

T/SAIAS

上海市人工智能行业协会团体标准

T/SAIAS XXXX—2025

工业机器人一致性 第1部分：整机评价方法 及要求

Industrial robots Consistency - Part 1: robot evaluation methods and requirements

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

上海市人工智能行业协会 发布

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 一致性评价程序 | 1 |
| 5 基本要求 | 2 |
| 5.1 评价原则 | 2 |
| 5.2 评价环境 | 2 |
| 5.3 样品要求 | 2 |
| 5.4 评价人员 | 2 |
| 5.5 评价内容 | 3 |
| 5.6 监测要求 | 3 |
| 6 一致性评价指标 | 3 |
| 6.1 评价指标体系 | 3 |
| 6.2 测试方法 | 3 |
| 7 数据处理 | 5 |
| 8 一致性分级 | 6 |
| 9 一致性评价声明 | 7 |
| 10 记录 | 7 |
| 11 报告 | 7 |

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。

本文件是《工业机器人一致性评价》的第1部分。

- 第1部分：整机评价方法及要求
- 第2部分：一致性风险评估
- 第3部分：生产过程一致性评价及要求
- 第4部分：零部件评价一致性评价及要求
- 第5部分：一致性监测
- 第6部分：一致性等级划分
- 第7部分：一致性声明

本文件由上海市人工智能行业协会提出。

本文件由上海市人工智能行业协会归口。

本文件起草单位：xxx……

本文件主要起草人：XXX、……

本文件为首次发布。

引 言

工业机器人一致性问题一直是行业内痛点问题，通过制定工业机器人一致性评价系列标准，实现对工业机器人一致性程度的测评，识别工业机器人不一致的问题来源，进一步提高工业机器人质量，提升工业机器人企业品质。

本文件共分为7部分：

——第1部分：整机评价方法及要求。明确工业机器人整机的评价基本要求、评价流程、评价指标的构建和要求、一致性评价分级、一致性评价声明，目的是指导工业机器人整机一致性评价工作；

——第2部分：一致性风险评估。明确一致性风险评估的要求、流程，如何识别关键影响因素，目的是指导工业机器人一致性风险评估工作；

——第3部分：生产过程一致性评价及要求。明确工业机器人生产过程质量控制，识别工业机器人生产过程中的关键工艺、关键流程等内容，明确关键工艺、关键流程等内容的评价方法和要求，目的是指导工业机器人生产过程评价工作；

——第4部分：零部件评价一致性评价及要求。识别工业机器人关键零部件，明确关键零部件技术指标的检测方法及要求，目的是指导工业机器人零部件一致性评价工作；

——第5部分：一致性监测。明确一致性监测的频次、时机、项目等内容，目的是指导监测一致性，以避免可能产生的一致性风险；

——第6部分：一致性等级划分。明确基于整机、零部件、生产过程等方面的等级划分，目的是指导工业机器人一致性等级划分；

——第7部分：一致性声明。明确基于整机、零部件、生产过程等方面的一致性声明要求，目的是指导工业机器人一致性声明。

工业机器人一致性 第1部分 整机评价方法及要求

1 范围

本文件规定了工业机器人一致性评价程序、基本要求、评价方法及要求、评价结果、记录和报告。

本文件适用于工厂工业机器人生产线末端合格的工业机器人。

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 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 11291.1-2011 工业环境用机器人 安全要求 第1部分：机器人

GB 11291.2-2013 机器人与机器人装备 工业机器人的安全要求 第2部分：机器人系统与集成

GB/T 5226.1-2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

JB/T 8896-1999 工业机器人 验收规则

GB/T 36008-2018 机器人与机器人装备 协作机器人

GB/T 38336-2019 工业、科学和医疗机器人 电磁兼容 发射测试方法和限值

GB/T 38326-2019 工业、科学和医疗机器人 电磁兼容 抗扰度试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工业机器人 industrial robot

自动控制的、可重复编程、多用途的操作机，可对三个或三个以上轴进行编程。它可以是固定式或移动式。在工业自动化中使用。

注1：工业机器人包括：

——操作机，含致动器；

——控制器，含示教器和某些通讯接口（硬件和软件）。

注2：这包括某些集成的附加轴。

[见GB/T 12643-2013，定义2.9]

3.2

工业机器人一致性 industrial robot consistency

批量生产的同规格机器人与型式试验合格样品的符合程度。

注：工业机器人一致性要求由产品相关标准及认证机构有关要求规定。

4 一致性评价程序

工业机器人一致性评价程序如下图所示：

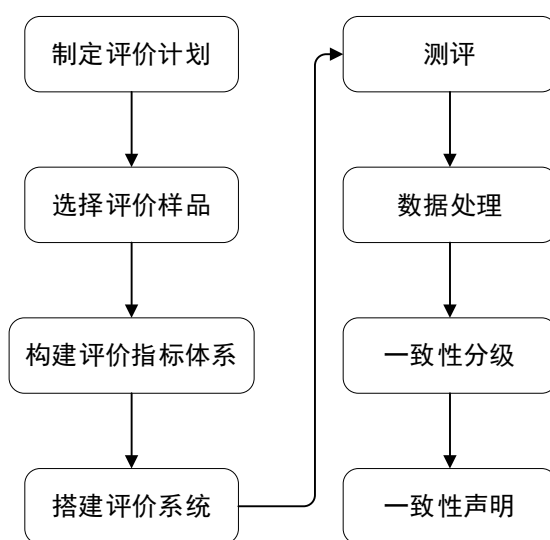


图1 一致性评价流程

5 基本要求

5.1 评价原则

评价指标应是工业机器人整机质量特性的客观反映，评价指标是否全面决定了一致性评价的真实性与合理性。因此，为了充分考虑工业机器人一致性评价指标的完整性以及检测信息的各种不确定性，一致性评价指标的选择必须能够全方面地、科学地反映工业机器人整机质量特性。一致性评价指标的选择应该遵循以下几个原则：

——全面性原则：选择的一致性评价指标应该尽可能地全面，尽量涵盖工业机器人各个方面，充分反映工业机器人各个阶段的质量特点；

——易测性原则：对于所选择的一致性评价指标，其数据应该较为容易获取，便于测量与分析，结合实际质量特性确定一致性指标；

——科学性原则：一致性评价指标的选取过程应当参考多方工程师和技术人员的意见，借鉴工业机器人检测标准，以科学的指标反映工业机器人整机一致性水平。

在构建指标体系的过程中，宜全面辨识出机器人的关键技术指标，尽可能保证准确性和完整性。

5.2 评价环境

评价环境应符合产品的安装使用环境条件，包括气候环境、机械环境、电磁环境等。当无明确要求试验环境条件通常应满足以下要求：时，

- a) 温度:15℃~55℃;
 - b) 湿度:20%RH~80%RH;
 - c) 气压:86 kPa~106 kPa。
- 或参考用户手册。

5.3 样品要求

同规格的机器人产品软件、机械结构、电气结构等保持一致。

应从正常生产的、经检验合格的同规格工业机器人产品中随机抽取或全检。

若无其他规定，每批产品至少应有两台接受试验。推荐的样本大小为每批产品的10%，但最多不超过20台(特殊约定的除外)。

评价过程中样品的安装、存放等条件应保持一致。

5.4 评价人员

评价过程中试验人员宜保持不变。

5.5 评价内容

应识别工业机器人产品的关键控制属性。

5.6 监测要求

为满足持续保持一致性要求，应进行定期进行测评，测评周期建议为1年。

6 一致性评价指标

6.1 评价指标体系

根据工业机器人产品选择需考虑的评价内容，构建评价指标体系。评价指标体系包括一级评价指标和二级评价指标。一级评价指标是具有普适性和概括性的指标，包括性能、电气、功耗及应用指标；二级评价指标是在一级评价指标之下，可代表机器人特征的、具体的、可操作的、可验证的指标，不限于表2内容，也可根据制造商设计选择其他的技术指标。

表2 评价指标体系

| 序号 | 一级指标 | 二级指标 | 备注 |
|----|------|--------|----------------|
| 1 | 性能特性 | 最大单轴速度 | 覆盖所有轴 |
| 2 | | 位置准确度 | / |
| 3 | | 位置重复性 | / |
| 4 | | 位置稳定时间 | / |
| 5 | | 位置超调量 | / |
| 6 | | 轨迹准确度 | / |
| 7 | | 轨迹重复性 | / |
| 8 | | 循环时间 | 适用于SCARA、并联机器人 |
| 9 | 电气特性 | 绝缘电阻 | / |
| 10 | | 耐压 | / |
| 11 | | 接地电阻 | / |
| 12 | | 泄露电流 | / |
| 13 | 功耗 | 典型功耗 | / |
| 14 | 噪声 | 噪声 | 适用时 |
| 15 | 应用特性 | 洁净度 | 在洁净室应用时须考虑 |
| 16 | | 静电安全 | 在防静电领域应用时须考虑 |
| 17 | 其他 | 其他技术指标 | 根据机器人产品特性确定 |

6.2 测试方法

6.2.1 测试条件

对每个样品进行测试，测试期间样品的状态和环境状态保持不变。

6.2.2 性能特性

6.2.2.1 最大单轴速度

在额定负载条件下，使被测关节进入稳定作业状态，其他关节固定。令被测关节以最大速度做最大范围的运动，测量速度的最大值。重复测量10次，以10次所测结果的平均值为测量结果。

6.2.2.2 位置准确度

按GB/T 12642中7.2的规定进行。

6.2.2.3 位置重复性

按GB/T 12642中7.2的规定进行。

6.2.2.4 位置稳定时间

按GB/T 12642中7.4的规定进行。

6.2.2.5 位置超调量

按GB/T 12642中7.5的规定进行。

6.2.2.6 轨迹准确度

按GB/T 12642中8.2的规定进行。

6.2.2.7 轨迹重复性

按GB/T 12642中8.3的规定进行。

6.2.2.8 循环时间

6.2.2.8.1 试验负载

应在被测机器人机械接口加载额定负载的试验负载，或由制造商指定负载的条件下进行。如部分测量仪器附加于机器人上，应将其质量和位置当作试验负载的一部分。

6.2.2.8.2 试验速度

试验应在指定位姿间可达到的最大速度及额定加速度下进行。

6.2.2.8.3 试验位置

试验位置应根据立方体的中心点位置（P1）确定，P1点为轨迹的对称点（见图1），测试过程中机器人控制器中的工具中心点（TCP）姿态保持不变。无法满足6.4.17.4所要求的循环轨迹的，可由制造商指定试验位置。

6.2.2.8.4 循环轨迹

除制造商指定循环轨迹外，通常循环轨迹按图1所示轨迹从a→b→c→d→c→b→a进行循环运行。要求轨迹ab及cd平行于机座坐标系Z轴，轨迹bc平行于机座坐标系Y轴。

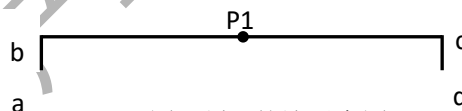


图2 循环轨迹示意图

循环轨迹的长度（ $ab \times bc \times cd$ ）要求为 $25 \times 300 \times 25 \text{mm}$ ，其中b点和c点圆弧半径为5mm。

注：无法满足以上循环轨迹时，bc长度可以设置为臂展的80%，或由制造商指定门型长度。

6.2.2.8.5 试验方法

- 根据机器人制造商的建议安装被试机器人，所选用的测试仪器应稳固地设置，避免试验过程中被试机器人与仪器间的相对运动。
- 按被试机器人选定的试验负载，参照GB/T 12642中6.6的图1，制造质量、重心位置和惯性力矩符合要求的试验用末端执行器，并安装在被试机器人上。TCP位置参数应按所制造的末端执行器的数据设置。
- 按5.7的要求选定试验位置。
- 按5.8的要求编制运动程序，要求如下：
 - 在选定的测量平面内指定a、b、c、d四个点。
 - 从位置点a开始，将机械接口以100%额定速度按5.8的循环轨迹要求运行。测取连续10次循环所需的时间（abcd-dcba为一次循环），计算平均值，重复3次。运动时采用点到点控制或连续轨迹控制均可。

6.2.3 典型功率指标

测试期间机器人应保持相同配置。

测试工况：100%额定负载；100%额定速度；测试程序应选择典型的运动轨迹，如无特殊轨迹，应选用以下轨迹：

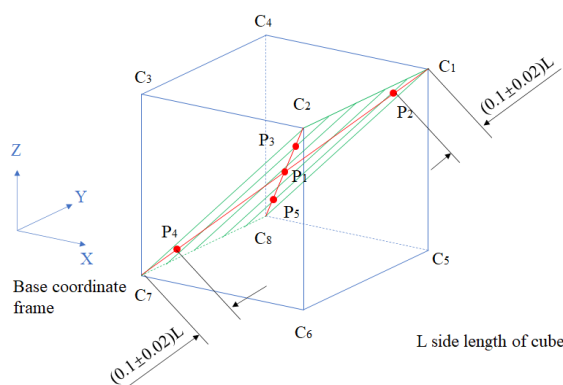


图3 机器人典型运动轨迹

机器人典型运动轨迹参考GB/T 12642描述。

6.2.4 噪声指标

依据GB/T 37242标准进行测试，取最大值。

机器人运行工况：机器人装载100%额定负载，机器人各轴在80%软限位之间以100%额定速度联动。

6.2.5 应用指标

6.2.5.1 洁净等级

依据T/CEEIA-2024 819标准进行测试。

6.2.5.2 静电安全

依据T/CEEIA-2024 820标准进行测试。

6.2.6 其他指标

其他指标的测试方法应由制造商和检测方进行协商制定。

7 数据处理

一致性评价模型采用熵权法，熵权法是依据各个指标的不确定程度来计算其熵权，信息熵由指标的变动程度决定，能够表明指标包含的信息量，并明确指标的权重。熵权法是一种确定权重的客观方法，基于熵权法计算权重系数不会受到个人判断力的影响，能够客观、准确地确定评价体系中各个指标的权重。

构建原始评价指标数据矩阵，假设第*i*个指标的第*j*台的原始值用 x_{ij} 表示，可以得到评价系统的评价指标集原始数据矩阵：

$$X = (x_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}$$

其中， m 为一致性评价指标的数量， n 为测试的台数。

矩阵 X 中的指标存在正向和负向两类，需要对原始评价指标数据矩阵进行标准化，公式如下。

正向指标：

$$Y_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^{\min}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}$$

负向指标:

$$Y_{ij} = \frac{x_i^{\max} - x_{ij}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}$$

其中, $x_i^{\min} = \min_{1 \leq j \leq n} x_{ij}$; $x_i^{\max} = \max_{1 \leq j \leq n} x_{ij}$

得到标准化矩阵,

$$Y = (y_{ij})_{m \times n}$$

计算指标熵权第*i*个指标下*n*个方案的指标值权重:

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{j=1}^n y_{ij}}$$

第*i*个指标熵值计算公式为:

$$e_i = -\frac{1}{\ln n} \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}$$

其中, 如果 $p_{ij} = 0$, 那么 $p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。

由于 $0 \leq p_{ij} \leq 1$, 所以 $0 \leq e_i \leq 1$, 所有评价指标得总熵:

$$E = \sum_{i=1}^m e_i$$

那么, 第*i*项指标的差异系数:

$$g_i = 1 - e_i$$

得到第*i*项指标的权重:

$$w_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^m g_i} = \frac{1 - e_i}{m - E}$$

单一指标一致性处理结果为:

$$S = \frac{T_U - T_L}{6\sigma}$$

其中, T_U 为产品合格的上限值, T_L 产品合格范围的下限值。

基于单一一致性指标处理结果*S*以及各项一致性指标综合权重, 进而得到工业机器人一致性综合评估值*S*:

$$S = \sum_{i=1}^m S_i w_i$$

式中, m 为被评价对象所包含的一致性评价指标个数, S_i 为第*i*项一致性指标的处理结果, w_i 为熵权法给出的第*i*项一致性指标的权重。

8 一致性分级

表3 工业机器人整机一致性水平评价表

| | |
|-----|-------|
| S | 一致性水平 |
|-----|-------|

| | |
|--------------|-----------|
| [1.67, 2) | L5——极强一致性 |
| [1.33, 1.67) | L4——强一致性 |
| [1.0, 1.33) | L3——一般一致性 |
| [0.67, 1.0) | L2——一致性差 |
| [0, 0.67) | L1——一致性很差 |

工业机器人一致性评价示例见附录 A。

9 一致性评价声明

一致性评价结果应包括评价环境、评价指标、评价样品情况、评价结果。

10 记录

环境记录应提供以下信息，适当时包括：

- a) 温度；
- b) 湿度；
- c) 测试区域布置。

测试记录应提供以下信息，适当时包括：

- a) 运行模式；
- b) 测试布置；
- c) 运行参数说明；
- d) 测试间隔时间；
- e) 数据分析；
- f) 测试过程中的异常现象。

11 报告

试验报告应包含但不限于以下信息：

- a) 试验依据和判定依据的标准；
- b) 样品标识（包含样品名称、型号、编号等）；
- c) 检验仪器类型和试验参数；
- d) 一致性评价结论；
- e) 试验样品的来源声明。

参考文献

- [1] 朱本正. 卧式数控车床制造一致性分析与评价研究 [D]. 吉林大学, 2024.
DOI:10.27162/d.cnki.gjlin.2024.001077.
- [2] GB/T 2828.1-2012 计数抽样检验程序 第1部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划
- [3] GB/T 15579.14-2021 弧焊设备 第14部分:校准、确认和一致性试验
- [4] GB/T 41271-2022 生产过程质量控制 通信一致性测试方法