攀枝花钛铁矿熔炼钛渣工艺的研究

《予氧化钛铁矿，开口电炉冶炼条件试验》

王东升 周启路

（锦州铁合金厂）

采用予氧化钛铁矿，薄料层，连续加料，开弧冶炼钛渣的方法，得到了较好的结果。钛渣、半钢平均含S分别小于0.07%和0.15%。与传统的内配碳团球、埋弧法冶炼钛渣比较，产能提高了2.6倍，电耗降低了20%。基本消除了钛渣冶炼过程中常出现的塌料、喷渣、电流不稳、炉料结壳等不正常状况。为采用封闭炉冶炼钛渣创造了条件。采用渣、铁分别排放的方法，使渣、铁分离好，有利于下一步对半钢的处理。

前　言

锦州铁合金厂和北京有色金属研究总院，曾于1979年在锦州铁合金厂1800KVA工业电炉上，进行了攀枝花钛铁矿生产酸溶性钛渣的可行性试验。采用内配碳造球、埋弧冶炼工艺。钛渣平均含TiO_2 78%，每吨渣电耗2487度。当时存在的问题是钛渣、半钢含S高（钛渣1.2%，半钢1.8%）；钛渣生产冶炼过程中经常出现塌料、喷渣、电流波动等不稳定状态；炉料不顺行，需要人工捣炉；渣、铁分离不好。这些都妨碍钛渣电炉的大型化。为了解决上述问题，并能使钛渣电炉封闭，冶金部又委托锦州铁合金厂、北京有色金属研究院、沈阳铝镁设计院共同在锦州铁合金厂研究所的187KVA电炉上进行予氧化钛铁矿冶炼钛渣的工艺条件试验。首先作开口电炉试验。其目的是：

1. 找出电炉工作稳定、炉料顺行、降低电耗的合理冶炼工艺，作为设计封闭试验电炉的条件。为了比较各种冶炼工艺，先进行了“对比试验”，即采用锦州铁合金厂四车间1979年在1800KVA电炉上试验的同样原料、操作条件，在187KVA试验炉中冶炼。用这个指标作为其它冶炼方法的比较基础。若指标比“对比试验”先进，就认为该法优于1979年的冶炼工艺；反之亦然。

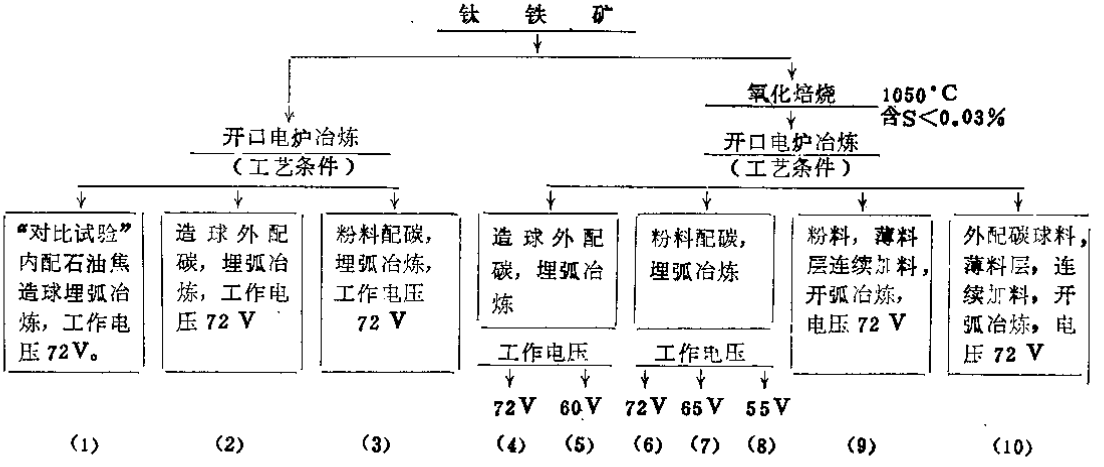
2. 降低钛渣、半钢含S量。

3. 试验较好的渣、铁分离工艺，为合理利用半钢创造条件。

一、试验的工艺条件及主要设备规格

为了找到合适的钛渣冶炼工艺，选择

了钛铁矿经予氧化和不经予氧化，钛铁矿内配碳造球，钛铁矿造球外部配碳，钛铁矿粉料配碳，一次加料高料层埋弧操作，薄料层连续加料开弧操作以及不同冶炼电压等十种冶炼条件进行试验比较。十种冶炼条件如图所示。



试验采用的工艺条件

钛铁矿氧化脱硫是在锦州铁合金厂二车间（钛铁车间）工业回转窑上进行的。用粘油作燃料。该窑没有测温和油耗的计量装置，因此试验没有得到焙烧温度和油耗的数字。钛渣冶炼是在锦州铁合金厂研究所187 KVA开口式矿石还原电炉上进行的。试验的主要设备规格见表1。

1. 电　炉　　表1

容量 KVA	一次电压 V	二次 电压 V	二次 电流 A	电极 材质	电极 直径 毫米	极心圆直径 毫米	炉膛直径 毫米	炉壳直径 毫米	炉膛高度 毫米	炉壳高度 毫米
187	380	72	1500	石墨	100	300	700	1100	650	1050

2. 回转窑

窑长，米	窑内径，米	倾角，度	转速，转/分	加热燃料
12	1	3°15′	0.2	渣油

二、试验情况

全部试验工作三次完成。第一次作"对比试验"，第二次作未经氧化矿的两种条件试验，第三次作予氧化矿的7种条件试验，共试验了216炉（不包括升温及洗炉）。用钛铁矿34吨，产酸溶性钛渣19吨，半钢9吨。试验用原料的平均成份如表2、3所示。

试 验 用 钛 矿 平 均 成 份 表 2

钛矿 \ 成份，%	TiO_2	ΣFe	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	C	S
(1)	46.46	30.95	0.39	5.52	2.26	1.21	0.07	1.07
(2)	44.73	30.45	1.00	4.65	3.39	1.30	0.14	0.99
(3)	45.98	32.91	0.86	5.13	1.87	0.89	0.07	1.94
(4)	46.17	32.69	0.83	5.17	1.81	0.89	0.07	1.86

还 原 剂 成 份 表 3

种类 \ 成份，%	固定碳	挥发份	灰份	S	水份
石油焦	88.6	9.55	1.86		
焦炭 (1)	83.44	1.45	15.11	0.66	
焦炭 (2)	72.85	3.00	24.15	0.69	2.9

1. 钛铁矿氧化焙烧试验

钛铁矿氧化焙烧采用三种原料：粉矿、甲基纤维素造球料、酸性纸浆废液造球料。造球料在70℃±的干燥室烘干。甲基纤维素水溶液浓度为2.5%，每100公斤钛矿加入3.4公斤甲基纤维素。酸性纸浆废液比重1.27—1.32克/厘米^3，含S 55.07克/升，每100公斤钛矿加入13公斤纸浆。因钛矿未经二次磨细，湿球强度较低，低温烘干的甲基纤维素球入回转窑后全部粉碎。酸性纸浆废液球在焙烧时强度稍好于甲基纤维素球，但大部份粉碎。焙烧加料量120～600公斤/时，加料量600公斤/时，脱S正常。物料在窑内停留时间约4小时。窑头温度800℃，窑尾温度600～700℃，出料温度900℃左右。钛矿有少量烧结现象。上述三种原料经氧化焙烧后的成份、脱S率、FeO氧化率和粒度的变化情况见表4。

氧 化 焙 烧 结 果 表 4

	钛矿成份，%							脱S率 %	FeO氧化率 %	粒度（目），%						
	TiO_2	ΣFe	Fe	CaO	MgO	S	C			+50	-55～+100	-100～+150	-150～+200	-200～+250	-250～+300	-300
粉矿	45.57	31.36	1.30	0.63	3.64	0.012	0.013	99.35	96.93	16.2	62.08	15.43	3.33	1.77	0.63	0.37
甲基纤维素球团（烧粉）	45.46	31.78	2.7	0.71	4.77	0.024	0.011	98.6	93.61	18.0	60.8	14.6	3.0	1.6	0.60	0.35
纸浆球团烧粉	44.94	31.59	2.63	0.56	5.44	0.036	0.011	98.12	94.03	22.25	59.25	12.15	2.8	1.8	0.60	0.40
纸浆球团	44.87	31.34	6.81	0.56	5.04	0.14	0.014	92.68	84.55							

从焙烧结果可以看到，粉矿脱S的效果最好，达到99%以上；团球料脱S效果较差。在钛矿氧化脱S的同时，其中FeO也被氧化成高价铁氧化物，破坏了钛铁矿的原始结构，有利于铁氧化物的选择还原。FeO的氧化率同S的氧化率是一致的。

2. 电炉熔炼试验

十种冶炼条件试验的主要技术经济指标见表5。

十种冶炼条件试验的结果　　表5

			炉前电耗度/吨渣	平均日产渣吨/日	平均日输出电能，度/日	冶炼回收率%	渣平均含TiO_2，%
未焙烧钛矿	“对比试验” 72V		4608/100	0.408/100	1880/100	88.7	75.95
	外配碳埋弧 72V		5595/121	0.443/109	2480/132	90.24	81.03
	粉料配碳埋弧 72V		4927/107	0.438/107	2160/115	90.15	83.99
氧化焙烧钛矿	外配碳球料埋弧	72V	4719/102	0.800/196	3680/196	89.9	79.36
		60V	11037/240	0.217/53	2392/127	80.08	75.18
	粉料配碳埋弧	72V	4069/88	0.688/169	2800/149	96.8	74.21
		65V	4553/99	0.615/151	2800/149	96.8	75.32
		55V	9365/203	0.253/63	2400/128	88.08	74.21
	粉料薄料层开弧 72V		3650/79	1.072/263	3913/208	98.65	76.61
	外配碳球料薄料层开弧 72V		4139/90	0.904/222	3742/199	87.06	83.46

注：试验得到的绝对数/以“对比试验”作100的比较数

从表5中可以看到，采用一次加料埋弧法冶炼钛渣，都出现塌料、喷渣、电流不稳、经常短路跳闸等不正常状况。当炉料塌落到电极附近熔化的高温炉渣中以后，碳同铁氧化物间的还原反应迅速进行，短时间内放出大量的CO气体。由于钛渣粘度较大，气体不易冒出，造成包裹气体的炉渣上涨或喷出。钛渣的电导大，每当钛渣层上涨或钛渣喷溅波动，都会使炉内电流波动（不稳）甚致造成电极短路，开关跳闸。电炉变压器平均日输出电能是炉内电流是否稳定的标志。电流平稳，不短路跳闸，电炉日输出电能多，产量高。反之如电流波动较大，不能用到满负荷，又经常短路停电，电炉变压器的日输出电能降低。比较用72V电压工作的7种冶炼方法中，5种埋弧冶炼法的日输出电能都低于连续加料开弧冶炼的方法。说明埋弧冶炼钛渣电流不稳。5种埋弧冶炼方法中以“对比试验”，即球内配碳法电流最不稳定。球外配碳比球内配碳好，粉料埋弧比球料好。球内配碳的炉料塌入高温区后，反应进行得最激烈，因此塌料、喷渣、电流不稳等现象都较粉料配碳或球外配碳法严重。球内配碳冶炼日输出电能只有1880度，日产渣0.408吨。而球外配碳或粉料配碳冶炼日输出电能都在2000度以上，日产渣量也高于0.408吨。

但有的吨渣电耗较高。

连续加料开弧冶炼法，消除了塌料、喷渣现象，电流稳定。2种连续加料开弧冶炼的方法，日输出电能分别为3913度和3742度；日产渣量也大幅度提高，分别为1.072吨和0.904吨，比“对比试验”日产量提高2.6倍和2.2倍。吨渣电耗也比“对比试验”降低了20%和10%。根据其它产品的生产经验认为，薄料层开弧冶炼法炉口的热损失较多，因此电耗高于埋弧操作法。但对钛渣的冶炼过程来讲，由于连续加料开弧冶炼不出现已熔的钛渣喷溅后凝固又需要重新熔化的问题，所以电耗反较埋弧冶炼法低。看来钛渣在冶炼过程中的喷溅造成的反复熔化，是影响钛渣电耗升高的重要原因。在2种连续加料开弧冶炼的方法中，粉料的指标好于球料。

在操作电压的试验中可看到，高电压优于低电压。在粉料配碳埋弧冶炼中，使用72V、65V、55V三种电压，指标以72V时最好。由于电压低，功率也相应降低，化料慢，冶炼时间延长，产量下降，吨渣电耗升高，回收率下降。开弧冶炼更以用高电压为宜。高电压电弧长，化料快。由于变压器的最高电压是72V，试验受到限制。

钛矿经氧化焙烧后，电炉冶炼的效果是，钛渣、半钢含S分别从0.8%和1%降到0.07%和0.15%。钛渣可以满足钛白厂要求。半钢再经一次炉外脱S处理即可达到0.05～0.03%，符合铸铁含S标准。在冶炼过程中S的分配情况如下：

	入铁，%	入渣，%	挥发，%
未氧化矿埋弧	30	20	50
氧化矿埋弧	25	35	40
氧化矿薄料层开弧	25	35	40

用氧化矿冶炼钛渣的电耗较未氧化矿的低。比较两种相同的冶炼方法，电耗降低情况如下：

	未氧化矿电耗度	氧化焙烧矿电耗度	吨渣电耗降低%
粉料配碳埋弧	4917	4068	17.25
球料外配碳埋弧	5595	4719	15.66

用氧化矿冶炼时，渣中低价钛氧化物含量下降。与渣中TiO_2含量相近时，不同冶炼条件下，渣中Ti_2O_3含量变化如表6。

不同冶炼条件下渣中Ti_2O_3含量变化　　表6

钛矿种类 \ 成份，%	ΣTiO₂	Ti₂O₃	ΣTiO₂	Ti₂O₃	ΣTiO₂	Ti₂O₃	ΣTiO₂	Ti₂O₃
未经予氧化钛矿	74.64	16.92	75.76	16.61	77.37	18.75	79.74	23.04
予氧化钛矿	74.14	13.23	76.15	15.13	78.22	16.90	80.49	20.97

冶炼钛渣的吨渣电耗下降和渣中Ti_2O_3含量下降都说明经氧化焙烧破坏了钛铁矿原始结构，有利于铁氧化物的还原。但还原剂消耗量比未氧化矿提高15%。

氧化焙烧矿由于钛矿颗粒略有烧结，

在冶炼时降低了钛矿的飞扬损失。

各种冶炼方法的钛渣、半钢成份见表7。

各种冶炼方法的钛渣和半钢平均成份 表 7

种类	钛渣									半钢								
项目 \ 成份，%	ΣTiO₂	Ti₂O₃	TiO	ΣFe	Fe'	FeO	CaO	MgO	S	C	Mn	S	P	Si	Ti	Ni	Cr	V	C
试 1	75.95	16.19	0.97	4.81	0.72	5.26	1.50	9.05	0.512	1.68	0.051	1.57	0.017	0.12	0.30		0.015		
试 2	81.03	26.10	0.56	2.76	1.02	2.24	2.27	7.17	0.85	1.47		0.73							
试 3	83.99	25.92	0.85	3.05	0.93	2.73	1.58	7.43	1.10	1.41		0.97							
试 4	74.36	23.20	0.77	1.71	1.00	0.91	1.61	8.81	0.13	2.24	0.15	0.13	0.033	0.30			0.08	0.5	0.1
试 5	75.18	10.93	0.027	4.85	1.04	4.90	1.30	8.73	0.071	2.24	〃	〃							
试 6	74.21	12.28	0.76	6.82	1.28	7.12	1.26	7.35	0.076	1.26	微	0.123	0.028	0.027	0.12	0.048	0.08	0.5	~0.1
试 7	75.32	13.05	0.70	5.50	1.33	5.36	1.10	7.24	0.063	〃	〃	〃	〃	〃					
试 8	74.21	11.47	0.67	6.48	1.27	6.70	1.08	8.11	0.060	1.86	0.039	0.22	0.045	0.03					
试 9	76.61	16.35	0.16	5.17	1.31	4.97	1.31	8.22	0.031	2.10	0.10	0.15	0.051	0.058					
试 10	83.46	32.11		1.51	0.93	1.36	0.14	8.37	〃	〃	〃								

3. 双出炉口操作试验（渣口、铁口分开）

在氧化矿的条件试验中，试用了将渣口和铁口分开操作的办法。在电炉上砌成两个出口，炉衬全部用镁砖。渣口对一相电极（为保持出渣口内温度高，便于出渣），铁口水平位置与渣口错开30°，两口的高差115毫米。每出两次渣放一次铁。渣流到渣盘内冷却，半钢流入铸钢锭模内铸成铁块。试验证明，TiO_2 85%（全Ti折算成TiO_2）以下的钛渣，能单独从渣口顺利流出。半钢的温度决定于钛渣的熔点，当钛渣含TiO_2在78～80%时，半钢温度合适，流动性好，能顺利的出铁，并铸成光滑的铁锭。铁锭内无夹渣。钛渣含TiO_2<78%时，因钛渣熔点降低，整个炉温降低，半钢温度也低，出铁和铸块都不太顺利。当钛渣含TiO_2大于80%时，又显得炉温高、半钢温度高，容易冲刷锭模。

冶炼钛渣使用单出炉口时，渣中夹铁较多，半钢夹渣严重。渣、铁不好分离、使用双出炉口，渣、铁分离较好，渣中夹铁少，半钢可铸成锭。在未来大生产时，可以采用热接半钢进行炉外脱S、渗碳等处理，为半钢利用创造了条件。

三、结　论

综合前面的试验结果可以得到如下的结论：

1. 钛矿氧化焙烧脱S良好，降低钛渣和半钢的含S量。并降低钛渣冶炼电耗和渣中低价钛含量。减少冶炼过程的飞扬损失。

2. 比较各种冶炼方法可以看出，在生产酸溶性钛渣时，用粉料优于球料，用薄料层连续加料开弧冶炼优于一次加料埋弧冶炼，用高电压好于低电压（也要适当）。其中最佳的冶炼方法是采用高电压、粉料、薄料层连续下料开弧冶炼。这种方法解决了冶炼过程中出现的塌料、喷渣、电流不稳、炉料不能顺行而需要人工捣炉等问题。使电炉工作平稳，因而变压器输出功率增加，日产渣量升高，吨渣电耗下降。为封闭炉口运行创造了条件。现在已按这种方案设计并建成了封闭电炉，准备试验。

3. 电炉采用渣、铁分别排放的方法，较好的解决了渣、铁分离，可为铁水热装脱S创造条件。

4. 采用粉料焙烧、冶炼的工艺，钛矿不需再磨、制球、干燥煅烧，简化了生产工艺。如将来采用封闭电炉生产钛渣，电炉煤气又可作氧化焙烧窑的燃料（还需另外补充加热），钛矿又可实现热装入炉，这些都可降低能耗。