

# 中厚板加工技术的应用与智能化升级

文 | 资明庚 · 珠海格力电器股份有限公司

中厚板材作为制造业重要的钢铁材料来源，是各类金属产品加工制造的基础，在国民经济建设各个方面发挥着不可替代的作用。随着经济发展的需要，对中厚板产品成本、质量和产量的要求不断提升，各种中厚板生产的新技术、新工艺、新装备不断出现。我国现阶段已逐步实现了中厚板轧机控制系统的研发应用、热处理技术的升级以及智能化加工技术的迭代等，而中厚板轧制生产线智能化控制系统的应用，利用机器视觉技术实现了智能化控制，实时调整工艺控制参数，保障了中厚板的加工效率和产品质量稳定性，显著提升了企业的经济效益。

## 引言

中厚板通常指厚度 4mm 以上的钢板材，广泛应用于造船、建筑、机械制造、交通运输和军事工业等领域。目前我国中厚板生产产品尺寸宽度在 2200-3000mm 占比最高，主要生产企业包括宝钢、鞍钢和沙钢，产能在华东、华北、中南、西南地区均有分布，其中华东地区产能最大，占比 35% 以上，华北地区作为我国最大的能源工业基地，也是中厚板的净流出区域，其产业链也最为完整。

中厚板作为制造业产品构成的一种基础钢铁材料，在国民经济建设中扮演着重要角色，随着市场消费水平的提升，下游企业对中厚板的采购质量和交付要求也日益提高，各种中厚板生产的新技术、新工艺、新装备不断出现。中厚板的轧制技术是现代冶金工业中的关键工艺之一，现代中厚板轧机通常包括特宽

和特厚板轧机，以及配套的板形控制技术，中厚板的生产流程主要包括成形轧制、展宽轧制和精轧，以确保钢板达到所需的尺寸和性能。如图 1 所示为典型的中厚板加工生产线配置。

中厚板轧机作为中厚板轧制最核心的装备，其控制系统水平决定着整条中厚板生产线的装备、工艺和产品水

平，是轧制工艺、自动化、计算机等多学科高度结合的产品。智能化控制技术是提升中厚板轧制精度和效率的重要手段，通过开发引入多智能体技术、平面形状控制系统和轧件自动跟踪系统，可以显著提高轧机的自动化水平和生产效率。这些系统利用神经网络和大数据分析，对轧制过程进行精确控制，减少了

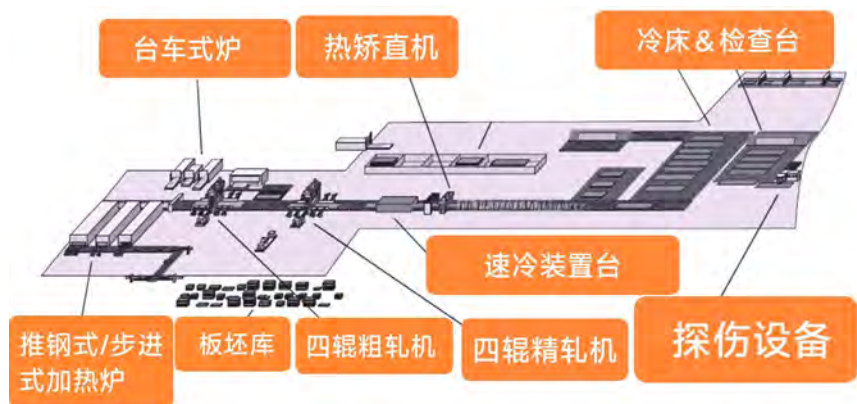


图 1 中厚板加工生产线配置示意图

厚度波动和侧弯等问题，提高了产品的尺寸精度和成材率。数字化生产监控也是现代中厚板生产中的重要组成部分，通过搭建基于工业互联网架构的数字化监管平台，可以实现对生产过程的全面监控和管理，包括设备运行状态、工艺参数、热处理状态、质量数据等方面的实时监控，以及对生产数据的分析、处理和优化。

### 中厚板加工工艺技术

中厚板轧制生产线工艺设备复杂，包括坯料上线、加热、除鳞、轧制、冷却、矫直、冷却和精整等步骤，而此过程所涉及的加工工艺和后续的热处理方式能够在很大程度上决定中厚板的成形性能。轧机区通常采用粗轧机和精轧机的配置，轧制过程采用控制轧件中间待温温度和厚度的控制轧制技术进行生产，控冷区通过水冷控制轧件降温，并与轧机区的控制轧制配合，实现轧件的性能优化控制。

#### 中厚板工艺模具设计

工艺及模具设计是保证产品按照既定的质量标准和生产效率生产的关键步骤，包括选择合适的加工设备、建立详细的工艺流程、设计精确的模具等。中厚板加工已从最初的手工作业模式到现代化的数控自动化集成应用，现代中厚板加工生产线通常配备先进的数控机床加工机，可以精确控制加工角度和位置，使中厚板加工精度和重复性得到显著提高。在开发工艺流程时，还需要考虑生产效率和成本控制，同时确保每一步都能达到预期的加工效果。

中厚板加工产品的工艺设计需要结合多学科知识的应用，如金属材料加工性质及相关的机械工程原理和制造工

艺，产品的功能要求和使用环境也会影响材料的选择和工艺设计，需考虑到材料厚度和材质的可加工性，考虑到材料的塑性变形特性，合理设定加工面积以避免过度拉伸或压缩，从而确保产品的尺寸精度和结构强度。在选择加工设备时，需要考虑设备的精度、稳定性以及是否适应不同厚度和硬度的材料。加工模具设计也是工艺设计的重要组成部分，它直接关系到产品质量和生产效率，良好的模具设计应确保加工过程中金属流动平稳，减少破碎和开裂的风险，并应考虑模具的耐久性和维护成本。

借助现代化计算机技术（CAD、CAM等），模具设计也更加精确和高效，甚至可以在设计阶段进行模拟和优化，通过计算机编程，精确控制加工机的动作，实现复杂形状的金属件的快速制造，而快速原型制造技术（Rapid Prototyping）的应用使得模具的修改和优化变得更加容易，缩短了产品从设计到市场的周期，智能组合模具的研发，使得模具在使用过程中能够实现快速切换与及时维护，提升了加工工序的生产效率。

#### 中厚板加工工艺控制

中厚板轧机自动化系统功能设计需考虑生产工艺特点，如小批量多品种、频繁变换品种规格等。系统功能模块包括垂直方向控制、水平方向控制和其他辅助控制功能。基于机器视觉的智能化控制技术有望解决转钢控制、平面形状控制以及异常轧制工况的问题。

板材制备工程化过程产品一致性和稳定性取决于过程精细化工艺控制。TMCP技术，即控制轧制和控制冷却技术，是指在热轧过程中，在控制加热温度、轧制温度、轧制速率和轧制压下

量的基础上，通过合金成分设计及控制冷却速率来实现所需相变产物的技术。控轧控冷技术核心是晶粒细化和细晶强化，现代TMCP技术可实现板材加热过程、轧制过程、冷却过程精确定量控制，具体包括以下：

（1）在线检测技术。应用温度三维热成像、在线XRD、在线测厚等数字化检测技术，并通过计算进行参数模拟，结合试验表征的性能指数情况进行参照，实现轧制过程可视化、可追溯；

（2）工艺过程数字自适应控制。数字化调控系统结合TMCP技术的应用，实时调控包括加热温度、转移时间、道次变形量、轧制方向、热轧速率、终轧温度、冷却方式、冷却速率等工艺参数，来实现精确调控变形组织、析出相、织构类型的目的，并与固溶强化、细晶强化、析出强化等手段互相配合，实现板材的强度和综合性能改善，以满足产品对材料性能稳定性、一致性的需求；

（3）板形液压辅助调控。轧制过程中通过在厚板轧机增加液压辅助调控系统，借助板型控制技术来消除由于温度不均匀所出现的性能不均匀问题。

### 中厚板热处理技术

中厚板热处理作为最重要的板材加工工序之一，其能够最终决定中厚板产品的应用性能。热处理工序相对轧线属于离线生产，在工厂内布局分布相对独立，可以作为一个单元体进行数字化建设。国内多数中厚板热处理生产线都是近年建设的，采用了先进的自动化技术，有较好的自动化基础，因此各企业都在积极探索热处理线数字化转型，实现智能生产，进一步提升生产效率和产品质量。

### 中厚板热处理生产线

中厚板热处理是钢铁企业生产高端钢板的重要环节，中厚板热处理工艺主要包括正火、退火、淬火和回火四种基本类型，热处理中厚板产量最大的是正火板，包括正火+回火，占有热处理产品的70%；其次是调质板，占15%；其他如回火等占15%。在一般情况下，锅炉压力容器钢板、海工用钢都是以正火状态交付。如图2所示为中厚板加工及热处理生产线现场。

热处理产品几乎涵盖了钢厂的所有生产工艺和检测手段，对于厚规格、高性能钢板，尤其是要求性能均匀性比较高的锅炉压力容器钢板、桥梁钢板、高层建筑钢板、z向钢板等，必须以热处理状态交付。中厚板热处理要求炼钢工序配备铁水预处理设施、LF/VD/RH等炉外精炼设施等；轧钢工序要配备有高刚度强力轧机、ACC(DQ)、强力矫直机、火焰切割等；热处理的钢板一般要求逐张探伤。探伤检测可安排在热处理之前，这样探伤不合格可直接改判以节省热处理费用，但正火通过再结晶细化均匀组织，对于某些微小的探伤缺陷有改善作用，尤其是合金含量较高的钢种，因此有些品种可安排在热处理之后探伤。

#### 热处理数字化技术的应用

热处理线涵盖的工序设备多达数十种，且大多呈离散型分布，涉及大量数据，管理过程繁琐，可通过信息化、数字化技术来进行集中管控。热处理操作流程包括：从钢板上料开始，由天车或磁力吊从原料垛位吊运至上料辊道，经抛丸机、热处理炉（完成淬火或回火处理）、矫直机（矫直平整板形）、运送至冷床冷却后入成品库等涉及20余道



图2 中厚板加工及热处理产线实拍图

次处理，按照分布区的信息流动进行管理，一般分为原料区、抛丸区、淬火区、回火区、矫直机区和冷床成品下线区等。

中厚板热处理线要采用数字化技术的首要条件，要求各个基本单元具有完备、可靠、性能优良的数据采集系统，可以提供精准、齐全的现场有关物料信息和实时操作数据、设备状态、料表面质量、成品性能等数据。同时，各工序的基础自动化系统和执行机构必须以足够的响应性、实时性和控制精度实现过程控制系统与物理系统的实时交互，完成需要的数字化、自动化控制过程。

当前主要是通过MES系统的二次开发，设置对应的功能模块，链接到各独立系统数据，实现互联互通，建立统一的数据平台，生产计划与产线设备及物流状态实时更新，并在高层次决策系统进行看板信息管理，即从信息到决策再到控制系统，实现统一协调和智能化控制的闭环管理。许多工厂由于受作业条件和技术水平的限制，一些数据难以检测，比如热处理上料标识信息、全流程板材位置的精准跟踪、淬火和矫直板形的测量等，可以采用各种新检测法来

实现信息感知，如利用机器视觉技术可以提供多维测量的信息，经过数据变换和分析，可以获得需要的板号、尺寸、形状、位置分布等定量的表达，以便后续数字化技术的开发应用。

### 技术发展未来展望

未来中厚板行业将超产品多元化、高端化，产线智能化、绿色化发展，在航空、航天、海洋、船舶、兵器等重工业行业发展前景广阔，这些对产品有着高质量要求的行业，将进一步促进中厚板生产向自动化、信息化、智能化发展。

船用板块的需求加速，随着全球化市场的进一步扩大，各地区对跨洋运输需求增长，且受航运船队老龄化运力更替以及新能源化的趋势影响，船舶订单的稳步回升，将带动船用中厚板需求更进一步。目前国内已实现全船95%造船用钢国产化，我国造船板产量也随之突破1000万吨大关。未来几年，我国船舶制造业仍处于高速发展期，也将带动造船板市场需求稳步增加。

中厚板辅助加工也随着大功率的光纤激光切割机、焊接、大型折弯、卷板

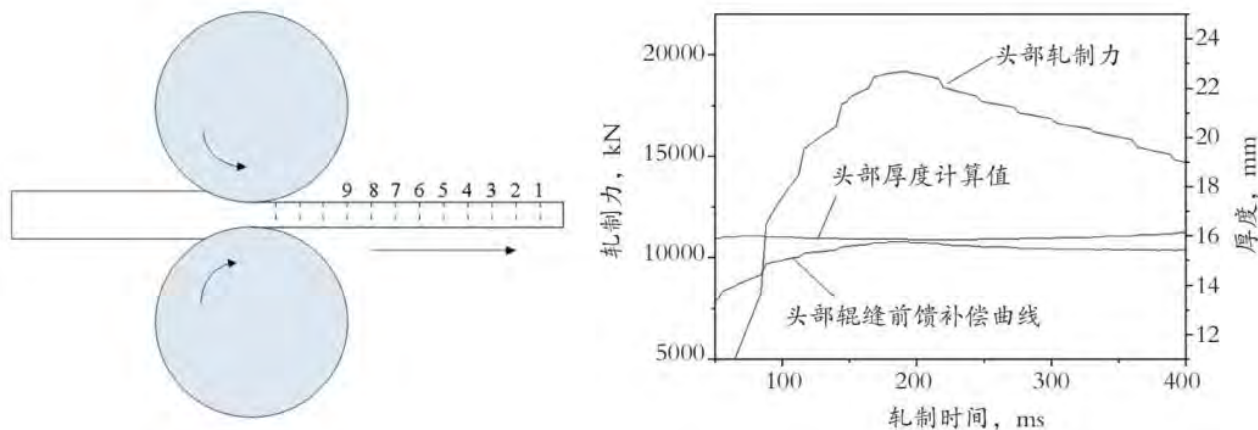


图3 轧制过程自适应控制系统参数曲线图

及自动化的成熟，更高效、更精准、更环保、更节能的激光切割机生产线正在取代原本由等离子、火焰、锯切等方式主宰的厚板切割方式，大型折弯机、卷板机、焊接机器人、搬运设备正在广泛使用。

轧制产线控制技术国产化，东北大学 RAL 实验室中厚板课题组利用虚拟化技术，构建了一套适合中厚板轧线的控制平台，该平台不仅可以实现传统系统平台的全部功能，还具备硬件资源利用充分，系统扩展方便，故障点少，应用迁移灵活等优点，可有效解决产线控制技术依赖国外技术封锁的困境，将对现有产线智能化升级带来促进作用。如图3所示为我国自研的中厚板轧制过程自适应控制系统参数补偿曲线图。

机器视觉的智能化应用，基于机器视觉的中厚板轧机智能化控制技术目前中厚板轧机自动化系统可以对常规轧制工艺过程进行准确控制，轧制过程的逻辑顺序控制和工艺质量控制都有比较好的效果。随着 AI 技术的快速发展，基

于机器视觉的智能感知技术已经日趋成熟，利用机器视觉进行智能感知，并采用智能化控制技术进行调控。如针对自动转钢控制，可在粗轧机前、后锥形转钢辊道上方安装视觉相机，以获得钢坯清晰的状态，并对轧件平面形状参数进行在线优化。

订单自动排程管理。应对多元化的订单需求，需要更快的生产系统响应速度，基于特定的逻辑约束条件，开发 APS 订单自动排程系统，同时考虑到产线整体效率最大化与关键设备利用率最大化，订单按照多种排列组合方式进行优化排程。并通过信息化系统进行订单调度，执行订单自动排程，如加工订单的排程逻辑之一是基于原材料的材质进行约束，相同材质的订单在排程宽放周期内下达到同一产线，以减少产线的切换损失。

### 小结

总之，中厚板加工技术的应用与智能化升级是推动钢铁行业高质量发展的

重要动力。通过不断引入新技术、新工艺和新设备，依托人工智能、机器学习等新质生产力技术的迅速发展，开发出更多的智能算法来进一步优化生产过程，可以显著提升中厚板的生产效率、产品质量和国际市场竞争力，为我国钢铁行业的可持续发展奠定坚实基础。头部企业可先行推进中厚板加工车间的数字化建设，构建流程业务系统互联互通和工业数据集成共享，实现生产过程的一体化和智能化管控，为航空航天、军工等高端产品开发提供更加有力的基础保障。MFC