

团 体 标 准

T/CAPS XXX—202X

宽厚板连铸机

Wide and heavy plate continuous casting machine

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国生产力学会 发布



## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 型式与基本参数 .....	2
5 技术要求 .....	3
6 试验方法 .....	8
7 检验规则 .....	12
8 标志、包装、运输和贮存 .....	12

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国重型机械研究院股份公司提出。

本文件由中国生产力学会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

# 宽厚板连铸机

## 1 范围

本文件规定了宽厚板连铸机的型式与基本参数、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于生产普通碳素钢、高碳钢、合金钢和不锈钢，铸坯厚度为200 mm~600 mm，宽度为1 600 mm~3 250 mm的宽厚板连铸机。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 191 包装储运图形符号标志
- GB/T 3452.1 液压气动用O形橡胶密封圈 第1部分：尺寸系列及公差
- GB/T 3766 液压传动 系统及其元件的通用规则和安全要求
- GB 5083 生产设备安全卫生设计总则
- GB/T 37400.1 重型机械通用技术条件 第1部分：产品检验
- GB/T 37400.2 重型机械通用技术条件 第2部分：火焰切割件
- GB/T 37400.3 重型机械通用技术条件 第3部分：焊接件
- GB/T 37400.6 重型机械通用技术条件 第6部分：铸钢件
- GB/T 37400.7 重型机械通用技术条件 第7部分：铸钢件补焊
- GB/T 37400.8 重型机械通用技术条件 第8部分：锻件
- GB/T 37400.9 重型机械通用技术条件 第9部分：切削加工件
- GB/T 37400.10 重型机械通用技术条件 第10部分：装配
- GB/T 37400.13 重型机械通用技术条件 第13部分：包装
- GB/T 37400.14 重型机械通用技术条件 第14部分：铸钢件无损探伤
- GB/T 37400.15 重型机械通用技术条件 第15部分：锻钢件无损探伤
- GB 43049 连铸机安全技术条件
- GB 50231 机械设备安装工程施工及验收通用规范
- GB/T 50387 冶金机械液压、润滑和气动设备工程安装验收规范
- GB 50397 冶金电气设备工程安装验收规范
- GB 50403 炼钢机械设备工程安装验收规范
- JB/T 12938.1 板坯连铸机 第1部分：术语
- JB/T 12938.3 板坯连铸机 第3部分：通用技术条件
- JB/T 12938.4 板坯连铸机 第4部分：验收规范
- YB/T 4792 钢铁工业直接冷却循环水处理技术规范

## 3 术语和定义

JB/T 12938.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**宽厚板连铸机** wide and heavy plate continuous casting machine

铸造板坯厚度大于200 mm且不大于600 mm，宽度大于1 600 mm且不大于3 250 mm的板坯连铸机。

3.2

**冶金长度 metallurgical length**

连铸机的结晶器液面至铸坯凝固终点的外弧线长度。连铸机可达到的最大拉速计算的液芯长度就是冶金长度。

[来源：GB 50580—2010, 2.0.11]

3.3

**上装引锭杆系统 top-feed dummy bar system**

将引锭杆从结晶器顶部装入的设备系统。

[来源：JB/T 12938.1—2016, 4.4.2]

3.4

**出坯辊道 delivery table**

运送铸坯离开连铸机的在线辊道。

[来源：JB/T 12938.1—2016, 5.2.3]

4 型式与基本参数

4.1 型式

宽厚板连铸机的型式如图1所示，可采用直弧形、全弧形和立式布置，通常包括钢包回转台、中间罐车、结晶器、结晶器振动装置、扇形段、切割设备、出坯辊道及引锭杆系统等。

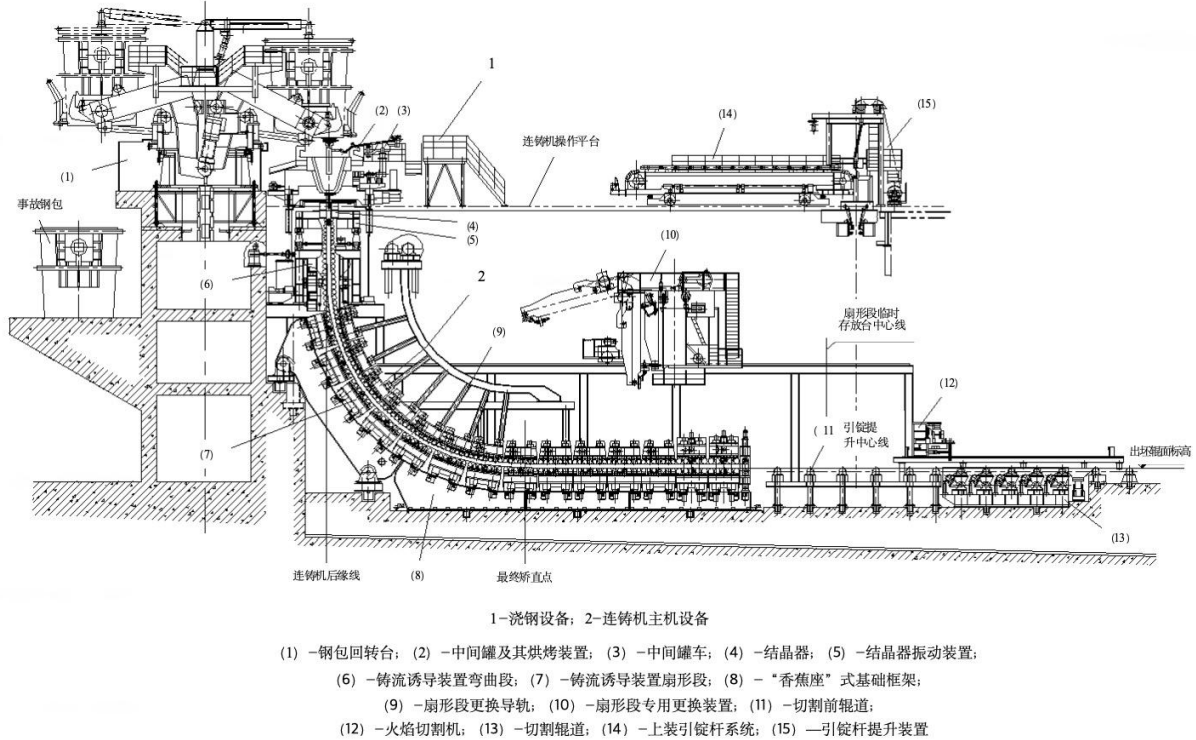


图1 典型上装引锭杆系统板坯连铸主视图

4.2 基本参数

宽厚板连铸机的基本参数见表1。

表1 宽厚板连铸机基本参数

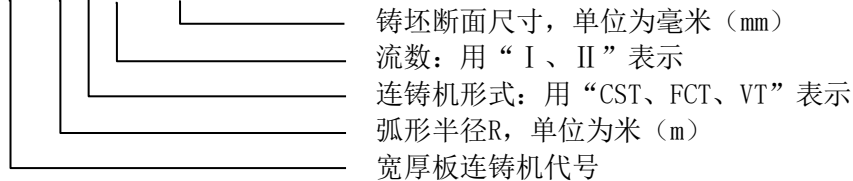
序号	名称	性能参数	单位
1	弧形半径	8~12	m
2	流数	单机单流、双机双流等	流

序号	名称	性能参数	单位
3	流间距	根据铸坯宽度、操作空间综合确定	mm
4	断面	(200×1 600) ~ (600×3 250)	mm
5	拉坯速度	0.3~3.0	m/min
6	钢液收得率	不小于97%	-
7	冶金长度	≥35	m

### 4.3 产品标记

产品标记及含义如下：

WTCC/R-X-X-□×□



注：CST为直弧形、FCT为全弧形、VT为立式。

示例：2流的直弧形宽厚板连铸机，弧形半径为11 m，板坯断面尺寸200 mm×1 600 mm，标注为：WTCC/R11-CST-II-200×1 600。

## 5 技术要求

### 5.1 一般要求

- 5.1.1 铸机应符合本标准的规定并按规定程序批准的图样及技术文件制造和验收。
- 5.1.2 生产设备安全卫生应遵循 GB 5083 的规定。
- 5.1.3 设备的安装应遵守 GB 50231、GB/T 50387、GB 50397 和 GB 50403 的要求。
- 5.1.4 产品检验应符合 GB/T 37400.1 的规定。
- 5.1.5 火焰切割件应符合 GB/T 37400.2 的规定。
- 5.1.6 焊接件应符合 GB/T 37400.3 的规定。
- 5.1.7 铸钢件应符合 GB/T 37400.6 的规定。
- 5.1.8 铸钢件补焊应符合 GB/T 37400.7 的规定。
- 5.1.9 锻件应符合 GB/T 37400.8 的规定。
- 5.1.10 切削加工件应符合 GB/T 37400.9 的规定。
- 5.1.11 产品装配应符合 GB/T 37400.10 的规定。
- 5.1.12 铸钢件无损检测应符合 GB/T 37400.14 的规定。
- 5.1.13 锻钢件无损检测应符合 GB/T 37400.15 的规定。
- 5.1.14 设备所有液压、润滑、冷却系统管路连接应密封可靠，无渗漏现象。

### 5.2 主要设备要求

#### 5.2.1 钢包回转台

- 5.2.1.1 应采用带称重功能、加盖装置和除尘罩的独立回转臂结构，回转半径及承载能力应满足最大钢包容量及事故偏载工况。
- 5.2.1.2 当座到回转台上的钢包未带盖时，钢包回转台上应设置钢包加盖装置。
- 5.2.1.3 钢包回转台的回转机构采用双驱动型式，配备过载保护和制动装置。
- 5.2.1.4 当采用钢流保护浇注时，宜采用钢包升降装置。升降速度约为 25 mm/s；升降行程可取 500 mm~1 600 mm。
- 5.2.1.5 设有钢包倾翻保护装置，倾翻角度控制精度±0.5°。
- 5.2.1.6 回转速度：正常工作时为 1.0 r/min，事故状态时为 0.5 r/min。

#### 5.2.2 中间罐车

- 5.2.2.1 中间罐车结构型式为落地式、高低轨式、悬臂式。

- 5.2.2.2 中间罐车升降形式多采用液压升降式，配备位移检测和同步控制装置。
- 5.2.2.3 中间罐行走速度为 2 m/min~25 m/min。
- 5.2.2.4 中间罐升降行程约为 600 mm。
- 5.2.2.5 沿板坯厚度方向对中行程 $\pm 50$  mm~ $\pm 75$  mm。
- 5.2.2.6 配备中间罐称重系统，称重精度 $\pm 0.5\%$ 。
- 5.2.2.7 行走机构采用双轨支撑，设有防脱轨和缓冲装置。
- 5.2.2.8 浸入式水口渣线调整范围应不超过 30 mm。

### 5.2.3 中间罐

- 5.2.3.1 一般情况下，中间罐有单流中间罐和双流中间罐，均为焊接结构件。中间罐上有溢流槽、起吊耳轴和在中间罐车上的支承结构。
- 5.2.3.2 中间罐本体的材质、焊接、无损检测、热处理、主要尺寸极限偏差与几何公差应符合 JB/T 12938.3 的规定。
- 5.2.3.3 中间罐与结晶器采用密闭连接，可减少钢水二次氧化。
- 5.2.3.4 中间罐性能参数如下：
  - a) 结构型式为矩形或品字形；
  - b) 单流连铸机容量 $\geq 25$  t；
  - c) 双流连铸机容量 $\geq 45$  t；
  - d) 正常钢液深度 $\geq 1\ 000$  mm；
  - e) 溢流钢液深度 $\geq 1\ 100$  mm。

### 5.2.4 结晶器

- 5.2.4.1 连铸结晶器采用组合式铜板结晶器，铜板材质为铜铬锆合金。
- 5.2.4.2 结晶器长度为 800 mm~1 200 mm。
- 5.2.4.3 进水温度，进出水温差 $\leq 10$  °C。
- 5.2.4.4 结晶器水套采用不锈钢板材焊接而成，水套流道设计满足冷却均匀性要求。
- 5.2.4.5 结晶器铜板的密封圈尺寸和允许偏差应符合 GB/T 3452.1 的规定，材料要选用耐高温、耐油胶料，如硅橡胶、氟橡胶等。
- 5.2.4.6 设有结晶器在线调宽装置，调宽速度 5 mm/min~25 mm/min，调宽范围满足铸坯宽度变化要求。
- 5.2.4.7 结晶器倒锥度可在线或离线调整。
- 5.2.4.8 配备结晶器液面检测和自动控制装置，液面控制精度在 $\pm 3$  mm 以内，对于生产汽车板等高等级钢，液面波动范围宜控制在 $\pm 2$  mm 以内；配备漏钢预报专家系统，可监测温度、摩擦力等信号并预警。
- 5.2.4.9 应根据连铸钢种特性，选择配套的结晶器保护渣，并均匀、定量加入，确保凝固坯壳润滑，避免液面裸露；针对特殊钢种作业，应使用特殊型号保护渣。
- 5.2.4.10 宽厚板结晶器宜配置电磁控流装置（如电磁制动或电磁搅拌、多模式等），用于优化结晶器内钢水流场，抑制液面卷渣，促进夹杂物上浮，减少皮下夹杂物与针孔，改善铸坯表面及近表面质量。

### 5.2.5 结晶器振动装置

- 5.2.5.1 结晶器振动装置应采用液压伺服或电动伺服系统驱动，支持正弦/非正弦波形在线切换，配备高精度位移传感器和压力传感器。
- 5.2.5.2 结晶器振动装置性能参数如下：
  - a) 振幅：不超出 $\pm 6$  mm；
  - b) 振动频率：30 次/min~300 次/min；
  - c) 振幅精度： $\leq 3\%$ （全行程）；
  - d) 结晶器平面摆动允许偏差：板坯宽度方向为 $\pm 0.15$  mm，板坯厚度方向为 $\pm 0.15$  mm。

### 5.2.6 引锭杆及存放装置

5.2.6.1 板坯连铸机宜采用挠性引锭杆和自动脱引锭装置，存放装置宜采用下装式侧面存放、上装式平台存放方式。

5.2.6.2 引锭杆由引锭杆头、过渡段、引锭杆身和连接装置组成。

5.2.6.3 引锭杆存放装置配备液压驱动翻转机构。

5.2.6.4 存放装置设有引锭杆夹紧和定位装置，防止存放过程中位移。

5.2.6.5 引锭杆系统性能参数如下：

- a) 引锭杆厚度：比最小板坯公称厚度小 10 mm~20 mm；
- b) 上装引锭杆车行走速度：0 m/min~15 m/min；
- c) 上装引锭杆车引锭对中速度 $\geq 30$  mm/min；
- d) 上装引锭杆车引锭对中形成： $\pm 50$  mm；
- e) 上装引锭杆提升装置提升速度：0 m/min~5 m/min；
- f) 下装引锭杆存放方式：出坯线一侧存放；
- g) 下装引锭杆横移速度约 7 m/min；
- h) 下装引锭杆对中装置对中方式：液压连杆式；
- i) 脱锭方式：上装引锭为提升过程中自动脱锭，下装引锭为在线或离线脱锭。

### 5.2.7 铸坯导向及驱动装置

5.2.7.1 铸流导向系统应具有较高的刚性与抗变形、耐高温、导向精度功能。

5.2.7.2 结晶器末端采用结晶器足辊支撑，弧形扇形段至矫直扇形段应每段独立安装夹辊或侧导辊。

5.2.7.3 辊径和辊距的设计应与生产断面、钢种和生产工况相匹配。

5.2.7.4 二次冷却采用喷淋水或气水冷却方式，按工艺分区配水，普碳钢、低合金钢等分别匹配对应比水量，实现弱冷、匀冷控制。

5.2.7.5 配置动态配水控制系统，可随拉速、钢种、过热度自动调节水量，调节精度应在规定值的 $\pm 3\%$ 以内；设压力流量监测、喷嘴堵塞报警、断水降速联锁保护功能。

5.2.7.6 扇形段采用连续弯曲、连续矫直曲线设计，分段模块化设计，包括足辊段、弯曲段、矫直段、水平段，配备分节辊。

5.2.7.7 配备动态轻压下系统，根据钢种特性、铸坯规格及工艺参数指定压下工艺，配置合适的压下位置、压下量、压下速率等参数，确保压下过程稳定可控。

5.2.7.8 扇形段配备内外弧辊式二冷电磁搅拌装置，改善铸坯质量。

铸坯导向及驱动装置性能参数如下：

- a) 辊身长度：板坯最大公称宽度 50 mm~100 mm；
- b) 辊子直径： $\phi 80$  mm~ $\phi 300$  mm，重压下时，可到 450 mm；
- c) 辊距：110 mm~350 mm，重压下时，可到 500 mm；
- d) 最大拉坯速度：3.0 m/min；
- e) 引锭装入速度：1 m/min~5 m/min。

### 5.2.8 切割设备

5.2.8.1 切割设备按照能源介质分为：氢氧切割、丙烷切割等。

5.2.8.2 采用一次/二次火焰切割方式，适配宽厚板坯厚度、宽度，定长切割尺寸偏差 $\pm 5$  mm；配备板坯优化切割系统，可计算最佳切割尺寸，切面无明显挂渣、裂纹、凹陷，满足宽厚板坯后续轧制质量要求。

5.2.8.3 铸坯定尺测量控制采用激光测距与编码器复合定尺控制，定尺精度 $\pm 5$  mm。

5.2.8.4 火焰切割机用主燃气宜采用丙烷+氧气或天然气+氧气，配备燃气压力和流量稳定装置。

### 5.2.9 出坯辊道

5.2.9.1 辊道传动形式可采用单辊独立变频驱动，便于实现铸坯低速平稳输送。

5.2.9.2 辊面线速度：0 m/min~15 m/min，速度无级可调。

5.2.9.3 高温区辊道（切割前辊道和切割区辊道）应设置水冷。采用热送工艺时，辊道应设置铸坯保温罩。

5.2.9.4 火焰切割区的辊道，应采取防止火焰烧损辊子的措施，宜采用伸缩辊道、平移窜动辊道或摆动辊道。

#### 5.2.10 去毛刺设备

5.2.10.1 宽厚板连铸机应配备去毛刺设备，可采用锤刀式、刮刀式等去毛刺机。

5.2.10.2 去毛刺设备应能使用铸坯宽度的全断面范围，处理速度应于出坯辊道速度匹配。

5.2.10.3 连铸板坯去毛刺率应不小于90%，去毛刺后铸坯断面应无明显毛刺残留。

5.2.10.4 去毛刺过程中产生的毛刺废料应收集至专用料斗，并定期清理。

#### 5.2.11 喷印设备

5.2.11.1 连铸机应配备在线自动喷印设备，用于在铸坯表面喷印标识符号，实现产品的可追溯性。

5.2.11.2 喷印设备可采用多轴工业机器人喷印系统，用于寻找铸坯位置、确定喷涂位置与喷涂距离，并带动喷枪沿预定轨迹运行。

5.2.11.3 喷印设备应具备上位机、自动、手动三种控制模式，可接收工控机录入或上级系统传来的产品编号，由PLC输出控制信号，协调机器人系统及涂料系统完成标识作业。

5.2.11.4 喷印标识符号应可调整，字符高度宜为50 mm~120 mm，字符宽度宜为字符高度的50%，字符间隔宜为20 mm~50 mm。

5.2.11.5 喷印位置宜选择铸坯侧面或端面，墨水耐受铸坯表面温度600℃~950℃。

5.2.11.6 单个铸坯喷印总周期（与字符数量相关）宜小于90 s。

5.2.11.7 印后的标识应清晰、不脱落，满足铸坯在后续工序中可追溯的要求。

#### 5.2.12 修磨设备

5.2.12.1 可根据产品质量要求配备在线或离线铸坯修磨设备，用于去除铸坯表面的裂纹、结疤、夹渣等缺陷。

5.2.12.2 修磨设备应能适应铸坯的全断面范围，可对铸坯的上表面、下表面和两侧面进行修磨。

5.2.12.3 修磨设备应能适应钢板在静止状态或慢速移送下的修磨设备。

5.2.12.4 应配置翻板机，用于将钢板翻转，以便对钢板下表面进行检查和修磨。

#### 5.2.13 铸坯冷却输出装置

板坯的输出装置，可采用冷床、辊道直送、推钢机-垛板台下线、推钢机-卸板台上线、横移台车、铸坯转盘、利用跨间吊车直接在辊道上下线等形式。

### 5.3 辅助系统要求

#### 5.3.1 液压系统

连铸机设备使用的液压系统应符合GB/T 3766的规定。

#### 5.3.2 冷却水系统

5.3.2.1 冷却系统含设备冷却（辊子、轴承、框架）、结晶器冷却、二次冷却三类独立回路，互不干扰。

5.3.2.2 冷却水应每周进行一次分析，主要分析项目应为悬浮物、油、含盐量、总硬度、碳酸盐硬度、氯化物、电导率等。

5.3.2.3 冷却能力：满足最大拉速下设备降温需求，结晶器冷却水量适配铸坯断面，二次冷却实现分区动态配水。

5.3.2.4 防护措施：管路采用耐高温、耐腐蚀材质，设流量/压力监测、堵塞报警及应急供水回路，断水时联锁停机。

#### 5.3.3 能源介质要求

5.3.3.1 压缩空气压力为0.6 MPa~0.8 MPa，满足气水雾化、气动执行机构、清扫除尘需求。

5.3.3.2 丙烷气/氧气（切割用）：丙烷气压力稳定在0.1 MPa~0.15 MPa，氧气压力稳定在1.2 MPa~1.5 MPa，设稳压装置、泄漏检测机回火防止器。

5.3.3.3 采用双回路供电，配置 UPS 应急电源，关键控制系统断电后维持供电 $\geq 30$  min，确保数据保存与安全稳定。

#### 5.3.4 铸坯表面检测系统

5.3.4.1 铸坯表面质量在线高光谱检测系统采用人工智能机器视觉检测技术，系统整体由桥形钢结构支架、图像采集部分（高光谱相机及相关设备）、数据传输系统、成像控制系统和 AI 缺陷识别单元组成。

5.3.4.2 系统应实现宽厚板坯表面温度在线检测，具备构建铸坯表面温度场的能力，精确定位板坯全区域各点的温度变化及表面缺陷位置。

5.3.4.3 系统应实现宽厚板坯上面及两侧面全覆盖在线检测，可在线实时检测铸坯宽度及厚度尺寸，具备表面缺陷自动识别、精准定位、缺陷分类及严重程度分级功能，同时应具备缺陷数据存储、超标缺陷声光报警功能。

5.3.4.4 系统应能实现宽厚板坯拉速的精准在线检测，可在线实时检测铸坯拉速的变化，可用于分析拉速与表面缺陷类型及成因，避免因机械卡阻导致速度测量误差。系统应可辅助工艺人员分析缺陷成因、监控关联设备运行状态，降低铸坯表面缺陷造成的质量损耗，且整机具备长期连续运行及稳定可靠的在线检测能力，适应现场高温、粉尘工业环境。

#### 5.3.5 浇钢平台机器人操作系统

5.3.5.1 系统由受包位机器人、浇注位水口机器人、协作水口机械臂、中包测温和加渣机器人、各高精度定位检测装置、各机器人移动装置等组成。

5.3.5.2 系统设置在钢包回转台受包位及浇注位区域，应具备钢包长水口套装、拆卸、更换，钢包水口滑动机构油缸拆装，钢包各类介质管线连接，以及中间罐钢水测温、覆盖剂自动添加功能。

#### 5.3.6 设备运行状态监测与诊断系统

5.3.6.1 系统应覆盖连铸关键生产设备及恶劣、危险环境下的设备，实现运行状态数据实时连续采集、动态监控及大数据分析，具备设备故障早期预警功能，可直观呈现设备实时健康状态及对应的故障预防措施。

5.3.6.2 系统采用开放框架设计，支持用户自定义设备诊断规则，提供规则新增、删除、修改等维护功能。

5.3.6.3 系统应具备连铸机结晶器、扇形段等核心设备上线与下线状态的跟踪识别能力。

5.3.6.4 系统应采集设备完整波形数据，通过数字信号处理算法转换为反映设备健康状况的特征参数，并结合快速傅里叶变换（FFT）频谱图，精准分析轴承故障、机组不对中、不平衡等故障根本原因。

5.3.6.5 系统应基于监测诊断结果，为设备针对性维护保养提供数据支撑，优化维修流程、降低运维成本与工作人员劳动强度，辅助合理调配维修力量及制定备件安全库存，减少非计划停机，保障装置长期稳定高效安全运行。

#### 5.3.7 自动化与控制系统

5.3.7.1 采用基础自动化与过程控制二级控制层级架构，支持远程监控、自动调节与故障诊断。

5.3.7.2 自动化应具备拉速闭环控制、结晶器液面自动控制、辊缝动态调整、二冷水动态控制、三段电磁搅拌动态控制、轻/重压下动态控制、设备顺序控制及安全联锁功能等核心工艺控制。

5.3.7.3 拉速控制精度在 $\pm 0.01$  m/min，结晶器液面波动范围宜控制在 $\pm 3$  mm 以内，对于生产汽车板等高等级钢，液面波动范围宜控制在 $\pm 2$  mm 以内，辊缝调节精度在 $\pm 0.1$  mm。

5.3.7.4 与设备保护（过载、超温、断水）、工艺联锁（浇铸中断、事故切割）深度融合，设多级急停与报警功能。

5.3.7.5 过程控制系统应包含以下核心模型与功能：

- a) 三维传热温度场模型：用于构建在线计算铸坯温度场；
- b) 铸坯凝固模型：铸坯坯壳厚度、铸坯温度场、固相率分布、铸坯凝固终点，配合智能化系统分析，确定用糊状区及凝固末端位置；
- c) 动态轻压下与大压下控制模型：在线确定压下区间、压下量和压下率；
- d) 结晶器专家系统：集成漏钢预报、热通量监视、摩擦力监视功能；

- e) 铸坯质量在线判定模型：跟踪工艺参数偏差，对铸坯质量进行在线评估与分级；
- f) 高光谱感知与数字孪生多物理场模型：依托高光谱感知与数字孪生多物理场协同驱动智能体环境感知，精准捕捉板坯凝固过程关键参数，支撑电磁搅拌控制智能决策体系构建。

### 5.3.8 智能体模型（可选）

工艺过程可构建的智能体模型包括：

- a) 钢包智能控制智能体；
- b) 中间包冶金智能体；
- c) 结晶器智能控制智能体；
- d) 漏钢预报智能体；
- e) 动态二冷水控制智能体；
- f) 三段电磁搅拌智能体；
- g) 轻\重压下控制智能体；
- h) 切割优化智能体；
- i) 质量预测与追溯智能体；
- j) 全局协同优化智能体。

## 6 试验方法

### 6.1 一般要求

- 6.1.1 各单机设备试验前，应检查各联接部位的联接情况，以及安全防护措施是否齐全，确认可靠无误后，方可进行试验。
- 6.1.2 试验前，应确认各润滑点润滑脂饱满。
- 6.1.3 连铸机设备试运转、运行的安全要求、安全措施应符合 GB 43049 的要求。

### 6.2 主要设备试验方法

#### 6.2.1 钢包回转台

钢包回转台试验具体如下：

- a) 各润滑系统应供油正常，压力、流量符合设计要求，无泄漏；
- b) 回转臂空载正、反运转各 5 次，当转臂转到浇注位置后停车时，转台应停位准确，定位装置动作灵活、可靠；
- c) 钢包升降机构运行正常，无卡阻现象，升降速度、行程符合设计要求；
- d) 空载运行符合要求后，分别做单臂满载（额定载荷）与双臂满载（额定载荷）正常、事故两种状态下回转、钢包升降、转台定位等动作的冷负荷运行试验，各试验 3 次，观察设备运行情况，运行中应平稳、无冲击、无爬行、无异常现象，各轴承温升不大于 40 ℃；
- e) 对钢包称量系统按控制/显示要求进行标定；
- f) 钢包倾翻保护装置模拟试验，保护装置动作准确、可靠，报警信号正常。

#### 6.2.2 中间罐车

中间罐车试验具体如下：

- a) 设备空载状态下，以额定速度在 2 m/min~25 m/min 全速度区间正反往返各 10 次；全程查验车体运行平稳、无跑偏卡滞，防脱轨、缓冲装置动作可靠；减速机空载连续运转 30 min，各轴承温升不得大于 40 ℃，润滑油无泄漏；
- b) 升降液压缸进行空载同步升降试验，升降各 10 次，升降液压缸同步运行，同步误差不大于 2 mm；升降机构灵活自如，无卡阻现象，行程符合设计要求；
- c) 空载下升降机构全行程往复升降 10 次，升降行程实测控制在 600 mm；依靠位移检测与同步控制系统核验多缸升降同步性，同步误差满足设备技术要求，升降动作无爬行、卡顿、突降现象；
- d) 驱动对中机构完成全量程调节，分别在 ±50 mm、±75 mm 极限位置各启停 10 次，使用量具实测实际调节行程，对中定位准确、锁紧可靠，调节动作顺畅无卡阻；

- e) 中间罐称重系统进行标定试验，称重精度满足设计要求。

### 6.2.3 中间罐

中间罐试验具体如下：

- a) 外观与尺寸检查：检查中间罐本体焊缝外观，应符合 JB/T 12938.3 的规定；测量主要结构尺寸，偏差应符合设计图样要求；
- b) 无损检测：对中间罐主体焊缝按 GB/T 37400.14 进行超声波检测，不得有裂纹、未熔合等超标缺陷；
- c) 水压试验：在中间罐组装完成后，注满水并加压至 0.6 MPa，保压 20 min，检查焊缝、法兰连接处及本体无渗漏、无可见变形；
- d) 称重系统标定：在空罐和加注模拟钢水条件下，对中间罐称重系统进行标定，称重精度应满足  $\pm 0.5\%$  的要求。

### 6.2.4 结晶器

结晶器试验具体如下：

- a) 结晶器装配检验合格后做压力试验，试验压力为工作压力的 1.5 倍，保压 30 min，不应渗漏，无变形、渗漏现象；
- b) 结晶器在线调宽装置进行动作试验，调整全程各 5 次，动作灵活，无卡阻，调宽精度满足设计要求；
- c) 结晶器液面检测装置进行模拟试验，检测精度  $\pm 3$  mm，信号传输准确。

### 6.2.5 结晶器振动装置

结晶器振动装置试验具体如下：

- a) 核验结晶器振动装置驱动方式，确认采用液压伺服系统，却配置高精度位移传感器；
- b) 启动系统后，分别切换正弦、非正弦振动波形，通过位移传感器实时采集振动数据，验证波形切换响应及时性、无卡顿；
- c) 设定不同振动参数，实测振动波形与设定波形的偏差，确认位移传感器检测精度及系统控制稳定性。

### 6.2.6 引锭杆及存放装置

引锭杆及存放装置试验具体如下：

- a) 翻转机构进行动作试验，翻转各 10 次，翻转角度准确，动作灵活，无卡阻和异常现象，翻转速度符合设计要求；
- b) 夹紧装置进行动作试验，夹紧、松开各 10 次，动作灵活，夹紧力均匀，无卡阻现象；
- c) 引锭杆送入和拉出试验，模拟引锭杆送入和拉出各 5 次，运行平稳，无卡阻和异常现象。

### 6.2.7 铸坯导向及驱动装置

铸坯导向及驱动装置试验具体如下：

- d) 对喷淋冷却管（环）进行通水、通气试验，保证回路畅通，喷嘴无堵塞、出水（气）均匀，通水、通气前，应对回路进行清理，确保无异物、杂质；
- e) 导向辊转动试验，所有辊子用手盘转，转动灵活，无卡阻现象，轴承润滑良好；
- f) 采用激光检测扇形段连续弯曲、矫直曲线精度及段间对弧精度，检查各模块装配互换性与分节辊转动灵活性、同轴度；
- g) 模拟不同钢种、铸坯规格及拉速工况，标定动态轻压下位置、压下量、压下速率，考核系统调节精度、运行平稳性及过载超程联锁保护功能；
- h) 检测二冷电磁搅拌装置磁场强度与均匀性，考核空载连续运行温升、振动及电气稳定性，通过铸坯取样比对验证搅拌改善内部质量效果。

### 6.2.8 切割设备

切割设备试验具体如下：

- a) 火焰切割机进行切割车走行、割炬升降、平动切割等动作试验，各动作各 10 次，运行灵活，无卡阻现象，定位精度满足设计要求；
- b) 燃气、氧气管路进行密封试验，在 1.0 MPa 压力下保压 30 min，无渗漏；
- c) 定尺测量装置进行精度检测，定尺精度 $\pm 5$  mm，信号传输准确；
- d) 进行模拟切割试验，割炬点火、预热、切割动作协调，切割轨迹准确。

#### 6.2.9 出坯辊道

出坯辊道试验具体如下：

- a) 每组辊子均应进行空载运行试验，在额定转速下，正反转各运行 30 min，运行中应平稳无异响；运行后，各轴承温升不得大于 40 ℃；
- b) 辊道速度调整试验，速度在 0 m/min~15 m/min 范围内连续调整，调整平稳，速度显示准确，各辊子速度同步误差不大于 2%。

#### 6.2.10 去毛刺设备

去毛刺设备试验具体如下：

- a) 核查去毛刺设备的结构型式，确认采用锤刀式、刮刀式等适用结构，且能覆盖铸坯全宽度范围，处理速度与出坯辊道速度联锁匹配；
- b) 在连续生产条件下，选取不少于 10 块铸坯，统计去毛刺前后铸坯断面毛刺残留情况，计算去毛刺率（去毛刺后无毛刺残留的铸坯数量占总试验铸坯数量的百分比），其结果应不小于 90%，且去毛刺后铸坯断面应无明显毛刺残留；
- c) 检查毛刺废料收集系统，模拟去毛刺作业，验证毛刺废料可顺畅落入专用料斗，料斗具备定期清理功能。

#### 6.2.11 喷印设备

喷印设备试验具体如下：

- a) 核查喷印设备的组成与控制模式，确认采用多轴工业机器人系统，具备上位机、自动、手动三种控制模式，能接收产品编号并由 PLC 协调完成标识作业；
- b) 模拟不同规格铸坯，测试机器人寻找铸坯位置、确定喷涂距离及沿预定轨迹运行的准确性，喷印位置应为铸坯侧面；
- c) 设定不同的字符高度（50 mm~120 mm）、字符宽度（高度的 50%）、字符间隔（20 mm~50 mm），实测喷印标识符号的可调整范围，应符合设定要求；
- d) 使用计时器测量从开始喷印到完成一个铸坯全部字符的总周期，应满足 5.2.11.6 的要求；
- e) 喷印完成后，目视检查标识清晰度，用指甲或粘贴胶带测试标识附着性，应清晰、不脱落；将喷印后的铸坯经过后续工序（如冷却、运输、堆放）后再次检查，标识仍应清晰可辨。

#### 6.2.12 修磨设备

修磨设备试验具体如下：

- a) 核查修磨设备的能力范围，确认能覆盖铸坯宽度 1 600 mm~3 250 mm、厚度 200 mm~600 mm 的全断面范围，且能对铸坯上表面、下表面和两侧面进行修磨；
- b) 在静止状态和慢速移送状态下，分别启动修磨设备（手推砂轮小车或手提砂轮机），检查修磨动作的灵活性和可控性，应无卡阻、无异常振动；
- c) 操作翻板机，将铸坯翻转 180°，检查翻转动作平稳可靠，下表面修磨作业无干涉；
- d) 选取带有裂纹、结疤、夹渣等人工模拟缺陷的铸坯进行修磨试验，修磨后缺陷应完全去除，表面粗糙度满足质量要求；若设备具备离线修磨功能，应进行离线修磨和返线试验，验证下线、修磨、返线流程顺畅。

### 6.3 辅助系统试验方法

#### 6.3.1 液压系统

- 6.3.1.1 连铸设备上的所有液压缸均应进行液压试验，确保设备的正常运行。

6.3.1.2 单机设备液压管路安装完毕后应进行压力试验，试验中检查管路不应有泄漏和变形。

### 6.3.2 冷却水系统

6.3.2.1 分别启动设备冷却、结晶器冷却、二次冷却回路，检测各回路独立运行无串水、无干扰，回路切换顺畅。

6.3.2.2 取样检测冷却水质，验证硬度、悬浮物含量及进出水温度符合规定要求；通过流量计、压力表实测各回路流量、压力，确认满足最大拉速下冷却需求，结晶器水量适配铸坯断面，二次冷却可实现分区动态配水调节。

6.3.2.3 悬浮物、油、含盐量、总硬度、碳酸盐硬度、氯化物、电导率等的检验按照 YB/T 4792 规定执行。

6.3.2.4 检查管路材质选型合规性，模拟流量/压力异常及管路堵塞工况，验证报警功能触发准确；模拟断水场景，考核应急供水回路启动及联锁停机动作可靠性。

### 6.3.3 能源介质

6.3.3.1 采用精密压力表实测压缩空气系统压力，确定稳定在 0.6 MPa~0.8 MPa；气动气水雾化、气动执行机构及清扫除尘设备，验证供气满足各工况运行需求。

6.3.3.2 开启丙烷气、氧气系统，用压力监测仪检测压力稳定性（丙烷气 0.1 MPa~0.15 MPa、氧气 1.2 MPa~1.5 MPa）；检查稳压装置运行正常，通过泄漏检测仪排查管路泄漏，模拟回火工况验证防止器动作可靠。

6.3.3.3 切换双回路供电，检查切换过程无中断；切断主供电，启动 UPS 应急电源，持续监测关键控制系统供电状态，确保断电后维持供电 $\geq 30$  min，数据保存完整且设备安全稳定。

### 6.3.4 铸坯表面检测系统

6.3.4.1 现场核查系统结构组成及配置完整性，确认桥形钢结构支架、图像采集、数据传输、成像控制及缺陷识别单元配置齐全。

6.3.4.2 在线送入不同规格宽厚板坯，对铸坯上下面及两侧面进行全断面检测，验证系统表面缺陷识别、定位、分类、分级及铸坯宽度实时检测功能有效性，检查缺陷数据存储、报警及历史追溯功能。

6.3.4.3 系统连续长时间带工况运行，考核设备在现场高温、粉尘环境下的运行稳定性与检测精度一致性，核验系统辅助缺陷成因分析及设备运行状态监控的实际应用效果。

### 6.3.5 浇钢平台机器人操作系统

6.3.5.1 现场核查系统布置位置是否覆盖钢包回转台受包位与浇注位，确认受包位机器人、浇注位水口机器人等各组成部件配置齐全。

6.3.5.2 模拟连铸浇注全流程工况，依次测试钢包长水口套装/拆卸/更换、滑动机构油缸安装/拆卸、介质管线连接等作业功能，验证操作精准度与动作连贯性。

6.3.5.3 启动中包测温 and 加渣机器人，考核钢水测温数据准确性及覆盖剂添加量控制精度。

### 6.3.6 设备运行状态监测与诊断系统

6.3.6.1 核查系统监测覆盖范围，确认关键设备及恶劣、危险环境设备均已纳入监测体系。

6.3.6.2 模拟设备运行工况，测试数据采集的连续性与实时性，验证特征参数提取准确性及 FFT 频谱图分析对典型故障原因的识别精准度。

6.3.6.3 模拟典型故障场景，检验系统故障预警的及时性及故障预防措施建议的合理性。

6.3.6.4 操作诊断规则维护功能，验证规则新增、删除、修改的可行性与操作便捷性

6.3.6.5 模拟结晶器、扇形段等设备上线、下线流程，检验系统对设备状态跟踪识别的准确性。

6.3.6.6 系统连续运行并统计运维相关数据，评估维修流程优化效果、备件库存合理性及非计划停机减少情况，验证系统长期运行稳定性与工况适应性。

### 6.3.7 自动化与控制系统

6.3.7.1 核查控制系统硬件架构与软件配置，确认二级控制层级搭建完成；通过远程操作界面测试监控、调节及故障诊断功能，验证指令响应及时、数据反馈准确。

6.3.7.2 启动连铸机模拟生产工况，依次测试拉速闭环、结晶器液面控制、辊缝动态调整、二冷水动态配水及设备顺序控制功能，检查各核心工艺控制逻辑连贯、执行到位。

6.3.7.3 模拟不同生产节奏与钢种，用高精度传感器实测拉速控制精度、结晶器液面波动范围及辊缝调节精度，确认符合规定指标。

6.3.7.4 模拟设备过载、超温、断水及浇铸中断、事故切割等工况，验证安全联锁动作与多级急停、报警功能触发准确，停机过程平稳可控。

6.3.7.5 输入典型钢种工艺参数，启动过程控制系统各核心模型，检查三维传热及凝固计算、动态轻压下参数优化、结晶器专家系统监测及铸坯质量在线判定结果，验证模型计算精度与功能有效性。

## 7 检验规则

### 7.1 设备出厂验收

宽厚板连铸机的每台单体设备均应经制造厂质量检验合格，并附有合格证和使用说明书后，方可出厂。

### 7.2 设备安装验收

7.2.1 设备安装前应按照 GB 50231、GB 50387 的规定执行。

7.2.2 安装施工单位准备好安装检测项目文件并出具安装结果检测报告。

7.2.3 参与安装验收的人员对照安装结果检测报告，对设备指标性复查并确认，确保符合图纸及技术文件对设备安装的各项要求。

7.2.4 安装施工单位出具各方确认后的安装结果检测验收报告，由各有关单位及相关人员签署设备安装验收报告。

### 7.3 试车验收

连铸机设备中主要设备安装后的单机冷负荷、联动试车验收，执行 JB/T 12938.4 的相关要求。

## 8 标志、包装、运输和贮存

### 8.1 标志

对组成成套设备的每一个单机产品是否均设置产品标志可由制造厂决定，但钢包回转台、中间罐车等主要产品应设置产品标志。

### 8.2 包装

8.2.1 包装执行 GB/T 37400.13 和 GB/T 191 的有关规定。包装时，设备上外露管口应有效封堵。出口产品的包装应符合约定的运输方式和要求。

8.2.2 出厂时供方向需方提供的随机资料包括：合格证、装箱清单、使用及维护说明书、常用备件清单、设备安装图、检修用部件图、易损件图纸。

8.2.3 产品包装应该注意以下事项：

- a) 设备表面应清洁干净；
- b) 底面、各结合表面、基准表面、辊子表面、外露的轴类零件表面、外露的加工孔表面均应涂防锈油，并用油纸、牛皮纸捆扎，重要加工面用缓冲性能好的材料进行保护；
- c) 如遇零度以下的气温，设备运输应采取防冻措施，带有水腔的设备，水压试验完毕后，水腔内应加注足量的防冻液；
- d) 装配剩余的垫片及其他调整垫片应单独装箱，随机发货；
- e) 所有的机上液压、润滑配管管口应进行封堵，运输过程中保证管道清洁并不被损坏。必要时，卸下配管组件，标记清楚，单独包装后再放置于产品包装箱中；
- f) 各单体设备的特殊要求事项须遵循产品的结构与特性，例如：钢包回转台的大回转支承和加盖装置的小回转支承应用油纸缠绕包裹，刚性支承平置运输；振动单元体必须装上插板，使其处于固定状态等。

### 8.3 运输和贮存

8.3.1 在运输中需做好设备的防水保护，尤其对旋转机构的构件要进行固定，防止在运输中转动，发生设备和包装的损坏。

8.3.2 设备在安装前，应妥善保管，设备应存放在防雨、通风和干燥的地方，不允许裸放。

8.3.3 设备在存放期间，应定期（最长间隔 6 个月）进行检查，若发现包装箱破裂，则应及时修理，若发现零件锈蚀，应及时采取措施，排除锈蚀因素，重新涂防锈油。

---