

T/CRSS

重庆市机器人学会团体标准

T/CRSS XXXX—XXXX

重载工业机器人 全域定位精度 试验方法

Industrial robots with heavy duty-Positional accuracy in full range of motion-Test
methods

（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。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

重庆市机器人学会 发布

目 次

前言 II

1 范围 III

2 规范性引用文件 III

3 术语和定义 III

4 试验条件与方法 IV

 4.1 试验报告 IV

 4.2 试验条件 IV

 4.3 试验方法 V

附录 A（资料性） 试验报告实例 8

 A.1 重载机器人基本信息 8

 A.2 试验条件 8

 A.3 试验参数 8

 A.4 试验结果表 8

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。

本文件由重庆市机器人学会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

重载工业机器人 全域定位精度 试验方法

1 范围

本文件规定了重载工业机器人全域定位精度的术语和定义、技术要求、试验条件和试验方法等。本文件适用于重载工业机器人(额定负载不小于200 kg且最大工作半径不小于2000 mm)。

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 性能规范机器试验方法

GB/T 12643-2013 机器人与机器人装备 词汇

GB/T 12644-2001 工业机器人 特性表示

GB/T 16977-2019 机器人与机器人装备 坐标系和运动命名原则

GB/T 20868-2007 工业机器人 性能试验实施规范

JB/T 10825-2008 工业机器人 产品验收实施规范

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,含示教盒(5.8)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。

[来源:GB/T 12643-2013]

3.2

额定负载 rated load

正常操作条件下作用于机械接口或移动平台且不会使机器人性能降低的最大负载。

注:额定负载包括末端执行器、附件、工件的惯性作用力。

3.3

工作空间 working space

由手腕参考点所能掠过的空间,是由手腕各关节平移或旋转的区域附加于该手腕参考点。

3.4

最大空间 maximum space

机器人活动部件所能掠过的空间加上由末端执行器和工件运动时所能掠过的空间。

注:对于移动平台来说,这个空间可以认为是移动时理论上能到达的全部空间。

3.5

最大工作半径 maximum working radius

机器人在最大工作空间时操作臂的长度。

3.6

重载工业机器人 industrial robots with heavy-duty

额定负载不小于100 kg且最大工作半径不小于2000 mm的工业机器人，应用于汽车装配、搬运、码垛、点焊、打磨、建筑等场景。

3.7

全域定位精度 positional accuracy in full range of motion

重载工业机器人在所有工作范围内的定位精度，不限于位姿准确度（pose accuracy）、位姿重复性（pose repeatability）、位姿稳定时间（pose stabilization time）、位姿超调（pose overshoot）、位姿漂移（pose drift）。

4 试验条件与方法

4.1 试验报告

试验报告实例参见附录A。

4.2 试验条件

4.2.1 操作条件

重载工业机器人的正常操作条件，应由制造商说明。

正常操作条件包括（但不限于）：对电源、液压源和气压源的要求，电源波动和干扰，最大安全操作极限等。

4.2.2 环境条件

除非制造商另有规定，重载工业机器人的工作环境条件应满足：

- 1) 环境温度：5℃-40℃；
- 2) 相对湿度：45%-75%；
- 3) 大气压强：86kPa-106kPa。

试验的环境温度（ θ ）为20℃。采用其他的环境温度应在试验报告中指明并加以解释。试验温度应保持在 $\theta \pm 2^\circ\text{C}$ 范围内。

为使重载工业机器人和测量仪器在试验前处于热稳定状态下，需将他们置于试验环境中足够长的时间（最好一昼夜），还需防止外界振动、通风和外部热辐射（如阳光、加热器）。

注：测量设备不应放在靠近热源，空调出风口、窗口、门口、地板接缝处及阳光能够直射到的地方。工作地周围不应有大型机械及车辆工作，不应有明显振动，周围无强电磁场、无腐蚀性液体。

4.2.3 试验工作空间及目标点

全域试验工作空间及目标点见图1。

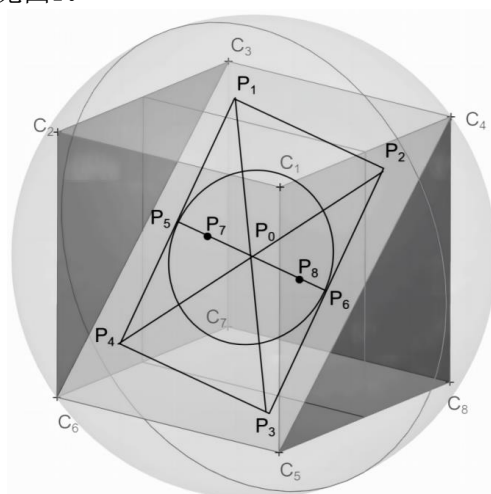


图1 全域试验工作空间及目标点

图1所示球体半径R定义为重载工业机器人运动范围，球内接立方体（边长为d）的顶点C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C8。立方体内所用平面12个，包括立方体表面6个、斜面6个，分别是：

- a) C1-C2-C3-C4;
- b) C5-C6-C7-C8;
- c) C2-C3-C7-C6;
- d) C1-C4-C8-C5;
- e) C1-C5-C6-C2;
- f) C3-C4-C8-C7;
- g) C3-C4-C5-C6;
- h) C1-C2-C7-C8;
- i) C2-C3-C5-C8;
- j) C1-C4-C7-C6;
- k) C1-C5-C7-C3;
- l) C2-C4-C8-C6。

位姿试验应选用以上平面之一，并在试验报告中指出选用了哪一个平面。测量平面应平行于以上选用平面。试验位姿应以基坐标系或关节坐标系来确定。测试点位于测试平面对角线上，P0是对角线交点，点P1-P8是重载工业机器人手腕参考点的位置。

4.2.4 最大工作半径 Rmax

试验运动范围要求：最大工作半径Rmax应根据最大运动范围进行适当选取，试验运动半径按比例逐级递减，向下取整。

表1 试验运动范围

试验选取半径 R	距离(mm)
R1	最大运动半径 R _{max}
R2	90%
R3	80%
R4	70%
R5	50%

4.3 试验方法

4.3.1 试验评估参数

本试验全域定位精度包括重载工业机器人静态定位精度和动态定位精度。

- 静态定位精度：位姿准确度（pose accuracy）、位姿重复性（pose repeatability）。
- 动态定位精度：位姿稳定时间（pose stabilization time）、位姿超调（pose overshoot）、位姿漂移（pose drift）。

注：其中，位姿准确度（pose accuracy）包括单方向位姿准确度（unidirectional pose repeatability）、多方向位姿准确度变动(multidirectional pose repeatability variation), 位姿漂移包括位姿准确度漂移(drift of pose accuracy) 和位姿重复性漂移（drift of pose repeatability）。

4.3.2 注意事项

试验顺序对实验结果没有影响，但为了确定停顿时间，建议先进行位置稳定时间试验后，再进行位姿重复性试验。位置超调量、位置准确度和重复性试验可同时进行。位姿特性漂移试验应独立进行位姿特性试验应在点位或连续轨迹控制下进行，轨迹特性试验应在轨迹控制下进行。

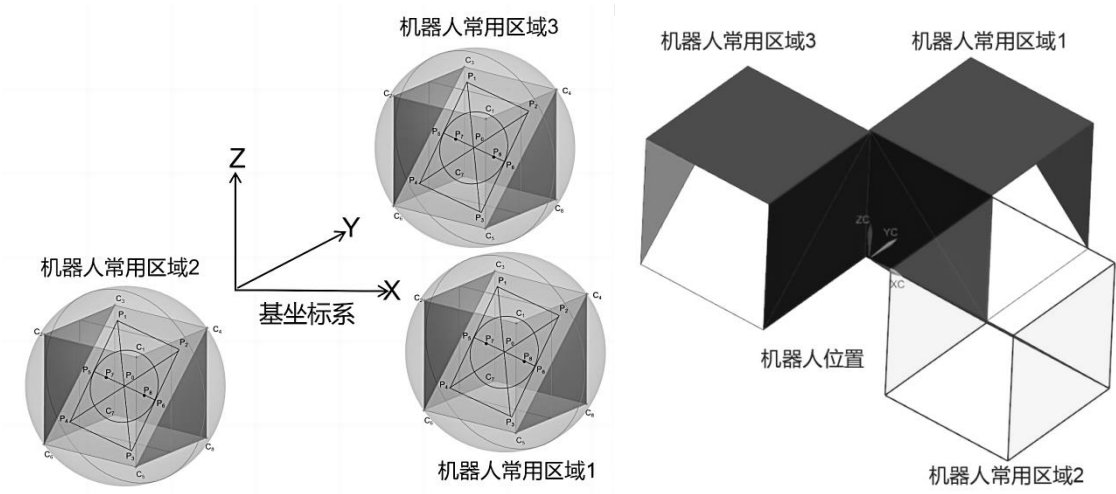


图2 试验工作空间与坐标系相对位置

4.3.3 全域位姿准确度与重复性

4.3.3.1 全域位姿准确度与重复性试验条件

全域位姿准确度与重复性试验条件应按表2执行，建议运行轨迹按照P0-P1-P2-P3-P4-P0为一个循环。

表2 全域位置准确度与重复性试验条件

负载	速度	目标点	循环次数
100%额定负载	100%额定速度； 10%、50%额定速度（可选）	P0-P1-P2-P3-P4	100
空载、30%、50%、80%额定负载 （可选）	100%额定速度； 10%、50%额定速度（可选）		

4.3.3.2 全域位姿准确度计算

公式参考GB/T 12642-2013中7.2.1位姿准确度计算方法。位姿准确度分为位置准确度和姿态准确度。

a) 位置准确度为指令位姿的位置与实际到达位置集群重心之差，计算公式见式（1）。

$$AP_p = \sqrt{(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2 + (z - \bar{z})^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ 为对同一位姿重复响应n次后所得各点集群中心的坐标。 x, y, z 为期望位姿的位置。

b) 位姿准确度为指令位姿的姿态与实际达到姿态平均值之差，计算公式见式（2）。

$$AP_a = (a - \bar{a}); AP_b = (b - \bar{b}); AP_c = (c - \bar{c}) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}$ 为对同一位姿重复响应n次后所得各点集群中心的坐标。 a, b, c 为期望位姿的姿态角。

c) 全域位姿准确度计算公式参考 GB/T 12642-2013 中 7.2.1 位姿准确度计算方法，机器人在全域工作空间的准确度，根据大空间重载工业机器人常用的三个区域（前、左、右；区域1、区域2、区域3）分区测试，全域位姿准确度为各测试区域准确度加权平均。如以下公式平均加权后的全域位姿准确度。计算公式见式（3）。

$$WAP = \sum_{j=1}^n \frac{1}{3} AP_i \dots\dots\dots (3)$$

式中：

测试平面上的点数*i*=0, 1, 2, 3, 4；测试区域的个数*j*=1, 2, 3。

4.3.3.3 全域位姿重复性计算

全域位姿重复性计算公式参考GB/T 12642-2013中7.2.2位姿重复性计算方法。

4.3.4 全域多方向位姿准确度

全域多方向位姿准确度试验条件应按表3执行，全域多方向位姿准确度的试验方法参照GB/T 12642-2013 中7.2.3。

表3 全域多方向位姿准确度试验条件

负载	速度	目标点	循环次数
100%额定负载	100%额定速度； 10%、50%额定速度（可选）	P0-P1-P2-P3-P4	100
空载、30%、50%、80%额定负载 （可选）	100%额定速度； 10%、50%额定速度（可选）		

4.3.5 全域位姿稳定时间

全域位姿稳定时间试验条件应按表4执行，全域位姿稳定时间的实验方法参照GB/T 12642-2013 中7.4。

表4 全域位姿稳定时间试验条件

负载	速度	目标点	循环次数
100%额定负载	100%额定速度； 10%、50%额定速度（可选）	P0-P1-P2-P3-P4	100
空载、30%、50%、80%额定负载 （可选）	100%额定速度； 10%、50%额定速度（可选）		

4.3.6 全域位姿超调量

全域位姿超调量试验条件应按表5执行，全域位姿超调量的实验方法参照GB/T 12642-2013 中7.5。

表5 全域位姿超调量试验条件

负载	速度	目标点	循环次数
100%额定负载	100%额定速度； 10%、50%额定速度（可选）	P0-P1-P2-P3-P4	100
空载、30%、50%、80%额定负载 （可选）	100%额定速度； 10%、50%额定速度（可选）		

4.3.7 全域位姿特性漂移

全域位姿特性漂移试验条件应按表6执行，全域位姿特性漂移的试验方法参照GB/T 12642-2013 中7.6。

表6 位姿特性漂移试验条件

负载	速度	目标点	循环次数
100%额定负载	100%额定速度； 10%、50%额定速度（可选）	P0-P1-P2-P3-P4	10h 连续循环
空载、30%、50%、80%额定负载 （可选）	100%额定速度； 10%、50%额定速度（可选）		

附 录 A
(资料性)
试验报告实例

试验报告参照GB/T 12642-2013 中附录C，试验结果表如下所示。

A. 1 重载工业机器人基本信息

制造商		品牌	
类型		型号	
额定负载		最大工作半径	
序列号		安装方向	
软件版本		编程方法	
工作场所		其他说明	

A. 2 试验条件

环境温度		环境湿度	
大气压强		测量时间	
重心位置		测量点位置	

A. 3 试验参数

位置准确度		姿态准确度	
单方向位姿准确度		多方向位姿准确度变动	
位置重复度		姿态重复度	
单方向位姿重复度		多方向位姿重复度变动	
位置稳定时间		位置超调量	
位姿准确度漂移		位姿重复性漂移	

A. 4 试验结果表

表A. 1 全域位姿准确度与重复性

负载	速度	试验半径	P0	P1	P2	P3	P4
100%额定负载 空载、30%、50%、80%额定负载（可选）	100%额定速度； 10%、50%额定速度 （可选）	R1					
		R2					
		R3					
		R4					
		R5					

表A. 2 全域多方向位姿准确度

负载	速度	试验半径	P0	P1	P2	P3	P4
----	----	------	----	----	----	----	----

表A. 2 全域多方向位姿准确度（续）

负载	速度	试验半径	P0	P1	P2	P3	P4
100%额定负载 空载、30%、50%、 80%额定负载（可 选）	100%额定速度； 10%、50%额定速度 （可选）	R1					
		R2					
		R3					
		R4					
		R5					

表A. 3 全域位置稳定时间和位置超调量

负载	速度	试验半径	P0	P1	P2	P3	P4
100%额定负载 空载、30%、50%、80% 额定负载（可选）	100%额定速度； 10%、50%额定速度 （可选）	R1	t= OV=	t= OV=	t= OV=	t= OV=	t= OV=
		R2					
		R3					
		R4					
		R5					