

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2022

钢箱梁智能制造技术指南

Technical guide for intelligent manufacturing of steel box girder

(本草案完成时间：2022 年 10 月)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国交通运输协会 发 布

目 次

前 言 I

引 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 3

5 总则 3

 5.1 总体框架 3

 5.2 基本原则 3

6 板材智能下料 3

 6.1 系统要求 4

 6.2 技术要求 4

 6.3 质量要求 5

7 板单元智能焊接 5

 7.1 系统要求 5

 7.2 技术要求 6

 7.3 质量要求 6

 7.4 焊缝地图 6

8 节段智能总拼 6

 8.1 系统要求 6

 8.2 技术要求 7

 8.3 质量要求 9

 8.4 测量监控 9

9 钢箱梁智能涂装 10

 9.1 系统要求 10

 9.2 技术要求 10

 9.3 质量要求 12

10 车间制造执行智能管控系统 12

 10.1 基本原则 12

 10.2 系统要求 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。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：深中通道管理中心、中铁山桥集团有限公司、中铁宝桥集团有限公司、武船重型工程股份有限公司、中交公路长大桥梁建设国家工程研究中心有限公司、湖北天高钢桥智造科技有限公司、无锡金诚工程技术服务有限公司。

本文件主要起草人：宋神友、刘健、陈焕勇、姚志安、盛建军、孙悦楠、许晴爽、刘申、李军平、阮家顺、付佰勇、谷林、范军旗、戴润达、朱新华、张华、王恒、邢扬、李立明、薛宏强、车平、王建国、陈敏、向晋华、黄利航、雷佳园、吴江波、李彦国、杨亮、张续彬、曹磊、王博、梁善国、常彦虎、李强、裴雪峰、谷文、薛喆彦、权红烈、许子凡、郭瑞。

引 言

为提升桥梁制造品质，充分发挥钢结构桥梁性能优势，提高公路钢箱梁桥制造自动化、信息化水平，推广钢箱梁智能制造，制定本文件。

本文件依托深中通道项目，根据深中通道项目钢箱梁智能制造要求，总结深中通道项目“四线一系统”智能制造的实践经验，借鉴国内外相关标准，组织相关单位编制而成。

本文件是开展钢箱梁智能制造的技术指南，提出了实施钢箱梁智能制造的基本要求，作为钢桥梁制造相关标准的合理补充。

钢箱梁智能制造技术指南

1 范围

本文件确立了钢箱梁智能制造的总体原则,并规定了钢箱梁板材智能下料、板单元智能焊接生产、节段智能总拼、钢箱梁智能涂装及车间制造执行智能管控的技术要求和实施方法。

本文件适用于公路、铁路桥梁钢结构钢箱梁制造。

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 4956-2003 磁性基体上非磁性覆盖层厚度测量磁性法
- GB/T 5117-2012 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5210-2006 色漆和清漆拉开法附着力试验
- GB/T 5293-2018 埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求
- GB/T 8110-2020 熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
- GB/T 9286-1998 色漆和清漆漆膜的划格试验
- GB/T 10045-2018 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝
- GB/T 37413-2019 数字化车间 术语和定义
- GB/T 40647-2021 智能制造 系统架构
- GB/T 41255-2022 智能工厂 通用技术要求
- JT/T 722-2008 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
- JTG/T 3650-2020 公路桥涵施工技术规范
- JTG/T 3651-2022 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范
- JB/T 3223-2017 焊接材料质量管理规程
- Q/CR 749-2020 铁路桥梁钢结构及构件保护涂装与涂料
- Q/CR 9211-2015 铁路钢桥制造规范

3 术语和定义

GB/T 37413-2019、GB/T 40647-2021、GB/T 41255-2022、JTG/T 3651-2022、Q/CR 9211-2015界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为方面使用,以下重复列出部分术语。

3.1 智能制造 Intelligent Manufacturing

通过综合和智能地利用信息空间、物理空间的过程和资源，贯穿于设计、生产、物流、销售、服务等活动的各个环节，具有自感知、自决策、自执行、自学习、自优化等功能，创造、交付产品和服务的新型制造。

[GB/T 40647-2021, 定义 3.1]

3.2 设备管理 equipment management

以设备为对象，追求设备综合效率，应用理论、方法，通过技术、经济、组织措施，对设备的物理运动和价值运动进行全过程管理。

[GB/T 41255-2022, 定义 3.3]

3.3 生产线 production line

专用于生产特定类型产品或产品系列的一系列设备。

[GB/T 37413-2019, 定义3.4, 有修改]

3.4 物料清单 bill of materials

所有组装件、零件，和/或生产一种产品所用物料的清单，包括制造一种产品所需要的每种物料的数量。

[GB/T 37413-2019, 定义4.2.1]

3.5 板材智能下料 Intelligent plate blanking

通过数控切割机、智能套料软件、工业互联网等系统，实现板材下料套料、写号、划线、自动切割、报工、汇总等生产及管理过程的智能化。

3.6 板单元智能焊接 Intelligent welding of board unit

通过智能化焊接装备和焊接数据管理系统，实现板单元焊接时焊缝进行精确定位，自动获取工件信息，自动生成焊接程序，自动焊接，自动监控焊接参数等功能。

3.7 节段智能总拼 Segmental intelligent assembly

通过智能化设备和生产执行智能管控系统，实现钢箱梁节段总拼生产和管理过程的智能化。

3.8 钢箱梁智能涂装 Intelligent coating of steel box girder

在喷砂车间、电弧喷涂车间和喷漆车间内，采用先进的机器人、自动化装备及协同控制集成系统，实现桥梁钢箱梁外表面的喷砂除锈、热喷涂及喷漆全过程自动化、连续化作业。

3.9 智能管控系统 Intelligent control system

基于计算机技术及网络技术，以BIM模型为核心，具有钢结构工程项目管理、制造、服务等模块的信息化应用系统，实现生产过程的自动化、数字化、网络化、智能化的管理与控制。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AGV: 自动导引运输车 (Automated Guided Vehicle)

AP: 无线接入点 (Access Point)

BIM: 建筑信息模型 (Building Information Modeling)

BOM: 物料清单 (Bill of Material)

DNS: 域名系统 (英文: Domain Name System)

ERP: 企业资源计划 (Enterprise Resource Planning)

MES: 制造企业生产过程执行系统 (Manufacturing Execution System)

PLM: 产品生命周期管理 (Product Life-cycle Management)

VOC: 挥发性有机化合物 (Volatile Organic Compounds)

WBS: 工作分解结构 (Work Breakdown Structure)

5 总则

5.1 总体框架

钢箱梁智能制造重点构建以板材智能下料生产线、板单元智能焊接生产线、节段智能总拼生产线、钢箱梁智能涂装生产线以及车间制造执行智能管控系统为核心的“四线一系统”，全面提升钢箱梁制造的自动化、数字化、网络化、智能化水平。

5.2 基本原则

钢箱梁智能制造全面推行BIM技术在制造过程中的实施应用。以BIM技术应用为平台，将钢箱梁生产与信息化融合，围绕数字化、智能化和可视化，实现钢箱梁制造智能化和过程管理网络化的新模式。通过建立BIM三维模型，进行深化设计，利用可视化技术对作业空间进行干涉模拟检查，对专项施工方案进行工序动画模拟，发现施工过程中可能面临的安全风险和技术问题，提前做好施工安排，提升智能制造实施的水平。

建立信息系统集成与工业互联网。智能化设备具备信息数据采集接口，通过无线网络或者固定工控网络接入生产管控系统网络中。设备信息、生产信息、产品信息等可实现实时采集，通过信息系统集成集中展示与共享，为运营决策提供可靠数据支撑。

关键生产区域、关键工位应安装视频装置并接入BIM系统，进行实时监控。

在应用工业机器人、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备等设备之前，需充分调研设备情况，结合项目生产实际，进行适应性试生产，施工质量应得到监理人与发包人认可才能投入实施。

6 板材智能下料

6.1 系统要求

6.1.1 系统组成

板材智能下料生产线由智能套料软件、数控切割设备、智能制造执行系统、网络等构成。

生产线应配置数控等离子切割机和数控火焰切割机，宜配置数控激光切割机，切割设备和产能应符合表1的规定。

表1 板材智能下料设备

序号	主要设备设施	最低产能
1	门式多头拉条机	15t/班
2	数控火焰切割机	10t/班
3	数控等离子切割机	30t/班
4	激光切割机	5t/班（核实数量和单位）

6.1.2 系统功能

板材智能下料生产线应具备自动套料、打号、划线、自动切割、自动报工和数据汇总等功能。宜通过行车或机器人对切割后的零件进行自动分拣。

数控切割机床应安装 MES 系统工位机，应用车间工业网络向 MES 系统反馈切割钢板编号、零件号、切割时间等内容。

数控切割机床应配备工业用二维码打印机，通过二维码实现钢板编码与零件号的对应以及追溯管理。

所有切割设备应实现联网管控，管控系统主要功能包括但不限于切割设备运行状态监控、人员作业任务管控、工时物量统计分析、相关电子看板以及报表打印等。

数控切割设备应与车间 MES 系统联网，通过 DNS 系统实现数控切割机与 MES 系统数据的实时采集与反馈。

监控计算机应与车间设备互联互通，通过智能管控系统汇集加工过程数据，包括切割钢材炉批号、切割零件号、切割时间等。

智能套料系统应对接车间 MES 系统，具备智能提料、智能排版、自动生成数控切割程序、自动报工等功能，并自动采集和反馈零件的工艺信息、材料信息、切割过程信息。

6.2 技术要求

钢板进场后应进行标识、复验和预处理。

钢板配料应考虑桥梁的平纵线形、工厂制造时环境温度、焊缝的收缩余量、加工余量及施工过程中压缩量等因素的影响。

钢箱梁主要零部件应优先采用精密切割或数控自动切割。

数控切割下料编程时，要根据零件形状复杂程度，尺寸大小、精度要求等规定切入点、退出点、切割方向和切割顺序，并应加入补偿量，以消除切割热变形的影响。

6.3 质量要求

主要零件切割面质量和零件尺寸偏差应符合 Q/CR 9211-2015 或 JTG/T 3651-2022 的相关规定。

7 板单元智能焊接

7.1 系统要求

7.1.1 系统组成

板单元智能焊接生产线按构件类型可分为顶板单元、底板单元和横隔板单元智能焊接生产线等。

顶板单元智能焊接生产线由装配工位、内焊工位、外焊工位、校正工位、齿形板焊接工位等组成；底板单元智能焊接生产线由装配工位、焊接工位和校正工位组成；横隔板单元智能焊接生产线由装配工位和焊接工位组成。

板单元智能焊接生产线主要设备和生产能力宜符合表 2 的要求。

表 2 板单元智能焊接设备和生产能力要求

序号	产线	设备	产能要求
1	顶板单元智能焊接生产线	U 肋板单元专用组装机床	8 块/班
		U 肋顶板单元内焊专机	8 块/班
		板单元船位埋弧焊专机	4~8 块/班
		板单元自动机械矫正机床	8 块/班
		板单元焊接机器人系统/板单元焊接专机	8 块/班
2	底板单元智能焊接生产线	U 肋板单元专用组装机床	6 块/班
		板单元焊接机器人系统/板单元焊接专机	6 块/班
		板单元自动机械矫正机床	6~8 块/班
3	横隔板单元智能焊接生产线	横隔板单元焊接机器人系统	1.5 块/班（核对数量）

7.1.2 系统功能

U 肋板单元专用组装机床应具备面板自动打磨、除尘、划线、U 肋定位、压紧和焊接等功能。

U 肋板单元内焊专机、板单元船位埋弧焊专机应配置数字电源和数字控制系统，具备自动行走和焊缝跟踪等功能。

板单元焊接机器人系统应采用离线编程或示教编程，具备自动检测工件位置和焊缝跟踪功能，跟踪方式宜采用电弧跟踪、激光跟踪、机械跟踪、图像识别跟踪等。

横隔板焊接机器人系统应具备平位、立位焊缝自动焊接的功能，齿形板与顶板及 U 肋间平位角焊缝、立位角焊缝和端部圆弧部位包角焊连续施焊，中间不停弧。

板单元自动机械矫正机床应具备图像识别、智能感知功能，自动检测板单元平整度等功能，其控制系统应具有人机交互功能，设置参数后自动定位、压紧，自动设置压力参数矫正焊接变形。

所有设备宜以触摸屏作为人机界面，通过触摸屏控制系统动作、修改参数、设定规范。

所有智能焊接设备应接入工业互联网，自动采集设备信息，系统与生产数据的实时交互，相关数据信息通过车间 MES 系统在车间大屏上分析展示。

7.2 技术要求

板单元智能焊接生产前应按照 Q/CR 9211-20150 或 JTG/T 3650-202 的相关要求应进行焊接工艺

评定试验，试验采用的焊接设备应与实际生产相同。

板单元焊接所用焊接材料应符合 GB/T 5117-2012、GB/T 8110-2020）、GB/T 10045-2018、GB/T 5293-2018 等标准的规定。

焊接材料的管理应符合 JB/T 3223-2017 的规定。

顶板 U 肋应采用 U 肋板单元组装机床组装，U 肋内侧角焊缝应采用 U 肋内焊专用机床焊接，U 肋外侧角焊缝应采用板单元船位埋弧焊专机或 U 肋板单元焊接机器人焊接，顶板单元应采用板单元自动机械矫正机床矫正焊接变形，顶板单元上的齿形板应采用隔板智能机器人焊接。

底板 U 肋应采用 U 肋板单元组装机床组装，采用门式多头焊接专机或 U 肋板单元焊接机器人焊接，宜通过液压反变形胎架控制焊接变形。

横隔板加劲肋应采用龙门式智能焊接机器人系统焊接，焊接时应采用两台焊接机器人对称焊接，焊缝端部自动包角焊。

7.3 质量要求

板单元焊缝外观质量和内部质量应符合 Q/CR 9211-2015 或 JTG/T 3651-2022）的相关要求。

7.4 焊缝地图

应建立与实体正确对应的三维模型，分解归类所有焊缝类型，根据焊缝等级确定焊缝地图范围。

焊缝地图应统一命名规则，命名规则应结合项目焊缝检测规定，两者应具有映射关系。

焊缝地图应根据焊缝线型建立三维实体模型，实体断面可选择三角形、梯形等，并赋予区别于主体模型的颜色属性，应能够基于结构树或模糊搜索自动定位焊缝具体位置。

焊缝地图应具备属性添加功能，可以添加焊缝的焊接工艺评定报告、结构形式、焊接工艺参数、焊材规格、供应商等属性信息。

8 节段智能总拼

8.1 系统要求

8.1.1 系统组成

钢箱梁节段智能总拼生产线应配置自动化焊接设备、焊机群控和数据管理系统、无损支撑系统、数控线性调整支撑系统、车间制造执行系统及视频监测系统等软、硬件设施。

自动化焊接设备种类和主要参数应符合表 3 的要求。

表 3 节段智能总拼焊接设备要求

序号	焊接设备	主要参数	基本功能
1	便携式自动焊接装置	焊接电流 I=160-300A 焊接电压 U=22-34V 焊接速度 V=15-40cm/min	自动行走，自动跟踪焊缝位置
2	埋弧自动焊机	焊接电流 I=550-680A 焊接电压 U=28-34V 焊接速度 V=30-50cm/min.	自动行走

3	小型智能焊接机器人系统	焊接电流 I=160-260A 焊接电压 U=22-34V 焊接速度 V=15-40cm/min	自动行走，自动检测坡口信息，自动生成焊接路径和规范参数，电弧跟踪或其他焊缝跟踪功能
---	-------------	--	---

8.1.2 系统功能

焊接设备应以触摸屏为人机界面，操作者可以通过触摸屏控制系统动作、修改系统参数、设置焊接规范。

小型智能焊接机器人应具有焊接工艺数据的存储功能，预先将各种焊接规范、经验数据存储在系统中，焊接工件变化时可快速调取使用；

关键设备的控制系统应设有设备过载保护、断电保护等功能，电控系统应设有完善的自锁和互锁保护功能，保证设备和操作者安全。

关键设备应通过工业互联网组网，能通过设备管理系统对其进行管理。

应建立数据库，储存每一条焊缝相关资料，包括板单元号、节段号、焊缝编号、焊缝长度、焊接方法、焊接位置、接头类型、焊工编号、焊接时间、外观检测情况及检测日期、无损检测情况及检测日期、检测人、缺陷相关信息等。

应通过车间生产信息化管理系统记录参与总拼的各类零件、部件的编号，所在梁段和具体部位，实现可追溯性。

焊接焊接数据管理系统应能够对对施焊过程的焊接电流、电压等参数在线监控，确保焊缝质量的可控性、可追溯性。

8.2 技术要求

8.2.1 一般规定

钢箱梁节段组装、焊接、预拼装应在车间内的预拼装胎架上进行。

预拼装胎架应以钢箱梁外轮廓为基准，并预留反变形工艺量，胎架的长度、宽度、预拱度、纵横梁间距、基础承载力等满足钢箱梁整拼需求。

钢箱梁节段制作应采用实桥立体、阶梯推进方式，以预拼装胎架为外胎，横隔板及横肋板为内胎，依次将各梁段的底板单元、斜底板单元、横隔板单元、腹板单元、顶板单元及其它零部件在总拼胎架上组焊成箱体，胎架上的所有梁段组焊完成后，进行实桥分段匹配预拼装并组焊匹配件。

大节段制作应厂房内在总拼胎架上进行，胎架按照监控要求设置制造线形，各节段处于自由状态，梁段精确定位后，采用自动化焊接装备逐段完成环缝焊接。

钢箱梁节段批量制造前应进行首次总拼鉴定，全面检查制造工艺是否合理，控制措施是否恰当，评审合格后方可批量生产。

8.2.2 节段整体拼装

板单元及零部件经外观尺寸和焊缝质量检验合格后方可投入小节段整体拼装。

在确保产品组装精度、控制变形的前提下，横隔板、横肋板、内腹板组装时应设置无马定位工装，避免单元件与钢箱梁的点焊定位，其他构件宜采用“无马”或“少马”的方式进行组装定位。

顶板、底板单元间纵向对接焊缝的填充、盖面焊道应采用埋弧自动焊机焊接，横隔板横向、竖

向对接焊缝宜采用小型智能机器人焊接，其他具备条件的角焊缝宜采用便携式自动焊接装置焊接。
节段整体施工宜按照表 4 要求对关键点采取控制措施。

表4 节段精度关键点及控制措施

序号	关键点	控制措施
1	钢箱梁竖向线形	根据设计竖向线形制作胎架，采用控制测量网进行监控
2	钢箱梁平面线形	根据设计平面线形制作胎架，采用控制测量网进行监控
3	桥面横坡	胎架设置预拱，利用钢箱梁中间及两侧高程差控制横坡
4	箱口几何尺寸	采用钢箱梁总拼胎架约束，控制测量网精确定位板单元
5	梁段长度控制	底板单元采用无余量制造技术，板单元长度要求方向预留收缩量 顶板单元留一端总拼时配切
6	钢箱梁焊接变形	利用总拼胎架进行刚性码固，制定合理焊接顺序
7	钢箱梁接口匀顺度	保证每段钢箱梁箱口尺寸，控制纵肋组装位置精度

8.2.3 大节段制造

大节段制造应在预拼装胎架上进行，胎架的线型应符合设计要求。
节段在拼装胎架上精确定位后应进行检查，定位精度应符合表 5 的规定。

表 5 节段精确定位允许偏差

序号	项点	允许偏差（mm）	条件
1	横基线间距	±2	
2	纵基线偏差	2	
3	预拱度	-5~+10	
4	四点不平度	5	各小节段
5	对接边错边	0.5	
6	横坡	±0.1°	
7	梁长	±2n 与 20mm 较小者	

节段间顶板、底板横向对接焊缝填充、盖面焊道应采用埋弧自动焊机焊接，节段间腹板竖向对接焊缝宜采用小型智能焊接机器人焊接。

大节段配切线划线及梁长切割需在温度恒定，顶底板温差小于 3℃的条件下进行。

8.3 质量要求

节段整体拼装和大节段制造精度允许偏差应符合 JTG/T 3651-2022 的规定。

焊接完成后应对焊缝进行外观检查，焊缝质量应符合 Q/CR9211-2015 或 JTG/T 3650-2020 的规定。

焊缝无损检验应在外观检查合格后进行，无损检测检测范围、检测方法、检测比例、检测标准及验收标准应符合满足或 JTG/T 3650-2020 或 JTG/T 3651-2022 的规定。

8.4 测量监控

生产过程中应建立测量监控网对节段整体拼装和大节段制造过程中构件或节段的定位精度进行监控测量。

监控测量必须在温度较恒定的环境下进行，施工温度恒定但与设计温度不同时，应进行校正。

总拼胎架测量网内应设置永久观测点和胎架沉降点，设置基准高程点。

所有节段应采用统一的测量仪器和标准。

钢箱梁预拼装宜采用三维模拟技术，通过三维激光扫描仪建立钢箱梁模型，模拟钢箱梁箱口匹配情况。

节段整体拼装过程中停止点的设置和主要检测项点应符合表 6 的规定。

表 6 节段整拼停止点和主要检测项点

停止点设置	施工进度	主要检验项点	说明
第 1 停止点	底板单元组焊完成	组装精度	通过测量塔和高程基准点测量底板单元的组装位置。
		焊接质量	
第 2 停止点	横隔板组焊完成	几何精度尺寸	检测几何精度尺寸、焊缝焊接质量。包含横肋板、内腹板组焊
		焊接质量	
第 3 停止点	顶板组焊完成	组装精度	检测风嘴单元块体、顶板单元组装精度、焊缝焊接质量。
		焊接质量	
第 4 停止点	附属组焊结束	组装精度	检测组焊类型、位置、焊接质量
		焊接质量	
第 5 停止点	梁段预拼结束	焊接质量	检测箱口几何精度尺寸、梁段长度、宽度、线形。
		整体线形	

9 钢箱梁智能涂装

9.1 系统要求

9.1.1 系统组成

钢箱梁智能涂装生产线由智能喷砂系统、智能金属热喷涂系统、智能喷漆系统及协同控制集成系统组成。

智能喷砂系统由轮载式/轨道式/履带式小车/天车式平台、升降平台、喷枪系统、电控操作系统、

机械臂、AI 控制系统组成，或天车式机械臂携带喷砂系统组成。

智能金属热喷涂系统由轮载式/轨道式/履带式小车、升降平台、电弧喷涂机、电控操作系统、机械臂、AI 组成控制系统组成。

喷智能漆系统由轮载式/轨道式/履带式小车/天车式平台、升降平台、喷漆系统、涂料供给系统、机器人系统、控制系统组成。

9.1.2 系统功能

喷砂车间应具备集自动进料、喷砂和为回收一体的设备，粉尘排放应满足环保标准。

金属喷涂车间应具备粉尘处理系统、防爆系统。

喷漆车间应配备 VOC 自动处理净化装置。

各智能车间均应配置分控制室，用于现场生产控制、调度、监控。

各工序的自动化设备应通过各自车间的控制单元，经局域网将现场生产作业数据传输至总控室服务器，通过总控室计算机可同时监测各工序的现场生产作业状态，直观形象的显示设备状态、当前加工任务、工作人员等电子信息。

总控室的监控系统平台应具备与 BIM 系统进行数据交互的功能。

喷砂设备应适用于重金属粉尘环境，行走系统采用电力驱动，喷枪系统采用气动驱动。
行走系统采用电力驱动，喷枪系统采用气动驱动。

9.2 技术要求

钢箱梁梁段外表面和钢桥面应采用智能化涂装生产线进行施工。

钢箱梁智能涂装施工流程见附图 A。

智能喷砂系统主要工艺参数应符合表 7 的规定。

智能金属热喷涂系统主要工艺参数应符合表 8 的规定

智能喷漆系统主要工艺参数应符合表 9 的规定。

表 7 智能喷砂系统及工艺主要参数

序号	项目	参数
1	电力（AGV 小车）	三相：380V±10%, 50Hz, 18KW
		单相：220V±10%, 50Hz
2	压缩空气（喷枪系统）	≥0.6Mpa, ≥20m³/min
3	多自由度机械臂	电源：200-600V, 电流：50/60Hz
4	喷嘴型号	14~25mm
5	喷距	200~300mm
6	车体移动速度	0.5~1.8m/min
7	喷涂角度	50~85°

表 8 智能金属热喷涂系统及工艺主要参数

序号	项目	参数
1	电力（AGV 小车）	三相：380V±10%, 50Hz, 18kW

		单相：220V±10%，50Hz
2	压缩空气（喷枪系统）	≥0.6MPa，≥3m ³ /min
3	电力（电弧喷涂机）	三相：380V±15%，50Hz，15kW
4	多自由度机械臂	电源：200-600V，电流：50/60Hz
5	喷距	100mm
6	搭接宽度	5~10cm
7	喷涂电压	24~36V
8	喷涂电流	200~250A

表 9 智能喷漆系统及工艺主要参数

序号	项目	参数
1	电力（AGV 小车）	三相：380V±10%，50Hz，30kW
		单相：220V±10%，50Hz
2	压缩空气	0.5~0.8MPa
3	多自由度机械臂	电源：200-600V，电流：50/60Hz
4	喷距	300~400mm
5	喷涂角度	90°
6	搭接宽度	上一道与下一道搭接 30%~50%

9.3 质量要求

智能化涂装各工序质量控制应按照设计文件、JT/T 722-2008 或 Q/CR 749-2020 执行。

金属热喷涂应外观均匀一致，无气孔或底材裸露的斑点，无附着不牢的熔融颗粒，无翘皮、脱落、鼓包、裂纹等缺陷。

涂层外观应均匀平整，无气泡、裂纹，无严重流挂、脱落、漏涂等缺陷。

涂层干膜厚度按照 GB/T 4956-2003 的规定用磁性测厚仪测量。

复核涂层附着力按照 GB/T 5210-2006 或 GB/T 9286-1998 的规定进行拉开法或划格法试验。

9.4 智能涂装信息化控制

各智能车间均应配有用于现场生产控制、调度、监控的分控制室。

各工序的自动化设备可通过各自车间的控制单元，经局域网将现场生产作业数据传输至总控室服务器，通过中控室计算机可同时监测各工序的现场生产作业状态，可直观形象的显示设备状态、当前加工任务、工作人员等电子信息。

总控室的监控系统平台应具备与 BIM 系统进行数据交互的功能。

10 车间制造执行智能管控系统

10.1 基本原则

车间制造执行智能管控系统应集成各项信息化管理软件，通过车间网络与设备连接，建立信息

化管理系统，实现对钢箱梁制造过程中的产品设计、材料采购、生产执行、质量控制、物流运输等多方面的管控。

信息化建设坚持统一规划、统一标准、统一计划、统一建设的原则，防止产生信息孤岛和重复建设。

物资、设备、客商、组织、人员数据统一规范管理，通过信息资源的整合、调度、共享的建设与使用，实现各个业务系统之间互联互通和信息共享。

信息化建设应充分考虑应用系统的安全性，在设计过程中能够充分利用防火墙、身份合法性验证、数据传输安全、数据存储加密及网络结构设计等方面的技术手段，保护重要数据。

智能制造生产线应采用技术成熟、可靠性高、性能先进的智能化设备，设备需具备信息数据采集接口，并通过无线 AP 或者固定工控网络方式接入生产管控系统网络中。

10.2 系统要求

10.2.1 BIM 技术应用

钢箱梁智能制造宜应用 BIM 正向设计，应用模块化参数化设计，图纸与模型相互关联、同步优化。

BIM 制造模型应涵盖三维模型物料清单信息、零件和构件编码信息、涂装面积信息、零件工艺数控信息、碰撞检测信息等。

BIM 建模应组建零件库、构件库。构件库应涵盖构件加工图纸、工艺信息、焊缝信息、材料报表、数控加工文件等制造工艺相关数据。

建模时应对零件、板单元、节段进行编号，后期可生成深化图纸，按照构件类别、材质、构件长度进行汇总报表。

产品数据管理系统功能模块应包括技术文件管理、数据管理、报表输出、 workflow 管理和人员管理等。

协同管理平台应实现物料到产品的生产制造数字化，结合桥梁 WBS 编码体系建立工程 BOM 编码体系，进行数据的采集与集成，覆盖从钢板到货开始，到桥位连接完成的全寿命周期质量追溯。

10.2.2 智能生产

ERP 系统应包括生产计划管理、生产调度管理、生产数据管理、用户管理系统等功能。

MES 系统应包括生产作业管理、生产工时管理、生产场地管理、人力资源管理、能源管理、企业决策支持管理、变更管理、版本管理、生产进度管理、计量支付管理、项目知识库管理、分包管理等功能。

设备运维管理功能模块应包括用户管理系统、数据通信模块、设备资产管理系统、备品备件管理系统、工作流程管理等功能。

采购管理系统应包括基础设置、采购合同/采购订单管理、采购到货/到货质检管理、采购发票管理、报表查询等功能，采购系统与生产、项目、质量、设备、库存、销售、应付管理子系统应有良好的接口。

能源管理系统功能模块应包括能源设备运转状况在线实时监控、能源生产/消耗实绩采集、环保数据在线实时监测、监测数据自动报警、环保监测考核等功能。

安全环保健康管理系统功能模块应包括安全管理、安全生产标准、环境保护等功能。

10.2.3 智能物流

仓储系统功能模块应包括基础设置、入库管理、库存管理、库存报表查询等功能。

配送系统功能模块应包括系统管理、出库管理、运输管理、原材料/半成品仓储管理、配送管理等功能。

10.2.4 信息系统集成

企业应通过统一的数据标准规范与各业务应用系统之间建立相互的联系，实现企业各部门之间信息系统数据的资源整合

企业的办公自动化功能模块统一和集中管理，主要包括：电子邮件、通讯录管理、信息发布等信息交流与发布信息化管理，收发文和公文流转管理等公文信息化管理，日程管理、会议管理、个人事务等日常活动信息化管理等。

项目管理协同集成数据采集将项目进度、质量、安全等数据与业主 BIM 平台连通，并提供给工业 APP 应用。

10.2.5 智能装备要素

板材智能下料生产线应具备的主要功能包括：切割、开坡口、划线、号料、喷码等自动功能；关键设备数字化、智能化；关键设备组网；生产过程中预警与实时反馈。

板单元智能焊接生产线应具备的主要功能包括：关键设备数字化、智能化；关键设备组网；生产过程中数据信息的交互；生产过程中预警与实时反馈。

节段智能总拼生产线应具备的主要功能包括：智能高精度测量；节段建模，并与 BIM 制造模型进行误差比对；关键设备数字化、智能化；关键设备组网；生产过程中数据信息的交互；生产过程中预警与实时反馈。

钢箱梁智能涂装生产线应具备的主要功能包括：自动采集和记录环境数据、施工数据、检测数据，并反馈至 BIM 系统进行实时监控；喷砂房应有温湿度自动调节功能和集自动进料、喷砂、回砂一体化的智能化喷砂设备；喷漆房应有温湿度自动调节功能、智能化喷漆装备、漆雾回收、VOC 有机挥发物处理净化功能。

附图A 钢箱梁涂装施工流程图

