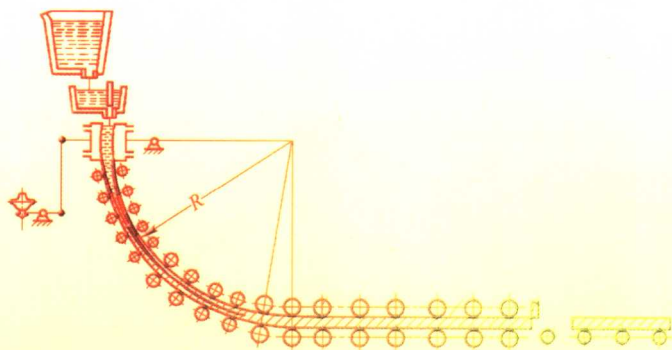


新 编

连续铸钢工艺及设备

(第2版)

王雅贞 张 岩 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmip.com.cn>

新编连续铸钢工艺及设备

(第 2 版)

王雅贞 张 岩 编著

北 京

冶金工业出版社

2007

内 容 简 介

本书介绍了钢铁生产工艺,弧形连铸机设备,钢的结晶与凝固结构,连铸操作工艺,中间包冶金,保护浇注与保护渣,结晶器冶金,连铸坯质量,钢的品种,连铸坯热送热装和直接轧制技术,质量管理、数据的处理与分析,连续铸钢的技术经济指标等内容。

本书可作为连铸工人的培训教材,也可供现场专业工程技术人员、大专院校和技工学校冶金专业学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

新编连续铸钢工艺及设备/王雅贞等编著. —2版. —北京:冶金工业出版社,2007.1

ISBN 978-7-5024-4147-0

I. 新… II. 王… III. ①连续铸钢—生产工艺②连续铸钢—熔炼设备 IV. TF777

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 165126 号

出 版 人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 王雪涛 张爱平 美术编辑 李 心

责任校对 侯 璐 王永欣 李文彦 责任印制 牛晓波

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1999 年 9 月第 1 版,2007 年 1 月第 2 版,2007 年 1 月第 5 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 16.125 印张; 429 千字; 496 页; 11001~14000 册

40.00 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

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

第 1 版前言

当今连续铸钢技术已成为现代钢铁生产的重要工艺之一,加速发展连续铸钢技术是实现我国钢铁工业结构优化的政策。我国已提出到 2000 年钢产量的连铸比力争达到 80% 的目标。为了适应连续铸钢技术发展的需要,受冶金工业出版社的委托,在北京钢铁学校具体组织下,根据冶金中等专业学校冶金专业教学大纲的要求,我们编写了《新编连续铸钢工艺及设备》一书。

本书主要包括:连续铸钢设备、连续铸钢基本理论、连续铸钢操作工艺、连铸坯质量、连续铸钢技术新进展及技术经济指标等。

本书的第 1 章由首都钢铁公司技工学校的张岩、第 2 章由北京钢铁学校的刘术国、第 3~8 章由北京钢铁学校的王雅贞提供原稿,全书由王雅贞汇总。

在编写过程中,编者曾到首钢炼钢厂、宝钢炼钢厂、上钢三厂炼钢分厂、上钢五厂炼钢分厂、武钢第二炼钢厂等单位调研学习,得到有关领导、工程技术人员和工人师傅的大力支持和帮助;此外还得到蔡开科教授、史宸兴高工、潘荫华高工和王为民总工的指导,在此表示衷心的感谢。编写本书时还参阅了有关连铸、炼钢方面的著作、杂志及其有关人员提供的资料与经验,在此也向有关作者和出版社致谢。

本书可作为冶金中等专业学校冶金专业基本教材,也可供冶金专业的大专和技校学生阅读参考,还可作为冶金企业从事连续铸钢生产的工作人员(包括管理人员、技术人员和工人)的技术培训教材。

由于编者水平所限,编写时间仓促,书中难免有错误和缺点,敬请广大读者批评指正。

编 者

1999 年 5 月 28 日

第2版前言

《新编连续铸钢工艺及设备》一书于1999年由冶金工业出版社出版,曾作为中专冶金专业课本,也用于连铸工人技术培训教材,并供专业工程技术人员参考,多次重印。受冶金工业出版社的委托,编者根据近年来连铸技术的发展现状,对该书进行了修订。

修订的重点是以质量为中心,补充了部分新知识、新技术,加强了基础知识、钢的品种质量及分析、连铸的专业知识、与连铸有关的计算等方面内容,以适应当前连铸技术工人提高技术素质,满足各级连铸技术工人、技师、高级技师的培训需要。本书也可供现场专业工程技术人员参考,也可作为大专院校和技工学校冶金专业学生的参考书。

本书由王雅贞(首钢高级技工学校)、张岩(北京交通大学,首钢高级技工学校)编写修订。第1、2、11、13章由张岩编写,绪论、第4~10、12章由王雅贞编写,第3章由王雅贞、张岩共同编写。

在编写工作中,编者得到首钢第二、三炼钢厂、首钢高级技工学校的大力支持;编者到一些钢厂座谈调研获得许多宝贵意见和建议;还参阅了有关资料、专著和杂志,在此一并向有关同志表示诚挚的感谢。

由于编者学识水平所限,书中不足之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2006年6月3日

目 录

绪论	1
1 钢铁生产工艺简介	8
1.1 炼铁生产	8
1.2 炼钢生产	10
1.2.1 转炉炼钢	11
1.2.2 电弧炉炼钢	16
1.2.3 炉外精炼	19
1.2.4 钢的浇铸	24
1.3 轧钢生产	32
1.3.1 钢材的类型和轧钢流程	32
1.3.2 轧钢生产工艺	32
1.3.3 控制轧制、控制冷却	36
2 弧形连铸机	41
2.1 弧形连铸机的重要参数	41
2.1.1 弧形连铸机规格的表示方法	41
2.1.2 弧形连铸机的生产流程	42
2.1.3 弧形连铸机的几个重要参数	42
2.2 钢包及钢包回转台	49
2.2.1 钢包	49
2.2.2 钢包回转台	55
2.3 中间包及中间包车	58
2.3.1 中间包	58
2.3.2 中间包车	71
2.4 结晶器	73

2.4.1	结晶器的构造	73
2.4.2	结晶器的重要参数	77
2.4.3	结晶器材质及寿命	84
2.4.4	板坯结晶器在线调宽装置	85
2.4.5	结晶器的润滑	85
2.5	结晶器的振动装置	87
2.5.1	结晶器振动的目的	87
2.5.2	结晶器的振动方式	88
2.5.3	振动机构	94
2.5.4	结晶器快速更换台架	98
2.6	二冷系统装置	98
2.6.1	二次区的作用及结构形式	98
2.6.2	方坯铸机二冷装置	99
2.6.3	板坯铸机二冷装置	101
2.6.4	二冷喷嘴	103
2.6.5	二冷区扇形段更换装置	106
2.7	拉坯矫直装置	107
2.7.1	对拉坯矫直装置的要求	107
2.7.2	矫直方式	109
2.7.3	连续矫直	111
2.7.4	压缩浇铸	111
2.7.5	轻压下技术	113
2.7.6	弯曲、矫直对铸坯质量的影响	114
2.8	引锭装置	115
2.8.1	引锭装置的作用及组成	115
2.8.2	引锭杆的装入、存放方式	118
2.8.3	脱引锭头装置	118
2.9	铸坯切割装置	119
2.9.1	火焰切割设备	120
2.9.2	火焰切割对铸坯质量的影响	122

2.10 辊道及后步工序其他设备·····	124
2.10.1 辊道·····	124
2.10.2 后步工序其他设备·····	127
2.11 电磁搅拌技术与电磁制动技术·····	131
2.11.1 电磁搅拌·····	131
2.11.2 结晶器电磁制动·····	134
2.12 液压与润滑知识·····	135
2.12.1 液压元件·····	135
2.12.2 应用于连铸的液压系统·····	138
2.12.3 连铸系统的润滑·····	139
2.13 连铸系统的自动控制·····	139
2.13.1 自动控制系统的组成与要求·····	140
2.13.2 基础自动化级检测原理·····	143
2.13.3 连铸自动控制的新发展·····	152
2.14 连铸车间工艺布置·····	154
2.14.1 连铸机的布置方式·····	154
2.14.2 连铸机的几个主要尺寸·····	156
2.15 连铸车间内环境保护·····	158
2.15.1 环保政策·····	158
2.15.2 连铸机排水要求·····	161
2.15.3 连铸其他环保治理措施·····	162
3 钢的结晶与凝固结构 ·····	164
3.1 基础知识 ·····	164
3.1.1 物质形态 ·····	164
3.1.2 力学性能 ·····	165
3.1.3 铁的同素异晶(构)转变 ·····	168
3.1.4 合金的结构 ·····	169
3.1.5 铁碳合金状态图 ·····	172
3.1.6 铁碳合金成分—组织—性能之间的关系 ·····	176

3.1.7	铁碳合金状态图在连铸中的应用	177
3.1.8	热处理知识	180
3.2	钢的结晶	181
3.2.1	结晶的热力学条件	182
3.2.2	结晶的动力学条件	183
3.3	钢液结晶的特点	188
3.3.1	结晶温度范围	189
3.3.2	成分过冷	190
3.3.3	化学成分偏析	193
3.3.4	凝固夹杂物、气体的形成和排出	196
3.3.5	凝固收缩	198
3.4	连铸坯的凝固	199
3.4.1	连铸坯的凝固特征	199
3.4.2	连铸坯凝固过程	200
3.4.3	连铸坯的凝固结构	205
3.4.4	凝固结构的控制	208
3.5	连铸坯冷却过程中的应力	209
3.5.1	凝固及降温过程中的应力	209
3.5.2	应力的消除	212
4	连铸操作工艺	214
4.1	钢水的准备	214
4.1.1	钢水温度的目标管理	214
4.1.2	钢水的成分控制	221
4.1.3	钢水的纯净度	223
4.1.4	钢水供应时间的管理	226
4.1.5	连铸用钢水炉外精炼工艺路线	227
4.2	浇注前的准备	230
4.2.1	钢包的准备	230
4.2.2	中间包的准备	231

4.2.3	结晶器的检查	233
4.2.4	二冷区的检查	234
4.2.5	拉矫装置的检查	234
4.2.6	切割装置及其他设备的检查	235
4.2.7	堵引锭头操作	235
4.2.8	其他准备工作	235
4.3	浇注操作	236
4.3.1	钢包浇注	236
4.3.2	中间包浇注	236
4.3.3	连铸机的启动	237
4.3.4	正常浇注	238
4.3.5	多炉连浇	238
4.3.6	浇注结束	240
4.3.7	浇注温度控制	241
4.3.8	拉坯速度的控制	241
4.4	铸坯的冷却制度	243
4.4.1	结晶器冷却	244
4.4.2	二冷区的冷却	246
4.5	操作事故	252
4.5.1	钢包滑动水口故障	253
4.5.2	中间包故障	253
4.5.3	漏钢	255
5	中间包冶金	259
5.1	中间包钢水流动的控制	259
5.1.1	中间包钢水的流动	259
5.1.2	中间包钢水的控制流动	261
5.2	中间包精炼技术	264
5.2.1	中间包内夹杂物的上浮与排除	264
5.2.2	中间包加双层覆盖剂	266

5.2.3 中间包吹氩	266
5.3 中间包过滤技术	268
5.3.1 过滤机理	269
5.3.2 过滤器类型及效果	270
5.3.3 过滤器材质	272
5.4 中间包加热技术	274
5.4.1 中间包内钢水温度分布情况	274
5.4.2 中间包加热技术	276
6 保护浇注与保护渣	281
6.1 保护浇注	281
6.1.1 连铸坯中夹杂物的特征	281
6.1.2 浇注过程中的二次氧化	283
6.1.3 浇注过程防止钢水二次氧化的措施	286
6.2 保护渣	290
6.2.1 保护渣的结构	291
6.2.2 保护渣的功能	294
6.2.3 保护渣的理化性能	295
6.2.4 保护渣的配制	300
6.2.5 保护渣的选用	303
6.2.6 中间包用渣	313
7 结晶器冶金	315
7.1 钢水在结晶器内的流动	315
7.1.1 结晶器内钢水流动状态	315
7.1.2 影响结晶器内钢水流动的因素	317
7.1.3 钢水流动的控制技术	321
7.2 结晶器的冶金作用	324
7.2.1 凝固坯壳生长的均匀性	324
7.2.2 液相穴内夹杂物上浮	325

7.2.3	结晶器内钢水的微合金化	326
7.2.4	凝固结构的控制	328
8	连铸坯质量	329
8.1	连铸坯的纯净度	331
8.1.1	连铸坯纯净度与产品质量的关系	331
8.1.2	连铸坯内夹杂物	332
8.1.3	提高连铸坯纯净度的措施	335
8.2	连铸坯表面质量	337
8.2.1	表面裂纹	337
8.2.2	表面夹渣	345
8.2.3	皮下气泡与气孔	346
8.3	连铸坯内部质量	347
8.3.1	中心偏析	348
8.3.2	中心疏松	351
8.3.3	内部裂纹	351
8.4	连铸坯形状缺陷	353
8.4.1	鼓肚变形	353
8.4.2	脱方	355
8.4.3	圆铸坯变形	357
9	钢的品种	358
9.1	钢的分类	358
9.1.1	按化学成分分类	358
9.1.2	按钢的质量等级分类	359
9.1.3	按钢的用途分类	359
9.1.4	按金相组织分类	359
9.2	我国钢种牌号的表示方法	360
9.2.1	钢种牌号的代表符号	360
9.2.2	我国钢种牌号的表示方法	362

9.3 碳及其他元素在钢中的作用	366
9.3.1 碳(C)	366
9.3.2 硅(Si)	367
9.3.3 锰(Mn)	367
9.3.4 硫(S)	368
9.3.5 磷(P)	368
9.3.6 氢(H)	369
9.3.7 氮(N)	369
9.3.8 氧(O)	370
9.3.9 铝(Al)	370
9.3.10 铌(Nb)、钒(V)、钛(Ti)等元素	371
9.4 合金钢凝固特性	371
9.4.1 合金钢的凝固特性	371
9.4.2 对合金钢连铸工艺及设备的要求	374
9.5 合金钢钢种的连铸	375
9.5.1 不锈钢	375
9.5.2 硅钢	380
9.5.3 轴承钢	382
9.5.4 齿轮钢	385
9.6 其他钢种的连铸	386
9.6.1 IF 钢	386
9.6.2 中厚板钢	388
9.6.3 重轨钢	391
9.6.4 线材	393
9.6.5 易切钢	396
9.6.6 圆坯连铸	396
9.7 钢质量的检验方法	397
9.7.1 钢的宏观检验	398
9.7.2 钢的显微检验	399

10 其他连铸技术	403
10.1 连铸坯热送热装和直接轧制技术.....	403
10.1.1 连铸坯热送热装和直接轧制技术类型.....	403
10.1.2 连铸坯的热送热装和直接轧制技术的优势.....	405
10.1.3 实现热送热装和直接轧制的保障技术.....	408
10.1.4 连铸坯—棒线材热送热装技术模式.....	414
10.1.5 应用连铸坯热送热装技术概况.....	416
10.2 薄板坯连铸连轧技术.....	418
10.2.1 薄板坯连铸技术的优点.....	420
10.2.2 薄板坯连铸连轧生产流程.....	421
10.2.3 薄板坯连铸连轧技术的特点.....	422
10.2.4 薄板坯连铸连轧的关键技术.....	423
10.2.5 典型薄板坯连铸连轧工艺.....	432
10.3 薄带钢连铸技术.....	442
10.3.1 单辊薄带连铸机.....	443
10.3.2 双辊薄带连铸机.....	443
10.3.3 辊带式薄带连铸机.....	446
10.4 H型坯连铸技术.....	446
10.4.1 H型结晶器.....	448
10.4.2 钢水注入结晶器的方式.....	449
10.4.3 铸坯在二冷区冷却.....	450
10.4.4 保护渣.....	453
10.5 中空圆铸坯的连铸技术.....	454
11 质量管理、数据的处理与分析	456
11.1 全面质量管理.....	456
11.1.1 全面质量管理的特点.....	456
11.1.2 质量管理小组.....	457
11.2 ISO9000 族贯标工作	458

11.2.1	ISO9000 族标准	458
11.2.2	PDCA 循环	459
11.3	质量问题的分析统计方法	460
11.3.1	搜集数据	460
11.3.2	统计分析方法	461
11.4	几种分析方法	462
11.4.1	因果分析图	462
11.4.2	帕累托图	463
11.4.3	质量分布图及作法	464
11.4.4	质量分布图的分析	469
12	连续铸钢的技术经济指标	472
12.1	产量指标	472
12.1.1	连铸坯的产量	472
12.1.2	连铸比	472
12.1.3	连铸机作业率	472
12.1.4	连浇炉数	473
12.2	质量指标	473
12.2.1	连铸坯合格率	473
12.2.2	连铸坯成材率	474
12.3	效益指标	474
12.3.1	连铸坯收得率	474
12.3.2	合格坯钢水消耗	475
12.3.3	溢漏率	475
12.3.4	浇成率	475
12.3.5	连铸机断流率	476
12.3.6	连铸机达产率	476
12.3.7	连铸坯的吨坯成本	476
12.3.8	吨钢利润	477
12.4	其他指标的计算	477

12.4.1	钢水的镇静时间	477
12.4.2	钢水的供应间隔时间	477
12.4.3	中间包的平均包龄	477
12.4.4	结晶器的使用寿命	478
12.4.5	连铸坯热送率和热装率	478
13	连铸有关计算	480
13.1	凝固定律的计算	480
13.1.1	坯壳厚度	480
13.1.2	凝固距离	480
13.1.3	液心长度	481
13.1.4	平均拉坯速度	481
13.2	拉坯速度与浇注速度的换算	482
13.2.1	浇注时间	482
13.2.2	冷却水流量、比水量	483
13.2.3	年产量或平均拉速计算	484
13.2.4	结晶器喂线速度计算	484
13.2.5	连铸机流数计算	485
13.2.6	中间包水口直径计算	485
13.3	有关结晶器的计算	485
13.3.1	结晶器倒锥度	485
13.3.2	结晶器水缝面积	486
13.3.3	结晶器热流密度	487
13.3.4	负滑脱率、负滑脱时间、振痕间距计算	487
13.4	夹杂物上浮时间计算	488
13.5	钢液温度计算	489
13.6	二冷区配水计算	491
附录	元素周期表	495
参考文献		496

绪 论

1 连续铸钢技术发展的概况

连续铸钢也称连铸。早在 19 世纪中期,一些学者如美国塞勒斯于 1840 年、赖尼在 1843 年、英国贝塞麦于 1846 年先后都曾提出了连续浇铸液体金属的初步设想,并应用于低熔点有色金属的连续浇铸。类似现代连铸设备的建议是 1886 年美国亚瑟、1887 年德国人戴伦提出来的。在他们的建议中包括有水冷的、上下敞口的结晶器,二次冷却段,引锭杆,夹辊和铸坯切割装置等设备,当时是用于铜和铝等有色金属的浇铸。此后又经过许多先驱者不懈地研究试验,于 1933 年德国人容汉斯建成 1 台结晶器可以上下振动的立式连铸机,并浇铸黄铜获得成功,后又用于铝合金的工业生产。

结晶器振动的出现,不仅可以提高浇注速度,而且使钢液的连铸生产成为可能,因此容汉斯成为现代连铸技术的奠基人。然而,在工业规模上实现钢的连续浇铸困难很多,与有色金属相比,钢存在熔点高、导热系数小、热容大、凝固速度慢等特点。要解决这些难题,关键是结晶器技术的研究。容汉斯的结晶器振动方式是结晶器下振时与拉坯速度同步,铸坯与结晶器壁间没有相对运动;而英国人哈里德则提出了“负滑脱”概念,即结晶器下振速度高于拉坯速度,铸坯与结晶器壁间有了相对运动,真正有效地解决了铸坯与结晶器壁的黏结问题,钢的连续浇铸关键性技术得到突破。因而在 20 世纪 50 年代连续铸钢步入了工业生产阶段。

世界上第 1 台工业生产连铸机于 1951 年在前苏联“红十月”冶金厂建成,是 1 台立式双流板坯半连续铸钢设备,用于浇铸不锈钢,其断面尺寸为 $180\text{ mm} \times 800\text{ mm}$ 。1952 年第 1 台立弯式连铸机在英国巴路厂投产,主要用于浇铸碳素钢和低合金钢,是 50 mm