

综述

我国冷轧生产技术的发展探讨

孙文权,袁铁衡

(北京科技大学高效轧制与智能制造国家工程研究中心,北京 100083)

【摘要】综述了改革开放后我国对工业发展的基本要求及冷轧生产技术的发展过程。经过多年的发展，我国的冷轧生产技术逐步从世界落后水平达到世界先进水平，甚至在某些领域领先于世界其他国家。近年来，随着中国制造2025制造强国战略的发布，冷轧生产技术也在朝着数字化、信息化、智能化发展。过往的经验告诉我们，冷轧生产应该紧跟国家的步伐，在智能制造浪潮的引领下，在保持高附加值产品生产的同时更加注重良品率，提高自主生产能力，才能提高我国冷轧生产竞争力，保持冷轧生产良性发展。

【关键词】冷轧生产技术；发展历程；未来发展

【中图分类号】TG335.12 **【文献标识码】**B

【文章编号】1006-6764(2022)02-0001-06

【开放科学(资源服务)标识码(OSID)】

DOI:10.13589/j.cnki.yjdl.2022.02.035



Discussion on the Development of Cold Rolling Production Technology in China

SUN Wenquan, YUAN Tieheng

(National Engineering Research Center for Advanced Rolling and Intelligent Manufacturing,

University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

【Abstract】An overview of the basic requirements for industrial development and the development process of cold rolling production technology in China after the reform and opening up. After years of development, China's cold rolling production technology has gradually reached the world's advanced level from the world's backward level, and is even ahead of other countries in the world in some fields. In recent years, with the release of Made in China 2025 manufacturing power strategy, the cold rolling technology is developing towards digitalization, informatization and intelligence as well. Past experience tells us that cold rolling production should follow the pace of the country, led by the wave of intelligent manufacturing, pay more attention to the yield rate while maintaining the production of high value-added products, and improve the independent production capacity in order to improve the competitiveness of China's cold rolling production and maintain the positive development of cold rolling production.

【Keywords】cold rolling production technology; development history; future development

前言

工业是国家经济的重要体量，钢铁是工业生产的基础，它是国防、建筑、制造业等方面的基础及推动力，直接代表了我国的工业实力和军事实力。钢铁业的发展与中国的工业化进程之间存在紧密关联。建国以来，中国钢铁业的发展不仅仅在产量方面有了大幅增长，也反映出相关技术水平的增长，钢铁产量跃居世界第一，同时也实现了生产的自给

自足。应该说，这是建国以来中国钢铁工业在发展过程中取得的重要成就之一，同时也为中国经济的快速、高质量发展创造了重要的保障条件^[1-3]。

冷轧生产是钢铁生产中不可或缺的一环，冷轧生产的产品数量和产品质量一定程度上反映了国家工业水平的高低，而冷轧生产技术这70余年的发展，值得我们去学习与思考，学习发展的历程，思考未来的发展方向。

1 追求产量——紧跟世界步伐

建国初期,中国几乎没有一个完整的钢铁联合企业,钢铁产量还不到当时世界年总产量的千分之一。面对中国缺钢少钢的形势,国家确立了“以钢为纲”的工业发展指导方针。此时的冷轧生产是以追求产量,提高生产能力为导向,通过购买国外先进生产设备,学习国外先进生产知识,解决国家切实需求的技术发展。冷轧技术从生产设备到生产工艺流程的双管齐下,建立了一套完整的板带材生产体系,为我国的钢铁生产打下了坚实的基础。

(1)对生产设备而言,我国钢铁生产建设初期,设备基本靠国外进口,存在被垄断的情况,直至上世纪80年代,由第一重机厂设计制造的第一套大型轧机——1700冷连轧板轧机^[4],填补了我国自制的大型冷连轧机的空白。冷连轧的生产技术相较于单卷轧制,其加减速过渡阶段减少,稳态轧制过程增加。无论是否进行前后卷动态变规格,轧制力等工艺参数的波动及带钢的厚度偏差都优于单卷轧制,极大地提高了冷轧生产的效率。该轧机的发

明,打破了我国冷连轧机必须从国外进口的情况,这是我国冷轧技术发展的重要一步,是基础生产设备自主化的第一步。

(2)对生产工艺而言,冷轧生产是一个承上启下的过程,将不同生产工序连接起来,构成联合生产线进行生产,这样可以减少不同工序的连接及联合,可以极大地提高生产效率。目前冷轧生产主要包括:酸洗-冷连轧联合生产;冷连轧-连续退火联合生产;酸洗-冷连轧-连续退火联合生产。世界上,在80年代就应用了酸洗-冷轧的联合机组,而在90年代,我国才逐步推广该联合机组^[5],这表明了我国的冷轧工业生产设备正在逐步向世界前列靠拢。

(3)在国有钢铁厂不断建设成立的同时,民营钢铁厂也如雨后春笋般冒出,这也极大地提高了我国冷轧的钢铁产量,但是,这也为目前的冷轧生产中各企业无序竞争埋下伏笔。

经过多年的发展,我国的冷连轧产量跃居世界前列,其生产大多实现了如图1的流程。

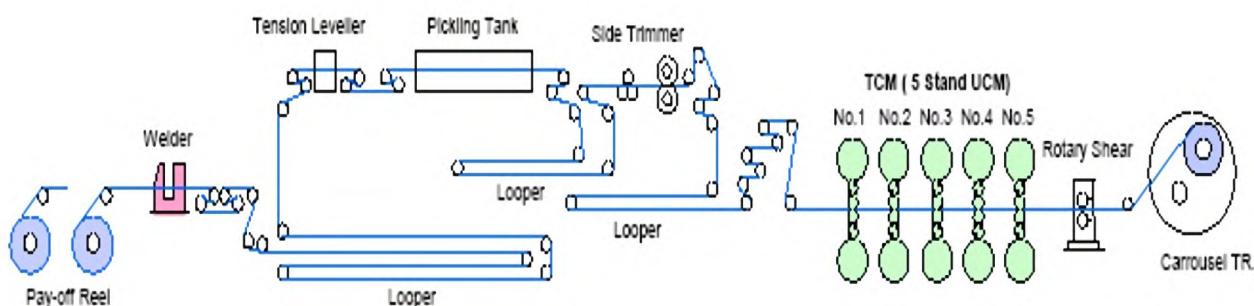


图1 冷连轧生产流程图

随着工业化进程的不断深入,冷轧板带的比例也相应增加,产量也逐年提高,尽管解决了我国缺钢、少钢的窘境,但是也暴露了一些问题。此时生产的带钢大多为粗钢,对于在船舶、高档汽车、汽车零部件、工程机械、高层建筑、高速铁路等高端产品大多仍依赖进口。

2 提高品质——位居世界前列

上世纪90年代及本世纪初期,随着钢铁工业的不断发展,我国的钢产量已经较之前有了长足的进步,在1996年就已经跃居世界钢产量第一位,在高速发展时期过后,国家对冷轧工业生产的要求便从提高产量变成了控制产能,以追求高产品质量与高产品附加值为导向的生产技术发展,打破国外“卡脖子”的问题。同时对于钢铁生产这种大批量的,重复生产模式,也要最大限度地实现少人化甚至全

自动化。

2.1 提高产品质量

(1)自动控制系统

自动控制系统具有代替人工进行实时控制,拥有闭环反馈的机制,相较于人工而言,其控制精度更高,调节速度更快,控制效果更好,可以对产品质量进行进一步的提高。冷轧生产带钢,其产品表观质量主要有以下两个目标,沿宽度方向的板形合格情况及沿长度方向的厚度合格情况。因此,自动板形控制系统(ASC)、自动厚度控制系统(AGC)与自动边降控制系统(AEC)便被广泛应用于冷轧带钢生产中。

ASC通过检测设备与目标板形曲线进行对比,得到带钢的实时板形偏差,采用数学的方法,对板形偏差进行曲线拟合,获得板形偏差的一次系数、

二次系数和高次系数,通过板形控制手段进行调节,该方法可以实现板形的闭环控制,对一次板形、二次板形具有良好的调节能力,对高次板形而言也有一定的效果^[6],其控制示意图如图2所示。

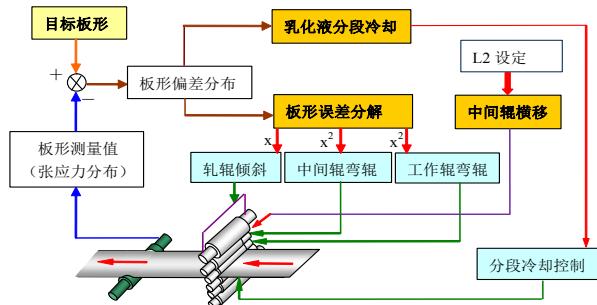


图2 自动板形控制系统示意图

AGC根据冷轧生产中的秒流量原理,通过高精度的数字闭环控制实现对辊缝、张力等的控制,即实现对带钢厚度精确的控制,该控制手段是在一定范围内的,即以L2设定参数为基础进行调节,故研究人员也会对参数进行整定,以提高产品质量^[7],其控制示意图如图3所示。

AEC系统根据冷连轧机出口安装的断面仪检测到的带钢边缘降,反向闭环控制S1~55机架的工作辊窜辊并结合辊形技术,实现电工钢等需要横向厚度控制要求产品的高精度控制,该技术广泛地

应用于中低牌号无取向电工钢酸连轧机组上,取得了良好的应用效果。

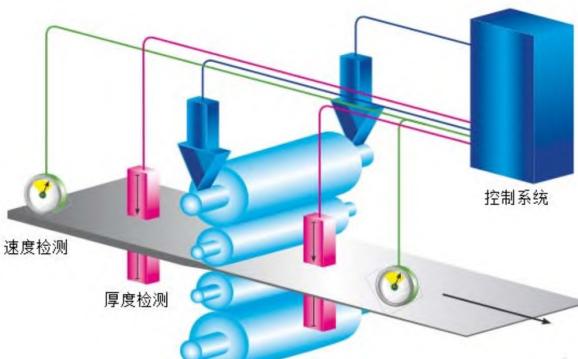


图3 自动厚度控制系统示意图

上述三个自动控制系统及其他生产中的必要控制手段均在该阶段得到了广泛应用,为实现冷轧生产的自动化做好铺垫,大幅度地提升了带钢的产品质量,满足用户日益提高的需求。

(2)先进生产设备

为了更好地提高冷轧带钢的产品质量,钢铁企业开始广泛应用控制手段更多样,调控能力更强的轧机,如UCM、UCMW及CVC辊形技术等,其增加了如弯辊、窜辊等调控机构,这些手段都可以对板形进行控制^[8],一些常见的冷轧机结构如图4所示。

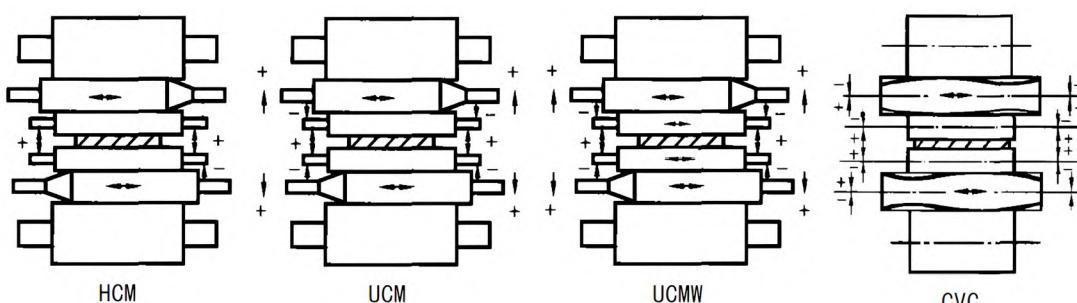


图4 冷轧机结构示意图

配置路线。

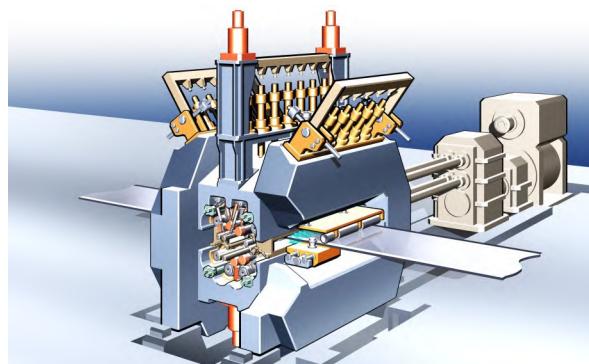


图5 二十辊轧机结构示意图

在针对板形、厚度的精准控制,追求更小的轧辊径长比,国内同样引进了许多十八辊、二十辊轧机等多辊轧机,也据此进行了研究。近年来,宝钢、首钢、攀钢、涟钢等先后建设了十八辊高强钢轧机,结构如图5所示,主要用于超高强钢的生产,部分兼顾高牌号硅钢和钛板轧制。

在电工钢生产方面,宝钢、首钢等钢铁企业正在建设以6机架小辊径六辊连轧机组,该机型的建设将大幅提高连轧机生产高牌号、高强、薄规格无取向电工钢的能力和产品质量,并有可能带来连轧机与20辊单机架轧机的竞争,改写电工钢生产装备

该阶段的生产,冷轧技术逐步转向为以自动控制系统为主,人工辅助进行修正调节的生产模式。但是对于控制系统和新型轧机,我国仍采用的是国外进口的方式,缺少自主设计,缺少核心竞争力。

2.2 提高产品附加值

随着我国工业的整体发展,用户对于质量的要求也逐步提高,普钢已经难以满足我国产业的需求,因此对于冷轧生产而言,宽薄带钢、高强钢、特殊钢等具有技术含量的带钢就变为企业生产的主流。

以大家熟知的“手撕钢”为例,宝武太钢集团所研制出手撕钢极限厚度仅为0.015 mm,价格高达200万元/t,即使价格不菲依然供不应求^[9]。这是由于产品附加值所导致的,也打破了国外对我国的技术垄断,甚至在中国轧钢人员的不懈努力下,达到世界领先水平。高强度钢种也是被钢铁企业所关注的重点,DP980、DP1180、DP1480等一系列强度极高的钢种被开发出来,且保证了冷轧后的产品质量,在汽车、轮船等方面有了极大应用,实现了自给自足。一些特殊钢种,如耐寒、耐热等带钢生产,在航天、科研等方面也颇有建树,为推动我国整体实力和国际竞争力做出了不可磨灭的贡献。

时至今日,牢牢跟紧国家供给侧改革措施,追求产品的高质量、高附加值仍是当前冷轧生产的主流。我国生产的冷轧带钢,已基本满足我国各行各业的需求,在某些方面打破了国外的垄断,处于世界前列。

3 展望未来——引领世界潮流

《中国制造2025》行动纲领,为国家工业支柱的钢铁行业,为钢铁行业中的重要环节——冷轧生产指明了方向。对冷轧生产技术而言,该文中提出要以新一代信息技术与制造业深度融合为主线,以推进智能制造为主攻方向;建设具有核心竞争力的产业集群和企业群体,走提质增效的发展道路;着力掌握关键核心技术,完善产业链条,形成自主发展能力。

3.1 智能制造

目前我国正在经历数字化、信息化、智能化时代,这对于冷轧生产而言,既是机遇,也是挑战,以智能化为目标的冷轧生产技术正在不断地发展和改进,那么就需要从以下几点入手^[10]。

(1) 信息化

信息化是对数据的抽象提取,挖掘数据的潜在

价值,并抽象提炼成知识,作用于分析与决策。而冷轧生产的信息针对的有两个目标,分别是企业和用户。企业通过信息化系统实时了解生产动态,分析生产趋势,做出路线决策;而用户能够更加详细地明确和了解自己的需求和所购买带钢的情况,做到“买的放心,用的舒心”。

目前我国已经建成的信息化系统大多是针对企业而言的,并没有很好地加入用户购买数据提炼的信息,该种信息仍旧是由技术人员或销售人员自行提炼的,有时会缺少系统性、完善性的总结。未来,将用户购买和使用信息实现自动信息化提炼、融合后进行大数据分析,可以更为方便地指导企业进行生产决策,以用户为中心,逐渐向“服务型”工业生产做转变。

(2) 数字化

数字化是智能制造的前提,是对冷轧生产及相应车间的数据进行数据化提取,将这些数据进行整合,转化成人们所需要的。数据化的实现可以极大地改善传统信息记录中易丢失、传递效率慢等的现象。

如此可见,该获取何种数据是一个重要的问题。钢铁生产是一个多工序联合的生产模式,冷轧作为其中的一环至关重要,上承热轧生产,下接退火工序。为保证更好更快地生产,进一步提高产业的数字化,就是要打破钢铁生产数据壁垒,如冷轧生产的工艺参数不仅要考虑到热轧带钢的遗传因素,还需要针对下一级的生产需求参数进行调节。

2021年马钢冷轧数智中心的成功建设(系统结构如图6所示),为国内冷轧智能生产和一体化管控带来了新的思路,并取得了非常好的效果。可见,冷轧目前的数字化生产结构已经初见成效,技术人员已经可以通过数智化分析软件实现对冷轧多条产线的各种数据的把控和辅助分析决策。极大程度上方便了技术研究人员的数据获取及分析。完善的数据化是指导生产实际的重要依靠。

但是目前也存在许多的问题,例如,大多数企业打通自炼钢至冷轧的数据方面还存在一定的问题,数据不充分的问题仍旧比较突出;另一方面,获取的生产数据部分参数无法应用于生产实际,无法指导实践,例如热轧的温度波动会导致带钢全长的性能波动,进而导致产品质量的下降。因此更广泛地收集各类数据,并用于辅助指导生产将是未来钢铁工业发展的重点。

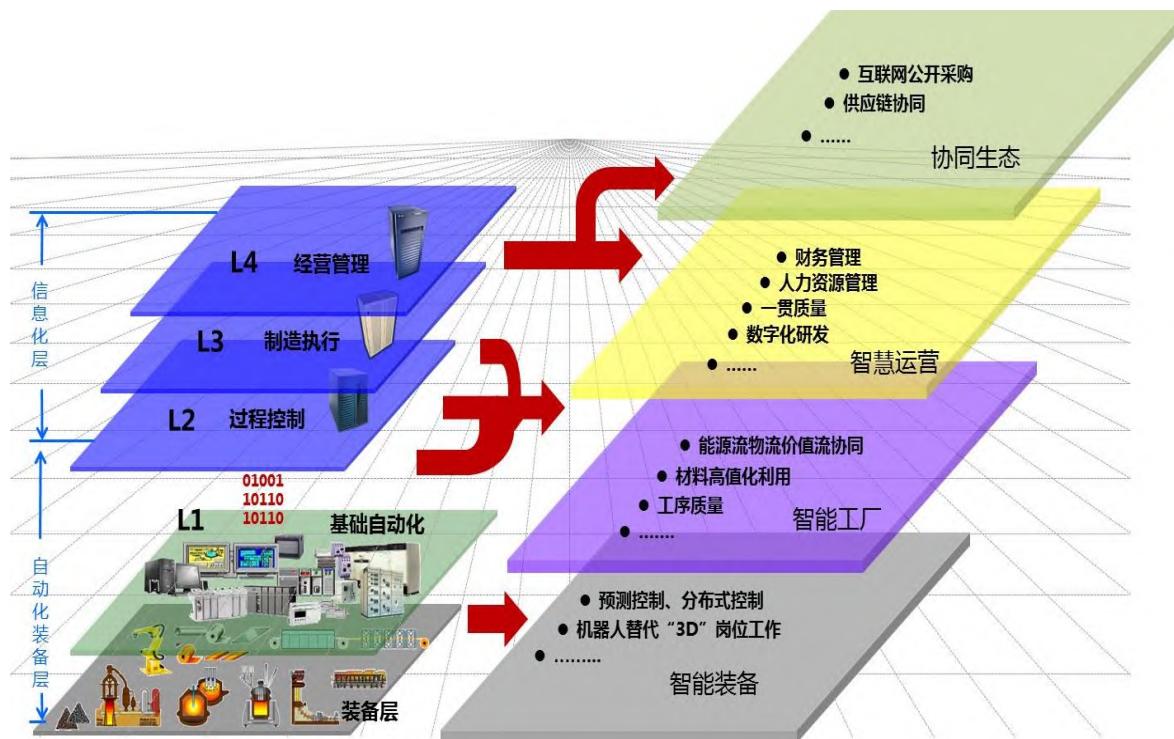


图6 数智中心结构示意图

(3)智能化

智能化,就是应用大数据及智能算法等先进技术,达到机器可以代替人工进行操作及决策的效果,其基础便是信息化和数字化的完备。工业生产从历史的角度来看,是一个以人为主导的过程到以机器为主导的过程,智能化就是通向该过程的桥梁。

智能算法在冷轧生产中的研究已经颇多,以板形预测为例,在目前较多的研究中,应用人工智能算法对板形的预测准确率通常能达到95%以上甚至更高,但是,许多研究便止步于此。智能化的应用不仅仅在于预测,尽管预测等可以做到减少人工的参与,做到更精准地判断与分析,但对于智能控制而言,不应仅仅如此,在大数据化的冷轧工业生产下,智能控制所需要做到的,是发现问题、解决问题、学习问题、预测问题及分析报告的能力。详细来说,上述五个步骤不仅可以形成以数字化为基础,以数据为驱动的,甚至优于操作人员面对冷轧生产问题而实现精细的智能控制,还可以进行对生产问题的自学习,通过数据分析进行生产问题预测以实现从源头上杜绝问题的发生,还可以形成信息化的分析报告,方便技术人员进行对智能控制系统及生产工艺的进一步优化,方便管理人员对企业路线进行决策优化。

3.2 提质增效

历史告诉我们,我国的冷轧生产技术经历了从提产量到提质量的转变,根据历史发展规律和现在冷轧生产的问题,在质量得到提升后,在保质的前提下保量,是我们现在需要着手的目标。同时国家提出的供给侧改革措施,应从企业和产品的角度入手,减少低端的过剩的产能和库存,增多和培育高端的产品,从整体上提高产品层次和企业效率。

工业生产的基础便是高效和稳定,这在冷轧生产中意味着更高的成品率和更低的生产事故。宽薄带钢,强度高的带钢,必然带来更多的问题。如DC01不锈钢,随着用户对产品质量要求的不断提高,不能保持100%的良品率,且会随着用户的要求提高而导致良品率的进一步下降。

较高的良品率才能保持较低的成本,才能在激烈的市场竞争中存活下来,我国的工业发展是绝不允许“劣币驱逐良币”现象发生的。因此,在保证高产品质量的前提下,提高该产品的合格产量,提高产品竞争力,是目前亟待解决的问题。

3.3 自主发展

自主发展是一个国家的核心竞争力,对于我国目前的冷轧生产而言,其大多的核心设备和控制系统都向国外进行购买,也存在着相应的问题。以控

制系统为例,大多钢厂的控制系统购买时间为二十世纪初,之前所使用的控制系统有时不能很好地解决目前生产的问题,例如生产高强钢时,ASC控制系统不能对其产生的1/4浪进行调节,冷轧生产双相钢时,其厚度呈现类周期性波动的问题也很难通过AGC进行解决。这种随着我们高附加值产品的冷轧生产所呈现的问题,是当初建立控制系统时所无法预料且难以解决的。

为了解决上述问题,提高我们的产品附加值,提高产品竞争力。国产化的冷轧控制系统也是我们所要追求的目标之一。同时,控制系统可以随着我国自主智能化的发展而替代原有的国外控制系统,掌握核心技术才能掌握话语权。

我国的冷轧技术发展,应该以中国制造2025为根本,切实研究钢铁企业痛点的问题,提高我国冷轧生产技术水平,形成一套完整自主的冷轧生产体系。

4 结论

从追求产量到追求质量,从解决中国人民内部需求到发展国家经济走向世界,经过我国轧钢人员近70年的不懈奋斗,我国的冷轧技术水平已经位于世界前列,对于冷轧技术的进一步发展也有了更深层次的思考。

(1)冷轧生产工业的发展是一个不断追求产品质量和生产效率的过程,从保量生产到追求高品质带钢,从高品质带钢的优量生产到追求更高品质的带钢。这是一般事物的发展规律,更是冷轧生产技术的发展规律。目前我国正处于第二、三个阶段交汇处,该问题需要我们对生产设备,控制手段具有更进一步的理解和把控,才能更好处理新发展中产生的新问题。

(2)冷轧工业生产应紧紧跟随国家步伐,把握时代发展机遇,以中国制造2025为蓝本,研究智能化的生产体系,该体系需要打破钢铁生产的多工序壁垒,进行数智化的生产信息整合,构建产业生态,

协同发展。智能制造的根本,是为了指导生产为目标而创造的,不论是指导生产实际还是生产规划,开发人员所研发的智能系统都应该以此为导向,抓住痛点问题,才能建造一个完备独立的智能化工厂。

(3)我国冷轧技术目前已处于世界前列,但在设备与控制方面仍大多依赖进口,企业应该努力提高冷轧国产化水平,掌握核心科学技术,在设备、控制、管理三个方面拥有全套高效的自主能力,才是不畏技术垄断,引领世界发展的根本途径。同时,智能制造是打破技术垄断,实现冷轧生产技术的跨越式发展,达到冷轧生产完全自主化的必经之路。

[参考文献]

- [1]居发亮.我国冷轧板带材生产技术现状及发展方向[J].内燃机与配件,2018(16):121-122.
- [2]谢东钢,高林林.我国冷轧板带材生产技术现状及发展方向[J].重型机械,2011(4):2-6.
- [3]肖白.我国冷轧(宽)板带生产现状及发展趋势[J].中国冶金,2004(4):14-18.
- [4]本溪钢铁公司.我国第一套1700冷连轧板机[J].重型机械,1978(1):54-55.
- [5]张树堂.冷轧板带钢生产现状及发展:薄钢板质量研讨会论文集[C].2000.
- [6]高峰,马卫山,李海涛.自动板形控制在冷轧带钢生产中的实现:2008年河北省轧钢技术与学术年会论文集(下)[C].2008.
- [7]王国栋,刘相华,王军生.冷连轧厚度自动控制[J].轧钢,2003(3):38-41.
- [8]孙立峰.UCM、CVC、VCMS六辊冷轧机机型比较[J].一重技术,2008(5):5-7.
- [9]李菡丹,郝雅丽.太钢“手撕钢”团队“中国制造”迈向“中国精造”[J].中华儿女,2020(9):28-29.
- [10]王业科,梁勋国,谢二虎.智能制造在冷轧工厂的应用思考:2018年全国冷轧板带生产技术交流会、2018年全国热轧板带生产技术交流会论文集[C].2018.

收稿日期:2022-02-28

作者简介:孙文权(1982-),男,博士,副研究员,主要研究方向为带钢生产质量控制技术、轧制工艺机理及大数据模型应用研究。