

# Y 连接器在组串逆变器系统中的使用

Solectria 公司高级应用工程师 Eric Every

在去年的 Solar Power International 上，我们的一个分销合作伙伴的销售代表询问道：“为什么我的许多客户在他们的源电路合路器中订购了 30 个保险丝？”这是一个很好的问题。毕竟，大多数晶体硅（c-Si）PV 模块的额定短路电流（Isc）在 8-9 A 范围内，而要承载 15 A 串联保险丝额定值。这是很常见的，源电路合路器通常标配 15 A 串联保险丝。有时，工程师可能会指定 20 A 保险丝来解决散热问题。然而，30 A 保险丝的 Isc 大约为 18 A，这是当今光伏组件的前所未有的串联保险丝额定值。

那么为什么集成商要求具有 30 A 保险丝的合路器呢？答案不是模块评级本身的功能，而是系统集成商如何部署这些模块。具体而言，越来越多的安装公司使用特殊的 Y 型连接器组件来并联阵列领域中的 PV 源电路，以优化系统的电平衡（eBOS）成本。

## 关于 Y 型连接器

大多数行业资深人士已经在会议上看到了并行分支连接器或 Y 型连接器组件，或者在贸易出版物或产品目录中看到了这些组件。例如，Amphenol 和 Multi-Contact 公司都提供额定电流为 30 A 的公母分支连接器，以及带有可选内联保险丝的包覆成型 Y 型连接器组件。许多 eBOS 公司还提供可定制的 Y 型连接器组件。这些连接器和组件的共同点是它们有两个输入和一个输出，允许安装人员在阵列中进行即插即用的并行连接。



图 1. 带有整体内联保险丝的 Y 型连接器组件的示例。

直到最近，阵列中的并联源电路在薄膜应用中都很常见。与 c-Si PV 模块相比，薄膜技术往往具有更高的 Voc 和更低的 Isc。因此，集成商必须使用带有内联保险丝的线束将平行薄膜光伏电源电路放入合路器中。这种做法具有成本效益，因为它提高了阵列内的导体利用率并限制了合路器输入的数量。

设计人员可以将这些相同的原理应用于 c-Si PV 阵列。毕竟，合路器或逆变器接线盒中的安全触摸保险丝座通常为 30 A 额定值，而大多数 PV 模块具有 15 A 串联保险丝额定值。因此，集成商可以通过使用 Y 型连接器在这些保险丝座之前并联一对源电路来提高项目经济性。在评估与此方法相关的潜在成本节省之前，让我们回顾一些实际考虑因素。

法规含义。NEC 第 690.9 节要求对 PV 模块或源电路进行过流保护，除非没有外部故障电流源，或者来自这些电源的短路电流不超过导体的安培容量和最大组串联保险丝额定值。为了在合路器之前进行并联连接，设计人员需要考虑潜在的故障电流源以及模块制造商的组串联保险丝额定值。一般而言，阵列内的并联连接需要带有内嵌保险丝的 Y 型连接器组件。实际上，设计人员需要将 15A 串联保险丝从合路器中重新安装到阵列接线中。

由于并联连接增加了电流，设计人员还需要评估 Y 型连接器和直流合路器或逆变器输入接线盒之间的导体载流量。为了实现所需的成本节省，集成商需要能够在阵列内并行源电路，而不会不必要地承担较大直径导体的费用。例如，为了避免采用从 10 AWG 到 8 AWG 铜导线，设计人员应根据第 310 条要求避免或最小化导体载流量调整的情况。两种最常见的载流量调整方案与载流导体的数量（见表 310.15 [B] [3] [a]）和屋顶上方的距离（见表 310.15 [B] [3] [c]）有关。因此，当在阵列内并联源电路时，通常有意义的做法是将捆绑或组合在一起的导体的

数量限制为不超过三个，并且将屋顶上方的距离保持在至少 12 英寸。

制造商限制。虽然大多数用于 10 毫米乘 38 毫米保险丝的手指安全保险丝座的制造商的额定电流为 30 A，但连接到保险丝座的母线并不总是能够承载 30 A 的电流。集成商应与合路器或逆变器制造商联系，以确保产品与 30 A 保险丝的使用兼容。

在某些情况下，设备制造商需要考虑散热问题，其中保险丝座会在 30 A 熔断。问题是保险丝座之间缺少空间会导致保险丝座过热，可能使塑料熔化并导致故障。当输入以 15 或 20 A 熔断时，这不是问题，这是大多数组串逆变器或合路器应用的典型情况。但是，在使用 30 A 保险丝的全功率连续负载下可能会出现这个问题。如图 2 所示，在交流保险丝座上输入导线，并移除未使用的保险丝是改善散热的一种方法。

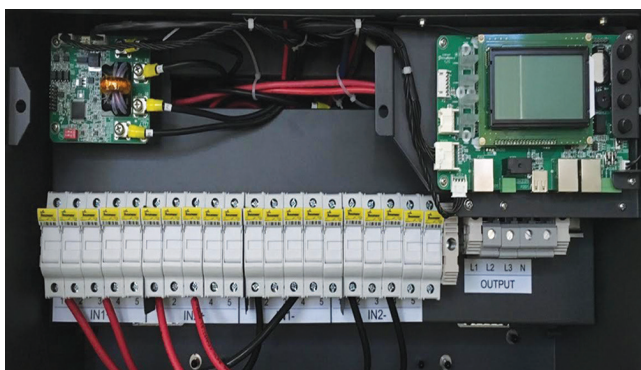


图 2. 为了便于冷却和防止过热，制造商可能会建议交替输入导线，如此处所示，以便每个其他保险丝座都有一个 30 A 保险丝，其余输入保持未使用状态，而保险丝已拆除。

调试和维护。从调试和维护的角度来看，将 Y 型连接器结合到光伏阵列布线中确实会在某种程度上损害便利性。毕竟，在合路器中移入 (landing) 各个源电路为调试代理和服务技术人员提供了隔离各个电路的便捷方法，从而验证正确安装和建立基线性能参数。使用 Y 型连接器将一些并行连接点推入阵列，这会使一些日常维护和故障排除过程复杂化，例如在单个源电路上进行  $V_{oc}$  测量。

使用 Y 型连接器的阵列也可能需要专门的诊断工具。在阵列调试之后，源电路电压测量不如 I-V 曲线轨迹重要，

因为后者提供了更深入了解阵列健康的方式。要在使用 Y 型连接器并联的源电路上捕获 I-V 曲线迹线，维修技术人员必须能够访问额定的 I-V 曲线跟踪器，来处理两个组串的组合短路电流。目前，Solmetric PVA-1000S 是唯一一款具有可选 30 A 测量功能的手持式 I-V 曲线示踪剂。使用这种 30 A 级 PV 分析仪，技术人员可以在两个并联的 c-Si PV 电路上的合路器中执行 I-V 曲线轨迹。如果技术人员只能使用 15 A 额定的 I-V 曲线跟踪器，则需要隔离进入 Y 型连接器的源电路并分别跟踪每个 I-V 曲线。

## 降低成本

正确使用 Y 型连接器降低了安装的系统成本，是系统集成商愿意在方便性方面做出小小牺牲的原因。节省了双倍成本：节省材料，减少了阵列内 PV 线的总长度；节省了人力，因为安装人员不必在源电路合路器中制造尽可能多的端接。

为了实现最大的 PV 线节省，安装人员需要将每个 PV 源电路的两极定位在阵列内的大致相同的位置。使用图 3 中所示的蛙跳布线方法是实现此目的的好方法。模块线鞭长度足以容纳越级线路，与菊花链线路相比，这种方法消除了每个源电路约 30-60 英尺的 PV 线，减少量取决于线路长度（这主要是标称系统电压的函数）。单独的蛙跳布线可以在 5 兆瓦的光伏系统上降低高达 20,000 美元的材料成本（参见“节省成本的光伏电路接线方法”，SolarPro，2014 年 4 月 / 5 月）。集成商可以通过将蛙跳线与 Y 型连接器相结合，进一步降低材料成本。

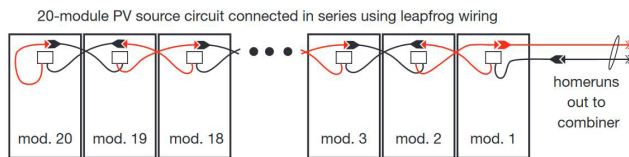


图 3. 在线鞭足够长的情况下，安装人员可以使用此处所示的蛙跳布线方法来配置 PV 源电路的两个极点，这有利于将 Y 型连接器用于阵列内的并联源电路。

案例分析。为了方便说明，让我们考虑一个假设的例子，其中大规模光伏阵列的基本构建块是 50 千瓦的组串逆变器，其处理来自 240 模块阵列表的功率。每个阵列表机械配置为两个模块高、120 个模块宽，并与 12 个并联连接的 20 模块源电路进行电连接。电线鞭子足够长，可以容纳越级布线。主要服务线路沿阵列的东边向南北延伸。

如图 4 所示，每个阵列表的 PV Wire 的总长度是逆变器布局 and 阵列布线的函数。将变频器定位在阵列表的东端，如选项 1 中所假设的那样，为维护技术人员提供最佳的逆变器进入方式，以满足运行和维护目的，但每个逆变器需要最多的 PV 线。如选项 2 所示，将逆变器安装在阵列表的中间，可以显著降低 PV 线的要求，但会使阵列的可维护性变得复杂。维修技术人员将很难到达每个逆变器。在阵列场内运行交流导体也可能是不切实际或不合需要的。选项 3 结合了蛙跳线和 Y 型连接器，提供了两全其美的优势，因为它可以实现最佳的逆变器布局，并显著减少 PV 线的使用。

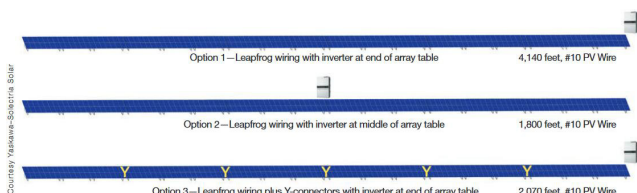


图 4. 该图详细说明了三种可能的阵列表配置的 PV 线要求。所有这三个选项都假设越级接线。变频器放置考虑了选项 1 和 2 之间的差异。选项 3 将 20 个模块间隔的 Y 连接器添加到阵列中的并行相邻源电路。

与选项 1 相比，选项 3 中的蛙跳线和 Y 型连接器的组合有效地将阵列内的本垒导线长度减少了一半。然而，这种设置不是“免费午餐”，因为购买 Y 型连接器和内联保险丝的成本抵消了部分 PV 线的节省。虽然可以单独购买内联保险丝座和未熔断的 Y 型连接器，并在现场将它们连接在一起，但购买集成组件通常更具成本效益。Amphenol、Eaton、Shoals Technologies Group 和 SolarBOS 等公司都提供带有内置保险丝的 Y 型连接器组件。购买一体化解决方案时，集成商应为 O & M 目的订购额外的组件；在少数情况下，一个保险丝熔断，他们将需

要更换整个组件。

表 1 估算了与部署阵列表配置选项 3 而非选项 1 相关的总材料和人工节省。

假设 10 规格 PV Wire 的成本为 0.20 美元 / 英尺，那么通过在每对相邻的源电路末端添加 Y 型连接器 (2,070 英尺 × 0.20 美元 / 英尺)，则每个阵列表可以节省 400 多美元。虽然增加六对融合 Y 型连接器组件需要 240 美元 (12 个 Y 型连接器 × 每个 20 美元)，但每个阵列表的净节省材料大约是 174 美元 (414 美元减去 240 美元)。每个阵列表的人工节省估计为 1 小时，则反映出这一事实：安装人员将花费更少的时间来管理阵列中的长回线导线 (节省大约 45 分钟)，并且必须在逆变器上只生成一半的直流端接 (节省大约 15 分钟)。假设每小时人工费率为 80 美元，那么每个阵列表的总材料和人工节省是 254 美元，达到每 MWac 5,080 美元 (\$ 0.005/W)。

Estimated Savings per Array Table

	Amount	Unit cost	Extended cost
PV Wire (10 AWG)	2,070 ft.	\$0.20/ft.	\$414
Y-connectors	12 (six pairs)	\$20	(\$240)
Labor	1 hr.	\$80/hr.	\$80
Material and labor savings per 50 kW inverter			\$254
Estimated savings per MW			\$5,080

Table 1 Using Y-connectors within the table depicted in Figure 3, Option 3, nets material and labor savings of \$254 per array table and more than \$5,000 per MWac.

表 1. 使用图 4 中选项 3 所示表格中的 Y 型连接器，每个阵列表节省了 254 美元的材料和人工，每 MWac 超过 5,000 美元。

当然，每个阵列都是不同的，材料和人工成本因地区而异，因此结果可能会有所不同。然而，本案例研究是分析类型的一个很好的例子，可以帮助降低成本，提高利润并赢得更多项目。根据 GTM Research 的数据，2016 年美国公用事业规模的太阳能市场将达到 12 吉瓦。如果每一个这些大型项目的都能将每瓦特的 eBOS 成本降低半个百分点，那么整个行业将节省 6000 万美元。■