

智能机器人智能化等级评价规范

Specification for intelligent level evaluation of intelligent robots

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 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 机器人智能化信息模型 4

5 机器人智能化要素 5

6 机器人智能化等级 9

7 机器人智能化等级判断依据 11

8 机器人及系统智能化评价程序 12

9 机器人及系统智能化等级应用 17

附 录 A （规范性） 子要素、要素名称及代号..... 18

附 录 B （资料性） 子要素智能化等级判断具体规则及示例..... 20

附 录 C （资料性） 要素智能化等级判断具体规则及示例..... 23

附 录 D （规范性） 智能项目识别..... 28

附 录 E （规范性） 项目测试标准依据..... 30

参 考 文 献 31

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。

本文件由上海市经济和信息化委员会提出。

本文件由上海市人工智能标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

智能机器人智能化等级评价规范

1 范围

本文件规定了智能机器人智能化信息模型、智能化要素、智能化等级、智能化等级判断依据、智能化评价程序及智能化等级应用的要求。

本文件适用于工业机器人、服务机器人、特种机器人及系统的智能化等级的测试和评价。

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 12642—2013 工业机器人性能规范及其试验方法

GB/T 12643—2013 机器人与机器人装备 词汇

GB/T 20438.3—2017 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第3部分：软件要求

GB/T 25000.51—2016 系统与软件工程 系统与软件质量要求和评价（SQuaRE）第51部分：就绪可用软件产品（RUSP）的质量要求和测试细则

GB/T 29836.2—2013 系统与软件易用性 第2部分：度量方法

GB/T 34943—2017 C/C++语言源代码测试漏洞规范

GB/T 34975—2017 信息安全技术 移动智能终端应用软件 安全技术要求和测试评价方法

GB/T 36464.2—2018 信息技术 智能语音交互系统 第2部分：智能家居

GB/T 38124—2019 服务机器人性能测试方法

GB/T 38260—2019 服务机器人功能安全评估

GB/T 38559—2020 工业机器人力控制技术规范

GB/T 38834—2020 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法

GB/T 40209—2021 制造装备集成信息模型通用建模规则

3 术语和定义

GB/T 12643—2013、GB/T 40209—2021界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能 intelligence

具有人类或类似人类智慧特征的能力。

注：人类或类似人类的智慧特征，表现为在实现某个目的的过程中，总会经历一个或多个的感知、决策、执行的过程或过程循环。并在其中通过不断学习，提高自身实现目的的能力和实现目的的效率与效果；本文件认为，在体现人类或类似人类的智慧特征上，感知、决策、执行和在其中的学习的各项能力和过程具有不可或缺性。

[来源：GB/T 28219—2018，3.1]

3.2

伦理 ethic

约束和指导人类行为的共同理解原则。

[来源：BS 8611:2016, 3.5]

3.3

信息模型 information model

对给定的制造装备信息资源进行定义、描述和关联的组织框架。

注：改写 IEC/TR 62541-1:2020, 定义 3.2.15。

3.4

机器人智能化信息模型 intelligent information model of robot

对机器人智能化信息资源,包括要素集以及它们之间的关系集,进行定义、描述和关联的组织框架。

3.5

感知 perception

通过各种传感技术获取信息并处理使机器人具备识别判断自身及周边环境的状态的能力。

[来源：GB/T 36239—2018, 2.2.1]

3.6

触觉 tactile sense

机器人通过直接接触感知物体受力分布、形状、纹理、滑动和温湿度等的的能力。

[来源：GB/T 36239—2018, 2.2.3, 有修改]

3.7

力觉 force sense

感知机器人与物体之间相互作用力的能力。

[来源：GB/T 36239—2018, 2.2.4]

3.8

嗅觉 olfaction

机器人感知和分辨气态物质成分或鉴别香臭等气味的能力。

[来源：GB/T 36239—2018, 2.2.6, 有修改]

3.9

味觉 taste

机器人感知和分辨固态、液态和气态物质成分或鉴别酸甜苦辣等味道的能力。

[来源：GB/T 36239—2018, 2.2.7, 有修改]

3.10

认知 cognition

机器人利用多传感信息进行建模、推理、规划、学习和理解的能力。

[来源：GB/T 36239—2018, 2.6.2, 有修改]

3.11

决策 decision-making

机器人通过建立领域专家知识库问题求解子系统和机器学习等方法，完成特定任务解决方案的能力。

[来源：GB/T 36239—2018，2.6.1，有修改]

3.12

情感 affect

用户对感知信息产生的主观感觉所产生的反应。

注1：情感是多种感觉、思想和行为综合产生的心理和生理状态。

注2：情感产生于内部动机和外部环境刺激。

注3：情感有三个成分：主观体验、外部表现和生理唤醒。

注4：情感有四个特性：通用特性、文化特性、个体特性与情境特性。

注5：情感可以描述用户的情绪、倾向、喜好、个性等。

[来源：GB/T 40691—2021，3.1]

3.13

自主性 autonomy

能够在没有外部干预、控制或监督的情况下修改其运行域或目标的能力。

[来源：ISO/IEC 22989:2021，3.1.5]

3.14

可信任性 trustworthiness

能够以可验证的方式，符合利益相关方和人类的伦理要求。

[来源：ISO/IEC 22989:2021，3.4.16，有修改]

3.15

人-机器人交互 human-robot interaction

HRI

人和机器人通过用户接口交流信息和动作来执行任务。

示例：通过语音、视觉和触觉等方式交流。

注：为避免混淆的可能，建议在描述用户接口时不要使用缩写“HRI”表示人-机器人接口。

[来源：GB/T 12643—2013，2.29]

3.16

任务规划 task planning

机器人通过生成由子任务和运动组成的任务序列来解决要完成的任务的过程。

注：任务规划包括自主生成和用户生成。

[来源：GB/T 12643—2013，7.10，有修改]

3.17

运动规划 motion planning

按照所选插补类型，机器人的控制程序确定用户编程的各指令位姿间机械结构各关节如何运动的过程。

[来源：GB/T 12643—2013，5.3.8]

3.18

轨迹规划 trajectory planning

根据作业任务要求,计算出操作机或移动平台预期的运动轨迹。

[来源: GB/T 36239—2018, 2.3.4]

4 机器人智能化信息模型

4.1 机器人智能化信息模型是对机器人感知、认知、决策、执行、交互 5 个方面进行描述，规定其基本属性和相互关系的一种表现形式。采用模型图形式表示，见图 1。



图1 智能化信息模型图

4.2 基于模型图以及机器人智能化技术形成机器人智能化信息模型要素分析表，见表 1，其中测试项目可用于智能机器人要素智能化等级评价。

表1 机器人智能化信息模型要素分析表

序号	要素	子要素	测试项目
1	感知	视觉	人脸识别、字符识别、图像识别、定位测距
2		听觉	声源定位、语音识别
3		触觉	压觉、力觉、冷热觉
4		嗅觉	对于气味的识别
5		其他	环境感知、味觉
6	认知	建模	激光建图、视觉建图、语义建图、知识库构建
7		理解	语义理解、多轮语义理解、多轮对话理解、情感理解、多模态意图理解
8		推理	偏好推荐、知识推理
9	决策	规划	任务规划、动作规划、路径规划、不确定环境下的运动规划
10		优化	自适应标定技术、可强化的物体操纵技术、机器学习技术、知识库扩充
11	执行	运动执行	移动能力
12		操作执行	操作能力
13	交互	人机交互	语音交互、表情交互、文字交互、肢体语言交互、界面交互、多模态交互
14		操作交互	操作交互
15		多机交互	多机交互
注：上述测试项目是基于目前技术现状，后续根据技术发展会出现新的测试项目。			

5 机器人智能化要素

5.1 感知

5.1.1 基本要求

机器人感知包括：

- 视觉；
- 听觉；
- 触觉；
- 嗅觉。

注：基于目前机器人技术的发展阶段，本文件中机器人感知暂不考虑其他子要素。

5.1.2 视觉

视觉是指机器人将景物的光信号转换成电信号的过程，包括对目标进行识别、跟踪和测量，典型的视觉包括：

a) 人脸识别包括人脸检测、人脸跟踪和人脸比对。人脸检测是指在动态的场景和复杂背景中辨别出人脸。人脸跟踪指对被检测到的人脸进行动态跟踪。人脸比对指对被检测到的人脸进行身份确认或在人脸数据库中进行目标匹配。依据现有标准，人脸识别功能主要包括人脸验证和人脸辨识。人脸验证是将样本特征序列与注册的模板特征序列进行比对，确定两张人脸是否为同一

个。人脸识别将样本特征序列与一定范围内的已登记模板特征序列进行比对，根据比对得分进行排序，找出最为相似的已登记模板特征序列，从而确认用户身份；

- b) 字符识别包括文字信息采集、信息分析与处理、信息分类判别，通常使用的方法为模板匹配法、几何特征抽取法、深度学习法；
- c) 图像识别是指利用计算机对图像进行处理、分析和理解，以识别各种不同模式的目标和对象的技术；
- d) 定位测距主要包括图像采集、图像定位、特征提取、尺寸计算、输出结果等步骤。测距手段包括激光、红外、雷达、超声等。

5.1.3 听觉

机器人听觉包括：

- a) 声源定位指使用收音设备阵列采集声源信号，采用多道声音信号处理方法，确定一个或多个声源的平面或空间坐标；
- b) 语音识别是通过识别和理解过程把语音信号转变为相应的文本或命令的技术。主要包括特征提取技术、模式匹配准则及模型训练技术；
- c) 声纹识别是通过声音判别声音发出者身份的技术，主要包括发声源辨认和发声对象确认两种技术。

5.1.4 触觉

5.1.4.1 机器人触觉包括压觉和力觉、冷热觉的敏感性。

5.1.4.2 采集传感器与物体的接触的力或温度，经过触觉感知模型输出结果，将结果与预期值进行比较。

5.1.5 嗅觉

5.1.5.1 机器人嗅觉指各种气味的检测、分析和鉴别。

5.1.5.2 机器人嗅觉传感器阵列吸附气味分子，生成、处理并传输电信号，并将处理后的信号与预期值进行比较。

5.1.6 其他感知

机器人其他感知包括但不限于：

- a) 环境感知：如温度、PM2.5 等；
- b) 味觉。

5.2 认知

5.2.1 基本要求

机器人认知包括：

- 建模；
- 理解；
- 推理。

5.2.2 建模

机器人认知建模是通过对机器人获得的一系列带有误差和不确定性的历史感知信息与自身状态反馈数据进行分析、汇总、归纳，形成不确定性的时序数据，并将该数据转化为机器人内部表示的过程。机器人的认知建模技术包括激光建图、视觉建图、语义建图、知识库构建：

- a) 激光建图指机器人基于历史激光数据及激光传感器新获得的数据，通过数据融合，构建包含环境障碍物信息的环境模型的过程；
- b) 视觉建图指机器人根据视觉历史数据，构建包含环境信息的环境模型的过程；
- c) 语义建图指机器人根据感知信息，构建包含环境中的物体、人以及它们的关系的语义模型的过程；
- d) 知识库构建指机器人针对现有技术、数据、信息等，进行分析汇总归纳，为问题解决提供方案方法及数据支撑的过程。

5.2.3 理解

机器人认知理解包括语义理解、多轮语义理解、多轮对话理解、情感理解及多模态意图理解：

- a) 语义理解指根据文本提取语义的能力；
- b) 多轮语义理解指基于多轮文本内容，获得上下文相关性、指代、省略等的语义的理解能力；
- c) 多轮对话理解指基于具有歧义的上下文和选择提问方式，可主动获取更精确语义的能力；
- d) 情感理解指基于语音或图像感知，能够识别用户的情感的能力；
- e) 多模态意图理解指除了最为普遍的文字以外，对图片、视频、音频等多模态的数据辅助的理解能力。

5.2.4 推理

机器人认知推理指根据已有的认知模型和知识库，获得不包含在原知识库内的新知识的能力，包括偏好推荐、知识推理：

- a) 偏好推荐指根据已有的用户行为和信息，利用用户的行为信息对其偏好进行建模，向用户推荐其可能感兴趣事物的能力；
- b) 知识推理指模拟人类的智能推理方式，依据推理控制策略，利用形式化的知识进行机器思维和求解问题的能力。

5.3 决策

5.3.1 基本要求

机器人决策包括规划和优化。

5.3.2 规划

机器人规划是指在特定时域、操作域和约束域中，机器人基于认知，自动生成从初始状态到目标状态的执行序列的能力和监督或调整已知规划的实际执行序列的能力。包括任务规划、动作规划、路径规划及不确定环境下的运动：

- a) 任务规划指在工作域约束条件下，机器人根据认知自动生成初始状态到目标状态任务序列的过程。任务规划也包含执行过程中对任务完成与否进行监督与调整的能力；
- b) 动作规划指在工作域约束条件下，机器人根据认知自动生成初始状态到目标状态的执行器运动指令序列的过程。动作规划也包含并在执行过程中对指令执行状态进行监督与调整的能力；

- c) 路径规划指在工作域约束条件下，机器人根据认知自动生成初始状态到目标状态的运动路径序列的过程。路径规划也包含在执行过程中对运动路径状态进行监督与调整的能力；
- d) 不确定环境下的运动规划指在工作域约束条件下，机器人根据不确定的认知，自动生成初始状态到目标状态的运动序列的过程，不确定环境下的运动规划也包含对环境进行有针对性的主动感知，最后到达目标状态的能力。

5.3.3 优化

机器人优化是指在运行过程中，根据环境、用户和机器人执行结果等反馈数据，机器人自主地对自身算法进行优化，使得自身性能获得提升的能力，包括自适应标定技术、可强化的物体操纵技术、机器学习技术、知识库扩充、语音合成等。

5.4 执行

5.4.1 基本要求

机器人执行包括运动执行和操作执行。

5.4.2 运动执行

机器人运动执行主要为机器人的移动能力，包括建图性能、导航性能、定位性能等。

5.4.3 操作执行

机器人运动执行主要为机器人的操作能力，包括机器人的运动精度和力控精度，如工业机器人的位姿精度、协作机器人的力控精度等。

5.5 交互

5.5.1 基本要求

机器人的交互是指人与机器人之间使用某种信息传递协议，通过一定的交互方式，完成确定任务的信息交换过程。包括人机交互、操作交互、多机交互。

5.5.2 人机交互

机器人人机交互包括但不限于：

- a) 语音交互指机器人与人通过语音进行交互；
- b) 表情交互指机器人与人通过面部表情进行交互；
- c) 文字交互指机器人与人通过文字符号进行交互；
- d) 肢体语言交互指机器人与人通过肢体动作与姿态进行交互；
- e) 界面交互指机器人与人通过操作界面进行交互；
- f) 多模态交互指机器人与人之间通过多种协议同时进行交互；

5.5.3 操作交互

操作交互指机器人与人之间通过拖动示教等进行交互。

5.5.4 多机交互

多机交互指机器人与机器人之间通过多种协议同时进行数据交互。

6 机器人智能化等级

6.1 基本要求

6.1.1 智能化等级类型

- 机器人智能化等级类型分为要素智能化等级、综合通用智能化等级、综合场景智能化等级3类：
- a) **要素智能化等级：**对智能化信息模型中规定的单项要素进行评价，获得对应要素的智能化等级；
 - b) **综合通用智能化等级：**依据智能化信息模型中全要素的智能化等级，综合评价得到综合通用型的智能化等级；
 - c) **综合场景智能化等级：**依据智能化信息模型中全要素的智能化等级及机器人典型应用场景的各要素的不同侧重要求，得到特定场景或任务下机器人的智能化等级。

6.1.2 智能化等级分类

机器人要素智能化等级、综合通用智能化等级、综合场景智能化等级根据智能化程度不同从低到高划分为1级～5级，分类见表2。

表2 智能化等级分类

类型	评价范围		等级分类
要素	要素智能化	感知能力	SL1、SL2、SL3、SL4、SL5
		认知能力	RL1、RL2、RL3、RL4、RL5
		决策能力	DL1、DL2、DL3、DL4、DL5
		执行能力	EL1、EL2、EL3、EL4、EL5
		交互能力	IL1、IL2、IL3、IL4、IL5
综合	综合通用智能化		L1、L2、L3、L4、L5
	综合场景智能化		xL1、xL2、xL3、xL4、xL5 x：表示对应的应用场景
注1：感知能力等级：Senses Level，以下简称（SL）。 注2：认知能力等级：Recognition Level，以下简称（RL）。 注3：决策能力等级：Decision-making Level，以下简称（DL）。 注4：执行能力等级：Execution Level，以下简称（EL）。 注5：交互能力等级：Interactive Level，以下简称（IL）。			

6.2 要素智能化等级

- 6.2.1 要素智能化等级包括感知、认知、决策、执行、交互 5 个要素的智能化等级。
- 6.2.2 开展测评时，可结合当前测试手段，将要素合并测试。

示例：例如根据机器人现有技术特点及测试技术现状，将认知要素与决策要素合并测试，综合表达认知决策要素的智能化等级（RDL1～RDL5）。

6.3 综合通用智能化等级

6.3.1 综合通用智能化评价是针对机器人的通用智能化进行测试及评价。机器人通用智能化等级的分级主要基于机器人综合能力的评级，从感知、执行、交互、决策和认知 5 个方面，对机器人的智能等级进行评价，该评级不对机器人智能化单项要素进行评价，只对机器人智能化综合能力进行评级。机器人综合通用智能化等级从低到高主要分为 L1 级~L5 级：

- a) L1 级：具备感知功能及部分执行功能、部分交互功能；
- b) L2 级：具备感知功能和执行功能、交互功能；
- c) L3 级：具备感知功能、执行功能、交互功能和部分决策功能；
- d) L4 级：具备感知功能、执行功能、交互功能和决策功能；
- e) L5 级：具备感知功能、执行功能、交互功能、决策功能和认知功能。

6.3.2 开展测评时，可结合当前测试手段，将要素合并测试。

示例：将认知要素与决策要素合并测试，综合表达决策要素的智能化等级。

6.3.3 针对具有认知或决策功能的机器人（等级为 L3 级~L5 级），机器人不应存在伦理问题。

6.4 综合场景智能化等级

6.4.1 不同应用场景下机器人的侧重要素不同，为了更合理的判断其智能化程度，划分出不同场景中要素的等级要求，根据机器人的功能分配出各子要素的等级要求，子要素的等级划分优先参考相关产品应用的智能化标准，无相关标准的情况下参考 6.1.2。

6.4.2 开展测评时，可结合当前测试手段，将要素合并测试。

示例：将认知要素与决策要素合并测试，综合表达决策要素的智能化等级。

6.4.3 不同应用场景使用的机器人均不应存在伦理问题。

6.5 智能化等级表达

机器人智能化等级表达应采用雷达图的形式。机器人智能化等级表达包括综合通用智能化雷达图、综合场景智能化雷达图和要素智能化雷达图。

示例1：综合通用智能化等级表达为综合通用智能化雷达图。例如机器人的感知能力达到 SL3，认知能力达到 RL1，决策能力达到 DL1，执行能力达到 EL3，交互能力达到 IL3，综合通用智能化等级为 L3。形成的雷达图见图 2。

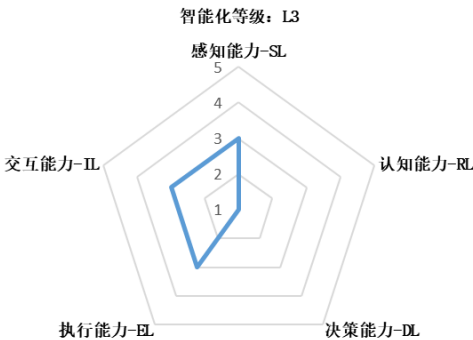


图2 机器人综合通用智能化雷达示意图

示例2：要素智能化等级表达为要素智能化雷达图。例如机器人 A 的感知能力达到 SL4，认知能力达到 RL4，决策能力达到 DL3，执行能力达到 EL1、交互能力达到 IL1；机器人 B 的感知能力达到 SL5，认知能力达到 RL2，决策能力达到 DL4，执行能力达到 EL3、交互能力达到 IL3。形成的雷达图见图 3。

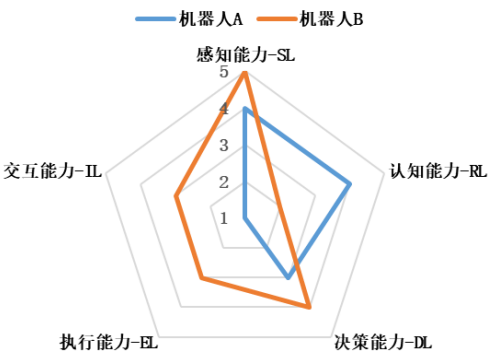


图3 机器人要素智能化雷达示意图

示例3：综合场景智能化等级表达为综合场景智能化雷达图。例如机器人 A 的感知能力达到 SL3、认知能力达到 RL5、决策能力达到 DL5、执行能力达到 EL4、交互能力达到 IL4；机器人 B 的感知能力达到 SL2、认知能力达到 RL4、决策能力达到 DL4、执行能力达到 EL4、交互能力达到 IL4。形成的雷达图见图 4。

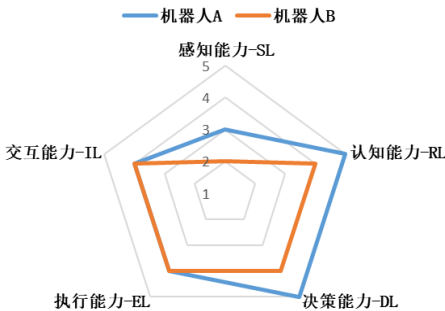


图4 机器人综合场景智能化雷达示意图

7 机器人智能化等级判断依据

7.1 子要素智能化等级判断依据

7.1.1 子要素智能化等级判断规则包括：

- a) 该子要素中的任一智能项目达到同等级，则该子要素的智能化等级达到 x 等级；
- b) 该子要素中的智能项目有 2 项及以上达到 x-1 等级，则该子要素的智能化等级达到 x 等级。

注：其中，x代表智能项目等级，范围为1~5。

7.1.2 各子要素智能化等级名称及代号见附录 A，子要素智能化等级判断的具体规则及示例可参考附录 B。

7.2 要素智能化等级判断依据

7.2.1 要素智能化等级包括 SLx（感知）、RLx（认知）、DLx（决策）、ELx（执行）、ILx(交互)，其中，x 代表智能化等级，范围为 1~5。各要素的智能化等级高低代表各要素的智能程度，要素智能化等级判断规则包括：

- a) 该要素中的任一子要素智能化等级达到同等级，则该要素的智能化等级达到 x 等级；

b) 该要素中的任一子要素智能化等级有 2 项及以上达到 x-1 等级，则该要素的智能化等级达到 x 等级。

7.2.2 各要素智能化等级名称及代号见附录 A，要素智能化等级判断的具体规则及示例可参考附录 C。

7.3 综合通用智能化等级判断依据

综合通用智能化等级从低到高分为1级~5级(见6.3.1)，综合通用智能化等级应基于7.2进行评价，等级判断的具体规则见表3。

表3 通用智能化等级判断依据

等级	判断依据				
	感知	交互	执行	决策	认知
L1	有	部分有	部分有	无	无
L2	有	有	有	无	无
L3	有	有	有	部分有	无
L4	有	有	有	有	无
L5	有	有	有	有	有
注：“有”是指具备此功能且达到对应的等级；“部分有”是指具备此功能但未达到对应的等级；“无”是指不做要求。如：等级L3中的“感知”应不小于L3，“执行”应不小于L3，“交互”应不小于L3，“决策”应具备此功能但无需达到L3等级。					

7.4 综合场景智能化等级判断依据

7.4.1 综合场景智能化等级判断规则为基于机器人在不同应用场景对各要素的侧重要求不同，进而划分出的不同场景中要素的等级要求，同时根据机器人的功能分配出各子要素的等级要求，得到特定场景或任务下机器人的智能化等级。子要素的等级划分优先参考相关的智能化技术文件，否则参考附录 B。

7.4.2 综合场景智能化等级从低到高分为 1 级~5 级，无相关标准的情况下，与 7.3 评价等级相同。

8 机器人及系统智能化评价程序

8.1 测试准备

8.1.1 被测样品

应提供产品执行其功能的所有整机及其附件。

8.1.2 技术资料

应提供机器人及系统的使用说明、智能特性功能说明，其中机器人及系统智能特性说明应至少包括以下内容：

- a) 机器人及系统所具有的智能特性及该智能特性的表现方式和测试需要；
- b) 为实现该智能等级，所采用的智能技术和智能算法、智能控制及系统结构。

8.1.3 测试环境

机器人及系统智能化评价测试主要包括质量安全测试、算法测试和执行测试，其测试环境如下所示：

- a) 质量安全测试的测试环境主要为实验室测试；
- b) 算法测试的测试环境主要为数据集测试和仿真环境测试；
- c) 执行测试的测试环境主要为实验室测试及现场环境测试。

注：实验室测试是指利用专门的物理测试场地对机器人进行测试；数据集测试是指面向机器人系统中实现智能化功能的算法进行测试；仿真环境测试是指利用虚拟仿真环境对机器人系统进行测试；现场环境测试是指在机器人真实使用场景中进行测试。

8.2 测试要求

8.2.1 基本要求

8.2.1.1 机器人及系统智能化评价是基于特定的目标对机器人智能化信息模型中的项目进行测试，获得子要素、要素、综合智能化等级，以达到表达机器人及系统智能化程度的目的。

8.2.1.2 测试的数据处理应具有可复现性，测试的指标与结果应可量化，测试的过程与结果应具有易监督性。

8.2.1.3 对机器人及系统智能化特性的定量测试及评价，应优先参考特定项目的检测评定标准。

8.2.1.4 受限于产业发展阶段及测试技术现状，部分检测项目可采用黑盒测试的方式来综合表达，例如针对认知要素的测试，可通过建图、语音、视觉的结果来综合表达各自的建模、理解、推理各子要素。

8.2.1.5 在没有标准的情况，由测评机构与制造商共同制定测评方案，测评方案一经制定，在实施过程中不能修改。

8.2.2 量化形式

为使测试具体明确，应采用量化分级的方法来量化测试内容和指标：

- a) 对机器人及系统智能化测评中各要素的子要素的测试项目进行量化测试；
- b) 综合分析量化测试结果，确定子要素的智能化等级；
- c) 综合分析子要素的智能化等级结果，确定要素的智能化等级；
- d) 综合分析要素的智能化等级，确定综合通用类机器人的智能化等级。

8.3 测试流程

8.3.1 基本要求

机器人及系统认知、决策的能力通常通过软件来实现，为保证机器人及系统智能化的安全，应依据 GB/T 25000.51 进行测试，机器人的软件质量（可靠性、信息安全性、抗风险性等）对机器人的智能化至关重要，在开展机器人智能化测评前，应开展相关的软件测评。

8.3.2 综合通用智能化等级测试流程

8.3.2.1 综合通用智能化等级测试流程宜按下列步骤开展：

- a) **步骤 1：智能项目的识别。**依据客户宣称（通常为说明书中宣称）的智能化功能，参照附录 D，选取待测试的智能项目；
- b) **步骤 2：基础测试。**宜按照 GB/T 25000.51、GB/T 20438.3、GB/T 34943 及 GB/T 34975 的要求进行基础测试，项目测试标准见附录 E；

- c) **步骤 3：项目测试。**依据附录 E 中的项目测试标准，对步骤 1 中识别的智能化项目开展测试，并形成各项目的智能化等级；
 - d) **步骤 4：子要素等级形成。**参见附录 B，根据步骤 3 得到的各项目智能化等级，获得子要素智能化等级；
 - e) **步骤 5：要素等级形成。**参见 6.2，根据步骤 4 得到的子要素智能化等级，获得要素智能化等级；
 - f) **步骤 6：综合智能化等级形成。**参见 6.3、6.4，根据步骤 5 得到的要素智能化等级，获得综合智能化等级；
 - g) **步骤 7：报告输出。**报告中的数据及等级表达可通过人工获得或测试系统自动生成。
- 8.3.2.2 综合通用智能化等级测试流程图见图 5。

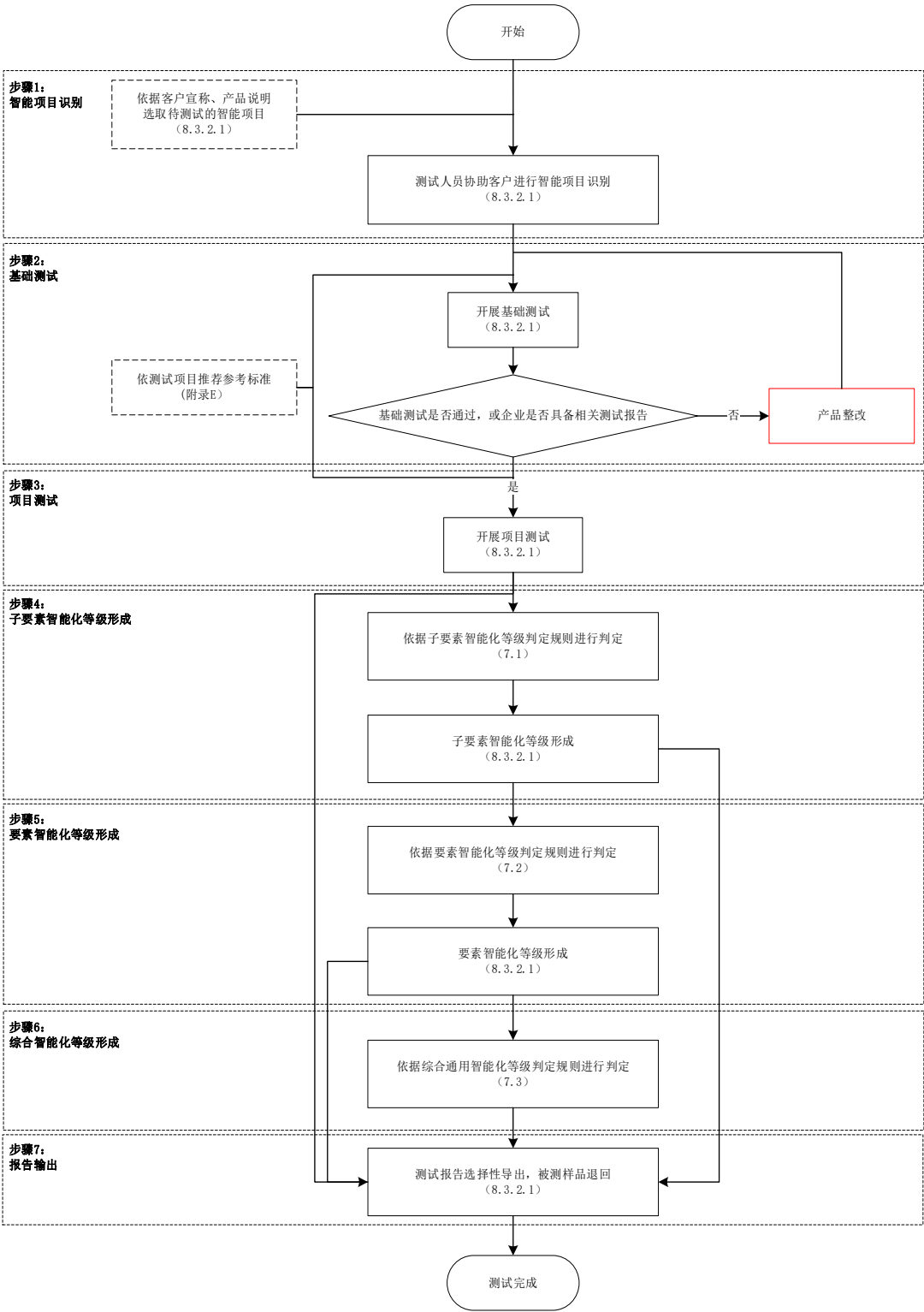


图5 综合通用测试流程图

8.3.3 综合场景智能化等级测试流程

综合场景智能化等级测试流程图见图6。

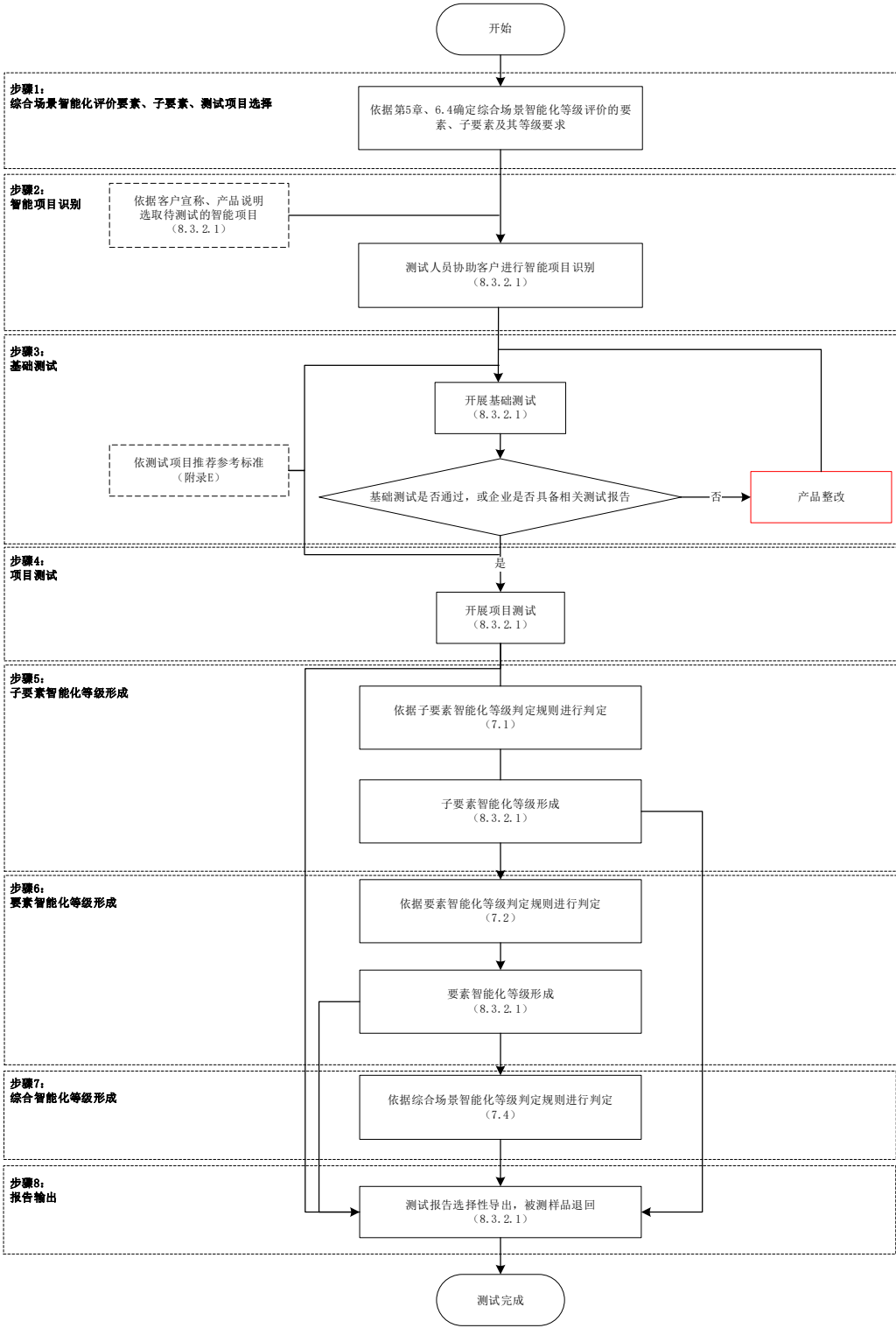


图6 综合场景测试流程图

9 机器人及系统智能化等级应用

机器人及系统智能化等级的应用是基于产品类型、应用场景、智能化要素等因素，对机器人及系统在典型应用领域给予指导。其智能化等级类型、典型应用及示例见表4。

表4 机器人及系统智能化等级的应用

序号	智能化等级类型	典型应用	示例
1	要素智能化等级	为产品应用提供技术分析和指导	物流机器人及系统验收时，对感知要素（视觉等）的智能化等级提出要求。
		为产品标准中智能化要素的要求提供标准依据	医疗用协作机器人及系统的产品标准要求机器人交互要素的智能化等级达到3级以上。
2	综合通用智能化等级	提供产品的综合智能化等级	3C智能制造生产线的综合通用智能化等级达到L3级（感知3级、认知决策2级、执行3级、交互3级）。
3	综合场景智能化等级	为产品应用提供技术分析和指导	医院物流机器人及系统验收时，对感知要素（视觉）、执行要素（运动精度）、认知决策要素（轨迹规划、路径规划）、交互要素（操作交互）的智能化等级提出要求。
		为各场景应用的机器人产品标准的制定提供标准依据	医疗用协作机器人及系统的产品标准应结合医疗应用的特点，对各要素的智能化等级提出要求：交互要素的要求达到3级，感知要素（视觉）达到2级。

附 录 A
(规范性)
子要素、要素名称及代号

要素、子要素、智能项目名称及代号见表A. 1。

表A. 1 要素、子要素智能项目名称及代号

要素	子要素		智能项目	
	名称	代号	名称	代号
感知 SL	视觉	SL ₁	人脸识别	SL ₁₁
			字符识别	SL ₁₂
			图像识别	SL ₁₃
			定位测距	SL ₁₄
	听觉	SL ₂	语音识别	SL ₂₁
			声纹识别	SL ₂₂
			声源定位	SL ₂₃
			语义理解	SL ₂₄
			多轮语义理解	SL ₂₅
			多轮对话理解	SL ₂₆
			情感理解	SL ₂₇
			其他（采集分析）	SL ₂₈
	触觉	SL ₃	力	SL ₃₁
			碰触	SL ₃₂
			滑动	SL ₃₃
			冷热	SL ₃₄
			湿度	SL ₃₅
	嗅觉	SL ₄	——	
认知 RL	建模	RL ₁	——	
	理解	RL ₂	——	
	推理	RL ₃	——	
决策 DL	规划	DL ₁	——	
	优化	DL ₂	——	
执行 EL	运动执行	EL ₁	移动精度	EL ₁₁
	操作执行	EL ₂	运动精度	EL ₂₁
			力控精度	EL ₂₂
交互 IL	人机交互	IL ₁	——	
	操作交互	IL ₂	——	
	多机交互	IL ₃	——	

表 A.1 要素、子要素智能项目名称及代号（续）

要素	子要素		智能项目	
	名称	代号	名称	代号
认知 / 决策 RDL	轨迹规划	RDL ₁	——	
	轨迹自适应	RDL ₂	——	
	路径规划	RDL ₃	——	
	路径自适应	RDL ₄	——	

附 录 B
(资料性)

子要素智能化等级判断具体规则及示例

B.1 视觉子要素智能化等级判断的具体规则及示例见表 B.1。

表B.1 视觉子要素智能化等级判断示例表

分 级	规则	示例				
		人脸识别	字符识别	图像识别	定位测距	说明
SL ₁₅	1) 其智能化项目（人脸识别、字符识别、图像识别、定位测距）不少于1项为5级；	5	3	2	2	符合规则1)
	2) 或其智能化项目（人脸识别、字符识别、图像识别、定位测距）中不少于2项为4级。	4	2	4	1	符合规则2)
SL ₁₄	1) 其智能化项目（人脸识别、字符识别、图像识别、定位测距）不少于1项为4级；	3	2	4	2	符合规则1)
	2) 或其智能化项目（人脸识别、字符识别、图像识别、定位测距）不少于2项为3级。	3	2	3	1	符合规则2)
SL ₁₃	1) 其智能化项目（人脸识别、字符识别、图像识别、定位测距）不少于1项为3级；	3	2	1	1	符合规则1)
	2) 或其智能化项目（人脸识别、字符识别、图像识别、定位测距）不少于2项为2级。	2	2	1	—	符合规则2)
SL ₁₂	1) 其智能化项目（人脸识别、字符识别、图像识别、定位测距）不少于1项为2级；	2	1	—	—	符合规则1)
	2) 或其智能化项目（人脸识别、字符识别、图像识别、定位测距）不少于2项为1级。	1	—	1	—	符合规则2)
SL ₁₁	其智能化项目（人脸识别、字符识别、图像识别、定位测距）不少于1项为1级	1	—	—	—	符合规则
‘—’ 代表无要求。						

B.2 听觉子要素智能化等级判断的具体规则及示例见表 B.2。

表B.2 听觉子要素智能化等级判断示例表

分 级	规则	示例								说明
		语音识别			语义理解					
		语音 识别	声纹 识别	声源 定位	语义 理解	多轮语 义理解	多轮对 话理解	情感 理解	其他（采 集分析）	
SL ₂ 5	1)其智能化项目（语音识别、语义理解） 不少于1项为5级；	5	2	1	3	2	4	2	1	符 合 规 则 1)
	2) 其智能化项目(语音识别、语义理解) 不少于2项为4级。	4	3	2	2	4	1	1	2	符 合 规 则 2)
SL ₂ 4	1)其智能化项目（语音识别、语义理解） 不少于1项为4级；	4	2	1	2	3	2	1	2	符 合 规 则 1)
	2) 其智能化项目(语音识别、语义理解) 不少于2项为3级。	3	1	2	1	2	3	1	2	符 合 规 则 2)
SL ₂ 3	1)其智能化项目（语音识别、语义理解） 不少于1项为3级；	2	1	-	2	-	-	1	2	符 合 规 则 1)
	2) 或其智能化项目 （语音识别、语义理 解)不少于2项为2级。	1	1	-	-	-	-	1	-	符 合 规 则 2)
SL ₂ 2	1)其智能化项目（语音识别、语义理解） 不少于1项为2级；	2	1	-	1	-	-	-	-	符 合 规 则 1)
	2) 或其智能化项目 （语音识别、语义理 解)不少于2项为1级。	1	-	-	-	1	-	-	1	符 合 规 则 2)
SL ₂ 1	其智能化项目（语音识别、语义理解）不 少于1项为1级。	1	-	-	-	1	-	-	1	符合 规则
注： ‘-’ 代表无要求。										

B.3 触觉子要素智能化等级判断的具体规则及示例见表 B.3。

表B.3 触觉子要素智能化等级判断示例表

分级	规则	示例					
		力	碰触	滑动	冷热	湿度	说明
SL ₅	1) 其智能化项目（力、碰撞、滑动、冷热、湿度）不少于1项为5级；	3	4	5	2	2	符合规则1)
	2) 或其智能化项目（力、碰撞、滑动、冷热、湿度）不少于2项为4级。	4	1	2	4	2	符合规则2)
SL ₄	1) 其智能化项目（力、碰撞、滑动、冷热、湿度）不少于1项为4级；	2	1	4	3	1	符合规则1)
	2) 或其智能化项目（力、碰撞、滑动、冷热、湿度）不少于2项为3级。	2	3	2	1	3	符合规则2)
SL ₃	1) 其智能化项目（力、碰撞、滑动、冷热、湿度）不少于1项为3级；	1	2	3	1	1	符合规则1)
	2) 或其智能化项目（力、碰撞、滑动、冷热、湿度）不少于2项为2级。	2	2	1	1	1	符合规则2)
SL ₂	1) 其智能化项目（力、碰撞、滑动、冷热、湿度）不少于1项为2级；	2	1	-	-	-	符合规则1)
	2) 或其智能化项目（力、碰撞、滑动、冷热、湿度）不少于2项为1级。	1	1	1	-	-	符合规则2)
SL ₁	其智能化项目（力、碰撞、滑动、冷热、湿度）不少于1项为1级。	-	-	1	-	-	符合规则
‘-’ 代表无要求。							

B.4 嗅觉子要素主要评价机器人是否具备处理分析各种气体的能力，本文件不做具体等级分类，仅评价是否具备此功能。

附 录 C
(资料性)
要素智能化等级判断具体规则及示例

C.1 感知要素智能化等级判断的具体规则及示例见表 C.1。

表C.1 感知要素智能化等级判断示例表

要素	等级	规则	示例				
			视觉	听觉	触觉	嗅觉	说明
感知 SL	SL5	1) 其子要素（视觉、听觉、力觉、嗅觉）不少于1项为5级；	5	4	1	1	符合规则1)
		2) 或其子要素（视觉、听觉、力觉、嗅觉）不少于2项为4级。	4	1	4	1	符合规则2)
	SL4	1) 其子要素（视觉、听觉、力觉、嗅觉）不少于1项为4级；	3	4	2	4	符合规则1)
		2) 或其子要素（视觉、听觉、力觉、嗅觉）不少于2项为3级。	3	2	3	3	符合规则2)
	SL3	1) 其子要素（视觉、听觉、力觉、嗅觉）不少于1项为3级；	3	1	3	2	符合规则1)
		2) 或其子要素（视觉、听觉、力觉、嗅觉）不少于2项为2级。	2	2	1	2	符合规则2)
	SL2	1) 其子要素（视觉、听觉、力觉、嗅觉）不少于1项为2级；	1	2	1	1	符合规则1)
		2) 或其子要素（视觉、听觉、力觉、嗅觉）不少于2项为1级。	1	-	1	-	符合规则2)
	SL1	其子要素（视觉、听觉、力觉、嗅觉）不少于1项为1级。	1	1	1	-	符合规则
	注： ‘-’ 代表无要求。						

C.2 认知要素智能化等级判断的具体规则及示例见表 C.2。

表C.2 认知要素智能化等级判断示例表

要素	等级	规则	示例			
			建模	理解	推理	说明
认知 RL	RL5	1) 其子要素（建模、理解、推理）不少于1项为5级； 2) 其子要素（建模、理解、推理）不少于2项为4级。	5	3	2	符合规则1)
			4	4	1	符合规则2)
	RL4	1) 其子要素（建模、理解、推理）不少于1项为4级； 2) 或其子要素（建模、理解、推理）不少于2项为3级。	2	4	1	符合规则1)
			2	3	3	符合规则2)
	RL3	1) 其子要素（建模、理解、推理）不少于1项为3级； 2) 或其子要素（建模、理解、推理）不少于2项为2级。	2	3	1	符合规则1)
			1	2	2	符合规则2)
	RL2	1) 其子要素（建模、理解、推理）不少于1项为2级； 2) 或其子要素（建模、理解、推理）不少于2项为1级。	2	1	—	符合规则1)
			1	—	1	符合规则2)
	RL1	其子要素（建模、理解、推理）不少于1项为1级。	—	1	—	符合规则
注：‘—’代表无要求。						

C.3 决策要素智能化等级判断的具体规则及示例见表 C.3。

表C.3 决策要素智能化等级判断示例表

要素	等级	规则	示例		
			规划	优化	说明
决策 DL	DL5	1) 其子要素（规划、优化）不少于1项为5级； 2) 或其子要素（规划、优化）不少于2项为4级。	5	1	符合规则1)
			4	4	符合规则2)
	DL4	1) 其子要素（规划、优化）不少于1项为4级； 2) 或其子要素（规划、优化）不少于2项为3级。	1	4	符合规则1)
			3	3	符合规则2)
	DL3	1) 其子要素（规划、优化）不少于1项为3级； 2) 或其子要素（规划、优化）不少于2项为2级。	3	2	符合规则1)
			2	2	符合规则2)
	DL2	1) 其子要素（规划、优化）不少于1项为2级； 2) 或其子要素（规划、优化）不少于2项为1级。	1	2	符合规则1)
			1	1	符合规则2)
	DL1	其子要素（规划、优化）不少于1项为1级。	—	1	符合规则
注：‘—’代表无要求。					

C.4 执行要素智能化等级判断的具体规则及示例见表 C.4。

表C.4 执行要素智能化等级判断示例表

要素	等级	规则	示例			
			运动执行	操作执行		说明
			移动精度	运动精度	力控精度	
执行要素	EL5	1) 其子要素（运动执行、操作执行）不少于1项为5级； 2) 或其子要素（运动执行、操作执行）不少于2项为4级。	5	3	2	符合规则1)
			4	3	4	符合规则2)
	EL4	1) 其子要素（运动执行、操作执行）不少于1项为4级； 2) 或其子要素（运动执行、操作执行）不少于2项为3级。	4	3	2	符合规则1)
			3	2	3	符合规则2)
	EL3	1) 其子要素（运动执行、操作执行）不少于1项为3级； 2) 或其子要素（运动执行、操作执行）不少于2项为2级。	2	3	1	符合规则1)
			1	2	2	符合规则2)
	EL2	1) 其子要素（运动执行、操作执行）不少于1项为2级； 2) 或其子要素（运动执行、操作执行）不少于2项为1级。	-	1	2	符合规则1)
			1	-	1	符合规则2)
	EL1	其子要素（运动执行、操作执行）不少于1项为1级。	-	1	-	符合规则
	注： ‘-’ 代表无要求。					

C.5 交互要素智能化等级判断的具体规则及示例见表 C. 5。

表C.5 交互要素智能化等级判断示例表

要素	等级	规则	示例			
			人机交互	操作交互	多机交互	说明
交互 IL	IL5	1) 其子要素（人机交互、操作交互、多机交互）不少于1项为5级；	3	2	1	符合规则1)
		2) 或其子要素（人机交互、操作交互、多机交互）不少于2项为4级。	4	2	2	符合规则2)
	IL4	1) 其子要素（人机交互、操作交互、多机交互）不少于1项为4级；	2	1	2	符合规则1)
		2) 或其子要素（人机交互、操作交互、多机交互）不少于2项为3级。	3	2	2	符合规则2)
	IL3	1) 其子要素（人机交互、操作交互、多机交互）不少于1项为3级；	1	1	1	符合规则1)
		2) 或其子要素（人机交互、操作交互、多机交互）不少于2项为2级。	2	1	2	符合规则2)
	IL2	1) 其子要素（人机交互、操作交互、多机交互）不少于1项为2级；	1	—	2	符合规则1)
		2) 或其子要素（人机交互、操作交互、多机交互）不少于2项为1级。	1	—	1	符合规则2)
	IL1	其子要素（人机交互、操作交互、多机交互）不少于1项为1级。	—	1	—	符合规则
	注： ‘—’ 代表无要求。					

C.6 认知决策要素智能化等级判断的具体规则及示例见表 C.6。

表C.6 认知决策要素智能化等级判断示例表

要素	等级	规则	示例				
			轨迹规划	轨迹自适应	路径规划	路径自适应	说明
认知/决策RDL	RDL5	1) 其子要素（轨迹规划、轨迹自适应、路径规划、路径自适应）不少于1项为5级；	2	3	1	5	符合规则1)
		2) 或其子要素（轨迹规划、轨迹自适应、路径规划、路径自适应）不少于2项为4级。	4	2	4	1	符合规则2)
	RDL4	1) 其子要素（轨迹规划、轨迹自适应、路径规划、路径自适应）不少于1项为4级；	1	2	1	4	符合规则1)
		2) 或其子要素（轨迹规划、轨迹自适应、路径规划、路径自适应）不少于2项为3级。	2	3	3	1	符合规则2)
	RDL3	1) 其子要素（轨迹规划、轨迹自适应、路径规划、路径自适应）不少于1项为3级；	2	3	1	1	符合规则1)
		2) 或其子要素（轨迹规划、轨迹自适应、路径规划、路径自适应）不少于2项为2级。	1	2	1	2	符合规则2)
	RDL2	1) 其子要素（轨迹规划、轨迹自适应、路径规划、路径自适应）不少于1项为2级；	2	—	1	—	符合规则1)
		2) 或其子要素（轨迹规划、轨迹自适应、路径规划、路径自适应）不少于2项为1级。	1	1	—	—	符合规则2)
	RDL1	其子要素（轨迹规划、轨迹自适应、路径规划、路径自适应）不少于1项为1级。	1	—	—	—	符合规则
注： ‘—’ 代表无要求。							

附 录 D
(规范性)
智能项目识别

机器人待测试智能项目识别表见D. 1。

表D. 1 待测试智能项目识别表

序号	要素	子要素	测试项目	是否选择
1	感知 (SL)	视觉 (SL ₁)	人脸识别	
2			字符识别	
3			图像识别	
			定位测距	
5		听觉 (SL ₂)	语音识别	
6			声纹识别	
7			声源定位	
8			语义理解	
9			多轮语义理解	
10			多轮对话理解	
11			情感理解	
12			其他 (采集分析)	
13		触觉 (SL ₃)	力	
14			碰触	
15			滑动	
16			冷热	
17			湿度	
18		嗅觉 (SL ₄)	嗅觉	
19	认知 (RL)	建模 (RL ₁)	建模	
20		理解 (RL ₂)	理解	
21		推理 (RL ₃)	推理	
22	决策 (DL)	规划 (DL ₁)	规划	
23		优化 (DL ₂)	优化	
24	执行 (EL)	运动执行 (EL ₁)	移动精度	
25		操作执行 (EL ₂)	运动精度	
26			力控精度	
27	交互 (IL)	人机交互 (IL ₁)	人机交互	
28		操作交互 (IL ₂)	操作交互	
29		多机交互 (IL ₃)	多机交互	

表 D.1 待测试智能项目识别表（续）

序号	要素	子要素	测试项目	是否选择
30	认知	轨迹规划（RDL ₁ ）	轨迹规划	
31		轨迹自适应（RDL ₂ ）	轨迹自适应	
32	决策	路径规划（RDL ₃ ）	路径规划	
33	RDL	路径自适应（RDL ₄ ）	路径自适应	

附 录 E
(规范性)
项目测试标准依据

项目测试标准清单见表E. 1。

表E. 1 项目测试标准清单

类别	项目		现有测试标准
基础	软件质量		GB/T 25000.51—2016 系统与软件工程 系统与软件质量要求和评价 (SQuaRE) 第 51 部分：就绪可用软件产品 (RUSP) 的质量要求和测试细则
	软件安全	功能安全	GB/T 20438.3—2017 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第 3 部分：软件要求 GB/T 38260—2019 服务机器人功能安全评估
		信息安全	GB/T 34943—2017 C/C++语言源代码测试漏洞规范 GB/T 34975—2017 信息安全技术 移动智能终端应用软件 安全技术要求和测试评价方法
感知	视觉		T/CEEIA 602.3—2022 机器人智能化评价 第 3 部分：视觉
	听觉		T/CEEIA 602.4—2018 机器人智能化评价 第 4 部分：听觉
	力觉		GB/T 38559—2020 工业机器人力控制技术规范
认知决策	规划	路径	T/CEEIA 564—2022 机器人移动算法性能测评要求
		轨迹	GB/T 12642—2013 工业机器人性能规范及其试验方法
	自适应	路径	T/CEEIA 564—2022 机器人移动算法性能测评要求
		轨迹	T/CEEIA 602.5—2022 机器人智能化评价 第 5 部分 轨迹自适应
执行	移动能力		T/SRI 0001—2021 移动服务机器人通用技术条件 CR-4-04TS-01:2022 机器人力控制、移动算法、移动能力、人机交互等级划分技术规范
	操作能力	运动精度	T/CEEIA 602.6—2022 机器人智能化评价 第 6 部分：运动性能
		力控精度	T/CEEIA 602.2—2022 机器人智能化评价 第 2 部分：操作交互性
交互能力	人机交互		GB/T 29836.2—2013 系统与软件易用性 第 2 部分：度量方法
	操作交互		T/CEEIA 602.2—2022 机器人智能化评价 第 2 部分：操作交互性
	多机交互		CR-4-04TS-02:2022 机器人多机交互等级划分技术规范

参 考 文 献

- [1] GB/T 5271.28 信息技术 词汇 第28部分:人工智能 基本概念与专家系统
 - [2] GB/T 5271.29 信息技术 词汇 第29部分:人工智能 语音识别与合成
 - [3] GB/T 5271.34 信息技术 词汇 第34部分:人工智能 神经网络
 - [4] GB/T 12642—2013 工业机器人性能规范及其试验方法
 - [5] GB/T 28219—2018 智能家用电器通用技术要求
 - [6] GB/T 36464.2—2018 信息技术 智能语音交互系统 第2部分:智能家居
 - [7] GB/T 38124—2019 服务机器人性能测试方法
 - [8] GB/T 38671—2020 信息安全技术 远程人脸识别系统技术要求
 - [9] GB/T 38834—2020 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法
 - [10] JJF 1496—2014 声源识别定位系统(波束形成法)校准规范
 - [11] ISO/IEC TR 24028 信息技术 人工智能 人工智能的可信赖概述
 - [12] WR_Industrial_Robots_2021_Chapter_1
 - [13] WR_Service_Robots_2021_Chapter_1
 - [14] Decision confirmed at the 46th CTL Plenary Meeting, in 2009
-