

LIANXU
ZHUGANG
GONGYI JI
SHEBEI

连续
铸钢

工艺及
设备



连续铸钢工艺及设备

郑沛然 编著

冶金工业出版社

(京)新登字036号

内 容 简 介

本书从现代连铸生产的实际需要出发,全面、系统地介绍和论述了连铸机的设备、连铸的基础理论、各种连铸工艺方法、连铸坯质量、连铸技术的发展,对国内外连铸现场生产经验及实用技术、安全生产及环境保护等知识也作了介绍。

本书主要供炼钢工人、技术人员及技校、大中专学生阅读学习,也可作为中、初级连铸专业培训班教材。

连续铸钢工艺及设备

郑沛然 编著

冶金工业出版社出版发行
(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销
河北省香河县第二印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张7 3/8 字数192千字
1991年12月第一版 1991年12月第一次印刷

印数 00,001~5,000 册

ISBN 7-5024-0853-3

TF·199 定价7.90元

前 言

连续铸钢是钢铁生产中的重要工艺，其增产与节能效果均十分显著。目前，我国连铸机生产能力与世界上经济发达国家相比，还有很大差距。根据冶金部规划，到2000年我国连铸比计划达到50%。在这种形势要求下，连铸科技人员的培养和提高、技术工人的培训工作就紧迫起来。但至今我国还没有出版过一本比较全面叙述“连续铸钢”的科技读物。

受中国金属学会科普委员会的委托，在重庆市金属学会的组织下，笔者在长期从事中专炼钢专业教学工作，深入工厂广泛收集资料的基础上写成此书，以满足广大读者的需要。

本书在编写过程中得到重庆大学黄希祐教授、重钢三厂姚名杰副总工程师的指导。本书完稿后由重庆市金属学会秘书长重庆大学陈永彝副教授、四川省冶金志编辑王良瑜同志审校。

对热心支持本书出版的四川长城钢厂四分厂、河北承德钢厂一炼钢分厂表示衷心感谢。

一九九〇年五月

目 录

绪论	1
第一章 弧形连铸机设备	11
第一节 弧形连铸机的生产流程及几个重要参数	12
第二节 钢液供应设备	15
第三节 中间罐	16
第四节 结晶器及其维护	24
第五节 结晶器的振动装置	31
第六节 二次冷却系统	39
第七节 电磁搅拌器	47
第八节 拉坯矫直机	53
第九节 切坯装置	56
第十节 引锭装置	60
第十一节 连铸坯的承运设备	63
第十二节 后步工序	64
第十三节 连铸车间工艺布置和环境保护	64
第二章 钢的结晶与连铸钢坯的结构	71
第一节 钢的结晶过程	71
第二节 钢液结晶时产生的几个重要现象	72
第三节 钢的一些重要物理化学性质	75
第四节 镇静钢锭的结构概述	79
第五节 连铸钢坯的凝固特征和结构特点	80
第六节 钢坯冷却过程中的相变和应力	85
第三章 连铸工艺及铸坯质量	87
第一节 连铸工艺参数	87
第二节 连铸的保护浇注	94
第三节 连铸生产操作	112

第四节	铸坯缺陷及防止措施	132
第五节	20管钢的连铸工艺	143
第四章	小断面铸坯连铸	147
第一节	德马克小方坯连铸机工艺参数及设备主要技术性能	147
第二节	小方坯连铸钢水准备及正常生产条件	152
第三节	小方坯连铸操作工艺	155
第四节	小方坯存在的质量和和设备问题	159
第五章	水平连铸	164
第一节	水平连铸机的设备及主要技术	166
第二节	水平连铸的工艺理论与实践	178
第三节	水平连铸的铸坯质量	183
第四节	水平连铸新工艺与新技术	184
第六章	合金钢连铸	186
第一节	合金钢连铸的特点与要求	187
第二节	选择合金钢连铸机工艺参数的实例	190
第三节	典型合金钢种的连铸	194
第七章	连铸技术的发展	206
第一节	钢液处理	206
第二节	提高连铸生产率扩大连铸品种的连铸技术	211
第三节	气水雾化冷却	214
第四节	压缩浇注	215
第五节	直接热送和直接热送轧制	217
第六节	连铸连轧	218
第七节	超低头(方、板坯)连铸机	219
第八节	ROKOP小方坯连铸机	220
第九节	薄板坯(带)连铸新技术	221
第十节	连铸坯分条技术	224
第十一节	连铸设备的改进	226

一、连铸生产发展概况

连铸是一项把钢水直接铸成钢坯的工艺。各种炼钢方法所得到的规定成分和温度的钢水，被连续不断地浇注在一个或一组实行强制水冷并带有“活底”的铜模内，待钢水凝固成一定厚度的凝壳后，钢水便与“活底”粘结在一起，用拉辊咬住与“活底”相连接的装置，这样铸坯就会连续从铜模下口被拉出来，这就是连续铸钢。

连续铸钢的最初设想，是由英国转炉炼钢的发明者贝塞麦于1856年提出来的。但直到1930年才将连铸用于有色金属的生产。1946年在美国建成了第一台试验性的连续铸钢装置。50年代中期连续铸钢技术从试验阶段进入了工业性生产阶段。连续铸钢的普遍应用是在进入60年代后，由于弧形连铸机的出现和发展，才使连铸技术在世界范围内大量被采用。

连铸机技术的不断发展，使连铸工艺日臻完善，并在大型化、机械化和自动化方面有了较大的突破。此外，拉坯速度的进一步提高，无缺陷铸坯生产的成功，已为连铸坯的热装和连铸与轧钢的直接连接新工艺提供了必要条件，一个划时代的连铸—直轧新工艺已呈现在人们的眼前。

连铸比是代表连铸技术发展水平的综合指标。所谓连铸比就是连铸坯产量占总钢产量的比例数。1950年世界各国的各种连铸机总和只有20余台，能力不超过110万t，连铸比仅占世界钢产量的0.34%。从1970年到1985年连铸机台数增长4.05倍，连铸坯增长12.77倍，连铸比增加11.22倍（表1）。

目前西方工业国连铸比平均达70%以上。连铸比增长速度最快的是日本。1970年日本仅有连铸机40台，年产铸坯527万t，连铸比为5.8%；1980年铸坯年产量6900万t，连铸比为60.7%；

表 1 全世界连铸比的增长速率

项 目	年 份			
	1970	1975	1980	1985
粗钢产量, 万t	56600	64600	71800	67186
连铸机台数	325	557	1020	1318
连铸坯产量, 万t	2600	8700	20400	33203
连铸比, %	4.4	13.5	26.4	49.4

1986年连铸比高达92.5%；1988年连铸比为93.9%。法国1986年连铸比为90.1%；1988年连铸比为94%。美国在1980年连铸比为20.3%；1986年连铸比为50.3%；1988年则为60.9%。苏联1980年连铸比约为13%；1986年连铸比仅为14%；1988年连铸比达16.1%。我国1980年连铸比为6.7%；1986年连铸比为11.95%；1987年连铸比为12.93%；1988年连铸比为14.73%。1987年世界连铸比平均达54.8%，连铸坯产量达到4.02亿t。

目前连铸所能浇注的钢种已近130种，钢号达500余个品种。连铸所能浇注的断面，方坯从 $50 \times 50 \text{mm}^2$ 到 $500 \times 700 \text{mm}^2$ ；板坯从 $50 \times 108 \text{mm}^2$ 到 $320 \times 2700 \text{mm}^2$ 。此外还可以浇注工字形、八角形、中空圆坯等多种异形断面的铸坯。现在多炉连浇的水平在不断提高，全连铸车间的大量建成标志着连铸技术趋于成熟的阶段。

为了完善浇注工艺，更新设备，以提高生产能力，扩大品种和改进质量，世界上在连铸技术领域里发展了多种新技术，如钢水预处理、保护浇注、电磁搅拌、旋转离心浇注、压力浇注、超薄板连铸、连铸坯分条技术（板坯纵切、劈轧工艺）、铸坯在线检验精整、铸坯热送、连铸连轧等等。

我国连铸技术是从1955年开始试验研究的，1958年在重钢三厂建成第一台工业性生产的立式连铸机，1964年又在该厂建成我

国第一台弧形方板坯连铸机，这是世界上最早出现的几台弧形连铸机之一。在70年代末期我国有连铸机32台，到1982年国内连铸机共有38台，其中弧形板坯机为9台，弧形方板坯两用机为9台，弧形方坯机为18台，立式方坯机2台，总设备生产能力为500万t。直至1986年国内已建成各类连铸机60台，生产能力可达1200万t。到1990年末，我国将有连铸机143台，连铸能力可达到2794万t。同时对倾斜式、水平式、轮式连铸机进行了试验研究，还在连铸设备和工艺操作方面也作了一定改进。例如电磁搅拌器、二次冷却水自动控制系统、从钢水罐到结晶器钢水无氧化保护浇注的采用，对合金钢、不锈钢等钢种的试验研究也取得了较大进展。我国连铸技术近十年来虽取得了明显进展，但在铸坯品种、质量、装备水平、作业率、设计科研等方面与国外的先进水平相比差距甚大。

国内外的经验都已证明：用连铸代替模铸钢液至钢材的收得率可提高8~15%；热能消耗可降低50~70%；成本下降10~20%；基本投资可节省40%。连铸坯的质量一般都高于模铸，而且极大地改善了劳动条件。为此冶金部把发展连铸作为发展炼钢生产的一项重大技术政策，确定了奋斗目标：1990年连铸比达到20%，2000年连铸比达到50%。

连铸作为一项新技术，虽然目前已发展到较为成熟的阶段，但仍然存在一些问题。例如钢液成分、温度、出钢时间与铸机的恰当配合；多炉连浇能否与铸机长期稳定相适应；铸坯的表面缺陷和内部缺陷有待进一步解决；某些钢种的浇注还不够成熟；高合金钢连铸尚在起步。以上表明为进一步发展连铸生产，尚需作大量艰苦而细致的研究工作。

二、连铸机型及优缺点分析

1. 立式连铸机

立式连铸机是50年代和60年代初期最主要的一种型式。这种连铸机的基本结构为一立式框架，整个连铸过程都在一条直线上完成（如图1所示）。其主要优点是：铸坯四面冷却均匀，低倍组

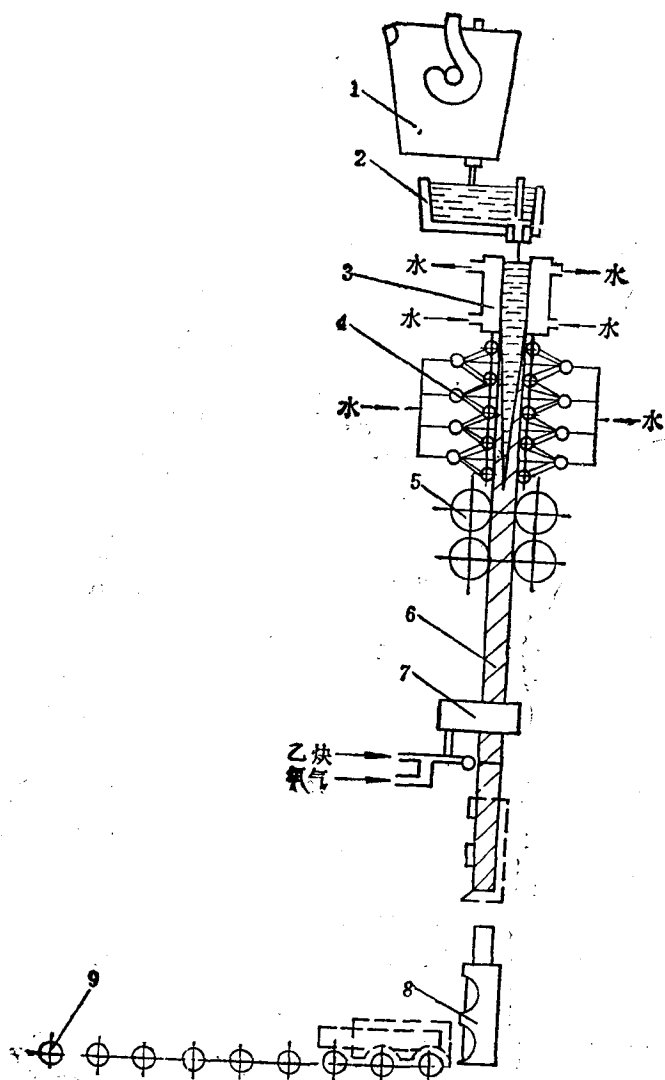


图 1 立式连铸机示意图

1—钢水罐；2—中间罐；3—结晶器；4—二次冷却装置；5—拉坯机；6—铸坯；7—切割设备；8—翻钢斗；9—运输辊道

织结构是对称的，有利于提高铸坯质量；铸坯在运行过程中不受矫直力的影响，对减少内裂有好处；立式铸机直线段最长，有利于夹杂物上浮排出。其主要缺点是：铸机很高（可达30m以上），基建投资费用大；向垂直方向运行的铸坯，用火焰切割有些困难（切缝大、金属损失大、氧化渣不易从切缝吹走）；铸坯定尺长度受高度限制，不能太长；出坯和铸坯转运比水平方向出坯的铸机困难；钢水静压力大，铸坯容易鼓肚变形产生内裂；立式铸机受铸机高度限制，只宜低拉速和浇注小断面。

2. 立弯式连铸机

为了解决立式连铸机高度太大造成的问题，发展了立弯式连铸机（如图2所示）。铸坯上部为直线段，铸坯下部用顶弯装置将

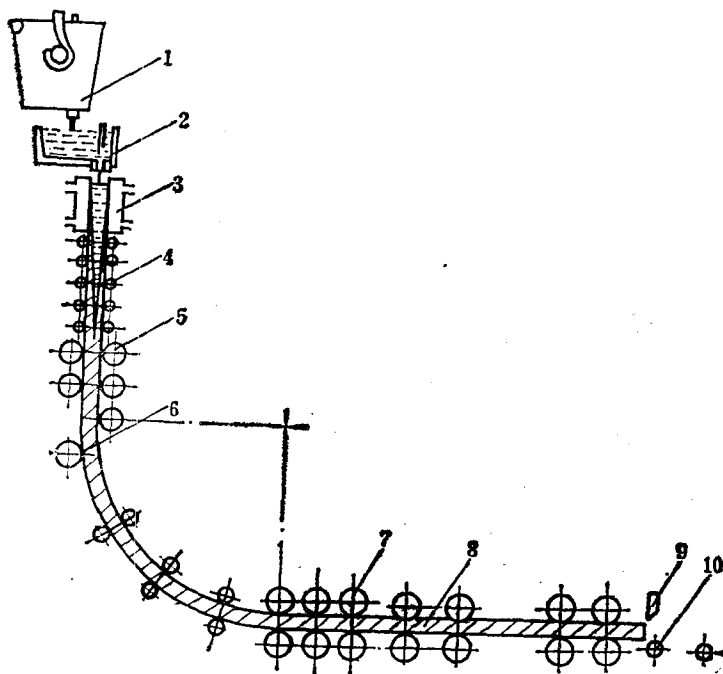


图2 立弯式连铸机示意图

- 1—钢水罐；2—中间罐；3—结晶器；4—二次冷却装置；5—拉坯机；6—弯坯装置；7—矫直机；8—铸坯；9—切割设备；10—运输辊道

铸坯弯曲，然后在水平位置矫直、切断、出坯。立弯式铸机的主要优点是：有利夹杂物上浮，减少夹杂物含量，并使残留夹杂也能较均匀地分布在铸坯内部，有利于改进铸坯内部质量；水平方向出坯使铸坯定尺长度不受限制，同时便于与轧机相连，为铸坯热送和热连轧创造条件。其缺点是：铸坯在立弯式铸机上，经过先顶弯后矫直两次变形过程，容易产生裂纹，而且也不适宜浇注大断面的铸坯。这种机型已不再发展，而被弧形连铸机所取代。

3. 弧形连铸机

弧形连铸机的结晶器分为直形结晶器和弧形结晶器两类。直形结晶器加工简单，但由于结晶器下面直线段很短，钢液易在弧直切点处溢漏，或在铸坯外弧部位产生裂纹，而且直弧形过渡段设备调整也很复杂。

弧形结晶器连铸机的特点是：结晶器和二冷区均布置在半径相同的弧线上，铸坯在水平切线位置矫直，水平出坯（如图3所示）。弧形连铸机主要优点是：钢水静压力低，有利于提高铸坯内部质量；弧形结晶器有利于控制铸坯内部的变形，铸机设备高

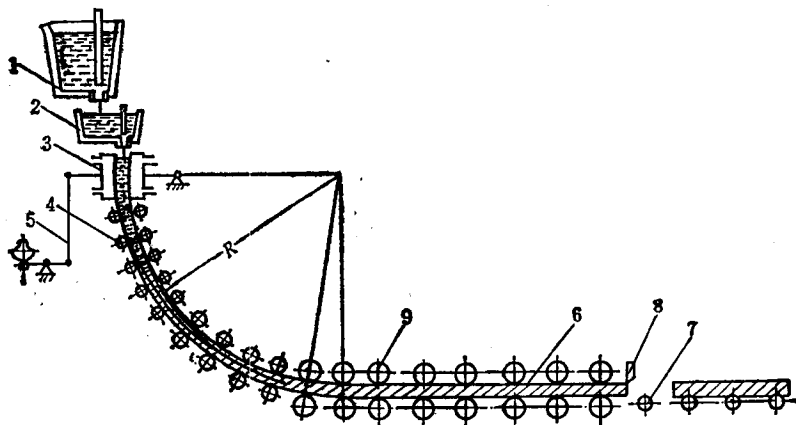


图3 弧形连铸机生产流程示意图

1—钢水罐，2—中间罐，3—结晶器，4—二次冷却装置，5—振动装置，6—铸坯，7—运输辊道，8—切割设备，9—拉坯矫直机

度比立式的降低2/3以上，从而也降低了建筑结 构造价， 便于钢水和铸坯的运送，同时操作与维修也方便；弧形铸机随着弧形半径加大，二冷区冷却长度却不受限制，铸坯可以在完全凝固后进入拉矫机，也可采用多辊拉矫、带液芯矫直、以及切割机灵活选择等优点。弧形连铸机的缺点是：非金属夹杂上浮较困难，残留夹杂有偏内弧面聚集倾向（如图4所示）；铸坯内、外弧的低倍结构是不对称的，这对铸坯质量带来一定影响；铸坯矫直时容易产生内部裂纹。由于弧形连铸机的优点显著，而它的缺点在现代连铸技术中已基本得到解决，所以近年来国内外新建的铸机大多采用弧形连铸机。

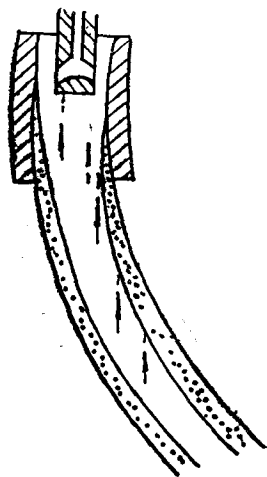


图 4 弧形连铸坯中央杂物上浮示意图

4. 椭圆形连铸机

椭圆形连铸机是弧形连铸机的另一种形式（如图5所示）。椭圆形连铸机的二次冷却区是由不同曲率半径的几段弧线组成的。它与弧形连铸机比较，只是高度略降低一些，但二次冷却区设备的加工制造及安装、调整均较困难，而且由于各段曲率不同，设备没有互换性。

5. 超低头连铸机

近年来，由于钢水精炼技术的发展与多点矫直技术的应用，使得超低头连铸机在国内外得到了发展。一般超低头连铸机半径和铸坯最大厚度之比 $R/d < 25$ 。目前最小的铸机半径与铸坯厚度之比 $R/d = 12$ 。开发超低头连铸机的主要目的是：减少钢水静压头，以改善方、板坯内部质量；降低连铸机高度与厂房高度，简

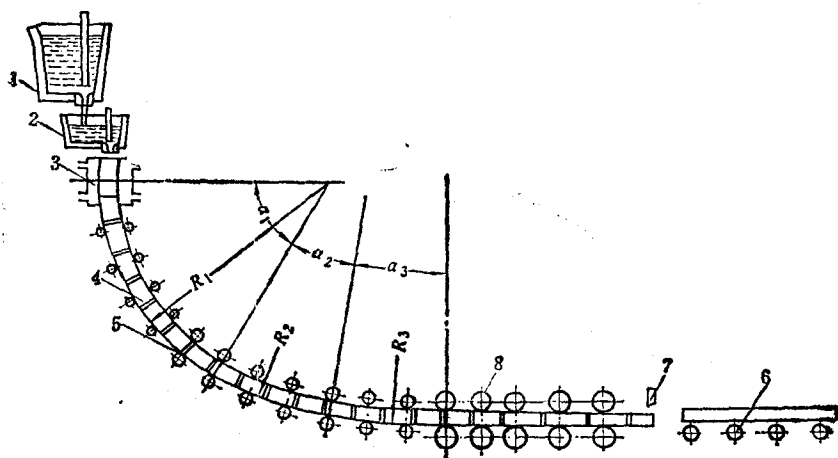


图 5 椭圆形连铸机示意图

1—钢水罐；2—中间罐；3—结晶器；4—引锭；5—二次冷却装置；
6—运输辊道；7—切割设备；8—拉坯矫直机

化设备结构，便于维修及调整设备。

西德曼内斯曼公司和康卡斯特连铸集团，最早致力于超低头连铸机的开发，并向世界各国输出近100台不同规格的超低头方/板坯连铸机。我国自1966年以来，在天津钢厂、邯郸钢厂、济南钢厂、南京钢厂、马鞍山钢铁公司第三炼钢厂，先后建设了一批小半径弧形板坯连铸机，为开发我国的超低头板坯连铸技术积累了生产经验。

超低头连铸机必须避免由于铸机半径减小而加剧大型夹杂物在内弧侧富集的倾向；也必须避免随半径的减小使总矫直变形率增加而造成内部裂纹及拉速降低的问题。近年来，由于纯净钢水生产技术的完善，为小半径连铸机生产无大型夹杂物内弧富集的铸坯创造了有利条件；由于多点矫直技术的开发，使过去必须进行全凝固矫直的裂纹敏感钢种，可以无缺陷地带液芯矫直，从而连铸机半径已不是限制拉速的因素。

6. 水平连铸机

水平连铸是国际上70年代后期发展起来的新技术，它与常规的立式和弧形连铸相比有许多优点：水平连铸机的设备比弧形连铸机轻、高度低，可在旧有厂房内安装，从而大量节约工程造价，特别适合于小钢铁厂的技术改造；由于水平连铸的结晶器成水平布置，钢水在结晶器内的静压力低，避免了铸坯鼓肚；水平连铸的中间罐和结晶器之间是密封连接的，有效地防止了钢流二次氧化，铸坯清洁度高，其夹杂含量一般仅为弧形坯的 $1/8 \sim 1/16$ ，故铸坯质量好，利于浇含易氧化元素的钢种和小断面优质钢坯；铸坯不需矫直，故可浇注弧形连铸机不能浇注的对裂纹敏感的钢种，水平连铸机几乎可以连铸所有的特殊钢、高合金钢和铁基合金。发展水平连铸机的三大关键技术，即分离环、结晶器和拉坯机构已得到解决。影响水平连铸坯质量的拉程冷隔缺陷，夹杂物聚集在表面附近的问题，密度偏析，中心疏松、中心偏析等，这些缺陷与立式、弧形机相比并不严重，现有的技术措施已能减轻这些缺陷对水平铸坯的危害。为此，水平连铸机很早就受到了国内有关方面的重视。70年代末，山西冶金研究所和首钢公司钢研所就开展了机械拉坯式水平连铸的研究。1981年初，北京钢铁研究总院和马鞍山钢铁公司钢研所相继开展了液压拉坯水平连铸机的试验研究。1986年2月第一台工业试验机组在马钢建成投产，1987年5月成都无缝钢管厂不锈钢水平连铸工业试验也取得了成功，开创了我国水平连铸发展史上的新阶段。近年来，天津冶金试验厂（全套设备引进）、齐齐哈尔钢厂（引进关键设备、国内配套）的新建水平连铸机，列入国家特殊钢连铸一条龙项目。并拟通过科技攻关开发小断面（ $\phi 40 \sim 70\text{mm}$ ）和大断面（ $\phi 210 \sim 360\text{mm}$ ）水平连铸机。水平连铸机继立式、立弯式和弧形连铸机之后，即将成为第四代连铸机而广泛发展起来。因此称它是“连铸机的未来”。

此外，国内外还出现了同步旋转式连铸机、轮带式连铸机。国外还有生产管坯的离心连铸机和薄板坯（带）连铸机。

三、连铸机台数、机数、流数的定义

台数 凡共用一个钢水罐，浇注一流或多流钢坯的一套连续铸锭装置，叫一台连铸机。

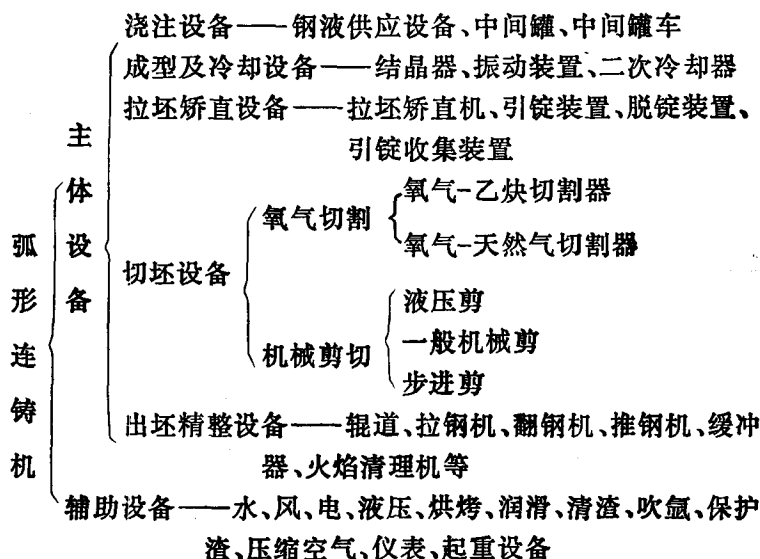
机数 具有独立的传动和工作系统，当他机出事故时，仍可照常工作的一组设备，称为一个机组。一台连铸机可由一机或多机组成。

流数 每台连铸机所能同时浇注的铸坯的总支数，称为连铸机流数。它可以由一机或多机承担。

第一章 弧形连铸机设备

弧形连铸机是连铸生产中使用最多的一种机型。弧形连铸机是机械化程度高、连续性强的流水作业式生产设备。

弧形连铸机由主体设备和辅助设备两大部分组成：



弧形连铸机规格表示方法为：

$$aRb-c$$

式中 a ——组成一台连铸机的机数；
 R ——弧形连铸机机型；
 b ——铸坯外弧半径，m；