ICS 21.120.01
CCS J 17

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA —2026

人形机器人谐波减速器用凸轮轴技术要求与试验方法

Technical requirements and test methods for camshaft used in harmonic reducer of humanoid robot

2026- - 发布 2026- - 实施

中国西部开发促进会 发 布

目　　次

前　　言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 技术要求 2
4.1 材料要求 2
4.2 尺寸精度要求 2
4.3 几何公差要求 2
4.4 表面质量要求 3
4.5 力学性能要求 3
4.6 工作性能要求 3
5 试验条件 3
5.1 环境条件 3
5.2 设备条件 3
5.3 样品条件 4
6 试验方法 4
6.1 材料试验 4
6.2 尺寸精度试验 4
6.3 几何公差试验 4
6.4 表面质量试验 4
6.5 力学性能试验 4
6.6 工作性能试验 5

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XXXX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：。

人形机器人谐波减速器用凸轮轴技术要求与试验方法

1 范围

本文件规定了人形机器人谐波减速器用凸轮轴（以下简称“凸轮轴”）的技术要求、试验条件及试验方法。

本文件适用于人形机器人关节谐波减速器用凸轮轴的设计、制造、检验和验收，其他类型机器人谐波减速器用凸轮轴可参照执行。

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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法

GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分: 试验方法

GB/T 1031 产品几何技术规范（GPS） 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值

GB/T 1220 不锈钢棒

GB/T 1800.1 产品几何技术规范（GPS） 线性尺寸公差ISO代号体系 第1部分：公差、偏差和配合的基础

GB/T 1800.2 产品几何技术规范（GPS） 线性尺寸公差ISO代号体系 第2部分：标准公差带代号和孔、轴的极限偏差表

GB/T 1958 产品几何技术规范（GPS） 几何公差 检测与验证

GB/T 3077 合金结构钢

GB/T 5231 加工铜及铜合金牌号和化学成分

GB/T 6461 金属基体上金属和其他无机覆盖层 经腐蚀试验后的试样和试件的评级

GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

凸轮轴 camshaft

谐波减速器中，与柔性齿轮、刚性齿轮配合，通过自身轮廓运动传递动力、实现减速传动的核心轴类零件，主要由凸轮本体、轴颈、连接端等部分组成。

3.2

凸轮轮廓度 cam profile error

凸轮轴实际轮廓与理论轮廓的偏差程度，是影响谐波减速器传动精度的关键指标，单位为毫米(mm)。

3.3

轴颈圆柱度 journal cylindricity

凸轮轴轴颈的实际圆柱面与理想圆柱面的偏差程度，反映轴颈的圆度和轴线直线度综合误差，单位为毫米（mm）。

3.4

传动效率 transmission efficiency

谐波减速器在额定工况下，输出功率与输入功率的比值，以百分数（%）表示，是衡量凸轮轴传动性能的重要指标。

3.5

疲劳寿命 fatigue life

凸轮轴在额定载荷、额定转速下，满足规定性能要求的累计工作时间，单位为小时（h）。

4 技术要求

4.1 材料要求

凸轮轴材料应根据人形机器人谐波减速器的工况要求（载荷、转速、工作环境等）选用，优先选用高强度、高耐磨性、良好韧性和加工性能的材料，常用材料及性能要求应符合表1的规定。

表 1 凸轮轴材料要求

材料牌号	材料类型	化学成分要求	适用工况
40Cr	合金结构钢	符合GB/T 3077的规定	中等载荷、中等转速，常规工作环境
20CrMnTi	合金渗碳钢	符合GB/T 3077的规定	高载荷、高转速，对耐磨性要求较高
304不锈钢	奥氏体不锈钢	符合GB/T 1220的规定	潮湿、腐蚀性工作环境，低载荷工况
QA19-4	铝青铜	符合GB/T 5231的规定	低速、轻载荷，对减摩性要求较高

4.2 尺寸精度要求

凸轮轴的尺寸精度应符合GB/T 1800.1、GB/T 1800.2的规定，关键尺寸（凸轮轴直径、轴颈直径、凸轮轮廓最大尺寸等）公差等级应满足表2的要求，非关键尺寸公差等级应不低于IT12级。

表 2 尺寸精度要求

尺寸项目	公差等级	极限偏差（mm）	备注
凸轮轴直径（d）	IT5	上偏差：+0.011，下偏差：0（d≤50mm）；上偏差：+0.015，下偏差：0（50mm＜d≤80mm）	基准轴
轴颈直径（d1）	IT4	上偏差：+0.008，下偏差：0（d1≤30mm）；上偏差：+0.010，下偏差：0（30mm＜d1≤50mm）	与轴承配合面
凸轮轮廓最大尺寸（D）	IT6	上偏差：+0.019，下偏差：0（D≤50mm）；上偏差：+0.025，下偏差：0（50mm＜D≤80mm）	轮廓基准尺寸
凸轮轴总长度（L）	IT10	上偏差：+0.10，下偏差：-0.10（L≤200mm）；上偏差：+0.15，下偏差：-0.15（200mm＜L≤300mm）	整体长度尺寸
键槽宽度（b）	IT9	上偏差：+0.036，下偏差：0（b≤10mm）；上偏差：+0.043，下偏差：0（10mm＜b≤18mm）	连接键配合面

4.3 几何公差要求

凸轮轴关键几何公差项目的公差等级及公差值应满足表3的要求。

表 3 几何公差要求

项目	公差等级	公差值（mm）	适用部位
凸轮轮廓度	5级	0.005	凸轮工作轮廓面

轴颈圆柱度	4级	0.003	与轴承配合的轴颈
凸轮轴线与轴颈轴线同轴度	5级	0.004	凸轮与轴颈配合部位
轴颈端面圆跳动	4级	0.002	轴颈端面
键槽对称度	7级	0.020	键槽两侧面

4.4 表面质量要求

4.4.1 凸轮轴表面应光洁、无裂纹、无毛刺、无锈蚀、无磕碰损伤，加工表面不得有明显的加工痕迹、划痕、气孔等缺陷。
4.4.2 非加工表面应无氧化皮、锈蚀等影响使用的缺陷。
4.4.3 表面涂层应均匀、附着牢固，无脱落、流挂等现象。
4.4.4 凸轮轮廓面粗糙度 Ra 应不大于 0.4μm，轴颈配合面粗糙度 Ra 不大于 0.8μm，键槽工作面粗糙度 Ra 不大于 1.6μm，其他非关键表面粗糙度 Ra 不大于 3.2μm。

4.5 力学性能要求

凸轮轴的力学性能应根据材料类型满足相应要求，凸轮轴的力学性能指标应符合表4的规定。

表 4 力学性能要求

材料牌号	抗拉强度（MPa）	屈服强度（MPa）	断后伸长率（%）	冲击吸收能量（J）	硬度
40Cr	≥980	≥785	≥9	≥47	调质处理后28HRC～32HRC，凸轮表面淬火后55HRC～60HRC
20CrMnTi	≥1080	≥835	≥10	≥55	渗碳淬火后表面硬度60HRC～64HRC，心部硬度30HRC～40HRC
304不锈钢	≥520	≥205	≥40	≥60	固溶处理后硬度≤187HBW
QA19-4	≥540	≥275	≥15	≥20	110HBW～150HBW

4.6 工作性能要求

4.6.1 传动效率

在额定载荷、额定转速工况下，凸轮轴应保障配套谐波减速器的传动效率不低于90%。

4.6.2 疲劳寿命

凸轮轴在额定工况下连续工作，疲劳寿命应不低于10000h，工作过程中不应出现裂纹、磨损超标、变形等失效现象。

4.6.3 耐腐蚀性

对于在潮湿、腐蚀性环境中工作的凸轮轴，应进行盐雾试验，试验后表面腐蚀等级应不低于GB/T 6461中9级的要求。

5 试验条件

5.1 环境条件

除非另有规定，试验应在以下条件下进行：

a) 环境温度 23℃±5℃；
b) 相对湿度 45%～75%；
c) 大气压力 86kPa～106kPa。

5.2 设备条件

试验所用设备、量具应经计量检定/校准合格，并在有效期内使用。试验前应对设备进行调试、校准，确保设备运行正常、测量精度满足试验要求，同时做好设备使用记录。

5.3 样品条件

试验样品应满足以下条件：

a) 试验样品应为合格的人形机器人谐波减速器用凸轮轴，样品数量应满足各试验项目要求（常规试验每项不少于 3 件）；
b) 试验前，应对样品进行清理，去除表面氧化皮、油污、杂质等；
c) 样品应在 5.1 规定的环境条件下放置不少于 24h，使样品状态与试验环境达到平衡。

6 试验方法

6.1 材料试验

采用火花放电原子发射光谱法或湿法化学分析法分析不同材料的元素组成。

6.2 尺寸精度试验

应按照以下步骤进行：

a) 选用精度符合要求的游标卡尺、千分尺、内径百分表等量具，按 GB/T 1800.1、GB/T 1800.2 的规定进行测量；
b) 测量前校准量具，将凸轮轴试样固定在测量平台上，分别对凸轮轴直径、轴颈直径、凸轮轮廓最大尺寸等关键尺寸进行测量，每个尺寸选取 3 个不同测量位置，记录每次测量数据，最终取 3 次测量的算术平均值作为检测结果。

6.3 几何公差试验

应按照以下步骤进行：

a) 按照 GB/T 1958 的规定，选用三坐标测量机、圆度仪、同轴度仪等专用检测设备进行检验；
b) 检测前校准设备，将凸轮轴试样固定在检测设备上，分别对凸轮轮廓度、轴颈圆柱度、凸轮轴线与轴颈轴线同轴度、轴颈端面圆跳动、键槽对称度进行检测；
c) 每个项目测量 3 次，记录检测数据，取算术平均值作为检测结果。

6.4 表面质量试验

6.4.1 外观检查

采用目视法检查凸轮轴表面光洁度、缺陷及涂层质量，记录观察到的现象。

6.4.2 粗糙度试验

粗糙度试验应按照GB/T 1031的规定执行。

6.5 力学性能试验

6.5.1 抗拉强度试验

应按照GB/T 228.1的规定执行，截取标准拉伸试样，清理试样表面杂质，将试样安装在拉伸试验机上，设置试验参数（拉伸速度、量程等），启动设备进行拉伸试验，记录试样断裂前的最大拉力，计算抗拉强度数据，试验重复3次，取算术平均值作为检测结果。

6.5.2 屈服强度试验

与抗拉强度试验同步进行，在拉伸试验过程中，实时记录载荷-位移曲线，读取屈服阶段的载荷值，计算屈服强度数据，试验重复3次，取算术平均值作为检测结果。

6.5.3 断后伸长率试验

拉伸试验结束后，将断裂的试样拼接对齐，测量试样断后标距长度，按GB/T 228.1的规定计算断后伸长率，试验重复3次，取算术平均值作为检测结果。

6.5.4 冲击吸收能量试验

应按照GB/T 229的规定执行，截取标准冲击试样，清理试样表面，将试样置于冲击试验机支座上，调整摆锤角度至规定位置，启动设备进行冲击试验，记录冲击吸收能量数据，试验重复3次，取算术平均值作为检测结果。

6.5.5 硬度试验

应按照GB/T 230.1的规定执行，将凸轮轴试样固定在硬度计工作台上，根据材料类型选择对应硬度标尺，调整试验力，按操作规程进行硬度测试，每个测试点测量3次，记录硬度值，取算术平均值作为检测结果。

6.6 工作性能试验

6.6.1 传动效率试验

将凸轮轴安装在谐波减速器试验台上，正确连接动力源与负载装置，调整试验台参数至额定载荷、额定转速工况；启动试验台，待设备运行稳定后，分别测量输入功率和输出功率，按公式（1）计算传动效率：

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：

η——传动效率，单位为百分之（%）；

P_{out}——输出功率，单位为千瓦（kW）；

P_{in}——输入功率，单位为千瓦（kW）。

6.6.2 疲劳寿命试验

应按照以下步骤进行：

a) 在谐波减速器试验台上完成凸轮轴安装，施加额定载荷，调整至额定转速后启动试验台连续运行；

b) 实时记录凸轮轴累计工作时间，每隔 24h 停机检查一次凸轮轴状态，观察是否出现裂纹、磨损超标、变形等现象，直至凸轮轴出现失效现象，记录最终累计工作时间。

6.6.3 耐腐蚀性试验

应按照GB/T 10125的规定进行腐蚀试验，试验结束后，取出试样，用清水冲洗干净，按GB/T 6461的规定对试样进行腐蚀评级，记录评级结果。

T/CWDPA XXX—2026

中 华 人 民 共 和 国

团 体 标 准

人形机器人谐波减速器用凸轮轴技术要求与试验方法

T/CWDPA XXX－2026

*

中国西部开发促进会

网址 www.cwdpa.org.cn

*

开本 880×1230 1/6 印张 1.5 字数 3.4 千字

2026 年 X 月第一版 2026 年 X 月第一次印刷

*

如有印装差错 由中国西部开发促进会调换

版权专有 侵权必究

举报电话：010—65919503

T/CWDPA XXX-2026