

T/AHDD

团体标准

T/AHDD 0020—2025

额定电压 66kV 漂浮式海上风电装备用 动态电缆

Dynamic cable for 66kV rated voltage floating offshore wind power equipment

2025 - 06 - 11 发布

2025 - 06 - 11 实施

安徽省电线电缆行业协会 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	2
4 使用特性	2
5 代号、型号、规格和产品表示方法	3
6 技术要求	4
7 试验条件	7
8 例行试验	8
9 抽样试验	9
10 型式试验	13
11 检验规则和试验方法	17
12 运输和贮运	18

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。

本文件由安徽省电线电缆行业协会提出。

本文件由安徽省电线电缆行业协会归口。

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。

本文件起草单位：安徽国电电缆股份有限公司、安徽省产品质量监督检验研究院、中科合肥技术创新工程院、安徽省电线电缆行业协会、山东省产品质量监督检验研究院

本文件主要起草人：何立群、丁宏、黄烨、肖本国、黄晓宝、姚敏、孙磊、后石、董玉刚、董磊、胡良健、瞿艳、高洁、黄文生、王鑫

本文件为首次发布。

全国团体标准信息平台

额定电压 66kV 漂浮式海上风电装备用 动态电缆

1 范围

本文件规定了额定电压 66 kV 漂浮式海上风电装备用动态电缆的使用特性、产品种类、技术要求，描述了相应的试验方法、规定了检验规程、装船和贮运以及敷设后试验等。

本文件适用于额定电压 66 kV 漂浮式海上风电装备用动态电缆。

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 156-2017 标准电压

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 机械性能测试

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 2951.13-2008 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

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 2951.41-2008 电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第41部分：聚乙烯和聚丙烯混合料专用试验方法 耐环境应力开裂试验 溶体指数测量方法 直接燃烧法测量聚乙烯中炭黑和（或）矿物质填料含量 显微镜法评估聚乙烯中炭黑分散度

GB/T 3048.4-2007 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 3048.8-2007 电线电缆电性能试验方法 第8部分：交流电压试验

GB/T 3048.10-2007 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 3048.11-2007 电线电缆电性能试验方法 第11部分：介质损耗角正切试验

GB/T 3048.12-2007 电线电缆电性能试验方法 第12部分：局部放电试验

GB/T 3048.13-2007 电线电缆电性能试验方法 第13部分：冲击电压试验方法

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 3956-2008 电缆的导体

GB/T 4909.2-2009 裸电线试验方法 第2部分：尺寸测量

GB/T 4910-2022 镀锡圆铜线

GB/T 6995.3-2008 电线电缆识别标志方法 第3部分：电线电缆识别标志

GB/T 6995.5-2008 电线电缆识别标志方法 第5部分：电力电缆绝缘线芯识别标志

GB/T 12706.3-2020 额定电压1kV ($U_m=1.2$ kV) 到35kV ($U_m=40.5$ kV) 挤包绝缘电力电缆及附件 第3部分: 额定电压35kV ($U_m=40.5$ kV) 电缆

GB/T 16927.1-2011 高电压试验技术 第1部分: 一般定义及试验要求

GB/T 18380.12-2022 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第12部分: 单根绝缘电线电缆火焰垂直蔓延试验 1 kW 预混合型火焰试验方法

GB/T 32346.1-2015 额定电压220 kV ($U_m=252$ kV) 交联聚乙烯绝缘大长度交流海底电缆及附件 第1部分: 试验方法和要求

JB/T 8996-2014 高压电缆选择导则

JB/T 10696.7-2007 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界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

例行试验 routine tests

R

由制造方在成品电缆的所有制造长度上进行的试验, 以检验所有电缆是否符合规定的要求。

3.2

抽样试验 sample tests

S

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

3.3

型式试验 type tests

T

按一般商业原则对本文件所包含的一种类型电缆在供货前所进行的试验, 以证明电缆具有能满足预期使用条件的满意性能。

注: 该试验的特点是: 除非电缆材料、设计或制造工艺的改变可能改变电缆的特性, 试验做过以后就不需要重做。

3.4

动态电缆 dynamic cable

应用于特定场景, 能够在一定程度上适应动态变化和移动的电

4 使用特性

4.1 额定电压

本文件中电缆的额定电压 U_0/U (U_m) 为36/66(72.5)kV:

在电缆的电压表示 U_0/U (U_m) 中:

—— U_0 : 电缆设计用导体对地或金属屏蔽之间的额定工频电压;

—— U : 电缆设计用导体间的额定工频电压;

—— U_m : 设备可承受的“最高系统电压”的最大值 (见GB/T 156-2017)。

电缆的额定电压应适合电缆所在系统的运行条件。为了便于选择电缆, 将系统划分为下列三类:

——A类：该类系统任一相导体与地或接地导体接触时，能在1min内与系统分离；

——B类：该类系统可在单相接地故障时做短时运行，接地故障时间按 JB/T 8996-2014 不宜超过1h；对于本文件包括的电缆，在任何情况下允许不超过 8 h更长的带故障运行时间，任何一年接地故障的总持续时间不应超过125 h；

——C类：包括不属于A类、B类的所有系统。

注：宜认识到，在系统接地故障不能立即自动解除时，故障期间加在电缆绝缘上过高的电场强度，会在一定程度上缩短电缆寿命。如预期系统会经常地运行在持久的接地故障状态下，该系统划为 C 类。

4.2 最小弯曲半径

三芯电缆最小弯曲半径为 6 D，单芯电缆的最小弯曲半径为 8 D，其中 D 为电缆标称直径。

4.3 绝缘混合料

绝缘混合料电缆的导体最高温度见表 1。

表 1 绝缘混合料及其对应的导体最高温度

绝缘混合料	代号	导体最高温度 ℃	
		正常运行时	短路时（最长持续5 s）
乙丙橡胶或类似混合料	EPR 或 HEPR	90	250

表1 中温度由绝缘混合料的固有特性决定，使用这些数据计算额定电流时还应考虑其他因素。

4.4 护套混合料

不同类型护套混合料电缆的导体最高温度见表 2。

表 2 不同类型护套混合料电缆的导体最高温度

护套混合料	代号	正常运行时导体最高温度 ℃
氯磺化聚乙烯、氯丁橡胶或类似聚合物	SE	90
聚氨酯弹性体	TPU	90
其它热塑性弹性体	TPV	90

5 代号、型号、规格和产品表示方法

5.1 代号

5.1.1 系列代号

动态电缆·····HD

5.1.2 材料特征代号

铜导体·····(T) 省略
乙丙橡胶绝缘或类似混合料绝缘·····E
金属屏蔽·····(P) 省略
聚氨酯弹性体护套·····U
热固性弹性体（氯磺化聚乙烯、氯丁橡胶或类似聚合物）·····H
其它热塑性弹性体·····S

5.2 型号

电缆的型号和名称见表 3。

表 3 电缆常用型号和名称

型号	名称
HDEH	乙丙橡胶绝缘热固性弹性体护套漂浮式海上风电装备用动态电缆
HDEU	乙丙橡胶绝缘聚氨酯弹性体护套漂浮式海上风电装备用动态电缆
HDES	乙丙橡胶绝缘热塑弹性体护套漂浮式海上风电装备用动态电缆

5.3 规格

动态电缆的规格见表2。

表 4 电缆规格

型号	芯数	标称截面积 mm ²
HDEH、HDEU、HDES	1、3	50~300

5.4 产品表示方法

产品用型号、规格及本文件编号表示。规格包括额定电压、芯数和导体标称截面积。

示例 1：乙丙橡胶绝缘热固性弹性体护套漂浮式海上风电装备用动态电缆，额定电压 36/66 kV，三芯，标称截面积 70 mm²，金属丝编织屏蔽（或金属丝疏绕屏蔽）总截面积为 16 mm²

表示为：HDEH 36/66 kV 3×70+3×16/3 T/AHDD 0020—2025

示例 2：乙丙橡胶绝缘聚氨酯弹性体护套漂浮式海上风电装备用动态电缆，额定电压 36/66 kV，三芯，标称截面积 95 mm²，仅地线芯作为金属屏蔽，地线芯总截面积为 30 mm²

表示为：HDEU 36/66 kV 3×95+3×10 T/AHDD 0020—2025

6 技术要求

6.1 导体

6.1.1 导体结构

导体应采用GB/T 3956-2008 中第 5 种导体。导体材料应为退火软铜线，铜单线可以不镀锡或镀锡。导体表面可用非吸湿性带材作重叠绕包或纵包。

6.1.2 导体阻水性能

导体应采用阻水结构。其纵向阻水性能应符合GB/T 32346.1-2015中 8.7.2 的规定。

6.2 绝缘

6.2.1 材料

绝缘应为表 1 所列的乙丙橡胶或类似混合料。

6.2.2 厚度

绝缘的标称厚度应见表 5，制造方也可以自行设计并给出绝缘厚度的标称值。

6.3 屏蔽

6.3.1 概述

所有电缆的绝缘线芯上应有分相的金属屏蔽层。

单芯或三芯电缆绝缘线芯屏蔽应有导体屏蔽和绝缘屏蔽组成。

表 5 绝缘层标称厚度

导体标称截面 mm ²	绝缘厚度标称厚度 mm
50	13.0
70	13.0
95	12.0
120	12.0
150	12.0
185	11.5
240	11.5
300	11.5

注：不推荐任何小于表中给出的导体截面积。

6.3.2 导体屏蔽

导体屏蔽应由挤包半导体层或在导体上先包半导体带再挤包半导体层组成。挤包半导体层应与绝缘紧密结合，挤包屏蔽层的最薄处厚度应不小于 0.60 mm。

6.3.3 绝缘屏蔽

绝缘屏蔽应为与绝缘层同时挤出的半导体层，与金属屏蔽层在电气上接触良好。

每根绝缘线芯上应直接挤包与绝缘线芯紧密结合的半导体层，挤包半导体层的最薄处厚度应不小于 0.80 mm。

金属屏蔽层应符合 6.4 的要求。

6.4 金属屏蔽

6.4.1 总则

金属屏蔽层应由铜带、铜丝或铜丝和铜带的组合结构组成，也可以采用金属编织结构。

所有电缆应有金属屏蔽。

6.4.2 结构

金属屏蔽包括金属丝编织（或带有地线芯）、金属丝疏绕（或带有地线芯）和地线芯等形式。

选择金属屏蔽材料时，应特别考虑存在腐蚀的可能性，这不仅为了机械安全，而且也为了电气安全。编织和疏绕用的金属丝应为 GB/T 4910-2022 规定的镀锡铜丝。

金属编织型或金属疏绕型屏蔽，应在金属屏蔽和挤包绝缘屏蔽层之间紧密地绕包半导体带，可以采用股线进行编织或疏绕。对于三芯电缆采用金属丝编织或疏绕屏蔽时应采用分相屏蔽形式。可以在金属屏蔽中加入非金属材料（例如纤维等），以起到加强作用。

单芯电缆应采用金属编织或疏绕屏蔽，而不应采用单独地线芯作为金属屏蔽；三芯电缆采用地线芯单独作为金属屏蔽时，其地线芯应由符合 GB/T 3956-2008 中第 5 类导体外挤包半导体层共同组成。

6.4.3 要求

金属屏蔽的标称截面积应根据故障电流容量确定，但标称截面积在任何情况下不得小于表 6 中规定的值。金属编织型和金属疏绕型屏蔽，可通过测试单丝直径来计算其截面积，且应不小于标称截面积；地线芯单独作为金属屏蔽时，其直流电阻值应符合 GB/T 3956-2008 要求。

地线芯屏蔽层与电缆绝缘屏蔽之间应在电气上良好接触。

表 6 金属屏蔽层标称截面积

导体标称截面积 mm ²	金属编织或疏绕屏蔽标称截面积 mm ²		地线芯金属标称截面积 mm ²	
	单芯电缆	三芯电缆	单芯电缆	三芯电缆
50	6	3×16/3	—	3×10
70	6	3×16/3	—	3×10
95	6	3×16/3	—	3×10
120	10	3×25/3	—	3×16
150	10	3×25/3	—	3×16
185	10	3×25/3	—	3×16
240	16	3×25/3	—	3×16
300	16	3×25/3	—	3×16

注：如果金属屏蔽为组合结构时，标称截面积为总面积。

6.5 三芯电缆的成缆和填充

三芯电缆的绝缘线芯应绞合在一起，当有地线芯时，地线芯也应与绝缘线芯绞合成缆。

如有填充，其材料应适合电缆的运行温度并与绝缘材料相兼容，推荐采用非吸湿性半导体材料作为填充。

6.6 护套

6.6.1 总则

所有电缆均应具有护套。

护套通常为黑色，但也可以按制造方和买方协议采用黑色以外的其它颜色，以适应电缆使用的特定环境。

护套应经受 GB/T 3048.10-2007 规定的火花试验。

6.6.2 材料

护套材料应为表 2 所列的材料。护套材料应与绝缘材料的工作温度等级相适应。

外护套材料应与表 2 中规定的电缆运行温度相适应。

6.6.3 厚度

护套可以为单层结构，也可以为双层结构。

当采用单层护套时，护套的标称厚度见表 7 和表 8 中的规定。

当采用双层护套时，允许在双层护套之间带有编织加强层，双层护套的总厚度应符合表 7 和表 8 对应截面的单层护套厚度，外层护套的平均值厚度不应低于总厚度的三分之二。

供需双方协商一致的情况下，可采用其它护套标称厚度。

6.7 成品电缆标志

成品电缆的护套表面应有制造厂名称、产品型号和规格连续标志。标志应清晰、字迹清楚、耐擦。护套表面一个完整标志的末端与下一个标志的始端之间的距离不应超过 500 mm。

成品电缆标志应符合 GB/T 6995.3-2008 规定。

电缆主线芯的识别标志应符合 GB/T 6995.5-2008 规定。

7 试验条件

7.1 环境温度

除非另有规定，试验应在环境温度（20±15）℃下进行。

表 7 单芯电缆护套标称厚度

导体标称截面积 mm ²	TPU单层护套标称厚度 mm	SE、TPV单层护套标称厚度 mm	双层护套外层护套标称厚度 mm
50	2.3	3.3	2.2
70	2.4	3.4	2.3
95	2.4	3.5	2.4
120	2.4	3.6	2.4
150	2.5	3.7	2.5
185	2.5	3.8	2.6
240	2.6	4.0	2.7
300	2.7	4.1	2.8

表 8 三芯电缆护套标称厚度

导体标称截面积 mm ²	单层护套标称厚度 mm	双层护套外层护套标称厚度 mm
50	5.2	3.5
70	5.4	3.6
95	5.7	3.8
120	5.9	4.0
150	6.1	4.1
185	6.3	4.2
240	6.7	4.5
300	7.0	4.7

7.2 工频试验电压的频率和波形

工频试验电压的频率应为49 Hz~61 Hz。波形应基本是正弦形，引用值为有效值。

7.3 冲击试验电压的波形

按GB/T 3048.13-2007 规定，冲击波应具有有效波前时间 1 μs~5 μs，标称半峰值时间 40 μs~60 μs，其他方面应符合 GB/T 16927.1-2011 规定。

7.4 试验电压与额定电压的关系

本部分规定的试验电压用额定电压 U_0 的倍数表示， U_0 值为 36 kV，试验电压应按表 9 规定。

表 9 试验电压

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
额定电压 U	设备最高电压 U_m	确定试验电压的值 U_0	电压试验 $2.5 U_0$ (30 min)	局部放电试验 $1.73 U_0$	$\tan \delta$ 测量 U_0	热循环电压试验 $2 U_0$	雷电冲击电压试验	雷电冲击电压试验 后电压试验 $2.5 U_0$	安装后电压试验 $2 U_0$ (60 min)
kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV
36	72.5	36	90	62	36	72	325	90	72

8 例行试验

8.1 总则

例行试验通常应在每一根电缆制造长度上进行。根据购买方和制造方达成的质量控制协议，可以减少试验电缆的根数或采用其它的试验方法。

本文件规定的例行试验为：

- a) 导体电阻测量（见 8.2）；
- b) 局部放电试验（见 8.3）；
- c) 电压试验（见 8.4）；
- d) 电缆外护套直流电压试验（见 8.5）。

8.2 导体电阻

应对例行试验中的每一根电缆长度的所有导体进行电阻测量。

成品电缆或从成品电缆上取下的试样，试验前应在保持适当温度的试验室内至少存放 12 h。若怀疑导体温度是否与室温一致，电缆应在试验室内存放 24 h 后测量电阻。也可将导体试样放在温度可以控制的液体槽内至少 1 h 后测量电阻。

电阻测量值按 GB/T 3956-2008 给出的公式和系数校正到 20℃ 下 1 km 长度的数值。

每一根导体 20℃ 时的直流电阻不应超过 GB/T 3956-2008 规定的相应的最大值。标称截面积适用时，地线芯的导体电阻也应符合 GB/T 3956-2008 规定。

8.3 局部放电试验

应按 GB/T 3048.12-2007 进行局部放电试验。要求测试灵敏度为 10 pC 或更优。

三芯电缆的所有绝缘线芯都应试验，电压施加于每一根导体和金属屏蔽之间。

试验电压逐步上升至 $2 U_0$ ，并保持 10 s，然后缓慢降至 $1.73 U_0$ 。

在 $1.73 U_0$ 下，应无任何由被试电缆产生的超过声明试验灵敏度的可检测到的放电。

8.4 电压试验

8.4.1 总则

电压试验按 7.1 规定的环境温度和 7.2 规定的工频试验电压的频率和波形，将试验电压逐步升高至 $2.5 U_0$ ，保持 30 min。对应额定电压的单相试验电压值按表 9 规定。

制造长度电缆绝缘不应发生击穿。

8.4.2 单芯电缆试验

单芯电缆的试验电压应施加在导体与金属屏蔽之间，持续 30 min。

8.4.3 三芯电缆试验

对分相金属编织(或疏绕)屏蔽的三芯电缆，应在每一根导体与金属屏蔽层之间施加电压，持续 30 min。

对地线作为金属屏蔽的三芯电缆，应依次在每一根绝缘导体对其它所有导体及金属屏蔽层之间施加试验电压，持续 30 min。三芯电缆也可采用三相变压器，一次完成试验。

若用三相变压器同时对三芯电缆进行电压试验，相间试验电压应取表 9 所列数据的 1.73 倍。

任何情况下，电压都应逐渐升高到规定值。

8.5 电缆外护套直流电压试验

适用时,对非金属外护套应进行直流电压试验。在非金属外护套内金属层和外导电层之间(以金属层为负极)施加直流电压 25 kV,保持 1 min。

外护套不应发生击穿。

9 抽样试验

9.1 总则

下列试验应在代表交货批的电缆样品上进行,对b)项和f)项试验,样品可以是整盘电缆。

- a) 导体和金属屏蔽检查(见 9.4);
- b) 成品电缆导体电阻和接地线芯导体电阻的测量(见 9.5);
- c) 尺寸检查(见 9.6~9.8);
- d) 绝缘和 SE 护套的热延伸试验(见 9.9);
- e) 电容测量(见 9.10);
- f) 导体屏蔽和绝缘屏蔽电阻率测量(见 9.11)。

9.2 抽样试验的频度

9.1 中的抽样试验项目,均应在每批同一型号和规格电缆中的一根制造长度的电缆上进行,但应限制不超过合同长度数量的10%,修约至最近的整数。

9.3 复试

如果任一试样没有通过抽样试验规定的任一项试验,应从同一批中再取两个附加试样就不合格项目重新试验。如果两个附加试样都合格,样品所取批次的电缆应认为符合本文件要求。如果两个附加试样中有一个试样不合格,则认为抽取该试样的这批电缆不符合本文件要求。

9.4 导体和金属屏蔽检查

导体和金属屏蔽结构应符合 GB/T 3956-2008 的要求。同时,金属屏蔽还应符合 6.4.3 的规定。

9.5 成品电缆导体电阻和接地线芯导体电阻的测量

整根电缆或从中取出的试样应在试验前置于温度比较稳定的试验室内至少 12 h。如果怀疑导体或接地线芯导体与试验室温度不同,则电缆应置于试验室至少 24 h后再测量电阻。或者将导体或接地线芯导体试样放置在温控的液体槽内至少 1 h 后测量电阻。

应根据 GB/T 3956-2008 中公式和系数,将导体或接地线芯直流电阻修正至温度为 20°C,长度为 1 km 的数值。20°C 下导体的直流电阻不应超过 GB/T 3956-2008 规定的相应最大值。

9.6 屏蔽厚度的测量

屏蔽应符合第 6.3 条的规定。试验方法按 GB/T 2951.11-2008 中第 8 章。

9.7 绝缘和护套厚度测量

9.7.1 概述

试验方法应按 GB/T 2951.11-2008 第 8 章的规定。

为试验而选取的每根电缆长度应从电缆的一端截取一段电缆来代表,如果必要,应将可能损伤的部分电缆先从该端截除。

9.7.2 对绝缘的要求

每一段绝缘线芯，最小测量值应不小于规定标称厚度的 90%，按公式（1）计算；绝缘偏心度应符合式（2）的要求。

$$t_{imin} \geq 0.9 t_{in} \quad (1)$$

式中：

式中：

$$\frac{t_{imax}-t_{imin}}{t_{imax}} \leq 0.08 \quad (2)$$

式中：

t_{imax} ——绝缘最大测量值，单位为毫米（mm）；

t_{in} ——绝缘标称厚度，单位为毫米（mm）；

t_{imin} ——绝缘最小测量值，单位为毫米（mm）。

注：其中 t_{imax} 和 t_{imin} 为绝缘同一截面上的测量值。

9.7.3 对护套的要求

护套厚度最小测量值应不小于规定标称厚度的 85%再减 0.1 mm按公式（3）计算。

$$t_{smin} \geq 0.85t_{sn} - 0.1 \quad (1)$$

式中：

t_{smin} ——护套最小测量值，单位为毫米（mm）；

t_{sn} ——护套标称厚度，单位为毫米（mm）。

9.8 外径测量

如果用户要求测量绝缘线芯和（或）电缆外径，测量应按GB/T 2951.11—2008中的 8.3 进行。

9.9 绝缘和 SE 护套热延伸试验

9.9.1 步骤

取样和试验方法应按照GB/T 2951.21—2008中第 9 章进行，试验条件见表10和表11。

9.9.2 要求

绝缘的试验结果应符合表 10 要求，SE 护套的试验结果应符合表 11 要求。

9.10 电容测量

应在环境温度下测量导体和金属屏蔽和（或）金属套间的电容，并应同时记录环境温度。

电容测量值应校正到1 km电容，并且不应超过制造方申明标称值的 8%。

9.11 导体屏蔽和绝缘屏蔽测量

9.11.1 概述

电缆半导电屏蔽电阻率应在单独的试样上测量。

应从未经处理或运行的电缆试样绝缘芯和地线芯上取试样进行导体屏蔽和绝缘屏蔽测量。

9.11.2 试验方法

试验方法应按 GB/T 12706.3-2020 附录 D。

应在 $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 温度范围内进行测量半导电屏蔽电阻率。

9.11.3 要求

老化前后的半导体屏蔽电阻率应不超过以下值：

—— 导体屏蔽：1000 $\Omega \cdot m$ ；

—— 绝缘屏蔽：500 $\Omega \cdot m$ 。

表 10 绝缘混合料机械性能和特殊性能试验

序号	试验项目	单位	性能要求	
			乙丙橡胶或类似混合料	
0	正常运行时导体最高温度	$^{\circ}C$	90	
1	老化前机械性能			
	抗张强度，最小	N/mm^2	4.2	
	断裂伸长率，最小	%	200	
2	空气烘箱老化后机械性能			
	试验条件：			
	—— 温度（偏差 $\pm 3 K$ ）	$^{\circ}C$	135	
	—— 持续时间	h	168	
	抗张强度，最小	N/mm^2	—	
	抗张强度变化率，最大	%	± 30	
	断裂伸长率，最小	%	—	
	断裂伸长率变化率，最大	%	± 30	
3	耐臭氧试验			
	试验条件：			
	—— 臭氧浓度（按体积）	%	0.025~0.030	
	—— 温度（偏差 $\pm 2 K$ ）	$^{\circ}C$	25	
	—— 无开裂试验持续时间	h	24	
4	吸水试验（称重法）			
	试验条件：			
	—— 温度（偏差 $\pm 2 K$ ）	$^{\circ}C$	85	
	—— 持续时间	h	336	
	重量最大增量	mg/cm^2	5	
5	热延伸试验			
	试验条件：			
	—— 温度（偏差 $\pm 3 K$ ）	$^{\circ}C$	250	
	—— 机械应力	N/cm^2	20	
	载荷下最大伸长率	%	175	
	冷却后最大永久伸长率	%	15	

表 11 护套机械性能和特殊性能试验要求

序号	试验项目	单位	性能要求		
			SE	TPU	TPV
0	正常运行时导体最高温度	$^{\circ}C$	90	90	90
1	老化前机械性能				
	抗张强度，最小	N/mm^2	10.0	20.0	10.0
	断裂伸长率，最小	%	300	300	300

表11 护套机械性能和特殊性能试验要求（续）

序号	试验项目	单位	性能要求		
			SE	TPU	TPV
2	空气烘箱老化后机械性能				
	试验条件:				
	——温度（偏差±3 K）	℃	120	110	135
	——持续时间	h	168	168	168
	抗张强度，最小	N/mm ²	—	—	10.0
	抗张强度变化率，最大	%	-30 ^a	±30	±25
	断裂伸长率，最小	%	—	300	300
断裂伸长率变化率，最大	%	-40 ^a	±30	±25	
3	浸矿物质油后机械性能				
	试验条件:				
	——油温（偏差±2 K）	℃	100	100	100
	——浸油时间	h	24	24	24
	抗张强度，最小	N/mm ²	—	—	—
	抗张强度变化率，最大	%	-40 ^a	±40	-40 ^a
	断裂伸长率，最小	%	—	—	—
断裂伸长率变化率，最大	%	-40 ^a	±40	-40 ^a	
4	热延伸试验				
	试验条件:				
	——温度（偏差±3 K）	℃	200	—	—
	——机械应力	N/cm ²	20	—	—
	载荷下最大伸长率	%	175	—	—
冷却后最大永久伸长率	%	15	—	—	
5	抗撕试验				
	抗撕强度，最小	N/mm	5.0	—	—
6	高温压力试验				
	试验条件:				
	——温度（偏差±2 K）	℃	—	100	100
压痕中间值/平均厚度，最大	%	—	50	50	
7	热冲击试验（抗开裂）				
	试验条件:				
	——温度（偏差±3 K）	℃	—	150	150
	——持续时间	h	—	1	1
试验结果			无裂纹	无裂纹	
8	低温拉伸试验				
	试验条件:				
	——温度（偏差±2 K）	℃	-25 ^b	-25 ^b	-25 ^b
试验结果:					
——最小伸长率	%	30	30	30	
9	低温冲击试验				
	试验条件:				
	——温度（偏差±2 K）	℃	-25 ^b	-25 ^b	-25 ^b
试验结果			无裂纹	无裂纹	

表11 护套机械性能和特殊性能试验要求（续）

序号	试验项目	单位	性能要求		
			SE	TPU	TPV
10	耐臭氧试验				
	试验条件：				
	——臭氧浓度（按体积）	%	0.025~0.030	0.025~0.030	0.025~0.030
	——温度（偏差±2 K）	℃	40	40	40
	——无开裂试验持续时间	h	72	72	72
^a 不规定正偏差。 ^b 如果用于环境最低温度为-40℃，低温试验温度应为-40℃±2℃，如用户对最低环境适应温度另有要求，则按用户要求的温度试验。					

10 型式试验

10.1 总则

本章规定的各项试验是用以验证风电装备用动态电缆具有符合预期使用条件的满意性能。

10.2 试验准备

型式试验应包括10.3规定的成品电缆的电气型式试验、10.4规定的非电气型式试验。

应从成品电缆中取至少10 m长的电缆试样进行试验。

在电气试验前应目测检验确认未经电气试验的电缆线芯符合要求且三芯电缆绝缘线芯相似，三芯电缆可以取一芯电缆用作电气试验。

10.3.8规定的半导体屏蔽电阻率测量，应在另外的试样上进行。

10.3 电气型式试验

10.3.1 试验与试验顺序

正常试验的顺序应如下：

- 弯曲试验及随后的局部放电试验（按10.3.2和10.3.3）；
- $\tan \delta$ 测量（按10.3.4）；
- 热循环电压试验及随后的局部放电试验（按10.3.5）；
- 冲击电压试验及随后的工频电压试验（按10.3.6）；
- 目测检查电缆（按10.3.7）。

10.3.2 弯曲试验

在室温下试样应围绕试验圆柱体（例如线盘的筒体）至少绕一整圈，然后松开展直，再在相反方向上重复此过程。如此作为一个循环。此操作循环应进行三次。

试验用圆柱体的直径不应大于：

- 单芯电缆： $12(d+D) \times 1.05$ ；
- 三芯电缆： $10(d+D) \times 1.05$ 。

其中：

D——电缆试样实测外径，单位为毫米（mm），按9.8测量；

d——导体的实测直径，单位为毫米（mm）。

注：不规定负偏差。只有与制造商协商一致才能用小于规定直径进行弯曲试验。

本试验完成后，试样应立即进行局部放电试验，并应符合10.3.3要求。

10.3.3 局部放电试验

应按GB/T 3048.12-2007 进行局部放电试验。要求测试灵敏度为 10 pC或更优。

三芯电缆的所有绝缘线芯都应试验，电压施加于每一根导体和金属屏蔽之间。

试验电压逐步上升至 $2 U_0$ ，并保持 10 s，然后缓慢降至 $1.73 U_0$ 。

在 $1.73 U_0$ 下，应无任何由被试电缆产生的超过声明试验灵敏度的可检测到的放电。

10.3.4 $\tan \delta$ 测量

应采用导体通电流将试样加热到规定的温度。可采用测量导体电阻或采用置于屏蔽表面的热电偶测量导体温度，或采用同样加热方式的另一段相同电缆试样导体上的热电偶来确定导体温度。

试样应加热至导体温度超过电缆正常运行时导体最高温度 $5 K \sim 10 K$ 。

试样在工频电压 U_0 及上述规定温度下测量 $\tan \delta$ ，测量值不应大于 50×10^{-4} 。

注：此项试验可以在另外装有试验终端的试样上进行，试样不用进行余下试验行。

10.3.5 热循环电压试验及随后的局部放电试验

应通过导体通电流将试样加热到规定的温度。

试样应加热至导体温度超过电缆正常运行时导体最高温度 $5 K \sim 10 K$ 。

三芯电缆，每相导体均需要通过加热电流。

加热循环应持续至少 8 h。在每个加热期内，导体温度应保持在上述温度范围内至少 2 h。随后应自然冷却至少 16 h，直到导体温度冷却至不高于 $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 或者冷却至高于环境温度 $10 K$ 以内，取两者之中的较高值。

加热和冷却循环应进行 20 次。在整个试验期内，试样上应施加 $2 U_0$ 电压。试验过程允许中断，只要完成了总共 20 个加电压的完整热循环即可。

第 20 个循环后，试样应进行环境温度下的局部放电试验并应符合 10.3.3 要求。

10.3.6 冲击电压试验及随后的工频电压试验

应通过导体通电流将试样加热到规定的温度。试样应加热至导体温度超过电缆正常运行时导体最高温度 $5 K \sim 10 K$ 。

按GB/T 3048.13-2007 给出的试验程序施加冲击电压，其电压峰值按表 9。

电缆应耐受施加的 10 次正极性和 10 次负极性冲击电压而不发生绝缘击穿或闪络。

冲击电压试验后，应对试样系统进行 $2.5 U_0$ ，15 min 的工频电压试验。由制造方决定，试验可在冷却过程中或在环境温度下进行。不应发生绝缘击穿或闪络。

10.3.7 目测检查电缆

上述试验后，解剖电缆试样和拆开附件（如有可能），采用正常视力或经矫正但不放大的视力检验试样，应无可能影响系统运行的劣化迹象（如：电气品质下降、泄漏、腐蚀或有害的收缩）。

10.3.8 半导体屏蔽电阻率测量

10.3.8.1 概述

电缆半导体屏蔽电阻率应在单独的试样上测量。

应从制造后未经处理的电缆试样的绝缘芯上和从已经过 10.4.4 规定的组件材料相容性试验老化处理后的电缆试样的绝缘芯上分别取试件，进行导体上和绝缘上的挤包半导体屏蔽的电阻率测定。

10.3.8.2 试验方法

试验方法应按 GB/T 12706.3-2020 附录 D。

应在 $90^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 温度范围内进行测量半导电屏蔽电阻率。

10.3.8.3 要求

老化前后的半导电屏蔽电阻率应不超过以下值：

- 导体屏蔽： $1000 \Omega \cdot \text{m}$ ；
- 绝缘屏蔽： $500 \Omega \cdot \text{m}$ 。

10.4 非电气型式试验

10.4.1 结构尺寸检查

10.4.1.1 导体测量

应采用检查或可行的测量方法检查导体结构是否符合 GB/T 3956-2008 要求。

10.4.1.2 屏蔽厚度测量

应从每一根绝缘线芯上各取一个样品，并按照 GB/T 2951.11-2008 中 8.1 进行测量，其挤包屏蔽的厚度应符合 6.3 的规定。

10.4.1.3 绝缘厚度测量

按 GB/T 2951.11-2008 中 8.1 进行测量，要求应符合 9.7.2 的规定。

10.4.1.4 金属屏蔽测量

应采用检查或可行的测量方法检查屏蔽结构是否符合 GB/T 3956-2008 要求，并同时符合 6.4 的规定。

10.4.1.5 护套厚度测量

应取一个电缆试样，并按 GB/T 2951.11-2008 中 8.2 进行测量，应符合 9.7.3 的要求。

10.4.2 绝缘老化前后机械性能

10.4.2.1 取样

应按 GB/T 2951.11-2008 中 9.1 进行试件取样和制备。

10.4.2.2 老化处理

老化处理应在表 10 规定的条件下，按 GB/T 2951.21-2008 中 8.1 进行。

10.4.2.3 预处理和机械性能试验

试应按 GB/T 2951.11-2008 的 9.1 进行试片的预处理和机械性能试验。

10.4.2.4 要求

试片老化前和老化后试件的试验结果应符合表 10 规定。

10.4.3 护套老化前后机械性能

10.4.3.1 取样

应按 GB/T 2951.11-2008 中 9.2 进行试件取样和制备。

10.4.3.2 老化处理

老化处理应在表 11 规定的条件下，按 GB/T 2951.21-2008 中 8.1 进行。

10.4.3.3 预处理和机械性能试验

试应按GB/T 2951.11-2008 中 9.2 进行试片的预处理和机械性能试验。

10.4.3.4 要求

试片老化前和老化后试件的试验结果应符合表 11 规定。

10.4.4 成品电缆段附加老化试验

10.4.4.1 概述

应进行成品电缆段附加老化试验以检验绝缘和护套是否与电缆中其他材料接触有无造成运行中劣化倾向。

本试验适用于任何类型的电缆。

10.4.4.2 取样

应按GB/T 2951.12-2008 中 8.1.4 从成品电缆上截取试验。

10.4.4.3 老化处理

电缆段的老化处理应按GB/T 2951.12-2008 中 8.1.4, 在空气烘箱中进行。

老化条件如下:

- 温度: 高于电缆正常运行时导体最高温度 (按表10) $10\text{ K} \pm 2\text{ K}$;
- 时间: 168 h。

10.4.4.4 机械性能试验

取自老化后电缆段试样的绝缘和护套试片, 应GB/T 2951.12-2008 中 8.1.4 进行机械性能试验。

10.4.4.5 要求

老化前和老化后抗张强度和断裂伸长率的变化率不应超过空气烘箱老化后的规定值。绝缘的规定值见表 10, 护套的规定值见表 11。

10.4.5 护套高温压力试验

10.4.5.1 步骤

高温压力试验应按GB/T 2951.31-2008 中第 8 章的试验方法及表 11 给出的试验条件进行。

10.4.5.2 要求

试验结果应符合表11 要求。

10.4.6 护套热冲击试验 (抗开裂)

10.4.6.1 步骤

按GB/T 2951.31-2008 中第 9 章取样和进行试验, 试验温度和加热持续时间按表 11 规定。

10.4.7 要求

试验结果应符合表 11 要求。

10.4.8 绝缘和 SE 护套热延伸试验

按 9.9 取样和进行试验, 并符合 9.9 要求。

10.4.9 绝缘和护套耐臭氧试验

10.4.9.1 步骤

应按GB/T 2951.21-2008 中第 8 章取样和进行试验，臭氧浓度和试验持续时间应符合表 10 和表 11 规定。

10.4.9.2 要求

试验结果应符合GB/T 2951.21-2008 中第 8 章的要求。

10.4.10 护套的浸油试验

10.4.10.1 步骤

按 GB/T 2951.21—2008 中第 10 章取样和进行试验，试验条件按表 11 规定。

10.4.10.2 要求

试验结果应符合表 11 要求。

10.4.11 绝缘吸水试验

10.4.11.1 步骤

按GB/T 2951.13-2008 中 9.2 的规定取样和进行试验，试验条件应符合表 10 规定。

10.4.11.2 要求

试验结果应符合表 10 要求。

10.4.12 护套抗撕试验

10.4.12.1 步骤

按JB/T 10696.7-2007 中 9.2 的规定取样和进行试验。

10.4.12.2 要求

试验条件应符合表 11 规定。

10.4.13 护套的低温性能试验

10.4.13.1 步骤

按GB/T 2951.14—2008 中第 8 章取样和进行试验，试验温度按表 11 规定。

10.4.13.2 要求

试验结果应符合表 11 要求。

10.4.14 单根电缆的不延燃试验

成品电缆应进行单根燃烧试验，试验方法和要求应符合GB/T 18380.12-2022 的规定。

11 检验规则和试验方法

产品应由制造方的质量检验部门检验合格方可出厂，每个出厂产品的包装件上应附有产品质量检验合格证。

每交货批至少抽取 1 件样品，也可由供需双方协议规定抽样数量。抽样检验的结果不合格时，应加倍取样对不合格项目进行第二次试验。仍不合格时，应对整批产品逐一进行试验。

试样项目及表12~表14 规定。

成品电缆例行试验应符合第 8 章和表 12 要求。成品电缆抽样试验应符合第 9 章和表 13 要求。成品电缆型式试验应符合第 10 章和表 14 要求。

12 运输和贮运

大长度电缆应采用船舶运输，缆舱内圈直径应大于电缆允许最小弯曲直径。较短电缆可以采用专用电缆吊运托盘运输。电缆的两个端头应有可靠的防水密封处理。运输中严禁机械损伤电缆。

电缆上应标明：

- a) 制造方名称；
- b) 电缆型号和规格；
- c) 额定电压，kV；
- d) 标称截面，mm²；
- e) 长度，m；
- f) 制造日期，年 月；
- g) 本文件编号。

表 12 例行试验试验项目及要

序号	试验项目	试验类型	试验要求	试验方法
1	导体电阻	R	8.2	GB/T 3048.4-2008
2	局部放电试验	R	8.3	GB/T 3048.12-2007
3	电压试验	R	8.4	GB/T 3048.8-2007
4	电缆外护套直流电压试验	R	8.5	GB/T 3048.14-2007

表 13 抽样试验项目及要

序号	试验项目	试验类型	试验要求	试验方法
1	结构尺寸检查			
1.1	导体检查	S	9.4	GB/T 4909.2-2009
1.2	绝缘厚度测量	S	9.7	GB/T 2951.11-2008
1.3	护套厚度测量	S	9.7	GB/T 2951.11-2008
1.4	金属屏蔽检查	S	9.4	GB/T 4909.2-2009
1.5	屏蔽厚度测量	S	9.6	GB/T 2951.11-2008
1.6	外径测量	S	9.8	GB/T 2951.11-2008
2	电性能			
2.1	导体电阻测量	S	9.5	GB/T 3048.4-2008
2.2	接地线芯导体电阻试验	S	9.5	GB/T 3048.4-2008
3	绝缘和SE护套热延伸试验	S	9.9	GB/T 2951.21-2008
4	电容测量	S	9.10	GB/T 3048.11-2007
5	半导体屏蔽电阻率测量	S	9.11	GB/T 12706.3-2020 附录D

表 14 型式试验项目及要 求

序号	试验项目	试验类型	试验要求	试验方法
1	结构检查			
1.1	导体检查	T	10.4.1.1	GB/T 4909.2-2009
1.2	绝缘厚度测量	T	10.4.1.3	GB/T 2951.11-2008
1.3	护套厚度测量	T	10.4.1.5	GB/T 2951.11-2008
1.4	金属屏蔽检查	T	10.4.1.4	GB/T 4909.2-2009
1.5	屏蔽厚度测量	T	10.4.1.2	GB/T 2951.11-2008
2	电缆识别标识		6.7	GB/T 6995.3-2008
3	电性能			
3.1	导体电阻测量	T	9.5	GB/T 3048.4-2008
3.2	弯曲试验及随后的局部放电试验	T	10.3.2、10.3.3	GB/T 3048.12-2007
3.3	tan δ 测量	T	10.3.4	GB/T 3048.11-2007
3.4	热循环试验及随后的局部放电试验	T	10.3.5	GB/T 3048.12-2007
3.5	冲击电压试验及随后的工频电压试验	T	10.3.6	GB/T 3048.13-2007 GB/T 3048.8-2007
3.6	半导体屏蔽电阻率测量	T	10.3.8	GB/T 32346.1-2015附录A
3.7	目测检查电缆	T	10.3.7	适当方法
4	绝缘老化前后机械性能试验	T	10.4.2	GB/T 2951.11-2008 GB/T 2951.12-2008
5	绝缘热延伸试验	T	10.4.8	GB/T 2951.21-2008
6	绝缘耐臭氧试验	T	10.4.9	GB/T 2951.21-2008
7	绝缘吸水试验	T	10.4.11	GB/T 2951.13-2008
8	护套老化前后机械性能试验	T	10.4.3	GB/T 2951.11-2008 GB/T 2951.12-2008
9	护套浸矿物质油后机械性能	T	10.4.10	GB/T 2951.11-2008 GB/T 2951.12-2008
10	SE护套热延伸试验	T	10.4.8	GB/T 2951.21-2008
11	护套高温压力试验	T	10.4.5	GB/T 2951.31-2008
12	护套抗撕试验	T	10.4.12	JB/T 10696-2007
13	热冲击试验（抗开裂）	T	10.4.6	GB/T 2951.21-2008
14	护套低温试验	T	10.4.13	GB/T 2951.14-2008
15	护套耐臭氧试验	T	10.4.9	GB/T 2951.21-2008
16	成品电缆段附加老化试验	T	10.4.4	GB/T 2951.11-2008 GB/T 2951.12-2008
17	单根电缆的不延燃试验	T	10.4.14	GB/T 18380.12-2022