

# T/CRSS

重庆市机器人学会团体标准

T/CRSS 0009—2023

## 叉车类工业应用移动机器人 运动稳定性规范

Specification for motion stability of mobile robots for forklift industrial applications

2023 - 12 - 29 发布

2023 - 12 - 29 实施



## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 技术要求 .....	1
4.1 行驶稳定性 .....	1
4.2 机器人作业稳定性 .....	2
4.3 避障稳定性 .....	3
5 稳定性试验 .....	3
5.1 试验要求 .....	3
5.2 环境条件 .....	4
5.3 试验条件 .....	4
5.4 道路行驶稳定性试验 .....	4
5.5 机器人作业稳定性试验 .....	5
5.6 避障稳定性试验 .....	5

## 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。

本文件由重庆市机器人学会提出并归口。

本文件负责起草单位：重庆凯瑞机器人技术有限公司。

本文件参加起草单位：重庆凯瑞机器人技术有限公司、安徽合力股份有限公司、浙江杭叉智能科技有限公司、杭州海康机器人技术有限公司、广东天太机器人有限公司、重庆凯瑞认证服务有限公司、未来机器人（深圳）有限公司、莱茵技术（上海）有限公司、广东嘉腾机器人自动化有限公司、临沂临工智能信息科技有限公司、斯坦德机器人（深圳）有限公司、杭州迦智科技有限公司、国家工程机械质量监督检验中心、苏州UL美华认证有限公司、重庆邮电大学、重庆宙达机器人科技有限公司、南瑞集团有限公司、中国科学院重庆绿色智能技术研究院、重庆鲁班机器人技术研究院有限公司、珠海格力智能装备有限公司、广东天品医疗科技有限公司、重庆大学、机科发展科技股份有限公司、沈阳新松机器人自动化股份有限公司、河北工业大学、重庆三峡学院。

本文件主要起草人：公续银、冉坤、王茂林、李本旺、孙添飞、王英、李黎明、王志杰、张驰、何志雄、赵赢、彭鹏、王小平、唐臣玉、杨建辉、单明、冯广文、陈博、刘鹏、左存岭、董海滨、李东阳、王越、田志成、刘皓然、李勇、史康杰、刘必晶、何国田、尚明生、王松、张天翼、张志波、李德汪、李辉、向学位、张胜、张锋、王嘉、陈仕聪、谭泽富。

# 叉车类工业应用移动机器人 运动稳定性规范

## 1 范围

本文件规定了验证叉车类工业应用移动机器人运动稳定性的要求和基本试验规范。

本文件所述试验项目主要用于分析和检验叉车类工业应用移动机器人的行驶、作业、稳定性指标，也可用于样机试验。对于某一具体叉车类工业应用移动机器人的试验，本文件并不规定应选择所述的哪些性能指标。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本文件的引用而成为本文件的条款。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 26949.1-2020 工业机器人 稳定性验证 第1部分：总则

ISO 5053-1: 2020 工业机器人 术语和分类 第1部分：工业车辆类型（Industrial trucks—Terminology and classification—Part 1 : Types of industrial trucks）

## 3 术语和定义

GB/T 26949.1-2020 ， ISO 22915-1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**叉车类工业应用移动机器人** forklift type industrial application mobile robot

作业安全性不取决于操作者，可自动行驶的叉车(包括平衡重式、前移式、插腿式、托盘堆垛式、托盘搬运式、侧面叉式)。

[来源：ISO 5053-1:2020,1 Scope]

### 3.2

**自动运动控制** automatic motion control

机器人接收到作业要求后，自主实现前进、后退、左转、右转、原地转弯、停止等功能的一种控制方式。

[来源：GB/T 37395-2019,3.10]

### 3.3

**倾斜试验台** Inclined working face

沿机器人横向y轴和纵向x轴，顺时针或者逆时针倾斜一定角度的刚性平台或者地面，可用于验证与其上自动运行的机器人横向和纵向的稳定性。

### 3.4

**倾翻** tip-over

机器人丧失稳定性并整体倾翻。

注：一个或多个车轮离开倾斜试验台，或车架接触到倾斜试验台不视为倾翻。

[来源：GB/T 26949.1-2020, 3.6]

### 3.5

**运动稳定性** motion stability

机器人在运动过程中保持姿态，抵抗外因干扰使其倾翻的能力。

## 4 技术要求

### 4.1 行驶稳定性

#### 4.1.1 运行

##### 4.1.1.1 直道行驶

机器人在空载或额定负载下，以额定速度在直道上行驶，机器人应正常且平稳运行。

##### 4.1.1.2 爬坡运行纵向稳定性

机器人在空载状态下从坡道上启动并加速到额定速度行驶，全过程应保证机器人不发生侧翻。

##### 4.1.1.3 下坡运行纵向稳定性

机器人在额定负载下，以额定速度下坡，当机器人突然制动时，全过程机器人应不发生侧翻。

##### 4.1.1.4 机器人运行的横向稳定性

机器人在额定负载下，以额定速度进行窄巷道直角转弯（见图1）、上坡直角转弯时（见图2），或在空载条件下，以额定速度进行下坡直角转弯时（见图3），应保持平稳运行，不发生侧翻。

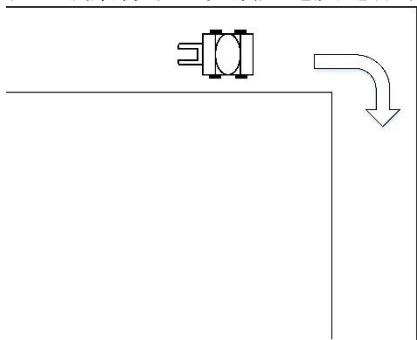


图1 窄巷道直角转弯示意图

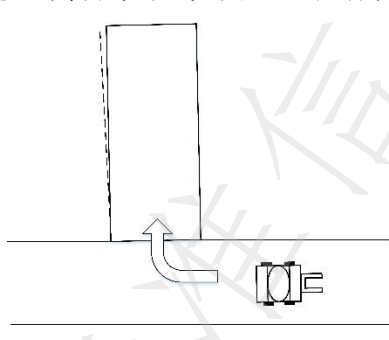


图2 上坡直角转弯示意图

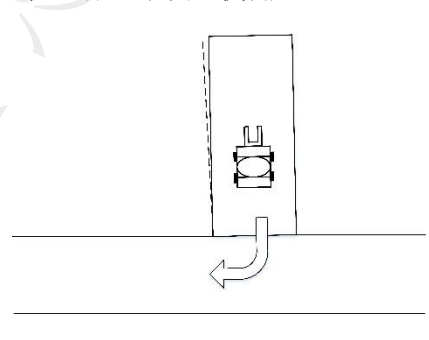


图3 下坡直角转弯示意图

##### 4.1.1.5 高位货架窄巷道行驶稳定性

机器人在额定负载下、在制造商规定的速度下，应能在高位货架窄巷道内平稳直行和转弯。

#### 4.1.2 制动

所有机器人都应带有行车制动器和停车制动器。机器人在额定负载下，以额定速度运行制动或停车时，应保持平稳。

#### 4.1.3 急停

机器人必须具备急停功能。机器人在额定负载（或制造商设计最大值）、额定速度（或制造商设计最大值）下运行，当接收到急停指令时，机器人应立即停止所有动作，并不发生侧翻。

### 4.2 机器人作业稳定性

#### 4.2.1 取货

机器人在叉取额定负载货物时，应能平稳地进行取货。

#### 4.2.2 放货

正常作业过程中，叉取额定负载货物后，机器人应能平稳地进行放货。

#### 4.2.3 货叉起升和下降

机器人在额定负载下，以最大起升速度举升或下降时，应保持平稳运行，货物不从货叉上掉落。

#### 4.2.4 机器人连续运行稳定性

机器人在叉取额定负载升降过程中，同时应能在额定速度（制造商规定的速度）下保证平稳行驶。

#### 4.2.5 高位货架窄巷道作业

在进行高位窄巷道作业过程中，机器人应能以制造商规定的速度、额定负载稳定地通过窄巷道达到目标点，且机器人应能以最大起升速度稳定举升货物，并能进行平稳的放货。

#### 4.2.6 堆垛稳定性

##### 4.2.6.1 料框堆垛

机器人以表中适合负载（或符合制造商规定负载）进行料框堆垛时，应保证至少堆垛三层，并保证作业过程平稳进行，保证料框堆垛整齐不倾翻。

##### 4.2.6.2 软货箱堆垛

机器人以表中适合负载（或符合制造商规定负载）进行软货箱堆垛时，应保证至少堆垛三层，并保证作业过程的平稳进行，保证软货箱堆垛整齐不倾翻。

##### 4.2.6.3 硬货箱堆垛

机器人以表中适合负载（或符合制造商规定负载）进行硬货箱堆垛时，应保证至少堆垛三层，并保证作业过程的平稳进行，保证硬货箱堆垛整齐不倾翻。

#### 4.3 避障稳定性

机器人在额定负载及额定速度下行驶，当障碍物即将与机器人发生碰撞时，机器人应能及时停车避障，并保持自身稳定。

### 5 稳定性试验

#### 5.1 试验要求

机器人的稳定性应采用下述试验方法之一来验证。

- 若机器人通过全部试验而不倾翻或通过计算满足要求，则认为是稳定的。举升高度高于 1.8 的机器人通过试验进行验证，低于 1.8 米的机器人通过计算进行验证；
- 当比较计算值和试验值时，试验值被认为是稳定性的真实值。

##### 5.1.1 倾斜试验台

- 机器人放置在倾斜试验台上进行试验时，倾斜试验台应平稳地倾斜到规定的倾斜度；
- 对本标准要求的试验，当倾斜试验台达到规定倾斜度进行试验时，机器人不应发生倾翻；
- 在发生倾翻瞬间之前，倾斜试验台的防护装置不应产生任何约束效果。

##### 5.1.2 计算

机器人稳定性计算为模拟倾斜平台的试验方法，来计算整车的稳定性符合情况。其计算原理（见图 6）为：在极限工况条件下，计算出整车的重心位置 O 点，O 点距离倾翻点的水平距离为  $L$ ，O 点距离倾翻轴线的垂直高度为  $H$ 。当整车达到倾翻极限时，倾翻临界坡度按式（1）计算。

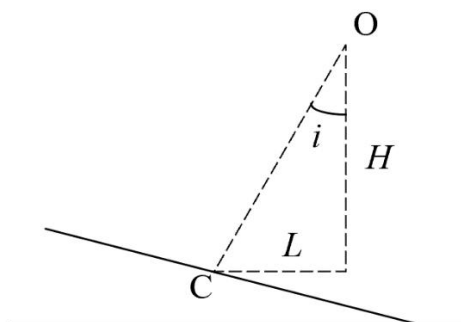


图 4 计算原理示意图

$$i = \frac{L}{H} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$L$ ——综合重心距离机器人倾翻轴线的水平重心距离, 单位为米 (m);

$H$ ——综合重心距离机器人倾翻轴线的垂直重心距离, 单位为米 (m);

$i$ ——倾翻临界坡度, 单位为 (%)。

不同车型计算的倾翻临界坡度值  $i$  可根据生产厂家要求乘以相应的安全系数。

注: 重心位置按GB/T 12538-2003 《两轴道路机器人 重心位置的测定》进行测定。

### 5.1.3 其他方法

允许采用能得出相同结果的其他稳定性验证方法, 如固定斜坡。

## 5.2 环境条件

机器人试验应在以下条件下进行:

- 1) 环境温度: +5℃~+40℃;
- 2) 相对湿度: 当最高温度 40℃时, 相对湿度不超过 50%; 允许温度降低时, 允许更高的相对湿度 (如 20℃时相对湿度为 90%);
- 3) 海拔高度: 不大于 2 000 m。

## 5.3 试验条件

### 5.3.1 机器人条件

- 1) 试验应在一台可供使用的机器人上进行, 且机器人系统应按制造商规定的要求组装好, 所需的设备安装、调试完毕;
- 2) 机器人应装备齐全, 并按制造商规定充满电, 若机器人上安装测试仪器, 应减少对机器人的影响。

### 5.3.2 试验场地

- 1) 试验场地应符合制造商要求的使用条件, 制造商给出的要求应包含地面平坦度、地面摩擦系数、导电性、地板连接要求、地面强度等;
- 2) 试验场地应满足机器人进行加速和制动过程的长度需求;
- 3) 试验场地坡度应满足本标准要求或制造商设计的最大坡度值。

## 5.4 道路行驶稳定性试验

### 5.4.1 运行试验

#### 5.4.1.1 爬坡运行纵向稳定性试验

坡道倾斜度为18% (或制造商设计最大坡度), 货叉高度不低于210 mm (后期厂家定), 机器人在无载状态下从坡道上启动爬坡, 并加速到额定速度稳定行驶, 检查机器人是否平稳运行。

#### 5.4.1.2 下坡运行纵向稳定性试验

坡道倾斜度为18% (或制造商设计最大坡度), 货叉高度不低于210 mm, 机器人承载额定负载下坡, 当车速达到额定速度后, 突然制动机器人, 检查机器人是否平稳停靠。

#### 5.4.1.3 坡道运行横向稳定性试验

坡道倾斜度应符合表1要求 (或制造商设计最大值), 货叉高度不低于210 mm, 机器人在额定负载下, 以额定速度运行, 检查机器人是否平稳运行。

表 1 不同类型机器人的最大爬坡角度

序号	机器人类型	最大爬坡角度
1	平衡重式无人叉车	$(15+1.4v) \%$
2	前移式无人叉车	$(15+1.1v) \%$
3	侧面式无人叉车	14%
4	托盘式无人叉车	26%
5	伸缩臂式无人叉车	$(15+1.4v) \%$
6	其他	制造商设计要求值
<sup>a</sup> v 为机器人空载时的最大运行速度，单位为 km/h		

#### 5.4.1.4 机器人运行的横向稳定性试验

- 1) 转弯角度为  $90^\circ$ ，货叉高度为 210 mm，机器人搭载额定负载，以额定速度转弯，检查机器人在窄巷道转弯过程中是否保持平稳运行。
- 2) 倾斜试验台角度为 18%（或制造商设计最大值），货叉高度为 210 mm，机器人空载，以额定速度进行下坡直角转弯，检查机器人在转弯过程中是否保持平稳运行。
- 3) 倾斜试验台角度为 18%（或制造商设计最大值），货叉高度为 210 mm，机器人在额定负载下，以额定速度进行上坡直角转弯，检查机器人在转弯过程中是否保持平稳运行。

#### 5.4.1.5 高位货架窄巷道行驶稳定性试验

机器人在额定负载下、在制造商规定的速度下，货叉高度为 210 mm，在高位货架窄巷道内进行直行和直角转弯，检查机器人是否能平稳运行。

#### 5.4.2 制动试验

机器人在额定负载下，在额定速度下正常行驶在平坦直道上进行制动停车，检查停车过程机器人是否发生侧翻。

#### 5.4.3 急停试验

机器人在额定负载（或制造商设计最大值）、额定速度（或制造商设计最大值）下运行（包括机器人行驶和作业工况），当接收到急停指令或突然检测到障碍物并即将发生碰撞时，检查机器人是否立即停止所有动作，并保持机器人整体稳定不发生侧翻。

### 5.5 机器人作业稳定性试验

#### 5.5.1 作业过程稳定性试验

按机器人设计额定负载设置货物，控制机器人叉取货物，并将货物以额定起升速度举升到最大举升高度，后将货物放回原处，检查试验过程中机器人是否保持稳定运行。

#### 5.5.2 机器人连续运行稳定性试验

机器人以额定速度（或制造商规定最大值）行驶，同时货叉搭载额定负载（或制造商规定最大值）进行升降运动，检测试验过程中机器人是否稳定运行。

#### 5.5.3 高位货架窄巷道作业稳定性试验

机器人在额定负载下，在制造商规定速度下，通过窄巷道到达目标作业位置，并将货物举升到要求高度后放货，检查整个过程机器人是否稳定运行。

#### 5.5.4 堆垛稳定性试验

根据机器人条件按表1选择料框、软货箱、硬货箱的合适负载和尺寸，并对料框、软货箱、硬货箱进行堆垛试验，堆垛层数不少于3层，检查是否能够按要求完成堆垛，并保证机器人稳定。

### 5.6 避障稳定性试验

搭建避障场景，机器人在额定负载及额定速度下行驶，障碍物以不低于1m/s的速度行驶，检测机器人是否能及时停车避障，并保持机器人的稳定性（机器人障碍稳定性试验示意图见图6）。

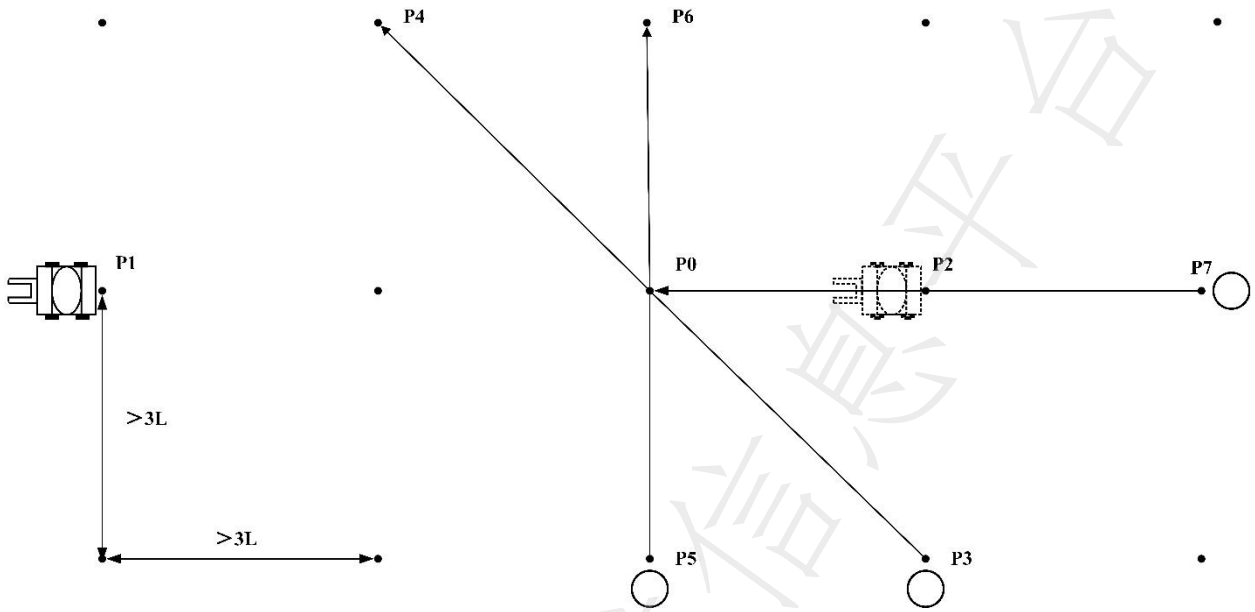


图 5 机器人障碍稳定性试验示意图