



2012-2013

Report on Advances in Metallurgical Engineering and Technology

中国科学技术协会 主编
中国金属学会 编著

冶金工程技术 学科发展报告

中国科学技术出版社



學
科
發
展
報
告

014033749

TF-12
02
2012-2013

2012-2013

冶金工程技术 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN METALLURGICAL
ENGINEERING AND TECHNOLOGY

中国科学技术协会 主编

中国金属学会 编著



中国科学技术出版社



北航

C1722138

TF-12

02

2012 - 2013

图书在版编目 (CIP) 数据

2012—2013 冶金工程技术学科发展报告 / 中国科学技术协会主编;
中国金属学会编著. —北京: 中国科学技术出版社, 2014.2
(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-6530-0

I. ① 2… II. ① 中… ② 中… III. ① 冶金工业—学科发展—研究
报告—中国—2012—2013 IV. ① TF

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 006363 号

策划编辑	吕建华 赵 晖
责任编辑	包明明
责任校对	凌红霞
责任印制	王 沛
装帧设计	中文天地

出 版	中国科学技术出版社
发 行	科学普及出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编	100081
发行电话	010-62103354
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	327 千字
印 张	13.75
版 次	2014 年 4 月第 1 版
印 次	2014 年 4 月第 1 次印刷
印 刷	北京市凯鑫彩色印刷有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-6530-0/TF · 25
定 价	49.00 元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

2012—2013

冶金工程技术学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN METALLURGICAL
ENGINEERING AND TECHNOLOGY

首席科学家 殷瑞钰

专家组成员 (按姓氏笔画排序)

千 勇	王 立	王 喆	王一德	王天义
王运敏	王国栋	王维兴	王筱留	王新华
尹忠俊	冯根生	曲 英	朱 荣	朱苗勇
仲增墉	闫柏军	闫晓强	孙彦广	苏天森
杜 斌	李士琦	李文秀	李维国	李新创
杨天钧	沙永志	沈峰满	张龙强	张寿荣
张欣欣	张涇生	张建良	张春霞	张海军
张家芸	张清东	张福明	陆钟武	陈其安
明世祥	周光华	周国治	郑 忠	赵 沛
施东成	洪及鄙	徐安军	徐金梧	翁宇庆
高 怀	唐 荻	黄礼富	康永林	颌建新
董 瀚	董元麓	韩跃新	温燕明	谢建国
蔡九菊	蔡志鹏	管克智	谭雪峰	戴 坚

学术秘书 倪伟明 罗光敏 高 斌

序

科技自主创新不仅是我国经济社会发展的核心支撑，也是实现中国梦的动力源泉。要在科技自主创新中赢得先机，科学选择科技发展的重点领域和方向、夯实科学发展的学科基础至关重要。

中国科协立足科学共同体自身优势，动员组织所属全国学会持续开展学科发展研究，自 2006 年至 2012 年，共有 104 个全国学会开展了 188 次学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告 155 卷，力图集成全国科技界的智慧，通过把握我国相关学科在研究规模、发展态势、学术影响、代表性成果、国际合作等方面的最新进展和发展趋势，为有关决策部门正确安排科技创新战略布局、制定科技创新路线图提供参考。同时因涉及学科众多、内容丰富、信息权威，系列学科发展报告不仅得到我国科技界的关注，得到有关政府部门的重视，也逐步被世界科学界和主要研究机构所关注，显现出持久的学术影响力。

2012 年，中国科协组织 30 个全国学会，分别就本学科或研究领域的发展状况进行系统研究，编写了 30 卷系列学科发展报告（2012—2013）以及 1 卷学科发展报告综合卷。从本次出版的学科发展报告可以看出，当前的学科发展更加重视基础理论研究进展和高新技术、创新技术在产业中的应用，更加关注科研体制创新、管理方式创新以及学科人才队伍建设、基础条件建设。学科发展对于提升自主创新能力、营造科技创新环境、激发科技创新活力正在发挥出越来越重要的作用。

此次学科发展研究顺利完成，得益于有关全国学会的高度重视和精心组织，得益于首席科学家的潜心谋划、亲力亲为，得益于各学科研究团队的认真研究、群策群力。在此次学科发展报告付梓之际，我谨向所有参与工作的专家学者表示衷心感谢，对他们严谨的科学态度和甘于奉献的敬业精神致以崇高的敬意！

是为序。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '史勇' (Shi Yong), written in a cursive style.

2014年2月5日

前 言

本报告是在中国科协统一部署和领导下,依据《中国科协学科发展研究项目管理实施办法》(2012年修订)的规定,侧重近4年冶金工程技术学科的发展研究编写的。本报告只涉及钢铁相关的冶金工程技术,有色金属冶金等不包括在本报告内。

钢铁冶金工程是国民经济建设的基础行业之一,为机械、能源、化工、交通、建筑、航空航天、国防军工等各行各业提供所需的材料产品。随着冶金新技术、新设备、新工艺的出现以及冶金工程流变学理论和实践的推广应用,钢铁产品将向更洁净和更高性能方向发展,达到资源、能源的高效利用及环境保护和钢铁行业的绿色发展和可持续发展。

本报告分综合报告和专题报告两部分。综合报告对近年来新一代钢铁流程的产业化、低品位难选矿综合利用、高效低成本转炉洁净钢生产技术、大中型高炉高温和长寿化、冶金装备大型化和智能化、新一代控轧控冷技术、高品质特钢、轧制与品种、节能减排技术的进步、冶金前沿技术的研究与发展等各个方面进行了综述。根据行业发展的形势变化以及学科发展情况,与《2008—2009 冶金工程技术学科发展报告》相比,专题报告除保留冶金物理化学、冶金反应工程、钢铁冶金(炼铁、炼钢)、轧制、冶金机械及自动化分学科外,还增加了冶金原料开采与矿物加工工程、冶金热能工程、冶金流程工程学和冶金工厂设计等内容。

共有四十余位冶金行业的专家学者参加了综合报告和专题报告的研究和撰写,首席科学家殷瑞钰院士和相关专家分别对综合报告和各专题报告进行了评审和修改。我们诚挚地向为本报告研究作出贡献的所有专家表示谢意!

本报告可以向国家有关部门和冶金科技工作者提供我国冶金工程技术的新理论、新成果、新技术以及与国外的对比差距、我国的发展方向等有关信息和观点,供大家参考。

由于项目研究时间较紧,学科发展进程把握不够全面,且水平有限,不当之处,敬请读者不吝批评指正。

中国金属学会
2013年10月

目 录

序	韩启德
前言	中国金属学会

综合报告

冶金工程技术学科的研究现状与发展前景	3
一、引言	3
二、冶金工程技术学科发展现状	5
三、冶金工程技术学科国内外比较分析	17
四、冶金工程技术学科展望及对策	19
参考文献	24

专题报告

冶金物理化学分学科发展研究	29
冶金反应工程分学科发展研究	39
冶金原料开采与矿物加工工程技术发展研究	49
冶金热能工程分学科发展研究	64
钢铁冶金分学科发展——炼铁	86
钢铁冶金分学科发展——炼钢	101
轧制分学科发展研究	111
冶金机械及自动化分学科发展——冶金机械	133
冶金机械及自动化分学科发展——冶金自动化	145
冶金流程工程学发展研究	152
冶金厂设计发展研究	165

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Report on Metallurgical Engineering and Technology	181
--	-----

Reports on Special Topics

Development of Physical Chemistry of Metallurgy	192
Development of Metallurgical Reaction Engineering.....	193
Development of Mining and Mineral Processing Engineering	194
Development of Metallurgical Thermal Engineering	195
Development of Iron and Steel Metallurgy—Iron Making	197
Development of Iron and Steel Metallurgy—Steelmaking	198
Development of Rolling Science	199
Development of Metallurgical Machinery and Automation—Metallurgical Machinery	200
Development of Metallurgical Machinery and Automation—Metallurgical Automation	202
Development of Metallurgical Manufacturing Process Engineering	203
Development of Metallurgical Plant Design	204
索引	205

综合报告

冶金工程技术学科的研究现状 与发展前景

一、引言

冶金工程技术学科是工程技术学科中的重要学科，它是推动冶金行业发展的基础和保证。尤其是 2008 年世界金融危机出现以来，冶金工程技术学科的新发展已经成为中国钢铁工业战胜困难、优化结构、节能降耗，与国民经济其他部分一起实现持续稳定发展最重要的动力^[1-3]。

冶金工程技术学科在基础科学研究上，分别在冶金热力学、冶金动力学、冶金熔体和溶液理论、冶金与能源电化学、资源与环境物理化学等多个分支学科，提出一些创新理论、观点及应用成果^[4, 5]。例如，①提出了描述硅铝酸盐熔体结构，计算其中氧离子含量，预报复杂熔渣体系黏度和电导率的新模型，建立电导率和黏度的定量关系；②通过实验证明，中国学者提出的气固相反应动力学模型具有普适性，对抗高温氧化的无机材料研制和筛选具有指导作用；③将熔盐电解与碳热还原结合，有效改进了金属钛及合金制备技术；④中科院过程所团队提出以亚熔盐提供高化学活性和高活度的负氧离子的碱金属高浓度离子介质处理钒渣，可提高钒回收率，实现钒铬同步提取的尾渣综合利用。

在冶金技术学科上，既重视单工序、单体设备、单项技术的技术开发和应用研究，更重视系统集成和交叉学科集成的技术研发，如综合利用选矿各种新工艺技术，进行优化组合，解决了我国低品位、难选矿的综合利用水平；大中型高炉利用自主创新技术在高风温、长寿化取得长足的进步；在冶金设备大型化、自动化和智能化上取得新进展。在剖析和优化炼钢各工序流程的基础上进行系统技术集成，提出了高效、低成本洁净钢生产系统技术。新一代控轧控冷技术根据产品组织和性能需要，基于超快冷技术和冷却速度可精确控制、冷却路径可选的工艺技术，综合利用析出强化、相变强化和细晶强化，同时实现节能减排和提高钢材综合性能的目的。在现代化装备及自动化技术基础上，利用高效低成本的洁净钢生产系统技术，在量大面广的产品上普遍提高了钢材的洁净度、均匀性、强度和韧性的综合性能及质量。在关键品种开发上满足了新兴产业发展的需要（如高铁、超超

临界火电机组、高牌号取向和无取向硅钢、核电和航空航天工业等)。推广“三千、三利用”等关键共性技术,进而利用系统节能理论和能量流网络优化技术,使我国吨钢综合能耗、吨钢耗新水、污染物综合排放水平大幅度下降。

进入 21 世纪以来,冶金热能工程学科在工业领域率先开展了工业生态学的研究,提出“源头治理”是治本,“末端治理”是治标。为进行“源头治理”,本学科把物质的减量化和保护生态环境的视野扩展到产品的整个“生命周期”,即产品设计、原燃料供应、产品生产、产品使用,一直到产品报废后的回收等各环节,都要符合保护生态环境的要求。

现代钢铁企业在发展进程中,提出了要在基础科学、技术科学基础上,发展解决综合性、集成性的工程科学命题,以解决更大尺度、更高层次的复杂性、集成性问题,而这些问题对企业和社会发展极其重要^[6,7]。1993 年起由中国工程院院士殷瑞钰进行了“冶金流程工程学”探索性研究,在 2004 年出版了《冶金流程工程学》专著,2011 年出版了英文版,2012 年该书日译本出版。2013 年,殷瑞钰院士又出版了新作《冶金流程集成理论与方法》。这两本书是我国独创的关于冶金流程工程理论的重要著作,把钢铁生产过程中相关的物质流、能量流以及循环过程所涉及的有关要素——功能—结构—效率问题上升到工程科学的层次上来认识、研究和分析,形成冶金流程工程学。冶金流程工程学从宏观层面上研究冶金制造,流程动态运行的物理本质、结构和整体行为。应用这些理论,指导了京唐钢铁公司、重庆钢铁公司等新一代大型钢铁生产流程的设计、建设和运行。沙钢和唐钢等原有生产流程中“界面技术”的优化和改造,也是冶金流程工程学研究成果的应用结晶。

近年来,在冶金前沿技术研究,如薄带铸轧、薄板坯的半无头轧制技术、清洁能源在钢铁生产中应用和低温冶金技术理论和实践等都取得新进展。

根据行业发展的形势变化以及学科发展情况,本年度学科专题报告除保留冶金物理化学、冶金反应工程、钢铁冶金(炼铁、炼钢)、轧制、冶金机械及自动化分学科外,特别增加了冶金原料与预处理、冶金热能工程、冶金流程工程学和冶金工厂设计等分学科。

虽然受到国际金融危机和钢铁工业低利润周期的影响,但国内外钢铁学术交流仍很活跃,冶金科技进步奖和中国金属学会冶金青年科技奖的评审推动了行业的科技进步。2010—2012 年度,行业科技成果中有 25 项获国家发明奖和国家科技进步奖,冶金科技奖一等奖以上共 33 项。其中宝钢“特薄带钢高速酸轧工艺与成套装备研究开发”、“低温高磁感取向硅钢制造技术的开发与产业化”和“先进高强度薄带钢制造技术与产业化”分别获“中国钢铁工业协会、中国金属学会冶金科学技术奖”2011 年、2012 年和 2013 年度特等奖。冶金科技书籍的出版和期刊优化也是冶金工程技术学科发展的一个重要方面。

近些年来,冶金企业、科研院所和高校重视自主创新能力的提升,既重视国外专利专有技术的消化、吸收、再创新,更重视自主专利技术的申报和专有技术的研发,以及创新方法的推广应用。这是实现钢铁工业结构调整和振兴的强大基础。

2012 年,我国钢产量达 7.17 亿吨,占世界 46% 以上。国内钢材自给率达 104.5%,市

市场占有率达 97.0%。钢材品种、质量、性能不断提高,已能基本满足国民经济快速发展的需要,大部分企业具备较强的竞争力。但就行业总体上看与世界先进钢铁企业比还存在一定差距。

企业盈利能力下降,自主创新水平仍有待提高,创新环境有待改善,钢铁行业创新支撑体系还有待完善和加强,钢铁前沿技术的研发和应用还需投入更多的财力和人力。我国重点统计企业吨钢 SO_2 排放 2012 年达 1.53kg/t,而新日铁 2009 年为 0.44kg/t。吨钢烟粉尘排放 2012 年我国重点统计企业为 0.99kg/t,而蒂森钢铁集团 2009 年为 0.42kg/t,浦项 2009 年烟粉尘排放为 0.14kg/t,如果考虑烟粉尘无组织排放(这部分没列入统计),差距将更大^[8]。部分企业和工序未能达到节能减排,低碳发展国家规定新标准要求,冶金生态文明建设应引起我们高度重视。我国冶金行业发展的原料保障程度低,对外依存度高,发展的资源环境和生态压力不断增大。

本综合报告将就冶金工程技术学科的进展水平及其与国外的比较分析、学科发展展望及对策进行叙述。

二、冶金工程技术学科发展现状

(一) 冶金工程技术学科发展的主要成绩

1. 新一代钢铁制造流程已产业化并不断取得较好效果

利用冶金流程工程学为指导,采用新一代可循环钢铁制造流程装备和工艺技术的有关理论,对工厂布置进行优化,对工艺和设备进行优化—协同选择,对生产流程进行整体性集成创新。首先实现产业化的首钢京唐公司投产三年多情况看,新一代钢铁制造流程紧凑、高效、顺畅,各工序优化、衔接匹配,实现了动态—有序运行。

新一代钢铁制造流程发挥钢铁产品制造、能源高效利用、转化和再利用以及消纳社会废弃物三大功能。

新一代钢铁制造流程对国内外行业先进技术高效集成,并进行自主创新,如世界上第一个 5000m^3 级高炉全干式除尘,配有世界最大干熄焦 260t/h 的 7.63m 碳化室高度的大型焦炉,料层厚度 720mm 的 500m^2 大型烧结机。

铁水罐多功能化(接铁、准确称量、运输、全量铁水脱硫、兑入脱磷转炉),取消鱼雷罐车运输、多罐倒包等环节,节约倒罐站建设,减少系统温降和倒罐过程的烟尘排放,节能高效。

工艺上采用全“三脱”(脱硅、脱硫、脱磷),通过铁水罐多功能和 KR 脱硫装置结合,铁水含硫量全部控制在 0.0025% 以下,绝大部分低于 0.001%。通过设计专用脱磷、脱硅转炉和脱碳炉分跨布置,互相衔接,做到高效生产,脱磷炉、脱碳炉生产周期为 20 ~ 28min,比传统转炉炼钢总渣量大幅减少,成本降低,成品 $[\text{S}]$ 、 $[\text{P}]$ 含量可控制

在 $\leq 0.007\%$ 以下。

快速 RH 真空精炼（2 处理工位、3 待机位）和高效板坯连铸（ $> 2\text{m/min}$ ）、高效轧制（包括超快冷），具世界一流水平。

国内许多后续新建厂和一些老厂改造，都参照这些理念和工艺、设备的新集成技术，“十一五”重大科技发展支持项目“新一代可循环钢铁制造流程装备与工艺技术”的 15 个课题研究成果对完善设计、制造、施工和运行都取得较好的效果。

2. 低品位难选矿综合利用达世界先进（领先）水平

采用重选、磁选、反浮选、电选等几种选矿工艺的优化组合，结合自主开发的大型选矿机械和新浮选药剂，使我国低品位、难选矿综合利用达世界先进（或领先）水平^[9]。

鞍山式磁铁矿和赤铁矿采用弱磁选—强磁选—反浮选或磁选—重选—反浮选联合流程，磁铁矿铁品位达 68%，回收率 80%，赤铁矿铁品位 66%，回收率 70%， $\text{SiO}_2 < 4\%$ ，并在国内推广应用。

攀枝花钒钛磁铁矿和承德钒钛磁铁矿，采用磁选、重选、浮选—电选及强磁—浮选联合流程，回收钒钛矿中的铁、钒、钛。开发出 V_2O_5 、 V_2O_3 、 VFe 、 VN 合金、含氮钒铁、钒电池等产品和相关工艺技术。

从钒钛矿尾矿中提钛，已能生产高钛渣、钛白粉、海绵钛、金属钛及钛合金等，此工艺技术在西昌新基地上得到应用，并促进国家关于攀西、承德和滇中三大产业基地的建设。

白云鄂博矿综合回收铁和稀土。

菱铁矿经特殊处理后可使精矿铁品位达 61%，成本达可经济开采的水平，并被钢铁企业采用。

3. 高效低成本转炉洁净钢生产技术已达国际先进水平

利用冶金物理化学理论，剖析炼钢工艺过程，与传统转炉工艺相比，提出了从铁水预处理、转炉炼钢到连铸更高效、更低成本的洁净钢生产系统技术。其关键工艺和技术应包括^[10]：

高效—低成本铁水预处理技术

高效—长寿转炉冶炼技术

快速—协同的二次精炼技术

高速—无缺陷的全连铸技术

简捷—优化的流程网络技术

动态—有序的物流技术

达到：

生产高效化 冶炼周期可 $\leq 25\text{min}$

钢水洁净化 转炉终点 $[\text{S}+\text{P}] \leq 150 \times 10^{-6}$ ，终点 $[\text{O}] \leq 350 \times 10^{-6}$

控制智能化 终点控制精度 $[C] \leq \pm 0.01\%$, 温度 $\leq \pm 10^\circ\text{C}$, 命中率 $\geq 90\%$, 自动化炼钢率 $\geq 90\%$

炼钢生产过程绿色化 实现炼钢全工序负能炼钢, 转炉钢渣、粉尘利用率 $\geq 90\%$

近三年来, 中国钢铁工业铁水预处理和钢水精炼都有长足进步, 行业铁水预处理率已达 65% 以上, 钢水精炼比已达 70% 以上。铁水预处理中, 机械搅拌脱硫法发展加快, 而以转炉脱 $[Si]$ 、脱 $[P]$ 为特点的新一代铁水“三脱”技术已成为发展亮点。

最近两年, 首钢和北京科技大学以及部分院校与钢厂合作对转炉“留渣 + 双渣”少渣炼钢进行开发和试生产, 都取得了大幅度降低熔剂与钢铁料消耗、降低成本的良好效果。

4. 大中型高炉利用自主创新技术在高炉高温和长寿化上取得长足进步

采用我国自主研发的顶燃式热风炉技术及空气、煤气双预热, 以及热风炉围管、阀门保温、保养技术及高炉优化操作等技术, 使我国多座大型高炉保持 $1250 \pm 50^\circ\text{C}$ 持续的高风温。特别是采用单烧低热值煤气 ($Q \leq 3000\text{kJ/m}^3$ 左右) 达到风温 $1280 \pm 20^\circ\text{C}$ 整套高风温技术^[11, 12]。

采用科学的高炉设计炉型、耐火材料的选择和布置, 冷却系统的匹配等优秀设计, 严把耐火材料质量和施工质量关, 完善检测手段, 严格控制原燃料中碱金属和锌负荷, 精心操作和科学护炉, 使我国有些企业大中型高炉寿命接近 20 年^[13, 14]。

5. 冶金装备大型化、自动化、智能化方面取得良好进展

近三年来, 我国不仅自主设计、制造、投产了 4000m^3 及 5000m^3 级特大型高炉及配套特大型焦化、烧结、球团设备, 其自动化、智能化达国际先进水平, 自主研发了 200t 级电炉成套设备, 世界最大断面圆坯连铸机, 特大方矩型连铸机、特厚板坯连铸机也达到国际先进水平。我国自主研发的 400t 级矿用汽车和大型模锻设备已实现国产化。轧钢设备的进步也十分显著: 2000mm 以下宽带钢连轧机组和 4000mm 以下中厚板生产机组完全由我国自主集成, 并全部实现国产化。冷轧机组国产化已从单机架向连轧机推进, 从普冷板轧机向汽车板、镀锡板、不锈钢板、硅钢板轧机推进, 从中宽带轧机向宽带轧机推进。宝钢梅钢 1420 酸洗冷连轧机组建成投产, 标志着我国酸洗冷连轧技术装备自主集成能力迈上新台阶, 该机组完全由我国自主设计、自主集成, 国产化率达 100%^[15, 16]。

6. 新一代控轧控冷技术达到国际先进水平

我国自主研发并在近几年内迅速推广的新一代控轧控冷技术的基本原理是: ①在奥氏体区间, 在适于变形的温度区间内完成连续大变形和应变的积累, 得到硬化奥氏体; ②在轧后立即进行超快冷, 使轧件迅速通过奥氏体相区, 保持轧件奥氏体硬化状态; ③在奥氏体向铁素体相变的动态相变点终止冷却; ④后续依照钢材组织和性能的需要进行冷却路径的控制。即通过采用适当控轧 + 超快速冷却 + 接近相变点温度停止冷却 + 后续冷却路径控制来实现资源节约、节能减排的钢铁产品制造过程^[17, 18]。可节约合金用量 30% 或提高钢

材强度 100 ~ 200MPa, 大幅度提高冲击韧性, 节约钢材使用量 5% ~ 10%, 有的产品可提高生产效率 35%, 工序节能 10% ~ 15%。

7. 特钢企业走“专精特新”的发展道路, 满足高品质特钢的需求

特钢企业在高品质特钢升级中, 采用电渣重熔、真空冶炼等高洁净度冶炼技术, 精确控制化学成分和夹杂物, 采用凝固组织控制, 达到细晶化、均质化、钢材表面质量和尺寸精度控制、钢材探伤和精整热处理等技术, 形成我国特殊钢四大先进生产工艺流程, 即特殊钢棒线材、特殊钢扁平材、特殊钢无缝管材、特殊钢锻材与锻件四类特钢生产流程。

高品质特殊钢质量得到较大提高, 轴承钢氧含量可降低到 4×10^{-6} , 齿轮钢带状组织可控制到一级, 轴承钢的碳偏析可控制到 1.10, 非调质钢的碳含量可控制在 $\pm 0.02\%$ 范围内, 易切削钢的硫含量控制在 $\pm 0.015\%$ 范围内, 热轧棒材尺寸精度可控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 。我国特钢企业可按照国际组织标准和大多数国家标准 (ISO、GB、ASTM、JIS、DIN 等) 组织生产^[19-21]。

300 系奥氏体不锈钢板材和 400 系铁素体不锈钢板材在家居和工业各领域获得广泛应用。

特钢企业已能生产大多数汽车用特殊钢棒线材, 石油开采用各种强度级别和特殊扣的无缝管材, 电站用超超临界火电机组用锅炉管、转子钢、叶片钢, 核电换热器用耐蚀合金 U 型管和大飞机用特殊钢。

8. 利用结晶学和相变理论为指导, 完善细晶钢轧制理论和改进工艺, 在量大面广的产品升级和关键品种开发上取得较好效果

包括采用强力轧制形变诱导铁素体相变以及相变和形变耦合的组织超细化理论和技术, 以及针对低碳 (超低碳) 微合金贝氏体钢中温转变组织细化的理论和技术等。

建筑用钢材如 $\geq 400\text{MPa}$ 螺纹钢、抗震钢筋、高强度硬线, 在钢结构中高强度抗震、耐火、耐候钢板和 H 型钢得到推广应用。造船用高品质耐蚀钢板, 大型液化天然气 (LNG) 运输船用低温压力容器板。汽车用 700MPa 大梁钢, 780 ~ 1500MPa 高强汽车板, 超高强度帘线钢, 高强镀锌板和高表面质量汽车板批量生产。研发了家电用薄规格、防指纹镀铝锌板, 热镀锌无铬钝化板, 无铬彩涂板, 电工钢环保涂层板; 电力工业用超临界、超超临界火电机组用耐热、耐高压管; 核电机组用高性能不锈钢、合金钢管, 低铁损、高磁感的硅钢、非晶带材等。特别是低温工艺生产高牌号取向硅钢 (HiB) 在宝钢和武钢等企业取得突破, 并成功应用在我国三峡重点工程中。X80 厚规格管线钢已有多家企业可以生产。

9. 钢铁行业节能减排技术的研发和推广取得新成绩

钢铁行业以系统节能理论和技术为指导, 以余热余能高效转化回收与利用为重点, 近年来加大对节能减排、环境保护、污染治理和废弃物的综合利用等方面的投入, 重点推广了“三干三利用”节能减排技术 (干法熄焦, 高炉煤气干法除尘, 转炉煤气干法除尘,