

连续铸钢

中国金属学会

冶金继续教育丛书

科学出版社

蔡开科 主编

冶金继续工程教育丛书

连续铸钢

蔡开科 主编

科学出版社

1990

内 容 简 介

本书是“冶金继续工程教育丛书”之一。书中从理论和实践上系统地全面地介绍了连续铸钢（简称连铸）设备、工艺技术和基础理论知识，反映了近年来国内外连铸技术的发展和经验。

全书共分11章，内容包括：连铸的发展、连铸设备、连铸工艺控制技术、连铸坯质量控制、连铸坯凝固与传热、连铸工厂设计原理、连铸过程电磁搅拌、连铸保护渣、连铸过程检测与自动化以及连铸耐火材料等。

本书可作为钢铁冶金专业工程技术人员继续教育用书，可供从事钢铁生产、设计、科研的工程技术人员和专业管理干部阅读，也可作为大专院校钢铁冶金专业、冶金机械专业师生的教学参考书。

冶金继续工程教育丛书

连续铸钢

蔡开科 主编

责任编辑 葛志祺

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100707

北京昌平百善印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1990年3月第一版 开本：787×1092 1/32

1990年3月第一次印刷 印张：17

印数：0001—5 000 字数：385 000

ISBN 7-03-001704-8/TB·48

定价：10.50元

序

中国金属学会组织编写了“冶金继续工程教育丛书”，为大家办了一件好事。积极开展继续教育，对于提高冶金科技人员水平，促进冶金工业的发展具有重要意义。希望冶金战线各级领导重视这项工作，努力创造条件，为科技人员在职学习提供方便；同时也殷切希望广大冶金科技工作者坚持学习，不断吸收新知识，学习新技术，为实现四化、振兴中华做出更大贡献。

中国继续工程教育协会理事
冶金工业部副部长



一九八八年十二月

前 言

连续铸钢（简称连铸）目前已成为现代化炼钢厂的成熟生产技术。由于连铸具有金属收得率高、能源消耗省、铸坯质量好、机械化和自动化程度高等优点，已经越来越受到各国钢铁生产厂家的重视。连铸技术为提高钢铁工业的经济效益和节能做出了重大贡献。

进入70年代以来，在连铸技术领域内新机型、新工艺、新技术的发展，促进连续铸钢产量连年递增，连铸钢种不断扩大，连铸产品质量不断提高，全连铸化的炼钢厂不断涌现。到1987年全世界钢产量连铸比平均已达50%以上，有不少工业发达国家连铸比达90%以上。

发展连铸是我国发展钢铁工业的一项重要技术政策。最近几年，连铸技术在我国得到了迅速的发展，新建投产了一大批连铸机，对原有的老连铸机进行了现代化的技术改造。1988年，我国连铸坯产量接近900万吨，连铸比已接近15%。但是要使我国钢产量的连铸比赶上工业发达国家的水平，我们还需作出很大的努力。

一个现代化的炼钢厂是由各个冶金单元体组合起来的。炼钢炉（转炉、电炉、平炉）初炼的钢水，经过炉外精炼处理后浇注到连铸机使其凝固成铸坯。在这个生产过程中，需要解决好各单元的协调配合问题。在连铸机的上游，炼钢炉要有节奏地均衡地供给质量合格的钢水；在连铸机的下游，铸机的生产率要与轧钢机生产能力相匹配，铸坯品种与质量要满足用户对产品的要求，就浇铸本身而言，采用传统的模

铸工艺，如果一个钢锭模失效，对整个浇注过程干扰较小；如果连铸机发生故障或操作失误，整个浇注过程就要停顿下来，那就不成为连续铸钢了。

连铸过程中的操作差错会造成事故，即使一时的疏忽也会造成重大损失。一台相同装配水平的连铸机，在一个炼钢厂创造了生产记录，而在另一个炼钢厂却可能运转得不十分好，得不到令人满意的结果。这里就提出了一个“人与连铸机”的关系问题，可以说，“技术装备良好的连铸机+训练有素的人”是连铸机生产顺利的决定因素。

连铸机是衔接炼钢与轧钢之间的一项特殊作业。钢水在连铸机内的凝固受流动、传热、传质和应力等诸种物理过程的相互作用，这种作用的综合效应将决定连铸机的生产效率和铸坯质量，因此必须深入认识其规律性，为制订合理的工艺对策和控制技术提供理论指导。

近年来，国内陆续编辑出版了不少连续铸钢译文集。但迄今为止，还没有一本系统介绍连铸技术的书。尤其缺少培训连铸生产技术人员教材。

为了适应我国连铸技术的发展，便于读者系统地全面地了解连续铸钢基础知识和工艺技术，根据中国金属学会继续教育工作委员会的要求，由连续铸钢学会组织编写了《连续铸钢》这本书。本书重点阐述弧形连铸机设备、工艺和相关技术，内容包括连续铸钢的发展、连铸机设备和工艺设计原理、钢水准备、连铸坯凝固、连铸工艺和铸坯质量控制技术、连铸电磁搅拌技术、连铸保护渣、连铸过程检测和自动化以及连铸耐火材料等。编著者力图从理论和实践的结合上阐明连铸过程所发生的物理和化学现象及其应采取的技术对策。从内容的广度和深度方面，尽可能反映国内外连铸技术较新的研究成果和经验。本书内容较系统全面，既有基本理

论的论述,又有新工艺、新技术的介绍,并与生产实践紧密相结合.希望本书对从事炼钢和连铸生产、设计、科研、教学的人员有所裨益.

本书由连续铸钢学会组织以下人员编写:

熊毅刚、葛志祺(第1章);雷知行(第2章);姜永林(第3章);倪满森(第4章);蔡开科(第5章);史宸兴(第6章);卜禾(第7章);曹广畴(第8章);周川生(第9章);汪建农(第10章);任常富(第11章).全书由蔡开科主编.

中国金属学会连续铸钢学会理事长、冶金部北京钢铁设计研究总院副总工程师周曙审阅了全稿,提出了许多宝贵意见,谨致衷心感谢.

在本书出版过程中还得到了武汉钢铁公司的大力支持,在此一并致谢.

由于本书篇幅所限,有关薄板坯连铸、连铸坯热装等技术的具体内容,已安排在《连铸连轧》一书中.

限于编著者水平,书中会有不少缺点和不足之处,恳请读者批评指正.

编著者

1989年2月

目 录

序

前言

1 连续铸钢的发展	(1)
1.1 连续铸钢的发展概况	(1)
1.2 连续铸钢的优越性	(9)
1.3 现代连续铸钢技术及其发展趋势	(12)
2 连铸设备	(23)
2.1 连铸机型及特点	(23)
2.2 钢水包运载设备	(31)
2.3 中间包及中间包运载设备	(41)
2.4 结晶器	(50)
2.5 结晶器振动装置	(66)
2.6 二次冷却装置	(76)
2.7 拉坯矫直装置	(87)
2.8 铸坯切割设备	(105)
参考文献	(114)
3 连铸钢水的准备	(115)
3.1 连铸钢水温度控制	(115)
3.2 连铸钢水成分控制	(131)
3.3 连铸钢水脱氧控制	(135)
3.4 连铸钢水净化处理	(150)
参考文献	(158)
4 连铸工艺控制技术	(159)
4.1 中间包内钢水温度的控制	(159)
4.2 注流的控制与管理	(163)

4.3	中间包冶金	(177)
4.4	浇注工艺操作	(182)
4.5	冷却控制	(191)
4.6	浇注事故分析	(206)
	参考文献	(214)
5	连铸坯凝固与传热	(216)
5.1	连铸坯凝固传热特点	(216)
5.2	结晶器的凝固传热	(220)
5.3	二次冷却区的凝固传热	(240)
5.4	连铸坯凝固传热的数学模型	(255)
	参考文献	(271)
6	连铸坯质量控制	(273)
6.1	连铸坯结构特征	(273)
6.2	连铸坯的缺陷	(281)
6.3	连铸坯质量检查和控制	(309)
6.4	铸坯质量对最终产品性能的影响	(315)
	参考文献	(322)
7	连铸过程检测与自动化	(323)
7.1	过程检测传感器及仪表	(323)
7.2	连铸二冷水控制	(346)
7.3	生产过程计算机控制系统	(350)
7.4	水平连铸的自动控制	(357)
	参考文献	(362)
8	连铸工厂设计原理	(363)
8.1	连铸机机型选择原则	(363)
8.2	连铸机生产能力计算	(366)
8.3	连铸基本参数的确定	(380)
8.4	连铸车间的工艺布置	(395)
8.5	连铸用水、气、电等相关技术的设计	(402)
8.6	连铸车间的环境保护	(407)

参考文献	(408)
9 连铸用耐火材料	(409)
9.1 对连铸用耐火材料的要求	(409)
9.2 钢水包用耐火材料	(411)
9.3 中间包用耐火材料	(415)
9.4 连铸用功能耐火材料	(420)
参考文献	(440)
10 连铸电磁搅拌	(441)
10.1 连铸电磁搅拌发展概况	(441)
10.2 EMS原理和搅拌器类型	(446)
10.3 连铸EMS过程的冶金作用与机理	(461)
10.4 连铸电磁搅拌技术的工业应用	(469)
参考文献	(485)
11 连铸保护渣	(486)
11.1 保护渣的冶金功能	(486)
11.2 保护渣的组成及设计原则	(488)
11.3 保护渣类型	(495)
11.4 保护渣理化性能及其测试方法	(496)
11.5 保护渣对铸坯质量的影响	(519)
11.6 保护渣应用实例	(523)
参考文献	(529)

连续铸钢的发展

1.1 连续铸钢的发展概况

1.1.1 国外连续铸钢发展概况

连续铸钢（以下简称连铸）是炼钢领域内发展最快的技术之一。20年来，全世界的连铸坯产量由1966年的680万吨增加到1986年的37153万吨，增长了54倍。近年来，主要产钢国家由于经济不景气，钢产量不断减少，可是连铸不仅没有衰退，反而发展更快（图1-1），从1975年到1985年的10年间，

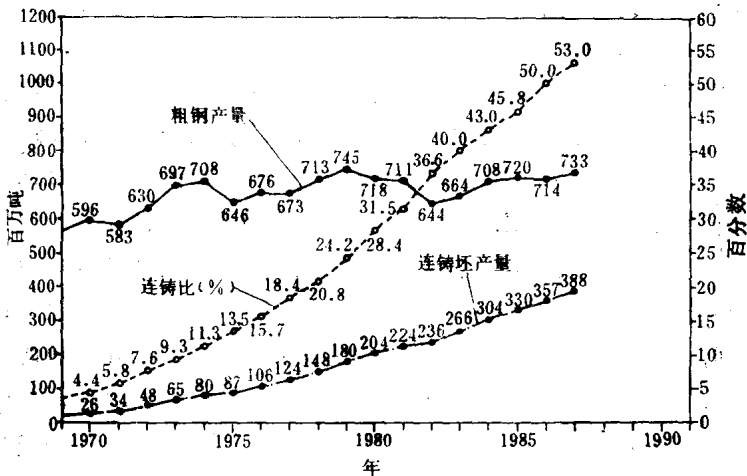


图1-1 世界主要产钢国家粗钢产量和连铸比

世界连铸比从13.5%上升到49.9%。以美国为例，1978年到1986年钢产量由12400万吨降为7400万吨，而连铸坯产量却由1890万吨增加到3953万吨，净增1.1倍。全世界1978年到1986年钢的总产量减少247万吨，可是连铸坯产量却由15988万吨猛增到37153万吨，净增21165万吨。截至到1987年底世界钢产量约达7.3亿吨，拥有各类连铸机1300台，连铸坯产量达3.8亿吨，连铸比达53%。这是一个很可观的数字，说明连铸技术具有显著的经济优越性，因此受到世界各国钢铁工业界普遍关注与重视。表1-1为主要产钢国家（或地区）的连铸比。

从表中可以看出：日本、法国、联邦德国、意大利是连铸发展较快的国家，连铸比已达80%以上。美国、英国的连铸比虽低于前面四国，但目前发展的速度很快，而且计划中仍要持续增建新的连铸机，扩大连铸坯产量。苏联是发展连铸最早的国家之一。在60年代初期其连铸技术及连铸坯产量均居世界首位，但由于他们的炼钢厂均以平炉为主，而平炉生产节奏慢，不适应连铸生产的特点，另外连铸机机型都是立式的，生产效率低于弧形，连铸生产的发展受到影响，后来被那些以转炉炼钢为主，大量采用弧形连铸机的国家所超过。

日本是当代连铸生产水平最高的国家之一，无论在连铸生产和应用技术方面均居世界前列。表1-2为日本五大钢铁公司近3年的连铸比及1987年连铸坯的实际产量情况。

应当指出：近年来南朝鲜的连铸发展也很快，1970年4月兴建的浦项钢铁厂于1983年5月完成910万吨规模的建厂计划，其中连铸坯产量560万吨。光阳厂1982年9月开始填海造地，总规模计划为1000万吨，1987年4月已完成第一期产钢270万吨的工程，与其配套的两台板坯连铸机在投产后20天就达到日产4800t的计划指标，其达产速度之快是少见的。

表1-1 世界主要产钢国家(或地区)的连续比, %

主要产钢国家 (或地区)	年 代										
	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	
苏联	9.5	10.3	10.7	12.2	12.6	12.4	12.4	13.3	14.0	14.1	
日本	46.2	52.0	59.5	70.7	78.7	86.3	89.1	91.1	92.7	93.9	
美国	15.2	16.9	20.3	20.3	29.0	32.1	39.6	44.4	53.6	58.5	
中国	3.5	4.4	6.2	7.1	7.4	9.0	10.6	11.4	12.0	12.9	
联邦德国	38.0	39.0	46.0	63.6	61.9	71.8	76.9	79.5	84.6	87.9	
意大利	41.5	46.6	49.9	50.8	58.5	68.2	73.3	78.6	83.9	89.9	
巴西	24.7	27.6	33.4	36.4	41.1	44.3	41.3	43.7	44.7	45.5	
法国	27.5	29.7	41.3	51.4	58.5	63.8	66.9	80.6	90.1	93.1	
英国	15.5	16.9	27.1	31.8	39.0	46.6	52.0	54.8	60.5	64.8	
加拿大	20.2	19.9	25.6	32.2	32.8	37.4	38.4	43.6	45.8	49.0	
南朝鲜	36.8	30.6	32.4	44.3	51.1	56.6	60.6	63.3	71.1	83.5	

1) 中国的连续比未包括中国台湾省。

表1-2 日本五大钢铁公司的连铸比, %

公司及工厂名称	1985年	1986年	1987年	1987年连铸坯 产量, 万吨	
新日铁公司	八幡厂	97.6	98.3	98.9	498
	釜石厂	88.0	100.0	99.9	54
	室兰厂	92.0	90.4	92.1	125
	广畑厂	95.4	97.0	97.9	153
	光厂	100.0	100.0	100.0	31
	名古屋厂	94.4	95.7	96.2	412
	堺厂	85.6	83.7	94.4	143
	君津厂	96.2	97.0	97.2	577
	大分厂	100.0	100.0	100.0	552
平均合计	96.0	96.7	97.7		
日本钢管公司	京浜厂	96.3	96.9	97.0	479
	福山厂	97.9	98.3	98.9	627
	平均合计	97.2	97.7	98.1	
川崎钢铁公司	千叶厂	94.1	96.6	98.4	366
	水岛厂	96.0	97.0	97.2	623
	平均合计	95.2	96.8	97.6	
住友金属公司和歌山厂	小仓厂	96.5	97.9	97.8	321
	鹿岛厂	72.2	73.1	74.3	66
	鹿岛厂	96.8	97.3	97.7	572
	平均合计	93.5	94.6	94.8	
神户钢铁公司	神户厂	45.6	51.9	55.3	58
	加古川厂	77.5	80.2	82.9	390
	平均合计	71.4	73.4	77.4	

1.1.2 我国连续铸钢的发展概况

我国是研究、应用连续铸钢技术较早的国家之一。50年

代中期开始探索性的工作。1956年在当时的重工业部钢铁综合研究所建成了 $\phi 80\text{mm}$ 圆坯半连铸试验装置。1957年在上海钢铁公司中心试验室建成一台高架立式方坯连铸机。1958年在重钢三厂建成投产一台两机两流，配合30t平炉，浇铸 $175\times 250\text{mm}$ 铸坯的立式连铸机。1960年在唐山钢厂建成一机一流，配合5t转炉，浇铸断面 $150\times 150\text{mm}$ 的方坯连铸机。

安装在重钢三厂的立式连铸机是由北京科技大学（原北京钢铁学院）设计的。这台设备在设计中有许多新的构思，如结晶器强迫下降、弹簧上升的振动方式，500t大型飞剪，简单可靠的拉辊油压系统，铸坯链式提升机等都具有独创性。

1964年4月26日在重钢三厂建成了一台R6m，可浇 $180\times 1500\text{mm}$ 板坯的弧形连铸机，这是世界上最早的工业用弧形连铸机之一。由于弧形连铸机的高度低、出坯方便，因此在重钢三厂取得成功，许多工厂纷纷筹建自己的弧形连铸机。到1986年底，我国仍在生产的自行制造的弧形连铸机有35台（武汉钢铁公司引进的3台板坯连铸机及重钢三厂、唐山钢铁公司的2台立式连铸机除外）。

1982年以后，为解决我国中小型钢铁厂开坯能力不足的问题，引进一批旨在浇铸 $90\times 90\text{mm}$ 、 $120\times 120\text{mm}$ 及 $150\times 150\text{mm}$ ，供成品轧机一火成材使用的小方坯连铸机。由于引进的小方坯连铸机装备水平较高，为我国消化引进连铸技术，提高我国连铸技术水平，开辟了新的途径。

到1987年底我国拥有各种类型的连铸机70多台，连铸坯产量724万吨，连铸比达12.9%。预计1990年底，我国拥有连铸能力达2700万吨，拥有各类连铸机140多台，届时，我国连铸生产布局将显著改观。

我国台湾省的连铸技术水平也相当高。1986年台湾省连

铸坯产量为490万吨,连铸比达88.3%,1974年兴建的台湾高雄钢铁厂,1982年完成第一期工程,年产钢为320万吨,实现全连铸.第二期工程于1988年完成,生产能力达到565万吨.该厂最终规模为800万吨.

虽然我国连铸起步较早,连铸技术也在不断发展,但与国外发达国家相比,仍有很大差距.为此,我们必须奋起直追,迎头赶上,尽快把我国连铸技术提高到一个新的水平.

1.1.3 连铸铸钢的发展简史

1.连铸的发展历史

连续浇铸的概念是转炉的发明者亨利·贝塞麦(Henry Bessemer)于1846年提出的.1857年贝塞麦获得专利.随后,德国的容汉斯(Junghans)不断对连铸工艺.设备进行多种尝试与改进,终于在1933年浇铸铜合金获得成功.1937年铝合金的连续浇铸也取得满意的结果.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的阶段.

但是钢的连续浇铸比有色金属要落后许多,主要困难是钢的熔点比铜、铝高得多,比热又大,而导热率却小得多,因此,钢的连铸一直进展缓慢.

直到1945年第二次世界大战结束后,容汉斯及其合作者罗西(Rossi)采取一些措施,解决了过去结晶器固定不动,拉坯时经常发生漏钢的难题.其关键的一点是使结晶器在浇钢时与铸坯同步下降25mm,然后再以3倍的速度上升的振动方式,这样铸坯就有75%的时间与结晶器间无相对运动,保证铸坯有一定的结壳时间,取得了划时代的进展.图1-2为容汉斯提出的钢水连铸机专利图.

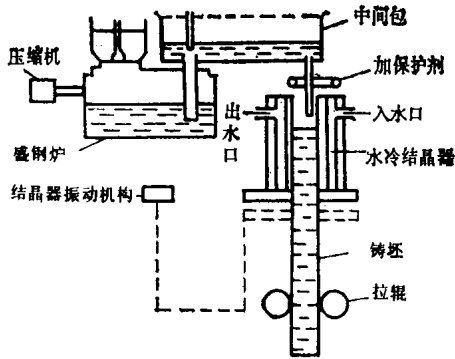


图1-2 容汉斯连铸专利原理图

2. 国外连铸体系的形成

1949年容汉斯在钢水连铸取得成功以后，即和联邦德国曼内斯曼（Mannesmann）公司组成连铸共同体（Stahl Strangiess Gemeinschaft，简称SSG），并在1950年建成一台工业试验型连铸机。

另一方面，奥地利以百录（Böhler）公司为中心成立了奥地利连铸利益共同体（Österreichischen Strangiess Interessen Gemeinschaft，简称ÖSIG）。1952年连铸共同体与连铸利益共同体在技术上制定合作计划，前者以浇铸普碳钢为主要目标，后者主攻特殊钢连铸，这样大大加速连铸工业化的进程。此后德马克（Demag）公司继续了容汉斯的技术，并不断完善、充实、提高，制造了大量连铸机，在世界上形成了德马克体系。

容汉斯的合作者罗西在连铸技术的发展上颇有建树，1954年在瑞士单独组成了康卡斯特（Concast）公司，专门从事连铸技术的开发与设计工作。该公司是当今世界上有一定