

全 国 轧钢自动化学术会议 论 文 集

冶金部自动化研究院



冶金工业部科学技术司
中国金属学会冶金自动化学会
中国金属学会轧钢学会
中国自动化学会应用专业委员会

前 言

近年来,我国轧钢自动化科技和生产应用工作有了很大发展。为了交流这方面的工作经验和成果,冶金部科技司、中国金属学会冶金自动化学会、中国金属学会轧钢学会、中国自动化学会应用专业委员会联合发起召开了这次“全国轧钢自动化学术会议”。会议征文通知发出后,国内从事这方面科技工作的专家、学者踊跃投寄了稿件,这本论文集编印了已录取的论文共75篇。这些论文反映了近年来我国轧钢自动化科技发展的情况和工业应用经验的总结,以及综述和评论等。从论文集的内容可以看到许多长期从事轧钢自动化科技工作的科研、设计、大专院校,如冶金部自动化研究院、东北工学院、北京科技大学、北京钢铁研究总院、武汉钢铁学院、重庆钢铁设计研究院、武汉钢铁设计研究院等单位的专家、学者们撰写了一系列论文。许多钢铁企业,如宝山钢铁公司、鞍山钢铁公司、武汉钢铁公司、上海钢铁公司等单位的专家们也撰写了许多反映工业科技应用经验的论文。其中宝山钢铁公司热轧厂还专门组织专家系统地撰写了一组介绍我国引进的、也是目前国内最先进的带钢热连轧机组从生产管理一直到各部分生产控制自动化的论文,为国内同行提供了系统的经验。

我们希望通过这次会议和这本论文集的交流推广,能在推进我国轧钢自动化科技发展及其应用方面起到一些作用。由于编印本论文集的时间较为紧促,错误之处请读者批评指正。

编 者

1991年10月17日

于冶金部自动化研究院

目 录

1. 加速轧钢自动化的步伐, 提高我国轧钢的质量水平和效益水平.....	吕维松 (1)
2. 宝钢2050mm热轧带钢厂的CIM系统.....	许海洪等 (12)
3. 轧钢自动化新进展及人工智能的应用.....	马竹梧 (31)
4. 板形自动控制技术的发展与我国应用现状.....	张树堂等 (40)
5. 热连轧在线专用检测仪表现状和今后课题.....	汤逢余 (47)
6. 炼钢——轧钢生产一体化的计算机生产管理系统综述.....	曹 前等 (52)
7. 轧机交流调速传动的现状和动向.....	沈龙大等 (58)
8. 四辊高精度冷轧机计算机控制系统.....	童朝南等 (68)
9. 过程控制应用程序的程序编制.....	李庆尧 (74)
10. 钢板冷连轧重要动态工艺参数新的测定方法.....	赵圣焱 (81)
11. 轧机刚性与厚控效果.....	陈贻宏等 (83)
12. 可逆四辊液压轧机厚度微机控制系统.....	张宗欣 (88)
13. 中小型冷连轧机的基础自动化系统.....	全林兴 (94)
14. 阀控液压压下轧机的动态数学模型.....	孙德刚 (99)
15. 冷轧带材厚度控制器.....	李 平等 (104)
16. HAZELTINE数据监视器仿真系统的实现	李 步等 (108)
17. SHYC——实体压磁传感器及测压实践.....	谭玉轩 (112)
18. TOSGAGE——161A测厚仪的厚度计算与补正.....	于怀书 (117)
19. 冷轧薄板在线测长微机装置的研制.....	张 皓等 (124)
20. 专家控制在电动压下AGC系统中的应用	曹鸿富等 (129)
21. 武钢HC可逆冷轧机的中间辊控制系统	胡文源等 (132)
22. 冷轧带钢镰刀弯数值计算模型及其最优自动控制分析.....	邱松年 (136)
23. 恒张力控制系统的基本设计思想.....	王德娟等 (147)
24. 自动厚度控制系统中的轧辊偏心滤波器.....	孙宝泰等 (153)
25. 可逆冷轧机的计算控制系统.....	蒋中鹏 (158)
26. 350张力控制系统稳定性分析	王能学 (163)
27. 20t步进式冷床自动控制系统	唐华清等 (168)
28. DWS-2型压下位移数显仪在轧机上的应用.....	王景刚 (173)
29. 线棒材轧机控制对策的探讨.....	金广业 (176)
30. CVC 辊型的数控磨削	姜正连等 (179)
31. 四辊 CVC 轧机板凸度模型的开发	姜正连等 (183)
32. 热连轧带钢板型控制的自动化.....	袁建光等 (188)
33. 窄带钢热连轧机自动化改造方案探讨.....	李景学等 (198)
34. 中板轧钢厂生产信息动态管理系统.....	朱庆生等 (202)
35. 二辊热轧机激光辊缝测量仪中单片机的应用.....	梁蕴绵等 (207)
36. 包钢1150初轧机主传动的防扭振措施.....	戴禧亮 (210)

37. 检测数据传递仪	陆陈忠等 (215)
38. 变频器和可编程控制器在卷线机控制系统中的应用	范本旺 (219)
39. 提高监控AGC控制精度的一点设想	李文谱等 (223)
40. 上位机在高速线材轧机自动控制系统中的应用	吴亚鹏等 (226)
41. 热连轧卷板机PLC最大转矩锥形张力控制系统	王金章等 (231)
42. CCD光电测宽仪在热轧带材板宽测量中的应用	张广志等 (238)
43. 带钢热轧机活套支持器DDC计算机控制与模拟调节系统	孙长泰 (243)
44. 500mm热轧窄带钢轧机设计与试生产浅析	高元杰等 (251)
45. 鞍钢半连轧厂精轧过程自动化	航 辉 (260)
46. 卷取机张力PC控制系统的实现	刘超军等 (267)
47. 热连轧数学模型应用程序分析	赵铁航 (271)
48. 带钢热连轧数学模型——几个基本问题的讨论	穆世功等 (278)
49. 实现控轧控冷的分布式计算机控制系统	郑晓斌等 (283)
50. 指数平滑法增益系数 α 的确定	宋美娟等 (289)
51. 低惯量、恒张快速电动活套及其有关技术	朱安远 (293)
52. 炉卷轧机液压压下计算机厚度控制系统	张迪生等 (302)
53. 鞍钢厚板厂自动化控制系统	赵文会等 (307)
54. 马钢H型钢轧机的自动化控制系统	孙纯洲等 (313)
55. 高速线材轧机自动控制系统	王全生 (322)
56. 螺纹钢钢筋轧后控制冷却工艺的参数采集和前馈串级控制	谢子江等 (329)
57. 生产控制计算机在宝钢热轧厂板坯库管理中的应用	张孝彬等 (334)
58. 中厚板轧后水幕冷却自动化控制系统	肖 松 (346)
59. AGC模型误差分析和轧机特性曲线新函数的研究	王贞祥等 (350)
60. 介绍一种新型的轧辊自动平衡和分离装置	唐晓芳 (358)
61. 避免轧机振荡的措施	胡寿镛 (362)
62. 自控式矢量控制的双馈交流电机在窄带热连轧机上的应用	杜 沧等 (367)
63. 过程计算机的功能及其在热轧生产中的作用	王文瑞 (371)
64. FLS系统在钢卷库、成品库管理上的应用	陈海生等 (378)
65. 宝钢热轧厂带钢宽度控制	李云中 (383)
66. 平直度测量原理及其应用	石英杰 (389)
67. 宝钢热轧厂动态无功补偿装置	张永康 (393)
68. MOD30微集散系统在宝钢热轧厂步进式加热炉上的应用	杨 敏 (403)
69. 步进式加热炉自动控制	徐 昂 (409)
70. 层流冷却控制的自动化	袁建光 (415)
71. VI—予维修系统及其在宝钢热轧厂电气维修管理中的应用	杨秀华 (422)
72. TELEPERM M集散系统在热轧厂水处理中的应用	金魏铭 (436)
73. 1700热连轧机改造和厚度控制	王立平等 (442)
74. 多级结构微机系统的信息传递与处理	王晓东 (451)
75. PLC在热轧厂的应用	陈在根 (456)

加快轧钢自动化的步伐，提高 我国轧钢生产的质量水平和效益水平

吕维松

冶金部自动化研究院

〔摘要〕根据国内外轧钢生产技术发展的经验，结合我国轧钢行业的实际，分析了我国轧钢自动化的现状，存在问题，历史经验和需侧重解决的问题。讨论了各类轧机自动化的基本要点和自动化对提高轧钢产品质量和轧机生产效益的重要作用。讨论了加快发展我国轧钢自动化的途径。

一、我国各类轧机组成的现状

轧钢是钢铁生产经采矿、选矿、炼铁、炼钢等道工序后开始出成品钢材的重要工序，同市场和各类用户的关系最为密切。

因用途的多样化，钢材的品种、规格繁多(4万多个)，且大小规格的挡距极大，形状各异。因此轧钢生产的一大特点是大、中、小规格的板、带、管、型、线材各类轧机并存，每类轧机各自分担一部分品种、规格钢材的生产。又因资源条件的不同和地区经济的差异，生产同样规格钢材的轧机生产能力和机组构成又有高、中、低不同档次和水平的区别。从我国经济建设的实际看，这种大、中、小规格，高、中、低生产能力和装备水平各类轧机并存，各得其所的格局，可能将是今后相当长时间内的基本状态。表1为我国各类轧机的初步统计。

表1 我国现有各类轧机的初步统计

序号	轧机类别	轧机规格、工艺特征 (mm)		轧机数量 (套)	轧机生产能力 万吨/年	注
1	初轧机 开坯轧机	大 1000~1300		18	2400	
2		中 700~850		10		
3		小 400~650		40多	600	
4	板 轧 机	中、厚2300~4200		23	480	
5		薄、迭轧		50	190	
6	带钢热轧机	连 轧	宽带>1000	5	950	
7			窄带<300	14	210	
8		横列窄带(及串列)		22	85	带长10~20m
9		宽带、炉卷		2	250	

续表 1

序号	轧机类别	轧机规格、工艺特征 (mm)		轧机数量 (套)	轧机生产能力 万吨/年	注
10	型钢轧机	大型、轨梁		5	385	
11		中型		10	250	
12		小 型	连 轧	18	~350	
13			横 列	300多	~1000	
14	线材轧机	连 轧	高速线材	15	450	
15			中速线材	2	40	
16		复二重横列		43	~350	
17		横 列		14	~100	
18	钢管轧机	大无缝(> $\phi 400$)		5		
19		中无缝		4		
20		小无缝 $\phi 76 \sim 100$		44		
	共 计			~650		

二、轧钢生产的装备技术基础

轧钢生产的目的是能稳定和高效率地提供形状和规格精确，尺寸偏差小，机械性能良好和均匀的成品钢材。

轧钢工序基本上是个压力加工延伸变形的物理过程，需依赖众多的主机和辅机协调动作，才能生产出所要求的优质成品钢材。因此无论生产那一种钢材品种，现代化的轧钢生产线必定是生产机械众多，主辅电机装机容量巨大，电气设备（包括功率电子供电变流设备和微电子自动控制装置）数量多、技术复杂的机电装备群，科技内涵极其丰富。它已完全不同于本世纪早期那种仅以能轧出某些成品钢材为目的，但质量不稳定、生产效率低下、劳动强度大、生产效益差（消耗指标高，成材率低等）的粗放型轧钢生产*。

可以热轧带钢，小型棒材和线材等几种典型轧钢产品的生产工艺和轧线装备的主要指标作对比。

1. 热轧带钢

以现代化的宽带钢热连轧机，窄带钢热连轧机和早期的横列式窄带钢热轧机作比较。

* 这类粗放型的轧钢生产模式和轧机装备在我国迄今仍有一定数量在运行。

表 2

		宽带钢热连轧机		窄带钢热连轧机		横列式窄带钢热
		武钢1700mm	太钢1549mm	首钢500mm	宣钢450mm	轧机300mm
轧线机械总重 t		20,200	15,144	1,144	1,500	214
主、辅电机总容量 kw		总 167,000 其中: 主 79,950 辅 87,554	总 70,800 其中: 主 39,750 辅 30,550	主 7,480	总 11,104 其中: 主 6,910	总 1,860 其中: 主 1,401
生产能力万吨/年		300	135	10	15	5
电力负荷 kw		87,000	~50,000			~1000
原 料	h_{max} mm	250	220	110	150	4
	W_{max}	30t	16t	722	672kg	25kg
成品带长 m		1170	250	100	150	10
产品尺寸	宽 度	$\pm 10\text{mm}$		约3~6mm (国 标) $\pm 1.5\text{mm}$		短条, 平直度
精 度	厚 度	$\pm 0.05\text{mm}$		$\pm 0.10\sim 0.20$ (国 标) ± 0.20		差, 尺寸不稳定
控制及操作的自动化水平		全轧线配置了完整的计 算机自动化系统		主、辅传动调速, 无基 础自动化		主传动不调速

2. 小型棒材轧机

以分别建于1960年, 1985年和1990年的几套小型(以生产棒材为主)连轧机和早期的横列式 $\phi 400/\phi 300$ 小型轧机作比较。

表 3

	小 型 材 连 轧 机			横 列 式
	首钢 $\phi 300$	安阳 $\phi 260$	水城 $\phi 300$	$\phi 400/\phi 300$
轧机来源, 投产年份	苏联制造, 1961年	精轧意大利制 造粗中轧国内 配套, 1985	西德二手设备 1990	国内设计制造 (五十年代)
轧线机械总重(吨)	4,800	2500	5,480	533
主轧机架数量, 架	16	15	25	7
主、辅电机, 总容量kw	19,000	9,818	24,000	~3,000
生产能力 万吨/年	30	20	40	5
原料规格, 重量, mm	110 $\times$ 110	120 $\times$ 120 665kg	130 $\times$ 130 1600kg	60 $\times$ 60 50kg
成品规格 mm	$\phi 10\sim 35$	$\phi 12\sim 25$	$\phi 10\sim 40$	$\phi 12\sim 25$
最高轧速 m/s	17.6	17	16.28	4
产品尺寸精度	头大、尾大, 轧螺纹钢时纵 筋高度不稳定			直条平直度差, 尺寸不稳定
控制及操作的自动化水平	不完整的基础自动化		设有基础自动化	主传动不调速

3. 线材轧机

以几套建于不同年代, 代表不同工艺水平和装备技术水平的现代化高速线材连轧机, 早期的线材连轧机, 横列式复二重线材轧机及早期的横列式线材轧机作对比。

表 4

		连 轧		横 列 式	
		唐钢无扭高线	湘潭 250	复 二 重	一般横列
轧机来源		美、日制造	苏联制造	国内制造	国内制造
投产年份		1989	1958		
主轧机架数量, 架		25	31	16~18	14~16
轧线机械总重(吨)		2000	3600		
电机容量 kw	总容量	13,900	21,804		
	主电机	12,150	10,940	~4000	~4000
生产能力 万吨/年		35	50	30	10
原料规格, 重 kg		135 ² ×12m	60 ² ×12m	60 ² ~90 ²	50 ² ~60 ²
mm		1700kg	330kg	150kg	50~60kg
产品规格 φmm,		φ5.5~13.0	φ6.0~8.0	φ6.5~10	φ6.5~10
长mm		9300m	1500m	400~500m	150~200m
最高轧速 m/s		90	27.5	12~16	7~10
产品质量	工艺基础	水控冷, 散卷冷却	—	—	—
	尺寸精度 φ mm	±0.15~0.20	±0.3~0.5	±0.4~0.5	±0.4~0.5
	表面氧化铁皮 kg/t	3~5	10~15	10~20	
	机械强度差 kg/mm ²	3~5		7~17	
控制及操作的自动化水平		全轧线配置了完整的计算机自动化系统	主传动调速, 局部环节设活套控制	主传动不调速	

从表2, 3, 4的各项对比中, 可以清楚地看到生产同类产品时, 不同的生产工艺(如用连轧或横列式脱头轧制)和不同装备技术水平的产品质量水平和生产效率差距极大。

高质量和高效益的轧钢生产是建立在先进合理的生产工艺流程及与之相配套的装备技术(包括自动化)的基础之上的。

三、决定轧钢生产技术水平的三个关键环节

轧钢工序的生产技术水平基本上取决于三个关键环节: 生产工艺流程的模式, 轧机采用的主传动技术和轧钢过程的自动控制。近几十年来轧钢生产技术所以能不断提高到新的水平(质量水平, 效益水平等)正是这三方面的技术迅猛发展的结果。

1. 生产工艺流程的模式

每类轧钢产品都有其最合理的生产工艺流程。

当今的钢材品种规格虽然多达几万种，但就其生产工艺特点区分，大致可分为钢坯和成品钢材7种两大类，见表5。

表 5

序号	类 别	技 术 特 征	合理的工艺生产流程
1	钢 坯	中间产品，尺寸精度要求不高	可逆初轧机，钢坯连轧机
2	成品钢材	大、中规格型钢*	横列式轧机
3		中板、厚板	4辊可逆轧机
4		带钢（宽带及窄带）	连 轧
5		小型型钢**	
6		线 材	
7		钢 管	多机组构成

从表5分类可以看到，大致有三大类生产工艺流程模式：多架连轧，单机架可逆和数架横列，各有其适于生产的产品。

1) 连轧

生产带钢、小型型材和线材的最合理工艺是连轧。连轧中，轧件同时处在多对轧辊中延伸变形，最大限度地减少了轧件的散热面和热量损失。这对提高长、薄或断面小的各类钢材产品的质量至关重要。此外，连轧的生产流程顺，辅助操作最少，轧机的通过能力极强，生产效率很高。国内外轧钢行业近几十年的发展实际已经表明，这几类钢材的生产采用连轧是历史的必然。目前尚无其他更有效更成功的模式。

我国轧钢行业在进入八十年代后的10年内，在带钢（宽带和窄带），小型型钢（圆钢、螺纹钢、角钢和扁钢等）和线材等领域内，无论是新建项目或老轧机改造，均已将“连轧化”确定为建造或改造的首要目标。随着各套连轧机的投产，近年来，我国轧机的结构层次正在由低往高发展，由先进工艺生产的钢材比重正在增加，见表6。

表 6

品 种		套 数 变 化	生产能力变化 万吨/年
带 钢	宽 带	连轧3→5, 炉卷1→2	连轧500→950(95%)
	窄 带	短带26→20, 长带2→14	长带30→210(71%)
小型、棒材		连轧3→18	连轧30→350(26%)
线 材		连轧2→17	连轧45→490(71%)

* 工、槽、角、钢轨等。

** 圆钢、螺纹钢、小角、小扁等。

可以认为,由于迈上了“连轧”的康庄大道,我国轧钢行业的生产工艺和装备技术已经摆脱了仅仅在横列式轧机上小改小革,技术上与水平上徘徊不前的局面而进入了依靠科技的投入来获得高质量、高效率与高效益的时期。

2) 单机架可逆

表1中各类大、中型初轧机均系为下道工序的成品轧机提供相应规格坯料的轧机。这类轧机的生产要点主要是“高产高效和低耗”。轧机主要是单机架可逆轧制。

为提高较小断面钢坯的生产效率,鞍钢、宝钢、包钢的可逆轧机后还配置了6~12架的钢坯连轧机。

此外,中板及厚板轧机亦主要采用单机架可逆轧机。因其为成品轧机,为提高成品板的质量(尺寸精度,机械性能及板型),需设置必要的自动控制环节。

3) 横列式轧机

根据我国钢铁工业的生产水平,横列式布局的模式,在某些品种规格钢材生产中,仍将继续运行。如一部分生产较大规格型钢(工、槽、角、钢轨等)的轧机,如包钢和攀钢的轨梁轧机,鞍钢和武钢的大型轧机等。这些轧机的成品机组均为横列式布局,咬钢时主机降速,以便轧件的喂入。正常轧制时,逐道次走孔型轧制,压下不动作,成品的尺寸公差不能随机调节控制。该类轧机因产品规格大,产量可观(几十万至百万吨/年),今后相当一段时期内,没有将其工艺改变为连续轧制的必要性。

另在一些特殊钢厂中仍将保留一些生产特殊钢材的中小型横列式轧机,如抚钢、西宁钢厂、大冶钢厂等的 $\phi 500$, $\phi 400$,等轧机。这些工厂的产品品种多,批量小,产量亦不高,在工厂规模未达到一定水平前,亦不致用连轧机来完全取代它们。但在生产线上,采用几个机架的局部连轧来提高生产效率则可能是合理的。

2. 主传动技术

主传动在现代化轧机中至关重要。轧钢过程首先是巨大功率的较量。大型轧机每台主电机功率高达5,000~10,000kw。各类轧机且对主传动的性能各有特定的要求,以满足轧机生产工艺的需要。

在可逆轧机中,轧制道次往往多达十几次,主传动应尽量采用较小惯量较低转速的主电机以缩短逆转过程。近年内采用交交变频机理的交流调速主传动已在我国逐步推广。湘钢700初轧和包钢及鞍钢的1150初轧均已将原有由发电机组供电的直流主电机更换为由交交循环变频器供电的同步电动机主传动,使加减速的过程加快了一倍多。表7对比列出了湘钢700初轧改造前后的主要数据。

表 7

阶 段	主 电 机	P_e kw	总 重 (吨)	转子重 (吨)	M_e kNm	GD^2 tm^2	加减速 时间 s	生产电耗 kwh/t
改造前	直 流 电 机	2800	82.5	37.5	405	103	7.2	47.35
改造后	同 步 电 机	3250	63.2	38.7	517	14.8	2.5	38.02

连轧生产中,轧件同时处在相邻的多对轧辊中压延变形。轧机主传动除需提供轧钢功率和力矩外,同时还必需满足以下各项要求:

表 8

序号	性能项目	工 艺 要 求	性 能 指 标	
1	调速范围	满足更换品种及随机调节等需要	一般为1:1.5~1:2	
2	调速精度及稳定性	随机调节, 控制活套量或张力, 协调各架速度。	带套轧制	0.2~0.5%
			无套轧制	0.1~0.2%
3	调速快速性	同 上	50~100ms/1%△n	
4	咬钢动态速度降当量	减少咬钢出现的头大段偏差及其长度, 减少咬钢干扰	中低速轧制	0.4~0.8%秒
			高速轧制	0.2~0.4%秒

目前国内得到实际应用并能满足表8所列各项速度性能指标的有2种主传动调速技术:

●由晶闸管变流装置供电, 配有高精度控制系统的直流电机主传动系统。这类技术应用范围宽广, 但需有优质硬件装置的支持并经精心调试, 精心维护, 以防在运行中性能飘移或劣化。

●双机驱动差动调速主传动。每对轧辊由一台交流主电机及一台直流副电机联合驱动, 双机转速经差速器合成。因双机差动系统具有性能互补及差速效应的独特机理, 该主传动的速度品质极佳, 在采用同样的直流电机控制装置时, 其输出速度的调速精度提高了5~6倍, 调速快速性提高一倍, 咬钢动态速降当量降低一个数量级, 因此极适宜用于生产精度要求高的产品, 并能适应无套连轧的严格要求。

目前国内已有双机差动小型连轧机10套, 产品品种有圆钢、螺纹钢、角钢、汽车弹簧扁钢、工具扁钢、窄带钢及线材等, 其有代表性的见表9。

表 9

序号	轧 机 名 称	建 造 年 代	新建 或 改造	生产品种	生产能力 万吨年	连 轧 架 数	主电机功率 kw
1	红冶钢厂一小型	1986	改	汽车弹簧扁	8	5	最大630
2	红冶钢厂二小型	1981	改	小角、小扁	10	6	最大860
3	抚顺钢铁公司棒材	1989	改	圆钢、螺纹钢	8	4	最大460
4	洛阳带钢厂窄带	1988	新	窄带钢	8	4	最大480
5	呼钢线材	1979 1986	二次 改	线 材	10	中轧6 精轧8	最大630

双机差动连轧机投资较少, 主传动部份的投资仅传统直流主传动一半左右, 电控装置功率小电压低, 速度性能稳定, 比较适合我国数量众多中小型轧机的连轧化改造。

3. 轧钢过程的自动控制——轧钢自动化

轧钢自动化是近二十年来发展极为迅速, 效果极其显著的应用技术领域。

现在所讨论所推广应用的“轧钢自动化”，主要是指对一条具体的轧钢生产线完整地、全面地进行在线的实时控制和监视，功能齐全的计算机自动化系统。

先进合理的生产工艺流程和功率匹配恰当、性能优良的主传动固然是优质高效地进行轧钢生产的必要基础，但国内外的无数实践表明：一套轧机建起后能轧钢、能出产品是一回事，而能安全、稳定、高效地出质量优良的产品却又是一回事。真正的优质、稳产和高产的取得必需依靠自动化系统对轧线上的各台主机和辅机在线、实时进行准确和协调的指挥和控制，跟踪每根钢在轧线各区段的轧制状况，动态地修正各主辅机械的运行参数，以求获得最佳的轧制效果。轧钢自动化的投运使先进轧钢生产工艺的潜力得到最充份的发挥而收到丰盛的经济效益和社会效益。

四、轧钢自动化解决的主要问题

为实现高质量和高效率生产，各类轧机都有其需侧重解决的关键问题。

1. 型钢、棒材、线材等较小断面钢材轧机的自动化

因轧件断面愈轧愈小，在高温状态下，经不起张拉，这类轧机的关键是严格控制轧件在轧制过程中受到的张拉。采用连轧生产工艺时，同一轧件同时处在前后几架相邻机架中轧制，极易因各架主传动速度的匹配比例偏离轧件对应的延伸率而使轧件受到堆拉。

在连轧的粗轧区和中轧区，轧件的断面较大，需采用无套小张力轧制方式。进入予精轧区和精轧区后，需设置自由活套（立套或侧套），以保持小断面的轧件处于无张自由轧制状态。

无论无套小张力轧制或带套无张轧制状态的保持，都是通过精确设定和调节主传动转速加以控制的。在现代化的小型或线材连轧机中，开轧前轧机按予定的轧制规程精确设定各架轧辊转速。进红钢后，随机采样，无套区

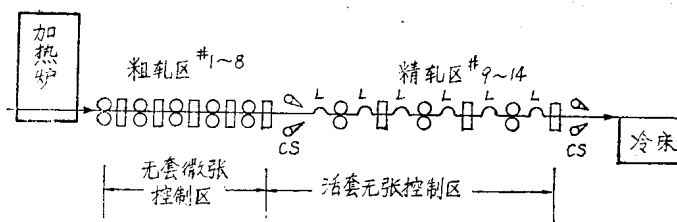


图 1

根据主电机负荷随轧件张拉程度引起的动态变化，活套区则采集活套位置的动态变化，不断微量调节相关机架主传动转速来保持设定的张拉状态，直至这根轧件从末架逸出。

张力控制，活套控制和主机的速度设定系统是这类轧机自动化系统的核心，也是必备的基本内容。

值得注意的是，为了轧制出尺寸精度更高的小断面钢材，国外在八十年代设计制造的这类轧机设置了多个活套，为轧件提供了更加稳定的无张力压延变形环境。国内的经验亦表明，只在轧机尾端设置1、2个活套还不足以稳定成品的尺寸公差。

高速线材轧制线的张力控制极为严格。其精轧由10架平立辊交替构成，其速比系由齿轮配比固定，成组传动，各架间速度关系固定而不可调，完全靠孔型配置和极小的轧机弹跳来保证轧件通过该无扭机组时，处于微张或微堆状态。由于精轧区无活套，对来料温度波动及尺寸波动的适应能力差，其上游各区的张拉控制遂更为必要，亦更为严格。除与一般的小型轧机不同，增设了多架（2至6架）予精轧机外，其粗轧至精轧入口的全线都设置了无套微张控

制和多个活套无张区。形成层层保证。唐钢高线调试结果表明,如果不投入粗中轧区的无套微张自动控制,轧机常出现拉钢、堆钢、断钢现象,主机负荷波动大(可高达50%),且予精轧的活套不能保持稳定工作。投入后上述各不稳定现象得以有效消除,予精轧出口轧件尺寸精度明显改善,消除了尾大现象,从而保证了无扭精轧机组的正常运行。

从高速线材精轧区固定速比无套连轧的成功实践可以看到,如果主传动调速精度很高,速度性能很稳定,在一定条件下,小规格钢材的精轧区有可能采用无套连轧工艺。抚顺钢铁公司四轧厂棒材车间改造中,精轧区采用了双机驱动差动调速的4架连轧,生产 $\phi 10\sim 14$ 圆钢和螺纹钢时均实现了无套微张连轧,产品尺寸精度优于国家标准,轧机效益近成倍增加,是一个成功的尝试。

2. 窄带钢热连轧机的自动化

我国第一套窄带钢热连轧机投运于1978年(上钢十厂四车间450mm轧机)。因其产品可直接用于焊管和作冷轧原料,部分替代了由宽带卷纵剪后的窄带卷,且轧机机电设备较少,制造和配套较易,产品成本亦比宽带钢低约50~100元/吨,比较适合我国各地的经济发展水平。近10年来,窄带钢热连轧机获得较快发展(见表1,表2和表3),产量已比较可观。

同小型型钢相比,窄带钢生产难度较大,这是因为:

●在各类中小型钢材中,国家标准对窄带钢宽度公差的要求最为严格,见表10, $\Delta B/B$ 仅 $\pm 1\sim 0.8\%$ 。

表 10

尺寸精度		钢材品种		窄带钢	小角钢	小扁钢	铰刀扁钢	线 材	圆 钢	
厚度方向	厚度 mm	2~4	4~6	4~5	4~12	6~9				
	公差标准 mm	± 0.15 ~ 0.30	± 0.20 ~ 0.33	± 0.4	$+0.3$ -0.5	$+0.5$				
	$\frac{\Delta h}{h} \%$	± 3.75 ~ 15	± 3.33 ~ 8.75	$\pm 10\sim 8$	$+7.5\sim 2.5$ $-12.5\sim 4.16$	$+8.3$ ~ 5.5				
宽度方向	宽度 mm	≤ 300		25~50	≤ 50	25~39				
	公差标准 mm	$\pm 1.0\sim 1.8$		± 0.8	$+0.5$ -1.0	± 0.5				
	$\frac{\Delta B}{B} \%$	$\pm 1.0\sim 0.8$		± 3.2 ~ 1.6	$+1\sim 1.66$ $-2\sim 3.33$	$\pm 2\sim 1.3$				
直 径	直径 mm							5~9	5~9	10~20
	普通精度 mm							± 0.5	± 0.4	± 0.4
	较高精度 mm							± 0.3	± 0.2	± 0.25
	$\frac{\Delta D}{D} \%$							$\pm 10\sim 5.55$	$\pm 8\sim 4.44$	$\pm 4\sim 2$
								$\pm 6\sim 3.33$	$\pm 4\sim 2.22$	$\pm 2.5\sim 1.25$

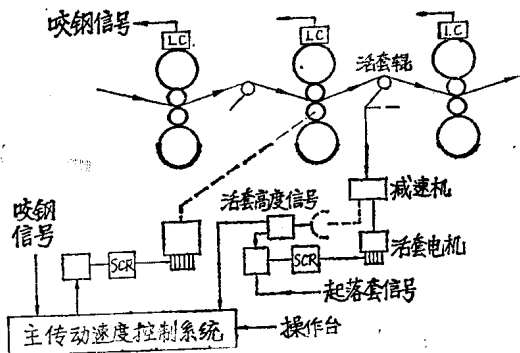
●窄带钢的几何尺寸宽而薄,宽厚比(B/h)远大于各类型钢,热轧时对张拉应力

敏感。用连轧机生产时，如无有效的张力控制措施，连轧件极易因被过度张拉而被拉窄，导致沿纵长方向的宽度波动和超差。我国多套窄带钢热连轧机的实践都表明，窄带钢成品厚度偏差一般均能保持在国标公差范围内，而宽度却往往超差，严重的达5~6mm，必需切边后才能作为电焊管原料。这是我国建成投产大部分该类轧机所存在的主要问题。

窄带钢热连轧机同宽带钢热连轧机一样，其精轧机组均采用微套量小张力连轧工艺，以控制张力水平（0.15~0.25kg/mm²），使轧件在连轧机组中延伸变形时，不致受到会导致拉窄后果的过度张拉。

带钢热连轧机用以控制张力的活套系统是一整套参数匹配合理的机电自动化系统，包括：在连轧各相邻机架间设置的低惯量恒张快速电动活套机构（6架平辊机架间共设置有5个电动活套）；活套电机由晶闸管装置供电，并设有恒张控制系统；活套机构为低速比、追随性能良好的低惯量传动系统；活套辊升起的高度（或仰角）由传感器检测后输入连轧的主传动速度系统，构成一个活套高度自动调节系统，使连轧机在轧制一根钢的过程中，即使连轧件的温度不均匀或尺寸略有波动导致变形量和金属秒流量的波动，因活套系统的有效缓冲作用，仍能保持活套高度的相对稳定和张力的相对稳定，从而实现了成品带钢宽度的稳定。

由于每个活套辊需随每根钢的咬入和逸出而升降，动作极为频繁（每年升降几十万次），如靠手动操作，操作员将疲于奔命而顾不过来。活套的升降和自控系统的投入必需由每架的咬钢信号发动。信号必需可靠、准确。在宽带钢热连轧机内，利用厚度自动控制系统必需设置的高精度（0.5%）轧制压力测定装置（包括每架2个压头及相应的二次仪表，价格昂贵）提供咬钢信号。窄带钢连轧机一般因不需设置AGC系统，可设置精度较低（1~5%）但运行可靠的测压仪或其他仪表（如拉伸仪等）。在采用计算机基础自动化时，亦可采用经采样、处理后的主传动负荷电流信号，以保证其能确切地反映咬钢信号（即“机架中正在轧钢”的信号）。



图~

目前国内投运的窄带钢热连轧机大部分都未配全如上述内容的完整的活套控制自动化系统：有的为气动活套机构，动作不稳定，不可靠；有的高度调节器不能正常投运；有的缺乏可靠的起落套信号，单凭手动操作等等。由此可见，轧钢自动化是集轧钢机械、电力传动在线检测仪表和自动控制多项专业之大成的综合技术，必需配置完整的、能可靠运行的全套自动化装置，才能持续地获得真正的实效。

关于窄带钢的厚度自动控制问题。

在宽带钢热连轧机中，带钢的厚度自动控制是一个必不可少的功能。离开了厚度自动控制系统，宽带钢热连轧机的产品尺寸精度和生产效益大幅度下降。

窄带钢的实际情况不同。

窄带钢的带幅窄，轧制力较小；机架结构紧凑，轧辊辊身较短，机架刚度相对较高，因轧件温度差所引起的机架弹跳量波动亦较小，见表11。

表 11

序号	轧机名称		轧机规格 mm	设计最大轧制力 t	机架过柱断面 mm ²	机架刚度系数 t/mm	F _{max} 时的机架弹跳 mm	轧辊规格 mm	
								φ工作/ φ支持	辊身长
1	宽带钢热连轧机	武钢	1700	2500	7100	550~600	4.17~ 4.55	F1~F4 φ800/ φ1570 F5~F7 φ760/ φ1570	1700
2		本钢	1700	2500	6440	500	5.0	φ730/ φ1550	1700
3		鞍钢半连轧	1700	1800	3750	375	4.8	φ650/ φ1250	1700
4	窄带钢热连轧机		450	160	1152	106	1.51	φ280/ φ450	450

根据国内外的实测,在没有设置AGC时,宽带钢热连轧机因轧件温度差造成产品的厚度偏差量约为0.25~0.30mm,约为F_{max}时机架弹跳量4mm的6.25~7.5%。

因机理相同,按类似比例,窄带钢热连轧机在同样的温度差时,其产品厚度偏差量约为0.1~0.12mm。实际上,因窄带钢成品长仅100~200m,头尾温差显著小于长宽带,不设置AGC时,依靠各架轧机的自然刚度纠偏,其产品厚度偏差可保持在0.07~0.1mm左右,优于国标的规定(见表10)。国内各套窄带钢热连轧机多年的实际生产效果亦同:只要烧钢均匀,成品窄带的厚度偏差可稳定地保持在0.07~0.10mm的较好水平。

从上述论述已可看出窄带钢热连轧机应配置的自动化系统主要功能概貌:

- ①全轧线各连轧区均采用调速的主传动;
- ②粗、中轧的连轧区设无套微张自动控制;
- ③精轧机组配置完整的低惯量恒张快速电动活套自动化系统并与主传动闭环构成活套高度自动调节系统;
- ④各调速主传动设置速度设定系统及级联调节系统;
- ⑤各电动压下装置可设置位置自动设定系统。因窄带钢轧机的产品规格变化频度较小,在投资有限时,各压下辊缝亦可手动设定。

从上面论述可以看到,窄带钢轧机的自动化,因增加了低惯量电动活套机构,比小型型钢或线材连轧机稍复杂。但两者的主传动速度设定系统和粗、中轧区的无套微张控制系统则比较接近。自动化系统的功能和规模同属一个档次。

3. 宽带钢热连轧机的自动化

宽带钢热连轧机是自动化技术运用得最成功,效益最突出的领域。

宽带钢热连轧机的自动化自六十年代至今的近三十年内不断发展和完善,至今已经形成了一个功能齐全,技术成熟,效果显著的计算机自动化系统。一切新建的宽带钢热连轧机或对原有早期建造的带钢热连轧机进行现代化技术改造时必然采用这样水平的自动化系统。

关于宽带钢热连轧机的自动化,专门的论著颇多,因篇幅所限这里只就其特点和主要内容作概括介绍。

- 1) 代表现代宽带钢热连轧机水平的关键性技术,至少有下列的9项:

①采用追随性能良好的低惯量恒张力快速电动活套的小张力 ($P=0.15\sim0.7\text{kg/mm}^2$) 微量自动控制系统, 为连轧机组的稳定和安全操作以及稳定成品带的尺寸精度提供基本保证;

②适当加大了连轧主电机的装机功率, 采用双电枢或多电枢的主电机以求降低主机传动系统的惯量并采用大功率的晶闸管供电装置而提高了各主传动的调速精度和调速响应速度, 以适应AGC及其他自动控制系统的要求;

③连轧机压下机构参数的最佳匹配。发展了适应AGC特殊要求的电动压下机构和部分机架设液压压下两种模式, 使压下机构具有较高的调速响应速度而能有效地按照AGC系统的指令, 频繁、快速地进行带钢压下, 实现对厚度的纠偏控制;

④功能完善的厚度自动控制 (AGC) 系统。

⑤连轧机各主电机在穿带后同步缓升速技术的运用, 实现了终轧温度的自动控制 (FTC);

⑥各自动设定系统, 如轧线各主辅机械工作速度或位置的自动设定 (APC), 张力设定, 活套工作高度设定等等;

⑦运用带钢的层流冷却系统, 实现带钢卷取温度的自动控制 (CTC);

⑧加热炉的烧烧自动控制系统和轧制节奏的自动控制;

⑨自始至终, 全轧线对轧件流向和位置的跟踪系统, 用以协调全轧线、各区段、各主辅机械的设定、动作和配合, 及时发现中间轧废及延误。

以上各项为现代宽带钢热连轧机必然采用的技术。近年来, 为进一步提高成品带的尺寸精度和改善极型, 提高轧机的成材率, 协调轧机与板坯连铸机的衔接, 部分宽带钢热连轧机开始设置宽度自动控制AWC和板型控制。

⑩宽度自动控制AWC

在粗轧区通过增加立辊数量和立辊的功率 (立辊主传动及立辊的压下机构), 提高粗轧区随机调整和修正所轧板坯宽度的能力。宽度压缩量可由原 $\sim 50\text{mm}$ 增加至 300mm 而适应连铸坯的宽度。又因设有液压侧压量的快速调节而可校正向精轧区提供连轧坯的头尾宽度, 减少切头和切尾损失。精轧区则仍如前并无AWC功能。

⑪板型控制 在精轧出口设板型测量仪, 通过精轧区的冷却水分布量控制、可变凸度轧辊控制, 或6辊轧机等控制手段, 改善成品带的板型。

2) 我国宽带钢热连轧机的自动化概况

我国第一套宽带钢热连轧机为鞍钢的1700半连轧, 建于1960年。这是一套典型的第一代带钢热连轧机, 设计生产能力80万吨/年, 没有上述任何一项自动化功能。因操作熟练, 1980年后平均年产达160~200万吨, 连轧机的高效率生产优势在这套轧机上表现得非常突出。但其产品质量却相当差: 厚度偏差达 $\pm 0.2\sim0.4\text{mm}$, 宽度偏差达 $30\sim50\text{mm}$, 均已超差; 使用鞍钢半连轧热轧带的冷轧机生产困难。

进入八十年代后, 为逐步改变我国板带比长期偏低的局面, 我国已陆续建起和正在筹建多套宽带钢热连轧机。对鞍钢半连轧及本钢1700热连轧则进行了旨在提高成品带质量水平的自动化改造。各套已建及正在筹建的各套宽带钢热连轧机的自动化概况见表12。

从表12可以看到, 宽带钢热连轧机是我国各类轧机中, 最早采用全轧线计算机控制, 自动化系统功能齐全, 充分显示了自动化技术对提高产品质量, 稳产高产, 使轧机最充分地发挥其生产潜力和效益潜力的轧机机种。它在我国轧钢自动化事业的开拓中起了带头作用和示范作用。目前, 除上钢一厂1200热连轧因工艺问题、设备制造质量及基建施工质量等问题,

表 10

序号	轧机名称	轧机规格 mm	投产年份	生产能力 万吨/年	轧机来源	自动化概况	产品质量
1	武钢热连轧	1700	1978	300	日本制造配套 全套引进	国外引进全套计算机自动化系统, 功能齐全	优质钢卷
2	宝钢热连轧	2050	1989	400	西德制造配套 全套引进	国外引进全套计算机自动化系统, 功能齐全	优质钢卷
3	鞍钢半连轧	1700	1960	设计80, 实际160~200	苏联制造配套 全套引进	1986年后精轧区进行自动化改造, 西门子公司承担	改造后产品尺寸精度提高
4	本钢热连轧	1700	1980	160	全套国内制造 配套	1988年后精轧区进行了以AGC为核心的自动化改造, AEG公司承担	改造后产品尺寸精度提高
5	上钢一厂热连轧	1200	1974	40	全套国内制造 配套	无基础自动化 压下机构、活套等性能不佳	产品尺寸偏差大, 生产不稳定
6	攀钢热连轧	1450	(1992)	100	国内制造 国内外合作制造部分关键设备	同意方合作设计, 配置了自粗轧出口至卷取机区段的计算机自动化系统	予计为优质钢卷
7	太钢热连轧	1549	(1992)	135	迁建日、日新吴 1*热连轧机	配置了完整的计算机自动化系统, 功能齐全	予计为优质钢卷
8	梅山热连轧	1422	(1993)	(300)	迁建日、新日铁 界热连轧机	配置了完整的计算机自动化系统, 功能齐全	予计为优质钢卷

其改造前景未定外; 原已建成的2套轧机, 均已先后进行了关键区段的自动化改造并还将继续深化自动化改造, 新建的3套轧机已采用了功能更为齐全, 硬件系统更为先进的计算机自动化系统, 这一均切为这些轧机生产出高质量带钢卷, 为企业提供更的经济效益提供了保证。

4. 其他各类轧机的自动化

除上述各类热连轧机外, 还有中(厚)板轧机, 炉卷轧机及带钢冷轧机等需配置自动化系统以求提高产品质量, 提高轧机生产效益的轧机机种。其部份自动化功能同前述各类轧机类似。

1) 中(厚)板轧机

中(厚)板主要由四辊可逆轧机生产。板幅宽, 主机功率大, 轧制力大, 轧制道次多, 板型重要。自动化系统的主要功能为: 最佳轧制规程的计算并相应设定各主辅机的速度和轧辊辊缝; 厚度自动控制, 往往采用液压AGC; 板型控制; 加热炉燃烧控制; 及全轧线各主、辅机械的协调动作等。

2) 冷轧机的自动控制

可逆冷轧机往往设置卷取张力控制, 准确停车自动控制; 厚度自动控制; 及各类自动设定系统等。