

轧钢生产

增益与节能

李连诗 编著

冶金工业出版社

35

轧钢生产增益与 节 能

李连诗 编著

冶金工业出版社

2268/06

内 容 简 介

本书是作者在收集了国内外有关节能资料及科研成果的基础上编写而成的。该书介绍了轧钢生产节能的基础知识、设备的挖潜、轧钢工序的能耗与节能措施、轧机与辅助设备的节电和其他动力能耗的节约、能耗的计算方法及提高轧钢车间成材率的技术发展方向等，重点介绍了轧钢工序中各环节的节能方法和途径，对加热炉节能的新方法、新工艺也做了适当介绍。书中有图68幅，表40个。

本书可供从事轧钢、节能工作的工程技术人员和管理人员使用，亦可供轧钢、电气、热能等有关专业的科研人员、大专院校师生参考。

轧钢生产增益与节能

李连诗 编著

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北海沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张 4 1/2 字数 96 千字

1990年2月第一版 1990年2月第一次印刷

印数00,001~1,500册

ISBN 7-5024-0616-6

TG·97 定价2.25元

前 言

按人均钢产量，世界人均均为160公斤，发达国家（美、日、苏、西欧）已达500公斤以上，而我国现在人均钢产量仅有60公斤。因此，大力发展钢铁工业乃是我国国民经济发展的战略需要。

近年来，我国新建了一些骨干钢铁企业，但这些骨干企业毕竟是少数，当前我国钢铁工业的发展重点还在于充分发挥现有设备潜力，改建或扩建现有企业，使之不断满足“四化”对钢材数量、品种和质量的需求。而另一方面是要充分利用有限的投入资金，来取得最好的经济效益，这是涉及生产效率和降低消耗的问题。

轧钢车间是钢铁企业中的主要生产环节之一，它是直接出钢材的车间。钢材数量、品种、质量能否满足社会的需求，轧钢车间具有举足轻重的作用。但它同样存在着经济生产问题：其一是轧钢设备的巨大潜力尚未充分发挥出来；其二是各种消耗偏高，尤其是能源消耗和金属消耗很高，与国外先进水平相比仍处于落后状态。

能源在我国仍是一个紧迫的问题。据预测到2000年我国已不能再出口石油，只能满足国内的需要。其他能源如电力、工业用煤、天然气等也供应紧张。钢铁工业是个用能的大户，而轧钢是钢铁企业中第二用能大户，因此，降低轧钢企业能耗有其战略意义。钢铁工业如果不能大力节约能源必然制约其进一步发展。我国轧钢企业吨材能耗与日本轧钢企业相比高30%以上。

提高成材率是个被国内外广泛重视的问题。我国轧钢成材率是较低的，比日本约低11%。按我国年生产6000万吨钢计算，每年多消耗有用金属660万吨，这是一个很可观的数目，因此，大力降低轧钢的能耗和金属消耗是迫在眉睫的任务。

目前，关于节能、节材、提高生产效率的技术资料还较少，公开出版的轧钢书籍中很少涉及这些内容或者缺乏系统的资料。为此，编者在收集国内外资料的基础上加以系统整理，编写了本书，以弥补这方面系统资料之不足，并为各企业研究节能、节材和提高生产效率提供参考。

应当指出，节能、节材和提高生产效率这类问题所涉及的知识面很广，多属于综合性问题，现在又缺乏系统的完整资料，这本书的编写仅是个初步尝试，不妥之处，望读者批评指正。

编 者

1988年9月

目 录

前言

第一章 挖掘轧钢设备潜力提高生产效率	1
第一节 轧机工作图表	1
一、研究轧机工作图表的意义.....	1
二、轧制图表的基本形式.....	1
第二节 轧机小时产量的计算	8
一、单品种小时产量.....	8
二、轧机平均小时产量.....	12
第三节 轧钢车间年产量计算及提高年产量措施	14
第二章 轧钢的工序能耗及节能措施	19
第一节 我国轧钢工序能耗情况	19
第二节 工序能耗偏高的原因	21
第三节 轧钢节能技术介绍	32
一、加热炉节能.....	32
二、钢锭在均热炉中液芯加热和液芯轧制.....	42
三、直接(送)轧制和连铸连轧新工艺.....	52
四、热装炉.....	60
五、国外热坯表面缺陷在线检测技术简介.....	66
六、低温轧制技术.....	74
七、无孔型轧制技术.....	83
八、钢坯余热回收利用技术.....	88
九、轧钢车间的节电.....	91
第四节 轧钢工序能耗计算	107

一、计算方法.....	107
二、算例($\phi 1150$ 初轧工序能耗计算)	111
三、计算结果的讨论.....	112
第三章 提高轧钢车间成材率	115
第一节 概述.....	115
第二节 我国轧钢综合成材率的水平.....	116
第三节 我国轧钢成材率偏低的原因.....	117
第四节 提高成材率在国民经济中的意义.....	119
第五节 提高我国轧钢成材率的技术发展方向.....	120
第六节 开坯轧制时的切头损失预测模型和切头损失 最小化问题(优化方法介绍)	127
一、切头损失预测模型.....	127
二、切头损失的综合最小化方法.....	135

第一章 挖掘轧钢设备潜力提高 生产效率

第一节 轧机工作图表

一、研究轧机工作图表的意义

轧制过程的安排是否合理，不仅对产品产量、质量有决定性影响，而且对轧钢车间生产的各个方面均起重要作用。轧钢机的工作图表或称轧制图表是研究与分析轧制过程的工具。轧制图表反映了道次与时间的关系，通过对这些关系的分析可以清楚地看出轧件在轧制过程中所占用的轧制时间、各道次间的间隙时间、轧制一根钢总的延续时间和轧制过程中轧件交叉轧制的情况以及轧件在任一时间内所处的位置等。这些都是改善轧机工作效率的主要依据。轧制图表在轧钢生产中的作用是：

- 1) 分析轧钢机的工作情况，找出生产的薄弱环节，以利于提高生产效率；
- 2) 准确地计算轧制时间，各操作过程的重叠时间和轧制节奏时间，用以计算轧机的产量；
- 3) 计算轧制过程中设备所承受的轧制压力和电机所承受的负荷情况等。

二、轧制图表的基本形式

轧制图表反映了轧制道次与时间之间的关系，在轧制图表中所标明的纯轧时间、间隙时间、轧制节奏时间和轧制总延续时间被称为四个特征时间。轧机布置方式以及轧制方式

不同，则轧制图表形式也不同，反映轧制过程的这四个特征时间的变化规律也不同。所以，从一定意义上讲，研究轧制图表就是研究这四个特征时间的内在联系和它们的变化规律，研究的最终目的是提高生产效率。下面介绍几种典型轧机的轧制图表。

1. 单机座可逆式轧机的工作图表

生产各种坯料的初轧机、厚板轧机以及大型型钢、中厚板轧机等开坯机座都是可逆式的单机座轧机，这类轧机的工作图表形式如图 1 所示，其轧机的特征为：

$$T = T_z + \Delta t \quad (1)$$

式中 T ——轧制节奏时间，秒；

T_z ——总延续时间，秒；

Δt ——上根轧件轧完到下根轧件开始轧制的间隙时间，秒。

而 $T_z = \sum t_{zh} + \sum t_j \quad (2)$

式中 $\sum t_{zh}$ ——各道次纯轧时间之和，秒；

$\sum t_j$ ——各道次间的间隙时间之和，秒。

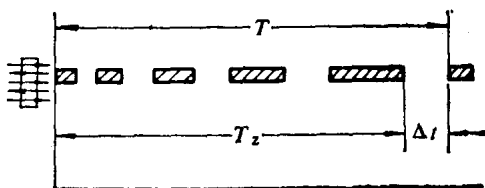


图 1 单机座可逆式轧机的工作图表

显然，由于单机座轧机的各个轧制道次都在同一轧机上进行，轧制速度虽有变化，但随着道次的增加轧件长度也随之加长，因此，一般各道次的纯轧时间还是递增的。这类轧机的间隙时间依各道次间的操作情况而定，它们之间没有固

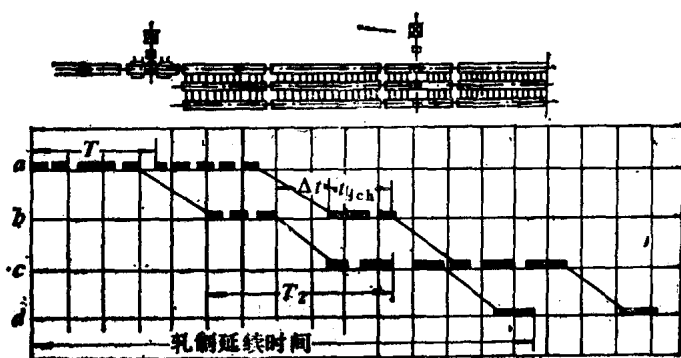


图 2 横列式轧机的工作图表

a—800两辊轧机；b—650轧机第一架；c—650轧机第二架；
d—650轧机第三架

定的变化规律。这类轧机由于是在一架轧机上往复轧制，所以节奏时间长，且轧制道次愈多，则节奏时间愈长，生产效率越低。这类轧机只适于轧制重型轧件，如初轧坯、厚板坯等。

2. 横列式轧机的工作图表

横列式轧机有一列、二列及多列式布置之分。在这类轧机上生产断面尺寸较大的钢材采用所谓穿梭轧制方式，而生产小断面（边长在20~30毫米以下）钢材，则常用活套轧制。这类轧机的工作图表形式如图2所示，其特点为：

$$T = t_{z0}^{\bullet} - t_{jch} \quad (3)$$

式中 t_{jch} ——轧制过程中轧件同时轧制的交叉时间，秒。

由图中可看出，由于第一架轧机轧制节奏时间长，故取第一架轧机节奏为整个轧机节奏， Δt 很长，是由整个轧机节奏所决定。

交叉轧制时间是先后两根钢在轧制总延续时间中的重叠部分。因而可以看到，两根轧件交叉轧制的时间愈长，轧制

● 图中为 T_z 。

节奏时间愈短,轧机产量愈高。由于横列式轧机同一机列由同一电机传动,一列上各架轧机的转速相同,而轧件随轧制过程愈轧愈长,所以其纯轧时间是随着轧制道次增加而递增,而各道次间的间隙时间取决于操作和孔型配置情况,没有固定规律而且波动的范围较大。

分析横列式轧机的轧制图表可知,受横列式布置形式和轧制方式的限制,与相同条件下的其他类型轧机相比,横列式轧机具有较长的轧制总延续时间和节奏时间,因此,横列式轧机一般只适用于生产规格较大的钢材。

在此类轧机上生产断面规格较小的钢材时,为保证在规

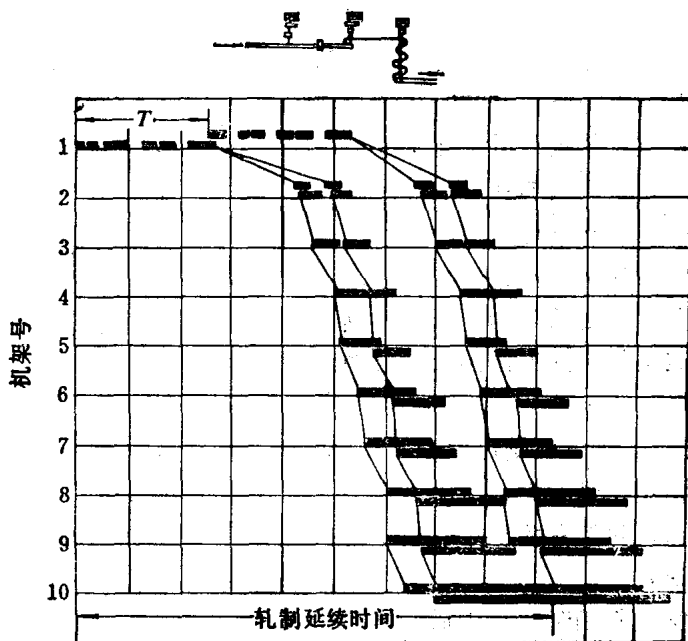


图 3 带活套轧制的轧机工作图表

定的温度范围内以及头尾温差允许的条件下完成产品的轧制变形，常采用活套轧制。其轧制图表形式如图3所示。

3. 顺列式（跟踪式或布模式）轧机的工作图表

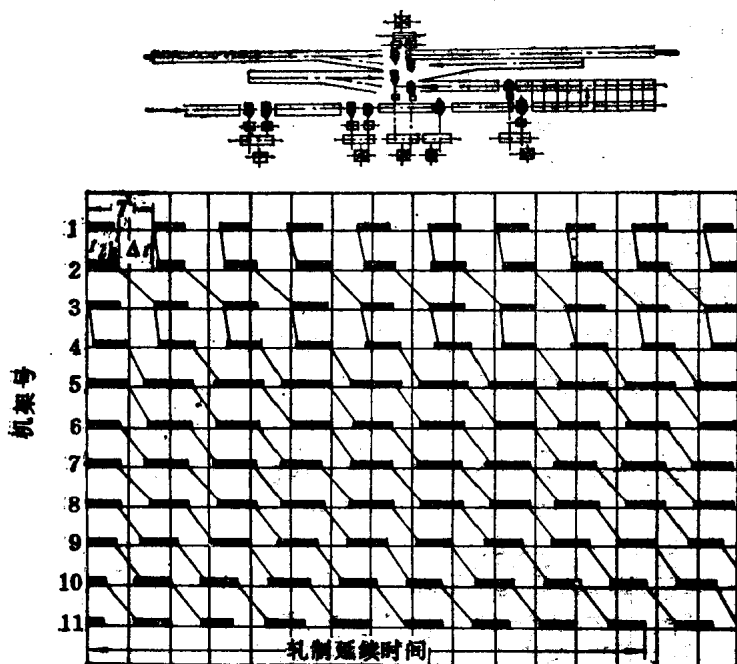


图4 顺列式轧机的工作图表

顺列式布置的轧机每架轧机上只轧一道(或两架一组)，有较高的机械化水平，生产能力较大并能生产各种断面复杂的大中型钢材。这类轧机的轧制图表形式如图4所示。其特点有以下几点：

1) 轧制节奏：

$$T = t_{zh} + \Delta t \quad (4)$$

即轧制节奏时间等于一道（或一组）轧制时间 t_{zh} 加上前后两根轧件之间的间隙时间 Δt ；

2) 由于轧制速度可调，故各道轧制时间近于相等；

3) 通过调整轧制速度及机架距离可使间隙时间做到近似相等；

4) n 个道次中轧制总延续时间为：

$$T_z = \sum t_{zh} + \sum t_j = nt_{zh} + (n-1)t_j \quad (5)$$

4. 连续式轧机的工作图表

连续式轧机是高生产效率的轧机，机械化、自动化程度高，且占地面积小，是现代化轧机的发展方向。连续式轧机的轧制图表形式如图 5 所示，其特点有以下几点：

1) 因维持单位时间内通过各机架的金属流量相等的原则，各道次纯轧时间应相等；

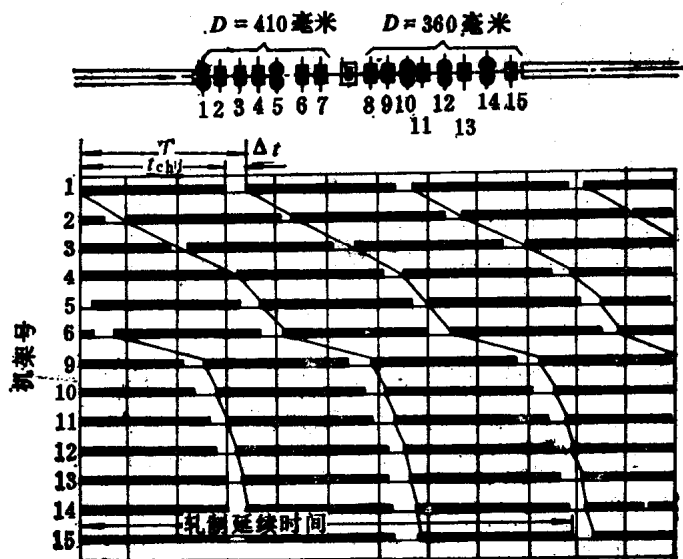


图 5 连续式轧机工作图表（7、8架不用）

表 1 不同轧机布置的时间特征

特 征 时 间 \ 布 置 形 式	单机可逆式	横 列 式	顺 列 式	连 续 式
t_{zh}	递 增	递 增	相等或略减	相 等
t_j	不 定	不 定	相等或略减	递 减
T_z	$\Sigma t_{zh} + \Sigma t_f$	$\Sigma t_{zh} + \Sigma t_j$	$\Sigma t_{zh} + \Sigma t_j$	$t_{zh} + \Sigma t_j$
T	$T_z + \Delta t$	$t_{z0} - t_{jch}$	$t_{zh} + \Delta t$	$t_{zh} + \Delta t$

2) 各道次间的间隙时间随各架轧制速度的提高而递减;

3) 轧制节奏时间:

$$T = t_{zh} + \Delta t \quad (6)$$

4) 轧制延续时间:

$$T_z = t'_{zh} + \Sigma t_j \quad (7)$$

式中 t'_{zh} ——最后一架的轧制工作时间。

分析连续式轧机的轧制图表可看出:连续式轧机具有最短的总延续时间和轧制节奏时间。

由以上分析不难得出,提高车间生产效率的基础工作是:1)应很好地测定轧制图表,找出薄弱环节,并采取相应措施尽力缩短轧制节奏时间;2)应考核各设备生产能力平衡情况。在一些工厂中往往一些次要的辅助设备或辅助设施制约生产效率进一步提高,这是很不合理的;3)应拟定合理的变形制度和道次分配,力求减少轧制时间(道次)并使各架轧机的能力平衡;4)应进一步提高操作水平,减少间隙时间并增加重叠时间,以提高生产效率。

综合上述几种典型的轧制图表形式,它们的时间特征可以归纳为如表1所示的关系。

我国很多轧机是横列式布置,有其先天的不足,但如果采取上述的四点措施,可有效地提高现有车间生产能力,且不需基建投资。

对于改建和扩建工程,由上分析可得出,连续式和半连续式是各类轧制长轧件轧机的改造方向。而对于大型材和中厚板,增加开坯机架采取两列式布置是发展方向。

第二节 轧机小时产量的计算

轧机生产品种不同,其小时产量也不相同,对生产单一品种的车间来说,小时产量的计算是比较容易的,生产多品种的车间,轧机综合小时产量的计算要经过一番核算的过程。

一、单品种小时产量

单品种小时产量的计算公式如下:

$$A_0 = \frac{3600G}{T} \quad (8)$$

式中 A_0 ——理论小时产量,吨/小时;

G ——原料或成品单重,吨;

T ——轧制节奏时间,秒。

轧机的实际小时产量为:

$$A = k_2 \frac{3600G}{T} \quad (9)$$

式中 k_2 ——生产率降低系数。

从上式中可以看出:影响轧机实际小时产量(A)的有三个因素,即 G 、 T 和 k_2 。下面我们分别讨论一下 G 和 T ,关于 k_2 留在后面讨论。

(1) 轧制节奏时间的讨论

t_{zh} 可由轧件长度 L 除以轧制速度 v 计算出, 即: $t_{zh} = \frac{L}{v}$ 。坯料和各轧制道次金属断面尺寸已知, 各道次轧制长度就可以确定。为了提高产量, 我们希望尽可能增大 L , 这样可增加坯料单重 G , 但随着 L 增长, 为降低工作时间 t_{zh} , 必然要提高轧制速度。

如前所述新式的连续轧钢机或其他顺列式轧机, 由前架轧机至最后架轧机的轧制速度是递增的。这样可保证每架轧机的轧制时间相同, 保证高的生产效率、随着坯料单重增加, 或轧件长度增加, 只要相应增加各架轧制速度即可。如现代高速连续线材轧机的精轧机, 轧制速度可达120米/秒, 而横列式线材轧机的精轧机速度一般不超过20米/秒。决定连续式和顺列式轧机产量的主要因素是坯料单重和轧制速度。

对于横列式轧机, 增加坯料单重和提高轧制速度均受到限制, 这是因为提高轧制速度往往受到咬入条件限制, 提高坯料单重往往受到轧件头尾尺寸公差的限制。为了提高横列式轧机的产量, 可适当增加坯料单重和轧制速度, 但最重要的是应采取大的道次压下量来减少轧制道次并应采取交叉轧制。如我国上钢某厂630横列式开坯机, 轧制(11英寸)钢锭, 产量达70多万吨, 具有较高的生产效率。

在可逆式轧机或非可逆式轧机有穿梭轧制的情况下, 不能单从降低 t_j 或 t_{zh} 着手, 因为 t_j 和 t_{zh} 是相互影响的。在可逆式初轧机轧制时, 随着 t_{zh} 的缩短, t_j 反而增加, 其主要原因是 t_{zh} 减少(轧制速度提高), 则抛钢距离增加, 相应的 t_j 增加。非可逆式轧机穿梭轧制的情况下, 虽不完全与可逆式轧机相同, 但也有许多相似的地方, 如轧件的抛出和回送所占的时

间与轧制速度也有着密切关系。

(2) 节奏时间的计算

节奏时间的计算，是一个比较复杂的问题，依据所选择的速度制度对 t_{zh} 、 t_j 及 Δt 进行单独的计算是比较简单的。但是，三者综合的结果，则由于操作交叉重叠，给计算上带来很大困难。在实际中一般都是用轧制图表来确定，这就使上述计算过程大为简化。

(3) 降低节奏时间的措施

在缩短节奏时间方面，目前我国很多轧钢车间取得了优异成绩：比如初轧的双锭轧制和超压缩轧制，大中型横列式轧机的多条交叉轧制，连轧机的高速轧制均是缩短轧制节奏时间的有效措施。尤其值得重视的是这些措施已在生产实践中得到广泛应用，我们收集了一些有关数据，列于表2、3中。

表2 某中型轧机多条交叉轧制前后节奏时间的对比

产 品 名 称		50号角钢	65号角钢	75号角钢
节奏时间	交叉轧制前	100	100	100
	交叉轧制后	85.5	80.5	80.5

表3 某初轧机实现双锭轧制节奏时间的改变

产 品 名 称		200×700 板 坯
节奏时间	双 锭 轧 制 前	100
	双 锭 轧 制 后	68

上面两表所列举的例子都是在原料规格未改变的情况下