

现代连续铸钢实用手册



主 编 干 勇

副主编 倪满森 余志祥

冶金工业出版社

现代连续铸钢实用手册

主 编 千 勇
副主编 倪满森 余志祥

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2010

内 容 提 要

本手册分 14 章, 内容包括连铸工艺基础、总体设计、生产操作、设备及其维护、铸坯质量控制、辅助技术与前沿技术、技术经济分析等, 是一部关于连续铸钢的综合性技术工具书。

本手册可供连铸领域科技人员、生产一线的技术人员、设计人员、管理人员和教学人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代连续铸钢实用手册/干勇主编. —北京: 冶金工业出版社, 2010. 3

ISBN 978-7-5024-5044-1

I. ①现… II. ①干… III. ①连续铸钢—手册
IV. ①TF777-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 008011 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

组 稿 张 卫 责任编辑 刘小峰等 美术编辑 李 新

版式设计 张 青 责任校对 王贺兰 李文彦 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5044-1

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2010 年 3 月第 1 版, 2010 年 3 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 68.75 印张; 1841 千字; 1077 页; 1-3000 册

248.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

编

委

会

主 任：千 勇

副主任：倪满森 余志祥 韩国瑞 张建平

委 员：（按姓氏笔画排序）

千 勇 马竹梧 王明林 王忠英 王新华 王泰昌

王 谦 毛 斌 仇圣桃 叶 枫 朱苗勇 朱果灵

任建平 刘家琪 苏天森 杨传福 吴夜明 余志祥

张兴中 张如斌 张建平 张 慧 邵毅峰 林企曾

周川生 周丽军 单家富 侯盛隍 俞 晏 倪满森

曹胜利 彭达岩 韩国瑞 谢 兵 蔡开科 潘国平

秘 书：彭世恒 张 晨 刘小峰

编 审 人 员

章 节	名 称	撰 稿	审 稿
第1章	总 论	倪满森 苏天森	余志祥 倪满森
第2章	连铸工艺基础	朱苗勇 仇圣桃	千 勇 王明林
第3章	连铸车间总体设计及供排水	俞 晏 任建平	倪满森
第4章	连铸设备	余志祥 张如斌	张如斌 倪满森
第5章	连铸工艺及操作	余志祥 邵毅峰 王忠英 叶 枫	张兴中 蔡开科
第6章	主要钢种连铸	王忠英 单家富 辛宪成	倪满森
第7章	近终形连铸	张建平 潘国平 龚志祥 孙 维 吴宗双	千 勇 倪满森 仇圣桃
第8章	连铸坯质量	王新华	张兴中 倪满森
第9章	连铸坯热送热装和直接轧制	吴夜明	余志祥
第10章	连续铸钢自动化	马竹梧	蒋慎言
第11章	连铸用耐火材料	彭达岩 周川生	周川生
第12章	连铸结晶器保护渣	朱果灵 王 谦	谢 兵 倪满森
第13章	电磁技术在连铸中的应用	毛 斌	倪满森
第14章	连铸项目经济分析与评价	强文华 周丽军	王泰昌
附 录		蔡开科 倪满森	

前

言

连续铸钢技术从 20 世纪 50 年代进入工业化行列以来，无论是连铸机型还是工艺技术以及相关配套技术都在不断进步发展，尤其是 20 世纪 90 年代后，连铸技术发展极为迅速，新技术不断涌现。

1990 年陈家祥先生组织编写的《连续铸钢手册》涉及连铸技术的方方面面，内容丰富，给有关科技人员、生产一线的技术人员和工人提供了大量信息、数据和可查阅的资料。然而至今已近 20 年，连铸技术在这段时间内有了长足的进步。例如，近终形连铸——薄板坯连铸连轧、异形坯连铸在中国有很大发展；其他如为改善铸坯内部质量采用的动态轻压下技术；为提高表面质量的液压振动（振动参数可在线转换，可实现正弦、非正弦模式）；拉漏预报；计算机管理及控制操作实现自动化；电磁技术在连铸上广为采用并有新的发展。诸如此类，不一而足。因此，我们合作编写了介绍连铸新技术的综合性技术工具书——《现代连续铸钢实用手册》。本手册力图重点介绍现代连铸技术，因此对新技术及相关技术（近终形连铸、电磁技术应用、自动控制及保护渣性能）在篇幅上有所偏重。原《连续铸钢手册》中已有详尽表述的以及钢、渣的基础数据等，本手册不再重复或采用简明的手法处理。

本手册在编写过程中得到有关专家、学者、企业工程技术人员的积极参与和热情支持，干勇院士主持了本手册的组织编写及定稿等工作。

由于组织工作及汇总编校工作水平所限，手册难免有不足之处，希望读者批评指正。

编委会

目

录

1 总论	1
1.1 连续铸钢的历史沿革	1
1.1.1 世界连铸技术的发展历程	1
1.1.2 中国连铸技术的发展	11
1.2 连铸技术发展大事记	19
1.2.1 世界连铸技术发展大事记	19
1.2.2 中国连铸技术发展大事记	21
参考文献	24
2 连铸工艺基础	26
2.1 铁基二元相图	26
2.1.1 铁碳相图	26
2.1.2 其他铁基二元相图	28
2.2 钢的物理特性	32
2.2.1 钢液的物理性能	32
2.2.2 钢的物理性能	37
2.3 钢的高温性能	52
2.3.1 钢的固、液相线温度	52
2.3.2 钢的高温力学性能	53
2.4 连铸过程的凝固传热	57
2.4.1 连铸过程的凝固传热机制	57
2.4.2 结晶器内的凝固传热	58
2.4.3 二次冷却区的凝固传热	66
2.4.4 辐射区的传热	73
2.4.5 凝固传热的平方根定律	74
2.4.6 连铸坯的宏观组织	77
2.4.7 连铸凝固传热过程的数学模型	86
2.5 连铸过程钢液的流动	90
2.5.1 中间包内的流动	90
2.5.2 结晶器内的流动	93
2.5.3 连铸坯内液心的流动	96
2.5.4 钢液流动的水力学模拟	97
2.5.5 中间包内钢液流动的数学模拟	103
2.5.6 结晶器内钢液流动的数学模拟	107

2.6 连铸过程铸坯的应力应变	108
2.6.1 连铸坯的受力特征	109
2.6.2 结晶器内坯壳的受力状态	111
2.6.3 二冷区坯壳的受力状态	113
2.6.4 拉矫区坯壳的受力状态	114
2.6.5 坯壳的应变状态及简易计算	116
2.6.6 铸坯裂纹生成的判据	119
2.7 连铸过程结晶器的振动	120
2.7.1 结晶器的振动方式及特点	120
2.7.2 正弦振动的基本规律及工艺参数	120
2.7.3 非正弦振动的基本规律及工艺参数	127
参考文献	135
3 连铸车间总体设计及供排水	137
3.1 连铸车间总体设计	137
3.1.1 连铸车间总体设计的主体观念	137
3.1.2 连铸机设计计算	137
3.1.3 多炉连浇	141
3.1.4 连铸机生产能力计算	143
3.1.5 连铸机工作时间分解	143
3.1.6 连铸机在炼钢车间的布置	145
3.1.7 辅助设施的位置	150
3.1.8 起重设施	152
3.2 连铸供排水	152
3.2.1 连铸供排水的用途及分类	152
3.2.2 连铸机用水条件	153
3.2.3 连铸水处理系统及主要设施	155
3.2.4 连铸水处理设施的运行与监视	159
参考文献	162
4 连铸设备	163
4.1 连铸机机型	163
4.1.1 立式连铸机	163
4.1.2 立弯式连铸机	164
4.1.3 弧形连铸机	164
4.2 共性工艺设备部件	166
4.2.1 钢包	166
4.2.2 钢包运载设备	167
4.2.3 钢包回转台	167

4.2.4	中间包	170
4.2.5	中间包车	171
4.2.6	振动装置	176
4.2.7	铸坯切割设备	185
4.2.8	连铸辊道系统	192
4.2.9	连铸机液压系统	196
4.3	方坯连铸机用部件	203
4.3.1	方坯连铸结晶器	203
4.3.2	方坯连铸二次冷却装置	209
4.3.3	方坯连铸拉坯矫直机	212
4.3.4	方坯连铸引锭杆	223
4.3.5	铸坯出坯收集系统	226
4.4	板坯连铸机用部件	233
4.4.1	板坯连铸结晶器	233
4.4.2	快速更换台	239
4.4.3	板坯连铸二冷区设备	240
4.4.4	动态轻压下	250
4.4.5	智能扇形段控制电路	252
4.4.6	具有在线轻压下功能的扇形段和拉矫机使用和维护要点	262
4.4.7	板坯连铸引锭杆（上装式）	262
4.4.8	板坯连铸出坯系统的各种设备	264
4.5	连铸机维护与保养	267
4.5.1	连铸设备的点检和巡检	267
4.5.2	连铸设备的周计划、月计划检修制度及实施	272
4.5.3	连铸主要设备的维修作业项目要点	279
4.5.4	连铸设备的润滑管理	281
4.5.5	连铸设备的事故管理	284
4.5.6	连铸设备的备件管理	288
5	连铸工艺及操作	289
5.1	连铸浇铸用工件的准备	289
5.1.1	钢包准备及使用	289
5.1.2	中间包准备及使用	292
5.2	连铸工艺制度	294
5.2.1	钢水温度的控制	294
5.2.2	浇铸温度	297
5.2.3	连铸钢水温度的调整	299
5.2.4	钢液成分的控制	300
5.2.5	炉外精炼对温度和成分的调整	304

5.2.6 钢液夹杂物控制及变性处理	305
5.2.7 保护浇铸	307
5.2.8 拉速控制	309
5.2.9 结晶器工艺参数	311
5.2.10 结晶器管理	316
5.2.11 结晶器振动	317
5.2.12 二次冷却	319
5.3 凝固过程对铸坯的管理	326
5.3.1 铸坯凝固过程所受外力	326
5.3.2 板坯的宽面支撑	328
5.3.3 板坯的窄面支撑	329
5.3.4 铸机对中	330
5.4 开浇操作与结束浇铸	332
5.4.1 开浇准备	332
5.4.2 开浇操作	333
5.4.3 铸机开始运转	333
5.4.4 正常浇铸	334
5.4.5 浇铸结束	334
5.5 浇铸异常及处理	335
5.5.1 钢包滑动水口故障 (漏钢或无法控流)	335
5.5.2 中间包故障	335
5.5.3 结晶器漏钢	336
5.5.4 铸坯变形及其他	336
5.5.5 冷却水事故	337
5.5.6 电气、机械故障	337
参考文献	338
6 主要钢种连铸	339
6.1 不锈钢	339
6.1.1 不锈钢分类	339
6.1.2 不锈钢主要生产企业	339
6.1.3 不锈钢生产工艺流程	340
6.1.4 不同不锈钢钢种的连铸工艺	342
6.2 硅钢	345
6.2.1 硅钢的质量要求	345
6.2.2 硅钢生产工艺特点	345
6.2.3 硅钢连铸实例	347
6.3 IF 钢	348
6.4 轴承钢	349

6.4.1 轴承钢的质量要求	350
6.4.2 国内外轴承钢生产主要流程及特点	350
6.4.3 轴承钢连铸工艺	351
6.4.4 轴承钢连铸实例	352
6.5 弹簧钢	353
6.5.1 弹簧钢的性能特点	354
6.5.2 高质量弹簧钢生产工艺	354
6.5.3 弹簧钢连铸实例	355
6.6 易切削钢	357
6.6.1 易切钢生产工艺特点	357
6.6.2 易切钢连铸工艺特点	357
6.6.3 易切钢连铸实例	358
6.7 重轨钢	359
6.7.1 重轨钢的质量要求及生产工艺流程	359
6.7.2 重轨钢连铸工艺特点	360
6.7.3 重轨钢连铸实例	361
6.8 硬线钢	362
6.8.1 硬线钢的质量要求及生产工艺特点	362
6.8.2 硬线钢连铸工艺特点	363
6.8.3 硬线钢连铸实例 (武钢)	364
6.9 冷镦钢	365
6.9.1 冷镦钢的质量要求及生产工艺特点	365
6.9.2 冷镦钢连铸工艺特点	366
6.9.3 冷镦钢连铸实例	366
7 近终形连铸	368
7.1 薄板坯连铸技术开发	368
7.1.1 薄板坯连铸技术的前期工作及发展	368
7.1.2 薄板坯连铸技术的特点	375
7.1.3 薄板坯连铸的代表性技术——CSP 的发展	378
7.1.4 薄板坯连铸工艺发展趋势	381
7.2 国内外薄板坯连铸生产线建设	381
7.2.1 世界薄板坯连铸生产线建设状况	381
7.2.2 我国薄板坯连铸连轧生产线概况	382
7.3 薄板坯连铸机型	384
7.3.1 CSP 工艺	384
7.3.2 ISP 工艺	394
7.3.3 FTSR 工艺	396
7.3.4 CONROLL 工艺	399

7.3.5 ASP 铸机	400
7.4 薄板坯连铸的主要设备	402
7.4.1 薄板坯连铸结晶器形式	402
7.4.2 结晶器技术的发展	405
7.4.3 漏斗形结晶器使用过程中的问题	408
7.4.4 AFM 结晶器的开发	409
7.4.5 结晶器电磁制动技术	412
7.4.6 结晶器监视技术	414
7.4.7 结晶器在线调宽、窄面锥度调节技术	415
7.4.8 结晶器振动机构	416
7.4.9 薄板坯液心轻压下技术	417
7.4.10 薄板坯连铸机的自动控制系统	422
7.5 薄板坯连铸生产工艺	425
7.5.1 薄板坯连铸的钢水质量控制	425
7.5.2 拉坯速度	427
7.5.3 二冷控制	428
7.5.4 CSP 包晶钢连铸的问题	428
7.5.5 无缺陷铸坯浇铸工艺	428
7.5.6 结晶器与浸入式水口一体化设计	429
7.5.7 中间包冶金——中间包挡墙设置	431
7.5.8 保护渣的应用	431
7.6 薄板坯连铸产品品种的生产与开发	434
7.6.1 薄板坯连铸产品结构的发展	434
7.6.2 国外薄板坯连铸品种生产与开发情况	434
7.6.3 我国薄板坯连铸产品结构及生产情况	440
7.6.4 薄板坯连铸高强钢品种开发	442
7.6.5 薄板坯连铸生产高表面质量冷轧钢板的技术探讨	445
7.6.6 薄板坯连铸连轧生产硅钢	446
7.6.7 我国薄板坯连铸产品开发	448
7.7 连铸薄板坯质量	452
7.7.1 典型 CSP 产品和传统工艺产品质量比较	452
7.7.2 连铸薄板坯表面质量	454
7.7.3 薄板坯内部质量	456
7.7.4 薄板坯产品的质量控制	458
7.8 圆坯连铸	459
7.8.1 国内外圆坯连铸技术发展概况	459
7.8.2 圆坯连铸机主体设备及其维护	462
7.8.3 圆坯的凝固组织结构及其控制技术	464
7.8.4 圆坯质量及其控制技术	465

7.9 异形坯连铸	473
7.9.1 异形坯连铸发展概况	473
7.9.2 异形坯连铸机主体设备	473
7.9.3 异形坯连铸生产工艺	477
7.9.4 异形坯质量控制	483
7.9.5 异形坯连铸机的浇铸操作	488
参考文献	491
8 连铸坯质量	498
8.1 板坯缺陷	498
8.1.1 表面纵裂纹	498
8.1.2 表面横裂纹和角横裂纹	506
8.1.3 表面网状裂纹	514
8.1.4 表面凹陷缺陷	516
8.1.5 角部表面纵裂纹（角裂）	517
8.1.6 表面夹渣	518
8.1.7 气孔	519
8.1.8 内部裂纹	520
8.1.9 偏析	526
8.2 方坯（矩形坯、小方坯）缺陷	529
8.2.1 宏观缺陷	529
8.2.2 微观缺陷	533
8.3 钢中非金属夹杂物	533
8.3.1 钢中非金属夹杂物的种类	534
8.3.2 钢中非金属夹杂物对钢材性能的影响	540
8.3.3 钢中非金属夹杂物的减少和去除	546
参考文献	551
9 连铸坯热送热装和直接轧制	554
9.1 连铸坯热送热装技术的发展历程	554
9.2 连铸坯热送热装工艺方法的分类	556
9.3 连铸坯热送热装工艺的相关技术	558
9.3.1 高温无缺陷铸坯制造技术	558
9.3.2 连铸坯的保温及边部加热技术	560
9.3.3 保证轧制温度的技术	564
9.3.4 适应不同铸坯热履历的轧制技术	566
9.3.5 改变板坯宽度技术	567
9.3.6 炼钢—连铸—轧钢一体化生产管理技术	568
9.3.7 连铸坯热送热装的工艺布置	571

9.4 连铸坯热送热装技术经济效益评估	574
9.4.1 节约能源	574
9.4.2 缩短生产周期	575
9.4.3 降低氧化铁皮损耗	576
9.4.4 改进产品质量, 提高金属收得率	576
9.4.5 降低生产成本	577
9.4.6 环境保护和清洁生产	577
参考文献	577
10 连续铸钢自动化	579
10.1 概述	579
10.1.1 连续铸钢自动化的内容	579
10.1.2 连续铸钢自动化概述	581
10.1.3 连续铸钢自动化的现状及水平	583
10.2 连续铸钢基础自动化	585
10.2.1 主要检测仪表	585
10.2.2 主要自动控制系统	612
10.2.3 电气传动控制	619
10.2.4 连铸—连轧自动化	635
10.2.5 薄板坯连铸连轧自动化	635
10.2.6 水平连铸自动化	638
10.3 连续铸钢过程自动化	640
10.3.1 过程自动化级的作用和目的	640
10.3.2 过程自动化级计算机系统的主要功能	640
10.3.3 过程自动化级数学模型及人工智能的应用	644
10.4 连续铸钢管理自动化	674
10.4.1 连续铸钢管理自动化的类型、功能和硬件结构	674
10.4.2 信息采集、加工、处理与形成系统	675
10.4.3 CSP 生产线制造执行系统 (MES)	677
10.4.4 炼钢制造执行系统 (MES)	682
10.4.5 管理自动化级数学模型及人工智能的应用	686
10.5 典型连续铸钢三电自动化系统	690
10.5.1 概述	690
10.5.2 美国纽柯公司 Hertford 厂板坯连铸三电自动化系统	693
10.5.3 宝钢 1450mm 板坯连铸三电自动化系统	697
10.5.4 宝钢圆 (方) 坯连铸三电自动化系统	698
10.5.5 武钢三炼钢 1 号、2 号板坯连铸三电自动化系统	700
10.5.6 鞍钢一炼钢 2 号方坯连铸机三电自动化系统	702
10.6 连铸自动化新进展	706

10.6.1	智能机器人的应用	706
10.6.2	连铸结晶器可视化技术	707
10.6.3	检测仪表及检测技术的进步	707
10.6.4	控制系统的进步	710
10.6.5	数学模型及人工智能应用的进步	714
参考文献		718
11	连铸用耐火材料	722
11.1	钢包用耐火材料	722
11.1.1	钢包用耐火材料的配置	723
11.1.2	保温层	723
11.1.3	永久层	723
11.1.4	渣线区	724
11.1.5	工作衬	726
11.1.6	钢包底砖	731
11.1.7	座砖	732
11.1.8	水口砖	733
11.1.9	透气砖	733
11.2	中间包用耐火材料	735
11.2.1	中间包耐火材料的配置	735
11.2.2	保温层	736
11.2.3	永久层	736
11.2.4	工作层	737
11.2.5	挡渣堰(墙)	742
11.2.6	过滤器	743
11.2.7	气幕挡墙	744
11.2.8	座砖	744
11.2.9	覆盖剂	744
11.2.10	冲击板	744
11.2.11	中间包盖	745
11.2.12	中间包底	745
11.2.13	水口砖	746
11.3	滑动水口	746
11.3.1	上水口	747
11.3.2	上滑板	748
11.3.3	中间滑板	749
11.3.4	下滑板	751
11.3.5	下水口	751
11.3.6	密封垫	753

11.4 连铸“三大件”用耐火材料	754
11.4.1 长水口	754
11.4.2 浸入式水口	760
11.4.3 整体塞棒	773
11.5 薄板坯连铸用浸入式水口	775
11.5.1 使用条件及性能要求	775
11.5.2 水口材质及性能	775
11.6 小方坯连铸用耐火材料——定径水口	776
11.6.1 锆质定径水口	776
11.6.2 氧化锆定径水口	778
11.6.3 定径水口扩径原因	779
11.6.4 快速更换定径水口	779
11.6.5 加长型定径水口（配浸入式水口和塞棒）	780
11.7 水平连铸用耐火材料	781
11.8 特钢连铸用耐火材料	781
11.9 耐火材料产品标准及相关检测方法	782
11.10 连铸用耐火材料的发展	783
11.10.1 连铸用耐火材料的优化和发展方向	783
11.10.2 连铸用新型耐火材料的开发	783
11.10.3 新技术在耐火材料研究开发中的应用	784
参考文献	784
12 连铸结晶器保护渣	785
12.1 连铸结晶器保护渣定义、基本功能和化学成分	785
12.1.1 连铸结晶器保护渣定义及基本功能	785
12.1.2 连铸结晶器保护渣组成和基本化学成分范围	785
12.1.3 选择保护渣化学成分的有关相图	785
12.2 连铸结晶器保护渣的原材料	785
12.2.1 基料	785
12.2.2 助熔剂	789
12.2.3 熔速调节剂	789
12.3 保护渣在结晶器内的行为与分布	791
12.3.1 保护渣在结晶器内的行为	791
12.3.2 保护渣在结晶器中的分布	791
12.4 连铸结晶器保护渣的物理化学性能	792
12.4.1 保护渣熔化温度及其影响因素	792
12.4.2 保护渣黏度及其影响因素	794
12.4.3 保护渣熔化速度及其影响因素	799
12.4.4 保护渣吸收氧化物、氮化物的能力及影响因素	800

12.4.5	熔渣表面张力和熔渣与钢（固相或液相）的界面张力及其影响因素	802
12.4.6	保护渣绝热保温性能及其影响因素	805
12.4.7	保护渣的润滑作用	810
12.4.8	保护渣成分及性能对结晶器传热的影响	829
12.5	保护渣成分在浇铸过程中的变化	834
12.5.1	浇铸过程渣中化学反应及熔渣—金属间的化学反应	834
12.5.2	高温下保护渣的变化	836
12.6	连铸结晶器保护渣与铸坯表面质量及漏钢事故的关系	838
12.6.1	保护渣对铸坯表面纵裂纹的影响	838
12.6.2	保护渣对铸坯表面横裂纹、角裂纹、微裂纹和星裂的影响	840
12.6.3	保护渣对铸坯振痕深度的影响	842
12.6.4	熔渣层厚度对铸坯表面凹坑出现率的影响	843
12.6.5	保护渣对铸坯表面夹渣缺陷的影响	843
12.6.6	发热型保护渣对铸坯气孔的影响	844
12.6.7	保护渣对铸坯表面增碳的影响	844
12.6.8	保护渣结晶率对漏钢的影响	846
12.7	保护渣在连铸生产中的应用（示例）	846
12.8	连铸结晶器保护渣物性的检测方法	853
12.8.1	保护渣熔化温度的测试方法	853
12.8.2	保护渣黏度的测试方法	854
12.8.3	保护渣析晶温度的测试方法	855
12.8.4	保护渣堆积密度的测试方法	856
12.8.5	保护渣粒度的测试方法	857
12.8.6	保护渣铺展性的测试方法	859
12.8.7	保护渣熔化速度的测试方法	859
12.8.8	保护渣凝固温度的测试方法	860
12.8.9	保护渣表面张力的测试方法	860
12.9	连铸结晶器保护渣的研制方法	862
12.9.1	保护渣的设计准则	862
12.9.2	保护渣消耗量的确定	862
12.9.3	保护渣渣膜传热特性的控制	863
12.10	保护渣生产方法	864
12.10.1	保护渣原材料	864
12.10.2	保护渣生产工艺	865
12.11	中间包覆盖剂	867
12.11.1	中间包覆盖剂的冶金功能	867
12.11.2	中间包覆盖剂的化学成分	867
12.11.3	中间包覆盖剂的保温性能	868
12.11.4	中间包覆盖剂吸收夹杂物的能力	868