



屋面分布式光伏电站结构设计步骤

主讲人：郑雪驹

十一科技 能源环境事业部 副总经理

西安 | 2017.2.19



前言

随着光伏产业的发展趋势，以及国家相关政策的引导下，屋顶分布式光伏项目已经成为了一个重要的发展方向。

屋顶分布式光伏电站是依附于建筑物之上，所以结构安全性问题不容忽视。

屋面的选择，光伏支架结构方案的选择，以及支架基础方案的选择，都必须以安全性为首要考虑条件。因此，对屋面的踏勘、原屋面承载力的复核和支架结构方案的设计就显得尤为重要。

屋面分布式光伏电站结构设计步骤

- 实地踏勘
- 搜集图纸
- 研究备选的支架方案
- 对原结构承载力进行复核
- 出具屋面载荷报告
- 进行屋面光伏支架的施工图设计

一、实地勘察

- 目的：为屋面电站设计及结构复核收集资料
- 内容：简述为“四多”

工作目的

为电站设计及结构复核收集资料

前期的踏勘是必不可少的。通过踏勘能充分了解到项目的地点、规模、建筑的类型以及各建筑的使用情况。

充分了解建筑是否按图施工、是否改变了部分构件或结构的受力大小和方式、是否改变了建筑的使用性质

通过掌握的各种材料和数据为建筑结构的承载力复核提供充分的依据。

工作内容

“四多”

简单概括为“四多”：

多看：在现场多看看建筑的实际使用状况、屋面情况以及周边建筑特点。

多问：需要向业主或者现场人员问询建筑的使用情况，风雪、地震情况如何，建筑物是否改造过等。

多要：尽可能多的收集各专业图纸。包括：建筑、结构、暖通、给排水、工艺等，除此以外，还有建筑的改建图纸等。

多拍照：充分利用手机、无人机，对建筑物的整体情况和结构形式以及屋面的情况摄像，确定建筑坡向、方位、经纬度等

厂区概况



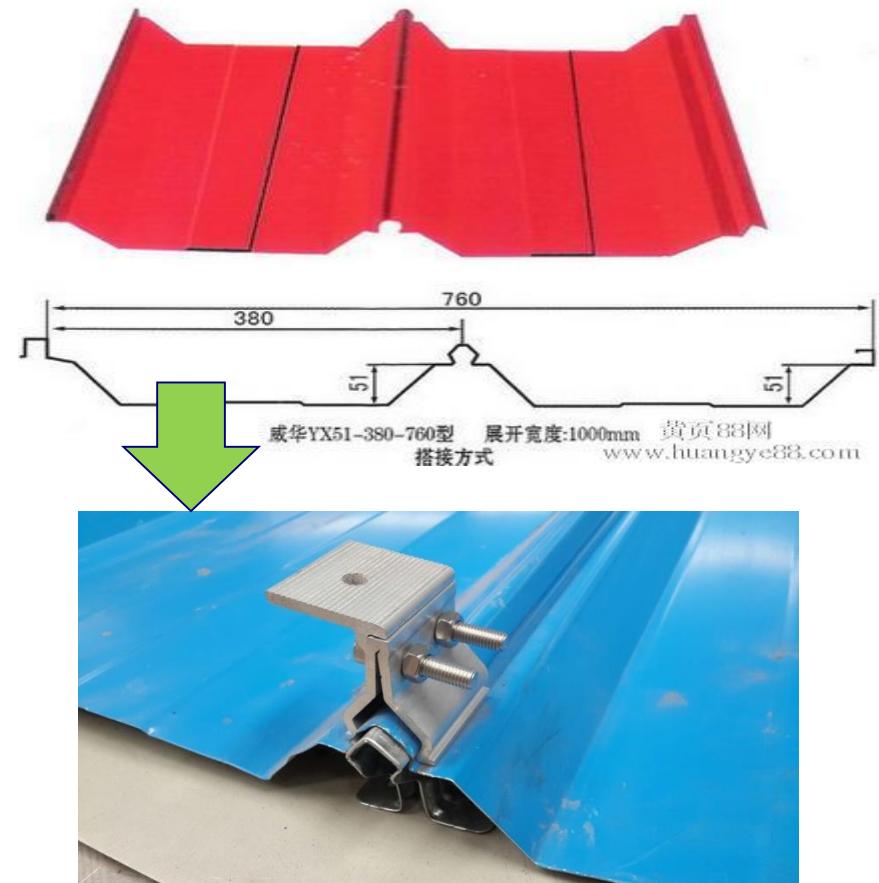
平立面

屋面



拍照及测量

★钢结构屋顶及彩钢瓦断面



拍照及测量

★混凝土屋面



屋面管道、女儿墙等



出屋面楼梯等遮挡物

拍照及测量

★建筑屋顶结构、吊挂情况



二、搜集图纸

- 目的：结构复核和电站设计。

结构复核首先是荷载的收集，所以给排水、暖通以及工艺设备的荷载要统计全面不能遗漏，所以不仅建筑和结构专业的图纸要齐全，其他相关的专业图纸也要收集齐全。

- 内容：分“三步走”。

工作要点

“三步走”

图纸搜集简单概括为“三步走”。

第一步：在现场搜集资料之前，尽可能的通过现有的资料了解一下项目的初步情况，并通过相关规范先掌握项目地区的地震烈度等级、风压和雪压。

第二步：到现场后，通过观察建筑的具体特点和使用环境，并拍摄相关的图片形成具体参考价值的资料，供后面辅助图纸使用。

第三步：让业主提供建筑物各个专业的施工图、变更以及后期改造（若有）的图纸。



三、研究备选的支架方案

■ 支架方案：

配重式、夹具式、挂钩式、植筋式

根据屋面形式的不同，建议采取的支架形式也不同。



支架方案示例

四种支架

配重式：适用于钢筋混凝土屋面。根据配重基础与屋面的连接关系分为两种形式：生根与不生根。

夹具式：适用于彩钢板屋面。根据彩钢板的形式选定合适的夹具，再安装檩条、光伏组件

◦

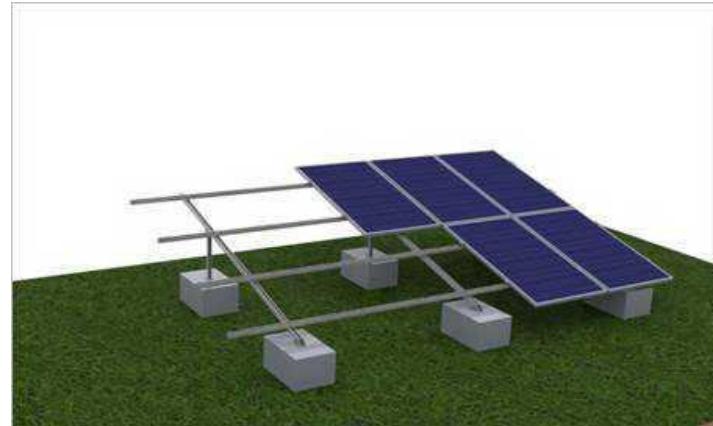
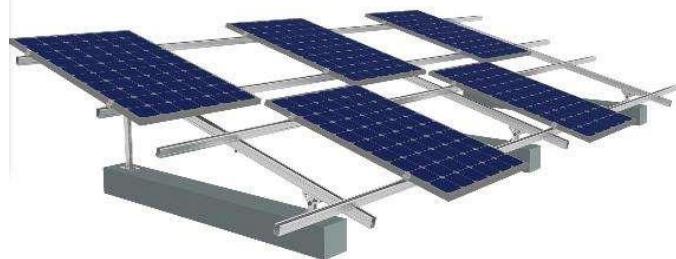
挂钩式：适用于琉璃瓦屋面。用特制的固定连接件，使得支架与琉璃瓦下的木檩条可靠连接。

植筋式：适用于屋面板不能承受新增荷载的钢筋混凝土屋面。屋面框架柱柱顶采用化学植筋生起小短柱，短柱顶设置大跨度钢梁，钢梁上再设置檩条铺设光伏组件（造价高、破坏屋面防水层、使用少）。

1、配重式支架

制作顺序：

- ①钢筋混凝土屋面上现浇配重基础
- ②配重基础上安装标准化的固定连接件
- ③支架与组件组装

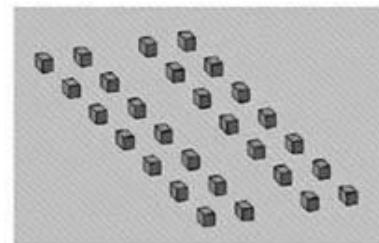


混凝土屋面现浇型支架系统

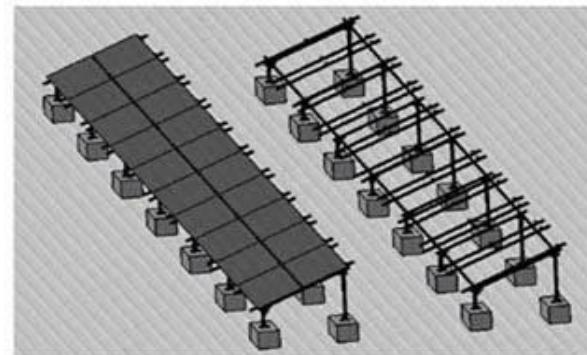
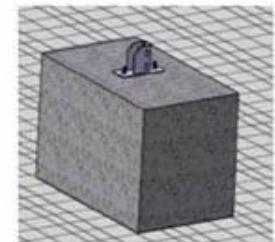
1、配重式支架 ——生根连接

优点：配重基础的自重轻，
对于屋面的负担小。

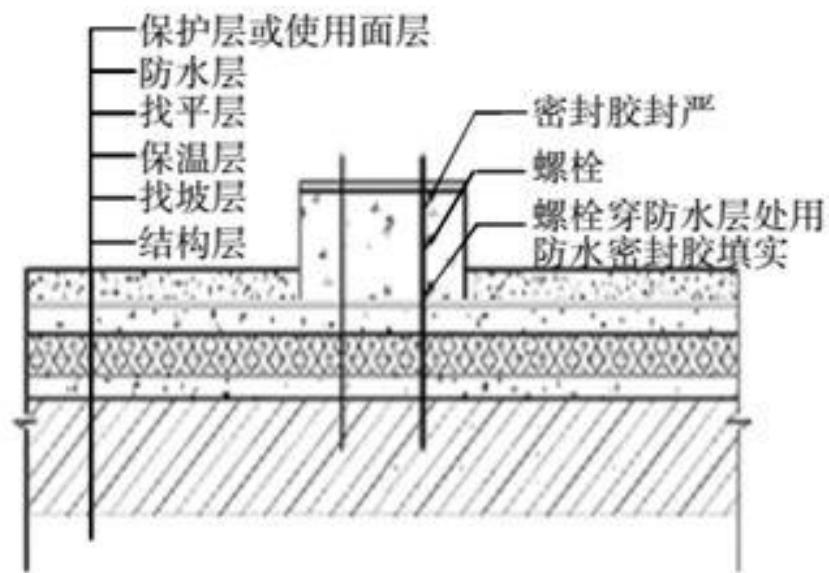
缺点：配重基础与屋面用化
学锚栓连接，一定程度破坏
了屋面原有的防水层、保温
层，使用年限内，不可避免
会出现屋顶渗水，甚至是漏
水的现象。



1.混凝土屋面上现浇
矩形基础，适合屋面
承载小、风荷载高的
地区和屋面；矩形基
础与屋面用化学锚栓
连接；



- 2.矩形基础上安装标准化
的固定连接件；
3.支架与组件组装。

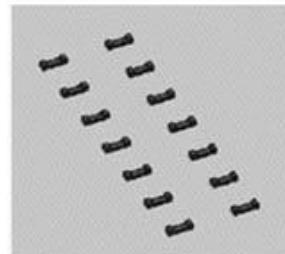


混凝土层面预浇型支架系统

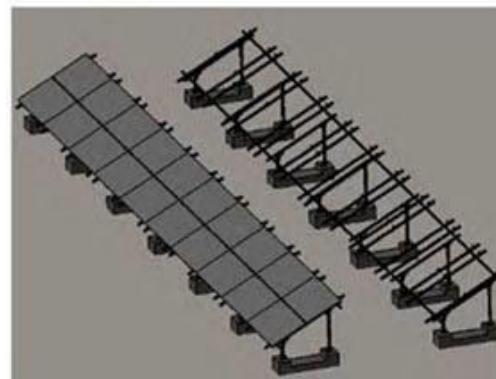
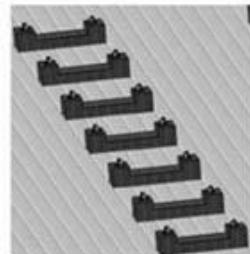
1、配重式支架 ——不生根连接

优点：不破坏原有屋面的防水层、保温层。

缺点：为了验算通过配重基础的抗倾覆，在风荷载较大的地区，基础尺寸往往需要制作的很大，使得基础对于原有屋面的负担大，一些预留荷载余量不多的不上人屋面不建议采用。

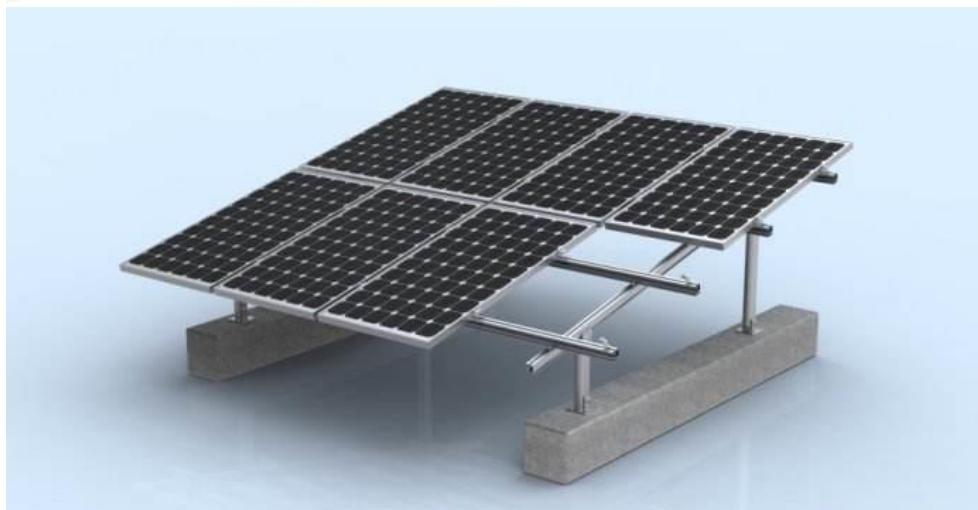


1.混凝土屋面上放置预浇矩形基础，适合**屋面承载小、风荷载小**的地区和屋面；



2.矩形基础上安装标准化的固定连接件；

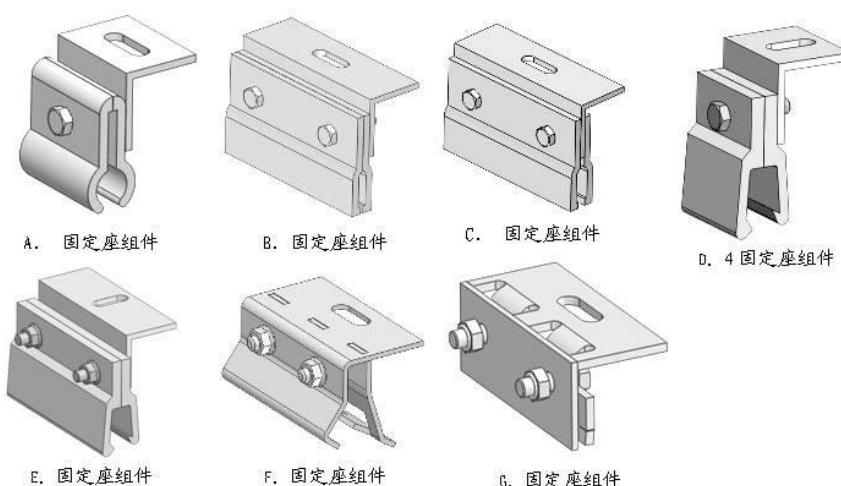
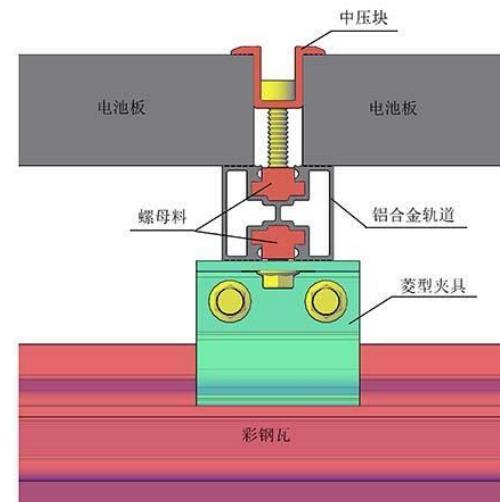
3.支架与组件组装。



2、夹具式支架

制作顺序：

- ①根据屋面彩钢板的样式选定适合的夹具
- ②夹具上安装檩条
- ③檩条与组件的组装



2、夹具式支架



直立锁边型



固定件连接(明钉式)型



咬口型(角驰式)型



950型复合岩棉

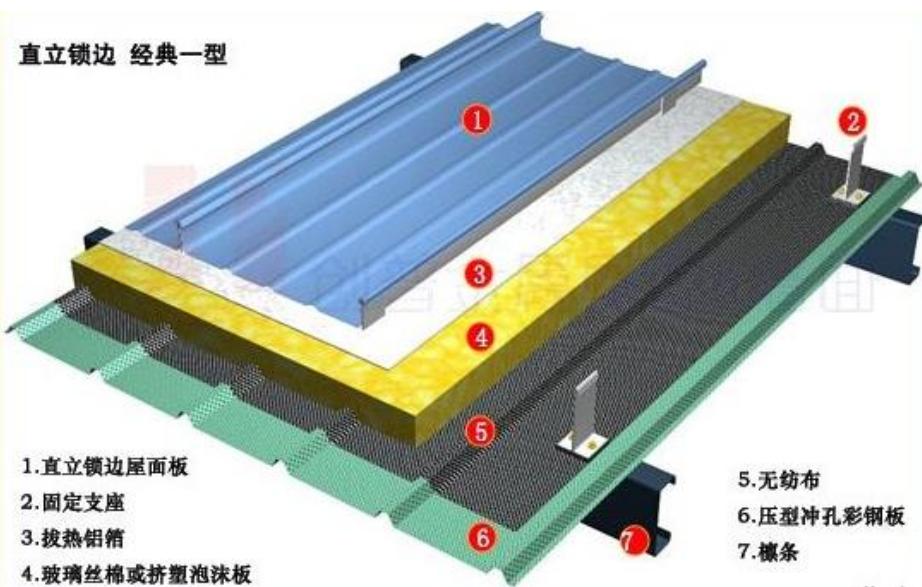


卡扣型(暗扣式)型



760型彩钢板

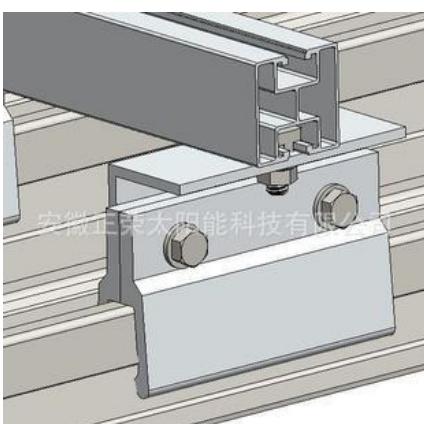
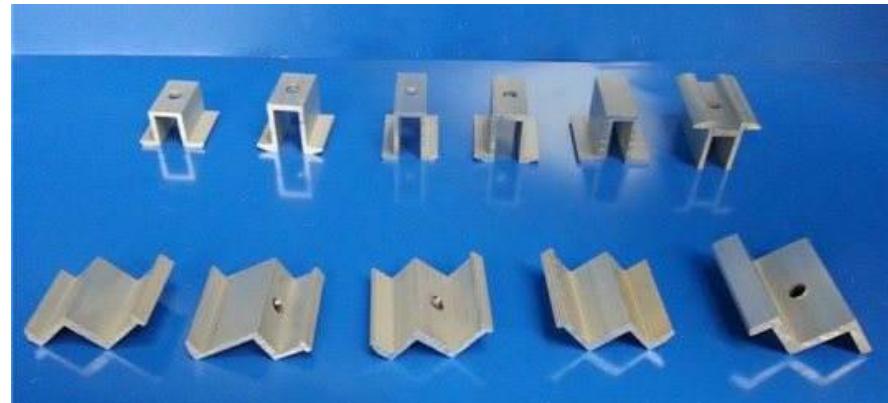
直立锁边 经典一型



2、夹具式支架

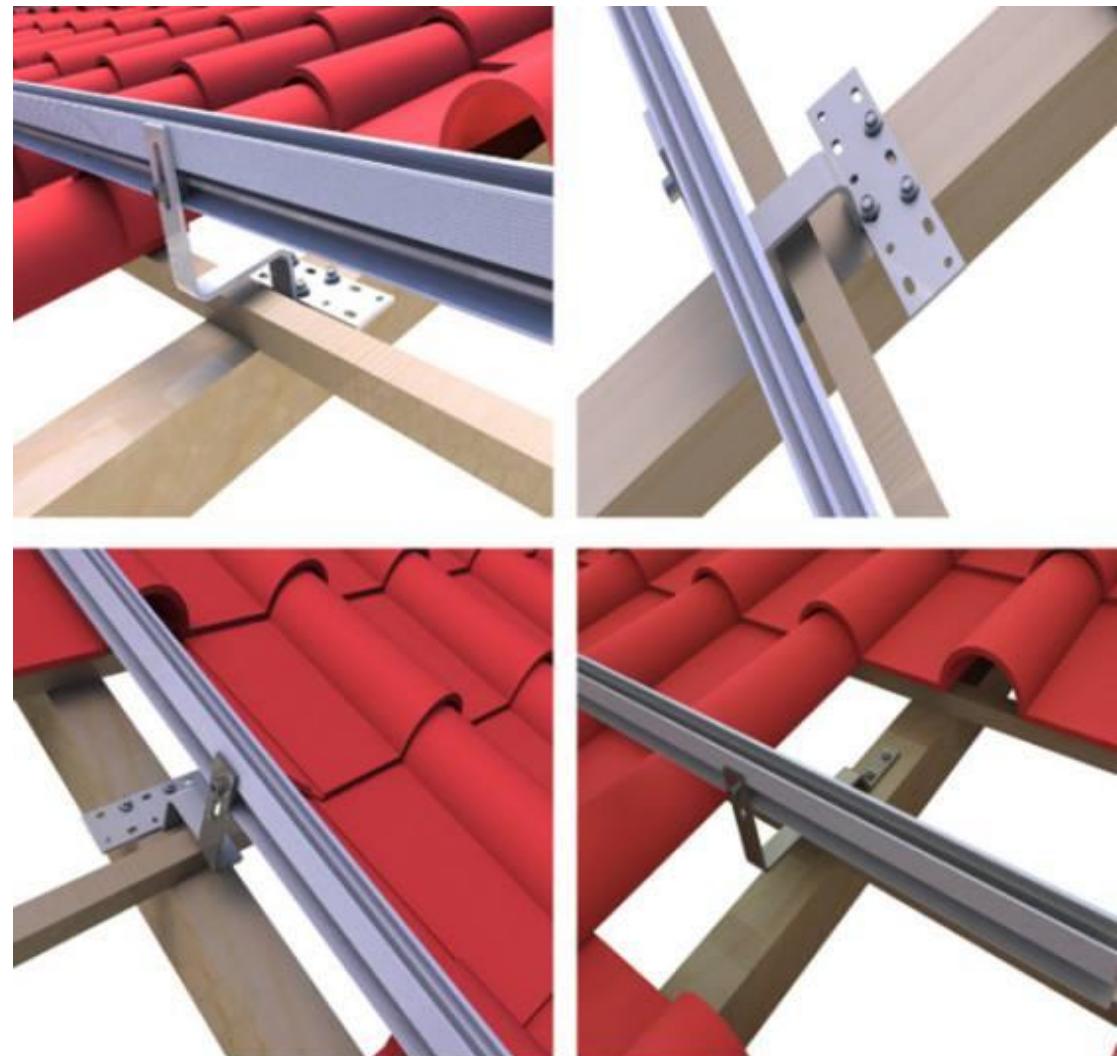
优点：不破坏原有屋面的防水层、保温层。附加荷载轻。

缺点：当彩钢板波峰样式无合适夹具时，则无法实施。



3、挂钩式支架

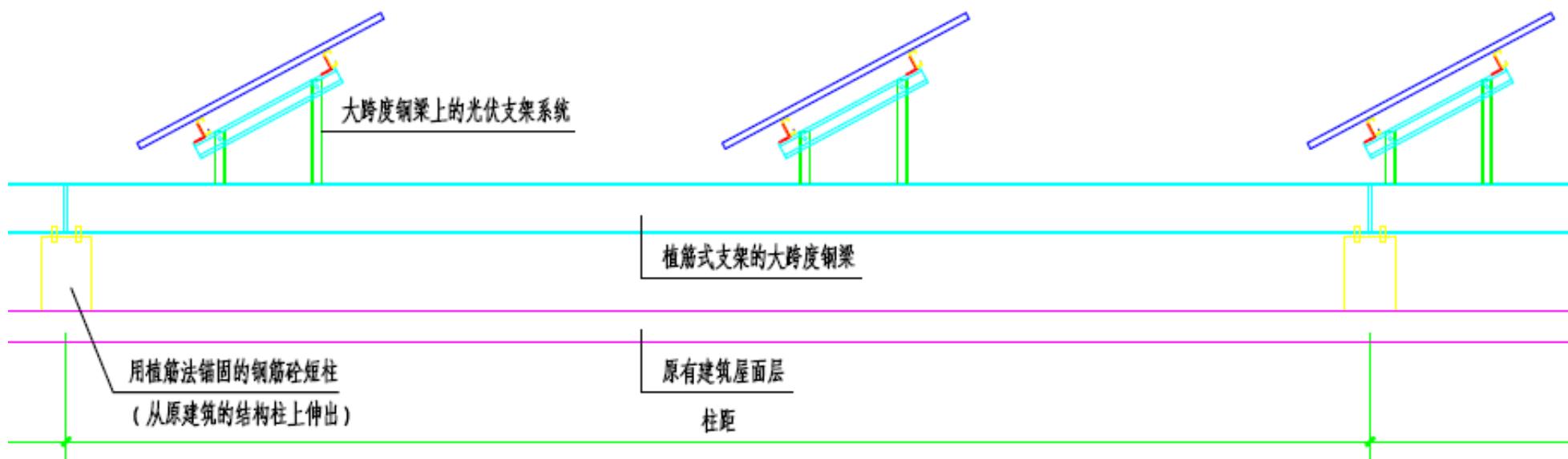
挂钩式支架，需翻开原有屋面的琉璃瓦，找到其下的木檩条，用挂钩配合木钉固定，等支架安装完毕再将瓦片至于原位。此方案安装完后效果理想、美观，但安装工序繁琐。



4、植筋式支架

优点：新增光伏荷载直接作用于结构柱，对梁、板无不利影响。

缺点：用钢量大，成本大。



初步支架方案选择

结合屋面综合情况

结合踏勘条件，综合考虑经济成本、施工成本、维护成本，根据实际条件，灵活选用支架方案。

须知三种支架形式（配重式支架、夹具式支架、挂钩式支架、植筋式支架）各有利弊，只有结合实际才能尽可能的避免不合理方案的出现。



四、对原结构承载力进行复核

- 对各初步支架方案做对应的屋面增载计算
- 根据竣工图资料对原结构进行复核

对各初步支架方案做对应的屋面增载计算

屋面新增荷载为光伏系统所有构件自重。配重支架对屋面的增载差异大，须按 GB 51101-2016《太阳能发电站支架基础技术规范》5.3.15和5.3.16条进行抗倾覆和抗滑移验算来准确计算配重基础重量、必要时还要根据《建筑结构荷载规范》附录C将集中荷载折算为屋面均布活荷载。

屋面类型	支架类型	屋面增重荷载值
彩钢板屋面	夹具式支架	11~15Kg/m ²
砼屋面	独基或条基配重式支架	50~180 Kg/m ²
琉璃瓦屋面	挂钩式支架	11~15Kg/m ²
砼屋面	植筋式支架	按计算



根据竣工图纸资料对原结构进行复核

图纸名称	用途	注意
建施图	提供屋面做法、用于计算原屋面自重	
结施图	提供原结构承重构件具体材质、截面大小、节点做法等，明确复核对象的情况。	结构图中的“设计活荷载”一项未必正确，直接按此取值有风险。
水暖电等图纸	提供屋面吊挂荷载分布情况	
各专业修改单		

注：若屋面为钢筋混凝土上人屋面，则认为可实施屋面光伏系统，不需进行复核。

五、出具原屋面载荷报告

屋面载荷报告是个“报告”，除了要提供“复核结论”以外，还应明确复核依据、关键荷载取值、计算软件、依据规范版本、假设条件（指无法搜集到、但复核计算又必须具备的信息）等信息。

龙感湖华中力兴棉花交易中心仓库复核报告

一、夏热数据

业主提供的绘制于 2013 年 4 月的仓库结构图（8 面 PDF 图纸扫描件）图框内标注有：建设单位为华中力兴棉花交易中心，工程名称为仓库。设计单位为九江华仪建筑设计所。

地址位于湖北省黄冈市龙感湖区。距离黄石市较近。故选本图纸和 100 年一遇雪压按黄石市直《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 表 E.5 查得分别为 $0.35kN/m^2$ 和 $0.40kN/m^2$ 。

经龙感湖华源光伏发电有限公司确认，华中力兴棉花交易中心共有 16 栋同样的仓库。

二、荷载取值

图纸总说明中有如下设计荷载：

1. 屋面彩色压型钢板 $0.05kN/m^2$

(屋面做法为 $0.6mm$ 厚 750 型镀锌压筋彩钢瓦+100 厚 $12kg/m^3$ 的保温棉+铝箔纸+钢丝网，计算得实际自重为 $6.5kg/m^2+1.2kg/m^2=7.7kg/m^2=0.077kN/m^2$)

2. 檩条 $0.08kN/m^2$

(屋面檩条为 Q235 的间距 1500 的 C180x70x20x2.0，计算得实际自重为 $8.52kN/m/1.6m=5.32kN/m^2=0.0532kN/m^2$)

3. 支撑 $0.05kN/m^2$

(屋面檩条间距第一跨一道长 1650 的 12 号钢，计算得实际自重为 $0.8888kN/m/1.65m/6m/1.5m=0.1625kN/m^2=0.001625kN/m^2$)

4. 计算檩条活荷载取值 $0.8kN/m^2$

(正确。《荷载规范》上以黑体字强制性条文规定不上人屋面的活荷载为 $0.5kN/m^2$ ，只有当构件的负裁面积超过 60 平方米时，屋面活荷载可取 $0.3kN/m^2$ ，而本项目檩条的负裁面积为 $6m \times 1.5m=9$ 平方米。所以只能取 $0.5kN/m^2$)

5. 雪荷载 $0.35kN/m^2$

($0.35kN/m^2$ 是黄石市 50 年一遇雪压值。原设计按此取值错误。12 年 10 月 1 日实施的 12 版《荷载规范》以黑体字强制性条文规定：对雪荷载敏感的结构应采用 100 年一遇的雪压。轻钢结构属于“对雪荷载敏感的结构”。黄石市 100 年一遇雪压为 $0.40kN/m^2$)

6. 风荷载 $0.35kN/m^2$

($0.35kN/m^2$ 是黄石市 50 年一遇风压值。原设计按此取值正确。)

将以上荷载改正之后为：

1. 屋面彩色压型钢板 $0.077kN/m^2$

2. 檩条 $0.0532kN/m^2$ (计算檩条强度时软件自动计算檩条自重。计算刚架时考虑此荷载)

3. 支撑 $0.001625kN/m^2$

4. 计算檩条活荷载取值 $0.8kN/m^2$

5. 100 一遇雪压 $0.40kN/m^2$ ，50 年一遇风压 $0.35kN/m^2$

6. 屋面太阳能系统： $13kg/m^2=0.13kN/m^2$

三、电算软件及规范

FIGR2010 V2.2 版本。2002 版《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS 102-2002

四、复核结论

按屋面每坡面上靠近屋脊的 1 根檩条不增设。靠近檐口的 1 根檩条不增设，其位置限制距 1.5 米的檩条之间增设一根 C180x70x20x2.0 (Q235B) 的檩条，将檩条间距变为 0.75 米，且屋面所有檩条每跨均设置有 1 根拉条来约束上下翼缘的情况。请业主要求按 2013 版《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CECS 102-2002 来复核，所有檩条强度均满足要求。

屋面钢梁强度满足要求，但檩面钢梁跨中挠度与跨度的比值为 1/150，强度限值 1/150，

信息产业电子第十一设计研究院科技股份有限公司



六、进行屋面支架的施工图设计

- 最终支架方案的确定及其分析计算
- 支架施工图



最终支架方案的确定及其分析计算

最终支架首先应满足屋面承载要求，并应同时满足电气专业组件阵列排布要求、组件阵列倾角要求。

支架设计相关规范：

《钢结构设计规范》	《铝合金结构设计规范》
《建筑结构荷载规范》	《光伏发电站施工规范》
《光伏发电站设计规范》	《冷弯薄壁型钢结构技术规范》
《太阳能发电站支架基础技术规范》	《玻璃幕墙工程技术规范》

支架设计常用公式：

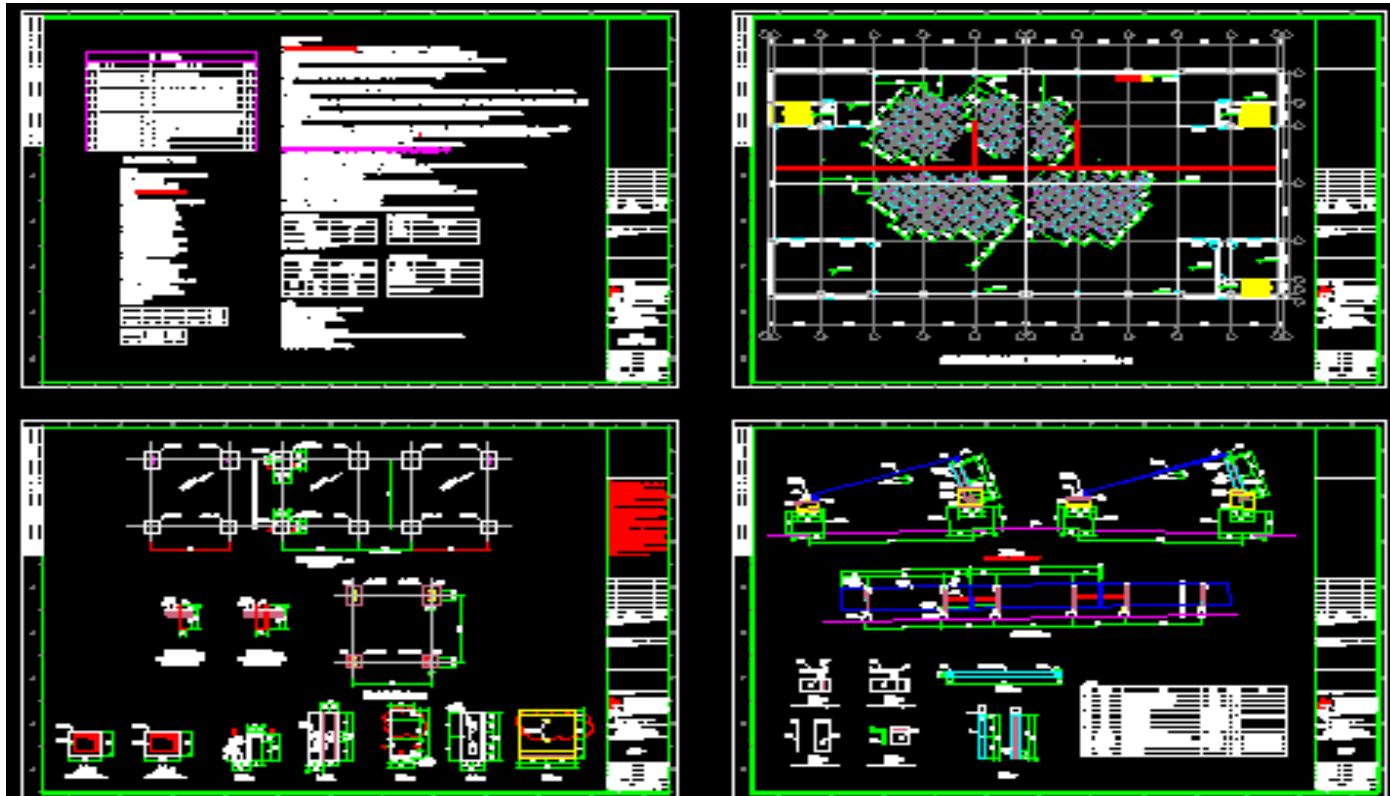
风荷载	$w_k = \beta_z \mu_z \mu_z w_0$	《荷规》第 8.1.1 条
雪荷载	$s_k = \mu_r s_0$	《荷规》第 7.1.1 条
配重基础抗滑移验算	$\frac{(G_b - T_k)\mu}{E_k} \geq 1.3$	《太阳能发电基础》第 5.3.15 条
配重基础抗倾覆验算	$\frac{G_b b_1}{M_t^k + T_k b_2 + E_k h} \geq 1.6, \frac{G_b b_1 - T_k b_2}{M_t^k + E_k h} \geq 1.6,$	《太阳能发电基础》第 5.3.16 条
钢构件强度验算	$\sigma = \frac{N}{A_n} < f, \sigma = \frac{M_{max}}{W_{nx}} < f, \sigma = \frac{M_{max}}{\varphi_{bx} W_{nx}} < f$	《冷弯薄壁》第 5.3.1 条
螺栓强度验算	$N_c^b = d \sum t f_c^b$	《冷弯薄壁》第 6.1.4 条

支架力学计算软件：



支架施工图

支架施工图内容包括工程概况、基本设计参数、设计各构件材质、螺栓材质、安装制作验收等要求、构架防腐要求、屋面光伏支架基础平面布置图、支架详图、各节点详图等。



七、工程设计案例









Thank you!

