1·5吨电弧炉高钒渣冶炼钒铁试验

黄正江　林文养

（攀枝花钢铁研究院）

采用高钒渣经予还原排除氧化铁和磷，硅铁还原、碳粉贫化、予渣精炼的冶炼钒铁工艺，得到了40%的钒铁。同现水法提取 V_2O_5，再冶炼钒铁工艺相比较，节省了大量化工原料，简化了工艺，降低了成本。此钒铁可以较广泛地应用于含钒低合金钢中，为我国钒铁的生产开辟了一条新路。

丰富的钒钛磁铁矿是建立和发展我国独特的合金钢体系的一个重要资源。但因钒铁生产流程复杂，价格昂贵，在使用上受到很大限制。因此，简化工艺、降低钒铁成本就成为具有现实意义的一个重大研究课题。

一九六九年，在锦州铁合金厂用唐山吹出的高钒渣进行了直接冶炼钒铁的试验。一九七三年开始用攀钢钒渣和含钒钢渣进行了一系列直接冶炼钒铁的试验[1]。

攀枝花钢铁研究院、中国科学院化冶所、攀钢钢研所、重庆钢铁设计院、马鞍山钢铁公司研究所等单位于一九八〇年九月至十二月又进行了“单渣返回”流程主要环节半工业试验。试验结果表明，高钒渣直接冶炼钒铁，采用碳粉予还原，再用予还原渣精炼的方案是可行的。得到了品位为40%的钒铁，钒的总回收率为84.93%。

一、试验条件和概况

（一）试验设备

试验是在攀研院410厂1800千伏安（切除部分二次线圈）电弧炉上进行的。二次电压127伏、210伏。

炉体：外径2310毫米，内径为1810毫米，极心园为680毫米。炉衬用镁砂、焦油、沥青打结。试验前，炉底和渣线用镁砂、卤水修补打结。

炉顶：予还原阶段用镁砂打结水冷炉顶。炼钒铁阶段用厚300毫米一级高铝砖炉顶。

（二）原料

钒渣成分（%）见表1。

钒　渣　成　分　表 1

成份	磁选铁	TFe	V_2O_5	MFe	SiO_2
%	16	33.36	35.02	11.36	16.95
	MgO	Cr_2O_3	MnO	P	TiO_2
	1.28	1.23	4.96	0.16	3.50

石灰成分（%）见表2。

石　灰　成　分　表 2

成份	CaO	挥发份	P	S
%	85.20	11.70	0.0047	0.54

焦粒、焦粉成分（%）见表 3。

焦粒、焦粉成分　表 3

成份	固定碳	挥发份	灰分	P	S	
%	65.21	5.94	28.85	0.14	0.53	焦粒
	83.40	1.45	15.15	0.08	0.504	焦粉

硅铁成分（%）见表 4。

硅铁成分　表 4

成份	Si	Mn	P	S
%	72.9	0.146	0.021	0.013

（三）试验概况

试验分两个阶段进行：

予还原阶段：每炉装 700 公斤高钒渣，碱度（CaO/SiO_2）按 1.2 配入石灰加 2～5 毫米的焦粒，得到含 TFe 在 6～10% 的予还原渣（以下简称予渣）。予还原共做 29 炉，得予渣 17.635 吨，分离铁 6.708 吨。

炼钒铁阶段：每炉装予渣 300～500 公斤，按碱度 2.1～2.3 配加石灰。用硅铁还原—焦粉贫化—予渣精炼。冶炼钒铁 35 炉，消耗予渣 14.73 吨。共出钒铁 20 炉（其中三炉未精炼）。实得钒铁 6.098 吨，折合 40% 钒铁 5.854 吨。

二、试验结果

（一）钒铁品位

试验结果：予渣中金属铁平均为 2.16%；钒铁平均含钒 38.92%，精炼炉次钒铁平均含钒 40.37%；分离铁中钒平均为 0.46%；贫渣中五氧化二钒平均为 1.77%，采用新鲜石灰后，贫渣中五氧化二钒平均为 0.78%。钒铁中锰、铬很稳定，但硅和磷偏高。贫渣中五氧化二钒仍需降低。

钒的平衡及回收率

予还原阶段钒回收率为 95.26%；冶炼钒铁阶段钒回收率为 89.18%。

钒的总平衡（相对值）如表 5。

钒的总平衡　表 5

收入	支　出			
高钒渣中钒 %	钒总回收率 %	贫渣中钒 %	分离铁中钒 %	差额 %
100	0.9526×89.18 =84.93	0.9526×10.81 =10.30	1.01	3.76

（二）冶炼过程中金属和渣中主要成分的变迁。

予还原过程中金属及熔渣主要成分及温度的典型变化如图 1。

予还原阶段主要还原反应在熔化期已经完成。如果配炭量合适，熔清后即可出渣。从图 1 可见，熔清时 TFe 偏高，当加入少量炭粉后，渣中 C、MFe 急剧上升，然后又急剧下降；TFe 逐渐下降，P 微降，V_2O_5 有所下降后上升，其它成分不变。经 7～15 分钟炭粉反应结束，金属珠的下沉也基本结束。因此，补加炭粉后 15 分钟即可出渣。

在出渣过程中 V_2O_5 显著下降，P 则有上升。如全炉次的炉前终点样的 V_2O_5 平均为 32.88%，P 平均为 0.069%。全炉次的炉后样的平均值分别为 30.30% 和 0.084%。予渣混合后的试样分别为 32.55% 和 0.087%。炉后样与终点样相比较，磷看来是上升了。其原因是：在出渣过程中，随熔池内的渣面下降，炉坡

和炉墙物料脱落浮在熔池表面或熔化随渣流出或扒出，因此，V_2O_5的分析值显著下降，P则增高。

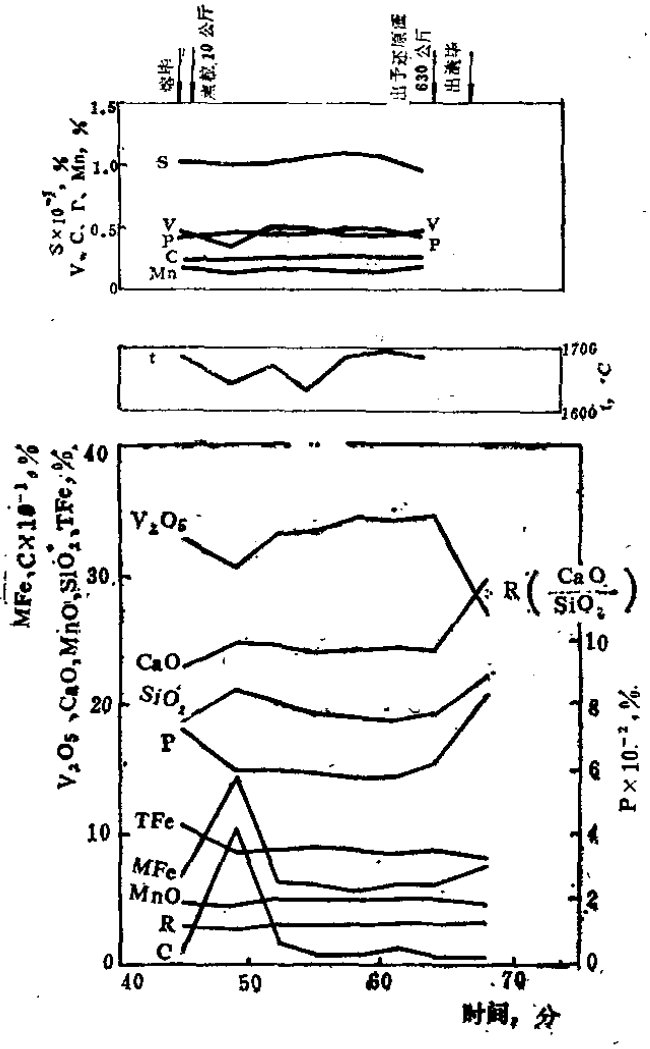

图 1 予还原过程金属、熔渣中主要成分及温度的变化
（炉号 Ch 22，装炉：高钒渣 1,000kg、石灰 230 kg、焦粒 33 kg）

冶炼钒铁过程中金属和熔渣主要成分及温度的典型变化如图 2 所示。

从图 2 可见，予渣熔毕，渣中 TFe、MnO 与予渣比较已处于低水平，V_2O_5已降至 10.00% 以下。除熔剂稀释作用外，这是在熔化过程中各氧化物与予渣中残余炭、电极和熔池中残留金属进行反应的结果。随着硅铁的加入，V_2O_5逐渐下降，渣中 P 也下降。而金属中 Si、Ti 急剧上升，钒则随 Si 的急剧升高而下降。碳粉贫化时SiO_2略有升高，TiO_2略降。

加入予渣后，在熔化期，金属中Si、Ti显著下降，V则有上升，P亦有上升；渣中 TFe 已降至低水平。熔清至出炉时，随着搅拌的进行，Si、Ti则下降，V、P继续上升；渣中SiO_2、TiO_2升高，碱度降到 1.4 左右。

综上所述，可以用多炉出一次钒铁的方法，出铁前，这一炉采用下一炉的予渣精炼，以达到降 Si、Ti 简化工艺之目的。

（四）主要物料消耗和电耗

本次试验属于半工业单体试验，主要技术经济指标有待工业试验确定。总的说来，电耗偏高，其实耗统计如表 6。

单位电耗和物料消耗（按40%钒铁一吨计） 表 6

品名	焦粒	石灰	硅铁	电极	电耗
单耗	公斤/吨				度/吨
	236	2664	443	72	12380

三、分析和讨论

高钒渣直接冶炼钒铁的主要关键是：①钒回收率要高；②钒铁中磷要低；③钒铁中硅、钛要低于要求限度，并稳定在一定范围内。现就这三个问题分别讨论如下：

（一）钒回收率

钒回收率主要决定于：①钒的机械损失；②分离铁中钒；③贫渣中V_2O_5。第一项是属于技术装备和管理问题。这里仅就各种工艺参数对②、③项的影响分析如

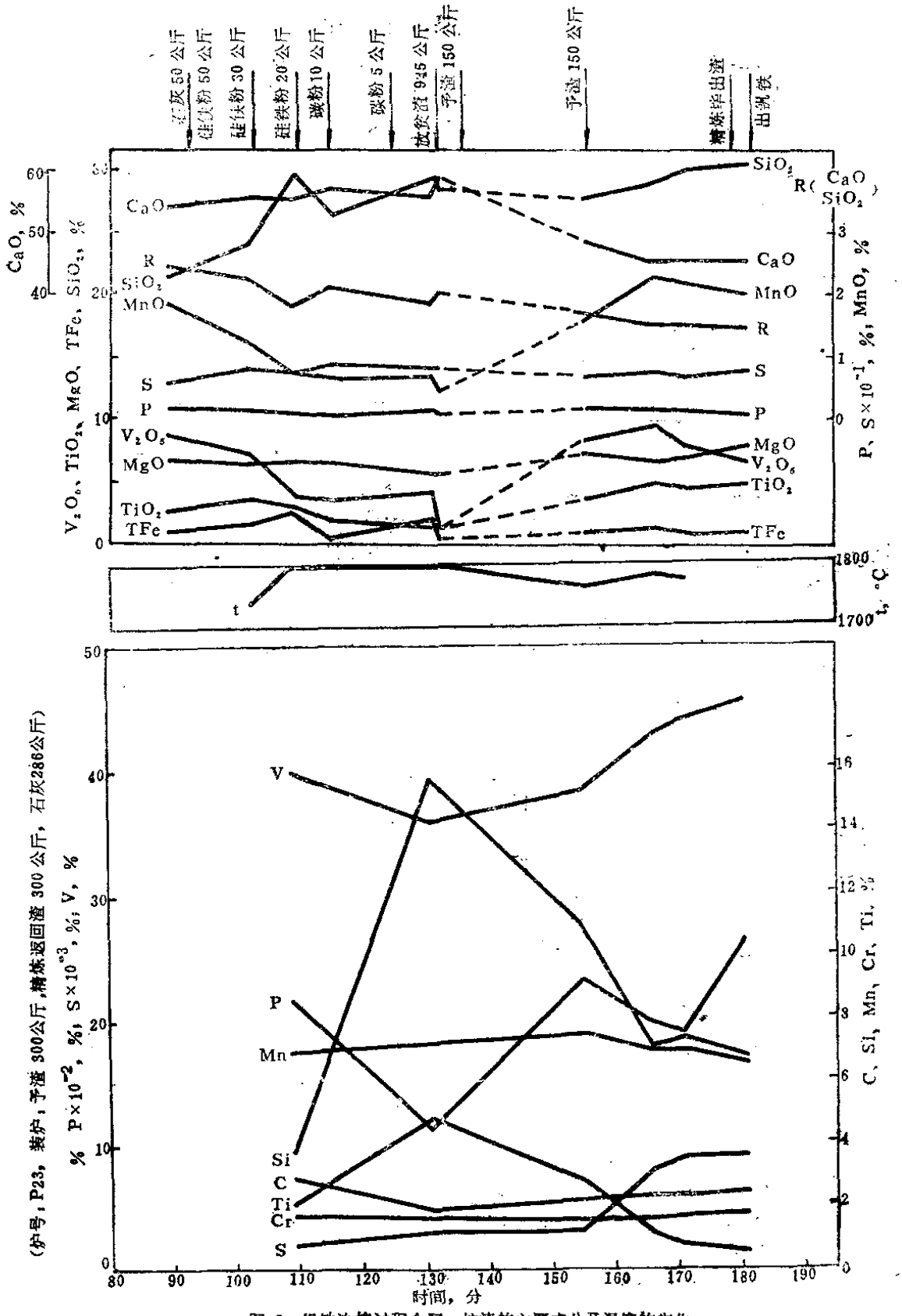

图 2　钒铁冶炼过程金属、熔渣的主要成分及温度的变化

下：

1. 分离铁中的钒是随着〔C〕的增加而增加。还原剂过量时，分离铁中的C高，V就高。予渣中的V_2O_5，随终点温度的升高而下降。在冶炼过程中，金属中钒是随渣中TFe的下降而上升的。当TFe在6～7%时分离铁中V只有0.7%左右。分离铁中终点钒和终点渣中TFe的关系与予还原过程金属中〔V〕和渣中(TFe)的关系一样，分离铁中的V是随予渣终点TFe的下降而上升。而分离铁中V则随碱度的升高而升高。

综上所述，采用低碱度操作，控制适当的终点温度，掌握合适的碳粉加入量，并以TFe作为控制指标，则可以有效地控制分离铁中钒，避免大量跑钒。

2. 贫渣中V_2O_5

采用消化石灰时，贫渣中V_2O_5波动在0.09%～5.75%之间，其平均为1.77%。采用新鲜石灰后，V_2O_5波动在0.09%～2.66%，其平均为0.78%。由此可见，此次试验受石灰影响很大。贫渣中V_2O_5小于1%的炉次占42.86%。说明用硅还原，碳粉贫化的冶炼工艺可以将V_2O_5降到1%以下。另外，渣中V_2O_5随TFe、MnO的下降而下降。要保证V_2O_5小于1%，渣中TFe、MnO含量要小于0.4%。

贫渣中V_2O_5随金属中Si的上升而下降。要V_2O_5低于1%，金属中Si必须大于7%，控制在8%左右为宜。贫渣中V_2O_5和碱度的关系表明，在试验的碱度值范围内；碱度以最低值1.8～1.9为佳。这个结果同小型试验[2]的结果是一致的。

综上所述，若碱度在1.8～2.0，渣中TFe、MnO小于0.4%，金属中的硅含量在8%左右，就能有效地控制渣的贫化，使V_2O_5小于1%。

（二）钒铁中磷

尽管选用了低磷石灰和碳粉，钒铁中磷还会被予渣带入，而贫渣只带走了23%。因此，降低予渣中磷就成了控制钒铁中磷的主要手段。

影响予渣中磷的主要因素是碱度、渣中TFe和温度，予渣中P随TFe的降低而降低。当TFe<7%时，则P<0.06%。予渣中P随温度的升高而降低。小型试验[2]证明，在较低碱度下进行予还原时，当TFe在4.4～12.84%，其平均为7.76%时，则可得含P平均为0.024%的予渣。

本次试验得到的钒铁，含磷量波动在0.22～0.32%范围内，平均为0.266%。磷偏高的原因正如前面所述，是由于放予渣过程中带入了“生渣”和“半生渣”。另一方面是TFe控制偏高。

从试验中可看到，“保钒”和“去磷”是矛盾的。权衡得失，在予还原过程中采用低碱度、控制TFe在6～7%是能将钒铁中磷降到0.2%以下的。

（三）钒铁中的硅、钛

控制钒铁中的硅、钛，除了在还原期限制硅、钛进入金属的数量，并稳定在一定范围外。还应采用精炼脱硅钛的工艺，以降低硅、钛并稳定在一定范围内。

精炼期配加予渣的计算是按还原终点硅量为6%予计的，并从炉前分析渣中V_2O_5<1%作还原期的终点。但实际上是以渣的颜色作为判断终点的依据。因此，还原终点金属中硅含量波动极大。所以，加入精炼的予渣未按实际需要配加，因而硅含量高达3%以上。尽管如此，钒铁中Si小于3%的炉次仍占35%。

经过精炼后V、P、C有所上升，而Ti大幅度下降，Si也有较大幅度的下

（下转第41页）

得当时，可达最佳节能效果，否则不是节电效果不显著，就是耗气量太多，均不能达到最佳节能效果。

已有的试验生产表明：喷咀过大（如在我们试验条件下，喷咀d大小3.5毫米）耗气量太多，或间断生产时预热时间过长（如我们试验条件下，长于2～3小时）对进一步缩短冶炼时间、降低电耗均无明显作用，只是多耗费燃气而已；喷咀设计不合理，或燃气压力过低（在我们试验条件下，低于3～4公斤/厘米^2），就不能保证吸入足量空气，燃烧不完全，助熔效果降低；装料时要保证炉门和出钢口有一定的燃气通道，使燃气通入炉料下部，到达炉子中心，否则火焰进不去，减低助熔效果；还要使炉料间有一定的小空隙形成无数燃烧室，并避免在炉膛内很快形成从上到下的直通道，从而缩短火焰在炉内的行程，降低炉料的吸热速度（但只要装料时，大、中、小料适当配分、分布，这些问题都易于解决，并不给装料工作带来大的不便或增加工作量）；电极与电极孔间的缝隙有时稍感不足，修炉时可根据燃气类别和空气是否富氧，适当加宽5～15毫米。

高压喷咀噪音较大，需进一步改进喷咀，减少噪音。

现有电炉结构基本上能适应燃气助熔需要，但为了进一步提高助熔效果和便于控制，可以探讨在炉子结构上作一些小的改变。

（上接第53页）

降，达到了精炼效果。因此，加入足够的精炼的予渣，适当延长精炼时间，加强搅拌，增加反应速度，是脱Si、Ti的必要条件。

四、结　论

1. 高钒渣直接冶炼钒铁，采用碳粉予还原，予渣精炼的方案在工艺上是可行的。得到了40%的钒铁，且成份较稳定。从高钒渣到钒铁总回收率为84.93%。

2. 予还原操作稳定，渣铁分离良好。予渣无明显铁珠，金属铁平均为2.16%，分离铁中钒平均为0.46%，予渣中磷平均为0.069%。

3. 冶炼钒铁。采用硅还原，碳粉贫化的工艺是经济有效的。在采用消化石灰的不利条件下，仍有42.66%炉次的V_2O_5小于1%，并消除了钒铁“趴底”、“粒化”和“粉化”等现象。贫渣、精渣不夹铁，渣铁分离良好。

4. 精炼效果明显。钛能降低到0.035%，平均为0.50%。钒铁中Si<3%的炉次占35%。并提高了钒铁品位，使其钒平均含量为40.37%。

5. 钒铁中磷含量偏高，平均为0.266%。但平均值与苏联钒铁标准Вд3相接近，仍有广泛的用途。通过分析，已基本建立了磷与工艺参数之间的关系。

参　考　文　献

[1] 攀钢钢研所，钒渣直接冶炼钒铁综述及我们的意见，1977年12月。
[2] 攀研院，王珑滋 24千伏安电炉高钒渣直接冶炼钒铁实验室试验，1981年3月。