

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—XXXX

人形机器人减速器用小模数齿轮

Small module gears for the reducer of humanoid robots

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国西部开发促进会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 基本参数与结构要求 3

 4.1 基本参数范围 3

 4.2 齿廓基本要求 4

 4.3 结构通用要求 4

5 技术要求 4

 5.1 材料要求 4

 5.2 精度要求 4

 5.3 啮合与背隙要求 4

 5.4 力学性能要求 4

 5.5 疲劳寿命要求 5

 5.6 噪声要求 错误！未定义书签。

 5.7 环境适应性要求 5

 5.8 表面处理要求 5

6 试验方法 5

 6.1 试验通用条件 5

 6.2 基本参数与外观检测 5

 6.3 精度检测 5

 6.4 背隙与啮合性能检测 5

 6.5 力学性能试验 5

 6.6 疲劳寿命试验 5

 6.7 噪声试验 错误！未定义书签。

 6.8 环境适应性试验 6

 6.9 表面性能检测 6

7 检验规则 6

 7.1 检验分类 6

 7.2 出厂检验 6

 7.3 型式检验 6

8 标志、包装、运输和贮存 6

 8.1 标志 6

 8.2 包装 6

 8.3 运输 6

 8.4 贮存 7

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。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

人形机器人减速器用小模数齿轮

1 范围

本文件规定了人形机器人减速器用小模数齿轮的基本参数与结构要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于人形机器人关节谐波减速器、行星减速器、摆线减速器配套的法向模数0.1 mm~1.0 mm的渐开线小模数圆柱齿轮、小模数锥齿轮，其他类型人形机器人精密减速器配套小模数齿轮可参照执行。

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 2363 小模数渐开线圆柱齿轮精度
- GB/T 10224 小模数锥齿轮基本齿廓
- GB/T 14229 齿轮接触疲劳强度试验方法
- GB/T 14230 齿轮弯曲疲劳强度试验方法
- GB/T 2423.1 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 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 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）
- GB/T 2828.11 计数抽样检验程序 第11部分：小总体声称质量水平的评定程序
- GB/T 6404.1 齿轮装置的验收规范 第1部分：空气传播噪声的试验规范
- GB/T 30819 机器人用谐波齿轮减速器
- GB/T 45865 精密电驱动谐波齿轮模组通用技术规范

3 术语和定义

GB/T 2363、GB/T 30819界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

动态背隙 dynamic gap

齿轮在额定负载、动态往复运转工况下，啮合齿面间的最大间隙，直接影响机器人关节定位精度与重复定位精度。

3.2

疲劳循环寿命 fatigue cycle life

齿轮在额定工况下连续啮合运转，齿面无点蚀、无磨损、无崩齿、无塑性变形，性能指标仍满足标准要求的最大循环运转次数。

4 基本参数与结构要求

4.1 基本参数范围

本文件适配齿轮核心参数需满足以下范围，参数公差符合GB/T 2363规定：

- a) 法向模数：0.1 mm~1.0 mm；
- b) 齿数 z ：5~200；
- c) 分度圆直径 d ：0.5 mm~100 mm；
- d) 齿宽 b ：0.2 mm~10 mm；
- e) 螺旋角 β ： $\leq 45^\circ$ 。

4.2 齿廓基本要求

小模数渐开线圆柱齿轮齿廓符合GB/T 2362规定，标准齿形角为 20° ；若采用非标准齿形角，需对齿圈径向跳动公差、径向综合公差进行对应系数修正。小模数锥齿轮基本齿廓符合GB/T 10224规定。

4.3 结构通用要求

齿轮结构需适配人形机器人轻量化、小型化需求，外观无毛刺、无锐边、无裂纹、无氧化斑点；安装定位面平整光滑，同轴度、垂直度满足配套减速器装配要求，装配后无卡滞、无偏心晃动。

5 技术要求

5.1 材料要求

- 5.1.1 齿轮原材料需采用高强度、高耐磨、高韧性合金钢材，优先选用精密齿轮专用不锈钢、渗碳合金钢，原材料需具备材质检测报告，夹渣、疏松、偏析等内部缺陷需满足相应技术协议。
- 5.1.2 齿轮需经过热处理强化处理，表面硬度、芯部硬度匹配人形机器人动态负载工况，表面耐磨、抗咬合、抗疲劳性能优异，热处理后变形小、无开裂。
- 5.1.3 轻量化适配：针对人形机器人关节轻量化需求，在满足强度前提下，可采用高强度轻量化合金材料，材料密度、比强度需适配机器人 $30 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{kg}$ 以上扭矩密度的关节模组工况要求。

5.2 制造过程要求

- 5.2.1 齿轮加工应采用精密滚齿、磨齿、珩齿等微精密加工工艺，加工全过程执行尺寸精度、形位公差工序检验管控，每道工序检验合格后方可进入下道工序。
- 5.2.2 热处理宜采用真空热处理、可控气氛渗碳淬火等精密热处理工艺，严格控制热处理变形量，保证齿面硬度分布均匀、芯部韧性稳定，热处理后需进行变形量与硬度全检或抽检。
- 5.2.3 表面处理过程应采取防护措施，避免对齿轮齿面精度、安装基准面造成损伤，处理完成后需对关键尺寸、精度指标进行复检确认。

5.3 精度要求

- 5.3.1 齿轮精度分为4级、5级、6级三个等级，精度评价采用GB/T 2363—2025最新坐标式单项偏差评价体系，精度评价采用GB/T 10225规定的评价体系，公差采用公式计算+圆整规则执行。
- 5.3.2 核心精度指标包括齿距累积总偏差 F_p 、齿廓总偏差 F_a 、螺旋线总偏差 F_β 、齿圈径向跳动 F_r （锥齿轮核心精度指标按GB/T 10225对应执行）；其中4级精度齿轮齿距累积总偏差 $F_p \leq 3 \mu\text{m}$ ，适配高精度人形机器人关节精密传动需求；5级、6级精度齿轮公差分别符合GB/T 2363、GB/T 10225对应等级限值要求。
- 5.3.3 齿面粗糙度：工作齿面粗糙度 $R_a \leq 0.4 \mu\text{m}$ ，非工作齿面粗糙度 $R_a \leq 0.8 \mu\text{m}$ ，保证啮合平顺、低磨损、低噪声。

5.4 啮合要求

齿轮啮合平稳，无冲击、无卡滞，静态啮合侧隙符合设计文件要求；同批次齿轮啮合一致性良好，满足精密传动装配要求。

5.5 力学性能要求

- 5.5.1 静载性能：齿轮在1.2倍额定负载下持续承载30 min，无塑性变形、无齿面损伤、无崩齿现象。
- 5.5.2 抗冲击性能：可承受人形机器人日常运动冲击、跌落缓冲冲击，经GB/T 2423.5规定的冲击试验后，齿轮精度、啮合性能无明显衰减。

5.5.3 振动稳定性：经 GB/T 2423.10 规定的正弦振动试验后，齿轮无松动、无磨损，传动精度保持稳定。

5.6 疲劳寿命要求

额定工况下，齿轮疲劳循环寿命 $\geq 1 \times 10^8$ 次，或额定转速下连续运转寿命 ≥ 10000 h，二项满足其一即可判定合格，运转后齿面无点蚀、无剥落、无严重磨损，精度衰减量不超过对应精度等级公差限值的10%，满足人形机器人长期连续工作要求。

5.7 环境适应性要求

5.7.1 高低温适应性：在 $-60\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下静置 4 h 并连续运转 2 h，齿轮无变形、无卡滞，传动精度、背隙、噪声指标符合标准要求。

5.7.2 湿热适应性：在温度 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 90%RH 环境下连续运转 48 h，齿轮无锈蚀、无性能衰减，适配室内常规工作环境。

5.8 表面处理要求

齿轮表面需做防锈、耐磨改性处理，涂层均匀、附着力强，无脱落、无起皮；处理后不影响齿轮啮合精度、尺寸精度和传动性能。

6 试验方法

6.1 试验通用条件

6.1.1 试验环境：温度 $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 45%~75%，无粉尘、无腐蚀气体、无强振动干扰，极端低温专项试验环境按本文件 6.7.1 高低温试验规定执行。

6.1.2 试验设备：精度检测设备、负载试验台、噪声测试仪、环境试验箱、疲劳寿命试验机等，所有设备需经计量检定合格且在有效期内。

6.1.3 试验样品：随机抽取成品齿轮，样品外观完好、无损伤，试验前完成尺寸、精度初始检测并记录数据。

6.2 基本参数与外观检测

采用高精度影像测量仪、卡尺、千分尺检测齿轮模数、齿数、齿宽等基本参数；目视结合放大镜检查外观，核查无裂纹、毛刺、锈蚀、变形等缺陷。

6.3 精度检测

依据 GB/T 2363 规定的检测方法，使用齿轮精密检测仪检测齿距累积偏差、齿形偏差、齿向偏差等核心精度指标，记录检测数据，判定精度等级。采用粗糙度仪检测齿面粗糙度。

6.4 啮合性能检测

将齿轮装配为标准试验齿轮副，手动及空载运转，检查啮合是否平稳、有无卡滞、冲击异响，核查啮合接触斑点分布与啮合重合度情况。

6.5 力学性能试验

6.5.1 静载试验：逐级加载至 1.2 倍额定负载，持续保载 30 min，卸载后检测齿轮外观、尺寸及精度变化。

6.5.2 冲击试验：按照 GB/T 2423.5 规定的试验方法开展机械冲击试验，试验后核查齿轮结构完整性与传动精度。

6.5.3 振动试验：按照 GB/T 2423.10 规定开展正弦振动试验，试验后检测齿轮啮合性能与精度衰减情况。

6.6 疲劳寿命试验

齿轮接触疲劳寿命试验参照GB/T 14229规定执行，弯曲疲劳寿命试验参照GB/T 14230规定执行；针对小模数齿轮特性，试验台应具备微型齿轮专用装夹机构、恒定负载闭环控制、转速稳定调节、循环次数自动计数功能，负载控制精度不低于 $\pm 1\%$ ，转速控制精度不低于 $\pm 0.5\%$ ，满足小模数齿轮精密疲劳试验要求。将样品装配专用寿命试验齿轮副，在额定转速、额定负载工况下连续循环运转，达到规定寿命指标后，检测齿轮齿面状态、精度衰减量，核查是否符合寿命要求。

6.7 环境适应性试验

6.7.1 高低温试验：按照 GB/T 2423.1、GB/T 2423.2 规定，分别开展 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温、 $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温静置及运转试验，试验后检测各项性能指标。

6.7.2 湿热试验：按照 GB/T 2423.3 规定开展恒定湿热试验，试验后检查齿轮锈蚀情况及传动性能。

6.8 表面性能检测

采用涂层附着力测试仪、耐磨试验机检测表面处理层附着力与耐磨性，核查表面处理质量。

7 检验规则

7.1 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 每批次产品出厂前需逐批开展出厂检验，检验合格并出具合格证明后方可出厂。

7.2.2 出厂检验项目：外观质量、基本参数、齿面粗糙度、核心精度指标、静态啮合性能。

7.2.3 抽样规则：依据 GB/T 2828.11 执行常规抽样方案，批量产品抽样检验，不合格项需加倍复检，复检仍不合格则判定该批次产品不合格。

7.3 型式检验

7.3.1 有下列情况之一时，应开展型式检验：

- a) 新产品定型、批量投产前；
- b) 原材料、生产工艺、热处理工艺、表面处理工艺发生重大变更时；
- c) 连续生产满 1 年时；
- d) 出厂检验结果与上次型式检验结果存在较大偏差时；
- e) 国家行业主管部门提出型式检验要求时。

7.3.2 型式检验项目：包含本文件所有技术要求项目。

7.3.3 判定规则：型式检验所有项目均合格，则判定型式检验合格；若出现不合格项目，需分析原因、整改后重新检验，重新检验合格后方可通过。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

每件产品或产品最小包装上需清晰标注：产品型号、精度等级、模数、生产厂家、生产日期、批次号、合格标识，标识清晰、牢固、不易脱落。

8.2 包装

产品采用防静电、防震、防潮专用包装，单件独立封装，避免运输过程中磕碰、磨损、锈蚀；整箱包装需加装缓冲防护材料，包装箱坚固、密封。

8.3 运输

运输过程中需防雨、防潮、防震、防挤压、防暴晒，禁止与腐蚀性物品混运，装卸过程轻拿轻放，避免剧烈冲击。

8.4 贮存

产品需贮存于干燥、通风、洁净、无腐蚀气体的室内仓库，贮存环境温度0℃～30℃，相对湿度≤80%；产品分类堆放、离地离墙存放，避免挤压受潮，贮存有效期12个月，超期贮存产品出厂前需重新检验合格后方可使用
