

# 高炉含钛物料 护炉技术

宋建成 主编

GAOLU HAN TAI  
WULIAO HULU JISHU

冶金工业出版社

76.213  
244

# 高炉含钛物料护炉技术

宋建成 主编

(ZK524/37)

ZK524/33

冶金工业出版社

(京)新登字 036 号

## 内 容 简 介

本书概括地介绍了含钛物料护炉的有关机理,护炉经验,大中小各种类型高炉的护炉生产实践及效果,风口喷吹与铁口炮泥加入新方法等试验结果,以及新型护炉料的开发应用等,比较系统地总结了我国开发、应用护炉技术的经验、成果。本书可供从事炼铁技术工作的生产者、研究人员、设计人员及大专院校有关专业的师生参考。

## 高炉含钛物料护炉技术

宋建成 主编

\*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街高碑店北巷 39 号)

新华书店总店科技发行所经销

北京昌平百善印刷厂印刷

\*

787 × 1092 1/16 印张 14.5 字数 339 千字

1994 年 3 月第一版 1994 年 3 月第一次印刷

印数 1 ~ 2,000 册

ISBN 7-5024-1362-6

TF · 316 定价 14.80 元

## 编辑委员会

主 编 宋建成

副主编 苏志忠 郑生武 梁国强

编 委 宋建成 苏志忠 郑生武 梁国强

徐矩良 赵孟坚 宋阳升 戎积鏊

陈培坚 董喜平

# 含钛物料护炉技术的开发与推广

(代序)

周传典

含钛物料护炉技术的理论和实践在本书中已经有了详尽的叙述,用不着我再重复了。我只想讲这样一个问题,即任何一项新技术的发明、开发和发展都离不开一批积极分子的倡导和努力,含钛物料护炉技术也是这样,我们不要忘记为此做出贡献的人们!

远在1965年,在承德钢铁厂进行攀枝花钒钛磁铁矿高炉冶炼试验时,就已经摸清:  $\text{TiO}_2$  经过高温下的过还原,最后生成熔点高达  $3000^\circ\text{C}$  以上的  $\text{TiC}$ 、 $\text{TiN}$ ,它们与熔铁结合成极细的颗粒,弥散在渣液中,使其熔点升高最终失去流动性。这种高熔点的熔渣在接近炉底、炉缸的低温部位时,便凝结在炉衬上起到保护炉底和炉缸的作用。当时试验只是要求解决高钛型炉渣的高炉冶炼问题,没有考虑利用它的这种特性,保护高炉的炉底、炉缸。这一点和日本的试验不同,日本没有能够解决高炉冶炼钛铁矿的问题,即没有找出解决炉渣变稠的方法,但是他们摸清了钛在高炉内的行为,并用到了护炉方面。我国突破了钛铁矿的冶炼技术,日本突破了利用钛铁矿的护炉技术。

我国的含钛物料护炉技术在建立理论之后的15年,才被开发。1981年1月广西柳州钢铁厂1号高炉的炉缸冷却壁水温差超过警戒限,随时有烧穿爆炸的危险,他们在烧结料中配加4%当地陆川县的钒钛磁铁矿后,水温差降到了安全范围内( $2^\circ\text{C}$ ),使高炉得以进行正常的冶炼。这是我国高炉在80年代的一次重要创造。但是,遗憾的是他们并没有向有关上级领导机关及时反映,也没有进行宣传。一年多后,1982年9月湘钢2号高炉的炉缸也面临危险,多次申请停炉大修,在他们完全不知道柳钢护炉经验的情况下,独立思考,也在烧结料中配加攀矿的钒钛铁精粉7~10%,以相似措施,只用了7天时间,高炉也转危为安,并且还继续正常生产了5年后才停炉大修。这一经验被及时总结推广。1984年11月冶金部组织了全国有关厂矿通过了正式鉴定,柳钢代表也参加了鉴定会,之后在全国推广湘钢经验。

在类似的高炉生产实践面前,两个钢铁厂的工程技术人员思考与处理问题的方法不谋而合。但是在以上事实面前,他们都实事求是、互相尊重,都没有向上级正式提出始创者的问题。事实上,他们都是各自独立地开发了这项技术。我很钦佩这两个厂的总工程师的实事求是的精神!这种精神值得学习。

我主管冶金科技有10年之久,遇见了不少关于发明权的争议。对实际发明人,加以否定者有之;明明是已有的技术,硬说是自己后来开发的,是首创者有之;本来自己在一项新技术发明中没有起直接作用,硬往脸上贴金者有之;甚至还有这样的人,连新技术的皮毛都不甚明白,却硬把自己列入主要发明人之列,如此等等。在种种不良现象中,最重要的莫过于

于埋没真正发明人的功劳！对首创者要表彰，对传播者同样也要表彰。这项技术能在我国高炉上推广就有赖于后一部分同志的不懈努力。

这里我想起了承德钢铁厂科技处的陈培坚同志。记得是1985或1986年的初秋，我在辽宁兴城开会，陈培坚专程前往，建议推广钛铁矿护炉技术。他收集了几家铁厂的护炉资料，凡采用这项技术的，都有很明显的效果。当时，我是吃了一惊的。此类事是冶金部机关的职责，并且情报所更有此职能，我们没有能够尽职，却由他做了。我赞扬他是个有心人，同时也有自责之意。不久，在承德召开了第一次含钛物料护炉会议。这是一次小型会议，讨论的却是重要的问题。

到了1991年，还是这位陈培坚，送来第一次会后含钛物料护炉技术推广的总结资料，成绩不错。他又建议召开第二次全国会议。我看了总结资料，很受鼓舞！当然表示赞成，并复信说：“高炉钛铁矿冶炼和护炉在我国属新技术，已有一定基础，似应在实践和理论上进行总结，以便更深入地做好下一步工作。”此后，他进行了广泛的串联，得到承钢、攀钢、攀矿、北京科技大学的赞同；又到成都，得到四川冶金厅王心让同志的大力支持，终于促成了1991年6月在四川乐山召开的全国第二次含钛物料护炉会议。这是一次200多人的大型会议，有大中型高炉的厂家都参加了。会议交流了“七五”期间各厂含钛物料护炉的经验，决定在炼铁学会下边成立钛矿护炉学术委员会，决定组织编辑《含钛物料护炉理论与实践》专集，还编制了“八五”期间的研究工作计划。我认为把这些工作认真抓好了，会使这项技术的推广和发展跨上一个新的台阶，将来在第三次全国会议上会有更多更好的成果出现。

撰写此文时，偶然发现一件史料，应当记上一笔，以志不忘。在1989年冶金部炼铁情报网建网15周年大会上，通过一项决议，举办钛铁矿护炉培训研讨班，对此项技术的推广起了一定的促进作用。宋建成等同志收集论文编出一部约40万字资料散发到全国各铁厂。他们对此项技术也做出了自己的贡献。

谨向那些已知名或尚不知名的始创者和大力推广者表示衷心的感谢。

## 前 言

根据“全国第二届含钛物料护炉技术与皖冀川三省金属学会钢铁冶炼技术交流会”的决定，为了进一步研究护炉技术与总结我国10年来护炉实践，大力推广护炉技术，我们组织编辑了本文集。全书分综合论述，理论研究，护炉经验，大型、中型与小型高炉的护炉实践，护炉料的生产、冶金性能及新产品研制，综合护炉技术及炉料标准化等部分，共48篇，资料充足，内容丰富，基本体现了我国10年来含钛物料护炉的研究与实践的成果。冶金部原副部长、中国金属学会副理事长、炼铁学会理事长周传典同志为本书写了序言；冶金部科技司徐矩良与赵孟坚二位主任工程师对本书出版十分关心；攀钢、攀矿、首钢炼铁厂、宝钢炼铁厂、鞍钢、湘钢、承钢、马钢、宣钢钢研所、重庆钢铁设计研究院、北京科技大学、炼铁学会与冶金工业出版社等单位给予了热情支持，特别是孟庆辉、陈明仁、莫燧炽、魏升明、刘克忠、吴仁林、蔡祥麟、陈茂熙、齐宝铭、顾飞等专家教授给予了具体指导，我们深表谢意。由于我们水平有限，时间比较仓促，不妥与错误之处，请批评指正。

# 目 录

## 综合论述

|                            |               |
|----------------------------|---------------|
| 我国高炉使用含钛物料护炉技术的现状与展望 ..... | 宋建成 宋阳升 ( 1 ) |
| 延长高炉寿命与含钛物料护炉 .....        | 徐矩良 ( 9 )     |
| 高炉的钛化物护炉 .....             | 李马可等 (15)     |
| 高炉炉缸寿命与钒钛矿护炉 .....         | 刘 琦 (20)      |
| 推广钛化物护炉, 提高炉衬寿命 .....      | 金 心 (25)      |
| 钒钛磁铁矿护炉作用的研究 .....         | 王心让 (29)      |

## 理论研究

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| 钛在高炉内的行为及其对炉缸炉底寿命的影响 .....  | 董一诚等 (33) |
| 高炉含钛物料护炉机制 .....            | 王文忠 (40)  |
| 钒钛矿护炉机理及应用 .....            | 盛世雄等 (44) |
| 低温加钛理论在首钢高炉上的应用 .....       | 张庆瑞 (49)  |
| 高炉低钛渣冶炼护炉机理探讨 .....         | 王泽霖 (53)  |
| 包钢3号高炉炉缸钛积物的矿物组成及生成规律 ..... | 孙及等 (58)  |
| 含钛物料护炉与操作图解 .....           | 陈培坚等 (65) |
| 钛渣与焦炭界面特性研究 .....           | 施月循 (71)  |
| 含钛物料护炉作用分析 .....            | 王明奎 (75)  |

## 护炉经验

|                    |           |
|--------------------|-----------|
| 高炉使用钒钛铁矿护炉实践 ..... | 黎国传 (80)  |
| 关于含钛物料护炉技术 .....   | 孟庆辉等 (85) |

## 大型高炉护炉生产实践

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 大型高炉使用钒钛矿维护炉缸的理论与实践 ..... | 李德明 (90)   |
| 护炉时含钛炉料的选择与时机 .....       | 苏少雄 (95)   |
| 宝钢高炉使用含钛原料护炉实践 .....      | 文学铭 (98)   |
| 酒钢高炉钒钛矿护炉实践 .....         | 蔡化南等 (103) |
| 本钢5号高炉护炉实践 .....          | 冯开盛等 (109) |
| 鞍钢高炉使用钒钛矿护炉实践 .....       | 苗增积 (114)  |
| 太钢3号高炉护炉实践 .....          | 杜洪阳 (121)  |
| 梅山高炉使用钛渣护炉与排碱 .....       | 崔光辉 (126)  |



|                       |              |       |
|-----------------------|--------------|-------|
| 包钢高炉含钛炉料冶炼与护炉 .....   | 包头钢铁稀土公司炼铁厂等 | (129) |
| 首钢炼铁厂用含钛高炉渣护炉操作 ..... | 金岳义          | (133) |
| 湘钢高炉钒钛磁铁矿护炉实践 .....   | 潘群仆          | (136) |

### 中型高炉护炉生产实践

|                                    |      |       |
|------------------------------------|------|-------|
| 钒钛铁矿护炉在我国高炉中的应用 .....              | 宋晋明  | (142) |
| 含钛物料护炉综述 .....                     | 何作法  | (145) |
| 通钢2号高炉含钛渣护炉实践 .....                | 胡一等  | (151) |
| 临钢300m <sup>3</sup> 高炉钛渣护炉实践 ..... | 王得印等 | (156) |
| 马钢冶炼低钒钛矿时高炉的护炉 .....               | 薛朝云  | (160) |
| 略钢2号高炉钛渣护炉实践 .....                 | 刘惠生等 | (164) |
| 天津铁厂2号高炉护炉效果 .....                 | 刘瑞东  | (166) |

### 小型高炉护炉生产实践

|                      |      |       |
|----------------------|------|-------|
| 石钢冶炼铸造铁钛化物护炉研究 ..... | 于瀛洪等 | (169) |
| 小高炉钛渣护炉 .....        | 董喜平等 | (175) |

### 护炉料的生产、性能及研制

|                            |      |       |
|----------------------------|------|-------|
| 攀钢高炉渣补炉护炉功效与优势 .....       | 苏志忠  | (179) |
| 攀枝花钒钛磁铁矿冶金性能及其护炉作用 .....   | 范映辉  | (183) |
| 承钢钛护炉料的研制、发展与护炉效果 .....    | 郑生武等 | (186) |
| 承钢冷固结含钛球团矿护炉冶炼试验 .....     | 王明奎等 | (190) |
| 攀矿新型护炉料——含钛球团矿工业生产试验 ..... | 陈美俊等 | (193) |

### 风口、铁口等综合护炉技术

|                          |      |       |
|--------------------------|------|-------|
| 高炉含钛物料综合护炉技术 .....       | 莫燧炽等 | (201) |
| 首钢3号高炉风口喷吹含钛精粉护炉简介 ..... | 金岳义  | (204) |
| 梅山1号高炉风口喷吹含钛矿粉护炉试验 ..... | 李家新等 | (205) |
| 含钛精矿粉炮泥护炉试验 .....        | 高洪义等 | (210) |

### 其 他

|                                 |      |       |
|---------------------------------|------|-------|
| 采用《护炉用含钛高炉渣》标准的经济效益浅析 .....     | 杨树德等 | (212) |
| 国外钛化物护炉技术 .....                 | 张庆瑞  | (215) |
| 附录1 YB/T 009-921 护炉用含钛高炉渣 ..... |      | (219) |
| 附录2 承钢含钛高炉渣使用量统计 .....          |      | (220) |

# 我国高炉使用含钛物料护炉技术的现状与展望

宋建成 (北京科技大学)

宋阳升 (冶金工业部科技司)

## 摘 要

本文主要介绍了我国高炉使用含钛物料护炉的发展过程与现状,护炉机理研究的进展情况,护炉工艺过程诸如:护炉料的选择原则;护炉用料加入的衡量标准;护炉操作制度;护炉料加入的时机、方式与方法,并对今后护炉方向等有关问题进行了探索性分析。

## 1 引言

自 80 年代我国高炉开始应用含钛物料护炉技术以来,只有短暂的 10 年,该项技术已得到了广泛的应用,而且不论在理论上还是在实践上都有较大发展。目前,使用含钛物料护炉技术已成为维护高炉炉缸、炉底,解决炉缸危机的主要措施,对于延长高炉寿命起了很大作用。

近年来,我国不仅重视新的耐火材料的研究与开发,不断探索适合于高冶炼强度下炉底炉缸与炉身下部炉体结构,合理的煤气与炉料分布技术等手段来延长高炉寿命,而且还把含钛物料护炉技术作为一项重大的护炉措施,加以大力推广,并开展护炉理论的研究。

## 2 我国使用含钛物料护炉现状

### 2.1 基本情况

目前我国已有 30 多个钢铁厂近 50 座高炉应用含钛物料护炉,并已收到明显效果。据统计,在七五期间攀枝花矿山公司提供护炉用块矿约 17 万 t,含钛精粉 6.548 万 t;承德钢铁公司提供用于护炉的含钛高炉渣 44.95 万 t。柳钢、湘钢高炉采用此项技术最早,在取得明显效果之后,很快相继在武钢、首钢、本钢、包钢、通钢与韶钢等大中型高炉上广泛推广。从 1988 年开始,我国最大的高炉,宝钢 1 号高炉采用含钛物料护炉也取得满意的效果,而且一些小高炉如石钢的 150m<sup>3</sup> 高炉,承德地区铁厂 85m<sup>3</sup> 高炉都相继采用此项护炉新技术。护炉料有含钒钛块矿、含钛铁精粉、钛精粉以及钛渣。加入的时机,方式与方法,衡量加入量的标准等都不相同,护炉技术正在广泛应用与发展。

湘钢 2 号高炉 1982 年 9 月使用攀矿含钛铁精粉生产含钛烧结矿,加入高炉进行护炉,使计划于 1982 年应该停炉大修的 2 号高炉延长到 1986 年 4 月,炉龄高达 11 年之久。1981 年 1 月,柳钢新开炉不久的高炉由于炉缸烧穿,生产十分被动,使用当地含钛块矿——陆川县钒钛铁矿进行护炉后,取得了预期效果。但当时没有公开报道。鉴于湘钢大量应用攀矿含钛铁精矿粉烧结矿护炉,延长了高炉寿命,1984 年 11 月冶金部组织的鉴定,公认湘钢高炉护炉效果显著,柳钢代表也参加了鉴定会,之后全国推广湘钢经验,促进了含钛物料护炉技术在我国的应用。1986 年 7 月冶金部在承钢召开了全国第一届含钛物料护炉经验交流

会,从此含钛物料护炉技术在我国大、中、小高炉的应用发展很快。1991年6月又在四川乐山召开了全国第二届含钛物料护炉技术交流会,并且提出要把该项技术作为当前一项重大技术措施来大力推广。我国含钛物料护炉的理论研究与生产实践将推向一个新的阶段。

## 2.2 护炉技术的发展与效果

继湘钢钛护炉技术鉴定之后,武钢3号高炉于1985年3月使用钒钛磁铁矿直接入炉,进行护炉操作,炉缸冷却壁水温差下降,缓解了炉缸危机。接着2号与4号高炉也相继采用了该项护炉措施,也取得了明显的护炉效果。首钢1979年12月投产的2号高炉,1985年2月炉缸冷却壁水温差升高,开始用钒钛块矿护炉,缓解了炉缸危机。4号高炉1986年3月5日炉缸烧穿后,应用含钛高炉渣护炉,使高炉延长到1987年4月才停炉大修。首钢高炉由于冶炼强度大,利用系数高,长期坚持应用钛渣护炉,并把钛渣也作为常用炉料的一部分加入高炉,每年消耗平均在6万t以上,有时高达9万t,钛渣护炉取得好的效果。本钢5号高炉(2000m<sup>3</sup>)1981年9月投产,1984年中修后半年多时间Ⅱ段冷却壁水温差大幅度升高,1985年2月应用含钒钛球团矿护炉,延长到1987年才大修,也收到了良好的效果。总之,我国高炉使用含钛物料护炉后都起到延长高炉寿命的作用,实践证明该技术在高炉上的应用是可行和成功的。

高炉使用含钛物料护炉时对延长高炉寿命的作用十分有效,这是不容怀疑的,其经济效益也是好的。武钢高炉应用钒钛矿直接入炉,控制钛加入量和改进操作制度,高炉基本上维持了原来的利用系数,并略有提高,而燃料比并未升高,铁水质量也没有恶化,可见此项技术的经济效益是好的。本钢高炉在应用含钛物料护炉后,也得到了类似的效果。首钢高炉应用含钛物料护炉为高炉进一步强化,大幅度提高利用系数创造了有利条件,其效果十分显著。因此,使用含钛物料护炉基本上可以做到以下几点:

- (1) 延长高炉炉缸寿命,缓解炉缸危机;
- (2) 基本上不影响高炉操作指标,有的高炉还有改善;
- (3) 保持了铁水质量,炉渣流动性好,渣铁分离好;
- (4) 因为延长了炉子寿命,经济上是合适的。

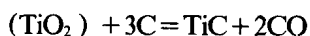
对高炉在选择含钛物料的种类、加入时机、方式、方法,加入量适当的标志等与相应的高炉操作制度方面进行探索,目的就是为了达到上述目标。这些方面的综合也就构成了含钛物料的护炉技术。

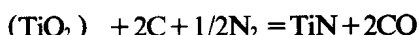
## 3 含钛物料护炉的机理与实践

高炉冶炼强化后,炉缸的寿命会缩短,主要是由于炉缸炉底交界处出现“异常侵蚀”,而炉缸炭砖出现环形断裂更加剧了“异常侵蚀”。生产中高炉炉缸出现问题,一般根据Ⅱ段或Ⅲ段冷却壁水温差升高或热流强度升高来衡量;当Ⅱ、Ⅲ段冷却壁水温差升高是由于炉缸异常侵蚀或铁口附近炉缸侵蚀过快造成时,加入含钛物料可使被侵蚀部分生成钛积物沉积。另外,由于钛积物层导热性差,可以使炉缸冷却壁水温差下降。

### 3.1 钛积层形成机理

关于钛沉积层的生成机理公认的理论是:含TiO<sub>2</sub>的炉料加入高炉后,在软熔带形成含TiO<sub>2</sub>的初渣,并在软熔带开始还原,首先是初渣与焦炭反应,生成TiC和TiN,即:





随着初渣的下降，渣中  $(\text{TiO}_2)$  也可以与铁水中的  $(\text{C})$  反应生成  $\text{TiC}$ ，即



当  $(\text{Ti})$  的浓度低于铁水中  $(\text{Ti})$  的饱和溶解度时， $\text{TiN}$ 、 $\text{TiC}$  将以颗粒状弥散于铁水中，使铁水中含  $(\text{Ti})$  量增加。但是当含钛铁水在炉缸下的低温区时，其铁水含  $(\text{Ti})$  量高于铁水中钛的饱和溶解度时， $\text{TiC}$ 、 $\text{TiN}$  将以固溶体形式结晶析出。根据计算可知，生成  $\text{Ti(N,C)}$  的固溶体是必然的。根据计算还可知，如果一部分未溶于铁水中的  $\text{TiC}$  与  $\text{TiN}$ ，也有可能在出铁时，随同渣铁一起下降而沉积下来，但这不是主要的。

根据国内外专家、学者对高炉中钛化物的生成过程进行研究的结果，可以认为，如果以  $1500^\circ\text{C}$  为界，在高温下结晶出来的  $\text{Ti(N,C)}$  中以  $\text{TiC}$  为主，在低温下结晶出来的  $\text{Ti(N,C)}$  中以  $\text{TiN}$  为主。日本成田贵一等应用电子探针显微分析器对 1974 年停炉的加古川 1 号高炉（有效容积为  $2843\text{m}^3$ ）的钛积物进行检验的结果，计算出了在该高炉炉缸、炉底生成的黄色、黄橙色和赤紫色的  $\text{Ti(N,C)}$  固溶体的结晶温度处于  $1230 \sim 1400^\circ\text{C}$  之间的低温区，而不是在  $1500^\circ\text{C}$  以上的高温区。

1987 年 4 月停炉大修的首钢 4 号高炉，对古铜色与浅古铜色钛积物进行电子探针分析，在钛化物固溶体中氮的含量比碳高，其中以  $\text{Ti(N,C)}$  为主的钛化物，与加古川 1 号高炉的情况相似，也是在  $1230 \sim 1400^\circ\text{C}$  之间的低温区生成的。首钢高炉的实践也证明，将适量的含钛物料加入高炉，能够在  $1230 \sim 1400^\circ\text{C}$  的温度下生成以  $\text{Ti(N,C)}$  为主的钛积物，十分有利于保护炉衬，从而延长了高炉寿命。

### 3.2 大修停炉后实际观察的结果

根据几座使用含钛物料护炉高炉停炉大修后钛积层的特点，我们可以进一步明确上述过程的正确性，并可归纳钛积层的特点如下：

(1) 炉缸被侵蚀最多部分钛积层最厚 首钢 4 号高炉、本钢 5 号高炉停炉时，发现最厚可达  $300 \sim 400\text{mm}$ ，沿炉缸壁往上钛积层变薄，在综合炉底的残砖上基本上没有钛积层，这个特点正是我们护炉所需要的。

(2) 钛积层一般呈层状 根据观察有以铁为主的富集层；有以  $\text{Ti(N,C)}$  为主的富集层；还有以渣为主的富集层；值得注意的是每一层都有石墨析出。大多数靠近高炉炉缸壁形成以  $\text{Ti(N,C)}$  为主的富集层，此层钛积物的微观结构是  $\text{Ti(N,C)}$  与  $\text{Ti(C,N)}$  相互构成不同色调的层状结构，即年轮状结构。

(3) 侵蚀越深则年轮状越高

从年轮状结构特点还可以看到，从侵蚀最深处沿炉缸壁高度越高，其沉积层中  $\text{Ti(N,C)}$  的成分越少，而且  $\text{TiN}$  的比例较高。

根据这些特点的变化规律可以进一步认为：在炉底炉缸交界处侵蚀最严重的部位，钛积物的来源是由铁相中  $\text{TiC}$ 、 $\text{TiN}$  的析出，同时还伴有少量石墨的析出，而且温度较低的部位析出量较多，随着高炉冶炼条件如  $\text{N}_2$  分压与温度的变化，钛沉积条件的不同，从而形成层状的沉积物。在侵蚀最深处的上方或侵蚀最深处，并有一定的钛积层的情况下，从渣相中直接还原成的  $\text{TiC}$ 、 $\text{TiN}$ ，也有可能随铁水的下降而同渣、石墨等一同粘附在这些部位。这些变化告诉我们，如果要求达到好的护炉效果，要控制渣中  $(\text{TiO}_2)$  的还原及铁水中  $\text{Ti}$  的析出这两个主要因素。这也是我们在用含钛物料护炉时高炉工艺操作所要完成的。

## 4 含钛物料护炉工艺问题分析

为了使含钛物料达到更好的护炉效果，我们必须对含钛物料护炉的工艺操作问题进行研究分析。

### 4.1 含钛物料的合理选择

#### 4.1.1 含钛物料种类

我国高炉护炉料主要来自攀枝花钢铁公司、攀枝花矿山公司与承德钢铁公司，其中包括钒钛磁铁矿、块矿、含钛铁精粉、钛精粉及高炉渣，这些含钛物料的化学成分列于表 1。

表 1 几种含钛物料的化学成分

| 成分, %  | TFC   | TiO <sub>2</sub> | SiO <sub>2</sub> | S     | P      | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO  |
|--------|-------|------------------|------------------|-------|--------|-------------------------------|--------------------------------|------|
| 攀枝花块矿  | 30.89 | 10.50            | 20.00            | 0.605 | 0.0126 | 0.315                         | 8.87                           | 6.21 |
| 攀枝花铁精粉 | 51.56 | 12.73            | 4.64             | 0.53  | 0.045  | 0.564                         | 4.69                           | 3.91 |
| 攀枝花钛精粉 | 30.58 | 47.53            | 3.04             | 0.30  | 0.004  | 0.095                         | 1.34                           | 6.12 |
| 攀枝花炉渣  |       | 22.62            | 25.29            | 0.39  |        | 0.32                          |                                | 8.09 |
| 承德块矿   | 35.83 | 9.42             | 17.52            | 0.50  |        |                               |                                |      |
| 承德铁精粉  | 61.51 | 6.75             | 2.93             | 0.051 |        |                               |                                |      |
| 承德钛精粉  | 35.00 | 41.00            | 2.5              | 0.30  | 0.04   | 5.64                          |                                |      |
| 承德炉渣   | 77.43 | 15.90            | 23.85            | 0.73  |        | 0.29                          | 15.06                          | 5.25 |

#### 4.1.2 含钛物料选择原则

应根据技术上可行与经济上合算两个方面，通过综合分析选择较为合适的加入料。

##### 4.1.2.1 应考虑护炉效果

首先要考虑护炉的效果。首钢护炉经验说明，虽然使用不同的含钛物料护炉，但钛的回收率，即钛在高炉内的沉积量没有明显的差别。这主要是由于炉渣中 TiO<sub>2</sub> 平衡浓度很小，从热力学上看，即使 TiO<sub>2</sub> 的活度有差别，而对 TiO<sub>2</sub> 的还原影响并不大，影响大的主要是温度的因素。所以即使采用不同的含钛物料护炉时，对钛在炉内的还原度差别也不大。因此不论在理论上还是在实践上，应用何种含钛物料都可以达到护炉的目的，取得类似的延长炉龄的效果。

##### 4.1.2.2 要考虑对高炉操作的影响

对于表 1 中所列的各种含钛物料，假定在护炉时，对这些含钛物料吨铁都可以按加入 20kgTiO<sub>2</sub> 的计量来计算时，各种物料的加入量，带入的 S、P 负荷，列于表 2。

表 2 不同物料加入量带入的 S、P 量

| 矿 种        | 攀钢块矿  | 攀钢铁粉 | 攀钢钛粉   | 攀钢炉渣 | 承钢块矿 | 承钢铁粉 | 承钢钛粉  | 承钢炉渣 |
|------------|-------|------|--------|------|------|------|-------|------|
| 加入量, kg/t  | 190   | 157  | 42     | 88   | 213  | 296  | 49    | 126  |
| S 负荷, kg/t | 1.15  | 0.83 | 0.13   | 0.34 |      |      | 0.147 | 0.92 |
| P 负荷, kg/t | 0.024 | 0.07 | 0.0017 |      |      |      | 0.019 |      |

从表 2 中可以看到，含钛块矿加入量以及 S、P 负荷都是较多的。当然带来的渣量大。块矿直接入炉后又难还原，一般情况下不宜采用。从表 1 与表 2 可知选用钛精粉对高炉操作影响很小，附加的渣量以及 S、P 负荷量都很小，而基本上可以忽略。应用铁精粉和炉渣护炉，对高炉操作影响都基本相同，增加的渣量及 S 负荷也相同。不过使用钛渣时 P 负荷要

小得多。因此，对于高磷操作的高炉宜选用钛渣护炉。

#### 4.1.2.3 要考虑经济因素

含铁块矿护炉时，对高炉影响大，价格又比较高，所以从技术与经济两方面考虑时都不宜采用，但是块矿也有优点，例如运输比较方便，在炉内又不影响其他炉料强度，调剂自如，贮存也灵活。而钛精粉护炉时，对高炉的影响虽然很小，但价格偏高且难以获得，一般企业不便采用。铁精粉与钛渣对高炉操作影响虽然相同，但铁精粉要配入烧结矿混合料，生产含钛烧结矿，一般强度受到影响（RDI 指标变坏），调剂量不灵活。而含钛高炉渣是高炉副产品，属于废物利用，无疑是价格便宜，运输又方便，所以很多高炉都积极选用钛渣护炉，而且含钛高炉水渣也可以少量地加入烧结矿。

总之，如何选择含钛物料，应从护炉效果、经济效益、高炉操作、运输方便应用灵活等方面考虑，因地制宜地选择护炉料。

### 4.2 含钛物料加入的合适量的衡量指标分析

含钛物料护炉时，有的高炉采用生铁中含  $[Ti]$  量来控制护炉料的加入量；有的高炉则使用单位生铁的  $TiO_2$  负荷量来控制护炉料的加入量；还有的高炉根据渣中  $TiO_2$  含量来控制，究竟哪一种控制标准比较科学，应作分析比较。

综合以上分析可知，护炉形成的钛积物关键是来自铁水中  $[Ti]$  的析出，铁水中含  $[Ti]$  量越高，则钛积物越容易形成，并且形成的钛积层越厚，形成量也越大，因而护炉效果也越好。因此，护炉效果从根本上来讲主要取决于铁水中  $[Ti]$  的浓度，而铁水中钛的浓度又取决于渣中  $TiO_2$  还原生成  $TiN$  或  $TiC$  的数量。所以，在高炉护炉时，用生铁中含钛的浓度  $[Ti]$  来控制护炉效果是十分科学的。而相反，如果使用加入的  $TiO_2$  量（即钛负荷）来控制，将不能准确地预测护炉效果。这是因为在不同炉温下，即使  $TiO_2$  的加入量相同，但铁水中含  $[Ti]$  量可以不同，因而护炉效果不同，二者的关系见图 1。同样，使用渣中  $(TiO_2)$  含量来控制护炉也不合理，因为  $(TiO_2)$  在渣中含量与铁水中  $[Ti]$  含量变化关系，在不同炉温下其规律也不相同，见图 2。

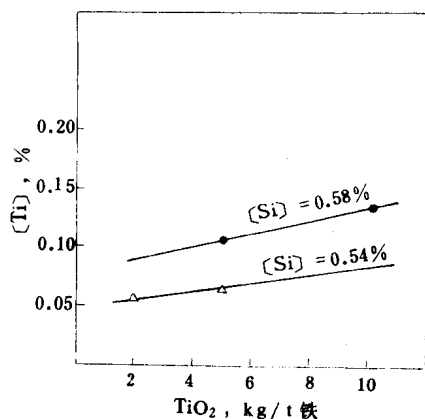


图 1  $[Ti]$  与  $TiO_2$  加入量的关系

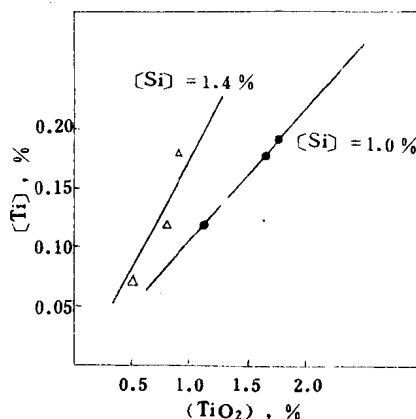


图 2  $[Ti]$  与  $(TiO_2)$  的关系

根据计算可知，当铁水中钛的浓度超过该温度下铁水中钛的溶解度时，铁水中将有  $TiN-TiC$  及其固溶体生成，假定炉缸底部温度为  $1200^\circ C$ ，铁水中钛的溶解度则只有  $0.012\%$ ，当然铁水中含  $[Ti]$  量只要大于这个值，就可能有钛化物生成。生产实践也说明，

当铁水中的含〔Ti〕量在 0.06~0.08% 以上时, 就有明显的护炉效果。因而生产中使用含钛物料护炉时, 铁水中含〔Ti〕量下限应控制在 0.06~0.08%。随着钛积物的形成, 钛化物表面温度的升高, 若要使钛化物进一步再沉积, 必须再提高铁水中含〔Ti〕量。生产实践反复说明, 其上限不应超过 0.20%, 至于铁水中含〔Ti〕量与时间的关系, 则要结合高炉生产情况具体分析。

### 4.3 含钛物料护炉时的高炉操作制度

根据高炉生产实践, 主要涉及的是热制度和造渣制度。

#### 4.3.1 炉缸温度

衡量炉缸温度高低的标志通常有两个, 一是铁水的含〔Si〕量, 或称为化学热; 二是炉缸物理热, 用铁水的物理温度表示。后者当然十分科学, 因为化学热与物理热虽然在一定的条件下大致一致, 但在很多情况下二者并不一致, 并且相反。由前面的理论分析可知, 在应用含钛物料护炉时, 提高炉温有两重作用, 一是有利于  $\text{TiO}_2$  的还原, 二是有利于钛在铁水中的熔解, 也即将形成  $\text{TiN}$ 、 $\text{TiC}$  进入铁水, 因而有利于 Ti 沉积, 可提高护炉的效果。同时护炉过程的生产实践还说明, 在炉渣二元碱度相同条件下, 如果  $\text{TiO}_2$  的加入量也相同, 则随着铁水中〔Si〕含量的提高, 铁水中含〔Ti〕量也提高, 其变化趋势如图 3。从图中还可看到, 并不是铁水含〔Si〕越高, 含〔Ti〕也越高。这是由于化学热不与物理热成比例的原因所致, 而且铁水含〔Si〕越高, 焦比也越高, 经济上也不合算。所以再提高铁水中含〔Si〕的化学热, 由于物理热没有提高, 〔Ti〕含量变化不大, 护炉效果也不一定更好。至于冶炼铸造铁时, 本身可以析出石墨碳, 因而就有护炉作用, 这种情况则另当别论。但是, 这种作用与含钛物料护炉作用相比要小得多。

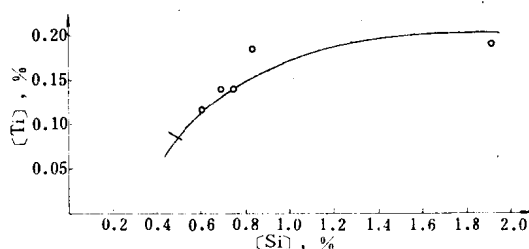


图 3 〔Ti〕与〔Si〕的关系

#### 4.3.2 提高炉缸中心温度

在一定条件下铁水含〔Si〕高, 含钛物料护炉效果好, 反过来, 当铁水含〔Si〕不高时, 护炉效果是否一定不好呢? 现通过以下分析来说明它。根据解剖与计算资料, 炉渣中  $\text{TiO}_2$  被焦炭中碳还原生成  $\text{TiN}$ 、 $\text{TiC}$  后, 在风口平面处达到最大值, 而当  $\text{TiN}$ 、 $\text{TiC}$  通过风口区时又被氧化并大量溶于铁水中, 最后又在炉缸炉底的交界处从铁水中析出成为钛积物, 所以生成的钛积物大多数从炉缸中心迁移到铁水中, 又由铁水带到炉底炉缸交界处沉积, 这一机理可由冶炼钒钛磁铁矿的高炉易发生炉缸堆集现象得到证实。据此, 如何使炉缸中心活跃, 提高炉缸中心温度, 促进 ( $\text{TiO}_2$ ) 的还原, 又使中心铁水温度提高到易于弥散更多的  $\text{TiN}$ 、 $\text{TiC}$  就变得更为重要。这样即使铁水含〔Si〕量不高, 但物理热高, 炉缸中心活跃, 炉缸水平方向温度梯度小时, 也可以获得很好的护炉效果。同时还可以通过进一步改善高炉操作, 改善铁水质量, 在操作上可以通过缩小风口或加长风口, 提高风速与鼓风动能等调

剂送风制度与装料制度来达到。

#### 4.3.3 造渣制度

加入含钛物料护炉的高炉操作,  $\text{TiO}_2 < 5\%$ , 属于微钛渣或低钛渣冶炼范围, 根据生产实践, 这种操作与普通矿相比, 炉渣碱度可不必调整, 如果采用降低炉渣碱度, 提高铁水含  $[\text{Si}]$  来达到护炉效果, 这种做法则不足取。因为降低碱度后不利于  $\text{TiO}_2$  的还原, 而且不利于铁水脱硫, 所以维持原有炉渣碱度较为合适, 当然提高碱度也没有必要。例如重钢高炉渣中  $\text{TiO}_2$  为  $2 \sim 3\%$  时, 炉况稳定顺行, 炉渣流动性好, 脱硫能力也正常。

### 4.4 含钛物料加入的时机与加入方式

#### 4.4.1 加入时机

根据钛沉积层形成机理, 当炉缸衬砖比较完好时, 钛积物很难沉积在炉缸上, 当炉缸侵蚀到一定程度后, 钛积层易于生成并沉积在被侵蚀的部位上。因此很显然应该选择钛积物能够在炉缸沉积的时候开始加入含钛物料进行护炉。这个时间对于不同的高炉是不同的, 并可由钛平衡计算的结果来确定。由计算得出有相当量的钛能够沉积在高炉内时, 可以加入含钛物料护炉。或者当 II、III 段冷却壁水温差升高或高炉炉缸已到末期也应该考虑加钛物料护炉。一般高炉开炉一年左右就开始护炉其效果不一定明显。但对于冶炼强度大, 利用系数高, 炉缸侵蚀快的高炉, 早一些时间加入含钛物料进行护炉操作也是合理的。

#### 4.4.2 加入方式

关于加入方式是连续加入好还是间断加入好, 经过大量调查与比较, 大多数高炉实践说明, 连续加比较好。细水常流可以做到既护炉又补炉, 由于量小, 因此对高炉操作的影响较小。

#### 4.4.3 加入部位的工业试验进展

我国绝大多数高炉都是从炉顶随料批一起加入高炉, 加入的物料有含钛块矿、含钛烧结矿, 含钛球团矿以及含钛炉渣等。目前, 承德钢铁厂、攀枝花矿山公司正在生产大量的冷固结球团矿, 供高炉护炉用。以上含钛物料是从高炉顶部加入的, 称之为上加法。

我国有的高炉, 如首钢、鞍钢、梅山、太钢等一些高炉, 需局部补炉, 正在试验下加法, 即从风口喷吹钛精粉。承德地区铁厂  $85\text{m}^3$  小高炉以堵口炮泥的形式当作炮泥打入铁口内, 以便使铁口具有一定的深度以及补充铁口附近炉缸的炉衬。

#### 4.4.4 风口喷入含钛物料情况及进展

考虑从风口喷入含钛物料进行护炉, 其最主要的优点是, 从风口喷入方式可以解决局部炉缸侵蚀问题, 而且铁水含钛量也不必有很大的提高, 因此对高炉影响小, 使用的钛原料也少。当从风口喷入含钛物料时主要是利用现有的喷煤装置, 对高炉炉缸局部的几个风口集中喷入含钛物料, 以使该处能得到大量的钛积层的保护。当炉缸局部被侵蚀时, 应该往那几个风口喷入, 主要考虑铁水流动方向, 要使已含有较高  $[\text{Ti}]$  量的铁水流经被侵蚀处, 这样才能收到好的效果。对单铁口、双铁口、渣口位置, 出铁制度等都有一定关系, 可以结合实际炉况分析。例如, 1989年11月, 首钢3号高炉烧穿, 考虑到需要局部护炉, 从1990年1月开始多次从风口喷入承钢的钛精矿(含  $\text{TiO}_2$  达  $45.5\%$  以上)。利用风口喷吹装置, 另加钛精粉喷吹罐, 每小时约喷  $8 \sim 14\text{t}$ , 达到了预期局部补炉、护炉的效果。梅山冶金公司1号高炉二段的2号与3号冷却壁水温差升高, 于1991年5月进行了三次从风口喷入含钛物料的工业试验。鞍钢7号高炉由于二段水温差升高, 于1991年11月也从风口喷入含钛物料。



太钢高炉也进行了类似的工业试验，都取得了不同程度的效果。

## 5 护炉同时还可冶炼含钛铸造生铁

石钢 150m<sup>3</sup> 高炉，在采用含钛炉渣护炉的同时，又冶炼出了含 Ti0.2 ~ 0.3%，含〔Si〕1.60% 左右的含钛铸造生铁，不仅护炉效果十分明显，而且钛渣入炉量明显少于冶炼炼钢生铁的高炉，起护炉作用的是析出的石墨碳与钛化物的共生物。因此，石钢高炉采用钛渣护炉后，不仅延长了高炉寿命，而且冶炼出含钛铸造生铁，延伸了高炉冶炼的产品，因而具有较高的经济效益。

## 6 使用含钛物料护炉的规范化研究

为了更好地掌握含钛物料护炉的用量、粒度、成分、时机等规律，冶金部信息标准研究院与承钢正在研究并准备试行“护炉用含钛高炉渣企业标准”，力争使发展钢铁工业与环境保护相协调，以利于实现经济、社会与环境三个效益的统一，标准化也是科研、生产与使用三者之间的桥梁。

## 7 延长我国高炉炉缸炉底寿命技术的展望

尽管我们具有含钛物料护炉的技术措施，也只能起到维护与挽救炉缸危机的作用，而决定炉缸炉底寿命的重要因素仍然是设计结构、材质与施工质量等因素。展望我国延长炉缸炉底寿命的技术措施，今后将有二条工艺路线可走：一条是以美国联合碳化物公司为代表的使用热压小块砖技术，靠炭砖的高导热性（15 ~ 18W/m·℃）以及强化冷却来提高炉缸寿命（其缺点是热损失大一些）；另一条是在使用微孔炭砖的基础上，前部加“陶瓷杯”技术。这是法国技术，其优点是可以降低热损失并消除异常侵蚀。如果我国高炉在应用上述技术的基础上又结合含钛物料护炉技术，我国高炉炉缸炉底的寿命有望超过 15 年，因而可彻底解决强化后高炉的炉缸炉底寿命问题。

### 参考文献（略）