

首钢转炉炼钢现状和发展 及其对耐火材料的要求

麦炽昌 郭家林 李文秀

摘要：首钢是我国特大钢铁联合企业之一，年产钢 800万吨，第二、三炼钢厂为转炉炼钢全连铸钢厂，近两年首钢依靠科技进步，和科研院所合作，开发和应用了混渣护炉、高效铸机、尖晶石碳砖、自流浇注料等技术，取得了显著的经济效益。“九五”期间首钢还要进行产品和工艺结构调整，增加钢包精炼设备和高效品种铸机。随着炼钢系统的技术进步，对耐材的品种及其质量要求也越来越高。

一、前言

近两年我国钢产量是世界第一。但从品种结构和工艺技术来说还不合理，钢材的品种质量、劳动生产率与先进国家相比，差距很大。

为适应国内外钢铁市场需求，如何降低生产成本、多产优质、高技术含量、高附加值的产品，已成为刻不容缓的工作。

现在耐火材料已不是钢铁工业的辅助材料，而是钢铁工业尤其是炼钢连铸的基础材料，它是炼钢工艺结构优化和生产优质钢的保证。

二、首钢转炉炼钢现状

1、简介

首钢总公司现有三个转炉炼钢厂。第一炼钢厂是我国第一座工业生产的氧气转炉炼钢厂，具有三座30t转炉；第二炼钢厂有三座210t氧气转炉；第三炼钢厂有三座80t氧气转炉。其中第二和第三炼钢厂是全连铸厂。三个炼钢厂有九台八流小方坯连铸机、一台单流板坯连铸机和一台双流板坯连铸机。1997年转炉钢产量758.68万吨，连铸坯产量625.14万吨，连铸比82.40%。

首钢转炉炼钢现有鱼雷罐铁水喷吹脱硫、钢包底吹氩和喂丝

装置。所炼钢种主要是炭素钢和低合金钢，也有碳结钢、硬线钢、碳工钢、弹簧钢、焊条钢和合金焊丝钢等优质钢。

由于陆续上了高级精炼手段（LF钢包精炼炉、VD炉）和连铸全保护浇注及电磁搅拌等提高钢质量的措施，所以铸坯质量得到极大的改善，是首钢迈向生产纯净钢重要的一步。

首钢炼钢系统依靠科技进步在全连铸、高效铸机、转炉溅渣护炉、铁水喷吹脱硫、自流浇注料应用等方面取得较大成绩，获得显著经济效益。

2、转炉溅渣护炉

转炉溅渣护炉是九十年代发展起来的一项实用技术。它的原理和操作如下：转炉出净钢后，留在炉内的液体渣，加入少量的调质剂改变渣的成分，提高渣的熔化温度和粘度，通过喷枪喷吹入高压氮气，把炉渣溅至炉衬内壁，冷却形成溅渣层，保护炉衬在下一炉冶炼时，抗高温金属液和炉渣的化学侵蚀和机械冲刷，使炉龄大幅度提高。转炉溅渣护炉的关键是选择好吹氮压力（流量）、喷枪高度和吹氮时间，控制炉渣状态和喷补炉操作，以达到高炉龄、低消耗获得最佳的经济效益。

首钢总公司对转炉溅渣护炉技术，十分重视。早在1995年四季，就决定九座转炉全部采用此项技术。一炼钢、三炼钢和二炼钢溅渣护炉分别与1996年5月、96年10月和97年7月投入生产应用。首钢转炉采用溅渣护炉技术后，炉龄大幅度提高。

溅渣前后，三个炼钢厂的平均炉龄和最高、最低炉龄见表一。

表1、首钢转炉炉龄对比表

厂名	溅 渣 前			溅 渣 后		
	时 间	平均炉龄	最高、最低炉龄	时 间	平均炉龄	最高、最低炉龄
一炼钢	1995年全年	1253	2302/384	97.7--98.4	3268	4018/2867
二炼钢	1996年全年	1152	1341/958	97.10--98.4	2605	3060/2219
三炼钢	1997年全年	1458	1771/1162	97.5--98.4	4521	6228/3429
				97.9--98.4	5176	6228/4591

从表1可见减渣护炉后转炉炉龄大幅度提高，并且相对稳定。有利于组织炼钢生产，达到稳产高产的目的。不考虑炼钢增产的效果和经济效益，减渣护炉后给首钢总公司带来的直接经济效益，节约费用2200万元/年。随着转炉冶炼工艺和减渣护炉工艺及喷补工艺的改进，经济效益会继续增加。

3、高效方坯铸机

高效连铸技术，即连铸机实现高拉速、高作业率、高连浇炉数，生产表面无缺陷铸坯的技术。它的核心是高拉速。而高拉速的关键是保证结晶器的坯壳厚度均匀，即减少结晶器铜板与坯壳的气隙，提高结晶器热流密度。为此国内外连铸专家都采用电子计算机模拟计算，坯壳在结晶器生长过程中的温度场、坯壳的收缩（含凝固收缩、温降收缩和相变收缩）和结晶器铜板受热膨胀以及坯壳承受的变形能力，得到结晶器内腔的锥度曲线。近几年出现多锥度结晶器、连续变化锥度结晶器、凸形结晶器、凹形结晶器、弹性结晶器、曲线抛物线结晶器和压力水膜辅助结晶器等专利技术。与结晶器相应的振动装置都采用高频率低振幅方式。

1997年4月，首钢与连铸技术国家工程研究中心合作，开展三炼钢厂120mm方坯铸机高效化技术研究。经多方努力，三炼钢2号和3号八流方坯连铸机分别于1997年12月和11月完成了高效化改造并正式投入生产。铸机高效改造后，平均拉速由2.4m/min提高到3.5m/min，最高达到4.2m/min。一炉85吨钢水浇注时间约30min。连浇炉数由8.7炉/次提高到13炉/次以上，一浇次浇钢量超过1100吨。实现一台转炉配一台铸机的最佳组合。首钢二炼钢采用首钢自行开发的曲面抛物线结晶器和高强度冷却压力水膜辅助结晶器，也于97年12月及98年1月完成了5号和4号140mm方坯连铸机高效化改造，平均拉速由2.1m/min提高到2.6m/min，最高拉速由2.4m/min提高到3.2m/min，连浇炉次已增加一炉200吨钢水，平均出钢温度从1715℃降至1680℃，有利于钢坯质量提高。对转炉炉龄和钢包包龄提高十分有利，解决了首钢转炉与铸机匹配、高温钢以及生产组织协调问题。对轧钢而言，小时铸坯产量提高

和铸坯温度提高，有利于铸坯热送热装或直接轧钢。不考虑铸坯增产和转炉炉龄提高的经济效益（这部分的经济效益显著，但铸坯增产和转炉炉龄提高所影响因素很多，难以划分高效铸机在此方面所起的作用占多少比例。）就节省钢包和中间包耐火材料消耗，减少钢铁料消耗，节约铸机备品备件和检修费用以及节约劳动力费用，每台高效铸机的经济效益超过500万元/年。

另外，我国97年1月方坯连铸机合计214台共729流，方坯铸机台数和流数占世界第一位。但拉坯速度和作业率普遍较低，单流平均年产量约6万吨。高效铸机高效化改造后，单流平均年产量约12万吨。故在首钢高效铸机技术冶金部鉴定会上，鉴定委员一致意见认为首钢方坯铸机高效技术国内领先，在全国具有推广应用意义。

三、首钢转炉炼钢的发展

首钢集团2010年的发展战略目标：通过联合、兼并等途径发展成为跨地区、跨行业、跨所有制、跨国经营的世界级跨国集团。具体地说，一是近一步用高新技术改装钢铁生产流程，使母公司成为装备精良、产品优化、环境优美的钢铁企业；二是大力发展高新技术产业和第三产业，要形成一定的规模和优势；三是要成为华北地区规模最大的钢铁基地，要生产出品种齐全、技术含量高、附加值高、低消费、低污染产品；四是海外业务也要有较大的发展；五是建立一支高素质的职工队伍。

2000年前，首钢三炼钢实行高效连铸技术，上LF钢包精炼炉和VD真空脱气装置，连铸机采用氩封大包保护套管、结晶器浸入式水口和保护渣、结晶器电磁搅拌、结晶器液面自动控制和二冷自动配水及中包冶金等新技术，生产焊条钢、合金焊丝钢、冷镦钢、高强度矿用钢、弹簧钢、钢丝绳钢、轮胎子午线用钢和轴承钢等技术含量高、附加值高的优质铸坯，使优质钢材在国内外市场具有竞争力。

首钢二炼钢与2160热带轧机配套。2160工程及其配套项目是

国内“九五”期间两套宽度在2米以上的热带轧机之一，也是首钢的跨世纪工程。首钢要按当今世界一流水平设计施工、安装、调试，确保项目建成投产后具有国际市场竞争力，从根本上改变首钢目前产品单一、技术含量低、附加值低的不合理局面。

二炼钢要增添铁水包喷吹脱硫，转炉顶底复合吹炼、LF钢包精炼炉、RH真空脱气装置、高效板坯连铸机、提高在线检测和自动控制水平。生产轿车用IF钢、镀锌冷轧薄板钢、镀锡冷轧薄板钢、高效磁性能的硅钢片和不锈钢等高级优质钢。满足汽车制造业、家电制造业、农业和建筑业需要。

四、炼钢用耐火材料

1、转炉用耐火材料

1.1、炉衬用耐火材料

转炉采用酚醛树脂结合的镁碳砖作工作内衬，炉龄大幅度增加。如日本从七十年代末期推广镁碳砖，炉龄从2000炉提高到5000炉左右，最高炉龄达9860炉。九十年代北美地区推广溅渣护炉技术，平均炉龄从2100炉提高到7500炉，现在六个转炉车间转炉炉龄平均寿命在10000炉以上，十三个转炉车间转炉炉龄平均寿命在7000炉以上，到1996年4月，最高炉龄19157炉，仍在吹炼。我国宝钢采用溅渣护炉技术后，从1997年4月，没有停一座转炉，1#炉从96年12月12日开炉至98年1月31日，炉龄已达11169炉，目前还在吹炼中。鞍钢、太钢和首钢采用溅渣护炉后，炉龄都大幅度提高，取得显著经济效益。由于铁水含硅量和冶炼工艺不同，粘在内衬的溅渣层厚度差别较大，有些厂溅渣层能耐一炉以上的熔渣化学侵蚀和金属液冲刷，镁碳砖质量可以不作要求，相反首钢由于铁水含硅量只有0.37%，留渣量少，粘在炉衬的溅渣层厚度不到10mm，不能抵抗下一炉侵蚀，还要侵蚀镁碳砖内衬，因此首钢还需要高质量的镁碳砖，尤其是炉帽砖的材质有待改进。目前首钢除了采用大结晶电熔镁砂、添加多元金属粉等外，还试用了大颗粒石墨及添加其它外加剂等，来进一步提高镁碳砖的质量。

我公司用镁碳砖的理化指标见表2。

表2、首钢用镁碳砖理化指标

砖 种		MgO (%)	C (%)	显气孔率 (%)	体积密度 g/cm ³	耐压强度 MPa	高温抗折强度 MPa
MT-18A	标准	>72	>18	<3.0	>2.90	>40	>12
	首钢要求	>73	>18	<2.9	>2.92	>40	>12
MT-14A	标准	>76	>14	<4.0	>2.90	>40	>14
	首钢要求	>76	>14	<3.5	>2.95	>40	>14

由于首钢溅渣层较薄，不能抵抗下一炉的侵蚀，势必要消耗大量各种补炉料，因此提出要适合溅渣护炉的各种补炉料，降低耐材消耗及成本，已成为炼钢和耐火材料工作者的重要任务。

采用溅渣护炉后，炉渣较粘影响转炉底部供气元件畅通，现正采用减少供气元件个数，增加每个供气元件的供气压力和流量来解决。怎么使底吹供气元件寿命与炉龄同步，是采用溅渣护炉后的一个新课题。这也是西欧国家不愿采用溅渣护炉技术的重要原因。

当转炉炉龄超过三千炉后，满足炼钢厂高产和稳产要求，经济炉龄具有现实意义。即消耗较低（含炉衬砖、各种补炉料、稠化剂、氮气等），获得最佳的经济效益。对于不同钢厂、不同时间具有不同经济炉龄的范围，绝对不能不惜代价创造最高炉龄。

1.2、出钢口用耐材

转炉出钢口工作条件恶劣，每个炉役要多次更换和修补出钢口。国外采用等静压成型的镁碳砖，整体更换出钢口，一次使用寿命可达300次以上。目前我国最高在百次左右，我公司更换后出钢口寿命仅30-50次，因此提高出钢口寿命，对降低耐材消耗和增加钢产量具有重要意义。

1.3、转炉出钢挡渣用耐材

我公司转炉出钢时采用了挡渣出钢技术，以减少进入钢包的渣量。现以挡渣球为主，最近又开发了挡渣锥，其挡渣效果优于

挡渣球。挡渣球、挡渣锥均为高铝质浇注料浇注成型。

2、钢包用耐火材料

2.1、钢包内衬用耐材

随着炉外精炼和连铸技术的发展，钢水温度提高、钢水在钢包内停留时间延长，钢包已不仅是盛放钢水的容器，其工作条件越来越苛刻。钢包内衬因而也由粘土砖、高铝砖等发展为铝镁碳砖、尖晶石碳砖、氧化铝—尖晶石浇注料等。

目前国外整体浇注钢包（采用铝镁浇注料和刚玉—尖晶石浇注料）钢包寿命可达300次以上，我国自行开发用于大型钢包用高档浇注料使用寿命也超过200次，用于中小型钢包的中低挡浇注料使用寿命在100次左右。国内采用整体浇注钢包的钢厂还不很多，这主要是钢厂要考虑采用整体浇注钢包是否有效益，另外，采用整体浇注钢包要有相应的配套设施，如模具、搅拌机、成型及拆包设备等，同时管理方式也相应进行调整。

目前首钢钢包永久层主要采用自流浇注料，工作层渣线为镁碳砖，包壁、包底为铝尖晶石碳砖，第三炼钢厂钢包包龄可达70次左右。现正在开发用于工作层的浇注料。

目前国内LF、VD钢包炉寿命都不很高，希望开发出新型钢包炉衬用耐材。

2.2、钢包底吹透气砖

钢包用底吹透气砖是精炼不可缺少的元件。我公司透气砖寿命一般在25-30次左右，其中210吨钢包也曾试用过国内外多个厂家提供的透气砖，其理化指标如表3所示。

表3 不同厂家透气砖理化指标

厂 家	透气型式	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	体积密度g/cm ³	耐压强度MPa
日本黑崎	弥散型	91	3		3.01	76.5
DIDIZR	迷宫型	>93			>2.85	
奥镁公司	扁缝型	97	0.2	0.2	2.95	70
无锡南方	狭缝型	>93		<0.3	>3.0	>75
河南濮阳	狭缝型	>90			>3.05	>50

首钢转炉现用钢包底吹透气砖寿命较低，期望有使用寿命高出50次的透气砖问世。

2.3、滑动水口

滑动水口是铸钢的关键部件，滑动水口有往复式和旋转式两种，目前我国主要是往复式。往复式滑动水口由上（中）下滑板和上下水口组成。对钢厂来说希望滑板使用安全可靠即质量要好，能多炉使用。根据钢种的不同，分别采用铝碳质、镁-尖晶石质、锆碳质、铝锆碳质等滑板，我公司滑板为铝碳质，使用次数较低仅1-2次，和国内使用4、5次的先进水平比差距较大。现国外对滑板修复技术很重视，可进一步降低耐材消耗。

3、中间包用耐火材料

首钢中间包采用“冷中间包”浇钢工艺。中间包永久层采用高铝质自流浇注料整体浇注（寿命已超过60个包役现还在使用），工作层用绝热板组装后不经烘烤即投入使用。目前绝热板大部分以硅质绝热板为主，部分钢种（如高锰钢）采用了镁质绝热板。

随着对钢质量要求不断提高，我公司正在开发和试用镁质、镁钙质涂料。同时在中包内还在试验经水模试验研究开发的有利于渣和夹杂上浮的新型挡渣墙，以便进一步提高钢水质量。

4、整体塞棒、长水口和浸入式水口

我公司第二炼钢厂有一台双流板坯连铸机，中间包采用整体塞棒控流浇铸，整体塞棒为铝碳质；长水口为熔融石英质；浸入式水口为铝碳质本体，锆碳质渣线复合型水口。随着炼钢品种的不断扩大，铝碳质整体塞棒将被高抗渣性和高耐炸裂性复合型塞棒代替；熔融石英长水口将被不烘烤铝碳质长水口取代；浸入式水口应尽快研制出耐渣侵防堵塞的高性能材料。

尽管耐料工业随着钢铁工业的发展有了长足的进步，但与国外相比，还有较大的差距，一些优质、长寿、高档耐火材料品种不全，质量不稳定，使用寿命低。远不能适应我国这个钢铁大国的需要，所以开发优质、低耗、品种齐全耐火材料，乃是耐火材料工作者的重要使命，也是冶金工作者的责任。