

光伏模块的 电缆和连接器选择要点

新墨西哥州立大学西南科技发展研究所的高级研究工程师 John Wiles

一、简介

在维持系统耐用性和安全性方面，PV 源电路中使用的暴露的电缆和连接器是 PV 系统的一些最关键的部件。这些部件在系统寿命期间暴露在极端天气下，因此可能需要比系统更持久和更安全。光伏模组具有 25 年的功率输出保证寿命，但它们可能产生危险的电压和电流长达 40 或 50 年。而且，在许多情况下，在那段时间内，将有一个功能或更可能无功能的逆变器连接到该 PV 阵列输出。所使用模组的质量以及遵守规范所需的关注，决定了这些电缆和连接器的耐用性和最终安全性。



PV 模组的电缆末端。见图 1. 有多个连接器制造商向模组制造商提供连接器，并且正在使用具有各种连接器的模组。这些连接器必须要是被认证的部件（RC），否则它们不能满足所列连接器的更严格的要求，它要求连接器能够在负载下打开或在全电流和全额定电压下打开。家用电器的 AC 插头和我们家中的 120V 交流插座就是列出的负载断开额定连接器的一个例子。PV 连接器（如果要列出的话）必须能够在模组的额定电流下安全地打开 600 V 甚至 1000 V dc 的电路，在某些情况下可能高达 10 或 12 A。中断直流电（dc）比中断交流电（ac）困难得多，与此同时，这些 PV 连接器都没有被评定为全电压下的负载断开操作。



图 1. 带有连接电缆和连接器的 PV 模组。

二、连接器

认证模组

光伏组件带有连接器，而连接器连接到永久连接在

该认证模组额定值的例外情况与某些微型逆变器上的连接器有关，这些连接器被纳入逆变器作为断路装置，当在这些装置的较低电压和较低的工作条件下使用。这些连接器符合 690.15 (A) /2014 和 690.14 (D) /2011 的要求。见图 2。

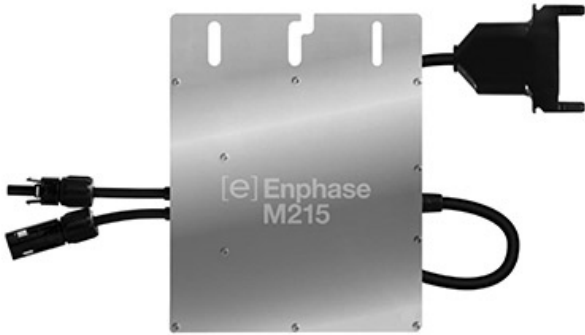


图 2. 带有交流和直流连接器的微型逆变器，作为断开装置。

兼容性问题

一些连接器制造商宣称，它们的一些连接器在电气和机械兼容性方面可与其他制造商的连接器互换。并且，在 AHJ 和 PV 安装人员的临时检查中，这种机械和电气兼容性似乎是正确的。不幸的是，Underwriters Laboratories 和连接器 UL 标准 6703 标准技术小组的成员正在讨论这样的事实：这些混合连接器对中没有一个获得独立的第三方国家认可的测试实验室，如 UL、CSA、TUV 和 ETL（四个 OSHA 认可的授权认证光伏设备的 NRTL）的兼容性认证。每个连接器制造商都以专有方式修改用于制造其连接器的材料和步骤。尽管在某个时间点可能存在电气和机械兼容性，但没有持续的评估以确保一个制造商的生产过程中的变化将导致其连接器保持与另一个制造商的连接器兼容。

这很容易理解，为何连接器中使用的金属稍微修改（尽管与同一制造商的配对连接器中的金属兼容），会与其他制造商在连接器中使用的金属长期不兼容。以类似的方式，对一个连接器中使用的塑料进行修改（同时满足与配套连接器中同一制造商的塑料有效执行的要求），

可能与其他制造商使用的塑料长期不兼容。即使不同塑料的热膨胀等级的微小差异也可能造成问题。

这些连接器模组必须保持电气和机械安全，以实现 PV 模组的非常长的发电寿命。它们必须是水密的，不允许水到达电气连接处。它们必须具有机械强度，并且保证在高风荷载、冰荷载以及它们可能承受的热应力下不能分开。由于每一半配合连接器中使用的金属不匹配（但是很

小），所以电接触不会恶化。将连接器视为电缆中的接头时，法则要求在此点插入连接器之前，接头至少与未接合的电缆一样坚固 [110.14 (B)]。

当连接器混合和匹配时，作为包括连接器的完整模组的 PV 模组清单和认证将成为问题。如果混合的一对连接器在电气或机械方面都会发生故障并在将来的某个时间造成损坏，则模组在清单以及符合 NEC 要求（包括第 690.4(D) 节和第 110.3 (B) 节）可能是一个重大问题。

此时，连接器应仅可与同一制造商成对配对。如果必须使用来自不同制造商的连接器连接设备，则必须现场制造或购买某种类型的电缆连接器适配器，来实现连接器与同一制造商成对地配对。从给定产品上取下连接器，并将这些连接器更换为其他制造商的连接器组，这可能不是一个好主意。尽管 Underwriters Laboratories 的工程师表示此步骤并未违反产品列表，但一些光伏模组制造商表示，取下其所列产品的连接器将使该产品的保修失效。因此，为了保持同一制造商的配对，在每端使用不同的连接器制作一段较短的电缆可能更合适，即使这会使电路中的连接器数量增加一倍。

所需的工厂培训和工厂工具

在现场安装电缆上的连接器时，需要十分注意。通常，认证模组可能不可在现场安装，而是应该在工厂控制的条件下在工厂中安装。这是 UL 标准和准则中的灰色区域。



图 3. 连接器组装工具。

人们普遍承认，但在任何地方写明，认证模组 PV 连接器必须由制造商接受安装连接器培训的人员安装，并使用制造商批准的工具将连接器组装到电缆上（图 3）。并且由于使用了大量不同的电缆，因此必须确定连接器与特定电缆的兼容性。

三、电缆

施工

几乎所有光伏模组制造商都在使用固定在模组上的“PV 电缆 / PV 电线”。见 690.35 和 690.31。PV 电缆或 PV 电线是符合 UL 标准 4703 的电缆，用于模组和未接地光伏阵列上的裸露 PV 电源电路，而后者又可以连接到无变压器（非隔离）PV 逆变器。这些逆变器在美国的光伏装置中越来越普遍（690.35）。当然，旧的备用 USE-2 导体可用于接地光伏阵列上的裸露源电路布线。有关接地与未接地光伏系统的更多详细信息，请参阅 2014 年 3 月至 4 月期 IAEE 新闻中的“PV 观点”。

UL 标准 4703 允许将各种材料和结构配置用于制造 PV 电缆，以便它们可以在美国和欧洲使用。在欧洲，对 PV 电缆的要求通常意味着电缆必须是细绞合的柔性电缆并且具有镀锡导体。在美国购买可能具有良好绞合线的光伏电缆 / 电轴线轴时，光伏系统集成商和光伏安装商应谨慎行事。在美国这里很难找到可以接受细绞合的设备上的端子，例如直流合路器和逆变器。请注意 110.14 (A)、690.31 (F) 和 690.74 (A) 中有关此问题的警告。

尽管所有 PV 电缆 / 电线都具有明显的耐日光性，并且已经通过 720 小时的加速 UV 测试进行了抗紫外线测试，但在选择能够承受数十年使用和 PV 环境中曝光的导体时必须小心谨慎。人们普遍认为，具有黑色绝缘的导体将比具有彩色安装的电缆耐用性显著更长，这适用于 PV 电缆 / 电线和 USE-2。此外，具有合成橡胶绝缘（热固性）的导体可以比具有 PVC 绝缘（热塑性）的导体耐用更长时间，尽管两者都可以用于 PV 电缆 / 电线的构造。

载流量——不仅仅是记住代号表中的一些数字

应该注意的是，2014 年 NEC 的 210.19 (A)（分支电路）和 215.2 (A) (1)（馈线）的载流量要求现在的措辞与 690.8 中的 PV 载流量计算方法类似。馈线和分支电路载流量计算基于连续和非连续负载。PV 载流量计算基于最大电流，与连续负载相似，并且知道 PV 系统中没有非连续电流，并且所有最大电流均基于最坏情况的连续电流。

连接到 PV 模组的导体的尺寸由制造商根据模组的额定短路电流和预期的最坏情况使用来确定，对于这些暴露的单个导体，这些条件将主要是环境温度。

然而，当这些导体连接到运行至 DC 合路器或逆变器的源电路导体时，源电路导体可能处于不同的环境中。该环境可以包括自由空气中的单个导体或导管中的多个导体，并且导管可以受到来自太阳光的额外加热。安装人员和检查员应该知道，由于这些额外的“使用条件”调整因素，源电路导体可能必须比直接连接到 PV 模组的导体更大。

在评估这些导体的载流量要求时，应考虑几个因素。表 310.15 (B) (17) 中的载流量值仅适用于自由空气中的单根导线。如果暴露的单个导体被分组或以两个或更多个束的形式固定在一起，则该表不再适用，表 310.15 (B) (16) 应用于载流量计算。当 12 个源电路导体在自由空气中或可能在电缆桥架中捆绑在一起时，代码将有些灰色。是否应该应用“管道填充”调整因素？

考虑到 310.15 节中所有使用条件的调整因素，当最大数量的导体在导管中时，且该导管在阳光下，并且比其他导管更靠近屋顶时，似乎可以找到最坏情况的调整因素。随着导管中导体的数量减少，导管不在阳光下，如果在阳光下，在阳光下距离屋顶比其他管道更远，那么调整因素变得不那么严重了。

在确定调整因子的最坏情况之后，在进行载流量计算之前，应审查第 310.15 (A) (2) 节的例外情况。在大多数情况下，从模组到直流合路器的 PV 源电路或者逆变器将在单个电路中经受几种不同的使用条件。应施加 10 英尺或 10% 的余量，并可能导致较小的导体尺寸。这个好处是有的，因为铜和铝导体是相当好的导热体，在某些条件下，可以在较高温度环境下将热量从较短长度的导体

传递和散发到较低温度环境中的相邻导体。310.15(A)(2)的例外情况，允许载流量可以与较不严格的应用使用条件相关。

机械附件

即使是最高质量的电缆和正确配合的连接器也无法承受数十年的室外滥用，除非它们适当地固定在模组和支架结构上。不幸的是，尼龙扎带，即使是具有抗紫外线功能的黑色扎带，也无法承受光伏环境中的时间测试。同样，这些电缆扎带通常没有经过超过 720 小时的加速 UV 测试（相当于户外曝光约 2 年半）。在实际的光伏应用中，特别是在该国较热的西南地区，其中一些在短短几年内就失效了。一些制造商已经向市场推出了适用于这种应用的不锈钢金属电缆夹，并且经得起时间的考验。应使用这些夹子或类似于图 4 中所示的橡胶绝缘不锈钢夹子的东西。

在相关区域中，所有这些暴露的导体进入导管或 DC 合路器，都应该用适当的导管或开口端接头进行。不应使用非电气泡沫产品封闭的开放导管或导管。见图 5、6 和 7。



图 4. 耐用的不锈钢电缆夹和紧固件。



图 5. 不应使用开路导管进入直流合路器。



图 6. 许多潜在问题：用于固定电缆束反 EMT 夹具和胶带，塑料扎带，泡沫密封剂和彩色（非黑色）PV 电线绝缘体。



图 7. 适用于进入直流合路器的裸露导线的端接头。

总结

检查员和计划审查员以及光伏系统集成商和光伏安装人员应了解光伏阵列中暴露的光伏电路中使用的专用导体和连接器的具体要求。这些导体的载流量可能会根据它们所处的环境而显著变化。为了确保光伏组件 40 至 50 年的电气寿命，耐用性，更重要的是安全性，必须正确安装这些连接器和导线，并仔细关注所有守则要求，甚至现在还没有包含在“守则”中的一些因素。■