

高等学校规划教材
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

连续铸钢

贺道中 主编



冶金工业出版社

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

高等学校规划教材

连 续 铸 钢

主 编 贺道中
副主编 周书才
肖鸿光

北 京
冶金工业出版社
2007

内 容 提 要

本书为冶金行业“十一五”规划教材,主要内容包括:钢的浇注概述、连铸设备、连铸基础理论、连铸工艺与操作、保护浇注、连铸坯质量、连铸工艺实践与新技术应用、连铸坯热装和直接轧制、连铸过程的检测和自动控制、连铸用耐火材料。重点介绍了连铸工艺与操作、连铸坯质量、连铸工艺实践与新技术应用、连铸过程的检测和自动控制。

本书可作为高等学校冶金工程专业及相关专业的本科教材,也可作为高职高专与职业技术学校教学参考书,还可供从事钢铁生产的工程技术人员及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

连续铸钢/贺道中主编. —北京:冶金工业出版社,2007.9

高等学校规划教材

ISBN 978-7-5024-4338-2

I. 连… II. 贺… III. 连续铸钢—高等学校—教材
IV. TF777

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 138104 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 宋 良 马文欢 美术编辑 李 心 版面设计 张 青

责任校对 符燕蓉 李文彦 责任印制 丁小晶

ISBN 978-7-5024-4338-2

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

2007 年 9 月第 1 版,2007 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;15.5 印张;410 千字;234 页;1-5000 册

30.00 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)

前 言

钢铁工业是世界经济的支柱产业。从矿产资源、能源消耗、生产成本、生产规模、市场需求及发展潜力、环境协调性、加工及使用性能、社会效益等多方面分析,钢铁材料与其他结构材料如有色金属、塑料、陶瓷及复合材料相比,仍具有很大优势。钢铁仍将是中国 21 世纪结构材料的支柱。2006 年,我国钢产量达 4.19 亿 t,连铸比已达 98.57%,高于世界平均水平。现代连续铸钢技术已成为当今钢铁生产的重要工艺之一,而我国目前仍有些企业的连铸生产率不高,设备老化,技术水平还较落后,能耗较高,产品质量不稳定,浇注一些特殊钢种还有困难,这些严重制约了我国钢铁工业高效、优质、低耗的发展进程。目前,全世界连铸比高于 97% 的国家有 25 个,其中高于 99% 的有 15 个(100% 的有 7 个)。因此,加速发展连续铸钢技术,是实现我国钢铁工业结构优化的重要一环。为了适应连铸技术发展的需要,根据国家教育部高等学校冶金工程专业教学大纲的要求,按照冶金行业高等学校“十一五”教材建设的规划,我们编写了本书。

本书力求内容系统、精练、实用,通俗易懂,理论联系实际,着力反映连续铸钢新设备、新工艺。既便于学生学习掌握连续铸钢的基本理论、基本工艺,又利于学生了解连续铸钢的新技术及发展趋势。

本书由湖南工业大学贺道中任主编;重庆科技学院周书才、华菱集团湖南衡阳钢管(集团)有限公司肖鸿光任副主编。周书才编写第 3 章、第 4 章、第 9 章;肖鸿光编写第 7 章第 1、2 节及第 10 章;其余部分由贺道中编写。全书由贺道中汇总定稿。

编写过程中,承蒙武汉科技大学李光强教授,重庆大学陈登福教授,河北科技大学冯捷教授的指导,企业专家组的审定,以及同行的帮助,在此表示诚挚的感谢。编写中参阅了许多文献资料,特此向有关作者致谢。

限于编者水平,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2007 年 7 月

目 录

1 绪论	1
1.1 钢的浇注概述	1
1.1.1 模铸	1
1.1.2 连铸机分类及特点	2
1.1.3 连铸机主要设备组成及工艺流程	6
1.1.4 连铸优越性	6
1.2 现代连铸技术发展历程	8
1.2.1 国外连铸技术的发展	8
1.2.2 国内连铸技术的发展	10
1.3 现代化高效连铸技术	11
1.3.1 现代化连铸机的主要技术特征	11
1.3.2 高效连铸机的技术特征	12
复习思考题	12
2 连铸机设备	13
2.1 弧形连铸机的几个重要参数	13
2.1.1 弧形连铸机规格的表示方法	13
2.1.2 弧形连铸机的几个重要参数	13
2.2 钢包及钢包回转台	18
2.2.1 钢包	18
2.2.2 钢包回转台	21
2.3 中间包及中间包车	21
2.3.1 中间包	21
2.3.2 中间包车	26
2.4 结晶器	27
2.4.1 结晶器的类型与构造	28
2.4.2 结晶器的重要参数	30
2.4.3 结晶器材质与寿命	32
2.4.4 结晶器断面调宽装置	33
2.4.5 结晶器的润滑	33
2.5 结晶器的振动装置	34
2.5.1 结晶器振动的目的	34
2.5.2 结晶器振动方式	34

2.5.3 结晶器振动机构	37
2.5.4 结晶器快速更换装置	39
2.6 二次冷却系统	39
2.6.1 二次冷却作用	39
2.6.2 二次冷却装置的结构	39
2.6.3 方坯连铸机二冷装置	42
2.6.4 板坯连铸机二冷装置	42
2.6.5 二冷区快速更换装置	42
2.7 拉坯矫直装置	43
2.7.1 拉矫装置作用与要求	43
2.7.2 小方坯连铸机的拉矫装置	44
2.7.3 板坯连铸机的拉矫装置	45
2.7.4 压缩浇注	46
2.8 引锭装置	46
2.8.1 引锭装置的作用及组成	46
2.8.2 引锭杆的装入与存放方式	47
2.8.3 脱引锭头装置	48
2.9 铸坯切割装置	49
2.9.1 火焰切割装置	49
2.9.2 机械剪切装置	51
2.10 后步工序设备	52
2.10.1 辊道	52
2.10.2 后步工序其他设备	53
2.11 电磁搅拌装置	53
2.11.1 电磁搅拌的原理	54
2.11.2 电磁搅拌的分类及特点	54
2.11.3 电磁搅拌技术的应用与发展	56
2.11.4 电磁搅拌应用中存在的问题	56
2.11.5 结晶器电磁制动和软接触技术	57
2.12 连铸车间工艺布置	58
2.12.1 连铸机的布置方式	58
2.12.2 连铸机的几个主要尺寸	60
复习思考题	61
3 连铸基础理论	62
3.1 钢液凝固结晶理论	62
3.1.1 钢液的结晶过程	62
3.1.2 钢液结晶的特点	64
3.2 连铸坯凝固传热特点	69

3.3 连铸坯凝固过程热平衡	71
3.4 结晶器传热与凝固	71
3.4.1 结晶器内坯壳的形成	71
3.4.2 结晶器的传热机构	73
3.4.3 结晶器的散热量	74
3.4.4 影响结晶器传热的因素	75
3.5 二冷区的传热与凝固	83
3.5.1 二冷区的冷却特点	83
3.5.2 二冷区的传热	84
3.5.3 影响二冷区传热的因素	84
3.5.4 二冷区坯壳的生长	87
3.6 连铸坯凝固传热的数学模型	87
3.6.1 数学模型描述	87
3.6.2 凝固传热微分方程	87
3.6.3 数学模型的求解	88
3.6.4 计算中物性参数处理	89
3.6.5 数学模型的验证与应用	90
3.7 连铸坯凝固结构及控制	90
3.7.1 连铸坯的凝固结构	90
3.7.2 连铸坯凝固结构的控制	91
复习思考题	92
4 连铸工艺与操作	93
4.1 连铸钢液准备与质量控制	93
4.1.1 连铸钢液成分的控制	93
4.1.2 连铸钢液纯净度及脱氧的控制	94
4.1.3 连铸钢液温度控制	95
4.2 连铸中间包冶金与结晶器冶金	96
4.2.1 中间包冶金	96
4.2.2 结晶器冶金	98
4.3 连铸拉速的控制	99
4.3.1 连铸拉速的确定	99
4.3.2 连铸拉速的控制	101
4.4 连铸过程冷却控制	102
4.4.1 结晶器一次冷却控制	102
4.4.2 二冷区二次冷却控制	103
4.5 连铸操作工艺	107
4.5.1 主要工艺参数的确定	107
4.5.2 浇注操作	110

4.6 浇注事故分析	113
4.6.1 钢包滑动水口故障	113
4.6.2 中间包故障	113
4.6.3 漏钢	114
4.7 连铸技术经济指标	115
4.7.1 连铸技术经济指标	115
复习思考题	116
5 保护浇注	117
5.1 无氧化保护浇注	117
5.1.1 钢包到中间包注流保护	117
5.1.2 中间包到结晶器注流保护	119
5.2 保护渣	120
5.2.1 保护渣的类型和功能	120
5.2.2 保护渣的结构	121
5.2.3 保护渣的理化性能	122
5.2.4 保护渣的配制	124
5.2.5 保护渣对铸坯质量的影响	125
5.2.6 保护渣的选择	125
5.2.7 高速连铸用保护渣	127
5.3 钢水覆盖剂	130
5.3.1 钢水覆盖剂的发展与分类	130
5.3.2 覆盖剂的理化性能分析	132
5.3.3 覆盖剂的应用性能分析	133
复习思考题	134
6 连铸坯质量	135
6.1 连铸坯质量标志	135
6.1.1 连铸坯质量特征	135
6.1.2 连铸坯质量标志与工艺过程的关系	135
6.2 连铸坯的纯净度	135
6.2.1 连铸过程夹杂物形成特征	135
6.2.2 连铸坯中夹杂物的类型和来源	136
6.2.3 夹杂物与产品质量	137
6.2.4 影响连铸坯纯净度的因素	138
6.2.5 提高连铸坯纯净度的措施	140
6.3 连铸坯的表面质量	141
6.3.1 连铸坯表面缺陷的类型	141
6.3.2 钢在高温下的脆化理论	141

6.3.3 表面裂纹	142
6.3.4 深振痕	144
6.3.5 表面夹渣	145
6.3.6 皮下气泡与气孔	146
6.3.7 表面凹坑和重皮	146
6.3.8 提高连铸坯表面质量的主要措施	146
6.4 连铸坯的内部质量	147
6.4.1 内部裂纹	147
6.4.2 中心偏析	148
6.4.3 中心疏松	149
6.4.4 提高连铸坯内部质量的主要措施	149
6.5 连铸坯的形状缺陷	150
6.5.1 鼓肚变形	150
6.5.2 菱形变形	151
6.5.3 圆坯椭圆变形	151
6.6 轧制对连铸坯的质量要求	152
6.6.1 板材轧制	152
6.6.2 条状产品轧制	153
复习思考题	154
7 连铸工艺实践与新技术应用	155
7.1 合金钢连铸	155
7.1.1 合金钢的凝固特性	155
7.1.2 合金钢连铸工艺特点	157
7.1.3 合金钢连铸设备的要求	157
7.1.4 典型钢种的连铸	158
7.2 水平连铸	164
7.2.1 概述	164
7.2.2 水平连铸机的主要设备	165
7.2.3 水平连铸坯的凝固特点	168
7.2.4 水平连铸工艺	169
7.2.5 水平连铸坯的质量控制	171
7.3 近终形连铸	173
7.3.1 近终形连铸的类型	173
7.3.2 薄板坯连铸连轧优越性与关键技术	174
7.3.3 CSP 工艺	176
7.3.4 ISP 工艺	179
7.3.5 带钢连铸技术	181
7.3.6 异型坯连铸技术	182

7.4 高效连铸	186
7.4.1 高拉速技术	187
7.4.2 高铸机作业率技术	189
7.4.3 多炉连浇技术	190
7.5 其他连铸新技术开发	190
7.5.1 离心流动中间包	191
7.5.2 氧化物冶金	191
7.5.3 液心压缩技术	191
复习思考题	192
8 连铸坯热装和直接轧制	193
8.1 热装和直接轧制技术的发展	193
8.1.1 热装和直接轧制的工艺流程及优越性	193
8.1.2 热装和直接轧制技术发展	194
8.2 热装和直接轧制的关键技术	194
8.2.1 无缺陷铸坯生产技术	195
8.2.2 高温铸坯生产技术	196
8.2.3 铸坯高直送率技术	197
8.3 连铸向轧钢供坯模式	197
8.3.1 连铸向轧钢供坯模式	197
8.3.2 几种供坯模式的成型和相变特点	198
复习思考题	199
9 连铸过程的检测和自动控制	200
9.1 中间包钢液温度测定	200
9.1.1 中间包钢液温度的点测	200
9.1.2 中间包钢液温度的连续测定	201
9.2 结晶器液面自动控制	201
9.2.1 放射性同位素测量法	201
9.2.2 红外线结晶器液面测量法	202
9.2.3 热电偶结晶器液面测量法	202
9.2.4 激光结晶器液面测量法	203
9.3 连铸机漏钢预报装置	203
9.3.1 铸坯在结晶器内粘附性漏钢的坯壳特征	203
9.3.2 测试结晶器壁温度拉漏预报	204
9.4 连铸二次冷却水控制	205
9.5 水口下渣检测	206
9.5.1 涡流感应式下渣检测仪	206
9.5.2 光导式下渣检测仪	206

9.6 铸坯表面缺陷在线检测	206
9.6.1 工业电视摄像法	206
9.6.2 涡流检测法	207
9.7 辊间距检测方法	208
9.7.1 无线电式辊距测定装置	208
9.7.2 激光法辊距测定装置	209
9.8 连铸生产过程计算机控制	209
9.8.1 检测驱动级(L0)	209
9.8.2 基础自动化级(L1)	210
9.8.3 连铸生产过程控制级及其功能(L2)	210
9.8.4 连铸生产管理级(L3)及其功能	211
9.9 计算机辅助质量控制系统——连铸专家系统	212
9.9.1 计算机辅助质量控制系统的基本概念	213
9.9.2 CAQC 系统主要功能	213
9.9.3 CAQC 是整体自动化系统的组成部分	214
9.9.4 CAQC 的实际应用	215
9.9.5 国内现状	216
复习思考题	217
10 连铸用耐火材料	218
10.1 钢包用耐火材料	218
10.1.1 包衬材质	218
10.1.2 包衬材质的选用与砌筑	221
10.2 中间包用耐火材料	222
10.2.1 绝热板	222
10.2.2 涂料	223
10.3 滑动水口用耐火材料	225
10.4 连铸用功能耐火材料	226
10.4.1 长水口	226
10.4.2 钢水过滤器	227
10.4.3 浸入式水口	227
10.4.4 定径水口	228
10.4.5 水平连铸用分离环	229
10.4.6 吹氩棒和透气砖	230
复习思考题	231
参考文献	233

1 绪 论

1.1 钢的浇注概述

1.1.1 模铸

铸坯或铸锭是炼钢产品最终成形的工序,直接关系到炼钢生产的产量和质量。钢的浇注有钢锭模浇注(模铸)、连续铸钢(连铸)、压力浇注、真空浇注四种方法。常用的是模铸和连铸。模铸法生产钢锭已有一百多年的历史,目前在炼钢生产中仍然占有一定的位置。由于我国的钢铁工业起步较晚,所以在国内一些工厂,特别是小型钢厂,目前仍然还在采用这种方法生产钢锭。近年来,随着世界钢铁工业的迅猛发展,连续铸钢法已逐渐取代模铸法,成为钢液浇注的主要方法。

如图 1-1 和图 1-2 所示,模铸法分上注和下注两种。上注法是钢液由钢包(盛钢桶)经中间装置,或由钢包直接从钢锭模上部注入的一种方式。上注法适用于浇注大型的或特殊的钢锭。这种方法铸锭的准备工作简单,耐火材料消耗少,钢锭收得率高,成本低,钢中夹杂物含量少。由于浇注时钢锭模内的高温区始终位于钢锭上部,因而钢锭的翻皮、缩孔、疏松等缺陷有所减少。但是,该方法每次只能浇注 2~4 根钢锭,在开浇时容易产生飞溅而造成结疤、皮下气泡等钢锭表面缺陷。此外,浇注时钢液直接冲刷模底,锭模、底板易被熔蚀,使材料的消耗增加。

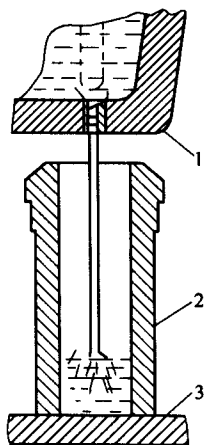


图 1-1 上注法

1—钢包;2—钢锭模(沸腾钢用);3—底盘

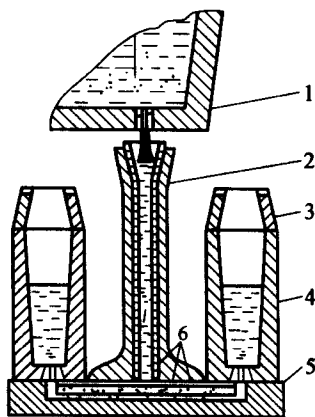


图 1-2 下注法

1—钢包;2—中注管;3—保温帽;4—钢锭模
(镇静钢用);5—底盘;6—流钢砖

下注法钢液由钢包(盛钢桶)流经中注管、流钢砖,再分别由钢锭模底部注入各钢锭模。下注法每次可浇多根(可达几十根)钢锭,钢液在模内上升平稳,钢锭质量好,生产率高。采用下注法生产钢锭的准备工作较复杂,每 1 t 钢要额外增加 5~25 kg 的浇口、流钢通道钢的耗损,金属收得率低,生产成本增加,钢中非金属夹杂物多,劳动条件较差。

模铸工艺如图 1-3 所示。模铸通过采用快速浇注,增大钢锭单重,改进设备,其生产能力有所增长。采用合成固体保护渣、气体保护浇注,显著改善了钢锭质量。在上小下大钢锭模上应用绝热板浇注镇静钢和半镇静钢,钢锭的成材率也有了进一步提高。

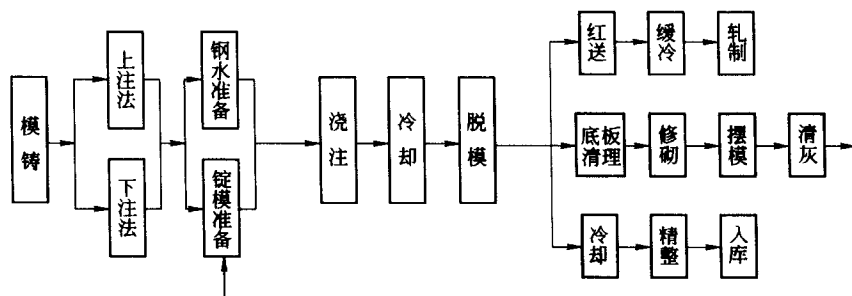


图 1-3 模铸工艺

模铸设备包括钢包、钢锭模、保温帽、底板、中注管等。所有的合金钢、大部分低合金钢、多数碳素结构钢均属于镇静钢。镇静钢钢锭的成分比较均匀,结构比较致密,轧制成的钢材性能较好。但是,镇静钢钢锭的头部有缩孔,开坯时切头损耗大,成材率低。这种钢在冶炼时使用的脱氧剂较多,浇注时要安放保温帽消耗耐火材料,钢锭成本高。

镇静钢下注法的操作要点:开流稳、跟流准,逐渐增,平稳升,防沸腾。

镇静钢上注法的操作要点:对正、稳开无声、快开满,圆流、快注。

沸腾钢也称不完全脱氧钢。它只用弱脱氧剂脱氧,有时也加入少量的铝,调节钢液的氧化性,钢液含碳一般约为 0.05%~0.30%,含硅不高于 0.30%。钢液含氧量一般为 0.035%~0.045%,高于与[C]相平衡的含量。浇注过程中,随着温度的降低和结晶不断的进行,在凝固前沿的[C]和[O]不断富集并产生反应,生成大量的 CO 气泡,使钢锭模内的钢液产生沸腾,故称这种钢为沸腾钢。

钢液在模内沸腾,有利于钢中气体、夹杂的排除,减少了钢锭翻皮缺陷的产生,钢锭的表面质量好。由于沸腾钢锭内部残留了部分气泡,所以钢锭头部没有集中缩孔,因而使得钢锭的切头率减少 10%左右。沸腾钢含碳、硅量低,具有较好的焊接、冲压、冷弯性能。沸腾钢采用上小下大的钢锭模浇注,使脱模、整模工序大大简化,有助于铸锭车间生产能力的提高。沸腾钢消耗的耐火材料、脱氧剂少,金属收得率高,成本低。但是,与镇静钢相比,沸腾钢的偏析严重,钢材性能不均,强度降低,时效敏感性大。

沸腾钢一般用于型材、线材、深冲钢板、锅炉钢板、焊接钢管的生产。但是,由于沸腾钢含碳量的范围不宽,因此该类钢的生产受到限制。

沸腾钢浇注工艺的中心内容:采取合适的注速,注温,调整沸腾强度和封顶操作。

模铸由于准备工作复杂,综合成材率较低,能耗高,劳动强度大,生产率低。目前已基本上被连铸所取代。

1.1.2 连铸机分类及特点

连铸是把液态钢用连铸机浇注、冷凝、切割直接得到铸坯的工艺。它是连接炼钢和轧钢的中间环节,是炼钢厂(或车间)的重要组成部分。连铸生产的正常与否,不但影响到炼钢生产任务的完成,而且也影响到轧材的质量和成材率。此外,连铸技术自身的发展还会带动冶金系统其他技

术的发展,它对企业结构和产品结构的简化和优化,有着重要的促进作用。

连铸机的分类方式很多。按结晶器是否移动可以分为两类:一类是固定式结晶器(包括固定振动结晶器)的普通连铸机,如立式连铸机、立弯式连铸机、弧形连铸机、椭圆形连铸机、水平式连铸机等。这些机型已成为现代化连铸机的基本机型,如图 1-4 所示;另一类是同步运动式结晶器的各种连铸机,如图 1-5 所示。这种机型的结晶器与铸坯同步移动,铸坯与结晶器壁间无相对运动,因而也没有相对摩擦,能够达到较高的浇注速度,适合于生产接近成品钢材尺寸的小断面或薄断面的铸坯。如双辊式连铸机、双带式连铸机、单辊式连铸机、单带式连铸机、轮带式连铸机等。这些是正在开发中的连铸机的机型。

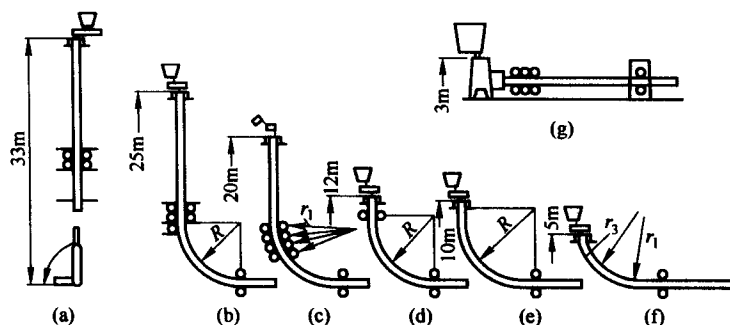


图 1-4 连铸机机型示意图

(a) 立式连铸机; (b) 立弯式连铸机; (c) 直结晶器多点弯曲连铸机; (d) 直结晶器弧形连铸机;
(e) 弧形连铸机; (f) 多半径弧形(椭圆形)连铸机; (g) 水平式连铸机

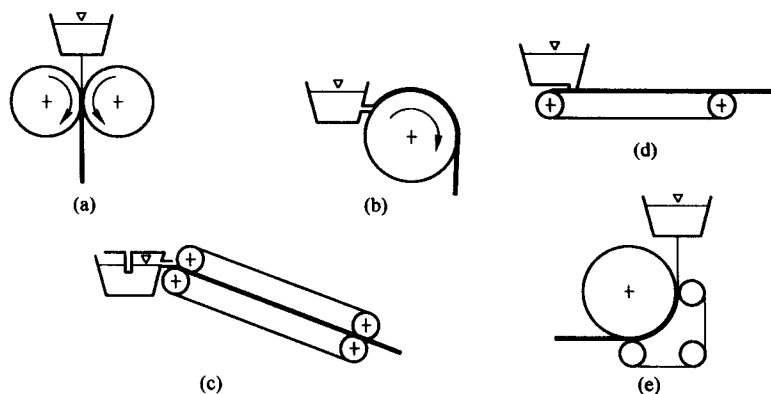


图 1-5 同步运动结晶器连铸机机型示意图

(a) 双辊式连铸机; (b) 单辊式连铸机; (c) 双带式连铸机; (d) 单带式连铸机; (e) 轮带式连铸机

另外,还可以按铸坯断面形状分为方坯连铸机、圆坯连铸机、板坯连铸机、异型坯连铸机、方/板坯兼用型连铸机等;按钢水的静压头可分为高头型、低头型和超低头型连铸机等。

1.1.2.1 立式连铸机

立式连铸机是 20 世纪 50 年代连铸发展初期的主要机型,如图 1-6 所示。立式连铸机从中间包到切割装置等主要设备均布置在垂直中心线上,整个机身矗立在车间平面以上。采用立式连铸机浇注时,由于钢液在垂直结晶器和二次冷却段冷却凝固,钢液中非金属夹杂物易于上浮,铸坯四面冷却均匀,铸坯在运行过程中不受弯曲矫直应力作用,产生裂纹的可能性小,铸坯质量好,适用于优质钢、合金钢和对裂纹敏感钢种的浇注。但这种连铸机设备高、投资费用大,且设备的维

护与铸坯的运输较麻烦。由于连铸机高度增高,钢水静压力大,铸坯的鼓肚变形也较突出,因而立式连铸机只适用于浇注小断面铸坯。

1.1.2.2 立弯式连铸机

立弯式连铸机是连铸技术发展过程的过渡机型,如图 1-4b 所示。立弯式连铸机是在立式连铸机基础上发展起来的,其上部与立式连铸机完全相同,不同的是待铸坯全部凝固后,用顶弯装置将铸坯顶弯 90° ,在水平方向切割出坯。它主要适用于小断面铸坯的浇注。

1.1.2.3 弧形连铸机

弧形连铸机是世界各国应用最多的一种机型。弧形连铸机的结晶器、二次冷却段夹辊、拉坯矫直机等设备均布置在同一半径的 $1/4$ 圆周弧线上;铸坯在 $1/4$ 圆周弧线内完全凝固,经水平切线处被一点矫直,而后切成定尺,从水平方向出坯。其结构示意图见图 1-7(a)。弧形连铸机的机身高度基本上等于铸机的圆弧半径,所以弧形连铸机的高度比立弯式连铸机又降低了许多,仅为立式连铸机的 $1/3$,基建投资费减少;铸坯凝固过程中承受钢水静压力小,有利于提高铸坯质量。但弧形连铸机铸坯要经弯曲矫直,易产生裂纹;此外,铸坯的内弧侧存在着夹杂物聚集。夹杂物分布不均匀,也影响着铸坯质量。

为减轻铸坯矫直时的变形应力,弧形连铸机上可采用多点矫直,如图 1-7(b) 所示。增加铸坯的矫直点和加大弧形连铸机的圆弧半径都可以减少铸坯的变形应力。为了改善铸坯的质量,在弧形连铸机上采用直结晶器,在结晶器下口设 $2\sim 3$ m 垂直线段,带液心的铸坯经多点弯曲,或逐渐弯曲进入弧形段,然后再多点矫直。垂直段可使液相穴内夹杂物充分上浮,因而铸坯夹杂物的不均匀分布有所改善,偏析减轻。多点弯曲、多点矫直的弧形连铸机机型如图 1-8 所示。

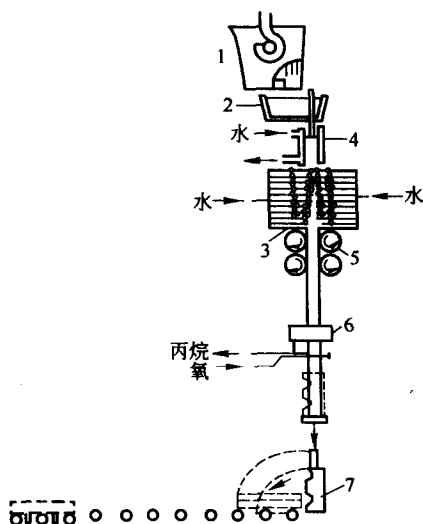
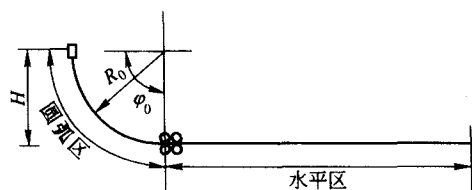
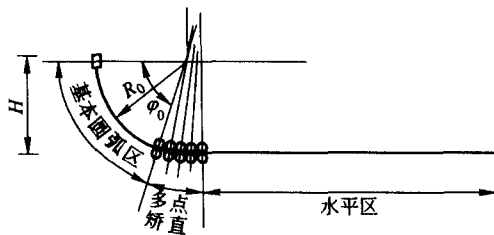


图 1-6 立式连铸机结构示意图

1—钢包;2—中间包;3—导辊;4—结晶器;
5—拉辊;6—切割装置;7—出坯装置



(a)



(b)

图 1-7 弧形连铸机机型示意图

(a) 全弧形连铸机; (b) 多点矫直的弧形连铸机

1.1.2.4 椭圆形连铸机

如图 1-9 所示,椭圆形连铸机的结晶器、二次冷却段夹辊、拉坯矫直机均布置在 $1/4$ 圆弧线上。椭圆形圆弧是由多个半径的圆弧线所组成,其基本特点与全弧形连铸机相同。椭圆形连铸机进一步降低了连铸机和厂房的高度。椭圆形连铸机分为低头和超低头连铸机。一般根据连铸机高度(H)与铸坯厚度(D)之比确定, $H/D=25\sim 40$ 时,称为低头连铸机; $H/D<25$ 时,则称为超低头连铸机。超低头连铸机最早是由曼内斯曼和康卡斯特连铸集团开发的,它们向世界各国

推销了一百多台各种规格的方板坯超低头连铸机。日本新日铁广畑厂 1 台超低头连铸机的 H/D 为 12, 是采用了逐对夹辊变半径的 19 点矫直方式。

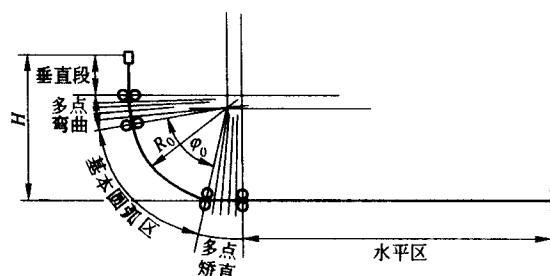


图 1-8 多点弯曲、多点矫直弧形连铸机机型示意图

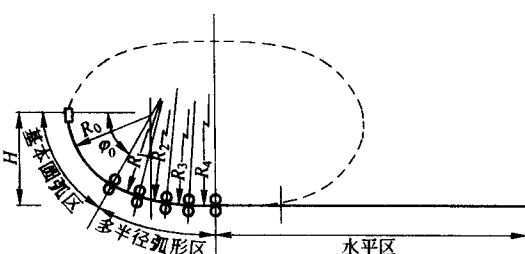


图 1-9 椭圆形连铸机机型示意图

椭圆形连铸机是一种多半径的弧形连铸机,也是目前连铸机研究与开发的主要机型。

1.1.2.5 水平连铸机

水平连铸机的结晶器、二次冷却区、拉矫机、切割装置等设备安装在水平位置上,如图 1-4 中(g)和图 7-1 所示。水平连铸机的中间包与结晶器是紧密相连的。中间包水口与结晶器相连处装有分离环。拉坯时,结晶器不振动,而是通过拉坯机带动铸坯做拉—反推—停的周期性运动来实现的。

水平连铸机是高度最低的连铸机。其设备简单、投资省、维护方便。水平连铸机结晶器内钢液静压力最小,避免了铸坯的鼓肚变形,中间包与结晶器之间是密封连接,有效地防止了钢液流动过程的二次氧化;铸坯的清洁度高,夹杂物含量少,一般仅为弧形铸坯的 $1/8 \sim 1/6$ 。另外,铸坯无需矫直,也就不存在由于弯曲矫直而产生裂纹的可能性,铸坯质量好,适合浇注特殊钢、高合金钢,因而受到各国的关注。我国 20 世纪 70 年代末开始进行了大量的研究和工业试验工作。

以上常见的几类连铸机的特点比较见表 1-1。

表 1-1 常见的几类连铸机的特点比较表

铸机类型	特 点
立 式	1) 铸坯做垂直直线运动,不受强制性弯曲变形力作用; 2) 铸坯冷却均匀,非金属夹杂物上浮条件良好,钢的成分和夹杂偏析较少; 3) 小断面铸坯中心容易产生二次缩孔; 4) 机身高 20~30m 以上,厂房高度大,一次性投资多
立弯式	1) 铸坯由拉坯机拉出结晶器后,被顶弯装置弯成弧形,然后再在水平位置上加以矫直; 2) 保持了立式连铸机在垂直方向上进行浇注和冷凝的特点; 3) 设备总高度有所降低
弧 形	1) 采用弧形结晶器,在结晶器内形成弧形铸坯; 2) 使用弧形二次冷却装置,在水平切点处矫直铸坯; 3) 铸机高度大大降低,但是铸机的弧形部件加工、制造、安装、调试、维修困难; 4) 铸坯在弧形不对称的状态下冷却不均匀
椭圆式	1) 弧形结晶可倾斜安装,用逐渐增大圆弧半径的方法进行矫直,铸坯可沿水平方向拉出; 2) 铸坯不需要进行大量的弯曲或矫直,钢液的静压小,铸坯的鼓肚缺陷减少; 3) 夹杂上浮的机会减少,铸机机身高度大大降低
水平式	1) 结晶器水平安装,铸坯无弯曲矫直变形,夹杂分离困难; 2) 以间歇式拉坯代替结晶器振动,铸坯容易产生深的波纹; 3) 不需要修建特殊的厂房,设备费用便宜,维修方便

总之,从20世纪50年代连铸工业化开始,50多年来,连铸机的机型发展经历了一个由立式、立弯式到弧形,高度不断降低的演变过程。

1.1.3 连铸机主要设备组成及工艺流程

一台连铸机主要是由钢包运载装置、中间包、中间包车、结晶器、结晶器振动装置、二次冷却装置、拉坯矫直装置、切割装置和铸坯运出装置等部分组成的。图1-10是弧形连铸机结构图(德马克小方坯机型)。浇钢时把装有钢液的钢包,通过钢包运载装置,运送到连铸机上方,经钢包底部的水口把钢水注入到中间包内。打开中间包塞棒(或滑动水口)后,钢水流入到下口用引锭杆头堵塞并能上下振动的水冷结晶器中。钢液沿结晶器周边冷凝成坯壳。当结晶器下端出口处坯壳有一定厚度时,同时启动拉坯机和结晶器振动装置,使带有液心的铸坯进入由若干夹辊组成的弧形导向段。铸坯在此一边下行,一边经受二次冷却区中许多按一定规律布置的喷嘴喷出雾化水的强制冷却,继续凝固。当引锭杆出拉坯矫直机后将其与铸坯脱开,铸坯在全部凝固或带有液心状态下被矫直。待铸坯被矫直且完全凝固后,由切割装置在水平位置将铸坯切割成定尺长度,由输送辊道运走。上述整个过程是连续进行的。

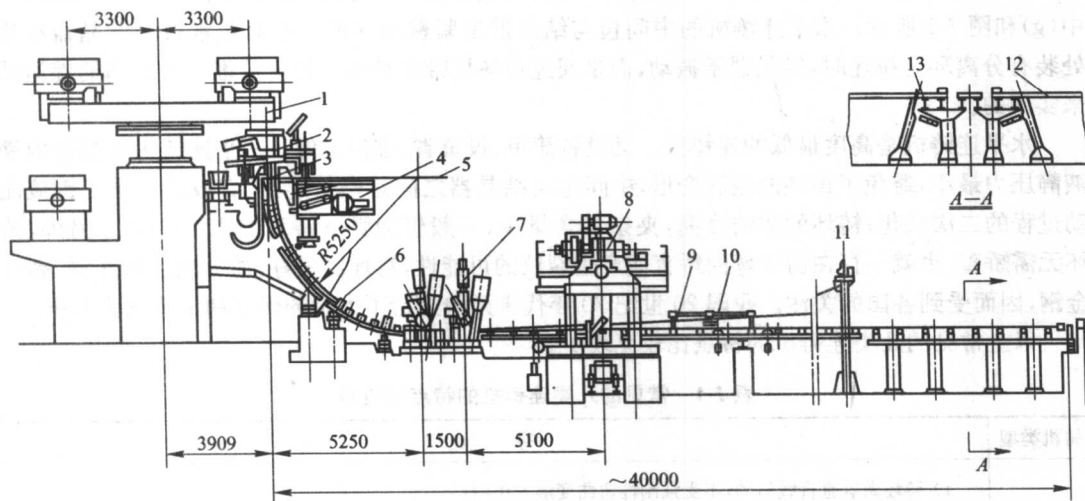


图 1-10 弧形连铸机结构图(德马克小方坯机型)

1—钢包回转台;2—中间包及中间包车;3—结晶器;4—振动装置;5—浇注平台;6—二冷装置;
7—拉矫装置;8—切割装置(机械剪);9—定尺装置;10—引锭杆存放装置;12—冷床;13—推钢机

1.1.4 连铸优越性

图1-11是模铸工艺流程和连铸工艺流程的比较。可以看出二者的根本差别在于模铸是在间断情况下,把一炉钢液浇注成多根钢锭,脱模之后经初轧机开坯得到钢坯的;而连铸是把一炉(或多炉)钢液连续地注入结晶器,得到无限长的铸坯,经切割后直接生产铸坯。基于这一根本差别,连铸和模铸比较,就具有明显的优越性。

连铸和传统模铸比较,具有如下几方面优越性。

1.1.4.1 简化生产工序,缩短工艺流程

由图1-11可见,连铸工艺省去了脱模、整模、钢锭均热、初轧开坯等工序。由此基建投资可节约40%,占地面积减少30%,劳动力节省约70%。薄板坯连铸机的出现,又进一步简化了工序