

# 薄板坯连铸连轧和薄带连铸 关键工艺技术

BAOBANPI LIANZHULIANZHA HE BAODAI LIANZHU  
GUANJIAN GONGYI JISHU

● 杨光辉 张杰 李洪波 曹建国 编著



冶金工业出版社  
www.cnmp.com.cn

# 薄板坯连铸连轧和薄带连铸 关键工艺技术

杨光辉 张杰 李洪波 曹建国 编著

北京  
冶金工业出版社  
2016

## 内 容 提 要

本书主要以薄板坯连铸连轧技术和薄带连铸技术为研究对象,结合国内外有代表性的先进机型和工艺,详细地分析和介绍了目前世界上先进的薄板坯连铸连轧工艺技术和薄带连铸工艺技术及其装备。全书共分5章。第1章主要介绍连铸工艺技术,第2章主要介绍薄板坯连铸连轧工艺技术和设备特征,第3章主要介绍薄板坯连铸连轧工艺匹配分析,第4章主要介绍典型薄板坯连铸连轧技术主要机组分析,第5章主要介绍近终形浇铸——薄带连铸技术。

本书适合炼钢、轧钢工程技术人员、研发人员阅读,也可作为大专院校有关专业的研究生、本科生的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

薄板坯连铸连轧和薄带连铸关键工艺技术/杨光辉等  
编著. —北京:冶金工业出版社,2016.10

ISBN 978-7-5024-7356-3

I. ①薄… II. ①杨… III. ①薄带坯连铸 ②薄板轧制  
—连续轧制 IV. ①TF777.7 ②TG335.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第246705号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 常国平 美术编辑 吕欣童 版式设计 杨帆

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7356-3

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷  
2016年10月第1版,2016年10月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;11.5印张;276千字;172页

45.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

## 前 言

早在 19 世纪中期，美国人赛勒斯（1840 年）、赖尼（1843 年）和英国人亨利·贝塞麦（1846 年）就曾提出过连续浇铸液体金属的初步设想，并用于低熔点有色金属的浇铸。类似现代连铸设备的建议是由美国人亚瑟（1886 年）和德国人戴伦（1887 年）提出来的。1933 年德国人容汉斯建成一台结晶器可以振动的立式连铸机，并用其浇铸黄铜获得成功，后用于铝合金的工业生产。结晶器振动的实现，不仅可以提高浇铸速度，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。英国人哈里德则提出了“负滑脱”的概念，在其负滑脱振动方式中，结晶器下振动速度比拉坯速度快，钢坯与结晶器壁间产生了相对运动，真正有效地防止了钢坯与结晶器壁的粘连，钢连续浇铸的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。进入 20 世纪 60 年代，弧形连铸机的问世，使连铸技术出现了一次飞跃。进入 20 世纪 80 年代以后，连铸技术日趋成熟。

连铸技术在钢铁生产中的应用是钢铁冶金工业的一次技术革命，它不仅大大提高了生产率，减少了材料消耗，提高了能源效率，并且提高了材料的质量。此后还出现了连铸连轧技术。现代炼钢技术的发展主要经历了 3 个阶段：1947~1974 年，技术特点是转炉、高炉的大型化；以模铸-初轧为核心，生产外延扩大；1974~1989 年，技术特点是全连铸工艺，以连铸机为核心；1989 年至今，技术特点是连铸-连轧工艺，以薄板坯、连铸-连轧为代表，钢厂向紧凑化方向发展。

连续铸钢有很多优越性，简化了工序，缩短了流程，提高了金属收得率，降低了能源消耗，生产过程机械化、自动化程度高，质量提高，品种扩大。薄板坯连铸连轧工艺将过去的炼钢厂和热轧厂有机地压缩、组合到一起，缩短了生产周期，降低了能量消耗，从而大幅度提高了经济效益。薄板坯连铸连轧技术因众多的单位参与研究开发，形成了各具特色的生产工艺，如 CSP（Compact Strip Production，紧凑式热带生产工艺）、ISP（Inline Strip

Production, 在线热带钢生产工艺)、FTSR (Flexible Thin Slab Rolling for Quality, 生产高质量产品的灵活性薄板坯轧制工艺)、CONROLL (生产不同钢种的连铸连轧生产工艺)、QSP (Quality Strip Production, 高质量的热带生产工艺)、TSP (Tippins - Samsung Process, 倾翻带钢新技术)、CPR (Casting Pressing Rolling, 铸压轧工艺)、ASP (Angang Strip Production, 中薄板连铸连轧生产工艺) 等。

薄带连铸技术是冶金及材料研究领域内的一项前沿技术, 它的出现正为钢铁工业带来一场革命, 它改变了传统冶金工业中薄型钢材的生产过程。采用薄带连铸技术, 将连续铸造、轧制, 甚至热处理等整合为一体, 使生产的薄带坯稍经冷轧就一次性形成工业成品, 简化了生产工序, 缩短了生产周期, 其工艺线长度仅 60m。设备投资也相应减少, 产品成本显著降低, 并且薄带质量不亚于传统工艺。此外, 利用薄带连铸技术的快速凝固效应, 还可以生产出难以轧制的材料以及具有特殊性能的新材料。但从目前的研究情况看, 主要集中在不锈钢、低碳钢和硅钢片方面。

本书主要以连续铸钢技术、薄板坯连铸连轧技术和薄带连铸技术为研究对象, 结合国内外具有代表性的先进机型和工艺, 详细分析和介绍了目前世界上各种先进的薄板坯连铸连轧和薄带连铸工艺技术及其装备, 体现了本书在技术上的先进性。希望本书能对我们掌握当今世界上先进的薄板坯连铸连轧技术和薄带连铸技术有所帮助和指导。本书所分析和研究的薄板坯连铸连轧技术和薄带连铸技术内容既可作为设计同类技术选型时的依据, 也可作为同类机型更新改造的样板, 体现了很强的实用性。

本书共分 5 章。第 1 章主要介绍连铸工艺技术, 第 2 章主要介绍薄板坯连铸连轧工艺技术和设备特征, 第 3 章主要介绍薄板坯连铸连轧工艺匹配分析, 第 4 章主要介绍典型薄板坯连铸连轧技术主要机组分析, 第 5 章主要介绍近终形浇铸——薄带连铸技术。

本书参阅了大量国内外文献资料, 特别是近几年的最新研究进展, 在此对相关著作和文献的作者表示衷心的感谢。编者在求学和工作期间, 得到了武钢、宝钢、首钢、马钢等单位多位领导、技术人员和工人师傅的大力支持和帮助, 在此表示由衷的感谢。编者所在课题组的老师、博士生和硕士生为本书的

编写付出了大量的辛勤劳动，在此一并表示感谢。

参加本书编写的有杨光辉、张杰、李洪波、曹建国。杨光辉担任主编。本书的编写和出版得到了“北京高等学校青年英才计划（YETP0369）”和“中央高校基本科研业务费专项资金资助（FRF-BR-15-047A）”的大力资助，在此表示感谢。

本书适合炼钢、轧钢工程技术人员、研发人员阅读，也可作为大专院校相关专业研究生、本科生的教学参考书。

限于编者水平所限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2016年6月于北京科技大学

# 目 录

1 连铸工艺技术 .....	1
1.1 概述 .....	1
1.1.1 我国的钢铁行业 .....	1
1.1.2 钢铁材料简介 .....	1
1.1.3 钢铁工业的特点 .....	1
1.1.4 钢铁生产流程简介 .....	2
1.2 冶金生产工艺 .....	2
1.3 连铸的发展情况 .....	3
1.4 连铸技术的特点 .....	4
1.5 连铸机的工艺流程 .....	6
1.6 连铸机的机型及其特点 .....	7
1.6.1 立式连铸机 .....	8
1.6.2 立弯式连铸机 .....	10
1.6.3 弧形连铸机 .....	10
1.6.4 直弧形连铸机 .....	11
1.6.5 水平连铸机 .....	12
1.7 连铸机型的选择原则及其主要参数 .....	13
1.7.1 连铸机型的选择原则 .....	14
1.7.2 连铸机特性参数的表示 .....	14
1.7.3 弧形、椭圆形连铸机的主要参数 .....	15
1.8 连铸机的主要工艺和设备 .....	17
1.8.1 钢包及其承运设备 .....	19
1.8.2 钢包回转台 .....	20
1.8.3 钢包下渣检测系统 .....	23
1.8.4 中间包系统 .....	29
1.8.5 结晶器及其相关设备 .....	32
1.8.6 结晶器振动装置和在线调宽 .....	37
1.8.7 二次冷却装置 .....	41
1.8.8 二冷区的传热与凝固特点 .....	42
1.8.9 拉坯矫直装置 .....	47
1.8.10 电磁搅拌 .....	48
1.8.11 引锭装置 .....	49

1.8.12	切割机	53
1.8.13	去毛刺机	55
1.8.14	喷印机	55
1.8.15	连铸其他设备	55
1.8.16	连铸过程控制	57
1.9	连铸新技术	58
1.9.1	提高连铸机生产率	58
1.9.2	提高连铸坯洁净度技术	63
1.9.3	防止连铸坯缺陷	63
2	薄板坯连铸连轧工艺技术和设备特征	65
2.1	薄板坯连铸连轧工艺特点	66
2.2	薄板坯连铸连轧生产线配置	66
2.3	薄板坯连铸连轧技术的开发与研究	68
2.3.1	连铸坯厚度选择	68
2.3.2	薄板坯连铸对钢水的要求	68
2.3.3	结晶器结构的选择及形状设计原则	69
2.3.4	薄板坯浸入式水口	71
2.3.5	薄板坯连铸结晶器保护渣	73
2.3.6	薄板坯连铸的二次冷却系统	74
2.3.7	薄板坯电磁制动和电磁搅拌	75
2.3.8	铸坯的液芯压下技术	75
2.3.9	高压水除鳞技术	76
2.3.10	薄板坯连铸连轧加热方式	76
2.3.11	薄板坯精轧机组	77
2.4	薄板坯连铸连轧分类	78
2.4.1	CSP 工艺技术	79
2.4.2	ISP 工艺技术	81
2.4.3	FTSR 工艺技术	84
2.4.4	CONROLL 工艺技术	87
2.4.5	QSP 工艺技术	89
2.4.6	TSP 工艺技术	90
2.4.7	CPR 工艺技术	90
2.4.8	ASP 工艺技术	91
2.5	薄板坯连铸连轧工艺对比分析	93
2.5.1	国内薄板坯连铸连轧生产线的主要工艺参数对比	93
2.5.2	国内薄板坯连铸连轧生产线的轧机配置	93
2.5.3	CSP 精轧机组 CVC 辊形设计分析	95
2.5.4	薄板坯连铸连轧的 CSP、FTSC 和 QSP 三种工艺比较	96



<b>3 薄板坯连铸连轧工艺匹配分析</b> .....	100
3.1 轧制压缩比 .....	100
3.2 连铸与连轧衔接工艺类型 .....	101
3.2.1 连铸与连轧衔接工艺类型 .....	101
3.2.2 CC-DR 和 HCR 工艺的主要优点 .....	102
3.3 实现连铸-连轧工艺的主要技术关键 .....	103
3.3.1 连铸坯热装及直接轧制技术发展概况 .....	103
3.3.2 CC-HCR 工艺的的优点 .....	104
3.3.3 CC-DR 工艺的的优点 .....	104
3.3.4 连铸与轧制衔接模式与工艺 .....	105
3.3.5 实现热装热送、直接轧制和连续铸轧的条件 .....	106
3.4 铸坯温度保证技术 .....	106
3.5 连铸过程的瞬时速度变化 .....	107
3.5.1 钢水流速对拉坯速度的影响 .....	107
3.5.2 钢水温度变化对拉速的影响 .....	108
3.5.3 过渡过程坯料的处理 .....	108
3.6 连铸连轧的速度和温度匹配 .....	108
3.6.1 连铸连轧的速度匹配 .....	108
3.6.2 连铸连轧的温度匹配 .....	109
3.7 铸坯热装及加热温度选择 .....	109
3.7.1 无相变加热对产品性能影响 .....	110
3.7.2 加热温度的选择 .....	110
3.8 连铸连轧工艺关键技术及技术发展 .....	111
3.8.1 连铸连轧工艺优势 .....	111
3.8.2 连铸连轧关键技术 .....	111
3.8.3 连铸连轧技术发展 .....	111
3.9 连铸连轧的金属学特点和工艺衔接技术 .....	112
3.9.1 连铸连轧的金属学特点 .....	112
3.9.2 连铸连轧工艺衔接技术 .....	113
<b>4 典型薄板坯连铸连轧技术主要机组分析</b> .....	114
4.1 1880mm 薄板坯连铸连轧机 .....	114
4.2 1810mm 生产线典型轧制设备 .....	118
4.3 武钢 CSP 工艺和设备特点 .....	135
4.3.1 工艺方案 .....	135
4.3.2 主要特点及分析 .....	137
4.4 马钢 CSP 生产线工艺技术特点 .....	139
4.4.1 工艺设备技术特点及采用的新技术 .....	139

4.4.2	马钢 CSP 生产线自动化控制模型 .....	142
4.4.3	与国内外已建的 CSP 线的比较 .....	142
4.4.4	马钢 CSP 线的产品设计方案 .....	144
4.5	首座 ESP 薄板坯无头铸轧厂生产实践 .....	144
4.5.1	ISP 技术价值 .....	145
4.5.2	ISP 优点 .....	145
4.5.3	ESP 技术 .....	146
5	近终形浇铸——薄带连铸技术 .....	150
5.1	薄带连铸方法 .....	150
5.1.1	双辊法 .....	151
5.1.2	单辊法 .....	153
5.1.3	空心圆管坯的连续浇铸 .....	154
5.2	薄带连铸技术——M 工程和 C 工程 .....	155
5.2.1	薄带连铸技术的研究——M 工程 .....	156
5.2.2	关于薄带连铸技术的知识产权 .....	159
5.2.3	薄带连铸技术的商业应用——C 工程 .....	159
5.3	薄带连铸技术的发展现状与思考 .....	161
5.3.1	钢的薄带连铸发展现状 .....	161
5.3.2	铝的薄带铸轧发展现状 .....	162
5.3.3	高速钢、硅钢、镁合金的薄带连铸实验研究 .....	162
5.3.4	讨论与思考 .....	165
5.4	薄带连铸技术及宝钢中试机组 .....	166
5.4.1	薄带连铸工艺与其他工艺比较 .....	166
5.4.2	薄带连铸技术与新材料开发 .....	167
5.4.3	薄带连铸技术方向选择 .....	168
5.4.4	宝钢薄带连铸工艺路线及主要技术参数 .....	169
5.5	国内钢铁业在薄带连铸技术上获得突破 .....	170
	参考文献 .....	171

# 1 连铸工艺技术

## 1.1 概述

### 1.1.1 我国的钢铁行业

钢铁工业作为国民经济的基础原材料产业，在经济发展中具有重要地位。我国是钢铁生产和消费大国，粗钢产量连续多年居世界第一。我国钢铁工业不仅在数量上快速增长，而且在品种质量、装备水平、技术经济、节能环保等诸多方面都取得了很大的进步，形成了一大批具有较强竞争力的钢铁企业。图 1-1 所示为我国钢材消费结构。

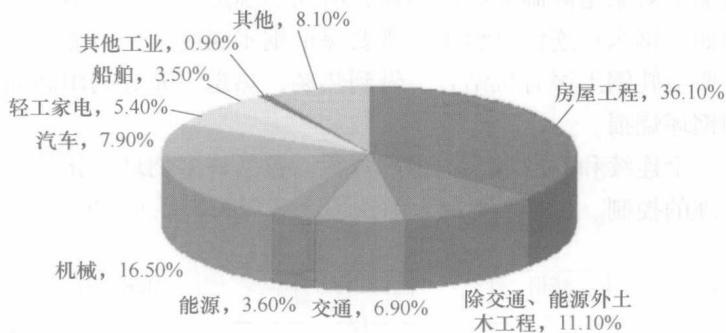


图 1-1 我国钢材消费结构

### 1.1.2 钢铁材料简介

钢铁：是以 Fe 和 C 为主要组成元素，并含有 Si、Mn、P、S 等杂质的合金。

生铁：碳含量 ( $w(C) > 2.11\%$ ) 和杂质含量较高的铁碳合金，生铁硬度高、性脆。

炼钢生铁：硅含量较低 ( $w(Si) < 1.25\%$ )，断口呈银白色，主要用于炼钢。

铸造生铁：硅含量较高 (含  $w(Si) > 1.25\% \sim 3.2\%$ )，断口呈灰黑色，用作铸造的原料。

钢：碳含量较低 ( $w(C) < 2.11\%$ )、杂质元素的含量也较低的铁碳合金。钢具有较好的强度和韧性，是常用的金属材料。

钢材：钢锭或钢坯经压力加工成各种形状、规格的钢材。

### 1.1.3 钢铁工业的特点

用地面积较大：每生产 1t 钢铁一般需要  $2m^2$  左右的用地，再加上为它服务的和被它带动发展起来的工业企业用地，要比钢铁厂本身的用地扩大 2~3 倍。

用水量大：平均每炼 1t 钢需水  $100 \sim 200m^3$ 。目前我国的大型钢铁联合企业大都位于几条主要河流的沿岸。

运输量大：大型钢铁厂生产 1t 钢铁，厂内外平均货运量 20t 左右，其中原料运输 5.5t。

协作面广：钢铁企业是一个有机联系的生产综合体，需要产品原料的协作、副产品和废品回收的协作、与为钢铁厂服务的工厂建立协作关系，以及与厂外工程如水、电、气、管线、运输方面的协作等。

职工人数较多：大型钢铁联合企业是一个十分复杂的生产系统，拥有众多的生产部门，职工人数也很多。

### 1.1.4 钢铁生产流程简介

钢铁制造业一般可分为长流程和短流程。长流程包括原料供应、炼铁、炼钢、轧钢等生产工序，其特点是生产流程长，任何一个环节出现问题都可能影响整个生产的正常进行。短流程是从炼钢开始到轧钢的生产工序。无论长流程还是短流程，炼钢到轧钢都是提高钢铁企业效益与产品质量的关键。

钢铁企业的加工对象是高温液体或固体，时间和温度条件以及整个生产过程各工序衔接非常重要。例如，钢水在连铸过程中，既要保证钢水温度，又不能使连铸机断流。连铸坯生产出来后，要与轧钢工序有机结合，做到热装、热送，充分利用高温钢坯的热能，减少再加热过程和钢坯烧损。

钢铁生产是一个连续和离散混合的生产过程，包括许多物理、化学变化，每个环节都要受到生产与管理的控制。图 1-2 所示为钢铁生产流程与产品示意图。

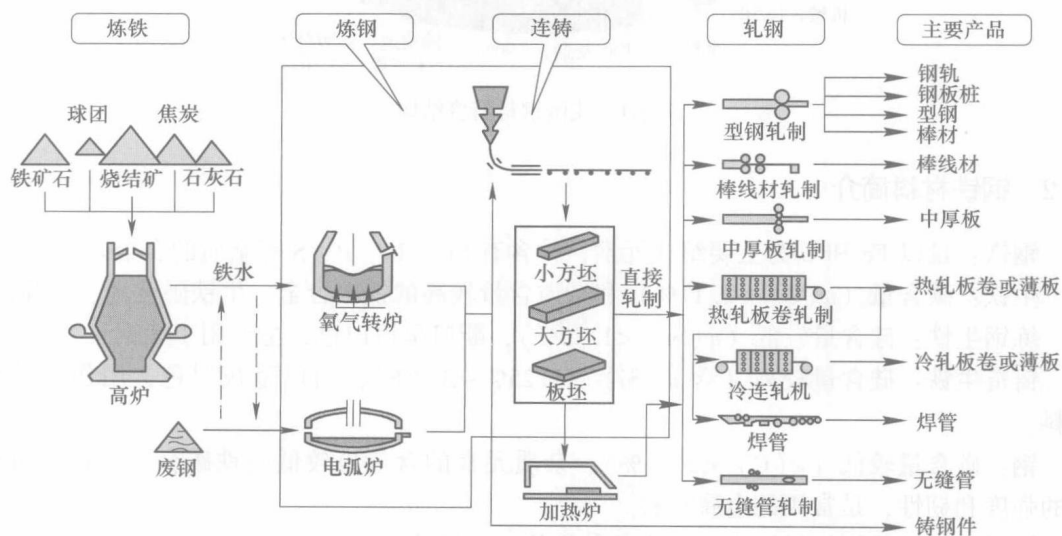


图 1-2 钢铁生产流程与产品示意图

## 1.2 冶金生产工艺

钢铁生产的三大主工序是炼铁、炼钢和轧钢，如图 1-3 所示。其中，炼钢生产的工艺路线如图 1-4 所示。图中的 LF、CAS、KIP、VD、VOD、RH 代表不同的钢水炉外精炼技术，其中，LF (Ladle Furnace) 为钢包精炼炉；CAS (Composition Adjustment by Sealed

Argon Bubbling) 为合金微调及温度处理; KIP (Kimizuinject Process) 为钢包喷粉; VD (Vacuum Degassing) 为真空吹氩脱氧; VOD (Vacuum oxygen decarburization) 为真空吹氧脱碳; RH (Ruhstah (Hearaeus)) 为循环真空处理。

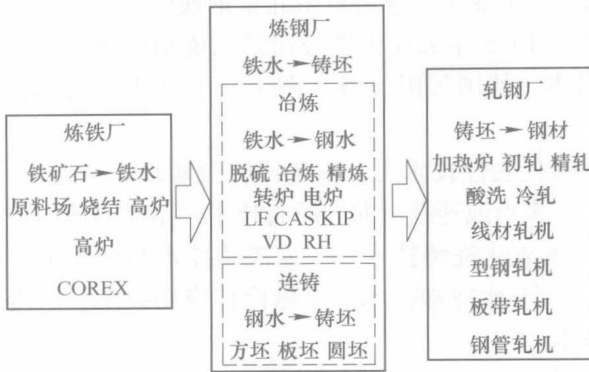


图 1-3 钢铁生产的三大主工序示意图

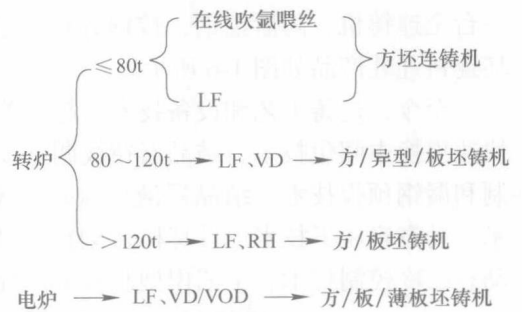


图 1-4 炼钢生产的工艺路线

### 1.3 连铸的发展情况

美国人亚瑟 (B. Atha, 1866 年) 和德国土木工程师戴伦 (R. M. Daelen, 1877 年) 最早提出以水冷、底部敞口固定结晶器为特征的常规连铸概念。前者采用一个底部敞开、垂直固定的厚壁铁结晶器并与中间包相连, 施行间歇式拉坯; 后者采用固定式水冷薄壁铜结晶器, 施行连续拉坯、二次冷却, 并带飞剪、引锭杆垂直存放装置。1920~1935 年间, 连铸过程主要用于有色金属, 尤其是铜和铝的领域。

钢的连铸工业应用相比铝、铜受制于其熔点高、比热容大、导热系数较低。一项最重要的开拓性工作是如何提高一台连铸机的浇铸能力, 最关键的是浇铸速度。

1933 年, 德国人容汉斯 (S. Junghans) 开发了结晶器振动系统, 为钢的连铸奠定了基础。1950 年, 德国曼内斯曼 (Mannesmann) 公司将其投入工业生产。

虽然振动式结晶器是钢得以顺利连铸的开创性的关键技术, 但真正有效防止坯壳与结晶器黏结的突破性技术贡献, 应当归功于英国人哈里德 (Halliday) 提出的“负滑脱”概念, 具有改善润滑、减轻黏结的优点, 更利于实现高速浇铸。

初期的连铸设备大部分建在特殊钢生产厂。设备设计主要被容汉斯、罗西和原苏联包揽, 机型主要是立式。20 世纪 50 年代制造的 40 台连铸机中有 25% 是立弯式。世界上第一台工业性生产连铸机于 1951 年在苏联“红十月”冶金厂建成, 是一台立式双流板坯半连续铸钢设备。1952 年, 第一台立弯式连铸机在英国巴路厂投产。1952 年, 在奥地利卡芬堡钢厂建成一台双流连铸机, 它是多钢种、多断面、特殊钢连铸机的典型代表。1954 年, 在加拿大阿特拉斯钢厂投产第一台方坯和板坯兼用连铸机。

60 年代弧形铸机引发的一场革命, 采用了弧形连铸后, 连铸技术的应用才实现了一次真正的突破, 不仅提高了生产率, 降低了设备投资, 而且更有利于安装在原有的钢厂内。世界上第一台弧形连铸机于 1964 年 4 月在奥地利百录厂诞生。

70 年代两次能源危机推动了连铸技术的迅速发展, 多点矫直、气水冷却、保护浇铸、液面自动控制等技术的全面发展, 不断改善了产品质量, 提高了铸机的生产率。

80年代连铸技术日趋成熟，连铸比每年以4%的速度递增。90年代以后，连铸技术，包括近终形连铸（尤其是薄板坯、薄带铸轧），高速浇铸，高清洁性产品的连铸，低过热度浇铸，质量系统控制技术，热送热轧，非正弦振动等技术逐渐成熟。

我国60年代开始连铸设计，1958年第一台工业生产连铸机由北京钢铁设计院设计并在重庆投产。80年代主要通过技术引进消化，1985年武汉钢铁公司第二炼钢厂生产出第一台全连铸机，随后宝钢、鞍钢分别引进日本、德国等国设备（图1-5），所生产的薄板坯连铸连轧产品如图1-6所示。

至今，连铸工艺和设备技术日趋完善，其代表性技术为：钢包回转台实现多炉连浇、快速更换中间包技术、结晶器在线调宽技术、多点或连续弯曲和矫直技术、结晶器液面控制和漏钢预报技术、结晶器液压振动技术、无氧化浇铸技术、压缩浇铸技术和轻压下技术、动态轻压下技术、计算机自动控制技术、气-水冷却技术、电磁搅拌应用技术、三维动态二冷控制技术、工艺模型和专家系统技术。

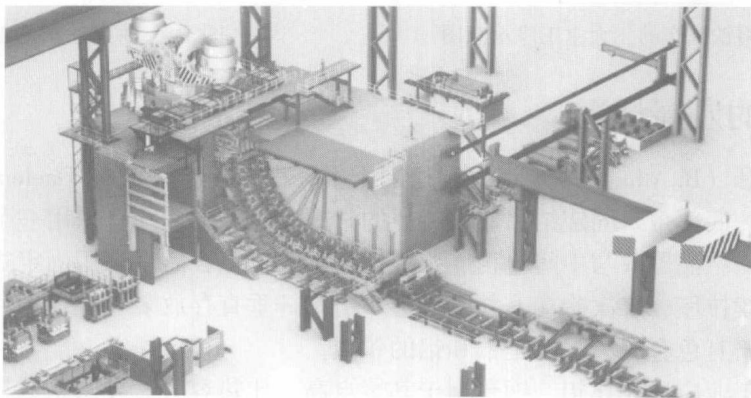


图 1-5 引进的国外板坯连铸机设备现场效果图



图 1-6 引进的国外连铸机生产的薄板坯连铸连轧产品

## 1.4 连铸技术的特点

连铸不是将高温钢水浇铸到一个个的钢锭模内，而是将高温钢水连续不断地浇到一个或几个用强制水冷带有“活底”（称为引锭头）的铜模内（称为结晶器），钢水很快与“活底”凝结在一起，待钢水凝固成一定厚度的坯壳后，就从铜模的下端拉出“活底”，这样已凝固成一定厚度的铸坯就会连续地从水冷结晶器内被拉出来，在二次冷却区继续喷水冷却。带有液芯的铸坯，一边走一边凝固，直到完全凝固。待铸坯完全凝固后，用氧气

切割机或剪切机把铸坯切成一定尺寸的钢坯。这种把高温钢水直接浇铸成钢坯的新工艺，称为连续铸钢。

连铸是炼钢和轧钢之间的一道生产工序，是将精炼后的钢水用连铸机浇铸、冷凝、切割连续铸造成铸坯。连铸生产出来的钢坯是热轧厂生产各种产品的原料，是炼钢生产中的重要阶段。连铸设备的润滑情况直接影响设备生产的正常运行，关系到产品质量和经济效益，因此各钢铁企业都非常重视。

连续铸钢自问世以来，便得到迅速发展。这主要是由于它与传统的“模铸—开坯”工艺相比（图 1-7），具有如下突出优点：

(1) 简化了生产钢坯的工艺流程，节约了大量的能源。据日本资料介绍，连铸的能源消耗仅为模铸工艺的 20.8%~13.5%。我国每吨连铸坯综合节能约为 130kg 标准煤，若实行连铸坯的热送，还能再节省 5kg 左右的标准煤。

(2) 由于能在一个机组上连续浇铸出钢坯来，可以提高金属收得率达 7%~8%、成材率提高 10%~15%，成本还可以降低 10%~12%。

(3) 可以采用计算机自动控制，易于实现连续生产。从根本上改变了工人劳动条件，生产率相应得到提高。

(4) 由于连铸的优越性，许多钢厂纷纷采用连铸取代模铸工艺，并出现全连铸炼钢车间，各国连铸比不断提高。

经过几十年各国对连铸技术的研究、开发，使得连铸新工艺、新技术发展很快。近年来，高拉速、高连浇率、高作业率、高铸坯无缺陷率（或称为无清理率）的高效连铸是连铸生产的重要发展方向，也是迅速提高我国连铸生产水平的重要手段。

提高连铸机的生产率的关键在于提高连铸机的作业率，提高其拉速。板坯连铸机的拉速目前可以达到 2.5m/min，作业率大于 90%，漏钢率小于 0.02%，连浇炉数 1500 炉以上，板坯的表面无清理率达到 95% 以上。小方坯连铸机的拉速可以达到 4.0~5.0m/min (130mm×130mm)，单流年产铸坯量 15 万吨以上，作业率达到 97%，漏钢率小于 0.4%，连浇炉数 1000 炉以上。

连铸因具有生产成本低、金属收得率高、产品质量优、劳动条件好等优点，已成为钢水浇铸广泛采用的新技术和新工艺。随着炼钢技术的发展，炉外精炼的采用比 RH、VOD、LF 炉、吹 Ar 等工艺使供连铸的钢水质量有了明显改善；连铸采用保护浇铸以及连

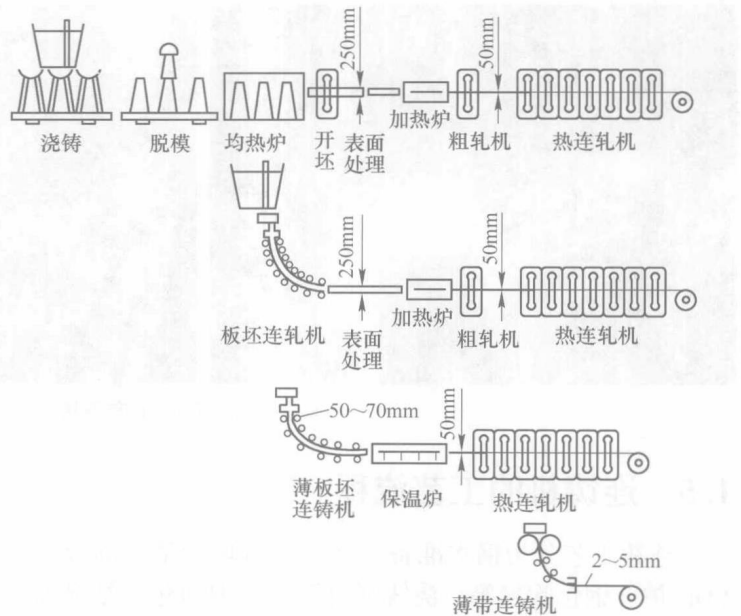


图 1-7 连铸和模铸工艺流程比较



铸液面控制电磁搅拌等新技术的应用，使铸坯表面质量进一步提高，内部缺陷进一步减少。这不仅扩大了连铸浇铸的钢种，而且为铸坯红送创造了有利条件。

目前连铸发展为连铸连轧短流程新工艺。薄板坯连铸可浇成 50~100mm 厚的连铸坯，热送加热炉，然后热连轧机组直接轧制成最小厚度约 1.2mm 的热轧带卷，该工艺是以最短的工艺流程、在一条连续的作业线上直接生产带卷的高新技术。我国邯钢、包钢等厂家已经引进了这种新技术。图 1-8 所示为连铸生产现场。



图 1-8 连铸生产现场

### 1.5 连铸机的工艺流程

连铸工艺分为钢水准备、浇铸和铸坯精整三部分。钢水准备包括 LF 炉、真空处理、VOD 炉、钢包吹氩等；浇铸则由钢包、中间包、结晶器、二冷、拉矫、切割出坯等设备组成；精整有火焰清理和修磨等工序。图 1-9 所示为连铸机的工艺流程。

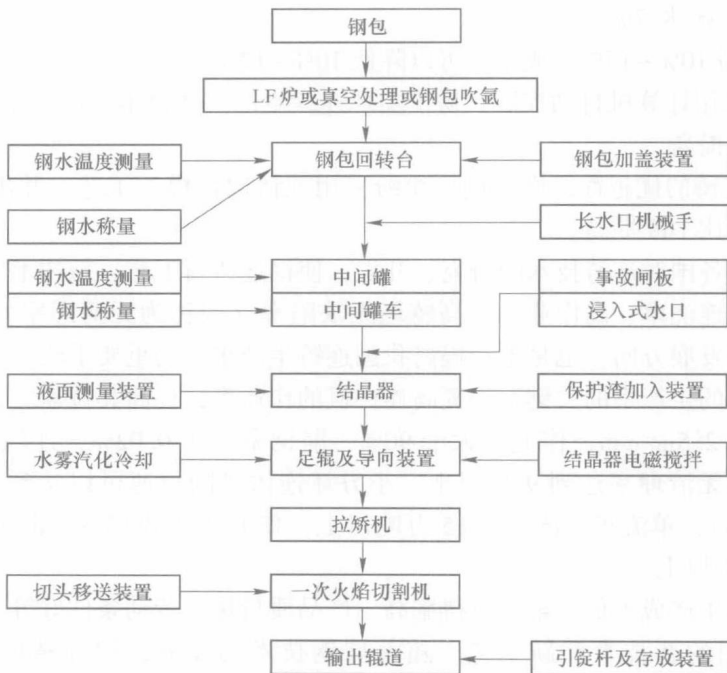


图 1-9 连铸机的工艺流程



## 1.6 连铸机的机型及其特点

连铸机的机型直接影响连铸坯的产量、质量、投资和效益。最早应用于工业生产的是立式连铸机，历经几十年的不断发展，至今已形成完整的机型型谱，通常称为传统连铸机。

按结晶器运动方式，连铸机分为固定式连铸机和移动式连铸机两类。移动式连铸机是以水冷、底部敞口铜质结晶器为特征的常用连铸机，又分为立式、立弯式、弧形、水平式等连铸机（图 1-10）；固定式连铸机是同步运动结晶器的连铸机，铸坯与结晶器壁间无相对运动，能够达到较高的浇铸速度，如双辊式、双带式、单辊式、单带式、轮带式等连铸机。用于工业生产的连铸机常见机型如图 1-11 所示。

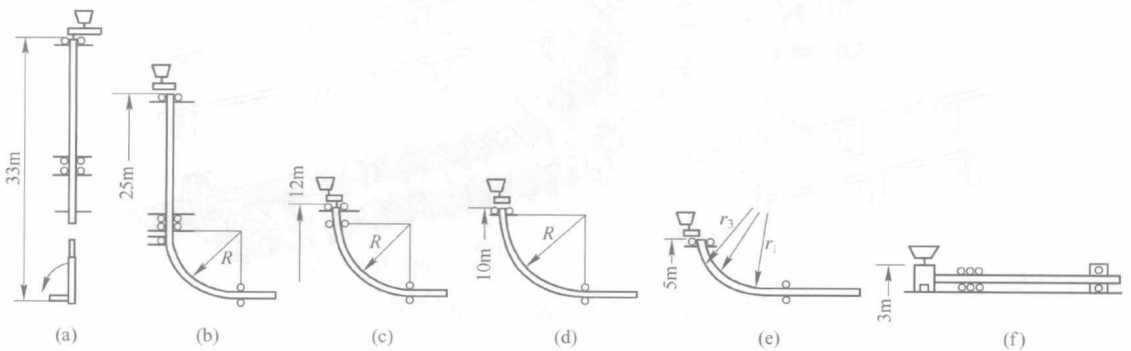


图 1-10 用于工业生产的连铸机常见机型

(a) 立式；(b) 立弯式；(c) 直结晶器弧形；(d) 弧形；(e) 椭圆形；(f) 水平式

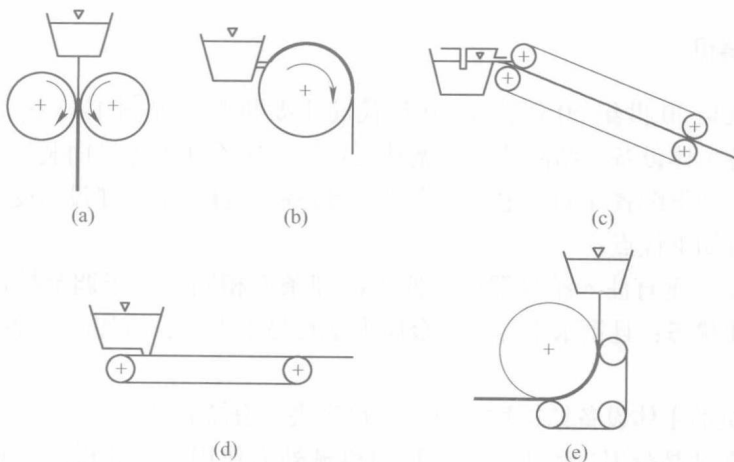


图 1-11 同步运动式结晶器的各种连铸机机型

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

按铸坯断面形状和大小，连铸机分为方坯连铸机（断面不大于  $150\text{mm} \times 150\text{mm}$  的称为小方坯；大于  $150\text{mm} \times 150\text{mm}$  的称为大方坯）；板坯连铸机（铸坯断面为长方形，其宽厚比一般在 3 以上）；圆坯连铸机（直径  $60 \sim 400\text{mm}$ ）；异形坯连铸机（如 H 型、空心管等）；方、板坯兼用连铸机（既能浇板坯，也能浇方坯）；薄板坯连铸机（铸坯厚度为