



中华人民共和国国家标准

GB/T 39633—2020

协作机器人用一体式伺服电动机系统 通用规范

General specification for integrated servo motors system for cooperative robot

2020-12-14 发布

2021-07-01 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	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 运行条件	3
5 功能和接口	4
6 技术要求和试验方法	4
7 检验规则	16
8 交付准备	20
附录 A (资料性附录) 系统的结构和组件	21

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国微电机标准化技术委员会(SAC/TC 2)归口。

本标准起草单位:西安微电机研究所、珞石(北京)科技有限公司、宁波中大力德智能传动股份有限公司、清能德创电气技术(北京)有限公司、杭州三相科技有限公司、西安西微智能科技有限公司、浙江大学、广东盈动高科自动化有限公司、南通振康焊接机电有限公司、南通大学、江苏宝控精密传动科技有限公司、江苏华源防爆电机有限公司、沈阳工业大学、厦门日拓电器科技有限公司、青岛创科源智能装备有限公司、浙江巨龙自动化设备有限公司、广东泰格威机器人科技有限公司、深圳市正德智控股份有限公司、浙江如晶科技有限公司、佛山市南海昇和电器有限公司、佛山市高明高盛铝业有限公司。

本标准主要起草人:任虹霞、王健、韩峰涛、黄炳、刘波、郝鹤、段志军、沈建新、杜昭辉、汤子康、顾菊平、吴志明、秦文银、安忠良、倪僚勇、张树房、陈昭明、卢新建、李浩、王光建、郑康、王家华。



协作机器人用一体式伺服电动机系统 通用规范

1 范围

本标准规定了协作机器人用一体式伺服电动机系统的术语和定义、运行条件、功能和接口、技术要求和试验方法、检验规则和交付准备。

本标准适用于协作机器人用直流供电一体式伺服电动机系统(以下简称“系统”)的设计、制造、检验和验收。构成系统的伺服电动机(以下简称“电动机”)、伺服驱动器(以下简称“驱动器”)、减速器、制动器、传感器等可参照执行。

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 191 包装储运图示标志
- GB/T 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验A:低温
- GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验B:高温
- GB/T 2423.3 环境试验 第2部分:试验方法 试验Cab:恒定湿热试验
- GB/T 2423.5 环境试验 第2部分:试验方法 试验Ea和导则:冲击
- GB/T 2423.10—2019 环境试验 第2部分:试验方法 试验Fc:振动(正弦)
- GB/T 2828.1—2012 计数抽样检验程序 第1部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 2900.26—2008 电工术语 控制电机
- GB 4824—2019 工业、科学和医疗设备 射频骚扰特性 限值和测量方法
- GB/T 5226.1—2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件
- GB/T 6113.101—2016 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-1部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备
- GB/T 6113.102—2018 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-2部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 传导骚扰测量的耦合装置
- GB/T 6113.104—2016 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-4部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 辐射骚扰用测量天线和试验场地
- GB/T 6113.201—2018 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第2-1部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 传导骚扰测量
- GB/T 6113.203—2016 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第2-3部分:无线电骚扰和抗扰度测量方法 辐射骚扰测量
- GB/T 7345—2008 控制电机基本技术要求
- GB/T 7346—2015 控制电机基本外形结构型式
- GB/T 10069.1 旋转电机噪声测定方法及限值 第1部分:旋转电机噪声测定方法
- GB/T 12643—2013 机器人与机器人装备 词汇

GB/T 17626.2—2018	电磁兼容	试验和测量技术	静电放电抗扰度试验
GB/T 17626.3—2016	电磁兼容	试验和测量技术	射频电磁场辐射抗扰度试验
GB/T 17626.4—2018	电磁兼容	试验和测量技术	电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
GB/T 17626.5—2019	电磁兼容	试验和测量技术	浪涌(冲击)抗扰度试验
GB/T 18211	微电机安全通用要求		
GB/T 36008	机器人与机器人装备	协作机器人	

3 术语和定义

GB/T 2900.26—2008、GB/T 12643—2013 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为便于使用,以下重复列出了 GB/T 12643—2013 中的某些术语和定义。

3.1

协作机器人 cooperative robot

定义 1: 可与人在同一工作空间内进行安全的交互,合作完成工作任务的机器人。

定义 2: 为与人直接交互而设计的机器人。

3.2

一体式伺服电动机系统 integrated servo motors system

将电动机、驱动、传感和传动部件等集成优化的机电一体化系统,以实现协作机器人集成、安全、紧凑的关节应用要求。

注: 系统组件包括电动机、驱动器、制动器、角度位置传感器等(A类,或称为一体化伺服电动机装置),也可进一步包括减速器、力传感器等(B类,或称为一体化关节模组,其结构图参见附录 A)。

3.3

安全转矩关断 saftytorque off

在任何控制方式下,系统处于空载、带载运行状态,当安全转矩关断功能开关闭合时,系统关断主回路信号,且不再输出转矩。

3.4

转矩限制 safe limitedtorque

在任何控制方式下,系统处于带载运行状态,当负载转矩达到转矩设定的限制值时,电动机输出转矩最大值为限制设定值,并且输出一个转矩限制信号。

3.5

转速限制 safe limitedspeed

在任何控制方式下,系统处于空载、带载运行状态,当系统转速达到或超过设定的限制值时,电动机以设定的限制值输出转速。

3.6

安全制动 safe brake

在任何控制方式下,系统处于任何工作状态,当安全转矩关断功能被激活且检测到安全故障时,系统提供一路输出信号,驱动制动器制动。

3.7

频带宽度 band width

系统输入正弦波指令,随着指令信号频率的提高,系统输出的波形曲线对指令正弦波曲线的相位滞后逐渐增大,而幅值逐渐减小。相位滞后增大至 90° 时或幅值减小至 $1/\sqrt{2}$ 时的输入指令频率。

3.8

电磁骚扰 electromagnetic disturbance

任何可能引起装置、设备或系统性能降低或者对生物或非生物产生不良影响的电磁现象。

3.9

电磁干扰 electromagnetic interference; EMI

电磁骚扰引起的设备、传输通道或系统性能下降。

注1：术语“电磁骚扰”和“电磁干扰”分别表示“起因”和“后果”。

注2：过去“电磁骚扰”和“电磁干扰”常混用。

3.10

系统效率 system efficiency

系统至稳定工作温度，测量系统在额定状态下的输入功率与输出功率，输出功率对输入功率之比。

3.11

瞬时最大转矩 instantaneous maximum torque

在规定的条件下，以短时工作而不会引起系统损坏或性能不可恢复为条件，系统所能输出的转矩最大值。

3.12

系统转动惯量 system inertia

相对于转轴旋转中心的转子惯性矩。

注：包含电动机、减速机、制动器、编码器的旋转部分惯性矩。

4 运行条件

4.1 使用环境条件

除另有规定外，系统的使用环境条件应符合下列规定：

- a) 环境温度： $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $5\%\sim 95\%$ ，无凝露。

4.2 试验环境条件

4.2.1 正常的试验大气条件

所有试验若无其他规定，均应在下列气候条件下进行：

- a) 环境温度： $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $45\%\sim 75\%$ ；
- c) 气压： $86\text{ kPa}\sim 106\text{ kPa}$ 。

4.2.2 仲裁试验的标准大气条件

当因气候条件对试验结果有争议时，则以下述条件的试验结果为裁定产品的依据：

- a) 环境温度： $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $48\%\sim 52\%$ ；
- c) 气压： $86\text{ kPa}\sim 106\text{ kPa}$ 。

4.2.3 基准的标准大气条件

作为计算依据的基准条件如下：

- a) 环境温度:20 ℃;
- b) 相对湿度:65%;
- c) 气压:101.3 kPa。

4.2.4 测试仪表

检验测试仪表精度不低于1级。

5 功能和接口

5.1 功能

控制功能:主要包括位置控制、转速控制、力矩控制三种控制指令。

监视功能与反馈功能:反馈的参数包括位置、转速、力和力矩、电源电压、温度、故障代码、预警信息,必要时可增加噪声或振动的监视与反馈功能等。

安全功能与保护功能:功率模块短路、电动机失速、电动机超速、系统过载、功率模块过热、电源过/欠压、给定与反馈位置偏差过大、安全转矩关断、转矩限制、转速限制、安全制动等。

智能功能:系统的预防性维护、系统控制参数自动调谐、振动抑制、摩擦力补偿等。

5.2 接口

5.2.1 电气接口

系统的电气接口包括通信接口、电源接口(电源电压一般不大于直流48 V),必要时可包括安全接口。通信可采用现场总线(如CAN总线)或工业以太网(如EtherCAT)等数字通信接口。电气连接可采用电缆和连接器等方式。

5.2.2 机械接口

机械连接方式为轴输出,其接口形式与安装尺寸由产品专用技术条件规定。

6 技术要求和试验方法

6.1 总则

系统试验对象包括A、B两类系统,系统包含组件参见附录A。

6.2 外观及安装尺寸

6.2.1 外观

6.2.1.1 技术要求

系统表面不应有锈蚀、碰伤、划痕,涂覆层不应剥落,紧固件连接应牢固,引出线或接线端应完整无损,颜色和标志应正确、牢固,铭牌清晰易辨、不易除去。

6.2.1.2 试验方法

目检系统外观。

6.2.2 外形安装尺寸

6.2.2.1 技术要求

系统外形及安装尺寸应符合产品专用技术条件的规定。如无其他说明,外形及安装尺寸包括尺寸公差。

6.2.2.2 试验方法

试验时,按系统的外形及安装尺寸要求选用量具种类及精度等级,将系统放置在常温条件下,达到稳定非工作温度后,逐项进行测量。

6.2.3 引出线或接线端

6.2.3.1 技术要求

6.2.3.1.1 总则

系统出线方式可采用引出线或接线端方式,引出线标记应符合 GB/T 7346—2015 中与引出线方式和标记相关的规定。

引出线或接线端应有足够的强度和抗弯曲次数。

6.2.3.1.2 引出线标记及强度

系统引出线应有明显标识,或由产品专用技术条件规定。

除另有规定外,100 W 及以下功率的系统引出线,每根引出线应能承受 4.5 N 的拉力,100 W 以上功率的系统引出线,每根引出线应能承受 9.0 N 的拉力。试验后,引出线不应断开,绝缘层和线芯不应损坏,引出线被夹持部位与卡紧装置不应有相对位移的现象。抗弯曲试验后,引出线不应发生断裂或短路,绝缘表层不应出现龟裂、破损及其他异常现象,或由产品专用技术条件规定。

6.2.3.1.3 接线端标记及强度

系统采用引出线端子接线时,引出线端子接线板的接线位置上均应有相应的标志。接线端的结构尺寸、牢固程度应符合 GB/T 18211 的规定。

6.2.3.2 试验方法

6.2.3.2.1 引出线标记及强度

当采用引出线时,系统每根引出线应能承受规定拉力历时 1 min。试验时,系统放置在结构上允许的任意位置,以使夹紧装置能受到拉力的作用。

6.2.3.2.2 接线端标记及强度

检查接线端的结构和标记,按 GB/T 18211 的规定进行试验。

6.2.3.2.3 引出线抗弯曲次数

引出线样品线长 1.1 m,将导线固定在 U 型反复弯折试验机内,调整弯曲半径,行程设置范围为 0 mm~900 mm,试验装置按表 1 规定的试验条件进行往复运动。

表 1 引出线抗弯曲试验条件

电缆特性	弯曲半径 R mm	速率 次/min	次数 万次
电缆护套硬材质(如 ETFE)	33	88	$\geq 1\ 000$
电缆护套软材质(如高柔 PVC、TPU)	6	88	$\geq 1\ 000$

6.3 安全

6.3.1 电气安全

6.3.1.1 绝缘介电强度

6.3.1.1.1 技术要求

电气接口与系统壳体之间应能承受表 2 规定的试验电压,应无击穿、飞弧、闪络现象。漏电流应不大于表 2 规定值,或由产品专用技术条件规定。

当进行批量生产常规试验时,1 min 试验可用约 5 s 的试验代替,试验电压不变;也可用 1 s 试验来代替,但试验电压值为规定值的 120%。

表 2 绝缘介电试验条件

输入额定电压 V	电源功率 (最小值) kVA	电源 频率 Hz	试验电压 (有效值) V	电压持续 时间 s	漏电流 mA
≤ 24	0.5	50	300	60	5
$> 24 \sim 48$			500		

6.3.1.1.2 试验方法

系统试验时,应断开电源后进行。对于不能承受试验电压的元件(如浪涌抑制器、半导体元件、电容器等)应将其断开或旁路。安装在电路和裸露部件之间的抗扰性电容器不应断开。

试验电压的有效值不应超过规定值的 $\pm 5\%$ 。开始施加时的试验电压不应超过规定值的 50%。然后在几秒钟内将试验电压平稳增加到规定的最大值并保持 1 min。

不应重复进行本项试验。除另有规定外,允许在安装后开始运行前再进行一次额外试验,其试验电压值应不超过上述规定值的 80%。

6.3.1.2 绝缘电阻

6.3.1.2.1 技术要求

在正常试验条件及产品专用技术条件规定的极限低温条件下,电气接口与系统机壳之间的绝缘电阻应不小于 50 M Ω ,在极限高温条件下绝缘电阻应不小于 10 M Ω ,经受恒定湿热试验后绝缘电阻应不小于 1 M Ω 。

绝缘电阻检查选用绝缘电阻表的电压值为 250 V。

6.3.1.2.2 试验方法

按 GB/T 7345—2008 中 5.18.2 的方法进行试验。

6.3.1.3 系统接地

6.3.1.3.1 技术要求

系统可设置保护接地端子,并有 PE 标志。电源的地线与 PE 在系统内部连接,应符合 GB/T 5226.1—2019 中第 8 章的规定。接地电路的连续性要求应符合 GB/T 5226.1—2019 中 5.2 和 8.2.3 的规定。

6.3.1.3.2 试验方法

试验设备及基本参数应符合下列规定:

- a) 保护接地电路连续测试仪;
- b) 测试误差: ≤ 0.05 V。

利用测试仪电源(频率 50 Hz 低压,电流 ≥ 10 A,时间 ≥ 10 s)在受试品的 PE 端和电路部件各不同点进行,保证实测电阻应不小于 0.1 Ω 。

6.3.2 功能安全

6.3.2.1 总则

在对本系统进行功能安全规定时,应先根据整机的安全功能要求和功能安全等级进行分解,以确定系统具备的安全功能及等级。当系统及组件发生重大设计变更时或使用环境条件变更时,应重新根据整机要求进行分解。常用的安全功能为:安全转矩关断、转矩限制、转速限制、安全制动等。

6.3.2.2 安全转矩关断

6.3.2.2.1 技术要求

系统应具有安全转矩关断功能。

6.3.2.2.2 试验方法

试验时系统在额定电源电压下运行,当安全转矩关断信号有效时,处理时序满足安全控制要求,驱动器停止功率输出,电动机轴进入自由状态。

6.3.2.3 转矩限制

6.3.2.3.1 技术要求

系统应具有转矩限制功能。力矩限制值应按照 GB/T 36008 的规定进行转矩限制的计算。

6.3.2.3.2 试验方法

试验时系统在额定电源电压下运行,当系统的负载转矩达到转矩限制设定值时,系统的转矩输出维持在限制转矩值持续运行。

6.3.2.4 转速限制

6.3.2.4.1 技术要求

系统应具有转速限制功能。

6.3.2.4.2 试验方法

试验时系统在额定电源电压下运行,外部输入的转速指令值大于设定的转速限制值时,系统转速维持在转速限制值持续运行。

6.3.2.5 安全制动

6.3.2.5.1 技术要求

系统应具有安全制动控制功能。

6.3.2.5.2 试验方法

试验时系统在额定电源电压下运行,触发安全转矩关断功能、转矩限制功能、转速限制功能。

6.4 功能与性能

6.4.1 功能

6.4.1.1 过压保护

6.4.1.1.1 技术要求

系统应具有电源电压过压保护功能,系统电源电压超过设定过压保护值,系统应停止工作,输出保护信号。

6.4.1.1.2 试验方法

试验时系统在电源电压达到设定过压值运行时,保护功能动作。

6.4.1.2 欠压保护

6.4.1.2.1 技术要求

系统应具有电源电压欠压保护功能,系统电源电压超过设定欠压保护值,系统应停止工作,输出保护信号。当电压恢复正常,系统应能正常运行。

6.4.1.2.2 试验方法

试验时系统在电源电压达到设定欠压值运行时,保护功能动作。

6.4.1.3 过载保护

6.4.1.3.1 技术要求

系统应具有过载保护功能,当系统负载持续超过过载倍数达到规定时间时,系统应停止工作,输出保护信号。

6.4.1.3.2 试验方法

试验时系统在额定电压下运行,电动机运行在10%的额定转速下,将负载增加到规定的过载倍数,同时记录进入过载保护时间,应符合产品专用技术条件规定。

6.4.1.4 过热保护

6.4.1.4.1 技术要求

系统应具有过热保护功能,过热保护包括电动机绕组热保护和驱动功率器件热保护。

6.4.1.4.2 试验方法

过热保护功能应由产品专用技术条件规定进行试验,试验时系统在额定电压下,通过外部加热环境,系统加载监测温度,观察是否在超过过热保护值之后,保护功能动作,上报过热保护故障。当去除故障信号,系统重新通电应能正常运行,或符合产品专用技术条件规定。

6.4.2 性能

6.4.2.1 额定数据

6.4.2.1.1 技术要求

系统的额定输入电压、额定输入电流、额定输入功率、额定输出转速、额定输出转矩、额定输出功率等应符合产品专用技术条件的规定。额定输入功率按式(1)计算,额定输出功率按式(2)计算。

$$P_i = U_{DC} \times I_{DC} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

P_i ——额定输入功率,单位为瓦(W);

U_{DC} ——额定输入电压,单位为伏特(V);

I_{DC} ——额定输入电流,单位为安培(A)。

$$P_N = \frac{T_N \times n_N \times 2\pi}{60} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

P_N ——额定输出功率,单位为瓦(W);

T_N ——额定输出转矩,单位为牛米(N·m);

n_N ——额定输出转速,单位为转每分(r/min)。

6.4.2.1.2 试验方法

系统通过专用测试工装与规定负载连接,向驱动器施加额定电压,调节系统转速为额定转速,调节负载至额定转矩,运行至产品专用技术条件规定的系统稳定工作温度,测量额定电流,计算额定功率。

6.4.2.2 调速范围

6.4.2.2.1 技术要求

系统在额定电压下工作时,调节驱动器的转速指令,系统应符合产品专用技术条件的规定。

6.4.2.2.2 试验方法

按照产品专用技术条件规定的转速波动率条件,测量系统的最低转速和额定转速。分别记录两种

状态下的最低转速 n_{\min} 和额定转速 n_N 。

6.4.2.3 过载

6.4.2.3.1 技术要求

系统的过载特性包括过载倍数及过载持续时间,应符合产品专用技术条件的规定。

6.4.2.3.2 试验方法

按产品专用技术条件规定的过载条件运行,系统连续工作过程中不应发生转速突变、停转或有害变形等异常情况。

6.4.2.4 制动转矩

6.4.2.4.1 技术要求

驱动器断电后,系统应具有制动功能,制动转矩应符合产品专用技术条件的规定。

6.4.2.4.2 试验方法

系统断电,制动器动作,用标准砝码和测试盘将施加反向转矩至系统输出轴,增加转矩直至输出轴开始连续旋转前的最大转矩并记录这个值。

6.4.2.5 定位精度

6.4.2.5.1 技术要求

系统的定位精度应小于 $\pm 0.05^\circ$ 或符合产品专用技术条件的规定。

6.4.2.5.2 试验方法

系统外接高精度角度位置传感器,通过驱动器给出三处不同的位置指令,系统到达指定位置后通过外接高精度角度传感器检测出实际位置角度,与理论位置角度之差取平均值即为定位精度。

6.4.2.6 重复定位精度

6.4.2.6.1 技术要求

使系统额定运行至稳定工作温度,测量系统重复几个点的定位精度,重复定位精度应小于 $\pm 0.025^\circ$,或符合产品专用技术条件的规定。

6.4.2.6.2 试验方法

系统安装在测试工装外接高精度角度位置传感器,系统施加额定电压,根据三处给定位置进行5次定位,测量每次定位精度,对相同定位点的位置进行比较,得到重复定位精度。

6.4.2.7 系统效率

6.4.2.7.1 技术要求

系统效率根据采用减速器的等级应符合表3规定,或由产品专用技术条件规定。

表 3 系统效率

系统等级	效率 η
1 级	$\geq 80\% \sim 95\%$
2 级	$\geq 65\% \sim 80\%$
3 级	$\geq 50\% \sim 65\%$
4 级	$< 50\%$

6.4.2.7.2 试验方法

系统与规定负载连接,向驱动器施加额定电压,调节系统转速为额定转速,调节负载至额定转矩,运行至稳定工作温度,测量输入电流,计算额定系统效率。

6.4.2.8 最高转速

6.4.2.8.1 技术要求

空载条件下,间歇运行系统、系统最高转速应符合产品专用技术条件的规定。

6.4.2.8.2 试验方法

系统在额定电压下正常工作,给定最高转速指令信号,是否能达到规定值。

6.4.2.9 转矩变化的时间响应

6.4.2.9.1 技术要求

在 1:1 惯量负载下,系统在额定工作条件,额定转速运行,系统突加额定负载与突减额定负载,转速的调整时间应符合产品专用技术条件的规定。

6.4.2.9.2 试验方法

系统以额定转速运行,施加从 0~100% 的阶跃负载以及从 100%~0 的阶跃负载,记录转速调整时间和转速的瞬时最大偏差。

6.4.2.10 转速变化的时间响应

6.4.2.10.1 技术要求

系统在空载零速条件下,系统(驱动器)输入额定速度(转速)阶跃信号,转速变化的时间响应过程中的响应时间、超调量和建立时间,应符合产品专用技术条件的规定。

6.4.2.10.2 试验方法

系统处于空载零速状态下,输入对应额定转速 n_N 的阶跃信号,记录正阶跃输入的时间响应曲线,读出响应时间、建立时间和瞬态超调并计算出超调量。在稳定的 n_N 转速下,输入信号阶跃到零,记录负阶跃输入的时间响应曲线,读出响应时间、建立时间和瞬态超调并计算超调量。

改变系统转向重复上述试验,测量四次取平均值。

6.4.2.11 频带宽度

6.4.2.11.1 技术要求

系统跟踪指令的频带宽度应符合产品专用技术条件的规定。

6.4.2.11.2 试验方法

系统中电流环、速度环控制模式下,分别检测其输入指令与反馈值的幅度及相角频率特性,按照频带宽度的定义,检测各个控制环的带宽,并记录伯德图(对数坐标图)。

6.4.2.11.3 试验程序

6.4.2.11.3.1 电流环带宽的测试

将被测系统安装在测试工装上,所带惯量大于本体惯量的5倍以上。

系统工作在电流环(转矩)模式下。

输入带有直流偏置的正弦波转矩指令,系统转速维持在30%额定转速条件下做正弦加减速,以此降低驱动脉宽死区和静动摩擦对转矩带宽的影响。

转矩指令正弦幅值为100%额定转矩指令值,频率由0.1 Hz逐渐提高,随着指令正弦波频率的提高,系统实际转矩的波形曲线对指令正弦波曲线的相位滞后逐渐增大,而幅值逐渐减小。以相位滞后增大至90°时的频率作为转矩系统90°相位移的频带宽度;以幅值减小至0.707时的频率作为转矩系统-3 db的频带宽度。

6.4.2.11.3.2 速度环带宽的测试

将被测系统安装在测试工装上,所带惯量等于本体惯量。

系统工作在速度环模式下。

输入带有直流偏置的正弦波转速指令,系统转速维持在30%额定转速条件下做正弦加减速,以此降低驱动脉宽死区和静动摩擦对转矩带宽的影响。

速度指令正弦幅值为100%额定速度指令值,频率由0.1 Hz逐渐提高,随着指令正弦波频率的提高,系统实际转速的波形曲线对指令正弦波曲线的相位滞后逐渐增大,而幅值逐渐减小。以相位滞后增大至90°时的频率作为速度系统90°相位移的频带宽度;以幅值减小至0.707时的频率作为速度系统-3 db的频带宽度。

6.4.2.12 系统转动惯量

6.4.2.12.1 技术要求

系统的转动惯量应符合产品专用技术条件规定。

6.4.2.12.2 试验方法

按GB/T 7345—2008中5.19.2的方法进行试验,或将系统安装在工装上通过转动惯量测试台进行试验。

6.5 环境适应性

6.5.1 低温

6.5.1.1 技术要求

当有要求时,系统应能承受产品专用技术条件规定的极限低温试验。试验后其性能指标应符合产品专用技术条件的规定。

6.5.1.2 试验方法

按 GB/T 2423.1—2008 中试验方法 Ad 进行低温试验,试验持续时间为 4 h,或符合产品专用技术条件的规定。

6.5.2 高温

6.5.2.1 技术要求

当有要求时,系统应能承受产品专用技术条件规定的极限高温试验。试验后其性能指标应符合产品专用技术条件的规定。

6.5.2.2 试验方法

按 GB/T 2423.2—2008 中试验方法 Bd 进行高温试验,试验持续时间为 4 h,或符合产品专用技术条件的规定。

6.5.3 振动

6.5.3.1 技术要求

当有要求时,系统应能承受表 4 规定振动条件的初始振动响应及耐久试验。试验后系统不应出现零部件松动或损坏,性能应符合产品专用技术条件的规定。

6.5.3.2 试验方法

系统牢固地固定在试验支架上,支架固定在试验台面上,按 GB/T 2423.10—2019 中的扫频试验法进行振动响应及耐久试验。在三个垂直的方向进行,每轴振动 10 min。

试验期间的监测项目和方法、机械负载大小及是否通电试验等,应符合产品专用技术条件规定。

表 4 振动条件

振动频率 Hz	幅值 ^a	扫频次数	每一轴线危险频率上振动时间 min
10~150	0.035 mm 或 5 m/s ²	10	10
^a 指交越频率以下的位移幅值和交越频率以上的加速度幅值。交越频率在 57 Hz~62 Hz 之间。			

6.5.4 冲击

6.5.4.1 技术要求

系统的冲击应符合产品专用技术条件中规定。试验后系统不应出现零部件松动或损坏,性能应符

合产品专用技术条件的规定。

6.5.4.2 试验方法

系统牢固地固定在试验支架上,按 GB/T 2423.5 的规定进行冲击试验。在三个相互垂直轴线的六个方向进行。冲击条件见表 5。试验期间的监测项目、是否通电试验等,应符合产品专用技术条件的规定。

表 5 冲击条件

峰值加速度 m/s ²	脉冲持续时间 ms	波形	每一轴线冲击次数
300	30	半正弦	3

6.5.5 恒定湿热

6.5.5.1 技术要求

系统应能承受温度 $55\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 91%~96%,历时 4 d 的恒定湿热试验。试验后立即测量绝缘电阻,应不小于 1 MΩ。系统应无明显的外表质量变坏及影响正常工作的锈蚀现象。在正常大气条件下恢复 12 h 后通电,系统应能正常工作。

6.5.5.2 试验方法

按 GB/T 2423.3 规定的方法进行试验。

6.5.6 噪声



6.5.6.1 技术要求

噪声应符合产品专用技术条件规定。

6.5.6.2 试验方法

系统的噪声等级(dB)用声功率级 dB(A)表示,噪声的测试按 GB/T 10069.1 规定进行。

6.6 电磁兼容性(EMC)

6.6.1 导则

本试验要充分考虑系统的 EMC 环境,由用户和制造商共同协商制定每项试验的试验等级。在试验期间和试验后,无需操作人员介入,系统应能按预期持续工作。当按预期使用时,不准许出现低于制造商规定的最低性能等级的降级或功能损失。可用允许的性能降低来代替性能等级。如果制造商没有规定最低性能等级或允许的性能降低,则可由产品专用技术条件规定,并且用户有理由要求所使用的设备达到此规定。

系统应符合 GB 4824—2019 中第 12 章或产品专用技术条件的规定。

6.6.2 抗扰度

涉及的设备抗扰度试验要求是按端口逐一给出的。

试验应按表 6 的规定,以完全确定的和可重复的方式进行。

试验时系统在额定转速下空载运行,工作特性未有明显的变化,在规定的允许偏差内正常工作。

表 6 抗扰度试验

项目	端口	试验要求	试验方法
浪涌冲击	输入直流电源接口	试验点为系统的供电电源端口线对地的,规范值: $T_r/T_h(1.2/50\ \mu\text{s}\sim 8/20\ \mu\text{s})$, $\pm 0.5\ \text{kV}$ (开路试验电压)	GB/T 17626.5—2019
电快速瞬变脉冲群	信号端口/直流输入电源端口	试验点为系统的供电电源端口和控制信号端口,规范值: $\pm 0.5\ \text{kV}$ (开路试验电压), $T_r/T_h 5/50\ \text{ns}$,重复频率 5 kHz	GB/T 17626.4—2018
静电放电	外壳端口	试验点为驱动器的保护接地端,优先选用接触放电法测试,规范值 $\pm 4\ \text{kV}$,空气放电规范值 $\pm 8\ \text{kV}$	GB/T 17626.2—2018
射频电磁场辐射	外壳端口	试验点是外壳端口,规定的试验电平是未调制载波的有效值。规范值频段为 80 MHz~1 000 MHz,1.4 MHz~2.0 MHz,2.0 MHz~2.7 MHz;电平 3 V/m,80%AM(1 kHz)	GB/T 17626.3—2016

6.6.3 发射

测试场地应符合 GB/T 6113.104—2016 的规定。

发射测试天线应符合 GB/T 6113.104—2016 的规定。

测量接收机应符合 GB/T 6113.101—2016 的规定。

传导测试设备应符合 GB/T 6113.102—2018 的规定。

系统工作在额定电压、额定转速、空载状态下。电源终端传导骚扰及信号终端传导共模骚扰的极限值应符合表 7 的规定。

表 7 电源终端传导骚扰及信号终端传导共模骚扰的极限值

频带 MHz	准峰值 dB(μV)	平均值 dB(μV)	试验方法
$0.15 \leq f < 0.50$	79	66	GB/T 6113.201—2018
$0.50 \leq f < 5.0$	73	60	
$5.0 \leq f < 30$	73	60	

试验时系统在额定电压、额定转速下空载运行,电磁辐射骚扰的极限值应符合表 8 的规定。

表 8 电磁辐射骚扰的极限值

频带 f MHz	电场强度分量准峰值 dB(μ V/m)	测量距离 m	试验方法
$30 \leq f < 230$ $230 \leq f < 1\ 000$	30 37	10	GB/T 6113.203—2016
频带 GHz	电场强度分量准峰值 dB(μ V/m)	测量距离 m	
1~3 3~6	50 54	3	

6.7 质量



6.7.1 技术要求

系统质量应符合产品专用技术条件规定。

6.7.2 试验方法

用精度不低于 1% 的衡器称取。

6.8 寿命

6.8.1 技术要求

系统应满足产品专用技术条件规定的寿命,并在表 9 规定的寿命试验条件下能连续正常工作,试验结束后,系统恢复到常态时检查额定数据,其变化与试验开始时比较不应超过 $\pm 10\%$ 。

6.8.2 试验方法

系统安装在试验支架上,可在模拟整机运行的负载条件,或者当模拟实验条件不具备时,额定负载按表 9 规定的条件进行寿命试验,在轴伸每一种安装位置,系统正反方向旋转的时间各为 50%。

表 9 寿命试验条件

安装位置	轴伸向上	轴伸向下	轴伸水平
时间分配	寿命时间的 1/4	寿命时间的 1/4	寿命时间的 1/2

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分为:

- a) 鉴定检验;
- b) 质量一致性检验。

7.2 鉴定检验

7.2.1 鉴定检验时机和条件

当有要求时,鉴定检验应在国家认可的实验室按产品专用技术条件规定进行。

有下列情况之一时,应进行鉴定检验:

- a) 新产品设计确认前;
- b) 已鉴定产品设计或工艺变更时;
- c) 已鉴定产品关键原材料、元器件变更时;
- d) 产品制造场所改变时。

7.2.2 样机数量

从能代表相应生产阶段的产品中抽取 6 台,其中 4 台作为试验样机,2 台作为存放对比用。特殊情况下样机抽取应符合产品专用技术条件规定。

7.2.3 检验程序

鉴定检验项目、基本顺序和样机编号按表 10 规定进行。

表 10 检验项目和顺序


序号	试验项目	技术要求和试验方法章条		鉴定检验 样机编号	质量一致性检验		鉴定检验
		章条号	系统		A 组检验	C 组检验	
1	外观	6.2.1	√	1,2,3,4	√	—	√
2	外形安装尺寸	6.2.2	√	1,2,3,4	√	—	√
3	引出线或接线端	6.2.3	√	1,2,3,4	√	—	√
4	绝缘介电强度	6.3.1.1	√	1,2,3,4	√	—	√
5	绝缘电阻	6.3.1.2	√	1,2,3,4	√	—	√
6	系统接地	6.3.1.3	√	1,2,3,4	√	—	√
7	额定数据	6.4.2.1	√	1,2,3,4	√	—	√
8	调速范围	6.4.2.2	√	1,2,3,4	—	√	√
9	过载	6.4.2.3	√	1,2	—	√	√
10	制动转矩	6.4.2.4	√	1,2,3,4	√	—	√
11	定位精度	6.4.2.5	√	1,2,3,4	—	√	√
12	重复定位精度	6.4.2.6	√	1,2,3,4	—	√	√
13	系统效率	6.4.2.7	√	1,2,3,4	—	√	√
14	最高转速	6.4.2.8	√	1,2,3,4	—	√	√
15	转矩变化的时间响应	6.4.2.9	√	1,2,3,4	—	√	√
16	转速变化的时间响应	6.4.2.10	√	1,2,3,4	—	√	√
17	频带宽度	6.4.2.11	√	1,2,3,4	—	√	√
18	系统转动惯量	6.4.2.12	√	1,2,3,4	—	√	√
19	低温 ^a 	6.5.1	√	1,2	—	√	√

表 10 (续)

序号	试验项目		技术要求和试验方法章条		鉴定检验 样机编号	质量一致性检验		鉴定检验
			章条号	系统		A 组检验	C 组检验	
20	高温 ^a		6.5.2	√	1,2	—	√	√
21	振动 ^a		6.5.3	√	1,2	—	√	√
22	冲击		6.5.4	√	1,2	—	√	√
23	恒定湿热		6.5.5	√	1,2	—	√	√
24	噪声		6.5.6	√	1,2	—	√	√
25	电磁兼容性(EMC)	抗扰度	6.6.2	√	3,4	—	√	√
26		发射	6.6.3		3,4		√	√
27	质量		6.7	√	1,2	—	√	√
28	寿命		6.8	√	1,2	—	√	√
29	控制功能 ^b		5.1	√	1,2,3,4	√	√	√
30	安全功能 ^b		5.1	√	1,2,3,4	√	√	√
31	保护功能 ^b		5.1	√	1,2,3,4	√	√	√

注：“√”表示进行该项目检验，“—”表示不进行该项目检验。

^a 根据用途和环境条件,当有要求时才进行的鉴定检验项目。

^b 当有要求时,需选择合适的子项目进行检验。

7.2.4 检验结果的评定

7.2.4.1 合格

鉴定检验用样机的全部项目检验符合要求,则鉴定检验合格。

7.2.4.2 不合格

只要有一台样机的任一项检验不符合要求,并且不属于 7.2.4.3 和 7.2.4.4 的情况,则验收检验不合格。

7.2.4.3 偶然失效

当鉴定部门确定某一项不合格时,允许用新的同等数量的样机代替,并补做已经做过的项目。然后继续试验,若再有一台样机的任何一个项目不合格,则验收检验不合格。

7.2.4.4 性能降低

样机经环境试验后,允许出现不影响其使用的性能降低,性能降低的允许值由产品专用技术条件规定。

7.2.4.5 环境试验期间和试验后的性能严重降低

样机在环境试验时或环境试验后,出现影响其使用的性能严重降低时,鉴定部门可以采取两种方式:

- a) 判定验收检验不合格；
- b) 当一台样机出现失效时，允许用新的两台样机代替，并补做失效发生前（包括失效时）的所有试验，然后补足 7.2.2 规定的数量继续下面的试验，若再有一台样机的任何一个项目不合格，则判定验收检验不合格。

7.2.4.6 同类产品的验收检验

当某一类两个及两个以上型号的产品同时提交鉴定时，每种型号均应抽取 7.2.2 规定的样机数量，所有样机通过出厂检验后，再从中选取具有代表性的不同型号的样机进行其余项目的试验，合格判据按 7.2.4 规定。任一台样机的任一项目不合格，则其所代表的该型号的产品验收检验不合格。本检验不允许样机替换。

若验收检验合格，则认为同时提交的所有型号的产品均合格。

7.3 质量一致性检验

7.3.1 质量一致性检验分类

质量一致性分为 A 组和 C 组检验：

- a) A 组是为了产品是否满足常规质量要求进行的出厂检验。
- b) C 组是周期性检验。

7.3.2 A 组检验

A 组检验项目及基本顺序按照表 10 进行。

A 组检验可以抽样或逐台进行。抽样按 GB/T 2828.1—2012 中抽检水平 II，一次抽样方案进行，接收质量限(AQL)值，由用户和制造商协商选定。

逐台检验中，产品若有一项或一项以上不合格，则为该产品不合格品。

A 组检验合格，则除抽样中的不合格产品之外，用户应整批接收。

若 A 组检验不合格，则整批不合格，由制造商消除缺陷并剔除不合格品后，再次提交 A 组检验。

7.3.3 C 组检验



7.3.3.1 C 组检验项目及基本顺序

C 组检验项目及基本顺序按表 10 规定进行。

7.3.3.2 检验时机和周期

有以下情况之一时，一般应进行 C 组检验：

- a) 相关项目检验；
- b) A 组检验结果与鉴定检验结果发生较大偏差时；
- c) 周期检验；
- d) 政府或行业监管产品质量或用户要求时。

C 组检验周期除另有规定，每两年至少进行一次。

7.3.3.3 检验规则

C 组检验样机从已通过 A 组检验的产品中抽取，对未做过 A 组检验的样机应补做 A 组检验项目的试验，待合格后方能进行 C 组检验其余项目的试验。

C 组检验样机数量及检验结果评定分别按 7.2.2 和 7.2.4 的规定。

若 C 组检验不合格,由制造商消除不合格原因后,重新进行 C 组检验。

8 交付准备

8.1 标识

标识(铭牌)至少应包括下列信息:

- a) 制造商名称或商标;
- b) 型号和名称;
- c) 产品出厂编号。

8.2 制造商应提供的系统信息

制造商应根据用户要求提供下列参数值及允差。这些参数值可在使用说明书、标识和合格证中提供,并能在试验中得到验证。如果参数值受负载的影响,则对负载应有具体描述。这些参数包括:

- a) 额定功率;
- b) 绝缘等级;
- c) 额定电压, V;
- d) 额定电流, A;
- e) 额定转速(或空载转速), r/min;
- f) 额定转矩, N·m;
- g) 瞬时最大转矩, N·m;
- h) 质量;
- i) 产品出厂编号;
- j) 制造厂出品年月。

8.3 制造商应提供的其他信息

随系统应提供的信息:

- a) 安全和警告信息;
- b) EMC 信息;
- c) 接地和保护信息;
- d) 规定由用户调整的校准元件、器件和部件所需的信息;
- e) 安装与操作信息;
- f) 故障与维修信息;
- g) 支持与联络信息。

8.4 安全和警告标志

制造商应提供安全和警告标志。

8.5 包装

系统在包装前,轴身应采用防锈保护措施。

系统包装应牢固可靠,包装箱应按 GB/T 191 的规定标识。

包装箱或包装盒在运输过程中应小心轻放,避免碰撞和敲击,严禁与酸碱等腐蚀性物质放在一起。

系统应贮存在环境温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 75\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度不大于 85%,清洁、通风良好的库房内,空气中不得含有腐蚀性气体。

附录 A
(资料性附录)
系统的结构和组件

A.1 结构图

一体式关节结构图如图 A.1 所示。

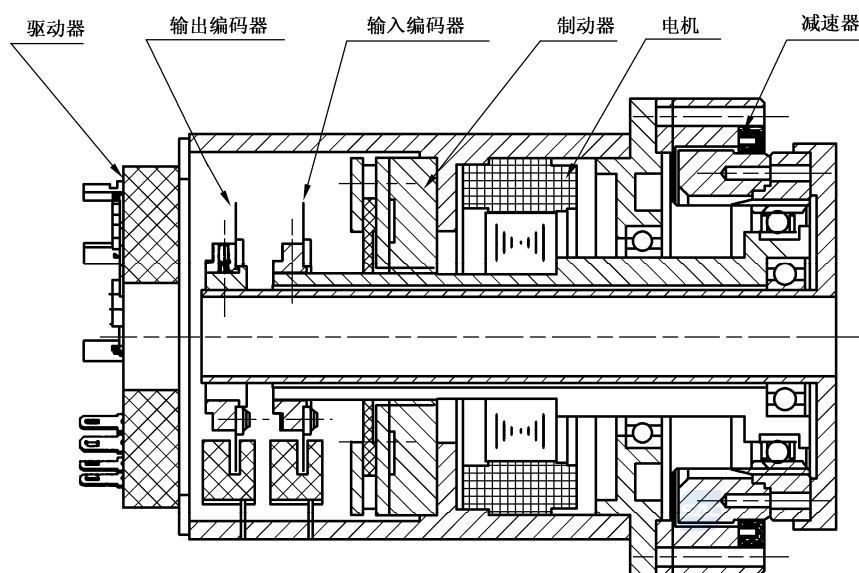


图 A.1 一体式关节结构示意图

A.2 系统框图

系统方框图如图 A.2 和图 A.3 所示。

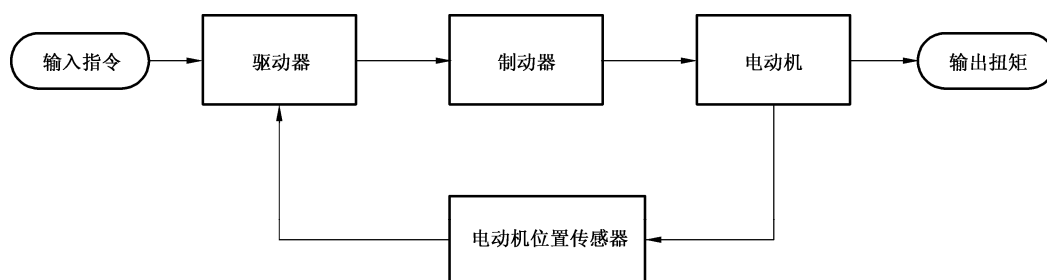


图 A.2 A 类系统方框图

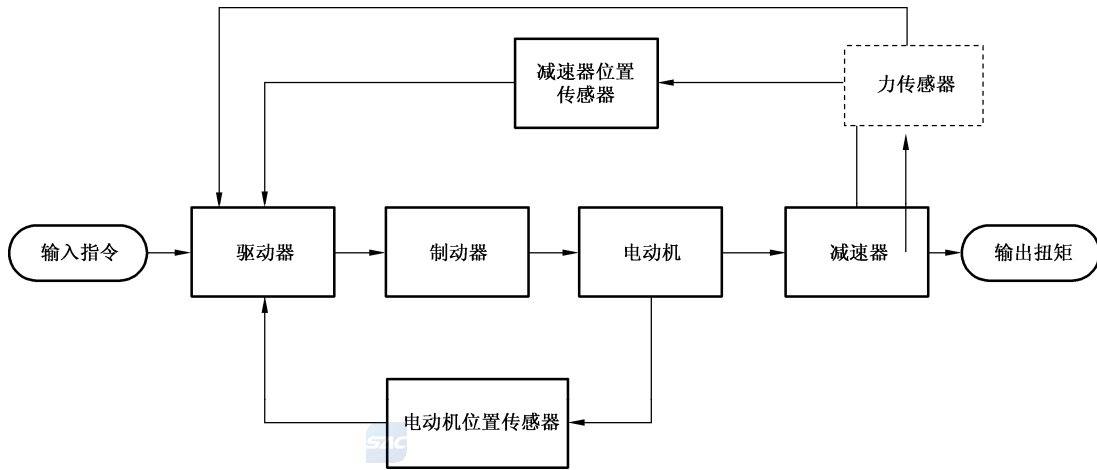


图 A.3 B 类系统方框图

A.3 电动机

A.3.1 无框伺服电动机外形结构及尺寸

根据驱动器、传感器的使用要求,电动机后侧的位置反馈元件可采用霍尔传感器或编码器,典型的电动机结构如图 A.4。

从电动机的性能出发,关键的外形尺寸包括定子外径 ϕD 和铁芯长度 L_0 。一种常规的方法是以定子外径和铁芯长度来定义电动机的规格。不同的协作机器人对空间的要求决定了引出线端部长度 L_1 和 L_2 的不同。

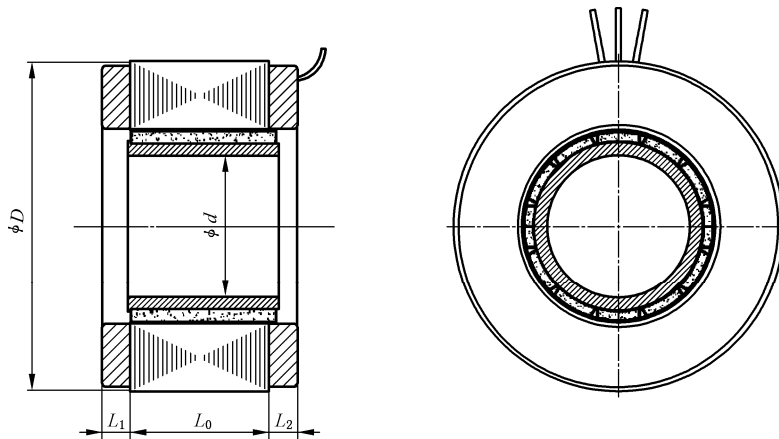


图 A.4 无框电动机外形结构

常规无框电动机的机座号及推荐使用的定子外径尺寸 ϕD 见表 A.1 的规定。

表 A.1 典型外形尺寸

单位为毫米

机座号	定子外径 ϕD	备注
40××/38××	$\phi 40.00/\phi 38.00$	—
50××/49××	$\phi 50.00/\phi 49.00$	—
60××/64××	$\phi 60.00/\phi 64.00$	—
70××/76××	$\phi 70.00/\phi 76.00$	—
85××/84××	$\phi 85.00/\phi 84.00$	—
95××	$\phi 95.00$	驱动电压可能大于 48 V
110××/100××	$\phi 110.00/100.00$	驱动电压可能大于 48 V
130××/129××	$\phi 130.00/\phi 129.00$	驱动电压可能大于 48 V

注：××表示电动机铁芯长度，是用户考虑电动机功率及安装尺寸选型的主要参数。

A.3.2 电气参数

在协作机器人系统的应用中，系统的有效载荷、响应速度要求电动机需要提供一定的连续堵转转矩和具有相对小的转动惯量。电气参数见表 A.2 的规定。

表 A.2 电气参数

机座号+铁芯长度 ^a	6 013	6 425	7 631	8 427	10 031	12 955
连续额定输出功率 W	118	200	308	400	750	600
额定功率下的额定转速 rpm	4 000	3 000	2 300	3 000	2 000	625
设计电压 U_{dc} V	48	48	48	48	48	48
连续堵转转矩 $N \cdot m$	0.44	0.9	1.7	1.76	4.3	10.3
连续电流 A	4.6	6.1	9.2	11.5	19.6	14.3
峰值堵转转矩 $N \cdot m$	1.45	2.8	5.52	5.2	11.7	31.5
峰值电流 A	15.3	19.8	32.6	38.2	52.6	46.2
线反电势系数 ^b V/rpm	6.3×10^{-3}	9.3×10^{-3}	12.6×10^{-3}	9.8×10^{-3}	14.3×10^{-3}	46.1×10^{-3}
转矩常数 ^c $N \cdot m/A$	0.094	0.149	0.185	0.155	0.227	0.717
定子相电阻 25 °C Ω	0.72	0.51	0.18	0.12	0.08	0.14

表 A.2 (续)

电感 mH	0.30	0.59	0.29	0.30	0.15	0.64
极数	12	8	12	12	12	12
定、转子总质量 kg	0.26	0.51	0.72	0.92	1.41	3.96
转动惯量 kg·m ²	9.7×10^{-6}	1.8×10^{-5}	2.2×10^{-5}	3.9×10^{-5}	2.45×10^{-5}	7.2×10^{-5}
<p>^a 同一机座号下,不同铁芯长度对应不同的功率。</p> <p>^b 线反电势系数中的反电势是有效值。</p> <p>^c 转矩常数中的电流为有效值。</p>						

A.4 驱动器

A.4.1 总则

协作机器人用一体式伺服电动机系统中的伺服驱动器是一种特殊的伺服驱动器。结构小巧紧凑,且能够与构成系统的电动机及减速器集成在一起,构成协作机器人关节的一部分或是整个关节。由低压直流电源供电,具备位置、速度、转矩三环高性能伺服控制功能的同时,还宜具有安全功能,符合协作机器人功能安全技术标准,满足多种传感器接口,抗振动和高可靠性的要求。

伺服驱动器能够直接安装在容纳电动机及减速器的结构框架上或框架内。由框架及相应的外壳盖实现支撑和防护,且不能影响系统的结构主体形状。根据一体式伺服电动机系统设计方案的的不同,相应的伺服驱动器结构型式也不相同。

由于一体式伺服电动机系统需要安装在协作机器人的机器臂上,接口的抗振动要求高于通用伺服驱动器。伺服驱动器在基本功能上与通用伺服驱动器一致,具有电流、速度、位置三环伺服控制功能。此外,伺服驱动器还宜备满足协作机器人特殊要求的控制功能。

A.4.2 伺服驱动器结构型式

A.4.2.1 与电动机和减速器尺寸相匹配的圆环型结构

由于构成一体式伺服电动机系统的无框电动机及减速器结构为圆形,且需要通过中空孔实现内部电缆线的穿过和连接。伺服驱动器的圆环结构可很好地与结构框架相匹配,在减小系统整体尺寸的同时,可最大限度利用有效的安装空间和面积。

根据一体式伺服电动机系统输出功率及结构尺寸的不同,伺服驱动器的结构尺寸也可相应地分为多种尺寸,每种尺寸可对应一种或多种系统结构。

A.4.2.2 可安装在系统结构框架内部的方形或异形多层堆叠结构

高度集成,结构紧凑,尺寸非常小且满足一体式伺服电动机系统功率输出需求的伺服驱动器也可是方形或异形多层堆叠结构形式。可安装在一体式系统的结构内部。另外,有些一体式系统中需要一个伺服驱动器同时驱动两个伺服电动机,或由于其他系统结构设计要求,也需要这种结构的伺服驱动器与之配套。

A.4.3 伺服驱动器接口

A.4.3.1 功率接口

功率接口包括：直流电源接口和电动机输出接口。

直流电源接口是用于连接直流电源“+”“—”输入接线和为下一个系统提供直流电源“+”“—”输出接线的接口。一般为四个端子。

电动机输出接口是驱动器给电动机 U、V、W 三相功率输出控制的接口，一般为三个端子。

A.4.3.2 通信总线接口

通信总线接口主要用于连接上位控制器或一体式伺服电动机系统之间通信总线的接口。一般分为通信总线输入和总线输出接口。

常见的总线形式为 RS485、CAN 以及 EtherCAT，均为差分总线，具备较强的抗干扰能力。总线通信周期及交互数据量与运动实时性要求、节点数量等特定应用有关。

A.4.3.3 编码器接口

根据协作机器人的控制需求，一体式伺服电动机系统需要在电动机轴端和减速器输出端均安装位置编码器。伺服驱动器可根据双编码器输入，实现高性能全闭环控制和防撞控制。

伺服驱动器需要采用双编码器接口形式，或将两个编码器接收传感器直接集成到伺服驱动器电路板上，从而省略接口端子，提高系统可靠性。

编码器信号形式有 TTL 单端信号以及标准 RS422 差分总线信号两种形式。信号形式与编码器安装位置及方式有一定关系。

A.4.3.4 制动器接口

采用制动器实现一体式伺服电动机系统位置锁定是协作机器人应用中一个必不可少的要求。伺服驱动器的制动器接口用于驱动电磁动作机构的制动器。制动励磁电压为直流 12 V 或直流 24 V，吸合电流大于保持电流。建议伺服驱动器通过 PWM 控制调整施加到线包绕组上的有效电压的大小，控制吸合和保持时的电流，降低保持时的功耗及发热。

A.4.3.5 传感器接口

根据协作机器人安全及控制功能的要求，一体式伺服电动机系统中的伺服驱动器需要配有相应的模拟量和数字量传感器接口。

常见的传感器类型包括温度传感器和力矩传感器等。

温度传感器采用 PTC 或 NTC 等热敏电阻埋置在电动机绕组内部，用于温度测量及保护。

力矩传感器安装在关节输出端，用于实现主动振动控制、柔顺控制及碰撞检测。

A.4.4 主要技术指标

A.4.4.1 电源供电电压

伺服驱动器采用低压直流供电，电压范围一般为直流 24 V~48 V，兼容主流标准开关电源模块输出。

控制回路供电可单独提供，也可与功率回路供电共用。

A.4.4.2 连续输出电流

伺服驱动器驱动电动机带额定转矩负载,且在允许的最高环境温度连续工作时,能够持续输出的电流有效值。反映伺服驱动器的额定带载能力。

A.4.4.3 最大输出电流

在规定的最高环境温度中,伺服驱动器驱动电动机在短时间内能够带最大转矩负载时,输出的电流有效值。反映伺服驱动器的过载能力。在协作机器人应用中,一般为连续输出电流的两至三倍。持续时间 1 s~3 s。

A.4.5 主要功能

A.4.5.1 位置/速度/转矩控制模式及在线模式切换功能

根据上位控制器设定实现位置、速度、转矩不同控制模式运行。可根据参数设定及上位控制器指令在线实现控制模式的切换。支持拖拽示教功能,记录并规划关节运动轨迹。

A.4.5.2 全闭环控制及防碰撞功能

伺服驱动器可根据减速器输出端位置编码器数据,实现减速器输出端的高精度位置闭环控制,即全闭环控制。

可根据电动机轴端编码器及减速器输出端位置编码器数据,结合伺服驱动器转矩电流值,判定系统运行状态,估算系统执行机构转矩大小,快速识别碰撞状态在造成碰撞破坏前快速停机保护。

A.4.5.3 负载惯量自动辨识、参数自调谐功能

可在运行过程中自动对负载惯量的变化进行辨识,并根据辨识结果进行调节器增益自动调整,实现伺服驱动最佳速度和位置控制。

A.4.5.4 抗扰动补偿控制

包括摩擦转矩补偿控制、电动机转矩脉动控制、负载扰动控制等,可提高一体式伺服电动机系统运动的响应特性,使运行平滑柔顺。

A.4.5.5 振动抑制功能

通过低通滤波器,自适应陷波器,模型跟踪振动抑制等功能实现对减速器及执行机构运行中产生的机械振动的抑制。

A.4.5.6 安全功能

安全功能是指伺服驱动器涉及人身安全、设备安全的控制、检测功能。是一体式伺服电动机系统宜具备的功能。系统中伺服驱动器的安全功能主要包括:

- ST0:安全转矩关断功能;
- SS1:安全停止 1;
- SS2:安全停止 2;
- SBC:安全抱闸;
- SLS:安全速度限幅;
- SLT:安全转矩监控。

伺服驱动器的安全功能还需要通过功能安全认证。

A.4.5.7 保护功能

伺服驱动器需要具备完善的硬件保护及软件保护功能,包括:过欠压、过流及短路、过载、超速、位置跟随偏差过大、过热等保护。

可根据力矩传感器反馈或者通过电动机电流特性进行碰撞检测判断。

A.5 减速器

A.5.1 减速器常见结构及类型

在一体化关节组件中常用减速器类型为 RV 减速器和谐波齿轮减速器,常见的减速器结构类型如图 A.5 所示。

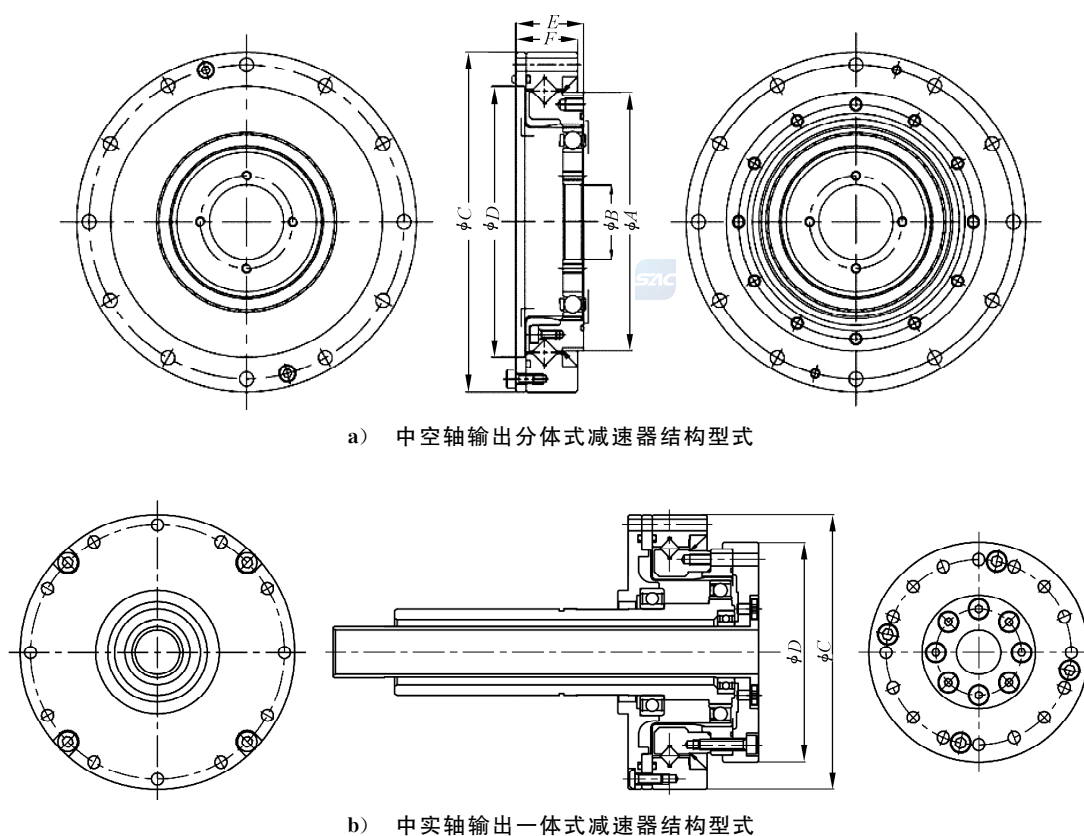


图 A.5 常用减速器结构类型

A.5.2 减速器规格

减速器规格尺寸参见表 A.3,减速器基本参数参见表 A.4。

表 A.3 减速器规格尺寸表

单位为毫米

尺寸代号	规格代号					
	14	17	20	25	32	40
ϕA	49	59	69	84	110	132
ϕB	11	15	20	24	32	40
ϕC	70	80	90	110	142	170
ϕD	50	61	71	88	114	140
E	17.5	18.5	19	22	27.9	33
F	15.5	16.5	17	20	23.6	28

注：中实轴输出一体式减速器结构型式的尺寸仅供参考。

表 A.4 减速器参数表

规格代号	减速比	输入转速 2 000 r/min 时的额定转矩 N·m	起动、停止时的 允许最大转矩 N·m	瞬间允许最大转矩 N·m	允许最高输入转速 r/min
					脂润滑 G
14	50	3.0	9.6	18	7 000
	100	4.3	15	28	
17	50	8.8	18	38	6 000
	100	13	30	57	
20	50	14	31	55	5 200
	100	22	46	76	
	160	22	51	76	
25	50	22	55	102	4 500
	100	38	88	147	
	160	38	98	163	
32	50	42	121	214	5 200
	110	77	186	336	
	160	77	209	356	
40	50	77	225	384	5 200
	100	148	318	560	
	160	165	362	612	

A.5.3 减速器关键技术指标

A.5.3.1 额定转矩

在额定转速下,逐渐加载至额定转矩运行时,不宜出现联结件松动、结合处漏油、气孔溢油和产生异常响声等现象。

A.5.3.2 超载

超过四倍额定转矩时,减速器能正常运行 2 min,试验后检查零件无损坏;再启动时无滑齿现象;且能正常运转,无异常振动和噪声。

A.5.3.3 扭转刚度

额定负载扭矩与相应弹性变形转角之比值,具体扭转刚度参见表 A.5 的规定。

表 A.5 减速器的扭转刚度值

规格	$K_1 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{rad}$	$K_2 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{rad}$
14	0.47	0.61
17	1.00	1.40
20	1.60	2.50
25	3.10	5.00
32	6.70	11.00
40	13.00	20.00

A.5.3.4 空程和背隙

空程和背隙精度等级参见表 A.6 的规定。

表 A.6 空程和背隙精度等级

项目	精度等级	指标
空程	1 级	空程 $\leq 1'$
	2 级	$1' < \text{空程} \leq 3'$
	3 级	$3' < \text{空程} \leq 6'$
背隙	1 级	背隙 $\leq 10''$
	2 级	$10'' < \text{背隙} \leq 1'$
	3 级	$1' < \text{背隙} \leq 3'$

A.5.3.5 传动误差

传动误差精度等级参见表 A.7 的规定。

表 A.7 传动误差精度等级

精度等级	传动误差
A 级	$\leq 30''$
B 级	$30'' < \text{传动误差} \leq 1'$
C 级	$1' < \text{传动误差} \leq 3'$

A.5.3.6 减速比

减速器的减速比优先采用 30、50、80、100、120 和 160 六种规格。

A.5.3.7 传动效率

在额定转矩下,减速器的传动效率参见表 A.8 的规定。

表 A.8 传动效率

输入转速 r/min	产品型式	传动效率 %
2 000	CD/HD	≥65

A.5.3.8 噪声

在额定转速和额定转矩下,噪声不大于 60 dB(A)。

A.5.3.9 寿命

在输入转速 2 000 r/min、额定转矩及正常工作温度、湿度下,HD 减速器寿命不低于 8 000 h。

A.6 编码器

根据系统的结构特点,一般要求位置传感器为中空结构,尺寸薄,易安装。带轴承及外壳的传统编码器不适应这一应用,一般采用动码盘和传感读头分开安装的无轴承、分体式中空编码器。常用位置传感器类型参见表 A.9。

表 A.9 常用位置传感器类型

类型 及适用场合	共性要求	技术路线	特点
增量编码器 适用于图 A.1 中电动机位置传感器	方波 TTL 或正弦弦输出; 分辨率不低于 2 500 PPR; 供电 3.5 V DC~5 V DC; UVW 信号输出(选项)	光电式	分辨率高
		旋转变压器	抗干扰能力强、环境适应性强
		电容式	安装要求低
		磁电式	抗干扰能力强、环境适应性强
单圈绝对值编码器 适用于图 A.1 中减速器位置传感器	绝对值输出; 分辨率不低于 18 位; 重复精度不低于 17 位; 绝对精度不低于 0.02 度; 通信协议:BISS、SSI、或 RS485 等	光电式	分辨率高(达 24 位),精度高,抗干扰能力强
		磁电式	分辨率较高(18 位以上)
		电容式	分辨率较高(18 位以上),安装容易,对动态安装精度要求低
多圈绝对值编码器 适用于图 A.2 中电动机位置传感器	多圈绝对值输出; 多圈计数大于 256 圈; 分辨率不低于 18 位; 重复精度不低于 17 位; 绝对精度不低于 0.02 度; 通信协议:BISS、SSI、或 RS485 等	光电式	分辨率高(达 23 位),精度高,抗干扰能力强; 后备电池或齿轮组计圈数
		磁电式	分辨率较高(18 位以上);后备电池计圈数
		电容式	安装容易;后备电池计圈数;可同时输出绝对值与增量信号
		韦根电容式	韦根传感器计圈数,无需电池或齿轮组

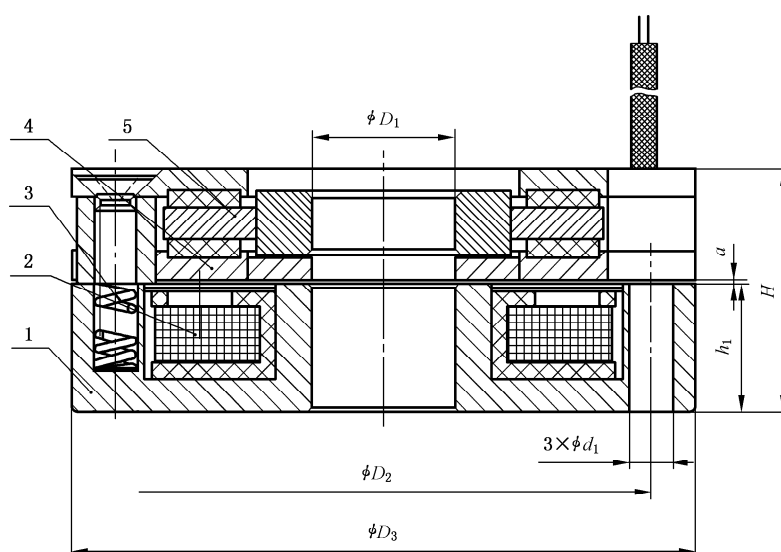
A.7 制动器

A.7.1 总则

系统中常用的制动器为电磁失电制动器,结构简单、紧凑,当驱动器给制动器提供额定低压直流电源时,受电磁吸力作用,迫使衔铁与制动盘脱离,使系统主轴正常运转,断电时受弹簧弹力作用,迫使制动盘与衔铁间接触产生静摩擦转矩,使系统主轴快速静止,具备运行平稳、制动可靠的特点,满足协作机器人功能安全要求。

A.7.2 外形结构和尺寸

电磁制动器由磁轭、励磁线圈、弹簧、制动盘、衔铁等组成,外形结构如图 A.6 所示,尺寸见表 A.10 规定。



说明:

- 1——磁轭;
- 2——励磁线圈;
- 3——弹簧;
- 4——衔铁;
- 5——制动盘。

图 A.6 电磁制动器结构图

表 A.10 电磁制动器外形尺寸

单位为毫米

尺寸代号	机座号			
	40	60	70	80
ϕD_1	9	15	18	22
ϕD_2	33	50	59	65
ϕD_3	39	56	68	71
ϕd_1	3	3.5	4.5	4.5

表 A.10 (续)

单位为毫米

尺寸代号	机座号			
	40	60	70	80
<i>H</i>	14	14.5	26.8	19
<i>h</i> ₁	9.5~10	9.5~10	17.5	14~14.4
<i>a</i>	0.2	0.2	0.2	0.2

A.7.3 基本参数

电磁制动器基本性能参数见表 A.11 规定。

表 A.11 电磁制动器基本性能参数

机座号	电压 V	静摩擦转矩 N·m	最高转速 r/min	释放电压 V	制动时间 ms	释放时间 ms
40	24	0.32	6 000	21	35	20
60	24	1.32	6 000	21	60	20
70	24	3.8	6 000	21	60	20
80	24	3.2	6 000	21	60	40

A.7.4 接口

制动器接口采用引出线或插头方式,可与驱动器配置的制动器接口对接。

A.7.5 其他技术指标

A.7.5.1 吸合电压

制动器的吸合电压不大于额定电压的 75%。

A.7.5.2 释放电压

制动器的释放电压不小于额定电压的 10%。

A.7.6 选型

制动器选型取决于所需制动力矩的大小、制动惯性力矩、相对转速、制动时间及操作频率等因素。制动力矩由式(A.1)计算:

$$T = k \times \frac{2\pi}{60} \times P \div n \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- T* ——所需制动力矩,单位为牛米(N·m);
- P* ——传动功率,单位为瓦(W);
- n* ——制动器制动时相对转速,单位为转每分(r/min);
- k* ——安全系数(取 $k \geq 2$)。

A.8 力传感器

力传感器常用参数见 A.12 规定。

表 A.12 力传感器常用参数

参数	指标
量程 N·m	0.1~300
输出灵敏度 mV/V	1.0~2.0
输出接口	模拟量/RS485/CAN/EtherCAT
响应时间 ms	<1
零点平衡 %F.S.	±0.05~±2
非线性 %F.S.	0.1~0.5
滞后 %F.S.	0.1~0.5
重复性 %F.S.	0.05~0.1
蠕变 %F.S.(30 min)	0.1~0.2
灵敏度温漂 %F.S./10 °C	0.02~0.3
零点温漂 %F.S./10 °C	0.02~0.3
输入阻抗 Ω	350/700±10
输出阻抗 Ω	350/700±10
绝缘电阻 M Ω /100 V DC	≥2 000
激励电压 V	5~15
最大激励电压 V	20

表 A.12 (续)

参数	指标
补偿温度范围 ℃	-10~60
工作温度范围 ℃	-25~75
安全负载上限 %F.S.	120~150
破坏负载上限 %F.S.	150~300
电缆尺寸 mm	$\phi 3/\phi 4 \times 4\ 000$
防护等级	IP65、IP67
材料	铝合金
质量 kg	0.2~12