

高炉冶炼

钒钛磁铁矿

理论与实践

- 马家源 主 编
- 孙希文 副主编
- 刁日升

冶金工业出版社

TF53
2000563

高炉冶炼钒钛磁铁矿 理论与实践

马家源 主 编
孙希文 副主编
刁日升

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2000

图书在版编目(CIP)数据

高炉冶炼钒钛磁铁矿理论与实践/马家源主编.

—北京:冶金工业出版社,2000.5

ISBN 7-5024-2556-X

I. 高… II. 马… III. 钒钛磁铁矿-原料-高炉冶炼 IV. TF53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 14455 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 郭庚辰 李培禄 李梅 张登科 美术编辑 王耀忠

责任校对 刘倩 责任印制 牛晓波

北京源海印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2000 年 5 月第 1 版;2000 年 5 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;74 印张;2441 千字;1166 页;1-3300 册

156.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64044283

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

向参与高炉冶炼高铁型
钒钛磁铁矿技术开发以及将
这项技术不断推向高峰的人
们致以崇高的敬意！

《高炉冶炼钒钛磁铁矿理论与实践》

编 辑 委 员 会

名誉主编：洪及鄙 周传典 杨天钧

主 编：马家源

副主编：孙希文 刁日升

编 委：(按姓氏笔画为序)

刁日升 马家源 王文忠 王喜庆 石 军 石维勋

付楚云 孙希文 刘建明 杜鹤桂 苏志忠 李平伟

李贤干 李道昭 邱述明 范云东 周一平 金显忠

易善永 胡庆昌 徐本有 徐矩良 唐银生 郭庆第

盛世雄 蒋 钧 裴鹤年 廖代华 戴 楠 解殿春

编 辑：王 戈 王 华 王 晶 刘树芳 汪智德 李俊辉

张建涛 张善坤

前 言

我国四川攀西地区蕴藏着丰富的钒钛磁铁矿，其工业贮量达 80 亿 t 以上，是我国三大铁矿之一，与铁共生的钒钛资源储量在国内及世界上也占有举足轻重的地位。攀枝花钒钛磁铁矿含 TiO_2 高，属于高钛型钒钛磁铁矿，在高炉冶炼时炉渣中 TiO_2 含量高达 27%~30%，冶炼难度极大，一些外国专家认为这是一种呆矿，采用高炉法是无法冶炼的。

关于钒钛磁铁矿的冶炼技术，许多国家在 19 世纪初期就开始研究。对于冶炼时炉渣中 TiO_2 含量低于 10%~12% 的钒钛矿，用冶炼普通矿的技术就可以解决，这在我国马鞍山钢铁公司和前苏联的丘索夫厂和下塔吉尔厂已有多年的生产经验。然而对于冶炼时炉渣中 TiO_2 含量超过 20% 的高钛型钒钛磁铁矿，在冶炼过程中会出现炉渣变稠、渣铁不分的困难，用普通矿的冶炼工艺难以解决。这一难点在攀钢之前的一百多年间，一直未能解决。

我国是从 1958 年开始研究高钛型钒钛磁铁矿冶炼技术的。在毛主席的一系列指示下，原冶金工业部于 1965 年组织了全国冶金系统生产、科研、大专院校及有关人员进行系统攻关。从 1965 年到 1967 年，先后在承德、西昌和北京等生产现场进行了攀枝花钒钛磁铁矿选矿、烧结和高炉冶炼的大规模工业试验。与此同时，为配合工业试验，有关院校和科研单位还进行了大量的实验室研究。在吸收前人经验的基础上，创造出了一套高钛型钒钛磁铁矿选矿、烧结、高炉冶炼的新工艺。用普通大型高炉冶炼高钛型钒钛磁铁矿技术是我国冶金界自行研究开发的重要技术成果，是我国炼铁技术独立发展的重要标志，为此曾获得国家发明一等奖。

今年是攀钢高炉投产 30 周年。回顾 30 年的历史，攀钢炼铁技术的发展主要经历了三个阶段。1970 年~1977 年为熟悉、了解和掌握高炉冶炼高钛型钒钛磁铁矿特点的阶段。这个阶段中相继建成了一、二、三号高炉，高炉炉料为全钒钛烧结矿，生产不正常，经常被前期开发研究所未能解决的泡沫渣、铁损高和粘罐等问题所困扰，高炉休风率高，技术经济指标低下，连年亏损。这个阶段中对冶炼钒钛矿高炉泡沫渣的现象、性质以及产生的原因和消除的办法上投入了较多的研究力量。对于泡沫渣究竟是在炉内产生的还是在炉外产生的，有较大的技术观点分歧。1978 年~1994 年为冶炼高钛型钒钛磁铁矿技术的发展阶段。该阶段在优化炉料结构上有了重大的突破，高炉配加适量的不含钛的普通块矿，泡沫渣现象减少。同时通过技术攻

关解决了困扰生产发展的一系列技术难题，高炉生产有了较大的发展，1978年高炉利用系数首次突破 $1.4\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的设计水平，攀钢炼铁厂终于改变了连续8年亏损的生产局面。在这一阶段中，高炉冶炼技术不断发展，生产水平不断进步，但高炉利用系数一直徘徊在 $1.5\sim 1.7\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 之间。在这一阶段中，对消除泡沫渣的方法进行了较多的理论和实验研究，尤其对配加普通块矿后泡沫渣现象减少的原因究竟是“稀释”，还是“抑制”有较大的技术观点分歧。1995年到目前这个阶段为钒钛磁铁矿强化冶炼阶段。1995年开始逐项解决限制高炉冶炼进一步强化的技术问题。首先从解决入炉原料的筛分入手，使高炉有了一个好的原料基础，然后针对入炉原料铁分低($\text{TFe}=46\%\sim 47\%$)，渣量大($750\text{kg}/\text{t}$ 左右)的特点，调整合适的鼓风动能，优化炉料结构，使用合理的料制度冶炼强度不断提高。并且不断提高喷煤比，进行无钟炉顶多环布料、富氧鼓风、快速开停炉以及高炉长寿等技术的研究和开发，使高炉生产连年上台阶。1995年下半年高炉利用系数达到 $1.7\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 以上，1996年超过 $1.8\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ，1997年为 $1.929\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ，1998年为 $1.972\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ，1999年上半年已达到 $2.131\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

在攀钢高炉冶炼高钛型钒钛磁铁矿技术发展的第三阶段，不但高炉利用系数有较大的提高，而且各项指标都达到历史最好水平。高炉入炉焦比，在第一阶段，即1977年以前为 $700\text{kg}/\text{t}$ 以上；第二阶段，即1994年以前，为 $600\text{kg}/\text{t}$ 以上；而第三阶段（1999年上半年）已达到 $500\text{kg}/\text{t}$ 以下，1999年年底已接近 $450\text{kg}/\text{t}$ 。高炉喷煤技术有了长足的发展。攀钢高炉喷煤曾被判为技术禁区，但在攀钢炼铁技术人员的不断努力探索下，不仅突破了这一禁区，而且使喷煤比不断提高。高炉喷煤比从1995年的 $17\text{kg}/\text{t}$ ，已经提高到目前的 $120\text{kg}/\text{t}$ ，创造了巨大的经济效益和社会效益，因此获得了1999年度国家科技进步一等奖。

为了能够系统地总结用普通大型高炉冶炼高钛型钒钛磁铁矿这一宝贵的技术成果，纪念攀钢高炉投产30周年以及向为此项技术的发展曾做出贡献或给予支持的广大技术人员和相关人员表示由衷的感谢和敬意，特编辑出版这本文集。



（鉴于企业保密要求，部分相关文章没有收入，已收入文章的保密内容作了适当修改。）



前 言

- 大型高炉冶炼钒钛铁矿问题的探讨 1972~1973年 周传典(1)
攀钢高炉冶炼钒钛磁铁矿的技术进展 1997年 马家源,孙希文,刁日升(10)
钒钛磁铁矿高炉冶炼的强化 1999年 马家源,孙希文,盛世雄(15)
攀枝花钒钛磁铁矿高炉冶炼的特点 1989年 周传典,庄镇恶,李殷泰,马家源,汤乃武(22)
攀钢高炉冶炼钒钛矿的实践 1989年 王喜庆,易善永,刁日升(27)

第一篇 实验与理论研究

钒钛的还原与氧化

- 攀枝花钒钛磁铁矿高温还原中的重要物理化学问题 1980年 徐采栋,林 蓉(35)
含 TiO_2 高炉型渣还原反应动力学研究 1981年 詹庆霖,冀春霖(42)
钒钛矿高炉冶炼钛、硅还原的热力学分析 1984年 曹 质(46)
钒钛磁铁矿高炉冶炼的热力学讨论 1984年 戚大光,李道昭,张桂欣,樊钟曾(50)
含 TiO_2 熔渣与铁液之间钛的行为 1986年 杜鹤桂,沈峰满(56)
高炉内钒还原行为的研究 1988年 施月循,许力贤,王文忠(60)
高钛渣中 FeO 还原对 $Ti(C,N)$ 生成的抑制作用 1988年 杜鹤桂,杜 钢(66)
高炉初始滴落渣氧位对渣中 TiO_2 还原的研究 1988年 杜鹤桂,余仲达(72)
 SiO_2 对 TiO_2 还原的抑制作用 1990年 杜鹤桂,吴俐俊(80)
高炉内硅钛还原与氧化的热力学讨论 1990年 丁跃华(88)
高炉型含钛炉渣中 MnO 对 TiO_2 还原的影响 1991年 杜鹤桂,邹安华(93)
高炉型钛渣中 V_2O_5 对 TiO_2 还原的抑制 1994年 杜鹤桂,张子平(98)

泡沫渣的成因及性质

- 钒钛矿冶炼的泡沫渣问题 1973年 攀钢炼铁技术攻关组(101)
钒钛矿冶炼炉内泡沫渣产生的原因及配矿消泡原理的探讨 1981年 曹 质(110)
高炉冶炼高钛型炉渣泡沫渣成因的浅析 1982年 王喜庆(114)
就 $28m^3$ 高炉配加太和块矿消泡试验谈泡沫渣问题 1982年 代振义(119)
钒钛磁铁矿消泡作用的岩相研究 1982年 刘洪云(124)

含钛高炉渣泡沫稳定性的研究	1983年 朱元凯,毛裕文,郭昭信,王功厚,董亚隆(127)
攀钢高钛型泡沫渣的成渣过程研究	1983年 屈经文,姜家媛(132)
高钛泡沫渣形成过程与炉料结构	1985年 杨世泽,刘清才(136)
高炉泡沫渣成因的研究	1986年 杜鹤桂,郭兴敏(142)
用X射线透视研究高钛渣泡沫渣形成过程	1989年 杨兆祥,王克然(147)
高炉高钛渣冶炼泡沫渣形成机理及影响因素的研究	1991年 刘建明,贾学庆,卢贤俊,王益临(152)
全钒钛矿冶炼时含钛高炉渣起泡现象的研究	1996年 贾 碧,齐宝铭(158)

炉渣中 TiO₂ 的性质

从炉渣离子理论计算的硫分配比看攀钢钒钛铁矿中 TiO ₂ 的属性	1988年 魏寿昆(163)
论高钛型炉渣高炉冶炼中 TiO ₂ 的属性	1989年 王喜庆(166)
TiO ₂ 在高炉冶炼过程中的行为	1989年 徐鸿飞,彭凤翔,刁日升(171)
高炉型熔渣中 TiO ₂ 的活度	1992年 刘焕明,杜 红,杨祖磐,李国栋,杜 昆(177)
含 TiO ₂ 炉渣离子团结构与体相粘度和密度的关系	1992年 刁日升,王喜庆,杜鹤桂,王怀永,张 熔(181)
含 TiO ₂ 炉渣离子团结构与表面性质的关系	1992年 刁日升,王怀永,张 熔(185)
含 TiO ₂ 炉渣离子团结构与脱硫能力的关系	1993年 刁日升(188)

含钛渣铁的性质

氧化镁对高炉型钛渣粘度和熔化性温度的影响	1979年 马家源,曹 质,李玉铎(194)
氧化镁对高炉型钛渣脱硫能力的影响	1980年 马家源,张庆生(202)
高炉内钛渣堆积物的形态及生成机理	1980年 马家源,刘庆华,刘洪云(209)
攀钢一号高炉第一代大修内衬侵蚀调查	1980年 盛世雄,王心让(221)
攀钢生产流程中铁水温度及成分的变化规律	1981年 马家源,黄有猷(227)
含氧化钛高炉渣的碱度计算	1981年 杨祖磐,赵乃仁(233)
冶炼钒钛矿高炉炉底的侵蚀情况及机理探讨	1982年 刘庆华(237)
含钛炉渣脱硫能力的研究	1984年 李殷泰,段振瀛(245)
含钛炉渣的脱硫能力和提高攀钢生铁质量的探讨	1984年 车传仁,王文忠(252)
攀钢三号高炉内粘结物的矿相研究	1985年 刘洪云(256)
高炉钛渣高温还原变粘规律	1985年 谢冬生,毛裕文,郭昭信,朱元凯(264)
含钛高炉渣与生铁间表面张力测定	1987年 毛裕文,罗维忠,陆富荣,朱元凯(273)
酸性高炉型钛渣脱硫性能的研究	1987年 刘嘉澍,李道昭(276)
含氧化钛高炉型渣中氧化镁对脱硫的影响	1987年 黄振奇,杨祖磐,郭庭虎(281)
含氧化钛高炉型渣中氧化镁对氧化钙活度的影响	1987年 黄振奇,杨祖磐,狄丽梅(284)
攀钢冶炼钒钛矿高炉炉体侵蚀的研究	1988年 盛世雄,张卫东,马永华(287)
攀钢高炉渣作炉体下部护炉添加剂的评价	1988年 苏志忠,金显忠,高永庆,袁 建(291)
高炉含钛炉料护炉机制	1988年 王文忠(294)
含氧化钛高炉型渣表面张力的测定	1988年 杨祖磐,吴 铿,黄振奇(299)
攀钢高炉渣的冶金性能	1989年 屈经文(302)
氧化锰对含钛化合物高炉渣性能的影响	1989年 陶 峻,黄务淦(307)
还原条件下钛渣表面张力的研究	1989年 王文忠,施月循(312)

含氧化钒高炉型渣中氧化钙的活度和碱度公式	1990年 刘焕明,杨祖磐,田彦文(314)
氮在高炉渣中的溶解规律和存在形态	1990年 杜 昆,杨祖磐(318)
Ti(C,N)对高炉冶炼的影响	1991年 杜鹤桂,杜 钢(322)
高炉冶炼钒钛磁铁矿护炉机理的探讨	1994年 苑天宇(326)
攀钢高炉铁水的性质	1996年 文光远,鄢毓璋,周培土,周永成,廖代华,王 戈(329)
高炉冶炼钒钛磁铁矿的脱硫特点	1996年 刁日升(334)
高炉冶炼全钒钛铁矿时渣中带铁量的研究	1996年 贾 碧,齐宝铭(338)
钒、钛氧化物的还原对高炉渣、铁温度的影响	1998年 刁日升(342)

钒钛矿的高炉冶炼过程

高炉冶炼钒钛磁铁矿的理论与实践	1984年 王文忠,余 琨(345)
高炉冶炼钒钛烧结矿软熔带的研究	1984年 虞蒸霞,杜鹤桂,韩建平(349)
冶炼钒钛磁铁矿的炉内过程	1984年 戚大光,李道昭,樊钟曾(358)
钒钛磁铁矿高炉冶炼中渣铁形成的特点	1984年 王文忠(363)
小高炉冶炼钒钛磁铁矿解剖研究	1984年 詹 星(368)
钒钛磁铁矿的还原、软化和滴落特性的研究	1984年 杜 钢,杜鹤桂(378)
钒钛烧结矿在高炉内的还原相变	1985年 邓朝枢(382)
高炉合理煤气流分布与软熔带理论和实践问题的探讨	1988年 王喜庆(387)
高炉全钒钛磁铁矿冶炼的研究	1989年 李道昭,刘嘉澍,杨连福,李自强(392)
钒钛磁铁矿高温熔态还原过程中渣相矿物组成变化	1990年 邹德余,张丙怀,刘清才,赵诗金(396)
钒钛磁铁矿高温还原过程中气体行为分析	1990年 刘清才,张丙怀,邹德余,涂 敏(402)
攀钢高炉矿焦混装软熔性能的研究	1993年 杜鹤桂,张之平,王殿君(408)
钒钛烧结矿高炉冶炼软熔滴落带还原过程模拟研究	1993年 包毅成,贾学庆,宋国才(413)
钒钛矿与普通矿在高炉各带中的行为差异	1994年 刁日升(421)

炉料结构研究

高炉冶炼钒钛磁铁矿合理炉料结构的研究	1985年 杜鹤桂,郭兴敏(426)
攀钢高炉炉料结构的探讨	1987年 徐鸿飞(434)
攀钢高钒型钒钛磁铁矿冶炼高炉炉料结构的探讨	1987年 谢龙淮,张卫东(437)
关于攀钢高炉合理配矿的问题	1990年 王喜庆(441)
钒钛铁矿石的还原、熔滴性能及高炉炉料结构的探讨	1992年 周素华,刘清才,裴鹤年(446)
试论高炉冶炼钒钛磁铁矿的合理炉料结构	1994年 彭凤翔(451)
攀钢冶炼钒钛磁铁矿的炉料结构研究	1996年 马家源,刁日升(457)

冶炼钒钛矿对焦炭性质的影响

小高炉冶炼钒钛矿时焦炭结构的变化	1984年 崔秀文,王竹萍,姜雅丽(462)
焦炭在钒钛磁铁矿高炉冶炼中性质变化的研究	1984年 金邦新,胡万里(467)
攀钢焦炭在钒钛矿冶炼中性状的研究	1984年 朱明三,高 华,朱尚德(474)
渣-焦反应对焦炭性状的影响	1989年 施月循,王文忠(479)
钛渣与焦炭界面性质的研究	1989年 施月循,王文忠(484)

其 他

- 攀钢高炉炉顶布料模型的研究 1987年 杜鹤桂,丁学勇(487)
- 矿焦混装提高钒回收率的研究 1987年 王文忠,李 伟(493)
- 攀钢四号高炉无料钟炉顶烧结矿粒度分布规律及数学模型 1989年 谢国海,杜鹤桂,赵正清(496)
- 攀钢高炉碱金属状态的调查研究 1992年 彭凤翔,王 晶,宋国才(501)
- 钒钛磁铁矿高炉冶炼的能量利用 1995年 邹德余,裴鹤年,张丙怀,盛世雄,谢龙淮,马德全(508)

第二篇 冶炼工艺技术

生产分析

- 高炉冶炼钒钛矿的进展 1979年 苏志忠(515)
- 关于现代高炉冶炼理论问题 1980年 王喜庆(524)
- 攀钢高钛型钒钛磁铁矿高炉冶炼十年 1980年 王宏民,盛世雄(531)
- 大高炉冶炼钒钛磁铁矿的实践分析及基本技术方针的讨论 1983年 秦凤久,刁日升(541)
- 攀钢四号高炉达产实践 1992年 高红旗,胡庆昌(546)
- 攀钢三号高炉生产技术攻关 1998年 孙希文,刁日升,李平伟,刘丙俊,卞坚强,谢俊勇(551)
- 攀钢二号高炉强化冶炼实践 1999年 孙希文,刁日升,范云东,李平伟,倪国权(554)

高炉冶炼技术

- 三号高炉的上下部调剂 1975年 攀钢炼铁厂(1999年王华整理)(558)
- 试论攀钢高炉合理煤气流分布 1979年 马家源(566)
- 二号高炉炉缸工作失常的处理 1979年 李玉铎,李宗保(572)
- 攀钢高炉上部调剂的基本途径 1980年 王宏民,苏志忠(576)
- 高钛渣冶炼的合理上下部调剂制度 1980年 王宏民,苏志忠,刘宝信(583)
- 攀钢一号高炉冶炼钒钛矿强化的进展 1980年 胡传焯,梁玉龙(591)
- 攀枝花地区钒钛磁铁矿资源利用分析 1980年 李永祥(599)
- 攀钢高炉长期休风操作技术的新突破 1980年 刘宝信(607)
- 富矿粉钒钛烧结矿的高炉冶炼 1981年 盛世雄,刘宝信,马德全(610)
- 攀钢三号高炉炉龄末期合理装料制度探讨 1983年 孙希文,石维勋(615)
- 攀钢高炉大批重分装料层厚度分析 1985年 张卫东(617)
- 攀钢三号高炉第二代炉役后期合理的装料制度 1994年 杜斯宏(625)
- 攀钢料钟式高炉上下部调剂实践 1996年 魏毅军(628)
- 攀钢二号高炉大修前高炉利用系数操作措施浅析 1996年 向运久,李 健(632)
- 攀钢二号高炉在低风温条件下的操作实践 1999年 孙希文,刁日升,陈铭铨(635)
- 攀钢二号高炉停炉技术进步 1999年 孙希文,刁日升,范云东,李平伟,陈铭铨(638)
- 攀钢二号高炉开炉达产实践 1999年 孙希文,刁日升,范云东,李平伟,陈铭铨(642)

工业试验

- 白云石代替部分石灰石作熔剂烧结炼铁生产试验研究 1982年 代振义,黄有猷,赖其翠(647)

攀钢高炉正分装大批重冶炼试验	1985年 周兴伦,宗序康(653)
攀钢高炉配加白马矿冶炼试验	1984年 盛世雄(659)
攀钢三号高炉富氧鼓风试验研究	1988年 刘建明,徐鸿飞(666)
攀钢高炉大料批分装的试验研究	1989年 杜鹤桂(672)
攀钢高炉用含氟炉渣冶炼的试验	1990年 彭凤翔(678)
攀钢四号高炉无料钟炉顶开炉装料测试与生产实践	1991年 谢国海,徐鸿飞,杨世林,盛世雄,廖代华(683)
攀钢四号高炉无料钟炉顶多环布料试验研究	1996年 付卫国,孙希文(690)
攀钢一号高炉无料钟炉顶多环布料工业试验	1997年 付卫国(696)
攀钢无料钟炉顶高炉中心加焦工业试验	1998年 付卫国,范云东(700)

冶炼钒钛矿的喷煤技术与特点

攀钢高炉喷吹煤粉的物化性能的研究	1984年 晏 伟(704)
冶炼钒钛磁铁矿时不完全燃烧的煤粉对炉渣粘度的影响	1984年 李永镇,袁进恩,钟 利(708)
冶炼钒钛磁铁矿的高炉喷煤技术	1989年 盛世雄,黄有猷(712)
模拟高富氧喷煤对钒钛磁铁矿高炉冶炼中钛、硅、钒等元素行为的影响	1994年 朱永平,齐宝铭(718)
氧煤混喷对高钛渣冶炼的特殊作用	1996年 刘光厚(722)
攀钢四号高炉富氧大喷煤条件下喷煤极限研究	1998年 朱子宗,张丙怀,徐楚韶(725)
高炉喷吹混合煤实验	1998年 刘建明,蒋 胜,饶家庭,喻辅成,邓 君(729)
冶炼钒钛磁铁矿高炉的氧煤混喷工业实践	1998年 孙希文,刁日升,盛世雄(734)
攀钢高炉喷煤技术进步	1999年 孙希文,刁日升,盛世雄,范云东,李平伟,陈铭铨,钟余明(738)

其 他

攀钢高炉热风炉热平衡测定	1988年 曾树平(742)
二号高炉热风炉半交叉并联合送风试验	1990年 庞其生(746)
攀钢三号高炉热风炉冷风均匀配气技术的应用	1991年 李安森(749)
氧-燃火焰技术处理钒钛铁水罐粘结物的试验与应用	1991年 沈 龙,宫立新,李安森,王克席(753)
攀钢高炉炮泥和砂口用泥的改进	1993年 姜汉武(755)

第三篇 生产设备与设计

设计简介

冶炼钒钛磁铁矿高炉炉型设计的探讨	1980年 张学志(763)
攀钢四号高炉炉身的设计	1988年 伍积明(768)
攀钢四号高炉工艺设计简介	1990年 赵永斌,游 红(772)
攀钢三、四号高炉喷煤系统的设计	1998年 余国才(775)
攀钢四号高炉煤气余压发电系统设计	1999年 蒋 钧,何 平(777)
攀钢四号高炉的设计和备	1999年 郭庆弟,陈世守(780)
攀钢四号高炉外燃式热风炉设计	1999年 陈映明(788)
攀钢二号高炉内燃式热风炉设计	1999年 陈映明,罗志红(792)

设备运行与改进

- 小钟结构型式的改进 1989年 刘树芳(795)
- 攀钢三号高炉热风炉高铝格子砖损毁原因分析 1991年 宋国才(799)
- 攀钢热风炉余热利用实践 1991年 唐启超(803)
- 卧式仓泵在攀钢高炉喷煤系统中的应用 1991年 张 露,贾 平(806)
- 提高高炉大钟漏斗寿命的研究 1991年 许光奎,陈根泉,刘树芳,余自甦,孙慕文,朱柏权(810)
- 攀钢四号高炉计算机系统应用软件的完善 1992年 丁跃华,高红旗(814)
- 铁水罐用隔热耐火材料的研究 1993年 喻绍仲(817)
- 攀钢高炉渣罐使用寿命调查与分析 1996年 张文新,付卫国(821)
- 冶炼钒钛磁铁矿高炉的大中修 1996年 刘树芳(825)
- 攀钢高炉冷却设备损坏及炉壳变形的调查分析 1997年 李真才,张文新(830)
- 攀钢四号高炉纯水冷却系统运行实践 1998年 伍积明(834)
- 攀钢高炉喷煤工艺与设备 1998年 杨志远,杨祖松,王 戈,丁先强(837)
- 攀钢二号高炉热风炉高温、长寿化改造 1998年 刘树芳(841)
- 攀钢四号高炉煤气余压发电的顶压控制系统 1999年 唐 炜,范云东,郇玉恕,王 戈,杨 旗(845)
- 攀钢四号高炉无钟炉顶布料器的应用与改进 1999年 李平伟,付楚云(848)

高炉长寿技术

- 冶炼钒钛矿高炉寿命的探讨 1987年 孙希文(853)
- 攀钢高炉炉身寿命现状及其提高的途径 1991年 庞其生(861)
- 延长高炉下部炉衬寿命是攀钢高炉长寿的关键 1992年 谢龙淮,王 戈(864)
- 攀钢高炉长寿的探讨 1993年 刘树芳(869)
- 攀钢一号高炉炉衬修补实践 1998年 孙希文,刁日升,范云东,李平伟,陈铭铨,张善坤(874)
- 攀钢四号高炉长寿实践 1999年 刘树芳,李平伟,谢俊勇(877)
- 攀钢冶炼钒钛矿高炉的高效长寿技术 1999年 孙希文,刁日升,范云东,李平伟(882)

第四篇 原料技术进步

烧结生产技术

- 攀钢钒钛铁精矿的烧结 1976年 攀钢烧结厂(887)
- 钒钛磁铁矿烧结经验与发展 1980年 邹志潮(893)
- 高碱度高氧化镁钒钛烧结矿生产实践及高炉冶炼效果 1982年 邹志潮(900)
- 消石灰强化钒钛磁铁矿烧结工业性试验技术分析 1982年 徐本有,王敏杰,邓朝枢,赖其翠(908)
- 提高负压烧结的实践 1985年 李贤干(916)
- 带状火焰型多孔烧嘴在钒钛磁铁矿烧结生产中的应用 1988年 曾永福(921)
- 攀钢钒钛磁铁矿烧结生产实践 1988年 李贤干(925)
- 热返矿率对钒钛矿烧结生产的影响 1994年 陈列希(929)
- 攀钢烧结厂近年技术进步措施及今后发展初探 1997年 徐本有,石 军,邱述明(933)

烧结燃料二次分加工业性试验	1997年 曾永福,刘龙全(938)
ISF 偏析布料生产实践	1997年 徐本有,李贤干,何 群,王敏杰(942)
钒钛烧结矿喷洒卤化物溶液工业性试验	1997年 石 军,何 群(950)
攀钢 6 号烧结机系统热平衡测试结果分析与降低能耗措施	1997年 汪智德,石 军,陈列希,曾永福(957)
改善烧结混合料制粒效果的工业试验	1998年 何 群,杜 焱,武小琪,石 军,曾永福(962)

烧结实验与研究

有关钒钛烧结矿低温还原膨胀性能的测定和研究	1981年 王敏杰,邓朝枢(967)
不同料层钒钛烧结矿的矿物组成及成因分析	1982年 王益临(972)
消石灰强化钒钛磁铁精矿烧结的物相组成及结构变化	1982年 刘庆华(978)
钒钛磁铁精矿烧结矿固结机理	1985年 邓朝枢,王敏杰(986)
钒钛烧结矿高温冶金性能的研究	1986年 胡宾生,杨兆祥(994)
攀枝花铁精矿烧结强化与烧结过程的研究	1986年 谢建华,包毅成,何 群(1001)
攀钢原料冶金性能的研究	1987年 袁进恩,李永镇(1015)
钒钛烧结矿和球团矿高温还原性能的研究	1987年 包毅成,谢建华,何 群(1019)
攀钢提高烧结矿及高炉钛渣中 MgO 含量的研究	1988年 赖其翠,黄有猷(1026)
氧化钛对烧结矿质量的影响	1991年 周取定,任允芙(1031)
钒钛烧结矿矿物组成与低温还原粉化的关系	1991年 刘洪云(1038)
攀枝花钒钛铁精矿小球烧结实验室研究	1991年 包毅成,卢 蓬(1043)
钒钛烧结矿低温还原粉化性能的研究	1991年 包毅成,赖其翠(1051)
对影响钒钛烧结矿抗磨指数原因的初析	1991年 程显工,杨定国,肖代安(1056)
钒钛铁矿石高温还原性能研究	1993年 刘清才,裴鹤年(1060)
有机粘结剂强化钒钛磁铁精矿制粒的研究	1996年 王建晖,傅菊英,李思导(1066)
强化攀钢烧结混合料制粒的试验研究	1998年 杜 焱,何 群,石 军(1070)

采选技术

露天矿平硐溜井开拓运输	1980年 解殿春(1077)
预裂爆破在兰尖铁矿的应用	1988年 刘成仕(1084)
攀枝花式钒钛磁铁矿的成矿特征	1989年 秦 震,陆祖雄,黄振华(1089)
攀枝花钒钛磁铁矿采选生产工艺	1989年 梁国强,冯文普(1102)
攀西钒钛磁铁矿石性质与选矿工艺的研究	1989年 傅文章,洪秉信(1111)
钒钛磁铁矿的选矿工艺与实践	1989年 陆冠伟,任觉世,杨文章,向发明(1117)
攀枝花钒钛铁矿浮选机理的研究	1989年 冯成建(1123)
密地选矿厂入选矿石及钒钛铁精矿中硅、铝、钙、镁赋存状态与分布规律的探讨	1989年 赵鸿文(1128)
露天矿爆破振动观测及爆破振动对边坡稳定性的影响	1990年 文孝廉(1136)
密地选矿厂原矿品位及朱矿配矿比例对选矿工艺指标的影响	1994年 张光伟(1142)
攀枝花原生钛铁矿选别现状及发展对策探讨	1995年 梁耀全(1149)
攀枝花矿区各矿带矿石工艺矿物学特性及分矿带选矿探讨	1996年 张建廷(1157)
提高攀钢密地选矿厂磨矿产品单体解离度的研究	1998年 曹亦俊,段希祥(1163)

大型高炉冶炼钒钛铁矿问题的探讨

周传典

(1972~1973年)

1 关于攀钢高炉生产的几个问题^①

根据国家计委的指示,“渡口市委和攀钢公司的汇报,攀钢只能作为试验厂不能成为生产厂”,我们组织了工作组到这里来,今天我只讲三个问题:

(1) 钒钛矿冶炼的主要矛盾究竟是什么?

(2) 当前高炉生产的主要问题是生产管理还是技术过关?

(3) 钒钛矿冶炼能否高产?

1.1 钒钛矿冶炼的主要矛盾究竟是什么?

在过去的试验中,为了弄清钒钛矿在冶炼过程中的变化,曾经进行了大量的实验工作,取得了大量的数据,丰富了我们对钒钛矿冶炼的认识。

TiO₂ 在高炉内部究竟是怎样变化的? 我们曾经把高炉炉体各个部位钻孔,从炉内取出样品来进行检验。

炉身上、中、下三个部位的样品中没有发现初成渣,装进去的烧结矿还是原来的形状。这个现象与普通矿冶炼的高炉不同。武钢高炉的炉身上部就有初成渣,曾经从煤气取样中多次看到渣子;包钢的含氟矿的熔点低,炉身上部也发现了初成渣。初成渣的位置高对高炉的冶炼不利,它增加了炉料的阻力,使风压升高,炉子不顺,并且容易促使炉身结瘤。

炉腰样品出现烧结矿的热变形和局部软化,也没有发现初成渣。

炉腹部位发现初成渣大量生成,铁已大量还原,钛和硅才开始还原。通过实验室试验使我们了解到钛和硅性质相近,在高炉温度范围内,CO 和 H₂ 只能少部分地还原 TiO₂ 至 Ti₂O₃ 和 TiO,不能再继续还原,不能产生钛及 TiC、TiN,当液体渣生成后,在足够的温度下才被碳直接还原。这一特性很重要,如果它在炉身炉腰即开始还原,则将使高炉冶炼更为困难。

风口取出的样品显示造渣过程已经基本完成,铁的还原也已基本完成。铁水中钛和硅含量远远高出终铁(从铁口出来的)的硅、钛含量。

渣口铁口区,终渣的低价钛、TiO₂、Ti₃O₅、TiO 以及 TiC、TiN 含量和铁水的含硅、钛量都低于风口区。对普通高炉生铁含硅的研究证明:风口到铁口,铁水含硅不是增加到终铁成分而是降低到终铁成分,钛的变化也是一样,这和过去的传统观点完全相反。对于这种变化的解释是:它是由于熔渣和铁水在风口前再氧化的结果。

从以上取样试验中可以看出:二氧化钛从炉腹开始被还原成低价氧化物和 TiC、TiN,到风口区达到最大的含量,从风口到铁口又降低到终渣的含量。实验室研究表明:高钛渣中的 TiO₂ 没有被还原时,其熔化温度降低,流动性良好,随着低价氧化物的生成和增多,其熔化温度也随着增高。而 TiC、TiN 则在高炉温度条件下并不熔化,以固态微粒悬浮在渣中,使渣子变为粘稠。TiC、TiN 越多,粘稠越甚,以至于失去流动性。

不同时期的高炉取样表明:铁水中含硅量越高,渣中含低价钛化合物和 TiC、TiN 也越多。

根据这种对钒钛矿冶炼的认识,从理论上明白了钒钛矿冶炼的困难不是发生在高炉的上部而是发生在高炉的下部;不是由于铁水的易凝,而是渣子的变稠和难熔;不是像普通矿那样由于炉缸温度低而不能出渣出铁,而是由于炉缸温度高, TiO₂ 还原多而不能出渣出铁(当然炉缸温度过低高钛渣也会凝结在炉内)。

针对这种情况,试验中采取了特殊的方法:一是抑制 TiO₂ 的还原,这是根本措施;二是促使钛的低价氧化物和 TiN、TiC 再氧化成 TiO₂。因为高炉冶炼必须具有一定的炉缸温度水平,才能保证渣铁畅流,所以 TiO₂ 的少量还原是不可避免的,为了保证高炉的完全顺行,这是必要的措施。

① 1972年11月在攀钢公司技术报告会上的发言。

这种方法解决了高钛渣冶炼的根本问题，使高炉冶炼得以进行。

由此可见，高炉内钛的还原和氧化是高炉冶炼的主要矛盾，两者是对立统一的关系。要处理好这个关系，一方面控制钛只有少量的还原，另一方面又将过量的钛低价氧化物再氧化成 TiO_2 ，使矛盾得到统一，高炉冶炼能够正常进行。实验证明，经常起主导作用的是还原，因为高炉冶炼本身就是一个还原过程，而氧化作用在高炉内并不能大量进行，所以矛盾的主要方面是还原。只要我们捉住了主要矛盾的主要方面，其他问题就迎刃而解了。在矛盾的主要方面未得到解决时，其他的办法都是无用的。在过去的试验中，如美国、加拿大主张用酸性渣操作，苏联用高氧化镁和含有氧化钠的炉渣，无非想用治标的办法增加渣子的流动性。我们也走了不少弯路，如马鞍山用高碱度适当高炉温操作，想用高氧化钙来控制 TiO_2 的还原，事实上这个作用是比较小的。首钢试验炉高炉温、承德高炉温、斜风口操作，想把氧化作为矛盾的主要方面来解决。这些试验之所以未能解决问题，都是没能捉住主要矛盾的主要方面的缘故。

捉住了主要矛盾的主要方面，其他辅助性的措施也就能够发挥作用。

为了减少炉渣中的低价钛化合物和 TiN 、 TiC ，采用了必不可少的特殊措施。这是因为在生铁含硅正常时也有少量的 TiO_2 被还原，生成的含低价钛化合物的熔渣会逐渐粘在炉缸壁上，固体的 TiC 、 TiN 比铁水轻，要漂浮在铁水面上形成渣铁界面的粘稠层，出铁时流不出来就堆积在炉缸内。短时间内高炉还可以冶炼，时间长了堆积和粘结增多，就使冶炼无法正常进行。

焦炭、烧结矿的物理强度和化学成分的任何变动，都将反映到高炉炉内来，引起炉温和生铁含硅量的变化。普通高炉主要是防冷，钒钛矿冶炼主要是防热，同时也防凉，所以生铁含硅量的波动范围就比较小。普通矿冶炼有个精料方针，对钒钛矿冶炼，精料方针更具有特殊的意义。

为了获得合格的生铁，必须采取合适的高碱度操作，目前攀钢高炉的渣量大、焦炭含硫低，维持比过去试验较低一些的碱度是合理的，这是客观条件所决定的。

采用以上的操作方法可以使钒钛矿的高炉冶炼正常进行，西昌试验炉的5个月工作炉况正常，获得了较好的指标就是证明。

1.2 当前高炉生产的主要问题是生产管理还是技术过关？

钒钛矿冶炼在小高炉和中型高炉已经做到的，在

大型高炉上是否也能做到呢？这个问题过去曾引起过争论。1965年底渡口设计讨论会曾经拿出把高炉容积限制在 $700m^3$ 的初步设计；1966年3月北京钒钛矿冶炼座谈会进一步要求把高炉容积减小到 $350m^3$ ，当时人们担心炉缸直径扩大，炉缸中心部位的粘渣不能氧化，因为风吹不到那里去，会减少风口氧化区在炉缸横截面所占的比例，因而不能解决炉缸中心堆积问题。鉴于钒钛矿冶炼的特殊措施适应大高炉惰性大、脱硫效率高以及采用高压操作等特点，同时承德试验证明鼓风可以使中心部位的渣氧化，所以最后试验组决定把高炉容积确定为 $1000m^3$ 。

攀钢高炉投产两年以来，生产一直不正常，有些同志又问：“是否技术没有过关？”

通过5天来的参观、学习、座谈和对资料的初步分析，我认为当前高炉生产的主要问题是生产管理问题，不存在基本冶炼技术过关的问题，只有过去高炉试验中断后遗留下来的一些问题尚需在生产中加以解决。过去小高炉试验中已经做到的大高炉生产也一定能够做到，只是对试验制定的方针理解不深，执行不够彻底。这一点好办，改了就行。

我们知道保持炉子的稳定顺行是取得良好的经济技术指标所必需的手段。对钒钛矿冶炼的高炉尤其具有特别的重要性。

保持炉子的稳定顺行是炼铁系统各个厂矿部门的共同任务，高炉生产的成就都是这些单位的成就的集中表现；同样，这些单位生产的问题也都将在高炉上表现出来。

根据上述的认识提出下面5个方面的情况，谈谈个人的意见和看法。

1.2.1 和生产故障作斗争，努力提高高炉作业率

国内外高炉的休风率一般为2%左右，先进工厂降低到0.5%。攀钢高炉的休风率很高，1971年慢风率12.2%，休风率6.5%，合计18.7%，就是说差不多快到1/5的时间高炉处于停风和慢风作业的状态中；1972年情况更为严重，1至9月减风率11.5%，休风率12%，合计23.5%，就是说差不多快到1/4的时间高炉处于停风和慢风作业状态中，这种情况即便对于普通矿冶炼的炉子也要引起失常，由于高钛渣有自行变稠的特点，停风和慢风的影响也就更大。基于这种情况，你们说攀钢是个试验厂。

造成这种状态的原因是多种多样的，如设备维修，基建配套，调度运输，岗位操作，技术安全教育等方面存在不少问题，都需要加强。希望能把提高高炉作业率的工作组织起来。

1.2.2 贯彻精料方针

西昌试验中,小高炉能够维持长期顺行,贯彻精料方针是基本原因之一。由于承德试验未作好精料工作,基本冶炼技术过关了,但炉子冶炼情况并不好,所以西昌试验才狠抓了这方面的工作。由于钒钛矿冶炼的特殊性,所以对“精料”的要求也较普通矿冶炼严格。应该指出,这种要求不是没有根据的,国内外生产较好的厂子都已经达到,而这里经过一定的努力也是可以达到的。

焦炭质量有了很大的改进。在8月份以前有阶段性的波动,转鼓指数、含水分、含硫分都有较大波动,目前转鼓指数一般维持在320kg以上,化学成分的波动也在缩小。希望能够巩固下来继续提高。焦炭灰分在国内是比较高的,这个改进工作已超出公司的范围。据说有这样一种说法,似乎把煤的灰分洗低,在经济上是不合算的。应该指出,关于这个问题钢铁设计部门已经做了很多研究工作,根据他们研究的结果,高炉所得大于洗煤厂所失在总的经济上还是合算的。

烧结矿质量比较过去也有较大的改进,化学成分的波动有所减少,物理强度有所提高。目前炼铁厂沟下筛分,小于6mm部分占25%,和国内厂比还有差距,和国外使用冷却盘生产的烧结矿比(粉末率约10%)差距更大,希望能够达到20%争取15%。除了改进烧结操作外,有一些措施希望很快抓上去。如:焦粉粒度目前小于3mm的只占70%稍多,如果定期更换和车削辊皮,可以使焦粉破碎得更好。在这个问题上,希望焦化厂搞好滚筛,把粉焦粒度严格限制,大于25mm的不送到烧结厂去;石灰石粉最近有很大改进,小于3mm的已达80%,希望能够继续改进,达到90%以上;精矿的质量是比较好的,但精矿料仓水深1m左右,取出带水精矿影响烧结质量,希望能够采取措施予以解决;机尾固定筛的间距应予加宽;烧结厂的振动筛要过技术关等等,这些措施的实现将能进一步提高烧结矿的质量。

高炉料槽管理希望能够加强,首先不要混料,有的矿槽表面石灰石和烧结矿混在一起;其次不要空槽,有的槽空,有的槽满,其结果满槽的烧结矿贮存过久容易粉化。炼铁厂沟下筛分的结果是,烧结矿在槽内贮存4天,粉末率从23%增加到33%。空槽的槽底距卸料小车约两丈高,卸料时势必把烧结矿摔碎。希望能够做到按规定料槽轮流卸料。

1.2.3 应当解决一个操作思想问题

当前,高炉操作的一个突出问题是“热结”。因为时间短,我只对二号高炉今年前9个月的资料进行了分析。这9个月由于炉缸工作变坏使用普通矿洗炉共

计9次。其中,两次由于长期休风准备不好,一次由于接连几天渣铁罐紧张,渣铁未出好,风量萎缩,其余6次则都是由于铁水含硅高达0.4%~0.65%所造成的。我想找一些“冷冻”的资料,座谈中同志们举出一高炉在1971年操作中的两个例子,一个发生在8月冶炼普通矿期间,另一个发生在11月冶炼钒钛矿期间,而后一次是一天多之内连续加料1.7t造成的,这样操作就是冶炼普通矿也会“冻结”。1970年一高炉生产中更多的时间是在热结中渡过的。

“宁热勿冷”的操作思想是有着历史根源的,这是钒钛矿冶炼的最主要最基本的障碍。因为普通矿冶炼的主要矛盾是“冷冻”,所以在日常操作上总是多留些余地,把硅做得高一些。特别是1958年后在大幅度提高冶炼强度时,把铁水中较高的含硅量即所谓高炉温当做一个经验来介绍,使这种操作方法变成了习惯。过去试验中为了改变这个思想费了很大力量,只在大家真正认识到钛的还原是冶炼矛盾的主要方面,试验组在试验中吃了不少苦头之后才改变过来。

希望高炉工长能够真正贯彻生铁含硅0.2%~0.3%的规定(在渣中含28%TiO₂时),而在原料条件比较稳定时尽可能维持在规定的下限,并继续下降到0.15%以下或更低。小高炉是比较容易冻结的,西昌试验时,当硅低于0.1%时也从未发生过冻结。这里不过拿来说明只要操作上不发生较大的错误,原料条件不发生重大的变化,“冷冻”一般是不会发生的。而“热结”则是比较容易产生的。这个问题,我在《鞍钢铸造铁冶炼技术的创新兼论综合炉温问题》的文章中,从理论上做过明白的阐述。

高炉工长直接掌握炉内进程,是个重要的工作,必须不断提高技术水平。在一定的冶炼条件下,炉况的稳定首先取决于正确的冶炼制度,其次是日常的准确的操作调节。在日常调节中,第一,必须严格遵守技术操作规程,技术问题允许并且应该争论,但规程必须遵守,不能各行其是。第二,强调及时、准确、量相当的准则,要做到及时(不是事后诸葛亮),必须勤观察、勤分析;要做到调节准确(不是把凉炉子当做热炉子),必须综合的判断;要做到调节的量相当,必须对各种调剂参数与炉况的需要量有一个正确的估计(例如要降低生铁中〔硅+钛〕0.1%需要减少多少风温,工长应当心中有数),这样才能避免大幅度的波动。应当认识到,由于钒钛矿冶炼的特殊性,不仅要求工长转变过去普通矿冶炼的操作思想,而且要求有更高一些的技术水平。

1.2.4 保持炉子下部干净

下部不干净,不论是炉腰以下的炉墙结厚,渣铁出