

国家标准
《自驱式管道内检测机器人通用技术规范》

(征求意见稿)

编制说明

全国机器人标准化技术委员会特种设备用机器人分技术委员会

(SAC/ TC591/SC1)

《自驱式管道内检测机器人通用技术规范》标准编制工作组

二〇二四年十月

国家标准《自驱式管道内检测机器人通用技术规范》 (征求意见稿)编制说明

1. 工作简况

1.1 任务来源

我国各类管道系统保有量巨大，城镇燃气管道中约有 40 万公里压力管道，市政排水管道超 110 万公里，油气田集输管道超过 40 万公里，千万吨/年炼油基地近 30 个，炼油能力 9.1 亿吨/年，相关压力管道长度达到 75.5 万公里。传统介质驱动的管道内检测器通常需要 1.2MPa 以上的介质驱动，不适用于城镇中低压排量燃气管道、炼化厂大检修期间工业管道内检测等场景。目前较为成熟的轮式或履带式自驱式内检测机器人多应用于市政排水管道，不具备垂直爬坡能力，且检测手段单一，搭载电磁类等可精确量化缺陷的传感器时检测效率较低。

适用于中低压排量油气管道、工业管道等场景的伸缩径结构自驱式管道内检测机器人在国内外目前均已有相关应用。但相关制造企业对油气管道、工业管道等运维、工艺、需求的理解不一，又无相关标准参考，容易导致机器人设计标准不统一，系统功能不完善，技术指标要求差异较大，导致不同厂家生产的机器人对场景的适用性极为单一，不具备大规模推广应用的条件。

为提升自驱式管道内检测机器人对应用场景的适用性与检测功能的实用性，本标准立足于工程设计阶段，规范自驱式管道内检测机器人的运动能力、检测能力、机械安全、电气安全、环

境适应性、稳定性要求等内容。本标准有利于自驱式管道内检测机器人在油气管道、公用管道、工业管道、市政排水管道等中更加高效、安全的应用，促进自驱式管道内检测机器人产业标准化，推动产业发展，提升不具备介质驱动内检测条件管道的本质安全。

1.2 编制单位、主要起草人员及分工

(1) 编制单位：略

(2) 主要起草人员：略

(3) 分工：

章节/内容	参与单位
1 范围	中国特种设备检测研究院
2 规范性引用文件	中国特种设备检测研究院、中机生产力促进中心
3 术语和定义	中国特种设备检测研究院
4 分类和型号编码	中国特种设备检测研究院
5.1 功能要求	中国特种设备检测研究院、沈阳新松机器人自动化股份有限公司、北京邮电大学
5.2 运动能力	中国特种设备检测研究院、深圳市人工智能与机器人研究院、北京邮电大学、管网集团（徐州）管道检验检测有限公司、陕西省特种设备检验检测研究院
5.3 检测能力	国家石油天然气管网集团有限公司科学技术研究总院分公司、福建省特种设备检验研究院、陕西省特种设备检验检测研究院、管网集团（徐州）

	管道检验检测有限公司、中国石油大学（北京）
5.4 机械安全	北京邮电大学、中国计量大学、沈阳新松机器人自动化股份有限公司、福建省特种设备检验研究院、深圳市人工智能与机器人研究院
5.5 电气安全	上海市特种设备监督检验技术研究院、沈阳新松机器人自动化股份有限公司、深圳市人工智能与机器人研究院、福建省特种设备检验研究院
5.6 环境适应性	南京特种设备安全监督检验研究院、江苏省特种设备安全监督检验研究院、重庆市特种设备检测研究院
5.7 稳定性要求	上海市特种设备监督检验技术研究院、南京特种设备安全监督检验研究院、福建省特种设备检验研究院
6.1 运动能力试验	中国特种设备检测研究院
6.2 检测能力试验	中国特种设备检测研究院
6.3 机械安全试验	北京邮电大学
6.4 电气安全	上海市特种设备监督检验技术研究院
6.5 环境适应性试验	南京特种设备安全监督检验研究院
6.6 稳定性试验	上海市特种设备监督检验技术研究院、南京特种设备安全监督检验研究院、中国特种设备检测研究院

7 检验规则	中国特种设备检测研究院
8 标志、使用说明书、包装、运输、贮存	中国特种设备检测研究院

1.3 工作过程

公开征集起草单位。全国机器人标准化技术委员会特种设备用机器人分技术委员会（SAC/TC591/SC1）在下达立项计划后，于2024年2月向全社会公开征集标准编写工作组成员，吸纳行业相关领域有代表性的企事业单位、科研机构、行业组织等参与标准起草。

启动会议。2024年3月15日，由中国特种设备检测研究院承办，在北京组织召开启动会，全国机器人标准化技术委员会特种设备用机器人分技术委员会领导、有关专家以及编写组全体人员共计20余人出席了会议。与会领导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，与会专家进行了充分讨论，根据各单位优势确定了标准内容的分工以及标准编写进度安排。

分散研讨。2024年3月~2024年6月，编写工作组通过调研及查阅相关资料，根据启动会任务分工，由中国特种设备检测研究院、国家石油天然气管网集团有限公司科学技术研究总院分公司、北京邮电大学、上海市特种设备监督检验技术研究院和

南京特种设备安全监督检验研究院分别牵头组成不同章节及方向的修订小组，对标准草案重新进行了修改完善，并由中国特种设备检测研究院整理汇总，形成了标准初稿。

第二次会议。2024年6月12日，全国机器人标准化技术委员会特种设备用机器人分技术委员会（TC591/SC1）组织阶段工作线上会议。会上，哈尔滨工程大学汇报了标准编制及修改情况，并就存在的问题进行了说明，与会专家就标准范围、术语定义、技术内容等进行了详细讨论，明确了标准框架，同时提出意见建议。会后，编写工作组按照讨论意见重新整理出新版标准草案。

第三次会议。2024年8月2日，由深圳市人工智能与机器人研究院承办，在深圳召开阶段研讨会，编写组全体人员参加。标准编写组根据最新的标准草案进行探讨，根据框架内容对技术指标等进行深入的研讨，对修改或补充的部分内容达成了统一意见。

起草组内征求意见与第四次会议。2024年8月~9月，采用分散讨论的方式，起草组根据第三次会议意见进行梳理，再次向编写组内部专家征集意见，对标准草案进行完善，同时反馈给有关专家，进行二次内部意见征集。2024年9月24日，由中国特种设备检测研究院承办，在北京组织召开研讨会，起草组内达成一致意见，最后根据GB/T 1.1—2020要求整理，形成征求意见稿，公开向社会征求意见。

2. 编制原则和主要内容

2.1 编制原则

标准的编写格式按国家标准 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写规则》的规定和要求进行编写。遵循“先进性、实用性、统一性、规范性”的原则，查阅了国内外相关技术资料 and 最新标准，以国家科研成果为基础，结合我国自驱式管道内检测机器人生产、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。

2.2 主要内容依据

本标准对自驱式管道内检测机器人规定了明确的技术指标和相应的检测试验方法。具体包括术语和定义、分类和型号编码、技术要求、试验方法、检验规则、标志、使用说明书、包装、运输、贮存等内容。

2.2.1 范围

本文件适用于长输管道、公用管道、工业管道和市政给排水管道等内检测作业用自驱式管道内检测机器人。

介质驱动式管道内检测机器人可参考使用本文件。

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 分类和型号编码依据

按照 GB/T 36321—2018 中规定的编码要求，根据行业与产

品业态特性，添加了机器人产品特征代号，并根据结构、控制方式、供电方式进行了类别划分。

2.2.4 功能要求内容确定依据

目前，用于在各种类型管道内部执行检测任务的自驱式机器人品种繁多，具有移动、控制、检测、安全保护、环境适应与典型管体特征通行等部分或全部能力，而且每种机器人的功能均不相同。在执行管道检测任务过程中，面对不同的应用场景与检测需求，对机器人的性能与功能要求差异巨大。贸然使用不适合的机器人，会增加机器人故障几率，甚至影响管道生产与操作人员的安全。因此，本标准需阐明基本的功能要求，确保机器人在不同情景执行检测任务的能力与效率，具体的功能配置要求在标准中的功能配置表中进行了描述。

2.2.5 运动能力确定依据

机器人的运动能力用于量化机器人在管道内部对于各种常见环境的移动和通行性能，通过消化、吸收国内外水下机器人、搜救机器人与巡检机器人等相关标准，并结合管道结构、管道内检测工艺与经验，在标准中对运动能力提出了系列具体要求。

1) 运动速度

自驱式管道内检测机器人运动速度不能简单的依照电机的转速范围确认，机器人的作业目标是发现管道内部缺陷，因此运动速度应与搭载传感器的检测速度相匹配，保障检测数据的质量与一致性。此外，搭载惯性测量功能的机器人，可能会搭载陀螺

仪等惯性元件，这些元件可识别的量程限制范围有限，故机器人不能一味的超低速行驶，导致惯性器件的失效。因此，综合以上两点，需对机器人的运行速度进行要求如下：

机器人在水平管道连续运动过程中的平均速度应与检测传感器的检测速度匹配，搭载惯性测量功能的机器人，运动速度应满足所使用惯性元件的量程要求。

试验方法中，通过标准中的图 4 建立的环形测试管道，测试机器人的单次作业最大里程，并用总里程除以运行时长，测得机器人运行速度。

2) 爬坡角度

各类管道均存在需要爬坡的使用场景，本标准所规定的车载型、伸缩径型与仿生型机器人，车载型的机器人爬坡能力最弱，且此类机器人多用于市政水网管道检测，综合调研各类市政水网管道检测机器人，基本具备 30° 的爬坡能力，因此本标准定义的机器人最小爬坡角度为 30° 。

试验方法中，通过标准中的图 5 a) 搭建机器人爬坡测试管道，测试机器人的爬坡能力

3) 爬坡高度

各类管道均存在需要 90° 爬坡的场景，例如炼化企业内的工业管道。具备 90° 爬坡能力的机器人，在垂直爬升的过程中，负载的增加主要来源于线缆的重量增加(内部供电式不存在此问题)，现有应用场景中，较少存在超过 20m 的垂直爬升距离，因

此为了考虑试验平台的搭建可行性，本标准规定机器人爬坡高度不小于 5m，具备该能力的机器人，几乎均能克服十余米线缆的自重与摩擦阻力，爬升到 20m 的高度，足以满足 90% 以上的应用场景。

试验方法中，通过标准中的图 5 b) 搭建机器人爬坡测试管道，测试机器人的 90° 爬坡能力。

4) 单次作业最大里程

不同的管道对于检测里程具有不同的要求：

采用内部供电的机器人，需满足远距离检测的需求，机器人续航受用电设备功耗、电池包容量、设备重量等因素影响，小口径设备的影响最大，搭载电池包的空间小，综合考虑市面的小口径标准电机功耗、扭矩、转速，电池容量等因素，本标准规定内部供电式机器人作业最大里程不小于 1km。

采用外部供电和复合供电的机器人，主要行驶距离的限制为通讯线缆长度，目前市面上存在许多使用网线进行图像传输的机器人，网线的图像有效传输距离为 100m，因此本标准规定采用外部供电和复合供电的机器人作业最大里程不小于 100m。

试验方法中，通过标准中的图 4 搭建环形测试管道，测试机器人单次作业最大里程。

5) 通行能力

机器人应能通过管道的一些常规管体特征，并且对一定程度的结构变形具有自适应能力。

通行口：本标准在试验方法中规定了三种通行口，首先所有的机器人都应该能够通过标准管道通行口与法兰通行口。其次针对在役不停输管道内检测工况，机器人应能通过收发装置完整进出管道，确保具备在役不停输检测能力。

弯头：弯头是管道最常见且影响机器人通过性的结构，不同行业对弯头的定义具有差异，由于弯头最影响伸缩径型与仿生型机器人的通行能力，故选取上述两种结构类型机器人应用较多的钢质对焊管道，按照 GB/T 12459—2017 中定义 90° 管道弯头为参考依据。此外，根据常用的弯曲半径指标来评判机器人的通过性能，主要依据为各类型管道不同口径下，1.5D、3D 与 6D 弯头的建设比例，形成如下指标：

- a) 管径 \leq DN500mm：可通过弯曲半径 1.5D 的弯头，D 为管道外径；
- b) DN500mm < 管径 \leq DN1200mm：可通过弯曲半径 3D 的弯头；
- c) 管径 > DN1200mm：可通过弯曲半径 6D 的弯头。

直管段变形：管道受地质沉降、施工等第三方破坏，管体会产生形变导致通行空间受阻，影响机器人通过性能，因此本标准根据不同规格的管道，规定了机器人在变形直管段的通过能力：

- a) 管径 \leq DN200mm： \geq 5%D；
- b) 管径 > DN200mm： \geq 10%D。

2.2.5 检测能力确定依据

机器人通过搭载不同的检测设备实现对管道本体缺陷的隐

患排查，主要技术包括光学、电磁、声学及惯性检测，各方向均有许多类型的传感技术。不同设备适用的功能、检测方式、灵敏度、精度均不一致，且管道应用场景、管材、失效模式区别很大，难以统一界定一个检测能力基线。本标准是机器人通用技术规范，不对光学检测、电磁检测与声学检测不做强制性的检测能力限制，但要求所搭载的设备需满足现场使用要求，并且对于电磁、声学检测，给出了传感器性能的参照标准：NB/T 47013。此外，对于惯性检测，长距离管道检测的需求更多，因此定位精度与试验方法均参照 GB/T 27699。

2.2.6 机械安全确定依据

本标准在机械安全方面首先规定了环境友好的内容，用于保护被测管道和使用人员的安全。其次针对易爆环境、腐蚀环境与耐压环境，分别规定了相关的机械安全要求，并结合 GB/T 13813—2023、GB/T 14093.4—2009 与 GB/T 43849 等标准分别给出了对应的试验方法。最后规定了一种应急处置方法，并给出了外部供电与复合供电式机器人的试验方法。

2.2.7 电气安全确定依据

本标准首先对供电电源与电源开关做出了安全要求，明确要求供电电源应采用端子引入电子舱；外部供电式机器人宜使用交流电源供电，降低长距离电力传输的热损耗；由于管道为受限空间，因此内部供电式机器人的电源电压宜不大于 48V，对于有特殊要求场景的应满足其供电要求；应设置电源切断开关功能，电

源开关应有“断开”和“接通”清晰标记。采用 GB/T 5226.1—2019 中 4.3.2、4.3.3 或 4.3.4 规定的电源条件进行试验。对于环境条件超出范围的情形，由用户与制造商按合同协商确定。

电气保护要求中，短路保护和过热保护均是要求机器人电子包能够在发生短路与元器件过热的情况后，迅速切断电源，一方面保护电路，另一方面可以防止电路引燃发生燃爆事故等。试验方法根据自驱式管道内检测机器人实际应用情况与相关的电气保护标准，制定了如下试验方法：

短路保护试验：短路保护试验采用电子负载模拟短路条件。使用电子负载接入机器人电子包开关电源中，将电子负载短接后检查被测开关电源是否能够迅速切断输出电流，成功则通过试验。

过热保护试验：过热保护试验采用温箱，将机器人电子包置于温箱中，从 40℃开始不断升高箱内温度，每次提升 2℃并静置保持 10 分钟，当箱内温度超过预设温度时，检查温度保护电路是否自动断开电源，重复 10 次，成功 8 次则通过试验。

注：预设温度由用户与制造商按合同协商确定。

2.2.8 环境适用性确定依据

本标准针对常见的管道内检测场景提出了环境适应性要求，包括温度使用范围、湿度条件、防尘防水防护等级、防爆要求、振动适应性，上述要求应该按照下述方法进行试验：

- a) 温度下限试验，按照 GB/T 2423.1—2008 中的规定进行。
- 温度上限试验，按照 GB/T 2423.2—2008 中的规定进行；

- b) 湿热环境试验按照 GB/T 2423.3—2016 规定进行;
- c) 防尘防水试验按照 GB/T 4208—2017 中 13.4、14.2.4 规定进行;
- d) 防爆试验按照 GB 3836.1—2021 中的规定进行,有特殊要求的按照合同约定;
- e) 振动试验应符合 GB/T 2423.10—2019 的规定。试验开始前对受试机器人进行外观、结构和功能检查。受试机器人按照使用或运输安装姿态固定在振动台面上。受试机器人在不工作状态下,按照频率 5 Hz ~ 55 Hz、位移幅值 0.15 mm 的正弦振动、不大于 1 oct/min 的扫频速率以及 2 次扫频循环数的条件,分别对三个互相垂直轴线方向进行振动。试验结束后外观、结构和功能正常则通过试验。

2.2.9 稳定性要求确定依据

本标准对机器人提出了负载稳定性与数据稳定性要求,负载稳定性要求机器人能够在额定负载的情况下正常工作,即在规定的速度和加速度条件下,沿着管道运行方向,机器人机械接口或移动平台正常工作。

数据稳定性则是要求机器人能够在断电、缺电的情况下,正常存储过往检测数据,减小事故损失。按照 GB/T 5226.1—2019 第 9.4.3.2 节规定的试验方法模拟机器人断电与缺电试验,试验后确认数据是否完整。

4. 综述报告及预期经济效果

国家标准《自驱式管道内检测机器人通用技术规范》在管道智能隐患排查科技发展中，可以规范和保障自驱式管道内检测装备的实用性和有效性，为自驱式管道内检测机器人的设计、制造、检验提供科学、合理和先进指导，推进自驱式管道内检测机器人的研发、成果转化和应用推广，促进我国管道检测装备的高质量发展，增加管道高端装备的有效供给，减少管道事故为运维企业与人民群众带来的损失，具有重要的经济和社会效益。

5. 标准水平

目前，现有与机器人具有一定相关性的国际标准化组织，如 ISO 中的 TC84/SC2、IEC 中的 TC59 与 TC61、IEEE-RAS/MDR 工作组等，目前均未涉及自驱式管道内检测机器人相关标准内容，国内相关组织也未有相关标准制修订工作。本标准为国内与国际首次制定，可以统一自驱式管道内检测机器人系统设计标准，完善机器人系统功能，规范技术指标要求，推动相关技术及装备的推广应用与产业化发展，为各类管道本质安全提升技术支撑。国内尚未颁布自驱式管道内检测机器人相关的国家标准和地方标准，在国家标准服务网上仅检索到 3 项特种环境下应用的特种机器人国家公共安全行业标准：GA 892.1—2010《消防机器人第 1 部分：通用技术标准》为强制性标准，明确了消防机器人的整体结构和功能，保证其在进入灾害现场进行各类作业时的安全性、可靠性，最大限度代替人员操作，避免因火灾、爆炸、坍塌或有毒有害气体泄露所造成的人员伤亡；GA/T 142—1996《排爆机器

人通用技术标准》规定了排爆机器人的通用技术条件，指导排爆机器人的设计、制造和检验；GB/T 37703—2019《地面废墟搜救机器人通用技术条件》规定了地面废墟搜救机器人的通用技术条件，指导地面废墟搜救机器人的设计、制造和检验。

管道内检测方面，油气管道相关标准较为完善，国际上有美国石油学会标准 API Std 1163—2013《In-line Inspection Systems Qualification》，国内有GB/T 27699—2023《钢质管道内检测技术规范》、SY/T 6597—2018《油气管道内检测技术规范》、NB/T 10616—2021《清管器收发装置》等，但现行国际、国家、行业标准等均针对油气管道介质驱动内检测器的技术规范、检测工艺规范。目前无现行针对管道内检测机器人本体的特种设备用机器人标准，无现行针对自驱式管道内检测机器人及检测技术规范的标准，现有标准无法覆盖无介质运行或中低压排量等不具备介质驱动内检测条件的工况。

本标准面向自驱式管道内检测机器人，具有广泛的适用场景，是国际上首个用于管道自驱式内检测的特种机器人通用标准。标准编写过程中，部分技术指标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。

6. 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与现行法律、法规及标准协调一致。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。

7. 重大分歧意见的处理经过和依据

无

8. 标准性质的建议说明

建议本标准作为推荐性国家。

9. 贯彻国标的要求和措施建议

(1) 标准发布后，应组织对实施标准的单位和技术人员进行宣贯培训；

(2) 主管部门对标准的实施情况进行检查，发现问题及时反馈，确保本标准的贯彻实施。

(3) 在本标准使用过程中，需要实施单位积累经验，及时向标准起草单位反馈意见，起草单位根据反馈意见和相关技术进展等情况对标准进行不断修订和完善。

建议标准自发布后 6 个月实施。

本标准是设计、制造、检验自驱式管道内检测机器人的基础依据，国内外尚属首次。建议及时在有关信息媒体上公开宣传，引起救援有关部门领导和部门的重视。

依据本标准，可规范自驱式管道内检测机器人的采购，推动相关企业、科研院所，以及有使用需求的部门主动的购买，并结合本企业需求学习研究、贯彻实施标准。

本标准将在实施的过程中总结经验，持续改进和完善。

10. 废止现行有关标准的建议

无

11. 其他应予说明的事项

本标准不涉及知识产权。

《自驱式管道内检测机器人通用技术条件》

标准编制工作组