

青 ★ 年 ★ 科 ★ 学 ★ 家 ★ 文 ★ 库

THE SERIAL BOOKS WRITTEN
BY YOUNG SCIENTISTS

现代冶金热能 理论与应用

鞠幼华 著

青年科学家文库

现代冶金热能理论与应用

鞠幼华 著

吉林科学技术出版社

【吉】新登字 03 号

青年科学家文库

现代冶金热能理论与应用

鞠幼华 著

责任编辑：吕广仁

封面设计：杨玉中

出版

吉林科学技术出版社

850×1168 毫米 32 开本

11.5 印张

发行

插页 5

282 000 字

1995 年 2 月第 1 版 1995 年 2 月第 1 次印刷

印数：1—1 000 册

定价：15.50 元

印刷 磐石县印刷厂 ISBN 7-5384-1484-3/TF·7

内 容 提 要

本书运用热能工程、轧钢工艺、炼钢工艺、物化热力学等多学科理论和现代微机仿真手段,创立了“双革新钢锭传摘工艺强化钢锭方向结晶”等三个理论,详细介绍了著者运用这些理论确立并研究完成的“钢锭微能均热轧制研究”等五项重大节能科研项目的应用。

本书融实用性、知识性、可读性为一体,结构严谨,论据充分,图文并茂,直观易懂,可作为从事冶金热能与热工理论与应用研究的高等院校、科研院所的教师、研究生和工程技术人员教学和科研参考用书,对从事炼钢、轧钢、计算机等专业的研究和教学工作者亦有所裨益。

Abstract

This book relates to the utilizing of multicourse of thermal energy engineering, rolling technology, steelmaking technology physicochemistry thermodynamics and the means of modern micro-computer emulation, three theories of "Double-renovation of ingot delivering technology, intensifying the crystallizing orientation of ingots" have been created. Based on these theories, relating in detail the theoretical investigation of eight Key research projects of modern energy saving in metallurgy industry—"The rolling of ingots with minor-energy soaking" as well as their application in mass production established and fulfilled by the author.

this book merged practicality, knowledge availability and readability into one, it is well-knitted, with sufficient arguments, excellent in both content and illustrations and directly perceived through the senses and easy to understand; can be regarded as a reference book for teachers, postgraduates and technicians of colleges and universities, research institutes in teaching and scientific research activities in the respects of metallurgical thermal energy and in the study and application of thermal energy engineering. It is also beneficial to the researchers and lectures engaged in the special fields of steelmaking, steel rolling and computers.

《青年科学家文库》评审委员会

顾 问:王大珩 杨振宁

主任委员:高景德

副主任委员:高 潮 刘东生 卢良恕 丁石孙
鲍奕珊

委 员:按姓氏笔画排列

王寿仁	王泽九	石元春	叶耀先
田光华	许 翔	杨芙清	吴 博
何耀坤	张锐生	陆道培	陈运泰
陈佳洱	陈章良	罗 伟	周同惠
赵玉秋	赵柏林	俞鸿儒	施奠邦
姜东华	顾方舟	高为炳	高景德
阎隆飞	雷天觉	黎乐民	

祖国的希望 未来的曙光

——寄语青年科技工作者

王大珩

翻开吉林科学技术出版社送来的《青年科学家著作丛书》书目及作者名单,一个个自强好学,勇于探索创新的青年人仿佛就在眼前,使我欣慰,感到后生有望。所以在《丛书》编辑出版之际,我很乐于借此机会,同广大青年科技工作者讲几句共勉的话。

这些年来,一大批在五星红旗下诞生,成长起来的年轻科技工作者崭露头角,在面向国民经济主战场的应用研究和在基础科学以及高技术研究等诸多方面取得优异成就,有的跻于国际领先地位,或达到国际先进水平,有的填补国内空白,这些成果对推动科学技术进步,发展国民经济起到了重要作用。为鼓励青年科技工作者的科学研究和发明创造,中国科学技术协会、中国科学院分别设立了青年科技奖和青年科学家奖,规定每两年评选一次。首届青年科技奖评出 94 名,首届青年科学家奖评出 25 名,他们是从全国数以百万计的青年科技工作者中层层遴选出的佼佼者。

在此基础上,经过中国科协和中国科学院的推荐,吉林科学技术出版社编辑出版首届部分获奖者的著作,并获得长白山学术著作出版基金的资助,这对广大青年科技工作者是很大的鼓舞。出版社关心青年科技工作者的成长是值得赞扬的。

当今,在激烈的国际竞争中。重要的是看一个国家的综合国力,而其中重要的一个方面是科学技术的进步,所以各国都把科学技术作为推动经济发展和社会进步的重要手段。我国是一个拥有 11 亿人口的大国。经济还很落后,但是我们有志气、有能力振兴中华,立足于世界民族之林。实现这样的宏愿,要靠我们几代人的

艰苦奋斗。中国科学技术的兴旺发达要靠我们老中青科技工作者团结合作，但归根到底要靠你们青年人。长江后浪推前浪，一代更比一代强。党和人民把国家前途、民族的命运寄托在你们青年人身上，正如江泽民同志所说：“你们是祖国的希望所在，是中国未来的曙光。”

我们这些人都已年逾古稀，要你们接好班，要有理想、有志气。一个人也好，一个民族也好，都要有一点精神，要有使命感，要有民族自强心，要为国家、为民族争口气，奋发向上，勇于进取；作为优秀的青年科技人才，除业务上有突出成就外，还要有不计名利、无私奉献的高尚精神，现在尤其要提倡这种精神，还要有求实的科学态度，尊重知识，尊重他人的劳动；你们还要发扬中华民族的美德，那就是要有集体主义精神，要团结协作，自力更生，艰苦奋斗，不折不扣地去拼搏，满怀希望，开拓未来！

1990年2月

序

钢铁冶金企业的钢铁产品一般要经过多道加热工序,耗能高,工艺复杂,每道工序中直接消耗的能量是产品的直接能耗,除直接能耗外,产品所消耗的各类非能量物质的生产也需要消耗能量,据统计我国冶金企业中仅各类工业炉(不含炼铁高炉)耗能就占全国总能耗的1/12。由于工艺落后,设备陈旧,产品单耗与发达国家相比还有相当差距,在能源日趋紧张、冶金产品需求量又不断增加的今天,以节能求增产、求发展,大力开展节能降耗和开发新能源,是本世纪实现我国工农业总产值翻两番的重要保证。是我国的基本国策之一,也是实现四个现代化的战略重点之一。

应用现化冶金热能与热工理论开发应用新工艺,不断改进冶金炉窑的热工操作,不仅节能降耗,而且对提高产品产量和质量,改善工人劳动条件,减轻环境污染,促进企业现代化建设等方面都有十分重要的意义。

近20年来,世界上黑色和有色金属的冶炼与加工的热工技术及工艺设备有了很大发展,如高炉大型化,高炉富氧喷吹,转炉顶底复合吹炼,产品余热利用,计算机仿真与控制,连铸与系统节能等。

我国冶金热能工程学科是在冶金企业不断提倡开发、节约能源过程中,经科研院所、高等院校及冶金企业广大科技工作者不懈努力而逐步形成的,取得了显著成绩。

鞍山钢铁公司钢铁研究所年轻的高级工程师鞠幼华同志多年来从事冶金热能与热工理论研究和应用工作,在综合国内外专家大量研究工作基础上,运用现代计算机技术进行大量仿真和辅助

分析,先后提出了“改革钢锭传搁工艺强化钢锭方向结晶”等三个理论,这些理论思路清晰,概念明确,推导严谨,具有独到之处,并经大量检测和工业性试验所证实。在这些理论指导下,他先后确立并负责开展了八项重大节能、增产和提高产品质量方面的科研项目的研究和试验工作,有五项目通过了冶金部组织的专家鉴定,均达到国际先进水平,其中“镇静钢锭液芯装炉研究”、“钢的 KJT 工艺研究”等三项新工艺属国际首创,“钢锭微能均热轧制研究”等两项新工艺属国内首创,“镇静钢锭液芯装炉研究”等三项新工艺属重大技术突破,先后 7 次获国家、冶金部和鞍钢科技进步奖,其中获国家科技进步奖两次,获冶金部和辽宁省科技进步奖 3 次,累计创直接经济效益 9400 万元,并获发明专利三项。新工艺在鞍钢应用后,使鞍钢初轧均热工序能耗连续 5 次打破开工以来的历史最好水平,连续 5 年成为全国唯一的达到国家特级工序能耗标准的厂家,因此鞍钢初轧均热工序被冶金部授予全国冶金企业节能冠军工序称号,全国各大钢铁企业均到鞍钢学习、引进他确立的新工艺,新工艺在其它冶金企业推广,也收到了显著效果。

这些新工艺都是根据我国冶金企业现有条件和具体情况提出来的,具有很高的实用价值,可在全国冶金企业大面积推广应用,在我国冶金企业普遍存在产品能耗高、设备陈旧、工艺落后的情况下,新工艺为我国钢铁冶金企业的发展与振兴做出了贡献,尤其为鞍钢突破年产 800 万吨钢大关起到了不可否定的作用,新工艺在减轻工人劳动强度、增加产量、提高质量、减少环境污染等方面也收到了明显效果,并可缓解初轧均热能力不足和炼钢炉后作业紧张等我国老冶金企业普遍存在的生产老大难问题。该书详述了这些新工艺的理论研究和实际应用。论据充分,结构严谨,文图并茂,是我国第一部专门研究冶金企业钢的潜能均(加)热方面的专著,具有一定的开创意义和强盛的生命力。

鞠幼华同志刻苦钻研,契而不舍,勇于创新,为我国冶金企业的节能增产工作做出突出贡献,先后获全国五一劳动奖章、全国青

年科技奖、全国 80 年代有突出贡献的优秀大学生、全国优秀科技工作者、辽宁省特等劳动模范、辽宁省专业技术拔尖人材、辽宁省十大优秀青年知识分子等多项荣誉称号,是当代青年的楷模,为当代青年知识分子走出一条“理想、奋斗、成材”的成功之路。

冶金热能与热工也与其它学科领域一样,需要一代又一代人的不懈努力,循序渐进。我祝愿鞠幼华同志再接再厉,为我国冶金企业的腾飞再做新贡献,也祝愿更多的优秀青年科技工作者脱颖而出,为继承发展祖国的科技事业贡献力量。

中国薄板成型学会副理事长

鞍山钢铁公司副总工程师 傅作宝

鞍钢钢铁研究所所长

1992 年 9 月于鞍钢

前 言

能源是发展国家经济的重要物质基础,没有坚实的能源基础做保证,就无法维持国民经济持续稳定地增长。大力节约能源,开发新能源,是本世纪末实现我国工农业总产值翻两番的重要保证,是我国的基本国策之一。

冶金企业是耗能大户,约占全国总能耗的五分之一。十几年来,随着钢产量的不断增加,能源日趋紧张,冶金战线和各级领导和能源科技工作者认真贯彻能源工作要“开发与节约并重,近期要把节约放在优先地位”的方针,在新能源的开发与节约用能方面取得了可喜成绩,但从总体研究水平和经济技术指标来看,与发达国家相比还有很大差距,主要原因是我国冶金企业多数规模较小,设备老化,工艺落后。因此,根据冶金企业的现状和我国国情以节能求增产求发展,研究开发投资少、见效快、易推广的节能新工艺、新设备已势在必行,刻不容缓。

冶金热能工程是全面研究冶金工业能源理论和应用技术的科学,为冶金工业服务。我国冶金热能热工学是隶属于冶金学科的一个二级学科,它创建于1952年,1956年才有第一批大学本科毕业生,原专业叫冶金炉专业,后来发展为冶金热能工程专业。科学的主要研究内容也由原单一的轧钢节能发展到研究冶金企业全系统能源理论与节能技术。

冶金热能与热工学学科的形成,反映了我国冶金企业能源工作的需要,目前,该学科的研究内容十分丰富,可划归为“软、硬”两大类。

软件研究主要包括:冶金热能与热工理论研究,冶金企业用能设备计算机辅助设计,企业系统用能模型开发;冶金热工过程计算

机控制等等。它是随现代微机应用于冶金企业而发展起来的一门新技术,代表了该学科的水平,成为国内外研究的热点。倍受青睐。

硬件研究主要包括:冶金企业单体用能设备的研制与技术改造;产品潜热与显热开发利用;新型耐火材料的研究与应用;热工测量与控制技术等等。硬件研究也称为传统技术研究,节能效果明显,容易被人们接受。

迄今为止,我国还没有系统地介绍钢锭钢坯潜能均(加)热工艺为主的书籍。作者自大学毕业来鞍钢工作后,一直从事冶金热能理论与应用研究,在前人工作的基础上,综合轧钢工艺、炼钢工艺现代微机应用等多专业学科理论,先后提出并创立了“双革钢锭传搁工艺强化钢锭方向结晶”等三个理论,鉴定时受到专家充分肯定和高度评价,作者以这些理论为基础,先后负责开展了8项重大节能增产科研项目研究,有5项通过冶金部和辽宁省组织的专家鉴定,均达到国际先进水平,其中属国际首创三项,属国内首创两项,属重大技术突破三项,先后五次获国家和冶金部科技进步奖,获发明专利三项。累计实创经济效益9400万元,并在全国开展推广应用工作,多次参加国际节能成果展览会。

全书共分6章,第2~6章详述了作者完成的“钢锭微能均热轧制研究”等5项重大节能科研项目的试验研究和应用工作,其中“钢锭直接轧制的研究”得到了东北工学院宁宝林、陈海耿教授和北京科技大学高仲龙教授、高方老师的帮助和指导;第1章主要介绍了项目研究所应用的基础理论,包括冶金企业系统节能原理,传热有限差分方程等现代冶金热能理论。

在本书出版之际,作者心情十分激动,感谢培养我支持我的中国科协领导和专家们;感谢教助和扶携我的鞍山钢铁公司龙春满总工程师、傅作宝副总工程师等科技界前辈们,东北工学院陆钟武、宁宝林、陈海耿、杨泽宽、王廷溥教授、北京科技大学高仲龙教授和高方老师、鞍山热能研究院周大刚总工程师、鞍山钢铁学院胡林、蔡正教授;感谢吉林出版社和长白山学术著作出版基金会领导

和同志们付出的辛勤的劳动和财力上的资助;也感谢为该书绘制了全部插图的鞍钢钢研所史素宁同志们以及承担了全部家务为我创造条件的爱人崔静茵同志。

冶金热能与热工是一门较年轻的学科,作者学识功底不足,水平有限,加之时间仓促,不当和疏漏之处,尚祈读者不吝赐教。

作 者

1992年5月

目 录

第 1 章 冶金热能与热工基础理论	1
1.1 绪论	1
1.1.1 目的意义	1
1.1.2 基本概念	2
1.2 能量的转换与转移	6
1.2.1 热传导的数学描述	6
1.2.2 对流换热理论探讨	15
1.2.3 辐射换热的定量分析	16
1.3 传热的有限差分方程	22
1.3.1 直角坐标系有限差分方程	23
1.3.2 柱面极坐标有限差分方程	27
1.3.3 球面极坐标有限差分方程	29
1.4 系统节能原理	31
1.4.1 冶金企业能源投入产出的优化	32
1.4.2 炼钢系统节能数学模型	35
1.4.3 轧钢系统节能数学描述	37
1.4.4 燃料系统优化分配模型	39
第 2 章 沸腾钢锭密集装炉微能均热轧制	42
2.1 微能均热轧制的概况与特点	42
2.2 钢锭热状态计算机离线仿真	43
2.2.1 基础方程式的建立	44
2.2.2 焓(Enthalpy)平均温度的意义及数学描述	45
2.2.3 凝固场的理论模型	46
2.2.4 钢锭间的相互辐射传热	48
2.3 工艺规程的确立	51

2.3.1	注台打水规程	52
2.3.2	最佳脱模工艺的确立	52
2.3.3	装炉制度	53
2.3.4	传搁时间的分布	54
2.3.5	最佳均热工艺的设定	54
2.3.6	炉底覆盖率的讨论	56
2.4	微能均热工艺的试验与应用	57
2.4.1	典型试验及效果	57
2.4.2	推广应用情况分析	62
2.4.3	数据的回归分析	64
2.4.4	几种工艺对比与经济效益	71
2.5	均热炉热平衡测试与讨论	76
2.5.1	主要设备概况与生产状况月报	76
2.5.2	均热炉测定主要技术参数	77
2.5.3	均热炉微能均热热平衡计算书	80
2.5.4	钢锭微能均热热平衡讨论	84
第3章	连铸坯热送连轧与加热炉节能	87
3.1	项目的意义与发展概况	87
3.1.1	项目的意义与基本概念	87
3.1.2	国内外发展概况	90
3.2	连铸坯热送与直接轧制的相关工艺	96
3.2.1	连铸坯专用加热炉	96
3.2.2	中间坯保温技术	101
3.2.3	连铸—热连轧生产管理系统	112
3.2.4	CC—HCR 与 CC—HCR 工艺经济技术分析	113
3.3	鞍钢连铸板坯热送连轧	116
3.3.1	项目的确立	116
3.3.2	鞍钢连铸连轧总体方案	123
3.3.3	连铸板坯热送热装技术	126
3.3.4	连铸板坯专用加热炉计算机控制及轧制参数优化	127
3.4	连铸结晶前沿的微机仿真与液芯复热设想	137

3.5	鞍钢半连轧厂中间坯辊道保温技术	142
3.6	连铸坯热装与直接轧制对钢组织性能的影响	145
第4章	镇静钢锭液芯装炉	148
4.1	概述	148
4.2	镇静钢锭液芯装炉的可行性	149
4.2.1	温度场与凝固场的离线模拟	150
4.2.2	双草钢锭传搁工艺强化钢锭方向结晶理论	157
4.3	镇静钢锭液芯装炉的实践	160
4.3.1	在蓄热式均热炉上对平炉钢锭的应用	160
4.3.2	平炉和转炉钢锭在上部四角烧嘴均热炉上的实施	165
4.4	钢的质量检测分析	166
4.4.1	金相检测结果	166
4.4.2	用于对比的普通均热工艺质量检测	215
4.4.3	质量对比分析	226
4.4.4	均热炉热量收支	234
4.5	主要技术指标与经济效益	248
4.6	结语	249
第5章	钢的 KJT 工艺	250
5.1	引言	250
5.2	机理与方案研究	253
5.2.1	钢中夹杂物与热工艺	253
5.2.2	钢锭温度场的建立	255
5.2.3	钢的同素异构转变温区测定	256
5.2.4	钢的晶界异相诱发裂纹	258
5.2.5	钢的最佳脱氧加铝量	260
5.3	规程的制订与工业性试验	264
5.3.1	钢锭传搁工艺	264
5.3.2	钢锭脱模规程	265
5.4	实施效果	266
5.4.1	均热炉能耗分析	266

5.4.2	坯材表面质量	267
5.4.3	均热炉生产能力	269
5.5	结语	269
第6章	钢锭绝热输送直接轧制	271
6.1	前言	271
6.2	钢的氧化烧损	273
6.2.1	钢的氧化烧损机理	273
6.2.2	钢锭氧化烧损的简易测算	279
6.3	钢锭直接轧制的可行性理论计算分析	281
6.3.1	二维圆筒模型的建立	282
6.3.2	有限差分方程的建立	283
6.3.3	保温设备器壁的有限差分方程	291
6.3.4	传搁与均热过程边界条件	293
6.3.5	钢锭载热量与平均温度	294
6.3.6	钢锭冷凝与保温均热过程固液界面的推移	295
6.3.7	关于显式差分方程的稳定性	296
6.3.8	数模运行框图	297
6.3.9	钢锭无燃耗少氧化均热直接轧制	299
6.3.10	钢锭绝热输送直接轧制	300
6.4	保温车绝热输送钢锭直接轧制的实施	306
6.4.1	钢锭绝热保温车	306
6.4.2	试验实测数据及分析	310
6.4.3	保温车均热过程热量收支	314
6.4.4	钢锭直接轧制合理液芯率的验证	320
6.4.5	保温车绝热输送钢锭直接轧制工艺制度	321
6.4.6	保温车均热钢锭直接轧制技术指标与经济效益	323
6.4.7	保温车均热钢锭直接轧制的钢材机械性能	324
6.5	钢锭无燃耗少氧化均热直接轧制的实施	325
6.5.1	试验结果分析	326
6.5.2	均热炉技术指标分析	340
6.5.3	主要技术指标与经济效益	342