

轧钢, 2005, 22(4):50-52

[2] Chu W Y, Qiao L J, Chen Q Z, et al. Fracture and Environmental Fracture. Beijing: Science Press, 2000: 120

[3] Hare T, Asahi H, Terada Y, et al. The condition of HIC occurrence of X65 linepipe in wet H₂S environment. Corrosion, 1999, 68(15): 429-435

[4] Gonzalez J G, Rodriguez, Hallen J M, et al. Hydrogen-induced crack growth rate in steel plates exposed to sour environment. Corrosion, 1997, 53(12): 935-943

[5] 张红梅, 忘宏斌, 刘振宇. X70微合金管线钢组织中针状铁素体细化机制研究. 材料热处理学报, 2006, 27(6):99-104

[6] 张全刚, 陈冬至, 周茂奇, 等. X70管线钢卷板的工业化生产. 轧钢, 2010(1): 55-57

热连轧MES系统的发展现状 & 展望

Development Status and Prospect of MES for Hot Rolling Mill Process

吕志民/LV Zhi-min

中国钢铁工业目前产量占世界钢铁总产量47%左右, 在世界钢铁业中占据极其重要的位置。从总体上讲, 中国早已是钢铁工业大国, 但仍不是钢铁强国, 在高端产品质量、投资收益比、吨钢单位能耗、人均吨钢产量等方面, 与国外先进水平仍存在较大差距。在经济全球化和市场竞争日益激烈的今天, 钢铁企业不能再单纯以产能增长模式作为企业的增长点, 而更应关注于市场需求及上下游之间制造协同, 实现面向客户需求的多品种、小批量、个性化生产组织模式, 适应市场多变的需求。

自2002年之后, 中国钢铁工业在国家“以信息化带动工业化, 信息化改造传统产业”的两化政策促进下, 纷纷进行信息化系统建设, 逐步形成以整体产销系统、ERP系统为企业级信息化系统、以MES为基础支撑系统的钢铁企业信息化系统整体架构。

在钢铁企业, 尤其是以板带为主要产品的钢铁制造企业中, MES系统成为信息化系统建设中不可缺少并且能够体现企业特色的信息化系统。图1所示为三层式钢铁企业信息化系统架构。在该系统架构中, ERP系统主要面向企业级业务管理, 强调信息的关联性和可管理性, 而PCS系统主要强调信息的时效性和可准确性, MES系统用于实现ERP系统与PCS之间的衔接、信息转换与处理、实时调度等, 消除钢铁制造过程不确定性、随机性因素等的影响。

本文以热连轧MES系统为背景, 介绍MES系统发展、应用现状及未来发展情况, 以期为企业决策者提供参考。

MES发展简介

钢铁企业信息化技术应用始终走在制造业的前列。1962年, 英国RTB钢铁公司将生产管

[知识小贴士]

DWTT(Drop Weight Tear Tester)性能是指落锤撕裂试验性能, 是管线钢性能评价的重要指标之一。由于管线钢落锤撕裂试验(DWTT)的结果与钢管全尺寸爆破试验结果相当吻合, 容易操作, 并且更接近材料的使用状态, 因此人们希望用落锤撕裂试验的锤断能量值来代替夏比冲击功值, 对高韧性、大壁厚的管线钢的断裂韧性进行评价。

作者单位: 北京科技大学高效轧制国家工程研究中心, 北京 100083

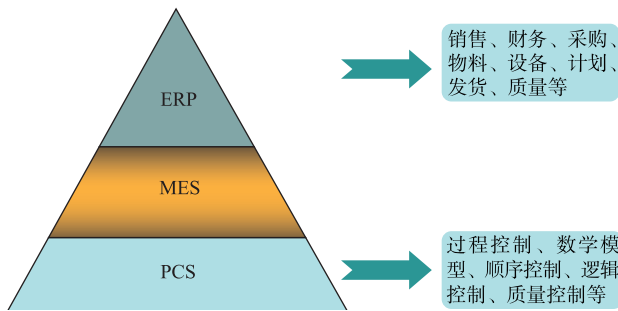


图1 三层结构的钢铁企业信息化系统

理和过程控制相结合，形成了一个分级的计算机控制系统，从下到上为生产过程级、生产控制级、生产管理级、全厂生产调度级，并按此4级编制工序计划调度方案。20世纪60、70年代，美国麦克劳思钢厂把计算机应用于热轧，建成热轧生产控制级系统。在20世纪70年代前，钢铁企业生产管理系统的建设目标主要是进行工序管理优化，即建设生产级控制系统。1973年美国学者哈林顿博士提出计算机集成制造—CIM(Computer Intergrated Manufacturing)的概念以来，钢铁企业在生产、经营、战略各个范围内广泛采用集成(一体化)，使企业效益不断提高。钢铁企业自动化分级控制系统的各级含义也逐渐明确，1989年美国普渡大学Williams教授提出Purdue模型，将流程工业CIMS自下而上分为过程控制、过程优化、生产调度、企业管理和经营决策等五个层次，国际标准化组织ISO在其技术报告中将钢铁企业自动化系统分为0~5级结构，该模型一般称为PRM(Purdue Reference Model)。基于PRM定义，热连轧自动化系统分级一般定

义为：

0级：传动级(Drive) 简称Level 0；

1级：基础自动化级(Basic Automation)简称Level 1；

2级：过程控制级(Process Control)简称Level 2；

3级：生产控制级(Production Control)简称Level 3。

在制造业信息化中，由于MRP II和DCS系统等IT技术应用、起步比较早，20世纪90年代逐步转向企业级ERP系统建设后，ERP层与DCS层之间出现信息断链，直接影响信息化系统运行效果，需要通过计算机系统对

两层的功能实现进行整合，并填充其间的空隙或狭缝。美国先进制造研究机构AMR(Advanced Manufacturing Research)在大量调研基础之上，1992年提出支持企业全面集成的MES(Manufacturing Execution System)概念，该系统是企业CIMS信息集成的纽带，是实施企业敏捷制造战略和实现车间生产敏捷化的基本技术手段。AMR定义了MES功能集成模型，1997年，制造执行系统国际联盟组织MESA (Manufacturing Execution System Association International)提出了功能组件和集成模型(如图2所示)，强调MES是一个与其他系统相连的信息网络中心，在功能上可以根据行业和企业不同需要与其他系统集成，为实施基于组件技术的可集成的MES提供了标准化的功能结构、技术框架和信息结构。图2所示模型主要为11个功能模块：①资源分配与状态管理；②工序详细调度；③人力资源管理；④数据采集；⑤文档控制；⑥质量管

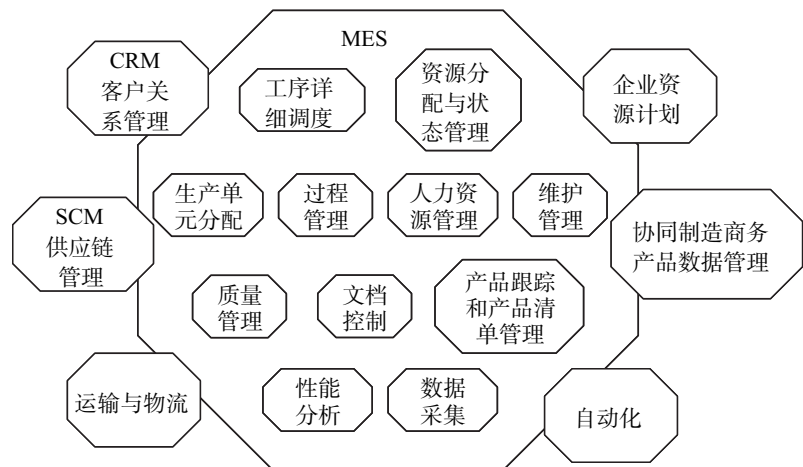


图2 MESA定义的MES应用功能集成模型

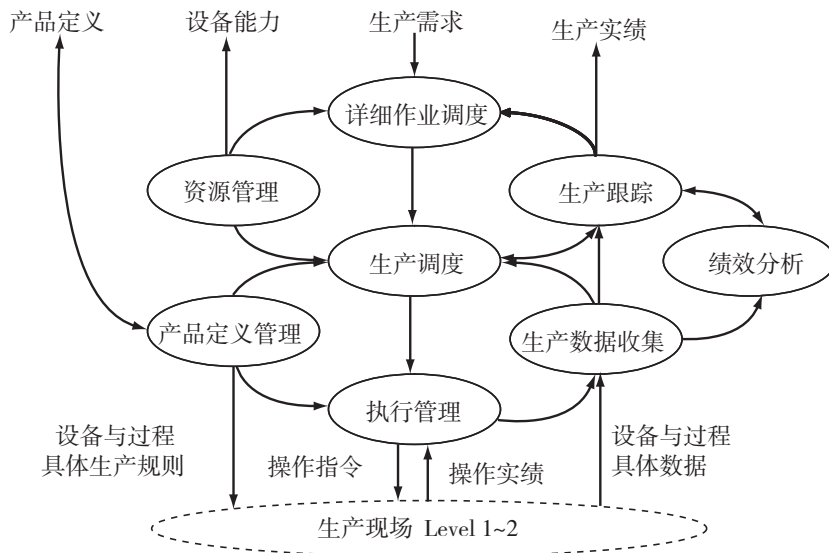


图3 S95中定义的生产操作管理中8类活动模型及关系

理；⑦过程管理；⑧维护管理；⑨性能分析；⑩生产单元分配；⑪产品跟踪和产品清单管理。

MESA提出的MES是一个庞大的系统，在实践中由于没有统一的管控系统集成技术术语、信息对象模型、活动对象模型和信息流的基本使用方法等，用户、设备供应商、系统集成商三者间的需求交流困难，不同的硬件、软件系统集成困难，集成后的维护困难。为此ISA(Instrument Society of America)提出了ANSI/ISA—95标准，用以规范“企业—控制系统集成”，该标准(简称S95标准)包括以下六个部分：模型和术语、对象模型属性、制造业务管理活动模型、制造业务管理对象模型和属性、商务到制造的事务处理、制造业务管理的事务处理等，其中第一、第二、第三部分已成为ANSI和IEC/ISO标准。S95的最大贡献在于统一了管控系统集成的术语、信息对象模

型及其数据结构、活动对象模型。

S95的第三、四部分定义了制造车间(第3层)中的8类活动模型：产品定义管理、资源管理、详细作业调度、生产调度、执行管理、生产数据收集、生产跟踪和绩效分析，以及这些活动模型之间的数据流，如图3所示。这些活动模型主要用于生产控制、设备维护、质量保证、库存管理等业务管理。从原材料、能源和信息到产品的转换过程中，这些活动对成本、数量、安全和时间等参数进行协调、指导和追踪。目前S95标准已成为指导MES系统设计的参考标准，多数钢铁行业MES系统在设计中均参考了该标准。

板带生产钢铁企业信息化技术重要性

在钢铁行业中，热轧板带生产是重要生产工序，目前我国有宽带钢热连轧生产线70余套，

设计能力2.0亿t以上，实际产能接近2.2亿t。对大型联合钢铁企业来说，宽带钢热连轧产品既是重要商品材，也是极其重要的冷轧原料，该工序在企业内部处于冷热工序衔接中枢，其质量控制与生产组织直接影响到企业的效益发挥。目前市场竞争条件下，热连轧工序的产品质量、节能降耗、满足客户个性化质量需求程度等技术需求，要求热连轧工序具备良好的信息化技术支持条件，支持企业在“以销定产”的生产组织模式下，按市场客户多品种、小批量、个性化需求组织热连轧工序的生产，并且支持企业级信息化系统的运行。

实践证明，在企业信息化系统整体建设中，为了保证信息化系统实施效果，真正发挥板带热连轧生产线生产效益，信息化系统中热连轧工序需要功能完善、运行良好的MES系统进行支持，否则热连轧生产线可能难以实现严格按市场需求组织产线生产。

为实现炼铸轧生产计划集成与调度功能，也需要热连轧工序具备良好的信息化支撑系统，以反映生产实际情况，为计划与调度系统提供决策支持信息，并保证制造过程高温物流、信息流高效同步运行，支持铸轧间高水平热装的实现，达到节能降耗、缩短产品生产周期的目的。

热连轧MES系统应用现状

由于热连轧MES系统在钢铁企业信息化中重要地位，2002年后实施信息化建设的钢铁企业，一般均同步实施炼钢、热轧MES

系统。但由于采用的技术方案、实施方法及企业自身信息建设等原因,使得信息化系统建设达到的效果、上线后运维水平等存在差异,也影响到产线能否按订单要求组织生产,实现高水平热装常规化生产等。

MES建设模式

国内钢铁企业在信息化建设中,在企业级信息化建设中选择整体产销资讯系统模式或者套件化ERP模式(主要采用SAP ERP或Oracle ERP套件),在外部咨询公司指导下完成企业级系统定制开发或者流程设计、上线运行等工作。但在MES系统建设方面,各企业根据自身信息化队伍实力或者定位,采用了不同的MES系统建设模式,目前主要的建设模式有:企业自主研发、引进加客户化定制、联合研发等。三者之间主要对比如表1所示。

在国内除了少数几家大型钢铁联合企业的信息化队伍具备较强的MES系统研发能力外,一般企业目前还不具备自主研发适用于企业生产实际的MES系统能力,或者由于对MES核心技术先进性掌握水平等原因,造成上线

后的系统存在一些问题。但总体上来说,由于MES系统不仅是一套计算机软件,其良好运行涉及管理及流程、工艺、管控集成等多方面实施水平,并且随着企业不断变化的业务需求和管理需求,需要进行升级及维护,由企业自主研发或者联合研发,将成为越来越多企业选择。

企业应用现状

由于受整体信息化解决方案、业务流程、系统集成等原因影响,目前国内钢铁企业热连轧MES系统应用情况差别极大。许多MES系统(包括引进的系统)上线后并未达到设计目标,虽然这些系统在实际运行中也发挥着重要的作用,但距S95标准中提出的管控系统目标还存在一定差距。另外也受企业未掌握核心技术等影响,使得系统上线后企业内信息化技术人员不能根据新的工艺或管理需求进行系统不断的升级与维护,逐步提高系统上线后使用水平。从管控集成和需求满足程度分析,目前热连轧MES系统上线应用情况分为以下几种类型:

管控系统高度集成 MES系统与

ERP、控制系统实现流程集成、部分企业仅实现信息集成,达到控制系统按管理系统要求目标进行工艺过程控制,可实现针对件次的个性化质量管控,并保证制造过程物流、信息流、资金流三流同步,提高了企业管控水平和决策水平,做到按市场需求组织生产,可适应多品种、小批量、个性化的板带产品市场趋势变化,也支持企业高端、高附加值板带产品的质量管控需求。

管控系统存在信息断链 由于信息化系统与控制未同步建设、或者其他原因等,造成企业的MES和控制系统未能实现双向信息集成,只通过实时数据采集系统或者其他技术手段实现单向的控制系统实绩采集,不能将控制目标按件次下达给控制系统,即MES系统和控制系统间存在信息断链。由于存在断链,难以实现真正的管控集成,达到按客户要求控制设备的目标,使得热连轧产线只能采用基于钢种、规格批量的生产组织模式,难以实现小批量、个性化的热轧生产控制,提高企业的产品的市场适应性和竞争力。

不断变化需求满足程度 MES系统上线后,常因工艺需求变化或者管控模式变化等原因,需要对MES进行不断升级维护,但部分企业信息技术人员由于未掌握MES系统核心技术、供应商未提供系统源代码、外方对系统加密等原因,造成系统不能满足企业不断变化的需求,甚至成为一些新工艺模式测试的障碍,影响到产线生产效益的发挥。采用自主

表1 不同MES建设模式对比

项目	企业自主研发	引进加客户化定制	联合研发
核心技术先进性	中	好	好
需求满足程度	好	中	好
上线后核心技术掌控	好	一般	中
知识转移程度	好	一般	好
MES系统架构统一	好	一般	好
MES上线周期	慢	快	中
系统的可维护性	好	差	好
工程造价	低	高	中

注: 1. 企业自主研发指由企业独立承担项目的整体设计、实施等; 2. 引进加客户化定制指采用国外MES系统整体方案或套件,并根据客户需求进行部分定制化配制工作; 3. 联合研发指由国内外专业的MES软件公司进行整体设计,企业技术人员参与整个系统的软件研发。

研发或者联合研发的多数钢铁企业，信息技术人员则可以根据业务需求变化，不断改进、优化系统，提高用户的满意度。

存在问题

经过近10年的钢铁企业信息化系统建设，国内许多钢铁企业在其信息化系统总体架构中建设有MES系统，有许多成功应用的案例，这些成功案例在企业的实际生产运营中发挥着极其重要的作用。但总结许多企业的MES系统建设经验，可以发现也存在许多问题，这些问题直接影响到MES系统的运行效果，主要有以下几方面问题：

未统一规划设计企业信息化系统整体架构 企业在进行信息化系统建设中，分期建设各生产分厂的信息化系统，未采用统一的规划，造成实际上线后，在不同产线或分厂间管控模式不统一、管理代码不统一的现象，对企业信息化资源的进一步利用和业务流程优化等造成障碍。

企业MES系统平台不统一，集成复杂 在信息化建设时采用多家供应商提供的MES系统，每家供应商采用的系统平台各不相同，不同厂家的MES系统存在差异。由于MES系统平台规范的不统一，造成跨系统的流程集成困难，一般只实现信息集成，直接影响到高效物流运行过程中，信息流、物流的同步运行。

非业务驱动MES系统建设 许多企业在MES系统建设中由信息化部门来主导系统建设，然而MES系统建设不仅是信息化问题，涉及到工艺、生产、技术质

量、存货、控制、财务等多方面具体业务的问题，更涉及到管控模式、跨系统业务流程再造与集成、绩效考核等问题。单纯的信息化人员在系统建设中解决不了上述问题，MES系统建设需要业务部门为主导，并根据企业的长远发展战略，制定未来的运行模式，然后选择合适的MES系统建设方案，使MES系统成为企业腾飞的助推器，而不是新业务模式发展的“瓶颈”。

升级维护团队能力偏弱 MES系统上线运行中需要根据企业不断变化的业务需求，由信息化技术人员进行持续不断的系统优化与改进，但目前许多企业重视建设，不重视运行中的升级维护，运行维护人员待遇偏低，难以吸引有能力的信息化人员。维护团队技术能力弱反过来又影响到MES系统的业务需求满足水平。

NercarMES系统简介

北京科技大学高效轧制国家工程研究中心研发钢铁企业MES

系统已10余年，已将热连轧MES推广到国内多家钢铁企业，目前已形成具有自主知识产权的MES产品。我们的NercarMES系统是在参考国外MESA、S95规范基础上，并借鉴国外一些成功解决方案基础上，结合国内的钢铁企业实际情况，完成系统的整体设计，并在实践中逐步完善、优化，而形成产品化解决方案。

NercarMES主要功能

NercarMES共有13个主要功能模块组成，如图4所示。在不同生产线应用时，根据企业的具体需求，功能模块或其中子功能均可以进行裁剪，以满足企业信息化整体集成需求。系统通过集成适配器与外部ERP、其他MES、控制系统、天车定位或LIMS等集成，实现面向业务流程的企业信息化系统整合，支持运行过程中的物流、信息流、资金流同步运行。该系统作为管控衔接系统，可以支持企业级ERP系统或整体产销系统的运行。整个系统以产线生产数据模型为核心，完成整

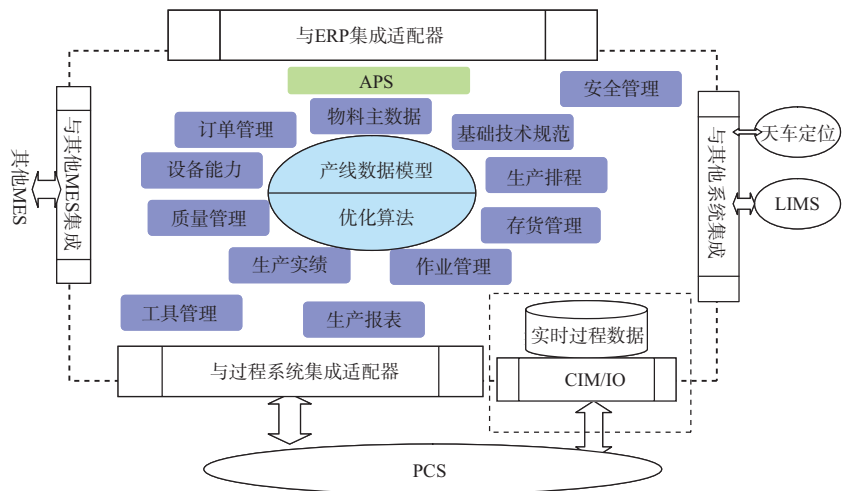


图4 NercarMES主要功能模块

个系统功能抽象设计及实现。

订单管理 订单管理功能负责内订单归并与拆分、订单执行状态、订单追踪、订单变更维护等,是实现“以销定产”生产组织的关键,各部分功能以订单进程为核心,完成生产、技术质量、存货、作业管理、发货等各部分之间协调。

基础技术规范 采用冶金规范体系的基础技术规范管理功能,实现与产线技术管理相关的制造工艺规范、质检判定规范等管理,满足客户个性化的(即“标准+ α ”)工艺管理需求。

物料主数据 物料主数据功能用于实现按ERP或产销系统需求进行产品报产,支持企业的多种财务核算体系。

设备能力 设备能力用于维护关键机组的作业日历、设备能力参数,支持APS功能运行。

生产排程 生产排程功能按技术规程需求的作业计划编制功能,以订单为驱动,基于件次作业排程,支持各种常见的铸轧衔接工艺需求:DHCR、HCR、CCR和专用炉热装生产作业模式。

存货管理 存货管理负责制造过程的合金辅料和生产物料两种类型的存货管理。对生产物料基于件次进行管理,合金辅料主要采用基于量平衡的物料管理模式。其中生产物料管理与生产排程协同考虑,提高存货管理合理性。

作业管理 作业管理功能实时跟踪、监控生产过程作业调度执行情况,并根据实绩进行作业调整,保证作业过程顺行。

工器具管理 工器具管理功能用

于管理对生产有重要影响的大型工器具,如轧辊、中间包、钢包、结晶器等,负责它们的全生命周期管理。

质量管理 质量管理功能用于根据订单质量需求进行取样、检验、判定等管理,以及质量分析等,支持面向订单的个性化质量判定需求。

生产实绩 自动采集或手工采集制造过程的生产实绩,并保证生产实绩数据的完整性及合理性,并按ERP或产销系统需求加工后上报实绩。

生产报表 根据管理需求提供相应绩效分析报表,用以指导绩效分析。

安全授权 按企业的组织架构和业务人员角色进行安全授权,并记录用户访问操作日志。

实时过程质量数据 根据用户需求,系统可提供制造过程带钢全长质量与工艺参数采集、存储和分析功能,并可通过MES系统功能界面进行集成访问。

系统特点

基于统一的流程数据模型设计、功能模块可以裁剪与适配 Nercar-MES在系统设计中考虑炼铸轧制造流程生产组织管理需求,进行统一的流程数据模型抽象与设计,尤其是物料状态、订单状态等转换,并不只考虑热连轧工序管理需求。在数据模型抽象基础上设计的功能模块可以根据企业需求进行裁剪、适配,形成具有不同企业特色MES系统。

以订单为核心,支持企业“以销定产,以产促销”的混合生产模

式 系统设计中“以订单追踪为核心,技术规范为桥梁”衔接各功能模块间业务需求,考虑目前国内钢铁企业的实际需求,系统同时也支持面向存货的生产管理模式,适应企业的“以销定产、以产促销”的营销策略。

基于件次的生产排程与作业管理

在生产排程和作业管理中,基于件次进行管理,可有效满足客户个性化需求质量管控要求,提高客户满意度。在作业排程中提供基于优化算法和人机交互式排程两种方式,并支持“拖拽式”作业排程调整功能。

支持各种常见铸轧衔接工艺 NercarMES系统支持铸轧间在统一的流程数据模型基础上,可根据用户工艺需求,支持各种常见铸轧衔接工艺:DHCR、HCR、CCR和专用炉混装工艺的生产排程和作业执行过程的快速调整需求。

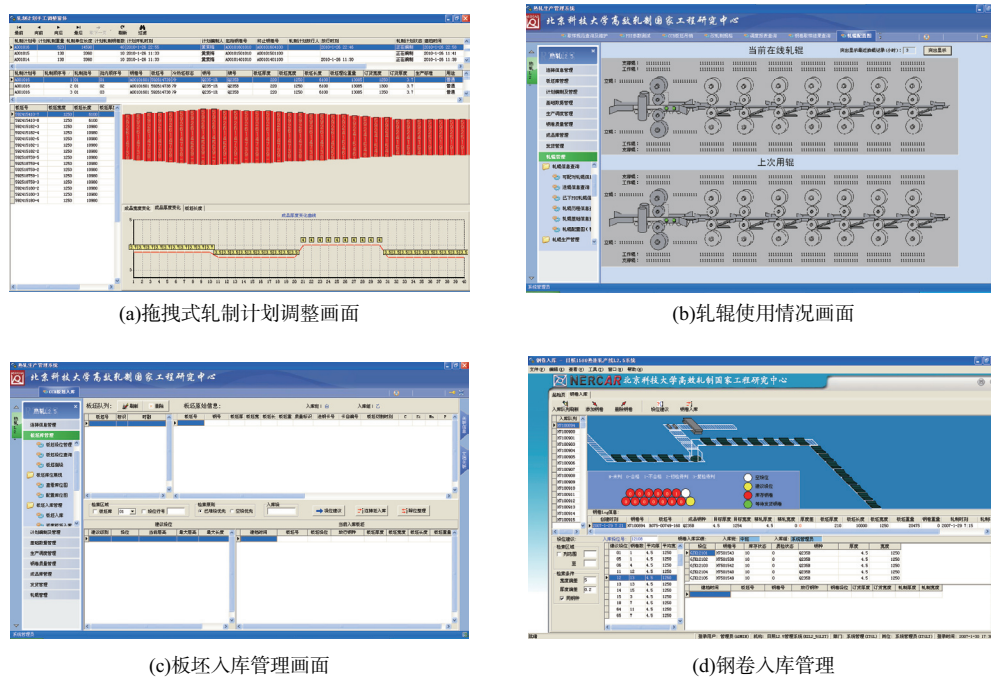
统一的平台与安全授权 系统基于统一应用软件平台设计与开发,采用统一的安全授权模式,支持B/S、三层C/S运行模式,系统升级维护方便。

实时过程数据与管控系统集成 最新提供的NercarMES系统中实现制造过程实时质量数据与管控系统基于件次的事件状态数据的集成,系统向用户不仅提供质量判定结果,也将提供指定物料制造过程工艺参数数据。

NercarMES系统部分画面如图5所示。

发展展望

随着钢铁企业信息化技术的应用,众多用户越来越意识到



(a)拖拽式轧制计划调整画面

(b)轧辊使用情况画面

(c)板坯入库管理画面

(d)钢卷入库管理

图5 NercarMES系统部分画面示例

MES系统的重要性，在信息建设中MES系统已成为不可缺少的管控系统和ERP运行支撑系统。随着技术的进步和业务需求的变化，钢铁企业MES系统将呈现出以下的发展趋势：

面向制造流程建设MES系统 由于钢铁企业中炼、铸、轧是三大不可缺少的工序，并且由于热装工艺将三大工序紧密衔接在一起，要求制造过程服从统一计划、统一调度，以提高制造过程的协调性，实现高水平的热装。随着国内钢铁企业对热装工艺高度重视，目前按分厂设计、实施MES的信息化解决方案，隔离了铸轧工序业务流程，采用简单的信息集成方案不利于实现热装过程高温物流、信息流高效同步运

行，以及跨系统的流程协调。面向制造流程设计、建设MES系统将成为未来发展趋势。

实时过程数据集成 由于对质量要求日益提高，及高品质带钢制造管理需求，将制造过程实时工艺过程数据与管控系统集成，实现多尺度产品质量信息集成将有助于企业提高、改善产品质量。

功能和流程标准化 在MESA、S95等规范的指导下，遵循这些规范研发的钢铁行业MES系统功能及业务流程将逐步标准化，跨不同供应商的MES系统间将有可能实现业务流程集成，而不是简单的信息集成。

与企业高级计划优化系统集成 随着钢铁企业新建产线产能释放，未来几年市场竞争将日趋激烈，

不提高服务水平将严重制约企业的市场竞争力。可以预见，越来越多的钢铁企业将逐步建设高级计划优化系统，实现面向全企业的产销优化。在钢铁企业建设高级计划系统时，MES系统将成为不可缺少的支撑系统，并且实现与高级计划系统的集成，向其提供和准备产线生产实际数据，以提高优化决策的合理性。

作者简介

吕志民(1971—)，男，博士，研究员，目前主要从事冶金企业生产计划与调度理论、冶金企业信息化技术等方面的研究。