

# 现代钢铁 工业技术

## 小•方•坯•连•铸

北京钢铁设计研究总院 编

冶金工业出版社

7.3

现代钢铁工业技术

# 小方坯连铸

北京钢铁设计研究总院 编

冶金工业出版社

## 内 容 简 介

本书以天津钢厂、昆明钢铁公司和三明钢铁厂从联邦德国德马克公司引进的半径为5.25米的小方坯连铸机和北京钢铁设计研究总院设计的邯郸钢铁总厂小方坯连铸机为例，系统地介绍了国内外小方坯连铸技术。全书共分九章，除绪论外，叙述了小方坯的凝固、传热和质量，小方坯连铸设备设计、制造和安装，小方坯连铸的工艺操作等。有关电气、自动控制、水处理等设计参考资料和经济评价问题也都作了比较全面的介绍。

本书从设计角度出发，总结了引进小方坯连铸机和移植设计连铸机的经验，供从事连铸工作的工程技术人员、工人、领导和大专院校师生参考。

### 现代钢铁工业技术 小 方 坯 连 铸

北京钢铁设计研究总院 编

责任编辑 葛志祺

(内部发行)

\*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷89号)

冶金工业出版社印刷厂印刷

\*

787×1092 1/16 印张 19 1/4 字数435千字

1985年11月第一版 1985年11月第一次印刷

印数 00,001~3,000 册

统一书号：15062·4381 定价 3.95元

## 前 言

冶金工业部把连续铸钢作为发展我国钢铁工业的一项重大技术政策。提出在1990年，把连铸比提高到25~30%，2000年把连铸比提高到50%以上，这是一个宏伟的战略目标。我们已经有了—支从科研、设计、制造到生产的连铸技术队伍，连铸设备已有相当规模的生产能力，只要我们齐心协力，这个目标是可以达到的。引进国外先进的连铸技术，并应用到各个钢厂的技术改造上去，是达到这一目标的重要途径。应当指出，引进的先进技术应在实践的基础上不断改进，不断完善，把引进的先进技术提高到一个更高的水平。

本书比较系统地介绍了天津钢厂、昆明钢铁公司和三明钢铁厂引进的小方坯连铸技术、总结了国内邯郸钢铁总厂等钢厂连铸投产的经验，也介绍了国外同类设备的一些资料，内容比较广泛，除了供从事连铸工作的工程技术人员和大专院校的师生参考外，也可供各生产厂有关人员学习。

本书由冶金工业部北京钢铁设计研究总院科技处负责组织，炼钢、水道、电力、自动化和经济等设计室的设计研究人员负责编写。参加编写的同志有：俞晏（第一章）；郝漪（第二章）；王浦江，张文汉，曹广畴（第三章）；王家龙（第四章）；陈增琪（第五章）；潘时提（第六章）；刘矛功，高士哲（第七章）；姜建顺（第八章）；孙跃智（第九章）。全书由黄锡槐，曹广畴定稿。

在编写过程中，得到了院内外有关单位及科技工作者的大力支持，在此致以诚挚的谢意。

1984年12月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>第一节 国内外连铸技术的发展</b> .....	1
一、国外连铸技术的发展.....	1
二、我国连铸技术的发展.....	4
<b>第二节 连铸技术的主要优点</b> .....	4
一、提高金属收得率.....	5
二、节约能源.....	5
三、提高铸坯质量.....	6
四、有利于实现钢液成型工艺的机械化和自动化.....	6
<b>第三节 连铸机机型及其主要特点</b> .....	7
一、机型演变及其分类.....	7
二、各种类型连铸机的特点.....	7
三、机型对铸坯质量的影响.....	9
<b>第四节 小方坯连铸的发展</b> .....	9
一、多流小方坯连铸机.....	10
二、罗可普(Rokop)连铸机.....	10
三、兼用型连铸机.....	11
四、小方坯的热送.....	11
五、电磁搅拌在小方坯连铸机上的应用.....	11
<b>第二章 小方坯的凝固、传热和质量</b> .....	13
<b>第一节 钢液的结晶和凝固</b> .....	13
一、概述.....	13
二、固-液相变的热力学特点.....	13
三、晶核的形成.....	13
四、晶核的长大.....	14
五、小方坯的凝固特点.....	14
六、小方坯的凝固组织.....	14
七、凝固组织的控制.....	15
<b>第二节 小方坯在凝固过程中的传热</b> .....	17
一、概述.....	17
二、连铸过程的热平衡.....	17
三、结晶器传热.....	18
四、二冷区传热.....	29
<b>第三节 铸坯质量缺陷及其防止措施</b> .....	30
一、小方坯质量缺陷的特点.....	30
二、表面质量.....	31
三、铸坯结构.....	33
<b>第三章 小方坯连铸设备</b> .....	40
<b>第一节 概述</b> .....	40

第二节 钢液处理设备 .....	40
一、吹氩(或氮)钢液处理设备 .....	40
二、上吹法的主要设备和性能 .....	40
第三节 钢包回转台 .....	42
一、钢包回转台的技术要求 .....	42
二、钢包回转台的类型及特点 .....	43
三、移植设计的钢包回转台 .....	43
第四节 中间罐 .....	54
一、对中间罐的技术要求 .....	54
二、中间罐容量和尺寸 .....	54
三、中间罐的形状 .....	55
四、中间罐壳体 .....	55
五、中间罐内衬 .....	55
六、中间罐的控制装置 .....	58
第五节 中间罐车 .....	58
一、对中间罐车的技术要求 .....	58
二、中间罐车的类型和特点 .....	58
三、引进和移植的中间罐车 .....	58
第六节 结晶器振动装置 .....	65
一、对结晶器振动装置的技术要求 .....	65
二、结晶器振动装置的类型和特点 .....	65
三、引进和移植的小方坯连铸机的结晶器振动装置 .....	67
第七节 弧形管式结晶器 .....	73
一、结晶器类型 .....	73
二、弧形管式结晶器的弧形铜管 .....	75
三、弧形管式结晶器的水套 .....	79
四、足辊 .....	80
第八节 浇注平台 .....	81
一、对浇注平台的特殊要求 .....	81
二、浇注平台控制的变形值 .....	81
三、浇注平台的安装精度 .....	81
第九节 铸坯导向装置 .....	81
一、铸坯导向装置的作用 .....	81
二、小方坯连铸机铸坯导向装置的特点 .....	81
三、引进和移植的铸坯导向装置 .....	82
四、进一步简化小方坯连铸机的铸坯导向装置 .....	83
第十节 拉矫机 .....	83
一、对拉矫机的技术要求 .....	83
二、拉矫机的类型和特点 .....	84
三、引进和移植的拉矫机 .....	84
第十一节 中间辊道 .....	93
一、对中间辊道的技术要求 .....	93

二、中间辊道的类型与特点 .....	93
三、引进和移植设计的中间辊道 .....	93
<b>第十二节 机械剪</b> .....	<b>94</b>
一、对机械剪的技术要求 .....	94
二、机械剪的类型与特点 .....	94
三、引进和移植的300吨电动机械剪 .....	94
<b>第十三节 剪断机定尺装置</b> .....	<b>105</b>
一、对定尺装置的技术要求 .....	105
二、定尺装置的类型及特点 .....	105
三、各种定尺装置的比较 .....	105
<b>第十四节 引锭杆和引锭杆存放装置</b> .....	<b>106</b>
一、引锭杆 .....	106
二、引锭杆存放装置 .....	107
<b>第十五节 引锭杆跟踪装置</b> .....	<b>109</b>
一、对引锭杆跟踪装置的技术要求 .....	109
二、引锭杆跟踪装置的类型和特点 .....	109
三、引进与移植的小方坯连铸机引锭杆跟踪装置的结构与应用 .....	109
<b>第十六节 出坯系统</b> .....	<b>110</b>
一、辊道 .....	111
二、活动挡板和固定挡板 .....	113
三、冷床 .....	113
四、推钢机及液压系统 .....	114
五、铸坯吊具 .....	120
<b>第四章 小方坯连铸的工艺和操作</b> .....	<b>123</b>
<b>第一节 浇注温度控制</b> .....	<b>123</b>
一、控制浇注温度的重要性 .....	123
二、连铸生产对注温的要求 .....	123
三、浇注温度的确定 .....	123
四、钢液温度的调整 .....	126
<b>第二节 钢液成分的控制</b> .....	<b>129</b>
一、铝含量控制 .....	129
二、碳含量控制 .....	130
三、挡渣出钢 .....	130
<b>第三节 钢流控制</b> .....	<b>131</b>
一、控制钢流的作用和方法 .....	131
二、中间罐的钢液深度与钢流控制 .....	131
<b>第四节 冷却制度</b> .....	<b>132</b>
一、结晶器冷却 .....	132
二、二次冷却 .....	133
<b>第五节 结晶器润滑</b> .....	<b>138</b>
一、润滑的作用 .....	138
二、润滑机理 .....	138
三、润滑剂的选择 .....	138

四、润滑剂的管理 .....	138
<b>第六节 拉速控制</b> .....	139
一、最大拉速及工作拉速 .....	139
二、结晶器出口处的坯壳厚度 .....	140
三、拉速控制的操作要点 .....	140
<b>第七节 保护浇注</b> .....	141
一、概述 .....	141
二、钢包到中间罐的钢流保护 .....	142
三、中间罐到结晶器的钢流保护 .....	142
<b>第八节 多炉连浇</b> .....	144
一、冶炼要求 .....	144
二、吹氩调温 .....	144
三、浇注要求 .....	145
<b>第九节 操作故障及处理</b> .....	146
一、钢包故障和处理 .....	146
二、中间罐故障和处理 .....	148
三、结晶器故障和处理 .....	150
四、二冷区故障和处理 .....	151
五、设备冷却水的故障和处理 .....	151
六、拉矫机的故障和处理 .....	152
七、切割装置、辊道、出坯装置和其它设备故障及处理 .....	152
八、铸坯拉漏和处理 .....	152
<b>第五章 设计参考资料</b> .....	153
<b>第一节 方坯连铸机主要工艺参数的计算及选择</b> .....	153
一、钢包浇注时间 .....	153
二、铸坯断面 .....	154
三、拉速 .....	157
四、流数选择 .....	161
五、铸坯的液心长度( $L_{\text{心}}$ ) .....	163
六、连铸机的圆弧半径 .....	164
七、液心铸坯的弯曲及矫直 .....	166
八、火焰切割系统的计算 .....	170
<b>第二节 连铸机生产能力的计算</b> .....	174
一、浇注能力( $Q$ ) .....	174
二、浇注周期( $T_1$ ) .....	174
三、炼钢炉与连铸机的配合 .....	177
四、连铸机年作业率( $\eta$ ) .....	179
五、连铸坯收得率( $F_V$ ) .....	180
六、连铸机的年产量( $Y_a$ ) .....	181
七、最高日产量及最高日浇注炉数 .....	181
<b>第三节 方坯连铸机的工艺布置</b> .....	182
一、连铸机总体尺寸 .....	182
二、连铸机在车间内的布置 .....	187



三、辅助系统的配备及布置 .....	189
<b>第四节 技术经济指标及消耗指标</b> .....	195
一、金属平衡 .....	195
二、设备重量及电容量 .....	196
三、主要消耗指标 .....	198
<b>第六章 小方坯连铸机的给排水</b> .....	199
<b>第一节 概述</b> .....	199
<b>第二节 小方坯连铸机给排水概况</b> .....	199
一、小方坯连铸机用水户 .....	199
二、小方坯连铸机的用水要求 .....	200
三、小方坯连铸机的排水 .....	202
<b>第三节 小方坯连铸机的给排水系统</b> .....	203
一、给排水系统选择的几个因素 .....	203
二、给排水系统的流程 .....	204
三、小方坯连铸机供水系统中的仪表装置 .....	211
<b>第四节 小方坯连铸机冷却水处理</b> .....	211
一、循环冷却水系统的补充水处理 .....	212
二、循环冷却水的处理 .....	212
<b>第五节 有关水处理的设计参考资料</b> .....	213
一、机械过滤器 .....	213
二、旋流沉淀池 .....	214
三、水的各种硬度单位及换算(表6-10) .....	214
四、腐蚀换算(表6-11) .....	214
五、硬度为1德国度时1升水中的化合物含量 .....	214
<b>第七章 小方坯连铸的供电和电气控制</b> .....	215
<b>第一节 电气设备的特点</b> .....	215
一、连铸工艺对电气设备的要求 .....	215
二、电动机选型 .....	215
三、电控设备和生产过程的自动化 .....	215
四、电气传动技术性能表 .....	216
五、供配电系统 .....	216
六、控制站、操作室及操作点的设置 .....	216
<b>第二节 工作方式选择</b> .....	222
一、“断开”工作方式 .....	223
二、“手动”工作方式 .....	223
三、“准备穿引锭”工作方式 .....	223
四、“穿引锭杆”工作方式 .....	223
五、“准备浇注”工作方式 .....	223
六、“浇注”工作方式 .....	223
<b>第三节 传动控制</b> .....	224
一、钢包回转台 .....	224
二、中间罐车 .....	226

三、结晶器振动装置及结晶器润滑 .....	226
四、冷却水系统 .....	227
五、拉矫机及结晶器液面调节 .....	227
六、电动机械剪 .....	235
七、辊道及出坯系统 .....	237
八、引锭杆存放和引锭杆跟踪系统 .....	238
九、蒸汽排除装置 .....	239
十、推钢机液压站 .....	239
第四节 冷却水供水设施 .....	240
<b>第八章 连铸机生产过程的检测与自动控制</b> .....	241
第一节 概述 .....	241
第二节 吹氩调温站的检测与自动控制 .....	241
一、喷吹气体的测量与控制 .....	241
二、利用控制时钟控制钢液吹氩调温过程 .....	243
三、用电子计算机控制吹氩调温过程 .....	245
第三节 小方坯连铸机的检测与自动控制 .....	245
一、钢包称量装置 .....	245
二、微处理机钢液测温仪 .....	249
三、结晶器钢液面测量与控制装置 .....	254
四、铸坯表面温度测量 .....	259
五、结晶器冷却水和二次冷却水的检测与自动控制 .....	260
六、拉坯长度测量 .....	261
<b>第九章 对小方坯连铸的经济评价</b> .....	264
第一节 企业经济评价 .....	264
一、基建投资的估算及构成 .....	264
二、劳动定员 .....	265
三、比较基础 .....	265
四、经济计算 .....	265
五、企业经济评价 .....	268
六、综合评价 .....	277
第二节 经济评价中几个问题 .....	278
一、金属收得率及能耗 .....	278
二、废钢 .....	281
三、减产损失 .....	286
四、企业潜力的发挥 .....	288
五、连铸坯规格 .....	290
<b>附表 1 钢锭和连铸坯的成本</b> .....	293
<b>附表 2 轧坯成本</b> .....	294
<b>附表 3 小型材成本</b> .....	295
<b>附表 4 第 1、2 年的净效果</b> .....	295
<b>附表 5 吨坯累计直接能耗</b> .....	296
<b>附表 6 吨坯累计间接能耗</b> .....	297

# 第一章 绪 论

## 第一节 国内外连铸技术的发展

### 一、国外连铸技术的发展

连续铸钢自问世以来，它便得到迅速地发展。近几年来，虽然世界钢铁工业不景气，许多国家产量下降，但连铸坯的产量仍在不断地增加，连铸工艺不断完善，技术不断成熟。除此之外近年来随着炼钢和轧钢技术的进展，钢铁工业结构的变化和对产品规格、质量的新的要求，也都促进了连铸技术的发展。它主要表现在以下几个方面：

#### 1. 超大型炼钢厂的出现以及高生产率的连续热带轧机对连铸技术发展的影响

六十年代中期，相继出现了许多年产超过500万吨的大型炼钢厂，这些钢厂采用了生产率极高的大型氧气顶吹转炉，有的容量达到350吨以上，日产量可达20000吨左右。为此，引起了炼钢与铸锭工序之间的突出矛盾，如果加大钢锭重量，必然增加对初轧机投资，同时浇铸大钢锭也还存在一些难以解决的问题，这就促使优先发展高效率的大型连铸机，包括大型板坯和大型方坯连铸机。现在许多大型钢铁厂，以板材作为主要产品，大部分采用生产效率很高的连续热带和冷带轧机轧制。这种轧机要求较大的钢卷单重（40~60吨），采用常规的铸锭——开坯工艺是难以满足的，为此，发展了连铸新技术和新工艺。

由于连铸的优越性，许多已建的大型初轧机纷纷停产而被连铸所取代，例如新日铁大分厂和八幡厂的初轧机已停产，君津、福山等厂的初轧机也即将停产。

现在，日本五大钢公司的连铸比都超过了90%，新日铁大分厂和八幡厂的连铸比均为100%，实现了全连铸。

#### 2. 小型钢厂（mini钢厂）对连铸技术发展的影响

小型钢厂以生产小型材如钢筋、盘条及小型型钢为主，在应付市场变化与大型钢厂的竞争过程中不但未被挤垮，而且有了不同程度的发展。

在六十年代小方坯连铸机的发展，促进了小型钢厂的发展。以电炉——小方坯连铸机——专用轧机的生产工艺来满足较窄产品规格的小钢厂在与大企业的竞争中又促进了小方坯连铸机的发展。

小型钢厂的共同特点是装备、生产工艺和生产体系均很先进，其中大多数厂家都采用了连铸机，连铸坯直接进入成品轧机，用以生产钢筋、盘条、小型型钢、扁钢等多种产品。以美国为例，1975年这类钢厂总计有六十六家，有四十三家采用了全连铸。

小方坯连铸机之所以成为小钢厂的支柱，是因为小钢厂在采用连铸工艺后，具有投资省、建设快、金属收得率高、能源消耗低、竞争力强等特点。

#### 3. 连铸技术发展的特征

##### （1）连铸机数量，连铸坯产量和连铸比增长情况

据统计，1964年全世界仅有80余台连铸机，生产能力约700万吨；1970年达到325台，生产能力为6800万吨；而1982年世界连铸坯的总产量为2.28亿吨，连铸比为39.2%。预计1985年世界连铸比将达到56%。

1982年世界各国连铸坯的产量和连铸比示于表1-1。

1982年各国(地区)连铸坯产量和连铸比

表 1-1

序 号	国 家 或 地 区	连铸坯产量, 万吨	连铸比, %
1	联邦德国	2221	61.9
2	比利时	329	33.3
3	法 国	1076	58.5
4	卢森堡	68	19.4
5	荷 兰	135	31.0
6	英 国	534	39.0
7	奥地利	329	77.3
8	芬 兰	225	93.4
9	挪 威	12	16.6
10	葡 萄 牙	23	46.8
11	丹 麦	54	96.8
12	意 大 利	1405	58.5
13	西 班 牙	552	42.0
14	瑞 典	296	76.0
15	土 耳 其	45	16.1
16	南斯拉夫	182	47.5
17	美 国	1961	29.0
18	加 拿 大	389	32.8
19	阿 根 廷	151	51.8
20	巴 西	533	41.0
21	墨 西 哥	210	29.7
22	澳大利亚	111	17.5
23	日 本	7837	78.7
24	南 朝 鲜	602	51.3
25	南 非 (阿札尼亚)	505	61.6
26	中 国	275	7.9
27	中国台湾省	336	80.9
28	苏 联	1810	12.3
29	捷克斯洛伐克	22	1.5
30	民主德国	118	16.6
31	匈 牙 利	129	33.9
32	波 兰	60	4.2
33	罗马尼亚	269	20.9

全世界拥有的连铸机台数及流数分类情况见表1-2。全世界连铸机台数及生产能力增长情况见表1-3。

日本连铸坯和连铸比增长情况见表1-4。

### (2) 连铸钢种不断扩大

尽管连铸的工业化是以不锈钢为开端的,但初期的连铸机还是以生产普碳钢为主的。随着连铸技术的发展,工艺的改进、设备的完善、浇注钢种也迅速扩大。目前用连铸生产的钢种几乎涉及到所有的钢类,可以为各种轧材供坯,例如日本住友金属公司先后建成的包括板坯、大方坯和小方坯的6台连铸机,成功地生产了板、管、线、棒材领域中从碳素钢至特殊合金钢的几乎全部钢种,生产的品种如下:

全世界正在生产和建设中的各种连铸机的台数和流数(统计至1984年1月1日) 表 1-2

铸机供应公司	瑞 士 康 卡 斯 特 CONCAST		意 大 利 达 涅 里 DANIELI		西 德 德 马 克 DEMAG		日 本 日 立 造 船 HITACHIZOSEN		意 大 利 康 梯 纽 CONTINUA		日 本 三 菱 MITSUBISHI	
	机	流	机	流	机	流	机	流	机	流	机	流
铸机种类												
小方坯	238	798	90	325	66	233	—	—	38	109	54	179
大方坯	91	333	13	43	43	175	1	6	1	2	15	43
板坯	88 <sup>①</sup>	125 <sup>①</sup>	1	2	72	124	17	29	—	—	1	1
总 计	417	1256	104	370	181	532	18	35	39	111	70	223

铸机供应公司	阿 尔 贝 特 MECANARBED		日 本 神 户 KOBE		苏 联		奥 地 利 奥 钢 联 VÖEST		其 他		总 计	
	机	流	机	流	机	流	机	流	机	流	机	流
铸机种类												
小方坯	2	12	6	24	8	39	11	51	95	246	608	2016
大方坯	5	28	6	23	42	160	9	38	49	174	275	1075
板坯	—	—	3	6	59	103	28	36	29	45	295	468
总 计	7	40	15	53	109	302	48	125	173	465	1178	3509

注：康卡斯特和德马克两公司合作为中国武钢制造的三台单流板坯连铸机被重复加入这两公司的总数中，但在世界连铸机总台数中只算一次。

世界连铸机台数和生产能力增长情况

表 1-3

年 份	连 铸 机 台数, 台	生 产 能 力 万吨/年	世界钢产量 万吨/年	连铸坯产量 万吨/年	连 铸 比 %
1970	325	6800	59790	3000	5.0
1975	651	17600	64630	8500	13.1
1980	1020	30090	71770	19500	27.2
1981	—	—	71290	21400	30.0
1982	1131			22541	39.2

日本连铸坯和连铸比的增长情况

表 1-4

年 份	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
连铸坯产量, 万吨	527	1446	2471	2941	3181	3762	4180	4715	5811	6627	7184	7837
连铸比, %	5.6	17.0	20.7	25.1	31.1	35	40.8	46.2	52.0	59.5	70.7	78.7

1) 中厚板, 包括结构钢、焊接结构钢、抗大气腐蚀钢、锅炉及压力容器钢, 高碳钢等。

2) 热轧薄板, 包括一般及深冲用钢, 汽车结构用钢, 抗大气腐蚀钢、煤气罐用钢、高碳钢等。

3) 冷轧薄板, 包括一般及深冲用钢板及镀锡和镀锌板。

4) 钢管, 包括管线用钢管, 石油工业用钢管, 一般及机械结构用管, 压力用钢管等。

5) 线材及棒材, 包括弹簧及钢丝绳钢, 一般及机械用钢、铬钢、铬钼钢、冷锻钢

等。

6) 不锈钢, 包括奥氏体类, 铁素体类及部分马氏体类。

合金钢厂的合金钢连铸得到迅速发展, 这是由于连铸产品内部质量较好、洁净度高, 成分均匀, 更容易达到合金钢的质量要求。西德克虏伯齐根厂, 连铸机半径为9米的方坯连铸机, 成功地生产了所有的特殊结构钢, 包括淬火钢, 可热处理钢, 弹簧钢和少量轴承钢、不锈钢等。

印度比哈尔合金钢厂采用连铸法生产的各种合金钢, 由于凝固组织好, 成分均匀, 钢的淬透性好, 波动小, 完全满足印度汽车工业、轴承厂、无缝钢管厂的要求。

概括起来, 能够连铸的钢种按化学成分及用途分类可包括碳素钢, 低合金钢、高合金钢(主要为不锈钢)、硅钢、弹簧钢、还有少量轴承钢、工具钢、易切屑钢等。按轧材分有钢板钢(包括热轧板、冷轧板、中厚板)、线材、棒材、钢管、钢轨和型钢。按脱氧制度分, 绝大部分为硅镇静钢和硅铝镇静钢、铝镇静钢和代替沸腾钢的吕班德钢。

随着炼钢技术的发展(例如真空技术、钢液吹氩、喷吹等)和进一步完善(例如保护浇注、电磁搅拌技术等), 铸坯的表面、内部缺陷进一步减少, 连铸的钢种将会进一步扩大。

## 二、我国连铸技术的发展

### 1. 我国连铸的发展情况

我国从1955年开始进行连铸的试验研究工作。1958年在唐山钢厂建成了第一台工业生产的立式连铸机, 1964年又在重庆第三钢铁厂建成第一台弧形连铸机。我国连铸技术的发展至今已有二十余年历史。1983年全国共生产连铸坯358.5万吨, 连铸比为9%。

### 2. 引进、移植连铸技术对发展我国连铸的作用

1974年, 我国从西德施罗曼—西马克和德马克公司引进三套弧形板坯连铸机, 安装在武汉钢铁公司第二炼钢厂, 并于1977年投产, 对发展我国板坯连铸起了很大作用。

为了改变中小钢厂落后的铸锭工艺, 1980年, 我国与西德曼内斯曼—德马克公司签定了引进小方坯连铸设备及技术转让与合作制造合同。在国内增建了一批德马克式小方坯连铸机。截至1983年已有八台这样的连铸机投产, 设计能力138.5万吨。

为配合小方坯连铸机顺利达到设计产量, 国内对小方坯连铸的相关技术组织了科研和设计单位、大专院校及生产厂等力量进行攻关, 其主要包括:

- 1) 工艺技术攻关, 包括转炉挡渣出钢、钢液脱氧、中间罐水力学模型以及中间罐钢液流动分析、钢包及中间罐保护渣、二冷喷水制度等的研究;
- 2) 二冷喷嘴的研制;
- 3) 带锥度及弧度的结晶器铜管的研制;
- 4) 连铸用耐火材料, 例如锆质定径水口和绝热板的研制;
- 5) 关于连铸理论研究, 包括对结晶器传热和凝固理论的研究。通过对上述问题的攻关和取得的成绩对我国小方坯连铸技术的发展起了积极的作用。

## 第二节 连铸技术的主要优点

连续铸钢技术之所以发展这样迅速, 是由于连铸工艺具有一系列的优点, 而这些优点是传统的模铸法无法比拟的。

## 一、提高金属收得率

连铸与模铸—开坯工艺相比，从钢水到钢坯的收得率可提高8~15%。

1975年西方国家连铸与模铸—开坯的金属收得率比较见表1-5。

连铸与模铸—开坯的金属收得率<sup>①</sup>的比较，%

表 1-5

项 目	各种钢坯的综合比较	板 坯	大 方 坯	小 方 坯
模铸—开坯	83.45	84.28	82.93	81.29
连 铸	95.01	94.74	95.87	95.57
连铸比模铸提高收得率	11.56	10.46	12.94	14.28

① 1吨钢水通过连铸制成合格坯或通过模铸轧成合格坯的比较。

连铸是钢水连续成型的工艺。金属的损耗包括首尾切头、中间罐残留钢水。而模铸—开坯的金属损耗包括每支钢锭的切头、中注管、汤道损失以及钢包注余损失。

连铸金属收得率的进一步提高在于提高多炉连浇率。

## 二、节约能源

近年来，世界性的能源危机有增无减，各国对节能措施都十分重视。由于连铸工艺可以省掉一些加热（均热）工序，因而吨钢能耗大大降低。据日本资料介绍，连铸法的能耗仅为模铸—开坯法的20.8~13.5%。有关连铸法与模铸—开坯法的能耗比较见表1-6。

连铸法与模铸—开坯法能耗比较(千卡/吨)

表 1-6

项 目	方 法			
	连 铸 法	模铸—开坯法	连 铸 法	模铸—开坯法
电 力	20100	85500	23800	61600
煤 气	8000	279400	4700	226200
循 环 水	12600	6000	15800	5100
氧 气	7000	9400	13300	9500
海 水	—	—	—	7500
液化石油气	4500	6400	8100	5500
总 计	52200	386700	65700	315400
差 值	334500		249700	

由此看出，日本生产一吨连铸坯比模铸—开坯可节省热量  $249 \sim 334.5 \times 10^3$  千卡，相当于36~48公斤标准煤。据国际钢铁协会技术委员会最近对109个钢铁企业调查的结果，节约能耗20~50公斤标准煤。

我国连铸法与模铸—开坯法比较，连铸法节约的能耗一般为50~90公斤标准煤，这与我国的轧机组成有关。

上述节约能耗为直接节能，如果加上金属收得率的提高，节约的能耗更大。

近年来，为了进一步节省能耗，许多工厂采取了连铸坯热送工艺，即将200~800℃的

铸坯直接送入加热炉，这样每吨铸坯可再节约5公斤标准煤，日本几家大型钢厂连铸坯热送情况示于表1-7。

日本几个工厂连铸坯热送情况

表 1-7

厂 家	连铸比, %	热装比, %	热装温度, ℃
新日铁大分厂	100	80	~800
新日铁八幡厂	100	70	~500
新日铁君津厂	95~96	78	520
新日铁名古屋厂	94	46.5	600
日本钢管福山厂	90	30	500
日本钢管千叶厂	90	50	420
住友金属鹿岛厂	91	55~60	500

新日铁堺厂的连铸板坯采用不经加热直接送进带钢热连轧机的工艺，不仅简化了工序，而且大幅度节约了能源。其作法是将连铸机连同钢水处理设施与带钢热连轧机布置在一起，钢水从600米以外的炼钢车间送来，浇注的板坯以最短的距离用辊道直接送连轧机。

提高多炉连浇率是进一步节能的措施之一，连浇炉数与节约中间罐用油的关系为：

$$Q_f = \left( 1 - \frac{1}{F} \right) \times 220 \times C$$

式中  $Q_f$ ——一定时间内节约油量，公斤；

$F$ ——连浇炉数；

$C$ ——一定时间内总浇注炉数。

采用绝热板的冷中间罐可以省去中间罐砌砖、干燥与烘烤的能耗。通常用耐火材料砌筑的中间罐要进行干燥，并在浇注前要快速加热到1000~1100℃，耗热量约16000~27000千卡/吨。

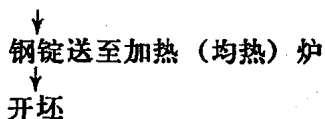
### 三、提高铸坯质量

连铸坯的质量，在许多方面优于钢锭，例如成分偏析小、纯洁度高、组织致密。用连铸坯轧成的钢材在许多方面也优于钢锭轧成的轧材。例如，用连铸坯轧的镀层薄板在宽度方向的性能和用连铸坯轧成的中厚板抗腐蚀的性能都比较好。据印度比哈尔合金钢厂对轧材检查结果表明，连铸坯的宏观纯洁度和微观纯洁度都比用钢锭轧材好，夹杂物分布在整个长度方向是均匀的，产品的机械性能经常高于用钢锭轧制的。由于凝固组织好，成分均匀，钢的淬透性好，波动小，合金钢连铸已完全能满足汽车工业所要求的质量水平。

### 四、有利于实现钢液成型工艺的机械化和自动化

采用模铸——开坯工艺要通过下述复杂的工序。

浇注→冷凝→脱模→清理底板和模子→整模→准备浇注



脱整模等工序的操作环境恶劣，劳动强度大，是炼钢生产中最落后的环节。

连铸是把许多工序简化到一个机械设备上进行，这就为采用自动控制和计算机控制创造了良好的条件，大大改善了劳动条件，节约了人力。



### 第三节 连铸机机型及其主要特点

#### 一、机型演变及其分类

连铸机的机型经历了立式、立弯式和弧形的演变过程。发展到目前确定了以弧形连铸机为主流。水平连铸机的试制工作近年来受到一定的重视，并有了较大的进展。

五十年代，连铸工业化的初期阶段，连铸机几乎都是立式的。随着浇注断面的增大和拉速的提高，铸机的高度增加。为了减少设备费用，降低厂房高度出现了立弯式连铸机，它即保持了立式连铸机在垂直方向进行浇注的特点，又在水平位置上切割和出坯。在立弯式的基础上，演变出带液相弯曲的直—弧形连铸机，这种连铸机是由美国钢公司 (U.S. Steel) 奥地利联合钢铁公司 (Vöest)，瑞典奥尔森公司 (Olssen) 设计的。

1963年，瑞士冯—莫斯研制了弧形连铸机。因为设备高度降低，在原有铸锭厂房内建设比较方便，所以得到迅速的发展，现已成为主导机型。在此基础上近年来又发展了多半径多点矫直的弧形连铸机。

水平连铸技术在20年代，先在有色金属领域中达到了工业生产水平。近年来钢的水平连铸，在一些技术关键上又有突破。发展水平连铸旨在降低厂房高度和设备费用，避免钢水的二次氧化和铸坯的弯曲和矫直。

各种型式连铸机见图1-1。铸机的分类见表1-8。

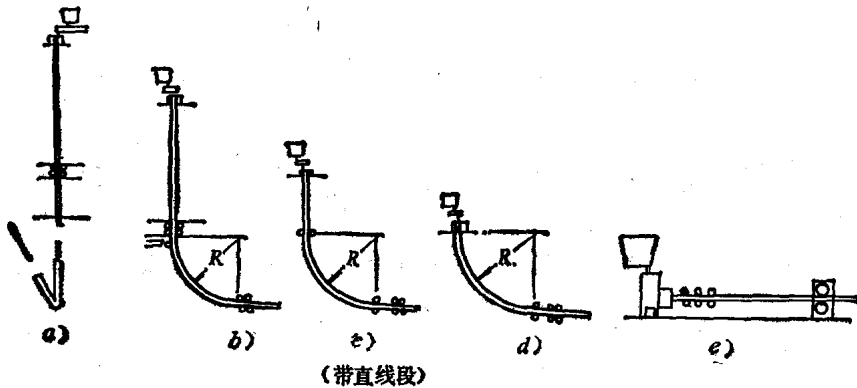


图 1-1 现有各种连铸机的类型

a—立式；b—立弯式；c—弧形（带直线段）；d—弧形；e—水平式

#### 二、各种类型连铸机的特点：

##### 1. 立式连铸机

立式连铸机的基本特点是从钢液到铸坯切成定尺的整个流程是在一条垂直线上进行的，铸坯自始至终不承受强制的弯曲变形，冷却比较均匀，夹杂物易于上浮，但设备高度大。由于铁静压力大，设备笨重，维修也不方便，此外，安装这样的连铸机需要很高的厂房或地坑，基建投资较高。

##### 2. 立弯式连铸机

立弯式连铸机具有立式连铸机在垂直方向进行浇注和凝固的特点。它是铸坯在全凝和基本全凝下进行弯曲和矫直的，在水平方向上切割和出坯，从而减少了设备的总高度。与立式相比，设备高度减少了25%。这种型式的连铸机夹杂物上浮条件较好，没有向内弧聚