



中华人民共和国国家标准

GB/T 43668—2024

物流无人机货物吊挂控制通用要求

General requirements for suspension control of unmanned cargo aircraft

2024-03-15 发布

2024-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

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 一般要求 1

5 详细要求 2

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。

本文件由全国航空器标准化技术委员会(SAC/TC 435)提出并归口。

本文件起草单位：一飞智控(天津)科技有限公司、中国航空综合技术研究所、上海大学、西安爱生技术集团有限公司、北京控制工程研究所、深圳美团低空物流科技有限公司、北京理工大学。

本文件主要起草人：平原、王久元、吴冲、舒振杰、齐俊桐、赵士磊、张云、胡应东、陈斌、唐塘、赵远鹏、张泽京、乔冰、贾佳、张福彪。



物流无人机货物吊挂控制通用要求

1 范围

本文件规定了物流无人机货物吊挂控制一般要求及吊挂控制、货物吊挂状态监测、吊挂控制接口、安全防护等内容。

本文件适用于物流无人机货物吊挂控制系统。

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 38152 无人驾驶航空器系统术语

GB/T 38911—2020 民用轻小型无人直升机飞行控制系统通用要求

GB/T 38997—2020 轻小型多旋翼无人机飞行控制与导航系统通用要求

3 术语和定义

GB/T 38152 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

物流无人机 **unmanned cargo aircraft**

在物流活动中用于货物运输的无人机。

3.2

吊挂控制 **suspension control**

物流无人机通过缆绳点对点吊装货物，保证无人机与货物安全并完成货物装卸及运输的控制方式。

4 一般要求

4.1 控制逻辑

物流无人机货物吊挂控制逻辑框图见图 1，其控制逻辑为根据获取的物流无人机飞行状态、吊挂缆绳状态、吊挂货物状态、缆绳收放状态和货物装卸状态，通过基本飞行控制和吊挂控制对物流无人机执行机构、缆绳伺服机构和货物装卸机构发出相应指令，实时控制物流无人机飞行和货物运输。

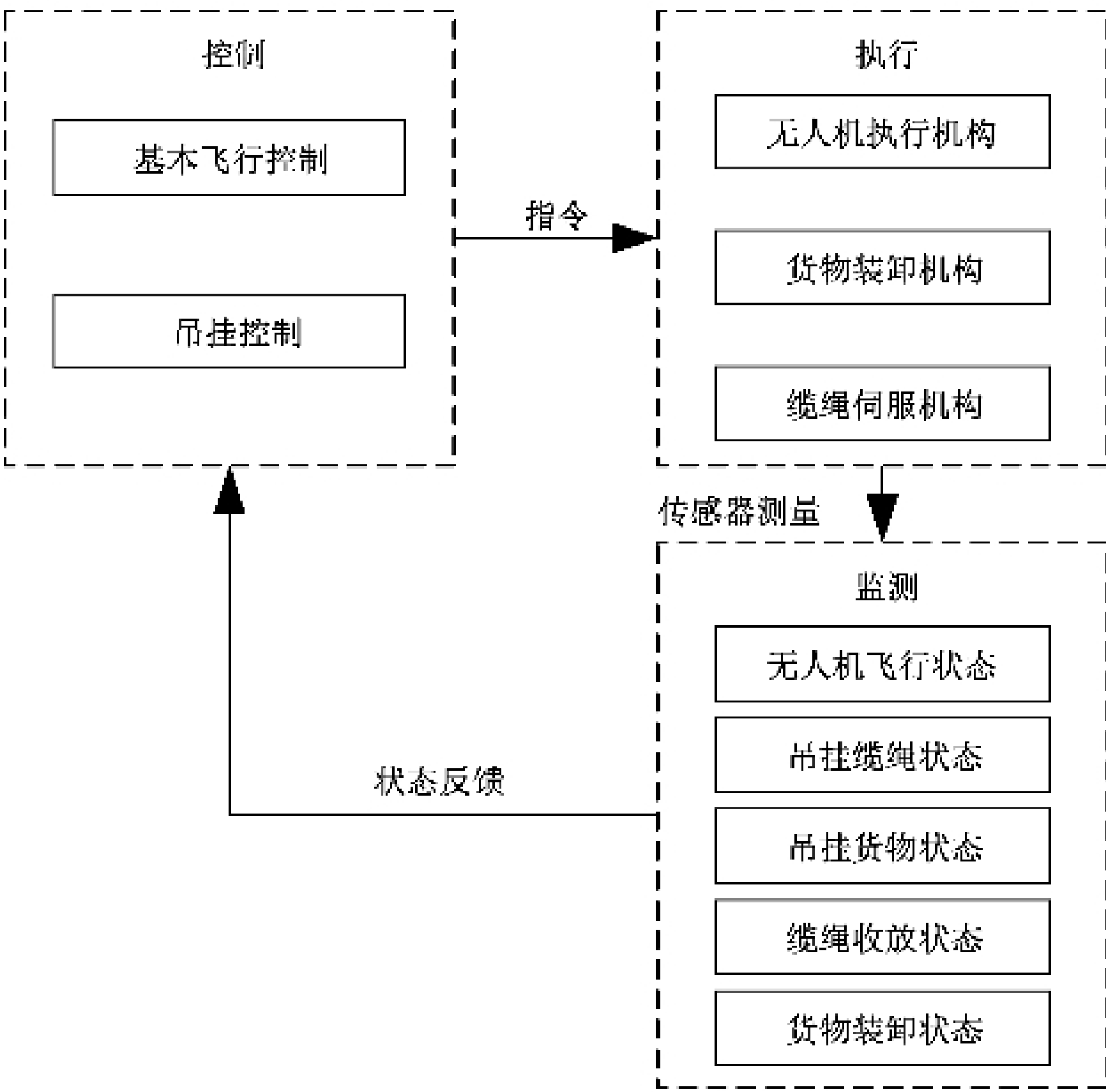


图 1 物流无人机货物吊挂控制逻辑框图

4.2 基本飞行控制

物流无人机基本飞行控制功能应符合 GB/T 38997—2020 中的 4.2 和 GB/T 38911—2020 中的 4.2、4.3 对无人机飞行控制的基本要求，包括但不限于水平、垂直、航向。

4.3 飞行状态监测

物流无人机飞行状态监测应符合 GB/T 38997—2020 中的 4.2 和 GB/T 38911—2020 中的 4.2、4.3 对无人机导航功能及性能的基本要求，包括但不限于经纬度、高度、加速度、速度、航向、俯仰、横滚等信息。

5 详细要求

5.1 吊挂控制要求

5.1.1 起降控制

物流无人机起降控制具体要求包括：

- a) 应能根据货物吊挂状态动态调整飞行控制策略，避免货物吊挂状态突变影响飞行安全和货物安全；
- b) 起飞时，应保证吊挂货物缓慢平稳离地；
- c) 降落时，应保证吊挂货物缓慢平稳触地。

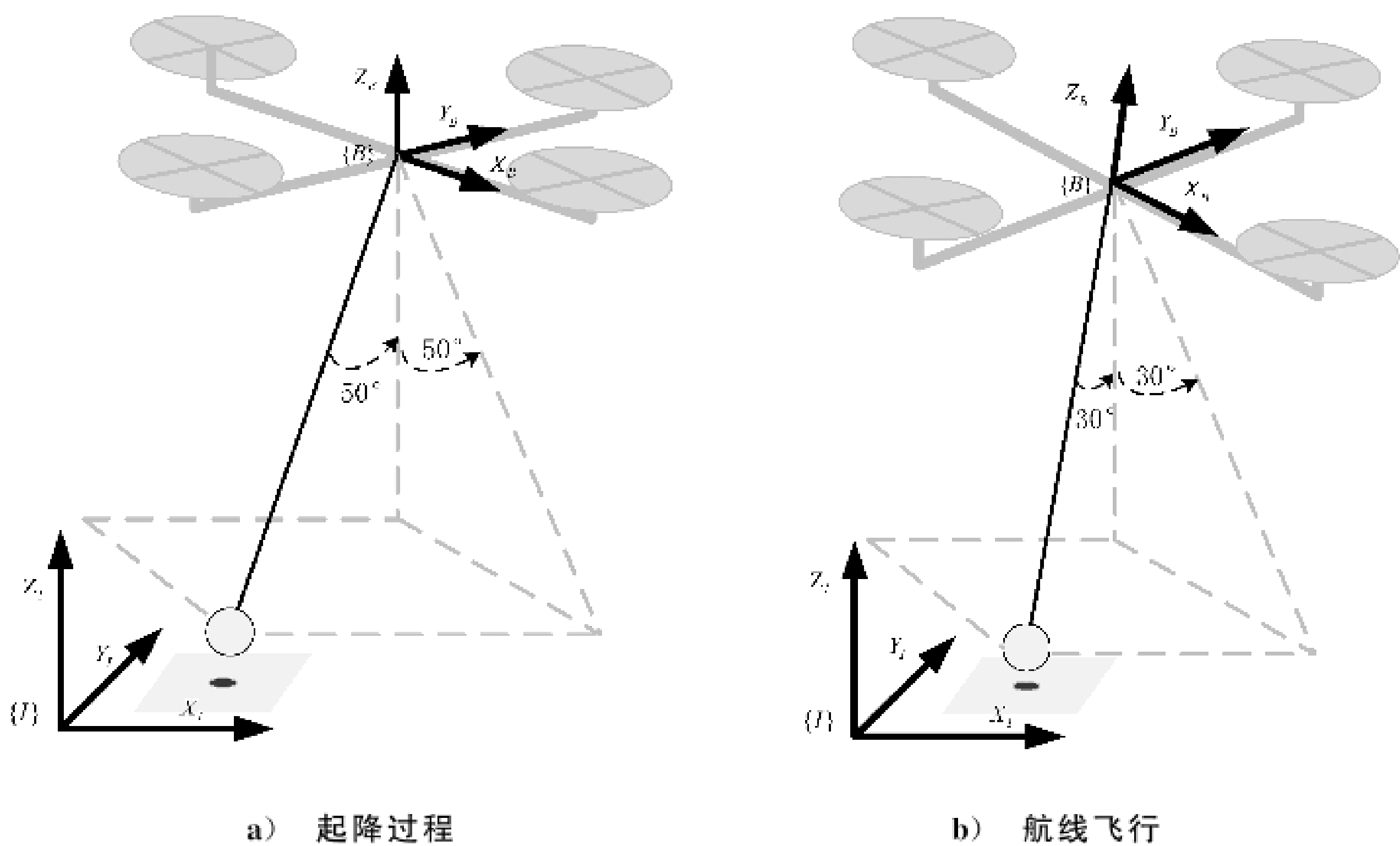
5.1.2 消摆控制

物流无人机吊挂货物飞行过程中应根据吊挂货物的状态施加主动控制，抑制货物剧烈摆动。具体要求包括：

- a) 起降过程中货物在惯性坐标系 $\{I\}$ 下的由惯性产生的前向 (X_I) 及侧向 (Y_I) 摆动角度不宜超过

50°,如图 2 a)所示(图中{B}为机体坐标系),且无人机本体高度和姿态保持精度应符合设计规范要求,货物摆动不应激发无人机控制系统发散;

- b) 航线飞行过程中货物在惯性坐标系{I}下的由欠驱动特性及惯性产生的前向(X_I)及侧向(Y_I)摆动角度不宜超过 30°,如图 2 b)所示,且无人机本体高度和航线保持精度应符合设计规范要求,货物摆动不应激发无人机控制系统发散;
- c) 无人机吊挂货物到达卸货点悬停时,应抑制吊挂残余摆动。



标引符号说明:
{B}={ X_B, Y_B, Z_B }——无人机机体坐标系,即无人机前向为 X_B 轴,侧向为 Y_B 轴, Z_B 轴为右手原则确定;
{I}={ X_I, Y_I, Z_I }——无人机惯性坐标系,即 X_I 轴指向赤道和本初子午线的交点, Y_I 轴与 $X_I Z_I$ 平面垂直并符合右手坐标系, Z_I 轴指向地球北极。

图 2 物流无人机吊挂货物飞行示意图

5.1.3 抗扰控制

物流无人机吊挂货物在起降及运输过程中,应能抵抗由吊挂货物摆动引起的扰动,并符合设计规范要求,具体要求包括:

- a) 抵抗吊挂扰动时,应满足无人机驱动性能约束;
- b) 应能抵抗吊挂货物因欠驱动特性和惯性引起的持续扰动;
- c) 应能抵抗吊挂货物离地和触地时导致负载变化的突然扰动。

5.1.4 缆绳收放控制

缆绳收放控制通常分为由机载程控的自动收放线和由地面遥控的手动收放线,放线时间、收线时间和控制误差应符合设计规范要求。

5.1.5 货物投放控制

吊挂货物的投放控制功能通常分为由机载程控的自动投放和由地面遥控的手动投放,具体要求包括:

- a) 应根据任务需求选择无人机着陆后卸货或空投卸货;
- b) 应具备投放区域和投放高度限制功能,在非紧急情况下不应在非设定投放区域和高度进行货

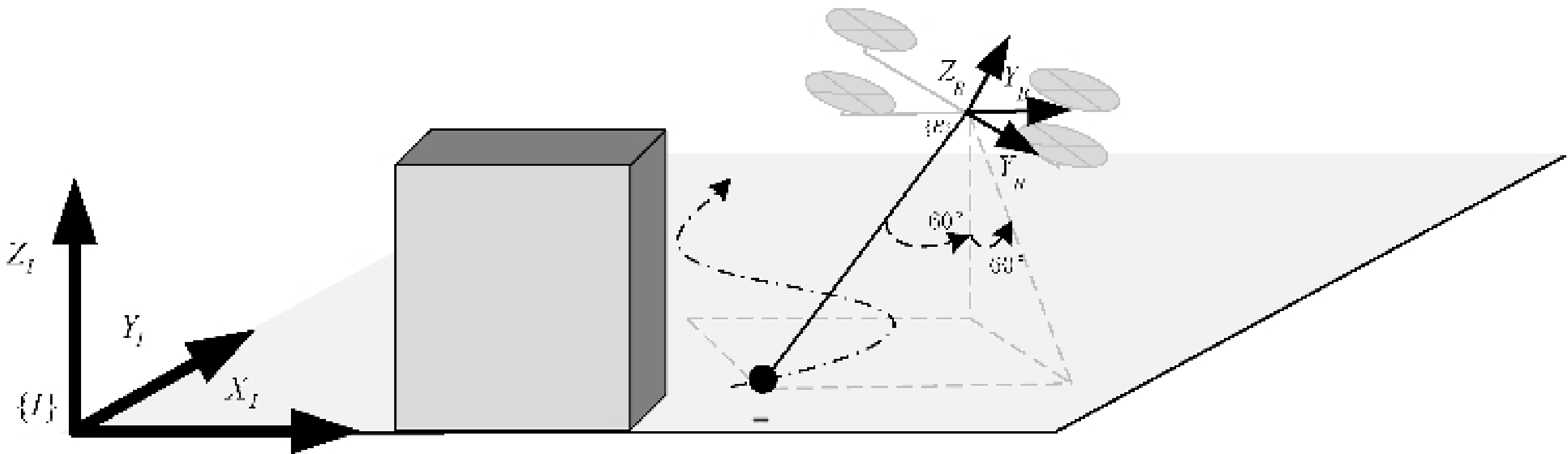
物投放；

- c) 空投卸货后,在不影响飞行和货物安全条件下,无人机高度波动范围不宜超过 2 m。

5.1.6 避障控制

物流无人机吊挂货物避障飞行时应注意货物状态,避免障碍物影响飞行安全和货物安全,具体要求包括:

- a) 应规划出货物避障安全运动轨迹;
- b) 转弯避障飞行中,货物在惯性坐标系 $\{I\}$ 下由欠驱动特性及惯性产生的前向(X_I)及侧向(Y_I)摆动角度不宜超过 60° ,如图 3 所示(图中 $\{B\}$ 为机体坐标系)。



标引符号说明:

- $\{B\} = \{X_B, Y_B, Z_B\}$ ——无人机机体坐标系,即无人机前向为 X_B 轴,侧向为 Y_B 轴, Z_B 轴为右手原则确定;
- $\{I\} = \{X_I, Y_I, Z_I\}$ ——无人机惯性坐标系,即 X_I 轴指向赤道和本初子午线的交点, Y_I 轴与 $X_I Z_I$ 平面垂直并符合右手坐标系, Z_I 轴指向地球北极。

图 3 物流无人机吊挂货物转弯避障飞行示意图



5.1.7 扩展控制

根据具体物流运输场景宜具备以下扩展功能:

- a) 能够根据物流运输需求扩展多点运输功能;
- b) 在有效载重范围内,能够支持一次吊挂多个货物。

5.2 货物吊挂状态监测要求

5.2.1 吊挂缆绳状态

吊挂缆绳状态信息通常分为:

- a) 缆绳摆动角度;
- b) 缆绳摆动角速度;
- c) 实时施加给无人机的拉力。

5.2.2 吊挂货物状态

吊挂货物状态信息通常分为:

- a) 货物重量;
- b) 货物相对于无人机机体的位置;
- c) 其他。

5.2.3 缆绳收放状态

缆绳收放状态信息通常分为：

- a) 缆绳收放指令接收状态；
- b) 收放动作状态；
- c) 缆绳吊挂长度；
- d) 缆绳收放故障反馈状态。

5.2.4 货物装卸状态

货物装卸状态信息通常分为：

- a) 货物装卸指令接收状态；
- b) 货物装卸指令执行状态；
- c) 货物装卸故障反馈状态。

5.3 吊挂控制接口要求

物流无人机货物吊挂控制接口要求如下：

- a) 应符合 GB/T 38997—2020 和 GB/T 38911—2020 的要求；
- b) 机载各控制接口应采取防误插电气设计和热插拔保护设计；
- c) 控制接口之间特定通信协议应满足吊挂控制的功能与性能要求；
- d) 控制指令信息和状态反馈信息应具备数据校验功能、丢包和错包的监控功能。

5.4 安全防护要求

5.4.1 意外抛放保护

应具备安全装卸警示功能，如果货物意外抛放，可避免危及地面人员和设施安全。

5.4.2 紧急抛放保护

在无人机故障等紧急情况下，能够在安全区域通过地面遥控紧急抛放货物，避免危及地面人员和设施安全。

5.4.3 警示保护

物流无人机装卸及运输货物过程中，应具备警示保护功能，并符合设计规范要求，具体要求如下：

- a) 无人机应设置灯光或声音等警示标识；
- b) 吊挂货物应设置警示标识；
- c) 应设置危险品运输的风险警示标识。