ICS 35.240.01
CCS L 70

T/CS

# 团 体 标 准

T/CS 563—2026

# 农作物采收及采后处理一体化智能系统

Intelligent integrated system for crop harvesting and postharvest handling

2026－07－31 发布 2026－07－31 实施

中国商品学会 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　缩略语 ..... 1
5　系统架构 ..... 2
6　技术要求 ..... 5
7　试验方法 ..... 8
8　验收和运维 ..... 9
附录 A（规范性）　主要技术指标测试方法 ..... 10

# 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。

本文件由陕西日丽光合生物科技有限公司提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：陕西日丽光合生物科技有限公司、上海波粒数联科技有限公司、陕西金宏瑞泰农业开发有限公司、陕西润木春农业有限公司、陕西优联瑞克科技有限公司、陕西云耕青林农业有限公司、北京联合利来企业管理有限公司。

本文件主要起草人：刘长河、王鹏、王瑞溢、李小武、孙吕杰、钟仁祥、范金余、杨正旭。

# 农作物采收及采后处理一体化智能系统

## 1 范围

本文件规定了农作物采收及采后处理一体化智能系统的系统架构、技术要求、试验方法、验收和运维。

本文件适用于农作物的采收、分选、包装及场内转运一体化智能系统的设计、开发、集成与应用。

## 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 5080.1 可靠性试验 第 1 部分：试验条件和统计检验原理

GB/T 5080.7 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案

GB/T 28827.1 信息技术服务 运行维护 第 1 部分：通用要求

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

**农作物采收及采后处理一体化智能系统 intelligent integrated system for crop harvesting and postharvest handling**

可用于集采的农作物的集成采收作业、分选作业、包装作业、转运作业及数据管理功能，实现从田间采收至场内暂存全过程自动化、网络化与智能化的综合系统。

注：“农作物采收及采后处理一体化智能系统”以下简称“系统”。

3.2

**分选 grading**

依据农作物的外观品质（如尺寸、颜色、表面瑕疵等）和内部品质（如糖度、酸度等），将物料按等级进行分类的过程。

3.3

**边缘计算节点 edge computing node**

部署在靠近数据源侧的物理或虚拟计算设备，具备数据采集、本地缓存、实时 AI 推理和与云平台协同的能力，承担系统在断网状态下的独立运行支撑。

3.4

**断网自持 network-disconnected self-sustainment**

在边缘计算节点与云平台网络连接中断的情况下，系统依靠本地计算与缓存资源持续维持生产作业正常运行的能力。

3.5

**缓冲容量 buffer capacity**

包装线物料缓冲区在不停机条件下，可容纳上游来料并维持连续生产的最大时长。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AGV：自动导引车（Automated Guided Vehicle）

AI：人工智能（Artificial Intelligence）

AP：无线接入点（Access Point）

API：应用程序编程接口（Application Programming Interface）

HTTPS：超文本传输安全协议（Hypertext Transfer Protocol Secure）
JSON：JavaScript 对象表示法（JavaScript Object Notation）
Modbus TCP：基于以太网的传输控制协议（Modbus Transmission Control Protocol）
MQTT：消息队列遥测传输协议（Message Queuing Telemetry Transport）
MTBF：平均故障间隔时间（Mean Time Between Failures）
ONNX：开放神经网络交换（Open Neural Network Exchange）
OPC UA：OPC 统一架构（OPC Unified Architecture）
PLC：可编程逻辑控制器（Programmable Logic Controller）
RESTful：表述性状态传递风格（Representational State Transfer）
TLS：传输层安全协议（Transport Layer Security）
VPN：虚拟专用网络（Virtual Private Network）
WLAN：无线局域网（Wireless Local Area Network）
4G：第四代移动通信（4th Generation Mobile Communication）
5G：第五代移动通信（5th Generation Mobile Communication）

# 5 系统架构

## 5.1 总则

系统自下而上依次为感知执行层、网络传输层、数据和平台层、应用和决策层，如图 1 所示。

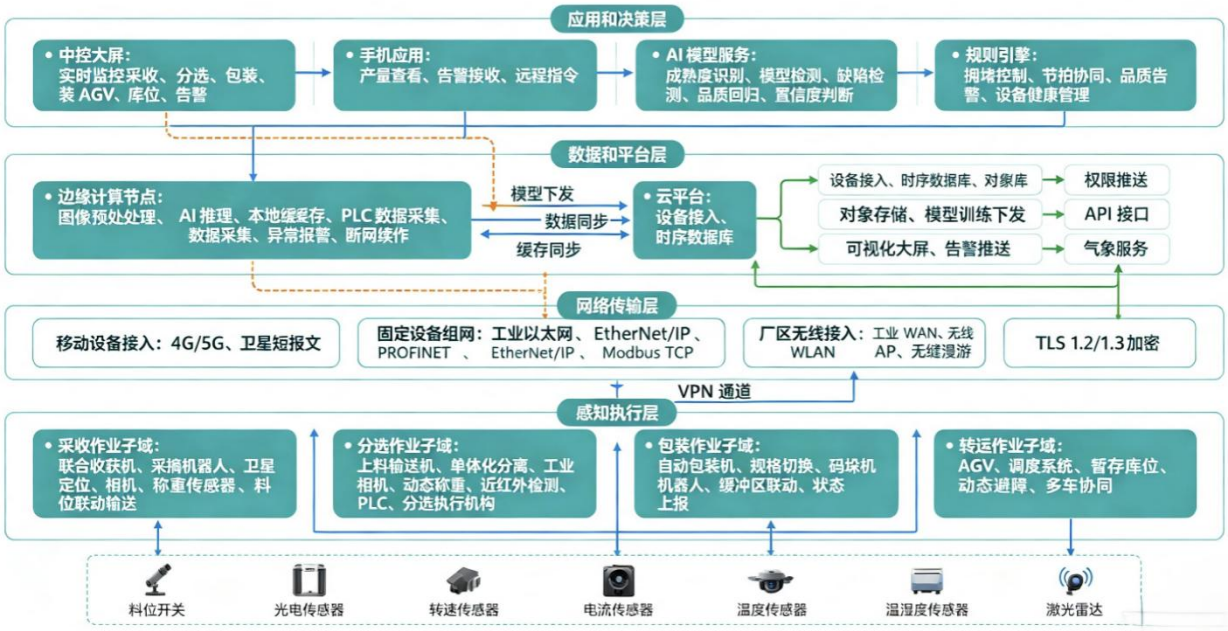



图 1　农作物采收及采后处理一体化智能系统架构示意图

## 5.2 感知执行层

### 5.2.1 采收作业子域

5.2.1.1　系统应配置联合收获机、果蔬采摘机器人等智能采收装备；采收装备搭载卫星定位模块，用于实时记录采收位置与作业轨迹。

5.2.1.2　采收装备应配置可见光或多光谱相机，采集作物图像，辅助判定采收时机；应配置称重传感器，实时统计采收产量。

5.2.1.3　采收装备应能通过输送装置直接将物料输送至分选线上料口，全程不设置人工搬运环节。

5.2.1.4　当分选线入料口料位低于设定下限时，采收装备应自动启动物料输送；当料位达到设定上限时，采收装备应自动暂停输送，防止物料堵塞。

#### 5.2.2 分选作业子域

5.2.2.1 应配置上料输送机、单体化分离装置，将物料均匀、单层输送至检测区域。
5.2.2.2 应配置不少于 2 台多角度安装的工业相机，采集农作物表面图像；应配置动态称重模块，检测单颗农作物重量；应配置近红外光谱检测模块，无损检测作物糖度、酸度等内部品质指标。
5.2.2.3 应配置分选执行机构，依据人工智能模型判定结果，将农作物分拣至对应等级通道。
5.2.2.4 系统应采用 PLC 作为主控制器，接收分选结果并驱动执行机构动作，PLC 控制周期不应大于 5 ms。

#### 5.2.3 包装作业子域

5.2.3.1 每个分选等级出口应配置自动包装机，完成物料自动称重、封口、贴标作业。
5.2.3.2 包装机应能根据等级信号自动切换包装规格。
5.2.3.3 应配置码垛机器人，将包装成品按照预设垛型码放至托盘。
5.2.3.4 包装机应能实时上报包装数量、重量和运行状态。
5.2.3.5 包装线应具备和分选线速度联动能力，物料缓冲区应满足连续生产缓冲需求。

#### 5.2.4 转运作业子域

5.2.4.1 应配置 AGV 完成成品自动转运。
5.2.4.2 应配套部署 AGV 调度系统，接收码垛完成信号、分配搬运任务，实现多台 AGV 协同作业。
5.2.4.3 暂存区应划分独立库位单元，每个库位设置唯一标识；AGV 将成品运送至指定库位，并向调度系统反馈作业完成信息。
5.2.4.4 AGV 应具备动态避障功能，检测到障碍物时，能重新规划行驶路径或在安全距离内停车等待。
5.2.4.5 系统转运能力应与包装产出速度相匹配。

#### 5.2.5 传感器

5.2.5.1 各料斗应安装高低料位开关或光电传感器，检测物料堵塞、料位异常等情况。
5.2.5.2 输送带应配备转速传感器，电机配备电流、温度传感器，实时监测设备运行状态。
5.2.5.3 厂房内应配置环境温湿度传感器，监测现场运行环境。
5.2.5.4 AGV 应搭载激光或雷达传感器，实现自主导航与动态避障。

### 5.3 网络传输层

#### 5.3.1 接入移动设备

5.3.1.1 采收装备的工控机、数据采集单元应能通过 4G/5G 蜂窝网络接入云平台。
5.3.1.2 蜂窝网络信号盲区应采用卫星短报文通信，报文上报间隔支持区间调整。

#### 5.3.2 接入固定设备

5.3.2.1 分选线、包装机、PLC、边缘计算节点之间采用工业以太网组网，通信协议选用 PROFINET、EtherNet/IP、Modbus TCP 中的一种或多种。
5.3.2.2 厂房内应部署工业级 WLAN，为 AGV、调度系统、手持终端提供数据传输通道；无线 AP 布局宜满足全场信号覆盖，支持无线终端无缝漫游。

#### 5.3.3 连接云平台

5.3.3.1 厂房内的边缘计算节点和本地服务器应通过光纤专线接入互联网，基于固定公网 IP 构建 VPN 通道，实现与云平台的安全数据交互。
5.3.3.2 设备与云平台之间的数据传输应采用 TLS 1.2/1.3 加密协议，防范数据窃听、篡改。
5.3.3.3 分选线分选拨叉、AGV 紧急停车等实时控制指令，应在厂房局域网内传输。

### 5.4 数据和平台层

#### 5.4.1 边缘计算节点

5.4.1.1 边缘计算节点应配备专用硬件资源，预装操作系统及容器运行环境。

5.4.1.2　边缘计算节点应对相机采集的原始图像进行预处理，按需上传至云平台。本地缓存应支持云端断网后系统持续作业，网络恢复后自动完成缓存数据同步。
5.4.1.3　边缘计算节点应实时采集 PLC、传感器运行数据；当出现电机过载、输送带堵转、料位超高等异常工况时，应触发本地声光报警，并输出对应故障代码。
5.4.1.4　云端网络中断时，本地生产作业、数据处理应正常运行，所有关键数据自动存入本地缓存。

### 5.4.2　云平台

5.4.2.1　云平台应支持 MQTT、HTTPS 设备接入协议接口，设备接入采用 X.509 证书双向认证或设备唯一标识结合动态密钥双凭证认证机制。
5.4.2.2　云平台应采用时序数据库存储产量数据、分选统计数据、设备温度、AGV 任务记录等时序类数据；采用对象存储保存图像类训练样本。
5.4.2.3　云平台应支持模型参数微调、模型再训练，模型可下发至边缘计算节点，更新过程不中断分选作业。
5.4.2.4　云平台应配置可视化数据大屏，实时展示采收进度、各等级分选产量、包装作业状态、暂存区库位信息、设备运行状态等内容。
5.4.2.5　系统应支持基于规则的自动告警，告警信息可通过短信、即时通讯工具推送至管理人员。
5.4.2.6　云平台应对外提供 RESTful API 接口，用于 Web 后台、手机应用、第三方系统调用云平台的服务。
5.4.2.7　云平台应接入气象数据服务，获取作业区域内的实时气象信息与灾害性天气预警。
5.4.2.8　云平台应不参与以下实时控制工作：

a)　采收机启停、分选线分选拨叉等毫秒级控制决策；
b)　AGV 的实时调度和避障控制；
c)　系统生产运行。

## 5.5　应用和决策层

### 5.5.1　用户界面

5.5.1.1　中控大屏：部署于厂房中控室或管理办公室，实时展示采收机位置、瞬时产量、各分选等级产量占比、包装机运行状态、AGV 位置及任务列表、暂存区库位占用率等信息，关键告警信息高亮展示。
5.5.1.2　手机应用：面向农场主、生产主管，支持查看当日累计采收量、各等级产量、包装总量等核心数据；接收短信、应用内告警推送，可远程下发简易控制指令，如暂停单条分选线、增加在线 AGV 数量。
5.5.1.3　Web 后台：面向系统管理员，具备设备管理（新增/删除采收装备、分选线、AGV 等）、模型版本管理（上传新模型、指定模型下发节点）、历史数据查询与导出（产量报表、分选趋势图、设备运行日志）、用户权限管理等功能。

### 5.5.2　AI 模型服务

5.5.2.1　系统应部署作物成熟度识别模型、外部缺陷检测模型、内部品质回归模型；模型采用 ONNX 等通用格式，部署在边缘计算节点。
5.5.2.2　各模型应独立运行，推理结果同步输出分类标签与置信度分数。
5.5.2.3　当置信度低于设定阈值时，系统应将该结果标记为“待人工复核”或按最低等级处理。

### 5.5.3　决策优化

系统应通过规则引擎自动执行智能决策。具体内容如下：

a)　拥堵控制：分选线入料口物料堆积量超出设定阈值时，PLC 自动停止上料输送带并触发告警；
b)　节拍协同：暂存区库位占用率超出设定比例时，云平台向管理人员推送调度建议，同时向 AGV 调度系统下发指令，增加转运频次；
c)　异常品质告警：农作物缺陷率突发升高并超出设定值时，云平台触发告警，提醒工作人员检查作物采收成熟度或前端清理工序；

d) 设备健康管理：电机电流、设备振动、运行温度等关键参数持续偏离正常范围时，系统记录异常信息，并推送设备维护提醒。

## 6 技术要求

### 6.1 基本功能

#### 6.1.1 采收作业

6.1.1.1 采收装备应具备定位、导航功能，支持自动驾驶或辅助驾驶模式。
6.1.1.2 系统应能实时测量、记录采收产量，产量数据与地块位置应关联，并生成地块产量分布图。
6.1.1.3 采收物料应能通过输送装置直接送入分选线上料口，全程无人工搬运。
6.1.1.4 分选线入料口料位低于下限时，采收装备应能自动送料；料位高于上限时，采收装备应能自动停止送料。
6.1.1.5 采收装备应具备运行状态自检、数据上报功能。
6.1.1.6 系统应能完整记录采收批次号、采收时间、采收位置、预估产量，采收数据与分选环节数据应能相互关联。
6.1.1.7 作业过程中检测到人员、保护性动物或大型异物误入作业区域时，系统应自动触发紧急停机并发出声光报警；报警解除后，应经人工确认方可恢复作业。

#### 6.1.2 分选作业

6.1.2.1 系统应能依据农作物外观品质（尺寸、颜色、表面瑕疵）、内部品质（糖度等）完成分选。
6.1.2.2 每条分选结果应能绑定批次信息，批次信息至少包含分选时间、作物等级、产地来源。
6.1.2.3 系统应能在线动态调整分选阈值等运行参数，参数调整后即时生效。
6.1.2.4 采收后的农作物应在 4 h 内进入分选线。

#### 6.1.3 包装作业

6.1.3.1 包装机应能接收等级信号，自动切换对应包装模式。
6.1.3.2 包装设备应能实时上报包装数量、包装重量、设备运行状态。
6.1.3.3 码垛机器人应能自动规划垛型，成品垛型应稳定、无倾覆。
6.1.3.4 包装线与上游分选线运行速度应能联动，物料缓冲区应能满足连续生产缓冲需求。

#### 6.1.4 转运作业

6.1.4.1 AGV 应能自动接收搬运任务，从码垛区取货并运送至暂存区指定库位。
6.1.4.2 转运调度系统应能支持多台 AGV 协同作业，具备交通管制功能，规避多车路径冲突。
6.1.4.3 暂存区库位应具备占用状态检测能力，应能实时上报库位信息。
6.1.4.4 AGV 应具备动态避障能力，遇障碍物应能重新规划路径或就近停车等待。

#### 6.1.5 协同控制

6.1.5.1 分选线入料口应安装料位检测装置；物料堆积高度超出阈值时，应能通过机械联锁或信号联锁，减缓、停止上游送料设备运行。
6.1.5.2 包装线各等级出口应设置物料缓冲区；缓冲区满载时，应能向上游分选线发送暂停放料信号；缓冲区空余时，应发送恢复放料信号。
6.1.5.3 暂存区库位占用率超出设定比例时，系统应能通过应用推送、大屏闪烁等方式提醒调度人员。

#### 6.1.6 其他

6.1.6.1 系统应预留固件升级接口。
6.1.6.2 系统应具备故障自诊断、故障定位功能，故障可定位至最小可更换单元。
6.1.6.3 系统应具备综合监控管理功能，包含通道增益控制、设备电压/温度等参数监测、故障数据统计。

### 6.2 主要技术指标

#### 6.2.1 定位精度

采收装备卫星定位精度不应大于 0.5 m。

#### 6.2.2 分选线效率

分选线实际处理速度不应低于供需双方约定的最低产能，具体数值由双方协商确定。

#### 6.2.3 实时控制周期

分选线 PLC 控制周期不应大于 5 ms；厂房内网络控制周期不应大于 10 ms。

#### 6.2.4 AI 推理时间

边缘计算节点的单果完整推理时间（从触发到输出结果）不应大于 50 ms。

#### 6.2.5 响应时间

应符合下列要求：

a) 包装机规格切换响应时间：≤1 s；
b) 分选阈值调整生效时间：≤1 s；
c) 本地报警响应延迟：≤1 s；
d) AGV 平均响应时间：≤30 s；
e) 无线漫游切换时间：≤50 ms。

#### 6.2.6 AGV 导航精度

AGV 静态导航精度不应大于±20 mm。AGV 动态行驶导航精度不应大于±50 mm。

#### 6.2.7 数据存储与上报

应符合下列要求：

a) 时序数据保存期限：≥12 个月；
b) 采收装备状态上报频率：≤10 s/次；
c) 包装设备状态上报频率：≤30 s/次；
d) 云平台可视化数据刷新频率：≤30 s/次。

#### 6.2.8 网络覆盖

农田区域蜂窝网络覆盖率不应低于 90%；卫星单条短报文数据量不应超过 100 字节，报文上报间隔 5 min～30 min，且可调。

#### 6.2.9 缓存与断网自持

边缘计算节点本地缓存可支撑系统断网后连续作业不应少于 2 h。

#### 6.2.10 包装线缓冲容量

包装线物料缓冲区应满足不少于 30 s的连续生产需求。

### 6.3 工作稳定性

系统连续无故障运行时间不应少于 7 d。在此期间，系统的基本功能和主要技术指标应满足 6.1 和 6.2 的要求。

### 6.4 可靠性

系统平均故障间隔时间（MTBF）不应少于 200 h（按 24 h连续运行折算）；云平台按月统计，服务可用性不应低于 99.5%。

### 6.5 安全性

#### 6.5.1 身份认证

所有设备接入云平台前应完成身份认证，设备接入采用 X.509 证书双向认证或设备唯一标识结合动态密钥双凭证认证机制，未授权设备应不能接入。

#### 6.5.2 数据加密

设备与云平台之间的数据通信应采用 TLS 1.2 及以上协议加密传输；本地存储的用户凭证、设备密钥等关键数据应加密存储。

#### 6.5.3 访问控制

系统应实行多级角色权限管理，至少设置管理员、操作员、只读用户三类角色。

#### 6.5.4 网络隔离

厂房控制网络与办公网络、互联网应实行物理隔离或逻辑隔离；控制网络与外网的连接应通过防火墙配置访问策略。

#### 6.5.5 审计日志

系统应记录所有用户登录、关键参数修改、设备操作等行为，审计日志保存期限不应少于 12 个月。

#### 6.5.6 物理安全

边缘计算节点、核心交换机、PLC 等关键设备应安装于带锁机柜或专用机房，非授权人员应不能接触。

### 6.6 维护性

#### 6.6.1 设备布局

设备布局宜预留充足维护空间，便于拆卸更换气缸密封件、相机镜头、传感器探头等耗材或易损件。

#### 6.6.2 远程维护

边缘计算节点、云平台应支持远程软件升级、远程日志读取及远程参数配置。

#### 6.6.3 故障诊断

系统应具备故障自诊断与定位能力，针对传感器故障、通信中断、电机过载等常见故障，输出明确故障代码与排查建议。

#### 6.6.4 故障恢复

系统应配备标准化故障恢复流程，关键设备支持一键恢复出厂设置或备份还原。

#### 6.6.5 维护文档

系统应配套完整维护手册，包含设备原理图、接口定义、故障代码表、备件清单。

### 6.7 兼容性

6.7.1 感知执行层设备应至少支持 OPC UA、Modbus TCP、MQTT 中一种标准协议，实现与上层系统对接。

6.7.2 边缘计算节点应集成主流 AI 推理引擎，支持 ONNX Runtime、TensorFlow Lite 等框架，支持多来源模型部署。

6.7.3 云平台应提供基于 HTTPS 的 RESTful API 数据接入接口，支持第三方设备推送数据。

6.7.4 系统各层级接口应采用 JSON、Protobuf 等标准化数据格式，并配套完整公开接口技术文档。

6.7.5 系统接入多厂商设备时，应能通过协议网关、中间件实现设备互通。

### 6.8 可扩展性

#### 6.8.1 设备扩展

在不改动核心软件与平台的前提下，能新增同类型采收装备、分选线；新增设备完成网络接入、平台注册后能纳入统一管理。

#### 6.8.2 模型扩展

边缘计算节点能新增 AI 模型，新增模型按标准接口部署，不影响现有模型正常运行。

#### 6.8.3 数据扩展

云平台时序数据库、对象存储支持在线水平扩容，农场规模扩大、数据量激增时，存储扩容不中断系统服务。

#### 6.8.4 功能扩展

系统功能模块采用松耦合设计，新增第三方数据分析等功能时，通过标准 API 对接，不破坏原有功能稳定性。

#### 6.8.5 规模扩展

系统支持单农场向多农场拓展；云平台采用多租户架构，可按基地、农场独立管理；各农场 AI 模型支持单独更新，农场之间数据相互隔离。

## 7 试验方法

### 7.1 试验条件

#### 7.1.1 试验环境

除有特殊要求的项目外，试验环境应满足下列要求：

a) 试验环境温度：5 ℃～45 ℃；

b) 相对湿度：45%～85%。

#### 7.1.2 电源条件

电源条件应满足下列要求。

a) 交流电源：

——额定电压允许偏差：±10%；

——谐波：≤5%；

——频率：50 Hz，允许偏差±5%。

b) 直流电源：

——额定电压允许偏差：±10%；

——电压波纹：≤0.1%。

### 7.2 基本功能

按本文件 6.1 条款要求，逐项进行实际操作检验，记录每项功能的试验结果。

### 7.3 主要技术指标

按附录 A 的规定进行。

### 7.4 工作稳定性

系统连续运行 7 d。试验开始、试验结束时，分别测试系统功能与主要技术指标；试验期间每 24 h至少开展一次功能巡检。试验过程中若出现关联故障，立即终止试验，故障排除后重新计时开展试验。

### 7.5 可靠性

可靠性试验按 GB/T 5080.7 执行，采用定时截尾试验方案；失效判定按 GB/T 5080.1 执行。

### 7.6 安全性

7.6.1 身份认证与数据加密：模拟非法设备接入，结合网络抓包方式验证认证机制与加密效果。
7.6.2 访问控制：测试不同角色账号的操作权限，验证权限隔离有效性。
7.6.3 网络隔离、物理安全：现场核查网络隔离措施、防火墙策略、核心设备锁闭与机房管理情况。
7.6.4 审计日志：检查日志记录完整性、准确性及数据留存时长。

### 7.7 维护性

采用故障注入方式，测试系统故障诊断能力与故障代码准确性；核查维护手册、备件清单完整性；实操测试远程维护、故障恢复功能。目测设备布局是否预留维修空间。

### 7.8 兼容性

接入不同厂商的标准协议设备，测试互通能力；部署不同格式 AI 模型，验证边缘节点兼容性；调用平台 API，核查接口标准化程度与文档完整性。

### 7.9 可扩展性

模拟新增设备、新增 AI 模型、新增租户场景，逐项验证系统扩展能力是否符合本文件 6.8 的要求。

## 8 验收和运维

### 8.1 验收

#### 8.1.1 时间

系统安装调试完成后，应开展不少于 10 d 的无故障试运行，试运行合格后方可组织正式验收。

#### 8.1.2 组织

成立验收组开展验收工作，验收组人数为 5 人～13 人。验收组成员应具备下列条件：

a) 具有相关领域 3 年以上工作经验，或具有中级及以上技术职称；
b) 签署职业道德承诺书，声明无重大失信、违法违规记录；
c) 签署保密协议，承诺对验收过程中接触的技术资料承担保密责任。

#### 8.1.3 内容及判定规则

8.1.3.1 基本功能：按本文件 6.1 逐项检测，任意一项功能缺失，判定验收不合格。
8.1.3.2 主要技术指标：在同一试验环境下连续检测 3 次，取 3 次检测结果平均值作为最终结果；任意一项指标不满足要求，判定验收不合格。
8.1.3.3 技术文档：文档缺失、内容不符合要求的，应补充完善后重新组织验收。

#### 8.1.4 报告及结论

验收工作完成后，出具用户验收报告及正式验收结论。

### 8.2 运维

8.2.1 系统运行维护工作应遵循 GB/T 28827.1 相关要求。
8.2.2 应建立日常维护管理制度，定期对硬件设备、网络系统开展巡检与维护，保障系统兼容性与开放性。
8.2.3 应完整记录故障信息、维修过程，形成运维日志。
8.2.4 应定期分析系统运行状态，提前排查潜在问题。
8.2.5 云平台、边缘计算节点软件升级前，应在测试环境完成全功能验证，并制定版本回滚方案。

# 附 录 A
（规范性）
主要技术指标测试方法

## A.1 定位精度测试

### A.1.1 测试仪器

精度不低于 0.1 m的高精度差分卫星定位基准站、数据记录仪。

### A.1.2 测试步骤

测试步骤如下：

a) 选取不少于 3 个已知精确坐标的固定测试点；
b) 将采收装备停放至测试点，开启定位模块，每个点位连续记录 100 组定位坐标数据；
c) 计算实测坐标与真实坐标的偏差，取均方根作为定位精度。

## A.2 分选线效率测试

### A.2.1 测试仪器

秒表、计数传感器。

### A.2.2 测试步骤

测试步骤如下：

a) 分选线以额定速度连续运行，有效作业时长不少于 10 min；
b) 统计总处理数量与总时长，计算单位时间平均处理速度（个/min 或 kg/min）；
c) 重复测试 3 次，取 3 次结果平均值。

## A.3 实时控制周期测试

### A.3.1 测试仪器

采样率不低于 1 MHz的示波器/逻辑分析仪、网络分析工具。

### A.3.2 测试步骤

A.3.2.1 PLC 控制周期测试步骤如下：

a) 测量 PLC 从接收传感器信号到驱动执行机构动作的时间差；
b) 连续测量不少于 100 组数据，取最大值。

A.3.2.2 网络控制周期测试步骤如下：

a) 在工业以太网中抓取周期控制报文，统计相邻指令的时间间隔；
b) 连续测量不少于 100 个周期，取最大值。

## A.4 AI 推理时间测试

### A.4.1 测试仪器

边缘计算节点日志系统、高精度计时软件。

### A.4.2 测试步骤

测试步骤如下：

a) 连续向边缘计算节点输入 1 000 组农作物图像或光谱数据；
b) 记录每组数据推理触发时间、结果输出时间，计算单组推理耗时；
c) 统计所有数据的平均耗时、最大耗时、99%分位耗时，结果取最大耗时值。

## A.5 响应时间测试

### A.5.1 测试仪器

精度 1 ms计时器、信号发生器、网络 ping测试工具。

### A.5.2 测试步骤

A.5.2.1 包装机规格切换响应时间测试步骤如下：

a) 向包装机下发等级切换信号，同步启动计时，记录切换完成时刻；
b) 重复测试 10 次，取平均值。

A.5.2.2 分选阈值调整生效时间测试步骤如下：

a) 在线修改分选阈值，记录参数下发完成至新参数生效的时长；
b) 重复测试 10 次，取最大值。

A.5.2.3 本地报警响应延迟测试步骤如下：

a) 人为模拟电机过载等超阈值故障，记录故障发生至本地声光报警启动的时长；
b) 重复测试 10 次，取最大值。

A.5.2.4 AGV 平均响应时间测试步骤如下：

a) 记录从发出搬运请求到 AGV 抵达取货点的时长；
b) 统计 10 次搬运任务，取平均值。

A.5.2.5 无线漫游切换时间测试步骤如下：

a) 模拟 AGV 的无线终端以 0.5 m/s 速度沿行驶路线移动，全程持续 ping 边缘节点；
b) 记录 ping 中断最大时长，重复测试 10 次，取最大值。

## A.6 AGV 导航精度测试

### A.6.1 测试仪器

激光跟踪仪或高精度测量尺，现场设置标准标记测点。

### A.6.2 测试步骤

A.6.2.1 静态精度测试步骤如下：

a) 在 AGV 行驶路线上选取取货点、放货点等典型测试点；
b) AGV 行驶至测点并完全停稳；
c) 测量实际位置与理论位置的偏差；
d) 每个测点重复 10 次，取最大偏差。

A.6.2.2 动态精度测试步骤如下：

a) 在 AGV 行驶路线上选取取货点、放货点等典型测试点；
b) AGV 正常行驶经过测点；
c) 连续采集行驶轨迹偏差；
d) 每个测点重复 10 次，取最大偏差。

## A.7 数据存储与上报测试

### A.7.1 测试仪器

时序数据库查询工具、网络抓包软件、日志分析工具。

### A.7.2 测试步骤

A.7.2.1 时序数据保存期限测试步骤如下：

a) 核查数据库存储策略；
b) 写入带历史时间戳的测试数据，检查是否能正常查询 12 个月前数据。

A.7.2.2 采收装备状态上报频率测试步骤如下：

a) 采收装备正常作业；
b) 连续记录 10 min 内上报报文时间戳；

c） 统计上报总次数。

A.7.2.3 包装设备状态上报频率测试步骤如下：

a） 包装设备正常作业；

b） 连续记录 10 min 内上报报文时间戳；

c） 统计上报总次数。

A.7.2.4 云平台可视化数据刷新频率测试步骤如下：

a） 抓取大屏前端数据请求记录；

b） 连续观测 20 次刷新动作，结果取两次刷新间隔最大值。

## A.8 网络覆盖测试

### A.8.1 测试仪器

场强测试仪、卫星短报文收发测试设备。

### A.8.2 测试步骤

A.8.2.1 蜂窝覆盖率测试步骤如下：

a） 在作业区域均匀选取不少于 10 个测试点；

b） 逐点检测 4G/5G 网络连接状态；

c） 计算覆盖率=（可正常联网测点数量/总测点数量）×100%。

A.8.2.2 短报文长度测试步骤如下：

a） 在蜂窝信号屏蔽区域，触发设备发送卫星短报文；

b） 抓取报文并统计字节数；

c） 连续发送 10 条，检查上报间隔是否能在 5 min～30 min 内调整。

## A.9 缓存与断网自持测试

测试步骤如下：

a） 手动断开边缘计算节点与云平台之间的网络连接；

b） 系统保持正常生产作业，持续运行 2 h，全程观察生产是否中断，数据能否正常缓存至本地；

c） 恢复网络连接，核查本地缓存数据能否自动同步至云平台，数据是否完整无丢失。

## A.10 包装线缓冲容量测试

### A.10.1 测试仪器

秒表、计数传感器。

### A.10.2 测试步骤

测试步骤如下：

a） 包装线及上游分选线以额定速度正常运行；

b） 人为暂停包装设备，物料持续进入包装线缓冲区，同时开始计时；

c） 记录缓冲区填满且物料未溢出、上游未触发强制停机的最长时长；

d） 重复测试 3 次，结果取最大时长值。