

团 体 标 准

T/GDRA 013—2024

工业机器人力控制静态性能的试验方法

Test method for static performance of force control of industrial robots

2024 - 11 - 30 发布

2024 - 12 - 07 实施

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。

本文件由佛山市增广智能科技有限公司提出。

本文件由广东省机器人协会归口。

本文件起草单位：佛山市增广智能科技有限公司、深圳市鑫精诚传感技术有限公司、广州奥迪威机器人有限公司、东南大学机器人传感与控制技术研究所、广州市轻工技师学院、北京科技大学顺德创新学院、广州数控机器人科技有限公司、佛山华数机器人有限公司、深圳市大族机器人有限公司、巨轮（广州）智能装备有限公司、广东省机器人创新中心有限公司、广东省机器人协会、佛山市质量和标准化研究院、沃德检测（广东）有限公司、广东迪达克教育科技有限公司。

本文件主要起草人：宋爱国、黄安杰、霍炜彬、柯振中、冯锦汉、刘春燕、黄翠玲、吴浩、汪洪亮、张喆斯、高华燕、陈先中、江文明、杨林、邵茂峰、曾云、唐国宝、陈余刚、任玉桐、章柱衡、吴晶晶、植满溪、刘明汉、廉迎战、陈启学。

工业机器人力控制静态性能的试验方法

1 范围

本文件规定了工业机器人力控制静态性能的试验条件、试验步骤、计算结果和试验报告。
本文件适用于工业机器人力控制系统和力控制机器人的研制、生产和验收。

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 18806 电阻应变式压力传感器总规范
GB/T 20868 工业机器人 性能试验应用规范
GB/T 28854 硅电容式压力传感器
GB/T 38559 工业机器人力控制技术规范
JB/T 7482 压电式压力传感器
JB/T 7483 半导体电阻应变式力传感器

3 术语和定义

GB/T 38559 和 GB/T 20868 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

力控制静态性能 static performance of force control

在规定环境条件下，工业机器人力控制系统在静态条件下设定目标力值输出特性，主要包括力控制精度和力控制重复性。

3.2

力控制重复性 force control repeatability

在相同条件下，对同一设定目标力值进行重复测量时，力控制系统输出力值的离散程度。

3.3

力控制重复精度系数 force control repeatability coefficient

用于表征力控制系统重复性能的无量纲系数，由标准差与算术平均值的比值确定。

3.4

静态力控制误差 static force control error

在稳定状态下，力控制系统实际输出力值与设定目标力值之间的差值。

3.5

力控制精度等级 grade of force control accuracy

根据静态力控制误差范围划分的力控制系统精度等级，见表 1。

表 1 力控制系统的力控制精度等级和静态力控制误差

力控制精度等级	静态力控制误差, N
0.01	±0.01
0.1	±0.1
0.5	±0.5
1	±1
2	±2
5	±5
10	±10
20	±20

4 试验条件

4.1 环境条件

按 GB/T 12642—2013 中 6.3.2 的规定执行。

4.2 试验系统

4.2.1 试验系统的组成

试验系统由标准测力传感器、激励电源和读数记录装置三部分组成。其综合容差可按三部分装置容差的均方根计算，应不超过被试力控制系统容差的 33%。

4.2.2 标准测力传感器

4.2.2.1 标准测力传感器应符合以下任意一项标准的规定，且其准确度等级应至少比被试力控制系统的力控制精度等级高一个等级：

- a) GB/T 1880;
- b) GB/T 28854;
- c) JB/T 7482;
- d) JB/T 7483。

4.2.2.2 提供的仪表或监视标准测力传感器的仪表量程，应为被试力控制系统满量程的 125%~200%。

4.2.3 激励电源

激励电源应符合待测力控制系统的要求，其稳定度容差应不超过被试力控制系统容差的 20%。

注：可选用精密稳压电源、稳流电源、干电池或蓄电池等作为激励电源。

4.2.4 读数记录装置

读数记录装置应符合标准测力传感器输出的要求，其准确度容差应不超过被试传感器容差的 20%。

注：可选用数字式电压表、数字式频率计、电流表等作为读数记录装置。

4.3 试验前的准备工作

4.3.1 证书文件

试验设备（仪器设备和计量器具等）应经检定或者校准。

4.3.2 安装

4.3.2.1 力控制系统按产品使用说明的规定安装在试验装置上，根据被试力控制系统的力值、量程选择合适型号的标准测力传感器。

4.3.2.2 在试验过程中，确保被试力控制系统的出力端与标准测力传感器受力面垂直且距离固定。

4.3.3 连接

试验时，标准测力传感器、激励电源和读数记录装置的连接，应按产品使用规范规定进行。

4.3.4 放置

试验前，应先将标准测力传感器和被试力控制系统放置在试验环境中，放置时间不应少于 8h，确保标准测力传感器与试验环境的温度一致。

5 试验步骤

5.1 被试力控制系统的试验力级应在全量程选取，包括最小力级和最大力级，中间力级应均匀选取，力的级数 m 宜不少于 4 个。

5.2 被试力控制系统的读数时间与回零时间应与标准测力传感器在被试验时的响应时间一致。读数时间一般取 1min，回零时间一般取 2min。

5.3 具体试验流程如下：

- a) 按被试力控制系统厂家的使用说明，完成电气和控制初始化；
- b) 试验首先从最小力级（或选取的试验下限点）开始，平稳地升力至最大力级，每一力级逐级试验循环次数 n 按表 2 的规定，控制频率按 GB/T 38559 的规定；
- c) 被试力控制系统按设定目标力值 P_{t1} 下发出力指示，待标准测力传感器数据稳定后，记录力稳定值 $Y_{P_{11}}$ ；
- d) 被试力控制系统下发收力指示，标准测力传感器清零；
- e) 重复 c) ~ d)，直至完成 m 个力级的 n 次循环测试，得到所有力级 $Y_{P_{ij}}$ 。

表 2 力控制重复性等级

力控制重复性等级	III-A	III-B	II-A	II-B	I-A	I-B
试验循环次数	$n < 100$		$100 \leq n < 1000$		$n \geq 1000$	
判定结果	$\delta_r \geq 1\%$	$\delta_r < 1\%$	$\delta_r < 1\%$	$\delta_r \geq 1\%$	$\delta_r < 1\%$	$\delta_r \geq 1\%$

6 计算结果

6.1 被试力控制系统各力级的算术平均值 \bar{Y}_{P_i} ，单位为 N，按式（1）计算：

$$\bar{Y}_{P_i} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{P_{ij}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$Y_{P_{ij}}$ ——第 i 力级重复试验的第 j 个测量值（ $i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n$ ）

6.2 被试力控制系统的力控制重复性试验中各力级采样子样标准差 S_{P_i} ，按式（2）计算：

$$S_{P_i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (Y_{P_{ij}} - \bar{Y}_{P_i})^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

n ——力控制重复性试验的循环次数；

$Y_{P_{ij}}$ ——第 i 力级力控制重复性试验的第 j 个测量值 ($i = 1,2,3, \dots, m; j = 1,2,3, \dots, n$)；

\bar{Y}_{P_i} ——第 i 力级力控制重复性试验的算术平均值。

6.3 被试力控制系统各力级力控制重复精度系数 δ_{r_i} ，按式（3）计算：

$$\delta_{r_i} = \frac{S_{P_i}}{\bar{Y}_{P_i}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

6.4 根据表 2 指标值，确定被试力控制系统的力控制重复性等级。

7 试验报告

试验报告应至少包括下列内容：

- a) 本文件编号；
- b) 仪器设备的校准信息；
- c) 记录被试力控制系统所需的所有的必要细节；
- d) 产品试验项目及对应项目试验数据；
- e) 按本文件规定的试验所得结果及等级；
- f) 与规定的试验方法的任何不同之处；
- g) 试验日期。