|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 25.040.01 |
| CCS | |  | | --- | | D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png XZBX |   N 10 |

西安市质量与标准化协会团体标准

T/XZBX 0095—2025

工程机械智能控制系统架构规范

Specification for intelligent control system architecture of construction machinery

2025 - 09 - XX发布

2025 - 09 - XX实施

西安市质量与标准化协会  发布

目次

[前言 III](#_Toc207894313)

[引言 V](#_Toc207894314)

[1 范围 1](#_Toc207894315)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc207894316)

[3 术语和定义 1](#_Toc207894317)

[4 总体架构设计 2](#_Toc207894318)

[5 控制模块功能设计 3](#_Toc207894319)

[6 数据采集系统 4](#_Toc207894320)

[7 通信与接口系统 4](#_Toc207894321)

[8 安全性与稳定性 5](#_Toc207894322)

[9 质量控制 6](#_Toc207894323)

[10 性能评估 7](#_Toc207894324)

1. 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。

本文件由西安市质量与标准化协会提出并归口。

本文件起草单位：苏州华启智能科技股份有限公司。

本文件主要起草人：李 辉。

1. 引言

随着工程机械行业的智能化发展，智能控制系统已经成为提高设备效率、精度与安全性的关键技术。智能控制系统能够通过自动化、数据采集与实时监测优化工程机械的工作流程和操作性能，减少人工干预，提升作业质量。然而，现有智能控制系统架构往往缺乏统一的标准和规范，导致系统之间的兼容性差、稳定性差，甚至影响到工程机械的安全性与操作效率。

本文件旨在为工程机械智能控制系统的设计与应用提供统一的架构要求。通过对控制模块、数据采集系统、通信方式、系统集成和接口等关键技术环节进行规范，确保智能控制系统的高效性、安全性与稳定性。此规范适用于各种类型的工程机械，包括挖掘机、起重机、推土机、装载机等，指导设备制造商、系统集成商和运营单位在智能化控制系统设计与实施中的技术要求与应用规范。

通过本文件的实施，旨在推动工程机械智能控制技术的标准化，提升整个行业的技术水平，促进智能设备的互联互通，为行业安全、高效和可持续发展提供技术保障。

工程机械智能控制系统架构规范

* 1. 范围

本文件规定了工程机械智能控制系统架构的总体架构设计、控制模块功能设计、数据采集系统、通信与接口系统、安全性与稳定性、质量控制、性能评估等方面的内容。

本文件适用于各类工程机械，包括但不限于挖掘机、起重机、推土机、装载机等智能控制系统的设计、集成与应用。

本文件不适用于传统非智能工程机械及与智能控制系统无关的机械设备。

* 1. 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 28526—2012 机械电气安全 安全相关电气、电子和可编程电子控制系统的功能安全

GB/T 19001—2016 质量管理体系 要求

GB/T 35076—2018 机械安全 生产设备安全通则

GB/T 38272—2019 机械安全 机械设备安全升级指南

GB/T 41118—2021 机械安全 安全控制系统设计指南

GB/T 41998—2022 机械电气安全 机械无线控制系统技术要求

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

智能控制系统 intelligent control system

利用自动化控制技术、传感器、数据采集与分析算法等手段，在工程机械中实现自主决策和智能操作的控制系统。

控制模块 control module

负责控制工程机械各项操作和设备功能的硬件或软件模块，通常包括传感器接口、执行器控制、数据采集和处理等功能。

数据采集系统 data acquisition system

用于实时收集工程机械运行状态和环境数据的硬件设备和软件系统，通常包括传感器、测量设备、数据存储与传输模块。

通信系统 communication system

用于不同控制模块、数据采集系统和外部设备之间进行信息交换和数据传输的系统。通常采用无线通信、有线通信或混合通信方式。

智能预警 intelligent warning

通过实时监测和数据分析，对潜在故障或异常情况发出预警信号的智能系统功能，帮助操作员提前做出响应。

* 1. 总体架构设计
     1. 系统分层

智能控制系统应采用分层设计理念，将系统划分为感知层、控制层、数据处理层和应用层，以实现功能清晰、责任明确和易于维护的架构。感知层负责采集各种传感器数据，控制层实现实时操作和执行器控制，数据处理层进行数据融合、分析与模型运算，应用层提供操作界面、可视化信息和决策支持功能。分层架构可以有效降低系统复杂性，提高系统稳定性和可扩展性。

* + 1. 模块化设计

总体架构应采用模块化设计思路，将各个控制功能、数据采集、通信接口和智能分析模块独立设计、统一接口标准，并通过模块间协议实现互联互通。模块化设计有助于快速集成和升级系统，提高设备智能化水平，同时方便后续功能扩展或替换。

* + 1. 数据流与通信架构

系统应建立统一的数据流和通信架构，实现设备内部以及与外部系统的数据交换和信息共享。数据流设计应确保实时性、可靠性和安全性，同时兼顾高频传感器数据和低频控制命令的传输需求。通信架构应支持有线和无线混合方式，以适应不同应用场景的环境限制。

* + 1. 安全性与可靠性

总体架构设计必须充分考虑系统安全与稳定性，防止由于系统故障或攻击导致的设备损坏或安全事故。系统应具备故障隔离、冗余备份、异常检测与自动修复等机制，保证在异常环境或操作条件下仍能稳定运行。同时，应对系统关键节点的数据和控制命令进行加密和校验，确保数据安全与操作可靠。

* + 1. 可扩展性与升级能力

智能控制系统应具备良好的可扩展性和升级能力，以适应工程机械技术进步和功能拓展需求。总体架构应支持模块替换、软件升级和新技术集成，使系统能够在未来适应自动驾驶、远程控制、智能协作等应用场景。

* 1. 控制模块功能设计
     1. 机械操作控制模块

机械操作控制模块是智能控制系统的核心，用于实现工程机械的基本操作和动作执行。该模块的设计需兼顾实时性和精度，确保操作指令能够快速、准确地传递至各执行器，并对外部环境变化做出响应：

1. 模块应支持液压系统、电机驱动及机械臂的精确控制；
2. 模块应具备自动和手动操作模式切换功能，确保紧急情况下可人工干预；
3. 模块应实现操作指令的实时反馈，能够与数据采集模块联动，监控设备状态。
   * 1. 数据采集与传感模块

数据采集与传感模块负责采集设备运行状态、环境参数及关键动作数据，为智能分析提供基础。该模块必须保证数据的全面性、准确性和实时性，以便系统能够进行状态评估和异常预测：

模块应集成温度、压力、应力、振动、位置等传感器；

应实时采集操作数据和环境数据，并上传至中央控制系统；

数据采集应具备校验和异常报警功能，确保采集数据可靠。

* + 1. 智能分析与预警模块

智能分析与预警模块利用采集的数据进行实时分析，实现设备运行状态的评估及风险预警。模块设计应兼顾预测能力与可解释性，为操作员提供可靠的决策支持：

1. 模块应基于数据挖掘和机器学习算法分析设备状态；
2. 模块应生成健康指数和预警等级，实现风险提前提示；
3. 模块应提供可视化界面，将分析结果以易理解的形式呈现。
   * 1. 通信与接口管理模块

通信与接口管理模块是系统内部及与外部系统交互的桥梁，保证数据和指令的顺畅传递。模块设计应确保通信稳定、安全，并具备扩展能力，支持不同设备和平台的互联互通。模块应具有以下基本功能：

1. 支持有线与无线通信方式，保证数据实时传输；
2. 具备标准化接口，方便与其他系统或设备集成；
3. 具备数据加密和安全认证功能，保障信息安全。
   1. 数据采集系统
      1. 传感器布置

传感器是数据采集的核心组件，其合理布局决定了数据覆盖面和采集精度。布置设计应保证关键部位和关键参数的监测完整性，同时兼顾传感器安全性和维护便利性：

1. 应对温度、压力、应力、振动、位置和液位等关键参数进行监测；
2. 关键节点应采用多传感器冗余布置，提高数据可靠性；
3. 传感器应定期校准，保证长期采集精度。
   * 1. 数据采集与存储

采集到的数据必须按标准格式存储，以便后续分析和追溯。系统应保证数据完整性、实时性和可追溯性，同时满足安全保护要求：

1. 数据应按时间戳、设备ID和参数类型进行归档；
2. 应具备异常数据检测和报警机制，保证数据质量；
3. 数据存储应采用加密和备份机制，确保信息安全。
   * 1. 数据管理与预处理

数据在进入智能分析模块前，需要进行预处理和管理，以保证分析结果的可靠性。数据预处理包括清洗、标准化和异常检测，确保系统分析的准确性和可用性：

1. 对采集数据进行去噪、缺失值处理和格式标准化；
2. 建立数据标签体系，便于后续分析和模型训练；
3. 对关键数据建立访问权限和操作日志，确保安全合规。
   1. 通信与接口系统
      1. 系统通信架构

系统通信架构决定了各模块之间以及系统与外部平台的数据传输效率和稳定性。架构设计应保证数据实时传输、低延迟，同时具有安全保护和故障恢复能力：

1. 支持有线与无线通信方式，确保数据可靠传输；
2. 具备消息队列、数据缓存和流控机制，保证高负载条件下的稳定性；
3. 在设计中考虑通信冗余和故障切换，提升系统可靠性。
   * 1. 接口标准与兼容性

接口标准决定了系统模块互联和第三方设备接入的便利性与兼容性。接口设计应统一标准，确保各模块和外部系统之间的互操作性，便于后续升级和扩展：

1. 采用统一的数据接口协议，实现模块之间无缝对接；
2. 提供标准化API，支持第三方设备和软件平台接入；
3. 确保接口安全，包括身份认证、数据加密和访问控制。
   * 1. 安全与可靠性

通信与接口环节同样需要严格的安全与可靠性管理，以防止数据泄露、篡改或丢失。安全措施应覆盖数据传输、接口调用和远程访问，确保系统整体安全性：

1. 实现端到端加密传输，防止数据被窃取；
2. 建立异常监测和报警机制，及时发现通信故障；
3. 定期测试接口稳定性和兼容性，确保系统长期可靠运行。

为便于理解不同环节的设计要求，数据采集与通信系统关键要点可总结见表1。

1. 数据采集与通信系统关键要点

| 模块 | 主要内容 | 技术要求 |
| --- | --- | --- |
| 传感器布置 | 温度、压力、应力、振动、位置等关键参数 | 关键节点冗余布置，定期校准 |
| 数据采集与存储 | 数据归档、时间戳、异常报警 | 加密存储、备份、实时上传 |
| 数据管理预处理 | 去噪、标准化、标签化 | 数据质量保证、权限管理、日志记录 |
| 系统通信架构 | 模块间及外部平台数据传输 | 支持有线/无线、消息队列、冗余设计 |
| 接口标准兼容 | 模块互联与第三方接入 | 统一协议、API标准、安全认证 |
| 安全与可靠性 | 数据安全、接口安全 | 端到端加密、异常监测、定期测试 |

* 1. 安全性与稳定性
     1. 系统冗余与容错设计

冗余与容错设计能够提升系统在故障或异常条件下的稳定性和可靠性。在设计智能控制系统时，应通过硬件冗余、软件容错和多路径数据传输来降低单点故障风险，从而保证系统连续、安全运行：

1. 核心控制模块应采用双机或多机冗余设计；
2. 数据采集和传输应支持多通道冗余和错误校验机制；
3. 关键操作和命令应具备容错处理，避免单点故障导致设备失控。
   * 1. 异常检测与报警

智能控制系统应具备对设备和系统异常的自动检测与报警能力。通过实时监测关键参数、状态信号和运行行为，系统能够及时发现异常，并触发报警机制，辅助操作员进行快速干预：

1. 系统应实时监测温度、压力、液压、振动等关键参数；
2. 当参数超过安全阈值时，应自动触发多级报警，并记录异常信息；
3. 异常信息应与运维系统联动，形成闭环处理。
   * 1. 安全防护与访问控制

安全防护与访问控制是保障系统数据与操作安全的基础。为了防止未经授权的操作和数据篡改，必须对系统接口、操作权限和远程访问进行严格控制：

1. 建立多级用户权限管理，确保不同角色访问权限明确；
2. 对远程访问和数据接口应采用身份认证和加密传输；
3. 对系统操作日志进行记录和审计，确保操作可追溯。
   * 1. 系统维护与更新

稳定运行不仅依赖设计与实现，还需要持续维护和定期升级。

通过系统维护和软件更新，可以及时修复漏洞、优化算法和提升控制性能，从而保证系统长期稳定运行：

1. 建立定期维护计划，包括硬件检测、传感器校准和软件升级；
2. 系统更新应在不影响正常运行的情况下进行，并具备回退机制；
3. 应收集系统运行数据和用户反馈，用于优化控制算法和稳定性设计。
   * 1. 环境适应性

工程机械在不同工况和环境下运行，智能控制系统必须具备良好的环境适应能力。系统应能够在温度变化、振动、灰尘、湿度等环境条件下稳定运行，确保控制精度和操作安全：

1. 系统硬件应满足防护等级和抗振、耐高温、耐潮湿要求；
2. 软件算法应具备环境异常修正和滤波功能，保证数据可靠性；
3. 应通过环境模拟和测试验证系统在极端条件下的稳定性。
   1. 质量控制
      1. 设计与制造质量控制

设计与制造阶段的质量直接影响系统整体性能和安全性。在这一阶段，必须对各模块的设计和生产过程进行严格管理：

1. 对控制模块、传感器和执行器的设计方案进行审查和验证；
2. 对制造过程中的关键工序进行实时记录和监督；
3. 建立设计与制造文档的数字化归档，便于追溯。
   * 1. 安装与调试质量控制

安装和调试阶段是系统投入运行前的关键环节，直接关系到设备运行的安全和稳定。必须通过标准化安装和调试流程，确保各模块按规范运行，接口与数据传输正常。

安装过程中，应做到：

1. 进行模块功能验证和通信接口测试；
2. 进行设备整体联调，确保各模块协同运行；
3. 建立安装调试记录，确保可追溯性。
   * 1. 运行维护质量控制

运行维护环节的质量控制是保障设备长期可靠的关键。应通过实时监控、定期巡检和智能预警系统，对设备状态进行全方位管理：

1. 定期校验传感器和执行器性能，确保数据准确性；
2. 记录每次维护和检修过程，形成完整维护档案；
3. 结合预警信息和历史数据优化运维计划。
   1. 性能评估
      1. 功能性能评估

功能性能评估关注各控制模块的运行效果和系统整体功能实现情况。评估应覆盖系统的响应速度、控制精度、数据采集完整性和执行可靠性：

1. 对各模块操作指令的执行精度和响应时间进行测试；
2. 评估系统在不同负载和工况下的运行稳定性；
3. 对数据采集和处理的完整性进行验证。
   * 1. 智能分析与预警评估

智能分析与预警模块是系统的核心技术，其性能直接影响风险识别和安全保障效果。评估应重点关注算法准确性、预警响应时间和可解释性：

1. 对健康指数和风险预测模型进行准确性验证；
2. 测试预警响应的及时性和可靠性；
3. 评估分析结果可解释性，确保操作员能够理解。
   * 1. 系统稳定性评估

系统稳定性评估关注设备在长时间和复杂环境下的可靠性。评估应模拟不同工况，包括高负载、温度变化和振动干扰，验证系统鲁棒性：

1. 进行长期运行测试，监控系统故障率；
2. 检测通信和接口的稳定性，确保模块协同工作；
3. 验证容错与冗余机制的有效性。
   * 1. 性能评估总结

通过综合各类评估结果，可以对系统进行优化和改进。应形成标准化评估报告，为企业研发、运维改进和监管提供依据：

1. 记录各类测试数据、分析结果和改进建议；
2. 结合历史数据进行趋势分析，发现潜在问题；
3. 为后续系统升级和优化提供科学依据。

表2列出了智能控制系统质量与性能评估要点。

1. 智能控制系统质量与性能评估要点

| 评估环节 | 主要内容 | 关键指标 |
| --- | --- | --- |
| 设计制造质量控制 | 模块设计、关键工序、文档归档 | 合规性、可追溯性 |
| 安装调试质量控制 | 模块功能验证、通信接口、整体联调 | 功能正确性、接口稳定性 |
| 运行维护质量控制 | 传感器校验、维护记录、预警响应 | 数据完整性、故障率、预警及时性 |
| 功能性能评估 | 控制精度、响应速度、数据完整性 | 指令执行精度、响应时间 |
| 智能分析评估 | 健康指数、风险预测、可解释性 | 算法准确性、预警可靠性 |
| 系统稳定性评估 | 长期运行、工况模拟、冗余机制 | 故障率、接口稳定性、容错效果 |

