

团 体 标 准

T/CMES XXXX—2026
代替 T/CMES XXXX—201X

百米级高空作业装备稳健性评价方法

Method for Robustness Evaluation of
Hundred-Meter-Level Aerial Work Platforms
(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会标准征求意见稿

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

中国机械工程学会标准征求意见稿

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

目 次	II
前 言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
3.1 稳健性 robustness	4
3.2 多源不确定性 multi-source uncertainty	4
4 总则	4
4.1 评价目标	4
4.2 评价原则	5
5 百米级高空作业装备稳健性评价指标与方法	5
5.1 整机稳健性评价指标	5
5.2 关键子系统稳健性评价指标	5
5.3 稳健性评价方法	5

中国机械工程学会标准征求意见稿

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。中国机械工程学会不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工程学会提出。

本文件由中国机械工程学会***分会/工作组归口管理。

本文件起草单位：XXXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX。

本文件主要起草人：XXX, XXX, XXX, XXX, XXX, XXX。

中国机械工程学会标准征求意见稿

百米级高空作业装备稳健性评价方法

1 范围

本文件规定了臂架最大长度不小于 100 米的、符合 GB/T 9465（高空作业车）定义的底盘为定型道路车辆，并由车辆驾驶员操纵其移动的移动式升降工作平台（以下简称“百米级高空作业装备”）的稳健性评价的术语和定义、评价指标体系与评价方法。

本文件适用于百米级高空作业装备稳健性水平的综合评价。

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 25849-2024 移动式升降工作平台 设计、计算、安全要求和试验方法

GB/T 9465-2018 高空作业车

ISO 16337-2021 统计和相关方法在新技术和产品开发过程中的应用. 稳健公差设计(RTD)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

稳健性 robustness

百米级高空作业装备参数在合理范围内波动、非理想工况或受到外部干扰时，其核心性能保持稳定、规定功能正常实现的能力。

3.2

多源不确定性 multi-source uncertainty

百米级高空作业装备全生命周期中，对其性能和稳健性产生影响的各种不确定因素的统称，主要包括几何尺寸公差、材料参数分散性、外部载荷波动等。

4 总则

4.1 评价目标

本文件旨在建立一个分层次、多维度、定性与定量相结合的评价体系，用于客观、系统地量化

评价百米级高空作业装备的稳健性水平。

4.2 评价原则

百米级高空作业装备稳健性评价应遵循以下原则：

- a) 系统性原则：从整机到关键子系统进行层级化、结构化的全面评价。
- b) 关键性原则：聚焦对整机安全性与功能性具有决定性影响的核心性能与薄弱环节。
- c) 可操作性原则：评价指标应定义清晰，评价方法应明确可行，评价结果应可比可判。

5 百米级高空作业装备稳健性评价指标与方法

5.1 整机稳健性评价指标

百米级高空作业装备整机稳健性评价应采用以下指标：

- a) 承载能力：用于评价百米级高空作业装备在多源不确定性因素影响下的额定承载能力。
- b) 静态稳定性：用于评价百米级高空作业装备在静态作业条件下的抗倾覆能力，其值应依据 GB/T 25849-2024^[1]规定的方法进行计算，并满足标准要求。
- c) 动态稳定性：用于评价百米级高空作业装备在风载荷、回转启停等动态工况下的抗倾覆能力，应参考 GB/T 25849-2024^[1]中关于动态载荷、风载荷及稳定性验证的原则。

5.2 关键子系统稳健性评价指标

百米级高空作业装备关键子系统稳健性评价指标如下：

- a) 结构子系统：臂架等关键承载结构在非理想载荷（如偏载、侧向风载）作用下的应力与变形响应，以及对制造公差与载荷波动的敏感性。
- b) 液压子系统：在油温变化下动作速度的平稳性与可控性，在多阀复合动作或负载突变时压力与流量输出的稳定性，以及对油液污染的耐受能力。
- c) 电气与控制子系统：控制算法对传感器噪声、执行器延迟等内部不确定性的抑制能力，以及高空作业时的主动抗摇摆控制性能。
- d) 安全保护子系统：在阵风、回转启停等动态工况下，依据 GB/T 9465-2018^[2]评价所有安全装置的功能有效性与动作准确性。

5.3 稳健性评价方法

百米级高空作业装备稳健性评价应采用以下方法：

5.3.1 基于模型与不确定性量化的稳健性评价方法

基于模型与不确定性量化的稳健性评价方法流程如图 1 所示，应包括：信息收集、识别并量化关键多源不确定性影响因素、建立参数化仿真或分析模型、引入不确定性扰动进行稳健性分析、计算稳健性量化结果、形成综合评价结果。

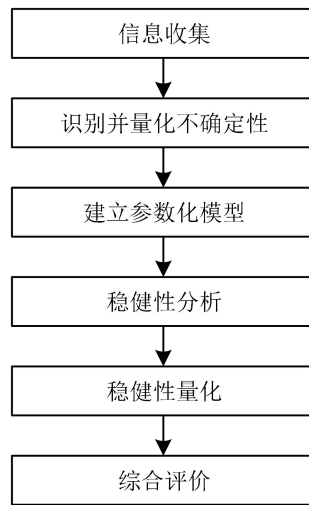


图 1 基于模型与不确定性量化的稳健性评价方法流程

- a) 信息收集：所需信息见表 1。
- b) 识别并量化不确定性：依据 ISO 16337-2021^[3]识别并量化影响系统性能的关键多源不确定性参数（如几何尺寸、材料参数、载荷等）的取值范围或概率分布。
- c) 建立参数化模型：建立包含关键设计参数的装备整机或子系统参数化模型（如多体动力学模型、有限元模型等）。
- d) 进行稳健性分析：对不确定性参数进行采样，运行模型进行仿真，获取关键性能指标（如承载能力、稳定性等）的输出分布。如需大量采样并计算，可建立代理模型，流程如图 2 所示。

表 1 稳健性评价所需信息

类别	信息来源		主要信息
1	百米级高空作业装备设计文件	设计图纸等	公差、环境条件、载荷信息等
2	百米级高空作业装备工艺文件	工艺流程等	材料参数、工艺参数等

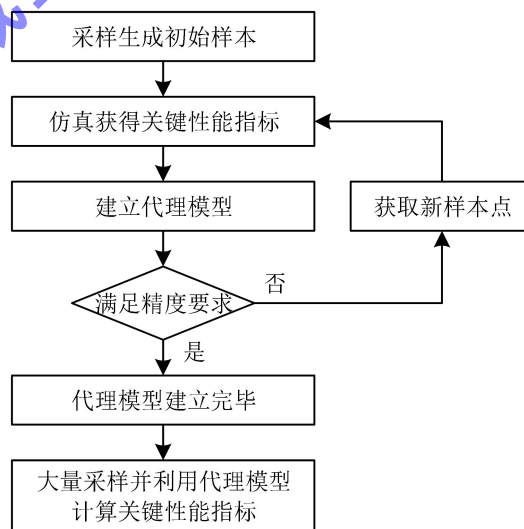


图 2 基于代理模型的计算流程

- e) 计算稳健性量化结果：根据输出分布，计算性能指标的标准差作为稳健性的量化结果，计算公式为：

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y})^2} \quad (1)$$

式中：

S_i ：关键性能指标稳健性量化结果；

N ：抽样样本数量；

y_j ：第 j 个样本的关键性能参数值；

\bar{y} ：关键性能参数的平均值。

- f) 综合评价：根据式（1）得到各关键性能指标（如承载能力、稳定性等）的稳健性量化结果，计算综合稳健性评价结果，公式为：

$$S = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot S_i \quad (2)$$

式中：

S ：稳健性综合评价结果；

n ：选取的关键性能指标数量；

ω_i ：第 i 个指标的权重，权重的确定应基于各性能指标对整机安全与功能的重要性， $\sum \omega_i = 1$ 。

5.3.2 基于试验的稳健性评价方法

本评价方法以 GB/T 25849-2024^[1]和 GB/T 9465-2018^[2]为基础，适用于实物验证阶段：

- g) 边界工况验证试验：在标准规定的试验条件基础上，选择性地在边界或极限参数（如最大风速、偏载工况）下进行性能测试。
- h) 扰动注入试验：在试验过程中，人为引入可量化的扰动（如阶跃式负载变化、施加侧向力模拟风载荷等），观测并记录系统关键性能的瞬态响应与恢复至稳态的能力。
- i) 长期性能衰减测试：通过加速寿命试验或模拟长时间工作循环，测量关键性能参数（如承载能力、稳定性等）的衰减趋势，评估其性能保持性。

参 考 文 献

- [1] GB/T 25849-2024 移动式升降工作平台 设计、计算、安全要求和试验方法
[2] GB/T 9465-2018 高空作业车
[3] ISO 16337-2021 统计和相关方法在新技术和产品开发过程中的应用. 稳健公差设计(RTD)

中国机械工程学会标准征求意见稿