

# 团 体 标 准

T/NJ 1486—202X

## 喷杆式喷雾机器人

Boom spray robot

(征求意见稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

中国农业机械学会 发布

## 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。

本文件由中国农业机械学会提出。

本文件由全国农业机械标准化技术委员会（SAC/TC 201）归口。

本文件起草单位：中国农业机械化科学研究院集团有限公司、中国农业机械学会、现代农装科技股份有限公司。

本文件主要起草人：……。

# 喷杆式喷雾机器人

## 1 范围

本文件规定了喷杆式喷雾机器人的术语和定义、产品型号、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于以内燃机为动力、基于农田信息以离线变量喷雾作业模式或在线变量喷雾作业模式进行精准喷施农药液体的喷杆式喷雾机器人。其它型式的喷杆式喷雾机器人可参照执行。

## 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 3766 液压传动 系统及其元件的通用规则和安全要求

GB/T 4208—2017 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 4269.1 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 操作者操纵机构和其他显示装置用符号 第 1 部分：通用符号

GB/T 4269.2 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 操作者操纵机构和其他显示装置用符号 第 2 部分：农用拖拉机和机械用符号

GB 9656 汽车安全玻璃

GB 10395.1 农林机械 安全 第 1 部分：总则

GB 10395.6 农林拖拉机和机械 安全技术要求 第 6 部分 植物保护机械

GB 10396 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 安全标志和危险图形 总则

GB/T 13306 标牌

GB/T 20085 植物保护机械 词汇

GB/T 20183.3—2024 植物保护机械 喷雾设备 第 3 部分：评价单位面积施药液量调节系统性能的试验方法

GB 20891 非道路移动机械用柴油机排气污染物排放限值及测量方法（中国第三、四阶段）

GB/T 21398 农林机械 电磁兼容性 试验方法和验收规则

GB/T 24677.2 喷杆喷雾机 试验方法

GB/T 23821 机械安全 防止上下肢触及危险区的安全距离

GB/T 39515.1 农林机械 喷雾机的环境要求 第 1 部分：通用要求

GB/T 39515.2 农林机械 喷雾机的环境要求 第 2 部分：水平喷杆式喷雾机

HJ 1014—2020 非道路柴油移动机械污染物排放控制技术要求

JB/T 5673—2015 农林拖拉机及机具涂漆 通用技术条件

JB/T 8574 农机具产品 型号编制规则

JB/T 9782 植物保护机械 通用试验方法

JB/T 9832.2—1999 农林拖拉机及机具 漆膜附着性能测定方法 压切法

NY/T 2612 农业机械车身反光标识

3 术语和定义

GB/T 20085 中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

喷杆式喷雾机器人 boom spray robot

由自走式底盘、喷杆式变量喷雾系统、信息采集处理和控制系统等组成，能够利用传感技术（如机器视觉、激光、红外等传感器技术）自动感知杂草及作物等目标，按照半自主控制模式或全自主控制模式完成田间道路行走和喷雾作业的智能化农业装备。

3.2

半自主控制模式 semi-autonomous control mode

田间道路行走由人工操作完成，且根据预先设定的作业路径及作业任务进行自动田间喷雾作业但需人工全程监视的控制模式。

3.3

全自主控制模式 fully autonomous control mode

根据预先设定的行驶及作业参数、路径坐标、作业任务等进行自动作业且全过程无需人工干预的控制模式。

3.4

离线变量喷雾作业模式 offline variable spray mode

根据地面或喷杆式喷雾机器人信息采集平台预先生成的作业处方图，由喷雾控制系统解析并控制机器人进行精准变量喷雾的作业模式。

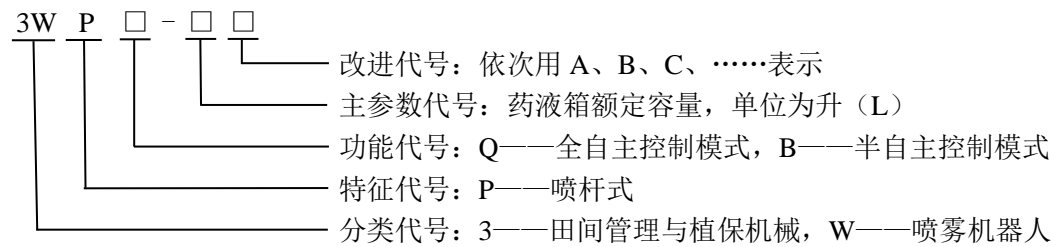
3.5

在线变量喷雾作业模式 online variable spray mode

采用机载视觉识别系统在作业过程中实时采集并识别杂草等作业信息，由喷雾控制系统解析并控制机器人进行精准变量喷雾的作业模式。

4 产品型号

喷杆式喷雾机器人（以下简称“机器人”）产品型号按 JB/T 8574 规定原则编制，由下列代号组成：



标记示例：经第二次改进，药液箱额定容量 3000 L，全自主控制模式的喷杆式喷雾机器人型号表示为 3WPQ-3000B。

5 技术要求

5.1 功能与性能要求

5.1.1 起动性能

机器人应具有良好的起动性能，常温状态下起动成功的时间不应超过 30 s。

#### 5.1.2 运转与密封性能

机器人正常工作条件下作业时应运转平稳，无不正常的振动、响声，各工作部件及连接处无松动等现象。

机器人在最高工作压力下工作时，施药系统各密封部位应密封可靠，无渗漏等现象

#### 5.1.3 稳定性

处于运输状态的机器人，在空载（未加药液）和满载（加额定容量药液）状态下，以任意方向停放在坡度为 15%（8.5°）的坚硬倾斜面上应保持稳定；机器人满载停放在倾斜面上时药箱内液体不应溢出。

#### 5.1.4 越级控制功能

机器人应随机或独立配备控制级别高于半自主控制模式或全自主控制的手动控制装置，当机器人按半自主控制模式或全自主控制模式运行时，应能根据需要通过手动控制装置对机器人进行越级控制。

#### 5.1.5 视觉识别系统性能

在线式变量喷雾精准对靶的机器人应配备视觉识别系统，系统应响应灵敏、识别准确，其杂草识别准确率不应小于 95%。

#### 5.1.6 精准对靶喷雾控制系统性能

机器人应配备精准对靶喷雾控制系统，靶标雾滴有效覆盖率不应小于 90%，对靶喷雾位置准确度不应大于 10 cm。

#### 5.1.7 变量喷雾控制系统性能

机器人应配备变量喷雾控制系统，其施药液量控制精度不应小于 95%，施药液量控制范围应符合制造厂明示值的规定。

#### 5.1.8 自动驾驶系统性能

机器人应配备基于北斗的自动驾驶系统，田间作业时，自动驾驶的直线行驶轨迹跟踪误差不应大于 2.5 cm。

#### 5.1.9 作业信息储存系统功能

机器人应配备作业信息储存系统，应能记录并保存作业路径、施药区域坐标、作业速度、施药液量、作业面积等信息。

#### 5.1.10 远程操控系统功能

机器人应配备远程操控系统，通过操控系统实现远程发动机起动、前进、后退、转向、喷雾、喷杆展开/折叠/升降及轮距调节等功能，通信应可靠。

#### 5.1.11 故障自动诊断和报警功能

机器人应具有故障自动诊断功能和可视或声响报警功能，当机器人发生故障时，以及在机器人进入正常工作状态前发出可视或声响报警以提醒操作员。

#### 5.1.12 喷雾性能

机器人在额定工作压力下喷雾时，药液应雾化良好，雾流分布均匀；全覆盖喷雾时，沿喷杆方向的施药液量分布均匀性变异系数不应大于 10%。

#### 5.1.13 喷头防滴性能

机器人的喷头应具有良好的防滴性能，在额定工作压力下，停止喷雾 5 s 后，出现滴漏现象的喷头数量不应大于喷头总数的 10%，且单个喷头滴漏的液滴数不应大于 10 滴/min。

#### 5.1.14 可靠性

机器人的首次故障前平均工作时间不应少于 50 h；机器人的使用有效度不应小于 95%。

### 5.2 安全及环保要求

#### 5.2.1 基本要求

5.2.1.1 机器人应采取 GB 10395.1、GB 10395.6 规定的适用安全要求和/或措施，并应按照 GB 10395.1 规定的安全设计基本原则，通过充分的风险减少措施达到可接受的风险水平。

5.2.1.2 机器人外露运动部件和高温部件、喷杆折叠升降过程中可能造成挤压和剪切事故的危险部位以及其他可能造成触电、跌落等危险部位，应设置符合 GB 10395.1 规定的安全防护装置。

5.2.1.3 防止上下肢触及危险区的安全距离应符合 GB/T 23821 的规定。

5.2.1.4 正常操作和保养时，为实现正常功能需暴露的功能部件、防护装置开口处及其他存在剩余风险的部件附近应设置符合 GB 10396 规定的安全标志。安全标志应在使用说明书中重现，并指明其在机器人上的粘贴位置。机器人使用说明书中应按 GB/T 9480 的规定给出提醒操作者的安全注意事项。

#### 5.2.2 制动性能

机器人空载状态下的制动性能应符合下列要求：

- a) 行车制动平均减速度不应小于  $2.5 \text{ m/s}^2$ ；
- b) 采用驻车制动器进行驻车制动时，机器人应能沿上坡和下坡方向可靠地停在坡度为 20% (11.3°) 的干硬纵向坡道上。锁定装置应锁定可靠，没有外力作用不应自动松脱。

#### 5.2.3 紧急自动停机功能

机器人应具有紧急情况自动停机功能，运行过程中遇到制动装置失效、自动避障功能失效等紧急情况时，应能迅速自动停止发动机运转。紧急停机功能一旦启动，在手动复位前，机器人应不能恢复运行。

#### 5.2.4 限速功能

机器人应有限速功能，其最高行驶速度不应超过制造厂明示的速度限值。

#### 5.2.5 自动避障功能

全自主控制模式的机器人应配备具有避障功能的障碍物自动探测装置，当田间道路行走过程中探测到妨碍行走的障碍物（包括人员）时，应能在制造厂明示的避障距离之外停止行走或改变行走方向以避开障碍物。

#### 5.2.6 限压安全装置

机器人应设置限定工作压力的安全装置，其限定压力不应超过制造厂技术文件明示的最高工作压力的1.2倍。从安全装置泄出的药液应能安全排放。

### 5.2.7 反射器/反光贴

机器人至少应在后部牢固安装反射器或粘贴符合 NY/T 2612 规定的反光标识。

### 5.2.8 环保要求

5.2.8.1 机器人配套柴油机排放限值应符合 GB 20891 的规定，并具有 GB 20891 规定的柴油机“环保信息标签”。机器人污染物排放控制技术要求应符合 HJ 1014—2020 的规定；机器人上应设置符合 HJ 1014—2020 规定的“机械环保信息标签”和“机械环保代码”。

5.2.8.2 机器人的环境要求应符合 GB/T 39515.1 和 GB/T 39515.2 的规定。

### 5.2.9 带驾驶室机器人附加要求

#### 5.2.9.1 照明与信号装置

最高设计行驶速度大于 20 km/h 的机器人，应安装前照灯、制动灯、转向信号灯、前后位灯或示廓灯等照明及信号装置。

#### 5.2.9.2 风挡玻璃

机器人驾驶室玻璃应采用符合 GB 9656 规定的安全玻璃。

#### 5.2.9.3 警示喇叭

最高设计行驶速度大于 20 km/h 的机器，应设置具有连续发声功能的警示喇叭，且应工作可靠。

#### 5.2.9.4 后视镜

在机器人的左、右两侧应各设一面后视镜。

### 5.3 一般要求

#### 5.3.1 整机

5.3.1.1 机器人零部件及其材料应符合按规定程序批准的产品图样和技术文件的规定。

5.3.1.2 机器人自制零部件、外协零部件应经检验合格，外购零部件、标准件应有合格证明文件。

5.3.1.3 机器人零部件应完整、齐全，连接应牢固可靠，容易松脱的零部件应装有防松装置。

5.3.1.4 液压系统、发动机和传动箱之间、油管接头以及油箱等处各动、静结合面应无渗漏。

5.3.1.5 装配后，各运动件应动作灵活，不应有磕碰、卡滞等现象。各操纵机构应轻便灵活，自动回位的操纵件在操纵力去除后应能自动回位，非自动回位的操纵件应能可靠地停在操纵位置。

机器人的开关、按钮及手柄等操纵件应设置在容易触及的范围内，操作应方便，并有清晰的指示标志或标牌，其内容应反映出操纵装置的基本特征（功能）。

操纵符号应设置在操作位置附近，并应符合 GB/T 4269.1 和 GB/T 4269.2 的规定。

5.3.1.6 液压软管、喷雾胶管应布置整齐有序，弯曲处弯曲内径不应过小，并应避免扎瘪、压扁现象。

5.3.1.7 机器人外表面应整洁平整、颜色均匀、无污损，不应有毛刺、变形、划痕、剥落、碰瘪、磕碰伤和锈污缺陷。油漆涂层外观和厚度应符合 JB/T 5673—2015 中 TQ-1-1-DM 的规定；漆膜附着力不应低于 JB/T 9832.2—1999 中规定的 II 级。

### 5.3.2 主要零部件

#### 5.3.2.1 自走式底盘

机器人应采用以内燃机为动力的自走式底盘，满载状态下的最大爬坡度不应小于 30%（16.7°）。

#### 5.3.2.2 喷雾液泵

机器人配套喷雾液泵在额定转速下的流量和工作压力应符合制造厂技术文件的规定。

#### 5.3.2.3 喷杆

机器人喷杆应符合下列要求：

- 喷杆设有自动仿形平衡与减振装置；仿形平衡装置响应灵敏，能保证喷杆与地面保持平行；
- 喷杆两端设有避让田间障碍物的装置，末端喷杆在触碰到障碍物时能作出避让动作；喷杆在避让障碍物过程中不损坏，通过障碍物后能自动回复到原始位置；。
- 机器人处于运输状态时，喷杆能可靠摆放或固定在运输位置。

#### 5.3.2.4 药液箱

机器人药液箱应符合下列要求：

- 具有良好的强度和刚度，装满药液后无渗漏和明显变形；
- 固定可靠，道路行驶及作业过程中无松动现象；
- 加液口设置有过滤网，过滤网具有一定的深度，能保证加液畅通，且无药液（水）溢出。药液箱盖应联结牢固、可靠，不会出现意外松动或开启现象；
- 药液箱底部应设置放液阀，在不使用工具的情况下能方便、安全地排放药液。

#### 5.3.2.5 过滤装置

机器人应设有不少于三级的过滤装置，其中最细一级过滤网的孔径不应大于喷孔最小通过尺寸。

#### 5.3.2.6 压力调节装置

机器人应设有压力调节装置，在制造厂技术文件明示的额定工作压力范围内应能平稳地调压。

#### 5.3.2.7 承压零部件

机器人承压管路系统（包括仪表、喷雾控制阀、所有承压软管）的耐压性能应符合 GB 10395.6 的规定。承压软管上应有永久性标志，直接或间接地标明制造厂规定的最高允许工作压力。

#### 5.3.2.8 压力指示计/压力表

机器人应装备符合 GB 10395.6 规定的压力指示计/压力表。

#### 5.3.2.9 液压系统

机器人的液压系统应符合以下要求：

- a) 液压系统工作可靠，无渗漏现象；
- b) 液压系统管路布置整齐有序，避免和发热部件相接触，安装牢固；
- c) 液压系统的其他要求符合 GB/T 3766 的规定。

#### 5.3.2.10 电气系统

机器人的电气系统应符合以下要求：

- a) 电气系统带电元器件的防护装置防护等级不低于 GB/T 4208—2017 规定的 IPX5；
- b) 电气系统线路布置整齐有序，不与发热部件相接触；电气装置及线束完整无损、安装牢固，不因振动而松脱、损坏，不产生短路和断路；
- c) 开关、按钮操作方便，动作可靠，不因振动而自行接通或关闭；
- d) 所有电缆导线均需捆扎成束、布置整齐、固定卡紧；接头牢靠并有绝缘封套；导线穿越孔时，设置过孔保护措施；
- e) 机器人有电磁兼容性要求时，应符合 GB/T 21398 的规定。

### 5.3.2.11 使用说明书

机器人使用说明书应按 GB/T 9480 的规定编制。机器人的使用说明书至少应包括下列内容：

- a) 特点及适用范围；
- b) 安全注意事项和安全标志的说明；
- c) 整机结构示意图和/或零部件图册；
- d) 主要技术参数，如发动机功率、药液箱额定容量、喷雾幅宽、额定喷雾压力等；
- e) 视觉识别系统、精准对靶变量喷雾控制系统、自动驾驶驾驶系统、作业信息储存系统、远程操作系统、故障自动诊断和报警系统等智能化系统的使用方法；
- f) 全部操纵机构的描述和功能，包括所使用标志符号的解释；
- g) 机器人的安装、调整、起动、加水加药、喷雾作业和停机的方法和步骤；
- h) 紧急情况下应采取的措施；
- i) 常见故障排除方法及清洗、维护与保养要求；
- j) 处理农药时，应当遵守农药生产厂所提供的安全说明；
- k) 作业完成后药液箱内剩余药液及清洗药液箱后清洗液体的处理要求；
- l) 禁止使用的特殊工作液；
- m) 制造厂或供应商名称、地址及电话。

## 6 试验方法

### 6.1 试验条件

#### 6.1.1 试验用介质

机器人的性能试验介质为常温下不含固体物质的清水，田间生产试验介质为按农业生产防治要求配置的液体农药或液体肥料。

#### 6.1.2 试验样机

试验用机器人装配完整，并调整至使用说明书规定的状况。试验前，应先测量机器人的轮距、轴距、离地间隙、喷杆长度、喷杆最大和最小离地高度、运输状态外形尺寸等技术参数。

#### 6.1.3 试验用设备与仪器仪表

试验所用的仪器、设备、仪表应进行检定、标定或校正，计量器具应在检定（或标定、校正）有效期内。主要参数最低测定准确度应符合 GB/T 24677.2 的规定。

### 6.2 性能试验

### 6.2.1 起动性能

试验前将机器人在试验环境中放置 1 h 以上。按照使用说明书规定的方法进行起动，检查机器人能否在 30 s 时间内起动成功。

### 6.2.2 运转与密封性能

机器人运转与密封性能试验按 GB/T 24677.2 规定的方法进行。

### 6.2.3 稳定性

处于运输状态的机器人在空载和满载条件下，以纵向和横向的 4 个方向停放在坡度为  $8.5^\circ \pm 0.2^\circ$  的坚硬倾斜面上，检查是否能应保持稳定；检查满载的机器人停放在倾斜面上时是否有液体从加液口溢出。

### 6.2.4 越级控制功能

采用检查法确定机器人是否具有越级控制装置，并操作中观察法其功能否正常实现。

### 6.2.5 视觉识别系统性能

试验应在阔叶类、禾本科或莎草科杂草处于 3 叶期以上进行。试验规程如下：

- 在试验场地划定试验区域，试验区长度不应小于 30 m，试验区宽度为机器人说明书规定的单个视觉识别组件工作幅宽；
- 试验前人工清除试验区域内 3 叶期以下的杂草幼苗，记录计数区域内所有杂草总数 ( $T_n$ )；
- 操作机器人喷杆动作，使喷头距离作物顶端高度为 500 mm（如果机器人使用说明书推荐了作业高度，以推荐值为准），启动视觉识别系统，以使用说明书中规定的作业速度通过试验区域，记录系统正确识别出的杂草数量 ( $T_p$ )；
- 按公式 (1) 计算杂草识别准确率  $\delta$ 。

$$\delta = \frac{T_p}{T_n} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\delta$ ——杂草识别准确率，%；

$T_p$ ——系统正确识别到的杂草数量，株；

$T_n$ ——试验区域内采样的所有杂草总数，株。

试验重复 3 次，取平均值。

### 6.2.6 精准对靶喷雾控制系统性能

试验应在阔叶类、禾本科或莎草科杂草处于 3 叶期以上进行。试验方法如下：

- 在试验场地划定试验区域，试验区长度应不小于 30 m，试验区宽度为机器人说明书规定的单个视觉识别组件工作幅宽，随机选取不少于 30 株杂草作为试验靶标，标记靶标形心位置 L，并在 L 处布置雾滴采集卡，然后在靶标周围布置合适尺寸的透明塑料薄膜（或其他能显示喷雾染色区域的物品）。
- 在喷雾液中加入浓度约 5% 的丽春红或诱惑红等染色剂，并搅拌均匀。
- 操作喷杆动作使喷头距离作物顶端高度为 500 mm（如果机器人使用说明书推荐了作业高度，以推荐值为准），额定喷雾量下启动视觉识别系统、精准对靶喷雾控制系统，以机器人说明书规定的作业速度通过试验区域。

- d) 根据透明塑料薄膜上显示的喷雾染色区域的边界，标记实际喷雾区域中心位置 C，测量其与靶标形心位置 L 的偏移距离（ $d$ ，喷雾区域有多个靶标时测量多个偏移距离），如图 1 所示，按公式（2）计算对靶喷雾位置准确度：

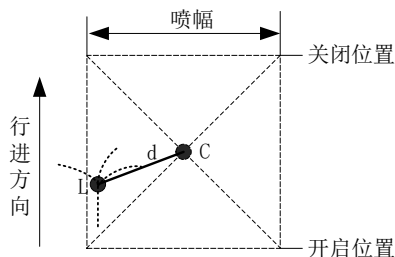


图 1 对靶偏移距离测定示意图

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$D$ ——对靶喷雾位置准确度，单位为厘米（cm）；

$d_i$ ——第  $i$  个喷雾区域中心位置与其靶标形心位置的偏移距离，单位为厘米（cm）；

$N$ ——试验区域内的靶标总数，单位为个；

- e) 收集靶标位置的雾滴采集纸卡并扫描成图片，然后采用 ImageJ for Deposit 等专用软件测定其雾滴覆盖密度，雾滴覆盖密度不小于 30 个/cm<sup>2</sup> 的标记为雾滴有效覆盖靶标，雾滴覆盖密度小于 30 个/cm<sup>2</sup> 的标记为雾滴无效覆盖靶标；

- f) 计数试验区域内靶标总数和雾滴有效覆盖靶标数量，按公式（3）计算靶标雾滴有效覆盖率。

$$\lambda = \frac{N_r}{N_a} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$\lambda$  ——靶标雾滴有效覆盖率；

$N_r$ ——试验区域内雾滴有效覆盖靶标数量，单位为个；

$N_a$ ——试验区域内靶标总数，单位为个。

试验重复 3 次，取平均值。

## 6.2.7 变量喷雾控制系统性能

在测试场地内按如下规定进行试验：

- a) 沿喷杆方向等间隔选取不少于 5 个喷头，按 GB/T 20183.3—2024 中 5.4 规定的方法进行试验，并计算单位面积施药液量的平均值相对于设定值的偏差；
- b) 按公式（4）计算施药液量控制精度：

$$\beta = 1 - |\Delta| \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\beta$ ——施药液量控制精度，%；

$\Delta$ ——单位面积施药液量的平均值相对于设定值的偏差，%。

试验重复 3 次，取平均值。

#### 6.2.8 自动驾驶驾驶系统性能

机器人自动驾驶的行驶路径偏差按 JB/T 9782 规定的方法进行。

#### 6.2.9 作业信息储存系统

采用检查法确定机器人是否具有作业信息储存系统，并操作中观察法其功能否正常实现。

#### 6.2.10 远程操控系统功能

采用检查法确定机器人是否具有远程操控系统，并操作中观察法其功能否正常实现。

#### 6.2.11 故障自动诊断和报警功能

采用操作中观察（模拟故障）法检验机器人是否具有故障自动诊断功能和报警功能。

#### 6.2.12 喷雾性能

机器人在额定工作压力下喷雾时，目测检查雾流是否连续、均匀，雾形是否完整。

机器人关闭精准对靶变量喷雾控制系统进行全喷幅施药时，沿喷杆方向的施药液量分布均匀性变异系数测定按 GB/T 24677.2 规定的方法进行。

#### 6.2.13 喷头防滴性能

喷头防滴性能试验按 GB/T 24677.2 规定的方法进行。

#### 6.2.14 可靠性

机器人可靠性试验按 GB/T 24677.2 的规定执行。

### 6.3 安全及环保要求检验

#### 6.3.1 基本要求

对 5.2.1 规定的基本安全要求项目分别按 GB 10395.1、GB 10395.6、GB/T 23821、GB 10396 和 GB/T 9480 对应规定的方法进行检验；无规定方法的安全要求项目，则采用检查、常规量具测量、操作中观察等方式逐项进行检验。

#### 6.3.2 制动性能

制动（行车、驻车）性能按下列规定进行测定：

- a) 在平坦、干燥、洁净的混凝土或沥青路面进行行车制动性能测试：机器人以空载、最高行驶速度稳定行驶，致动制动装置进行制动，直至机器人完全停止，测量制动装置开始动作到机器人完全停下时通过的距离，即制动距离，按公式（5）计算行车制动平均减速度。试验重复 3 次，取平均值。

$$a = \frac{v^2}{2s} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$a$  ——平均减速度，单位为米每平方秒（ $\text{m/s}^2$ ）；

$v$  ——初速度，单位为米每秒（ $\text{m/s}$ ）；

$s$  ——制动距离，单位为米（ $\text{m}$ ）。

- b) 在  $11.3^{\circ} \pm 0.2^{\circ}$  的干硬坡道上进驻车制动性能试验行。机器人沿上坡和下坡方向停放在坡道上，使用驻车制动装置制动，检查机器人是否能可靠停住。

### 6.3.3 紧急自动停机功能

采用操作中观察法（模拟故障/功能失效）检验机器人是否具有紧急自动停机功能。

### 6.3.4 限速功能

试验在平坦、干燥、洁净的混凝土或沥青路面进行。

机器人在空载状态下，以能达到的最高行驶速度稳定行驶，记录机器人通过确定长度（例如 100 m）路段所需的时间，计算出最高行驶速度，核查该最高行驶速度值是否超过制造厂明示的速度限值。试验重复 3 次，取平均值。

### 6.3.5 自动避障功能

在机器人运行过程中设置制造厂明示的最小尺寸的障碍物，检查当机器人遇到障碍物时，观察机器人能否在制造厂明示的避障距离之外自动停止移动或改变移动方向避开障碍物。

### 6.3.6 限压安全装置

试验前，使压力调节装置处于低压位置。起动机器人，使液泵在额定转速下运转，然后操作压力调节装置使喷雾压力逐渐升高，直至限压安全装置动作/开启，记录限压安全装置动作/开启时的压力值，与制造厂技术文件明示的最高工作压力值进行对比。目测检查安全装置泄出的药液排放情况。

### 6.3.7 反射器/反光贴

目测检查机器人是否安装反射器、粘贴的反光标识是否符合 NY/T 2612 的规定。

### 6.3.8 环保要求

6.3.8.1 机器人污染物排放试验按 HJ 1014—2020 的规定进行；目测检查“机械环保信息标签”和“机械环保代码”的符合性。柴油机排气污染物排放限值按 GB 20891 的规定进行测定，目测检查环保信息标签的符合性。

6.3.8.2 机器人的环境要求按 GB/T 39515.1 和 GB/T 39515.2 的规定进行检验。

### 6.3.9 带驾驶室机器人附加要求

#### 6.3.9.1 照明与信号装置

采用操作中观察法检验机器人是否安装符合要求的前照灯、制动灯、转向信号灯、前后位灯或示廓灯等照明及信号装置。

#### 6.3.9.2 风挡玻璃

目测检查机器人驾驶室玻璃是否具有通过安全认证的标志。

#### 6.3.9.3 警示喇叭和后视镜

采用操作中观察法检验机器人是否安装符合要求的警示喇叭和后视镜。

## 6.4 一般要求检验

#### 6.4.1 整机

对 5.3.1.1~5.3.1.6 的规定,采用检查、审查、操作中观察等方式逐项进行检验。例如:审查产品图样和技术文件的符合性;零部件(包括外购件、外协件)审查有无检测报告或合格证明文件;操作中观察各运动件、操纵件、操纵符号的符合性。

机器人油漆涂层外观和漆膜厚度按JB/T 5673—2015的规定进行检验;漆膜附着力按JB/T 9832.2—1999的规定进行测定。

#### 6.4.2 主要零部件

6.4.2.1 机器人爬坡能力试验参照 T/NJ 1469 的规定进行,但试验坡度为  $16.7^{\circ} \pm 0.3^{\circ}$ 。

6.4.2.2 过滤装置试验:目测检查机器人是否设有不少于三级的过滤装置,使用工具显微镜或其他专用工具测量其中最细一级过滤网的孔径(圆孔过滤网测量其直径,矩形孔过滤网测量其短边长度),检查该过滤网孔径是否大于喷孔最小通过尺寸。

6.4.2.3 压力调节装置试验:起动发动机并调整到额定转速,接合离合器或液压输出装置使液泵转动,调整压力调节装置,观测喷雾压力是否能在制造厂技术文件明示的额定工作压力范围内平稳地调节。

6.4.2.4 承压零部件试验:将承压管路系统连接到耐压试验台上,启动试验台,缓慢升压至 1.5 倍的最高工作压力,保持 1 min,观察各处有无破裂、渗漏等现象。

6.4.2.5 压力指示计/压力表按 GB 10395.6 的相应规定进行检验;液压系统按 GB/T 3766 的规定进行检验;电气系统防护等级按 GB/T 4208—2017 的规定进行检验,电气系统电磁兼容性按 GB/T 21398 的规定进行检测。

6.4.2.6 采用目测检查法、在操作中观察法检验喷杆、药液箱、液压系统、电气系统和使用说明书的符合性。

### 7 检验规则

#### 7.1 出厂检验

7.1.1 每台机器人应经制造厂质量检验部门检查合格,并附有产品质量合格证方准入成品库和出厂。

7.1.2 每台机器人出厂前应进行出厂检验,检验项目见表1,全部检验项目均应合格。如有不合格项目允许修复、调整,并重新提交复检,复检仍不合格则判定该产品不合格。

#### 7.2 型式检验

7.2.1 有下列情况之一时,需要进行型式检验:

- 新产品定型鉴定和老产品转厂生产;
- 正式生产后,结构、材料、工艺有较大改变,可能影响产品性能;
- 工装、模具的磨损可能影响产品性能;
- 长期停产后,恢复生产;
- 批量生产,周期性检验(一般每 3 年进行 1 次);
- 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异。

7.2.2 采取随机抽样,在工厂抽样时,应在制造厂近 6 个月内生产的合格产品中随机抽取,检查批量不应少于 6 台,在用户和经销部门抽样不受此限,抽取样本为 2 台。样机抽取封存后至检验工作结束期间,除按使用说明书规定进行保养和调整外,不应再进行其他调整、修理和更换。

7.2.3 型式检验项目按其对产品的影响程度,分为 A、B、C 3 类。A 类为对产品质量有重大影响的项目,B 类为对产品质量有较大影响的项目,C 类为对产品质量影响一般的项目,见表 1。

表 1 检验项目分类

项目分类		检验项目	对应条款	出厂检验	型式检验
类	项				
A	1	安全及环保要求	5.2	✓	✓
	2	越级控制功能	5.1.4	✓	✓
	3	视觉识别系统性能	5.1.5	—	✓
	4	精准对靶喷雾控制系统性能	5.1.6	—	✓
	5	自动导航驾驶系统性能	5.1.8	—	✓
	6	平均故障间隔时间	5.1.14	—	✓
B	1	起动性能	5.1.1	✓	✓
	2	运转与密封性能	5.1.2	—	✓
	3	稳定性	5.1.3	—	✓
	4	变量喷雾控制系统性能	5.1.7	—	✓
	5	作业信息储存系统功能	5.1.9	✓	✓
	6	远程操控系统功能	5.1.10	✓	✓
	7	故障自动诊断和报警功能	5.1.11	—	✓
	8	喷雾性能	5.1.12	—	✓
	9	喷头防滴性能	5.1.13	—	✓
	10	使用有效度	5.1.14	—	✓
	11	电磁兼容性	5.3.2.10	—	✓
	12	使用说明书	5.3.2.11	✓	✓
C	1	产品图样和技术文件	5.3.1.1	✓	✓
	2	零部件检验/合格证明文件	5.3.1.2	✓	✓
	3	零部件完整与连接可靠性	5.3.1.3	✓	✓
	4	连接密封性	5.3.1.4	✓	✓
	5	运动件、操纵件、操纵符号	5.3.1.5	✓	✓
	6	压软管、喷雾胶管	5.3.1.6	✓	✓
	7	外观与油漆涂层	5.3.1.7	✓	✓
	8	自走式底盘	5.3.2.1	✓	✓
	9	喷雾液泵	5.3.2.2	✓	✓
	10	喷杆	5.3.2.3	✓	✓
	11	药液箱	5.3.2.4	✓	✓
	12	过滤装置	5.3.2.5	✓	✓
	13	压力调节装置	5.3.2.6	✓	✓
	14	承压零部件	5.3.2.7	✓	✓
	15	压力指示计/压力表	5.3.2.8	✓	✓
	16	液压系统	5.3.2.9	✓	✓
	17	电气系统	5.3.2.10	✓	✓
	18	标牌、标志	8.1、8.2	✓	✓
注 1：出厂检验时，仅对检验项目中可采用目测检查法、操作中观察法和常规量具检验的内容进行检验。					
注 2：“✓”表示应检验项目，“—”表示不检验项目。					

7.2.4 抽样判定方案按表 2 的规定。表中接收质量限（AQL）、接收数（Ac）、拒收数（Re）均按计点法（即不合格项次数）计算。采用逐项考核，按类别判定的原则，若各类不合格项次小于或等于 Ac 时，判定该（批）产品合格；若不合格项次大于或等于 Re 时，判定该（批）产品不合格。

表 2 抽样判定方案

检验项目类别	A	B	C
检验项目数	6	12	18
样本量 $n$	2		
AQL	6.5	40	65
Ac      Re	0      1	2      3	3      4

7.2.5 订货单位抽检产品质量时，按合同进行。接收质量限和检验批量，由供货方和订货方确定。

8 标志、包装、运输与贮存

8.1 每台机器人上应安装牢固的产品标牌。标牌应符合 GB/T 13306 的规定，内容至少应包括：

- a) 制造商名称及地址；
- b) 产品型号与名称；
- c) 产品主要技术参数，包括发动机功率、药液箱额定容量、喷雾幅宽、额定喷雾压力等；
- d) 产品出厂编号；
- e) 产品制造日期；
- f) 产品执行标准编号。

8.2 每台机器人上的明显位置应标注制造厂商标或标志；在机器人机身外表面的易见部位应装置能识别机型的标志。

8.3 机器人出厂装运时，对附件、备件、工具及运输中必须拆下的零部件，应进行分类包装、标识，应保证机器人（包括备件、附件和随机工具）在正常运输中不致发生损坏和丢失。

8.4 出厂的机器人应按照产品技术文件的规定配齐全套备件、附件和随机工具，并随同出厂的每台机器人至少应提供下列文件：

- a) 使用说明书；
- b) 零件目录（零件图册）；
- c) 合格证和保修单；
- d) 备件、附件和随机工具清单；
- e) 三包文件；
- f) 装箱单。

8.5 产品的运输应符合公路、铁路、水路运输的规定。在运输、装卸过程中应注意放置方向，不应翻倒侧置，应可靠固定，防止碰撞、重压，并采取防雨、防潮措施。

8.6 机器人应贮存在干燥、通风和无腐蚀物质的场所。在干燥、通风的贮存条件下，机器人及其备件、附件和随机工具的防锈有效期为自出厂之日起 12 个月。机器人需露天存放时，应采取防风、防晒、防雨雪和防碰撞等措施，并避免有害物质的侵蚀。