攀钢高炉配加白马矿冶炼试验*

执笔 盛世雄

（攀钢炼铁厂）

本文概述了1983年在攀钢高炉上进行的以白马钒钛磁铁块矿代替普通块矿的冶炼试验，分析了热制度、造渣制度对生铁含钒和炉渣脱硫能力等的影响，讨论了技术经济可行性。试验表明，用白马块矿代替部分普通块矿冶炼，在工艺技术上无特殊困难，生铁含钒增加，产量略有降低，焦比略有升高，综合经济效益是合适的，从而为高炉全钒钛矿冶炼探索了途径。

一、前 言

攀钢高炉自1978年起，在冶炼钒钛磁铁矿的炉料结构中，采取以钒钛烧结矿为主，配加部分普通块矿（10—15%）的方法，调整钛渣性能，解决了泡沫渣涨罐对冶炼的影响，生产技术经济指标得到大幅度的提高。1980年下半年开始，又采用在烧结料中配入6%普通矿富矿粉，同时将料批中的普通块矿减为6%的配比，进一步获得了满意的效果。然而，普通块矿和矿粉都缺乏稳定的矿源，且品种杂、波动大、价格高。同时，由于入炉原料总钒量降低，生铁含钒相应也有所降低，对铁水提钒、获得高品位的钒渣不利。为克服上述缺点，探索新的炉料结构途径，特别是全钒钛矿冶炼的途径，1983年先后在攀钢1#、2#高炉进行了以白马矿代替普通块矿的冶炼试验。

白马矿是攀西地区钒钛磁铁矿的矿山之一，尚未开发。在主要的两个矿段（及及坪和田家村）的地表风化带中有含铁41～45%的富矿，其V_2O_5含量为0.4～0.5%，与钒钛烧结矿相当（见表1）。按高炉配用10%、年产生铁200万吨计算，可供攀钢高炉20年之用。矿山至厂区运距120km（其中公路运输约20km）。矿石价格预计可比现用普通块矿低10～15元/吨。

根据实验室试验提供的资料[1]，白马矿有较好的消泡作用，在高炉冶炼中配加白马矿代替普通富块矿，一方面希望同样有消除泡沫渣的作用，能保证高炉顺行、稳定，获得较好指标，以解决普通矿矿源困难的问题；另方面，配用白马矿后炉料带入钒量增加，希冀提高生铁含钒，增加经济效益。这是试验白马矿冶炼的目的。

二、试验概况

1#高炉配加白马矿冶炼试验的试验期从1983年2月1日开始至4月3日更换小钟休风止。其中2月1—9日配加普通块矿，作为基准期。2月11日～3月22日为正式试验期。3月26日～4月3日为对比

*参加本试验的有：攀钢炼铁厂、钢研所、科技处、总调度室，昆明冶金研究所，攀研院。本试验成果已于1983年12月通过冶金部鉴定

期。对比期的目的是在停止加白马矿改用普通矿后，继续观察比较二者对冶炼影响的特性，以补充基准期时间短的不足。

攀钢1#高炉有效容积1000m³。炉体曾于1982年8月中修后全部更新炉衬，故炉型完好。设备上的主要缺陷是由于中修时铁口砌砖处理不当，以致开炉后不久就发生铁口穿漏，造成经常性对生产影响的不利因素。

高炉使用的风机2月1日～3月5日为2#风机，系捷克制TK—215型，最大入炉风量只能达1900Nm³/min，强化冶炼受到限制。3月5日～4月3日换用4#大风机，为国产Z3250—46型，风量可满足高炉的需要。

试验开始之前炉况顺行，生产正常。

基准期2月1～9日，入炉原料结构为93%烧结矿配加7%元谋块矿（块矿配比波动在7～7.5%，平均7.15%），烧结矿的含铁料组成为95%钒钛磁铁精矿加5%大宝山普通矿粉（3月16～31日为昆明矿粉，4月1～3日为凤云矿粉）。元谋矿为不含钒钛的普通褐铁矿，平均品位45.13%（见表1）。基准期中2月1～7日

1#高炉白马矿冶炼试验期间原料分析　　表1

矿种＼成份，%	TFe	FeO	Fe_2O_3	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	V_2O_5	TiO_2	MnO	P	S	R	烧损
烧结矿	45.64	8.23	54.98	10.65	6.09	4.75	3.11	0.45	10.26	0.33	<0.01	0.030	1.75	
白马矿	43.58	23.76	36.23	1.66	12.39	5.30	6.32	0.46	10.52	0.43	0.015	0.033		1.80
元谋矿	45.13	0.06	64.34	0.93	18.08	3.67	0.51			1.45	0.041	0.014		
会理矿	56.15	8.69	67.80	0.19	11.38	1.04	0.21			0.31	0.154	0.043		
石灰石	1.78			50.09	1.36	0.57	2.36			0.05	<0.01	0.053		41.91

高炉稳定顺行，操作事故和设备事故均少，煤气利用较好，各主要技术经济指标达到了配加普通矿冶炼的高水平，利用系数1.865（1～9日为1.802），焦比596kg，一级品率40.84%，硫、钒合格率59.43%。

2月8日因卷扬故障造成高炉低料线达330min，9日检修设备进行准备，休风125min。10日夜班开始变料，11日变料全部下达。炉料由90.5%的烧结矿和9.5%的白马矿组成。由于白马矿比元谋矿含CaO高，含SiO_2低，在保持烧结矿成份不变而不致影响2#、3#高炉正常生产的提前下，就需要增加块矿配比，以调剂炉渣碱度在合适范围内，所以用9.5%的白马矿代替7%的元谋矿。

试验第一周（2月11～17日）炉况顺行，产量高，利用系数平均达1.860，但焦比较基准期升高约12kg，核算渣量增加约20kg，这与白马矿品位低和块矿配比增大有关。生铁含钒由平均0.341%增至0.356%。

由于高炉操作对配加白马矿后的冶炼特性尚未能完全适应，2月18～19日出现炉况失常、崩滑料及出粘渣现象，产量下降。经调剂，20日后恢复正常。此后，自2月25日至3月8日的12天中，由于铁口频繁发生故障，出现护板刷坏，铁口穿漏事故，于2月25日、3月1日、7日三次休风处理。加以2#风机风量不足，在炉况顺行要求加风时风机已无潜力，使强度受限。故此段时期产量不高，利用系数平均仅1.646。3月8日以后，炉况稳定，设备事故影响大大减少。3月5日换用4#风机，风

量完全满足要求。高炉操作在适应了白马矿特性后，操作技术水平明显提高，炉温波动小，基本上控制在合适的范围内；加之调整了适宜的负荷，这样就出现了持续稳定半个月的高产期。从3月9日至22日的两周中，平均利用系数达1.872，焦比615kg，S、V合格率51.95%。3月24日因白马矿用完，变会理矿，试验告一段落。

对比期3月26日～4月3日，在炉料中配加8%会理矿。会理矿是普通磁铁矿，品位较高，TFe=56.15%，因而焦比由试验期平均619kg降至609kg。对比期保持了较高的产量水平，利用系数1.879，与白马矿冶炼大风机高产期相当。但实物质量有所下降，硫、钒合格率和一级品率降低。主要原因是生铁含钒量降低和低炉温炉次较多的缘故。

各项技术经济指标见表2。为便于比较，其中分列了用小风机和大风机两段时期的指标，并将有设备事故休风天数和扣除后的指标也列出。在计算生铁含钒的各有关指标时，〔V〕<0.30%的炉次均作为炉外脱硫予以扣除。

三、冶炼制度

1.装料制度

基准期的装料程序为：

2A+B+C

A=AKAK　　B=KAKA

C=AKKKAP

式中，K—焦炭　　A—烧结矿

P—天然块矿

料线1.7m　　旋转布料6×60°

其煤气曲线见图1。

综合CO_2=16.27%。

2月10日开始配加白马矿后，装料制度仍保持不变。由于煤气曲线不够理想，边沿和中心未形成两道合适的稳定煤气流，综合CO_2有所下降。16日改为2A+2B+C，料线仍为1.7m。18日炉况失常，改装料制度为A+2B+C。炉况恢复后，煤气曲线中心漏斗很深。22日起又改为2A+2B+C，至3月9日。3月10日改2A+B+C，料线1.6m。目的是想适当地加重中心和发展边沿。这种装料制度保持到3月21日。为了进一步改善煤气利用，3月22日起又改为3A+B+C。改制后综合CO_2有所提高，达16%以上。此后直至试验完结，未再改变装料制度。

各时期的煤气曲线见图1～4。可以看出，对1#高炉，合适的煤气曲线是中心CO_2比边沿低2%±的“双峰形曲线”。白马矿冶炼的高产时期以及指标较好的基准期和对比期都属这种类型。而低产期和炉况失常期则在中心形成了很深的漏斗。

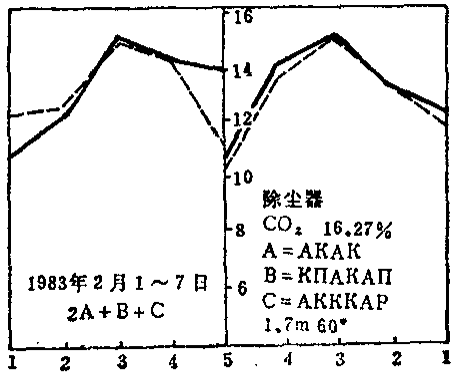

图1　基准期煤气曲线

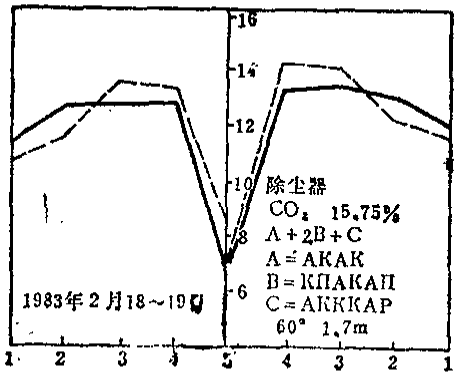

图2　白马矿冶炼失常期煤气曲线

1# 高炉配加白马矿冶炼试验指标

表2

时间＼项目		平均日产量 t	生铁合格率 %	(V、S)合格率, %	利用系数 t/m³·d	冶炼强度 t/m³·d	焦比 kg/t	风量 m³/min	风温 ℃	炉顶压力 kg/cm²	透气性指数	块矿比 %	核算渣量 kg/t	钒回收率 %
基准期	1—9/2	1802.4	98.99	63.12	1.802	1.128	600	1830	1046	1.18	1505	7.15	857	64.49
	1—7/2	1865	98.7	59.43	1.865	1.135	596	1864	1051	1.22	1493	7.19	855	64.59
试验期	11/2—22/3	1766	100	54.31	1.766	1.096	619	1877	1022	1.17	1621	9.40	876	62.88
	11/2—5/3 全期	1725.7	100	57.24	1.726	1.130	623	1816	1020	1.17	1598	9.34		63.25
	11/2—5/3 扣出25/2、1/3	1773.8	100	55.35	1.774	1.170	623	1851	1023	1.20	1591	9.27		63.33
	6/3—22/3 全期	1824.3	100	50.47	1.824	1.120	613	2079	1043	1.21	1731	10 08		62.02
	6/3—22/3 扣出7/3	1851.0	100	51.23	1.851	1.208	613	2105	1048	1.23	1739	10.08		62.15
对比期26/3—3/4		1879.0	100	38.92	1.879	1.145	609	2032	1077	1.20	1649	7.80		65.34

续表2

时间＼项目		铁损 %	Ls	硫负荷 kg/t	生铁成份, % (V)	(Ti)	(S)	炉渣成份, % (TiO_2)	($\frac{CaO}{SiO_2}$)	渣流动性, mm 上渣	下渣	下渣温度 ℃	备注
基准期	1—9/2	6.71	6.43	3.73	0.341	0.135	0.057	22.92	1.09	248	149	1403	2# 风机
	1—7/2	6.59	6.32	3.68	0.341	0.131	0.057	22.76	1.09	250	148	1403	〃
试验期	11/2—22/3	6.49	6.51	3.83	0.353	0.148	0.059	24.78	1.10	262	207	1406	〃
	11/2—5/3 全期	6.79	6.67	3.83	0.353	0.152	0.057	24.85	1.10	264	203	1405	〃
	11/2—5/3 扣出25/2、1/3	6.73	6.55	3.83	0.353	0.151	0.058	24.82	1.10	264	204	1406	〃
	6/3—22/3 全期	6.08	6.29	3.83	0.352	0.142	0.061	24.65	1.10	260	212	1407	4# 风机
	6/3—22/3 扣出7/3	6.50	6.33	3.86	0.352	0.143	0.060	24.65	1.10	260	216	1408	〃
对比期26/3—3/4		6.54	6.03	3.70	0.332	0.136	0.063	23.60	1.10	258	181	1409	〃

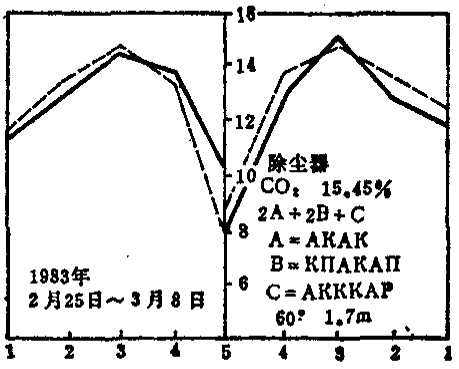

图3 白马矿冶炼低产期煤气曲线

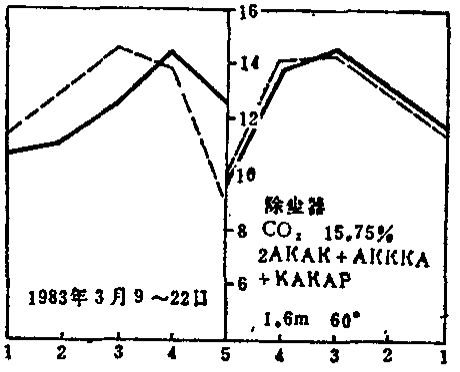

图4 白马矿冶炼大风机高产期煤气曲线

白马矿冶炼期，料柱透气性有所改善，透气性指数比配普通块矿时提高，这可能与白马矿粒度较均匀和配比增大有关。

2.热制度

试验方案预定基准期及试验初期炉温控制范围为〔Ti〕=0.12～0.18%，以后再根据具体情况加以调整。试验各时期的实际操作炉温分布如图5。可看出，冶炼白马矿在使用大风机获得高产期中，炉温在〔Ti〕=0.10～0.15%范围最多，占总炉次的44.39%。此外产量较高的基准期和对比期，炉温分布在这个区间也最多。可以认为，控制〔Ti〕在0.10～0.15%，对冶炼白马矿获得高产是有利的炉温。其次为〔Ti〕=0.15～0.20%和0.05～0.10%，出现的比例大致相当。〔Ti〕<0.05%和>0.20%的极端炉温都较少。总的看来，试验前期炉温较高，如第一周平均〔Ti〕=0.156%，后期则逐渐压低至0.142%。基准期和对比期都低于此水平，分别为0.135%和0.136%。

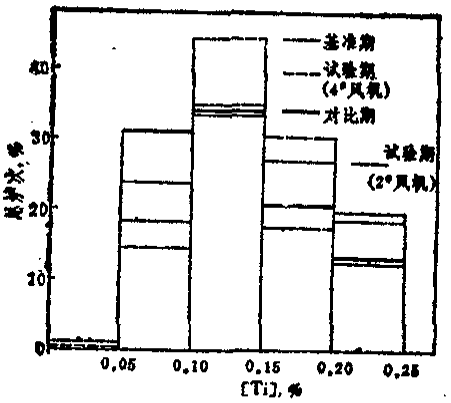

图5 试验各时期操作炉温的分布

焦炭负荷基准期平均3.50。试验初期负荷较轻，为3.40±。3月9日以后，逐渐调整负荷，增加到平均3.45±，创造了高产的指标。前期负荷偏轻，不仅对降低焦比不利，而且由于风温留有较大调节余地，容易引起操作上的大幅度调剂，对稳定炉况不利。

配加白马矿冶炼，炉渣、铁水的温度与配加普通矿时稍有提高，平均约高3～4℃。用微型铂铑热电偶测得：

$t_{铁水}=1397℃$　　$t_{炉渣}=1406℃$

配加普通矿时：

$t_{铁水}=1394℃$　$t_{炉渣}=1402℃$

根据分析结果，随生铁含Ti、V的增加，铁水、炉渣温度有所升高(图6、7)。

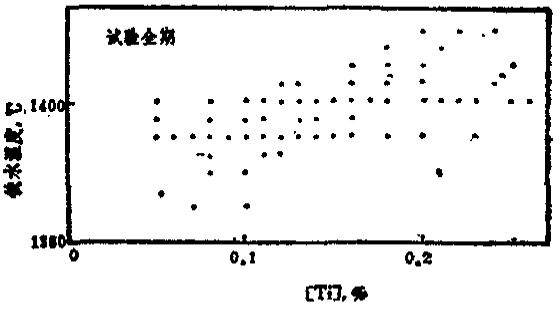

图6 铁温与生铁含Ti的关系

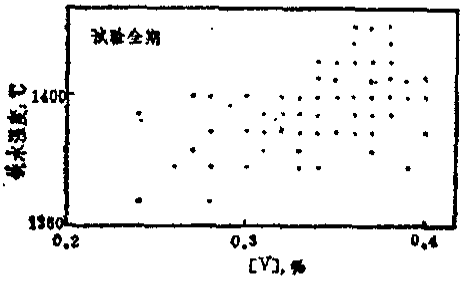

图7　铁温与生铁含钒的关系

3.造渣制度

试验方案预定炉渣碱度（R）控制在CaO/SiO_2=1.07～1.15范围，块矿配比以不加石灰石为原则。实际操作情况表明，炉渣碱度基本控制在预定范围内。图8是试验各时期炉渣碱度的分布情况。可以看出，碱度为1.05～1.15的炉次占总炉次的80%，R=1.00～1.05和R=1.16～1.20两个区间之和的炉次约为18%，其余不到2%。

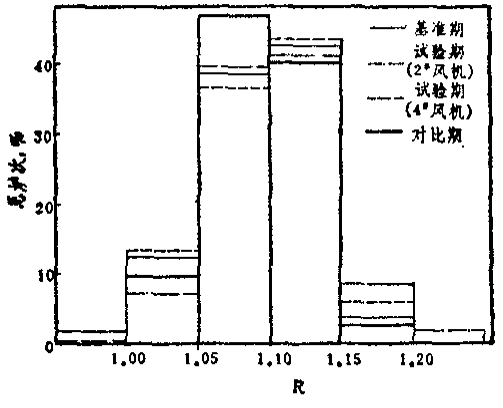

图8　试验各时期炉渣碱度的分布

渣中TiO_2的含量，加白马矿比加元谋矿和会理矿平均升高1.60%。随着渣中TiO_2升高，泡沫渣涨罐现象增长，同时炉渣粘沟严重，炉前清理渣铁沟劳动量增加。从铸模测流动性看，加白马矿炉渣流动性增长（见表2），但实际沟中粘渣量增加，这可能是由于渣中TiO_2升高后，高温结晶的矿物钙钛矿$CaO·TiO_2$等增多，使得高钛渣的“短渣”特性愈益显著的缘故。

4.脱硫能力分析

配加白马矿和配加普通矿比较，炉渣脱硫能力变化不大。在相同的炉温和碱度情况下，S分配系数Ls大体相当。

图9、10、11、12分别为配加元谋矿、白马矿冶炼时，在一定碱度下Ls与〔Ti〕的关系图。可以看出，在一定的炉渣碱度下，Ls随炉温升高而增大；在相同炉温水平下，碱度高的炉渣则Ls数值相应要大一些，符合一般规律。根据相关分析，影响脱S能力的主要因素是炉温，其次为碱度。

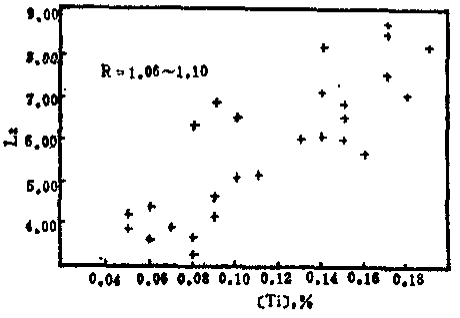

图9　配加元谋矿冶炼Ls与〔Ti〕的关系

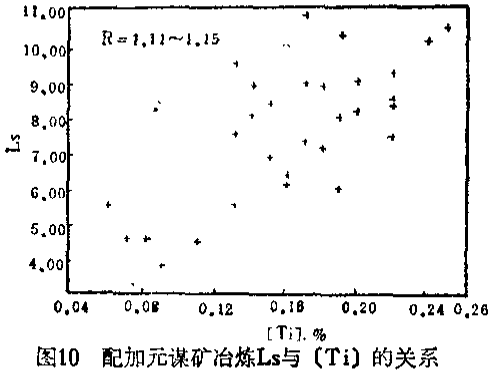

图10　配加元谋矿冶炼Ls与〔Ti〕的关系

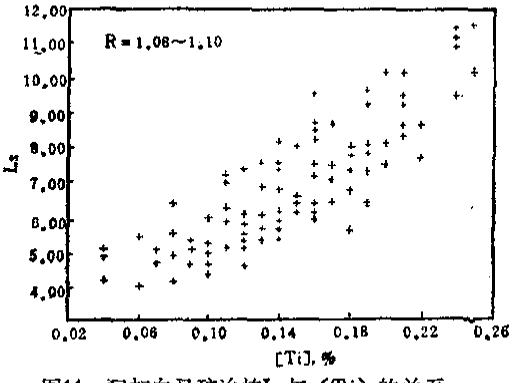

图11　配加白马矿冶炼Ls与〔Ti〕的关系

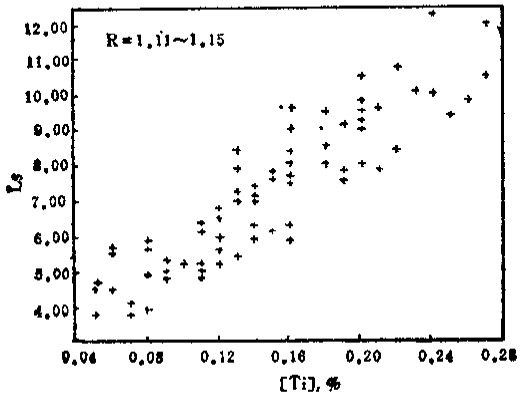

图12 配加白马矿冶炼Ls与〔Ti〕的关系

对白马矿冶炼期炉温〔Ti〕对脱S系数Ls的影响作回归分析。选R在一定范围，作一元回归估算预示方程得出：

当$R\left(\frac{CaO}{SiO_2}\right)=1.06\sim1.10$时，

$Ls=2.7596+26.7571〔Ti〕$

当$R=1.11\sim1.15$时，

$Ls=3.3227+25.0678〔Ti〕$

从表2各时期生铁一级品率及S、V合格率的变化看出，试验期比基准期有所下降，其主要原因是硫负荷增大，因焦炭带入硫量增加所致。对比期又较试验期实物质量降低，这主要是因为操作炉温低的缘故。

5.增钒分析

配加白马矿代替普通富块矿，每吨铁炉料带入的钒量增加0.340～0.535kg。

生铁含V增加0.012～0.021%，平均0.017%。V回收率试验期约下降2%(表3)。

炉料及生铁含钒量　　表3

项目 / 时间	吨铁原料含V量，kg	生铁含V，%	V回收率，%
基准期（元谋矿）	5.273	0.341	64.49
试验期（白马矿）	5.610	0.353	62.88
对比期（会理矿）	5.075	0.332	65.34

从生铁含〔Ti〕与〔V〕分布的对应图13、14可看出，含〔Ti〕高则含〔V〕也升高，但就产量而言，在〔Ti〕为0.10～0.15%范围最高，这就与〔V〕的增加有矛盾。但总的看来，〔Ti〕>0.20%是不适宜的，因此时高炉顺行将难以保持，出渣出铁困难，产量会显著下降。

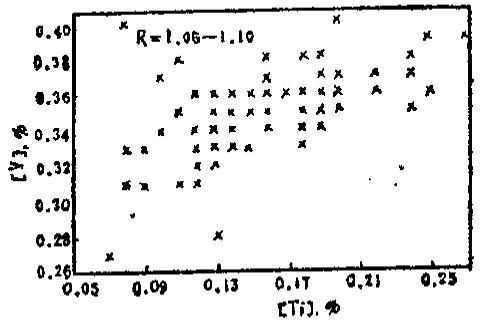

图13 炉温对生铁含V的影响

图13、14是固定R在一定范围，分析生铁含V与炉温的关系做出。

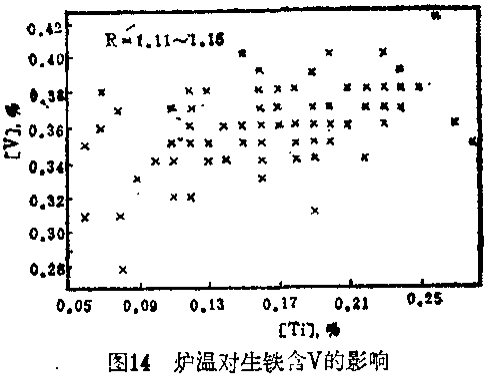

图14 炉温对生铁含V的影响

作〔V〕与〔Ti〕的回归分析得出：

在$R=1.06\sim1.10$时，

$〔V〕=0.2893+0.3766〔Ti〕$

在$R=1.11\sim1.15$时，

〔V〕=0.2948+0.3759〔Ti〕

此外，除了炉温，碱度对生铁含V也有一定影响。当炉温在固定条件下时，随着炉渣碱度增高，生铁含V也有所增加，但趋势不如炉温影响明显。

四、技术经济可行性讨论

就1#高炉配加白马矿冶炼42天的情况看，在渣中TiO_2平均24.78%的条件下，以白马矿代替普通块矿是可以为高炉所接受的，从冶炼工艺上看是可行的，技术上无特殊困难。

从2#高炉1983年6月份试验情况看，在使用两座热风炉期间，渣中TiO_2平均24.91%的条件下，配加白马矿对冶炼的影响大致与1#高炉试验时相似，带来的不利因素是泡沫渣涨罐增长，炉渣粘沟严重，炉前劳动量加大。2#高炉涨罐比1#高炉显著，下渣几乎每炉都涨罐，必须打泥。上渣在炉温高时也出现涨罐。这可能与2#高炉炉缸直径大1m和炉缸特性结构差异有关。但在使用两座热风炉期间，维持正常冶炼过程还是可行的。

7月初2#高炉使用三座热风炉后，风温由平均765℃提高到999℃，负荷由3.11[4]增至3.307，焦比下降，渣量减少，加以烧结矿TiO_2含量有所增加，使渣中TiO_2升高到平均25.71%（最高天达26.29%），生产出现很大困难，炉渣粘沟，结壳严重，在主沟中炉渣就溢出沟沿，出渣出铁不能保持正常操作，导致出铁晚点甚至丢铁次，渣铁出不净，又引起风压高、减风、炉况不顺，以及其它原因，使试验未再继续进行。看来配加白马矿在渣中TiO_2过高的情况下，若无其它措施，将给正常生产带来困难。

就经济效益分析，配加白马矿后各有利弊。

其收益方面是：

（1）增钒：试验期生铁含钒平均升高0.017%，使钒渣产量增加，品位提高；

（2）原料费节省：白马矿预计每吨35元，比现用普通富块矿约低15元。

其亏损方面是：

（1）燃料费增加：由于白马矿品位较低，核算渣量增加20kg，使焦比升高约10kg（1.6%）；

（2）矿耗增加：普通块矿平均TFe=48%，白马矿TFe=43.58%，使矿耗增加15.9kg/tFe；

（3）产量减少：按1#高炉试验大风机条件下，白马矿与会理矿冶炼比较，产量降低28t/d。每吨铁可生产钢材0.7吨，每吨钢材公司可获利润78元。

计算盈亏各项，如按每年产铁200万吨水平，则以白马矿代替普通矿，公司综合经济效益为每年可增收289万元〔2〕（计算过程从略）。

五、结　语

1.通过攀钢高炉初步工业生产试验的分析，配用白马矿有以下冶炼规律：

（1）与配普通矿比较炉渣脱硫能力变化不大，Ls随〔Ti〕、(R)的升高而增大，其中炉温的影响为主要因素，其次为碱度。

（2）生铁含钒随〔Ti〕升高而增加。碱度提高也可增钒，但不如炉温影响显著。

（3）炉温在〔Ti〕=0.10～0.15%范围内高炉产量最高。

（4）铁水、炉渣的温度比配用普通矿时平均提高3～4℃。

（5）泡沫渣现象增长。即使在渣中TiO_2相同的情况下，配用白马矿也比配

（下转第18页）

时间有较大的影响。如何保证α是值得注意的课题。

3.高炉喷吹煤粉条件下，允许燃尽时间波动于0.02～0.3秒之间，200目细度的煤粉是能满足要求的。但高炉喷煤的粒度不能大于0.5mm。

参 考 文 献

〔1〕许晋源等，燃烧学，机械工业出版社，1980年.

〔2〕赖岩等，冶金反应工程学，科学出版社，1981年.

〔3〕黄希祜，钢铁冶金原理，冶金工业出版社，1981年.

〔4〕Oeters, F., 炼铁学（内部讲义），董一诚等译，北京钢铁学院翻印.

〔5〕吉林大学等，物理化学，人民教育出版社，1979年.

〔6〕Beer, J.M.and Chigier, N.A., Combustion Aerodynamics, 1972, Applied Science Publisher's Ltd, London.

（上接第8页）

普通矿渣罐涨罐显著。

2.配用白马矿后，生铁含钒提高，焦比略有升高，产量略有下降，综合经济效果初步估算每年约可增收289万元。

3.用白马矿代替普通矿冶炼在1#高炉条件下（渣中TiO_2平均24.78%，配加9.5%白马块矿）是可以为高炉所接受的，冶炼工艺方面无特殊技术困难，炉况稳定，各项技术经济指标保持较好的水平。但炉前劳动量增大，炉内操作难度也有所增加。

2#高炉7月份试验当渣中TiO_2升高到平均25.71%时，生产出现困难，炉前不能维持正常出渣出铁，导致炉况顺行受到影响。

4.鉴于现场生产中炉料的波动经常可能出现，当原料品位或TiO_2升高时，渣中TiO_2含量可能超过适宜的界限，而目前尚无可靠措施和技术手段保证，故若长期以白马矿取代全部普通块矿会给生产带来困难。建议以部分采用为宜，例如配加3～4%白马块矿，取代普通块矿的50%。

参 考 文 献

〔1〕曹质，探讨攀钢高炉"消泡增钒"途径，攀钢钢研所（内部资料）.

〔2〕攀钢高炉配加白马块矿代替普通富矿的冶炼试验技术鉴定证书冶金工业部..