

转炉炼钢新工艺、新技术介绍

周宏

(重钢集团公司)

New technology introduction of converter steelmaking

Zhou Hong

(Chongqing Iron and Steel Group)

1 重钢环保搬迁炼钢厂简介

重钢环保搬迁炼钢厂是以经济批量生产洁净钢平台为目标建设的厂；是一个集国内外炼钢先进技术于一体，工艺技术国内一流的厂；是同档次设备国产化程度最高的厂；是自主集成、自己总包建设

的厂。

2 炼钢厂总体装备

重钢环保搬迁转炉炼钢厂设计年产合格板坯650万t。主要工艺设备及工艺参数见表1。

表1 炼钢厂主要工艺设备及参数

主要设备	数量	相关工艺参数
KR 铁水脱硫装置	3 座	平均处理周期 35min；平均处理量 192t；处理后最低硫含量 0.002%
转炉	3 座	公称容量 180t；常规转炉生产时周期 38min；
在线 CAS 站	3 座	平均处理周期 18min
LF 精炼炉	1 座（预留 1 座）	公称容量 180t；平均处理周期 30min
RH 真空处理装置	1 座（预留 1 座）	公称容量 180t；精炼周期 20~30min
板坯连铸机	3 台	2 台二机二流板坯连铸机：铸坯断面(160、190、230)mm×(1400~2000)mm, (190、230)mm×(850~1650)mm；浇注周期 25~48min；工作拉速 0.35~1.8 m/min；铸坯定尺长度 4600~11000 mm 1 台单机单流板坯连铸机：铸坯断面(200、250、300)mm×(2000~2500)mm；浇注周期 34~50min；工作拉速 0.35~1.7 m/min；铸坯定尺长度 4400~7600 mm

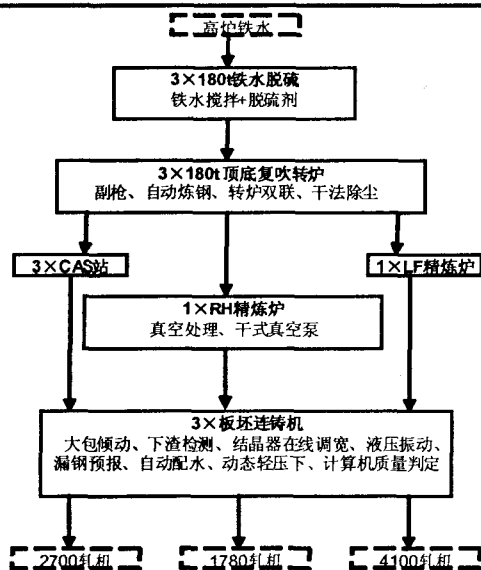


图1 炼钢厂工艺流程简图

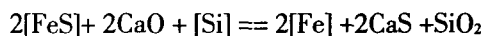
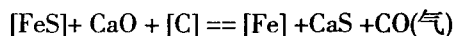
3 转炉炼钢新工艺、新技术介绍

3.1 KR 铁水脱硫工艺简介

KR 铁水脱硫法是应用于工业生产的一种铁水炉外脱硫技术，是将一个外衬耐火材料的搅拌头插入铁水罐中，以 80~120r/min 的转速旋转产生铁水旋涡，然后向铁水旋涡区投入定量的钙质脱硫剂，使脱硫剂和铁水中的硫在不断搅拌中发生脱硫反应。

3.1.1 KR 脱硫原理

KR 搅拌脱硫采用的脱硫剂为 CaO 基脱硫剂，在铁水中的热力学反应原理为：



铁水脱硫工艺的动力学原理见图2。

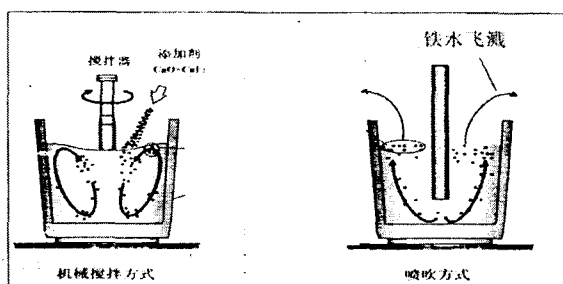


图2 两种脱硫工艺的动力学原理

如图2所示，喷吹法由于气体与脱硫剂的比质量和总质量远小于铁水，它们上浮产生的铁水对流运动较弱，罐底与喷吹口成 90° 夹角区域为死区；而KR法因搅动产生铁水旋涡运动，故动力学条件远好于喷吹法。

3.1.2 KR搅拌法的优点

KR搅拌法存在以下优点：

3.1.2.1 脱硫的动力学条件好；当铁水温度 $>1400^\circ\text{C}$ 时，脱硫的热力学条件也优于喷吹法。

3.1.2.2 脱硫效果好，表现在脱硫深度和脱硫稳定性上。KR搅拌法脱硫深度可达痕迹（指脱后硫 $\leq 0.001\%$ ），且稳定性高；

3.1.2.3 脱硫渣易扒出，铁损低。

3.1.2.4 可以利用自产的优质石灰粉。

3.1.3 KR搅拌法使用的限制性条件

采用KR脱硫工艺必须满足如下条件：

3.1.3.1 脱硫温降大，要求脱前铁水温度必须 $>1280^\circ\text{C}$ ；

3.1.3.2 低硫活性石灰，对粒度和防潮要求较高；

3.1.3.3 铁包自由空间 $>600\text{mm}$ 。

3.2 “一罐制”铁钢界面技术简介

“一罐制”是铁（厂）钢（厂）界面采用的一种铁水供应工艺技术，是直接采用铁水罐运输铁水，且高炉铁水的承接、运输、缓冲贮存、铁水预处理及向转炉兑铁等均使用同一个铁水罐作为容器的工艺技术。该技术具有工艺流程短、布置紧凑等特点。其铁水供应流程为：“高炉出铁→铁水罐车→转运跨行车→脱硫铁水车→KR脱硫→转运跨行车→过跨线铁水车→加料跨行车→兑入转炉炼钢”，整个过程中通过行车和铁水车实现高炉铁水的转运。国内沙钢、莱钢、唐钢、曹妃甸采用了该技术，其流程见图3。

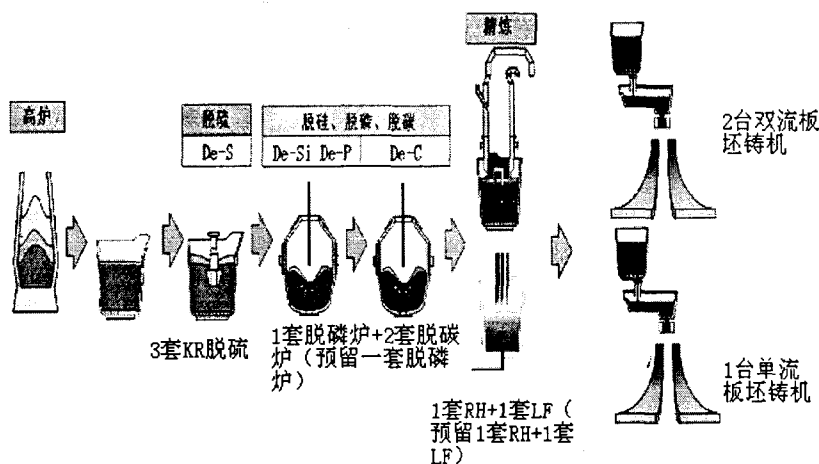


图3 “一罐制”界面流程

3.2.1 “一罐制”炼钢原理

传统的钢铁界面铁水供应主要有以下几种模式：

3.2.1.1 高炉—高炉铁水罐—混铁炉—转炉铁水罐—转炉；

3.2.1.2 高炉—混铁车—转炉铁水罐—转炉；

3.2.1.3 高炉—高炉铁水罐—转炉铁水罐—转炉。

传统的供应模式下铁水在中途需要倒罐一次以上，不但需要专门的倒罐场地和大量的行车作业，

而且铁水倒罐产生大量的烟尘和大幅度的铁水温降。有关资料表明，进行一次铁水倒罐操作温度损失约为 30°C 。

“一罐制”铁钢界面技术是近年发展起来的一种全新的铁水供应模式，在铁水供应过程中无倒灌作业，铁钢界面为硬链结，无缓冲手段。

3.2.2 “一罐制”炼钢优点

3.2.2.1 温降小，比传统铁水供应工艺减少铁水温降约 50°C ，节能效果显著，有利于KR脱硫和转炉的

冶炼控制；

3.2.2.2 取消了铁水倒罐站和混铁炉，工艺布置连续、紧凑，缩短作业时间；

3.2.2.3 比传统工艺减少一次铁水倒包操作，从而减少一次环境污染和治理的投入。

3.2.2.4 温降小，比传统铁水供应工艺减少铁水温降约 50℃，节能效果显著，有利于 KR 脱硫和转炉的冶炼控制；

3.2.2.5 取消了铁水倒罐站和混铁炉，工艺布置连续、紧凑，缩短作业时间；

3.2.2.6 比传统工艺减少一次铁水倒包操作，从而减少一次环境污染和治理的投入。

3.2.3 “一罐制”炼钢使用限制性条件

采用“一罐制”工艺必须满足如下条件：

3.2.3.1 高炉生产稳定顺行；

3.2.3.2 铁水计量准确，以保证转炉副枪动态控制所需的炼钢装入量稳定。这要求准确的高炉放铁水操作；准确的高炉炉下实时铁水称重系统；铁水包的热周转和及时清包，防止巴包铁影响装入铁水重量；

3.2.3.3 较高且稳定的高炉出铁温度和铁水成分，保证 KR 脱硫操作和转炉稳定冶炼；

3.2.3.4 采用铁包定位跟踪及信息化系统，及时快捷掌握铁水信息，保证按计划组织生产；

3.2.3.5 稳定顺行的炼钢全连铸生产，保证铁钢界面

生产良性循环。

3.3 转炉干法除尘工艺介绍

重钢环保搬迁项目 180t 转炉烟气净化采用了干法除尘技术(LT 法)。相对转炉湿法除尘技术而言，干法除尘技术是通过静电除尘器净化烟气并干态回收除尘的一种除尘新技术。

3.3.1 转炉干法除尘原理及流程

3.3.1.1 工作原理

在电除尘器内用高压直流电在阴、阳极之间造成一个足以使气体电离的电场，气体电离产生大量电子和离子，使通过电场的粉尘获得离子而带电荷，然后沉集于极性相反的电极上放出电荷，达到除尘的目的。

3.3.1.2 工艺流程

约 1550℃的转炉烟气在风机的抽引作用下，经过烟气冷却系统，温度降至 800~1200℃进入蒸发冷却器后温度再降低到 150~200℃，约有 40%的粉尘在蒸发冷却器的作用下被捕获，形成的粗颗粒粉尘进入粗灰料仓由汽车外运。经冷却粗除尘和调质后的烟气进入静电除尘器除尘后含尘量降至 10mg/m³以下。静电除尘器收集的细灰排到细烟尘仓由汽车外运重复利用。经过静电除尘器精除尘的合格烟气经过煤气冷却器降温到 70~80℃后进入煤气柜，不合格烟气通过火炬装置放散。

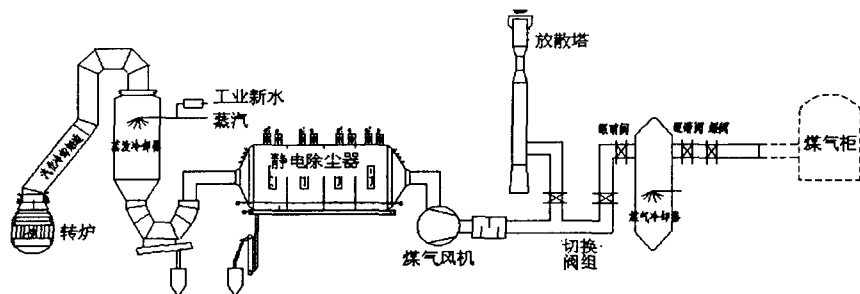


图4 干法除尘工艺流程图

3.3.2 干法除尘（LT 法）与湿法除尘（OG 法）对比

表2 干法除尘（LT 法）与湿法除尘（OG 法）使用效果对比

项目	LT 法	OG 法	比较
吨钢工序能耗, kg 标煤	10 左右	23.6 左右	-13.6
煤气含尘量, mg/m ³	<10	>100	
烟气含尘量, mg/m ³	平均 6.6		
莱钢 吨钢用水量, m ³	0.05		是 OG 法的 1/5 左右
应用情况 吨钢耗电量, kW·h	3.05	6.77	-3.72

干法除尘系统没有污水外排，利于环保；

3.3.3 干法除尘使用的限制性因素

干法除尘虽然能耗低且除尘效果较好，但其使用的限制性条件较多，对冶炼操作、设备维护等要求较高，否则易发生泄爆等事故。

3.3.3.1 要求冶炼操作稳定，工艺稳定。避免吹炼过程提枪、开吹点火不好等操作发生，避免频繁调整炼钢工艺；

3.3.3.2 要求炼钢原材料质量稳定以保证操作稳定，避免质量大幅度波动，同时必须保证所有入炉材料干燥；

3.3.3.3 要求设备的安装、维护必须保证质量。避免 EC 喷嘴蒸汽压力流量不稳定、引风机的转速与吹炼过程不同步、输灰机的翻板密封不好等设备问题的发生。

3.4 转炉自动炼钢控制技术

转炉自动炼钢控制技术就是自动有效实现终点命中的一种冶炼技术。包括从主辅原料加料量的计算，降氧枪、降罩、加料、氧枪枪位过程控制、副枪测量、自动提枪拉碳等操作均由计算机自动控制。

3.4.1 转炉自动炼钢原理简介

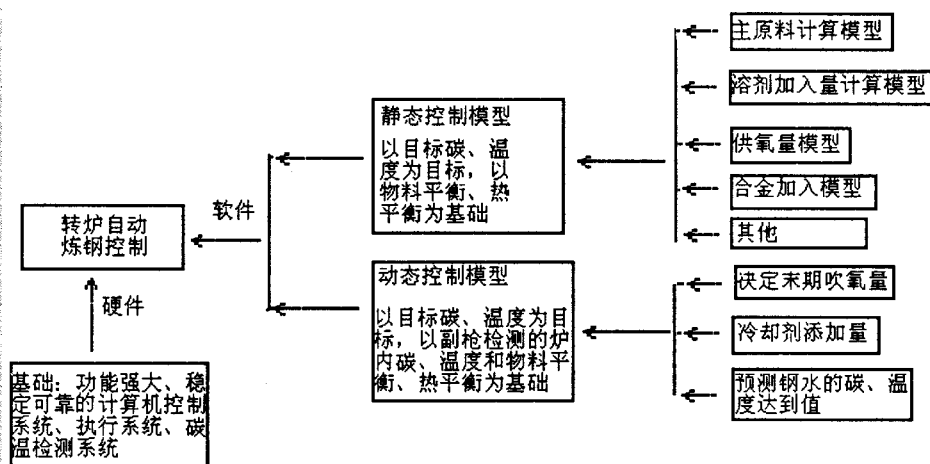


图5 转炉自动炼钢原理示意图

3.4.2 转炉自动炼钢优点

提高终点碳和温度的同时命中率，减少补吹次数，缩短冶炼周期，提高钢的产量、质量，降低原材料消耗，降低工人劳动强度及成本。

其终点碳和温度的双命中率一般水平下 $\geq 80\%$ ，先进水平下 $\geq 90\%$ 。

3.4.3 转炉自动炼钢技术应用限制性条件

3.4.3.1 基础自动化系统、转炉系统设备、计算机系统硬件和系统软件可靠性高；

3.4.3.2 动态控制模型本身运行稳定性好；

3.4.3.3 探头质量稳定、可靠；

3.4.3.4 铁水、废钢质量相对稳定，每炉的铁水成分与废钢种类搭配及重量需及时传递到转炉主控室；

3.4.3.5 铁水消耗较高，一般应 $\geq 950\text{kg/t}$ ；

3.4.3.6 生铁的使用量不能过高；

3.4.3.7 入炉辅料的质量要相对稳定。

3.5 转炉双联工艺简介

转炉双联工艺是把脱碳升温 and 去磷的任务由二座转炉共同完成的工艺。

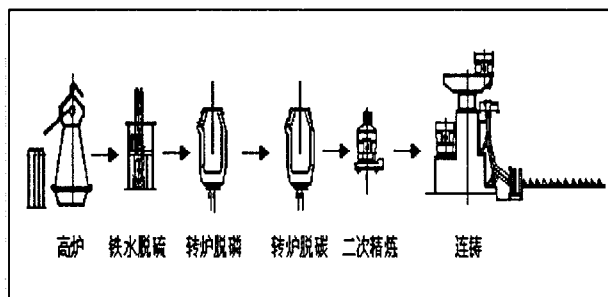


图6 转炉双炼工艺

3.5.1 转炉双联工艺原理

传统转炉炼钢的主要任务是脱碳升温去磷、硫。铁水予处理兴起后，有把脱磷、硫、硅移到炉外进行的阶段，但是由于脱磷、硫在热力学上矛盾，处理时间长、温度损失大，所以又回到分步炼钢上。

90 年代，日本新日铁、住友金属、神户制钢、NKK 等利用闲置的转炉，研究把脱磷从脱碳炉移出，获得成功。国内宝钢、曹妃甸、新区转炉炼钢采用了这一工艺。转炉双联法冶炼工艺核心技术为转炉法铁水脱磷、转炉顶底复吹和少渣冶炼技术。

3.5.2 转炉双联工艺优点

3.5.2.1 有利于脱磷，可生产成品磷小于 50PPm 的低磷钢，可用高磷铁水 ($P \leq 0.35\%$) 生产一般钢种；

3.5.2.2 实现少渣炼钢，与常规冶炼工艺相比，渣量约减少一半；

3.5.2.3 转炉功能单一化，利于缩短冶炼周期，单炉冶炼周期可由传统的 35 ~ 40min 缩短到 27min 左右；

3.5.2.4 可用锰矿来替代锰铁合金，锰矿中锰的利用率可达 50%；

3.5.2.5 有专家认为，双联工艺结合铁水脱硫，由于功能专一、增加一次挡渣出钢操作，是经济生产洁净钢的方式。

3.5.3 转炉双联工艺使用限制性条件

采用转炉双联工艺必须满足如下条件：

3.5.3.1 至少配置两座转炉，一座用于脱磷；一座用脱碳升温；

3.5.3.2 需要低温冶炼和保铁水中碳，就必须快速成渣，要求有小块废钢、活性度大于 350ml 以上的活性石灰做保证；

3.5.3.3 实现脱磷炉从炉后出的脱磷铁水快速兑入脱碳炉内的条件；

3.5.3.4 脱磷炉必须采用顶底复合吹炼，增加脱磷的动力学搅拌，利于渣金反应。

在成本上，说法不一。有的认为成本是降低的，有的认为增高。这主要与价格体系、石灰质量、排除物等的合理利用、冶炼工艺有关。2007 ~ 2008 年炼钢厂对高磷铁水的试验预计，新区炼钢工序成本增加约 50 元/t。

3.6 干式真空泵工艺简介

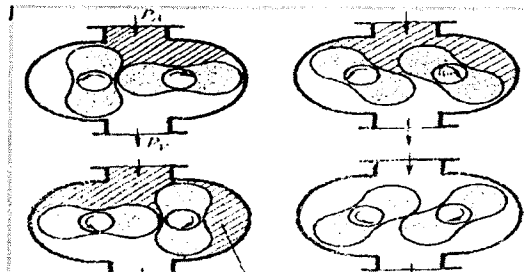


图7 机械罗茨泵抽气简图

RH 的主要用途是真空环境下对钢水脱氢、脱碳、脱氧和微调钢水成分及温度等。传统的 RH 真空泵是蒸汽喷射泵，工艺是从拉瓦尔管喷嘴中喷射出高速蒸汽射流来携带气体，从而达到抽气的目的；干式真空泵则是由电能作为能源介质，依靠机械罗茨泵

泵腔内的两个形状对称的转子彼此朝相反方向不断旋转将被抽气体排出真空系统以达到抽气的目的。

3.6.1 干式真空泵原理

RH 工艺是在真空条件下完成精炼任务，因此，真空系统的工作状况决定钢水的处理质量。重钢长寿新区 RH 真空泵采用 72 台机械泵组成 18 个真空模块，每个模块由 2 台 HV40000 机械罗茨泵、1 台 SN7000 机械罗茨泵、1 台 IDX1300 双排气罗杆泵组成（如图 8），根据工艺需要控制 18 个真空模块的运行，以达到 RH 工艺对真空度的要求。

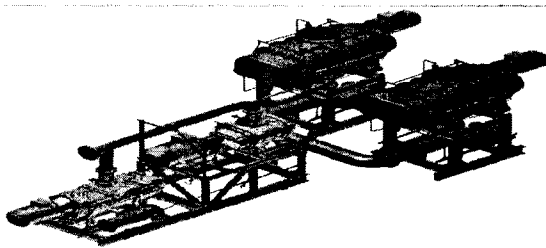


图8 干式泵单一模块组泵简图

3.6.2 干式真空泵优点

3.6.2.1 模块化联接，便于真空系统能力灵活配置，如果抽气能力不足则增加模块；根据不同真空度要求采用不同的模块组合方式；

3.6.2.2 生产组织影响因素少，避免了蒸汽调度及蒸汽故障对生产的影响；

3.6.2.3 采用干式泵，寿命较长，维护量小，性能稳定；

3.6.2.4 运行成本较低，同蒸汽泵相比低 5 元/t 钢左右；

3.6.2.5 采用布袋干法除尘，粉尘便于回收利用；

3.6.2.6 循环冷却水量小，干式泵为 400t/h，蒸汽泵为 2300t/h，且蒸汽泵洗涤水需要进行处理。

3.7 无缺陷铸坯生产技术

无缺陷铸坯生产技术是指冶炼—连铸工序各环节生产无缺陷铸坯的各种生产技术的综合集成，是连铸坯热送热装的基础。核心是防止连铸坯外部和内部缺陷的产生。无缺陷铸坯通常是按钢种质量要求相对而言。即：铸坯洁净度和表面、内部、形状缺陷的程度符合钢种质量要求。

3.7.1 无缺陷铸坯生产技术优点

无缺陷铸坯生产技术成功用于生产后，所生产的铸坯清洁度达到相对洁净钢要求及以上水平，铸坯表面无清理率稳定在 96% 以上，铸坯中心偏析中

C1.0 以下偏析比例达到 90%以上,为实现连铸坯热送热装直接轧制工艺提供了基础条件,精简了铸坯的清理过程,保证了按合同生产,为开发高质量高附加值的钢材产品奠定了基础。

3.7.2 无缺陷铸坯生产技术的限制性条件

3.7.2.1 原材料、耐火材料优质稳定,钢水质量满足恒速浇注率 95%以上要求;

3.7.2.2 KR 脱硫、双联顶底复吹转炉、CAS、LF、RH 精炼、高可靠、高精度、高自动化的连铸机设备“四位一体”炼钢工艺;

3.7.2.3 铸坯断面尺寸不宜频繁变换。

3.7.3 保证无缺陷铸坯生产的主要技术措施

3.7.3.1 冶炼工序具备生产极低硫、磷、低夹杂物钢水的能力;

3.7.3.2 采用炉外精炼及真空处理技术;

3.7.3.3 采用全程保护浇注;

3.7.3.4 稳定控制结晶器内液面波动;

3.7.3.5 增大中间罐容量和钢液深度,设置挡渣墙;

3.7.3.6 采用连铸电磁搅拌技术;

3.7.3.7 改善连铸二冷制度,采用气—水喷雾冷却;

3.7.3.8 提高连铸设备的对弧精度、加强坯壳支托(如二冷辊分段配置、细辊密排等),采用压缩铸造、轻压下和多点矫直等技术。

对铸坯是否无缺陷的判定,国外钢厂通常使用检测手段完成。表面质量检测主要采用光学法、感应加热法和涡流法,而内部缺陷的检测则主要采用超声波和电磁超声波方法。国内通常用工序点上工艺、操作要求是否达到作为判定标准。

3.7.4 无缺陷铸坯生产技术重钢现状

我们目前的设备,除了热检测和热清理不具备外,其它都具备了硬件要求。需要工艺参数的摸索来形成无缺陷连铸坯生产技术。2009 年,炼钢厂、钢研所、质管处提出了进行无缺陷连铸坯生产技术的课题。这一课题,预计在新区投产后 1~3 年才能完成。

3.8 连铸坯热送热装技术

连铸坯热送热装技术是指将无缺陷铸坯直送至轧钢工序,并以较高的温度进行再加热后轧制的技术。

长寿新区采用两种模式,具体见表 2。

表 3 连铸坯送轧钢工序不同方式间能源消耗及产品生产周期的比较

形式	名称	简称	热送热装 温度	工艺流程 特征	能源消耗 kJ/t	产品生产 周期 /min
I	连铸坯直接热装轧制	CC—DHCR	900~750℃	热坯直接装加热炉加热后轧制	(0.42~0.65)×106	135
II	连铸坯冷装炉加热后轧制	CC—CCR	室温	冷坯装加热炉加热后轧制	(1.25~1.67)×106	1775

3.8.1 连铸坯热送热装技术优点

精简工序,减少厂房占用,节省人力物力,提高金属收得率、提高加热能力,缩短铸坯成材时间从而提高产量,节约能源,加快资金周转,降低生产成本。

3.8.2 连铸坯热送热装技术使用限制性条件

3.8.2.1 炼钢具备无缺陷铸坯生产能力;

3.8.2.2 炼钢、轧钢工序生产状况均正常稳定,有效作业率达 85%以上;

3.8.2.3 实现炼钢—轧钢一体化生产过程信息计算机管理;

3.8.2.4 高温铸坯的生产技术(含铸坯保温、铸坯快速运送和补偿加热等);

3.8.2.5 选择、确定适合热送热装的钢种。钢号与计划不符合,铸坯质量与判定要求不符合,用于轧制中厚板且轧后需要经过探伤检验的钢种,中碳包晶钢、低合金化高强度钢等极易产生角部横裂的钢种,低合金高强度钢热装入炉温度处于第三脆性区时,铸坯均不能热送热装。

3.9 连铸坯动态轻压下技术

动态轻压下技术是指通过在线铸坯实时的凝固末端位置的准确测量,自动快速进行辊缝调节所实现的轻压下技术。轻压下技术是通过在铸坯液相穴末端附近对铸坯施加压力,产生一定的压下量来补偿铸坯的凝固收缩量,消除或减少铸坯收缩形成的内部空隙,防止晶间富集溶质的钢液向铸坯中心横

向流动,促使液芯中心富集溶质的钢液沿拉坯方向反向流动,使溶质元素在钢液中重新分配,从而使铸坯的凝固组织更加均匀致密,达到改善中心偏析和中心疏松的目的的一种方法。在连铸过程中由于过热度、冷却条件、拉速等波动将导致凝固末端位置的变化,从而压下位置也相应地发生变化,为了能准确实施轻压下,必须确保凝固末端位置的准确测定和自动快速的进行辊缝调节,轻压下才会取得较好效果。

3.9.1 连铸坯动态轻压下优点

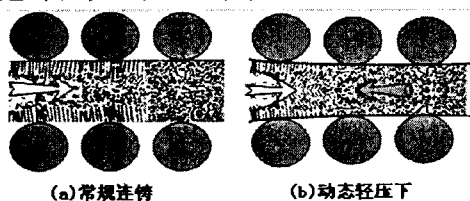


图9 动态轻压下原理示意图

动态轻压下技术具有减轻铸坯中心偏析和中心疏松程度等优点,并且在非稳态浇注条件下(如拉速波动、钢水温度波动)也能够起到改进铸坯中心偏析和中心疏松程度的作用,具有更大的灵活性和适应

性。动态轻压下技术应用后可以把C类1.0以内的铸坯中心偏析控制在90%以上。

3.9.2 连铸坯动态轻压下使用限制性条件

3.9.2.1 高刚度的细辊密排分节辊;

3.9.2.2 远程辊缝可调的扇形段;配备可靠的压下位移传感器来控制压下量;要求液压辊缝控制的稳定性、灵敏度和精度较高;

3.9.2.3 具有能够快速确定合适压下位置、压下量等工艺的动态压下控制模型;

3.9.2.4 采用动态二冷控制技术;

3.9.2.5 仍然要强调恒速浇铸的重要性。

4 炼钢石灰质量的重要性及要求

4.1 炼钢石灰的质量要求

石灰是炼钢非常重要的冶金辅料,它的质量好坏直接关系到炼钢的成败。从石灰的冶金作用原理及满足快速熔化的需要,提出石灰的质量要求为:有效CaO要高(即要求石灰的CaO含量高、SiO₂含量低)、活性度高、灼减低、硫低。表4为(YB/T042-2004)冶金石灰行业标准。

表4 (YB/T042-2004) 冶金石灰行业标准

等级	化 学 指 标 %					活性度/ml (10min)
	CaO	MgO	SiO ₂	S	灼减	
特级	≥92%		≤1.5%	≤0.020%	≤2%	≥360
一级	≥90%		≤2.0%	≤0.030%	≤4%	≥320
二级	≥88%		≤2.5%	≤0.050%	≤5%	≥280
三级	≥85%		≤3.5%	≤0.100%	≤7%	≥250
四级	≥80%		≤5.0%	≤0.100%	≤9%	≥180

4.2 石灰质量对炼钢的影响分析

石灰的活性度和灼减主要与石灰的烧制工艺有关,而石灰的组份特别是硫主要取决于石灰石矿的质量。对重钢新区而言,先进的烧制工艺可满足石灰活性度和灼减的需要,关键是重庆本土低硫石灰石资源欠缺严重制约低硫石灰的保供。现就石灰硫对炼钢的影响做专题分析。

从脱硫原理可知,渣中高(CaO)、低(FeO)含量有利于脱硫反应进行,在转炉炼钢中,因熔池供氧,使炉内呈氧化性气氛,故渣中(FeO)含量不低,因而使转炉的脱硫能力受到限制,一般认为转炉的硫分配比 $L_s < 10$ 。这就是炼钢脱硫为什么移至炉外铁水

脱硫的原因。

为获得重钢探伤钢终渣条件下的平衡态硫分配比 L_s ,炼钢厂提供8炉相关数据,由重庆大学进行理论计算,计算结果为:平衡态下的理论 L_s 在7~10之间,而8炉钢实际硫分配比在3~5之间,平均为3.94,硫分配比较低,其转炉平均回硫为0.0096%。分析认为,实际操作中,尽管碱度控制符合要求,但石灰不可能完全融化,渣中总存在不同程度的游离CaO,而游离CaO不参与脱硫反应,这是实际 L_s 小于理论 L_s 的原因之一。更重要的是重钢原料条件差带入硫高所致。图1为重钢生产8炉探伤钢时转炉各种入炉物料所带入的硫量所占的比例。

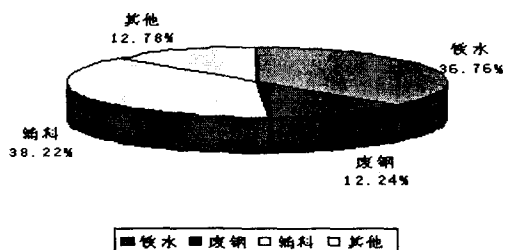


图 10 各种入炉材料带入硫的比例

从图 10 可见，炉内钢水硫的来源主要是转炉造渣辅料（主要是石灰）和铁水，带入比例分别为 38.22%、36.76%，废钢（钢边）带入为 12.24%。

新区采用 KR 脱硫工艺后，铁水深脱硫可达痕

迹，在炼低硫钢时，采用自产低硫废钢。转炉回硫主要取决于石灰，经考察武钢、首迁、河北通钢等炼钢厂，在冶炼低硫钢且石灰硫 $<0.030\%$ 的情况下，转炉回硫 $0.002\sim0.003\%$ 。以深冲钢（IF 钢）为例，该钢要求 $[N]\leq 30\text{PPm}$ ，不适宜进 LF 处理，但要求 $[S]<0.008\%$ 。若仍以现在重钢石灰硫的水平则不能生产此钢。若生产成品 $[S]$ 在 $0.010\sim0.015\%$ 的钢等时，也必须进 LF 处理，增加运行成本。

新区定位为精品生产基地，为此，新区石灰质量要求为： $\text{CaO}\geq 92\%$ 、 $\text{SiO}_2\leq 1.5\%$ 、 $S\leq 0.030\%$ 、灼减 $\leq 2\%$ 、活性度 $\geq 360\text{ml}(10\text{min})$ 。

日本高强度钢板开发

近年在产业机械、建筑机械用中厚板方面，随着起重机等结构物大型化和轻量化及使用环境的恶劣化，对所用钢材的高强度化和高韧性化的要求日益提高。为适应市场要求，正在开发以优良低温韧性为特点、屈服强度 $(Y_P)685\sim 1300\text{MPa}$ 超高强度钢。高强度钢通过热处理（淬火、回火）生产。淬火有两种方法可用，即轧制空冷后再加热至奥氏体区的再加热淬火和轧后直接淬火；直接淬火通过和控制轧制组合可达到高度的组织控制。通过控轧后直接淬火即利用形变热处理的 YP980MPa 级钢的开发为例说明如下。未再结晶区的轧材比再结晶区的轧材原始奥氏体晶粒延伸甚大且组织微细化，并伴随成品轧制温度的下降（由 984°C 降到 782°C ），强度由 480MPa 上升到 1040MPa 的同时韧性亦相应上升， $(vE-40^\circ\text{C})(J)$

由 50 上升到 120)，此种强度和韧性的平衡上升，是由于形变热处理所产生的位错密度上升及有效晶粒微细化的结果。下一步回火时过去多采用单独热处理炉，最近已有利用感应加热方式的在线快速加热回火装置生产产业机械、建筑机械用中厚板的实例。利用形变热处理和快速加热回火使渗碳体微细化并提高韧性的 1100MPa 级钢为例说明如下。应用形变热处理生成高密度位错的马氏体，回火时可使渗碳体的析出量增加，特别是通过快速加热回火时，渗碳体可从板状晶的晶界和晶内同时析出并均匀微细分布。由于渗碳体是引起脆性破坏点的始作俑者，通过它的微细均匀分布自然使形变热处理后快速加热回火材料具有优良的低温韧性。与低速加热回火材料相比， $vE-40^\circ\text{C}$ 由 $60\sim 70\text{J}$ 可提高到 90J 。

“以轧代锻”特厚钢板研发成功填补国内空白

2009 年 12 月 25 日，集团舞钢公司研制生产的首批 750 吨“以轧代锻”特厚钢板生产完毕。经检验，钢板表面质量良好，探伤合格率在 99%以上，力学性能指标富余量大，完全能够满足用户使用要求。这标志着舞钢又一个填补国内空白的新型产品开发成功，在高端钢材领域国产化的道路上迈出新的步伐。“以轧代锻”是指以轧制的钢板代替锻件使用的一种新工艺，该工艺可缩短生产周期，成本远低于

锻件，易于实现批量生产。由于工艺的技术门槛极高，国内至今没有厂家能够生产。今年 10 月份，舞钢经过多次工艺试验，解决了成分偏析、探伤表面质量不能满足锻件探伤标准要求等一系列难题，成功生产出首批 750t20MnSi，钢板厚度为 $186\text{mm}\sim 226\text{mm}$ ，最大单重成品板达 30t。据悉，“以轧代锻”钢板具有广阔的市场前景。