



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 38834.3—2023/ISO 18646-3:2021

## 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法 第3部分：操作

Robotics—Performance criteria and related test methods for  
service robots—Part 3: Manipulation

(ISO 18646-3:2021, IDT)

2023-09-07 发布

2024-04-01 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

引言 ..... IV

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 试验条件 ..... 3

    4.1 通则 ..... 3

    4.2 操作模式 ..... 3

    4.3 试验配置和(轮)试验 ..... 3

5 抓取特性 ..... 3

    5.1 总则 ..... 3

    5.2 抓取尺寸 ..... 3

        5.2.1 目的 ..... 3

        5.2.2 试验设施 ..... 3

        5.2.3 试验步骤 ..... 4

        5.2.4 试验结果 ..... 5

    5.3 抓取力 ..... 5

        5.3.1 目的 ..... 5

        5.3.2 试验设施 ..... 5

        5.3.3 试验步骤 ..... 6

        5.3.4 试验结果 ..... 6

    5.4 抓取滑动阻力 ..... 7

        5.4.1 目的 ..... 7

        5.4.2 试验设施 ..... 7

        5.4.3 试验步骤 ..... 7

        5.4.4 试验结果 ..... 8

6 用例 ..... 8

    6.1 总则 ..... 8

    6.2 打开铰链门 ..... 9

        6.2.1 目的 ..... 9

        6.2.2 试验设施 ..... 9

        6.2.3 试验步骤 ..... 9

        6.2.4 试验结果 ..... 10

6.3 打开推拉门 ..... 10

6.3.1 目的 ..... 10

6.3.2 试验设施 ..... 10

6.3.3 试验步骤 ..... 11

6.3.4 试验结果 ..... 11

参考文献 ..... 12

## 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。

本文件是 GB/T 38834《机器人 服务机器人性能规范及其试验方法》的第3部分。GB/T 38834已经发布了以下部分：

- 第1部分：轮式机器人运动；
- 第2部分：导航；
- 第3部分：操作。

本文件等同采用 ISO 18646-3:2021《机器人 服务机器人性能规范及其试验方法 第3部分：操作》。

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：北京机械工业自动化研究所有限公司、深圳云天励飞技术股份有限公司、遨博(北京)智能科技股份有限公司、苏州协同创新医用机器人研究院、中国软件测评中心(工业和信息化部软件与集成电路促进中心)、沈阳新松机器人自动化股份有限公司、杭州海康机器人股份有限公司、重庆大学、重庆鲁班机器人技术研究院有限公司、立宏安全设备工程(上海)有限公司、河北工业大学、美的集团(上海)有限公司。

本文件主要起草人：袁杰、杨书评、魏洪兴、孙玉宁、陈淦萍、张锋、曹蔚琦、宋仲康、何国田、侯红英、孙元栋、张驰、李爱军、郭士杰、朱志昆、王嘉、脱立恒。



## 引 言

除了本文件规定的试验方法以外,ISO 9283 规定的操作机的位置和轨迹准确度的试验也是能用的。

GB/T 38834《机器人 服务机器人性能规范及其试验方法》旨在规范服务机器人的性能及试验方法,拟由四个部分组成。

- 第1部分:轮式机器人运动。目的在于规定轮式机器人的运动性能特性及试验方法。
- 第2部分:导航。目的在于规定移动服务机器人的导航性能特性及试验方法。
- 第3部分:操作。目的在于规定服务机器人的操作性能特性及试验方法。
- 第4部分:腰部支撑机器人。目的在于规定腰部支撑机器人性能特性及试验方法。

# 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法

## 第3部分：操作

### 1 范围

本文件描述了服务机器人操作性能指标和评估方法，特别是：

- 抓取尺寸；
- 抓取力；
- 抓取滑动阻力；
- 打开铰链门；
- 打开推拉门。

服务机器人操作的其他抓取特性和用例，将纳入未来修订版中。

本文件仅适用于室内环境。然而，所描述的试验也能用于在户外环境使用的机器人。

本文件不适用于安全要求的验证和确认。

### 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 29555—2013 门的启闭力试验方法(ISO 9379:2005, MOD)

注：GB/T 29555—2013 被引用的内容和 ISO 9379:2005 被引用的内容在技术上没有差异。

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**机器人 robot**

具有一定程度的自主能力，可执行运动、操作或者定位的可编程的执行机构。

示例：操作机、移动平台和可穿戴机器人。

注：机器人包括控制系统。

[来源：GB/T 12643—2013, 2.6, 修改——“两个或两个以上可编程的轴的执行机构”由“可编程的执行机构”替代，“可在其环境内运动以执行预期的任务”由“可执行运动、操作或者定位”替代，修改了注1，删除了注2，增加了示例]

#### 3.2

**服务机器人 service robot**

除工业自动化应用外，能为人类或设备完成有用任务的机器人。

注1：工业自动化应用包括（但不限于）制造、检验、包装和装配。

注2：用于生产线的关节机器人是工业机器人，而类似的关节机器人用于供餐的就是服务机器人。

[来源：GB/T 12643—2013, 2.10]

3.3

**移动平台 mobile platform**

能使移动机器人实现运动的全部部件的组装件。

注1：移动平台包含一个用于支承负载的底盘。

注2：由于与术语“机座(bace)”可能发生混淆，建议不要使用术语“移动机座(mobile base)”来表述移动平台。

[来源：GB/T 12643—2013,3.18]

3.4

**操作机 manipulator**

用来抓取和(或)移动物体,通过关节连接的一系列构件组成的多自由度机构。

注：操作机不包括末端执行器。

[来源：GB/T 12643—2013,2.1,修改——“组成的机器”由“组成的机构”替代,“铰接和相对滑动的”由“关节连接的”替代,删除了“(零件或工具)”与注1]

3.5

**末端执行器 end effector**

为使机器人完成其任务而专门设计并安装在机械接口处的装置。

示例：夹持器、扳手、焊枪、喷枪等。

[来源：GB/T 12643—2013,3.11]

3.6

**夹持器 gripper**

供抓取和握持用的末端执行器。

[来源：GB/T 12643—2013,3.14]

3.7

**手掌 palm**

夹持器的基本机械构件中的固体元件,手指的第一个关节固定其上。

注：手掌能与物体直接接触。

[来源：GB/T 19400—2003,4.2.1.2]

3.8

**正常操作条件 normal operating conditions**

为符合制造厂所给出的机器人预期性能的环境条件范围和其他参数值。

注1：环境条件包括,例如温度和湿度等。

注2：其他参数值包括电源波动、电磁场等。

[来源：GB/T 12643—2013,6.1,修改——“为符合制造厂所给出的机器人性能,可影响机器人性能(如电源波动、电磁场等)”由“为符合制造厂所给出的机器人预期性能”替代,与增加注2]

3.9

**自主模式 autonomous mode**

机器人无需人为干预而完成分配任务的操作方式。

[来源：GB/T 36530—2018,3.24.2,修改——“职责”由“任务”替代,删除了示例]

3.10

**试验配置 test configuration**

试验物体的具体安排。

3.11

**(轮)试验 trial**

在相同试验配置下,试验的单一过程。

注：一(轮)试验重复多次。



## 4 试验条件

### 4.1 通则

服务机器人,以下简称机器人,应按照制造商说明书组装完整,如适用,配置移动平台、操作机和夹持器,并充分充电且可运行。如有自我诊断,应在正常操作前完成。宜采取适当的预防措施以保护试验过程中的人员。试验应按制造商规定的操作进行准备。

所有的性能应在正常操作条件下进行试验,且这些条件应包括在试验报告中。

本文件规定,在进行试验前,应对所有的传感器进行校准。

机器人可在每一次试验中使用各种传感器和识别方法以确定物体,需要在报告中进行说明。

除非在特定章条另有说明,否则本文件中所述试验宜满足本章规定的所有条件。

### 4.2 操作模式

本文件中的每次试验都应在自主模式下进行。

### 4.3 试验配置和(轮)试验

本文件中描述的每次试验可有多个试验配置,这些配置需要独立的试验步骤。对于每个试验配置,如果试验步骤中有规定,则应进行多(轮)试验。

## 5 抓取特性

### 5.1 总则

本章的试验目的是确定抓取特性的性能,其部分研究源自参考文献[5][6]。除了本章介绍的三个抓取特性以外,还有更多的抓取特性。预计在未来会引入更多的抓取特性和具体的试验方法。

### 5.2 抓取尺寸

#### 5.2.1 目的

本试验的目的是确定机器人能够抓取和移动物体的最大和最小尺寸。

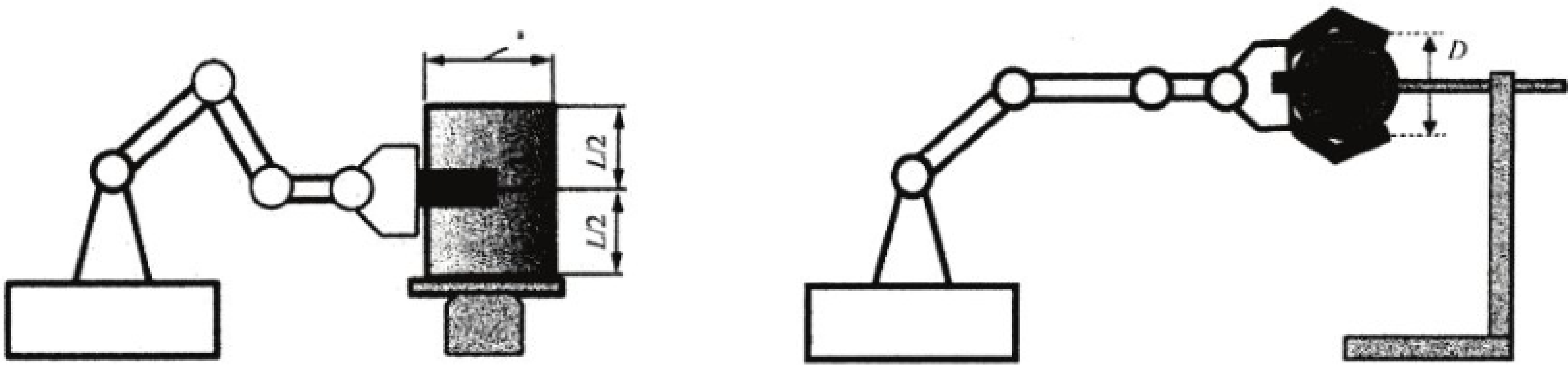
#### 5.2.2 试验设施

本试验的设置如图1所示。圆柱形、平行六面体和球形等三个物体用于本试验,如表1所示。试验物体宜为聚氯乙烯(PVC)材质。如果制造商选择了PVC以外的材料,替代材料的名称和物理属性(如重量)应记录在试验报告中。

测量每个物体的最大和最小尺寸,即:圆柱形和球形物体的 $D$ 值和平行六面体的 $W$ 值。考虑到夹持器的尺寸,试验物体的尺寸可由机器人制造商或试验人员提供。

圆柱形和平行六面体试验物体的长度 $L$ 应长于夹持器的横向宽度。对于圆柱形和平行六面体试验物体,夹持器应沿纵向夹持物体,即不应夹持试验物体的两个端面,如表1所示。





a) 圆柱形或平行六面体物体

b) 球形物体

标引序号说明：

$L$  ——圆柱形或平行六面体物体的长度；

$D$  ——圆柱形或球形物体的直径。

<sup>a</sup>  $D$ (直径)或  $W$ (宽度)。

图 1 抓取尺寸的试验设置

表 1 抓取特性的试验物体

名称	几何形状	说明
圆柱形物体		$L$ :长度 $D$ :直径
(立方体)平行六面体物体		$L$ :长度 $W$ :宽度
球形物体		$D$ :直径
试验物体可有中空部分,以使夹持器与试验物体的总重量在机器人的最大负载范围内。在这种情况下,试验物体的形状、尺寸和重量应在试验报告中说明 注:圆柱形物体与平行六面体物体的几何形状图中的“1”表示物体的端面。		

放置物体时,宜使夹持器与试验物体之间的接触量达到最大。例如,如有可能,夹持器的手掌宜牢固握住试验物体。

如图 1 所示,可使用支撑或固定装置以确保试验物体稳定垂直。

在试验过程中,机器人应能抓住物体而不掉落。制造商或试验者应确定试验中抓取运动的规定速度和加速度。

5.2.3 试验步骤

本试验包括最大和最小尺寸的圆柱形、平行六面体和球形物体等 6 个配置。

每(轮)试验应遵循以下步骤。

- a) 机器人配有合适的操作机和夹持器,保持在初始位姿,且夹持器在试验物体的几何中心附近,如图 1 所示。

- b) 夹持器抓住试验物体,然后,机器人以规定速度和加速度向上移动 100 mm (位姿 A)。
- c) 机器人以规定的速度和加速度移动到制造商声明的最不利的位姿(位姿 B),并保持 1 s。位姿 B 宜与位姿 A 保持足够距离,以便在运动过程中能达到规定速度。

注:为了本试验目的,如果制造商未提供夹持器最不利的位姿,假定位姿 B 为夹持器的开口向下,如此,重力将试验物体拉向夹持器的开口。

- d) 机器人以规定的速度和加速度回到位姿 A。
- e) 机器人恢复初始位姿,释放试验物体。

本(轮)试验对每一试验物体和试验尺寸,重复 10 次试验。如果试验物体在所有 10(轮)试验中都保持不掉落,则试验成功。否则,试验失败。

当任一试验配置下,试验失败时,可改变试验物体的最大或最小尺寸,重复试验。

5.2.4 试验结果

试验结果应在试验报告中说明。试验报告应包括试验物体的尺寸,规定的试验条件,包括试验物体的重量,机器人的位姿以及试验是否成功或失败。表 2 给出了一个试验报告的示例格式。

表 2 抓取尺寸的试验报告

物体	材料	抓取尺寸	尺寸	重量	成功/失败
圆柱形物体		最大尺寸	$L$ ; $D$ ;		
		最小尺寸	$L$ ; $D$ ;		
平行六面体物体		最大尺寸	$L$ ; $W$ ;		
		最小尺寸	$L$ ; $W$ ;		
球形物体		最大尺寸	$D$ ;		
		最小尺寸	$D$ ;		
对位姿 A、位姿 B 以及规定的速度和加速度应进行说明					

5.3 抓取力

5.3.1 目的

本试验的目的是确定夹持器的抓取力。本试验测试了夹持器对物体施加的最大力。抓取力的大小与夹持器的有效载荷以及在抓取过程中抵抗外力的能力有关。

5.3.2 试验设施

本试验的设置如图 2 所示。圆柱形试验物体,如表 1 所示,应用夹持器的最大抓取尺寸和中等抓取尺寸(由 5.2 试验所得),来测量抓取力。试验物体的长度  $L$  应大于夹持器的横向宽度。

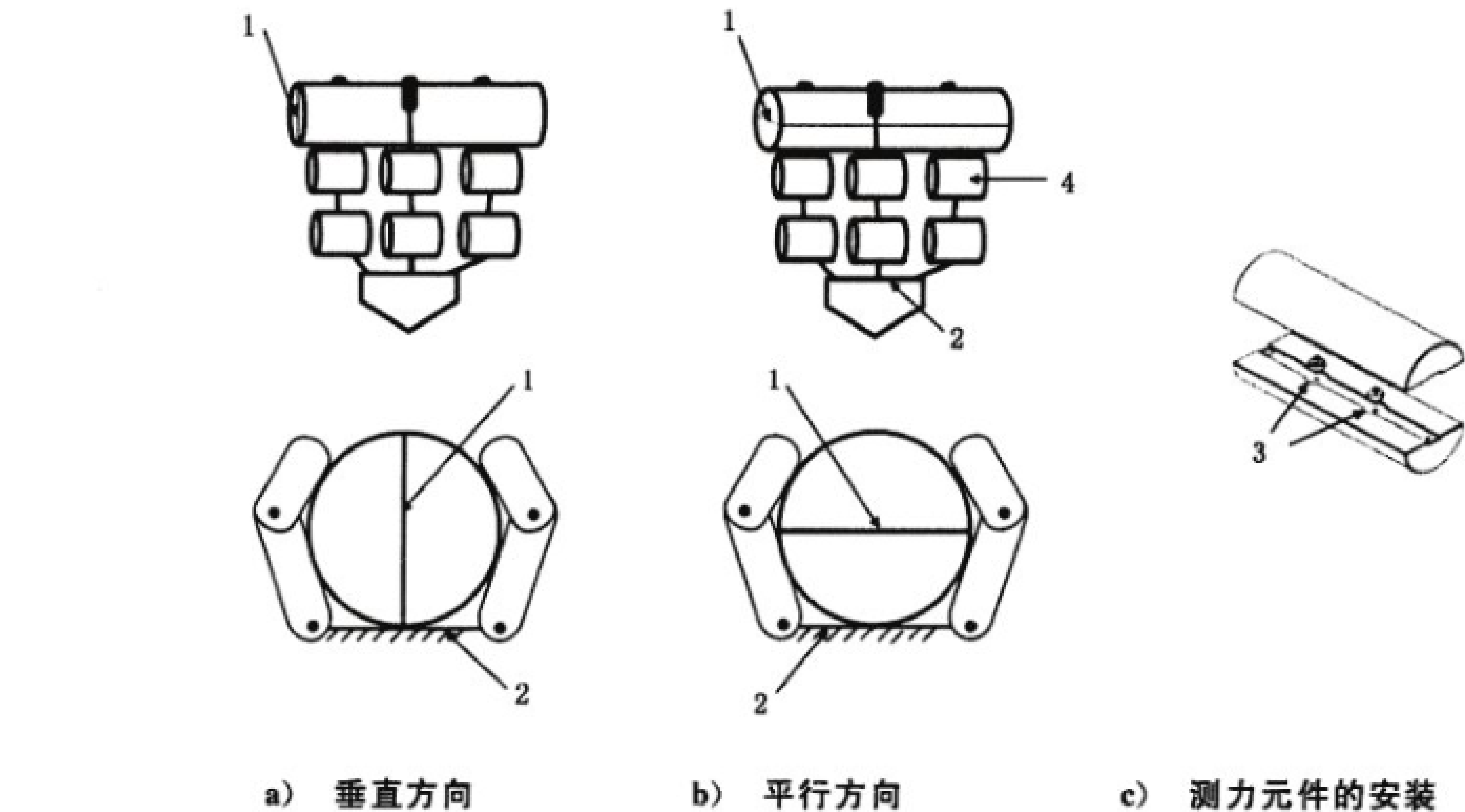
注:本试验使用的是中等抓取尺寸,而不是最小抓取尺寸。因为最小抓取尺寸可能太小而无法进行本次试验。中等抓取尺寸定义为(最大抓取尺寸+最小抓取尺寸)/2。

如图 2c)所示,圆柱体分为两个半圆柱体,其中两个测力元件安装在两个半圆柱体朝向面的中心。



传感器分别安装于位于圆柱长度方向上的 1/3 和 2/3 处。两个测力元件测量值的和作为本试验测量值。

圆柱体应放置在如图 2 所示的垂直方向或平行方向上。在垂直方向上,朝向面垂直于夹持器的手掌面。在平行方向上,朝向面平行于夹持器的手掌面。



- 标引序号说明:
- 1——朝向面;
  - 2——手掌;
  - 3——测力元件;
  - 4——夹持器手指的关节。

图 2 抓取力的试验设置

5.3.3 试验步骤

本试验包括圆柱形试验物体的最大抓取尺寸和中等抓取尺寸在垂直方向和平行方向等四个配置。每(轮)试验应遵循以下步骤。

- a) 机器人配有合适的操作机和夹持器,保持在初始位姿,且夹持器放置在规定抓取尺寸的试验物体的几何中心附近。试验物体按照规定朝向,水平地放置在夹持器上。
- b) 夹持器以最大力度抓取圆柱形试验物体。
- c) 夹持器达到最大持续力后,测量每个测力元件的力 10 s。平均力是将 10 s 内所有取样的力值相加除以样本数得到的。抓取力由两个测力元件平均值之和确定。
- d) 夹持器释放试验物体。

本(轮)试验对每个具体的尺寸和朝向重复试验 30 次,并计算这 30(轮)试验的平均值和标准偏差。

注:选择 30 次重复试验是为了建立统计显著性。当样本数接近 30 时,样本的  $t$  分布接近正态分布,置信区间为 95%。随着样本量的增加,机器人抓取性能的可信度随之增加。

5.3.4 试验结果

试验结果应在试验报告中说明。试验报告应包括试验物体的尺寸、重量、机器人的位姿以及试验物体的测量结果和统计数据。表 3 给出了一个试验报告的示例格式。



表 3 抓取力的试验报告

物体	材料	抓取尺寸	尺寸	重量	朝向	抓取力	
						平均值	标准偏差
圆柱形物体		最大尺寸	$L$ ;		垂直		
			$D$ ;		平行		
		中等尺寸	$L$ ;		垂直		
			$D$ ;		平行		
应提供机器人的初始位姿信息							

5.4 抓取滑动阻力

5.4.1 目的

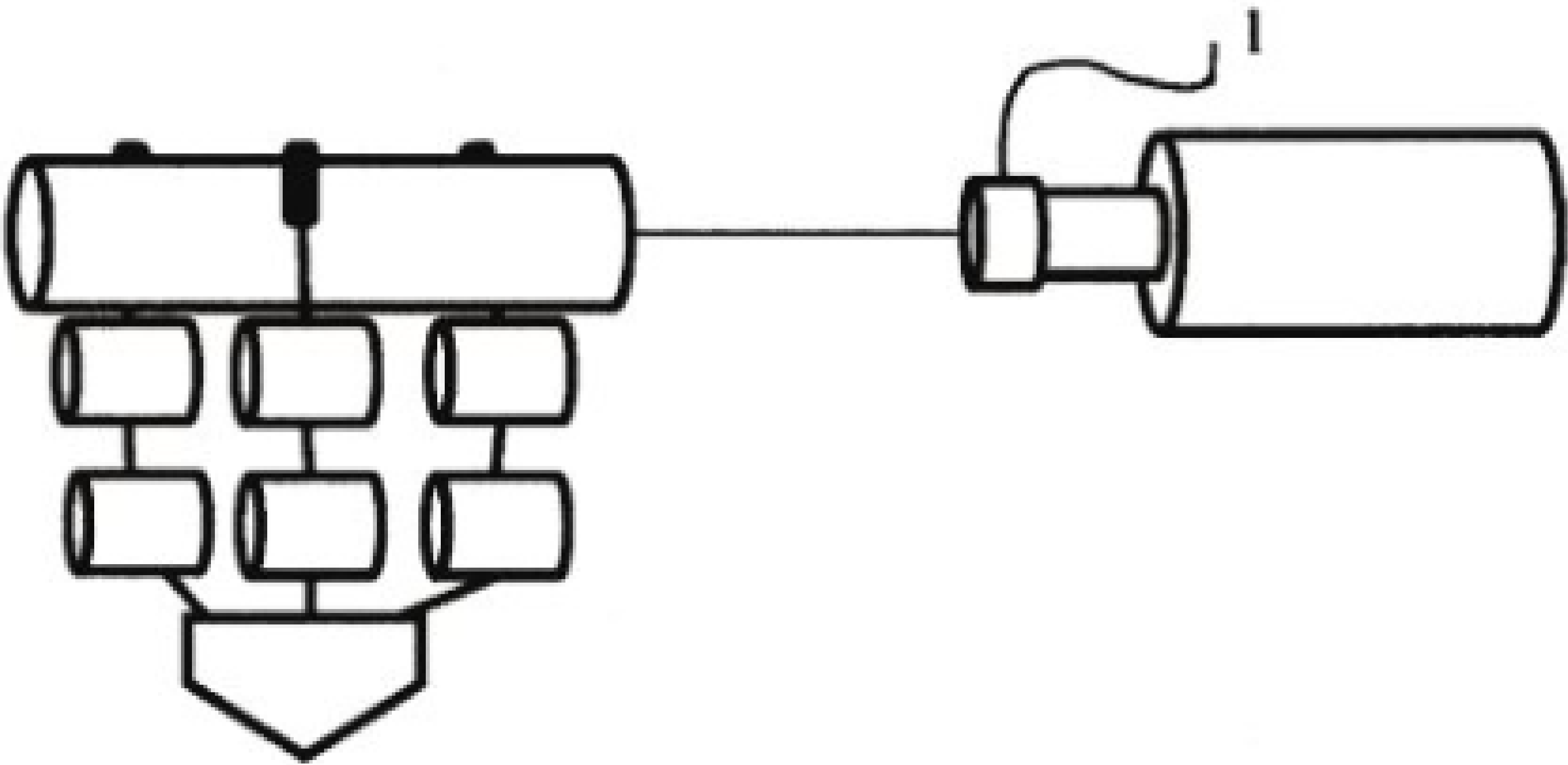
本试验的目的是确定夹持器抓住圆柱形物体的滑动阻力。

5.4.2 试验设施

本试验的设置如图 3 所示。圆柱形试验物体,如表 1 所示,应使用夹持器的最大抓取尺寸和中等抓取尺寸(由 5.2 试验所得)测量抓取滑动阻力。试验物体的长度  $L$  应大于夹持器的横向宽度。

注:本试验使用的是中等抓取尺寸,而不是最小抓取尺寸。因为最小抓取尺寸可能太小而无法进行本次试验。中等抓取尺寸定义为(最大抓取尺寸+最小抓取尺寸)/2。

圆柱形试验物体通过金属线连接固定装置。金属线的强度应足以承受试验过程中的最大预期力。宜在固定装置或试验物体上安装测力元件,以测量拉力。圆柱形试验物体的运动路径应沿圆柱体与固定装置的连线,如图 3 所示。对金属线的拉力能通过机器人的运动来完成,也能通过固定装置的运动来完成。



标引序号说明:

1——带有测力传感器的固定装置。

图 3 抓取滑动阻力的试验设置

5.4.3 试验步骤

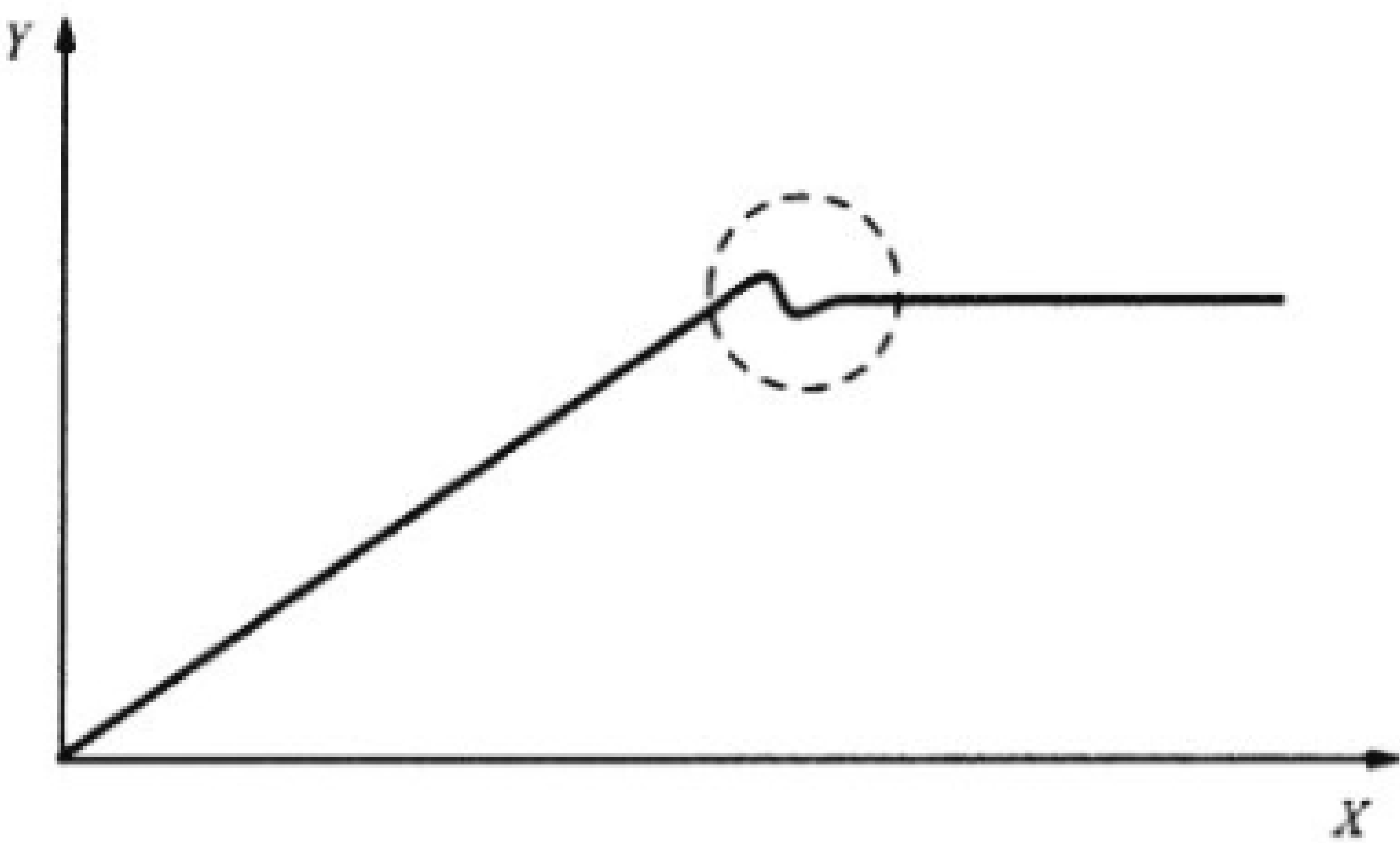
本试验包括使用夹持器抓住最大抓取尺寸和中等抓取尺寸的圆柱形试验物体等两个配置。

每(轮)试验应遵循以下步骤:

- a) 机器人配有合适的操作机和夹持器,保持在初始位姿,且夹持器在规定抓取尺寸的试验物体的几何中心附近,试验物体水平地放置在夹持器上;

- b) 机器人夹持器以最大抓取力抓住圆柱形试验物体；
- c) 记录力的初始值,然后,机器人或固定装置沿着直线移动,使圆柱形试验物体被拉出；
- d) 当发现明显的滑动后,运动停止,完成记录；
- e) 根据对所记录的测量力值的曲线进行分析,滑动阻力被确定为(曲线)变平后的稳定力值,如图 4所示。

本(轮)试验应重复 30 次,测量每个抓取尺寸的滑动阻力(以牛顿为单位),并计算这 30(轮)试验的平均值和标准偏差。



标引序号说明：  
X——时间,单位为秒(s)；  
Y——力,单位为牛顿(N)。

图 4 观察到的滑动事件由虚线圈标出

5.4.4 试验结果

抓取滑动阻力与具体的试验条件,如直径、重量等应记录在试验报告中。摩擦系数也应在试验报告中说明,且摩擦系数由(抓滑阻力/抓取力)计算得出,抓取力在 5.3 试验中获得。表 4 给出了一个试验报告示例格式。

表 4 抓取滑动阻力的试验报告

物体	材料	摩擦系数	抓取尺寸	尺寸	重量	滑动阻力	
						平均值	标准偏差
圆柱形物体			最大尺寸	L:			
				D:			
			中等尺寸	L:			
				D:			
宜提供抓取力信息							

6 用例

6.1 总则

本章的试验目的是确定服务机器人的典型用例的操作性能。这些用例仅限于对门进行操作。预计在未来会引入复杂的用例试验。

## 6.2 打开铰链门

### 6.2.1 目的

本试验的目的是确定服务机器人的操作机和夹持器打开铰链门的能力。本试验可依靠移动平台的运动来执行。

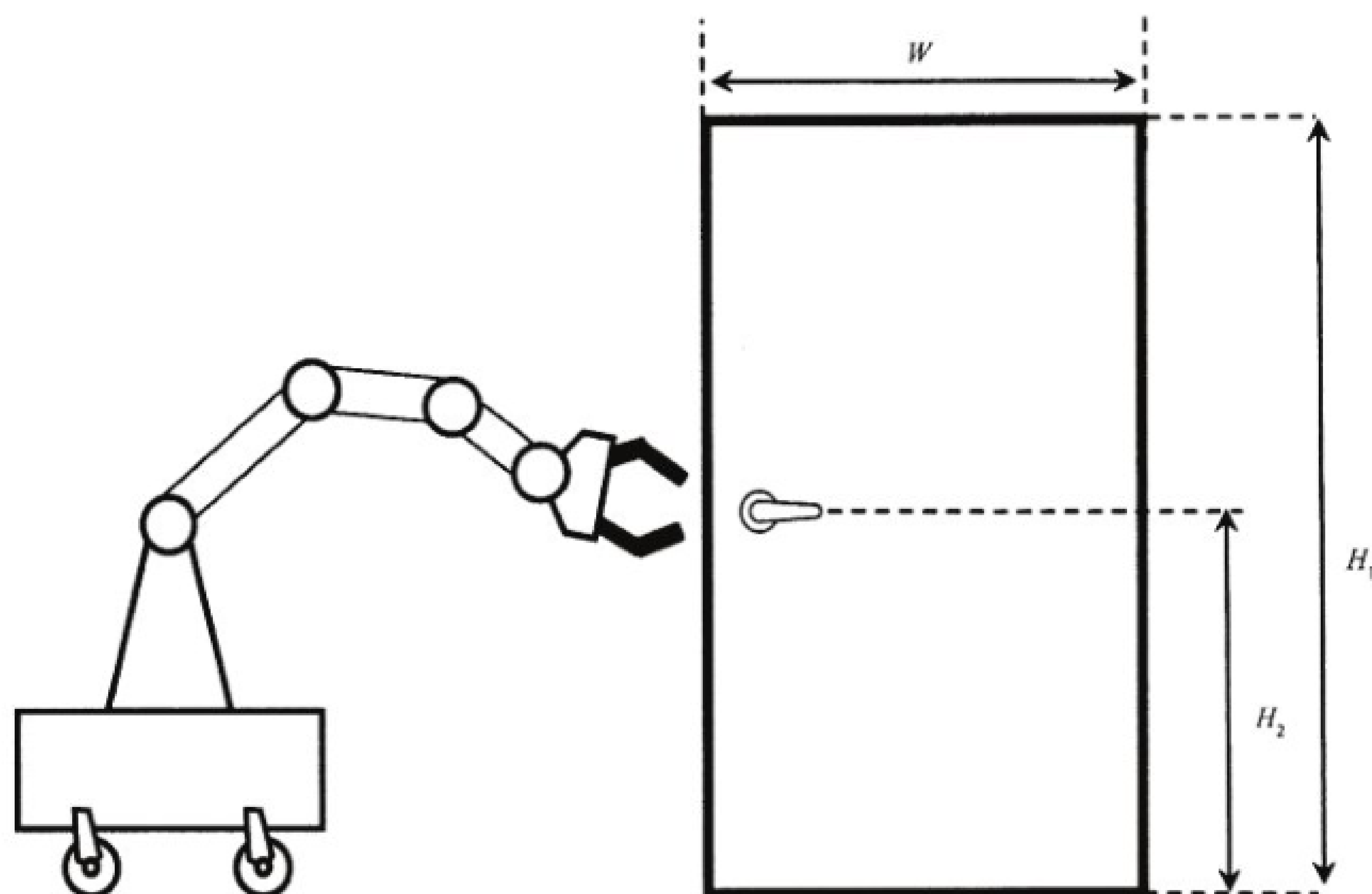
### 6.2.2 试验设施

本试验设置如图 5 所示。可在试验环境中设置传感器以测量门的移动。

门的高度  $H_1$  宜在 1 800 mm 至 2 400 mm 之间,门的宽度  $W$  宜在 850 mm 至 1 200 mm 之间,门的厚度  $T$  宜在 30 mm 至 60 mm 之间。自门的底部到门把手的高度  $H_2$  宜在 800 mm 至 1 200 mm 之间。可在试验前向机器人提供门的尺寸信息。该数据能用于此试验的任务程序中。

根据 GB/T 29555—2013 中 7.3 的要求,门的动态开启力应至少为 0.5 N。

杠杆式门把手的操作扭矩应符合 GB/T 29555—2013 中 7.2 的要求,至少为 10 N·m。门把手应为金属材质。杠杆式门把手的长度宜在 100 mm 至 200 mm 之间。



标引序号说明:

$W$  ——门的宽度;

$H_1$  ——门的高度;

$H_2$  ——门把手的高度。

图 5 铰链门的试验设置

### 6.2.3 试验步骤

本试验配置一扇带有杠杆式把手的拉式铰链门。

每(轮)试验应遵循以下步骤:

- 关闭门,但是不上锁,配有操作机和夹持器的机器人以初始位姿站在门前,夹持器被定位在抓住门把手的位置;
- 夹持器抓住门把手,机器人将门把手转动到门未栓的位置;
- 机器人将门打开至  $90^\circ$ ;



- d) 机器人松开门把手；
- e) 测量门被打开的角度。

本(轮)试验重复 10 次。如果 10(轮)试验中,测量铰链门被打开的角度均为  $90^{\circ}\pm5^{\circ}$ ,则试验成功。否则,测试失败。

6.2.4 试验结果

试验结果应在试验报告中说明。试验报告应包括规定的试验条件,包括动态开启力和门的尺寸以及试验是否成功或失败。门把手的操作扭矩和旋转范围等试验条件也应在报告中说明。表 5 给出了一个试验报告的示例格式。

表 5 打开铰链门的试验报告

门的类型	材料	尺寸	动态开启力	门把手		成功/失败
				操作扭矩	旋转范围	
拉式铰链门		$H_1$ : $H_2$ : $W$ : $T$ :				

6.3 打开推拉门

6.3.1 目的

本试验的目的是确定服务机器人的操作机和夹持器打开推拉门的能力。本试验可依靠移动平台的运动来执行。

6.3.2 试验设施

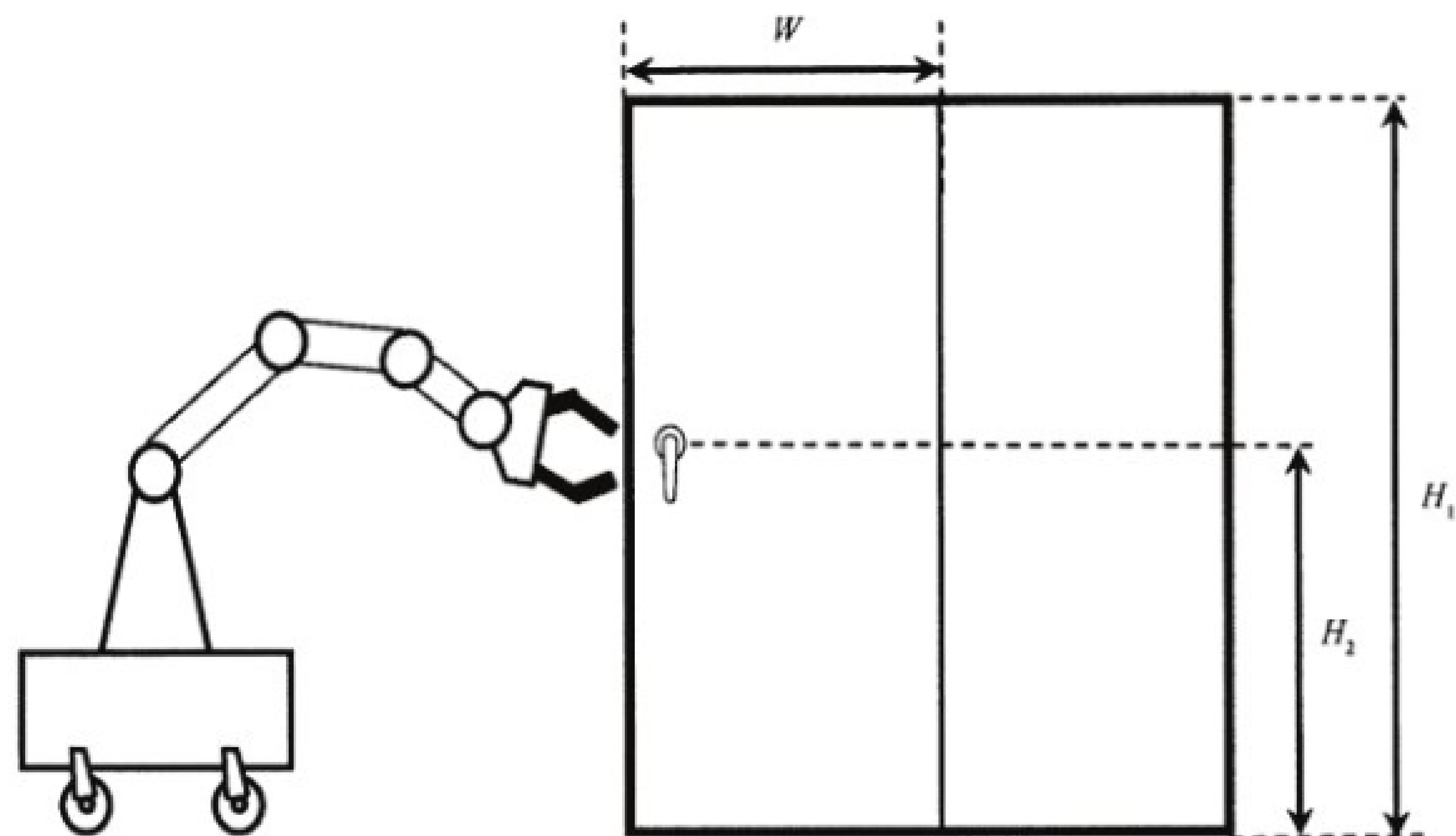
本试验设置如图 6 所示。可在试验环境中设置传感器以测量门的移动。

门的高度  $H_1$  宜在 1 800 mm 至 2 400 mm 之间,门的宽度  $W$  宜在 850 mm 至 1 200 mm 之间,门的厚度  $T$  宜在 30 mm 至 60 mm 之间。自门的底部到门把手的高度  $H_2$  宜在 800 mm 至 1 200 mm 之间。可在试验前向机器人提供门的尺寸信息。该数据能用于此试验的任务程序中。

根据 GB/T 29555—2013 中 7.3 的要求,门的动态开启力应至少为 0.5 N。

门把手为图 6 所示的垂直方向杠杆式门把手,也可为适合打开推拉门的任何固定式门把手。门把手应为金属材质。杠杆式门把手或固定式门把手的长度宜在 100 mm 至 200 mm 之间。

注：本试验不限定推拉门类型,如折叠式、滑动式等。



标引序号说明：  
 $W$  ——门的宽度；  
 $H_1$  ——门的高度；  
 $H_2$  ——门把手的高度。

图 6 推拉门的试验设置

6.3.3 试验步骤

- 本试验配置为一扇推拉门。
- 每(轮)试验应遵循以下步骤：
- a) 关闭门,但是不上锁,配有操作机和夹持器的机器人以初始位姿站在门前,夹持器被定位在抓住门把手的位置；
  - b) 夹持器抓住门把手,机器人将门把手转动到门未栓的位置(如适用)；
  - c) 机器人将门打开至 600 mm 的距离；
  - d) 机器人松开门把手；
  - e) 测量门被打开的移动距离。

本(轮)试验重复 10 次。如果 10(轮)试验中,测量推拉门被移动的距离均为  $600\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$ ,则试验成功。否则,测试失败。

6.3.4 试验结果

试验结果应在试验报告中说明。试验报告应包括规定的试验条件,如动态开启力、门的尺寸、试验是否成功等。表 6 给出了一个试验报告示例格式。

表 6 打开推拉门的试验报告

门的类型	材料	尺寸	动态开启力	成功/失败
推拉门		$H_1$ ; $H_2$ ; $W$ ; $T$ ;		

参 考 文 献

- [1] GB/T 12643—2013 机器人与机器人装备 词汇
  - [2] GB/T 36530—2018 机器人与机器人装备 个人助理机器人的安全要求
  - [3] ISO 9283 Manipulating industrial robots—Performance criteria and related test methods
  - [4] ISO 14539:2000 Manipulating industrial robots—Object handling with grasp-type grippers—Vocabulary and presentation of characteristics
  - [5] Falco, J., Hemphill D., Kimble K., Messina E., Norton A., Ropelato R., Yanko H., "Benchmarking Protocols for Evaluating Grasp Strength of Robotic Grippers", IEEE RA-L Special Issue on Benchmarking Protocols in Robotic Manipulation, 2019
  - [6] Falco, J., Van Wyk K., Liu S., Carpin S., "Grasping the Performance: Facilitating Replicable Performance Measures via Benchmarking and Standardized Methodologies", Robotics & Automation Magazine, IEEE 22 (4), pp. 125-136, 2015
-