

分类号_____

UDC_____

重慶大學

工程硕士学位论文

题目： 重钢 5#高炉新型无水炮泥与塑性检测装置的开发

论文作者：刘 鹏

指导教师姓名、职称： 邹德余 教 授

兼职导师姓名、职称、工作单位： 龚文渠 高级工程师
重钢集团技术发展办公室

申请学位级别：工程硕士 工程领域：冶金工程

学位授予单位： 重庆大学

论文提交日期：2005 年 11 月 1 日 答辩日期：2005 年 12 月 7 日

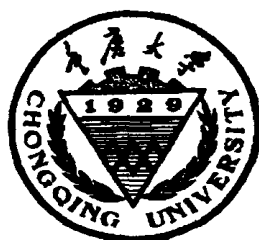
答辩委员会主席： 白晨光 教 授

论文评阅人： 伍成波 副教授 周远华 高 工

2005 年 11 月 1 日

重庆大学工程硕士学位论文

重钢 5#高炉新型无水炮泥
与塑性检测装置的开发



硕士研究生：刘 鹏

指导教师：邹德余 教授

兼职导师：龚文渠 高级工程师

工程领域：冶金工程

重庆大学材料科学与工程学院

二〇〇五年十一月

**A Dissertation Submitted to The Academic Degree Committee
of Chongqing University for Master Degree of Engineering**

**Development of New Type Waterless Tap Hole
Clay and Plasticity Detection Device for No.5 Blast
Furnace in Chongqing Iron and Steel Co.**



Candidate: Liu Peng

Speciality: Metallurgical Engineering

Supervisor: Professor Zou Deyu

Moonlighting Supervisor: Senior Engineer Gong Wenqu

College of Materials Science and Engineering

Chongqing University

November 2005

摘 要

论文在分析国内外及重钢五高炉使用无水炮泥发展现状的基础上,针对高炉生产时炉内、外因素对铁口泥包和铁口孔道的影响,结合重钢五高炉铁口工况、泥炮性能、铁口操作和气候变化等情况,通过反复试验研究,不断优化炮泥用料配比,开发研制出了适合重钢五高炉强化冶炼所需的新型无水炮泥。

通过提高原料质量,降低焦粉粒度,优化炮泥配比,延长碾泥时间等手段来达到提高无水炮泥质量的目的,研制的无水炮泥具有强度好、体积密度较大,并具有抗渣、耐铁液侵蚀、抗冲刷能力强等特点。通过跟踪使用和进一步投入大生产的应用,证明使用该无水炮泥可使铁口深度合格率和铁量差合格率较以前大幅度上升,高炉生产从根本上杜绝了铁口潮湿放火箭炮事故的发生,减少了炉前安全隐患,同时炉前环境较以前有一定的改善,为高炉增加出铁次数和强化冶炼奠定了基础,也为高炉的稳定顺行创造了条件,满足了五高炉高强度生产条件下出铁次数逐渐增多后铁口工作的需要。

铁口工作状态改善后,五高炉的铁口通道能基本保持稳定,高炉出铁时减少了渣铁喷溅,有利于降低铁损,可为公司创造良好的经济效益。

根据泥炮工作原理和性能要求,研制开发了无水炮泥的塑性检测装置,通过对无水炮泥塑性值的检测,收集了半年时间的检测数据,根据检测数据制定了无水炮泥的内控标准,按内控标准生产的新型无水炮泥能较好地满足公司炼铁生产高炉不断强化和极限运转的需要。

关键词: 高炉 无水炮泥 检测装置 塑性值

Abstract

Based on analyzing the development situation of waterless tap hole clay for No.5 blast furnace in CISCO (Chongqing Iron & Steel Co.) and other blast furnaces at home and abroad, aiming at the influence factors both in and out of blast furnace on tap hole during the producing process of blast furnace, the new type waterless tap hole clay was developed after gradually experimental researches and continuous optimization of raw materials of clay.

The quality of waterless tap hole clay was implemented by improving quality of raw materials, decreasing coke powder granularity, and prolonging time of grinding clay. And the waterless tap hole clay were of high intensity and large density, and had high capacity of resisting slag, hot metal etching and flushing. After tracking and further using in production, the percent of pass both of tap hole depth and quantity difference of hot metal improved to increase greatly, and the bomb due to the humidity of tap hole was radically avoided. The safety and the working environment was improved. All these established the foundation of increasing in number of tapping and strengthening smelting, and created conditions for stable operation of blast furnace. The experiment result showed that the channel of No.5 blast furnace kept stable after improving the tap hole working condition, and the slag and hot metal splashing was decreased when tapping. All these were beneficial to reduce iron loss, and could bring better economy benefit.

Plasticity detection device was developed based on the working principle and performance requirement of tap hole gun. Through testing the plasticity index of waterless tap hole clay, the internally standard was made based on the testing data. And the new type waterless tap hole clay according to the standard satisfied the need of strengthening smelting of blast furnace.

Key words: blast furnace waterless tap hole clay detection device plasticity index

目 录

中文摘要	I
英文摘要	II
1 引 言	1
1.1 高炉炮泥发展的现状	1
1.1.1 国外高炉炮泥的发展现状	1
1.1.2 国内高炉炮泥的发展现状	2
1.1.3 重钢高炉使用炮泥的发展	3
1.2 高炉炮泥的功能特性	4
1.3 炮泥的性能以及对高炉生产的重要影响	5
1.4 炮泥的生产工艺	7
1.4.1 炮泥的生产工艺流程	7
1.4.2 原材料对炮泥质量的影响	7
1.5 炮泥的损毁机理	9
1.5.1 热机械作用损毁	9
1.5.2 热化学侵蚀损毁	9
1.6 无水炮泥及其反应机理	10
1.6.1 热塑性炮泥	10
1.6.2 热固性炮泥	10
2 高炉生产时炉内、外因素对铁口泥包和铁口孔道的影响	12
2.1 高炉铁口的工作条件	12
2.2 铁口在生产前与生产中的构造	12
2.2.1 开炉前铁口构造	12
2.2.2 高炉生产中铁口构造	13
2.3 高炉炉内变化对铁口泥包和孔道的影响	14
2.4 炉前操作与泥料质量对铁口孔道、泥包的影响	14
2.4.1 炉前操作的影响	14
2.4.2 出铁操作与铁口泥套维护的影响	16
3 重钢五高炉使用无水炮泥存在的问题	18
3.1 重钢无水炮泥存在的主要问题	19
3.2 影响铁口深度的因素	24
3.3 课题的提出及需要解决的问题	27

3.4 项目的研究内容	27
3.5 项目研究的意义及创新点	27
4 重钢新型无水炮泥的研究开发	28
4.1 新型无水炮泥开发研制前的准备	28
4.1.1 前期准备工作	28
4.1.2 新型无水炮泥原料的选用	29
4.2 新型无水炮泥研究	33
4.3 新型无水炮泥的应用	35
4.4 进一步提高无水炮泥质量采取的措施	42
4.5 新型炮泥经济效益	44
5 高炉炮泥塑性检测装置的开发	46
5.1 炮泥塑性检测装置简述	46
5.2 塑性检测装置的结构和工作原理	46
5.2.1 塑性检测装置的工作条件	47
5.2.2 塑性检测装置的技术性能	47
5.2.3 塑性检测的测定方法	48
5.2.4 检测设备的维护	49
5.3 ATY—3B 型高炉炮泥塑性测定仪的应用	49
5.4 无水炮泥内控标准的制定	51
6 结 论	54
致 谢	55
参考文献	56

1 引言

随着高炉大型化的发展,高强度、高风温、高风压、大风量、高富氧等手段逐步采用,高炉从铁口排出了大量的渣铁,从而对铁口的炮泥质量提出了更高的要求,具体来讲就是在高炉不排放渣铁溶液的时候,高炉炮泥填充在铁口内,使铁口保持在足够的深度;当高炉放铁时,铁口内的炮泥中心被开口机钻头钻出孔道,当渣铁溶液通过铁口孔道排出炉外时,要求所使用的炮泥维持铁口孔道直径基本稳定,出铁均匀,最终达到出净炉内渣、铁溶液,保持炉缸活跃的目的。由于铁口每天反复出铁,铁口被一次又一次的反复钻开和填充,高温的铁液和熔渣对铁口中炮泥将产生物理的和化学的作用,使炮泥损毁。如果炮泥质量差,使用该炮泥时将会产生一系列问题,如铁口潮湿、铁口漏铁、铁口浅等,导致铁口工作恶化,降低铁口深度合格率,影响高炉的正常生产,甚至造成人身、设备等安全事故的发生。所以,为了使铁口工作状态稳定,满足高炉强化冶炼的需要,在要求炮泥的作业性好,使铁口能充分填充的同时,还要求高炉炮泥应具有如下性能^[1-2]。

- 应具有较高的耐火度,能够承受高温渣、铁溶液的作用。
- 应具有较强的抵抗渣、铁溶液冲刷的能力和抗氧化的能力。
- 应具有适宜的可塑性,以便于泥炮的操作和形成铁口泥包。
- 应具有良好的体积稳定性,使其在高温下的体积变化小,不会由于收缩发生参漏铁水的事故。
- 应具有较好的烧结性能、烧结快速烧透和具有快干速硬及较高的高温强度。
- 应具有良好的开口性能,开口机钻头容易开铁口。
- 原料配用比例便于调整,不产生有害气体。

国内外冶金工作者对高炉炼铁生产用炮泥质量都非常重视,如何改进和提高炮泥质量,对炮泥生产过程质量科学控制成为高炉炼铁工作十分重视的研究课题。

1.1 高炉炮泥发展的现状

1.1.1 国外高炉炮泥的发展现状

国外各主要产铁大国的高炉生产对炮泥的质量都非常重视,炮泥的发展经历了有水炮泥和无水炮泥两个阶段。随着高炉炉容的持续扩大和精料技术的不断进步,为了满足现代化大型高炉的需要,改善铁口工作状况越来越重要。20世纪70年代至80年代初各国相继开展了对无水炮泥的生产研究并加以应用,随后在高炉生产中对无水炮泥的依赖越来越强,因其性能大大优于有水炮泥。据报道^[3],1983

年前苏联黑色冶金部制定了无水炮泥的生产工艺，乌克兰耐火材料研究所对有水炮泥和无水炮泥进行了对比试验，结果无水炮泥的性能大大优于有水炮泥。最初无水炮泥都是采用焦油作为结合剂，由于焦油在高温环境中使用会产生黑色烟雾，恶化工作环境，为了克服这些不足，满足社会的进步和环保的要求，日本和西德等国已研制出了以树脂代替焦油为结合剂的无水炮泥，不仅消除了炉前使用将产生的黑色烟雾，而且还能快速硬化，从而大大提高了无水炮泥性能。除在结合剂方面的改进外，日本在 1979 年到 1987 年间，还先后研究开发了 SiO_2 炮泥、高耐用性 SiO_2 炮泥和特别耐用的 Al_2O_3 炮泥，由于无水炮泥的使用使铁口打开困难，日本还于 1985 年开发使用了插棒法开铁口技术，并取得了较好的使用效果^[3-8]。随后国外其他大型高炉铁口填充用炮泥有的又逐步改用优质的 SiC 质无水炮泥，这种炮泥遇到高温后烧结迅速，如仍采用老式的一次性开铁口的方法会遇到很多麻烦，为了确保开铁口顺利，也采用了铁口铁棒预埋入法。当到了规定出铁时间，只要将埋入在铁口的铁棒拔出，铁水即可顺利地从此流出^[9]；宝钢 4063m³ 高炉从投产开始，铁口作业就一直采用了铁口铁棒预埋入法^[10]。几个国外高炉用炮泥的组成见下表 1-1^[11]。

表 1-1 国外高炉用炮泥的组成情况

Tab. 1-1 Composition of Tap Hole Clay for Blast Furnace in Foreign

	日本	美国	英国
材质及其 主要原料	电熔氧化铝	氧化铝、粘土、石英沙（40%~60%）	熔融氧化铝
	碳化硅	碳化硅（0%~15%）	碳化硅
	碳粒	焦屑（15%~35%）	无烟煤（3%）
	粘土	固体沥青（1%~12%） 焦油（15%~25%）	粘土（最多 5%） 焦油（19.6%）
粒度组成	最大粒径 3mm，小于 0.2mm 的为 60%—65%。		炮泥中细粉比例为 25.8%

总之，国外无水炮泥的生产非常注重选择优质原料或人工原料作为炮泥的主材质，而且非常注意采用新型结合剂和添加剂，使得无水炮泥质量提高和性能稳定。使用时不仅可保证出铁稳定，出铁时间长达 3 个多小时，出铁次数达到 5—7 次，而且炮泥的单耗大为减少，如日本千叶 1#4500m³ 高炉炮泥单耗仅有 0.25kg/t.Fe^[12]。

1.1.2 国内高炉炮泥的发展现状

众所周知,我国早已进入到产铁大国的行列,高炉炉容大小不等,最大容积已超过 4000m^3 ,但 1000m^3 以下的仍居多。长时间以来,我国的中小型企业精料水平落后,使用矿石品位不高,高炉一般同时设有出铁口和出渣口,在出铁前先放上渣。但是随着科学技术的进步与精料技术的发展和对外贸易的增加,高炉大量使用高品质的进口矿,致使高炉的入炉综合品位提高,出铁时渣量大为减少,许多高炉已经停止放上渣操作^[13],仅留有出铁口来排放渣铁溶液。打开铁口的方法一般都采用钻孔法。铁口以前所用的炮泥大部分是传统的有水炮泥,这种炮泥主要以焦粉、粘土、矾土熟料和焦油沥青为原料加水搅拌而成。有水炮泥一般体积密度小,耐渣铁侵蚀性较差,特别是在大中型高炉上使用堵铁口时往往容易造成铁口深度达不到要求,在出铁期间容易出现跑大流、出不净渣铁溶液、放风堵铁口等事故,从而影响高炉的正常生产。但其成本相对较低,经各生产单位不断改进后仍在我国的许多中小型高炉上使用,其单耗在 1.2kg/t.Fe 以上。

随着我国 20 世纪 80 年代后大中型高炉的不断改建或新建,高炉一般只设一个渣口或一个事故渣口,设有 1~4 个出铁口,铁口每天将排出大量的渣铁。如宝钢的两座 4063m^3 高炉每天出铁量达到 10000t 左右,出渣量达到 3200t 左右,出铁速度达到 $5.8\sim 7.5\text{t/min}$ 。要满足以上这些工作条件,传统的有水炮泥显然达不到要求,为此高炉生产便开始研究采用了高优良性能的无水炮泥。无水炮泥一般主要由刚玉、碳化硅和焦粉等原料组成,同时还配加不同的添加剂,以高温焦油作为结合剂。这种无水炮泥由于采用了优质高纯原料,并以碳质原料为结合剂,其耐渣铁侵蚀能力较有水炮泥大为提高,可以使铁口出铁时间延长,从而达到减少出铁次数的目的。宝钢 TA—4 炮泥每次出铁时间可达到 120min 以上,其每天的出铁次数为 10~11 次。高强度的无水炮泥的缺点是打开铁口困难,宝钢采用了插棒法开铁口技术,其炮泥单耗已从过去的约 0.8kg/t.Fe 降到了约 0.35kg/t.Fe 。

1.1.3 重钢高炉使用炮泥的发展

炮泥质量的好坏将直接影响到铁口工况、正常生产和炉前设备及人身安全等。1938 年重钢从汉阳兵工厂搬来设备落后的 100m^3 高炉,到现在 1200m^3 现代化程度较高的高炉所使用的炮泥,经历了半个多世纪。在 1989 年 1200m^3 高炉建成投产前,高炉铁口使用的都为有水炮泥。随着 1200m^3 高炉的投产,有水炮泥已不能满足高炉强化冶炼的需要,因此开始组织无水炮泥的研制。针对当时的实际情况采取边研究边试制,并逐步分阶段在高炉生产中应用,然后结合炉前操作调整炮泥配方,不断总结经验并进行改进。重钢 1200m^3 高炉采用高压操作,为了保证炉顶压力达到 $100\sim 150\text{kPa}$,以满足高炉强化后出铁量增加的需要,必须研制出与之相适应的适合于重钢高炉使用的无水炮泥,以满足大高炉对铁口质量的要求,从而

保证 1200m³ 高炉的正常安全生产。最初无水炮泥的使用效果时好时坏,有时出现铁口钻不动, 钻头损坏严重;有时出现泥料打不进, 因气温降低, 葱油粘度大;有时出现铁口潮湿, 连续出现湿泥打出的情况。无水炮泥最初试用阶段存在的主要问题^[14]: 一是原料质量较差; 二是成分不稳定; 三是计量不准, 特别是葱油的计量不准, 影响泥料的可塑性极大; 四是炉前打泥量控制不好, 由于泥炮设计无泥料打入量的显示指针, 操作无法控制, 只以打泥秒数(按一次打入时间 35 秒)来计算, 也无法知道打入泥量多少, 因此铁口深度不稳, 合格率很低。但因没有科学的检测手段, 只能依靠手摸和眼睛观察, 生产完全是凭经验, 导致对炮泥质量的判断缺乏科学依据。同时由于其质量不稳定, 经常造成铁口浅、跑大流等一系列炉前事故, 影响高炉的顺行和炉况的稳定。2003 年以前炮泥为炼铁厂自己生产自己使用, 对炮泥无检测手段, 炮泥的质量波动给生产带来的影响完全由铁厂内部消化解决。随着 2003 年和 2004 年炼铁入炉品位的提高和更高技术经济指标的实现, 高炉的冶炼强度将进一步提高, 特别是五高炉将每天的出铁次数由 11 次逐步提高到 13 次, 再提高到现在的 15 次铁, 铁口的渣铁排放量将逐渐增加, 对炮泥的质量要求较以前应有较大幅度的提高。此时由于炮泥的生产、组织和管理已由钢研所全面负责, 较以前炼铁厂组织生产时的情况发生了较大的变化, 一旦发生铁口指标变差的情况, 炼铁厂将认为主要是由炮泥质量差或波动引起的; 炮泥生产方钢研所特材厂则认为铁口指标变差是因为铁口操作和维护不当引起的。为此, 研究开发适合重钢高炉需要的新型无水炮泥和炮泥塑性检测装置显得非常重要和必要。只有依靠检测数据才能说明炮泥质量是否存在问题和波动, 才能最终消除炮泥使用方对炮泥质量是否稳定和波动的猜疑, 也才能找出铁口指标变差的真正原因。目前国内有关炮泥塑性检测设备大致分为立式和卧式两类: 以鞍钢和昆钢为代表的为立式结构的; 以攀钢为代表的为卧式结构的。由于各自厂家铁口工况等的不一致, 所以同行业内还未形成统一的炮泥塑性检测标准, 完全需要根据各自生产实际情况开发研制出适合本企业的可行实用新型炮泥和塑性检测装置与内控检测标准, 所以本项目在研制开发出可行实用的新型无水炮泥和塑性检测装置后, 还需通过一系列试验研究探索制定出无水炮泥的内部检测标准, 这对指导大生产服务具有重要意义。

1.2 高炉炮泥的功能特性

随着高炉的大型化和长寿化, 高炉炮泥已从单纯的消耗性耐火材料转向为功能性耐火材料。高炉炮泥除了堵住出铁口和稳定出铁的作用外, 还增加了保护炉缸区域的功能; 同时随着社会的发展和时代的进步, 还要求高炉炮泥使用中改善作业环境, 减少对环境的污染。

高炉炮泥的工作环境非常苛刻，一般情况下，高炉出完铁堵口后旧的炮泥内含有部分渗进的渣铁，在新旧炮泥的交界处形成隔层。高炉在出铁过程中，铁口通道受到高压铁水流的化学侵蚀和冲刷，熔渣与炮泥中的 Al_2O_3 、 SiO_2 等形成低熔点物质，这些反应物在熔渣、铁流的侵蚀、冲刷下发生蚀损，又形成新的反应物，使铁口孔道迅速扩大，所以要求高炉炮泥具有以下功能特性，见下图 1-1。

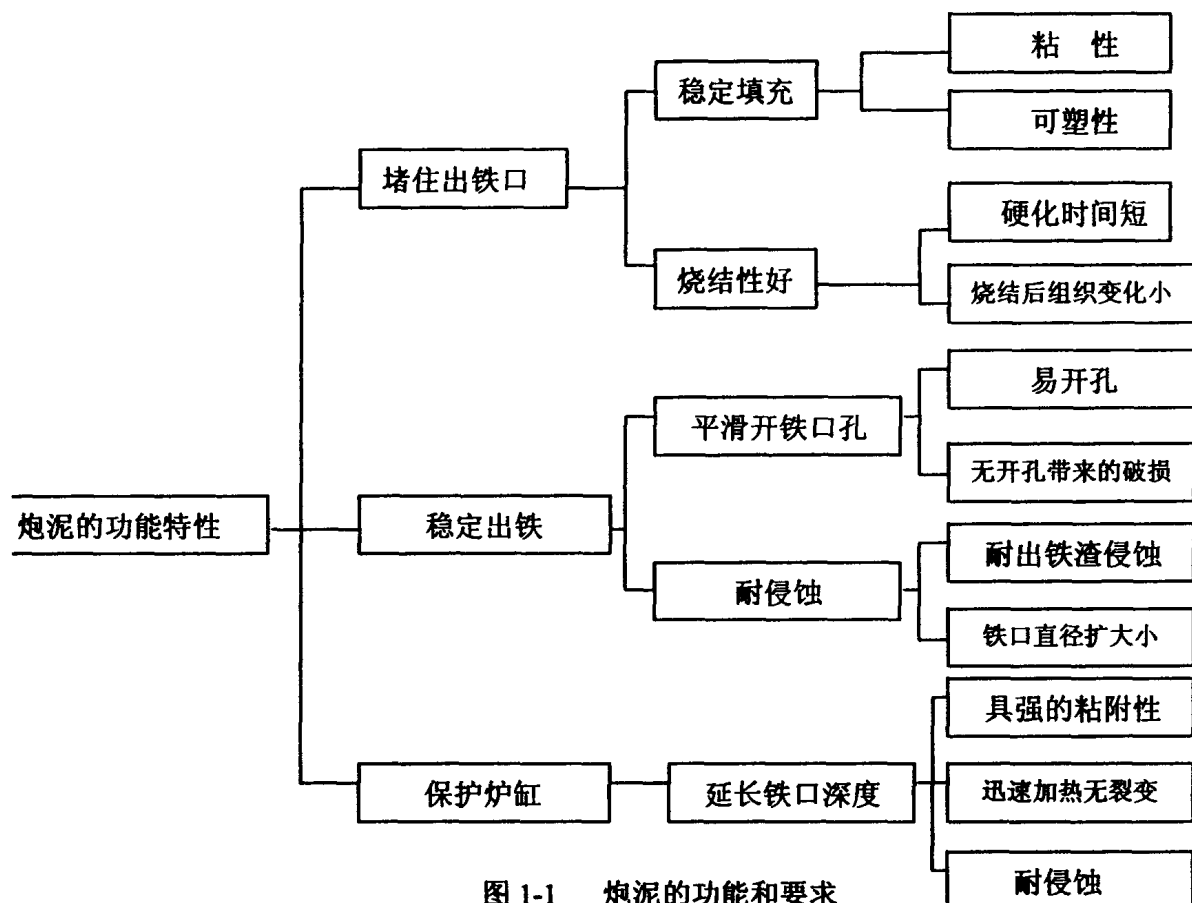


图 1-1 炮泥的功能和要求

Fig 1-1 Performace and Requirement of Tap Hole Clay

1.3 炮泥的性能以及对高炉生产的重要影响

炮泥的性能对出铁口的维护在一定程度上起着决定性的作用，炮泥在高炉生产中，其质量的好坏将直接影响到铁口工况、正常生产和炉前设备及人身安全等。高炉使用炮泥应具备以下性能：

耐火度高，大于 1580°C ；干燥后具有一定的强度和耐磨性；抗渣性能好；在常温下具有一定的可塑性；具有迅速干燥的能力；受干燥后收缩性小，以保证铁口孔道泥套不能形成大的裂纹；具有耐急冷急热性等。

□ 原料

改善原料质量，尽可能采用优质冶金焦作为骨料，不使用外购焦和落地焦，同时配加一定数量的碳化硅，提高无水炮泥的抗渣侵蚀和冲刷能力，使泥料的高

温整体结构得到稳定^[15]。组成炮泥的各种原料,直接影响炮泥的质量,具体将体现在以下几方面。

1) 原料的化学成分。高炉炮泥所用的各种原料,要求主要成分含量要高,杂质含量要低。如果杂质含量高了,易使炮泥在其使用过程中形成低熔点化合物,将降低炮泥的耐火度和高温强度,影响炮泥的正常使用,所以许多生产厂在炮泥的质量改进过程中,都将提高原料纯度作为主要工作来对待,通过使用高纯度的材料来达到提高炮泥质量的目的。如宝钢在研制新型炮泥过程中,就采用了高纯度的刚玉,提高了原料中 Al_2O_3 含量,使炮泥的抗渣侵蚀性能显著提高,不但允许延长出铁时间,而且还降低了炮泥单耗。

2) 原料的粒度组成。原料粒度也是影响炮泥质量的一个主要因素。研究表明^[16]:组成炮泥的粗颗粒比例增加时,将降低炮泥的挤出压力,但其作业性好,加热后气孔率低,当粗颗粒超过一定比例后,将会出现相反的情况,加热后烧结性变差、强度降低。所以,粗颗粒应保持适当的比例,这一工作也将是一个一直研究的课题。炮泥中原料的临界粒度大,易使炮泥粗糙松散,粘结性变差。当前,普遍将原料的最大临界粒度定为 3mm。细粉粒度越细越有利于炮泥的烧结,有助于提高炮泥的性能。

3) 原料的水分含量。就无水炮泥来说,炮泥中水分越多,其在 1500℃ 烧后的抗压强度越低。这是因为其水分蒸发后,炮泥的组织疏松,气孔率高,降低了炮泥的耐渣铁渗透性^[17-18]。如果炮泥所带水分在出铁前在铁口中未完成排出,在开铁口和放铁过程中易出现铁口潮湿,导致放火箭炮的情况,这将威胁炉前操作人员的人身安全。所以,许多生产厂家对炮泥原理料的含水量作了严格的规定,有的则在炮泥的生产前对焦碳和耐火泥等进行烘干处理,以降低原料带入过多的水分,以消除其对炮泥质量的不利影响。

□ 结合剂

结合剂影响高炉炮泥的常温和高温强度,对炮泥的质量影响也很大。以前的炮泥大多用水作为结合剂,生产出的炮泥高温性能差。无水炮泥一般采用焦油或葱油作为结合剂^[19-20]。由于许多厂家的焦油和葱油中水分控制不好,降低了其使用性能,当用焦油作为结合剂时,使用中产生大量的黑烟,恶化炉前作业环境。当前采用树脂作为结合剂生产的无水炮泥,使用中固化快,并将大大改善炉前作业环境,但是碾制困难,且成本较高。

□ 添加剂

添加剂的种类很多,其加入与否对炮泥的质量有很大的影响。为了满足炼铁高炉对高质量炮泥的需要,生产厂研制了很多种类的添加剂。常见的添加剂有烧结剂、膨胀剂等,可有效地改善炮泥的质量。近年来,随着人们对炮泥研究的深

入,越来越多的非氧化物添加到炮泥中,其对改善炮泥的性能起到了很好的作用。除 SiC 添加剂外,还包括有以下几种添加剂:

1) 氮化硅^[21-24]: 氮化硅属强共价键结合的化合物,其具有热膨胀系数低、热震稳定性好、机械强度高、自润滑性好、耐高温、耐腐蚀等特点。炮泥中加入适量的氮化硅,可提高炮泥的抗渣铁侵蚀性和抗渣铁冲刷性。

2) 氮化硅结合碳化硅^[25]: 氮化硅结合碳化硅是由两种耐高温的化合物复合而成,其具有耐高温、抗氧化、抗热震、耐酸碱侵蚀、抗金属炉渣熔蚀等优良性能,以前多用于高炉砌筑,达到延长高炉寿命的目的。宝钢在 1994 年开始研制的新型炮泥中,添加氮化硅结合碳化硅这种原料,提高了炮泥的高温强度,降低了出铁次数,达到了延长每次出铁时间的目的。

3) 氮化硅铁^[26]: 氮化硅铁是氮化硅和铁的混合物,通常这种混合物中含有 75%~80% 的 Si_3N_4 , 12%~17% 的 Fe, 游离的 Si 不大于 1%。在日本,氮化硅铁已被应用于高炉出铁口炮泥中,日本学者对氮化硅铁在高炉炮泥中的性状进行了研究,认为在有 Fe 存在的条件下,在 1200℃ 以上,特别是在 1400℃~1500℃,无论是 Al_2O_3 还是 SiO_2 质炮泥,其中 Fe 成为反应媒体,使 Si_3N_4 与 Fe 和 C 相反应,生成 SiC,强化了基质;同时生成 N_2 和 CO 气体,可以起到防止炉渣侵入,减少摩擦的作用。

1.4 炮泥的生产工艺

1.4.1 炮泥的生产工艺流程

当前生产炮泥是采用碾泥机来完成,其生产流程如图 1-2。

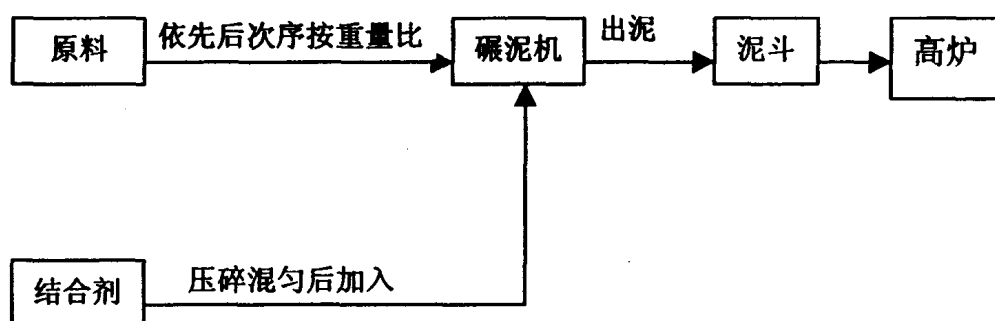


图 1-2 炮泥的生产流程

Fig 1-2 Production Flow of Tap Hole Clay

1.4.2 原材料对炮泥质量的影响

1) 粘土

粘土具有较好的可塑性和粘结性,有较高的耐火度,干燥后具有一定的强度

和耐磨性。但是其干燥后收缩大并很致密，这使炮泥在铁口内受热干燥后产生裂纹，致使炮泥中的水分不能迅速蒸发。所以碾压炮泥时粘土的配比应该准确适当。如果粘土过多，炭质材料相对减少，可能造成炮泥中的水分不能在两次铁的间隔时间内全部蒸发，特别是在出铁次数增加后，影响更大，将导致铁口潮湿，出铁过程中将会有放火箭的现象发生，给出铁操作带来困难；当粘土比例太低时，炮泥在常温下的可塑性变差，打泥会存在困难，同时在高温条件下炮泥的结构强度变差，不能耐渣和抵抗铁流的强力冲刷，导致铁口深度下降。

2) 焦粉

焦粉的特点是气孔率高，导热性和导电性好，荷重变形温度高，具有很高的抗渣性和耐火度，并且透气性良好，具有促进炮泥迅速干燥的能力。但是焦粉的可塑性很差，而且只有依靠其他物质来胶结才能成为一体，所以炮泥中焦粉的比例过多时，炮泥在常温下的可塑性差，打泥困难，其高温下的结构强度差，抵抗不住铁流的强力冲刷；另外，炮泥胶结性差，新打入的堵泥不能和原泥包中的旧堵泥很好地结合在一起，容易断裂和脱落，造成铁口变浅。但是，焦粉使铁口保持还原气氛，对 SiC 及碳素材料起保护作用，是生产炮泥的主要原料之一。

3) 沥青

沥青有煤焦油沥青和石油沥青，它作为含碳的有机结合剂，可随温度升高而缩聚、焦化，形成焦化网格，能提高炮泥的高温强度。中温泥青在 70~90℃ 时熔化，可增加炮泥的可塑性。高温时挥发分逸出后剩下已结焦的炭素，把散状的焦粉焦结成具有一定强度的整体。同时，沥青在挥发过程中造成很多细小的孔隙，促使炮泥中的水分能够很快的蒸发。炮泥中沥青的比例必须适当，过少时使炮泥的高温结构强度降低；过多时，当炮泥打进铁口受热熔化后，可塑性增加，超过一定程度后，在渣铁未出净和铁口浅的条件下，退炮后铁水容易跟出，即为我们平常说的倒火，从而导致事故的发生。

4) 熟料粉

熟料粉具有较高的耐火度和体积稳定性，其可塑性差。

5) 碳化硅

工业用碳化硅由人工合成制得，密度在 3.17~3.37g/cm³ 之间，纯净的无色透明，含杂质的则呈现不同的颜色，在还原气氛中，SiC 小于 2600℃ 稳定。碳化硅具有导热率高、耐磨性好、高温强度高、热膨胀系数小、热震稳定性好的优点，作为炮泥原料可改善抗熔渣侵蚀和抗冲刷等性能。Si₃N₄ 结合 SiC 后具有很高的硬度，良好的抗酸、碱侵蚀性和热震稳定性^[27-29]。

6) 刚玉

刚玉体积密度大，达到 3.95~4.18g/cm³，熔点高，达到 2050℃，化学性质稳

定,耐渣铁侵蚀性好,是优质的耐火材料,在炮泥中作为骨料和粉料使用。

从上述分析中可以知道,组成炮泥的各种原料,都具有其各自的特点,在这些特点中,有的可以改善炮泥的性能,有的却不能满足炮泥性质的要求。因此优化技术方案,选择适宜的配料比,对充分发挥符合炮泥性能要求的特点,获得性能好,符合生产要求的炮泥具有很重要的意义。

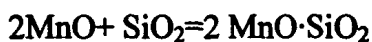
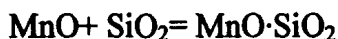
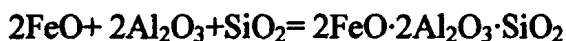
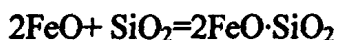
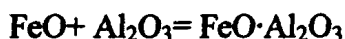
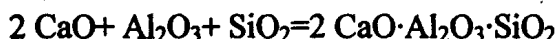
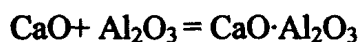
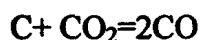
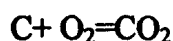
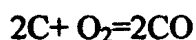
1.5 炮泥的损毁机理^[20-32]

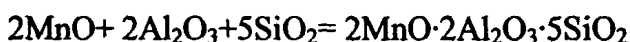
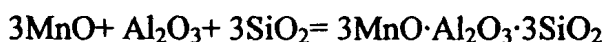
1.5.1 热机械作用损毁

出铁时铁口中心被钻头钻开,炽热的铁水和熔渣从铁口流出,使铁口炮泥承受 1500℃ 以上的高温。当渣铁出完后,用炮泥重新堵铁口时,旧炮泥接触新堵口的炮泥,温度突然从 1500℃ 过度到 100℃ 左右,这样反复作用,在旧炮泥套内部产生巨大的热应力,容易导致以铁口为圆心的圆弧形微裂纹,新炮泥在干燥和烧结过程中,水分或结合剂的挥发,留下大量的气孔。新旧炮泥的接触面上,也会由于新炮泥的烧结收缩产生缝隙,这样就使得熔融的渣铁液体容易渗入这些缝隙中,当下一次铁口打开时,在熔流强烈的冲刷下,炮泥发生脱落损毁。另外,新堵塞的炮泥,受到铁口内外温度的作用,炮泥烧结速率不等,在铁口炮泥内产生热应力,出现微裂纹并逐步扩大,若裂纹扩展到整个铁口截面,就会发生断铁口现象。

1.5.2 热化学侵蚀损毁

炮泥中含有 5~6 种常见的杂质氧化物,主要有 TiO_2 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 等,高炉熔渣中也含有多种成分,如: SiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3 、 MgO 、 MnO 、 FeO 、 CaS 等,出铁期间,炮泥与溶液长时间接触,易发生化学反应,使炮泥被侵蚀。主要的化学反应为:





这些反应中, 铁橄榄石 $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ 的熔点只有 1178°C , 铁堇青石 $2\text{FeO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 的熔点只有 1083°C , $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ 的熔点为 1291°C , $2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ 的熔点只有 1345°C , $2\text{MnO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ 熔点低于 1300°C 。在出铁期间, 会随着铁渣溶液的冲刷及温度升高转成渣液而流失, 使出铁孔径扩大, 造成跑大流, 影响出铁的安全。

1.6 无水炮泥及其反应机理^[33]

无水炮泥由干燥的耐火材料、有机和无机结合剂, 以及代替水作为增塑剂的焦油 / 液体树脂等组成。它可制成热塑性或热固性的。

1.6.1 热塑性炮泥

热塑性炮泥可用低软化点或高软化点焦油制备。当用低软化点焦油时, 甚至在室温下炮泥仍保持有塑性 但由于这种焦油中含有大量的轻油和萘, 因此其高温强度低。为了解决该问题, 曾使用含油很少的高软化点焦油制备了可塑性料投入使用。然而, 这种炮泥稍经冷却后就立即硬化。所以在使用时需要再加热以恢复炮泥的塑性。另外, 由于这种材料硬的特性, 必须对高压下操作的炮泥加以改进, 以便于挤压。

热塑性材质的局限性: 这种材料的高温抗折强度不足以承受高顶压操作, 这是因为其树脂含量低, 若为低软化点焦油, 其含量波动在4~5%之间, 若为高软化点焦油 其含量波动在7~8%之间。挥发物挥发期间必需将枪对准出铁口较长地挺一段时间后, 出铁口炮泥才发生硬化。在高压操作下万一出铁口被打开时出铁口能马上再堵住。

1.6.2 热固性炮泥

采用树脂作为结合剂的材质属热固性, 这类材质受热时会立刻硬化而不经塑性阶段。

1) 全树脂系统

两种苯酚—甲醛树脂, 称为甲阶酚醛树脂(Resol)和线型酚醛树脂(Novolac)^[34]。甲阶酚醛树脂有很好的润湿性, 但由于该树脂在温度刚高于 25°C 时易于发生硬化的倾向而限制了它的用途。线型酚醛树脂尽管固化开始温度较高, 但因其湿润性较低 因而要求较大的用量才能达到所要求的工作能, 这反过来会加速固化速度。由于固化速度较快, 炉墙耐火材料与炮泥之间以及炮泥相邻的层之间的粘合性破坏, 结果出铁口的长度不能延伸。使用全树脂系统代替焦油 / 沥青, 由于固化速度控制存在问题, 会导致炮泥提前硬化的问题, 不过硬化速率可通过降低

催化剂含量而变慢。

2) 树脂—焦油系统

为了克服焦油 / 沥青结合, 以及全树脂结合的炮泥的缺点, 研制了一种新的组成, 它用粉状树脂、沥青及无机磷酸盐作为主要结合剂, 用焦油作为增塑剂。此外由它提供的矿物油可延迟树脂早期的缩合及随后材料的过早硬化。为制备这种改性焦油, 选择了一种蒸发温度高于炮泥操作温度的油, 使其不会从炮泥中蒸发掉, 因此不影响这种炮泥的工作性能。用沥青粉代替焦炭, 增加了低温范围内与碳的结合, 也增加了泥料的可塑性, 因而易于挤压。

2 高炉生产时炉内、外因素对铁口泥包和铁口孔道的影响

2.1 高炉铁口的工作条件

高炉生产一段时间以后,铁口区域的炉墙被高温的渣、铁冲刷侵蚀逐渐变薄,全靠从铁口打进去的堵泥所形成的泥包和渣皮来保护,可见铁口的工作条件非常恶劣,因此高炉炮泥在炼铁生产中起着非常重要的作用。

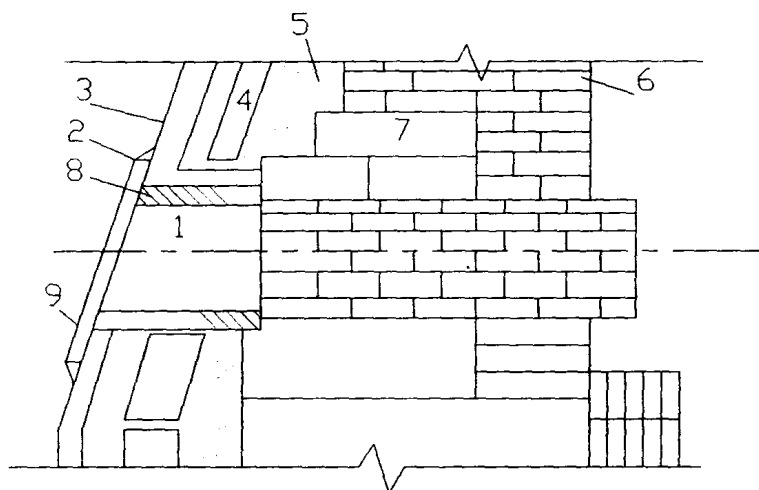
高炉生产时,每天从铁口放出大量的铁水和下渣。出铁过程中,铁口受到一系列高温、机械、和化学性质的破坏作用。

铁口打开以后,铁水和熔渣在炉内较高的热风压力、炉料有效重量的压力和渣铁本身的静压力等的作用下,以很大的速度流经铁口。高速流动的渣铁溶液剧烈地冲刷着铁口孔道。同时,炉缸内其他部位的铁水和熔渣,在向铁口流动时,在炉内较高压力的作用下,由于受到铁口孔道大小的限制,使大量的渣铁也不可能是平稳地流入铁口孔道内。所以处于运动状态的渣铁将在铁口孔道前形成“涡流”,剧烈地冲刷着铁口泥包,最后将把铁口孔道的里端冲刷成喇叭口形,见下图 2-2。在高炉强化冶炼条件下,风口前存在着一定大小的循环区域,铁口前的渣铁在风口循环区域的影响下,不是平静地,而是处于“搅动”状态,这对粘结在炉墙上的铁口泥包有一定的磨损和冲刷作用。铁口上方两侧的风口直径越大、长度越短,循环区域就越靠近炉墙,则铁口前渣铁的“搅动”越强烈,对炉墙和铁口泥包的冲刷磨损作用也就越大,可见铁口工作条件是非常恶劣。所以在大生产过程中,当铁口较长时间连续过浅难以维护时,应将铁口上方两侧的风口堵死,然后铁口深度将很快地恢复到正常深度。主要是因为堵死的风口前没有循环区域存在,完全是焦炭柱,此时液态的渣铁将充填在焦炭块的空隙中,渣铁和焦炭块都比较平稳,对铁口泥包和周围炉墙的冲刷磨损作用大大减弱。现实生产中,为了有利于铁口的维护保养,在铁口上方两侧的风口大多选用直径相对偏小的长风口。

2.2 铁口在生产前与生产中的构造

2.2.1 开炉前铁口构造

出铁是炉前操作的重点。出铁操作的主要任务是按照单位规定的出铁时间,出净渣铁,同时维护好铁口和出铁的一切辅助设备,确保安全生产,避免任何事故的发生。开炉生产前铁口的构造见图 2-1 所示。铁口的最外面是铁口保护板,其通过法兰用螺栓和槽型框连接。保护板距铁口框架大约有 250~300mm,中间用套泥捣实并作出铁口泥套。



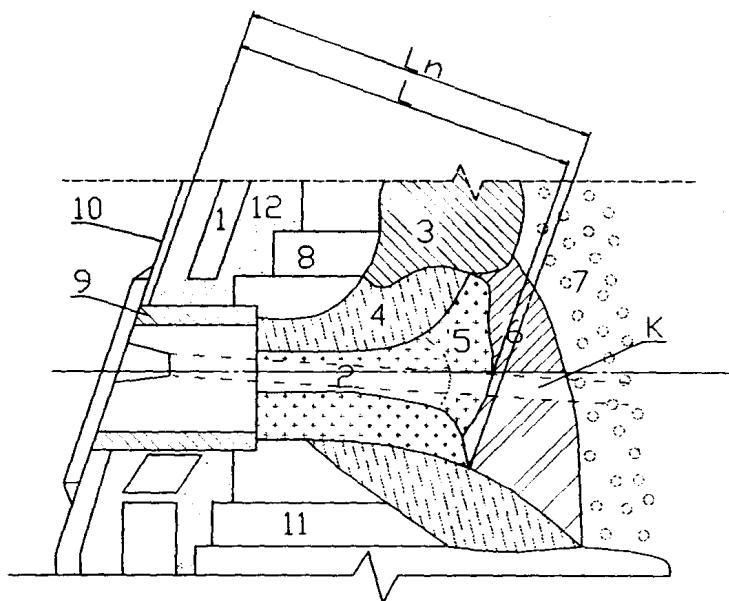
- 1、铁口孔道 2、铁口框架 3、炉壳 4、冷却壁 5、填料
6、炉墙砖 7、炭砖 8、砖套 9、保护板

图 2-1 开炉生产前的铁口

Fig 2-1 Tap-hole Before Start-up of Furnace

2.2.2 高炉生产中铁口构造

高炉生产一定时间以后，铁口区域的炉墙被渣铁冲刷侵蚀逐渐变薄，最后把铁口孔道的里端冲刷成喇叭口形，全靠堵泥形成的泥包和渣皮保护，高炉生产过程中铁口状况如图 2-2 所示。



- 1、冷却壁 2、铁口孔道 3、炉墙渣皮 4、旧炮泥 5、出铁时泥包被渣铁侵蚀的变化
6、新堵泥 7、焦炭块 8、炉墙砖 9、铁口泥套 10、炉皮 11、炉底砌砖
12、填料 L_n —铁口全长 L —铁口净度 K —红点 α —铁口角度

图 2-2 高炉生产过程中的铁口状况

Fig 2-2 Tap-hole State during Production of Blast Furnace

2.3 高炉炉内变化对铁口泥包和孔道的影响

随着高炉生产的日益强化和富氧大喷煤技术的采用,对炉前铁口作业的改善提出了更高的要求,耐火材料的性能成为高炉冶炼的重中之重,同时也成为高炉生产得以顺行和高产的保障。

高炉炉内冶炼的变化对铁口区域的炉墙泥包和孔道将产生一系列的高温侵蚀、机械冲刷和化学侵蚀。在打开铁口以后,渣铁液在炉内高压力的作用下,以很大的流速(5~7t/min)流入铁口孔道,冲刷着铁口孔道和泥包。由于受到铁口孔道截面面积大小的限制,高速流动的渣铁在炉墙铁口泥包处形成涡流,从而对泥包形成更大的冲刷、磨损,最后将铁口炉墙泥包冲刷成喇叭口型。

在高强度,大富氧、大风量和鼓风动能的条件下,炉缸铁口区域的渣铁受到风口循环区的直接影响,呈现出“搅动”状态^[35],对突出在炉墙上的泥包造成冲刷、磨损,且循环区越靠近炉墙,冲刷破坏的作用越大。

随着炉缸内渣铁量减少,风口区的焦炭逐渐下降填充下部空间,堵口后,随着炉缸内渣铁液的增加,渣铁面上升,夹杂的焦炭从下而上向风口区方向浮起,在循环区的作用下,炉缸中的渣铁液与运动的焦炭块对突出在炉墙上的泥包造成相当大的磨损与冲刷。

铁口孔道和泥包在承受液态渣铁的高温加热(温度达到1500℃),如炮泥的热导率和透气性不良,就会使孔道内外的温差应力增大,受热膨胀不均,致使泥包和铁口孔道产生断裂和变形,失去了结构强度与完整性。打入配有含钛物料的炮泥,其在与铁水接触部位还原并析出钛的碳和氮化物,这种钛积物结构致密,硬度大,具有热阻性且熔点高,附着于铁口周围的炉缸、炉底砖衬上,在短时间内达到有效护炉的目的^[36]。同时这种含钛泥料可降低铁口区域炉缸侧壁温度,提高铁口孔道抗铁水和炉渣的冲刷能力^[37]。

对孔道和泥包的炮泥发生化学作用的主要是炉渣。其含有的碱性氧化物CaO及MgO与炮泥中Al₂O₃和Fe₂O₃在一定温度下反应,生成低熔点的化合物,使原料被渣化,失去结构强度而使孔道截面积扩大,泥包缩小^[38]。

2.4 炉前操作与泥料质量对铁口孔道、泥包的影响

2.4.1 炉前操作的影响

1) 按时出净渣铁,确保全风堵口

在具备出铁的条件下,应根据前几次铁口的工作情况及炉内的压力、炉温的变化,炉渣碱度的变化,铁量的多少,铁口的深度和打泥量的变化等,正确选择开口作业方式,保证按时出净渣铁,全风堵口。这样炉缸铁口区才会有焦炭柱的存在,打入孔道的炮泥在外部液压炮打泥活塞的推力和炉内压力的双重作用下,

均匀地粘结在旧的泥包上，弥补喇叭口，形成完整坚固的炉墙保护体，从而保证了正常合适的铁口孔道的深度。如果渣铁出不净，打入孔道的炮泥漂浮四散，弥补不上喇叭口，造成孔道深度变浅。

2) 潮湿铁口出铁的影响

潮湿铁口出铁，由于孔道内外温差的效应，潮湿的炮泥受热后水分与挥发份迅速的膨胀、外逸，产生巨大的爆发力而导致铁口打“火箭炮”，造成铁口孔道迅速扩大，泥包破裂，发生跑大流和爆炸事故等。所以严禁潮湿铁口出铁，更应杜绝一切水源，禁止装泥时加水，随意追赶铁次，缩短孔道的干燥时间。一旦出现潮湿铁口后，必须烤干后方可出铁。

3) 放好上渣

对有渣口的单铁口作业高炉来说，因受到条件限制，必须按时、按料批和堵铁口时间及时放好上渣，为炉况的稳定顺行与减少下渣量创造好的条件。及时放渣，多放上渣，可以改善炉缸料柱的透气性，有利于风压稳定，炉况顺行，熔渣放出后，炉缸倒出空间，有利于炉料下降，提高产量。上渣放的少，下渣量必然会增加，从而加剧了下渣液对铁口孔道与泥包的冲刷、侵蚀；有时因下渣罐满被迫堵铁口，渣铁出不净，对炉况顺行和铁口维护都带来不利影响；在渣铁没有出净的情况下堵铁口，有时还会造成铁口两侧风口呛渣及风口烧穿事故，导致休风处理，从而影响高炉的正常生产，所以，要求渣口操作人员要尽量多放上渣，为炉况顺行和维护好铁口创造有利条件。

4) 适当稳定打泥量

为了保证完整、适宜的铁口孔道深度与泥包的完整，应根据前几次铁的炉况变化和深度变化选择适宜的打泥量，不得随意增减泥量。如果铁口浅，也应本着将铁口长上去的原则，并逐步加以巩固。

5) 保持适宜的铁口角度

适宜的铁口角度，有利于保护炉底和出净渣铁，有利于孔道的清洁，使打入孔道的炮泥与孔道良好粘结，成为完整的一体，从而保证了适宜的孔道深度和泥包的完整性。

6) 保证完整的铁口泥套与炮头平面

铁口泥套的破损和炮头平面的烧损，会给堵口作业造成不良后果。在炉内压力和液压炮活塞推力的双重压力下，致使炮泥从破损处冒挤而出，使打入孔道的泥量减少，孔道的深度下降，导致喇叭口弥补不上。同时造成下一次出铁困难。所以，完整的泥套与炮头平面的光洁是铁口维护的关键。

7) 闷炮作业存在的问题

由于铁口孔道泥质开裂、渗铁，即不能钻又不能烧，用铁棍又通不开，炉子

又急需要出铁的情况下，经请示同意后方可采用闷炮的作业方式。在日常的工作中，决不允许随意采用闷炮作业将铁口孔道的硬壳顶开，新顶入的炮泥在受热后，水份及挥发份急剧膨胀、逸出，同时发生物化反应。此时，将液压炮瞬间抬起，瞬时的泄压与抽力，使未烧结成陶瓷与碳结合相的渣铁在多重作用力下，喷射出孔道，使炉缸的渣铁液与气流受到剧烈冲击，且破坏了泥包与孔道的完整性和强度，使孔道扩大、泥包破裂，这对出净渣与弥补孔道和泥包的破损将产生巨大的影响。

8) 烧坏铁口的作业因素

由于炉前操作工用氧气烧铁口时操作不当，使烧出的铁口孔道偏离设计的铁口中心线，且孔道内壁坑洼不齐，扩大了孔道的截面积，破坏了孔道的完整。在堵口时，孔道内坑洼处的渣铁液无法流回炉缸，在内外压力的作用下，将渣铁液挤压渗入炮泥内，造成孔道夹铁，下一次开口将很困难。因此，烧铁口必须是有很好经验的操作工，必须沿着设计的铁口中心线烧进，千万不能烧偏或乱烧。

2.4.2 出铁操作与铁口泥套维护的影响

维护好铁口是确保按时出净渣铁的基础，保持铁口的正常深度是铁口维护工作的关键；而出净渣铁又是保持铁口正常深度的中心环节。在正常生产情况下，炉前操作人员应按规定的出铁时间正点钻开铁口出铁，并在规定的出铁时间内出完。

高炉正常的铁口深度应大于或等于铁口区整个炉墙的厚度，重钢炼铁当前三高炉铁口深度要求保持在 $1.8\pm 0.2\text{m}$ 为合格；四高炉铁口深度要求保持在 $1.7\pm 0.2\text{m}$ 为合格；五高炉铁口深度要求保持在 $1.9\pm 0.2\text{m}$ 为合格。

1) 出铁前的准备

为了保证出铁操作顺利进行并避免发生各类事故，出铁前应重点做好以下几方面与铁口维护有关的准备工作：

(1) 检查铁口泥套是否完整好用，如发现破损或不合格应及时修补并烤干。

(2) 泥炮装满堵泥并顶紧打泥活塞。装泥时不要把冬季的冻泥，硬泥和太软的泥装进泥炮内。

2) 出铁操作

高炉出铁所使用的开口机大多为电动，当开口机钻铁口时首先应把开口机横梁与主沟中心对正，然后把钻头送进铁口泥套中心。如果没有对正就启动开口机，将钻坏铁口泥套或钻偏铁口，堵铁口时就会漏泥，导致下一次铁口深度达不到要求。启动开口机时要稳，防止钻杆摆动过大或发生卡钻头的现象。同时钻开铁口过程中还要注意以下几点：

(1) 铁口内是否有潮泥。铁口内有潮泥时应避免钻漏，一定要边钻边烘烤，

直到把潮泥烤干后才能出铁。

(2) 根据铁口深度的变化情况正确地掌握好钻进铁口的深度和铁口孔道的大小。铁口深度正常时, 直接钻到红点, 铁口孔道可以适当大一些; 铁口深度如果在 1.3~1.5 米时, 可以直接钻到红点, 但是铁口孔道要相应小一些; 铁口深度如果在 1.0~1.2 米时, 可直接钻到红点, 但是严禁钻漏, 同时要求铁口孔道还要缩小; 铁口深度低于 1.0 米时, 开口机钻到距红点 150~200 毫米时停止钻进, 然后用长钢钎抠开, 以避免发生跑大流事故。

在正常铁口深度时, 应根据炉温来掌握铁口孔道的大小。炉温较高时, 生铁此时高硅低硫, 其流动性较差, 铁口孔道可以适当开大一些; 当炉温太低, 渣铁物理热不足, 其流动性很差, 放渣出铁很困难时, 铁口孔道也可以适当开大些; 当炉温正常, 渣铁流动性较好时, 铁口孔道应保持正常的大小, 重钢五高炉铁口正常时采用 65 毫米钻头。

(3) 在高炉使用无水炮泥时, 开口机应正反交替使用, 每周更换一次, 防止长期使用一个方向造成铁口孔道偏移。

堵铁口工作必须在渣铁出净后进行, 堵铁口打泥量应根据铁口深度确定。在正常铁口深度时, 打泥量要保持稳定; 铁口过深时, 应适当减少打泥量, 以避免铁口过深出铁操作困难和浪费; 铁口浅时, 应适当增加打泥量, 确保铁口尽快恢复到正常深度。重钢五高炉正常时打泥量为 5 格, 约为 200 公斤。

铁口泥套必须保持完整适宜, 才能保证堵铁口顺利和不冒泥。如在事故的状态下, 需要紧急堵铁口时, 如泥套完整适宜, 则可以顺利地堵上铁口, 避免一系列恶性事故的发生。所以在正常生产过程中, 必须定期重新做泥套, 一旦发现有破损, 必须立即修补, 使泥套始终保持完整适宜, 以确保安全生产。做铁口泥套时, 先将旧泥抠掉, 抠进深度要求大于 150~250 毫米。如果发现孔道内有残渣残铁时, 必须将残渣残铁抠净。抠好后用泥套泥填充并捣实, 再用炮头准确地压出 30~50 毫米深的圆窝。退炮后用小铲向里挖出直径小于炮头内径、深 150 毫米, 与铁口角度基本一致的深窝, 然后烤干。

3 重钢五高炉使用无水炮泥存在的问题

重钢五高炉即 1200m^3 高炉从 1989 年 4 月 19 日投产到现在所使用的无水炮泥, 因没有科学的检测手段, 只能依靠手摸和眼睛观察, 生产完全是凭经验, 导致对炮泥质量的判断缺乏科学依据。由于炮泥质量不够稳定, 只能边研究边试制并逐步分阶段在高炉生产中使用, 然后再调整无水炮泥的配方和摸索炉前操作等, 不断总结经验并进行调整。但有时会出现铁口浅、跑大流等炉前事故, 导致铁口两旁的冷却壁水温差明显升高, 这不仅直接威胁到高炉的安全生产, 同时对高炉一代寿命也带来了严重的影响。2000 年至 2002 年重钢炼铁厂五高炉无水炮泥配比及生产情况见下表 3-1。

表 3-1 五高炉无水炮泥配比及生产情况

Tab.3-1 Mixture Ratio and Production Situation of Waterless Tap Hole Clay for No.5 Blast Furnace

年度名称		2000 年	2001 年	2002 年
无水 炮泥 配比 %	焦粉	53	50	45
	粘土粉	27	28	28
	熟料粉	8	/	/
	沥青	12	10	10
	刚玉	/	4	6
	绢云母	/	4	6
生产 情况	SiC	/	4	5
	葱油 (外加)	15~17	15~17	15
	顶压 (Kpa)	150	170	180
	年产铁量 (t)	803163	774473	850471
	铁口通铁量 (t/d)	2305	2420	2528
	利用系数 ($\text{t/m}^3\cdot\text{d}$)	1.921	2.016	2.106
冶炼强度 ($\text{t/m}^3\cdot\text{d}$)		1.110	1.158	1.158

重钢五高炉较国内同类高炉有一些非常特殊的地方, 炉前虽然设有两个铁口, 但由于现场位置狭小, 铁口夹角仅只有 30 度, 导致铁口泥包不能保持较长时间的稳定, 容易损坏; 另一方面虽然设有两个铁口, 其轮换放铁的间隔时间长, 长达 25 天左右; 另外, 重钢高炉随着对外经济的不断发展, 虽然使用的进口矿比例较高, 但是由于高炉炉料结构中使用了品位较低的 V-Ti 精矿和綦江粉矿等, 导致综合入炉品位较同行业其他高炉低 3 个百分点, 从而使渣量增加, 其从铁口排出,

这也给铁口维护工作带来相当的难度。2003 年初针对五高炉的现状和铁口因炮泥不稳存在波动, 不时出现铁口浅影响生产和危及安全等状况, 炼铁厂和钢研所的工程技术人员决定就五高炉的铁口操作和无水炮泥使用情况进行跟踪调查, 炮泥使用和炉前操作跟踪情况见下表 3-2。

3.1 重钢无水炮泥存在的主要问题

- ① 其含油质高, 粘手, 在出铁过程中烟尘相对较大, 冒黑色的烟严重。
- ② 从铁流速度分析其强度偏差。
- ③ 炮泥水分含量较重, 铁口潮湿。
- ④ 使用过程中结焦速度较慢, 压炮时间较长。
- ⑤ 炮泥使用过程中长铁口较慢。
- ⑥ 铁口深度不稳定, 深的可达到 1.8m, 浅的只有 1.3m, 跟踪的 65 炉中达到要求 $>1.7\text{m}$ 的仅有 12 炉; 另外从打泥压力的巨大波动也可分析铁口深度不稳定, 打泥压力高的达到 150kg, 低的只有 50kg, 见表 3-2。
- ⑦ 压炮时间要求 ≤ 28 分钟, 从试验的 65 炉看, 压炮时间 >28 分钟的达到了 39 炉, 所占比例达到 60%, 其中压炮时间最长的达到 53 分钟, 其前后未受到配罐的影响; 压炮时间最短的也有 22 分钟, 表 3-2 为炮泥使用的情况。

表 3-2 2003 年初重钢五高炉无水炮泥使用和炉前操作跟踪情况

Tab. 3-2 Tracing Result of Use and Operation For Waterless Tap Hole Clay Applied in No.5 Blast Furnace

项目 炉号	配罐 时间	规定 时间	开口 时间	堵口 时间	退炮 时间	打泥 量 (格)	打泥 压力 (公 斤)	铁口深度 (米)	铁口 湿度	理论 产量 (吨)	实际产 量 (吨)	铁口是否 漏泥
22	08:10	08:40	08:32	09:10	换铁口	5	80	1.6	湿	191.4	143.59	否
23	09:37	10:30	10:50	11:37	12:12	5	60	1.6	/	287.10	251.17	否
24	12:10	12:20	12:30	13:19	13:58	5	50	1.5	湿	253.92	316.00	否
25	13:55	14:10	14:29	15:13	15:35	5	70	1.4	湿	206.31	164.29	否
26	15:33	16:00	16:10	17:11	17:37	5	100	1.6	湿	253.92	316.09	否
27	17:35	17:50	18:00	18:44	19:17	5	100	1.8	湿	253.92	239.4	否
28	19:18	19:40	20:01	20:32	21:08	5	100	1.7	湿	173.91	167.94	否
29	21:10	21:30	21:34	22:13	22:45	5	100	1.7	湿	245.53	199.31	否
30	22:30	23:30	23:42	00:20	00:51	5	100	1.6	湿	221.90	202.09	否
31	00:46	01:20	01:22	01:55	02:33	5	100	1.6	湿	237.15	331.57	否
32	02:30	03:10	03:21	04:03	04:40	5	100	1.7	湿	253.26	244.72	否
33	04:36	05:00	05:08	05:52	06:36	5	100	1.7	湿重	173.14	159.32	否
34	06:32	06:50	06:58	07:42	08:23	5	100	1.7	湿	220.36	197.18	否

35	08:20	08:40	08:53	09:55	10:25	5	80	1.7	湿	249.29	262.31	否
36	10:18	10:30	10:42	11:16	11:55	5	80	1.8	湿	186.96	175.67	否
37	11:50	12:20	12:32	13:15	14:00	5	100	1.7	湿	249.28	250.74	否
38	13:57	14:10	14:16	14:45	15:27	5	80	1.6	湿重	186.96	222.08	否
39	15:26	16:00	15:57	16:26	17:02	5	100	1.3	湿重	186.96	177.83	否
40	16:53	17:50	17:50	18:43	19:14	5	100	湿气打穿	湿	264.86	322.23	否
41	19:08	19:40	19:45	20:20	20:58	5	80	1.7	湿重	155.80	112.52	否
42	20:44	21:30	21:40	22:16	23:02	5	100	钻穿	湿重	280.44	242.93	否
43	22:51	23:30	23:32	00:22	00:50	5	50	1.7	湿	237.15	247.22	否
44	00:50	01:20	01:20	01:45	02:23	5	70	1.5	湿	205.53	198.13	否
45	02:20	03:10	03:10	03:40	04:27	5	70	1.7	湿	237.15	176.02	否
46	04:25	05:00	05:02	05:35	06:13	5	80	1.7	湿	190.08	254.49	否
47	06:10	06:50	07:00	07:28	07:51	5	80	1.4	湿	221.76	233.41	否
48	07:49	08:40	08:40	09:29	10:12	5	80	钻穿	湿中	221.76	162.00	否
49	10:10	10:30	10:50	11:21	11:58	5	70	1.6	湿中	190.08	161.21	否
50	12:08	12:20	12:25	13:16	13:56	5	150	1.8	无	269.45	267.65	否
51	13:45	14:10	14:16	14:53	15:40	5	100	1.7	湿	206.05	255.90	否
52	15:35	16:00	15:58	16:28	16:58	5	100	1.8	湿重	174.79	168.37	否
53	16:54	17:50	17:48	18:30	19:23	5	140	1.8	无	206.57	209.50	否

54	19:18	19:40	19:37	20:35	21:11	5	120	1.6	无	238.35	237.39	否
55	21:00	21:30	21:41	22:23	23:03	5	110	1.8	无	269.45	251.06	否
56	22:48	23:30	23:36	00:13	00:47	5	90	1.5	湿中	203.71	169.83	否
57	00:42	01:20	01:20	02:02	02:35	5	100	1.7	无	219.38	204.63	否
58	02:30	03:10	03:10	04:03	04:41	5	100	1.8	无	235.05	279.10	否
59	04:32	05:00	05:10	05:46	06:32	5	100	1.7	无	219.38	171.52	否
60	06:26	06:50	07:02	07:53	08:30	5	100	1.6	无	267.24	270.81	否
61	08:25	08:40	08:46	09:44	10:18	5	80	1.7	湿小	235.80	244.23	否
62	10:13	10:30	10:36	11:35	11:57	5	100	1.7	无	220.78	210.47	否
63	11:55	12:20	12:30	13:07	13:41	5	90	1.6	无	189.24	171.13	否
64	13:38	14:10	14:18	14:56	15:28	5	90	1.5	无	235.80	248.22	否
65	15:22	16:00	16:07	16:52	17:24	5	100	1.5	无	252.32	257.25	否
66	17:16	17:50	17:50	18:36	19:10	5	100	1.4	无	238.05	249.81	否
67	19:05	19:40	19:48	20:16	20:49	5	100	1.6	湿	158.70	120.49	否
68	20:40	21:30	21:32	22:13	22:59	5	100	1.8	无	238.05	245.33	否
69	22:43	23:30	23:33	00:12	00:51	5	100	1.5	湿中	221.76	212.21	否
70	00:45	01:20	01:32	02:35	02:58	5	100	1.8	湿重	285.12	300.25	否
71	02:55	03:10	03:21	04:05	04:47	5	100	1.7	湿重	206.57	209.25	否
72	04:37	05:00	05:12	05:54	06:32	5	100	1.6	湿重	221.76	206.91	否

73	06:37	06:50	06:58	07:42	08:28	5	100	1.3	湿中	222.46	225.47	否
74	08:25	08:40	08:50	09:15	09:54	5	100	1.2	无	174.79	171.92	否
75	09:50	10:30	10:30	11:00	11:41	5	120	1.7	无	207.22	167.78	否
76	11:33	12:20	12:20	12:49	13:30	5	100	1.7	无	255.04	263.38	否
77	13:27	14:10	14:10	15:00	15:40	5	100	1.3	无	239.10	232.16	否
78	15:32	16:00	16:11	17:04	17:36	5	100	1.4	无	253.44	306.12	否
79	17:26	17:50	18:09	18:37	19:11	5	100	1.6	无	189.78	136.66	否
80	19:08	19:40	19:46	20:18	20:50	5	100	1.7	无	221.41	207.66	否
81	20:48	21:30	21:43	22:32	23:01	5	100	1.8	湿	253.04	279.41	否
82	22:55	23:30	23:52	00:36	01:06	5	70	1.7	无	254.72	291.67	否
83	01:05	01:20	01:27	02:02	02:55	5	80	1.6	无	206.96	215.85	否
84	02:50	03:10	03:20	04:16	04:57	5	80	1.4	无	270.64	227.59	否
85	04:55	05:00	05:10	05:42	06:23	5	90	1.3	无	191.04	177.39	否
86	06:20	06:50	07:02	07:47	08:19	5	90	1.6	无	238.80	265.15	否

注:

- 1、本次跟踪从2003年5月19日开始,至5月23日结束共5天时间,65炉,跟踪期间高炉每天规定出铁13炉次。
- 2、铁口湿度为定性评价:无表示打开铁口时无喷溅情况;轻微表示喷溅距离在余铁函以内;一般表示喷射距离超过余铁函,且持续时间约2-3分钟;潮湿表示喷射距离较远,且持续时间5分钟左右。

3.2 影响铁口深度的因素

五高炉属于高压炉子, 正常情况下工作压力应达 270Kpa~280 Kpa, 在此压力下要求铁口深度应保持在 1.8m 左右的水平较适宜。从我们现场跟踪的情况来看, 铁口深度大多维持在 1.6~1.7m 的水平, 深度显得不够, 通过跟踪观察, 认为铁口深度不够的原因主要有以下几个方面的主要原因造成。

□ 炮泥稳定性差, 质量波动大。

从现场情况来看, 炮泥导热透气性能较差, 表现为铁口排潮速度慢, 铁口湿气重, 泥包和铁口通道接触高温液态渣铁和气态燃烧产物时易变形和产生裂缝从而导致铁口变浅。同时炮泥塑性也较差, 从泥炮内打出的泥成型效果较差, 基本上成散粒状或稀泥状, 这必然会导致打入的泥不稳定不能形成一定厚度的新泥包, 不利于长铁口。质量稳定性差主要表现为两个方面。

(a) 炮泥的含水量不稳定, 在铁口深度相同, 打泥量一定的情况下, 铁口潮湿的情况差别较大。

(b) 炮泥强度不稳定, 强度高时, 开口机开口困难, 被迫用氧气烧穿铁口, 造成铁口通道变大; 强度降低后, 开口机不用钻头就能打开铁口, 铁口通道抗渣铁侵蚀能力较差, 铁口排渣铁的时间明显缩短, 不利于炉内排净渣铁。

□ 潮湿铁口出铁

一方面钢研所特材厂现有碾泥设备全为以前炼铁厂转来的五、六十年代的陈旧设备, 还比较落后, 对炮泥各种成分的含水量不能进行准确的计量控制, 造成无水炮泥含水量存在波动。另一方面五高炉大修后取消了炉前用于烘烤铁口的压缩空气包, 在炮泥含水量高和铁口潮湿的情况下不能进行烘烤操作, 被迫潮铁口放铁, 严重时铁口被湿气打穿, 铁口通道断裂, 渣铁排放不净, 铁口自然会变浅。

□ 渣铁排放不均, 铁量差大

由于铁口浅、湿气重等原因又直接导致渣铁排放不均, 出铁量时多时少, 铁量差较大。从跟踪记录中我们发现有时出现五高炉铁量差合格率较低的情况, 在这种情况下, 打入的泥巴在炉内被大量的液态渣铁冲刷而飘浮, 不能形成一定厚度的泥包, 虽然打泥量有时达 5 格甚至更多, 但长铁口的效果并不明显。

□ 炉前操作存在不规范

炉前铁口的操作和维护是炉前工作的重点, 炉前铁口维护的好坏直接影响铁口的工作质量, 在跟踪期间我们发现炉前在铁口的维护和操作方面存在以下不足。

(a) 铁罐到位后, 炉前工有时未按照规定及时退炮, 压炮时间长, 人为缩短了铁口排潮时间, 表现在中、夜班的情况较突出。

(b) 铁口被钻穿钻漏的情况仍然存在, 开铁口操作的水平有个别的还显得较低, 有待进一步提高。

(c) 泥套维护不仔细, 泥套下方垫积物有时清理不彻底, 泥套、炮嘴缺损后的修补、更换也存在不及时的情况, 如有的班就发现炮嘴有缺损, 下一班也心成侥幸未及时更换, 导致堵铁口时泥套上方漏泥, 堵不住口, 被迫减压堵口。

□ 炉前开口机、泥炮工作不稳定

炉前开口机是高炉出铁的必备工具, 开口机开铁口一般都要有旋转和打击这两个动作, 才能使固化后的炮泥破碎排出。开口机在旋转和打击过程中, 由于高温作用, 还会产生大量的烟尘。粒径大于 $10\mu\text{m}$ 的粉尘容易迅速落地, 粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的尘雾沉降速度很慢, 而粒径小于 $5\mu\text{m}$ 的细尘则很容易被吸入人体内, 给人体健康带来危害^[39]。重钢五高炉开口机经多次改造后仍存在一些问题, 主要是定位不好, 退钻速度慢, 易造成铁口眼偏离铁口中心线, 钻穿或湿气打穿铁口时强行退钻拉坏铁口泥套, 导致堵口时漏泥等情况, 同时还不能解决环保方面存在的问题。本钢 5 号高炉新改造的液压泥炮系统全部采用滑阀控制^[40], 打泥压力充足, 炮嘴运动轨迹合理, 完全能满足高炉不断强化冶炼的需要, 我们应多请教和学习。炮泥打泥机构的最大推力一部分要克服炮泥在泥缸、过度管和炮嘴中的运行阻力; 另一部分是使炮泥在炮嘴的出口处具有足够大的工作压力, 才能使炮泥顺利地打入到铁口通道内, 一般的工作压力应在 10Mpa 左右^[41]。炉前反映泥炮的问题主要表现为堵口时打泥压力波动较大, 当达到 $150\text{kg}/\text{cm}^2$ 左右时出现剧烈振动, 担心烧坏电机, 不能继续加压; 打泥后几分钟内泥炮易泄压、冒泥等从而影响铁口深度。

□ 铁口来渣早, 铁口工作压力大

从放铁跟踪记录可以看出, 五高炉从铁口打开到干渣沟来渣之间的时间间隔大致在 $10\sim 15$ 分钟左右, 有时不到 5 分钟干渣沟就有渣来, 按平均放铁时间 40 分钟, 干渣沟来渣时间为 12 分钟, 渣口平均放渣时间 15 分钟计算, 铁口排渣量约占 70%, 这与铁口规定排渣量 30% 相距较远。由于熔渣中的 CaO 成分易与炮泥中的 SiO_2 及 Fe_2O_3 反应生成低熔点物质, 造成堵泥结构强度变差, 在铁口渣来得早的情况下, 铁口通道被快速冲刷侵蚀变大, 在渣铁未排净的情况下, 铁口就容易大吹, 这对铁口的维护影响极大。造成铁口来渣早的主要原因有以下几个方面。

(1) 原料条件的恶化, 使入炉矿综合品位下降, 总渣量增加, 同时随着冶炼强度不断提高, 炉底侵蚀造成液面下降, 上渣口起渣时间延长。

(2) 为满足高炉强化冶炼的需要, 五高炉从 2003 年 3 月起放铁次数由每天 12 次逐渐增加到每天 15 次, 每炉铁之间的时间间隔缩短到 96 分钟, 按每炉铁放铁时间 35 分钟, 上渣口起渣时间 55 分钟计算实际放渣时间仅 15 分钟, 放渣时间明显偏短。

(3) 铁口放铁时间不均, 放铁时间时长时短, 影响渣口正常排渣。

(4) 起渣时间相对较早的下渣口作为备用渣口长期未用。

a. 放上渣的作用

实践证明,随着高炉生产操作技术、生产装备和原燃料条件的进步,增加出铁和放渣次数,及时出净高炉炉缸内的渣、铁是高炉进行强化冶炼的重要环节。在高炉正常生产情况下,随着炉内炉料不断下降和熔化,炉缸内积累的渣铁会越来越多,如果不及时排出炉外,就会影响高炉的顺行稳定。放好上渣能提前排出一部分炉渣,能有效改善炉缸的透液性和解决炉缸内的液泛现象。另外,炉渣还具有强烈的化学侵蚀和机械冲刷作用,如果大量的炉渣从铁口流出,对铁口的维护极为不利,一旦铁口维护不好,高炉就出不净渣铁,同样会影响到高炉的稳定顺行,还容易引发高炉炉前安全事故,所以放好上渣对高炉出净渣铁、稳定炉况,提高冶炼强度操作非常关键。

b.高炉取消放上渣操作的主要措施——抓精料提高入炉品位

重钢近几年特别重视高炉的精料工作,原燃料质量大幅提高,烧结矿品位由原来的 50.48 % 提高到 53.09 %。炼铁厂在原燃料质量提高的基础上,强化高炉操作管理,大幅降低熔剂入炉量,采用部分进口球团矿代替低品位的块矿,提高高炉整个入炉品位。5 号高炉采用的炉料结构为:10%左右竖炉球团+80%左右高碱度烧结矿+10%左右矿丁,综合入炉品位由以前的 52.53 % 提高到 55 % 以上。入炉矿综合品位提高后,炉渣生成量减少,不放上渣对高炉顺行的影响相对减小,但同国内先进企业比较,我们的高炉入炉品位还是较低的,渣量仍然偏高,炉渣对铁口的冲刷和侵蚀仍然严重。

c.加强取消放上渣后的高炉操作

取消放上渣操作的前提是高炉必须精料,通过抓精料工作,提高入炉矿综合品位,增加出铁次数^[42]。安钢高炉通过采取提高入炉综合品位和无水炮泥质量等一系列技术措施后于 1999 年 6 月首先在 4 号高炉上取消放上渣操作^[43],并取得了较好的效果。重钢由于入炉矿综合品位不高,2002 年初在 5 高炉取消放上渣操作后,炉渣不能从渣口流出,只能环流到铁口区域后从铁口流出,因此必须确保炉渣具有良好的流动性,才能保证炉渣能很好地从各区域汇集到铁口区域,最后从铁口流出。因此,高炉操作上,采用高风温,提高渣铁物理热,并适当降低炉渣碱度,降低炉渣粘度,改善渣铁流动性。此外,针对取消放上渣操作后渣口方向下料慢、偏料的现状,及时地将渣口区域的风口面积扩大,有效地消除了炉料偏行的状况,煤气流分布逐步趋于合理,炉况转顺。经过下部调节,高炉风量增加,煤气流分布改善,对此,在上部调剂中逐步增加正装比例,进一步强化冶炼。

(5) 放渣工在确定开始放渣时间时把握不准,导致延后放渣,以至于在铁口打开后渣口仍未放吹。

3.3 课题的提出及需要解决的问题

2003 年由于炼铁生产组织结构的调整, 公司决定将在炼铁厂原合泥房处新建一座 750m^3 高炉, 于是将合泥房的生产、组织与管理工作通过招投标的形式后最终决定交给钢研所。整个合泥厂房的迁建工作于 2002 年底完成。由于炮泥生产和使用供需关系的变化, 从钢研所特材厂提供高炉炮泥以来, 不时出现炮泥质量波动与炉前操作的问题, 再随着高炉冶炼的不断强化, 出铁次数逐渐增加, 导致高炉铁口浅、跑大流、倒火等事故发生, 高炉生产反映强烈。一方面如何才能提高炮泥质量, 确保出净渣铁, 稳定炉况, 减少炉前事故; 另一方面导致炉前事故的原因是不是因为炮泥质量的问题, 需要通过开发新型无水炮泥和对其塑性进行检测以数据来说明问题。为此, 开发研制新型无水炮泥和炮泥的塑性检测装置, 通过试验研究摸索制定出重钢炮泥塑性检测的内控质量标准等, 来满足炼铁生产不断强化的需要显得非常重要和必要。

3.4 项目的研究内容

重钢炮泥生产半个多世纪以来, 因没有科学的检测手段, 只能依靠手摸和眼睛观察, 生产完全是凭经验, 导致对炮泥质量的判断缺乏科学依据; 其质量不稳定, 经常造成铁口浅、跑大流等一系列炉前事故, 影响高炉的顺行和炉况的稳定。项目组研制开发出既合理适用、又经济的炮泥塑性检测装置; 然后结合五高炉工况、季节变化和生产实际, 通过一系列试验研究和配比优化, 开发出新型无水炮泥以满足高炉不断强化冶炼的需要, 同时制定出重钢炮泥塑性检测的内控技术标准, 以指导大生产。

3.5 项目研究的意义及创新点

针对重钢五高炉自身的一些特殊性和炼铁品位低, 渣量大, 又不放下渣, 出铁次数多, 大量渣、铁需从铁口排出, 同时高炉两个铁口之间的夹角小, 仅有 30° , 对铁口的维护保养非常困难, 要求炮泥的质量非常高等现状, 项目组开发研制的炮泥塑性检测装置可以对生产的无水炮泥的塑性值进行检测, 以数据说话, 避免了炮泥生产的盲目性; 同时借助于炮泥内部检测的技术标准, 通过优化炮泥用料, 生产出新型优质的无水炮泥来满足高炉不断强化冶炼的需要。

4 重钢新型无水炮泥的研究开发

随着铁前系统攻关力度的加大,高炉冶炼的不断强化和生产水平的日益提高,高炉铁口的工作状态日趋重要,所以对高炉铁口使用的炮泥的要求也越来越高。国外以日本高炉为代表的许多高炉普遍采用高质量的无水炮泥,同时配以特殊的开铁口方法和专用开铁口机。国内大于 2000m³ 的高炉也都采用了优质无水炮泥,如宝钢采用高质量的无水炮泥和插棒法开铁口技术,满足了高炉稳产、高产的需要。重钢在 1989 年 4 月五高炉投产后才开始研究无水炮泥的开发并逐步投入使用,以前一直采用有水炮泥。有水炮泥的抗渣、铁侵蚀和冲刷的能力较差,铁口易被渣铁侵蚀,容易造成出铁时铁口喷溅,同时铁口浅、铁口潮、跑大流的情况也经常发生。在五高炉的生产过程中,随着精料水平的提高和高炉的不断强化,高炉的出铁次数由每天 9 炉,提高到 11 炉,再提高到 13 炉,2003 年初,随着铁前系统攻关力度的加大,高炉冶炼得以更进一步的强化,五高炉出铁由每天 13 炉再提高到 15 炉,这样对炮泥的要求越来越高,高炉所使用的炮泥逐渐满足不了生产极限运转的需要,极大地影响了高炉的正常生产。为了改变炮泥不能很好满足生产急需的现状,满足高炉强化冶炼的要求,项目组进行了新一轮新型优质无水炮泥的研究开发工作。

4.1 新型无水炮泥开发研制前的准备

4.1.1 前期准备工作

2004 年 5 月和 6 月钢研所与炼铁厂相关技术人员一道对无水炮泥生产和使用较好的武钢、湘钢、巩义新华耐材公司、梅钢、马钢、包钢、首钢等进行了考察。通过考察,了解到兄弟单位生产无水炮泥所使用的原料档次较高,他们使用了结合性和高温性能好的优质粘土粉;使用了优质棕刚玉;使用了高品质的碳化硅;有的甚至还添加了 3%左右的酚醛树脂作为结合剂。在焦炭粉使用方面,其质量较优越。沥青均使用的高温沥青或改制沥青。

同时了解到兄弟单位生产无水炮泥工艺方面:碾泥时间长,一般在 45 分钟左右;原料计量非常准确,全采用电子称计量;炮泥生产全采用了加热式碾泥机,无水炮泥出料温度高,一般在 65℃以上。

通过考察学习,特材厂和炼铁厂相关技术人员学到了国内先进单位无水炮泥生产的长处,找到了自己在无水炮泥生产方面存在的不足和差距,明确了努力和改进的方向和目标,对下阶段研制优质无水炮泥打好了基础,为提高炮泥质量坚定了信心。

4.1.2 新型无水炮泥原料的选用

重钢生产无水炮泥首先仍结合自身的实际情况, 选用材料主要包括焦炭粉、粘土粉、高铝骨料、添加剂、沥青、葱油、棕刚玉、高铝特级细粉、碳化硅、广西白泥等, 其主要成分与要求见下各表。

1) 粘土、碳素原料、碳化硅的选择及加入量

□粘土按其塑性可分为强可塑性的软质粘土和弱可塑性的硬质粘土。软质粘土多属于次生粘土, 因其颗粒细, 分散度大, 所以其可塑性大, 经常和煤层伴生, 组织松软, 高岭石为这类粘土的主要矿物成分, 并夹杂有其他矿物, 其为主要的结合粘土原料。硬质粘土可塑性较差, 多属于原生粘土, 主要矿物成分为高岭石, 间或有少量的迪开石或水云母类矿物伴生, 从化学组成看, 接近于高岭石矿物的理论组成。为了提高炮泥的可塑性, 新型无水炮泥的开发, 项目组决定选用软质或半软质粘土做原料, 其杂质少, 粘结性能好, 且易干燥, 要求耐火度应大于 1580℃, 粒度大于 0.084mm 的应小于 5%, 水分小于 5%。同时参考国内无水炮泥中 SiO_2 的百分含量, 粘土的配比确定为 20% 左右。其主要化学成分见下表 4-1。

表 4-1 粘土粉化学成分
Tab. 4-1 Chemical Composition of Clay Powder

试样名称	化学成分 (%)		
	Al_2O_3	Fe_2O_3	loos
粘土粉 (要求)	>27	<4.0	8~11
粘土粉 (用料)	28.28	1.48	8.96

□耐火材料所使用的碳素原料主要包括无烟煤、焦炭和石墨等。焦炭是制造炮泥的重要原料之一。焦炭的特点是气孔率高, 强度大。由于无烟煤多作骨料存在, 而石墨的塑性又过大, 所以无水炮泥的生产选用焦炭作为 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—SiC—C}$ 质的碳素原料。生产优质无水炮泥所用焦炭要求用冶金焦炭, 强度应高, 灰份应低, 杂质要少、气孔率低、含硫量低, 要求焦粉应以细粒的形式加入, 粒度小于 0.062mm 的应小于 10%, 小于 0.5mm 的不小于 40%^[44], 大于 1mm 的应小于 5%。根据以前生产和国内同类企业的情况焦炭的配比确定为 20% 左右。其主要化学成分见下表 4-2。

表 4-2 焦炭粉化学成分
Tab. 4-2 Chemical Composition of Coke Powder

试样名称	化学成分 (%)		
	固定碳 C	V_G	A_G
焦炭粉 (要求)	>85	/	<14
焦炭粉 (用料)	84.04	1.95	15.01

从上表可以看出选用的焦炭粉与要求还存在一定差距,这是由于重钢生产的焦炭的品质所决定的,重钢生产焦炭选用的主焦煤为 40%左右的南桐煤,其具有灰分和硫分高的特点。另外为了环保的需要,其使用量较 2003 年前有一定的降低。

□SiC 的分子量为 40,密度为 3.22,莫氏硬度为 9.0~9.5,有立方晶系 β -SiC 和六方晶系 α -SiC。 β -SiC 只有一种晶型, α -SiC 则有多种晶型。SiC 的耐磨性和耐蚀性好,高温强度大,热导率高,热膨胀系数小,热震稳定性好。SiC 不会熔化,当温度高于 2400℃以上时,开始分解为二氧化碳和石墨,2600℃以上完全分解。在还原气氛中直到 2600℃以上都是稳定的。超过 2600℃以上时开始升华。其热导率高,并随着温度的升高而降低,化学稳定性较好,所以近年来 SiC 在优质无水炮泥的生产中比重逐年增加。参照同类企业无水炮泥的质量情况决定 SiC 配比确定为 5%左右。要求粒度小于 0.074mm 的应大于 80%,大于 0.21mm 的应小于 2%。其主要化学成分见下表 4-3。

表 4-3 碳化硅化学成分

Tab. 4-3 Chemical Composition of Silicon Carbide

试样名称	化学成分 (%)		
	Fe ₂ O ₃	C	SiC
碳化硅 (要求)	<1	/	>82
碳化硅 (用料)	0.095	0.710	98.42

2) 骨料的选择,其粒级要求及加入量

通过考察调研,当前国内炮泥大多为 Al₂O₃-SiC-C 质制品,于是新型无水炮泥的开发决定选用高铝质原料作为骨料。

□骨料的选择

高铝质原料按其主矿相可以分为^[45]:铝硅酸盐矿物,如硅线石、蓝晶石、红柱石以及人工合成的莫来石;含水氧化铝矿物即铝土矿,如水铝石、波镁石、三水铝石;无水氧化铝原料,如天然刚玉、工业氧化铝、电熔刚玉等。在 SiO₂-Al₂O₃ 二元系统中,当 Al₂O₃>5.5%时,Al₂O₃ 从有害组分逐渐转为能提高熔融温度的有益组分。当 Al₂O₃=15%时,以后随 Al₂O₃ 含量的增加,材料的耐火性能将逐渐得到改善。这是因为 Al₂O₃ 含量增加,液相线温度提高,高温稳定相莫来石含量也不断增多的缘故。当 Al₂O₃=70%~72%时,已成为莫来石质材料的组分范围。当 Al₂O₃>71.8%时,主要组成矿物为莫来石和刚玉两个高温相组成,使系统的低共熔点从 1545℃提高到 1810℃,从而材料的耐火性能也随之提高。也就是说,随着 Al₂O₃ 含量越高,制品的耐火性能越好。所以,结合以上的分析说明,选用 Al₂O₃ 含量高的无水氧化铝原料作为高铝质原料是最适合的。考虑成本因素的影响,开发优质无水炮泥时决定选用高铝骨料和棕刚玉作为骨料。使用 Al₂O₃ 微粉添加剂,可以提

高炮泥的体积密度和基质强度, 加入膨胀剂兰晶石, 以减少炮泥的显气孔率^[46]。随着 Al_2O_3 含量的增加, 炮泥中液相数量减少, 抗渣性能显著提高^[47]。

□ 骨料粒度及加入量的选择

如果临界粒度过大, 生产过程中颗粒偏析将增大。根据耐火材料颗粒组成的要求, 同时参考国内类似生产无水炮泥的粒度组成情况, 得出骨料的临界粒度 $<3\text{mm}$ 是最为合适的。提高骨料中粗颗粒的比例能提高炮泥的堆积密度和成型性能, 在使用时由于大颗粒比表面积小, 可使二次莫来石化作用减弱, 有利于炮泥烧结, 从而使炮泥的气孔率降低, 荷重软化开始温度、热稳定性及机械强度等得到提高。细粉则有利于提高炮泥烧结和密度。适量的细粉不但能将使用时发生的二次莫来石化作用调整到细粉中进行, 而且由于细粉的强烈烧结作用所产生的体积收缩可以减弱或抵消因二次莫来石化反应所引起的炮泥膨胀松散作用。但是细粉过多会造成使用时成型困难, 产生裂纹, 也会产生较大的烧成收缩等。棕刚玉在炮泥中作为骨料存在, 其在 $1\sim3\text{mm}$ 粗颗粒的比例较 $0\sim1\text{mm}$ 的细颗粒相对要多一些。优质无水炮泥的开发时将高铝骨料的配比确定为 $1\sim3\text{mm}$ 为 5% 左右; $0\sim1\text{mm}$ 的确定为 4% 左右。棕刚玉的配比确定为 $1\sim3\text{mm}$ 为 5% 左右。其主要化学成分见下表 4-4、4-5。

表 4-4 高铝骨料化学成分

Tab. 4-4 Chemical Composition of Aluminous Stuff

试样名称	化学成分 (%)		
	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2
高铝骨料	81.46	2.66	10.19

表 4-5 棕刚玉化学成份

Tab.4-5 Chemical Composition of Corundum

试样名称	化学成分 (%)	
	Al_2O_3	Fe_2O_3
棕刚玉 (要求)	>95	<1
棕刚玉 (用料)	95.45	0.12

3) 结合剂的选择和加入量

国内外无水炮泥的生产多选用碳素结合剂。这类结合剂是一些由含碳较多, 特别是残留较多有机物所组成的结合剂。这些有机物在常温下由于碳素残留于其中而仍起结合作用。该类结合剂在常温下多呈固态或半固态, 其在加热过程中, 在一定温度范围内具有热塑性。利用其热塑性可使其与粒状和粉状料搅拌均匀制

成混合料。并可采用适当的施工方法将混合料制成具有相当高密度的构筑物或制品。随着温度的提高, 结合剂发生分解作用、接桥作用、脱氢和缩聚作用, 发展为碳素结合, 使构筑物或制品变硬而具有相当高的冷态和热态强度。通常情况下, 结合剂中碳素含量越高, 在粒状和粉状表面之上结合剂的碳素浓度和孔隙中残留的碳素也越多, 从而使构筑物或制品的结构愈密实, 强度愈高。通常用的碳素结合剂有焦油沥青、石油沥青和酚醛树脂等。焦油沥青的碳素含量较高, 在常温下有一定强度, 加热软化并在相当宽的温度范围内保有塑性, 随着温度的提高, 进行缩聚、焦化, 约到 500℃ 时强度达到最高值。加入焦油结合剂可以使炮泥具有可塑性和结合性, 使用中遇到高温结焦, 将碳粒粘接在一起。所以, 新型无水炮泥的开发仍选用焦油沥青作为结合剂, 其配用比例确定为 5% 左右。其主要化学成分见下表 4-6。无水炮泥的生产最好是采用高温沥青, 由于高温沥青生产量少, 当前重钢仍然使用的是中温沥青, 其软化点 91.2℃。但是今后重钢为了更进一步满足高炉强化冶炼和环保要求的需要, 在设备能力达到要求的情况下仍还将使用高温沥青, 甚至使用酚醛树脂作为耐火材料的侵渍剂, 在美国用酚醛树脂取代沥青^[48]作为侵渍剂具有可进行冷态侵渍, 达到减少环境污染和节能的目的。

表 4-6 沥青化学成分

Tab. 4-6 Chemical Composition of Pitch

试样名称	化学成分 (%)		
	灰份	挥发份	游离碳
沥青	1.78	61.65	23.57

4) 添加剂的选择及加入量

添加剂是在不定型耐火材料配制过程中掺入的用以改善其性能的物质。根据以前生产的经验, 添加剂的配用比例为 22% 左右, 其主要化学成分见下表 4-7。高铝特级细粉配用比例为 5% 左右, 其主要化学成分见下表 4-8。广西白泥的配用比例为 5% 左右, 其主要化学成分见下表 4-9。

表 4-7 添加剂化学成份

Tab. 4-7 Chemical Composition of Additive

试样名称	化学成分 (%)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiC
添加剂	22.03	24.04	1.57	45.67

表 4-8 矾土颗粒与矾土细粉化学成分

Tab. 4-8 Chemical Composition of Bauxite Granulation and Powder

试样名称	化学成分 (%)			
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
矾土颗粒	88.51	3.01	0.44	0.071
矾土细粉 1	89.44	1.60	0.53	0.05

表 4-9 广西白泥化学成分

Tab. 4-9 Chemical Composition of White Clay in Guanxi

试样名称	化学成分 (%)		
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	loos
广西白泥	35.65	0.90	12.21

4.2 新型无水炮泥研究

众所周知高炉炮泥的工作环境极为恶劣，其蚀损机理也较为复杂。在通常情况下，高炉出完铁堵上铁口后旧炮泥内含有渗进的渣层，在新旧炮泥的交界处形成隔层。高炉出铁时，铁口通道受到高压铁水流的化学侵蚀和冲刷，见渣后，熔渣中的 CaO 与炮泥中的 SiO₂ 等形成低熔点的物质，从而降低了渣铁与炮泥接触面的强度，此反应在熔渣、铁流的侵蚀和冲刷下蚀损。旧的反应层蚀损后，又形成新的反应层，新的反应层在熔渣和铁流的侵蚀、冲刷下在蚀损，逐渐使得铁口孔道迅速扩大。随着五高炉出铁次数的不断增加，高炉冶炼的强化程度越来越高，对炮泥的质量要求也越来越高，按照 2003 年以前的技术方案生产的无水炮泥可塑性较差，且比较松散，不能满足五高炉生产的需要，于是容易出现铁口自行穿漏、铁口浅、跑大流等事故，迫使高炉出铁时改常压慢风的次数也越来越多。另外由于炮泥质量差致使铁口浅，还会导致铁口两旁的冷却壁水温差明显升高，这不仅直接威胁到高炉的安全生产，同时又对高炉的一代寿命带来严重的影响。所以，开发研究新型优质无水炮泥，提高五高炉无水炮泥的质量成为当务之急。为此，针对高炉不同时期生产的铁口工况和随着季节的变化，炼铁炉前技师和钢研所特材料厂技术人员密切配合，从耐冲刷、强度高、塑性好等方面入手，结合考察和上述分析共同研究，选择确定了以下炮泥配料方案，见下表 4-10。

表 4-10 五高炉无水炮泥配料技术方案

Tab. 4-10 Ratio of Mixture for Waterless Tap Hole Clay for No.5 Blast Furnace

名称 时间	焦 炭 粉 %	粘 土 粉 %	高铝骨料		添 加 剂 %	沥 青 %	葱 油 %	棕 刚 玉 %	高铝特 级细粉 %	碳 化 硅 %	广西 白泥 %
			%								
			1~3	1~0							
JZ	40	24	0	5	22	6	13	5	3		
A-1	37	22	5	5	22	4	14	5	5		
A-2	37	22	5	5	22	4	20	5	5		
B-1	32	20	8	5	22	3	14	3	10		
B-2	32	20	10	5	22	3	14	5	8		
C-1	40	17	4.3		23.4	6.8	19			3.2	5.3
C-2	40	17	4.3		23.4	5.3	17.9			4.3	5.3
D-1	33	15.6	5.2	2.1	23	4.8	17.5	3.1		8.1	5.2
D-2	32	14.5	14	0	27.7	3.4	19.4			3.2	5.3
E-1	27	14.5	13	0	21.3	3.4	19.4	7.5	5.3	3.2	5.3
E-2	29	14.5	5.3	5.3	21.3	3.4	17.5	7.4	5.3	3.1	5.3

通过技术方案的多次优化, 现场实践和跟踪, 最终确定出炮泥优化的用料方案为 E-2, 采用该技术方案生产的无水炮泥最能满足高炉不断强化冶炼的需要, 同时取得了很好的效果。为了对研制开发的新型优质无水炮泥和以前使用的炮泥进行对比, 同时还对照外购泥料的理化指标进行多次试验, 并根据每次得出的理化数据, 多次调整了细粉比例、成型压力、焦粉的加入量以及结合剂和添加剂的加入量等, 最终确定了新型无水炮泥的配方 E-2 方案, 按 E-2 方案生产的炮泥即为新型 XX 炮泥, 然后将新型 XX 无水炮泥与基准炮泥 JZ 和外购 WG 炮泥进行对比试验, 得出部分性能指标比较见下表 4-11。研究开发的新型 XX 无水炮泥与基准 JZ 炮泥和外购 WG 炮泥主要化学成分见下表 4-12。

表 4-11 新型炮泥与基准炮泥和外购炮泥的部分性能指标

Tab. 4-11 Performace Indexes of New Type Tap Hole Clay

编号	强度	显气孔率	密度	线变化率
	MPa	%	g/cm ³	%
JZ	7.89	35.3	1.56	1.03
XX	10.53	30.2	1.73	0.78

WG	11.76	28	1.95	0.50
----	-------	----	------	------

表 4-12 新型炮泥与基准炮泥和外购炮泥的主要化学成分

Tab. 4-12 Chemical Composition of New Type Waterless Tap Hole Clay

试样名称	化学成分 (%)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	C	SiC
JZ	15	23	43	7
XX	31.24	13.01	28.31	10.27
WG	26.44	31.67	18.82	11.23

从上表的数据可以看出新开发研制的优质无水炮泥的理化指标较以前基准样有明显的改善, 但与外购炮泥的部分理化指标还存在一定差距, 这主要还是从重钢自己的实际出发加以考虑的。另外, 如果生产优质炮泥时选用材料的配用比例不恰当, 在炉前的大生产应用中将会出现钻不动, 铁口打不开而被迫烧氧气的局面^[49], 从而影响大生产, 这在酒钢的炉前出现过类似的情况, 我们一定要加以避免。

4.3 新型无水炮泥的应用

项目组针对铁口的工况、泥炮性能、铁口操作和气候变化等情况, 反复摸索调整技术方案, 通过不断的总结和借鉴兄弟单位成功的先进经验并最终确定优良的用料配比, 使生产出的炮泥在使用中既能打得进有强度, 又能满足塑性好和耐冲刷的需要, 满足了高炉生产的极限运转的需要, 同时大大减轻了炉前操作强度, 新型无水炮泥在五高炉使用跟踪情况见下页表 4-13。项目完成后炮泥通过检测, 做到事前预知, 而不是事后分析, 不合格的炮泥不出厂, 可避免或减少炉前事故的发生, 降低高炉的休、慢风率, 确保炉况的稳定, 同时还取得可观技术经济效益和社会效益。近年五高炉生产取得的主要技术经济指标见下表 4-14。

表 4-14 五高炉近年取得的主要技术指标

Tab 4-14 Main Technical Indexes of No.5 Blast Furnace in Recent years

名称 时间	生铁产量 t	利用系数 t/m ³ .d	综合焦比 Kg/t	渣铁比 Kg/t	风温 □	顶压 kpa	品位 %
2002 年	850471	2.106	550(73)	434	1015	118	55.46
2003 年	941074	2.150	541(83)	388	1074	127	56.86
2004 年	1021315	2.326	536(98)	408	1090	135	56.17

表 4-13 重钢五高炉优质无水炮泥料试验情况

Tab 4-13 Experimental Result of New Type Waterless Tap Hole Clay for No.5 Blast Furnace

项目 炉号	配罐 时间	规定 时间	开口 时间	堵口 时间	退炮 时间	打泥 量(格)	打泥 压力 (公 斤)	铁口 深度 (米)	铁口 湿度	炮泥 强度	理论 产量 (吨)	实际产 量(吨)	铁流 速度 (吨/ 分)	铁口 是否 漏泥	备注
13964	09:30	10:05	10:05	10:38	11:01	6	180	2.0	湿中	强中	215.93	215.06			
13965	11:10	11:40	11:38	12:07	12:28	4.5	150	2.2	轻微	高	166.10	146.91	5.07	否	
13966	12:50	13:15	13:05	13:40	14:02	4	80	2.3	轻微	高	166.10	162.47	4.64	否	
13967	14:00	14:50	14:45	15:18	15:40	5	85	1.6	无	高	215.93	216.51	6.52	否	1.2m 漏
13968	16:00	16:25	16:15	16:48	17:09	5	200	1.7	轻微	高	199.32	213.10	6.45	否	
13969	17:20	18:00	17:55	18:50	19:30	5	80	1.8	无	高	249.15	276.85	5.03	否	1.2m 漏
13970	19:40	21:10	21:15	21:36	22:00	5	170	1.6	无	高	166.15	127.76	6.08	否	1.4m 漏
13971	22:10	22:45	22:45	23:22	23:42	5	140	2.0	无	高	215.93	211.86	5.73	否	
13972	23:50	00:20	00:30	01:14	01:35	5	150	2.0	无	高	265.28	276.45	4.69	否	1.3m 漏
13973	01:40	01:55	02:05	02:39	02:58	5	90	2.2	无	高	149.22	142.28	4.18	否	
13974	03:10	03:30	03:22	04:08	04:28	4	130	2.2	轻微	高	215.54	205.28	4.46	否	
13975	04:35	05:05	04:55	05:30	05:50	4	80	2.2	轻微	高	149.22	128.91	3.68	否	
13976	06:05	06:40	06:41	07:23	07:50	3	80	2.0	无	高	265.28	268.41	6.39	否	1.4m 漏

13977	08:00	10:05	10:05	10:45	11:28	5	200	1.3	无	高	165.80	161.00	4.00	否	
13978	11:15	11:40	11:50	12:30	12:50	5	100	1.7	无	高	198.96	221.28	5.50	否	1.3m漏
13979	13:00	13:15	13:25	14:10	14:31	5	110	1.5	轻微	高	198.96	186.20	4.10	否	1.3m漏
13980	14:30	14:50	14:50	15:21	15:58	5	110	1.8	无	高	165.80	163.97	5.47	否	
13981	16:00	16:25	16:25	16:52	17:12	5	100	2.2	无	高	165.80	146.44	5.42	否	
13982	17:25	18:00	17:58	18:25	19:20	6	100	1.8	无	高	198.89	176.03	6.52	否	
13983	19:00	19:35	19:38	20:23	20:50	5	90	1.9	无	高	214.89	223.74	4.97	否	
13984	20:50	21:10	21:07	21:32	22:02	5	90	1.8	无	高	148.59	133.35	5.33	否	1.4m漏
13985	22:10	22:45	22:45	23:25	23:47	5	80	1.9	无	高	214.59	211.62	5.29	否	
13986	00:00	00:20	00:25	01:22	01:43	4	70	1.7	轻微	高	232.12	239.76	4.21	否	
13987	01:48	03:30	03:30	03:57	04:17	5	130	1.8	无	高	149.22	145.43	5.39	否	
13988	04:25	05:05	04:59	05:54	06:14	5	100	1.8	一般	高	198.36	236.46	4.30	否	
13989	06:20	06:40	06:38?	07:28	07:50	5	100	1.9	一般	高	198.36	216.01	4.32	否	
13990	07:50	08:15	08:20	09:00	09:23	5	140	1.8	无	高	198.36	190.91	4.77	否	
13991	09:40	10:05	09:56	10:30	10:51	6	120	1.7	无	高	214.50	213.04	6.26	否	
13992	11:00	11:40	11:38	12:31	12:57	6	110	2.0	无	高	232.12	213.67	4.27	否	1.5m漏
13993	13:00	13:15	13:20	13:45	14:07	5	90	2.0	无	高	148.77	127.22	5.08	否	
13994	14:20	14:50	14:50	15:30	15:55	5	100	2.2	无	高	214.50	227.61	5.99	否	
13995	16:00	16:25	16:24	16:58	17:25	6	100	2.0	无	高	198.36	202.64	5.96	否	

13996	17:30	18:00	17:55	18:27	18:52	5	180	1.9	无	高	181.83	160.21	5.01	否	
13997	19:00	19:35	19:35	20:15	20:43	6	160	2.0	无	高	264.48	273.19	6.83	否	
13998	20:40	21:10	21:11	21:52	22:21	5	120	2.2	轻微	高	198.36	221.61	5.41	否	
13999	22:30	22:45	22:45	23:28	00:00	6	100	2.0	轻微	高	198.36	209.03	4.86	否	
14000	00:00	00:20	00:25	00:53	01:20	5	200	1.8	轻微	高	115.71	118.10	4.22	否	1.4m 漏
14001	01:20	01:55	02:00	02:30	03:00	5	180	1.8	轻微	高	198.36	191.09?	6.37	否	1.4m 漏
14002	03:00	03:30	03:40	04:25	05:00	5	150	2.2	轻微	高	247.95	227.55	5.06	否	
14003	04:50	05:05	05:10	05:35	06:00	5	160	2.1	轻微	高	99.180	79.53	3.18	否	
14004	06:00	06:40	06:40	07:16	07:37	5	100	2.1	轻微	高	214.89	249.75	6.90	否	
14005	07:55	08:15	08:15	09:08	09:38	5	180	2.0	轻微	高	181.83	165.08	3.11	否	开始试 2#料
14006	09:40	10:40	10:35	11:00	11:27	4.5	150	2.1	轻微	高	165.30	188.92	5.40	否	
14007	11:20	11:40	11:49	12:17	12:50	4.5	110	1.9	轻微	高	148.23	121.33	4.33	否	1.5m 微漏
14008	12:50	13:15	13:18	14:02	14:22	4.5	140	2.0	轻微	高	247.95	252.10	5.73	否	1.5m 湿气
14009	14:30	14:50	14:50	15:31	15:58	4	100	2.2	无	高	196.92	172.06	6.37	否	
14010	16:05	16:25	16:21	17:01	17:21	4	90	2.2	轻微	高	213.33	228.00	5.70	否	1.3、1.4m 漏
14011	17:35	18:00	18:06	18:50	20:10	4	100	2.2	无	高	213.33	219.60	4.99	否	
14012	19:30	21:10	21:15	21:42	22:05	4	90	2.1	无	高	180.73	157.31	5.83	否	
14013	22:20	22:45	22:45	23:28	23:47	4	140	2.2	轻微	高	198.36	179.98	4.19	否	
14014	00:00	00:20	00:30	01:12	01:35	4	100	2.0	无	高	225.82	218.16	5.19	否	

14015	01:40	01:55	01:55	02:22	02:45	4.5	90	1.9	无	高	161.30	148.88	5.51	否	
14016	03:00	03:30	03:30	04:03	04:29	4.5	90	1.9	轻微	高	193.56	188.46	5.71	否	
14017	04:40	05:05	05:05	05:46	06:10	4.5	100	2.1	轻微	高	209.69	210.68	5.14	否	1.5m 湿 1.8m 漏
14018	06:20	06:40	06:40	07:22	07:45	4.5	100	2.2	湿中	高	209.69	229.22	5.46	否	
14019	08:00	08:15	08:17?	08:56	09:20	4	130	2.0	潮湿	高	209.69	208.68	5.80	否	
14020	09:35	10:05	09:58	10:38	10:58	4	150	2.0	无	高	209.69	183.23	4.58	否	
14021	11:10	11:40	11:40	12:21	12:41	4	120	2.1	无	高	232.50	214.85	5.24	否	
14022	12:50	13:15	13:20	13:50	14:13	4	130	2.2	无	高	187.56	197.52	6.58	否	
14023	14:25	14:50	14:50	15:24	15:45	4	120	2.3	无	高	187.56	207.49	6.10	否	
14024	15:55	16:25	16:25	17:08	17:28	4	130	2.1	无	高	203.19?	209.03	4.86	否	
14025	17:30	18:00	18:05	18:48	19:08	4	150	2.1	无	高	203.19	201.91	4.74	否	1.3 m 漏
14026	19:05	19:35	19:35	20:18	20:38	4	130	1.8	无	高	156.30	175.91	4.09	否	
14027	20:45	21:10	21:05	21:38	22:00	4	90	1.9	潮湿	高	125.04	111.32	3.37	否	
14028	22:10	22:45	22:45	23:10	23:33	4	200	1.9	无	高	140.67	132.08	5.28	否	
14029	23:50	00:20	00:20	00:57	01:25	4	150	2.0	一般	高	220.22	221.99	6.00	否	
14030	01:30	01:55	01:55	02:22	02:45	4	100	2.0	轻微	高	157.30	161.18	5.97	否	
14031	03:00	03:30	03:35	04:20	04:45	4	100	2.1	轻微	高	235.95	221.75	4.93	否	
14032	04:50	05:05	05:10	05:55	06:18	4	100	2.0	轻微	高	220.22	206.92	4.60	否	
14033	06:00	06:40	06:40	07:16	07:40	4	150	2.0	轻微	高	141.57	169.14	4.70	否	

14034	07:50	08:15	08:18	09:16	09:40	4	180	2.0	轻微	高	267.41	266.81	4.60	否	
14035	09:50	10:15	10:11	10:48	11:15	4	170	2.1	轻微	高	204.49	203.71	5.51	否	
14036	11:20	11:40	11:38	12:14	12:30	4	120	2.1	轻微	高	188.76	186.89	5.19	否	
14037	12:50	13:15	13:15	13:56	14:18	4	120	2.3	轻微	高	173.03	146.84	3.58	否	
14038	14:30	14:50	14:50	15:19	15:40	4	120	2.2	轻微	高	198.36	177.19	6.11	否	1.3 m 漏
14039	16:00	16:25	16:25	16:51	17:12	5	120	1.5	轻微	高	141.57	136.66	5.26	否	1.5 m 漏
14040	17:30	18:00	17:55	18:37	19:00	4	110	1.7	轻微	高	214.89	225.69	5.37	否	
14041	19:05	19:35	19:45	20:30	20:50	4	100	1.8	轻微	高	247.95	243.47	5.41	否	
14042	20:49	21:10	21:10	21:48	22:08	4	110	2.1	轻微	高	165.20	163.66	4.30	否	

2004 年 1 月 14 日至 19 日在炼铁厂五高炉试验了优质无水炮泥料。为了掌握该炮泥的使用效果,钢研所派出专业技术人员 5 人与炼铁厂技术人员一道进行了全程跟踪研究。

1) 新型无水炮泥料试验的条件:

- (1) 高炉炉况基本稳定顺行,铁口深度一般的前提下进行试验的。
- (2) 在长期使用情况良好的江边铁口上进行试验的。
- (3) 试验期间开口机钻头全部使用的是 $\Phi 68\text{mm}$ 的钻头。

2) 新型无水炮泥料试验的数量为 19.32 吨;试验炉数为 79 炉;试验时间是从 2005 年 1 月 14 日的第 13964 炉开始至 19 日的第 14042 炉止,其中 14 日试验了 8 炉,15 日试验了 14 炉,16 日试验了 14 炉,17 日试验了 14 炉,18 日试验了 15 炉,19 日试验了 14 炉,见表 4-13。

3) 新型无水炮泥料试验中表现好的方面:

- (1) 其含油质低,不粘手,在出铁过程中烟尘相对以前生产的无水炮泥来说较少。
- (2) 从铁流速度分析其强度较好。
- (3) 其水分含量轻微。
- (4) 使用过程中结焦速度较快。
- (5) 最重要的还表现在其使用过程中长铁口较快。

在大生产过程中,项目组结合不同时期铁口的工况和季节的变化,通过不断的摸索、优化炮泥的用料技术方案,选择出各个时间段好的优良的配用比例,生产出优质的无水炮泥,以满足高炉不断提高出铁次数和采用高风温、大喷煤、高富氧等技术确保高炉强化冶炼的需要。2004 年五高炉铁口合格率指标较 2003 年有明显的提高,见表 4-15。

表 4-15 2003 年与 2004 年五高炉铁口合格率指标

Tab. 4-15 Percent of Pass of Tap-hole in 2003 and 2004 in No.5 Blast Furnace

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	累计
03	78.60	68.42	66.67	88.43	78.16	74.55	75.69	78.11	79.72	68.65	78.05	67.05	75.18
04	83.11	86.32	95.69	98.19	99.78	98.67	98.06	98.05	99.59	96.34	91.69	90.19	94.64

从上表可以看出 2003 年铁口合格率指标不仅偏低,而且波动较大;2004 年通过优化配比和加强管理与操作,新型炮泥的质量明显提高,使高炉的铁口合格率指标大幅度提高,并较为稳定。

4) 新型无水炮泥料试验中表现不足的方面:

铁口深度不稳定,深的达到 2.3m,浅的只有 1.3m;另外从打泥压力的巨大波动也可分析铁口深度不稳定,打泥压力高的达到 200kg,低的只有 70kg,见表 4-14。

同时铁口漏铁严重, 试验 79 炉就有 19 炉出现漏铁, 漏铁炉数所占比例为 24.05%, 特别是出现在 1.4m 左右漏铁, 该处正是炉壁与炉缸的交界处, 应引起重视。试验该材料期间, 靠近铁口区域的风口小套烧坏严重, 其中 18#风口小套 14 日、15 日、17 日三次烧坏, 分别休风 78 分钟、98 分钟和 76 分钟进行更换处理; 17#风口小套于 16 日烧坏, 休风 76 分钟进行更换处理; 试验期间正常应该出 82 炉铁, 由于风口小套烧坏休风等影响只出了 79 炉铁, 见表 4-16, 压炮时间和出铁时间达到了要求。

表 4-16 新型泥料试验期间指标情况

Tab. 4-16 Indexes during Experiment of New Type Clay

项目	铁口深度			铁口湿度				铁口强度	打泥压力			铁口开漏
	1.8-2.0 m	1.5-1.7 m	1.3m	无	轻微	一般	潮湿	高	≥150k g	100-15 0kg	≤100k g	
炉数	70	8	1	39	35	3	2	79	20	25	34	19
比例 %	88.61	10.13	1.26	49.37	44.30	3.80	2.53	100	25.32	31.64	43.04	24.05

注: (1)铁口湿度为定性评价: 无表示打开铁口时无喷溅情况; 轻微表示喷溅距离在余铁函以内; 一般表示喷射距离超过余铁函, 且持续时间约 2-3 分钟; 潮湿表示喷射距离较远, 且持续时间 5 分钟左右。

(2) 铁口强度为定性评价, 主要以铁水流速为依据, 高表示铁流速度 5-7 吨/分; 中表示铁流速度 7-8 吨/分; 低表示铁流速度大于 8 吨/分。

(3) 跟踪期间高炉每天规定出铁 15 炉次。

4.4 进一步提高无水炮泥质量采取的措施

针对优质无水炮泥在使用过程中存在的问题, 钢研所特种材料厂技术人员从多方面查找原因。

- 1) 精心操作, 搞好碾泥时葱油的加热脱水工作, 保证葱油使用前进行加热脱水处理, 尽一切可能减少炮泥含水量。
- 2) 降低焦粉的粒度和水分

由于碾泥机为 60 年代的老设备, 已老化, 存在设计和选材方面的不合理, 表现在碾板和底盘的使用寿命短^[50], 碾泥生产能力不足, 同时对于大于 3mm 的焦粉很难碾碎, 故在焦丁筛分时增加一道筛, 使炮泥所用的焦粉粒度降到 3mm 以下, 以减轻碾泥机碾压负担, 使炮泥碾压后变得更柔软而富有弹性, 有效地防止炮泥过硬堵住碾泥机的碾压轮。同时焦粉的粒度及各粉料混合也趋于均匀。

长期以来, 公司炮泥生产所使用的焦粉均是由焦化厂生产的焦炭经某一单位碾制生产, 焦炭的水分含量在 4% 左右, 虽经碾制加工, 其所含水分仍然偏高, 当其带入炮泥中, 造成高炉开铁口过程中铁口潮湿, 出铁中容易跑大流, 放火箭炮, 危及人身和设备安全, 对渣铁正常排放和炉前设备维护也有一定影响, 对炉前环境也将造成极大的污染。高炉炉前操作人员在开铁口时虽然采取了边钻边烤的措施, 曾有一段时间也未能杜绝铁口放火箭炮事故的发生, 同时还给炉前开铁口带来了很大难度。为此, 针对这一情况, 在无水炮泥生产现场制作了焦粉烘干的热炕, 将使用前的焦粉进行烘烤, 较好地解决了焦粉含水的问题, 完全根治了铁口放火箭炮的事故, 为高炉出铁次数的不断增加创造了条件。

3) 进一步改善无水炮泥的高温强度

近年来, 随着高炉强化水平的不断提高, 铁口排放的渣铁量也逐步增加, 且高炉的风温和风压水平不断上升, 铁口的冲刷加剧, 炮泥在炉内难以形成稳定牢固的泥包, 铁口的通道也容易被拉大, 造成渣铁不能均衡排净, 制约了高炉的稳定顺行。泥包的频繁脱落, 使铁口区域冷却壁的热负荷不稳定, 对冷却壁正常工作造成影响, 给高炉的安全生产带来威胁。为此, 项目组在分析、调查的基础上采用高温粘结性能好的改制沥青代替以前所使用的质量低劣的落地沥青, 从而提高了无水炮泥的高温粘结性能, 收到的效果非常明显。

4) 进一步提高无水炮泥的抗渣性能

随着高炉的不断强化冶炼, 铁口的负担越来越重, 铁口的工作状况与炉况的关系也越来越密切。铁口的好坏对高炉炉况的影响非常明显, 特别是在五高炉取消放渣后, 大量的炉渣要从铁口排出, 这样, 高炉能否及时出净渣铁显得极为重要, 这就要求无水炮泥不但要有很好的强度, 而且还应具有良好的抗渣性能, 避免铁口漏铁的发生。为了达到这一目的, 项目组经过反复多次调整炮泥料的配比并进行生产试验, 总结出结合重钢高炉情况的适量的焦粉含量是保证炮泥抗渣性能的关键, 生产实践证明, 无水炮泥中将焦粉的比例控制在 30% 左右时, 炮泥具有较好的抗渣性能。

5) 进一步探索碾泥工艺, 提高无水炮泥的质量

合理的碾泥工艺和严格的工艺纪律是稳定提高炮泥质量的基础。

(1) 在长期的碾泥过程中, 发现生产无水炮泥原料的加入顺序对炮泥质量有较大的影响, 为此, 项目组通过认真总结和吸取以往生产的经验和教训, 并结合原料的具体情况, 通过生产实践, 得出先加入 80% 左右的焦粉, 再加入沥青, 接着加入 20% 的焦粉后, 再加入骨料, 再加葱油, 最后加入粘土等的加料顺序比较合理, 对提高无水炮泥质量有较好的作用。

(2) 通过考察, 经过对比发现钢研所特材厂生产无水炮泥时碾制的时间与同

行业兄弟单位的差别较大,这也是造成公司炮泥质量不稳定的主要因素之一。为此,项目组决定对公司炮泥的碾制时间进行适当的调整,先将每盘碾 15 分钟延长到 25 分钟左右,然后将此种方法碾制的炮泥经试用,发现炮泥质量还不是很好。经过对实物观察后分析认为,调整碾制时间前后粒度组成变化较大,延长碾制时间后,虽然混匀状况得到一定改善,但还不够,炮泥的质量还有待提高。为此进一步将碾泥时间延长到每盘 40 分钟左右后,炮泥的质量有了明显的提高,其稳定性也得到增强,解决了炮泥质量长期不稳定的问题。但是,在碾制设备落后和碾泥能力不足的情况下,延长碾泥时间后,工人的劳动强度加大了,这种靠拼设备、拼体力的方法是不可取的,还得靠新增设备,提高生产能力来满足极限运转的需要。

6) 进一步确保原料质量的稳定是提高无水炮泥质量的基础

把好原料的进料关是抓好炮泥质量提高的前提,钢研所特材厂碾制原料的条件差,设备能力不足,使用原料质量波动较大,针对此种现状,进一步完善了原料质量管理办法,加强了对入厂原料的管理。

(1) 加强了检验工作,要求进厂来料必须有检验单,成分合格的方可卸车使用,不合格的原料坚决不要。

(2) 加强对入厂原料粒度组成的管理,稳定入厂原料粒度。配料组成中固定原料的最大粒径为 5mm,而 5~0.045mm 范围的粒度分布则应按照安氏连续粒度分布的原理调整配比^[51]。当粗颗粒的比例高时,结合剂的用量减少,加热后的气孔会降低,会增大原料颗粒之间的摩擦,不能得到足够的可塑性,可见低气孔率在和良好的作业性两者是对立的,同时还会因微粉用量的减少造成烧结性能降低。

(3) 随时对入厂原料进行抽检,发现问题及时进行处理。

4.5 新型炮泥经济效益

1) 2004 年较 2003 年因减少炉前工艺慢风增加生铁的经济效益为:

2003 年三高炉铁口工艺慢风 5 次,共 105 分钟,平均每次 21 分钟,即 0.35 小时。高炉正常日产生铁按 1050 吨计算,每小时产铁 41.67 吨,全风操作时风量按 $1050\text{m}^3/\text{min}$ 计算,慢风时减去全风的 30%操作,慢风一次减少的铁量为:

$$G_3 = 41.67 \times \frac{0.35 \times 315}{1050} = 4.38 \text{ 吨} \quad \text{共减少: } 4.38 \times 5 = 21.90 \text{ 吨。}$$

2004 年三高炉铁口工艺慢风 8 次,共 82 分钟,平均每次 0.17 小时。慢风一次减少的铁量为:

$$G_3 = 41.67 \times 0.17 \times 315 \div 1050 = 2.13 \text{ 吨} \quad \text{共减少: } 2.13 \times 8 = 17.04 \text{ 吨。}$$

2003 年四高炉铁口工艺慢风 18 次,共 165 分钟,平均每次 9.17 分钟,即 0.153 小时。高炉正常日产生铁按 1300 吨计算,每小时产铁 54.17 吨,全风操作时风量

按 $1300\text{m}^3/\text{min}$ 计算, 慢风时减去全风的 30% 操作, 慢风一次减少的铁量为:

$$G_4 = 54.17 \times \frac{0.153 \times 390}{1300} = 2.49 \text{ 吨} \quad \text{共减少: } 2.49 \times 18 = 44.82 \text{ 吨。}$$

2004 年四高炉铁口工艺慢风 14 次, 共 97 分钟, 平均每次 0.116 小时。慢风一次减少的铁量为:

$$G_4 = 54.17 \times 0.116 \times 390 \div 1300 = 1.89 \text{ 吨} \quad \text{共减少: } 1.89 \times 14 = 26.46 \text{ 吨。}$$

2003 年五高炉铁口工艺慢风 64 次, 共 1147 分钟, 平均每次 17.92 分钟, 即 0.299 小时。高炉正常日产生铁按 2700 吨计算, 每小时产铁 112.50 吨, 全风操作时风量按 $2350\text{m}^3/\text{min}$ 计算, 慢风时减去全风的 30% 操作, 慢风一次减少的铁量为:

$$G_5 = 112.50 \times \frac{0.299 \times 705}{2350} = 10.09 \text{ 吨} \quad \text{共减少: } 10.09 \times 64 = 645.76 \text{ 吨。}$$

2004 年五高炉铁口工艺慢风 32 次, 共 575 分钟, 平均每次 0.299 小时。慢风一次减少的铁量为:

$$G_5 = 112.50 \times 0.299 \times 705 \div 2350 = 10.09 \text{ 吨} \quad \text{共减少: } 10.09 \times 32 = 322.88 \text{ 吨。}$$

2004 年三座高炉因炉前操作工艺慢风共减少生铁: $17.04 + 26.46 + 322.88 = 366.38$ 吨

2004 年较 2003 年因减少炉前工艺慢风增加生铁:

$$(21.90 + 44.82 + 645.76) - 366.38 = 712.48 - 366.38 = 346.10 \text{ 吨}$$

其效益为: $346.10 \times 250 = 8.65$ 万元

2) 炮泥质量提高后, 减少损失按 1%, 全年按 7320 吨炮泥消耗计算, 单价按 695 元/吨, 可获得的效益为:

$$7320 \times 695 \times 1\% = 5.09 \text{ 万元。}$$

3) 2004 年生产中未发生事故, 按避免炉前休风事故三、四、五高炉各一次, 按 1.5 小时休风处理计算,

烧坏渣罐、铁路等的直接经济损失: $3.5 + 3.5 + 5.0 = 12$ 万元

$$(1050 \times 1.5 \times 1.5 \div 24 + (1300 \times 1.5 \times 1.5 \div 24) + (2700 \times 1.5 \times 1.5 \div 24) = 473.44 \text{ 吨}$$

$$473.44 \times 150 = 7.10 \text{ 万元}$$

4) 2004 年产生生铁 205 万吨, 通过使用新型 XX 炮泥后, 生铁成本增加约 0.05 元/吨, 导致总成本增加额为: $2050000 \times 0.05 = 12.25$ 万元

预计年经济效益为: $8.65 + 5.09 + 12 + 7.10 - 12.25 = 20.59$ 万元。

该经济效果的取得得到了炼铁厂和钢研所双方的一致认可。

5 高炉炮泥塑性检测装置的开发

5.1 炮泥塑性检测装置简述

无水炮泥是高炉炉前使用的主要耐火材料，炮泥是稳定出铁口、强化高炉冶炼操作、保证高炉安全生产的一种关键性泥料。无水炮泥质量的检测包括的项目有：强度、线变化率、气孔率、体积密度、可塑性、化学成分、粒度组成等。本项目中的 ATY—3b 型高炉炮泥塑性检测装置，是通过重庆大学与鞍山钢铁公司技术中心钢研所合作，在消化吸收国外先进技术的基础上开发研制出的检测炮泥塑性的专用装置。它模拟了高炉电炮工作条件，测量炮泥被挤压出时所需的应力值，并将其作为炮泥塑性的特征参数，从而使高炉炮泥的生产质量在管理上走向规范化和标准化，以利于进一步做好铁口维护工作，促进高炉生产的强化冶炼。

5.2 塑性检测装置的结构和工作原理

ATY—3b 型高炉炮泥塑性检测装置主要由机械传动系统、控制与检测系统和试样杯等组成，其实物见图 5-1 所示、外观形式见图 5-2 所示。机械传动系统包括电机、减速机、传动齿轮和传动丝干等，控制与检测系统包括开关、接触器、压力传感器、运算器、显示器、锁存器等。

高炉炮泥塑性检测装置的塑性测定是在试样杯中进行的。试样杯是模拟电炮的形状和工作原理而设计的，由底座、下套管、上套管、压板和压套等五个零件组成。检测时先将定量、定温的炮泥装入试样杯内，然后将试样杯放在测定仪的下托盘上，启动测定仪使下托盘带动试样杯上升，当试样杯的压套与上压盘接触时即产生轴向压力。从而使炮泥发生塑性变形并从试样杯底座小孔挤出，此瞬间所对应的压力值即为炮泥塑性的衡量指标。

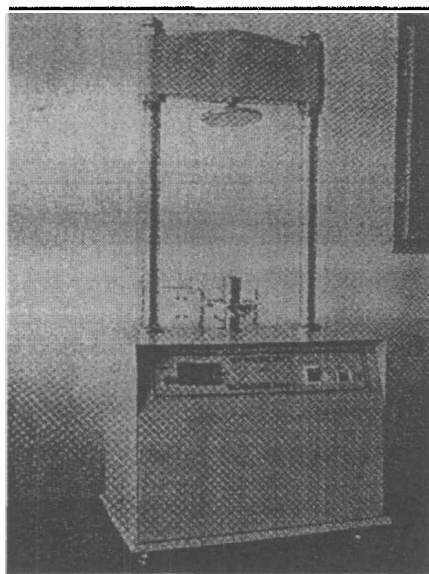
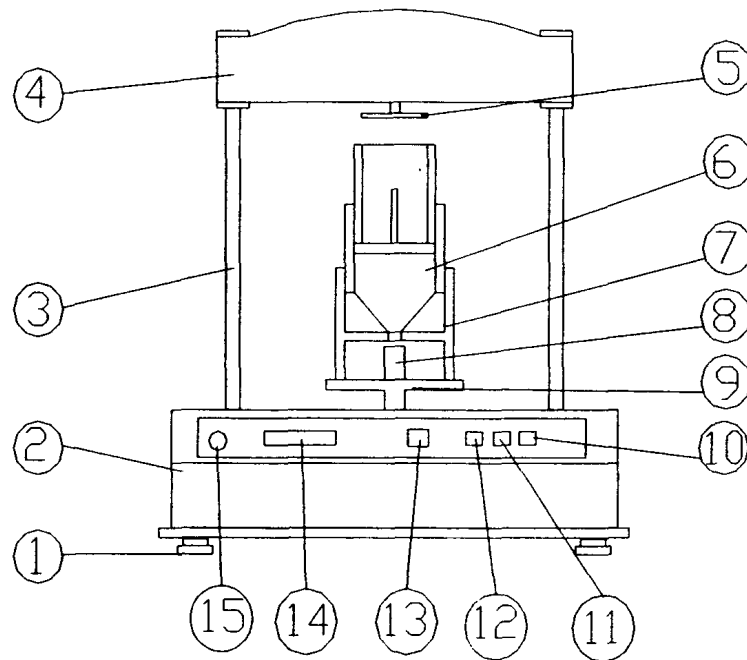


图 5-1 ATY—3b 型高炉炮泥塑性检测仪

Fig5-1 Sketch Map of Plasticity Detection Device for Tap Hole Clay



1—地脚 2—箱体 3—立柱 4—横梁 5—上压盘 6—炮泥 7—试样杯 8—锁存器
9—下托盘 10—下降按钮 11—停止按钮 12—上升按钮 13—电源开关 14—显示表头
15—零点调节旋钮

图 5-2 ATY-3b 型高炉炮泥塑性测定仪示意图

Fig5-2 Sketch Map of Plasticity Detection Device for Tap Hole Clay

5.2.1 塑性检测装置的工作条件

环境温度：-10~50℃；

相对湿度：<85%；

电源：单项交流 220V、50Hz。

备用工具与设备见表 5-1。

表 5-1 备用工具与设备

Tab. 5-1 Stand-by Tool and Equipment

名称	规格	单位	数量
酒精温度计	0~100℃	支	1
自动恒温干燥箱	0~100℃	台	1
电子称	0~1000g	台	1
刮刀		把	1
润滑油			适量
抹布			适量

5.2.2 塑性检测装置的技术性能

ATY—3b 型高炉炮泥塑性检测装置采用进口主电机和国产先进元件, 自动显示测量数值, 并且自动锁存, 性能稳定, 重复性好, 操作简单方便, 使用寿命较长, 有关技术参数见下表 5-2。

表 5-2 ATY—3b 型高炉炮泥塑性检测装置的主要技术性能

Tab. 5-2 Main Technical Indexes of Plasticity Detection Device for Tap Hole Clay

型号	项目	指标
ATY—3b	工作电压	220V
	功 耗	<100W
	最大输出力	10KN
	工作行程	100mm
	升降速度	50mm/min
	测量范围	0~1.999KPa
	测量精度	0.3%
	外形尺寸	450×330×880 (mm)
	总 重	45Kg

5.2.3 塑性检测的测定方法

1) 设备调试

插上电源线, 打开电源开关, 分别按动上行、停止和下行、停止按钮进行试验, 观察机械传动系统是否运行正常, 然后按动下行按钮, 将下托盘调整到下限位置附近 (上、下限均设有极限开关), 观察数字显示是否正常。预热 3—5 分钟以后, 调整零点调节旋钮, 使其稳定在 0 到±5 的数字范围内。用抹布沾取适量的润滑油将试样杯全部润滑一遍。

2) 试样准备

首先取样, 待碾泥机碾制好炮泥后, 将碾压好的炮泥通过挤压成型机后, 再从挤压成型的炮泥中按规定取出适量的炮泥, 用天平称重为 500g, 测定时将温度计插入炮泥中, 深度约为 50mm, 检测其温度。标准指定温度是 $50\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。如果高于此温度, 可将炮泥自然散热降温; 如果低于此温度, 则须将炮泥放入恒温箱中加热, 使其达到标准指定将定量 500g、定温 $50\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的试样用手搓 6—8 次, 作成直径 70mm 左右的棒状体, 装入试样杯中。在试样准备过程中值得注意的是由于炮泥揉搓的程度对压力值有一定的影响, 所以要求每次制备试样时揉搓次数均应相同。

3) 无水炮泥塑性值即马夏值测试的操作

马夏值试验是模拟出铁口泥炮而设计的一种试验方法, 能表示出炮泥质量和炉前铁口泥的使用性能, 因此在碾泥过程中能直接控制碾泥质量。而马夏值合格

与否直接影响炮泥的软硬程度^[52]。

将装入炮泥的试样杯放在下托盘上，然后点动上升按钮，使试样杯随同下托盘一起上升，当试样杯的压套与上压盘接触时即开始对炮泥施加压力，随着压力的增加，炮泥发生塑性变形并从试样杯底座的小孔排出，被挤出的炮泥与锁存器接触时，使锁存器接点接通，电动机自动停止运转，检测仪器的数字显示器将自动显示炮泥推出的压力值，并可保持该值不变，此值即为炮泥塑性值。

4) 测试结束

测试结束记录好测试数据后，再按动下行按钮，降下下托盘，取下试样杯，倒出杯中炮泥，然后用刮刀和抹布把试样杯清理干净，并再润滑一遍，以备下次使用。如果不连续进行测试，要求一定要关闭电源开关。

5.2.4 检测设备的维护

1) 测定仪中的机械传动系统在制作好时以注入了足够的机油，如果没有意外情况发生，无须再次注油。

2) 测定仪要保持清洁，防止灰尘污染。

3) 测定仪必须摆放平稳，避免剧烈振动。

5.3 ATY—3b 型高炉炮泥塑性测定仪的应用

由于“非典”的原因，塑性测定仪的运输、安装和调试等工作受到不同程度的影响，ATY—3b 型高炉炮泥塑性测定仪于 2004 年 4 月末安装调试完毕并投入使用，从 5 月开始对重钢三、五高炉使用的炮泥塑性值开始正式进行检测，下表列出了近半年时间的部分检测塑性值，见下表 5-3，为公司制定无水炮泥的内控标准打下了基础。

表 5-3 三、五高炉使用炮泥的部分塑性值

Tab. 5-3 Plasticity Index of the Tap Hole Clay for No.3 and No.5 Blast Furnace

三高炉		五高炉	
时 间	塑性值 (Kpa)	时 间	塑性值 (Kpa)
2004 年 5 月 8 日	765	2004 年 5 月 8 日	853
2004 年 5 月 11 日	745	2004 年 5 月 11 日	847
2004 年 5 月 14 日	734	2004 年 5 月 14 日	835
2004 年 5 月 17 日	636	2004 年 5 月 17 日	950
2004 年 5 月 20 日	721	2004 年 5 月 20 日	826
2004 年 5 月 23 日	687	2004 年 5 月 23 日	803
2004 年 5 月 27 日	741	2004 年 5 月 27 日	801
2004 年 6 月 2 日	642	2004 年 6 月 2 日	778

2004年6月6日	633	2004年6月6日	765
2004年6月10日	672	2004年6月10日	755
2004年6月13日	553	2004年6月13日	765
2004年6月16日	585	2004年6月16日	750
2004年6月20日	602	2004年6月20日	759
2004年6月26日	611	2004年6月26日	745
2004年7月3日	602	2004年7月3日	773
2004年7月7日	623	2004年7月7日	747
2004年7月11日	631	2004年7月11日	752
2004年7月15日	608	2004年7月15日	763
2004年7月18日	675	2004年7月18日	770
2004年7月23日	765	2004年7月23日	853
2004年7月28日	745	2004年7月28日	847
2004年8月2日	734	2004年8月2日	835
2004年8月5日	636	2004年8月5日	950
2004年8月9日	721	2004年8月9日	826
2004年8月14日	687	2004年8月14日	803
2004年8月17日	741	2004年8月17日	801
2004年8月21日	642	2004年8月21日	778
2004年8月27日	633	2004年8月27日	765
2004年9月3日	672	2004年9月3日	755
2004年9月7日	553	2004年9月7日	765
2004年9月10日	585	2004年9月10日	750
2004年9月13日	602	2004年9月13日	759
2004年9月18日	611	2004年9月18日	745
2004年9月22日	602	2004年9月22日	773
2004年9月26日	623	2004年9月26日	853
2004年10月8日	631	2004年10月8日	847
2004年10月14日	608	2004年10月14日	835
2004年10月17日	611	2004年10月17日	950
2004年10月22日	602	2004年10月22日	826
2004年10月25日	623	2004年10月25日	803
2004年10月29日	631	2004年10月29日	801
2004年11月3日	608	2004年11月3日	778

2004 年 11 月 9 日	703	2004 年 11 月 9 日	765
2004 年 11 月 14 日	734	2004 年 11 月 14 日	755
2004 年 11 月 18 日	756	2004 年 11 月 18 日	765
2004 年 11 月 22 日	770	2004 年 11 月 22 日	750
2004 年 11 月 27 日	689	2004 年 11 月 27 日	759

5.4 无水炮泥内控标准的制定

1) 简述

炮泥生产转入钢研所之前, 由炼铁厂自己内部生产, 其的质量基本靠手模和肉眼观察来控制, 最终将导致产品质量不稳定, 给炼铁生产带来的不便在内部消化。钢研所接手生产炮泥后对生产工艺进行了很大的改进, 同时完善了相应的质量控制手段, 使产品质量有了较大提高。但是炮泥作为不定形含碳耐火材料, 没有其相应的质量控制表标准, 不利于炮泥质量的控制, 一旦铁口指标不好, 无法确定是炮泥质量还是炉前操作的问题。当前还没有国家标准或行业标准, 项目组从 2004 年 5 月开始收集了近半年的无水炮泥的塑性检测数据, 见表 5-3 列出部分塑性值。再结合同行业其他单位炮泥质量标准情况, 制定了重钢高炉用无水炮泥的内控质量标准, 使炮泥的质量好坏有了较为科学的评判依据, 从而为炼铁厂提供出了优质的无水炮泥, 满足了高炉强化冶炼的需要, 为公司生产的顺利推进提供了支持和技术保障。

从上表表 5-3 可看出炮泥的塑性值波动较大, 它随铁口工况和季节温度的变化其塑性值需求有较大差异, 炉前泥炮性能好和气温偏低时要求炮泥的塑性值高一些; 炉前泥炮性能差, 打泥困难和气温偏高时, 要求炮泥的塑性值偏低一些。

2) 无水炮泥质量指标测试方法的确定

无水炮泥作为不定形含碳耐火材料, 它的特性与传统的不定形耐火材料有较大的差异, 项目组结合高炉使用对它的要求, 制定了针对无水炮泥内控指标检测的方法。由于当前还没有针对无水炮泥质量检测方法的国家标准, 所以项目组在通过调查了解国内兄弟厂家对无水炮泥性能的检测情况, 并根据不定形耐火材料检测的国家标准, 以及结合无水炮泥的特性和公司高炉生产实际后, 通过认真研究对比各种耐火材料的检测标准, 确定对无水炮泥物理性能的检测应按照致密耐火浇注料的检测方法进行比较合适; 而化学成分确定则应按照碳化硅耐火材料的检测方法进行。

3) 无水炮泥理化性能指标的确定

项目组查阅了各种相关技术资料, 并外出考察了国内其他厂家无水炮泥的生产和使用情况, 重点关注了目前与重钢高炉炉容相似的高炉所使用的无水炮泥状

况与对无水炮泥性能的要求，并对使用的炮泥产品作了物理化学指标检测，获得了大量的实验数据，基本掌握了我们公司当前使用的无水炮泥的质量水平。随后，项目组按照确定的试验方法，对公司生产的无水炮泥产品各项性能进行了分批量的测试，并不断调整优化配比，同时加强原料的质量监控，严格生产工艺控制，确保在现有的生产装备条件下完全达到质量指标要求，最终项目组制定了无水炮泥内控标准见下表 5-4，能满足公司炼铁生产高炉不断强化的需要。

表 5-4 无水炮泥内控指标控制标准

Tab. 5-4 Internally Standard of Waterless Tap Hole Caly			
项目			指标
Al_2O_3	(%)		≥ 25
SiO_2	(%)		≤ 20
C—SiC	(%)		≥ 40
烧后线变化率	(%)	1200□×3h	0~-2.0
体积密度	(g/cm ³)	250□×3h	≥ 1.65
耐压强度	(MPa)	250□×3h	≥ 10
抗折强度	(MPa)	250□×3h	≥ 2.5
可塑性指标		3#高炉	600~1000
(Kpa)		5#高炉	750~1150

4) 对无水炮泥内控标准的说明

(1) 无水炮泥主要有碳化硅、焦粉、粘土粉、高铝骨料、沥青、葱油和部分添加剂等原料组成，其使用原料种类较多，而且各种原料直接影响炮泥的质量。因此，要求炮泥使用原料主要成分应含量高，杂质应含量低，否则，易使炮泥在使用过程中形成低熔点化合物，从而降低炮泥的耐火度和高温强度。所以，无水炮泥内控标准要求 $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 25\%$ 、 $\text{SiO}_2 \leq 20\%$ 、 $\text{C—SiC} \geq 40\%$ 。

(2) 无水炮泥在使用中，要发生一定程度的烧结，并发生一定的残余收缩，如果收缩过大，可能造成铁口断裂渗铁，影响开口。所以，要求炮泥烧后的线变化率 1200□×3h 为 0~-2.0%。

(3) 无水炮泥体积密度大小直接影响其抵抗侵入介质的能力，体积密度大，其抵御渣铁渗透的能力也越强，而且，强度也得到提高。所以，炮泥内控标准规定其体积密度 250□×3h $\geq 1.65\text{g/cm}^3$ 。

(4) 无水炮泥在使用中必须具有、并且快速达到一定强度，从而提高炮泥体积稳定性与抗渣铁侵蚀的能力并保持适当的铁口深度。同时无水炮泥开口性能要好，对此内控标准中规定了炮泥耐压强度 250□×3h $\geq 10\text{MPa}$ ；抗折强度

$250\text{mm}\times 3\text{h}\geq 2.5\text{ MPa}$ 。

(5) 可塑性指数是炮泥操作的一种检测方法，其值反映了炮泥的可塑性能。可塑性指数直接影响炮泥的强度与铁口深度以及施工性能，通过试验不同高炉的炮泥塑性值都有一定的范围，过大或过小都将会影响炮泥的性能。对此内控标准中规定了重钢三高炉使用炮泥的塑性值范围为：600~1000 KPa；四高炉使用炮泥的塑性值范围为：750~1150 Kpa。

(6) 由于炮泥内控标准制定的工作量较大，随着 2005 年底公司 1350m³ 高炉的建成投产，在重钢高炉使用有水炮泥将成为历史，项目组认为制定有水炮泥的内控标准无实质意义，所以只制定了无水炮泥的内控标准。

6 结 论

1) 该课题成功研制出炮泥塑性检测装置。通过对收集的无水炮泥塑性值的检测, 制定出无水炮泥内控标准, 同时按其标准生产的优质无水炮泥满足了公司炼铁生产高炉不断强化和极限运转的需要。

2) 开发的优质无水炮泥通过跟踪使用和进一步投入大生产应用, 其强度较好, 体积密度较大, 效果非常明显, 具有抗渣、铁液侵蚀、冲刷能力强的特点, 铁口深度合格率和铁量差合格率较以前大幅度上升, 铁口合格率全年平均达到了 90% 以上, 为高炉的稳定顺行创造了条件, 满足了五高炉高强度生产条件下出铁次数逐渐增多后铁口工作的需要。

3) 通过提高原料质量, 降低焦粉粒度, 优化炮泥配比, 延长碾泥时间等得到的优质新型无水炮泥, 在其水分降低后, 高炉生产从根本上杜绝了铁口潮湿放火箭炮事故的发生, 减少了炉前安全隐患, 同时炉前环境较以前有一定的改善, 为高炉增加出铁次数和强化冶炼奠定了基础。

4) 铁口工作状态改善后, 五高炉的铁口通道能保持基本稳定, 高炉出铁时减少了渣铁喷溅, 有利于降低铁损, 可为公司创造良好的经济效益。

5) 由于生产的新型无水炮泥较以前的性能大为改善, 同时还采用了袋装, 炉前工作环境大为改善, 其在使用过程中的消耗有所降低, 达到了降耗降成本的目的。

6) 在新型无水炮泥的基础上通过进一步优化配比, 将能很好地投入重钢更大高炉的使用, 为 1350 m³ 高炉的投产打好了基础和作好了准备。

7) 新型无水炮泥的开发还仅仅是结合重钢现状进行的, 炮泥生产还存在设备方面的一些问题, 在满足日益提高的环保方面还存在差距。为此, 下阶段在炮泥生产设备的改造和环保材料的使用方面多下工夫, 选用焦油—树脂的复合结合剂。

致 谢

本论文是在导师邹德余教授的悉心指导和亲切关怀下完成的。在论文工作的各个方面自始至终得到了导师的非常关键的指导和谆谆教诲。作者在攻读硕士学位期间，所取得的成绩与进步，都与邹德余教授的无微不至的关怀与支持密不可分。导师不仅向我传授了多方面的科学理论知识，而且还教会了我宝贵的为人处世之道，对我今后的人生也将产生重大的影响，使我终身受益。在论文付梓之际，谨向导师邹德余教授致以最诚挚的敬意和深深的感激！重钢龚文渠高级工程师也给予了大力的支持及合作，在此，我向他们表示深深地敬意。

同时，在攻读硕士学位期间，得到了重庆大学材料科学与工程学院伍成波副教授和何生平老师的无私的指导和帮助，在此向伍成波副教授表示由衷的感谢！

在攻读硕士学位期间，得到了重庆钢铁公司领导和同事的关心和帮助，谨向他们致以衷心的感谢！

在攻读学位期间，我的家人给予了无私的支持、关怀和理解，特别是我的妻子余春燕女士给予我生活上无私的帮助支持和精神上充分的理解与激励，使我得以全身心完成学业，感激之情无以言表！

谨向在课题工业试验中，对作者大力支持的重钢炼铁厂的同仁们，致以深切的感谢！

最后，再次向所有关心，支持和帮助我的老师，同学和朋友们表示最衷心的感谢！

刘鹏

二〇〇五年十一月 于重庆大学

参考文献

- [1] 成兰伯. 高炉炼铁工艺及计算. 冶金工业出版社, 1994 (4): 197~198.
- [2] Ushijima, Yosbinobu; Ohtsubo, Yuji; Matsunaga, Takashi. Taphole Clay for Blast Furnace. AISTech 2004 Iron and Steel Technology Conference Proceedings, 2004:187-193
- [3] 龙春安. 高炉铁 VI 炮泥和主沟泥的新进展. 鞍钢技术, 1991(4): 4~9.
- [4] 刘凤仪译. 减少高炉出铁次数的 Al_2O_3 炮泥. 国外钢铁, 1991 (5): 13~20.
- [5] Nobuaki Mroi. 耐火物 51(4), 1999:192:196
- [6] K.Kometani, K.Jizke, T.Kagai. 耐火物 50(6), 1998:326:330
- [7] R.Nakamura, T.Kaneshige, H.Sumimura. Shinagawa Technical Report, 1999, 42:15-24
- [8] M.Nanba et.al. Shinagawa Technical Report, 1998, 41:15-24
- [9] 卢世葵. 宝钢高炉铁口铁棒埋入法操作要点. 炼铁, 1994(1): 14~16.
- [10] 李维国. 高炉插棒法开铁口. 炼铁, 1987(3): 38.
- [11] 李迪. 新型无水炮泥的研制. 本钢技术, 2003(11): 2~5.
- [12] 李军希. 高炉炮泥的发展及现状. 河南冶金, 2003(3): 16~18.
- [13] 孙占国、贾国栋、聂世峰. 安钢 4 高炉取消放渣的生产实践. 河南冶金, 2000(6): 28~29.
- [14] 黄长相. 重钢 1200m³ 高炉无水炮泥的研制和使用. 重钢技术, 1991 年 3 月第四卷(I): 12~15.
- [15] 郭宪臻、聂世峰、魏太林. 高性能有水炮泥的开发与应用. 炼铁, 1999 年 8 月第 18 卷(4): 22~25.
- [16] 王庆贤译. 高炉出铁口炮泥粒度构成对作业性和组织结构的影响. 国外耐火材料, 1998(6): 59~60.
- [17] Sigua, R.A.; Rukhadze, N.K.; Var'yan, E.G. Automatic line for briquetting the waterless tap-hole clay for blast furnace heat and packing it by polyethylene film. Metallurg, 1998, 5: 28
- [18] Pugh, Julian L. Anhydrous clay versus water base clay. Ironmaking Proceedings, Metallurgical Society of AIME, Iron and Steel Division 1976, 35:79-81
- [19] Temkin, N.E. Production of coal tar pitch for tap hole clay of blast furnace. Coke and Chemistry, 1999, 4:19-20
- [20] Bachelor, A.; Guha, A. K.; Mittra, K. Tap hole and trough mixes for blast furnaces: a review.. TISCO, 1976, 23(3):155-163
- [21] 陈守平、甘菲芳. Si_3N_4 在高炉出铁口炮泥中的应用. 宝钢技术, 1995(2): 54~58.
- [22] Roy W. Brown. Ironmaking Conference proceedings: 1990, 343~348.

- [23] 王华、戴永年. 氮化硅在冶金工业中的. 云南冶金, 1995(6): 32 ~34.
- [24] Athinson A, et al. J. Alliel". Ceram Soc., 1976, 59(7~8): 285.
- [25] 陈炳庆. 新型炮泥的研制. 宝钢技术, 1998(1): 24~24.
- [26] 杜明玺译. 氮化硅铁在高炉出铁口用炮泥中的性状. 国外耐火材料, 1998(12). 41~44.
- [27] 石川诚. 含有 SiC 不定形耐火材料. 耐火物, 1995: 220~228.
- [28] Polyakov, N.S.; Gasin, Yu.V.; Stolyar, A.A . Development of production of taphole clay. *Stal'*, 2002,2:10
- [29] 李真才、张文新、敖进清、贾学庆、邓君. 攀钢高炉新型炮泥的研究. 四川冶金, 2001 年(1): 7~9.
- [30] Wells, L.J;Nightingale, S.A.The effect of mixing and aging on taphole clays. *Proceedings Ironmaking Conference*, 2002:205-212
- [31] Bell, C.; Boetcher, B.; Hribljan, F. Taphole maintenance improvements at Dofasco.*AISTech 2004 Iron and Steel Technology Conference Proceedings*, 2001, 1: 303-321
- [32] Wise, David A. Blast furnace taphole repair at AK steel Middletown works.*AISE Steel Technology*, 2000, 77(2): 47-53
- [33] Britlsh Ceramic Tran—saction and Join'hal, 1992, 2, 63~65.
- [34] 李荔寅. 大容积高炉出铁口用无水炮泥的研制. 国外耐火材料 1993 (2) : 27~30.
- [35] 肖伟. 炮泥与高炉冶炼和炉前作业的关系浅析. 包钢科技, 1999(3): 39~43
- [36] 王心让. 钒钛磁铁矿护炉作用的研究. 高炉含钛物料护炉技术, 北京, 冶金工业出版社 1994 年 31 页.
- [37] 李贡生、秦玉滨. 含钛炮泥护炉的探讨. 山东冶金, 2002 年 10 月: 14~16.
- [38] 韩行禄. 不定形耐火材料. 北京, 机械工业出版社 1994.
- [39] 刘劲鹏、彭祥明、向长华、于君成、燕相标. 武钢 5#高炉环保型开口机的特点. 炼铁, 2001 年 6 月第 20 卷(3): 47~48.
- [40] 卜铁生. 本钢 5 号高炉应用液压泥炮的实践. 炼铁, 1997 年 2 月第 16 卷(1): 45~46.
- [41] 刘建平、臧勇. 大型高炉液压泥炮泥缸受力分析. 北京科技大学学报, 1994 年 8 月第 16 卷(4): 358~360.
- [42] 卢锡友. 韶钢 4 号高炉取消放渣的生产实践. 南方金属, 2003 年 12 月第 6 期总第 135 期.
- [43] 孙占国、贾国栋、聂世锋、贺红旗. 安钢 4 号高炉取消放渣的生产实践. 河南冶金, 2000 年 12 月第 6 期总第 41 期: 28~29.
- [44] 杨开保、汪雷、黄足兵. 高炉用无水炮泥的研制. 耐火材料, 1996(1): 62.
- [45] 李迪. 新型无水炮泥的研制. 本钢技术 2003(11): 2~5.
- [46] 钱之荣、范广举. 耐火材料实用手册. 北京, 冶金工业出版社 1992.

- [47] 韩行禄、刘景林. 耐火材料应用. 北京, 冶金工业出版社 1986.
- [48] 酚醛树脂用作耐火材料侵蚀剂的现状及其展望. 国外耐火材料, 1998(12): 3~11
- [49] 包万明. 酒钢高炉炉前炮泥工业试验. 炼铁, 2000 年 9 月第 19 期增刊: 66~69.
- [50] 曾庆国、王军. 2420mm 型碾泥机改造. 山东冶金, 2000 年 8 月第 22 卷(4): 22~23.
- [51] 高炉出铁口炮泥粒度构成对作业性和组织结构的影响. 国外耐火材料, 1998(6): 59~60.
- [52] 徐宏权. 宝钢无水炮泥的研制与应用. 首钢科技, 1989 (10): 10~17.