

团 体 标 准

T/CAMETA XXXXX-20XX

机器人一体化关节模组的弯扭耦合试验方法

The method for coupled bending and twisting test of mechatronic joint for robots

（征求意见稿）

20XX-XX-XX发布

20XX-XX-XX实施

中 国 机 电 一 体 化 技 术 应 用 协 会 发 布

目 录

前 言 I

引 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 要求 2

5 弯扭耦合试验 4

6 指标评价 6

7 试验报告 6

附 录 A 8

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。

本文件由中国机电一体化技术应用协会提出。

本文件由中国机电一体化技术应用协会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

引 言

一体化关节模组是机器人核心关键部件，直接决定机器人整体质量和可靠性。本标准在保证一体化关节模组抗弯性能的前提下，针对同时承受弯扭和扭矩的复合工况，建立弯扭耦合模型及弯扭耦合实验方法，有利于机器人一体化关节模组的设计验证和质量控制，特别是在实际工作环境中可能遇到的复合载荷条件下的性能要求。

本文件围绕机器人一体化关节模组弯扭试验的特点和要求，构建一套完善的机器人一体化关节模组弯扭耦合试验测试方法，指导开展机器人一体化关节模组进行弯扭耦合试验。

机器人一体化关节模组的弯扭耦合试验方法

1 范围

本规范规定了机器人一体化关节模组的弯扭耦合试验方法的被试件、试验台、试验环境、试验准备、试验步骤、失效预警与评价、数据处理和试验报告。

本规范适用于机器人一体化关节模组(以下简称关节)的弯扭耦合试验,还可适用于其他应用场景下的一体化关节模组弯扭耦合试验。

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/T191—2025 包装储运图示标志

GB/T13306 标牌

GB/T13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 12643-2025 机器人 词汇

GB/T43200—2023 机器人一体化关节性能及试验方法

GB/T 10069.1—2006 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 16439—2024 交流伺服系统的通用技术条件

GB/T 35089—2018 机器人用精密齿轮传动装置 试验方法

GB/T 39266—2020 工业机器人机械环境可靠性要求和测试方法

GB/T 38834.3—2023 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法 第3部分:操作

GB/T 39266—2020 工业机器人机械环境可靠性要求和测试方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

机器人一体化关节模组 mechatronic joint for robot

由电机、减速器、编码器、驱动器等组成的具有独立功能的驱动模块。

3.2

额定功率 rated power

关节在额定工况下所能达到的最大输出功率。

3.3

额定转速 rated speed

关节在额定功率下的转速,由制造商规定的。

3.4

额定负载 rated load

关节电机在标准工况下可承载的设计载荷值。

3.5

许用弯矩载荷 allowable moment load

关节正常工作时，输出端承受的径向载荷和偏心轴向载荷的力矩矢量和的最大值。

3.6

弯扭耦合载荷 bending and torsion coupling load

关节上弯矩和扭矩共同作用的复合载荷。

3.7

被试件 testing sample

被试件为产品或样机，被试件数量由试验目的和要求决定。

4 要求

4.1 试验环境

除有特殊规定外,所有试验均在下述条件下进行:

——温度: 15℃~35℃;

——相对湿度: 25%~75%;

——大气压: 86kPa~106kPa。

4.2 空载

空载运转时不得出现联结件松动, 接合处漏油, 气孔溢油和产生异常响声等现象。

4.3 负载

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

4.4 环境保护

4.4.1 振动与噪声

噪声测试仪器和测试方法应符合GB/T 10069.1—2006规定。

振动及冲击测试方法应符合GB/T 39266—2020中5.2和5.3规定。

4.4.2 禁用物质含量

产品(不含润滑品)中禁用物质含量应符合国家相关法律的规定。

4.5 外观

外观应光滑，无毛刺、划伤、锈蚀和工艺缺陷；壳体和端盖表面的色泽一致，壳体与其他部位的接合处应平整。

4.6 试验设备

4.6.1 试验电源

直流试验电源的电压为关节产品标准规定的额定电压 $\pm 10\%$ 范围内，纹波电压应不大于整 $\pm 1\%$ ；交流试验电源 $(220 \pm 11)\text{V}$ ，频率 $(50 \pm 1)\text{Hz}$ 。

4.6.2 试验仪器

试验用仪器精度要求如下：

- 电压表，准确度不低于 0.5 级；
- 电流表，准确度不低于 0.5 级；
- 功率分析仪，准确度不低于 0.5 级；
- 角度传感器，准确度不低于 $\pm 2 \text{ arcsec}$ (弧秒)；
- 转速传感器，误差应小于转速量程的 $\pm 0.1\%$ 或小于 1 r/min (转每分)；
- 转矩传感器，准确度不低于 0.5 级；
- 温度测量仪，准确度不低于 $\pm 1 \text{ C}$ ；
- 测力计，准确度不低于 1 级；
- 砝码，准确度不低于 M3 等级；
- 电阻测量仪，准确度不低于 0.2 级；
- 声级计，准确度不低于 $\pm 1 \text{ dB}$ 。

4.6.3 试验平台

除有规定外，试验平台示意图见图1。其中关节组成示例见附录A，性能试验前应将关节组装并接线正常。

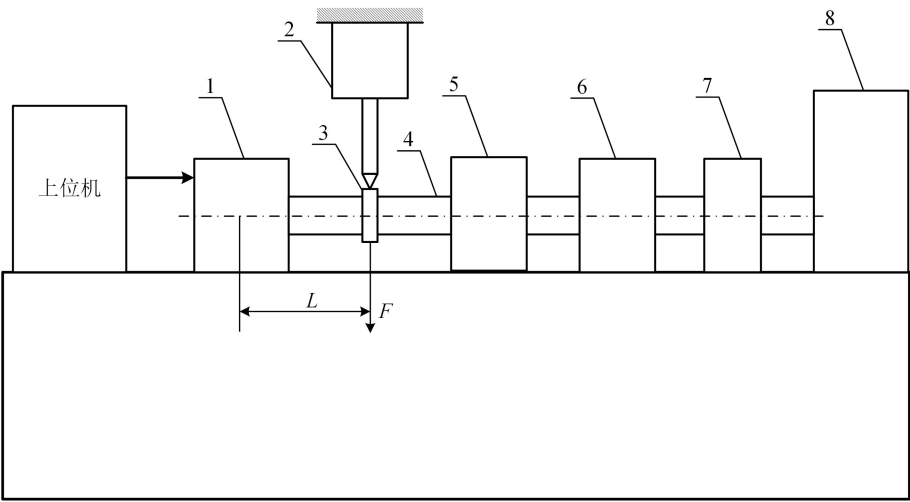


图1 弯扭耦合试验平台

标引说明:

- 1——被测关节;
- 2——弯矩加载系统;
- 3——轴承;
- 4——横梁;
- 5——角度传感器;
- 6——转矩转速传感器;
- 7——惯量负载;
- 8——扭矩加载系统;
- L ——径向负载力臂;
- F ——弯矩加载系统提供的径向负载。

5 弯扭耦合试验

5.1 试验类型

应根据被试件的使用工况选择加载方式，并测试其弯扭耦合性能。

本规范中一体化关节模组主要用于协作机器人、人形机器人及腿足式机器人，其他机器人参照执行。

5.2 试验台安装

试验台见图1，其中负载为梁柱，轴承处及输出端有加载系统。

5.3 试验步骤

5.3.1 试验前准备

被试件在安装至试验台前，宜先按GB/T 43200-2023中5.4.1、5.4.2、5.4.5、5.4.6的规定完成反向启动转矩、许用弯矩载荷、机械刚度及背隙等基础机械性能测试，并记录数据作为基准。

5.3.2 安装与空载运行

a) 将被试件安装到弯扭耦合试验台（见图1），记录安装相位角、安装精度、传感器位置等初始信息。

b) 按GB/T 43200-2023中5.1和5.2的要求，进行空载运行。空载运行期间，实时监测并记录被试件的温度、振动和噪声，运行应平稳（无异常响声、无渗漏油现象），且轴承处温升不超过50K，方可进行后续试验。

5.3.3 弯矩试验

a) 关节在额定电压、空载、额定转速条件下运行。

b) 使用弯矩加载系统，按GB/T 43200-2023中5.4.2规定的方法，在输出端缓慢、平稳地施加径向力 F ，使弯矩载荷 M （ $M = F \times L$ ，其中 L 为力臂长度）逐渐增加至产品标准规定的许用弯矩载荷值（可根据关节产品实际需求调整该载荷值）。

c) 在该弯矩下持续运行至少30分钟（可根据实际需求调整时长）。

d) 运行期间，每5分钟记录一次实际电机电流、输出端转速、轴承外壳温度。试验后，检查各连接件、紧固件应无松动，密封处无漏油、渗油。

5.3.4 弯扭耦合试验

a) 完成5.3.3试验后，维持输出端弯矩载荷为许用弯矩载荷的100%。

b) 使用扭矩加载系统（如磁粉制动器、电机对拖系统），在关节输出端缓慢、平稳地施加负载扭矩，直至达到产品标准规定的额定转矩。

c) 在该弯扭耦合载荷状态下，使关节在额定转速下持续运行至少60分钟。

d) 运行期间，每5分钟记录一次实际电机电流、输出端转速、输入/输出转矩、轴承外壳温度。整个试验过程中，关节应运行平稳，无异常响声和过大的振动冲击，轴承外壳最高温度不应超过85℃。

5.3.5 试验过程中应观察

- 各连接件、紧固件是否有松动；
- 各密封处接合处是否漏油、渗油；
- 运转平稳性：振动加速度不超过 GB/T 39266—2020 规定的限值，冲击加速度不超过额定工况下均值的 20%，噪声不超过 GB/T 10069.1—2006 规定的限值；
- 温度：传动装置壳体温度不超过产品规定上限，驱动器温度（无规定时不超过 80℃）、电机绕组温度（无规定时不超过 120℃）；
- 输出参数异常判定：输出转速波动超过额定值的 $\pm 5\%$ 、转矩波动超过额定值的 $\pm 10\%$ ，判定为异常。

6 指标评价

若被试件正常运行，除弯扭耦合性能外的各项性能指标满足技术指标，则判定该被试件满足要求。

这里的主要技术指标及允许值应由制造商确定，或由制造商和用户协商确定。

性能指标测试方法应符合标准 GB/T 43200-2023 中的规定。

7 试验报告

7.1 试验目的

- 验证性试验：在设定工况下，检验被试件的弯扭耦合性能。

7.2 试验条件应包括

- 试验时间；
- 试验地点；
- 试验人员；
- 被试件主要技术参数；
- 试验台环境温度；
- 试验台原理图（试验类型选择）；
- 试验台主要仪器仪表清单，以及相关检定或校准日期和有效期。

7.3 试验记录应包括

- 负载扭矩；

- 加载弯矩；
- 试验件输出端转速；
- 电机电流；
- 输入功率；
- 试验件输出端功率；
- 效率。

针对上述内容，应分别以时间线记录试验中被试件的温度、振动、噪声、输入转速、输入转矩、输出转矩（或可计算输出转矩的其他物理量，如输出角加速度等）、异常情况及处置等内容。

附 录 A

(资料性)

机器人关节组成示例

机器人一体化关节主要由电机、减速器、编码器和驱动器等组成，其组成示例见图 A.1。其中减速器输入端与电机连接，编码器检测电机轴和关节输出轴的旋转位置，驱动器驱动电机运动。

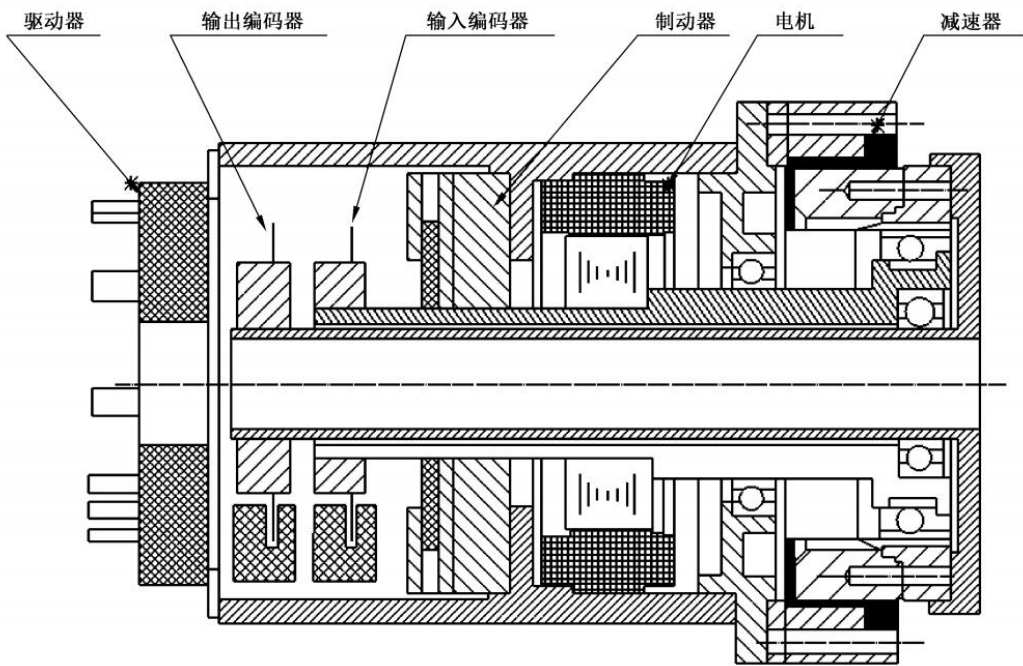


图 A.1 关节组成示例

参 考 文 献

- [1] GB/T 755—2019 旋转电机定额和性能
- [2] GB/T 5171.21—2016 小功率电动机第 21 部分：通用试验方法
- [3] GB/T 12642—2013 工业机器人性能规范及其试验方法
- [4] GB/T 18488.2—2015 电动汽车用驱动电机系统 第 2 部分：试验方法
- [5] GB/T 21418—2008 永磁无刷电动机系统通用技术条件
- [6] GB/T 30549—2014 永磁交流伺服电动机通用技术条件
- [7] GB/T 30819—2014 机器人用谐波齿轮减速器
- [8] GB/T 34114—2017 电动机用电磁制动器通用技术条件
- [9] GB/T 36491—2018 机器人用摆线针轮行星齿轮传动装置通用技术条件
- [10] GB/T 37165—2018 机器人用精密摆线针轮减速器
- [11] GB/T 37718—2019 机器人用精密行星摆线减速器
- [12] GB/T 38560—2020 工业机器人的通用驱动模块接口
- [13] GB/T 39633—2020 协作机器人用一体式伺服电动机系统通用规范
- [14] GB/T 12643-2025 机器人 词汇
- [15] GB/T 38834.3—2023 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法 第 3 部分：操作
- [16] GB/T 39266—2020 工业机器人机械环境可靠性要求和测试方法
- [17] GB/T43200—2023 机器人一体化关节性能及试验方法

机器人一体化关节模组的弯扭耦合 试验方法

(送 审 稿)

编 制 说 明

2025 年 03 月

目 录

1. 任务来源 13

2. 起草单位 13

3. 编制背景 13

4. 主要工作过程 14

5. 编写规则 15

6. 标准的主要内容 16

7. 标准的编写依据 18

8. 标准制定的目的 20

9. 有关专利的说明 20

10. 关于标准性质 20

1. 任务来源

《机器人一体化关节模组的弯扭耦合试验方法》团体标准（以下简称本标准）由中国软件评测中心（工业和信息化部软件与集成电路促进中心）提出，由中国机电一体化技术应用协会归口，于2025年3月准予立项。由中国软件评测中心（工业和信息化部软件与集成电路促进中心）牵头起草，重庆大学等单位共同参与起草。

2. 起草单位

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）

3. 编制背景

当前，我国机器人产业规模持续增长成为全球机器人产业发展的中坚力量。《机器人“十四五”发展规划》提出要提升机器人关键零部件的功能、性能和可靠性，加强机器人标准体系建设。机器人一体化关节模组作为机器人的核心部件之一，直接决定了机器人在复杂环境中的工作性能与可靠性。机器人关节模组通常集成了电机、减速器、传感器和控制系统等多个组件，承担着机器人的关节驱动和控制功能。在实际工作过程中，关节模组不仅要应对单一的力学载荷，还要承受多种复杂的复合载荷，例如弯矩和扭矩的组合作用。这就要求对关节模组的弯扭耦合性能进行严格的测试与验证，以确保其不同工作环境下的可靠性和稳定性。

在现有的机器人行业标准中，虽然涉及了机器人关节模组的各类性能测试方法，但多数关注的是单一方向的力学载荷或简单的静态负载，而对于弯扭耦合载荷的测试方法和评估标准仍缺乏统一的规范。由于弯扭耦合载荷是机器人关节模组在实际应用中常遇到的工况之一，如在机器人抓

取、搬运、焊接、精密装配等任务中，关节需要同时承受弯矩和扭矩的作用，因此，相关试验方法的缺失使得行业在对机器人关节模组进行性能评估时存在一定的盲点，无法全面衡量关节模组的真实工作能力。

因此，制定一项专门针对机器人一体化关节模组弯扭耦合载荷试验方法的团体标准，显得尤为重要。这不仅能够为机器人关节模组的设计、研发与生产提供明确的技术规范，还能为质量控制提供科学依据。通过统一标准化的试验方法，各类机器人关节模组的性能测试能够更加精确和一致，确保其在多种工作条件下的可靠性。这对于提升机器人产品的稳定性、延长使用寿命、减少因载荷超标导致的故障具有重要意义。

此外，随着机器人行业的快速发展，机器人产品的市场需求日益增加，竞争日趋激烈。企业在设计与生产过程中，面临着如何提高产品质量、降低成本以及缩短研发周期等挑战。通过建立科学的试验标准，企业可以更好地进行产品验证和优化，从而提升整体产品的市场竞争力。同时，这一标准的实施也将为整个机器人产业链的技术进步提供重要支持，促进产业技术水平的提升，进一步推动我国机器人行业的快速发展，增强国际市场上的竞争力。

4. 主要工作过程

在本标准的编制过程中，首先进行了广泛的调研与需求分析，了解行业内对机器人一体化关节模组弯扭耦合测试的迫切需求，结合现有机器人的实际工况与一体化关节模组的性能测试及试验方法标准，并评估现有测试方法的局限性。基于调研结果，专家团队在实验室进行了大量的弯扭耦合载荷试验，收集了大量数据，验证了不同载荷条件下关节模组的性能表

现。这一阶段的核心工作是设计和验证试验方法，确保试验过程具备高可靠性和可操作性，为后续标准内容的编写奠定了基础。

在试验验证的基础上，开始着手标准草案的编写，明确了实验环境、设备要求、试验方和结果评定等关键内容，并经过多轮讨论和审定，进一步优化标准的技术细节，为机器人一体化关节模组的性能测试提供了统一的规范。

5. 编写规则

本标准符合法律法规和强制性标准要求，不得损害人身健康和生命财产安全、国家安全、生态环境安全。社会团体应遵循开放、公平、透明和协商一致的原则，吸纳利益相关方广泛参与，遵守 WTO/TBT 协定中关于制定、采用和实施标准的良好行为规范，制定团体标准化工作相关的管理办法，严格团体标准制修订程序。

本标准严格按照 GB/T 1.1 制定统一的标准编写规则，包括团体标准的结构、起草表述方法、格式等内容，以提高团体标准的适用性。团体在编制团体标准时，参照如下体例：封面；目次；前言；引言；标准名称；范围；规范性引用文件；规范性技术要素；附录（规范性、资料性）；参考文献；索引。在团体标准编写中涉及如下内容时，应遵守相关基础通用国家标准的规定：标准化原理和方法；标准化术语；术语的原则和方法；量、单位及其符号；符号、代号和缩略语；参考文献的标引；技术制图；技术文件编制；图形符号；极限、配合和表面特征；优先数；统计方法；环境条件和有关试验；安全；电磁兼容；符合性和质量；环境管理等。标准编写给出了团体编制团体标准的总体原则和指导。相应标准化对象团体

标准时团体考虑制定本团体标准必要性和主题内容的重要参考。

6. 标准的主要内容

本标准适用于机器人一体化关节模组的弯扭耦合试验方法指导,还适用于其他应用场景的一体化关节模组弯扭耦合试验,其主要内容包括:

- (1) 试验前准备: 被试件在安装至试验台前,宜先按 GB/T 43200-2023 中 5.4.1、5.4.2、5.4.5、5.4.6 的规定完成反向启动转矩、许用弯矩载荷、机械刚度及背隙等基础机械性能测试,并记录数据作为基准。
- (2) 安装与空载运行: 将被试件安装到弯扭耦合试验台(见图 1),记录安装相位角、安装精度、传感器位置等初始信息。按 GB/T 43200-2023 中 5.1 和 5.2 的要求,进行空载运行。空载运行期间,实时监测并记录被试件的温度、振动和噪声,运行应平稳(无异常响声、无渗漏油现象),且轴承处温升不超过 50K,方可进行后续试验。

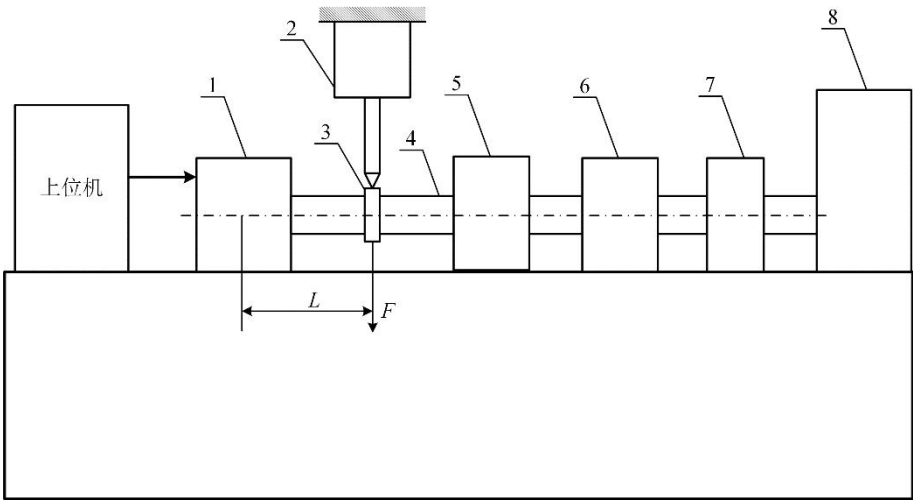


图1 弯扭耦合试验平台

标引说明:

- 1——被测关节；
- 2——弯矩加载系统；
- 3——轴承；
- 4——横梁；
- 5——角度传感器；
- 6——转矩转速传感器；
- 7——惯量负载；
- 8——扭矩加载系统；
- L ——径向负载力臂；
- F ——弯矩加载系统提供的径向负载。

(3) 弯矩试验：关节在额定电压、空载、额定转速条件下运行，用弯矩加载系统，按 GB/T 43200-2023 中 5.4.2 规定的方法，在输出端缓慢、平稳地施加径向力 F ，使弯矩载荷 M ($M = F \times L$ ，其中 L 为力臂长度) 逐渐增加至产品标准规定的许用弯矩载荷值 (可根据关节产品实际需求调整该载荷值)。在该弯矩下持续运行至少 30 分钟 (可根据实际需求调整时长)。运行期间，每 5 分钟记录一次实际电机电流、输出端转速、轴承外壳温度。试验后，检查各连接件、紧固件应无松动，密封处无漏油、渗油。

(4) 弯扭耦合试验：完成弯扭试验后，维持输出端弯矩载荷为许用弯矩载荷的 100%。使用扭矩加载系统 (如磁粉制动器、电机对拖系统)，在关节输出端缓慢、平稳地施加负载扭矩，直至达到产品标准规定的额定转矩。在该弯扭耦合载荷状态下，使关节在额定转速下持续运行至少 60 分钟。运行期间，每 5

分钟记录一次实际电机电流、输出端转速、输入/输出转矩、轴承外壳温度。整个试验过程中，关节应运行平稳，无异常响声和过大的振动冲击，轴承外壳最高温度不应超过 85℃。

(5) 指标评价

若被试件正常运行，除弯扭耦合性能外的各项性能指标满足技术指标，则判定该被试件满足要求。

这里的主要技术指标及允许值应由制造商确定，或由制造商和用户协商确定。

性能指标测试方法应符合标准 GB/T43200-2023 中的规定。

7. 标准的编写依据

本标准的编写依据主要包括：

GB/T 43200-2023《机器人一体化关节性能及试验方法》：为本标准提供了基础的试验方法和要求。

GB/T 12643-2025《机器人技术 词汇》：作为国际标准，提供了机器人测试和定义的统一规范。

GB/T 38834.3—2023《机器人 服务机器人的性能标准和相关试验方法第 3 部分：操作》：对工业机器人关节性能评估提供了国际参考。

相关的机器人技术研究文献、国内外标准及学术论文，为标准编制提供了理论支持。

参考文献

- [1] GB/T 755—2019 旋转电机定额和性能
- [2] GB/T 5171.21—2016 小功率电动机第 21 部分：通用试验方法
- [3] GB/T 12642—2013 工业机器人性能规范及其试验方法
- [4] GB/T 18488.2—2015 电动汽车用驱动电机系统 第 2 部分：试验方法
- [5] GB/T 21418—2008 永磁无刷电动机系统通用技术条件
- [6] GB/T 30549—2014 永磁交流伺服电动机通用技术条件
- [7] GB/T 30819—2014 机器人用谐波齿轮减速器
- [8] GB/T 34114—2017 电动机用电磁制动器通用技术条件
- [9] GB/T 36491—2018 机器人用摆线针轮行星齿轮传动装置通用技术条件
- [10] GB/T 37165—2018 机器人用精密摆线针轮减速器
- [11] GB/T 37718—2019 机器人用精密行星摆线减速器
- [12] GB/T 38560—2020 工业机器人的通用驱动模块接口
- [13] GB/T 39633—2020 协作机器人用一体式伺服电动机系统通用规范
- [14] GB/T 12643-2025 机器人 词汇
- [15] GB/T 38834.3—2023 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法 第 3 部分：操作
- [16] GB/T 39266—2020 工业机器人机械环境可靠性要求和测试方法

[17] GB/T43200—2023 机器人一体化关节性能及试验方法

8. 标准制定的目的

《机器人一体化关节模组的弯扭耦合试验方法》团体标准（以下简称本标准）主要面向机器人一体化关节模组提供一种弯扭耦合试验方法，是用于指导和规范项目团队进行机器人一体化关节模组弯扭耦合试验的准则和依据。本标准在保证一体化关节模组抗弯性能的前提下，针对同时承受弯扭和扭矩的复合工况，建立弯扭耦合模型及弯扭耦合性能试验方法，有利于机器人一体化关节模组的设计验证和质量控制，特别是在实际工作环境中可能遇到的复合载荷条件下的性能要求。

9. 有关专利的说明

目前已公开专利文献中并未找到与本标准相关的内容。

10. 关于标准性质

作为团体标准发布。

