

团体标准

T/CES XXX-2021

热电偶用聚全氟乙丙烯绝缘补偿电缆

FEP insulated compensating cables for thermocouples

征求意见稿

2021-XX-XX 发布

2021-XX-XX 实施

中国电工技术学会 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 2

4 产品品种、类别、规格 2

 4.1 产品品种及类别 2

 4.2 产品等级 2

 4.3 使用特性及分类 2

 4.4 特征代号 3

 4.5 规格 4

5 技术要求 4

 5.1 导体 5

 5.2 绝缘层 5

 5.3 分对节距及识别 7

 5.4 分对屏蔽 7

 5.5 成缆 7

 5.6 总屏蔽层 7

 5.7 内衬层（隔离套） 8

 5.8 铠装 9

 5.9 外护套 10

6 成品电缆 12

 6.1 导体结构 12

 6.2 绝缘厚度 12

 6.3 分对节距 12

 6.4 分对屏蔽 12

 6.5 成缆 12

 6.6 总屏蔽 12

 6.7 内衬层（隔离套）厚度 12

 6.8 铠装 12

6.9 外护套	12
6.10 电压试验	12
6.11 绝缘电阻	13
6.12 热电特性及允差	13
6.13 绝缘机械物理性能	13
6.14 护套机械物理性能	13
6.15 阻燃性能	13
6.16 标志	13
7 检验规则和试验方法	13
8 交货长度	14
9 包装及贮运	14
附录 A（规范性附录） 假定的计算方法	16
附录 B（规范性附录） 耐酸碱试验方法	19
附录 C（资料性附录） 补偿电缆的往复电阻值	20

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这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件主要起草单位：国家特种电线电缆产品质量检验中心（安徽）、安徽新科电缆集团股份有限公司、安徽天康（集团）股份有限公司、安徽铁信光电科技有限公司、新疆维吾尔自治区产品质量监督检验研究院、北京天成瑞源电缆有限公司、安徽华能电缆集团有限公司、新亚特电缆股份有限公司、安徽华宇电缆集团有限公司、特变电工股份有限公司新疆线缆厂、安徽宏源特种电缆股份有限公司、安徽龙庵电缆集团有限公司、新疆胡杨线缆制造有限公司、安徽百商百德电缆有限公司、无锡江南电缆有限公司、山东聊城信源集团有限公司、安徽纵横高科电缆股份有限公司、池州起帆电缆有限公司、铜陵长江铜业有限公司、贵州天虹志远电线电缆有限公司、安徽徽宁电器仪表集团有限公司。

本文件主要起草人：凌宗勇、王海岭、李才有、王峥、夏知、胡超、田兆云、邹强、凌峰、姚晋、巫志、谢太阶、崔志、王良雨、张红艳、徐成业、夏喜明、王小伟、关保林、高国彪、付世财、韩惠福、水利飞、廉辉、张小平、魏善恒、李杰尉、方国华、魏正枪、皇甫富莲、王宗民、常云德、鲍大章、姚迎国、王云、华齐东。

本文件为首次发布。

热电偶用聚全氟乙丙烯绝缘补偿电缆

1 范围

本文件规定了热电偶用聚全氟乙丙烯绝缘补偿电缆（以下简称电缆）的术语和定义、产品品种、类别、规格、技术要求、成品电缆、检验规则和试验方法、交货长度、包装及贮运等。

本文件适用于配用S、R、K、E、J、T、N型热电偶的聚全氟乙丙烯绝缘补偿电缆，其绝缘层以挤包聚全氟乙丙烯作为主体材料。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 2900.10 电工术语 电缆

GB/T 2951.11 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（IEC 60811-1-1: 2001, IDT）

GB/T 2951.12 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（IEC 60811-1-2: 1985, IDT）

GB/T 2951.13 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 13 部分：通用试验方法 密度测定方法 吸水试验—收缩试验（IEC 60811-1-3: 2001, IDT）

GB/T 2951.14 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（IEC 60811-1-4: 1985, IDT）

GB/T 2951.21 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（IEC 60811-2-1: 2001, IDT）

GB/T 2951.31 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 31 部分：通用试验方法 聚氯乙烯混合料专用试验方法 高温压力试验 抗开裂试验（IEC 60811-3-1: 1985, IDT）

GB/T 2951.32 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（IEC 60811-3-2: 1985, IDT）

GB/T 12706.1-2020 额定电压 1 kV（Um = 1.2 kV）到 35 kV（Um = 40.5 kV）挤包绝缘电力电缆及附件 第 1 部分：额定电压 1 kV（Um = 1.2 kV）到 3 kV（Um = 3.6 kV）电缆

GB/T 3048.5 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 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 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 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 4989-2013 热电偶用补偿导线

GB/T 6995.3 电线电缆识别方法 第 3 部分：电线电缆识别标志

GB/T 19666 阻燃和耐火电线电缆或光缆通则

JB/T 8137(所有部分) 电线电缆交货盘

JB/T 10696.7 电线电缆机械和理化性能试验方法 第 7 部分：抗撕试验

3 术语和定义

GB/T 2900.10、GB/T 4989-2013和GB/T 12706.1-2020界定的术语和定义适用于本文件。

4 产品品种、类别、规格

4.1 产品品种及类别

补偿电缆的产品品种、类别及其芯线合金丝见表 1。

表1 补偿电缆产品品种及型号

产品品种	配用热电偶	热电偶分度号	类别	芯线合金丝	
				正极	负极
铜-铜镍 0.6 补偿型电缆	铂铑 10-铂热电偶	S	SC	铜	铜镍 0.6
	铂铑 13-铂热电偶	R	RC		
铁-铜镍 22 补偿型电缆	镍铬-镍硅热电偶	K	KCA	铁	铜镍 22
铜-铜镍 40 补偿型电缆			KCB	铜	铜镍 40
镍铬 10-镍硅 3 延长型电缆			KX	镍铬 10	镍硅 3
铁-铜镍 18 补偿型电缆	镍铬硅-镍硅镁热电偶	N	NC	铁	铜镍 18
镍铬 14 硅-镍硅 4 镁延长型电缆			NX	镍铬 14 硅	镍硅 4 镁
镍铬 10-铜镍 45 延长型电缆	镍铬-铜镍热电偶	E	EX	镍铬 10	铜镍 45
铁-铜镍 45 延长型电缆	铁-铜镍热电偶	J	JX	铁	铜镍 45
铜-铜镍 45 延长型电缆	铜-康铜热电偶	T	TX	铜	铜镍 45

4.2 产品等级

补偿电缆按照热电特性及允差等级的不同分为精密级和普通级；按使用分类分为一般用和耐热用两类，具体见表 2 的规定。

表2 补偿电缆使用分类、耐温等级、允差等级标志

类别	补偿电缆使用分类	耐温等级	允差等级	
			普通级	精密级
一般用	G	100℃	不标（或 B）	S（或 A）
耐热用	H	180℃、200℃		

4.3 使用特性及分类

4.3.1 推荐的允许弯曲半径为：

- 有铜带、铜（铝）塑复合带屏蔽或金属铠装的补偿电缆，应不小于电缆外径的 16 倍；
- 其他结构的补偿电缆，应不小于电缆外径的 10 倍。

4.3.2 补偿电缆长期允许工作温度

- 105℃聚氯乙烯、105℃丁腈聚氯乙烯复合物护套补偿电缆长期允许工作温度为 100℃；

- b) 硅橡胶护套补偿电缆长期允许工作温度为 180 ℃；
- c) 聚全氟乙丙烯护套补偿电缆长期允许工作温度为 200 ℃。

4.4 特征代号

4.4.1 材料特征

聚全氟乙丙烯绝缘	F46
聚全氟乙丙烯护套	F46
硅橡胶护套	G
105 ℃聚氯乙烯护套	V
105 ℃丁腈聚氯乙烯复合物护套	VF

4.4.2 结构特征

双钢带铠装	2
钢丝铠装	3
105 ℃聚氯乙烯护套	2
铜丝编织屏蔽	P
镀锡丝编织屏蔽	P1
铜带屏蔽	P2
铝塑复合带屏蔽	P3
铜塑复合带屏蔽	P4
软结构	R

4.4.3 派生代号

电缆燃烧特性代号和表示方法及燃烧特性要求符合GB/T 19666 的规定。

4.4.4 其他代号

一般用补偿电缆	G
耐热用补偿电缆	H
热电动势允差为精密级	S(或A)
热电动势允差为普通级	省略(或B)

4.4.5 表示方法

- a) 7 对 2 芯 1.0 mm² KX 型聚全氟乙丙烯绝缘铜丝编织分屏蔽及总屏蔽硅橡胶护套耐热精密级热电偶用补偿电缆，表示为：

KX-HS-F46PGP 7×2×1.0 mm² T/CES ××××-2021

- b) 2 对 2 芯 1.5 mm² SC 型聚全氟乙丙烯绝缘铜丝编织分屏蔽及总屏蔽聚全氟乙丙烯护套耐热普通级热电偶用软补偿电缆，表示为：

SC-H-F46PF46RP 2×2×1.5 mm² T/CES ××××-2021

- c) 3 对 2 芯 1.5 mm² EX 型聚全氟乙丙烯绝缘铜丝编织分屏蔽及总屏蔽钢带铠装聚氯乙烯护套一般用普通级热电偶用补偿电缆，表示为：

EX-G-F46PVP22 3×2×1.5 mm² T/CES ××××-2021

- d) 4对2芯1.0 mm² KCA型聚全氟乙丙烯绝缘铜丝编织分屏蔽及总屏蔽钢带铠装硅橡胶护套耐热精密级热电偶用补偿电缆，表示为：
KCA-HS-F46PG2GP 4×2×1.0 mm² T/CES ××××-2021
- e) 5对2芯1.5 mm² RC型聚全氟乙丙烯绝缘铜丝编织分屏蔽及总屏蔽钢带铠装丁腈聚氯乙烯复合物护套一般用普通级热电偶用补偿电缆，表示为：
RC-GB-F46PV2VFP 5×2×1.5 mm² T/CES ××××-2021

4.4.6 型号

产品型号的组成和排列顺序见图1：

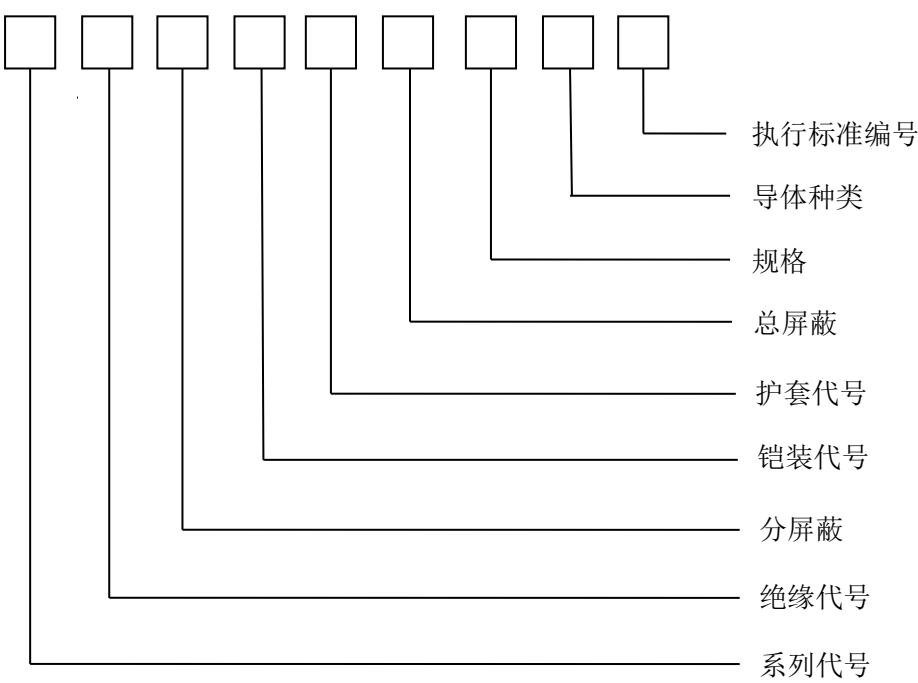


图1 型号组成说明

4.5 规格

补偿电缆规格见表 3。

表3 电缆的规格

产品特征	导体标称截面 mm ²					
	0.2	0.5	0.75	1.0	1.5	2.5
	对数					
无金属屏蔽	1-24					
金属分屏蔽	1-24					
金属总屏蔽	1-24					
金属分、总屏蔽	1-24					

5 技术要求

5.1 导体

5.1.1 线芯热电特性及允差

补偿电缆的芯线合金丝的热电特性及允差应符合GB/T 4989-2013第 5.1 条的规定。

5.1.2 导体结构

补偿电缆的导体分为单股线芯和多股线芯（软线）两种，导体根数、标称截面积、标称直径如表 4 所示。各种型号的不同规格的往复电阻值参见附录 C。

表4 线芯结构型式

导体结构	导体标称截面积 mm ²	导体根数	单线标称直径 mm
单股线芯	0.2	1	0.52
	0.5	1	0.80
	0.75	1	0.98
	1.0	1	1.13
	1.5	1	1.37
	2.5	1	1.76
多股线芯（软线）	0.2	7	0.20
	0.5	7	0.30
	0.75	7	0.37
	1.0	7	0.43
	1.5	7	0.52
	2.5	19	0.41

5.2 绝缘层

5.2.1 绝缘层应采用聚全氟乙丙烯材料，绝缘应紧密挤包在合金丝上且容易剥离，绝缘层应色泽均匀、表面平整、无机械损伤。

5.2.2 绝缘机械物理性能应符合表 5 的规定。

表5 绝缘的物理机械性能

序号	性能项目	单位	性能指标
1	机械性能 ^a		
1.1	原始抗张强度 最小中间值	N/mm ²	16.0
	原始断裂伸长率 最小中间值	%	200
1.2	空气箱烘老化试验		
	处理条件		
	——温度（偏差 ±3 ℃）	℃	240
	——时间	h	168
	老化后的抗张强度 最小中间值	N/mm ²	14.0
	变化率 ^b 最大	%	±30
	老化后的断裂伸长率 最小中间值	%	200
	变化率 ^b 最大	%	±30

表5 绝缘的物理机械性能（续）

序号	性能项目	单位	性能指标
2	抗开裂试验 试验条件 ——温度（偏差 ± 2 $^{\circ}\text{C}$ ） ——时间 试验结果	$^{\circ}\text{C}$ h	250 6 无裂纹
3	低温性能试验 ——低温弯曲试验 ——温度（偏差 ± 3 $^{\circ}\text{C}$ ） 试验结果	$^{\circ}\text{C}$	-55 无裂纹
4	耐酸碱试验		附录 B
注： ^a 绝缘机械性能试验时，拉伸速度应为 (50 ± 5) mm/min。 ^b 老化后的中间值与老化前的中间值之差与老化前中间值之比，以百分数表示。			

5.2.3 绝缘标称厚度见表6规定。绝缘的平均厚度应不小于标称厚度，其最薄处厚度应不小于标称厚度的 90 % - 0.1 mm。

表6 绝缘标称厚度

导体标称截面 mm^2	绝缘标称厚度 mm
0.2	0.3
0.5	0.4
0.75	0.4
1.0	0.4
1.5	0.4
2.5	0.4

5.2.4 绝缘的颜色应符合表7的规定。

表7 绝缘层和护套着色

补偿电缆型号	绝缘层颜色		护套颜色			
	正极	负极	一般用		耐热用	
			普通级	精密级	普通级	精密级
SC 或 RC	红	绿	黑	灰	黑	黄
KCA	红	蓝	黑	灰	黑	黄
KCB	红	蓝	黑	灰	黑	黄
KX	红	黑	黑	灰	黑	黄
NC	红	灰	黑	灰	黑	黄
NX	红	灰	黑	灰	黑	黄
EX	红	棕	黑	灰	黑	黄
JX	红	紫	黑	灰	黑	黄
TX	红	白	黑	灰	黑	黄

5.2.5 绝缘线芯应按 GB/T 3048.9 经受工频电压 4 kV 的火花试验检查。

5.3 分对节距及识别

5.3.1 分对节距

一对成品补偿电缆其正负极绝缘线芯允许采用平行排列结构外，两对及以上的补偿电缆，其正负极绝缘线芯应绞合成对，绞对外允许用非吸湿性包带扎紧。

绞对内线芯截面积为 1.5 mm^2 及以下时，非耐火型绝缘线芯绞合节距应不大于 100 mm，耐火型绝缘线芯绞合节距应不大于 120 mm。

绞对内线芯截面积为 2.5 mm^2 时，非耐火型绝缘线芯绞合节距应不大于 120 mm，耐火型绝缘线芯绞合节距应不大于 140 mm。

5.3.2 分对识别

分对之间可采用色带识别，也可采用其它方式进行识别。

5.4 分对屏蔽

5.4.1 分对屏蔽应采用软铜带或铜（铝）塑复合带绕包，铜丝或镀锡铜丝编织屏蔽，用于移动场合的宜采用铜丝或镀锡铜丝编织屏蔽。

5.4.2 屏蔽层内应采用聚酯带重叠绕包。屏蔽层外允许采用非吸湿性带材重叠绕包，或挤包合适的材料。

5.4.3 对于铜（铝）塑复合带屏蔽，屏蔽带下应纵放标称面积不小于 0.2 mm^2 的圆铜线或镀锡圆铜线作为引流线，复合带材其金属面应向内侧，确保屏蔽的电气连续性。

5.4.4 屏蔽用铜带或铜（铝）塑复合带的金属层最薄处厚度应不小于 0.05 mm。在屏蔽带的中间部位测量两处，取最小值作为最薄处厚度。

5.4.5 金属（复合）带屏蔽时，应采用一根金属带重叠绕包，最小搭盖率应不小于 15 %。

5.4.6 金属编织屏蔽层，编织屏蔽由软圆铜线或镀锡圆铜线构成，编织单线标称直径不小于 0.12 mm，编织密度不小于 80 %。编织密度按 5.6.3 计算，编织层不允许整体接续，露出的铜线头应修齐。每 1 m 长度上允许更换金属线锭一次。

5.5 成缆

5.5.1 多对按同心式绞合成缆，相邻层绞向相反，最外层绞向为右向。硬结构线芯最外层的绞合节距不大于绞合外径的 24 倍，软结构线芯最外层的绞合节距不大于绞合外径的 20 倍。

5.5.2 成缆间隙允许用在电缆最高工作温度下不会熔融的非吸湿性材料填充圆整。

5.5.3 缆芯外面允许绕包聚酯带或其他在电缆最高工作温度下不会熔融的非吸湿性带。

5.6 总屏蔽层

5.6.1 总屏蔽应采用软铜带或铜（铝）塑复合带绕包、铜丝或镀锡铜丝编织等型式。软电缆如用于移动场合宜采用金属丝编织结构型式。

5.6.2 总屏蔽层采用的铜带或铜（铝）塑复合带应符合 5.4.4 规定的，金属（复合）带屏蔽时，应采用一根金属带重叠绕包，最小搭盖率应不小于 15 %。铜（铝）塑复合带的金属面应向内侧，应在复合金属带下纵向放置标称面积不小于 0.5 mm^2 的圆铜线或镀锡圆铜线构成的引流线。

5.6.3 金属编织

如采用金属编织屏蔽层，编织屏蔽由软圆铜线或镀锡圆铜线构成，编织用铜线的标称直径见表 8 的规定，其编织密度应不小于 80 %。铜线编织层不允许整体焊接。

表8 编织屏蔽用单丝标称直径

单位：mm

屏蔽前假定直径 D1	单丝标称直径	屏蔽前假定直径 D1	单丝标称直径
D1≤10.0	0.15	20.0<D1≤30.0	0.25
10.0<D1≤20.0	0.20	D1>30.0	0.30

编织层编织密度按公式（1）计算

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

式（1）中： P——编织层编织密度，%；
p——单向覆盖系数。

$$p = \frac{mnd}{\pi D} \sqrt{1 + \frac{\pi^2 D^2}{L^2}} \dots\dots\dots (2)$$

式（2）中： D——编织层的节圆直径，mm；
d——编织铜线的直径，mm；
m——编织机同一方向的锭数；
n——每锭的编织线根数；
L——编织节距，mm。

5.7 内衬层（隔离套）

5.7.1 内衬层（隔离套）结构

铠装电缆应有内衬层（有屏蔽的铠装电缆为隔离套，除明确规定之外，统称内衬层），内衬层可以挤包或绕包，隔离套应挤包。绕包内衬层应采用多层带材绕包，每一层均应重叠绕包。

内衬层应不粘连绝缘线芯、屏蔽层和铠装层。

隔离套应按GB/T 3048.10经受工频电压火花试验检查。

5.7.2 内衬层（隔离套）材料

内衬层（隔离套）材料应是非吸湿性材料，且应与电缆外护套的温度相适应。

5.7.3 内衬层（隔离套）厚度

内衬层（隔离套）标称厚度见表 9 的规定，挤包内衬层（隔离套）的最薄处厚度应不小于标称厚度的 80 % - 0.2 mm（计算结果应修约到 2 位小数，即精确到 0.01 mm）；绕包内衬层的平均厚度应不小于标称厚度的 80 %（计算结果应修约到 2 位小数，即精确到 0.01 mm）。

绕包内衬层的平均厚度等于各层带材测量厚度的总和，按以下方法测量：

——从样品上取下绕包带材，展平后测量每层带材中央部位的厚度。

——采用GB/T 2951.11规定的指针式测厚仪在（0.07±0.1）MPa压力下保持 20 秒后立刻测试。测厚仪的上下测量面均为平面，其中圆形上压脚直径（5.0±0.1）mm，下测量面直径不小于 5.0 mm。取 5 次测试的平均值作为测量结果。

表9 内衬层（隔离套）厚度

单位：mm

挤包前假定直径 D2	挤包内衬层（隔离套）标称厚度	绕包内衬层标称厚度
$D2 \leq 20.0$	1.0	0.9
$D2 > 20.0$	1.2	0.9

5.8 铠装

5.8.1 材料

铠装应采用镀锌钢带或镀锌钢丝。

5.8.2 钢带铠装

钢带铠装由双钢带左向绕包在内衬层上，内层和外层钢带的标称厚度和标称宽度应相同。外层钢带应在内层钢带绕包间隙的上方，且应看不到内层钢带的绕包间隙。两层钢带的绕包间隙均应不大于钢带标称宽度的 50 %。钢带的标称厚度见表 10 的规定，钢带的最薄处厚度应不小于标称厚度的 90 %（计算结果应修约到 2 位小数，即精确到 0.01 mm），在钢带的中间部位测量两处，取最小值作为最薄处厚度。

表10 钢带铠装标称厚度

单位：mm

铠装前假定直径 D3	标称厚度
$D3 \leq 30.0$	0.2
$D3 > 30.0$	0.5

5.8.3 钢丝铠装

钢丝铠装由单层钢丝左向绕包在内衬层（或隔离套）上。钢丝的标称直径见表 11。钢丝的平均直径应不小于标称直径的 95 %（计算结果应修约到 2 位小数，即精确到 0.01 mm）。钢丝之间空隙的总和应不超过 1 根钢丝的直径，在间隔不小于 100 mm 的两处分别测量直径，每处在相互垂直的两个方向各测量一次，取 4 个测量值的平均值作为钢丝的平均直径。

注：经制造方与购买方协商一致，导体标称截面积不超过 1.0 mm^2 的单对钢丝铠装补偿电缆，可采用镀锌钢丝编织铠装代替。

表11 钢丝铠装标称直径

单位：mm

铠装前假定直径 D3	标称直径
$D3 \leq 10.0$	0.8
$10.0 < D3 \leq 15.0$	1.25
$15.0 < D3 \leq 25.0$	1.6
$25.0 < D3 \leq 35.0$	2.0
$D3 > 35.0$	2.5

5.9 外护套

5.9.1 材料

外护套材料应采用表 12 所列的护套混合物。其机械物理性能应符合表 13 的规定。
除非另有规定，外护套颜色应符合表 7 的规定。

表12 护套混合物

护套混合物种类	代号	正常运行时导体最高温度℃
105℃聚氯乙烯	105℃PVC	100
105℃丁腈聚氯乙烯复合物	105℃CVF	100
硅橡胶	G	180
聚全氟乙丙烯	F46	200

表13 护套的机械物理性能

序号	性能项目	单位	性能要求			
			105℃PVC	105℃CVF	G	F46
1	机械性能 ^a					
1.1	原始抗张强度 最小中间值	N/mm ²	12.5	12.5	6.0	16.0
	原始断裂伸长率 最小中间值	%	150	150	200	200
1.2	空气箱烘老化试验					
	处理条件					
	——温度（偏差 ±2℃）	℃	135	135	200	240
	——时间	h	240	240	240	168
	老化后的抗张强度 最小中间值	N/mm ²	12.5	12.5	5.0	14.0
	变化率 ^b 最大	%	±25	±25	—	±30
	老化后的断裂伸长率 最小中间值	%	150	150	120	200
	变化率 ^b 最大	%	±25	±25	—	±30
2	热延伸试验					
	处理条件					
	——温度（偏差 ±3℃）	℃			250	
	——负荷时间	min	—	—	15	—
	——机械应力	N/mm ²			0.2	
	载荷下伸长率 最大	%			175	
	冷却后永久伸长率 最大	%			25	
3	抗开裂试验					
	试验条件 温度（偏差 ±3℃）	℃	150	150	—	250
	时间	h	1	1		6
	试验结果		无裂纹	无裂纹		无裂纹
4	高温压力试验					
	试验条件 温度（偏差 ±2℃）	℃	90	90	—	—
	试验结果 压痕深度 最大	%	50	50		

表 13 护套的机械物理性能（续）

序号	性能项目	单位	性能要求			
			105℃PVC	105℃CVF	G	F46
5	热失重试验					
	处理条件					
	——温度(偏差 ± 2 °C)	°C	115	115	—	—
	——持续时间	h	240	240		
	最大允许失重量	mg/cm ²	2.0	2.0		
6	低温性能试验					
6.1	——低温弯曲试验					
	——温度(偏差 ± 2 °C)	°C	-15	-15	-45	-55
6.2	——试验结果		无裂纹	无裂纹	无裂纹	无裂纹
	低温拉伸试验					
6.3	——温度(偏差 ± 2 °C)	°C	-15	-15	-45	-55
	——试验结果 最小伸长率	%	20	20	20	20
6.3	低温冲击试验					
	——温度(偏差 ± 2 °C)	°C	-15	-15	-45	-55
7	——试验结果		无裂纹	无裂纹	无裂纹	无裂纹
	抗撕试验					
8	——抗撕强度 最小	N/mm ²	—	—	4.0	—
	耐酸碱试验		—	—	附录 B	附录 B
注： ^a 聚全氟乙丙烯护套机械性能试验时，拉伸速度应为（50±5）mm/min。						
^b 老化后的中间值与老化前的中间值之差与老化前中间值之比，以百分数表示。						

5.9.2 厚度

单对非屏蔽补偿电缆聚氯乙烯或丁腈聚氯乙烯复合物外护套标称厚度为 1.0 mm，单对屏蔽补偿电缆聚氯乙烯或丁腈聚氯乙烯复合物外护套标称厚度为 1.2 mm；多对（不包含一对）补偿电缆的聚氯乙烯及丁腈聚氯乙烯复合物外护套标称厚度应按公式（3）计算。当铠装电缆护套标称厚度的计算值小于 1.5 mm 时，护套的标称厚度取 1.5 mm；当非铠装电缆护套标称厚度的计算值小于 1.2 mm 时，护套的标称厚度取 1.2 mm。

$$T_s = 0.025 D_4 + 0.9 \dots \dots \dots (3)$$

单对非屏蔽补偿电缆聚全氟乙丙烯外护套标称厚度为 0.4 mm，单对屏蔽补偿电缆聚全氟乙丙烯外护套标称厚度为 0.5 mm；多对（不包含一对）补偿电缆的聚全氟乙丙烯外护套标称厚度应按公式（4）计算。非铠装聚全氟乙丙烯外护套补偿电缆（聚全氟乙丙烯外护套补偿电缆不建议采用钢带或钢丝铠装）护套标称厚度的计算值小于 0.6 mm 时，护套的标称厚度取 0.6 mm。

$$T_s = 0.025 D_4 + 0.5 \dots \dots \dots (4)$$

式中：

T_s ——外护套标称厚度，单位为毫米（mm）；

D_4 ——挤包护套前电缆的假定直径，单位为毫米（mm）；

单对非铠装补偿电缆硅橡胶外护套的标称厚度为 1.4 mm，多对（不包含一对）补偿电缆的硅橡胶外护套标称厚度见表 14。铠装电缆硅橡胶外护套的标称厚度的计算值小于 1.8 mm 时，护套的标称厚度取 1.8 mm。

铠装电缆外护套最薄处厚度应不小于标称厚度的 80% - 0.2 mm。非铠装电缆护套平均厚度应不小于标称厚度，其最薄处厚度应不小于标称厚度的 85% - 0.1 mm。

金属屏蔽电缆、金属铠装电缆的护套应按GB/T 3048.10经受工频火花试验检查。

挤包护套前电缆的假定直径应符合附录 A 的规定。

表14 硅橡胶护套标称厚度

挤包护套前假定直径 D_4	护套标称厚度	挤包护套前假定直径 D_4	护套标称厚度
$D_4 \leq 10.0$	1.4	$25.0 < D_4 \leq 30.0$	2.0
$10.0 < D_4 \leq 16.0$	1.5	$30.0 < D_4 \leq 40.0$	2.2
$16.0 < D_4 \leq 25.0$	1.7	$40.0 < D_4 \leq 60.0$	2.5

6 成品电缆

6.1 导体结构

成品电缆的导体根数应符合第 5.1.2 的规定。

6.2 绝缘厚度

成品电缆的绝缘厚度应符合第 5.2.3 的规定。

6.3 分对节距

成品电缆的分对节距应符合第 5.3.1 的规定。

6.4 分对屏蔽

成品电缆的分对屏蔽应符合第 5.4 的规定。

6.5 成缆

成品电缆的成缆应符合第 5.5 的规定。

6.6 总屏蔽

成品电缆的总屏蔽应符合第 5.6 的规定。

6.7 内衬层（隔离套）厚度

成品电缆的内衬层（隔离套）厚度应符合第 5.7 的规定。

6.8 铠装

成品电缆的铠装应符合第 5.8 的规定。

6.9 外护套

成品电缆的外护套厚度应符合第 5.9.2 的规定。

6.10 电压试验

成品电缆应进行电压试验，非屏蔽电缆，电压应加在导体之间，试验电压应为 500 V；屏蔽电缆，电压应加在导体之间和导体与接地的屏蔽之间，试验电压应为 500 V，电压应逐渐增加，并维持 1 分钟，绝缘应不击穿。

6.11 绝缘电阻

成品电缆在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 时绝缘电阻应不小于表 15 的规定值。

表15 绝缘电阻

序号	导体标称截面积 mm^2	20℃时绝缘电阻 $\text{M}\Omega \cdot \text{km}$	
		单股导体	软导体
1	0.2	990	900
2	0.5	900	820
3	0.75	770	700
4	1.0	690	620
5	1.5	590	530
6	2.5	480	420

屏蔽与屏蔽、屏蔽与铠装之间的绝缘电阻每千米应不小于 $1 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$ ，测量时，试验温度为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 、试验电压为直流 500 V 时，稳定充电 1 分钟。

6.12 热电特性及允差

成品电缆的热电特性及允差应符合第 5.1.1 的规定。

6.13 绝缘机械物理性能

成品电缆的绝缘机械物理性能应符合第 5.2.2 的规定。

6.14 护套机械物理性能

成品电缆的护套机械物理性能应符合第 5.9.1 的规定。

6.15 燃烧性能

阻燃或耐火补偿电缆，其性能和要求应符合 GB/T 19666 的要求。

6.16 标志

成品电缆的护套表面应有制造厂名、产品型号及规格的连续标志，成品电缆也可以在护套下放置印有制造厂名称、产品型号及规格连续标志的标志带。标志应字迹清楚、容易辨认、耐擦，且应符合 GB/T 6995.3 的规定。

7 检验规则和试验方法

产品应经检验合格后出厂，并应附产品质量检验合格证。试验项目、试验类型和试验方法应符合表 16 的规定。

每交货批至少抽取 1 件试样，也可由供需双方协议规定抽样数量。

抽样检验项目结果不合格时，应加倍取样进行第二次试验；仍不合格时，应对整批产品逐一试验。

表16 产品试验项目

序号	试验项目	性能要求	试验类型	试验方法
1	结构尺寸			
1.1	导体根数	6.1	T、S	正常目力
1.2	绝缘厚度	6.2	T、S	GB/T 2951.11
1.3	分对节距	6.3	T、S	正常目力和直尺
1.4	分对屏蔽	6.4	T、S	正常目力、直尺和千分尺
1.5	成缆	6.5	T、S	正常目力和直尺
1.6	总屏蔽	6.6	T、S	正常目力、直尺和千分尺
1.7	内衬层（隔离套）厚度	6.7	T、S	GB/T 2951.11或5.7.3
1.8	铠装	6.8	T、S	见 4.8.2 及 4.8.3
1.9	外护套厚度	6.9	T、S	GB/T 2951.11
2	电性能			
2.1	电压试验	6.10	T、R	GB/T 3048.8
2.2	绝缘电阻	6.11	T、S	GB/T 3048.5
2.3	热电特性及允差	6.12	T、S	GB/T 4989-2013第 6.1 条
3	绝缘机械物理性能			
3.1	老化前机械性能	6.13	T、S	GB/T 2951.11
3.2	老化后机械性能	6.13	T	GB/T 2951.12
3.3	抗开裂试验	6.13	T	GB/T 2951.31
3.4	低温试验	6.13	T	GB/T 2951.14
3.5	耐酸碱试验	6.13	T	附录 B
4	护套机械物理性能			
4.1	老化前机械性能	6.14	T、S	GB/T 2951.11
4.2	老化后机械性能	6.14	T	GB/T 2951.12
4.3	抗开裂试验	6.14	T	GB/T 2951.31
4.4	高温压力试验	6.14	T	GB/T 2951.31
4.5	热失重试验	6.14	T	GB/T 2951.32
4.6	低温试验	6.14	T	GB/T 2951.14
4.7	热延伸试验	6.14	T、S	GB/T 2951.21
4.8	抗撕试验	6.14	T	JB/T 10696.7
4.9	耐酸碱试验	6.14	T	附录 B
5	燃烧性能	6.15	T	GB/T 19666
6	标志	6.16	T、S	GB/T 6995.3
注1：R 为例行试验代号，S 为抽样试验代号，T 为型式试验代号。				

8 交货长度

根据双方协议长度交货，长度计量误差不超过± 0.5 %。

9 包装及贮运

9.1 成圈或成盘电缆应卷绕整齐，妥善包装。电缆盘应符合 JB/T 8137（所有部分）的规定。电缆端头应可靠密封，伸出盘外的电缆端头应加保护罩。

9.2 每圈或每盘上应附有标签标明：

- d) 制造厂名称；
- e) 型号、规格，单位为 mm^2 ；
- f) 长度，单位为 m；
- g) 制造日期，年 月；
- h) 标准编号；
- i) 电缆盘正确旋转方向。

9.3 贮存和运输

9.3.1 电缆应避免露天存放，电缆盘不允许平放。

9.3.2 运输中，不得从高处扔下装有电缆的电缆盘，不得机械损伤电缆。

9.3.3 吊装包装件时，不得几盘同时吊装。在车辆船舶等运输工具上电缆盘必须放稳，并用合适方法固定，以防互撞和翻倒。

附 录 A
(规范性附录)
假定的计算方法

A.1 概述

本计算方法用于确定电缆各组成元件的假定直径，使电缆设计标准化，以尽量避免在单独计算中引起的任何差异。

A.2 假定值计算方法

A.2.1 导体的假定直径

单股线芯、多股线芯（软线）的假定直径 d_2 见表 A.1。

表A.1 电缆用圆形铜导体的假定直径

导体标称截面, mm ²	计算用导体假定直径 ^a	
	单股线芯	多股线芯(软线)
0.2	0.52	0.60
0.5	0.80	0.90
0.75	0.98	1.11
1.0	1.13	1.29
1.5	1.37	1.56
2.5	1.76	2.05

^a表中列出的导体假定直径仅作为本文件计算基础，而不应通过测量进行检验。

A.2.2 绝缘线芯的假定直径

A.2.2.1 无云母带耐火层的电缆绝缘线芯

按式 (A.1) 计算无云母带耐火层电缆绝缘线芯假定直径 D_2 。

$$D_2 = d_2 + 2 \Delta_1 \cdots \cdots \cdots (A.1)$$

式中：

- D_2 ——绝缘线芯的假定直径，单位为毫米（mm）；
- d_2 ——计算用导体假定直径（见表 A.1），单位为毫米（mm）；
- Δ_1 ——绝缘层的标称厚度（见表 6），单位为毫米（mm）；

A.2.2.2 有云母带耐火层的电缆绝缘线芯

按 (A.2) 计算有云母带耐火层电缆绝缘线芯假定直径 D_2 。

$$D_2 = d_2 + 2 \Delta_1 + 0.4 \cdots \cdots \cdots (A.2)$$

A.2.3 绝缘线芯对绞绞合后的假定直径

按式 (A.3) 计算对绞后的假定直径 D_3 。

$$D_3 = 2D_2 + 0.2 \dots\dots\dots (A. 3)$$

式中：
D₃-----绝缘线芯对绞后的假定直径，单位为毫米（mm）；

A. 2. 4 绝缘线对成缆后的假定直径

按式（A. 4）计算成缆后的假定直径D₄。

$$D_4 = kD_3 + 0.2 \dots\dots\dots (A. 4)$$

式中：
D₄-----绝缘线芯成缆后的假定直径，单位为毫米（mm）；
k-----成缆系数（见表A. 2）；

表A. 2 线芯绞合成缆系数 k

绝缘线芯数	成缆系数 k	绝缘线芯数	成缆系数 k	绝缘线芯数	成缆系数 k	绝缘线芯数	成缆系数 k
2	2. 00	15	4. 70	28	6. 41	41	7. 67
3	2. 16	16	4. 70	29	6. 41	42	7. 67
4	2. 42	17	5. 00	30	6. 41	43	7. 67
5	2. 70	18	5. 00	31	6. 70	44	8. 00
6	3. 00	19	5. 00	32	6. 70	45	8. 00
7	3. 00	20	5. 33	33	6. 70	46	8. 00
8	3. 45	21	5. 33	34	7. 00	47	8. 00
9	3. 80	22	5. 67	35	7. 00	48	8. 15
10	4. 00	23	5. 67	36	7. 00	52	8. 41
11	4. 00	24	6. 00	37	7. 00	61	9. 00
12	4. 16	25	6. 00	38	7. 33	—	—
13	4. 41	26	6. 00	39	7. 33	—	—
14	4. 41	27	6. 15	40	7. 33	—	—

A. 2. 5 金属屏蔽的假定直径(若有)

金属屏蔽的假定直径（若有）按公式（A. 5）计算。

$$D_5 = D_3 + 2 \Delta_u \text{ 或 } D_6 = D_4 + 2 \Delta_u \dots\dots\dots (A. 5)$$

式中：
D₅-----一对缆芯金属屏蔽的假定直径，单位为毫米（mm）；
D₆-----两对及以上缆芯金属屏蔽的假定直径，单位为毫米（mm）；
 Δ_u -----金属屏蔽层的标称厚度，单位为毫米（mm）；
金属（复合）带屏蔽时， Δ_u 等于 0. 2 mm。
铜线编织屏蔽时， Δ_u 等于 2. 5 倍编织单线的标称直径（见表 8）。

A. 2. 6 内衬层（隔离套）的假定直径（若有）

按式（A. 6）计算出铠装电缆内衬层（隔离套）的假定直径D_b。

$$D_b = D_3 + 2 \Delta_b \text{ 或 } D_b = D_4 + 2 \Delta_b \text{ 或 } D_b = D_5 + 2 \Delta_b \text{ 或 } D_b = D_6 + 2 \Delta_b \dots\dots\dots (A. 6)$$

式中：
D_b-----内衬层（隔离套）的假定直径，单位为毫米（mm）；

Δ_b ——内衬层（隔离套）的标称厚度（见表 9），单位为毫米（mm）。

A.2.7 铠装层的假定直径（若有）

按式（A.6）计算出铠装层的假定直径 D_a 。

$$D_a = D_b + 2 \Delta_a \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

D_a ——铠装层的假定直径，单位为毫米（mm）；

Δ_a ——铠装层的标称厚度，单位为毫米（mm）。

双钢带铠装时， Δ_a 为 2 倍铠装钢带的标称厚度（见表 10）。

钢丝铠装时， Δ_a 为钢丝标称直径（见表 11）。

A.2.8 数值修约

对计算结果进行修约，采用下述规则：

——所有计算结果应修约到 1 位小数，即精确到 0.1 mm。所有计算结果用到相应的计算公式之前应先修约到 1 位小数；

——修约前，如果第 2 位小数为 0、1、2、3、4，则小数点后第 1 位小数保持不变（舍去）；修约前，如果第 2 位小数为 5、6、7、8、9，则小数点后第 1 位小数加上 1（进一）。

附 录 B
(规范性附录)
耐酸碱试验方法

B.1 概述

耐酸碱试验方法应符合GB/T 2951.21中第 10 章的规定。

B.2 试验条件

试验条件如下：

- 酸液类型：N-盐酸标准溶液（1 mol/L）；
- 碱液类型：N-氢氧化钠标准溶液（1 mol/L）；
- 温度：（23±2）℃；
- 时间：168 h。

B.3 试验步骤

耐酸碱试验为两项独立的试验，一项使用酸液，一项使用碱液。试验步骤应符合GB/T 2951.21的规定。

B.4 试验结果

耐酸碱试验后，电缆的绝缘或护套的抗张强度变化率应不超出±30%，断裂伸长率就不小于100%。

附 录 C
(资料性附录)
补偿电缆的往复电阻值

在 20 ℃时分别测量 1 m长补偿电缆正极和负极的电阻值后，正、负极的电阻值相加之和为补偿电缆的往复电阻，各种型号的不同规格的往复电阻值不大于表 C.1 所示。

表C.1 补偿电缆在 20℃时的往复电阻值

单位：Ω/m

补偿电缆型号	规格 mm ²					
	0.2	0.5	0.75	1.0	1.5	2.5
SC 或 RC	0.69	0.28	0.18	0.14	0.09	0.06
KCA	3.50	1.40	0.93	0.70	0.47	0.28
KCB	2.60	1.04	0.69	0.52	0.35	0.21
KX	5.50	2.20	1.40	1.10	0.73	0.44
EX	6.25	2.50	1.67	1.25	0.83	0.50
JX	3.25	1.30	0.87	0.65	0.43	0.26
TX	2.60	1.04	0.69	0.52	0.35	0.21
NC	3.75	1.50	1.00	0.75	0.50	0.30
NX	7.15	2.86	1.91	1.43	0.95	0.57