

ICS 01.100.30
CCS A75/79

团体标准

T/CAAMM 306—2023/T/NJ XXXX—2023

农业机械自主作业数字地图构建 技术规范

Technical specifications for the construction of digital maps for autonomous
operation of agricultural machinery

(公示稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国农业机械工业协会
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》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的提出和发布单位不承担识别专利的责任。

本文件由中国农业机械工业协会和中国农业机械学会联合提出。

本文件由中国农业机械工业协会归口。

本文件起草单位：河南科技大学、龙门实验室、第一拖拉机股份有限公司、中国农业机械化科学研究院集团有限公司、河南农业大学、河南省农业科学院农业经济与信息研究中心、洛阳智能农业装备研究院有限公司、重庆文理学院。

本文件主要起草人：崔宏伟、马淏、王琳、赵博、李连豪、李倩文、姬江涛、赵凯旋、金鑫、马喜强、李保忠、陈永、王海渊、李国强、赵立军、周利明、赵越云、张开、王小飞、费东阳。

本文件为首次发布。

农业机械自主作业数字地图构建 技术规范

1 范围

本文件规定了农业机械自主作业数字地图构建的术语和定义、技术要求、构建方法、性能要求、测定方法和评价方法等内容。

本文件适用于无人农场 智能农机自主作业数字地图的构建和评价。

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，仅该日期的对应版本适用于本文件；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 7931 1:500 1:1 000 1:2 000 地形图航空摄影测量外业规范

GB/T 15661 1:5 000 1:10 000 1:25 000 1:50 000 1:100 000 地形图航空摄影规范

GB/T 17160 1:500 1:1 000 1:2 000 地形图数字化规范

GB/T 27920.1 数字航空摄影规范 第1部分：框幅式数字航空摄影

GB/T 33178 国家基本比例尺地图 1:250 000 1:500 000 1:1000 000 正射影像地图

GB/T 36100 机载激光雷达点云数据质量评价指标及计算方法

GB/T 41447 城市地下空间三维建模技术规范

CH/T 3023 机载激光雷达数据获取成果质量检验技术规程

CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范

CH/T 9008.2 基础地理信息数字成果 1:500 1:1000 1:2000 数字高程模型

CH/T 2014 大地测量控制点坐标转换技术规范

NY/T 3892 农机作业远程监测管理平台数据交换技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人农场 unmanned farm

在农业生产过程中，采用物联网、大数据、人工智能、机器人等新一代信息技术，通过对农场设施与装备等远程控制或机器人的自主决策、自主作业，实现耕种管收全过程无人化操作的农场。

3.2

农场数字地图 farm digital map

将农田、农作物、农业机械、气象站等无人农场相关信息通过三维数字建模等技术进行数字化呈现的地图。

3.3

农场远程监控 farm remote monitoring

通过网络连接和传感器等技术，实时监测农场的作物生长、天气等情况以及农机位置和农机作业进度等信息，以便远程控制和管理。

3.4

农田感知传感器 farm sensor

用于检测和感知农田环境中某种物理量或现象的传感装置。

3.5

农田场景 farm scene

指农场中涵盖农田、农田设施、农业机械、农作物等多种信息的一种情境。

3.6

农机自主作业 agricultural machinery operates autonomously

农业生产中，利用先进的自动化、传感器、导航和控制技术，使农机能够在没有人工操控的情况下，完成各种作业任务。

3.7

作物分布图层 crop distribution layer

在数字地图上显示不同作物种植区域的图层，用不同颜色或标记标识各种作物的分布情况。

4 技术要求

4.1 一般要求

4.1.1 坐标系统

(1) 农场坐标系统可以选择WGS 84、UTM或国家标准坐标系统，地理数据建议通过北斗卫星导航系统采集。在具体应用中，根据地理区域和要求需要使用不同的坐标系统，坐标转换方法应符合CH/T 2014的规定。

(2) 农场平面坐标系统可参考周围城市高精度三维框架网和基本网，并与国家统一坐标系、无人机和自动驾驶的农机平面坐标系建立联系。

(3) 农场的数字地图建议采用通用的三维模型文件格式，如 OBJ 或 3D Tiles。

4.1.2 传感器的选择与搭载

(1) 本文件中涉及的农田感知传感器可采用相机和激光雷达等，它们应具备高精度、高分辨率的特性，其中激光雷达可用于检测到地面高度、地形变化以及障碍物，当检测距离为 100m 时，测距精度建议不低于 5 mm，相机可用于识别作物类型、生长状态以及病虫害等信息，相机成像探测器的分辨率建议不低于 2000 万像素。

(2) 本文件传感器建议搭载在无人机上，相机应安装在飞行器的机身底部或侧部，需要配备稳定的

平台以确保图像的稳定；激光雷达应安装在飞行器底部，通过向地面发射激光脉冲并测量返回的时间来获取高度数据，农田感知传感器的搭载位置应考虑飞行器的平衡和稳定性，以确保农田信息的全面获取。

4.1.3 相机数据获取要求

a) 任务准备。载具应具备精确定位自身的位置和姿态的能力，具有足够的运行时间和续航能力，能够支持完成数据采集任务，本文件建议载具采用低空无人机。低空影像数据采集的技术要求应符合 GB/T 7931-2008 和 GB/T 27920.1 的规定。

b) 地面控制点标定。在采集区域内，一般选择农场的中心点或易于长期保存的、稳定可靠的基准点作为控制点。这些点应该广泛分布于整个区域，以确保影像校正的准确性。利用 GPS 或 GNSS 设备在选定的控制点上进行实地测量，获取其准确的地理坐标。这些地理坐标应该是绝对准确的参考值。

c) 执行航线任务。根据飞行高度和影像分辨率，规划航线的布局，航线规划应符合 GB/T 15661 的摄影质量要求规定。确保飞行器的各项设备，包括飞行控制系统、GNSS 接收器、IMU、遥控器，和相机工作正常后，按照飞行条件设定起飞进行影像数据的采集，持续关注飞行情况，监测设备的工作状态，及时发现并报警故障情况，以便采取应对措施。

4.1.4 激光雷达数据获取要求

a) 控制点测量。控制点的地理坐标应在与激光雷达数据采集同一时间内或尽可能接近采集时间测量。控制点的地理坐标应与激光雷达数据进行配准和校正，需要进行地理定位和三维坐标转换。

b) 基站架设。在 1:500 地形图中，要求至少 10km 半径一个基站，可架设多基站。基站架设建议选择在地、农业设施附近或者设施上，架设于已知控制点后进行严格的对中和整平。

c) 执行航线任务。根据精度和现场测区情况，确定安全作业飞行高度、航高及带宽。航线需遵循由远到近，由高到低，由繁到简的原则，确保飞行器充分覆盖所需的区域，避免遗漏或重复采集数据。确保飞行器和激光雷达设备都处于良好工作状态后，按照飞行参数设定起飞进行激光雷达数据采集，重点监测 GNSS 定位精度和稳定性，确保飞行器的位置和姿态信息准确。机载激光雷达航空数据采集的技术要求应符合 CH/T 8024 的规定。

4.2 数据内容要求

4.2.1 数据获取成果要求

(1) 影像数据要求

a) 低空摄影获取的影像质量应符合 GB/T 33178 的规定。

b) 影像应能够清晰地显示地面上的细小地物，能够提供足够的视觉信息，以支持建立清晰的立体模型；影像的具体要求包括颜色均匀、对比度适中、没有明显的图像畸变，呈自然色彩，具有明确的图像层次，没有明显的污点或噪声，图像纹理清晰，没有地物形状的扭曲或变形。影像质量在整个区域内应保持一致，应避免影像拼接和处理时的不连续性。

c) 低空影像航线文件记录了航线路径、GPS 坐标、飞行高度、拍摄间隔、航线方向、GNSS 校准信息以及 IMU 参数。数据应以标准的影像格式（如 JPEG、TIFF、PNG 等）进行存储，以便在不同的软件工具中进行处理和分析。

(2) 激光雷达数据要求

a) 机载激光雷达航迹文件包括：机载激光雷达原始数据、飞行航线和姿态信息、地面基站控制点坐标和基站 GNSS 数据。

b) 激光雷达原始数据存储格式为配套结算软件支持的数据格式，建议采用 LAS 格式，可以存储点的坐标、强度、分类等信息，也可结合特定的数据结构和元数据以二进制格式存储。

c) 机载激光雷达获取的点云质量应符合 CH/T 3023 和 GB/T 36100 的规定。质量满足要求数据应上传至农场远程监控平台。

4.2.2 农田场景分类

在无人农场重建中，地物的分类按照数字地图构建精度的要求将其分为三大类。

a) 一级地物。指分辨出作物分布图层、行间空地和杂草。应分辨出不同种类的作物，如小麦、玉米、水稻等；检测出农田中未种植的区域以及有无杂草覆盖等情况。

b) 二级地物。指分辨出主要作物类型、土地利用情况、道路地形特征。应分辨出主要的农作物种类，可以识别农田、道路、建筑物、水体等不同类型地物。

c) 三级地物。指分辨出总体农田类型、土地覆盖类型。应区分出农田区域，但不需要识别具体的农作物种类；应识别土地的基本覆盖类型，如植被、非植被。

4.2.3 农田场景几何结构

农田场景的几何结构应满足下列要求：

a) 悬浮物处理。场景中避免非正常的地表上下悬浮物出现在建模中，植被、电线、通讯塔等可能存在的建模不完整导致的悬浮情况需要根据实际情况处理。

b) 空洞处理。建模中的未填充空间，如没有闭合的建筑物内部、没有填充的植被区域等。这些空洞可能影响无人农场数字地图的真实感和表现效果，尤其是在一些应用场景中。需要根据实际情况，进行适当的修复和填充。

c) 近河区域建模处理。将近河区域与陆地连接部分建模，可以根据实际水面纹理进行补充，保证分块之间的接缝处自然过渡。

4.3 数据安全性要求

农场远程监控的数据安全技术符合 NY/T 3892 的规定。

4.3.1 数据分类与标记

应将农场数据按照敏感程度分为机密和公开两类，对数据进行标记，标识其安全级别和访问权限。

4.3.2 数据传输

在数据传输过程中应使用加密协议，通过安全通信协议传输敏感数据。

4.3.3 数据备份与恢复

应定期进行数据备份，并将备份数据存储在不安全的地方；建立恢复计划，确保数据损坏时能够迅速恢复。

4.4 数据时序性要求

4.4.1 数据采集时序要求

应根据作物生长规律以及当地农时农事，规定数据采集的时间表和频率，确保数据能够按时采集；规定不同数据类型（如影像、气象数据等）的采集时间要求。

4.4.2 数据传输时序要求

应规定数据传输的频率和时段，以确保数据及时传送到农场中心系统或云端，同时确保数据传输不会对网络带宽和系统性能造成过大负担。

4.4.3 数据处理时序要求

应设定数据处理的截止时间，以确保数据在采集后能够及时进行处理和分析。针对实时性要求高的应用，如灾害监测，确保数据能够在最短时间内处理完成。

5 构建方法

5.1 数据预处理

5.1.1 影像预处理

- a) 影像质量评估。确保飞行数据中的影像与 POS 数据一一对应，检查影像的色彩、亮度、对比度等，若影响三维模型的精度，对原始影像进行去噪、边缘增强、亮度和对比度调整等预处理操作，提高影像质量。
- b) 投影和坐标转换。将影像数据投影到统一的坐标系统，并进行坐标转换，确保影像的一致性。
- c) 对影像中可能存在的镜头畸变进行校正，减少影像中的形变和失真。

5.1.2 点云预处理

- a) 去除离群点。检测和去除可能是由噪声、误差或其他异常因素引起的离群点，确保点云数据的准确性。
- b) 点云滤波。使用滤波算法对点云进行降噪，保留感兴趣的特征，提高点云数据的质量和可用性。
- c) 点云配准。对不同时间或不同传感器采集的点云数据进行配准，将它们在同一个坐标系统中对齐，获得一致的地理参考。

5.2 数据处理

5.2.1 影像特征提取。

对低空影像进行影像匹配，提取影像中的特征点、角点等；利用影像匹配、特征点、地面控制点等信息进行束法平差计算，从束法平差计算的结果中提取相机的内参数（如焦距、主点位置）和外参数（相机位置、姿态）。根据计算得到的相机参数，进行影像的畸变校正和几何校正，生成地理准确的正射影像。

5.2.2 点云特征提取。

对点云数据进行特征提取，如法线、曲率、表面法线等。特征点提取算法包括基于几何形状和邻近关系的方法。

5.2.3 点云-影像对齐。

将影像中提取的特征点与点云中的特征点进行匹配，一般匹配算法包括最近邻匹配、KD-Tree。

5.3 地图构建

5.3.1 表面重建

使用点云数据进行表面重建，将离散的点云转换成连续的三维模型表面。一般包括基于三角网格的重建方法，如 Delaunay 三角化、Poisson 重建。三维建模的技术应符合 GB/T 41447 的规定。

5.3.2 纹理映射

将高分辨率的低空影像投影到模型表面，赋予模型以真实的纹理。

5.3.3 模型优化

对模型进行细化和优化，包括平滑化、边缘细化、局部特征增强等操作，确保符合 4.2.2 的要求。

5.3.4 图层叠加

三维模型图层用于表示三维物体和地形，应包含土地利用图层、作物类型图层、建筑物图层和水体图层等，这些图层通过地理坐标系统（GIS）软件与地理数据进行结合。

6 性能要求

6.1 地理空间范围

数字地图应覆盖无人农场的整个地理范围，包括农田、建筑物、道路、水体等要素。同时，地图的空间分辨率应足够细致，能够捕捉到农田、植被、建筑物等细节信息，便于农机自主作业，具体符合条件应按表 1 的规定。

表 1 数字地图地理空间范围性能要求 单位：米

比例尺	1:500	1:1000	1:2000
地面分辨率	0.005	0.05	0.1

6.2 高程覆盖范围

数字地图应包含地表的高程信息，以支持地形分析等任务。高程数据应涵盖整个农场区域，包括地势起伏、高程等信息，地形类别按坡度划分为四类，具体符合条件按表 2 的规定。坡度数据可用于绘制坡度图层或坡度等高线，采用不同颜色或阴影表示地表坡度的等级，可帮助农机选择合适的机械操作区域。

表 2 地形类别 单位：度

地形类别	地面坡度 (θ)	数字地图用于引导农机在不同坡度上的作业
平地	$\theta \leq 2$	适合农机耕作区域
缓坡地	$2 < \theta \leq 6$	适合农机耕作区域，同时注意土壤侵蚀风险
中坡地	$6 < \theta \leq 15$	需要规划和建设合适的机械操作通道，同时需要使用具有稳定性控制的农机或附加装置来提高操作的稳定性。

陡坡地	$15 < \theta \leq 25$	需要规划安全通道，农机操作存在风险，农机需使用防滑轮胎、减速操作速度等。
-----	-----------------------	--------------------------------------

6.3 时间覆盖范围

数字地图的时间覆盖范围取决于实际需求，应定期更新地图数据，以反映不同时间点的农场情况。时间覆盖范围应涵盖不同季节、年份的变化，根据不同作物的生长状态，数字地图的更新频率应按表 3 要求，以便更好的反映农田实际情况。

表 3 数字地图更新频率

作物全生长时期	数字地图更新频率
休耕期	每月一次或每季度一次
播种期	每月一次或每两周一次
生长期	每两周一次
收获期	每一周一次

7 测定方法

为了评价数字地图，对数字地图质量指标进行测定。本文件指标测定时，应选择一块高标准农田为试验基地，采用无人机搭载相机和激光雷达，在晴朗无云的时段，采集农田数据，数据内容要求应满足 4.2 中规定。通过 5 中规定的地图重建方法构建无人农场数字地图，对重建的数字地图进行验证与评价。

7.1 地理空间范围测定

在构建好的数字地图上选择两个点，测量它们之间的距离，使用比例尺标尺确定相应的实际地面距离，并将其与实际地面距离进行比较来验证比例尺；获取具有已知地面特征的高分辨率地面图像或实地测量数据，通过遥感软件（如 ArcGis 软件）将地面特征与相应的地理信息数据比对，验证地理信息数据中的每个像素是否准确对应到地面上的实际区域，平面地物精度测定可参考 7.4。

7.2 高程覆盖范围测定

通过数字地图提取需要验证的高程数据，选择一个代表性的验证区域，建议选择标准农田中高度最高和最低的两个地物。使用 GIS 软件，比对高程数据的边界与实际地理特征，验证高程数据的覆盖范围是否与实际地理区域相匹配。再者，使用已知的地理地标和控制点，比对其高程信息，这些可以是建筑物或其他显著的地理特征，统计验证区域内的高程范围，地物高程误差测定参考 7.5。

7.3 时间覆盖范围测定

将数字地图中的数据与实地观测数据进行比对，关注数据中作物的生长阶段是否与实际生长情况一样，对比不同时间点的数据，分析作物生长时期的覆盖范围和变化，验证数据的时间范围是否覆盖了作物的全生长时期，确保数字地图的更新频率能够捕捉到作物生长的重要阶段。

7.4 平面地物精度测定

农田数字地图构建成功后，在农田内选择 3 个及以上目标地物进行实地测量，使用测量仪器（如 GPS、激光测距仪）分别测定地物的坐标、尺寸，将测量数据与数字地图中对应的地理数据进行比较，按式（1）

和公式（2）进行计算，分别测量 3 次取平均值作为该地物坐标和尺寸测定结果，所选地物测定结果作为平面地物精度。

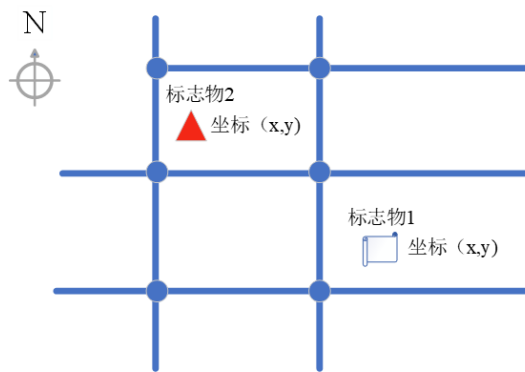


图 1 标志物坐标示意图

将地物坐标与尺寸测定结果与实地调查、GPS 数据等进行比较，地图中地物的位置、尺寸等信息的准确性应符合 GB/T 17160 的规定。

$$\Delta O = \frac{\sum_{i=1}^n (P'_{i(x,y)} - P''_{i(x,y)})}{n} \#(1)$$

式中：

ΔO ----地物坐标误差，单位为秒（"）；

O' ----地物实际测量坐标，单位为秒（"）；

O'' ----地物在数字地图中的坐标，单位为秒（"）；

n ----选择的地物数量，单位为个；

x ----坐标位置中的经度；

y ----坐标位置中的纬度。

$$\Delta A = \frac{\sum_{i=1}^n (A'_{i(a,b,c)} - A''_{i(a,b,c)})}{n} \#(2)$$

式中：

ΔA ----地物尺寸误差，单位为厘米（cm）；

A' ----地物实际测量尺寸，单位为厘米（cm）；

A'' ----地物在数字地图中的尺寸，单位为厘米（cm）；

a ----尺寸中的长度；

b ----尺寸中的宽度；

c ----尺寸中的高度。

7.5 地物高程误差测定

农田数字地图构建完成后，在地图中选择 3 个以上已知高程的地面控制点，采用高程测量仪器（如 GPS、全站仪、激光测距仪）测量地物的高度，将测量数据与数字地图中的高程数据进行比较，按式（3）进行计算，分别测量 3 次取平均值作为该地物高程测定结果。所选高程地面控制点的地物高程测定结果均值作为该数字地图的地物高程误差测定结果。

$$\Delta H = \frac{\sum_{i=1}^n (H' - H'')}{n} \#(3)$$

式中：

ΔH ----地物高程误差，单位为厘米（cm）；

H' ----地物实际测量高程，单位为厘米（cm）；
 H'' ----地物在数字地图中的高程，单位为厘米（cm）。

7.6 地形坡度误差测定

利用高程数据计算坡度图层，在验证区域内选择具有不同坡度的地理特征，包括平坡地、缓坡地等坡地类型两种以上。比对实际地形和坡度图层，统计验证区域内不同坡度范围的分布情况。

测定地形坡度误差是在 7.1 节的基础上更进一步精确测定，是确保数字地图准确性的重要步骤之一。采用地形坡度测量仪器（如坡度计、倾斜传感器、土地测绘仪等）测量地表坡度。在不同位置使用测量仪器获取地物实际坡度数据之后，采用式（4）计算其与数字地图中的坡度的差异。

$$\Delta g = \frac{\sum_{i=1}^n (g' - g'')}{n} \#(4)$$

式中：
 Δg ----地形坡度误差，单位为度（°）；
 g' ----地形实际测量坡度，单位为度（°）；
 g'' ----数字地图中计算的地形坡度，单位为度（°）。

7.7 地物分类测定

选择 50m×50m 的研究区域范围，在实验区域内随机选择代表不同地物类别（如农田、建筑物、道路、水体、农机）的样本点各 30 个，从数字地图中寻找对应的地理位置并标记出分类结果，重复三次取平均值，按照式 5 进行计算各自的分类准确率。

地物分类准确率按式（5）计算：

$$accuracy = \frac{p_{ii}}{p_{ii} + p_{ij}} \times 100\% \#(5)$$

式中：
 $accuracy$ ----地图内地物的分类准确率，单位为（%）；
 p_{ii} ----实际类别为*i*、数字地图中的类别也为*i*的数目，单位为个；
 p_{ij} ----实际类别为*i*、数字地图中的类别也为*j*的数目，单位为个。

8 评价方法

8.1 农田地物分类评价方法

数字地图中农田场景及相应的目标地物（如农田、建筑物、道路等）分类准确率应至少满足表 4 中二级地物分类。

表 4 不同级别地物分类准确率指标

种类	地物级别	分类准确率
农作物种类	一级	≥98
	二级	≥90
	三级	≥85
建筑物	一级	≥95
	二级	≥92
	三级	≥85

道路	一级	≥ 95
	二级	≥ 92
	三级	≥ 85
水体	一级	≥ 95
	二级	≥ 92
	三级	≥ 85
农机	一级	≥ 95
	二级	≥ 90
	三级	≥ 85

8.2 构建质量评价方法

在满足本文件 4.2.1 的条件下，数字地图构建的质量指标应符合表 5 的规定。

表 5 数字地图构建质量指标

序号	项目名称	质量指标要求	对应条款号
1	地理空间范围	满足	7.1
2	高程覆盖范围	满足	7.2
3	时间覆盖范围	满足	7.3
4	平面地物坐标误差	不得超过 $\pm 5''$ （道路、建筑物）	7.4
		不得超过 $\pm 3''$ （农田内部障碍物、沟渠）	
		不得超过 $\pm 8''$ （其他地物）	
5	平面地物尺寸误差	不得超过 $\pm 10\text{cm}$	7.4
6	地物高度误差	不得超过 $\pm 15\text{cm}$	7.5
7	地物坡度误差	不得超过 $\pm 5^\circ$	7.6
8	地物分类	准确率	8.1