

团 体 标 准

T/SZRCA 011—2025

人形机器人专用线缆技术规范

2025 - 11 - 07 发布

2025 - 12 - 01 实施

深圳市机器人特种线缆行业协会 发 布

目 次

前言	IIII
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	5
4 产品型号、产品名称及产品表示方法	6
5 线缆结构的一般要求	6
5.1 导体	6
5.2 隔离层	7
5.3 绝缘	7
5.4 填充、包带、内衬层和加强件	9
5.5 屏蔽	9
5.6 护套	10
6 标志	12
6.1 产地标志和线缆识别	12
6.2 绝缘线芯识别	13
7 试验	13
7.1 一般要求	13
7.2 结构检查	14
7.3 火花试验	14
7.4 绝缘和护套材料的物理性能试验	14
7.5 成品物理性能试验	15
7.6 成品电气性能试验	15
7.7 阻燃试验	16
7.8 动态可靠性试验	16
8 检验规则	17
9 包装、运输和贮存	18
附录 A（规范性） 动态可靠性试验的一般要求	20
附录 B（规范性） U 形拖链试验方法	21
附录 C（规范性） 循环弯折试验方法	23
附录 D（规范性） 垂直扭转试验方法	25
附录 E（规范性） 弯折及旋转试验方法	26
附录 F（规范性） 2D 直线扭转试验方法	27
附录 G（规范性） 3D 扭转试验方法	28
附录 H（规范性） 转盘扭转试验方法	29

附录 I（规范性）	产品的表示方法	30
附录 J（信息性）	电线载流量	32

前 言

本规范按照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。

请注意本规范的某些内容可能涉及专利。本规范的发布机构不承担识别这些专利的责任。

制定背景：“针对人形机器人高动态运动场景中线缆的弯扭寿命、信号完整性等特殊需求，制定本规范。”

本规范由深圳市机器人特种线缆行业协会提出并归口。

本文件起草单位：新亚电子股份有限公司、广州番禺电缆集团有限公司、江西中臻通讯科技有限公司、苏州拓博机械设备有限公司、无锡鑫宏业线缆科技股份有限公司、东莞宝特电业股份有限公司、和昌电业（肇庆）有限公司、东莞市同亚电子科技有限公司、江苏亨通线缆科技有限公司、深圳讯诺科技有限公司、深圳市成天泰电缆实业发展有限公司、莱茵技术监督服务（广东）有限公司、中兴通讯股份有限公司、广东南缆电缆有限公司、VDE、神宇通信科技股份公司、浙江三科线缆股份有限公司、深圳市金泰科环保线缆有限公司、深圳市金环宇电线电缆有限公司、浙江元通线缆制造有限公司、重庆华旗线缆有限公司、宁波聚泰新材料科技有限公司、深圳市永隆信科技有限公司、广东安拓普聚合物科技股份有限公司、深标智能检测与评定技术服务（深圳）有限公司、杭州临安森源电缆有限公司、瀛通通讯股份有限公司、远东电缆有限公司、深圳市红旗电工科技有限公司、深圳金信诺高新技术股份有限公司、东莞市领康特种导体有限公司、东莞市钿威电子科技有限公司、东莞市越铎电子科技有限公司、安徽聚芯智造科技股份有限公司、江苏星基智能装备有限公司、江西优尔检测认证有限公司、苏州瑞可达连接系统股份有限公司、东莞市万丰科技有限公司、江苏艾立可电子科技有限公司、安徽鑫海高导新材料有限公司、江阴市志骏电器线缆有限公司、中天科技装备电缆有限公司、四川新蓉电缆有限责任公司、深圳市机器人特种线缆行业协会、迈特诺（马鞍山）特种电缆有限公司、准析（上海）科技有限公司、广东祥利科技集团有限公司、江苏利多多利新材料科技股份有限公司、珠海汉胜科技股份有限公司、东莞市联科线缆科技有限公司、新雅电线电缆（深圳）有限公司、乐庭电线工业（常州）有限公司、深圳市希承科技有限公司、长沙恒飞电缆有限公司、远程电缆股份有限公司、深圳市迈尔盛绝缘材料有限公司、派纳维森（苏州）电气科技有限公司、上海卡迪夫电缆有限公司、中天射频电缆有限公司。

本文件主要起草人：杜江、卢广业、胡超云、叶建荣、崔久德、滕建华、罗军民、赵刚、路鑫、于国庆、尹灵、张丽颖、刘靖、陈帅雨、孔智豪、承滨、王新华、张海斌、王伟旋、王世军、张学彬、姚虎、姚正刚、赵立芬、乔森、黄显谋、薛盈利、陈兴武、陈志平、王谦、左新明、康钦奎、李广斌、程积龙、尔立民、斯红超、李志萍、杨仪文、彭振、耿亚平、马志军、周佳龙、乔恩、黄湘赣、王兆兵、汪呈胜、熊英、王学森、寿皓、刘华伟、颜涛、李华锋、吴新友、王波、郑长亮、李维开、曹波、陆俊杰、赵伍、张伟、赵瑞静、李耀荣、王少佳、林翠玲、樊星伟、陈晖、李军。

人形机器人专用线缆技术规范

1 范围

本规范规定了人形机器人动力及控制信号专用线缆的使用特性、技术要求，电缆标志、试验方法和要求、检验规则以及线缆的包装、运输和贮存。

本规范适用于额定电压 30Vac、90Vac、125Vac和300Vac的人形机器人动力线缆、控制信号线缆、数据线缆等。应用部位包括但不限于人形机器人的膝关节、腕关节等高频运动部位。

2 规范性引用文件

下列标准对于本规范的引用必不可少，凡是注明日期的引用标准，仅注日期的版本适用于本规范。凡是不注明日期的引用标准，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

GB/T 2900.10 电工术语 电缆

GB/T 2951.11-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第11部分：通用试验方法——厚度和外形尺寸测量——机械性能试验

GB/T 2951.12-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第12部分：通用试验方法——热老化试验方法

GB/T 2951.14-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第14部分：通用试验方法——低温试验

GB/T 2951.21-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第21部分：弹性体混合料专用试验方法——耐臭氧试验——热延伸试验——浸矿物油试验

GB/T 2951.31-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第31部分：聚氯乙烯混合料专用试验方法——高温压力试验——抗开裂试验

GB/T 2951.32-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第32部分：聚氯乙烯混合料专用试验方法——失重试验——热稳定性试验

GB/T 3048.4-2025 电线电缆电性能试验方法 第4部分：导体直流电阻试验

GB/T 3048.5-2007 电线电缆电性能试验方法 第5部分：绝缘电阻试验

GB/T 3048.8-2007 电线电缆电性能试验方法 第8部分：交流电压试验

GB/T 3048.9-2007 电线电缆电性能试验方法 第9部分：绝缘线芯火花试验

GB/T 3048.10-2007 电线电缆电性能试验方法 第10部分：挤出护套火花试验

GB/T 3048.14-2007 电线电缆电性能试验方法 第14部分：直流电压试验

GB/T 4909.2-2009 裸电线试验方法 第2部分：尺寸测量

GB/T 5023.2-2008 额定电压450/750V及以下聚氯乙烯绝缘电缆 第2部分：试验方法

GB/T 12643-2025 机器人词汇

GB/T 16895.6-2014 低压电气装置 第5-52部分：电气设备的选择和安装 布线系统

GB/T 18380.12-2008 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第12部分：1kW预混合型试验方法

GB/T 18380.22-2008 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第22部分：单根绝缘细电线电缆火焰垂直蔓延试验 扩散型火焰试验方法

GB/T 25085.2 汽车电缆 第2部分 试验方法

JB/T 8137-2013 电线电缆交货盘

JB/T 10181.11-2014 电缆载流量计算 第11部分 载流量公式(100%负荷因素)和损耗计算 一般规定

JB/T 10181.21-2014 电缆载流量计算 第21部分：热阻 热阻的计算

T/SZRCA 002-2024 机器人特种线缆测试技术规范

T/SZRCA 007-2023 机器人特种线缆专用铜箔丝材料技术规范

ANSI/ASTM B.3 Standard Specification for Soft or Annealed Copper Wire

ANSI/ASTM B. 33 Standard Specification for Tin-Coated Soft or Annealed Copper Wire for Electrical Purposes

ANSI/ASTM B105-2005 Standard Specification for Hard-Drawn Copper Alloy Wires for Electric conductors

ANSI/ASTM D5374 Standard Specification for Forced-Convection Laboratory Ovens for Evaluation of Electrical Insulation

ANSI/ASTM D5423 Standard Specification for Forced-Convection Laboratory Ovens for Evaluation of Electrical Insulation

IEC 60287-1-1 Electric cables - Calculation of the current rating - Part 1-2: Current rating equations (100 load factor) and calculations of losses - General

IEC 60304:1982 Standard colours for insulation for low-frequency cables and wires

IEC 60364-5-52 Low-voltage electrical installations - Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment - Wiring systems

IEC 62153-4-3:2013 metallic communication cable test methods Part 4-3: electromagnetic compatibility (EMC) - surface transfer impedance - Triaxial method

IEC 62153-4-4:2015 Electromagnetic compatibility (EMC) - Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation as up to and above 3 GHz

ISO 1817 Rubber, Vulcanized or thermoplastic - Determination of the effect of liquids

CEN/TS 13388 -2020 Copper and copper alloys - compendium of compositions and products

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

3.1

标称值 nominal value

指定的量值并经常用于表格之中。

注：在本规范中，通常标称值引伸出的量值在考虑规定公差下通过测量进行检验。

3.2

中间值 medium value

将试验得到的若干数值以递增（或递减）的次序依次排列时，若数值的数目是奇数，中间的那个值即是；若数值的数目是偶数，中间两个数值的平均值即是。

3.3

额定电压 rated voltage

指线缆的长期工作电压，也叫标称电压；

3.4

例行试验 (R) routine tests

由制造方在成品线缆的所有制造长度上进行的试验，以检验所有线缆是否符合规定要求。

3.5

抽样试验 (S) sample tests

由制造方按规定的频度在成品线缆试样上，或在取自成品线缆的某些部件上进行的试验，以检验线缆是否符合规定要求。

3.6

型式试验 (T) type tests

按一般商业原则对本规范所包含的一种类型线缆在供货前所进行的试验,以证明线缆具有能满足预期使用条件的良好性能。

注1:型式试验的特点是除非线缆材料、设计或制造工艺的改变可能改变线缆的特性,否则试验做过以后不需要重做。

3.7

人形机器人 Humanoid robot

是指外形和运动方式模仿人类身体结构和动作,具备一定等级具身智能(一定程度感知、决策和交互能力)的机器人

注1:人形机器人包括:

- 操作机,含制动器;
- 控制器,包括示教盒和某些通信接口(硬件和软件)。
- 模组,集成多种功能核心关键部件

注2:这包括某些集成的附加轴。

4 产品型号、产品名称及产品表示方法

4.1 产品型号

人形机器人专用线缆以“HR”或“HR0”作为产品型号,其中“HR0”表示耐油(IRM902矿物油)等级的线缆。

4.2 产品名称

人形机器人专用线缆名称以“温度等级+结构+规格+电压”表示。结构名称按线缆结构顺序“导体-绝缘-屏蔽-护套”表示,其中导体、绝缘、护套、屏蔽层的表示方法详见附录I

5 线缆结构的一般要求

5.1 导体

5.1.1 导体材质

导体可使用裸或镀锡的铜和铜合金导体、铜箔丝(铜皮软线)导体,导体类型及表示方法见下表1。

表1 导体类型及表示方法

导体类型	表示方法(代号)	标准	说明
裸铜	C	ASTM B3	可省略
镀锡铜	TC	ASTM B33	/
裸铜合金	AC	CEN/TS13388	铜锡/铜银/铜镁等
镀锡铜合金	TAC	CEN/TS13388	铜锡/铜银/铜镁等
铜箔丝(铜皮软线)	TS	T/SZRCA 007-2023	/

裸铜导体应符合ANSI/ASTM B.3标准要求,导体直流电阻应符合表2要求;

镀锡导体应符合ANSI/ASTMB.33标准,导体直流电阻应符合表2要求。

铜合金导体类型可采用CEN/TS13388或ASTM B 105中的型号,可镀锡也可不镀锡,其导体直流电阻应符合表2要求。

表 2 导体直流电阻

线规(截面) AWG (mm ²)	20℃ 直流电阻 Ω/km.max				线规(截面) AWG (mm ²)	20℃ 直流电阻 Ω/km.max			
	裸铜	镀锡铜	裸铜合金	镀锡铜合金		裸铜	镀锡铜	裸铜合金	镀锡铜合金
34(0.020)	892	960	1274	1371	20(0.52)	34.6	36.7	49.4	52.4
32(0.032)	553	595	790	850	18(0.82)	21.8	23.2	31.1	33.1
30(0.05)	354	381	506	544	16(1.31)	13.7	14.6	19.6	20.9
28(0.08)	223	239	319	341	14(2.08)	8.62	8.96	12.31	12.80
26(0.13)	140	150	200	214	12(3.3)	5.43	5.64	7.76	8.06
24(0.21)	87.6	94.2	125.1	134.6	10(5.3)	3.490	3.546	4.986	5.066
22(0.32)	55.4	59.4	79.1	84.9	8(8.3)	2.144	2.230	3.063	3.186

注：“（）”里为单位为mm²的公制截面

5.1.2 导体结构

导体可使用束绞或复绞构成，束绞或复绞单元节距建议不大于15倍导体绞合外径；推荐复绞导体最外层绞向为S向。

导体可采用铜箔丝(铜皮软线)加强，铜箔丝(铜皮软线)导体应符合《T/SZRCA 007-2023 机器人特种线缆专用铜箔丝材料技术规范》。

表2中各线规的导体规格结构(单线根数和线径)应由供需方双方协商确定。

5.2 隔离层

导体与绝缘之间可有隔离层,隔离层可由薄膜或带子等绕包或拖包构成。

隔离层应能随绝缘层一起被剥除而不损伤导体或导体镀层(若有)。

5.3 绝缘

5.3.1 绝缘材料的类型及温度等级

绝缘材料的类型和长期运行工作温度的等级按下表3。

表 3 线缆材料的类型、表示方法及温度等级

材料类型	表示方法(代号)	用途	温度等级
聚氯乙烯	V	绝缘/护套	80℃或105℃
聚乙烯	Y	绝缘	80℃
聚丙烯	P	绝缘	105℃
乙烯-四氟乙烯(ETFE)	F	绝缘	150℃
TPPE热塑性弹性体及类似材料	T	绝缘	125℃
TPE热塑性弹性体及类似材料	T1	护套	80℃或105℃
聚氨酯类弹性体	U	护套	80℃
硅橡胶	S	绝缘或护套	150℃

表 4 绝缘材料的性能要求

序号	试验项目	单位	混合物的型号						
			PVC	PVC	聚乙烯	聚丙烯	ETFE	TFEE	硅橡胶
			V-80	V-105	Y	P	F	T	S
1	物理性能								
1.1	原始性能								
1.1.1	抗张强度最小中间值	MPa	12.5	12.5	12.5	15	34.5	22	5.5
1.1.2	断裂伸长率最小中间值	%	150	150	150	200	100	250	150
1.2	空气烘箱老化后性能								
1.2.1	老化条件								
	—温度	℃	113±2	136±2	113±2	113±2	180±3	158±3	180±3
	—时间	h	168	168	168	168	168	168	240
1.2.2	老化后抗张强度	MPa	/	/	/	/	/	/	5.0
1.2.3	老化后抗张强度残余率最小中间值	%	70	70	70	70	85	85	/
1.2.4	老化后断裂伸长率	%	/	/	/	/	/	/	50
1.2.5	老化后断裂伸长率残余率最小中间值	%	65	65	65	65	70	70	/
2	失重试验								
2.1	试验条件								
	老化温度	℃	113±2	136±2	/	/	/	/	
	老化时间	h	168	168	/	/	/	/	
2.2	失重最大值	mg/cm ²	2	2	/	/	/	/	
3	热冲击试验								
3.1	试验条件								
	试验温度	℃	150±2	150±2	125±2	125±2	180±3	158±3	
	试验时间	h	1	1	1	1	1	1	
3.2	试验要求		无开裂						
4	高温压力试验								
4.1	试验条件								
	—刀口上施加的压力		见 GB/T2951.31-2008 中 8.1.4						
	—载荷下加热时间		见 GB/T2951.31-2008 中 8.1.5						
	—温度	℃	90±2	105±2	100±2	121±2	/	/	/
4.2	试验要求								
	压痕深度最大中间值	%	50	50	50	50	/	/	/

5.3.2 结构

绝缘应紧密挤包在导体或隔离层外，并应能够被剥除而不损伤绝缘、导体或其金属镀层（若有）。

5.3.3 绝缘厚度和绝缘外径

绝缘厚度任意点最小值应不小于表5要求。任何隔离层的厚度不包括在绝缘厚度内。
绝缘的外径应符合表5要求

表5 绝缘厚度及外径

AWG	导体最大 外径 mm	30V/90V/125V			300V		
		绝缘最小厚度 mm	绝缘外径 mm		绝缘最小厚度 mm	绝缘外径 mm	
			最大	最小		最大	最小
34(0.020)	0.21	0.15	0.67	0.57	0.18	0.75	0.65
32(0.032)	0.26	0.15	0.72	0.62	0.18	0.80	0.70
30(0.05)	0.31	0.15	0.77	0.67	0.18	0.85	0.75
28(0.08)	0.41	0.15	0.87	0.77	0.18	0.95	0.85
26(0.13)	0.52	0.18	1.06	0.96	0.20	1.15	1.05
24(0.21)	0.65	0.18	1.20	1.10	0.20	1.25	1.15
22(0.32)	0.86	0.18	1.40	1.30	0.20	1.45	1.35
18(0.82)	1.1	0.20	1.80	1.60	0.24	1.90	1.70
16(1.31)	1.2	0.20	1.90	1.70	0.24	2.00	1.80
14(2.08)	1.65	0.20	2.35	2.15	0.24	2.45	2.25
12(3.3)	2	0.24	2.90	2.60	0.32	3.10	2.80
10(5.3)	2.55	0.24	3.45	3.15	0.32	3.65	3.35
8(8.3)	3.25	0.24	4.15	3.85	0.32	4.35	4.05
12(3.3)	3.9	0.24	4.80	4.50	0.32	5.00	4.70

5.4 填充、包带、内衬层和加强件

5.4.1 结构

为保证缆芯圆整，可使用填充和挤出内衬层使缆芯圆整，填充和内衬层应易剥离而不损伤线缆的其它结构；

为增加线缆强度和动态疲劳性能，可在缆芯中间填充加强件；

为保证线缆结构稳定，可使用包带，包带可拖包也可绕包于缆芯上；

5.4.2 材料

填充材料应适合线缆的工作运行温度，应为非吸湿性材料且与线缆绝缘和护套相容，不能与绝缘、绕包带层或护套材料产生有害反应；

绕包材料可为无纺布或纸质材料，并应为非吸湿性材料。

内衬材料应与绝缘或护套相同或相似材料，见表3或表6；

加强件可以如是钢丝绳、芳纶、尼龙丝等等金属和非金属材质。

5.4.3 内衬层厚度

内衬层厚度不作要求，以缆芯填充圆整为准，或由供需双方协商确定。

5.5 屏蔽

5.5.1 屏蔽层结构和材质

屏蔽层可采用铝塑复合带、铜金属丝编织、铜金属丝缠绕等形式，也可采用其组合的复合形式，金属丝类型可以是裸或镀锡铜和铜合金、铜箔丝(铜皮软线)。

屏蔽层应均匀，有铝塑复合带时，铝塑复合带的重叠率应不小于 25%；

5.5.2 编织/缠绕屏蔽层结构

当屏蔽层为编织时，每锭可采用均一根数和同一外径单线构成，也可采用复合结构，如每锭加入一根或多根铜箔丝(铜皮软线)构成。

有铝塑复合带编织或缠绕复合屏蔽时，其金属屏蔽层密度不小于 60%；无铝塑复合带时，屏蔽层密度不小于 65%。

5.5.2.1 编织屏蔽层密度按下公式1计算：

$$P = (2p - p^2) \times 100 \quad (1)$$

式中： P 为金属屏蔽层编织密度，%；
p 为单向覆盖系数。

$$p = \frac{mnd}{\pi D} \sqrt{1 + \frac{\pi^2 d^2}{L^2}} \times 100\% \quad (2)$$

式中： D—屏蔽层的节圆直径，mm；
d—金属丝的直径，mm；
m—同一方向的锭子数；
n—每锭的单线根数；1
L—节距，mm。

5.5.2.2 金属丝缠绕屏蔽层密度按上式2计算，此时：

式中： p—缠绕屏蔽密度，%
D—屏蔽层的节圆直径，mm；
d—金属丝的直径，mm；
m=1；
n—缠绕丝根数；
L—节距，mm

5.5.3 金属屏蔽性能(EMC)

金属屏蔽性能由供需双方评估决定，其表征性能可使用“屏蔽层直流电阻”、“转移阻抗 Z_T ”、“屏蔽衰减 α_s ”等等。当线缆还应符合其它有EMC相关性能要求的标准时(如USB协会标准)，线缆屏蔽性能则应符合对应标准中的相关EMC要求。

5.6 护套

5.6.1 材料

线缆护套类型应是表3中所列的材料类型，其包覆在屏蔽层或缆芯外。护套材料温度等级应适合于线缆正常运行时的工作温度等级。

护套物理性能应符合“表6”中护套材料的性能要求。

表6 护套性材料的性能要求

序号	试验项目	单位	混合物的型号						
			PVC	PVC	TPE	TPE	TPU	TPU	硅橡胶
			V-80	V-105	T1-80	T1-105	U-80	U-105	S
1	物理性能								
1.1	原始性能								
1.1.1	抗张强度最小中间值	MPa	15	15	10.3	10.3	15	15	7.0
1.1.2	断裂伸长率最小中间值	%	150	150	200	200	200	200	150
1.2	空气烘箱老化后性能								
1.2.1	老化条件								
	—温度	℃	113±2	136±2	113±2	136±2	113±2	136±2	180±3
	—时间	h	168	168	168	168	168	168	240
1.2.2	老化后抗张强度	MPa	/	/	/	/	/	/	7.0
1.2.3	老化后抗张强度残余率最小中间值	%	70	70	70	70	75	70	/
1.2.4	老化后断裂伸长率	%	/	/	/	/	/	/	50
1.2.5	老化后断裂伸长率残余率最小中间值	%	65	65	65	65	75	75	/
2	失重试验								
2.1	老化条件								
	老化温度	℃	113±2	136±2	/	/	/	/	/
	老化时间	h	168	168	/	/	/	/	/
2.2	失重最大值	mg/cm ²	2	2	/	/	/	/	/
3	热冲击试验								
3.1	试验温度	℃	150±2	150±2	150±2	150±2	150±2	150±2	150±2
	试验时间	h	1	1	1	1	1	1	1
3.2	试验要求		无开裂						
4	高温压力试验								
4.1	试验条件								
	-刀口上施加的压力		见 GB/T2951. 31-2008 中 8.1.4						
	-载荷下加热时间		见 GB/T2951. 31-2008 中 8.1.5						
	-温度	℃	90±2	105±2	90±2	90±2	90±2	/	/
4.2	压痕深度最大中间值	%	50	50	50	50	50	/	/
4.1	试验条件								

表6 (续)

序号	试验项目	单位	混合物的型号						
			PVC	PVC	TPE	TPE	TPU	TPU	硅橡胶
			V-80	V-105	T1-80	T1-105	U-80	U-105	S
	-刀口上施加的压力		见 GB/T2951. 31-2008 中 8.1.4						
	-载荷下加热时间		见 GB/T2951. 31-2008 中 8.1.5						
	-温度	℃	90±2	105±2	90±2	90±2	90±2	105±2	/
	压痕深度最大中间值	%	50	50	50	50	50	50	/
5	耐油试验								
5.1	试验条件								
	油的温度	℃	60±2	60±2	60±2	60±2	60±2	60±2	60±2
	浸油时间	h	24	24	24	24	24	24	24
5.2	试验要求								
	抗张强度最大变化率 a	%	±30	±30	±30	±30	±30	±30	±30
	断裂伸长率最大变化率	%	±30	±30	±30	±30	±30	±30	±30

5.6.2 结构

护套应层挤包在缆芯上,且不粘连绝缘线芯;允许由薄膜或带子经过拖包或绕包组成的隔离层置于护套下。

可根据产品需要,护套可嵌入成缆线芯之间的空隙构成填充。

5.6.3 外形

有护套线缆可按客户要求为圆形、扁形或椭圆形;

当护套线缆为圆形时,其椭圆度(最大外径和最小外径之差与线缆平均外径之比)应不大于15%。

5.6.4 厚度

护套厚度如客户无其他要求,则护套的标称厚度不应小于 $0.05D_0+0.25\text{mm}$,其中 D_0 为挤包护套前缆芯的直径。

护套厚度测量值的平均值应不小于标称厚度,任一点的护套厚度应不小于标称厚度的80%,护套厚度应不包括任何内衬层和隔离层的厚度。

6 线缆标志

6.1 产地标志和线缆识别

6.1.1 一般要求

线缆应有制造厂名、产品型号规格的连续标志。厂名标志可以是制造厂的名称或商标。

产品型号表示方法见附录I。

标志可以用印刷、凸印或凹印在外护套上。

6.1.2 标志连续性

- 一个完整标志的末端与下一个标志的首端之间的距离(见图1示例)应不超过下列长度要求:
- 如果标志在线缆的外护套上, 为100mm;
 - 如果标志在无护套线缆的绝缘上以及其它情况下, 为75mm。



图 1 标识连续性

6.1.3 清晰度和持久性

线缆的所有标识应清晰。

印刷标志应耐擦。应该通过以下试验检查是否满足要求。

用浸过水的脱脂棉或棉布, 轻轻擦拭10次, 然后目力检查, 线缆表面印字应基本不变。

6.2 绝缘线芯识别

绝缘线芯应使用不同颜色区分和辨认, 颜色符合IEC60304-1982中的标准颜色。

线芯颜色由供需双方协商确定, 推荐颜色:

动力线: 红色、黑色,

控制信号线: 棕、橙、黄、蓝、绿、紫、灰、白。

当线芯使用组合颜色时, 绿/黄色组合色专门用作识别连接接地或类似保护用途的绝缘线芯。

组合颜色可使用单条, 也可使用双条; 其中主色占绝缘线芯表面65%~90%, 辅色占绝缘线芯表面的10%~35%。

7 试验

7.1 一般要求

室温环境除非供需双方协商另有规定, 试验应在室温环境(23±5)℃下进行。

全部试验应在绝缘或护套挤出后存放至少16h预处理后才能进行;

应按表7规定的试验项目, 检查产品是否符合设计要求;

表7 人形机器人专用线缆的试验项目

章节	试验项目	试验类型	试验方法及章节
7.2	结构检查		
7.2.1	导体检查和测试	S, T	8.1.1
7.2.2	绝缘厚度的测量	S, T	GB/T 2951.11—2008 8.1
7.2.3	金属屏蔽层密度的测量	S, T	5.5.3
7.2.4	护套厚度的测量	S, T	GB/T 2951.11—2008 8.2
7.2.5	线缆外径的测量	S, T	GB/T 2951.11—2008 8.3
7.2.6	圆形线缆的椭圆度测量	S, T	GB/T 5023.2-2008 1.11
7.3	火花试验		
7.3.1	绝缘线芯火花试验	R	GB/3048.9
7.3.2	完整金属屏蔽层护套线缆的火花试验	R	GB/3048.10

表 7 (续)

章节	试验项目	试验类型	试验方法及章节
7.4	绝缘和护套材料的物理性能试验		
7.4.1	绝缘和护套老化前机械性能试验	T	GB/T 2951.11—2008 9
7.4.2	绝缘和护套老化后机械性能试验	T	GB/T 2951.11—2008 12
7.4.3	绝缘和护套失重试验	T	GB/T 2951.32—2008 8
7.4.4	绝缘和护套高温压力试验	T	GB/T 2951.31—2008 8
7.4.5	护套耐油试验	T	GB/T 2951.21—2008 10
7.5	成品物理性能试验		
7.5.1	热冲击试验	T	GB/T 2951.31—2008 9
7.5.2	低温卷绕试验	T	GB/T 2951.14—2008 8.1 和 8.2
7.5.3	绝缘线芯耐刮磨试验	T	GB/T 25085.2 5.3.2.5
7.6	成品电气性能试验		
7.6.1	导体直流电阻试验	S, T	GB/T 3048.4—2025
7.6.2	成品耐压试验	S, T	
7.6.3	绝缘电阻常数 K_i 的测试	T	GB/T 3048.5—2007 & 8.4.2.3
7.6.4	金属屏蔽层电气性能试验	T	
7.6.4.1	屏蔽层直流电阻试验	T	GB/T 3048.4—2025
7.6.4.2	屏蔽层转移阻抗试验	T	IEC 62153-4-3
7.6.4.3	屏蔽衰减试验	T	IEC 62153-4-4
7.6.4.3	接口标准、通信标准或协会标准的 EMC 和 SI 性能试验	T	客户要求
7.7	阻燃试验	T	GB/T 18380.12—2008 或 GB/T 18380.22—2008
7.8	动态可靠性试验		
7.8.1	成品线缆的 U 形拖链试验	T	T/SZRCA 002-2024 7.4/附录 B
7.8.2	成品线缆循环弯折试验	T	附录 C
7.8.3	成品线缆垂直扭转试验	T	附录 D
7.8.4	成品线缆弯折及旋转试验	T	T/SZRCA 002-2024 7.2/附录 E
7.8.5	成品线缆 2D 扭转试验	T	T/SZRCA 002-2024 7.5/附录 F
7.8.6	成品线缆 3D 扭转试验	T	T/SZRCA 002-2024 7.6/附录 G
7.8.7	成品线缆转盘扭转试验	T	T/SZRCA 002-2024 7.8/附录 H

7.2 结构检查

7.2.1 导体

7.2.1.1 导体根数检查

可使用目视力检查导体根数，也可使用采用视觉系统的计数设备；当导体根数超过100根时，允许±5%的偏差。

7.2.1.2 导体单丝外径测量

导体单线外径的测试工具应符合《GB/T 4909.2 裸电线试验方法 第2部分 尺寸测量》杠杆机械千分尺或数显千分尺；

7.2.1.2.1 导体为单一单线外径构成时，单线外径按以下方法确定：

a) 束绞导体：

应按照束绞方向的反向将导体散开，至少抽取7根单线进行检测，抽样时尽量覆盖内层及外层，每根单线测其最大外径和最小外径，导体单径外径值按至少14个值平均所得，保留小数点后三位有效数字。

b) 复绞导体

复绞单元单线外径按“a)”进行测试；复绞单元不超过7组时，单线外径最终值为所有组单线外径值的平均值。当超过7组时，则至少为7组单线外径值的平均值。

7.2.1.2.2 导体为组合单线外径或加入铜箔丝（铜皮软线导体）时，由供需双方确定是否测试导体单线外径；

7.2.1.3 绞合导体外径不作要求，仅作参考

7.2.2 绝缘厚度的测量

绝缘厚度的测量按照 GB/T 2951.11—2008 中 8.1 中的规定测量每根线芯的绝缘最小厚度。

7.2.3 金属屏蔽层密度的测量

7.2.3.1 对于无铜箔丝（铜皮软线）的金属屏蔽层密度，其单线根数按7.2.1.1方法进行确定；单线外径任意抽测至少7根进行最小值和最大值测量，取至少14个值的平均值作为单线外径，保留小数点后三位有效数字，然后依据5.5.2方法进行计算后取整。

7.2.3.2 对于含有铜箔丝（铜皮软线）的金属屏蔽层密度，按供需双方协商确定是否进行屏蔽层密度要求和或其评估方法。

7.2.4 护套厚度的测量

护套厚度按照 GB/T 2951.11—2008 中 8.2 的规定进行测量最小厚度和平均厚度。

7.2.5 线缆外径的测量

线缆外径的测量应按 GB/T 2951.11—2008 中 8.3 的规定进行。

7.2.6 圆形线缆的椭圆度测量

圆形线缆的椭圆度按照GB/T 5023.2-2008 中1.11的规定进行。

7.3 火花试验

7.3.1 绝缘线芯火花试验

绝缘线芯应在整个长度上按GB/T 3048.9-2007要求经受火花电压测试不被击穿；

火花测试设备应符合GB/T 3048.9-2007中规定的火花试验机，当测试设备为直流火花机时，直流火花电压值应为交流火花电压值的 3 倍。绝缘火花试验电压详见下表8

表 8 火花试验电压 单位:V

额定电压,AC	30	90	125	300
交流试验电压,AC	1500	1500	1500	3000
直流试验电压,DC	4500	4500	4500	9000

7.3.2 完整金属屏蔽层护套线缆的火花试验

有完整金属屏蔽层护套的线缆,其护套应在整个长度上按GB/T 3048.10-2007要求经受在线火花电压测试不被击穿;

火花测试设备应符合GB/T 3048.9-2007中规定的工频或直流火花试验机,当测试设备为直流火花机时,则直流火花电压值为交流火花电压值的 3 倍。绝缘火花试验电压同表7;

7.4 绝缘和护套材料的物理性能试验

7.4.1 绝缘和护套老化前机械性能试验

绝缘和护套机械性能试验按照GB/T 2951.11—2008 中 9 的规定进行。试验条件要求,绝缘按表4要求进行,护套按表6要求进行,其试验结果应符合表4和表6要求。

7.4.2 绝缘和护套老化后机械性能试验

绝缘和护套老化性能测试按照GB/T 2951.12—2008 的规定进行。试验条件要求,绝缘按表4要求进行,护套按表6要求进行,其试验结果应分别符合表4和表6要求。

注:空气老化烘箱应符合ASTM D5374或ASTM D5423的强制通风烘箱,在规定的老化温度下,烘箱内全部空气更换次数每小时应不小于100次,也不应大于200次。

7.4.3 绝缘和护套失重试验

绝缘和护套的失重试验按照GB/T 2951.32—2008中第 8 的规定进行。试验条件,绝缘线芯依据表4,护套依据表6,其试验结果应分别符合表4和表6要求。

7.4.4 绝缘和护套高温压力试验

绝缘和护套的高温压力试验按照GB/T 2951.31—2008中第 8 的规定进行。试验条件要求,绝缘线芯依据表4,护套依据表6,其试验结果应分别符合表4和表6要求。

7.4.5 护套耐油试验

护套的耐油试验按照GB/T 2951.21 第 10 章的规定进行护套浸矿物油试验;试验条件依据表6,试验用油除非客户另有规定,使用的矿物油应是 ISO 1817 规定的 IRM902 号油,其试验结果应符合表6要求。

7.5 成品物理性能试验

7.5.1 热冲击试验

成品线缆应按照GB/T 2951.31—2008中第 9 的规定进行热冲击试验。试验条件要求,绝缘线芯依据表4,护套依据表6,试验后,线芯或护套应无目视可见裂纹。

7.5.2 低温卷绕试验

绝缘线芯和护套应按GB/T 2951.14—2008中 8.1和8.2要求进行低温卷绕试验,试验温度-25℃,弯曲半径为线芯或护套外径的2倍,试验后,线芯或护套应无目视可见裂纹;

7.5.3 绝缘线芯耐刮磨试验

绝缘耐刮试验按照GB/T 25085.2 汽车电缆 第2部分 试验方法 5.3.2.5 进行，其试验结果要求应由供需双方协商确定，下表9 为推荐性耐刮磨次数要求。

表9 刮针刮磨要求

截面	AWG	34~31	30~29	28~27	26~25	24~23	22~21	20~19	18
	mm ²	0.02~0.40	0.05~0.06	0.08~0.10	0.13~0.16	0.22~0.25	0.35~0.40	0.51~0.64	0.75
刮针	mm	0.45±0.01							
压重	N±0.5	4				7			
次数	min	70	80	90	100	125	150	300	350
截面	AWG	17	16	15	14	13	12	11~8	—
	mm ²	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3	4~6	—
刮针	mm	0.45±0.01							
压重	N±0.5	7							
次数	min	400	400	450	500	550	600	700	—

7.6 成品电气性能试验

7.6.1 导体直流电阻试验

成品绝缘线芯的导体直流电阻试验，应按GB/T 3048.4—2025方法进行，对于多芯线缆，应在所有线芯的导体上进行，试验结果应符合第 5 章中表2要求。

7.6.2 成品耐压试验

试验应按GB/T 3048.8—2007 进行正弦交流耐压试验，或按GB/T 3048.14—2007 进行直流耐压试验，试验施加电压按下表10，施压时间5分钟。

表 10 线缆耐压试验电压 单位：V

额定电压,AC	30	90	125	300
交流试验电压,AC	500	1000	1500	2000
直流试验电压,DC	1500	3000	4500	6000

对于单芯电线或无金属屏蔽层护套线缆，电压应施加在每线芯和水之间；对于有完整金属屏蔽层的线缆，电压应施加在每线芯和金属屏蔽层之间。

试验电压应逐渐升高到规定值，绝缘应无击穿。

7.6.3 绝缘电阻常数 K_i

本试验应在进行耐压试验的同一试样上进行（耐压试验应先进行）。

试验应按GB/T 3048.5—2007规定的方法，在70±2℃的水浴箱中测量绝缘线芯的绝缘电阻。

直流测试电压应为(80~500)V,测试时间应不少于1min且不超过5min。
绝缘电阻常数 K_i 由所测得的绝缘电阻值按公式(3)计算。

$$K_i = \frac{L \times R \times 10^{-11}}{\lg(D/d)} \quad \text{----- (3)}$$

式中:

K_i ——绝缘电阻常数,单位为欧姆·毫米, $\Omega \cdot \text{mm}$;

L ——线缆长度,单位为毫米,mm;

R ——测得的绝缘电阻,单位为欧姆, Ω ;

D ——绝缘外径,单位为毫米,mm;

d ——绝缘内径,单位为毫米,mm。

从式3所得的 K_i 值应不小于 $10^9 \Omega \cdot \text{mm}$ 。

7.6.4 金属屏蔽层电气性能试验

7.6.4.1 屏蔽层直流电阻试验

取典型样品一根,小心剥去样品护套后,按7.6.1方法进行测试。

样品制备时,应使屏蔽层保持原形,不应使屏蔽层散乱、褶皱、断丝等,适当方法是保持非夹持位置的护套,仅剥掉夹具夹持位置的护套。

测试结果应符合供需双方协商的要求。

7.6.4.2 屏蔽层转移阻抗试验

试验依据IEC 62153-4-3进行,测试结果应符合供需双方要求。

7.6.4.3 屏蔽衰减试验

试验依据IEC 62153-4-4进行,测试结果应符合供需双方要求。

7.6.4.4 接口标准、通信标准或协会标准的EMC和SI性能试验

当产品需符合接口标准、通信标准或协会标准的EMC性能和SI性能要求时,试验按其标准中相应条款进行。

7.7 阻燃试验

成品线缆阻燃试验应按GB/T 18380.12-2008方法进行;对于细绝缘电线,当按GB/T 18380.12-2008的试验方法,在试验中发生电线熔断不能继续测试和试验结果判定时,则按GB/T 18380.22-2008的试验方法进行。

试验样品应进行3根,且3根样品的试验结果都应符合GB/T 18380.12-2008或GB/T 18380.22-2008 附录A的要求;

7.8 动态可靠性试验

线缆动态可靠性试验依据实际应用环境选择一个或多个动态试验,试验设备应符合附录B~附录H中的设备要求,试验结果的评定应符合附录A的要求,其中试验次数或级数的要求应由供需双方协商确定。

7.8.1 成品线缆U形拖链试验

本试验适用于需长期拖链应用的护套线缆。

试验按照附录B的方法进行

7.8.2 成品线缆循环弯折试验

本试验适用于机器人或机械臂本体线缆。

试验按照附录C的方法进行。

7.8.3 成品线缆垂直扭转试验

本试验适用于机器人或机械臂本体线缆

试验按照附录D的方法进行。

7.8.4 成品线缆弯折及旋转试验

本试验适用于机器人或机械臂本体线缆
试验按照附录E的方法进行

7.8.5 成品线缆 2D 扭转试验

本试验适用于机器人或机械臂本体线缆
试验按照附录F的方法进行。

7.8.6 成品线缆 3D 扭转试验

本试验适用于机器人或机械臂本体线缆
试验按照附录G的方法进行

7.8.7 成品线缆转盘扭转试验

本试验适用于机器人或机械臂本体线缆
试验按照附录H的方法进行

8 检验规则

产品应由制造方的质量检验部门检验合格后方能出厂，出厂的线缆应附有产品检验合格证书。客户要求时，制造方应提供产品的工厂试验报告或/和型式试验报告。

9 包装、运输和贮存

9.1 成圈或成盘线缆应卷绕整齐，妥善包装。电缆盘应符合《JB/T 8137-2013 电线电缆交货盘》的规定。线缆的两个端头应有可靠的防水或防潮密封，成盘线缆伸出盘外的端头应牢靠地固定在电缆盘上。

9.2 在每圈或每盘出厂的电缆上应附有产品检验合格证，产品检验合格证应放在不透水的塑料袋内。

9.3 每圈或每盘线缆应标明：

- 制造厂名或商标；
- 线缆额定电压、型号和规格；
- 线缆长度，m；
- 毛重，kg；
- 制造年月；
- 标准编号或认证标志

9.4 运输和贮存应符合下列要求

- 线缆应避免露天存放，线缆盘不应平放；
 - 运输中不应从高处推下卷装线缆或装有线缆的电缆盘，不应机械损伤线缆；
- 吊装包装件时，不应多盘同时吊装。在车辆、船舶等运输工具上，电缆盘应放稳，并用适当的方法固定，防止互撞或翻倒

附 录 A （规范性）
动态可靠性试验的一般要求

A.1 动态可靠性试验的样品数量

动态可靠性试验的样品应取样3个；

A.2 动态可靠性的分级

各种动态可靠性试验的分级统一按下表A.1进行

表A.1 线缆动态可靠性分级标准

动态可靠性等级	1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级	8级
往复运动最小次数 (万次)	10	50	100	300	500	1000	2000	3000

A.3 动态可靠性试验后结果的评价

动态可靠性结果的评价，可选择但不仅于以下要求。

A.3.1 检查承受动态疲劳区域的样品表面，若是护套线缆，还应检查其内部线芯表面，应无目力可见开裂；应忽略固定夹具附过的裂纹或表面轻度磨损；应所有3个样品都合格；

A.3.2 试样的所有线芯应不发生断线，金属屏蔽层（如有）应可导通；应所有3个样品都合格；

A.3.3 进行成品线缆耐压试验，应不发生击穿；应所有3个样品都合格；

A.3.4 按 GB/T 3048.4-2025 标准要求进行试验前后导体直流电阻测试，试验前后的电阻变化率应符合以下要求：动力线芯导体直流电阻变化率不超过 10%；非动力线芯导体直流电阻变化率不超过 15%。应所有3个样品都合格；

A.3.5 动态可靠性的定级应按三个样品中位值进行；

附录 B (规范性) U 形拖链试验方法

B.1 适用范围

本试验方法适用于长期拖链使用的线缆。

B.2 试验方法及设备

- 试验方法按团体标准 T/SZRCA 002-2024《机器人特种线缆测试技术规范》中 7.4 规定进行——速度、加速度及行程可调的拖链运动装置，示意图见图 B.1；
- 选取合适链轨，确保轨道内高至少高于线缆直径 1/5，但不大于 1 倍的拖链链轨；
- 计数器记录移动次数。链轨移动端从 A 点移动到 A' 点，再回到 A 点，为 1 次。
- 导通信号装置，监控试样的导通状态。

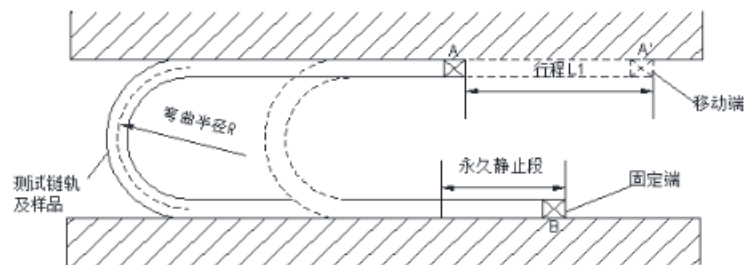


图 B.1 拖链试验装置图



图 B.2 拖链内布线示意图

B.3 取样和试样制备

- 取适量长度线缆 3 段，试样长度至少应保证试样在整个测试过程中，线缆绝缘线芯不受来自电缆固定端 B 和移动端 A (A') 的纵向拉力。
- 将用于拖链试验的电缆两端去除护套约 50mm，同时去除试样两端绝缘及以外的所有护层，露出导体约 15mm。
- 测试试样的直流电阻，取整根试样测试，并换算到每 km 长度电阻值。
- 将每根绝缘线芯串联。如需要，可外接一根绝缘线芯，使整根线缆所有绝缘线芯形成一个通路。

B.4 试验步骤

按试样的外径选取合适的拖链链轨，使试样的弯曲半径由供需双方协商确定，推荐要求为：半径不大于如下要求：动力线缆为 $7.5D \pm 15\%$ ，信号线缆为 $10D \pm 15\%$ ，取其接近的整数，D 为线缆测量外径。将拖链链轨固定于设备底座，固定点为 B。链轨长度应满足链轨的移动需要，当链轨移动端由 A 到达极限位置 A' 时，固定端链轨的永久静止段长度应不小于其实际弯曲半径的 2 倍。

将试样一端固定在图 B. 1 所示设备 A 处，并将试样沿拖链轨道布线，布线方法如图 A. 2 所示。

布线时每个试样间预留一定间隙，除试样两端与链轨的固定点外，不增加其它固定点，且试样两端固定位置正常目视无明显压痕

设置拖链移动端平均速度和行程，由供需双方协商确定，推荐按如下表 B. 1。

连接信号导通装置，启动试验

表 B. 1 行程长度和移动速率

行程长度 L	移动速率
$L \leq 0.5\text{m}$	80 次/分钟
$0.5 < L \leq 1\text{m}$	60 次/分钟
$1 < L \leq 5\text{m}$	30 次/分钟
$5 < L \leq 10\text{m}$	20 次/分钟

附录 C (规范性) 循环弯折试验方法

C.1 适用范围

本试验方法适用于机器人或机械臂本体线缆。

C.2 试验设备

本试验使用设备示意图如图E.1所示。设备包括：

- 循环弯折驱动装置；
- 符合弯折半径要求的滚轮，两滚轮间距离可根据电缆外径调节，滚轮可双向灵活转动；
- 设备上端为弯折端，上端固定点距离滚轮中心连线的高度不小于1.2倍滚轮直径；
- 计数器记录循环弯曲次数。试样从中心位置向左侧弯折 $90^{\circ} \pm 2^{\circ}$ 后回到中心，再向右侧弯折 $90^{\circ} \pm 2^{\circ}$ ，再次回到中心位置记录为1个循环；
- 导通装置监控试样的导通状态；
- 若需要，可增加防止挂重摆动的导向装置。

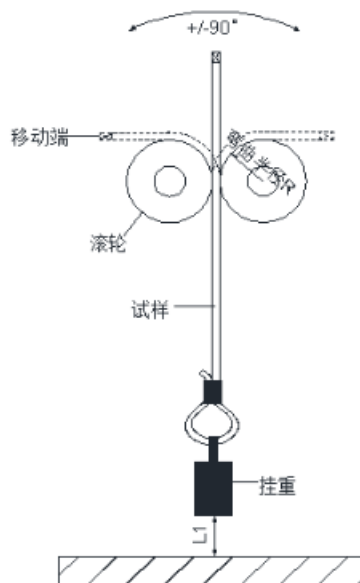


图 C.1 弯曲试验示意图

C.3 取样和试样制备

- 取适量长度线缆3段，并从每段线缆分别截取不小于1.5米作为弯折试验前导体直流电阻试样，弯折试验上端固定点与挂重固定点之间的距离不小于0.6m。
- 将进行弯折试验的电缆试样两端去除护套约50mm，同时去除试样两端绝缘及以外的所有护层，露出导体约15mm。
- 测试试样的直流电阻，取整根试样测试，并换算到每km长度电阻值。
- 将每根绝缘线芯串联。如需要，可外接一根绝缘线芯，使整根电缆所有绝缘线芯形成一个通路。

C.4 试验步骤

选择合适半径的滚轮，滚轮半径(R)由供需双方协商确定，推荐不大于 $10D \pm 5\%$ ，取与其接近的整数，D为电缆外径，当计算所得R值超过200mm时按以200mm计。

按线缆测量外径调节两滚轮间的距离，一般两滚轮间距离不小于1.2D，以避免夹具施加应力于试样上，可选的方案是在每样品两端加塞一金属棒。

按图C.1所示固定试样，上端固定在循环弯折的摆杆上，下端按表C.1要求选择挂重，挂重最下端距离地面不小于0.1m。

固定应牢固，固定后应使用记号笔或其它方式在试样与治具或设备上合适位置标记限位，试验过程如果限位位移长度超过滚轮圆周10%，应重新取样试验。

循环弯折的挂重应以使线缆整直为准，应由供需双方协商确定，不应过大施加垂直拉应力；对于非拖链型电缆，推荐挂重为样品拉断力的1/10。

循环弯折速度由供需双方协商确定，应小于30次/分钟。

表C.1 循环弯折挂重要求

导体总截面积 S, mm^2	$S \leq 0.08$	$0.08 < S \leq 0.5$	$0.5 < S \leq 1.5$	$1.5 < S \leq 4$	$4 < S \leq 16$	$S > 16$
挂重, g	50	100	200	300	500	1000
注：导体总截面积指所有导体的截面积之和。						

附录 D
(规范性)
垂直扭转试验方法

D.1 适用范围

本试验方法适用于机器人或机械臂本体线缆。

D.2 试验设备

本试验使用设备示意图如图D.1所示，设备也可下端固定上端扭转。设备包括：

- 扭转运动驱动装置；
- 计数器记录扭转次数。试样从垂直位置向左侧扭转一定角度后回到起始位置，再向右侧扭转一定角度，再次回到起始位置记录为1次；
- 导通装置监控试样的导通状态；
- 若需要，可在试样下端挂重。

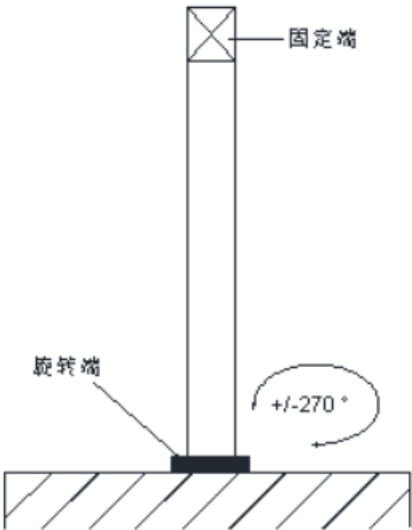


图 D.1 扭转试验示意图

D.3 取样和试件制备

- 取适量长度试样三段，取样长度满足扭转试验上端固定点与旋转端之间的距离L不小于0.6m的安装要求。
- 将电缆两端去除护套约50mm，同时去除试样两端绝缘及以外的所有护层，露出导体约15mm。
- 测试试样的直流电阻，取整根试样测试，并换算到每km长度电阻值。
- 将每根绝缘线芯串联。如需要，可外接一根绝缘线芯，使整根电缆所有绝缘线芯形成一个通路。

D.4 试验步骤

将试样两端固定在图F.1所示的设备上，试样线芯与设备导通。

试样在固定端与旋转端之间应自然悬垂，试样长度为1.05L，以确保试样运转至极限位置时，试样不受纵向拉伸。

固定试样两端，夹具固定时应不损坏试样表面。

设定试验扭转角度和速度。推荐试样的扭转角度为 $\pm (270^\circ \pm 5^\circ)$ 。

扭转速度不少于30次/分钟。

附 录 E
(规范性)
弯折及旋转试验方法

E.1 试验设备及试验方法

本试验应使用图E. 1所示设备进行。试验方法按团体标准T/SZRCA 002-2024《机器人特种线缆测试技术规范》中7.2规定进行。

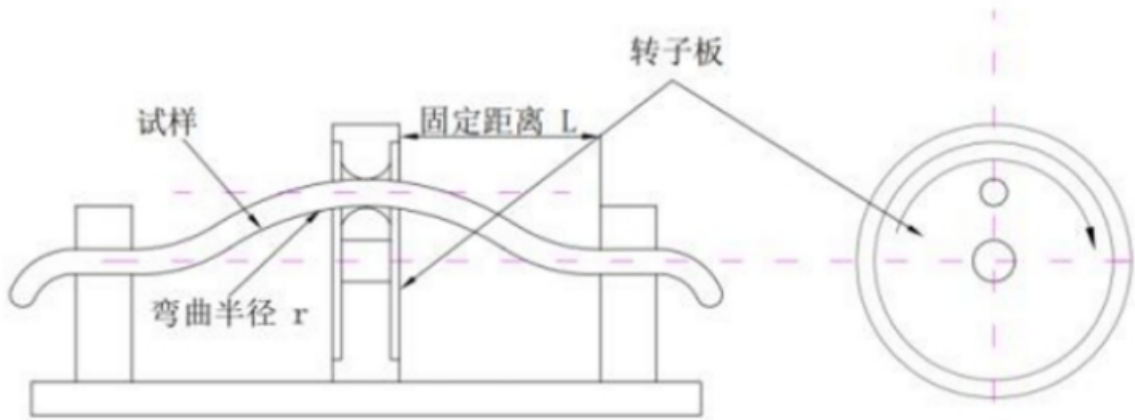


图 E. 1 弯折及旋转试验示意图

E.2 试验步骤

将样品线缆两端脱剥除护套（如有）50mm，同时将试样两端的绝缘线芯剥除绝缘15mm；
并将剥除绝缘的所有绝缘线芯串联，最后空闲一个或两个线头无需接通；
将串联后的绝缘线芯组连接在导通仪正负极，整根线缆的绝缘线芯连接形成一个通路。
弯曲半径由供需双方协商确定。一般按成品线缆外径的倍数进行。
旋转速度最小30次/每分钟进行。

附录 F
(规范性)
2D 直线扭转试验方法

F.1 试验设备及试验方法

本试验应使用图E1所示设备进行。试验方法按团体标准T/SZRCA 002-2024《机器人特种线缆测试技术规范》中7.5规定进行。

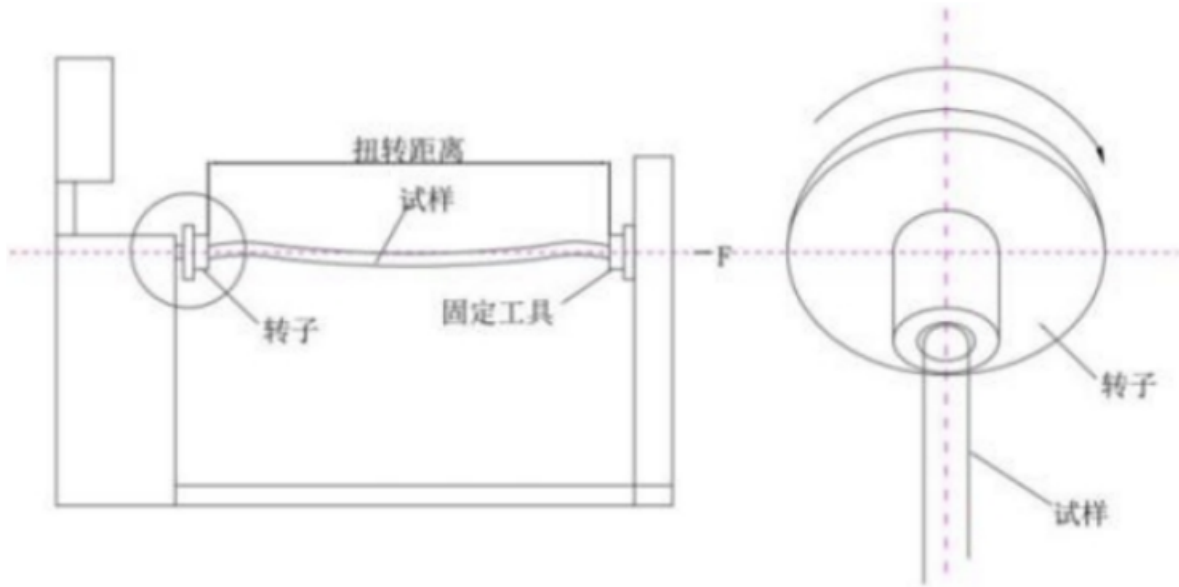


图 F.1 2D 扭转示意图

F.2 试验步骤

把样品固定在转子上，两转子之间的样品长度应余留5%的可扭转距离空间。
转子的旋转角度按供需双方确定的角度进行
扭转速度不小于30次/分钟。

附录 G
(规范性)
3D 扭转试验方法

G.1 试验设备及试验方法

本试验应使用图G.1所示设备进行。试验方法按团体标准T/SZRCA 002-2024《机器人特种线缆测试技术规范》中7.6规定进行。

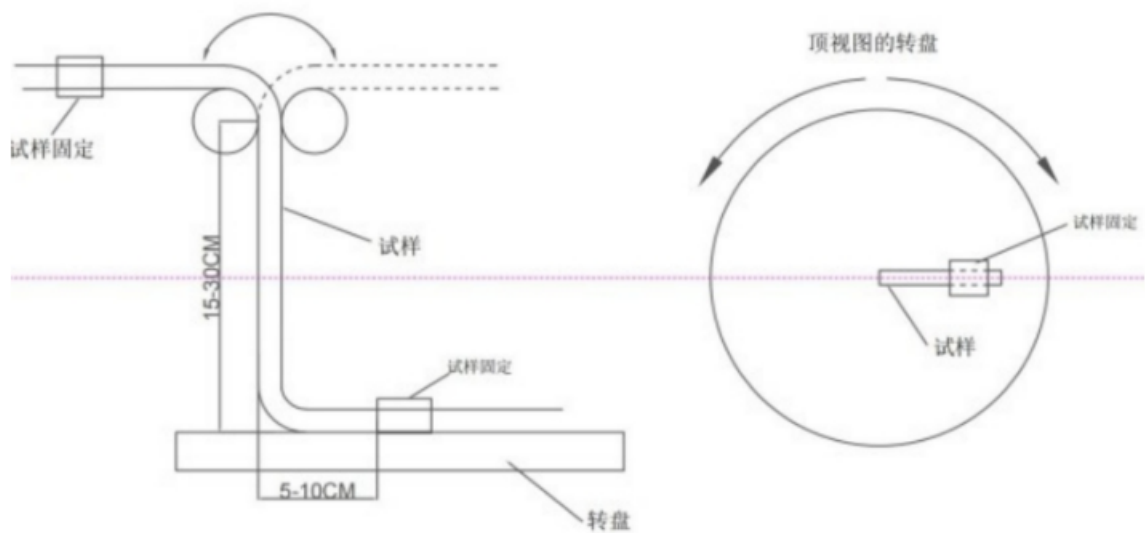


图 G.1 3D 扭转试验

G.2 试验步骤

把样品按图 G.1 示意固定。
扭转速度不小于 30 次/分钟，扭转 360° 为一次。

附录 H
(规范性)
转盘扭转试验方法

H.1 适用对象

此试验仅适用于外径小于5.0mm的小外径线缆；

A.1 试验设备及试验方法

本试验应使用图 H.1 所示设备进行。试验方法按团体标准 T/SZRCA 002-2024 《机器人特种线 缆测试技术规范》中 7.8 规定进行。

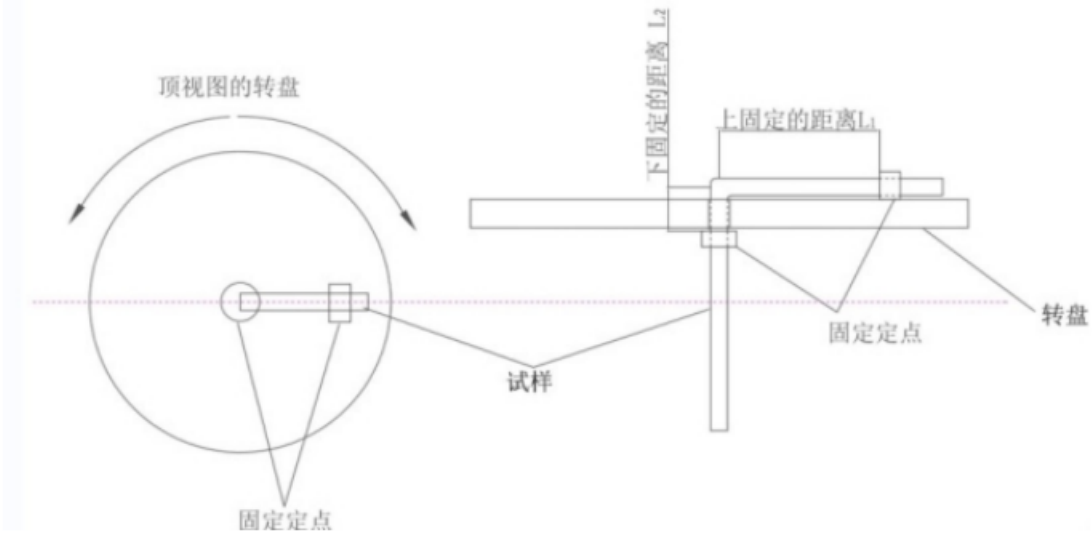


图 H.1 转盘扭转示意图

H.2 试验步骤

把样品按图 G.1 示意固定, 其中上固定点 L1 距离上转盘为 170mm, 上固定点 L2 距离上转盘为 35mm。扭转速度不小于 30 次/分钟, 扭转 360° 为一次。

附录 I
(规范性)
产品的表示方法

I.1 电缆表示方法

产品型号和规格的组成和排列顺序：型号名称+温度等级+结构+规格+电压的形式，如图I. 1所示。

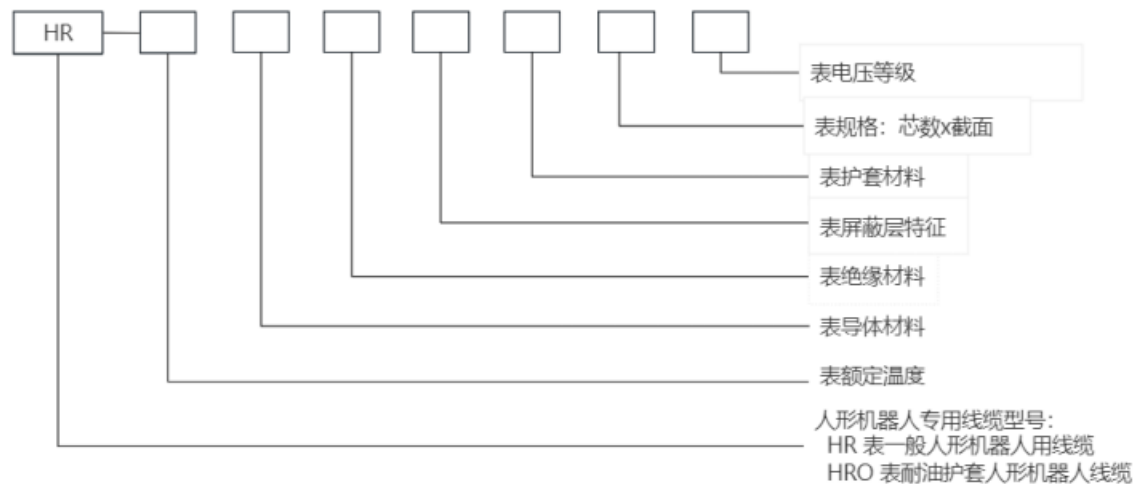


图 I.1 产品表示方法

I.2 代号（汇总）

I 2.1 产品型号名称代号	
HR	一般人形机器人用电缆
HRO	耐油护套人形机器人用电缆
I 2.2 导体类型代号	
C	裸铜导体
TC	镀锡铜导体
AC	裸铜合金导体
TAC	镀锡铜合金导体
TS	铜箔丝(铜皮软线)
I 2.3 绝缘类型代号	
V	聚氯乙烯混合材料
T	TPEE类热塑性弹性体及类似绝缘材料
Y	聚乙烯绝缘
P	聚丙烯绝缘
F	乙烯-四氟乙烯共聚(ETFE)绝缘
S	硅橡胶绝缘
I 2.4 护套类型代号	

V	聚氯乙烯混合材料
T1	热塑性弹性体材料TPE或类似合成材料
U	聚氨酯弹性体护套
S	硅橡胶护套
I2.5 屏蔽层结构特性代号	
P	裸铜丝或镀锡铜丝编织屏蔽
P1	裸铜丝或镀锡铜丝缠绕屏蔽
P2	铝塑复合带屏蔽
P3	铝塑复合带+镀锡铜丝屏蔽
P4	铝塑复合带+镀锡缠绕屏蔽
P5	铜箔丝(铜皮软线) 编织屏蔽
P6	铜箔丝(铜皮软线) 缠绕屏蔽

I.3 产品表示示例

示例：额定电压 300V，绝缘为耐温等级为 125℃的 TPPE 材料，导体为镀锡铜丝，铝塑复合带+镀锡铜丝屏蔽，3 芯 24AWG 的聚氨酯护套人形机器人用线缆产品表示为：

示例：HR-125 TCTP4U 3×24AWG 300V

附录 J
电线载流量（信息类）

J.1 载流量计算说明

本附录依据 JB/T 10181.11-2014 (Idt IEC60287-1-1) 《电缆载流量 第11部分 载流量公式和损耗计算 一般规定》第 “1.4.2.2 5KV以下直流电缆” 章节编写。

J.2 单芯电线的载流量计算公式

$$I_1 = \sqrt{\frac{T_c - T_A}{r_0(1 + 0.00393(T_c - 20)) \cdot (\frac{P_1}{2\pi} \log_e \frac{d_2}{d_1} + \frac{10 \cdot (500 + 10d_2)}{\pi \cdot d_2})}}$$

式中 I_1 : 单根载流量, A 安培
 T_c : 额定温度, °C
 T_A : 环境温度, °C
 r_0 : 导体在 20°C 下的导体直流电阻, Ω /cm
 d_1 : 导体外径, mm
 d_2 : 绝缘外径, mm
 P_1 : 绝缘材料的固有热阻, °C. cm/W, 见表 J.1 绝缘材料的固有热阻

表J.1 绝缘材料的固有热阻

材料类型	固有热阻 (°C. cm/W)
聚氯乙烯	600
聚乙烯	350
聚丙烯	350
乙烯—四氟乙烯 (ETFE)	450
TPEE 热塑性弹性体及类似材料	350
TPE 热塑性弹性体及类似材料	350
聚氨酯类弹性体	450
硅橡胶	450

注：本表参考JB/T 10181.21-2014，有些资料或文献中会引用不同的数值，对最终载流数值影响较小。

J.3 成束电线或多回路的载流量

多根成束敷设时，其载流量会相应下降，其载流量公式为：

$I_n = I_1 \cdot K$, 其中下降系数K按下 表J. 2。

表J. 2 成束敷设时的载流下降系数

根数	1	2	3	4	5	6~7	8~10	11~12
K	1	0.8	0.7	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4

J.4 多芯带护套线缆的载流量

多芯带护套线缆的载流量理论计算复杂，可先按JB/T 10181-2014或参考GB/T 16895.6-2014 (Idt IEC60364-5-52) 进行理论计算，再用试验方法验证。

J.5 附载流量参考表，供选用时参考

表J.3 环境温度30℃电线载流表/A(参考)

截面 AWG (mm ²)	电线额定温度			
	80° C	105° C	125° C	150° C
34(0.020)	0.57	0.91	0.99	1.1
32(0.032)	0.78	1.2	1.3	1.6
30(0.05)	1.3	1.7	1.8	2.1
28(0.08)	2	2.2	2.4	2.8
26(0.13)	2.6	3	3.2	3.7
24(0.21)	3.9	4	4.4	5
22(0.32)	5.2	7	8	9
20(0.52)	6.5	9	10	13
18(0.82)	9.8	15	16	17
16(1.31)	12	19	20	22
14(2.08)	18	29	31	34
12(3.3)	23	36	39	43
10(5.3)	31	46	50	55
8(8.3)	42	64	69	76

在非30℃温度环境时，按下表系数进行降额计算：

表J.4 环境温度影响系数

环境温度(° C)	电线额定温度				环境温度 e (° F)
	80° C	105° C	125° C	150° C	
31-35	0.94	1	1	1	87-95
36-40	0.88	1	1	1	96-104
41-45	0.82	0.93	0.94	0.95	105-113
46-50	0.75	0.93	0.94	0.95	114-122
51-55	0.67	0.85	0.87	0.9	123-131
56-60	0.58	0.85	0.87	0.9	132-140
61-70	0.33	0.76	0.8	0.85	141-158
71-80		0.65	0.73	0.8	159-176
81-90		0.53	0.64	0.74	177-194
91-100		0.38	0.54	0.67	195-212
101-120			0.24	0.52	213-248
121-140				0.3	249-284