



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 45509—2025

## 工业机器人 动态稳定性试验方法

Industrial robots—Dynamic stability test methods

2025-03-28 发布

2025-10-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 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 试验条件 .....	1
4.1 试验前提条件 .....	1
4.2 试验环境条件 .....	2
4.3 试验场地要求 .....	2
4.4 试验设备 .....	2
4.5 试验轨迹选择 .....	2
5 试验步骤 .....	3
5.1 末端抖动频率试验 .....	3
5.2 末端抖动幅度试验 .....	4
5.3 停位点稳定性试验 .....	4
5.4 停位点抖动幅度试验 .....	5
6 试验报告 .....	5
附录 A (资料性) 工业机器人动态稳定性试验设备 .....	6
A.1 概述 .....	6
A.2 动态信号测量分析系统 .....	6
A.3 激光跟踪仪 .....	6
附录 B (资料性) 试验报告实例 .....	8
B.1 实例内容 .....	8
B.2 试验结果表 .....	9
图 1 工作空间中的立方体 .....	2
图 2 末端抖动频率/幅度试验 .....	4
图 A.1 用于机器人抖动特性测量的动态信号测量分析系统 .....	6
图 A.2 用于机器人运动特性测量的激光跟踪仪 .....	7
图 B.1 试验报告实例 .....	8
表 1 末端抖动频率试验条件 .....	3
表 2 停位点稳定性试验条件 .....	5
表 A.1 试验设备 .....	6

表 B.1	末端抖动频率	9
表 B.2	末端抖动幅度	9
表 B.3	停位点稳定性	9
表 B.4	停位点抖动幅度	10



## 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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国机器人标准化技术委员会(SAC/TC 591)归口。

本文件起草单位：重庆凯瑞机器人技术有限公司、深圳市越疆科技股份有限公司、重庆凯瑞认证服务有限公司、库卡机器人(广东)有限公司、浙江谱麦科技有限公司、北京机械工业自动化研究所有限公司、深圳市大族机器人有限公司、中国科学院重庆绿色智能技术研究院、中国软件评测中心(工业和信息化部软件与集成电路促进中心)、哈尔滨科能熔敷科技股份有限公司、重庆大学、成都越凡创新科技有限公司、东莞市尔必地机器人有限公司、宁波城市职业技术学院、中控智动(山东)机械科技有限公司、华盛控智能科技(广东)有限公司、广东美的电气有限公司、梅州鼎泰电路板有限公司、南京熊猫电子装备有限公司、重庆金山医疗机器人有限公司、常州检验检测标准认证研究院、库卡机器人制造(上海)有限公司、五八智能科技(杭州)有限公司、遨博(北京)智能科技股份有限公司、重庆智能机器人研究院、埃夫特智能装备股份有限公司、沈阳新松机器人自动化股份有限公司、上海机器人产业技术研究院有限公司、上海电器科学研究所(集团)有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、福建省特种设备检验研究院、国网重庆市电力公司电力科学研究院、中汽检测技术有限公司、重庆市质量和标准化研究院、工业和信息化部电子第五研究所、山东金石机器人智能科技有限公司、浙江君睿智能装备有限公司、重庆三电智能科技有限公司、河北工业大学、重庆工业职业技术学院、重庆长安汽车股份有限公司、重庆交通大学、重庆邮电大学、重庆盟讯电子科技有限公司、青岛昌辉海洋智能装备有限公司、宁波莱盟机器人有限公司。

本文件主要起草人：李本旺、刘培超、公续银、李建韬、张翔、李金村、王光能、尚明生、梁学修、王坤、苏晓杰、解如风、郎需林、孙添飞、孙逊、周星宇、卿茂荣、叶宏武、赵丰瑞、陈敦坚、陈文杰、闫红生、唐臣玉、何国田、李辉、向学位、李松领、黄宇、李峥、曲业闯、梁应杰、王茂林、吴贤欢、赵建、袁家虎、夏云奇、魏大鹏、张国亮、宋仲康、黄伟、张晓宇、储昭琦、张锋、邢琳、朱晓鹏、李志海、孙良艳、陈挺木、王谦、刘熊、曹懿莎、王佳艺、万科、董成举、赵国华、李明、夏亮、王嘉、彭鹏、周传德、常永生、陈仁祥、李帅永、陈菁、王雨琴、万旭成、刘玉昌、赵永磊。

# 工业机器人 动态稳定性试验方法

## 1 范围

本文件描述了工业机器人动态稳定性的试验方法。  
本文件适用于工业机器人的动态稳定性试验。

## 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 12643 机器人 词汇

## 3 术语和定义

GB/T 12643 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### **动态稳定性 dynamic stability**

机器人运动过程中,受到自身振动和外界扰动影响后,在自动调节和控制装置的作用下,保持稳定运行的能力。

### 3.2

#### **抖动 vibration**

机器人运动过程中,其位置在某特定时刻相对于其理想轨迹上的短期偏离。

### 3.3

#### **末端抖动频率 end vibration frequency**

机器人从静态开始执行全关节参与的运动到停止的全过程中,其末端抖动幅度最大时的频率。

### 3.4

#### **末端抖动幅度 end vibration amplitude**

机器人从静态开始执行全关节参与的运动到停止的全过程中,其末端抖动的最大位移。

注:末端抖动幅度用峰-峰值表示。

### 3.5

#### **停位点抖动幅度 stop position point vibration amplitude**

机器人在最后一次进入门限带后,其末端抖动的最大位移。

注:停位点抖动幅度用峰-峰值表示。

## 4 试验条件

### 4.1 试验前提条件

机器人应装配完毕,并可全面操作。所有必要的校平操作、调整步骤及功能试验均应完成。试验开

始前应根据制造商的建议安装机器人。

#### 4.2 试验环境条件

测试环境温度应满足  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，采用其他环境温度应在试验报告中指明。为保证被测机器人及测试设备在试验开始前处于热稳定状态，需要将它们置于试验环境中至少 24 h。

#### 4.3 试验场地要求

测试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，不应有噪声、振动干扰，周围无强电磁场、无腐蚀性液体。

#### 4.4 试验设备

4.4.1 数据采集设备的采样速率应不小于 200 Hz，以确保获得被测特性的充分描述。

4.4.2 试验中所用的试验设备应进行校准，测量的不确定度不应超过被测特性数值的 25%。

4.4.3 部分适用的试验设备见附录 A。

#### 4.5 试验轨迹选择

试验轨迹的选择满足以下要求：

- 试验轨迹应从图 1 所示的 4 个平面(P2-P3-P4-P5)中选择，图 1 所示机器人工作空间中的立方体边长由制造商确定，对于六轴机器人，除制造商特殊规定外，应选择平面一进行试验，少于六轴的机器人应由制造商选择用哪个平面进行试验；
- 在动态稳定性试验时，机械接口的中心位置应始终位于选用平面上，且姿态相对于该平面应保持不变；
- 图 1 所示平面一给出了在试验平面上的一条直线轨迹和两条圆形轨迹的位置示例；
- 在立方体对角线上的直线轨迹，轨迹长度应是所选平面相对于顶点间距离的 80%，如图 1 中 P2 到 P4 的距离是一实例；
- 对于圆形轨迹试验，需测试两个不同的圆，如图 1 所示，大圆的直径应为立方体边长的 80%，圆心为 P1；小圆的直径应为同一平面中大圆直径的 10%，圆心为 P1。

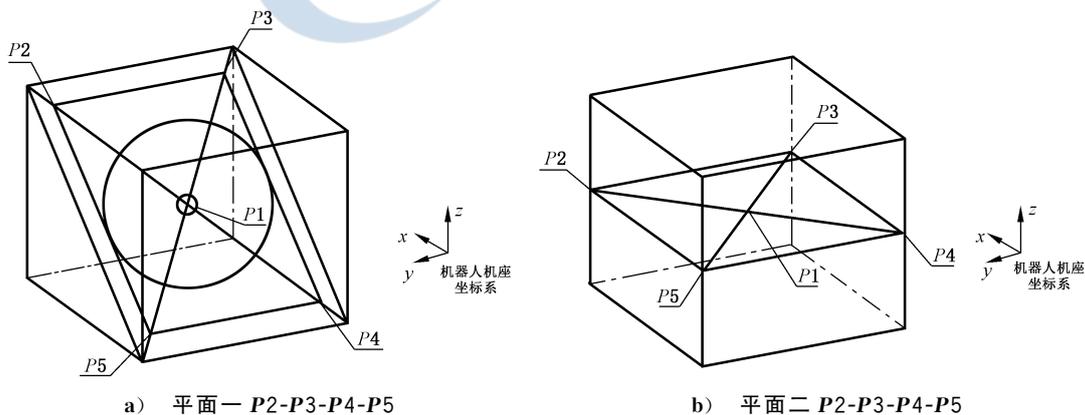


图 1 工作空间中的立方体

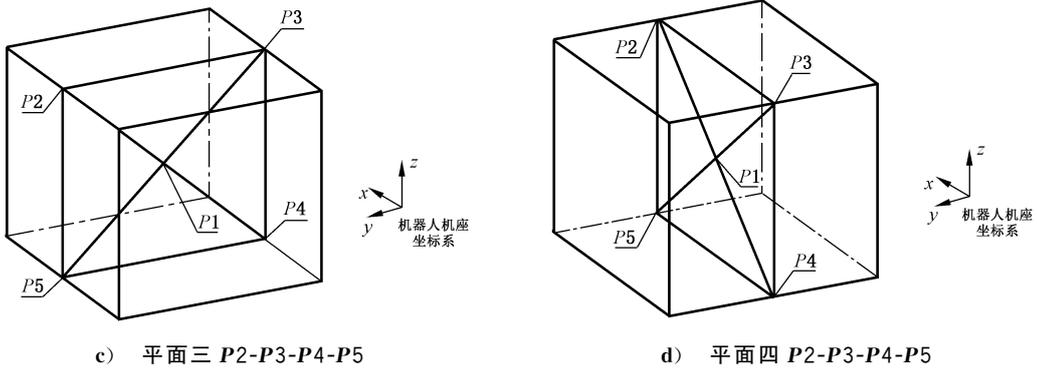


图 1 工作空间中的立方体 (续)

5 试验步骤

5.1 末端抖动频率试验

本项目试验步骤如下：

- a) 机器人按表 1 要求进行编程,使其运行一条轨迹(直线、大圆、小圆、直角)；
- b) 在机器人回零状态下,将试验设备传感器刚性连接在机器人的末端(见图 2 中的测点位置),传感器的 X、Y、Z 方向应与机座坐标系平行；
- c) 启动机器人,试验设备实时记录机器人运动过程中的数据；
- d) 分别读取(或计算)机器人末端 X、Y、Z 方向的末端抖动频率。每种轨迹循环测试次数不少于 10 次,按式(1)~式(3)计算平均值。

$$\bar{f}_x = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n f_{xj}, n \geq 10 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\bar{f}_y = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n f_{yj}, n \geq 10 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\bar{f}_z = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n f_{zj}, n \geq 10 \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中：

$\bar{f}_x, \bar{f}_y, \bar{f}_z$  —— X、Y、Z 方向的末端抖动频率平均值,单位为赫兹(Hz)；  
 $f_{xj}, f_{yj}, f_{zj}$  —— X、Y、Z 方向的末端抖动频率实测值,单位为赫兹(Hz)。

表 1 末端抖动频率试验条件

负载	速度	轨迹形状	循环次数
100%额定负载	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度	直线轨迹:P2-P4; 圆形轨迹:大圆、小圆; 直角轨迹:P2-P3-P4	不少于 10 次
额定负载降至 10% (选用)	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度		

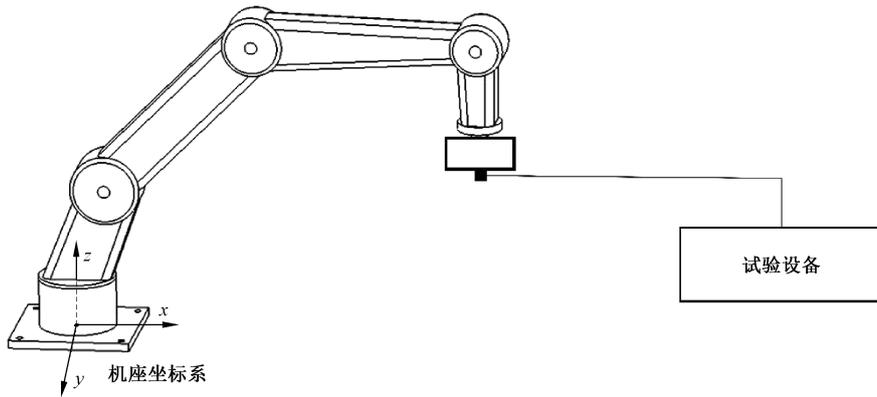


图 2 末端抖动频率/幅度试验

5.2 末端抖动幅度试验

本项目试验步骤与 5.1 相同,记录试验数据后,分别读取(或计算)机器人末端 X、Y、Z 方向的末端抖动幅度。每种轨迹循环测试次数不少于 10 次,按式(4)~式(6)计算平均值。

$$\bar{A}_x = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{xj}, n \geq 10 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\bar{A}_y = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{yj}, n \geq 10 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\bar{A}_z = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{zj}, n \geq 10 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

$\bar{A}_x, \bar{A}_y, \bar{A}_z$  —— X、Y、Z 方向的末端抖动幅度平均值,单位为毫米(mm);

$A_{xj}, A_{yj}, A_{zj}$  —— X、Y、Z 方向的末端抖动幅度实测值,单位为毫米(mm)。

5.3 停位点稳定性试验

停位点稳定性用停位点的稳定时间  $T$  和超调量  $D$  表征,即机器人末端从第一次进入门限带的瞬间到不再超出门限带的瞬间过程中,所经历的时间  $T$  及瞬时位置与实到稳定位置的最大距离  $D$ ,其试验步骤如下:

- a) 按 4.5 选择机器人测试轨迹(P2-P1),并选择 P1 点进行停位点稳定时间  $T$  和超调量  $D$  的测量;
- b) 按表 2 的试验条件,在 100%额定负载的工况下,分别设置机器人以 100%、50%及 10%的额定速度运行 a)中的轨迹;
- c) 机器人末端从位姿点 P2 开始移至 P1,再回到 P2,为一个运动循环,运动时采用连续轨迹控制即可;
- d) 使用试验设备记录机器人末端数据,并读取(或计算)停位点稳定时间  $T$  和超调量  $D$ ,每种速度循环试验次数不少于 3 次,按式(7)计算停位点稳定时间平均值,按式(8)计算停位点超调量最大值。

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j, n \geq 3 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$D_{\max} = \max D_i, i \geq 3 \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$\overline{T}$  —— 停位点稳定时间平均值,单位为秒(s)；

$T_j$  —— 停位点稳定时间实测值,单位为秒(s)；

$D_{\max}$  —— 停位点超调量最大值,单位为毫米(mm)；

$D_i$  —— 停位点超调量实测值,单位为毫米(mm)。

表 2 停位点稳定性试验条件

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	P2-P1	3
额定负载降至10% (选用)	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度	P2-P1	3

#### 5.4 停位点抖动幅度试验

停位点抖动幅度试验的目的是测量机器人最后一次进入门限带后,其末端抖动的最大位移。

本项目试验步骤与 5.3 相同,需要在进行 5.3 试验的同时,采用抖动特性试验设备同步采集末端抖动特性,可采用同步触发器保证运动特性和抖动特性试验设备在同一时间下进行采集,记录试验数据后,分别读取(或计算)停位点稳定时间  $T$  后的机器人末端  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  方向的末端抖动幅度。

分析机器人末端不再超出门限带的瞬间的时刻  $t$  后的抖动幅度,即为停位点抖动幅度测试的最终结果。循环测试次数不少于 3 次,按式(9)计算平均值。

$$\overline{A_s} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{sj}, n \geq 3 \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$\overline{A_s}$  —— 停位点抖动幅度平均值,单位为毫米(mm)；

$A_{sj}$  —— 停位点抖动幅度实测值,单位为毫米(mm)。

## 6 试验报告

试验报告应由封面及一张或多张试验结果表格组成。报告内容应包括试验条件、样品信息和试验结果等,试验结果应包含所进行的各项试验数据的汇总。

附录 B 给出了一个试验报告的实例,它说明了封面与试验结果表所必需的一些信息。

附录 A

(资料性)

工业机器人动态稳定性试验设备

A.1 概述

不同试验项目需使用的设备见表 A.1。

表 A.1 试验设备

试验类别	试验项目	试验设备
工业机器人动态稳定性	末端抖动频率	动态信号测量分析系统
	末端抖动幅度	动态信号测量分析系统
	停位点稳定性	激光跟踪仪
	停位点抖动幅度	激光跟踪仪 动态信号测量分析系统

A.2 动态信号测量分析系统

动态信号测量分析系统可用于机器人抖动特性测量及分析。图 A.1 表示用于机器人抖动特性测量的动态信号测量分析系统的典型配置。动态信号测量分析系统主要由加速度传感器、信号采集仪、分析软件组成。加速度传感器可实时测量机器人运动过程中的单轴或三轴的加速度,并通过信号采集仪实时采集传输到电脑软件端,通过对采集的信号分析计算可得到机器人运动过程中的抖动频率、抖动幅度等参数信息。

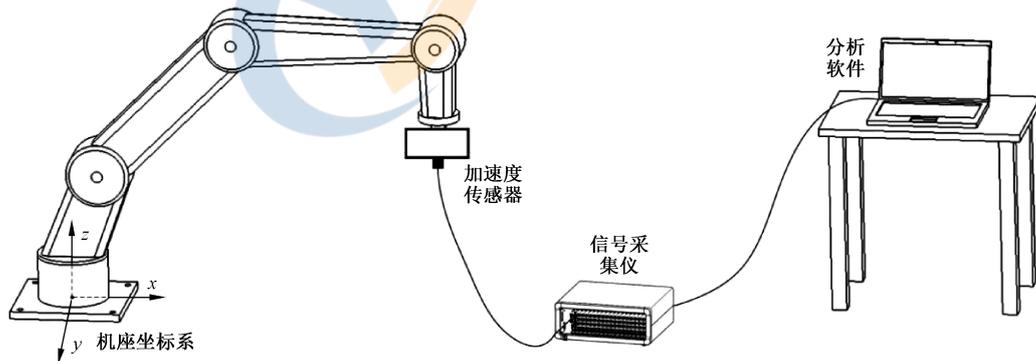


图 A.1 用于机器人抖动特性测量的动态信号测量分析系统

A.3 激光跟踪仪

激光跟踪仪可用于机器人运动特性测量及分析。固定的跟踪仪可逐点测量机器人实到位置的坐标信息。机器人运动过程中的实到姿态和轨迹可用跟踪仪进行测量,测量时用于激光溯源的靶球固定安装于被测机器人上,测量过程中激光跟踪仪始终跟踪靶球。通过分析计算测量得到的机器人位置坐标或轨迹坐标集合,得到机器人停位点稳定时间、超调量等参数信息。图 A.2 表示用于机器人运动特性测量的激光跟踪仪的典型配置。

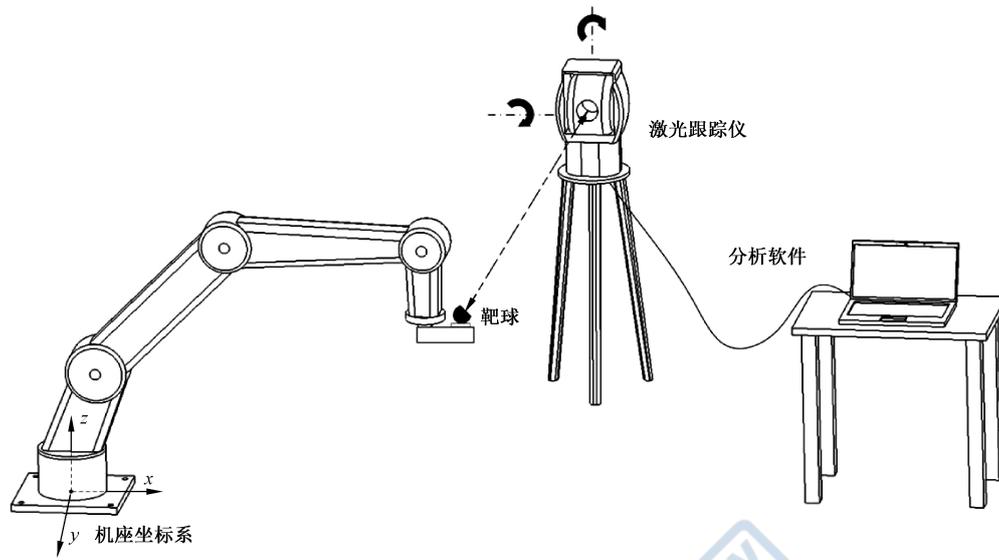


图 A.2 用于机器人运动特性测量的激光跟踪仪



附录 B  
(资料性)  
试验报告实例

B.1 实例内容

实例内容包括待测机器人信息、试验条件、试验项目等,宜根据制造商要求进行填写,见图 B.1。

——机器人	
制造商:	类型:
型号:	系列号:
安装方向:	软件版本:
编程方法:	试验场所:
——物理环境	
环境温度:	
不正常状态:	
注:对超出预期范围状态的说明。	
预热时间:	测量时间:
测量停顿时间:	
——试验设备	
类型:	型号:
系列号:	说明:
软件版本:	
——试验条件	
机器人回零状态:	额定负载条件:
传感器安装方式: <input type="checkbox"/> 磁吸、 <input type="checkbox"/> 胶粘、 <input type="checkbox"/> 其他 ____	试验轨迹选择:
——试验项目	
<input type="checkbox"/> 末端抖动频率	<input type="checkbox"/> 末端抖动幅度
<input type="checkbox"/> 停位点稳定性	<input type="checkbox"/> 停位点抖动幅度
试验者:	日期:
审核者:	日期:

图 B.1 试验报告实例

## B.2 试验结果表

表 B.1~表 B.4 分别为末端抖动频率、末端抖动幅度、停位点稳定性、停位点抖动幅度的试验结果表。

表 B.1 末端抖动频率

负载	速度	路径形状	末端抖动频率/Hz
100%额定负载	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度	直线	X: Y: Z:
		大圆	X: Y: Z:
		小圆	X: Y: Z:
		直角	X: Y: Z:
额定负载降至10% (选用)	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度	直线	X: Y: Z:
		大圆	X: Y: Z:
		小圆	X: Y: Z:
		直角	X: Y: Z:

表 B.2 末端抖动幅度

负载	速度	路径形状	末端抖动幅度/mm
100%额定负载	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度	直线	X: Y: Z:
		大圆	X: Y: Z:
		小圆	X: Y: Z:
		直角	X: Y: Z:
额定负载降至10% (选用)	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度	直线	X: Y: Z:
		大圆	X: Y: Z:
		小圆	X: Y: Z:
		直角	X: Y: Z:

表 B.3 停位点稳定性

负载	速度	门限带/mm	稳定时间/s	超调量/mm
100%额定负载	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度			
额定负载降至10% (选用)	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度			

表 B.4 停位点抖动幅度

负载	速度	门限带/mm	停位点抖动幅度/mm
100%额定负载	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度		
额定负载降至10% (选用)	100%额定速度 50%额定速度 10%额定速度		

