

译者说明

连续铸钢是钢铁工业六十年代发展起来的一项新技术。通过连续铸钢机直接将钢水铸成具有各种断面形状的钢坯，从而可以逐步代替传统的模铸钢锭和庞大的初轧机设备，使炼钢生产的铸锭工艺和轧钢开坯工序大为简化，为钢铁工业向连续化、自动化方向发展创造了有利条件。

连续铸钢与一般模铸钢锭比较有许多优点：可以提高金属收得率，降低生产成本，节省基建费用，缩小占地面积，同时可以大量减少生产人员，改善劳动条件，提高劳动生产率等。因此，连续铸钢是钢铁工业很有发展前途的一种新工艺。

目前，连续铸钢已在国外普遍采用，技术正在逐步发展。遵照毛主席“洋为中用”的教导，为了使我国钢铁工业战线从事连铸生产的科研、设计人员及时了解国外连续铸钢的技术发展状况，汲取国外连续铸钢技术中有用的部分，我们选译了日本1974年出版的《鉄と鋼》连铸专辑的部分文章，编辑成《连续铸钢译文集》(3)，供有关单位参考。

本书由首都钢铁公司钢铁研究所翻译。由于水平所限，译文中的不妥之处，请读者批评指正。

编译组

一九七五年九月

目 录

一、连续铸钢设备.....	1
二、连铸操作技术的发展.....	32
三、连铸坯的凝固组织.....	79
四、高合金钢的连续浇铸.....	100
五、连铸坯的加工方法与钢材的性能.....	143
六、使用滑动水口在连铸机上进行自动浇铸.....	173
七、关于连续铸轧法的研究.....	190
八、连铸板坯中心偏析的生成机理.....	209
九、关于连铸 Al—Si 镇静钢中大型非金属夹杂物的研究.....	231
十、弧形连铸机浇铸的板坯内部夹杂物.....	270
十一、弧形连铸机的操作及铸坯质量.....	291
十二、钢流在液相穴内的侵入深度对弧形连铸机浇铸的板坯内大型夹杂物聚集的影响.....	309
十三、厚板用连铸板坯表面缺陷的改善和不经清理直接再加热轧制.....	331
十四、渣粉性状对厚板用连铸坯表面缺陷的影响.....	346

第一章 划 线

划线常被看作机械加工的重要工序之一；划线又是钳工应该掌握的一项基本功。

通常，一些比较复杂的工件毛坯和半成品，在进入粗、精加工时，就是凭借划线作为加工和校正依据的。所以划线的正确与否，直接关系到机械加工的质量和生产效率，如果划线出现差错，严重时，且将导致工件报废，造成不应有的损失。

伟大的领袖和导师毛主席教导我们说：“要过细地做工作。要过细，粗枝大叶不行，粗枝大叶往往搞错。”所以我们在划线前，必须熟悉工件图纸的技术要求和加工工艺；并对待加工工件进行仔细地分析，合理地“选择划线基准”和“校正工件划线位置”，这是做好划线工作的重要关键；正式划线时，更应严肃认真、一丝不苟，使划出的每一根线，达到正确、明晰，待所有线全部划好以后，尚须重新检查一遍，防止出错。

通过划线，还可以检查坯件是否合格。对一些局部存在缺陷的坯件，可以利用划线校正加工余量来进行补救，以提高坯件的合格率；对一些无法校正加工余量的坯件，也能及早发现，予以剔除，免得浪费以后的机械加工工时。

第一节 划线前的准备

一、毛坯工件的清理

毛坯工件在划线前要经过清理，一般先用钢丝刷除去氧化皮和残留的型砂，再用棕刷扫清毛坯上的灰尘。对于划线部位，更要仔细清扫，以增强涂料的附着力，使划出的线条明显、清晰。

80 × 80毫米到 300 × 2300 毫米的方坯和板坯、圆坯以及异型断面的铸坯。连铸机的生产力随着浇注速度的提高、浇铸周期和更换断面时间的缩短，以及采用连炉浇铸和多流连铸机等方法得到很大的提高。由于连铸机生产能力的增大同生产效率高的氧气顶吹转炉配合使用，就更加提高了连铸机的生产能力，最近一台板坯连铸机的生产能力已经超过了 15 万吨/月。

从连铸设备的发展过程来看，开始是立式的，后来演变为弧形的，同时设备也逐渐趋向大型化和高速化。目前为进一步作为大规模生产的设备，从提高设备寿命，便于维护以及自动化和节省劳动力等方面正在积极的致力于设备的改进工作。

这篇报告将综合介绍连铸机设备方面发展的详细过程及最近的动向。

2. 连铸机的发展

2.1 发展情况

在五十年代后半期安装的连铸机是立式的，如加拿大阿特拉斯钢公司及新日铁光厂连铸机(见图1—1)。这些立式连铸机存在着设备高，体积庞大，以及在运输钢坯上受到很多限制的缺点，因此在六十年代前半期在西德的迪林根冶金公司以及奥地利的本泰勒厂等研制安装了立弯式的连铸机(图1—2)。这些立弯式连铸机同美国钢公司以及西德克勒克纳公司等生产着的未凝固铸坯弯曲的方式不一样，是一种铸坯在垂直部分完全凝固以后再弯曲的方式。这种立弯式连铸机随着拉坯速度的提高和铸坯断面的扩大，设备的体积就变得越来越庞大，而且在质量上也出现了问题。为了改善这些不足，

在1963年，开始研究弧形连铸机，同时在西德的迪林根公司和曼内斯曼公司等安装了工业用的弧形连铸机并投入了生产(图1—3)。六十年代后半期以后，除了浇铸特殊钢种及特殊形状铸坯的连铸机以外，主要采用的都是弧形连铸机。最近美国又在进行着水平式连铸机的各种试验。

法国瓦卢雷公司在1968年投产一台立式旋转连铸机，用于生产圆坯。旋转连铸是用拉坯机在旋转铸坯的同时进行拉坯的一种连铸方法。据说，采用这种方法，由于铸坯在结晶器内的冷却速度快，钢渣在结晶器内向中心集中，卷入钢水

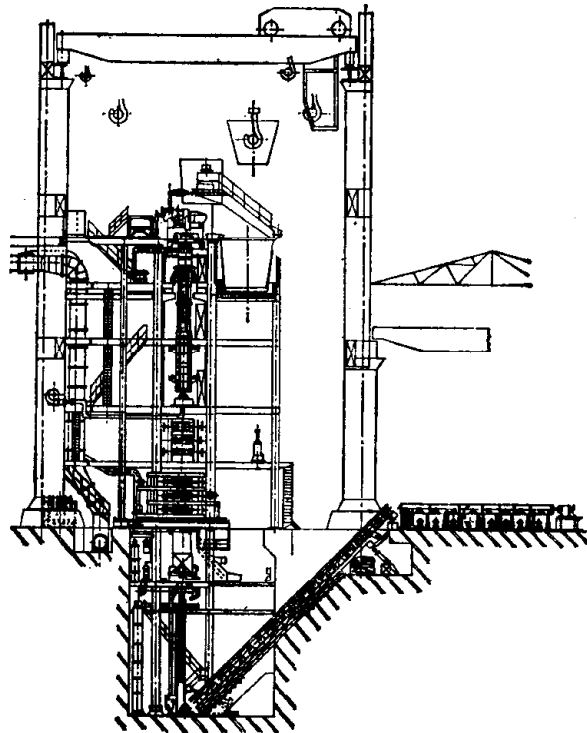


图 1—1 新日本钢铁公司光厂立式连铸机
侧视图 (1960年)

内的机会少，以及冷却均匀等原因可以得到比较规则的圆坯。日本钢管公司、川崎钢铁公司等准备引进这项技术。

截止到1970年末，各种连铸机在生产上所占的比例是：立式28%、立弯式17%、弧形43%，其它型式12%。

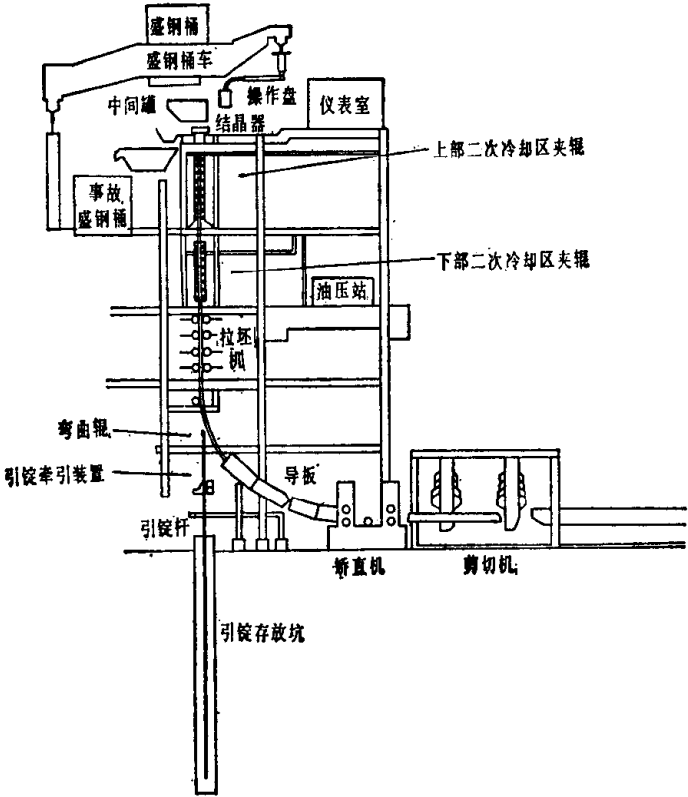


图 1—2 八幡厂立弯式连铸机侧视图 (1967年)

2.2 现代的连铸机

现在，世界各国有不少设计和制造连铸机的公司（表1—1），每个公司都各有其特色。一般设计，基本上是以弧形为主。目前，正在生产的有代表性的板坯连铸机和方坯连

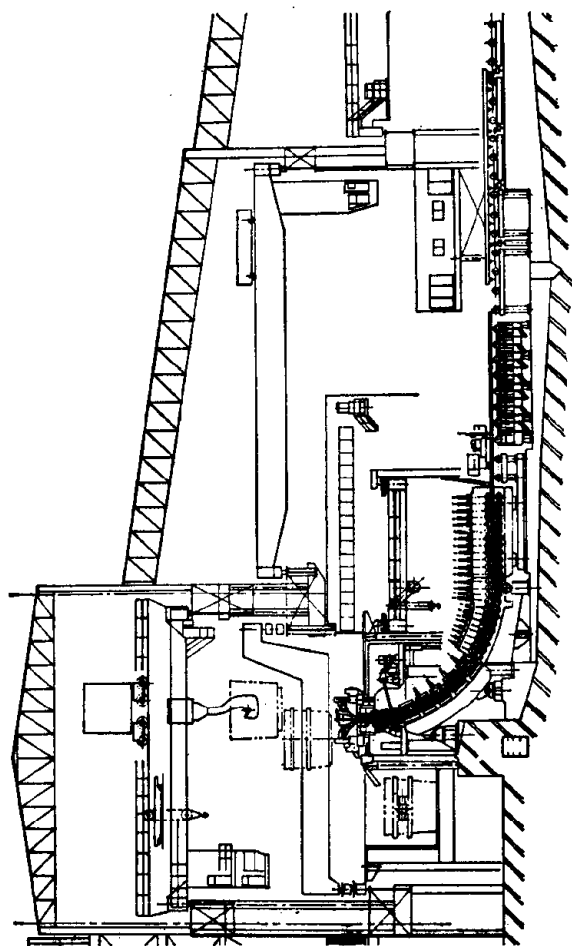


图 1-3 名古屋厂低位式 (Low head)
弧形连铸机侧视图 (1970年)

铸机，如图1—4和图1—5所示。康卡斯特、迪马克以及苏联的连铸设备采用弧形结晶器，而奥地利联合钢铁公司，美国钢铁公司以及奥尔森的连铸设备则采用直结晶器，然后在结晶器下一定距离处进行多点或一点弯曲。关于这些连铸机的情况，后面还要详细介绍。表1—2列出目前正在生产的大型连铸机。

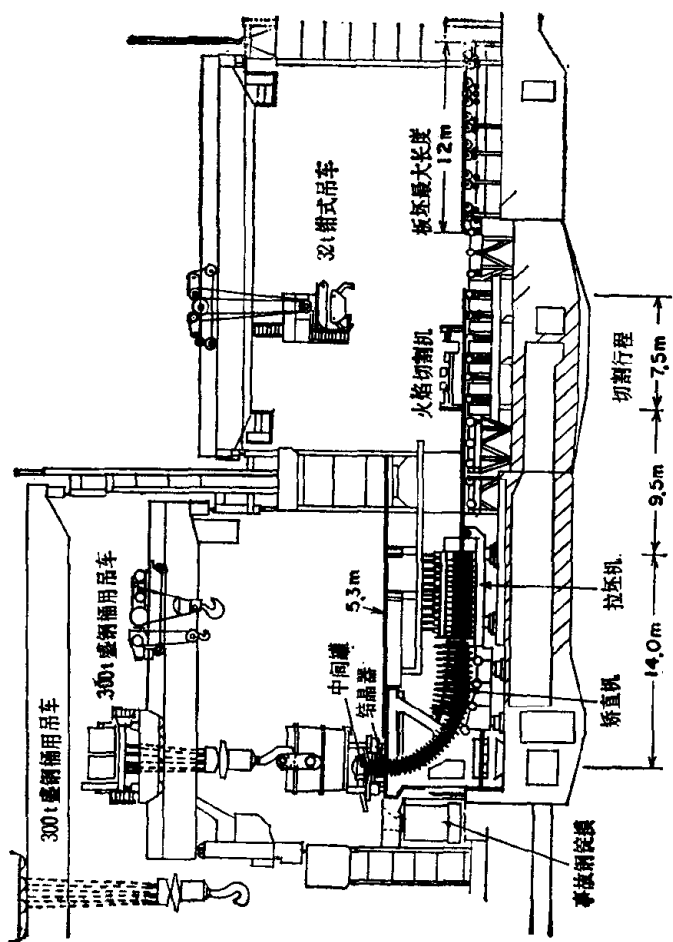
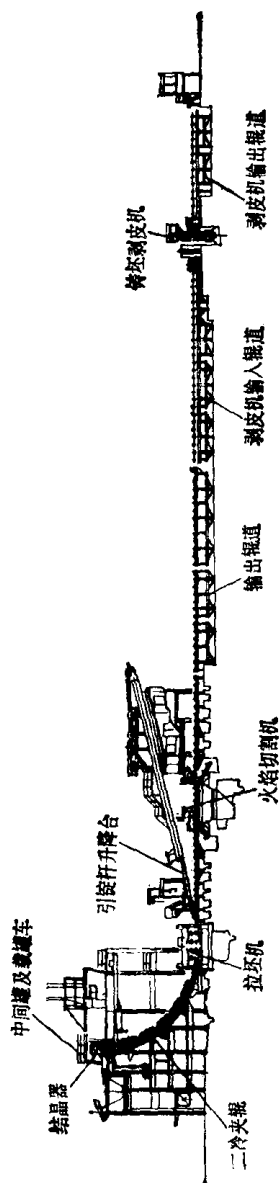


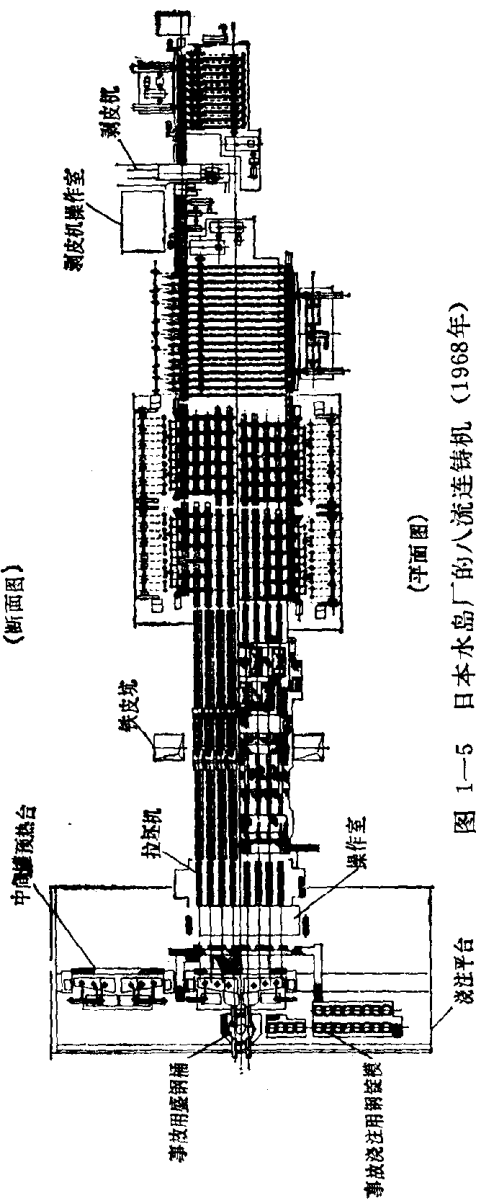
图 1—4 曼内斯曼厂的弧形板坯连铸机 (1967年)

2.3 工厂布置

在发展过程中的连铸车间多数与炼钢车间和开坯车间同时存在，在布置上相当复杂。最近由于出现了取代铸锭和开坯工序的全连铸车间，在布置上既简化又紧凑了。苏联的新利别茨克以及新日本钢铁公司的大分工厂的全连铸车间为典型布置（如图 1—6，1—7 所示）。从图上可看出，根据钢水



(断面图)



(平面图)

图 1—5 日本水岛厂的八流连铸机 (1968年)

表 1—1 主要的连铸机设计和制造厂家

公 司 名 称	分 公 司 名 称	主 要 制 造 者
康卡斯特 (瑞士)	美国康卡斯特	施罗曼 (西德) 卢瓦尔锻造公司 (法国) 迪斯廷顿 (英国) 住友 (日本) 英诺森蒂 (意大利) 格兰耶斯贝里公司 (瑞典)
DST迪马克 (西德) 曼内斯曼 (西德) 奥尔森 (瑞士)	美洲迪马克 奥尔森公司皮茨伯格	迪马克 (西德) 日立造船 (日本) 三 菱 (日本) 穆塔拉 (瑞典) 西部齿轮公司 (美国)
考波斯 (美国) 奥地利联合钢铁 (奥地利) 美国钢铁工程协会 (美国) 康慕纽 (意大利) 苏联—神户 巴布科克 (美国) 威尔科克斯 甘马工程 (加拿大) 日 立 (日本) 内湖钢 (美国) 梅斯塔机器 (美国) 米德兰德·罗斯 (美国) 联合工程 (美国)	奥地利联合钢铁公司 (纽约) 丹尼利公司巴尔蒂莫	石川岛播磨重工 (日本) 三 井 (日本) 川 崎 (日本) 神 户 (日本)

的分配方法以及钢坯精整方式的不同，在车间布置上是有很大差别的。在全连铸车间里，为了顺利地处理从多台连铸机浇铸出来的大批铸坯，不仅要考虑连铸机的主体设备，对于钢坯运输及其精整设备也要给以充分地考虑。在板坯连铸车间里，由于采用板坯冷床，安装冷剥皮机以及应用在生产线上

表 1-2 世界各国主要大型连铸机

公 司	工 厂	设 计 者	铸机型式	盛钢桶容量 (吨)	铸机台数 及流数	浇铸最大断面 (毫米)	投产年	能 力 (吨/年)
一. 板坯连铸机								
新日铁	大 分	迪马克	弧 形	300	3 × 2	300 × 2200	1972	3600000
日本钢管	福 山	康卡斯特 1 迪马克 2	弧 形	250	3 × 2	300 × 2100	1970	2900000
川崎制钢	水 岛	康卡斯特 1 迪马克 1	弧 形	180 250	1 × 2 1 × 2	300 × 2200 350 × 1900	1971 1973	2200000
于齐诺尔	敦科尔克	迪马克	弧 形	200	3 × 2	250 × 1650	1972	3200000
英国钢铁	斯堪索普	迪马克	弧 形	300	2 × 2	300 × 1525	1972	2150000
新里别茨克钢铁	新里别茨克	苏 联	立 式	100	6 × 2	315 × 1850	1966	2000000
麦克劳斯基钢铁	特灵顿		弧 形	100	4 × 1	300 × 1525	1968	2800000

二. 方坯连铸机

川崎制钢	水 岛	康卡斯特	弧 形 (H型坯)	180	1 × 8 1 × 4	250 × 300 460 × 400 × 120	1968 1973	1200000
新日铁	八 幡	奥尔森	弯曲式	75	2 × 6	中80, 中175	1967	400000
吾 孺	仙 台	迪马克	弧 形	100	1 × 4	280 × 350	1974	600000
阿根廷黑色冶金联合	圣尼科拉斯	康卡斯特	弧 形	160	2 × 6	中230	1973	800000
神户制钢	神 户	苏 联	立 式	60	1 × 4 1 × 8	中300, 中110	1965	440000
阿尔格马钢	苏圣马里	康卡斯特	弧 形 (H型坯)	100	1 × 4 1 × 2	265 × 355 760 × 150H	1967 1968	540000
美国钢铁	芝加哥	美 国	立弯式	200	1 × 4	中190	1971	1285000

进行精整的技术，其结果不仅能处理大批的铸坯，而且建设工期可以大为缩短，并可以把炼钢车间同轧钢车间直接用辊道连结起来。

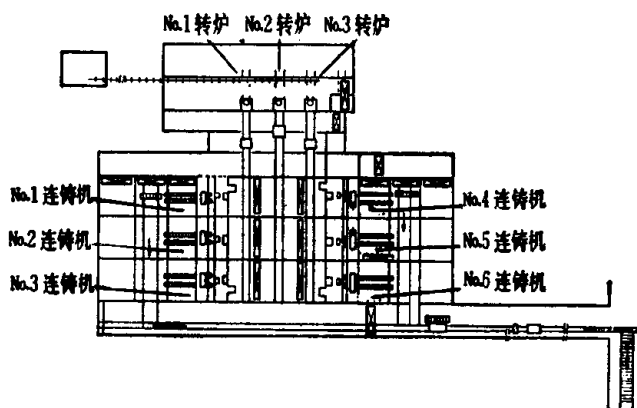


图 1—6 苏联新列别茨克炼钢车间平面布置图(1966年)

全连铸车间同一般炼钢—开坯车间比较有以下优点：

- ① 厂房建筑面积约可以减少二分之一以上，包括屋外设备大约可以少三分之一以上。
- ② 有可能全部取消炼钢—开坯之间的铁路运输。
- ③ 板坯的生产制造时间可以提前0.5~1日。

此外，从今后对环境保护方面日益提高的严格要求来看，把过去的两道加热工序改为一道加热工序，这就可以期待减少均热炉排出的废气量。

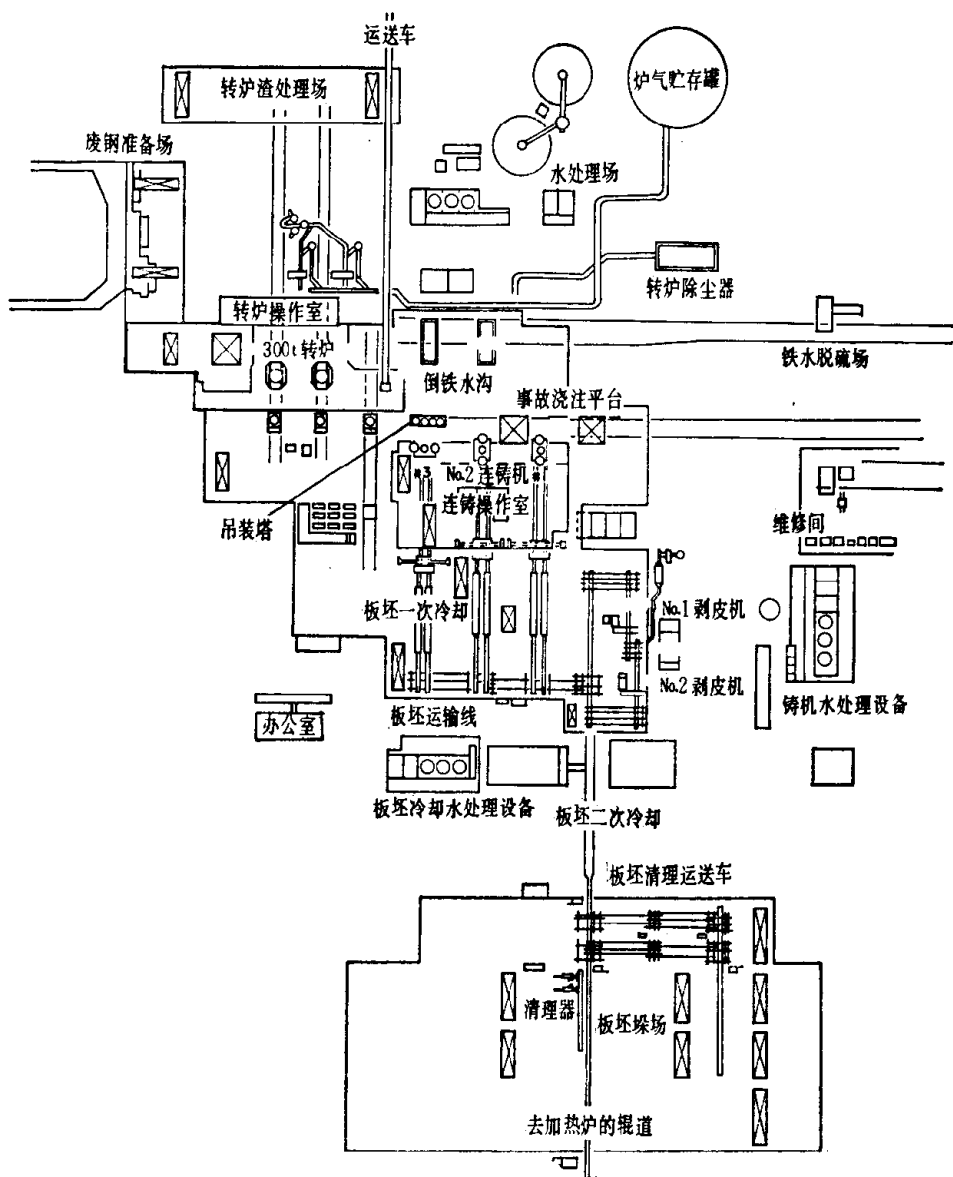


图 1—7 日本大分厂炼钢车间平面布置图 (1972年)

3. 连铸机型式

现在用于生产的连铸机有：立式、立弯式、弧形以及水平式等各种型式，其示意图见图 1—8。这些型式的连铸机各有利弊。为了解决高拉速引起的液相深度的增加，以及由于液相弯曲矫直技术的得以应用，一般地都由立式的逐步演变成弧形的。

下面就设备设计时要考虑的一些基本问题叙述一下：

3.1 凝固速度

凝固速度是连铸机设计的基本参数，过去曾有很多人作过研究。凝固速度一般用下式表示，根据铸坯形状、钢种、冷却条件以及钢水温度等条件的不同，多少有些差异。

$$D = K \sqrt{t}$$

D——铸坯凝固壳厚度（毫米）；

K——凝固速度系数（毫米，分^{-1/2}）；

t——凝固时间（分）。

板坯连铸机凝固速度系数取26~29。方坯连铸机一般取28~32。由于方坯在凝固时是由四个方向往外散热，所以比板坯时的凝固速度系数为大。以凝固速度为基数求出浇注速度及液相深度的关系如图1—9。随着浇注速度的提高，液相深度变得更长，设备也要求加高。当对厚度为200毫米的板坯以1.2米/分的浇注速度进行操作时，其液相深度约需15米。采用各种不同型式的连铸机时其高度分别如图1—10所示。立式连铸机的设备高度比弧形连铸机要高3倍。如图1—11所示，铸坯凝固终止处的钢水静压力，立式连铸机约为弧形连铸机的1.5倍。

为了确定二次冷却夹辊的直径和间距，要考虑夹辊对钢

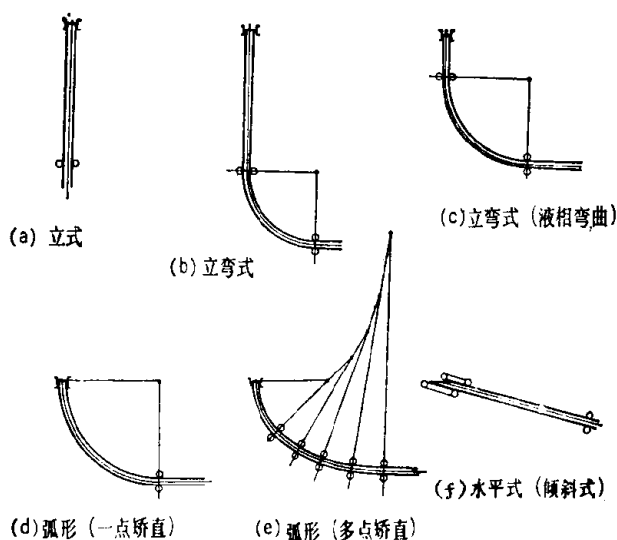


图 1—8 铸机型式示意图

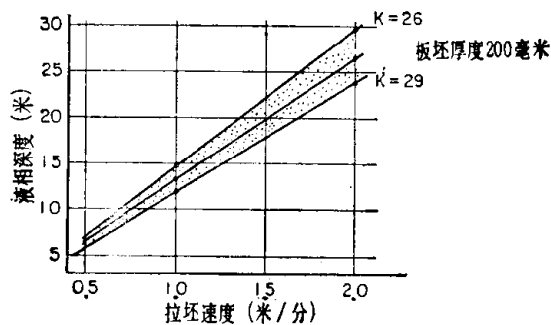


图 1—9 拉坯速度与液相深度的关系

水静压力的支承力及铸坯的鼓肚情况。尼尔 (Knell) 提出如下公式:

对于夹辊的钢水静压力 W

$$W = P \cdot L(b - 2S)$$

P——钢水静压力 (公斤/厘米²) ;
 L——夹辊间距 (厘米) ;
 b——铸坯宽度 (厘米) ;
 S——凝固壳厚度 (厘米) 。

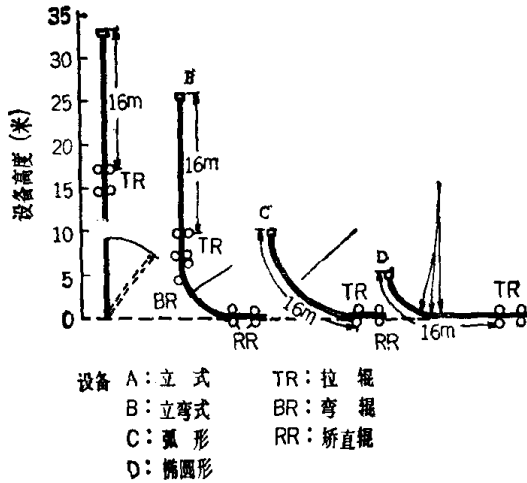


图 1—10 连铸机型式与设备高度间的关系

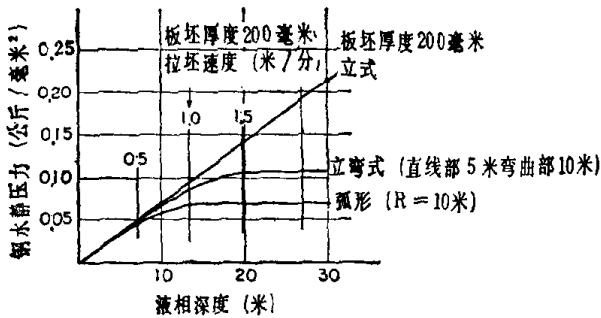


图 1—11 液相深度与钢水静压力间的关系

夹辊中间铸坯的鼓肚量 δ

$$\delta = \frac{PL^2}{16ES^3} \left\{ \frac{5}{2} L^2 - 3vd + v(b+d)^2 \right\}$$

P——钢水静压力（公斤/厘米²）；

L——夹辊间距（厘米）；

S——凝固壳厚度（厘米）；

d——板坯厚度（厘米）；

b——板坯宽度（厘米）；

E——弹性系数（公斤/厘米²）；

ν ——泊松比值。

由上式可以看出：立式连铸机由于液相深度较长，所以钢水静压力很大，这样施加于夹辊上的力也要增大，夹辊就要做得大一些。不仅辊径要增加，辊矩也要相应地加大。目前我们虽然还不清楚允许的鼓肚量究竟有多大，但是随着辊距的加大，鼓肚量必然要增加，因此从铸坯质量上考虑是不能采用这种形式的。

如上所述，随着浇注速度的提高，液相深度就要增长。当速度提高到一定限度时，不仅设备高度要增加，而且采用立式在设备结构的上将不可能。因此必将采用高度比较低的弧形装置。

3.2 液相弯曲及矫直

当提高浇注速度和增大铸坯断面时，在弧形连铸机上由于在拉坯矫直机以前铸坯将不可能完全凝固，因此便采用下边介绍的液相弯曲矫直的方法。液相弯曲矫直对铸坯质量有种种的影响，因此应对铸坯内部裂纹以及使中心偏析恶化等内部质量问题给予注意。弯曲矫直时产生的内部变形率如图1—12所示，一点及多点弯曲矫直的变形率分别由下式表示之。