

连铸钢坯质量

LIANZHU GANGPI ZHILIANG 史宸兴 编译



冶金工业出版社

连铸钢坯质量

史宸兴 编译

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书是根据近年来国外发表的有关于连铸钢坯质量方面的资料编译而成的,其中以日本《鋼の連続铸造技術における最近の進歩》(第40、41次西山纪念技术讲座)一书和1976年国际连续铸钢会议资料为基础。全书共分四章。第一章主要介绍连铸的发展现状和改善铸坯质量的重要性;第二章介绍连铸坯凝固组织的形成与控制方法;第三章比较详细地叙述了连铸坯几种主要缺陷及其防止途径;第四章概要介绍了改善铸坯质量的一些新技术。本书可供从事连铸生产、科研、设计和教学单位的有关人员参考。

连 铸 钢 坯 质 量

史宸兴 编译

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 7 1/2 字数 196 千字

1980年7月第一版 1980年7月第一次印刷

印数00,001~3,200册

统一书号: 15062·3554 定价 1.05 元

前 言

连铸作为生产钢坯的一种新方法，已在工业生产上得到了广泛的应用。它的最突出优点是金属收得率高、能量消耗低、易于实现连续化和自动化生产。因此，它是一个现代化钢厂的重要标志之一。

连铸技术的现状，已经使它具备作为大规模生产手段的条件，采用连铸生产出的钢坯质量也能满足诸如型钢、冷轧和热轧带钢、镀锌镀锡板、中厚板、电焊管和无缝钢管等产品的要求。目前正朝着提高生产速度、不断改善质量、扩大适用钢种的方向发展。

本书力图引用最新的研究成果和有关资料来说明连铸钢坯的质量现状、存在问题及今后的研究方向。希望能为从事连铸生产、科研、设计和教学单位的有关人员提供一些参考资料，以促进我国连铸技术的发展。

本书主要根据《鋼の連続鑄造技術における最近の進歩》、1976年国际连续铸钢会议文选、有关厂商来华技术座谈资料编译而成。其他也引用了某些国内资料，在有些问题上还加进了编译者的看法。对书中不妥之处，诚恳地希望读者批评指正。另外，在编译此书时，许多同志曾给予了大力支持和热情帮助，在此表示诚挚的谢意。

编 译 者

一九七八年五月

目 录

第一章 概论	1
第一节 连续铸钢的发展	1
第二节 连铸机型式的演变及其与铸坯质量的关系	7
第三节 连铸的优点	11
第四节 连铸存在的问题及改善铸坯质量的重要性	14
第二章 连铸坯的凝固组织	26
第一节 凝固特征及控制凝固组织的意义	26
第二节 柱状晶的生成及其偏向	26
第三节 等轴晶生成的机理	30
第四节 铸坯凝固组织的控制	34
第五节 凝固末期的凝固组织	43
第六节 铸坯的显微组织	45
第三章 铸坯的质量缺陷及其防止	52
第一节 连铸坯质量的特征	52
第二节 裂纹	53
第三节 非金属夹杂物	98
第四节 中心偏析	130
第五节 气泡	144
第四章 改善铸坯质量的技术措施	150
第一节 钢液的净化处理	150
第二节 无氧化浇注	155
第三节 浸入式水口保护渣浇注	169
第四节 水口堵塞	185
第五节 离心旋转连铸法	192
第六节 电磁搅拌	200
第七节 连续铸轧	213
第八节 连铸用耐火材料	216

第一章 概 论

第一节 连续铸钢的发展

连续铸钢作为铸锭或者加工部门的一种崭新的方法，无疑是继氧气炼钢之后，钢铁工业中最重要的进步之一。虽然，工业生产上大规模地采用连续铸钢还只是最近一、二十年的事情，但是，从转炉炼钢的发明者贝塞麦（Henry Bessemer）在1857年最先提出用双滚方式制造薄钢板的想法算起，连铸的历史已有一百多年了。然而，真正奠定近代连铸技术基础的，却应归功于容汉斯（Siegflid Junghans）的研究。早在四十多年以前，容汉斯就已经把连铸方式成功地用到铜合金、铝合金等有色金属的领域中。特别是在1947年左右，他开始进行钢的连铸研究。在他的专利中^[1]（如图1-1所示），那时已经提出了诸如水冷结晶器、结晶器的往复振动、结晶器壁使用润滑剂、浸入式水口和结晶器上部的气体密封等某些现代连铸技术的基本轮廓。

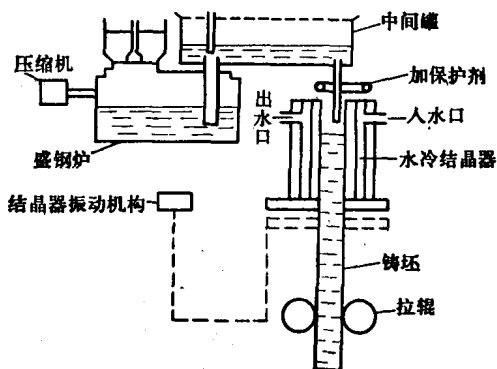


图 1-1 容汉斯专利原理图

五十年代前后、世界上几个主要产钢国家都先后组织了专门从事研究连铸技术和制造连铸设备的机构。1949年西德的曼内斯曼 (Mannesmann) 公司和容汉斯组成了连续铸造共同体 (Stahl Strangiess Gemeinschaft, 简称SSG), 并于1950年研制出一台能浇5吨钢水的连铸机。几乎同时, 在奥地利成立了以百录 (Böhler) 公司为中心的连续铸造利益共同体 (Österreichischen Strangiess Interessen Gemeinschaft, 简称ÖSIG)。上述两个组织, 后来建立了技术合作关系, 并发展成今日专门向世界各地提供大型板坯弧形铸机的主要集团。1954年容汉斯的学生和合作者罗西 (Irving Rossi) 又独自组成了康卡斯特 (Concast) 公司。截止到1977年底由该公司提供的全部连铸机的总能力已达1亿吨/年^[2]。1947年, 英国钢铁研究学会伦敦研究所又着手创立所谓“BISRA”方法。日本住友金属公司也较早地开始从事连铸技术的研究, 后来加入了康卡斯特集团, 并于1955年研制出日本第一台连铸机安装在大阪。美国则是从1959年才开始由美国钢公司 (U.S.Steel) 着手研究连铸技术的。应当指出, 苏联在发展连铸技术方面是起步很早的一个国家。十月革命前一些研究单位开始研究连铸, 并在这个基础上1953年新土拉冶金厂建造了一台试验性连铸机。1955年在红索莫沃工厂投产一台工业性连铸机。世界上几个主要连续铸造集团的组成情况请参看图1-2。

在最近的十几年内, 连续铸钢的发展是很迅速的。1964年仅在20几个国家中拥有80多台铸机, 总的生产能力约为7百万吨/年。而到1974年则有550多台铸机分布在50多个国家中, 总的生产能力达到1亿4千万吨/年。十年内、生产能力增加20倍。1974年世界粗钢总产量约为7亿1千万吨, 其中连续铸钢产量约为9500万吨, 占粗钢总产量的将近15%^[3]。1977年连铸机能力达到2亿吨, 实际产量为1亿3千万吨, 约占全部粗钢产量的20%^[293]。世界连铸机台数和生产能力的增长情况, 参见图1-3。各国拥有的铸机台数参见图1-4。其中尤其是日本、美国、西德和苏联, 这四个国家的设备生产能力占世界的60%, 实际产量占

世界的67%。这些国家，近年内建造了许多台能力在1百万吨/年以上的大型连铸机。值得注意的一个趋势是，七十年代以来，连铸在一些发展中国家内也开始普及起来，这些国家的设备大都以小型方坯机为主。

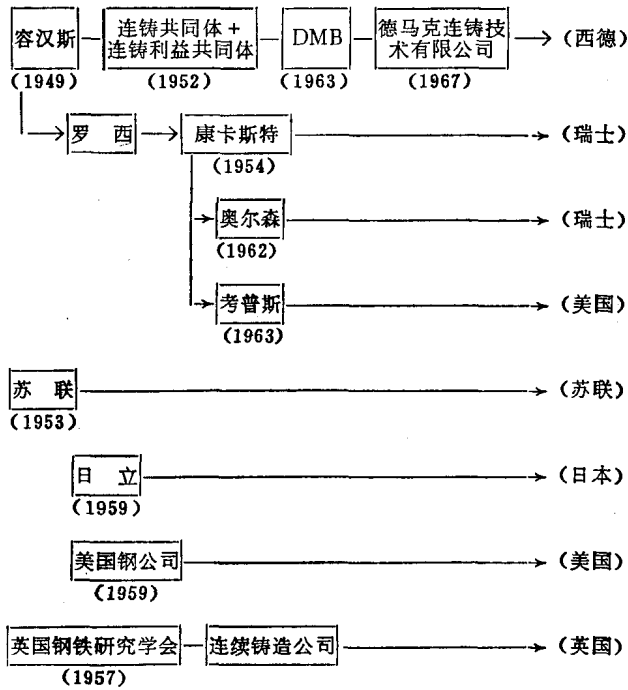


图 1-2 世界主要连铸集团的组成情况

注：□者为现在名称

在所有国家中，发展连铸技术日本最为突出。如前所述，虽然1955年日本住友金属公司在大阪建设了一台连铸机，但在1965年以前，连铸技术发展一直很迟缓。这期间，它仅有几台试验和生产兼用的小型连铸机，对连铸技术还处于探索和观望的状态。进入六十年代后半期，随着日本钢产量的迅速增长，铸锭和开坯的矛盾显得越发突出，促进了连铸技术的发展。而从连铸技术本身来看，这时弧形铸机已经出现，使得建造连铸设备更为方

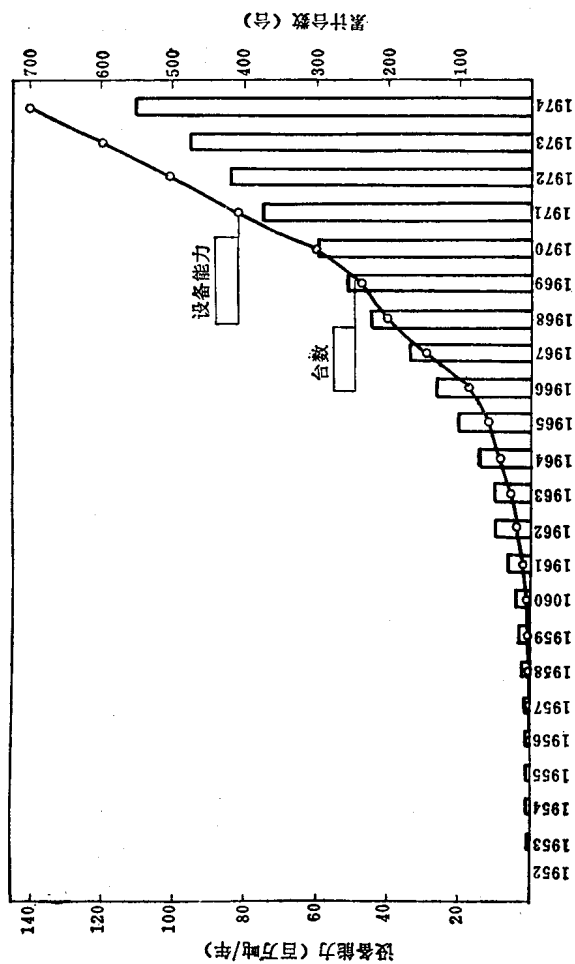


图 1-3 世界连铸机台数和设备能力的增长

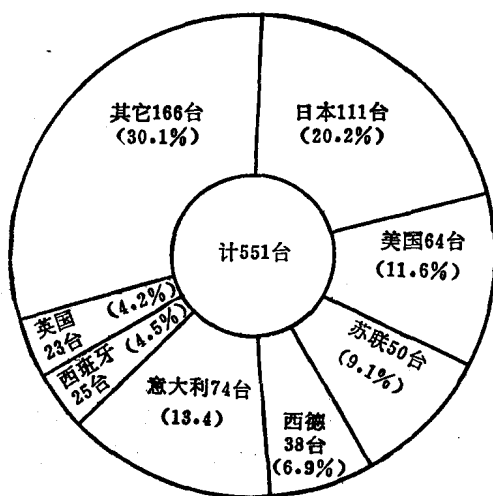


图 1-4 各国拥有的连铸机台数

便。加上由于连铸操作技术的提高，使得有可能用连铸方法可靠地生产诸如厚板、冷轧和热轧带钢以及型钢等普通钢。在这种情况下，连铸与LD转炉相配合使用，才以较快的速度发展起来。另外，在原先以下注方式生产条钢用钢锭的平电炉钢厂，这时也认识到连铸是一种改善作业条件和提高质量、降低成本的手段，从而使日本踏上了积极采用和大力发展连铸技术的道路。特别是七十年代以来，日本无论在生产能力和技术水平上，以突飞猛进的步伐，跃居世界首位。到1975年底，投产的铸机有122台，设备能力为4936万吨/年^[4]，实际产量为3270万吨占全部粗钢产量的32%。1976年的实际产量为3770万吨、占粗钢总产量的35.1%^[5]。而1977年的实际产量已经达到4181万吨、占粗钢总产量的41%。预计1980年连铸比可达50%^[257]、^[47]日本连铸机台数和设备能力的增长以及连铸产量和连铸比的增长情况如图1-5和1-6所示。在技术水平上，也有许多新的成就，如新日铁大分厂和神户制钢尼崎厂的全连铸化；川崎制铁水岛厂、神户制钢加谷川厂、

新日铁大分厂、君津厂、名古屋厂、住友金属鹿岛厂、日本钢管福山厂等生产能力均在1百万吨/年以上的大型宽板坯铸机；川崎制铁水岛厂、神户制钢神户厂、东伸制钢姫路厂和船桥制钢的8流方坯机；岸和田制钢的连续铸轧机；川崎制铁水岛厂的H型坯铸机以及日本钢管京滨厂的大型旋转连铸机等。可以说，连铸在近年内对日本钢铁工业的高速发展和实现技术现代化正在发挥着越来越大的作用。它已经作为大规模的生产手段而成为现代钢铁生产技术的重要一翼。如果说六十年代日本钢铁界的竞争目标集中在采用氧气顶吹转炉上，那么今天这种竞争的情势就表现在看谁连铸上得多上得快。总的看来，日本的连铸发展，与采用LD转炉、大型高炉的过程一样，从引进专利开始，建立小型设备。在经过最初的谨慎行事之后，代之以突飞猛进而超过世界其它国家。

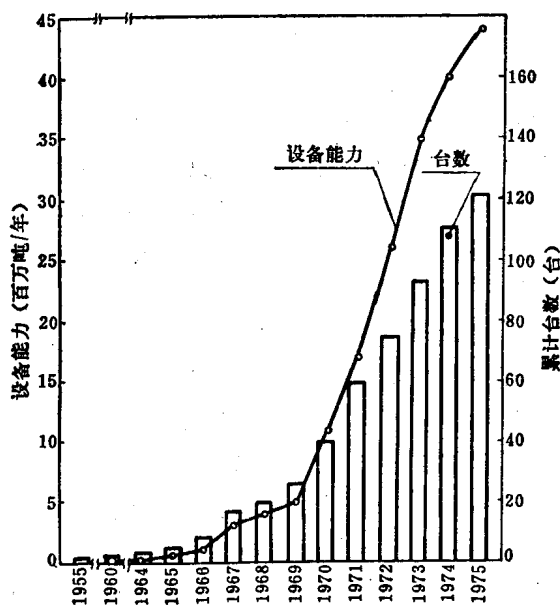


图 1-5 日本连铸机台数和设备能力的增长

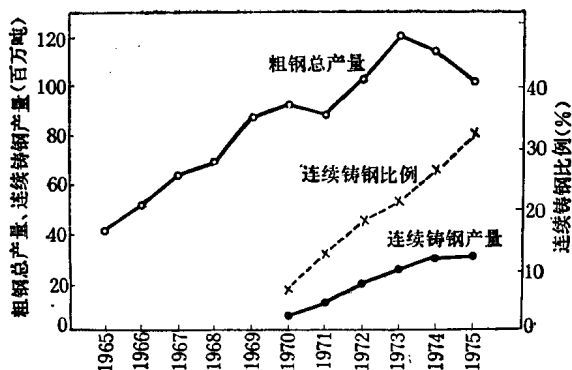


图 1-6 日本连铸产量及连铸比的增长

如上所述，在最近的十多年内，连铸之所以能呈现出如此日新月异的惊人进步，主要是由于各国连铸工作者朝着提高铸机生产率、改善铸坯质量和降低生产成本这三大目标，在操作技术和设备方面所进行的大量研究并取得卓有成效的发展的结果。现在用连铸所生产的钢坯断面形状，除了一般方坯和矩形坯外，还有八角形坯、圆坯、中空圆坯、工形坯、H形坯和梅花形坯等。从断面尺寸来看，方坯最小的是 80×80 毫米、最大断面是即将投产的日本钢管扇岛厂的 400×500 毫米。而板坯最大的宽度目前是美国国家钢公司大湖厂的 304×2640 毫米宽的大型板坯了。

第二节 连铸机型式的演变及其与铸坯质量的关系

现在使用中的连铸机型式，归纳起来基本上就是立式、立弯式、弯曲型和水平式这四大类。应用较多的还是前三种类型。从演变的过程来看是由立式转向弯曲型。另外，由于运用了带液相铸坯的弯曲和矫直技术、又出现了不同方式的立弯式和弯曲型铸机。图1-7所表示的就是各种连铸机示意图。

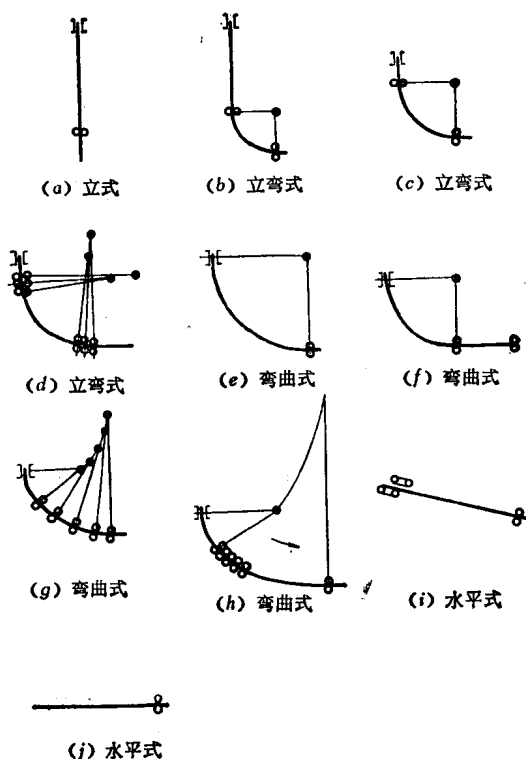


图 1-7 连铸机的基本型式

在五十年代连铸工业化的初期，铸机的型式几乎都是立式的。但是铸坯的液相深度是由冷却强度和拉坯速度决定的。因此，欲加大拉坯速度，势必引起液相深度加长，即铸机高度加大。虽然，从提高收得率来降低生产成本的意义上来看，尽管设备制造费用大，但用来浇铸象不锈钢之类的特殊钢还是合算的。然而，从减少设备费用的角度看，还是希望能把受设备高度制约的厂房高度降低。于是出现了初期的立弯式铸机。也就是在铸坯完全凝固之后，通过弯曲设备，把它按一定的曲率弯成水平方向。由于所需的弯曲力和矫直力较大，故一般小断面铸坯才采用这种铸机型式。

1963年瑞士的冯·莫斯厂研制出具有弧形结晶器的弯曲型铸机，克服了过去立式和立弯式铸机的缺点。这种铸机可实现高速浇铸，从而提高了铸机的生产率。另外，由于设备高度降低，故在原来铸锭厂房内建造起来也较方便。因此，它的出现被认为是使连铸成为大规模生产手段的一个划时代的进步。现在，实际生产上使用的大型板坯高速铸机大都属于这种型式。

弯曲型铸机的特征是：在整个凝固过程中铸坯就已经是自然弯曲的。只是在拉矫区内才被强迫矫直并完全凝固。但是，由于承受拉矫辊施加外力时的坯壳强度低，因此，为了防止铸坯产生裂纹，就须减小每个辊子对坯壳施加的力量，从而出现了多辊矫直的方式。每个辊子对铸坯的作用力减小了，而辊子数量增多了，同样可以保证总的拉坯矫直力。另外，高速浇铸引起的液相长度的增加，可延长铸机水平部分加以解决。而对于矫直集中在圆弧与直线部分交点的弯曲型铸机来说，由于铸坯承受的矫直力很大，故有产生内裂的危险，因此出现了多点矫直的形式。为了避免铸坯内裂，还有一种办法就是采用所谓“压缩铸造”的方式（Compression Casting Process）^[6]。使铸坯经常受到压缩应力的作用以便抵消弯曲时产生的张应力的影响。

弯曲型铸机有一个很大的缺点，就是夹杂物在铸坯内部靠近内弧侧聚集的问题。正是由于这个原因，后来又重新采用立弯式的铸机。不过这时提出的立弯式与初期的立弯式不同，而是在结晶器下边保持一定长度的直线部分，然后将带有液相的铸坯按一定的曲率加以弯曲。为了实现高拉速，最重要的问题是如何防止因鼓肚造成的铸坯裂纹。为此，比较理想的办法就是缩小支撑辊

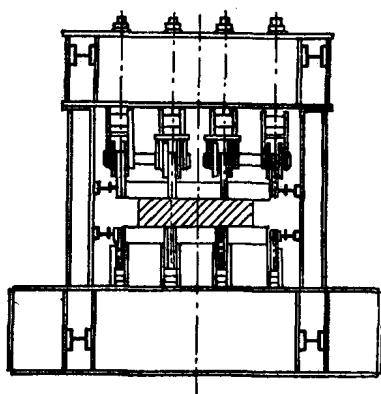


图 1-8 分节辊（分割ロール）

的间距。而要缩小辊间距，就必须减小辊子直径。于是又出现了如何保证辊子的强度问题。否则，一根很长的细辊在使用的条件下很容易变形损坏。为了解决这个问题，奥地利林茨（Linz）厂采用一种所谓“分节辊”（分割ロール）结构代替原来一根长辊的支撑方式^[7]（如图1-8所示）。从保证辊子寿命的角度来看，这种结构是很有效的。但支撑轴承的维护须采取必要的措施。

以上简单地叙述了铸机型式演变的过程和依据。显然，不断提高铸机生产率、改善铸坯质量、减少设备高度和制造费用是铸机型式演变的主要原因。

表1-1 机型对铸坯质量的影响^[14]

机 型 缺 陷	立 式	立 弯 式	弯 曲 型
内 部 裂 纹	较 重	较 重	最 轻
中 心 偏 析	较 重	较 重	较 轻
表 面 裂 纹	轻	较 重	较 轻
夹杂物（皮下 3~5毫米）	较 多	较 多	较 少
夹杂物（皮下30~ 40毫米）	最 少	较 少	最 多

下面，我们再概要叙述一下机型与铸坯质量的关系。一般来说，衡量铸坯质量好坏的主要指标是内部裂纹、表面裂纹、中心偏析和夹杂物。后者又分为皮下3~5毫米范围内的夹杂物和皮下30~40毫米处的夹杂物。有的把各种机型造成的上述缺陷程度归纳为表1-1。认为立式铸机产生内裂的原因主要是铸坯鼓肚引起的。中心偏析也是由于鼓肚造成的。至于皮下3~5毫米处的夹杂物较多的原因是因为注流速度低，夹杂物易被坯壳捕捉造成的。立弯式铸机除了鼓肚外，还有弯曲、矫直应力的影响，因此铸坯裂纹较重。另外，表面裂纹还因冷却水沿铸坯角部集中流下故而加重。而弯曲型铸机除了皮下30~40毫米有夹杂物偏聚的缺

点外，其它质量指标都较好。因此，有的认为从质量的综合指标来看，弯曲型铸机还是有利的。但是，对于夹杂物要求严格的钢种，有的认为还是采用立式或立弯式铸机为好。关于机型选择的问题，尚无统一的看法，有待进一步加以探讨。但最好还是根据实际情况，从铸坯质量、生产率和建设费用等综合加以考虑。

第三节 连铸的优点

由于连铸可以省掉铸锭和开坯工序，因此具有一系列技术经济上的优点。加上连铸本身所具有的某些冶金质量上的长处，使它成为具有很强生命力的技术。本节在叙述连铸的优点时，不想触及连铸优点的所有方面，而只着重介绍比较突出的几点：

一、提高金属收得率

由钢水制成钢坯，连铸的收得率一般是96~99%。和铸锭开坯方式相比，对镇静钢来说，收得率可提高15%、半镇静钢可提高7~10%。这对于成本昂贵的特殊钢（如不锈钢）和合金钢来说，若能采用连铸工艺，其意义是非常之大的。有人曾做过估算^[8]，连铸比每增加1%，则可使成材率增加0.25%。若日本今后5年内连铸比增加8.6%，则可使成材率增加2.1%。也就等于说，由于采用增加连铸比的办法，日本在最近的五年内，每年钢材“自然增长量”为2百万吨。苏联新利别茨克冶金厂用连铸生产一吨硅钢片的金属消耗比模铸低26%，成材率提高18%^[9]。日本新日铁生产半镇静钢和镇静钢厚板，从钢水到精整板坯的收得率，连铸比模铸分别高10%和20%左右^[10]。由此可见，采用连铸从提高收得率上所获得的好处是相当可观的。就这一点说，在国外已使许多厂家饱尝甜头，这是人们热中于采用连铸的一个很重要的原因。

二、节省能量消耗

用连铸取代加热炉开坯工序，由于省掉了加热炉内的再加热工序，故可使能量消耗减少1/2~1/4。这一点对于近年来受能源危机冲击的某些国家尤为重要。根据日本各厂统计，生产一吨铸坯

比原来铸锭开坯方式一般可省能 $(10\sim30)\times 10^4$ 千卡。相当于节省重油10~30公斤。因此，有的从节约能源的角度，极力主张采用连铸技术。图 1-9 为新日铁君津厂生产厚板时的连铸与铸锭开坯

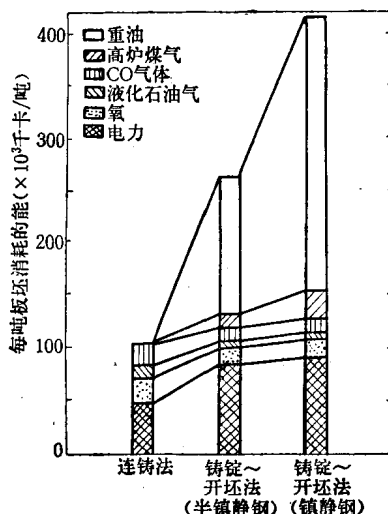


图 1-9 连铸与铸锭开坯方式
能量消耗比较

开坯方式能量消耗比较。由图可见，对于镇静钢厚板来说，由于连铸与模铸在收得率上相差很大，同时在加热炉内停留的时间长，因此，两者每吨钢坯的能量消耗相差很大。但是，如果将连铸坯重新加热后再经过中间开坯工序同由小钢锭不经中间开坯而进行直接轧材的情况相比较，连铸省能的效果就不大了。因此，连铸坯比较合理的使用就是由它直接成材。在节能方面，日本钢管京滨厂从1973年2月开始实现部分板坯(40公斤级厚板用坯)在 600°C 下直接热送轧制，为连铸进一步发挥省能的效果开辟了

新的途径。连铸在省能方面，还蕴藏着巨大的潜力。

三、机械化、省力化、自动化

原来的铸锭工序，环境恶劣、劳动笨重、条件是很差的。从操作上来看，也是钢生产过程中最落后的一个环节。特别是随着炼钢技术的提高，铸锭与炼钢生产不相适应的矛盾就更为突出。而采用连铸，不仅可以提高钢的收得率、降低原材料消耗，而且可以实现机械化操作。从而使铸锭操作从原来那种笨重落后的状态下解放出来。最近几年，由于操作和设备的改进以及采用自动控制和计算机控制，从而使节省劳动力的效果越发显著。初期连铸平台上的操作工人是按流数多少配备的。后来由于实现了盛钢桶和中间罐水口的自动控制，不仅可保证中间罐钢水重量偏差