

# 团 体 标 准

T/CPIA 0011.204—2019

---

## 户用光伏并网发电系统 第 2-4 部分：设计规范 电气安全设计

Residential photovoltaic grid-connected power system—  
Part 2-4: Design specification - electrical safety design

2019-2-14 发布

2019-3-15 实施

---

中国光伏行业协会 发布



# 前 言

T/CPIA 0011《户用光伏并网发电系统》分为如下部分：

- 第1部分：现场勘察与安装场地评估；
- 第2-1部分：设计规范 一般要求；
- 第2-2部分：设计规范 方阵设计；
- 第2-3部分：设计规范 结构设计；
- 第2-4部分：设计规范 电气安全设计；
- 第2-5部分：设计规范 系统接入设计；
- 第3部分：安装与调试规范；
- 第4部分：验收规范；
- 第5部分：运行和维护规范；
- 第6部分：发电性能评估方法。

本部分为T/CPIA 0011的第2-4部分。

本部分根据GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

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。

本部分由中国光伏行业协会标准化技术委员会归口。

本部分起草单位：北京鉴衡认证中心有限公司、中国电子技术标准化研究院、江苏天合智慧分布式能源有限公司、杭州淘顶网络科技有限公司、阳光电源股份有限公司、无锡尚德益家新能源有限公司、四季沐歌科技集团有限公司、河北因能科技股份有限公司、江苏爱康绿色家园科技有限公司、力诺电力集团股份有限公司、江苏固德威电源科技股份有限公司、合肥金泰克新能源科技有限公司、杭州禾迈电力电子有限公司。

本部分主要起草人：王芳、刘睿、裴会川、王赶强、王勇、褚晓玲、李俊兵、侯生跃、梅晓东、姚金国、焦喜立、金华、赵亮、马明、陈大英、韩文敏、瞿鹏飞、江涛、马志保、禹红斌。



# 户用光伏并网发电系统 第 2-4 部分：设计规范 电气安全设计

## 1 范围

T/CPIA 0011的本部分规定了户用光伏并网发电系统的电气安全设计的评估内容，包含交直流电路的隔离、电击防护、绝缘故障保护、过电流保护、雷击和过电压防护、关键电气设备与器件以及标志与文件的要求等。

本部分适用于以220V/380V电压等级接入用户侧电网或公共电网的户用光伏并网发电系统。220V电压等级单点接入容量不宜超过8kW，380V电压等级单点接入容量不宜超过400kW。

本部分不适用于带储能光伏系统、聚光光伏系统、BIPV 光伏系统和双面组件光伏发电系统。

## 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 10963.1 电气附件-家用及类似场所用过电流保护断路器 第1部分：用于交流的断路器

GB/T 10963.2 家用及类似场所用过电流保护断路器 第2部分：用于交流和直流的断路器

GB/T 113539.6-2013 低压熔断器 第6部分：太阳能光伏系统保护用熔断体的补充要求

GB/T 14048.1 低压开关和控制设备 第1部分：总则

GB/T 14048.2 低压开关和控制设备 第2部分：断路器

GB/T 14048.3 低压开关和控制设备 第3部分：开关、隔离器、隔离开关以及熔断器组合电器

GB/T 16895（所有部分），低压电气装置

GB/T 16895.21-2011 低压电气装置 第4-41部分：安全防护 电击防护

GB/T 18380.12 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 18802.1 低压配电系统的电涌保护器（SPD）第1部分：性能要求和试验方法

GB/T 18802.12 低压配电系统的电涌保护器（SPD）第12部分选择和使用导则

GB/T 18802.31 低压电涌保护器 特殊应用（含直流）的电涌保护器 第31部分：用于光伏系统的电涌保护器（SPD）性能要求和试验方法

GB/T 21714.2 雷电防护 第2部分：风险管理

GB/T 21714.3 雷电防护 第3部分：建筑物的物理损坏和生命危险

GB/T 21714.4 雷电防护 第4部分：建筑物内的电气和电子系统

GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范

GB 50169 电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范

GB 50217 电力工程电缆设计标准

GB/T 33342-2016 户用分布式光伏发电并网接口技术规范

NB/T 32004 光伏发电并网逆变器技术规范

NB/T 42073-2016 光伏发电系统用电缆

JB/T 10181 电缆载流量计算

IEC 60364-5-54 低压电气装置 第5-54部分 电气设备的选择和安装 接地安排和保护导体 (Low-voltage electrical installations - Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment - Earthing arrangements and protective conductors)

IEC 61730-2 光伏组件安全鉴定-第2部分：试验要求 (Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing)

IEC 62548-2016 光伏方阵-设计要求(Photovoltaic (PV) arrays - Design requirements)

IEC 62852-2014 光伏系统中直流用连接器安全要求和试验(Connectors for DC-application in photovoltaic systems - Safety requirements and tests)

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**防反二极管 blocking diode**

与光伏组件、组串、子方阵或方阵串联的二极管，用于阻止反向电流流过此类设备。

#### 3.2

**决定电压分级 Decisive voltage classification, DVC**

在最坏情况下的额定运行条件下，在任意两个带电部件之间或光伏阵列的带电部件和接地之间的持续最高电压。

注：参见附录A的DVC限值。

#### 3.3

**保护接地 protective earthing**

出于电气安全目的，将系统、装置或设备的一点接地。

#### 3.4

**标准测试条件 standard test conditions (STC)**

用于测量和分级光伏电池和组件的标准参考条件。标准测试条件为：

- a) 光伏电池温度为25℃；
- b) 光伏电池或组件平面辐照度为1000 W/m<sup>2</sup>；
- c) 与AM1.5相匹配的光谱。

### 4 一般电气结构

图1给出了户用光伏并网发电系统最基本的电气结构图。

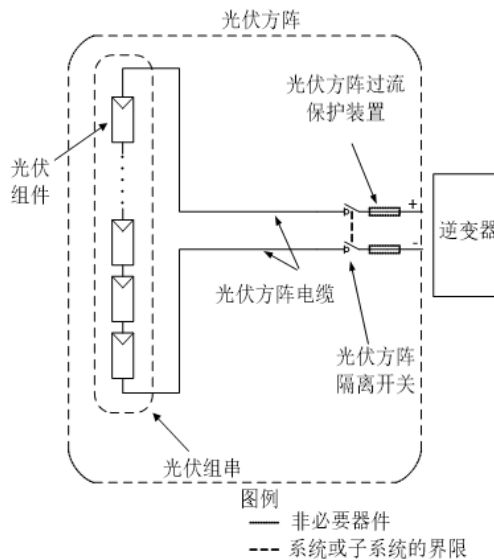


图1 光伏方阵电气图-单个光伏组串

对比与上述一般电气结构图，其他户用系统结构图示例详见附录 C。

## 5 安全要求

### 5.1 一般规定

户用光伏并网发电系统的最大系统电压不得大于1000V DC。光伏方阵最大电压等于最低预期工作温度修正后的光伏方阵开路电压。最低预期工作温度下的电压修正应根据制造商的说明书进行计算。

### 5.2 系统对地关系

光伏方阵对地关系和接地位置均影响光伏系统的安全性。应根据光伏系统所连接的光伏组件和逆变器的制造商要求确定系统的最佳接地方案。

只有光伏方阵通过逆变器内部或外部隔离变压器与电网进行基本隔离时，光伏方阵的正极或负极导体才可进行功能接地。

在没有基本隔离的系统中，可通过逆变器内部的固定连接经由中性导体将光伏方阵的正极或负极导体进行接地。

### 5.3 交直流电路的隔离

使用非隔离型逆变器的系统并且交流电路已参考接地的，逆变器的光伏侧不可使用功能接地。

光伏系统的直流电路与主交流电源输出电路的隔离可为逆变器的一部分，也可由外部变压器提供简单的隔离。如果隔离由变压器提供，那么必须保证没有其他设备和逆变器连接到同一线圈。

### 5.4 电击防护

#### 5.4.1 一般规定

户用光伏并网发电系统的直流侧应至少提供以下防护手段之一：

- 系统直流侧电路带电部分与地之间采用双重或加强绝缘；
- 采用安全低电压电路。

户用光伏并网发电系统的交流侧应提供以下防护手段：

- 带电部分应采用基本绝缘作为基本的防护；
- 采用保护等电位连接并且在故障的情况下自动切断电源作为故障情况下的防护。

#### 5.4.2 加强或双重绝缘

户用光伏并网发电系统的直流侧的防电击保护应满足 GB/T 16895.21-2011 中 412 的要求，并做如下补充：光伏组件、接线盒、电缆等直流侧设备（直至逆变器直流端口之前）应满足 II 级或等效绝缘。

#### 5.4.3 超低电压

户用光伏并网发电系统的直流侧的防电击保护应满足 GB/T 16895.21-2011 中 414 的要求。

#### 5.4.4 自动切断电源

户用光伏并网发电系统的交流侧的防电击保护应满足 GB/T 16895.21-2011 中 411 的要求。

### 5.5 绝缘故障保护

#### 5.5.1 一般规定

绝缘故障的保护方式取决于光伏方阵对地的关系，光伏方阵可按如下分类：

- a) 非隔离型光伏方阵（光伏方阵非功能接地，方阵与电网不隔离），例：光伏方阵的直流电路通过非隔离型逆变器连接至参考接地系统；
- b) 功能接地光伏方阵（出于安全目的之外的，不符合保护联结要求的接地导体的光伏方阵。光伏方阵功能接地，方阵与电网隔离），例：光伏方阵中的主要直流导体连接至功能接地；
- c) 非参考接地光伏方阵（光伏方阵非功能接地，方阵与电网隔离），例：光伏方阵的主要直流导体既没有直接接地，也没有通过逆变器接地。

注：功能接地系统包括通过保护/隔离装置连接到系统接地或通过电阻连接到系统接地的光伏方阵。

#### 5.5.2 光伏方阵绝缘电阻探测

户用光伏并网发电系统运行前，应探测光伏方阵和地之间的绝缘电阻，之后应至少每 24h 探测一次，探测过程中，允许断开光伏方阵的功能接地连接。

当探测到光伏方阵与地间的绝缘电阻小于  $U_{\max pv}/30\text{mA}$ （ $U_{\max pv}$  指光伏方阵最大输出电压）时，非参考接地光伏方阵应指示故障，非隔离型光伏方阵和功能接地光伏方阵应指示故障并进行如下故障动作：

- a) 非隔离型光伏方阵：关闭逆变器且将逆变器与交流电路或光伏方阵所有极断开，或者将光伏方阵故障部分的所有极从逆变器断开（当可操作时）。
- b) 功能接地光伏方阵：关闭逆变器且将光伏方阵所有极从接地断开，或将光伏方阵故障部分的所有极从接地断开（当可操作时）。

在所有绝缘故障情况下，绝缘电阻探测可继续，如果光伏方阵的绝缘电阻恢复到高于  $U_{\max pv}/30\text{mA}$ ，则故障指示可停止，并且系统可恢复正常工作。

#### 5.5.3 残余电流监控保护

由非隔离型光伏方阵组成的户用光伏并网发电系统应具备残余电流监控保护功能。由功能接地光伏方阵组成的户用光伏并网发电系统如果不具备接地故障中断措施，则应具备残余电流监控保护功能。

残余电流监控系统应能检测总的（含直流和交流）残余电流有效值，当监测到的连续残余电流超过以下限值时，残余电流监控系统应能在 0.3s 内断开，且应根据 5.5.5 要求指示故障：

- a) 对于连续输出功率  $\leq 30\text{kVA}$  的逆变器，最大电流为 300mA；
- b) 对于连续输出功率  $> 30\text{kVA}$  的逆变器，最大电流为 5A 或 10mA/kVA（二者取较小值）。

如果光伏方阵通过高阻抗进行功能性接地，那么单点故障导致的残余电流应低于上述限制要求，或者提供了满足 5.5.4 的接地故障中断措施，则不必进行残余电流监测。



当残余电流超过限值时，非隔离型光伏方阵和功能接地光伏方阵应指示故障并进行如下故障动作：

- a) 非隔离型光伏方阵：关闭逆变器并且将交流电路或光伏方阵所有极从逆变器断开，或将光伏方阵的故障部分的所有极从逆变器断开（当可操作时）。
- b) 功能接地光伏方阵：将光伏方阵故障部分的所有极从逆变器断开；或断开功能接地连接，允许与交流电路连接（逆变器可工作）。

如果光伏方阵的绝缘电阻值高于  $U_{maxpv}/30mA$ ，残余电流监控系统可尝试重新连接。

#### 5.5.4 功能接地光伏方阵接地故障中断措施

由功能接地光伏方阵组成的户用光伏并网发电系统如果不具备残余电流监控保护功能，则功能接地光伏方阵应具备接地故障中断措施。

如果光伏方阵通过高阻抗进行功能性接地，使得由单一故障导致的通过方阵功能接地路径的最大电流小于表1的限值，则不需要接地故障中断措施。

当直流侧出现接地故障时，器件应能自动中断功能接地导体中的故障电流，且应同时满足以下要求：

- a) 额定电压应能满足光伏方阵最大开路电压；
- b) 分断能力不低于光伏方阵最大短路电流；
- c) 额定电流不超过表 1 限值。

表 1 自动接地故障中断装置的额定电流

标准测试条件下光伏方阵的额定功率 $P$ kW	额定电流 $I_n$ A
$0 < P \leq 25$	1
$25 < P \leq 50$	2
$50 < P \leq 100$	3
$100 < P \leq 250$	4
$P > 250$	5

额定电流“ $I_n$ ”适用于熔断器和断路器，在故障电流通常为 $I_n$ 的130%至140%时可确保跳闸，当达到135%时，60min内将跳闸；当达到200%时，2min内将跳闸。在通过电流传感器和自动断开装置如继电器实现接地故障中断功能时，导致跳闸的设置值可能与表1中的 $I_n$ 相关值不同，只要故障电流在135%  $I_n$ 时系统能在60min内跳闸，200% $I_n$ 系统能在2min内跳闸即可。

#### 5.5.5 接地故障指示

户用光伏并网发电系统应具备本地和远程接地故障指示功能，应选用合适的故障指示方式，以确保系统操作人员或业主能获知故障情况。

接地故障恢复后，如果系统具备故障记录功能，则故障指示可自动复位，如果系统不具备故障记录功能，则故障指示应一直保持。

### 5.6 过电流保护

#### 5.6.1 一般要求

应根据 5.6.2~5.6.5 条款以及光伏组件制造商的要求提供过电流保护。

过电流保护装置应是符合 GB/T 13539.6 标准的 gPV 熔断器，或符合 GB 10963.1 和 GB 10963.2 的其他设备，选择的装置应不超过电缆的电流承载能力、组件最大反向电流和其他设备的最大电流。

当使用具有过流保护功能的断路器时，其提供的断开措施应满足 6.1.4 的要求。

### 5.6.2 光伏组串过电流保护

当两个以上的光伏组串连接到同一路 MPPT 时，每一光伏组串都应装有过电流保护装置，过电流保护装置的标称额定电流  $I_n$  应满足：

$$1.5 \times I_{SC\_MOD} < I_n < 2.4 \times I_{SC\_MOD} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{且 } I_n \leq I_{MOD\_MAX\_OCPR} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$I_{SC\_MOD}$ ——在标准测试条件下，光伏组件或光伏组串的短路电流，由制造商在产品规格表中给出；

$I_{MOD\_MAX\_OCPR}$ ——IEC 61730-2中规定的光伏组件的最大过流保护值，通常组件制造商规定为“最大串联熔断器值”。

式（1）中的系数1.5是考虑到设计允许的高辐照条件而确定的，在实际项目设计时应充分考虑当地辐照、温度等条件，可能会需要高于1.5的系数。

### 5.6.3 光伏子方阵过流保护

当两个以上的光伏子方阵连接到同一逆变器时，应为光伏子方阵提供过电流保护，过电流保护装置的标称额定电流值  $I_n$  应满足：

$$I_n > 1.25 \times I_{SC\_S-ARRAY} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{且 } I_n \leq 2.4 \times I_{SC\_S-ARRAY} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$I_{SC\_S-ARRAY}$ ——标准测试条件下光伏子方阵的短路电流， $I_{SC\_S-ARRAY} = I_{SC\_MOD} \times N_{SA}$ ，其中， $N_{SA}$ 为光伏子方阵中并联光伏组串总数量。

应注意在高辐射地区，若选用较低倍数会引起过流保护装置的频繁动作。

### 5.6.4 光伏方阵过电流保护

对于在故障条件下可能会有来自其他电源的电流注入光伏方阵时，应提供光伏方阵过流保护。光伏方阵过电流保护装置额定电流  $I_n$  应满足：

$$I_n > 1.25 \times I_{SC\_ARRAY} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{且 } I_n \leq 2.4 \times I_{SC\_ARRAY} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$I_{SC\_ARRAY}$ ——标准测试条件下光伏方阵的短路电流， $I_{SC\_ARRAY} = I_{SC\_MOD} \times N_A$ ，其中， $N_A$ 为光伏方阵中并联光伏组串总数量。

### 5.6.5 过电流保护位置

过电流保护装置应安装在易于更换处，具体应满足：

- a) 对于组串过电流保护装置，应安装在组串电缆与子方阵或方阵电缆连接处，或者安装在组串汇流装置处（如有）；
- b) 对于子方阵过流保护装置，应安装在子方阵电缆与方阵电缆连接处，或者安装在方阵汇流装置处（如有）；
- c) 对于方阵过流保护装置，应安装在方阵电缆与逆变器的连接处。

对于包含功能接地的系统，组串和子方阵电缆的过流保护装置应安装在所有未接地导体中（如：所有未与功能接地直接相连的电路）。

对于只有两个活动导体的没有功能接地的系统，如果在组串电缆和子方阵电缆之间有物理隔离措施，或者没有子方阵且没有子方阵电缆（即在小型系统中），此时，系统的过电流保护装置仅需要放置

在组串电缆或子方阵电缆的一个未接地的带电导体上，这个导体应和其他需要保护的所有电缆极性相同。

注：由于单独接地故障检测和警报的要求，以及方阵电路中所有导体的双重绝缘要求，所以浮地系统可使用单极过电流保护装置。

## 5.7 雷击和过电压防护

### 5.7.1 一般规定

当光伏方阵的安装使建筑物的物理特性或突出结构发生了明显变化时，则宜根据 GB/T 21714.2 评估防雷保护系统的必要性，如需安装，则应依据 GB/T 21714.3 以及 GB 50057-2010 进行安装。

如果建筑物上已安装雷电防护系统（LPS），则应依据 GB/T 21714.3 以及 GB 50057 将光伏系统适当的整合到 LPS。

当建筑物不要求安装防雷系统或独立的光伏方阵时，方阵、逆变器及设施的所有部分仍要求进行过电压保护。

对于组件带金属边框的系统，组件边框和支架可连接到建筑物原有接地系统，或者通过引下线和接地极接地。当组件边框作为接闪器时，则应满足 GB 50169 中的要求。

对于组件无边框的系统，光伏系统支架可连接到建筑物原有接地系统，或者通过引下线和接地极接地。

### 5.7.2 防雷接地连接

接地干线应在不同的两点及以上与接地网连接或与原有建筑屋顶防雷接地网连接。

接地干线（网）连接、接地干线（网）与屋顶建筑防雷接地网的连接应牢固可靠。铝型材连接需刺破外层氧化膜；当采用焊接连接时，焊接质量符合要求，不应出现错位、平行和扭曲等现象，焊接点应做好防腐防锈处理。

带边框的组件、所有支架、电缆的金属外皮、金属保护管线、桥架、电气设备外露壳导电部分应与接地干线（网）牢固连接，并对连接处做好防腐防锈处理。

接地电阻应不大于  $4\Omega$ 。

接地线不应做其他用途。

### 5.7.3 过电压保护

#### 5.7.3.1 一般规定

安装于同一光伏组串的正极和负极电缆、主方阵电缆应采用集束安装，以避免系统中产生环路。所有相关的接地/联结导体也应集束安装。

超过 50 m 的光伏直流主电缆宜采用以下任一安装方式：

- a) 安装在接地金属导管或线槽中；
- b) 埋在地下（采取适当的机械保护）；
- c) 带机械防护的电缆以提供屏障；
- d) 通过电涌保护器（SPD）进行保护。

应注意通过适当的设计和安装通风口将导管或线槽中积累的水或冷凝液排出。

注：为了整体保护直流系统，可在逆变器直流电缆末端和光伏方阵的带电导体之间及带电导体和地之间安装电涌保护器。电涌保护装置实际安装时应尽可能靠近被保护设备。

应根据 GB/T 21714.2 ~ GB/T 21714.4 以及执行的有效保护措施来评估电涌保护器的必要性。GB/T 21714.4 提供了在雷电环境中电气和电子系统的保护方法。

### 5.7.3.2 电涌保护器 (SPD)

#### 5.7.3.2.1 一般规定

一般并网逆变器中会安装SPD，但也可根据需要安装分散的SPD。这种情况下需要确定两个SPD的匹配性。

SPD 应尽可能靠近被保护的设备进行安装。

此处列举的措施仅作为指导，特别在雷电频繁地区更需要进行全面评估。

#### 5.7.3.2.2 直流侧电涌保护器

为了保护直流侧，直流侧电涌保护器应满足GB/T 18802.31或等同标准的要求，并明确其额定用于光伏系统的直流侧。当直流侧SPD安装在并网逆变器内部时，则应满足NB/T 32004中的防雷要求。

注：直流电缆长度不大于1.5m时，可不加装直流侧浪涌保护器。

#### 5.7.3.2.3 交流侧电涌保护器

为了保护交流侧，交流侧电涌保护器应根据GB/T 18802.12进行选择，并满足GB/T 18802.1或同类标准的要求。

## 6 关键设备与器件

### 6.1 器件要求

#### 6.1.1 一般规定

所有直流元器件应满足以下要求：

- a) 满足直流使用要求；
- b) 额定电压不小于户用光伏并网发电系统的光伏方阵最大电压；
- c) 额定电流大于等于所安装电路的载流能力（表2给出的值）；
- d) IP防护等级适用其所在位置和环境；
- e) 温度等级适用其所在位置和环境。

设备应满足最高预期电流的要求。

在盐雾条件下使用的所有部件都应适用其使用环境条件。

为了避免串联拉弧，宜选择可保证系统寿命期间接触压力的端子和连接设备。

#### 6.1.2 断路器

光伏方阵中用于过电流保护的断路器应满足以下要求：

- a) 符合 GB/T 14048.2 或 GB 10963.2；
- b) 无极性的（来自光伏方阵的故障电流可与正常工作电流方向相反）；
- c) 能切断满载和预期故障电流；
- d) 额定值满足 5.6 的过电流值。

#### 6.1.3 熔断器

##### 6.1.3.1 熔断体

光伏方阵中熔断器应满足以下要求：

- a) 可切断故障电流，故障电流来自于光伏方阵和任何其他电源（如有）；

- b) 短路和过载电流保护类型满足 GB/T 13539.6-2013 中 gPV 型的要求。  
当熔断器用于过流保护时，宜使用熔断器式隔离开关（熔断器组合电器）。

#### 6.1.3.2 熔断器支持件

熔断器支持件应满足以下要求：

- a) 额定电流大于等于相匹配熔断体；
- b) 不能改变保险丝额定值或特性；
- c) 提供适合安装地的防护等级且不低于 IP2X，即使熔断体或载体被移除。在需要使用工具拆卸的位置，如果保险丝座提供小于 IP2X 的保护等级，可使用额外的保护盖提供 IP2X 保护。

#### 6.1.4 隔离器和隔离开关

所有隔离器，应满足以下要求：

- a) 在连接和断开状态下，无裸露的带电金属部件；
- b) 额定电流大于等于关联的过电流保护装置，或无此装置时，额定电流大于等于其所安装电路的最小电流承载能力，参考表 2。

隔离开关应符合 GB/T 14048.1 和 GB/T 14048.3，且应具有独立的手动操作机构。此外，起保护和/或隔离作用的负荷隔离开关，应满足以下要求：

- a) 无极性的（来自光伏方阵的故障电流可与正常工作电流方向相反）；
- b) 能切断满载和预期故障电流，故障电流来自于光伏方阵和其他相连的电源（如有），如：发电机、电网；
- c) 当关联过电流保护装置时，额定值应满足 5.6 的要求；
- d) 同时切断所有带电导体。

光伏方阵隔离开关应切断所有导体(包括功能接地导体)。

如能确保同等安全水平，也可使用带载切断插头连接器。

注：只有具有特殊结构的插头和插座才能安全切断负载。

#### 6.1.5 交直流电路的分隔

除了满足 GB/T 16895 的具体要求外，交流和直流电路的分隔应与不同电压等级的分隔要求一致。

注：交流和直流电路之间应保持最高电压存在时的双重绝缘。

应清晰地标识不同类型的电路（如：使用标签或不同颜色电缆）。

#### 6.1.6 插头、插座和连接器

光伏系统中配套成组的插头、插座和连接器应是来自同一制造商的同一型号产品。

直流侧的插头、插座和连接器应满足如下要求：

- a) 满足 IEC 62852-2014 或等同标准；
- b) 在连接和断开状态下应防止接触带电部件（如：带护罩）；
- c) 与所安装线路的电缆相匹配；
- d) 如可被非专业人员接触，则要求两个不关联的操作才能解锁分离；
- e) 如果是多极的，应有极性区别；
- f) 电压高于 DVC-A 的系统，应符合 II 类（电击防护类别）；
- g) 安装方式应尽可能减少连接器的应变（例如：对连接线的各端电缆做支撑）；
- h) 连接家用设备和低压交流电源的插头和插座不应用于光伏方阵中。

#### 6.1.7 防反二极管

若使用防反二极管，应满足以下要求：

- a) 额定电压至少为光伏方阵最大电压的 2 倍；
- b) 额定电流 ( $I_{MAX}$ ) 至少为被保护电路在 STC 下的短路电流的 1.4 倍，即：
  - 1) 对光伏组串：1.4 倍的光伏组件短路电流；
  - 2) 对光伏子方阵：1.4 倍的光伏子方阵短路电流；
  - 3) 对光伏方阵：1.4 倍的光伏方阵短路电流。
- c) 安装后无裸露的导电部件；
- d) 应带防护以避免环境因素引起的衰退。

防反二极管不可替代过流保护装置。

注：防反二极管由于电压瞬变导致的失效模式通常是短路状态，所以二极管不能代替过流保护装置。

当雪或其他环境的反射可能造成光伏组件产生较大短路电流时，计算  $I_{MAX}$  的修正因子应大于 1.4。

$I_{MAX}$  由气候条件等确定。

## 6.1.8 电缆

### 6.1.8.1 一般规定

光伏组串、光伏子方阵和光伏方阵的电缆规格应根据以下因素确定：

- a) 所用的过电流保护额定值；
- b) 电路最小额定电流（见表 2）；
- c) 电压降及预期故障电流；

应根据 5.6 确定过电流保护，且电缆应能承受经最近过电流保护装置流入的最坏情况电流（来自远方方阵部分）和与之相邻的并联组串产生的最坏情况电流的叠加值。

### 6.1.8.2 载流量

电缆的载流量应大于表 2 的电路最小额定电流，电缆自身载流量应根据 JB/T 10181 系列标准计算，安装地点和安装方式造成的电缆的降额因数应符合 GB/T 16895 系列标准。电缆的选择和敷设应满足 GB 50217 的要求。

在确定电缆额定值时应考光伏组件的实际短路电流值与标称值之间的差异。

表 2 电路最小额定电流

相关电路	保护	最小电流 电缆横截面积和/或其他电路额定值选择的依据 <sup>a b</sup>
光伏组串	无光伏组串过电流保护	方阵只包含一组串时的最小电流值： $1.25 \times I_{SC\_MOD}$ 其他情况时的最小电流值： $I_n + 1.25 \times I_{SC\_MOD} \times (S_{PO} - 1)$ 其中： $I_{SC\_MOD}$ 光伏组件或光伏组串短路电流； $I_n$ : 最近的下游过电流保护装置的额定电流； $S_{PO}$ : 最近的过电流保护装置下并联光伏组串总数。 注 1: 最近的下游过电流保护装置可能是子方阵的保护，如果没有，则是方阵的过电流保护（如有）。 注 2: 当整个方阵中无过电流保护，则 $S_{PO}$ 是整个方阵中并联组串总数，且最近的过电流保护装置的额定电流 ( $I_n$ ) 为 0。
	有光伏组串过电流保护	光伏组串过电流保护装置的额定电流 $I_n$ （见 5.6）
光伏子方阵	无光伏子方阵过电流保护	以下较大值： a) 光伏方阵过电流保护装置的额定电流 $I_n + 1.25 \times$ 所有其他子方阵短路电流之

		和; b) $1.25 \times I_{SC-ARRAY}$ (相关方阵) 注: 当光伏方阵无电过流保护, 则 a) 中 $I_n$ 为 0。
	有光伏子方阵过电流保护	光伏子方阵过电流保护装置的额定电流 $I_n$ (见 5.6)
光伏方阵	无光伏方阵过电流保护	$1.25 \times I_{SC-ARRAY}$
	有光伏方阵过电流保护	光伏方阵过电流保护装置的额定电流 $I_n$ (见 5.6)
<sup>a</sup> 靠近或与光伏组件相连的电缆最低工作温度可等于最大预期环境温度加 40℃。		
<sup>b</sup> 确定电缆额定值时应考虑安装地点和安装方式 (如封装、夹具安装、埋地等)。根据安装方式确定额定值时应考虑电缆制造商的建议。		

逆变器在故障情况下可向方阵提供反灌电流, 所有电路额定电流的计算均应考虑反灌电流值, 并加到由表 2 算得的电路额定值中。

### 6.1.8.3 类型

电缆应满足 NB/T 42073-2016 或其他等效标准的要求, 光伏方阵电缆的额定电压应不低于光伏方阵最大电压值, 额定温度范围应能满足户用系统的使用条件。

暴露于盐雾环境中的电缆应能耐受 NB/T 42073-2016 中 7.3.14 的盐雾试验要求。

电缆应满足 GB/T 18380.12 或等同标准的阻燃要求。

### 6.1.8.4 安装方式

电缆应被支撑以使其免受风/雪造成的疲劳, 并在光伏系统全寿命期内保持电缆的性能和安装要求。应防止电缆接触尖锐楞缘。所有暴露在阳光下的非金属套管和导管应为耐紫外型。

电缆扎带不应作为主要的支撑方式, 除非其寿命大于等于系统寿命或预定的维护周期。如果将电缆扎带作为支撑装置, 则其安装不能对电缆造成损坏。

## 6.2 位置及安装要求

### 6.2.1 隔离方式

#### 6.2.1.1 一般要求

应根据表 3 确定光伏方阵中的隔离方式, 用于隔离光伏方阵和逆变器。

逆变器的断开装置应可接近并符合隔离开关的要求。

表 3 光伏方阵安装所要求的隔离装置

光伏方阵电压	电路或子电路	隔离方式	要求
DVC-A	组串电缆	隔离装置	推荐 <sup>a</sup>
	子方阵电缆	隔离装置	要求
	方阵电缆	隔离开关	要求
DVC-B 和 C	组串电缆	隔离装置 <sup>a</sup>	推荐 <sup>a</sup>
	子方阵电缆	隔离装置 <sup>a</sup>	要求
		隔离开关	推荐
	方阵电缆	隔离开关	要求

<sup>a</sup> 带护套 (触摸安全) 的插头插座连接器、可移除的熔断器或隔离器都可作为合适的隔离装置。这些装置分断负载电流的能力应满足本表的要求。

### 6.2.1.2 逆变器的隔离开关

应有将逆变器与光伏方阵的所有极隔离的方式（集成在组件上的逆变器，或直流线缆长度 $\leq 1.5\text{m}$ 时除外），例如：直流侧的隔离开关。

注：组件集成逆变器是永久连接到光伏组件的逆变器（例如连接到光伏组件背板的逆变器）。

通过直接更换设备进行维修的逆变器，应采用如下隔离方式之一：

- 一个邻近的物理上独立的隔离开关；
- 一个与逆变器机械相连的隔离开关，允许逆变器从包含隔离开关的部分移除时无电击风险；
- 一个安装在逆变器内部的隔离开关，此时逆变器的隔离措施只在隔离开关处于断开位置时才可操作，即只有隔离开关处于断开位置时，逆变器的可维修部分才能断开或拆卸；
- 一个安装在逆变器内部的隔离开关，此时逆变器的隔离措施仅通过工具才能操作，并且标注易见的警告标识或文字说明“禁止带载断开”。

通过更换内部元器件进行维修的逆变器，隔离开关的安装应使逆变器的维修（如：更换逆变模块或风扇，清理滤网）不会导致电击危险。此隔离开关可与逆变器在同一外壳中。

### 6.2.1.3 安装

用作过电流保护的适当额定值的断路器也可提供带载分断隔离功能。

其他符合 6.2.1 特性的断开隔离装置也可作为隔离措施。

不能分断负载电流的开关，应标注不能带载分断，且一般应是不可接近的。

当多个子方阵隔离装置靠近功率装换装置安装时（即 $2\text{m}$ 之内且在视线内），则不需要光伏方阵电缆，因此也不需要光伏方阵带载分断开关。这种情况下，子方阵开关都应是带载分断开关。

当采用多个隔离装置隔离逆变器时，应满足以下条件之一：

- 应是联动的，以保证全部同时动作；
- 应集中在同一位置，应贴有警告标识注明：须隔离所有输入才能隔离设备。

表 3 要求的隔离装置应安装在所有未直接接地的带电导体上。

当要求带载分断（隔离开关），则装置的所有极均具备此功能且所有极应是联动。

## 6.2.2 接地和联结布置

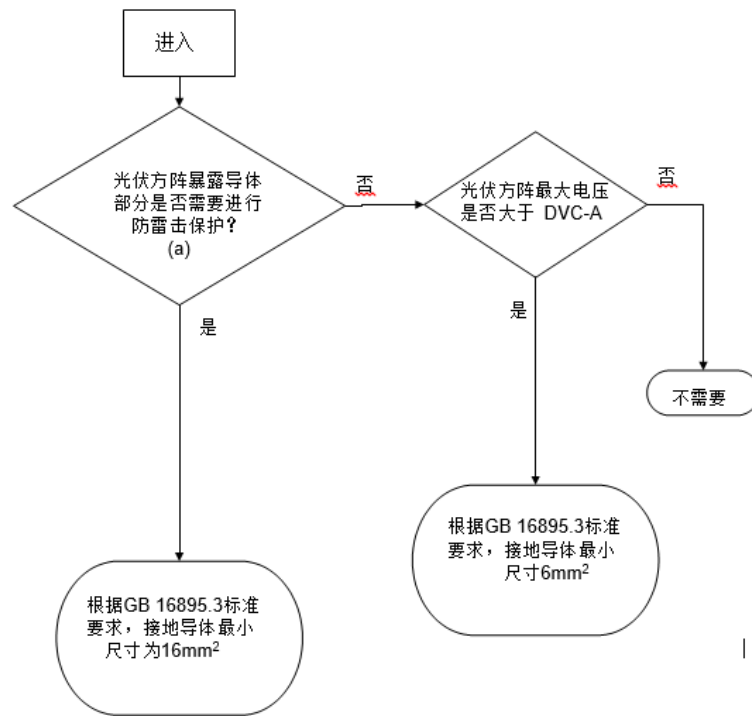
### 6.2.2.1 联结导体的尺寸

光伏方阵外部金属框架接地的导体，应采用线径最小截面积  $6\text{mm}^2$  的铜或其他等效导体。

某些系统结构中，由于雷电防护系统的要求，导体的最小尺寸可能需要增大，见图 2。

图 3 给出光伏方阵裸露导电部分接地要求的示例。

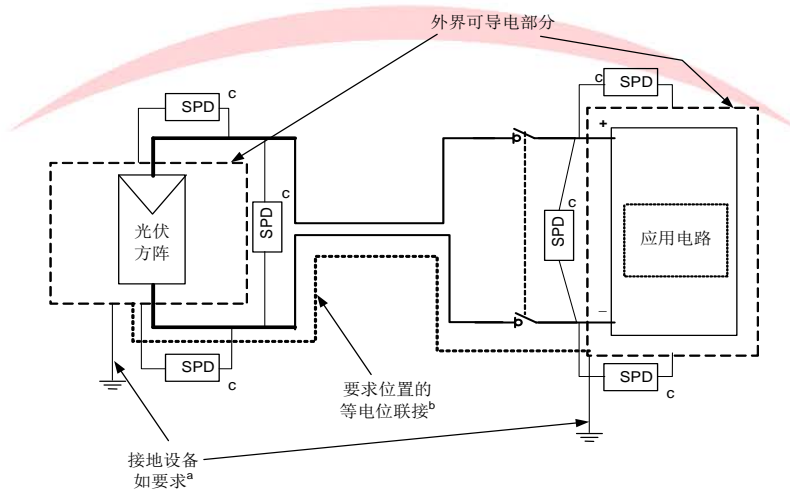




<sup>a</sup>宜参照 GB/T 21714.2 和 GB/T 21714.3, 或根据当地情况如: 每年的雷日天数或其他雷电特性。应评估光伏方阵与其他建筑物的相对位置和能使光伏方阵免受雷电冲击的构造。

注: 依据GB/T 21714.2实现在现场接地。

图 2 光伏方阵裸露可导电部分的功能接地/联结判定流程图



<sup>a</sup>图中的接地连接均为功能接地连接。出于雷电防护也可要求连接外露的金属边框。

<sup>b</sup>为了保护电气设备免受雷电过电压, 光伏方阵和应用电路之间必须进行等电位连接。等电位联结导体应尽可能靠近带电导体, 以减少线路环路。

<sup>c</sup>过压保护电涌保护器的安装位置应根据制造商的要求确定。

图 3 光伏方阵裸露可导电部分的接地

所有带电导体与设备接地导体之间应保持较高阻抗。

### 6.2.2.2 独立接地电极

雷电防护电极的规格和材质选择参见 GB 50057。

### 6.2.2.3 等电位联结

#### 6.2.2.3.1 一般性要求

等电位联结有两种方式：主等电位联结和辅助等电位联结。

主等电位联结是指裸露可导电部分与主接地端子的。

辅助等电位联结是裸露可导电部分之间或裸露可导电部分与外界可导电部分之间的连接。为了防止电击，可要求辅助等电位联结。

光伏方阵边框联结应依照图 2 的判定流程图。

#### 6.2.2.3.2 光伏方阵联结导体

光伏方阵联结导体应尽可能靠近光伏方阵或子方阵的正负极导体，以降低雷电感应电压。

#### 6.2.2.3.3 光伏方阵的功能接地端子

光伏方阵的一个载流极接地时，既功能接地时，只能在一个点接地，此点应与电气安装的主接地端子相连。

对于包含子接地端子的电气安装，如果子接地端子已考虑了此用途，则光伏功能接地可与子接地端子连接。

功能接地连接可建立在逆变器内部。当测量光伏方阵与地之间的绝缘电阻时允许切断功能接地。

功能接地点应在光伏方阵和逆变器之间，并尽可能靠近功率转设备。

注：隔离装置切断功能接地导体时，应注意切断接地连接的位置。

#### 6.2.2.3.4 光伏方阵的功能接地导体

当功能接地（直接或通过电阻接地）是将主光伏方阵导体进行接地时，功能接地导体的最小载流量应：

- a) 不通过电阻而直接接地的系统，此值不小于功能接地故障中断器的额定电流；
- b) 通过串联电阻进行功能接地的系统，此值不小于（光伏方阵最大电压）/ R，其中 R 为与功能接地串联的电阻阻值。

接地导体的材料和类型、绝缘、鉴定、安装和连接，应满足 IEC 60364-5-54 或其他相关布线标准的规定。

用于泄放电池片电荷的功能接地尽可能通过电阻接地而不是直接接地。电阻值宜采用每个制造商允许的最高值。

### 6.2.3 布线系统

#### 6.2.3.1 符合相关布线标准

光伏方阵布线应满足本标准中电缆和安装的要求，并满足当地标准和法规。无国家标准或规范时，光伏方阵布线系统应满足 GB/T 16895 系列标准。

应特别注意保护布线系统免受外部影响。

#### 6.2.3.2 布线回路

光伏方阵应按使导电回路面积最小的方式布线，以降低雷电导致的过电压值。光伏组串正极和负极电缆应从同一侧平行敷设，参考图 4 所示的平行敷设方式。

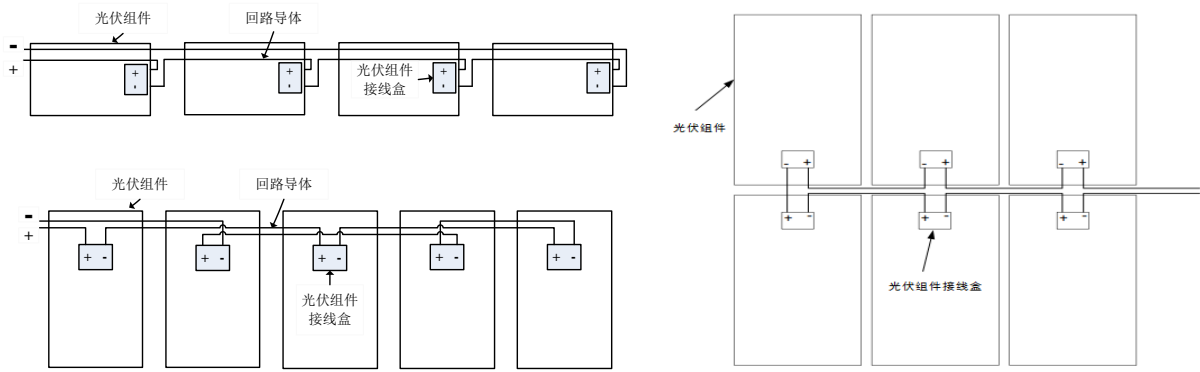


图4 最小回路面积的光伏组串布线

### 6.2.3.3 布线标识

在建筑物上或内部安装的光伏方阵布线应贴有永久标识。光伏方阵（和子方阵）电缆可通过以下方式之一进行识别：

- 光伏布线使用的光伏电缆有特殊标志，且标志是永久的，清楚的，不可擦除的；
- 当布线没有特殊标志时，应粘贴带有“光伏直流”字样的特殊颜色标签；
- 当电缆封闭在导管或护套中，则应将标签粘贴在导管或护套外面。

当多个光伏子方阵或光伏组串导线接入逆变器或汇流设备时，应分组或成对标识。

## 7 标志与文件

### 7.1 标志要求

户用光伏并网发电系统的所有标志应：

- 符合国家相关标准的要求；
- 不可擦除的；
- 在户用光伏并网发电系统的使用寿命内应清晰可辨；
- 能被操作人员理解。

附录B给出了标志实例。

### 7.2 光伏安装标志

为了保证各类操作人员的安全（维护人员，巡检员，公共配电网运营商，紧急救助人员等），宜注明建筑物上安装有光伏设施。

标志（B.2图）可固定在：

- 电气安装的起始位置；
- 计量位置，当远离电气安装起始位置时；
- 与逆变器相连的并网箱或配电箱；
- 供给电源的所有隔离位置。

### 7.3 光伏设备的标志

应在光伏组串汇流箱（如有）或逆变器上粘贴“光伏 D.C.”或类似的标志，且在光伏组串汇流箱和开关上标注“白天带电”标志。

## 7.4 隔离装置的标签

### 7.4.1 一般规定

隔离装置应按光伏方阵布线图采用可识别的名称或数字予以标注。  
所有开关应清楚地标明闭合和断开的位置。

### 7.4.2 光伏方阵隔离装置

应在靠近隔离开关或同类设备的显著位置处粘贴标志，以区别光伏方阵隔离开关。

当使用多个非联动隔离装置时，应提供标志以警告：含多个直流电源，且应关闭所有隔离开关才能安全隔离设备。



## 附录A (资料性附录) DVC限值

DVC的电压限值见表A.1。

表A.1 决定电压分级的限值汇总

决定电压分级 DVC	工作电压的限值 V		
	交流电压有效值 $U_{ACL}$	交流电压峰值 $U_{ACPL}$	直流电压平均值 $U_{DCL}$
A	$U_{ACL} \leq 25$ ( $U_{ACL} \leq 16$ )	$U_{ACPL} \leq 35.4$ ( $U_{ACPL} \leq 22.6$ )	$U_{DCL} \leq 60$ ( $U_{DCL} \leq 35$ )
B	$25 < U_{ACL} \leq 50$ ( $16 < U_{ACL} \leq 33$ )	$35.4 < U_{ACPL} \leq 71$ ( $22.6 < U_{ACPL} \leq 46.7$ )	$60 < U_{DCL} \leq 120$ ( $35 < U_{DCL} \leq 70$ )
C	$U_{ACL} > 50$ ( $U_{ACL} > 33$ )	$U_{ACPL} > 71$ ( $U_{ACPL} > 46.7$ )	$U_{DCL} > 120$ ( $U_{DCL} > 70$ )

注1：决定电压分级（DVC）指在预期的最坏额定工作条件下，任意两个带电部件之间或光伏阵列的带电部件和接地之间的持续最高电压。

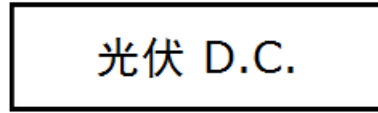
注2：括号中的值适用于安装在潮湿场所的电缆和部件。

注3：在故障状态下，DVC-A级电路电压允许短时升至DVC-B级范围内，但最多不超过0.2s。

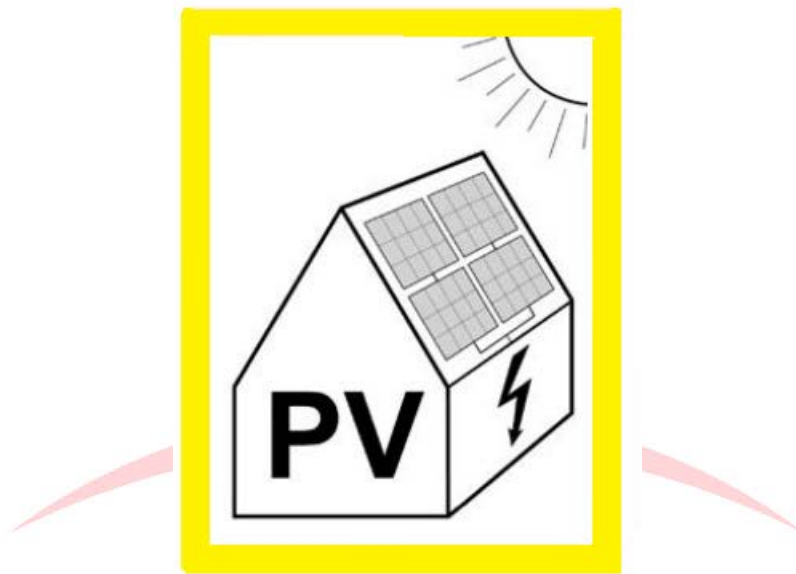


附录 B  
(资料性附录)  
标志示例

本附录提供了满足条款7规定的合适的标志示例（见图B.1和B.2）



图B.1 光伏组串汇流箱和光伏逆变器上的标志示例（见7.3）

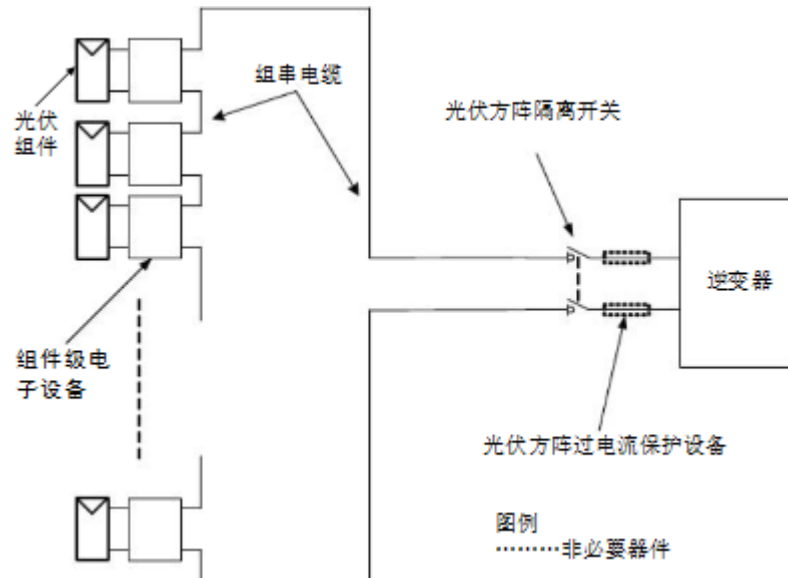


图B.2 标明建筑物上装有光伏设备的配电盘标志示例

标志应符合当地消防机关的相关要求。

附录 C  
 (资料性附录)  
 光伏方阵电气图示例

带组件级电子设备的电气结构如图C.1所示：



注：组件级电子设备，是指功率优化器、关断器、微型逆变器（组件级电子设备为微型逆变器时，图纸需要根据实际情况进行调整）等。

图C.1 光伏方阵电气图-带组件级电子设备

更多的光伏方阵电气图示例，详见IEC 62548-2016中第5部分。