

浙江省测绘与地理信息行业协会文件

浙测行协〔2026〕48号

关于《无人机智能三维仿真训练场建设指南》 团体标准公开征求意见的通知

各有关单位：

由浙江省测绘科学技术研究院牵头起草的《无人机智能三维仿真训练场建设指南》团体标准现已完成征求意见稿，根据《浙江省测绘与地理信息行业协会团体标准管理办法(试行)》有关规定，为保证标准的科学性、严谨性和适用性，现公开征求意见。请有关单位及专家对上述团体标准提出意见和建议，并于2026年11月19日前将意见反馈表反馈至邮箱，逾期视为无意见。

联系人：方老师

联系电话：0571-88822087

邮箱：7398060@qq.com

地址：杭州市余杭区五常街道地信路2号2049室

附件:

- 1.《无人机智能三维仿真训练场建设指南》团体标准征求意见稿
- 2.《无人机智能三维仿真训练场建设指南》团体标准编制说明
- 3.《无人机智能三维仿真训练场建设指南》团体标准《意见反馈表》

浙江省测绘与地理信息行业协会

2026年10月20日

浙江省测绘与地理信息行业协会

2026年10月20日印发

附件1

ICS 07.040

CCS A XX

TB

团 体 标 准

T/XXXXX—XXXX

无人机智能三维仿真训练场建设指南

Guidelines for the construction of UAV intelligent 3D simulation training fields

(征求意见稿)

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

浙江省测绘与地理信息行业协会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 缩略语.....	2
5 建设原则.....	错误!未定义书签。
5.1 合规性原则.....	3
5.2 科学性原则.....	3
5.3 实用性原则.....	3
5.4 可扩展性原则.....	3
5.5 安全性原则.....	3
6 总体架构.....	3
6.1 数据层.....	3
6.2 场景引擎层.....	3
6.3 样本管理与训练层.....	3
6.4 应用服务层.....	3
6.5 安全管控层.....	3
7 数据要求.....	4
7.1 一般要求.....	4
7.2 三维模型基础数据.....	错误!未定义书签。
7.3 飞控训练样本数据.....	5
7.4 元数据.....	6
8 仿真场景构建要求.....	6
8.1 场景分类.....	6
8.2 场景构建基本规则.....	6
8.3 动态场景构建要求.....	6
9 功能要求.....	7
9.1 基础功能.....	7
9.2 场景管理功能.....	错误!未定义书签。
9.3 样本管理功能.....	错误!未定义书签。
9.4 训练与验证功能.....	8
9.5 评估分析功能.....	错误!未定义书签。
9.6 协同作业功能.....	8
10 质量控制与评价.....	8
10.1 总体要求.....	8
10.2 数据质量控制.....	9
10.3 场景与功能质量控制.....	9
10.4 评价结果处理.....	错误!未定义书签。

11 安全与管理要求..... 错误!未定义书签。

 11.1 数据安全..... 错误!未定义书签。

 11.2 场景与系统安全..... 错误!未定义书签。

 11.3 管理要求..... 错误!未定义书签。

 11.4 应急处置..... 错误!未定义书签。

附录 A （规范性） 场景建设质量评价指标体系 12

 A.1 范围..... 12

 A.2 评价总则..... 12

 A.3 评价指标体系表..... 12

 A.4 结果判定规则..... 16

附录 B （规范性） 元数据核心要素表 17

 B.1 范围..... 17

 B.2 元数据分类..... 17

 B.3 元数据要素表示例..... 18

 B.4 填写说明..... 20

参考文献..... 22

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。

本文件由浙江省测绘科学技术研究院提出。

本文件由浙江省测绘与地理信息行业协会归口。

本文件起草单位：XXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX。

本文件为首次发布。

无人机智能三维仿真训练场建设指南

1 范围

本文件规定了无人机智能三维仿真训练场的建设原则、总体架构、数据要求、场景建设、功能实现、质量控制与评价、安全与管理等全流程技术与管理指引。

本文件适用于低空经济领域，面向城市管理、应急救援、电力巡检、物流配送、交通管理、水利巡检等场景的无人机智能三维仿真训练场的设计、建设、运维与管理。团体成员单位宜参照执行，其他相关单位可参考使用。

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 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
GB/T 22239-2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
GB/T 35273-2020 信息安全技术 个人信息安全规范
GB/T 41446-2022 基础地理信息本体范例数据规范
GB/T 45631-2025 无人机遥感测绘飞行管理信息要求
GB/T 45654-2025 网络安全技术 生成式人工智能服务安全基本要求
GB/T 45678-2025 民用系留无人机系统通用要求
CH/T 9015-2012 三维地理信息模型数据产品规范
MH/T 2008-2017 无人机围栏
MH/T 2011-2019 无人机云系统数据规范
YD/T 4597-2023 网络空间安全仿真 无人机系统信息安全仿真平台接入技术要求
YD/T 6486-2025 面向人工智能的数据集质量通用评估方法 总体要求
T/CICC 02008-2025 无人系统协同感知、决策与控制 验证测试
T/NSPSZ 001-2025 城市治理无人机垂直起降场布局规划编制指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人机智能三维仿真训练场 intelligent 3D simulation training scene for UAV intelligent flight control

以三维地理信息模型数据为核心基础，融合飞行动力学仿真、多模态环境模拟、AI训练样本管理能力，用于无人机自主飞控算法训练、验证、适航测试及作业技能培训的数字化仿真环境，以下简称“训练场”。

3.2

三维模型 3D model

能可视化反映相关地理要素在三维立体空间中的位置、形状、表面纹理等信息的模型。

3.3

细节层次 level of detail

针对一个建模对象建立的细节程度不同（即几何面数和纹理分辨率不同）的一组模型。

3.4

无人驾驶航空器 unmanned aerial vehicle

由机载飞控系统自主控制或远程操控，无机组人员的航空器，简称无人机。

3.5

无人机围栏 fence of unmanned aircraft system

为保障区域安全，在相应地理范围中以电子信息模型画出其区域边界，在无人机系统或无人机云系统中，使用电子信息模型防止无人机飞入或者飞出特定区域的软硬件系统。

3.6

事件样本 event sample

描述训练场中需要无人机识别并触发响应的外部情境数据集，包括危险源、违规行为、异常状态、常规作业条件等类型。

3.7

行为样本 behavior sample

描述飞控系统对事件样本的响应行为及全流程过程数据，需与对应事件样本唯一绑定，覆盖从事件识别到响应执行的完整链路。

3.8

生成式人工智能数据标注 generative artificial intelligence data annotation

通过人工操作或使用自动化技术机制，基于对提示信息的响应信息内容，将特定信息如标签、类别或属性添加到文本、图片、音频、视频或者其他数据样本的过程。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AI: 人工智能 (Artificial Intelligence)

DEM: 数字高程模型 (Digital Elevation Model)

DOM: 数字正射影像 (Digital Orthophoto Map)

DSM: 数字表面模型 (Digital Surface Model)

GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

LoD: 细节层次 (Level of Detail)

RTK: 实时动态定位 (Real-Time Kinematic)

UAV: 无人驾驶航空器 (Unmanned Aerial Vehicle)

5 建设原则

5.1 合规性原则

训练场建设应符合国家空域管理、测绘地理信息、网络安全、数据安全、人工智能等相关法律法规及现行标准，数据来源合法合规、权属清晰、可追溯，涉密数据管理应符合国家保密相关规定。

5.2 科学性原则

训练场应基于真实地理环境构建，模型精度、物理仿真、环境模拟应贴合无人机实际作业工况，样本数据应满足AI飞控算法训练的完整性、均衡性、准确性要求，保障训练结果的有效性与可落地性。

5.3 实用性原则

训练场应覆盖无人机主流应用场景与核心作业工况，适配不同机型、不同飞控算法的训练、验证与测试需求，功能设计贴合实际业务流程，具备可操作性与可复用性。

5.4 可扩展性原则

训练场应采用模块化、松耦合的架构设计，支持场景数据、样本库、功能模块的灵活扩展与迭代升级，适配低空经济技术发展与业务场景拓展需求。

5.5 安全性原则

训练场建设应建立全生命周期安全管控体系，覆盖数据、场景、系统、应用全环节，具备完善的风险防控、权限管理与应急处置能力，保障训练过程与数据资产的安全。

6 总体架构

训练场应采用分层架构设计，自下而上分为数据层、场景引擎层、样本管理与训练层、应用服务层、安全管控层，各层级应互联互通、协同联动，形成完整的训练场技术体系。

6.1 数据层

数据层为训练场的核心基础，由三维模型基础数据、飞控训练样本数据、元数据三大类数据构成，负责提供场景构建、算法训练、仿真验证所需的全量数据支撑。

6.2 场景引擎层

场景引擎层为训练场的核心驱动，由三维渲染引擎、物理仿真引擎、动态环境模拟引擎三大核心引擎构成，负责实现三维场景可视化、无人机飞行动力学仿真、多模态动态环境模拟、事件触发与响应仿真等核心能力。

6.3 样本管理与训练层

样本管理与训练层为算法训练的核心载体，负责实现样本数据的标注、管理、检索、版本控制，以及飞控算法的接入、训练任务调度、训练过程管控、测试验证执行等功能。

6.4 应用服务层

应用服务层为训练场的功能出口，面向飞控算法研发、适航测试、技能培训、监管验证等业务场景，提供场景配置、训练执行、结果评估、报告生成、协同管控等服务能力。

6.5 安全管控层

安全管控层为训练场的全流程安全保障，覆盖数据安全、场景安全、系统安全、应用安全四大维度，实现全链路的权限管控、审计溯源、风险防控、应急处置与合规管理。

7 数据要求

7.1 一般要求

- 7.1.1 所有空间数据应统一采用 2000 国家大地坐标系（CGCS2000），高程基准采用 1985 国家高程基准，时间基准采用北京时间，投影方式采用高斯-克吕格投影，模型坐标系应统一采用 Z-up 右手坐标系。
- 7.1.2 数据应来源合法、权属清晰，具备完整的溯源链条，符合测绘地理信息、数据安全相关法律法规要求。
- 7.1.3 数据格式应符合现行国家与行业标准，具备跨平台兼容性，支持主流三维引擎、飞控仿真平台的读取与调用。
- 7.1.4 数据应建立全生命周期管理机制，同步更新对应的元数据，保障数据的一致性、完整性与现势性。

7.2 三维模型基础数据

三维模型基础数据是训练场构建的核心基底，应完整覆盖目标训练区域，无空洞、无盲区，核心要素无缺失，具体要求如下：

7.2.1 数据内容

三维模型基础数据应包含但不限于以下内容：

- a) 数字高程模型（DEM）；
- b) 数字表面模型（DSM）；
- c) 数字正射影像（DOM）；
- d) 倾斜摄影测量三维模型（Mesh 三维模型）；
- e) 激光点云数据；
- f) 城市三维建筑模型（LoD1.3 及以上）；
- g) 室内空间三维模型；
- h) 无人机围栏电子边界数据。

7.2.2 精度要求

三维模型基础数据的精度应符合CH/T 9015-2012的相关规定，核心指标宜满足表1要求。

表1 三维模型基础数据核心精度指标

数据类型	分级	核心精度指标	适用区域
倾斜摄影三维模型	I 级	地面分辨率1.5cm，平面/高程中误差≤0.15m，困难地区可放宽0.5倍	重点作业区域
	II 级	地面分辨率3cm，平面/高程中误差≤0.25m，困难地区可放宽0.5倍	城市建成区主要区域
	III级	地面分辨率5cm，平面/高程中误差≤0.3m，困难地区可放宽0.5倍	城市建成区一般区域
DOM	I 级	地面分辨率≤0.05m	重点作业区域
	II 级	地面分辨率≤0.1m	城市建成区主要区域
	III级	地面分辨率≤0.2m	城市建成区一般区域

数据类型	分级	核心精度指标	适用区域
DEM	平地	格网间距 $\leq 2\text{m}$ ，高程中误差 $\leq 0.5\text{m}$	平地
	丘陵地	格网间距 $\leq 2\text{m}$ ，高程中误差 $\leq 0.7\text{m}$	丘陵地
	山地	格网间距 $\leq 2\text{m}$ ，高程中误差 $\leq 1.5\text{m}$	山地
	高山地	格网间距 $\leq 2\text{m}$ ，高程中误差 $\leq 2\text{m}$	高山地
机载激光点云数据	I 级	点密度 $\geq 16\text{点}/\text{m}^2$ ，高程中误差范围 $0.15\text{m}\sim 0.5\text{m}$	精细化建模区域
	II 级	点密度 $\geq 4\text{点}/\text{m}^2$ ，高程中误差范围 $0.15\text{m}\sim 1.0\text{m}$	重点作业区域
	III级	点密度 $\geq 1\text{点}/\text{m}^2$ ，高程中误差范围 $0.25\text{m}\sim 1.0\text{m}$	城市建成区
车载激光点云数据	I 级	点密度 $\geq 400\text{点}/\text{m}^2$ ，高程中误差 $\leq 0.05\text{m}$	精细化建模区域
	II 级	点密度 $\geq 25\text{点}/\text{m}^2$ ，高程中误差 $\leq 0.2\text{m}$	重点作业区域
	III级	点密度 $\geq 4\text{点}/\text{m}^2$ ，高程中误差 $\leq 0.3\text{m}$	城市建成区

7.2.3 模型精细度要求

建筑要素和交通要素的模型精细度宜符合表2要求，关键作业区域的模型应达到 I 级精细度标准。

表2 核心要素模型精细度分级要求

要素类型	I 级	II 级	III 级
建筑要素	以实体外部主体轮廓为主，具备反映实体特征的精细几何结构	以实体外部主体轮廓为主，具备反映实体特征的部分细部几何结构	以实体外部主体轮廓为主，具备反映实体特征的精细几何结构

7.3 飞控训练样本数据

飞控训练样本数据是无人机自主飞控算法训练的核心数据集，应与三维模型基础数据空间位置、属性信息完全一致，具备完整的关联关系与溯源链条。

7.3.1 数据构成

飞控训练样本数据应由事件样本、行为样本、过程支撑数据三部分构成，三者应通过唯一样本编号实现一一绑定，完整记录事件触发—识别—决策—响应—执行的全链路数据。

- a) 事件样本：需覆盖无人机全业务场景与作业工况；
- b) 行为样本：需与事件样本对应，分为机动控制类、规避防护类、作业处置类、业务响应类四大类，完整记录飞控系统的响应动作与执行参数；

- c) 过程支撑数据：包括飞行状态数据、设备状态数据、环境感知数据、业务关联数据四大类，完整记录样本触发与执行全流程的全维度参数。

7.3.2 数据预处理要求

样本数据预处理宜符合以下要求：

- a) 完成坐标系统、空间参考、数据格式的统一规范化处理；
- b) 完成异常数据、噪声数据、冗余数据的清洗与修正，开展拓扑检查与几何一致性校验；
- c) 完成数据时空匹配，确保同一事件下的多模态数据时间同步、空间对齐；
- d) 预处理过程应留存完整的操作日志，保障数据可追溯。

7.3.3 标注要求

样本数据标注应符合YD/T 6486-2025、GB/T 45654-2025的相关规定，宜满足以下要求：

- a) 应建立统一的标注规范，明确标注对象、标注维度、精度要求、格式标准；
- b) 标注内容应与样本实际情况完全一致，无错标、漏标、误标，标注准确率应 $\geq 99\%$ ；
- c) 空间标注精度应与三维模型基础数据精度匹配，时序标注时间同步误差应 $\leq 10\text{ms}$ ；
- d) 应采用“人工校验+工具校验”双检机制，标注完成后应通过质量检验方可入库。

7.4 元数据

训练场应建立完整的元数据体系，用于描述三维模型数据与样本数据的来源、结构、质量、权属与管理信息，元数据应随数据集同步更新，支持快速检索与全生命周期管理。

元数据核心要素宜符合附录B的要求，分为核心元数据与扩展元数据，核心元数据为必填项，扩展元数据可根据业务场景补充。

8 仿真场景构建要求

8.1 场景分类

仿真场景应根据无人机应用场景分为以下类别，覆盖主流业务需求：

- a) 城市管理场景：包括违建识别、市容巡查、渣土车监管、公共空间管理等子场景；
- b) 应急救援场景：包括火灾救援、地质灾害处置、洪涝灾害救援、突发事件处置、人员搜救等子场景；
- c) 电力巡检场景：包括输电线路巡检、变电站巡检、配电设施巡检、塔杆隐患排查等子场景；
- d) 物流配送场景：包括城市末端配送、园区物流、航线规划、定点起降等子场景；
- e) 交通管理场景：包括道路巡检、交通拥堵监测、交通事故处置、违停识别等子场景；
- f) 水利巡检场景：包括河道巡检、堤坝巡检、水库监测、非法采砂识别等子场景；
- g) 生态监测场景：包括植被覆盖调查、水体监测、土壤污染排查、露天焚烧识别等子场景；
- h) 自然资源场景：包括国土调查、耕地保护监测、矿产资源巡查、海域海岛监测、自然保护地监管等子场景。

8.2 场景构建基本规则

仿真场景构建宜符合以下基本规则：

- a) 空间一致性：场景内所有地理要素的空间位置、几何形态、属性信息应与三维模型基础数据完全一致，无空间错位、几何变形、属性错配；
- b) 物理真实性：场景应适配飞行动力学仿真引擎，准确还原地形、建筑、障碍物的物理属性，模拟不同环境下的气流扰动、风场变化、障碍物碰撞等物理特性；

- c) LoD 层级适配：场景应根据无人机飞行高度、视距范围、作业需求，自动适配对应 LoD 层级的模型，保障渲染效率与仿真精度的平衡；
- d) 要素关联性：场景内的地理要素、事件样本、触发规则、响应逻辑应建立关联关系，实现场景要素与训练任务的联动。

8.3 动态场景构建要求

训练场应具备动态化构建能力，满足不同工况下的飞控训练需求，具体要求如下：

- a) 动态环境模拟：可模拟光照变化、雨雪雾霜、能见度变化、风力风向变化等气象条件，支持自定义气象参数组合，覆盖无人机全工况作业环境；
- b) 动态障碍物模拟：可模拟行人、车辆、鸟类、其他无人机等动态障碍物，支持自定义障碍物的运动轨迹、运动速度、触发时机；
- c) 突发事件触发：可自定义事件样本的触发条件、触发位置、演化逻辑，模拟突发事件的全生命周期过程，适配飞控算法的应急响应训练需求；
- d) 场景自定义编辑：支持用户自定义场景要素、事件规则、工况参数，快速构建专项训练场，满足个性化训练需求。

9 功能要求

9.1 基础功能

训练场应具备以下基础功能：

- a) 场景加载与渲染：支持大范围三维场景的快速加载、流畅渲染，核心区域渲染帧率 $\geq 30\text{fps}$ ，无明显卡顿、掉帧、画面撕裂；
- b) 飞行模拟：支持无人机六自由度飞行模拟，适配不同机型的飞行动力学参数，还原真实飞行状态；
- c) 视角控制：支持第一视角、第三视角、上帝视角、跟随视角等多视角切换，支持视角缩放、旋转、平移等操作；
- d) 数据记录与回放：支持训练全流程数据的实时记录，包括飞行轨迹、飞控指令、环境参数、事件响应过程等，支持训练过程的逐帧回放与分析。

9.2 场景管理功能

训练场应具备以下场景管理功能：

- a) 场景入库管理：场景入库前应完成质量检验，检验合格后分配唯一场景编码，完成元数据录入；
- b) 版本管理：建立场景版本管控机制，场景更新后应升级版本号，完整记录版本更新内容，保留历史版本，支持版本回溯；
- c) 场景编辑：支持场景要素的新增、修改、删除，支持事件规则、工况参数的可视化编辑；
- d) 场景检索与调用：支持按场景类型、区域范围、精度等级、适用工况等维度的快速检索，支持场景的一键调用与加载。

9.3 样本管理功能

训练场应具备以下样本管理功能：

- a) 样本入库管理：样本入库前应完成质量检验，检验合格后分配唯一样本编号，完成元数据录入与关联关系绑定；

- b) 标注管理：支持可视化标注工具，支持多模态数据的协同标注，支持标注结果的批量导入导出、校验与修正；
- c) 版本管理：建立样本数据集版本管控机制，支持数据集的版本更新、历史回溯、差异对比；
- d) 检索与筛选：支持按样本类型、场景类别、工况参数、标注类型等维度的多条件组合检索与筛选；
- e) 数据导出：支持主流 AI 训练框架兼容的数据集格式导出，支持按训练需求自定义导出规则。

9.4 训练与验证功能

训练场应具备以下训练与验证功能：

- a) 单机训练：支持单无人机飞控算法的接入、训练、调试，支持自定义训练任务与工况参数；
- b) 多机协同训练：支持多无人机集群飞控算法的训练与验证，支持多机协同任务编排、协同决策、协同避障等场景的训练；
- c) 算法验证：支持飞控算法的黑盒/白盒测试，支持识别精度、响应速度、避障能力、航线规划能力等核心指标的自动化测试；
- d) 适航测试：支持无人机适航符合性验证测试，可自定义测试用例，实现测试过程的自动化执行与数据记录；
- e) 任务编排：支持可视化训练任务流程编排，支持事件触发、条件判断、循环执行等逻辑配置，实现训练任务的自动化批量执行。

9.5 评估分析功能

训练场应具备以下评估分析功能：

- a) 飞控性能评估：可对无人机的飞行稳定性、控制精度、响应速度、抗干扰能力等核心性能指标进行量化评估；
- b) 算法精度评估：可对飞控算法的目标识别准确率、事件判断准确率、航线规划精度、避障成功率等指标进行量化评估；
- c) 事件响应能力评估：可对飞控系统的事件触发响应时间、应急处置能力、任务完成率等指标进行量化评估；
- d) 评估报告生成：可自动生成标准化的训练评估报告，完整记录训练任务、测试参数、评估指标、结果分析、改进建议等内容，支持报告的导出与归档；
- e) 历史数据分析：支持多轮训练结果的对比分析、趋势分析，为算法迭代优化提供数据支撑。

9.6 协同作业功能

训练场应具备以下协同作业功能：

- a) 多角色权限管理：支持管理员、研发人员、测试人员、培训人员等多角色的权限配置，执行最小权限原则；
- b) 多终端协同：支持 PC 端、指挥大屏端、移动端的多终端协同访问与操作；
- c) 远程训练管控：支持远程训练任务的下发、执行监控、结果回收，满足跨地域协同训练需求；
- d) 数据共享交互：支持合规范范围内的场景数据、样本数据集、训练结果的共享与交互。

10 质量控制与评价

10.1 总体要求

10.1.1 训练场建设应建立覆盖数据生产、场景构建、功能开发、训练验证、运维管理全流程的质量管控体系，明确各环节的质量指标、检验方法与验收标准。

10.1.2 项目建设各环节的技术负责人、作业人员、质检人员应经培训考核合格后上岗，确保准确理解并执行本指南的各项技术指标与作业要求。

10.1.3 质量控制与评价宜参考 YD/T 6486-2025、CH/T 9015-2012、T/CICC 02008-2025 等现行标准，评价指标体系宜符合附录 A 的要求。

10.1.4 质量评价应分为过程检验与最终验收检验两个阶段，过程检验应覆盖各建设环节，最终验收检验应在全系统建设完成后开展。

10.2 数据质量控制

10.2.1 三维模型基础数据质量控制

三维模型基础数据质量控制应覆盖以下维度，各项指标应符合本文件7.2 节的要求：

- 完整性：训练区域三维模型覆盖率 $\geq 98\%$ ，核心作业区域覆盖率 100%；与飞行任务相关的地物要素无缺失，属性信息完整率 100%；
- 一致性：所有数据坐标基准、投影方式、高程基准完全统一，分块接边几何偏差不超过对应级别模型的精度容限；模型无悬浮面片、穿模、法线翻转等拓扑缺陷，地物时相匹配无矛盾；
- 正确性：模型平面与高程精度应通过控制点比对验证，合格率 $\geq 95\%$ ；纹理无拉伸、空洞、错贴、模糊，地物形态与实际一致，无明显形变；地物分类标签准确率 $\geq 99\%$ ；
- 现势性：数据采集时间与验收时间间隔不超过 12 个月，城市建成区核心区域更新周期不超过 6 个月，应根据地物变化及时开展动态更新。

10.2.2 飞控训练样本数据质量控制

飞控训练样本数据质量控制应覆盖以下维度，各项指标应符合本文件7.3 节的要求：

- 完整性：样本核心分类维度覆盖率 100%，样本必填属性完整率 100%，全生命周期溯源信息完整率 100%；
- 均衡性：同维度内各子类样本数量占比偏差 $\leq \pm 10\%$ ，核心工况组合样本缺失率 $\leq 5\%$ ，恶劣工况、复杂场景样本占比不低于 30%；
- 准确性：采用分层抽样方式开展抽检，总抽检比例 $\geq 20\%$ ，复杂场景、高难度标注样本抽检比例 $\geq 30\%$ ；标注准确率 $\geq 99\%$ ，空间标注精度、时序标注同步误差符合本指南要求；
- 合规性：样本数据来源合法、权属清晰，标注规范统一，符合数据安全、知识产权相关法律法规要求。

10.3 场景与功能质量控制

10.3.1 场景质量控制

场景质量控制应覆盖以下维度：

- 真实性：场景地理要素与实景一致性 $\geq 98\%$ ，物理仿真误差 $\leq 5\%$ ，动态环境模拟贴合实际工况；
- 稳定性：场景连续运行 72 小时无崩溃、无数据丢失，场景加载成功率 100%，动态事件触发准确率 100%；
- 兼容性：支持主流三维引擎、飞控仿真平台、AI 训练框架的接入与调用，适配主流操作系统与硬件设备；
- 渲染性能：核心区域渲染帧率 $\geq 30\text{fps}$ ，大范围场景漫游帧率 $\geq 24\text{fps}$ ，无明显卡顿、延迟。

10.3.2 功能性能控制

功能性能控制应覆盖以下维度：

- 功能完整性：本指南规定的功能覆盖率 100%，核心功能无缺失，功能执行符合设计要求；

- b) 性能指标：训练任务调度响应时间 $\leq 1s$ ，数据查询响应时间 $\leq 500ms$ ，支持并发用户数 ≥ 50 个，算法测试任务并发执行数 ≥ 10 个；
- c) 易用性：操作界面逻辑清晰，交互友好，关键功能操作步骤 ≤ 3 步，具备完善的操作指引与帮助文档；
- d) 可扩展性：采用模块化架构，支持功能模块、场景数据、样本库的灵活扩展，预留标准化接口。

10.4 评价结果处理

10.4.1 评价结果分为合格、不合格两个等级，关键指标有一项不合格的，整体评价结果为不合格；非关键指标不合格项不超过3项，且可整改到位的，可判定为整改后合格。

10.4.2 评价结果不合格的，应根据不合格项类型开展以下处置：

- a) 数据质量不合格的，应开展数据修正、补充采集、样本剔除、标注优化等处置，完成后重新开展检验；
- b) 场景质量不合格的，应开展场景优化、模型修正、引擎参数调试等处置，完成后重新开展检验；
- c) 功能性能不合格的，应开展功能优化、性能调优、bug修复等处置，完成后重新开展检验；
- d) 安全管理不符合要求的，应限期整改，完善管理制度与技术防护措施，完成后重新开展核验。

10.4.3 评价工作完成后，应形成正式的质量评价报告，记录评价人员、评价时间、评价依据、检验项目、指标结果、发现问题、处置意见与最终评价结论，作为项目验收与成果归档的核心依据。

11 安全与管理要求

11.1 数据安全

11.1.1 应建立数据全生命周期安全管理制度，覆盖数据采集、存储、处理、传输、使用、共享、销毁全环节，符合GB/T 35273-2020、GB/T 45654-2025的相关规定。

11.1.2 数据存储安全应符合以下要求：

- a) 应对存储系统的访问主体执行身份认证与授权管理，采用多因素认证，严格执行最小权限原则；
- b) 应建立完整的操作审计日志，记录数据入库、修改、复制、导出、删除、销毁等全流程操作，日志留存时间不少于6个月；
- c) 应建立定期备份与恢复验证机制，核心数据应采用异地多副本备份，备份频率不低于每日1次，确保异常情况下数据可完整恢复；
- d) 涉密测绘成果应存储在符合国家保密要求的涉密信息系统中，与互联网物理隔离；
- e) 委托第三方提供存储、运维服务的，应签订安全保密协议，明确安全责任、访问边界与数据处置要求。

11.1.3 数据使用安全应符合以下要求：

- a) 仅通过质量检验、安全检测、权属审查的数据方可投入使用，应明确标注数据来源、权属、精度、适用范围与授权期限；
- b) 应严格按照授权范围使用数据，不得超范围调用、擅自复制、传播、交易数据，不得擅自改变数据用途；
- c) 数据传输应采用加密通道，重要数据、敏感数据传输应采用商用密码加密、完整性校验与传输身份认证措施；
- d) 对外共享、提供数据的，应审核接收方的资质、用途与安全能力，签订数据使用协议与保密协议，留存完整的审批与交付记录。

11.1.4 数据销毁应符合以下要求：

- a) 过期、废弃的数据应采用不可恢复的方式进行销毁，涉密数据销毁应符合国家保密相关规定；
- b) 数据销毁应留存完整的记录，明确销毁数据的内容、数量、方式、时间、责任人，归档备查。

11.2 场景与系统安全

11.2.1 应建立场景全生命周期安全管控机制，场景入库、更新、调用、共享均应经过审批与安全检测，涉密场景应实行隔离管理与专项授权。

11.2.2 系统安全应符合 GB/T 22239-2019 的相关规定，达到网络安全等级保护第三级及以上要求，覆盖网络安全、主机安全、应用安全、接口安全全维度。

11.2.3 应建立无人机围栏安全管控机制，电子边界数据应与空域管理要求一致，具备禁区主动告警、越界强制干预能力，符合 MH/T 2008-2017 的要求。

11.2.4 应定期开展系统漏洞扫描、渗透测试与安全风险评估，频率不低于每季度 1 次，及时修复安全漏洞，更新安全防护策略。

11.3 管理要求

11.3.1 应明确场景建设与运维的责任单位，设立专职管理岗位，明确岗位职责与责任划分，建立常态化运维管理机制。

11.3.2 应建立完善的管理制度体系，包括数据管理制度、场景管理制度、系统运维制度、安全管理制度、人员管理制度、应急处置制度等。

11.3.3 应对运维人员、使用人员开展安全培训与考核，签订保密协议，严禁未经授权的操作与数据访问行为。

11.3.4 应建立场景常态化更新维护机制，根据地理环境变化、业务需求迭代，定期更新场景数据与样本库，保障场景的现势性与适用性。

11.4 应急处置

11.4.1 应制定完善的应急预案，覆盖数据泄露、系统故障、网络攻击、飞行安全事件、突发安全事故等场景，明确应急响应流程、处置措施与责任分工。

11.4.2 应定期开展应急演练，频率不低于每半年 1 次，根据演练结果优化应急预案，提升应急处置能力。

11.4.3 发生安全事件时，应立即启动应急预案，采取处置措施控制风险，留存完整的事件记录，并按规定向相关监管部门上报。

附 录 A

(规范性)

场景建设质量评价指标体系

A.1 范围

本附录规定了无人机智能三维仿真训练场建设质量的评价指标体系、评分规则、结果判定方法，是场景建设质量检验、验收、评价的统一依据。

A.2 评价总则

A.2.1 评价阶段

分为过程检验和最终验收检验两个阶段，过程检验覆盖建设全流程各环节，最终验收检验在场景全系统建设完成、试运行稳定后开展。

A.2.2 指标分类

评价指标分为关键指标（K）和一般指标（G）：

关键指标：决定场景核心能力与合规性的指标，有一项不合格则整体评价结果为不合格；

一般指标：影响场景使用体验与建设质量的指标，按权重扣分，累计扣分不超过对应一级指标权重的40%。

A.2.3 评分规则

评价总分100分，各一级指标权重分配固定，二级、三级指标权重在一级指标内分配；

单项指标符合量化标准的，得该项满分；不符合的，按不符合程度扣减该项分值，扣完为止；

关键指标不符合量化标准的，该项分值全部扣除，且整体评价直接判定为不合格。

A.3 评价指标体系表

表 A.3 评价指标体系表

一级指标 (权重)	二级指 标 (权 重)	三级指 标	指标属性	量化标准	检验方法	单 项 分 值
1 数据质量 (35 分)	1.1 三 维模型 基础数 据质量 (20 分)	1.1.1 模型覆 盖率	K	训练区域三维模型 覆盖率≥98%，核心 作业区域覆盖率 100%，无空洞、无盲 区	1. 采用工 具检测模 型覆盖范 围；2. 人工 核查核心 区域完整 性	4
		1.1.2 模型平 面精度	K	符合本指南表1的精 度要求，关键区域模 型平面精度合格率 ≥95%	1. 选取不 少于 30 个 控制点，采 用实测坐 标与模型 坐标比对； 2. 计算精 度合格率	4

一级指标 (权重)	二级指 标 (权 重)	三级指 标	指标属性	量化标准	检验方法	单 项 分 值
		1.1.3 模型高 度精度	K	符合本指南表1的精 度要求, 关键区域模 型高度精度合格率 ≥95%	1. 选取不 少于 30 个 高程控制 点, 采用实 测高程与 模型高程 比对; 2. 计 算精度合 格率	3
		1.1.4 模型精 细度	G	符合本指南表2的精 细度要求, 关键区域 达到 I 级标准	1. 分层抽 样选取建 筑、基础设 施模型; 2. 人工核查 模型精细 度达标情 况	3
		1.1.5 数据一 致性	G	所有数据坐标基准、 投影、高程基准完全 统一, 无拓扑缺陷、 地物矛盾	1. 工具检 测坐标基 准一致性; 2. 工具+人 工核查模 型拓扑缺 陷	3
		1.1.6 数据现 势性	G	数据采集时间与验 收时间间隔≤12 个 月, 核心区域更新周 期≤6 个月	1. 核查数 据采集时 间、更新记 录; 2. 抽样 比对模型 与实景一 致性	3
	1.2 飞 控训练 样本数 据质量 (15 分)	1.2.1 标注准 确率	K	样本标注准确率≥ 99%, 无错标、漏标、 误标	1. 按本指 南要求分 层抽样; 2. 人工+工具 核查标注 准确性, 计 算准确率	4
		1.2.2 样本完 整性	G	样本核心分类维度 覆盖率 100%, 必填属 性完整率 100%, 溯源 信息完整率 100%	1. 核查样 本分类覆 盖情况; 2. 抽样核查 属性、溯源 信息完整 性	3

一级指标 (权重)	二级指 标 (权 重)	三级指 标	指标属性	量化标准	检验方法	单 项 分 值
		1.2.3 样本均 衡性	G	同维度子类样本占 比偏差 $\leq\pm 10\%$,核 心工况组合样本缺 失率 $\leq 5\%$,恶劣工况 样本占比 $\geq 30\%$	1.统计各 类样本数 量占比;2. 核查工况 组合覆盖 情况	3
		1.2.4 样本关 联一致 性	G	事件、行为、过程支 撑数据通过样本编 号 100%绑定,时空匹 配无偏差	1.抽样核 查样本关 联关系;2. 工具检测 时空匹配 精度	3
		1.2.5 样本合 规性	G	样本数据来源合法、 权属清晰,符合数据 安全相关法律法规 要求	1.核查数 据来源证 明、授权文 件;2.核查 数据合规 性管理制 度	2
2 仿真场景构建 (25 分)	2.1 场景空间一 致性		K	场景地理要素与三 维模型基础数据一 致性 $\geq 98\%$,无空间 错位、几何变形	1.抽样比 对场景要 素与基础 数据;2.工 具检测空 间偏差	7
	2.2 物理仿真真 实性		G	物理仿真误差 $\leq 5\%$, 可准确还原气流、碰 撞、风场等物理特性	1.设定仿 真参数开 展测试;2. 比对仿真 结果与理 论值,计算 误差	5
	2.3 动态场景模 拟能力		G	可实现气象、动态障 碍物、突发事件的自 定义模拟,触发准确 率 100%	1.自定义 动态场景 参数开展 测试;2.核 查触发准 确率、模拟 效果	5
	2.4 场景渲染性 能		G	核心区域渲染帧率 $\geq 30\text{fps}$,大范围漫 游帧率 $\geq 24\text{fps}$,无 卡顿、画面撕裂	1.采用帧 率检测工 具开展全 场景测试; 2.记录渲 染帧率、稳	5

一级指标 (权重)	二级指 标 (权 重)	三级指 标	指标属性	量化标准	检验方法	单 项 分 值
					定性	
	2.5 场景兼容性		G	支持主流三维引擎、飞控仿真平台、AI训练框架的接入调用	1. 测试主流平台的接入兼容性；2. 核查场景数据格式通用性	3
3 功能与性能 (25 分)	3.1 基础与核心功能 (15 分)	3.1.1 功能覆盖率	K	本指南规定的核心功能覆盖率 100%，无缺失，功能执行符合设计要求	1. 对照功能要求逐项开展功能测试；2. 记录功能实现情况	4
		3.1.2 场景管理功能	G	可实现场景入库、版本管理、编辑、检索调用全流程管理，功能正常	1. 逐项测试场景管理各项功能；2. 核查版本管理、权限控制效果	3
		3.1.3 样本管理功能	G	可实现样本入库、标注、版本管理、检索、导出全流程管理，功能正常	1. 逐项测试样本管理各项功能；2. 核查数据集导出兼容性	3
		3.1.4 训练与验证功能	G	支持单机、多机协同训练，算法验证、适航测试、任务编排功能正常	1. 搭建测试任务，逐项验证训练与验证功能；2. 核查任务执行效果	3
		3.1.5 评估分析功能	G	可实现飞控性能、算法精度、响应能力的量化评估，自动生成评估报告	1. 执行测试训练任务，验证评估功能；2. 核查评估指标、报告生成效果	2
	3.2 系统性能 (10 分)	3.2.1 系统稳定性	K	场景连续运行 72 小时无崩溃、无数据丢失，核心功能执行成	1. 开展 72 小时连续运行压力	3

一级指标 (权重)	二级指 标 (权 重)	三级指 标	指标属性	量化标准	检验方法	单 项 分 值
	分)			功率 100%	测试; 2. 记录系统运行状态、异常情况	
		3.2.2 响应性能	G	训练任务调度响应时间 $\leq 1s$, 数据查询响应时间 $\leq 500ms$	1. 采用性能测试工具, 模拟并发场景开展响应时间测试; 2. 记录测试结果	3
		3.2.3 并发性能	G	支持并发用户数 ≥ 50 个, 算法测试任务并发执行数 ≥ 10 个, 无卡顿、无超时	1. 模拟并发场景开展压力测试; 2. 记录系统并发承载能力	2
		3.2.4 易用性	G	操作界面逻辑清晰, 关键功能操作步骤 ≤ 3 步, 具备完善的操作指引	1. 人工核查界面交互逻辑; 2. 统计关键功能操作步骤	2
4 安全与管理 (15 分)	4.1 数据安全 (6分)	4.1.1 数据安全合规性	K	符合 GB/T 35273-2020、GB/T 45654-2025 相关要求, 建立全生命周期数据安全管理制度	1. 核查数据安全管理制度; 2. 核查存储、传输、使用的安全技术措施	2
		4.1.2 存储安全	G	实现身份认证、权限管控、操作审计、定期备份, 日志留存 ≥ 6 个月	1. 测试权限管控、审计日志功能; 2. 核查备份机制、日志留存情况	2
		4.1.3 使用与传输安全	G	数据传输采用加密通道, 对外共享有完整的审批、交付记录, 无超范围使用	1. 核查数据传输加密措施; 2. 核查数据共享审批流程、记录	2

一级指标 (权重)	二级指 标 (权 重)	三级指 标	指标属性	量化标准	检验方法	单 项 分 值
	4.2 系 统与场 景安全 (5分)	4.2.1 系统安 全等级	K	符合 GB/T 22239-2019 要求,达 到网络安全等级保 护第三级及以上要 求	1. 核查网 络安全等 级保护测 评报告; 2. 核查系统 安全防护 措施	2
		4.2.2 场景安 全管控	G	场景入库、更新、调 用、共享有完整的审 批流程,涉密场景实 现隔离管理	1. 核查场 景安全管 控制度、审 批流程; 2. 测试涉密 场景隔离 管控效果	2
		4.2.3 无人机 围栏管 控	G	无人机围栏功能正 常,具备禁区主动告 警、越界强制干预能 力,符合 MH/T 2008-2017 要求	1. 现场测 试无人机 围栏功能; 2. 核查告 警、干预机 制有效性	1
	4.3 管 理与应 急 (4 分)	4.3.1 管理制 度体系	G	建立完善的运维、人 员、安全、应急管理 制度,岗位职责明确	1. 核查管 理制度文 件; 2. 核查 岗位设置、 职责划分 情况	2
		4.3.2 应急处 置能力	G	制定完善的应急预 案,每半年至少开展 1 次应急演练,有完 整的演练记录	1. 核查应 急预案文 件; 2. 核查 应急演练 记录、处 置流程	2

A.4 结果判定规则

A.4.1 合格判定

同时满足以下所有条件的,评价结果判定为合格:

- 所有关键指标全部符合量化标准,无不合格项;
- 评价总分 ≥ 80 分;
- 每个一级指标的扣分不超过该指标权重的 40%。

A.4.2 整改后合格判定

满足以下条件的,可判定为整改后合格:

- 所有关键指标全部符合量化标准,无不合格项;

- b) 评价总分 ≥ 70 分且 < 80 分，或单个一级指标扣分超过该指标权重的40%；
- c) 不合格项在规定期限内完成整改，整改后通过复检。

A. 4. 3 不合格判定

出现以下任一情况的，评价结果直接判定为不合格：

- a) 任意一项关键指标不符合量化标准；
- b) 评价总分 < 70 分；
- c) 整改后仍有指标不符合要求，或未在规定期限内完成整改。

A. 4. 4 评价报告要求

评价完成后，应形成正式的质量评价报告，至少包含以下内容：

- a) 项目概况、评价范围、评价依据；
- b) 评价人员、评价时间、检验环境；
- c) 各项指标的检验结果、评分情况；
- d) 发现的问题、整改要求与处置意见；
- e) 最终评价结论；
- f) 检验记录、测试数据等附件材料。

附 录 B
(规范性)
元数据核心要素表

B.1 范围

本附录规定了无人机智能三维仿真训练场相关数据的元数据核心要素、约束条件、数据类型与填写规范，是数据生产、入库、管理、共享的统一依据。

B.2 元数据分类

元数据分为核心元数据和扩展元数据：
核心元数据（M）：必填项，所有数据必须完整填写，是数据识别、管理、溯源的核心要素；
扩展元数据（O）：可选项，可根据业务需求、数据类型选择性填写，用于补充数据的详细属性。
按数据类型，元数据分为三大类：
a) 三维模型基础数据元数据；
b) 飞控训练样本数据元数据；
c) 仿真场景元数据。

B.3 元数据要素表示例

B.3.1 三维模型基础数据元数据

表B.3.1 三维模型基础数据元数据

要素分类	要素名称	定义	约束	数据类型	填写规范
核心元数据	数据名称	三维模型数据的正式名称	M	字符串	规范命名，格式：区域名称+数据类型+版本号，示例：杭州市余杭区倾斜摄影三维模型V1.0
	生产单位	数据生产单位全称	M	字符串	填写单位全称，无生产单位的填写权属单位
	坐标系统	数据使用的坐标系统	M	字符串	固定填写：2000国家大地坐标系
	高程基准	数据所使用的高程基准名称	M	字符串	固定填写：1985国家高程基准
	数据级别	负责数据生产、维护职责的级别	O	字符串	“国家级、省级、城市级”
	数据格式	模型数据的存储格式	M	字符串	填写数据主格式，示例：OSGB、OBJ、FBX
	数据量	数据的总存储大小	M	数值	单位：GB，保留2位小数

	数据版本	数据的版本号	M	字符串	采用主版本号。次版本号格式,示例: V1.0
	密级	数据保密程度的等级	0	字符串	“绝密、机密、秘密、内部、无密级”
扩展元数据	数据更新记录	数据的历史更新记录	0	字符串	记录每次更新的时间、版本号、更新内容、更新人
	备注	其他需要说明的信息	0	字符串	填写补充说明内容

B.3.2 飞控训练样本数据元数据

表B.3.2 飞控训练样本数据元数据

要素分类	要素名称	定义	约束	数据类型	填写规范
核心元数据	样本唯一编号	样本数据的全局唯一编码,与附录 A 编码规则对应	M	字符串	格式: 附录A6位编码+UUID前8位, 示例: 101001-8F3E2D1C
	样本名称	样本数据的正式名称	M	字符串	规范命名, 格式: 事件/行为类型-场景类型-版本号, 示例: 山体滑坡-应急救援-V1.0
	样本大类	样本的一级分类	M	字符串	固定填写: 事件样本/行为样本/过程支撑数据
	样本分类编码	样本对应的附录A分类编码	M	字符串	填写附录A中对应的6位数字编码
	数据权属单位	样本数据的所有权归属单位全称	M	字符串	填写单位全称, 与数据权属证明文件一致
	标注单位	样本标注的实施单位全称	M	字符串	填写单位全称, 自主标注的填写权属单位
	关联三维模型数据标识	样本对应的三维模型基础数据的唯一标识	M	字符串	填写对应三维模型数据的32位UUID编码
	数据覆盖位置	样本对应的地理空间位置	M	点/多边形	填写样本发生位置的经纬度坐标, 附WKT格式的空间要素
	数据格式	样本数据的存	M	字符串	填写数据主格式,

		储格式			示例：JSON、PNG、MP4、LAS
	数据量	样本数据的总存储大小	M	数值	单位：MB，保留2位小数
	采集时间	样本原始数据的采集时间	M	日期时间型	格式：YYYY-MM-DD HH:MM:SS
	标注完成时间	样本标注、质检完成时间	M	日期时间型	格式：YYYY-MM-DD HH:MM:SS
	版本号	样本数据的版本号	M	字符串	采用主版本号。次版本号格式，示例：V1.0
	密级	样本数据的保密等级	M	字符串	填写：公开/内部/秘密/机密/绝密，与保密审批文件一致
	标注人员	样本标注人员姓名	M	字符串	填写标注人员真实姓名
	质检人员	样本质检人员姓名	M	字符串	填写质检人员真实姓名
	数据来源说明	样本数据的来源、采集方式说明	M	字符串	详细说明数据来源，示例：实测采集、仿真生成、共享获取
扩展元数据	关联样本编号	与该样本绑定的其他样本唯一编号	0	字符串数组	填写关联的事件、行为、过程支撑数据的样本编号
	采集设备型号	原始数据采集的设备型号	0	字符串	填写无人机型号、载荷型号、传感器型号
	采集参数	原始数据采集的关键参数	0	字符串	填写飞行高度、飞行速度、载荷焦距、采样频率等参数
	环境参数	样本采集时的环境参数	0	字符串	填写风速、风向、光照、能见度、温度等参数
	标注规范版本	样本标注采用的规范版本号	0	字符串	填写本指南发布版本号
	质检结果	样本质检的详细结果	0	字符串	填写质检合格率、不合格项、整改情况
	数据更新记录	样本数据的历史更新记录	0	字符串	记录每次更新的时间、版本号、更新

					内容、更新人
	数据授权范围	样本数据的授权使用范围、期限	0	字符串	详细说明授权使用的主体、范围、期限、限制要求
	适用训练场景	样本适用的飞控训练场景类型	0	字符串数组	填写适用的业务场景，示例：应急救援、电力巡检
	备注	其他需要说明的信息	0	字符串	填写补充说明内容

B.4 填写说明

- a) 所有元数据应保证真实、准确、完整，与对应数据的实际情况一致，不得填写虚假信息；
- b) 核心元数据为必填项，无特殊情况不得空缺，确无相关内容的，应填写“无”并说明原因；
- c) 元数据应随对应数据同步更新，数据发生修改、版本升级、状态变更的，应立即更新元数据，保证元数据与数据的一致性；
- d) 元数据应与对应数据一同归档、存储、移交，支持快速检索、查询与统计。

参 考 文 献

- [1] YD/T 6486-2025 面向人工智能的数据集质量通用评估方法 总体要求
 - [2] CH/T 9015-2012 三维地理信息模型数据产品规范
 - [3] T/CICC 02008-2025 无人系统协同感知、决策与控制 验证测试
-

附件2

团体标准

《无人机智能三维仿真训练场建设指南》

编制说明

《无人机智能三维仿真训练场建设指南》团体标准起草项目组

二〇二六年十月

《无人机智能三维仿真训练场建设指南》编制说明

一、工作简况、任务来源、主要起草单位、主要工作过程

（一）工作简况

（1）编制背景

随着低空经济快速发展，无人机在城市管理、应急救援、电力巡检、物流配送、交通管理、水利巡检、生态监测、自然资源等领域已形成规模化应用，对无人机智能感知、自主决策、集群协同和安全运行提出了更高要求。截至 2025 年底，我国实名登记无人机达 328.7 万架，年飞行小时突破 4530 万小时，传统实飞训练模式面临安全风险高、组织成本大、复杂工况复现难、训练评估不可比等问题。与此同时，当前国内外标准多聚焦于传统实操训练，面向无人机智能飞控、环境感知、自主决策、集群协同等能力的智能三维仿真训练场建设尚缺乏统一技术规范，存在场景数据精度不一、样本标注质量参差、仿真环境与真实工况贴合不足、训练验证结果难以复现和评价等问题，制约了无人机智能系统训练、验证及适航测试的规范化发展。

在此背景下，建设无人机智能三维仿真训练场，有助于支撑无人机智能系统全流程训练、验证及适航测试，构建统一的智能训练验证体系，保障低空经济安全规范发展。浙江省测绘科学技术研究院、杭州联汇科技股份有限公司等单位结合高精度测绘数

据、三维建模、无人机智能体训练和飞控技术基础，提出制定《无人机智能三维仿真训练场建设指南》团体标准，以规范训练场设计、建设、运维与管理，填补相关标准空白。

（2）编制意义和必要性

制定《无人机智能三维仿真训练场建设指南》旨在响应国家空域管理、测绘地理信息、网络安全、数据安全和人工智能等相关政策与标准要求，针对当前无人机智能三维仿真训练场建设中缺乏统一技术规范、场景与样本质量不一致、训练验证和评价体系不完善等问题，统一训练场建设原则、总体架构、数据要求、仿真场景构建、功能要求、质量控制与评价、安全与管理要求，构建覆盖“数据—场景—样本—训练—验证—评价—安全”的全流程技术与管理指引。

本标准可为无人机智能飞控算法训练、环境感知与自主决策验证、集群协同测试、适航符合性测试及作业技能培训提供可复现、可量化、可追溯的仿真训练环境，提升训练样本和场景数据的规范性、兼容性和互操作性，支撑城市管理、应急救援、电力巡检、物流配送、交通管理、水利巡检等低空应用场景的安全规范发展，对促进低空经济领域技术创新和标准化建设具有重要意义。

（3）编制组工作开展情况

浙江省测绘科学技术研究院、杭州联汇科技股份有限公司联合相关单位，组织测绘地理信息、三维建模、无人机飞控、人工智能、仿真训练、网络安全、数据管理等相关领域骨干人员，组

建标准编制组，完成资料收集、技术调研、标准草案编制，经专家讨论修改形成征求意见稿。

（4）现有技术条件和工作基础

申请单位已积累丰富的高精度测绘数据，掌握成熟的无人机智能体训练技术，能够为标准制定提供数据与技术支撑。已形成覆盖浙江省、地形类型多样的多源三维数据体系，全域实现 DSM 和 DOM 模型全覆盖，平原区域完成 DEM 和激光点云数据全覆盖，城建区实现 LoD1.3 及 Mesh 三维模型全覆盖；DOM 影像分辨率可达 0.2m，三维模型平面精度可达 0.3m、高程精度可达 0.5m，激光点云数据密度优于 1 点/平方米。已打造具备高度自主性的无人机飞行智能体，提供集实时感知、边缘计算与自主决策于一体的智能体服务；已掌握自主路径规划、智能拍摄控制、语音交互指挥、多机协调调度等关键飞控功能，以及基于多模态大模型的动态视觉感知能力，可支撑仿真场景下无人机全流程飞行模拟与算法验证。

（二）任务来源

本标准由浙江省测绘科学技术研究院提出，并提交浙江省测绘与地理信息行业协会团体标准项目建议书。项目建议书拟定计划起始时间为 2026 年 9 月，计划完成时间为 2027 年 3 月。立项批准文件及文号待协会下达后补充。

（三）主要起草单位

XXX。

（四）主要工作过程

（1）组建标准编制组

牵头单位联合相关单位专家组建标准编制组，制定标准编制方案，明确任务分工，开展标准编制工作。

（2）文献和资料收集

标准编制组收集整理了相关政策文件和标准规范，包括《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）、《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》（GB/T 22239-2019）、《信息安全技术 个人信息安全规范》（GB/T 35273-2020）、《基础地理信息本体范例数据规范》（GB/T 41446-2022）、《无人机遥感测绘飞行管理信息要求》（GB/T 45631-2025）、《网络安全技术 生成式人工智能服务安全基本要求》（GB/T 45654-2025）、《民用系留无人机系统通用要求》（GB/T 45678-2025）、《三维地理信息模型数据产品规范》（CH/T 9015-2012）、《无人机围栏》（MH/T 2008-2017）、《无人机云系统数据规范》（MH/T 2011-2019）、《网络空间安全仿真 无人机系统信息安全仿真平台接入技术要求》（YD/T 4597-2023）、《面向人工智能的数据集质量通用评估方法 总体要求》（YD/T 6486-2025）、《无人系统协同感知、决策与控制验证测试》（T/CICC 02008-2025）《城市治理无人机垂直起降场布局规划 编制指南》（T/NSPSZ 001-2025）等，为标准编制打下良好基础。

（3）实地调研

编制组实地走访了无人机研发制造与运营企业、测绘地理信息单位及相关应用单位，深入了解无人机智能三维仿真训练场建设现状，以及不同用户对场景数据、样本数据、训练验证、评估分析和安全管理的需求，结合编制组在三维地理信息、无人机智能体和飞控技术方面的工作经验，保证了标准技术内容的科学、可靠、适用。

（4）初稿编制

编制组提出标准编制方案和技术路线，结合收集资料和调研情况，开展标准初稿编制工作，科学设置标准层次和技术要素，形成《无人机智能三维仿真训练场建设指南》（标准草案）。

（5）形成征求意见稿

组织有关行业专家对标准草案进行讨论，进一步修改完善，形成标准征求意见稿。

（6）征求意见

面向行业广泛征求意见，并根据反馈意见进行修改完善。

二、标准编制的原则和依据

（一）编制原则

——合规性原则：训练场建设应符合国家空域管理、测绘地理信息、网络安全、数据安全、人工智能等相关法律法规及现行标准，数据来源合法合规、权属清晰、可追溯，涉密数据管理应符合国家保密相关规定。

——科学性原则：训练场应基于真实地理环境构建，模型精度、物理仿真、环境模拟应贴合无人机实际作业工况，样本数据应满足 AI 飞控算法训练的完整性、均衡性、准确性要求，保障训练结果的有效性与可落地性。

——实用性原则：训练场应覆盖无人机主流应用场景与核心作业工况，适配不同机型、不同飞控算法的训练、验证与测试需求，功能设计贴合实际业务流程，具备可操作性与可复用性。

——可扩展性原则：训练场应采用模块化、松耦合架构设计，支持场景数据、样本库、功能模块的灵活扩展与迭代升级，适配低空经济技术发展与业务场景拓展需求。

——安全性原则：训练场建设应建立全生命周期安全管控体系，覆盖数据、场景、系统、应用全环节，具备完善的风险防控、权限管理与应急处置能力，保障训练过程与数据资产安全。

（二）编制依据

——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》

——GB/T 22239-2019《信息安全技术 网络安全等级保护基本要求》

——GB/T 35273-2020《信息安全技术 个人信息安全规范》

——GB/T 41446-2022《基础地理信息本体范例数据规范》

——GB/T 45631-2025《无人机遥感测绘飞行管理信息要求》

——GB/T 45654-2025《网络安全技术 生成式人工智能服务

安全基本要求》

——GB/T 45678-2025《民用系留无人机系统通用要求》

——CH/T 9015-2012《三维地理信息模型数据产品规范》

——MH/T 2008-2017《无人机围栏》

——MH/T 2011-2019《无人机云系统数据规范》

——YD/T 4597-2023《网络空间安全仿真 无人机系统信息安全仿真平台接入技术要求》

——YD/T 6486-2025《面向人工智能的数据集质量通用评估方法 总体要求》

——T/CICC 02008-2025《无人系统协同感知、决策与控制验证测试》

——T/NSPSZ 001-2025《城市治理无人机垂直起降场布局规划 编制指南》

其他相关政策和标准。

三、标准的主要内容、技术论证与效果

（一）主要内容

本标准共 11 章，并设 2 个规范性附录，主要技术内容有：范围、规范性引用文件、术语和定义、缩略语、建设原则、总体架构、数据要求、仿真场景构建要求、功能要求、质量控制与评价、安全与管理要求，以及附录 A《场景建设质量评价指标体系》、附录 B《元数据核心要素表》。

1 “范围”规定了本文件的内容范围和适用范围。本文件规定

了无人机智能三维仿真训练场的建设原则、总体架构、数据要求、场景建设、功能实现、质量控制与评价、安全与管理等全流程技术与管理指引，适用于低空经济领域面向城市管理、应急救援、电力巡检、物流配送、交通管理、水利巡检等场景的无人机智能三维仿真训练场设计、建设、运维与管理。团体成员单位宜参照执行，其他相关单位可参考使用。

2 “规范性引用文件”规定了本文件制定过程中引用的有关规范性文件，主要包括 GB/T 1.1-2020、GB/T 22239-2019、GB/T 35273-2020 、 GB/T 41446-2022 、 GB/T 45631-2025 、 GB/T 45654-2025、GB/T 45678-2025、CH/T 9015-2012、MH/T 2008-2017、MH/T 2011-2019 、 YD/T 4597-2023 、 YD/T 6486-2025 、 T/CICC 02008-2025、T/NSPSZ 001-2025 等。

3 “术语和定义”规定了本文件中的有关专业术语及其定义，主要包括无人机智能三维仿真训练场、三维模型、细节层次、无人驾驶航空器、无人机围栏、事件样本、行为样本、生成式人工智能数据标注等。

4 “缩略语”规定了本文件中有关专业数据的简化表达形式，包括 AI、DEM、DOM、DSM、GNSS、LoD、RTK、UAV 等。

5 “建设原则”规定了训练场建设应遵循的合规性、科学性、实用性、可扩展性和安全性原则。

6 “总体架构”规定了训练场应采用分层架构设计，自下而上分为数据层、场景引擎层、样本管理与训练层、应用服务层、安全管控层，各层级应互联互通、协同联动，形成完整的训练场技

术体系。

7 “数据要求”规定了训练场数据的一般要求、三维模型基础数据要求、飞控训练样本数据要求和元数据要求。一般要求明确统一采用 2000 国家大地坐标系、1985 国家高程基准、北京时间、高斯-克吕格投影和 Z-up 右手坐标系；三维模型基础数据包括 DEM、DSM、DOM、倾斜摄影测量三维模型、激光点云数据、城市三维建筑模型、室内空间三维模型、无人机围栏电子边界数据等，并规定精度和模型精细度要求；飞控训练样本数据由事件样本、行为样本、过程支撑数据构成，规定数据预处理和标注要求；元数据分为核心元数据和扩展元数据，核心元数据为必填项。

8 “仿真场景构建要求”规定了场景分类、场景构建基本规则和动态场景构建要求。场景分类覆盖城市管理、应急救援、电力巡检、物流配送、交通管理、水利巡检、生态监测、自然资源等类别；场景构建基本规则包括空间一致性、物理真实性、LoD 层级适配、要素关联性；动态场景构建要求包括动态环境模拟、动态障碍物模拟、突发事件触发、场景自定义编辑、系统异常仿真等。

9 “功能要求”规定了训练场应具备的基础功能、场景管理功能、样本管理功能、训练与验证功能、评估分析功能和协同作业功能，包括场景加载与渲染、飞行模拟、视角控制、数据记录与回放、场景入库与版本管理、样本入库与标注管理、单机与多机协同训练、算法验证、适航测试、任务编排、飞控性能与算法精度评估、多角色权限管理、多终端协同和远程训练管控等。

10 “质量控制与评价”规定了训练场建设全流程质量管控体

系，明确数据质量控制、场景质量控制、功能性能控制和评价结果处理要求。质量评价分为过程检验和最终验收检验两个阶段，评价指标分为关键指标和一般指标，并按附录 A 执行。

11 “安全与管理要求”规定了数据安全、场景与系统安全和管理要求，包括数据全生命周期安全管理、存储安全、使用与传输安全、数据销毁、场景全生命周期安全管控、网络安全等级保护第三级及以上要求、无人机围栏安全管控、运维管理机制、管理制度体系、人员培训和场景常态化更新维护等。

附录 A “场景建设质量评价指标体系”规定了评价指标体系、评分规则和结果判定方法，是场景建设质量检验、验收、评价的统一依据。附录 B “元数据核心要素表”规定了三维模型基础数据、飞控训练样本数据等元数据的核心要素、约束条件、数据类型与填写规范。

（二）技术论证与效果

基于合规性、科学性、实用性、可扩展性、安全性原则，与 CH/T 9015-2012、YD/T 6486-2025、GB/T 22239-2019、MH/T 2008-2017 等标准衔接，构建无人机智能三维仿真训练场建设的标准化框架，规范训练场总体架构、数据要求、仿真场景构建、功能要求、质量控制与评价、安全与管理要求，建立场景数据、样本数据集和训练结果共享交互机制，确保训练场设计、建设、运维与管理相关单位信息畅通，保证标准的实施效果和质量。

四、采用国际标准的程序及水平的简要说明

本标准不采用国际标准。

五、与有关的现行法律、法规和国家、行业标准的关系

本标准作为团体标准，与上位法律法规，相关国家、行业和地方标准保持一致。

六、标准实施建议

本标准的实施需要全方位推进：

一是加强标准宣传，通过各种渠道向无人机研发制造、运营服务、测绘地理信息、城市管理、应急救援、电力巡检、水利巡检等相关单位和专业人员宣传无人机智能三维仿真训练场建设标准，提高其知晓度和认可度。

二是完善标准体系，围绕建设原则、总体架构、数据要求、仿真场景构建、功能要求、质量控制与评价、安全与管理等内容，做好与相关国家、行业、地方和团体标准的衔接，确保标准的全面、科学和规范。

三是实施标准管理，包括标准的发布、修订、备案和评估等，做到标准的持续改进和管理。

四是推广标准应用，推动本团体标准在低空经济领域训练场设计、建设、运维与管理中的应用，鼓励相关单位和专业人员在工作中积极采用标准，提高无人机智能三维仿真训练场建设规范和质量。

五是培训标准应用人员，针对标准应用开展相关人员培训和指导，提高其标准理解和应用能力，实现标准的全面应用。

六是评价标准效果，建立标准应用效果评价机制，对标准应用效果进行评估和反馈，及时发现问题和改进措施，确保标准实施效果和质量。

七、标准编制过程中重大分歧意见的处理和依据

无。

八、其他应予说明的事项

无。

附件 3

《无人机智能三维仿真训练场建设指南》
(征求意见稿) 意见反馈表

提意见单 位和（或） 专家	专家姓名		职务/职称	
	单位名称			
	通讯地址			
	联系电话		E-mail	
标准意见反馈				
序号	章条号	修改建议		理由及依据
单位盖章或个人签字				
年 月 日				

注：表格篇幅不够可另加页；若意见提出人为单位，需加盖单位公章。
如果贵单位和专家对征求意见稿没有修改意见，也请填写单位和个人信息，在意见栏填写“无意见”并反馈。