ICS 25.040.30
CCS J 28

团　　体　　标　　准

T/CEATEC XXX—XXXX

人形机器人丝杠驱动线性执行器模组技术要求

Technical requirements for screw-driven linear actuator modules for humanoid robots

（征求意见稿）

XXXX－XX－XX 发布　　XXXX－XX－XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会　　发 布

目　　次

前言 II
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 一般要求 2
4.2 结构与传动要求 2
4.3 有效行程 2
4.4 轴向力与承载性能 2
4.5 速度与动态性能 3
4.6 位置性能 3
4.7 轴向间隙 3
4.8 轴向静刚度 3
4.9 机械传动效率 3
4.10 热性能 3
4.11 耐久性能 3
5 试验方法 4
5.1 试验条件 4
5.2 结构与传动检查 4
5.3 有效行程试验 4
5.4 轴向力与承载性能试验 4
5.5 速度与动态性能试验 4
5.6 位置性能试验 4
5.7 轴向间隙试验 4
5.8 轴向静刚度试验 4
5.9 机械传动效率试验 4
5.10 热性能试验 5
5.11 耐久性能试验 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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件首次发布。

人形机器人丝杠驱动线性执行器技术要求

1 范围

本文件规定了人形机器人丝杠驱动线性执行器的技术要求和试验方法。

本文件适用于人形机器人关节用丝杠驱动线性执行器的设计、制造、检验和验收。

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 17587.2 滚珠丝杠副 第2部分：公称直径、公称导程、螺母尺寸和安装螺栓 公制系列

GB/T 17587.3 滚珠丝杠副 第3部分：验收条件和验收检验

GB/T 17587.4 滚珠丝杠副 第4部分：轴向静刚度

GB/T 17587.5 滚珠丝杠副 第5部分：轴向额定静载荷和动载荷及使用寿命

GB/T 43200 机器人一体化关节性能及试验方法

JB/T 10890.1 高速精密滚珠丝杠副 第1部分：性能试验规范

JB/T 13811 电动缸

JB/T 13815 滚珠丝杠副 轴向静刚度试验规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

丝杠驱动线性执行器 screw-driven linear actuator

以丝杠传动机构为主要传动机构，将旋转运动转换为直线运动，实现轴向力和直线位移输出，用于人形机器人关节驱动的执行装置。

3.2

有效行程 effective stroke

执行器输出端能够按规定性能要求连续进行直线运动的最大工作位移范围。

3.3

额定轴向力 rated axial force

在规定的安装、润滑和工作条件下，执行器能够以额定连续速度持续输出的轴向力。

3.4

峰值轴向力 peak axial force

在规定的持续时间、重复周期或占空比条件下，执行器允许输出的最大轴向力。

3.5

反向启动轴向力 reverse starting axial force

执行器断电且制动解除状态下，在有效行程内各规定位置使输出端由静止状态开始产生反向运动所需的最小轴向外力的最大值。

3.6

轴向间隙 axial play

在滚珠螺母与滚珠丝杠之间没有相对转动时，两者之间总的相对轴向自由位移量。

[来源：GB/T 17587.1—2017，2.2.2.7]

3.7

轴向静刚度 static axial rigidity

抵抗轴向变形的能力（单位变形量所需的载荷），表示在轴向力作用下，在轴向产生变形量Δl为1μm时所需的轴向力ΔF。轴向静刚度按式（1）计算：

$$R=\frac{\Delta F}{\Delta l} \cdots\cdots (1)$$

式中：

R——轴向静刚度，单位为牛顿每微米（N/μm）；

ΔF——轴向力变化量，单位为牛顿（N）；

Δl——相应的轴向变形量，单位为微米（μm）。

[来源：GB/T 17587.4—2008，5.2]

3.8

机械传动效率 mechanical transmission efficiency

在规定载荷和速度条件下，执行器输出机械功率与机械输入功率之比。

4 技术要求

4.1 一般要求

4.1.1 丝杠驱动线性执行器应按规定程序批准的产品图样和技术文件制造，并应满足人形机器人关节直线驱动、频繁往复换向、精密定位和动态载荷输出的使用要求。

4.1.2 在规定的安装、润滑、载荷、速度和环境条件下，执行器运行应平稳、连续，不应出现卡滞、爬行、异常冲击、结构松动、异常温升及影响正常使用的异常声响。

4.2 结构与传动要求

4.2.1 丝杠驱动线性执行器应以丝杠传动机构为核心，由丝杠传动机构、支承结构和直线输出机构等组成；根据产品结构和功能需要，可配置驱动电机、编码器、力传感器等部件。

4.2.2 执行器轴向承载路径应连续、可靠，丝杠副、支承轴承、输出端及安装结构的承载能力应与额定轴向力和峰值轴向力相匹配。

4.2.3 运动部件在全部有效行程范围内不应发生干涉，行程端部应设置限位或缓冲措施。

4.2.4 丝杠副的公称直径、公称导程、额定载荷和允许转速应与执行器的轴向力、速度、行程及寿命要求相匹配。采用滚珠丝杠副时，公称直径、公称导程、螺母尺寸和安装螺栓应符合GB/T 17587.2的规定，验收条件和验收检验应符合GB/T 17587.3的规定。承受压缩载荷时应进行压屈校核，最大工作转速应避开影响稳定运行的临界转速区域。

4.2.5 采用预紧结构时，应规定预紧方式和预紧参数，不应因预紧造成异常摩擦、温升加剧或寿命下降。

4.2.6 应采用与载荷、速度和寿命要求相适应的润滑方式，并规定润滑剂及维护周期；在规定维护周期内不应发生影响正常运行的异常磨损或温升。

4.3 有效行程

4.3.1 执行器实际有效行程不应小于制造商声明值。

4.3.2 在全部有效行程范围内，执行器应保持正常的运动、位置反馈和轴向力输出功能。

4.3.3 有效行程两端应留有安全余量，运行至行程端部时不应发生丝杠副脱离有效啮合、滚动体循环异常、支承结构异常受力或机械碰撞。

4.4 轴向力与承载性能

4.4.1 执行器应规定额定轴向力和峰值轴向力，实测值不应低于制造商声明值；正向和反向承载能力不同时，应分别规定。

4.4.2 在额定轴向力和额定连续速度条件下，执行器应能够连续稳定运行，不应发生卡滞、异常温升或明显的轴向力衰减。

4.4.3 峰值轴向力应同时规定允许持续时间、重复周期或占空比。峰值工况试验后，执行器不应发生

影响正常运行的结构或功能损伤。

4.4.4 制造商应规定执行器输出端许用侧向载荷；不允许承受侧向载荷时，应采取外部导向、球铰或其他措施避免侧向载荷直接作用于丝杠副。

4.4.5 具有反驱能力的执行器应规定反向启动轴向力；具有自锁特性的，应明确其自锁性能。

4.5 速度与动态性能

4.5.1 执行器应规定额定连续速度、最大速度和最大加速度及相应的轴向负载条件，实测值不应低于制造商声明值；最大加速度为非连续工作参数时，应同时规定允许持续时间或占空比。

4.5.2 最大速度对应的丝杠转速不应超过丝杠副、支承轴承、电机等部件的允许最高转速。采用旋转丝杠结构时，最高工作转速宜不超过丝杠临界转速的 80%。

4.5.3 在规定的加速、减速和往复换向工况下，执行器不应出现失步、卡滞、异常冲击、异常振动或位置反馈异常。

4.5.4 具有位置、速度或轴向力闭环控制功能的执行器，应规定相应的响应时间或频带宽度。

4.6 位置性能

4.6.1 位置性能应在执行器直线输出端进行评价，不应以丝杠副单独检测结果代替执行器位置性能。

4.6.2 执行器定位准确度宜不大于 0.02 mm。

4.6.3 执行器重复定位精度宜不大于 0.01 mm。

4.6.4 制造商声明的定位准确度或重复定位精度严于 4.6.2 和 4.6.3 规定值时，应按声明值进行检验和判定。

4.6.5 正向和反向运动条件下的位置性能均应符合相应要求。

4.7 轴向间隙

4.7.1 执行器轴向间隙应在直线输出端进行测量。

4.7.2 采用滚珠丝杠或行星滚柱丝杠的精密线性执行器，轴向间隙宜不大于 0.02 mm。

4.7.3 采用预紧或消隙结构时，应以执行器直线输出端的实际测量结果作为轴向间隙的判定依据。

4.7.4 耐久试验后，轴向间隙应满足 4.7.2 或制造商声明的要求。

4.8 轴向静刚度

4.8.1 制造商应规定执行器轴向静刚度及对应的轴向载荷范围，实测值不应低于声明值。

4.8.2 轴向静刚度应在执行器输出端测量，并应反映丝杠副、支承轴承、壳体、连接结构和输出机构的综合弹性变形；拉伸和压缩方向存在明显差异时，应分别规定。

4.8.3 在规定轴向载荷范围内，卸载后不应出现影响正常使用的永久变形或结构松动。

4.9 机械传动效率

4.9.1 制造商应规定执行器机械传动效率及对应的载荷和速度条件。采用滚珠丝杠或行星滚柱丝杠的执行器，机械传动效率宜不低于 80%。

4.9.2 机械传动效率应按执行器实际机械输入和输出性能进行评价，不应以丝杠副理论效率代替执行器实测效率。

4.9.3 正向和反向机械传动效率存在明显差异时，应分别规定。

4.10 热性能

4.10.1 执行器在规定的轴向载荷、行程、速度、加速度和往复循环工况下运行规定时间，试验期间关键测温点温升应不超过 60 K，且各关键部件最高工作温度不应超过其允许值。

4.10.2 执行器在规定的静态轴向载荷下保持输出端静止，运行至热稳定状态时，关键测温点温升应不超过 70 K，且各关键部件最高工作温度不应超过其允许值。

4.10.3 热性能试验后，执行器应正常运行，其额定轴向力、位置性能和轴向间隙应符合规定要求。

4.10.4 对温升影响位置性能的执行器，应规定冷态至热稳定状态的输出端零位漂移量。

4.11 耐久性能

4.11.1 制造商应规定执行器耐久循环次数及相应的行程、速度、轴向载荷和润滑条件。采用滚珠丝杠副时，其轴向额定静载荷、额定动载荷及使用寿命应按 GB/T 17587.5 确定。
4.11.2 采用行星滚柱丝杠的执行器进行耐久验证时，试验轴向载荷宜不低于额定轴向力的 60%，耐久循环次数宜不低于 3×10^6 次。
4.11.3 耐久试验过程中，执行器不应发生断裂、剥落、卡滞、异常磨损或结构松动；试验后额定轴向力、位置性能、轴向间隙和轴向静刚度应符合规定要求。

5 试验方法

5.1 试验条件

除另有规定外，试验应在常温环境下进行，执行器安装、润滑、供电、控制和冷却条件应符合制造商规定，试验仪器应经校准。符合JB/T 13811适用范围的执行器，其行程、轴向力、重复定位精度和温升试验可按JB/T 13811的规定进行。

5.2 结构与传动检查

采用目视、量具及技术文件核查，并使执行器低速运行全部有效行程，检查结构组成、承载路径、限位或缓冲装置、预紧和润滑状态。

5.3 有效行程试验

采用直线位移测量装置测量执行器输出端实际有效行程，并检查行程端部运行状态。

5.4 轴向力与承载性能试验

5.4.1 采用轴向加载装置和力传感器测量额定轴向力和峰值轴向力，峰值轴向力按规定的持续时间或占空比进行试验。
5.4.2 在输出端施加声明的侧向载荷检查运行状态；反向启动轴向力应在执行器断电且制动解除状态下，通过逐渐增加轴向载荷进行测量。

5.5 速度与动态性能试验

5.5.1 在规定轴向负载条件下，使执行器在有效行程范围内运行，测量额定连续速度、最大速度和最大加速度，并核查丝杠最高工作转速与允许转速及临界转速的关系。采用高速精密滚珠丝杠副时，丝杠副的速度、加速度等性能试验可按 JB/T 10890.1 的规定进行。
5.5.2 具有闭环控制功能的执行器，应施加位置、速度或轴向力指令，记录输入与输出响应，确定响应时间或频带宽度。

5.6 位置性能试验

采用激光干涉仪、线性编码器或其他适用的位移测量装置，在有效行程范围内进行正、反向多点重复定位，测量定位准确度和重复定位精度。结果应符合4.6的规定。

5.7 轴向间隙试验

在有效行程内选取测量位置，使执行器分别从正、反方向到达同一目标位置，测量输出端位置差，取最大值作为轴向间隙。结果应符合4.7的规定。

5.8 轴向静刚度试验

在执行器输出端分别沿拉伸和压缩方向施加规定轴向载荷，测量对应的弹性位移，并根据载荷变化与位移变化确定执行器轴向静刚度。需要单独测量滚珠丝杠副轴向静刚度时，可按JB/T 13815的规定进行。

5.9 机械传动效率试验

在规定载荷和稳定速度条件下，同步测量机械输入端转矩和转速以及输出端轴向力和直线速度，确定机械传动效率。结果应符合4.9的规定。

5.10 热性能试验

5.10.1 按规定的轴向载荷、行程、速度、加速度和往复循环工况运行规定时间，测量并记录试验期间关键测温点的温度及温升。结果应符合 4.10.1 的规定。

5.10.2 在执行器输出端保持静止状态下施加规定的静态轴向载荷，使执行器运行至热稳定状态，测量并记录关键测温点的温度及温升。结果应符合 4.10.2 的规定。

5.11 耐久性能试验

按4.11规定的行程、速度、轴向载荷、循环次数和润滑条件进行往复循环试验。试验结束后检查执行器结构和运行状态，并复测额定轴向力、位置性能、轴向间隙和轴向静刚度。结果应符合4.11的规定。