



劳动和社会保障部培训就业司推荐  
冶金行业职业教育培训规划教材

# 连续铸钢生产

LIANXU ZHUGANG SHENGCHAN

冯 捷 史学红 主编



冶金工业出版社

劳动和社会保障部培训就业司推荐  
冶金行业职业教育培训规划教材

# 连续铸钢生产

主 编 冯 捷 史学红  
副主编 沈 翊 郑轶荣  
主 审 段永卿

北 京  
冶 金 工 业 出 版 社  
2005

## 内 容 提 要

本书为冶金行业职业技能培训教材,是参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的,并经劳动保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过。

书中主要包括:连续铸钢设备与操作、钢液凝固的基本理论、连铸坯的凝固、连续铸钢工艺操作技能(包括连续铸钢常见事故及其处理、技术经济指标)、连铸坯质量、合金钢连铸和连续铸钢技术新进展等。

本书也可作为职业技术学院相关专业教材,或工程技术人员的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

连续铸钢生产/冯捷等主编. —北京:冶金工业出版社,2005.3

ISBN 7-5024-3555-7

I. 连… II. 冯… III. 连续铸钢—生产工艺  
IV. TF777

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 103090 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 美术编辑 王耀忠

责任校对 符燕蓉 李文彦 责任印制 李玉山

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

2005 年 3 月第 1 版, 2005 年 3 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;19.25 印张;460 千字;291 页;1—5000 册

45.00 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)

# 冶金行业职业教育培训规划教材

## 编辑委员会

主 任 王子林 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会  
主任委员;唐山钢铁公司 副总经理

曹胜利 冶金工业出版社 社长

副主任 董兆伟 河北工业职业技术学院 院长

鲁启峰 中国钢协人力资源与劳动保障工作委员会教育培训研究会  
副主任委员;中国钢协职业培训中心 副主任

顾 问 北京科技大学 曲 英 王筱留 袁 康 施东成  
委 员

|            |     |                                  |         |     |
|------------|-----|----------------------------------|---------|-----|
| 首钢总公司      | 舒友珍 | 何智广                              | 宝山钢铁公司  | 杨敏宏 |
| 太原钢铁公司     | 贾宝林 | 孟永钢                              | 武汉钢铁公司  | 孙志桥 |
| 马鞍山钢铁公司    | 王茂龙 | 陈 宣                              | 本溪钢铁公司  | 张春雨 |
| 唐山钢铁公司     | 宋润平 | 冯柄晓                              | 江苏沙钢公司  | 黄国刚 |
| 济南钢铁公司     | 陈启祥 | 赵树俭                              | 天津天铁公司  | 王金铭 |
| 南京钢铁联合公司   | 陈龙宝 | 朱朝全                              | 钢协培训中心  | 宋 凯 |
| 承德钢铁公司     | 魏洪如 | 高 影                              | 济源钢铁公司  | 靳沁萍 |
| 石家庄钢铁公司    | 侯 敏 | 冷学中                              | 滦河集团公司  | 王爱民 |
| 首钢迁安钢铁公司   | 王宝军 | 王 蕾                              | 河北冶金研究院 | 彭万树 |
| 邯郸钢铁公司     | 张晓力 | 李 阳                              | 河北冶金设计院 | 周建宏 |
| 宣化钢铁公司     | 张聪山 | 李豪杰                              | 港陆钢铁公司  | 赵福桐 |
| 淮阴钢铁公司     | 刘 瑾 | 王灿秀                              | 邯钢衡水薄板厂 | 魏虎平 |
| 邢台钢铁公司     | 张力达 | 孙汉勇                              | 半壁店钢铁公司 | 刘春梅 |
| 纵横钢铁公司     | 王建民 | 阚永梅                              | 鹿泉钢铁公司  | 杜会武 |
| 河北工业职业技术学院 | 袁建路 | 李文兴                              | 河北立国集团  | 郭志敏 |
| 山西工程职业技术学院 | 王明海 | 史学红                              |         |     |
| 冶金工业出版社    | 宋 良 | (010-64027900, 3bs@cnmip.com.cn) |         |     |

# 序

吴溪淳

改革开放以来,我国经济和社会发展取得了辉煌成就,冶金工业实现了持续、快速、健康发展,钢产量已连续数年位居世界首位。这期间凝结着冶金行业广大职工的智慧 and 心血,包含着千千万万产业工人的汗水和辛劳。实践证明,人才是兴国之本、富民之基和发展之源,是科技创新、经济发展和社会进步的探索者、实践者和推动者。冶金行业中的高技能人才是推动技术创新、实现科技成果转化不可缺少的重要力量,其数量的迅速增长、素质的不断提高与否,关系到冶金行业核心竞争力的强弱。同时,冶金行业作为国家基础产业,拥有数百万从业人员,其综合素质关系到我国产业工人队伍整体素质,关系到工人阶级自身先进性在新的历史条件下的巩固和发展,直接关系到我国综合国力能否不断增强。

强化职业技能培训工作,提高企业核心竞争力,是国民经济可持续发展的重要保障,党中央和国务院给予了高度重视。在2003年的全国人事工作会议上,中央再一次明确了人才立国的发展战略,同时国家已开始着手进行终身学习法的制定调研工作。结合《职业教育法》的颁布实施,职业教育工作将出现长期稳定发展的新局面。

为了搞好冶金行业职工的技能培训工作,河北工业职业技术学院同冶金工业出版社和中国钢协职业培训中心密切协作,联合有关的冶金企业和职业技术学院,编写了这套冶金行业职业教育培训规划教材,并经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,给予推荐。河北工业职业技术学院的各级领导和教师在时间紧、任务重的情况下,克服困难,辛勤工作,在有关单位的工程技术人员和教师的积极参与和大力支持下,出色地完成了前期工作,为冶金行业的职业技能培训工作的顺利进行,打下了坚实的基础。相信本套教材的出版,将为企业生产一线人员的理论水平、操作水平和管理水平的进一步提高,企业核心竞争力的不断增强,起到积极的推进作用。

随着近年来冶金行业的高速发展,职业技能培训工作也取得了巨大的成绩,

大多数企业建立了完善的职工教育培训体系,职工素质不断提高,为我国冶金行业的发展提供了强大的人力资源支持。我个人认为,今后的培训工作重点,应注意继续加强职业技能培训工作者的队伍建设,继续丰富教材品种,加强对高技能人才的培养,进一步加强岗前培训,加强企业间、国际间的合作,开辟新的局面。

展望未来,任重而道远。希望各冶金企业与相关院校、出版部门进一步开拓思路,加强合作,全面提升从业人员的素质,要在冶金企业的职工队伍中培养一批刻苦学习、岗位成才的带头人,培养一批推动技术创新、实现科技成果转化的带头人,培养一批提高生产效率、提升产品质量的带头人;不断创新,不断发展,力争使我国冶金行业职业技能培训工作跨上一个新台阶,为冶金行业持续、稳定、健康发展,做出新的贡献!

# 前 言

本书是按照劳动和社会保障部的规划,受中国钢铁工业协会和冶金工业出版社的委托,在编委会的组织安排下,参照冶金行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据冶金企业的生产实际和岗位群的技能要求编写的。书稿经劳动和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,由劳动和社会保障部培训就业司推荐作为冶金行业职业技能培训教材。

目前,我国钢铁行业发展迅猛,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。随着全连铸车间的不断产生,连铸操作人员的技术有待迅速提高。为了适应连续铸钢技术发展的需要,我们编写了《连续铸钢生产》一书。

书中内容,特别是连续铸钢操作技能、连续铸钢常见事故及其处理部分,是借鉴了加拿大 CBE 理论和 DACUM 方法,根据连铸生产实际情况和各岗位群技能要求而确定的。作为培训用书,在具体内容的组织安排上,力求少而精,通俗易懂,理论联系实际,着重应用。本书对以培养重技能和操作为主要目标的冶金类高职高专师生、现场从事连续铸钢工作的技术人员及技术工人、技工学校师生,也有一定的参考价值。

本书主编为河北工业职业技术学院材料系冯捷、山西工程职业技术学院学红;副主编为河北工业职业技术学院沈翊、郑轶荣;参编人员有承德民族职业技术学院刘晓燕,河北省冶金研究院彭会霄,邯鄲钢铁集团公司李阳、乔继纲、李志芳、崔丽芬,石家庄钢铁集团公司蔡仲卫,河南冶金工业学校王凯中;主审为邯鄲钢铁集团公司段永卿。全书由冯捷定稿。

编写本书时,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,还得到了有关单位的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于水平所限,加之完稿时间仓促,书中的缺点和错误难免,敬请读者批评指正。

编 者

## 冶金工业出版社部分图书推荐

| 书 名                | 作 者    | 定价(元) |
|--------------------|--------|-------|
| 钢铁冶金原理(第3版)        | 黄希祐 编  | 40.00 |
| 冶金物理化学研究方法(第3版)    | 王常珍 主编 | 48.00 |
| 冶金物理化学             | 张家芸 主编 | 39.00 |
| 冶金工程实验技术           | 陈伟庆 主编 | 39.00 |
| 合金相与相变(第2版)        | 肖纪美 主编 | 37.00 |
| 金属学原理              | 余永宁 编  | 57.00 |
| 金属学原理习题解答          | 余永宁 编著 | 19.00 |
| 冶金工艺工程设计           | 袁熙志 编  | 20.00 |
| 相图原理与冶金相图          | 陈国发 等编 | 20.00 |
| 电子枪与离子束技术          | 张以忱 编著 | 29.00 |
| 现代流体力学的冶金应用(英文)    | 李宝宽 著  | 25.00 |
| 烧结生产技能知识问答         | 薛俊虎 主编 | 48.00 |
| 烧结管理概论             | 孙文东 主编 | 25.00 |
| 燃料及燃烧(第2版)         | 韩昭沧 主编 | 29.50 |
| 冶金传输原理             | 张先棣 主编 | 50.00 |
| 钢铁冶金学(炼铁部分)(第2版)   | 王筱留 主编 | 29.00 |
| 钢铁冶金学(炼钢部分)        | 陈家祥 主编 | 35.00 |
| 过程检测控制技术与应用        | 朱晓青 主编 | 34.00 |
| 转炉炼钢问答             | 王雅贞 等编 | 29.00 |
| 氧气顶吹转炉炼钢工艺与设备(第2版) | 王雅贞 等编 | 29.80 |
| 感应炉熔炼与特种铸造技术       | 唱鹤鸣 等著 | 24.80 |
| 电弧炉炼钢工艺与设备(第2版)    | 沈才芳 等编 | 35.00 |
| 电炉炼钢原理及工艺          | 邱绍岐 等编 | 40.00 |
| 电炉炼钢学              | 马廷温 主编 | 30.00 |
| 炉外精炼               | 徐曾啓 主编 | 22.50 |
| 连续铸钢原理与工艺          | 蔡开科 等编 | 25.00 |
| 近终形连铸技术            | 张小平 等编 | 16.00 |

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 绪 论 .....                    | 1  |
| 复习思考题 .....                  | 7  |
| 1 连铸设备与操作 .....              | 8  |
| 1.1 钢包、运载设备及其操作 .....        | 8  |
| 1.1.1 钢包 .....               | 8  |
| 1.1.2 钢包烘烤装置 .....           | 22 |
| 1.1.3 钢包运载设备 .....           | 25 |
| 1.2 中间包及其运载设备 .....          | 29 |
| 1.2.1 中间包 .....              | 29 |
| 1.2.2 中间包烘烤装置 .....          | 46 |
| 1.2.3 中间包车 .....             | 48 |
| 1.3 结晶器 .....                | 51 |
| 1.3.1 结晶器的作用及类型 .....        | 51 |
| 1.3.2 结晶器的结构及组成 .....        | 52 |
| 1.3.3 结晶器的主要工艺参数 .....       | 59 |
| 1.3.4 结晶器断面调宽及润滑装置 .....     | 64 |
| 1.3.5 结晶器液面自动控制 .....        | 67 |
| 1.4 结晶器振动装置 .....            | 69 |
| 1.4.1 结晶器振动的作用及分类 .....      | 69 |
| 1.4.2 结晶器振动装置的主要参数 .....     | 71 |
| 1.4.3 结晶器振动装置的结构组成 .....     | 71 |
| 1.4.4 结晶器快速更换台架 .....        | 75 |
| 1.5 二次冷却装置 .....             | 75 |
| 1.5.1 二次冷却装置的作用及其结构 .....    | 76 |
| 1.5.2 方坯连铸机二次冷却装置 .....      | 76 |
| 1.5.3 板坯连铸机二次冷却装置 .....      | 78 |
| 1.5.4 二冷区冷却装置 .....          | 79 |
| 1.5.5 二冷区扇形段更换装置 .....       | 82 |
| 1.6 拉坯矫直装置 .....             | 83 |
| 1.6.1 拉坯矫直装置的作用及拉矫力的确定 ..... | 83 |
| 1.6.2 小方坯连铸机的拉矫装置 .....      | 85 |
| 1.6.3 板坯连铸机的拉矫装置 .....       | 86 |
| 1.7 引锭装置 .....               | 90 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 1.7.1 引锭装置的组成 .....         | 90         |
| 1.7.2 辊缝测量装置 .....          | 100        |
| 1.8 铸坯切割装置 .....            | 101        |
| 1.8.1 火焰切割装置 .....          | 102        |
| 1.8.2 机械剪切装置 .....          | 106        |
| 1.9 铸坯输出装置 .....            | 109        |
| 1.9.1 输送辊道 .....            | 109        |
| 1.9.2 铸坯的横移及冷却装置 .....      | 111        |
| 1.9.3 铸坯表面清理装置 .....        | 112        |
| 1.9.4 后序其他装置 .....          | 114        |
| 1.10 电磁搅拌装置 .....           | 118        |
| 1.10.1 电磁搅拌的作用 .....        | 119        |
| 1.10.2 电磁搅拌的原理 .....        | 119        |
| 1.10.3 电磁搅拌的分类及特点 .....     | 120        |
| 1.10.4 电磁搅拌的应用 .....        | 123        |
| 1.10.5 电磁技术的发展现状与前景 .....   | 124        |
| 复习思考题 .....                 | 125        |
| <b>2 钢液凝固的基本原理 .....</b>    | <b>127</b> |
| 2.1 金属的结晶条件 .....           | 127        |
| 2.1.1 结晶的热力学条件 .....        | 127        |
| 2.1.2 结晶的动力学条件 .....        | 128        |
| 2.2 钢液的结晶 .....             | 131        |
| 2.2.1 钢液结晶的温度范围和两相区构成 ..... | 131        |
| 2.2.2 成分过冷 .....            | 132        |
| 2.2.3 化学成分不均匀现象 .....       | 135        |
| 2.2.4 气体的形成和排出 .....        | 137        |
| 2.2.5 凝固过程中的非金属夹杂物 .....    | 138        |
| 2.2.6 凝固收缩 .....            | 138        |
| 2.3 铸坯(钢锭)凝固、冷却过程中应力 .....  | 139        |
| 2.3.1 收缩应力(热应力) .....       | 140        |
| 2.3.2 组织应力 .....            | 140        |
| 2.3.3 连铸坯冷却时的机械应力 .....     | 141        |
| 2.3.4 铸坯(钢锭)应力的消除 .....     | 141        |
| 复习思考题 .....                 | 142        |
| <b>3 连铸坯的凝固 .....</b>       | <b>143</b> |
| 3.1 连铸坯凝固的特点 .....          | 143        |
| 3.2 钢液在结晶器内的凝固 .....        | 143        |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 3.2.1 结晶器内坯壳的形成 .....      | 144        |
| 3.2.2 坯壳的生长规律 .....        | 145        |
| 3.2.3 钢液在结晶器内凝固的影响因素 ..... | 146        |
| 3.3 铸坯在二冷区的凝固 .....        | 149        |
| 3.3.1 二冷区的凝固传热 .....       | 150        |
| 3.3.2 二冷区凝固传热的影响因素 .....   | 150        |
| 3.3.3 二冷区凝固坯壳的生长 .....     | 152        |
| 3.3.4 铸坯的液相穴深度 .....       | 153        |
| 3.4 连铸坯的凝固结构及控制 .....      | 153        |
| 3.4.1 连铸坯的凝固结构 .....       | 153        |
| 3.4.2 “小钢锭”结构 .....        | 155        |
| 3.4.3 铸坯结构的控制 .....        | 155        |
| 复习思考题 .....                | 156        |
| <b>4 连铸操作工艺 .....</b>      | <b>158</b> |
| 4.1 钢液的准备 .....            | 158        |
| 4.1.1 钢液温度的控制 .....        | 158        |
| 4.1.2 钢液成分的控制 .....        | 163        |
| 4.1.3 钢液脱氧的控制 .....        | 165        |
| 4.1.4 钢液的净化处理 .....        | 166        |
| 4.2 连铸岗位、浇前及开浇操作 .....     | 169        |
| 4.2.1 连铸操作岗位 .....         | 169        |
| 4.2.2 浇注前的检查与准备 .....      | 170        |
| 4.2.3 开浇操作 .....           | 173        |
| 4.3 正常浇注操作 .....           | 174        |
| 4.3.1 拉坯速度的控制 .....        | 174        |
| 4.3.2 冷却制度的控制 .....        | 180        |
| 4.3.3 保护浇注及液面控制 .....      | 187        |
| 4.3.4 多炉连浇操作 .....         | 187        |
| 4.3.5 停浇操作 .....           | 191        |
| 4.3.6 连铸坯的精整 .....         | 194        |
| 4.3.7 常见事故及处理 .....        | 200        |
| 4.3.8 连续铸钢的技术经济指标 .....    | 231        |
| 4.4 中间包冶金 .....            | 234        |
| 4.4.1 中间包的冶金功能 .....       | 234        |
| 4.4.2 中间包钢液流动形态的控制 .....   | 234        |
| 4.4.3 中间包精炼技术 .....        | 235        |
| 4.4.4 中间包过滤技术 .....        | 236        |
| 4.4.5 中间包加热技术 .....        | 236        |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 4.5 保护渣 .....               | 238        |
| 4.5.1 保护渣的功能 .....          | 238        |
| 4.5.2 保护渣的结构 .....          | 239        |
| 4.5.3 保护渣的理化性能 .....        | 239        |
| 4.5.4 保护渣的配制 .....          | 240        |
| 4.5.5 保护渣的选择 .....          | 241        |
| 4.5.6 高速连铸结晶器保护渣的选用 .....   | 241        |
| 复习思考题 .....                 | 244        |
| <b>5 连铸坯质量 .....</b>        | <b>245</b> |
| 5.1 连铸坯质量特征 .....           | 245        |
| 5.1.1 连铸坯的质量特征 .....        | 245        |
| 5.1.2 连铸坯缺陷分类 .....         | 245        |
| 5.1.3 连铸坯质量标准与连铸工艺的关系 ..... | 246        |
| 5.2 连铸坯的纯净度 .....           | 246        |
| 5.2.1 连铸坯的纯净度与产品质量 .....    | 246        |
| 5.2.2 连铸坯夹杂物 .....          | 247        |
| 5.3 连铸坯表面缺陷 .....           | 249        |
| 5.3.1 振动痕迹 .....            | 249        |
| 5.3.2 表面裂纹 .....            | 249        |
| 5.3.3 表面夹渣 .....            | 256        |
| 5.3.4 气孔和气泡 .....           | 256        |
| 5.3.5 表面增碳和偏析 .....         | 257        |
| 5.3.6 凹坑和重皮 .....           | 257        |
| 5.4 连铸坯内部缺陷 .....           | 259        |
| 5.4.1 内部裂纹 .....            | 259        |
| 5.4.2 断面裂纹和中心星状裂纹 .....     | 263        |
| 5.4.3 中心偏析、中心疏松 .....       | 264        |
| 5.5 连铸坯形状缺陷 .....           | 265        |
| 5.5.1 鼓肚变形 .....            | 265        |
| 5.5.2 菱形变形(脱方) .....        | 265        |
| 5.5.3 圆铸坯变形 .....           | 267        |
| 复习思考题 .....                 | 268        |
| <b>6 合金钢连铸 .....</b>        | <b>269</b> |
| 6.1 合金钢的凝固特性 .....          | 269        |
| 6.2 合金钢连铸的工艺特点及设备要求 .....   | 270        |
| 6.2.1 合金钢连铸的工艺特点 .....      | 270        |
| 6.2.2 合金钢连铸的设备要求 .....      | 271        |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 6.3 典型钢种的连铸 .....              | 272 |
| 6.3.1 不锈钢 .....                | 272 |
| 6.3.2 硅钢 .....                 | 273 |
| 6.3.3 轴承钢 .....                | 274 |
| 6.3.4 易切削钢 .....               | 274 |
| 6.3.5 其他钢种 .....               | 275 |
| 复习思考题 .....                    | 279 |
| <br>                           |     |
| 7 连铸技术的新进展 .....               | 280 |
| 7.1 连铸坯热装和直接轧制 .....           | 280 |
| 7.1.1 连铸坯热装和直接轧制的工艺流程及优点 ..... | 280 |
| 7.1.2 实现热装和直接轧制的技术关键 .....     | 281 |
| 7.2 高效连铸 .....                 | 283 |
| 7.2.1 高拉速技术 .....              | 283 |
| 7.2.2 提高连铸机作业率的措施 .....        | 287 |
| 7.3 高质量钢连铸冶金技术的开发 .....        | 288 |
| 7.3.1 钢液离心流动中间包 .....          | 288 |
| 7.3.2 氧化物冶金 .....              | 288 |
| 7.3.3 电磁制动 .....               | 289 |
| 7.3.4 无弯月面浇注技术 .....           | 289 |
| 7.3.5 热轻压下技术 .....             | 290 |
| 复习思考题 .....                    | 290 |
| <br>                           |     |
| 参考文献 .....                     | 291 |

# 绪 论

## A 铸钢生产及分类

钢的生产过程主要分为炼钢和铸钢两大环节。炼钢的任务是将有关原料通过炼钢炉炼成质量合格的钢液,铸钢的任务是将成分合格的钢液铸成适合于轧钢和锻压加工所需要的一定形状的钢块(连铸坯或钢锭)。铸钢作业是衔接炼钢和轧钢之间的一项特殊作业,其特殊性表现为它是把钢液变为固体的凝固过程。当钢液凝固后,在以后的轧钢过程中就不能对质量有本质上的改进了。因此,铸钢作业对产品质量和成本有重大影响,必须予以特别重视。

铸钢生产可以分为钢锭模浇注(以下简称模铸)和连续铸钢(以下简称连铸)两大类。模铸是将钢液注入铸铁制作的钢锭模内,冷却凝固成钢锭的工艺过程;连铸是将钢液不断地注入水冷结晶器内,连续获得铸坯的工艺过程。连铸的出现从根本上改变了一个世纪以来占统治地位的钢锭-初轧工艺,由于它所具有的一系列优越性,使得它自20世纪70年代大规模应用于工业生产以来得到了迅猛的发展。目前世界主要产钢大国如日本、欧美等的连铸坯产量已超过铸钢总产量的90%以上,连铸也已成为主要的铸钢生产方法。

## B 连铸技术的发展概况

### a 国外连铸技术的发展概况

早在19世纪中期H. 贝塞麦(H. Bessemer)就提出连续浇注液态金属的设想。随后还有其他人对此项技术进行过研究。由于当时科学水平的限制,未能用于工业生产。直到1933年,现代连铸的奠基人——S. 容汉斯(S. Junghans)提出并发展了结晶器振动装置之后,才奠定了连铸在工业上应用的基础。从20世纪30年代开始,连铸已成功地用于有色金属生产。二次世界大战后,前苏联、美、英、奥地利等国相继建成一批半工业性的试验设备,进行连铸钢的研究。1950年,容汉斯和曼内斯曼(Mannesmann)公司合作,建成世界上第一台能浇注5t钢水的连铸机。

从20世纪50年代起,连铸开始用于钢铁工业生产。在此期间连铸装备水平低,发展速度慢,铸机多为立式单流、铸坯断面小而且主要为方坯,生产规模也较小,钢包容量多为10~20t。到20世纪50年代末,世界各地建成的连铸机不到30台。连铸坯产量仅有110万t左右,连铸比(连铸坯产量占钢总产量的比例)约为0.34%。

20世纪60年代,连铸进入了稳步发展时期。在机型方面,60年代初出现了立弯式连铸机。特别是在1963~1964年间,曼内斯曼公司相继建成了方坯和板坯弧形连铸机,并很快就成为发展连铸的主要机型,对连铸的推广应用起了很大的作用。在改善铸坯质量方面,这个时期已研制成功了保护渣浇注、浸入式水口和注流保护等新技术,这为连铸的发展创造了条件。此外,这时氧气转炉已用于钢铁生产,原有的模铸工艺已不能满足炼钢的需要,这也促进了连铸的发展。1965年以后,连铸发展速度显著增快。至20世纪60年代末,全世界连铸机已达200余台,年生产铸坯能力达4000万t以上,连铸比达5.6%。

20世纪70年代,世界范围的两次能源危机促进了连铸技术大发展,连铸进入了迅猛发展时

期。到1980年连铸坯产量已逾2亿t,相当于1970年的8倍,连铸比上升为25.8%。连铸生产技术围绕提高连铸生产率、改善连铸坯质量、降低连铸坯能耗这几个中心课题,已有长足的进展,先后出现了结晶器在线调宽、带升降装置的钢包回转台、多点矫直、压缩浇注、气水冷却、电磁搅拌、无氧化浇注、中间包冶金、上装引锭等一系列新技术、新设备。与此同时,增大连铸坯断面,提高拉速,增加流数,涌现出一批月产量在25万t以上的大型板坯连铸机和一大批全连铸车间。

20世纪80年代,连铸进入完全成熟的全盛时期。世界连铸比由1981年的33.8%上升到1990年的64.1%。连铸技术的进步主要表现在对铸坯质量设计和质量控制方面达到了一个新水平。从一系列冶金现象(如钢水的纯净化、温度控制、无氧化浇注、初期凝固现象对表面质量的影响;保护渣在高拉速下的行为和作用;结晶器的综合诊断技术;冷却制度的最佳化;铸坯在凝固过程的力学问题;消除和减轻变形应力的措施;控制铸坯凝固组织的手段等)的研究,到生产工艺、操作水平和装备水平的不断提高和完善,总结出了完整的对铸坯质量控制和管理的技术,并逐步实现了连铸坯的热送和直接轧制。在薄板坯连铸和薄带钢连铸的研究和开发方面也取得了新的进展。

20世纪90年代以来,近终形连铸(Near Net Shape Continuous Casting)受到了世界各国的普遍关注,近终形薄板坯连铸(铸坯厚度为40~80mm)与连轧相结合,形成紧凑式短流程,其发展速度之快,非人们所料及,除德国西马克公司开发的紧凑式连铸连轧工艺技术(Compact Strip Production,简称CSP)和德马克公司开发的在线带钢生产工艺技术(Inline Strip Production,简称ISP)已日趋成熟外,奥钢联开发的CONROLL工艺技术(Continuous Casting and Rolling,简称CONROLL)、意大利达涅利公司开发的FTSRQ技术(Flexible Thin Slab Rolling for Quality)、美国蒂森公司和韩国三星重工业公司共同开发的TSP技术(Tippins-Samsung Process)也陆续被采用,并相互渗透,迅猛发展。据不完全统计,自1989年7月第一条应用CSP技术建设的薄板坯连铸连轧生产线在美国纽柯公司克劳福兹维尔工厂(Nucor Craw Fordsvill)建成投产以来,已先后建成50多条生产线,年总生产能力达到5000万t以上。薄板坯连铸机上应用了最先进的连铸技术,如各种变截面结晶器、铸轧技术、电磁制动、结晶器液压振动、漏钢预报以及适应结晶器形状和浇注速度的浸入式水口、保护渣等。

在薄板坯连铸连轧技术不断发展完善的同时,薄带钢连铸也在积极的开发中,目前世界上已有40多套薄带钢半工业或工业性试验机组。薄板坯连铸连轧和薄带钢等近终形连铸作为本世纪钢铁生产的重大变革工艺技术,必将会有很大的发展。

近年来,传统连铸的高效化生产(高拉速、高作业率、高质量)在各工业发达国家取得了长足的进步,特别是高拉速技术已引起人们的高度重视。通过采用新型结晶器及新的结晶器冷却方式、新型保护渣、结晶器非正弦振动、结晶器内电磁制动及液面高精度检测和控制等一系列技术措施,目前常规大板坯的拉速已由0.8~1.5m/min提高到2.0~2.5m/min,最高可达3m/min;小方坯最高拉速可达5.0m/min,使连铸机的生产能力大幅度提高,生产成本降低,给企业带来了极大的经济效益。高速连铸技术在今后仍会继续发展。

## b 我国连铸发展概况

我国是研究和应用连铸技术较早的国家之一,早在20世纪50年代就已开始探索性的工作。1957~1959年间先后建成三台立式连铸机。1964年在重钢三厂建成一台断面为180mm×1500mm的板坯弧形连铸机,这是世界上工业应用最早的弧形连铸机之一。随后处于停滞状态。到1978年全国用于生产的连铸机只有21台,连铸坯年产量112.70万t,连铸比为3.5%。

改革开放以来,为了学习国外先进的技术和经验,加速我国连铸技术的发展,从20世纪70

年代末一些企业引进了一批连铸技术和设备。例如 1978 年和 1979 年,武钢二炼钢从联邦德国引进单流弧形板坯连铸机 3 台,在消化国外技术的基础上,围绕设备、操作、品种开发、管理等方面进行了大量的开发与完善工作,于 1985 年实现了全连铸生产,产量突破了设计能力。首钢在 1987 年和 1988 年相继从瑞士康卡斯特公司引进了两台八流小方坯连铸机,宝钢、武钢、太钢和鞍钢等大型钢铁企业也从国外引进了先进的板坯连铸机,这些连铸技术和设备的引进都促进了我国连铸的发展。

最近几年,也是我国连铸技术快速发展的时期。利用以高质量铸坯为基础、高拉速为核心,实现高连浇率、高作业率的高效连铸技术,对现有连铸机的技术改造取得了很大进展,采用国产技术的第一台高效板坯连铸机已在攀钢投产。至 2003 年底,我国高效、较高效连铸机累计已达 75% 以上,目前新建的连铸机一般也均为高效或较高效连铸机,而且我国在高效连铸技术小方坯领域已跻身世界先进行列。除此之外,邯钢、珠江钢厂、包钢、唐钢、马钢、涟源钢厂引进了近终形薄板坯连铸连轧生产线。马钢三炼钢的异形坯(H 型钢)连铸机投产后,创造了巨大的经济效益。据统计,到 2004 年初,我国在生产的连铸机累计已超过 550 台,连铸比达 96%,大部分钢铁企业实现了全连铸。

目前,我国钢铁工业正处于兴旺时期,连铸技术的设计、制造、工艺和管理都积累了丰富的经验,新世纪必然是我国连铸高速发展的时代。

## C 连铸机的主要设备及分类

### a 连铸机的主要设备

连铸机主要由钢包运载装置、中间包、中间包运载装置、结晶器、结晶器振动装置、二次冷却装置、拉坯矫直机、引锭装置、切割装置和铸坯运出装置等部分组成。

钢包运载装置主要有浇注车和钢包回转台两种方式,目前绝大部分新设计的连铸机都采用钢包回转台。它的主要作用是运载钢包,并支撑钢包进行浇注作业。采用钢包回转台还可快速更换钢包,实现多炉连铸。

中间包是钢包和结晶器之间用来接受钢液的过渡装置,它用来稳定钢流,减小钢流对结晶器中坯壳的冲刷;并使钢液在中间包内有合理的流动和适当长的停留时间,以保证钢液温度均匀及非金属夹杂物分离上浮;对于多流连铸机由中间包对钢液进行分流;在多炉连浇时,中间包中贮存的钢液在更换钢包时起到衔接的作用。

中间包运载装置有中间包车和中间包回转台,它是用来支撑、运输、更换中间包的设备。

结晶器是一个特殊的水冷钢模,钢液在结晶器内冷却、初步凝固成形,并形成一定的坯壳厚度,以保证铸坯被拉出结晶器时,坯壳不被拉漏、不产生变形和裂纹等缺陷。因此它是连铸机的关键设备。

结晶器振动装置是使结晶器能按一定的要求做上下往复运动,以防止初生坯壳与结晶器粘连而被拉裂。

二次冷却装置主要由喷水冷却装置和铸坯支撑装置组成。它的作用是:向铸坯直接喷水,使其完全凝固;通过夹辊和侧导辊对带有液芯的铸坯起支撑和导向作用,防止并限制铸坯发生鼓肚、变形和漏钢事故。

拉坯矫直机的作用是在浇注过程中克服铸坯与结晶器及二冷区的阻力,顺利地将铸坯拉出,并对弧形铸坯进行矫直。在浇注前,它还要将引锭装置送入结晶器内。

引锭装置包括引锭头和引锭杆两部分,它的作用是在开浇时作为结晶器的“活底”,堵住结

晶器的下口,并使钢液在引锭杆头部凝固;通过拉矫机的牵引,铸坯随引锭杆从结晶器下口拉出。当引锭杆拉出拉矫机后,将引锭杆脱去,进入正常拉坯状态。切割装置的作用是在铸坯行进过程中,将它切割成所需要的定尺长度。铸坯运出装置包括辊道、推钢机、冷床等,由它们完成铸坯的输送、冷却等作业。连铸机设备部分的内容将在“连铸设备与操作”课程中作详细介绍。

## b 连铸机的分类

连铸机可以按多种方法进行分类:

(1) 按结晶器的运动方式,连铸机可分为固定式(即振动式)和移动式两类。前者是现在生产上常用的以水冷、底部敞口的铜质结晶器为特征的“常规”连铸机;后者是轮式、轮带式等结晶器随铸坯一起运动的连铸机。

(2) 按连铸机结构的外形可分为立式连铸机、立弯式连铸机、弧形连铸机(包括直结晶器多点弯曲型、直结晶器弧形、弧形、多半径弧形等)、水平连铸机等。图1为各种形式连铸机机型的示意图。

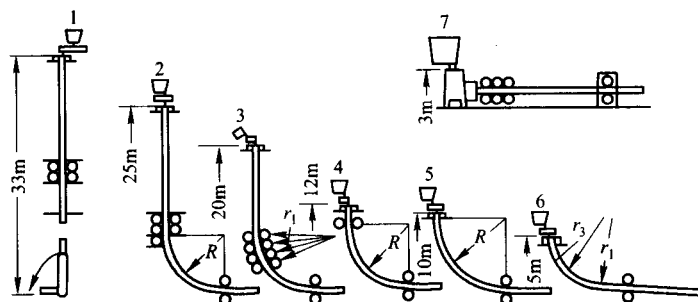


图1 各种连铸机机型示意图

1—立式连铸机;2—立弯式连铸机;3—直结晶器多点弯曲连铸机;4—直结晶器弧形连铸机;  
5—弧形连铸机;6—多半径弧形(椭圆形)连铸机;7—水平连铸机

(3) 按铸坯断面的形状和大小可分为:方坯连铸机(断面不大于  $150\text{mm} \times 150\text{mm}$  的叫小方坯;大于  $150\text{mm} \times 150\text{mm}$  的叫大方坯;矩形断面的长边与宽边之比小于3的也称为方坯连铸机);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(铸坯断面为圆形,直径  $\phi 60 \sim \phi 400\text{mm}$ );异形坯连铸机(浇注异形断面,如H型、空心管等);方、板坯兼用连铸机(在一台铸机上,既能浇板坯、也能浇方坯),薄板坯连铸机(铸坯厚度为  $40 \sim 80\text{mm}$  的薄板坯料)等。

(4) 按铸坯所承受的钢液静压头,即铸机垂直高度( $H$ )与铸坯厚度( $D$ )比值的大小,可将连铸机分为高头型( $H/D > 50$ ,铸机机型为立式或立弯式)、标准头型( $H/D$  为  $40 \sim 50$ ,铸机机型为带直线段的弧形或弧形)、低头型( $H/D$  为  $20 \sim 40$ ,铸机机型为弧形或椭圆形)和超低头型( $H/D < 20$ ,铸机机型为椭圆形)4种。随着炼钢和炉外精炼技术的提高,浇注前及浇注过程中对钢液纯净度的有效控制,低头和超低头连铸机的采用逐渐增多。

(5) 其他一些提法。其他经常用到的名称有台数、机数和流数等。

在连铸生产中,凡是共用一个钢包同时浇注一流或多流铸坯的一套连铸设备,称为一台连铸机。一台连铸机可以是多机组,也可以是单机组。所谓机组,就是在一台连铸机中具有独立的传动系统和工作系统,当它机出事故时仍可照常工作的一套连铸设备称为一个机组。对于每台连铸机来说,同时能浇注铸坯的总根数称作连铸机流数。凡一台连铸机只有一个机组,又只能浇注