

黑龙江建龙转炉提钒总结 及分析汇报材料

目录

CONTENT

- 转炉提钒技术概述
- 黑龙江建龙转炉提钒工艺现状
- 承德建龙转炉提钒工艺现状
- 集团内部提钒指标对比
- 改善措施
- 一罐到底提钒现状

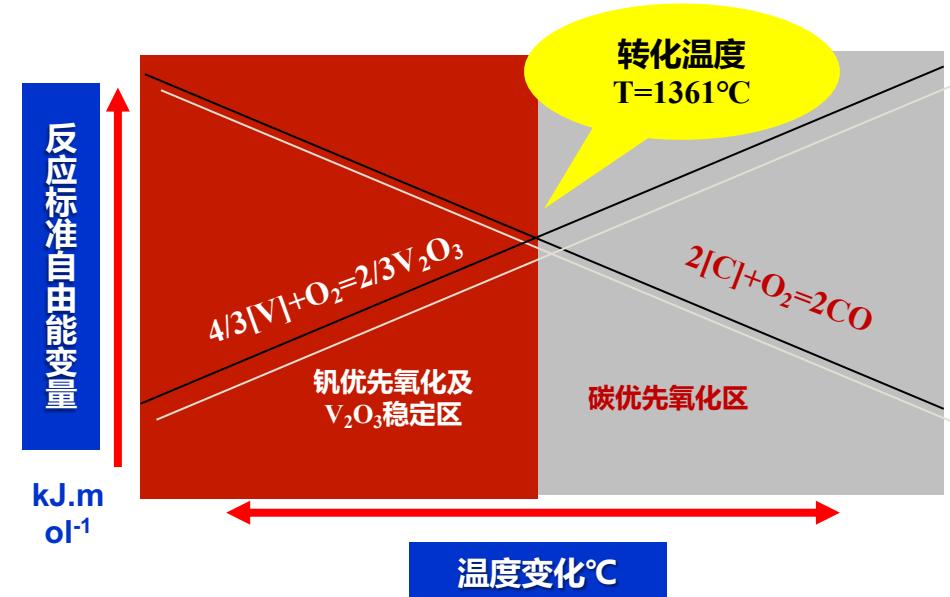
转炉提钒原理**任务和意义**

□ **转炉提钒过程：**

氧射流与金属熔体表面相互作用，与铁水中铁、钒、碳、硅、锰、钛、磷、硫等元素的氧化反应过程。这些元素氧化反应进行的速度取决于铁水本身化学成分、吹钒时的动力学条件和热力学条件。

操作特点**脱钒、脱碳规律****影响提钒因素****钒渣物相****提钒技术指标****□ 转炉提钒原理：**

利用**选择性氧化**的原理，采用高速氧气射流在转炉中对含钒铁水进行搅拌，将铁水中钒氧化成稳定的钒氧化物，以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化温度以下，达到**去钒保碳**的目的。





转炉提钒原理

□ 提钒：经济、合理、工业化地从含钒矿物或含钒废料中提取钒、钒的氧化物、钒合金、钒化合物的过程。

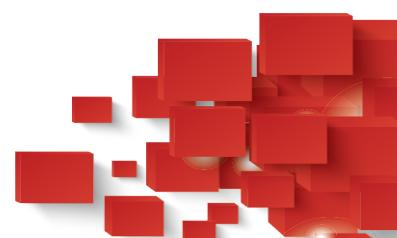
任务和意义

□ 转炉的任务：

- 1、将含钒铁水吹炼成满足下一步炼钢要求的高含碳量的半钢；
- 2、最大限度地把铁水中的钒氧化进入钒渣，得到适合于下一步提取V₂O₅要求的钒渣；
- 3、铁的损耗要降至最低限度，即半钢的收得率要高，以降低钒渣生产成本。

□ 提钒的意义：

获得高品位钒渣和高物理化学热半钢，为下一步提取商品钒和炼钢提供原料。





转炉提钒原理

任务和意义

操作特点

脱钒、脱碳规律

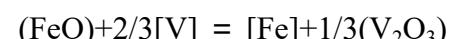
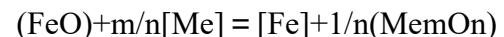
影响提钒因素

钒渣物相

提钒技术指标

□ 转炉提钒操作的主要特点

铁水中的铁在提钒初期强烈氧化并形成铁质初渣。在金属-渣界面上随即进行如下的氧化反应：



下塔吉尔130t转炉吹钒过程钒渣组成(%) 的变化

从开始吹炼起/min	SiO ₂	ΣFeO	V ₂ O ₅	CaO	TiO ₂	MnO
2.1	11.2	52.4	9.4	0.16	5.0	4.2
4.1	14.5	44.9	12.0	0.22	5.9	5.4
7.2	17.1	38.9	14.6	0.44	6.5	6.5
~9	16.6	35.9	18.7	0.30	8.7	7.2

□ 随着吹炼时间的延长，钒渣中 ΣFeO 含量逐渐降低，其余元素氧化物含量均有所升高。

转炉提钒原理

任务和意义

操作特点

脱钒、脱碳规律

影响提钒因素

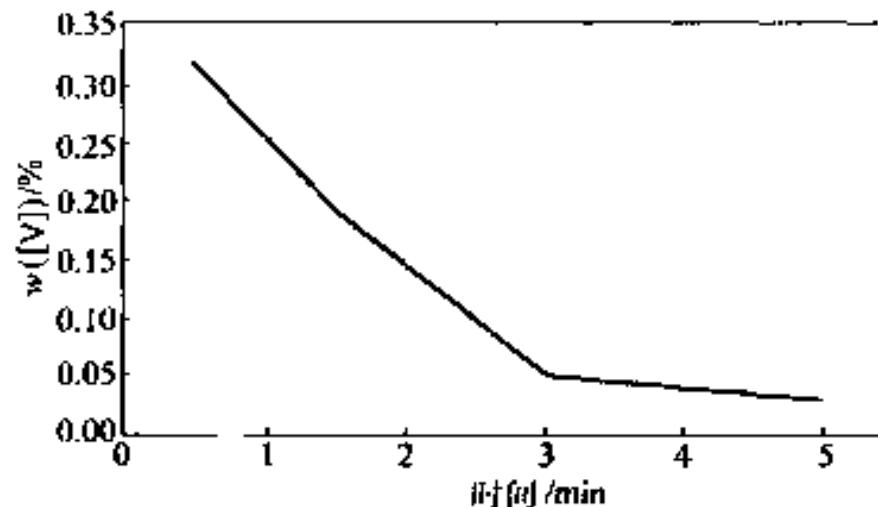
钒渣物相

提钒技术指标

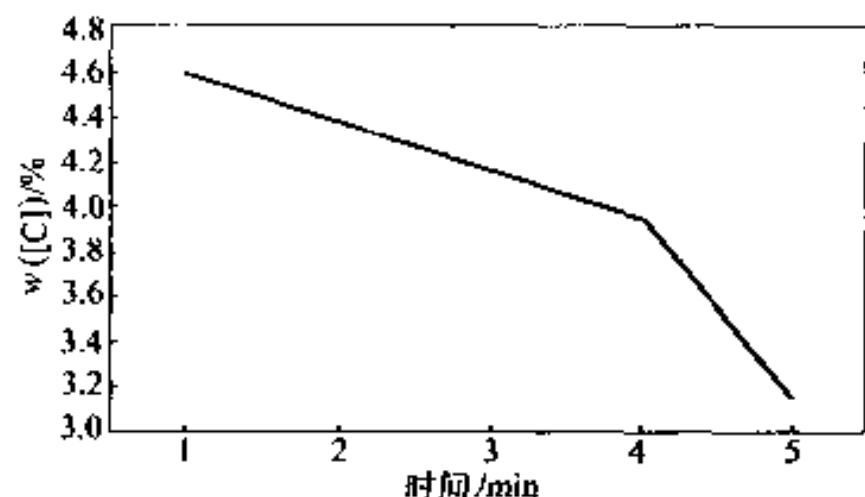
□ 脱钒规律：

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，随着钒含量降低，脱钒速度也降低。

**□ 脱碳规律：**

在吹炼前期，脱碳量较少，反应进行速度低，中后期脱碳速度明显加快，在此期间碳氧化率达70%，除此之外在倒炉及出半钢期间，也有少量碳氧化。



在熔池区域，碳的氧化反应按下列反应进行： $[C] + [O] = CO$

在射流区域碳的氧化反应按下列反应进行： $2[C] + O_2 = 2CO$

转炉提钒原理

任务和意义

操作特点

脱钒、脱碳规律

影响提钒因素

钒渣物相

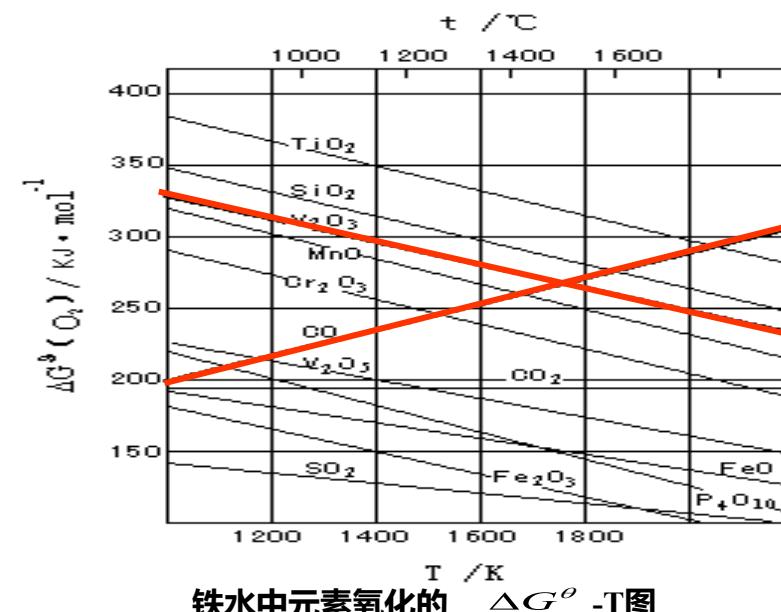
提钒技术指标

□ 铁水中钒与碳氧化的转化温度 $T_{\text{转}}^{\theta}$ 1361°C

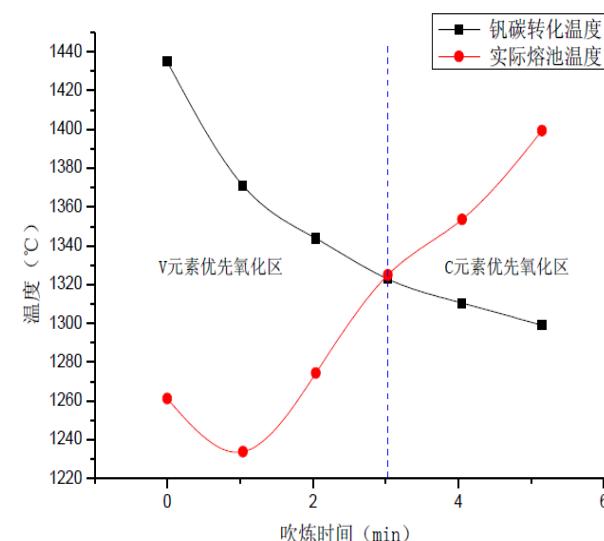
碳钒转化标准温度 $T_{\text{转}}^{\theta}$: 在元素氧化 $\Delta G^{\theta}-T$ 图中，一氧化碳 ΔG^{θ} 线段与 $\text{V}_2\text{O}_3 \Delta G^{\theta}$ 线段的交点温度，称为 $T_{\text{转}}^{\theta}$

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，即半钢中余钒越低，转化温度越低，保碳就越难。

因此，脱钒到一定程度后，要求半钢温度较高时，则只有多氧化一部分碳才能做到。实际吹钒温度控制在1340 ~ 1400°C范围内。



◆ 该图是在铁水中各元素原始活度相等和不存在动力学困难的情况下，各元素氧化的情况。



铁水成分及温度

吹炼终点温度

冷却剂种类

冷却剂的加入

供氧制度

转炉提钒原理

任务和意义

操作特点

脱钒、脱碳规律

影响提钒因素

钒渣物相

□ 钒渣品位与铁水条件的关系式

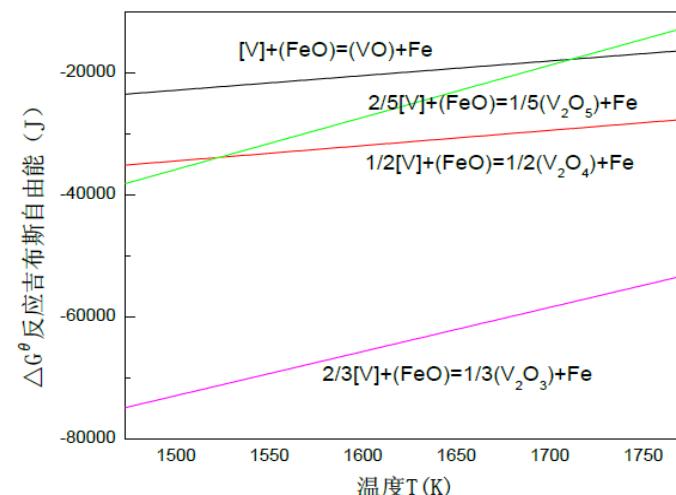
$$V_2O_5\% = 1.068 \times V\text{氧化} \div (1.47 \times V\text{氧化} + 2.14 \times Si\text{氧化} + 1.67 \times Ti\text{氧化} + 1.46 \times Cr\text{氧化} + 1.29 \times Mn\text{氧化} + \text{冷料杂质} + \text{冷料带入钒}) \times 100\%$$

可以看出随着铁水中 (Si、Mn、Cr、Ti) 易氧化元素的升高即渣量增大，钒渣品位为下降趋势。

□ 铁水[V]含量

钒在提钒过程中的氧化说明：

铁水提钒过程中的钒与渣中的FeO 可以氧化反应，生成
VO、V₂O₃、V₂O₄、V₂O₅，在提钒过程钒的氧化过程中
, V 与FeO 生成V₂O₃的反应 ΔG^θ 值最小，说明在钒的氧
化反应中，V₂O₃最容易生成。

提钒过程中V 与渣中FeO 反应的 $\Delta G^\theta-T$ 图

铁水成分及温度

吹炼终点温度

冷却剂种类

冷却剂的加入

供氧制度

转炉提钒原理

任务和意义

操作特点

脱钒、脱碳规律

影响提钒因素

钒渣物相

提钒技术指标

铁水[Si]含量升高，导致钒渣TFe升高

一方面由于硅在提钒过程中属于优先氧化的发热元素，其氧化放热使铁水温度快速升高，其含量越高适合提钒的低温环境时间就越短，导致提钒时间变短，熔池中(FeO)没有尽可能的被还原，导致TFe升高；

另一方面铁水中的Si氧化后生成 SiO_2 ，初渣中的 SiO_2 与FeO、MnO等作用生成铁橄榄石等低熔点的硅酸盐相，铁水Si含量增加，初渣(FeO)与Si的反应量增大，为保证V的氧化，必须进一步强化冶炼，提高渣中(FeO)含量，同时增加了 SiO_2 与FeO作用生成铁橄榄石的量增加钒渣中TFe的含量。

◆ 钒渣中全铁含量对渣中钒含量的影响最大

◆ 钒渣TFe

◆ 钒氧化率

◆ 钒渣渣态

◆ 钒渣成本

□ 铁水[Si]含量

铁水成分及温度

吹炼终点温度

冷却剂种类

冷却剂的加入

供氧制度

转炉提钒原理

任务和意义

操作特点

脱钒、脱碳规律

影响提钒因素

钒渣物相

提钒技术指标

铁水[Si]含量升高，铁水钒氧化率降低

吹钒过程中，铁水中Fe、V、C、Si、Mn、Ti、P等元素的氧化速度取决于铁水中该元素的含量、吹钒时的热力学条件和动力学条件，而反应能力的大小又取决于铁水组分与氧的化学亲和力——标准生成自由能 ΔG^θ 。



从以上两个反应式可知，[Si]与氧的亲合力比[V]与氧的亲合力强，铁水[Si]含量较高时，将抑制[V]的氧化。

铁水[Si]偏高会造成熔池升温加快，阻碍钒的氧化，且[Si]被氧化进入渣相，使粗钒渣中(SiO₂)比例上升，降低了钒渣品位。

◆ 铁水[Si]含量越高，钒渣品位越低

◆ 钒渣TFe

◆ 钒氧化率

□ 铁水[Si]含量

◆ 钒渣渣态

◆ 钒渣成本

铁水成分及温度

吹炼终点温度

冷却剂种类

冷却剂的加入

供氧制度

转炉提钒原理

任务和意义

操作特点

脱钒、脱碳规律

影响提钒因素

钒渣物相

提钒技术指标

铁水[Si]含量越高，钒渣渣态越稀，品位越低，钒渣回收量越低

铁水中的[Si]氧化后生成 SiO_2 ，初渣中的 SiO_2 与 (FeO) 、 (MnO) 等作用生成

铁橄榄石 $[\text{Fe}\cdot\text{Mn}]_2\text{SiO}_4$ 等低熔点(1220°C)的硅酸盐相→使初渣熔点↓，钒渣粘度↓，流动性↑。

在铁水[Si]较低时($\leq 0.15\%$)，通过向熔池配加一定量的 SiO_2 ，适度增加炉渣流动性，可避免渣态偏稠，有利于钒的氧化。

在铁水[Si]偏高($\geq 0.22\%$)时，渣中低熔点相过高，渣态过稀，又会增加出钢过程中钒渣的流失即影响钒回收率降低。

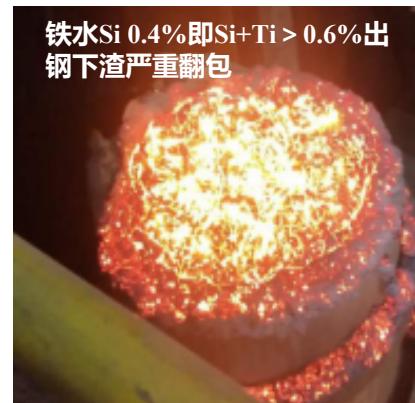
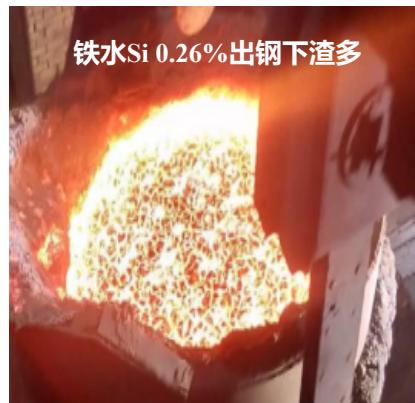
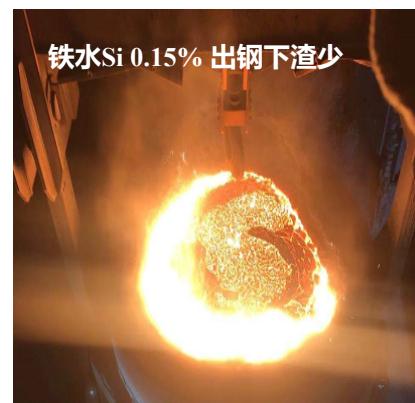
◆ 钒渣TFe

◆ 钒氧化率

□ 铁水[Si]含量

◆ 钒渣渣态

◆ 钒渣成本



铁水成分及温度

吹炼终点温度

冷却剂种类

冷却剂的加入

供氧制度

转炉提钒原理

任务和意义

铁水[Si]含量越高，钒渣回收量越低，钒渣成本越高

操作特点

脱钒、脱碳规律

影响提钒因素

钒渣物相

提钒技术指标

项目	Si上升(%)	装入量(t)	Si实物增加量(Kg)	SiO ₂ 增加量(Kg)	增加渣量(Kg)	其中Fe增加量(Kg)
指标	0.01	80	8	17.14	28.57	8.57

项目	Fe增加量(Kg)	价格(元/吨)	钒渣成本上升(每炉)	炉产钒渣(吨)	钒渣成本上升(t)
指标	8.57	2300	19.71	3.2	6.16

通过以上分析，铁水硅高对提钒有以下影响：

- ◆ [Si]高会抑制钒的氧化，影响钒氧化率降低；
- ◆ [Si]氧化成(SiO₂)渣，对钒渣有“稀释”作用，影响钒品位降低；
- ◆ [Si]氧化放热增加提钒冷料消耗及钒渣TFe升高影响钒渣成本上升；
- ◆ [Si]偏高($\geq 0.22\%$)时，渣态过稀，使出钢过程中钒渣的流失增加影响钒回收率降低。

应合理控制铁水Si含量，低硅有利于提钒保碳，同时为了熔渣有良好的物理性质
 ，应控制硅含量在 $0.15\% < \text{Si} < 0.22\%$ 之间。

◆ 钒渣TFe

◆ 钒氧化率

□ 铁水[Si]含量

◆ 钒渣渣态

◆ 钒渣成本

铁水成分及温度

吹炼终点温度

冷却剂种类

冷却剂的加入

供氧制度

转炉提钒原理

任务和意义

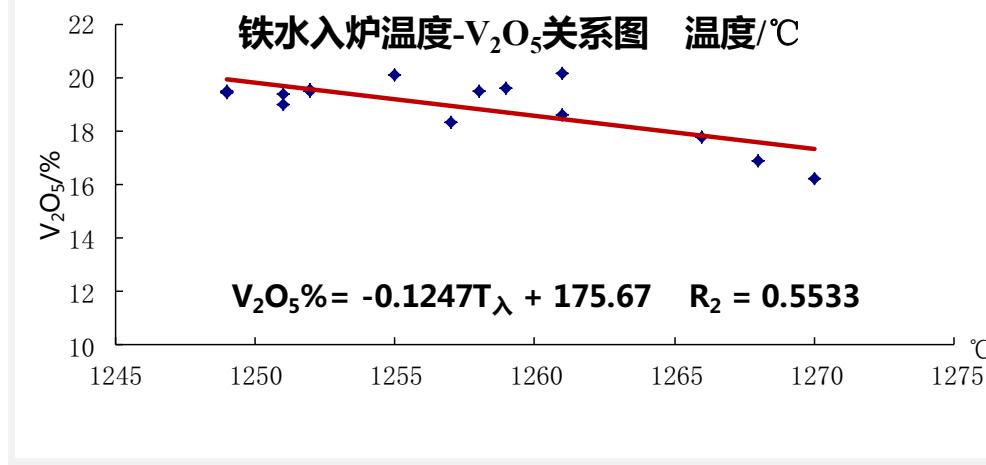
操作特点

脱钒、脱碳规律

影响提钒因素

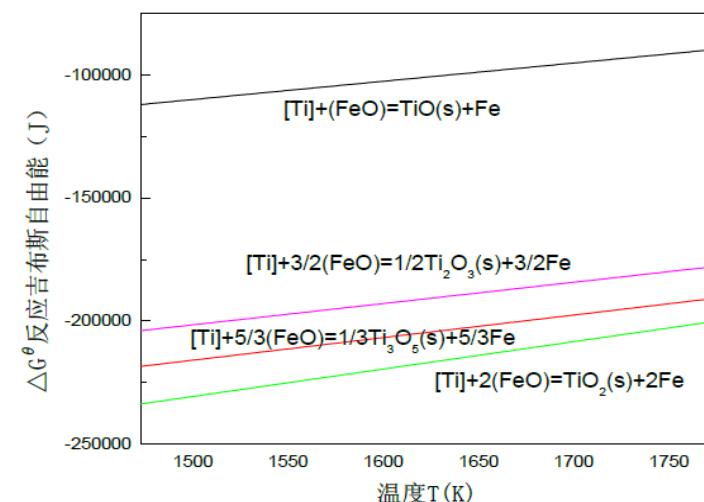
钒渣物相

提钒技术指标



□ 入炉铁水温度越高，越不利于提钒所需的低温熔池环境。

□ 铁水温度



冶炼时各金属元素氧化难易顺序：

Ca、Mg、Al、Ti、Si、V、Mn、Cr、Fe、Co、Ni、Pb、Cu

氧化逐渐减弱

在提钒温度范围内，铁水中Ti元素的氧化产物主要为TiO₂，Ti元素的氧化产物有TiO、Ti₂O₃、Ti₃O₅、TiO₂四种。

[Ti]比[Si]更易氧化，铁水中[Ti]含量升高，钒渣品位降低。

□ 铁水[Ti]含量



铁水成分及温度

吹炼终点温度

冷却剂种类

冷却剂的加入

供氧制度

转炉提钒原理

任务和意义

操作特点

脱钒、脱碳规律

影响提钒因素

钒渣物相

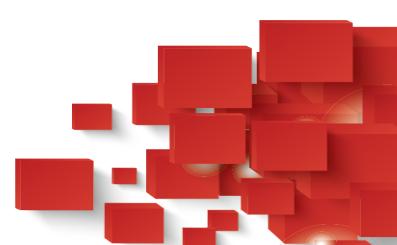
提钒技术指标

□ 钒渣中氧化铁(FeO)含量随着吹炼终点温度的提高而降低；

□ 提钒终点温度高,有利于碳氧化反应的进行,有利于降低渣中全铁含量。



提钒后期适当发展碳燃烧，有利于降低钒渣中氧化铁的含量，提高半钢温度和金属收得率。



转炉提钒原理

任务和意义

操作特点

脱钒、脱碳规律

影响提钒因素

钒渣物相

提钒技术指标

□ 冷却剂加入的目的

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。

□ 冷却剂的种类

生铁块、废钢、废钒渣、铁皮球、污泥球、铁矿石、烧结矿、球团矿等。

□ 对冷却剂的要求

冷却剂除了要求具有冷却能力外,还要有氧化能力,带入的杂质少。

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。

冷却剂种类的优缺点

□ 冷却剂种类的优缺点

- 1、冷却剂中氧化铁皮球、球团矿、铁矿石、等既是冷却剂又是氧化剂,其中氧化铁皮球最好,因为它的杂质少(对钒渣钒品位影响不明显)氧化性强(有利于提高钒氧化率),另外还可以与渣中的(V2O3)结合成稳定的铁钒尖晶石(FeO·V2O3)。铁皮加入过多:会使钒渣中氧化铁含量显著增高,如加入时间过晚更为严重;
- 2、废钢作冷却剂可增加半钢产量,但会降低半钢中钒的浓度,影响钒在渣与铁间的分配,影响钒渣的质量,另外熔点高不易融化尽;
- 3、生铁块;杂质少、无氧化性对保半钢碳和提升钒品位有利,缺点冷却强度低、融化慢、成本高。

◆ 使用其他冷料代替含钒铁块,换算值推荐表

种 类	铁 块	废钒渣	氧化铁皮球	轻薄料	球团矿
指标(t)	1	2~3	5~6	2~3	5~6



铁水成分及温度

吹炼终点温度

冷却剂种类

冷却剂的加入

供氧制度

转炉提钒原理

任务和意义

供氧制度包括**氧枪吹炼枪位、结构、耗氧量、供氧强度、供氧压力**等诸因素，是控制提钒过程的中心环节。

操作特点

脱钒、脱碳规律

口 耗氧量：耗氧量是指将1t含钒铁水吹炼成半钢时所需的氧量，单位为Nm³/t铁。耗氧量因铁水成分和吹炼方式不同而差异很大，同时耗氧量的多少也影响着半钢中的碳和余钒量的多少；

口 供氧强度：单位时间内每吨金属的耗氧量，单位为标m³/(t·min)，供氧强度大小影响吹钒的氧化反应程度。过大喷溅严重，过小反应速度慢，吹炼时间长，造成熔池温度升高，超过碳钒转化温度，导致脱碳加速，半钢余钒量重新升高；

口 供氧压力：在相同供氧量条件下，供氧压力大可加强熔池搅拌强度，强化动力学条件，有利于提高钒等元素的氧化速度。

口 吹炼枪位：指氧枪喷头端面与熔池内静止金属液面的相对距离。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。一般采用恒压变枪位操作，当铁水含硅量高时，枪位均保持下限。

口 氧枪结构：包括喷嘴直径和喷嘴的孔数、与喷嘴轴线的角度等参数。这些直接影响氧气的冲击深度、分布和氧利用率的高低。

•



转炉提钒原理

任务和意义

钒渣物相

□ 含钒物相（钒铁尖晶石相）：钒在钒渣中以三价离子存在于尖晶石的，尖晶石相是钒渣中的主要含钒物相（ $\text{MeO} \cdot \text{Me}'$ ），**钒**

渣中所含元素最多的是铁和钒，因此称为铁钒尖晶石，纯钒铁尖晶石熔点1720°C左右，钒铁尖晶石为白亮粒柱固溶体一般情

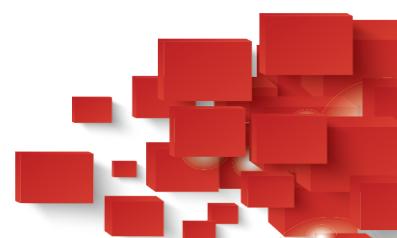
况为 FeV_2O_4 （正式钒铁尖晶石）**当钒渣中 FeO 含量高时会生成部分 Fe_2VO_4** （返式钒铁尖晶石）

□ 粘结相：粘结相是钒渣中的硅酸盐相，主要是以浅灰色矿相为 $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ （铁橄榄石熔点在1220°C左右）的固溶体为主，**当**

钒渣中含硅量高时存在部分深灰色矿物为含硅量较高的 $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ；

□ 夹杂相：主要指钒渣中的金属铁，它以两种形式存在钒渣中即一种是细小、弥散的金属铁微粒，另一种是球滴状、网状、片

状的金属铁。





转炉提钒原理

任务和意义

操作特点

脱钒、脱碳规律

影响提钒因素

钒渣物相

提钒技术指标

提钒主要技术指标

□ 钒渣折合产量：指粗钒渣渣扣除明铁 (MFe)后按10%的V2O5的折算量。

□ 钒渣折合量= (粗钒渣实物量-钒渣钢) × (V2O5)%× (1-MFe%)÷ 10%。

□ 钒回收率：指生产钒渣中钒的绝对量占铁水中钒的绝对量的比例。

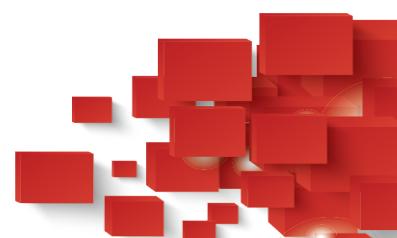
□ 钒回收率=进入成品的钒总量÷铁水、铁块含钒总量×100%。

□ 氧化率：钒氧化率= (铁水钒钒-半钢含钒) ÷铁水含钒×100%。

□ 钒回收率总是低于钒氧化率的原因：出钢时部分钒渣流失、吹炼时烟尘喷溅损失、出渣过程喷溅损失、钒渣破碎磁选过程的损失。

□ 钒渣产渣率：产渣率=钒渣产量÷ (提钒铁水+生铁块) ×100%。

□ 吨渣铁耗：指生产1吨钒渣所吹损的含钒金属料的重量 (Kg/t渣) 即吨渣耗铁= (提钒铁水+铁块-半钢) ÷钒渣量×100%





工艺流程

提钒转炉用物料

提钒操作要点

提钒操作要点要求

影响钒渣产量及
钒回收率因素

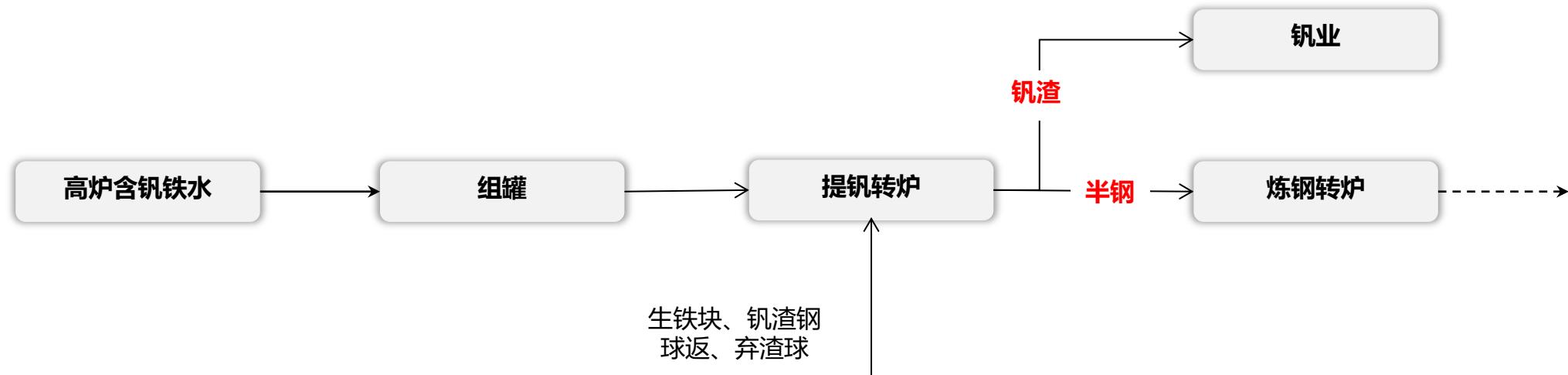
钒渣质量的影响
因素

提钒技术指标

□ 工艺现状

黑龙江建龙炼钢厂现有1座70吨提钒转炉，2座70吨炼钢转炉，年产钒渣8万吨，年产钢230万吨；

□ 工艺流程





工艺流程

提钒转炉用物料

提钒操作要点

提钒操作要点要求

影响钒渣产量及钒回收率因素

钒渣质量的影响因素

提钒技术指标

□ 提钒用原料—含钒铁水

含钒铁水：含钒铁水是提钒的主要原料，其化学成分决定着钒渣质量

项目	C	Si	Mn	V	Ti	S	P	温度/°C
铁水w/%	3.6~4.2	0.05~0.5	0.19	0.25~0.33	0.11~0.4	0.03~0.12	0.10	1310

□ 提钒主要用冷料—球返、球团矿、弃渣球

项 目	成分w/%						
	CaO	SiO ₂	TiO ₂	P	V ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	TFe
球返、球团矿	0.9~1.5	4.0		0.046	0.41		≥60
弃渣球	0.8~1.3	8~10			0.5~0.7		50~58

弃渣球是氧化铁皮+钒业弃渣按一定比例压成球做提钒冷料。

◆ 优点：

1、回收弃渣中的钒和铁（估算2019年提钒消耗约2.5万吨弃渣球合计利用弃渣1.25万吨回收铁约4千吨、V₂O₅约125吨）

2、弃渣球含SiO₂较高当铁水低Si < 0.15%起到调整渣态适当增加钒渣流动性有利于钒元素的氧化；

◆ 缺点是加入量过大影响钒品位降低，为保钒品位>13.0%铁水Si>0.25%时不能全部使用弃渣球做提钒冷料



工艺流程

提钒转炉用物料

提钒操作要点

提钒操作要点要求

影响钒渣产量及
钒回收率因素钒渣质量的影响
因素

提钒技术指标

- 1、提钒终点温度1360°C ~ 1420°C , 出渣炉次温度控制偏上限 (1380°C ~ 1400°C) ;
- 2、铁水温度在1280°C的基础上每上升10°C相应增加球返1.5Kg/t铁水及每炉多120Kg ;
- 3、铁水Si在此表基础上每增加0.01%相应增加球返0.6Kg/t铁水及每炉多加50Kg ;
- 4、冷却效应1吨球返或弃渣球=6吨铁块=1.7钒渣钢 ;
- 5、冷料加入方式 : 开吹前加入头批料 (1000Kg) , 剩余冷料分两批次在吹氧2.5分钟前加完 (每批次间隔时间 > 30秒) ;

铁水 Si%	铁水温度 °C	铁块 t/炉	钒渣钢 t/炉	弃渣球、 球返Kg/t 铁水	加入量Kg/ 炉 (装入量 80t)	备注
0.10	1280	0	0	18	1440	1、铁水温度 < 1260°C 不加铁块和钒渣钢 ; 2、如果球返和高钒铁矿同时没料情况下就用生铁块或者钒渣钢代替 (冷却效应1吨球返=6吨铁块=1.7钒渣钢) 3、出渣炉次温度 > 1360°C
0.12	1280	0	0	19.2	1536	
0.14	1280	0	0	23.4	1872	
0.15	1280	0	0	24	1920	
0.17	1280	0	0	25.2	2016	
0.19	1280	0	0	26.4	2112	铁块充足时多加铁块 (3吨/炉) 相应减少球返量0.5吨/炉
0.2	1280	0	0	27	2160	
0.22	1280	2	1	26	2080	铁块和钒渣钢二选一加入如没有就多加球返0.5吨 , 铁块充足多加铁块 (5吨/炉) 相应减少球返量1吨/炉
0.24	1280	3	1	27.2	2176	
0.25	1280	3	1.5	30	2400	
0.3	1280	6	2	30	2400	铁块和钒渣钢二选一加入如没有就多加球返1吨
0.35	1280	6	3.5	33	2640	
0.4	1280	6	4	36	2880	



工艺流程

□ 供氧制度：328氧枪喷头，供氧压力0.7~0.85MPa，供氧量(标态)9000~11000m³/h，过程抢位控制：铁水Si < 0.2%采用低高低模式

提钒转炉用物料

(低抢位900~1000mm,高抢位1100-1400mm,吹炼0~2分钟采用低抢位，过程采用高抢位，吹氧结束前40秒采用低抢位)、铁水Si

提钒操作要点

> 0.2%吹炼全过程采用低抢位；

提钒操作要点要求

□ 冷却制度：

1、采用铁块、弃渣球、钒渣钢、球返作冷却剂，冷却剂必须在2.5min内加完；

2、采用“铁块和钒渣钢定量加入，其余用球返和弃渣球调温”的组合冷却方式。没加铁块和钒渣钢时，必须用相当冷却强度的球返和弃渣球代替；

3、弃渣球、球返加入原则，铁水Si < 0.22%时以弃渣球为主，铁水Si > 0.22%时以球返为主；

□ 终点控制：终点温度1360~1420°C、半钢碳 > 3.2%、半钢残钒≤0.03%；

□ 出钒渣炉次操作的注意事项

1、控制入炉铁水量不要太多，防止半钢出不完；

2、生铁块数量控制在下限加入，不加钒渣钢，防止熔化不完全；

3、吹炼终点温度靠上限，有利于渣金分离；

4、控制好终点渣的氧化性，出渣炉次禁止用氧气吹扫炉口；

5、出钒渣前和过程中必须确认渣态，避免夹有半钢或未融化冷料。

工艺流程	一级指标	二级指标	产生因素	产生原因	问题点	改善措施
提钒转炉用物料						
提钒操作要点						
提钒操作要点要求						
影响钒渣产量及钒回收率因素						
钒渣质量的影响因素						
提钒技术指标						
钒渣产量即钒回收率	提钒比	炉况维护	炉衬侵蚀	1、炉衬质量不符合要求 2、砌筑质量不符合要求 3、补炉料质量不符合要求	1、利用清风机时间进行维护炉衬； 2、利用单线生产压半钢2-3包半钢时进行补炉。	
		粘包、漏包补铁	1、铁水温度低粘包 2、压铁时间长导致粘包	铁水包粘包，装入量低导致半钢冶炼是补铁，造成钒流失	1、通过减少在线铁包周转个数（由5个减少至3个），减少铁包粘包，减少补铁量； 2、每班对包沿粘渣进行处理，并要求处理次数≥2次，并将处理结果进行汇报； 3、单线生产压铁时以压半钢为主，减少铁包粘包； 4、如果漏包时一次性兑不够，通过连铸降速，补半钢，严禁补铁水。	
	氧化率	操作制度	1、过程枪位不符合要求 2、液面测量不准 3、加料时机不符合要求	终点温度无法满足1360~1400°C要求，导致终点残钒高	1、根据铁水条件及冷料结构调整提钒操作要点； 2、工程师对当班操作数据进行总结，并结合班组制定整改措施 3、通过修订供氧参数（流量、压力），加大氧气流股冲击深度；调整底吹模式，加大过程底吹气量；来提高V氧化率。	
		冷料结构	为根据铁水变化调整冷料结构			1、严格执行提钒转炉冷料配加方案 2、提高弃渣球质量，减少粘仓次数。
		铁水Si高	Si > 0.25%	Si氧化抑制钒氧化以及提钒过程升温快降低钒氧化速率		增大生铁块或者钒渣钢使用量及球团返矿作为提钒冷、延长吹氧时间。
	钒渣流失	出钢口下渣	1、出钢口侵蚀后内径变大，出钢末期导致钒流失 2、未及时更换出钢口 3、渣稀出钢末期未及时抬炉导致与钢水接触的稀渣流失	出半钢过程钒渣流失	1、出钢口出钢时间 < 3.5min 及时维护，若每班需要维护两次以上必须更换，保证出钢时间 ≥ 3.5min。 2、出钢前加挡渣塞，出钢后期放刚工见烟抬炉留钢操作，加聚渣剂炉次必须开启底吹后搅或者向前摇炉使聚渣剂反应充分；	
		出钢过程卷渣	1、挡渣装置不符合要求 2、二次出钢			1、铁水Si > 0.22%时，合理利用聚渣剂，减少钒渣流失（聚渣剂使用方案），定期对加挡渣球装置进行定位； 2、兑铁装入量要控制准确，禁止二次出钢；



工艺流程
提钒转炉用物料
提钒操作要点
提钒操作要点要求
影响钒渣产量及钒回收率因素
钒渣质量的影响因素
提钒技术指标

项目	产生因素	产生原因	问题点	改善措施
钒渣质量	钒渣品位	1、铁水Si+Ti高导致钒渣品位低； 2、冷料结构不合格率导致钒渣品位不稳定	钒渣指标超标准要求，影响钒业生产	1、严格执行提钒转炉冷料配加方案； 2、铁水硅加钛高产生的低品位钒渣，炼钢单独存放，集中送到钒业并通知钒业提前做好调整预案。
	钒渣钢比例	1、炉内炉渣较多，冷料加入后无法及时熔化，冷料结团 2、出渣炉次半钢未出尽，炼钢厂未及时进行磁选		1、根据铁水条件调整冷料结构配比，出渣炉次温度控制在1360-1420°C； 2、出渣炉次禁止用氧气吹扫炉口； 3、炼钢厂在钒渣池首先进行磁选，然后送往钒业公司。
	钒渣TFe	1、提钒冷料加入过量、多批次加料即加料时间滞后 2、吹炼抢位高 3、底吹供气强度低、透气不通畅 4、铁水Si > 0.2%、出渣炉数≥3炉		1、按照加料制度执行（铁水Si时多加铁块减少球返用量），提钒1.5分钟之前加完冷料； 2、提钒低抢位900mm ~ 1000mm、高抢位1100mm ~ 1400mm、铁水Si≥0.2%时提钒全过程采用低抢位，铁水Si < 0.2%用低→高→低抢位，提钒终点前40秒必须采用低抢位；
	钒渣CaO	1、原料中混入含CaO高物料 2、原料本身CaO较高		1、提钒冷料（球返、弃渣球等）CaO要求 < 1.2%，综合室每周对提钒冷料进行抽检一次； 2、提钒冷料上高位料仓管控： (1) 上料系统地下料仓禁止有含CaO物料（如石灰等炼钢散装辅料混入）； (2) 在上提钒冷料前将上料皮带空转两圈，防止异物进入提钒料仓； (3) 钒渣钢单独堆放禁止与钢渣块和高炉铁钩渣堆放在一起防止混合； 3、按照提钒冷料CaO < 1.2%执行。

工艺流程**提钒转炉用物料****提钒操作要点****提钒操作要点要求****影响钒渣产量及
钒回收率因素****钒渣质量的影响
因素****提钒技术指标****2019年炼钢提钒转炉指标**

		项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
半钢 质量	半钢残钒%	0.0176	0.0193	0.027	0.027	0.029	0.029	0.028	0.0271	0.0257	0.0224	0.0268	0.0236	
	半钢碳%	3.52	3.6	3.47	3.53	3.43	3.62	3.34	3.22	3.36	3.35	3.3	3.38	
	钒氧化率%	93.79%	93.52%	90.46%	90.32%	89.26%	89.90%	90.22%	91.28%	91.30%	91.97%	90.00%	90.75%	
	钒回收率	70.02	73.51	75.77	75.22	76.5	80.2	79.22	80.12	80.52	80.51	79.68	77.87	
钒渣 质量	粗钒渣	钒渣品位	14.66	15.38	13.89	14.56	15.11	13.09	14.1	14.88	15.98	15.43	12.50	12.61
		CaO	1.81	1.43	1.98	1.71	1.85	1.5	1.21	1.92	1.62	1.39	1.40	1.48
		Tfe%	31.62	31.75	29.75	31.19	30.63	32.14	32.35	34.04	33.09	32.9	35.23	35.57
	精钒渣	钒渣品位	13.26	14.76	11.9	12.65	12.76	12.02	13.54	14.82	13.82	13.24	12.22	11.94
		MFe%	5.4	5.2	4.8	4.6	5.98	6.17	6	6.03	6.98	7.34	6.91	6.41
	钒渣产量 (T)	6091.5	5566.34	3347.54	3479.12	6325.93	6699.66	6762.36	7312.54	7054.02	6484.98	5569.12	6224.98	
	返渣钢(Kg/t钒渣)	19.64%	14.50%	19.82%	18.54%	16.26%	21.85%	21.63%	25.19%	24.17%	24.13%	18.01%	17.37%	
铁水 条件	铁水Si	平均Si%	0.22	0.21	0.21	0.25	0.24	0.28	0.19	0.195	0.211	0.256	0.282	0.224
		铁水Si > 0.25%比例	31.85%	27.87%	32.14%	39.60%	40.03%	46.24%	22.64%	24.4	30.4	41.4	47.5	39.20%
	铁水C	平均C%	4.22	4.17	4.14	4.16	4.04	4.15	3.99	3.93	4	4.03	4.01	4.02
		< 4.0%比例	10.89%	13.35%	18.32%	15.97%	41.37%	19.44%	49.35%	41.54	53.9	42.1	62.4	59.80%
	铁水V	平均V%	0.281	0.298	0.284	0.279	0.27	0.287	0.292	0.311	0.298	0.279	0.268	0.264
		铁水V ≥ 0.27%比例	67.04%	82.62%	68.37%	68.07%	51.49%	71.92%	82.12%	92.5	81.8	98.4	57.8	41.70%
	Si+Ti < 0.6%比例	89.70%	93.19%	88.64%	84.65%	87.41%	81.12%	92.25%	92.46	92.04	88.2	83.3		



工艺流程

提钒转炉用物料

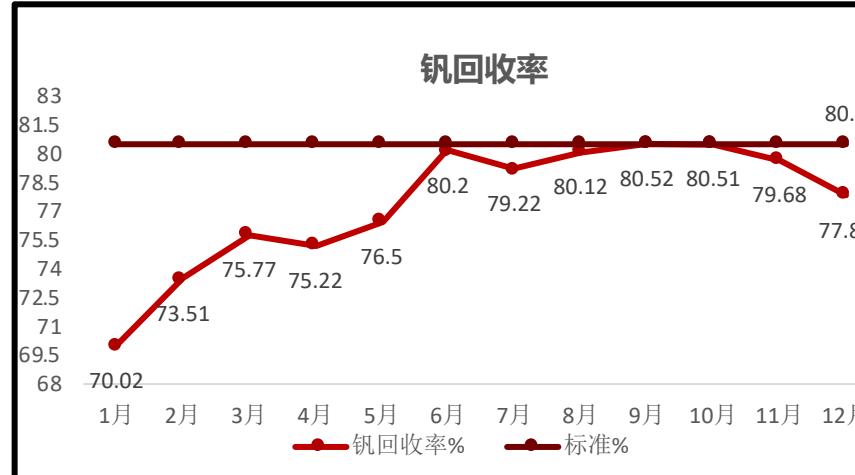
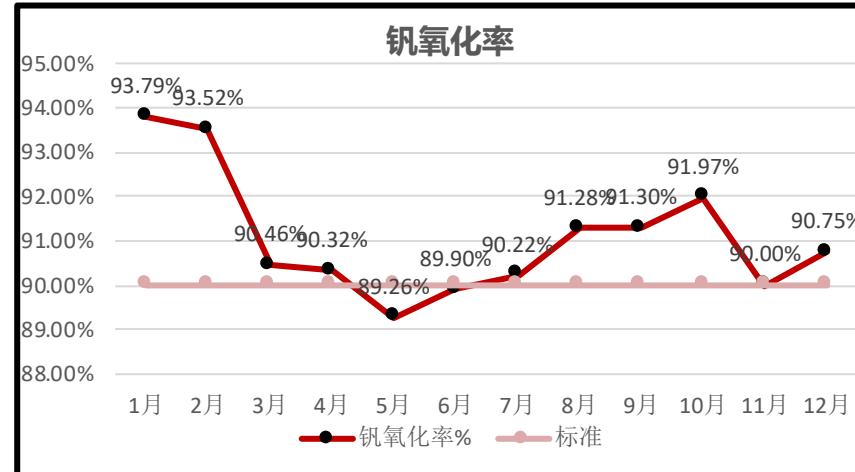
提钒操作要点

提钒操作要点要求

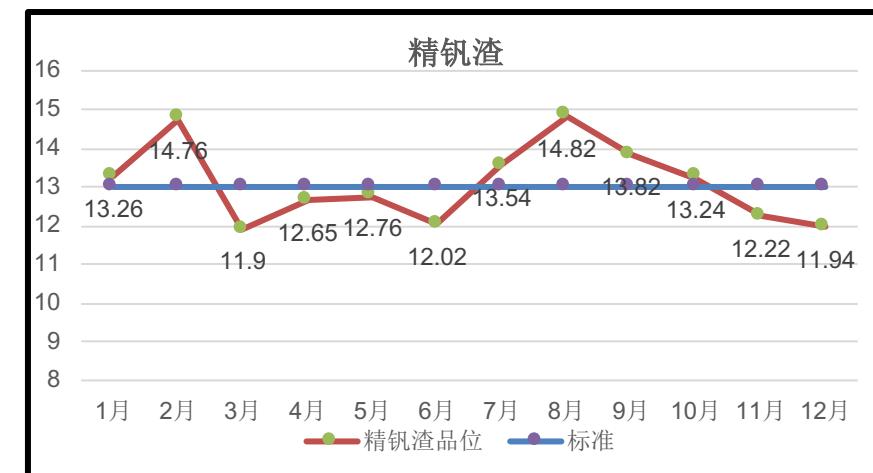
影响钒渣产量及
钒回收率因素

钒渣质量的影响
因素

提钒技术指标



全年钒氧化率为91.06% 钒回收率为77.42% (5月22日开始使用聚渣剂和挡渣球减少钒渣流失，钒回收率呈上升趋势，6-12月钒回收率为79.55%)



全年粗钒渣钒品位为14.35%， 精钒渣钒品位为13.07%

工艺流程

提钒转炉用物料

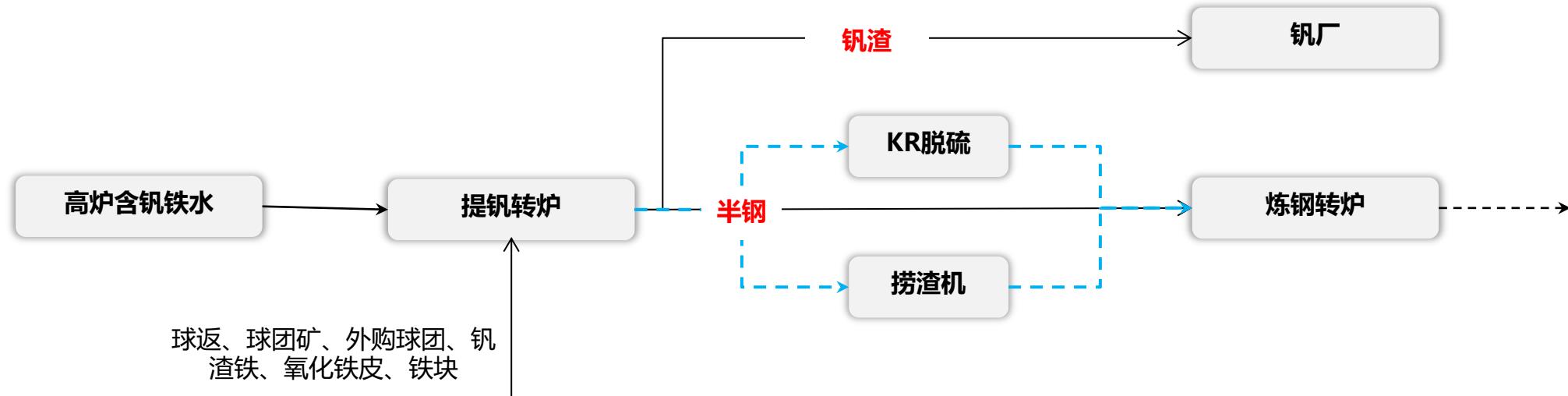
提钒操作要点

提钒操作要点要求

□ 工艺现状

承德建龙炼钢厂现有1座120吨提钒转炉，2座80吨炼钢转炉，2019年产钒渣9.32万吨，产钢212万吨；

□ 工艺流程



球返、球团矿、外购球团、钒
渣铁、氧化铁皮、铁块



工艺流程

提钒转炉用物料

提钒操作要点

提钒操作要点要求

□ 提钒用原料—含钒铁水

含钒铁水：含钒铁水是提钒的主要原料，其化学成分决定着钒渣质量

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Ti
铁水w/%	4.04	0.16	0.18	0.14	0.09	0.16	0.34	0.11

□ 提钒主要用冷料—球返、球团矿、外购球、钒渣铁

项 目	成分w/%						
	CaO	SiO ₂	TiO ₂	P	V ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	TFe
球返、球团矿	0.96-1.67	3.54		0.054	0.535		60
外购球	1.31-1.95	5.43			0.415		60.5

- 1、球返、球团矿、外购球均上仓，通过顶仓下料操作，进行提钒过程冷却；
- 2、钒渣铁或氧化铁皮，通过废钢斗进行加料控制；
- 3、外购球含钒较球返及球团矿略低。



工艺流程

提钒转炉用物料

提钒操作要点

提钒操作要点要求

□ 吹炼时间控制在5-6min左右，同时采取“一倒炉”方式在炉后倒炉、测温及出半钢终点温度（炉内）要求1360-1400°C，目标温度1380±10°C；

□ 目标半钢碳≥3.50%，钒氧化率目标≥90%

□ 各种冷料投入期，投入量要求：

1、钒渣铁：作为循环物料，在铁水硅偏高时使用，兑铁前由废钢斗加入

2、氧化铁皮：氧化铁皮密度小，容易随烟气进入除尘系统，在兑铁后下枪前加入

3、球团矿、球返、外购球：在开吹30''后开始加入，2.5min内加入完成，吹炼中后期不加入任何冷料，降低渣中Fe含量

□ 各类物料的目标加入量

铁水温度	冷料加入量对照表			
	铁水Si%			
1280	≤0.15	0.15-0.20	0.20-0.25	0.25-0.30
	15-25	25-32	21-38	38-45
1300	冷料加入量kg/t			
	≤0.15	0.15-0.20	0.20-0.25	0.25-0.30
	15-30	30-36	36-42	42-48

1、铁水温度每上升10°C，球返冷却剂增加1.8kg/t；铁水Si≥0.20%时，配加返铁进行温度调整。

2、低温及其它异常情况时可适当降低冷却剂用量；

3、若铁水温度过低或Si偏低，采用多批少量加入；

4、铁水Si±0.01%，影响温度±4.78°C，相应增减冷料加入量。



工艺流程

□ 供氧制度：单流道四孔拉瓦尔型氧枪喷头，供氧压力0.8~0.85MPa，供氧量20000-21000Nm³/h，过程枪位控制采用恒压变枪的方式，且为降低钒渣TFe，终点压枪时间>30秒：

提钒操作要点

提钒操作要点要求

铁水Si(%)	<0.15%	0.15%-0.30%	>0.30%
过程枪位(m)	1.5	1.4	1.3
终点压枪(m)	1.4	1.3	1.3

□ 冷却制度：

- 1、采用球团矿、球返、外购球、钒渣铁作冷却剂，冷却剂必须在2.5min内加完；
- 2、采用“钒渣铁产消平衡，其余用球返、球团或外购球消耗多余热量及调温”的组合冷却方式。无钒渣铁时，全部应用球返等其他物料代替；

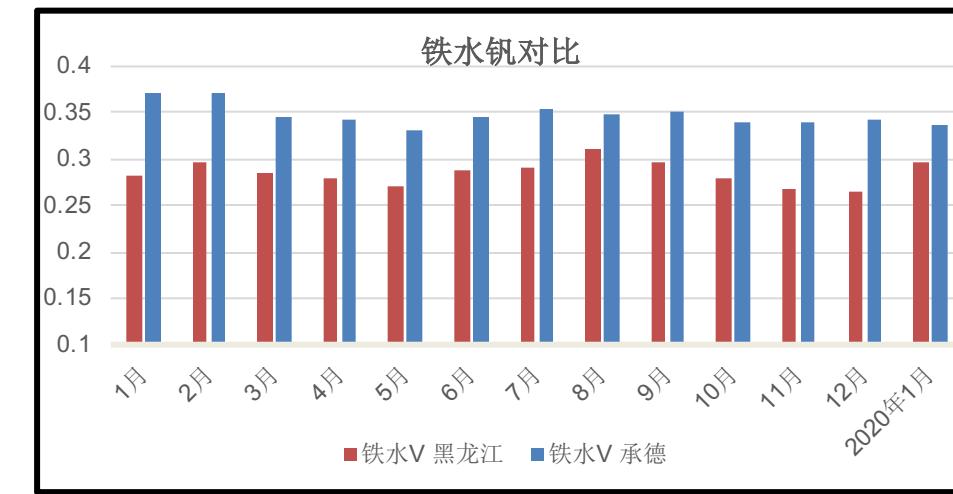
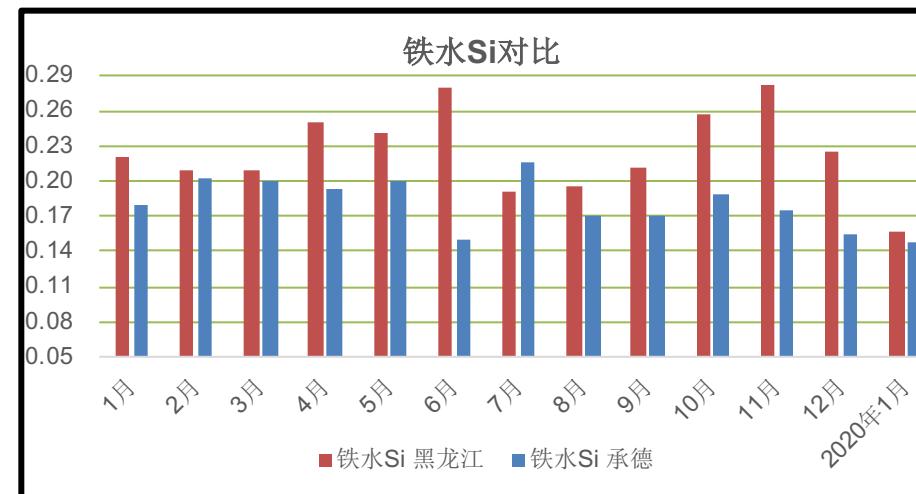
□ 终点控制：终点温度1360~1400°C、半钢碳目标≥3.5%、半钢残钒目标值对应铁水钒氧化率90%进行核算设定；**□ 出钒渣炉次操作的注意事项**

- 1、不加钒渣铁，防止熔化不完全；
- 2、吹炼终点温度靠上限，有利于渣铁分离；
- 3、控制好终点渣的氧化性，出渣炉次禁止用氧气吹扫炉口；
- 4、出钒渣前和过程中必须确认渣态，避免夹有半钢或未融化冷料。

铁水条件对比

提钒指标对比

项目		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2020年1月
铁水Si	黑龙江	0.22	0.21	0.21	0.25	0.24	0.28	0.19	0.195	0.211	0.256	0.282	0.224	0.156
	承德	0.18	0.20	0.20	0.19	0.20	0.15	0.215	0.169	0.171	0.189	0.175	0.155	0.148
铁水V	黑龙江	0.281	0.298	0.284	0.279	0.27	0.287	0.292	0.311	0.298	0.279	0.268	0.264	0.297
	承德	0.372	0.372	0.346	0.342	0.331	0.346	0.354	0.348	0.351	0.338	0.339	0.342	0.336



黑龙江铁水Si平均0.224%，承德为0.180%差异+0.044%（铁水硅高导致钒渣渣态稀影响出钢钒渣流失量增大影响钒回收率降低），黑龙江铁水V平均为0.285%，承德为0.347%差异-0.062%（铁水钒高，钒渣钒品位高即高熔点物质增大出钢钒渣流失减少有利于提升钒回收率）。

集团内部提钒指标对比



建龙集团
JIANLONGGROUP

铁水条件对比

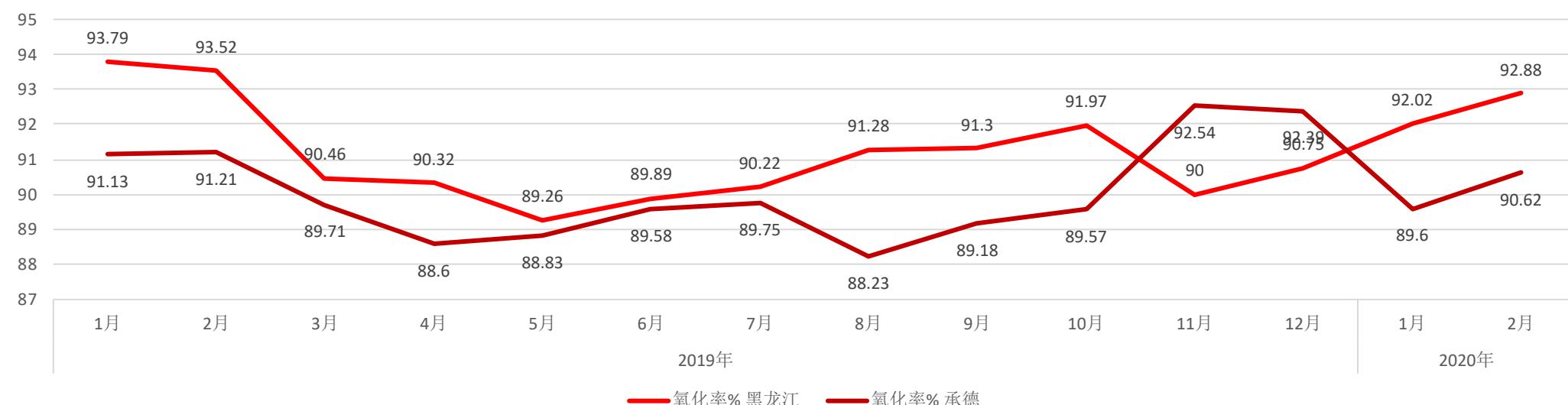
提钒指标对比

半钢质量

钒渣品位

Tfe及返铁

项目		2019年												2020年	
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
残钒%	黑龙江	0.0176	0.0193	0.027	0.027	0.029	0.029	0.028	0.0271	0.0257	0.0224	0.0268	0.0236	0.0237	0.023
	承德	0.033	0.0327	0.0356	0.039	0.037	0.036	0.0363	0.041	0.038	0.0353	0.0253	0.026	0.035	0.032
氧化率%	黑龙江	93.79	93.52	90.46	90.32	89.26	89.89	90.22	91.28	91.3	91.97	90	90.75	92.02	92.88
	承德	91.13	91.21	89.71	88.6	88.83	89.58	89.75	88.23	89.18	89.57	92.54	92.39	89.6	90.62



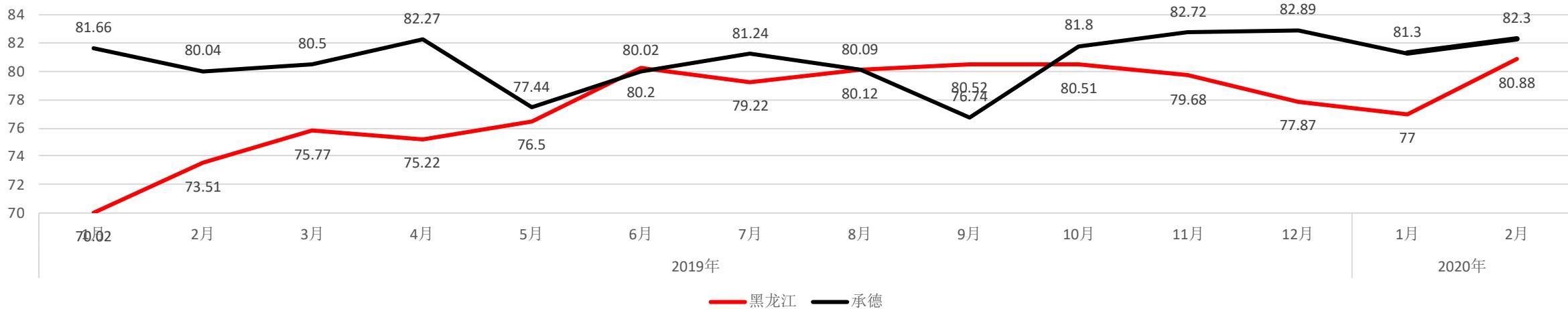
黑龙江钒氧化率为91.26%，较承德（90.06%）高1.20%，钒氧化率指标优于承德。

集团内部提钒指标对比



钒回收率

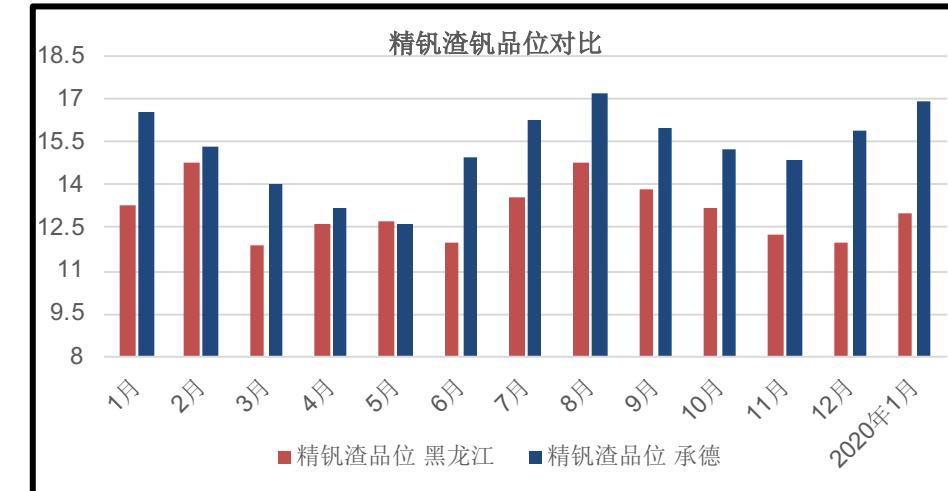
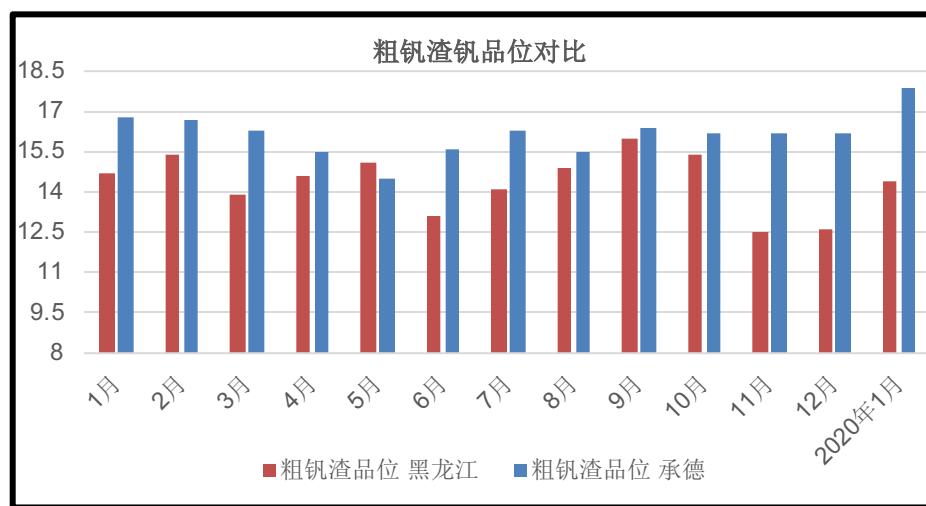
项目		2019年												2020年	
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
钒回收率	黑龙江	70.02	73.51	75.77	75.22	76.5	80.2	79.22	80.12	80.52	80.51	79.68	77.87	77	80.88
	承德	81.66	80.04	80.5	82.27	77.44	80.02	81.24	80.09	76.74	81.8	82.72	82.89	81.3	82.3



黑龙江建龙钒回收率77.64%较承德建龙（80.78%）低3.14%，其中承德建龙钒回收率计算中考虑了返渣钢中钒渣量（20%比例）的影响（影响钒回收率提升1%），2019年1-4月份由于铁水粘包影响提钒比导致我公司钒回收率较低，4月份铁水粘包问题解决，提钒比不再是影响钒回收率主要原因，5月份后挡渣球聚渣剂投入使用，钒回收率逐步提升（19年6月份至2020年2月份钒回收率平均79.55%较承德建龙低1.46%），11月后由于高炉铁水Si+Ti较高，同时内部留钢操作执行效果较差，钒渣流失增加，影响钒回收率降低。影响钒回收率主要因素为提钒比、钒氧化率及出钢钒流失三方面，目前提钒比已经解决，故重点从氧化率及出钢钒流失进行分析。

铁水条件对比**提钒指标对比****半钢质量****钒渣品位****Tfe及返铁**

项目		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2020年1月
粗钒渣品位	黑龙江	14.66	15.38	13.89	14.56	15.11	13.09	14.1	14.88	15.98	15.43	12.50	12.61	14.38
	承德	16.77	16.72	16.33	15.53	14.49	15.58	16.26	15.51	16.43	16.16	16.23	16.17	17.83
精钒渣品位	黑龙江	13.26	14.76	11.9	12.65	12.76	12.02	13.54	14.82	13.82	13.24	12.22	11.94	13.03
	承德	16.55	15.36	14.06	13.15	12.64	14.92	16.23	17.16	15.97	15.21	14.91	15.87	16.93



黑龙江粗钒渣钒品位为14.35%，承德为16.15%差异-1.8%，精钒渣钒品位黑龙江为13.07%，承德为15.30%差异-2.23%。

铁水条件对比

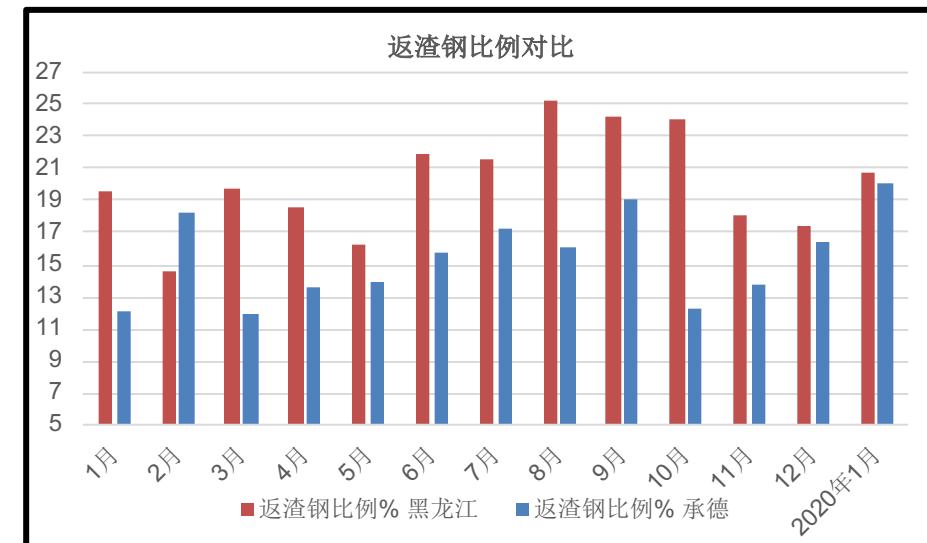
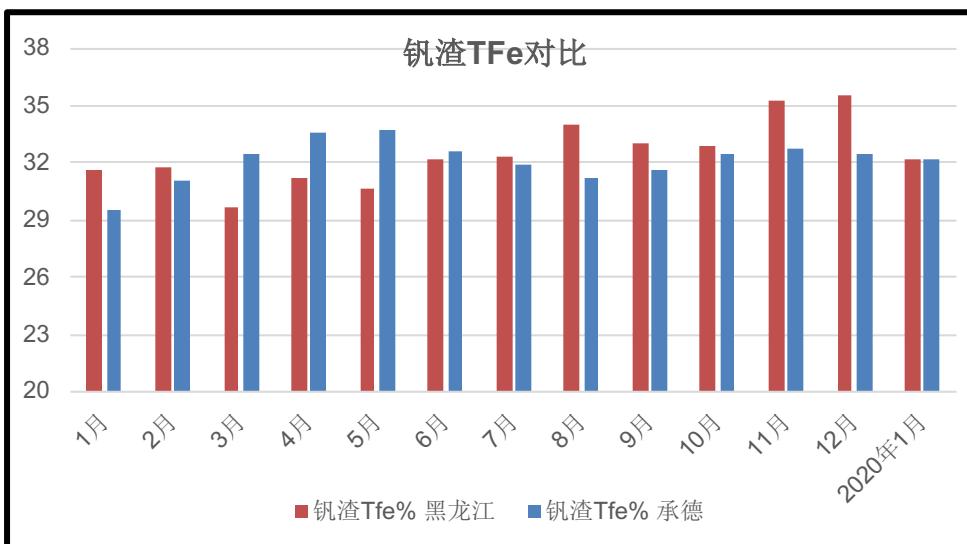
提钒指标对比

半钢质量

钒渣品位

TFe及返铁

项目		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2020年1月
钒渣TFe%	黑龙江	31.62	31.75	29.75	31.19	30.63	32.14	32.35	34.04	33.09	32.9	35.23	35.57	32.18
	承德	29.58	31.1	32.48	33.62	33.8	32.58	31.86	31.28	31.68	32.54	32.83	32.53	32.14
%返渣钢比例	黑龙江	19.64	14.50	19.82	18.54	16.26	21.85	21.63	25.19	24.17	24.13	18.01	17.37	20.8
	承德	12.07	18.27	11.92	13.64	14.00	15.7	17.27	16.06	19.1	12.17	13.8	16.40	20.0



钒渣TFe含量黑龙江为32.49%承德为32.15%差异+0.34%，返渣钢比例黑龙江为20.14%，承德为15.41%差异+4.73%。



内部控制对比

项目	黑龙江	承德	差异
渣态调整	铁水Si>0.22%时加入聚渣剂调整渣态	不使用	
出钢挡渣	出钢前戴挡渣塞 出钢过程加入挡渣球	几乎不使用	
出钢时间控制	出钢口出钢时间>3.5分钟	纯出钢时间4分钟	
留钢操作	炉炉留钢	不留钢操作	不留钢有利于减少返渣钢量
供氧时间	4分30~5分10秒	5分钟~6分钟（平均5分40秒）	供氧时间较长有利于冷料熔化减少返渣钢比例

序号	差异项	原因分析	改善措施	备注
1	钒回收率	<p>黑龙江钒回收率为77.34%较承德为80.67%低3.33%原因是：</p> <p>1、1~4月铁包粘包严重补铁水炼钢，提钒比低影响钢厂钒回收率降低；</p> <p>2、出钢钒渣流失：</p> <p>1）、铁水Si高导致钒渣稀、流动性强，导致出钢钒渣流失量增大；，若每班需要维护两次以上必须更换，保证出钢时间≥3.5min；</p> <p>2）、出钢口大影响钒渣流失。</p>	<p>1、出钢前加挡渣塞、出钢过程加挡渣球挡渣出钢；</p> <p>2、铁水Si > 0.22%时采用加聚渣剂调整渣态后在出钢；</p> <p>3、出钢口出钢时间 < 3.5min及时维护，保证出钢时间≥3.5min；</p> <p>4、留钢操作。</p>	<p>1、目前从执行措施效果看，铁水Si > 0.25%时钒渣流失较以前明显减少，要再进一步提高钒回收率建议铁水Si > 0.25%的比例 < 15.0%；</p> <p>2、后续计划建立提钒静态模型便于指导岗位操作；</p>
2	钒渣钢比例	<p>返渣钢比例黑龙江为20.14%较承德为.41%高4.73%主要原因是：</p> <p>1、生产节奏紧导致吹炼时间短（平均供氧时间5分钟左右）导致提钒后期渣铁分离时间短影响钒渣钢比例升高，承德提钒平均吹氧时间5分30秒，提钒后期渣铁分离时间长（提钒炉处理铁水能力大于后续炼钢炉处理半钢能力）；</p> <p>2、由于铁水Si高渣浠为保钒回收率采用留钢操作影响钒渣钢比例上升；</p>	<p>1、出渣炉次供氧时间 > 5分10秒；</p> <p>2、出渣炉次终点温度按1370°C ~ 1400°C控制；</p>	



提钒现状

提钒转炉用物料

提钒技术指标

影响钒渣质量原因

□ 提钒用原料—含钒铁水

含钒铁水：含钒铁水是提钒的主要原料，其化学成分决定着钒渣质量（V/(Si+Ti)的比值大小直接影响钒渣V2O5品位高低）

铁水w/%	Si	Si>0.2%比例	Ti	Si+Ti	V	V>0.29%比例	V/(Si+Ti)
4月1~14日	0.115	9.9	0.11	0.225	0.278	19.32	1.235
5月1~13日	0.083	3.82	0.104	0.183	0.295	56.9	1.612
6月1~11日	0.131	14.38	0.148	0.279	0.282	35.2	1.01

□ 提钒主要用冷料—球返、弃渣球、高钒块矿

项目	成分w/%						
	CaO	SiO2	TiO2	P	V2O5	Fe2O3	TFe
球返、	0.96-1.67	3.54		0.054	0.407		60
弃渣球	0.9-1.12	8.0-11.2			0.4		50-58
块矿	0.3	2	12.62		1.52		54.9

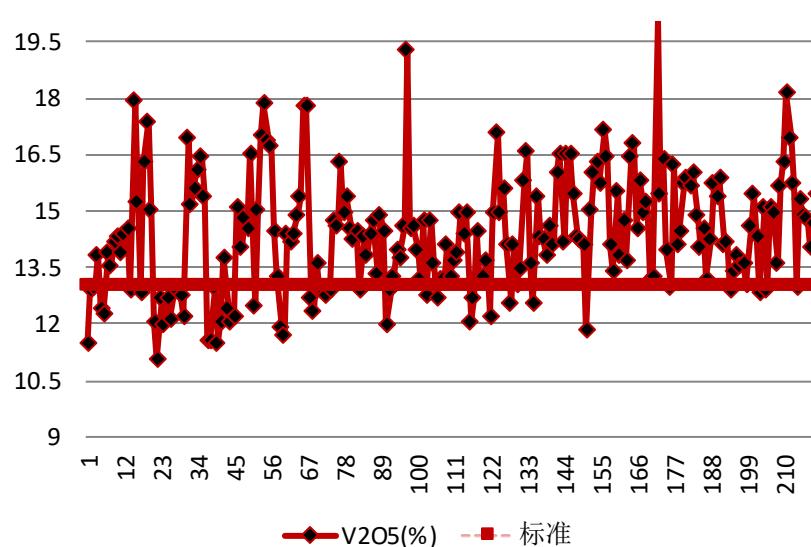
说明：

- 1、球返：优点，TFe高冷却效应高、杂质少影响钒渣钒品位降低相对其它两种冷料小，缺点，CaO高影响钒渣CaO升高；
- 2、弃渣球：优点，二次钒资源回收利用即回收钒业弃渣中的钒和铁、冷却效应相似于块矿，缺点，TFe低、SiO2高；
- 3、块矿：优点，增加钒投入、CaO和SiO2相对于其它两种冷料低，缺点加入过多影响钒品位降低，TFe低、TiO2高。

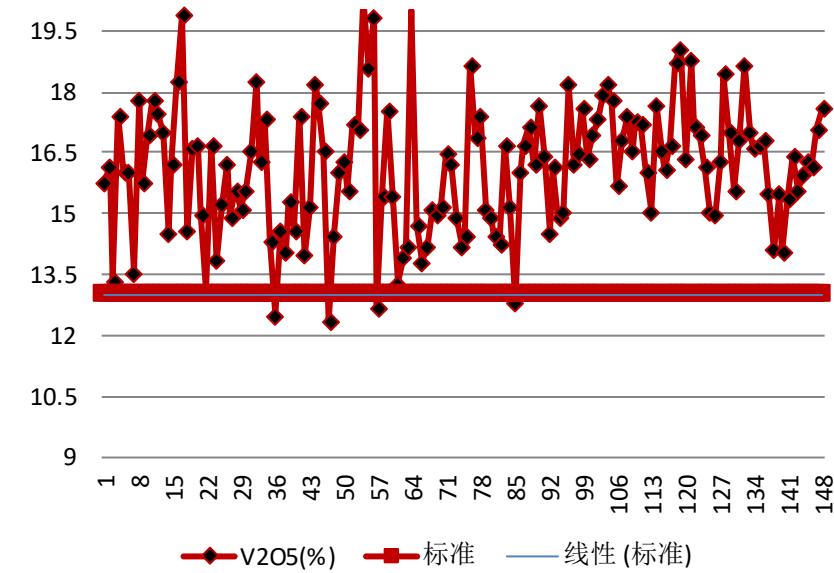
提钒现状**提钒转炉用物料****提钒技术指标****影响钒渣质量原因**

	粗钒渣	成分W/%					
		CaO	SiO2	TiO2	P	V2O5	TFe
4月1~14日	1.71	17.33	7.81		14.37	32.35	
5月1~13日	2.49	16.44	8.88		16.14	26.35	一罐到底
6月1~11日	1.61	16.51	14.39		12.58	32.13	一罐到底

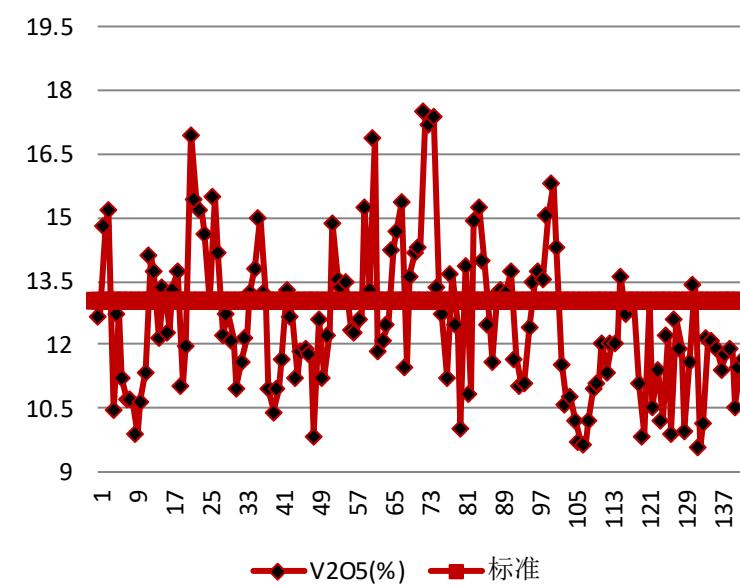
4月1-14日V2O5%



5月1-13日V2O5%



6月1-11V2O5%



从表看出：6月份以来钒渣钒品位低（12.58%），5月钒渣CaO最高（2.49%）

外部因素铁水条件影响钒渣V2O5品位：铁水V于Si+Ti的比值，4月为1.235、5月为1.612、6月为1.01

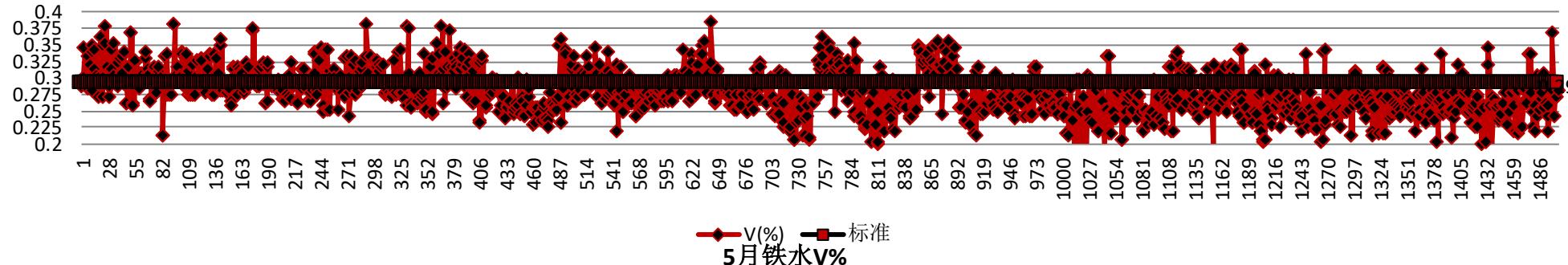
提钒现状

提钒转炉用物料

提钒技术指标

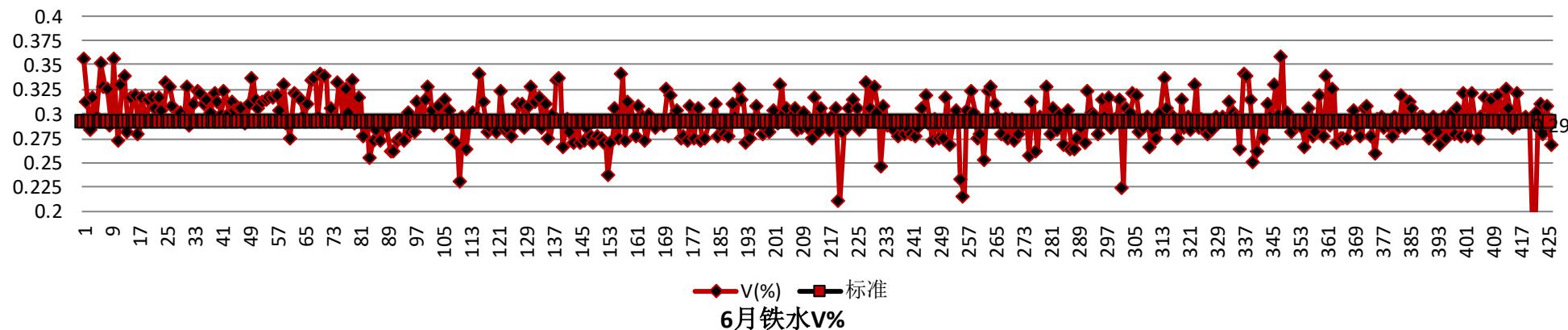
影响钒渣质量原因

4月铁水V%

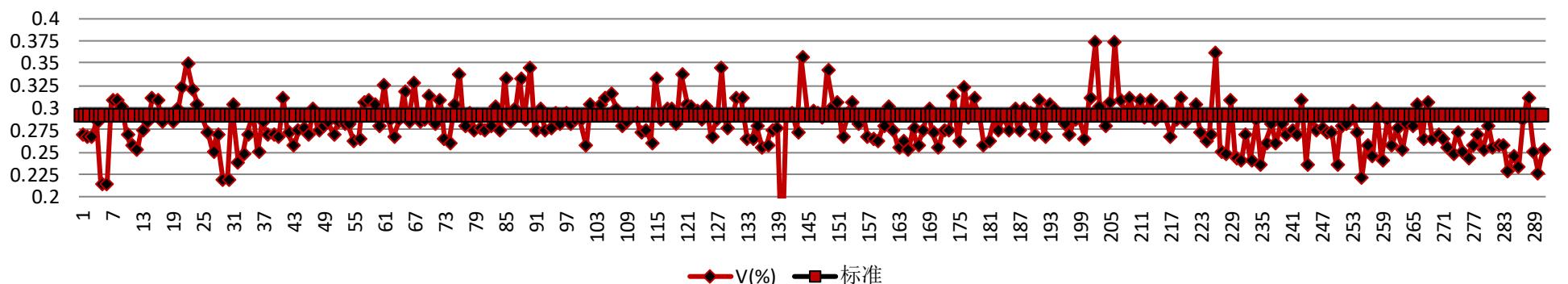


—◆— V(%) —■— 标准
5月铁水V%

6月铁水V%



—◆— V(%) —■— 标准
6月铁水V%



—◆— V(%) —■— 标准

提钒现状

提钒转炉用物料

提钒技术指标

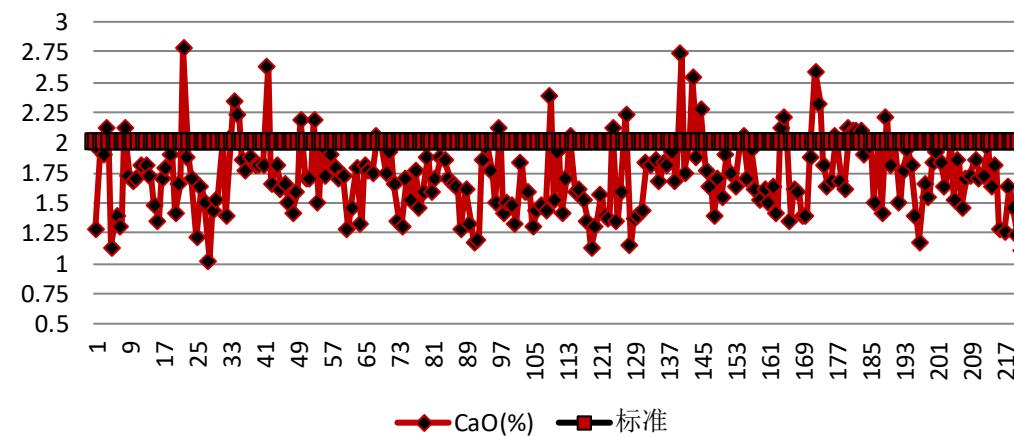
影响钒渣质量原因

内部因素影响钒渣V2O5、CaO品位：

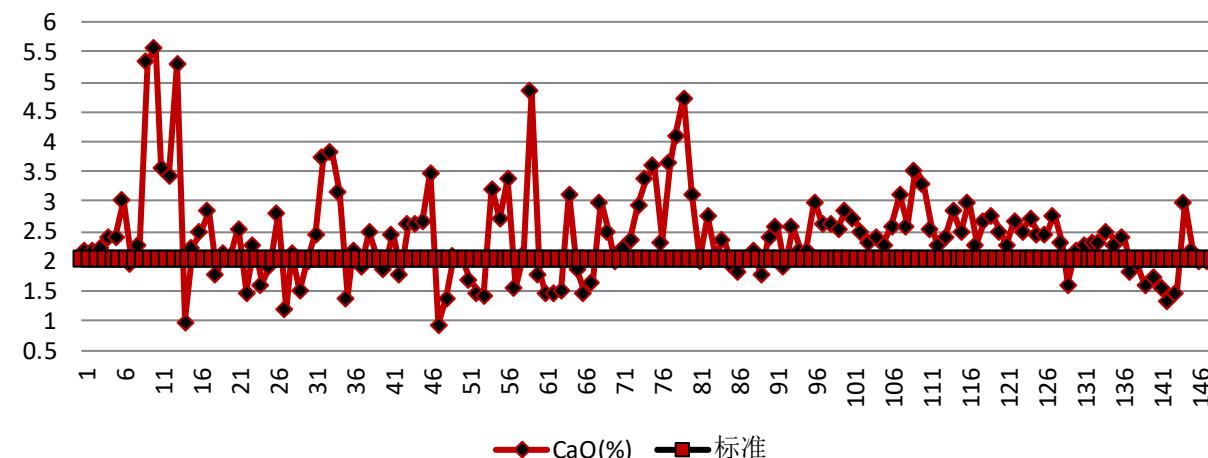
- 1、一罐到底以后铁水温度升高20~30℃，提钒为平衡温度增加冷料配吃量约10Kg/t铁水，带入钒渣中的杂质（SiO2、CaO）增加影响钒渣钒品位降低、CaO升高；
- 2、一罐到底以后，高炉铁罐中途不折罐直接在提钒炉兑铁导致铁罐里的高炉渣（含CaO高）进入提钒炉内，影响钒渣CaO升高钒品位降低；

提钒数据						
日期	铁钒铁水t	冷料加入t	冷料消耗 (Kg/t)	粗钒渣CaO%	粗钒渣V2O5%	备注
4月1-14日	79406.72	1836.1	23.12272815	1.71	14.37	配吃钒渣钢
5月1-13日	47763.52	1586	33.2052579	2.49	16.14	未配吃钒渣钢
6月1-11日	47763.52	2099.6	43.95823423	1.61	12.58	配吃钒渣钢，使用块矿

4月钒渣CaO%



5月粗钒渣CaO%



说明：6月份粗钒渣CaO较5月底原因是6月配吃高钒块矿，块矿CaO含量0.3%较球返1.2%低0.9%；



提钒现状

钒渣质量下降综合原因:

- 1、铁水V低即铁水V与Si+Ti的比值低影响钒品位降低;
- 2、一罐到底铁水热量增加导致提钒冷料加入量增大带入钒渣杂质多影响钒品位降低;

改进方向:

- 1、炼铁铁罐加入废钢降低铁水物理热，减少提钒冷料加入即减少冷料带入杂质影响钒品位和CaO升高;
- 2、调整冷料结构采用氧化铁皮球做提钒冷料（氧化铁皮TFe高约在68%几乎不含CaO、SiO₂等杂质）提升钒渣钒品位降低CaO含量;

提钒转炉用物料

提钒技术指标

影响钒渣质量原因

汇报完毕