用碳酸钠吹氧法予处理含钒铁水—半钢氧气底吹转炉无渣炼钢

钱家澍、曹洪文、葛诗元、刘纯厚、张玉清、孔繁芬

（攀枝花钢铁研究院、科学院化工冶金研究所）

用碳酸钠吹氧法予处理含钒铁水同时脱除钒磷硫，低磷硫半钢氧气底吹转炉无渣炼钢半工业性联动试验，国内外首次进行。攀钢低硫含钒铁水经予处理后，得含3.55〔C〕%，0.011〔P〕%，0.013〔S〕%和0.067〔V〕%的优质半钢，甚至硫高达0.150%的含钒生铁也能获得〔S〕<0.028%的优质半钢；这种半钢在氧气底吹转炉内，不加任何造渣剂，仅脱碳调温，炼成优质碳素钢，成份、机械性能和钢中气体含量均符合部颁标准要求；所获含钒钠化渣，钒转化率大于99%，浸出率大于96%，可以不经细破和回转窑氧化钠化焙烧而直接提取精制五氧化二钒。本方法有可能成为大规模开发攀枝花钒钛磁铁矿，实现综合回收铁、钒和钛的更有效的新途径。

为了不断完善现有钒钛磁铁矿高炉—转炉流程，必须探索发展投资少、流程短、成本低、能耗小、收得率高、污染轻的新流程、新工艺和新方法，对我国，特别是内地国民经济建设是十分重要的。

近些年来，在国外[1,2]，尤其是日本正在大力开展加碳酸钠或硫酸钠予处理普通铁水同时脱除磷硫，低磷硫半钢无渣法氧气顶吹转炉炼钢试验，进展很快，已由实验室研究进入工业性试验。

近两年来，科学院化工冶金研究所和冶金部攀枝花钢铁研究院做了含钒铁水加碳酸钠予处理同时脱除钒、磷、硫[3,4,5]和低磷硫半钢氧气顶吹转炉无渣炼钢实验室试验[6]。在此基础上，在西昌四一〇试验厂做了半工业性联动试验*。

一、试验条件和设备

试验用铁水由二吨酸性化铁炉供给，三吨铁水包渣线以上砌高铝砖，下部衬砌普通粘土砖。

含钒铁水配加碳酸钠吹氧法予处理，是在铁水包内进行的。碳酸钠为工业纯（含Na_2CO_3为84.53%，含水份为6.56%），事先经低温烘烤，开吹后1分钟均匀加入。高硫含钒铁水的碳酸钠加入量为铁水重的4%和5%，低硫含钒铁水

* 参加本试验工作的有攀枝花钢铁研究院、科学院化冶所、重庆钢铁设计院、四一〇厂的有关同志。

平均为 4 %。水冷顶吹氧枪供氧（枪出口直径为10毫米，直筒型），吹炼时氧压为3.0—4.0公斤/厘米^2，恒压操作。枪高为250—200毫米，予处理终点前一分钟降枪至120—150毫米。供氧量按15标米^3/吨铁计算，平均纯吹氧时间高硫含钒生铁为10.4分，低硫生铁为12.3分。铁水和半钢温度用单铂铑快速热电偶测定。铁水和半钢样用光谱纯石墨管吸取。

予处理后，半钢扒除含钒钠化渣，立即兑入1.5吨氧气底吹转炉，不加任何造渣料脱碳升温炼成钢。氧气底吹转炉用焦油镁砂打结炉衬，炉膛直径为900毫米，熔池深度为340—450毫米，炉容比较小，为0.791米^3/吨。采用三支直径8毫米油冷氧枪，氧枪截园直径为290毫米，等腰三角形分布，单泵单枪供油。采用变氧压操作，氧压为6—9公斤/厘米^2，纯吹氧时间约18分钟。吹炼时供油量控制在35升/时·支枪。吹炼终点炉内加锰铁予脱氧，鼓氮（氮压4.0公斤/厘米^2）30秒去氢，包内增碳合金化。钢水全部浇成4寸锭，留作钢中氢、氮、氧和机械性能检验。钢水温度用双铂铑快速热电偶测定。

二、试验结果

（一）高硫和低硫含钒铁水配加碳酸钠吹氧法予处理半工业性试验

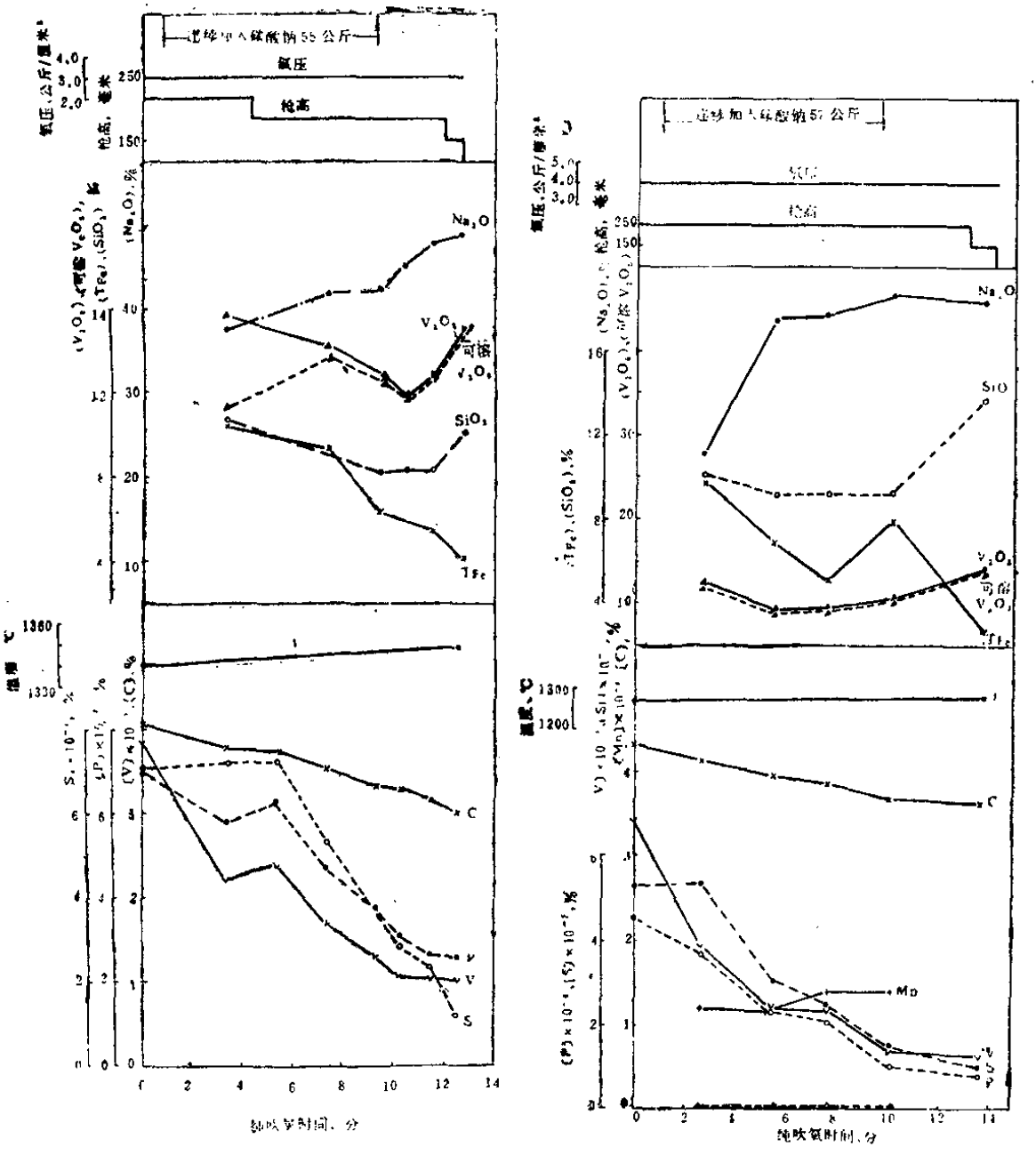
高硫含钒铁水予处理试验共做十二炉，攀钢低硫含钒铁水予处理试验共做十六炉，铁水成份列于表1。

第8117炉高硫和第8131炉攀钢低硫含钒铁水予处理过程金属成份、温度和成渣情况，以及主要工艺参数见图1。全部予处理试验结果列于表2。由图和表可见，予处理效果非常好，低硫含钒铁水经予处理后，获得平均3.55%[c]、0.013%[p]、0.013%[s]和0.067%[v]的超低磷硫优质半钢。高硫含钒铁水，经予处理后也能获得平均含硫为0.018%，含磷量为0.016%，余钒量为0.061%（碳酸钠加入量为5%）和含硫量为0.028%，含磷量为0.025%，余钒量为0.084%（碳酸钠加入量为4%）的优质半钢。半钢碳含量均很高，大于3.34%，温度等于或略高于铁水温度。鉴于试验规模太小，工业大生产时温度情况可有改善。半钢收得率为95%左右，包内壁粘铁一般为每吨铁水20公斤左右，飞溅到包边沿和地面的铁粒平均每吨铁水为13.86公斤。工业生产可望半钢收得率达到97%左右。

试验所获含钒钠化渣和国内外现行提钒工艺生产的钒渣成分列于表3。由表可见，含钒钠化渣中含五氧化二钒平均为

铁水成分和温度　　表 1

铁水成份，%						温度 ℃
C	P	S	V	Si	Mn	
高硫含钒铁水						
3.73—4.14 3.98	0.069—0.095 0.078	0.126—0.172 0.148	0.265—0.396 0.341	0.13—0.15 0.14	0.12—0.27 0.18	1250—1340 1285
攀钢低硫含钒铁水						
4.04—4.38 4.19	0.025—0.061 0.046	0.060—0.100 0.074	0.240—0.378 0.328	— 0.15	— 0.19	1220—1310 1269



(a) №8117—高硫含钒铁水

(b) №8131—攀钢低硫含钒铁水

图1　予处理过程中金属、熔渣主要成分和温度的变化

用碳酸钠吹氧法处理含钒铁水实验结果

A．高硫含钒铁水予处理结果　　表 2

炉号	铁水 重量 公斤	铁水 温度 ℃	铁水 成份，% C	P	S	V	半钢 温度 ℃	半钢 成份，% C	P	S	V	炉渣，% V_2O_5	炉渣，% 可溶 V_2O_5	浸出率 %	脱磷率 %	脱硫率 %	脱钒率 %
(一) Na_2CO_3用量为5%时																	
8108	1415	1310	4.04	0.078	0.158	0.394	1300	3.38	0.017	0.021	0.068	15.10	14.92	98.8	78.2	86.7	82.7
8109	1415	1330	4.14	0.070	0.147	0.396	1300	3.60	0.014	0.014	0.077	13.79	13.61	98.7	80.0	90.5	81.4
8110	1280	1310	4.09	0.070	0.144	0.370	1300	3.45	0.015	0.015	0.065	13.26	13.18	99.4	78.6	89.6	82.4
8111	1350	—	3.93	0.070	0.155	0.312	1290	3.28	0.014	0.019	0.053	11.52	11.49	99.7	80.0	87.7	83.0
8112	1340	1290	3.83	0.069	0.139	0.254	1290	3.18	0.019	0.022	0.057	9.38	9.38	100	72.5	84.2	77.6
8113	1430	1250	3.73	0.070	0.148	0.265	1240	3.28	0.017	0.019	0.048	8.77	8.77	100	75.7	87.2	76.2
平均值	1372	1298	3.96	0.071	0.149	0.332	1287	3.36	0.016	0.018	0.061	11.97	11.89	99.4	77.5	87.7	80.5
(二) Na_2CO_3用量为4%时																	
8114	1350	1250	4.07	0.090	0.172	0.38	1280	3.64	0.043	0.044	0.129	12.44	12.17	97.8	67.2	74.4	66.1
8115	1245	1280	4.04	0.079	0.156	0.34	1290	3.49	0.021	0.024	0.070	14.92	14.78	99.1	73.4	84.6	79.5
8116	1350	1330	4.04	0.086	0.143	0.39	1320	3.49	0.025	0.021	0.080	16.13	16.06	99.6	70.9	85.3	68.7
8117	1370	1340	4.02	0.076	0.141	0.37	1350	3.17	0.025	0.037	0.116	15.14	15.14	100	67.1	73.7	85.0
8128	1540	1220	4.01	0.095	0.142	0.32	1310	3.05	0.014	0.022	0.048	13.50	13.44	99.6	85.3	84.5	80.3
8129	1240	1230	3.81	0.081	0.126	0.30	1290	3.22	0.021	0.022	0.059	13.79	13.79	100	74.1	82.5	78.5
平均值	1349	1275	4.00	0.085	0.147	0.35	1307	3.34	0.025	0.028	0.084	14.32	14.23	99.3	73.0	82.0	76.4

B．攀钢低硫含钒铁水予处理结果（Na_2CO_3用量为4%）

炉号	铁水 重量 公斤	铁水 温度 ℃	铁水 成份，% C	P	S	V	半钢 温度 ℃	半钢 成份，% C	P	S	V	炉渣，% V_2O_5	炉渣，% 可溶 V_2O_5	浸出率 %	脱磷率 %	脱硫率 %	脱钒率 %
8118	1400	1310	4.17	0.055	0.100	0.340	1300	3.30	0.007	0.013	0.059	16.06	16.03	99.8	87.3	87.0	82.6
8119	1400	1290	4.14	0.042	0.074	0.315	1290	3.54	0.007	0.012	0.059	14.27	14.18	99.4	84.3	83.8	81.3
8120	1610	1300	4.14	0.040	0.080	0.300	1300	3.57	0.007	0.012	0.052	13.31	13.31	100	82.5	85.0	79.3
8121	1610	1220	4.22	0.031	0.072	0.280	1300	3.59	0.009	0.019	0.087	9.79	9.67	98.8	71.0	73.6	68.9
8122	1490	1220	4.12	0.025	0.074	0.240	1270	3.50	0.005	0.009	0.047	11.65	11.65	100	80.0	87.0	80.4
8123	1590	1270	4.05	0.040	0.080	0.290	1280	3.34	0.005	0.010	0.051	14.49	14.44	99.7	87.5	87.5	82.4
8125	1210	1260	4.22	0.052	0.078	0.360	1320	3.60	0.013	0.020	0.077	12.92	12.57	99.3	75.0	74.4	78.6

续表 2

炉号	铁水 重量 公斤	铁水 温度 ℃	铁水 成份,% C	P	S	V	半钢 温度 ℃	半钢 成份,% C	P	S	V	炉渣,% V_2O_5	可溶 V_2O_5	浸出率 %	脱磷率 %	脱硫率 %	脱钒率 %
8126	1680	1280	4.31	0.045	0.053	0.340	1300	3.64	0.008	0.009	0.063	14.05	14.03	99.9	82.2	81.1	81.5
8127	1910	1270	4.33	0.051	0.056	0.354	1260	3.75	0.009	0.009	0.064	14.44	14.40	99.7	82.4	83.9	81.9
8130	1550	1260	4.04	0.050	0.092	0.265	1280	3.36	0.009	0.010	0.054	13.88	13.88	100	82.0	89.1	79.6
8131	1880	1270	4.18	0.036	0.068	0.280	1280	3.42	0.007	0.014	0.040	12.00	11.96	97.8	80.6	79.4	85.7
8132	2200	1276	4.38	0.061	0.061	0.378	1300	3.66	0.011	0.009	0.078	17.24	17.24	100	82.0	85.3	79.4
8133	1320	1230	4.23	0.056	0.082	0.354	1320	3.52	0.016	0.020	0.075	11.56	11.30	97.8	71.4	75.6	78.8
8134	1460	1270	4.15	0.061	0.068	0.377	1300	3.58	0.015	0.014	0.087	12.92	12.92	100	75.4	79.4	76.9
8135	1900	1208	4.15	0.059	0.069	0.370	1300	3.72	0.021	0.023	0.118	12.00	11.69	97.4	64.4	66.7	68.1
8136	1530	1300	4.19	0.038	0.074	0.300	1290	3.74	0.020	0.008	0.052	13.96	13.96	100		89.2	82.7
平均值	1608	1269	4.19	0.047	0.074	0.323	1293	3.55	0.011	0.013	0.067	13.14	13.32	99.4	79.3	81.7	79.3

含钒钠化渣成分　　表 3

成份,% / 厂别	V_2O_5	TFe	C_aO	SiO_2	MFe	P	可溶性 V_2O_5	资料来源
一、含钒钠化渣（本试验）								
高硫含钒铁	8.77—16.13 13.15	1.75—8.80 3.80	0.23—1.28 0.71	5.66—15.10 10.56	0.22—2.03 0.56	1.47—2.50 1.95	8.77—16.06 13.07	—
低硫含钒铁	9.79—17.24 13.41	2.30—9.40 4.12	0.18—3.21 1.18	10.85—16.00 13.69	0.28—3.55 0.96	0.602.00 1.15	9.67—17.24 13.33	—
二、钒渣								
攀钢	22.88	35.72	0.344	10.69	19.87	0.057	*	〔7〕
南非	27.80 25.40	22.40 (FeO) 26.03	0.50 4.65	17.30 14.80	13.00 —	— 0.02	*	〔8〕
下塔吉尔	16—19	39—47	<1.5	17—20	10—15	<0.09	*	〔9〕
承钢	17.15—17.50	—	微—0.65	12.52—25.25	11.9—19.2	0.071	*	〔10〕

* 渣中V_2O_5为不可溶的，需经细磨，配加钠盐，经回转窑氧化钠化焙烧转化为可溶性。

13.4%左右，比普通钒渣为低。但上述渣中五氧化二钒为可溶性钒酸钠，钒转化率大于99.4%，因此可不经配加钠盐在回转窑内焙烧而直接水浸提钒。和钒渣比，渣中TFe和MFe极低，因此本工艺有可能大大减少铁损，提高金属收得率。多数炉次的渣量为每吨铁水约35公斤。

（二）低硫含钒铁水予处理—半钢无渣炼钢半工业性联动试验

在予处理单体试验基础上，做了六炉低硫含钒铁水予处理—半钢氧气底吹转炉无渣炼钢半工业性联动试验。图2为8135炉试验过程中金属成份和温度的变化情况。该炉装入量为1.9吨。经14分钟处理后，半钢含3.72%[c]、0.118%[v]、0.021%[p]、0.023%[s]，碳氧化率为10.4%，脱钒率为68.1%，脱磷率为64.4%、脱硫率为69.6%。半钢温度为1300℃。扒除含钒钠化渣后，半钢立即兑入氧气底吹转炉，不加造渣剂吹炼成钢。由吹炼过程中

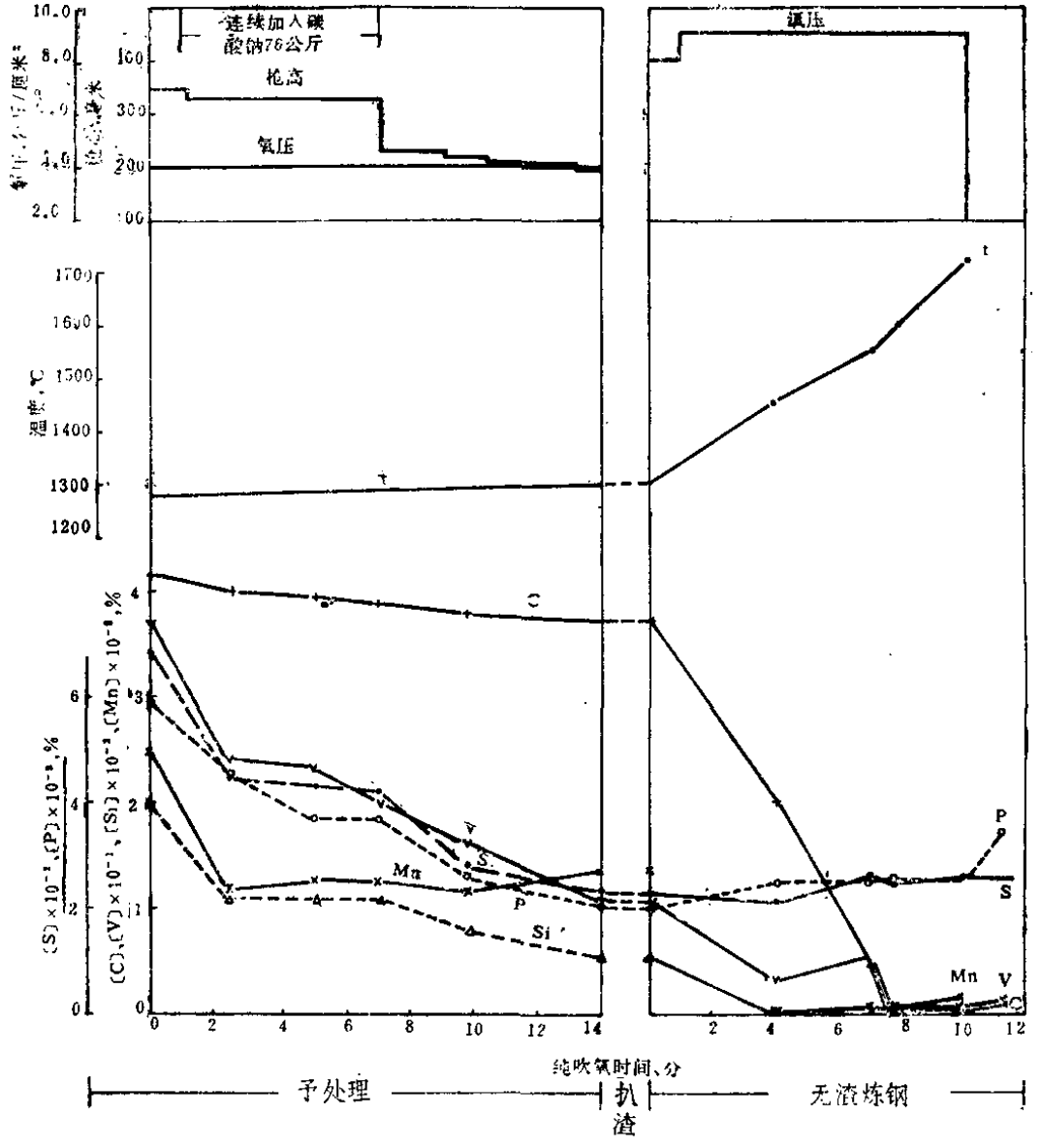


图2　予处理—无渣炼钢过程中金属主要成分及温度变化（8135炉）

硫和磷的变化曲线可见，基本上不发生回磷回硫现象，终点钢水磷和硫含量均为0.025%，温度为1720℃。经炉内加锰铁予脱氧，鼓氮去氢后，包内加铁合金脱氧、合金化，加焦炭粉增碳，然后浇成四寸锭。浇注样含磷量为0.034%，含硫量为0.025%，符合成品钢规格要求。半钢无渣炼钢吹炼过程平稳，不发生喷溅。

全部六炉联动试验结果见图3。由图可见，铁水平均温度为1265℃，半钢平均温度为1280℃，终点钢水平均温度为1695℃，满足浇注要求。铁水平均含磷量为0.056%，半钢平均含磷量为0.016%，终点钢水平均含磷量为0.022%，发生少量回磷。成品钢含磷量为0.026%，虽然继续回磷，但成品钢磷含量仍较规格低很多。铁水平均含硫量为0.068%，半钢平均含硫量为0.020%，终点钢水平均含硫量为0.025%，吹炼过程发生少量回硫。增碳合金化时继续回硫，成品钢平均含硫量增到0.029%。回磷回硫现象的发生，主要是由于含钒钠化渣（平均渣中含有1.89%S和1.15%P）扒不尽和焦炭（含有0.5%S）增硫引起的。只要彻底扒除钠化渣和使用低硫优质增碳剂，上述增硫磷现象是完全可以减轻和克服的。也可造少量渣来避免吹炼过程增磷和硫，尤其是应用氧气顶吹转炉吹炼时，造少量渣可避免粘枪粘炉肩。钒的情况是，直到成品钢才稍有回钒，成品钢中钒含量不高，平均为0.011%。

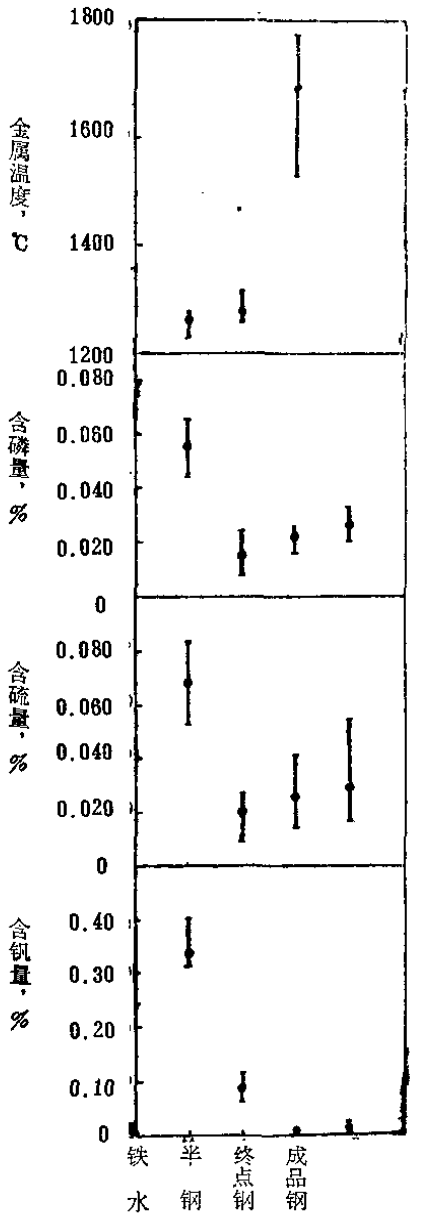


图3 予处理—半钢无渣炼钢联动试验过程铁水、半钢、终点钢水和成品钢温度、含磷量、含硫量和含钒量的变化（共六炉）

联动试验第8125和8126炉钢锭经加热锻造成φ25毫米圆棒，加工成试样做拉力和冲击性能检验，结果列于表4。由表可见，除8125炉伸长率略偏低外，其它指标均大大超过部标同类钢标准。可以认为无渣炼钢法炼成的钢的机械性能符合国家要求。

从钢材上取气体样，用SQM型脉冲加热气相色谱仪分析得钢中气体含量如表5。由表可见，钢中〔O〕和〔N〕含量是比较低的，而〔H〕含量因为是锻件上取样，存放时间较久，又经加热锻造，氢已扩散，故未测出。

钢材拉力和冲击试验结果　　表4

炉号	应力，公斤/毫米²		塑性指标		冲击韧性	备注
	物理屈服σ_s	抗拉强度σ_b	伸长率δ %	收缩率Ψ %	公斤—米/厘米²	
8125	38.5—45.0 42.5	55.5—57.5 56.8	24.0—28.0 26.0	62.0—63.0 62.4	16.2—25.0 19.6	15#优质钢
8126	32.0—42.0 38.3	50.0—55.3 52.3	28.0—31.0 29.8	62.5—64.0 63.3	15.1—18.7 17.7	20#优质钢

钢中气体含量表　　表5

炉号	〔O〕，%	〔N〕，%	〔H〕，PPm	备注
8125	0.0068—0.0099 0.0075	0.0073—0.0078 0.0076	痕迹	钢锭发现皮下气泡
8126	0.0025—0.0035 0.0031	0.0033—0.0062 0.0050	痕迹	—

三、分析与讨论

1. 钠系渣中钒、硫和磷的分配系数

根据热力学计算[1]，钠系渣的脱硫、脱磷能力要比钙系渣强得多，磷和硫的分配系数值分别比钙系渣大100—2000倍和100—1000倍。对攀钢低硫含钒铁水予处理试验数据的统计表明，当含钒钠化渣的硷度（Na_2O/SiO_2）值波动为2.5—4.7时：

钒分配系数(V)/〔V〕波动为56.9—168.0，平均为120.4。钒分配系数值与含钒钠化渣硷度之间关系见图4。该关系可用下式表示：

$$\frac{(V)}{[V]} = -9.97 + 37.08\frac{(Na_2O)}{(SiO_2)} \quad (1)$$

$n = 18$，$r = 0.718 > r_{0.01} = 0.590$

硫分配系数(S)/〔S〕波动为59.6—332.0，平均为164.5。硫分配系数值与含钒钠化渣硷度之间关系见图5。该关系可用下式表示：

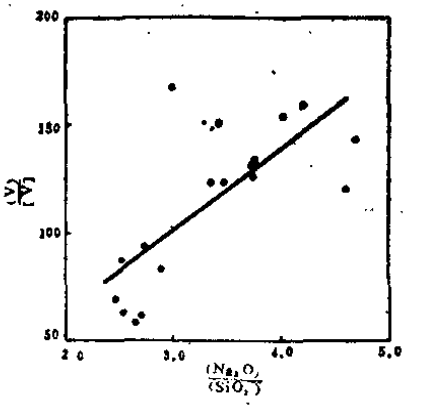


图4　钒分配值$\frac{(V)}{[V]}$与炉渣碱度$\frac{(Na_2O)}{(SiO_2)}$值之间的关系（低硫生铁）

$$\frac{(S)}{[S]} = -163.01 + 94.71\frac{(Na_2O)}{(SiO_2)} \quad (2)$$

$n = 18$，$r = 0.836 > r_{0.01} = 0.590$

磷分配系数(P)/〔P〕波动为62.5—230.0，平均124.2。磷分配系数与含钒钠化渣硷度之间关系见图6，该关系可用下

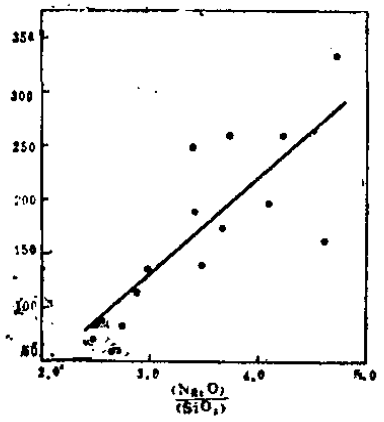


图5 硫分配值$\frac{(S)}{[S]}$与炉渣碱度$\frac{(Na_2O)}{(SiO_2)}$之间的关系

（低硫生铁）

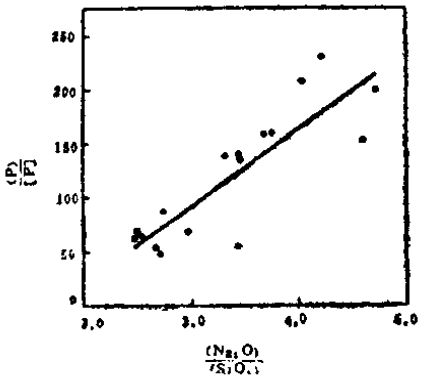


图6 磷分配值$\frac{(P)}{[P]}$与炉渣碱度$\frac{(Na_2O)}{(SiO_2)}$之间关系

（低硫生铁）

式表示：

$$\frac{(P)}{[P]} = -0.002 + 0.29\frac{(Na_2O)}{[SiO_2]} \quad (3)$$

$n = 18$，$r = 0.865 > r_{0.01} = 0.590$

显然，实验结果同样证明，钠系渣具有比钙系渣高的磷硫实际分配系数值。比如硫的分配系数，在氧气顶吹转炉炼钢（钙系渣）一般为7—8，最高为12—14，本试验（钠系渣）比它大十多倍。

不仅如此，在应用钠系渣予处理含钒铁水时，磷、硫和钒同时具有很高的分配系数值，这是本工艺区别于传统工艺的突出特征，也是本方法的最大优点，同样也是钠系渣有待进一步研究的课题。

2．予处理过程脱钒率与脱碳率，脱硫率和脱磷率之间的关系

高、低含钒生铁予处理终点脱钒率与脱碳率，脱硫率和脱磷率之间的关系如图7所示。由图可见，予处理终点脱钒率通常波动在66.1—85.3%，平均为78.9时；

脱碳率η_c波动为10.4—23.9%，平均为16.6%。脱碳率与脱钒率η_v之间的关系

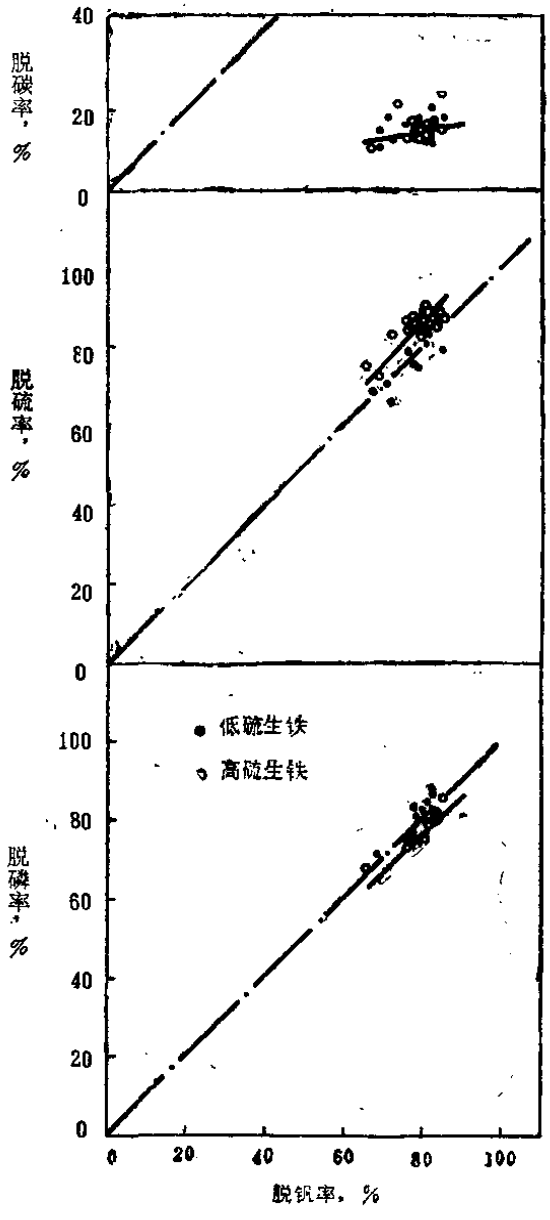


图7 脱钒率与脱磷率、脱硫率和脱碳率之间关系

可用下式表示：

$$\eta_c = -2.08 + 0.23\eta_v \qquad (4)$$

$$r0.378 > r_{0.05} = 0.361$$

可见，脱碳率远较脱钒率低，显然本方法能脱钒保碳，获得高碳低余钒的半钢，有利于半钢炼钢和钒的回收。

脱硫率η_s波动为69.6—90.5%，平均为83.0%。脱硫率与脱钒率之间关系可用下式表示：

$$\eta_s = 9.06 + 0.93\eta_v \qquad (5)$$

$$n = 30,\ r = 0.721 > r_{0.01} = 0.463$$

脱硫率略高于脱钒率，这说明在脱钒的同时，可以达到脱硫的目的，保证获得低硫低余钒优质半钢。

脱磷率η_p波动为47.4—87.5%，平均为76.4%。脱磷率与脱钒率之间的关系可用下式表示：

$$\eta_p = -1.30 + 0.98\eta_v \qquad (6)$$

$$n = 30,\ r = 0.548 > r_{0.01} = 0.463$$

脱磷率稍低于脱钒率，这种情况同样表明，在脱钒的同时可以达到脱磷的目的，获得低磷优质半钢。

上述终点脱钒率与脱碳率，脱磷率和脱硫率之间的关系，因为每一炉吹氧时间是一定的，同样表明脱钒速度与脱碳速度，脱硫速度和脱磷速度之间的关系。也就是说脱碳速度远低于脱钒速度，而脱硫速度略高于脱钒速度，脱磷速度稍低于脱钒速度。这种相互之间的关系，显示加碳酸钠吹氧予处理含钒铁水，就反应速度而言，可以达到保碳同时脱除钒磷硫的目的，为下一步炼钢提供含碳量高、低磷硫和低余钒的优质半钢。

3．无渣炼钢脱碳反应特性

氧气底吹转炉半钢无渣炼钢过程降碳曲线和降碳速度曲线见图 8 。图中同时列出了100吨氧气顶吹转炉半钢普通炼钢过程降碳曲线和降碳速度曲线。由图可见，本试验氧气底吹转炉无渣炼钢碳氧化曲线斜率比氧气顶吹转炉有渣炼钢的大，脱碳速度接近 4 倍。在如此高的脱碳速度下，吹炼平稳，不发生喷溅，因此应用氧气底吹转炉无渣炼钢法，有可能采用大的供氧强度（图中所列炉次供氧强度约 5 标米^3/吨分），缩短吹炼时间提高转炉生产率。

4．无渣炼钢升温过程特性

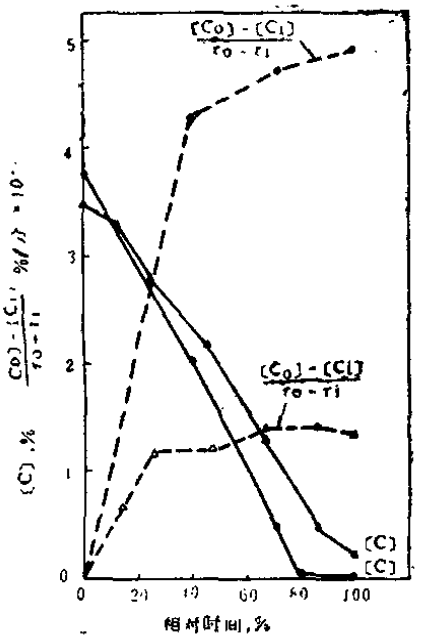
虽然本试验所采用的氧气底吹转炉仅1.5吨，相对散热面积很大，但由于无渣炼钢省去约占热总支出10%的造渣热和氧气底吹转炉有较高的热效率，不仅温度绝对值比100吨氧气顶吹转炉半钢有渣炼钢高，而且升温速度也比后者快得多，升温速度平均值比顶吹转炉有渣炼钢高约 4 倍（见图9）。这一特性对半钢炼钢发热元素不足的情况尤其可贵。它将为提高钢质量，扩大品种提供可能。

四、结　论

试验结果表明：

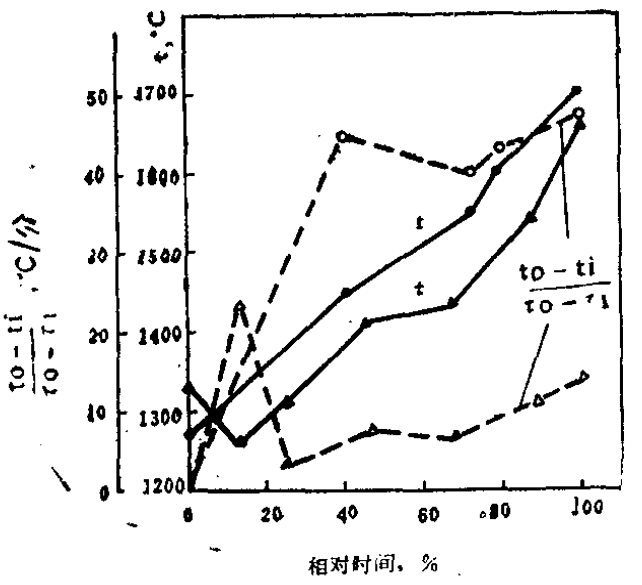
1．应用顶吹氧气配加碳酸钠予处理含钒铁水的方法，能有效地同时脱除铁水中钒、磷和硫，脱除率很高。因此，有利于钒的回收，并获得含碳高、含磷硫钒极低的优质半钢，甚至高硫（0.150%〔S〕）的含钒生铁，也可以获得含硫为0.025%的半钢。

这一特点对攀钢高钛型高炉渣冶炼钒钛磁铁矿炉渣脱硫能力低（硫分配系数仅7—8，而普通高炉渣硫分配系数为20—30）更有特殊意义。它有可能减轻甚至免除高炉脱硫任务，强化高炉冶炼，进一步提高高炉生产率；同时，可扩大焦煤使用范围，使用含硫量较高的煤种；并有可能使高炉采用超高型高钛渣（TiO_2≥



·——· 本试验、无渣炼钢
·—·—·
△——△文献〔11〕、普通有渣
▲——▲炼钢

图8 半钢普通有渣炼钢与本试验无渣炼钢碳氧化曲线比较



·——· 本试验、无渣炼钢
·—·—·
△——△文献〔11〕、普通有渣炼钢
▲——▲

图9 半钢炼钢普通有渣炼钢与本试验无渣炼钢温度曲线比较

35%）冶炼钒钛磁铁矿，高炉—转炉流程综合回收铁钒钛三元素成为现实。

鉴于云贵川贮有大量非焦用煤，但煤的含硫量很高（多数煤种大于1%），因此，非高炉直接还原冶炼钒钛磁铁矿流程，只有钒进铁相，然后和本工艺配套，即回转窑予还原—电高炉或矿热炉深度还原—含钒铁水予处理脱除钒磷硫—半钢无渣炼钢—深度还原渣提钛—含钒钠化渣提钒流程，才能发扬充分利用云贵川高硫非焦煤的优势，并大幅度地缩短流程，简化工艺，提高回收率，降低能耗，冶炼普碳钢和优质钢，综合回收铁钒钛。

2．上述高碳低磷硫优质半钢，采用无渣炼钢法在氧气底吹转炉内炼成了优质钢。经机械性能检验，达到部颁标准要求；钢中氮氧含量低，无渣炼钢过程平稳，无喷溅，工艺简单，操作方便，并能采用大供氧强度强化冶炼，提高转炉生产率和金属回收率；不造渣从而节约转炉热总支出10%左右的造渣热支出，为转炉多吃废钢创造条件；同时可以省去高位料仓，降低厂房高度，减少基建投资，不用或少用渣料能降低炼钢成本，减少出渣量，缩小渣场，减轻污染。

显然，无渣炼钢法或少渣炼钢法对攀钢完善氧气顶吹转炉炼钢，降低成本，提高质量，扩大品种是有益的。而半钢氧气底吹转炉无渣炼钢法可作为攀钢改造和攀钢二基地建设的推荐方案。

3．含钒钠化渣含V_2O_5达13.33%，渣中钒为可溶性钒酸钠，钒转化率大于99%，浸出率大于96%，水溶性极好。因此，含钒钠化渣可以不经回转窑氧化钠化

焙烧，直接水浸提取五氧化二钒。从而能大幅度缩短水法提钒流程，省去细破、配料和回转窑焙烧设备，减少基建投资，提高钒回收率，降低能耗，降低成本。

总之，含钒铁水予处理同时脱除钒、磷和硫—半钢无渣炼钢—含钒钠化渣直接水浸提钒新流程，可以沿用现有设备，有可能成为大规模开发攀枝花钒钛磁铁矿，实现综合回收铁钒钛的更有效的新途径。

参　考　文　献

〔1〕大谷正康等，铁与钢（日文），1980，№8，A137—140.

〔2〕水渡英昭等，金属学会会报（日本），1979，№7，P490.

〔3〕钱家树等，钢铁钒钛，1980，№4，P82.

〔4〕曹洪文等，化工冶金，1980，№2，P89.

〔5〕曹洪文等，钢铁钒钛，1981，№4，P14.

〔6〕钱家树等，攀研院内部资料.

〔7〕沈润华等，钢铁钒钛，1980.№4，P36.

〔8〕J.Iron and Steel Inst，1970.4.P336—341.

〔9〕М.П.квитко等，《кислородно—конвертеный процесс》，москва，《МЕТАЛЛУРГИЯ》，1974.

〔10〕攀枝花钢铁研究院，吹钒理论与实践，1977.

〔11〕山本里见，钢与铁（日文），1979，№4，S210.

〔12〕МЕТАЛЛУРГ，1968，№9.