



T/CECS XXX- 202X

中国工程建设标准化协会标准

盾构隧道钢筋混凝土管片智能制造技术规程

technical specification for intelligent manufacturing of reinforced concrete
segments for shield tunneling

（征求意见稿）

中国计划出版社

中国工程建设标准化协会标准

盾构隧道钢筋混凝土管片智能制造技术规程

Technical Specification for Intelligent Manufacturing of Reinforced Concrete
Segments for Shield Tunneling

T/CECS XXX- 202X

主编单位：中铁十四局集团房桥有限公司

XXXX

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行如期：202X 年 X 月 X 日

中国计划出版社

202X 北 京

前 言

《盾构隧道钢筋混凝土管片智能制造技术规程》（以下简称“规程”）根据中国工程建设标准化协会《关于印发 2024 年度第一批协会标准制定、修订计划的通知》（建标协字〔2024〕15 号）的要求进行编制。编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外的先进经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为 7 章和 2 个附录，主要内容包括：总则，术语，基本规定，智能工厂要求，智能管理系统，智能生产及工装，智能检验等。

本标准由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由中铁十四局集团房桥有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送中铁十四局集团房桥有限公司（地址：北京市房山区阎村镇房山科技工业园区燕房园 8 号，邮编：102400）。

主 编 单 位： 中铁十四局集团房桥有限公司

参 编 单 位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1	总 则.....	1
2	术语.....	2
3	基本规定.....	5
4	智能工厂要求.....	6
4.1	一般规定.....	6
4.2	平面布置.....	6
4.3	设备设施.....	7
5	智能管理系统.....	8
5.1	集成性综合管理系统.....	8
5.2	生产管理.....	8
5.3	物资管理.....	9
5.4	设备管理.....	10
5.5	安全管理.....	10
5.6	质量管理.....	12
5.7	进度管理.....	13
5.8	节能环保管理.....	14
6	智能生产.....	16
6.1	一般规定.....	16
6.2	流水线生产.....	16
6.3	管片模具.....	17
6.4	管片钢筋.....	18
6.5	管片预埋件.....	19
6.6	管片混凝土.....	19
6.7	管片蒸养.....	20
6.8	管片脱模与缓存.....	20
6.9	管片储存与养护.....	20
7	智能检验.....	22
7.1	一般规定.....	22

7.2 检测方法.....	22
7.3 质量判定.....	23
附录 A 管片预制场自动化、智能化设备表.....	24
附录 B 管片外观质量要求表.....	25
用词说明.....	26
引用标准名录.....	27
附：条文说明.....	28

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms	2
3 Basic Requirements	5
4 Intelligent Factory Requirements	6
4.1 General Provisions	6
4.2 Layout	6
4.3 Equipment and Facilities	7
5 Intelligent Management System	8
5.1 Integrated Comprehensive Management System	8
5.2 Production Management	8
5.3 Material Management	9
5.4 Equipment Management	10
5.5 Safety Management	10
5.6 Quality Management	12
5.7 Progress Management	13
5.8 Energy Conservation and Environmental Management	14
6 Intelligent Production	16
6.1 General Provisions	16
6.2 Production Line	16
6.3 Segment Mold	17
6.4 Segment Reinforcement	18
6.5 Segment Embedded Parts	19
6.6 Segment Concrete	19
6.7 Segment Steam Curing	20
6.8 Segment Demolding and Caching	20
6.9 Segment Storage and Curing	20
7 Intelligent Inspection	22
7.1 General Provisions	22

7.2 Inspection Methods	22
7.3 Quality Evaluation	23
Appendix A List of Automated and Intelligent Equipment for Segment Precast Yard	24
Appendix B Table of Appearance Quality Requirements for Segments	25
Explanation of wording	26
List of quoted Standards	27
Addition: Explanation of Provisions	28

1 总 则

1.0.1 为规范盾构隧道钢筋混凝土管片智能制造技术，提升管片智能制造水平，制定本规程。

1.0.2 本规程规定了盾构隧道钢筋混凝土管片智能制造技术的术语及定义，智能工厂建设、智能管理系统、智能生产及工装、智能检验的技术要求；用于盾构隧道钢筋混凝土管片的智能化生产及智能化检验。

1.0.3 盾构隧道钢筋混凝土管片智能制造宜采用先进的传感技术、智能识别、智能检测、智能养护等技术，实现盾构管片制造及验收的自动化、数字化、智能化，提高验收质量和效率，优化监理手段。

1.0.4 盾构隧道钢筋混凝土管片智能制造除应执行本规程外，尚应符合国家现行相关标准的规定。

2 术语

2.0.1 管片智能制造技术 intelligent manufacturing technology for segments

指综合运用先进的传感技术、智能识别、智能检测、智能控制、智能养护等技术手段，对盾构隧道钢筋混凝土管片的生产制造全过程进行数字化、自动化和智能化管控，实现从原材料采购、生产加工、质量检测到成品储存与运输等环节的高效协同与精准控制，以提高管片生产质量、效率和管理水平的先进制造技术体系。

2.0.2 智能工厂 smart Factory

是一种具备高度自动化、信息化和智能化特征的产品生产场所。在盾构管片制造领域，智能工厂通过构建互联互通的网络架构，集成各类数字化设备、智能生产系统与信息化管理平台，实现生产设备与工装的智能联动、生产资源的优化配置、生产过程的实时监控与智能决策，以及生产数据的自动采集、传输、分析与共享，从而达成管片制造的高效、精准、绿色生产，并具备快速响应市场需求和产品定制化生产的能力。

2.0.3 集成性综合管理系统 integrated management system

是整合生产管理、物资管理、设备管理、安全管理、质量管理、进度管理、节能环保管理等多个功能模块的综合性信息化平台。是利用数据库技术、网络通信技术和智能分析算法，实现对管片制造全流程数据的集中管理与深度挖掘，为企业管理层提供全面、准确、实时的决策支持信息，促进各部门间高效协同工作，优化生产流程，提升整体运营效率和管理效能的系统。

2.0.4 智能检验 intelligent inspection

借助自动化检测设备、高精度传感器、智能图像识别技术和数据分析处理系统，对管片进行高精度、高效率的质量检测与评估过程。智能检验能够自动采集检测数据、实时分析判断产品质量是否符合标准要求，并自动生成检验报告和质量追溯信息，有效提高检验结果的准确性，减少人为因素对检验结果的影响。

2.0.5 生产数据采集系统 production data acquisition system

由传感器、数据采集器和通信模块组成的系统。其主要功能是在管片生产

过程中实时、准确地采集生产设备的运行参数，原材料消耗数据，生产工艺过程数据，以及半成品和成品的质量检测数据，并将这些数据通过有线或无线通信方式传输至信息化管理系统，为生产过程监控、质量分析、设备维护和管理决策提供数据基础。

2.0.6 可编程逻辑控制（PLC）系统 Programmable Logic Control (PLC) system

是基于微处理器的数字运算操作电子系统，专为在工业环境下应用设计。在管片智能制造中，PLC 系统通过预先编写的控制程序，对生产线上的设备进行逻辑控制和顺序控制，能够接收来自传感器的输入信号，根据程序设定的逻辑规则进行运算处理，并输出控制信号驱动执行机构完成相应的动作，实现生产过程自动化控制和精确调节，确保设备按照预定的工艺流程稳定运行。

2.0.7 智能立式钢筋弯曲中心 intelligent vertical rebar bending center

是集机械、电气、液压和智能控制技术于一体的钢筋加工设备。该设备通过人机界面输入钢筋弯曲参数，自动完成钢筋的上料、夹紧、弯曲、卸料等操作，能够根据预设程序实现多种弯曲形状和尺寸的快速切换，同时具备数据采集与上传功能，实时传输至信息化管理系统，便于钢筋加工过程的追溯和管理。

2.0.8 AGV 系统 AGV system

即自动导引运输车（Automated Guided Vehicle）系统，由 AGV 车体、导航装置、驱动装置、通信装置、充电装置和控制系统等组成。在管片制造工厂中，AGV 系统根据预设的路径和任务指令，在生产车间内自动行驶，实现原材料、半成品和成品在不同生产工位、仓库之间的自动化运输。

2.0.9 RFID 标签 RFID tags

即无线射频识别（Radio Frequency Identification）标签，是一种利用射频信号进行非接触式双向数据通信的自动识别技术标签。在管片智能制造中，RFID 标签通常附着在管片模具、钢筋骨架、成品管片等生产对象上，存储有唯一的识别编码及相关产品信息。通过射频读写器在一定距离范围内对 RFID 标签进行读写操作，可实现生产过程中对产品信息快速识别、自动采集和实时跟踪，为生产管理、质量追溯、库存管理等提供高效、准确的数据支持，确保生产流程的可视化和可追溯性。

2.0.10 SPC Statistical Process Control

即统计过程控制，是一种通过统计方法监控和控制生产过程的技术。在管片智能制造中，SPC 利用实时采集的生产数据，分析生产过程中的关键参数，以识别和消除生产过程中的异常波动。

2.0.11 缺棱 missing edges

指盾构隧道钢筋混凝土管片在生产、运输和存储过程中，由于模具损伤、脱模不当、碰撞等原因，导致管片边缘部分混凝土出现缺失、破损的现象。

2.0.12 麻面 hemp noodles

表面呈现的密集微孔。

2.0.13 露筋 exposed tendons

钢筋未被混凝土包裹而外露。

2.0.14 裂缝 exposed tendons

管片表面存在的因成型或受外力而形成的伸入保护层、管壁混凝土内部的狭长的缝隙。

2.0.15 拼接面裂缝 splicing surface cracks

在管片拼接面上长度和宽度满足规定范围的裂缝。

2.0.16 非贯穿裂缝 non-penetrating cracks

指管片表面或在一定深度范围内未贯穿整个管片厚度的裂缝。

3 基本规定

3.0.1 盾构隧道钢筋混凝土管片智能制造应积极推进先进制造装备和智能管控系统的互联互通，实现设备、生产资源和系统之间的信息交互，根据建设条件可采用数据中心或云平台等方式进行数据管控。

3.0.2 盾构隧道钢筋混凝土管片智能制造设计宜采用建模仿真技术，对工厂总体设计、工程设计、工艺流程及各部分布局建立系统模型，并通过模拟仿真建立虚拟工厂，将相关数据存入企业核心数据库，实现虚拟与现实工厂同步。

3.0.3 智能制造宜使用先进的自动化设备和技术代替传统设备或部分人工作业，设备应具有自动识别、采集、检测、学习、预测、传感等功能；宜通过设备实现模具清理、物料上下料、混凝土拌和等工序的自动化智能化。

3.0.4 管理系统应采用相对独立的控制系统，实现工序自动控制和分散独立控制。整个生产线流程可对工序实现信息采集、传递、监控、控制、集中操作等能力。

3.0.5 信息传递应单独建立信息管理系统，通过二维码或条形码对生产线、产品、设备等进行数据记录和管理。

4 智能工厂要求

4.1 一般规定

- 4.1.1 预制场的规划布局及工艺设计宜采用数字化设计方法。
- 4.1.2 预制场建设应采用标准工业厂房，制造工艺宜采用流水机组法。
- 4.1.3 预制场建设应结合生产环境、工艺、数据交互等需求，进行智能制造设备选型和信息化管理系统需求分析与确定。
- 4.1.4 预制场应建有互联互通的网络，实现制造设备、生产资源与生产管理系统之间的信息交互，网络应满足工厂的信息采集、生产控制等应用需求，并充分考虑网络安全。
- 4.1.5 预制场宜按本规程的规定配备数字化设备。
- 4.1.6 预制场产量、关键工艺参数、关键检验数据等生产数据应通过生产管理系统进行自动采集。
- 4.1.7 预制场应建立能够支撑制造运行与管理的生产管理系统，实现生产与管理的可视化。
- 4.1.8 预制场应能识别制造过程所需的生产资源信息。
- 4.1.9 预制场建设宜按现行国家标准《数字化车间 通用技术要求》GB/T 37393的有关规定执行。

4.2 平面布置

- 4.2.1 预制场平面布置应考虑数字化、智能化施工及管理，在规划与平面布置时预留充足的智能化设备安装、运行及作业空间。
- 4.2.2 预制场平面布置应结合生产环境、工艺、数据交互等需求，进行智能制造设备选型和信息化管理系统需求分析与确定。
- 4.2.3 预制场平面布置宜设置智慧控制中心，智慧控制中心应符合下列规定：
 - 1 智慧控制中心应有独立区域，位置宜靠近管片生产线。
 - 2 智慧控制中心应配备必要的显示大屏、电脑等硬件设备，设置独立域名及账号。
 - 3 智慧控制中心应通过必要的监控设备收集施工影像资料。

4.3 设备设施

4.3.1 预制场的模具、胎卡具等工装及设备应具有唯一身份标识，标识应符合下列规定：

1 标识宜自动读取，并自动上传至相应设备或信息化管理系统，便于生产过程控制与信息追溯。

2 标识的存储信息应包括编号、主要参数及用途等。

3 标识应不易损坏，便于长期使用。

4.3.2 预制场应积极采用高度自动化的生产设备和机器人完成生产任务，自动化、智能化设备配置可按附表 A 选择。

4.3.3 预制场数据可采用本地服务器或云服务器存储，服务器宜充分结合互联网、物联网和移动端的应用，支持相关方通过多种方式访问终端，快速访问有效信息。

5 智能管理系统

5.1 集成性综合管理系统

5.1.2 智能制造综合管理平台的开发与应用需实现多维度的集成化管理，包括生产、物资、设备、安全、质量和进度。具体要求如下：

- 1 集成生产、计划和库存数据，确保信息流畅通。
- 2 提供数据分析工具以辅助科学决策。
- 3 建立预警机制，确保及时应对异常情况。

5.1.2 智能制造综合管理平台应具有信息识别、数据跟踪、生产工艺数据的存储及导出、监控吊运安装、识别二维码功能，以及各区域实时视频监控功能，可实现视频人工识别监控、平台自动发布预警、平台人工控制生产等目标。

5.1.3 部署高级加密技术，确保数据传输和存储的安全性，实施严格的访问控制策略，保障敏感信息不被泄露，定期进行安全审计和风险评估，持续改进安全防护措施。

5.1.4 采用友好的界面设计，提升用户操作体验；提供定制化功能设计，便于用户快速获取关键信息，并简化操作流程。

5.1.5 设计模块化架构，便于后续功能拓展，支持与第三方软件及设备的无缝集成，保持与行业标准同步，确保系统的适用性。

5.2 生产管理

5.2.1 智能生产线通过自动化与信息化控制技术，确保生产过程的高效、精准和一致性。

5.2.2 集成物联网的拌合站根据生产计划自动调度混凝土供应，动态选择配比，并通过传感器实时监控下料及拌和过程。

5.2.3 部署传感器网络，实时采集生产线各环节的运行参数，如温度、湿度、压力、设备状态等，并与预设工艺参数进行比对，确保生产过程可控。

5.2.4 引入先进机器设备，减轻工人劳动强度，实现人与智能设备的高效配合，提升生产质量；定期培训员工，增强其适应智能生产环境的能力。

5.2.5 采用激光定位系统引导钢筋骨架精准入模，自动检测位置偏差（ $\pm 2\text{mm}$ ）

内），超限时自动调整或报警。

5.2.6 基于订单需求、设备能力及资源库存，智能生成最优生产计划，动态调整排产顺序以应对突发需求或设备故障。

5.2.7 设立关键质量控制点，确保每一道工序的质量达标；实施全过程可追溯体系，方便问题溯源与解决，并应用统计过程控制（SPC）技术，实时监控质量状态。

5.2.8 用 RFID 或二维码技术，对原材料及成品管片进行全生命周期追踪，实时更新库存数据，避免物料短缺或积压。

5.2.9 集成设备健康诊断系统，实时监控设备运行状态，如清模、喷涂、AVG 设备等，预测性维护以减少停机时间。

5.2.10 通过智能检测技术，如 3D 扫描、AI 视觉识别，记录每片管片的尺寸、裂缝等质量数据，建立唯一质量档案。

5.3 物资管理

5.3.1 采用物资采购数字化平台进行实时监控物资库存，利用大数据分析优化供应链，提高物资采购与储备效率。

5.3.2 利用 RFID 或二维码技术，对钢筋、钢纤维、混凝土组分等原主要材料的采购、运输、入库、使用等环节进行全程数字化追踪，确保材料来源可追溯、用量可监控。

5.3.3 通过智能系统整合供应商数据库，实时评估供应商资质、材料质量及供货周期，优化供应链协作效率，确保原材料及时供应。

5.3.4 实时监测原材料及成品管片的库存量，设置最低库存阈值并自动触发补货提醒，避免物料短缺或积压。

5.3.5 应用 AGV（自动导引车）和智能货架系统，实现原材料的自动化存取和精准定位，减少人工干预和搬运损耗。

5.3.6 优先选择环保材料，推广使用再生材料，减少对环境的影响，并制定绿色采购政策。

5.3.7 智能系统集成材料检测数据，如钢筋抗拉强度、混凝土坍落度、钢纤维掺量等，自动生成质量报告并与供应商信息关联，实现质量问题快速溯源。

5.3.8 基于生产计划与实际用量对比，分析材料消耗规律，优化配比方案，减

少浪费。

5.3.9 结合历史数据和施工进度预测，自动生成原材料采购计划，动态调整采购周期和批量，平衡库存成本与生产需求。

5.3.10 识别潜在的供应链风险，提前制定应对策略，建立应急采购机制，保证突发情况下的物资供应。

5.3.11 系统应自动匹配国家标准《预制混凝土管片规范》GB/T 22082-2024 的有关规定及指标要求，确保采购的原材料符合技术参数和环保要求。

5.3.12 实时统计原材料采购、运输、仓储等环节的成本数据，生成多维分析报表，辅助管理者优化预算分配。

5.4 设备管理

5.4.1 进行全生命周期的设备管理。记录设备从采购、运行到报废的全过程信息，通过数据分析，优化设备的使用寿命和投资回报，制定设备升级和更新的长期规划，保持技术先进性。

5.4.2 部署高级传感器收集设备运行数据，并进行分析，利用 AI 算法识别设备的早期故障信号，防止停机，动态调整维护计划，降低设备维护成本。

5.4.3 实时监测设备的能源消耗情况，识别高能耗设备，实施节能改造项目，优化设备的能源利用率，推广使用高效节能设备，降低企业整体能耗。

5.4.4 机械臂搭载喷涂设备，按预设路径均匀喷涂脱模剂，系统记录喷涂量及覆盖率，避免过量或漏喷。

5.4.5 评估设备的实际使用情况，合理配置生产资源，实现设备的快速切换和重组，提高生产线的柔性，定期评估设备绩效，推动不断的优化和改进。

5.4.6 实现生产线各设备，如搅拌站、输送带、脱模机的联动控制，确保工艺衔接无缝化。

5.4.7 通过数字孪生技术模拟设备运行场景，优化工艺参数，如混凝土浇筑速度、养护时间。

5.5 安全管理

5.5.1 所有作业人员需通过智能系统录入身份信息、资质证书，并与岗位权限绑定，确保无资质人员禁止操作高危设备。

- 5.5.2** 采用 UWB 或 RFID 技术，实时监控人员位置，划定电子围栏，越界自动报警。危险区域（如脱模区、养护窑）需授权进入。
- 5.5.3** 系统内置培训课程（如高空作业、设备操作），培训后在线考试并记录成绩，不合格者禁止上岗。
- 5.5.4** 通过虚拟现实技术模拟塌方、机械伤害等事故场景，强化应急响应能力。
- 5.5.5** 根据安全行为（如上报隐患、规范操作）累积积分，可兑换奖励；违章行为扣分并触发再培训要求。
- 5.5.6** 采用“线上 AI 巡检+线下人工核查”模式，系统自动推送隐患整改单并跟踪闭环，数据同步至云端。
- 5.5.7** 采用智能监控与应急响应系统；在关键区域安装摄像头和传感器，实现全天候监控，引入视频分析技术，自动识别安全隐患，并设置紧急报警装置，可快速启动应急预案。
- 5.5.8** 巡检人员配备智能执法仪，记录现场检查过程，视频数据加密存储并与管理系统联动，支持事后追溯。
- 5.5.9** 整合人员定位、设备状态、环境监测等多源数据，生成车间安全风险热力图，辅助决策优化。
- 5.5.10** 在密闭空间（养护窑、盾构隧道）部署气体传感器，监测 CO、H₂S 浓度，超标时启动通风并报警。
- 5.5.11** 火灾探测器联动喷淋系统，电子导引屏动态规划逃生路线，避免拥堵。
- 5.5.12** 起重机械、压力容器等设备配备电子标签，记录巡检、维修记录，预测性维护减少故障风险；基于激光雷达与红外感应，实时监控吊装路径，接近障碍物时自动减速或停止；作业人员扫码设备二维码，自动推送该设备操作流程、风险点及应急措施。
- 5.5.13** 定期开展安全教育和培训，提高员工安全意识，通过案例分享和模拟演练，强化员工应急能力，并制定安全操作手册，规范员工行为。
- 5.5.14** 识别生产过程中潜在的危险源，并进行详细评估，制定针对性的风险控制措施，确保生产安全；定期更新危险源清单，保持风险管理的动态性。
- 5.5.15** 设置阈值触发报警机制（如设备超负荷、质量偏差超标），自动推送预警信息并生成应急预案，缩短故障响应时间。

5.6 质量管理

- 5.6.1 检验及验收内容应包括原材料检验及验收、生产过程检验、产品检验。
- 5.6.2 管片的检漏试验、抗弯试验、水平拼装试验应符合现行国家标准《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082 的有关规定。
- 5.6.3 管片外观质量应符合现行国家标准《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082 中表 2A 类的规定。
- 5.6.4 管片几何尺寸和主筋保护层厚度应满足现行国家标准《盾构法隧道施工及验收规范》GB 50446 的有关规定。
- 5.6.5 管片采用的各类主要材料、预埋件、模具等应符合设计要求，并符合国家标准《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082-2024 及行业标准《四川省盾构隧道混凝土预制管片技术规程》DBJ51/T 183-2021 的有关规定。
- 5.6.6 模具精度及检验，具体要求如下：

- 1 模具在正式投入使用前应组织进场检查验收，符合本标准要求后方可进行管片试生产。在试生产的管片中，随机抽取两环或三环进行水平拼装检验，拼装合格方可正式生产。
- 2 在正常生产状态下，应对模具进行浇捣前的快速检测和周期性检查。检查合格或修正复检合格后方可继续生产。每套模具生产 200 环时应再次进行水平拼装检验。每套模具每生产 100 环宜采用三维激光技术进行系统检测，允许偏差应符合表 5.6.6 的要求

表 5.6.6 管片模具允许偏差表

序号	项目	允许偏差（mm）
1	宽度	±0.3
2	弧、弦长	±0.4
3	边模夹角	±0.2
4	对角线	±0.8
5	内腔高度	-1~+2

- 5.6.7 模具可采用机械手清理，人工检测清理效果，必要时人工补充清理。
- 5.6.8 建立覆盖生产全过程的质量管理体系，制定详细的质量标准和检验规范，确保产品质量，并引入 ISO 质量管理体系认证。
- 5.6.9 引入智能检测技术，实施批量自动化检测，进行全流程质量监控和数据追溯，减少人为误差，提升产品质量和合格率。

5.6.10 模具组装，具体要求如下：

- 1 每套模具及其配件均应编号，组装时应对号入座，禁止相互混用；
- 2 组模前，应检查模具各部件、部位是否洁净，脱模剂喷涂是否均匀，模具喷涂脱模剂可采用机械手喷涂，人工检测喷涂效果，必要时人工补充喷涂；
- 3 模具可由机械驱动自动合模，人工紧固螺栓，人工检验合模精度并进行校准；
- 4 模具合模后，用精密测量设备对组装后的模具进行宽度校验，若超过误差允许范围，应重新调整直至符合要求。

5.6.11 钢筋笼入模应机械自动识别型号，采用机械吊运人工辅助定位、校准，实现精准入模。

5.6.12 混凝土浇筑应采用机械控制自动布料，机械振捣，人工补振。

5.6.13 模具应由人工松脱螺栓，机械驱动自动开模，自动定位，机械自动翻转吊运。

5.6.14 预制场应建立模具使用档案，对检查、维修、保养情况进行记录。具体维修保养要求按模具使用说明书进行。

5.6.15 成品质量应采用仪器自动扫描检测质量缺陷和尺寸偏差，提供检测数据，人工评定质量等级。

5.6.16 模具出现下列情况之一时应进行检验：

- 1 模具初次进厂时；
- 2 模具每周转 100 次；
- 3 模具受到重击或严重碰撞后；
- 4 管片几何尺寸不合格时；
- 5 模具停用超过 3 个月，重新生产前。

5.7 进度管理

5.7.1 基于订单需求、设备能力和资源库存，智能生成最优生产计划，动态调整排产顺序以应对突发需求或设备故障。

5.7.2 引入智能进度监控系统，通过物联网技术实时采集各工序（如钢筋加工、混凝土浇筑、养护等）的生产数据，动态更新生产进度，确保计划与实际一致。

5.7.3 系统记录钢筋下料和骨架焊接的完成情况，自动生成工序完成报告，并

与后续工序（如骨架入模）联动，确保无缝衔接。

5.7.4 根据生产计划自动调度混凝土供应，实时监控拌合站运行状态，确保混凝土供应与浇筑进度匹配。

5.7.5 记录模具清洁和脱模剂喷涂的完成时间，系统自动分配模具至下一工序（如骨架入模），减少等待时间。

5.7.6 系统根据管片类型和养护要求，自动设定蒸汽养护时间，并实时监控养护环境（温度、湿度），确保养护质量。

5.7.7 记录脱模时间和转运至堆场的进度，系统自动分配堆场位置，优化堆存布局，减少二次搬运。

5.7.8 记录抹面工序的完成时间和外观质检结果，系统自动生成质检报告并分类管片等级，确保不合格品及时返工。

5.7.9 在管片表面喷涂唯一编号和生产日期，系统自动绑定生产数据（如浇筑时间、养护参数），支持全生命周期追溯。

5.7.10 通过数字孪生平台实时展示各工序进度，自动生成多维分析报表（如日产量、工序完成率），辅助决策优化，支持多维度数据分析与报表导出。

5.7.11 实时监控设备运行状态，预测性维护减少停机时间，确保生产进度不受设备故障影响。

5.7.12 定期开展进度管理绩效评估，总结经验教训，制定改进措施，不断优化进度管理模式，鼓励员工参与改进活动，提升整体管理水平。

5.8 节能环保管理

5.8.1 实施绿色生产技术，降低能耗，减少废物排放，实现可持续发展。

5.8.2 部署能源管理系统，实时监控资源消耗情况，分析资源使用数据，找出潜在的节约空间，制定资源消耗的指标和考核标准，推动节能减排。

5.8.3 统计生产过程中的能耗数据，如电力、水资源消耗，优化能源使用效率，支持绿色制造目标。

5.8.4 采用清洁生产技术，减少生产过程中的污染物排放，引进先进的环保设备，提升废物处理能力，定期举行清洁生产培训，加强员工环保意识。

5.8.5 逐步增加可再生能源在生产过程中的使用比例，推广光伏发电、风能等绿色能源项目，合理规划能耗结构，降低企业的碳足迹。

5.8.6 建立符合国际标准的环境管理体系，获得 ISO 环境管理认证，提升企业绿色形象，定期开展环境审计，确保持续改进。

5.8.7 积极履行企业社会责任，参与环保公益活动，推动绿色产业链建设，与上下游伙伴共担环保责任，发布企业可持续发展报告，展示环保成果和努力。

6 智能生产

6.1 一般规定

6.1.1 智能生产系统应具备自动监控、数据采集与处理功能，确保生产过程的实时跟踪、智能调控、可追溯性和信息化管理。

6.1.2 生产设备与工装应实现智能联动，通过统一控制系统确保各环节协同作业。

6.1.3 生产设备与工装设计应符合人机工程学，确保操作便捷与安全，同时应具备一定的灵活性，以适应不同产品需求。

6.1.4 生产线上的智能工装宜配备传感器与反馈系统，实时监控产品质量并自动调整工艺参数，确保生产精度和一致性。

6.1.5 生产过程中的设备和工装宜定期进行自动化检测和智能化维护，确保设备在最佳状态下运行，避免故障停机。

6.2 流水线生产

6.2.1 产线应设置中央控制室，并应包括生产数据采集、生产线控制、物料转运系统、生产设备控制、蒸养控制、视频监控等系统，对生产设备和资源进行运行控制、集中监控、数据采集、安全控制。

6.2.2 生产数据采集系统应通过传感器、数据采集器等设备，实时监控生产过程并自动上传数据至信息管理系统，包括设备运行状态、物料消耗、半成品和成品质量检测数据等信息。

6.2.3 物料转运系统应确保物料与半成品在生产线各环节之间的自动化运输，实现高效、精准的物流运输，与生产线控制系统无缝对接，确保物料运输与生产环节同步进行。

6.2.4 蒸养控制系统应通过温湿度传感器与电磁阀等设备，实现自动调节蒸养环境，具备实时监测与反馈功能。

6.2.5 视频监控系统应通过高清摄像头和智能分析技术对生产线的各环节进行全方位的实时监控，发现潜在的安全隐患或操作失误，与中央控制室系统集成，便于查看和操作。

6.2.6 中央控制室集成的生产线控制系统可预留与混凝土拌合站、试验室等管理系统的接口，实现各管理系统间的数据交互和无缝对接。

6.2.7 流水线应采用模块化工装设计，便于根据需求进行快速调整和扩展，确保灵活性和适应性。

6.2.8 生产线应配置在线质量检测系统，实时检测各环节的施工质量，确保次品不流入后续工序。

6.2.9 应优化生产线的动力系统，减少能量浪费，采用节能型电机和低能耗设备，以降低整体能耗。

6.3 管片模具

6.3.1 管片模具应利用自动清理设备进行内腔清理，确保模具内部无残留混凝土或杂质。

6.3.2 模具清理设备应通过模具识别码（如 RFID、条形码）自动识别模具型号，并执行相应清理程序。对于复杂部位（如凹凸隼、拼装定位孔、手孔盒等），可采用人工清理。

6.3.3 清理设备应配备自动粉尘收集系统，有效收集模具内的残渣与粉尘，防止车间污染，同时确保模具表面无损伤。

6.3.4 模具编号和作业状态应实时上传至信息化管理系统，系统能够跟踪模具清理的历史数据。

6.3.5 脱模剂喷涂设备应通过自动化喷涂系统将脱模剂均匀喷涂在模具内腔，避免积液现象。

6.3.6 脱模剂喷涂设备应具备自动搅拌、喷涂、抽排等功能，避免脱模剂在车间散布并造成污染，同时减少浪费。

6.3.7 脱模剂喷涂过程中的模具编号和喷涂状态应上传至信息化管理系统。

6.3.8 模具组装宜采用自动化设备进行组模，确保模具的准确对接与安装，并减少人工误差。

6.3.9 组装过程中应使用符合扭矩要求的扭矩扳手，并按照设定的顺序进行模具组装，确保每个螺栓扭矩符合设计标准。

6.3.10 模具组装后，应通过自动检测设备进行尺寸检测，模具检测设备应具备

自动数据采集、误差评判和报警功能，及时发现组装过程中出现的偏差，确保模具组装质量符合要求。

6.3.11 模具组装和检测的相关数据应上传至信息化管理系统，包括模具编号、组装状态和检测结果等。

6.4 管片钢筋

6.4.1 钢筋加工宜采用自动化设备作业，设备应具备数据采集与上传功能。

6.4.2 智能钢筋液压剪切生产线宜采用可编程逻辑控制（PLC）系统，自动完成钢筋上料定尺、切断、输送、翻料及储存，提升生产效率并降低人工操作的风险。

6.4.3 螺纹钢的弯曲应使用智能立式钢筋弯曲中心，该设备宜具备弯曲长度自由定尺及多项弯曲作业同时进行的功能，以满足不同设计需求。

6.4.4 盘条钢筋的自动调直、定尺、剪切、输送和弯曲等工序宜采用智能钢筋调直剪切弯曲设备，确保加工精度和作业效率，同时减少材料浪费。

6.4.5 预埋螺旋筋的加工宜采用钢筋螺旋弯圆设备，确保成品尺寸一致性和加工效率。

6.4.6 钢筋骨架焊接宜采用平面网、立体网自动焊接设备作业，设备应由钢筋骨架定位夹紧工装、输送机构、工业焊接机器人及焊接导引系统组成，确保焊接精度和效率。

6.4.7 钢筋胎具宜具备自动锁紧功能，确保钢筋骨架的间距和直径符合设计标准。

6.4.8 成型的钢筋骨架宜利用钢筋骨架自动检测设备进行检测，验证箍筋间距、主筋间距、钢筋直径和拉筋数量等指标，检测结果应自动生成三维图像，并上传至信息化管理系统。

6.4.9 钢筋焊接过程中的工艺数据和成品验收信息应实时记录并上传至信息化管理系统。

6.4.10 钢筋骨架入模宜采用钢筋骨架自动入模设备，通过线激光扫描进行定位，并配合桁架抓取实现钢筋骨架的自动入模，确保入模位置准确。

6.4.11 入模设备宜配备智能调整功能，可根据模具和钢筋骨架的不同规格自动

调整抓取与定位参数，提升入模效率。

6.4.12 钢筋骨架的安装过程宜实时监控，并利用摄像头和传感器进行动态记录，确保作业质量符合设计要求。

6.4.13 钢筋骨架入模后，应进行自动检测验证钢筋骨架与模具的匹配度，确保无位置偏差，检测结果及和模具的编号应存档并上传至信息化管理系统。。

6.5 管片预埋件

6.5.1 预埋件安装宜由多轴机械臂完成，确保安装精度，并减少人工误差。

6.5.2 应采用标准化的预埋件，确保不同项目之间的兼容性和灵活性。

6.5.3 生产线应配置在线检测设备，实时核查预埋件的安装位置、深度和数量。

6.5.4 应配备摄像头和监控设备，实时记录和监控预埋件安装过程，便于后期质量追溯和改进。

6.6 管片混凝土

6.6.1 混凝土配料系统应采用自动化电子称重设备，确保每种原料的投放量准确无误，避免配比偏差。

6.6.2 混凝土浇筑宜采用专用数字化设备进行自动布料和振捣成型，设备应具备振捣参数自动调整功能，并具备混凝土均匀分布和精准控制的功能，振捣设备应实现分层振捣和自动振捣时间控制。

6.6.3 布料设备应通过模具识别码自动识别管片编号，执行相应的布料程序。

6.6.4 混凝土浇筑的气管连接应采用自动插拔设备。

6.6.5 振捣过程应配备实时监测设备，记录管片编号、振捣频率、振捣时间等关键数据，所有数据应实时上传至信息化管理系统。

6.6.6 管片外弧面混凝土应采用自动收面设备进行初步收面，确保外弧面平整光滑，随后人工辅助进行精细收面。

6.6.7 收面设备应通过模具识别码自动识别模具型号并执行预设的收面程序，同时设备应具备智能调节功能，能够根据混凝土特性调整收面力度和速度，确保表面质量符合要求。

6.6.8 混凝土浇筑与收面设备的所有运行数据应进行统一管理，通过云平台实

现远程监控和数据分析。

6.6.9 所有与混凝土浇筑和收面相关的设备应定期维护，特别是振捣设备的振动频率校准和收面设备的机械部件保养。

6.7 管片蒸养

6.7.1 蒸养过程应采用自动化温湿度控制系统，管片养护的温度和湿度符合工艺要求。

6.7.2 应进行分区管理，并设置独立的蒸养程序，提高蒸养效果。

6.7.3 应使用智能调度系统来优化蒸养批次和资源分配，确保设备高效利用，缩短生产周期。

6.7.4 蒸养过程的数据应实时上传至云端，便于远程管理、故障诊断和优化调整。

6.8 管片脱模与缓存

6.8.1 管片脱模宜采用专用自动化设备自动对中、抓取、翻转。脱模设备应通过模具识别码自动识别模具型号，执行相应脱模程序。

6.8.2 管片脱模后应采用自动横移并自动翻转成直立状态，再由行车吊到管片缓存区。

6.8.3 管片脱模后应通过智能喷码机对管片进行编号。

6.8.4 缓存区宜为封闭的保温箱，箱内宜采用自动化温控设备，温湿度应能自动控制并自动记录。

6.8.5 缓存信息宜实时采集并上传至信息化管理系统。

6.9 管片储存与养护

6.9.1 每块管片应通过 RFID 标签进行编号，并配备定位系统，在存取过程中实时记录管片的存储位置，便于快速查找和出库。

6.9.2 储存区域应按照管片型号和养护阶段分区，合理规划空间，通过智能仓储系统，确保不同型号的管片得到适当存放。

6.9.3 水养池应配备自动化水温和 pH 值检测设备，并具备报警功能，实时监测

水质，通过信息化管理系统上传数据。

6.9.4 管片入池和出池时，应使用手持终端扫描管片识别码，记录入池时间和出池时间，录入管片信息并上传至信息化管理系统。

6.9.5 存放区应安装自动喷淋养护装置或配备自动行走喷淋机器人，能够实现分区、分时段喷淋、记录喷淋状态和养护时长，并上传至信息化管理系统形成数据报告。

6.9.6 管片宜使用 AGV 运输，可通过激光导航、视觉导航、磁条导航等方式控制到达指定位置，AGV 宜具备实时监控、自主导航、实时避障等功能，提高运输效率和智能化水平。

7 智能检验

7.1 一般规定

7.1.1 智能制造预制场生产的管片可按现行国家标准《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082 和《盾构法隧道施工及验收规范》GB/T 50446 的有关要求进行质量控制，经相关产品认证后，可优化验收过程控制手段，按产品验收管理，凭出厂合格证交付。

7.1.2 智能制造预制场生产的管片按检验批、分项分部工程进行质量控制时，宜采用自动化、信息化检测方法进行检验，并将数据自动上传至信息化管理系统，自动生成检验批、分部分项质量验收记录表，扫描图像及自动记录数据应作为质量保证资料进行留存。经授权人员可采用电子巡查、系统数据分析、不定期现场检查等方法对管片智能生产工序进行质量控制。

7.2 检测方法

7.2.1 管片成品检测设备应包括外观检测装置、尺寸测量装置、数据处理单元和报告生成系统等，并应符合下列规定：

- 1 应全面检测管片成品是否符合质量标准。
- 2 外观检测装置应能检测多种表面缺陷且分辨率高，尺寸测量装置精度高、速度快，数据处理单元应能准确判断管片是否合格并详细分析检测数据，报告生成系统可生成规范的检测报告。

7.2.2 管片自动化检漏试验设备应具备密封装置、压力加载系统、泄漏检测装置、数据采集系统和控制系统等，并应符合下列规定：

- 1 应自动检测管片的密封性能，确保管片在使用过程中不漏水。
- 2 密封装置应密封可靠、无泄漏，压力加载系统压力控制精准、加载平稳，泄漏检测装置灵敏度高、检测准确，数据采集系统数据采集全面、传输稳定，控制系统应能根据不同管片类型和试验要求自动调整试验参数并记录试验数据。

7.2.3 管片自动化抗弯试验设备应包括支撑装置、加载装置、位移测量装置、力值测量装置、数据采集与分析系统和控制系统等，并应符合下列规定：

- 1 应自动检测管片的抗弯性能，判断管片是否满足设计要求。

2 支撑装置应稳固可靠，加载装置加载力范围广、加载精度高，位移测量装置和力值测量装置测量准确、分辨率高。

3 数据采集与分析系统应能处理试验数据并判断管片抗弯性能是否合格，控制系统可根据不同管片类型和试验标准自动调整试验参数并记录试验过程数据。

7.3 质量判定

7.3.1 质量判定主要包括外形尺寸、外观质量、强度和抗渗等级、检漏试验等。

7.3.2 管片养护完成后，应根据设计图纸及国家现行规范要求对抽取管片的外形尺寸进行测量检查。管片主要外形尺寸允许偏差应符合设计要求。

7.3.3 管片外观应平整、无缺棱、掉角、麻面和露筋。注浆孔应完整、预留管内无水泥浆等杂物，止水槽附近不允许有缺陷。管片外观质量检查应符合附表 B 的规定。

7.3.4 管片混凝土强度和抗渗等级检验应符合下列规定：

1 混凝土试件制作应在混凝土浇筑地点随机取样，拌制同配合比的混凝土，每 100 m³ 成型不少于 3 组。经同条件养护脱模后再标准养护的试件用于检验评定混凝土 28d（56d）强度。同配合比连续生产每 500 m³ 制作一组抗渗试件；

2 同一验收批的混凝土应由强度等级相同、生产工艺和配合比基本相同的管片组成。对大批量连续生产的管片，应按统计法评定其混凝土强度；

3 混凝土试件抗渗等级应满足设计要求。

7.3.5 管片检漏试验应符合下列规定：

1 养护龄期达到 28 d（56d）可进行检漏试验；

2 每 50 环管片应抽查 1 块进行检漏试验，当连续 3 次达到标准，改为每 100 环抽查 1 块，再连续 3 次达到检测标准，最终检测频率为每 200 环抽查 1 块做检漏试验，如出现 1 次不达标，则恢复 50 环抽查 1 块的最初抽查频率；

3 检漏合格标准为按设计水压持压规定时间，管片侧面渗水高度不大于 5 cm。

附录 A 管片预制场自动化、智能化设备表

序号	名 称
1	自动导引运输车
2	模具清理设备
3	脱模剂喷涂设备
4	模具组装设备
5	模具检测设备
6	钢筋加工设备
7	钢筋骨架自动焊接设备
8	钢筋骨架检测设备
9	钢筋骨架自动入模设备
10	混凝土自动拌合设备
11	自动插拔管设备
12	管片自动浇筑设备
13	管片振捣监测设备
14	收面设备
15	蒸养自动温控设备
16	管片自动脱模设备
17	管片自动翻转设备
18	自动化水温和 pH 值调节设备
19	管片自动喷淋养护设备
20	管片成品检测设备
21	管片自动化检漏试验设备
22	管片自动化抗弯试验设备

附录 B 管片外观质量要求表

序号	项目	质量要求	检测方法
1	贯穿裂缝	不允许	20 倍放大镜读数测量
2	拼接面裂缝	拼接面方向长度不超过密封槽、且宽度小于 0.20 mm	20 倍放大镜读数测量
3	非贯穿裂缝	内表面不允许，外表面裂缝宽度不超过 0.20 mm	20 倍放大镜读数测量
4	内、外表面露筋	不允许	观察
5	孔洞	不允许	观察
6	麻面、粘皮、蜂窝	表面麻面、粘皮、蜂窝总面积不大于表面积 的 5 %允许修补	钢卷尺或钢直尺测量
7	疏松、夹渣	不允许	观察
8	缺棱掉角、飞边	不应有、允许修补	观察
9	环、纵向螺栓孔	畅通、内圆面平整，不得有塌孔	螺栓试穿

用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

《预制混凝土管片规范》GB/T 22082-2024

《预制混凝土衬砌管片》GB/T 22082

《盾构法隧道施工及验收规范》GB50446

中国工程建设标准化协会标准

盾构隧道钢筋混凝土管片智能制造 技术规程

T/CECS XXX-202X

附：条文说明

制定说明

本规程制定过程中,编制组进行了深入细致的调查研究,总结了我国工程建设在盾构隧道管片智能制造的实践经验,同时参考了国外先进技术法规、技术标准,通过工程试点取得了较好的实验结果。

本规程编制符合技术先进性、可操作性、安全可靠性的原则。主要处理的问题有智能工厂、智能管理系统、智能生产和检验等,尚需深入研究的问题有智能化技术的深度应用。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定,《盾构隧道钢筋混凝土管片智能制造技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明,对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目次

5	智能管理系统	31
5.1	集成性综合管理系统.....	31
5.2	生产管理.....	31
5.3	物资管理.....	31
5.4	设备管理.....	31
5.6	质量管理.....	31
5.8	节能环保管理.....	31
6	智能生产	32
6.3	管片模具.....	32
6.5	管片预埋件.....	32
6.8	管片脱模与缓存.....	32
7	智能检验	22
7.1	一般规定.....	22
7.3	质量判定.....	232

5 智能管理系统

5.1 集成性综合管理系统

5.1.1 智能管理系统应实现管片生产全流程的数字化、智能化管控，涵盖设计、生产、施工、验收及运维环节，确保质量、效率、安全与环保目标的协同优化。

5.2 生产管理

5.2.6 基于订单需求、设备能力及资源库存，自动生成动态生产计划，支持人工干预调整。

5.2.9 设置阈值触发报警（如设备故障、工序延误），系统自动生成应急预案并推送至责任人。

5.3 物资管理

5.3.2 采用 RFID/二维码技术对钢筋、混凝土等原材料进行全程追踪，实现“一物一码”管理。

5.4 设备管理

5.4.2 实时采集设备运行参数（温度、振动、电流），预测性维护准确率需 $\geq 85\%$ 。

5.4.3 统计单环管片生产能耗（如电力 $\leq 30\text{kWh/环}$ ），生成节能建议。

5.6 质量管理

5.6.3 采用 3D 扫描与 AI 视觉技术检测管片外观缺陷（裂缝宽度 $\leq 0.2\text{mm}$ 、气孔直径 $\leq 5\text{mm}$ ）。

5.8 节能环保管理

5.8.1 时统计各环节能耗（电力、水、蒸汽），生成碳排放报告，单环碳排放量 $\leq 50\text{kg CO}_2$ 。

6 智能生产

6.3 管片模具

6.3.10 模具自动检测设备在生产线上对模具应快速测量，检测项目只限于常规的项目，如模具宽度、深度、对角线。

6.5 管片预埋件

6.5.3 在预埋件安装完成后，模具流转进入浇筑工位前，采用自动扫描检测设备对预埋件等安装情况进行最后检查，防止不符合要求情况发生。

6.8 管片脱模与缓存

6.8.3 传统喷码机需要人工输入信息再进行喷码，存在输入缓慢、输入错误的情况。智能喷码机可以直接接收到系统共享的管片信息，快速准确地对每块管片进行喷码。

7 智能检验

7.1 一般规定

7.1.2 管片生产推行全过程质量控制，并建立安全生产和绿色生产的相关制度，配备相应的设施或设备。

7.3 质量判定

7.3.4 关于管片抗渗试件要求应符合现行国家标准《地下铁道工程施工质量验收标准》GB /T 50299 里规定 30 环成型一组，现行国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB 50208 内规定抗渗混凝土每 500 m³ 制作一组抗渗试件，大直径管片单环方量较大，应按每 500 m³ 制作一组抗渗试件执行。