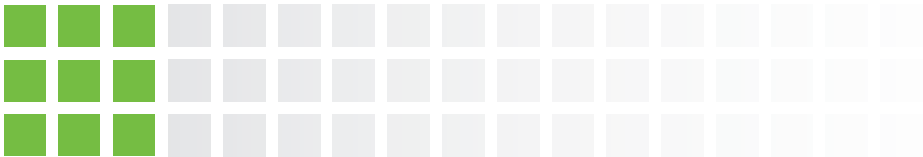


# 光伏系统浪涌保护



应用指南



Expertise Applied | Answers Delivered



## 目录

---

概述.....	3
浪涌保护器分类.....	3
选择和安装光伏系统浪涌保护器.....	4
光伏系统直流侧浪涌保护器.....	5
交流侧浪涌保护器.....	5
安装.....	5
电缆.....	6
如何将浪涌保护器与逆变器相结合.....	6
结论.....	7
参考资料.....	7
定义.....	8
规范和标准.....	10
其他资源.....	11

## 概述

太阳能场会出现具有破坏性的纯粹雷电风暴。太阳能电池板占地面积大，且通常处于裸露和独立位置，因此，浪涌保护对于维持其使用寿命至关重要。

雷电是大气中的放电。雷击时，由于释放能量，容易发生火灾。雨云电荷浓度高，其聚集会产生空气电离。地面和雨云之间的空气电离会产生从云向地面放电。由于雨云会产生雷电，故其引起的浪涌最大。

间接雷击具有破坏性。关于雷电活动的无对照观察结果通常不能很好地指示光伏阵列中雷电引起的过电压等级[1]。间接雷击很容易对光伏设备内敏感元件造成损坏，通常维修或更换受损元件费用很高，并影响光伏系统的可靠性[1]。过电压取决于每个光伏系统和布线的设置情况。

光伏系统暴露在大面积开阔空间中，通常在野外或建筑物顶部。积聚在此类开阔场地上方的带电雨云倾向于以雷电形式释放电荷。发生这种情况时，很可能出现电压浪涌。场地越广阔，产生破坏的可能性就越大。

浪涌很容易使电子设备损坏到灾难性故障程度。如果有人在场时发生浪涌，还会危害其人身安全。如果人员距雷击点60英尺以内，则间接雷击可能会致命[2]。当光伏系统位于工业场所时，业务运营和设备也会受到威胁。虽然逆变器价格昂贵，但对于工业应用而言，停机故障成本甚至更高。

当雷电击中太阳能光伏系统时，会在太阳能光伏系统电线环路内引起感应瞬态电流和电压。将在设备终端出现这些瞬态电流和电压，并可能导致太阳能光伏电气和电子元件（比如光伏太阳能电池板、逆变器、控制与通信设备[2]）以及建筑物中的设备[3]内发生绝缘和介电故障。阵列箱、逆变器和MPPT（最大功率点跟踪器）设备的故障点

### 首字母缩略词

ac	交流
dc	直流
LPS	防雷系统
MCOV	最大连续工作电压
MPPT	最大功率点跟踪器
PV	光伏
SPD	浪涌保护器

最高。

为了防止高能量穿过电子设备并对光伏系统造成高压损坏，电压浪涌必须具有接地路径。为此，应将全部导电表面直接接地，并且进出系统的全部接线（比如以太网电缆和交流电源）都应通过浪涌保护器接地。

阵列箱、汇流箱和直流隔离开关内的每组串组都需要一个浪涌保护器。

## 浪涌保护器分类

浪涌保护器可防止浪涌造成的危害。

UL 1449 [4]定义了1型、2型和3型浪涌保护器：<sup>1</sup>

- **1型：**一个端口，永久连接的浪涌保护器（电度表插座外壳除外），旨在用于服务变压器二次侧和服务设备过电流装置线路侧以及负载侧（含电度表插座外壳）之间的装置，以及无需外部过电流保护装置即可安装的塑壳浪涌保护器。可在光伏阵列和主服务隔离开关之间连接光伏系统中用1型浪涌保护器。
- **2型：**永久连接的浪涌保护器，旨在用于服务设备过电流装置负载侧上的装置；包括位于分支面板处的浪涌保护器和塑壳浪涌保护器。

$I_{max}$ 值是浪涌保护器可以支持的8/20

<sup>1</sup> 过去有单独术语说明用于限制瞬态浪涌影响的各种设备。ANSI/UL 1449第三版（2006年发布）将浪涌放电器和瞬态电压抑制器（TVSS）合并成一个更通用的浪涌保护器（SPD）类别。传统上使用浪涌放电器的应用现在需要1型浪涌保护器，而使用TVSS设备的装置现在至少需要2型浪涌保护器。NEC的2008年版本修订了第285条，以反映这些变化。

$\mu\text{s}$ 波形表示的最大单次放电电流。

- **3型:** 使用点浪涌保护器, 从电气服务面板到使用点安装的最小导体长度为10米, 例如, 电源线连接、直接插入、插座类型以及在受保护使用设备处安装的浪涌保护器。距离(10米)内不得设置浪涌保护器随附或用于连接浪涌保护器的导体。

1型浪涌保护器可防止直接雷击, 其特点是10/350  $\mu\text{s}$ 电流波。

1型浪涌保护器用于中央逆变器。

2型浪涌保护器可防止间接雷击, 其特点是8/20  $\mu\text{s}$ 波形。8/20  $\mu\text{s}$ 波形表示雷击的上升时间为8  $\mu\text{s}$ , 持续时间为20  $\mu\text{s}$ 峰值的一半。2型浪涌保护器可防止过电压传播到电气装置和设备内。它们还可以防止在电线内传播浪涌的雷电电磁效应。

每个MPPT以及串组式逆变器和阵列箱内都应使用2型浪涌保护器。

发生浪涌的箱子通常会因间接雷击而损坏。材料和高度类型以及形状都会影响物体吸引雷击的能力。如果箱子的形状或材料有吸引雷击的倾向, 则应使用1型浪涌保护器或避雷针。

高度、尖锐形状和隔离度是决定雷击位置的主要特性。金属吸引雷电只是一则神话。然而, 务必注意, 无论光伏场位于何处或附近任何物体形状如何, 浪涌保护器由于本质上易受直接和间接雷击, 故对每个光伏系统均必不可少。

## 选择和安装光伏系统浪涌保护器

光伏系统具有独一无二的特性, 因此需要使用专门为光伏系统设计的浪涌保护器。

光伏系统具有高达1500伏特的高直流系统电压。它们运行的最大功率点仅比该系统短路电流低几个百分点。

要确定适用于光伏系统及其装置的正确浪涌保护器模块, 您必须知道:

- 雷电轮闪光密度;
- 系统的工作温度;
- 系统的电压;
- 系统的额定短路电流;
- 应防止的波形等级(间接或直接雷击); 和
- 标称放电电流。

受外部防雷系统(LPS)保护的装置的浪涌保护器要求取决于选定的LPS类别, 以及LPS和光伏装置之间的分隔距离是否隔离[4]。IEC 62305-3详细说明了外部LPS的分隔距离要求。

为了发挥保护作用, 浪涌保护器的电压保护等级(U<sub>p</sub>)应比系统终端设备的介电强度低20%。

重要的是, 使用的浪涌保护器的短路耐受电流应大于浪涌保护器连接到的太阳能阵列串组的短路电流。直流输出端上安装的浪涌保护器的直流MCOV必须等于或大于面板的最大光伏系统电压。

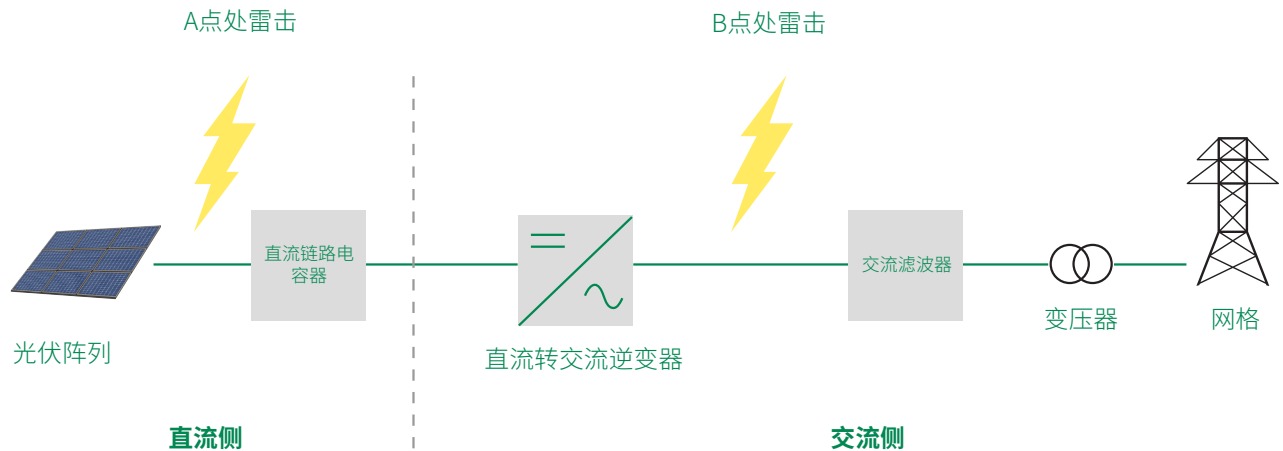


图1. 雷击位置。

当雷电击到点A (参见图1) 时, 光伏太阳能电池板和逆变器可能会受损。如果雷电击到B点, 则只有逆变器会受损。然而, 逆变器通常是光伏系统中最昂贵的元件, 这就是必须在交流和直流线路上均适当选择并安装正确浪涌保护器的原因。雷击距逆变器越近, 逆变器受损越严重。

## 光伏系统直流侧浪涌保护器

光伏电源的电流和电压特性与传统直流电源完全不同: 它们具有非线性特性, 从而长期保持点燃的电弧。因此, 光伏电流源不仅需要较大光伏开关和光伏熔断器, 而且还需要隔离开关用作浪涌保护装置, 既适应这种独特本质又能够应对光伏电流[1]。

安装在直流侧的浪涌保护器必须始终专门设计用于直流应用。在故障情况下, 在错误的交流或直流侧使用浪涌保护器很危险。

在直流侧使用浪涌保护器时, 由于存在电势差, 也必须在交流侧使用。

## 用于交流侧的浪涌保护器

浪涌保护对交流侧和直流侧同样重要。确保浪涌保护器专门设计用于交流侧。

为了获得最佳保护, 应专门按照系统调整浪涌保护器的尺寸[5]。正确选型可保证最佳保护和最长使用寿命。

在交流侧, 如果多个逆变器连接到同一电网中, 则可以将它们连接到同一个浪涌保护器下。

## 安装

浪涌保护器应始终安装在要保护设备的上游。NFPA 780 12.4.2.1指出, 应在太阳能电池板的直流输出端上从正极至接地以及从负极至接地、在多个太阳能电池板的汇流箱和再汇流箱处以及逆变器交流输出处提供浪涌保护[6]。

浪涌保护器的正确安装取决于三个值, 即:

- 最大连续工作电压: 浪涌保护器将激活的电压。
- 电压保护等级: 设备的过电压类别必须高于浪涌保护器的电压保护等级。
- 标称放电电流: 反复浪涌后, 浪涌保护器能够耐受的波形峰值 (2型浪涌保护器为 8/20  $\mu$ s)。

表 1.浪涌保护器选型。

位置	光伏模块和阵列箱直流侧		逆变器直流侧	逆变器交流侧		避雷针 (在板上)	
	< 10 m	> 10 m		< 10 m	> 10 m	是	否
要使用的浪涌保护器类型	不适用	2型	2型	不适用	2型	1型	如果Ng > 2.5且为架空线, 则为2型

## 电缆

光伏系统中的电缆通常会延伸很长距离, 以便到达电网连接点。然而, 从不推荐使用长电缆, 光伏系统更不例外。

这是因为雷电放电引起的基于场地和导电干扰的影响随着电缆长度和导体环路的增加而增加。当发生瞬态过电压时, 连接电缆中的任何感应电压降都会削弱浪涌保护器的保护效果。如果电缆路径尽量短, 则不太可能发生这种情况。

浪涌电压是导致电缆故障的重要因素, 电缆上的每个脉冲都会导致电缆绝缘强度下降。

如果将浪涌注入独立光伏系统 (远离电网的系统), 则由太阳能电力供电的任何设备运行 (比如医疗设备或供水) 都可能中断[1]。

要安装在直流侧的浪涌保护器的位置和数量取决于太阳能电池板和逆变器之间的电缆长度 (参见表1)。如果长度小于10米, 则仅需要一个浪涌保护器, 并且应该将浪涌保护器安装在逆变器附近位置。如果电缆长度超过10米, 则在逆变器附近安装一个浪涌保护器, 并在靠近太阳能电池板的箱子中安装第二个浪涌保护器。

将浪涌保护器连接至负载的电缆长度应始终尽可能短, 且不得超过10米。如果电缆长度超过10米, 则需要第二个浪涌保护器。距离越长, 雷电波的反射越大。

敷设电缆方式应避免出现大导体环路。交流和直流线路以及数据线路必须沿整个路径与等电位联结导体一起敷设, 以确保敷设多根导线或将逆变器连接至电网时不形成导体环路[1]。

## 如何将浪涌保护器与逆变器相结合

光伏场由需要格外保护的非常敏感设备组成。由于光伏场产生直流 (dc) 电力, 因此 (将这种电力从直流转换为交流所必需的) 逆变器是其发电的重要元件。遗憾的是, 逆变器不仅极易遭受雷击, 而且价格昂贵。

如果系统逆变器距最近的汇流箱或再汇流箱超过30米, 则NFPA 780 12.4.2.3要求在逆变器的直流输入端增加浪涌保护器。

如果有串组保护器 (比如熔断器、直流断路器或串组二极管), 请在熔断器和逆变器之间安装浪涌保护器 (参见图2)。

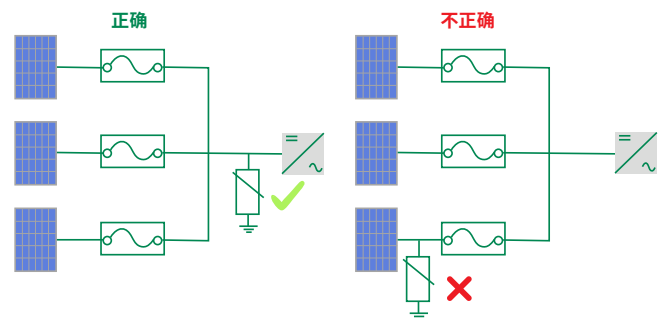


图 2.正确和错误连接至配备串组保护器的逆变器的浪涌保护器。

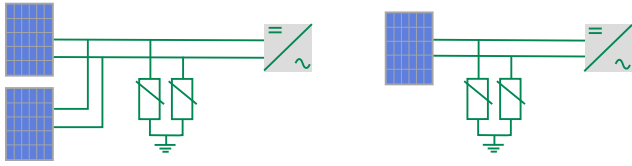


图 3. 连接至配备一体式熔断器盒的逆变器的浪涌保护器。

要在有配备一体式熔断器盒的逆变器的情况下连接浪涌保护器，请确保绕过内部熔断器，连接外部组串熔断器（参见图3）。浪涌保护器必须安装在逆变器外部，如果室外应用，安装在NEMA Type-3R或更高级别箱体中。

组串式逆变器应安装在尽量靠近组串的位置。连接至L+/L-网络以及浪涌保护器端子块和接地母线之间的浪涌保护器电缆必须小于2.5米。连接电缆越短，保护效率和性价比就越高。

对于只有一个MPP跟踪器的逆变器，请在逆变器之前组合组串，然后在互连点处连接至浪涌保护器。

当逆变器有多个MPP跟踪器时，应为每个输入端规划浪涌保护器组合。融合了组串二极管的每个输入端均必须使用浪涌保护器。

## 结论

要在没有适当浪涌保护的情况下运行光伏设备，不仅是冒险行为，更是鲁莽。

为了使太阳能系统成为更加绿色世界的未来，必须对其进行保护。无法阻挡发生雷电，因此保护必不可少。光伏系统容易受到（直接和间接）雷击，这表明必须在可靠且正确安装的浪涌保护器基础上构建光伏系统。

## 参考资料

- [1] Lightning Protection Guide, DIN EN Standard 62305-3, 2014.
- [2] U.S.Army Training and Doctrine Command, “Guide for Lightning Protective Measures for Personnel,” U.S.Army, 2002.访问于：2019年9月13日。[在线]。参见：[http://lightningsafety.com/nlsi\\_pls/US-Army-Lightning-Protection-Safety-Guide.pdf](http://lightningsafety.com/nlsi_pls/US-Army-Lightning-Protection-Safety-Guide.pdf)
- [3] Standard for Surge Protective Devices, UL 1449, 2014.
- [4] Low-voltage surge protective devices - Part 32: Surge protective devices connected to the d.c. side of photovoltaic installations - Selection and application principles, IEC Standard 61643-32, 2017.
- [5] Littelfuse, “Surge Protection in Panel Design,” Littelfuse, Chicago, IL USA, 2019.访问于2019年9月18日。[在线]。参见：<https://info.littelfuse.com/panel-builders-application-guide>
- [6] Standard for the Installation of Lightning Protection Systems, NFPA Standard 780, 2014.

## 定义

**阵列:** 机械整合的模块或面板组件, 配合按照需要提供的支撑结构和基座、跟踪器及其他元件, 以形成直流发电单元。

**联结:** 连接以建立电气连续性和导电性。

**联结导体或跨接线:** 一种可靠导体, 确保需要电气连接的金属零件之间所需的导电性。

**钳位电压:** 通过施加的8/20  $\mu$ s脉冲的额定脉冲电流测得的峰值MOV端电压。

**直流 (dc) 汇流箱:** 光伏源和光伏输出电路中使用的设备, 将两个或以上直流电路输入汇流, 然后提供一个直流电路输出。

**故障电流:** 当某相导体发生故障时, 流向另一相或接地的电流。

**地:** 大地。

**接地:** 连接至地或延伸连接至地的导体。

**直接接地:** 未经过任何电阻器或阻抗设备直接连接至地。

**隔离 (应用于场所):** 除非使用特别的方式, 否则人们不容易进入。

**逆变器:** 用于改变电能的电压等级或波形或者上述两者的设备。通常, 逆变器是将直流输入转换为交流输出的设备。逆变器还可以用作电池充电器, 使用来自另一个电源的交流电, 并将其转换为直流电, 向电池充电。

**贴有标签:** 已贴有具有管辖权并与产品评估有关的机关可以接受的组织的标签、符号或其他识别标记的设备或材料, 始终定期检查带有标签设备或材料的生产, 并且制造商通过其标签以规定方式表明符合适当的标准或性能。

**已登记:** 具有管辖权并与产品或服务的评估有关的机关可以接受的组织发布清单中包含的设备、材料或服务, 始终定期检查所列设

备或材料的生产, 或定期检查服务以及声明其设备、材料或服务符合适当指定标准或者经测试并证明适合特定用途的制造商的清单。

**金属氧化物压敏电阻器 (MOV):** 通常用于将过剩电流导入大地和中性线的电子元件。

**模块:** 完整的环保装置, 由太阳能电池、光学元件和其他元件组成, 不包含跟踪器, 旨在暴露于阳光下时产生直流电力。

**标称放电电流 ( $I_n$ ):** 流经具有8/20电流波形的浪涌保护器的电流峰值, 其中浪涌保护器在15次浪涌之后仍然发挥作用。峰值由制造商从UL设定的预定义等级中选择。 $I(n)$ 等级包括3 kA、5 kA、10 kA和20 kA, 并且还可能受到被测浪涌保护器类型的限制。

**光伏 (PV) 系统:** 共同将太阳能转换为电能以便连接至用电负荷的总元件和子系统。

**短路:** 大于设备额定电流或导体载流量的任何电流。这可能由过载、短路或接地故障引起。流出其正常路径的电流, 这是由于绝缘击穿或设备连接错误造成的。在短路情况下, 电流绕过正常负载。电流取决于系统阻抗 (交流电阻) 而非负载阻抗。短路电流可能从几分之一安培至200,000安培或更高不等。如果不及时消除, 与短路相关的大过电流可能会对电气系统产生三大影响: 发热、磁应力和电弧。

**额定短路电流:** 设备或系统可以连接而不会承受超过定义的验收标准损坏的、在标称电压时的预期对称故障电流。

**浪涌保护器 (SPD):** 通过分流或限制浪涌电流来限制瞬态电压的保护器; 它还可以防止持续电流的连续流动, 同时保持重复这些功能的能力, 内容如下:

- 1型: 永久连接的浪涌保护器, 旨在用于服务变压器二次侧和服务隔离开关过电流设备线路侧之间的装置。
- 2型: 永久连接的浪涌保护器, 旨在用于服务隔离开





关过电流设备线路侧上的装置, 包括分支面板处的浪涌保护器。

- 3型: 使用点浪涌保护器。
- 4型: 元件浪涌保护器, 包括分立元件以及总成。

**不接地:** 不连接至地或延伸连接至地的导电体。

**电压:** 有关电路任何两个导体之间的最大电位均方根差。

**对地电压:** 对于接地电路, 指给定导体与电路中接地点或导体之间的电压; 对于不接地电路, 指给定导体与电路中任何其他导体之间的最大电压。

**标称电压:** 为方便地指定电压等级 (比如 120/240伏、480/277伏、600伏) 而分配给电路或系统的标称值。

**额定保护电压 (VPR):** 符合UL 1449第4版的额定值, 表示当设备遭受 6 kV、3 kA 8/20  $\mu$ s 组合波形发生器产生的浪涌时, 浪涌保护器的四舍五入平均测量极限电压。

**电压保护等级 (Up):** 当浪涌保护器端子遭受浪涌保护器的标称放电电流 ( $I_n$ ) 时, 预期浪涌保护器端子上的最大电压。

**波长:** 相邻波峰或波谷之间的距离。

## 规范和标准

### 规范

美国国家电气规范

**NEC第285** 条浪涌保护

**NEC第690**条太阳能光伏 (PV) 系统

国际电气规范

**IEC 61643-11** 低压浪涌保护器——第11部分: 连接至低压电源系统的浪涌保护器。要求和测试方法

**IEC 61643-12** 低压浪涌保护器——第12部分: 连接至低压配电系统的浪涌保护器——选型和应用原理

**IEC 62305-3** 防雷——第3部分: 结构的物理损坏和寿命危害

**IEC 62305-4** 防雷——第4部分: 结构内电气和电子系统

### 标准

UL和北美标准

**C22.2第269.2-17**号浪涌保护器——2型——永久连接

**NFPA 780** 防雷系统安装标准

**UL 96A** 安全标准, 防雷系统安装要求

**UL 1449** 浪涌保护器标准

**UL 1741** 适用于分布式能源的逆变器、转换器、控制器和互连系统设备的标准

### 国际

**AS/NZS 5033** 光伏 (PV) 阵列的安装和安全要求

**CEI EN 50539-11** 低压浪涌保护器——第11部分: 光伏应用中浪涌保护器的要求和测试

**IEEE C62.34** 在二次配电系统上 (变压器低压端子与服务设备线路侧之间) 使用的低压 (等于或小于1000 V Rms) 浪涌保护器的测试方法和性能

**IEEE C62.41.1** 关于低压 (1000 V及以下) 交流电源电路中浪涌环境指南

**IEEE C62.41.2** 关于低压 (1000 V及以下) 交流电源电路中浪涌特性的推荐做法

**IEEE C62.72** 在低压 (1000 V或以下, 50 Hz或60 Hz) 交流电源电路中服务设备负载侧使用的浪涌保护器IEEE应用指南

**LPI 175** 防雷系统设计、安装和检验标准

**AS/NZS 1768** 防雷

## 其他资源

### Littelfuse太阳能产品信息

太阳能产品页面

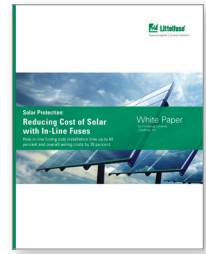
[Littelfuse.com/solar](http://Littelfuse.com/solar)

太阳能产品目录

[Littelfuse.com/solar-catalog](http://Littelfuse.com/solar-catalog)

使用引线式熔断器降低太阳能成本  
白皮书

[Littelfuse.com/solar-protection-white-paper](http://Littelfuse.com/solar-protection-white-paper)



### Littelfuse SPD2产品信息

浪涌保护器产品页面

[Littelfuse.com/spd](http://Littelfuse.com/spd)

2型浪涌保护器交叉参考指南

[Littelfuse.com/SPD-Cross-Reference](http://Littelfuse.com/SPD-Cross-Reference)

浪涌保护器目录

[Littelfuse.com/SPDCatalog](http://Littelfuse.com/SPDCatalog)

SPD2浪涌保护器传单

[Littelfuse.com/SPDFlyer](http://Littelfuse.com/SPDFlyer)

2型浪涌保护器视频

[Littelfuse.com/SPDVideo](http://Littelfuse.com/SPDVideo)



### 其他浪涌保护文献

针对工业控制面板设计应用的浪涌保护器尺寸调整指南

[Littelfuse.com/panel-builders-application-guide](http://Littelfuse.com/panel-builders-application-guide)

浪涌保护器常见问题解答

[Littelfuse.com/SPD-FAQ](http://Littelfuse.com/SPD-FAQ)



**免责声明**——我们认为所提供的信息准确可靠。然而，用户应该独立评估自身应用的适用性并测试针对自身应用所选择的各类产品。Littelfuse 产品并非针对所有应用而设计，因而可能不适用于所有应用。请访问 [www.littelfuse.com/product-disclaimer](http://www.littelfuse.com/product-disclaimer) 阅读完整免责声明。



更多信息, 请访问:  
[Littelfuse.com/SPD](http://Littelfuse.com/SPD)