

中华人民共和国国家标准

GB/T 44251—2024

腿式机器人性能及试验方法

Performance and related test methods of legged robots

2024-07-24 发布

2025-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 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 性能 2

5 试验条件 2

6 额定速度 4

7 最大停止距离 5

8 最大跳跃高度 7

9 最大跳跃长度 8

10 最大攀越高度 9

11 台阶行进能力 10

12 最大斜坡角度 11

13 瞬时冲击抵抗能力 13

14 持续冲击抵抗能力 15

15 最大续航里程 16

16 最大跨越距离 17

17 最低通行高度 18

18 最小转身空间 19

19 行进直线度 21

20 地形适应能力 22

21 轨迹跟踪能力 25

附录 A（资料性） 测试报告 27

附录 B（资料性） 对不同尺寸机器人进行对比评测的指导 31

附录 C（资料性） 面向实际应用场景的测试方法 32

参考文献 34

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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国机器人标准化技术委员会(SAC/TC 591)归口。

本文件起草单位：之江实验室、北京机械工业自动化研究所有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、杭州宇树科技有限公司、中国计量大学、五八智能科技(杭州)有限公司、杭州申昊科技股份有限公司、科大讯飞股份有限公司、七腾机器人有限公司、深圳市华成工业控制股份有限公司、北京东方昊为工业装备有限公司、东莞市本末科技有限公司、广东天太机器人有限公司、上海尚工机器人技术有限公司、深圳国创具身智能机器人有限公司、北京人形机器人创新中心有限公司。

本文件主要起草人：栾俊达、乔波、王斌锐、杨坤、秦修功、李志海、王启舟、王恒之、袁海辉、姚帅、季超、吴海腾、李慧杰、梁乔玲、朱冬、苗立晓、张笛、张春龙、彭建国、何志雄、罗来平、王忠新、任银垠、余茜茜、杨嘉帆、陶玉梅、赵勇、丁宁、刘佳璐、郭宜劼。

腿式机器人性能及试验方法

1 范围

本文件规定了腿式机器人运动性能并描述了相应的试验方法。
本文件适用于单腿和多腿等不同种类腿式机器人的整机性能试验、模块试验与合格评定。

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 14833—2020 合成材料运动场地面层
- GB/T 22517.6—2020 体育场地使用要求及检验方法 第6部分：田径场地

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

行进面 travel surface
移动机器人行进的地面。
[来源：GB/T 12643—2013,7.7]

3.2

腿 leg
通过往复运动与行进面周期性接触来支撑及推进移动机器人的杆件结构。
[来源：GB/T 12643—2013,3.4,有修改]

3.3

腿式机器人 legged robot
利用一条或更多条腿实现移动的移动机器人。
[来源：GB/T 12643—2013,3.16.2]

3.4

负载 load
在规定的速度和加速度条件下，沿着运动的各个方向，机械接口处可承受的力和/或扭矩。
[来源：GB/T 12643—2013,6.2.1,有修改]

3.5

着地点 touching point
机器人的腿在行进时每次下落与地面首先接触的点。

3.6

地形 topography
行进面的形状。

3.7

转身 turning

使腿式机器人的坐标系发生垂直于行进面方向的旋转的运动。

3.8

行进接触宽度 travel contact width

在垂直于机器人行进方向上能覆盖机器人与行进面的接触范围的最短距离。

3.9

稳定站立姿态 stable standing posture

仅以腿接触行进面且腿不移动的姿态。

3.10

本体 body

机器人上除去腿及其他可移动部件的部分。

4 性能

腿式机器人的运动性能如下,性能应符合产品标准的规定。

- 额定速度。
- 最大停止距离。
- 最大跳跃高度。
- 最大跳跃长度。
- 最大攀越高度。
- 台阶行进能力。
- 最大斜坡角度。
- 瞬时冲击抵抗能力。
- 持续冲击抵抗能力。
- 最大续航距离。
- 最大跨越距离。
- 最低通行高度。
- 最小转身空间。
- 行进直线度。
- 地形适应能力。
- 轨迹跟踪能力。

5 试验条件

5.1 通则

对于某一特定种类腿式机器人的性能试验,使用方可根据需要自行选择试验项目。

被测机器人应按制造商规定的使用要求组装完整。其能源应保证在进行一个试验项目时不会因能源耗尽而被迫终止。

所有测量设备应进行计量校准。

除非在特定章节另有说明,否则本文件中所述试验项目应满足第 4 章规定的所有条件,若采用其他条件,应在试验报告中声明。

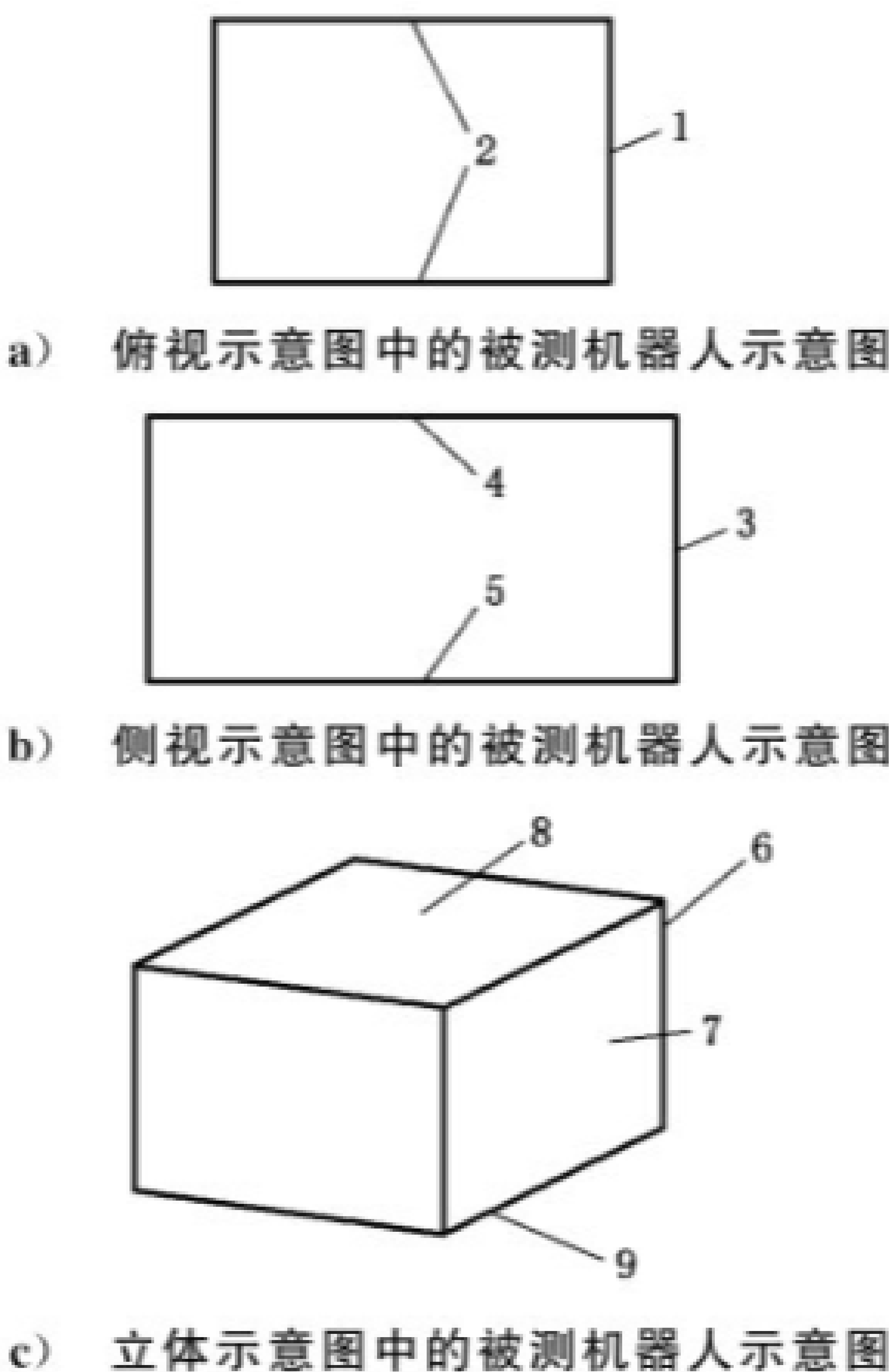
各试验与被测机器人的预期用途、操作模式或硬件设置无关。例如,无论被测机器人是否有额外负载,对于同一试验项目,所有种类的机器人配置都采用相同的试验步骤。

附录 A 提供了试验报告的样例。

附录 B 可作为比较不同尺寸机器人能力的指南。

附录 C 提供了不同试验项目的组合方式,可组成综合测试场以模拟实景应用场景来评价腿式机器人的性能。

本文件内各示意图中,被测机器人按图 1 所示方法表示。



标引序号说明:

- 1——俯视示意图中被测机器人的正面;
- 2——俯视示意图中被测机器人的侧面;
- 3——侧视示意图中被测机器人的正面;
- 4——侧视示意图中被测机器人的上面;
- 5——侧视示意图中被测机器人的下面;
- 6——立体示意图中被测机器人的正面;
- 7——立体示意图中被测机器人的侧面;
- 8——立体示意图中被测机器人的上面;
- 9——立体示意图中被测机器人的下面。

注:被测机器人在俯视示意图中以 1 : 1.5 的矩形表示,在侧视示意图中以 1 : 2 的矩形表示,在立体示意图中以 1 : 1.5 : 2 的立方体表示。

图 1 示意图中被测机器人的表示方法

5.2 环境条件

试验应采用以下环境条件:

- 环境温度: -20 ℃ ~ 40 ℃ ;
- 相对湿度: 0 % ~ 80 % 。

如果制造商规定的环境条件超出上述指标,应在试验报告中声明。

5.3 行进面条件

若无特殊注明,行进面应水平且坚硬平整,摩擦系数介于 0.75 ~ 1.0 之间(参见 GB/T 18029.13)。

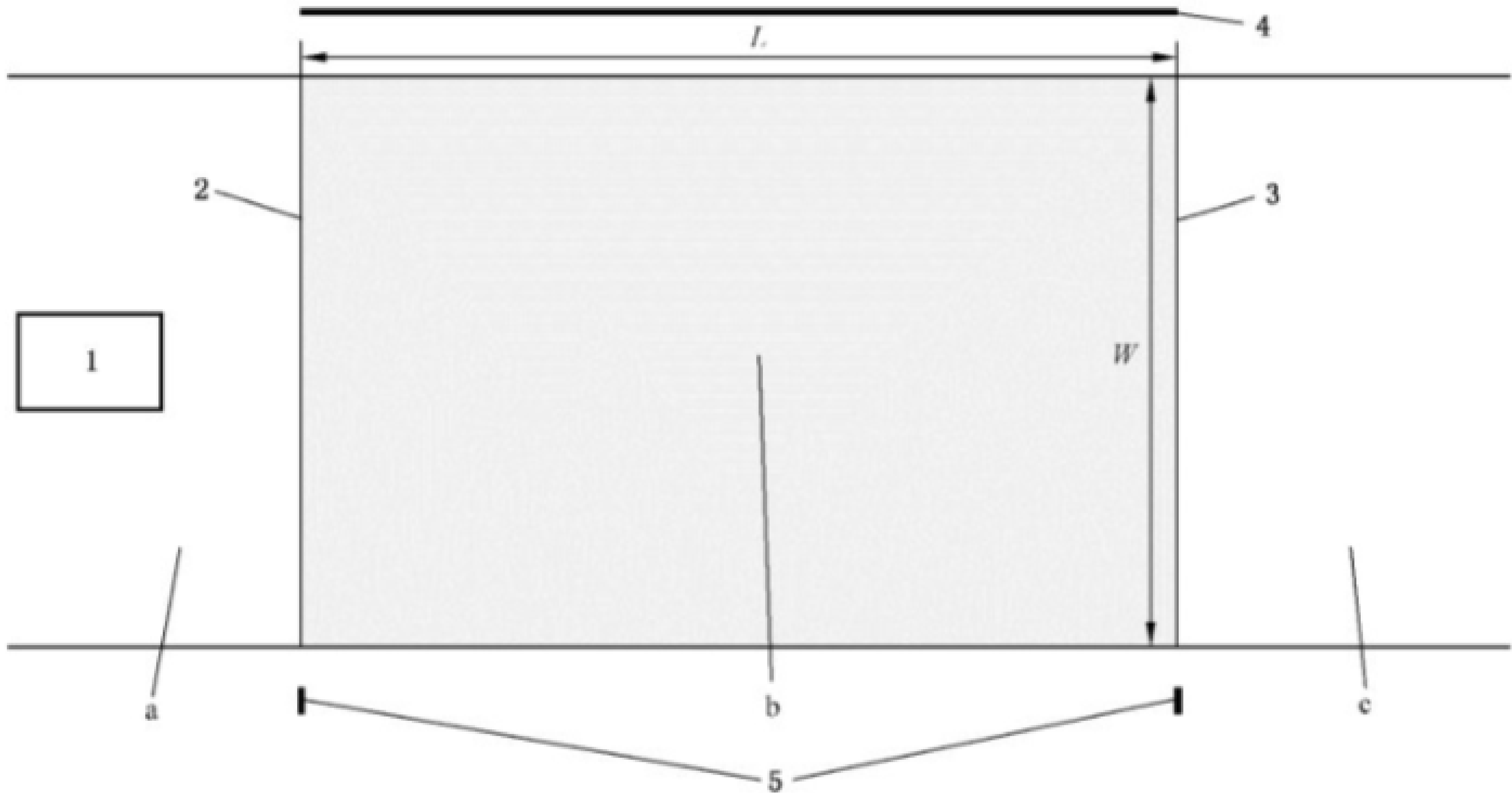
6 额定速度

6.1 目的

本试验的目的是确定被测机器人正常运行时能达到的最大速度。

6.2 试验设施

试验场地的俯视示意图如图 2 所示。试验区域长度 L 应至少为 3 000 mm 或能够让被测机器人在其中行进 10 步的距离(两者取最大值),宽度 W 应至少比被测机器人行进接触宽度长 1 000 mm。试验区域的两端应提供足够的空间使被测机器人完成加速和减速。测量被测机器人通过试验区域时长的时间测量设备放置于试验区域侧面,其测量误差应不超过 20 ms;试验区域的长度测量设备放置于试验区域侧面,其测量误差应不超过 5 mm。



- 标引序号说明：
- 1 —— 被测机器人；
 - 2 —— 起始线；
 - 3 —— 终点线；
 - 4 —— 长度测量设备；
 - 5 —— 时间测量设备；
 - a —— 加速区域；
 - b —— 试验区域；
 - c —— 减速区域；
 - L —— 试验区域长度；
 - W —— 试验区域宽度。

图 2 额定速度试验场地示意图

6.3 试验步骤

本试验包括两个方案。第一个方案的每次试验应按以下步骤进行：

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在行进面上,正面朝向起始线的中央,保持稳定站立姿态,长度测量设备测得试验区域长度为 L ；

- b) 被测机器人启动并加速正向行进；
- c) 被测机器人正向移动通过试验区域；
- d) 被测机器人到达终点线后,减速直至停止并保持稳定站立姿态,时间测量设备记录被测机器人通过试验区域的时间为 t ,完成一次试验。

第二个方案的每次试验应按以下步骤进行：

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在行进面上,背面朝向起始线的中央,保持稳定站立姿态,长度测量设备测得试验区域长度为 L ；
- b) 被测机器人启动并加速倒退行进；
- c) 被测机器人倒退移动通过试验区域；
- d) 被测机器人到达终点线后,减速直至停止并保持稳定站立姿态,时间测量设备记录被测机器人通过试验区域的时间为 t ,完成一次试验。

6.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效：

- a) 被测机器人在行进过程中,在垂直于起始线与停止线中点连线的方向上的单侧偏移距离不超过起止线间距离的 10%；
- b) 除预期的腿与行进面的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触。

只有当连续三次试验有效时,本试验项目所得结果才有效。

6.5 试验结果

额定速度应按公式(1)计算：

$$v = L / t \qquad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- v ——被测机器人的额定速度；
- L ——起始线和停止线之间的距离；
- t ——被测机器人通过试验区域的时间,即被测机器人本体分别接触与起始线和停止线重合并垂直于行进面的两个平面的时刻之间的时间。

额定速度[单位为米每秒(m/s)]应选择连续三次有效试验中的最小速度值,保留小数点后 2 位。

对于第一个方案,试验报告中应声明被测机器人正向移动的额定速度以及试验区域行进面的摩擦系数；对于第二个方案,试验报告中应声明被测机器人倒退移动的额定速度以及试验区域行进面的摩擦系数。

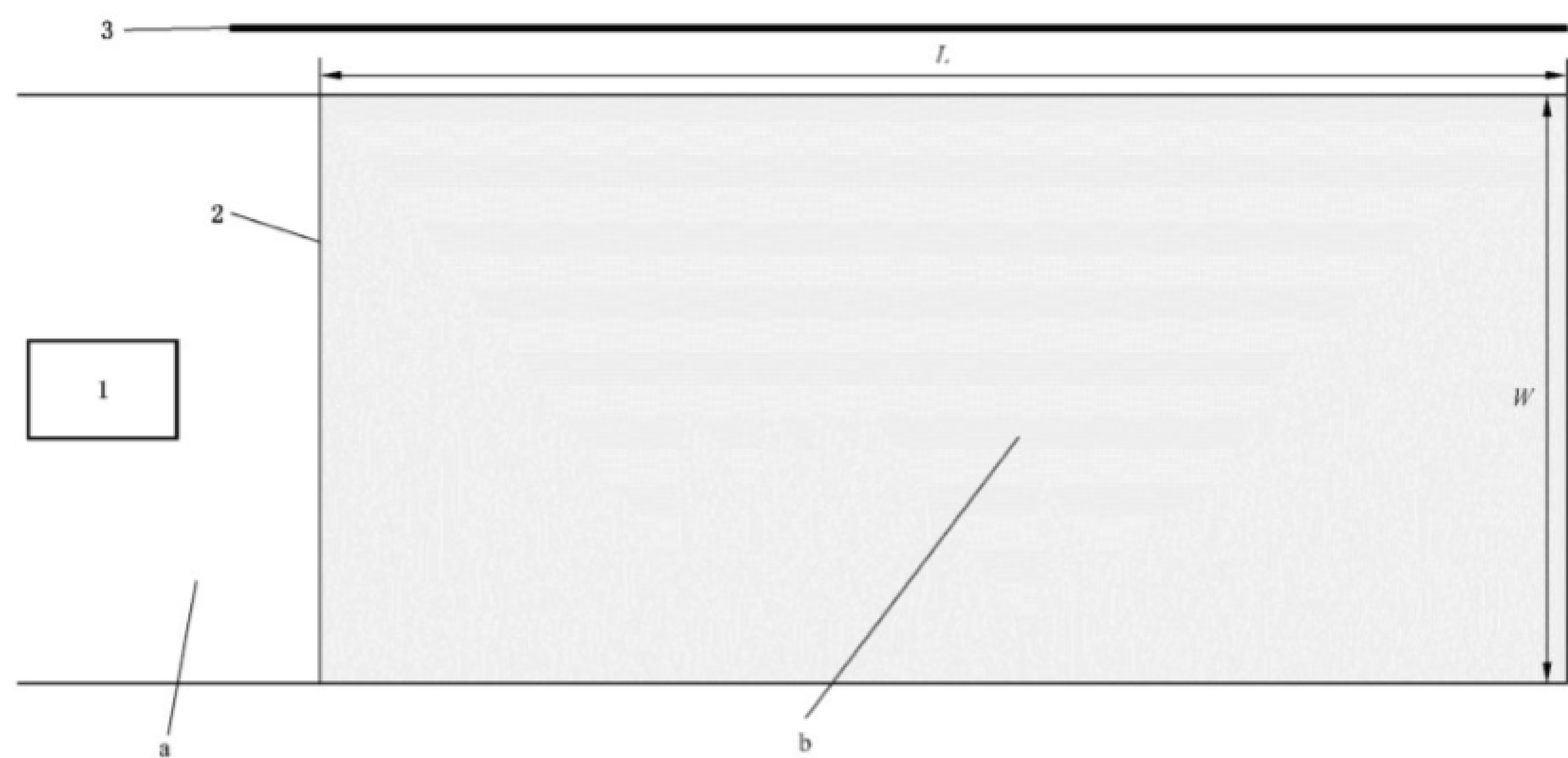
7 最大停止距离

7.1 目的

本试验的目的是确定被测机器人从运动状态转变到稳定站立姿态的能力。

7.2 试验设施

试验场地的俯视示意图如图 3 所示。试验区域长度 L 应保证被测机器人可以在试验区域内完成减速过程直至达到稳定站立姿态(推荐至少为被测机器人高度或长度的 4 倍,两者取最大值)。试验区域的宽度 W 应至少比被测机器人的行进接触宽度长 1 000 mm。测量线前应提供足够的空间使被测机器人完成加速过程。获取测量线位置与被测机器人停止行进后腿与行走面的接触面上距离测量线最远的一点的位置的长度测量设备放置于试验区域侧面,其测量误差应不超过 5 mm。



- 标引序号说明：
- 1 —— 被测机器人；
 - 2 —— 测量线；
 - 3 —— 长度测量设备；
 - a —— 加速区域；
 - b —— 试验区域；
 - L —— 试验区域长度；
 - W —— 试验区域宽度。

图 3 最大停止距离试验场地示意图

7.3 试验步骤

本试验包括两个方案。第一个方案的每次试验应按以下步骤进行：

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,保持稳定站立姿态,正面朝向测量线,长度测量设备获取测量线的位置为 S_m ;
- b) 被测机器人启动并加速正向行进;
- c) 被测机器人移动通过测量线后,减速直至停止并保持稳定站立姿态,长度测量设备获取此时被测机器人的腿与行走面的接触面上距离测量线最远的一点的位置为 S_t ,完成一次试验。

第二个方案的每次试验应按以下步骤进行：

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,保持稳定站立姿态,背面朝向测量线,长度测量设备获取测量线的位置为 S_m ;
- b) 被测机器人启动并加速倒退行进;
- c) 被测机器人移动通过测量线后,减速直至停止并保持稳定站立姿态,长度测量设备获取此时被测机器人的腿与行走面的接触面上距离测量线最远的一点的位置为 S_t ,完成一次试验。

7.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效：

- a) 被测机器人完成所有试验步骤,且完成后保持稳定站立姿态;
- b) 被测机器人从通过测量线直至停止,在垂直于测量线的方向上单侧偏移的距离不大于最大停止距离的 10%;

c) 除预期的腿与行进面的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触。
只有当每个方案连续三次试验有效时,本试验项目所得结果才有效。

7.5 试验结果

最大停止距离应按公式(2)计算:

$$S = S_t - S_m \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- S ——被测机器人的最大停止距离;
- S_t ——被测机器人在减速至停止后保持稳定站立姿态时,腿与行进面的接触面上距离测量线最远的一点的位置;
- S_m ——测量线的位置。

每个方案下的最大停止距离[单位为米(m)]应选择连续三次有效试验中的最大值,保留小数点后3位。

试验报告中应声明被测机器人不同移动方式(即正向移动与倒退移动)下的最大停止距离以及试验区域行进面的摩擦系数。

8 最大跳跃高度

8.1 目的

本试验的目的是确定被测机器人可凭借自身动力达到的最大高度。

8.2 试验设施

试验应在水平行进面进行,高度测量设备置于被测机器人侧面,用于测量被测机器人本体与腿在跳跃过程中所经过的空间区域距离行进面最低点的高度,其测量误差应不超过 5 mm。

8.3 试验步骤

每次试验应按以下步骤进行:

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在水平行进面上;
- b) 被测机器人起跳(起跳前运动状态不限),起跳后落回水平行进面并保持稳定站立姿态,高度测量设备测量被测机器人本体在跳跃过程中所经过的空间区域距离行进面最低点的高度为 $H_{b,min}$,测量被测机器人腿在跳跃过程中所经过的空间区域距离行进面最低点的高度为 $H_{l,min}$,取两者的最小值为本次试验中被测机器人的最大跳跃高度 H_{max} ,完成一次试验。

8.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效:

- a) 被测机器人完成所有试验步骤,且完成后保持稳定站立姿态;
 - b) 除预期的腿与行进面的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触。
- 只有当连续三次试验有效时,本试验项目所得结果才有效。

8.5 试验结果

最大跳跃高度应按公式(3)计算:

$$H_{max} = \min(H_{b,min}, H_{l,min}) \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- H_{max} ——被测机器人的最大跳跃高度;

$H_{b,min}$ ——被测机器人本体在跳跃过程中所经过的空间区域距离行进面最低点的高度；

$H_{l,min}$ ——被测机器人的腿在跳跃过程中所经过的空间区域距离行进面最低点的高度。

最大跳跃高度[单位为毫米(mm)]应选择连续三次有效试验中的最小值,不保留小数点。

试验报告中应声明被测机器人的最大跳跃高度、所处水平行进面的摩擦系数及起跳前的运动状态(原地起跳、助跑起跳或小幅跳动蓄能后起跳等)。

9 最大跳跃长度

9.1 目的

本试验的目的是确定被测机器人跳跃一次能够跨越的最大距离。

9.2 试验设施

试验应在水平行进面进行,长度测量设备置于被测机器人侧面,用于测量被测机器人进行跳跃离开行进面时与行进面接触范围在行进方向上的最前端一点的位置以及落回行进面时与行进面接触范围在行进方向上的最后端一点的位置,其测量误差应不超过 5 mm。

9.3 试验步骤

每次试验应按以下步骤进行：

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在水平行进面上；
- b) 被测机器人起跳(起跳前运动状态不限),起跳后落回水平行进面并保持稳定站立姿态,长度测量设备获取被测机器人进行跳跃离开行进面时与行进面接触范围在行进方向上的最前端一点的位置 S_j 以及落回行进面时与行进面接触范围在行进方向上的最后端一点的位置 S_f ,完成一次试验。

9.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效：

- a) 被测机器人完成所有试验步骤,且完成后保持稳定站立姿态；
- b) 除预期的腿与行进面的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触。

只有当连续三次试验有效时,本试验项目所得结果才有效。

9.5 试验结果

最大跳跃长度应按公式(4)计算：

$$S = S_f - S_j \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- S ——被测机器人的最大跳跃长度；
- S_j ——被测机器人进行跳跃离开行进面时,与行进面接触范围在行进方向上的最前端一点的位置；
- S_f ——被测机器人进行跳跃落回行进面时,与行进面接触范围在行进方向上的最后端一点的位置。

最大跳跃长度[单位为毫米(mm)]应选择连续三次有效试验中的最小值,不保留小数点。

试验报告中应声明被测机器人的最大跳跃长度、所处水平行进面的摩擦系数及起跳前的运动状态(原地起跳、助跑起跳或小幅跳动蓄能后起跳等)。

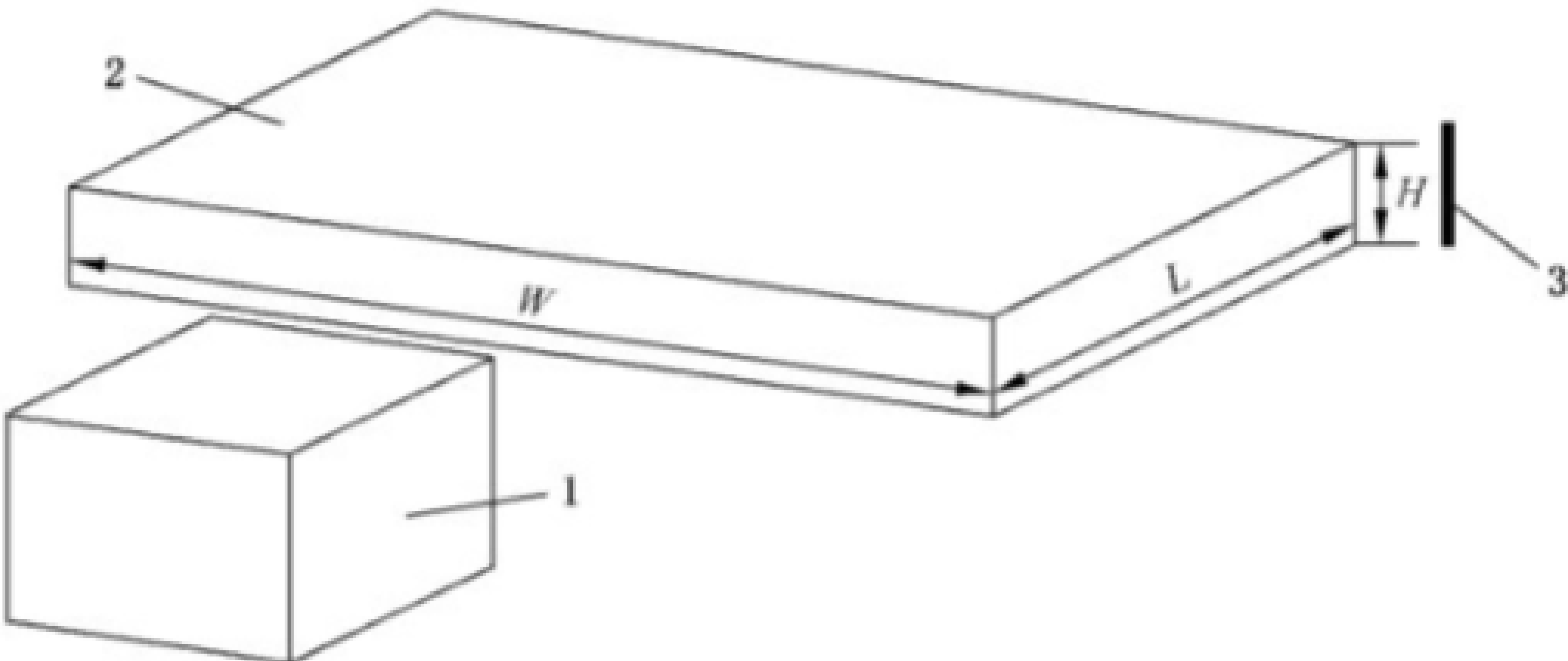
10 最大攀越高度

10.1 目的

本试验的目的是确定被测机器人能够攀越上的最大平台高度。

10.2 试验设施

试验设施的立体示意图如图 4 所示,平台宽度 W 应至少比被测机器人的行进接触宽度长 1 000 mm,平台长度 L 应足够长以保证被测机器人不会从边缘坠落,平台高度 H 可变。平台的高度测量设备置于平台侧面,其测量误差应不超过 5 mm。



- 标引序号说明:
- | | |
|------------|-------------|
| 1——被测机器人; | W ——平台宽度; |
| 2——平台; | L ——平台长度; |
| 3——高度测量设备; | H ——平台高度。 |

图 4 最大攀越高度试验设施示意图

10.3 试验步骤

每次试验应按以下步骤进行:

- a) 机器人除自身外无其他负载,放置在水平行进面上并保持稳定站立姿态;
- b) 机器人攀越到平台上并保持稳定站立姿态,高度测量设备平台高度 H ,完成一次试验。

10.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效:

- a) 被测机器人完成所有试验步骤,且完成后保持稳定站立姿态;
- b) 机器人在攀越过程中没有超出平台宽度范围。

只有当连续三次试验有效时,本试验项目所得结果才有效。

10.5 试验结果

最大攀越高度即为试验项目有效结果中的平台高度 H 。

最大攀越高度[单位为毫米(mm)]应选择连续三次有效试验中的最小值,保留小数点后 1 位。

试验报告中应声明最大攀越高度与行进面及平台表面的摩擦系数。

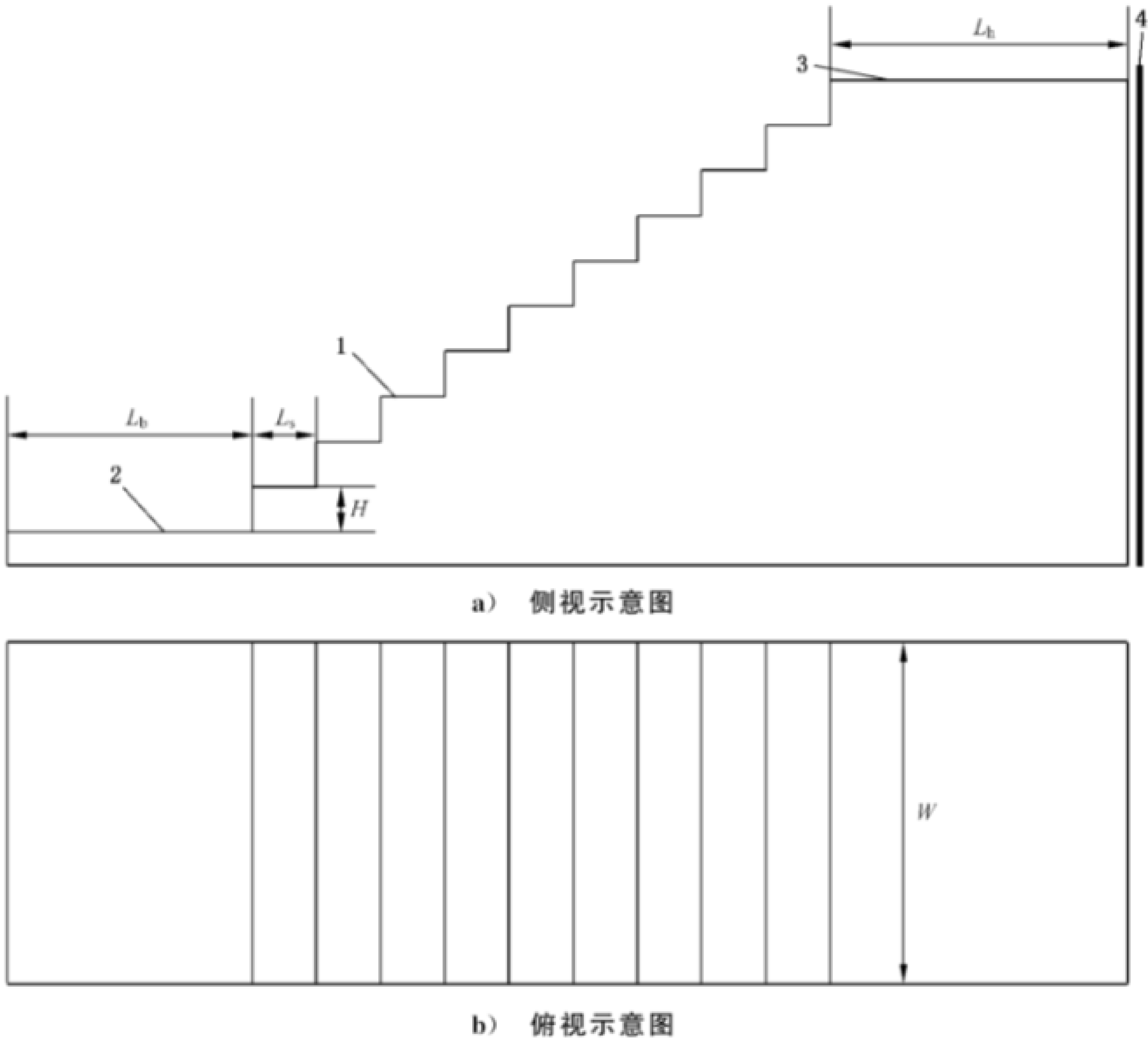
11 台阶行进能力

11.1 目的

本试验的目的是确定能使被测机器人行进的最大台阶高度。

11.2 试验设施

试验设施的侧视及俯视示意图如图 5 所示,其具有 10 级台阶、每层台阶长度 L_s 为 300 mm。台阶宽度 W 为 1 000 mm,每级台阶高度 H 可变。台阶上下具有与之相连的高端平台与低端平台,高端平台长度 L_h 与低端平台长度 L_b 应足够长以确保被测机器人不会从边缘坠落。测量台阶高度 H 的高度测量设备置于台阶侧面,其测量误差应不超过 1 mm。



标引序号说明:

- 1 ——踏步;
- 2 ——低端平台;
- 3 ——高端平台;
- 4 ——高度测量设备;
- L_b ——低端平台长度;
- L_s ——每级台阶长度;
- H ——每级台阶高度;
- L_h ——高端平台长度;
- W ——台阶宽度。

图 5 上台阶能力试验场地示意图

此外,对于有特定应用场景的腿式机器人,每层台阶长度 L 。不是 300 mm 的台阶也可以用于测试被测机器人的上台能力。

11.3 试验步骤

本试验包括两个方案。第一个方案的每次试验应按以下步骤进行:

- a) 调整每级台阶高度 H 为特定值,由高度测量设备测得其高度为 H_1 ;
- b) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在低端平台上并保持稳定站立姿态;
- c) 被测机器人启动并在台阶上行进上行;
- d) 被测机器人踏上高端平台,减速直至停止并保持稳定站立姿态;
- e) 重新设置 H 的值,由高度测量设备测得其高度为 H_n 。并重复步骤 b)~d),直至机器人无法完成这些步骤为止,完成一次试验。

第二个方案的每次试验应按以下步骤进行:

- a) 调整每级台阶高度 H 为特定值,由高度测量设备测得其高度为 H_1 ;
- b) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在高端平台上并保持稳定站立姿态;
- c) 被测机器人启动并在台阶上行进下行;
- d) 被测机器人踏上低端平台,减速直至停止并保持稳定站立姿态;
- e) 重新设置 H 的值,由高度测量设备测得其高度为 H_n 。并重复步骤 b)~d),直至机器人无法完成这些步骤为止,完成一次试验。

注: n 为调整台阶高度的次数序号,如第 2 次调整台阶高度后, n 取 2。

11.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效:

- a) 被测机器人完成所有试验步骤;
- b) 除预期的腿与行进面或台阶的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触。

只有当每个方案连续三次试验有效时,本试验项目所得结果才被认定为有效。

11.5 试验结果

台阶行进能力应以被测机器人能够在其上行进的最大台阶高度 H_{max} 表征, H_{max} 的计算方式见公式(5)。

$$H_{max} = \min(H_{n,1}, H_{n,2}, H_{n,3}) \dots\dots\dots (5)$$

式中:

H_{max} ——被测机器人能够在其上行进的最大台阶高度;
 $H_{n,1}, H_{n,2}, H_{n,3}$ ——连续三次有效试验中,每次试验被测机器人能够其上行进的最大台阶高度;
每个方案中,被测机器人能够在其上行进的最大台阶高度 H_{max} [单位为毫米(mm)],应选择连续三次有效试验中的最小值,取小数点后 1 位。

试验报告中应声明每个试验方案下 H_{max} 的值及对应的被测机器人行进方向与台阶的摩擦系数。

12 最大斜坡角度

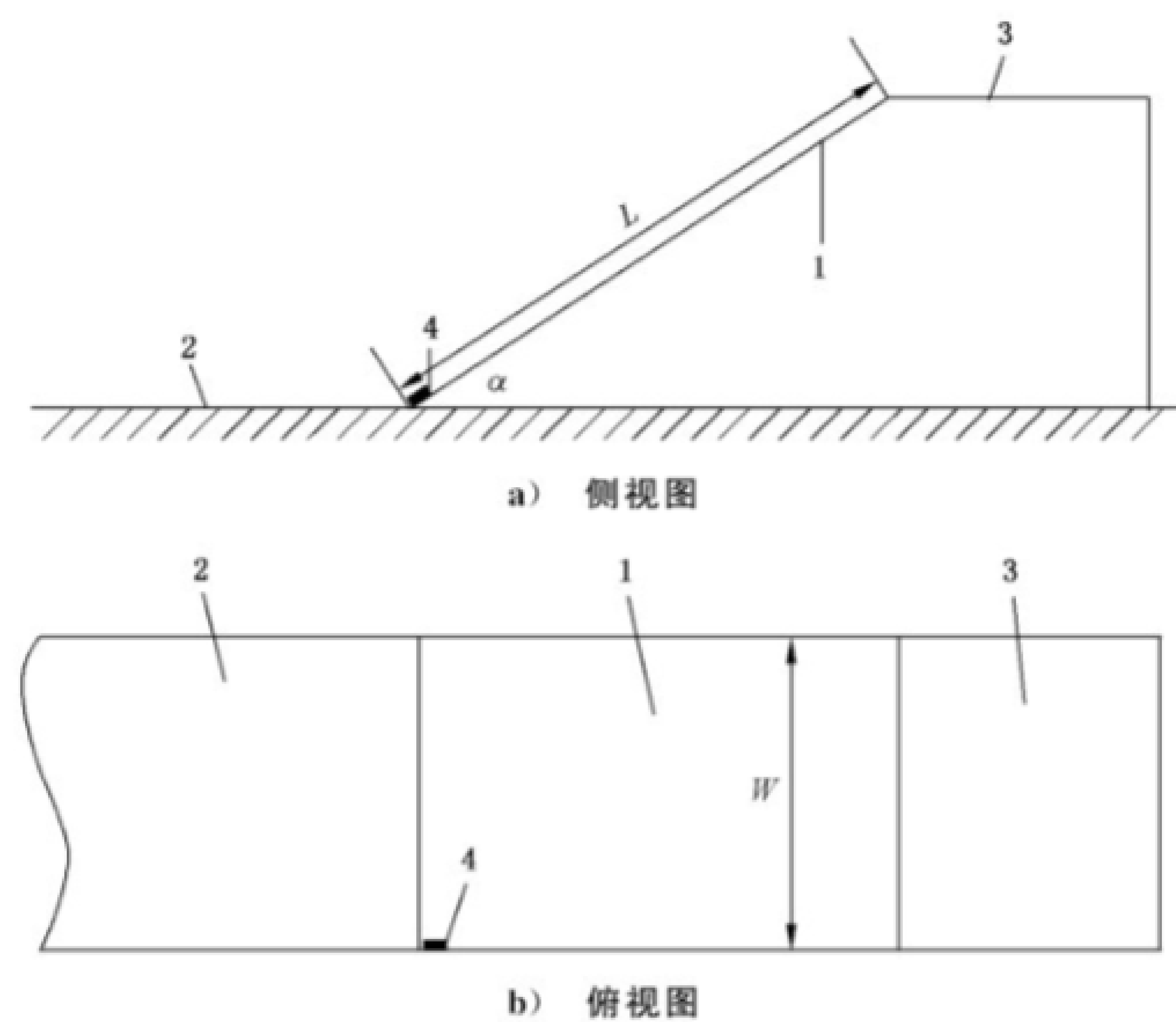
12.1 目的

本试验的目的是确定能使被测机器人行进的最大斜坡角度。

12.2 试验设施

试验设施的侧视及俯视示意图如图 6 所示,其为角度可调的斜坡,斜坡坡面长度 L 至少为

3 000 mm 或能够让被测机器人在其上行进 10 步的长度(两者取最大值),斜坡坡面宽度 W 应足够宽以保证机器人不会从斜坡边缘坠落。斜坡高端平台应具有足够空间保证被测机器人不会掉落。斜坡的角度测量设备置于斜面上,其测量误差应不超过 0.2° 。



标引序号说明:

- 1——斜坡坡面;
- 2——低端平台;
- 3——高端平台;
- 4——角度测量设备;

- L ——斜坡坡面长度;
- W ——斜坡坡面宽度;
- α ——斜坡角度。

图 6 最大斜坡角度试验设施

12.3 试验步骤

本试验项目包括 4 种方案。

对于第一种方案,每次试验应按以下步骤进行:

- a) 斜坡角度 α 设定为特定角度,角度测量设备测得其值为 α_1 ;
- b) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在低端平台,正向朝向斜坡并保持稳定站立姿态;
- c) 被测机器人启动,正向行进,踏上斜坡并向上行进;
- d) 被测机器人到达高端平台后减速至停止并保持稳定站立姿态;
- e) 增大斜坡角度,角度测量设备测得其值为 α_n ,重复 b)~d)直至被测机器人无法完成这些步骤为止,完成一次试验。

对于第二种方案,每次试验应按以下步骤进行:

- a) 斜坡设定为特定角度,角度测量设备测得其值为 α_1 ;
- b) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在高端平台,正向朝向斜坡并保持稳定站立姿态;
- c) 被测机器人启动,正向行进,踏上斜坡并向下行进;
- d) 被测机器人到达低端平台后减速至停止并保持稳定站立姿态;
- e) 增大斜坡角度,角度测量设备测得其值为 α_n ,重复 b)~d)直至被测机器人无法完成这些步骤为止,完成一次试验。

对于第三种方案,每次试验应按以下步骤进行:

- a) 斜坡设定为特定角度,角度测量设备测得其值为 α_1 ;
- b) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在低端平台,背向朝向斜坡并保持稳定站立姿态;
- c) 被测机器人启动,倒退行进,踏上斜坡并向上行进;
- d) 被测机器人到达高端平台后减速至停止并保持稳定站立姿态;
- e) 增大斜坡角度,角度测量设备测得其值为 α_n ,重复 b)~d)直至被测机器人无法完成这些步骤为止,完成一次试验。

对于第四种方案,每次试验应按以下步骤进行:

- a) 斜坡设定为特定角度,角度测量设备测得其值为 α_1 ;
- b) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在高端平台,背向朝向斜坡并保持稳定站立姿态;
- c) 被测机器人启动,倒退行进,踏上斜坡并向下行进;
- d) 被测机器人到达低端平台后应减速至停止并保持稳定站立姿态;
- e) 增大斜坡角度,角度测量设备测得其值为 α_n ,重复 b)~d)直至被测机器人无法完成这些步骤为止,完成一次试验。

注: n 为调整斜坡角度的次数序号,如第 2 次调整斜坡角度后, n 取 2。

12.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效:

- a) 被测机器人完成所有试验步骤,且完成后保持稳定站立姿态;
- b) 除预期的腿与行进面或斜坡的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触;
- c) 在斜坡坡面上行进时,被测机器人未发生回退。

只有当每个方案连续三次试验有效时,本试验项目所得结果才被认定为有效。

12.5 试验结果

台阶行进能力应以被测机器人能够在斜坡坡面上行进的最大斜坡角度 α_{\max} 表征, α_{\max} 的计算方式如下:

$$\alpha_{\max} = \min(\alpha_{n,1}, \alpha_{n,2}, \alpha_{n,3}) \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- α_{\max} ——被测机器人能够在斜坡坡面上行进的最大斜坡角度;
- $\alpha_{n,1}, \alpha_{n,2}, \alpha_{n,3}$ ——连续三次有效试验中,每次试验被测机器人能够在斜坡坡面上行进的最大斜坡角度。

每个方案中,被测机器人能够在斜坡坡面上行进的最大斜坡角度 α_{\max} [单位为度(°)],应选择连续三次有效试验中的最小值,取小数点后 2 位。

试验报告中应声明每个试验方案下 α_{\max} 的值及对应的被测机器人行进方向与斜坡坡面的摩擦系数。

13 瞬时冲击抵抗能力

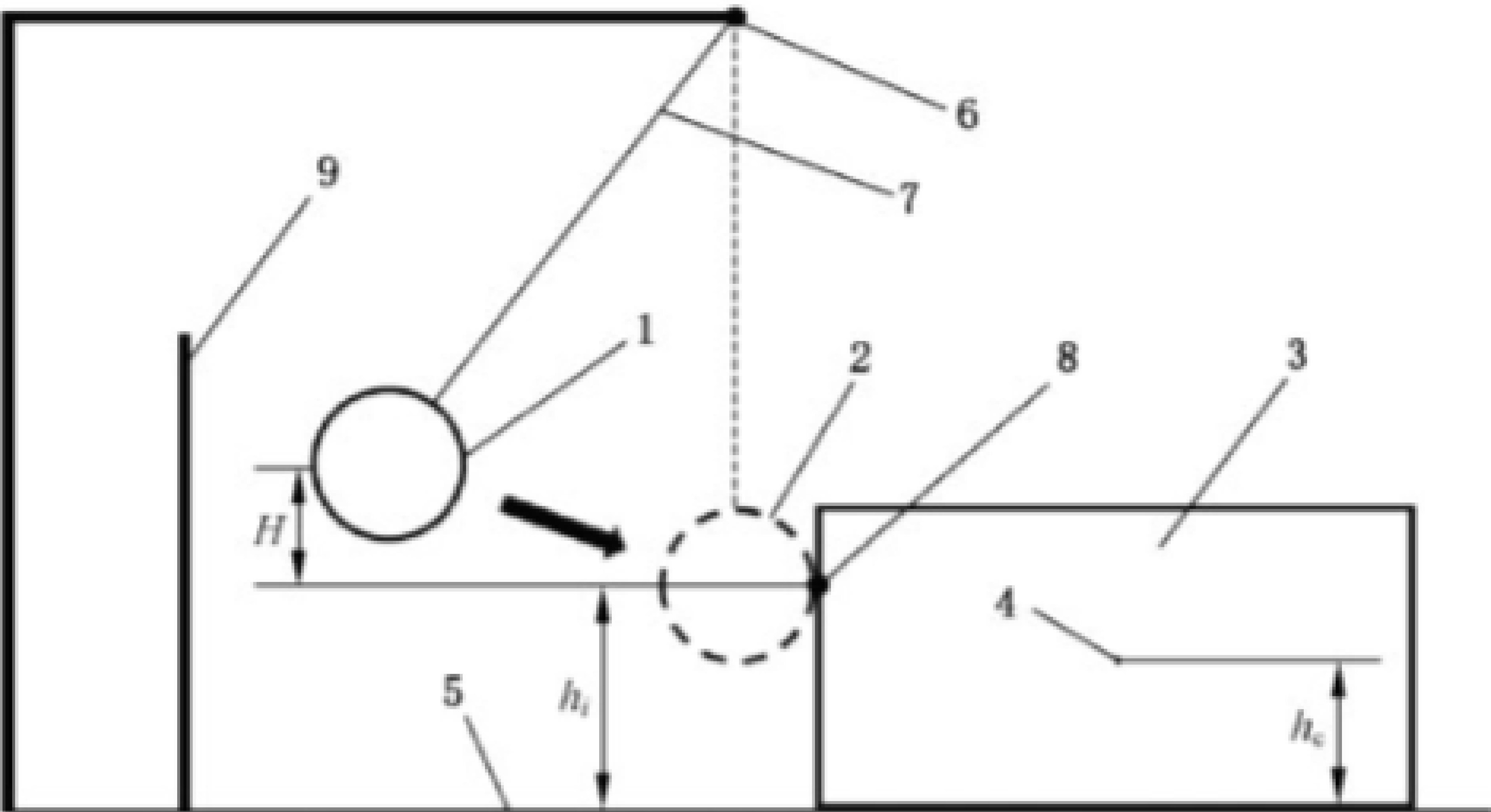
13.1 目的

本试验的目的是确定被测机器人在突发外部撞击时保证自身平衡的能力。

13.2 试验设施

需采用高度测量设备,其测量误差应不超过 1 mm。试验设施的侧视示意图如图 7 所示。撞锤为刚性圆球,以轻质软绳接于一固定点上。轻质软绳的质量应不大于撞锤质量的 5%。固定点与行进面

的位置关系在试验过程中保持不变。试验应在水平行进面上进行。对于测量撞锤与被测机器人质量的质量测量设备,其测量误差应不超过 20 g,对于测量撞锤下落高度、撞击点高度的设备,其测量误差应不超过 1 mm。



标引序号说明:

- 1 —— 撞击前即将下落的撞锤;
- 2 —— 与被测机器人撞击时的撞锤;
- 3 —— 被测机器人;
- 4 —— 被测机器人的质心;
- 5 —— 水平行进面;
- 6 —— 固定点;
- 7 —— 轻质软绳;
- 8 —— 撞锤与被测机器人的撞击点;
- 9 —— 高度测量设备;
- H —— 撞锤下落高度;
- h_i —— 撞锤与被测机器人的撞击点距离行进面的高度;
- h_c —— 被测机器人质心距离行进面的高度。

图 7 瞬时冲击抵抗能力试验装置

13.3 试验步骤

每次试验应按以下步骤进行:

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,质量测量设备测得其质量为 m_R ,高度测量设备测得被测机器人质心距离水平行进面的高度 h_c ,被测机器人放置在水平行进面上并保持稳定站立姿态;
- b) 质量测量设备测得撞锤质量为 m_B ,拉起撞锤,保证拉起时软绳拉直,使撞锤撞击在被测机器人的正面,撞击发生时软绳应竖直于水平行进面,高度测量设备测得撞锤在竖直方向上下降的高度 H 与撞锤与被测机器人撞击点距离水平行进面的高度 h_i ;
- c) 逐步增加撞锤抬升的高度,直至被测机器人无法在受到撞击之后保持稳定站立姿态;
- d) 调整被测机器人的朝向使撞锤撞击点处于被测机器人的左、右、后面,分别拉起撞锤,保证拉起时软绳拉直,使撞锤撞击被测机器人,撞击发生时软绳应竖直于水平行进面;
- e) 在左、右、后朝向上分别重复步骤 c),完成一次试验。

13.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效:

- a) 被测机器人完成所有试验步骤;
- b) 撞锤与被测机器人每次撞击只接触一次;

- c) 撞锤撞击在被测机器人本体上而非其他部分；
 - d) 撞锤撞击在被测机器人处的高度高于被测机器人质心的高度；
 - e) 撞锤撞击被测机器人后，被测机器人不失去原有功能。
- 只有当连续三次试验有效时，本试验项目所得结果才被认定为有效。

13.5 试验结果

瞬时冲击抵抗能力以 M 值来表征， M 值的计算方式见公式(7)。

$$M = \frac{\sqrt{H} \times m_B \times h_i}{m_R \times h_c} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- M ——表征被测机器人瞬时冲击抵抗能力的参数；
- H ——撞锤在竖直方向上下降的高度，单位为米(m)；
- m_B ——撞锤的质量，单位为千克(kg)；
- m_R ——被测机器人的质量，单位为千克(kg)；
- h_i ——撞锤与被测机器人撞击点距离水平行进面的高度，单位为米(m)；
- h_c ——被测机器人质心距离水平行进面的高度，单位为米(m)。

连续三次有效试验中，四个朝向上可以得到四组 M 值，每组三个。用以表征被测机器人抵抗瞬时冲击能力的 M 值应选择每组中的最小值，保留小数点后 3 位。

试验报告中应声明四个朝向上的 M 值以及行进面的摩擦系数等试验条件。

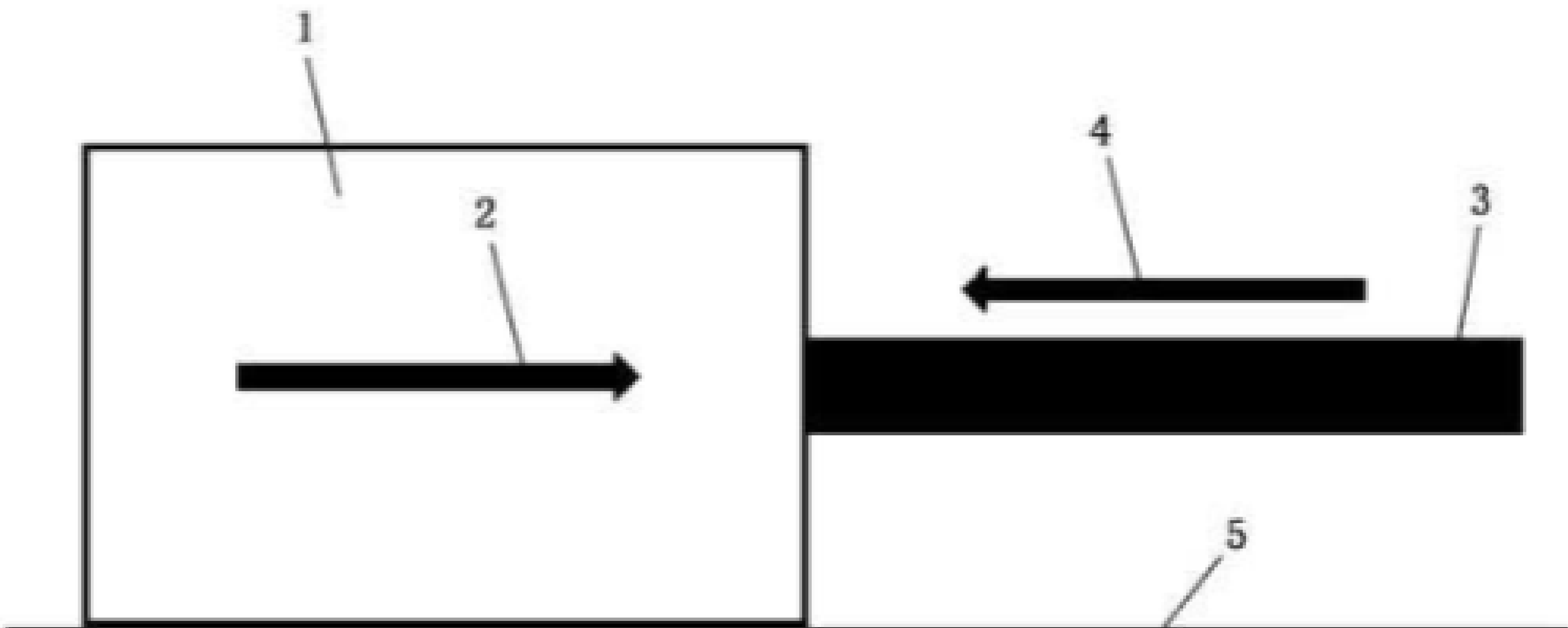
14 持续冲击抵抗能力

14.1 目的

本试验的目的是确定被测机器人在被施加持续性外力时保证平衡的能力。

14.2 试验设施

试验设施的侧视示意图如图 8 所示，施力器对机器人施加力，施力方向与机器人行进方向完全相反。试验应在水平行进面上进行。对于测量施力器所施加力的设备，其测量误差应不超过 5 N。被测机器人的质量测量设备，其测量误差应不超过 20 g。



- 标引序号说明：
- 1——被测机器人；
 - 2——被测机器人行进方向；
 - 3——施力器；
 - 4——施力器施加力的方向；
 - 5——水平行进面。

图 8 瞬时冲击抵抗能力试验设施示意图

14.3 试验步骤

每次试验应按以下步骤进行：

- a) 被测机器人除自身外无其他负载，质量测量设备测得其质量为 m_R ，被测机器人放置在水平行进面上并保持稳定站立姿态；
- b) 被测机器人开始行进并达到稳定速度；
- c) 施力器对机器人施加不断增大的力直至其无法继续向前移动为止，记录此时所施加力值为 F ，施力方向与机器人行进方向完全相反，施力点位于机器人本体上，完成一次试验。

14.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效：

- a) 被测机器人完成所有试验步骤；
- b) 施力器将力施加在机器人本体上而非其他部位；
- c) 施力器与被测机器人接触点的高度高于被测机器人质心的高度；
- d) 被测机器人无法继续向前移动时，其在左右方向上单侧偏移的距离不超过机器人行进接触宽度。

只有当连续三次试验有效时，本试验项目所得结果才被认定为有效。

14.5 试验结果

持续冲击抵抗能力以 C 值来表征， C 值的计算方式见公式(8)。

$$C = \frac{F \times H_F}{m_R \times H_{\text{cog}}}$$

.....(8)

式中：

- C ——表征被测机器人瞬时冲击抵抗能力的参数；
- F ——被测机器人无法继续向前移动时施力器所施加力的值，单位为牛(N)；
- H_F ——施力器与被测机器人接触点的高度，单位为米(m)；
- H_{cog} ——被测机器人质心高度，单位为米(m)；
- m_R ——被测机器人的质量，单位为千克(kg)。

用以表征被测机器人持续瞬时冲击能力的 C 值应选择连续三次有效试验中的最小值，保留小数点后 3 位。

试验报告中应声明 C 值以及行进面的摩擦系数。

15 最大续航里程

15.1 目的

本试验的目的是确定机器人可以自主移动的最长距离。

15.2 试验设施

试验应在 400 m 田径场上进行，田径场应满足 GB/T 14833—2020 中 5.1.1 与 GB/T 22517.6—2020 中 5.1、5.2 的要求。对于测量被测机器人行径路径长度的设备，其测量误差应不超过 5 cm。

15.3 试验步骤

每次试验应按以下步骤进行：

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,放置于 GB/T 22517.6—2020 中附录 A 所述 400 m 起跑线处并保持稳定站立姿态;
- b) 被测机器人在田径场上以额定速度沿跑道上逆时针行进,一直到能源耗尽为止,长度测量设备依据 14.5 中计算方法测得所需数据,完成一次试验。

15.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效:

- a) 被测机器人完成所有试验步骤;
- b) 被测机器人在能源耗尽前没有摔倒或摔倒后可自行回复站立并继续行进;
- c) 被测机器人在行进过程中没有超出田径场的跑道范围;
- d) 除预期的腿与行进面的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触。

只有当连续三次试验有效时,本试验项目所得结果才被认定为有效。

15.5 试验结果

最大续航里程的计算方式如下:

当被测机器人自 400 m 起跑线起跑后,抵达过 400 m 跑终点线时,见公式(9)。

$$L = 400 + N \times 400 + L_f \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- L ——被测机器人的最大续航里程;
- N ——以 400 m 终点线为界,被测机器人完整经过的圈数,若自 400 m 起跑线始被测机器人仅到达过 1 次 400 m 终点线,则 N 取 0;
- L_f ——被测机器人最后一次越过 400 m 终点线后,其路径在田径场跑道内侧边缘投影的长度(以 400 m 终点线与机器人停止行进后与行进面接触的最后端一点之间计),单位为米(m)。

当被测机器人自 400 m 起跑线起跑后,没有抵达过 400 m 跑终点线时,见公式(10)。

$$L = L_s \dots\dots\dots (10)$$

式中:

- L ——被测机器人的最大续航里程;
- L_s ——被测机器人行进路径在田径场跑道内侧边缘投影的长度(以被测机器人开始行进时与行进面接触的最前端一点与机器人停止行进后与行进面接触的最后端一点之间计),单位为米(m)。

最大续航里程(规定单位为 m)应选择连续三次有效试验中的最小值,保留小数点后 1 位。

试验报告中应声明被测机器人的最大续航里程及连续三次有效试验中各自的被测机器人行进距离。

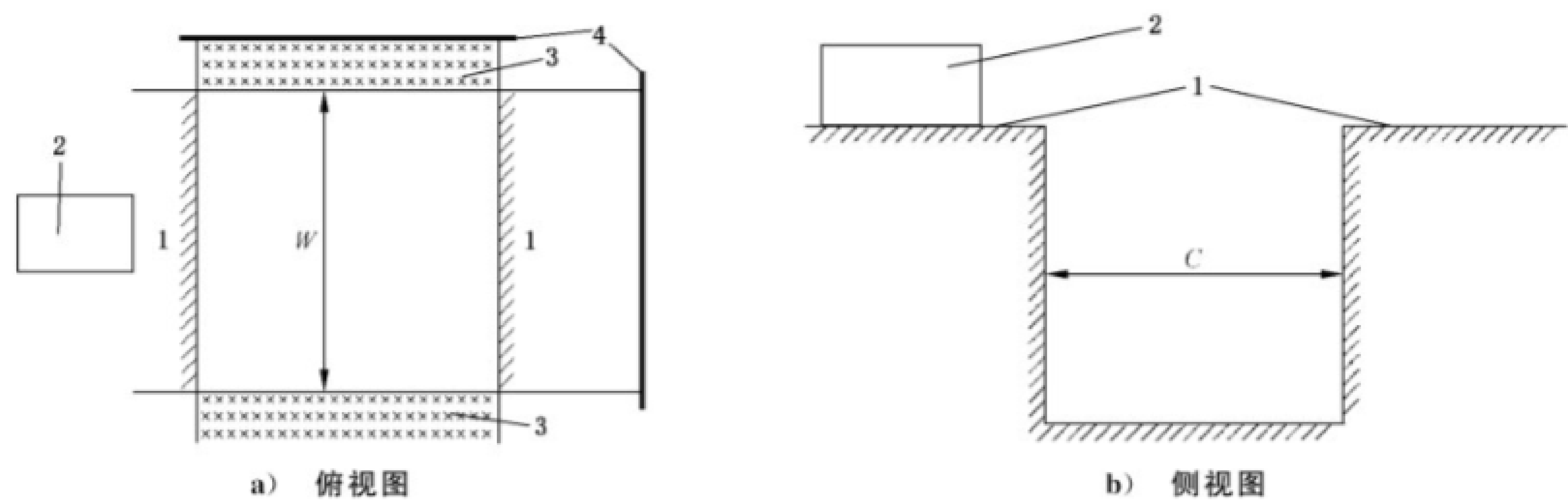
16 最大跨越距离

16.1 目的

本试验的目的是确定机器人能够跨越的行进面上空洞的最大长度。

16.2 试验设施

试验设施的侧视及俯视示意图如图 9 所示,其为水平行进面上的长方形空洞,其长度 C 可变,宽度 W 至少比机器人的行进接触宽度长 1 000 mm,左右设有禁行区。测量长度 C 与宽度 W 的长度测量设备置于长方形空洞外缘,其测量误差应不超过 1 mm。



标引序号说明：

- 1 ——水平行进面；
- 2 ——被测机器人；
- 3 ——禁行区；
- 4 ——长度测量设备；

W ——水平行进面长方形空洞的宽度；
 C ——水平行进面长方形空洞的长度。

图 9 最大跨越距离试验设施示意图

16.3 试验步骤

- 每次试验应按以下步骤进行。
- a) 机器人除自身外无其他负载,放置在长方形空洞前并保持稳定站立姿态,长度测量设备测得长方形空洞的宽度为 W ,长度为 C 。
 - b) 机器人开始行进并跨越空洞至另一侧(跨越采取的运动方式不限),跨越后停止行进并保持稳定站立姿态。
 - c) 增大长方形空洞长度 C 并重复 a)、b)直至被测机器人无法完成这些步骤为止,完成一次试验。

16.4 试验判定

- 一次试验只有满足以下条件才有效：
- a) 被测机器人完成所有试验步骤；
 - b) 被测机器人未与长方形空洞内壁及底面发生接触；
 - c) 被测机器人与禁行区未发生接触。
- 只有当连续三次试验有效时,本试验项目所得结果才被认定为有效。

16.5 试验结果

试验中使用的长方形空洞的长度 C 即为[单位为米(m)]即为机器人的最大跨越距离,应选择连续三次有效试验中的最小值,保留小数点后 3 位。

试验报告中应声明最大跨越距离、所处水平行进面的摩擦系数及跨越时的运动状态(原地起跳跨越、助跑起跳跨越、行进中跨越或小幅跳动蓄能后起跳跨越等)。

17 最低通行高度

17.1 目的

本试验的目的是确定机器人可以正常行进通过的低矮通道的最低高度。

17.2 试验设施

试验设施的立体示意图与侧视示意图如图 10 所示,其为上方悬垂的长方体障碍物,其水平截面为矩形,底面距离水平行进面的高度 H 可变,长度 L 至少为 1 000 mm,宽度 W 至少比机器人的行进接触宽度长 1 000 mm。测量长方体障碍物底面距离水平行进面高度 H 的高度测量设备至于长方体障碍物旁,其测量误差应不超过 1 mm。

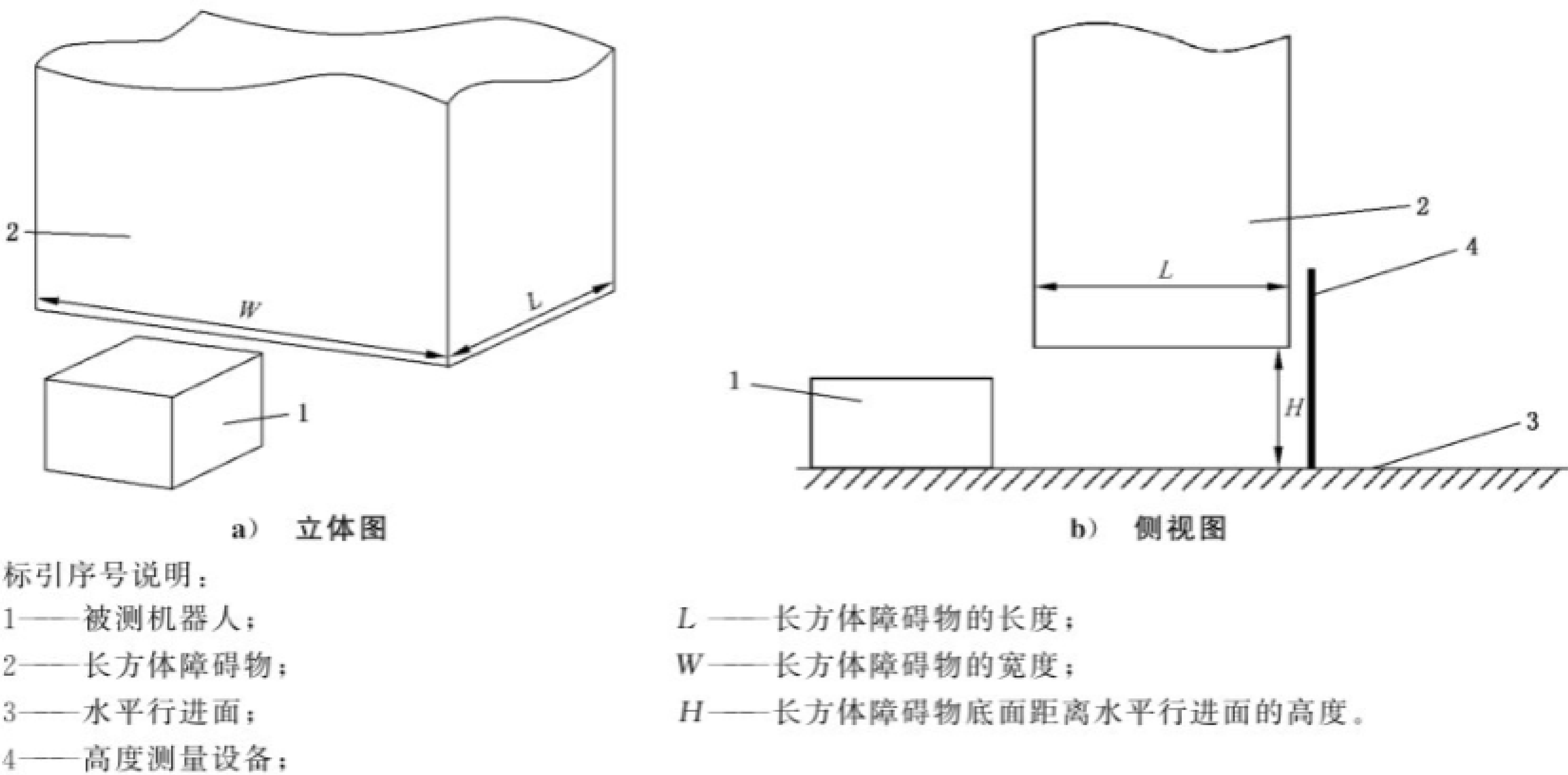


图 10 最低通行高度试验设施示意图

17.3 试验步骤

每次试验应按以下步骤进行。

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在长方体障碍物前并保持稳定站立姿态,高度测量设备测得长方体障碍物底面距离水平行进面的高度为 H 。
- b) 机器人向前行进经由长方体障碍物下方到达另一侧,到达后保持稳定站立姿态,完成一次试验。

17.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效:

- a) 被测机器人完成所有试验步骤;
- b) 除预期的腿与行进面的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触;
- c) 被测机器人在行进过程中垂直于行进方向上没有超过长方体障碍物在水平行进面上的投影。

17.5 试验结果

长方体障碍物距离水平行进面的高度 H [单位为米(m)]即为被测机器人的最低通行高度,应选择连续三次有效试验中的最小值,保留小数点后 3 位。
试验报告中应声明机器人的最低通行高度。

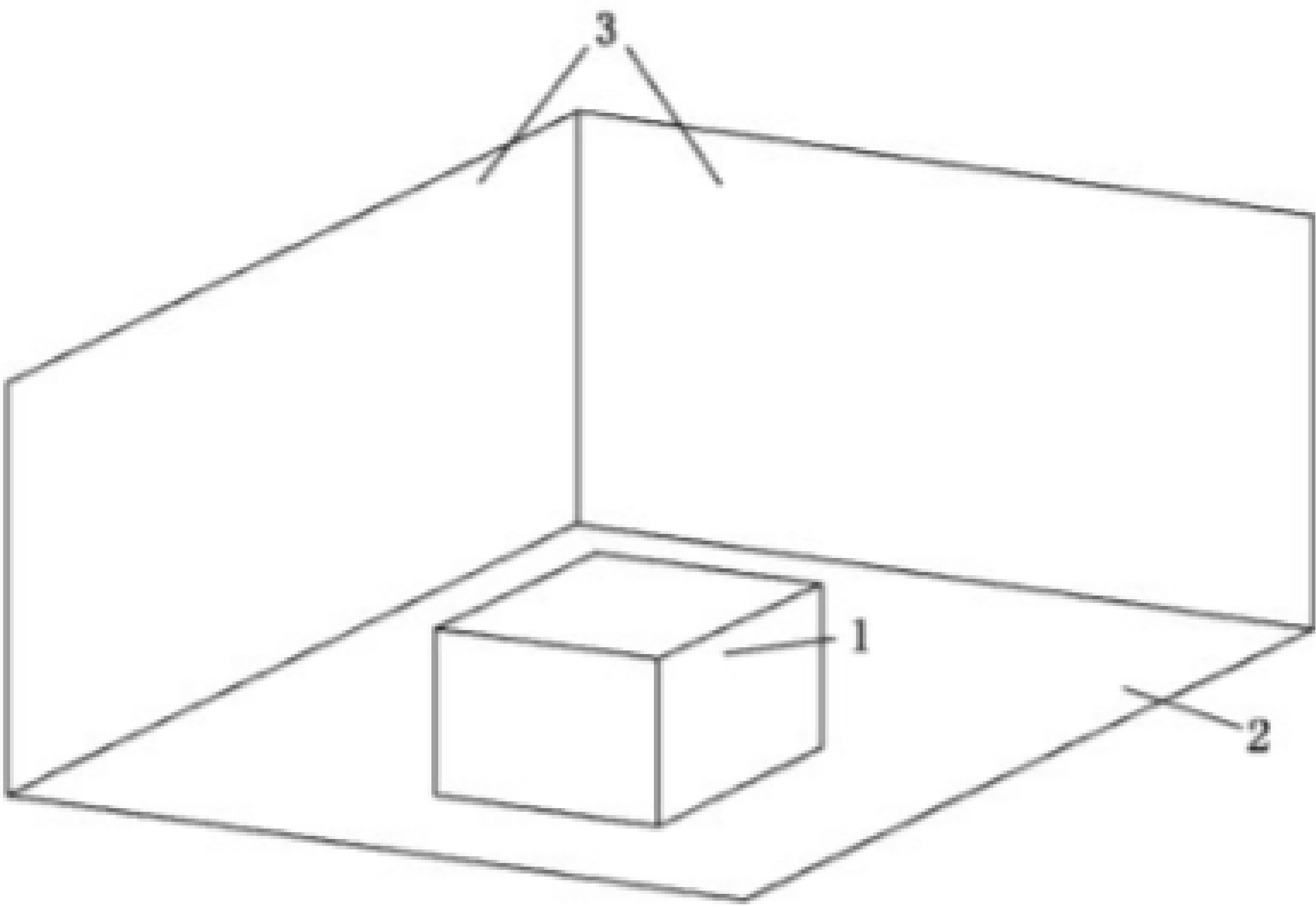
18 最小转身空间

18.1 目的

本试验的目的是确定机器人实现原地转向最小的空间需求。

18.2 试验设施

试验场地的立体示意图如图 11 所示,为水平行进面上的方形场地,方形场地边缘处有与之相接的试验场地侧壁。对于测量覆盖被测机器人最小转身空间的测量设备,其测量误差应不超过 5 mm。



标引序号说明：
1——被测机器人；
2——水平行进面；
3——试验场地侧壁。

图 11 最小转身空间试验设施示意图

18.3 试验步骤

本试验包括两个方案。第一个方案的每次试验应按以下步骤进行：

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,放置于试验场地内,正向朝向试验场地侧壁并保持稳定站立姿态；
- b) 机器人 180°转身,转身后保持稳定站立姿态,测量设备获取被测机器人转身全程在两侧试验场地侧壁上的投影扫过的区域在水平方向上的总宽度为 $L_{x,n}$ 、 $L_{y,n}$ (其中 n 为试验序数),完成一次试验。

第二个方案的每次试验应按以下步骤进行：

- a) 机器人除自身外无其他负载,机器人放置于试验区域内,正向朝向正方形的一边并保持稳定站立姿态；
- b) 机器人 90°转身,转身后保持稳定站立姿态,测量设备获取被测机器人转身全程在两侧试验场地侧壁上的投影扫过的区域在水平方向上的总宽度为 $L_{x,n}$ 、 $L_{y,n}$ (其中 n 为试验序数),完成一次试验。

18.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效：

- a) 被测机器人完成所有试验步骤,且完成后保持稳定站立姿态；
- b) 除预期的腿与行进面的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触；
- c) 机器人没有行进至试验场地外。

只有当每个方案下连续三次试验有效时,本试验项目所得结果才被认定为有效。

18.5 试验结果

最小转身空间规定为矩形,该矩形可以覆盖被测机器人转身全程在水平行进面上投影扫过的区域。矩形的两个边长分别见公式(11)和公式(12)。

$$L_x = \max(L_{x,1}, L_{x,2}, L_{x,3}) \dots\dots\dots (11)$$

$$L_y = \max(L_{y,1}, L_{y,2}, L_{y,3}) \dots\dots\dots (12)$$

式中：
 L_x, L_y ——最小转身空间的两侧边长；
 $L_{x,1}, L_{x,2}, L_{x,3}$ ——三次连续有效试验中，被测机器人在每次试验中的转身全程在一侧的试验场地侧壁上的投影扫过的区域在水平方向上的总宽度；
 $L_{y,1}, L_{y,2}, L_{y,3}$ ——三次连续有效试验中，被测机器人在每次试验中的转身全程在另一侧的试验场地侧壁上的投影扫过的区域在水平方向上的总宽度。
试验报告中应声明每个试验方案下的最小转身空间，其边长保留小数点后 2 位。

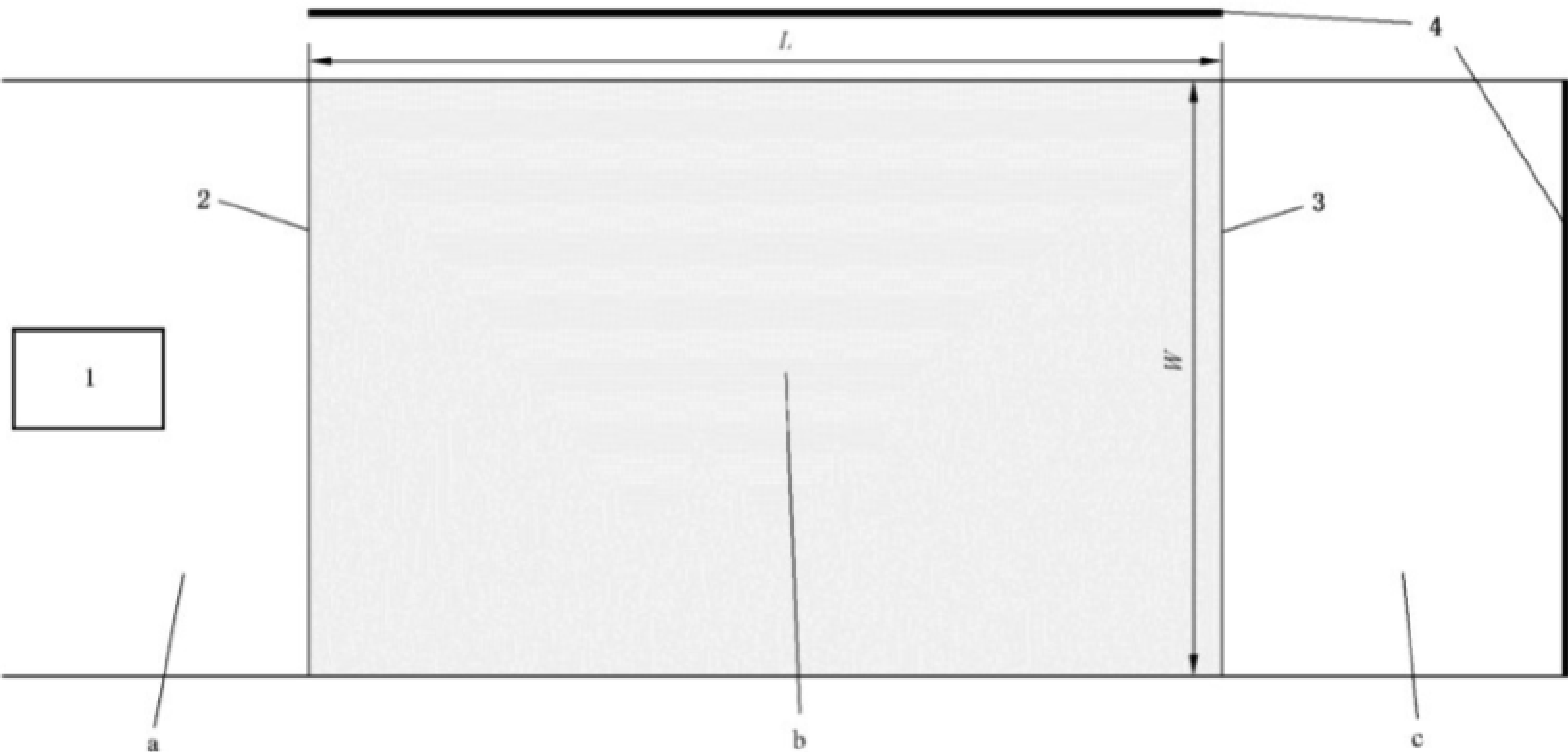
19 行进直线度

19.1 目的

本试验的目的是测试机器人保持直线行进的能力。

19.2 试验设施

试验场地的俯视示意图如图 12 所示。试验区域长度 L 应至少为 3 000 mm，宽度 W 应至少比被测机器人行进接触宽度长 1 000 mm。试验区域的两端应提供足够的空间使被测机器人完成加速和减速。测量试验区域长度与被测机器人在试验区域内行进时在两侧上偏移的最大距离长度的长度测量设备置于试验区域侧面与减速区域末端，其测量误差应不超过 5 mm。



- 标引序号说明：
- 1 ——被测机器人；
 - 2 ——起始线；
 - 3 ——终点线；
 - 4 ——长度测量设备；
 - a ——加速区域；
 - b ——试验区域；
 - c ——减速区域；
 - L ——试验区域长度；
 - W ——试验区域宽度。

图 12 行进直线度试验区域示意图

19.3 试验步骤

本试验包括两个方案。第一个方案的每次试验应按以下步骤进行：

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在行进面上,正面朝向起始线的中央,保持稳定站立姿态,长度测量设备测得试验区域长度为 L ;
- b) 被测机器人启动并加速正向行进,在起始线之前结束加速阶段;
- c) 被测机器人直线移动通过试验区域;
- d) 被测机器人到达终点线后,减速直至停止,长度测量设备测得被测机器人在试验区域内行进时在两侧上偏移的最大距离为 W_d ,完成一次试验。

第二个方案的每次试验应按以下步骤进行：

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在行进面上,侧面朝向起始线的中央,保持稳定站立姿态,长度测量设备测得试验区域长度为 L ;
- b) 被测机器人启动并加速侧向行进,在起始线之前结束加速阶段;
- c) 被测机器人直线移动通过试验区域;
- d) 被测机器人到达终点线后,减速直至停止,长度测量设备测得被测机器人在试验区域内行进时在两侧上偏移的最大距离为 W_d ,完成一次试验。

19.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效：

- a) 被测机器人完成所有试验步骤,且完成后保持稳定站立姿态;
- b) 除预期的腿与行进面的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触;
- c) 行进过程中,被测机器人在垂直于行进方向上没有行进至试验区域外。

只有当每个方案下连续三次试验有效时,本试验项目所得结果才被认定为有效。

19.5 试验结果

行进直线度以 S 值来表征, S 值的计算方式见公式(13)。

$$S = W_d / L \dots\dots\dots (13)$$

式中：

W_d ——被测机器人在试验区域内行进在两侧上偏移的最大距离；

L ——试验区域长度。

行进直线度应选择每个方案下连续三次有效试验中的最大值,保留小数点后 2 位。

试验报告中应声明每个方案下的行进直线度与水平行进面的摩擦系数。

20 地形适应能力

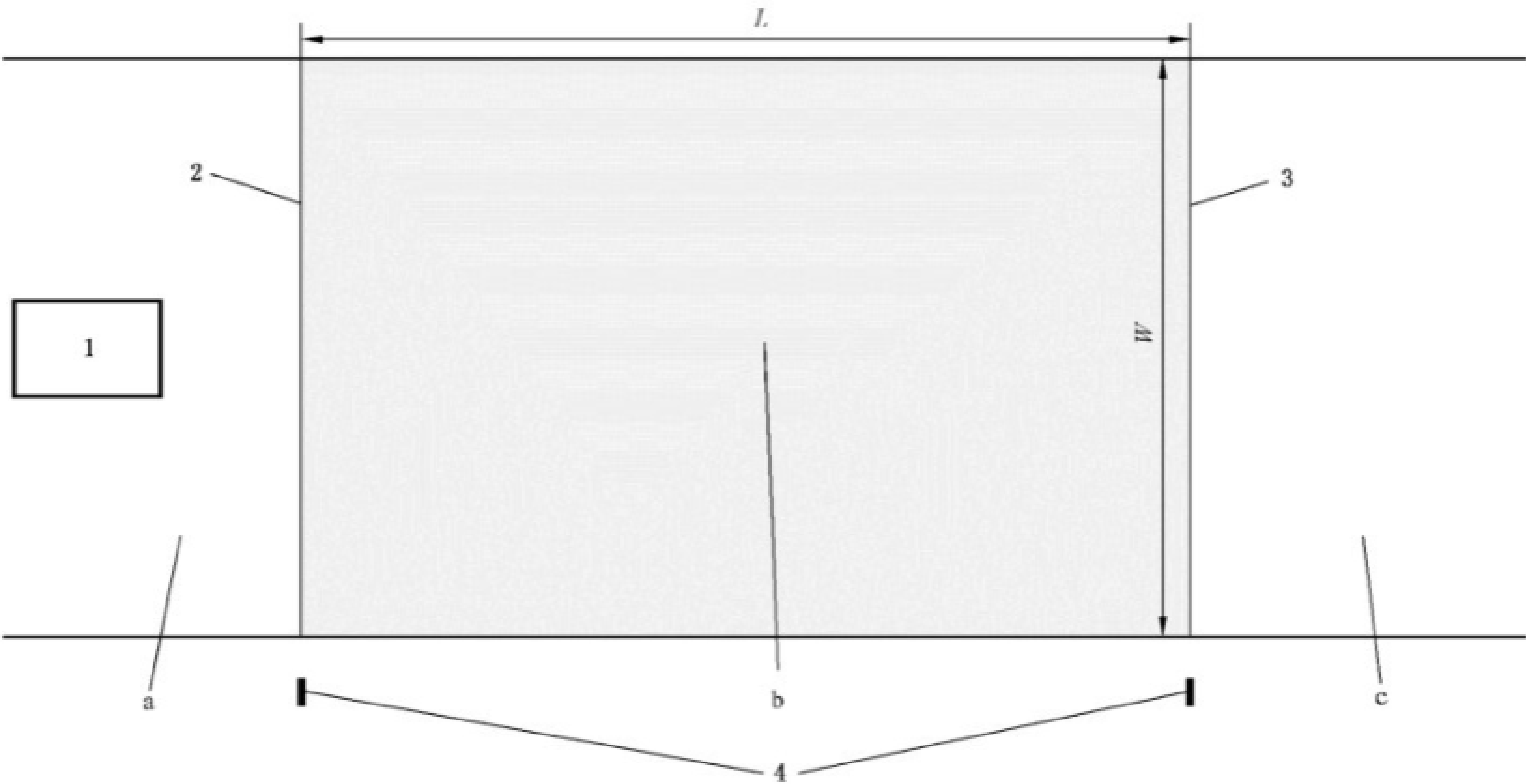
20.1 目的

本试验的目的是确定被测机器人对在不同地形上行进的适应程度。

20.2 试验设施

试验设施的俯视示意图如图 13 所示。试验装置区的长度 L 为 3 000 mm,宽度 W 为 1 000 mm。在试验装置区的两端应提供足够的空间使被测机器人完成加速和减速。试验设施内由可形成不同地形的装置组成。“A 形”装置[见图 14a)]的中央为最高点,其左右表面与水平面之间的夹角应相等,分别有 5°、10°、15°三种;“V 形”装置[见图 14b)]的中央为最低点,其左右表面与水平面之间的夹角应相等,分别有 5°、10°、15°三种;“M 形”装置[见图 14c)]沿试验区域长度方向有向上及向下两种倾斜方

式,构造出起伏的形状,相邻表面之间相对于水平面的角度应相等,分别有 5°、10°、15°三种;阶梯型装置[见图 14d)]由 4 种不同高度的平台组合而成,其高度分别为 22 mm、44 mm、66 mm、88 mm,形成阶梯形的地形。被测机器人通过试验装置区的时间测量设备,其测量误差应不超过 20 ms。



- 标引序号说明:

 - 1——被测机器人;
 - 2——起始线;
 - 3——终点线;
 - 4——时间测量设备;
 - a——加速区域;
- b —— 试验装置区;
 - c —— 减速区域;
 - L —— 试验装置区长度;
 - W —— 试验装置区宽度。

图 13 地形适应能力试验设施示意图

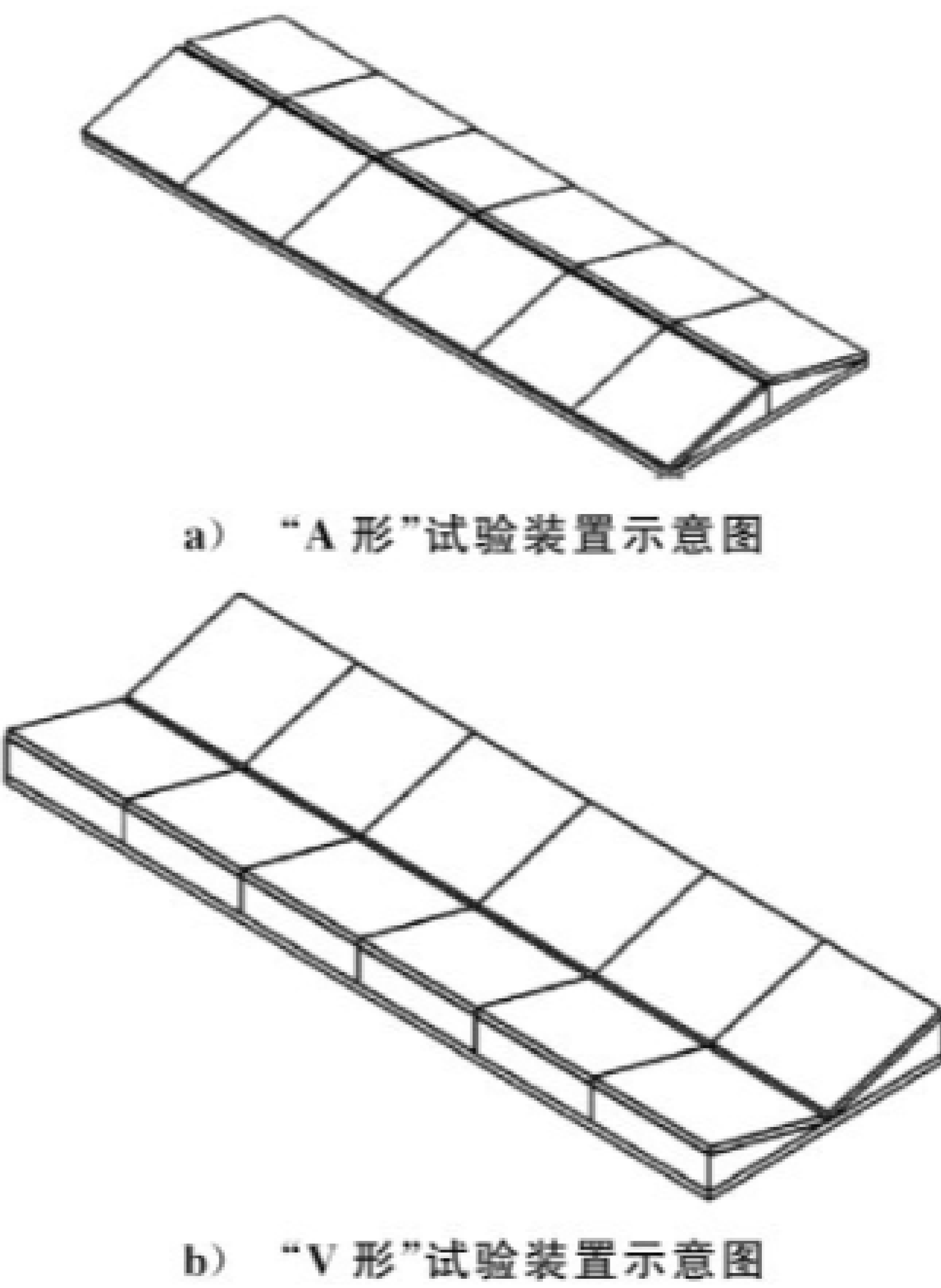
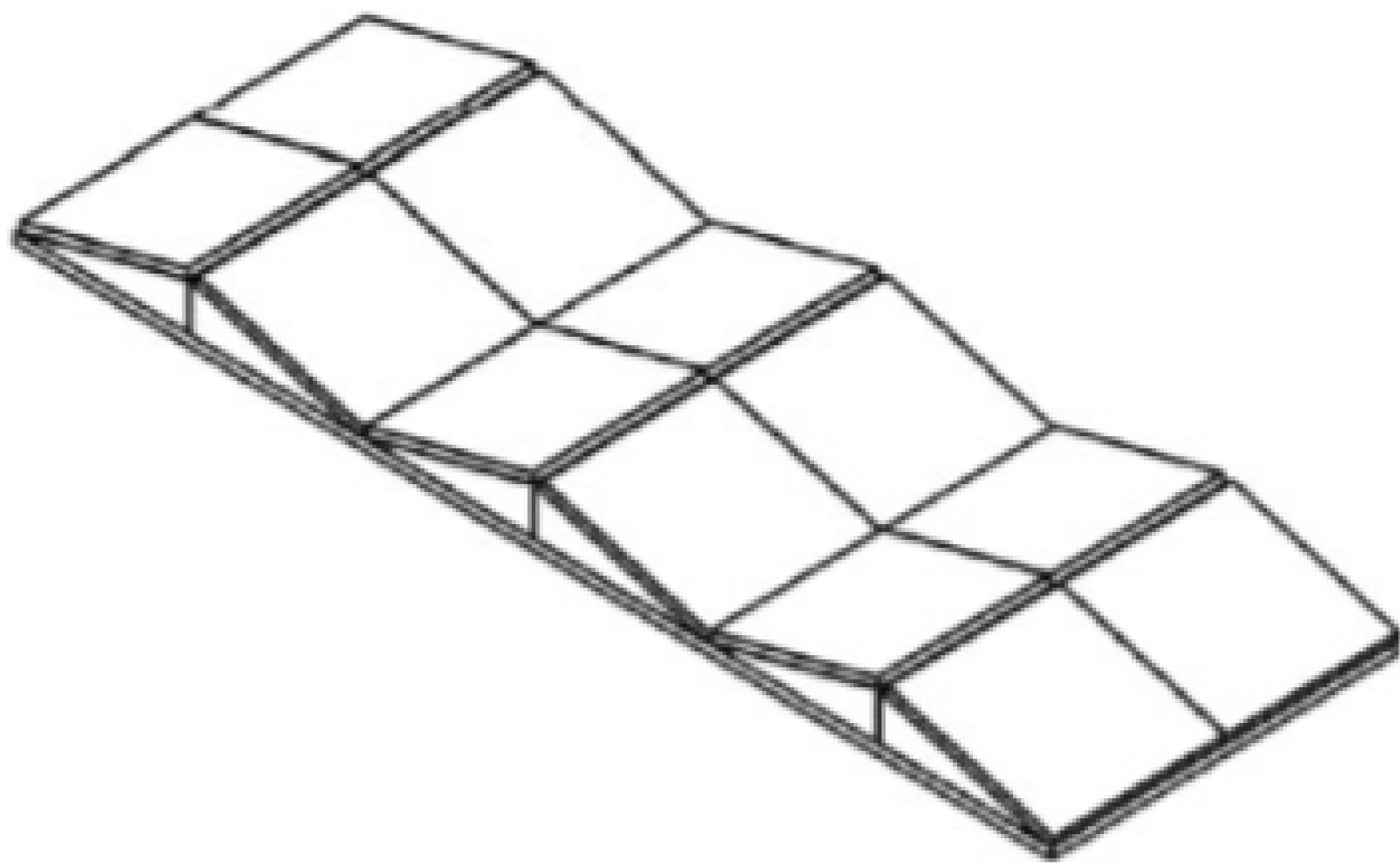
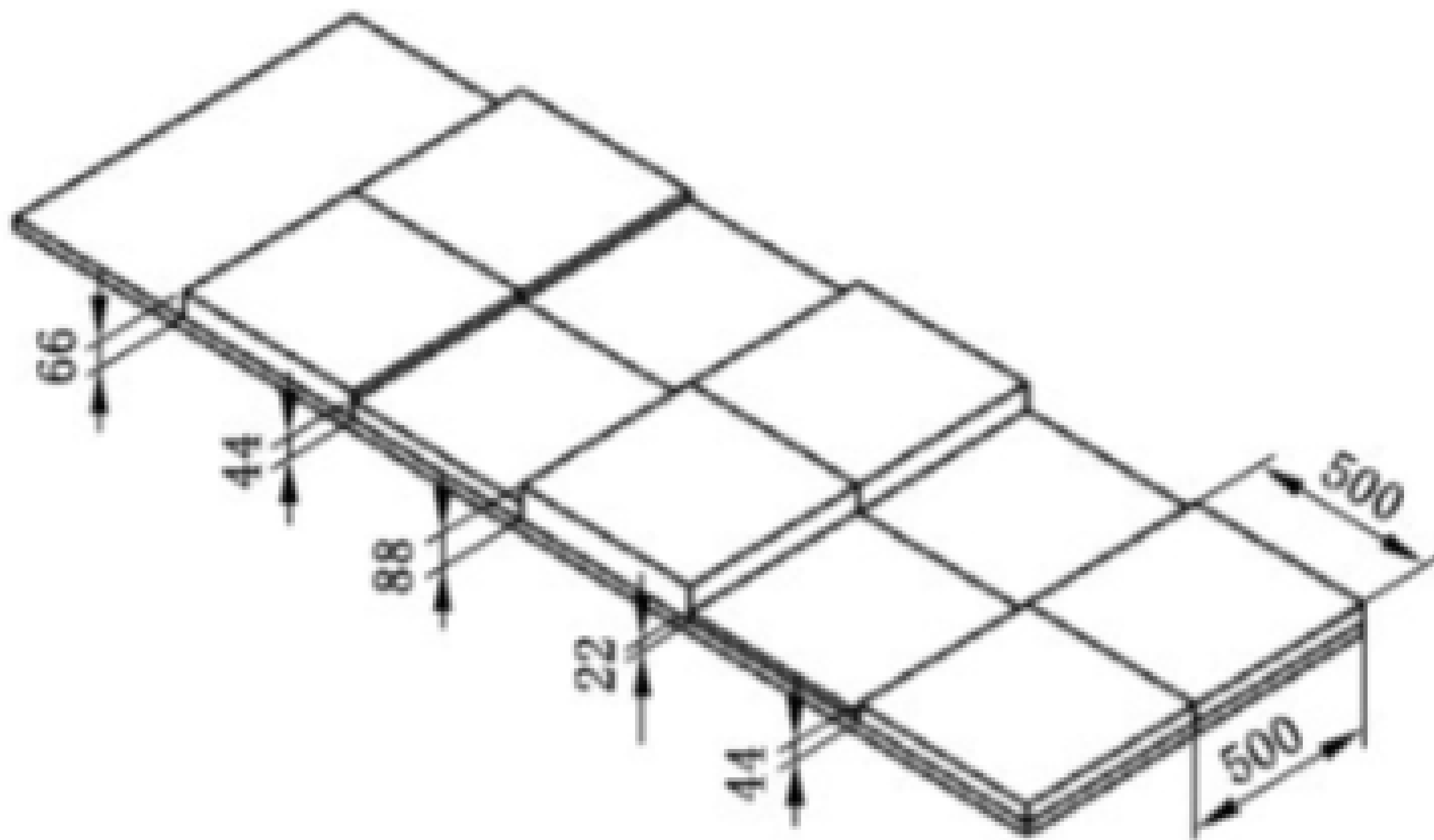


图 14 地形适应能力试验装置示意图



c) “M 形”试验装置示意图

单位为毫米



d) 阶梯形试验装置示意图

图 14 地形适应能力试验装置示意图（续）

20.3 试验步骤

本试验包括两个方案。第一个方案的每次试验应按以下步骤进行：

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在起始线前,正面朝向起始线,保持稳定站立姿态；
- b) 被测机器人启动并加速正向行进,在起始线之前结束加速阶段；
- c) 被测机器人通过试验区域,时间测量设备获取被测机器人本体首先接触与起始线重合并垂直于行进面的平面的时刻 t_f ；
- d) 被测机器人到达终点线后,减速直至停止,时间测量设备获取被测机器人本体首先接触与起始线重合并垂直于行进面的平面的时刻 t_s ,完成一次试验。

第二个方案的每次试验应按以下步骤进行：

- a) 被测机器人除自身外无其他负载,放置在起始线前,背向朝向起始线,保持稳定站立姿态；
- b) 被测机器人启动并加速倒退行进,在起始线之前结束加速阶段；
- c) 被测机器人通过试验区域,时间测量设备获取被测机器人本体首先接触与起始线重合并垂直于行进面的平面的时刻 t_f ；
- d) 被测机器人到达终点线后,减速直至停止,时间测量设备获取被测机器人本体首先接触与起始线重合并垂直于行进面的平面的时刻 t_s ,完成一次试验。

20.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效：

- a) 被测机器人完成所有试验步骤,且完成后保持稳定站立姿态；
- b) 除预期的腿与行进面的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触；
- c) 行进过程中,被测机器人在垂直于行进方向上没有行进至试验装置区外。

在每个试验方案中,对于试验装置区内的每一种装置,只有当连续三次试验有效时,其所得结果才被认定为有效。

20.5 试验结果

地形适应能力以通过试验装置区的时间 T 表征,时间 T 应按公式(14)计算:

$$T = t_s - t_i \dots\dots\dots (14)$$

式中:

- T ——被测机器人通过试验装置区的时间;
- t_s ——被测机器人本体首先接触与停止线重合并垂直于行进面的平面的时刻;
- t_i ——被测机器人本体首先接触与起始线重合并垂直于行进面的平面的时刻。

通过试验装置区的时间 T [单位为秒(s)]应选择连续三次有效试验中的最小值,保留小数点后2位。

试验报告中应声明每次方案下通过试验区域的时间 T 及所对应的试验装置。

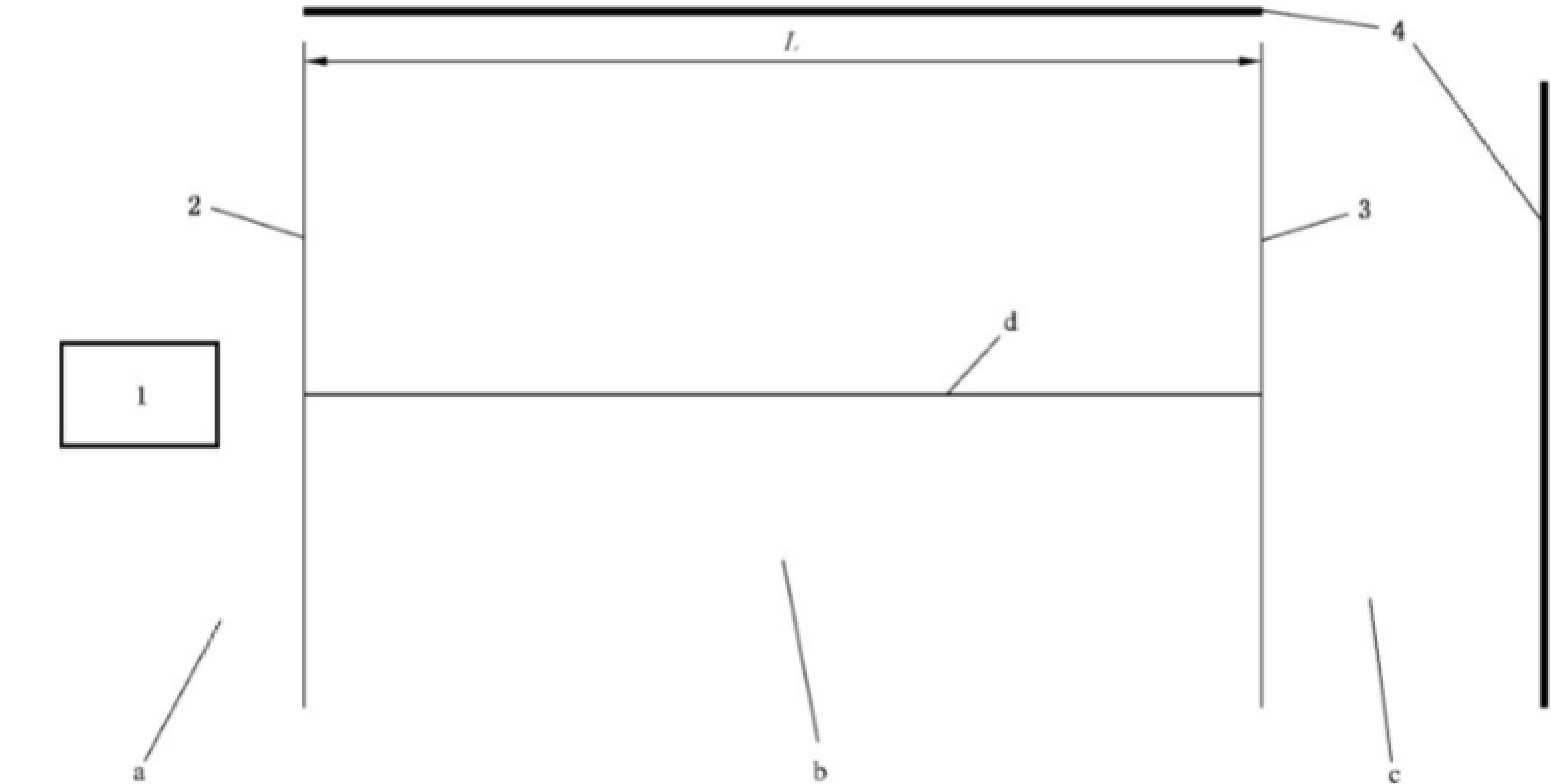
21 轨迹跟踪能力

21.1 目的

本试验的目的是测试机器人跟踪目标行进的能力。

21.2 试验设施

试验设施的俯视示意图如图 15 所示。试验区域长度 L 应至少为 3 000 mm,在起始线与终点线间有一条与两线垂直的直线轨迹。测量试验区域长度与被测机器人在试验区域内行进时在两侧上偏移的最大距离长度的长度测量设备置于试验区域侧面与减速区域末端,其测量误差应不超过 5 mm。试验区域的两端应提供足够的空间使被测机器人完成加速和减速。



- 标引序号说明:
- | | |
|------------|--------------|
| 1——被测机器人; | b —— 试验区域; |
| 2——起始线; | c —— 减速区域; |
| 3——终点线; | d —— 直线轨迹; |
| 4——长度测量设备; | L —— 试验区域长度。 |
| a——加速区域; | |

图 15 轨迹跟踪能力试验设施

21.3 试验步骤

每次试验应按以下步骤进行：

- a) 机器人除自身外无其他负载，放置在起始线前，正面朝向轨迹并保持稳定站立姿态，长度测量设备测得轨迹长度为 L ，轨迹所在直线应保证位于机器人在水平面投影的中心线上；
- b) 机器人正向行进，沿轨迹走过终点线；
- c) 机器人到达终点线后，减速直至停止，长度测量设备测得被测机器人在试验区域内行进时在两侧上偏移的最大距离为 D ，完成一次试验。

21.4 试验判定

一次试验只有满足以下条件才有效：

- a) 被测机器人完成所有试验步骤，且完成后保持稳定站立姿态；
- b) 除预期的腿与行进面的接触外，被测机器人未与其他任何物体发生接触；
- c) 被测机器人行进过程不受人为操控。

只有当连续三次试验有效时，本试验项目所得结果才被认定为有效。

21.5 试验结果

轨道跟随能力以 R 值表征，其计算方法见公式(15)：

$$R = D/L \qquad \dots\dots\dots(15)$$

式中：

D ——被测机器人在试验区域内行进时在轨迹两侧上偏移的最大距离；

L ——试验区域长度。

R 值应选择连续三次有效试验中的最大值，精度取小数点后 3 位。

试验报告中应声明 R 值及行进面的摩擦系数。

附录 A
(资料性)
测试报告

测试报告样例见表 A.1。

表 A.1 腿式机器人运动性能测试报告(样例)

腿式机器人运动性能测试报告	
基本信息	机器人生产商：
	机器人型号：
	机器人类型： <input type="checkbox"/> 双足 <input type="checkbox"/> 四足 <input type="checkbox"/> 多足(腿的数量：_____)
额定速度试验	
试验基本信息	试验日期：
	试验地点：
	测试机构：
	试验区域长度：
	试验区域行进面摩擦系数：
试验结果	额定速度 v (正向)：
	额定速度 v (倒退)：
最大停止距离试验	
试验基本信息	试验日期：
	试验地点：
	测试机构：
	试验区域行进面摩擦系数：
试验结果	最大停止距离 S (正向)：
	最大停止距离 S (倒退)：
最大跳跃高度试验	
试验基本信息	试验日期：
	试验地点：
	测试机构：
	试验区域行进面摩擦系数：
	起跳前被测机器人的运动状态：
试验结果	最大跳跃高度 H_{max} ：

表 A.1 腿式机器人运动性能测试报告(样例)(续)

腿式机器人运动性能测试报告	
最大跳跃长度试验	
试验基本信息	试验日期：
	试验地点：
	测试机构：
	试验区域行进面摩擦系数：
	起跳前被测机器人的运动状态：
试验结果	最大跳跃长度 S ：
最大攀越高度试验	
试验基本信息	试验日期：
	试验地点：
	测试机构：
	试验区域行进面摩擦系数：
试验结果	最大攀越高度 H ：
台阶行进能力试验	
试验基本信息	试验日期：
	试验地点：
	测试机构：
	试验区域行进面及台阶上表面摩擦系数：
试验结果	最大台阶高度(上行) H_{max} ：
	最大台阶高度(下行) H_{max} ：
最大斜坡角度试验	
试验基本信息	试验日期：
	试验地点：
	测试机构：
	试验区域行进面及斜坡上表面摩擦系数：
试验结果	最大斜坡角度(机器人正向向上) α_{max} ：
	最大斜坡角度(机器人倒退向上) α_{max} ：
	最大斜坡角度(机器人正向向下) α_{max} ：
	最大斜坡角度(机器人倒退向下) α_{max} ：
瞬时冲击抵抗能力试验	
试验基本信息	试验日期：
	试验地点：
	测试机构：
	试验区域行进面摩擦系数：

表 A.1 腿式机器人运动性能测试报告(样例)(续)

腿式机器人运动性能测试报告	
瞬时冲击抵抗能力试验	
试验结果	瞬时冲击抵抗能力 M 值(正面):
	瞬时冲击抵抗能力 M 值(左面):
	瞬时冲击抵抗能力 M 值(右面):
	瞬时冲击抵抗能力 M 值(后面):
持续冲击抵抗能力试验	
试验基本信息	试验日期:
	试验地点:
	测试机构:
	试验区域行进面摩擦系数:
试验结果	持续冲击抵抗能力 M 值:
最大续航里程试验	
试验基本信息	试验日期:
	试验地点:
	测试机构:
试验结果	第一次有效试验中的行进距离:
	第二次有效试验中的行进距离:
	第三次有效试验中的行进距离:
	最大续航里程 L :
最大跨越距离试验	
试验基本信息	试验日期:
	试验地点:
	测试机构:
	试验区域行进面摩擦系数:
	跨越时被测机器人的运动状态:
试验结果	最大跨越距离 C :
最低通行高度试验	
试验基本信息	试验日期:
	试验地点:
	测试机构:
	试验区域行进面摩擦系数:
试验结果	最低通行高度 H :

表 A.1 腿式机器人运动性能测试报告(样例)(续)

腿式机器人运动性能测试报告	
最小转身空间试验	
试验基本信息	试验日期：
	试验地点：
	测试机构：
	试验区域行进面摩擦系数：
试验结果	最小转身空间：____ mm×____ mm
行进直线度试验	
试验基本信息	试验日期：
	试验地点：
	测试机构：
	试验区域行进面摩擦系数：
试验结果	行进直线度 S(正向行进)：
	行进直线度 S(侧向行进)：
地形适应能力试验	
试验基本信息	试验日期：
	试验地点：
	测试机构：
	试验区域行进面摩擦系数：
试验结果	通过“A形”装置试验区域的时间 T(正向)：
	通过“A形”装置试验区域的时间 T(倒退)：
	通过“V形”装置试验区域的时间 T(正向)：
	通过“V形”装置试验区域的时间 T(倒退)：
	通过“M形”装置试验区域的时间 T(正向)：
	通过“M形”装置试验区域的时间 T(倒退)：
	通过阶梯型装置试验区域的时间 T(正向)：
	通过阶梯型装置试验区域的时间 T(倒退)：
轨迹跟踪能力	
试验基本信息	试验日期：
	试验地点：
	测试机构：
	试验区域行进面摩擦系数：
试验结果	轨迹跟踪能力 R 值：

附 录 B
(资料性)
对不同尺寸机器人进行对比评测的指导

B.1 概述

本附录可作为比较不同尺寸机器人能力的指南。

B.2 对不同尺寸机器人额定速度的比较

指数 V 可作为参考用以比较不同尺寸的机器人的额定速度,见公式(B.1)。 V 的值越大,被测机器人在额定速度这一指标上表现就越好。

$$V = v/L_L \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

- v ——被测机器人的额定速度;
- L_L ——被测机器人腿的长度,即其髋关节电机回转中心距离地面的高度。

B.3 对不同尺寸机器人最大跳跃高度的比较

指数 J 可作为参考用以比较不同尺寸的机器人的最大跳跃高度,见公式(B.2)。 J 的值越大,被测机器人在最大跳跃高度这一指标上表现就越好。

$$J = H_{max}/L_L \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- H_{max} ——被测机器人的最大跳跃高度;
 - L_L ——被测机器人腿的长度,即其髋关节电机回转中心距离地面的高度。
- 对于其他指标的比较如最大跳跃长度等,亦可参照执行。

B.4 对不同尺寸机器人地形适应能力的比较

指数 P 可作为参考用以比较不同尺寸的机器人的最大跳跃高度,见公式(B.3)。 P 的值越大,机器人相对地形适应能力就越强。

$$P = T/L_L \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

- T ——被测机器人通过试验装置区的时间;
- L_L ——被测机器人腿的长度,即其髋关节电机回转中心距离地面的高度。

附 录 C
(资料性)
面向实际应用场景的测试方法

C.1 概述

本附录提供了不同试验项目的组合方式,可组成综合测试场以模拟实景应用场景来评价腿式机器人的性能。C.2 中提供了针对室外环境中作业的腿式机器人使用的综合测试场组成方案,C.3 中提供了针对室内环境中作业的腿式机器人使用的综合测试场组成方案,可分别用于对不用环境中作业的腿式机器人的测试。

需要注意的是,下面推荐的只是根据腿式机器人的不同应用场景设置综合测试场的可行方案之一。综合测试场内可以添加或删除任何试验项目。

C.2 室外环境中作业的腿式机器人推荐使用的综合测试场

C.2.1 测试场的组成

对主要在室外环境中作业(如室外巡检、测绘等)的腿式机器人进行测试,可采用图 C.1 所示测试场。



图 C.1 室外环境中作业的腿式机器人推荐使用的综合测试场的组成

C.2.2 测试步骤

- 测试按以下步骤进行:
- a) 将机器人放置在开始处并保持稳定站立姿态;
 - b) 机器人通过所有试验项目并到达终点,然后保持稳定站立姿态,记录机器人通过所有试验项目的时间,完成一次测试。

C.2.3 测试判定

一次试验只有满足以下条件才有效:

除预期的腿与行进面的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触(最大攀越高度试验项目除外)。

C.2.4 测试结果

完成所有试验项目所用的时间可用于评估腿式机器人性能,同一测试场方案下,时间短者为优。

C.3 室内环境中作业的腿式机器人推荐使用的综合测试场

C.3.1 测试场的组成

对主要在室内环境中作业(如室内导览、巡检等)的腿式机器人进行综合评估,可采用图 C.2 所示测试场。

开始	轨迹跟踪能力	行进直线度	最大移动速度	最大停止距离	上台阶能力	最大斜坡角度	结束
----	--------	-------	--------	--------	-------	--------	----

图 C.2 室内环境中作业的腿式机器人推荐使用的综合测试场的组成

C.3.2 测试步骤

测试按以下步骤进行：

- a) 将机器人放置在开始处并保持稳定站立姿态；
- b) 机器人通过所有试验项目并到达终点,然后保持稳定站立姿态,记录机器人通过所有试验项目的时间,完成一次测试。

C.3.3 测试判定

一次试验只有满足以下条件才有效：
除预期的腿与行进面的接触外,被测机器人未与其他任何物体发生接触。

C.3.4 测试结果

完成所有试验项目所用的时间可用于评估腿式机器人性能,同一测试场方案下,时间短者为优。

参 考 文 献

[1] GB/T 12643—2013 机器人与机器人装备 词汇
[2] GB/T 18029.13 轮椅车 第 13 部分：测试表面摩擦系数的测定

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
腿式机器人性能及试验方法
GB/T 44251—2024

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址:www.spc.net.cn

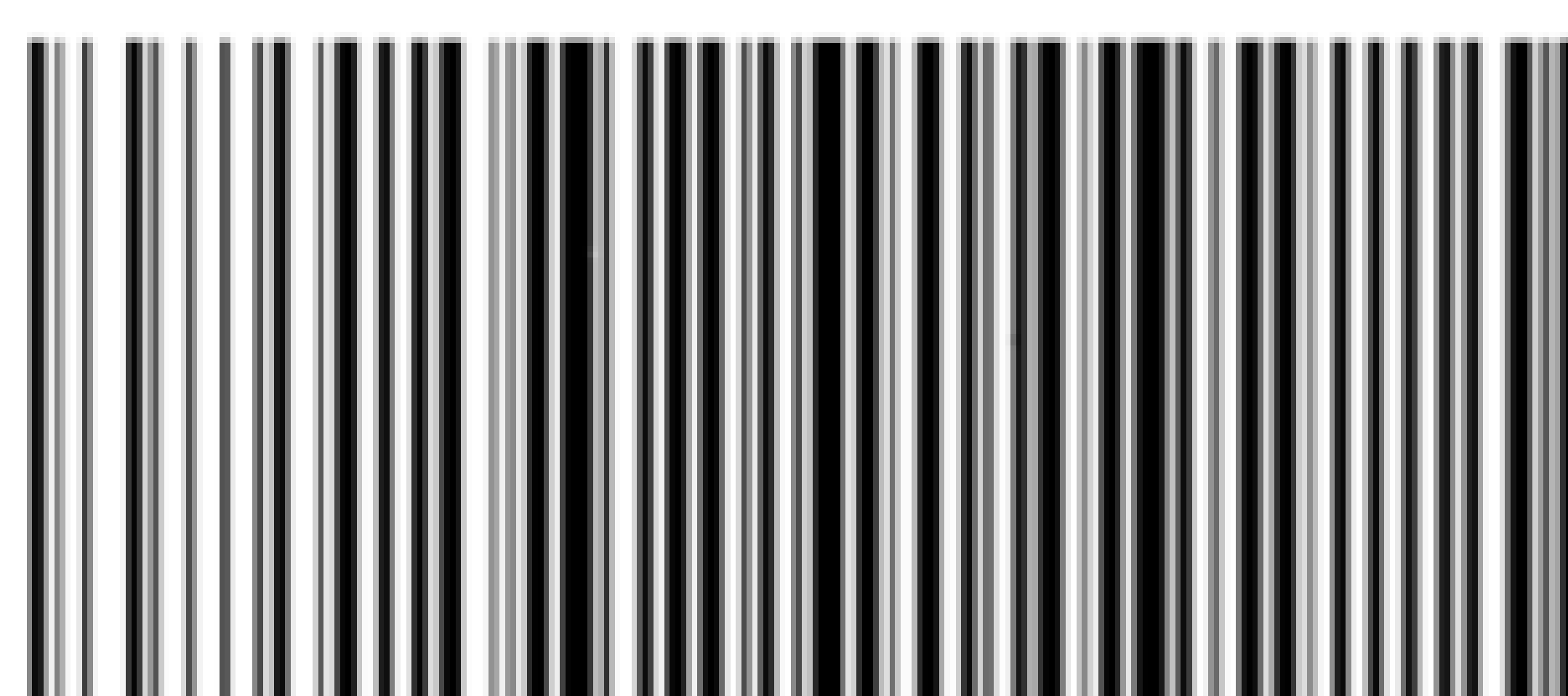
服务热线:400-168-0010

2024年7月第一版

*

书号:155066·1-77278

版权专有 侵权必究



GB/T 44251-2024