

世界金属导报评出:

# 2013年世界钢铁工业十大技术要闻

## 1 “五品联动”矿冶系统工程理论及模式破解贫铁矿高效利用的世界性难题

世界铁矿资源储量丰富,约为8000亿t,但82%是贫铁矿。中国作为世界第四大铁矿资源国,贫铁矿占97%以上。受资源条件先天不足的影响,资源综合利用率低,造成矿山企业生产成本高,市场竞争力弱,贫铁矿规模经济开发成为困扰冶金矿山行业发展的一个世界性难题,不仅制约了世界贫铁矿资源的高效利用,而且严重威胁我国钢铁工业原料供给的战略安全。产生这种现象的根本原因是对贫铁矿开发利用技术及管理模式缺乏系统研究和突破性创新,没有

解决大规模工业利用的问题。

鞍钢矿业以系统工程理论为指导,打破矿山、冶炼分割优化定式,将勘察、采矿、配矿、选矿、冶炼等系统集成成为大系统,综合评价地质品位、采出品位、入选品位、精矿品位、入炉品位,进行全系统联动优化,创建“五品联动”矿冶系统工程理论及模式,集技术、管理、哲学等多要素为一体,使贫铁矿综合利用技术和工程化实施获得根本性突破,实现了以爆代破、以破代磨、以选促采、多选少冶,解决了贫铁矿资源大规模、低成本、高

效率开发的问题。同时把工程的系统观、生态观和社会观等统一起来,以最低的成本、最小的环境影响创造最大的经济和社会效益。

在“五品联动”矿冶系统工程理论及模式指导下,鞍钢矿业建成了世界规模最大的鞍山东部贫铁矿区,使我国自产铁精矿成本首次具备了与进口矿竞争的实力,走出了以技术创新为先导的战略转型之路,跨越发展成为我国冶金矿山行业全面领先的龙头企业,正在致力打造世界级铁矿山企业。

### 点评

鞍钢矿业“五品联动”系统理论为世界贫铁矿高效利用提供了工程和技术示范,破解了贫铁矿综合利用的世界性难题,引领矿冶工程理论及技术发生革命性创新,对于促进世界矿山企业的可持续发展,保障我国钢铁工业原料供给的战略安全,整体提升我国冶金矿山行业对国民经济的贡献度都具有重大意义。

## 2 国产辊式淬火机取得极薄规格钢板高平直度淬火等多项重大技术突破

辊式淬火机是中厚板现代化大型热处理线的核心装备,具有冷却强度大、淬火均匀、钢板长度不受机架限制等优点,常规中厚板辊式淬火装备技术被欧美少数国家长期垄断,价格昂贵,供货周期长。我国机械、能源等行业对薄规格高强钢的需求日趋扩大,但是薄规格板材(4~10mm)高平直淬火技术一直是待解决的世界性难题。此前,该项技术被瑞典SSAB独家垄断,该公司只高价出售成品板,不提供技术,导致我国急需的薄规格高强钢完全依赖进口。为此,东北大学与国内企业产学研合作,研制出具有自主知识产权的多功能辊式淬

火成套装备技术,开发出系列高端中厚板热处理工艺及品种。

主要创新成果:①提出了高强度均匀化射流冲击淬火理论,开发出系列高性能射流喷嘴,解决了大厚度跨度、多品种中厚板淬火过程高冷却速率和高冷却均匀性等难题;②研制出可实现水冷、汽雾冷及气冷等方式的新型辊式淬火机,满足了高等级中厚板不同淬火工艺制度的需要;③开发出成体系的中厚板辊式淬火核心技术,解决了薄规格高强度中厚板淬火板形控制和中厚规格钢板冷却强度及组织均匀性控制等难题,开发出4~10mm极限薄规格宽幅板材的高平直度

淬火工艺技术,突破了进口辊式淬火机生产钢板厚度的下限;④开发出辊式淬火机淬火工艺数学模型、组织预测模型及中厚板大型现代化辊底式热处理线“一键式”工艺自动控制平台,实现了国产中厚板热处理线全自动连续稳定生产;⑤开发出系列高端不锈钢、碳素钢中厚板热处理工艺及低成本高品质产品,实物质量达到国际先进水平,填补了多项国内空白。

该项目的开发成功使我国在辊式淬火装备及其淬火技术领域、高端不锈钢和碳素钢中厚板热处理工艺领域取得了重大突破,经济效益和社会效益显著,应用前景广阔。

### 点评

东北大学研制出具有自主知识产权的多功能辊式淬火成套装备,打破了国外垄断,开发出系列高端不锈钢、碳钢中厚板热处理工艺及低成本产品,实物质量优于国际先进水平,填补了多项国内空白。尤其是解决了4~10mm极限薄规格宽幅钢板高平直度淬火这一世界难题。目前,在国内已成功推广应用11套,取得了显著的经济效益和社会效益。

## 3 世界最薄汽车用高强钢成功轧制

生产先进高强钢的核心技术是快速冷却,宝钢利用自主研发的三种快冷技术(高氢高速喷气冷却技术、新型水淬技术、超细汽雾冷却技术),自主集成一条柔性化的高强度薄带钢专用生产线。该生产线特别适合生产超高强度钢板,是目前国内唯一一条超高强度钢板专用生产线。其在连续热处理快冷技术、柔性高强钢生产工艺和设备集成技术、第一代超高强钢和第三代先进高强钢(Q&P钢)产品制造技术等方面有显著创新性和广泛的应用性。

宝钢高强钢专用生产线的技术优势主要包括以下几个方面:①生产线具有多功能性,

既可生产冷轧普板,又能生产热镀锌钢板。而且,该生产线具有生产与工业试验的双功能;②激光焊机进行焊接,保证了超高强钢的焊接质量及生产时带钢的稳定运行;③退火炉的加热段采用明火加热,有利于改善高强钢热镀锌的可镀性能;④冷却速度快,当采用60%以上浓度的氢气进行冷却时,对1mm的钢板其冷却速度可达140°C/s以上;当采用水淬冷却时,钢板的冷却速度可超过500°C/s。较快的冷却速度可实现高强度钢板的低碳当量成分设计,从而提高产品的焊接性能;⑤冷轧钢板表面具有良好的涂装性能,特别是水淬后钢板经过酸洗工序后,可

使钢板表面的Mn等元素富集程度降低,从而进一步提高冷轧钢板的耐蚀性和涂装性。

截至目前,宝钢利用该生产线已成功开发9大类27种先进高强钢品种以及生产工艺技术。利用该生产线,宝钢2013年全球首次成功开发热镀锌980MPa Q&P(淬火延性钢)。而且,2013年初,宝钢接到用户需求,正式开展了0.5mm极限薄规格冷轧超高强钢的试制工作。通过优化生产工艺、轧制规范以及辊系等,宝钢历经6次试制后,成功轧制出世界最薄的汽车用超高强钢。其厚度仅为0.5mm,强度达到980MPa。目前,该产品已发往用户开展相关的应用试验。

### 点评

宝钢攻克了先进高强度薄带钢柔性制造工艺和设备集成技术,不断推进高强钢的研发试制工作,可批量生产第一代、第二代、第三代超高强钢,其中,普冷板最高强度可达1500MPa,热镀锌板最高强度可达1180MPa。在强度不断提升的同时,宝钢致力于材料厚度的进一步减薄。980MPa冷轧超高强钢,宝钢可供应的厚度最薄已达0.5mm。

## 4 清洁热能回收系统CHR®首次投产

2013年,第一套达涅利清洁热能回收系统CHR®在意大利乌迪内ABS钢厂投产。CHR®系统将电炉烟气余热和有机兰金循环技术(ORC)结合,通过回收来自电炉烟气的余热产生电能,从而可节省燃料消耗,减少温室气体排放。

ABS钢厂烟气处理设备由电炉、沉降室、热交换器、节热器、一次烟气管道、二次烟气管道、FDC强制通风冷却器、ORC有

机兰金循环设备、热水储存器、布袋过滤器和烟囱组成。该系统具有两大优势:一是,热水储水器可减小温度波动,实现电力生产最大化。此外,存水量可确保在电炉设备检修时的电力供应;二是,有机兰金循环回收系统是一个循环回路,可利用有机流体的沸点比水蒸气低的物理特性,将热量转换为能量。

ABS钢厂采用该套清洁热能回收系

统后,全年因节电可降低成本约为57.6万欧元(假设1度电的成本为0.1欧元/kWh),并能补偿CHR®设备产生的额外成本。如果用电炉排放烟气作为能源的话,每年可有效减少CO<sub>2</sub>排放量2300t。利用ORC涡轮机,通过热水回收余热用于发电可以提高冷却效率、降低设备维修成本、提高经济可行性并保持良好的生态环境。

### 点评

达涅利CHR®清洁热能回收系统首次投产,将电炉烟气余热和有机兰金循环技术结合,通过回收烟气废热生产电能,可有效减少CO<sub>2</sub>气体排放量,实现经济可行性并可持续发展。

## 5 日本开发出火力发电用700°C奥氏体耐热钢高强度化技术

为进一步提高火力发电效率,日本研究人员抛开对现有奥氏体耐热钢进行改良来提高性能的思路,基于全新的设计理念,开发出耐700°C以上高温蒸汽的新材料。

进入21世纪,日、美、欧为实现蒸汽温度700°C级的火力发电技术(先进的超超临界发电A-USC)进行了材料开发。研发目的是提高发电蒸汽温度,将发电效率提高到50%以上。研发最初并没有将奥氏体耐热钢作为备用材料,原因是这类钢以非平衡碳

化物作为强化相,组织稳定性不良。后来研究人员提出,如果奥氏体耐热钢以平衡相金属间化合物作为强化相,可以实现稳定强化的设计思路。700°C级A-USC使用的奥氏体耐热钢高强度化技术原理是发电蒸汽温度达到700°C以上时,由于不能使用铁素体耐热钢,所以常常使用Ni基超合金。基于全新的设计理念,开发出优良的高强度奥氏体耐热钢。

铁是地球上丰富的廉价资源,如果开发

出以铁为基的700°C级A-USC用新材料,在成本方面会有不可估量的意义。对于高温材料来说,晶界是性能的弱化因子,因此强化晶界是必须的。但是没有理由说明只能用碳化物,而不能用TCP相对晶界进行强化。关键问题在于组织稳定性,这也是在设计之初就确定选用稳定相作为强化相的原因。

目前,日本已经开始对800°C级蒸汽温度发电站用铁基材料进行开发。

### 点评

由于我国超超临界发电技术起步较晚,尽管在材料开发方面取得了诸多进展,但高品质耐热钢基本依赖进口。日本研究人员抛开对现有奥氏体耐热钢进行改良来提高性能的思路,开发出耐700°C以上高温蒸汽的新材料。其研发思路对我国高强度耐热材料的研发具有很好的借鉴意义。

## ⑥ 自主集成全球首条 Ø508mm 无缝钢管生产线

江苏天淮钢管有限公司 Ø508 无缝钢管生产线配备了先进的锥形穿孔机、5 架三辊限动芯棒连轧机、3 架三辊脱管机、12 机架三辊定径机等热轧设备，同时采用了超声波探伤、漏磁探伤、测径测厚等各种自动化检测手段。生产线自动化程度高、工艺灵活，代表了国际上最先进的无缝管热连轧生产工艺。

该新技术的创新点有：①工艺先进性及创新。该项目与其他 460 机组相比，工艺先进，并进行了改进。天淮 508 项目与

其他 460 机组（烟台鲁宝、天津、包钢）相比，产品上限提升至 508mm，壁厚增大至 60mm，采用 450 及 500mm 管坯，增加穿孔辊直径至 1750mm，三辊连轧机组及脱管定径机组做了适当调整，特别是连轧管机仅轧管适当增加，主机架及牌坊完全没变，这样使得机组变形分配更加灵活，能满足使用 500mm 管坯的需要，同时在大口径钢管生产上，随着管坯重量的提升，生产钢管的倍尺数得到增加，对于部分规格的钢管可以生产 2 倍甚至 3 倍尺。此外，定径后

预留控制冷却位置及相应的水处理设施。②设备新技术及创新。同类机组毛管外径不变，增大管坯直径，降低穿孔附加变形程度，提高毛管的几何尺寸精度和成品管性能；穿孔机组采用新型的顶杆和顶头连接和更换方式；穿孔机组顶头增加了内水冷并设计外水冷装置，顶头寿命提高近一倍。连轧机组开发了短管模式，实现 8m 以上大口径厚壁管生产。设计开发了轻拿轻放的钢管移送机构，提高了薄壁管产品的一次合格率。

## 点评

该生产线是国内自主集成的全球首条 Ø508mm 高等级无缝钢管项目，也是目前全球唯一一条超大口径 Ø508mm 高等级无缝钢管生产线。该项目设计年生产直径为 245–508mm 的热轧无缝钢管 50 万 t，产品以管线管为主。从目前订单情况及市场需求来看，508 机组生产的产品有较强的竞争力及较高的品质。

## ⑦ 高炉高风温技术的研发与应用取得显著成果

据统计，我国目前有 40 多座高炉年均热风温度大于 1200℃，其中首钢京唐、宝钢、首钢迁钢、本钢、攀钢、山西建邦的部分高炉风温可达 1240℃以上。首钢国际工程技术有限公司、中冶赛迪工程技术股份有限公司、郑州豫兴耐火材料有限公司等单位研发的高炉高风温技术均得到广泛应用，为降低燃料比、实现低碳炼铁、降低炼铁生产成本做出了较大贡献。

以首钢国际工程公司为例，其自主设计

的首钢京唐 1 号 5500m<sup>3</sup> 特大型高炉热风炉系统的主要特点有：

◆ 特大型高炉全烧低热值高炉煤气实现超高温风温工艺设计

两级双预热技术作为完全拥有自主知识产权的新一代高效利用低品质能源技术，创新结合热管换热器回收烟气余热，将煤气和助燃空气低温预热至 200℃左右，再将助燃空气高温预热至 600℃，既提高了热风炉系统的整体热效率，也完全可以在全烧高炉

煤气的条件下实现 1300℃的高风温。

◆ 多用途热风炉助燃空气

自主开发出的多用途热风炉助燃空气高温预热系统是一种可应用于新建高炉项目或高炉大改造项目的高温预热工艺流程。针对不同工程的具体要求，合理安排施工顺序，充分利用旧有设施，预热炉在不同的施工阶段完成不同的工艺任务，确保将热风炉改造对高炉产生的影响减小到最低程度。

## 点评

高炉高风温技术是一项系统工程，包括热风炉的设计、选型、选材、施工、操作、维护，以及与高炉和热风炉的衔接等问题。尽管我国热风炉技术水平整体上已取得很大进步，但与国际先进水平相比还有一定的提升潜力，仍需根据国内高炉设计与运行实际情况，加强研究与应用开发。

## ⑧ 焦炉煤气制 LNG 技术国际领先

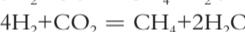
焦炉煤气富含 H<sub>2</sub> 达 55%、CH<sub>4</sub> 达 25%，是优质的二次能源。在催化剂作用下进行甲烷化反应，制得甲烷浓度 90% 的合成天然气（SNG），经压缩得到压缩天然气（CNG），再进行液化分离得到液化天然气（LNG）。LNG 具有热值高、便于储存、适宜远距离运输的特点，是一种新型清洁能源，目前我国天然气消费量以 13.2% 的年速率增长。

炼焦煤气制 LNG 主要工艺如下：

◆ 焦炉煤气净化

焦炉煤气富氢缺碳，含焦油、萘、硫等杂质，净化工艺包括湿法脱硫、脱焦油、萘等杂质，干法脱硫（有机硫加氢转化及精脱）及脱氯；

◆ 焦炉煤气合成甲烷  
甲烷合成工艺是其中的核心技术，目的是使焦炉气中的 CO、CO<sub>2</sub> 与 H<sub>2</sub> 进行反应生成 CH<sub>4</sub>，主要化学反应为：



◆ 甲烷分离提纯

甲烷合成反应后的气体组分中甲烷含量为 60% 左右，需要对甲烷进行分离提纯，将大部分的氢、氮低热值组分分离出去，包括变压吸附压缩生产 CNG 和深冷分离设备 LNG 技术。

2011 年我国焦炉煤气制天然气关键技术取得重大突破，攻克了合成气体的深

度净化、转化和合成技术难题，高活性催化剂及甲烷合成反应器相继研发成功。2013 年 1 月 10 日世界上第一套大型炼焦煤气制 LNG 项目在内蒙古恒坤化工公司成功投产，这是继我国炼焦煤气制甲醇后的又一个具有里程碑式的标志性重大事件。之后，云南麒麟焦化、河南宝丰焦化、云南省华鑫能源及陕西黑猫焦化的焦炉煤气制 LNG 装置先后建成运行，开拓了炼焦煤气高效利用的新途径。目前国内至少有 5 家设计单位掌握此技术。

炼焦煤气制取 LNG 这一研究成果，对我国能源结构的多元化及焦化行业可持续健康发展具有重要意义。

## 点评

我国独立焦化企业的焦炭生产能力占总产能的三分之二，每年副产大量的焦炉煤气。焦炉煤气是一种高效、优质的二次清洁能源，为了实现节能减排、提高企业的竞争能力，独立焦化企业一直在寻找焦炉煤气的最佳利用途径。我国天然气资源短缺，市场空间十分广阔，2011 年我国焦炉煤气制天然气关键技术的重大突破，为焦炉煤气制造天然气提供了技术支撑，为天然气的供应开辟了一条新的途径。

## ⑨ 五大负压工艺应用效果显著

济钢化工厂先后开发应用了以负压 HPF 脱硫、焦油负压蒸馏、无蒸汽负压蒸苯、无蒸汽负压蒸氨、炭化室单调负压装煤除尘五大负压工艺为代表的负压技术群。五大负压技术在济钢的成功应用大大降低了系统能耗，年降低生产成本创造的经济效益约 2300 万元。同时，由于采用负压工艺，有效杜绝了废气排放，改善了现场环境，减轻了设备的外部腐蚀，具有良好的经济效益、环境效益、社会效益和推广应用价值。

◆ 负压 HPF 脱硫技术

该工艺将脱硫装置布置在鼓风机前、电捕之后，初冷后煤气先进电捕，然后进脱硫系统，不需要专门设置预冷塔及相配套的循环水泵和换热器，经脱硫后进鼓风机加压、升温。与正压脱硫工艺相比，其优点是脱硫效率高，减轻了煤气预热器的热负荷，煤气温度递度变化合理；该工艺直接生产硫膏，

降低了能源消耗，而且尾气全部回收进入脱硫系统，减轻了环境污染。

◆ 焦油负压蒸馏技术

与常压蒸馏工艺相比较，减压焦油蒸馏降低了焦油在加热炉的加热温度和一次汽化温度，可防止焦油组分加氢、分解和聚合。

在蒸馏过程中，还能提高各组分的相对挥发度，可不向系统中通入蒸汽，不仅使分离效率提高，能耗降低，还显著改善操作环境；同时，蒸馏过程采用充分换热的方法，提高了余热利用效率，并采用空冷器，节省冷却水量。

◆ 无蒸汽负压蒸苯工艺

与传统正压工艺相比，负压蒸苯工艺完全不使用蒸汽，彻底消除了使用蒸汽产生废水的问题，减少了粗苯分离水废水量。整

个蒸馏过程中采用负压生产，无苯气污染物排出，具有良好的清洁、节能效果。此外，济钢还将该工艺与焦油加工装置配合，将湿渣直接送到焦油加工系统，不使用循环油再生器，循环油排渣不使用排渣泵，实现了工艺的进一步节能。

◆ 无蒸汽负压蒸氨工艺

济钢借鉴石油化工负压蒸馏经验，引入到焦化行业的废水蒸馏中，同时利用高效斜孔塔盘技术，成功解决原焦化剩余氨水蒸馏工艺生产过程操作温度高、能耗高、环境污染和设备腐蚀严重等技术难题，研究出国内领先、清洁节能型剩余氨水负压蒸馏系统。

◆ 炭化室单调负压装煤除尘技术

国内首次在焦炉上开发应用该技术，无烟装煤效果显著，在改善焦炉生产操作环境的同时，还减少装煤过程中荒煤气的外逸，使荒煤气基本能够全部回收。

## 点评

面对传统焦化生产存在的高耗能、高污染问题，济钢化工开发的负压技术群经过实践的检验，成功实现了传统焦化生产的转变，显著降低了工序能耗，减少了废水的产生，消除了有害气体的逸散，尤其是无蒸汽负压蒸氨工艺，节能效果显著，解决了困扰焦化行业的难题，创造了良好的经济效益和社会效益，为我国焦化行业的发展做出了重要贡献。通过不断创新、优化，济钢化工逐步走出了一条“低碳焦化、绿色发展”的可持续发展道路，促进了焦化节能减排技术的发展，为全国焦化行业起到示范作用。

## ⑩ 自主研发特殊钢超大断面方坯连铸机

湖北新冶钢全弧形连续矫直四机四流合金钢大方坯连铸机（断面 410mm × 530mm）是目前世界上超大断面方坯连铸机之一，由中冶南方工程技术有限公司下属子公司——中冶连铸自主研发、设计、制造并安装调试。中冶连铸也凭借“特殊钢超大断面方坯连铸先进工艺装备研发与应用”这一成果，获得中冶集团科技进步一等奖。

中冶连铸自主研发新技术在超大断面特殊钢方坯连铸机上应用，属国际首创，其

先进工艺装备包括：①水模拟和数值模拟试验优化中间包内腔结构（带感应加热）；②高效多锥度结晶器，满足不同钢种凝固收缩特性；③自主开发的优化辊列设计模型，确保铸坯断面几何尺寸和精度；④连续矫直技术，避免矫直裂纹；⑤结晶器和末端组合电磁搅拌技术，改善铸坯表面和内部质量；⑥双单元板簧导向非正弦液压振动技术，优化振痕深度，改善铸坯表面质量；⑦二冷动态配水和凝固末端轻压下控制模型；⑧远程辊缝动态控制系統；⑨铸坯质量跟踪与判定系

统。

该超大断面方坯连铸机可以生产 400 多个牌号的特殊钢，包括轴承钢（GCr15、GCr15SiMn）、低碳高合金钢（T91、P11）、不锈钢（H13）等。

随着我国连铸装备设计制造水平的提高，目前已实现从最初的追随到自主创新的飞跃，部分国产装备已达到国际领先水平，实现了专业“引领”。通过多个新工艺、新技术系统集成，整体提升了我国铸坯质量。

## 点评

我国自主研发的这一超大断面方坯连铸机满足了特殊钢行业向“铸机多功能、控制技术集成、生产低成本、铸坯高质量”发展的需要。实现了合金含量高、硬度强、矫直难度大的 H13 不锈钢模铸工艺改连铸工艺，验证了超大断面方坯连铸技术的先进性和可靠性，为企业降本增效，抢占市场份额打下了坚实基础。