

# 基于单层屋面的 光伏系统安全技术白皮书

White Paper: Safe Application Technologies  
for Single-Ply Roof-Based Photovoltaic Systems



固德威技术股份有限公司

二〇二三年 八月

指导单位：中国建筑防水协会

技术支持单位：中国建材检验认证集团苏州有限公司

联合发布单位：北京东方雨虹防水技术股份有限公司、北新防水有限公司、  
江苏凯伦建材股份有限公司、科顺防水科技股份有限公司（按首字母排序）

<b>卷首语</b>	1
<b>一、行业背景</b>	2
1 市场背景	2
2 光伏系统安全性应用趋势	4
<b>二、光伏对单层屋面的影响</b>	7
1 温度（红外线）	7
2 散热构造高度对系统的影响	8
3 光伏在单层屋面的典型安装方式	9
4 改造项目需求（荷载）	12
5 防火	13
6 环境气候：	15
风（抗风揭、拉拔力）	15
雪（静荷载、承压性能）	16
雨（防水）	17
紫外线	19
抗冰雹	20
<b>三、基于单层屋面的光伏系统安全应用解决方案</b>	22
1 设计	22
2 安装	22
3 运维	24
4 案例	25

光伏屋面是光伏和屋面跨界的融合，建筑光伏中，光伏屋面是最适宜的场景和效能最高的实现方式，是建筑双碳目标中贡献产能的最有效手段，应该大力推广！

但是分布式光伏屋面和集中式地面光伏电站有着很大的区别：不能像地面那样，仅仅把屋面当作一个放置光伏组件的场所。光伏屋面首先要确保建筑安全，其次是保证建筑屋面功能的实现，最后才是发电效能。因此，保证建筑安全和屋面功能是光伏屋面的首要任务！要关注：

- 屋面荷载的安全性、抗风揭安全性、防火等安全性；
- 屋面功能的保全。  
包括屋面防水、保温隔热、防风雨、抗冰雹、防雷、隔音等功能；
- 屋面系统的耐久性与光伏电池组件寿命的匹配；
- 屋面类型：金属屋面、瓦屋面、单层卷材屋面、种植屋面等。

希望更多的人关注光伏屋面的特殊性。并不是所有的屋面都适宜安装光伏，因此也不赞成大跃进式的推动光伏屋面。希望更多的企业、研究机构、建筑师和用户研发出更符合屋面安全和满足功能的光伏屋面产品和技术。

**朱冬青 中国建筑防水协会 秘书长**

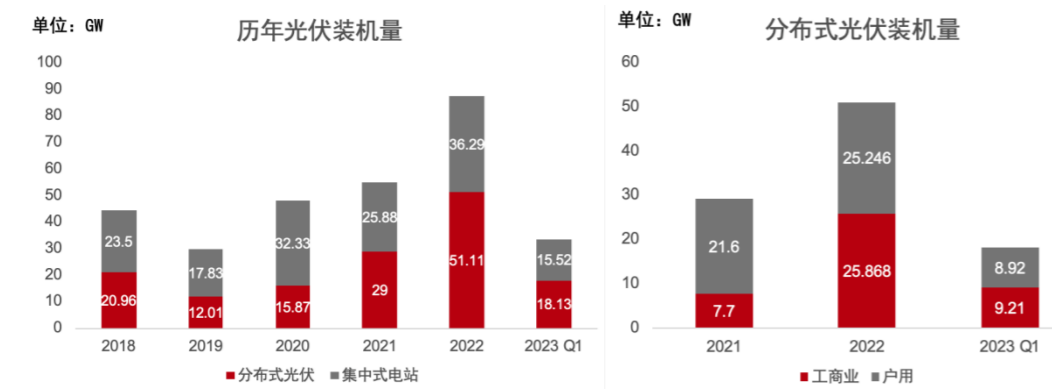
**2023年7月26日**

# 一、行业背景

## 1 市场背景

分布式光伏市场发展迅猛，现连续三年市场占比超过集中式光伏，2023 年一季度中国分布式光伏新增装机 18.13GW，占比 54%。与 2022 年一季度新增装机 8.87GW 相比，增长了 104%。

从装机类型上看，工商业分布式占比仍高于户用分布式。2023 年一季度新增工商业分布式光伏装机 9.21GW，在分布式中占比 51%。在电池片等上游原材料持续降价下，组件出货量持续增加。中国光伏行业协会预测今年将新增装机 120GW（7 月上调预期至 140GW），行业保持高增长。



自 2021 年 9 月住建部发布《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB55015-2021 以来，“光伏+”模式确认为我国实现减排目标的重要手段。而在各类“光伏+”模式中，“光伏+建筑”无疑是分布式光伏未来最大的市场。上海、浙江、河南、安徽、宁夏、四川等地，均出台能源行业发展规划或碳达峰实施方案，从多个方面对分布式光伏的发展提出明确要求，鼓励“光伏+”，要求工业企业、园区分布式光伏应装尽装。根据国家统计局数据表明，

2022 年全国新增竣工面积中，除住宅外厂房及仓库竣工面积占比最高，达 16%。厂房建筑及仓库每年新增竣工建筑面积约 6.5 亿平方米，存量建筑面积为 100 亿平方米。

随着一方面“能耗双控”+“限电限产”政策不断强化，制造厂及仓储物流园区等企业将不断推进安装光伏，另一方面煤电上网价格攀升，且高能耗企业交易电价不受上浮 20% 限制，汽车制造、农产品加工、金属加工等高能耗生产制造企业也将具备更强主动性安装光伏。

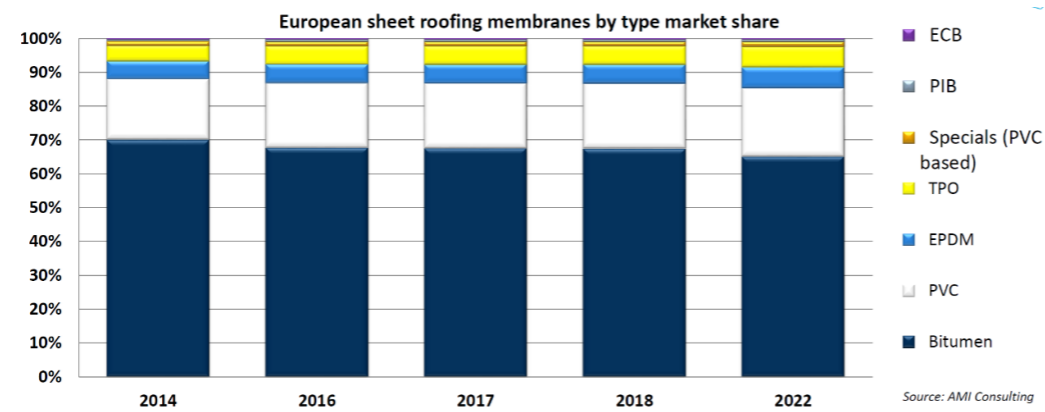
而传统光伏组件安装于厂房屋面时通常有此类问题：一方面，支架结构有老化风险，若屋面寿命低于 25 年（光伏发电寿命），翻修、拆装将极大延长光伏系统投资回收期；另一方面，由于常规光伏组件通常重量为 15kg/m<sup>2</sup> 以上，可能有载荷问题影响结构。在光伏与建筑结合时，安全性已经成为行业内必须要考虑的因素之一。

Material type	New construction	Reroofing	New construction	Reroofing
BUR—asphalt (hot-applied)	4.87%	8.36%	3.16%	8.02%
BUR—coal tar (hot-applied)	.2%	.3%	.4%	.27%
BUR—cold process	1.38%	3.27%	1.46%	2.75%
EPDM	20.34%	20.22%	20.99%	19.34%
PVC	10.61%	9.8%	10.72%	9.92%
TPO	35.49%	39.86%	36.49%	31.72%
Spray polyurethane foam	2.07%	5.3%	2.03%	5.04%
Metal panel—structural	1.21%	1.06%	1.1%	1.2%
Metal panel—architectural	3.66%	2.41%	3.37%	2.57%
APP polymer-modified bitumen	4.8%	4.66%	5.99%	4.78%
SBS polymer-modified bitumen	9.53%	9.10%	8.31%	7.94%
Self-adhering polymer-modified bitumen	3.28%	2.69%	4.21%	3.67%
Liquid-applied	1.78%	2.5%	1.07%	2.57%
Vegetative	.74%	.38%	.7%	.25%

另据美国屋面工程协会（NRCA）2015/2016 年统计数据：

美国新建和改造屋面中，基于 TPO, PVC, EPDM 的单层卷材屋面占比分别为 66.44% 和 69.88%。

欧洲 AMI 统计及预测数据也呈现增长趋势。



Sylvia Tabero, Waterproof Membranes Düsseldorf / 2018

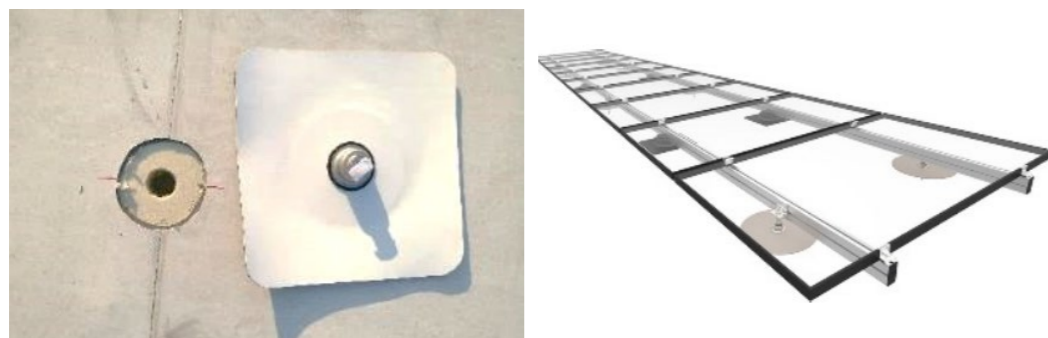
国内单层卷材屋面年新增市场容量大约在 2000 万 m<sup>2</sup> 左右，TPO 占比近 70%，随着防水强条（GB 55030—2022《建筑与市政工程防水通用规范》）的实施，预计还将有更大增长。

## 2 光伏系统安全性应用趋势

单层屋面光伏系统是指在单层卷材屋面上安装光伏产品和相关设备的系统，可以利用太阳能发电。具有节能减排、提高屋面利用率、降低建筑负荷等优点，但也面临着安全性方面的挑战，如屋面漏水、光伏产品老化、热斑效应、机械载荷等。

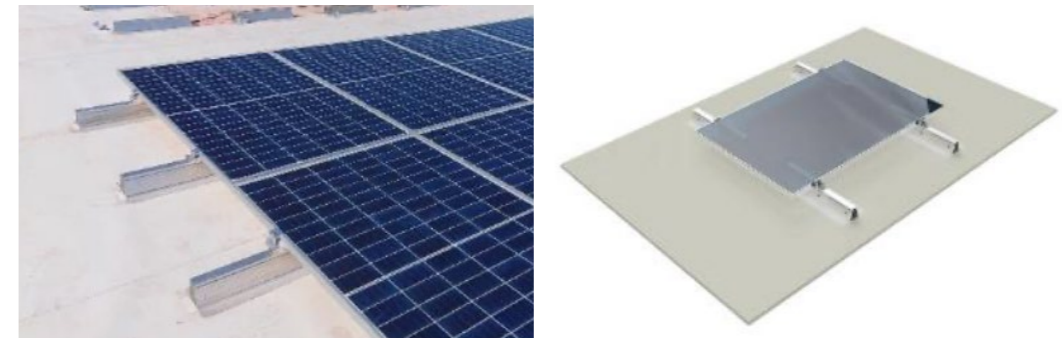
单层屋面光伏系统的安全性主要取决于光伏系统的设计和安装方式，目前有以下几种常规方案：

- 穿透支座固定：需要在屋面上打孔，将光伏系统的支座固定在屋面檩条或钢板上，需要穿透屋面防水层，如果防水处理不好，会有漏水隐患。



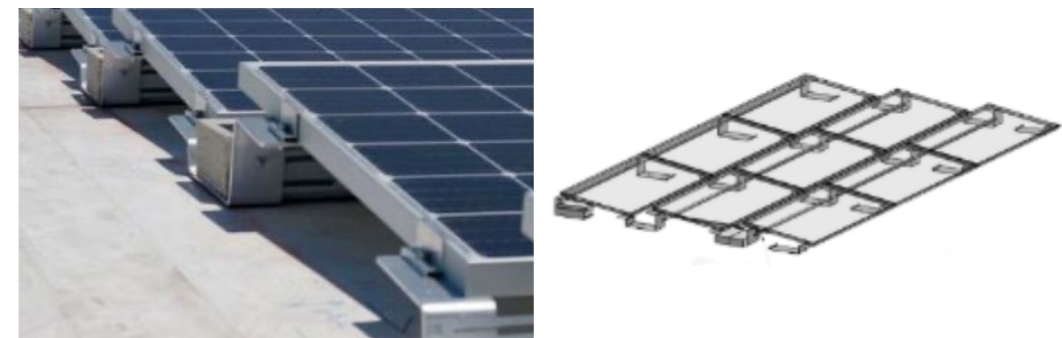
(图源网络)

- 粘贴固定：将光伏系统通过粘贴的方式固定在屋面表面，不需要穿透屋面防水层，但需要选择合适的结构胶或其他黏合材料，确保粘结强度和耐候性。在极端天气情况下，强风的作用会导致粘接点有脱落的风险。



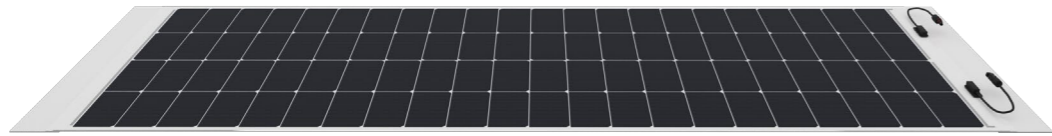
(图源网络)

- 负重压块固定：在屋面上用混凝土或其他重物作为配重，将光伏系统固定在屋面上，相对来说施工简便，但对屋面结构和承载能力有较大的要求。



(图源网络)

为了解决常规方案无法同时满足在单层屋面系统的防水、承载、抗风安全性问题，固德威推出了银河屋面解决方案，即全球首款轻质光电卷材一体化产品，将光伏产品与 TPO 防水卷材结合，实现了单层屋面光伏一体化设计。



银河轻质光电建材

银河轻质光电建材是一种轻质化光伏产品，每平方重量仅为 6kg，减轻了屋面的负重压力。采用通风散热构造，有效降低工作温度，提高发电效率，确保产品的寿命和安全性。该产品具有抗冰雹结构，经过严格测试，能承受直径 25mm 的冰雹冲击，保持其完整性和稳定性。安装方式采用热风焊接技术，无需支架与结构胶，避免结构胶老化导致的漏水或脱落等风险。此外，银河产品使用 TPO 防水卷材技术，确保 25 年不漏水的同时提升屋面美观度。

随着我国对碳中和目标的不断推进，以及对工业和建筑领域节能减排要求的不断提高，单层屋面的光伏系统安全应用技术将会有更广阔的市场空间和发展前景。固德威光电建材将继续秉承“让每一栋建筑发电”的使命，不断优化和完善基于单层屋面的光伏系统解决方案，使整个系统具有更加优异的耐久性。为客户提供更高效、更安全、更环保的光伏产品和服务。

## 二、光伏对单层屋面的影响

### 1 温度

随着光伏技术的发展和成本的降低，越来越多的建筑物选择在屋面上安装光伏系统，为自身提供电力从而节约能源。**然而，光伏系统对屋面材料也有一定的影响，尤其是对单层屋面材料。**单层屋面材料是一种轻质柔性防水卷材，广泛应用于工业和民用建筑物的屋面。其中，TPO 防水卷材是一种新型的单层屋面材料，具有优良的耐候性、抗老化性、抗紫外线性、环保性等特点。但是 TPO 防水卷材也容易到温度变化的影响，因此，在单层 TPO 屋面上安装光伏系统时，需要考虑温度对其热稳定性的影响。

根据国家标准 GB 27789-2011，TPO 防水卷材的热稳定性是指在高温条件下，卷材不发生熔化、流淌、开裂、起泡等现象，保持其防水性能的能力。TPO 防水卷材的热稳定性与其分子结构、配方设计、生产工艺等因素有关。一般来说，TPO 防水卷材的热稳定性越好，其在高温环境下的使用寿命越长。

温度对 TPO 屋面有多方面的影响。首先，温度升高会导致 TPO 屋面热胀冷缩，引起应力变化和变形。不合理的设计和施工可能导致开裂、脱层和起皱等问题。其次，温度升高会加速 TPO 屋面的老化过程，减低其防水性能和机械性能，表现为颜色变淡、表面粉化和裂纹增多。此外，温度升高还会增加 TPO 屋面的热损失，影响建筑物的节能效果。TPO 屋面的反射率和发射率决定了对太阳辐射的吸收和散发能力，高反射率和低发射率可以降低热量吸收，减少热损失，从而降低屋面温度。

为了减少温度对 TPO 屋面的影响，可以采用以下措施：

- 选择高反射率和低发射率的 TPO 防水卷材，或者在屋面表面涂刷

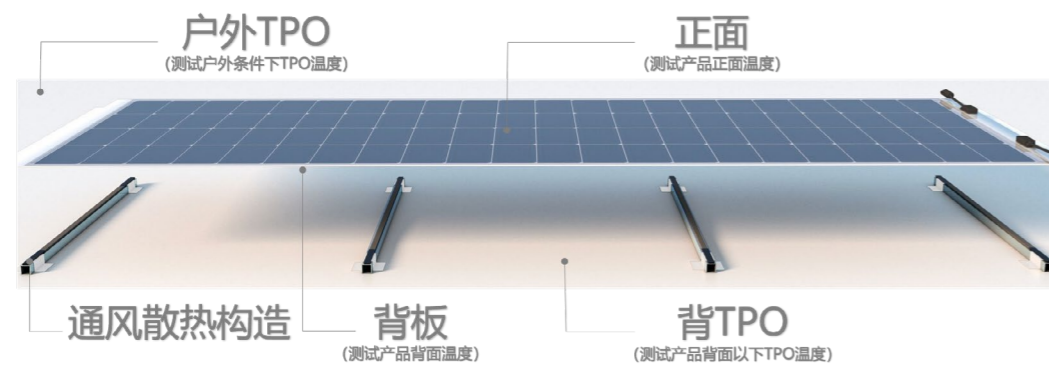
反射涂料，提高屋面对太阳辐射的反射能力，降低屋面温度。

- 在 TPO 防水卷材上安装光伏产品，利用光伏产品将太阳能转化为电能，同时为建筑物提供清洁能源。光伏产品可以遮挡部分太阳辐射，减少屋面吸收的热量。

- 在光伏产品下设置通风构造，利用空气对流带走屋面散发的热量，降低屋面温度。

## 2 散热构造高度对系统的影响

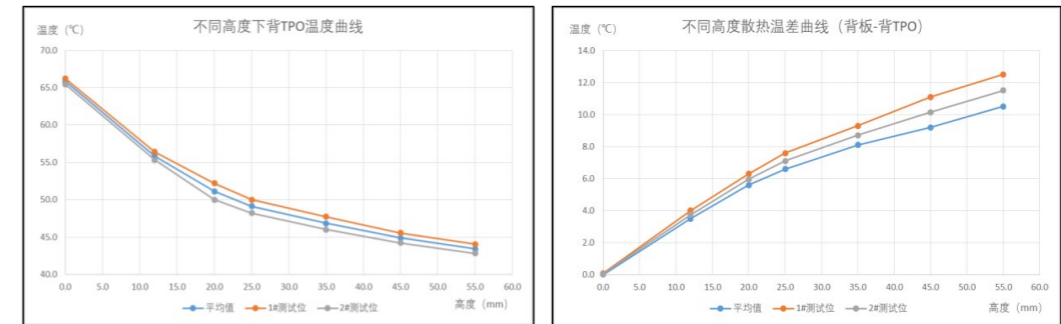
光伏发电伴随着发热，温度又影响卷材使用寿命，所以需要通过增加通风散热构造降低光伏发热对卷材的影响。



系统构造示意图

下面图表是我们针对光伏产品平铺在卷材上面和增加不同高度散热构造，对卷材表面温度的影响测试数据：

间隔高度(mm)	环境温度℃	户外TPO℃	1#测试位			2#测试位			平均值			
			正面℃	背TPO℃	背板℃	正面℃	背TPO℃	背板℃	正面℃	背TPO℃	背板℃	差值℃
55	33.0	48.8	52.3	44.1	56.6	51.1	42.8	53.3	51.7	43.4	54.9	11.5
45	33.0	48.9	53.2	45.6	56.7	51.4	44.2	53.4	52.3	44.9	55.0	10.2
35	33.0	48.7	54.1	47.7	57.0	52.3	46.0	54.1	53.2	46.9	55.6	8.7
25	33.0	48.3	55.2	50.0	57.6	53.2	48.2	54.8	54.2	49.1	56.2	7.1
20	33.0	48.4	56.4	52.2	58.5	54.1	50.0	55.6	55.2	51.1	57.1	6.0
12	33.0	48.5	58.7	56.4	60.4	57.5	55.3	58.8	58.1	55.9	59.6	3.8
0	33.0	48.8	65.3	66.2	66.3	64.5	65.4	65.4	64.9	65.8	65.9	0.1



根据 TPO（热塑性聚烯烃）的国家标准 GB 27789-2011，对 TPO 材料进行热老化试验时，温度应为  $115^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，持续时间为 672 小时（相当于 28 天）。这样的试验条件能够模拟实际使用情况下的长期老化环境。然而防水企业，如北新防水、东方雨虹、凯伦、科顺等，由于具备更高的技术能力，可以将试验温度提高到  $135^{\circ}\text{C}$ ，更加保证了 TPO 材料的可靠性。

同时从测试数据可以看出，增加散热构造大大降低了 TPO 表面温度。

**当散热格栅高度为 25mm 时，光伏发电产生的热量对 TPO 表面温度基本没有影响。**当散热格栅高度大于 25mm 时，还会降低 TPO 表面的温度，有利于保证整个光伏屋面系统 25 年的使用寿命。

## 3 光伏在单层屋面的典型安装方式

除了通风构造需求以外，如何在单层屋面安装光伏一直以来都是技术难点，难点有二：

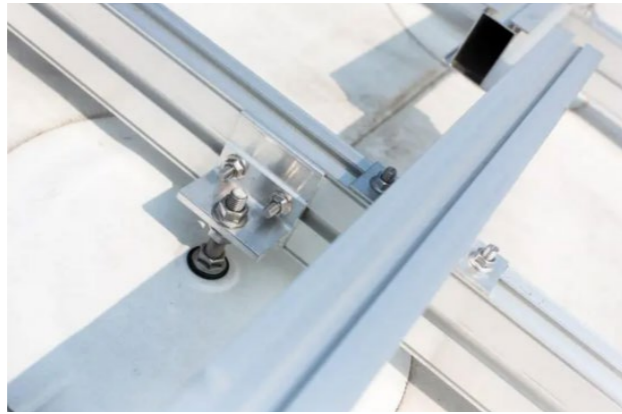
- 一是单层屋面无符合受力要求的常规光伏支架固定位置；
- 二是光伏如何在不破坏屋面防水的情况下进行安装。

常规的解决方案有以下三种：

- 穿透支座式：需要在屋面上打孔，然后将支座固定在屋面檩条上。

这种方案的优点是支架固定牢靠，无需重物压载，但缺点是会破坏屋面的防水性能，增加渗漏的风险。穿透支座的预制件的施工现场，无法保证产品良率，其次焊接施工若不到位，雨水会从孔洞中渗入造成漏水。以无遮

挡 1 万平的屋顶，1MW 的光伏工商业项目为例，支座大约需要 2600 个左右支座，若按 1% 的不良计算，会有 30 个漏水点在同时渗漏，对企业的经营和生产活动造成影响。



穿透支座式 (图源网络)

● 胶粘式：使用特殊的胶黏剂将支架或者光伏产品直接粘合在屋面上。这种方案的优点是不需要打孔，不影响屋面的防水性能，而且支架重量较轻，约为  $2\sim 4\text{kg}/\text{m}^2$ 。但缺点是粘合剂的老化会导致粘结强度的下降，导致光伏系统在极端天气等外界因素的作用下脱落或损坏。不仅如此，TPO 卷材中会加入如抗氧化剂、防老剂等添加剂，在光伏系统工作的高温



胶粘式 (图源网络)

环境下易发生挥发或迁移，其本身属性就不易与结构胶等黏合及粘附。

● 负重式：使用混凝土或其他压载物将光伏系统固定在屋面上。这种方案的优点是不需要打孔，也不需要粘贴剂，而且安装角度可以定制。但缺点是整体支架和压载物重量较大，约为  $25\sim 30\text{kg}/\text{m}^2$ ，对单层屋面的

承载力有相当大的要求。而且压载物会占用屋面空间，影响美观和使用效率。长期作用下混凝土压载物在会对 TPO 卷材造成机械损伤，导致卷材被刺穿或撕裂，影响其防水性能。

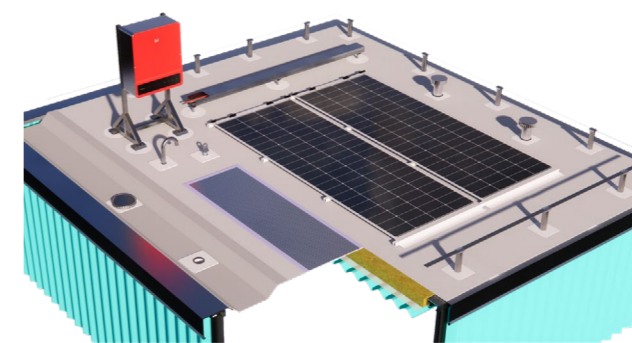


负重式 (图源网络)

针对以上痛点，固德威推出轻质光电卷材一体化解决方案：无需导轨支架，使用固德威自主研发生产的银河 Ultra 产品，将产品两端自带的 TPO 卷材直接与原有的屋面 TPO 进行热风焊接，此方案不仅可实现无损安装，屋面安装了光伏后，可抵挡大量的紫外线照射，对增强屋面的耐久性大有裨益。



银河光伏组件热风焊接施工



银河屋面系统效果图

## 4 改造项目需求 - 荷载

除了安装方式以外，光伏项目的建设还面临着屋顶荷载的限制。尤其是在工商业建筑的改造项目中，**低荷载屋面大量存在，约占我国市场存量的40%。**

低荷载屋面是指屋面承重能力较低的建筑，一般为老旧建筑或轻钢结构建筑，其承重能力一般在 5-10kg/m<sup>2</sup> 之间。针对在这类屋面上装光伏，首先需要考虑光伏产品的选择，一般来说，低荷载屋面不适合安装传统的光伏组件，因为它们的重量在 15kg-20kg/m<sup>2</sup>，容易超过屋面的荷载极限，必要时可以考虑对屋面进行加固改造，提高其承重能力。加固改造的方案和成本根据不同的屋面类型和结构而异。

单层屋面系统在钢结构厂房的应用较为广泛，一般采用加固梁柱或檩条支撑的方案，增强屋面的承重结构，提高其抗压弯能力。但需要占用部分室内空间，影响室内采光和通风，加固施工时还会影响工厂的生产情况。因此选择轻质的光伏产品，如薄膜光伏产品、轻质晶硅光伏产品等，其重量一般在 3-6kg/m<sup>2</sup> 之间，可以有效降低对屋面的荷载。

单层屋面的荷载设计除要满足现行的国家 / 地方规范以及相关标准（如下表），特别是老旧单层屋面改造设计时，须以最新的结构规范及标准来复核该屋面部分的荷载（如：2018 年之前的单层屋面，根据 GB50068-2018《建筑结构可靠性设计统一标准》规定，永久荷载分项系数由 1.2 调至 1.3、可变荷载值系数由 1.4 调至 1.5。

单层屋面结构设计须遵循的主要规范及标准如下：	
《工程结构通用规范》GB 55001-2021	《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012
《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068-2018	《混凝土结构设计规范》(2015 年版) GB 50010-2010
《建筑抗震设计规范》(2016 年版) GB 50011-2010	《建筑工程抗震设防分类标准》GB 50223-2008

同时在单层屋面上安装光伏系统还需要考虑风荷载、雪荷载、地震等因素对系统的影响。需要根据当地的气象条件、建筑特点、用电需求等进行合理的设计和优化，以保证系统的安全性和经济性。

## 5 防火

单层屋面的耐候性是指屋面材料在自然环境中经受风、雨、雪、冰、日照、温度变化等因素的影响，而不发生变形、开裂、脱落、腐蚀等现象的能力。单层屋面的耐候性直接关系到屋面的使用寿命和安全性，也影响到光伏系统的发电效率和稳定性。因此，选择合适的光伏产品和屋面材料，是提高单层屋面的耐候性的关键。TPO 是一种热塑性聚烯烃防水卷材，它的防火等级为 B2 级，在离开火源后，可以自动熄灭，不会产生滴落物造成火势的蔓延。单层屋面系统除了使用 TPO 防水卷材以外，**结合保温岩棉板这种 A 级材料，可以将这个屋面系统达到不燃标准**，做到 1 至 4 小时的耐火极限，在发生火灾时，可以阻止火焰蔓延，保护建筑结构稳定。



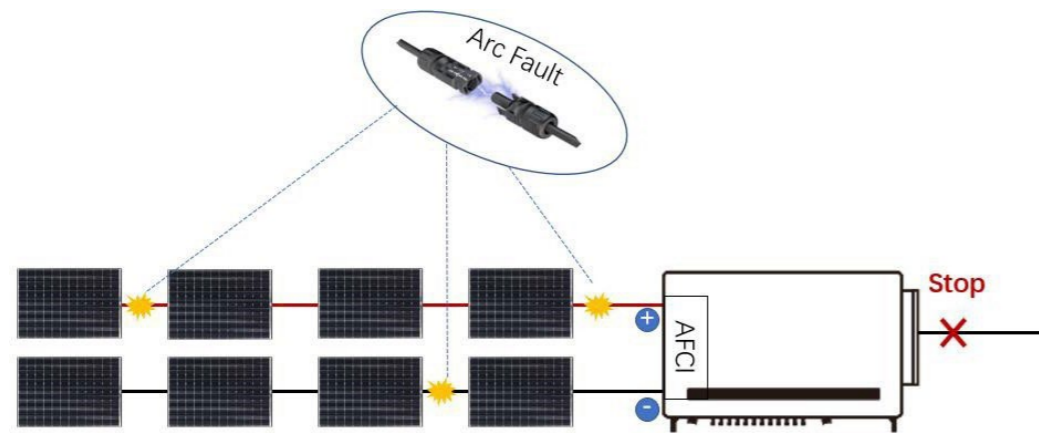
TPO 热风焊接工艺

**防火是光伏系统安全运行的重要保障**，固德威的逆变器采用了直流拉弧检测技术，并可匹配快速关断技术。

直流拉弧检测技术是指利用逆变器对直流侧的电流进行实时监测和分析，识别出拉弧特征，并及时切断交流侧电源，从而消除电弧并防止火灾

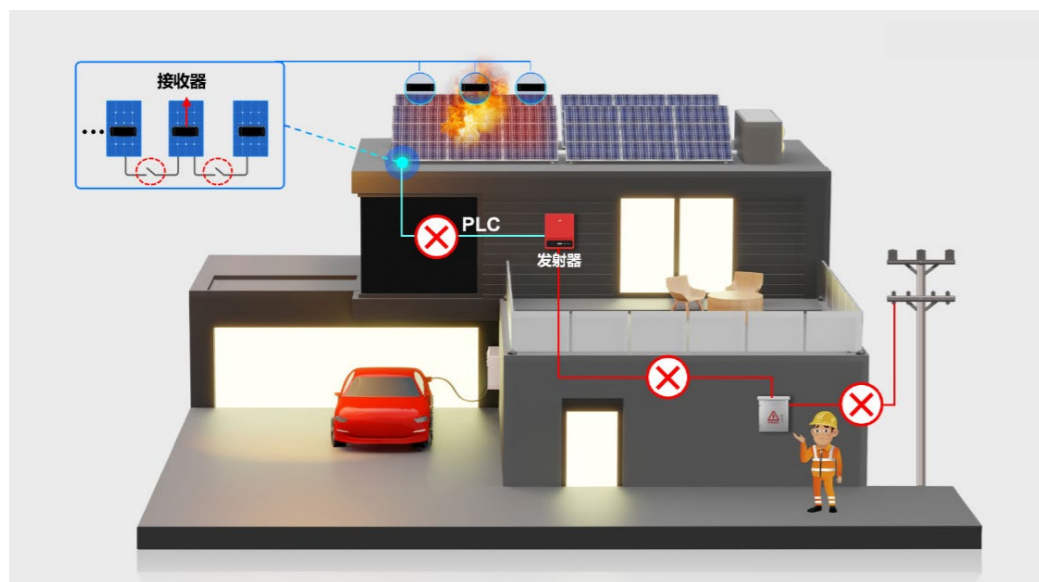


的发生。直流拉弧是光伏系统中常见的故障现象，由于线缆、接头、光伏产品等部件的老化、损坏或接触不良等原因，导致电路中产生高温的电火花，持续燃烧并引燃周围的可燃物。直流拉弧检测技术可以有效地识别和消除这种隐患，提高光伏系统的安全性能。



逆变器的直流拉弧检测保护功能

快速关断技术是指利用发射器和接收器的通信，实现每一块光伏产品之间的快速切断，消除屋顶组串中存在的高压，降低触电风险。快速关断技术可以在紧急情况下，远程或手动控制每一块光伏产品的输出状态，使得组串电压降至安全范围内。快速关断技术可以有效地保护消防人员和维修人员的安全，避免因高压而造成的伤害。



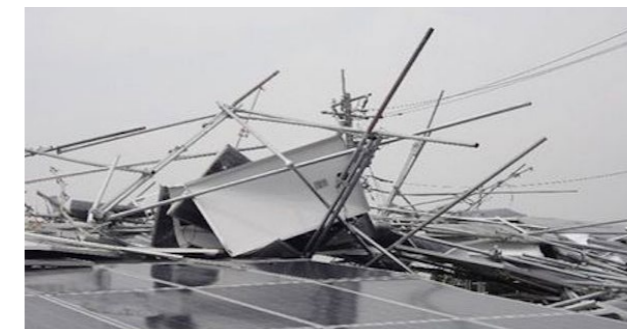
快速关断原理

因为火灾不仅会造成光伏系统的损坏和发电效率的下降，还会危及建筑物和人员的安全。光伏系统由于其特殊的工作环境和工作方式，存在着一些与传统电气系统不同的火灾风险，如直流高压、直流拉弧、反向电流等。因此，采用直流拉弧检测技术和快速关断技术，可以有效地预防和控制这些风险，提升光伏系统的防火水平。

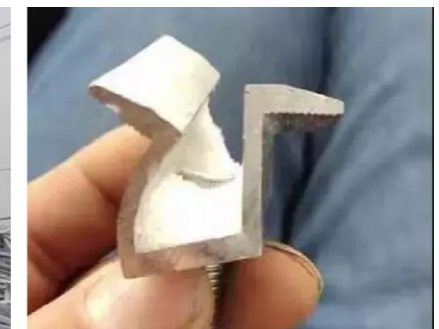
## 6 环境气候

### 6.1 风

光伏产品自身承载力较高，常规光伏组件均应满足 IEC61215 标准中正面 5.4kPa，背面 2.4kPa 的承载力要求。但光伏板边框较薄，通常只有 1.5~1.8mm，当边框与支架横梁采用螺栓连接，在台风瞬时极大风速作用下极容易撕裂，造成“飞板”现象；



“飞板”现象（图源网络）



压块扭曲（图源网络）

当采用压块连接，由于压块接触面积大，在风吸力作用下不易发生边框撕裂，但压块在长期的受风荷载振动中，容易松脱，造成组件连续脱落，因此应结合螺栓安装不宜松脱的优点。目前主流的解决方案采用压块与螺栓共同连接，同时错开在不同位置，防止台风荷载对光伏组件的影响。但是这种的固定方式无法与单层屋面系统本身融合，因此在安装结构上，难以形成一个整体。

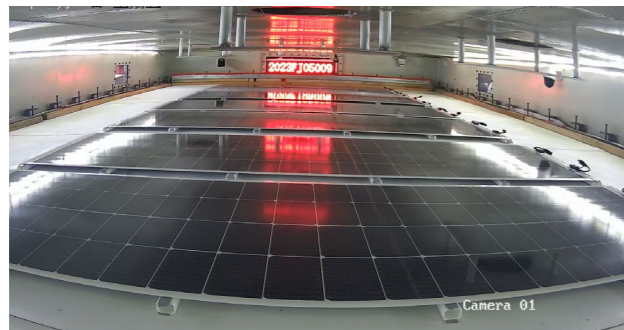
固德威始终希望将建筑中成熟的施工方案融合进光伏产品。我们打破

常规光伏的需要支架方案的思路，将光伏与防水卷材通过热风焊接与屋面深度融合，热风焊接这种施工形式适合各种材质包括 PP、PE、PVC、TPO、EVA、PIB 以及各种改性橡胶和改性沥青材料，热风焊接设备不仅使用起来十分简便，施工完成后产品本身还兼具优异的抗风性能，固德威的光电建材产品通过了国家标准 GB/T 31543-2015 抗风揭测试，GB/T 36584-2018 抗风性能测试，以及 GB/T 39794.2--2021 金属屋面抗风掀性能测试。

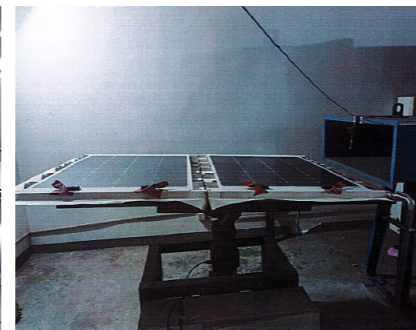
测试单位：中国建材检验认证集团苏州有限公司

测试标准：GB/T 39794.2--2021 金属屋面抗风掀性能检测方法第 2 部分：动态压力法。

测试结果：5 个阶段，5000 次加压，每次 10S，通过测试。相当于抗风揭性能能抵抗 16 级强台风。



银河轻质产品抗风揭测试



银河轻质产品抗风性能风洞试验

## 6.2 雪

针对日益严峻的气候条件，风雪对建筑结构及其附属结构的影响显著增加，尤其是正面积雪的静载，我们推出这款具有一定承压的轻质产品。

银河系列产品配合散热方管或者压型彩钢瓦，方管或瓦楞间距在合理范围内，组成一个安全稳定的产品系统。

银河产品系统可以通过正面承压 5400Pa 机械载荷测试，以雪压最大的城市新疆阿勒泰市为例，50 年一遇的最大雪压为 1650Pa，所以该产品性能可以满足全国各地雪荷载的要求。以采用 1.6mm 单层强化玻璃的轻质银河产品为例，机载功率测试结果如下：



项目名称	样品名称	Pmax	Isc	Voc	Ipm	Vp m	FF	功率衰减
银河 M10	TGM1220590110014-极限载荷 5400Pa 前	331.47	12.6 3	32.1 3	12.0 7	27.4 7	81.70 %	
	TGM1220590110014-极限载荷 5400Pa 后	330.13	12.6 2	32.1 6	11.9 7	27.5 8	81.36 %	-0.40%
	TGM1220590110014-极限载荷 8100Pa 前	330.13	12.6 2	32.1 6	11.9 7	27.5 8	81.36 %	
	TGM1220590110014-极限载荷 8100Pa 后	330.62	12.6 5	32.1 2	11.9 8	27.6 0	81.38 %	0.15%

银河产品机载功率测试

由表可见，在极限载荷 5400Pa 后，产品功率正常。

## 6.3 雨

防水作为屋面施工中的重要一环将成为影响整个光伏系统使用寿命的重中之重。具备优异的耐久性和可靠性的屋面防水是光伏屋面持续运营的基础和前提条件。

针对传统的光伏屋面在防水方面的痛点，TPO 防水卷材防水性能优异，具有独特的材料优势物理性能及化学性能，还具有以下优势。

### ① 更耐久的产品使用寿命

只有当产品的各项指标达到高标准要求时，才是使用寿命长的好产品。TPO 防水卷材的热老化性能长达 672h，低温弯折性能保持 -40℃无裂纹，人工气候加速老化性能更是能达到 5490h，多方面、多维度体现了 TPO 的产品耐久度，能够更好地满足光伏屋顶的设计使用寿命。

### ② 优异的应用性能

在光伏屋顶的应用中，TPO 的材料柔韧性高，平均剥离强度为 10N/mm。易于通过热风焊接与光伏产品焊接，以保持光伏屋顶防水层的高度完整性。



TPO 剥离



可焊接

**银河光电建材与高分子 TPO 防水卷材一体化封装**，无需支架，建材产品下方焊接 TPO 方管，方管上满粘实现建材产品的初固定，光电建材产品两端通过热风焊接与屋面 TPO 防水卷材融合在一起，与屋面防水形成整体。



TPO 方管焊接



银河产品两侧焊接

## 6.4 紫外线

紫外线和红外线是 TPO 卷材生命的两个重要影响因素。它们会对 TPO 卷材的性能和寿命产生不同的影响：

① 紫外线辐射：紫外线是太阳辐射中的一部分，对 TPO 卷材的表面有直接的照射。长期暴露在紫外线下，会导致 TPO 卷材表面的颜色褪色、表面龟裂和材料变脆。这会降低 TPO 卷材的耐候性和寿命。为了抵御紫外线的影响，TPO 卷材通常会添加紫外线稳定剂，以提高其耐候性能。

② 红外线辐射：红外线是太阳辐射中的另一部分，它可以导致 TPO 卷材表面温度的升高。高温会引起 TPO 卷材材料的热膨胀和收缩，可能导致材料的老化和疲劳。此外，红外线的热辐射也会增加 TPO 卷材的热传导，增加屋内的冷却负荷。因此，红外线辐射对 TPO 卷材的寿命也有一定的影响。

为了减少紫外线和红外线对 TPO 卷材的影响，可以采取在其表面安装光伏，延长 TPO 卷材的使用寿命，主要优点如下：

- 表面安装光伏，减少了灰尘和污垢在 TPO 卷材表面积累，减少紫外线的照射。
- 安装光伏具有遮阳效果，以减少红外线的热辐射。
- 光伏背部有通风散热通道，形成空气对流，降低卷材表面温度，延缓卷材老化。

总之，紫外线和红外线辐射会对 TPO 卷材的性能和寿命产生影响，但通过选择安装光伏，可以减少这些影响并延长 TPO 卷材的使用寿命。

## 6.5 冰雹

在影响光伏安全的自然灾害中，冰雹是较为频繁且突发的危害，一旦发生就会造成电站损失。2021年6月30日，山东聊城几百户的光伏系统，被掀翻在突如其来的暴雨加冰雹中。据知情人士表示：完全损毁的户用电站有5家左右，每家平均30kW，直接损失在50万以上，具体损失无法估量。2020年6月，贵州黔西南州高达120MW的光伏电站也惨遭冰雹袭击，大量组件破损严重，剩余的也出现隐裂，损失千万以上。



内蒙古通辽、山东聊城等多地遭雪灾、冰雹袭击

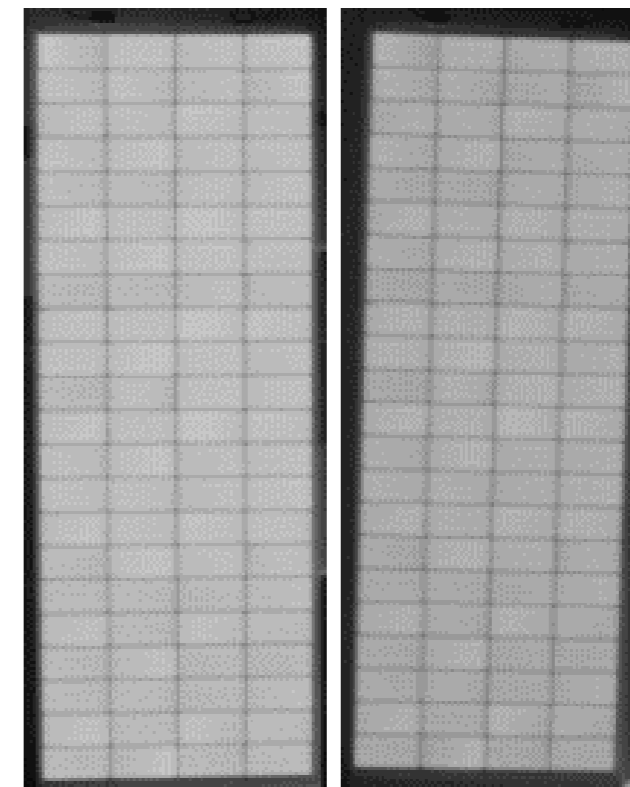
在光伏市场中，现有的轻质、柔性产品主打“轻薄”，为满足屋面荷载需求，牺牲了产品本身的结构强度，在冰雹强冲击下易受损，进而导致更严重的电路破坏、引燃等事故。

银河轻质光电建材在 IEC 61215 标准下的防冰雹测试过程和结果。使用气动发射装置，以 23 米 / 秒的速度，用直径 25mm 的冰球模拟自然环境下的冰雹，撞击银河产品表面的 11 个位置。测试结果显示，**银河轻质光电建材外观完好，EL 检测无隐裂。绝缘、湿漏电等测试全部通过，功率衰减仅为 0.15%**。这些数据表明银河轻质光电建材具有出色的抗冰雹能力和可靠性。

Prüfbericht - Produkte		TÜVRheinland®	
Prüfbericht-Nr.:	CN222598 001	Auftrags-Nr.:	244421030
Test report no.:		Order no.:	
Kunden-Referenz-Nr.:	2356677	Auftragsdatum:	05/05/2022
Client reference no.:		Order date:	
Auftraggeber:	GoodLife (GuangZhou) Power Supply Technology Co., Ltd		
Client:	No.208, Tong Rui East Road, Guangde, Anhui, P.R. China		
Prüfgegenstand:	Photovoltaic (PV) module		
Test item:			
Bezeichnung / Type-Nr.:	See module type designation on page 3		
Identification / Type no.:			
Auftrags-Inhalt:	Design qualification and type approval of photovoltaic (PV) modules		
Order content:			
Prüfgrundlage:	Photovoltaic (PV) modules		
Test specification:	IEC 61215-1-2016, IEC 61215-1-1-2016, IEC 61215-2-2016, IEC 61730-1-2016, IEC 61730-2-2016, EN 61215-1-2016, EN 61215-1-1-2016, EN 61215-2-2017, EN IEC 61730-1-2016, EN IEC 61730-2-2016		
Wareneingangdatum:	31/05/2022		
Date of sample receipt:			
Prüfmuster-Nr.:	See clause 6		
Test sample no.:			
Prüfdatum:	15/06/2022 - 19/06/2022		
Testing period:			
Ort der Prüfung:	Refer to page 4		
Place of testing:			
Prüflaboratorium:	TUV Rheinland (Shanghai) Co., Ltd		
Testing laboratory:			
Prüfresultat:	Pass		
Test result:			
geprüft von:	x Dan Liu	genehmigt von:	x [Signature]
tested by:		authorized by:	
Datum:	06/05/2022	Ausstellungsdatum:	06/05/2022
Date:		Issue date:	
Stellung / Position:	Project Engineer	Stellung / Position:	Authorizer
Other:	- Basic qualification for PV module types listed on page 3 - Refer to page 4 and Constructional Data Form (CDF) CN222598 001 for more details.		
Zustand des Prüfgegenstandes bei Anlieferung:	Prüfmuster vollständig und unbeschädigt		
Condition of the test item at delivery:	Test item complete and undamaged		
<p>Legende: Pass = entspricht Prüfgrundlage / Fail = entspricht nicht Prüfgrundlage / Not = nicht anwesend / Not = nicht geprüft / Report = Bericht erstellt / Not reported = kein Bericht erstellt / Not reported = kein Bericht erstellt</p> <p>Dieser Prüfbericht bezieht sich nur auf das o.g. Prüfmuster und darf ohne Genehmigung der Prüfstelle nicht anderweitig veröffentlicht werden. Dieser Bericht bestätigt nicht die Verwendung eines Prüfgegenstandes.</p> <p>This test report only relates to the above mentioned test sample. Without permission of the test center this test report is not permitted to be distributed or extended. This test report does not entitle to carry any test work.</p>			
<p>TUV Rheinland (Shanghai) Co., Ltd. No.107, 176, Lane 777 West Guangsheng Road, Jiangyin District, Shanghai, China              Mail: service@tuv.com   Web: www.tuv.com</p>			

China Testing & Certification International Group Co.,Ltd.			
Test Report			
Report Number: 202211A00152		Page 38 of 113	
9.22	Hail test - MQT 17		
Test date (YYYY-MM-DD)	2022-06-10		
Ice ball diameter [mm]	25		
Ice ball mass [g]	7.1535-7.9005		
Ice ball velocity [m/s]	21.85-24.15		
Number of impact locations	11		
Sample no.	---		
10	---		P
Supplementary information: -			
9.22.1	Visual inspection after hail test - MQT 01		
Test date (YYYY-MM-DD)	2022-06-10		
Sample no.	Displacement	Nature and position of findings	
10	No major visual defects	No major visual defects	P
Supplementary information: -			
9.22.2	Wet leakage current test after Hail test - MQT 18		
Test date (YYYY-MM-DD)	2022-06-10		
Inulation resistance measured at [V <sub>DC</sub> ]	1500		
Solution resistivity [Ω <sub>cm</sub> ]	≤ 3500		
Solution temperature [°C]	22 ± 2		
Sample no.	R <sub>iso</sub>	A	R <sub>iso</sub> A
10	≥ 15000.00	1.862	≥ 27930.00
	[MΩ]	[MΩ]	[MΩ]
			P
Supplementary information: Minimum requirement is 40 MΩ m².			

TÜV 抗冰雹检测报告



冰雹前 EL 检测

冰雹后 EL 检测

### 三、基于单层屋面的光伏系统安全应用解决方案

#### 1 设计

由于不同 TPO 的材料配比不同，因此安装前需要前往现场进行两种 TPO 卷材的拉拔力测试，该测试分为以下四个步骤：



清洗基层

焊接样品



拉力计测试

拉力值 >40N/cm

测试通过后，即可进行项目备案、图纸设计等项目施工前的准备工作。

#### 2 安装

产品的安装也需按照以下步骤进行：

基层清洗：由于屋面 TPO 防水卷材面层上一般会累积有不少灰尘，

会影响焊接的效果，所以在施工前需要使用丙酮稀释剂等专用卷材清洗剂进行清洗工作。

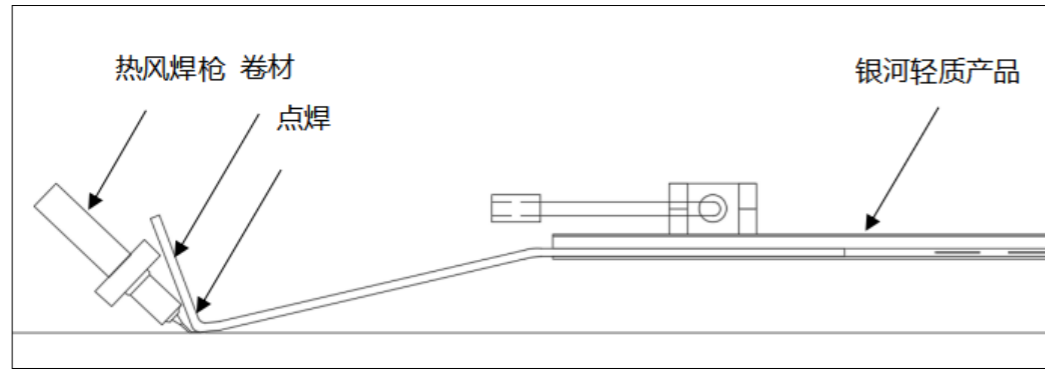


安装通风散热格栅：清洗完成后，在单层卷材屋面上安装银河轻质时，需提前安装 TPO 散热格栅，将 TPO 散热格栅与平屋面 TPO 基层焊接在一起，散热格栅上方通过丁基胶与银河产品辅助粘接固定，这样可以保证光伏构件的散热，更有效地保障整个光伏系统的使用寿命。

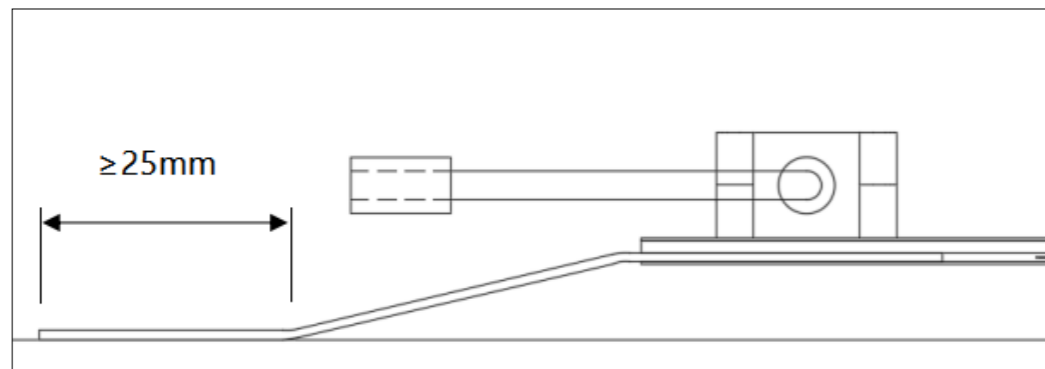
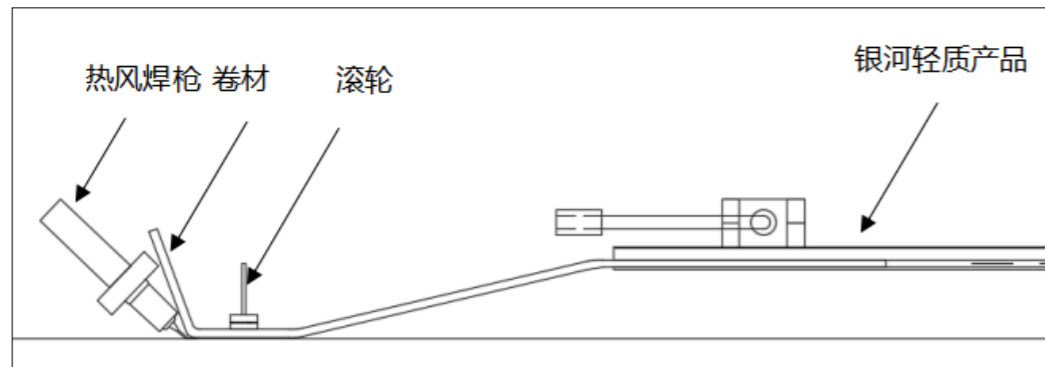


产品安装：

- ① 在屋面上进行产品安装定位；
- ② 双人抓取银河轻质产品的四个边角，竖起搬运银河轻质产品然后正面朝上将银河轻质产品背面粘接在 TPO 方管上，使用柔性工具轻轻按压产品正面，使丁基胶与产品背面充分粘接；
- ③ 将银河轻质产品两端卷材稍微拎起，使用热风焊枪先进行点焊，将银河轻质产品固定在屋面；



④ 银河轻质产品头尾卷材固定后，再使用热风焊枪沿着卷材进行满焊焊接，焊接的时候使用滚轮轻轻在卷材上进行辊压，保证卷材焊接后贴平屋面。头尾卷材的有效焊接宽度 $\geq 25\text{mm}$ 。



### 3 运维

银河轻质产品的运维与常规光伏电站的运维无太大差异，即主要是电站的检查与光伏产品的清洗工作，需要注意的是银河轻质产品在运维时不可踩踏，另外，若出现产品碎裂需要更换的情况，只需割除产品两端的TPO卷材，及产品中间粘接的丁基胶带即可实现产品的拆除。

### 4 案例



镇江菲舍尔项目落地效果

该屋面设计使用 4256 块 315Wp 银河 Ultra 产品，总计 1340.64kW，每年预计可以发电约 140 万度，25 年总计可以产生 3290 万度电，相当于 10032 吨标准煤消耗量，同时减少 26775 吨二氧化碳排放。

**固德威科技股份有限公司**  
GOODWE TECHNOLOGIES CO., LTD.

地址 苏州高新区紫金路 90 号  
电话 0512-62916050-8317

邮箱 [pvb@goodwe.com](mailto:pvb@goodwe.com)  
网址 [www.goodwe.com](http://www.goodwe.com)

