

YJ

中华人民共和国应急管理行业标准

YJ/TXXXXX—XXXX

地面废墟搜索机器人性能综合测试指南

General testing guide for performance of ground search robots in ruins

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2021 年 12 月 28 日)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测试环境与装置	2
5 测试内容与方法	3
附 录 A（资料性） 移动性能测试环境布局示意图	6
附 录 B（资料性） 移动性能测试模块	7
附 录 C（资料性） 机器人性能综合测试记录表	9
参 考 文 献	10

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。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中华人民共和国应急管理部提出。

本文件由全国地应急管理与减灾救灾标委会技术归口。

本文件起草单位：中国地震应急搜救中心、中国科学院沈阳自动化研究所、机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、北京工业大学、中国应急管理大学（筹）、中国建筑科学研究院有限公司、应急管理部上海消防研究所、北京消防救援总队、大连理工大学、北京凌天智能装备集团股份有限公司。

本文件主要起草人：杜晓霞、颜军利、张雪华、李静、赵兰迎、张天罡、赵文强、朱笑然、胡卫建、卢铁林、李斌、赵京、杨韬、傅杰、李廉洁、王哲龙、李睿堃、吴贇、常建。

征求意见稿

引 言

随着机器人技术的发展进步，机器人在灾害事故中的实战应用日益广泛。目前用于生命探测的搜索机器人已经在地震、海啸、建（构）筑物坍塌等灾害事故救援中得到了实际应用。然而，一些搜索机器人在地面废墟中的实战应用性能与其研发生产时的设计功能之间还存在差距，应用效果亟待提升。为检测验证搜索机器人在实战应用环境中的性能，急需出台地面废墟搜索机器人性能综合测试指南，通过规范地面搜索机器人实战性能的测试环境与装置、测试内容与方法，进而优化提升机器人实战性能和应用效果。

本文件所涉及的综合测试指南具体包括测试环境与装置、测试内容与方法两大部分。

征求意见稿

地面废墟搜索机器人性能综合测试指南

1 范围

本文件规定了地面废墟搜索机器人性能综合测试的术语和定义,提供了在废墟环境下开展机器人性能综合测试的指导性建议,包括测试环境与装置,测试内容与方法。

本文件适用于能够在地面移动,进入建(构)筑物废墟环境,执行应急救援任务的地面废墟搜索机器人系统。

本文件不适用于飞行搜索机器人系统。

本文件不适用于爆炸性、核辐射、高温等特殊环境中使用的地面废墟搜索机器人。

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 36321 特种机器人 分类、符号、标志

GB/T 29428.1—2012 地震灾害紧急救援队伍救援行动 第1部分:基本要求

GB/T 12643—2013 机器人与机器人装备 词汇

GB/T 29428.2—2014 地震灾害紧急救援队伍救援行动 第2部分:程序和方法

GB/T 36239—2018 特种机器人 术语

GB/T 37703—2019 地面废墟搜救机器人通用技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

废墟 ruins

因外力作用导致建(构)筑物的破坏、坍塌,形成临时稳定状态或不稳定状态的结构物。

[来源:GB/T 37703—2019, 3.1, 有修改]

3.2

地面废墟搜索机器人 ground search robot in ruins

在危险或救援人员难以开展搜索作业的废墟环境中,用于辅助或代替救援人员进入废墟环境执行受困者搜索与环境探测等任务的地面移动式救援机器人。

[来源:GB/T 36239—2018, 3.10和GB/T 37703—2019, 3.2, 有修改]

3.3

受困者 trapped person

被压在废墟环境中的人员。

[来源:GB/T 29428.1—2012, 3.3, 有修改]

3.4

性能综合测试 general testing for performance

针对地面废墟搜索机器人在废墟环境中执行任务的关键性能指标,按照一定的程序和方法进行综合测试的过程。

3.5

通行入口 entrance

机器人进出废墟的入口,包括但不限于倒塌建(构)筑物自然形成的入口、由救援人员建立的入口。

[来源：GB/T 37703—2019，3.8，有修改]

4 测试环境与装置

4.1 测试环境

4.1.1 机器人的测试环境宜可能模拟实际应用时的废墟环境，可充分利用现有的废墟结构进行构建，构建时应满足如下要求：

- a) 测试环境应具有充足的安全保障，以确保测试过程中机器人和参与测试人员的安全，在构建时可由结构工程师进行废墟环境安全评估。
- b) 测试环境中应存在有限生存空间，破坏的结构构件及附属物品宜保持局部或部分完整，不宜整体呈现粉碎性散落状态。
- c) 测试环境中应设有通行入口、内部通道、受困者压埋点、通行障碍物、不同测试模块等内部测试条件，以满足机器人性能综合测试需求。

4.1.2 机器人的测试环境可考虑选取如下典型废墟环境进行构建：

- a) 层叠式废墟：由于竖向承重构件全部或部分破坏形成的楼板连锁式塌落重叠形成的废墟，整体平面投影尺寸宜不小于 $6\text{m}\times 6\text{m}$ ，层数宜不小于两层，楼板需保持部分或基本完整，楼板间最小高度应不小于 0.4m ，通行入口尺寸宜不大于 $0.4\text{m}\times 0.4\text{m}$ 。
- b) 整体倾斜式废墟：由于地基液化或底层发生破坏等造成建（构）筑物发生整体倾斜形成的废墟，整体平面投影尺寸宜不小于 $6\text{m}\times 6\text{m}$ ，层数宜不小于两层，大多数或全部承重构件完整，构件的最大倾斜角度应不小于 30° ，通行入口尺寸宜不大于 $0.4\text{m}\times 0.4\text{m}$ 。
- c) 局部倾斜式废墟：部分竖向承重构件发生破坏造成楼板一端或两端塌落并受建筑构件或室内物品阻碍形成的废墟，倾斜部分的平面投影尺寸宜不小于 $3\text{m}\times 3\text{m}$ ，层数宜不小于两层，承重构件需保持部分完整，构件的最大倾斜角度应不小于 30° ，通行出入口尺寸宜不大于 $0.4\text{m}\times 0.4\text{m}$ 。

4.1.3 机器人的测试环境构建时宜遵循多功能、可调整原则，满足相应的条件即可作为机器人的测试废墟。

4.1.4 对于机器人的移动性能测试，测试环境亦可参考附录 A 给出的示意图进行构建，将受困者压埋点、通行障碍物、危险源、不同测试模块按照一定顺序布置在 $6.4\text{m}\times 6.4\text{m}$ 的范围内，用 $0.8\text{m}\times 0.8\text{m}$ 的隔板进行适当的分离，形成模块化的测试环境，如图 A.1 所示。

4.2 测试装置

4.2.1 测试装置应根据不同的测试内容进行适当的选择，并布设在测试环境内适当位置，可根据测试需要选取如下测试模块，如图 B.1—B.5 所示：

- a) 通行入口测试模块；
- b) 不同路面测试模块；
- c) 台阶测试模块；
- d) 坡度测试模块；
- e) 越障越沟测试模块。

4.2.2 各测试模块的示意图及说明见附录 B。

4.3 测试条件

4.3.1 机器人在测试前应进行适当的预热，应处于正常工作状态，并确保整个测试过程中以安全的方式操作。

4.3.2 机器人性能综合测试通常应在 $-20^\circ\text{C}\sim +55^\circ\text{C}$ 的温度和不超过 90%的相对湿度环境下进行。

4.3.3 多个机器人同时进行测试时，应在同一测试环境下进行测试。

5 测试内容与方法

5.1 针对地面废墟搜索机器人配置的基本功能，宜选取对废墟环境下搜索机器人实际性能有影响的关键指标作为测试内容，具体见表1。

表1 机器人性能综合测试内容

性能类别	测试指标	性能类别	测试指标
移动性能	通行入口	作业性能	展开作业时间
	行走能力		持续工作时间
	爬楼梯能力		故障修复时间
	爬坡角度		信息获取能力
	越障高度		搜索准确率
	越沟宽度		定位误差
通信性能	遥控控制距离	安全性能	异常报警能力
	数据传输距离		应急保护能力

5.2 移动性能测试

5.2.1 通行入口

在构建的废墟测试环境中，操作机器人稳定、安全地从通行入口进入废墟内部，目测机器人能否通过不大于0.4m×0.4m的通行入口，可操作机器人进行多次测试，用带有CMC标志的测量尺测量机器人能够进入废墟的最小通行入口尺寸并记录。

5.2.2 行走能力

在构建的废墟测试环境中，操作机器人在废墟表面或废墟内部行走，行走距离应不小于6m，目测机器人能否通过废墟瓦砾路面、波浪路面和侧坡路面等，记录每种路面通过情况和行走距离，可用带有CMC标志的测量尺测量行走距离。测试过程不准许人工干预。

5.2.3 爬楼梯能力

在构建的废墟测试环境中，操作机器人在楼梯或楼梯测试模块上行走，目测机器人能否成功爬过多节宽度不小于0.26m、高度不大于0.175m的踏步。测试过程不准许人工干预，可操作机器人进行多次测试，记录机器人能够成功爬过的楼梯踏步尺寸和数量，踏步尺寸可用带有CMC标志的测量尺进行测量。

5.2.4 爬坡角度

在构建的废墟测试环境中，操作机器人在倾斜的废墟构件表面或坡度测试模块上行走，目测机器人能否在不小于30°的坡面上成功爬坡，爬坡距离应不小于3m，记录机器人的爬坡角度和爬坡距离，可用带有CMC标志的测量尺分别测量机器人爬坡的长度和高度，计算得出爬坡角度。测试过程不准许人工干预，可操作机器人进行多次测试，记录机器人成功爬坡的最大坡度。

5.2.5 越障高度

在构建的废墟测试环境中，操作机器人开始运动翻越垂直障碍，目测机器人能否成功越过高度不小于0.25m的障碍物。测试过程不准许人工干预，可操作机器人进行多次测试，用带有CMC标志的测量尺测量机器人能够成功翻越的最大障碍物高度并记录。

5.2.6 越沟宽度

在构建的废墟测试环境中，操作机器人开始运动跨越沟壑，目测机器人能否成功越过水平宽度不小于0.2m的沟壑。测试过程不准许人工干预，可操作机器人进行多次测试，用带有CMC标志的测量尺测量机器人能够成功跨越的最大沟壑的水平宽度并记录。

5.3 作业性能测试

5.3.1 展开作业时间

机器人按照运输状态放置在废墟测试环境周围，用秒表记录从开箱组装至所有功能检视正常可以进入作业状态为止所用时间，作为机器人展开作业时间。可进行多次测试，记录最短时间。

5.3.2 持续工作时间

在无外接动力电源和电池满电状态下，从操作机器人进入作业状态开始，用秒表开始计时，机器人在废墟环境中持续执行任务，直至操控单元或终端停止工作，停止计时并记录时间，作为机器人持续工作时间。测试过程不允许机器人补充能源，测试机器人持续工作时间是否不小于1h。

5.3.3 故障修复时间

机器人在测试过程中如发生故障，从故障发生时用秒表开始计时，直至机器人恢复正常作业状态，停止计时并记录时间，作为机器人故障修复时间。测试机器人故障修复时间是否不大于3h。

5.3.4 信息获取能力

在构建的废墟测试环境中，操作机器人进入作业状态执行任务，目测机器人能否将废墟环境中的声音、视频、温度、气体浓度等信息传回操控单元，记录机器人可以获取的信息。

5.3.5 搜索准确率

在构建的废墟测试环境中，操作机器人作业成功搜索到的受困者数量占废墟测试环境中布设的受困者总数的比例，作为机器人的搜索效率，如实记录机器人成功搜索到的受困者数量和布设的受困者总数。

5.3.6 定位误差

在构建的废墟测试环境中，用带有CMC标志的测量尺，对机器人成功搜索到的受困者定位位置与受困者实际位置在三维空间之间的欧式距离进行测量，取平均值作为定位误差并记录。

5.4 通信性能测试

5.4.1 遥控控制距离

对于采用无线通信的机器人，在构建的废墟测试环境中，操作机器人从通行入口进入废墟内中间位置，在废墟平面的东西南北四个方向移动操控单元逐渐远离废墟，并通过操控单元遥控控制机器人有目的地执行任务，如实记录操控单元能够实现操作、控制机器人的4个方位的最远距离，取平均距离作为该废墟环境下机器人的遥控控制距离。

5.4.2 数据传输距离

对于采用无线通信的机器人，在构建的废墟测试环境中，操作机器人从通行入口进入废墟内中间位置，在废墟平面的东西南北四个方向移动操控单元逐渐远离废墟，并通过操控单元遥控控制机器人有目的地执行任务，如实记录操控单元能够呈现废墟内声音、视频等信息的4个方位的最远距离，取平均距离作为该废墟环境下机器人的数据传输距离。

5.5 安全性能测试

5.5.1 异常报警能力

在构建的废墟测试环境中,设置由外围设备产生或由于人与机器人系统相互干扰而产生的危险条件,测试机器人能否识别危险并为了引起操作人员注意潜在危险的存在而发出警示信号进行异常报警,记录测试结果。

5.5.2 应急保护能力

在构建的废墟测试环境中,当机器人正常执行任务时,模拟出现机器人可能对周围受困者或环境造成伤害的情况,按下急停按钮,测试机器人动力电源是否切断并记录结果。

5.6 按照上述测试方法完成机器人性能综合测试后,宜将各项测试结果如实填写在附录 C 的机器人性能综合测试记录表中。

征求意见稿

附录 A

附录 B (资料性)

附录 C 移动性能测试环境布局示意图

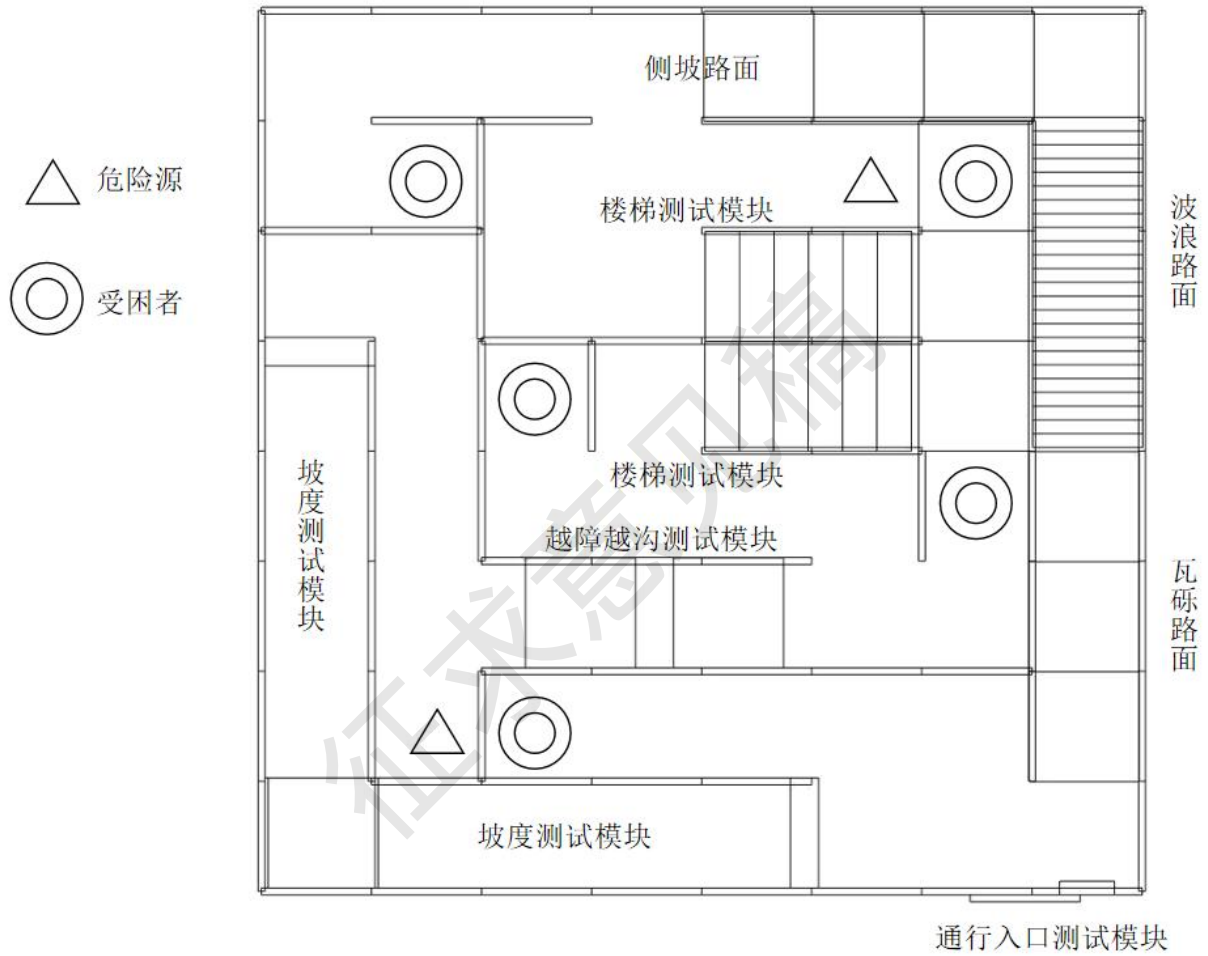


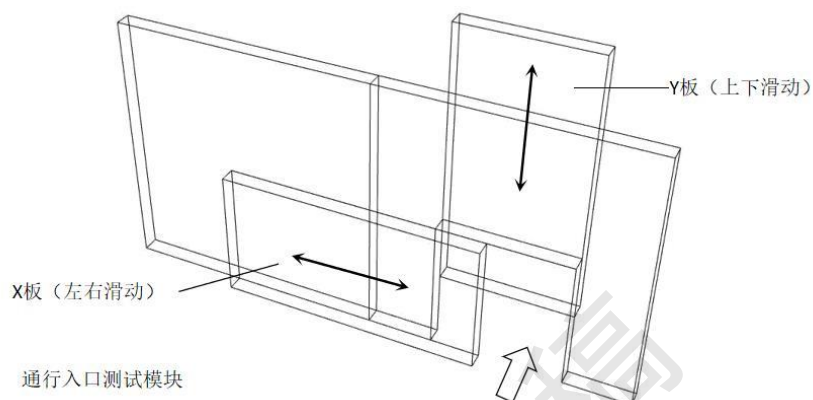
图 A.1 移动性能测试环境布局示意图

附录 D

附录 E (资料性)

附录 F 移动性能测试模块

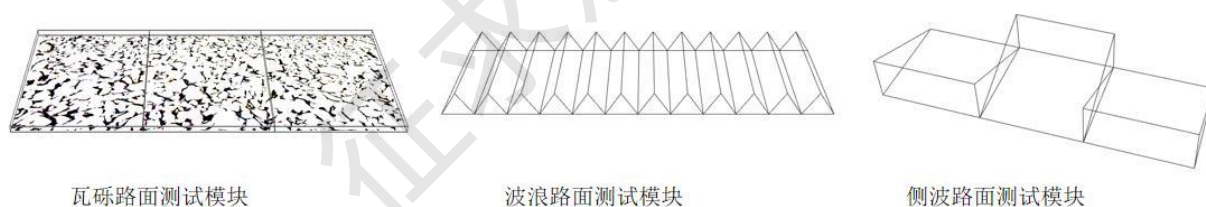
B.1 通行入口测试模块



图B.1 通行入口测试模块示意图

说明：X板和Y板的尺寸均为 $0.40\text{m} \times 0.80\text{m}$ ，如图B.1所示，通过X板的左右滑动和Y板的上下滑动能够改变通行入口的大小，可调范围为 $0-0.4\text{m}$ 。

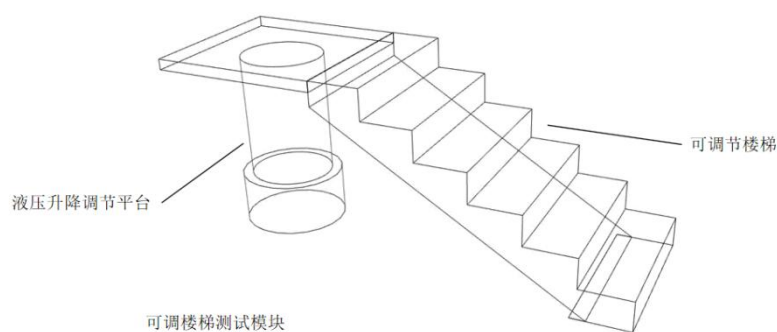
B.2 不同路面测试模块



图B.2 不同路面测试模块示意图

说明：设计如图B.2中3种路面，每种路面规格为 $0.8\text{m} \times 2.4\text{m}$ 。第1种瓦砾路面，在单元槽内注入不规则的砌体、混凝土碎块，模拟倒塌建（构）筑物废墟常见的地面环境；第2种为波浪路面，可用木块等材料制作，模拟颠簸路面环境；第3种为侧坡路面，可设置 $10-20^\circ$ 的倾斜坡度，模拟倾斜路面环境。

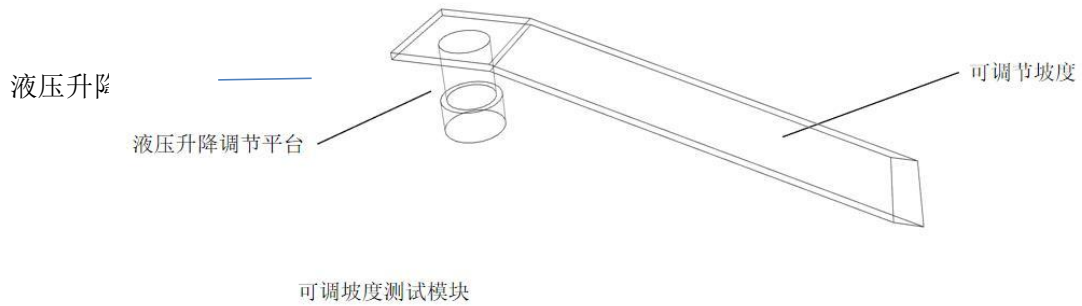
B.3 楼梯测试模块



图B.3 楼梯测试模块示意图

说明：运用液压升降调节平台调节平台高度，各阶按平台高度平均调节每阶高度，实现可调节功能。

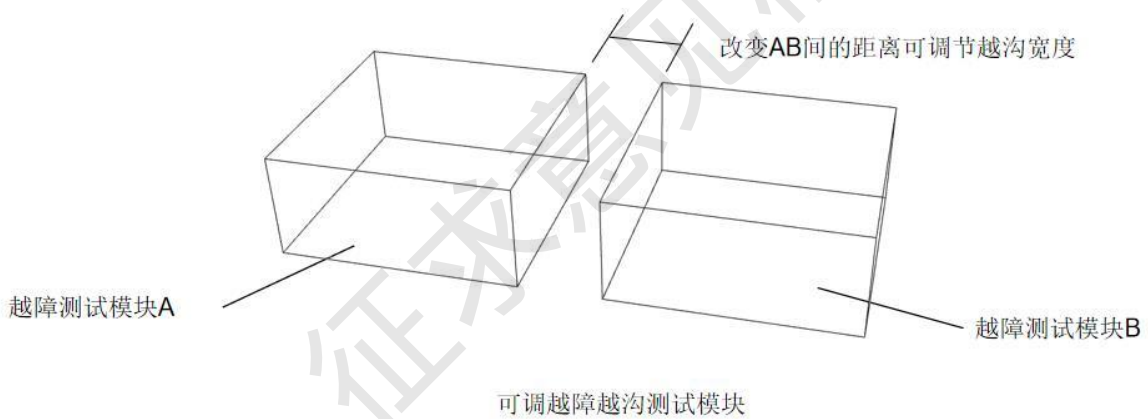
B. 4 坡度测试模块



图B. 4 坡度测试模块示意图

说明：运用液压升降调节平台调节平台高度，坡道最下端由拖地滑轮构成，改变平台高度可实现坡度调节功能。坡度测量可在坡道侧面安装坡度计，实时读出坡度数值。

B. 5 越障越沟测试模块



图B. 5 越障越沟测试模块示意图

说明：运用利用两个可调高度的平台，通过移动形成沟壑，调节两平台AB之间的距离可调节越沟的宽度，如图B. 5所示。

附录 H (资料性)

附录 I 机器人性能综合测试记录表

机器人名称或编号：

研制或生产单位：

操作人员：

测试地点：

测试时间：

记录人员：

废墟测试环境：层叠式废墟；整体倾斜式废墟；局部倾斜式废墟；
专门的移动性能测试环境；其他废墟环境_____。

表C.1 机器人性能综合测试记录表

序号	测试指标		测试结果
1	移动性能	通行入口	通过 0.4m×0.4m： <input type="checkbox"/> 是，最小通行入口尺寸_____； <input type="checkbox"/> 否。
2		行走能力	行走距离是否大于 6m： <input type="checkbox"/> 是； <input type="checkbox"/> 否。 路面及距离： <input type="checkbox"/> 瓦砾，__m； <input type="checkbox"/> 波浪，__m； <input type="checkbox"/> 侧坡，__m； <input type="checkbox"/> 其他：___路面，__m。
3		爬楼梯能力	连续爬过楼梯踏步数量：___节 踏步尺寸：___×___（宽度×高度，单位：m）。
4		爬坡角度	坡面材质：_____；爬坡长度___m；爬坡高度___m； 爬坡角度不小于 30°： <input type="checkbox"/> 是； <input type="checkbox"/> 否； 最大爬坡角度：___°。
5		越障高度	越过 0.25m： <input type="checkbox"/> 是，最大越障高度___m； <input type="checkbox"/> 否。
6		越沟宽度	越过水平宽度 0.2m 的沟壑： <input type="checkbox"/> 是，最大水平宽度___m； <input type="checkbox"/> 否。
7	作业性能	展开作业时间	_____（单位：s，精确至 1s）。
8		持续工作时间	_____（单位：h，精确至 0.1h）；大于 1h： <input type="checkbox"/> 是； <input type="checkbox"/> 否。
9		故障修复时间	_____（单位：h，精确至 0.1h）；不大于 3h： <input type="checkbox"/> 是； <input type="checkbox"/> 否。 <input type="checkbox"/> 未出现故障。
10		信息获取能力	<input type="checkbox"/> 声音； <input type="checkbox"/> 视频（ <input type="checkbox"/> 红外； <input type="checkbox"/> 可见光）； <input type="checkbox"/> 温度； <input type="checkbox"/> 气体浓度；其他_____。
11		搜索准确率	布设目标总数_____；成功搜索目标数量_____；准确率_____%。
12		定位误差	定位位置与目标实际位置间的欧氏距离平均值___m。
13	通信性能	最大传输距离	_____m（精确至 0.1m）。
14		数据传输能力	_____m（精确至 0.1m）。
15	安全性能	异常报警能力	<input type="checkbox"/> 有； <input type="checkbox"/> 无。
16		应急保护能力	<input type="checkbox"/> 是； <input type="checkbox"/> 否。

注：测试结果部分单元格中可依据实际测试次数增加行记录多次结果。

参 考 文 献

- [1]GB/T 20001.7—2017 标准编写规则 第7部分：指南标准
- [2]GB/T 29428.1—2012 地震灾害紧急救援队伍救援行动 第1部分：基本要求
- [3]GB/T 12643—2013 机器人与机器人装备 词汇
- [4]GB/T 29428.2—2014 地震灾害紧急救援队伍救援行动 第2部分：程序和方法
- [5]GB/T 36239—2018 特种机器人 术语
- [6]GB/T 37703—2019 地面废墟搜救机器人通用技术条件
- [7]GB/T 36321 特种机器人 分类、符号、标志
- [8]XF 3010—2020 消防用雷达生命探测仪
- [9]GB/T20867—2007 工业机器人 安全实施规范

征求意见稿

应急管理行业标准
《地面废墟搜索机器人性能综合测试指南》
(征求意见稿)
编制说明

征求意见稿

标准编制组

《地面废墟搜索机器人性能综合测试指南》 征求意见稿编制说明

1. 工作简况

1.1 任务来源

美国世贸中心 9.11 遇袭事件、东日本大地震以及汶川大地震等城市突发灾害和恐怖袭击事件，导致城市建（构）筑物倒塌损毁，许多建构物由于其规模、倒塌后的复杂形态，尤其是核生化等次生灾害的巨大风险，使得常规装备为主的救援队无力应对上述复杂高危环境下的救援任务。近年来，随着机器人技术的发展进步，机器人在灾害事故中的实战应用日益广泛。目前用于生命探测的搜索机器人已经在地震、海啸、建（构）筑物坍塌等灾害事故救援中得到了实际应用。但是，一些搜索机器人在地面废墟中的实战应用性能与其研发生产时的设计功能之间还存在差距，应用效果亟待提升。因此，为检测验证搜索机器人在实战应用环境中的性能，亟需出台地面废墟搜索机器人性能综合测试指南，通过规范地面搜索机器人实战性能的测试环境与装置、测试内容与方法，充分解决地面废墟搜索机器人在实战应用过程中出现的问题，进而优化提升机器人实战性能和应用效果，推动我国地面搜索装备技术的发展，提升我国防灾减灾救灾的能力。

2019 年 11 月，《地面废墟搜索机器人性能综合测试指南》标准项目建议书递交应急管理部地震和地质灾害救援司。根据应急管理部政策法规司《关于印发 2020 应急管理行业标准计划（第 4 批）的通知》（应急法规〔2020〕70 号），《地面废墟搜索机器人性能综合测试指南》于 2020 年 12 月批准立项，项目计划号为 2020-YJ-013，由全国应急管理与减灾救灾标委会技术归口，由地震应急救援标准化分技术委员会提出和归口，计划完成时间为 2022 年 6 月。

1.2 起草单位和人员

本标准由以下单位联合起草：中国地震应急搜救中心、中国科学院沈阳自动化研究所、机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、北京工业大学、中国应急管理大学（筹）、中国建筑科学研究院有限公司、应急管理部上海消

防研究所、北京消防救援总队、大连理工大学、北京凌天智能装备集团股份有限公司。

本标准主要起草人：杜晓霞、颜军利、张雪华、李静、胡卫建、赵兰迎、张天罡、赵文强、朱笑然、卢铁林、李斌、赵京、杨韬、傅杰、李廉洁、王哲龙、李睿堃、吴贇、常建。

1.3 主要工作过程

2019年至2020年申报阶段，项目承担单位中国地震应急搜救中心通过文献资料调研、灾害现场考察、相关案例梳理，并多次与国内搜救机器人研发单位和生产企业、中国国际救援队、中国救援队等专业救援队伍等相关单位进行业务交流，制定了该标准的基础框架和标准草案文本。

2021年项目启动后，项目牵头单位开展国外有关技术进展的相关文献资料调研，结合我国大震巨灾应急救援事业的实际需求，重点针对被压埋人员的生命探测的实际工作需求，对该标准基本内容进一步优化改进，至2021年12月，形成标准草案征求意见稿。

1.3.1 启动会议

本标准项目于2020年12月正式批复立项，批复文件为《政策法规司关于印发2020年应急管理行业标准计划（第四批）的通知》（应急法规[2020]70号）。项目计划号为2020-YJ-013，由全国应急管理与减灾救灾标委会负责技术归口。2021年2月26日在北京组织召开了标准编写工作启动会议，会议决定由中国地震应急搜救中心主要负责该标准的起草工作，会上提出应增加机器人有关的研发单位和生产企业、机器人的用户单位及相关人员作为标准参编单位和人员，以便为标准后续的应用和实施奠定基础。

1.3.2 标准初稿阶段

标准编写工作组收集了国内外同类产品的相关技术资料，并进行分类整理和分析，为标准编写工作提供了较好的技术支撑。标准编写过程中累计召开现场工作会议2次、分散讨论会议2次。历次会议的时间、主要议题及成果如下：

第一次会议。2021年2月26日，标准编制启动会。中国地震应急搜救中心、中国科学院沈阳自动化研究所和机械工业仪器仪表综合技术经济研究所编写组人员出席了会议。会议召集人强调了本标准制定的重要性，标准起草组介绍了标准的申请立项的过程和立项前后调研工作情况，以及标准编写工

作组讨论稿的编制情况。

第二次会议。2021年7月，阶段工作讨论会议。编写组全体人员参加。标准编写组根据专家意见对标准修订进行深入讨论，提出下一阶段工作目标，对标准的整体框架结构达成一致意见，进一步明确了指标项目。

第三次会议。2021年8月~10月，采用分散讨论形式组织征求意见讨论稿的内部研讨。编写组全体人员经过深入讨论，对征求意见讨论稿达成一致意见。

第四次会议。2021年11月~2021年12月，采用分散讨论形式组织征求意见讨论稿的内部修改完善。编写组全体人员经过深入讨论，形成征求意见稿。

1.3.3 征求意见阶段

计划2022年实施。

1.3.4 审查阶段

尚未开展。

2. 标准编制原则和主要内容

2.1 标准编制原则

本标准按照 GB/T 1.1—2020 的要求编写，遵循“先进性、实用性、普遍性、统一性、规范性”的原则，并查阅了国内外相关技术资料 and 最新标准，结合我国地面废墟搜救机器人生产和应用的实际情况开展标准的编制。工作过程中，编写组注重标准的可操作性，保证标准编写工作的科学性、真实性、规范性，并特别注意了与国标《地面废墟搜救机器人通用技术条件》（GB/T 37703-2019）之间的衔接和延伸，确定了标准的编制原则和主要内容。

2.2 主要内容依据

本项目面向在危险或救援人员难以开展搜索作业的废墟环境中，用于辅助或代替救援人员进入废墟环境执行受困者搜索与环境探测等任务的地面移动式救援机器人，对地面废墟搜索机器人性能综合测试提供了指导性建议，重点针对机器人在废墟环境中执行任务的关键性能指标，给出了按照一定程序和方法的综合测试方法。具体内容包括：术语和定义、测试环境与装置、测试内容与方法等。

2.2.1 范围

本标准本文件适用于能够在地面移动，进入建（构）筑物废墟环境，执行应急救援任务的地面废墟搜索机器人系统。

本标准不适用于飞行搜索机器人系统。

本标准不适用于爆炸性、核辐射、高温等特殊环境。

2.2.2 规范性引用文件

按照 GB/T 1.1-2020，本标准增加了规范性引用文件。

2.2.3 标准内容确定依据

灾害现场环境复杂、次生灾害危险风险高发，灾情勘察与生命救援行动，要求废墟搜救机器人具备高效、精准、安全、环境适应性强等能力，据此，本标准着重对测试环境与装置、测试内容与方法方面提出了具体要求。

1) 废墟环境

本标准中的机器人的测试环境应尽可能模拟实际应用时的废墟环境，可充分利用现有的废墟结构进行构建，在构建时需考虑安全性和适应性，考虑目前各类培训基地中已有的废墟环境，主要考虑层叠式废墟、整体倾斜式废墟和局部倾斜式废墟三种测试环境，只要满足相应的条件即可作为测试废墟环境。同时，对于地面搜索机器人比较关键的移动性能，也可按照给出布局示意图进行专门的移动性能测试环境构建，以便更好地定量化地开展移动性能测试。

由于地面废墟环境往往是复杂的、非结构化的环境，难以量化提取废墟的结构参数，从实际废墟的角度考虑，通过消化、吸收国内有关建筑结构规范，结合典型废墟的倒塌特点，针对《地面废墟搜救机器人通用技术条件》中给出的机器人相关技术要求和指标，提出了废墟环境的有关尺寸。

2) 投影尺寸

按照《建筑模数协调统一标准》（GBJ 2-86）第 2•1•2 条，水平扩大模数基数为 3M、6M、12M、15M、30M、60M，其相应的尺寸分别为 300、600、1200、1500、6000mm；竖向扩大模数基数为 3M 与 6M，其相应的尺寸分别为 300mm 和 600mm。本标准按照 3M 的模数要求，建筑轴线间的距离考虑 3m，一般建筑至少两间或两跨，因此整体平面投影尺寸应不小于 6m×6m 和倾斜部分的平面投影尺寸应不小于 3m×3m。

3) 空间高度

结合多年来开展生命搜救工作实践，充分总结搜救幸存者能够幸存的必

要条件，必须要有生存空间，有限生存空间的高度要满足大于或等于 0.4m；同时考虑到《地面废墟搜救机器人通用技术条件》中 5.3 移动性能中给出的机器人应能进入通行入口尺寸不大于 0.4m×0.4m 的废墟，因此确定最小空间高度要大于或等于 0.4m。

4) 移动性能测试环境尺寸

移动性能的专门测试环境，参考国内外机器人有关测试环境，从模块化的角度来考虑，以及根据成年人身体为坐位时的占地面积和高度来考虑被困者被压埋的环境，确定每个最小的模块化单元尺寸为 0.8m×0.8m，同时根据不同测试模块的布局以及真实废墟环境的最小屏幕投影尺寸，确定采用 8×8 的模块化单元组合，即 6.4m×6.4m。

5) 测试条件

本标准参照国家标准《电工电子产品自然环境条件温度和湿度》（GB/T 4797.1-2005），将温度划分为 3 级，即一般使用条件、中等使用条件和苛刻使用条件，本标准采用中等使用条件：温度为-20℃~+55℃；对于湿度环境，考虑废墟情况的实际需求，在相对湿度不超过 90%的环境下均可。

6) 测试内容

本标准针对《地面废墟搜救机器人通用技术条件》表 4 给出的地面废墟搜索机器人配置的基本功能，选取对废墟环境下搜索机器人实际性能有影响的关键指标作为测试内容，具体见表 1。

表 1 机器人性能综合测试内容

性能类别	测试指标	性能类别	测试指标
移动性能	通行入口	作业性能	展开作业时间
	行走能力		持续工作时间
	爬楼梯能力		故障修复时间
	爬坡角度		信息获取能力
	越障高度		搜索准确率
	越沟宽度		定位误差
通信性能	遥控控制距离	安全性能	异常报警能力
	数据传输距离		应急保护能力

7) 通行入口尺寸

在地面救援现场，幸存者被压埋在倒塌的建筑物废墟下，救援通道入口及废墟下通行通道的空间尺寸是有限的。

本标准中，参照建筑空心砖尺寸（国家规定的空心砖的一般规格是 390m

m×190mm×190mm)以及国际紧急救援人员开辟的救援窗口尺寸约为 0.4m(高度)×0.4m(宽度)。同时与《地面废墟搜救机器人通用技术条件》中 5.3 移动性能中给出的机器人应能进入通行入口尺寸不大于 0.4m×0.4m 的要求保持一致。

8) 行走能力

本标准中未选取行走速度而是选取行走能力作为移动性能的指标之一,主要是考虑机器人在废墟环境中的行走比较复杂,选择如实记录机器人在不同废墟环境中通过的路面情况和行走的距离,作为测试机器人行走能力的方式。但是考虑到,机器人必须行走超过一定的距离才能体现出机器人的行走能力,结合废墟平面投影的最小尺寸,需至少操作机器人在废墟表面或废墟内部从废墟一边走到另一边,因此确定行走距离应不小于 6m。

9) 爬楼梯能力

参照楼梯踏步尺寸,如表 2 所示,爬楼梯能力应满足住宅共用楼梯要求,最小宽度 0.26m、最大高度 0.175m。该指标与《地面废墟搜救机器人通用技术条件》中的指标一致,主要用于测试验证机器人在废墟环境中能否达到该项指标的要求。

表 2 楼梯踏步参数

楼梯类别	最小宽度/m	最大高度/m	楼梯斜度/°
住宅共用楼梯	0.26	0.175	33.95
幼儿园、学校等楼梯	0.26	0.15	29.99
电影院、剧场、体育馆、商场、医院、旅馆、大中学校等楼梯	0.28	0.16	29.75
其它建筑楼梯	0.26	0.17	33.18
专用疏散楼梯	0.25	0.18	35.75
服务楼梯、住宅套内楼梯	0.22	0.20	42.27

10) 爬坡角度

参照表 2 中的楼梯踏步参数,爬坡能力应大于 30°。

本标准按照 3M 的模数要求,建筑轴线间的距离考虑 3m,一间或一跨的尺寸为 3m×3m,倾斜面的尺寸大于水平投影尺寸,因此考虑爬坡距离应不小于 3m。

11) 越障高度

越障高度参照建筑构件梁的尺寸确定,高度:(1/12~1/8)跨度;宽度:

(1/3~1/2) 高度。常见的梁宽 (m) : 0.12、0.15、0.18、0.2、0.22、0.25、0.3、0.35、0.4, 常见的梁高 (m) : 0.25、0.3、0.35、0.4。因此, 将越障高度参数指标定义为梁高 0.25m, 作为越障的最低要求。

12) 越沟宽度

依据《地面废墟搜救机器人通用技术条件》(GB/T 37703—2019) 第 5.3 条, 越沟宽度不小于 0.2m。

13) 持续工作时间

地面废墟搜救机器人通常采用锂电池供电。因此, 在承担搜救任务中经历的布置、进入废墟、搜索、返回到地面等环节, 必须确保机器人能够持续一定的工作时间, 并且可以重复使用。同时, 锂电池的使用的温度范围应该符合 GB 31241-2014《便携式电子产品用锂离子电池和电池组安全要求》的相关规定。工作环境的温度会对电池的连续工作时间产生影响, 温度太低, 工作时间会减少; 温度升高, 工作时间增加, 但也会产生安全风险。

因此, 本标准中规定机器人在常温下的持续工作时间不小于 1h, 在持续工作时间内, 机器人系统应稳定、可靠工作。

14) 故障修复时间

救援界认为, 灾难发生之后存在一个“黄金 72h”。在此时间段内, 生命存活率较高。在世界各地的历次大地震中, 72h 内的国际化救援是最有效的救援时段。因此, 要确保地面废墟搜救机器人在这个时间段内正常工作, 平均无故障工作时间不低于 72h, 保证搜救装备能够得到充分利用。

维修性通过平均修复时间来衡量, 要求平均修复时间不大于 3h, 占比小于黄金期的 5%。

15) 应急保护

地面废墟搜救机器人运动过程中, 防止机器人的意外损伤。试验方法参照 GA 892.1-2010 中 8.6.5.1《消防机器人通用技术条件》的规定。

3. 预期的经济和社会效果

本标准是解决地面搜索机器人在废墟环境下的实际应用中能否实现机器人研发和生产时提出的性能指标要求, 为地面废墟搜索机器人性能的改进提升以及机器人用户的选择提供指导性、原则性的建议, 以便更好地推进地面废墟搜索机器人的研发、成果转化和应用推广, 更好地在今后的建(构)筑物倒塌现场发挥作用。本项目面向国家自然灾害防范与公共安全事业, 以减

轻人民生命安全和财产社会损失为目标，优化、提升我国废墟搜索机器人技术和产业发展，增强我国应对复杂灾害技术支撑，提升我国突发灾害应急救援能力，减少灾难给生命和财产带来的损失，具有重要的经济和社会效益。

4. 采用国际标准和国外先进标准情况

目前，国内颁布地面废墟搜救机器人相关的国家标准和地方标准，有 3 项相关的国家标准：GB/T 36239-2018 特种机器人术语，GB/T 36321 特种机器人分类、符号、标志，GB/T 37703-2019 地面废墟搜救机器人通用技术条件；有 2 项行业标准：GA892.1-2010 消防机器人第 1 部分：通用技术标准，GA/T142-1996 排爆机器人通用技术条件。

国际上，在城市救援与搜索机器人标准研究的方面，美国处于领先地位。美国国土安全部科学与技术董事会和美国国家标准与技术研究所（NIST）共同发起议案，为城市救援与搜索机器人的研制、测试和验证提出标准需求，包括感知、移动、导航、规划、继承和操作控制等保证机器人满足在极端环境下的作业等方面；美国国土安全部选择美国材料与实验协会（ASTM）负责制订城市救援与搜索机器人执行 13 标准。目前可检索到现行相关标准 18 个、提出的标准建议 14 个。上述标准面向搜索营救机器人单项功能测试。受限于项目组文献资料查询条件，目前可获得的上述标准有 5 个。

本标准面向地面废墟环境搜索机器人性能测试，具有典型的场景应用，限于项目组查阅国机文献的能力（包括费用支付等），据了解，本标准是国际上首个用于地面搜索的特种机器人综合性能测试方法方面的标准。标准编写过程中，部分测试和验证方法参考了国外现行标准，与国际上相关技术保持一致。

5. 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准的制定贯彻了国家有关标准化方面的有关法律和法规要求，与现行法律、法规及标准协调一致。

6. 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

7. 国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

本标准作为推荐性行业标准，且为指南性标准。

8. 贯彻国家标准的要求和措施建议

建议标准自发布后 6 个月实施。

本标准是检验地面废墟搜索机器人的基础依据，也是各类救援队伍配置、使用废墟搜救机器人的技术依据，属于该领域国内第一个标准规范。建议及时在有关信息媒体上公开宣传，引起机器人用于有关单位、团体的重视，以及机器人相关研发和生产单位的重视。本标准可为相关研发机构优化改进废墟搜索机器人提供技术指标依据。本标准将在实施的过程中总结经验，持续改进和完善。

9. 废止现行有关标准的建议

无。

10. 其他应予说明的事项

本标准不涉及知识产权。

征求意见稿