能生产高碱度燒結矿与天然矿石配合使用，就能减少乃至免除石灰石入炉，将大大有助于焦比的降低。因此我們以金岭鎮矿粉为实验对象，探求生产高碱度燒結矿的工艺条件与燒結矿的性质。

金岭鎮矿粉和其他原料的化学成分、粒度組成列于表1，2内，焦粉含固定碳77.5%，灰分19.9%。

燒結原料化学成分

表 1

名 称	化 学 成 分, %						
	Fe	FeO	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S
金 岭 鎮 矿 粉	56.4	21.10	4.80	1.93	9.03	1.29	0.773
石 灰 石 粉	—	—	48.72	6.05	1.21	0.75	—
焦 粉 灰 分	4.80	6.15	10.00	4.91	42.42	35.30	—

燒結原料粒度組成

表 2

名 称	粒 度, 毫 米 (%)						
	+10	10~5	5~3	3~1	1~0.5	0.5~0.1	-0.1
金 岭 鎮 矿 粉	0.03	9.43	11.65	15.23	6.84	29.04	25.66
石 灰 石 粉	—	0.15	7.05	46.81	14.97	18.67	12.73
焦 粉	—	—	0.58	35.98	21.14	28.74	13.80