

团 体 标 准

T/ZIUR XXXX—XXXX

道路水泥混凝土施工过程智能检测技术规范

Specification for Intelligent Detection Technology in Road Cement Concrete
Construction

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

浙江省产学研合作促进会 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 基本规定	2
5 智能检测装备与系统技术要求	3
6 原材料智能检测	4
7 拌和过程智能检测	5
8 运输过程智能检测	7
9 浇筑过程智能检测	8
10 振捣与养护过程智能检测	9
11 成品质量智能检测	10
12 数据处理、管理与系统运维	11

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××××提出。

本文件由浙江省产学研合作促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

道路水泥混凝土施工过程智能检测技术规范

1 范围

本标准规定了道路水泥混凝土施工过程智能检测的术语定义、基本规定、智能检测装备与系统技术要求、原材料智能检测、拌和过程智能检测、运输过程智能检测、浇筑过程智能检测、振捣与养护过程智能检测、成品质量智能检测以及数据处理、管理与系统运维。

本标准适用于各级公路、城市道路及相关市政基础设施中水泥混凝土路面、基层、台背等构件施工过程的智能检测工作，包括新建、改建、扩建工程的施工过程智能检测，也可作为智能检测系统部署、运维及质量评定的依据。

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 3608 高处作业分级
- GB 5023.1 额定电压450/750V及以下聚氯乙烯绝缘电缆 第1部分：一般要求
- GB/T 7724 电子称重仪表
- GB/T 18336（所有部分） 网络安全技术 信息技术安全评估准则
- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 28951 中国森林认证 森林经营
- GB/T 35273 信息安全技术 个人信息安全规范
- GB 39800.1 个体防护装备配备规范 第1部分：总则
- GB/T 40574 大型工业承压设备检测机器人通用技术条件
- GB/T 40659 智能制造 机器视觉在线检测系统 通用要求
- GB 50034 建筑照明设计标准
- GB/T 50080 普通混凝土拌合物性能试验方法标准
- GB/T 50082 混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准
- GB 50194 建设工程施工现场供用电安全规范
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JTG/T F30 公路水泥混凝土路面施工技术细则
- JTG 3420 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程
- JTG/T 3610 公路路基施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能检测系统 intelligent testing system

实现智能检测的一套软硬件系统的总称，包括智能检测控制单元、检测机器人、标识识别单元、检测设备单元、自动清扫单元、数据管理单元、通信单元、异常情况告警单元、样品状态箱等子单元。

3.2

路面水泥混凝土 pavement cement concrete

满足路面摊铺工作性、弯拉强度、表面功能、耐久性及经济性等要求的水泥混凝土材料。

[来源：JTG/T F30，3.1.1]

3.3

机器视觉在线检测 machine vision online detection

利用机器视觉技术实现车间生产线实时检测和判别。

[来源：GB/T 40659, 3.1, 有修改]

3.4

检测机器人 detection robot

在检测过程中,通过示教模式或者再现模式进行人机交互,代替或者部分代替人工检测的智能设备。

[来源：GB/T 40574, 3.5, 有修改]

3.5

构造深度 texture depth

运用拉毛、塑性刻槽或硬性刻槽等工艺制作的沟槽或纹理的平均深度。

4 基本规定

4.1 一般要求

4.1.1 道路水泥混凝土施工过程智能检测应遵循统筹规划、标准统一、互联互通、安全可控的原则,融入施工全流程质量管控体系。

4.1.2 智能检测不应降低现行公路、市政工程施工质量验收标准要求,检测结果应能作为施工质量评定、工序交接及验收的依据。

4.1.3 智能检测技术、装备及系统应符合国家、行业现行相关标准规定,未经计量校准或检定合格的设备不得用于检测。

4.1.4 智能检测宜与智慧工地平台对接,实现检测数据实时上传、共享与联动分析,支撑施工质量动态管控。

4.1.5 特殊环境,如高温、低温、雨雪、强电磁干扰等下的智能检测,应采取专项防护措施,确保检测精度与系统稳定性。

4.2 智能检测系统构成

4.2.1 智能检测系统应采用端-边-云三级架构,由感知采集层、边缘计算层、平台应用层及数据传输网络组成,各层功能应明确、接口应标准化。

4.2.2 感知采集层应包括传感器、工业相机、激光扫描仪、检测机器人、智能终端等设备,负责原材料、拌和、运输、浇筑、振捣、养护等工序的状态与参数采集。

4.2.3 边缘计算层应具备数据预处理、实时分析、异常告警、本地缓存及断网续传功能,支持检测数据初步处理与现场实时决策。

4.2.4 平台应用层应包括数据管理、质量分析、报表生成、系统运维、溯源查询等模块,实现检测数据集中存储、深度分析与全流程追溯。

4.2.5 数据传输网络应采用有线与无线结合方式,满足数据传输实时性、稳定性、安全性要求,通信协议应符合 GB/T 35273 规定。

4.2.6 系统宜具备兼容性与扩展性,可接入不同厂商、不同类型的检测设备,支持检测项目与功能模块扩展。

4.3 检测环境安全要求

4.3.1 检测环境应满足设备正常工作要求,环境温度宜为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度宜为 $10\%\sim 90\%$,无强振动、强电磁干扰及腐蚀性气体。

4.3.2 户外检测区域应设置明显警示标识,配备必要防护设施;夜间检测应提供充足照明,照明度应符合 GB 50034 规定。

4.3.3 检测人员应经专业培训并考核合格,熟悉系统操作、设备校准、数据处理及应急处置,持证上岗。

4.3.4 检测人员应配备符合 GB 39800.1 规定的个体防护装备。

4.3.5 高处作业应符合 GB 3608 规定,确保作业安全。

4.3.6 智能检测设备安装、调试及运维应符合安全操作规程,用电安全应符合 GB 50194 规定,防止触电、设备坠落等事故。

4.3.7 系统运维人员应定期开展设备巡检、维护与校准，建立运维台账，记录设备运行状态、校准情况及故障处置信息。

4.4 数据质量与可追溯性

4.4.1 智能检测数据应满足真实性、准确性、完整性、及时性要求，原始数据不得篡改、伪造，数据采集误差应符合相关标准规定。

4.4.2 检测数据应包含完整元数据，包括项目信息、工序名称、检测时间、设备编号、环境参数、操作人员、原始记录编号等，确保数据可追溯。

4.4.3 系统应具备数据自动采集、实时存储与备份功能，原始数据、检测影像、分析结果及报告应全程留存，保存期限不应少于工程合理使用年限。

4.4.4 数据处理应遵循规范流程，异常值处理应采用格拉布斯准则等统计方法，剔除数据应注明原因并留存记录。

4.4.5 系统应建立数据分级授权管理机制，明确数据访问、修改、删除权限，防止数据泄露与滥用，数据安全应符合 GB/T 22239 规定。

4.4.6 检测报告应经检测、审核及授权签字人签署，并加盖专用标识，报告格式与内容应符合公路水运工程质量检测管理办法要求。

5 智能检测装备与系统技术要求

5.1 一般规定

5.1.1 智能检测装备及配套系统应符合国家、行业现行安全、计量、电磁兼容及智能化通用标准，适配道路水泥混凝土全施工流程检测工况。

5.1.2 装备选型、系统架构、技术参数应满足现场高精度采集、稳定传输、实时分析及长期连续运行要求，不宜选用无计量溯源依据的非标设备。

5.1.3 智能检测装备应具备防尘、防水、防震、耐高低温的工业级防护性能，户外露天布设设备防护等级不应低于 IP65。

5.1.4 成套智能检测系统应具备模块化、可扩展、可兼容特性，支持同类设备异构接入、功能模块按需增减。

5.1.5 装备及系统工作电源适配范围应满足施工现场波动工况，断电后应具备本地数据缓存、断电续传及应急待机功能。

5.1.6 所有用于计量类检测的感知设备、采集终端应经法定计量机构检定或校准合格，纳入计量台账管理后方可投入使用。

5.2 采集终端与计算单元

5.2.1 温度、湿度、振动、应变类传感器，应选型适配混凝土施工监测场景，测量线性度好、长期零点漂移小。

5.2.2 激光扫描、工业视觉、红外成像、地质雷达等无损感知设备，应满足路面几何尺寸、表面缺陷、内部隐患的识别分辨率与检测精度要求。

5.2.3 现场数据采集终端应支持多类型传感器协议接入，具备本地缓存、时间同步、数据预处理及断网续传功能。

5.2.4 边缘计算单元可部署于现场机房或测控箱内，应具备实时数据解析、特征提取、超限判别及就地告警推送能力。

5.3 云平台与算法要求

5.3.1 智能检测云平台应包含设备运维、实时监测、数据存储、统计分析、预警发布、档案管理等核心功能模块。

5.3.2 平台软件应设置分级授权管理机制，关键操作应全程日志留痕，满足数据安全与行为追溯要求。

5.3.3 系统数据接口宜遵循现行行业信息化标准，支持与智慧工地、工程质量监管平台实现数据对接共享。

5.3.4 混凝土缺陷识别、施工状态研判、质量趋势预测等智能算法，应依托工程实测样本校验，控制误报率与漏检率。

5.4 设备校准与维护

- 5.4.1 计量类智能检测设备应按照现行计量技术规范定期周期校准，明确校准周期与期间核查要求。
- 5.4.2 设备发生碰撞、过载、维修更换核心部件后，再次投入使用前应进行校准或性能比对试验。
- 5.4.3 运维单位宜建立日常巡检制度，定期检查设备安装固定、线路连通、防护密封及供电通信状态。
- 5.4.4 校准证书、巡检记录、维修台账、故障处置资料应统一归档留存，保障设备全生命周期可追溯。
- 5.4.5 性能失效、超校准周期、故障未排除的检测装备，应立即停止使用并做隔离标识。

6 原材料智能检测

6.1 感知监测布设要求

- 6.1.1 原材料智能感知设备布设应结合原材料堆放区域、进料流程及检测需求，遵循“全覆盖、无盲区、易维护”原则，布设位置应避开物料碰撞、雨水冲刷及阳光直射区域。
- 6.1.2 水泥、集料等主材堆放区应布设温湿度、料位感知设备，设备安装高度宜距地面 1.5 m~2.0 m，间距不应大于 10 m。
- 6.1.3 外加剂、拌合水检测终端应布设于储存容器出口处及进料管道上，与输送设备联动，实现进料、使用全过程实时监测，安装应牢固、密封，防止腐蚀、泄漏对设备造成损坏。
- 6.1.4 所有感知设备应进行统一时间同步，同步精度不应低于 1 s，布设完成后应进行调试校准，确保数据采集准确、传输稳定。
- 6.1.5 感知设备线缆布设应规范整齐，避开作业通道及物料输送区域，做好防护处理，防止机械损伤，线缆防护要求应符合 GB 5023.1 中的规定。

6.2 主材智能检测技术要求

- 6.2.1 水泥智能检测应采用自动化检测设备，实时监测水泥细度、安定性、温度及进场量，检测数据误差不应大于 $\pm 2\%$ 。
- 6.2.2 粗、细集料智能检测应涵盖级配、含泥量、含水率、针片状颗粒含量等指标，采用激光粒度分析仪、图像识别等智能设备，检测频率应与进料批次同步，每批次检测不应少于 3 组。
- 6.2.3 集料含水率智能检测应采用在线式水分传感器，实时监测堆放集料及进料过程中的含水率变化，数据更新频率不应低于 1 次/分钟，检测结果应自动反馈至拌和系统，用于配合比动态调整。
- 6.2.4 主材进场时应同步采集供应商信息、产品合格证、检测报告等资料，通过智能识别设备录入系统，实现主材来源可追溯。
- 6.2.5 水泥储存过程中应实时监测温度变化，当温度超过 55℃时，应自动触发预警，及时采取降温措施。
- 6.2.6 集料堆放应按品种、规格分区存放，智能检测设备应对应分区布设，避免不同规格集料混堆导致检测数据偏差。

6.3 外加剂与拌合水智能检测要求

- 6.3.1 外加剂智能检测应实时监测掺量、pH 值、密度及流动性，采用在线式检测设备，掺量检测误差不应大于 $\pm 0.5\%$ 。
- 6.3.2 外加剂储存容器应布设液位、温度感知设备，实时监测储存量及变质风险，当液位低于预警值或温度异常时，应自动提醒补充或检查。
- 6.3.3 拌合水智能检测应监测 pH 值、杂质含量、温度等指标，采用自动化水质检测设备，检测结果应符合 JGJ 63 中的规定，不合格水严禁用于混凝土拌和。
- 6.3.4 外加剂与拌合水检测数据应实时上传至智能检测系统，与主材检测数据联动，当检测指标超出规范限值时，应立即禁止该批次原材料投入使用。
- 6.3.5 外加剂检测设备应定期进行清洗维护，防止外加剂残留结晶影响检测精度，清洗维护周期不应超过 7 天，维护记录应留存归档。

6.4 质量智能判别规则

- 6.4.1 原材料质量智能判别应建立智能判别模型，明确各指标合格限值。
- 6.4.2 主材质量判别应采用“单指标合格+综合评价”模式，单指标检测结果均符合规范要求，且综合偏差不超过5%时，判定为合格；单指标不合格或综合偏差超标时，判定为不合格。
- 6.4.3 外加剂与拌合水质量判别应实行“一票否决制”，任一检测指标不符合规范要求，均判定为不合格，不得投入使用，判别标准应严格遵循JGJ 63、JTG 3420相关规定。
- 6.4.4 智能判别系统应具备自动比对、自动判定功能，判别结果应实时显示、留存记录，支持人工复核，复核流程应符合公路水运工程质量检测管理相关规定。

6.5 质量超限智能预警

- 6.5.1 智能检测系统应针对原材料各检测指标设置预警阈值，预警阈值应结合规范要求、工程实际及质量控制目标确定，不应低于现行规范限值，阈值设置应经专家论证确认。
- 6.5.2 当检测数据接近预警阈值时，系统应发出一级预警，提醒操作人员关注；当检测数据超出规范限值时，系统应发出二级预警，自动切断该批次原材料进料通道，并推送至相关管理人员，预警方式应包括声光、短信、平台消息等。
- 6.5.3 预警信息应包含原材料名称、检测指标、超限数值、检测时间、设备编号等完整信息，便于管理人员快速定位问题、处置整改。
- 6.5.4 预警处置完成后，应通过系统录入处置措施、处置结果，经审核确认后，方可解除预警，处置记录应留存归档，实现预警处置全程可追溯。
- 6.5.5 系统应定期统计预警信息，分析超限原因，形成预警分析报告，为原材料质量管控优化提供数据支撑，报告生成周期不应超过1个月。

7 拌和过程智能检测

7.1 配料计量智能监测

7.1.1 智能监测设备配置

- 7.1.1.1 配料计量智能监测应采用高精度智能计量设备，涵盖水泥、粗集料、细集料、外加剂、拌合水等所有原材料，计量设备精度应符合GB/T 7724中的要求。
- 7.1.1.2 计量设备应与智能检测系统、拌和控制系统联动，实现计量数据实时采集、传输与同步显示，不应采用独立式计量设备。
- 7.1.1.3 计量设备应安装在配料仓出口、输送管道等关键位置，安装应牢固、水平，避免振动导致计量偏差。
- 7.1.1.4 计量设备应配备防干扰装置，避免电磁、振动等因素影响计量精度。

7.1.2 精度控制

- 7.1.2.1 原材料配料计量允许偏差应符合相关规范要求，其中水泥、外加剂计量偏差不应大于 $\pm 1\%$ ，粗集料、细集料计量偏差不应大于 $\pm 2\%$ ，拌合水计量偏差不应大于 $\pm 1\%$ 。
- 7.1.2.2 智能计量系统应具备自动校准功能，每日拌和作业前应进行零点校准，每批次配料完成后应进行偏差校验，校准记录应留存归档。
- 7.1.2.3 当计量偏差超出允许范围时，系统应立即停止配料作业，发出告警信号，待校准合格后方可恢复作业，告警响应时间不应超过3s。

7.1.3 数据管理

- 7.1.3.1 配料计量数据应实时上传至智能检测系统，包含配料时间、原材料名称、计量数值、偏差值、操作人员等完整信息，数据上传延迟不应超过5s。
- 7.1.3.2 计量数据应实行全程留存，不得篡改、删除，保存期限不应少于工程合理使用年限，数据存储要求应符合GB/T 18336系列中的规定。

7.1.3.3 系统应具备计量数据统计分析功能，定期生成计量偏差分析报告，为配料质量优化提供支撑，报告生成周期不应超过1个月。

7.1.3.4 计量数据应支持按批次、按原材料类型查询，便于质量追溯与问题排查。

7.2 工况参数实时感知

7.2.1 温度与湿度感知

7.2.1.1 拌和机内部应布设温度、湿度传感器，实时监测拌和过程中混凝土拌合物的温度及拌和环境湿度，传感器测量范围应覆盖 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，测量精度不应低于 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 5\text{ \%RH}$ 。

7.2.1.2 拌和温度监测数据应实时反馈至拌和控制系统，当拌合物温度超出 $5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的合理范围时，应自动调整拌合水温度或采取保温、降温措施。

7.2.1.3 湿度监测应同步覆盖拌和机房及原材料堆放区域，当环境湿度大于85%时，应采取防潮措施，防止原材料受潮影响拌和质量。

7.2.1.4 温度、湿度传感器应定期校准，校准周期不应超过3个月，校准记录应纳入设备运维台账。

7.2.2 时间与转速感知

7.2.2.1 拌和机应配备智能转速传感器、时间记录仪，实时监测拌和转速及拌和时长，转速测量精度不应低于 $\pm 1\text{ r/min}$ ，时间记录精度不应低于1s。

7.2.2.2 强制式拌和机拌和时长不应少于90s，自落式拌和机拌和时长不应少于120s，拌和转速应符合设备技术说明书要求，系统应自动记录每批次拌和时间、转速数据。

7.2.2.3 当拌和时间不足、转速异常时，系统应发出预警，禁止拌合物出料，待调整至符合要求后，方可继续作业。

7.2.2.4 拌和时间、转速数据应与拌合物质量检测数据联动分析，当出现数据异常关联时，应触发质量复核指令。

7.2.3 设备运行状态感知

7.2.3.1 拌和机应布设振动、电流传感器，实时监测设备运行振动幅度、电机工作电流，振动幅度不应超过设备额定值的10%，电流波动不应超过 $\pm 5\text{ \%}$ 。

7.2.3.2 系统应具备设备运行异常识别功能，当出现振动超标、电流异常、异响等情况时，应自动停机并推送故障告警信息，便于运维人员及时处置。

7.2.3.3 设备运行状态数据应定期统计分析，形成设备运维报告，为设备维护、故障预判提供数据支撑，报告生成周期不应超过15天。

7.2.3.4 运维人员应根据设备运行状态数据，制定针对性维护计划，及时更换老化部件，确保设备正常运行。

7.2.3.5 设备运行异常处置完成后，应录入处置记录，包含故障原因、处置措施、处置结果等信息，实现全程可追溯。

7.3 混凝土拌合物工作性智能检测

7.3.1 检测设备要求

7.3.1.1 混凝土拌合物工作性智能检测应采用自动化检测设备，涵盖坍落度、扩展度、振动粘度系数等检测指标，检测设备应符合GB/T 50080中的要求。

7.3.1.2 检测设备应与拌和机出料口联动，实现每批次拌合物工作性自动检测，检测频率应与拌和批次完全同步，不得遗漏。

7.3.1.3 检测设备应具备自动清洁、校准功能，检测完成后应及时清洁检测部件，每周至少进行1次精度校准，确保检测数据准确。

7.3.2 检测指标与结果管理

7.3.2.1 路面水泥混凝土拌合物坍落度应控制在 $120\text{ mm}\sim 160\text{ mm}$ ，扩展度应控制在 $350\text{ mm}\sim 500\text{ mm}$ ，振动粘度系数应控制在 $50\text{ N}\cdot\text{s/m}^2\sim 200\text{ N}\cdot\text{s/m}^2$ ，具体指标可结合工程设计要求调整。

7.3.2.2 工作性检测数据应实时分析，当检测指标超出规范或设计要求时，应立即反馈至拌和控制系统，自动调整配合比。

7.3.2.3 检测过程中应同步记录环境温度、湿度数据，作为工作性检测结果分析的辅助依据，辅助数据应与检测数据同步留存。

7.3.2.4 每批次拌合物工作性检测结果应实时上传至智能检测系统，明确标注检测批次、检测时间、检测指标、合格状态等信息，便于追溯核查。

7.3.2.5 当连续 3 批次工作性检测结果出现异常波动时，系统应发出质量预警，提醒检测人员排查原材料、拌和参数等问题，形成预警处置记录。

7.4 拌和质量动态智能调控

7.4.1 配合比动态调控

7.4.1.1 智能检测系统应结合原材料检测数据、拌合物工作性检测数据，建立配合比动态调控模型，实现拌和过程配合比自动调整，调控模型应经专家论证确认。

7.4.1.2 当集料含水率、水泥温度等原材料指标发生变化时，系统应自动调整拌合水用量、外加剂掺量，确保拌合物质量符合要求，调整幅度应符合规范限值。

7.4.1.3 配合比调整记录应全程留存，包含调整原因、调整前后参数、调整时间、操作人员等信息，调整后应重新检测拌合物工作性，确认合格后方可继续拌和。

7.4.1.4 配合比调控应遵循“微量调整、逐步优化”原则，避免一次性大幅调整导致拌合物质量波动。

7.4.2 工艺动态优化

7.4.2.1 系统应根据拌和工况参数、工作性检测结果，实时优化拌和转速、拌和时长，当拌合物均匀性不足时，应适当提高转速、延长拌和时长。

7.4.2.2 拌和工艺优化应遵循“质量优先、效率兼顾”原则，优化后的工艺参数应符合设备技术要求及规范规定，不得因优化工艺导致设备过载或质量下降。

7.4.2.3 每季度应结合拌和质量数据，对拌和工艺优化模型进行校准完善，提升调控精度。

7.4.2.4 智能检测系统应建立拌和质量综合评估体系，结合配料计量偏差、拌和工况参数、拌合物工作性等指标，对每批次拌和质量进行综合评分，评分结果作为质量评定的重要依据。

7.4.2.5 拌和质量综合评估结果应实时推送至管理人员，对评分不合格的批次，应立即停工排查，处置完成后重新评估，合格后方可恢复作业。

8 运输过程智能检测

8.1 运输车辆状态智能监测

8.1.1 运输车辆应配备智能定位终端、速度传感器及视频监控设备，实现车辆位置、行驶速度、行驶轨迹的实时监测，具体要求如下：

——定位精度不应低于 ± 5 m，速度测量精度不应低于 ± 1 km/h；

——智能定位终端应支持北斗、GPS 双模定位，定位数据更新频率不应低于 1 次/分钟；

——视频监控设备分辨率不应低于 1080 P，存储时间不应少于 72 小时。

8.1.2 系统应具备车辆超速、偏离预设路线、中途停留超时等异常识别功能，出现异常时立即发出声光告警，推送至管理人员，告警响应时间不应超过 3 s。

8.1.3 运输车辆状态数据应实时上传至智能检测系统，包含车辆编号、行驶参数、定位信息等内容，实现全程可追溯，数据传输应符合 GB/T 28951 中的规定。

8.2 罐内混凝土工况实时感知

8.2.1 罐车罐体内应布设温度传感器、振动传感器，实时监测罐内混凝土温度及搅拌筒转动状态，温度测量精度不应低于 ± 0.5 °C，振动测量精度不应低于 ± 0.1 mm/s。

8.2.2 搅拌筒转速及温度监测应符合以下要求：

——运输过程中搅拌筒转速应控制在 2 r/min~6 r/min，不得停止转动；

——转速监测数据应与车辆定位数据同步留存，便于关联分析；

——罐内混凝土温度超出 $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 范围时，需及时采取保温、降温措施并记录。

8.2.3 传感器安装应牢固、密封，具备防混凝土粘附、防振动损坏的防护功能，安装位置避开搅拌叶片运动轨迹。

8.3 运输离析与时效风险智能判别

8.3.1 智能检测系统应结合罐内混凝土温度、搅拌转速、运输时间、行驶路况等数据，建立离析风险判别模型，自动识别混凝土离析隐患。

8.3.2 运输时间应严格控制，从混凝土拌和完成至到场卸料，总时长不应超过 2 h。

8.3.3 系统判别存在离析风险或运输超时，应发出预警信息，提醒驾驶员采取对应措施，到场后重点进行质量复检。

8.3.4 离析风险判别结果应纳入运输质量记录，对多次出现离析风险的车辆，排查整改合格后方可重新投入使用。

8.4 到场混凝土智能复检准入

8.4.1 混凝土运输到场后，应立即通过智能检测设备进行复检，复检指标包括坍落度、扩展度及温度，复检频率达到 100%，不得遗漏任何一批次。

8.4.2 复检设备应与拌和站检测设备精度一致，复检数据实时上传至智能检测系统，与拌和站检测数据比对，比对偏差不应大于 $\pm 5\%$ 。

8.4.3 复检合格的混凝土方可准入浇筑作业，复检不合格的应立即退场处理，退场记录明确标注相关信息，实现全程可追溯。

8.4.4 复检过程应全程视频记录，视频影像与复检数据同步留存，作为质量追溯的重要依据。

9 浇筑过程智能检测

9.1 浇筑前隐蔽工程智能检测

9.1.1 浇筑前应对基层、模板、钢筋等隐蔽工程进行全面智能检测，检测范围应覆盖所有浇筑区域，检测方法应科学合理，确保检测数据准确可靠。

9.1.2 基层智能检测应重点监测平整度、压实度及强度，具体要求如下：

——平整度检测采用激光平整度仪，检测精度不应低于 $\pm 0.1\text{ mm/m}$ ，检测间距不应大于 50 cm；

——压实度检测采用智能压实度检测仪，检测结果应符合 JTG/T 3610 中的规定；

——基层强度检测采用智能回弹仪，每 100 m^2 检测不应少于 3 个点位，检测数据实时上传系统。

9.1.3 模板智能检测应包含尺寸、垂直度、平整度及牢固度，具体要求如下：

——模板宽度、高度检测采用激光测距仪，测量精度不应低于 $\pm 1\text{ mm}$ ，每 2 m 检测 1 个点位；

——垂直度检测采用智能倾角传感器，偏差不应大于 3 mm/m ；

——模板牢固度通过振动传感器监测，振动幅度不应超过 0.3 mm/s ，防止浇筑过程中模板移位。

9.1.4 钢筋智能检测应重点监测间距、保护层厚度及锈蚀情况，具体要求如下：

——钢筋间距采用图像识别技术检测，检测精度不应低于 $\pm 5\text{ mm}$ ，每跨检测不应少于 5 个点位；

——保护层厚度采用雷达检测设备，检测误差不应大于 $\pm 1\text{ mm}$ ；

——钢筋锈蚀采用电磁感应传感器检测，锈蚀面积占比不应超过 5%，超标时应及时处理。

9.1.5 隐蔽工程检测合格后，方可进入浇筑工序，检测不合格的应立即整改，整改后重新检测，直至合格。

9.1.6 隐蔽工程检测记录应完整留存，包含检测点位、检测数据、合格状态、操作人员等信息，实现全程可追溯。

9.2 摊铺浇筑工况智能监测

9.2.1 摊铺浇筑应采用智能摊铺设备，配备激光扫描、视频监控等检测装置，实时监测摊铺厚度、摊铺速度及摊铺均匀性。

9.2.2 摊铺厚度应控制在设计厚度 $\pm 5\text{ mm}$ 范围内，摊铺速度应保持匀速，宜控制在 $1\text{ m/min}\sim 3\text{ m/min}$ ，避免速度波动导致摊铺不均匀。

9.2.3 摊铺过程中应实时监测摊铺宽度，与设计宽度偏差不应大于 10 cm，出现偏差时应及时调整摊铺设备位置。

9.2.4 智能监测设备应实时采集摊铺工况数据，包含摊铺参数、设备运行状态等，数据上传延迟不应超过 3 s，便于实时管控。

9.2.5 摊铺过程中应同步监测混凝土摊铺连续性，避免出现断铺、漏铺情况，出现异常时应立即停机处理。

9.3 入模参数实时感知管控

9.3.1 混凝土入模前应实时监测入模温度，入模温度应控制在 5 °C~35 °C，当环境温度过高或过低时，应采取相应调控措施。

9.3.2 入模速度应控制在合理范围，宜为 0.5 m³/min~1.5 m³/min，避免入模速度过快导致混凝土离析、分层。

9.3.3 入模过程中应实时感知混凝土下落高度，下落高度不应超过 2 m，超过时应设置溜槽或串筒，防止混凝土离析。

9.3.4 入模参数数据应实时上传至智能检测系统，与拌和、运输阶段数据联动，实现全流程参数追溯。

9.4 浇筑成型质量智能识别

9.4.1 浇筑成型后应立即通过图像识别、激光扫描等技术，智能识别表面平整度、坡度及轮廓尺寸等指标。

9.4.2 成型表面平整度偏差不应大于 3 mm/m，坡度应符合设计要求，偏差不应大于±0.5 %。

9.4.3 智能识别系统应具备成型缺陷自动识别功能，可识别表面蜂窝、麻面、露筋等缺陷，识别准确率不应低于 95 %。

9.4.4 发现成型质量缺陷时，应立即标记缺陷位置、尺寸及类型，推送至管理人员，及时采取修补措施，修补后重新检测。

9.4.5 成型质量检测结果应实时反馈至浇筑作业人员，便于及时调整浇筑工艺，提升成型质量。

10 振捣与养护过程智能检测

10.1 振捣设备运行状态智能监测

10.1.1 振捣设备应配备智能监测终端，实时监测振捣频率、振幅、振捣时间及振捣位置，确保振捣参数符合规范要求。

10.1.2 振捣频率应控制在 20 Hz~50 Hz，振幅应控制在 0.5 mm~2.0 mm，振捣时间应根据混凝土稠度调整，宜为 20 s~30 s/点。

10.1.3 振捣设备运行状态数据应实时上传至系统，当出现频率、振幅异常或设备故障时，应立即发出告警，停止振捣作业，排查整改后重新投入使用。

10.2 混凝土密实度智能检测

10.2.1 振捣完成后应采用超声检测、雷达检测等无损检测技术，智能检测混凝土密实度，检测覆盖所有振捣区域，无检测盲区。

10.2.2 密实度检测应符合 GB/T 50082 的要求，检测误差不应大于±2 %。

10.2.3 检测数据应实时分析，当密实度低于设计要求时，应标记区域并进行二次振捣，二次振捣后重新检测。

10.2.4 密实度检测结果应纳入浇筑质量记录，作为后续质量评定的重要依据。

10.2.5 检测过程中应同步记录检测点位、检测时间、检测人员等信息，确保数据可追溯。

10.3 过振漏振智能识别研判

10.3.1 智能检测系统应结合振捣设备运行数据、混凝土密实度检测数据，建立过振、漏振智能识别模型，自动研判异常振捣情况。

10.3.2 过振、漏振识别判定标准应如下：

- 振捣时间超过 30 s/点、振幅大于 2.0 mm，且密实度检测无明显提升，判定为过振；
- 振捣时间不足 20 s/点、振幅小于 0.5 mm，且密实度低于设计要求，判定为漏振；
- 振捣位置间距大于 50 cm，且该区域密实度不达标，判定为漏振。

10.3.3 识别出过上振、漏振情况时，应立即发出预警，标记异常区域，提醒操作人员采取补振或处理措施，处置完成后重新检测。

10.4 养护环境多参数智能监测

10.4.1 养护期间应布设温湿度、风速等智能传感器，实时监测养护环境参数，传感器布设间距不应大于 10m，确保监测数据全面覆盖养护区域。

10.4.2 养护环境温度应控制在 5℃~35℃，相对湿度不应低于 80%，当环境参数超出要求时，应自动启动养护设备进行调控。

10.4.3 养护环境数据应实时上传至系统，全程记录养护过程参数，数据保存期限不应少于工程合理使用年限。

10.5 养护全过程质量智能评价

10.5.1 智能检测系统应结合养护环境参数、混凝土内部温度数据、早期裂缝检测数据，建立养护质量评价模型，对养护效果进行实时评价。

10.5.2 养护质量评价应包含混凝土强度增长情况、表面状态、裂缝发展情况等指标，评价结果分为优秀、合格、不合格三个等级。

10.5.3 当养护质量评价为不合格时，应立即调整养护方案，增加养护措施，延长养护周期，直至评价合格。

10.5.4 养护质量评价报告应定期生成，每周至少 1 次，为养护工艺优化提供数据支撑。

10.5.5 养护完成后，应进行养护效果最终评价，评价合格后方可进入后续工序，评价记录留存归档。

11 成品质量智能检测

11.1 路面外观缺陷智能检测

11.1.1 成品路面外观缺陷智能检测应采用图像识别、激光扫描等技术，全面检测表面裂缝、蜂窝、麻面、露筋、平整度等缺陷。

11.1.2 裂缝检测应区分纵向、横向及斜向裂缝，裂缝宽度检测精度不应低于 0.1 mm，长度检测误差不应大于 5 cm，所有裂缝应标记位置、尺寸及类型。

11.1.3 外观缺陷检测覆盖率应达到 100%，识别准确率不应低于 95%，发现缺陷时应及时标记并推送整改通知，整改后重新检测。

11.1.4 外观缺陷检测数据应实时上传至系统，形成外观质量检测报告，作为成品质量评定的重要依据。

11.1.5 检测过程中应同步采集路面外观影像，影像分辨率不应低于 1080 P，与检测数据同步留存，便于追溯核查。

11.2 几何线形指标智能检测

11.2.1 成品几何线形智能检测应涵盖厚度、宽度、高程、横坡等指标，采用激光扫描、智能测距等设备，确保检测精度符合规范要求。

11.2.2 路面厚度检测采用雷达检测设备，检测精度不应低于 ± 1 mm，每 100 m 检测不应少于 5 个点位，检测结果应符合设计要求。

11.2.3 路面宽度、高程、横坡检测应与设计值比对，宽度偏差不应大于 ± 10 cm，高程偏差不应大于 ± 5 mm，横坡偏差不应大于 ± 0.5 %。

11.2.4 几何线形检测数据应实时分析，当检测指标超出允许偏差时，应标记异常区域，分析偏差原因，采取整改措施。

11.3 结构强度与内部缺陷智能检测

11.3.1 成品结构强度智能检测应采用回弹法、超声回弹综合法、钻芯法等技术，检测混凝土抗压强度、

弯拉强度，检测方法应符合相关规范要求。

11.3.2 弯拉强度检测应每 200 m 检测 1 组，每组不应少于 3 个试件，检测结果应符合设计及规范要求，检测误差不应大于 $\pm 3\%$ 。

11.3.3 内部缺陷检测采用超声、雷达、CT 等无损检测技术，可识别内部空洞、疏松、裂缝等缺陷，缺陷识别分辨率不应低于 5 mm。

11.3.4 当检测出内部缺陷或强度不达标时，应扩大检测范围，分析缺陷成因，采取加固、修补等处置措施，处置后重新检测。

11.3.5 结构强度与内部缺陷检测记录应完整，包含检测方法、检测数据、缺陷情况、处置措施等信息，实现全程可追溯。

11.4 耐久性能指标智能测评

11.4.1 成品耐久性能智能测评应涵盖抗渗、抗冻、碳化等指标，采用自动化检测设备。

11.4.2 抗渗性能检测应每 500 m³混凝土检测 1 组，抗冻性能检测应根据环境类别确定检测频率，检测结果应符合设计要求。

11.4.3 碳化深度检测采用智能碳化深度测定仪，检测精度不应低于 ± 0.1 mm，每 100 m²检测不应少于 3 个点位，碳化深度不应超过设计限值。

11.4.4 耐久性能测评结果应纳入成品质量综合评定，测评不合格的，应采取针对性处置措施，确保成品耐久性符合要求。

12 数据处理、管理与系统运维

12.1 数据规整与清洗

12.1.1 检测数据应进行统一规整，明确数据格式、编码规则，确保不同工序、不同设备采集的数据格式统一，便于数据联动分析。

12.1.2 数据清洗应剔除异常值、缺失值，异常值处理采用格拉布斯准则，剔除数据应注明原因并留存记录，确保数据真实性、准确性。

12.1.3 数据清洗后应进行数据校验，校验内容包括数据完整性、准确性、一致性，校验不合格的数据应重新采集或补充完善。

12.1.4 数据规整与清洗应自动化完成，系统应具备自动清洗、校验功能，减少人工干预，提高数据处理效率。

12.1.5 数据规整与清洗记录应留存归档，包含清洗时间、清洗方法、剔除数据情况等信息，便于追溯核查。

12.2 数据分析模型

12.2.1 应建立多维度数据分析模型，结合原材料、拌和、运输、浇筑、振捣、养护、成品等各阶段检测数据，实现质量趋势分析、异常溯源、风险预判。

12.2.2 数据分析模型应定期校准完善，结合工程实际检测数据优化模型参数，提升分析精度和预警准确性。

12.2.3 风险预警应针对关键质量指标设置预警阈值，当数据接近或超出阈值时，系统应自动发出预警，推送至相关管理人员，便于及时处置。

12.2.4 预警信息应包含预警类型、预警指标、超限数值、发生工序及位置，处置完成后应录入处置结果，形成预警处置闭环。

12.3 数据归档存储管理

12.3.1 所有检测数据、影像资料、检测报告、预警记录等应统一归档存储，存储介质应安全可靠，支持本地存储与云端备份双重存储模式。

12.3.2 数据存储期限不应少于工程合理使用年限，归档数据应具备可查询、可追溯功能，支持按工序、按时间、按检测指标等多维度查询。

12.3.3 应建立数据分级授权管理机制，明确不同岗位人员的数据访问、修改、删除权限，防止数据泄

露、篡改或滥用。

12.3.4 数据管理员应定期检查数据存储状态，及时备份数据，防止数据丢失，数据备份周期不应超过7天。

12.4 跨平台数据交互与共享

12.4.1 智能检测系统应具备标准化数据接口，支持与智慧工地平台、工程质量监管平台、BIM 系统等跨平台数据交互与共享。

12.4.2 数据共享应遵循“安全可控、按需共享”原则，明确共享数据范围、共享权限，确保数据共享过程安全，不泄露敏感信息。

12.4.3 跨平台数据交互应采用标准化传输协议，确保数据传输稳定、实时，数据传输延迟不应超过10 s。

12.4.4 共享数据应进行统一标准化处理，确保不同平台数据格式兼容，实现数据联动分析与协同管控。

12.5 系统验收、运维与故障处置

12.5.1 智能检测系统安装完成后，应进行功能、性能测试及现场验证，验收合格后方可投入使用，验收流程应符合相关规范要求。

12.5.2 应建立系统日常运维制度，定期对系统硬件、软件进行巡检、维护、校准，确保系统稳定运行，运维周期不应超过15天。

12.5.3 系统软件应定期版本迭代、漏洞修复，升级前应进行备份，防止升级失败导致数据丢失或系统故障。

12.5.4 建立系统故障应急处置机制，明确故障处置流程、责任人员，故障发生后应及时响应，一般故障处置时间不应超过2 h，重大故障不应超过24 h。

12.5.5 系统验收记录、运维记录、故障处置记录应完整留存，纳入系统档案管理，实现全程可追溯。
