

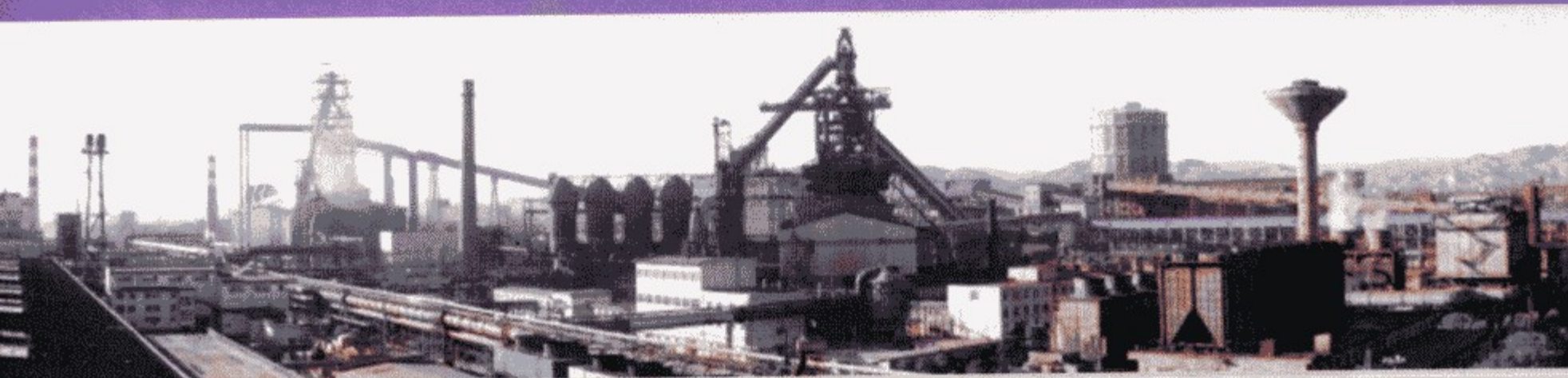


全国中等职业技术学校冶金专业教材

QUANGUO ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO YEJIN ZHUANYE JIAOCAI

连铸设备及工艺

LIANZHUSHESHEBEIJIGONGYI



LIANZHUSHESHEBEIJIGONGYI



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校冶金专业教材

冶金概论
热工常识
冶金仪表
炼铁工艺
炼铁设备
炼钢原理
转炉炼钢工艺及设备
连铸设备及工艺
轧钢原理
轧钢机械设备
型钢生产工艺
热轧板带钢生产工艺
冷轧板带钢生产工艺

策划编辑 / 范贻潘 责任编辑 / 李欣欣 责任校对 / 洪 娟 封面设计 / 张 婷 版式设计 / 朱 姝

ISBN 978-7-5045-7713-9



9 787504 577139 >

定价：20.00元

全国中等职业技术学校冶金专业教材

连铸设备及工艺

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

连铸设备及工艺/人力资源和社会保障部教材办公室组织编写. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2009

全国中等职业技术学校冶金专业教材

ISBN 978-7-5045-7713-9

I. 连… II. 人… III. ①连续铸钢-熔炼设备-专业学校-教材②连续铸钢-生产工艺-专业学校-教材 IV. TF777

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 146453 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

北京鑫正大印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 11.75 印张 279 千字

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

定价: 20.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

前 言

冶金工业是国民经济发展的重要基础工业。随着我国国民经济的高速发展,我国钢铁产量逐年增加,冶金工业现代化水平也不断提高。冶金企业对技术工人的知识水平和技能水平以及相关的职业教育和职业培训提出了更高、更新的要求。为更好地适应行业发展、满足中等职业技术学校的教学需求,我们根据原劳动和社会保障部培训就业司颁发的《冶金专业教学计划与教学大纲(2008)》,组织全国有关学校的一线教师及行业专家,编写了这套冶金专业教材。

在教材开发工作中,我们力求突出以下几个方面的特色:

第一,根据中等职业技术学校冶金专业学生就业岗位的实际需求,合理安排知识点和技能点,以“够用”“实用”为标准,摒弃“繁难偏旧”的理论知识,同时,注重工作能力的培养,满足企业对技能型人才的需求。

第二,在内容安排上,尽可能多地引入新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容,淘汰陈旧过时的技术,反映行业发展趋势。同时,在教材编写过程中,严格执行国家相关技术标准的要求。

第三,在结构和表达方式方面,强调由浅入深、循序渐进,使用图片、实物照片、表格等多种表现形式,更加生动、直观地讲解相关知识和技能,提高学生的学习兴趣,力求使教材做到易教易学。

本次开发的教材涉及“炼铁”“炼钢”和“轧钢”三个专业方向,包括《冶金概论》《热工常识》《冶金仪表》《炼铁工艺》《炼铁设备》《炼钢原理》《转炉炼钢工艺及设备》《连铸设备及工艺》《轧钢原理》《轧钢机械设备》《型钢生产工艺》《热轧板带钢生产工艺》《冷轧板带钢生产工艺》。

本套教材可供中等职业技术学校冶金专业使用,也可作为职业培训教材。

本套教材的编写工作得到了辽宁、河北、江苏等省人力资源社会保障(劳动保障)厅及有关学校的大力支持,在此,我们表示诚挚的谢意。

人力资源和社会保障部教材办公室

2009年6月

内 容 简 介

本教材从连续铸钢的基本知识展开，介绍了连铸设备及连铸工艺方面的知识，主要内容
包括：连续铸钢概述、弧形连铸机、钢的结晶与连铸坯的凝固、连铸操作工艺、中间包冶金
和保护浇注、连铸坯质量控制和薄板坯连铸技术。

本教材针对中等职业技术学校学生的认知特点和职业需求，深入浅出地讲解了中职学生
应知、应会的教学内容，对工艺要求、操作要点、常见问题的处理方法等都做了详细的讲
解。

本教材由冯阿强主编，胡长喜、王政兵、李国彬参加编写；董明君审稿。

《连铸设备及工艺》参考学时

教学内容	学时
第一章 连续铸钢概述	6
第二章 弧形连铸机	44
第三章 钢的结晶与连铸坯的凝固	20
第四章 连铸操作工艺	54
第五章 中间包冶金和保护浇注	36
第六章 连铸坯质量控制	24
第七章 薄板坯连铸技术	16
总 计	200

目 录

第一章 连续铸钢概述	(1)
第一节 连铸工艺概述	(1)
第二节 连铸的优越性	(2)
第三节 连铸发展简史	(4)
第四节 我国连铸技术发展概况	(7)
第五节 连铸机机型分类	(12)
第六节 各机型特点	(15)
第二章 弧形连铸机	(25)
第一节 弧形连铸机概述	(25)
第二节 钢包及其运载装置	(33)
第三节 中间包及其运载装置	(44)
第四节 结晶器及其振动装置	(62)
第五节 二次冷却装置	(80)
第六节 拉坯矫直装置	(83)
第七节 铸坯切割装置	(88)
第八节 铸坯输出装置	(90)
第九节 电磁搅拌装置	(91)
第三章 钢的结晶与连铸坯的凝固	(95)
第四章 连铸操作工艺	(103)
第一节 连铸钢液的准备	(103)
第二节 连铸操作工艺	(108)
第三节 状态控制	(118)
第四节 连铸故障分析	(124)
第五章 中间包冶金和保护浇注	(129)
第一节 中间包钢液流动现象与流动形态控制	(129)
第二节 中间包精炼技术	(133)
第三节 保护浇注	(136)
第四节 保护渣	(139)

第六章 连铸坯质量控制 (144)

第一节 连铸坯的洁净度 (144)

第二节 连铸坯表面质量 (146)

第三节 连铸坯内部质量 (150)

第四节 连铸坯形状缺陷 (152)

第五节 高质量钢连铸 (153)

第七章 薄板坯连铸技术 (160)

第一节 薄板坯连铸概述 (160)

第二节 薄板坯连铸的关键技术 (162)

第三节 典型的薄板坯连铸连轧工艺 (171)

■ 第一章

连续铸钢概述

第一节 连铸工艺概述

钢的生产过程主要分为炼钢和浇铸两大环节。浇铸作业是将成分合格的钢液凝固成适于轧制和锻压加工的具有一定形状的固体。把钢液凝固成固体有两种工艺方法：一种是钢锭模浇铸法，另一种是连续铸钢法。

连续铸钢简称连铸，是钢液经浇注、冷凝、切割而直接得到铸坯的工艺。

连续铸钢与普通模铸不同，它不是将高温钢液浇注到一个个的钢锭模内，而是将高温钢液连续不断地浇注到一个或一组实行强制水冷、带有“活底”（称为引锭杆）的铜模内（称为结晶器），钢液很快与“活底”凝结在一起，待钢液凝固成具有一定厚度的坯壳后，就从铜模的下端与“活底”一起被拉出，这样已凝固的具有一定厚度的铸坯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。待完全凝固后，用切割机把铸坯切成一定尺寸的钢坯。这种把高温钢液直接浇铸成钢坯的新工艺，就是连续铸钢。它的出现从根本上改变了一个世纪以来模铸工艺的统治地位，大大地简化了从钢液到钢坯的生产工艺流程。

连续铸钢的一般生产工艺流程如图 1—1 所示。从炼钢炉出来的钢液注入钢包，经二次精炼后被运到连铸机的上方，钢液通过钢包底部的水口再注入中间包。中间包水口的位置被预先调好以对准下面的水冷铜模（结晶器）。结晶器原本是无底的壳体，在注入钢液前，必须先装上一个“活底”，它同时也起到拉引铸坯的作用，这个“活底”叫引锭杆。打开中间包塞棒或滑动水口（或定径水口）后，钢液流入下口由引锭杆封堵的水冷结晶器。在结晶器内，钢液沿其周边逐渐冷凝形成坯壳，同时，其前部与伸入结晶器的引锭杆头部凝结在一起。引锭杆的尾部则夹持在拉矫机的拉辊中间，当结晶器下端出口处的坯壳有一定厚度时，启动拉矫机，以一定的速度把引锭杆从结晶器中拉出。为防止坯壳被拉断漏钢，同时也为减小结晶器中的拉坯阻力，在拉坯过程中，既要结晶器内壁施以润滑，又需要它作上下往复振动。当带有液芯的铸坯被拉出结晶器后，为了更快地散热，要立即进行直接喷水或喷雾冷却，这称为二次冷却。通过二次冷却支撑导向装置的铸坯逐渐凝固。当引锭杆离开拉坯矫直机（立式和水平式连铸均不需要矫直）后，将其与铸坯脱开。待铸坯被矫直且完全凝固后，由切割装置将其切成定尺铸坯，去除毛刺，做好标记（打印或喷印），最后由出坯装置将定尺铸坯运到指定地点。这样铸坯不断地被拉出、冷凝、切割、输出，钢液又不断地注入结晶器，整个过程是连续进行的。

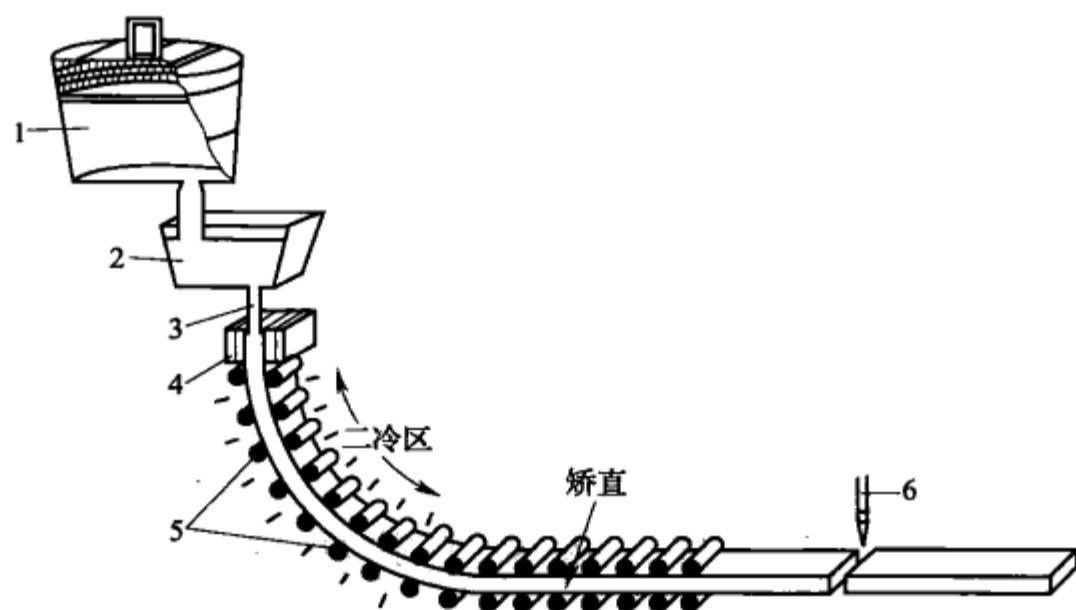


图 1—1 连续铸钢的一般生产工艺流程

1—钢包 2—中间包 3—浸入式水口 4—结晶器 5—支撑辊 6—切割装置

连铸设备是连续完成钢液成形（浇注、冷凝）、分段和输出的设备的统称，简称连铸机。连铸机主要包括钢包运载装置、中间包及其运载装置、结晶器、结晶器振动装置、铸坯导向和二次冷却装置、引锭杆装置、拉坯矫直装置（拉矫机）、切割设备和铸坯输出装置等。

连铸是炼钢和轧钢之间的一道工序，连铸生产出的铸坯是热连轧厂生产各种产品的原料。连铸生产正常与否，不但影响炼钢生产任务的完成，而且也影响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行业的发展，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。

第二节 连铸的优越性

在连铸技术出现之前，普遍采用模铸工艺制造坯料。模铸是将高温钢液浇注到一个或多个钢锭模内，使之凝固成形的办法。模铸是钢液凝固成型的基本方法，其典型特征是生产过程的间断化。连续铸钢是将高温钢液连续地浇注到一个或一组强制水冷的金属型腔内，初步凝固成型后，再经二次冷却，使之完全凝固，且形成具有一定形状（规格）的铸坯的工艺方法。连铸的典型特征是生产过程的连续化。

与模铸工艺相比，连铸工艺具有如下优点：

一、节省工序，缩短流程

如图 1—2 所示，与模铸相比，连铸最大的特点是省去了模铸的脱模、均热和开坯工序，从而缩短了工艺流程，可使基建投资成本节约 40%，占地面积减少 30%，劳动力节省 75%。

近年来，薄板坯连铸机的出现，又进一步简化了工序流程。与传统板坯（厚度 150 ~ 300 mm）相比，薄板坯（厚度 40 ~ 70 mm）连铸省去了粗轧机组，占地面积减少约 48%，连铸设备质量减小 50%，热轧设备质量减小 30%。从钢液到薄板坯的生产周期大大缩短，传统板坯连铸约需 40 h，而薄板坯连铸仅需 1 ~ 2 h。纽柯（Nucor）钢厂 CSP（紧凑式带钢生产线）生产实践证实：采用薄板坯连铸机，能源费用减少 50%，生产成本下降 20%，吨钢投资费用节省 20% ~ 30%。

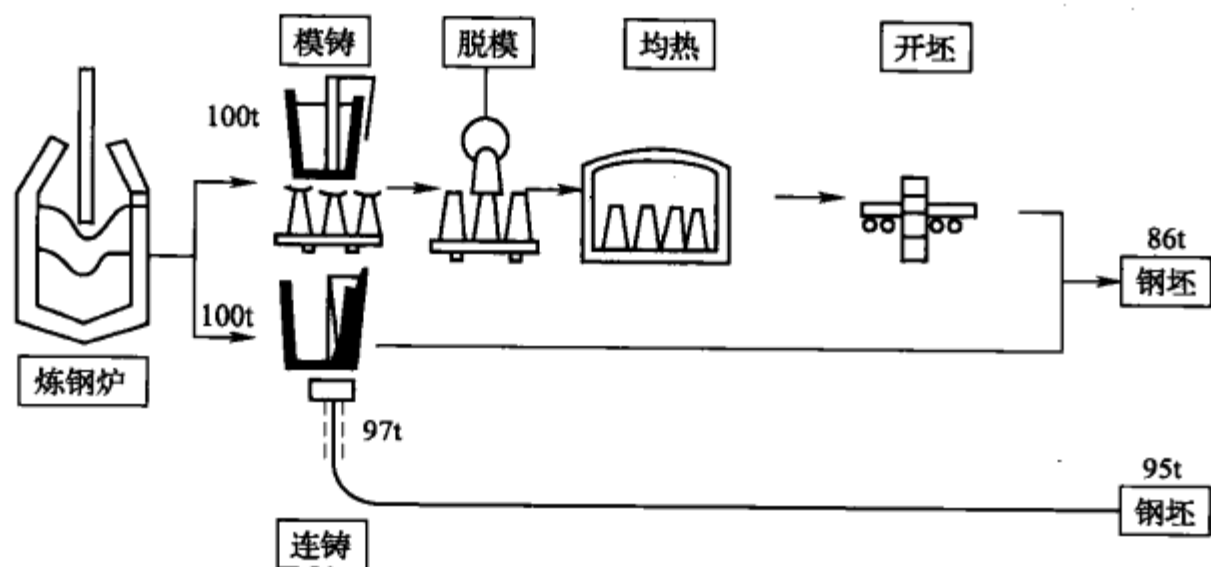


图 1—2 连铸与模铸工艺流程的比较

二、提高金属收得率

采用模铸工艺，从钢液到钢坯，金属收得率为 84% ~ 88%，而连铸工艺避免了模铸中注管和浇道的残钢损失，降低了切头切尾损失，金属收得率为 95% ~ 96%，可提高金属收得率 10% 左右（板坯 10.5%，大方坯 13%，小方坯 14%）。如果以 10% 计算，对于年产钢 100 万 t 的炼钢厂，采用连铸工艺就可增产 10 万 t，带来的经济效益是相当可观的。对于成本昂贵的合金钢来说，采用连铸工艺的意义就更为重大了。

三、降低能量消耗

采用连铸工艺，省去了均热炉的再加热工序，可使能量消耗降低 25% ~ 50%（吨钢能耗可降低 630 ~ 1 050 MJ），相当于每吨钢坯节约重油 10 ~ 30 kg。此外，提高成坯率也有间接的节能效果。20 世纪 80 年代连铸坯热送和直接轧制工艺的出现，进一步开辟了节能新途径。连铸坯热送和直接轧制工艺不仅节能，而且缩短了生产周期。

四、生产过程机械化和自动化程度高

模铸铸锭车间劳动条件恶劣，手工劳动多，劳动强度大，是炼钢生产中技术最落后的工序，尤其是对于氧气转炉的发展，铸锭已成为提高生产率的限制环节。连铸则因其自身设备和工艺的特点，易于实现机械化和自动化，劳动条件得到了根本性的改善，劳动生产率大为提高。例如，有些厂 1 台连铸机只需 7 名操作人员，除了浇钢操作外，其余工作均由计算机承担。据资料介绍，法国有的连铸机已实现连铸平台无操作人员，而是通过显示器监视和遥控生产，连铸的自动化和智能化生产已成为现实。

五、扩大生产钢种，提高产品质量

目前几乎所有的钢种均可以采用连铸工艺生产，如超纯净度钢、硅钢、不锈钢、合金钢、工具钢等都可采用连铸工艺。而且，连铸坯产品的各项性能指标大多优于模铸钢坯产品。总的来说，镇静钢连铸工艺已经成熟，而沸腾钢连铸时，由于结晶器内发生沸腾而不易控制，因此开发了沸腾钢的代用品种，例如美国的吕班德（Riband）钢、日本的准沸腾钢、德国的低碳铝镇静钢，与适当的炉外精炼（如 RH）工艺相配合，保证了连铸坯生产冷轧板的质量。

模铸钢坯凝固时间长，元素偏析显著；而连铸钢坯冷却速度快，树枝晶间距小，浇铸条件稳定、可控性强，因此铸坯内部组织均匀、致密，偏析小，沿铸坯长度方向化学成分均

匀，性能稳定。20 世纪 80 年代中后期，采用连铸工艺已能生产出表面无缺陷的铸坯，可直接热送轧制钢材。

但从目前的情况看，连铸尚不能完全代替模铸，这是因为：某些钢种的特性不能适应连铸的生产方式，或采用连铸工艺时难以保证钢坯的质量（如前面提到的沸腾钢以及热敏感性很强的高速钢等）；一些小批量产品、试制性产品，还有一些必须经锻造的大型锻造件（如万吨船只的主轴），以及一些大规格的轧制产品（如受压缩比限制的厚壁无缝钢管）等也不宜采用连铸工艺生产。所以仍需要保留模铸生产方式，并在大力发展连铸工艺的同时，继续高度重视模铸生产，努力提高模铸钢坯的质量。

第三节 连铸发展简史

世界连铸技术发展大体经历了 4 个阶段：早期探索时期、工业应用推广时期、现代连铸技术大发展和完善时期、高速连铸技术和近终形连铸（薄板坯连铸和薄带坯连铸）技术发展时期。

一、早期探索时期（20 世纪 50 年代以前）

液体连续浇铸的设想是 19 世纪中叶由美国人塞勒斯（G. E. Sellers, 1840）、莱恩（J. Laing, 1843）和英国人贝塞麦（H. Bessemer, 1846）提出的，由于当时铸造技术受到生产条件的限制，只能用于低熔点有色金属（如铅）的浇铸。最早的类似现代连铸的建议是 1887 年由美国人亚瑟（B. Atha）和德国人德伦（R. M. Daelen）提出的，在其设备中已经包括上下敞口的水冷结晶器、二次冷却、引锭杆、夹辊和铸坯切割等装置。1933 年，现代连铸之父德国人容汉斯（S. Junghans）开发了振动结晶器系统，从而奠定了工业上大规模采用连铸工艺的基础。同年，容汉斯在德国建成一台使用振动结晶器的立式连铸设备，用其浇铸黄铜并获得成功，月产量达 1 700 t。1936 年，铝合金连铸也取得成功。这样，从 20 世纪 30 年代开始，连铸工艺便进入有色金属的工业化阶段。但在工业上大规模实现钢的连铸要比有色金属困难得多，其主要原因是：钢的熔点比铝、铜高得多；钢的比热容较大，而导热系数较小，凝固速度较慢，不利于连铸；钢的生产规模也要大得多。1943 年，容汉斯在德国建成第一台钢液浇铸的试验性连铸机，推出了振动水冷结晶器、浸入式水口和结晶器钢液面加保护剂等技术，为现代钢连铸奠定了基础。第二次世界大战后，世界各地相继建成了一些试验性和半工业性试验设备。1949 年，容汉斯在德国、阿勒德隆（Allegheny Ludlum）公司在美国分别采用容汉斯振动结晶器系统在立式连铸机上进行了钢的连铸试验。1950 年，德国曼内斯曼（Mannesmann）公司采用容汉斯振动结晶器系统投产了一台工业试验性立式连铸机。后来，振动结晶器成了标准的连铸机模式。虽然振动结晶器是钢液得以顺利连铸的开创性技术，但真正为有效防止坯壳与结晶器粘结带来突破性进展的技术贡献，应归功于英国人哈理德（Halliday）提出的“负滑脱”概念。

二、工业应用推广时期（20 世纪 50—70 年代）

从 20 世纪 50 年代起，连铸技术开始用于钢铁工业。世界上第一台工业生产性连铸机是 1951 年在苏联红十月钢厂投产的立式半连铸装置，但用于连续浇铸的连铸机是 1952 年英国巴路（Barrow）钢厂建成的双流立弯式连铸机。20 世纪 50 年代投产的连铸机多为立式、单

流式；设备高度大，投资多，连铸速度难以提高；铸坯断面小而且主要为方坯，生产规模较小。但此期间出现了一些专门从事连铸技术开发的集团，对后来连铸技术的发展和推广起了很大的作用。20 世纪 60 年代，连铸技术进入工业性推广阶段。1963—1964 年，曼内斯曼公司相继建成了方坯和板坯弧形连铸机，这种机型与立式连铸机相比高度小、操作方便，并能为工业上急需的热轧、冷轧带钢和厚钢板提供钢坯，很快就发展为连铸机的主要机型，对连铸的应用推广起了很大的作用。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，这也促进了连铸技术的发展。此期间还出现了旋转式圆坯连铸机、空心圆坯连铸机和工字形、异形钢坯连铸机，在英国的谢尔顿（Shelton）钢厂实现了全连铸。

三、现代连铸技术大发展和完善时期（20 世纪 70—80 年代末）

20 世纪 70 年代末，由于国际能源危机的出现和连铸技术本身固有的节能优势，连续铸钢技术进入迅猛发展时期。在世界粗钢产量一直徘徊在 7 亿 t 左右的情况下，连铸坯产量却持续增长，如图 1—3 所示。连铸设备和工艺技术日益完善，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、连续矫直、压缩矫直、气水喷雾冷却、连铸电磁搅拌、保护浇注、中间包冶金、上装引锭杆、轻压下、多节辊、二冷动态控制、在线质量控制、共振结晶器、液面自动控制、漏钢预警等一系列新设备、新技术和新工艺，有力地促进了连铸机生产率的提高，保证了连铸坯的质量。此外，转炉复吹技术、超高功率电弧炉和各种炉外精炼技术的发展与应用，以及钢铁工业的大型化、高速化、连续化发展，都为连铸技术的发展创造了条件。20 世纪 80 年代，连铸进入完全成熟的全盛时期。在世界范围内，连铸比以每年 4% 的速度增长，1998 年全世界连铸比达到 83.3%，连铸已取代模铸成为占统治地位的浇铸工艺。连铸机设计、自动控制和铸坯质量都达到一个新的水平，从钢液的纯净化、温度控制、保护浇注、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、结晶器综合诊断技术、冷却制度的最佳化、铸坯凝固过程中的力学问题、消除和减小变形应力的措施以及控制铸坯凝固组织的手段等一系列冶金技术的研究，直到生产工艺、操作水平和装备水平的不断完善和提高，总结出完整的对铸坯质量进行控制和管理经验。几乎所有的钢种都可以进行连铸，并逐步实现连铸坯热送轧制和连铸坯直接轧制。在此期间，一些工业发达国家已接近或基本上实现了全连铸。

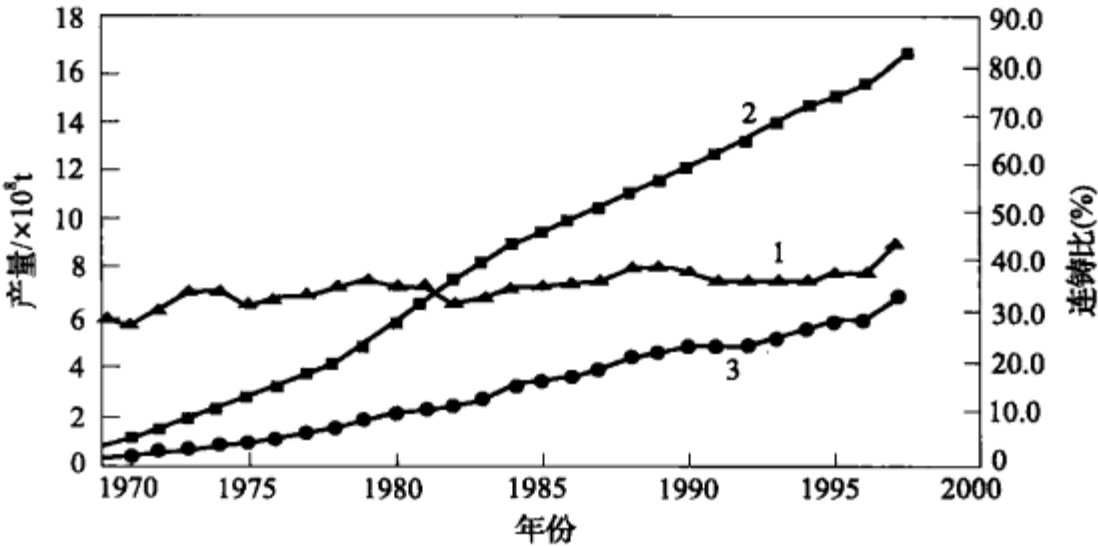


图 1—3 世界粗钢产量、连铸坯产量和连铸比的增长
1—粗钢产量 2—连铸比 3—连铸坯产量

在几个产钢大国中,日本的连铸技术发展最快,其生产能力和技术水平都处于世界领先地位。1970年,日本的连铸比不到10%,到1985年已突破90%,1997年达96.6%。德国的连铸技术发展也比较快,1987年其连铸比已达87.9%,1997年达96%,其技术水平较高,尤其是设备设计及制造技术居世界领先地位。法国在20世纪80年代以后加快了连铸技术的发展,1987年连铸比即达93.1%,发展速度仅次于日本。美国因拥有较大的初轧开坯能力,在20世纪70年代连铸机投产较少,发展较慢,自20世纪80年代以后加快了连铸技术的发展,到1990年连铸比达67.1%,1997年达94.7%。苏联是研究连铸技术较早的国家之一,20世纪60年代其连铸技术还处于世界领先地位,但其炼钢设备以平炉为主,不适应连铸生产的特点,其连铸机也多为立式,生产能力较低,影响了连铸技术的发展,因此,1985年以前连铸技术的发展一直停滞不前,连铸比在10%左右,直到1997年,原属于苏联的一些国家的连铸比也只有33.9%,远远低于世界平均水平。

四、高速连铸技术和近终形连铸技术发展时期(20世纪80年代末—90年代)

20世纪80年代中后期,以高质量、高温无缺陷铸坯生产为基础,实现高连浇率、高作业率、高拉速的连铸技术迅速发展。为提高小方坯连铸机的生产率、降低生产成本,各国都设法消除结晶器内壁与钢坯之间的气隙,改善传热,以提高拉速。为此推出了各种新型结晶器,例如,康卡斯特(Concast)的凸形结晶器(Convex mould)、澳钢联(VAI)的钻石结晶器(Diamond mould)、达涅利(Danieli)的自适应结晶器(Danam mould)。使用这些新型结晶器可使120 mm×120 mm方坯的拉速由2.8 m/min增加到4.3 m/min,150 mm×150 mm方坯的拉速由2 m/min增加到3.5 m/min。

从工业应用推广时期到此阶段,经过近30年的努力,连续铸钢几乎已取代钢锭模铸的统治地位。各国广泛采用厚度为150~250 mm的连铸坯生产板材,但市场需求量较大的板带(中板、薄板)产品,仍存在加工量较大、能量消耗较多、生产周期较长、生产成本较高的问题,即对连铸坯的厚度仍有进一步减小的需要。因此,开发浇铸更薄(50~70 mm)的板坯、具有更高的浇铸速度(5~6 m/min)、使生产能力更具经济规模(年产量80~150万t)的连铸技术,甚至开发从钢液直接浇铸成薄带的连铸技术,已成为世界钢铁界的研究热点。从1989年第一条薄板坯连铸连轧生产线投产以来,到20世纪90年代末,已实现工业化生产的薄板坯连铸连轧工艺有以下几种:紧凑式带钢生产工艺(CSP)、在线带钢生产工艺(ISP)、灵活薄板轧制工艺(FTSR)、连铸连轧工艺(CONROLL)、住友(Sumitomo)工艺(SMI)、蒂平斯(Tippens)带钢技术(TSP)、超薄热带工艺(UTHS)等。到1998年底,全世界已投入生产或正在建设的薄板坯连铸连轧生产线共30条,热轧带钢总生产能力为每年4 192万t。其中,CSP生产线18条,ISP生产线4条,FTSR生产线3条。1998年底,由新日铁和三菱重工共同开发的世界首套带钢直接浇铸设备在新日铁不锈钢事业部光阳钢铁厂开始工业化试生产,该工艺可将钢液直接浇铸成厚2~5 mm、宽760~1 330 mm的钢带,铸速20~75 m/min,从浇铸到卷取生产线全长为68.9 m。

五、连铸技术在新世纪的发展趋势

连续铸钢技术自20世纪50年代步入工业化以来,以提高连铸生产率、改善连铸坯质量、降低连铸能耗、扩大连铸坯品种为宗旨的新技术不断涌现和发展。展望未来,所能预测到的发展方向大致包括:近终形连铸(尤其是薄板坯和薄带坯连铸)、高速连铸、高质量连铸以及与三者相关的低过热度浇铸、半凝固加工、过程与质量控制技术。在20世纪90年代

虽有几种薄板坯连铸工艺相继用于工业化生产，但在实践中都遇到了各种各样的问题，尚需不断改进和完善。这些技术基本上都源于传统连铸技术，它们只是当时技术基础上的中间过渡技术，近终形连铸技术巨大的节能、高效、低投资优势将推动其进一步发展。在未来一段时期内，薄板坯连铸技术可望逐步完善，并取代大部分传统连铸—热轧、冷轧工艺，近终形异形坯连铸和薄板带连铸技术也将进一步发展并进而完善。

高速连铸技术已是传统连铸技术发展的主流，围绕提高浇铸速度的低过热度浇铸、高效结晶器传热、结晶器电磁制动、高速浇铸用保护渣、非正弦振动、结晶器液面控制等技术将进一步发展。同时，高速连铸技术的重点将由提高拉速转向不断扩展高速连铸钢种、提高铸坯质量。此外，随着各国经济的发展，对清洁性、表面和内部质量要求特别严格的高质量钢种的需求越来越大，连铸这些钢种时，必须采取相应的技术措施才能满足严格的质量要求，钢液的二次精炼是提高连铸质量的前提，与高质量连铸相关的提高钢液清洁度、轻压下技术、氧化物冶金、无弯液面浇铸、在线强制冷却等技术也将进一步发展。能生产无缺陷铸坯的电磁铸造技术，可使铸坯表面不需清理、连铸连轧连续进行，从而节省大量能源，将形成研究和开发的热潮。

第四节 我国连铸技术发展概况

一、我国连铸技术的发展

我国是世界上研究和应用连铸技术较早的国家之一，自 20 世纪 50 年代中期就开始进行连铸技术的研究。1956 年，重工业部的钢铁研究所曾在—台简单的半连续铸机上浇铸 $\phi 80$ mm 圆坯。1957 年，当时的上海钢铁公司中心实验室主持设计并建成了一台立式连铸机，浇铸断面尺寸为 75 mm $\times$ 180 mm 的小矩形坯，这是我国第一台工业试验性连铸机。1958 年底，一台由北京钢铁学院教授主持设计的生产性立式连铸机在重庆第三炼钢厂投产。1964 年 6 月，由该教授主持设计的一台大型方坯、板坯兼用的弧形连铸机在该厂投产，这也是世界上最早的工业生产用的弧形连铸机之一。在我国设计的连铸机上，很早就使用了钩头式永久引锭杆、钳式结构拉矫机和大型机械液压剪，这些设备在当时都是比较先进的。但在世界连铸技术大发展的 20 世纪 60 年代末到 70 年代末，由于缺乏和世界上其他国家的交流，未能及时有效地借鉴先进技术，我国连铸技术的发展速度明显减慢，到 1978 年，用于生产的连铸机只有 21 台，连铸坯产量为 112.70 万 t，连铸比仅为 3.5%。1979 年以来，冶金工业部把发展连铸技术作为重大政策，并在总结本国连铸生产经验的基础上，提出“以连铸为中心，炼钢为基础，设备为保证”的生产技术路线，促使我国连铸技术进入新的发展时期。其后十余年里，引进了一批具有先进水平的小方坯、板坯和水平连铸机。在引进设备的同时，冶金工业部组织国内设计和科研部门、高等院校、设备制造厂家和生产厂家先后开展了小方坯连铸、板坯连铸、不锈钢连铸、合金钢连铸、水平连铸、高效连铸等技术的攻关活动，积极消化国外先进技术，推进国产化进程。在此基础上，建成了一批具有现代化水平的方坯和板坯连铸机，使我国的连铸技术在 20 世纪 80 年代得到了很大的发展。连铸机的台数、连铸坯产量、连铸比逐年上升（见图 1—4），连铸机机型齐全，产品结构日趋合理。

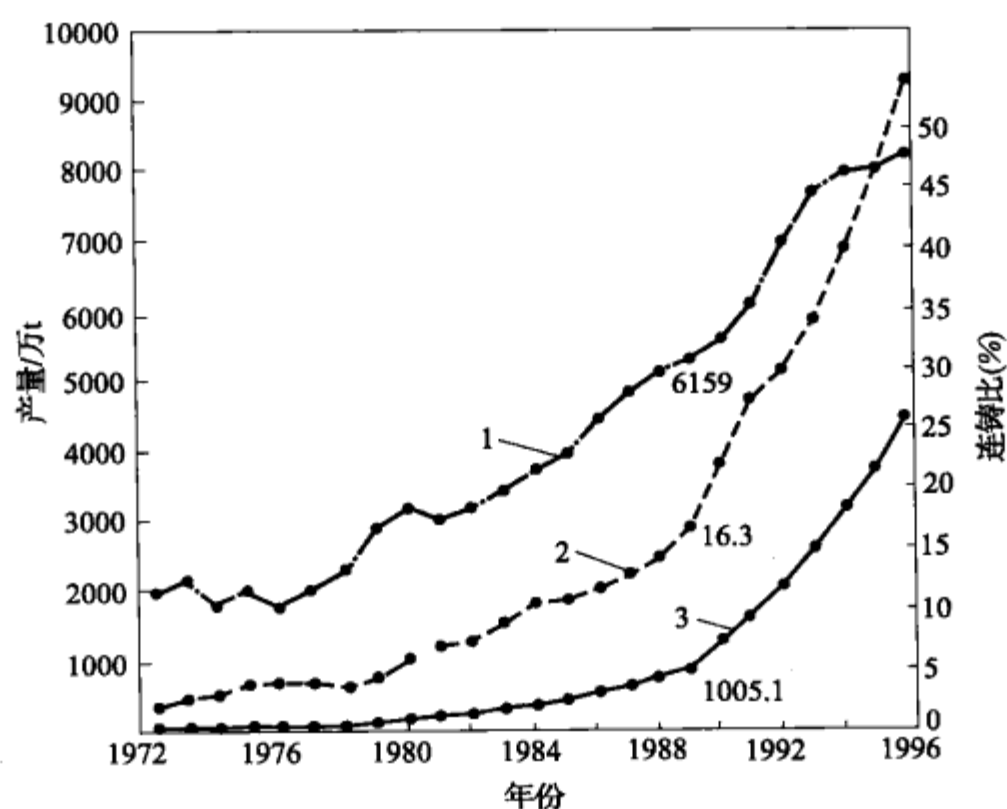


图 1—4 1972—1996 年我国粗钢产量、连铸坯产量和连铸比增长情况
1—粗钢产量 2—连铸比 3—连铸坯产量

连铸技术不断推广使用，科研成果不断涌现，薄板带和薄带坯连铸技术在此期间也取得了重大阶段性成果。1985 年，出现了第一个全连铸钢厂——武汉钢铁公司第二炼钢厂。20 世纪 80 年代末—90 年代，宝山钢铁公司、鞍山钢铁集团公司分别投产了从日本引进的大型双流板坯连铸机，太原钢铁公司、上海第三钢铁分厂分别投产了从奥联钢（VAI）引进的不锈钢板坯连铸机。其中，宝钢的两台双流板坯连铸机在装备技术、操作水平、连铸机作业率和产品质量等方面都与国际水平相当。1996 年 5 月，珠江钢厂、邯郸钢铁总厂、包头钢铁公司三家企业引进德国西马克公司（SMS）CSP 薄板坯连铸连轧工艺协议的签订，为我国的薄板坯连铸建设拉开了序幕。马鞍山钢铁公司也从瑞士康卡斯特公司引进 1 台近终形 H 形异形坯弧形连铸机，浇铸出 525 mm × 300 mm × 120 mm 和 750 mm × 456 mm × 120 mm 两种异形坯。20 世纪 90 年代中后期，我国高速连铸技术在方坯连铸领域取得突破性进展，广州钢铁公司的 150 mm × 150 mm 方坯 3 流连铸机工作拉速达 3.0 m/min，首都钢铁公司的 120 mm × 120 mm 方坯 8 流连铸机工作拉速为 3.0 ~ 3.5 m/min，济南钢铁公司的 120 mm × 120 mm 方坯 4 流连铸机工作拉速为 3.8 ~ 4.2 m/min，单流年产量达 1.5 万 t。同时，攀枝花钢铁公司的 220 mm × 1 600 mm 板坯连铸机工作拉速达 1.8 m/min，达到高速浇铸的效果。

经过近 40 年的发展，我国连铸技术取得很大成就，到 1997 年 1 月，已建成连铸机 280 台 821 流（连铸机数量居世界第一），其中板坯连铸机 50 台 56 流，方坯连铸机 214 台 719 流，其他类型连铸机 16 台 46 流。2001 年，我国生产连铸坯 13 360 万 t，居世界首位，钢铁行业连铸比为 89.44%，高于世界平均连铸比 86.6% 的水平，连铸生产技术水平进步十分显著。但也应看到，与世界先进水平相比，在设备、自动控制、工艺技术和品种、质量等方面，我国连铸技术还有差距，需要进一步改善和提高。如图 1—5 所示为 1978 年至今世界与中国连铸比的增长曲线。表 1—1 为国内连铸机统计。

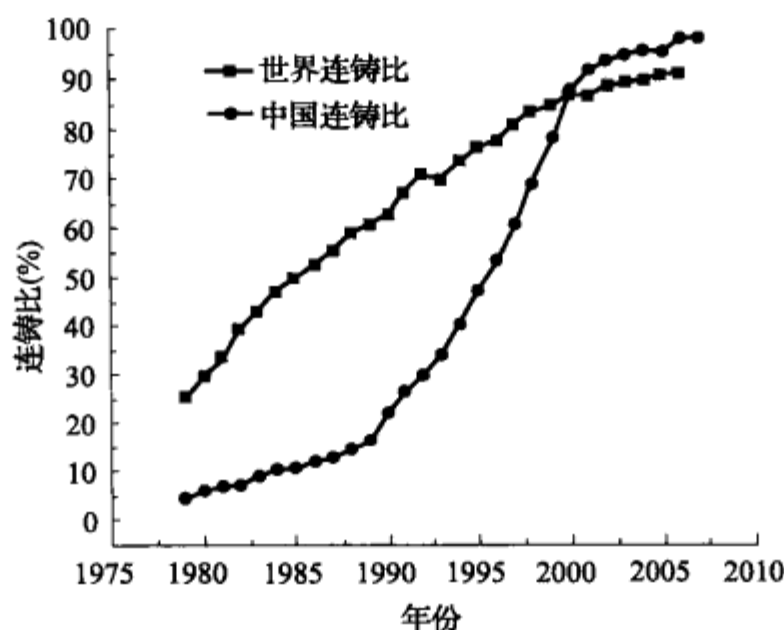


图 1—5 1978 年至今世界与中国连铸比的增长曲线

表 1—1 国内连铸机统计 (至 2007 年 12 月)

机别	台数	流数	说明
小方坯连铸机	305	1 027	$\leq 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$
大方坯及矩形坯连铸机	437	1 323	$> 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$
圆坯连铸机	48	173	
水平连铸机	9	13	
异形坯连铸机	5	15	含莱钢转炉厂的一台
板坯连铸机	175	237	宽度 700 mm 以上
薄板坯连铸机	17	18	
总计	996	2 806	截至 2007 年底, 钢的总产量为 48 924.08 万 t

二、我国高效连铸技术的发展

我国常规连铸机的技术经济指标是: 150 mm × 150 mm 方坯连铸的拉速在 2.0 m/min 以下, 120 mm × 120 mm 方坯连铸的拉速在 3.0 m/min 以下, 板坯连铸的拉速为 1.0 ~ 1.2 m/min, 连铸机作业率大都为 60% ~ 70%。为此, 第九个五年计划 (1996—2000 年) 的国家科技攻关任务中提出实现连铸的高效率, 即高效连铸。具体要求:

1. 拉坯速度: 150 mm × 150 mm 方坯不小于 3.0 m/min, 120 mm × 120 mm 方坯不小于 4.2 m/min, 厚度不小于 180 mm 的板坯不小于 1.8 m/min。
2. 连铸机作业率不小于 85%。
3. 铸坯无缺陷率不小于 90%。
4. 小方坯连铸机的单流年产量由 5 万 ~ 8 万 t 提高到 12 万 ~ 15 万 t。

攻关任务由连铸技术国家工程研究中心与有关科研院所、高校、工厂合作承担, 方坯以广州钢铁股份有限公司、板坯以攀枝花钢铁集团公司为依托单位。高效连铸的攻关内容包括: 钢液质量的提高; 浇铸工艺的优化改进; 改进结晶器的结构和提高导热能力; 结晶器振