

# T/STIC

团 体 标 准

T/STIC 110101—2024

## 多功能防护光伏电缆

Multifunctional protective for photovoltaic cable

2024 - 04 - 17 发布

2024 - 04 - 17 实施



## 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 技术要求 .....	2
5.1 导体 .....	2
5.2 绝缘 .....	2
5.3 防护层 .....	3
5.4 护套 .....	3
6 标志 .....	5
6.1 标志和电缆识别 .....	5
6.2 标志的连续性 .....	5
6.3 耐擦性 .....	5
6.4 清晰度 .....	5
6.5 产品表示方法 .....	5
7 成品电缆性能要求及试验方法 .....	5
7.1 一般要求 .....	5
7.2 电气性能 .....	6
7.3 非电气试验 .....	6
附录 A（规范性） 绝缘和护套的性能要求 .....	12
附录 B（规范性） 电缆产品的补充条款 .....	14
附录 C（规范性） 人工气候老化试验(耐 UV) .....	17
附录 D（规范性） 成品电缆径向防水试验 .....	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。

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。

本文件由上海市检验检测认证协会提出。

本文件由上海市检验检测认证协会归口。

本文件起草单位：上海金友金弘智能电气股份有限公司、上海金友智能科技有限公司、江苏宝阳新能源科技有限公司、上海添唯认证技术有限公司。

本文件主要起草人：常勇、王孝行、潘静、刘华友、谷百安、谷丽娜、洪轩、张瑜、黄惠杰。

本文件首批承诺执行单位：上海金友金弘智能电气股份有限公司、上海金友智能科技有限公司、江苏宝阳新能源科技有限公司、上海添唯认证技术有限公司、上海市检验检测认证协会。

# 多功能防护光伏电缆

## 1 范围

本文件规定了额定电压直流（DC）1500 V的多功能防护光伏电缆的使用特性、技术要求、标志和成品电缆性能要求及试验方法。

本文件适用于光伏发电系统中直流侧的光伏组件与组件之间的串联电缆、组串之间及组串至直流配电箱（汇流箱）之间的并联电缆和直流配电箱至逆变器之间的电缆，也可适用于逆变器与电网间连接用的交流应用电缆。

## 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 2423.3 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热方法
- GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Ka：盐雾
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- GB/T 3048.4 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 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 3048.14 电线电缆电性能试验方法 第14部分：直流电压试验
- GB/T 3956 电缆的导体裸电线试验方法
- GB/T 4909.2 裸电线试验方法 第2部分 尺寸测量
- GB/T 6995.3 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 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 11026.1 电气绝缘材料 耐热性 第1部分：老化程序和试验结果的评定
- GB/T 11026.2 电气绝缘材料 耐热性 第2部分：试验判断标准的选择
- GB/T 15065 电线电缆用黑色聚乙烯塑料
- GB/T 16422.2 塑料实验室光源暴露试验方法 第2部分：氙弧灯
- GB/T 17650.1 取自电缆或光缆的材料燃烧时释出气体的试验方法 第1部分：卤酸气体总量的测定
- GB/T 17650.2 取自电缆或光缆的材料燃烧时释出气体的试验方法 第2部分：用测量pH值和电导率来测定气体的酸度
- GB/T 17651.1 电缆或光缆在特定条件下燃烧的烟密度测定 第1部分：试验装置
- GB/T 17651.2 电缆或光缆在特定条件下燃烧的烟密度测定 第2部分：试验步骤和要求
- GB/T 18380.12 电缆和光缆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1kW预混合型火焰试验方法

GB/T 19666 阻燃和耐火电线电缆通则

GB/T 28429-2012 轨道交通1500V及以下直流牵引电力电缆及附件

JB/T 8137 (所有部分) 电线电缆交货盘

NB/T 42073-2016 光伏发电系统用电缆

YD/T 723(所有部分) 通信电缆光缆用金属塑料复合带

IEC 60684-2 绝缘软管 第2部分: 试验方法 (Flexible insulating sleeving - Part 2: Methods of test)

### 3 术语和定义

NB/T 42073界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**径向防水 radial waterproofing**

防止电缆使用过程中周围外部的水通过护套层渗透进电缆内部。

#### 3.2

**多功能防护 multifunctional protection**

电缆具有防鼠蚁、防虫鸟、径向防水、防机械冲击、防挤压等防护功能。

### 4 使用特性

4.1 本文件所规定的电缆,正常运行条件下导体连续工作温度为 90℃,其预期使用寿命应达到 25 年。但当环境温度为 90℃ 时,电缆在导体温度为 120℃ 的条件下应能正常使用 20000h。

4.2 电缆安装时的环境温度不宜低于 -25℃,储运时的环境温度不应高于 40℃。

4.3 当电缆采用铠装结构时,电缆推荐的最小允许弯曲半径不应小于电缆外径的 20 倍;当电缆采用非铠装结构时,电缆推荐的最小允许弯曲半径不应小于电缆外径的 6 倍。

4.4 电缆的额定直流电压为 1.5kV,电缆在光伏发电系统中直流下的最大允许电压为 1.8kV。

4.5 电缆可用于集中式光伏电站、分布式光伏电站、海上光伏电站、水上光伏电站等。

4.6 电缆可采用架空敷设、裸露敷设、直埋敷设、穿管敷设、桥架敷设等方式。

### 5 技术要求

#### 5.1 导体

##### 5.1.1 材料

5.1.1.1 导体应是退火铜线。

5.1.1.2 导体中的单线应镀锡,镀锡层应连续、光滑、均匀,无目力可视的缺陷。

##### 5.1.2 结构

5.1.2.1 导体的结构应符合 GB/T 3956—2008 中的第 5 种软铜导体的要求。

5.1.2.2 电缆导体和绝缘之间允许采用非吸湿性材料的隔离层,隔离层应为无卤材料。

##### 5.1.3 结构检查

应通过检验和测量检查结构是否符合 5.1.1 和 5.1.2 的要求。

##### 5.1.4 电阻

电缆的导体在 20℃ 时的直流电阻应符合 GB/T 3956—2008 中的第 5 种软铜导体的规定。

#### 5.2 绝缘

##### 5.2.1 材料

挤包在每芯导体上的绝缘应是无卤低烟辐照交联聚烯烃材料。

## 5.2.2 挤包绝缘

5.2.2.1 绝缘应连续紧密的挤包在导体或隔离层上，当剥离绝缘时，绝缘不应粘结导体，不损伤导体或镀层。绝缘的横断面上应无目力可见的气孔或砂眼等缺陷。应通过检验及手工测量检查是否符合要求。

5.2.2.2 绝缘性能应符合附录 A 的要求。

## 5.2.3 绝缘厚度

5.2.3.1 绝缘厚度的标称值见表 1 或表 2。

5.2.3.2 绝缘厚度的平均值不应小于标称值，其最薄处厚度不应小于标称值的 90%—0.1mm。

5.2.3.3 应按 GB/T 2951.11 规定的试验方法检查是否符合要求。

## 5.2.4 绝缘线芯识别

电缆绝缘线芯的识别应符合 GB/T 6995.5 的规定。用着色绝缘或其他合适的方法识别。电缆的每一绝缘线芯应只用一种颜色。电缆绝缘线芯颜色宜为红色、黑色。

## 5.3 防护层

### 5.3.1 非金属防护层

5.3.1.1 非金属防护层应连续的挤包在绝缘上，应采用径向防水性能优异的尼龙 6 或聚乙烯材料，聚乙烯材料应符合 GB/T 15065 的规定。非金属防护层横断面上应无目力可见的气孔或砂眼等缺陷。

5.3.1.2 非金属防护层厚度的标称值为 0.15mm，非金属防护层的平均厚度不应小于标称值，其最薄处厚度不应小于 0.10mm。

### 5.3.2 金属防护层

5.3.2.1 金属防护层应纵包在绝缘或非金属防护层上，采用双面铝塑复合带或双面钢塑复合带。金属防护层应符合 YD/T 723 的规定。纵包可采用扎纹工艺，扎纹后凸点顶部和凹点底部最大值不应大于 2 倍的金属防护层平均厚度。纵包的重叠宽度不应小于 2mm。

5.3.2.2 金属防护层厚度的标称值为 0.2mm，金属防护层的平均厚度不应小于标称值，其最薄处厚度不应小于 0.18mm。金属防护层中的铝带或钢带厚度不应小于 0.1mm。

5.3.2.3 应按 GB/T 2951.11 规定的试验方法检查是否符合要求。

### 5.3.3 防护层选择

电缆的非金属防护层和金属防护层可选择一种，当同时选择时，金属防护层应纵包在非金属防护层上外层。

### 5.3.4 防鼠蚁保护

非金属防护层采用尼龙材料防蚁，钢塑带金属防护层采用钢带材料防鼠蚁。防护功能为材料固有，一般无需进行测试。当客户要求时，应按 JB/T 10696.9-2011 《电线电缆机械和理化性能试验方法第 9 部分：白蚁试验》（群体法）和 JB/T 10696.10-2011 《电线电缆机械和理化性能试验方法第 10 部分：大鼠啃咬试验》进行测试。

## 5.4 护套

### 5.4.1 材料

5.4.1.1 挤包在防护层上的护套应是无卤低烟辐照交联聚烯烃材料。

5.4.1.2 护套性能应符合附录 A 的要求。

### 5.4.2 厚度

5.4.2.1 护套厚度的标称值见表 1 或表 2。

5.4.2.2 护套厚度的平均值不应小于标称值，其最薄处厚度不应小于标称值的 85%—0.1mm。

5.4.2.3 应按 GB/T 2951.11 规定的试验方法检查是否符合要求。

5.4.3 外观及颜色

5.4.3.1 护套表面应光滑平整，色泽均匀，无裂缝、孔洞、颗粒等缺陷，其断面应无杂质或孔洞。

5.4.3.2 护套颜色应为黑色，整个护套的颜色应一致。

5.4.4 外径及椭圆度

5.4.4.1 成品电缆的外径应符合表 1 或表 2 的规定。

5.4.4.2 电缆在挤包护套后应形成实际的圆形，在同一横截面上测得的最大外径和最小外径之差不应超过平均外径上限的 15%。

5.4.5 防护层套

5.4.5.1 电缆的金属防护层和护套之间可挤包一层聚乙烯防护层套，聚乙烯防护层套材料应符合 GB/T 15065 的要求。防护层套表面应光滑平整，色泽均匀，无裂缝、孔洞、颗粒等缺陷，其断面应无杂质或孔洞。

5.4.5.2 防护层套厚度的标称值为 0.1mm。

5.4.5.3 防护层套厚度的平均值不应小于标称值，其最薄处厚度不应小于 0.05mm。

5.4.5.4 应按 GB/T 2951.11 规定的试验方法检查是否符合要求。

5.4.6 双芯电缆护套的结构

双芯电缆护套应采用双芯可分离式结构，如图1所示。二根单芯电缆中间采用连筋连接。连筋应符合如下要求：

- 不要拨开两根平行线，进行切片；
- 连接筋位于平行线的正中间，连接筋和线的外围之间应该有一个 90° 左右的角度，且深度不小于 0.3mm。

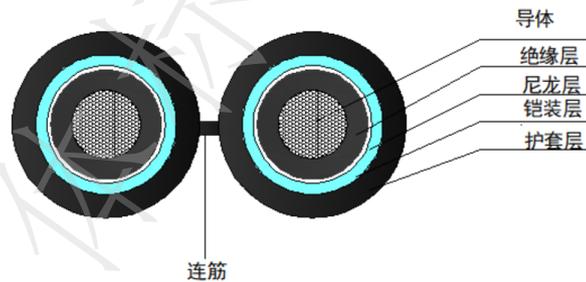


图1 双芯可分离式结构

表1 单芯电缆的综合数据

芯数×标称 截面积 mm <sup>2</sup>	绝缘厚度的 标称值 mm	护套厚度的 标称值 mm	平均外径上限	20℃时最小 绝缘电阻 MΩ·km	90℃时最小 绝缘电阻 MΩ·km
1×1.5	0.7	0.8	6.4	860	0.86
1×2.5	0.7	0.8	6.9	690	0.69
1×4	0.7	0.8	7.6	580	0.58
1×6	0.7	0.8	8.4	500	0.50
1×10	0.7	0.8	9.8	420	0.42
1×16	0.7	0.9	11.1	340	0.34
1×25	0.9	1.0	13.5	340	0.34
1×35	0.9	1.1	15.0	290	0.29

表1 单芯电缆的综合数据（续）

芯数×标称 截面积 mm <sup>2</sup>	绝缘厚度的 标称值 mm	护套厚度的 标称值 mm	平均外径上限	20℃时最小 绝缘电阻 MΩ·km	90℃时最小 绝缘电阻 MΩ·km
1×50	1.0	1.2	17.3	270	0.27
1×70	1.1	1.2	19.7	250	0.25
1×95	1.1	1.3	21.8	220	0.22
1×120	1.2	1.3	23.8	210	0.21
1×150	1.4	1.4	26.5	210	0.21
1×185	1.6	1.6	29.5	200	0.20
1×240	1.7	1.7	33.1	200	0.20

表2 双芯电缆的综合数据

芯数×标称 截面积 mm <sup>2</sup>	绝缘厚度的 标称值 mm	护套厚度的 标称值 mm	窄边平均 外径上限 mm	宽边平均 外径上限 mm	20℃时最小 绝缘电阻 MΩ·km	90℃时最小 绝缘电阻 MΩ·km
2×1.5	0.7	0.8	6.4	13.1	860	0.86
2×2.5	0.7	0.8	6.9	14.1	690	0.69
2×4	0.7	0.8	7.6	15.5	580	0.58
2×6	0.7	0.8	8.4	17.1	500	0.50
2×10	0.7	0.8	9.8	19.9	420	0.42
2×16	0.7	0.9	11.1	22.5	340	0.34

## 6 标志

### 6.1 标志和电缆识别

6.1.1 电缆应具有厂名、产品型号和额定电压的连续标志。标志应符合 GB/T 6995.3 的规定。

6.1.2 电缆型号应符合附录 B 的规定。

6.1.3 标志可以油墨印字或压印凸字在护套上。

### 6.2 标志的连续性

护套表面同一个标志的末端与下一个标志的始端之间的距离不应大于 550mm。

### 6.3 耐擦性

6.3.1 油墨印字标志应耐擦。

6.3.2 用浸过水的一团脱脂棉或一块棉布轻轻擦拭电缆厂名或商标，共擦拭 10 次，结果应容易识别或易于辨认。

### 6.4 清晰度

所有标志应字迹清楚，容易识别或易于辨认，必要时，可用汽油或其他合适的溶剂擦干净。

### 6.5 产品表示方法

产品表示方法应符合附录 B 的规定。

## 7 成品电缆性能要求及试验方法

### 7.1 一般要求

7.1.1 交货的成品电缆按表 3 的规定进行检测和试验。检查是否满足相应要求。

7.1.2 试验类型：例行试验（R）、抽样试验（S）、型式试验（T）。

7.1.3 抽样试验项目第一次试验结果不合格，应在同一批电缆中再取 2 个试样，就不合格项目进行试验，如果 2 个试样均合格，则该批电缆合格，否则该批电缆不合格。每批抽样数量由双方协议规定，如用户不提出要求则由制造厂规定。抽样试验频度，按 GB/T 12706.1-2008 中 16.2 的规定。

## 7.2 电气性能

### 7.2.1 导体直流电阻

7.2.1.1 导体直流电阻应按 GB/T 3048.4 进行试验。

7.2.1.2 20℃ 时的导体直流电阻应符合 GB/T 3956 中的规定。

### 7.2.2 成品电缆电压试验

7.2.2.1 成品电缆应按 GB/T 3048.8 进行交流电压试验，或按 GB/T 3048.14 进行直流电压试验。

7.2.2.2 试验长度、水温和浸水时间应符合表 3 的规定。

### 7.2.3 绝缘线芯或成品电缆的缺陷检查

电缆的绝缘线芯或成品电缆应按 GB/T 3048.9 或 GB/T 3048.10 经受工频电压或直流电压的火花试验，按照 GB/T 3048.9 或 GB/T 3048.10 的推荐电压值进行试验。

### 7.2.4 绝缘电阻

7.2.4.1 20℃ 的绝缘电阻应按 GB/T 3048.5 进行试验，试验条件见表 3 的规定，绝缘电阻应符合表 1 和表 2 的规定。

7.2.4.2 90℃ 的绝缘电阻应按 GB/T 3048.5 进行试验，试验条件见表 3 的规定，绝缘电阻应符合表 1 和表 2 的规定。

### 7.2.5 绝缘长期耐直流电压试验

7.2.5.1 取一定长度的电缆，剥去护套和任何其他包覆层而不损伤绝缘线芯。

7.2.5.2 将试样浸入含氯化钠 10g/L 的恒温水槽中，浸入试样时，试样两端应露出水溶液约 250mm，要求导体接电源负极，水溶液接电源正极。

7.2.5.3 试验条件和要求应符合表 3 的规定。

### 7.2.6 护套表面电阻

#### 7.2.6.1 测量方法

7.2.6.1.1 取三段长约 250mm 的试样，用酒精清洁试样护套表面后，用 2 个铜丝绕组作为电极绕在护套上，两电极相距 100mm，铜丝直接为 (0.2-0.6) mm，安装后应重新清洁两电极之间的护套表面。

7.2.6.1.2 将试样放置于温度为 (20±2)℃、湿度为 (60±5)% 的环境中 24h。

7.2.6.1.3 随后在两电极间加直流电压 (100~500) V, 1min 测量电阻值 R。

#### 7.2.6.2 计算方法及要求

采用下述公式计算护套表面电阻 Rh

$$Rh=Ra/100$$

式中：

Rh—— 护套表面电阻，单位为欧姆(Ω)；

R—— 表面电阻测量值，单位为欧姆(Ω)；

a—— 试样周长，单位为毫米 (mm)。

注：三个试验结果的中间值即为护套表面电阻，结果应符合表3中的规定。

## 7.3 非电气试验

### 7.3.1 非污染性试验

成品电缆应按 GB/T 2951.12 进行非污染试验，试验条件见表 3 中的规定，绝缘和护套的性能应满足表 A 中的要求。

### 7.3.2 低温冲击

7.3.2.1 成品电缆应按 GB/T 2951.14 进行低温冲击试验，试验条件见表 3 和 NB/T 42073 中附录 B 中的规定。

7.3.2.2 试验后用正常视力或校正视力而不用放大镜检查，要求试样均不应有裂纹。

### 7.3.3 低温弯曲试验

对于外径 12.5mm 及以下的电缆应按 GB/T 2951.14 进行低温弯曲试验，试验条件见表 3 中的规定，成品电缆性能应满足表 3 中的要求。

### 7.3.4 低温拉伸试验

对于外径 12.5mm 以上的电缆应按 GB/T 2951.14 进行低温拉伸试验，试验条件见表 3 中的规定，绝缘和护套性能应满足表 3 中的要求。

### 7.3.5 耐臭氧试验

7.3.5.1 对于外径 20.0mm 及以下的电缆应按 GB/T 2951.21 进行成品电缆耐臭氧试验，试棒直径取 3 倍的电缆外径，试验条件见表 3 中的规定。

7.3.5.2 对于外径 20.0mm 以上的电缆应按 GB/T 2951.21 进行护套耐臭氧试验，试验条件见表 3 中的规定。

7.3.5.3 试验后用正常视力或校正视力而不用放大镜检查，要求试样均不应有裂纹。

7.3.5.4 在夹具附近的裂纹应忽略。

### 7.3.6 人工气候老化试验(耐 UV)

7.3.6.1 电缆应满足在户外条件下的耐候老化性能，试验方法见 NB/T 42073 附录 D。

7.3.6.2 人工气候老化试验后，护套性能应满足表 3 的要求。

### 7.3.7 湿热试验

7.3.7.1 取适当长度电缆，采用 GB/T 2423.3 规定的方法，试验条件见表 3 中的规定。随后按 GB/T 2951.11 的方法，在绝缘和护套上各取 5 个试件进行拉伸试验。

7.3.7.2 绝缘和护套的性能应满足表 3 中的要求。

### 7.3.8 护套收缩试验

电缆应按 GB/T 2951.13 进行护套收缩试验，试验条件见表 3 中的规定，收缩试验性能应满足表 3 中的要求。

### 7.3.9 单根垂直燃烧试验

7.3.9.1 电缆应按 GB/T 18380.12 进行单根垂直燃烧试验。

7.3.9.2 电缆应符合 GB/T 18380.12 中附录 A 的相关要求。

### 7.3.10 烟密度试验

7.3.10.1 电缆应按 GB/T 17651.2 进行烟密度试验，试验设备应符合 GB/T 17651.1 的相关要求。

7.3.10.2 试验完成后，透光率的最小值应满足表 3 中的要求。

### 7.3.11 无卤性能

7.3.11.1 电缆的所有非金属材料应按 GB/T 17650.1 进行溴和氯含量试验，按 GB/T 17650.2 进行 pH 值和电导率试验，按 IEC 60684-2 进行氟含量试验。

7.3.11.2 试验完成后，溴和氯含量、pH 值和电导率、氟含量应分别满足 NB/T 42073 中表 A.1 中的要求。

### 7.3.12 盐雾试验

7.3.12.1 在高盐高湿环境中安装敷设的电缆应经受盐雾试验。

7.3.12.2 成品电缆应按 GB/T 2423.17 规定进行 336h 的老化试验。老化后将样品取出并在常温下至少放置 1 6h, 随后按 GB/T 2951.11 的相关规定进行取样, 并对老化后的护套试件进行抗张强度和断裂伸长率试验。

7.3.12.3 盐雾试验后, 护套的性能应满足表 3 中的要求。

### 7.3.13 剥离力试验

7.3.13.1 双芯可分离式结构应进行剥离力试验。

7.3.13.2 取 1m 长度双芯可分离式结构成品电缆, 中间用刀切开一个小口子, 分开两根平行线至适当位置, 将两根线夹在拉力机上。在  $23\pm 5^{\circ}\text{C}$  的环境温度条件下, 以 5mm/s 的速度按 GB/T 2951.11 进行剥离力试验。

7.3.13.3 剥离力试验后, 应符合如下规定:

- a) 拉力  $5\text{N}\leq F\leq 30\text{N}$ ;
- b) 护套表面目测无裂纹无损伤;
- c) 如果护套表面有损伤, 则需要测量尺寸, 尺寸必须满足 5.4.6 的要求。

注: F表示双芯可分离结构连筋的剥离力。

### 7.3.14 浸水循环试验

7.3.14.1 电缆应按 GB/T 28429 附录 D 进行浸水循环试验。

7.3.14.2 电缆应符合 GB/T 28429 附录 D 的相关要求。

### 7.3.15 径向防水试验

7.3.15.1 电缆应按附录 D 进行径向防水试验。

7.3.15.2 电缆应符合附录 D 的相关要求。

表3 多功能防护光伏电缆试验项目

序号	试验项目	单位	试验方法	要求	试验类型
1	电气性能试验				
1.1	导体直流电阻试验		GB/T 3048.4	GB/T 3956	T, S
1.2	成品电缆电压试验				T, S
1.2.1	试验条件				
	— 试样最小长度	m		20	
	— 浸水最少时间	h		1	
	— 水温	$^{\circ}\text{C}$		$20\pm 5$	
1.2.2	试验电压 (交流)	kV	GB/T 3048.8	6.5	
	试验电压 (直流)	kV	GB/T 3048.14	15	
1.2.3	每次最少施加电压时间	min		5	
1.2.4	试验结果			不击穿	
1.3	绝缘线芯或成品电缆的缺陷检查		GB/T 3048.9	7.2.3	R
	试验结果		GB/T 3048.10	不击穿	
1.4	绝缘电阻测量 <sup>a</sup>				
1.4.1	20 $^{\circ}\text{C}$ 绝缘电阻测量 <sup>a</sup>		GB/T 3048.5		T, S
1.4.1.1	试验条件				
	— 试样最小长度	m		5	
	— 浸水最少时间	h		2	
	— 水温	$^{\circ}\text{C}$		20	
1.4.2.2	试验结果	$\text{M}\Omega\cdot\text{km}$		表1, 表2规定值	

表3 多功能防护光伏电缆试验项目（续）

序号	试验项目	单位	试验方法	要求	试验类型
1.4.2	90℃绝缘电阻测量 <sup>a</sup>		GB/T 3048.5		T, S
1.4.2.1	试验条件				
	—试样最小长度	m		5	
	—浸水最少时间	h		2	
	—水温	℃		90	
1.4.2.2	试验结果	MΩ·km		表1, 表2规定值	
1.5	绝缘长期耐直流电压试验		7.2.5		T
1.5.1	试验条件				
	—试样最小长度	m		5	
	—浸水最少时间	h		240	
	—水温	℃		85±5	
	—试验电压（直流）	kV		1.8	
1.5.2	试验结果			绝缘不发生击穿，试验结束后绝缘表面应无损坏	
1.6	护套表面电阻		7.2.6		T
1.6.1	试验条件				
	—试验电压（直流）	V		100~500	
	—试验时间	min		1	
1.6.2	试验结果	Ω		≥1×10 <sup>9</sup>	
2	电缆结构和尺寸检查				
2.1	导体				
2.1.1	导体单线直径		GB/T 4909.2	GB/T 3956	T, S
2.1.2	镀锡层检查		目测	无可见裂纹	T, S
2.2	绝缘厚度测量	mm	GB/T 2951.11	5.2.3	T, S
2.3	非金属防护层厚度测量	mm	GB/T 2951.11	5.3.1	T
2.4	金属防护层厚度测量	mm	GB/T 2951.11	5.3.2	T
2.5	防护层套（如有）厚度测量		GB/T 2951.11	5.4.5	T
	连筋（如有）结构检查	mm	GB/T 2951.11 和目测	5.4.6	T
2.6	护套厚度测量	mm	GB/T 2951.11	5.4.2	T, S
2.7	外径测量				T, S
2.7.1	平均值	mm	GB/T 2951.11		T, S
2.7.2	椭圆度	%	GB/T 2951.11	5.4.4	T, S
2.8	护套颜色		目测	5.4.3	T, S
2.9	标志		目测和手工试验	第6章	T, S
3	绝缘材料性能		附录A	表A.1	T
4	护套材料性能		附录A	表A.1	T
5	非污染试验		GB/T 2951.12		
5.1	老化条件				T
	—老化时间	h		168	
	—老化温度	℃		135±2	
5.2	试验结果			表A.1	
6	低温冲击试验		NB/T 42073-2016附录 B和GB/T 2951.12		T
6.1	试验条件			NB/T 42073-2016附录B	
6.2	试验结果			无裂纹	

表3 多功能防护光伏电缆试验项目（续）

序号	试验项目	单位	试验方法	要求	试验类型
7	低温弯曲试验 对于电缆外径 $\leq 12.5\text{mm}$		GB/T 2951.14		T
7.1	试验条件				
	— 试验时间	h		16	
	— 试验温度	$^{\circ}\text{C}$		$-40\pm 2$	
7.2	试验结果			无裂纹	
8	低温拉伸试验 对于电缆外径 $\geq 12.5\text{mm}$				T
8.1	试验条件				
	— 试验时间	h		4	
	— 试验温度	$^{\circ}\text{C}$		$-40\pm 2$	
8.2	试验结果				
	— 绝缘最小伸长率	%		50	
	— 护套最小伸长率	%		50	
9	耐臭氧试验				T
9.1	试验条件				
	— 试验时间	h		24	
	— 试验温度	$^{\circ}\text{C}$		$25\pm 2$	
	— 臭氧浓度	%		$(250\sim 300)\times 10^{-4}$	
9.2	试验结果			无裂纹	T
10	人工气候老化(耐UV)		附录 C		
10.1	试验条件			附录 C	
10.2	试验结果			附录 C	
11	湿热试验		GB/T 2423.3		T
11.1	试验条件				
	— 试验时间	h		1000	
	— 试验温度	$^{\circ}\text{C}$		90	
	— 相对湿度, 最小值	%		85	
	— 恢复时间	h		16~24	
11.2	试验结果				
	— 抗张强度保留率	%		$\geq 80$	
	— 断裂伸长保留率	%		$\geq 80$	
12	护套收缩试验		GB/T 2951.13		T
12.1	试验条件				
	— 试验时间	h		1	
	— 试验温度	$^{\circ}\text{C}$		120	
	— 试验周期			5	
	— 试样长度	mm		300	
12.2	最大允许收缩	%		1.5	
13	单根垂直燃烧试验		GB/T 18380.12		T
	试验结果			GB/T 18380.12附录 A	
14	烟密度试验		GB/T 17651.2		T
	试验结果				
	— 透光率的最小值	%		70	T
15	绝缘、护套材料的无卤性能				
15.1	酸气含量试验		GB/T 17650.1	表 A.1	
15.2	氟含量试验		IEC 60684-2	表 A.1	
15.3	pH值和电导率试验		GB/T 17650.2	表 A.1	
16	盐雾试验		见7.3.12		T

表3 多功能防护光伏电缆试验项目（续）

序号	试验项目	单位	试验方法	要求	试验类型
16.1	试验条件 — 试验时间	h		14×24	
16.2	试验结果 — 抗张强度变化率 — 断裂伸长率变化率	% %		≤ 25% ≤ 25%	
17	剥离力试验		GB/T 2951.11		T
17.1	试验条件			7.3.13	
17.2	试验结果			7.3.13	
18	浸水循环试验		GB/T 28429-2012附录 D	GB/T 28429-2012附录 D	T
19	径向防水试验				T
19.1	试验条件		附录 D	附录 D	
19.2	试验结果			附录 D	
<sup>a</sup> 不规定正偏差					

附 录 A  
(规范性)  
绝缘和护套的性能要求

取自成品电缆的绝缘和护套材料应按表A.1检查是否符合要求。

表A.1 绝缘和护套材料非电性能试验

序号	试验项目	单位	试验方法	要求	
				绝缘 (XLPO)	护套 (XLPO)
1	抗张强度和断裂伸长率		GB/T 2951.11		
1.1	交货状态原始性能				
1.1.1	抗张强度原始值-最小中间值	N/mm <sup>2</sup>		9.0	9.0
1.1.2	断裂伸长率原始-最小中间值	%		130	130
1.2	空气烘箱老化后的性能		GB/T 2951.11		
1.2.1	老化条件		GB/T 2951.12		
	—老化温度	°C		150±2	150±2
	—处理时间	h		7×24	7×24
1.2.2	老化后抗张强度变化率	%		±25	±25
1.2.3	老化后断裂伸长率变化率	%		±25	±25
2	热延伸试验		GB/T 2951.21		
2.1	试验条件				
	—试验温度	°C		250±3	250±3
	—处理时间	min		15	15
	—机械应力	N/mm <sup>2</sup>		20	20
2.2	试验结果				
	—载荷下的伸长率, 最大值	%		90	90
	—冷却后的伸长率, 最大值	%		20	20
3	热寿命试验		GB/T 11026.1		
3.1	试验条件		GB/T 11026.2		
	寿命终点以断裂伸长率保留率判定				
3.2	试验结果				
	—20000h的温度指数	°C		120	120
	—断裂伸长率保留率 (寿命终点)	%		50	50
4	耐酸耐碱试验				
4.1	耐酸试验		GB/T 2951.21		
4.1.1	试验条件		GB/T 2951.11		
	—酸性溶液浓度	mol/L		0.5	0.5
	—处理温度	°C		23±2	23±2
	—处理时间	h		7×24	7×24
4.1.2	试验后抗张强度最大变化率	%		25	25
4.1.3	试验后断裂伸长率最小中间值	%		120	120
4.2	耐碱试验		GB/T 2951.21		
4.2.1	试验条件		GB/T 2951.11		
	—碱性溶液浓度	mol/L		1	15
	—处理温度	°C		23±2	23±2

表A.1 绝缘和护套材料非电性能试验（续）

序号	试验项目	单位	试验方法	要求	
				绝缘(XLPO)	护套(XLPO)
4.2.2 4.2.3	—处理时间	h		7×24	7×24
	试验后抗张强度最大变化率	%		±25	±25
	试验后断裂伸长率最小中间值	%		120	120
5	非污染试验		GB/T 2951.12		
5.1	老化条件				
	—老化温度	°C		135±2	135±2
5.2	—处理时间	h		7×24	7×24
	老化后抗张强度变化率	%		±25	±25
5.3	老化后断裂伸长率变化率	%		±25	±25
6	无卤性能试验				
6.1	酸气含量试验		GB/T 17650.1		
	—溴和氯含量（以HCL表示）， 最大值	%		0.5	0.5
6.2	氟含量试验		IEC 60684-2		
	—氟含量，最大值	%		0.1	0.1
6.3	pH值和电导率		GB/T 17650.2		
	—pH值，最小值			4.3	4.3
	—电导率，最大值	μS/mm		10	10

附录 B  
(规范性)  
电缆产品的补充条款

B.1 电缆型号和产品表示方法

B.1.1 代号

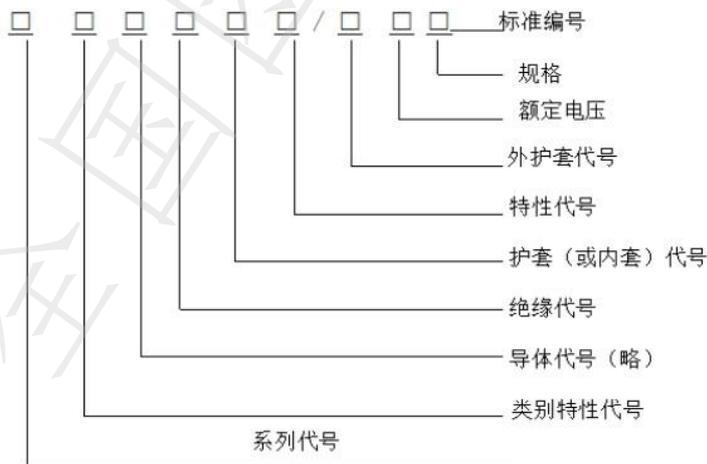
代号表示方式见表 B.1。无卤、低烟、阻燃代号应符合 GB/T 19666 的规定。

表B.1 代号表示方式

代号分类	代号名称	代号表示方式
系列代号	多功能防护光伏电缆	GF
类别代号	无卤	W
	低烟	D
	阻燃(单根垂直燃烧)	Z
材料代号	镀锡铜导体	TX(省略)
	辐照交联聚烯烃绝缘	E
	辐照交联聚烯烃护套	E
	尼龙防护层	N
	聚乙烯防护层	Y
	铝箔/铝塑复合带	P3
	钢塑复合带	5
	辐照交联聚烯烃外护套	3
	铝塑粘结型护套	A3
	钢塑粘结型护套	53
	结构特征代号	双芯可分离型
软结构		R

B.1.2 产品型号

产品型号的组成和排列顺序见图 B.1。



图B.1 产品型号的组成和排列顺序

电缆常用型号见表 B.2。

表B.2 电缆常用型号

型号 <sup>a</sup>	名称
GF-WDZENER	无卤低烟阻燃辐照交联聚烯烃绝缘尼龙防护层辐照交联聚烯烃护套多功能防护光伏软电缆
GF-WDZENP3ER	无卤低烟阻燃辐照交联聚烯烃绝缘尼龙防护层铝箔纵包辐照交联聚烯烃外护套多功能防护光伏软电缆
GF-WDZENR53	无卤低烟阻燃辐照交联聚烯烃绝缘尼龙防护层轧纹钢塑带纵包辐照交联聚烯烃外护套多功能防护光伏软电缆
GF-WDZENESR	无卤低烟阻燃辐照交联聚烯烃绝缘尼龙防护层辐照交联聚烯烃护套双芯可分离型多功能防护光伏软电缆
GF-WDZENP3SR	无卤低烟阻燃辐照交联聚烯烃绝缘尼龙防护层铝箔带纵包辐照交联聚烯烃外护套双芯可分离型多功能防护光伏软电缆
GF-WDZENSR53	无卤低烟阻燃辐照交联聚烯烃绝缘尼龙防护层轧纹钢塑带纵包辐照交联聚烯烃外护套双芯可分离型多功能防护光伏软电缆
GF-WDZEYSR53	无卤低烟阻燃辐照交联聚烯烃绝缘聚乙烯防护层轧纹钢塑带纵包辐照交联聚烯烃外护套双芯可分离型多功能防护光伏软电缆

<sup>a</sup> 表中未列出的型号可按 B.1.2 的规定组成。

### B.1.3 产品表示方法

产品用型号、规格（额定电压、芯数、标称截面）及本文件标准编号表示。

示例1：辐照交联聚烯烃绝缘尼龙防护层轧纹钢塑带纵包辐照交联聚烯烃外护套多功能防护软光伏电缆，额定电压为 DC 1500V，2 芯可分离型，标称截面积为 4 mm<sup>2</sup>，表示为：GF-WDENS53 DC 1500 V 2×4mm<sup>2</sup>。

示例2：辐照交联聚烯烃绝缘聚乙烯防护层辐照交联聚烯烃外护套多功能防护软光伏电缆，额定电压为 DC 1500V，1 芯，标称截面积为 16 mm<sup>2</sup>，表示为：GF-WDEYER DC 1500 V 1×4mm<sup>2</sup>。

## B.2 产品验收规则、交货长度及电缆的包装

### B.2.1 验收规则

B.2.1.1 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。

B.2.1.2 产品应按本文件规定的试验项目进行试验验收。

### B.2.2 交货长度

根据双方协议长度交货，长度计量误差不应超过 0.5%。

### B.2.3 电缆的包装

B.2.3.1 电缆可成盘或成圈包装，成盘电缆应妥善包装在符合 JB/T 8137 规定的电缆盘上。电缆端头应可靠密封，伸出盘外电缆端头长度不应大于 300mm。为防止贮运中损坏，成盘包装的产品还可附加适当的保护。成圈包装时应用一定强度的带状材料多层包覆，并捆扎牢固。

B.2.3.2 成盘电缆的电缆盘外侧或成圈电缆的附加标签应注明：

- a) 制造厂名或商标；
- b) 产品型号和规格；
- c) 额定电压，V；
- d) 长度，m；
- e) 制造日期： 年 月；
- f) 本文件编号。

### B.3 运输和贮存

电缆的运输和贮存应符合下列要求：

- a) 电缆应避免在露天存放，电缆盘不允许平放。
- b) 运输中不应从高处扔下装有电缆的电缆盘或成圈包装的电缆，不应机械损伤电缆。
- c) 吊装包装件时，不应几盘同时吊装。在车辆、船舶等运输工具上，电缆盘应放稳，并用合适方法固定；不应遭受冲撞、挤压和任何机械损伤；长途运输时应防止长时间暴晒。

**附录 C**  
**(规范性)**  
**人工气候老化试验(耐 UV)**

### C.1 适用范围

本试验方法适用于光伏电缆护套材料在人工气候老化下性能的稳定性测定。通过计算护套材料老化前后的抗张强度的保留率和断裂伸长率的保留率评定护套材料性能。

### C.2 试验设备

C.2.1 人工气候老化箱应符合GB/T 16422.2—2014的要求。光照时,黑板温度为 $(63\pm 3)$ ℃,相对湿度为 $(63\pm 5)\%$ 。

C.2.2 试样的暴露时间为720h(360个循环周期),每次喷水时间为 $(18\pm 0.5)$ min,两次喷水之间的无水时间为 $(102\pm 0.5)$ min。

C.2.3 氙弧灯在波长300nm~400nm的辐照强度不应小于 $(60\pm 2)$ W/m<sup>2</sup>。

### C.3 试样制备

按GB/T 2951.11—2008的规定取5个护套试样。

### C.4 试样步骤

C.4.1 将5个护套试样放入人工气候老化箱进行老化,老化后将试样取出并在常温下至少放置16h之后,对人工气候老化后的护套试样进行抗张强度和断裂伸长率试验,取中间值作为试验结果。

C.4.2 同时对未老化的5个护套试样进行抗张强度和断裂伸长率试验,取中间值作为试验结果。

### C.5 试验结果及计算

计算人工气候老化前后的抗张强度的保留率(%)和断裂伸长率的保留率(%)。经过720h人工气候老化后抗张强度的保留率(%)和断裂伸长率的保留率(%)均不应小于80%。

附录 D  
(规范性)  
成品电缆径向防水试验

### D.1 适用范围

本试验方法适用于成品防水光伏电缆的耐水性能，模拟测试成品电缆的浸水加速老化后的径向水密性、耐电压和绝缘电阻性能。

### D.2 试验设备

#### D.2.1 水溶液配比

试验用水溶液按下列组成配置（重量比，单位克）：

- a) 自来水 100；
- b) 洗衣粉 1；
- c) 碳酸钠 0.5；
- d) 白醋 1；
- e) 盐（氯化钠） 5。

#### D.2.2 试验容器

试验容器应满足下列要求：

- a) 容器的容量以能放入成圈样品为原则；
- b) 容器配有水温加热和温度控制装置；
- c) 容器应有较好的电气绝缘性能和保温效果；
- d) 容器有盖子及样线引出端部位应适当密封，防止高温水份过度蒸发。

#### D.2.3 试验仪器

工频耐压测试仪、绝缘电阻测试仪。

### D.3 试样制备

每根试样有效长度12m，浸水长度不少于10m。根据需要确定每批次的试样根数。

### D.4 试验步骤

D.4.1 将试样若干，试样弯曲半径不小于20D，成圈后放入装有试验水溶液的容器中，加热升温到 $90 \pm 2^\circ\text{C}$ ， $60 \times 24\text{h}$ 后，保持该温度进行耐电压测试。

D.4.2 耐电压试验通过后，可进行绝缘电阻测试。

### D.5 试验结果

试验结果评判要求：

- 试样浸泡在  $90 \pm 2^\circ\text{C}$  的混合水溶液中，经过  $60 \times 24\text{h}$  后，应经受 3500V，5min 的交流耐压试验；
- 通过耐压试验后，取样不少于 10m，浸入  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  的水中至少 24h 后，测量  $20^\circ\text{C}$  绝缘电阻不应小于  $100\text{M}\Omega \cdot \text{km}$ ；
- 在上述试验结束后，切开电缆护层，绝缘内外层上应均无潮湿或水滴现象。