



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 40014—2021

---

## 双臂工业机器人 性能及其试验方法

Dual arm industrial robots—Performance and related test methods

2021-04-30 发布

2021-11-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 缩略语 .....	3
5 双臂工业机器人坐标系 .....	3
5.1 一般原则 .....	3
5.2 绝对坐标系 .....	4
5.3 机座坐标系 .....	4
5.4 机械接口坐标系 .....	4
6 性能 .....	5
6.1 双臂组合操作性能 .....	5
6.1.1 通则 .....	5
6.1.2 组合位姿特性 .....	5
6.1.3 组合轨迹特性 .....	6
6.2 双臂联合操作性能 .....	6
6.2.1 通则 .....	6
6.2.2 联合位姿特性 .....	6
6.2.3 联合轨迹特性 .....	8
6.2.4 联合最小定位时间(mptDJ) .....	9
6.2.5 联合静态柔顺性(scDJ) .....	9
7 试验方法 .....	10
7.1 通则 .....	10
7.2 双臂组合操作性能试验方法 .....	10
7.2.1 试验条件 .....	10
7.2.2 组合位姿特性试验方法 .....	10
7.2.3 组合轨迹特性试验方法 .....	15
7.3 双臂联合操作性能试验方法 .....	19
7.3.1 联合位姿特性试验方法 .....	19
7.3.2 联合轨迹特性试验方法 .....	20
7.3.3 联合最小定位时间试验方法 .....	21
7.3.4 联合静态柔顺性试验方法 .....	21

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国自动化系统与集成标准化技术委员会(SAC/TC 159)归口。

本标准起草单位：中国科学院沈阳自动化研究所、沈阳自动化研究所(昆山)智能装备研究院、苏州市华测检测技术有限公司、重庆德新机器人检测中心有限公司、珠海格力智能装备有限公司、沈阳新松机器人自动化股份有限公司、重庆鲁班机器人技术研究院有限公司、北京机械工业自动化研究所有限公司、机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、中国科学院重庆绿色智能技术研究院、华南智能机器人创新研究院。

本标准主要起草人：朱思俊、魏强、李仕海、赵明扬、刘攀超、李本旺、文辉、张锋、宋吉来、何国田、李志海、尹作重、郑旭、林远长、熊棣文、刘奕华、王虹。

# 双臂工业机器人 性能及其试验方法

## 1 范围

本标准规定了双臂工业机器人进行双臂组合操作及双臂联合操作的性能及其试验方法,具体规定了下列性能参数及其试验方法:

- 组合位姿特性;
- 组合轨迹特性;
- 联合位姿特性;
- 联合轨迹特性;
- 联合最小定位时间;
- 联合静态柔顺性。

注:对于某一具体双臂工业机器人,本标准不规定选择上述的哪些性能参数。

本标准适用于研究和检验某个双臂工业机器人的性能指标,也适用于双臂工业机器人的样机试验、定型试验和验收试验等。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 16977—2019 机器人与机器人装备 坐标系和运动命名原则

## 3 术语和定义

GB/T 12642—2013 和 GB/T 12643—2013 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 操作机 manipulator

用来抓取和(或)移动物体、由一些相互铰接或相对滑动的构件组成且只有一个机械接口的多自由度机器。

注 1: 改写 GB/T 12643—2013, 定义 2.1。

注 2: 包括但不限于串联型、并联型、混联型操作机。

### 3.2

#### 双臂工业机器人 dual arm industrial robot

采用一套控制系统,控制两套操作机完成一项或一组操作任务的工业机器人。

注: 双臂工业机器人的示意见图 1。

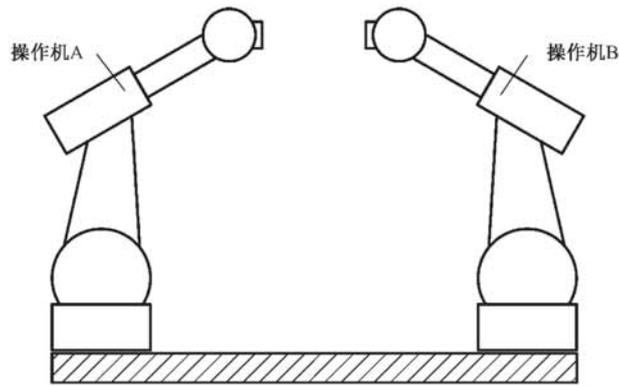


图 1 双臂工业机器人示意图

3.3

**双臂组合操作 combine manipulation of dual arm industrial robot**

通过操作机 A 和操作机 B 分别完成任务 1 和任务 2 的过程,两个任务存在相对运动关系。

注:双臂组合操作示意图 2。双臂工业机器人操作机 A 和操作机 B 分别操控工件 1 和工件 2,工件 1 和工件 2 存在相对位置关系。

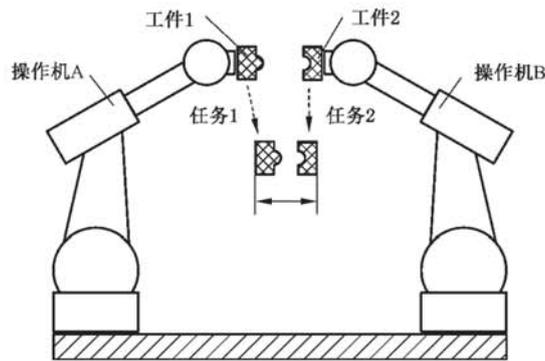


图 2 双臂组合操作示意图

3.4

**双臂联合操作 joint manipulation of dual arm industrial robot**

通过操作机 A 和操作机 B 共同操控同一工件完成的过程。

注:双臂联合操作示意图 3。双臂工业机器人操作机 A 和操作机 B 共同夹持同一工件完成操作任务。

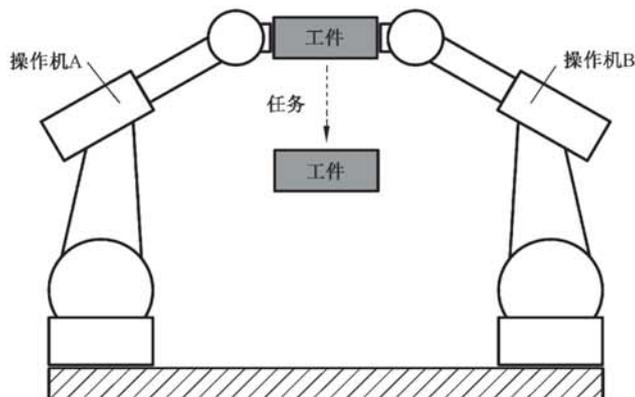


图 3 双臂联合操作示意图

## 4 缩略语

GB/T 12642—2013 界定的以及下列缩略语适用于本文件。

ADDJ	联合距离准确度	(Distance Accuracy of DJ)
APDC	组合位姿准确度	(Pose Accuracy of DC)
APDJ	联合位姿准确度	(Pose Accuracy of DJ)
ATDC	组合轨迹准确度	(Relative Trajectory Accuracy of DC)
ATDJ	联合轨迹准确度	(Trajectory Accuracy of DJ)
AVDC	组合轨迹速度准确度	(Trajectory Velocity Accuracy of DC)
AVDJ	联合轨迹速度准确度	(Trajectory Velocity Accuracy of DJ)
dAPDJ	联合位姿准确度漂移	(Drift of Pose Accuracy of DJ)
DC	组合操作	(Combine Manipulation with Dual Arm Industrial Robot)
DJ	联合操作	(Joint Manipulation with Dual Arm Industrial Robot)
dPDJ	联合位姿特性漂移	(Drift of Pose of DJ)
dRPDJ	联合位姿重复性漂移	(Drift of Pose Repeatability of DJ)
FVDJ	联合轨迹速度波动性	(Trajectory Velocity Fluctuation of DJ)
mptDJ	联合最小定位时间	(Minimum Posing Time of DJ)
OVDJ	联合位置超调量	(Pose Overshoot of DJ)
pstDJ	联合位置稳定时间	(Position Stabilization Time of DJ)
RDDJ	联合距离重复性	(Distance Repeatability of DJ)
RPDC	组合位姿重复性	(Pose Repeatability of DC)
RPDJ	联合位姿重复性	(Pose Repeatability of DJ)
RTDJ	联合轨迹重复性	(Trajectory Repeatability of DJ)
RVDJ	联合轨迹速度重复性	(Trajectory Velocity Repeatability of DJ)
scDJ	联合静态柔顺性	(Static Compliance of DJ)
vAPDJp	联合多方向位姿准确度	(Multidirectional Pose Accuracy Variation of DJ)

## 5 双臂工业机器人坐标系

### 5.1 一般原则

本标准中所描述的全部坐标系由正交的右手定则来确定,见 GB/T 16977—2019 中第 4 章。

图 4 表示了在本标准中所描述的绝对坐标系、机座坐标系和机械接口坐标系。试验位姿宜以机座坐标系来确定。如采用其他坐标系,测试报告应说明所使用的坐标系。

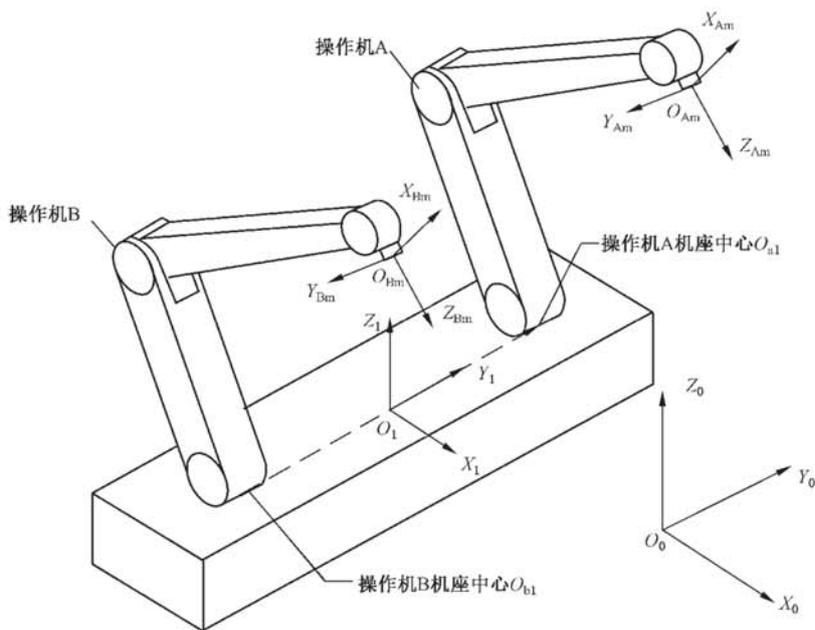


图4 双臂工业机器人坐标系示例

### 5.2 绝对坐标系

绝对坐标系与双臂工业机器人的运动无关,是以地球为参照系的固定坐标系。

绝对坐标系符号为  $O_0-X_0-Y_0-Z_0$ 。

绝对坐标系的原点  $O_0$  由用户根据需要来确定。

绝对坐标系+ $Z_0$ 轴与重力加速度的矢量共线,但其方向相反。

绝对坐标系+ $X_0$ 轴根据用户的使用要求来确定。

### 5.3 机座坐标系

机座坐标系是以双臂工业机器人机座安装平面为参照系的坐标系。

机座坐标系符号为  $O_1-X_1-Y_1-Z_1$ 。

机座坐标系原点  $O_1$  由机器人制造厂规定。

机座坐标+ $Z_1$ 轴垂直于双臂工业机器人机座安装面,指向双臂工业机器人机体。当由于双臂工业机器人的构造不能实现此约定时, $Z_1$ 轴的方向可由制造厂规定。

机座坐标系+ $Y_1$ 轴方向平行于由操作机B机座中心  $O_{b1}$  指向操作机A机座中心  $O_{a1}$  的向量方向。当由于双臂工业机器人的构造不能实现此约定时,+ $Y_1$ 轴的方向可由制造厂规定。

### 5.4 机械接口坐标系

机械接口坐标系是以机械接口为参照系的坐标系。双臂工业机器人的两个操作机各有一套机械接口坐标系。

操作机A的坐标系符号为  $O_{Am}-X_{Am}-Y_{Am}-Z_{Am}$ 。操作机B的坐标系符号为  $O_{Bm}-X_{Bm}-Y_{Bm}-Z_{Bm}$ 。

操作机A的原点  $O_{Am}$  是操作机A机械接口的中心。操作机B的原点  $O_{Bm}$  是操作机B机械接口的中心。

机械接口坐标系的+ $Z_{Am}$ 轴的方向,垂直于操作机A机械接口中心,并由此指向安装在操作机A机械接口的末端执行器。机械接口坐标系的+ $Z_{Bm}$ 轴的方向,垂直于操作机B机械接口中心,并由此指

向安装在操作机 B 机械接口的末端执行器。

机械接口坐标系的  $+X_{Am}$  轴是由操作机 A 机械接口平面和  $X_1$ 、 $Z_1$  平面(或平行于  $X_1$ 、 $Z_1$  平面)的交线来定义的,同时操作机 A 的主、副关节轴处于运动范围的中间位置。当操作机 A 的构造不能实现此约定时,应由制造厂规定主关节轴的位置。 $+X_{Am}$  轴的指向是远离  $Z_1$  轴的。机械接口坐标系的  $+X_{Bm}$  轴是由操作机 B 机械接口平面和  $X_1$ 、 $Z_1$  平面(或平行于  $X_1$ 、 $Z_1$  平面)的交线来定义的,同时操作机 B 的主、副关节轴处于运动范围的中间位置。当操作机 B 的构造不能实现此约定时,应由制造厂规定主关节轴的位置。 $+X_{Bm}$  轴的指向是远离  $Z_1$  轴的。

## 6 性能

### 6.1 双臂组合操作性能

#### 6.1.1 通则

双臂组合操作特性是双臂工业机器人进行组合操作时的性能,包括组合位姿特性和组合轨迹特性。

#### 6.1.2 组合位姿特性

##### 6.1.2.1 概述

组合位姿特性是双臂工业机器人进行组合操作时的位姿性能(见图 5),包括组合位姿准确度和组合位姿重复性特性。

组合指令位姿是在双臂组合操作模式下,以示教编程、人工数据输入或离线编程所设定的由操作机 A 指令位姿指向操作机 B 指令位姿的向量。

组合实到位姿是在双臂组合操作模式下,操作机 A 和操作机 B 在自动方式下分别响应各自指令位姿而各自实际达到位姿时,由操作机 A 实到位姿指向操作机 B 实到位姿的向量。

组合位姿准确度和组合位姿重复性特性,由组合指令位姿和组合实到位姿间的偏差和重复接近组合指令位姿的一系列组合实到位姿的分布来确定。

组合位姿准确度和组合位姿重复性产生的原因,除了机器人位姿误差原因(见 GB/T 12642—2013 中 7.1)外,还包含操作机 A 与操作机 B 的相对位置标定。

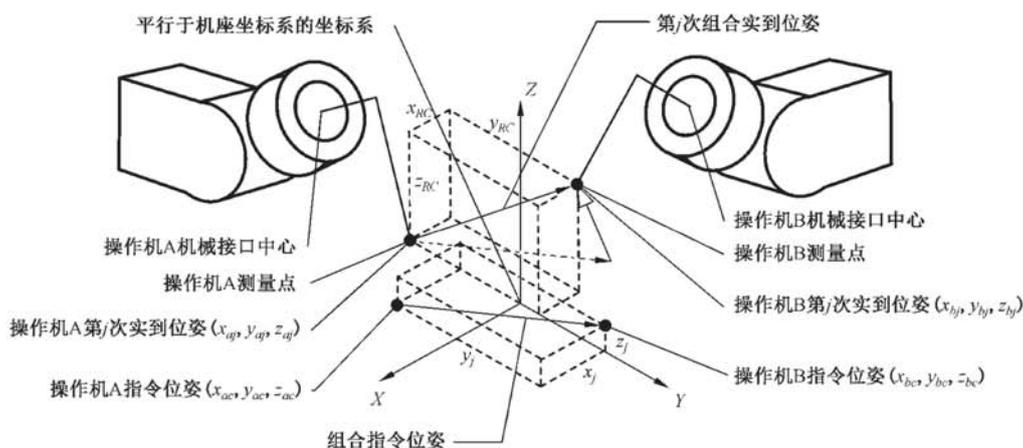


图 5 组合指令位姿和组合实到位姿的关系

##### 6.1.2.2 组合位姿准确度(APDC)

组合位姿准确度是双臂工业机器人的组合指令位姿和双操作机各自从同一方向接近各自指令位姿

时的组合实到位姿平均值之间的偏差。

组合位姿准确度分为：

- a) 组合位置准确度：组合指令位姿的向量与组合实到位姿的向量均值之差；
- b) 组合姿态准确度：组合指令位姿的姿态与组合实到姿态平均值之差。

### 6.1.2.3 组合位姿重复性(RPDC)

组合位姿重复性是对同一组组合指令位姿，操作机 A 和操作机 B 各自从同一方向重复响应  $n$  次后，组合实到位姿的一致程度。

## 6.1.3 组合轨迹特性

### 6.1.3.1 概述

组合轨迹是在双臂组合操作模式下，由操作机 A 末端轨迹指向操作机 B 末端轨迹的向量序列。

组合指令轨迹是在双臂组合操作模式下，以示教编程、人工数据输入或离线编程所设定的由操作机 A 指令轨迹指向操作机 B 的指令轨迹的向量序列。

组合实到轨迹是在双臂组合操作模式下，操作机 A 和操作机 B 在自动方式下分别响应各自指令轨迹而各自实际达到轨迹时，由操作机 A 实到轨迹指向操作机 B 的实到轨迹的向量序列。

组合轨迹准确度特性，由组合指令轨迹和组合实到轨迹间的偏差来确定。

### 6.1.3.2 组合轨迹准确度(ATDC)

组合轨迹准确度表示双臂工业机器人沿同一组组合指令轨迹同步  $n$  次移动操作机 A 机械接口及操作机 B 机械接口的能力。

组合轨迹准确度由下述两个因素决定：

- 组合指令轨迹的位置与各组合实到轨迹位置集群的中心线之间的偏差(即组合位置轨迹准确度)；
- 组合指令姿态与组合实到姿态平均值之间的偏差(即组合姿态轨迹准确度)。

组合轨迹准确度是双臂工业机器人两套操作机沿着各自指令轨迹同步运动时，组合实到位姿与组合指令位姿的最大偏差。

组合位置轨迹准确度是组合指令轨迹上一些计算点的位置与多次测量的集群中心间的距离最大值。

### 6.1.3.3 组合轨迹速度准确度(AVDC)

组合指令速度与沿轨迹进行多次重复测量所获得的组合实到速度平均值之差，可用组合指令速度的百分比标识。

## 6.2 双臂联合操作性能

### 6.2.1 通则

双臂联合操作特性是双臂工业机器人进行联合操作时的性能。

### 6.2.2 联合位姿特性

#### 6.2.2.1 概述

联合位姿特性是双臂工业机器人进行联合操作时的位姿性能。联合位姿是操作机 A 末端和操作

机 B 末端联合控制同一工件时的工件位姿, 见图 6。

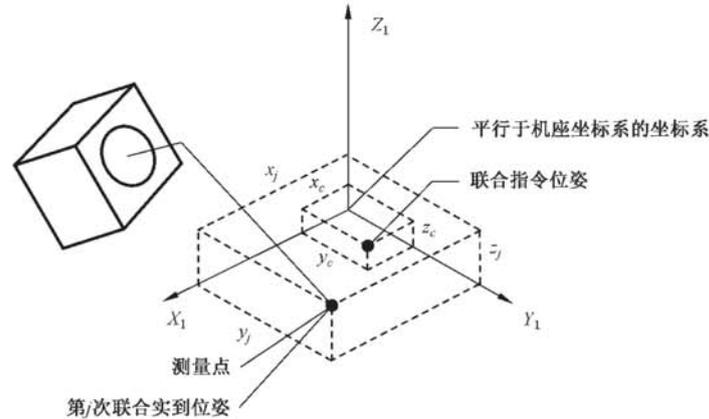


图 6 联合位姿

联合指令位姿是在双臂联合操作模式下, 以示教编程、人工数据输入或离线编程所设定的工件位姿。

联合实到位置是在双臂联合操作模式下, 双臂工业机器人在自动方式下响应联合指令位姿, 工件实际达到的位姿。

#### 6.2.2.2 联合位姿准确度 (APDJ)

联合位姿准确度是联合指令位姿和从同一方向接近该联合指令位姿时的联合实到位置平均值之间的偏差。

联合位姿准确度分为:

- a) 联合位置准确度: 工件指令位置与工件实到位置集群中心之差;
- b) 联合姿态准确度: 工件指令姿态与工件实到姿态平均值之差。

#### 6.2.2.3 联合位姿重复性 (RPDJ)

联合位姿重复性表示对同一联合指令位姿从同一方向重复响应  $n$  次后, 联合实到位置的一致程度。

#### 6.2.2.4 联合多方向位姿准确度变动 (vAPDJp)

联合多方向位姿准确度变动表示从三个相互垂直方向对相同联合位姿指令响应  $n$  次时, 各平均联合实到位置间的偏差。

#### 6.2.2.5 联合距离准确度和重复性

##### 6.2.2.5.1 概述

联合距离准确度和联合距离重复性由两个联合指令位姿和两组联合实到位置之间的距离偏差和在这两个位姿间一系列重复移动的距离波动来确定。

对位姿用下列两种方法之一控制, 可测量双臂指令距离准确度和双臂指令距离重复性:

- a) 使用离线编程控制两个位姿;
- b) 用示教编程控制一个位姿, 并通过人工数据输入对距离编程。

应在报告中说明使用的方法。

6.2.2.5.2 联合距离准确度(ADDJ)

联合距离准确度是在联合指令距离和联合实到距离平均值之间位置和姿态的偏差。

6.2.2.5.3 联合距离重复性(RDDJ)

联合距离重复性表示在同一方向对相同联合指令距离重复运动  $n$  次后工件联合实到距离的一致程度。联合距离重复性包括联合位置距离重复性和联合姿态距离重复性。

6.2.2.6 联合位置稳定时间(pstDJ)

联合位置稳定时间用于衡量双臂工业机器人联合操控工件停止在联合实到姿态快慢程度的性能。联合位置稳定时间是从工件质心第一次进入门限带的瞬间到不再超出门限带所经历的时间。

6.2.2.7 联合位置超调量(OVDJ)

测量联合位置超调量的目的是为了衡量双臂工业机器人联合控制工件平稳、准确地停在联合实到姿态的能力。应明白,联合位置超调量与联合位置稳定时间有关。

联合位置超调量是工件第一次进入门限带再超出门限带后瞬时位置与实到稳定位置的最大距离。

6.2.2.8 联合位姿特性漂移(dPDJ)

联合位姿漂移特性包括联合位姿准确度漂移和联合位姿重复性漂移。

联合位姿准确度漂移(dAPDJ)是在指定时间( $T$ )内工件位姿准确度的变化。

联合位姿重复性漂移(dRPDJ)是在指定时间( $T$ )内工件位姿重复性的变化。

6.2.3 联合轨迹特性

6.2.3.1 概述

联合轨迹特性是在双臂联合操作工件时,被操作工件的运动轨迹。

联合指令轨迹是在双臂联合操作时,以 示教编程、人工数据输入或离线编程所设定的工件轨迹。

联合实到轨迹是在双臂联合操作时,双臂工业机器人在自动方式下响应联合指令位姿,工件实际达到的轨迹。

联合轨迹准确度和联合重复性的定义与轨迹形状无关。

图 7 给出了联合轨迹准确度和联合轨迹重复性的一般性说明。

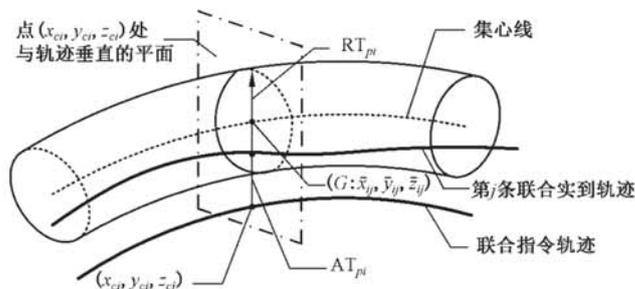


图 7 对某一联合指令轨迹的联合轨迹准确度和联合轨迹重复性

联合操作轨迹特性中的双臂重定向轨迹准确度、拐角偏差的定义、计算及试验条件见 GB/T 12642—2013 中第 8 章。

### 6.2.3.2 联合轨迹准确度(ATDJ)

联合轨迹准确度表示双臂工业机器人联合操作一个工件在同一方向上沿联合指令轨迹  $n$  次移动工件的能力。

联合轨迹准确度是被控工件在位置和姿态上沿所得轨迹的最大轨迹偏差。

联合位置轨迹准确度  $AT_p$  是工件指令轨迹上一些( $m$  个)计算点的位置与  $n$  次测量的集群中心  $G_i$  间的距离的最大值。

### 6.2.3.3 联合轨迹重复性(RTDJ)

联合轨迹重复性是双臂工业机器人对同一联合指令轨迹重复  $n$  次时联合实到轨迹的一致程度。

### 6.2.3.4 联合重定向轨迹准确度

联合轨迹重复性是双臂工业机器人在一条直线轨迹上,沿三个方向交替变换姿态的影响。

### 6.2.3.5 联合轨迹速度特性

#### 6.2.3.5.1 概述

联合轨迹速度是在双臂联合操作工件时,被操作工件质心的运动速度。

联合指令速度是在双臂联合操作模式下,以示教编程、人工数据输入或离线编程所设定的工件质心的指令轨迹速度。

联合实到速度是在双臂联合操作模式下,双臂工业机器人在自动方式下响应工件指令速度,工件质心的实到轨迹速度。

#### 6.2.3.5.2 联合轨迹速度准确度(AVDJ)

联合轨迹速度准确度是联合指令速度与沿轨迹进行  $n$  次重复测量所获得的联合实到速度平均值之差。

#### 6.2.3.5.3 联合轨迹速度重复性(FVDJ)

联合轨迹速度重复性是对同一联合指令速度所得联合实到速度的一致程度。

#### 6.2.3.5.4 联合轨迹速度波动(RVDJ)

联合轨迹速度波动是在再现一种联合指令速度的过程中速度的最大变化量。

联合轨迹速度波动是每次再现时联合速度波动的最大值。

### 6.2.4 联合最小定位时间(mptDJ)

联合最小定位时间是在双臂联合操作时,双臂工业机器人在点位控制方式下,工件从静态开始移动以预定距离和/或摆动一预定角度到达稳定状态所经历的时间。

### 6.2.5 联合静态柔顺性(scDJ)

联合静态柔顺性是在联合操作时,在单位负载作用下的最大的位移。应在工件机械结构处加载并测量位移。

## 7 试验方法

### 7.1 通则

为了对比不同双臂工业机器人的性能指标,下列参数应相同:

- 试验立方体的尺寸;
- 试验用负载;
- 试验速度;
- 试验轨迹;
- 试验循环;
- 环境条件。

### 7.2 双臂组合操作性能试验方法

#### 7.2.1 试验条件

无特殊说明,双臂工业机器人组合操作的试验条件见 GB/T 12642—2013 中 6.1、6.2 和 6.3。

在双臂组合操作试验中,无特殊说明,操作机 A 及操作机 B 采用相同的负载、速度、位姿等试验条件。

#### 7.2.2 组合位姿特性试验方法

##### 7.2.2.1 组合操作测试立方体

双臂工业机器人组合操作时有两个测试立方体,即操作机 A 的测试立方体 A 和操作机 B 的测试立方体 B。两个测试立方体的定义,包括立方体在工作空间的位置、立方体内所用平面的位置、跟踪的轨迹,见 GB/T 12642—2013 中 6.8。当由于机器人的构造不能实现约定时,立方体的定义可由制造厂规定。

##### 7.2.2.2 试验位姿

在双臂组合操作模式下,双臂工业机器人各操作机的测量平面及选用平面见 GB/T 12642—2013 中 6.8.4。

双臂工业机器人测试立方体的选用平面及测量平面示例见图 8。双臂工业机器人使用的位姿示例见图 9。

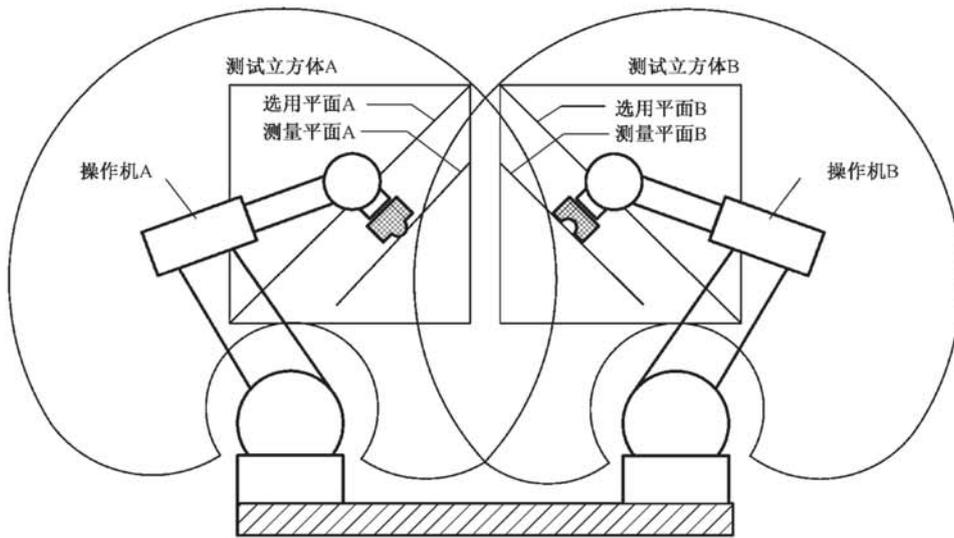
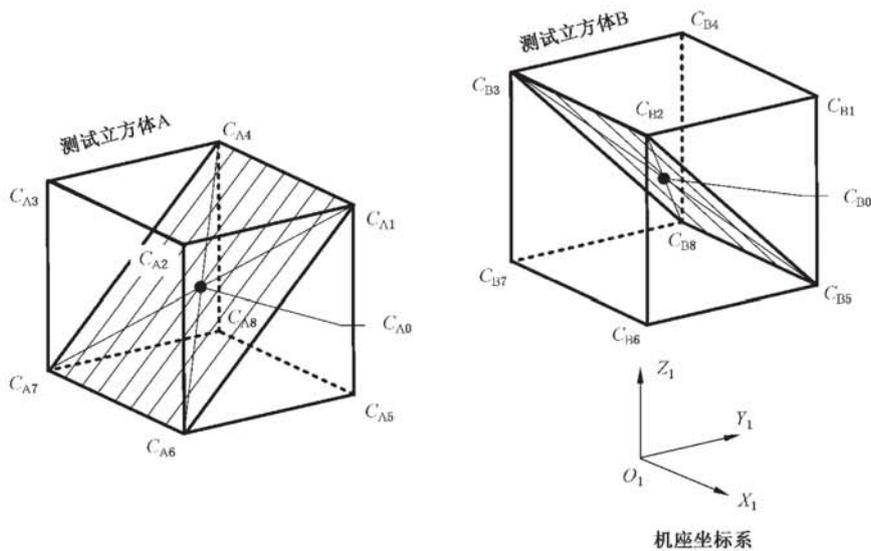


图8 选用平面和测量平面示例



说明：

示例平面  $C_{A1}-C_{A4}-C_{A7}-C_{A6}/C_{B2}-C_{B3}-C_{B8}-C_{B5}$  和示例位姿  $C_{A0}-C_{A1}-C_{A4}-C_{A7}-C_{A6}/C_{B0}-C_{B2}-C_{B3}-C_{B8}-C_{B5}$ 。

图9 使用的位姿示例

### 7.2.2.3 运动要求

当双臂工业机器人在各位姿间运动时,操作机 A 和操作机 B 的所有关节均应同步运动。以图 9 的示例位姿为例,操作机 A/操作机 B 同步从  $C_{A0}$  点/ $C_{B0}$  点开始运动,同步运动到达  $C_{A1}$  点/ $C_{B2}$  点、 $C_{A4}$  点/ $C_{B3}$  点、 $C_{A7}$  点/ $C_{B8}$  点、 $C_{A6}$  点/ $C_{B5}$  点。

试验时,应注意不超出制造操作规范。

### 7.2.2.4 组合位姿准确度

组合位置准确度示意图 10,组合姿态准确度示意图 11。

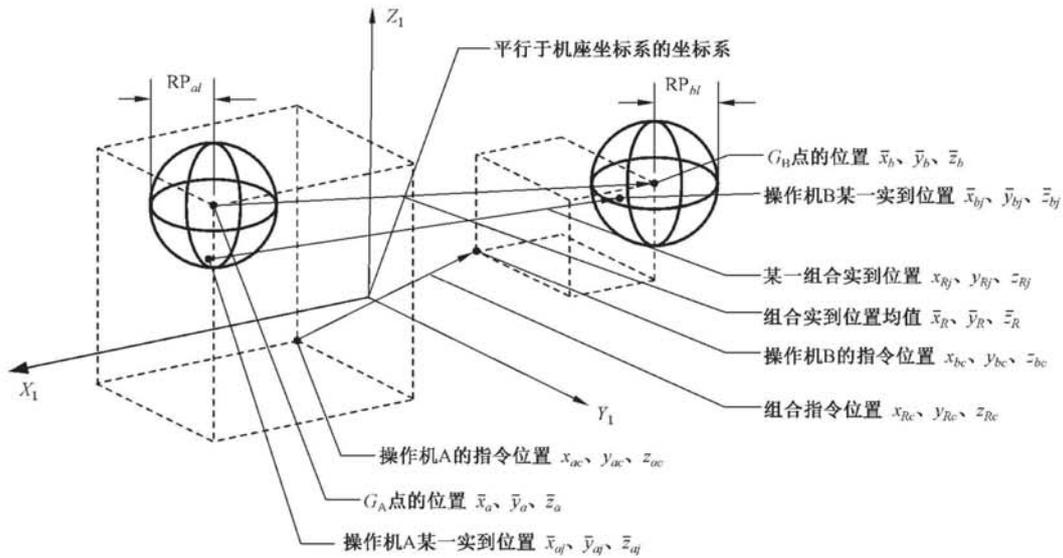
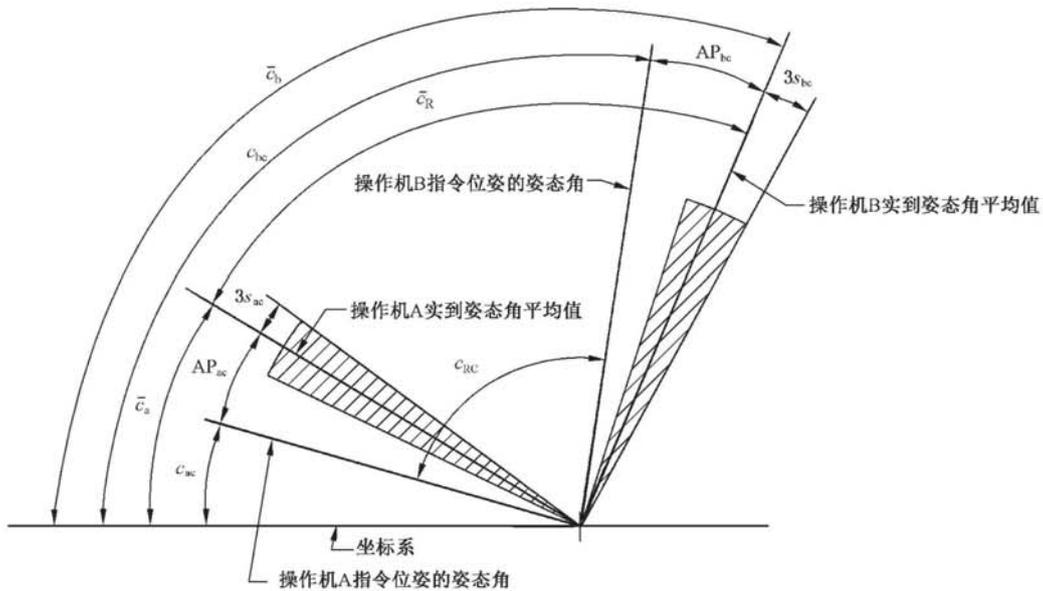


图 10 组合位置准确度



注：a、b 可用同一图。

图 11 组合姿态准确度

组合位置准确度的计算见公式(1)~公式(7)：

$$APDC_p = \sqrt{(\bar{x}_R - x_{RC})^2 + (\bar{y}_R - y_{RC})^2 + (\bar{z}_R - z_{RC})^2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\bar{x}_R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{Rj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_{bj} - x_{aj}) = \bar{x}_b - \bar{x}_a \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\bar{y}_R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{Rj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_{bj} - y_{aj}) = \bar{y}_b - \bar{y}_a \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\bar{z}_R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_{Rj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (z_{bj} - z_{aj}) = \bar{z}_b - \bar{z}_a \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$x_{RC} = x_{bc} - x_{ac} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$y_{RC} = y_{bc} - y_{ac} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$z_{RC} = z_{bc} - z_{ac} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$x_{aj}$ 、 $y_{aj}$ 、 $z_{aj}$ ——操作机 A 第  $j$  次实到位姿的坐标；

$x_{bj}$ 、 $y_{bj}$ 、 $z_{bj}$ ——操作机 B 第  $j$  次实到位姿的坐标；

$x_{ac}$ 、 $y_{ac}$ 、 $z_{ac}$ ——操作机 A 指令位姿的坐标；

$x_{bc}$ 、 $y_{bc}$ 、 $z_{bc}$ ——操作机 B 指令位姿的坐标。

组合姿态准确度的计算见公式(8)~公式(16)：

$$APDC_a = (\bar{a}_R - a_{RC}) \dots\dots\dots (8)$$

$$ARDC_b = (\bar{b}_R - b_{RC}) \dots\dots\dots (9)$$

$$APDC_c = (\bar{c}_R - c_{RC}) \dots\dots\dots (10)$$

$$\bar{a}_R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{Rj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (a_{bj} - a_{aj}) = \bar{a}_b - \bar{a}_a \dots\dots\dots (11)$$

$$\bar{b}_R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_{Rj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (b_{bj} - b_{aj}) = \bar{b}_b - \bar{b}_a \dots\dots\dots (12)$$

$$\bar{c}_R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{Rj} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (c_{bj} - b_{aj}) = \bar{c}_b - \bar{c}_a \dots\dots\dots (13)$$

$$a_{RC} = a_{bc} - a_{ac} \dots\dots\dots (14)$$

$$b_{RC} = b_{bc} - b_{ac} \dots\dots\dots (15)$$

$$c_{RC} = c_{bc} - c_{ac} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$\bar{a}_R$ 、 $\bar{b}_R$ 、 $\bar{c}_R$ ——对同一组组合指令位姿重复响应  $n$  次后所得的姿态角的平均值；

$a_{aj}$ 、 $b_{aj}$  和  $c_{aj}$ ——操作机 A 第  $j$  次实到位姿的姿态角；

$a_{bj}$ 、 $b_{bj}$  和  $c_{bj}$ ——操作机 B 第  $j$  次实到位姿的姿态角；

$a_{ac}$ 、 $b_{ac}$  和  $c_{ac}$ ——操作机 A 指令位姿的姿态角；

$a_{bc}$ 、 $b_{bc}$  和  $c_{bc}$ ——操作机 B 指令位姿的姿态角。

表 1 给出了组合位姿准确度试验条件的汇总。

表 1 组合位姿准确度试验条件

负载	速度	位姿	循环次数
100%额定负载	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度	操作机 A: $C_{A0}-C_{A1}-C_{A4}-C_{A7}-C_{A6}$ 操作机 B: $C_{B0}-C_{B2}-C_{B3}-C_{B8}-C_{B5}$	30
额定负载降至 10% (选用)	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度		

操作机 A 从  $C_{A0}$  点开始,依次将机械接口移至  $C_{A0}$ 、 $C_{A1}$ 、 $C_{A4}$ 、 $C_{A7}$ 、 $C_{A6}$ ;操作机 B 从  $C_{B0}$  点开始,依次将机械接口移至  $C_{B0}$ 、 $C_{B2}$ 、 $C_{B3}$ 、 $C_{B8}$ 、 $C_{B5}$ 。操作机 A 和操作机 B 同步运动,操作机 A/操作机 B 同步从  $C_{A0}$  点/ $C_{B0}$  点开始运动,同步运动到达  $C_{A1}$  点/ $C_{B2}$  点、 $C_{A4}$  点/ $C_{B3}$  点、 $C_{A7}$  点/ $C_{B8}$  点、 $C_{A6}$  点/ $C_{B5}$  点,如此往复循环。

7.2.2.5 组合位姿重复性

对于某一组合位姿,重复性可表示为：

- 以位置集群中心为球心的球半径  $RPDC_l$  之值, 见图 12;
- 围绕平均值  $\bar{a}_R$ 、 $\bar{b}_R$  和  $\bar{c}_R$  的角度散布  $\pm 3S_{Ra}$ 、 $\pm 3S_{Rb}$ 、 $\pm 3S_{Rc}$ , 其中  $S_{Ra}$ 、 $S_{Rb}$  和  $S_{Rc}$  为标准偏差, 见图 13。

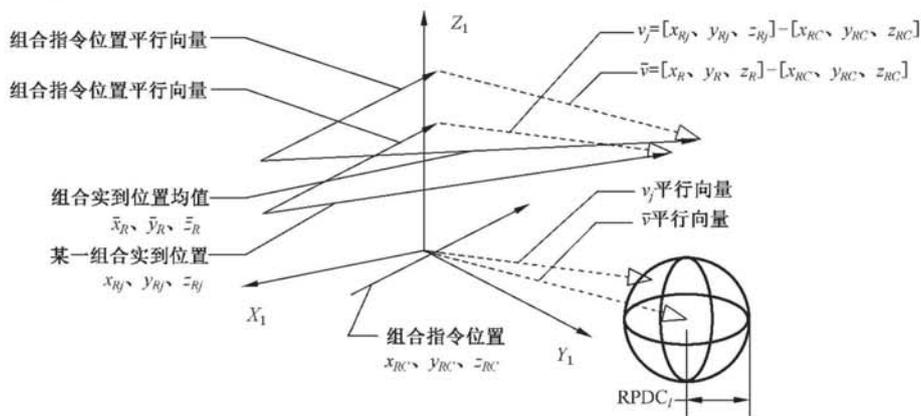
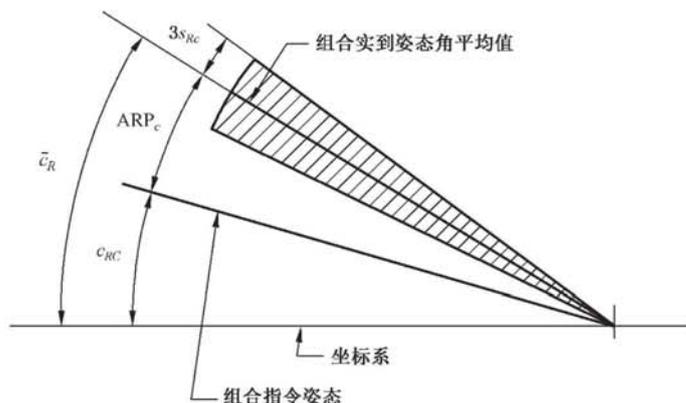


图 12 组合位置重复性



注:  $\bar{a}_R$ 、 $\bar{b}_R$  可用同一图。

图 13 组合姿态重复性

组合位置重复性的计算见公式(17)~公式(20):

$$RPDC_l = \bar{l}_R \pm 3S_{Rl} \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$\bar{l}_R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_{Rj}; \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$l_{Rj} = \sqrt{(x_{Rj} - \bar{x}_R)^2 + (y_{Rj} - \bar{y}_R)^2 + (z_{Rj} - \bar{z}_R)^2} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$S_{Rl} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (l_{Rj} - \bar{l}_R)^2}{n - 1}} \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中:

$x_{Rj}$ 、 $y_{Rj}$ 、 $z_{Rj}$  —— 在 7.2.2.4 中定义;

$\bar{x}_R$ 、 $\bar{y}_R$ 、 $\bar{z}_R$  —— 在 7.2.2.4 中定义。

组合姿态重复性的计算见公式(21)~(23):

$$RPDC_a = \pm 3S_{Ra} = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (a_{Rj} - \bar{a}_R)^2}{n - 1}} \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$RPDC_b = \pm 3S_{Rb} = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (b_{Rj} - \bar{b}_R)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (22)$$

$$RPDC_c = \pm 3S_{Rc} = \pm 3 \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (c_{Rj} - \bar{c}_R)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (23)$$

式中：

$\bar{a}_R, \bar{b}_R, \bar{c}_R$  —— 在 7.2.2.4 中定义；

$a_{Rj}, b_{Rj}, c_{Rj}$  —— 在 7.2.2.4 中定义。

表 2 给出了组合位姿重复性试验条件的汇总。

表 2 组合位姿重复性试验条件

负载	速度	位姿	循环次数
100%额定负载	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度	操作机 A: $C_{A0}-C_{A1}-C_{A4}-C_{A7}-C_{A6}$ 操作机 B: $C_{B0}-C_{B2}-C_{B3}-C_{B8}-C_{B5}$	30
额定负载降至 10% (选用)	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度		

操作机 A 从  $C_{A0}$  点开始,依次将机械接口移至  $C_{A0}, C_{A1}, C_{A4}, C_{A7}, C_{A6}$ ;操作机 B 从  $C_{B0}$  点开始,依次将机械接口移至  $C_{B0}, C_{B2}, C_{B3}, C_{B8}, C_{B5}$ 。操作机 A 和操作机 B 同步运动,操作机 A/操作机 B 同步从  $C_{A0}$  点/ $C_{B0}$  点开始运动,同步运动到达  $C_{A1}$  点/ $C_{B2}$  点、 $C_{A4}$  点/ $C_{B3}$  点、 $C_{A7}$  点/ $C_{B8}$  点、 $C_{A6}$  点/ $C_{B5}$  点,如此往复循环。

### 7.2.3 组合轨迹特性试验方法

#### 7.2.3.1 组合轨迹准确度

组合位置轨迹准确度  $ATDC_p$  是组合指令轨迹上一些( $m$  个)计算点的位置与  $n$  次测量的集群中心  $G_i$  间的距离最大值(见图 14)。

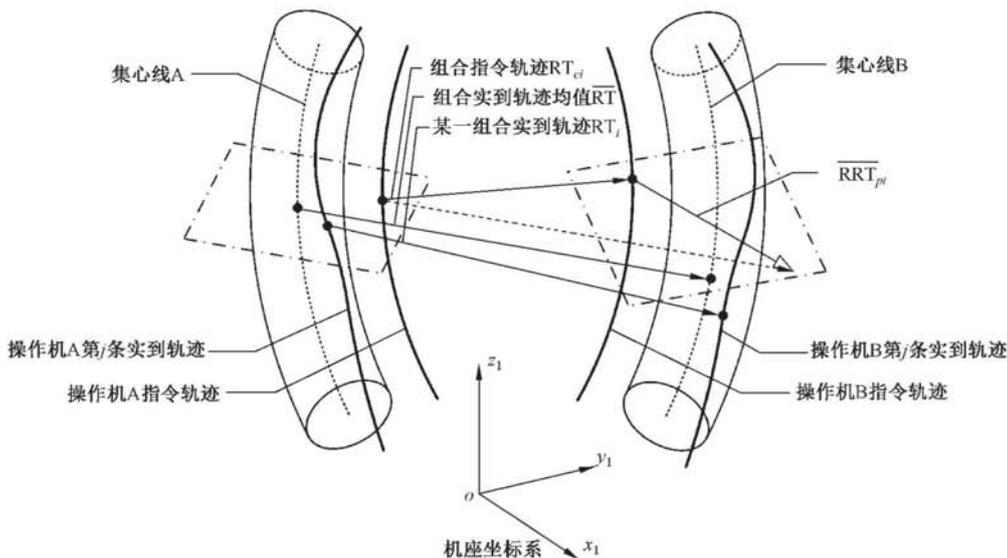


图 14 对某一组合指令轨迹的组合轨迹准确度

计算组合位置轨迹准确度  $ATDC_p$  时,应根据组合指令轨迹形状与试验速度,沿组合指令轨迹选择一些计算点及相应的正交平面。

组合位置轨迹准确度的计算见公式(24)~公式(27):

$$ATDC_p = \max \sqrt{(\bar{x}_{Ri} - x_{RCi})^2 + (\bar{y}_{Ri} - y_{RCi})^2 + (\bar{z}_{Ri} - z_{RCi})^2} \quad i = 1, \dots, m \quad \dots\dots (24)$$

$$\bar{x}_{Ri} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_{bij} - x_{aij}) \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$\bar{y}_{Ri} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_{bij} - y_{aij}) \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$\bar{z}_{Ri} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (z_{bij} - z_{aij}) \quad \dots\dots\dots (27)$$

式中:

$x_{RCi}, y_{RCi}, z_{RCi}$  ——在组合指令轨迹上的第  $i$  点的坐标(矢量在机座坐标系下的分量);

$x_{aij}, y_{aij}, z_{aij}$  ——操作机 A 第  $j$  条实到轨迹与第  $i$  个正交平面交点的坐标;

$x_{bij}, y_{bij}, z_{bij}$  ——操作机 B 第  $j$  条实到轨迹与第  $i$  个正交平面交点的坐标。

组合姿态轨迹准确度  $ATDC_a, ATDC_b$  和  $ATDC_c$  是沿组合轨迹上与组合指令姿态的最大偏差,计算见公式(28)~公式(33):

$$ATDC_a = \max |\bar{a}_{Ri} - \bar{a}_{RCi}| \quad i = 1, \dots, m \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$ATDC_b = \max |\bar{b}_{Ri} - \bar{b}_{RCi}| \quad i = 1, \dots, m \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$ATDC_c = \max |\bar{c}_{Ri} - \bar{c}_{RCi}| \quad i = 1, \dots, m \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$\bar{a}_{Ri} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{Rij} \quad \dots\dots\dots (31)$$

$$\bar{b}_{Ri} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_{Rij} \quad \dots\dots\dots (32)$$

$$\bar{c}_{Ri} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{Rij} \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中:

$\bar{a}_{RCi}, \bar{b}_{RCi}, \bar{c}_{RCi}$  ——操作机 A 到达点  $(x_{aij}, y_{aij}, z_{aij})$  且操作机 B 到达点  $(x_{bij}, y_{bij}, z_{bij})$  时的组合指

令姿态；

$a_{Rij}$ 、 $b_{Rij}$ 、 $c_{Rij}$  ——操作机 A 到达点  $(x_{a ij}$ 、 $y_{a ij}$ 、 $z_{a ij})$  且操作机 B 到达点  $(x_{b ij}$ 、 $y_{b ij}$ 、 $z_{b ij})$  时的双臂组合实到姿态。

组合轨迹准确度试验轨迹示例见图 15。

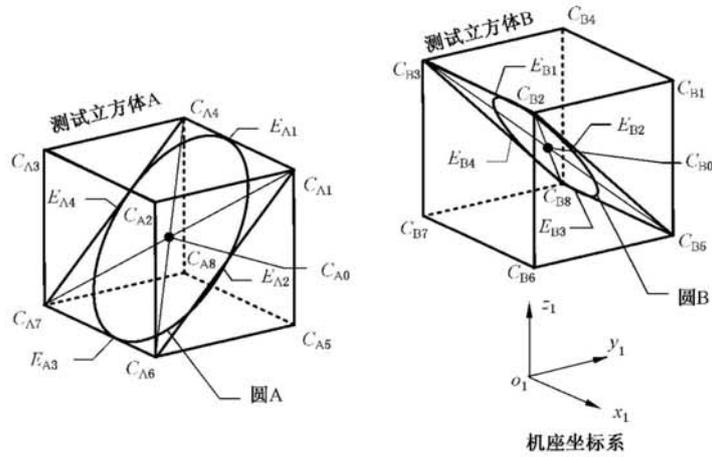


图 15 组合轨迹准确度试验轨迹示例

组合轨迹准确度位姿试验条件的汇总如表 3。

表 3 组合轨迹准确度试验条件

负载	速度	位姿	循环次数
100%额定负载	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度	操作机 A:圆 A 操作机 B:圆 B	10
额定负载降至 10% (选用)	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度		

操作机 A 从  $E_{A1}$  点开始, 依次将机械接口移至  $E_{A1}$ 、 $E_{A2}$ 、 $E_{A3}$ 、 $E_{A4}$ ; 操作机 B 从  $E_{B1}$  点开始, 依次将机械接口移至  $E_{B1}$ 、 $E_{B2}$ 、 $E_{B3}$ 、 $E_{B4}$ 。操作机 A 和操作机 B 同步运动, 操作机 A/操作机 B 同步从  $E_{A1}$  点/ $E_{B1}$  点开始运动, 如此往复循环。

### 7.2.3.2 组合轨迹速度准确度

组合轨迹速度准确度的计算示意图 16。

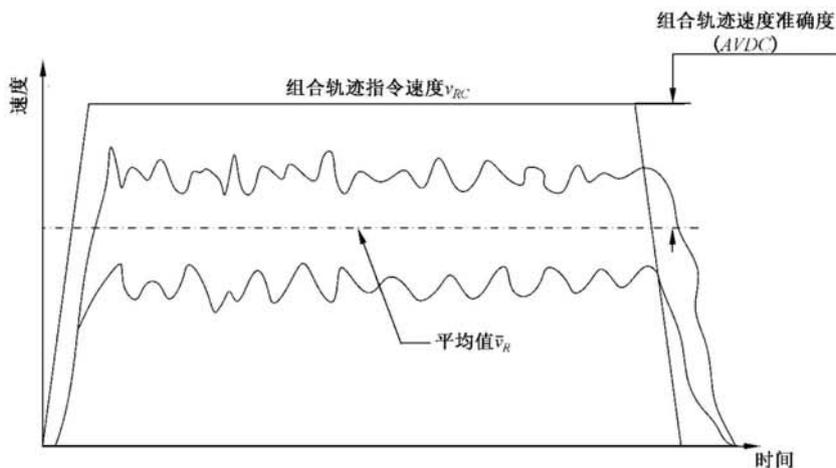


图 16 组合轨迹速度准确度

组合轨迹速度准确度的计算见公式(34)~公式(37)计算。

$$AVDC = \frac{\bar{v}_R - v_{RC}}{v_{RC}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (34)$$

$$\bar{v}_R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{Rj} \quad \dots\dots\dots (35)$$

$$v_{Rj} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m v_{Rij} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |v_{bij} - v_{aij}| \quad i = 1, \dots, m \quad \dots\dots\dots (36)$$

$$v_{RC} = |v_{bc} - v_{ac}| \quad \dots\dots\dots (37)$$

式中：

- $v_{ac}$ ——操作机 A 的指令速度；
- $v_{bc}$ ——操作机 B 的指令速度；
- $v_{aij}$ ——是操作机 A 第  $j$  次测量第  $i$  点处的实到速度；
- $v_{bij}$ ——是操作机 B 第  $j$  次测量第  $i$  点处的实到速度；
- $m$ ——沿轨迹测量的次数。

表 4 给出了组合轨迹速度准确度试验条件的汇总。

表 4 组合轨迹速度准确度试验条件

负载	速度	循环次数
100%额定负载	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度	10
额定负载降至 10% (选用)	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度	10

### 7.3 双臂联合操作性能试验方法

#### 7.3.1 联合位姿特性试验方法

##### 7.3.1.1 试验条件

###### 7.3.1.1.1 概述

如无特殊说明,双臂工业机器人组合操作的试验条件见 GB/T 12642—2013 第 6 章。

在双臂联合操作的试验中:

- 测量点为操作机 A 机械接口中心与操作机 B 机械中心连线中点附近,当由于双臂机器人与工件的构造不能实现约定时,测量点的定义可由用户规定。
- 要求测试报告说明测试所使用工件规格及安装方式。

###### 7.3.1.1.2 联合工作空间

如图 17 所示,联合工作空间是双臂工业机器人进行双臂联合操作时,测量点所能掠过的最大空间。

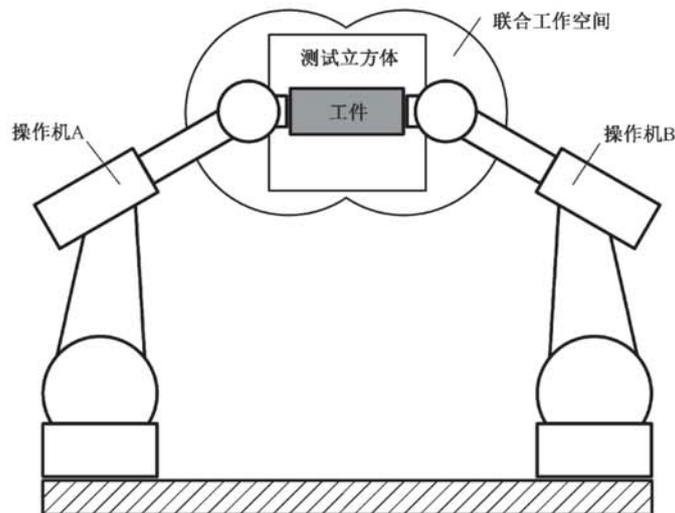


图 17 联合工作空间

###### 7.3.1.1.3 联合测试立方体在联合工作空间中的位置

在试验中,应采用联合测试立方体。联合测试立方体是位于联合工作空间中的单个立方体,应满足以下要求:

- 立方体应位于联合工作空间中预期应用最多的那一部分;
- 立方体应具有最大的体积,且其棱边平行于机座坐标系。

在试验报告中应以图形说明工作空间中所用立方体的位置。

联合测试立方体的立方体内所用平面的位置、跟踪的轨迹等见 GB/T 12642—2013 中 6.8。当由于机器人的构造不能实现约定时,立方体的定义可由制造厂规定。

###### 7.3.1.2 联合位姿准确度

联合位置准确度、联合姿态准确度的计算及试验条件见 GB/T 12642—2013 中 7.2.1。

### 7.3.1.3 联合位姿重复性

联合位姿重复性的计算及试验条件见 GB/T 12642—2013 中 7.2.2。

### 7.3.1.4 联合多方向位姿准确度变动

联合多方向位姿准确度变动的计算与试验条件见 GB/T 12642—2013 中 7.2.3。

### 7.3.1.5 联合距离准确度和重复性

#### 7.3.1.5.1 联合距离准确度

联合距离准确度的表示方法、计算和试验条件见 GB/T 12642—2013 中 7.3.2。

#### 7.3.1.5.2 联合距离重复性

联合位置距离重复性和联合姿态距离重复性的计算和试验条件见 GB/T 12642—2013 中 7.3.3。

### 7.3.1.6 联合位置稳定时间

联合位置稳定时间的相关定义、测量方法、试验条件及计算见 GB/T 12642—2013 中 7.4。

### 7.3.1.7 联合位置超调量

联合位置超调量的测量、试验条件及计算见 GB/T 12642—2013 中 7.5。

### 7.3.1.8 联合位姿特性漂移

联合位姿准确度漂移和联合位姿重复性漂移的计算公式、试验条件、测试流程及计算见 GB/T 12642—2013 中 7.6。

## 7.3.2 联合轨迹特性试验方法

### 7.3.2.1 联合轨迹准确度

联合轨迹准确度的计算及试验条件见 GB/T 12642—2013 中 8.2。

### 7.3.2.2 联合轨迹重复性

联合轨迹重复性的表示方法、计算及试验条件见 GB/T 12642—2013 中 8.3。

### 7.3.2.3 联合重定向轨迹准确度

联合重定向轨迹准确度的表示方法、计算及试验条件见 GB/T 12642—2013 中 8.4。

### 7.3.2.4 联合轨迹速度特性

#### 7.3.2.4.1 联合轨迹速度准确度

联合轨迹速度准确度(AVDJ)的相关计算及试验条件见 GB/T 12642—2013 中 8.6。

#### 7.3.2.4.2 联合轨迹速度重复性

联合轨迹速度重复性(RVDJ)的相关计算及试验条件见 GB/T 12642—2013 中 8.6。

#### 7.3.2.4.3 联合轨迹速度波动性

联合轨迹速度波动性(FVDJ)的相关计算及试验条件见 GB/T 12642—2013 中 8.6。

#### 7.3.3 联合最小定位时间试验方法

联合最小定位时间的试验条件见 GB/T 12642—2013 中第 9 章。

#### 7.3.4 联合静态柔顺性试验方法

联合静态柔顺性的试验条件见 GB/T 12642—2013 中第 10 章。

---

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
双臂工业机器人 性能及其试验方法  
GB/T 40014—2021

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: [www.spc.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2021年4月第一版

\*

书号: 155066 · 1-67226

版权专有 侵权必究



GB/T 40014-2021



码上扫一扫 正版服务到