

盈建科光伏支架结构设计软件

Y-PV 用户手册

北京盈建科软件股份有限公司

2023.11

目 录

第一章 软件主要功能	3
一、软件主要功能	3
第二章 软件操作流程	3
一、软件主要操作流程	3
1.模型输入	3
2.上部结构计算	4
3.钢结构施工图	9
4.基础设计	9
5.基础施工图	10
第三章 各菜单及操作说明	11
一、模型荷载输入	11
1.参数化建模	11
2.组件	38
3.模型修改	39
4.工况设置	40
5.恒载 活载	40
6.删除	41
7.轴线生成	41
8.显示查询	41
9.工具	42
10.检查	43
11.工程修复	43
12.地质资料	43
13.工作树分组	44
二、任意支架建模	45
1.参照楼层	45
2.网格输入	45
3.修改	48
4.模型补充输入	48
5.删除	49
6.组件布置	49
三、前处理及计算	53
1.计算参数	53
2.特殊构件	56

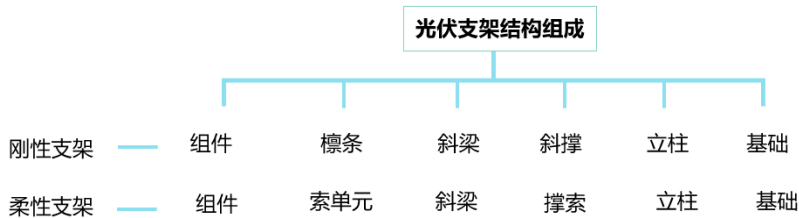
3.计算长度	56
4.梁面外长度	56
5.计算简图	57
6.执行上部结构计算.....	58
四、设计结果查看	58
1.三维显示	58
2.光伏支架计算书.....	59
3.构件信息	60
4.构件详细计算书.....	60
5.混凝土基础块	61
6.索挠度图	62
7.初始态结果	63
五、钢结构施工图.....	64
1.钢结构施工图操作流程.....	64
2.导入参数	65
3.全局参数	65
4.节点设置	66
5.节点设计	66
6.计算书	66
7.平立面图	66
8.材料统计	67
8.抱箍节点计算	68
六、基础设计.....	78
1.基础设计	78
2.上部荷载	78
3.桩承载力验算	78
七、基础施工图.....	78
1.重新读取	79
2.新绘底图	79
3.桩	79
4.修改钢筋	79
5.剖面图	79
6.桩位图	80
参考文献	81

第一章 软件主要功能

一、软件主要功能

盈建科光伏支架结构设计软件可适用于刚性光伏支架、柔性光伏支架和铝合金支架设计。

程序依据现行规范标准的要求，模型输入采用参数化快速建模方式，计算在原有操作平台及核心算法基础上按空间结构进行内力分析，柔性支架进行非线性分析，构件设计提供详细验算过程输出的计算书，构件的连接节点按照现行标准自动验算，展示精准的三维模型，一键生成光伏支架施工图，基础接力上部结构自动设计。



第二章 软件操作流程

一、软件主要操作流程

1.模型输入

(1) .计算参数

计算参数中修改计算设计信息和构件材料信息。

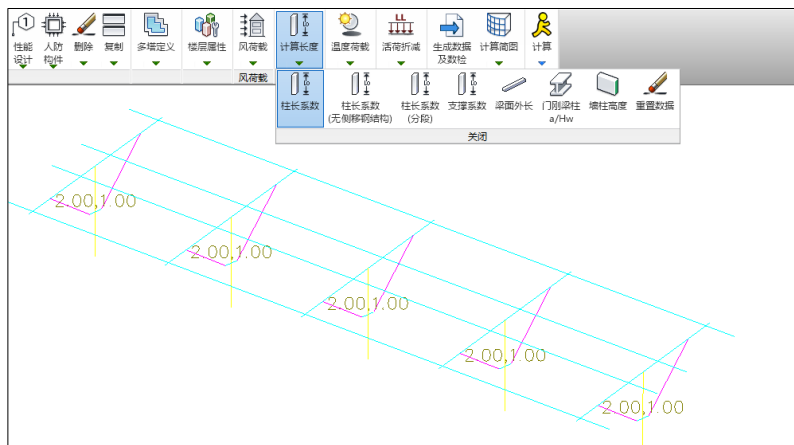


计算设计信息包括结构设计信息和构件材料信息。结构重要性系数修改后程序计算荷载组合时读取组合表的荷载工况组合系数会乘以结构重要性系数。荷载信息包括恒载、活载、雪荷载和风荷载信息的修改。

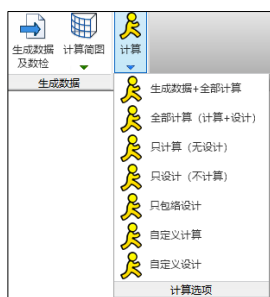
通过特殊柱、特殊梁和特殊支撑查看程序自动默认的构件连接关系，程序按照《光伏支架结构设计规程》所给支架形式已自动设置连接属性。

2) 计算长度

光伏支架柱长系数程序执行《光伏支架结构设计规程》第 6.2 节和附录 C 要求自动计算支架柱长系数，同时可通过交互修改数值指定柱长系数。



3) 执行上部结构计算

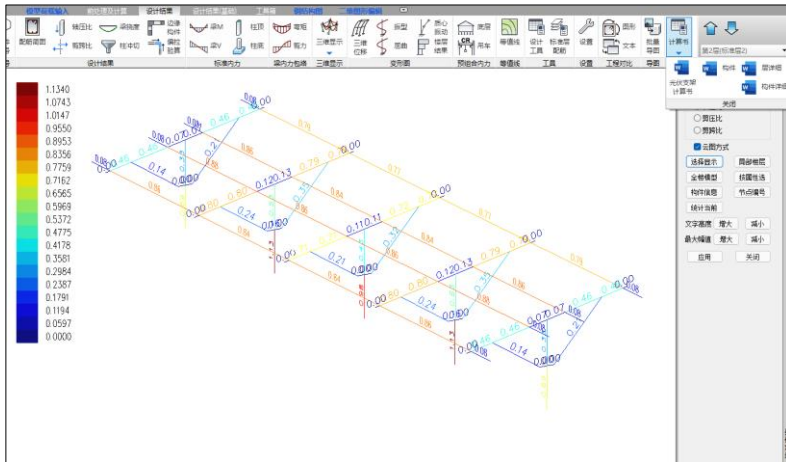


前处理数据指定完成后，即可进行结构内力计算与构件设计。

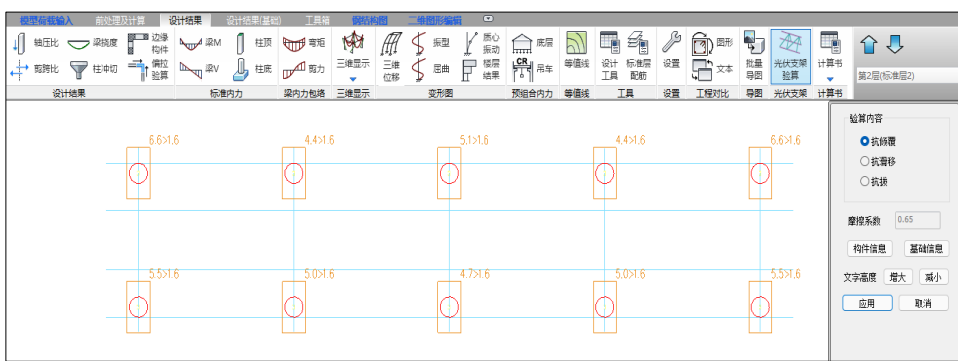
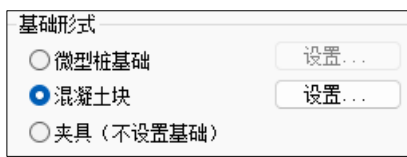
4) 设计结果查看

构件设计，光伏支架结构构件验算程序依据《光伏支架结构设计规程》进行强度、稳定和局部稳定计算，冷弯薄壁型构件依据现行国家规范《冷弯薄壁型钢结构技术规范》有关规定进行支架柱、支架斜梁、斜撑以及檩条构件设计。构件设计结果输出提供应力简图和文本结果两种方式，同时提供详细的构件验算计算书，输出构件设计依据规范计算公式、构件截面特性、计算过程、计算结果和超限提示。

通过三维显示查看应力云图，通过计算书菜单查看详细计算书结果。



当基础为混凝土块形式时，程序依据《太阳能发电站支架基础技术规范》第 5.3 节要求进行基础的抗倾覆稳定性验算、抗拔稳定性验算和抗滑移稳定性验算并提供详细文本结果输出。

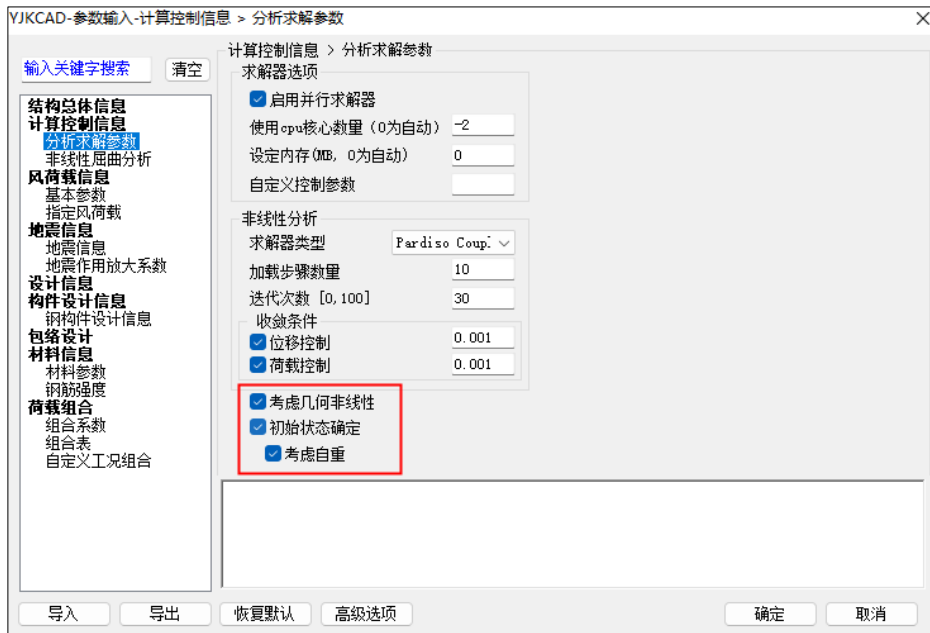


(2) .柔性支架

1) 计算参数

索结构分析应考虑几何非线性影响，由于力和位移呈非线性关系，所以结构效应不

能采用叠加原理，只能采用增量迭代加载方式分析。程序采用的经典非线性分析迭代算法：牛顿-拉普森迭代法。



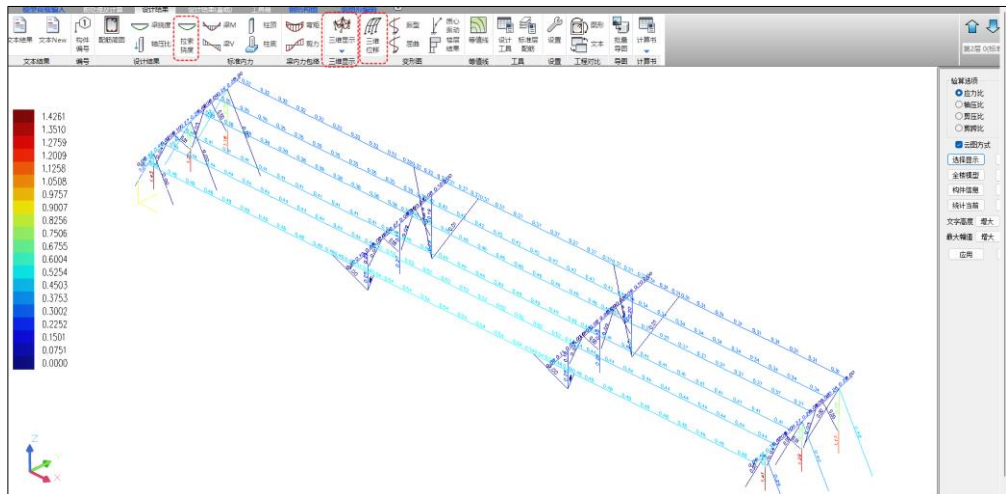
组合表中需要勾选非线性选项及采用自定义组合，“采用自定义组合”意为荷载工况组合方式为“组合表”菜单中自定义的组合方式，勾选该参数方可修改组合表中的各个分项系数。在非线性分析中，需要先组合荷载，再进行内力分析，比如计算恒+活的组合效应，我们首先将恒载荷载和活载荷载组合，然后进行非线性分析。组合表中预拉力工况自动与恒、活、风荷载组合，再进行内力分析。

需要指出的是，由于地震通用方法是振型分解反应谱法，因此程序对含地震组合的效应按下面的方法处理：首先单独计算地震作用效应；其次组合除地震作用外的其他荷载工况；然后非线性计算除地震效应外的组合效应；最后非线性组合计算叠加地震效应；



2) 设计结果

设计结果模块分别查看柔性支架索的三维位移、三维内力、三维应力云图和三维挠度图，并可以构件信息单击索构件查看文本结果输出。



构件信息输出非线性组合工况详细信息。

```

donMemIn.out - 记事本
文件 编辑 查看
二、结构内力信息
EX -- X方向地震作用下的标准内力
EY -- Y方向地震作用下的标准内力
+Wx -- X方向风荷载作用下的标准内力
-WX -- X方向风荷载作用下的标准内力
+WY -- Y方向风荷载作用下的标准内力
-WY -- Y方向风荷载作用下的标准内力
DL -- 恒载作用下的标准内力
PRET -- 预紧力作用下的标准内力
LL -- 活载作用下的标准内力
雪荷载均匀分布 -- 固定工况
FUNDATION_1 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载)
FUNDATION_2 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载+0.90X)
FUNDATION_3 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载)
FUNDATION_4 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载+0.90Y)
FUNDATION_5 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载)
FUNDATION_6 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载+0.90X)
FUNDATION_7 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载+0.90Y)
FUNDATION_8 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载)
FUNDATION_9 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载+0.90X)
FUNDATION_10 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载+0.90Y)
FUNDATION_11 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载+0.65活载+0.65雪荷载均匀分布+1.400地震)
FUNDATION_12 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载+0.65活载+0.65雪荷载均匀分布+1.400地震)
FUNDATION_13 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载+0.90X)
FUNDATION_14 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载+0.90Y)
FUNDATION_15 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载+0.90X)
FUNDATION_16 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载+0.90Y)
FUNDATION_17 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.05活载+1.50X)
FUNDATION_18 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.05活载+1.50Y)
FUNDATION_19 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.05活载+1.50X)
FUNDATION_20 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.05活载+1.50Y)

```

```

FUNDATION_20 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.05活载+0.90X)
FUNDATION_21 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.05活载+0.90Y)
FUNDATION_22 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.05活载+0.90X)
FUNDATION_23 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.05活载+0.90Y)
FUNDATION_24 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+1.50活载)
FUNDATION_25 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载)
FUNDATION_26 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载)
FUNDATION_27 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载)
FUNDATION_28 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载)
FUNDATION_29 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载+0.90X)
FUNDATION_30 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载+0.90Y)
FUNDATION_31 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载+0.90X)
FUNDATION_32 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载+0.90Y)
FUNDATION_33 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载+0.90X)
FUNDATION_34 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载+0.90Y)
FUNDATION_35 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载+0.90Y)
FUNDATION_36 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.50活载+0.90Y)
FUNDATION_37 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.05活载+1.50X)
FUNDATION_38 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.05活载+1.50Y)
FUNDATION_39 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.05活载+1.50X)
FUNDATION_40 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.05活载+1.50Y)
FUNDATION_41 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.05活载+1.50X)
FUNDATION_42 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.05活载+1.50Y)
FUNDATION_43 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.05活载+1.50Y)
FUNDATION_44 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+1.05活载+1.50Y)
FUNDATION_45 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+0.65活载+0.65雪荷载均匀分布+1.400地震)
FUNDATION_46 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+0.65活载+0.65雪荷载均匀分布+1.400地震)
FUNDATION_47 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+0.65活载+0.65雪荷载均匀分布+1.400地震)
FUNDATION_48 -- 非线性工况 (1.30恒载+1.30索预张力+0.65活载+0.65雪荷载均匀分布+1.400地震)
FUNDATION_49 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+0.50活载+0.50雪荷载均匀分布+1.400地震)
FUNDATION_50 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+0.50活载+0.50雪荷载均匀分布+1.400地震)
FUNDATION_51 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+0.50活载+0.50雪荷载均匀分布+1.400地震)
FUNDATION_52 -- 非线性工况 (1.00恒载+1.00索预张力+0.50活载+0.50雪荷载均匀分布+1.400地震)

```

索的承载力验算按照《索结构技术规程》第 5.6 节索截面计算进行设计和输出文本结果。

```

donMemIn.out - 记事本
文件 编辑 查看
三、构件设计验算信息
brc --- 薄壁圆筒调整系数, 大于1时输出
jzxjzjy --- X、Y向最小刚度调整系数, 大于1时输出
jzy --- 竖向地震作用调整系数, 大于1时输出
02x02yzy --- X、Y向0.2V0调整系数, 大于1时输出
zh --- 水平转换构件地震作用调整系数, 大于1时输出
xjc --- 消防车荷载折减系数
livec --- 柱、墙活荷载按楼层折减系数
kzxx,kzzy --- 框支柱地震作用调整系数
kzzn --- 转换柱轴力调整系数
zcn --- 嵌合支柱轴力调整系数
vcocexvcocy --- 柱剪力系数, 在特殊构件中定义, 大于1时输出
cq --- 柱中验算时不平衡弯矩地放大系数
zps --- 装配式结构中竖向地震内力放大系数
zpsam --- 预制构件按经验时的受弯承载力增大系数
nmu,nym,nmd,nyd --- 柱、墙顶、底的强柱弱梁、强剪弱弯调整系数
Omega --- 性能系数
Omin --- 耗能构件性能系数最小值
beta --- 性能系数的调整系数
N-G=113 (I=2000131, J=2000132)(3)Dr(mm)=20
Cx=1.00 Cy=1.00 Lgx=1.15(m) Lgy=1.15(m) Nfg=1 Nfg_gz=0 [Rsc=1570(刚强线)]
圆形 两端铰接
livec=1.000
(13)N= 149.996 -- Nu= 246.615
抗剪承载力: CB_XF= 0.00 CB_YF= 0.00

```

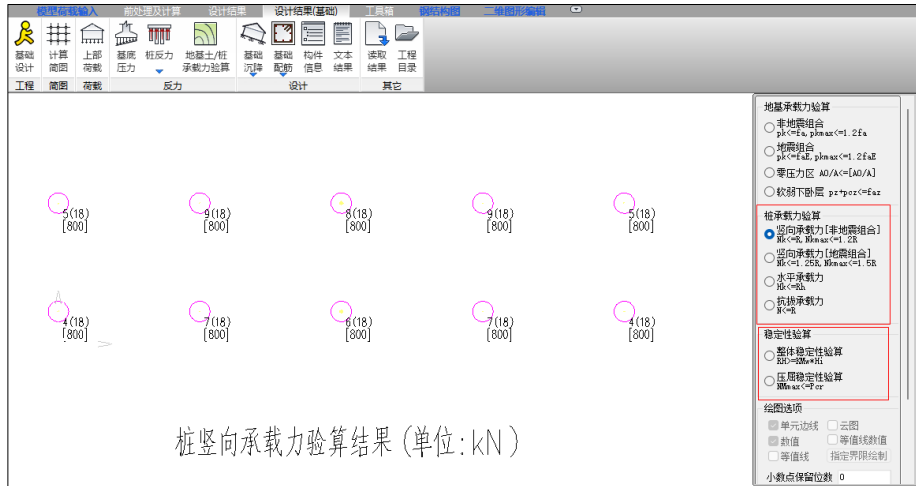
组合号	DL	PRET	LL	雪荷载均匀分布	+WX	-WX	+WY	-WY	EX
1	1.30	1.30	1.50	--	--	--	--	--	非线性1
1	1.30	1.30	--	1.50	--	--	--	--	非线性2
2	1.00	1.00	1.50	--	--	--	--	--	非线性3
2	1.00	1.00	--	1.50	--	--	--	--	非线性4
3	1.30	1.30	--	--	1.50	--	--	--	非线性5
4	1.30	1.30	--	--	--	1.50	--	--	非线性6
5	1.30	1.30	--	--	--	--	1.50	--	非线性7
6	1.30	1.30	--	--	--	--	--	1.50	非线性8
7	1.30	1.30	1.50	--	0.90	--	--	--	非线性9
7	1.30	1.30	--	--	1.50	0.90	--	--	非线性10
8	1.30	1.30	1.50	--	--	0.90	--	--	非线性11
8	1.30	1.30	--	--	--	0.90	--	--	非线性12
9	1.30	1.30	1.50	--	--	--	0.90	--	非线性13
9	1.30	1.30	--	--	--	--	1.50	--	非线性14
10	1.30	1.30	1.50	--	--	--	--	0.90	非线性15
10	1.30	1.30	--	--	--	--	--	1.50	非线性16
11	1.30	1.30	1.05	--	1.50	--	--	--	非线性17
11	1.30	1.30	--	--	1.05	1.50	--	--	非线性18
12	1.30	1.30	1.05	--	--	1.50	--	--	非线性19
12	1.30	1.30	--	--	1.05	--	1.50	--	非线性20
13	1.30	1.30	1.05	--	--	--	1.50	--	非线性21
14	1.30	1.30	1.05	--	1.05	--	--	1.50	非线性22
14	1.30	1.30	--	--	1.05	--	--	1.50	非线性23
15	1.00	1.00	--	--	1.50	--	--	--	非线性24
15	1.00	1.00	--	--	--	1.50	--	--	非线性25
16	1.00	1.00	--	--	--	1.50	--	--	非线性26
17	1.00	1.00	--	--	--	--	1.50	--	非线性27
18	1.00	1.00	--	--	--	--	--	1.50	非线性28
19	1.00	1.00	1.50	--	0.90	--	--	--	非线性29
19	1.00	1.00	--	--	1.50	0.90	--	--	非线性30
20	1.00	1.00	1.50	--	--	0.90	--	--	非线性31
20	1.00	1.00	--	--	--	0.90	--	--	非线性32
21	1.00	1.00	1.50	--	--	--	0.90	--	非线性33

3.钢结构施工图

钢结构施工图针对刚性光伏支架的连接节点和施工图，节点设计执行《光伏支架结构设计规程》等现行规范标准要求验算节点承载力、连接焊缝和螺栓强度等。施工图程序自动绘制图纸目录、设计总说明、光伏组件布置图、支架结构布置图、支架横向立面布置图、支架纵向立面布置图、节点详图等全套施工图纸。支架材料统计程序按照规格、长度、数量、重量、材质等一键生成汇总统计表。

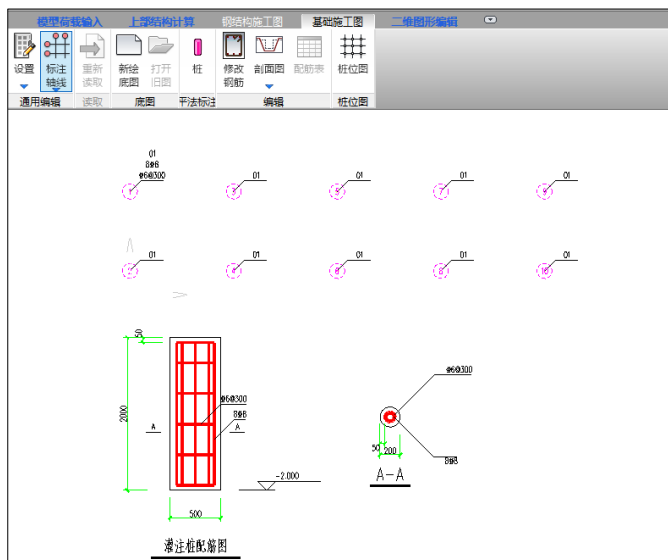
4.基础设计

桩基基础，程序依据《光伏支架结构设计规程》第 8.3 节要求进行微型桩承载力验算包括竖向承载力计算、水平承载力计算和抗拔承载力计算，进行微型桩稳定性验算包括整体稳定性验算和压屈稳定性验算。



5.基础施工图

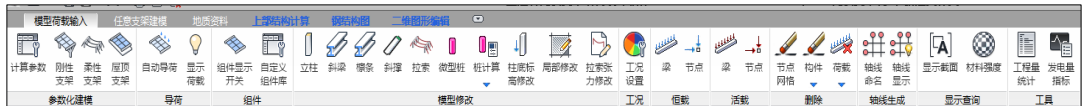
基础施工图绘制桩基剖面图和桩基定位图。



第三章 各菜单及操作说明

一、模型荷载输入

模型荷载输入模块用于参数化快速建模、荷载自动导荷、组件库管理、交互修改构件截面尺寸、材料强度指定、工程量统计等功能。



1. 参数化建模

快速建模用于参数化建模，计算参数修改、荷载导荷和荷载显示。



(1) .计算参数

计算参数用于修改计算设计信息和构件材料信息。



光伏支架设计信息：

计算设计信息包括结构重要性系数和荷载信息。结构重要性系数修改后程序计算荷载组合时读取组合表的荷载工况组合系数会乘以结构重要性系数，荷载信息包括恒载、活载、雪荷载和风荷载信息的修改。

构件材料信息用于整体支架构件材料的修改，注意在建立参数化模型之前首先要进行构件材料等级修改，然后再进行参数化模型的输入，如果先建立模型再进行构件材料等级修改时可以用“材料强度”菜单功能进行构件材料等级修改。

活荷载、雪荷载

当活载和雪荷载同时存在时，程序会自动默认普通活荷载与雪荷载互斥，在荷载显示结果中只显示最不利的荷载工况数值。

基本雪压，程序给出 25 年重现期基本雪压和 50 年重现期基本雪压的填写，并给出“自动计算”工具，点击“自动计算”分别填写 10 年和 100 年一遇基本雪压值，程序依据《荷载规范》第 E.3.4 条和表 E.5 的 10 年和 100 年的雪压值，自动计算出 25 年和 50 年的基本雪压值。填写坡面角度值，程序会自动计算出积雪分布系数。

雪荷载	
支架按25年重现期, 基础按50年重现期	▼
基本雪压 S_0 (25年一遇, kN/m^2)	0.2
基本雪压 S_0 (50年一遇, kN/m^2)	0.3
积雪分布系数 μ_r	1
<input checked="" type="checkbox"/> 普通活荷载与雪荷载互斥	自动计算

雪荷载程序提供支架和基础分别计算重现期选项，分别为：支架按 25 年重现期、基础按 50 年重现期，支架和基础都按 25 年重现期，支架和基础都按 50 年重现期。

当选择支架按 25 年重现期、基础按 50 年重现期，程序在计算光伏支架主结构时，采用 25 年一遇基本雪压数值；在计算光伏支架基础时，采用 50 年一遇基本雪压数值，根据 50 年一遇与 25 年一遇雪压比值对基础设计时的雪荷载工况内力放大。当选择支架和基础都按 25 年重现期时，程序对于支架和基础均按 25 年一遇基本雪压计算。当选择支架和基础都按 50 年重现期时，程序对于支架和基础均按 50 年一遇基本雪压计算。。

风荷载

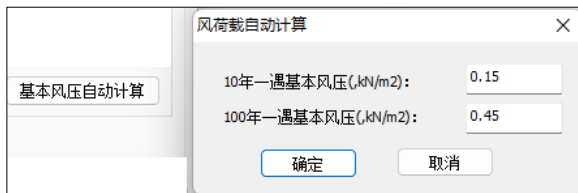
体型系数计算采用	光伏电站设计规范 ▼
	光伏电站结构设计规程
	光伏电站设计规范

体型系数计算采用，程序可选择《光伏支架结构设计规程》和《光伏电站设计规范》两本规范。《光伏支架结构设计规程》第 4.1.3 条的横向风体型系数和第 4.1.4 条的纵向风荷载规定取值。《光伏电站设计规范》第 6.8.7 条风荷载体型系数 1.3 取值。

风荷载	
体型系数计算采用	光伏电站设计规范 ▼
支架按25年重现期, 基础按50年重现期	▼
支架按25年重现期, 基础按50年重现期	▼
支架和基础都按25年重现期	▼
支架和基础都按50年重现期	▼
基本风压(25年一遇, kN/m^2)	0.1
基本风压(50年一遇, kN/m^2)	0.3

基本风压，程序提供支架和基础分别计算重现期选项，分别为：支架按 25 年重现期、基础按 50 年重现期，支架和基础都按 25 年重现期，支架和基础都按 50 年重现期。

当选择支架按 25 年重现期、基础按 50 年重现期，程序在计算光伏支架主结构时，采用 25 年一遇基本风压数值；在计算光伏支架基础时，采用 50 年一遇基本风压数值，根据 50 年一遇与 25 年一遇风压比值对基础设计时的风荷载工况内力放大。当选择支架和基础都按 25 年重现期时，程序对于支架和基础均按 25 年一遇基本风压计算。当选择支架和基础都按 50 年重现期时，程序对于支架和基础均按 50 年一遇基本风压计算。



基本风压自动计算，程序给出分别按 10 年和 100 年一遇基本风压值，依据《荷载规范》第 E.3.4 条和表 E.5 的 10 年和 100 年的风压值，自动计算出 25 年和 50 年的基本风压值。

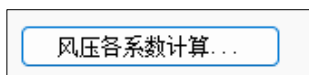


按照《光伏支架结构设计规程》第 4.1 节，计算结构构件和非结构构件，风荷载体型系数不同，程序体型系数按整体体型系数表选用，当檩条选取不同体型系数或不同风振系数时，可以整体体型系数和风振系数为基础，用檩条风振系数折算。

程序在计算光伏支架檩条风荷载内力时，根据檩条风振系数与风振系数比值对檩条设计时的风荷载工况内力放大。



有侧移，用于判断支架柱计算长度系数计算方法。不勾选有侧移，按照无侧移计算方法计算支架柱长系数。



风荷载参数自动计算
✕

地面粗糙度类别

A B C D

修正后的基本风压 (kN/m²)

风荷载计算用阻尼比(%)

结构基本周期

支架离地面高度(m)

支架高度(m)

支架迎风面宽度(m)

执行《工程结构通用规范》(GB55001-2021)

计算结果导入风荷载参数

地形条件

风压高度系数考虑地形条件

山坡 山峰

其他地形修正系数

山坡坡度

山坡高度(m)

支架底相对坡底高度(m)

考虑距离海岸距离修正系数

修正系数

计算结果

风振系数

风压高度变化系数

点击“风压各系数计算”弹出风荷载参数自动计算对话框，选择地面粗糙度类别、地形条件、支架高度、修正系数等信息，然后点击计算，程序会在右下角显示风振系数和风压高度变化系数计算结果。

风压高度变化系数首先根据地面粗糙度类型 A/B/C/D 的选择和支架离地面高度、支架高度按照《荷载规范》表 8.2.1 计算风压高度变化系数，然后再根据地形条件山坡或者山峰程序会自动考虑《荷载规范》第 8.2.2 条的修正系数 η ，如果是其它地形如山口、谷口等可将系数填写在其他地形修正系数中，当考虑《荷载规范》第 8.2.3 条远海海面和海岛的修正系数 η 时，可勾选考虑距离海岸距离修正系数并修改相应的数值。

风振系数计算按照《荷载规范》第 8.4.3 条计算风振系数 β_z 。

执行《工程结构通用规范》（GB55001-2021），第 4.6.5-1 条风荷载放大系数不应小于 1.2，勾选此参数时，程序判断计算的风振系数值，当风振系数小于 1.2 时，程序直接按 1.2 取值。

构件材料信息



构件材料信息用于构件材料和等级的选择。分别为立柱、斜梁、檩条、支撑等构件材质和等级选择。拉索线膨胀系数用于拉索张力修改中的温度差的计算。

(2) .刚性支架参数化建模



刚性参数化建模用于光伏支架参数、光伏组件信息、檩条参数、基础形式、柱间支撑、撑杆信息、基础形式的选择和有效性检查信息。

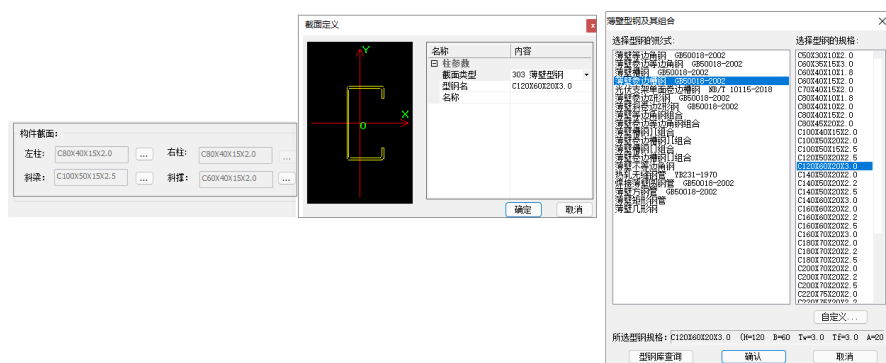
主梁长度 L_b 为主梁的斜长。

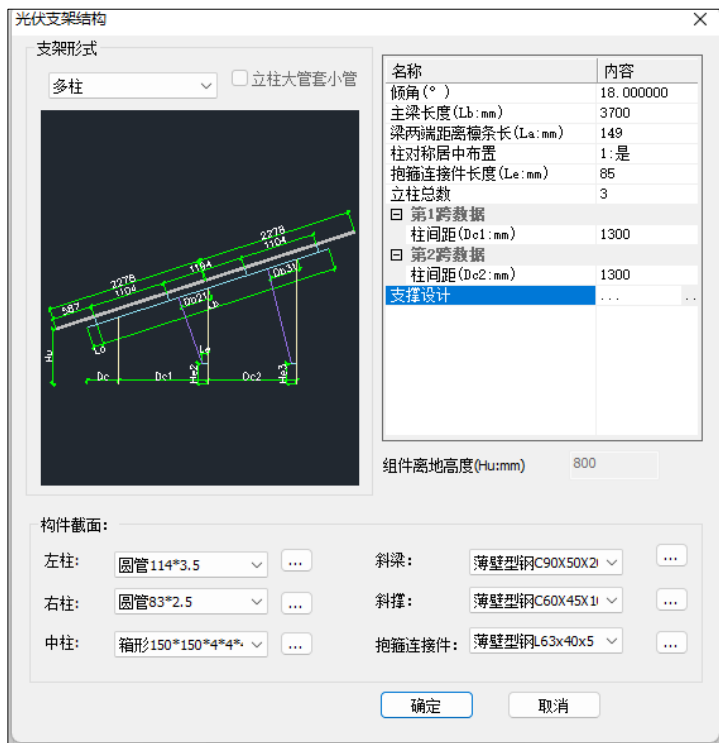
梁两端距离檩条长 (L_a : mm)，为梁的端部与檩条之间的间距尺寸，此长度会与主梁长度、组件横向悬挑长度和檩条连接点间距修改联动。

抱箍高度 H_e 为抱箍节点距离地面 ± 0.00 标高的距离。抱箍连接件长度 L_e 为抱箍节点处水平尺寸同时也是支撑偏移柱的水平距离。

左支撑距离梁端长度 Db_1 为左侧支撑距离梁左端的斜长，右支撑距离梁端长度 Db_2 为右侧支撑距离梁右端的斜长。

构件截面，包括支架柱、斜梁、斜撑和抱箍连接件截面尺寸，点击截面定义框，选择截面类型，再选取截面尺寸，光伏支架常用截面库有圆管、矩形管、角钢、槽形、卷边槽形、几字形、卷边 U 形截面等，同时可自定义截面参数库，程序根据自定义截面尺寸自动计算截面特性。

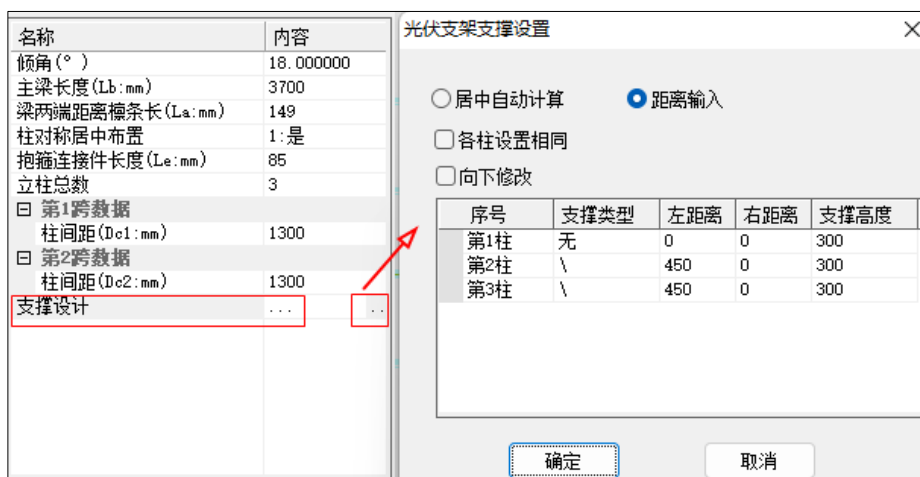




多柱参数化布置方式，内容包括支架倾角、立柱总数、每跨数据信息、支撑定位尺寸等，其中立柱总数最多可支持 15 排立柱。

注：多列柱外边缘尺寸 Dc 程序会根据 Dc1 和 Dc2 以及斜梁尺寸自动计算。

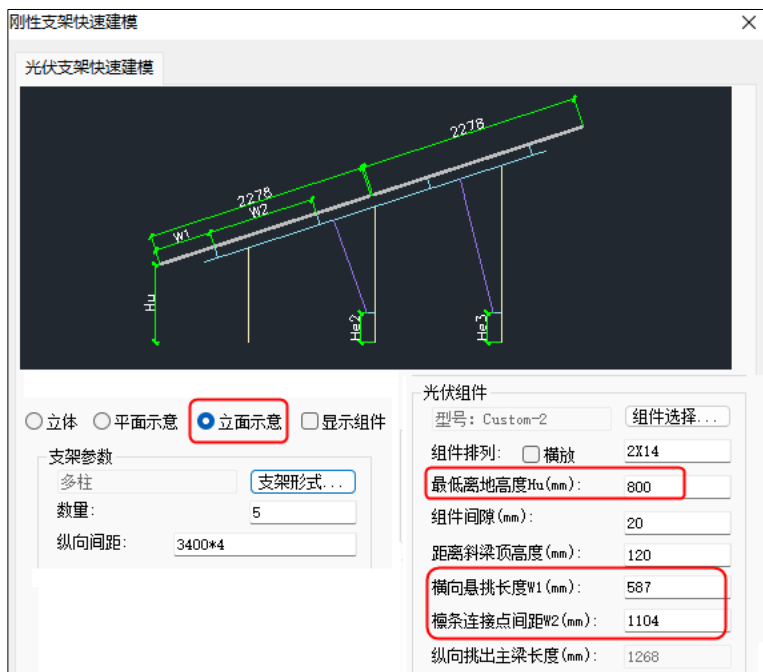
组件离地高度自动读取主界面中设置的组件最低离地高度数值，为组件最低端距离地面±0.00 标高的距离。



支撑设计用于连接支架柱和斜梁的斜撑。支撑设置对话框中的“向下修改”为第 1 柱序号支撑类型、距离修改时自动修改第 2 及第 3 等序列柱的支撑类型和距离。左右距

离为位于柱左侧的距离和位于柱右侧的距离。高度为支撑底部距离地面±0.00 的尺寸。

立面示意



立面示意为标注组件最低距离地面高度、组合横向悬挑长度和檩条连接点间距的示意图。

纵向间距

纵向间距为支架纵向之间的水平距离，数量为支架纵向排列的数量。

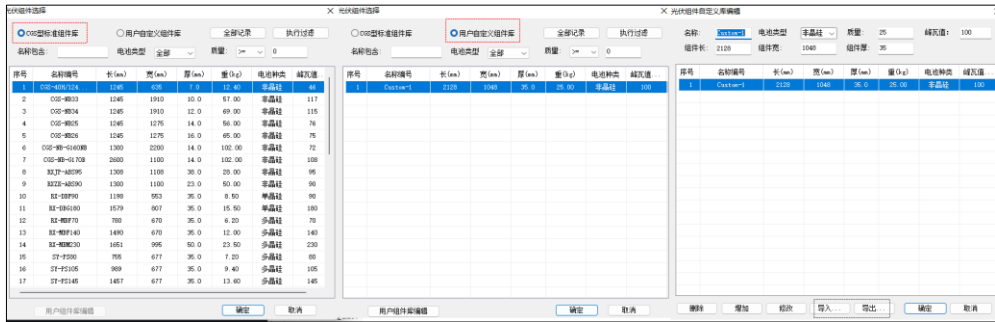
纵向间距可输入不同尺寸，间距输入之间以英文分号“，”间隔，间距相同可以输入“尺寸*数量”。

注，输入纵向间距前先修改支架总数量，然后根据数量对应修改纵向间距。

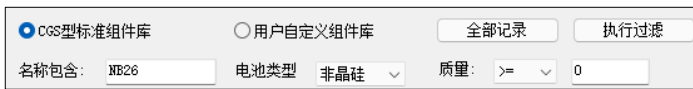
光伏组件

光伏组件选择，程序可选择光伏组件标准库和自定义组件库。组件标准库按照《光伏支架结构设计规程》附录 A 光伏组件相关技术参数记录。用户自定义组件库通过选择“用户组件编辑器”，填写名称、组件长度、组件宽度、组件厚和质量，点击“增加”即可完成自定义组件库的管理。

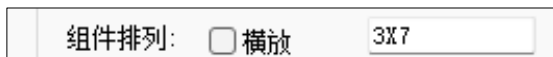
自定义组件库可以通过导入、导出功能用到其他工程模型中。



选择组件时可通过填写名称、选择电池类型、质量范围，点击“执行过滤”，实现快速选择需要的组件规格。



组件排列



程序默认为纵放为组件库规格的宽度方向沿支架纵向长度排列，横放为组件宽度方向沿支架横向排列。同时需要填写排列的行数和列数，



最低离地高度数值，为组件最低端距离地面±0.00 标高的距离。

组件间隙为每块组件之间的间隙。

距离斜梁顶高度，为组件距离斜梁顶的垂直距离。填写的数值应大于等于檩条截面高度。

横向悬挑长度为沿支架横向组件悬挑端距离檩条支点的尺寸。

修改檩条间距时，横向悬挑长度会随时联动；修改横向悬挑长度，程序会自动计算出檩条间距。

纵向挑出主梁长度，程序根据组件尺寸和列数自动计算纵向组件悬挑端距离主梁的尺寸。如果该值为负值或者异常大或者小时，一般意味着布置数据存在问题。

檩条参数

檩条参数

截面: C120X50X20X2.5 选择...

纵向悬挑长度(mm): 720

截面选择，点击截面选择框，选择截面类型，再选取截面尺寸。
纵向悬挑长度，为纵向檩条悬挑端距离主梁的长度。

基础形式

基础形式可以选择微型桩基础、混凝土块和夹具。

基础形式

微型桩基础 设置...

混凝土块 设置...

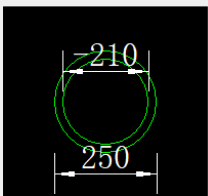
夹具（不设置基础）

微型桩基础

桩定义

桩详情表:

内容	数据
桩类型	钢管桩
竖向承载力 (kN)	800
水平承载力 (kN)	200
抗拔承载力 (kN)	300
桩直径 (mm)	250
壁厚 (mm)	230
桩顶标高 (m)	0.3
桩长 (m)	5.0
抗压刚度 (kN/m)	100000.0
抗拉刚度 (kN/m)	100000.0
抗弯刚度 (kN*m/rad)	100000.0
桩顶以下5d范围内箍筋加密	<input checked="" type="checkbox"/>
考虑箍筋受力作用	<input type="checkbox"/>



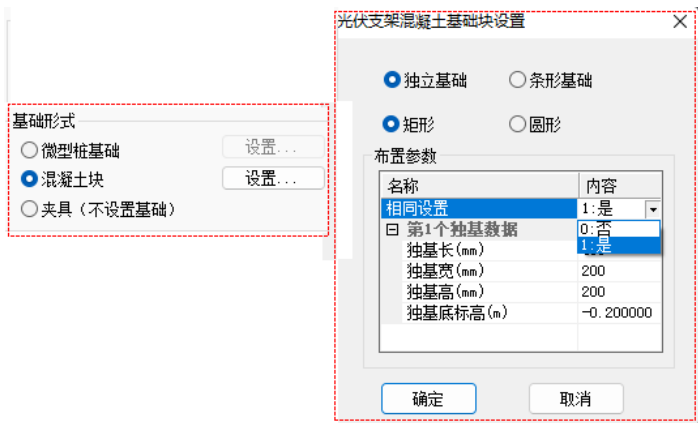
采用后注浆技术

确定 取消

桩类型可选择水下冲（钻）孔桩、沉管灌注桩、干作业钻（挖）孔桩、预制砼管桩、钢管桩和锚杆。

承载力填写竖向承载力、水平承载力和抗拔承载力用于桩基础承载力的验算。

混凝土块基础

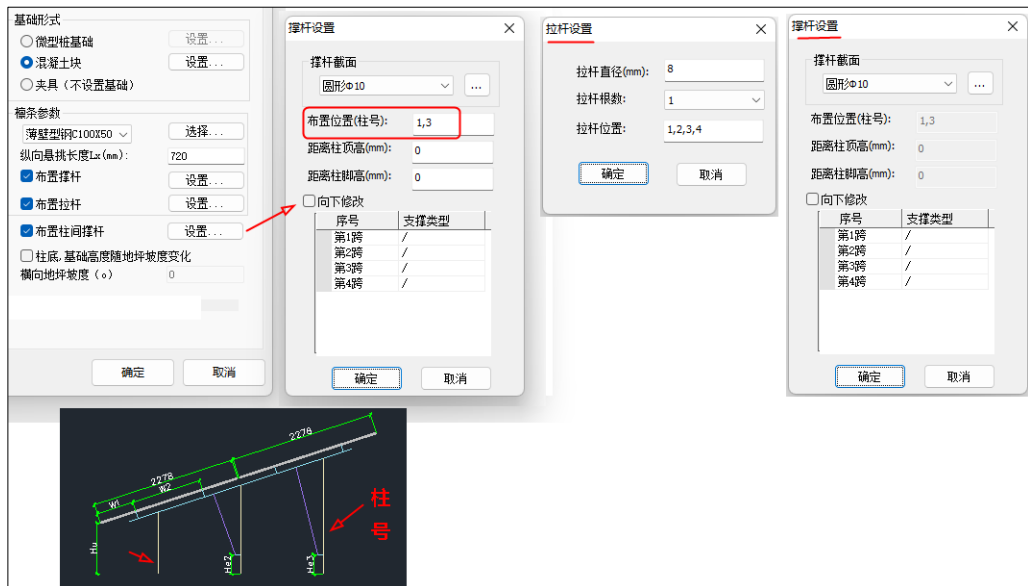


混凝土基础块包括矩形和圆形，用于程序按照《太阳能发电站支架基础技术规范》第 5.3 节要求进行基础的抗倾覆稳定性验算、抗拔稳定性验算和抗滑移稳定性验算。

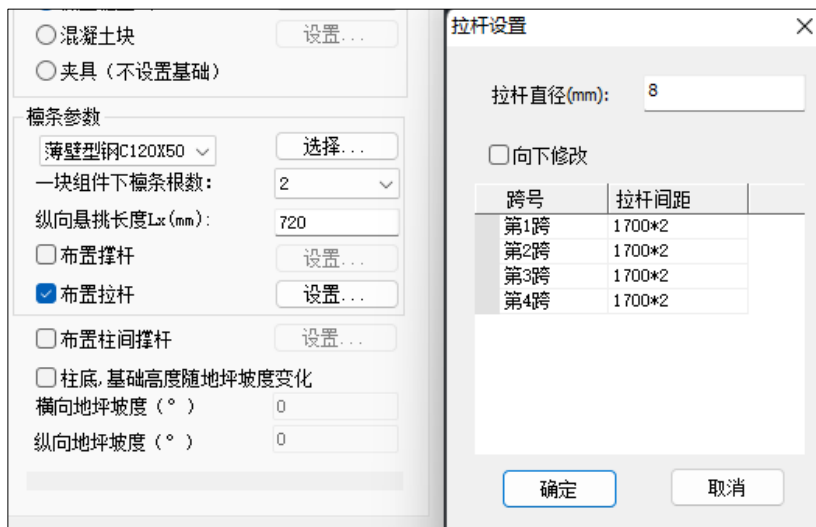
撑杆布置

布置撑杆，点击设置，选择撑杆截面类型和尺寸，填写撑杆位置，如下图中的序号第 1,4 跨为纵向第 1 开间和第 4 开间布置撑杆。

对于柱间支撑，撑杆布置在两柱之间，对于檩条撑杆，程序默认布置在斜梁端部。



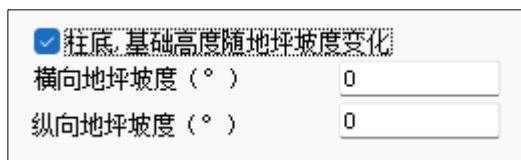
拉杆设置包括直径、布置的拉杆间距。



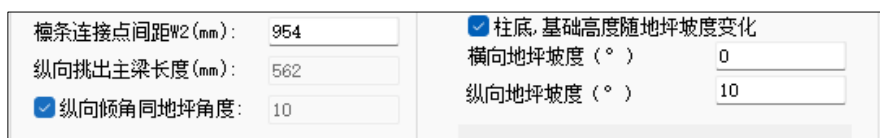
数据合理性检查为所有参数信息填写后程序自动进行模型数据的检查，当设置不合理时程序会弹出提示框，合理时程序会提示 OK，此时生成的模型是合理性模型。



恢复默认为恢复程序开始状态下的默认数据。



此参数控制柱底高度随地坪横向和纵向坡度变化角度。

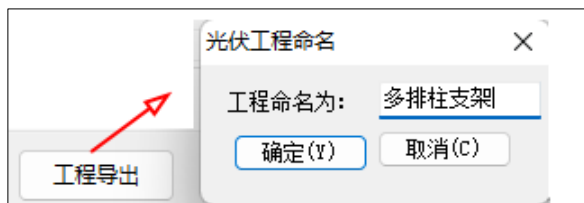


纵向倾角同地坪角度，勾选后程序默认屋面纵向倾角与纵向地坪角度一致，不勾选即为交互填写的角度值。

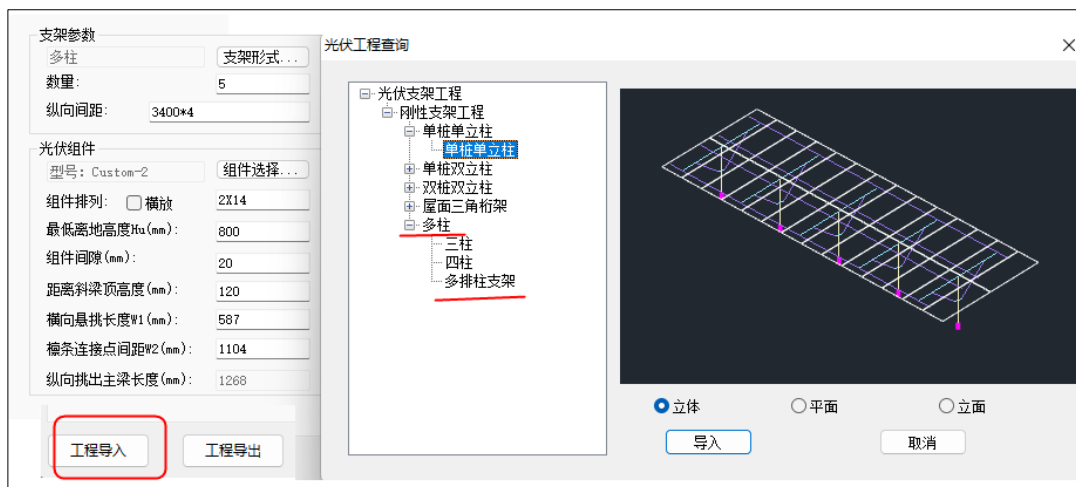
工程导入导出



工程导出用于支架参数化信息导出数据，点击“工程导出”，填写工程命名，确定，程序自动将此数据信息保存在 C:\ProgramData\yjkSoft\YJK5.3\YPV 以“工程命名（多排柱支架）”.pvb 格式保存文件。



工程导入，程序自动识别导出的工程命名和支架形式，选择需要导入的支架类型即可完成工程数据的导入功能。

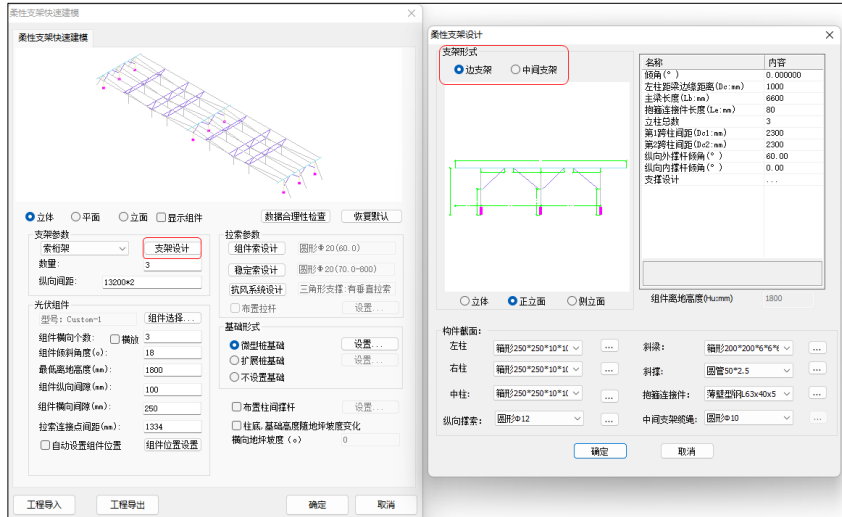


注：如果需要用到一台电脑的导出数据在另一台电脑导入时，需要将 C:\ProgramData\yjkSoft\YJKS5.3\YPV 以“工程命名”.pvb 和 DpmssProjData.ydb 文件一起复制到另一台电脑即可导入工程数据。

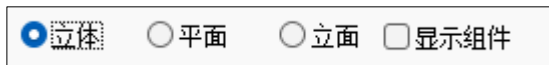
(3) .柔性支架参数化建模



柔性支架参数化建模，内容包括视图切换、支架形式、光伏板信息、拉索参数、初始预拉力设置、基础形式、数据合理性检查和恢复默认。



视图切换，用于整体柔性支架的三维预览图、平面、立面视图和组件显示的切换。



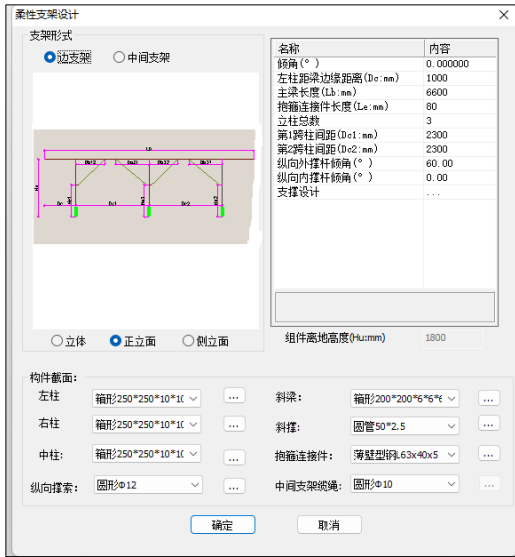
1. 支架参数



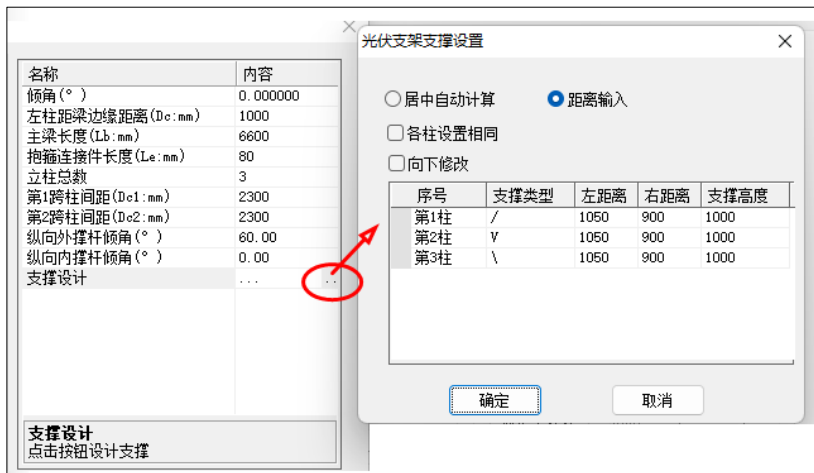
支架参数包括：索类型、支架设计、数量和纵向间距。

索类型包括索桁架和单层悬索两种类型。

支架设计用于边支架和中间支架的参数化信息和截面信息输入。



边支架形式包括视图切换、参数信息编辑、构件截面设置和边支架纵向支撑选项。
参数信息编辑：



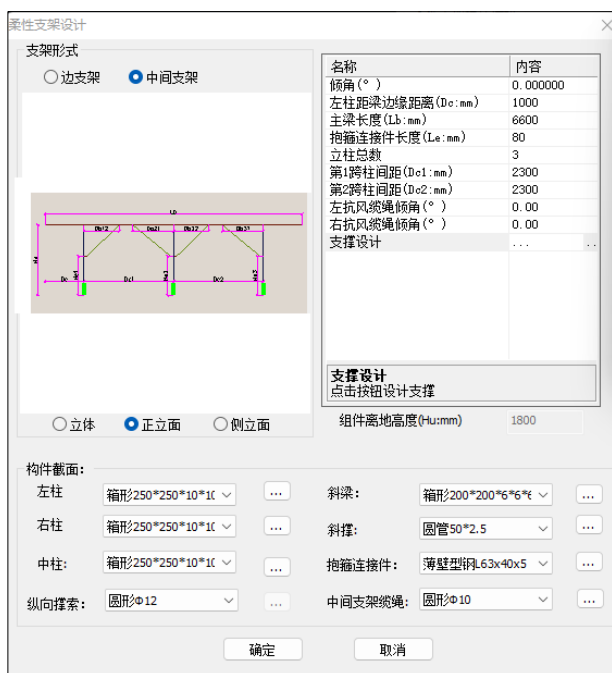
倾角为支架的坡度，左柱距梁边缘距离 D_c 为左边柱距离梁边缘的水平尺寸，主梁长度 L_d 为主梁的斜长，立柱总数为边支架立柱的总数量，第 1 跨柱间距 D_{c1} 为距离左端柱的水平尺寸，第 2 跨柱间距为第 2 跨与第 1 跨柱之间的水平尺寸，纵向外撑杆倾角为边支架外侧纵向外侧支撑与水平方向的夹角，纵向内撑杆倾角为边支架外侧纵向内侧支撑与水平方向的夹角，支撑设计用于边支架柱间支撑的类型、尺寸的编辑。

构件截面：

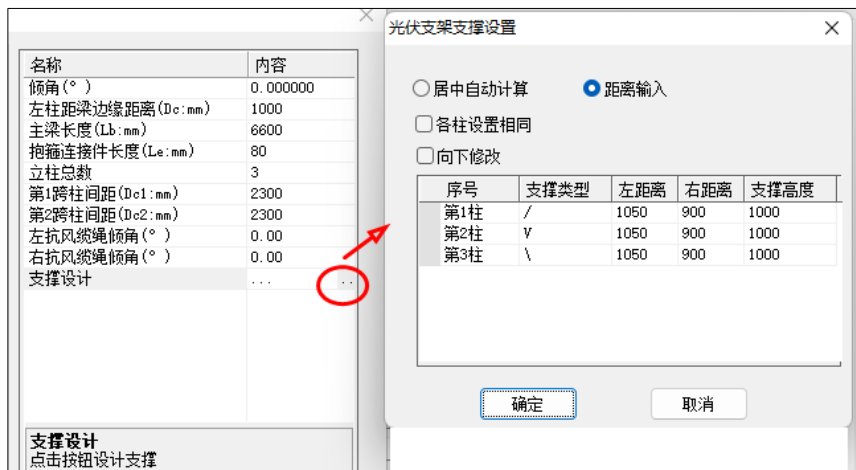


构件截面用于梁、柱、支撑的截面设置。点击截面定义框、选择截面类型、再选取截面尺寸完成截面选取；边支架纵向支撑截面类型可选择圆形索截面，索类型包括钢丝绳、钢丝绳和钢绞线，并对应定义索各类型的强度等级和弹性模量。

中间支架形式包括视图切换、参数信息编辑、构件截面设置和边支架纵向支撑选项。



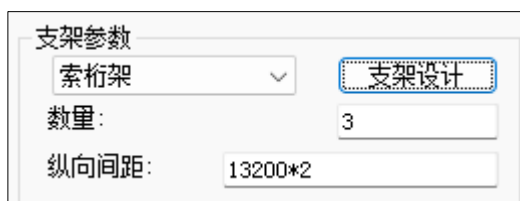
参数信息编辑:



左柱距梁边缘距离 D_c 为左边柱距离梁边缘的水平尺寸，主梁长度 L_d 为主梁的斜长，立柱总数为边支架立柱的总数量，第 1 跨柱间距 D_{c1} 为距离左端柱的水平尺寸，第 2 跨柱间距为第 2 跨与第 1 跨柱之间的水平尺寸，左抗风缆绳倾角为中间支架外侧纵向左侧缆绳与水平方向的夹角，右抗风缆绳倾角为中间支架外侧纵向右侧支撑与水平方向的夹角，支撑设计用于中间支架柱间支撑的类型、尺寸的编辑。

构件截面用于梁、柱、支撑的截面设置。点击截面定义框、选择截面类型、再选取截面尺寸完成截面选取；中间支架缆绳截面类型可选择圆形索截面，索类型包括钢丝绳、钢丝绳和钢绞线，并对应定义索各类型的强度等级和弹性模量。

数量和纵向间距



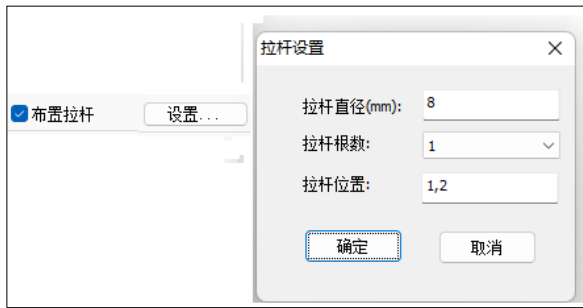
数量为支架纵向排列的数量，纵向间距为支架纵向之间的水平距离。

首先填写支架数量，然后再修改纵向间距，纵向间距可输入不同尺寸，尺寸输入之间以英文分号“，”间隔，尺寸相同可以输入“尺寸*数量”。

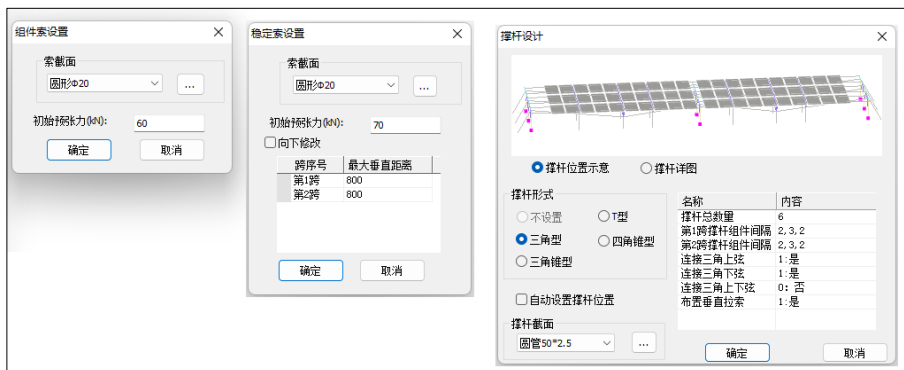
索类型

索类型有单层悬索和索桁架两种类型供选择。



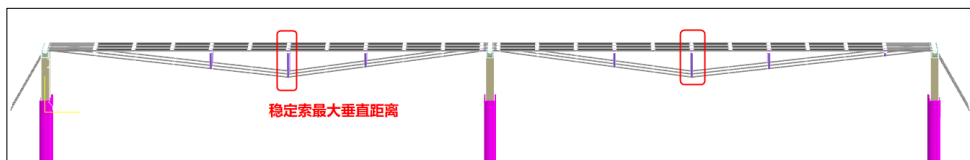


单层悬索需要进行组件索设计包括索截面和初始预张力。单层悬索提供拉杆布置选项包括拉杆直径、设置的根数和拉杆位置，拉杆位置 1,2 为第 1 跨和第 2 跨。



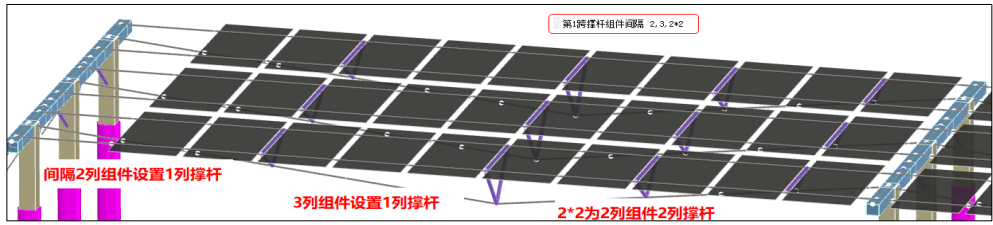
索桁架设计需要进行组件索、稳定索和抗风系数撑杆的设置。

组件索、稳定索用于设置索截面、初始预拉力和稳定索向下的每跨的最大垂直距离。

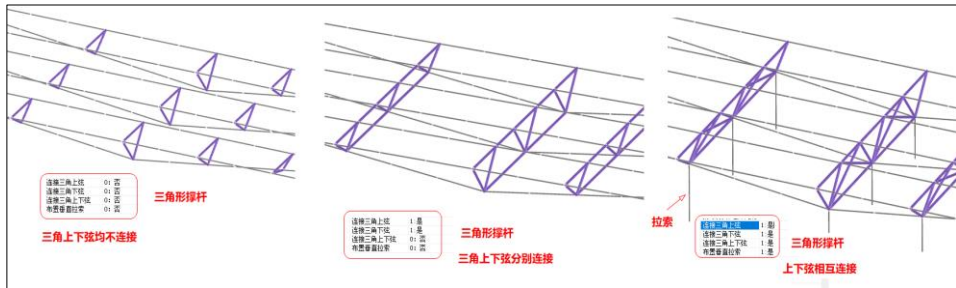


抗风系统的撑杆形式程序提供 T 型、三角型、三角锥和四角锥型四种形式。

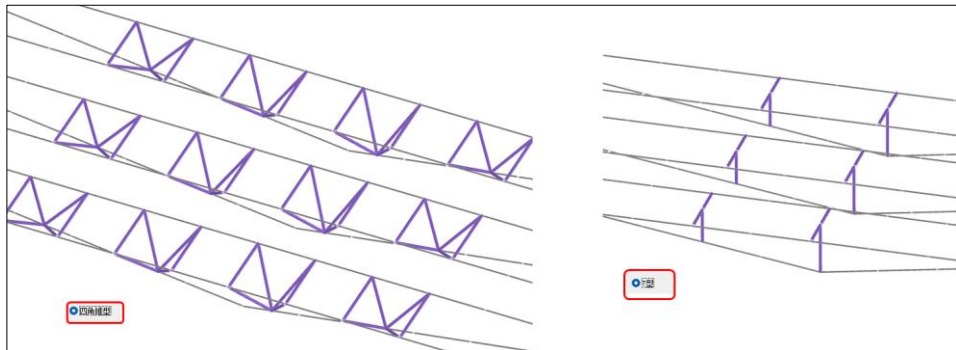
撑杆总数量为总跨数要设置的撑杆的总数量。上图第一跨撑杆组件间隔 3*2，其中 3 表示 3 组光伏组件板,2 为第一跨设置的撑杆列数。如下图的 2,3,2*2 所示。



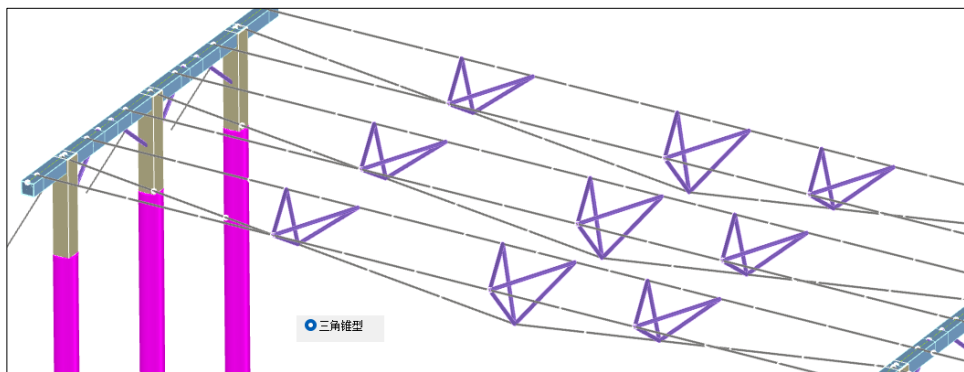
三角型撑杆设置方式包括连接三角上弦、连接三角下弦、连接三角上下弦和布置垂直拉索，布置如下图所示。



四角锥和 T 型撑杆设置如下图所示。



三角锥形如下。



2.光伏组件

光伏组件内容包括组件库选择、组件排布的数量、组件最低离地高度、组件纵向间隙、组件横向间隙、横向悬挑长度、拉索连接点间距和自动设置组件位置。



组件库选择，程序可选择光伏组件标准库和自定义组件库。组件标准库按照《光伏支架结构设计规程》附录 A 光伏组件相关技术参数记录。用户自定义组件库通过选择“用户组件编辑器”，填写名称、组件长度、组件宽度、组件厚和质量，点击“增加”即可完成自定义组件库的管理。

组件横向个数，程序默认为纵放为组件库规格的宽度方向沿支架纵向长度排列，横放为组件宽度方向沿支架横向排列。同时需要填写排列的数量。

组件倾斜角度为光伏板与水平地面的夹角。

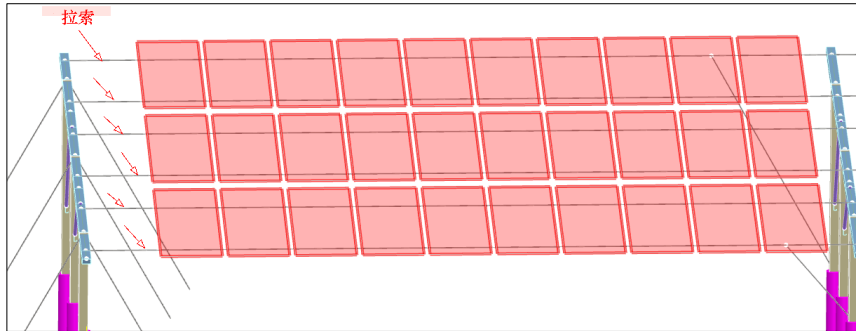
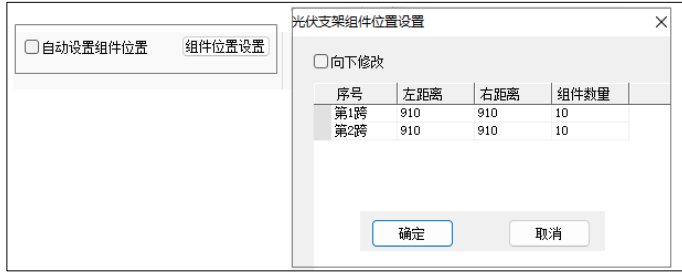
最低离地高度数值，为组件最低端距离地面±0.00 标高的距离。

组件纵向间隙为光伏板纵向排布每块板之间的间隙，组件横向间隙为光伏板横向排布每块板之间的间隙。

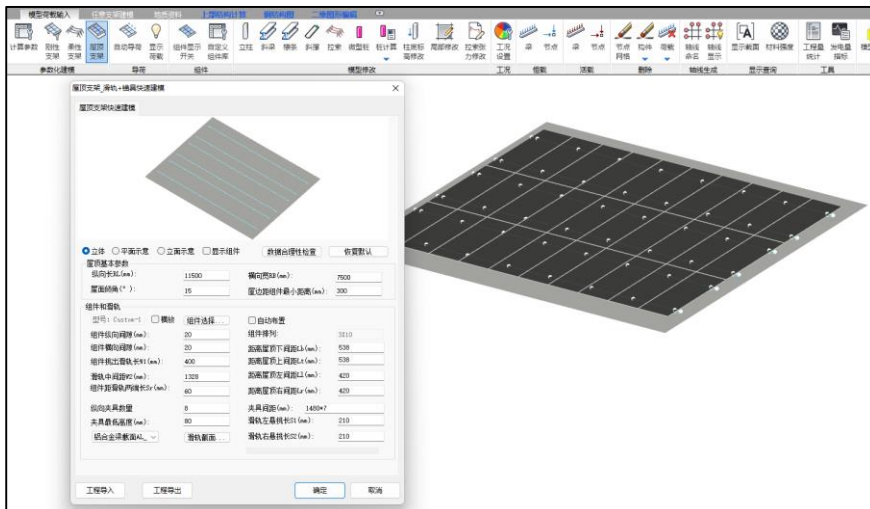
横向悬挑长度为沿支架横向组件悬挑端距离拉索支点的尺寸。

拉索连接点间距为每根拉索之间的尺寸。

自动设置组件位置：程序根据光伏组件库规格、布置的数量、索跨度和组件间隙自动设置每跨的左右边距和组件数量。组件位置设置为每跨组件数量和左右边距编辑修改。



(4) .屋顶支架



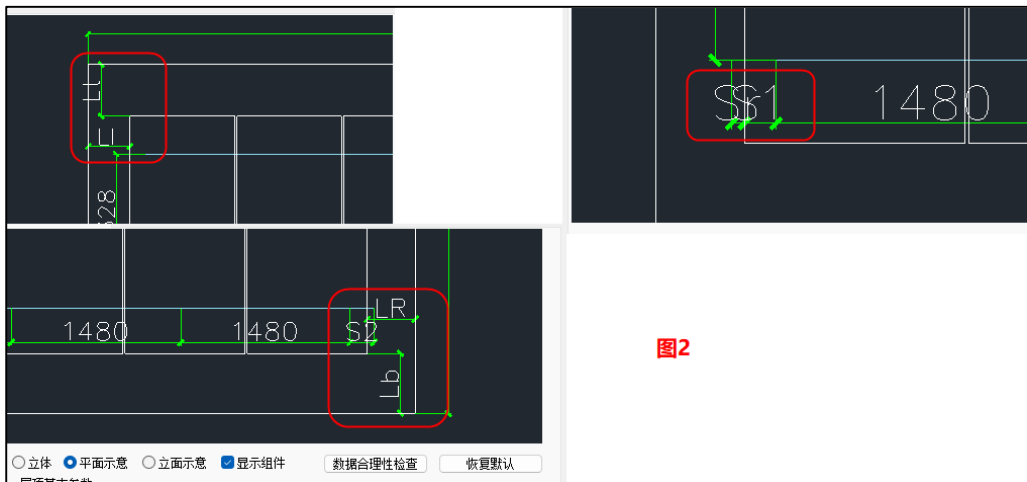
屋顶支架参数化包括基本参数、组合和滑轨、自动布置等参数化信息。

屋顶基本参数			
纵向长RL(mm):	11500	横向宽RB(mm):	7500
屋面倾角(°):	15	屋边距组件最小距离(mm):	300

屋顶基本参数包括长、宽、屋面坡度、组件距离屋边最小距离，其中组件距离屋边最小距离用于程序自动布置组件时控制。

组件和滑轨			
型号: Custom-1	<input type="checkbox"/> 横放	组件选择...	<input type="checkbox"/> 自动布置
组件纵向间隙(mm):	20	组件排列:	3X10
组件横向间隙(mm):	20	距离屋顶下间距Lb(mm):	538
组件挑出滑轨长W1(mm):	400	距离屋顶上间距Lt(mm):	538
滑轨中间距W2(mm):	1328	距离屋顶左间距Ll(mm):	420
组件距滑轨两端长Sr(mm):	60	距离屋顶右间距Lr(mm):	420
纵向夹具数量	8	夹具间距(mm):	1480*7
夹具最低高度(mm):	80	滑轨左悬挑长S1(mm):	210
铝合金梁截面AL_	滑轨截面...	滑轨右悬挑长S2(mm):	210

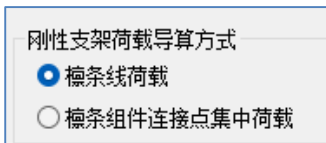
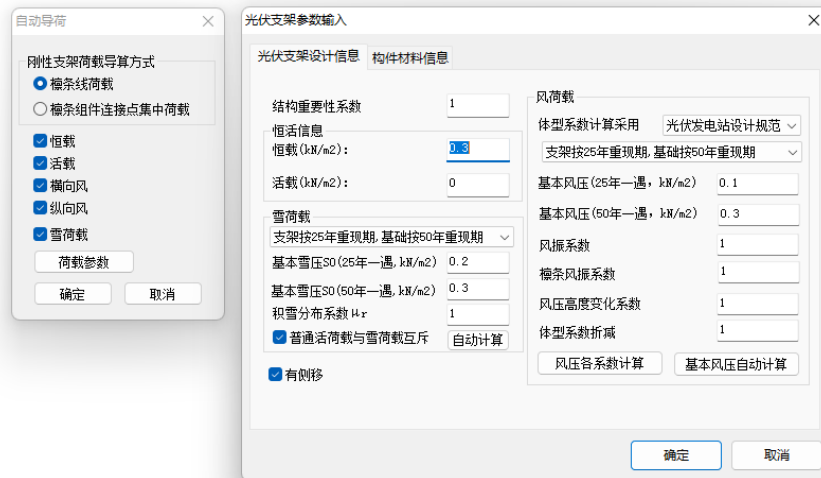
图1



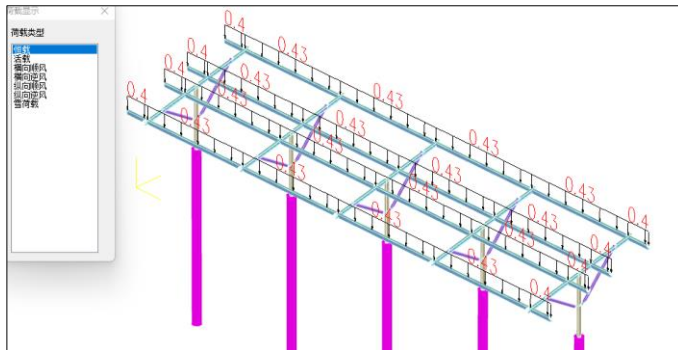
组件和滑轨、自动布置参数化信息可搭配图 2 变量字母标注位置填写。

(5) 自动导荷 显示荷载

自动导荷包括恒载、活载、横向风、纵向风和雪荷载导荷结果。荷载参数信息自动读取“计算参数”设置的信息，同时可再次修改荷载信息。



显示荷载，用于查询恒载导荷结果。



恒载，程序根据荷载信息中填写面荷载加上光伏组件重量导算至檩条上的均布线荷载。



如图恒载为 0.3KN/m²。支架坡度为 12°。

组件重量为 25kg,组件面积为 2.128*1.048=2.230144m²

组件荷载为 $0.245/2.230144=0.110$ KN/m²。

总恒载值为 $0.3+0.110=0.41$ KN/m²。

荷载作用宽度为 $2128/2=1064$ mm

中间跨区恒载导荷结果为：

$0.410*1.064*\cos(12^\circ)=0.43$ KN/m

边跨区存在檩条悬挑段，下面对边跨按悬挑长度进行计算恒载：

纵向跳出主梁长度(mm):	<input type="text" value="666"/>	组件挑出长度
纵向悬挑长度(mm):	<input type="text" value="720"/>	檩条挑出长度

已知组件纵向跳出主梁长度为 666，檩条纵向悬挑长度为 720。

$720-666=54$

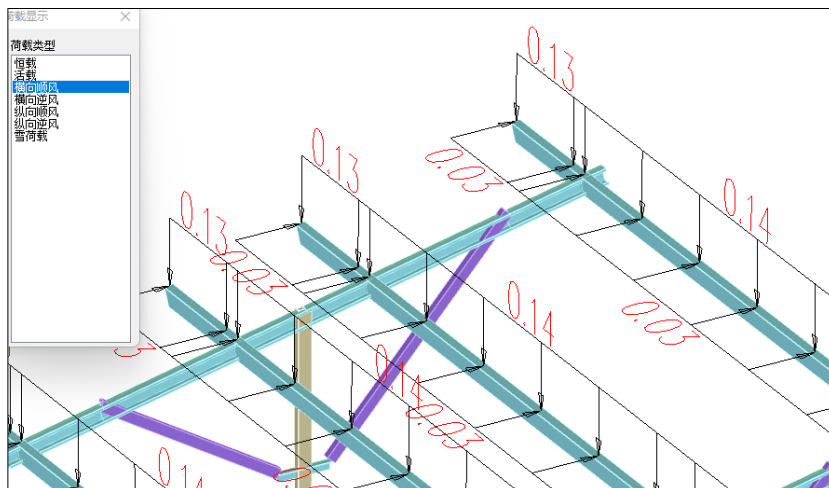
$0.44*666/720*\cos(12^\circ)=0.40$ KN/m

活载，程序根据荷载信息中填写面荷载数值导算至檩条上的均布线荷载。

雪荷载，程序根据荷载信息中填写的基本雪压乘以积雪分布系数导算至檩条上的均布线荷载。

风荷载

风荷载	
体型系数计算采用	光伏发电站设计规范
支架按25年重现期, 基础按50年重现期	
基本风压(25年一遇, kN/m ²)	<input type="text" value="0.1"/>
基本风压(50年一遇, kN/m ²)	<input type="text" value="0.3"/>
风振系数	<input type="text" value="1"/>
檩条风振系数	<input type="text" value="1"/>
风压高度变化系数	<input type="text" value="1"/>
体型系数折减	<input type="text" value="1"/>
<input type="button" value="风压系数计算"/>	<input type="button" value="基本风压自动计算"/>



横向风荷载计算按照计算的风荷载标准值导算至檩条上均布线荷载并分解为竖向和水平方向结果。

计算过程如下：

体型系数取光伏电站设计规范中的 1.3，基本风压按 25 年一遇参数的数值 0.1，风振系数按默认的数值 1，风压高度变化系数按 1，体型系数折减按 1 取值。计算得到风荷载标准值为 $1.3 \times 0.1 \times 1 \times 1 \times 1 = 0.13 \text{KN/m}^2$

导算为线荷载为： $0.13 \times 1.064 = 0.13832 \text{KN/m}$

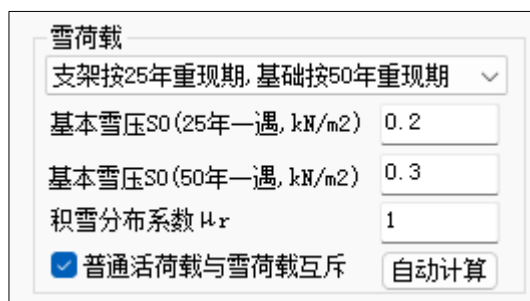
斜梁坡度为 12°

线荷载分解为水平荷载为 $0.13832 \times \sin(12) = 0.03 \text{KN/m}$

线荷载分解为竖向荷载为 $0.13832 \times \cos(12) = 0.14 \text{KN/m}$

纵向风荷载计算按照《光伏支架结构技术规程》第 4.1.4 条纵向风荷载对支架所引起的总水平力导算至节点上的水平力，当 α 不小于 30° 时，为 $0.05Awh$ ；当 α 小于 30° 时，为 $0.10Awh$ 。

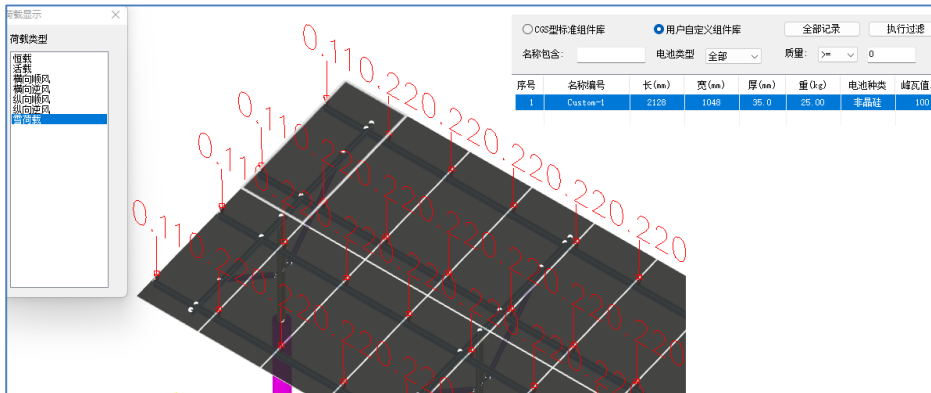
其中， α 为光伏面板的坡度，A 为光伏面板的水平投影面积，wh 为光伏面板高度 h 处的风压。



以雪荷载为例计算节点荷载：

$$0.2 * 1 * 2.128 * 1.048 / 4 * \cos(12) = 0.11 \text{KN}$$

$$0.11 * 2 = 0.22 \text{KN}$$

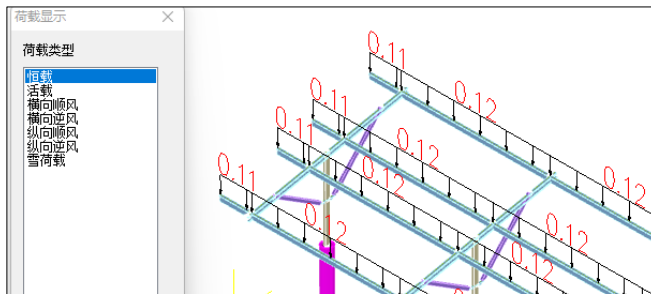


荷载以自重为例：

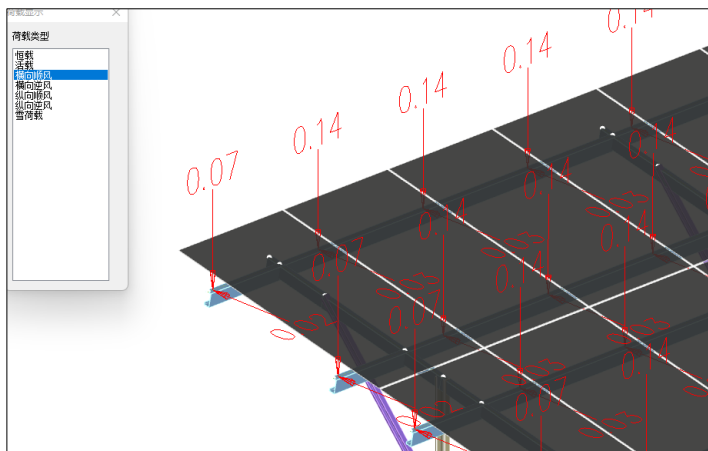
组件重量为 25kg, 换算为 KN 为 0.2551KN

$$0.2551 / 4 = 0.06 \text{KN}$$

$$0.06 * 2 * \cos(12) = 0.12 \text{KN}$$



风荷载计算如下：



横向风荷载计算按照计算的风荷载标准值导算至组件连接点并分解为竖向和水平方向结果。

计算过程如下：

体型系数取光伏电站设计规范中的 1.3，基本风压按 25 年一遇参数的数值 0.1，风振系数按默认的数值 1，风压高度变化系数按 1，体型系数折减按 1 取值。计算得到风荷载标准值为 $1.3*0.1*1*1*1=0.13\text{KN/m}^2$

$$0.13*2.128*1.048=0.2899 \text{ KN}$$

$$0.2899/4=0.072475$$

$$\text{斜梁坡度为 } 12^\circ \sin(12) = 0.208 \cos(12) = 0.978$$

$$\text{线荷载分解为水平荷载为 } 0.072475*\sin(12) = 0.0151\text{KN 约为 } 0.02$$

$$\text{线荷载分解为竖向荷载为 } 0.072475*\cos(12) = 0.0709 \text{ KN 约为 } 0.07$$

中间位置节点荷载应该乘以 2 分别为 0.03KN 和 0.14KN

2. 组件

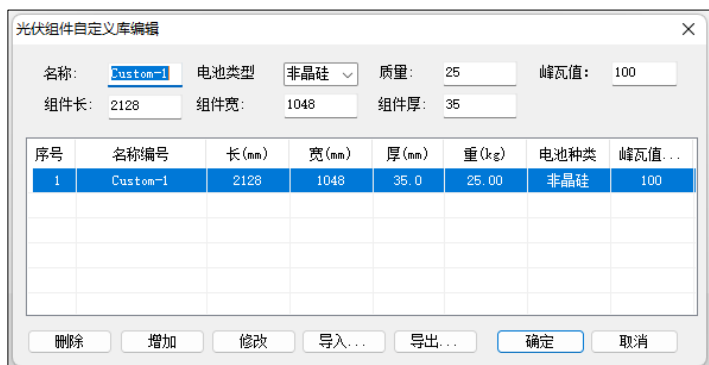


(1) .组件显示开关

参数化生成三维模型，程序会自动生成光伏组件板，点击“组件显示开关”，程序会隐藏组件板，再次点击“组件显示开关”，会显示组件板。该功能方便用户查看组件和支架布置的合理性。

(2) .自定义组件库

组件库的定义为填写对话框上面的名称、选择电池类型、填写质量、组件长度、组件宽度和组件厚度，点击“增加”程序会自动将定义的组件规格添加到自定义库中，并自动联动至“参数化建模”中的光伏组件库。



3.模型修改

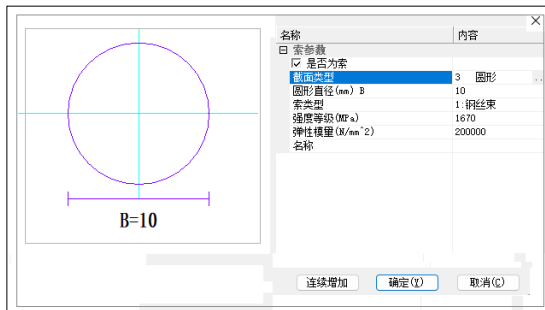


模型修改用于立柱、斜梁、斜撑、微型桩、桩计算、局部修改等编辑修改功能。

注：程序参数化建模的立柱只有节点没有网格，如果需要交互布置柱时，可采用删除原来柱增加网格后再交互布置柱构件。

支撑构件同柱，梁构件程序参数化布置会自动生成节点和网格。

拉索用于参数化模型生成后拉索截面的交互修改，截面类型默认为圆形，输入圆形直径尺寸，索类型包括钢丝束、钢丝绳和钢绞线，并对定义索各类型的强度等级和弹性模量。



桩计算包括承载力计算、桩长计算和桩长计算书三项功能。

程序根据地质资料和桩参数中填写的承载力自动计算需要的桩长并提供桩长计算书。所以在进行桩承载力和桩长计算前需要先正确输入地质资料，然后点击桩计算的承载力试算鼠标选取计算的桩构件，此时程序在选取的桩构件显示 Q_{uk} 和 T_{uk} 的数值结果。点击桩长计算鼠标选取计算的桩构件，此时程序在选取的桩构件显示 L 的数值结果。

柱底标高修改，点击柱底标高修改，填写修改柱底高度的数值，选择桩同步修改，点取要修改的立柱即可完成操作。

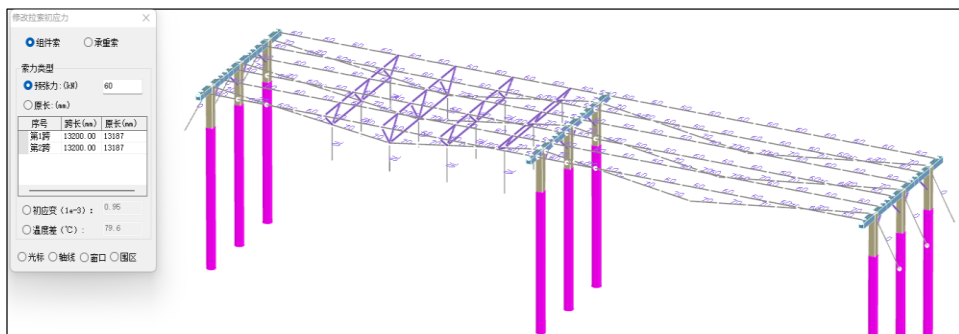
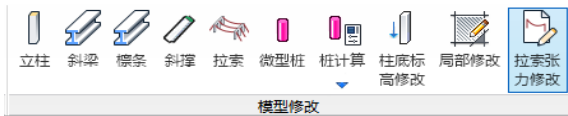
局部修改用于参数化模型建立完成后，通过“局部修改”菜单交互进行模型中不同构件属性的截面尺寸进行修改。





拉索张力修改用于参数化模型生成后拉索预拉力的数值交互修改。

程序根据预张力 N 与原长 L_0 、预张力 N 与初应变 ε 、预张力 N 与温度差 ΔT 之间的换算关系自动换算为预张力传给后处理分析。



4. 工况设置



恒载、活载布置为自定义工况设置对应添加的荷载工况输入。

程序默认活荷载和雪荷载为一对互斥荷载传给计算。

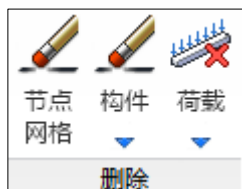
5. 恒载 活载



恒载用于输入节点、梁间荷载。可以点取相应荷载，输入荷载参数，用光标，窗口等方式来布置、删除荷载。

活载同恒载的输入方式。

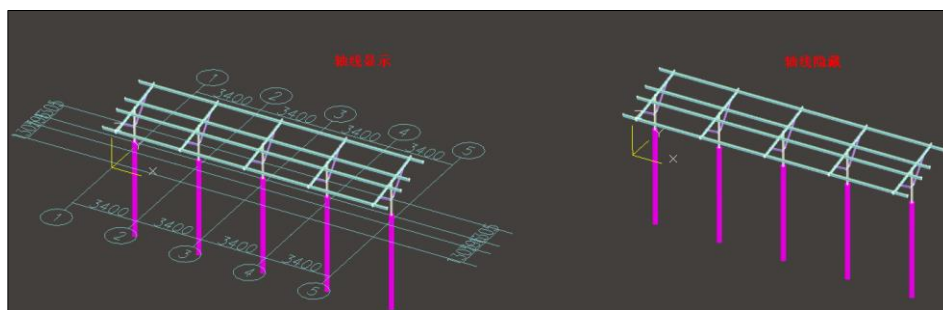
6.删除



删除用于节点网格、构件和荷载的删除功能。

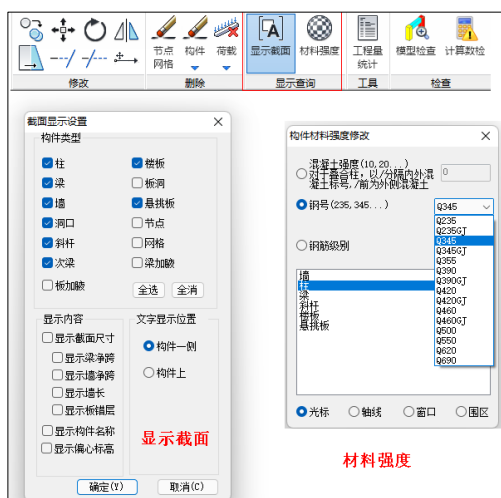
7.轴线生成

用户轴线命名和轴线显示隐藏。



8.显示查询

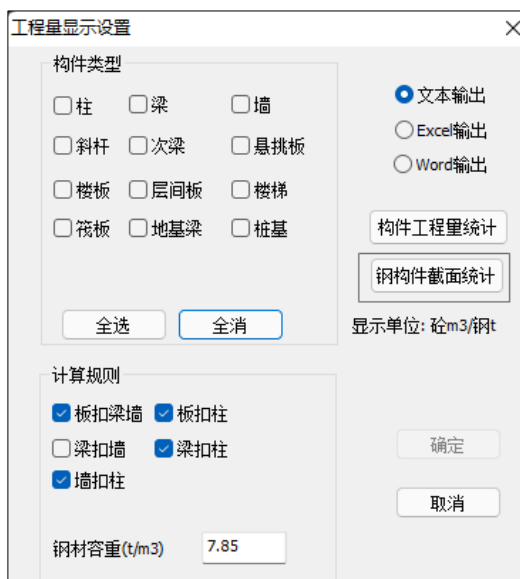




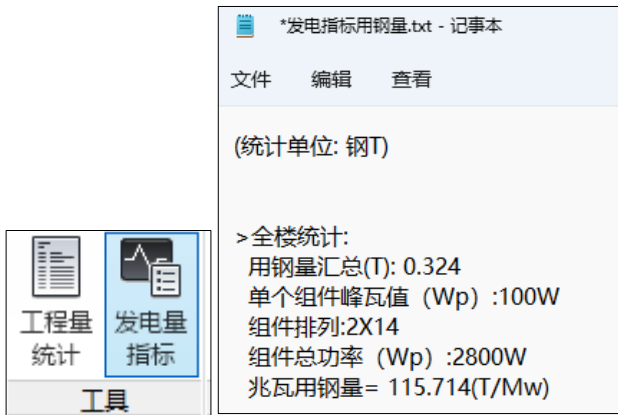
9.工具



工程量用于统计构件的工程量，包括混凝土工程量和钢结构的工程量。

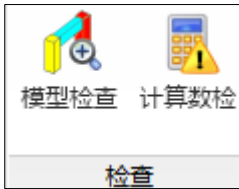


发电指标用钢量用于统计兆瓦用钢量。



$$0.324 / (0.002800) = 115.714 \text{T/Mw}$$

10.检查



本菜单用于对模型与荷载布置可能存在的不合理之处进行检查和提示，从而帮助用户建立对后面的设计计算更稳定合理的模型。

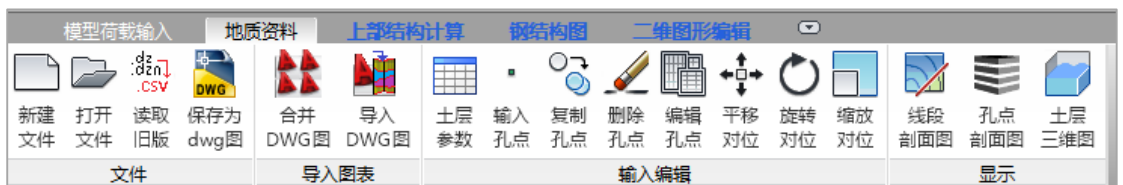
11.工程修复



对模型缺陷的自动修复功能，从而保证后续计算和设计的稳定性。

12.地质资料

地质资料模块包括文件、输入编辑和显示功能。



二、任意支架建模

任意支架建模为通过打开已有 YJK 模型比如主程序结构建模模型或三维门刚模型等后缀名为“*.yjk”的模型，或者通过任意支架建模模块菜单下网格输入、模型补充输入、组件布置实现任意形式的支架模型输入。



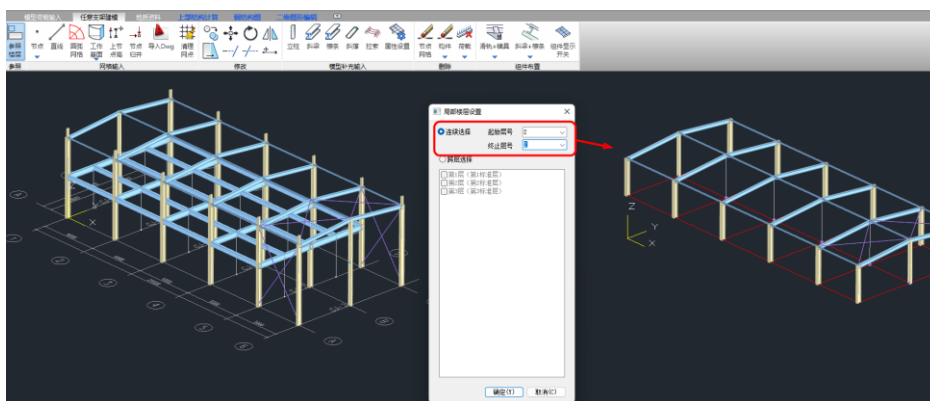
1. 参照楼层



光伏支架建模为空间结构建模扩展而成，除了完全没有设置平面楼层的建筑，一般的空间建模时，应首先选择参照的楼层自然层。参照的楼层可以是一个楼层，比如需在顶层设置光伏支架时就选择顶层作为参照的楼层。

可以看出，参照楼层确定了空间结构的定位。

空间网格线输入时，可在参照楼层上捕捉、或参照定位，参照楼层上的网格轴线可作为空间网格线的捕捉对象或者参照对象。参照楼层上的构件只起显示参照作用，不能作为捕捉对象。



2. 网格输入



网格输入为输入三维的网格轴线。

程序设置了“节点”、直线两个菜单，输入空间的线和节点。

按照楼层输入方式时，输入的点、线等图素只限于水平面上，空间建模菜单下取消这一限制，可以随意绘制空间任意的点、线。因此，空间点的坐标输入是三维的，需要输入它的 X、Y、Z 的三个值。比如输入空间直线时，其第一点确定后，第二点的定位需要输入相对于第一点的 X、Y、Z 方向的三个值。

绘制出的空间线将以黄绿色显示，以便和平面楼层的红色网格线区别开来。绘出的空间线将在互相相交处自动打断成分段的网格和节点。

节点输入菜单有三项：节点、定数等分、定距等分。



工作基面的应用：

工作基面是绘制空间线的重要工具。当需要绘制的图素位于空间某同一平面内时，可以将这一平面事先定义为工作基面，随后绘制图素的操作将锁定在工作基面内进行。这样用户可以像绘制二维图素一样方便地绘制三维图素。在工作基面内，将基面的 Z 方向锁定，鼠标只能在基面内绘制，绘制的方式、使用的各种工具和和普通平面上同样。

由于大部分的空间线是处在某一平面内的，如空间桁架的杆件处在 X-Z 或 Y-Z 的竖向平面内，可以将某一 X-Z 或 Y-Z 的竖向平面定义成工作基面，再在上面绘制桁架轴线就很方便了。

定义工作基面的操作是：逆时针方向选择已有的空间三个点确定工作基面，选择基面的原点，定义基面的 X 轴方向。定义工作基面完成后，将在工作基面的原点处出现一个较小的坐标轴。随后的绘制图素的操作将锁定在该工作基面内，直到点取“取消工作基面”菜单。

上节点高：

上节点高是某一节点在层高处相对于楼层高的高差，向上为正，向下为负，程序隐含为每一节点高位于层高处，即其上节点高为 0。改变上节点高，也就改变了该节点处的柱高和与之相连的墙、梁的坡度。用该菜单可更方便地处理像坡屋顶这样楼面高度有变化的情况。

交互输入三个节点的上节点高值，程序可据此形成一个斜面，再分别点取按照该斜面设置上节点高的节点。操作是：在对话框中输入三个节点的上节点高值，顺序点取这三个值所属的节点，这以后程序已经形成了一个斜面，用户接着需点取所有在该斜面上

的节点。用这种方式可以快速完成一整片斜坡屋面的输入。

在三点方式的对话框中还设置了选项：使用选择点的上节点高。如果平面模型上已经有了可以设置斜坡面的三个节点，可以不用输入具体的三个节点的数值，直接点取那三个节点即可。

节点归并：

可将靠近的两个或多个节点归并到一起。点取本菜单后出现如下对话框：



节点归并为相距小于归并间距的节点归并成一个节点，归并的位置是随机的本归并节点中的一个的位置。

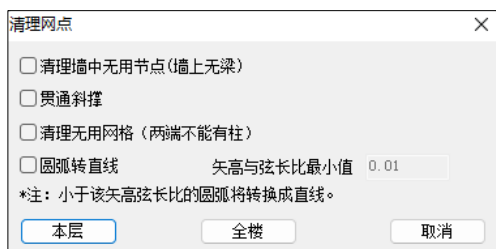
导入 DWG：

可以导入已有的在 Autocad 中建立的空间轴网。程序将 Autocad 轴线转成本程序识别的空间网格线，并布置到已输入的楼层上。这是空间模型的辅助的输入方式之一。

导入前也应选择参照的楼层，操作时用鼠标动态拖动转化好的空间网格，使其和参照楼层的节点捕捉定位。

需要注意原有 Autocad 图画图的长度单位，在 YJK 输入的单位应是 mm，如果 Autocad 图的单位是米，应将转图对话框上的比例设置为 1000。

清理网点：



清除本层平面上没有用到的网格和节点。程序会把平面上的无用网点，如作辅助线用的网格、从别的层拷贝来的网格等得到清理，以避免无用网格对程序运行产生的负面影响。网点的清理遵循以下原则：

- ① 网格上没有布置任何构件（并且网格两端节点上无柱）时。
- ② 节点上没有布置柱、斜杆。
- ③ 节点上未输入过附加荷载并且不存在其他附加属性。

④ 与节点相连的网格不能超过 2 段，当节点连接 2 段网格时，网格必须在同一直轴线上。

⑤ 当节点与 2 段网格相连并且网格上布置了构件时（构件包括墙、梁、圈梁），构件必须为同一类截面并且偏心等布置信息完全相同，并且相连的网格上不能有洞口。

3.修改



可在全楼模型上或者局部几个楼层的模型上进行连带轴线的复制、移动、旋转、镜像、延伸等编辑操作。

4.模型补充输入



模型补充输入用于立柱、斜梁、斜撑、拉索、属性设置等布置编辑功能。

杆件输入为鼠标选取网格线布置杆件。

属性设置的应用：

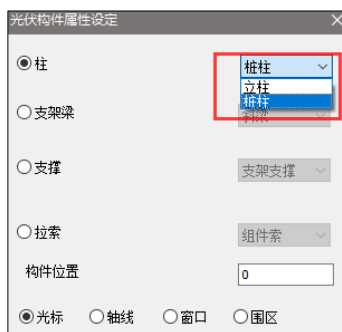
光伏支架在后续计算设计时，会针对光伏支架的一些特殊情况进行处理，所以有必要设置一些相关属性，包括构件的种类和位置。

对于按照参数化布置的支架，一般情况下不用修改构件属性。

对于用户打开的其他普通模型或者在任意支架模型下自己建立的支架模型，则需要设置一些相关属性，设置的方法如下：

构件种类可以参见对话框的选择，按照实际构件设置对应种类。

需要特别说明的是，实际工程中的一些桩，在模型中是按照柱子建模的，这里就需要设置成桩柱。



构件位置设定按照如下规则：

位置信息按照 $m*100+n$ 的格式填写。

柱子： m 表示柱子在横向是第 m 根柱子， n 表示在第 n 跨。其中单桩单立柱 m 默认为 2。

比如第 1 根柱子属于第一跨，则构件位置填写 101；第 2 根柱子属于第一跨，构件位置填写 201。

斜梁： $m=0$ ， n 表示第几跨。

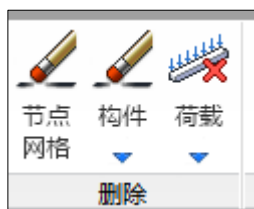
檩条： m 表示横向第 m 根檩条， n 表示第几跨，其中在支架最左边的为第 0 跨。

抱箍连接件： m 表示横向第 m 根柱子， n 表示第几跨。

拉索和抗风缆绳： m 表示横向第 m 根拉索， n 表示第几跨。

其他构件位置信息不必填写。

5.删除



删除用于节点、构件和荷载的删除功能。

6.组件布置

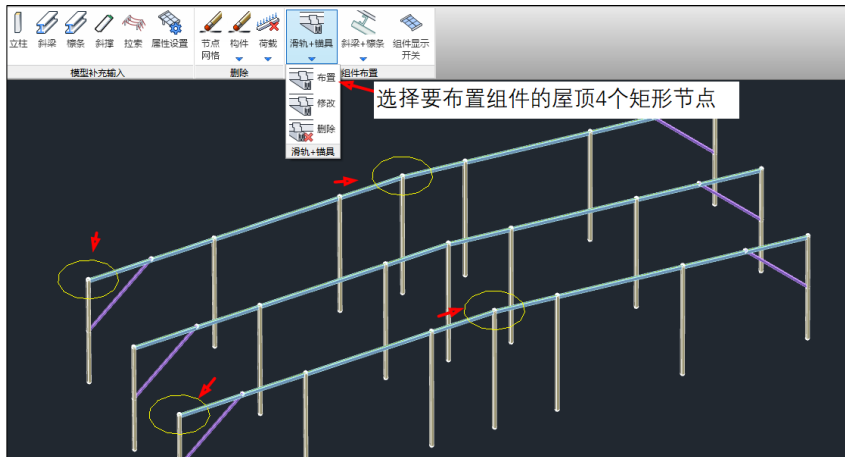


组件布置包括滑轨+锚具，斜梁+檩条，组件显示开关。

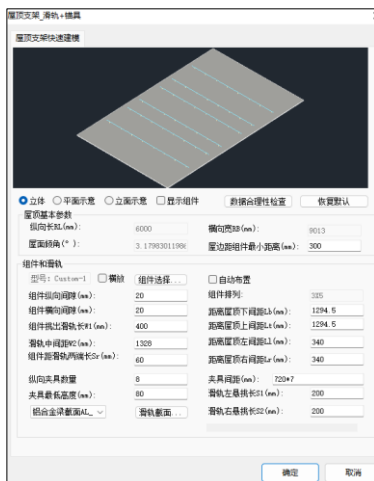
(1).滑轨+锚具

滑轨+锚具布置步骤：

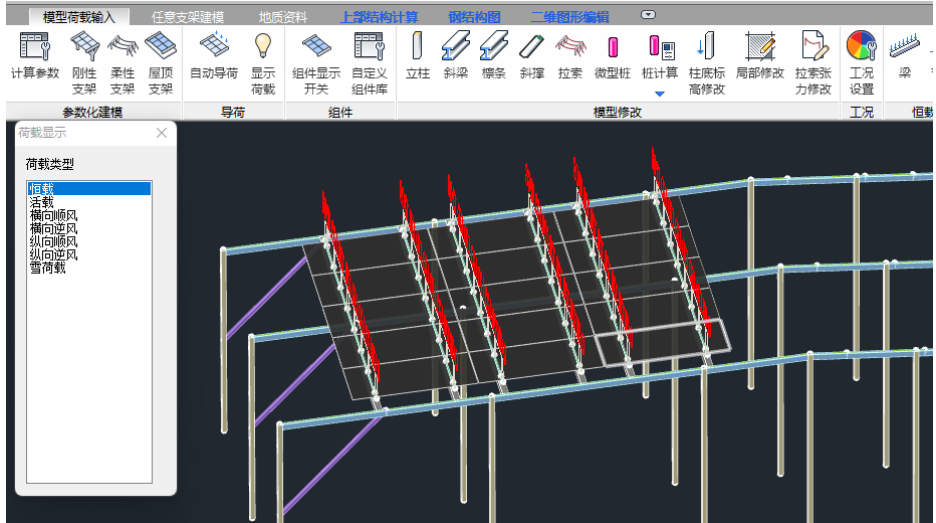
①点击滑轨+锚具布置，鼠标选择要布置组件的屋顶 4 个矩形节点，如下图。



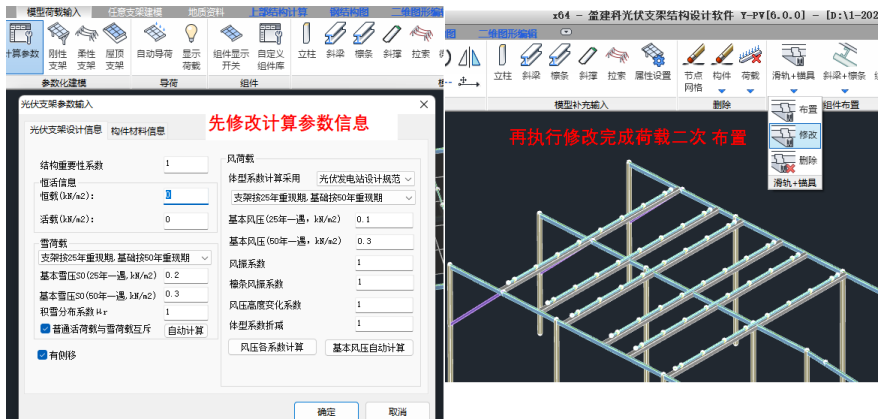
②程序弹出参数对话框如下：修改参数信息后点击确定，完成布置，此时程序自动生成滑轨、锚具、与斜梁连接的虚梁、光伏组件板、并进行自动导荷。



③荷载查看：可通过模型荷载输入中“显示荷载”查看每组工况荷载数据



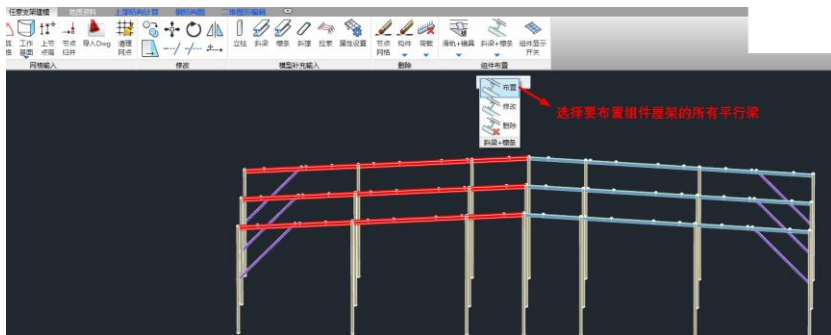
④再次修改荷载：当需要再次修改荷载时，首先在计算参数中修改信息，然后执行滑轨+锚具的修改功能，完成二次荷载自动生成。



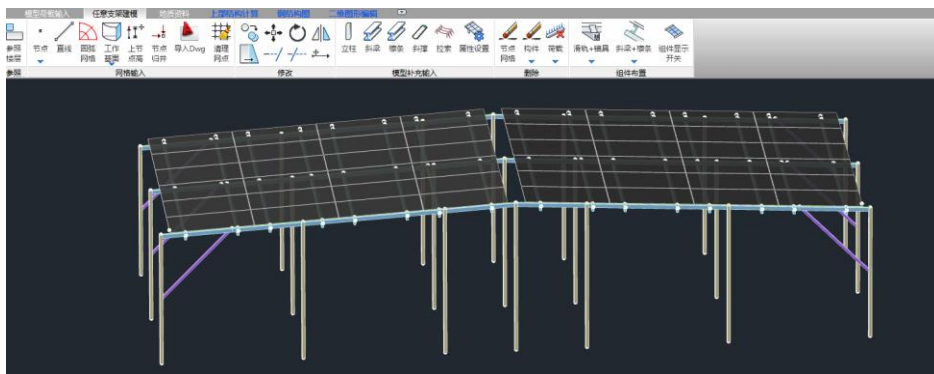
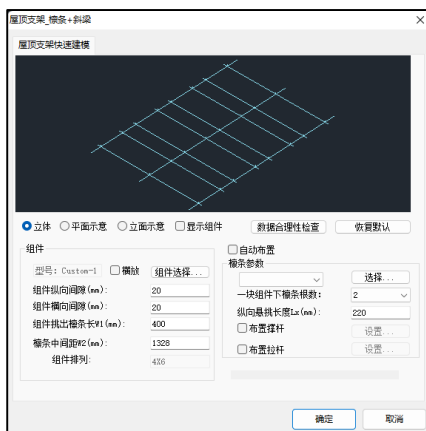
(2).斜梁+檩条

斜梁+檩条布置步骤：

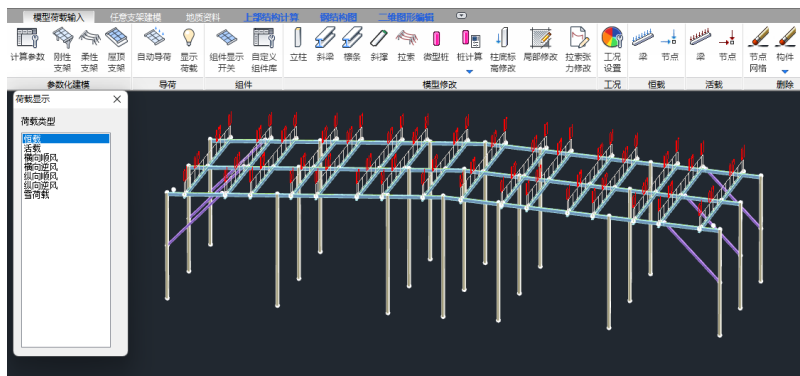
①点击斜梁+檩条布置，鼠标选择要布置组件屋顶的所有平行梁，如下图。



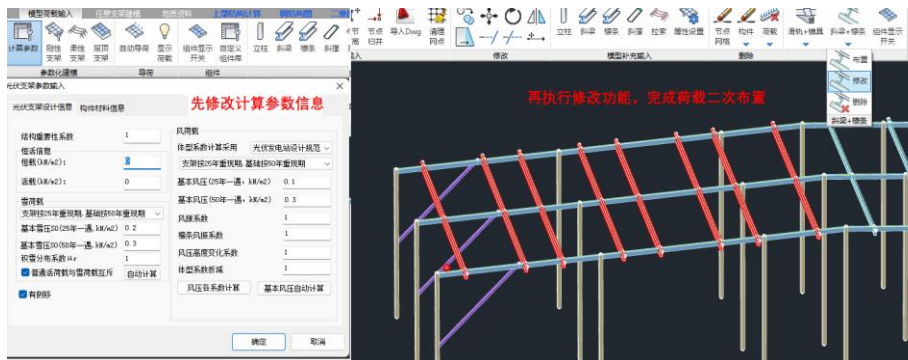
②程序弹出参数对话框如下：修改参数信息后点击确定，完成布置，此时程序自动生成檩条、光伏组件板、并进行自动导荷。



③荷载查看：可通过模型荷载输入中“显示荷载”查看每组工况荷载数据



④再次修改荷载：当需要再次修改荷载时，首先在计算参数中修改信息，然后执行斜梁+檩条的修改功能，完成二次荷载自动生成。

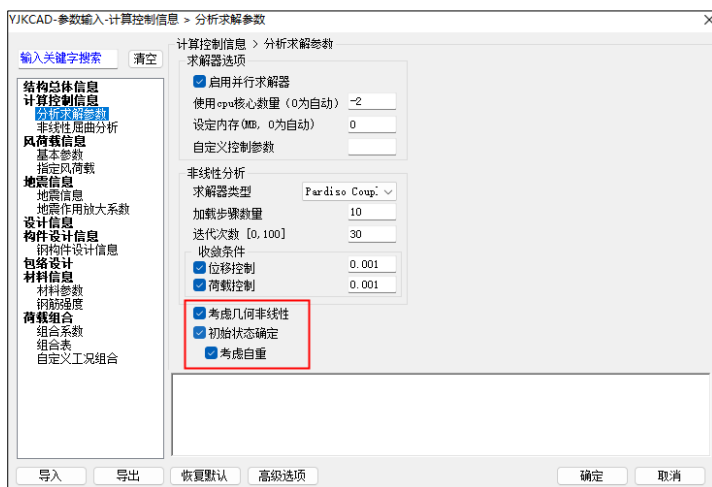


三、前处理及计算

1.计算参数

1) 计算控制信息

索结构分析应考虑几何非线性影响，由于力和位移呈非线性关系，所以结构效应不能采用叠加原理，只能采用增量迭代加载方式分析。程序采用的经典非线性分析迭代算法：牛顿-拉普森迭代法。



组合表中需要勾选非线性选项及采用自定义组合，“采用自定义组合”意为荷载工况组合方式为“组合表”菜单中自定义的组合方式，勾选该参数方可修改组合表中的各个分项系数。在非线形分析中，需要先组合荷载，再进行内力分析，比如计算恒+活的组合效应，我们首先将恒载荷载和活载荷载组合，然后进行非线性分析。组合表中预拉力工况自动与恒、活、风荷载组合，再进行内力分析。

需要指出的是，由于地震通用方法是振型分解反应谱法，因此程序对含地震组合的效应按下面的方法处理：首先单独计算地震作用效应；其次组合除地震作用外的其他荷载工况；然后非线性计算除地震效应外的组合效应；最后非线性组合计算叠加地震效

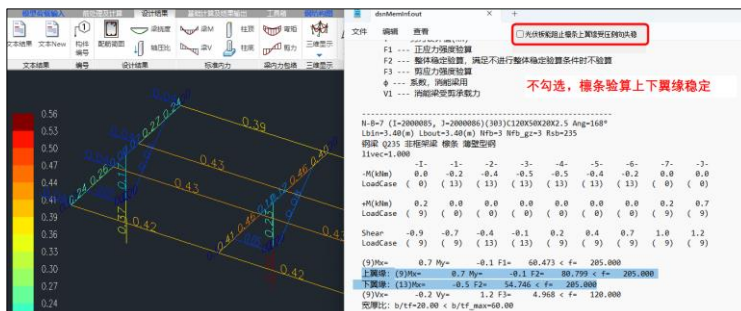
应；

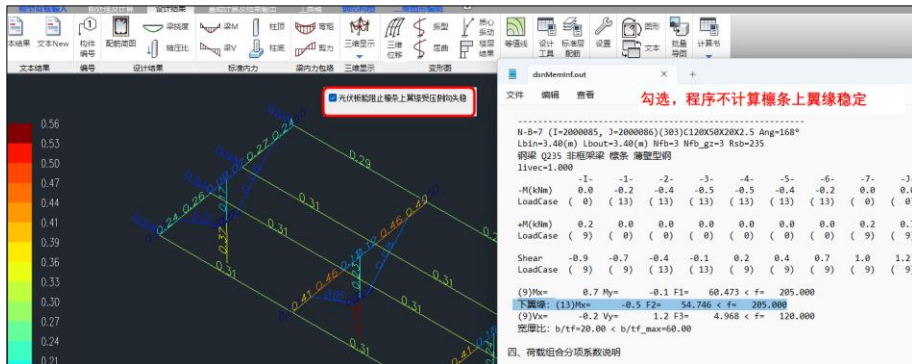


2) 钢构件设计信息



“光伏板能阻止檩条上翼缘受压侧失稳”，当勾选此参数时，程序不验算檩条的上翼缘稳定性，当不勾选此参数时，程序自动验算檩条上下翼缘稳定性。





“方、矩形管成型方式系数”，主要用于冷弯薄壁构件考虑《冷弯薄壁规范》附录 C 的冷弯效应时，成型方式系数 η 可以交互修改。



C.0.1 考虑冷弯效应的强度设计值 f' 可按下式计算：

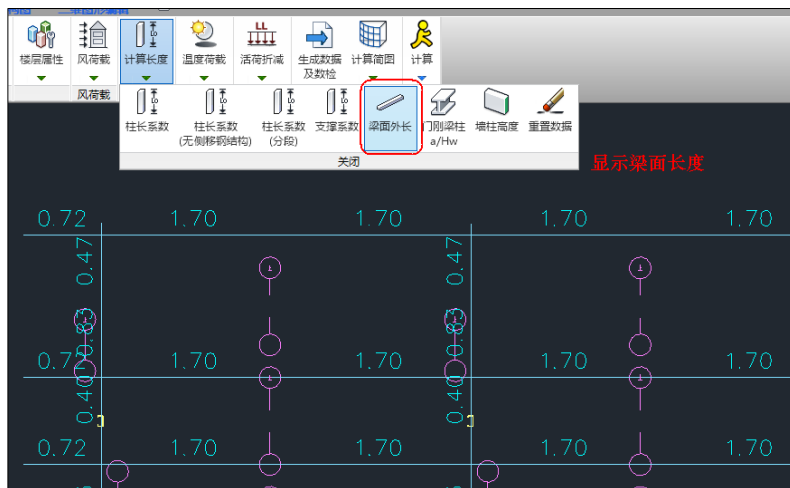
$$f' = \left[1 + \frac{\eta(12\gamma - 10)t}{l} \sum_{i=1}^n \frac{\theta_i}{2\pi} \right] f \quad (\text{C.0.1-1})$$

式中 η —— 成型方式系数，对于冷弯高频焊(圆变)方、矩形管，取 $\eta=1.7$ ；对于圆管和其他方式成型的方、矩形管及开口型钢，取 $\eta=1.0$ ；

γ —— 钢材的抗拉强度与屈服强度的比值，对于 Q235 钢可取 $\gamma=1.58$ ，对于 Q345 钢可取 $\gamma=1.48$ ；

考虑冷弯效应，按冷弯薄壁规范附录 C.0.1 计算强度设计值，

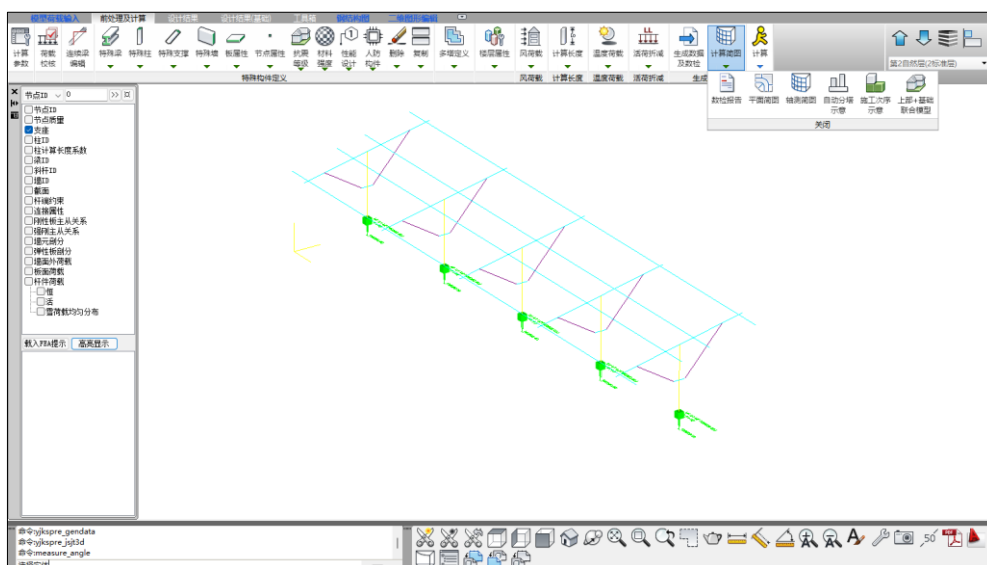
$$\text{强度提高系数} 1 + \frac{\eta(12\gamma - 10)t}{l} \sum_{i=1}^n \frac{\theta_i}{2\pi} = 1 + \frac{1.00 \times (12 \times 1.58 - 10) \times 3.0}{280.33} \times 4/4 = 1.10$$



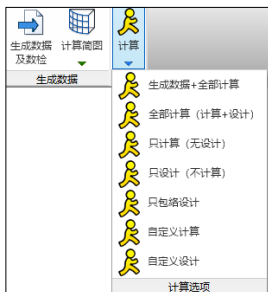
5. 计算简图

生成数据及数检后，可通过轴侧简图查看计算模型生成的支座、柱长系数、杆件荷载等属性。

轴侧简图，以三维图方式表现计算模型，对梁、柱、斜杆都按照单线画，计算模型显示的内容可通过左侧栏选项查看。



6. 执行上部结构计算

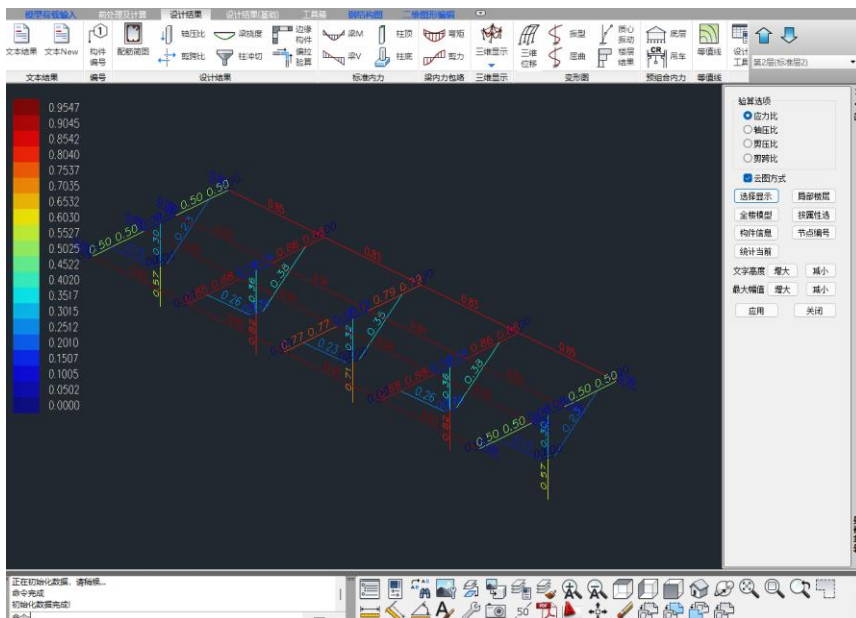


前处理数据指定完成后，即可进行结构内力计算与构件设计。

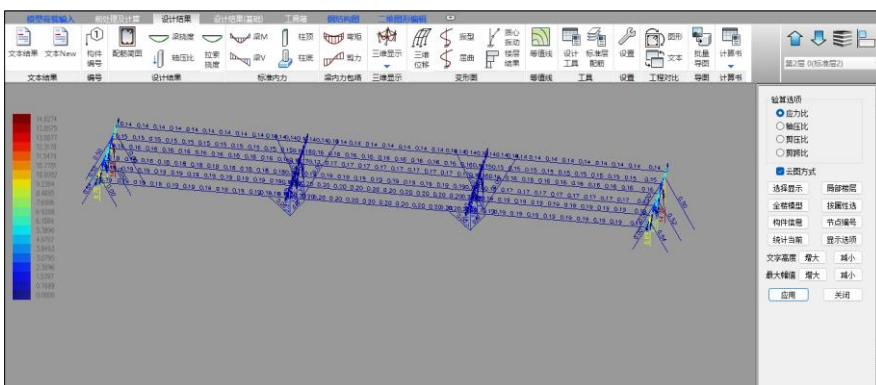
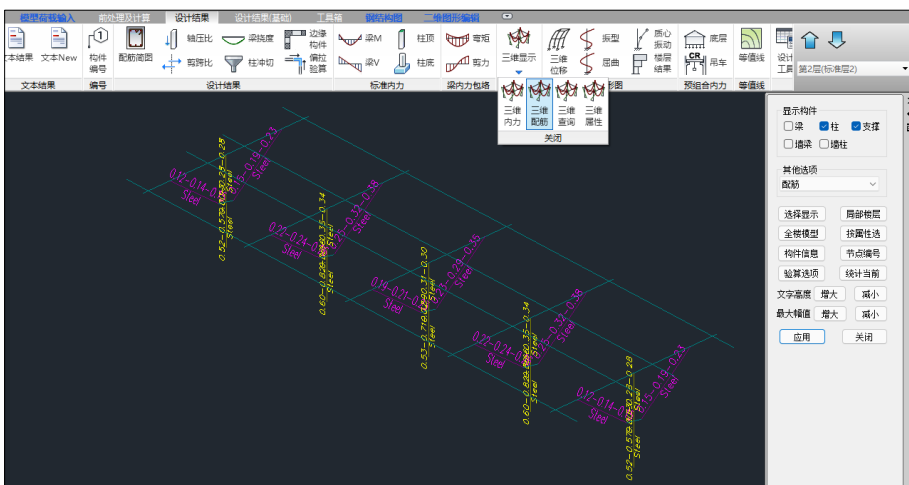
四、设计结果查看

1. 三维显示

进入设计结果模块，程序以三维应力云图显示光伏支架构件验算结果。



也可通过三维显示中三维配筋、三维内力等显示查看结果。

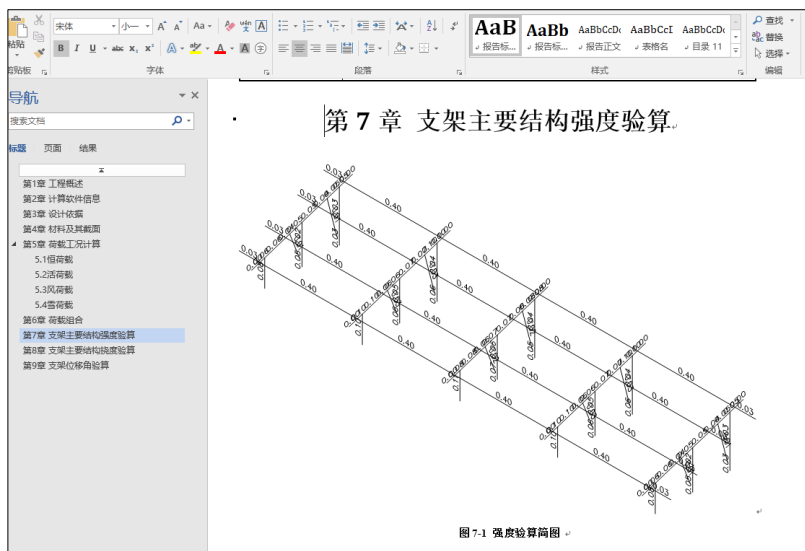


2. 光伏支架计算书



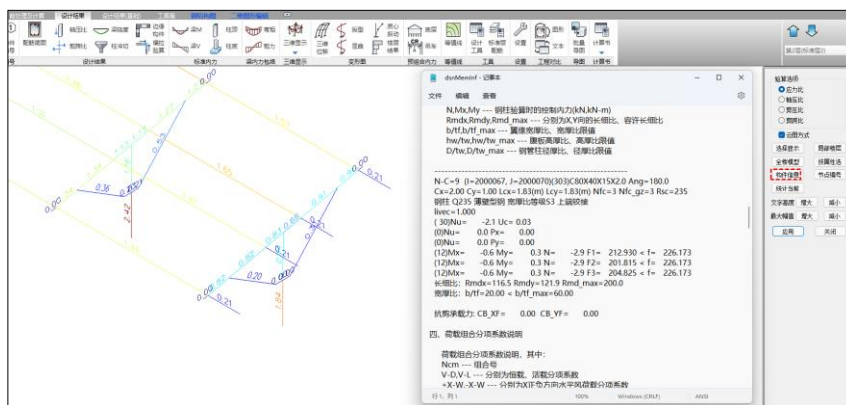
点开“计算书”，点击“光伏支架计算书”程序弹出 word 版的整体计算书，内容包括工程概述、设计依据、材料及截面、荷载工况计算、荷载组合、支架结构强度图和

支架结构挠度图、支架位移角。



3. 构件信息

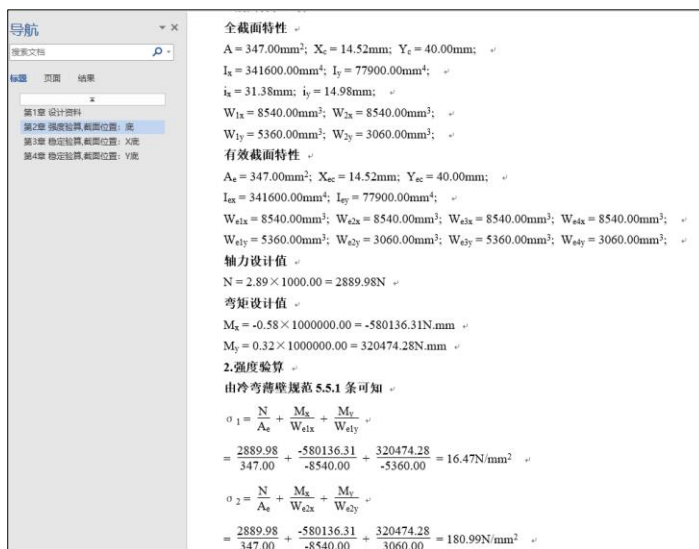
设计结果-右侧栏内容中，点击“构件信息”点取单根构件，程序会输出构件的文本结果，内容包括几何材料信息、标准内力信息、构件设计验算信息、荷载组合分项系数说明、各组合设计内力、各组合分项系数、标准组合系数共 7 项结果。



4. 构件详细计算书

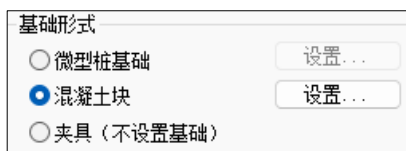


通过计算书下的“构件详细”点取单根构件，程序会输出 word 版详细计算书，内容输出构件设计的依据规范、计算公式、构件截面特性、计算过程、计算结果和超限提示。

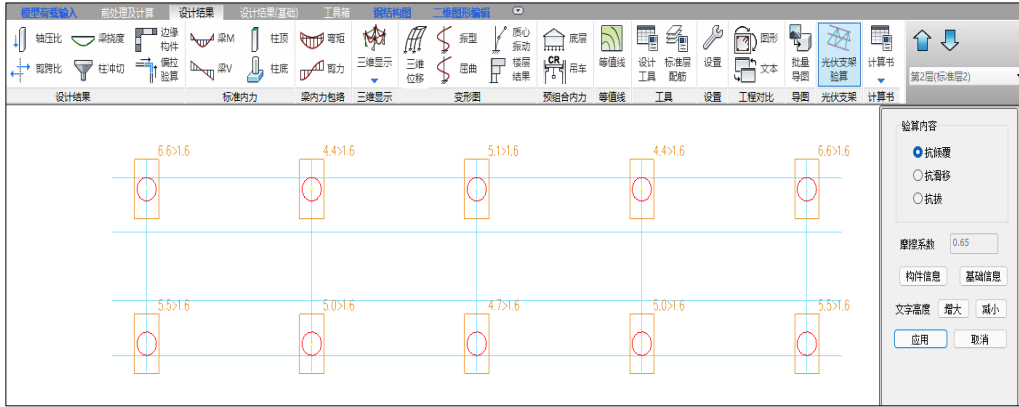


5.混凝土基础块

当基础为混凝土块形式时，程序依据《太阳能发电站支架基础技术规范》第 5.3 节要求进行基础的抗倾覆稳定性验算、抗拔稳定性验算和抗滑移稳定性验算并提供详细文本结果输出。



结果输出在“设计结果”模块右侧的“光伏支架验算”选项菜单。当基础为混凝土块时，点击“光伏支架验算”功能，通过选择验算内容查看基础的验算结果；通过点击“基础信息”点取基础块弹出文本结果输出。



```

*****
*****          支架基础抗滑移、抗倾覆、抗拔验算          *****
*****

相连柱编号:          ID = 20
相连柱全楼编号:      TotID = 2000114
基础形状:            矩形
基础尺寸(长X宽X高): 400X200X200

Gb : 基础自重(kN)
Tk : 相应于荷载标准组合时, 上部支架结构传至基础顶面的竖向拔力(kN), 当为压力时取负值
Ek : 相应于荷载标准组合时, 上部支架结构传至基础顶面的水平推力(kN)
μ : 土对扩展式基础地面的摩擦系数, 应由试验确定, 也可按《太阳能发电站支架基础技术规范》GB51101-2016 表5.3.15选用
Mkt : 相应于荷载标准组合时, 上部支架结构传至基础顶面的弯矩(kN*m)
b1 : 基础自重重心至基础底在倾覆转动点的水平距离(m)
b2 : 基础顶面的竖向力作用点至基础底在倾覆转动点的水平距离(m)
h : 基础高度(m)

根据《太阳能发电站支架基础技术规范》GB51101-2016第5.3.16条款进行抗倾覆验算
验算组合号: 10
(Gb * b1 - Tk * b2) / (Mkt + Ek * h) = (0.400 * 0.200 - (-3.700) * (0.000)) / ((-0.072) + (-0.048) * 0.200) = |-1.0| < 1.6, 不满足

-----

根据《太阳能发电站支架基础技术规范》GB51101-2016第5.3.15条款进行抗滑移验算
验算组合号: 17
(Gb - Tk) * μ / Ek = (0.400 - (-3.279)) * 0.650 / 0.563 = 4.3 > 1.3, 满足

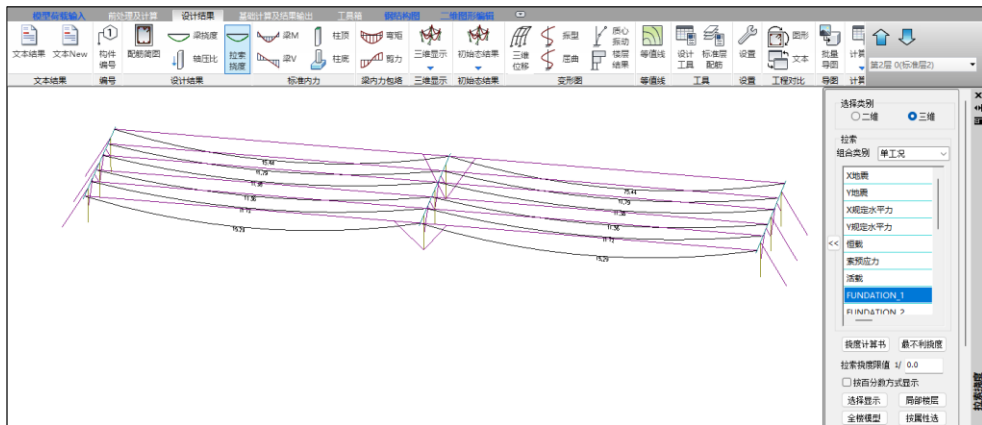
-----

根据《太阳能发电站支架基础技术规范》GB51101-2016第5.3.17条款进行抗拔验算
Tk < 0, 不进行抗拔验算

```

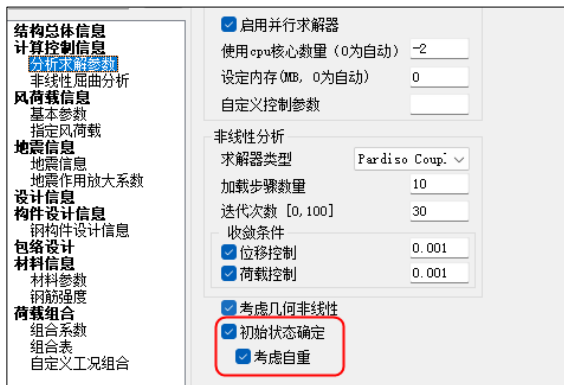
6.索挠度图

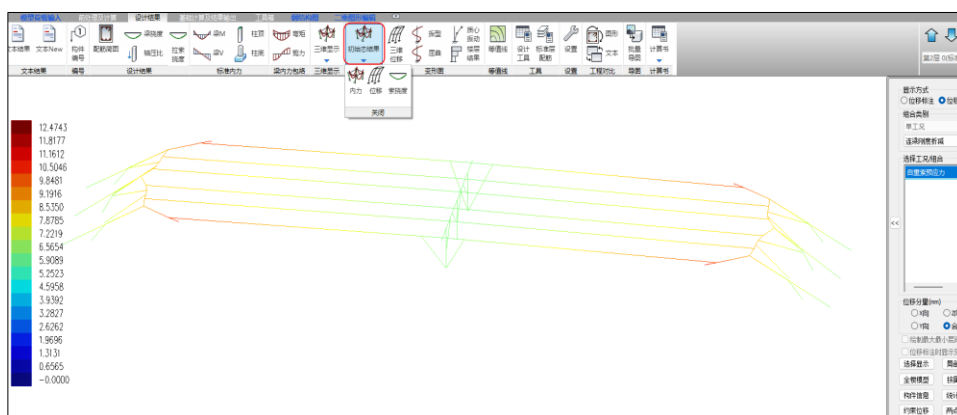
程序对柔性支架位移结果程序自动给出三维位移图，并可进行单工况或多组组合工况查看。点击挠度计算书，鼠标选择索单元，程序弹出索挠度计算书。



7.初始态结果

柔性支架，计算信息中勾选初始态分析控制参数、设计结果输出初始态索自重和索预拉力工况下的内力、位移和索挠度结果。如下图所示。





五、钢结构施工图



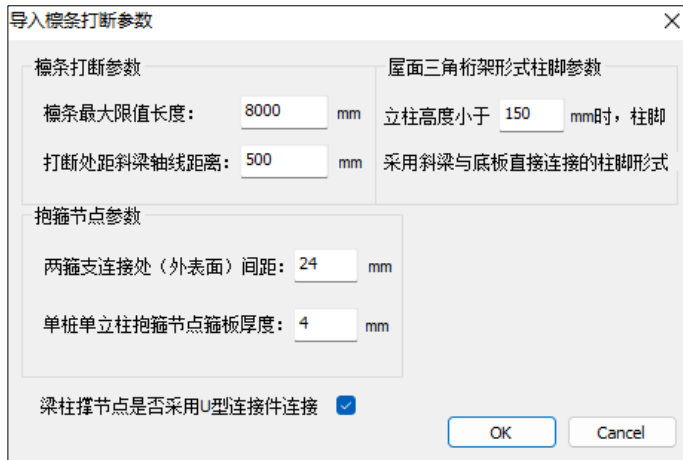
1. 钢结构施工图操作流程

- (1). 点击导入模型、此时导入真实模型数据，识别节点类型。
- (2). 点击全局参数和节点设置，进行各类型节点参数和节点形式的选择。
- (3). 点击节点设计进行全楼节点设计。

(4). 执行“平立面图”菜单，程序自动绘制整套光伏支架施工图有设计总说明、柱脚锚栓图、光伏组件布置图、光伏支架平面布置图、立柱平面布置图、檩条平面布置图、光伏组件尺寸图、立柱纵向立面布置图、立柱横向立面布置图和节点详图、焊缝大样图等，并进行汇总，生成图纸目录，最后生成全楼材料表。

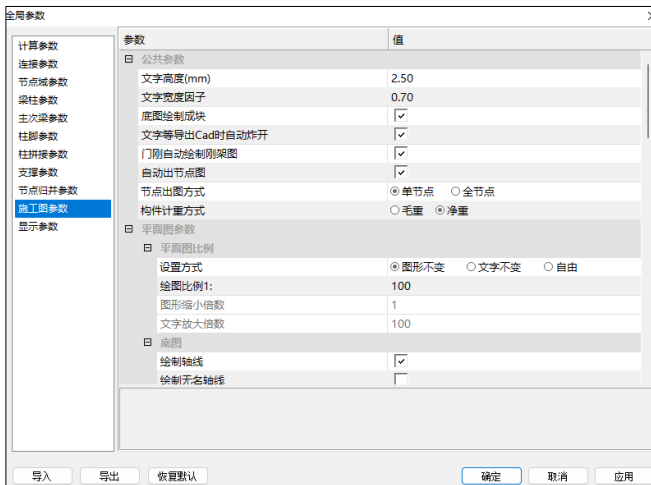
注：施工图双击查看后，程序将模型和施工图以多文档方式展示在屏幕下方，点击左上角的“保存”功能，此时程序会自动将施工图保存为 dwg 格式的图纸在“钢结构施工图”目录中。

2. 导入参数



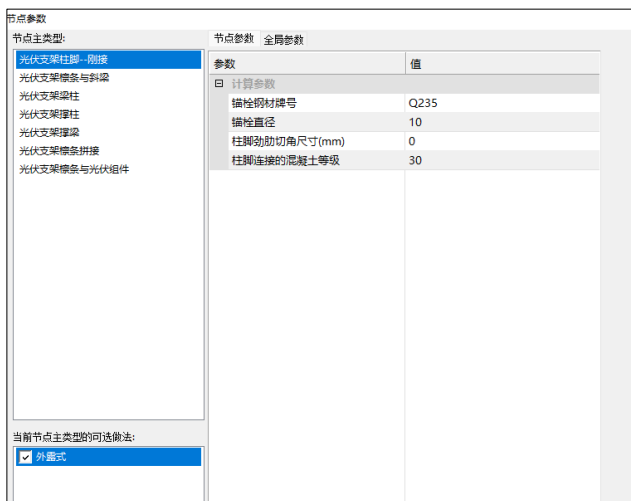
导入参数包括檩条拼接位置，抱箍节点参数、U 型件连接节点等。当支架模型为抱箍连接节点时，不要勾选梁柱撑节点采用 U 型连接件连接，抱箍节点对应的梁柱支撑节点将采用螺栓连接方式。

3. 全局参数



全局参数中重点需要修改的参数为连接参数和施工图参数，连接参数修改螺栓等级、直径。施工图参数修改平立面图的绘制比例。

4.节点设置



节点设置用于节点形式选择，节点设置对话框为左侧展示节点大样、右侧对应主要计算参数修改。

5.节点设计

程序将根据用户设定的参数读取建模模型及计算内力，生成钢结构节点并进行节点设计及归并。

程序将在节点设计完成后自动绘制全楼三维模型。

6.计算书

单节点验算：

单节点验算用于查看平面图或者立面图中单个节点计算书，点击该按钮，程序提示选择节点，鼠标选择单个节点后弹出该节点的文本设计结果，方便用户查看。

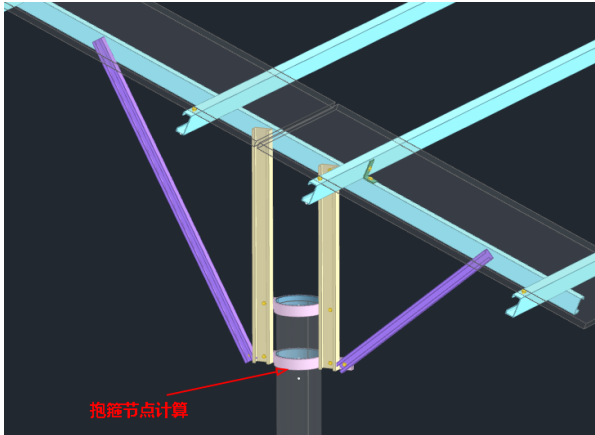
重输出计算书：

点击“重输出计算书”，程序自动将模型中所有节点计算书分类输出到“施工图目录”下“钢结构”文件夹中。

7.平立面图

执行“平立面图”，程序生成系列图纸，包括图纸目录、设计总说明、锚栓布置图、光伏组件布置图、光伏支架布置平面图、立柱平面布置图、檩条平面布置图、光伏组件尺寸图、立柱纵向立面图、立柱横向立面图、节点详图、以及标准焊接大样图。

8.抱箍节点计算



抱箍节点计算程序推导的公式如下：

1.剪力、弯矩、轴力共同作用下的刚抱箍计算：

剪力、弯矩、轴力共同作用下的刚抱箍计算

设计流程

螺栓取初始直径，计算最大 T 与最小 T（最大 T 小于最小 T 增加板厚），校验强度未通过则增加直径

板厚验算抗拉抗剪未通过增加板厚

验算项

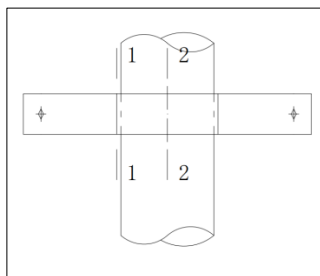


图 1 控制截面

螺栓验算

预拉力验算

竖向抗滑移验算（推导见下文）

$$T \geq \frac{kP}{\pi\mu}$$

强度验算 兼受拉剪

钢标 11.4.1-8

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2} \leq 1.0$$

钢标 11.4.1-9

$$N_v \leq N_c^b$$

抱箍验算

截面 2 兼受拉剪（推导见下文）

$$\frac{T}{ht} + \frac{3kP}{\pi h^2 t} (\pi l - 2r) + \frac{\max(0, P_H - P'_H, P_H + P'_H)}{2ht} \leq f$$

截面 1 刚度，两项弯矩加轴力（认为起控制作用）

相当于悬臂梁，钢标 8.1.1-1

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f$$

其中（推导见下文），

$$M_x = \frac{1}{2}k(P + P')(l - r), \quad W_x = \frac{1}{6}h^2t, \quad \gamma_x = 1.0,$$

$$M_y = T(l_T - r), \quad W_y = \frac{1}{6}ht^2, \quad \gamma_y = 1.0,$$

$$N = \max(0, P_1, P_2), \quad A_n = ht;$$

截面 1 处抗剪

$$\tau = \frac{T}{A_n}$$

橡胶垫圈验算

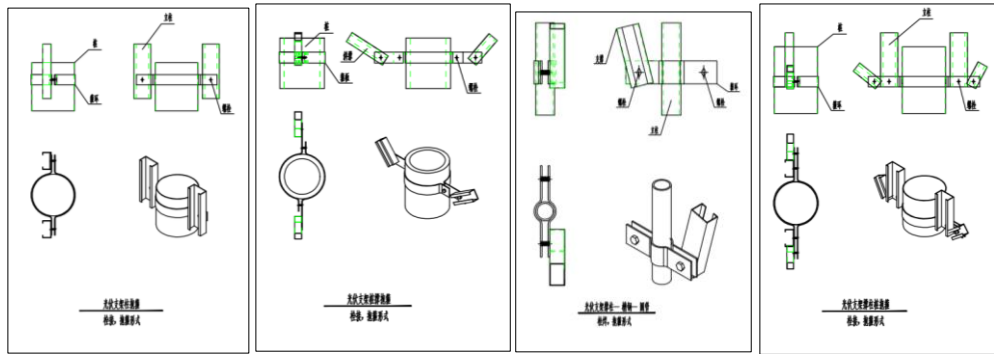
最大摩阻力强度计算式（推导见下文）

$$f_{0max} = \frac{kP}{\pi rh} + \frac{\mu T}{hr} + \frac{3\mu kP}{\pi h^2 r} (\pi l - 2r) + \frac{\mu \cdot \max(0, P_H - P'_H, P_H + P'_H)}{2hr}$$

前言

现有的抱箍计算力学模型的外荷载为作用在刚抱箍两侧竖向等值对称荷载 kP 。而盈建科光伏支架设计产品中的光伏支架抱箍节点（共四种见图 2）两侧连接有斜撑，考虑到水平荷载、竖向荷载对于效应的贡献，故而不能直接忽略。

为此，有必要根据力学的基本原理对其进行详细的受力分析，推导和求证钢抱箍设计的主要力学计算公式，用以佐证盈建科光伏支架产品中的几种抱箍节点计算。



形式一

形式二

形式三

形式四

《钢抱箍结构的力学分析与计算》中，推导了一对两侧大小相等方向相同且偏心局也相同的力作用在耳板的钢抱箍结构（见下图 2）的力学计算式。其中，作者将这一对外荷载分解成作用在抱箍上的剪力以及作用在抱箍两侧耳板连接处大小相等、而方向相反的弯矩。

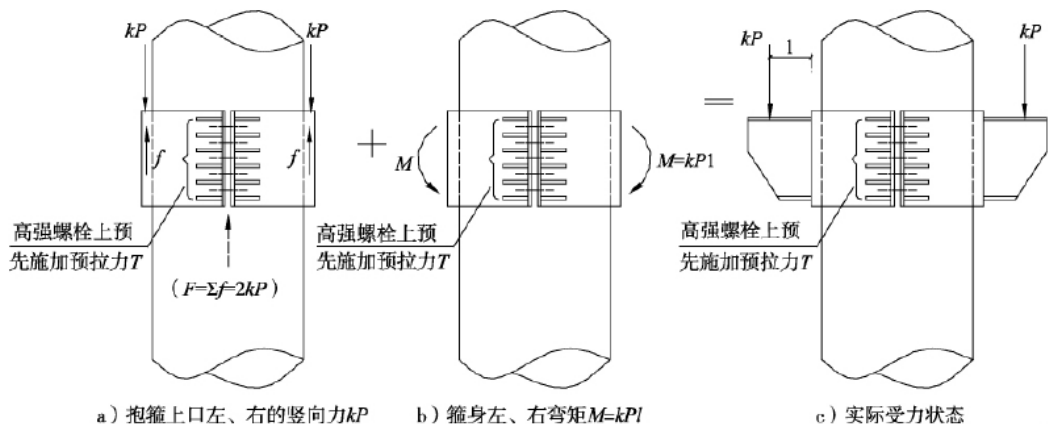


图 2 钢抱箍双牛腿上外荷载 kP 分解示意图

然而，盈建科光伏支架软件中现有的四种抱箍形式的实际受力状态更加复杂，实际工程中两侧箍板的剪力、弯矩不同，弯矩较大一侧多余的弯矩由桩（钢管柱或橡胶板）作用在这一侧内壁下部和对侧内壁上部一对大小相等、方向相反的反力（挤压力）组成的弯矩平衡。

简言之，将外荷载分解为剪力和弯矩后，作用在两侧耳板的弯矩无法实现自平衡。因此，我们将这种实际工程中的抱箍受力状态拿出来分析。

假定说明

受力分析前，我们做出如下规定：

假定橡胶垫圈强度可以满足节点的正常使用要求，即在正常使用条件下橡胶垫圈发生的变形为线弹性变形。在此假定下，我们用三角形应力分布模拟平衡力的应力分布，

故，抱箍内壁上平衡力偶的作用点在距离抱箍上下边缘 1/3 高度处；

假定抱箍变形也为线弹性变形；

假定抱箍内的桩（圆管柱）为刚性构件。在此假定下，平衡力偶为集中力且作用点在抱箍上下边缘处。

剪力、弯矩、轴力共同作用下的受力分析

综合以上四种形式的抱箍形式，推广至一般化的力学模型如图 3 中①所示，抱箍受到距桩中心线 l 大小和方向均不相等的力 kP_1 和 kP_2 （ k 为安全系数），以及垂直于纸面方向的螺栓预拉力 T 。将 kP_1 、 kP_2 二力分别沿水平与竖直方向分解得到②；

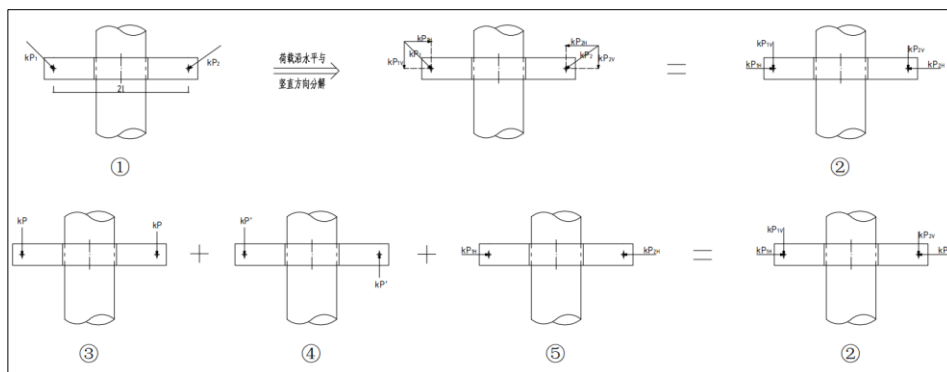


图 3

再用一对等值同向的力 P ，与一对等值反向的力 P' 来等效替代 P_1 和 P_2 如图 3 中③④，其中

$$P_{1V} = P + P' \quad P_{2V} = P - P'$$

$$\text{即 } P = \frac{P_{1V} + P_{2V}}{2} \quad P' = \frac{P_{1V} - P_{2V}}{2} \quad (P、P' \text{ 正方向取竖直向下})。$$

则四种抱箍形式荷载都可以由图 3 中的③④⑤三种荷载形式的组合来表达。例如抱箍形式 4 中的荷载可分解为支撑传来的③④⑤三种荷载形式的组合和立柱传来的③④⑤三种荷载形式的组合的组合。

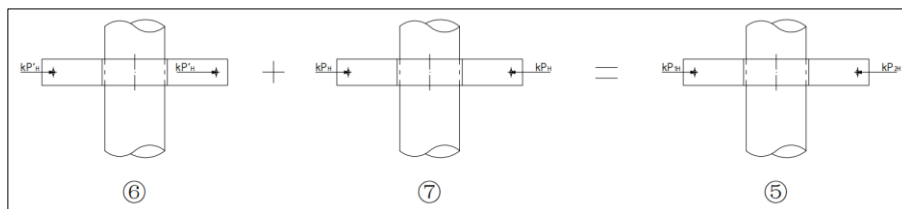


图 4

用一对关于截面对称的力 P_H ，与一对关于截面反对称的力 P'_H 来等效替代 P_{1H} 和 P_{2H} 如图 4 中⑥⑦，其中

$$P_{1H} = P_H + P'_H \quad P_{2H} = P_H - P'_H$$

即 $P_H = \frac{P_{1H} + P_{2H}}{2}$ $P'_H = \frac{P_{1H} - P_{2H}}{2}$ (P_H 、 P'_H 正方向取远离桩中心水平向外)。

取控制截面 1、2 进行应力状态分析。

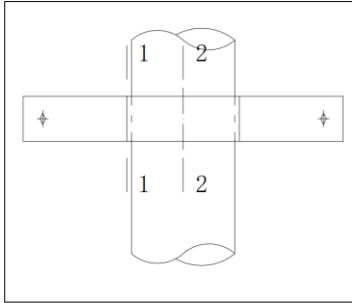


图 5 控制截面

控制截面 1

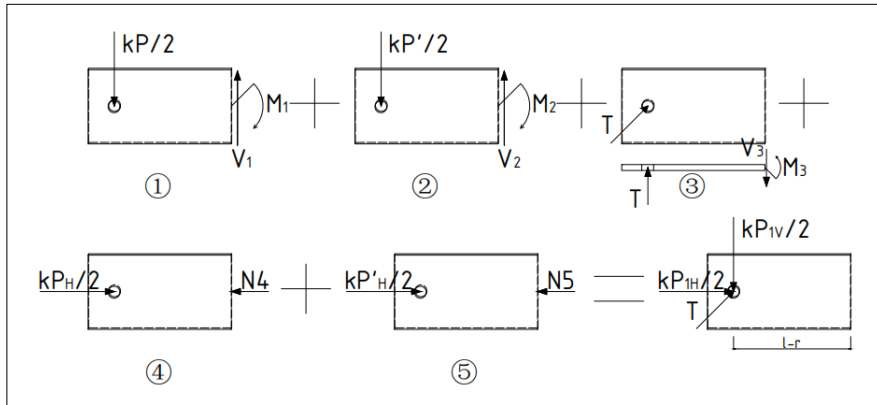


图 6

在图 3 中的等效荷载形式③单独作用下，取抱箍截面 1 左侧隔离体做应力状态分析：抱箍在距离截面 1 ($l-r$)处作用一大大小为 kP 的竖向力，如图 6 中①所示。

由 $\sum F_y = 0$ ，有

$$\frac{kP}{2} + (-V_1) = 0$$

其中， $V_1 = \tau_1 A = \tau_1 ht$ 。代入，得 $\tau_1 = \frac{kP}{2ht}$ ；

由 $\sum M_z = 0$ ，有

$$\frac{kP}{2}(l-r) + (-M_1) = 0$$

其中, $M_1 = \frac{1}{6}h^2t\sigma_1$. 带入, 得 $\sigma_1 = \frac{3kP(l-r)}{h^2t}$;

在图 3 中的等效荷载形式④单独作用下, 取抱箍截面 1 左侧隔离体做应力状态分析: 抱箍在距离截面 1 ($l-r$)处作用一大小为 kP' 的竖向力, 如图 6 中②所示。与 1) 同

理, $\tau_2 = \frac{kP'}{2ht}$, $\sigma_2 = \frac{3kP'(l-r)}{h^2t}$;

螺栓预拉力 T 单独作用下, 取抱箍截面 1 左侧隔离体做应力状态分析: 抱箍在距离截面 1 ($l-r$)处作用一大小为 T 的垂直于纸面向里的力, 如图 6 中③所示。

由 $\sum F_z = 0$, 有

$$T + (-V_3) = 0$$

其中, $V_3 = \tau_3A = \tau_3ht$. 带入, 得 $\tau_3 = \frac{T}{ht}$;

由 $\sum M_y = 0$, 有

$$T(l_T - r) + (-M_3) = 0$$

其中, $M_3 = \frac{1}{6}h^2t\sigma_3$. 带入, 得 $\sigma_3 = \frac{6T(l_T - r)}{h^2t}$, l_T 为预张力加载点到桩形心距离;

在图 4 中的等效荷载形式⑥单独作用下, 取抱箍截面 2 左侧隔离体做应力状态分析: 抱箍在距离截面 1 ($l-r$)处作用一大小为 kP'_H 的水平力, 如图 6 中⑤所示。

由 $\sum F_x = 0$, 有

$$\frac{kP'_H}{2} + (-N_4) = 0$$

其中, $N_4 = \sigma_4A = \sigma_4ht$. 带入, 得 $\sigma_4 = \frac{kP'_H}{2ht}$;

在图 4 中的等效荷载形式⑦单独作用下, 取抱箍截面 2 左侧隔离体做应力状态分析: 抱箍在距离截面 1 ($l-r$)处作用一大小为 kP_H 的水平力, 如图 6 中④所示。

与 4) 同理, $\sigma_5 = \frac{kP_H}{2ht}$;

综上,

$$\begin{cases} \sigma_{max} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + (-\sigma_4) + (-\sigma_5) \\ \sigma_{min} = (-\sigma_1) + (-\sigma_2) + (-\sigma_3) + (-\sigma_4) + (-\sigma_5) \\ \tau_y = \tau_1 + \tau_2 \\ \tau_z = \tau_3 \end{cases}$$

带入, 得

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{max} = \frac{3(l-r)}{h^2t} k(P+P') + \frac{6T(l-r)}{h^2t} + \frac{k(P_H+P'_H)}{2ht} \\ \sigma_{min} = -\frac{3(l-r)}{h^2t} k(P+P') - \frac{6T(l-r)}{h^2t} + \frac{k(P_H+P'_H)}{2ht} \\ \tau_y = \frac{k(P+P')}{2ht} \\ \tau_z = \frac{T}{ht} \end{array} \right.$$

控制截面 2

在图 3 中的等效荷载形式③单独作用下，取抱箍截面 2 左侧隔离体做应力状态分析：抱箍内表面收到环向摩擦力，单位面积上的摩阻力强度为 f ，方向竖直向下；抱箍在距离桩形心 l 处作用一大小为 kP 的竖向力。

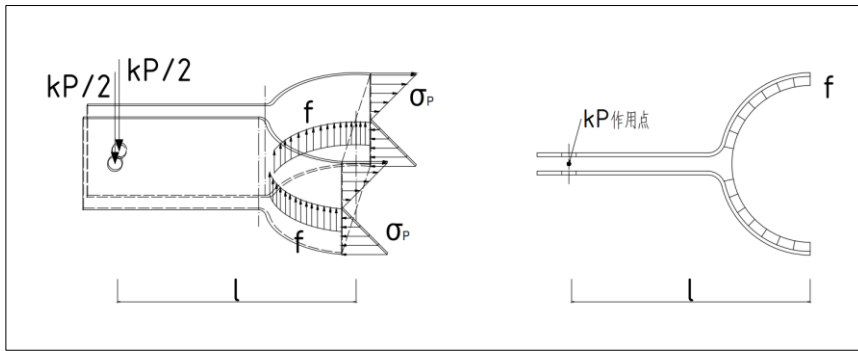


图 7

由于该抱箍结构与等效荷载③（见图 3）关于截面对称，易知截面上的剪力为 0，由 $\sum F_y = 0$ ，有

$$F_f + kP = 0, F_f = fA = f\pi rh$$

即 $f = \frac{kP}{\pi rh}$ ，其中 h 为箍板高度， r 为抱箍内径。

由 $\sum F_x = 0$ ，易知截面上的轴力为 0。

由 $\sum M_{\text{桩形心}} = 0$ ，有

$$M_f + M_{kP} + M_\sigma = 0$$

其中， $M_{kP} = kPl$ ， $M_\sigma = \frac{1}{3}h^2t\sigma_p$ （ t 为箍板厚度）， $M_f = \int_L y \cdot f(x)ds$ （ $f(x) = fh, L: x^2 + y^2 = r^2$ ，图像见图 84），令 $\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \end{cases}, \theta \in [0, \pi]$ 则 $\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\frac{\partial y}{\partial \theta}}{\frac{\partial x}{\partial \theta}} = \frac{r \cos \theta}{-r \sin \theta} = -\cot \theta$ ，带入 M_f 表达式换元，得

$$M_f = fh \int_{\pi}^0 r \sin \theta \sqrt{1 + \cot^2 \theta} dr \cos \theta = fhr^2 \int_0^{\pi} \sin \theta d\theta = 2fhr^2 = \frac{2kPr}{\pi}.$$

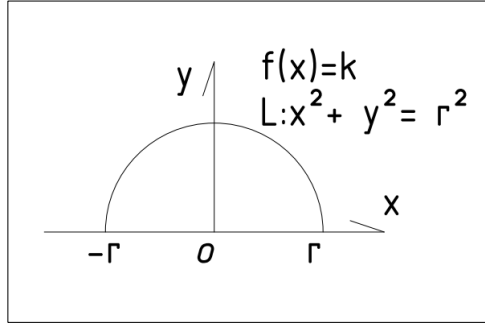


图 8

上述带入原方程，有

$$kPl + \left(-\frac{1}{3}h^2t\sigma_p\right) + \left(-\frac{2kPr}{\pi}\right) = 0, \text{ 即 } \sigma_p = \frac{3kP}{\pi h^2 t}(\pi l - 2r).$$

在图 3 中的等效荷载形式④单独作用下，取抱箍截面 2 左侧隔离体做应力状态分析：由于抱箍此时外荷载合力为 0，则无相对于桩的滑移趋势，故而环向摩擦力为 0。将作用在距桩形心距离为 l 的荷载 kP' ，等效成作用在桩形心处大小为 kP' 的力（竖直向下）和力偶 $kP'l$ （方向如图 9①中所示）。

由 $\sum F_y = 0$ ，有（ V 为截断面上剪力）

$$kP' + V = 0$$

其中， $V = 2\tau_p ht$ ，则 $\tau_p = \frac{kP'}{2ht}$ （竖直向上）。

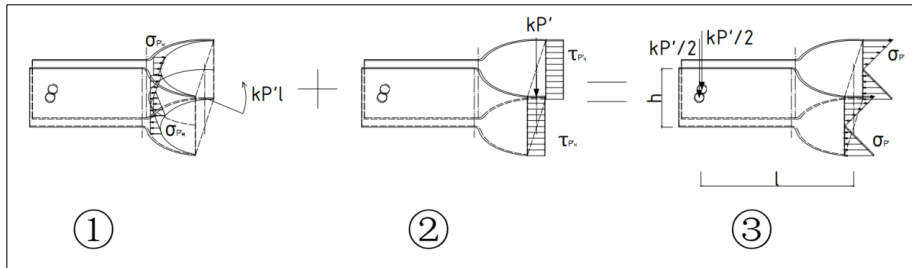


图 9

在图 9 中等效荷载①作用下，由于结构的竖向对称性与荷载的反对称性易知截断面上的轴力、弯矩都为 0（ $\sigma_p = 0$ ）。并且抱箍结构处于预应力螺栓箍紧状态下，因此，外荷载由接触面上的压力平衡掉。由于结构沿水平中心线对称，等效荷载①沿水平中心线反对称，可知压应力分布在抱箍内表面环向中心线对称，故上下半箍环的合力点位置

也关于水平中心线相对称（大小相等方向相反）。

在图 3 中的等效荷载形式⑤单独作用下，取抱箍截面 2 左侧隔离体做应力状态分析：当水平荷载 P_{1H} 方向指向桩形心时，对于抱箍截断面的受力而言有利（该力远小于与之产生效应相反的螺栓预紧力）。为简化分析，在验算截断面时忽略水平荷载 P_{1H} 方向指向桩形心时的有利影响。并且认为该荷载对抱箍在垂直于纸面方向的影响由摩擦力平衡，故可同样忽略该荷载对于高强螺栓的影响（验算高强螺栓时不考虑该项）；

反之，当水平荷载 P_{1H} 方向远离桩形心时，对与抱箍截断面及高强螺栓而言都不利，不能忽略其对这两项验算的影响。

为简化分析，（出于保守考虑）认为水平荷载全部由截断面上的法向应力平衡，有

$$F_{1H} + P_{1H} = 0 \quad F_{2H} + P_{2H} = 0$$

其中， $F_H = 2ht\sigma_H$ ，由于忽略抱箍内环的接触力变化（减少）对于平衡水平荷载的贡献，故 $F_H = \max(0, P_{1H}, P_{2H})$ ， $\sigma_H = \frac{\max(0, P_{1H}, P_{2H})}{2ht} = \frac{\min(0, P_H - P'_H, P_H + P'_H)}{2ht}$

将上述截断面上三种应力状态叠加，有

$$\sigma_{max} = \sigma_p + \sigma_{p'} + \sigma_H$$

$$\tau = \tau_{p'}$$

其中

$$\sigma_{max} = \frac{3kP}{\pi h^2 t} (\pi l - 2r) + \frac{\max(0, P_H - P'_H, P_H + P'_H)}{2ht}$$

$$\tau = \frac{kP'}{2ht}$$

有限元分析佐证

使用有限元软件 ANSYS 建立三维实体模型，其中抱箍板、螺栓.....橡胶垫圈

验证平衡荷载组一（同向弯矩+平衡力偶）作用下的截断面上应力分布拟合成均匀分布是否合理（连在刚度相对较大的混凝土桩上与连在刚度相近的钢管柱上时分别验证，钢管柱的变形不可忽略）

公式推导

（论文引用）经分析知，在荷载条件①单独作用下，抱箍连接高强螺栓上预先施加的拉力 T 等于双边等值荷载 kP （ k 为安全系数）除以 $(\pi\mu)$ ，

$$T = \frac{kP}{\pi\mu}$$

与摩擦系数 μ 和 π 有关系，而与抱箍和牛腿尺寸无关；且抱箍竖向面上的拉力是均匀的，所以平均拉力强度 t 的计算式为：

$$t = \frac{T}{A} = \frac{kP/\pi\mu}{Hb_1} = \frac{kP}{\pi\mu Hb_1} \text{ (kN/cm}^2\text{)} \quad (i-i)$$

(i-i)式中 H 为抱箍板高度， b_1 为抱箍板厚度。

抱箍抱箍高强螺栓理论先张拉力公式的推导：

$$T \geq \frac{kP}{\pi\mu}$$

控制截面 2 强度验算公式的推导：

$$\sigma_{0max} = \sigma_T + \sigma_{max} = \frac{T}{ht} + \frac{3kP}{\pi h^2 t} (\pi l - 2r) + \frac{\max(0, P_H - P'_H, P_H + P'_H)}{2ht}$$

原公式 $\sigma_T = \frac{kP}{\pi\mu Hb_1}$ 适用于最大摩擦力 μN 刚好与对称竖向荷载 kP 相等情况，与实际工程中的受力状态不符。实际工程中高强螺栓预拉力规格固定，往往 $T > \frac{kP}{\pi\mu}$ ，使得用原公式进行强度计算时偏于不安全。故，在此处取 $\sigma_T = \frac{T}{ht}$ 。

抱箍最大摩擦力估计公式的推导：

实际工程中水平荷载 \ll 预拉力 T ，近似认为摩阻力强度 f 的分布是均匀的，则 $f = \frac{kP}{\pi rh}$ ；此时对应的抱箍水平环向拉力强度 $\sigma_T = \frac{kP}{\pi\mu ht}$ 。

由上面两式的关系可得： $kP = f\pi rh = \sigma_T \pi\mu ht$ ，则 f 和 t 的关系式为：

$$f = \frac{\sigma_T \mu t}{r}$$

带入 2) 式得，外荷载单独作用下伴生的抱箍顶面附加的摩阻力强度

$$f' = \frac{\sigma_{0max} \mu t}{r} = \frac{\mu T}{hr} + \frac{3\mu kP}{\pi h^2 r} (\pi l - 2r) + \frac{\mu \cdot \max(0, P_H - P'_H, P_H + P'_H)}{2hr}$$

则抱箍顶部最大摩阻力强度：

$$f_{0max} = f + f' = \frac{kP}{\pi rh} + \frac{\mu T}{hr} + \frac{3\mu kP}{\pi h^2 r} (\pi l - 2r) + \frac{\mu \cdot \max(0, P_H - P'_H, P_H + P'_H)}{2hr}$$

六、基础设计

桩基基础，程序依据《光伏支架结构设计规程》第 8.3 节要求进行微型桩承载力验算包括竖向承载力计算、水平承载力计算和抗拔承载力计算，进行微型桩稳定性验算包括整体稳定性验算和压屈稳定性验算。

1. 基础设计

用于读取上部结构荷载、生成计算简图和光伏支架微型桩承载力计设计。

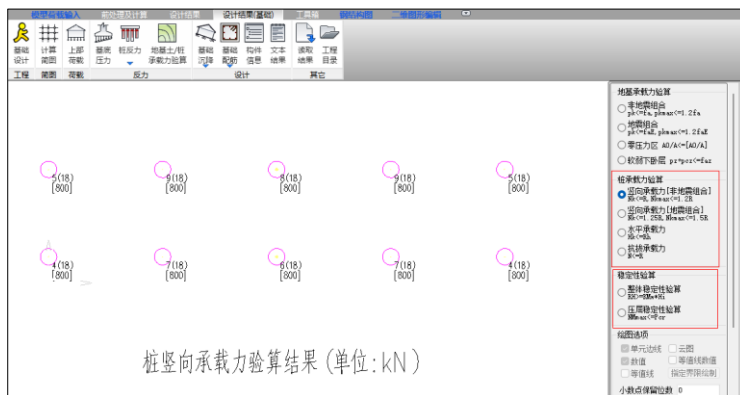
2. 上部荷载

显示选择的单工况或荷载组合的上部传递荷载。单工况为某种单个工况的荷载值，荷载组合分为基本组合、标准组合和准永久组合，荷载组合是采用了荷载参数定义中各种分项系数的组合值。

3. 桩承载力验算

通过桩承载力验算选项分别查看竖向承载力、水平承载力及抗拔承载力结果简图，“构件信息”点取单根桩基构件，程序会输出构件的详细文本结果。

通过稳定性验算选项分别查看整体稳定性验算和压屈稳定性验算结果。



七、基础施工图

基础施工图绘制桩基剖面图和桩基定位图。

1. 重新读取

重新读取为重新读取计算数据，将删除旧的施工图，删除所有之前的选筋信息，删除用户的施工图编辑信息。

2. 新绘底图

点击“新绘底图”菜单，软件保留用户的对基础施工图选筋信息、编辑信息，只是重新绘制底图。

3. 桩

点击桩，进行桩的配筋结果显示。

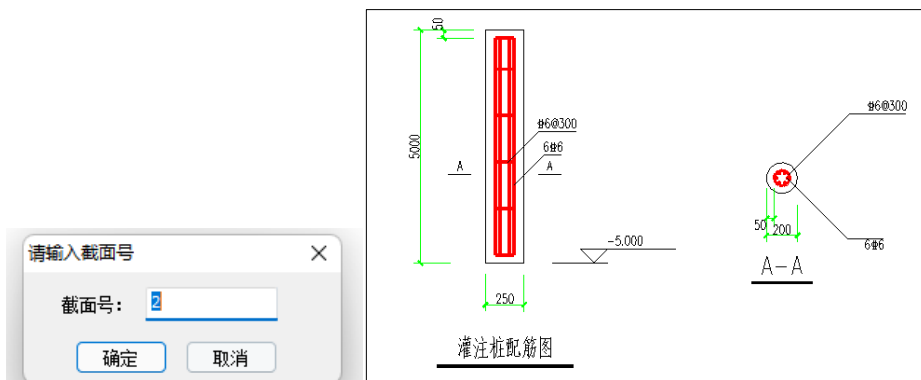
4. 修改钢筋

本功能对桩构件的标注钢筋进行修改。

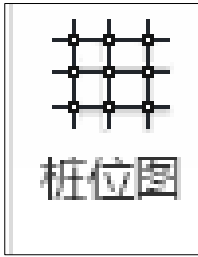


5. 剖面图

点击“剖面图”点取桩构件，输入截面号确定，鼠标指定桩剖面图插入点的平面位置即可完成操作。



6. 桩位图



桩位图绘制桩位平面布置图和桩构件统计表。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准. 建筑结构荷载规范 GB 50009-2012 . 中国建筑工业出版社, 2012.
- [2] 中华人民共和国国家标准. 建筑抗震设计规范 GB 50011-2010 . 中国建筑工业出版社, 2010.
- [3] 中华人民共和国国家标准. 钢结构设计标准 GB 50017-2017 . 中国建筑工业出版社, 2017.
- [4] 中华人民共和国国家标准. 冷弯薄壁型钢结构技术规范 GB 50018-2002. 中国计划出版社, 2002.
- [5] 中华人民共和国能源行业标准. 光伏支架结构设计规程 NB/T 10115-2018 . 中国计划出版社, 2018.
- [6] 中华人民共和国国家标准. 光伏电站设计规范 GB 50797-2012 . 中国计划出版社, 2012.
- [7] 中华人民共和国国家标准. 太阳能发电站支架基础技术规范 GB 51102-2016. 中国计划出版社, 2016.
- [8] 中华人民共和国国家标准. 建筑地基基础设计规范 GB 50007-2011. 中国建筑工业出版社, 2011.
- [9] 李星荣等编. 钢结构连接节点设计手册(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.