综述与评论。

我国热轧过程控制计算机系统及数学模型的发展

刘 文 仲

(北京科技大学 高效轧制国家工程研究中心,北京 100083)

摘要:根据国内热轧过程控制计算机系统及数学模型的设计、开发和投入运行情况将其分为6种模式,并从硬件 和软件配置方面全面总结了国内热轧过程控制计算机系统的发展及应用,从引进的国外公司热轧数学模型的 对比、选择、使用及改善等方面总结了热轧数学模型在我国的发展历程及应用,并提出了对模型应用的几点认 识与思考。

关键词: 热轧带钢轧机; 过程控制计算机; 数学模型

中图分类号: TG334.9 文献标志码: A 文章编号: 1000-7059(2012) 014-0001-07

Development of steel rolling process control computer systems and mathematic models in China

LIU Wen-zhong

(National Engineering Research Center for Advanced Rolling Technology, USTB, Beijing 100083, China)

Abstract: Domestic hot rolling process control computer systems and the mathematic models are divided into 6 kinds of patterns considering their design, development and running. The development and application of the domestic hot rolling process control computer systems are completely summarized from hardware and software configuration. The development and application of the hot rolling mathematic models are summarized based on the contrast, selection, use and improvement of the introduced models from foreign companies, and some cognition and thinking about the application of the models are put forward.

Key words: hot rolling strip mill; process control computer; mathematic model

0 引言

近几十年以来,热轧过程控制计算机系统及 数学模型迅速发展并逐渐成熟,而且取得了明显 的经济效益。这里所说的热轧过程控制计算机系 统是指 Level 2(过程自动化级)和 Level 1(基础自 动化级) 计算机系统的统称。

1978年12月投入生产运行的武汉钢铁(集 团) 公司 1 700 mm 热连轧机计算机控制系统,是 我国改革开放以来引进的第1套热轧过程控制计 算机系统。从那时算起,30多年来,我国有几十套 热连轧机过程控制计算机系统及其数学模型投入 运行。作者总结了这些项目的设计、开发及投入 运行情况,归纳出以下6种模式。

第1种,全面引进,即国外公司总承包、技术 总负责,计算机硬件、软件和数学模型全部从国外 引进。例如国内 1 450 mm(含) 以上热连轧机过程 控制计算机系统及其数学模型 70% 以上从国外引 进。

第2种,外方总承包,中方分包。这种模式只 有一个特例。20世纪90年代初,宝钢集团梅山钢 铁有限公司 1 422 mm 热连轧机计算机系统采取的 模式为:外方(美国 AEG 公司)总承包、技术总负 责;中方(武钢、北京科技大学)又从美国 AEG 公 司分包了部分软件编程和现场调试工作(包括 Level 1 和 Level 2 计算机)。但是该生产线在 2002 年进行第 2 次改造时,计算机系统及其数学模型 就又采用了第 1 种模式,由美国通用电气公司 (GE) 总承包。

第3种,Level 1 引进,Level 2 计算机由国内设计和开发。这种模式在热连轧也只有 1 例,宝山钢铁股份有限公司 1 880 mm 热连轧机的 Level 2 计算机及其数学模型由宝钢自主设计和开发完成;Level 1 从日本东芝三菱(TMEIC)公司引进。

第4种,数学模型和部分关键软件引进,计算机应用软件由中、外合作设计和开发。以宝山钢铁股份有限公司1580 mm 热连轧机和鞍山钢铁股份有限公司1780 mm 热连轧机的计算机控制系统为代表,采取的模式为: 软件系统由中、外双方联合设计、开发和调试。在这以后,虽然有许多引进合同中也写着"联合设计"、"合作开发",但是实际上外方只让中方技术人员编写 HMI 画面和报表软件,因为其核心技术的软件已经标准化、产品化了,不再需要重新编程了。

第5种,硬件引进,软件由国内自主设计和开发。这种模式的第1个实例是于20世纪80年代末完成的武钢1700mm热连轧机计算机控制系统更新改造工程,采取的模式为:中方总承包,技术总负责,即从国外仅引进计算机硬件,全部应用软件(包括数学模型)的设计和开发由国内自主完成。

第6种,硬件自主集成,软件国内自主设计和开发。这种模式的实例以鞍钢1700mm中薄板坯连铸连轧、鞍钢2150mm热连轧机、济南钢铁集团1700mm热连轧机、鞍钢营口鲅鱼圈1580mm热连轧机等为代表,采取的模式为:国内单位总承包,技术总负责,即先从国际市场采购硬件部件,然后自主集成Level1硬件系统,全部软件由国内自主设计和开发完成。

通过从国外引进、国内自主集成与开发这两种主要途径,我国钢铁行业已经配备了世界上最先进的轧钢过程控制计算机系统及数学模型。以热轧为例,30多年来,我国已经引进了世界所有著名公司的带钢热连轧计算机控制系统及数学模型,这在世界上是仅有的现象。作者统计了国内1450mm(含)以上60条热轧生产线的情况,其中常规热连轧44条,中薄板坯连铸连轧4条,炉卷气门994-2021 China Academic Journal Electronic 轧机2条,薄板坯连铸连轧10条(其中7条CSP、3

条 UTSP(超薄带钢生产线,又叫 FTSR))。按照不同国外公司分类,引进的热轧计算机系统及数学模型的情况归纳为表 1。

表 1 不同公司供货计算机系统及数学模型的情况

Table 1 Different companies supply computer systems and mathematic models

序号	公司名称	计算机控制系统 供货(套)	数学模型 (套)
1	西门子 (Siemens)	17	17
2	日本东芝三菱 (TMEIC)	10(其中 1 套仅 L1)	9(1套国内)
3	日本三菱电机 (Melco)	5	5
4	奥钢联 (VAI)	4	4
5	美国通用电气 (GE)	2	2
6	德国西马克 (SMS)	2	2
7	瑞典 ABB	1	1 10
8	科孚德(Converteam)	1	1
9	美国 Tippins	1	1
	总计	43	42

①该数学模型不是由瑞典 ABB 提供,而是由美国 IPSS 公司提供。

从表 1 可以看出, 国外引进的热轧计算机系统 43 套, 占 71.67%; 国内自主集成、开发的 17 套, 占 28.33%。引进的 43 套热轧计算机系统中西门子、东芝三菱、三菱电机这 3 家公司的共 32 套, 占 74.42%。除表 1 列出的以外, 还有如下国外公司为国内提供过热轧数学模型: 日本新日铁、东芝和东芝 GE(TMGE), 德国 AEG(这个公司现在已经不存在了), 意大利安萨尔多(Ansaldo), 美国 AEG, 法国阿尔斯通(Alstom)和 Ceglec等。只不过一些生产线后来又进行了设备更新改造, 更换了计算机系统供货商, 随之也更换了数学模型。另外, 有几个国外公司进行了重组, 所以这些公司的名字没有在表 1 中出现。

1 热轧过程控制计算机系统的发展及应用1.1 硬件配置

1.1.1 Level 1

在 Level 1 控制器的选择方面,国外承包公司不允许买方使用第 3 方的控制器,除非该公司没有 Level 1 高性能控制器产品。其理由与其说是熟悉自己控制器的软件开发环境,不如说是市场和商业利益的驱使。国际上著名的、能够用于热轧过程控制的高性能控制器有西门子公司的 TDC、TMEIC 公司的 V 系列、三菱电机公司的 Melplac、GE公司的 Innovation 及 VMIC、ABB 公司的 AC800PEC、

SMS 公司的 XPACT-VME、Ansaldo 公司的 HiPAC、美 Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net 国西屋公司的 WDPF 等。这些产品都能满足热轧 生产控制的要求,在我国热轧过程控制上都有应用。比较上述公司控制器产品的不同性能指标实际意义不大,这是因为如果选择了西门子,就意味着选择了 TMEIC,就意味着选择了 V系列。除非只从国际市场上采购零部件,自己集成高性能控制器,例如使用 GE 公司的 VMIC 控制器,或者使用 GE Fanuc 公司的 PAC Systems RX7i

进行 Level 1 高性能控制器的集成。

Level 1 控制器的硬件配置一般是按照生产区域和功能相结合的方法进行的。表 2 给出了西门子公司 Level 1 控制器的典型配置。按照热轧生产区域分成粗轧、精轧、卷取 3 个区,每个区域内按照控制器功能又分成公共控制器、机架控制器和介质控制器 3 类。

表 2 Level 1 控制器的硬件配置

Table 2 Controller hardware configuration (Level 1)

区域	控制器名称	控制器数量	完成功能
粗轧	粗轧公共控制器	1台TDC	材料跟踪、设定数据处理、实际值处理、轧线协调、速度控制、张力控制、模拟 轧钢、入口/出口辊道控制
	定宽压力机机架控制器	1台TDC	机架管理、压下控制、换辊
	R1 机架控制器	1台TDC	机架管理、压下控制、AGC、侧导板控制、换辊控制
	R2 机架控制器	1台TDC	机架管理、压下控制、AGC、侧导板控制、换辊控制
	E2 机架控制器	1台TDC	机架管理、HGC、AWC、SSC
	粗轧介质系统控制器	1 台 S7-400	油库、润滑及除鳞泵站控制
精轧	精轧公共控制器	1台TDC	材料跟踪、设定数据处理、实际值处理、轧线协调、速度控制、机架间冷却水控制、模拟轧钢
	精轧机架控制器	7 台 TDC (7 机架)	机架管理、HGC 和 AGC、侧导板控制、活套控制、弯辊和窜辊控制、换辊控制、 动态板形控制、轧机零调、流体控制
	精轧入口和出口控制器	1台TDC	飞剪控制、飞剪侧导板控制、除鳞控制、层流冷却控制
	精轧和卷取介质系统控制器	1 台 S7-400	油库、润滑及除鳞的泵站控制
卷取	卷取公共控制器	1台TDC	材料跟踪、设定数据处理、实际值处理、轧线协调、速度控制、运输链控制、模拟轧钢
	卷取机工艺控制器	3 台 TDC (3 台卷取机)	液压辊缝控制、侧导板控制、夹送辊控制、助卷辊控制、卷取张力控制、卷筒控制、钢卷冷却控制、卸卷小车顺序控制、带钢尾部位置控制、AJC

根据各热轧生产线机械设备的配置不同,表2 所示的功能分配将有所改变。

1.1.2 Level 2

Level 2 计算机机种和机型的选择与当时国际计算机硬件的发展水平密切相关。Level 2 计算机的选型经历了 PDP11 计算机、VAX 机、Alpha 服务器、PC 服务器以及容错计算机(例如 Stratus ft Server)等不同的机种和机型,而现在则以惠普 PC 服务器居多。在 Level 2 计算机的选型方面,国外承包公司允许中方选择第3方(例如惠普公司)的计算机。以西门子公司为例,该公司首先推荐西门子与日本富士通合作生产的 Primergy 服务器。如果中方坚持使用惠普公司的服务器,西门子公司在我国不同的热轧项目中既有配置 Primergy 服务器的情况,也有配置 HP ProLiant 服务器的情况。

Level 2 计算机的硬件配置分为集中型硬件配置和分散型硬件配置。集中型配置的特点是 1 台 (2)1994-2021 China Academic Journal Electronic 计算机完成轧线控制的所有功能; 分散型配置的 特点是多台计算机完成轧线控制的所有功能。表3给出了集中型硬件配置的实例,这是TMEIC公司的典型配置。国内也有采用这种配置的。

表 3 计算机配置(集中型)

Table 3 Computer configuration(centralizing type)

计算机名称	数量
Supervisory L2 and Process Models Server(过程控制服务器)	1
Data Base Server (数据库服务器)	1
Development Server (软件开发服务器)	1

表 4 给出了分散型硬件配置的实例,这是西门子公司的典型配置。国内也有采用这种配置的。

表 4 计算机配置(分散型)

Table 4 Computer configuration (distributing type)

区域或功能计算机	计算机名称	数量
粗轧区过程控制计算机	Process Computer RM	1
精轧区过程控制计算机	Process Computer FM	1
层流冷却区过程控制计算机	Process Computer CS	1

1.1.3 通信网络配置

Level 2 计算机和 Level 1 控制器之间的数据交换通过光纤工业以太网实现,也有的采用内存映像网。Level 1 控制器之间的数据交换通过各公司的超高速网实现,例如西门子的全局数据内存网(GDM)、TMEIC 的 TC-Net 等。

1.2 软件配置

Level 2 计算机的软件配置包括系统软件、中间件(支撑软件)和应用软件的配置。

1.2.1 系统软件

Level 2 计算机系统的软件配置随着软件产品的不断更新而改变,表 5 给出一个应用实例。

表 5 系统软件基本配置实例

Table 5 Practical example of basic configuration of the system software

软件类型	名称	厂商
操作系统	Windows 2XXX Serve	er Microsoft
	Service Pack	Microsoft
	Internet Explorer	Microsoft
诊断软件	Insight Manager 7	HP
开发软件	. net $C++$	Microsoft
数据库	Oracle	Oracle
备份和恢复	ARCserve	CAI
杀毒软件	Virus Scanner	Trend Micro Inc.

Level 1 控制器的系统软件由控制器制造厂商 提供,或者使用第 3 方系统软件,例如 VxWorks,而 编程工具则使用梯形图、功能块图、顺序功能图、 连续功能图等,遵循 IEC61131 标准。

1.2.2 中间件

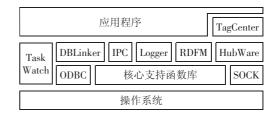
中间件是在操作系统和应用软件之间的一类 软件。可以说中间件是一个具有承上启下作用的 应用支撑平台。中间件能够屏蔽异构系统的差 异,统一应用软件的开发环境,使得软件开发、维 护更加便利。所以对于应用软件开发来说,中间 件比操作系统更为重要。国际著名电气公司都开 发了自己的中间件,并对用户都不提供源代码。

例如日本三菱电机公司的中间件由以下模块构成:进程管理(COMSUB);文件管理(DRBF);通信管理(LAN IF);报表和记录管理(LOGMNR);报警和历史数据管理(ALMMNR / History);HMI管理(SOPMNR3);跟踪管理(TRKPCR)。TMEIC公司的中间件是PAS,它是在美国GE和东芝GE自动化系统公司(TM GE Automation Systems LLC)中间件的基础上发展起来的,这是至今为止,在我国

用于热轧过程控制计算机的、功能最完善的中间件,已有许多应用实例。西门子和西马克公司的中间件是基于公共对象请求代理体系结构(CORBA)设计的,西门子公司通信软件中间件采用TAO(The ACE ORB),西马克的中间件是CBS-K,这两家公司中间件的主要功能与三菱电机公司中间件类似。

分析和比较国外公司用于热轧过程控制的中间件,可以归纳出这类中间件应该具备的基本功能包括进程管理、实时文件管理、通信管理、报警管理、日志管理、HMI管理等。

国内自主开发的用于钢铁工业的中间件主要有北京科技大学高效轧制国家工程研究中心的过程控制开发平台(PCDP)^[1]、冶金自动化设计研究院的开发平台^[2] 和宝钢的过程控制软件包(PC-SP)^[3]。其中在国内应用最多的是 PCDP,该中间件产品的系统构架如图 1 所示。



Task Watch—进程管理; DB Linker—数据库连接管理; IPC—进程间通信管理; Logger—日志报警管理; RDFM—实时数据文件管理; Hub Ware—外部通信管理; Tag Center—HMI 变量管理; ODBC—开放数据库互连; SOCK—网络编程接口。

图 1 PCDP 软件架构

Fig. 1 PCDP software architecture

1.2.3 应用软件

应用软件是实现热轧生产过程监督与控制的程序集合。按照当前国际上的流行方法,热轧过程控制的应用软件划分成两大类:一类用于实现控制功能,也就是利用数学模型实现的功能(又叫模型软件);一类用于实现非控制功能,非控制功能软件是为控制功能软件即数学模型服务的,非控制功能软件包括 PDI 数据处理、轧件跟踪、设定数据发送、实际数据采集、HMI、报表和记录、历史数据处理、模拟轧钢等。

主要应用软件功能的示意图见图 2。

我国热轧过程控制计算机系统都采用了图 2 所示的应用软件,应用软件的功能见参考文献 [4]。 」 此 以国外引进的热轧应用软件都实现了产品化、模 ine

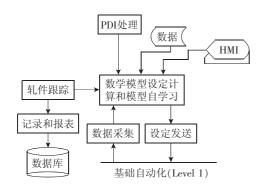


图 2 应用软件功能

Fig. 2 Function of application software

块化,适用于各种类型的热轧生产线。应用软件采用 C 或 C++语言编程,并广泛使用 C++类。一些国外公司制作的模型软件能够适合于各种类型的热轧机,只要根据具体的工艺设备布置和轧机参数进行参数配置,就可以生成实用的模型软件,避免了繁琐的编程和程序调试工作。国外公司对核心软件进行了封装处理,以保护其专有技术。近些年,国内自主开发的热轧应用软件也追随以上技术发展趋势,逐渐缩小了与国外的差距。

在国内不同的热轧生产线,非控制功能软件时常发生的主要故障有轧件跟踪错误和计算机通信错误。轧件跟踪错误是由跟踪检测器的错误信号引起的,在轧件跟踪程序中,需要根据生产线的具体情况,对跟踪检测器信号进行逻辑严密的可靠性检查和相应处理。在国内生产线常发生的Level 1 收不到 Level 2 发送的设定数据, Level 2 收不到 Level 1 采集的实际数据,都属于计算机通信错误,要避免计算机通信错误,除了排除网络硬件故障外,在软件方面要有通信监听、数据发送与接收的应答、通信超时检查以及出错处理等措施。

2 热轧数学模型的发展及在我国的应用状况

数学模型是热轧过程控制计算机系统的核心与关键,建立和使用高可用性、高精度的数学模型,是提高产品质量的技术基础。

通常热轧数学模型包括设定模型、控制模型以及数学模型的自学习。设定模型用于计算各种设备的设定值,按照生产区域划分,有加热炉设定模型、粗轧设定模型、精轧设定模型、板形设定模型、卷取设定模型等。控制模型用于计算控制量,包括设备动作控制量、产品质量控制量、产品性能控制量、各种能源介质控制量等,例如加热炉燃烧控制模型、宽度控制模型、轧制节奏控制模型、板

形控制模型、精轧温度控制模型、卷取温度控制模型等,近年发展起来的带钢性能控制模型也属于 这类模型。

2.1 国外公司热轧数学模型比较

如何选择国外公司的数学模型,是选择机械供货商的模型还是电气、自动化供货商的模型,是技术人员在选择热轧数学模型时一直困扰的问题。其实,不同国外公司同一功能的热轧数学模型,其模型构成、模型程序启动时序、计算流程、模型计算的输出变量大都基本相同,只是模型名称可能不同,所采用的算法可能相同或相异。

例如轧制节奏控制模型有 GE 和三菱电机公 司的 MPC、TMEIC 的 MP、西门子的 MIP; 板形模型 有 GE 公司的 SSU、西门子的 PFC、三菱电机的 SAU(或 PCSU)、TMEIC 的 GSM、西马克的 PCFC; 轧机设定模型有三菱电机和 GE 公司的 RSU 和 FSU、TMEIC 公司的 RSUC 和 FSUC、西门子及西马 克、奥钢联公司的道次规程预计算。另外,轧制策 略模型(strategy model)是西门子、西马克、奥钢联 等欧洲公司命名的,虽然日本公司和美国公司最 初没有这样的叫法,但其相应功能却相同。轧制 策略模型实际上就是为模型计算准备必要的参数 (包括板坯数据、中间坯尺寸、产品目标值、轧机负 荷分配、张力、除鳞模式、冷却模式等等)。 近年 来,在TMEIC公司的设计文档中也出现了"strategy"这样的术语,大概是为了与欧洲公司统一,并 便于读者理解吧。

模型算法采用相同计算公式的,以轧辊接触 弧长计算模型为例,大都采用海基柯克(Hitchcock)公式:

$$L_{\rm d} = \sqrt{R' \Delta H} \tag{1}$$

式中, L_d 为工作辊接触弧长; R 为轧辊压扁辊径; ΔH 为压下量。另外,各公司计算轧制功率、轧制力矩、咬入角、压下率、变形程度、变形速度等的模型计算公式也相同。

模型算法采用不同计算公式的,以轧制力模型为例,除了西门子公司以外,其他公司都使用以下公式:

$$F = K_{\rm m} Q_{\rm P} L_{\rm d} W \tag{2}$$

式中,F 为轧制力; K_m 为变形抗力; Q_p 为应力状态系数;W 为成品宽度。只不过各公司 K_m 和 Q_p 的计算公式不同。例如三菱电机公司的变形抗力模型和应力状态系数模型都采用改进的志田茂模

型; TMEIC 公司采用井上胜郎的加工硬化与动态回复变形抗力模型。西门子公司的轧制力模型没有按 K_m 和 Q_p 两个函数之积的方法来考虑,而是用材料硬度和压下率的乘积,然后使用神经网络对计算结果进行修正。这是西门子与其他公司在模型算法方面的最大区别。不同公司虽然使用不同的变形抗力模型和应力状态系数模型,但是不论哪种形式的模型,所考虑的因素基本相同,例如变形抗力模型需要考虑钢的化学成分、变形温度、变形程度和变形速度的影响;应力状态系数模型需要考虑压下率、工作辊压扁辊径或轧辊接触弧长与平均板厚之比。

2.2 国外公司对数学模型的改进与完善

近些年来国外公司对热轧数学模型改进与完善的要点归纳如下:

- (1) 温度前馈控制、反馈控制和动态控制的功能由 Level 1 控制器迁移到 Level 2 计算机。这是一项功能分配方面的重大改变,计算机技术的发展,使得这些实时性很强的控制功能由 Level 2 计算机执行成为现实。这种功能分配方面的改变,可以使控制算法更加完善和灵活,有利于提高控制精度。
- (2)增加了轧机设定计算程序和模型自学习程序的启动次数。在轧件进入轧机以前,按照固定的时间周期(例如3s)启动轧机设定计算程序,然后将钢板分成头、中、尾3部分分别进行模型自学习。前者是为了能够根据轧线生产工况的实际变化,重新计算模型设定值;后者是为了增加自学习次数,以便提高自学习的准确性和稳定性。
- (3) 用有限差分法计算轧件温度。这同样归功于计算机技术的发展,能够将有限差分法用于在线计算,使得温度场计算更加准确。
- (4)使用轧制力分配法(FRDM)进行厚度分配,用牛顿-拉普森法(Newton-Raphson method)进行数值迭代计算,以便得到满足轧制力分配条件下每架轧机的出口板厚和速度。有了这项改进,就可以尽量减少使用压下率分配法进行厚度分配,更有利于板形控制。
- (5)使用更精细的辊缝(压下位置)计算模型和弹跳模型。在辊缝计算模型中,考虑了弯辊力、窜辊位置、工作辊磨损以及工作辊热凸度的补偿值。在计算轧机弹跳时,不但考虑了轧机的伸长,(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic 还考虑了牌坊变形和轧辊挠曲。

(6) 完善换辊后的辊缝自学习算法。这个新方法的核心思想是,对于换辊以后轧制的第 1 块钢,给定 1 个辊缝自学习初始值。这个初始值经过计算得到,即采集上 1 个轧制计划前 3 块钢的辊缝自学习值,经过极限值检查和滤波处理,存储在计算机中,作为轧制当前轧制计划中第 1 块钢辊缝自学习值的初始值;采集当前轧制计划前 3 块钢的辊缝自学习值,经过上述处理,存储在计算机中,作为轧制下 1 个轧制计划中第 1 块钢的辊缝自学习值的初始值,以此类推。

这些改进与完善,反映出热轧数学模型的发 展。

2.3 引进模型在我国的应用状况

2.3.1 模型选择

按照国内现状统计,热轧数学模型的占有率, 西门子公司排名第一,其次是 TMEIC 公司和三菱 电机公司。

作者调查发现同一钢铁公司的不同热轧生产线有可能引进的是不同公司的数学模型,例如武钢的1700 mm 热连轧机,最初引进的是日本新日铁公司和东芝公司的数学模型,后来经过计算机系统更新改造,使用了国内技术人员研发的数学模型;武钢2250 mm 热连轧机,引进的是西门子公司的数学模型;武钢1580 mm 热连轧机,引进的是西马克公司的数学模型。再例如太钢1549 mm 热连轧机第2次改造时,引进了西门子公司的数学模型,而后来新建的2250 mm 热连轧机引进的是TMEIC公司的数学模型;马钢CSP引进的是西门子公司的数学模型;两后来新建的2250 mm 引进的是TMEIC公司的数学模型,而2250 mm 引进的是TMEIC公司的数学模型,而2250 mm 引进的是TMEIC公司的数学模型,而250 mm 引进的是TMEIC公司的数学模型;同样的例子还有首钢迁安的2250 mm 热连轧机和1580 mm 热连轧机。

通常如何选择数学模型主要取决于其热轧计算机系统,特别是 Level 2 计算机。一般来说,选择了哪家公司的计算机系统,也就选择了该公司的数学模型。当然也有例外,例如 2009 年建成投产的沙钢集团 1 450 mm 热连轧机,计算机系统由瑞典 ABB 公司供货,但使用的却是美国 IPSS 公司的数学模型,该数学模型与 GE 的数学模型相似。这种特例是由卖方决定的。

还有一些生产线,除板形控制模型使用西马克公司的以外,其他模型均使用西门子公司或者blishing House, All rights reserved. http://www.cnki.net TMEIC 公司的数学模型。当然,也有许多生产线 全部使用同一公司的数学模型。

2.3.2 模型使用

作者调查中发现: 同一公司的数学模型在不同的生产线使用时,其计算精度有可能不同。这种情况的产生,不是数学模型本身造成的。

调查发现,模型的使用情况主要有以下 4种^[4]:(1)设定模型应用最好。基本都投入在线运行,而且使用效果明显。(2)温度控制模型应用较好。温度控制模型的使用效果与冷却设备的完好性、响应性及工艺制度的稳定性有密切关系。(3)板形模型普遍存在问题。虽然我国引进了国外各大电气公司、机械公司针对不同类型轧机的板形模型,例如西马克的 PCFC 模型、西门子的 PFC 模型、三菱的 PC 模型、奥钢联的 Smart Crown 模型等,但在使用过程中都存在不同程度的问题,其重要原因是在实际生产中,现场技术人员没有对轧辊初始辊形进行准确、及时地测量,且轧辊磨损模型和轧辊热膨胀模型得不到及时修正。(4)燃烧控制模型应用不好。有的一直没有投入在线应用,加热炉烧钢仍然依靠操作工和 PLC 控制。

2.4 对数学模型应用的几点认识与思考

有的钢铁企业在将同一公司的数学模型应用 在不同热轧生产线时有着不同的使用效果;有的 企业引进国外公司的数学模型,在外方验收考核 时精度很好,但在后来的大生产中却精度很差。 作者在调查了我国热轧过程控制数学模型的应用 状况以后,有如下认识与思考^[5]:

- (1)提高数学模型的计算精度是一个持之以恒的课题。数学模型的精度不是一成不变的,影响模型计算精度从而影响产品质量的因素很多。例如原料(或来料)特性(成分、温度、尺寸)发生变化、机械设备磨损、测量仪表噪声和零点漂移、工艺条件和环境条件改变等。
- (2)技术人员对数学模型的日常维护工作不可缺少。在线自学习是提高数学模型计算精度的有效方法,但自学习不是万能的,如果测量仪表不准确,轧件跟踪和数据采集功能不完善、处理数据方法不当,设备故障产生较大干扰,就会产生越学越坏,学习不如不学习的现象,这种现象在国内很多热轧生产线都出现过,在国外也见过。因此,自学习不能代替技术人员对模型的日常维护工作。
- (3)模型维护和改进不仅是模型技术人员的 (C)1994-2021 China Academic Journal Electronic 工作,还一定要有工艺技术人员的密切配合。在

实践中,更要注重提高数学模型计算精度在大生产中的稳定性,也就是提高数学模型在大生产中的适应能力,提高数学模型的"综合精度"。

(4)保持良好的设备状态和稳定的工艺制度是提高模型精度的必要条件。如果设备时常发生故障,工艺制度经常处于不稳定状态,再好的数学模型也发挥不了应有的作用。例如冷却水的喷水阀门故障,或漏水或失控,这在国内热轧生产线是普遍存在并经常发生的问题,出现这样的问题,对哪家公司来说,单靠温度控制模型都无法提高温度控制精度。

3 结束语

我国在热轧过程计算机控制系统及其数学模型方面与国外发达国家相比,还有很大的差距。在硬件方面,Level 1 使用的高性能控制器、PLC 和Level 2 使用的工业 PC 服务器、容错计算机依赖于国外产品(即便是自主集成 Level 1 高性能控制器,所使用的零部件仍然需要进口);在软件方面,中间件、应用软件、数学模型主要从国外引进;在数学模型方面,原创模型所占份额仍然较少。国内的产、学、研单位应该拓展交流与合作空间,在我国新一轮热轧过程控制计算机系统更新改造工程中共同发展。

参考文献:

- [1]宋 勇,苏 岚,荆丰伟,等. 莱钢 1 500 mm 热轧带钢 过程自动化系统 [C] //中国钢铁年会论文集. 北京: 中国金属学会,2005: 772-775.
- [2] 薛兴昌,黄维纲,胡仁安.工程科学的前沿技术——轧制过程自动化工程支撑体系[J].冶金自动化,2010,34(4):1-5.
 - XUE Xing-chang, HUANG Wei-gang, HU Ren-an. Frontier technology of engineering science engineering support system of rolling processes automation [J]. Metallurgical Industry Automation, 2010, 34(4):1-5.
- [3] 张志勇. 集成化过程控制软件平台 PSCP 开发介绍 [C] //中国钢铁年会论文集. 北京: 中国金属学会, 2005: 830-833.
- [4]刘 玠,杨卫东,刘文仲. 热轧生产自动化技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社,2006.
- [5]刘文仲. 中国钢铁工业数学模型的应用现状及对策 [J]. 中国冶金,2010,20(12):1-3.
- LIU Wen-zhong. Mathematical models application and Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net.gy,2010,20(12):1-3. [编辑: 沈黎颖]