



团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

光伏低压直流集电线束技术规范

Technical Specification for Photovoltaic Low Voltage DC Collecting Wire
Bundle

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

目 次	I
前 言	IV
引 言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 光伏组串 PV string	1
3.2 光伏低压直流集电线束 Photovoltaic low-voltage DC collection harness	2
3.3 短路电流 (Isc) short - circuit current	2
3.4 标准测试条件 Standard Test Conditions(STC)	2
3.5 光伏组件反向额定电流 PV module reverse current rating (Ir)	2
3.6 污染 pollution	2
3.7 污染等级 pollution degree	2
3.8 电气间隙 clearance	2
3.9 爬电距离 creepage distance	2
4 使用条件	2
4.1 正常使用的环境条件	2
4.2 特殊使用条件	2
5 技术要求	3
5.1 材料和结构	3
5.2 光伏用电缆	3
5.2.1 导体	3
5.2.2 绝缘	3
5.2.3 绝缘线芯识别	3
5.2.4 成缆	4
5.2.5 护套	4
5.2.6 外径及椭圆度	4
5.3 光伏组串过流保护装置	5
5.4 直流连接器	6
5.4.1 防触电保护	6
5.4.2 机械特性和强度	6
5.4.3 密封件抗老化	6

6 安全要求6

6.1 绝缘耐压.....6

6.1.1 绝缘电阻.....6

6.1.2 绝缘强度.....6

6.2 电气间隙.....6

6.3 爬电距离.....7

6.4 IP 防护等级.....7

6.5 阻燃等级.....8

7 环境要求8

7.1 低温工作.....8

7.2 高温工作.....8

7.3 恒定湿热.....8

7.4 温升.....8

8 试验方法8

8.1 试验环境条件.....8

8.2 外观质量检查.....8

8.3 光伏组串过流保护试验.....8

8.4 连接器结构和性能试验.....9

8.4.1 触头的位置保持9

8.4.2 保持装置或锁定装置的有效性9

8.4.3 低温下的机械强度9

8.4.4 密封件抗老化9

8.5 外壳防护等级.....9

8.6 绝缘耐压试验.....9

8.6.1 绝缘电阻测定试验9

8.6.2 绝缘强度试验9

8.7 电气间隙和爬电距离测定试验9

8.8 环境试验.....9

8.8.1 低温工作试验9

8.8.2 高温工作试验9

8.8.3 恒温湿热试验9

8.8.4 温升试验.....10

9 试验规则10

9.1 试验分类.....10

9.2 出厂试验.....10

9.3 型式试验.....10

 9.3.1 当有下列情况之一时，应进行型式试验.....10

 9.3.2 抽样方法及判定规则.....10

10 标志、包装、运输、贮存.....11

 10.1 标志.....11

 10.1.1 产品标志.....11

 10.1.2 包装标志.....11

 10.2 包装.....11

 10.2.1 随同产品供应的技术文件.....11

 10.2.2 产品包装.....11

 10.3 运输.....11

 10.4 贮存.....11

参考文献.....12

前 言

为推动和规范我国光伏产业的发展，规范产品性能指标，促进产品产业化，适应国际贸易、技术和经济交流的需要，特制定本认证技术规范。

光伏低压直流集电线束作为光伏发电系统中连接光伏组串并实现电气保护的重要部件，其技术水平直接关系到光伏发电系统的整体性能和运行安全。本规范通过系统地规定光伏低压直流集电线束的术语和定义、使用条件、技术要求、安全要求、环境要求、试验方法、试验规则以及标志、包装、运输和贮存等要求，旨在推动光伏集电线束产品的标准化、规范化发展，提高产品质量和可靠性，为光伏发电系统的安全高效运行提供技术保障。

本规范适用于光伏组串汇流集电，具有类似汇流设备可参考本规范。规范的制定不仅填补了技术空白，还将为光伏产业技术创新和系统集成水平的提升提供重要支撑。

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。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会工作组归口。

本文件起草单位：小牛电气（苏州）有限公司、长江勘测规划设计研究有限责任公司、湖北省电力规划设计研究院有限公司、苏州永皓电线有限公司、河北工业大学。

本文件主要起草人：刘海波、喻飞、叶任时、苏毅、朱丹蕾、李胜、蔡阳、王辉、李婷婷、郭浪、陈海文、张献、曹家旭。

本文件为首次发布。

引 言

光伏发电作为清洁能源的重要形式，在实现碳达峰、碳中和战略目标中发挥着关键作用。随着我国光伏产业的快速发展，光伏发电系统的技术水平和系统集成能力日益提升，对关键连接部件的性能和可靠性提出了更高要求。

光伏低压直流集电线束作为光伏发电系统中连接光伏组串并实现电气保护的重要部件，其技术水平直接关系到光伏发电系统的整体性能和运行安全。目前，该领域尚未形成统一的技术标准，产品质量和性能参差不齐，制约了光伏产业的高质量发展。

本标准通过系统性地规定光伏低压直流集电线束的技术要求、试验方法和检验规则，旨在推动光伏集电线束产品的标准化、规范化发展，提高产品质量和可靠性，为光伏发电系统的安全高效运行提供技术保障。标准的制定不仅填补了技术空白，还将为光伏产业技术创新和系统集成水平的提升提供重要支撑。

光伏集低压直流集电线束技术规范

1 范围

本规范规定了光伏低压直流集电线束的术语和定义、使用条件、技术要求、安全要求、环境要求、试验方法、试验规则以及标志、包装、运输和贮存等要求。

本规范适用于将光伏组串连接并实现光伏组串间并联的集电线束，包括电缆、直流连接器和光伏组串过流保护装置等组成部分。本规范还规定了集电线束的绝缘耐压、电气间隙、爬电距离、IP 防护等级和阻燃等级等安全参数要求，以及低温工作、高温工作、恒定湿热和温升等环境适应性要求。

本规范适用于光伏发电系统中的光伏组串汇流集电应用，具有类似汇流设备可参考本规范。

2 规范性引用文件

下列文件对于本规范的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅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）适用于本规范。

- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB 2297-1989 太阳光伏能源系统术语
- GB/T 2408-2008 《电工电子产品着火危险试验 第 1 部分：试验方法》
- GB/T 2423.1-2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A：低温
- GB/T 2423.2-2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 B：高温
- GB/T 2423.3-2016 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验
- GB/T 2423.55 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Eh：锤击试验
- 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
- GB/T 3956-2008 电缆的导体
- GB/T 4207 固体绝缘材料耐电痕化指数和相比电痕化指数的测定方法
- GB 4208-2017 外壳防护等级（IP 代码）
- GB/T 5095.1-1997 电子设备用机电元件基本试验规程及测量方法
- GB 7251.1-2023 低压成套开关设备和控制设备 第 1 部分：总则
- GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 16842-2016 外壳对人和设备的防护 检验用试具
- GB 16895.32-2021 低压电气装置 第 7-712 部分：特殊装置或场所的要求 太阳能光伏（PV）电源的系统
- GB/T 16935.1-2008 低压系统内设备的绝缘配合 第 1 部分：原理、要求和试验
- IEC 61730-1: 2004 光伏（PV）组件安全鉴定 第 1 部分：结构要求
- IEC 61730-2: 2004 光伏（PV）组件安全鉴定 第 2 部分：试验要求
- EN 61800-5-1: 2007 可调速电力传动系统 第 5-1 部分：安全要求 电、热和能量
- IEC 62446: 2009 并网光伏发电系统：技术资料，委托检测和验收测试的最低要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 光伏组串 PV string

将若干光伏组件依次串接构成一组，其电压与所需要的光伏方阵的输出电压相一致。

3.2 光伏低压直流集电线束 Photovoltaic low-voltage DC collection harness

将光伏组串连接，实现光伏组串间并联的线束，并将必要的保护器件安装在此线束上。以下简称集电线束。

3.3 短路电流 (I_{sc}) short-circuit current

在一定的温度和辐照度条件下，光伏发电器在端电压为零时的输出电流，通常用 I_{sc}来表示。（GB 2297-1989 的 3.6条）

3.4 标准测试条件 Standard Test Conditions(STC)

太阳能电池的标准测试条件为：25±2℃，用标准太阳电池测量的光源辐照度为 1000W/m² 并具有标准的太阳光谱辐照度分布。

3.5 光伏组件反向额定电流 PV module reverse current rating (I_r)

光伏组件允许注入的不致使其发生热斑的与光电流方向相反的最大电流。

注：光伏组串中某些组件被遮挡或发生故障时，其它并联组串将向故障组串注入与光电流方向相反的电流，严重时会造成故障组件热斑。

3.6 污染 pollution

能够影响电强度或表面电阻率的所有外界物质的状况，如固态、液态或气态（游离气体）。（IEC 947-1 的 2.5.57）

3.7 污染等级 pollution degree

根据导电的或吸湿的尘埃，游离气体或盐类和由于吸湿或凝露导致表面介电强度或电阻率下降事件发生的频度而对环境条件做出的分级。

注 1：设备或元件的绝缘材料所处的污染等级是与设备或元件所处的宏观环境的污染等级不同的，因为由外壳或内部加热提供了防止吸湿和凝露的保护。

注 2：本部分中的污染等级系指微观环境中的污染等级。

3.8 电气间隙 clearance

不同电位的两个导电部件间最短的空间直线距离。

3.9 爬电距离 creepage distance

不同电位的两个导电部件之间沿绝缘材料表面的最短距离。

注：两个绝缘材料之间的接合处亦被视为上述表面。

4 使用条件

4.1 正常使用的环境条件

- a) 使用环境温度：-25℃~+55℃（无阳光直射）；相对湿度≤95%，无凝露；
- b) 符合 GB 7251.1 中 7.1.2 中污染等级≤3 的规定；
- c) 海拔高度≤2000m；海拔高度＞2000m 时，应按 GB/T 16935.1 的规定校验；
- d) 无剧烈震动冲击，垂直倾斜度≤5°；
- e) 空气中应不含有腐蚀性及爆炸性微粒和气体。

4.2 特殊使用条件

如果集电线束在异于 4.1 规定的条件下使用，用户应在订货时提出，并与制造厂商或供货商取得协议。

5 技术要求

光伏低压直流集电线束汇流系统中各组件关系如图 1 所示：

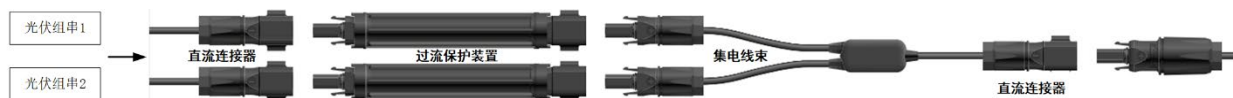


图 1 光伏低压直流集电线束(2 汇 1)组件连接关系

5.1 材料和结构

集电线束的材料和结构的制造质量、主电路连接及电气元件安装等应符合下列要求：

- 有关材料及部件均应符合各自的技术要求；
- 集电连接点应安全可靠电连接且有耐候材料进行绝缘密封；
- 每组集电线束应有标牌、标志、电气标记等信息。

5.2 光伏用电缆

5.2.1 导体

5.2.1.1 材料

导体材料应是退火铜线。

导体中的单线应镀锡，镀锡层应连续、光滑和均匀，无目力可视的缺陷。

5.2.1.2 结构

导体结构应符合 GB/T 3956-2008 中第 5 种软铜导体的要求电缆导体和绝缘之间允许有非吸湿性材料的隔离层，隔离层应为无卤材料。

5.2.1.3 结构检查

应通过检验和测量检查结构是否符合 5.2.1.1 和 5.2.1.2 的要求。

5.2.1.4 电阻

电缆的导体在 20℃时的直流电阻应符合 GB/T 3956-2008 中的规定。

5.2.2 绝缘

5.2.2.1 材料

挤包在每芯导体上的绝缘应是无卤低烟热固性材料。

5.2.2.2 挤包边缘

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，不损伤导体或镀层。绝缘层允许一层绝缘或组合绝缘，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。应通过检验及手工测量检查是否符合要求。

5.2.2.3 绝缘厚度

绝缘厚度的标称值见表 1 和表 2。

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%-0.1mm。

应按 GB/T 2951.11-2008 规定的试验方法检查是否符合要求。

5.2.3 绝缘线芯识别

5.2.3.1 一般要求

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。

5.2.3.2 黄/绿组合色

对每一段长 15mm 的双色绝缘线芯,其中一种颜色应至少覆盖绝缘线芯表面的 30%且不大于 70%,而另一种颜色则应覆盖绝缘线芯的其余部分。

5.2.4 成缆

两芯及以上电缆的绝缘线芯应绞合成缆。成缆节径比应不大于 16。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。

5.2.5 护套

5.2.5.1 材料

挤包在成缆绝缘线芯上的护套应是无卤低烟热固性材料。

5.2.5.2 厚度

护套厚度的标称值见表 1 和表 2。

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%-0.1mm。

应按 GB/T 2951.11-2008 规定的试验方法检查是否符合要求。

5.2.5.3 外观及颜色

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。

除非客户另有要求,护套颜色应为黑色。整个护套的颜色应一致。

5.2.6 外径及椭圆度

成品电缆的外径应符合表 1 或表 2 的规定。电缆在挤包护套后应形成实际上的圆形,在同一横截面上测得的最大外径和最小外径之差应不超过平均外径上限的 15%,分别测量两处,取最大值。应按 GB/T 2951.11-2008 规定的试验方法检查是否符合要求。

表 1 单芯电缆的技术要求

芯数×标称截面 积 mm ²	绝缘厚度的标称 值 mm	护套厚度的标称 值 mm	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
1×1.5	0.7	0.8	5.4	860	0.86
1×2.5	0.7	0.8	5.9	690	0.69
1×4	0.7	0.8	6.6	580	0.58
1×6	0.7	0.8	7.4	500	0.50
1×10	0.7	0.8	8.8	420	0.42
1×16	0.7	0.9	10.1	340	0.34
1×25	0.9	1.0	12.5	340	0.34
1×35	0.9	1.1	14.0	290	0.29
1×50	1.0	1.2	16.3	270	0.27
1×70	1.1	1.2	18.7	250	0.25
1×95	1.1	1.3	20.8	220	0.22
1×120	1.2	1.3	22.8	210	0.21
1×150	1.4	1.4	25.5	210	0.21
1×185	1.6	1.6	28.5	200	0.20
1×240	1.7	1.7	32.1	200	0.20

表 2 多芯电缆的技术要求

芯数×标称截面积 mm ²	绝缘厚度的标称值 mm	护套厚度的标称值 mm	平均外径下限 mm	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	0.9	7.0	9.1	860	0.86
2×2.5	0.7	0.9	7.9	10.2	690	0.69
2×4	0.7	1.0	9.1	11.8	580	0.58
2×6	0.7	1.1	10.3	13.2	500	0.50
2×10	0.7	1.2	12.2	15.6	420	0.42
2×16	0.7	1.3	14.5	18.5	340	0.34
3×1.5	0.7	1.0	7.7	10.0	860	0.86
3×2.5	0.7	1.1	8.7	11.3	690	0.69
3×4	0.7	1.2	10.1	13.0	580	0.58
3×6	0.7	1.2	11.1	14.3	500	0.50
3×10	0.7	1.2	13.0	16.7	420	0.42
3×16	0.7	1.3	15.4	19.7	340	0.34
4×1.5	0.7	1.1	8.5	11.0	860	0.86
4×2.5	0.7	1.2	9.8	12.6	690	0.69
4×4	0.7	1.2	11.0	14.2	580	0.58
4×6	0.7	1.2	12.3	15.7	500	0.50
4×10	0.7	1.3	14.5	18.5	420	0.42
4×16	0.7	1.4	17.3	22.0	340	0.34
5×1.5	0.7	1.2	9.5	12.2	860	0.86
5×2.5	0.7	1.2	10.7	13.8	690	0.69
5×4	0.7	1.3	12.3	15.7	580	0.58
5×6	0.7	1.3	13.6	17.4	500	0.50
5×10	0.7	1.4	16.1	20.5	420	0.42
5×16	0.7	1.6	19.4	24.6	340	0.34

5.3 光伏组串过流保护装置

集电线束装有组串过流保护装置(如熔丝),组串过流保护装置应满 GB 16895.32-7-712.433.1 规定。

1) 每个 PV 组串均设置过载保护器时,保护电器的过载电流额定值 I_n 应满足:

$$I_n > 1.25 \times I_{SC}$$

$$\text{且 } I_n < 2.4 \times I_{SC}$$

$$\text{且 } I_n \leq I_{MOD_MAX_OCPR}$$

2) 在一个过载保护电器提供保护下,可将组串串联分组:

$$I_{ng} > 1.25 \times N_{TS} \times I_{SC}$$

$$\text{且 } I_{ng} < I_{MOD_MAX_OCPR} - [(N_{TS} - 1) \times I_{SC}]$$

式中:

I_{SC} ——标准测试条件下光伏组件串的短路电流

I_n ——组串过载保护电器的额定电流或电流整定值;

I_{ng} ——组串组过载保护电器的额定电流或电流整定值;

N_{TS} ——一个过载保护电器保护的组串组中并联的组串总数;

$I_{\text{MOD_MAX_OCPR}}$ ——PV 组件的最大过电流保护额定值。

注 1：光伏组件过电流保护额定值应与光伏组件供应商提供的数据相一致，IEC 61730-1 规定组件供应商应当提供这一参数。

注 2：在进行保护系数选择时，需要设计人员灵活掌握。对于日照强度频繁增高的地区不宜使用 1.25 系数，因为这样可能会引起过载保护电器的误动。

注 3：在特定约束条件下，如在标称电流和/或较高环境温度下同时使用的设备并排安装，保护电器额定电流的选择可能会受到影响。

5.4 直流连接器

5.4.1 防触电保护

完全组装的连接器（带电缆），在插合或分离状态下，其带电部件不可被符合 GB/T 16842-2016 规定的试验指（试具）触及。

具有防触电保护功能的部件，只能借助于工具（不包括一般用途的螺丝刀）才能将其拆卸。

5.4.2 机械特性和强度

5.4.2.1 触头的位置保持

按照 8.4.1 试验后，连接器触头无不符合正常使用的轴向位移。

5.4.2.2 保持装置或锁定装置的有效性

按照 8.4.2 试验，拉力作用期间，连接器不应被分离；拉力卸载后，连接器不应发生影响其正常使用的损坏现象，如保持装置或锁定装置的变形，导致连接器的无法正常分离、保持装置锁或锁定装置失去有效的功能等。

5.4.2.3 低温下的机械强度

按照 8.4.3 试验后，连接器不应出现影响其正常使用的损坏。

5.4.3 密封件抗老化

橡胶或类似材料制成的用于连接器密封的部件，应具备抗高温老化的材料特性，从而保证连接器在长期的户外环境中不会出现密封部件的过度老化而影响其密封性能或导致 IP 防护等级的降低。

6 安全要求

6.1 绝缘耐压

6.1.1 绝缘电阻

在电路与裸露导电部件之间，每条电路对地标称电压的绝缘电阻应不小于 1000Ω/V。

6.1.2 绝缘强度

应符合 GB 7251.1 中 8.4.2.2 的规定。

6.2 电气间隙

带电部件与可触及表面之间的电气间隙应符合表 3。

额定脉冲电压应根据连接器的额定电压由表 3 确定。

表 3 额定脉冲电压和电气间隙

额定电压 V	基本绝缘		加强绝缘	
	额定脉冲电压 (1.2/50 μ s)	电气间隙	额定脉冲电压 (1.2/50 μ s)	电气间隙
	kV	mm	kV	mm
100	1.5	0.5	2.5	1.5
150	2.5	1.5	4.0	3.0
300	4.0	3.0	6.0	5.5
600	6.0	5.5	8.0	8.0
1000	8.0	8.0	12.0	14
1500	10.0	11	16.0	19

绝缘密封的绝缘材料的电气间隙应满足 GB/T 16935.1-2008 表 F.2 中“A 类”情况的要求。

根据 GB/T 16935.1-2008 给出的确定电气设备的过电压类别规则，连接器的过电压类别应为Ⅲ类。

6.3 爬电距离

基本绝缘的爬电距离应符合表 4 的要求，加强绝缘或者双重绝缘的爬电距离为基本绝缘的 2 倍。

爬电距离和电气间隙之间的相互关系见 GB/T 16935.1-2008 的 5.2.2.6。

表 4 基本绝缘的爬电距离

额定电压 V	污染等级 1	污染等级 2			污染等级 3		
	所有材料组别 mm	材料组别 I mm	材料组别 II mm	材料组别 III mm	材料组别 I mm	材料组别 II mm	材料组别 III mm
100	0.25	0.71	1.0	1.4	1.8	2.0	2.2
150	0.31	0.80	1.1	1.6	2.0	2.2	2.5
300	0.70	1.5	2.1	3.0	3.8	4.2	4.7
600	1.7	3.0	4.3	6.0	7.6	8.6	9.5
1000	3.2	5.0	7.1	10.0	12.5	14.0	16.0
1500	5.2	7.5	10.4	15	18.9	20.9	23.6

爬电距离参考下面三项参数：

a) 污染等级

连接器外部微环境的污染等级为 3、内部微环境的污染等级为 2。

b) 绝缘表面的形状

绝缘表面的形状确定，见 GB/T 16935.1-2008 的 5.2.2.5。

c) 相对漏电起痕指数（CTI）

绝缘材料分为四组，其对应的相对漏电起痕指数（CTI）根据 GB/T 4207 标准测定：

材料组别 I CTI \geq 600

材料组别 II 400 \leq CTI<600

材料组别 IIIa 175 \leq CTI<400

材料组别 IIIb 100 \leq CTI<175

6.4 IP 防护等级

应符合 GB 4208-2017 的规定，集电线束系统外壳包装件防护等级不低于 IP65。

6.5 阻燃等级

应符合 GB/T 2408-2008 规定，集电线束系统外壳包装件阻燃等级应不低于 UL94V-0。

7 环境要求

7.1 低温工作

集电线束在无包装，试验温度为 $(-25\pm 3)^{\circ}\text{C}$ 的条件下，正常工作保持 16h，部件无过热现象，在标准大气条件下恢复 2h 后，正常工作期间和恢复后无异常或导致潜在危害的现象出现，应能正常工作。

7.2 高温工作

集电线束在无包装，试验温度为 $(55\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 条件下，正常工作应保持 16h，部件无过热现象，在标准大气条件下恢复 2h 后，正常工作期间和恢复后无异常或导致潜在危害的现象出现，应能正常工作。

7.3 恒定湿热

集电线束在无包装，试验温度为 $(55\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $(95\pm 3)\%$ 恒定湿热条件下，不通电，经受 48h 试验后，在标准大气条件下恢复 2h 后，应能正常工作。

7.4 温升

在环境温度为 $10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、额定运行条件下时，集电线束各部件的温升应不超过规定的极限温升。表 5 给出了集电线束主要部件和部位的极限温升。

表 5 集电线束主要部件和部位的极限温升

部件和部位	极限温升 (K)
汇流电路中组串电路导体连接处	45
母线（非连接处） 铜铝	35 25
可接近的外壳	绝缘表面：40
用于连接外部绝缘导线的端子	70

8 试验方法

8.1 试验环境条件

除非另有规定，测量和试验在以下条件下进行。

- a) 温度： $15^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$;
- b) 相对湿度：45%~75%;
- c) 气压：86kPa~106kPa。

8.2 外观质量检查

按 5.1 规定进行目检和操作试验。

8.3 光伏组串过流保护试验

对光伏低压直流集电线束施加标称的最大工作电压且电流不小于 1.25 倍的最大故障电流时，组串过电流保护装置（如熔丝）应能够正常动作（如熔断），且组串过电流保护装置（如熔丝）复位后（如更换）光伏集电线束应能正常工作。

8.4 连接器结构和性能试验

8.4.1 触头的位置保持

试验按 GB/T 5095.1-1997 试验 15a 规定的方法进行：作用力沿连接器轴向双向施加，作用力以速率不大于 10N/s 增加，直到 3 倍的连接器产品说明书说明的正常插入力或正常插入力加 50N，两者取小，但不小于 20N，并保持 10s。

8.4.2 保持装置或锁定装置的有效性

试验按 GB/T 5095.1-1997 试验 15f 规定的方法进行：样品为插合状态，80N 的拉力施加在使样品正常分离的方向上，并保持 15s，拉力增大的速率不大于 10N/s。

8.4.3 低温下的机械强度

将插合状态下的样品放置在 20mm 厚的钢板上，并存放在 -40℃ 的环境中 5h 后，立即在低温箱内对其进行锤击试验。锤击能量为 1J，锤击装置符合 GB/T 2423.55 的要求。分别对连接器的 4 个不同部位进行一次锤击试验（依次选择对试验结果可能最不利的部位）。

8.4.4 密封件抗老化

可以与连接器主体结构分离的密封部件要在上限温度下老化 240h，然后在室温下进行 16h 的恢复。连接器在重新装配密封部件后，其密封性能不应受到影响，并通过 IP 防护等级试验进行验证。

注：如果密封部件无法从连接器主体结构上分离，上述老化过程可用带有密封部件的连接器进行。

8.5 外壳防护等级

试验按 GB 4208-2017 规定进行，集电线束所能达到的防护等级应符合 5.2 的规定。

8.6 绝缘耐压试验

8.6.1 绝缘电阻测定试验

用兆欧表或绝缘电阻测试仪以 1500V 试验电压分别测量集电线束的输入电路对地、输出电路对地的绝缘电阻值，其值应符合本规范中 6.1.1 规定。测量绝缘电阻合格后，才能进行绝缘强度试验。

8.6.2 绝缘强度试验

用耐压测试仪分别对集电线束的输入电路对地、输出电路对地施加试验电压，并符合 6.1.2 要求。试验电压应从零开始以每级为规定值的 5% 的有级调整方式上升至规定值后，持续 1min。

8.7 电气间隙和爬电距离测定试验

按 GB 7251.1 附录 F 规定的方法测得的电气间隙和爬电距离应符合 8.3 的规定。

8.8 环境试验

8.8.1 低温工作试验

试验方法按 GB/T 2423.1-2008 中“试验 A”进行。产品无包装，在试验温度为 $(-25 \pm 3)^\circ\text{C}$ 的条件下，通电正常工作保持 16h，在标准大气条件下恢复 2h 后进行试验，集电线束应符合 5.4 的规定。

8.8.2 高温工作试验

试验方法按 GB/T 2423.2-2008 中“试验 B”进行。产品无包装，在试验温度为 $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$ （条件下，通电正常工作保持 16h，在标准大气条件下恢复 2h 后进行试验，集电线束应符合 5.4 的规定。

8.8.3 恒温湿热试验

试验方法按 GB/T 2423.3-2016 中“试验 Cb”进行。产品在试验温度为 $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $(95 \pm 3)\%$ 恒定湿热条件下，无包装，不通电，经受 48h 试验后，取出样品，在正常环境条件下恢复 2h 后进行试验，集电线束应符合 4.4 的规定。

8.8.4 温升试验

正常运行时，集电线束主要器件和部件的温升应符合 7.4 的规定。

试验时测温元件应采用温度计、热电偶、热敏元件、红外测温仪或其它有效方法。

试验应维持足够的时间以使集电线束各部位的温度达到热平衡的稳定值。若温度的变化小于 1℃/h，则认为温升已达到稳定。

9 试验规则

9.1 试验分类

产品试验分出厂试验和型式试验，试验项目见表 6。

表 6 出场试验和型式试验的项目

序号	试验项目	型式试验	出厂试验	要求	试验方法
1	材料和外观	√	√	5.1	8.2
2	光伏组串过流保护	√		5.3	8.3
3	连接器结构性能试验	√	√	5.4	8.4
3	外壳防护等级	√		6.4	8.5
4	绝缘电阻	√	√	6.1.1	8.6.1
5	绝缘强度	√	√	6.1.2	8.6.2
6	电气间隙	√	√	6.2	8.7
7	爬电距离	√	√	6.3	8.7
8	低温工作	√		7.1	8.8.1
9	高温工作	√		7.2	8.8.2
10	恒定湿热	√		7.3	8.8.3
11	温升	√		7.4	8.8.4

9.2 出厂试验

每组集电线束都应进行出厂试验。一台中有一项性能不符合要求，即为不合格，应返工后复试，复试仍不合格，则为试验不合格。试验合格后，填写试验记录并且发给合格证方能出厂。

9.3 型式试验

9.3.1 当有下列情况之一时，应进行型式试验

- a) 新产品鉴定；
- b) 正式生产后，结构、材料、工艺有较大改变，足以影响产品性能时；
- c) 批量生产的产品，每隔2年进行一次型式试验；
- d) 产品停产2年后恢复生产时；
- e) 国家质量监督机构提出进行型式试验的要求时。

9.3.2 抽样方法及判定规则

进行型式试验的样品，应在经过出厂试验合格的产品中随机抽取，其数量为 2 根，按 GB/T 2829 标准规定进行。抽样采用判别水平为 I 的一次抽样方案，产品质量以不合格数表示，不合格质量水平(RQL)取 RQL=120。

10 标志、包装、运输、贮存

10.1 标志

10.1.1 产品标志

集电线束的适当位置应有铭牌。铭牌内容如下：

- a) 产品名称；
- b) 产品型号；
- c) 直流电压；
- d) 总电流；
- e) 输入路数；
- F) 防护等级；
- g) 出厂编号；
- h) 制造日期；
- i) 制造厂名。

10.1.2 包装标志

集电线束的外包装上有收发货标志、包装储运标志和警示标志，按 GB/T 191 的有关规定执行。

10.2 包装

10.2.1 随同产品供应的技术文件

- a) 安装说明书；
- b) 使用说明书；
- c) 产品质量合格证；
- d) 保修卡；
- e) 用户意见调查表；
- f) 技术指标及参数。

10.2.2 产品包装

产品包装应符合 GB/T 13384-2008 的有关规定。

10.3 运输

集电线束在运输过程中不应有剧烈震动、冲击和倒放。

10.4 贮存

产品使用前应放在原包装箱内，存放在空气流通，周围环境温度不超出-40℃~+70℃，相对湿度不大于 90%，无有害气体和易燃、易爆物品及有腐蚀性物品的仓库里，并且不应受到强烈机械振动、冲击和强磁场作用。

参考文献

- [1] IEC 61730-1: 2004 Photovoltaic (PV) Module Safety Qualification Part 1: Structural Requirements
- [2] IEC 61730-2: 2004 Photovoltaic (PV) Module Safety Qualification Part 2: Test Requirements
- [3] IEC 62446: 2009 Grid connected Photovoltaic Power Generation System: Technical Data, Minimum Requirements for Commissioned Testing and Acceptance Testing