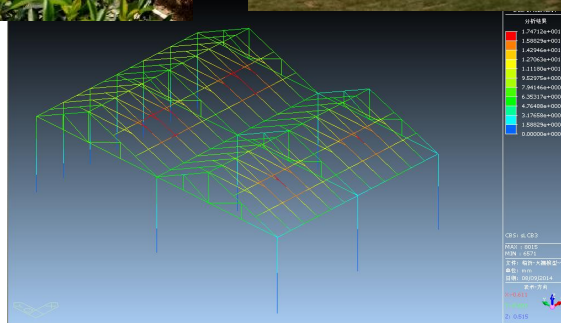
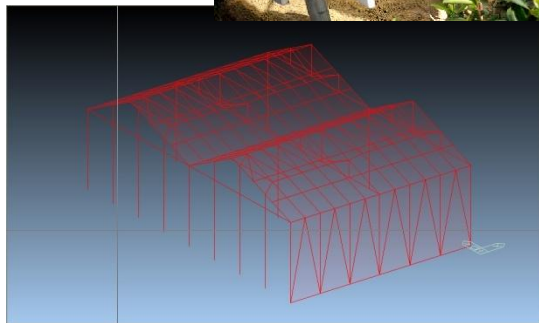


光伏农业一体化项目的设计交流与探讨



王 亮 设计总工程师



河北能源工程设计有限公司

HeBei Energy Engineering Design Co., Ltd.

河北能源工程设计有限公司简介

■ 公司背景、性质、营业范围

公司位于河北省石家庄市，成立于1989年，是河北省电力勘测设计研究院主办的民营企业，主要从事发、输、变电工程的设计、咨询和服务，包括常规火力发电、太阳能、风能、垃圾、污泥、生物质等新能源发电、送变电、电力系统规划、接入系统、电力通信、工业与民用建筑、市政等工程的设计、咨询和总承包业务。



河北能源工程设计有限公司简介

■ 公司资质

国家发改委核发的工程咨询甲级资质，专业包括火电、**新能源**、送变电；

建设部核发的工程设计资质，资质等级为电力行业乙级、市政行业（给排水、热力）乙级、建筑行业乙级。



河北能源工程设计有限公司简介

■ 光伏发电项目的业务发展

2006年，公司就成立了光伏发电设计技术开发组，为公司光伏发电设计领域开启了新的篇章。

2007年，公司设计了河北建投集团的投资第一座并网型光伏电站。

2009年，迎来国内光伏电站建设高峰，公司专设太阳能发电设计部，全面致力于光伏发电项目的咨询和设计业务。

8年来，公司先后与昌盛日电、保定英利、中节能等集团公司建立了长期合作关系。设计项目涉及：金太阳屋顶电站、西部荒漠电站、山区电站、分布式电站、智能微网储能电站、光伏农业大棚电站、建筑一体化电站、风光互补电站、水光互补电站等。地域范围涵盖青海、甘肃、新疆、内蒙、宁夏、西藏、陕西、河北、山东、浙江、江苏、安徽、海南等省份。

河北能源工程设计有限公司简介

■ 光伏发电项目的业务发展

截止目前，我公司已完成项目规划报告、可行性研究报告、项目申请报告等前期咨询102余项，完成电站施工图设计80余项，累计实现并网容量达565MW，单体电站容量最大为200MW，完成微网储能电站3项，均已发电。

其中，光伏农业一体化项目的可研报告42项，施工图设计11项目，已实现并网发电容量63MW，主要包括：

英利集团定州国香养殖棚10兆瓦光伏发电项目

昌盛日电3MW农业生态大棚光伏发电示范项目

中节能招远蚕庄养殖棚9.8MW太阳能光伏发电项目

中节能临沂20兆瓦光伏农业科技大棚电站项目

中节能汉川10兆瓦光伏农业科技大棚电站项目

河北景冉石家庄岳村10兆瓦光伏农业大棚电站项目

光伏农业一体化项目主要业绩



英利集团定州国香养殖棚10兆瓦光伏发电项目

项目地点：河北省定州市

装机容量：10MW，43栋猪舍屋顶

并网方式：10kV并网

投运时间：2012年2月并网

发电量：1150万kWh/年

A2 保定日报
BADDINGRIBAO

要 闻

养猪、发电、节能、减排一个不能少

定州国香建起全国首个光伏屋顶“养猪场”

本报讯（记者赵丰民 王献红 通讯员曹永强）不烧一块煤，不冒一缕烟，猪舍暖洋洋，用电靠太阳。屋顶发电、房内养猪，不仅节能而且减排，这是记者3月22日在定州国香养殖公司看到的景象。

屋顶发电，房内养猪。作为国内首家利用猪舍屋顶建成太阳能光伏电站的养殖公司，定州国香“养猪场”颠覆了传统的养殖方式。由英利集团总投资2.07亿元，总计在养殖场内安装46569块太阳能光伏组件，安装容量为10兆瓦，目前已正式并网发电，年可发电1200万度。

由于不耗电，这里的猪儿过上了“幸福生活”。不仅环境安静，无粉尘，无异味，而且猪舍采用先进的地暖供热及降温、除湿、

通风设施，舍内温度、湿度恒定有保证。为猪只创建了一个有利于生长的良好环境，大大提高了仔猪的成活率和健康水平，年出栏优质瘦肉型猪1万余头。

与燃煤发电方式相比，太阳能光伏发电设备显示了新能源环保又节能的巨大威力。该项目自去年10月23日并网发电以来，截止到3月22日，已发电240万度，节约燃煤903吨，减少二氧化碳排放2353.7吨，减少二氧化硫排放21.7吨，减少粉尘排放684吨，减少氮氧化物排放4.3吨。据公司技术人员介绍，太阳能设备一次性投资，长久受益。在20年经营期内，该设备累计发电量约2.4亿度，可节约燃煤8万吨，减少二氧化碳排放21万吨，总减排效益达8715万元。

省内最大住宅光电一体化工程完工
年发电80万千瓦时

本报讯3月24日讯（记者苏兰佳）今天，随着最后一块太阳能光伏板安装到源盛嘉禾住宅楼的墙上，省内最大的民用建筑光电一体化工程完工。

这项工程在高新区建设，28层至32层的8栋高楼立面（山墙）、屋顶上安装3356块光伏电板，面积8000平方米，总容量798千瓦，年发电80万千瓦时。此项目于2012年6月开工建设，光伏电板的发电即发即用，自发自用，将用于居住区内道路照明、景观灯等公用区域的用电上。

在项目现场看到，每座高楼的东西

立面，分列两排玻璃幕墙。源盛嘉禾项目部经理赵超超说，采取这种光伏系统与建筑一体化的方式，不仅使光伏发电降低成本，而且通过吸收太阳光，降低了楼体的表面温度，并具有美观装饰的作用。

据资料，当前全球太阳能光伏发电应用主要采用太阳能屋顶、光伏幕墙等光电建筑一体化模式。其中，屋顶太阳能光伏发电应用较为广泛。市发改委副主任尹绪龙说，目前，国内具有一定规模的民用建筑光电一体化工程还不多见，这一住宅光电建筑应用项目在全省规模最大。

光伏农业一体化项目主要业绩

大唐山东即墨高新区20MW屋顶光伏发电项目

(2011年金太阳示范工程集中连片项目)

——昌盛日电3MW生态农业大棚

项目地点：山东省即墨市

装机容量：3MW，19栋连栋棚

并网方式：10kV并网投运时间：2011年12月并网



光伏农业一体化项目主要业绩



中节能汉川农业科技大棚太阳能光伏并网发电项目

项目地点：湖北省汉川市

装机容量10MW， 54栋连栋棚， 4栋单栋棚

35kV并网， 2013年9月并网， 发电量900万kWh/年

大棚内主要种植食用菌、富硒茶叶

棚外空地发展绿化苗木与花卉种植



光伏农业一体化项目主要业绩



中节能临沂20兆瓦光伏农业科技大棚电站项目

项目地点：山东省临沂市

装机容量：20MW，71栋连栋棚，3栋单栋棚

并网方式：2回10kV并网

投运时间：2013年11月并网，发电量：2240万kWh/年

主要开发种植蓝莓、食用菌、蔬菜及高端苗木花卉



光伏农业一体化项目主要业绩



中节能招远蚕庄9.8MW太阳能光伏发电项目

项目地点：山东省招远市

装机容量：9.8MW，42栋养殖牛舍大棚

并网方式：35kV并网

投运时间：2013年10月并网，发电量：1194万kWh/年

棚内养殖肉牛



光伏农业一体化项目主要业绩



河北景冉石家庄岳村10兆瓦光伏农业大棚项目

项目地点：河北省石家庄市

装机容量：10MW，397栋单栋棚，2栋连栋棚

并网方式：10kV并网

投运时间：2014年8月并网，发电量：1180万kWh/年

棚内种植食用菌、蔬菜等



光伏农业一体化项目主要业绩

凯润昌黎200MWp光伏生态农业项目一期50MW

项目地点：河北省昌黎县

装机容量：50MW，397栋单排棚，2栋联栋大棚

并网方式：110kV并网

投运时间：在建，发电量：6100万kWh/年

种植有机蔬菜、食用菌、稀贵中草药、禽畜养殖等



光伏农业一体化项目主要业绩

规划设计中的：

临西县朗源一期30兆瓦光伏农业一体化项目

河北阳普巨鹿生态农业大棚一期50兆瓦项目

英利集团安国市光伏农业一体化30兆瓦项目

.....

交流和探讨3个问题

- 1 发展光伏农业一体化的优势
- 2 光伏农业一体化的结合型式
- 3 光伏农业一体化的设计特殊点

1

发展光伏农业一体化的优势

- 光伏农业一体化的优势：
 - 1) 土地利用优势：棚上光伏发电、棚下生态养殖、种植，提高了土地的综合利用率。
 - 2) 节能优势：光伏发电可就地消纳一部分，减少了输电线路上的损耗。
 - 3) 经济效益优势：发展规模化、集约化的设施农业，可实现低消耗、高效益、并且收益稳定、风险小，同时可申请农业扶持资金，光伏又可享受可再生能源电价补贴，项目整体经济效益高。
 - 4) 就业优势：设施农业可为失地农民提供二次就业机会，增加农民收入。
 - 5) 政策优势：为促进分布式光伏发电发展，能源局有意将利用光伏农业大棚项目纳入分布式项目管理，可执行光伏电站标杆电价，是项目备案和电网接入有利政策。

1

发展光伏农业一体化的必然性

- 6) 项目选址优势：地面电站每MW占地30-40亩，用地需求量大，利用建设用地不现实，只能选址于未利用地或农用地，然而，未利用地大多为荒山、荒坡、滩涂等，或地形较为复杂，或地质条件较差，增加了电站设计和建设难度。
- 在此背景之下，光伏农业一体化的建设思路应运而生，项目可选址于除基本农田以外的农用地，以土地经营权流转方式取得土地，**科学、合理、高效**的将设施农业和光伏发电结合，在不改变土地利用性质的前提下，实现光伏电站的建设，并能使二者相得益彰，和谐并行发展。



- 光伏农业大棚的两种分类方式：

- 一、按照结构分类

- 1) 光伏太阳能日光温室

- 2) 光伏太阳能连栋温室

- 二、按照遮光程度分类

- 1) 全遮光型

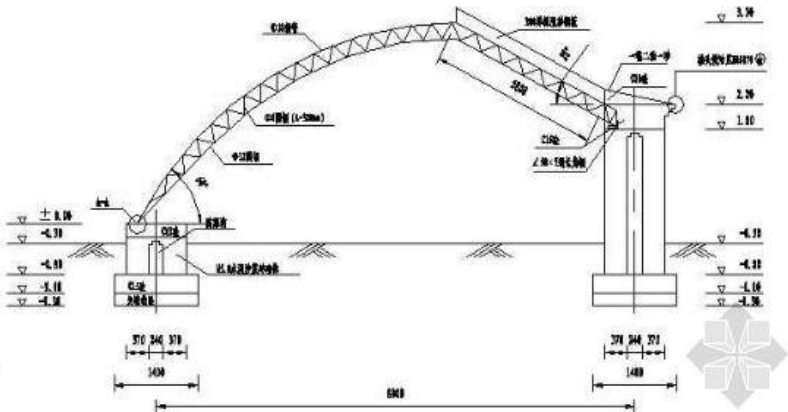
- 2) 部分遮光型

光伏农业一体化的结合型式

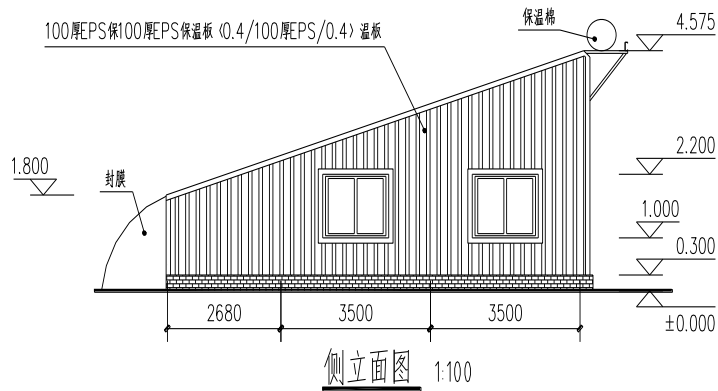
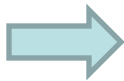
- 1) 光伏太阳能日光温室

• 基于北方地区应用较多的冬暖式日光温室进行设计，带有保温性能良好的东、西、北三面墙体，在采光面上安装有太阳能电池板。

采光面由拱坡改为平坡，倾角设计为15-20° 左右，塑料薄膜改为铺设电池板和透光玻璃。



传统的冬暖式日光温室

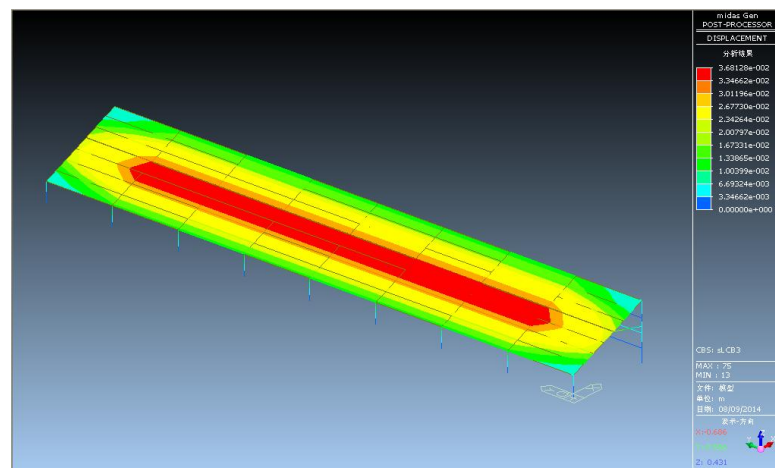
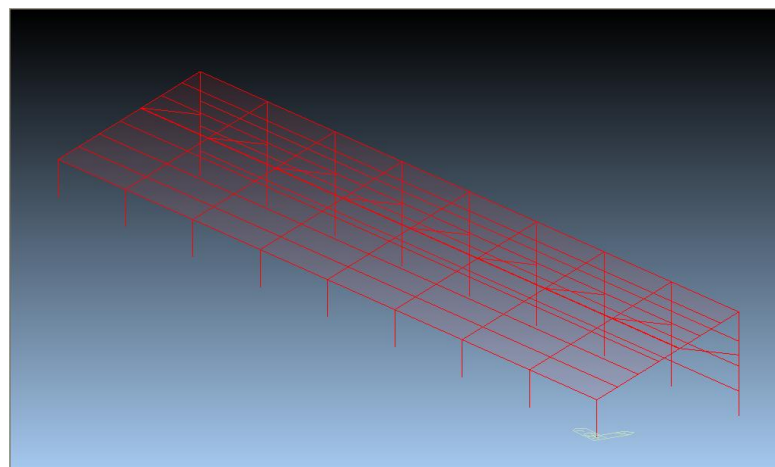
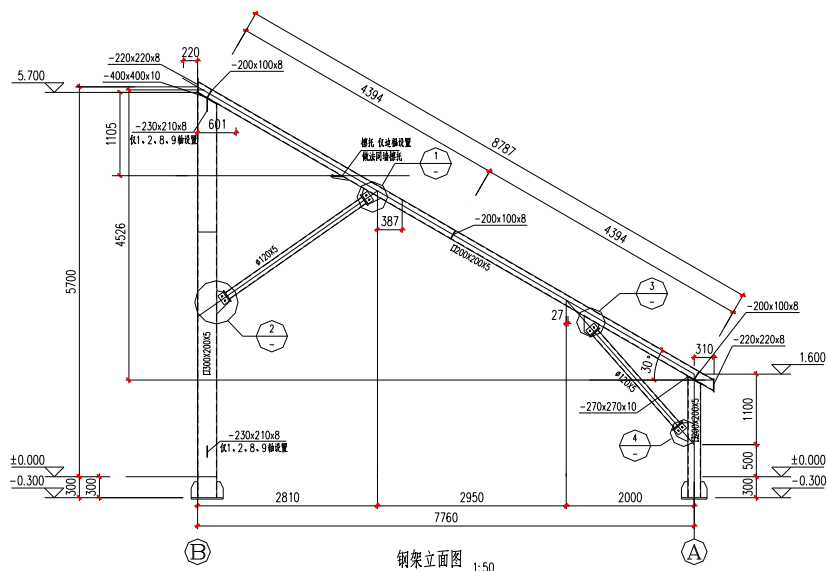


光伏太阳能日光温室

2

光伏农业一体化的结合型式

铺设电池板和透光玻璃后，屋面荷载增加。温室按门式刚架结构设计，屋面荷载由檩条、屋面梁、钢立柱传至基础。



2

光伏农业一体化的结合型式

- 1) 光伏太阳能日光温室
- 部分遮光型，适合建设在北方地区，春、冬季节白天光照强，夜间温度低，温室可以白天为植物遮挡过强的光照，夜间在良好的墙体保温条件下，为植物提供安全的温度，创造更好的植物生长环境，适宜种植一些不太需要高温、强光的叶菜作物。



部分遮光型

2

光伏农业一体化的结合型式

- 1) 光伏太阳能日光温室
- 全遮光型，温室内部几乎没有光照，温度变化较为平衡，种植项目首选那些基本不需要阳光的，如平菇、金针菇、白灵菇、香菇等食用菌品种，其次选择适合弱光的，如三七、人参、西洋参等药材。



全遮光型

2

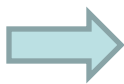
光伏农业一体化的结合型式

• 2) 光伏太阳能连栋温室

- 基于传统的连栋温室进行设计，在屋顶每跨向阳面安装有光伏太阳能电池板，墙体透明，以薄膜、玻璃或阳光板为墙体材料，保温性能相对较差。
- 屋面由双拱坡改为双平坡，南坡倾角设计为 $15-20^{\circ}$ 左右，单跨控制在10m以内，南坡塑料薄膜改为铺设电池板和透光玻璃，北坡仍采用塑料薄膜。



传统的连栋温室



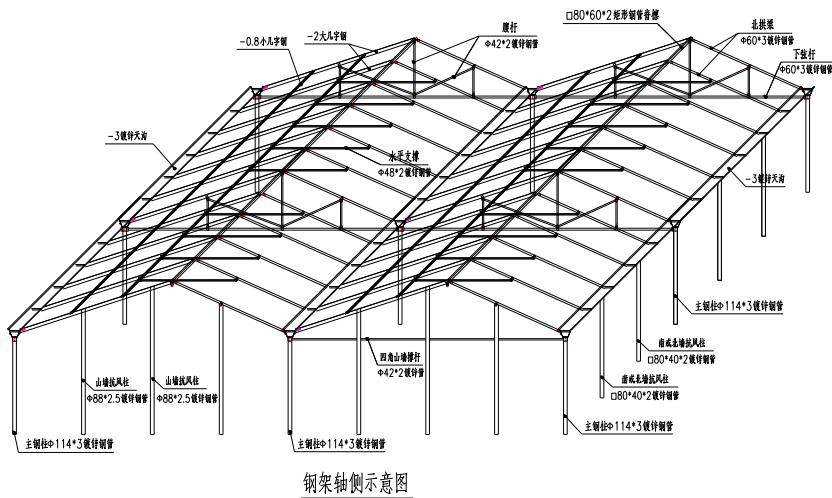
光伏太阳能连栋温室

光伏农业一体化的结合型式

- 2) 光伏太阳能连栋温室

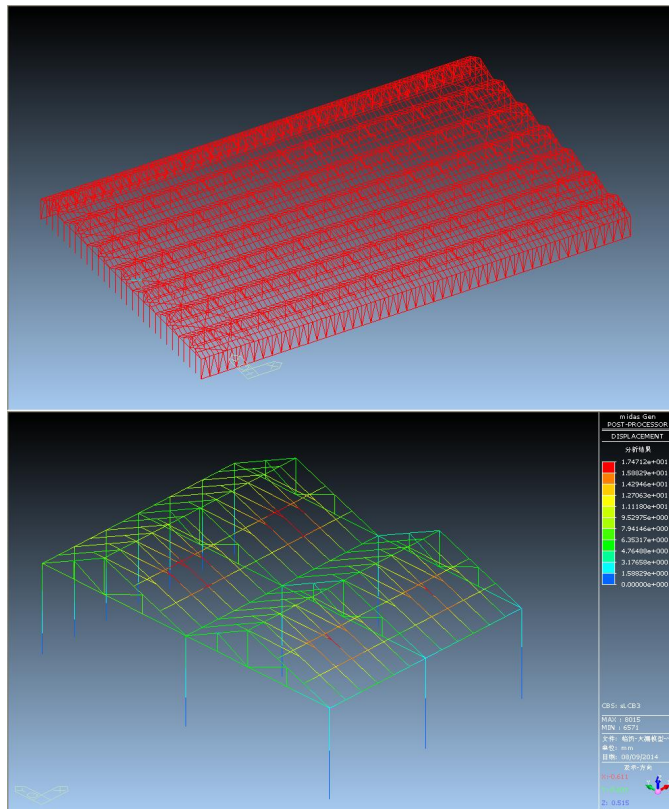
温室主要受力构件为三角形钢屋架、屋面檩条、天沟和钢柱。屋面荷载通过拱架或屋架传到天沟，再由天沟传至钢立柱，最终传至基础。天沟采用U型截面，天沟除担负排水作用外，也作为钢梁承担结构受力。

结构加固后比原塑料大棚抗风增强。



钢架轴侧示意图

光伏太阳能连栋温室结构



2

光伏农业一体化的结合型式

• 2) 光伏太阳能连栋温室

- 连栋温室大多数设计为部分遮光型，适合建设在中、低纬度地区，一年四季的温度和光照强度变化都较小，日照充足，昼夜温度都比较高。

采用了双玻晶硅组件，可以使室内的光照更均匀，接近或达到无阴影效果，更利于温室内植物生长。



部分遮光型-非晶硅薄膜组件

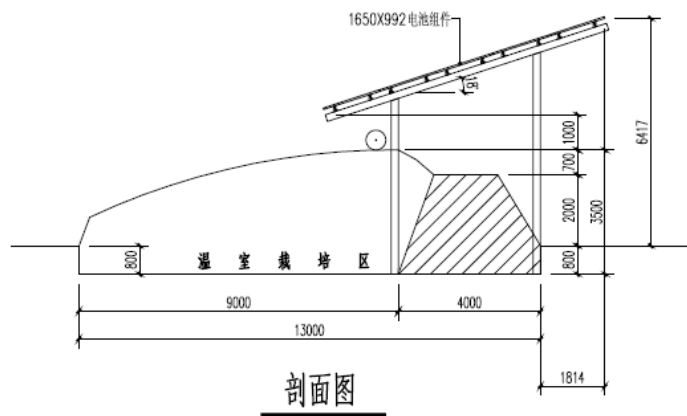


部分遮光型-双玻晶硅组件

2

光伏农业一体化的结合型式

- 光伏发电与农业结合的其它型式：
- 一、太阳能电池板放置在日光温室的后墙顶上
- 这种型式对大棚采光和原种植方式不产生影响，但需在设计时考虑光伏阵列的附加荷载和结构加固方式。同时，为了保证后部大棚的合理采光，间距会相应增大，电池板倾角不宜过大。
- 这种型式光伏和大棚的结合程度不高，一定程度上增加了占地。

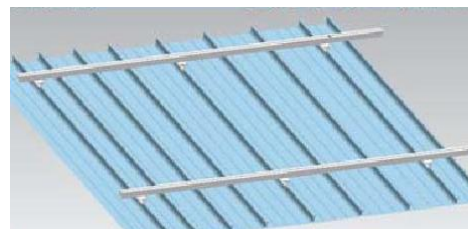
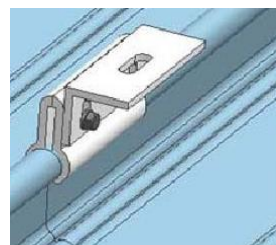


2

光伏农业一体化的结合型式

二、光伏发电与大棚养殖的结合

禽畜养殖棚多采用门式钢架结构，由钢立柱，横向钢梁，屋面檩条构成，屋顶覆盖材料多为彩钢保温复合板。结构型式上，与常见的工业厂房的钢结构型式一致。如果在养殖棚结构设计之初，将附加的电池板荷载考虑进去，沿屋顶光伏组件平行铺设光伏组件，采用利用夹具与彩钢瓦肋边固定，也就构成一座屋顶电站。并且，一些养殖暖棚冬季采暖用电负荷也较大，有利于光伏发电就地消纳。



3

光伏农业大棚有哪些型式



- 在保温性能要求不高时，光伏组件也可直接做棚顶围护结构，与屋面檩条通过压板固定，组件之间缝隙采用密封条及结构胶做防水处理。

3

光伏农业一体化的设计特殊点

1、对光伏组件的选型要求

- 农业大棚上应用的光伏组件主要型式有：
 - 1) 薄膜光伏组件——组件本身具有一定光线透过性，用于全遮光棚、部分遮光棚，适宜种植弱光或中等喜光品种；
 - 2) 晶硅双玻组件——封装电池片间有一定间隔，用于连栋温室上，室内光照更均匀，适宜种植喜光品种；
 - 3) 晶硅铝合金边框组件——完全不透光，适宜种植喜阴品种。

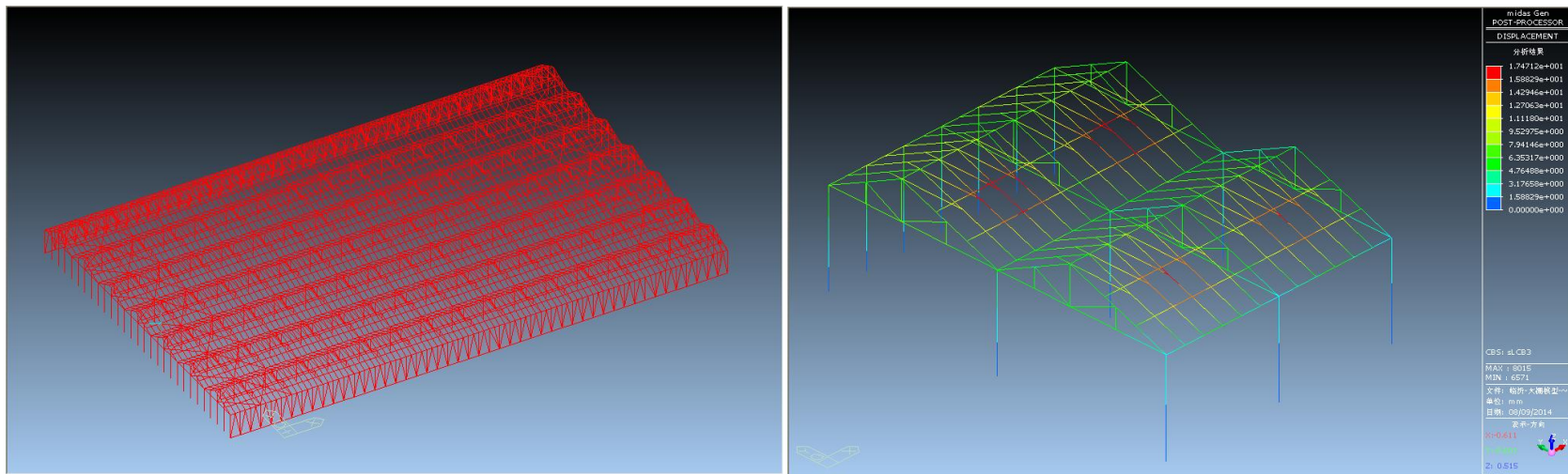


3

光伏农业一体化的设计特殊点

2、大棚结构设计的特殊性

光伏组件替换了塑料薄膜，导致结构承担荷载增加，在结构设计时，应进行建模计算，分析构件受力，在满足结构安全、25年使用寿命的条件下，尽量采用轻型钢材，如冷弯薄壁卷边槽钢、Z型钢、几字钢等，降低结构用钢量、控制成本。



3

光伏农业一体化的设计特殊点

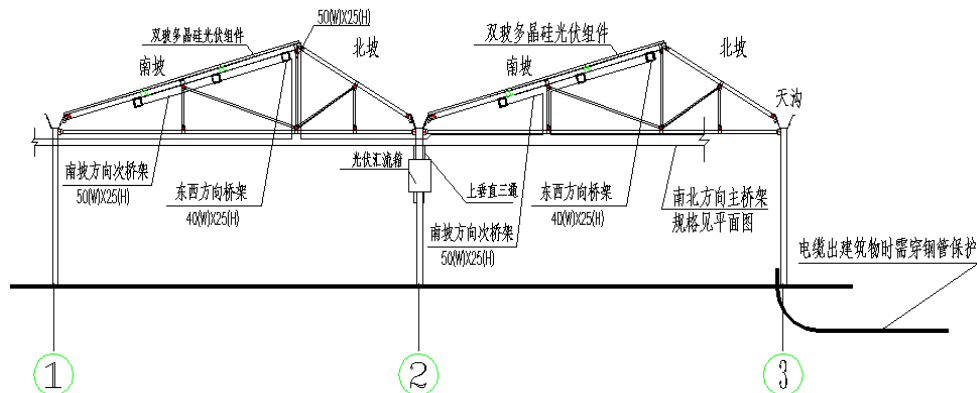
3、大棚内高湿环境的特殊性

大棚内湿度一般60%以上，在钢构表面、大棚膜面易冷凝、结露。这种高湿环境对钢结构本体存在腐蚀，对布置在大棚内的光伏组件、接线盒、电缆、桥架、汇流箱等的安全稳定运行存在隐患，如降低设备绝缘强度、造成导电金属或电路板腐蚀、降低使用寿命、造成电气短路故障等，尤其是光伏组件。

采用内天沟设计可集中收集冷凝露水。



高湿环境



3

光伏农业一体化的设计特殊点

4、大棚工艺设计与光伏电站设计应统筹考虑

- 1) 在科技化农业大棚内一般会设置温控、湿控装置，设置喷水滴灌系统、机械通风系统，有时需设置农机设施运行的滑轨，或农机进入大棚作业，大棚首先应满足农业工艺条件，并考虑为附加光伏发电创造有利条件。
- 2) 安装在棚顶的光伏组件，一般高度在2.7m~4.5m，进行安装、维护或更换难度大，组件、汇流箱、汇流电缆等发生故障时，人工巡检难度较大，难以及时发现。
- 3) 考虑到组件清洗和检修通道的设置。一般可利用大棚的天沟做为工作人员的通行走道。可在天沟附近设置取水口，由给水管道引至天沟顶面，接软管和水枪进行清洗。



3

光伏农业一体化的设计特殊点

5、光伏组件安装倾角设计的特殊性

设计温室采光面时，光线入射角度不宜选取过大，过大会造成温室的脊高过高，结构不合理。同时，根据光线反射原理，光线入射角从 90° 降到 50° 时，透过采光面的光量下降不明显。日光温室的设计中要求大于或等于 50° ，便满足采光需求。

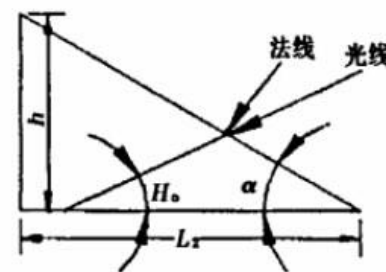
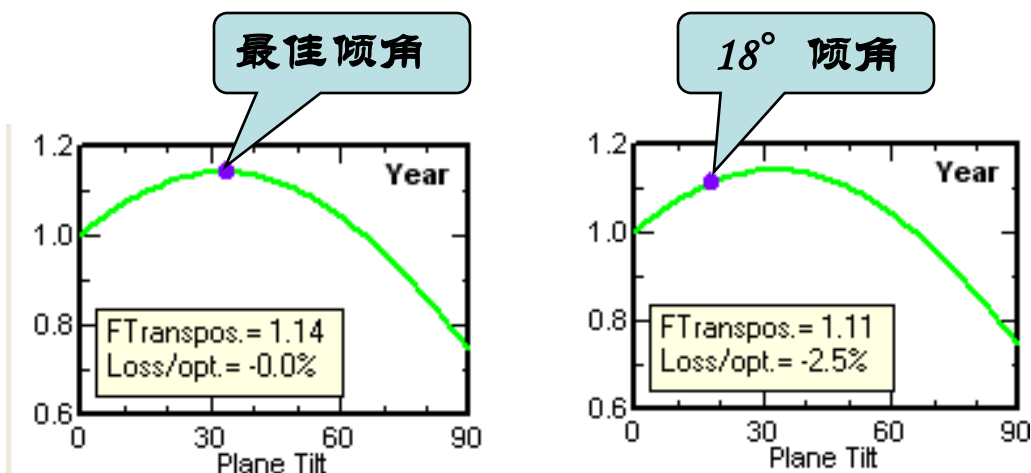


图2 光线投射角、法线和太阳高度角之间关系

$$\alpha = \varphi - (-23.5^\circ) - 40$$

式中： φ 为当地地理纬度， -23.5° 为冬至日赤纬。

3

光伏农业一体化的设计特殊点

6、光伏农业大棚不易实现1MW标准化设计

地面电站基本上是以1MW型式的单元，进行模块化设计，系统方案成熟，定型设备、可靠，小的光伏阵列在场区内排布、调整灵活。相比，光伏农业大棚实现1MW模块化设计，难度较高。



3

光伏农业一体化的设计特殊点

7、光伏发电系统型式多样

选用光伏组件型号不同

薄膜组件发电系统

电压大，电流小，串联少，并联路数多，须二级汇流

晶硅组件发电系统

电压小，串联多，并联路数少，一级汇流

组件在坡面上排布方案不同

· 组件串接线方式各异

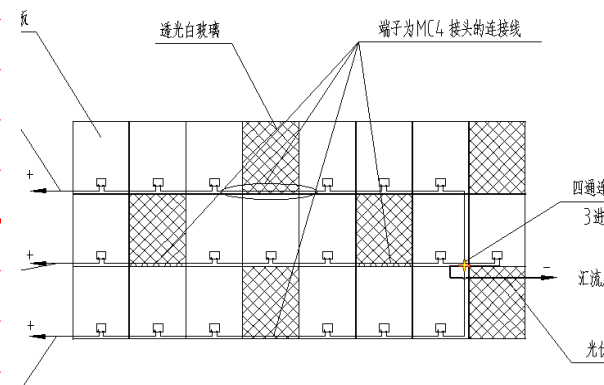
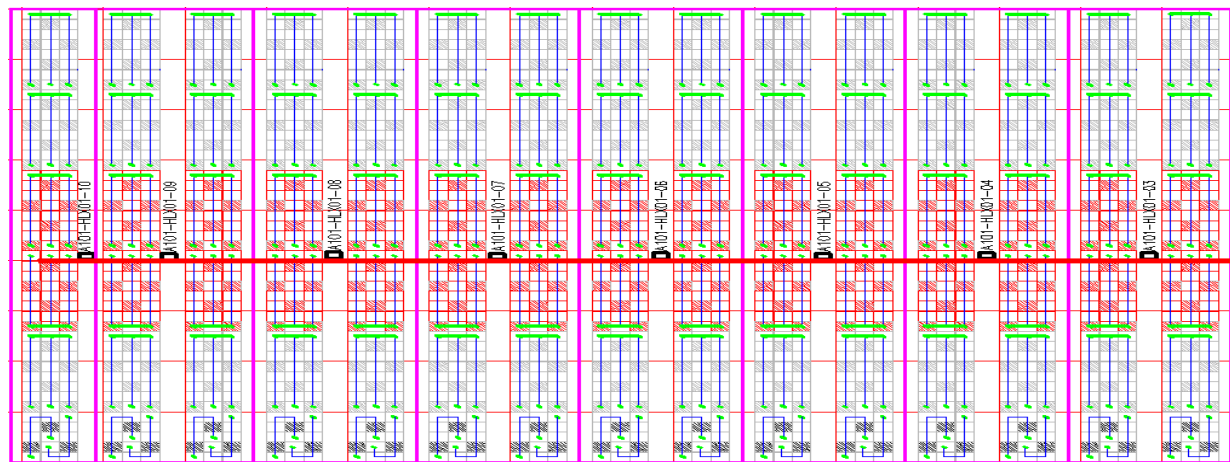
大棚型式不同

· 大棚内的汇流电缆敷设方式、路径、汇流箱安装位置方式各异

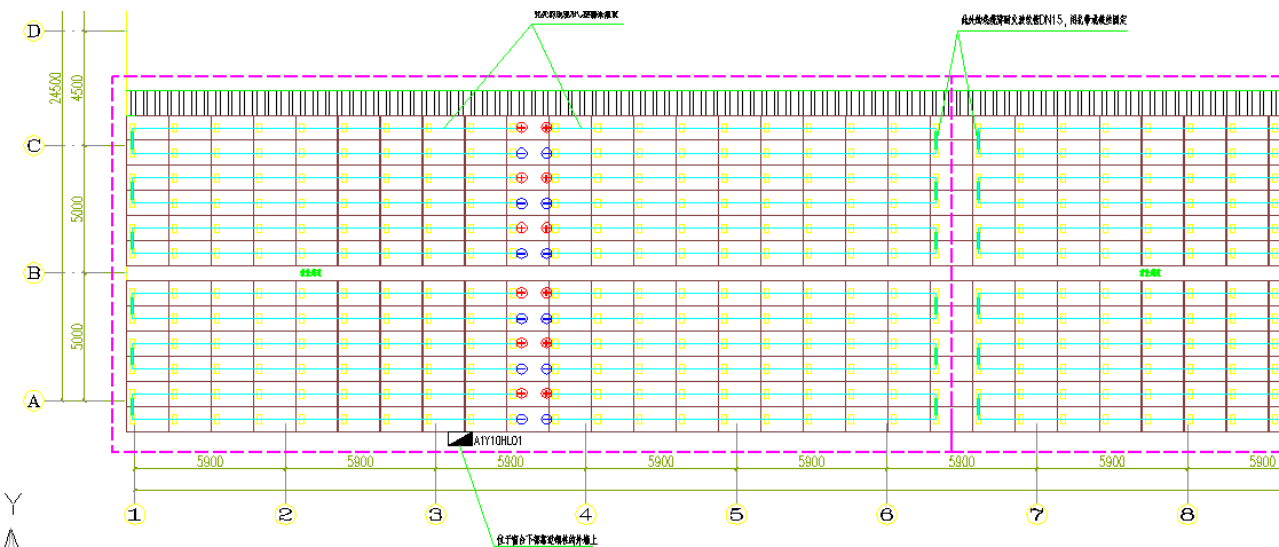
单个棚系统容量大小一致

· 容量大的考虑用集中型逆变器，容量小的可考虑利用组串型逆变器，与大棚安装容量匹配

薄膜组件发电系统、部分遮光棚

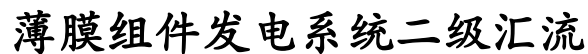
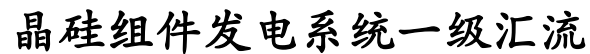


双玻晶硅发电系统、坡面满铺



组件串接线方式各异

此2台汇流箱布置在渠8号牛舍外墙上



3

光伏农业一体化的设计特殊点

8、总图布置应注意的问题

光伏农业一体化项目一般集合了设施农业、观光旅游、光伏发电的功能，在总平面规划设计时，除要考虑发电工艺合理需求外，还应关注合理布置农业生产工艺流程、关注实现观光、旅游、示范功能，在功能区划分、道路规划、人流、物流组织等方面进行统筹考虑。



结语

- 以上是我们从事光伏电站设计工作中的一些设计经验总结，观点不妥之处，恳请各位专家、同行批评指正。
- 我们也同样期盼着能与各位业内同行有更深的交流和合作机会，谢谢！



河北能源工程设计有限公司

HeBei Energy Engineering Design Co., Ltd.