

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—XXXX

机器人灵巧手驱动用不锈钢微绳通用技术 条件

General technical requirements for stainless steel micro rope used in robotic
dexterous hand drive

（征求意见稿）

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 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 分类与标记 2

 4.1 分类 2

 4.2 标记规则 2

5 订货内容 3

6 技术要求 3

 6.1 材料要求 3

 6.2 结构与尺寸 3

 6.3 力学性能 3

 6.4 表面质量要求 4

 6.5 耐腐蚀性要求 4

7 试验方法 4

 7.1 材料试验 4

 7.2 结构与尺寸试验 4

 7.3 力学性能试验 5

 7.4 表面质量检验 6

 7.5 耐腐蚀性能试验 6

8 检验规则 6

 8.1 检验分类 6

 8.2 出厂检验 6

 8.3 型式检验 6

 8.4 抽样规则 7

 8.5 判定规则 7

 8.6 质量证明文件 7

9 标志、包装、运输和贮存 7

 9.1 标志 7

 9.2 包装 7

 9.3 运输 7

 9.4 贮存 7

10 验收 8

11 仲裁	8
12 安全使用和维护	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XXX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：。

机器人灵巧手驱动用不锈钢微绳通用技术条件

1 范围

本文件规定了机器人灵巧手驱动用不锈钢微绳的分类与标记、订货内容、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存、验收、仲裁、安全使用和维护等。
本文件适用于机器人灵巧手驱动用不锈钢微绳。

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 239.1 金属材料 线材 第1部分：单向扭转试验方法
- GB/T 239.2 金属材料 线材 第2部分：双向扭转试验方法
- GB/T 2828.1 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 4356 不锈钢盘条
- GB/T 9944 不锈钢丝绳
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- GB/T 20118 钢丝绳通用技术条件
- GB/T 20878 不锈钢 牌号及化学成分
- GB/T 29086 钢丝绳 安全 使用和维护

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

灵巧手 dexterous hand

具备接近或类似人手的自由度数量和排列方式，能灵活完成多种复杂抓握和操作任务的仿生手装置。

注：“灵巧”主要体现为高自由度与高操作能力的平衡。灵巧手通常具有多个可独立或协同运动的关节，能够适应不同形状和操作需求的目标物体。

3.2

不锈钢微绳 stainless steel micro-wire

指公称直径不大于1.0 mm，由多根不锈钢钢丝捻制而成的柔性绳索。

3.3

奥氏体不锈钢 austenitic stainless steel

基体以面心立方晶体结构的奥氏体组织为主，主要通过冷加工或氮合金化使其强化的不锈钢。

[来源：GB/T 20878—2024，3.2]

3.4

马氏体不锈钢 martensitic stainless steel

基体以畸变体心立方晶体结构的马氏体组织为主，能通过热处理调整其力学性能的不锈钢。
[来源：GB/T 20878—2024，3.5]

4 分类与标记

4.1 分类

4.1.1 按结构分类

按结构分类见表1。

表1 结构分类

结构类型	代号	结构特征	适用场景
7×7	7×7	7股×7丝，中等灵活性，强度较高	一般灵巧手关节驱动，弯曲半径≥3 mm
7×19	7×19	7股×19丝，高灵活性，强度适中	高精度灵巧手关节驱动，弯曲半径≥2 mm
1×7	1×7	1股×7丝，刚性较好，灵活性一般	负载较大的关节驱动，弯曲半径≥5 mm
1×19	1×19	1股×19丝，刚性好，灵活性较差	重载关节驱动，弯曲半径≥8 mm

4.1.2 按材料分类

按材料分类见表2。

表2 材料分类

材料类型	代号	化学成分	性能特点
奥氏体不锈钢	304	C≤0.08% Cr: 18.00%~20.00% Ni: 8.00%~10.50%	良好的耐腐蚀性和韧性，强度适中
奥氏体不锈钢	316	C≤0.08% Cr: 16.00%~18.00% Ni: 10.00%~14.00% Mo: 2.00%~3.00%	优异的耐腐蚀性和耐磨性，强度较高
马氏体不锈钢	420	C: 0.16%~0.25% Cr: 12.00%~14.00%	高强度，硬度高，耐腐蚀性一般

4.1.3 按表面处理分类

按表面处理分类见表3。

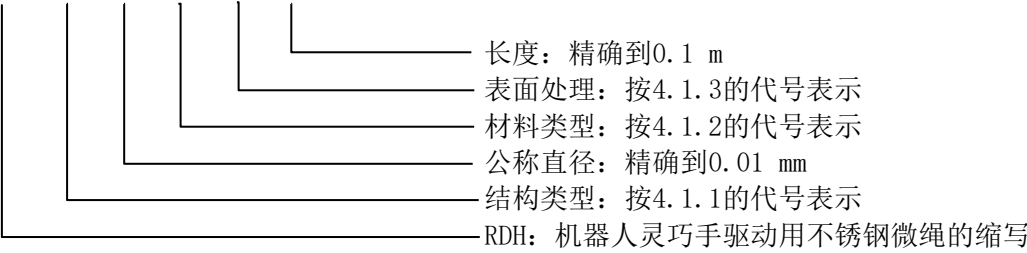
表3 表面处理分类

表面处理分类	代号	处理工艺	性能特点
光亮表面	B	无涂层，表面光亮	摩擦系数低，适用于清洁环境
尼龙涂层	N	表面涂覆尼龙，厚度0.01 mm~0.03 mm	耐磨性好，降低噪音，适用于高摩擦环境
特氟龙涂层	T	表面涂覆特氟龙，厚度0.005 mm~0.02 mm	摩擦系数极低，耐高低温，适用于高精度传动

4.2 标记规则

不锈钢微绳的标记由以下部分组成：

RDH—□—□—□—□—□



示例 1：RDH-7×19-0.30-316-N-50.0 表示：机器人灵巧手驱动用不锈钢微绳，结构为 7×19，公称直径 0.30 mm，材料为 316 不锈钢，表面尼龙涂层，长度 50.0 m。

5 订货内容

订货合同中应明确下列内容：

- a) 产品标准编号；
- b) 产品标记（结构类型、公称直径、材料类型、表面处理）；
- c) 长度及数量；
- d) 包装要求；
- e) 交货期；
- f) 特殊要求（如特殊长度、特殊表面处理等）；
- g) 捻向/捻法。

6 技术要求

6.1 材料要求

- 6.1.1 不锈钢丝应符合 GB/T 4240 的规定，直径偏差应控制在±0.001 mm 以内，表面无划痕、裂纹、氧化皮等缺陷。
- 6.1.2 不锈钢丝的抗拉强度应符合表 4 的规定。
- 6.1.3 不锈钢丝的扭转性能应符合 GB/T 239.1 和 GB/T 239.2 的规定，扭转圈数应≥20 次/100 mm。
- 6.1.4 不锈钢盘条使用应符合 GB/T 4356 的规定，或供需双方应协商一致。

表 4 抗拉强度

材料类型	直径范围 (mm)	抗拉强度 (MPa)
304	0.05~0.10	≥1800
304	0.10~0.30	≥1700
304	0.30~1.00	≥1600
316	0.05~0.10	≥1900
316	0.10~0.30	≥1800
316	0.30~1.00	≥1700
420	0.05~0.30	≥2200
420	0.30~1.00	≥2000

6.2 结构与尺寸

- 6.2.1 微绳结构应捻制均匀，无缺丝、跳丝。
- 6.2.2 直径公差应符合表 5 的规定。
- 6.2.3 捻距应均匀，捻距倍数（捻距/直径）一般为 6~10 倍。

表 5 公称直径

公称直径 (mm)	允许偏差 (mm)	不圆度 (mm)
0.10~0.20	+0.002 0	≤0.003
0.20~0.50	+0.003 0	≤0.005
0.50~1.00	+0.005 0	≤0.008

6.3 力学性能

6.3.1 最小破断拉力

最小破断拉力应符合表6的规定。

表 6 微绳最小破断拉力参考值

公称直径 (mm)	结构	最小破断拉力/N
0.15	1×7	≥25
0.20	1×7	≥40
0.25	7×7	≥44
0.30	7×7	≥63

6.3.2 断后伸长率

不锈钢微绳的断后伸长率应≥3%（标距长度为100 mm）。

6.3.3 疲劳寿命

6.3.3.1 弯曲疲劳寿命：在拉力为 15%最小破断拉力、滑轮比 D/d=10、弯曲角度±90° 条件下，循环次数应≥50 万次（无断丝）。

6.3.3.2 抗松弛性：在 20%最小破断拉力下持续加载 100 h，张力衰减率≤5%。

6.3.3.3 曲疲劳频率：弯曲疲劳频率应依据产品标准确定。产品标准未规定时,可按 60~120 次/min 或相关方协商确定。

6.3.4 蠕变性能

在额定拉力的50%作用下，1000 h后的蠕变率应≤0.5%。

6.4 表面质量要求

6.4.1 表面应光滑、清洁，无断丝、松股、凸起、毛刺、划痕等缺陷。

6.4.2 表面粗糙度 Ra 应≤0.05 μm。

6.4.3 涂层表面应均匀、连续，无气泡、针孔、脱落等缺陷，涂层厚度偏差为±10%。

6.5 耐腐蚀性要求

6.5.1 304 不锈钢微绳应按 GB/T 10125 的规定进行中性盐雾试验 48 h 后，表面应无明显锈蚀。

6.5.2 316 不锈钢微绳经 GB/T 10125 的规定进行中性盐雾试验 72 h 后，表面应无明显锈蚀。

7 试验方法

7.1 材料试验

7.1.1 原料检验

7.1.1.1 应按 GB/T 4240 的规定进行检验,采用精度不低于 0.001 mm 的光学测微仪测量不锈钢丝直径，每根丝取 3 个截面、每个截面测 2 个垂直方向直径，计算偏差值。

7.1.1.2 采用目视法（自然光/5 倍放大镜）检查表面，应无划痕、裂纹、氧化皮、折叠、油污等缺陷。

7.1.2 抗拉强度试验

应按GB/T 228.1的规定进行试验，试样标距100 mm，拉伸速度10 mm/min~25 mm/min，记录最大力并计算抗拉强度。

7.1.3 扭转性能试验

应按GB/T 239.1、GB/T 239.2的规定进行试验，试样长度100 mm，夹持间距90 mm，扭转速度60 r/min，单向/双向扭转至断裂，记录扭转圈数，结果应≥20次/100 mm。

7.2 结构与尺寸试验

7.2.1 微绳结构均匀性检查

应在充足光照下目视检查微绳全长，或使用5倍~10倍的放大镜辅助检查，其结构均匀，无缺丝、跳丝、松股等缺陷。

7.2.2 直径及不圆度测量

应按GB/T 9944的规定进行检查，使用精度为0.001 mm的千分尺或激光测径仪，在微绳长度方向上等距测量至少5个位置的相互垂直的两个方向直径。

7.2.3 捻距及捻距倍数测量

应使用卡尺或捻距仪，测量10个连续捻距的长度，计算平均捻距。平均捻距与实测平均直径的比值应在6~10之间。

7.3 力学性能试验

7.3.1 最小破断拉力试验

钢丝绳的最小破断拉力按公式（1）进行计算：

$$F_{min} = D^2 \times R \times \frac{K}{1000} \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 F_{min} ——钢丝绳最小破断拉力，单位为千牛（KN）；
 D ——钢丝绳公称直径，单位为毫米（mm）；
 R ——钢丝绳级别，单位为牛每平方米（N/mm²）
 K ——最小破断拉力系数，其值应依据GB/T 9944中对应结构的规定取值。

7.3.2 断裂伸长率试验

应按照GB/T 228.1的规定进行试验，与最小破断拉力试验同步进行，标距长度100 mm，标距标记准确度应控制在±1%以内，标距标记准确度应控制在±1%以内测量标距伸长量，按公式（2）进行计算，结果应≥3%。

$$\text{断裂伸长率} = \frac{(\text{断裂后标距} - \text{原标距})}{\text{原标距}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

7.3.3 疲劳寿命与抗松弛性试验

7.3.3.1 应按 YB/T 5091 规定执行，试验拉力为最小破断拉力的 15%，滑轮比 D/d=10，弯曲角度±90°，往复弯曲循环，记录无断丝时的循环次数，应≥50 万次。

7.3.3.2 在恒温环境（23℃±5℃）下，施加 30%最小破断拉力持续加载 100 h，实时监测张力变化，按（3）进行计算，结果≤5%。

$$\text{张力衰减率} = \frac{(\text{初始张力} - \text{最终张力})}{\text{初始张力}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

7.3.4 蠕变性能试验

7.3.4.1 试验目的：验证不锈钢微绳在长期恒定载荷作用下，其长度随时间增长的蠕变变形量是否符合技术要求，评估其在灵巧手驱动系统中长期工作的尺寸稳定性与可靠性。

7.3.4.2 试验设备与仪器：

- a) 蠕变试验机；
- b) 恒温恒湿箱；
- c) 高精度引伸计或应变计；
- d) 数据采集系统。

7.3.4.3 试样制备：从待测微绳批次中随机截取至少 3 个有效试样。试样有效长度应不小于 500 mm。建议标距长度为 250 mm，并在试样两端用标记环或其他无损伤方式清晰标出标距端点。试样两端应使用合适的夹具进行锚固，确保在长期加载过程中，载荷能均匀传递至微绳，且夹持处无滑移或早期破坏。

7.3.4.4 试验条件：施加的恒定载荷为制造商声明的该规格微绳额定工作拉力的 50%。额定工作拉力应在产品技术文件中明确定义，通常基于最小破断拉力并考虑一定的安全系数得出。若未声明，可由供需双方协商确定，并在试验报告中注明。标准试验环境为温度 23℃±2℃，相对湿度 50%±10%。

7.3.4.5 测试步骤:

- a) 初始测量: 在未加载状态下, 将制备好的试样安装在蠕变试验机上, 使用高精度引伸计测量并记录初始标距长度 L_0 , 精确到 0.001 mm。同时记录环境温度和湿度;
- b) 载荷施加: 以平稳、无冲击的方式将载荷施加至规定的恒定值。载荷的施加速率应控制在不会引起试样产生明显动态过载的范围内;
- c) 稳定与计时: 载荷达到规定值后, 稳定 5min~10min, 待引伸计读数基本稳定后, 将此时间点记为试验开始时间 ($t=0$), 并重新记录一次标距长度作为“加载后初始标距”的校验值。

7.3.4.6 数据处理: 在恒温恒湿实验室中, 对微绳试样施加其额定工作拉力 (由制造商声明) 50% 的恒定载荷。使用高精度引伸计测量初始长度 L_0 , 并在加载 1000 小时后测量长度 L_t 。应按公式 (4) 进行计算, 结果 $\leq 0.5\%$ 。

$$\text{蠕变率} = \frac{(L_t - L_0)}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

7.4 表面质量检验

应按GB/T 9922规定进行检验。

7.5 耐腐蚀性能试验

应按照GB/T 10125的规定进行试验。

8 检验规则

8.1 检验分类

检验应分为出厂检验和型式检验, 检验项目见表7。

表 7 检验项目

检验项目	出厂检验	型式检验
不锈钢丝化学成分	—	√
不锈钢丝直径与表面	√	√
不锈钢丝抗拉强度	—	√
不锈钢丝扭转性能	—	√
微绳结构外观	√	√
微绳直径与不圆度	√	√
微绳捻距	√	√
最小破断拉力	√	√
断裂伸长率	√	√
弯曲疲劳寿命	√	√
抗松弛性	—	√
蠕变性能	—	√
微绳表面外观	√	√
微绳表面粗糙度	—	√
涂层厚度	√	√
耐腐蚀性	—	√
注: “√”表示需检项目 “—”表示不检项目。		

8.2 出厂检验

出厂检验项目应符合表7的要求。

8.3 型式检验

应符合表7的要求, 凡遇到下列情况之一, 也应进行型式检验:

- a) 新产品试制或老产品转厂生产的定型鉴定;
- b) 正式生产后, 如结构、材料、工艺有较大改变, 可能影响产品性能时;
- c) 正常生产每满 2 年时;

- d) 产品停产 1 年以上，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- f) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时。

8.4 抽样规则

型式检验的样本应从出厂检验合格的同一批次产品中随机抽取。抽样基数不少于10卷（盘），抽样数量为3卷（盘）。

8.5 判定规则

8.5.1 所有型式检验项目均符合本文件要求时，判定该批产品型式检验合格。

8.5.2 若有任何一项检验结果不符合本文件要求，则判定该次型式检验不合格。允许在同批次产品中加倍抽样，对不合格项及因检验破坏而可能受影响的关联项目进行复验。若复验结果全部合格，则仍可判定该批产品型式检验合格；若复验结果仍有任何一项不合格，则判定该批产品型式检验不合格。

8.6 质量证明文件

出厂产品应附有质量证明文件，内容至少应包括以下内容：

- a) 制造厂名称；
- b) 产品名称、型号、规格；
- c) 本文件编号；
- d) 原材料牌号及质量证明书编号；
- e) 出厂检验结果；
- f) 生产日期（或批号）；
- g) 检验员签章及检验部门公章。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

线轴应标注以下内容：

- a) 产品标记；
- b) 直径；
- c) 长度；
- d) 材质；
- e) 生产日期；
- f) 批号；
- g) 执行标准号。

9.2 包装

9.2.1 微绳应卷绕在直径 ≥ 100 mm 的线轴上，外层用防潮纸包裹，外罩防尘袋。

9.2.2 线轴应标注缠绕方向（捻向）。

9.3 运输

9.3.1 产品在运输过程中应防止受潮、雨淋、暴晒、碰撞和挤压。

9.3.2 运输工具应清洁、干燥，无腐蚀性物质。

9.4 贮存

9.4.1 产品应贮存在干燥、通风、清洁的库房内，远离热源和腐蚀性物质。

9.4.2 贮存温度为 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 80%。

9.4.3 产品应按规格、批号分类存放，存放期限不超过 2 年，超过期限应重新检验，合格后方可使用。

10 验收

10.1 钢丝绳出厂前的验收，由供方进行。

10.2 需方的验收可自己进行，也可以委托有钢丝绳检验资质的单位进行，验收的依据是本文件和订货合同及供方质量证明书。

10.3 从出厂日期算起，钢丝绳的验收时限应在 3 月以内。

11 仲裁

11.1 当供需双方对产品有争议时，应在双方同意的检测机构按本文件和订货合同进行仲裁试验。

11.2 若这些试验结果符合本文件和订货合同要求，应判定该钢丝绳合格。

12 安全使用和维护

钢丝绳的安全使用和维护应符合 GB/T 29086 的规定。
