

# T/CITS

中国检验检测学会团体标准

T/CITS 0004—2024

## 桥门式智能起重机控制系统技术规范

Gantry intelligent crane control system technical specification

2024 - 02 - 02 发布

2024 - 02 - 02 实施

## 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 功能要求 .....	2
5 性能要求 .....	5
6 试验与测试 .....	8
7 标志、包装、运输及贮存 .....	10
8 随机文件 .....	11
9 质量保证 .....	11
参考文献 .....	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。

本文件由江苏省特种设备安全监督检验研究院提出。

本文件由中国检验检测学会归口。

本文件起草单位：石家庄五龙制动器股份有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院、广东省建筑机械厂有限公司、河南巨人起重机（集团）有限公司、科德劲智能装备（无锡）有限公司、郑州江智自动化技术有限公司、南通皋腾智能科技有限公司、德雷克（河南）智能装备有限公司、上海万工控制系统有限公司、徐州市特种设备安全协会、江苏省质量和标准化研究院、南京市特种设备安全监督检验研究院、江苏中质星特种设备检测有限公司、施耐德电气（中国）有限公司上海分公司、上海科轻起重机有限公司。

本文件主要起草人：卢德俊、蒋曦阳、石祥通、王松雷、倪敏敏、蒋鑫涛、孙浩翔、黄程瑜、汪洋、熊维琼、韩正方、许定光、韩钊蓬、李东保、张慧、刘锋、林渝桦、欧阳彩虹、陶成钢、刘胜晨。

# 桥门式智能起重机控制系统技术规范

## 1 范围

本文件规定了桥门式智能起重机控制系统的技术要求、试验方法、检验检测及标志、包装、运输和贮存要求等。

本文件适用于桥门式智能起重机的控制系统，并作为系统的开发、制造、试验的依据。

## 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/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2424.5 环境试验 第3部分：支持文件及导则 温度试验箱性能确认
- GB/T 4798.2 环境条件分类 环境参数组分类及其严酷程度分级 第2部分：运输和装卸
- GB/T 5080.1 可靠性试验 第1部分：试验条件和统计检验原理
- GB/T 5080.2 可靠性试验 第2部分：试验周期设计
- GB/T 5226.32 机械电气安全 机械电气设备 第32部分：起重机械技术条件
- GB/T 5271.28 信息技术 词汇 第28部分：人工智能 基本概念与专家系统
- GB/T 9251.1 信息技术设备、多媒体设备和接收机 电磁兼容 第1部分：发射要求
- GB/T 9251.2 信息技术设备、多媒体设备和接收机 电磁兼容 第2部分：抗扰度要求
- GB/T 12602 起重机械超载保护装置
- GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 17626.11 电磁兼容 试验和测量技术 第11部分 对每相输入电流小于或等于16A设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验

## 3 术语和定义

GB/T 5271.28、GB/T 5080.1、GB/T 5080.2界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**桥门式智能起重机** gantry intelligent crane

具有人类智能（推理和学习）相关的各种功能和系统，通过传感器、智能化决策软件与起重机集成，实现感知、分析、推理、决策，完成人、机、物的交互和智能化运行的桥门式起重机，包括全自动桥门式智能起重机、半自动桥门式智能起重机。

### 3.2

**智能控制系统** intelligent control system

桥门式智能起重机的控制系统，包括传感器、控制单元、监测单元、智能算法等。

### 3.3

**基于知识的推理系统** KBS knowledge-based system KBS

一种信息处理系统，通过从知识库进行推理来解决特点范围中的问题。

### 3.4

**专家系统** ES expert system ES

一种基于知识的系统，由人类专家经验开发出的知识库进行推理，解决特定范围中的问题。

## 4 功能要求

### 4.1 基本要求

- 4.1.1 桥门式智能起重机的起重机械超载保护装置应符合 GB/T 12602 的要求，桥门式智能起重机上所使用的电气设备应符合 GB/T 5226.32 的要求。
- 4.1.2 应满足 TSG 51-2023 中 A4.1.1、A4.1.2、A4.1.3 对控制系统的专项要求。
- 4.1.3 智能控制系统通过机器学习，能够对桥门式起重机进行异常检测、故障报警、故障定位、趋势分析、故障智能诊断、故障样本和案例归档。
- 4.1.4 智能控制系统中采集的数据出现处于持续上升或异常的趋势时，经系统算法识别问题后，进行故障预测并发出报警推送。
- 4.1.5 智能控制系统宜对电机、轴、减速机进行振动分析，并实时采集振动波形样本及表面温度，获得桥门式起重机相应机构的振动特性。
- 4.1.6 智能控制系统宜采用边缘计算网关对传感器采集的数据结合起重机负载情况进行处理，利用智能算法，实现不平衡、偏心、松动、齿轮磨损、轴承损坏等旋转设备的故障预测。
- 4.1.7 智能控制系统宜通过云交互，能够进行数据处理和计算，并具有场景监控、故障管理、运维管理、设备管理等功能，能够接入智慧工厂平台系统。
- 4.1.8 智能控制系统宜通过大数据分析平台，进行运行状态分析、预警故障分析，各台起重机的数据信息之间能够具有多维度的支撑。
- 4.1.9 智能控制系统的监测单元能够显示设备的工作健康状况，宜同时展示设备的各类实时特征值，例如：振动速度、高频均方根、高频峰峰值等，必要时显示实施频谱图与包络谱线图，能够观察时域波形与高通滤波下的振动冲击分析。
- 4.1.10 智能控制系统的监测单元能够进行特征值趋势自动分析与预警，预警内容至少包括：严重、关注、轻微。
- 4.1.11 智能控制系统能够自动对设备当前健康状态进行分析，分析内容至少包括：健康、关注、故障。
- 4.1.12 智能控制系统能够手动生成该设备的健康状态报表。

### 4.2 桥门式智能起重机的功能

#### 4.2.1 半自动桥门式起重机

半自动桥门式起重机的必要功能包括：

- a) 防摇摆控制功能，在吊运作业过程中被吊重物不发生明显摆动，载荷晃动的半径 $\leq 20mm$ ；
- b) 精准定位作业功能，在吊运作业过程中被吊重物通过控制系统能够自动完成定位，重复定位精度 $\leq 4mm$ ；
- c) 故障信息记录功能，记录起升机构、运行机构、安全保护装置等运行状态、故障信息，系统保存的故障信息 $> 500$ 条；

#### 4.2.2 全自动桥门式起重机

全自动桥门式起重机的必要功能包括：

- a) 防摇摆控制功能，在吊运作业过程中被吊重物不发生明显摆动，载荷晃动的半径 $\leq 20mm$ ；
- b) 精准定位作业功能，在吊运作业过程中被吊重物通过控制系统自动完成定位，重复定位精度 $\leq 4mm$ ；
- c) 负载定位作业功能，根据设置的目标位置，自动完成从抓取到放置被吊重物全过程的吊运作业，重复定位精度 $\leq 4mm$ ；
- d) 区域控制功能，自动识别工作区域与受限保护区，在吊运作业过程中仅运行在工作区域内，且工作区域与受限保护区可设置；
- e) 状态信息记录功能，监测并记录起升机构、运行机构、安全保护装置等运行状态、故障信息，系统保存的故障信息 $> 500$ 条；

- f) 防碰撞预警系统，能够检测到相关障碍物，探测到障碍物相对位置和动态特性，并在吊运作业过程中触发相关报警信号。对于速度 $<40m/min$ 的起重机运行机构，系统在检测到相关障碍物与触发相关报警信号的时间差 $\leq 1s$ ，对于速度 $\geq 40m/min$ 的起重机运行机构，系统在检测到相关障碍物与触发相关报警信号的时间差 $\leq 0.5s$ ；
- g) 自动制停系统，能够在紧急情况下自动减速或制动，避免发生碰撞。对于速度 $<40m/min$ 的起重机机构，系统在检测到紧急情况与开始自动减速或制动的的时间差 $\leq 1.5s$ ，对于速度 $\geq 40m/min$ 的起重机运行机构，系统在检测到紧急情况与开始自动减速或制动的的时间差 $\leq 0.5s$ 。

#### 4.2.3 智能桥门式起重机

智能桥门式起重机的必要功能包括：

- a) 监测单元信号处理，通过基于知识的推理系统 KBS 或专家系统 ES 实现对监测单元信号数据的处理；
- b) 故障预警功能，根据监测单元处理后的信号数据实现起重机的故障预警，系统的硬件采样周期不大于 100ms。

#### 4.3 桥门式智能起重机控制系统体系架构

桥门式智能起重机控制系统的体系结构如图1所示。

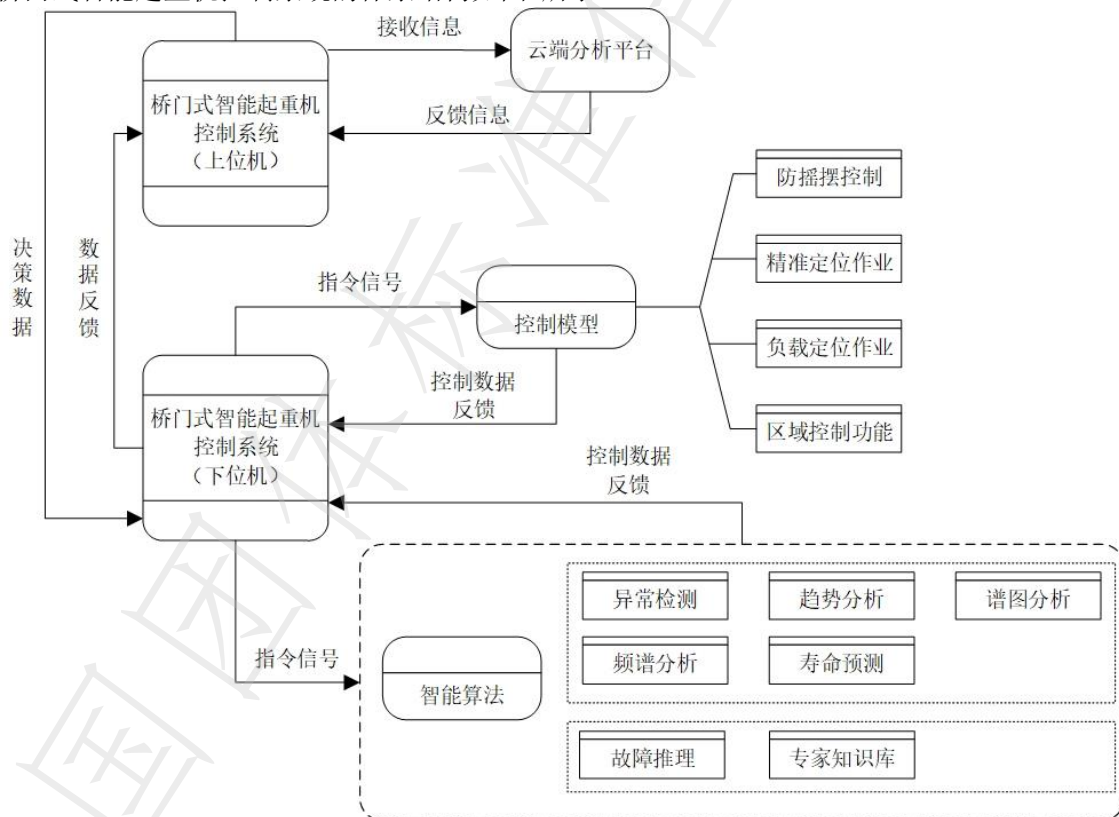


图1 桥门式智能起重机控制系统体系架构

#### 4.4 桥门式智能起重机控制系统的功能

##### 4.4.1 硬件要求

4.4.1.1 起重机智能控制系统的硬件的一般要求至少包括：

- a) 宜具有数字量（离散量）输入/输出；
- b) 宜具有模拟量输入/输出；
- c) 应具有通信接口；
- d) 应具有处理器单元及存储器；

- e) 宜可接外围设备;
  - f) 应具备自检和诊断功能。
- 4.4.1.2 起重机智能控制系统相连的振动传感器的硬件要求至少包括:
- a) 加速度采样轴数: 三轴加速度;
  - b) 加速度采样带宽: 0.01~6KHz;
  - c) 加速度精度/灵敏度: 0.02~0.5mg/LSB;
  - d) 加速度误差/准确度:  $\leq \pm 1\%$ ;
  - e) 工作温度:  $-40^{\circ}\text{C} \sim 105^{\circ}\text{C}$ 。
- 4.4.1.3 起重机智能控制系统边缘计算网关的硬件要求至少包括:
- a) 支持振动传感器故障自诊断: 传感器故障自识别、开路自动识别;
  - b) 工作温度:  $-30^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ ;
  - c) 工作湿度: 10%~95%(无凝露);
  - d) 基础功能包括: 配置和同步传感器的转速、边缘故障定位能力、云边诊断结果协同功能。
- 4.4.2 软件要求
- 4.4.2.1 起重机智能控制系统通过软件可以对系统进行配置和编程。
- 4.4.2.2 起重机智能控制系统的配置内容包括硬件(本地 I/O、远程 I/O)、通信、资源、任务、变量、路径、初始化等配置。
- 4.4.2.3 起重机智能控制系统的编程内容包括程序、功能块、类等,系统需具备对外数据接口,如 OPCUA 等,支持将程序下载到装置。
- 4.4.2.4 起重机智能控制系统软件平台应能够为用户提供数据监控、数据分析、健康管理、故障管理、报表管理、设备管理、算法管理、客户管理等功能。
- 4.4.2.5 应提供数据接口,使起重机的数据及状态能够接入智能工厂系统平台,且系统软件平台通过大数据分析建模工具,为专业的用户提供设备的运行状态分析、预警故障分析,形成专业的旋转设备健康诊断报告和维修建议。
- 4.4.2.6 软件的展示功能应至少包括:
- a) 设备健康及故障统计;
  - b) 专家诊断的故障内容及维护建议等。
- 4.4.2.7 软件的监测功能应至少包括:
- a) 传感器测点的位置与实时特征值数据;
  - b) 工艺参数实时与历史数据;
  - c) 时域波形分析;
  - d) 频谱波形分析;
  - e) 包络谱图分析。
- 4.4.2.8 软件自诊断功能应至少包括:
- a) 故障部件和故障原因,并给出专家的维修建议;
  - b) 非稳态工况自诊断功能,能够去除开关机状态、非稳态状态干扰。
- 4.4.2.9 软件数据应支持二次分析,能够与工厂数据中心、MES、DCS、SCADA 等工艺数据对接。
- 4.4.2.10 软件数据的特征值分析应满足以下要求之一:
- a) 支持数据过滤分析,并设定报警滤波规则;
  - b) 支持相关性矩阵分析,找出故障特征变化;
  - c) 支持直观分析特征的劣化趋势。
- 4.4.2.11 故障诊断算法的建模功能应满足以下要求之一:
- a) 支持通过“异常值监测”算法模型,对设备故障诊断建模;
  - b) 支持选择模型训练的特征数据(包括工艺数据);
  - c) 支持训练数据的过滤规则;
  - d) 支持 OCSVM、KNN、孤立森林等模型调参;
  - e) 支持模型训练及训练后的模型验证功能;
  - f) 支持对训练模型的报警配置,并支持报警验证功能;

- g) 支持对训练完成的模型部署到监测设备；
- h) 支持通过“状态识别分析”算法模型，对不同工况故障诊断建模；
- i) 支持选择模型训练的特征数据（包括工艺数据）；
- j) 支持选择已打标签的运维数据，或自定义的运维数据建模；
- k) 支持建模数据的过滤规则；
- l) 支持平行线图、散点图的功能定义训练数据；
- m) 支持 OCSVM、KNN、孤立森林等模型调参；
- n) 支持模型训练及训练后的模型验证功能；
- o) 支持对训练完成的模型部署到监测设备。

#### 4.4.3 控制与性能

##### 4.4.3.1 控制功能

起重机智能控制系统通过硬件和软件能够实现对起重机的控制。包括连续控制系统、离散控制系统。应满足不同生产需要中起重机智能控制系统对起重机的控制要求。

##### 4.4.3.2 通信功能

起重机智能控制系统与各个测量、监测、控制单元可以通过现场总线等通信手段实现信息的互联互通。这些信息包括实时和非实时，实时信息应得到优先保证。

##### 4.4.3.3 在线/离线编程组态

具有在线/离线编程的组态控制系统，控制系统的运算、控制功能可通过编程组态实现，组态可采用在线或离线方式。当组态更新时不应对正在执行的控制造成干扰。

##### 4.4.3.4 控制性能

包括控制精度、控制周期、实时响应性等，起重机应根据企业生产需要和起重机机构特性，确定合适的控制精度、控制周期、实时响应性，控制系统对任何信号的响应时间应当不超过500ms。

##### 4.4.3.5 机器学习

4.4.3.5.1 机器学习是起重机智能控制系统的核心，在没有任何人为监督的情况下，学习需要能够识别输入信号中的模式，在充分监督下学习需要分类和数字回归，分类决定了一个对象所属的类别，回归处理是获得一组数字输入或输出示例，从而能够从各个输入生成合适输出的函数。

4.4.3.5.2 异常值检测一般包括了：一分类 SVM 异常值检测、边界形状拟合异常检测。

4.4.3.5.3 聚类分析一般包括了：基于密度的聚类、中心点聚类。

4.4.3.5.4 分类器一般包括了：决策的分类器、随机森林、邻近算法、经典的梯度下降分类器。

4.4.3.5.5 在机器监测中，利用不同的方法来监测和诊断机器状态。分析手段包括：通过振动能量和一些无量纲的统计形成的特征值来诊断、时域分析、频谱分析、频率成分分析、趋势分析、瀑布图、速度谱、位移谱、解包络、退化趋势分析等。

## 5 性能要求

### 5.1 基本要求

5.1.1 应通过检查与试验确定起重机智能控制系统软硬件的确定可靠性、功能安全性、可用性。

5.1.2 桥门式智能起重机控制系统的软硬件制造企业应具有指定的测试程序、测试用例、通过/未通过标准、可重复测试性作为验收标准。

5.1.3 对于生产和开发的桥门式智能起重机控制系统软硬件，企业应进行长期测试，或委托第三方机构进行不定期测试。

5.1.4 当桥门式智能起重机控制系统的设计、工艺、使用材料有重大改变时，应进行测试。

5.1.5 企业应确定测试方案的可观察性；安全措施的有效性，包括监控意外和系统错误；其他技术要素的有效性。

- 5.1.6 边缘计算网关应通过高性能工业处理器读取振动传感器数据，内嵌算法模型，能够对不同工况的旋转机械进行阈值自整定，减少出现因为外界因素导致的误判。
- 5.1.7 边缘计算网关宜最多每 10min 上传一次特征值数据值至云平台。
- 5.1.8 云平台与物联网相连，应支持快速创建物联网设备，支持设备数据收发协议的配置，实现物联网设备快速接入的功能。
- 5.1.9 物联网应能够提供覆盖设备接入调试、网关管理、传感器管理、设备挂卸载、设备配置、实时监控的一站式运维服务。
- 5.1.10 物联网应能够通过完善的数据采集、上传、分发、存储功能在后台实现设备数据的全流程处理。

## 5.2 硬件与软件集成

- 5.2.1 集成的目的在于识别桥门式智能起重机控制系统软硬件的错误，并验证是否满足设计过程中考虑的安全要求。
- 5.2.2 考虑桥门式智能起重机控制系统实际功能的同时，还应考虑安全功能的时间周期、一致性、有效性。
- 5.2.3 应考虑桥门式智能起重机控制系统的所有内部与外部接口。
- 5.2.4 桥门式智能起重机控制系统接口的通信协议应能够有效的交换数据。
- 5.2.5 应测试硬件和软件之间的通信，包括直接连接、总线系统等。
- 5.2.6 应测试集成硬件系统和软件系统的稳健性和诊断覆盖率，包括集成元件的资源消耗、高负载性。
- 5.2.7 应根据现场工况和桥门式起重机的使用特性，选择合适的传感器来获取旋转机械的实时特征数据。
- 5.2.8 对于一个典型的吊钩起重机，传感器的测点位置一般包括：主起重机电机驱动端、主起重减速箱输入端、主起重减速箱输出端、主起重卷筒远端、左行走电机驱动端、右行走电机驱动端。包括了电机、传动轴、齿轮、轴承。

## 5.3 系统集成

应在软硬件控制系统开发完成后进行系统集成和测试，测试系统的交互性，对每个步骤之间执行组件集成测试，确保每个级别的功能正常。应考虑配置的起重机软硬件系统能够正确的实时功能安全要求、技术要求；在时间周期上有足够的功能性能、准确性、安全机制；应通过一直且正确的接口实现；安全机制的稳健性；安全机制的诊断或故障覆盖的有效性。

## 5.4 集成测试

桥门式智能起重机控制系统应测试集成功能，包括涉及到的所有方面的安全功能；在集成系统交互中再次检查诊断覆盖范围；结合6.2~6.13检查集成后软硬件的稳健性。

### 5.4.1 故障注入测试

应使用特殊的方法在桥门式智能起重机控制系统软硬件运行时，将错误合并到测试对象中。宜使用特殊的测试接口或专门准备的硬件在软件中完成。目的在于提高起重机智能控制系统安全要求的测试覆盖率。

### 5.4.2 背靠背测试

在相同条件下，应将测试系统与测试模型进行比较，确定起重机智能控制系统中模型的行为及差异。

### 5.4.3 接口检查

- 5.4.3.1 应检查桥门式智能起重机控制系统内部接口和外部接口。
- 5.4.3.2 应检查桥门式智能起重机控制系统界面一致性，包括人机交互测试，能够提供专业的智能监控诊断报告和维修建议。
- 5.4.3.3 测试对象的接口检查应包括：模拟和数字输入和输出、极限测试、兼容性、等价类测试、其他测试指定的接口。
- 5.4.3.4 桥门式智能起重机控制系统内部 ECU 接口应通过静态测试进行测试。

5.4.3.5 应测试起重机智能控制系统软件和硬件的兼容性，包括异构数据、新旧数据、异种数据等兼容性，确保更多起重机工况数据之间能够多维度的进行数据分析。

## 5.5 硬件确认

5.5.1 应通过 5.5.2~5.5.5 进行硬件确认，确定起重机智能控制系统嵌入式硬件应能够满足硬件安全要求。

5.5.2 桥门式智能起重机控制系统硬件的集成和集成测试应验证安全机制在硬件安全要求方面的完整性和正确性。

5.5.3 应通过安全机制的确认，明确桥门式智能起重机控制系统的硬件错误可能违反的安全目标。

5.5.4 应通过单点故障指标、潜在故障指标来描述随机硬件故障的架构机制的有效性。

5.5.5 应通过对硬件设计的评估分析桥门式智能起重机控制系统可能存在的安全漏洞。

## 5.6 软件模块

5.6.1 通过测试起重机智能控制系统的软件模块，应确定软件符合规范，能够执行预期设计的功能，软件功能保持稳定并发现不需要的功能。

5.6.2 应采用测量值、极端值、零值作为除数、空字符串、空列表对软件模块测试进行推导。

5.6.3 应定义源代码覆盖率指标，以实现所需的测试覆盖率。

5.6.4 软件模块测试应在多种环境下进行，包括：基于模型的测试、软件循环、处理器在环测试等。

5.6.5 每个软件模块完成测试后，应将软件系统集成。

5.6.6 软件集成测试的目的在于验证软件成功集成，并证明指定的软件架构（设计）是由开发的嵌入式系统实现的。

5.6.7 嵌入式软件系统包括安全相关和非安全相关。

5.6.8 安全相关功能不应受非安全相关功能的影响。

5.6.9 软件集成测试环境应尽可能接近后期的目标环境。

5.6.10 如果实际环境与后期目标环境不同，应分析和捕获源代码和目标代码的差异。

## 5.7 软件安全性验证

5.7.1 起重机智能控制系统应结合预期设计结果，至少满足第 4 章的要求。

5.7.2 应确定软件满足安全要求，明确通过/未通过的软件安全要求标准。

## 5.8 机电一体化分析和验证

5.8.1 通过对起重机智能控制系统软硬件进行系统性的规划、设计、执行和测试，产生了符合可靠性、功能安全性、可用性的控制系统。

5.8.2 通过控制系统设计中添加冗余，可以兼顾故障检测以及系统的高可用性。

5.8.3 应在设计时对系统合理的分层，规范化定义接口，合理的硬件、软件、接口的复杂性，在起重机全生命周期内易于维护、可测试等方面来避免系统性故障。桥门式智能起重机宜包括传感器层采集数据信号；边缘计算网关层处理传感器数据，利用智能算法进行分析；通过物联网层将数据和分析结果上传至后台；后台与云交互层，进行数据内部处理，同时通过大数据分析工具为数据分析判断提供多维度支撑。

## 5.9 控制系统试验

### 5.9.1 开发试验与型式试验

控制系统的开发与型式试验应满足 5.1~5.8 的要求，并依据第 6 章进行试验与测试。

### 5.9.2 出厂检查与随机抽查

控制系统出厂时应检查外观是否完整，并采取随机抽查的方式检查产品质量。控制系统的软硬件测试满足第 6 章的要求。

### 5.9.3 半自动桥门式智能起重机控制系统

- 5.9.3.1 测试防摇摆控制功能，起吊额定起重载荷的重物，运行起重机的的大车、小车机构，确定所吊重物摇摆的幅度（半径）应在设计允许的范围内，且载荷晃动的半径最大不应超过20mm。
- 5.9.3.2 测试精准定位作业功能，采用在吊钩或重物上悬挂重锤、激光的方式，确定在吊运作业过程中被吊重物能够通过控制系统自动定位，定位精度在设计范围内，且重复定位精度最大不应超过4mm。
- 5.9.3.3 检查软件系统故障信息记录功能，确定至少记录起升机构、运行机构、安全保护装置等运行故障信息，系统能够保存的故障信息条目应满足设计要求，且大于500条。
- 5.9.3.4 智能控制系统的监测单元应具有信号处理功能，能够通过知识的系统 KBS 或专家系统 ES 实现对监测单元信号进行处理。
- 5.9.3.5 智能控制系统的监测单元处理后的数据信息，应能够实现故障预警，并与知识的系统 KBS 或专家系统 ES 的大数据联系。

#### 5.9.4 全自动桥门式智能起重机控制系统

- 5.9.4.1 测试防摇摆控制功能，起吊额定起重载荷的重物，运行起重机的的大车、小车机构，确定所吊重物摇摆的幅度（半径）应在设计允许的范围内，且载荷晃动的半径最大不应超过20mm。
- 5.9.4.2 测试精准定位作业功能，采用吊钩或重物上悬挂重锤、激光的方式，确定在吊运作业过程中被吊重物能够通过控制系统自动定位，定位精度在设计范围内，且重复定位精度最大不应超过4mm。
- 5.9.4.3 测试负载定位作业功能，人为设置的起吊载荷的起始、终止位置，观察起重机运行状况，应能自动完成从抓取起始位置抓取载荷到将载荷放置在终止位置的全过程，且重复定位精度最大不应超过4mm。
- 5.9.4.4 测试区域控制功能，人为设置自动识别工作区域与受限保护区，观察起重机运行状况，起重机应能识别受限保护区，且仅在工作区域内运行。采用在吊钩或重物上悬挂重锤、激光的方式确定与受限保护区的距离，距离应符合设计要求，且大于0.5m。
- 5.9.4.5 检查软件系统故障信息记录功能，确定至少监测并记录起升机构、运行机构、安全保护装置等运行、故障信息，系统能够保存的故障信息条目应满足设计要求，且大于500条。
- 5.9.4.6 测试防碰撞预警系统，人为设置相关障碍物，检查起重机能够探测到障碍物相对位置和动态特性，对于速度 $<40m/min$ 的起重机运行机构，测量系统在检测到相关障碍物与触发相关报警信号的时间差 $\Delta t$ ， $\Delta t \leq 1s$ ，对于速度 $\geq 40m/min$ 的起重机运行机构，测量系统在检测到相关障碍物与触发相关报警信号的时间差 $\Delta t$ ， $\Delta t \leq 0.5s$ 。
- 5.9.4.7 测试自动制停系统，人为设置相关障碍物或其他紧急情况，对于速度 $<40m/min$ 的起重机运行机构，测量系统在检测到紧急情况与开始触发自动减速或制动的的时间差 $\Delta t$ ， $\Delta t \leq 1.5s$ ，对于速度 $\geq 40m/min$ 的起重机运行机构，测量系统在检测到紧急情况与开始触发自动减速或制动的的时间差 $\Delta t$ ， $\Delta t \leq 0.5s$ 。
- 5.9.4.8 智能控制系统的监测单元应具有信号处理功能，能够通过知识的系统 KBS 或专家系统 ES 实现对监测单元信号进行处理。
- 5.9.4.9 智能控制系统的监测单元处理后的数据信息，应能够实现故障预警，并与知识的系统 KBS 或专家系统 ES 的大数据联系。

## 6 试验与测试

### 6.1 基本要求

- 6.1.1 起重机智能控制系统施加85%额定电压和110%额定电压，各操作10次，系统各元件应动作灵活，动作顺序符合设计要求，无误动作和其他异常现象，各类保护环节的保护功能、速度变化率、调速范围等方面符合起重机预期控制系统设计性能要求。
- 6.1.2 通过起重机智能控制系统实现的重复定位精度应符合起重机预期设计性能要求，设计文件未做要求时，定位精度为2mm，重复定位精度为4mm。
- 6.1.2.1 在测试期间，部件温升应满足：与外部绝缘导线相连的接线端子 $\leq 70K$ 、铜母线接头接触处无防腐被覆层时 $\leq 60K$ 、铜母线接头接触处镀银或镀镍 $\leq 70K$ 、可触及的金属表面 $\leq 30K$ 、可触及的绝缘表面40K。

### 6.2 低温工作试验要求

- 6.2.1 温度试验箱的性能应满足 GB/T 2424.5 的要求。
- 6.2.2 试验的一般操作指南应满足 GB/T 2423.1 的要求。
- 6.2.3 应尽可能限制试验样品通过热辐射方式传热的能力。
- 6.2.4 对具有带人工冷却装置的试验样品，当冷却介质是空气时，应使空气不受到污染，并保持足够干燥，避免潮湿等方面的问题。
- 6.2.5 将试验样品放入温度为实验室温度的试验箱中，温度设定为-25℃、持续时间 16h 的严酷度等级。对于需要进行通电运行的试验样品，应在试验样品达到稳定后通电。试验后，测试起重机智能控制系统的软硬件性能应满足第 4 章的规定。

### 6.3 高温工作试验要求

- 6.3.1 温度试验箱的性能应满足 GB/T 2424.5 的要求。
- 6.3.2 试验的一般操作指南应满足 GB/T 2423.2 的要求。
- 6.3.3 应尽可能限制试验样品通过热辐射方式传热的能力。
- 6.3.4 对具有带人工冷却装置的试验样品，当冷却介质是空气时，应使空气不受到污染，并保持足够干燥，避免潮湿等方面的问题。
- 6.3.5 将试验样品放入温度为实验室温度的试验箱中，温度设定为+85℃、持续时间 16h 的严酷度等级。对于需要进行通电运行的试验样品，应在试验样品达到稳定后通电。试验后，测试起重机智能控制系统的软硬件性能应满足第 4 章的规定。

### 6.4 振动试验要求

- 6.4.1 试验采用正弦波，扫频频率范围 5Hz~150Hz，振动位移为单峰值 3.5mm，峰值加速度为 1.0g， $g$  取  $9.8\text{ m/s}^2$ ，在三个相互垂直轴的每个轴上，分别扫描 10 次。或在每个方向上找出产生机械共振或响应现象最严重的危险频率，在一个扫频循环上完成。系统通电试验，试验后，测试起重机智能控制系统的软硬件性能应满足 4.2、4.3 和 5.1 的规定。
- 6.4.2 根据找出的危险频率，在两个方向上对起重机智能控制系统硬件各施振两个小时，5Hz~13Hz 时，振动位移为单峰值 1.5mm，13Hz~150Hz 时，振动加速度为 1.0g，试验后，测试起重机智能控制系统的软硬件性能应满足第 4 章和 6.1 的规定。

### 6.5 机械冲击试验要求

试验采用半正弦波，峰值加速度 15g， $g$  取  $9.8\text{ m/s}^2$ ，脉冲持续时间 0.6ms，在三个相互垂直的轴上，每个轴分别冲击 3 次，试验时装置不通电进行试验，试验结束后装置通电，测试起重机智能控制系统的软硬件性能，性能应满足第 4 章和 6.1 的规定。

### 6.6 辐射发射限制要求

测试起重机智能控制系统的软硬件性能，应符合 GB/T 9251.1-2021 的 A 级限值要求。试验后，起重机智能控制系统功能正常。

### 6.7 电磁兼容抗扰度要求

测试起重机智能控制系统的软硬件性能，应符合 GB/T 9251.2-2021 中性能判据 A 的要求。试验后，起重机智能控制系统功能正常。

### 6.8 静电放电抗扰度要求

起重机智能控制系统软硬件应能通过 GB/T 17626.2-2018 规定的试验等级为 3 级，相对湿度 50% 的静电放电抗扰度试验。试验后，起重机智能控制系统功能正常。

### 6.9 射频电磁场辐射抗扰度要求

起重机智能控制系统软硬件应能通过 GB/T 17626.3-2016 规定的试验等级为 2 级的射频电磁场辐射抗扰度试验。试验后，起重机智能控制系统功能正常。

### 6.10 电快速瞬变脉冲群抗扰度要求

起重智能控制系统软硬件应能通过GB/T 17626.4-2018规定的试验等级为2级、3级的电快速瞬变脉冲群抗扰度试验。试验后，起重智能控制系统功能正常。

#### 6.11 浪涌（冲击）抗扰度要求

起重智能控制系统软硬件应能通过GB/T 17626.5-2019规定的浪涌（冲击）抗扰度试验，试验等级的选择依据GB/T17626.5-2019的附录B、附录C。试验后，起重智能控制系统功能正常。

#### 6.12 电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度要求

起重智能控制系统软硬件应能通过GB/T 17626.11-2023规定的试验等级为3级的电压暂降、短时中断、电压变化试验。试验后，起重智能控制系统功能正常。

#### 6.13 介电强度试验要求

6.13.1 试验电压有效值参照被试装置的额定电压值和制造商规定的安全等级确定，未作规定时，对于与主电路相连的控制电路和辅助电路，额定绝缘电压 $U_i$ 与介电试验电压 $U$ 的关系为： $U_i \leq 60v$ ， $U = 1000v$ ； $60v < U_i \leq 300v$ ， $U = 2000v$ ； $300v < U_i \leq 690v$ ， $U = 2500v$ ； $690v < U_i \leq 800v$ ， $U = 3000v$ ； $800v < U_i \leq 1000v$ ， $U = 3500v$ ； $1000v < U_i \leq 1500v$ 仅限直流， $U = 3500v$ 。对于不与主电路相连的控制电路和辅助电路，额定绝缘电压 $U_i$ 与介电试验电压 $U$ 的关系为： $U_i \leq 12v$ ， $U = 250v$ ； $12v < U_i \leq 60v$ ， $U = 500v$ ； $60v < U_i$ ， $U = 2U_i + 1000$ ，且不低于1500v。

6.13.2 试验电压为正弦交流电，频率应在45Hz~65Hz，承受介电试验电压1min，试验电压施加于各导电零部件和框架或外壳之间

6.13.3 宜使用工频耐压测试仪进行试验，试验过程中，起重智能控制系统的硬件应无击穿和闪络现象。

### 7 标志、包装、运输及贮存

#### 7.1 标志

7.1.1 应在起重智能控制系统硬件的显著部位设置持久明晰的标志、铭牌，其内容包括：

- a) 产品型号、名称；
- b) 额定参数和主要参数；
- c) 制造单位全称及商标；
- d) 制造年月；
- e) 出厂编号或唯一性编码；
- f) 安全标志；
- g) 对外端子和接口的标识；
- h) 其他认证的标志。

7.1.2 不与桥门式智能起重机整机一同出厂的控制系统，包装箱上应采用不易洗刷或脱落的涂料做如下标记：

- a) 制造单位全称及商标；
- b) 产品型号、名称；
- c) 外形尺寸及毛重；
- d) 规定叠放层数的标记；
- e) “向上”“小心轻放”等标记。

7.1.3 桥门式智能起重机控制系统的执行标准应予以明示。

7.1.4 不与桥门式智能起重机整机一同出厂的控制系统，包装箱上的标志和标识应符合GB/T191的规定。

#### 7.2 包装、运输

7.2.1 不与桥门式智能起重机整机一同出厂的控制系统，包装和运输应符合GB/T4798.2的规定。

7.2.2 不与桥门式智能起重机整机一同出厂的控制系统应使用塑料制品作为内包装，必要时使用防静电

电袋，包装箱内垫有防震材料。

7.2.3 出厂附件、随机文件、资料应放入防潮文件袋中

### 7.3 贮存

7.3.1 贮存的场所应满足桥门式智能起重机控制系统硬件设计时的气候环境条件，严禁与有腐蚀作用的物品存放在同一场所。

7.3.2 包装好的桥门式智能起重机控制系统硬件应保存在相对湿度不大于 85%，周围空气温度 $-20^{\circ}\text{C}$ ~ $+55^{\circ}\text{C}$ 的环境中。

## 8 随机文件

8.1 与桥门式智能起重机控制系统硬件一起供应的文件和物件应有：

- a) 装箱清单；
- b) 资料清单、文件资料；
- c) 电气原理图、接线图；
- d) 产品出厂合格证明文件；
- e) 备用品清单、备用品、安装附件等；
- f) 产品使用说明书、调试文件。

8.2 宜采用信息化的手段提供相关技术文件、资料等。

## 9 质量保证

在用户遵守本标准及产品使用说明书所规定的运输、贮存、使用的条件下，装置自出厂之日起五年内或安装运行之日起两年内（按先到期），如装置发生非人为损坏，制造厂应负责免费维修或更换。

参 考 文 献

- [1] TSG51-2023 《起重机械安全技术规程》
- 

全国团体标准信息平台