



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 38839—2020

---

## 工业机器人柔性控制通用技术要求

General technical requirements of flexible control for industrial robots

2020-06-02 发布

2020-12-01 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、定义和缩略语..... 1

4 柔性控制技术 ..... 2

5 柔性控制模块的实现 ..... 3

6 工业机器人本体技术要求 ..... 3

7 工业机器人控制系统技术要求 ..... 3

8 工业机器人安全要求 ..... 6

附录 A（资料性附录） 工业机器人柔性控制技术应用场景 ..... 8



# 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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:深圳市标准技术研究院、深圳市大富科技股份有限公司、博众精工科技股份有限公司、配天机器人技术有限公司、北京机械工业自动化研究所有限公司、广州数控设备有限公司、广州智能装备研究院有限公司、北京理工大学、重庆邮电大学、上海沃迪智能装备股份有限公司、华南理工大学、苏州市产品质量监督检验院、中国航空综合技术研究所、浙江明泉工业装备科技有限公司、深圳众为兴技术股份有限公司、深圳市维图视技术有限公司、深圳市巴伦技术股份有限公司、杭州海康机器人技术有限公司、深圳市全球通检测服务有限公司、沈阳新松机器人自动化股份有限公司、中国科学院自动化研究所、浙江瓴达科技有限公司、深圳吉阳智能科技有限公司、张家港清研再制造产业研究院有限公司、浙江瓴达机器人制造有限公司、浙江今跃机械科技开发有限公司、深圳市宝安区机器人产业技术创新促进中心、深圳市协同人工智能和先进制造研究院、广东省标准化研究院、中国电子学会。

本标准主要起草人:杨舸、徐志根、李方硕、索利洋、王泽涵、何理、尹作重、肖竞、温尔文、王益群、曾钰、费庆、张毅、童上高、张铁、杨夏喜、王西昌、詹永根、王亮、曾庆好、魏延全、陈国芬、张驰、胡杰、邹凤山、杨国栋、罗云慎、阳如坤、徐强、董金聪、孙影、葛捷、魏相相、曾楚恒、赵婧、张晓炎。



# 工业机器人柔性控制通用技术要求

## 1 范围

本标准规定了工业机器人柔性控制的术语和定义、柔性控制技术、柔性控制模块的实现、工业机器人本体技术要求、工业机器人控制系统技术要求及工业机器人安全要求。

本标准适用于具有柔性控制系统的工业机器人。

## 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 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件

GB 11291.1—2011 工业环境用机器人 安全要求 第1部分:机器人

GB/T 12642—2013 工业机器人 性能规范及其试验方法

GB/T 16855.2 机械安全 控制系统安全相关部件 第2部分:确认

ISO/TS 15066:2016 机器人和机器人装备 协作机器人(Robots and robotic devices—Collaborative robots)

## 3 术语、定义和缩略语

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**柔性控制技术** flexible control technology

工业机器人通过驱动总线反馈的状态数据和外部传感器采集的传感数据,实时调整其运动规划进行点位控制或者连续路径控制的控制方式合集。

#### 3.1.2

**机器人本体** robot body

完成柔性控制相关行为指令,具有物理形态的机电设备。

#### 3.1.3

**本体稳定性** body stability

机器人本体正常运行过程中,在指定的时间内保持其位姿准确度以及位姿重复性的能力。

#### 3.1.4

**控制系统** control system

具有逻辑控制和动力功能,能控制和监测机器人机械结构,并和环境(设备和操作者)进行通信的系统。

#### 3.1.5

**拖动示教** dragging teaching

通过手动拖动工业机器人末端(或末端附加装置)或关节到达期望位姿的示教方式。

## 3.1.6

**交互示教 interactive teaching**

通过手势控制、体态控制、语音控制等交互方法控制工业机器人末端(或末端附加装置)或关节到达期望位姿的示教方式。

## 3.1.7

**遥操作示教 teleoperation teaching**

通过力反馈设备遥控或手柄遥控等操作方法控制工业机器人末端(或末端附加装置)或关节到达期望位姿的示教方式。

## 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DI/DO:开关量输入和开关量输出(Discrete Input/Discrete Output)

EtherCAT:以太网控制自动化技术(Ethernet for Control Automation Technology)

I/O:输入和输出(Input/Output)

LCD:液晶显示器(Liquid Crystal Display)

SD:安全数字存储卡(Secure Digital Memory Card)

USB:通用串行总线(Universal Serial Bus)

VGA:视频图形阵列(Video Graphics Array)

## 4 柔性控制技术

传统的工业机器人控制技术主要体现为,按照预先示教的点位和预先编好的程序实现指定路径的运动任务。而工业机器人柔性控制技术是指工业机器人在实现传统运动控制任务的同时,通过感应外部环境实时调整运动轨迹以完成特定任务的控制方式的合集。例如,拖动示教、交互示教、遥操作示教、碰撞检测(参见附录 A)、视觉引导(参见附录 A)等实际应用场景都体现了柔性控制技术。图 1 为工业机器人柔性控制技术实现逻辑框架图,通过柔性控制模块来实时调整工业机器人的运动轨迹。

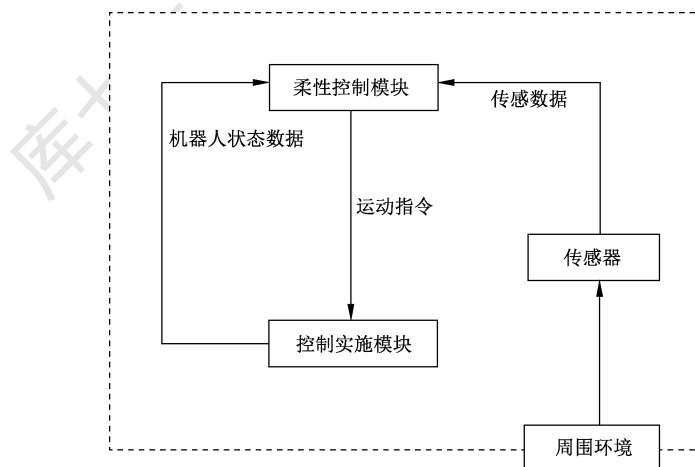


图 1 工业机器人柔性控制技术实现逻辑框架图

图 1 中,机器人状态数据是指驱动总线反馈的电机位置、电机速度、电机力矩等数据,传感数据是指通过外部传感器采集的部分环境数据,比如力矩、图像、电压、电流等。

5 柔性控制模块的实现

柔性控制模块的核心是实现信号处理算法、工业机器人动力学算法、图像检测与识别等柔性控制算法,这些算法都需要工业机器人状态数据和传感数据的支撑,同时也需要添加 DI/DO、文件读写、停止报错等辅助功能。图 2 为工业机器人柔性控制模块的基本实现逻辑框架图,所需数据和辅助功能通过相应的接口与柔性控制算法进行交互,运动指令的下发既可以调用运动函数,也可以进行轨迹插补后给出具体的指令数据。

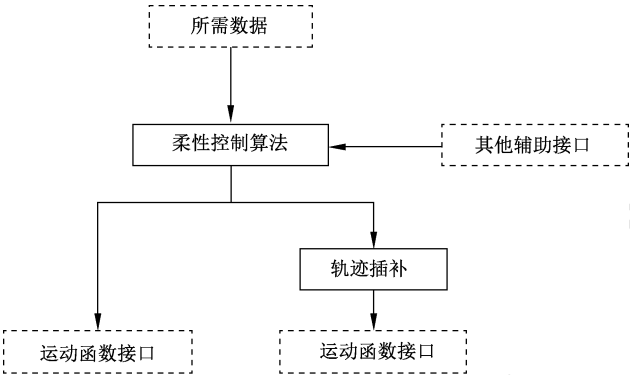


图 2 工业机器人柔性控制模块实现逻辑框架图

6 工业机器人本体技术要求

6.1 本体稳定性

机器人本体稳定性由位姿特性漂移确定,测试方法应符合 GB/T 12642—2013 中 7.6 的规定,具体数值由各制造商产品规定。

6.2 电气布局

应根据应用场景确定具有柔性控制功能的工业机器人电磁隔离、电气空间布局、电气防护等电气布局要求,并符合 GB/T 5226.1 的规定。

6.3 接口要求

通过扩展性实现柔性控制功能的工业机器人本体应配置 I/O 接口、电源接口、气路、通信接口、外设安装接口等满足柔性控制需求的接口。

6.4 互换性要求

具有柔性控制功能的工业机器人本体部件应采用模块化设计,并满足互换性要求。当工业机器人发生故障并互换本体或部件后,应能保证定位精度。

7 工业机器人控制系统技术要求

7.1 通用要求

具有柔性控制功能的工业机器人硬件系统应采用模块化设计,并包括控制模块、伺服驱动模块、逻

辑控制、电源管理模块及安全备份模块等功能模块。硬件系统应支持总线接口并具备实现外轴扩展、I/O 扩展以及各种通信接口的柔性扩展能力。

## 7.2 硬件系统要求

### 7.2.1 控制器模块

控制器模块应具备浮点运算能力、逻辑运算能力、接口扩展能力,并应具有实时操作系统。主控平台应具备通用的如串口、以太网、USB、VGA、LCD 等接口。

### 7.2.2 驱动模块

驱动模块应具备 EtherCAT、PowerLINK、Profinet 等总线接口。

### 7.2.3 I/O 模块

I/O 接口模块应包含数字量输入输出,模拟量输入输出,RS232、RS485 接口、RJ45 接口、USB、SD 卡等接口。

### 7.2.4 硬件接口

同类总线设备硬件应使用 RJ45、D 型数据接口连接器等通用、一致的封装以及对应引脚信号的接口。

## 7.3 软件系统要求

### 7.3.1 通用要求

为实现工业机器人的柔性控制功能,软件系统应具有独立运行的控制软件系统和伺服驱动软件系统,并应开放相应的接口以供柔性控制模块的二次开发调用。

### 7.3.2 控制软件系统

为满足工业机器人的柔性控制功能要求,工业机器人应配备控制软件系统,并应开放如表 1 所示的函数接口。

表 1 控制软件系统应开放的函数接口

函数名	描述
运动操作函数	a) 上位机系统相关运动函数,包括关节运动、直线运动、圆弧运动以及各运动之间的平滑过渡函数; b) 其他运动函数; c) 运动学正逆解
机器人状态操作函数	a) 读取机器人当前运动状态(运动暂停、停止等标志位); b) 运动停止,终止当前运动; c) 运动暂停,暂停当前运动,且可以继续未完成运动; d) 运动中断,中止当前运动,完成其他操作后可继续回原轨迹完成运动; e) 设定运动模式; f) 控制机械臂或者单轴上使能或下使能; g) 读取、获得、放弃控制权限(其中权限范围由制造商给定); h) 清除错误

表 1（续）

函数名	描述
I/O 读写操作函数	读取、设定指定 I/O
文件读写操作函数	读取、修改、保存目标文件

控制软件系统应具备如下程序扩展功能：

- a) 指令自定义添加功能：
  - 1) 通过用户自定义方式定义系统中的新指令；
  - 2) 在系统中注册用户自定义的新指令；
  - 3) 使用所定义的新指令编写运动控制程序。
- b) 运动规划扩展功能：
  - 1) 预留接口添加运动规划算法；
  - 2) 直接替代系统中的运动规划算法。
- c) 功能或工艺模块自主添加功能：
  - 1) 焊接工艺包；
  - 2) 码垛工艺包；
  - 3) 视觉功能包；
  - 4) 其他功能或工艺包。

7.3.3 伺服驱动软件系统

为满足工业机器人的柔性控制功能要求，伺服驱动软件系统应具备可扩展性，并应开放表 2 所示数据传输接口。

表 2 伺服驱动软件系统应开放的接口列表

序号	数据名称	权限	是否实时传输
1	设备标识	可读	否
2	指令电流	可写	是
3	指令转矩	可写	是
4	指令速度	可写	是
5	指令位置	可写	是
6	编码器数值	可读	是
7	编码器分辨率	可读	否
8	编码器状态	可读	否
9	电流力矩常数	可读	否
10	电机实际电流	可读	是
11	电机实际转矩	可读	是
12	电机实际速度	可读	是
13	电机实际位置	可读	是
14	Log 信息	可读	否



表 2 (续)

序号	数据名称	权限	是否实时传输
15	当前告警	可读	否
16	历史告警	可读	否
17	总线通信周期	可读/可写	否
18	位置指令插补周期	可读/可写	否
19	控制模式	可读/可写	否
20	驱动状态参数	可读	否
21	控制环路配置参数	可读/可写	否
22	位置限额	可读/可写	否
23	速度限额	可读/可写	否
24	加速度、加加速度指令	可读/可写	是
25	告警清除	可写	否

## 8 工业机器人安全要求

### 8.1 电气安全

具有柔性控制功能的工业机器人电气安全应符合 GB/T 5226.1 的规定。

### 8.2 安全回路设计

#### 8.2.1 通用要求

具有柔性控制功能的工业机器人安全回路设计应包括安全等级要求、停止方式要求以及碰撞检测等功能。

#### 8.2.2 安全设计原则

具有柔性控制功能的工业机器人应具备急停和保护性停止功能,产品设计应符合 GB 11291.1—2011 的规定,产品安全回路应符合 GB/T 16855.2 的规定。

#### 8.2.3 碰撞检测

##### 8.2.3.1 碰撞检测模式

为满足人机交互工作场景下的安全要求,具有柔性控制功能的工业机器人本体在碰到障碍物时应能及时做出反应,且具有碰撞检测功能,碰撞检测功能提供以下处理模式:

- 当监测到碰撞发生后,工业机器人进入制动状态并停留在碰撞发生位置的碰撞即停模式;
- 负载不匹配时的碰撞缓行模式;
- 从位置控制切换到零力控制模式;
- 根据检测外力定义与外力方向相反的速度,使得机械臂逃离碰撞点的碰撞逃离模式。

### 8.2.3.2 碰撞检测模块

工业机器人或控制器制造商应提供碰撞检测模块的以下参数：

- a) 碰撞检测模块适用速度范围,单位为毫米每秒(mm/s);
- b) 各关节碰撞检测力矩,单位为牛顿米(N·m);
- c) 机器人本体最小碰撞检测力,单位为牛顿(N);
- d) 碰撞检测后机器人急停时间,单位为毫秒(ms)。

当工业机器人本体与人员发生接触时,不同的身体碰撞部位可能造成不同程度的损害,工业机器人或控制器制造商应做出详细的说明和警告,并符合 ISO/TS 15066:2016 中 4.3 的规定。

当工业机器人工作在碰撞检测功能适用速度范围外时,工业机器人或控制器应符合 GB 11291.1—2011 中 5.10 的规定。

## 8.3 安全接口要求

系统接口设计应符合安全设计准则,并应符合防数据泄露、防攻击的安全要求。



## 附录 A (资料性附录)

### 工业机器人柔性控制技术应用场景

#### A.1 概述

柔性控制技术有多种应用形式,例如人机接触情景下的碰撞与逃离,工业机器人视觉引导下的工件抓取等。通常情况下工业机器人按预定轨迹运动,但当其实际运动轨迹出现偏差或外部环境出现意外变化时,工业机器人有可能和外部环境发生意料之外的物理接触,这将导致机器设备的损坏风险,如果工业机器人和操作人员发生意外接触,甚至有可能造成人员损伤。

#### A.2 碰撞检测场景

图 A.1 是碰撞检测场景示意图,图中机器人与操作人员处于共享工作空间,图 A.1a)中,工业机器人不具备柔性控制功能,当工业机器人本体与操作人员发生接触时,有可能会发生人机碰撞事故,造成人员损伤。图 A.1b)中,工业机器人具备柔性控制功能,当工业机器人本体与操作人员发生接触时,工业机器人会选择碰撞即停、碰撞缓行、碰撞逃离或零力控制模式,降低安全风险。

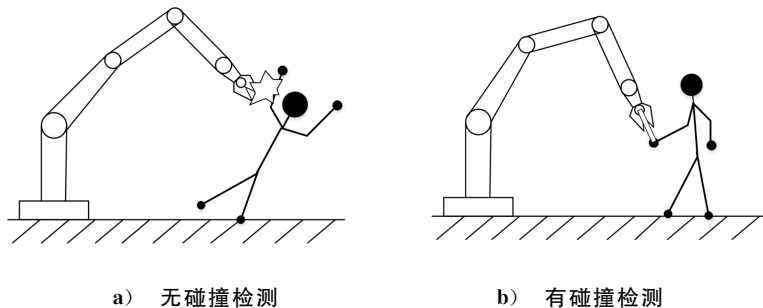


图 A.1 碰撞检测场景示意图

#### A.3 视觉引导场景

图 A.2 是视觉引导场景示意图,具备柔性控制功能的工业机器人进行工件抓取时,可根据工件姿态的不同调整末端工具姿态,最后顺利完成工件抓取任务。

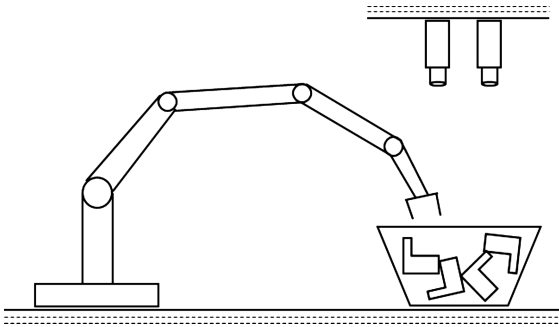


图 A.2 视觉引导场景示意图

\_\_\_\_\_