

论轧机驱动与节能

古 可等著

ON MILL DRIVING
AND
ENERGY SAVING

论轧机驱动与节能

ON MILL DRIVING AND ENERGY SAVING

古 可 等著

中南工业大学出版社

论轧机驱动与节能

古 可 等著

责任编辑：雷丽云

*

中南工业大学出版社出版

湖南省新华书店发行

长沙潇湘印刷厂印刷

湖南省新华印刷三厂封面印刷

长沙市百花装订厂装订

*

开本850×1168 1/32 字数 330千字 插页 4 印张13.6875

1986年7月第一版 1986年7月第一次印刷

印数0001—3000册

*

统一书号：15442·008 定价：(精)5.50元(平)3.70元

7P333.11.1-4
136.0

序 言

随着高速化、连续化、专用化各种薄带轧机的广泛应用,以及极限轧制领域——箔带轧制技术和装备的迅速发展,轧机系统动态特性的最优设计,驱动系统状态监控技术的开发,最佳驱动系统与轧制节能技术的研究,已显得日益重要而迫切。当前的状态是,以往以简单系统为基础的驱动理论及一些观点,已越来越难以适应现代以动态、大系统处理为主的综合研究,也无法解释箔带轧制中的种种奇异现象和某些运行故障。

本书主要是论述箔、带轧制领域的一些新概念、观点和某些理论进展。全书大体包括四大部分:

- 箔、带轧机的驱动变态特性与单辊驱动理论。
- 关于轧机驱动与轧制节能。
- 轧机驱动系统的状态监测与故障诊治。
- 在不同驱动系统下轧机的各种振动特性。

本书是一部紧密结合工程实际、试图跨越学科界限的论著。希望对从事轧机研究、设计和运行的科技人员在上述的重要命题方面有所帮助,同时对轧制装备有特殊兴趣的管理、维修以及轧制工艺的工程师能有所裨益。

本专著虽然大都源于我们近几年的一些科学试验和工业实践,但匆匆完成,加上水平所限,难免有一些重复,不妥和错误之处,期待读者关心、指正。

古 可

1986年5月

目 录

一、铝箔轧机的传力特性与单辊驱动.....	1
• 封闭力流与变相单辊驱动.....	2
• 无辊缝轧制中的某些力学特性.....	6
• 铝箔精轧机的最佳驱动系统.....	15
二、论箔、带轧机运行中的附加封闭力矩——涡流.....	20
• 附加封闭力矩的概念.....	20
• 封闭系统的建立与特征参数.....	23
• M_f 的某些特性.....	26
• 实例与对策.....	29
三、薄带热连轧机的驱动变态特性及其控制	
——弧齿接手严重损坏起因探测.....	34
• 弧齿接手损坏的宏观特征及某些规律.....	35
• 轮齿反面负载的实质及其必然性.....	50
• 轮齿正、反两面胶合破坏的主要力因素.....	54
• 综合治理与控制.....	62
四、高速铝箔轧机的单辊驱动理论与实践.....	66
• 基本力学关系.....	66
• 单辊驱动力学判式.....	68
• 判式的应用与某些结论.....	72

五、论轧机驱动对铝箔组织、性能的影响	77
• 箔带织构分析	80
• 铝箔电镜观察	84
六、铝箔轧机在不同驱动系统下的能耗研究	89
• 两辊驱动系统的电耗分析	89
• 单辊驱动系统的电耗	97
七、论薄带热连轧机的驱动与节能	104
• 单辊驱动的充分必要条件	107
• 单辊驱动与节能	112
• 高效单辊驱动概念	117
• 高效单辊驱动的节能效益	119
八、2800铝带热轧机强化与节能数模	121
• 宏观评述	121
• 轧制过程数理描述	123
• 增益节能途径	129
• 增益优化数模的建立	131
九、1200铝板轧机的驱动系统功效	145
• 引入飞轮的充、要条件 (判式)	149
• 变相带轧与飞轮	151
• 粗轧机的强化——多功能轧制	154
十、识别轧机驱动部件故障的系统诊断法	159
• 系统诊断方法的提出与特点	159

• 典型诊例与基本思路·····	161
• 轧机运行状态的系统监测·····	168
• 动态特征信息 M_1 的提取·····	169
• 动态信号 M_{ue} 的在线监测·····	175
十一、2800铝带轧机驱动系统接轴故障诊断与对策·····	179
• 断口微观分析·····	181
• 驱动系统负载与扭振特性·····	187
• 液压平衡子系统的动态特性及其效应·····	188
• 诊断结果与对策·····	192
十二、2800铝带立轧系统驱动设备顽症诊治·····	195
• 几个典型机件的奇异工况·····	195
• 压杆反向负载及其纵向抖动·····	201
• 压下螺杆的稳定性·····	205
• 推力支承的结构与负载特性·····	206
十三、高速铝带冷轧机产品振痕起因初诊·····	216
• 轧机固有动态特性计算与实测·····	220
• 轧机振动主模态与印痕·····	221
• 振源辨识·····	223
• 激振机理·····	225
十四、现代工程研究技术与轧机驱动系统开发·····	233
• 数学模型与计算机模拟技术的应用·····	235
• 系统分析方法·····	239
• 现代应力分析方法与驱动系统开发·····	242
十五、大型铝带轧机驱动系统的负载与动态特性·····	259
• 主轴的扭振分析及其验证·····	264

• 接轴平衡系统的瞬态特性及其实实际平衡系数···	268
• 接轴的横向振动特性·····	271
十六、2800轧机接轴液压平衡系统动态特性研究····	282
• 辊缝急剧变化对液压系统的影响·····	284
• 加速过程液压系统对接轴综合偏 心度(e)的动态响应·····	288
• 接轴平衡子系统的最佳油压·····	295
• 减少液压冲击的若干途径·····	296
十七、1200铝板轧机的高效增益优化数模·····	300
• 综合目标与优化准则·····	305
• 优化数学模型·····	305
• 优化结果与认识·····	309
十八、轧机驱动系统振动分析的高效计算软件·····	313
• 剩余函数式的建立·····	314
• 剩余函数式的求解·····	320
• 迭代式中未知参量的导出·····	321
• 收敛特性及其证明·····	323
十九、轧机动态响应的算法研究·····	333
• 动态响应过程解的推导·····	333
• 矩阵指数函数计算·····	335
• 程序实现·····	341
二十、箔(薄)带轧机在不同驱动系统下的振动特性··	348
• 系统的振动与稳定性·····	348

• 驱动系统自激振·····	351
• 变相单辊驱动的动力学特征·····	360
• 单辊驱动系统的动力学模型·····	381

附录:

I、单支直串系统振动分析高效程序·····	385
II、多支系统振动分析高效程序·····	390
III、轧机动态响应计算程序·····	401

CONTENTS

1. Research on Force-Transmission Characteristic and Single-roll Driving of Al-foil Mill	(1)
• Closed force-flow and convert single-roll driving	(2)
• Some mechanical characteristics of non-gap rolling	(6)
• Optimum drive system in Al-foil finishing mill	(15)
2. On the Additional Closed Moment Eddy Current in Runing of Foil Strip Mill	(20)
• Concept and substance of the additional closed moment M_f	(20)
• Formation of the closed system and characteristic parameters	(23)
• Some features and drawbacks of M_f	(26)
• Practical examples and countermeasures	(29)
3. On the Abnormal Driving Characteristic and Its Control of the Thin Strip Hot Tandem Mill Detecting the Cause of the Serious Failure of the Arced Gear Coupling	(34)
• Macro feature of the coupling failure and some regularities	(35)
• The substance of the reverse-profile load of the gear	(50)

• Main force factors causing the two-side scuffing of the gear	(54)
• The comprehensive management and control.....	(62)
4. Theory and Practice of Single-roll Driving of High-speed Al-foil Mill	(69)
• Fundamental mechanical relations.....	(66)
• Mechanical criterion of single-roll driving.....	(68)
• Application of the criterion and some conclusions.....	(72)
5. On The Effects of Mill Driving on The Al-foil Structure and Properties	(77)
• Metal structure analysis	(80)
• Foil electron microscopic observation	(84)
6. Energy Consumption Study of Al-foil Mills under Different Drive Systems	(89)
• Energy consumption analysis under two-roll drive system	(89)
• Energy consumption under single-roll driving	(97)
7. On The Driving and Energy Saving of Thin-strip Tandem Hot Rolling Mill.....	(104)
• Sufficient and necessary condition for single-roll driving	(107)
• Single-roll driving and energy saving	(112)
• The concept of high-efficiency single-roll driving	(117)
• Energy-saving effect of high-efficiency single-roll driving	(119)

8. The Intensification and Energy-saving Math Model of 2800 Al-strip Hot Mill	(121)
• Macro comments	(121)
• Math description of the rolling process	(123)
• Ways for productivity increasing and energy saving	(129)
• Optimization math model for increasing productivity	(131)
9. The Drive System Efficacy of 1200 Al-plate Mill	(145)
• Sufficient and necessary condition for applying flywheel	(149)
• Convert strip rolling and the flywheel.....	(151)
• The intensification of roughing mill——multi function rolling	(154)
10. Systematic Diagnosing Method for Distinguishing Driving Equipment Failure of Mill.....	(159)
• The systematic diagnosing method and features	(159)
• Typical diagnosed example and the basic thought	(161)
• Systematic monitoring of running conditions of mill	(168)
• Picking of the dynamic characteristic signal M_f	(169)
• On-line monitoring of the dynamic signal M_{uE}	(175)
11. Spindle Fault Diagnosis and Countermeasures	

of The 2800 Mill Drive System	(179)
• Micro fracture analysis	(181)
• Loading and torsional vibration features of the drive system	(187)
• Dynamic characteristics of the hydraulic balance subsystem and its effects	(188)
12. Diagnoses on the Stubborn Troubles of the Driving Equipment in 2800 Al-strip Vertical Rolling System.....	(195)
• Queer working conditions of some typical machine parts in the system	(195)
• Reversal load of the compression rod and the vertical vibration	(201)
• The stability of the screw rod	(205)
• structure and load features of the thrust bearing	(206)
13. Preliminary Diagnosis on the Causes Leading to the Chatter Marks on the Product of High- speed Al-strip Cold Mill	(216)
• Computation of the natural dynamic character- istics of the mill and measuring	(220)
• Normal modality of the mill vibration and the marks	(221)
• Distinguishing of the vibration source.....	(223)
• Excitation mechanism.....	(225)
14. Modern Engineering Research Techniques and the Development of Mill Drive	(233)
• Application of the techniques of math model and	

8-25.2.4
148/24

computer simulation.....	(235)
• Method of systematic analysis	(239)
• Modern method of stress analysis and drive system development	(242)
15. Loading and Dynamic Characteristics of Driving System of Heavy Al-strip Mill	(259)
• Torsional vibration analysis of the main shaft and the verification.....	(264)
• Transient characteristics of the spindle balance system and its actual balance coefficient	(268)
• Transverse vibration faetures of the spindle.....	(271)
16. Research on the Dynamic Characteristics of the Spindle Hydraulic Balance System of 2 800 Rolling Mill	(282)
• The effect of sharp roll-gap change on the hydraulic system	(284)
• Dynamic response of the hydraulic system to the comprehensive eccentricity during acceleration	(288)
• Optimum oil pressure of the spindle balance subsystem	(295)
• Some ways to the reduction of hydraulic shock	(296)
17. Math Model of Optimization for High Efficiency and Gain of the 1200 Al Plate Mill	(300)
• Comprehensive performance and optimizing criteria	
• Math model of optimization	(305)

TG333.11.1.7

13611

• Optimum results and analysis	(305)
18. Software for High-efficient Computation of the Vibration Analysis of Mill Drive Systems	(309)
• Formulation of the residual function.....	(313)
• Solution of the residual function formula	(314)
• Derivation of the unknown parameters in the	(320)
iterative formula	(321)
• Convergent character and its proof.....	(323)
19. A Study on the Computing Methods of Dynamic Response of Rolling Mills	(333)
• Derivation of the solutions of the dynamic responding process	(333)
• Computation of the matrix exponential function	(335)
• Realization of the programme	(341)
20. Dynamic Characteristics of Thin-strip Mills under Different Drive Systems	(348)
• Vibration and stability of the drive system.....	(348)
• Self-excited vibration of the drive system	(351)
• kinetic features of the convert single-roll driving	(360)
• Kinetic model of the single-roll driving system...	(381)
Appendix	
I. High-efficiency Programme for Vibrataion Analysis of One-branch Series System	(385)
II. High-efficiency Programme for Vibration Analysis of Multi-branch System	(390)
III. Programme of Dynamic Response Computation of Rolling Mills	(401)

铝箔轧机的传力特性与单辊驱动

为了经济地轧出极薄 ($\delta_{min} = 0.005\text{mm}$) 的铝箔成品, 现代铝箔轧机通常采用工作辊直径较小而整个辊系刚性又较大的非可逆式四辊轧机。

在一般的四辊轧机中, 轧辊的驱动方式有驱动支承辊和直接驱动工作辊两种。当采用驱动支承辊方案时, 轧件变形所需的力矩是靠支承辊与工作辊之间的摩擦力 U (图 1) 进行传递。由于切向力 U 的存在, 作用在上、下工作辊上的侧向力 F 则相应地加大。该力的方向与轧制方向相反, 其大小介于 $U \sim 2U$ 之间。在 F 力的作用下, 对于直径较小的工作辊, 将产生较大的水平挠曲。这样, 对于辊型和轧辊稳定性极为敏感的铝箔轧制来说, 则难于轧出优质的铝箔成品。特别对于高速宽辊面的大型铝箔轧机, 这一矛盾尤其突出, 以致不能建立正常的轧制过程。

采用增大前张力的方法, 虽然可使工作辊水平挠

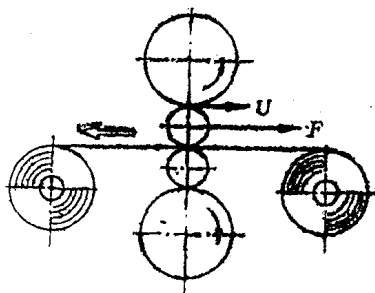


图 1

作者: 古可、钟掘。

本文曾于1978—1979年中国金属学会全国代表大会上宣读, 并被评选为中国金属学会一类论文。

曲的不良后果得以改善，但并不能得到满意的结果。因为铝箔轧制中，过大的前张力将引起频繁的断带现象。因而，现代铝箔轧机的驱动，一般不采用直接驱动支承辊的办法，而采用如图2所示的直接驱动工作辊的驱动方案。

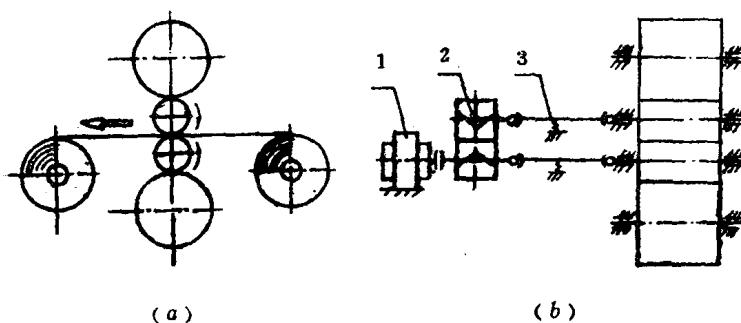


图2

从图2可以看出，这种直接驱动工作辊的四辊轧机，由于支承辊不传递扭矩，支承辊与工作辊接触面间的切向力将远小于上述之 U 值，工作辊的水平弯曲也就相应地大为减小，从而提高了轧辊的稳定性，为铝箔生产提供了良好的轧制条件。

一、封闭力流与变相单辊驱动

事实上，目前国际上广泛使用的现代铝箔轧机，几乎全部采用这种直接驱动两个工作辊的传动方案。

然而，事物都是一分为二，当采用这种驱动方式时(图2)，对上下工作辊的辊径差必须提出较高的要求，如铝箔精轧机，要求其辊径差一般应小于0.02毫米。因上下辊径的不等，将