



中华人民共和国国家标准

GB/T 37164—2018

自走式农业机械导航系统作业性能要求 及评价方法

Work performance requirements and evaluation method of auto-guidance
systems for self-propelled agricultural machinery

2018-12-28 发布

2019-07-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
自走式农业机械导航系统作业性能要求
及评价方法

GB/T 37164—2018

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2018年12月第一版

*

书号: 155066 · 1-61713

版权专有 侵权必究

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国农业机械标准化技术委员会(SAC/TC 201)归口。

本标准起草单位:北京合众思壮科技股份有限公司、雷沃重工股份有限公司、上海华测导航技术股份有限公司、河南科技大学、中国农业机械化科学研究院、北京农业智能装备技术研究中心、黑龙江惠达科技发展有限公司。

本标准主要起草人:张小超、唐李征、贾全、孟惠艳、孙飞、金鑫、张俊宁、孟志军、朱建勋、吕程序、王丽丽、伟利国、付拓、赵博、毛文华、陈云、王进、吴琼、杜新武、付卫强。

自走式农业机械导航系统作业性能要求 及评价方法

1 范围

本标准规定了自走式农业机械自动导航系统(以下简称“农机导航系统”)的术语和定义、作业性能要求、检测条件、检测流程、测试报告及性能评级。

本标准适用于与自走式农业机械配套使用的农机导航系统(基于全球导航卫星定位技术)。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 9390—2017 导航术语

ISO 12188-2:2012 农林业机械与拖拉机 农业定位与导航系统的试验规程 第2部分:基于卫星自动导航系统的水平直线行走测试(Tractors and machinery for agriculture and forestry—Test procedures for positioning and guidance systems in agriculture—Part 2: Testing of satellite-based auto-guidance systems during straight and level travel)

3 术语和定义

GB/T 9390—2017 和 ISO 12188-2:2012 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 ISO 12188-2:2012 中的某些术语和定义。

3.1 通用术语

3.1.1

自走式农业机械 self-propelled agricultural machinery

配有动力、由驾驶员操纵行驶的农业机械,如拖拉机、联合收割机和喷雾机等。

3.1.2

农机导航系统 auto-guidance systems of agricultural machinery

使自走式农业机械按照预设轨迹自动行驶的控制系統。

3.1.3

操作人员 operator

操作或监控农机导航系统的工作人员。

[ISO 12188-2:2012,定义 2.1.11]

3.1.4

定位装置 positioning device

利用卫星无线电导航信号实时确定和输出天线中心点在地理坐标系中位置的装置。

[ISO 12188-2:2012,定义 2.1.1]

3.1.5

差分改正 differential correction

实时预测改正定位误差的方法。

3.1.6

RTK 基准站 RTK base station

以设地面固定点的方式来更准确对卫星信号进行差分改正,以提高农机作业路线的精准度和重复性的设备。

3.1.7

参考点 representative point

自走式农业机械或配套农机具上的一个固定点,用于代表自走式农业机械的地理位置。

[ISO 12188-2:2012,定义 2.1.4]

3.1.8

跟踪传感器 tracking sensor

用于测量自走式农业机械参考点偏航距离,且测量精度达到被测对象传感器检测水平的 10 倍精度的测试传感器。

[ISO 12188-2:2012,定义 2.1.7]

3.1.9

测试路段 test course segment

用于估计农机导航系统导航误差的连续路径。

[ISO 12188-2:2012,定义 2.1.6]

3.1.10

测试航线 test course

由若干能够代表农田作业条件的、可重复的测试路段组成的试验路径。

[ISO 12188-2:2012,定义 2.1.5]

3.1.11

A-B 线 A-B line

一条通过两个任意位置点(A 点和 B 点)的虚拟直线,大多数自动导航系统采用该直线建立导航基准线。

[ISO 12188-2:2012,定义 2.1.10]

3.1.12

测试运行 test run

沿测试航线的一个方向行驶的一个完整的测试过程。

[ISO 12188-2:2012,定义 2.1.8]

3.1.13

完整测试 complete test

在不同时间段进行相同的测试运行的组合。

[ISO 12188-2:2012,定义 2.1.9]

3.1.14

地面平整度 pavement evenness

反映测试地面起伏变化程度的参数,计算方法见式(1)。

$$P = 2 \times \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (r_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i)^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

P ——地面平整度,单位为度($^{\circ}$);

r_i ——第 i 个采样点的横滚角度,单位为度($^{\circ}$);

N ——采样总数。

3.1.15

坡地 **slope land**

地面满足某一平整度要求且各点处横滚角值为某一规定值的倾斜面。

3.2 误差术语

3.2.1

偏航距离误差 **cross-track error**

自走式农业机械参考点的当前位置至期望航线的垂直距离。

[ISO 12188-2:2012,定义 2.2.1]

3.2.2

导航误差 **navigation error**

偏航距离误差的平均值(取正值)与标准差之和,计算方法见式(2)。

$$E = \left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \right| + \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(d_i - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \right)^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

E ——导航误差,单位为厘米(cm);

d_i ——第 i 个采样点的偏航距离,单位为厘米(cm);

N ——采样总数。

3.2.3

重访时间 **revisit time**

两次不同导航测试过程,路径跟踪点经过同一位置所需要的时间间隔。

[ISO 12188-2:2012,定义 2.2.2]

3.2.4

稳定工作状态 **stable working condition**

农机导航系统沿行驶方向持续行走 5 m 距离,控制偏航距离误差的绝对值小于 2.5 cm 的状态。

3.2.5

上线过程 **approaching process**

测试用自走式农业机械在规定的预设导航线上处于稳定工作状态时,人工干预停车(农机导航系统不断电)并将农机导航系统设置为手动模式,等待 5 min 后,操作人员将导航基准线微调 30 cm(相同方向,向左右微调按测试顺序确定),再次启动自动导航直至行驶至稳定工作状态为止的过程。

3.2.6

上线距离 **distance of approaching process**

在农机导航系统上线过程中,从启动自动控制模式的起始位置到进入稳定工作状态点的直线距离。

3.2.7

重复性误差 **repeatability error**

按重访时间大于 1 h 进行多次测量得到的导航误差。

3.2.8

抗扰续航时间 **anti-interference duration**

卫星定位装置受到干扰后(卫星数量不足或者无法接收到差分信号),农机导航系统可以保持稳定

工作状态的持续时间。

3.2.9

停机起步误差 pause-start error

测试用自走式农业机械在稳定工作状态中人工干预停车(农机导航系统不断电)并将农机导航系统设置为手动模式,再次启动农机导航系统控制达到指定测试速度和指定测试距离时整个过程产生的导航误差。

3.2.10

行距误差 pass-to-pass error

两次测试运行沿两条平行的、方向相反且具有一定间距的两条航线进行,计算两次测试的导航误差的较大者。

4 作业性能要求

农机导航系统作业性能指标应符合表 1 的要求。

表 1 性能指标要求

序号	项目	性能指标要求	
1	导航误差	$\leq 2.5 \text{ cm}$	
2	行距误差	$\leq 2.5 \text{ cm}$	
3	重复性误差	$\leq 2.5 \text{ cm}$	
4	停机起步误差	$\leq 5.0 \text{ cm}$	
5	抗扰续航时间	无卫星信号	$\geq 5 \text{ s}$
		无差分信号	$\geq 10 \text{ s}$
6	上线距离	$\leq 5 \text{ m}$	

5 检测条件

5.1 测试地面条件

自动驾驶系统应在三类不同地面平整度的路面上进行测试,地面平整度采用标定过的动态精度优于 0.1° 的倾角传感器进行测量,传感器安装于测试用自走式农业机械上,按照 5 km/h 速度沿测试路段直线行走对横滚角度进行采样,采样频率不低于 10 Hz 。地面平整度分类如表 2 所示。

表 2 地面平整度分类

单位为度

测试地面条件	平整度
一类	$0 \leq P \leq 3$
二类	$3 < P \leq 6$
三类	$P > 6$

5.2 测试速度

对于轮式拖拉机,应按照低速($1.0 \text{ m/s} \pm 0.2 \text{ m/s}$)、中速($2.5 \text{ m/s} \pm 0.3 \text{ m/s}$)和高速($5.0 \text{ m/s} \pm$

0.5 m/s)分别进行速度测试,对于其他类型自走式农业机械可以依据其实际作业速度等比例设定低速、中速和高速,并在测试报告中明确记录说明。

5.3 测试航线

测试航线应包含一个或多个测试路段,测试航线在设计时应保证测试用自走式农业机械能够以期望测试速度和航向进入测试路段,测试航线的末端应保证自走式农业机械可以快速转向。

测试航线的位置和形状应作详细记录,测试航线在海拔高度上的变化不应超过 1 m。测试航线长度应不小于 200 m,两端的稳定区长度应不小于 30 m,宽度应不小于 8 m。此外,用于进行平整度适应性评价的测试航线应包含三类代表不同平整度要求的测试路段,不平整测试路段长度应不小于 100 m。

测试路段应当选择在开阔的场地,从安装于自走式农业机械上的定位装置任何一点看四周地平线 10°以上都不应有可见的障碍物干扰或阻碍卫星信号。测试场周围 50 m 内不应有金属和其他反射表面,以免产生多路径干扰。

5.4 参考点相对位置确定

自走式农业机械上选定的参考点应能正确反映实际作业过程产生的误差。例如,除非特别说明,拖拉机的参考点一般选择后轴中心用于牵引农机具的三点悬挂位置正下方的点,自走式喷雾机的参考点一般选择喷杆中央位置正下方的点,联合收割机的参考点一般选择驾驶室正前方中心下方的点。

5.5 跟踪传感器

跟踪传感器采样频率应不低于 10 Hz,其相关参数应包含在测试报告中,参见附录 A 中表 A.1。

5.6 RTK 基准站

测试前,RTK 基准站应放置于某固定位置,从基准站天线任何一点看四周地平线 10°以上都不应有可见的障碍物干扰或阻碍卫星信号。

5.7 操作人员

操作人员应能够熟练驾驶测试用农业机械并操作农机导航系统,试验过程中无特殊情况不允许更换操作人员。

5.8 A-B 线

利用 RTK 差分定位装置测量测试路段起点位置 30 min 以上,取最终收敛位置作为 A 点;同理测量测试路段终点位置作为 B 点。A-B 线记录格式可参照农机导航系统出厂标准或参考如下格式: \$ ZX,latA,lngA,latB,lngB,* , Check,语句末尾以回车结束,具体格式参考规范如表 3 所示。

表 3 导入 A-B 线格式参考规范

\$ ZX	指令起始符号
latA	A 点纬度
lngA	A 点经度
latB	B 点纬度
lngB	B 点经度

表 3 (续)

*	校验和间隔符号
Check	校验和, \$ 与 * 之间的每一位与后面一位相异或
CR	终止符(回车)

6 检测流程

6.1 导入 A-B 线

操作人员导入测试条件中确定的 A-B 线。

6.2 导航误差测试

6.2.1 速度性能测试

速度性能测试在一类平整度地面条件下进行,共包括三组导航测试运行流程。三组测试按照低速、中速和高速分别执行如下流程:首先完成上线过程,再按规定速度继续沿 A-B 线一个方向自动驾驶在测试段至少 100 m,然后掉头,重新上线,并沿着同一 A-B 线的相反方向自动驾驶在测试段至少 100 m 回到开始位置,最后依据跟踪传感器提供的记录数据计算相关参数,参见表 A.2。

6.2.2 平整度性能测试

在二类和三类平整度地面条件下分别执行如下流程:首先完成上线过程,再继续以低速度沿 A-B 线一个方向自动驾驶在测试段至少 100 m,然后掉头,重新上线,沿着同一 A-B 线的相反方向自动驾驶在测试段至少 100 m 回到开始位置,最后依据跟踪传感器提供的记录数据计算相关参数,参见表 A.3。

6.2.3 坡地适应性测试

测试路段分布见图 1 所示,其中 a 段测试路段长度应不小于 15 m,倾斜面上各点处的横滚角应不小于 6°;b 段测试路段长度应不小于 10 m,各点处的横滚角绝对值应不大于 3°;c 段测试路段长度应不小于 15 m,倾斜面上各点处的横滚角应不大于 -6°;整体测试路段长度应不小于 50 m,各处地面条件均应符合一类平整度。

按照中速沿 A-B 线自动驾驶,三组自动导航测试运行流程组成完整测试,最后依据跟踪传感器提供的记录数据计算相关参数,参见表 A.4。

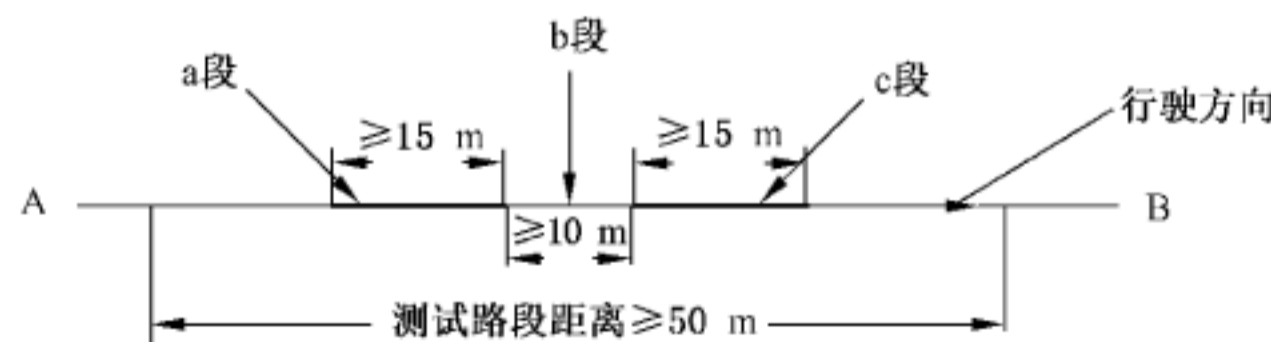


图 1 坡地适应性测试路段设置示意图

6.3 行距误差测试

在一类平整度地面条件下,按照 15 min 重访时间,按图 2 所示 A-B 线分布和行驶方向,以中速执行如下测试流程:首先完成上线过程,再按规定速度继续沿图 2 所示各导航基准线方向自动驾驶在测试

段至少 100 m, 然后按照图示掉头, 重新上线至下一条导航基准线沿图示方向进行测试运行, 直至完成四条测试轨迹的测试运行, 最后依据跟踪传感器提供的记录数据计算相关参数, 参见表 A.5。

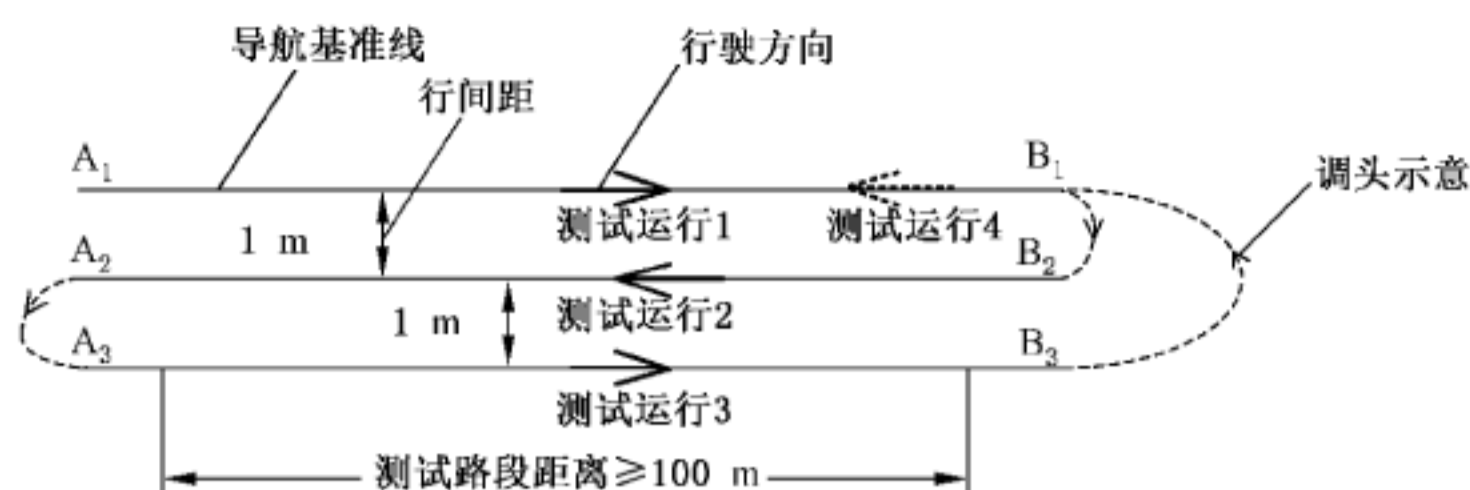


图 2 行距误差测试行驶方式示意图

6.4 重复性误差测试

在一类平整度地面条件下, 以中速行驶, 沿同一 A-B 线相同方向自动驾驶在测试段至少 100 m, 按照 1 h 重访时间, 重复三次该测试运行作为完整测试, 最后依据跟踪传感器提供的记录数据计算相关参数, 参见表 A.6。

6.5 停机起步误差测试

按照低速沿 A-B 线自动驾驶, 待农机导航系统进入稳定工作状态后, 将车速降为零, 把农机导航系统设置为手动模式。等待 5 min 后将农机导航系统设置为自动驾驶模式, 并将速度提升至低速条件, 且测试过程距离为 5 m。重复三次该测试运行作为完整测试, 依据跟踪传感器提供的记录数据计算相关参数, 参见表 A.7。

6.6 抗扰续航时间测试

按照低速沿 A-B 线自动驾驶, 待农机导航系统进入稳定工作状态后, 分别停止卫星 RTK 差分服务与 GNSS 接收信号, 记录数据计算导航系统可以保持合格导航误差的时间。重复三次该测试运行作为完整测试, 依据跟踪传感器提供的记录数据计算相关参数, 参见表 A.8。

6.7 上线距离测试

在一类平整度地面条件下, 以低速启动农机导航系统, 直至农机导航系统进入稳定工作状态, 人工干预停车并将农机导航系统设置为手动模式。等待 5 min 后, 操作人员将导航基准线微调 30 cm, 再次启动自动驾驶系统直至行驶至稳定工作状态为止, 依据路径跟踪传感器记录上线距离, 重复三次该测试运行作为完整测试, 依据跟踪传感器提供的记录数据计算相关参数, 参见表 A.9。

7 测试报告

7.1 生成测试报告

测试过程中应保存电子版实测数据, 测试完成后, 应生成测试报告。影响导航系统性能的各种条件应在测试报告中分项说明, 例如测试用自走式农业机械、定位装置、差分服务、车速以及地面条件等。

测试报告应至少包括以下信息:

- 测试条件, 包括: 测试人员姓名、测试时间、测试路线描述(平整度、坡度、位置等)、可视卫星数量及使用卫星数量、天气条件(温度、湿度等), 自走式农业机械速度以及测试设备等。
- 被测农机导航系统的基本信息, 包括: 制造商和型号、组成导航系统的关键部件(拍照留存)、固

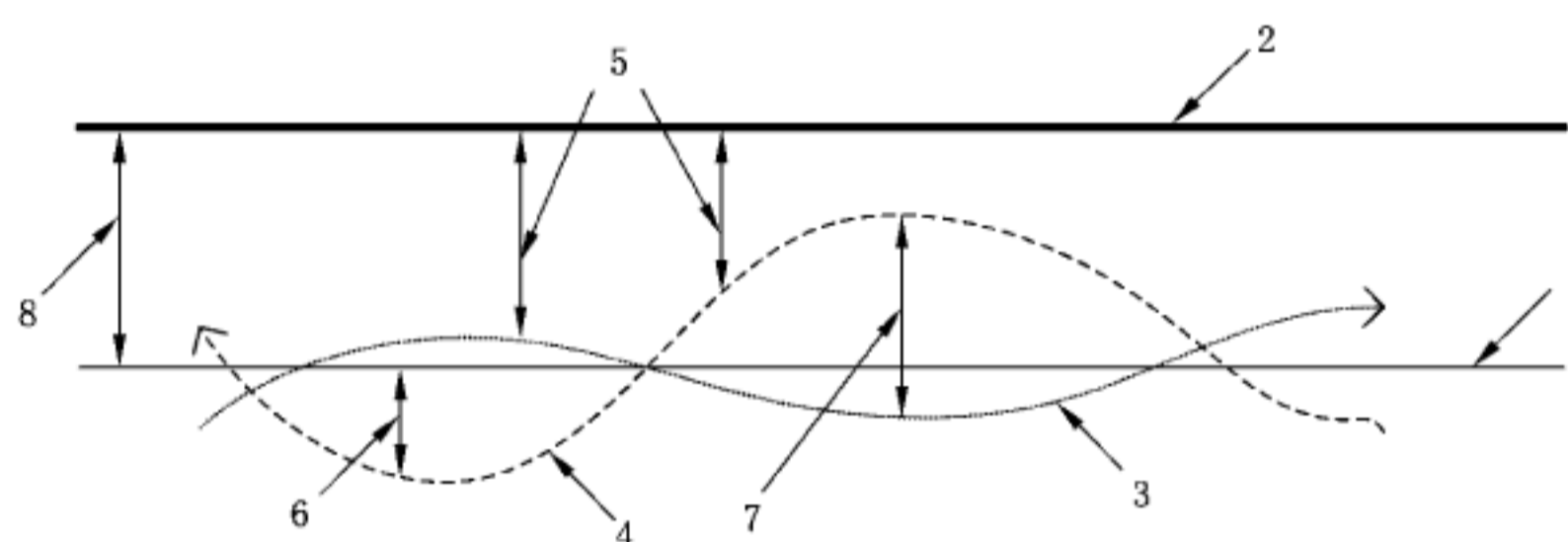
件版本号和发布日期、定位设备型号、对差分校正服务的描述等。包括控制系统 CPU 的型号和主频,罗盘和姿态传感器型号,GNSS 接收机型号和的天线数量,基站接收机型号和电台的型号,角度传感器信号以及液压阀型号等,参见表 A.10。

- 用于测试的控制对象——自走式农业机械信息,包括:制造商及农机产品型号、动力以及其他可能影响自动导航性能的参数(例如,自走式农业机械尺寸、选择的参考点及发动机转速等),自走式农业机械整机、铭牌、参考点位置需要拍照留存。
- 在测试期间发生的任何故障、异常工作情况都需要在测试报告中记录。

7.2 农机导航系统作业性能和误差报告

导航系统的作业性能可以利用参考点轨迹跟踪传感器测量得到的偏航距离来进行量化,偏航距离测量示意如图 3 所示。偏航距离为有符号数,正值表示导航轨迹上的参考点在 A-B 线的右侧,负值相反。

误差报告应包含导航误差、行距误差、重复性误差、停机起步误差、上线距离和抗扰续航时间。用于计算行距误差和重复性误差的重访时间也应在报告中记录。



说明:

- 1——A-B 线;
- 2——固定辅助测试参考面;
- 3——上一次参考点导航路径;
- 4——最近的参考点导航路径;
- 5——利用参考点轨迹跟踪传感器测量得到的相对距离;
- 6——偏航距离误差;
- 7——相对偏航距离误差;
- 8——A-B 线与固定参考面距离。

图 3 测试过程 A-B 线和偏航误差测量示意图

8 性能评级

农机导航系统作业性能评级应按照附录 B 给出的方法进行。

附录 A

(资料性附录)

自走式农业机械导航系统试验结果记录表

自走式农业机械导航系统试验结果记录表如表 A.1~表 A.10 所示。

表 A.1 试验机构和试验条件

1	检测机构			
2	测试时间			
3	测试地点			
4	测试人员			
5	测试设备	被测参数	设备型号	精度
		时间		
		长度		
		横滚角		
		航向距离误差		
6	一类平整度参数			
7	二类平整度参数			
8	三类平整度参数			
9	配套自走式农业机械			
10	其他需说明情况			

表 A.2 速度性能测试结果

测试条件	低速	中速	高速
样本均值			
样本方差			
导航误差			
评分			

评分方法见表 B.1。

表 A.3 平整度性能测试结果

测试条件	二类平整度	三类平整度
样本均值		
样本方差		
导航误差		
评分		

评分方法见表 B.1。

表 A.4 坡地适应性导航误差测试结果

样本均值	
样本方差	
导航误差	
评分	
评分方法见表 B.1。	

表 A.5 行距误差

测试序号	1		2		3	
行驶方向	A1→B1	B2→A2	B2→A2	A3→B3	A3→B3	B1→A1
样本均值						
样本方差						
行距误差						
误差均值						
评分						
评分按照误差均值计算,计算方法见表 B.1。						

表 A.6 重复性误差

样本均值	
样本方差	
重复性误差	
评分	
评分方法见表 B.1。	

表 A.7 停机起步误差

样本均值	
样本方差	
停机起步误差	
评分	
评分方法见表 B.1。	

表 A.8 抗扰续航时间

测试序号	1	2	3	均值	评分
无 GNSS					
无差分					
评分按照抗扰续航时间均值计算,计算方法见表 B.1。					

表 A.9 上线距离

测试序号	1		2		3	
行驶方向	A→B	B→A	A→B	B→A	A→B	B→A
上线距离						
均值						
评分						
评分按照上线距离均值计算,计算方法见表 B.1。						

表 A.10 农机导航系统基本信息表

序号	项 目	型号或规格
1	导航系统制造商及品牌	
2	车载计算机	CPU
		内存
		操作系统
		主频
		导航软件版本号
3	卫星定位系统	接收机
		接收天线数量
		差分格式
		数据更新率
		电台(频率、功率)
4	传感器及其他组件	角度传感器
		液压阀或方向盘控制电机
		导航控制器
		姿态传感器
5	卫星定位系统基准站	差分格式
		电台(频率、功率)
		接收机

附录 B
(规范性附录)

自走式农业机械导航系统作业性能等级评定

自走式农业机械导航系统作业性能等级评定如表 B.1 所示。

表 B.1 自走式农业机械导航系统作业性能等级评定

分类	序号	项目	性能要求	实测数据	单项评价		总评	产品性能等级	
					指标分数	实得分数			
A类	1	低速性能导航误差	≤2.5 cm		10			<input type="checkbox"/> 一级品 <input type="checkbox"/> 二级品 <input type="checkbox"/> 三级品 <input type="checkbox"/> 四级品 <input type="checkbox"/> 五级品 <input type="checkbox"/> 六级品 <input type="checkbox"/> 等外品	
	2	中速性能导航误差			20				
	3	高速性能导航误差			30				
	4	二类平整度性能导航误差			20				
	5	三类平整度性能导航误差			30				
	6	坡地适应性导航误差			30				
B类	7	行距误差	≤2.5 cm		10				
	8	重复性误差	≤2.5 cm		10				
	9	停机起步误差	≤5.0 cm		10				
	10	抗扰续航时间	无卫星信号	≥5 s		10			
			无差分信号	≥10 s					
11	上线距离	≤5 m		10					

注：实得分数计算方法：满足该项性能指标要求为满分，不合格为 0 分；
 满分为 190 分；
 基础分 A 类得分由 1、2、3、4、5、6 项组成(总分 140 分)；附加分 B 类得分由 7、8、9、10、11 组成(总分 50 分)；
 一级品：基础分 ≥120，附加分 ≥50 分，总分 ≥170 分；
 二级品：基础分 ≥110，附加分 ≥50 分，总分 ≥160 分；
 三级品：基础分 ≥100，附加分 ≥50 分，总分 ≥150 分；
 四级品：基础分 ≥90，附加分 ≥40 分，总分 ≥130 分；
 五级品：基础分 ≥80，附加分 ≥30 分，总分 ≥110 分；
 六级品：基础分 ≥70，附加分 ≥20 分，总分 ≥90 分；
 等外品：其他分数情况。



GB/T 37164-2018

版权专有 侵权必究

*

书号：155066 · 1-61713