

# 铁水预处理 提钒讲课稿

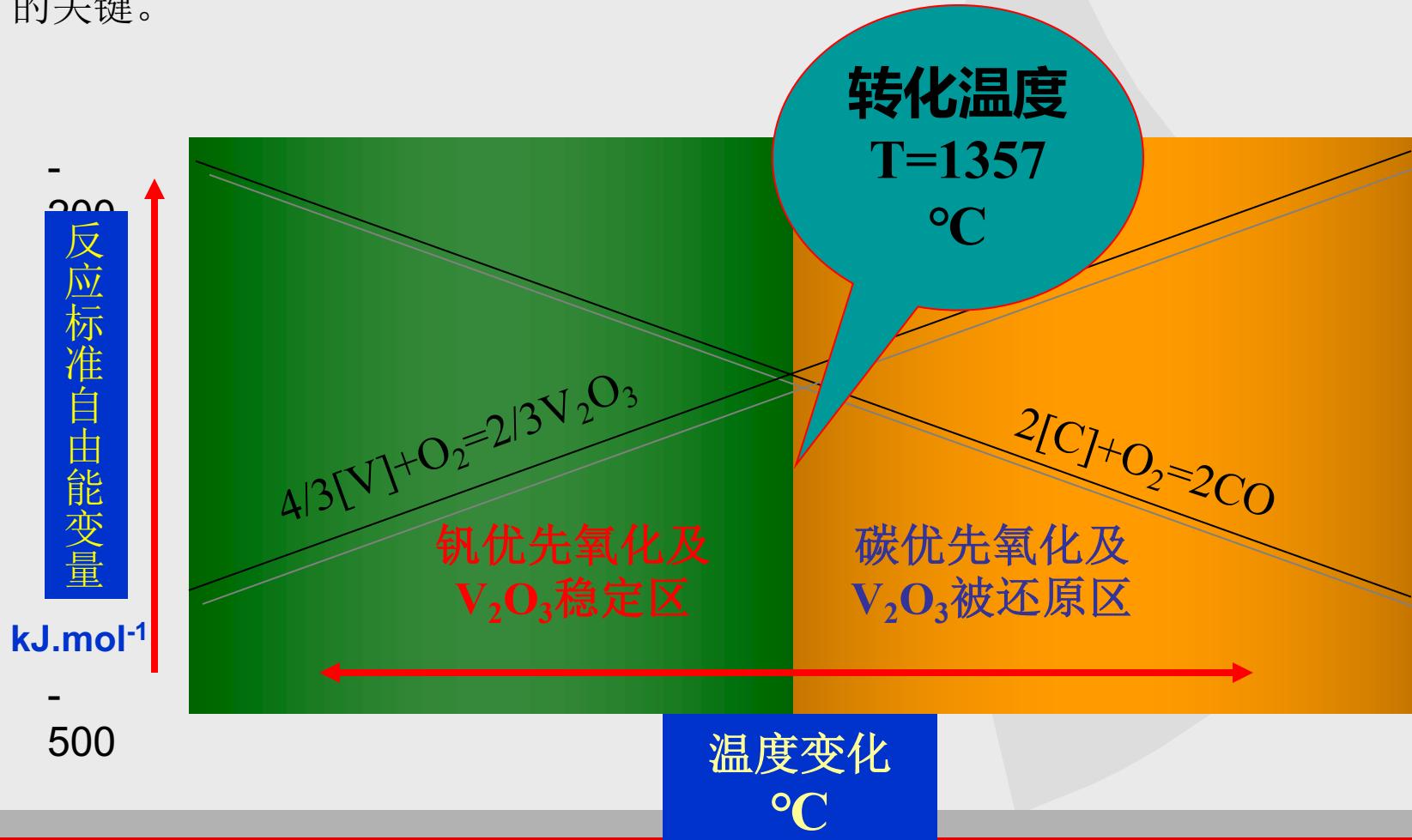
## 目 录

- 一、转炉提钒基本原理**
- 二、转炉提钒基本工艺**
- 三、影响提钒的主要因素**
- 四、转炉提钒主要技术经济指标**
- 五、攀钢转炉提钒技术介绍**
- 六、铁水提钒工艺的比较**

# 一、转炉提钒基本原理

提钒过程是铁水中铁、钒、碳、硅、锰、钛、磷、硫等元素的氧化反应过程，这些元素的氧化反应进行的速度取决于铁水本身的化学成份、吹钒时的热力学和动力学条件。在氧势图中，碳氧势线与钒氧势线有一个交点，此点对应的温度称为碳钒转化温度。低于此温度，钒优先于碳氧化，高于此温度，碳优先于钒氧化。提钒就是利用选择氧化的原理，采用高速纯氧射流在顶吹转炉中对含钒铁水进行搅拌，将铁水中的钒氧化成高价稳定的钒氧化物制取钒渣的一种物理化学反应过程。在反应过程中通过加入冷却剂控制熔池温度在碳钒转换温度以下，达到“去钒保碳”的目的。实际吹钒过程的转化温度，随着铁水中的钒浓度升高和氧分压的增大，转化温度略有升高。同时随着铁液中的[V]浓度降低，即半钢中余钒含量越低，转化温度越低，保碳就越难。因此脱钒到一定程度后，若要求半钢温度较高时，则只有多氧化一部分碳的条件下才能做到。实际吹钒温度控制在1340 ~ 1400℃范围内。

铁水中钒、碳氧化存在一转化温度，因此，如何控制炉内温度是提高钒氧化率的关键。



# 1、铁质初渣与金属熔体间的氧化反应

铁水中的铁在吹钒初期强烈氧化并形成铁质初渣。这是提钒操作的主要特点。当铁质渣出现在表面上以后，由于其具有氧化性，在金属—渣界面上随即进行了如下的质量交换的氧化反应：



例如：

- $(FeO) + 2/3[V] = [Fe] + 1/3 (V_2O_3)$
- $(FeO) + 1/2[Si] = [Fe] + 1/2 (SiO_2)$

## 2、转炉提钒脱钒规律

吹炼前期，熔池处于“纯脱钒”状态，脱钒量占总提钒量的70%，进入中后期，碳氧化逐渐处于优先，而且钒含量降低，脱钒速度也随着降低。

### 3. 转炉提钒脱碳规律

在熔池区域，碳的氧化按下列发生进行：



在射流区域，碳的氧化按下列发生进行：

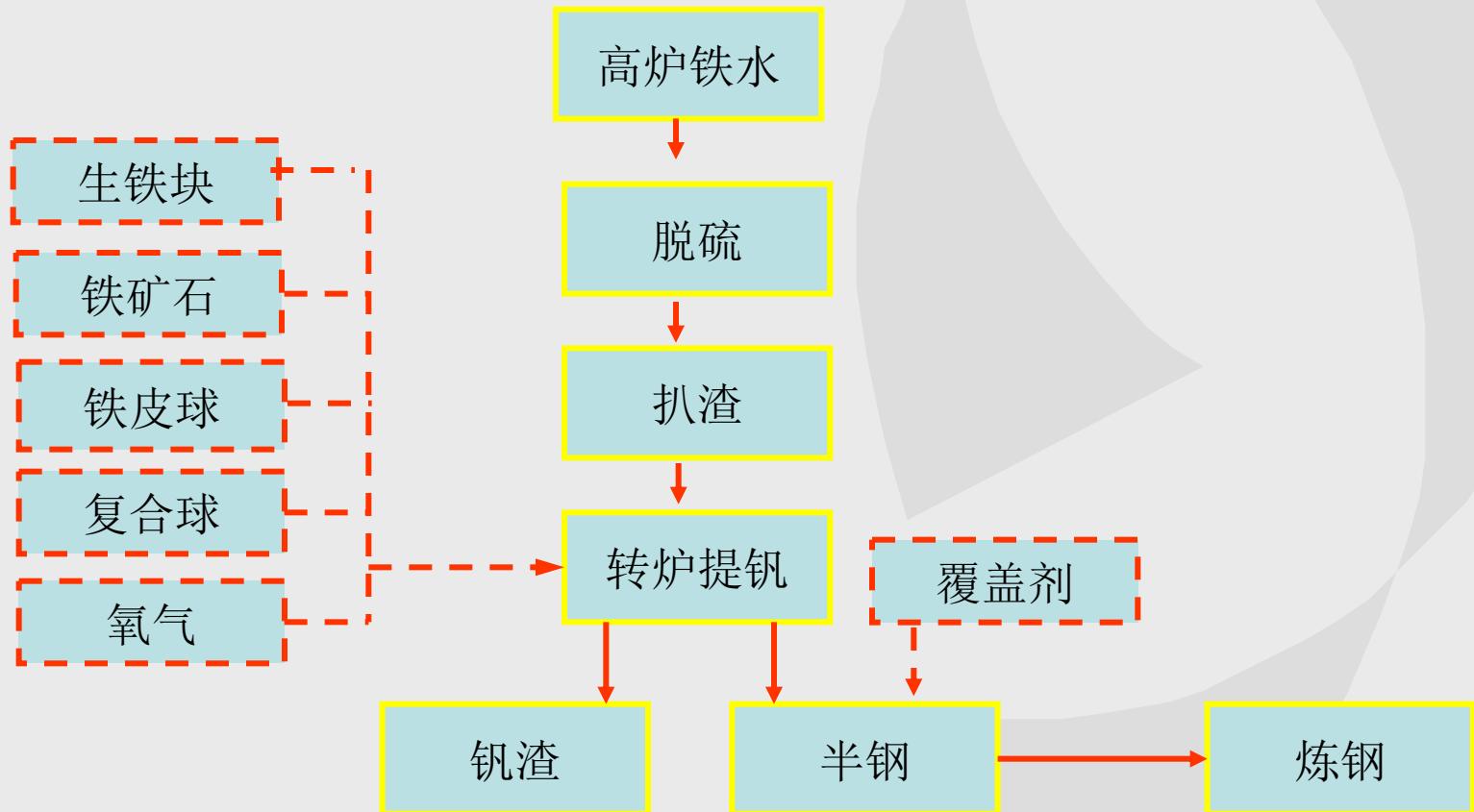


在吹炼前期，脱碳较少，反应速度较低，中后期脱碳速度明显加快，在此期间碳氧化率达70%。另外在倒炉及出半钢期间，也有少量碳的氧化。

## 二、转炉提钒基本工艺



# 转炉提钒工艺流程



# 转炉提钒工艺制度

- 装入制度
- 供氧制度
- 冷却制度
- 终点控制

## 1、装入制度

- **装入制度**：就是确定转炉合理的铁水重量和合适的生铁块量，以保证转炉提钒过程的正常进行。
- **装入量**：装入量是指转炉冶炼中每炉装入的金属总重量，主要包括铁水和生铁块。

在确定合理的装入量时，必须综合考虑以下因素：

- **炉容比。** 炉容比是指转炉新砌砖后转炉内部自由空间的容积(V)与金属装入量(T)之比，以V / T表示，单位m<sup>3</sup>/t。
- **熔池深度。** 承德建龙转炉的熔池深度为1.0 ~ 1.1m。
- **入炼钢炉的装入量。** 为了保证每炉半钢尽可能的一一对应转炉炼钢，减少半钢组罐，因此提钒转炉的装入量应尽可能的接近炼钢炉装入量。

## 2、供氧制度

- **转炉提钒的供氧制度**：就是使氧气流股合理的供给熔池，以及确定合理的喷头结构、供氧强度、供氧压力、氧枪枪位，为熔池创造良好的物理化学反应条件。供氧制度的主要参数有氧气流量、氧气压力、供氧枪位、吹氧时间以及喷头形状等，是控制吹钒过程的中心环节。
- **耗氧量**：是指将1吨含钒铁水吹炼成半钢时所需的氧量，单位为m<sup>3</sup>/t。  
一般根据不同的铁水成分和吹炼方式，耗氧量有很大差异，同时耗氧量的多少也影响着半钢中的碳和余钒的多少，还与供氧强度和搅拌情况有关，是交互作用的。

- **供氧强度**：单位时间内每吨金属的耗氧量，单位为(标态) $m^3 / (t \cdot min)$ 。供氧强度的大小影响吹钒过程的氧化反应程度，过大时喷溅严重，过小时反应速度慢。吹炼时间长，会造成熔池温度升高，超过转化温度，导致脱碳反应急剧加速，半钢残钒量重新升高。一般在吹氧初期可提高供氧强度，后期减少。
- **氧气工作压**：氧气工作压力是指氧气测定点的压力，也就是氧气进入喷枪前管道的压力，它不是喷头前的压力，更不是氧气出口压力。氧压高对熔池搅拌大，化学反应和升温速度较快。氧压小则形成了软吹，渣中 $(FeO)$ 高，温度和成份不均匀，易烧伤氧枪喷头。

在同样的供氧量的条件下，供氧压力大可加强熔池搅拌，强化动力学条件，有利于提高钒等元素的氧化速度。

- **氧气流量**：氧气流量指单位时间内向熔池供氧的数量，单位为m<sup>3</sup>/min。氧气流量大使反应和升温加快，钒得不到充分氧化，过小的流量使供氧强度不够，搅拌不力，反应不能进行完全。
- **氧枪枪位**：是指氧枪喷头顶端与熔池平静液面的距离，它是吹炼过程调节最灵活的参数。氧枪枪位可以分为实际枪位，显示枪位，标准枪位。
- **实际枪位**：是指某时刻的枪头距平静液面的高度，它与氧枪的位置和装入量及熔池直径有关。

## 氧枪枪位控制主要考虑的因素：

- 1、保证氧气射流有一定的冲击面积；
- 2、保证氧气射流在不损坏炉底的前提下有足够的冲击深度。

目前提钒转炉采用**恒压变枪，分阶段低—高—低枪位**的方式供氧操作方式。此操作方式的优点是操作简单、灵活，吹炼过程比较稳定。提钒纯供氧时间控制在5—6.5min左右。

### 3、冷却制度

- **提钒冷却制度**：就是确定合理的冷却剂加入数量、加入时间以及各种冷却剂加入的配比。转炉提钒加入冷却剂的目的是为了调节过程温度，防止过程温度上升过快，提高钒的氧化率，达到“去钒保碳”的目的。
- **冷却剂加料量的主要依据有**：装入量、入炉温度、冷却剂的冷却强度和已经加入生铁块重量等。
- **冷却剂加入时间控制**：1.能够降低前期升温速度，2.保证冷却剂在提钒终点时能够充分熔化。
- **冷却剂的加入方式及数量**：
- 用铁矿石、氧化铁皮、铁皮球、冷固球团、废钒渣、生铁块等作冷却剂。冷却剂必须在吹氧2分钟内加完。
- 兑铁后，生铁块、废钒渣用废钢槽由转炉炉口加入；铁矿石、氧化铁皮、铁皮球、冷固球团从炉顶料仓加入炉内。生铁块、废钒渣在开吹前加完，废钒渣加入量 $\leq$ 2吨/炉。
- 提钒冷却剂加入量最多不超过2.5吨。
- 提钒用冷却剂冷却效应值比为铁块:废钒渣:冷固球团: 铁皮球 : 铁矿石 =1:1.5:3.5:5.0 : 5.6。

## 4、终点控制

- **提钒终点控制**：主要指半钢温度控制、半钢碳控制及钒渣（渣态、质量）控制三个方面。目前要求半钢温度控制在1340°C—1400°C，半钢碳含量≥3.5%，钒渣V2O5品位要求≥12.0%。
- **2-3炉倒一次钒渣的优点**：
  - 留渣操作可以使钒尖晶石进一步长大，有利于提高钒回收率；
  - 有利于铁在渣中沉降，降低(TFe)含量；
  - 加快了生产节奏，提高生产效率。

### 三、影响提钒的主要因素

# 影响转炉提钒的主要因素

- 铁水成份及温度的影响
- 吹炼终点温度的影响
- 冷却剂的种类、加入量和加入时间的影响
- 供氧制度的影响

# 1、铁水成份及温度的影响

- **铁水钒的影响**：铁水中原始钒含量高有利于钒渣 $V_2O_5$ 浓度的提高。
- **铁水硅的影响**：Si高抑制钒的氧化；Si氧化成渣对钒渣“稀释” $V_2O_5$ ；Si氧化放热使提钒所需的低温熔池环境时间缩短；铁水Si偏高时，渣态过稀，使出钢过程中钒渣的流失增加。

攀钢铁水Si上升对提钒工序的影响——从2005年元月份开始逐步增加酸性球团矿的配比料，铁水Si含量明显上升，今年1~2月份铁水Si含量平均为0.184%，比去年增加了0.03个百分点（见表1）。铁水Si含量上升后，不仅对钒渣的品位和产渣率有较大的影响，而且还导致提钒系统成本的增加，具体情况分析如下：

表1 2004年和2005年1、2月份铁水Si含量及对应的钒渣指标

项目	铁水Si %	钒渣罐样 $V_2O_5$ %	折合产渣率 %	冷却剂单耗 kg/吨铁	冷却剂成本 元/吨铁
2004年	0.155	16.23	3.71	18.57	6.5
1月	0.185	15.19	3.33	17.49	7.52
2月	0.183	15.13	3.38	18.29	7.99

## 1.对钒渣品位的影响

通过对2002-2004年钒渣V2O5含量和铁水Si含量的回归分析，可得到以下关系式： $V2O5 = -0.7314Si + 27.596$

由上式可知，在不考虑其它因素的情况下，铁水Si含量每增加0.01个百分点（1个Si），钒渣V2O5含量将降低0.73个百分点，根据以上回归分析和生产经验，可推算出不同铁水Si含量所对应的钒渣品位，见表2。

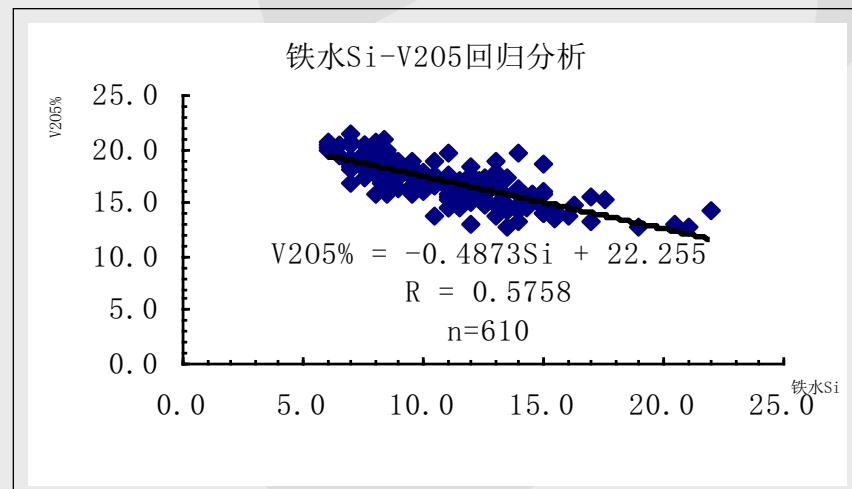
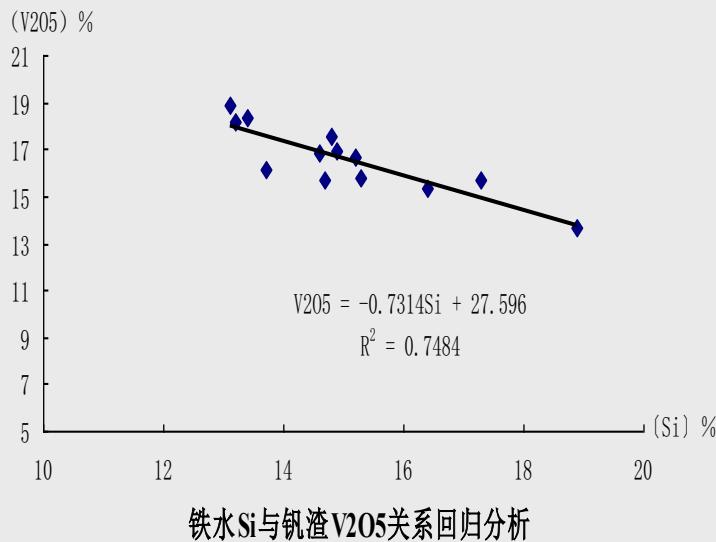


图1 铁水Si-V2O5回归分析图

表 2 不同铁水Si含量所对应的钒渣理论品位

铁水[Si]%( V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) %	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21
( V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) %	18	16	14	12	10

由上表可知，铁水Si含量在0.18%左右时，钒渣理论品位只能达到13%左右，通过减少冷却剂加入量来“浓缩”钒渣V2O5含量，钒渣品位可提高到14~15%左右，但钒渣产渣率明显下降。

## 2.对钒渣产渣率和渣态的影响

铁水中的Si氧化后生成SiO<sub>2</sub>，初渣中的SiO<sub>2</sub>与FeO、MnO等作用生成铁橄榄石等低熔点的硅酸盐相，从而使初渣的熔点降低，钒渣粘度下降，流动性增加。在铁水较[Si]低时（≤0.05%），通过向熔池配加一定量的SiO<sub>2</sub>，适度增加炉渣流动性，可避免渣态偏稠，有利于钒的氧化。但在铁水[Si]偏高（≥0.18%）时，由于渣中低熔点相过高，渣态过稀，反而会增加出钢过程中钒渣的流失。

由表1可知，2005年1、2月份的铁水Si含量达到0.18%时，钒渣产渣率仅为3.35%，比去年降低了0.4个百分点，按年处理提钒铁水400万吨计算，全年钒渣产量只能达到13万吨左右。

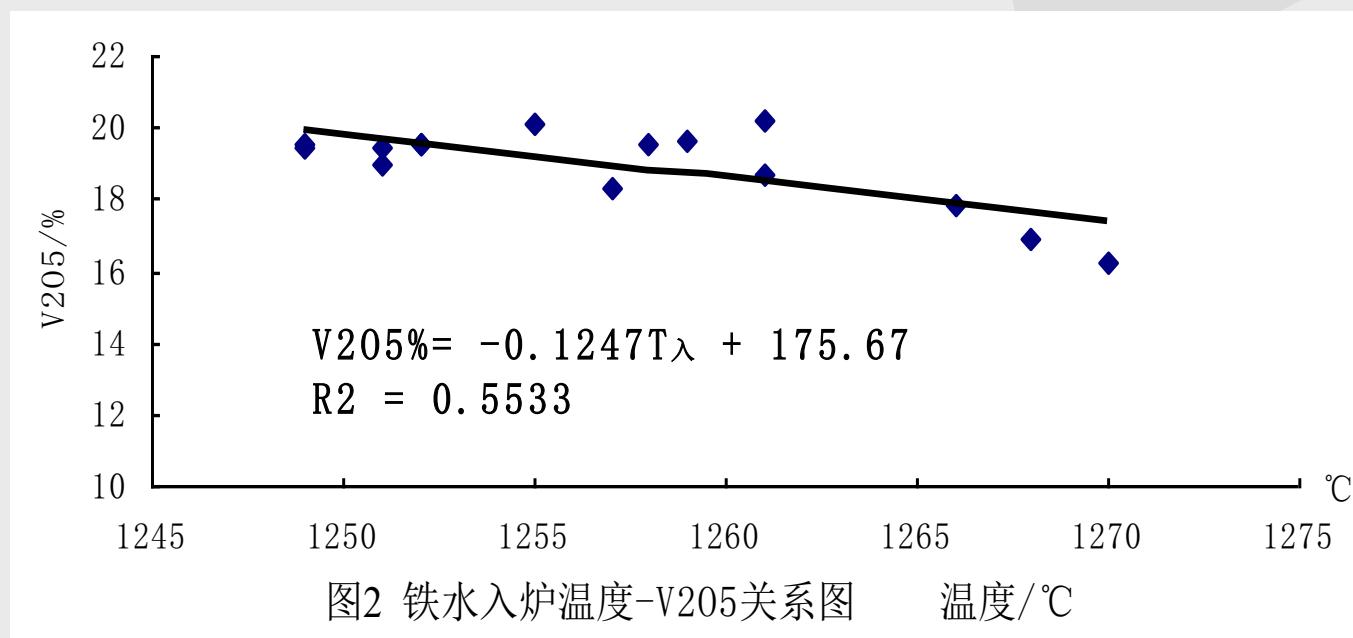
### 3.对提钒冷却剂成本的影响

根据理论计算，铁水Si含量每上升0.01个百分点，熔池温度升高 $4.52^{\circ}\text{C}$ ，冷却剂用量增加: $4.52^{\circ}\text{C} \div 35 \div 120 = 1.08\text{kg/吨铁}$ 。

2004年铁水Si含量平均0.155%，2005年按1~2月份平均Si含量0.184%计算，比2004年增加约0.03个百分点，冷却剂用量要在2004年基础上增加 $3.24\text{kg/吨铁}$ ，达到 $21.8\text{ kg/吨铁}$ ，若冷却剂价格350元/吨计算，则提钒冷却剂成本为7.64元/吨铁，若考虑铁皮价格因素的影响（2005年1、2月提钒冷却剂考虑铁皮价格后为430元/吨），则提钒冷却剂成本将达到9.377元/吨铁。

由以上分析可知，今年要多产钒渣，必须加大冷却剂用量（达到 $21.8\text{ kg/吨铁}$ ），特别是高炉用酸性球团矿的比例进一步增加，铁水硅含量还将上升，预计全年平均含量将达到0.20%。在此条件下，如何提高提钒冷却强度，控制好提钒过程温度，降低半钢残钒，提高产渣率、多产钒渣是我们面临的一个新课题。

铁水温度的影响：入炉铁水温度高，不利于提钒所需的低温熔池环境。



**2、吹炼终点温度的影响：**钒渣中氧化铁含量随着吹炼终点温度的提高而降低，终点温度过高半钢残钒升高，终点温度控制在1300°C-1400 °C。

**3、冷却剂的种类、加入量和加入时间的影响：**

- ★ 冷却剂加入的目的是为了控制熔池温度,使之低于吹钒的转化温度，达到脱钒保碳的目的。
- ★ 一般冷却剂的种类有生铁块、废钢、水蒸气、氮气、废钒渣、铁皮球、污泥球、铁皮球、铁矿石、烧结矿、球团矿、水等。
- ★ 冷却剂尽量在吹炼前期加入，吹炼后期不再加入任何冷却剂，使熔池温度接近或稍超过转化温度，适当发展碳燃，有利于降低钒渣中的氧化铁含量，提高半钢温度和金属收得率。
- ★ 冷却剂的加入量主要取决于含钒铁水发热元素氧化放出的化学热与使吹钒终点温度低于转化温度。可根据加入冷却剂吸收的热量和铁水中发热元素C，Si，Ti，Mn，V等氧化放出热量及使半钢从初始温度升高到吹钒转化温度所吸收的热量来计算。

## 4、供氧制度的影响

- 供氧制度包括氧枪枪位、结构、耗氧量、供氧强度、压力等诸因素，是控制吹钒过程的中心环节。
- 一般根据不同的铁水成份和吹炼方式，耗氧量有很大差异，同时耗氧量的多少也影响着半钢中的碳和余钒的多少，还与供氧强度和搅拌情况有关，是交互作用的。
- 供氧强度的大小影响吹钒过程的氧化反应程度，过大时喷溅严重，过小时反应速度慢。吹炼时间长，会造成熔池温度升高，超过转化温度，导致脱碳反应急剧加速，半钢余钒量重新升高。一般在吹氧初期可提高供氧强度，后期减少。
- 在同样的供氧量的条件下，供氧压力大可加强熔池搅拌，强化动力学条件，有利于提高钒等元素的氧化速度。
- 当氧压一定时，低枪位，喷枪离液面距离小，吹入深度大，可强化氧化速度，但易喷溅和粘枪。现一般采用恒压变枪位操作，低—高—低枪位操作模式。

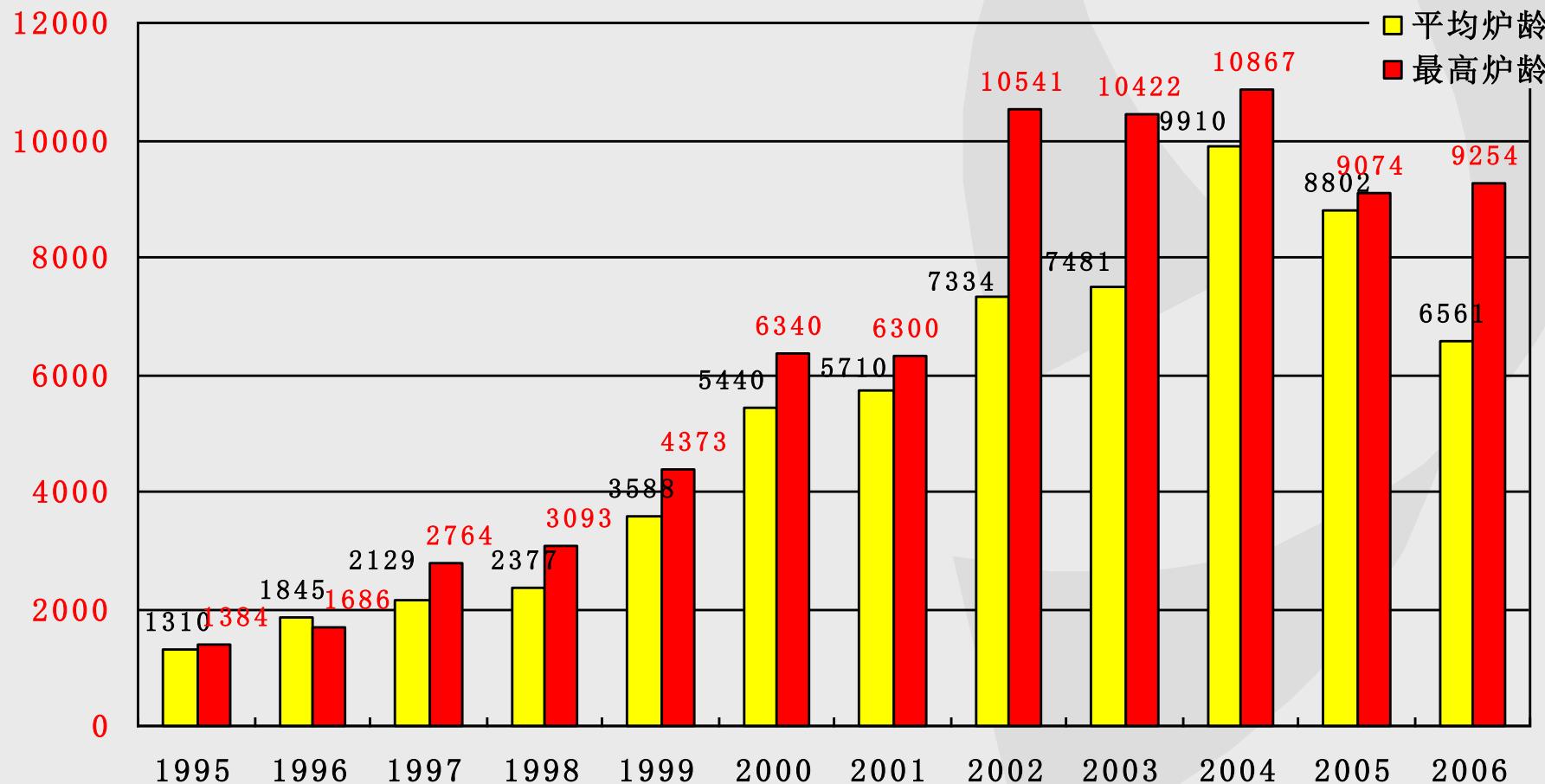
## 四、攀钢转炉提钒主要技术经济 指标、转炉提钒技术介绍

## 提钒转炉的产品:钒渣和半钢

- ★ **钒渣**:是指含钒铁水经过转炉等方法吹炼氧化成富含钒氧化物和铁氧化物的一种炉渣。
- ★ **半钢**:是指含钒铁水经转炉、雾化炉提取钒渣之后，余下的金属称为半钢。
- **钒渣化验的成份有** : CaO、SiO<sub>2</sub>、V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TFe和P，罐样还包括MFe。
- **半钢的质量指标主要有** : 半钢碳含量、半钢温度及余钒（对炼钢来说还包括半钢硫）。

年份	提钒铁水量/万吨	钒渣产量/万吨	钒渣V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /%	产渣率/%
1995年	141.4	5.2		3.68
1996年	208.9	8.3		3.99
1997年	247.6	9.6		3.88
1998年	279.7	12	17.7	4.29
1999年	293.6	13.5	21.1	4.60
2000年	322.8	14.0	19.5	4.34
2001年	337.3	13.1	18.4	3.87
2002年	341.5	11.6	19.4	3.40
2003年	376.4	12.2	19.1	3.24
2004年	363.8	13.5	17.3	3.71
2005年	408.3	16.2	14.52	3.98
2006年	445.9	18.2	15.73	4.08

# 提钒转炉炉龄发展情况



# 提钒转炉半钢质量情况

年份	半钢C/%	半钢温度/°C	半钢残钒/%
1995年	3.59	1386	0.038
1996年	3.60	1380	0.035
1997年	3.58	1380	0.031
1998年	3.52	1378	0.036
1999年	3.51	1377	0.011
2000年	3.68	1378	0.017
2001年	3.76	1383	0.038
2002年	3.99	1389	0.064
2003年	4.05	1398	0.072
2004年	4.06	1390	0.073

# 攀钢转炉提钒工艺优化前后与国内外相关指标对比

项 目	[C] <sub>半</sub> /%	[V] <sub>半</sub> /%	T <sub>半</sub> /°C	钒渣罐样成分/%			钒氧化率/%	钒回收率/%	金属收得率/%	
				V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TFe	MFe				
攀钢	现转炉提钒	3.57	0.028	1375	15~22	20~39	10~13	90.4	82.0	95.21
	原转炉提钒	3.53	0.039	1380	13~19	30~49	17~20	86	69.9	93.94
	雾化提钒	3.51	0.07	1350	17~22	38~43	20~30	78.85	73	93.92
俄罗斯下塔吉尔		3.13	0.03	1375	15~22	26~32	9~12	90	82	93
中国承钢		3.5	0.05	1370	10~12	32~36	20~22	87.8	77.6	/
中国马钢		3.95	0.11	1390	9.6	/	13.2	68.9	/	/

# 攀钢转炉提钒技术

SiO<sub>2</sub>调渣技术  
出钒渣、出半钢技术  
铁矿石作提钒冷却剂  
339氧枪的开发与使用  
炉龄优化技术  
深吹半钢开炉法  
建立低钒铁水转炉提钒新工艺  
炉口防粘技术  
钒渣回收技术  
复吹提钒工艺

# 1、SiO<sub>2</sub>调渣 技术

- 渣中含适量的SiO<sub>2</sub> 可改善初渣流动性，有助于与FeO和V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>形成钒尖晶石，加快钒的氧化过程
- 渣中含适量的SiO<sub>2</sub> 起到稳定钒尖晶石的作用
- 增加硅酸盐相的数量，在凝固过程中形成钒渣粘结相，在吹钒终点时，钒渣不过于干稠,可降低钒渣中的金属铁。

## 2、出钒渣、出半钢技术

- 开发与应用多炉出一次钒渣工艺技术和挡渣出半钢专利技术，促进钒尖晶石的长大，减少钒渣的流失，提高钒渣回收率。

### 3、铁矿石作钒冷却剂

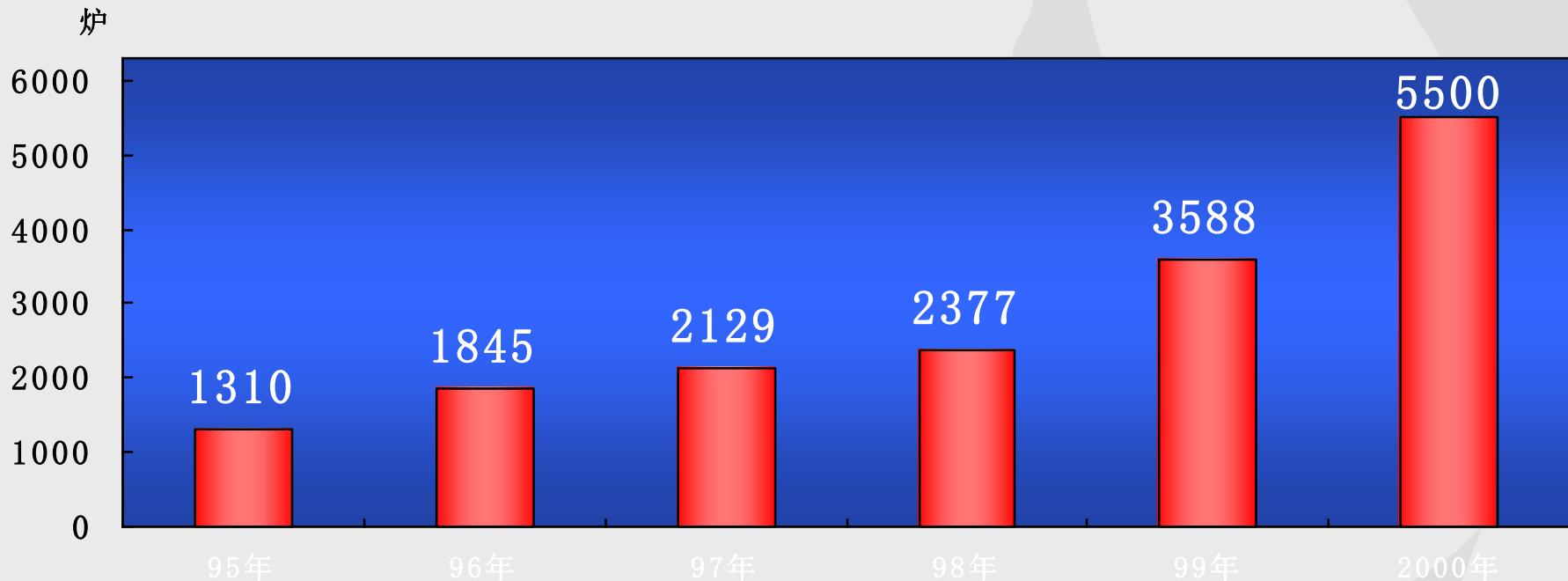
- 开发了采用铁矿石代替复合球和铁块作冷却剂的冷却制度，降低实物钒渣的产渣率，达到提高钒渣 V2O5 含量及降低渣中 MFe 的作用。

## 4、339氧枪的开发与使用

- 通过对氧枪喷头、氧压、枪位、供氧量的研究，确定了攀钢转炉提钒供氧制度。



专用339氧枪配合“低-高-低”枪位控制，取得了良好的吹钒效果。



俄罗斯转炉提钒炉龄为2000炉。  
国内同行业转炉提钒炉龄不超过3000炉。  
攀钢2000年转炉提钒炉龄最高达到了6340炉。

## 6、深吹半钢开炉法

- 转炉提钒原采用炼钢法开炉
- - 造成开炉后近20炉的钒渣（CaO）超过国家标准要求，增加了五氧化二钒生产的难度和成本
- 开发了深吹半钢开炉法
- - 半钢温度控制到1450~1520°C
- - 半钢碳控制在2.0%以上
- - 避免了钒渣（CaO）超标

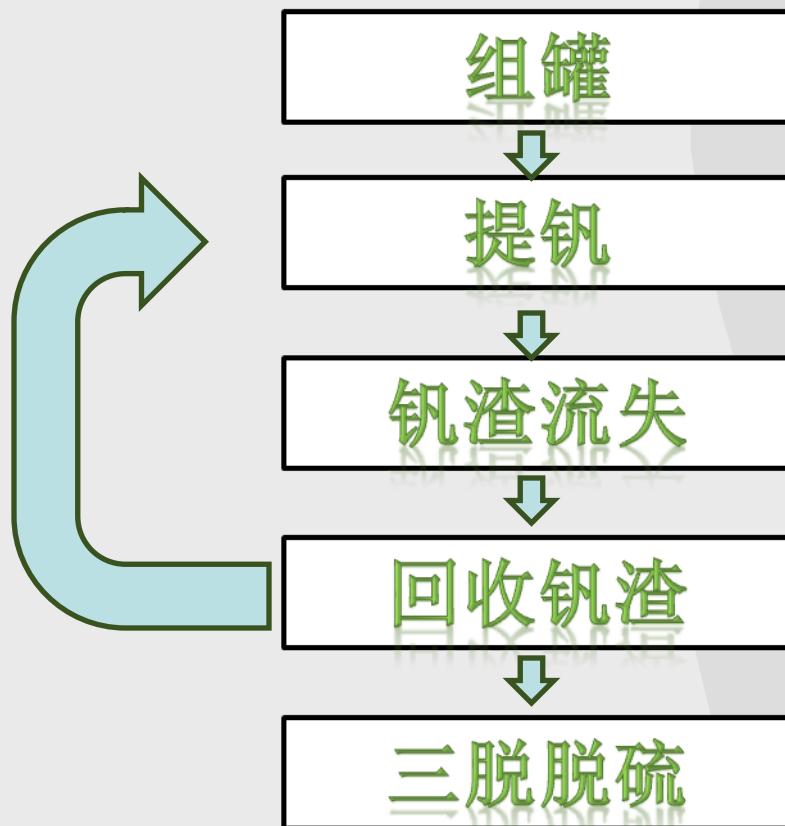
## 7、建立低钒铁水转炉提钒工艺

- 开发了低钒铁水转炉提钒新工艺
- 转炉提钒终点半钢温度
- 理论供氧量
- 理论冷却剂用量
- 理论控制参数
- 转炉提钒C-V-T关系
- C、V元素氧化特征等

## 8、复吹提钒工艺

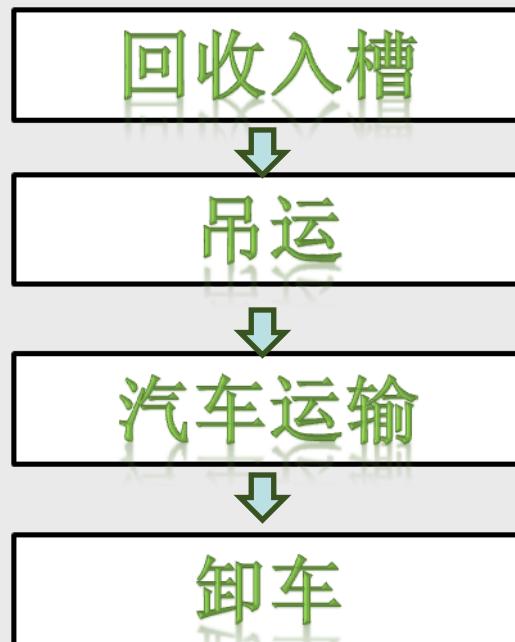
- 复吹提钒的特点：
- 吹炼过程平稳，不粘枪、不结料；
- 与顶吹相比，半钢余碳的质量分数提高；
- 钒渣全铁的质量分数降低，V2O5的质量分数提高；
- 与顶吹相比，耗氧量降低。

# 9、钒渣回收技术

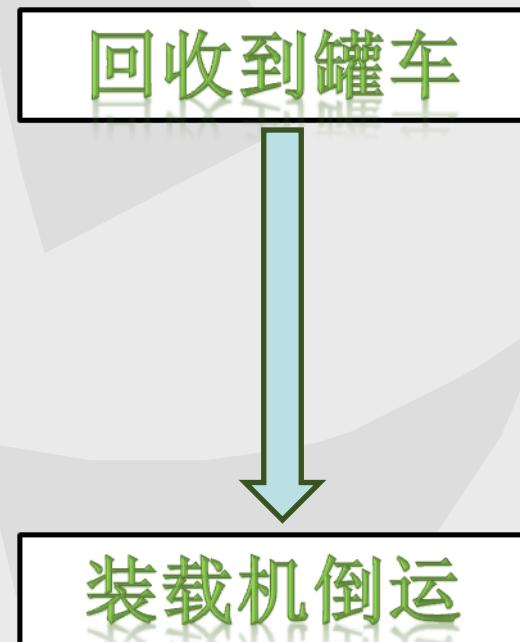


# 钒渣回收方式改进

改进前



改进后



## 五、铁水提钒工艺的比较

# 1、南非摇包提钒技术

- 南非海威尔德钢钒公司采用独有的摇包提钒设备从含钒铁水中生产钒渣。摇包容量为75t，共有4个摇包台，16个摇包，高5.5米，外壳内径4.3米，正常摇动速度为30转/min。吹氧管喷嘴直径：2英寸，吹氧管静止池面以上高度：76.2cm，正常氧气流速：28.3Nm<sup>3</sup>/min，最后氧气流速：42.5Nm<sup>3</sup>/min，吹氧管压力(正常流速下)：160kPa。在摇动开始后再吹氧，使用铁矿石作冷却剂。停止吹氧后，为了降低渣中的氧化铁和生铁中残留的钒，继续摇动8min，同时加入一定量的无烟煤，以降低钒渣中的FeO量，提高钒渣品位，并提高半钢中的C含量，吹炼时间：52min，总振动时间：59min，总周期：90min/炉。摇包内衬的寿命不长，仅100炉左右。
- 海威尔德公司的研究表明，吹炼初期生成的FeO-SiO<sub>2</sub>渣使熔渣的厚度增加，起到了在氧气流下保护热金属熔池的作用，对钒的优先氧化有利，还能起到抑制碳氧化的作用。

## 2、新西兰铁水包 提钒技术

- 新西兰钢铁公司采用回转窑—电炉熔分—铁水包提钒法生产钒渣，原来使用60t铁水包吹钒，据说2007~2008年改为70t转炉提钒，但未见文字资料报道。使用两支枪吹炼，一支为内径30mm的氧枪，位于铁水包中心，喷嘴距熔池表面500mm，另一支为氮枪，吹入氮气搅拌，氮枪在铁水包中心和边沿之间，枪插入铁水中，距包底500mm。冷却剂使用氧化铁皮。吹炼时控制熔池温度在1300~1400°C，供氧时间20~30min，氧气压力0.37MPa，氮气压力0.2~0.4MPa。吹钒毕，使用扒渣机扒出钒渣。新西兰钒渣的V2O5品位约15%左右。

### 3、丘索夫空气底吹转炉提钒

俄罗斯丘索夫冶金工厂采用空气底吹转炉提钒工艺，该公司有3座20t提钒转炉。炉底设有6个硅质粘土砖风嘴，每个风嘴装有7个直径为2.2cm的喷管。丘索夫也进行了氧气底吹转炉提钒试验，已经准备改造。转炉在装入铁水之前装入提钒残渣和磁选铁料制成烧结冷却剂40~100kg/t。吹炼的供气流量为300~500Nm<sup>3</sup>/min，供气压力为0.18~0.22MPa。吹炼4~5min后钒的脱除率可达到最大限度，通常控制吹炼时间在6~7min结束，半钢含钒0.03~0.04%。

#### ● **空气底吹转炉提钒法的特点是：**

- 建设投资小，厂房低，不用炉顶喷枪、料仓和其他辅助设施。
- 生产效率高，成本低。
- 吹炼反应过程平稳，喷溅小，搅拌强度大，热利用率高，烟尘少。
- 终点判断有难度，劳动强度大，炉底管道系统复杂，炉龄短。
- 钒渣中的金属铁夹杂物多，达25%以上，破碎、选铁处理时钒渣损失大。

采用这种工艺的厂家有俄罗斯下塔吉尔钢铁公司、中国的攀钢、承钢和马钢。俄罗斯下塔吉尔钢铁公司采用乌拉尔黑色冶金科学院研制的氧气顶吹转炉提钒工艺，从1963年应用至今未改变。目前提钒转炉的容积为160t铁水，使用水冷氧枪，直径为219mm，有4~5个与喷枪轴线成20度倾角的喷出口。供氧强度为280~320m<sup>3</sup>/min，吹炼初期枪位2m左右，以后下降到0.9~1.2m。吹氧时间5~8min，熔池温度从1230~1260°C升高到1340~1410°C。

### ● 氧气顶吹转炉提钒工艺的优点：

- 半钢温度高，可保证生产各种品种的钢；
- 钒氧化率高，钒渣含钒高，有利于后步湿法提钒；
- 钒渣金属铁夹带少，有利于降低铁损；
- 转炉寿命长。

# 各种提钒工艺铁水成分对比

指标	转炉提钒					摇包提钒	铁水包提钒
	下塔吉尔	丘索夫	攀钢	承钢	承德建龙	海威尔德	新西兰
设备容量/t	160	22	120	原20	70	50~60	原60t铁水包
				现80和100t			现70t转炉
工艺	氧气顶吹	空气底吹	氧气顶吹	氧气顶吹	氧气顶吹	顶吹氧气	顶吹氧气
C	4~4.5	4.4~4.6	4.5		4.23	3.95	3.0~3.8
V	0.45~0.48	0.48~0.55	0.29	0.35~0.40	0.253	1.22	0.45~0.53
Si	0.2~0.25	0.3~0.4	0.18		0.31	0.24	0.06~0.40
Mn	0.27~0.33	0.25~0.4	0.2		0.2	0.22	0.4
Ti	0.15~0.25	0.2~0.3	0.23		0.22	0.22	0.08~0.40
Cr	0.03~0.1	0.3~0.4	0.07		0.23~0.4	0.29	0.045
P	0.025~0.08	0.03~0.04	0.07			0.08	0.06
S	0.035	0.03	0.059			0.037	0.024~0.048
温度/°C	1300	1280~1320	1270		1350	1180	1380~1420

# 各种提钒工艺半钢质量对比

指标	转炉提钒				摇包提钒	铁水包提钒
	下塔吉尔	丘索夫	攀钢	承钢	海威尔德	新西兰
设备容量/t	160	22	120	原20	50~60	原60t铁水包
				现80和100t		现70t转炉
工艺	氧气顶吹	空气底吹	氧气顶吹	氧气顶吹	顶吹氧气	顶吹氧气
半钢:						
[C] <sub>b</sub> /%	3.0~3.26	3.4~3.8	3.6~3.9	3.17	3.2~3.5	2.8~3.6
[V] <sub>b</sub> /%	0.02~0.04	0.04	0.03~0.05	0.04~0.08	~0.07	0.10~0.30
[Si] <sub>b</sub> /%					0.01	0.02~0.18
[P] <sub>b</sub> /%			0.07		0.09	0.06
[S] <sub>b</sub> /%			0.015		0.04	0.02~0.18
温度/°C	1340~1410	1320~1380	1360~1400	1400~1420	1427	1380~1500

# 各种提钒工艺钒渣质量指标对比

指标	转炉提钒				摇包提钒	铁水包提钒
	下塔吉尔	丘索夫	攀钢	承钢	海威尔德	新西兰
设备容量/t	160	22	120	原20	50~60	原60t铁水包
				现80和100t		现70t转炉
工艺	氧气顶吹	空气底吹	氧气顶吹	氧气顶吹	顶吹氧气	顶吹氧气
钒渣:						
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /%	15~22	14~17	13~18	12月15日	23~27	15.5
TFe /%	26~32		22~31	~34	29	34
MFe /%	9月12日	20~25	9月12日	~20	13	19
SiO <sub>2</sub> /%	17~18	18~20	14~18		17	16.4
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	2月4日	5月9日	1月3日			
CaO	1.2~1.5	0.7~1.5	1月3日		0.5	1
P	0.03~0.04	0.04	0.04~0.06			≤0.1
钒氧化率/%	≥90	>92	85~88	88	>93	60~70
钒回收率/%	82~84	>85	75~80	77~80	91	40~50
半钢收率/%	90~94	90~92	98		93	
钒渣/万t·a <sup>-1</sup>	10月12日	3	20~21	14~16	11月13日	1.7

- 谢谢大家！
- 
-