

DB32

江 苏 省 地 方 标 准

DB32/T 5208—2025

智能数控装配线预制箱梁生产技术规程

Technical code of practice for production of prefabricated box girder on
intelligent computer numerical control assembly line

2025-09-10 发布

2025-10-10 实施

江苏省市场监督管理局 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	1
5 智能数控装配线系统功能	2
6 生产工艺	4
7 质量控制	8
附录A(资料性) 混凝土试验用振动搅拌机性能参数	9
附录B(资料性) 装配线设计方法	10
附录C(资料性) 基于BIM的钢筋智能加工方法	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。

本文件由江苏省交通运输厅提出、归口并组织实施。

本文件起草单位:江苏森森工程质量检测有限公司、江苏省交通运输综合行政执法监督局、中铁七局集团有限公司、无锡交通建设工程集团股份有限公司、常州市交通运输综合执法支队、江苏镇江路桥工程有限公司、江苏狄诺尼信息技术有限公司、江苏省交通技师学院、盐城市响水县交通运输局、无锡市航道工程有限公司、江苏东南工程咨询有限公司、南京宇测计量服务有限公司、无锡市市政设施建设工程有限公司、南京宇达兴科仪器科技有限公司、许昌德通振动搅拌技术有限公司、江苏省交通工程建设局、扬州市公路事业发展中心、中交一公局第五工程有限公司、常州交通建设管理有限公司、常州市公路事业发展中心、江苏路通装配科技有限公司。

本文件主要起草人:郑洲、张建、张卫中、薛宏、桂零、吕泰达、薛华、王浩羽、杨雪茹、曹妍、徐永福、顾碧峰、李井增、杜永军、高洁、欧定福、毛安静、万俊、徐德民、包旭、张良奇、杜志、龚玉宇、杨坤、杨磊、江新、钱钧、羊海文、窦传刚、严承俊、杜海云、朱蕊、黄佳钰、张建伟、陈军、曹小平、梅德纯、韩辉、夏春家、倪刚刚、张瑶、贺攀、顾江鸣、俞科峰、陈光林、黄建科、李燕军、刘宝文、张晓博、曹昌伟、徐文凯、陈华、祁敏、王媛婕、张飞龙、杨福猛、刘林福、张占宇、李岩、王芮文。

智能数控装配线预制箱梁生产技术规程

1 范围

本文件规定了智能数控装配线预制箱梁生产的基本规定、智能数控装配线系统功能、生产工艺、质量控制。

本文件适用于公路桥梁智能数控装配线预制箱梁的生产。

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。

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能数控装配线 intelligent computer numerical control assembly line

由智能数控装配工作区和连接各工作区的起重运输线路组成的预制箱梁生产系统。

3.2

智能布料 intelligent concrete distribution

在浇筑预制梁混凝土时,采用智能控制方式自动将混凝土按预设方式均匀洒布至模板中。

3.3

鱼雷罐运输系统 torpedo tank transportation system

采用鱼雷罐方式将混凝土储存并运输至智能布料系统的一种运输体系。

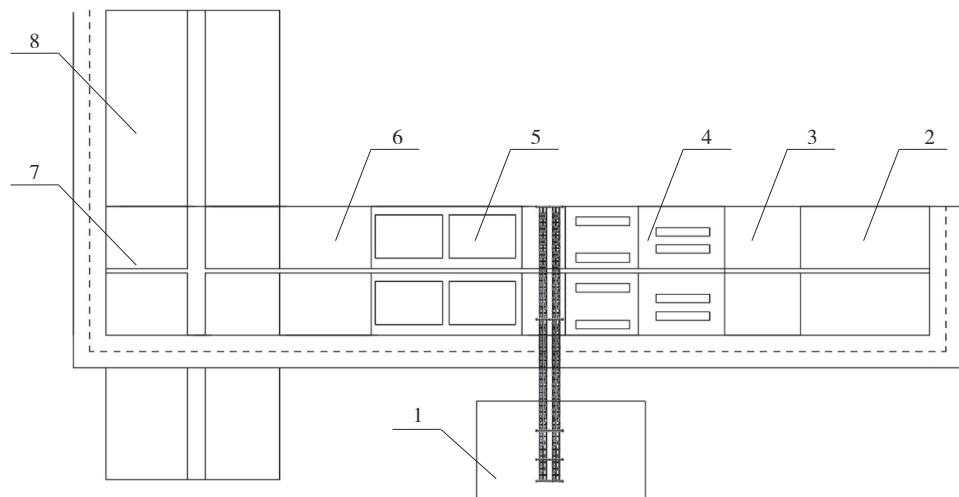
4 基本规定

4.1 以智能数控装配线形式生产的预制箱梁预制场地应按生产标准化工作要求进行布设。

4.2 智能数控装配线功能区宜包括混凝土拌制区、钢筋加工区、钢筋安装绑扎区、混凝土浇筑区、箱梁临时停放和修整区(可选)、预制箱梁养生区、张拉压浆区和存梁区等。功能区布置可参考图 1。

4.3 在进行功能区域划分和布设时,应综合考虑相邻工序之间的半成品搬运便利性,工序之间、功能区之间不应相互干扰。

4.4 预制场地内应做好临时用电、运输路线、给排水等综合设计,并应对场地进行硬化处理。预制台座、起重运输轨道、养生区、张拉压浆区、存梁区等区域地基和基础应做好结构验算和承载能力计算,使用期内应定期进行沉降观测,不应产生不均匀沉降。



标引序号说明：

- 1——混凝土拌制区；
- 2——钢筋加工区；
- 3——钢筋安装绑扎区；
- 4——混凝土浇筑区；
- 5——箱梁临时停放和修整；
- 6——箱梁养生区；
- 7——张拉压浆区；
- 8——存梁区。

图1 预制工厂功能区布设示意图

4.5 智能数控装配线应包括但不限于以下系统：

- a) 钢筋智能数控加工系统；
- b) 自行式台座和液压模板系统；
- c) 混凝土智能数控拌和系统；
- d) 混凝土数控运输系统；
- e) 混凝土数控布料系统；
- f) 数控振捣系统；
- g) 智能养生系统；
- h) 智能张拉与智能压浆系统；
- i) 智能数控起重吊装与运输系统；
- j) 装配线智能化管理平台。

4.6 智能数控设备配备数量应结合装配线平衡计算结果、生产工作计划、材料供应情况等因素确定。

4.7 预制工厂内应进行封闭管理,设置视频监控设施,应做到全天候全域内无死角监控。

4.8 物料及成品管理应采用信息化手段进行出入库信息登记、查询和溯源管理。

4.9 智能数控设备宜与项目质量管理等系统平台对接,实现数据实时监控、回看和分析。

5 智能数控装配线系统功能

5.1 钢筋智能数控加工系统

5.1.1 系统由智能设备、工具和软件组成,其中设备和工具宜包括智能数控下料机、调直机、切断机、弯

曲机等。

5.1.2 系统设备宜满足下列功能要求：

- a) 使用人机交互数控技术进行钢筋加工自动化建模；
- b) 自动输出配料表,具有材料复核简单、易于追溯的功能；
- c) 系统数据的输出和存储与生产规模匹配,且能通过设置钢筋尺寸和角度自动生成钢筋图形；
- d) 根据设置参数加工多种异形箍筋；
- e) 实现钢筋自动化加工,余料自动分类以再次利用；
- f) 智能钢筋锯切套丝一体机打磨生产线,宜具有钢筋套丝、打磨、自动收料、寻找仓位、分级储料等高度自动化和无人化生产功能；
- g) 具有异常报警提示功能；
- h) 智能数控钢筋弯曲中心可通过人机界面设置钢筋加工参数,并能实现设备多机头自动定位。

5.2 自行式台座和液压模板系统

5.2.1 自行式台座包括底模组件、支撑纵梁和行走系统。自行式台座电动装置应具有缓慢启动、缓慢停止、驱动轮同步启动功能。

5.2.2 液压模板系统由侧模、抽拉式内芯模以及自动化控制软件系统组成。

5.2.3 侧模板应采用数控液压模板,宜为自行式结构,应具有位置精准调控功能。

5.2.4 内芯模应采用数控液压抽拉式钢模。

5.3 混凝土智能数控拌和系统

5.3.1 系统由混凝土智能数控拌和机和混凝土拌和管理系统组成。

5.3.2 拌和机应能自动计量各料仓用料,拌和机单机生产能力宜不低于 $60 \text{ m}^3/\text{h}$,总生产能力应满足单次最大混凝土数量需求,宜使用混凝土高频低幅振动拌和机,拌和机应具有数据实时采集、存储和上传功能,生产数据应能及时上传至拌和机管理系统。

5.3.3 使用振动拌和的混凝土进行配合比设计时,应采用混凝土试验用振动搅拌机进行混凝土拌和,混凝土试验用振动拌和机的性能参数应与生产用拌和机一致,试验机性能参数详见附录 A。

5.3.4 混凝土拌和管理系统应能对拌和机拌和数据进行分析,如数据超出规定范围,应能及时报警。

5.4 混凝土数控运输系统

5.4.1 系统由数控鱼雷罐混凝土运输设备组成,当预制工厂条件受限时,可采用混凝土搅拌运输车。

5.4.2 数控鱼雷罐混凝土运输设备应设有防倾覆机构、电机减速机驱动系统、行走机构等。运输线路轨道布设应满足承载能力和稳定性的要求,应采用智能化行走控制。

5.4.3 混凝土搅拌运输车应配备行车记录仪、定位装置和运输计时装置。

5.5 混凝土数控布料系统

5.5.1 数控布料系统由智能布料小车、支承架和布料机控制系统组成。

5.5.2 智能布料小车上配备的动态称量组件应能使布料称重精度控制在 2% 以内。

5.5.3 布料机支承架应具有足够的刚度。

5.5.4 布料机控制系统应具有手动和遥控两种控制模式。

5.6 数控振捣系统

5.6.1 宜包括数控排式振捣器、附着式数控振捣器和设备操作软件等。

5.6.2 可选用数控排式振捣器进行振捣,数控排式振捣器振捣宽度应能在 1.5 m~8 m 范围内灵活调整,应能实现振捣棒工作深度精准控制。

5.6.3 数控排式振捣器控制系统应支持振捣时间、频率、行走速度等参数可调整设置,并能实时监控振捣棒工作深度、电机负载等运行状态。

5.6.4 附着式数控振捣器功率宜为 1.5 kW 以上,高频低幅,应根据梁体高度和模板结构进行布置,应使用变频系统实现对振捣频率、振幅等参数的精准调节。

5.7 智能养生系统

5.7.1 由温湿度感应器、自动喷淋设备、生物质锅炉等设备及智能控制软件系统组成。

5.7.2 温湿度感应器应满足以下要求:

- a) 应具备 IP65 及以上的防护等级,应能避免水分和尘埃对感应器内部电路造成损害;
- b) 能够在相对湿度 95% 以上的高湿度环境中稳定工作,且湿度测量感应精度应达到 $\pm 2\%$; 温度测量精度应达到 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$;
- c) 平均无故障时间(MTBF)不少于 1 500 h, 相对湿度长期稳定性应保证年漂移量 $\leq 1\%$, 温度长期稳定性应保证年漂移量 $\leq 0.1^{\circ}\text{C}$, 以保证长期监测数据的可靠性;
- d) 应支持多种标准通信协议;
- e) 采集的数据应能够实时上传至管理系统,并应实现阈值设置和超阈值报警。

5.7.3 自动喷淋设备由喷淋设施和控制系统组成。喷淋设施应能在控制系统的控制下精确控制喷淋时间、喷水量和喷水均匀性。

5.7.4 生物质锅炉工作压力应在 0.7 MPa~1.6 MPa, 锅炉控制系统应能够实时监测运行状态、调整燃烧参数, 以确保蒸汽的稳定输出和混凝土的适宜养护温度。应具有自动点火、自动调节燃烧强度、自动排污等功能。

5.8 智能张拉与压浆系统

5.8.1 应具有数据实时采集、存储和上传功能。

5.8.2 设备应定期进行计量校准。

5.9 智能数控吊装与运输系统

5.9.1 由门式起重机、移运平车和数控软件组成。

5.9.2 门式起重机应具有自动控制、超载预警、远程控制等功能。

5.9.3 移运平车行走速度应可调且稳定, 多轮组驱动时应确保同步性, 避免梁体倾斜, 纵向移动速度宜不大于 5 m/min, 横向微调精度应达 $\pm 1\text{ cm}$ 。

5.10 装配线智能化管理平台

5.10.1 宜具有质量管理、设备管理、物料管理、人员管理、安全管理、环保管理、进度管理等功能。

5.10.2 5.1~5.9 所述系统应接入智能化管理平台。

5.10.3 应能对接入平台的设备、人员、物料、质量、进度、安全、环保等各系统数据进行实时分析并预警。

6 生产工艺

6.1 流程图

智能数控装配线箱梁预制生产流程见图 2。

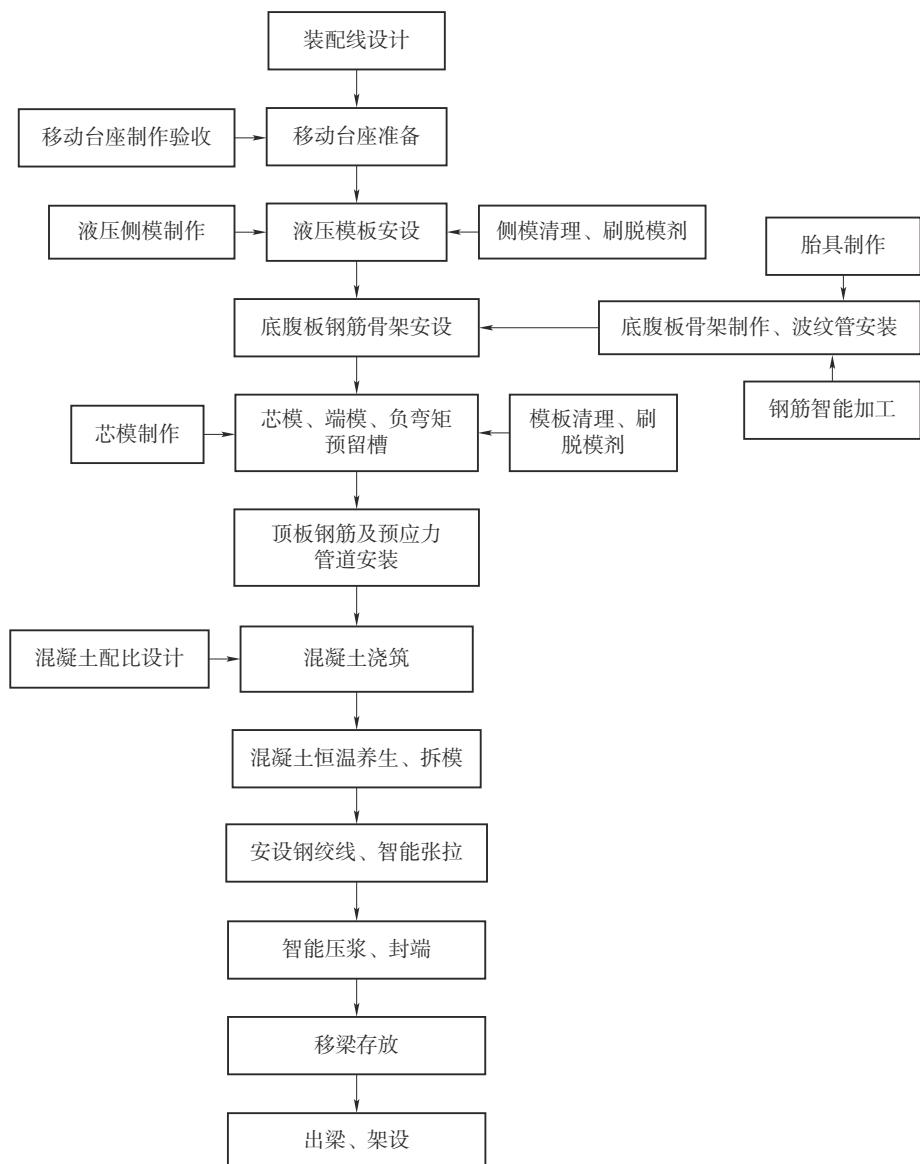


图 2 工艺流程图

6.2 装配线设计

装配线设计方法可按附录 B 执行。

6.3 钢筋智能加工与钢筋骨架的拼装

6.3.1 钢筋加工前,应将钢筋的尺寸、数量输入至设备控制系统中,并设置剪切长度、弯曲角度、批处理数量等工作参数。

6.3.2 检查刀片、调直块等工作部件安装情况,检查电气线路、气动部分、机械部分情况。

6.3.3 监控加工过程,及时调整参数,钢筋加工偏差应满足 JTGT 3650 和 JTGF80/1 的要求。

6.3.4 钢筋骨架制作应采用胎架定位,胎架具应具有足够的刚度。胎架钢筋定位齿板间距偏差应不大于1mm。

6.3.5 波纹管定位支架应可沿纵向滑动,满足梁长变化时波纹管的精准定位,线形应符合设计图纸要求。

6.3.6 基于 BIM 的钢筋加工方法见附录 C。

6.4 自行式台座和液压侧模安装

6.4.1 通过远红外遥控系统操控自行式台座和液压模板系统。

6.4.2 侧模板安装时,应确保模板与台座之间的配合良好,无缝隙或错位。

6.5 底、腹板钢筋骨架安设

6.5.1 底、腹板钢筋骨架采用门式起重机通过桁架式吊架将钢筋骨架运至自行式台座,骨架提升和移动时,两台龙门吊应保持同步。

6.5.2 在底腹板钢筋骨架吊装入模前,应进行梁底预埋钢板的安装定位。

6.6 芯模安装

6.6.1 芯模采用外部拼装,分节段吊装的方式吊装。

6.6.2 芯模安装时,应使用液压遥控系统对芯模位置进行微小移动,以保证芯模位置精准。

6.7 顶板钢筋骨架吊装

6.7.1 顶板钢筋骨架采用整体吊装就位。

6.7.2 顶板钢筋骨架就位后,安装其他钢筋。

6.7.3 伸出模板的钢筋宜采用发泡剂封堵,发泡剂宜不浸入待浇混凝土中。

6.8 模板密封

6.8.1 模板安装后,应检查各部分接缝是否密闭。

6.8.2 翼板边部不宜采用免凿毛橡胶板作为混凝土模板,若采用免凿毛橡胶板时,混凝土拆模后,仍需对模板边部进行凿毛处理。

6.9 混凝土拌和

6.9.1 拌和前,应检查混凝土拌和机和智能化控制系统是否处于良好状态。

6.9.2 采用振动拌和时应注意以下事项:

- a) 应根据生产配比进行拌和机主要参数设定;
- b) 根据混凝土的特性和生产要求,选择合适的振动频率和振幅。振动频率和振幅的选择应确保混凝土能够均匀拌和,同时避免过度振动导致混凝土离析;
- c) 振动拌和的时间应根据混凝土的坍落度、骨料粒径等配合比设计因素来确定;
- d) 拌和过程中应可实时监测振动频率、振幅、拌和时间等拌和参数数据,并能自动调整。

6.10 混凝土运输与浇筑

6.10.1 鱼雷罐混凝土运输装置包括罐体、行走机构、防倾覆机构、电气系统和控制系统等,各部件应完好无损,连接牢固。

6.10.2 轨道应无杂物、无损坏,轨道与地面之间的固定装置应牢固可靠。

6.10.3 鱼雷罐运输混凝土应注意以下事项:

- a) 装载混凝土过程中,应控制装载速度,避免过快导致混凝土溢出或损坏罐体;
- b) 应时刻关注鱼雷罐和行走机构的运行状态,如发现异常声音、振动或温度升高等情况,应停车检查并采取相应的处理措施;
- c) 在卸料过程中,应控制卸料速度,并避免混凝土溅出。

6.10.4 浇筑时,先浇底、腹板,再浇顶板,腹板混凝土应水平分层浇筑。混凝土浇筑按 JTG/T 3650 的要求执行。

6.10.5 底、腹板混凝土振捣采用变频附着式振动器为主、插入式振捣器为辅相互结合的方法;顶板混凝土振捣宜采用数控排式振捣器,并应配合平板振捣器进行上部混凝土振捣。

6.10.6 振捣时间和振捣频率应根据首件工程总结的工艺执行。

6.11 脱模

6.11.1 侧模和芯模的拆除按 JTG/T 3650 的规定执行。

6.11.2 模板拆除过程中避免损伤混凝土。

6.12 智能养生

智能养生系统应根据养生方案和环境温湿度进行自动开启和关闭喷淋装置和温度控制装置。

6.13 智能张拉、压浆

6.13.1 宜在箱梁混凝土实际强度及弹性模量达到设计规范要求后张拉预应力钢束。张拉的程序及要求按 JTG/T 3650 执行。当采用混凝土龄期代替弹性模量控制时,应按混凝土成熟度估计混凝土弹性模量,且张拉控制时间不应少于 5 d。

6.13.2 钢绞线智能张拉应注意以下事项:

- 千斤顶及油表应进行校准,并应在张拉前进行调试;
- 张拉时应按预先设定的张拉程序进行,控制好加载速率、持荷时间等参数;
- 在张拉过程中,应跟踪张拉阶段的伸长量。智能张拉系统应计算理论伸长量和实际测伸长量的偏差;
- 实测伸长量与理论伸长量的差值应控制在±6% 以内。若超出此范围,应停止张拉,分析原因并采取措施后再恢复张拉;
- 智能张拉系统应对记录的数据进行实时分析和处理,及时发现并解决问题;
- 以张拉力为控制指标,伸长率作为校核指标。

6.13.3 预应力孔道压浆应在张拉后 48 h 内进行,孔道压浆前不应搬运和安装就位,压浆后浆体强度达到 5 MPa 前,不应移动和吊装梁体。

6.13.4 宜采用智能循环压浆系统进行压浆。压浆按 JTG/T 3650 要求执行。压浆应一次完成,不应采用二次补浆的方式使压浆饱满。

6.13.5 智能压浆时,应注意以下事项。

- 在压浆前,应对智能压浆机及其配套设备进行全面的检查。
- 应根据首件工程确定的压力、流量、持荷时间等设置压浆参数。
- 压浆顺序宜先压注下层孔道,再压注上层孔道。对于曲线孔道和竖向孔道,应从低点的压浆孔压入,由高点的排气孔排气和泌水。

6.14 存梁

应对进入存梁区的箱梁实施二维码标识管理。二维码信息宜包括以下内容:

- 项目名称;
- 生产单位名称;
- 监理单位名称;
- 桥梁名称、梁编号、尺寸;
- 图号;

f) 主要生产日期。

7 质量控制

7.1 智能数控装配线箱梁预制生产质量控制项目应与 JTGF80/1 和 JTGT3650 一致,并满足其要求。

7.2 预制箱梁生产完成后,应采用无损的方法对张拉力、压浆质量进行检测。

7.3 预应力筋滑丝断丝、夹片破裂、锚具变形等限制值应满足 JTGT3650 及 JTGF80/1 的要求。

7.4 应按表 1 的频率进行构件孔道压浆密实度检测,检查方法可采用冲击弹性波法或其他有效的检测方法。

表 1 孔道压浆密实度最低检测频率和抽检方法

项目	施工单位	监理单位	建设单位
本标段预制构件总数	按 20% 频率抽取预制构件	按 5% 频率抽取预制构件	按 3% 频率抽取预制构件
负弯矩孔道	按负弯矩孔道数量的 60% 频率检测,且与监理、建设单位不重复检测	按竖直孔道数量的 30% 频率检测,且与施工、建设单位不重复检测	按竖直孔道数量的 10% 频率检测,且与施工、监理单位不重复检测
首件预制构件	所有孔道全部检测。	旁站见证检测	旁站见证检测
被检构件	每个构件抽检的孔道数量不应少于构件孔道总数的 50%,宜选择构件中较长的孔道以及水平孔道 当抽检的孔道中有 50% 以上的孔道有缺陷时,应对该班次压浆的孔道全部检测	每个构件抽检孔道数量不应少于构件孔道总数的 40%,宜选择构件中较长孔道以及水平孔道	每个构件抽检孔道数量不应少于构件孔道总数的 20%,宜选择构件中较长孔道以及水平孔道

附录 A

(资料性)

混凝土试验用振动搅拌机性能参数

A.1 基本规定

- A.1.1 单卧轴强制式振动搅拌机搅拌转速宜为 $47 \text{ r/min} \pm 1 \text{ r/min}$, 双卧轴强制式振动搅拌机的搅拌转速宜为 $55 \text{ r/min} \pm 1 \text{ r/min}$ 。
- A.1.2 空载运转时, 振动搅拌机应运转正常, 搅拌筒应稳固无晃动, 搅拌驱动系统、振动驱动系统应无异常声响。
- A.1.3 振动搅拌机进料口距最高上料台阶面的高度应不大于 1.1 m 。
- A.1.4 振动搅拌机应固定牢靠, 工作时应具有良好的稳定性。
- A.1.5 振动搅拌机的搅拌叶片和侧刮板应能调整或更换。
- A.1.6 振动搅拌机的搅拌叶片和侧刮板与搅拌筒内壁的最大间隙不宜大于 5 mm 。
- A.1.7 振动搅拌机搅拌筒筒壁厚度不应小于 8 mm , 搅拌叶片和侧刮板的厚度不应小于 10 mm 。
- A.1.8 振动搅拌机搅拌驱动系统、振动驱动系统和液压系统应密封严密, 不漏油。
- A.1.9 振动搅拌机应设有防尘或抑尘装置, 工作时应无明显粉尘污染, 基准混凝土粉尘控制试验细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)不应大于 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

A.2 拌和能力

- A.2.1 振动搅拌机应具有搅拌最大骨料粒径为 40 mm 混凝土的能力, 在 48 s 内应将混凝土混合料振动搅拌成匀质混凝土。匀质混凝土颜色应一致, 且同一盘不同部位的混凝土拌合物中砂浆堆积密度的相对误差应小于 0.8% , 单位体积混凝土拌合物中粗骨料质量相对误差应小于 5% 。
- A.2.2 振动搅拌机卸料残留量不应大于 1.5% 。
- A.2.3 振动搅拌过程中不应溢料或漏料。
- A.2.4 搅拌混凝土拌合物时, 应具有搅拌干物料的能力, 且在搅拌中不应卡石子, 正常持续工作时间应大于 45 s 。
- A.2.5 搅拌公称容量 110% 的混凝土混合料时, 振动搅拌机应正常工作。

A.3 振动参数

- A.3.1 振动搅拌机与混凝土接触部位振动搅拌轴的振动频率允许偏差应为设计值的 $\pm 2\%$, 振幅允许偏差应为设计值的 $\pm 10\%$ 。
- A.3.2 振动搅拌机振动搅拌轴的振动强度代表值应为 $4\sim 6$ 。
- A.3.3 振动搅拌机的机架振动强度代表值不应大于振动搅拌轴振动强度代表值的 25% 。

附录 B
(资料性)
装配线设计方法

B.1 装配线设计内容包括装配线数量确定和装配线平衡与效率的计算。

B.2 对箱梁制作工艺流程进行简化,组合、合并流程中工序作业时间短的相邻工序。简化后的流程工序衔接如图 B.1。

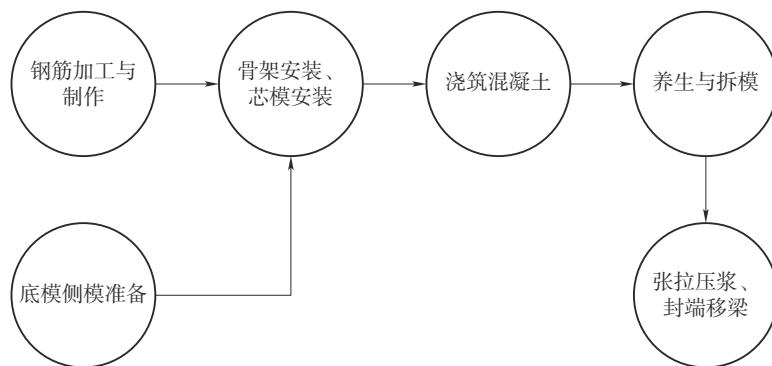


图 B.1 简化后的工序衔接图

B.3 画出工序时间条形图,观察工序的瓶颈时间。预制箱梁流程中,瓶颈时间为箱梁养生时间。针对养生工序瓶颈,可通过增加养生中心区域智能养生大棚的箱梁容量相对减少养生时间。此过程见图 B.2。

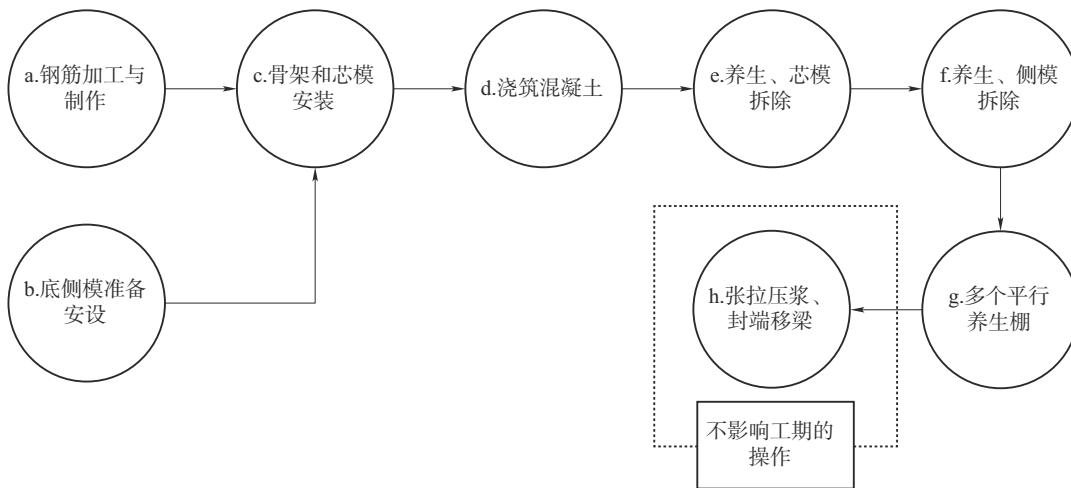


图 B.2 整合后的工序衔接图

B.4 根据工程进度计划,分解到每个月生产的箱梁数量,使用装配线平衡技术计算所需的装配线数量,并计算装配线效率。具体方法如下。

- 计算 1 条装配流水线的生产节拍 CT 。 $CT = \text{一定时间段的工作时间 OT} / \text{一定时间段的箱梁生产量}$ 。
- 计算最少所需的装配流水线数量;最小装配线数量 $N_{\min} = \text{完成一片箱梁所用的时间} \sum t / CT$ 。

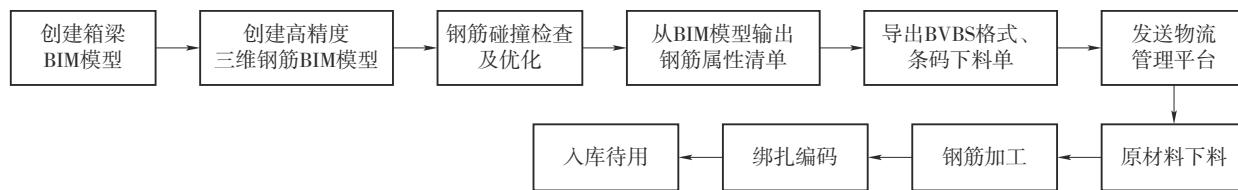
- c) 从第1条装配线开始,按装配线顺序号为其分配任务,任务的分配按工序衔接图由左向右进行。
 - d) 在每道工序分配之前,利用下列标准确定哪些作业够资格分配到一条装配线上:
 - 所有的先行工作都已经被分配;
 - 该作业时间不超过该工作地的剩余时间;
 - 如果没有资格分配的作业,继续下一个工作地。
 - e) 每当一个作业分配以后,计算出该装配线的剩余时间,剩余时间等于节拍减去装配线上总的工作时间。
 - f) 如果两个工序情况都相同时,可采用下列方法之一解决:
 - 分配时间最长的工序;
 - 分配后续作业数量最多的作业。

注:如果仍相同,可任意选一个作业。
 - g) 继续下去直到所有作业都已经分配到各个装配线。
 - h) 计算装配线效率指标。
- B.5** 运用装配线平衡技术对预制工厂进行装配区域划分,提高生产专业化程度。
- B.6** 运用装配线平衡技术进行装配线数量确定,保证生产满足工期要求。
- B.7** 运用装配线平衡技术对各生产区域和各装配线分配工作任务,保证生产连续不间断进行。
- B.8** 运用装配线平衡技术计算各装配线设备使用效率,并在后续生产中能进行动态调整。

附录 C
(资料性)
基于BIM的钢筋智能加工方法

C.1 钢筋智能加工路线

- C.1.1 箱梁钢筋智能化生产应以钢筋图为基准,利用BIM建模技术建模,完成基于BIM技术的钢筋优化。
- C.1.2 根据优化后的钢筋BIM模型导出钢筋格式数据,经物料生产管理系统确认后,形成加工代码单号。
- C.1.3 钢筋加工管理系统通过导入钢筋代码单号,自动生成钢筋加工代码单,将加工数据输入加工设备。
- C.1.4 通过局域网将智能钢筋加工设备和办公网络连接,实现智能数控设备钢筋加工一体化制作。
- C.1.5 钢筋智能加工流程见图C.1。



图C.1 钢筋智能加工流程

C.2 建立BIM模型

- C.2.1 建模软件建模精度应达到LOD5.0以上,可扩展性好,数据转换格式多样,易实现与钢筋加工管理平台之间数据传递。
- C.2.2 根据生产设计图纸,对箱梁进行“切块”,划分预制箱梁单体,并为每个预制构件赋予属性编号,以便后续生产阶段的构件管理。
- C.2.3 应对不同部位的预制箱梁进行分别建模。
- C.2.4 创建高精度三维钢筋BIM模型,利用钢筋建模软件,通过直接画3D线转化为钢筋,也可按路径、延曲面批量布置钢筋。钢筋的弯钩、保护层等设置均应符合图纸和规范要求,模型精确度应达到毫米级,符合钢筋生产下料精度要求。

C.3 钢筋碰撞检查及优化

- C.3.1 模型建立完毕后,应采用建模软件的碰撞检查功能,对钢筋和钢筋、普通钢筋和预应力钢绞线、钢筋与锚垫板、钢筋和预埋件之间进行碰撞检查,如发现设计图纸存在的不合理问题应进行解决。
- C.3.2 对箱梁钢筋进行优化设计,对有冲突的部位进行设计调整。
- C.3.3 结合钢筋绑扎工艺流程,运用软件对梁体钢筋绑扎过程进行模拟,通过三维可视化手段分析和优化绑扎过程。

C.4 从 BIM 模型中输出钢筋属性清单

- C.4.1 在钢筋建模软件中为每根钢筋构件分配唯一属性编码。
- C.4.2 软件自定义输出钢筋构件属性清单,包含钢筋构件的形状、尺寸、数量、重量、位置等属性信息。
- C.4.3 将钢筋属性信息直接和生产设计图纸进行比对,查找工程量是否存在错误。

C.5 输出 BVBS 格式文件

- C.5.1 建模软件应与设备之间具备通信协议,可向智能钢筋加工设备的传递 BIM 数据,通过 BIM 数据精准指导钢筋自动化生产。
- C.5.2 建模完成后可从建模软件输出 BVBS 钢筋弯折数据文件至物料管理平台。
- C.5.3 物料生产管理平台应包括钢筋模型 BVBS 数据导入、钢筋生产任务计划、钢筋加工单生成、加工过程监控等模块。

C.6 钢筋智能加工

- C.6.1 将 BVBS 数据文件通过接口或文件传输的形式发送到智能钢筋设备管理系统中,接口程序自动解析工程名称、使用部位、加工数量以及钢筋加工的长度、角度等参数信息,同时,在后台完成格式转换和绘图工作。
- C.6.2 智能钢筋加工设备的钢筋数据接口通过解析软件模型导出的钢筋数据格式,接收钢筋型号数据信息,自动生成钢筋加工任务单,并将关键数据信息储存至数据库。
- C.6.3 智能控制系统对钢筋加工尺寸进行控制,实现钢筋的精准加工。