



中华人民共和国民用航空行业标准

MH/T 2017—2025

民用无人驾驶航空器系统分布式操作 自动化等级测试

Civil unmanned aircraft system distributed operation—
Automation level testing

2025-06-20 发布

2025-07-01 实施

中国民用航空局 发布

目 次

前言	IV
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 测试范围	2
6 测试对象	2
6.1 测试对象组成	2
6.2 动力学模型要求	2
6.3 数据接口要求	2
7 测试环境与仿真测试系统要求	2
7.1 硬件设备	2
7.2 软件环境	2
7.3 测试场地	3
7.4 测试人员	3
7.5 网络通信	3
7.6 安全措施	3
7.7 仿真测试系统	3
8 测试科目和指标要求	3
8.1 飞行任务执行	3
8.2 运行风险探测与响应（内部）	4
8.3 运行风险探测与响应（外部）	4
8.4 飞行任务接管	5
8.5 设计运行范围	5
9 测试结果评估与报告	5
9.1 通用要求	5
9.2 标题	5
9.3 测试情况描述	5
9.4 设计运行范围	6
9.5 飞行前检查能力	6
9.6 航线飞行任务执行能力	7
9.7 运行风险探测与响应能力	8
9.8 飞行任务接管能力	10
9.9 自动飞行系统自动化等级测试结论	10
附录 A（规范性） 测试科目与自动化等级对应关系	12
附录 B（资料性） 测试数据接口协议示例	15

B.1	概述.....	15
B.2	测试数据交互接口信息.....	15
B.3	起飞相关.....	16
B.4	飞行中异常注入.....	18
B.5	飞行中数据上报.....	18
B.6	飞行结束.....	25
B.7	云平台终止飞行.....	25
B.8	仿真环境相关接口.....	26

图 B.1	无人机数据流转流程图	15
-------	------------------	----

表 1	自动化等级测试基本信息	5
表 2	测试环境数据	6
表 3	飞行前检查测试结果记录	7
表 4	自主航线飞行保持能力测试结果记录	8
表 5	运行风险探测与响应能力测试结果记录	9
表 6	飞行任务接管测试结果记录	10
表 7	自动飞行系统自动化等级测试结果汇总	10
表 A.1	测试科目要求与自动化等级的对应关系.....	12
表 B.1	起飞数据格式字段说明	16
表 B.2	航点定义字段说明	17
表 B.3	机场定义字段说明	17
表 B.4	响应起飞 Resp 字段说明	18
表 B.5	异常注入字段说明	18
表 B.6	异常注入应答字段说明	18
表 B.7	消息头字段说明	18
表 B.8	天气数据字段说明	19
表 B.9	无人机风况字段说明	19
表 B.10	心跳字段说明	19
表 B.11	告警信息字段说明	20
表 B.12	当前无人机状态任务字段说明	20
表 B.13	GNSS 字段说明.....	20
表 B.14	无人机坐标字段说明	21
表 B.15	无人机执行器 PWM 控制量字段说明.....	21
表 B.16	网络状态字段说明	21
表 B.17	电池实时信息字段说明	22
表 B.18	电池版本信息字段说明	23
表 B.19	无人机姿态信息字段说明	23
表 B.20	无人机油门信息字段说明	24
表 B.21	无人机图像信息-左视图字段说明.....	24
表 B.22	无人机图像信息-下视图字段说明.....	24
表 B.23	CLD 结束指令应答字段说明.....	25
表 B.24	飞行结束后无人机上传数据文件参数.....	25
表 B.25	CLD 终止飞行指令协议 Topic 字段说明.....	25
表 B.26	UAV 应答协议 Topic 字段说明.....	26

表 B. 27 HEARTBEAT 消息字段说明 26

表 B. 28 HIL_ACTUATOR_CONTROLS 消息字段说明 26

表 B. 29 HIL_SENSOR 消息字段说明 27

表 B. 30 HIL_GNSS 消息字段说明 28



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。

本文件由中国民用航空局飞行标准司提出。

本文件由中国民航科学技术研究院归口。

本文件起草单位：中国民航管理干部学院、杭州迅蚁网络科技有限公司、亿航智能设备（广州）有限公司、中航（成都）无人机系统股份有限公司、深圳美团低空物流科技有限公司、南京拓攻自动驾驶技术研究院、拓兴智控科技有限公司、中国民航科学技术研究院、南京航空航天大学。

本文件主要起草人：田玲玲、赵亮、张正娟、张妍、龚成、高胜男、马梦弟、程浩、秦永辉、王琳琳、任高升、彭建、张新纪、张洪海、柏艺琴、郑志刚、钟罡。

民用无人驾驶航空器系统分布式操作 自动化等级测试

1 范围

本文件规定了民用无人驾驶航空器系统分布式操作自动化等级测试的测试范围、测试对象、测试环境与仿真测试系统要求、测试科目和指标要求、测试结果评估与报告等内容，并提供了测试数据接口协议示例。

本文件适用于在真高120 m以下隔离空域运行的轻、小、中型多旋翼无人驾驶航空器系统，用于指导自动飞行系统的分布式操作自动化等级测试。

本文件不适用于AL-5自动化等级的测试。

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。

MH/T 2013—2022 民用无人驾驶航空器系统分布式操作运行等级划分

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人驾驶航空器系统分布式操作 **unmanned aircraft system distributed operation**

把无人驾驶航空器系统操作分解为多个子业务，部署在多个站点或者终端进行协同操作的模式。

注：分布式操作特点不要求个人具备对无人驾驶航空器系统的完全操作能力，由操作人员和自动飞行系统协同操作。

3.2

运行等级 **operation level**

由运营人分布式操作的自动化程度和安全保证性所决定，并反映运营人特定场景飞行运行能力的综合定级。

[来源：MH/T 2013—2022，3.15，有修改]

3.3

仿真测试 **simulation testing**

利用计算机技术和虚拟现实技术，对无人驾驶航空器系统分布式操作过程进行模拟和验证的技术和方法。

注：仿真测试包括飞行任务执行的模拟、内部和外部运行风险的探测与响应模拟、飞行任务接管模拟等。

3.4

仿真测试系统 **simulation testing system**

提供仿真测试服务、具备数据输入输出功能的可执行程序、设备或网络服务。

注：仿真测试系统由后端测试服务器和前端程序集组成，为算法平台提供数据基础，控制测试流程，实现仿真测试。

3.5

自动飞行系统 **automated flight system**

实现无人驾驶航空器系统自动执行飞行任务的状态的硬件和软件组成的整体。

[来源：MH/T 2013—2022，3.8，有修改]

3.6

测试数据交互接口 **interface of testing data interaction**

仿真测试系统与被测试的自动飞行系统在测试过程中进行交换数据的接口协议。

注：接口中需定义的数据包括但不限于定位信息、环境信息、感知信息、控制信号、规划信息等。

3.7

自动化等级 **automation level; AL**

对自动飞行系统可以不依赖人工介入而实施飞行的能力的定级。

[来源：MH/T 2013—2022，3.9]

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CLD：云系统（Cloud）

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

HTTP：超文本传输协议（Hypertext Transfer Protocol）

MQTT：消息队列遥测传输协议（Message Queuing Telemetry Transport）

NED：北东地坐标系（North East Down）

PWM：脉冲宽度调制（Pulse Width Modulation）

UAV：无人驾驶航空器（Unmanned Aerial Vehicle）

WGS84：1984年世界大地坐标系统（World Geodetic System 1984）

5 测试范围

测试范围应包括以下内容：

- 飞行任务执行能力；
- 运行风险因素（内部）探测与响应能力；
- 运行风险因素（外部）探测与响应能力；
- 飞行任务接管能力；
- 设计运行范围限制条件。

自动化等级测试宜优先采用仿真测试，对超出仿真测试条件限制的测试科目可开展实际飞行测试，以满足测试范围的要求，测试科目与自动化等级对应关系应符合附录A的要求。

6 测试对象

6.1 测试对象组成

测试对象是用于实施分布式操作的自动飞行系统，应包括自动飞行系统的硬件模块、嵌入式软件、远程运行控制系统软件等。

6.2 动力学模型要求

动力学模型应由测试申请人提供，并确保模型具备满足仿真要求的准确性和完整性。

6.3 数据接口要求

数据接口应根据协议的要求，确保测试对象与仿真测试系统进行有效的数据传输。测试数据接口协议示例见附录B。

7 测试环境与仿真测试系统要求

7.1 硬件设备

测试所需硬件设备应包括：

- a) 安装了被测自动飞行系统的民用无人驾驶航空器（以下简称“无人机”）；
- b) 地面控制设备；
- c) 硬件模块；
- d) 测试用计算机与显示器；
- e) 连接线缆和供电系统。

7.2 软件环境

软件环境应包括：

- a) 自动飞行系统的嵌入式软件；
- b) 远程运行控制系统软件；
- c) 用于支持被测无人机动力学建模和仿真环境搭建的仿真飞行软件；
- d) 测试数据交互接口；
- e) 数据处理与分析软件。

7.3 测试场地

7.3.1 仿真测试场地

仿真测试场地应：

- a) 具备独立且不受外界干扰的空间，用于搭建仿真测试场景；
- b) 提供稳定的电力、网络和照明条件，以确保测试过程的安全性和完整性。

7.3.2 实飞测试场地

实飞测试场地应：

- a) 具备被测无人机安全起降要求的起降、备降设施；
- b) 符合被测无人机的技术规格要求的气象条件（如风力、温度、气压）。

7.4 测试人员

测试人员应：

- a) 具备专业知识和技能；
- b) 熟悉测试对象的操作模式和性能参数。

7.5 网络通信

测试环境应根据测试对象的运行需求，提供实际运行所需的网络通信环境。

7.6 安全措施

无人机在仿真测试及实飞测试过程中应确保安全可控，制定相关的安全预防措施。对于高风险测试科目，优先采用仿真测试。

7.7 仿真测试系统

仿真测试系统应满足以下要求。

- a) 具备真实模拟测试对象目标工况的运行环境，包括三维场景、天气和光照等；具备对地面人群、空中风险冲突等因素的仿真建模能力，并能够构造飞行场景、注入异常情况。
- b) 支持高精度的物理仿真建模，包括气动模型、碰撞模型等；具备准确的传感器仿真模型，如GNSS、摄像头、惯性测量单元、气压计和磁力计等。
- c) 支持自动飞行系统的感知、决策和执行算法的测试；支持实时仿真测试，并具备多机并发测试的能力。
- d) 具备测试数据的收集、统计和回放功能，并提供数据可视化功能。
- e) 确保测试对象的数据安全。

8 测试科目和指标要求

8.1 飞行任务执行

8.1.1 飞行前检查

飞行前检查测试应包括：

- a) 无人机设备健康状态检查，如动力系统、航电系统、任务载荷、通讯系统等；
- b) 无人机起飞条件检查，如位置校验、航线校验等。

8.1.2 位置、高度与速度保持

位置、高度与速度保持能力测试应包括如下。

- a) 悬停位置保持精度不低于：水平 ± 2 m，高度（垂向） ± 2 m。
- b) 直线飞行侧偏距保持精度不低于 ± 5 m。
- c) 直线飞行高度保持精度不低于 ± 5 m。
- d) 转弯飞行高度保持精度不低于 ± 5 m。
- e) 起飞航向保持精度（无人机航向与切线夹角）不低于 $\pm 5^\circ$ 。
- f) 飞行速度保持精度不低于 $\pm 20\%$ 。

8.1.3 预定轨迹飞行

预定轨迹飞行能力测试应包括如下。

- a) 长距离飞行最大水平偏差不高于 5 m。
- b) 长距离飞行最大高度（垂向）偏差不高于 5 m。

注：长距离为被测对象最大航程的60%以上。

- c) 具备满足安全飞行要求的起降点高度差感知和校准能力。
- d) 着陆点位置偏差不高于 1 m。
- e) 具备螺旋/直线上升能力。
- f) 具备螺旋/直线下降能力。
- g) 具备水平 8 字航线飞行能力。
- h) 具备五角星航线飞行能力。

8.2 运行风险探测与响应（内部）

8.2.1 无人机动力系统实时监测

无人机动力系统实时监测能力测试应包括：

- a) 动力系统故障监测；
- b) 动力系统失效监测。

8.2.2 无人机航电系统健康状态监测

应测试无人机航电系统的故障树顶事件发生状态的监测能力。

8.2.3 无人机任务载荷系统监测

应测试无人机任务载荷状态的监测能力。

8.2.4 无人机通讯系统监测

无人机通讯系统监测能力测试应包括：

- a) 信号连接状态监测；
- b) 信号强度和质量监测。

8.2.5 无人机系统故障处理策略

无人机系统故障处理策略测试应包括：

- a) 任务载荷故障处理策略；
- b) 通信系统故障处理策略；
- c) 航电系统故障处理策略；
- d) 动力系统故障处理策略。

8.3 运行风险探测与响应（外部）

8.3.1 飞行中的气象超限预警能力

飞行中的气象超限预警能力测试应包括：

- a) 航线温度超限告警；

- b) 其他运行环境必要的超限告警。

8.3.2 地面风险因素探测

地面风险因素探测能力测试应包括：

- a) 地面人群探测；
b) 地面设施探测。

8.3.3 空域飞行冲突探测

空域飞行冲突探测能力测试应包括：

- a) 航线阶段飞行冲突探测；
b) 起降阶段飞行冲突探测。

8.3.4 外部风险处理策略

外部风险处理策略测试应包括：

- a) 飞行中的气象超限处理策略；
b) 地面风险处理策略；
c) 空域飞行冲突处理策略。

8.4 飞行任务接管

飞行任务接管测试应包括：

- a) 操作人员接管控制功能；
b) 操作人员优先接管控制功能（AL-3 及以下等级）；
c) 系统优先接管控制功能（AL-4 等级）。

8.5 设计运行范围

应测试是否设置设计运行范围限制。

9 测试结果评估与报告

9.1 通用要求

测试方应根据测试申请人申请的自动化等级，开展测试科目的验证，并根据测试结果对测试申请人的自动化等级进行评估。自动化等级与测试科目的对应关系应按照附录A确定。

测试方应出具包括但不限于标题、测试情况描述、设计运行范围、飞行前检查能力、航线飞行任务执行能力、运行风险探测与响应能力和飞行任务接管能力内容的测试报告。

9.2 标题

标题应为“民用无人驾驶航空器系统分布式操作自动化等级验证测试报告”。

9.3 测试情况描述

9.3.1 测试基本信息

无人机系统分布式操作自动化等级测试是对自动飞行系统的自动化能力（感知、决策、执行）的验证。通过飞行仿真测试，确定被测无人机系统自动化能力与MH/T 2013—2022要求的符合性。

自动化等级测试基本信息见表1。

表1 自动化等级测试基本信息

申请编号	...
被测申请人/运营人	...
测试方	...

表1 自动化等级测试基本信息（续）

自动飞行系统	组成	...
	制造商	...
	型号	...
	软件版本	...
	适配的无人机型号	...
	无人机类型	...
测试地点		...
测试日期		...
测试依据		...
自动化等级		◎AL-1 ◎AL-2 ◎AL-3 ◎AL-4 ◎AL-5
注：“...”表示需要测试方填写的内容。		

9.3.2 被测无人机系统基本信息

无人机性能指标详见无人机系统分布式操作运行等级测试委托单，自动化能力描述见声明文件或飞行手册。

9.3.3 仿真测试科目

对无人机自动飞行系统的自动化能力（感知、决策、控制、执行）进行验证，通过仿真测试，确定被测无人机系统自动化能力与MH/T 2013—2022要求的符合性，具体测试科目应满足附录A的要求。

9.3.4 测试设备与人员

测试利用CLD和仿真飞行软件对被测无人机系统进行仿真测试，对测试数据进行分析，根据MH/T 2013—2022判定被测无人机系统的自动化等级。测试地点位于某地，参与测试人员2人。

9.3.5 测试环境

记录测试场地的温度、气压、风速和海拔高度信息，具体见表2。

表2 测试环境数据

测试方式	温度	气压	风速	海拔高度	其他
仿真测试	...	...	...	...	...
实飞测试	...	...	...	...	...
运行测试	...	...	...	...	...
注：“...”表示需要测试方填写的内容。					

9.4 设计运行范围

在设计运行范围内开展自动化等级测试（如适用）。

9.5 飞行前检查能力

9.5.1 测试程序

飞行前检查能力测试包括无人机设备健康状态检查和起飞条件检查的验证。

测试程序应按照如下顺序开展：

- a) 将被测无人机系统接入仿真测试系统，被测无人机系统上电完成自检检测；
- b) 通过注入故障的方式（如依次拔掉差分定位天线、电调信号线、电池等传感器），测试无人机设备健康状态自检能力；
- c) 通过取消注入故障的方式（如安装差分定位天线、电调信号线、电池等传感器），自动飞行系统上电完成自检检测；
- d) 操作无人机起飞，测试无人机起飞条件自检能力。

9.5.2 测试结果记录

飞行前检查测试结果记录见表3。

表3 飞行前检查测试结果记录

验证科目		测试结果		符合性审查
设备健康状态检查	定位系统	...		☐ 符合 ☐ 不符合
	机载摄像头		...	
	超声波		...	
	任务载荷		...	
起飞条件检查	导航系统状态		...	☐ 符合 ☐ 不符合
	通信链路状态		...	
	飞行姿态		...	
	机舱温度		...	
	主控、飞控		...	
注：“...”表示需要测试方填写的内容。				

9.5.3 飞行前检查能力测试结论

无人机飞行前检查能力测试结果如符合MH/T 2013—2022要求，则通过测试。

9.6 航线飞行任务执行能力

9.6.1 测试程序

被测无人机自主完成航线保持的能力，包括悬停位置保持能力和航线飞行控制能力验证。

测试程序应按照如下顺序开展：

- a) 将被测无人机系统接入仿真测试系统；
- b) 设置起降场地，高度差≥10 m；
- c) 设置航线，依次设置螺旋上升航线、五角星航线、螺旋下降航线、转弯航线、直线；
- d) 起飞后，在起飞场地上方悬停≥5 min；
- e) 无人机按照预先装订的航线完成航线仿真飞行；
- f) 无人机降落至降落场地。

9.6.2 测试结果记录

无人机完成规划航路后起飞，沿规划好的航路自主飞行。测试结果记录见表4。

表4 自主航线飞行保持能力测试结果记录

验证科目	测试结果	符合性审查
操控模式	...	☐ 符合 ☐ 不符合
悬停位置保持能力	...	☐ 符合 ☐ 不符合
直线飞行侧偏距保持能力	...	☐ 符合 ☐ 不符合
直线飞行高度保持能力	...	☐ 符合 ☐ 不符合
转弯飞行高度保持能力	...	☐ 符合 ☐ 不符合
起飞航向保持能力	...	☐ 符合 ☐ 不符合
飞行速度保持能力	...	☐ 符合 ☐ 不符合
长距离飞行最大水平偏差	...	☐ 符合 ☐ 不符合
长距离飞行最大高度偏差	...	☐ 符合 ☐ 不符合
起降点高度差感知满足安全飞行要求	...	☐ 符合 ☐ 不符合
着陆（降落）点位置偏差控制能力	...	☐ 符合 ☐ 不符合
上升航线（螺旋/直线）能力	...	☐ 符合 ☐ 不符合
下降航线（螺旋/直线）能力	...	☐ 符合 ☐ 不符合
水平 8 字航线飞行能力	...	☐ 符合 ☐ 不符合
五角星航线	...	☐ 符合 ☐ 不符合
注：“...”表示需要测试方填写的内容。		

9.6.3 航线飞行任务执行能力测试结论

无人机测试过程飞行稳定无异常，飞行任务执行能力测试结果各项指标如符合MH/T 2013—2022要求，则通过测试。

9.7 运行风险探测与响应能力

9.7.1 测试程序

9.7.1.1 运行风险（内部）探测

主要测试无人机系统对内部运行风险因素的探测与响应能力。

测试程序应按照如下顺序开展：

- a) 将被测无人机系统接入仿真测试系统，建立自动飞行系统与仿真测试系统之间的通信；
- b) 选择起降场地，无人机按照预定航线平稳飞行；
- c) 使用仿真测试系统注入动力系统故障、航电系统的故障树顶事件、通信系统故障；
- d) 通过仿真测试系统观察无人机的飞行参数和控制状态，验证被测无人机系统在动力在能源系统、航电系统、通信系统发生故障时的响应能力。

9.7.1.2 运行风险（外部）探测

9.7.1.2.1 仿真测试程序

无人机系统对外部运行风险因素的探测与响应能力的仿真测试程序应按照如下顺序开展：

- a) 通过仿真飞行软件搭建风速超限测试场景、温度超限测试场景、地面障碍物测试场景、空域冲突测试场景；
- b) 建立被测无人机系统与仿真测试系统之间的通信；
- c) 运行仿真飞行软件与无人机动力学模型，完成相关场景测试，并记录探测与响应结果；

- d) 无人机系统能够感知风速超限、温度超限、障碍物、航线冲突等测试环境，并按照预先设定的故障处理策略进行响应。

9.7.1.2.2 实飞测试程序

无人机系统对外部运行风险因素的探测与响应能力的实飞测试程序应按照如下顺序开展：

- 通过实飞测试场地搭建风速超限测试场景、温度超限测试场景、地面障碍物测试场景、空域冲突测试场景；
- 开启被测无人机系统响应视频录像设备；
- 运行被测无人机系统，完成相关场景测试，并记录探测与响应结果；
- 无人机系统能够感知风速超限、温度超限、障碍物、航线冲突等测试环境，并按照预先设定的故障处理策略进行响应。

9.7.2 测试结果记录

通过测试，构建内外部运行风险因素，观测传感器感知情况、无人机的信息传递和响应情况，测试结果记录见表5。

表5 运行风险探测与响应能力测试结果记录

验证科目	测试结果	符合性审查
操控模式	...	☐ 符合 ☐ 不符合
动力系统故障检测	...	☐ 符合 ☐ 不符合
动力系统失效检测	...	☐ 符合 ☐ 不符合
航电系统的故障树顶事件发生的状态检测	...	☐ 符合 ☐ 不符合
任务载荷状态监测	...	☐ 符合 ☐ 不符合
信号连接状态监测	...	☐ 符合 ☐ 不符合
信号强度和质量	...	☐ 符合 ☐ 不符合
任务载荷故障处理策略	...	☐ 符合 ☐ 不符合
通信系统故障处理策略	...	☐ 符合 ☐ 不符合
航电系统故障处理策略	...	☐ 符合 ☐ 不符合
动力系统故障处理策略	...	☐ 符合 ☐ 不符合
航线风速超限告警	...	☐ 符合 ☐ 不符合
航线温度超限告警	...	☐ 符合 ☐ 不符合
地面人群探测	...	☐ 符合 ☐ 不符合
地面设施探测	...	☐ 符合 ☐ 不符合
航线阶段飞行冲突探测	...	☐ 符合 ☐ 不符合
起降阶段飞行冲突探测	...	☐ 符合 ☐ 不符合
飞行中的气象超限处理策略	...	☐ 符合 ☐ 不符合
地面风险处理策略	...	☐ 符合 ☐ 不符合
空域飞行冲突处理策略	...	☐ 符合 ☐ 不符合
注：“...”表示需要测试方填写的内容。		

9.7.3 运行风险探测与响应能力测试结论

被测无人机未失去控制能力和飞行能力，未飞出其限制区域，具备运行风险探测与响应能力，测试结果如符合MH/T 2013—2022要求，则通过测试。

9.8 飞行任务接管能力

9.8.1 测试程序

主要验证被测无人机系统自动控制和人工操作两种模式的人机协同操控能力，包括操作人员飞行任务接管控制、系统控制、系统优先接管控制等测试。

测试程序应按照如下顺序开展：

- 给被测无人机系统供电，建立与仿真测试系统之间的通信。
- 被测无人机系统按照航线飞行模式平稳飞行，控制无人机在机长 A 和机长 B 控制系统界面移交；观察无人机是否平滑切换，是否出现坠落、偏飞等失控现象。
- 在航线飞行模式下，向被测无人机系统发出人工操作接管指令；机长 B 可顺利接管。
- 当操作人员无应答时，系统可自动进入最小风险状态。
- 当无人机地面站 A 失效后，系统会自动将无人机控制权转移给备份系统 B。

9.8.2 测试结果记录

测试结果记录见表6。

表6 飞行任务接管测试结果记录

验证科目	测试结果	符合性审查
操作人员接管控制	…	☐ 符合 ☐ 不符合
操作人员优先接管控制	…	☐ 符合 ☐ 不符合
系统优先接管控制	…	☐ 符合 ☐ 不符合
注：“…”表示需要测试方填写的内容。		

9.8.3 飞行任务接管能力测试结论

操作人员在飞行过程中可随时接管控制，当被测无人机系统无法继续执行飞行任务时，请求操作人员接管控制。当操作人员无应答时，系统可自动进入最小风险状态。飞行任务接管能力测试结果如符合MH/T 2013—2022要求，则通过测试。

9.9 自动飞行系统自动化等级测试结论

9.9.1 测试结果汇总

无人机设计运行范围内，自动飞行系统自动化等级测试结果汇总见表7。

表7 自动飞行系统自动化等级测试结果汇总

序号	自动化等级划分要素		自动化能力	控制方式	验证结果
1	飞行前检查		无人机设备健康状态检查	系统/操作人员	通过/不通过
2			飞行条件检查	系统/操作人员	通过/不通过
3	飞行任务执行		位置与高度保持	系统/操作人员	通过/不通过
4			预定航迹飞行	系统/操作人员	通过/不通过
5	运行风险因素	内部	无人机动力系统实时监测	系统/操作人员	通过/不通过
6	探测与响应	因素	航电系统故障树顶事件监测	系统/操作人员	通过/不通过

表7 自动飞行系统自动化等级测试结果汇总（续）

序号	自动化等级划分要素		自动化能力		控制方式	验证结果	
7	运行风险因素	内部因素	无人机任务载荷系统监测		系统/操作人员	通过/不通过	
8			无人机通信链路监测		系统/操作人员	通过/不通过	
9			无人机系统故障处理策略	动力系统	系统/操作人员	通过/不通过	
10				航电系统	系统/操作人员	通过/不通过	
11				任务载荷	系统/操作人员	通过/不通过	
12				通信链路	系统/操作人员	通过/不通过	
13		探测与响应	外部因素	超限气象环境探测		系统/操作人员	通过/不通过
14				地面风险因素探测		系统/操作人员	通过/不通过
15				空域飞行冲突探测		系统/操作人员	通过/不通过
16				外部风险响应处置策略	气象环境超限	系统/操作人员	通过/不通过
17					地面风险	系统/操作人员	通过/不通过
18					空中冲突	系统/操作人员	通过/不通过
19	飞行任务接管	操作人员接管		系统/操作人员	通过/不通过		
20		操作人员优先接管		系统/操作人员	通过/不通过		
21		系统优先接管		系统/操作人员	通过/不通过		
22	设计运行范围	有限制	超视距	—	通过/不通过		
			人口密集区	—	通过/不通过		
			多机	—	通过/不通过		
			隔离空域	—	通过/不通过		
注：“—”表示不需要填写内容。							

9.9.2 自动化等级测试结论

根据无人机系统设计运行范围和技术要求,设定不同的无人机运行场景,结合仿真和实飞测试科目,通过仿真测试,验证了无人机自动飞行系统自动化等级达到了所申请的自动化等级。

附 录 A
(规范性)
测试科目与自动化等级对应关系

测试科目要求与自动化等级的对应关系应符合表A. 1的规定。

表 A. 1 测试科目要求与自动化等级的对应关系

测试内容			测试分级				
大项	分项	科目	1级 (AL-1)	2级 (AL-2)	3级 (AL-3)	4级 (AL-4)	5级 (AL-5)
飞行任务执行能力	飞行前检查	无人机设备健康状态检查	●				
		无人机起飞条件检查	●				
	位置、高度与速度保持	悬停位置保持能力	●				
		直线飞行侧偏距保持能力	●				
		直线飞行高度保持能力	●				
		转弯飞行高度保持能力	●				
		起飞航向保持能力	●				
		飞行速度保持能力	●				
	预定轨迹飞行	长距离飞行最大水平偏差	●				
		长距离飞行最大高度偏差	●				
		起降点高度差感知满足安全飞行要求	●				
		着陆（降落）点位置偏差控制能力	●				
		上升航线（螺旋/直线）能力	●				
		下降航线（螺旋/直线）能力	●				
		水平 8 字航线飞行能力	●				
		五角星航线	●				

表A.1 测试科目要求与自动化等级的对应关系（续）

测试内容			测试分级					
大项	分项	科目	1级 (AL-1)	2级 (AL-2)	3级 (AL-3)	4级 (AL-4)	5级 (AL-5)	
运行 风险 探测 与响 应 （内 部）	无人机动力系统 实时监测	动力系统故障检测	—	●				
		动力系统失效检测	—	●				
	无人机航电系统 健康状态监测	航电系统的故障树顶事件发 生的状态检测	—	●				
	无人机任务载荷 系统监测	任务载荷状态监测	—	●				
	无人机通讯系统 监测	信号连接状态监测	—	●				
		信号强度和质量	—	●				
	无人机系统故障 处理策略	任务载荷故障处理策略	—	●				
		通信系统故障处理策略	—	●				
		航电系统故障处理策略	—	●				
		动力系统故障处理策略	—	●				
运行 风险 探测 与响 应 （外 部）	飞行中的气象超 限预警能力	航线风速超限告警	—			●		
		航线温度超限告警	—			●		
	地面风险因素探 测	地面人群探测	—			●		
		地面设施探测	—			●		
	空域飞行冲突探 测	航线阶段飞行冲突探测	—			●		
		起降阶段飞行冲突探测	—			●		
	外部风险处理策 略	飞行中的气象超限处理策略	—			●		
		地面风险处理策略	—			●		
		空域飞行冲突处理策略	—			●		
飞行 任务 接管	飞行控制权限	操作人员接管控制	—	●				
		操作人员优先接管控制	—	●			—	
		系统优先接管控制	—			●		

表A.1 测试科目要求与自动化等级的对应关系（续）

测试内容			测试分级				
大项	分项	科目	1级 (AL-1)	2级 (AL-2)	3级 (AL-3)	4级 (AL-4)	5级 (AL-5)
运行范围限制	运行范围限制	无设计运行范围限制	—				●
注：在测试分级项下，“●”表示该列对应的自动化等级须通过此科目的测试。“—”表示该列对应的自动化等级无须通过此科目的测试。							

附录 B
(资料性)
测试数据接口协议示例

B.1 概述

本附录提供了一份测试数据接口协议示例，便于自动化等级测试申请人和测试方参照建立双方的数据交互规范，如航线信息获取、环境信息获取、控制信号输出、飞行状态信息输出等。

B.2 测试数据交互接口信息

B.2.1 MQTT交互

B.2.1.1 MQTT 账号信息

MQTT账号信息包括：
——IP；
——Port；
——User；
——Password；
——Topic 指定通道，比如 HKY/ABC/#`。
分配user只能订阅和上传指定通道信息，其他通道都被忽略拒绝。

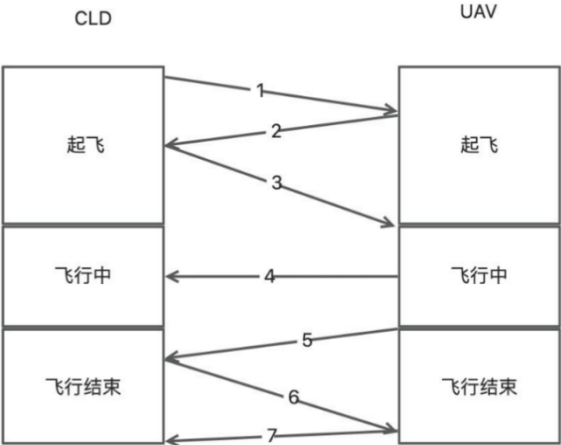
B.2.1.2 MQTT 协议说明

MQTT 协议说明包括如下。
a) 通过 MQTT 协议进行数据上报时，每个消息体都需要带上消息头，消息头的字段定义如下：
1) head.order_no 运单编号(从 CLD/UAV/Req/UavTakeOff/设备 ID/ 接收到 head 中获取)；
2) head.dev_id 设备 ID (从 CLD/UAV/Req/UavTakeOff/设备 ID/ 接收到 head 中获取)。
注：上面的两个字段信息，在与运行等级系统交互的时候需要传递，否则数据传递无效。
b) 消息传输的 Topic 交互中都需要带上前缀，分配个用户的特定通道，比如分配 A 用户的 MQTT 信息通道 HKY/ABC/#。如：起飞应答完整 Topic HKY/ABC/UAV/CLD/Resp/UavTakeOff/2/。

B.2.2 无人机数据流转流程

B.2.2.1 无人机数据流转示意图

无人机数据流转示意图如图B.1所示。



图B.1 无人机数据流转流程图

MQTT协议Topic的注意事项包括如下。

- 所有在 MQTT 下数据传输的 Topic 都是在分配该用户的通道中，比如通道 HKY/ABC/#。
- Topic 格式：/发送方/接收方/消息类别/消息主题/设备 id/。

B.2.2.2 起飞

起飞阶段的MQTT协议包括：

- a) 云平台通过 MQTT 协议下发起飞指令数据传递给无人机起飞指令；
- b) 无人机接收到起飞指令后，进行起飞，将起飞结果返回给云平台，上报起飞 Resp；
- c) 云平台收到起飞结果后，应答响应无人机，响应起飞 Resp。

B.2.2.3 飞行中

飞行中MQTT协议规定了无人机需要实时给云平台上报的飞行中数据。

B.2.2.4 飞行结束

飞行结束时MQTT协议包括：

- a) 无人机飞行结束，需要将结束指令发给云平台，上报飞行结束指令；
- b) 云平台收到结束指令后，应答无人机飞行结束应答指令；
- c) 无人机飞行结束后，通过 HTTP 接口上传文件数据给平台，上传数据文件。

B.2.2.5 云平台终止飞行

云平台下发指令，结束飞行。

B.3 起飞相关

B.3.1 起飞指令

B.3.1.1 MQTT 协议 Topic

MQTT协议Topic由CLD、UAV、Req、UavTakeOff和设备ID组成。

B.3.1.2 起飞数据格式字段说明

起飞数据格式字段说明见表B.1。

表 B.1 起飞数据格式字段说明

字段名称	字段	类型	说明
任务绑定	task_binding	object	对象
任务类型	》 task_binding.bind_type	int	1, 默认
航路id	》 task_binding.route_id	int	航路ID
消息头	head	object	消息头
设备ID	》 head.dev_id	string	设备ID
时间戳	》 head.time_stamp	int	消息下发时间戳
消息ID	》 head.msg_uid	int	消息ID
运单编号	》 head.order_no	string	运单编号
主航路	main_route	object	主航路
起飞机场	》 main_route.takeoff_airport	object	参考机场定义
降落机场	》 main_route.land_airport	object	参考机场定义
起飞机场航点	》 main_route.departure_points	list	参考航点定义
飞行航点	》 main_route.cruise_points	list	参考航点定义

表B.1 起飞数据格式字段说明（续）

字段名称	字段	类型	说明
降落航点	》main_route.approach_points	list	参考航点定义
子航路	sub_routes	list	应急航路
所在位置	》 sub_routes.main_route_entry_index	int	main_route.cruise_points 中对应的ID

B.3.1.3 航点定义字段说明

机场的数据结构表示如下。

——起飞机场：airport_center->in_out_circle->wait_circle。

——降落机场：wait_circle->in_out_circle->airport_center。

其中，wait_circle表示等待点，in_out_circle表示进场点，airport_center表示机场点。

航点定义字段说明见表B.2。

表 B.2 航点定义字段说明

字段名称	字段	类型	说明
航点 ID	id	string	—
纬度	lat	float	采用 WGS84 坐标系，单位：°
经度	lon	float	采用 WGS84 坐标系，单位：°
高度	rel_height	int	单位：m
速度	speed	int	单位：m/s

机场的定义分类如下。

——起飞机场：takeoff_airport。

——降落机场：land airport。

机场定义字段说明见表B.3。

表 B.3 机场定义字段说明

字段名称	字段	类型
机场 ID	takeoff_landing_airport_id	int
机场海拔	height_above_sea_level	float

B.3.2 起飞Resp的MQTT协议Topic

第三方数据上报数据接收执行结果，无人机接收到起飞数据后，进行无人机起飞操作后，需要返回响应起飞Resp，起飞结果参考表B.4字段定义。协议Topic由UAV、CLD、Resp、UavTakeOff和设备ID组成。

B.3.3 响应起飞Resp（无人机回传数据）

MQTT协议Topic由CLD、UAV、Resp、TakeOffStatus和UAVID组成。

字段说明见表B.4。

表 B.4 响应起飞 Resp 字段说明

字段名称	字段	类型	说明
起飞结果	ack_type	string	ACK_RESULT_ACCEPTED（成功） ACK_RESULT_FAILED（失败）
错误信息	msg	string	错误提示信息

B.4 飞行中异常注入

B.4.1 异常注入（云平台下发）

无人机飞行过程中，云平台下发异常注入信息，无人机需要返回消息接受成功应答。
MQTT协议Topic由CLD、UAV、CMD、InjectFault和设备ID组成。
异常注入字段说明见表B.5。

表 B.5 异常注入字段说明

字段名称	字段	类型	说明
消息头	head	消息 head	见消息头字段定义
故障类型	fault_type	string	故障类型标识

B.4.2 异常注入应答（无人机发送）

MQTT协议Topic由UAV、CLD、Resp、InjectFault和设备ID组成。
异常注入应答字段说明见表B.6。

表 B.6 异常注入应答字段说明

字段名称	字段	类型	说明
消息头	head	消息 head	见消息头字段定义
应答结果	ack_head	object	应答结果
成功	》 ack_head.ack_type	string	ACK_RESULT_ACCEPTED 接受成功

B.5 飞行中数据上报

B.5.1 无人机飞行的MQTT协议Topic

无人机飞行过程中，采用MQTT协议的上报方式，实时上报无人机数据到云平台。
所有上传的数据都需要添加消息头结构。
消息头字段说明见表B.7。

表 B.7 消息头字段说明

字段名称	head	object	消息头
设备 ID	》 head.dev_id	string	设备 ID
消息下发时间戳	》 head.time_stamp	int	消息下发时间戳
运单编号	》 head.order_no	string	运单编号

B.5.2 天气数据

天气数据的MQTT协议Topic由UAV、Any、RTS、Weather和UAVID组成。
上传频率为无人机起飞后上传1次。
天气数据字段说明见表B.8。

表 B.8 天气数据字段说明

字段名称	字段	类型	说明
天气	weather	string	—
风速	wind.speed	int	单位：m/s
风级	wind.level	int	—
风向	wind.direction	string	—

B.5.3 无人机风况

无人机风况的MQTT协议Topic由UAV、Any、RTS、MRWindEstimatorReport和设备ID组成。
上传频率为1s/次。
无人机风况字段说明见表B.9。

表 B.9 无人机风况字段说明

字段名称	字段	类型	说明
无人机风况	wind	object	—
风速	》 wind.vel	float	单位：m/s
风向	》 wind.dirct_deg	float	单位：°（取值范围：0~359.99）

B.5.4 心跳

心跳的MQTT协议Topic由UAV、Any、RTS、Hb和设备ID组成。
上传频率为1s/次。
心跳字段说明见表B.10。

表 B.10 心跳字段说明

字段名称	字段	类型	说明
主模式	uav_main_mode	string	UAV_MAIN_NORMAL（正常模式） UAV_MAIN_EMERGENCY（应急模式）
无人机子模式	uav_sub_mode	string	UAV_SUB_CRUISE（航路模式） UAV_SUB_TAKEOFF（起飞模式） UAV_SUB_LANDING（降落模式）

B.5.5 告警信息

告警信息的MQTT协议Topic由UAV、Any、EVENT、Alarm和设备ID组成。
上传频率为按需上传。
告警信息字段说明见表B.11。

表 B.11 告警信息字段说明

字段名称	字段	类型	说明
告警 ID	uav_alarm_ID	string	告警唯一 ID
告警名称	alarm_zh	string	告警中文名称
告警等级	level	string	ALARM_LEVEL_NONE（告警消除） ALARM_LEVEL_INFO（通知） ALARM_LEVEL_WARN（警告） ALARM_LEVEL_EMER（紧急）
告警建议	tips	string	—

B.5.6 当前无人机状态任务

当前无人机状态任务的MQTT协议Topic由UAV、Any、RTS、CurTask和设备ID组成。
上传频率为1s/次。
当前无人机状态任务字段说明见表B.12。

表 B.12 当前无人机状态任务字段说明

字段名称	字段	类型
当前任务	cur_task	object
当前航线距离	》 cur_task.dis_m	float
航路 ID	》 cur_task.route_id	int

B.5.7 GNSS

GNSS的MQTT协议Topic由UAV、Any、RTS、GNSS和设备ID组成。
上传频率为1s/次。
GNSS字段说明见表B.13。

表 B.13 GNSS 字段说明

字段名称	字段	类型	说明
GNSS 相关数据	gps	object	—
纬度	》 gps.lat	float	采用 WGS84 坐标系，单位：°
经度	》 gps.lon	float	采用 WGS84 坐标系，单位：°
海拔	》 gps.alt	float	单位：m（采用平均海拔）
GNSS 水平置信度	》 gps.eph	int	GNSS 水平置信度
GNSS 垂直置信度	》 gps.epv	int	GNSS 垂直置信度
GNSS 地速	》 gps.vel	float	单位：m/s
GNSS 地速方向	》 gps.cog	float	单位：°（取值范围：0~359.99）
固定类型	》 gps.fix_type	int	0-1:no fix, 2:2D fix, 3:3D fix, 4:DGPS, 5:RTK.
卫星数	》 gps.satellites_visible	int	—

B.5.8 无人机坐标

无人机坐标的MQTT协议Topic由UAV、Any、RTS、LocalPos和设备ID组成。

上传频率为1s/次。

无人机坐标字段说明见表B.14。

表 B.14 无人机坐标字段说明

字段名称	字段	类型	说明
相对位置	pos	object	飞机在北东天地坐标系中的相对位置，原点为起飞点
	》 pos. x	float	单位：m
	》 pos. y	float	单位：m
	》 pos. z	float	单位：m
相对速度	vel	object	飞机在北东天地坐标系中的相对速度
	》 vel. x	float	单位：m/s
	》 vel. y	float	单位：m/s
	》 vel. z	float	单位：m/s
相对气压高度	alt_rel_pres	float	飞机相对气压高度
超声波高度	ultra_alt	float	飞机超声波高度
降落参考高度	ld_ref_gd_height	float	飞机降落参考高度
融合高度	height_sameas_z	float	飞机融合高度
海拔高度	height_above_sea_level	float	飞机海拔高度

B.5.9 无人机执行器PWM控制量

无人机执行器PWM控制量的MQTT协议Topic由UAV、Any、RTS、MainActuatorPwmOut和设备ID组成。

上传频率为1s/次。

无人机执行器PWM控制量字段说明见表B.15。

表 B.15 无人机执行器 PWM 控制量字段说明

字段名称	字段	类型	说明
PWM	act_pwm_out	list	主执行器 PWM 输出

B.5.10 网络状态

网络状态的MQTT协议Topic由UAV、CLD、EVENT、NetStatusMsg和设备ID组成。

上传频率为1s/次。

网络状态字段说明见表B.16。

表 B.16 网络状态字段说明

字段名称	字段	类型	说明
网络信息	net_card_status	list	网络

表B. 16 网络状态字段说明（续）

字段名称	字段	类型	说明
网络类型	》 net_card_status.type	string	NET_CARD_WIFI NET_CARD_WIRED（有线网卡） NET_CARD_LTE（4G 网卡）
网卡名	》 net_card_status.name	string	—
网卡优先级	》 net_card_status.priority	string	PROVITY_MAIN 主要网卡-优先 PROVITY_BACKUP 备用网卡
延时	》 net_card_status.net_delay	float	—
是否连接	》 net_card_status.connected	bool	—
网络状态信息	》 net_card_status.lte_status	object	—
网络信号等级	》 net_card_status.lte_status.csq	string	LTECSQ_POOR // 11LTECSQ_WEAK // 12~16LTECSQ_COMM // 17~21LTECSQ_GOOD // 22~26LTECSQ_FINE // 27~31x0
网络信号质量的数值	》 net_card_status.lte_status.rssi	int	—
网络提供商	》 net_card_status.lte_status.mnc	string	02 移动 01 联通 03 电信
是否插入	》 net_card_status.lte_status.is_sim_card_inserted	bool	sim 卡是否插入

B. 5. 11 电池实时信息

电池实时信息的MQTT协议Topic由UAV、Any、RTS、PowSys和设备ID组成。

上传频率为1s/次。

电池实时信息字段说明见表B. 17。

表 B. 17 电池实时信息字段说明

字段名称	字段	类型	说明
飞控电池信息	fcu_batt	object	—
电压	》 fcu_batt.voltage	float	—
电流	》 fcu_batt.current	float	—
剩余电量	》 fcu_batt.remain	float	表示剩余电量，取值范围：0~1
电池信息	batt_work_state	list	—
电池位置	》 batt_work_state.ins_pos	string	BATT_INSTALL_POS_LEFT（左侧） BATT_INSTALL_POS_RIGHT（右侧） BATT_INSTALL_POS_CENTER（中间） BATT_INSTALL_POS_TOP（上方） BATT_INSTALL_POS_DOWN（下方）
电压	》 batt_work_state.work_info.voltage	float	—

表B. 17 电池实时信息字段说明（续）

字段名称	字段	类型	说明
电流	》 batt_work_state.work_info.current	float	—
温度	》 batt_work_state.work_info.temperature	float	—
剩余电量	》 batt_work_state.work_info.soc	float	表示剩余电量，取值范围：0~1
循环次数	》 batt_work_state.work_info.cycles	int	—
每组电芯电压	》 batt_work_state.work_info.cell_voltage	list[float]	典型数量为 13 组

B. 5. 11 电池版本信息

电池版本信息的MQTT协议Topic由UAV、Any、EVENT、PowAttr和设备ID组成。

上传频率为1s/次。

电池版本信息字段说明见表B. 18。

表 B. 18 电池版本信息字段说明

字段名称	字段	类型	说明
电池信息	hard_attr	object	—
电池位置	》 hard_attr.ins_pos	string	BATT_INSTALL_POS_LEFT（左侧） BATT_INSTALL_POS_RIGHT（右侧） BATT_INSTALL_POS_CENTER（中间） BATT_INSTALL_POS_TOP（上方） BATT_INSTALL_POS_DOWN（下方）
软件版本	》 hard_attr.bms_sw_ver	string	—
硬件版本	》 hard_attr.bms_hw_ver	string	—
电池型号序列号	》 hard_attr.model_sn	object	—
电池型号	》 hard_attr.model_sn.model	string	—
电池序列号	》 hard_attr.model_sn.SN	string	—

B. 5. 12 无人机姿态信息

无人机姿态信息的MQTT协议Topic由UAV、Any、RTS、Atti和设备ID组成。

上传频率为1s/次。

无人机姿态信息字段说明见表B. 19。

表 B. 19 无人机姿态信息字段说明

字段名称	字段	类型	说明
姿态参数	angle	object	—
翻滚角	》 angle.roll	float	单位：°（取值范围：-180~180）
俯仰角	》 angle.pitch	float	单位：°（取值范围：-180~180）
偏航角	》 angle.yaw	float	单位：°（取值范围：0~359.99）
飞机三轴角速率	angle_rate	object	—

表B. 19 无人机姿态信息字段说明（续）

字段名称	字段	类型	说明
滚转角速度	》 angle_rate.rollspeed	float	单位：° /s
俯仰角速度	》 angle_rate.pitchspeed	float	单位：° /s
偏航角速度	》 angle_rate.yawspeed	float	单位：° /s

B. 5. 13 无人机油门信息

无人机油门信息的MQTT协议Topic由UAV、Any、RTS、Throttle和设备ID组成。
上传频率为1s/次。
无人机油门信息字段说明见表B. 20。

表 B. 20 无人机油门信息字段说明

字段名称	字段	类型
总油门	total_throttle	float
俯仰油门控制量	act_pitch	float
横滚油门控制量 x	act_roll	float
航向油门控制量	act_yaw	float
飞控油门最大阈值	esti_throttle_threshold	float

B. 5. 14 无人机图像信息-左视图

无人机图像信息-左视图的MQTT协议Topic由UAV、Any、RTS、Img、FrontLeft和设备ID组成。
上传频率为2s/次。
无人机图像信息-左视图字段说明见表B. 21。

表 B. 21 无人机图像信息-左视图字段说明

字段名称	字段	类型	说明
图片 ID	img_id	int	图片 ID
图片数量	img_piece_num	int	图片被分成几块传输
图块 ID	img_piece_id	int	每块图片的 ID
图片内容	img_piece_data	string	base64

B. 5. 15 无人机图像信息-下视图

无人机图像信息-下视图的MQTT协议Topic由UAV、Any、RTS、Img、DownLeft和设备ID组成。
上传频率为2s/次。
无人机图像信息-下视图字段说明见表B. 22。

表 B. 22 无人机图像信息-下视图字段说明

字段名称	字段	类型	说明
图片 ID	img_id	int	图片 ID

表B.22 无人机图像信息-下视图字段说明（续）

字段名称	字段	类型	说明
图片数量	img_piece_num	int	图片被分成几块传输
图块 ID	img_piece_id	int	每块图片的 ID
图片内容	img_piece_data	string	base64

B.6 飞行结束

B.6.1 飞行结束指令

MQTT协议Topic由UAV、CLD、CMD、UavTakeOffOver和UAVID组成。无人机飞行结束后,无人机主动通知CLD飞行结束。

B.6.2 CLD结束指令应答

MQTT协议Topic由CLD、UAV、Resp、UavTakeOffOver和设备ID组成。
CLD结束指令应答字段说明见表B.23。

表 B.23 CLD 结束指令应答字段说明

字段名称	字段	类型	说明
结束应答	ack_type	string	ACK_RESULT_ACCEPTED（成功） ACK_RESULT_FAILED（失败）
错误信息	msg	string	—

B.6.3 飞行结束后无人机上传数据文件

飞行结束后无人机需要主动上传数据文件,调用接口API:http://xxxx/hky/record/upload_order?。无人机需要在起飞指令的消息头中获取运单编号,同一个运单最多上传3次(数据会进行覆盖),文件不超过100M。

飞行结束后无人机上传数据文件参数见表B.24。

表 B.24 飞行结束后无人机上传数据文件参数

字段名称	字段	类型
编号	order_no	string
文件	file	file

B.7 云平台终止飞行

CLD终止飞行指令的MQTT协议Topic由CLD、UAV、Req、OverFly和设备ID组成。
CLD终止飞行指令协议Topic字段说明见表B.25。

表 B.25 CLD 终止飞行指令协议 Topic 字段说明

字段名称	字段	类型	说明
消息头	head	消息 head	见消息头字段定义
状态	status	int	1

B.7.2 UAV应答MQTT协议Topic

MQTT协议Topic由UAV、CLD、Resp、OverFly和设备ID组成。

UAV应答MQTT协议Topic字段说明见表B. 26。

表 B. 26 UAV 应答协议 Topic 字段说明

字段名称	字段	类型	说明
消息头	head	消息 head	见消息头字段定义
应答结果	ack_head	object	—
接受成功	》ack_head.ack_type	string	ACK_RESULT_ACCEPTED

B. 8 仿真环境相关接口

B. 8. 1 HEARTBEAT (#0)

HEARTBEAT消息可以用于判定自驾仪（如飞控）是否在运行，或自驾仪和仿真飞行软件的通信是否正常，该消息由无人机发送给仿真飞行软件。

HEARTBEAT消息字段说明见表B. 27。

表 B. 27 HEARTBEAT 消息字段说明

字段	类型	值	描述
type	uint8_t	MAV_TYPE	vehicle 或组件类型。对于飞控组件，为飞行器类型（四旋翼、直升机等）。对于其他组件，为组件类型（例如相机、云台等）。优先用于标识组件类型，而不是组件 ID。
autopilot	uint8_t	MAV_AUTOPILOT	自动驾驶仪类型/类。对于非飞行控制器组件，使用 MAV_AUTOPILOT_INVALID。
base_mode	uint8_t	MAV_MODE_FLAG	系统模式位。
custom_mode	uint32_t	—	用于自动驾驶仪特定标志的位字段。
system_status	uint8_t	MAV_STATE	系统状态标志。
mavlink_version	uint8_t_mavlink_version	—	MAVLink 版本，用户不可写入，由协议添加，因为其数据类型为 uint8_t_mavlink_version。

HEARTBEAT消息用于显示系统或组件是否存在和响应，并提供系统和组件的类型、自动驾驶仪类型、系统模式、自定义模式、系统状态和MAVLink版本号等信息。其中，类型和自动驾驶仪字段可用于识别系统或组件的类型，以便接收系统能够适当地处理进一步的消息。

B. 8. 2 HIL_ACTUATOR_CONTROLS (#93)

HIL_ACTUATOR_CONTROLS消息由自动驾驶仪（如飞控）发送到仿真飞行软件。

HIL_ACTUATOR_CONTROLS消息字段说明见表B. 28。

表 B. 28 HIL_ACTUATOR_CONTROLS 消息字段说明

字段	类型	单位	描述
time_usec	uint64_t	us	时间戳（UNIX 纪元时间或自系统启动以来的时间）。接收端可以通过检查数字的数量级来推断时间戳格式（自 1970 年 1 月 1 日起或自系统启动以来）。

表B. 28 HIL_ACTUATOR_CONTROLS消息字段说明（续）

字段	类型	单位	描述
controls	float[16]	—	controls: 各个电机控制量输出, 将输出的 PWM 从最小值到最大值缩放到 0~1, 一共支持 16 个通道。 flags: 主要用于指示 simulator 是否开启 lockstep。 mode: 系统模式, 比如包括当前的解锁状态。
mode	uint8_t	—	系统模式, 包括解锁状态。
flags	uint64_t	—	作为位字段的标志。 如为 1: 指示仿真器开始 lockstep 模式进行仿真。

B. 8. 3 HIL_SENSOR (#107)

HIL_SENSOR消息由仿真飞行软件发送给飞控。

HIL_SENSOR消息字段说明见表B. 29。

表 B. 29 HIL_SENSOR 消息字段说明

字段	类型	单位	描述
time_usec	uint64_t	us	时间戳 (UNIX 纪元时间或自系统启动以来的时间)。接收端可以通过检查数字的数量级来推断时间戳格式 (自 1970 年 1 月 1 日起或自系统启动以来)。
xacc	float	m/s/s	机体坐标系 X 轴加速度
yacc	float	m/s/s	机体坐标系 Y 轴加速度
zacc	float	m/s/s	机体坐标系 Z 轴加速度
xgyro	float	rad/s	机体坐标系 X 轴上的角速度
ygyro	float	rad/s	机体坐标系 Y 轴上的角速度
zgyro	float	rad/s	机体坐标系 Z 轴上的角速度
xmag	float	gauss	机体坐标系 X 轴磁场
ymag	float	gauss	机体坐标系 Y 轴磁场
zmag	float	gauss	机体坐标系 Z 轴磁场
abs_pressure	float	hPa	绝对压力
diff_pressure	float	hPa	差分压力 (空速)
pressure_alt	float	—	气压高度
temperature	float	degC	温度
fields_updated	uint32_t	—	自上一条消息以来已更新字段的位图
id**	uint8_t	—	传感器 ID (从零开始编号), 用于多个传感器输入。

B. 8. 4 HIL_GNSS (#113)

HIL_GNSS消息是GNSS返回的全局位置（原始传感器值），该消息由仿真飞行软件发送给飞控。
HIL_GNSS消息字段说明见表B. 30。

表 B. 30 HIL_GNSS 消息字段说明

字段	类型	描述
time_usec	uint64_t	时间戳（UNIX 纪元时间或自系统启动以来的时间）。接收端可以通过检查数字的数量级来推断时间戳格式（自 1970 年 1 月 1 日起或自系统启动以来）。
fix_type	uint8_t	0~1：无定位，2：2D 定位，3：3D 定位。除非至少为 2，否则一些应用程序不会使用此字段的值，因此请始终正确填写定位类型值。
lat	int32_t	纬度（采用 WGS84 坐标系）
lon	int32_t	经度（采用 WGS84 坐标系）
alt	int32_t	高度（海拔）向上为正
eph	uint16_t	GNSS 水平位置精度因子。如果未知，请设置为：UINT16_MAX
epv	uint16_t	GNSS 垂直位置精度因子。如果未知，请设置为：UINT16_MAX
vel	uint16_t	GNSS 地面速度。如果未知，请设置为：UINT16_MAX
vn	int16_t	以地球固定的 NED 坐标系为基础，北向上的 GNSS 速度
ve	int16_t	以地球固定的 NED 坐标系为基础，东向上的 GNSS 速度
vd	int16_t	以地球固定的 NED 坐标系为基础，向下的 GNSS 速度
cog	uint16_t	地面航向（不是航向，而是运动方向），单位：°（取值范围：0~359.99）。如果未知，请设置为：UINT16_MAX
satellites_visible	uint8_t	可见卫星数量。如果未知，请设置为 UINT8_MAX
id**	uint8_t	GNSS ID（从零开始编号）。用于多个 GNSS 输入
yaw**	uint16_t	相对于正北的偏航，0 表示不可用，36000 表示北