

短应力线轧机的 理论与实践

钟廷珍等 著

冶金工业出版社



短应力线轧机的理论与实践

钟廷珍等 著

北京
冶金工业出版社
1997

内 容 提 要

本书为阐述短应力线轧机有关设计理论的一本专著。全书共6章。主要内容包括：总论，短应力线轧机的基本原理，短应力线轧机的力学性能，短应力线轧机的安装与调整，接轴、轴承及联轴器，高刚度轧机理论研究的发展等。

本书可供从事钢铁企业改造的领导人员、钢铁工厂轧钢车间技术人员及工人使用，也可供高等学校有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

短应力线轧机的理论与实践/钟廷珍等著. —北京：冶金工业出版社，1997.3

ISBN 7-5024-2055-X

I. 短… II. 钟… III. 热轧机，短应力线 IV. TG333

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 02565 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号，邮编 100009)

警官大学印刷厂印刷：冶金工业出版社发行；各地新华书店经销

1997 年 3 月第 1 版，1997 年 3 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32；6.125 印张；158 千字；185 页；1—1000 册

14.00 元

前 言

我国第一台短应力线轧机——GY 短应力线轧机诞生与应用已有 15 个年头了。它从一诞生起，就显示了巨大的生命力。冶金工业部的各级领导充分肯定了 GY 短应力线轧机及中、小轧机改造技术，并赞扬它为中国大量的中小轧机技术改造闯出了一条新路。

鉴于这项科研成果在推动我国轧钢行业科技进步方面所取得的成就，国家授予这一成果为 1987 年度国家科技进步一等奖（在改造中小型轧钢机方面）和 1990 年度国家科技进步二等奖（在改造复二重线材轧机方面）以及多项省、部级科技进步奖。

在 GY 短应力线轧机之后又出现了几种其他型号的短应力线轧机，这些轧机在推动我国胶木轴承轧机的技术改造方面也起到了应有的作用。

目前这一成果已被国内 200 多家大、中、小型钢铁企业（相当于我国国有大、中、小型钢铁企业的三分之二以上）所采用，并取得了巨大效益。这一科研成果推广的覆盖面之广是钢铁工业战线科技成果中少有的。

《短应力线轧机的理论与实践》，是一本理论与实践紧密结合的技术专著。它的特点有以下几个方面：

1) 本书是作者在推进我国中小轧机现代化方面三个阶段（历时 15 年）的系统工程与研究的总结。它由 1980 年中国第一台短应力线轧机应用开始，到 1995 年 GY 短应力线轧机广泛应用于国内 200 多家有代表性的企业中不同布置形式（横列、半连续、连续）的生产线和生产不同钢种（合金钢、普通碳素钢）。

因此，本书在一定程度上反映了我国中小轧机实现现代化的进程。它反映了由改造我国横列式轧机开始，接着改造复二重线材轧机，最后推进我国小型型钢轧机的连续化、半连续化和装备

国产化这三个阶段。

2) 全书贯彻了理论与实践相统一的原则。由新的论点出发,提出符合我国国情的技术路线,通过在实际中的大面积推广与应用,取得了巨大效益。通过实际生产,把理论、应用技术研究、设备制造、安装调试结合在一起,创造出科研成果向商品转化的良好机制和科研成果尽快转化为生产力的示范,并通过实践丰富了理论。正是在这一科研指导思想和符合国情的具体实践下,使得GY短应力线轧机能在短短15年内在中国大地上遍地开花。

3) 体现工艺与设备的统一。以往的技术专著往往偏重于设备或者偏重于工艺,两者的实际联系讲述不够。本书则使工艺与设备密切结合,以理论为先导,工艺提供技术路线,设备提供保证手段。在这种思想的指导下,提出了评价中小轧钢机的3条标准:即高刚度、良好的工艺性能和简单的结构。上述特点决定了本书具有科学性、实用性和广泛的适用性。

本书在学术上具有以下特点:

1) 从理论上首次提出影响轧材尺寸精度的不是全部轧制工序而是关键的1~3道工序,从而提出了轧机工艺布置、轧机主传动、轧机基础三不变的改造方案。按此技术方案,仅用常规投资的十分之一,几天的停产时间,即可达到更换全部工序轧机时所能达到的尺寸精度水平,并显著提高生产效率。这一结论已为我国130多个大中型钢铁企业的改造实践所证实。

2) 对短应力线轧机的发展、结构特点、理论计算和使用诀窍作了较为全面的阐述,可适合不同层次人员的需要,是迄今为止这方面最为完整的著作。与此同时对其他高刚度轧机也作了扼要的评述。

3) 首次提出评价型钢线材轧机性能标准的新论点,并已为实践所证实。

4) 在实践的基础上详细分析了闭口机架横梁高度与立柱宽度

不同比例情况下的应力分布规律；提出了无牌坊轧机刚度匹配的概念，揭示了无牌坊轧机，即短应力线轧机主要承载零件的应力分布及变形特征。所有这些都为提高闭口机座和短应力线轧机的机座刚度，优化结构参数提供了理论依据。

5) 对复二重线材轧机存在的主要问题作了详尽的分析，进而提出符合我国国情的技术改造的新论点，并通过实践收到显著效果。

6) 对国内小型型钢连轧生产线的若干理论问题作了较为深入的研究，并通过实践有效地推进我国小型型钢连轧生产线的国产化。

参加本书编写的有：谢子健、侯建新、严凤荣、钟健宇等。对书中不当之处，欢迎同行指正。

著 者

1997 年 2 月

目 录

第一章 总论	(1)
第一节 目前我国中小型轧机存在的主要问题与改造 途径.....	(1)
第二节 改造我国横列式中小型轧机的理论与实践.....	(4)
第三节 改造我国复二重线材轧机的理论与实践	(24)
第四节 关于我国小型型钢轧机连续化的理论与实践	(35)
第二章 短应力线轧机的原理及特点	(54)
第一节 短应力线轧机的基本原理	(54)
第二节 短应力线轧机的结构	(65)
第三节 其他高刚度轧机	(82)
第三章 短应力线轧机的力学性能分析	(95)
第一节 关于立柱载荷分布规律的研究	(95)
第二节 轴承载荷分布及寿命的研究.....	(100)
第三节 轧机机座刚度的测定及其评价.....	(111)
第四节 轧机机座主要受力零件的强度计算.....	(118)
第四章 短应力线轧机的安装与调整	(134)
第一节 预安装及预安装间的设计.....	(134)
第二节 短应力线轧机使用中可能出现的问题及其 预防.....	(139)
第五章 接轴和轴承	(146)
第一节 接轴.....	(146)
第二节 轴承.....	(155)
第三节 润滑剂.....	(162)
第六章 高刚度轧钢机理论研究的发展	(167)
第一节 轧钢机机座刚度匹配的分析.....	(167)
第二节 轧钢机性能的综合评价.....	(169)

第三节 高刚度轧钢机机架结构与应力分布关系的 研究.....	(173)
参考文献.....	(185)

第一章 总 论

第一节 目前我国中小型轧机 存在的主要问题与改造途径

我国中小型(指轧辊直径在 $\phi 250\sim 400\text{mm}$ 的精轧机组)轧机,量大面广,遍布城乡。仅以小型轧机(指轧辊直径在 $\phi 250\sim \phi 300\text{mm}$ 之间的精轧机)为例,据不完全统计,全国就有1000多套(其中县级以上有718套,一套相当于一个车间或一个工段),其中江苏省无锡县就有近100套。

这些中小型轧机承担全国轧材生产任务的一半左右,品种,规格所占的比重就更大了。它是钢材生产的重要组成部分。

但是,这些中、小型轧机绝大多数设备陈旧,技术落后,大体相当于国外30~40年代的水平,难以满足现代化生产和产品市场的需要,亟待改造。

一、当前我国中、小型轧机存在的主要问题

当前我国中、小型轧机存在的主要问题概括起来有3个:

轧机的产品精度低;

轧机的效能低,主要依靠工人技能维持生产,生产条件不稳定;

轧机成材率低。这三者是互相关联的,轧机效能低导致轧机的产品精度低和成材率低。

轧机效能低主要表现在以下几个方面:

1) 轧机刚度低,难以进行精密轧制。轧机刚度低,造成轧材尺寸精度低。目前我国现有的这些老轧机生产的产品,一般只能

达到普通精度公差，达不到较高精度的公差。与国外同类型的轧机轧制的产品相比，有一定差距，处于竞争劣势。对于合金钢热轧材来说，如要执行 ASTM、ISO 等标准，这就对轧机的性能，特别是轧机的刚度提出了更高的要求。国际标准与我国 1968 年制订的部颁标准差别较大。而与 80 年代制订的部颁标准接近。以轴承钢为例，ASTM 与部颁标准 YB9—68、YBT—1—80 在轧材的尺寸精度方面差别如表 1-1 所示。

表 1-1 部颁标准与 ASTM 在轧材尺寸精度上的差别

产品规格 mm	国际标准 ASTM	我国部颁标准 YB9—68	我国部颁标准 YBT—1—80
	mm	mm	mm
φ15	+0.36	+0.8	+0.5
φ25	+0.44	+1.0	+0.6
φ40	+0.80	+1.2	+0.8
φ55	+0.80	+1.6	+1.2

可见，ASTM 对轧材尺寸精度的要求要比我国部颁标准 YB9—68 严一倍。如 φ40mm 圆钢，按 YB9—68 公差为 +1.2mm，按 YBT—1—80 为 +0.8mm，按 ASTM 标准为 +0.8mm，即后两者的尺寸精度比前者的尺寸精度提高近一倍。

2) 生产条件不稳定。老轧机轧钢时弹跳大，自锁性能又差，轧件尺寸波动，产品精度差，容易造成卡钢等工艺事故，对连轧影响更大，造成成材率和作业率低。另外，为了保证正常生产，轧钢工必须频繁进行轧机调整，即靠工人技艺进行调整，劳动强度大。一旦这些熟练工人离开岗位，生产便难以正常进行。

3) 轧机预调性能差。老轧机一般不能在换辊前预调，只能边试轧边调整。这在很大程度上依靠调整工的经验，因此废品多，影响了成材率。而合金钢材由此所造成的损失更为明显。

4) 调整性能差, 不能实现对称调整。老轧机由于一辊固定, 另一辊可调, 轧制线是变化的。为了适应轧制线的变化, 必须经常移动横梁以保证导卫装置处于正常安装位置, 防止工艺事故的发生。但横梁的位置移动是难以保证精确的, 且移动起来很麻烦, 因此轧钢工往往凑合使用, 弯头、缠辊等工艺事故明显增加。据某厂生产钢窗、角钢的小型轧钢车间统计, 仅由上述原因引起的工艺事故可占全部生产事故的 30% 左右。此外, 老轧机有下调整, 而下调整又常失灵, 因此, 难以保证产品质量且易造成人身事故。

5) 轧机轴承寿命低。现有轧机由于轧机和轴承结构所限, 滚动轴承使用寿命低。如某特殊钢厂使用国产球面滚子轴承 2 个月左右就要消耗一套轴承, 而改进轧机结构和轴承的类型后, 可使轴承寿命成倍增加。

上述几个问题中, 轧机刚度和对称调整是主要矛盾, 是改造老轧机的主攻方向。轧机刚度决定轧材的尺寸精度, 而对称调整则改善轧钢工的劳动条件, 减少工艺事故, 提高轴承寿命, 提高成材率和作业率。应当强调的是, 轧钢机除了刚度之外, 还应特别注意它的使用性能, 使用性能不好, 刚度高也发挥不了作用。因此提出必须对轧机进行改造。

改造中、小轧机的常规作法有两种:

1) 引进国外成套设备, 全部更新现有轧机。这种作法当时只有少数企业有能力承担, 绝大多数的地方轧钢企业, 由于财力、物力和技术力量所限, 难以实现这样的改造方案。

2) 国内制造全部设备, 全部更新现有轧机。这也存在财力、物力和技术力量的问题, 大多数企业也是难以实现的。

上述两种改造方案所需要的投资均要千万元以上 (1983 年价格)。改造时间要 2 年以上, 地方企业很难采用, 需要寻求新的改造途径。

这种新途径应当符合我国国情, 适合当前地方中小轧钢企业

的特点，我们认为，应当是：

- 1) 投资少，见效快。
- 2) 适应我国地方中、小轧钢企业的人员素质、技术水平、管理水平，以及设备配套能力。
- 3) 针对现有轧机存在的关键问题，吸收国外先进技术，因地制宜地加以改造，改造后的轧机在主要性能上不低于国外先进水平。

遵循这一指导思想，作者与同事们用了 15 年的时间，通过不断实践，不断探索，不断总结，找到了符合我国国情的行之有效的改造途径。

我们的实践主要分 3 个阶段：

- 1) 对我国横列式中小轧机的改造；
 - 2) 对我国复二重线材轧机的改造；
 - 3) 推进我国中、小轧机实现连续化半连续化和装备国产化。
- 本书正是按上述进程进行阐述的。

第二节 改造我国横列式中小型轧机的理论与实践

一、理论基础

如上节所述，我国横列式中小轧机存在着 5 个方面的缺点。其中用户和生产厂家首先要求解决的是产品精度，即实现高精度轧制。

在国外，实现高精度轧制的常规作法是采用成套的高刚度轧机来代替原有的老轧机。

我国也采用这种方法，如我国某钢厂采用类似的国外改造工艺，由挪威、瑞典等国购进成套高刚度轧机（短应力线轧机），投资 1000 多万元（1983 年价格，下同），改造时间 2 年多。与此同时我国另一家钢厂则采用多阶横列式的布置，共有 9 架轧机全部

采用国产预应力轧机，投资 1000 万元以上，时间也是 2 年多。

上述两种高精度轧制方案所需要的投资大，改造时间长，掌握操作技术的时间长（一般都要 2 年以上）。加之进口的成套设备，备件多数不能自给，因此在当时我国绝大多数地方钢铁企业是无力采用的。

为此，我国绝大多数中、小轧钢厂迫切需要一种投资少，见效快的高精度轧制方法。

众所周知，轧制时轧件厚度与轧机机座的弹性变形有着密切的关系，可用下式表示：

$$h = s_0 + f \quad (1-1)$$

式中 h —— 轧制后轧件的厚度，mm；

s_0 —— 轧机的原始辊缝，mm；

f —— 轧机的弹跳，mm。

由于轧机的弹跳服从虎克定律，故有：

$$K = \frac{P}{f} \quad (1-2)$$

式中 P —— 轧制力，kN；

K —— 比例常数。其物理意义为工作机座每产生 1mm 的弹性变形所需要的轧制力（kN），称为轧机刚度系数，简称刚度。

将式 1-2 代入式 1-1，得：

$$h = s_0 + \frac{P}{K} \quad (1-3)$$

对式 1-3 求增量，有两种情况。一种是辊缝 s_0 不变，仅改变轧制力 P ，一种是辊缝 s_0 与轧制力 P 均改变。

当辊缝 s_0 不变，仅改变轧制力 P 时，则引起轧件厚度的波动量为：

$$\Delta h = \frac{\Delta P}{K} \quad (1-4)$$

当辊缝 s_0 变化, 轧制力 P 同时变化时, 轧件厚度的波动量为:

$$\Delta h = \Delta s + \frac{\Delta P}{K} \quad (1-5)$$

式中 Δs ——由于轧辊偏心, 油膜轴承偏心, 胶木轴承偏心所造成的原始辊缝变化值。

又

$$\Delta P = - \frac{\partial P}{\partial h} \Delta h \quad (1-6)$$

则有

$$\Delta h = \frac{K}{K + \frac{\partial P}{\partial h}} \Delta s \quad (1-7)$$

为简化计算只考虑 $\Delta h = \frac{\Delta P}{K}$ 的情况。

为了直观地看到轧件厚度变化与刚度 K 的关系, 我们引入轧件塑性变形曲线。

由金属塑性变形方程可知, 轧制力 P 与轧件厚度 h 之间有如下关系:

$$P = P_m \cdot b \sqrt{R(H-h)} \quad (1-8)$$

式中 P_m ——平均单位压力, kN;

b ——轧件宽度, mm;

H ——坯料厚度, mm;

h ——轧件厚度, mm;

R ——轧辊半径, mm。

将上述关系在 $P-h$ 坐标中用曲线表示, 称为塑性变形曲线。

在一台轧机上, 作用于轧机上的力 P 与使轧件塑性变形的轧制力是成对出现的作用力与反作用力。联立解公式 1-3 和公式 1-8, 即可求出轧件厚度 h 。这个关系可用图 1-1 表示, 即图 1-1 中弹性变形与塑性变形曲线的交点 d 称为工作点。公式 1-3 和公式

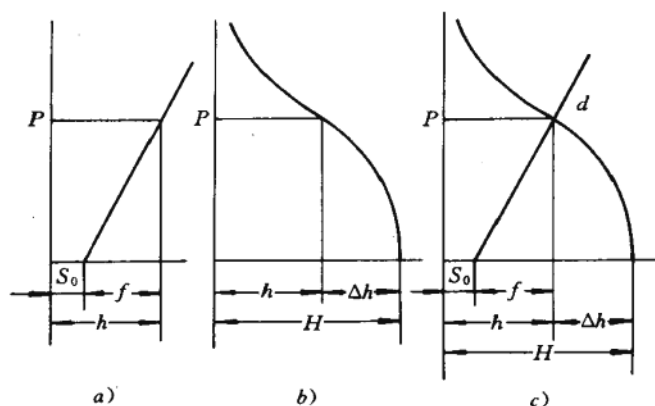


图 1-1 轧制时的工作点

a) 弹性变形；b) 塑性变形；c) 为工作点

1-8 中任一参数的变化都会引起工作点的变化，即轧件厚度的变化。

从 $P-h$ 图可直观地看出轧机刚度对轧件厚度波动的影响。

从图 1-2 可看出，当塑性线不变，辊缝不变时，只改变弹性变形曲线的斜度，即可反映轧机刚度对轧件厚度的影响。

由图可见，随着 K 的改变，工作点发生变化，则将引起轧件厚度的变化。图 1-3 表示，当塑性线变化（由轧制力、摩擦系数等外部因素变化引起的）时，例如由 B 变到 B' ，不同的弹性变形曲线即反映不同的 K 值对轧件厚度的影响， K 值大，则 $h-h_1 < h-h_2$ 。

显然，在上述两种情况下，轧机刚度越大，则外部因素的改变对轧件的厚度波动影响越小。

综合上述，在不考虑辊缝改变的情况下，根据式 1-4 可得出重要结论：沿轧件长度上任意两点的厚度差与相应处的轧制压力差 ΔP 成正比，与轧机工作机座的刚度 K 成反比。

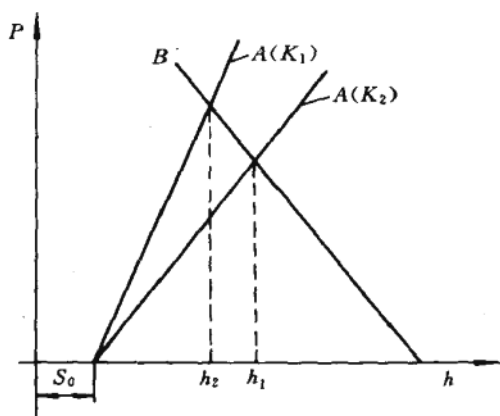


图 1-2 刚度对轧件厚度的影响

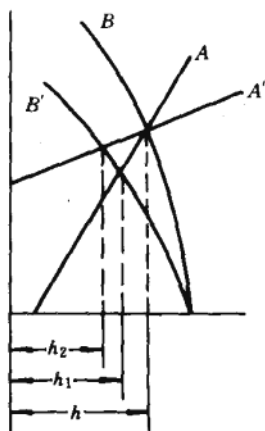


图 1-3 塑性线变化时刚度对轧件厚度的影响

应当指出，弹跳值的存在并不妨碍型钢、线材轧机轧出一定厚度的轧件，可采取预调原始辊缝 s_0 的方法，使辊跳后的辊缝值恰好与轧件厚度相同。但是，弹跳值的大小却直接影响同一轧件上的厚度差 Δh 。通常我们所说的高精度，实质上就是较低的 Δh 。工程上要求

$$\Delta h \leq [a] \quad (1-9)$$

式中 $[a]$ 为标准规定的轧件厚度公差，mm。

公式 1-4 具有重要的实际意义，并给我们如下一些重要启示。

启示之一是， Δh 是 ΔP 和 K 的函数，即缩小 Δh 可以通过减少 ΔP 或提高 K 来实现。

影响 ΔP 的主要因素是钢坯的加热质量、轧件咬入条件、轧机辊槽的冷却条件、轧机结构以及机械化程度等。在轧机刚度较低的情况下，只要生产工人的素质高，轧制工艺合理，即使在老式胶木瓦轧机上也可以生产出负偏差的产品，如我国上海一些老厂

就是如此。但是，高水平的生产技术工人是需要多年和高代价才能培养出来的。换言之，老式轧机对人的因素依赖过大，这对于目前众多的地方钢铁企业是一个制约因素。以上所述，主要属于工艺方面。

提高 K 值是属于设备方面的。采用高刚度轧机可以保证产品的高精度而把对熟练生产技术工人的依赖程度减到最低限度。这是我国量大面广的中小钢铁企业取得高精度产品的有效而经济的途径。

启示之二是，在 ΔP 不变的情况下，如 K 值提高 1 倍，则 Δh 将减少二分之一。

作者在对我国小型和线材孔型系统的 K_1 、 K_2 、 K_3 孔进行大量的红坯取样之后发现，在普通老式胶木瓦轧机上轧制上述产品时，只要孔型设计合理和调整得当， K_3 、 K_2 孔型所提供的红坯都能保证 K_1 孔轧出符合普通精度要求的钢材（即尺寸公差均在 $\pm 0.5\text{mm}$ 范围内）。

问题很明显，既然在轧机刚度 K 较低的情况下， K_3 、 K_2 孔能保证 K_1 孔轧出普通精度的合格钢材，那么在轧机刚度 K 较高的情况下， K_3 、 K_2 、 K_1 孔所轧出的钢材尺寸精度肯定会有提高。

表 1-2 某厂小型轧机的实测刚度

机 型	规 格					
	φ300mm 轧机			φ250mm 轧机		
	参 数					
	辊径 <i>D</i> mm	辊身长度 <i>L</i> mm	刚度 <i>K</i> N/mm	辊径 <i>D</i> mm	辊身长度 <i>L</i> mm	刚度 <i>K</i> N/mm
短应力线轧机	340	550	91.8×10 ⁴	270	450	80.7×10 ⁴
旧 式 轧 机	330	750	44×10 ⁴	270	600	21.8×10 ⁴

为了弄清老式胶木瓦轧机与 GY 短应力线轧机的刚度 K 的