

中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

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 motor system in collaborative robot

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

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
本标准主要起草人：任虹霞

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”）。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、传感器等可参考使用。

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 755—2008 旋转电机 定额和性能
- 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 电工电子产品基本环境试验规程 试验Ca：恒定湿热试验方法
- GB/T 2423.5 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击
- GB/T 2423.10—2008 电工电子产品环境试验 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—2013 工业、科学和医疗（ISM）射频设备 骚扰特性 限值和测量方法
- 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 14118—1993 谐波传动减速器

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—2008 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—2008 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确定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

协作机器人 collaborative robot

定义1：可以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。

[GB/T 12643—2013, 通用术语2.26]

3.2

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

是将电动机、驱动、传感和传动部件等集成优化的机电一体化系统，实现协作机器人集成、安全、紧凑的关节应用要求。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机、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 safty torque 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，驱动器不再输出转矩，并且关断主回路信号。

3.4

转矩限制 safe limited torque

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限制设定值时，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 limited speed

在任何控制方式下，系统处于空载、带载运行状态，当电动机指令转速达到或超过转速限制设定值时，电动机以转速限制设定值输出转速。

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，安全制动控制会提供一路安全输出信号，驱动电动机制动器制动，这个制动是“安全的”。

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° 相移的频带宽度作为 90° 相移的频带宽度；幅值减小至 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 时的频率作为系统-3 dB频带宽度。

[GB/T 16439-2009, 定义3.13]

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。

[GB/T 4365-2003, 定义161-01-05]

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。

[GB/T 4365-2003, 定义161-01-06]。

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值。

3.11

瞬时最大转矩 instantaneous maximum torque

在规定的条件下，系统能输出的瞬时最大转矩，在瞬时最大转矩下短时工作不会引起系统的损坏或性能的不可恢复。

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，可以包含电动机、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 °C~55 °C；
- b) 相对湿度：5%~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 °C~35 °C；
- b) 相对湿度：45%~75%；
- c) 气压：86 kPa~106 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 °C±1 °C；
- b) 相对湿度：48%~52%；
- c) 气压：86 kPa~106 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 °C；
- 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、预警，必要时可增加噪声或振动等。

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

系统试验对象应包括A、B两类系统结构所包含部件，其基本参数参见附录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

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。

6.2.3.1.1 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，对于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，对于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，引出线不能断开，绝缘层和线芯不能损坏。

6.2.3.1.2 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，系统应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。试验后引出线被夹持部位与卡紧装置不得有相对位移的现象。

6.2.3.2.2 接线端标记及强度

检查接线端的结构和标记，并按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（0~900）mm，试验装置按表1规定的试验条件进行往复运动，引出线不应发生断裂或短路，绝缘表层不应出现龟裂、破损及其它异常现象，或由产品专用技术条件规定。

表1 引出线抗弯曲试验条件

电缆特性	弯曲半径 mm	速率 次/分钟	次数 万次
电缆护套硬材质（如ETFE）	R=33	88	≥1000
电缆护套软材质（如高柔PVC、TPU）	R=6	88	≥1000

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够承受表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，或由产品专用技术条件规定。

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
>24~48			500		
注：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%。					

6.3.1.1.2 试验方法

对系统试验，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。对于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，允许在安装之后开始运行之前再进行一次额外试验，其试验电压值应不超过上述规定的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低于 $50\text{ M}\Omega$ ，在极限高温条件下绝缘电阻应不低于 $10\text{ M}\Omega$ ，经受恒定湿热试验后绝缘电阻应不低于 $1\text{ M}\Omega$ 。

绝缘电阻检查选用绝缘电阻表的电压值应符合表3规定。

表3 绝缘条件

单位为伏特

绝缘介电强度值	绝缘电阻表的电压值
300	250
500、1000	500
≥ 1500	1000

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 5226.1—2008中第8章的规定。接地电路的连续性要求应符合GB 5226.1—2008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： $\leq 0.05\text{ V}$ 。

利用测试仪电源（频率50 Hz低压，电流 $\geq 10\text{ A}$ ，时间 $\geq 10\text{ s}$ ）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 $0.1\ \Omega$ 。

6.3.2 功能安全

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相应等级。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。

6.3.2.1 安全转矩关断

6.3.2.1.1 技术要求

系统应具备安全转矩关断功能。

6.3.2.1.2 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。

6.3.2.2 转矩限制

6.3.2.2.1 技术要求

系统应具备转矩限制功能。力矩限制值应根据GB/T 36008相关内容进行转矩限制的计算。

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。

6.3.2.3 转速限制

6.3.2.3.1 技术要求

系统应具备转速限制功能。

6.3.2.3.2 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。

6.3.2.4 安全制动

6.3.2.4.1 技术要求

系统应具备安全制动控制功能。

6.3.2.4.2 试验方法

试验时系统在额定电源电压下运行，触发安全转矩关断、转矩限制、转速限制。

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

系统应具备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

系统应具备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

试验时系统在额定电源电压下运行，当系统负载持续超过过载倍数达到规定时间时，系统停止工作，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，电动机应运行在10%的额定转速情况下，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

系统应具备过热保护功能，过热保护可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，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，系统重新上电应能正常运行，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、额定输出功率等参数应符合产品专用技术条件的规定。额定输出功率按式（1）计算。

$$P_i = U_{DC} \times I_{DC}$$

$$P_N = \frac{T_N \times n_N \times 2\pi}{60} P_N = \frac{T_N \times n_N \times 2\pi}{60} \dots\dots\dots (1)$$

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 ——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} 和额定转速值 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

系统断电的情况下，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

系统直接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五次定位，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机的等级应符合表4规定，或由产品专用技术条件规定。

表4 系统效率

系统等级	效率
1	80%~95%
2	65%~80%
3	65%~50%
4	<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

系统在额定电压条件下控制工作，给定最高转速指令信号，是否能达到要求值。

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

使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

分别在系统中电流环、速度环控制模式下，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。

6.4.2.11.3 试验程序

6.4.2.11.3.1 电流环带宽的测试

将被测系统按要求安装在测试工装上，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%额定转速基础上做正弦加减速，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

将被测系统按要求安装在测试工装上，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%额定转速基础上做正弦加减速，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3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—2008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，应在产品专用技术条件按表5规定进行规定。

表5 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

系统的冲击能力应在产品专用技术条件中规定明确，冲击能力按GB/T 2423.5规定对应频率、量级、冲击方向和冲击次数等要求。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6。

试验期间的监测项目、是否通电试验等，应在产品专用技术条件中规定。

表6 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（ 93^{+3}_{-2} ）%，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 M Ω 。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

系统的声功率级噪声（等级，dB）应符合产品专用技术条件规定。

6.5.6.2 试验方法

噪声的测试按GB/T 10069.1规定进行。

6.5.7 包装跌落

6.5.7.1 技术要求

包装跌落应符合表5的规定，试验后性能应符合产品专用技术条件的规定。

6.5.7.2 试验方法

按GB/T 2423.5规定进行试验。

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，建议由用户和制造厂共同协商制定每项试验的试验等级，以免付出不必要的代价。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，不允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。可以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，则可以从产品专用技术条件中得知，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—2013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7的规定，以完全确定的和可重复的方式进行。

表7 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 μ s~8/20 μ s)， ± 0.5 kV (开路试验电压)	GB/T 17626.5—2008
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： ± 0.5 kV (开路试验电压)， T_r/T_h 5/50 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 ± 4 KV，空气放电规范值 ± 8 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~1000 MHz，1.4 MHz~2.0 MHz，2.0 MHz~2.7 MHz；电平 3 V/m，80% AM (1kHz)	GB/T 17626.3—2016

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，在规定的允差内正常工作。

6.6.3 发射

本标准所采用测试场地应符合GB/T 6113.104—2016的规定。

本标准所采用发射测试天线应符合GB/T 6113.104—2016的规定。

本标准所采用测量接收机应符合GB/T 6113.101—2016的规定。

本标准所采用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，额定转速下空载状态下。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8的规定。

表8 发射试验

频带 MHz	准峰值 dB (μ V)	平均值 dB (μ V)	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9的规定。

表9 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<1000	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，且应在表10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，在额定负载下按表10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10 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

检验分为出厂检验和验收检验。

7.2 出厂检验项目及规则

出厂检验项目及基本顺序按表11进行。

出厂检验可以抽样或逐台进行。抽样按GB/T 2828.1—2012中检验一次抽样方案进行，检验水平II，接收质量限（AQL值）为1.0或2.5，由产品专用技术条件规定。

出厂检验中，系统若有一项或一项以上不合格，则该系统为不合格品。

若批出厂检验合格，则除抽验中的不合格品外，使用方应整批接收；若批出厂检验不合格，则整批拒收，由制造厂消除缺陷并剔除不合格品后，再次提交验收。

7.3 验收检验项目及规则

7.3.1 检验规则

有下列情况之一时，一般应进行验收检验：

- a) 新产品试制定型完成时；
- b) 由于设计或工艺上的变更足以引起性能和参数变化时，允许根据上述变更可能产生的影响进行有关项目试验；
- c) 当出厂检验结果与以前进行的验收检验结果发生较大偏差时；
- d) 定期抽试，每两年至少进行一次。

7.3.2 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。

注：特殊情况下样机抽取应符合产品专用技术条件规定。

7.3.3 检验结果的评定

7.3.3.1 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7.3.3.2和7.3.3.4的情况，则验收检验不合格。

7.3.3.2 偶然失效

当鉴定部门确定某一项不合格项目属于孤立性质时，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。

7.3.3.3 性能降低

样机经环境试验后，允许性能发生不影响使用性的降低，具体降低的程度及合格判据由产品专用技术条件规定。

7.3.3.4 性能严重降低

样机在环境试验时或环境试验后，发生影响使用性的性能严重降低时，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，并补做已经做过的项目，然后补足7.3.2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。

7.3.3.5 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7.3.2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7.3.3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。

7.3.3.6 验收检验项目和基本顺序

验收检验项目、基本顺序及样机编号应符合表11规定。

表11 检验项目和顺序

序号	试验项目		技术要求、试验方法和验收标准		出厂检验	验收检验
			章条号	系统		
1	外观		6.2.1	√	√	√
2	外形安装尺寸		6.2.2	√	√	√
3	引出线或接线端		6.2.3	√	√	√
4	绝缘介电强度		6.3.1.1	√	√	√
5	绝缘电阻		6.3.1.2	√	√	√
6	系统接地		6.3.1.3	√	√	√
7	额定数据		6.4.2.1	√	√	√
8	调速范围		6.4.2.2	√	—	√
9	过载		6.4.2.3	√	—	√
10	制动转矩		6.4.2.4	√	√	√
11	定位精度		6.4.2.5	√	—	√
12	重复定位精度		6.4.2.6	√	—	√
13	系统效率		6.4.2.7	√	—	√
14	最高转速		6.4.2.8	√	—	√
15	转矩变化的时间响应		6.4.2.9	√	—	√
16	转速变化的时间响应		6.4.2.10	√	—	√
17	频带宽度		6.4.2.11	√	—	√
18	系统转动惯量		6.4.2.12	√	—	√
19	低温		6.5.1	√	—	√
20	高温		6.5.2	√	—	√
21	振动		6.5.3	√	—	√
22	冲击		6.5.4	√	—	√
23	恒定湿热		6.5.5	√	—	√
24	噪声		6.5.6	√	—	√
25	电磁	抗扰度	6.6.2	√	—	√

26	兼容性 (EMC)	发射	6.6.3			√
27	质量		6.7	√	—	√
28	寿命		6.8	√	—	√
29	控制功能 ^a		5.1			
30	安全功能 ^a		5.1			
38	保护功能 ^a		5.1	√	√	√
注：“√”表示进行该项目检验，“—”表示不进行该项目检验。						
^a 当有要求时，需选择合适的子项目进行检验。						

8 交付准备

8.1 标识

8.1.1 标识

标识（铭牌）至少应包括下列信息：

- a) 制造厂名或商标；
- b) 型号和名称；
- c) 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。这些参数如下：

- 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) 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

制造厂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。

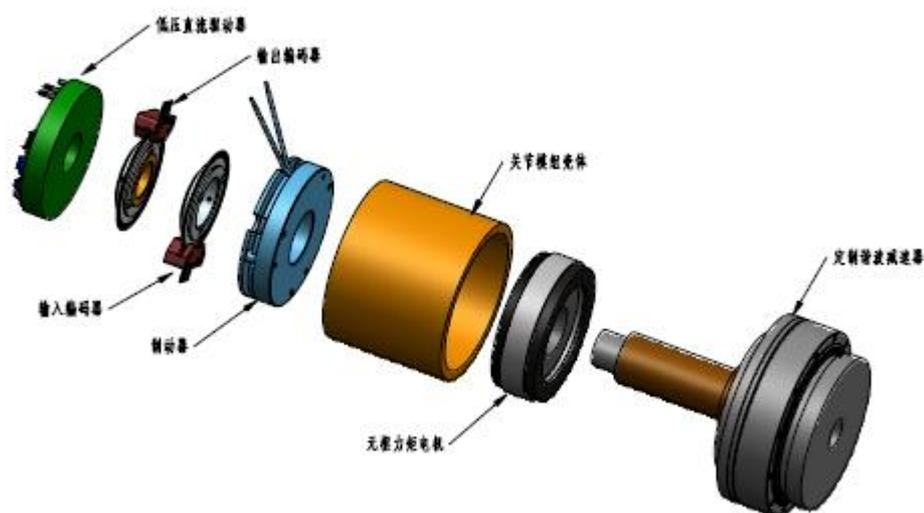
系统包装应牢固可靠，包装箱应按GB/T 191的规定标识。

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)
一体式关节的结构

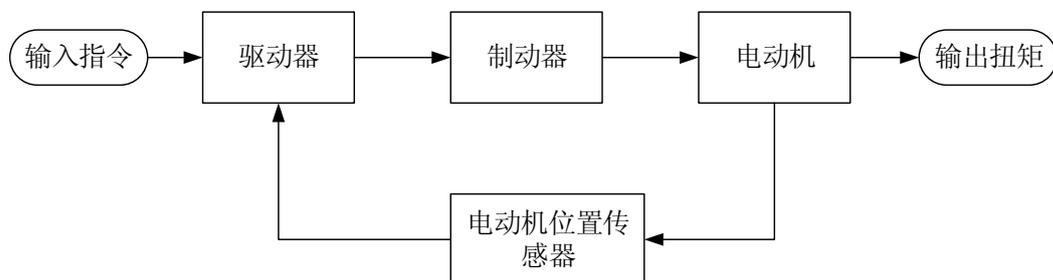
A.1 结构图



图A.1 一体式关节结构示意图

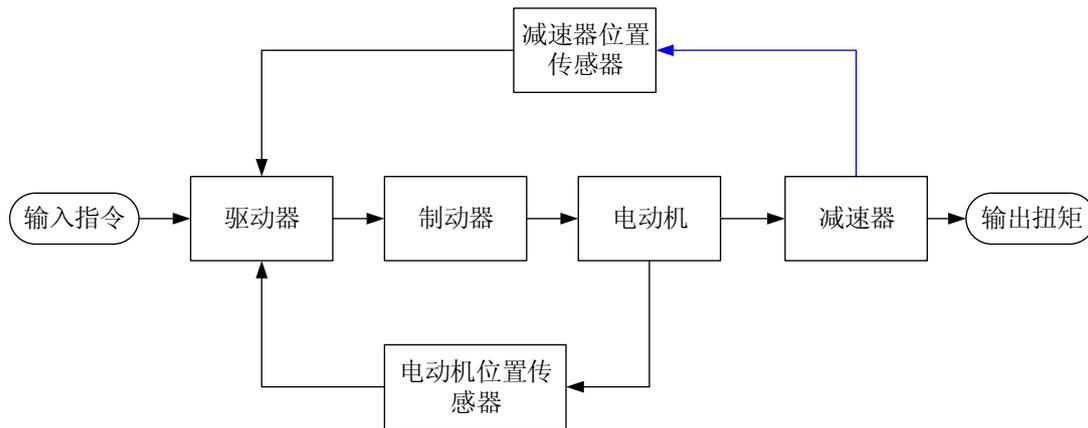
A.2 系统框图

系统框图如图A.2和图A.3所示。



图A.2 系统方框图 A

上述系统输入控制信号是各类通信接口的控制指令，驱动器将控制信号进行调理转化为正弦波电压控制信号输出给电动机，电动机直接输出转矩。电动机传感器信号提供电动机转子位置的检测和速度的反馈，同时反馈系统的终端位置信息。



图A.3 系统方框图 B

这类组成的系统输入控制信号是各类通信接口的控制指令，驱动器将控制信号进行调理转化为正弦波电压控制信号输出给电动机，电动机驱动配置的减速器运行，输出转矩。电动机传感器信号提供电动机转子位置的检测和速度的反馈，减速器传感器提供终端的位置反馈信息。

A.3 电动机

在本系统中电动机一般选择空心轴结构的伺服电动机，由于其为分体式结构，或者是中实轴结构的伺服电动机，电动机需要提供给系统的相关技术指标和试验方法如下规定。

A.3.1 反电动势常数

A.3.1.1 技术要求

反电动势常数应符合产品专用技术条件的规定。

A.3.1.2 试验方法

单独测试电动机，将被试电动机拖动至转速 n 。测量该电动机的线感应电动势 U 幅值。

用式(A.1)计算反电动势常数 K_e ：

$$K_e = \frac{30U}{\pi n} \quad (\text{V/rad/s}) \quad \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

A.3.2 定子电感

A.3.2.1 技术要求

电动机定子绕组电感应符合产品专用技术条件的规定。

A.3.2.2 试验方法

电动机定子绕组的电感随着转子的位置和磁路饱和程度的变化而变化。测量也受电流变化率的影响。因此，当给出一个电感指标时，应明确测量条件。

单独测试电机转子在三个不同位置时，用电感电桥测量定子相绕组在频率1000 Hz下的电感，取三次平均值。

A.3.3 定子电阻

A.3.3.1 技术要求

电动机定子电阻应符合产品专用技术条件的规定。

A.3.3.2 试验方法

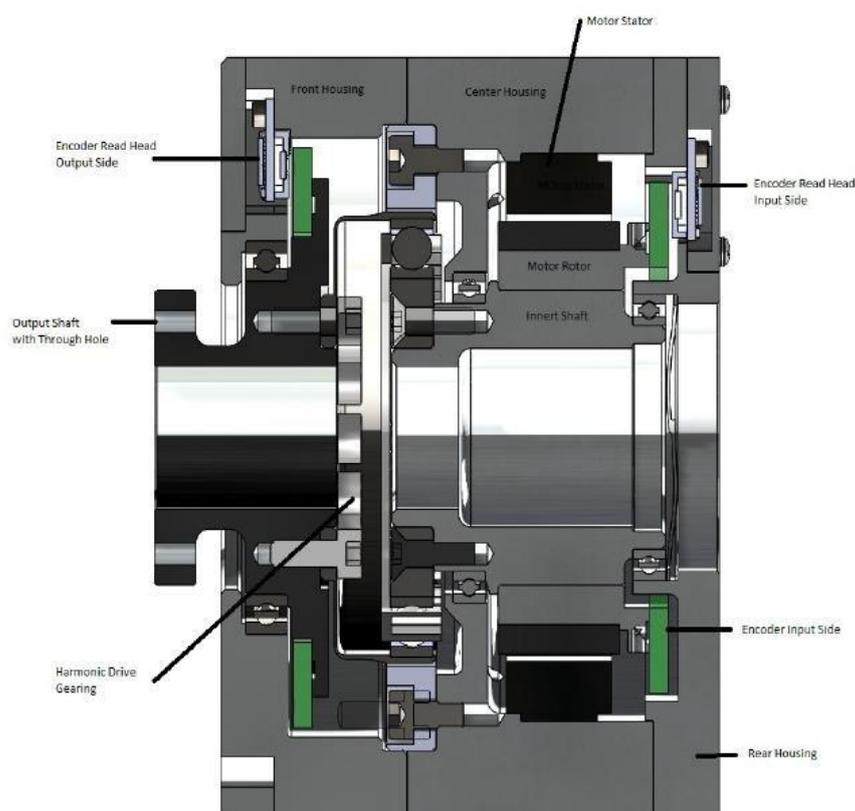
单独测试电动机，用直流电桥测量电动机定子绕组的直流相电阻，必要时应换算为20℃时的等效电阻，见GB/T 755—2008中7.6.2.2。

A.3.4 常见电动机结构及推荐规格

A.3.4.1 总则

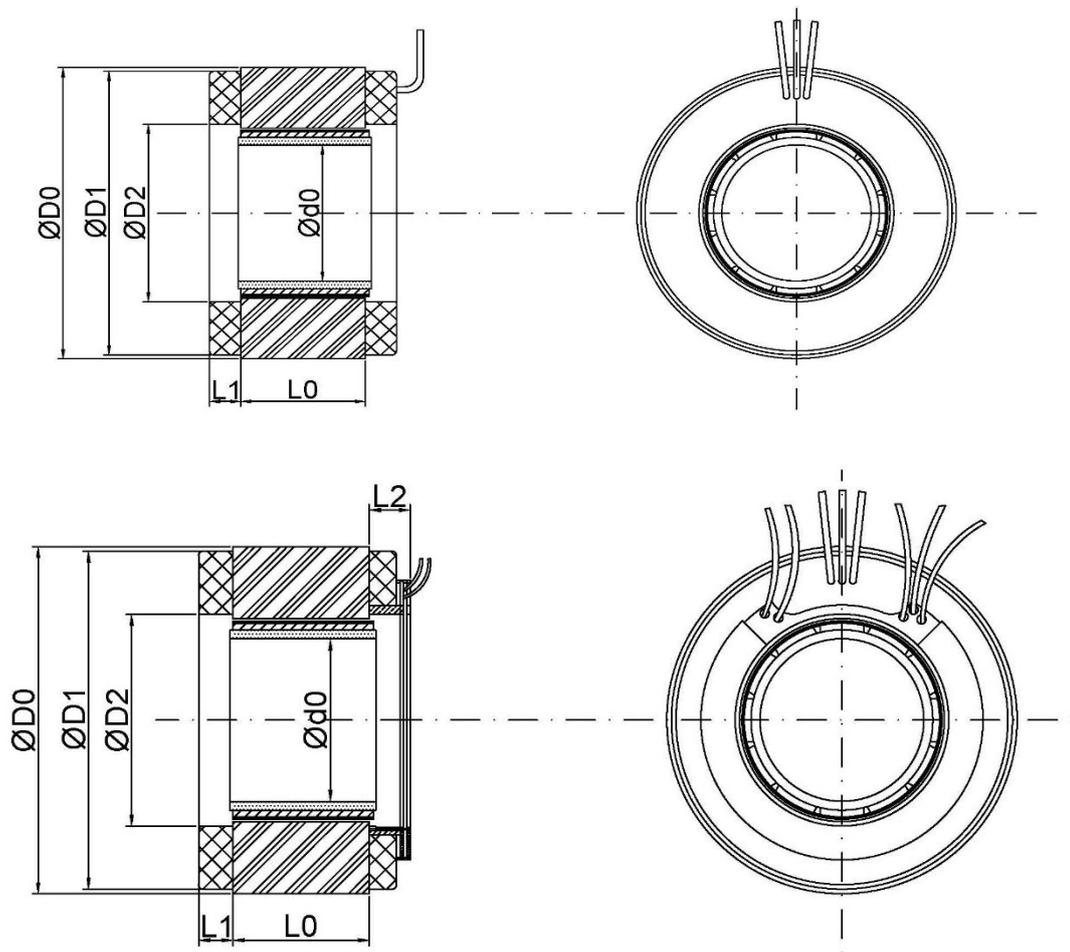
如在本系统中电动机常采用中空结构，方便系统走线，推荐以下规格的电动机。

A.3.4.2 电动机结构示意图



图A.4 中空电动机结构示意图

A.3.4.3 外形尺寸



图A.5 中空电动机外形尺寸

表A.1 中空电动机尺寸

系列	型号	定子外径D0 mm
XX	XXXXX	Φ 40.00/Φ 38.00
	XXXXX	Φ 50.00/Φ 49.00
	XXXXX	Φ 60.00 /Φ 64.00
	XXXXX	Φ 70.00 /Φ 76.00
	XXXXX	Φ 85.00 /Φ 84.00
	XXXXX	Φ 95.00
	XXXXX	Φ 110.00/Φ 100.00
	XXXXX	Φ 130.00/Φ 129.00

A.3.5 电气参数及转矩曲线

A.3.5.1 电气参数

电气参数见表A.5。

表A.2 电气参数

电动机参数	1	2	3	4	5	6	7
连续额定输出功率 W	118	118	400	400	750	750	600
转速@额定功率 rpm	4300	4000	2300	3000	2000	1000	625
设计电压 V	48V/24V						
连续堵转转矩 N·m	0.42	0.44	1.7	1.76	4.3	8.4	10.3
峰值转矩 N·m	1.4	1.45	5.52	5.2	11.7	25.1	31.5
绝缘等级	H	H	H	H	H	H	H

A.4 驱动器

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形态的伺服驱动器。在结构上必须小巧紧凑，且能够与构成系统的电动机及减速机集成在一起，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，还必须具有安全功能，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。

A.4.1 伺服驱动器结构形式

伺服驱动器要能够直接安装在容纳电动机及减速机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不同，相应的伺服驱动器结构形式主要有以下几种。

A.4.1.1 与电动机和减速机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机结构为圆形，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以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1种或多种系统结构。

A.4.1.2 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以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2个伺服电动机，或由于其他系统结构设计要求，也需要这种结构形式的伺服驱动器与之配套。

A.4.2 伺服驱动器接口

伺服驱动器的主要接口包括：功率接口、通讯总线接口、编码器接口、制动器以及传感器接口等。由于一体式电动机伺服系统需要安装在协作机器人的机器臂上，接口的抗振动要求要高于通用伺服驱动器产品的标准。

A. 4. 2. 1 功率接口

功率接口包括：直流电源接口，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4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3个端子。

A. 4. 2. 2 通讯总线接口

通讯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讯总线的接口。一般分为通讯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。总线通讯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. 2. 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一般需要在电动机轴端和减速机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碰撞控制。

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. 2. 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需求。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DC12V或DC24V，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. 2. 5 传感器接口

根据协作机器人应用时安全及控制功能的需求，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.4.3 主要技术指标

伺服驱动器的多数技术指标是体现在一体式伺服电动机系统中，驱动器与电动机，减速机配合后形成的系统技术指标。除此之外，伺服驱动器还有如下主要技术指标。

A.4.3.1 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24V~48V，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.4.3.2 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.4.3.3 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2~3倍。持续时间1~3秒。

A.4.4 主要功能

协作机器人用一体式伺服电动机系统中的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，伺服驱动器还应具备满足协作机器人特殊要求的控制功能。

A.4.4.1 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.4.4.2 全闭环控制及防碰撞功能

伺服驱动器可根据减速机输出端位置编码器数据，实现减速机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机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.4.4.3 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.4.4.4 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，可提高一体式电动机伺服系统运

动的响应特性，使运行更平滑柔顺。

A. 4. 4. 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机及执行机构运行中产生的机械振动的抑制。

A. 4. 4. 6 安全功能

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

需要集成主要安全功能有：

STO：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

伺服驱动器结的安全功能还需要通过功能安全认证。

A. 4. 4. 7 保护功能

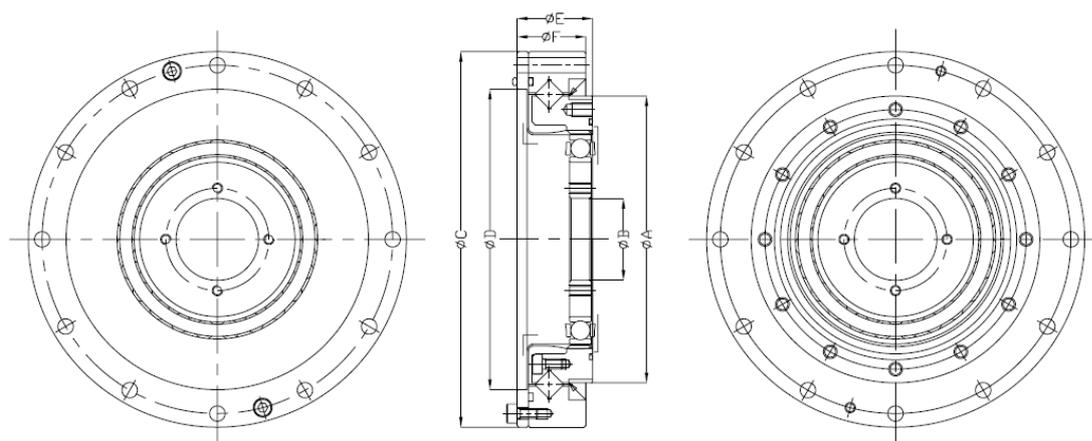
伺服驱动器需要具备完善的硬件保护及软件保护功能，包括：过欠压、过流及短路、过载、超速、位置跟随偏差过大、过热等保护。

可以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。

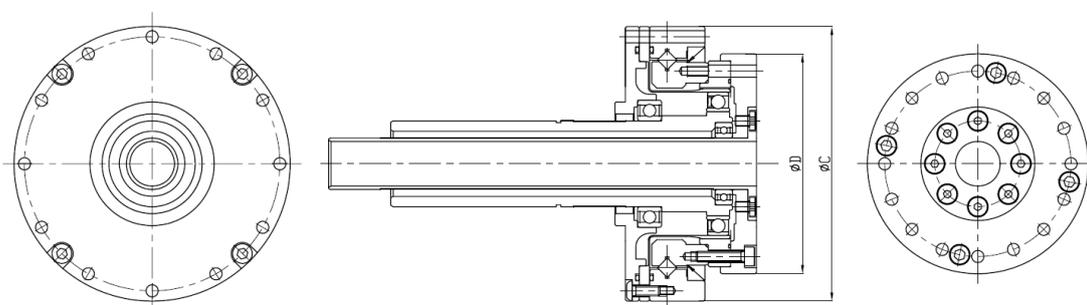
A. 5 减速器

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，图A. 5为常见的减速器结构类型。



a 轴输出分体式减速器结构型式



b 实轴输出一体式减速器结构型式

图A.6 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

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 2000r/min 时	起动、停止时的 允许最大扭矩/	瞬间允许 最大扭矩/	允许最高输入转速/ (r/min)

		的额定转矩/ (N.m)	(N.m)	(N.m)	脂润滑 G
14	50	3.0	9.6	18	7000
	100	4.3	15	28	
17	50	8.8	18	38	6000
	100	13	30	57	
20	50	14	31	55	5200
	100	22	46	76	
	160	22	51	76	
25	50	22	55	102	4500
	100	38	88	147	
	160	38	98	163	
32	50	42	121	214	4000
	110	77	186	336	
	160	77	209	356	
40	50	77	225	384	3200
	100	148	318	560	
	160	165	362	612	

A.5.3 减速器关键技术指标

A.5.3.1 扭转刚度

A.5.3.1.1 技术要求

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。

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.5.3.1.2 试验方法

根据在输出轴上施加的转矩，从0开始，在正负方向分别增减到额定转矩时输出侧的切向弹性变形转角变化。

A.5.3.2 空程和背隙

A.5.3.2.1 技术要求

空程和背隙参见表A.6的规定。

表A.6 空程和背隙

项 目	精度等级	技术要求
空程	1级	空程 \leq 1弧分
	2级	1弧分 $<$ 空程 \leq 3弧分
	3级	3弧分 $<$ 空程 \leq 6弧分
背隙	1级	背隙 \leq 10弧秒
	2级	10弧秒 $<$ 背隙 \leq 1弧分
	3级	1弧分 $<$ 背隙 \leq 3弧分

A.5.3.2.2 试验方法

空程测试按GB/T 14118—1993中6.2.5的规定。

背隙测试应在空程测试后进行。按GB/T 30819—2014中6.8.2的规定。

A.5.3.3 传动误差

A.5.3.3.1 技术要求

传动误差应符合表A.7的规定。

表A.7 传动误差精度等级

精度等级	技术指标
A级	传动误差 \leq 30弧秒
B级	30弧秒 $<$ 传动误差 \leq 1弧分
C级	1弧分 $<$ 传动误差 \leq 3弧分

A.5.3.3.2 试验方法

测试按GB/T 14118—1993中6.2.6.2的规定。

A.5.3.4 额定转矩

A.5.3.4.1 技术要求

在额定下转速下，逐渐加载至额定转矩下运行时，不得出现联结件松动，结合处漏油，气孔溢油和产生异常响声等现象。

A.5.3.4.2 试验方法

测试按GB 30819-2014的6.2规定进行。

A.5.3.5 最大转矩

A.5.3.5.1 技术要求

超过4倍额定转矩时，减速器应能正常运转2 min，试验后检查零件不应有损坏；再启动时不应有滑齿现象；能正常运转，不应有异常的振动和噪声。

A.5.3.5.2 试验方法

测试按GB 30819-2014的6.2规定进行。

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共6种规格。

A.5.3.7 传动效率

A.5.3.7.1 技术要求

在额定转矩下，减速器的传动效率应符合下表 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 %
2000	CD/HD	≥ 65

A.5.3.7.2 试验方法

测试按JB/T 9050.3—1999的规定进行。

A.5.3.8 噪声

A.5.3.8.1 技术要求

额定转速和额定转矩下噪声不大于 ≤ 60 dB (A)。

A.5.3.8.2 试验方法

测试按GB/T 6404.1规定进行。

A.5.3.9 寿命

A.5.3.9.1 技术要求

在输入转速2000 r/min、额定转矩以及正常工作温度、湿度情况下，CD/HD减速器设计寿命不低于8000 h。

A.5.3.9.2 试验方法

测试按GB/T 9050.3中加载方法，在额定转速和额定负载下连续运行不低于500 h；在运行过程中，减速器必须运行平稳，不得出现结合处漏油，气孔溢油，产生异常响声等现象。运行过程中，每30 min检查一次减速器温度，其壳体最高温度不超过65 ℃，检查传动效率变化幅度，不得超过5%。每24 h测量一次传动误差，不得超过C级。

A.6 编码器结构及推荐规格

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。系统基本上都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。其中图A.1和图A.2中的位置传感器可以实际应用需求按附表A.3所示类型选择。

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 或正余弦输出； 分辨率不低于 2500 PPR； 供电 3.5-5 VDC； 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； 通讯协议：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，对动静态安装精度要求低
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； 通讯协议：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 制动器结构及推荐规格（A.7 内容待修改）

A.7.1 结构

A.7.2 推荐类型

结合表A.8中制动器性能特点及工作原理，以及系统的内部结构，从可靠性、安装、适应性及工作环境方面出发，该系统制动器通常选用失电制动器。

表A.10 制动器原理、性能特点和应用

制动器类型	工作原理	性能特点	应用
块式制动器	通过制动块压紧制动轮产生的摩擦力实现制动。	结构简单可靠，调整较方便；但散热效果一般，制造相对较难，外形尺寸偏大。	起重运输、冶金机械等工作频繁和安装空间较大的机械。
内胀蹄式制动器	通过制动蹄向外挤压制动鼓，产生制动力矩实现制动。	结构紧凑，散热性较好，密封容易，但外形尺寸较大。	轮式起重机及各种车辆。

盘式制动器	利用轴向压力使圆盘或圆锥形摩擦面压紧，实现制动。	结构紧凑，外形尺寸小，寿命长，可靠高；散热性较差。	紧凑性要求高的场合，如化工、食品、机床、舞台、电梯、轮船等机械。
带式制动器	利用围绕在制动鼓周围的制动带收缩而产生制动效果。	结构简单，制动力矩大，但磨损不均匀，散热性差，应用范围窄。	适用于大型机器如机床、移动式起重机、卷扬机的制动。
磁粉制动器	利用磁粉磁化时产生的剪力实现制动。	体积小，质量轻；激磁功率小；但磁粉会引起零件磨损。	主要用于制动(制动转矩可调)、精密定位、测试加载、张力控制等。
磁涡流制动器	通过调节励磁电流来调节制动力矩的大小。	坚固耐用，维护简单，调整范围大；低速时效率低，温升高。	常用于有垂直负载的机械中(如起重机械的起升机构)。
失电制动器	利用电磁力与弹簧力关系，吸附或释放槽盘端面产生摩擦力矩，	结构紧凑，寿命长，使用可靠，易于实现远距离控制。	建筑、化工、食品、机床、印刷、包装等机械中。
通电制动器			

A.7.3 失电制动器选型的计算

制动器型号选择在很大程度上取决于所需制动力矩的大小。此外，制动惯性力矩、相对转速、制动时间及操作频率等因素也应加以考虑。

计算所需制动力矩见式 (A.5)。

$$T = K \times 9550 \times P \div n \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

T ——所需制动力矩，单位为牛·米 (N·m)；

P ——传动功率，单位为千瓦 (kW)；

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 力传感器类型及推荐规格

力传感器参数见表A.11。

表 A.11 转矩传感器常用参数

参数	指标
量程	(0.1~300)N·m
输出灵敏度	(1.0~2.0)mV/V
输出接口	模拟量/RS485/CAN/EtherCAT
响应时间	<1 ms
零点平衡	(+0.05~+2)%F.S.
非线性	(0.1~0.5)%F.S.
滞后	(0.1~0.5)%F.S.

重复性	(0.05~0.1)%F. S.
蠕变	(0.1~0.2)%F. S. (30min)
灵敏度温漂	0.02~0.3%F. S. /10℃
零点温漂	(0.02~0.3)%F. S. /10 ℃
输入阻抗	350/700 \pm 10 Ω
输出阻抗	350/700 \pm 10 Ω
绝缘电阻	\geq 2000 M Ω /100 VDC
激励电压	(5~15) V
最大激励电压	20V
补偿温度范围	(-10~60) ℃
工作温度范围	(-25~75) ℃
安全负载上限	(120~150)%F. S.
破坏负载上限	(150~300)%F. S.
电缆尺寸	Φ 3/ Φ 4*4000 mm
防护等级	IP65、IP67
材料	铝合金
重量	(0.2~12) KG