

团 体 标 准

T/CPIA 0054—2023

光伏发电系统用柔性铝合金电缆

Flexible aluminum alloy cable for photovoltaic power generation system



2023 - 10 - 15 发布

2023 - 10 - 30 实施

中国光伏行业协会 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 使用特性	3
4.1 额定电压	3
4.2 电缆安装时的最小弯曲半径	3
4.3 温度范围	3
4.4 其他	3
5 产品代号、型号和标志	3
5.1 产品代号及型号	3
5.2 产品表示方法	4
5.3 标志	4
6 电缆结构要求	4
6.1 导体	5
6.2 绝缘	5
6.3 多芯电缆的成缆	6
6.4 内衬层和填充物	6
6.5 金属铠装	7
6.6 外护套	7
7 成品电缆性能要求及试验方法	8
7.1 一般要求	8
7.2 电气性能	8
7.3 非电气性能	9
8 包装	11
9 运输和贮存	11
附录 A (规范性) 软结构铝合金导体要求	12
A.1 材料	12
A.2 结构	12
A.3 直流电阻	12
A.4 机械性能	13
附录 B (规范性) 绝缘和护套材料的性能要求	14
附录 C (资料性) 铜铝连接器和电缆连接性能	16
C.1 铜铝连接器和电缆连接验证性试验	16
C.2 电流循环试验	16
C.3 铜铝连接器和电缆连接在型式试验报告中的表述	17

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。

本文件由中国光伏行业协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：黄河鑫业有限公司、国家电投集团青海光伏产业创新中心有限公司、电能(北京)认证中心有限公司、中国质量认证中心、上海缆慧检测技术有限公司、华为数字技术(苏州)有限公司、中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司、山东电力工程咨询院有限公司、吉林电力股份有限公司、国核电力规划设计研究院有限公司、江苏国嘉导体技术科技有限公司、吉电股份白城吉电综合智慧能源有限公司、力维兴电子(深圳)有限公司、莱茵检测认证服务(中国)有限公司、天合光能股份有限公司、西北勘测设计研究院有限公司、苏州科技大学。

本文件主要起草人：庞秀岚、沈继伟、王秉琳、祁卫玺、顾炳林、李晓峰、姚天一、徐振军、于昆、谢志国、万松、李娜、傅钧、王乐、陈庆文、史影甲、赵国华、李小华、赵道青、伊发成、陈江磊、魏晓辉、王伟、陈召伯、柴添磊、刘明博、辛鹏成、高博洋、陈佳、杨娟娟、袁常俊、陈朗、陈贺、李亮德、杨凯彪、陈友林、肖飞、刘波、蒋忠伟、朱爱敏。



光伏发电系统用柔性铝合金电缆

1 范围

本文件规定了额定电压直流（DC）1.5kV的光伏发电系统用柔性铝合金电缆的使用特性、型号、规格、技术要求及试验方法、标志、成品电缆性能要求。

本文件适用于满足室外环境要求的光伏发电系统用柔性铝合金电缆，包括光伏发电系统中直流侧的光伏组件用电缆，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（汇流箱）至逆变器之间的电缆。

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—2016 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—2008 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—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 2951.13—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 2951.14—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 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 3048.5—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 3956—2008 电缆的导体
- GB/T 4909.3—2009 裸电线试验方法 第3部分：拉力试验
- GB/T 4909.5—2009 裸电线试验方法 第5部分：弯曲试验 反复弯曲
- GB/T 7113.2—2014 绝缘软管 第2部分：试验方法
- GB/T 9327—2008 额定电压35kV ($U_m=40.5$ kV)及以下电力电缆导体用压接式和机械式连接金具 试验方法和要求
- GB/T 11026.1—2016 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—2012 电气绝缘材料耐热性 第2部分：试验判断标准的选择
- GB/T 12706.1—2020 额定电压1kV ($U_m=1.2$ kV)到35kV ($U_m=40.5$)挤包绝缘电力电缆及附件 第1部分：额定电压1kV ($U_m=1.2$ kV)和3kV ($U_m=3.6$ kV)电缆
- GB/T 14048.2—2020 低压开关设备和控制设备 第2部分：断路器

- GB/T 16422.2—2014 塑料实验室光源暴露试验方法 第2部分：氙弧灯
- GB/T 17650.1—2021 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—2021 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：酸度（用pH测量）和电导率的测定
- GB/T 17651.1—2021 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—2021 电缆或光缆在特定条件下燃烧的烟密度测定 第2部分：试验程序和要求
- 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 1kW预混合型火焰试验方法
- GB/T 18380.35—2022 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第35部分：垂直安装的成束电线电缆火焰垂直蔓延试验 C类
- GB/T 18380.36—2022 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第35部分：垂直安装的成束电线电缆火焰垂直蔓延试验 D类
- GB/T 30552—2014 电缆导体用铝合金线
- GB/T 31840.1—2015 额定电压1kV ($U_n=1.2\text{kV}$) 到35kV ($U_n=40.5\text{kV}$) 铝合金芯挤包绝缘电力电缆 第1部分：额定电压1kV ($U_n=1.2\text{kV}$) 和3kV ($U_n=3.6\text{kV}$) 电缆
- JB/T 8137—2013 电线电缆交货盘
- NB/T 42073—2016 光伏发电系统用电缆
- YB/T 024—2021 铠装电缆用钢带

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

型式试验 type test

按一般商业原则对本文件所包含的一种类型电缆在供货之前所进行的试验，以证明电缆具有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或设计或制造工艺的改变电缆的特性，试验做过之后就不需要重做。

[来源：GB/T 12706.1—2020，3.2.3]

3.2

抽样试验 sample test

由制造方按照规定的频次在成品电缆试样上或取自成品电缆的元件上进行的试验，以检验成品电缆产品是否符合设计规范要求。

[来源：GB/T 12706.1—2020，3.2.2]

3.3

例行试验 routine test

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。

[来源：GB/T 12706.1—2020，3.2.1]

3.4

额定电压 rated voltage

额定电压是电缆设计、使用和进行电性能试验用的基准电压。

[来源：NB/T 42073—2016，3.4]

3.5

光伏发电系统 photovoltaic system or PV system

利用光伏电池直接将太阳能转换成电能的发电系统。

[来源：NB/T 42073—2016，3.5]

3.6

直流侧 DC side

在光伏发电系统中，从光伏电池到逆变器（Inverter）直流端子之间的部分。

[来源：NB/T 42073—2016，3.6]

4 使用特性

4.1 额定电压

本文件规定的电缆的额定直流电压为DC 1.5 kV，表示导体对导体间或导体对“地”（周围介质、金属外壳）之间的电压有效值，本文件中电缆在光伏发电系统中直流下最大允许电压为1.8 kV。

注：额定直流电压1kV的光伏电缆可参考本标准执行。

4.2 电缆安装时的最小弯曲半径

电缆允许弯曲半径如下：

——非铠装电缆，弯曲半径应不小于电缆外径的6倍。

——铠装电缆，弯曲半径应不小于电缆外径的12倍。

4.3 温度范围

电缆导体正常连续工作的最高温度为90℃。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20000 h。

注：正常工作条件下电缆的预期使用寿命至少为25年。

电缆正常运行环境温度应不低于-40℃。

电缆安装时的环境温度不应低于-25℃。

4.4 其他

光伏电缆可使用在室外和室内。柔性铝合金导体的电缆适用于自由移动、自由悬挂和固定安装。本标准的电缆也允许在导线管或线槽中安装铺设。对于铠装电缆，允许埋地敷设。

5 产品代号、型号和标志

5.1 产品代号及型号

5.1.1 产品代号

光伏电缆

PV

5.1.2 燃烧特性代号

a) 无卤

W

b) 低烟

D

c) 单根阻燃

Z

d) 成束阻燃C类

ZC

e) 成束阻燃D类

ZD

5.1.3 绝缘代号

辐照交联无卤低烟阻燃聚烯烃绝缘

YJ

5.1.4 导体代号

软结构铝合金导体

RLH

5.1.5 内衬层代号

辐照交联无卤低烟阻燃聚烯烃护套

YJ

5.1.6 铠装代号

a) 非铠装

省略

b) 双钢带铠装

2

c) 双铝带铠装

6

5.1.7 外护套代号

辐照交联无卤低烟阻燃聚烯烃外护套

5

5.1.8 产品型号

产品型号按图 1 表示，依次由产品代号、燃烧特性、绝缘、导体、内衬层、铠装、外护套等组成。

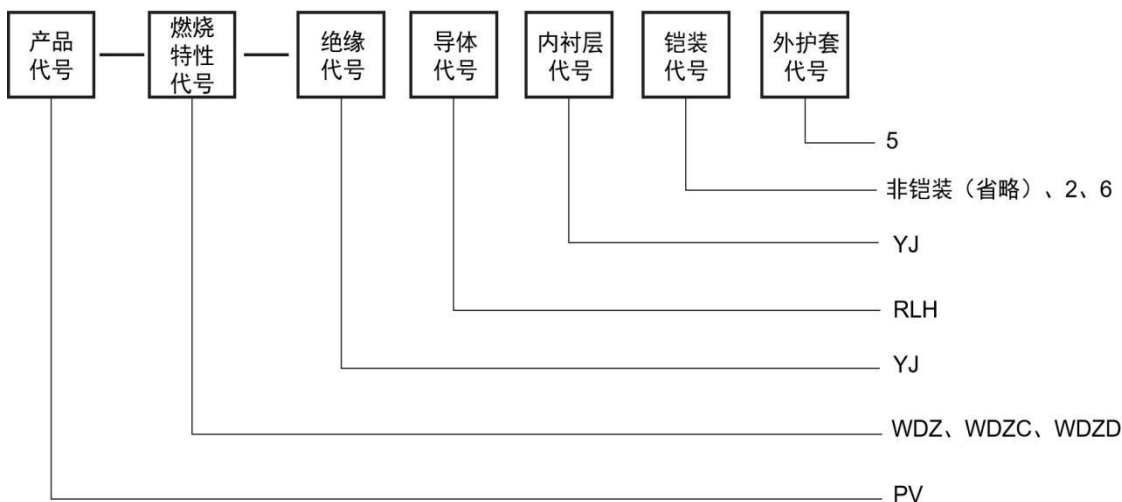


图 1 产品型号表示

5.2 产品表示方法

产品用型号和规格（额定电压、芯数、标称截面）表示。

示例 1：光伏发电系统用直流额定电压 1500 V 辐照交联聚烯烃绝缘及护套无卤低烟阻燃柔性铝合金电缆，单芯，截面 6 mm²，表示为：PV-WDZ-YJRLHYJ DC1500V 6 mm²。

示例 2：光伏发电系统用直流额定电压 1500 V 辐照交联聚烯烃绝缘及护套钢带铠装无卤低烟阻燃 C 类柔性铝合金电缆，2 芯，截面为 6 mm²，表示为：PV-WDZC-YJRLHYJ25 DC1500V 2×6 mm²。

5.3 标志

5.3.1 通用要求

一个完整的电线电缆识别标志包括产地、功能标志和长度标志（如果有的话）：

- 产地标志：主要指电线电缆的制造厂名或商标；
- 功能标志：主要指电线电缆的型号和规格；
- 长度标志：表示成品电线电缆的长度标识。

注：电线电缆的规格是指导体截面、芯数、额定电压等。

标志可以油墨印字或压印凸字在护套上。

5.3.2 标志的连续性

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应不超过 550 mm。

5.3.3 耐擦性

油墨印字标志应耐擦。

用浸过水的一团脱脂棉或一块棉布轻轻擦拭电线电缆的识别标志，共擦拭 10 次，结果应容易识别或易于辨认。

5.3.4 清晰度

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

6 电缆结构要求

6.1 导体

6.1.1 材料

导体材料应为符合表A.1要求的铝合金材料。

6.1.2 结构

结构要求如下：

- a) 导体结构应符合附录A的软结构铝合金导体要求。
- b) 导体单丝结构应为圆形导体。
- c) 导体表面应光洁、无油污、无损伤绝缘的毛刺，以及凸起或断裂的单线。

6.1.3 隔离层

电缆导体和绝缘之间可有非吸湿性材料的隔离层，隔离层应为无卤材料。

6.1.4 结构检查

应通过检验和测量来检查结构是否符合6.1.1和6.1.2的要求。

6.2 绝缘

6.2.1 材料

挤包在每芯导体上的绝缘应是辐照交联无卤低烟阻燃聚烯烃材料。

6.2.2 挤包绝缘

绝缘应连续紧密地挤包在导体或隔离层上，当剥离绝缘时，绝缘应不粘连导体，绝缘层允许一层绝缘或相互粘合的组合绝缘。如果采用组合绝缘，所有性能的测试应在组合绝缘上进行。

绝缘的横断面上应无目力可见的气孔或砂眼等缺陷。

绝缘性能应符合附录B的要求。

6.2.3 绝缘厚度

绝缘厚度的标称值见表1。

绝缘厚度的平均值应不小于标称值，其最薄处厚度应不小于标称值的90% - 0.1 mm。

应按 GB/T 2951.11—2008规定的试验方法检查是否符合要求。

表1 电缆综合数据

芯数×标称截面积 mm ²	绝缘厚度标称值 mm	外护套厚度标称值 (非铠装/铠装) mm	内衬层厚度标称值 (仅适用于铠装电 缆) mm	20℃时最小绝缘电 阻 MΩ·km	90℃时最小绝缘电 阻 MΩ·km
1×2.5	0.7	0.8/—	—	862	0.862
1×4	0.7	0.8/—	—	709	0.709
1×6	0.7	0.8/1.5	1.0	610	0.610
1×10	0.8	0.8/1.5	1.0	489	0.489
1×16	0.9	0.9/1.5	1.0	395	0.395
1×25	1.0	1.0/1.5	1.0	393	0.393
1×35	1.1	1.1/1.5	1.0	335	0.335
1×50	1.2	1.2/1.5	1.0	314	0.314
1×70	1.2	1.2/1.5	1.0	291	0.291
1×95	1.3	1.3/1.6	1.0	258	0.258
1×120	1.3	1.3/1.6	1.0	249	0.249
1×150	1.4	1.4/1.7	1.0	268	0.268

表1 电缆综合数据 (续)

芯数×标称截面积 mm ²	绝缘厚度标称值 mm	外护套厚度标称值 (非铠装/铠装) mm	内衬层厚度标称值 (仅适用于铠装电 缆) mm	20℃时最小绝缘电 阻 MΩ·km	90℃时最小绝缘电 阻 MΩ·km
1×185	1.6	1.6/1.7	1.0	260	0.260
1×240	1.7	1.7/1.8	1.2	249	0.249
1×300	1.8	1.8//1.9	1.2	237	0.237
1×400	2.0	2.0/2.0	1.2	230	0.230
2×2.5	0.7	0.8/—	—	862	0.862
2×4	0.7	0.8/—	—	709	0.709
2×6	0.7	0.8/1.8	1.0	610	0.610
2×10	0.8	0.8/1.8	1.0	489	0.489
2×16	0.9	0.9/1.8	1.0	395	0.395
2×25	1.0	1.0/1.8	1.0	393	0.393
2×35	1.1	1.1/1.8	1.0	335	0.335
2×50	1.2	1.2/1.8	1.0	314	0.314
2×70	1.2	1.2/1.9	1.2	291	0.291
2×95	1.3	1.3/2.0	1.2	258	0.258
2×120	1.3	1.3/2.2	1.4	249	0.249
2×150	1.4	1.4/2.3	1.4	268	0.268
2×185	1.6	1.6/2.5	1.6	260	0.260
2×240	1.7	1.7/2.6	1.6	249	0.249
2×300	1.8	1.8/2.8	1.6	237	0.237
2×400	2.0	2.0/3.1	1.8	230	0.230

注：对于非铠装电缆，芯数为2时电缆应为单独护套的双芯平行电缆。

6.2.4 绝缘线芯识别

电缆的绝缘线芯应用着色绝缘或其他合适的方法进行识别。除用黄/绿组合色识别的绝缘线芯外，电缆的每一绝缘线芯应只用一种颜色。任一多芯电缆均不应使用不是组合色用的绿色和黄色。

对每一段长15 mm的黄/绿双色绝缘线芯，其中一种颜色应覆盖绝缘线芯表面的30%~70%，而另一种颜色则应覆盖绝缘线芯的其余部分。

两芯电缆的绝缘颜色宜采用红色、黑色。

6.3 多芯电缆的成缆

无铠装两芯电缆的绝缘线芯应单独护套，平行放置，每一单独线芯满足本文件要求。铠装两芯电缆的绝缘线芯可绞合或平行成缆。

缆芯间隙可以采用非吸湿性材料填充圆整。

缆芯外根据需要可以绕包一层或多层非吸湿性材料。

电缆填充材料和绕包材料均应为无卤材料，并满足表4第15项的要求。

6.4 内衬层和填充物

6.4.1 材料

铠装型电缆应具备挤包内衬层。

内衬层和填充物材料应适合于电缆的运行温度，并与绝缘材料相兼容。

6.4.2 内衬层厚度

内衬层材料应符合表1的尺寸要求。

内衬层最薄处厚度应不小于标称值的80%-0.2 mm。应按 GB/T 2951.11—2008 规定的试验方法检查是否符合要求。

6.5 金属铠装

6.5.1 金属铠装类型

铠装的类型应为：

- a) 双钢带铠装；
- b) 双铝带铠装。

6.5.2 材料

钢带应为镀锌钢带。钢带应符合YB/T 024—2021 规定。

铝带应为铝带、铝合金带等。

6.5.3 电缆直径与铠装层尺寸的关系

铠装金属带的标称厚度应不小于表2规定的数值。

表 2 铠装金属带标称厚度

单位为毫米

铠装前假定直径	钢带标称厚度	铝带、铝合金带标称厚度
≤30	0.2	0.5
30<d≤70	0.5	0.5

6.5.4 铠装结构

金属带铠装应螺旋绕包两层，使外层金属带的中线大致在内层金属带间隙上方，包带间隙应不大于金属带实测宽度的50%。金属带的厚度应不小于表2标称厚度的90%。应按 GB/T 12706.1—2020中16.7.2 规定的试验方法检查是否符合要求。

6.6 外护套

6.6.1 材料

挤包在绝缘线芯、成缆线芯或铠装层上的外护套应是辐照交联无卤低烟阻燃聚烯烃材料。护套性能应符合附录B的要求。

6.6.2 结构

护套应挤包在绝缘线芯、成缆线芯或铠装层上。

电缆外护套和缆芯之间允许有非吸湿性材料的隔离层，隔离层应为无卤材料。

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

6.6.3 护套厚度

护套厚度的标称值见表1。

护套厚度的平均值应不小于标称值，其最薄处厚度应不小于标称值的85%-0.1 mm。

不可剥离的电缆绝缘及护套厚度的平均值不小于绝缘和护套标称厚度之和，其最薄点厚度应不小于标称值之和的85%-0.1 mm。

铠装电缆护套最薄点厚度为80%-0.2 mm。

应按GB/T 2951.11—2008 规定的试验方法检查是否符合要求。

6.6.4 护套颜色

外护套宜采用黑色。

7 成品电缆性能要求及试验方法

7.1 一般要求

交货的成品电缆应按下述规定进行检测和试验，检查是否满足相应要求。
双芯平行电缆每一单独线芯满足本文件要求。

7.2 电气性能

电缆的电气性能要求及试验方法应符合表3中的规定。

表3 电气性能试验项目

序号	试验项目		单位	试验方法	要求	试验类型 ^c
1	导体直流电阻试验		—	GB/T 3048.4—2007	附录A	T, S
2	成品电缆电压试验	试验条件 ^a ——试样长度 ——浸水最少时间 ——水温	m h ℃	GB/T 3048.8—2007 GB/T 3048.14—2007	20 1 20±5	T, S
		试验电压	kV		6.5kV (AC) 或 15kV (DC)	
		每次最少施加电压时间	min		5	
		试验结果	—		不击穿	
3	绝缘线芯或成品电缆的缺陷检查	试验条件 ——绝缘标称厚度 ——试验电压	δ/mm kV	GB/T 3048.9—2007	GB/T 3048.9— 2007 中表1	R
		试验结果	—		无击穿	
4	绝缘电阻试验 ^b (20℃)	试验条件: ——试样长度 ——浸水最少时间	m h	GB/T 3048.5—2007	5 2	T, S
		试验结果	MΩ·km		表1规定值	
5	绝缘电阻试验 ^b (90℃)	试验条件: ——试样长度 ——浸水最少时间	M H	GB/T 3048.5—2007	5 2	T, S
		试验结果	MΩ·km		表1规定值	
6	绝缘长期耐直流电压试验	试验条件: ——试样长度 ——浸水最少时间 ——水温 ——试验电压(直流)	m h ℃ kV	取一定长度的电缆，剥去护套和任何其他包覆层或填充而不损伤绝缘线芯。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。	5 240 85±5 1.8	T
		试验结果	—		绝缘不击穿，试验结束后绝缘表面应无损坏	

表3 电气性能试验项目（续）

序号	试验项目		单位	试验方法	要求	试验类型 ^c
7	护套表面电阻	试验条件： ——试验电压（直流） ——试验时间	V min	取三段长约 250 mm 的试样，用酒精清洁试样护套表面后，用两个铜丝绕组作为电极绕在护套上，两电极相距 100 mm，铜丝直径为(0.2~0.6) mm，安装后应重新清洁两电极间的护套表面。 将试样放置于温度为 (20±2) °C、湿度为 (65±5) % 的环境中 24 h。随后在两电极间加直流电压(100~500) V，1 min 后测量电阻值 R。按公式 $R_h = R \times a / 100$ 计算护套表面电阻 R_h 。 式中： R_h ——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)。	100~500 1	T
		试验结果	Ω		≥10 ⁹	
8	铠装电缆护套的火花测试	试验条件 ——绝缘标称厚度 ——试验电压	δ /mm kV	GB/T 3048.10—2007	GB/T 3048.10—2007 表 1 规定	R
		试验结果	—		无击穿	
^a 对于铠装电缆的电压试验，无需浸水，导体接至试验电源的高压端，铠装接至接地端； ^b 不规定正偏差； ^c 试验类型：型式试验：T；抽样试验：S；例行试验：R。						

7.3 非电气性能

电缆的非电气性能要求及试验方法应符合表4中的规定。

表4 非电气性能试验项目

序号	试验项目		单位	试验方法	要求	试验类型
1	电缆结构和尺寸检查	导体单线直径测量	mm	—	附录 A	T, S
		绝缘厚度测量	mm	GB/T 2951.11—2008 中 8.1	见 6.2.3	
		内衬层厚度测量	mm	GB/T 2951.11—2008 中 8.2	—	
		铠装层结构测量	mm	GB/T 12706.1—2020 中 16.7.2	见 6.5.4	
		护套厚度测量	mm	GB/T 2951.11—2008 中 8.2	见 6.6.3	
		护套颜色	—	目测	见 6.6.4	S
标志	—	目测和手工试验	见 5.3			
2	绝缘材料性能		—	附录 B	表 B.1	T
3	护套材料性能		—	附录 B	表 B.1	T
4	低温冲击试验 ^b	试验结果	—	GB/T 2951.14—2008 中 8.5	无裂纹	T
5	低温弯曲试验 对于电缆 外径 ≤ 12.5mm	试验条件 ——施加低温时间 ——温度	h °C	GB/T 2951.14—2008 中 8.2	16 -40±2	T
		试验结果	—		无裂纹	

表4 非电气性能试验项目（续）

序号	试验项目		单位	试验方法	要求	试验类型
6	低温拉伸试验 对于电缆 外径大于 12.5 mm	试验条件 ——施加低温时间	h	GB/T 2951.14—2008 中 8.3 和 8.4	4 -40±2	T
		——温度	℃			
		试验结果 ——绝缘最小伸长率	%		30 30	
		——护套最小伸长率	%			
7	耐臭氧试验	试验条件 ——试验温度	℃	GB/T 2951.21—2008 中 8.1	25±2 24 (250~300)×10 ⁻⁴	T
		——试验时间	h			
		——臭氧浓度	%			
		试验结果	—		无裂纹	
8	人工气候 老化试验 (仅针对 外护套)	试验条件	—	NB/T 42073—2016 附录 D GB/T 16422.2—2014	NB/T 42073—2016 中附 录 D NB/T 42073—2016 中附 录 D	T
		试验结果	—			
9	动态穿透 试验(仅 适用于单 芯电缆)	试验条件	—	NB/T 42073—2016 附录 C	NB/T 42073—2016 中附 录 C NB/T 42073—2016 中附 录 C	T
		试验结果	—			
10	湿热试验	试验条件 ——温度	℃	GB/T 2423.3—2016	90 1000 85 16-24	T
		——时间	h			
		——相对湿度, 最小值	%			
		——恢复时间	h			
		试验结果 ——抗张强度变化率最 大值	%		-30°	
		——断裂伸长率变化率 最大值	%		-30°	
11	护套收缩 试验	试验条件 ——温度	℃	GB/T 2951.13—2008 中第 11 章	120 1 5 300	T
		——加热持续时间	h			
		——加热周期	—			
		——试样长度	mm			
		试验结果 ——最大允许收缩	%		2	
12	单根垂直 燃烧试验	试验结果	—	GB/T 18380.12—2022	GB/T 18380.12—2022 中 附录 A	T
13	烟密度试 验	试验结果 ——透光率的最小值	%	GB/T 17651.2—2021	GB/T 17651.1—2021 60	T
14	电缆的成束阻燃试验(需要时)		—	GB/T 18380.35—2022 GB/T 18380.36—2022	GB/T 18380.35—2022 GB/T 18380.36—2022	T
15	非金属材 料无卤性 能试验 ^a	酸气含量试验 氟含量试验 pH 值和电导率试验	—	GB/T 17650.1—2021 GB/T 7113.2—2014 GB/T 17650.2—2021	表 B.1 表 B.1 表 B.1	T
16	盐雾试验 (需要 时)	试验条件 ——时间	h	GB/T 2423.17—2008	GB/T 2951.11—2008	T
		试验结果 ——抗张强度变化率最 大值	%			
		——断裂伸长率变化率 最大值	%		-30° -30°	

表 4 非电气性能试验项目（续）

序号	试验项目		单位	试验方法	要求	试验类型
17	铝合金单线的抗拉强度和断裂伸长率	试验结果 ——抗张强度 ——断裂伸长率最小值	N/mm ² %	GB/T 4909.3—2009	98~159 ≥10	T
18	铝合金单线的反复弯曲性能	试验结果 ——弯曲次数最小值	次	GB/T 4909.5—2009	≥25	T
19	铝合金导体化学成分	试验结果	—	附录 A	附录 A	T

^a所有非金属材料均应进行无卤性能试验，要求相同；

^b在-40℃进行试验，砝码重量和落锤高度应按如下规定：

a) 电缆直径：D≤15 mm，砝码质量：1000 g，圆杆质量：200 g，砝码高度：100 mm。

b) 电缆直径：15 mm<D≤25 mm，砝码质量：1500 g，圆杆质量：200 g，砝码高度：150 mm。

c) 电缆直径：D>25 mm，砝码质量：2000 g，圆杆质量：200 g，砝码高度：200 mm。

8 包装

8.1 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—2013 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大于 300 mm。为防止贮运中损坏，成盘包装的产品还可附加适当的保护。成圈包装的应用一定强度的带状材料多层包覆，并捆扎牢固。

8.2 成盘电缆的电缆盘外侧或成圈电缆的附加标签注明：

- a) 制造厂名或商标；
- b) 产品型号及规格；
- c) 额定电压（V）；
- d) 长度（m）；
- e) 制造日期： 年 月；
- f) 本标准的编号；
- g) 电缆盘正确旋转方向。

9 运输和贮存

9.1 运输中严禁从高处扔下装有电缆的电缆盘或成圈包装的电缆，严禁机械损伤电缆。

9.2 吊装包装件时，严禁几盘同时吊装。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；不得遭受冲撞，挤压和任何机械损伤；长途运输时应防止长时间暴晒。

9.3 电缆易存储在 0℃~45℃ 的环境温度中。

9.4 电缆尽量避免露天存放。

9.5 电缆端头应做好防水处理。

附录 A
(规范性)
软结构铝合金导体要求

A.1 材料

电缆导体合金成分应符合表A.1中任一成分代号对应的化学成分。

表 A.1 电缆导体用铝合金线的化学成分

成分代号	化学成分（质量分数）（%）								
	Si	Fe	Cu	Mg	Zn	B	其他		Al
							单个	合计	
1	0.10	0.05~0.8	0.10~0.20	0.01~0.05	0.05	0.04	0.03 ^a	0.10	余量
2	0.10	0.30~0.8	0.15~0.30	0.05	0.05	0.01~0.04	0.03	0.10	余量
3	0.10	0.6~0.9	0.04	0.08~0.22	0.05	0.04	0.03	0.10	余量
4	0.16 ^b	0.40~1.0	0.05~0.15	—	0.10	—	0.03	0.10	余量
5	0.03~0.15	0.40~1.0	—	—	0.10	—	0.05 ^c	0.15	余量
6	0.10	0.25~0.45	0.04	0.04~0.12	0.05	0.04	0.03	0.10	余量

注1：表中规定的化学成分除给定范围外，仅显示单个数据时，表示该单个数据为最大允许值。
注2：对于脚注中的特定元素，仅在有需要时测量。

^a 该成分的铝合金中 Li 原色的质量分数应不大于 0.003%。
^b 该成分的铝合金应同时满足 (Si+Fe) 元素的质量分数应不大于 1.0%。
^c 该成分的铝合金中 Ca 元素的质量分数应不大于 0.03%。

A.2 结构

软结构铝合金导体结构应符合表A.2中的规定。

A.3 直流电阻

软结构铝合金导体在20℃时的直流电阻应符合表A.2中的规定。

表 A.2 软结构铝合金导体

标称截面 mm ²	导体单丝最大直径 mm	20℃时导体最大直流电阻 ^a Ω/km
2.5	0.31	12.1
4	0.31	7.41
6	0.31	4.61
10	0.41	3.08
16	0.41	1.91
25	0.41	1.20
35	0.41	0.868
50	0.41	0.641
70	0.51	0.443
95	0.51	0.320
120	0.51	0.253

表 A.2 软结构铝合金导体（续）

标称截面 mm ²	导体单丝最大直径 mm	20℃时导体最大直流电阻 ^a Ω/km
150	0.51	0.206
185	0.51	0.164
240	0.51	0.125
300	0.51	0.100
400	0.51	0.0778

^a 对于标称截面 10 mm² 及以上的导体，参考 GB/T 3956—2008 表 2 中“铝或铝导体”对应的数值；对于标称截面 6 mm² 及以下的导体，参考 GB/T 3956—2008 表 2 中“铜导体—不镀金属线”对应小一个规格档的数值。

A.4 机械性能

A.4.1 软结构铝合金导体单丝的机械性能应符合表A.3的要求，试验方法见GB/T 31840.1—2015。

A.4.2 抗压蠕变性能。当需方要求时，供方应提供与所购铝合金线相同的化学成分和状态的铝合金线或铝合金杆在长期负载条件下的蠕变曲线。抗压蠕变实验根据GB/T 30552—2014的附录B规定的方法进行测量。参数如下：

- 压力：55 Mpa；
- 温度：90 ℃；
- 时间：100 h。

表 A.3 导体绞合后的单线性能

项目	要求
抗拉强度/(N/mm ²)	98~159
断裂伸长率/(%)	≥10
反复弯曲次数/(次)	≥25

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

附录 B
(规范性)
绝缘和护套材料的性能要求

取自成品电缆的绝缘和护套应按表 B.1 检查是否符合要求。

表B.1 绝缘和护套非电性试验要求

序号	试验项目	单位	试验方法	要求	
				绝缘	护套
1	交货状态原始性能 抗张强度原始值： ——最小中间值 断裂伸长率原始值： ——最小中间值	N/mm ² %	GB/T 2951.11—2008 中 9.2	8.0 125	8.0 125
	(绝缘)空气烘箱老化后性能 老化条件 ——温度 ——处理时间 老化后的抗张强度： ——最大变化率 c 老化后断裂伸长率： ——最大变化率 c	°C h % %	GB/T 2951.11—2008 中 8.1	150±2 7×24 -30 ^a -30 ^a	—
	(护套)空气烘箱老化后性能 老化条件 ——温度 ——处理时间 老化后的抗张强度： ——最大变化率 c 老化后断裂伸长率： ——最大变化率 c	°C h % %	GB/T 2951.12—2008 中 9.2	— — -30 ^a -30 ^a	150±2 7×24 — —
	试验条件： ——温度 ——机械应力	°C N/cm ²	GB/T 2951.21—2008 中第 9 章	250±3 20	250±3 20
2	热延伸试验				
	试验结果 ——载荷下的伸长率，最大值 ——冷却后的伸长率，最大值	% %		100 25	100 25
3	热寿命试验				
	试验条件 寿命重点以断裂伸长率保留率判定 试验结果 ——20000h 时的温度指数 ——断裂伸长率保留率（寿命终点）	— —	GB/T 11026.1—2016 GB/T 11026.2—2012	— ≥120 50	— ≥120 50
4	耐酸试验				
	老化条件 ——酸性溶液浓度：草酸 ——温度 ——处理时间	mol/L °C h	GB/T 2951.21—2008 中第 10 章 GB/T 2951.11—2008 中 9.2	— — —	2 23±2 7×24

表 B.1 绝缘和护套非电性试验要求（续）

序号	试验项目		单位	试验方案	要求	
					绝缘	护套
4	耐酸试验	老化后抗张强度 ——最大变化率	%	GB/T 2951.21—2008 中第 10 章	—	±30
		老化后断裂伸长率 ——最大变化率	%	GB/T 2951.11—2008 中 9.2	—	100
5	耐碱试验	老化条件 ——碱性溶液浓度：氢氧化钠	mol/L	GB/T 2951.21—2008 中第 10 章	—	1
		——温度	℃		—	23±2
		——处理时间	h		—	7×24
		老化后抗张强度 ——最大变化率	%	GB/T 2951.11—2008 中 9.2	—	±30
		老化后断裂伸长率 ——最大变化率	%		—	100
6	高温压力试验	试验条件 ——由刀片施加压力	—	GB/T 2951.31—2008 中 8.2	—	—
		——载荷下的加热时间	—		—	—
		——温度	℃		140±3	140±3
		试验结果 ——压痕深度中间值，最大值	%		50	50
7	非污染试验	老化条件 ——温度	℃	GB/T 2951.12—2008 中 8.1.4	135±2 7×24	135±2 7×24
		——处理时间	h			
		老化后抗张强度 ——最大变化率	%		±30	±30
		老化后断裂伸长率 ——最大变化率	%		±30	±30
8	无卤性能试验 ^b	酸气含量试验 ——溴和氯含量（以 HCl 表示）， 最大值	%	GB/T 17650.1—2021	0.5	0.5
		氟含量试验 ——氟含量，最大值	%	GB/T 7113.2—2014	0.1	0.1
		pH 值和电导率试验 ——pH 值，最小值	—	GB/T 17650.2—2021	4.3	4.3
——电导率，最大值	μS/mm	10	10			
^a 不规定正偏差； ^b 所有非金属材料均应进行无卤性能试验，要求相同。						

附录 C
(资料性)
铜铝连接器和电缆连接性能

C.1 铜铝连接器和电缆连接验证性试验

鉴于铜铝连接器相关产品和技术仍在不断发展中,铝合金光伏电缆与不同品牌、型号和参数的连接器之间可能存在一定匹配风险,铝合金光伏电缆宜与配套铜铝连接器产品进行铜铝连接器和电缆连接验证性试验。试验项目见表C.1。

表 C.1 铜铝连接器与铝合金光伏电缆连接验证性试验

序号	试验项目	性能要求	样品要求
1	电流循环试验	温度偏差 d 不应超过: 50 K 稳定性因数 S_f 不应超过: ± 20 K	4 组
注: S_f 表示稳定性因数, 具体定义见下文。			

C.2 电流循环试验

C.2.1 一般要求

本试验的目的是通过在电流循环条件下,比较导线与基准导线的温度性能来验证接线端子的稳定性。

C.2.2 样品准备与连接

样品的准备与连接应参照GB/T 9327—2008 6.1中的描述进行。准备4组样品,根据生产商的安装说明书在裸导体或在已剥去绝缘的导体上安装连接金具,与基准导体一起构成试验回路。

接线端子的试验回路可参照GB/T 9327—2008 图一和图三进行安装。试验接线端子,可按照生产商的要求,用螺栓将接线端子连接板与连接排连接在一起。连接排的尺寸,厚度以及材质应与连接端子的连接板相同。如果不用连接排,也可以将接线端子连接板相互连接,然后对接线端子进行试验。有争议时,应使用连接排的方法。

安装试验回路的区域内应空气静止,其周围的环境温度为 $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

C.2.3 温度测量

使用热电偶测量温度,热电偶的安置应不损坏接线端子或基准导线。

对于接线端子的温度测量,热电偶应放置在接线端子的导线入口端,靠近接触面处。

对于基准导线的温度测量,热电偶应放置在导线两端的中间,并位于其绝缘层下。

应使用两个热电偶测量环境温度,在测试回路的临近部位获得平均且稳定的读数,而不受外部过度的影响。热电偶应位于与试品交叉的水平面上,与试品的最小距离为 600 mm。

C.2.4 试验方法

样品应置于基本无振动和无气流的环境中,其环境温度应在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内。试验回路总共应经受 500 个通电和断电的循环,通电时间为接线端子试品达到温度稳定的时间,断电时间为恢复到室温的时间。在前 25 个操作循环内确定 3 个时间。在 3 次读数中,当以不少于 10 分钟的间隔读取的 3 个读数中的任意两个数值的差异不超过 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,表示接线端子样品已达到稳定温度。断电期间达到温度稳定的时间,是显示温度达到稳定的 3 个读数中的第一个。

前 24 个循环,在每个通电期间接近结束时,每个接线端子的温度应至少达到 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。必要时调整

电流，以达到此温度。如果制造商能够证明接线端子最大温升小于 70 K，可以将 105 ℃ 这一要求降为温升加 35 ℃。按照 GB/T 14048.2—2020 D8.2.5 制定的试验条件，试验电流以电缆的载流量和连接器额定电流的（两者取较低值）进行温升试验。

在第 25 个周期，应最后一次调整试验电流，记录在最终负载电流时温度稳定时的相应温度作为第一个测量值。对于剩余的试验，不再调整试验电流。本试验总共进行 500 次电流循环，还应在 50、75、100、125、175、225、275、350、425 和 500 个循环后记录温度。应在通电期间的最后 5 分钟内测量温度。如果试品的大小或数据采集系统的速度无法使所有测量在 5 分钟内完成，则应将通电时间延长至完成这些测量所需的时间。

本试验详细方法可参考 GB/T 14048.2—2020 D8.2.5。

C.2.5 判别标准

性能的评估基于接线端子的温度偏差 d 和试验过程中的温度变化（稳定性因数 S_f ）。在 11 次温度测量中，每一次测量的稳定性因数 S_f 由以下方式确定计算：

- 通过将接线端子温度减去相关的基准导线温度，分别计算得出 11 次温度测量的温度偏差“ d ”；
- 通过 11 个“ d ”值计算出平均温度偏差“ D ”；
- 对于每个“ d ”值， $S_f=d-D$ 。

注：如果接线端子温度高于基准导线温度， d 为正数；如果接线端子温度低于基准导线温度， d 为负数。

对于每个接线端子：

- 温度偏差“ d ”不应超过 50 K；
- 稳定性因数“ S_f ”不应超过 ± 20 K。

注：由于本试验属于加速老化试验，高温可能会引起绝缘的损坏，但不代表试验失败。

C.3 铜铝连接器和电缆连接在型式试验报告中的表述

型式试验报告中应注明：

- 铜铝连接器的品牌、产品型号规格和额定电流；
- 电缆的型号规格、制造方；
- 连接工艺。