



SmartLoad 铁塔荷载计算软件

用户使用手册

(版本 V2.1.0)

陕西恒巨软件科技有限公司

2020 年 1 月

目录

前 言.....	1
1. 计算模式.....	2
2. 数据文件读取及保存.....	4
2.1 Sld 文件.....	4
2.2 TTT 文件.....	6
2.3 LCL 文件.....	6
2.4 ECP 文件.....	7
2.5 DTC 文件.....	8
3. 数据模块集成.....	9
3.1 参数封装级别.....	9
3.2 主要封装参数一览.....	9
4. 功能模块.....	17
4.1 电气基本信息.....	17
4.2 设计类别信息.....	22
4.3 电气荷载计算结果.....	39
4.4 结构基本信息.....	41
4.5 结构初始荷载信息.....	49
4.6 荷载组合设置信息.....	52
4.7 荷载组合结果.....	58
附录一：荷载状态说明.....	60
附录二：一般塔计算步骤范例.....	69
附录三：特殊塔计算步骤范例.....	80
附录四：荷载组合公式说明.....	81
附录五：常规塔荷载组合实现阐释.....	102

前 言

SmartLoad 荷载计算软件初版形成后经过若干次较大的重构，增添特殊塔，前后侧独立计算，辅助线，荷载模板等功能，并且支持新版荷载规程(目前国内唯一支持新版荷载的商用软件)。

SmartLoad 在初始设计时，对国内常用的荷载表格进行了调研、分析、学习，尽力实现对不同设计习惯的兼容，并略有选择。

提高设计效率、反映真实杆塔负载、能高效实现设计人员的特殊设计决策是 SmartLoad 项目组的初心。为此，我们发送了大量的测试版本，也收到了设计小伙伴们的大量、具体的需求及整改方向，SmartLoad 在消缺的过程，也一步步走向成熟，在此，向各位设计小伙伴致以我们诚挚的感谢！SmartLoad 软件编码人员均有多年线路设计经验，虽能较有效率的理解、整合设计小伙伴的需求，但一些具体的需求可能与已有的代码构架存在一些冲突，编码成本较高，闭环不够及时，在此，向各位设计小伙伴对我们的体谅再次表示感谢！

陕西恒巨软件科技有限公司 SmartLoad 项目组

18049028287

2020 年 1 月

1. 计算模式

常规情况下，一个完整的荷载计算需要电气专业和结构专业共同完成，专业配合习惯大部分为电气专业提供线条荷载（水平、垂直、张力及不平衡力张力），结构专业编制荷载组合并最终形成节点荷载。不同院之间可能有所差异，如安装信息参数是电气专业或者结构专业编制等等，但出入不大。部分院在计算荷载时，也可能只有一个专业完成，不存在专业分工。

基于此，SmartLoad 铁塔荷载计算软件支持三种计算模式：

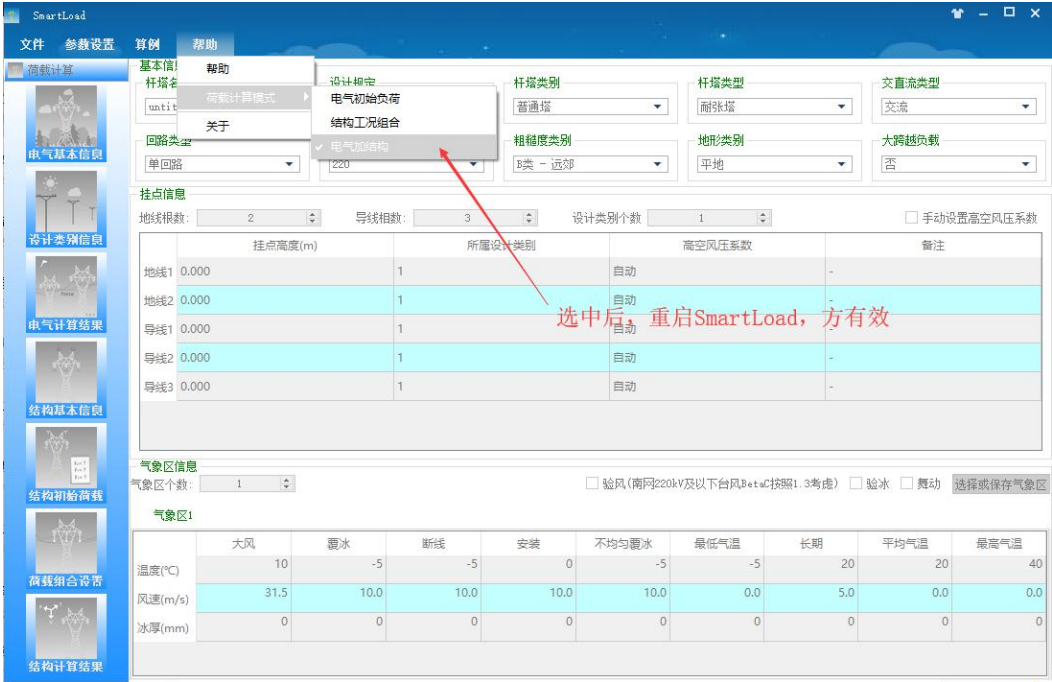
a) 电气计算：只考虑电气部分荷载提资所需的计算模式，需填写对应的基本信息、挂点信息、气象区信息、档距信息、平均高度、基准高度、垂直档距计算模式、冰区及地线覆冰（验冰）增厚、断线垂重及张力比计算设置、不均匀脱冰垂重及张力比计算设置、导地线属性信息、安装信息、OPGW 计算设置、防舞增重设置、绝缘子信息及跳线信息（后续内容有详细说明，附录部分有范例说明）。

b) 结构计算：只考虑结构专业部分荷载组合及节点力计算的计算模式，需填写对应的基本信息、挂点信息、V 串分配信息、荷载二次分配信息、辅线设置（特殊负载下使用，用于构造）、初始荷载信息（可继承电气计算结果/通过相应的接口转化/直接手动输入）、通用参数设置（主要用于与 SmartTower 接口相应的塔身风计算相关参数）、安装信息（包含安装顺序指定、起吊倍数、平衡张力及附加荷载设定）、最大扭构造设置（适用于 110kV 及以上电压等级+15mm 覆冰及以上）、分配系数设置、线路角度设定及荷载组合设定（后续

内容有详细说明，附录部分有范例说明）。

c) 电气计算+结构计算：为荷载计算全流程。

通过“帮助-荷载计算模式”即可设定相应的计算模式。



注：

- a. SmartLoad 中的电气及结构专业界定参考东北院、华东院等院的习惯，院与院之间稍有不同，使用时请注意设计习惯区别。
- b. 如考虑向结构专业提资，即使纯电气荷载计算也建议使用“电气计算+结构计算”模式，以方便结构专业直接继承修改。

2. 数据文件读取及保存

2.1 Sld 文件

SmartLoad 接口文件为*.sld 格式(Json 语法协议下的文本文件, 语法格式参考右图), sld 文件用一般的文本文件即可打开查看(记事本、NotePad、UE 均可), 但考虑 sld 内置了特殊的语法协议, 不建议用户直接对 sld 文件进行修改, 如需修改, 可通过软件读取后在界面中修改并保存即可(sld 文件主要用于机读, 但 Json 语法接口比较友好, 熟练后也可以人读甚至直接修改)。

```
"01挂点信息" :
{
  "0地线个数" : 2,
  "1导线个数" : 2,
  "2挂点列表" :
  [
    {
      "0类型" : "地线1",
      "1挂点高度" : 30.0,
      "2所属设计类别" : 1,
      "3备注" : "-",
      "4用户高空风压系数" : 0.0
    },
    {
      "0类型" : "地线2",
      "1挂点高度" : 30.0,
      "2所属设计类别" : 1,
      "3备注" : "-",
      "4用户高空风压系数" : 0.0
    },
    {
      "0类型" : "导线1",
      "1挂点高度" : 27.0,
      "2所属设计类别" : 1,
      "3备注" : "-",
      "4用户高空风压系数" : 0.0
    },
    {
      "0类型" : "导线2",
      "1挂点高度" : 27.0,
      "2所属设计类别" : 1,
      "3备注" : "-",
      "4用户高空风压系数" : 0.0
    }
  ]
},
```

数据文件的读取及保存通过“文件-打开/保存/另存为”，即可进行相应的操作。

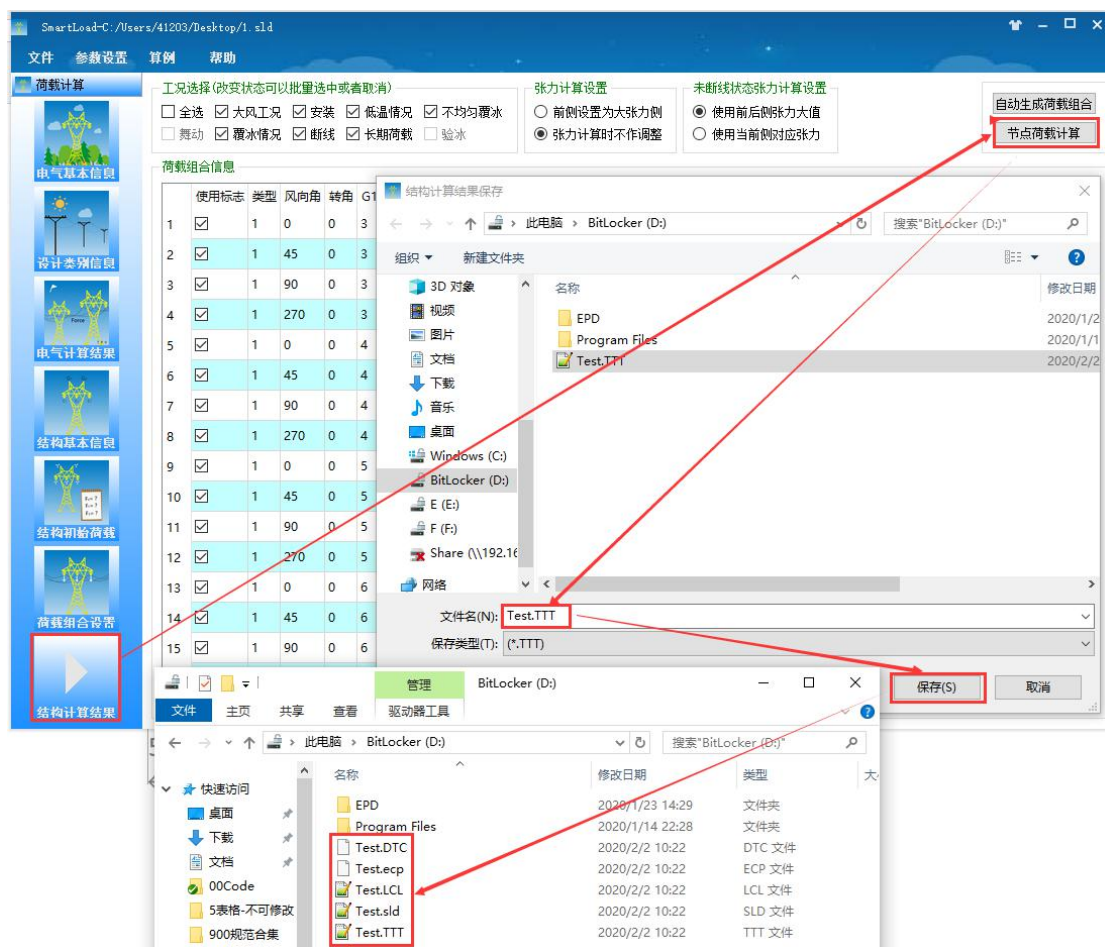


注：

a.考虑对内置算例文件的保护，SmartLoad 内置的计算算例所对应的文件夹路径上不允许进行相应的文件保存操作。

b.Sld 自带模版属性，相近边界条件下荷载计算可直接拷贝读取已有荷载文件即可（考虑 Sld 文件携带了相应的设计决策信息，建议用户对相应信息甄别后在执行相应的拷贝操作，不要盲目参考已有的数据模板）。

c.节点荷载计算后会自动生成保存一版 sld 文件，与 TTT 文件同目录，并且同步会生成其它相关的数据文件，但其它过程 Sld 均不会自动保存，参见下图。



2.2 TTT 文件

TTT 文件为 SmartTower 的节点荷载接口文件，具体参见下图。

[illegible]

2.3 LCL 文件

LCL 文件为以工况索引下的的节点荷载文件，原为华东院定制内容，后引入至公用版本。

设计人员可利用 LCL 文件查看每一个工况下各节点的荷载状态及节点荷载（主要用于校对各工况下的节点荷载），具体参见下图。

Test.ITT Test.LCL

1 0 4

2 11000 1020 1030

3 9000 2 1000 102.000 1002 102.000

4 9010 2 2000 102.000 2002 102.000

5 9030 2 3000 102.000 3002 102.000

6 组合工况-节点荷载信息:

7 荷载组合个数 = 8

			G1	G2	C1	C2	C3	J1	J2	J3	
9	1	2	90	0	3	3	3	3	3	3	90 覆冰 小转角 前后张力取最大值 最小垂直力
10	10		0.98	91.00	33.90						
11	12		0.42	-91.00	14.53						
12	11		0.98	91.00	33.90						
13	13		0.42	-91.00	14.53						
14	1000		1.31	46.34	25.53						
15	1002		0.56	-46.34	10.94						
16	2000		1.31	46.34	25.53						
17	2002		0.56	-46.34	10.94						
18	3000		1.31	46.34	25.53						
19	3003		0.56	-46.34	10.94						
20	9000		0.06	0.00	0.00						
21	9010		0.06	0.00	0.00						
22	9030		0.06	0.00	0.00						
23											
24	2	2	90	0	4	4	4	4	4	4	90 覆冰 小转角 前后张力取不同 最小垂直力
25	10		0.98	91.00	33.90						
26	12		0.42	-91.00	14.53						

2.4 ECP 文件

ECP 为电气荷载计算过程文件，包含的主要内容参见下图。

1	杆塔基本信息:
2	1.1 杆塔名称 = 一般张塔
3	1.2 杆塔类型 = 一般张塔
4	1.3 回路类型 = 单回路
5	1.4 交流类型 = 交流
6	1.5 电压等级 = 220
7	1.6 线路等级类别 = 三类线路
8	1.7 地形类别 = 丘陵
9	1.8 重要系数 = 1.0
10	2 设计条件信息
11	2.1 设计条件信息
12	2.1.1 气象条件信息
13	气象 (°C) 大风 覆冰 断线 安装 不均匀覆冰 最低气温 长期 平均气温 最高气温
14	基本设计风速 (m/s) 31.5 -5 0 0 -5 -5 20 20 40
15	覆冰厚度 (mm) 0 0 0 0 0 0 0 0 0
16	2.1.2 导线信息
17	#导线基础信息
18	导线 电绞型号 分裂根数 安全系数 新线系数 平均运行张力 安装降温 (°C)
19	导线 LGJ-400/35 1 4.0 1.00 0.25
20	2.1.3 绝缘子串及跳线信息
21	#绝缘子串及跳线信息
22	绝缘子 型号 截面 (mm²) 直径 (mm) 拉断力 (N) 单位重量 (kg/m) 弹性系数 (MPa) 线膨胀系数 (1/°C)
23	绝缘子 JLB20A-240 238.76 20.00 260010 1.5955 147200 0.00001300
24	绝缘子 LGJ-400/35 425.24 26.82 103900 1.3490 65000 0.00002050
25	2.1.4 档距信息
26	#档距信息
27	项目 水平档距 代表档距 最大垂直档距 最小垂直档距 经济档距
28	前侧 300.0 300.0 800.0 800.0 600.0
29	后侧 250.0 200.0 700.0 700.0 500.0
30	2.1.5 比载信息
31	比载名称 前侧 (b,V) 数值 (N/m) 后侧 (b,V) 数值 (N/m)
32	地线 目 荷 载 P1 (0, 0.0) 15.6465 P1 (0, 0.0) 15.6465
33	冰 荷 载 P2 (0,) 0.0000 P2 (0,) 0.0000
34	自荷载加冰荷载 P3 (0,) 15.6465 P3 (0,) 15.6465
35	无冰时的风荷载 P4 (, 5.0) 0.3438 P4 (, 5.0) 0.3438
36	无冰时的风荷载 P4 (, 10.0) 1.3750 P4 (, 10.0) 1.3750
37	无冰时的风荷载 P4 (, 31.5) 10.8735 P4 (, 31.5) 10.8735
38	覆冰时的风荷载 P5 (0, 10.0) 1.3750 P5 (0, 10.0) 1.3750
39	无冰时综合荷载 P6 (, 5.0) 15.6503 P6 (, 5.0) 15.6503
40	无冰时综合荷载 P6 (, 10.0) 15.7068 P6 (, 10.0) 15.7068
41	无冰时综合荷载 P6 (, 31.5) 19.0538 P6 (, 31.5) 19.0538
42	有冰时综合荷载 P7 (0, 10.0) 15.7068 P7 (0, 10.0) 15.7068
43	导线 目 荷 载 P1 (0, 0.0) 13.2292 P1 (0, 0.0) 13.2292
44	冰 荷 载 P2 (0,) 0.0000 P2 (0,) 0.0000
45	自荷载加冰荷载 P3 (0,) 13.2292 P3 (0,) 13.2292
46	无冰时的风荷载 P4 (, 5.0) 0.4610 P4 (, 5.0) 0.4610
47	无冰时的风荷载 P4 (, 10.0) 1.8439 P4 (, 10.0) 1.8439
48	无冰时的风荷载 P4 (, 31.5) 14.5814 P4 (, 31.5) 14.5814
49	覆冰时的风荷载 P5 (0, 10.0) 1.8439 P5 (0, 10.0) 1.8439
50	无冰时综合荷载 P6 (, 5.0) 13.2372 P6 (, 5.0) 13.2372
51	无冰时综合荷载 P6 (, 10.0) 13.3571 P6 (, 10.0) 13.3571
52	无冰时综合荷载 P6 (, 31.5) 19.6883 P6 (, 31.5) 19.6883
53	有冰时综合荷载 P7 (0, 10.0) 13.3571 P7 (0, 10.0) 13.3571
54	2.1.6 综合比载计算
55	工况 项目-地线 比载 (N/m) 项目-导线 比载 (N/m)
56	大风 P (0, 31.5) 19.0538 P (0, 31.5) 19.6883
57	覆冰 P (0, 10.0) 15.7068 P (0, 10.0) 13.3571
58	断线 P (0, 0.0) 15.6465 P (0, 0.0) 13.2292
59	安装 P (0, 10.0) 15.7068 P (0, 10.0) 13.3571
60	不均匀覆冰 P (0, 10.0) 15.7068 P (0, 10.0) 13.3571
61	最低气温 P (0, 0.0) 15.6465 P (0, 0.0) 13.2292
62	长期 P (0, 5.0) 15.6503 P (0, 5.0) 13.2372
63	2.1.7 张力计算
64	项目 前侧地线 前侧导线 后侧地线 后侧导线
65	大风 62646 34435 60533 33252
66	覆冰 65003 29831 65003 33102
67	断线 65003 29831 65003 33102
68	安装 63171 28688 62945 31208
69	不均匀覆冰 65003 29831 65003 33102
70	最低气温 64955 29665 64979 33003
71	长期 56131 24687 54917 24684
72	平均气温 56127 24676 54915 24676

2.5 Slp 文件

Slp 文件为结构专业校核文件，主要用于荷载组合校核（形式上参考东北院 Apx 格式），具体参加下图。

Test_TTC3

Test_LCL3

Test_DTC3

Test_eop3

54		大风	覆冰	断线	安装	不均匀覆冰	最低气温	长期									
55	G1	45.569	47.609	47.609	46.444	47.099	47.588	41.926									
56	G2	45.569	47.609	47.609	46.444	47.099	47.588	41.926									
57	C1	39.103	37.225	37.225	36.041	37.694	37.121	31.941									
58	C2	39.103	37.225	37.225	36.041	37.694	37.121	31.941									
59	C3	39.103	37.225	37.225	36.041	37.694	37.121	31.941									
60	J1	1.132	1.132	1.132	1.132	1.132	1.132	1.132									
61	J2	1.132	1.132	1.132	1.132	1.132	1.132	1.132									
62	J3	1.132	1.132	1.132	1.132	1.132	1.132	1.132									
63	4.3 最小垂直荷载																
64		大风	覆冰	断线	不均匀覆冰												
65	G1	45.569	47.609	47.609	47.099												
66	G2	45.569	47.609	47.609	47.099												
67	C1	39.103	37.225	37.225	37.694												
68	C2	39.103	37.225	37.225	37.694												
69	C3	39.103	37.225	37.225	37.694												
70	J1	0.000	0.000	0.000	0.000												
71	J2	0.000	0.000	0.000	0.000												
72	J3	0.000	0.000	0.000	0.000												
73	4.4 张力荷载																
74		大风	覆冰	断线	安装	不均匀覆冰	最低气温	长期									
75	G1F	60.533	65.002	65.002	71.225	65.002	64.955	54.917									
76	G1B	60.533	65.002	65.002	71.225	65.002	64.955	54.917									
77	G2F	60.533	65.002	65.002	71.225	65.002	64.955	54.917									
78	G2B	60.533	65.002	65.002	71.225	65.002	64.955	54.917									
79	C1F	33.252	29.831	33.102	30.875	33.102	29.665	24.684									
80	C1B	33.252	29.831	33.102	30.875	33.102	29.665	24.684									
81	C2F	33.252	29.831	33.102	30.875	33.102	29.665	24.684									
82	C2B	33.252	29.831	33.102	30.875	33.102	29.665	24.684									
83	C3F	33.252	29.831	33.102	30.875	33.102	29.665	24.684									
84	C3B	33.252	29.831	33.102	30.875	33.102	29.665	24.684									
85	4.5 不平衡张力荷载																
86		断线	不均匀覆冰														
87	G1F	65.002	0.000														
88	G1B	65.002	0.000														
89	G2F	65.002	0.000														
90	G2B	65.002	0.000														
91	C1F	39.482	0.000														
92	C1B	39.482	0.000														
93	C2F	39.482	0.000														
94	C2B	39.482	0.000														
95	C3F	39.482	0.000														
96	C3B	39.482	0.000														
97	5通用参数信息:																
98	覆冰	10.0	1.00	1.00													
99	6荷载组合信息:																
99	荷载组合个数 = 8																
101			G1	G2	C1	C2	C3	J1	J2	J3							
102	33	2	90	0	3	3	3	3	3	3	90	覆冰	小转角	前后张力取大值	最小垂直力		
103	34	2	90	0	4	4	4	4	4	4	90	覆冰	小转角	前后张力取不同	最小垂直力		
104	35	2	90	0	5	5	5	5	5	5	90	覆冰	小转角	前后张力取大值	最大垂直力		
105	36	2	90	0	6	6	6	6	6	6	90	覆冰	小转角	前后张力取不同	最大垂直力		
106	37	2	90	20	3	3	3	3	3	3	90	覆冰	大转角	前后张力取大值	最小垂直力		
107	38	2	90	20	4	4	4	4	4	4	90	覆冰	大转角	前后张力取不同	最小垂直力		
108	39	2	90	20	5	5	5	5	5	5	90	覆冰	大转角	前后张力取大值	最大垂直力		
109	40	2	90	20	6	6	6	6	6	6	90	覆冰	大转角	前后张力取不同	最大垂直力		

G: 地线
C: 导线
J: 跳线

荷载类别: 2代表覆冰

大风攻角

线路大小角度

当前电线在各个工况下所处的荷载状态

3. 数据模块集成

所集成的参数主要分两类：规程规范内置参数及工程经验数据。

3.1 参数封装级别

SmartLoad 对常用的规程规范及工程经验参数进行了集成封装，使用时会自动调用相应的值，并根据相关规定，开放对应的修改权限，参数封装级别分为以下几种：

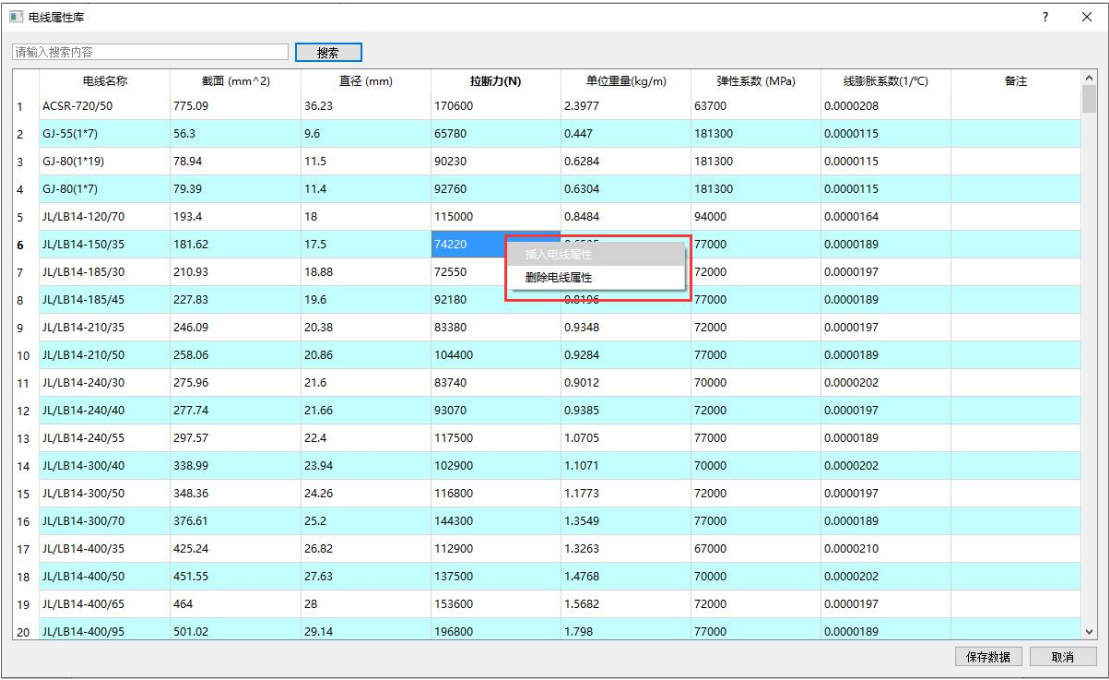
- 1) “黑盒子”模式：适用用细小、公认及特定等数值（如张力迭代计算中相关参数、导地线状态方程中的相关参数等），“黑盒子”数据鉴于个数繁多及公认属性，不宜也不需外放。
- 2) “可视+只读”模式：适用于规范明确规定且对计算影响重大的参数（比如断线、不均匀工况的张力取值比例等），用户可查看，但无权限修改。
- 3) “可视+读写”模式：适用于规范的建议值及常规工程经验数据（如覆冰增大系数取值、覆冰增重等），一般情况下不需要修改，特定负载需要下，用户可修改对应的值。
- 4) “可视+可扩充修改”模式：如电线力学属性数据，用户可修改，可扩充（SmartLoad 集成了一部分常规电线，特殊导线及新型导线可直接进行扩充）。

3.2 主要封装参数一览

SmartLoad 主要封装的可视参数，包含但不限于以下参数：

- 1) 电线属性库：用户通过“菜单栏-参数设置-电线属性库”操作即可进入电线属性库界面。

用户可以通过该界面对已有电线库的编辑、扩充、删除，并可通过选中特定电线作为某侧导地线的使用电线类型。



	电线名称	截面 (mm ²)	直径 (mm)	拉断力(N)	单位重量(kg/m)	弹性系数 (MPa)	线膨胀系数(1/°C)	备注
1	ACSR-720/50	775.09	36.23	170600	2.3977	63700	0.0000208	
2	GJ-55(1*7)	56.3	9.6	65780	0.447	181300	0.0000115	
3	GJ-80(1*19)	78.94	11.5	90230	0.6284	181300	0.0000115	
4	GJ-80(1*7)	79.39	11.4	92760	0.6304	181300	0.0000115	
5	JL/LB14-120/70	193.4	18	115000	0.8484	94000	0.0000164	
6	JL/LB14-150/35	181.62	17.5	74220	0.9348	77000	0.0000189	
7	JL/LB14-185/30	210.93	18.88	72550	0.9348	72000	0.0000197	
8	JL/LB14-185/45	227.83	19.6	92180	0.9348	77000	0.0000189	
9	JL/LB14-210/35	246.09	20.38	83380	0.9348	72000	0.0000197	
10	JL/LB14-210/50	258.06	20.86	104400	0.9284	77000	0.0000189	
11	JL/LB14-240/30	275.96	21.6	83740	0.9012	70000	0.0000202	
12	JL/LB14-240/40	277.74	21.66	93070	0.9385	72000	0.0000197	
13	JL/LB14-240/55	297.57	22.4	117500	1.0705	77000	0.0000189	
14	JL/LB14-300/40	338.99	23.94	102900	1.1071	70000	0.0000202	
15	JL/LB14-300/50	348.36	24.26	116800	1.1773	72000	0.0000197	
16	JL/LB14-300/70	376.61	25.2	144300	1.3549	77000	0.0000189	
17	JL/LB14-400/35	425.24	26.82	112900	1.3263	67000	0.0000210	
18	JL/LB14-400/50	451.55	27.63	137500	1.4768	70000	0.0000202	
19	JL/LB14-400/65	464	28	153600	1.5682	72000	0.0000197	
20	JL/LB14-400/95	501.02	29.14	196800	1.798	77000	0.0000189	

通过“菜单栏参数设置-电线属性库”进入的界面支持用户的以下编辑操作：

- (1) 编辑：单击任意单元格即进入当前单元格的编辑状态。
- (2) 扩充：任意单元格位置右键-插入电线属性，即可填写新电线对应的各个属性。
- (3) 删除：任意单元格位置右键-删除电线属性即可删除当前电线属性。

注：

a. 系统内置电线属性不可编辑，不可删除，用户新增电线属性用红色字体标识。

b. 当进入电线属性编辑时或新电线属性填充时，用户应检查对应属性的合法性（软件会在一定程度上辅助检查电线属性的合法性），如不

应出现重复电线名；电线名称对应的字符内部不应存在 Tab 键或空格键（“ AB ”合法，“ A B”不合法）；具体属性值不应出现负值（软件可以自检并提示）；不应明显偏离应有的区域范围（此时软件自检不到）。

c.对电线数据进行任意形式的修改，须单击“保存数据”按键后才能生效（直接退出或者单击“取消”将不保存对应的数据）。

d.电线属性文件保存至 WireParameter 文件中，常规文本格式，但不建议通过文本文件进行编辑，尤其是 SmartLoad 正运行时，此时文本文件编辑的内容将无法及时更新至平台且有被覆盖保存的风险（此时文本编辑的内容会丢失）。

d.Sld 文件中内含当前工程使用的电线对应的力学属性信息，不同电脑间拷贝时，有可能发生电线入库操作。具体逻辑如下：

- 荷载计算文件 Test.sld 对应的工程使用了 Wire1 电线，则 Test.sld 文件包含 Wire1 电线对应的力学属性相关信息；
- 如将该 Test.sld 文件从 A 电脑拷贝至 B 电脑，并用 SmartLoad 打开时，可能会发生以下几种操作：如 B 电脑中的 WireParameter 文件不存在 Wire1 电线，则 SmartLoad 会向 B 电脑中的 WireParameter 文件中写入 Wire1 信息；如 B 电脑中 WireParameter 文件已存在 Wire1 电线，则会对比 A、B 电脑中的 Wire1 信息，如不一致，则读取失败，并有相应的报错提示。
- 基于以上执行逻辑，我们建议：对 SmartLoad 内置的电线类型，尽量慎用电线属性编辑功能，对应需求可通过扩展新导线来实现；

如新建电线，电线命名应有一定的特殊性，降低不同电脑新建电线命名重复的可能。

2) 断线张力计算设置:

用户通过“菜单栏-参数设置-断线张力计算设置”即可查看相应界面。参数为只读信息（参数来源于规程），用户不可修改。

如张力计算设置（见后文）中为自动计算模式，SmartLoad 会自动根据相应的边界条件，自动获取对应比例值；如有明确的计算原则要求，用户可手动设置对应的张力比。

110kV及以上电压等级断线张力取值表 (kN)								
冰区	覆冰厚度 (mm)	地线	悬垂型杆塔			耐张型杆塔		备注
			单导线	双分裂导线	多分裂导线	单导线	双/多分裂导线	
轻冰区	10	100	50	25	20	100	70	平地
	10	100	50	25	20	100	70	丘陵
	10	100	50	30	25	100	70	山地
中冰区	15	100	50	40	35	100	70	-
	20	100	50	50	45	100	70	-
重冰区	20	100	55	55	55	100	75	-
	30	100	60	60	60	100	80	-
	40	100	65	65	65	100	85	-
	50	100	70	70	70	100	90	-

110kV以下电压等级直线杆塔单导线和地线的断线张力取值表 (%)				
导线或地线种类	断线张力（最大使用张力的百分数）（%）			
	混凝土杆/钢管混凝土杆		拉线杆	
地线	20		30	50
导线（截面95mm²及以下）	30		30	40
导线（截面120mm²~185mm²及以下）	35		35	40
导线（截面210mm²及以上）	40		40	50

110kV及以上电压等级重冰区断线张力计算覆冰率取值表 (%)							
覆冰厚度 (mm)	悬垂型杆塔			耐张型杆塔			
	一类	二类	三类	一类	二类	三类	
20	70	60	50	100	70	60	
30	80	70	60	100	80	70	
40	90	80	70	100	90	80	
50	100	90	80	100	100	90	

注：

对于重冰区，断线工况引起的不平衡张力由 $\max \{ \text{断线张力比} * \text{最大允许张力}, \text{构造特定覆冰率下的不平衡力} \}$ 决定，常规 excel 版本计算的张力往往只有断线张力比一项决定，使用时应注意校正。

3) 不均匀覆冰张力设置:

用户通过“菜单栏-参数设置-不均匀覆冰张力设置”即可查看相应界面。参数为只读信息（参数来源于规程），用户不可修改。

如不均匀覆冰张力计算设置（见后文）中为自动计算模式，SmartLoad 会自动根据相应的边界条件，自动获取对应比例值；如有明确的计算原则要求，用户可手动设置对应的张力比。

不均匀覆冰张力计算设置

不均匀覆冰张力百分表(%)

覆冰厚度 (mm)	悬垂型杆塔		耐张型杆塔		备注
	导线	地线	导线	地线	
10	10	20	30	40	轻冰区
15	15	25	35	45	
20	20	30	40	50	
20	25	46	42	54	重冰区
30	29	50	46	58	
40	33	54	50	63	重冰区
50	38	58	54	67	

中重冰区不均匀覆冰覆冰率取值百分表(%)

线路等级	悬垂型杆塔		耐张型杆塔	
	一侧	另一侧	一侧	另一侧
一类线路	100	20	100	0
二类线路	100	30	100	15
三类线路	100	40	100	30

注:

对于重冰区，不均匀覆冰工况引起的不平衡张力由 $\max \{ \text{不均匀覆冰张力比} \times \text{最大允许张力}, \text{构造特定覆冰率下的不平衡力} \}$ 决定，常规 excel 版本计算的张力往往只有张力比一项决定，使用时应注意校正。

4) 平均/基准高度设置:

根据工程经验值及特高压的计算原则，整合相关的参数至统一平台。用户通过“菜单栏-参数设置-平均/基准高度设置”即可查看相应界面。



电压等级	平均高度		基准高度	
	地线	导线	地线	导线
35	10	10	10	10
66	10	10	10	10
110	15	15	10	10
220	15	15	10	10
220重要	15	15	10	10
330	15	15	10	10
330重要	15	15	10	10
500	20	20	10	10
500	20	20	10	10
660	20	20	10	10
750	20	20	10	10
800	45	30	10	10
1000	30	30	10	10
1100	65	40	10	10

其中:

平均高度为计算线条张力使用（此平均高度不用来计算高空风压系数）。如工程无特殊要求，用户设定电压等级后，会自动关联显示对应的平均高度；如有特殊要求，则修改对应的平均高度值（如某220kV工程，导线自动推荐的平均高度值为15m，用户可根据工程的特殊要求将其修改为其它值如10m或20m，具体参见本手册4.2设计类别信息-档距信息）。

基准高度用于计算各工况下的高空风压系数（《架空输电线路杆塔结构设计技术规定》DL/T 5154-2012 中 3.7.1-2 中规定基准高度为

10m，本软件执行《技术规定》要求，除工程有特殊的指导意见之外（如计算原则特殊规定），一般情况不建议用户修改基准高度值。

5) 覆冰增大系数：

用户通过“菜单栏-参数设置-覆冰增大系数”即可查看相应界面，其中 0-15mm 覆冰厚度对应的线条风载覆冰增大系数为只读信息（规程规定有明文规定），其他覆冰厚度对应的线条风载覆冰增大系数可修改（规程规定只有建议的取值范围）。用户修改后，SmartLoad 在计算时会自动根据相应的边界条件选取匹配的增大系数计算荷载。

6) 单片绝缘子覆冰增重设置：

用户通过“菜单栏-参数设置-单片绝缘子覆冰增重设置”即可查看相应界面。涉及的参数均为建议取值，用户可根据工程的具体需要修改相应的值，用户修改后，SmartLoad 在计算时会自动根据相应的边界条件选取匹配的覆冰增重。

覆冰增大系数设置

帮助

覆冰厚度 (mm)	线条风载覆冰增大系数
0	1.0
5	1.1
10	1.2
15	1.3
20	1.5
25	1.6
30	1.8
35	1.9
40	2.0
45	2.0
50	2.0

应用

取消

单片绝缘子覆冰增重设置

覆冰厚度 (mm)	单片绝缘子片增重 (kg)
0	0.0
5	1.0
10	3.0
15	3.5
20	5.0
25	5.0
30	5.0
35	5.0
40	5.0
45	5.0
50	5.0

应用

取消

4. 功能模块

以新建“电气计算+荷载计算”为例，依次进行电气基本信息、设计类别信息、电气计算结果、结构基本信息、结构初始荷载、荷载组合设置及结构计算结果的输入及查看。

单击软件主界面左侧竖栏相应的按键即可进入相应的模块界面进行参数输入或者编辑。

一般情况下，在计算过程中，不建议用户跨流程切换模块（如不建议直接从“电气基本信息”切换至“结构初始荷载”），应保证所有边界条件准确无误后，再执行相应的计算操作，以免计算结果与真实负载条件不匹配。



4.1 电气基本信息

提供基本信息、挂点气象及气象区信息的输入界面，具体如下：

1) 基本信息模块：

The screenshot shows the 'SmartLoad' software interface. The '基本信息' (Basic Information) module is selected in the sidebar. The main panel contains the following fields:

- 杆塔名称: 悬垂转角塔算例
- 设计规定: DL/T5154-2012
- 杆塔类别: 普通塔
- 杆塔类型: 悬垂转角塔
- 交流类型: 交流
- 回路类型: 单回路
- 电压等级 (kV): 220
- 粗糙度类别: B类 - 远郊
- 地形类别: 丘陵
- 大跨越负载: 否

Below these fields is a '挂点信息' (Hanging Point Information) section with a table:

	挂点高度(m)	所属设计类别	高空风压系数	备注
地线1	30.000	1	自动	-
地线2	30.000	1	自动	-
导线1	27.000	1	自动	-
导线2	27.000	1	自动	-
导线3	27.000	1	自动	-

- 其中：
- (1) 杆塔名称：当前计算杆塔的名称标识，名称应尽量具有标识

性，以便后续查看；

(2) 设计规定：目前支持《架空送电线路杆塔结构设计技术规定》（DL T 5154-2012）及《架空输电线路荷载规范》（DL T 5551-2018）相互切换。

(3) 杆塔类别：包含普通塔、水泥杆及拉线塔三种型式，对于 110kV 及以上电压等级选择普通塔即可，对应 110kV 以下电压等级不同的杆塔类别会影响断线张力的取值（具体参见“断线张力计算设置”）；

(4) 杆塔类型：包含悬垂直线塔、悬垂转角塔、耐张塔及终端塔。不同塔型影响了某些力学过程的计算（如是否耐张塔影响了断线/不均匀覆冰工况的不平衡张力取值比）及结果的输出形式（如是悬垂直线塔，则将大风、覆冰等工况的张力值置零）。

(5) 交直流类型：包含交流及直流，为当前工程的交直流类型，其影响了对应的电压等级库及断线工况的自动组合等，其中直流 220kV 是为模拟接地极。

(6) 回路类型：包含单回路、双回路及多回路。当前工程的回路类型，影响部分工况的自动组合。如果同塔直流+接地极线，则等效为双回路；在双多回路中如出现混压情况，荷载组合中不区分主压线路和辅压线路，荷载自动组合参考同压多、双回路，对应的计算偏于保守，如有必要，请用户手动选择对应的工况。

(7) 电压等级：包含电压等级根据交直流类型而异。当前工程的电压等级（如为混压线路，则会最大电压对应的电压等级），影响了

部分工况电气计算和结构计算，其中 220kV 及 330kV 有普通线路和重要线路区别。

(8) 粗糙度类别：包含 A/B/C/D 四种类别，除非特别指出，一般选用 B 类，不同粗糙度类别对应的高空风压系数的计算有不同（当前《技术规定》2012 及《架空输电线路荷载规范》2018 中的粗糙度对应修正系数不同，请注意区别）。

(9) 是否大跨越负载：大跨越负载状态下的线条荷载计算及荷载组合均与常规塔有区别。如非跨越塔，选择“否”。

2) 挂点信息模块：挂点相关参数的输入窗口，

地线根数	挂点高度(m)	导线相数	所属设计类别	高空风压系数	备注
地线1	30.000	1	自动	-	
地线2	30.000	1	自动	-	
导线1	27.000	1	自动	-	
导线2	27.000	1	自动	-	
导线3	27.000	1	自动	-	

其中：

(1) 设计类别个数：当前线路导地线设计条件归并后的个数，具体如下：

- a.常规情况下，只需 1 个设计类别；
- b.考虑混压情况，需要 n（n=电压等级数）个设计类别；
- c.考虑左右侧（非前后侧）导地线型号不同，增设对应的设计类别个数（例：某 220kV 双回线路，左侧导线 2*300，右侧导线 2*400，

其中：

(1) 气象区个数：当前线路所处的气象区类别个数，一般情况下为 1，如为气象分界塔，则相应的增设对应的气象区个数；

(2) 选择或保存气象区：用户可直接用典设气象区或其它已有的气象区模版初始化当前线路的气象条件，并对不一致的气象条件进行相应的修改，其中**安装对应的气温为不考虑安装降温前的温度**。

选择气象区

典型气象区1

典型气象区2

典型气象区3

典型气象区4

典型气象区5

典型气象区6

典型气象区7

典型气象区8

典型气象区9

前期气象区名称：

典型气象区1

删除气象区模板数据

保存气象区模板数据

	大风	覆冰	断线	安装	不均匀覆冰	最低气温	长期	平均气温	最高气温
温度(℃)	10	-5	0	0	-5	-5	20	20	40
风速(m/s)	31.5	10.0	0.0	10.0	10.0	0.0	5.0	0.0	0.0
冰厚(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

确认

取消

(3) 验风：执行 2012 版规定时，选中验风选后将对南网 220kV 的风荷载调整系数有影响；执行 2018 版规定时，选中验风后将影响脉动折减系数。

(4) 舞动：新版荷载新增舞动工况，如需要，选中填写即可。

注：

a.不同气象工况条件之间可能存在关联（如低温与安装工况，覆冰和不均匀覆冰工况等），填写时请注意输入参数的合理性。

b.不同气象工况条件的风速、温度、冰厚均应在合理的范围内，且不应存在常理下的倒挂（如大风风速应大于覆冰风速），考虑特殊构造需求，SmartLoad 只会对输入的气象条件进行一定程度上的合法性检查。

4.2 设计类别信息

提供档距信息、工况气象条件、导地线信息及金具信息的输入界面。



1) 档距信息模块:

提供平均高/基准高、档距信息（包含孤立档信息）、垂直档距计算设置的输入界面。其中:

(1) 电压等级-相关高度设置:



初次加载时，软件会根据当前设计类别的电压等级初始化对应的导地线平均高度及基准高度(参考 3.2 主要封装参数一览-平均/基准高度设置)，其中平均高度及基准高度均可根据工程的特殊要求进行相应修改。

(2) 档距信息：



电压等级(kV)	地线平均高度(m)	导线平均高度(m)	地线基准高度(m)	导线基准高度(m)
220	15	15	10	10

是否孤立档	档距(m)	最小垂档(m)	最大垂档(m)	经济档距(m)
前侧	300	200	800	600
后侧	300	100	700	500

代表档距：用于计算张力使用，对于垂直直线塔/垂直转角塔，前后侧代表档距值应相同；

档距：当前塔与相邻塔的水平距离，其值=2*水平档距，如某塔规划水平档距为 500m，则前侧档距+后侧档距值应=1000（考虑设计院习惯差异，输入时应注意此处输入的档距信息，而不是水平档距）；

最小垂直档距：对于悬垂塔，为校验风偏时对应的垂直档距值；如为耐张塔，倒拔对应的垂直档距也可在此填写。如计算中不需考虑最小垂重工况，可不选中“考虑最小垂重”或将对应值填写为最大垂直档距的值（此时，最小垂直工况不易控制杆件，且不易产生较大的上拔力），与老版 SmartLoad 不同，当前版本(V2.0.0 及以后）单侧倒拔均不再需要特殊构造，直接填写相应侧的垂重档距即可。

最大垂直档距：电气排杆定位时对应最大弧垂的工况下的垂直档距值，一般情况下为高温工况对应的档距值，重冰区有可能为覆冰工况对应的档距值。

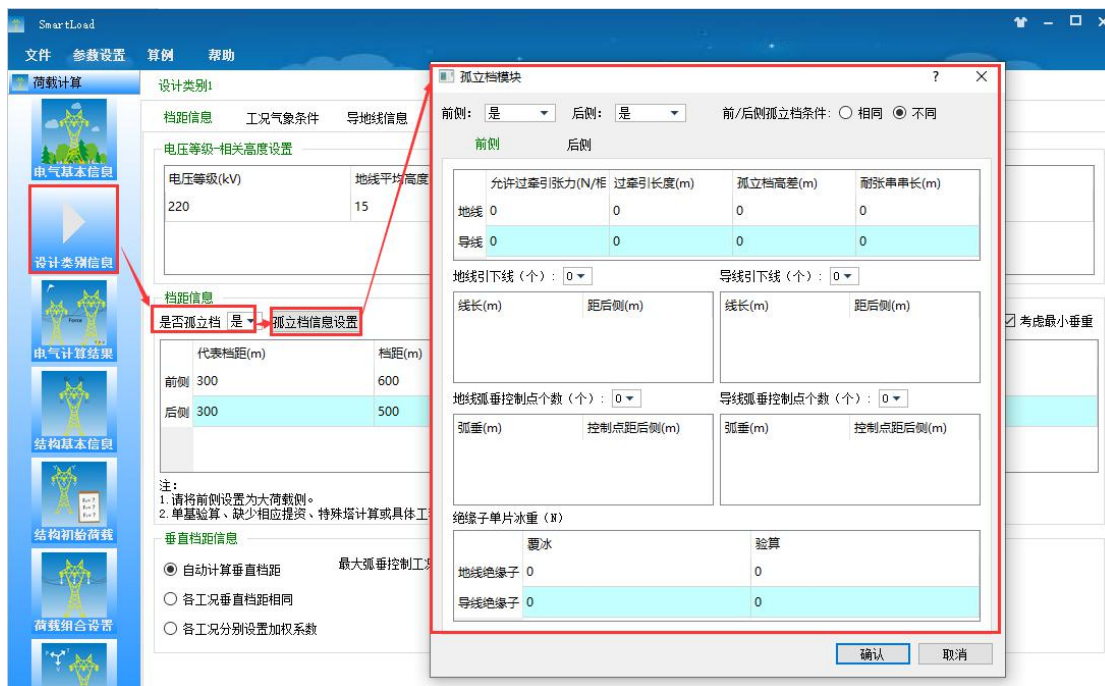
经济档距：排杆定位的结果之一，只用于计算高空风压系数使用，如缺少相应的提资条件，建议=档距值。

注：

a.一般规划计算的杆塔，习惯将大水平荷载、大垂重荷载、大张力荷载放在同一侧，SmartLoad 定义前侧为大荷载侧，因院和院之间的大荷载侧定义习惯不同，使用时请注意区别。

b.最小垂直档距：对于悬垂塔，用于校验风偏，一般只有“大风最小垂直档距”有真实意义，结构专业为提高杆塔结构的包络能力借用了“最小垂直档距”概念，如最小垂直档距的断线、最小垂直档距脱冰，故在悬垂塔中最小垂直档距不再进行相应的档距折算或系数修正（即各工况的最小垂直档距相同）；对于耐张塔，本不存在最小垂直档距概念，但为了能一次计算多个垂直档距（包括倒拔），耐张塔保留最小垂直档距，且最小垂直档距折算方式与最大垂直档距折算方式一致。

（3）孤立档信息：包含任意侧孤立档信息填写，包括导地线允许过牵引张力、过牵引长度、孤立档高差、耐张串串长、引下线信息、弧垂控制点信息及绝缘子单片冰重。



(4) 垂直档距信息：为最大垂直档距计算设置接口，其中



自动计算垂直档距：根据不同工况的比载及张力值自动推算每一个工况下的最大垂直档距值，计算时需首先设置最大垂档控制工况即排杆定位时最大弧垂对应的工况类型（参见最大垂直档距说明）。

各工况垂直档距相同：不同工况对应垂直档距均相同（一般不建议选择该种计算方式）。

各工况分别设置加权系数：如工程有特殊需要，可逐工况设置加权系数（一般特高压计算原则按此种方式修正垂直档距值）。

☐ 自动计算垂直档距
 ☐ 各工况垂直档距相同
 ☒ 各工况分别设置加权系数

	大风	覆冰	断线	安装	不均匀覆冰	最低气温	长期
地线							
导线							

2) 工况气象条件块：工况气象参数输入相关接口，其中：

(1) 前后侧气象条件归并类型：当前设计类别下的前后侧气象条件是否归并标识。常规选“相同”；气象分界塔选择“不同”，此时后侧的气象区条件也应输入对应的参数，不应遗漏。

工况	气温(°C)	设计风速(m/s)	覆冰厚度(mm)
大风	10	31.5	0

(2) 气象区信息：

工况	气温(°C)	设计风速(m/s)	覆冰厚度(mm)
大风	10	31.5	0
覆冰	-5	10	0
断线	0	0	0
安装	0	10	0
不均匀覆冰	-5	10	0
最低气温	-5	0	0
长期	20	5	0
平均气温	20	0	0
最高气温	40	0	0

备注：本表格只显示选中气象区的参数信息，以便核对，如须修改，请尝试切换其它气象区，或直接修改气象区相关参数

计算冰区选择 轻冰区

除无冰区段外，地线设计冰厚应较导线冰厚增加 5 mm

“前/后侧”或者“前侧+后侧” 对应的气象区工况选择，并显

示对应的气象条件（所显示的数据为只读模式，用户不可修改，如需修改，转至电气基本信息-气象区模块）及对应的冰区选择和地线覆冰增厚信息。

用户在设置覆冰厚度的时候，应同时修改对应的冰区选择，否则计算的时候可能会触发报错提醒（如轻冰区不包含 15mm 冰），或者计算的值并不能反应真实的负载信息（如中重冰区都包含 20mm 冰，冰区的选择可能会引起最终计算结果存在差异）。

（3）断线及不均匀冰发生时垂重及张力设置：



一般情况垂重比例按如下设置：断线取值 100%，不均匀覆冰小于 75%；

断线工况的未断线张力计算设置可根据本院设计习惯选择；
除非有明确的计算原则要求，一般断线张力及不均匀覆冰张力计算均可使用自动计算模式（对于中重冰区手动设置与自动设置差异较

轻冰区大；另一般特高压使用人工设置）。

3) 导地线信息

(1) 前后侧导地线信息条件归并类型：当前设计类别下的前后侧导地线规格是否归并标识。常规选“相同”；如有特殊需求，选择“不同”，此时后侧的相关条件也应输入对应的参数，不应遗漏。



(2) 导地线基础信息：导地线的设计相关信息：



电线型号：双击后进入电线库选取对应的电线类型，如对应的电线型号不存在，则可通过“菜单栏-参数-电线属性库”进行修改。

新线系数：一般地线取值 1.0，导线取值 0.95，获取相应的电线截面大小有关。

是否年平均控制：是否年平均温工况控制标识，年平均温工况是四个基本工况之一（其它为大风，覆冰，最低温），通常情况下选“是”，

如遇特殊需求，可选择“否”，此时临界档距（或孤立档 K 值）计算将不考虑平均温工况(选择“是”时，年平只是参与控制工况的计算，而不是指年平均一定控制)。

安装工况降温值：安装降温主要考虑补偿电线的初伸长影响，如考虑安装降温，则不应在考虑初伸长的影响，如不考虑安装降温，则初伸长的影响因子可在安装工况上进行叠乘。一般安装降温值可参考下表。

架空线类型		降温值（℃）
铝钢截面比	11.34~14.46	25（或试验确定）
	7.71~7.91	20~25
	5.05~6.16	15~20
	4.29~4.38	15
钢绞线		10

（3） 电线基础力学属性：

只读属性，方便用户校核所选中的电线力学基础属性是否与工程中的参数一致（现在物料一般通过 ERP 统一招标，部分工程所有电线属性可能与相应的规程不一致，用户计算时应做相应校核，如型号相同，而部分属性不同则应修改相应的参数，或者新建对应的电线属性【建议优先新建】）。

电线基础力学属性							
型号	截面(mm ²)	直径(mm)	拉断力(N)	单位重量(kg/m)	弹性系数(MPa)	线膨胀系数(1/℃)	备注
地线 JLB20A-240	238.76	20	260010	1.5955	147200	1.3e-5	
导线 LGJ-400/35	425.24	26.82	103900	1.349	65000	2.05e-5	

(4) 安装信息：考虑安装工况各影响因素对安装张力的影响（因设计院习惯差异，本表格值提供过牵引系数及施工误差系数，如还有其它系数影响，可通过系数叠乘处理）。

安装信息		
	地线	导线
过牵引系数	1.000	1.000
施工误差系数	1.000	1.000
初伸长影响系数	1.000	1.000

注：

对于有些院，安装信息是由结构专业荷载计算考虑的内容，且过牵引系数不同时参与对锚（挂）工况及紧线工况的张力修正，SmartLoad 编制时将安装信息放置在电气计算内容，且过牵引系数同步修正锚（挂）工况及紧线工况（简便，偏保守）。

(5) OPGW 荷载计算设置：OPGW 荷载计算相较地线荷载计算的增大加权系数（同时修正水平荷载、垂直荷载及张力荷载）已经是否设定地线考虑 OPGW 开断设置。

导线防舞增重设置

☐ 导线考虑防舞增重

导线增重系数 1.00

OPGW荷载计算设置

☐ 地线考虑OPGW开断

OPGW荷载增大系数 1.00

(6) 导地线防舞增重设置：可设置增重比例。

4) 其他信息

(1) 金具信息条件归并信息标识：当前设计类别下的前后侧金具信息是否归并标识。常规选“相同”（如为悬垂直线塔或者悬垂转角塔则只能为“相同”）；如有特殊需求，选择“不同”，此时后侧的相关条件也应输入对应的参数，不应遗漏。




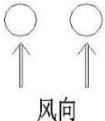
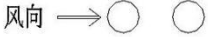
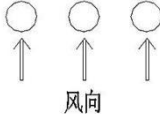

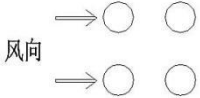
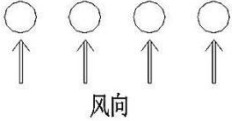

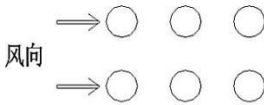
(2) 绝缘子串及其他信息：绝缘子串相关的荷载信息，如为耐张塔，则输入的为某相导线（某根地线）单侧的绝缘子串信息；如为悬垂塔，则不分侧输入。



对于单侧倒拔塔，对应的绝缘子串重应按正值/0/负值考虑，院与院的设计习惯不便归并，本平台支持输入负绝缘子垂重以方便特殊负载下的构造（对应结构部分使用“特殊塔”或选“一般塔+前后侧独立计算”，常规情况下更推荐“一般塔+前后侧独立计算”）。

其中：





- ✓ 绝缘子延线路方向/横担方向分布的金具联数：新版规程考虑了绝缘子受风时相互遮挡影响，具体效应参见下表；老版规程不考虑遮挡影响（偏保守）。对于 V 串考虑前后空间尺寸影响，均不考虑遮挡效应，具体参见新规程对应的条文说明。


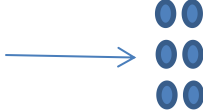


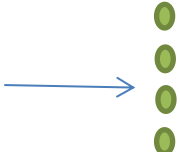
序号	1	2	3
图例			
n	1	2	1
λ_i	1	1	1.5
序号	4	5	6
图例			
n	3	1	2
λ_i	1	1.5	1.5
序号	7	8	9
图例			
n	4	1	2
λ_i	1	3	2

工程中，常规考虑风向为 90 度、45 度及 0 度，鉴于不同风向下需要的两个方向的金具联数不同，需要的接口繁多；又鉴于线条水平荷载于 90 度攻角最大，故 SmartLoad 暂忽略不同大风攻角下的绝缘子受载的不同，只考虑 90 度风下的绝缘子串受载，并假定绝缘子在各风向攻角下受载大小=其在 90 度大风下的受载值。





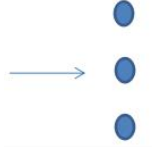
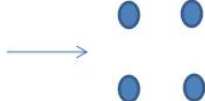
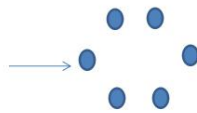
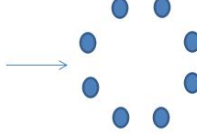
例举：

假设工程中 90 度风为如下的箭头方向(V 串，应考虑空间效应影响，以单 V 为例，输入方式应为编号 3 对应的填法)，则：

编号	示意	延线路方向分布的金具联数	延横担方向分布的金具联数
1		1	1
2		1	2
3		2	1
4		1	3
5		3	1

编号	示意	延线路方向方向分布的金具联数	延横担方向方向分布的金具联数
6		2	2
7		3	2
8		2	3
9		1	4
10		4	1

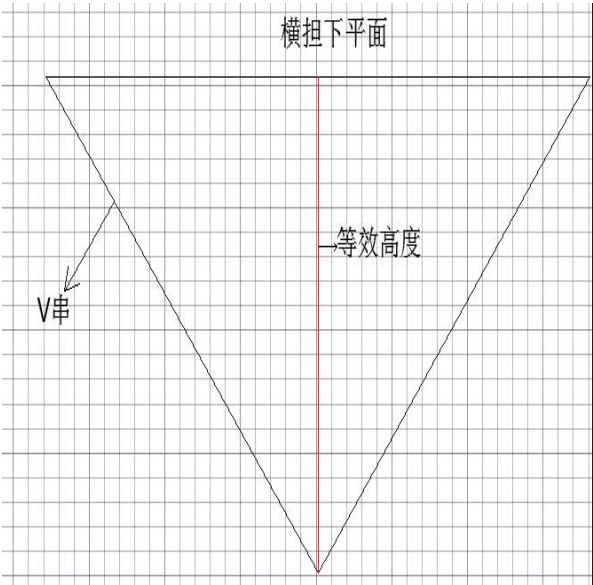
编号	示意	延线路方向方向分布的金具联数	延横担方向方向分布的金具联数
11		4	2
12		2	4

编号	示意	延线路方向方向 分布的金具联数	延横担方向方向 分布的金具联数
1		1	1
2		1	2
3		2	1
4		1	3
5		3	1
6		2	2
7		3	2
8		4	2

✓ 绝缘子串总重量：绝缘子串垂重较简单，直接输入总垂重即可（即输入的为非单联金具对应的垂重，而是全部的垂重）。

✓ 间隔棒平均安装间距/单个间隔棒重量：如不考虑间隔，则单个间隔棒重量输入为 0 即可，此时间隔棒平均安装距离间距为任意非 0 值均可（任意负载状态下，间隔棒平均安装距离间距均不可为 0）。

✓ 绝缘子等效高度：只对悬垂直线塔/悬垂转角塔设置有效，指横担连接点到真实挂点处的垂直距离（对于 I 串=串长，对于 V/L/其它串型需要几何计算获取对应的高度，见右图示意图，红线为等效高度）。



(3) 跳线信息：



跳线相关的荷载信息，其中所有参数不区分前后侧。

其中：

- ✓ 绝缘子总片数：为跳线对应的绝缘子片数总和。
- ✓ 跳线长度：填写时不考虑分裂根数影响（如跳线长度为 10m，导线的分裂根数为 4，则输入 10m；计算内核会自动按照 40m 计算相应的垂直荷载和水平荷载）。
- ✓ 跳线绝缘子串重量：为一相跳线对应的总重量。
- ✓ 跳线不均匀系数：新版规程不体现，没有相应的设置；老版规程体现，具体可参见相应的计算原则（一般特高压跳线不均匀系数可手动设置相应的值）。

4.3 电气荷载计算结果

用于显示电气计算结果及相关的提资文件生成。其中水平荷载、垂直荷载逐线条显示，张力荷载根据设计类别显示，如某设计类别下没有对应的地线或导线，对应的张力和不平衡张力将空缺，以“-”标识。

显示时，可以前后侧合并显示，也可以前后侧独立显示（只是显示方式不同，且对后续的结构计算中的初始荷载没有任何影响），所有显示结果均为只读属性，用户无法修改。

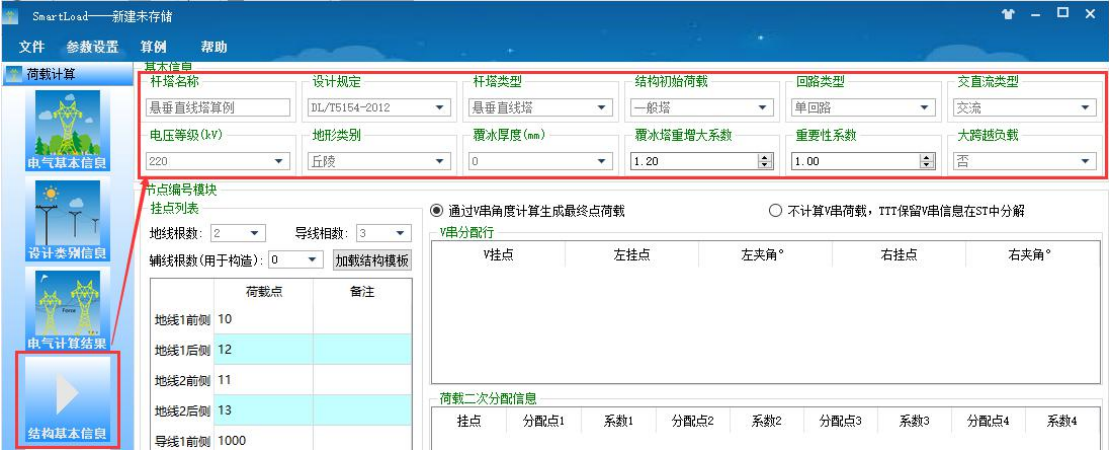
荷载类别	线条/其它	大风	覆冰	断线	安装	不均匀覆冰	最低气温	长期
水平荷载	地线1	7024	1014	0	1012	1014	0	251
	地线1绝缘子串	0	0	0	0	0	0	0
	地线2	7024	1014	0	1012	1014	0	251
	地线2绝缘子串	0	0	0	0	0	0	0
	导线1	8649	1219	0	1211	1219	0	294
	导线1绝缘子串	1636	165	0	165	165	0	41
	导线2	8649	1219	0	1211	1219	0	294
	导线2绝缘子串	1636	165	0	165	165	0	41
	导线3	8649	1219	0	1211	1219	0	294
	导线3绝缘子串	1636	165	0	165	165	0	41
	跳线1	274	28	0	28	28	0	7
	跳线2	274	28	0	28	28	0	7
	跳线3	274	28	0	28	28	0	7
最大垂直荷载	地线1	44749	46109	46109	45052	45769	46081	40990
	地线1绝缘子串	0	0	0	0	0	0	0
	地线2	44749	46109	46109	45052	45769	46081	40990
	地线2绝缘子串	0	0	0	0	0	0	0
	导线1	35351	31891	31891	31032	32756	31766	28026
	导线1绝缘子串	3174	3174	3174	3174	3174	3174	3174
	导线2	35351	31891	31891	31032	32756	31766	28026
	导线2绝缘子串	3174	3174	3174	3174	3174	3174	3174
	导线3	35351	31891	31891	31032	32756	31766	28026
	导线3绝缘子串	3174	3174	3174	3174	3174	3174	3174
	跳线1	2132	2132	2132	2132	2132	2132	2132
	跳线2	2132	2132	2132	2132	2132	2132	2132
	跳线3	2132	2132	2132	2132	2132	2132	2132

最小垂直荷载	地线1	15104	15348	15348	15158	15287	15343	14428
	地线1绝缘子串	0	0	0	0	0	0	0
	地线2	15104	15348	15348	15158	15287	15343	14428
	地线2绝缘子串	0	0	0	0	0	0	0
	导线1	14128	13506	13506	13352	13661	13483	12811
	导线1绝缘子串	3174	3174	3174	3174	3174	3174	3174
	导线2	14128	13506	13506	13352	13661	13483	12811
	导线2绝缘子串	3174	3174	3174	3174	3174	3174	3174
	导线3	14128	13506	13506	13352	13661	13483	12811
	导线3绝缘子串	3174	3174	3174	3174	3174	3174	3174
	跳线1	2132	2132	2132	2132	2132	2132	2132
	跳线2	2132	2132	2132	2132	2132	2132	2132
	跳线3	2132	2132	2132	2132	2132	2132	2132
张力荷载	类别1地线前侧…	62646	65003	65003	63171	65003	64955	56131
	类别1地线前侧…	0	0	65003	0	0	0	0
	类别1地线后侧…	62646	65003	65003	63171	65003	64955	56131
	类别1地线后侧…	0	0	65003	0	0	0	0
	类别1导线前侧…	34435	29831	29831	28688	29831	29665	24687
	类别1导线前侧…	0	0	39482	0	0	0	0
	类别1导线后侧…	34435	29831	29831	28688	29831	29665	24687
	类别1导线后侧…	0	0	39482	0	0	0	0

4.4 结构基本信息

提供基本信息、挂点信息及节点荷载分配信息的输入界面，主要包括以下模块。

1) 基本信息模块：如新建模式为“电气计算+结构计算”，则相关信息继承电气部分的基本信息，且为只读属性。其中：



(1) 结构初始荷载：包含一般塔、特殊塔两种类型。

一般塔：如无特殊需求一般塔即可满足使用要求，前后侧负载可通过分配系数修正，也可以独立计算。

特殊塔：前后侧荷载值与对应的档距信息直接关联，荷载计算时只可独立计算，不通过前后侧分配系数修正；或者电线前（后）侧角度不同，如分歧塔（特殊塔线路角度可以逐线条设置）。

一般塔和特殊塔主要区别有：特殊塔会考虑更多的风向角，断线的组合和不平衡力构造的方式，也略有不同。一般情况下，同样的负载边界条件下，用一般塔和用特殊塔组合下的最终节点力会稍有不同。

(2) 覆冰塔重增大系数：系统会根据当前覆冰厚度进行初始化

（根据一般工程经验），用户也可根据当前工程的具体需要进行设置。

（3）重要性系数：通常重要性系数为 1.0，特高压线路、大跨越或者具体工程需求可根据相关原则进行设置。SmartLoad 只通过 TTT 文件形成相应工况的重要性系数接口数据，最终由 SmartTower 实现重要性系数对各节点荷载的修正（即 SmartLoad 中重要性系数设置不影响线条荷载计算）。

（4）其他参数：同之前的电气基本信息。

2）挂点编号模块：地线编号、导线编号及辅线编号信息。

（1）导地线编号及辅线信息：包含导、地、辅线相（根）数和对应的前后侧节点编号信息。

辅线主要用于工况构造，如特高压的安装工况，或常规电压等级单侧双分歧等。

注：

The screenshot shows the 'SmartLoad——新建未存储' (SmartLoad——New Unsaved) window. The 'Node Numbering Module' (节点编号模块) is highlighted with a red box. It contains a table for setting node numbers for ground wires and conductors.

挂点列表	荷载点	备注
地线1前侧	10	
地线1后侧	12	
地线2前侧	11	
地线2后侧	13	
导线1前侧	1000	
导线1后侧	1002	
导线2前侧	2000	
导线2后侧	2002	

a.所有节点编号初始化时均为负值，以避免和 SmartTower 已有的真实节点重复。使用时用户须将对应的节点编号修改为真实节点对应的编号，否则，TTT 文件中的荷载点是无效的。

b.荷载节点编号相同时，TTT 计算中会自动将对应的节点荷载进行归并。如尖横担或者 V 串挂点，对应的前后侧虚拟挂点应一致。

c.考虑跳线只承受水平荷载及垂直荷载，挂点前后侧编号默认相同，用户须通过二次分配信息将对应荷载分配至真实挂点上，在挂点编号

模块中跳线的节点编号不建议与导线编号一致，否则对应的荷载分配路径将不明确，如某导线前侧挂点为 300，后侧挂点为 302，对应的跳线真实挂点前侧也为 300，后侧也为 302，则跳线编号应为非 300/302 点，然后通过荷载二次分配信息将对应的跳线荷载分配至 300 及 302 点（如将 300/302 导线对应的跳线编号定义为 305，在荷载二次分配信息中将 305 分配至 300/302：305 300 102 302 102）。

d.某些塔型涉及到单侧多挂点，可先设置一点，再通过二次分配实现多挂点功能。

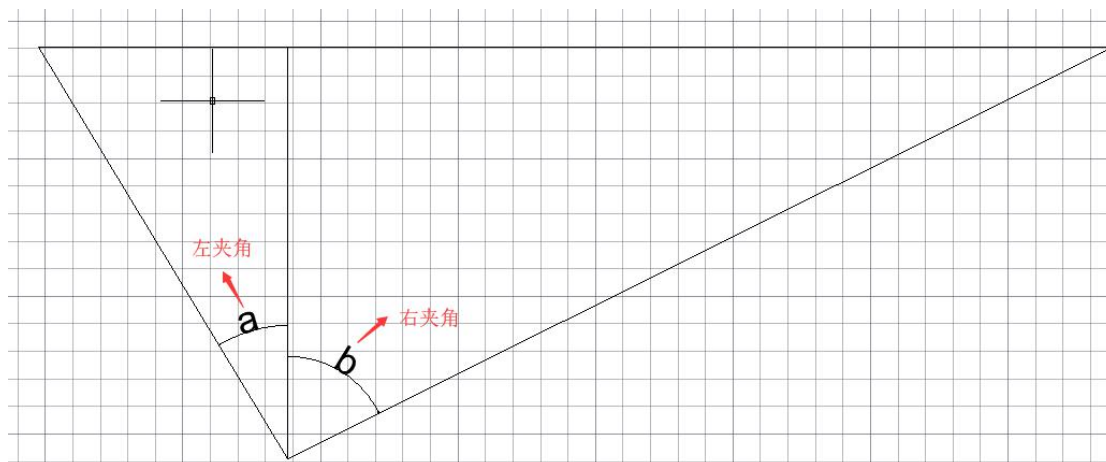
e.考虑与 SmartTower 接口需求，SmartLoad 定义前侧挂点尾数为 0、1，后侧挂点尾数为 2、3，如节点编号前后侧倒置，则线条荷载在 Y 向的矢量方向是反的，对最终杆塔计算影响很大。

（2） V 串分配信息模块：提供 V 串分配信息的输入界面（最终分配点必须为真实挂点）。



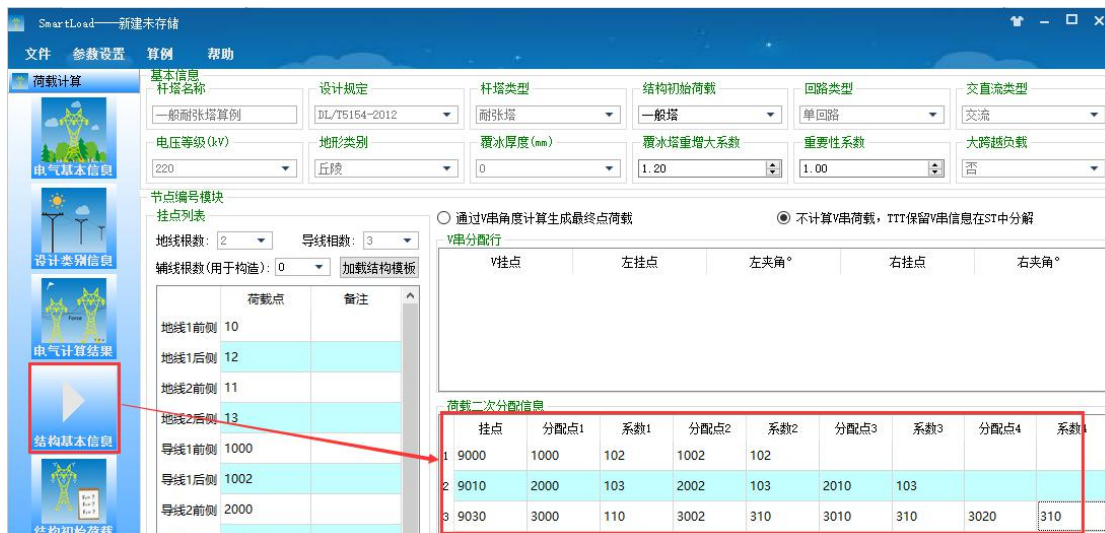
如选中“通过 V 串角度计算生成最终荷载” (此时应补充左右夹角信息，左右夹角示意图见下图)，则 SmartLoad 将荷载直接分配至真实的挂点上（以上图为例：1020+1040 两点），TTT 文件对应为 1020 及 1040 的节点力；

如选中“不计算 V 串荷载，TTT 保留 V 串信息在 ST 中分解”，则 SmartLoad 将荷载计算至 1000 节点，并形成相应的接口文件，此



时 SmartTower 读取对应 TTT 文件将根据接口信息将 1000 的节点力进一步分配至 1020 及 1040 节点上。

(3) 荷载二次分配模块：界面上最多支持四次分配，如为二次分配，则只需设置两个分配点及对应的分配系数（最终分配点必须为真实挂点）。



如分配点个体数>4，则可直接修改 TTT 文件中的接口数据，即可实现。分配信息暂采用以下语法协议：分配系数 xyz，对应的分配比例为 x/yz，以上图为例：

9000 将荷载分配至 1000 及 1002 节点，分配比例均为 $1/2=0.5$ ；

9010 将荷载分配至 2000、2002 及 2010 节点，分配比例均为 $1/3$ ；

9030 将荷载分配至 3000、3002、3010 及 3020，分配比例对应为 0.1、0.3、0.3 及 0.3；

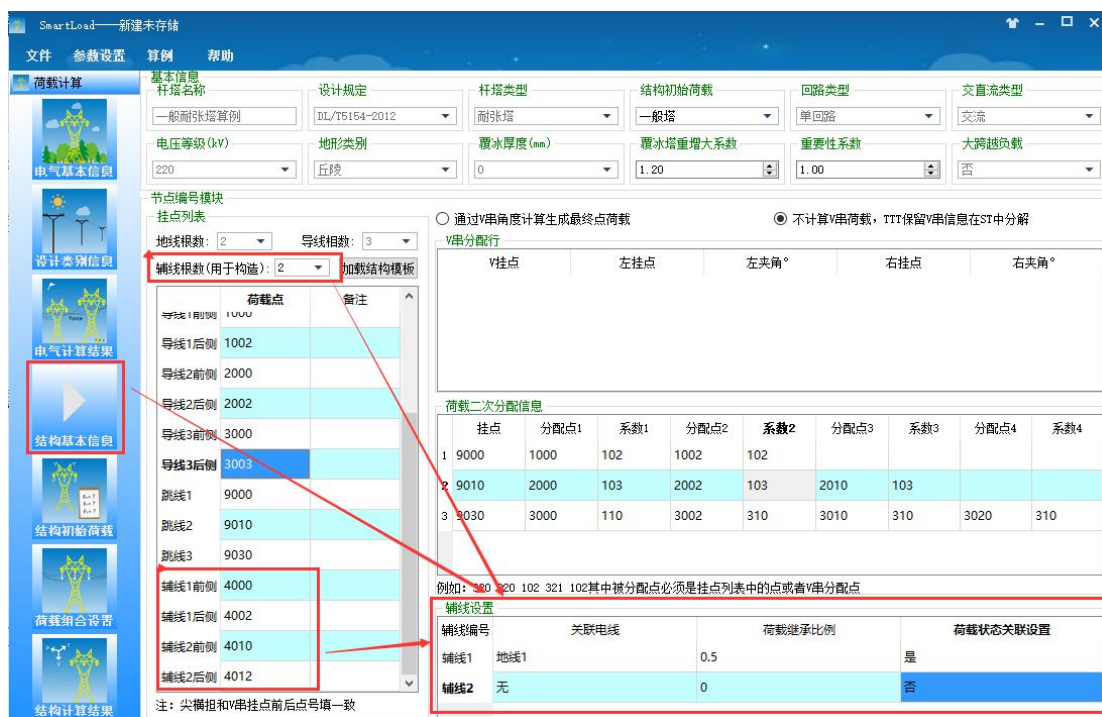
此时对应上图，计算结果 TTT 文件将生成一下接口数据：

9000	2	1000	102	1002	102				
9010	3	2000	103	2002	103	2010	103		
9030	4	3000	110	3002	310	3010	310	3020	310

如将上图中的“9000 2 100 102 1002 102”修改为：

“9000 5 1000 105 1010 105 1020 105 1030 105 1040 105”，则 9000 将荷载分配至 1000、1010、1020、1030、1040 及 1050 共 5 个点，每个点的分配系数为 $1/5=0.2$ 。

(4) 辅线设置



SmartLoad 主要参考浙江院 Load 的框架协议，在 Load 中荷载与具体线条挂钩，SmartLoad 考虑自动组合的需求对各线条进行了导、地线的标识（主要考虑断线工况的自动组合需求）。再考虑某些工程的真实需求，如特高压悬垂塔施工孔 1 牵 x 的工况，如为模拟施工孔荷载而引入新的线条荷载（带导地线标识信息），则会干扰断线工况以及其他工况的自动组合（施工孔荷载只应参与安装工况相关计算）。为解决这一矛盾，SmartLoad 引入辅线以解决某些特殊负载需求。辅线带有荷载信息，但不具有导地线标识信息，默认的荷载状态为 0，即辅线默认情况下不会形成任何节点荷载，除非人为设定非 0 的荷载状态或者与某些导地线进行荷载状态绑定。辅线设置主要包含了以下内容：

关联电线：与当前辅线有荷载值或荷载状态相关的电线编号；

荷载继承比例：当前辅线各工况下的荷载值与关联电线对应荷载值的比例；

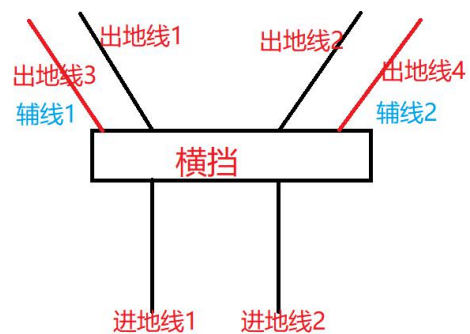
荷载状态关联设置：当前辅线与关联电线在各荷载组合下，荷载状态是否一致。

以上图为例：

辅线 1，各工况荷载值为地线 1 的 0.5 倍，所有组合工况中，辅线 1 与地线 1 的荷载状态一致；

辅线 2，各工况荷载值及荷载状态均需要手动指定。

辅线也可以用于一些其它特殊的构造，如右图，分支塔的单侧双地线的两根地线也可以用辅线来处理（尤其是地线出线方向差异较大时或两根地线



负载条件差异较大时）。

4.5 结构初始荷载信息

结构初始荷载信息为结构荷载输入的界面，主要输入方向有三种直接继承、接口导出及直接输入。具体如下：



- 1) 自动继承电气荷载：如果为“电气+结构”的计算模式，则默认为该种方式，用户不需要输入任何数值，直接将对应的电气计算结果转换为对应的结构荷载。此时，荷载数据等相关控件为只读属性，用户不可编辑（取消选中“自动继承荷载结果，并且表格不可标记”，则进入编辑状态）。
- 2) 接口导出：对应某些院的定制接口，或者典设接口（鉴于新规修订及典设编制质量把控的不完善（相对常规施工图设计深度），我们不建议过多的使用典设接口），用户可输入基于院内习惯的提资，SmartLoad 可辅助转换。
- 3) 直接输入：非定制接口，用户可直接根据相应的提资直接输入对应的荷载。

注：

a.国网典设读取：系统自动根据电压等级和大风速度折算导地线风荷载调整系数，用户在输入风荷载前，请确认当前荷载时没有考虑风荷载调整系数因子。

典设荷载转换

典设荷载

荷载类别	分项	正常运行工况			事故		安装	不均匀覆冰
		最大风速	覆冰	最低气温	未断线	断线		
水平荷载	导线	0	0	0	0	0	0	0
	绝缘子串及金具	0	0	0	0	0	0	0
	跳线串	0	0	0	0	0	0	0
	地线	0	0	0	0	0	0	0
垂直荷载	导线	0	0	0	0	0	0	0
	绝缘子串及金具	0	0	0	0	0	0	0
	跳线串	0	0	0	0	0	0	0
	地线	0	0	0	0	0	0	0
张力	导线前侧	0	0	0	0	0	0	0
	导线后侧	0	0	0	0	0	0	0
	导线张力差	0	0	0	0	0	0	0
	地线前侧	0	0	0	0	0	0	0
	地线后侧	0	0	0	0	0	0	0
	地线张力差	0	0	0	0	0	0	0

注：

1：耐张塔水平荷载及垂直荷载输入时，请对应合并前侧、后侧荷载。

2：耐张塔张力输入时，不均匀覆冰工况请只输入张力差（即不平衡张力），其他工况请对应输入前后侧张力。

3：直线塔张力输入时，断线工况、不均匀覆冰工况请只输入张力差（即不平衡张力），安装工况请随意选择一侧张力输入。

4：水平荷载均不需要考虑风荷载调整系数（程序自动折算）。

大风风速 (m/s)

27

高空分压系数设置

地线1	地线2	导线1	导线2	导线3
高空风压系数 1	1	1	1	1

初始化

读取

保存

导出荷载

其中：

线条张力中的断线张力为事故状态中未断线对应的张力；

纵向不平衡张力中的断线张力为事故状态中的正断对应的不平衡张力；

线条张力中的不均匀覆冰张力为脱冰工况中脱冰前对应的张力；

纵向不平衡张力中的不均匀覆冰张力为脱冰工况中的脱冰后引起的不平衡张力。

50

b.前后侧独立计算：根据前侧后各种档距信息独立计算继承或直接输入前后侧对应的荷载，不再通过全档荷载+分配系数构造，也已即简便的计算单侧倒拔，不再需要复杂构造。

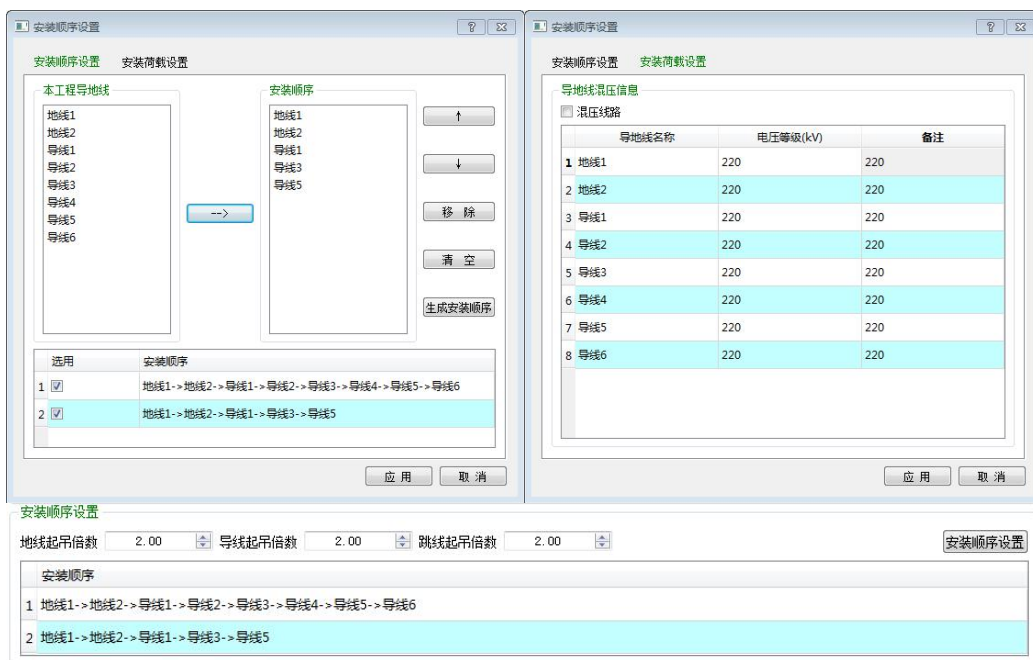
4.6 荷载组合设置信息

提供通用参数信息、安装顺序信息、不均匀覆冰信息、分配信息及线路角度信息的输入接口，其中：

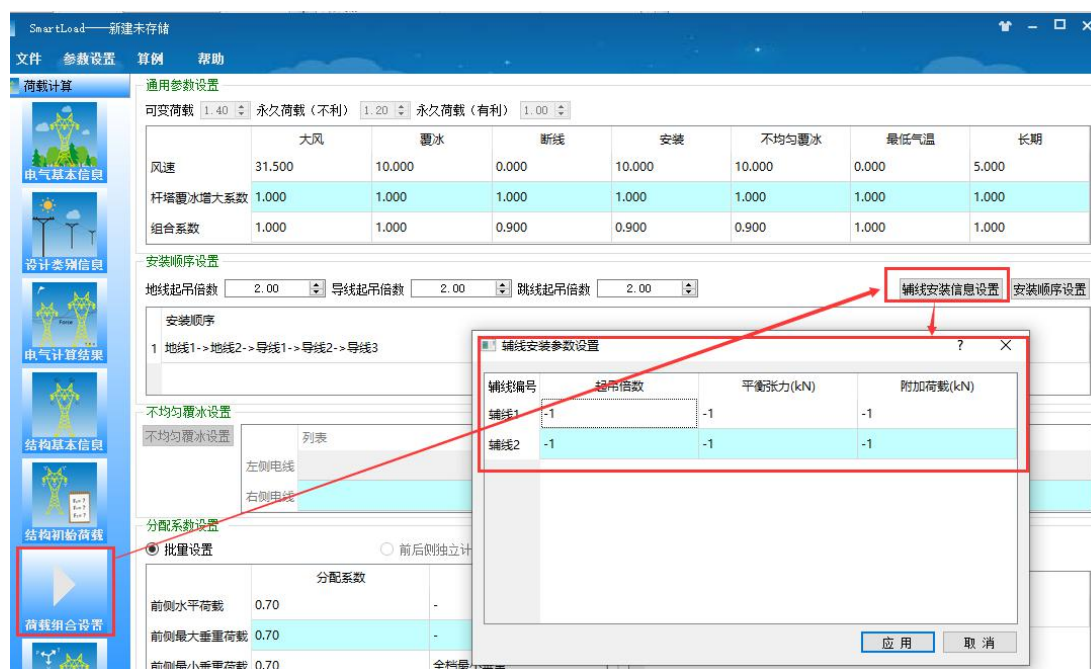
1) 通用参数设置: 为各工况的风速、杆塔覆冰增大系数及组合系数，主要为 SmartTower 提供接口数据，用于计算塔身风荷载，如果当前模式为“电气计算+结构计算”，则对应的风速为只读模式，用户不可编辑。



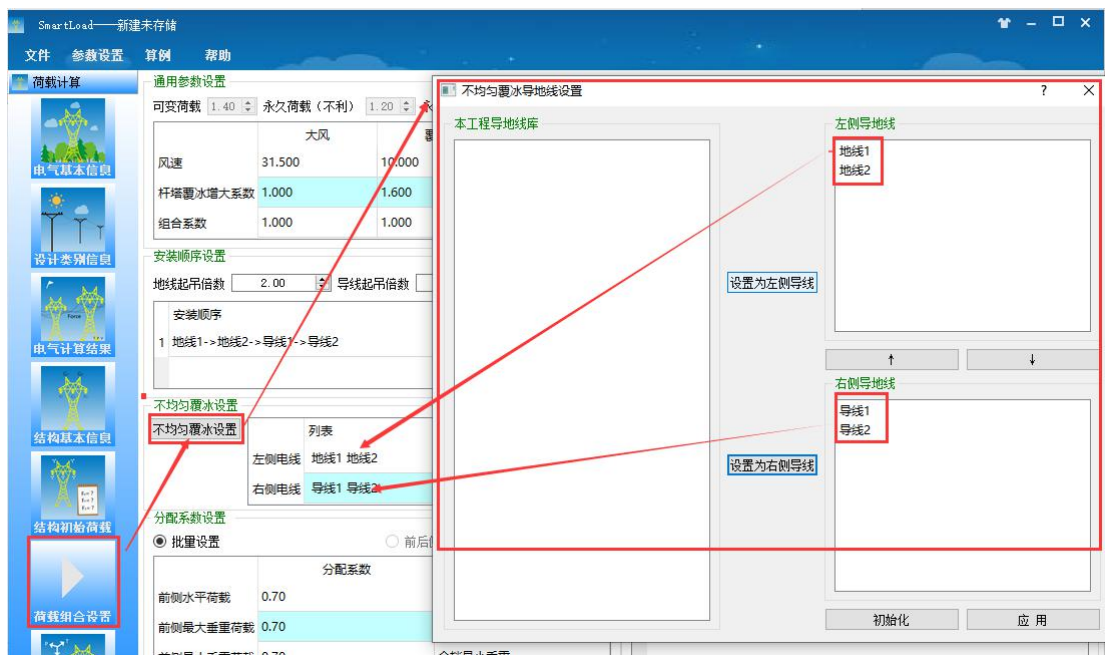
2) 安装顺序设置: 提供安装顺序设置（可设置多个架线顺序，用于双、多回路的单侧架线）、及混压线路下的电压等级设定（不同电压等级，电线在安装时的附加荷载及临时拉线的平衡张力不同）。



辅线安装信息设置：如当前辅线根数非 0，则需设定相应辅线安装信息。



3) 不均匀冰设置：主要用于 110kV 以上电压等级，15mm 以上冰区的最大扭设置（最大扭工况要求部分导地线同时不同侧脱冰，用户需要设置对应的左、右侧导线，部分导地线也可设置为不参与最大扭工况）。



4) 分配系数设置：提供一般塔/特殊塔的分配信息，如为一般塔，则为批量设置；如为特殊塔，则为前侧后独立设置。



其中，一般塔的水平荷载和最大垂重荷载只填写前侧分配系数，后分配系数系统自动计算（后侧分配系数=1-前侧分配系数），新版

SmartLoad(V2.0.0 及以上) 对应单侧倒拔不再需要复杂构造（正常填写+选中前后侧独立计算即可）。

以下斜体字为老版的单侧倒拔构造方法，暂保留改功能，**新版之后，不必通过构造实现单侧倒拔。**

一般塔的最小垂重荷载可分别设置前后侧的分配系数及分配源（即最小垂直荷载的前后侧可以通过特殊构造来完成一些特殊需求，如单侧倒拔），具体见如下简例：

某塔真实负载条件见下表：

	<i>前侧</i>	<i>后侧</i>
最大垂直档距	600	400
最小垂直档距	400	-300

则在**设计类别信息-档距信息**填写如下：

	<i>前侧</i>	<i>后侧</i>
最大垂直档距	600	400
最小垂直档距	-300	0

此时全档最大垂直档距值=600+400=1000；

全档最小垂直档距=-300+0=-300。

最小垂直档距分配系数设置填写如下：

	分配系数	分配荷载类型
前侧最小垂重荷载	0.4	全档最大垂重
后侧最小垂重荷载	1.0	全档最小垂重

此时，前侧最小垂直荷载=0.4*全档最大垂重=0.4*1000=400m 垂

直档距对应的荷载；

后侧最小垂重荷载=1.0*全档最小垂重=1.0*（-300）=-300 垂直
档距对应的荷载。

5) 线路转角信息

线路转角信息

设置线路转角

批量设置

	最小角度	最大角度
1	0.00	0.00

线路转角信息

设置线路转角

批量设置

逐条设置 (用于分歧塔/特殊塔)

	前侧角度	后侧角度
1	0.00	180.00

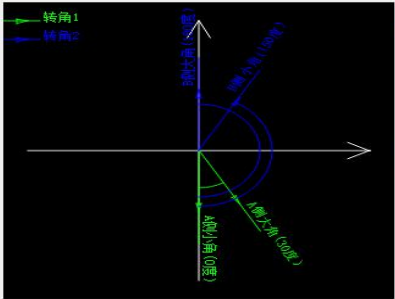
设置线路转角

小角度

大角度

1	0.00	60
---	------	----

转角示意图:



说明:

小角度: 线路转角较小的角度 (某塔规划转角范围为 (20~40度) 此处填20)。
大角度: 线路转角较大的角度 (某塔规划转角范围为 (20~40度) 此处填40)。

确认

取消

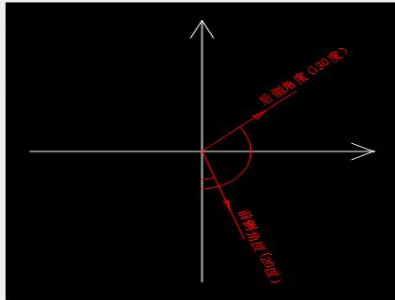
设置线路转角

前侧角度

后侧角度

1	0.00	180.00
2	20	130
3	0.00	180.00
4	0.00	180.00
5	0.00	180.00

转角示意图:



说明:

前侧角度: Y负轴逆时针转向小号侧对应的角度方向线所经过的角度。
后侧角度: Y负轴逆时针转向大号侧对应的角度方向线所经过的角度。

确认

取消

转角信息设置：提供一般塔/特殊塔的线路角度信息（特殊塔提供逐条设置，设置对象为前侧/后侧角度；一般塔只能批量设置，设置对象为最小/最大角度）。

56

一般塔，大小角度设置范围为 0 度~90 度；特殊塔，前后角度设置范围为-180 度~180 度。

一般塔和特殊塔的角度定义略有区别：一般塔转角 30 度对应的线路走向=特殊塔前侧角度 15 度+后侧角度 175 度的线路走向。

4.7 荷载组合结果

提供荷载组合的选用、编辑、扩充界面、节点荷载计算及过程结果文件保存界面。



张力计算设置：如选中“前侧设置为大张力侧”，则计算过程所有的前侧都将调整为大张力侧（参考江苏院荷载计算相关处理方式）。

未断线状态张力计算设置：事故工况下的未断线状态下的张力选用设置。

自动生成荷载组合：软件自动生成荷载组合，如果当前已有组合信息，则清除已有荷载组合信息，重新生成（在荷载组合信息已有的情况下，慎重重新组合）。

节点荷载计算：根据当前荷载组合信息，进行节点荷载计算（如未组合，则会自动组合，之后再计算节点荷载）。

注：

荷载状态标识：行业内节点荷载计算有两种比较流行的方式：东北院的 Apx 及浙江院 Load，两者均能准确的反应荷载的受力状态，但 Apx 对于悬垂塔和耐张塔荷载表述有两套语法体系，SmartLoad 在编制的时候借鉴了浙江院 Load 的编码方案，并做了一些调整，具体参见附录一。

附录一：荷载状态说明

1. 大风

1.1 一般塔大风状态类别

荷载状态	荷载状态描述
1	终端塔，最小垂直力
2	终端塔，最大垂直力
3	前后侧张力相同（取大值），最小垂直力
4	前后侧张力不同，最小垂直力
5	前后侧张力相同（取大值），最大垂直力
6	前后侧张力不同，最大垂直力
7	前后侧张力相同，最小垂直力 前侧为 0 后侧倒拔
8	前后侧张力不相同，最小垂直力 前侧为 0
9	前侧大张力、大垂重，后侧小张力、小垂重（倒拔）
10	前侧小张力、大垂重，后侧小张力、小垂重（倒拔）
11	前侧小张力、0 垂重，后侧小张力、小垂重（倒拔）

1.2 特殊塔大风状态类别

荷载状态	荷载状态描述
0	无节点力
1	正常荷载

2. 覆冰

2.1 一般塔覆冰状态类别

荷载状态	荷载状态描述
1	终端塔，最小垂直力
2	终端塔，最大垂直力
3	前后侧张力相同（取大值），最小垂直力
4	前后侧张力不同，最小垂直力
5	前后侧张力相同（取大值），最大垂直力
6	前后侧张力不同，最大垂直力
7	前后侧张力相同，最小垂直力 前侧为 0 后侧倒拔
8	前后侧张力不相同，最小垂直力 前侧为 0 后侧倒拔
9	前侧下压(大张力)，后侧上拔(小张力)

2.2 特殊塔覆冰状态类别

荷载状态	荷载状态描述
0	无节点力
1	正常荷载

3. 断线

3.1 一般塔断线状态类别

荷载状态	荷载状态描述
1	断线，最小垂直力-耐张塔
2	断线，最大垂直力-耐张塔
3	断线，最小垂直力-直线塔
4	断线，最大垂直力-直线塔
5	未断线，最小垂直力
6	未断线，最大垂直力
7	断线，最小垂直力 - 耐张塔 前侧为 0 后侧倒拔
8	断线，前侧下压，后侧上拔
9	断线，前侧上拔，后侧下压

3.2 特殊塔断线状态类别

荷载状态	荷载状态描述
0	无节点力
1	正断
2	未断

4. 安装

4.1 一般塔安装状态类别

荷载状态	荷载状态描述
1	正紧线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）
2	已紧线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）
3	正挂线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）
4	已挂线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）
-4	后档已挂线，前挡无线，有临时拉线（耐张塔）
5	正紧线，后档挂好，紧前档（前档无临时拉线）
6	已紧线，后档挂好，紧前档（前档无临时拉线）
7	正挂线，后档挂好，挂前档（前档无临时拉线）
8	已挂线，后档挂好，挂前档（前档无临时拉线）
9	正常相
10	正起吊，直线塔
11	已起吊，直线塔
12	正锚，直线塔
13	已锚，直线塔

4.2 特殊塔安装状态类别

荷载状态	荷载状态描述
1	正紧线，有临时拉线（耐张塔）
2	已紧线，有临时拉线（耐张塔）
3	正挂线，有临时拉线（耐张塔）

荷载状态	荷载状态描述
4	已挂线，有临时拉线（耐张塔）
5	正紧线，无临时拉线
6	已紧线，无临时拉线
7	正挂线，无临时拉线
8	已挂线，无临时拉线
9	正常相
10	正起吊，用于起吊跳线
11	已起吊，用于起吊跳线

5. 不均匀覆冰

5.1 一般塔不均匀覆冰状态类别

荷载状态	荷载状态描述
1	终端塔，最小垂直力 正常脱冰
-1	终端塔，最小垂直力 反向脱冰
2	终端塔，最大垂直力 正常脱冰
-2	终端塔，最大垂直力 反向脱冰
3	最小垂直力 正常脱冰
-3	最小垂直力 反向脱冰
4	最大垂直力 正常脱冰
-4	最大垂直力 反向脱冰
5	正常相，最小垂直力
6	正常相，最大垂直里
7	前侧 0 后侧上拔 正向脱冰
-7	前侧 0 后侧上拔 反向脱冰
8	前侧下压，后侧上拔 正向脱冰
-8	前侧下压，后侧上拔 反向脱冰
9	前侧上拔，后侧下压 正向脱冰
-9	前侧上拔，后侧下压 反向脱冰
10	前侧上拔，后侧上拔 正向脱冰
-10	前侧上拔，后侧上拔 反向脱冰

5.2 特殊塔不均匀覆冰状态类别

荷载状态	荷载状态描述
1	正常脱冰
-1	反向脱冰
2	正常相

6. 低温

6.1 低温荷载状态类别

荷载状态	荷载状态描述
1	终端塔，最大垂直力
2	前后侧张力相同（取大值），最大垂直力
3	前后侧张力不同，最大垂直力

6.2 特殊塔大风状态类别

荷载状态	荷载状态描述
0	无节点力
1	正常荷载

7. 长期

7.1 长期荷载状态类别

荷载状态	荷载状态描述
1	终端塔，最大垂直力
2	前后侧张力相同（取大值），最大垂直力
3	前后侧张力不同，最大垂直力

7.2 特殊塔长期状态类别

荷载状态	荷载状态描述
0	无节点力
1	正常荷载

8. 验冰

8.1 验冰荷载状态类别

荷载状态	荷载状态描述
1	终端塔，最大垂直力
2	前后侧张力不同，最大垂直力

8.2 特殊塔验冰状态类别

荷载状态	荷载状态描述
0	无节点力
1	正常荷载

9. 舞动

9.1 舞动荷载状态类别

荷载状态	荷载状态描述
1	终端塔，最大垂直力
2	前后侧张力不同，最大垂直力

9.2 舞动荷载状态类别

荷载状态	荷载状态描述
0	无节点力
1	正常荷载

附录二：一般塔计算步骤范例

一般塔即常规的直线塔、耐张塔，以电气计算+结构计算为例。

1 填写电气基本信息

1.1 填写杆塔基本信息

The screenshot shows the 'SmartLoad' software interface with the 'Basic Information' tab selected. The left sidebar contains icons for 'Tower Basic Information', 'Design Category Information', 'Electrical Calculation Results', and 'Structure Basic Information'. The main area is divided into several sections:

- Basic Information:** Fields for 'Tower Name' (悬垂转角塔算例), 'Design Specification' (DL/T5154-2012), 'Tower Category' (普通塔), 'Tower Type' (悬垂转角塔), 'AC/DC Type' (交流), 'Circuit Type' (单回路), 'Voltage Level (kV)' (220), 'Degree of Difficulty' (B类 - 远郊), 'Terrain Category' (丘陵), and 'Large Span Load' (否).
- Point Information:** Fields for 'Ground Wire Count' (2), 'Conductor Count' (3), and 'Design Category Count' (1). There is a checkbox for 'Manually Set High Wind Pressure Coefficient'.
- Table:** A table with 5 columns: 'Ground Wire' (地线), 'Point Height (m)' (挂点高度(m)), 'Design Category' (所属设计类别), 'High Wind Pressure Coefficient' (高空风压系数), and 'Remarks' (备注). The table contains 6 rows of data for ground wires and conductors.

地线	挂点高度(m)	所属设计类别	高空风压系数	备注
地线1	30.000	1	自动	-
地线2	30.000	1	自动	-
导线1	27.000	1	自动	-
导线2	27.000	1	自动	-
导线3	27.000	1	自动	-

1.2 填写挂点信息

This screenshot shows the 'Point Information' tab in the 'SmartLoad' software. The 'Basic Information' section is visible at the top. The 'Point Information' section includes the same 'Ground Wire Count', 'Conductor Count', and 'Design Category Count' fields as the previous tab, along with the 'Manually Set High Wind Pressure Coefficient' checkbox. The table below is identical to the one in the previous screenshot, showing data for ground wires and conductors.

地线	挂点高度(m)	所属设计类别	高空风压系数	备注
地线1	30.000	1	自动	-
地线2	30.000	1	自动	-
导线1	27.000	1	自动	-
导线2	27.000	1	自动	-
导线3	27.000	1	自动	-

At the bottom, there is a 'Weather Zone Information' section with a 'Weather Zone Count' field set to 1, and checkboxes for 'Wind' (验风), 'Ice' (验冰), and 'Seismic' (舞动), with a 'Select or Save Weather Zone' button.

其中，设计类别一般用于考虑混压或左右导地线不同（较少见，如双回路 220kV，一回导线规格 2X630,一回导线规格 2X400）。

注：如某回路前后电线型号不一致，不需要用设计类别实现，前/后侧导地线信息条件不同。

1.3 填写气象区信息

SmartLoad

文件 参数设置 算例 帮助

荷载计算

电气基本信息

设计类别信息

电气计算结果

结构基本信息

结构初始荷载

荷载组合设置

结构计算结果

基本信息

杆塔名称: 悬垂转角塔算例

设计规定: DL/T5154-2012

杆塔类别: 普通塔

杆塔类型: 悬垂转角塔

交流类型: 交流

回路类型: 单回路

电压等级 (kV): 220

粗糙度类别: B类 - 远郊

地形类别: 丘陵

大跨越负载: 否

挂点信息

地线根数: 2 导线根数: 3 设计类别个数: 1 ☐ 手动设置高空风压系数

	挂点高度(m)	所属设计类别	高空风压系数	备注
地线1	30.000	1	自动	-
地线2	30.000	1	自动	-
导线1	27.000	1	自动	-
导线2	27.000	1	自动	-
导线3	27.000	1	自动	-

气象区信息

气象区个数: 1 ☐ 验风(南网220kV及以下台风BetaC按照1.3考虑) ☐ 验冰 ☐ 舞动 ☐ 选择或保存气象区

气象区1

	大风	覆冰	断线	安装	不均匀覆冰	最低气温	长期	平均气温	最高气温
温度(°C)	10	-5	0	0	-5	-5	20	20	40
风速(m/s)	31.5	10.0	0.0	10.0	10.0	0.0	5.0	0.0	0.0
冰厚(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

如存在气象分区，可建立过个气象区信息；如需考虑验冰，选中验冰后，填写对应的气象参数即可；500kV 以下电压等级，如需考虑南方电网验风需求，选中即可。

2 填写设计类别信息

2.1 填写电压等级-相关高度设置

SmartLoad

文件 参数设置 算例 帮助

荷载计算

设计类别1

档距信息

工况气象条件

导地线信息

其他信息

电压等级-相关高度设置

电压等级(kV)	地线平均高度(m)	导线平均高度(m)	地线基准高度(m)	导线基准高度(m)
220	15	15	10	10

档距信息

是否孤立档: 否 ☐ 孤立档信息设置 ☒ 考虑最小垂重

代表档距(m)	档距(m)	最小垂档(m)	最大垂档(m)	经济档距(m)
---------	-------	---------	---------	---------

切换电压等级后，会根据工程通用经验值对应更新相关高度；如当前工程有特殊需求，用户也可以对应修改相应值。

2.2 填写档距信息

SmartLoad

文件 参数设置 算例 帮助

荷载计算

设计类别:

档距信息 工况气象条件 导地线信息 其他信息

电压等级-相关高度设置

电压等级(kV)	地线平均高度(m)	导线平均高度(m)	地线基准高度(m)	导线基准高度(m)
220	15	15	10	10

档距信息

是否孤立档: 否 孤立档信息设置 ☒ 考虑最小垂重

	代表档距(m)	档距(m)	最小垂档(m)	最大垂档(m)	经济档距(m)
前侧	300	600	200	800	600
后侧	300	500	100	700	500

填写时注意档距与水平档距的区别，具体参加前文说明。

一般悬垂塔最小垂直档距值有 kv 值相关，如不需要考虑，对应取值可与最大垂直档距一致（该种填法，不控制杆件，不会产生较大基础上拔力）；

一般耐张塔最小垂直档距与倒拔相关，如不需要考虑，对应取值建议与最大垂直档距一直，如需要考虑单侧倒拔，参见前文说明-分配系数设置。

2.3 填写垂直档距信息

SmartLoad

文件 参数设置 算例 帮助

荷载计算

设计类别:

档距信息 工况气象条件 导地线信息 其他信息

电压等级-相关高度设置

电压等级(kV)	地线平均高度(m)	导线平均高度(m)	地线基准高度(m)	导线基准高度(m)
220	15	15	10	10

档距信息

是否孤立档: 是 孤立档信息设置 ☒ 考虑最小垂重

	代表档距(m)	档距(m)	最小垂档(m)	最大垂档(m)	经济档距(m)
前侧	300	600	200	800	600
后侧	300	500	100	700	500

注:

1. 请将前侧设置为大荷载侧。

2. 单基验算、缺少相应信息、特殊塔计算或具体工程需要的情况下可不选中“考虑最小垂重”

垂直档距信息

☒ 自动计算垂直档距 最大弧垂控制工况: 高温工况

☐ 各工况垂直档距相同

☐ 各工况分别设置加权系数

一般情况下选中自动计算垂直档距即可；特高压一般选用各工况分别设置加权系数，并填写对应参数即可。

2.4 填写气象条件信息



工况	气温(°C)	设计风速(m/s)	覆冰厚度(mm)
大风	10	31.5	0
覆冰	-5	10	0
断线	0	0	0
安装	0	10	0
不均匀覆冰	-5	10	0
最低气温	-5	0	0
长期	20	5	0
平均气温	20	0	0
最高气温	40	0	0

如需考虑气象分区，选择前/后侧气象条件不同，设置对应的气象区即可，并补充冰区选择和冰厚增加。

2.5 设置垂直冰荷载、断线张力、不平衡张力取值计算



工况	气温(°C)	设计风速(m/s)	覆冰厚度(mm)
大风	10	31.5	0
覆冰	-5	10	0
断线	0	0	0
安装	0	10	0
不均匀覆冰	-5	10	0
最低气温	-5	0	0
长期	20	5	0
平均气温	20	0	0
最高气温	40	0	0

一般情况不需要修改，如有工程特殊需求对应修改相关数值即可。

2.6 设置导线信息

SmartLoad

文件 参数设置 算例 帮助

荷载计算

设计类别I

档距信息 工况气象条件 导线信息 其他信息

前/后侧导线信息条件: ☒ 相同 ☐ 不同

前/后侧

导线基础信息

导线	导线	
导线型号	JLB20A-240	LGJ-400/35
导线分裂数	1	1
安全系数	4	2.5
新线系数	1	0.95
是否允许年平控制	是	是
平均运行张力	0.25	0.25
安装工况降温值(°C)	0	0

导线基础力学属性

型号	截面(mm ²)	直径(mm)	拉断力(N)	单位重量(kg/m)	弹性系数(MPa)	线膨胀系数(1/°C)	备注
地线 JLB20A-240	238.76	20	260010	1.5955	147200	1.3e-05	
导线 LGJ-400/35	425.24	26.82	103900	1.349	65000	2.05e-05	

依次填写相关参数即可，如缺少相关电线属性，通过参数-电线属性库添加相关参数。

2.7 设置安装信息、OPGW 荷载计算设置信息及仿舞增重

SmartLoad

文件 参数设置 算例 帮助

荷载计算

设计类别I

档距信息 工况气象条件 导线信息 其他信息

前/后侧导线信息条件: ☒ 相同 ☐ 不同

前/后侧

导线基础信息

导线	导线	
导线型号	JLB20A-240	LGJ-400/35
导线分裂数	1	1
安全系数	4	2.5
新线系数	1	0.95
是否允许年平控制	是	是
平均运行张力	0.25	0.25
安装工况降温值(°C)	0	0

导线基础力学属性

型号	截面(mm ²)	直径(mm)	拉断力(N)	单位重量(kg/m)	弹性系数(MPa)	线膨胀系数(1/°C)	备注
地线 JLB20A-240	238.76	20	260010	1.5955	147200	1.3e-05	
导线 LGJ-400/35	425.24	26.82	103900	1.349	65000	2.05e-05	

安装信息

导线	导线	
过牵引系数	1.100	1.050
施工误差系数	1.025	1.025
初伸长影响系数	1.000	1.000

OPGW荷载计算设置

☐ 地线考虑OPGW荷载增大

OPGW荷载增大系数 1.00

导线防舞增重设置

☐ 导线考虑防舞增重

导线增重系数 1.00

如需考虑，选中后填写对应参数即可。

2.8 设置绝缘子金具相关信息



如为悬垂塔，不考虑前后分侧，填写值前后侧和值；如为耐张塔填写为单侧值。

2.9 设置跳线信息



其中不单独设置跳线垂直档距及水平档距值，只填写跳线长度即可（跳线长度填写值不用考虑分裂根数影响）。

3 填写结构基本信息

3.1 补充填写相关基本参数



包括结构初始荷载（当前格式选择一般塔）、覆冰塔重增大系数及重要性系数。

3.2 设置挂点列表

对应设置各线前后侧挂点编号。导跳挂点相同时，节点编号注意事项参见前文相关说明。

辅线一般用于特殊构造，如特高压 1 牵 X 的安装工况或其他工程的具体特殊需求。

添加辅线后，可对应编辑相关的辅线设置，以便后续操作。

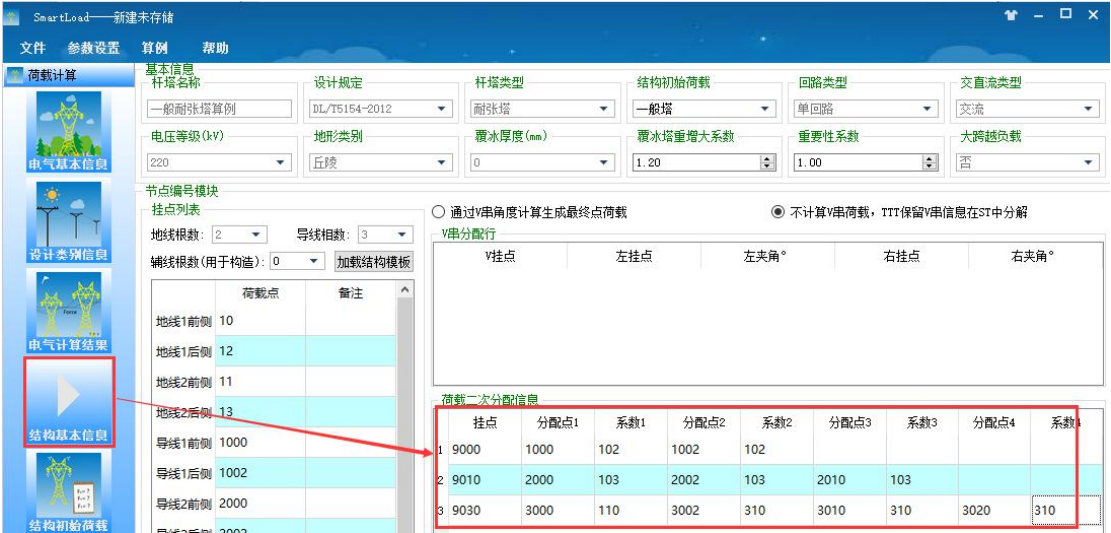


3.3 设置 V 串分配信息



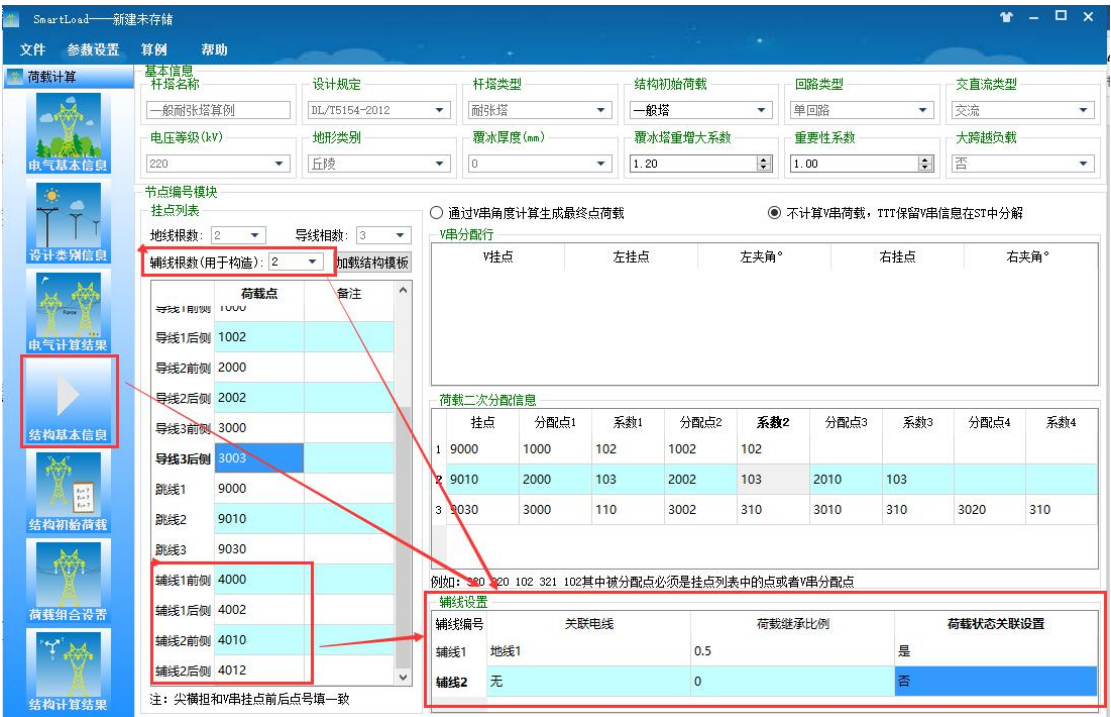
如有 V 串，对应填写相关的分配点即可，填写点必须是真实的。SmartTower 中应有对应点的精确坐标值。

3.4 设置荷载二次分配信息



对应填写相关参数即可，最终分配点必须真实。分配系数格式 XYZ 代表对应的分配系数为 X/YZ。

3.5 填写辅线信息



如构造辅线，应补充相应的信息。

4 填写荷载相关信息

SmartLoad——新建未存储

文件 参数设置 算例 帮助

荷载计算

☐ 验冰 ☒ 长期 ☐ 舞动 ☐ 自动继承荷载结果, 并且表格不可编辑 ☐ 前后侧独立计算

初始荷载(单位: kN)

荷载置零 继承电气计算结果 国网典设读取 南网典设读取 华东院荷载 山东院荷载 安徽耐张塔

水平荷载 最大垂直荷载 最小垂直荷载 线条张力 纵向不平衡张力

	大风	覆冰	断线	安装	不均匀覆冰	最低气温	长期
地线1	6.90	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.25
地线2	6.90	1.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.25
导线1	9.97	1.34	0.00	1.33	1.34	0.00	0.32
导线2	9.97	1.34	0.00	1.33	1.34	0.00	0.32
导线3	9.97	1.34	0.00	1.33	1.34	0.00	0.32
跳线1	0.46	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.01
跳线2	0.46	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.01
跳线3	0.46	0.05	0.00	0.05	0.05	0.00	0.01
辅线1	3.45	0.50	0.00	0.50	0.50	0.00	0.12
辅线2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

电气基本信息
设计类基本信息
电气计算结果
结构基本信息
结构初始荷载

一般继承电气计算结果即可，也可继承后再行修改。或是通过对应的典设模块转换。

5 填写荷载组合设置相关信息

5.1 填写通用参数信息

SmartLoad——新建未存储

文件 参数设置 算例 帮助

荷载计算

通用参数设置

可变荷载 1.40 永久荷载 (不利) 1.20 永久荷载 (有利) 1.00

	大风	覆冰	断线	安装	不均匀覆冰	最低气温	长期
风速	31.500	10.000	0.000	10.000	10.000	0.000	5.000
杆塔覆冰增大系数	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
组合系数	1.000	1.000	0.900	0.900	0.900	1.000	1.000

安装顺序设置

地线起吊倍数 2.00 导线起吊倍数 2.00 跳线起吊倍数 2.00 辅线安装信息设置 安装顺序设置

安装顺序

1 地线1->地线2->导线1->导线2->导线3

不均匀覆冰设置

不均匀覆冰设置

列表

左侧电线

右侧电线

分配系数设置

● 批量设置 ○ 前后侧独立计算 (此时分配系数无效)

	分配系数	分配荷载类别
前侧水平荷载	0.70	-
前侧垂直荷载	0.70	-

线路转角信息

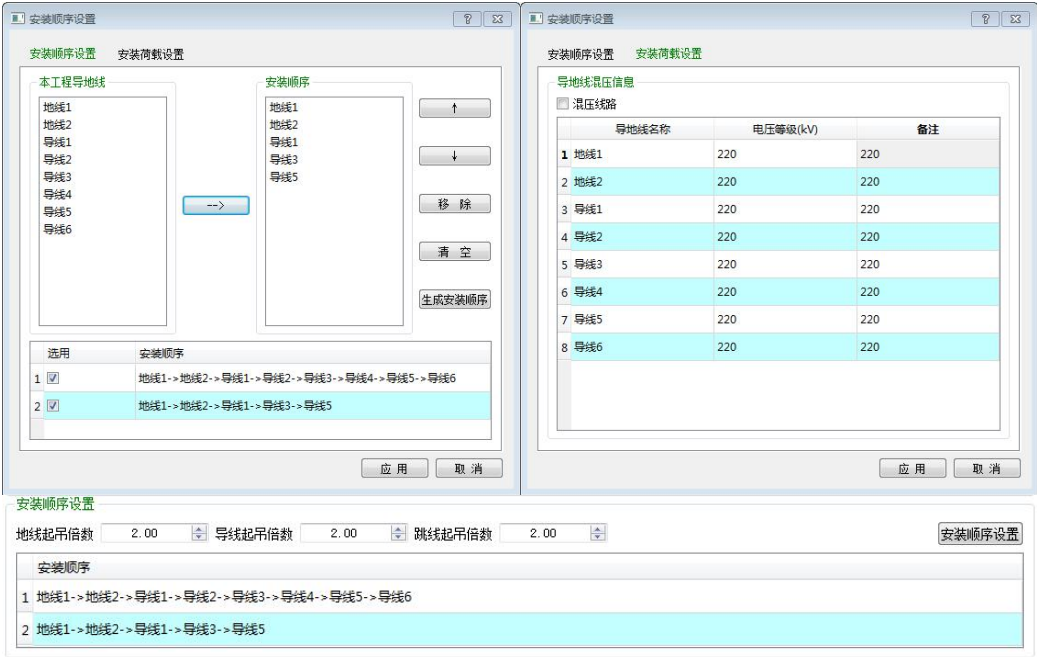
设置线路转角 ● 批量设置

	最小角度	最大角度
1	0.00	20.00

荷载组合设置

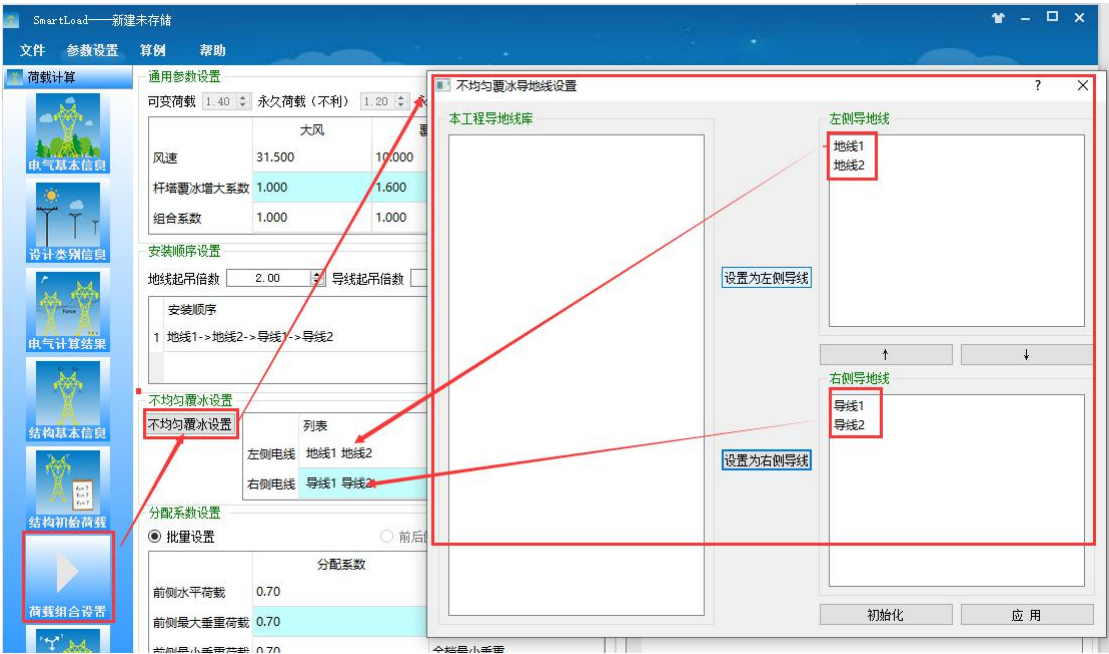
对应修改相关参数即可。

5.2 设置安装顺序



如需设置、添加、修改相关的安装顺序可通过单击“安装顺序设置”按钮进行相关设置。

5.3 设置不均匀冰相关信息



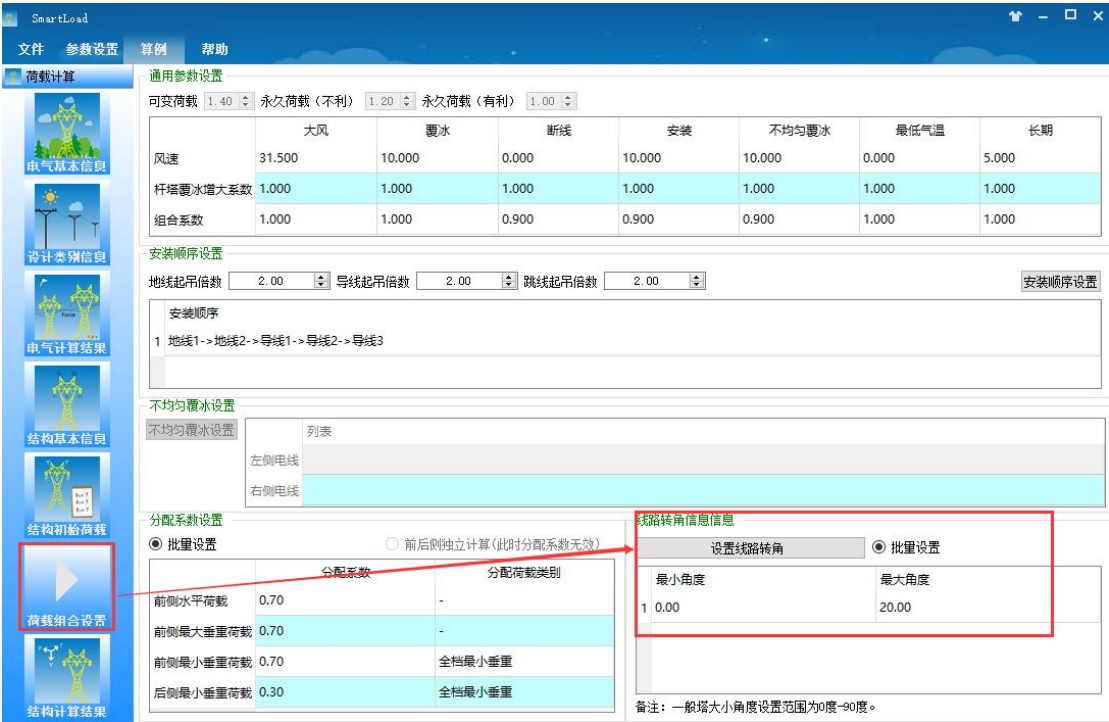
如为 15mm 及以上冰区，可设置对应的左侧及右侧电线信息，以构成最大扭工况。

5.4 设计分配系数



一般前侧作为大荷载侧，如需构造单侧倒拔，参见前文分配系数说明。

5.5 设置转角信息



所填角度为线路转角，不为单侧角度。

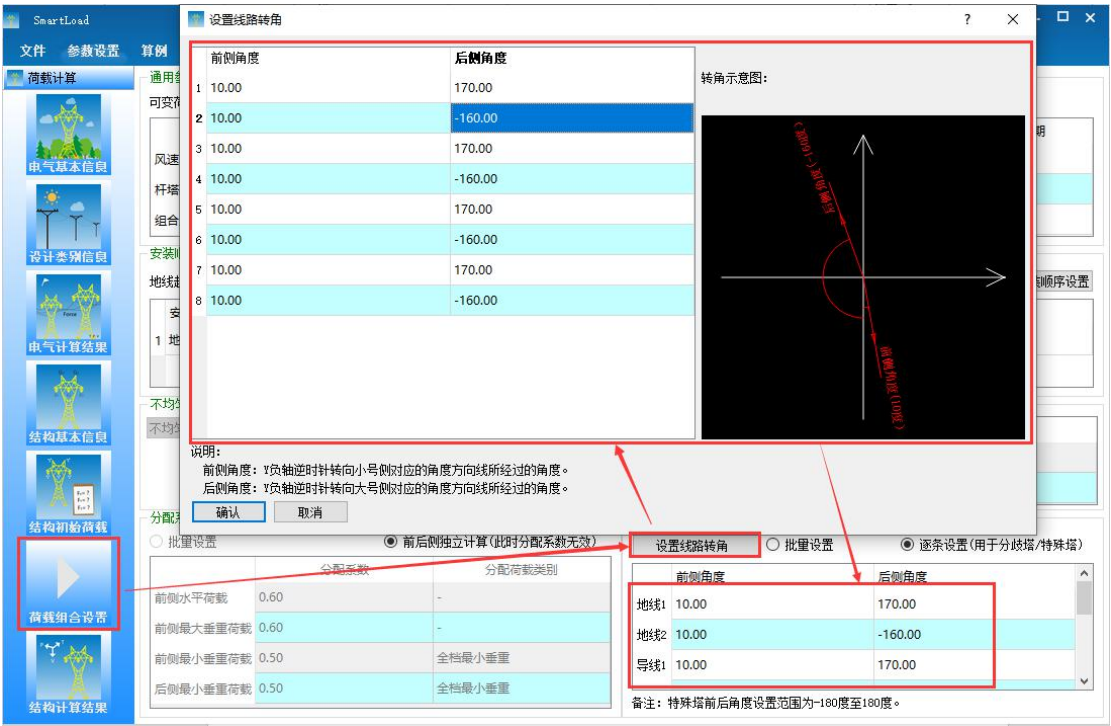
附录三：特殊塔计算步骤范例

1 电气部分

同一般塔，此时，最小垂直档距填数据写无意义

2 结构部分

2.1 设置线路转角信息



如为特殊塔，可逐一设置各线角度。单击“设置线路转角”，可辅助设置。其中前侧角度及后侧角度定义见上图（上图为前侧 20 度，后侧 170 度示意图）。

2.2 其他信息

同一般塔。

附录四：荷载组合公式说明

1. 大风

1.1 大风状态类别

荷载状态	荷载状态描述	备注
1	终端塔，最小垂直力	终端塔,靠近构架侧各向荷载为 0
2	终端塔，最大垂直力	
3	前后侧张力相同（取大值），最小垂直力	
4	前后侧张力不同，最小垂直力	
5	前后侧张力相同（取大值），最大垂直力	
6	前后侧张力不同，最大垂直力	
7	前后侧张力相同，最小垂直力 前侧为 0 后侧倒拔	目前只有特高压中存在该状态
8	前后侧张力不相同，最小垂直力 前侧为 0 后侧倒拔	目前只有特高压中存在该状态

1.2 计算过程

1) 相关参数及描述

参数	描述	备注
HLoad	水平荷载标准值	前缀标识 F/B 分别对应前侧/后侧
TLoad	张力荷载标准值	
VLoad	垂重荷载标准值	
HdisCof	前侧水平荷载分配系数	
VdisCof	前侧垂直何在分配系数	
WindAngle	大风攻角	
LineAngle	线路转角	
HTVload	计算过程参数： HTVload[0]~ HTVload[2]：前侧水平、张力、垂重 HTVload[3]~ HTVload[5]：后侧水平、张力、垂重	
WindSpeed	风速	
TL45	耐张塔 45 度风张力计算过程参数	
HRes	水平荷载设计值	
TRes	张力荷载设计值	
VRes	垂重荷载设计值	

2) 计算逻辑

总说明：大风荷载计算过程为：标准荷载及分配系数取值→过程参数计算→荷载设计值计算

(1) 标准荷载及分配系数取值

说明：

终端塔后侧荷载按 0 考虑，对应前侧水平/垂直荷载分配系数取 1，此时，用户输入的前侧水平/垂直荷载分配系数无效（终端塔的其他工况均按此处理）；

对非终端塔，计算时所用的前侧水平及垂直荷载分配系数采用用户输入前侧水平/垂直荷载分配系数的值。

➤ 终端塔，最小垂直力

HLoad = 大风水平荷载标准值（大风其他荷载状态 HLoad 均按此取值，下略）

HdisCof = 1.0

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 0

VLoad = 大风最小垂直荷载标准值

VdisCof = 1.0

➤ 终端塔，最大垂直力

HdisCof = 1.0

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 0

VLoad = 大风最大垂直荷载标准值

VdisCof = 1.0

➤ 前后侧张力相同（取大值），最小垂直力

HdisCof = 用户填写的水平荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，HdisCof 均按此取值，下略）

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 大张力侧张力

VLoad = 大风最小垂直荷载标准值

VdisCof = 用户填写的垂直荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，VdisCof 均按此取值，下略）

➤ 前后侧张力不同，最小垂直力

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 小张力侧张力

VLoad = 大风最小垂直荷载标准值

➤ 前后侧张力相同（取大值），最大垂直力

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 大张力侧张力

VLoad = 大风最大垂直荷载标准值

➤ 前后侧张力不同，最大垂直力

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 小张力侧张力

VLoad = 大风最大垂直荷载标准值

(2) 过程参数计算

$FHLoad = HLoad * HdisCof$

$BHLoad = HLoad * (1 - HdisCof)$

$FVLoad = VLoad * VdisCof$

$BVLoad = VLoad * (1 - VdisCof)$

0 度风：

$HTVload[0] = FTLoad * \sin(LineAngle/2)$

$HTVload[1] = FTLoad * \cos(LineAngle/2) + 0.25 * FHLoad$

$HTVload[3] = BTLoad * \sin(LineAngle/2)$

$HTVload[4] = -BTLoad * \cos(LineAngle/2) + 0.25 * FHLoad$

45 度风-悬垂塔:

$$\text{HTVload}[0] = 0.5 * \text{FHLoad} + \text{FTLoad} * \sin(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[1] = \text{FTLoad} * \cos(\text{LineAngle}/2) + 0.15 * \text{FHLoad}$$

$$\text{HTVload}[3] = 0.5 * \text{BHLoad} + \text{BTLoad} * \sin(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[4] = -\text{BTLoad} * \cos(\text{LineAngle}/2) + 0.15 * \text{FHLoad}$$

45 度风-耐张塔:

$$\text{FTL45} = \text{FTLoad} + 0.25 * [\cos(\pi/4 - \text{LineAngle}/2)]^2 * \text{FHLoad}$$

$$\text{BTL45} = -\text{BTLoad} + 0.25 * [\cos(\pi/4 + \text{LineAngle}/2)]^2 * \text{BHLoad}$$

$$\text{HTVload}[0] = [\sin(\pi/4 - \text{LineAngle}/2)]^2 * \text{FHLoad} + \text{FTL45} * \sin(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[1] = \text{FTL45} * \cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[3] = [\sin(\pi/4 + \text{LineAngle}/2)]^2 * \text{BHLoad} + \text{BTL45} * \sin(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[4] = \text{BTL45} * \cos(\text{LineAngle}/2)$$

60 度风

$$\text{HTVload}[0] = 0.75 * \text{FHLoad} + \text{FTLoad} * \sin(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[1] = \text{FTLoad} * \cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[3] = 0.75 * \text{BHLoad} + \text{BTLoad} * \sin(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[4] = -\text{BTLoad} * \cos(\text{LineAngle}/2)$$

90 度风

$$\text{HTVload}[0] = \text{FHLoad} + \text{FTLoad} * \sin(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[1] = \text{FTLoad} * \cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[3] = \text{BHLoad} + \text{BTLoad} * \sin(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[4] = -\text{BTLoad} * \cos(\text{LineAngle}/2)$$

任意角度风

$$\text{HTVload}[2] = \text{FVLoad}$$

$$\text{HTVload}[5] = \text{BVLoad}$$

(3) 荷载设计值计算结果

$$\text{FHRes} = 1.0 * 1.4 * \text{HTV}[0]$$

$$\text{FTRes} = 1.0 * 1.4 * \text{HTV}[1]$$

$$\text{BHRes} = 1.0 * 1.4 * \text{BTV}[3]$$

$$\text{BTRes} = 1.0 * 1.4 * \text{BTV}[4]$$

最小垂重工况下的垂重荷载设计值计算:

如果最小垂重荷载标准值 ≥ 0

$$\text{FVRes} = 1.0 * 1.0 * \text{HTV}[2]$$

$$\text{BVRes} = 1.0 * 1.0 * \text{HTV}[5]$$

如果最小垂重荷载标准值 < 0

$$\text{FVRes} = 1.0 * 1.4 * \text{HTV}[2]$$

$$\text{BVRes} = 1.0 * 1.4 * \text{HTV}[5]$$

最大垂重工况下的垂直荷载设计值计算:

如果最大垂重荷载标准值 ≥ 0

$$\text{FVRes} = 1.0 * 1.2 * \text{HTV}[2]$$

$$BVR_{es} = 1.0 * 1.2 * HTV[5]$$

如果最大垂重荷载标准值 < 0

$$FVR_{es} = 1.0 * 1.4 * HTV[2]$$

$$BVR_{es} = 1.0 * 1.4 * HTV[5]$$

2. 覆冰

2.1 覆冰状态类别

荷载状态	荷载状态描述	备注
1	终端塔，最小垂直力	终端塔,靠近构架侧各向荷载为 0
2	终端塔，最大垂直力	终端塔,靠近构架侧各向荷载为 0
3	前后侧张力相同（取大值），最小垂直力	
4	前后侧张力不同，最小垂直力	
5	前后侧张力相同（取大值），最大垂直力	
6	前后侧张力不同，最大垂直力	
7	前后侧张力相同，最小垂直力 前侧为 0 后侧倒拔	目前只有特高压中存在该状态
8	前后侧张力不相同，最小垂直力 前侧为 0 后侧倒拔	目前只有特高压中存在该状态

2.2 计算过程

1) 相关参数及描述

参数	描述	备注
HLoad	水平荷载标准值	前缀标识 F/B 分别对应前侧/后侧
TLoad	张力荷载标准值	
VLoad	垂重荷载标准值（最大或者最小）	
VWindLoad	大风垂重荷载标准值（最大或者最小）	
HdisCof	前侧水平荷载分配系数	
VdisCof	前侧垂直何在分配系数	
WindAngle	大风攻角	
LineAngle	线路转角	
HTVload	计算过程参数： HTVload[0]~ HTVload[2]：前侧水平、张力、垂重 HTVload[3]~ HTVload[5]：后侧水平、张力、垂重	
HRes	水平荷载设计值	
TRes	张力荷载设计值	
VRes	垂重荷载设计值	

2) 计算逻辑

总说明：覆冰荷载计算过程为：标准荷载及分配系数取值→过程参数计算→荷载设计值计算

(1) 标准荷载及分配系数取值

➤ 终端塔，最大/小垂直力

HLoad = 覆冰水平荷载标准值（覆冰其他荷载状态 HLoad 均按此取值，下略）

HdisCof = 1.0

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 0

VLoad = 覆冰最大/最小垂直荷载标准值

VdisCof = 1.0

➤ 前后侧张力相同（取大值），最大垂直力

HdisCof = 用户填写的水平荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，HdisCof 均按此取值，下略）

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 大张力侧张力

VLoad = 覆冰最大垂直荷载标准值

VdisCof = 用户填写的垂重荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，VdisCof 均按此取值，下略）

➤ 前后侧张力不同，最大垂直力

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 小张力侧张力

VLoad = 覆冰最大垂直荷载标准值

(2) 过程参数计算

FHLoad = HLoad * HdisCof

BHLoad = HLoad * (1 - HdisCof)

0 度风:

HTVload[0] = FTLoad * Sin(LineAngle/2)

HTVload[1] = FTLoad * Cos(LineAngle/2) + 0.25 * FHLoad

HTVload[3] = BTLoad * Sin(LineAngle/2)

HTVload[4] = -BTLoad * Cos(LineAngle/2) + 0.25 * FHLoad

90 度风

HTVload[0] = FHLoad + FTLoad * Sin(LineAngle/2)

HTVload[1] = FTLoad * Cos(LineAngle/2)

HTVload[3] = BHLoad + BTLoad * Sin(LineAngle/2)

HTVload[4] = -BTLoad * Cos(LineAngle/2)

任意角度风

HTVload[2] = VLoad

HTVload[5] = VLoad

(3) 荷载设计值计算结果

FHRes = 1.0 * 1.4 * HTV[0]

FTRes = 1.0 * 1.4 * HTV[1]

BHRes = 1.0 * 1.4 * BTV[3]

BTRes = 1.0 * 1.4 * BTV[4]

最大垂重工况下的垂直荷载设计值计算：

如果大风工况最大/小垂重荷载标准值 ≥ 0

FVRes = [1.0 * 1.2 * VWindLoad + 1.0 * 1.4 * (HTV[2] - VWindLoad)] * VdisCof

BVRes = [1.0 * 1.2 * VWindLoad + 1.0 * 1.4 * (HTV[5] - VWindLoad)] * (1 - VdisCof)

如果大风工况最大/小垂重荷载标准值 < 0 (出现倒拔情况)

如果覆冰荷载 > 大风荷载（即覆冰倒拔荷载 < 大风倒拔荷载）

$$FVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 1.0 * 1.0 * (HTV[2] - VWindLoad)] * VdisCof$$

$$BVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 1.0 * 1.0 * (HTV[5] - VWindLoad)] * (1 - VdisCof)$$

如果覆冰荷载 < 大风荷载（即覆冰倒拔荷载 > 大风倒拔荷载）

$$FVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 1.0 * 1.4 * (HTV[2] - VWindLoad)] * VdisCof$$

$$BVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 1.0 * 1.4 * (HTV[5] - VWindLoad)] * (1 - VdisCof)$$

3. 断线

3.1 断线状态类别

荷载状态	荷载状态描述	备注
1	断线，最小垂直力-耐张塔	
2	断线，最大垂直力-耐张塔	
3	断线，最小垂直力-直线塔	
4	断线，最大垂直力-直线塔	
5	未断线，最小垂直力	
6	未断线，最大垂直力	
7	断线，最小垂直力 - 耐张塔 前侧为 0 后侧倒拔	目前只有特高压中存在该状态

3.2 计算过程

1) 相关参数及描述

参数	描述	备注
HLoad	水平荷载标准值（=0）	前缀标识 F/B 分别对应前侧/后侧
TLoad	张力荷载标准值	
UnBreakTLoad	未断线相张力荷载	
BreakTLoad	耐张塔断线相张力荷载	
VLoad	垂重荷载标准值	
VWindLoad	大风垂重荷载标准值	
HdisCof	前侧水平荷载分配系数	
VdisCof	前侧垂直何在分配系数	
LineAngle	线路转角	
HTVload	计算过程参数： HTVload[0]~ HTVload[2]：前侧水平、张力、垂重 HTVload[3]~ HTVload[5]：后侧水平、张力、垂重	
HRes	水平荷载设计值	
TRes	张力荷载设计值	
VRes	垂重荷载设计值	

2) 计算逻辑

总说明：a.断线荷载计算过程为：标准荷载及分配系数取值→过程参数计算→荷载设计值计算

b.耐张塔张力根据各院习惯取值如下（默认取值为第一种）（可定制）

✓ $F_{UnBreakTLoad} = B_{UnBreakTLoad} = \text{大张力侧张力（悬垂塔也依此计算）}$

$F_{BreakTLoad} = \text{大张力侧张力差（大张力侧张力差} > \text{小张力侧张力差）}$

$B_{BreakTLoad} = 0$

✓ $F_{UnBreakTLoad} = B_{UnBreakTLoad} = \text{大张力侧张力}$

$F_{BreakTLoad} = \text{大张力侧张力}$

$B_{BreakTLoad} = F_{TLoad} - \text{大张力侧张力差}$

✓ $F_{UnBreakTLoad} = B_{UnBreakTLoad} = \text{大张力侧张力}$

$F_{BreakTLoad} = \text{大张力侧张力差}$

$B_{BreakTLoad} = \text{小张力侧张力差}$

(1) 标准荷载及分配系数取值

➤ 耐张塔断线，最小垂直力-耐张塔

$H_{Load} = 0$ （断线工况其他荷载状态 H_{Load} 均按此取值，下略）

$F_{TLoad} = F_{BreakTLoad}$

$B_{TLoad} = B_{BreakTLoad}$

$V_{Load} = \text{断线最小垂直荷载标准值}$

$V_{disCof} = \text{用户填写的垂重荷载前侧分配系数}$

➤ 耐张塔断线，最大垂直力-耐张塔

$F_{TLoad} = F_{BreakTLoad}$

$B_{TLoad} = B_{BreakTLoad}$

$V_{Load} = \text{断线最大垂直荷载标准值}$

$V_{disCof} = \text{用户填写的垂重荷载前侧分配系数}$

➤ 断线，最小垂直力-悬垂塔

$F_{TLoad} = \text{大张力侧不平衡张力}$

$B_{TLoad} = 0$

$V_{Load} = \text{断线最小垂直荷载标准值}$

$V_{disCof} = 1.0$

➤ 断线，最大垂直力-悬垂塔

$F_{TLoad} = \text{大张力侧不平衡张力}$

$B_{TLoad} = 0$

$V_{Load} = \text{断线最大垂直荷载标准值}$

$V_{disCof} = 1.0$

➤ 未断线，最小垂直力

$V_{Load} = \text{断线最小垂直荷载标准值}$

$V_{disCof} = \text{用户填写的垂重荷载前侧分配系数}$

➤ 未断线，最大垂直力

VLoad = 断线最大垂直荷载标准值

VdisCof = 用户填写的垂重荷载前侧分配系数

(2) 过程参数计算

$$\text{HTVload}[0] = \text{FHLoad} + \text{FTLoad} * \sin(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[1] = \text{FTLoad} * \cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[2] = \text{VLoad}$$

$$\text{HTVload}[3] = \text{BHLoad} + \text{BTLoad} * \sin(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[4] = -\text{BTLoad} * \cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$\text{HTVload}[5] = \text{VLoad}$$

(3) 荷载设计值计算结果

$$\text{FHRes} = 0.9 * 1.4 * \text{HTV}[0]$$

$$\text{FTRes} = 0.9 * 1.4 * \text{HTV}[1]$$

$$\text{BHRes} = 0.9 * 1.4 * \text{HTV}[3]$$

$$\text{BTRes} = 0.9 * 1.4 * \text{HTV}[4]$$

最小垂重工况下的垂直荷载设计值计算：

VWindLoad = 大风工况最小垂直荷载

如果**大风工况**最大垂重荷载标准值 ≥ 0

$$\text{FVRes} = [1.0 * 1.0 * \text{VWindLoad} + 0.9 * 1.4 * (\text{HTV}[2] - \text{VWindLoad})] * \text{VdisCof}$$

$$\text{BVRes} = [1.0 * 1.0 * \text{VWindLoad} + 0.9 * 1.4 * (\text{HTV}[5] - \text{VWindLoad})] * (1 - \text{VdisCof})$$

如果**大风工况**最大垂重荷载标准值 < 0 (出现倒拔情况)

如果断线荷载 $>$ 大风荷载 (即断线倒拔荷载 $<$ 大风倒拔荷载)

$$\text{FVRes} = [1.0 * 1.4 * \text{VWindLoad} + 0.9 * 1.0 * (\text{HTV}[2] - \text{VWindLoad})] * \text{VdisCof}$$

$$\text{BVRes} = [1.0 * 1.4 * \text{VWindLoad} + 0.9 * 1.0 * (\text{HTV}[5] - \text{VWindLoad})] * (1 - \text{VdisCof})$$

如果断线荷载 $<$ 大风荷载 (即断线倒拔荷载 $>$ 大风倒拔荷载)

$$\text{FVRes} = [1.0 * 1.4 * \text{VWindLoad} + 0.9 * 1.4 * (\text{HTV}[2] - \text{VWindLoad})] * \text{VdisCof}$$

$$\text{BVRes} = [1.0 * 1.4 * \text{VWindLoad} + 0.9 * 1.4 * (\text{HTV}[5] - \text{VWindLoad})] * (1 - \text{VdisCof})$$

最大垂重工况下的垂直荷载设计值计算：

VWindLoad = 大风工况最大垂直荷载

如果**大风工况**最大垂重荷载标准值 ≥ 0

$$\text{FVRes} = [1.0 * 1.2 * \text{VWindLoad} + 0.9 * 1.4 * (\text{HTV}[2] - \text{VWindLoad})] * \text{VdisCof}$$

$$\text{BVRes} = [1.0 * 1.2 * \text{VWindLoad} + 0.9 * 1.4 * (\text{HTV}[5] - \text{VWindLoad})] * (1 - \text{VdisCof})$$

如果**大风工况**最大垂重荷载标准值 < 0 (出现倒拔情况)

如果断线荷载 $>$ 大风荷载 (即断线倒拔荷载 $<$ 大风倒拔荷载)

$$\text{FVRes} = [1.0 * 1.4 * \text{VWindLoad} + 0.9 * 1.0 * (\text{HTV}[2] - \text{VWindLoad})] * \text{VdisCof}$$

$$\text{BVRes} = [1.0 * 1.4 * \text{VWindLoad} + 0.9 * 1.0 * (\text{HTV}[5] - \text{VWindLoad})] * (1 - \text{VdisCof})$$

如果断线荷载 $<$ 大风荷载 (即断线倒拔荷载 $>$ 大风倒拔荷载)

$$\text{FVRes} = [1.0 * 1.4 * \text{VWindLoad} + 0.9 * 1.4 * (\text{HTV}[2] - \text{VWindLoad})] * \text{VdisCof}$$

$$\text{BVRes} = [1.0 * 1.4 * \text{VWindLoad} + 0.9 * 1.4 * (\text{HTV}[5] - \text{VWindLoad})] * (1 - \text{VdisCof})$$

4. 安装

4.1 安装状态类别

荷载状态	荷载状态描述	备注
1	正紧线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）	如无临时拉线，则拉线平衡力值为 0
2	已紧线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）	
3	正挂线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）	
4	已挂线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）	
-4	后档已挂线，前挡无线，有临时拉线（耐张塔）	
5	正紧线，前挡挂好，紧后档（后档无临时拉线）	
6	已紧线，前挡挂好，紧后档（后档无临时拉线）	
7	正挂线，前挡挂好，挂后档（后档无临时拉线）	
8	已挂线，前挡挂好，挂后档（后档无临时拉线）	
9	正起吊，直线塔	
10	已起吊，直线塔	
11	正锚，直线塔	
12	已锚，直线塔	

4.2 计算过程

1) 相关参数及描述

参数	描述	备注
HLoad	水平荷载标准值	
TLoad	张力荷载标准值	
VLoad	垂重荷载标准值	
BalTen	临时拉线平衡张力标准值	
Vadd	附加垂重	
LMultiple	起吊倍数	
LineAngle	线路转角	
HdisCof	前侧水平荷载分配系数	
TdisCof	前侧张力荷载分配系数	
VdisCof	前侧垂直何在分配系数	
HRes	水平荷载设计值	前缀标识 F/B 分别对应前侧/后侧
TRes	张力荷载设计值	
VRes	垂重荷载设计值	

2) 计算逻辑

(1) 正紧线，后档无线，有临时拉线（耐张塔）

$$\Delta T = \max(1.1 * TLoad * (1 - \cos 20) - BalTen, 0);$$

$$FHRes = 0.9 * 1.4 * (0.8 * HLoad * HdisCof + \Delta T * \sin(LineAngle/2))$$

$$FTRes=0.9*1.4*\Delta T*\cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$FVRes=1.2*0.8*VLoad*Vdiscof+0.9*1.4*(\sin 20*1.1*TLoad+BalTen+Vadd)$$

$$BHRes= BTRes=BVRes=0$$

- (2) 已紧线，后档无线，有临时拉线（耐张塔）

同已锚

- (3) 正挂线，后档无线，有临时拉线（耐张塔）

$$\Delta T = \max(1.1*TLoad-BalTen,0);$$

$$FHRes=0.9*1.4*(0.8*HLoad*HdisCof+\Delta T*\sin(\text{LineAngle}/2))$$

$$FTRes=0.9*1.4*\Delta T*\cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$FVRes=1.2*0.8*VLoad*Vdiscof+0.9*1.4*(BalTen+Vadd)$$

$$BHRes= BTRes=BVRes=0$$

- (4) 已挂线，后档无线，有临时拉线（耐张塔）

$$\Delta T = \max(TLoad-BalTen,0);$$

$$FHRes=0.9*1.4*(0.8*HLoad*HdisCof+\Delta T*\sin(\text{LineAngle}/2))$$

$$FTRes=0.9*1.4*\Delta T*\cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$FVRes=1.2*0.8*VLoad*Vdiscof+0.9*1.4*BalTen$$

$$BHRes= BTRes=BVRes=0$$

- (5) 后档已挂线，前档无线，有临时拉线（耐张塔）

$$\Delta T = \max(TLoad-BalTen,0);$$

$$BHRes=0.9*1.4*(0.8*HLoad*HdisCof+\Delta T*\sin(\text{LineAngle}/2))$$

$$BTRes=0.9*1.4*\Delta T*\cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$BVRes=1.2*0.8*VLoad*Vdiscof+0.9*1.4*BalTen$$

$$FHRes= FTRes=FVRes=0$$

- (6) 后档正紧，前档已挂好，（耐张塔）

耐张塔前档挂好后，后档所有操作过程前侧荷载设计值为

$$FHRes=0.9*1.4*(0.8*HLoad*HdisCof+(TLoad-BalTen)*\sin(\text{LineAngle}/2))$$

$$FTRes=0.9*1.4*(TLoad-BalTen)*\cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$FVRes=1.2*0.8*VLoad*Vdiscof+0.9*1.4*BalTen$$

$$BHRes=0.9*1.4*(0.8*HLoad*(1-HdisCof)+1.1*TLoad*(1-\cos 20)*\sin(\text{LineAngle}/2))$$

$$BTRes=-0.9*1.4*1.1*TLoad*(1-\cos 20)*\cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$BVRes=1.2*0.8*VLoad*(1-Vdiscof)+0.9*1.4*(1.1*TLoad*\sin 20+Vadd)$$

- (7) 后档已紧，前档已挂好，（耐张塔）

$$BHRes=0.9*1.4*(0.8*HLoad*(1-HdisCof)+ TLoad*(1-\cos 20)*\sin(\text{LineAngle}/2))$$

$$BTRes=-0.9*1.4*TLoad*(1-\cos 20)*\cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$BVRes=1.2*0.8*VLoad*(1-Vdiscof)+0.9*1.4*(TLoad*\sin 20+Vadd)$$

- (8) 后档正挂，前档已挂好，（耐张塔）

$$BHRes=0.9*1.4*(0.8*HLoad*(1-HdisCof)+1.1*TLoad*\sin(\text{LineAngle}/2))$$

$$BTRes = -0.9 * 1.4 * 1.1 * TLoad * \cos(LineAngle/2)$$

$$BVRes = 1.2 * 0.8 * VLoad * (1 - Vdiscof) + 0.9 * 1.4 * Vadd$$

(9) 后档已挂，前档已挂好，（耐张塔）

$$BHRes = 0.9 * 1.4 * (0.8 * HLoad * (1 - HdisCof) + TLoad * \sin(LineAngle/2))$$

$$BTRes = -0.9 * 1.4 * TLoad * \cos(LineAngle/2)$$

$$BVRes = 1.2 * 0.8 * VLoad * (1 - Vdiscof) + 0.9 * 1.4 * Vadd$$

(10) 起吊（悬垂塔，耐张塔跳线）

$$FHRes = 0.9 * 1.4 * HLoad * HdisCof$$

$$FTRes = 0$$

$$FVRes = (1.2 * 1.1 * LMultiple * VLoad + 0.9 * 1.4 * Vadd) * Vdiscof$$

$$BHRes = 0.9 * 1.4 * HLoad * (1 - HdisCof)$$

$$BTRes = 0$$

$$BVRes = (1.2 * 1.1 * LMultiple * VLoad + 0.9 * 1.4 * Vadd) * (1 - Vdiscof)$$

(11) 已吊（悬垂塔，耐张塔跳线）

$$FHRes = 0.9 * 1.4 * HLoad * HdisCof$$

$$FTRes = 0$$

$$FVRes = 1.2 * VLoad * Vdiscof$$

$$BHRes = 0.9 * 1.4 * HLoad * (1 - HdisCof)$$

$$BTRes = 0$$

$$BVRes = 1.2 * VLoad * (1 - Vdiscof)$$

(12) 正锚（悬垂塔）

$$\triangle T = 1.1 * TLoad * (1 - \cos 20)$$

$$FHRes = 0.9 * 1.4 * (0.8 * HLoad + \triangle T * \sin(LineAngle/2)) * HdisCof$$

$$FTRes = 0.9 * 1.4 * \triangle T * \cos(LineAngle/2)$$

$$FVRes = (1.2 * VLoad + 0.9 * 1.4 * (1.1 * TLoad * \sin 20 + Vadd)) * Vdiscof$$

$$BHRes = 0.9 * 1.4 * (0.8 * HLoad + \triangle T * \sin(LineAngle/2)) * (1 - HdisCof)$$

$$BTRes = 0$$

$$BVRes = (1.2 * VLoad + 0.9 * 1.4 * (1.1 * TLoad * \sin 20 + Vadd)) * (1 - Vdiscof)$$

(13) 已锚（悬垂塔）

$$\triangle T = TLoad * (1 - \cos 20)$$

$$FHRes = 0.9 * 1.4 * (0.8 * HLoad + \triangle T * \sin(LineAngle/2)) * HdisCof$$

$$FTRes = 0.9 * 1.4 * \triangle T * \cos(LineAngle/2)$$

$$FVRes = (1.2 * VLoad + 0.9 * 1.4 * TLoad * \sin 20) * Vdiscof$$

$$BHRes = 0.9 * 1.4 * (0.8 * HLoad + \triangle T * \sin(LineAngle/2)) * (1 - HdisCof)$$

$$BTRes = 0$$

$$BVRes = (1.2 * VLoad + 0.9 * 1.4 * TLoad * \sin 20) * (1 - Vdiscof)$$

5. 不均匀覆冰

5.1 不均匀覆冰状态类别

荷载状态	荷载状态描述	备注
1	终端塔，最小垂直力 正常脱冰	
-1	终端塔，最小垂直力 反向脱冰	
2	终端塔，最大垂直力 正常脱冰	
-2	终端塔，最大垂直力 反向脱冰	
3	最小垂直力 正常脱冰	
-3	最小垂直力 反向脱冰	
4	最大垂直力 正常脱冰	
-4	最大垂直力 反向脱冰	

5.2 计算过程

1) 相关参数及描述

参数	描述	备注
HLoad	水平荷载标准值	前缀标识 F/B 分别对应前侧/后侧
TLoad	张力荷载标准值	
DeltaTLoad	不平衡张力荷载	
VLoad	垂重荷载标准值	
VWindLoad	大风垂重荷载标准值	
HdisCof	前侧水平荷载分配系数	
VdisCof	前侧垂直何在分配系数	
LineAngle	线路转角	
HTVload	计算过程参数： HTVload[0]~HTVload[2]：前侧水平、张力、垂重 HTVload[3]~HTVload[5]：后侧水平、张力、垂重	
HRes	水平荷载设计值	
TRes	张力荷载设计值	
VRes	垂重荷载设计值	

2) 计算逻辑

总说明：不均匀覆冰荷载计算过程为：标准荷载及分配系数取值→过程参数计算→荷载设计值计算

(1) 标准荷载及分配系数取值

➤ 终端塔，最小垂直力 正常脱冰

HLoad = 不均匀覆冰水平荷载标准值（不均匀覆冰其他荷载状态 HLoad 均按此取值，下略）

HdisCof = 1.0

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 0

VLoad = 不均匀覆冰最小垂直荷载标准值

VdisCof = 1.0

➤ 终端塔，最小垂直力 反向脱冰

HdisCof = 1.0

FTLoad = 0

BTLoad = 0

VLoad = 不均匀覆冰最小垂直荷载标准值

VdisCof = 1.0

➤ 终端塔，最大垂直力 正常脱冰

HdisCof = 1.0

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 0

VLoad = 不均匀覆冰最大垂直荷载标准值

VdisCof = 1.0

➤ 终端塔，最小垂直力 反向脱冰

HdisCof = 1.0

FTLoad = 0

BTLoad = 0

VLoad = 不均匀覆冰最大垂直荷载标准值

VdisCof = 1.0

对于其他塔型不均匀覆冰工况，张力前侧及后侧取值如下：

悬垂直线塔：

正常脱冰：FTLoad = 用户输入的不平衡张力 BTLoad = 0

反向脱冰：BTLoad = 用户输入的不平衡张力 FTLoad = 0

悬垂转角塔、耐张塔、分歧塔：

正常脱冰：FTLoad = 用户输入的大张力 BTLoad = 大张力-不平衡张力大值

反向脱冰：FTLoad = 大张力-不平衡张力大值 BTLoad = 用户输入的大张力

➤ 最小垂直力 正常脱冰

HdisCof = 用户填写的水平荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，HdisCof 均按此取值，下略）

VLoad = 不均匀覆冰最小垂直荷载标准值

VdisCof = 用户填写的垂直荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，VdisCof 均按此取值，下略）

➤ 最小垂直力 反向脱冰

VLoad = 不均匀覆冰最小垂直荷载标准值

➤ 最大垂直力 正常脱冰

VLoad = 不均匀覆冰最大垂直荷载标准值

➤ 最大垂直力 反向脱冰

VLoad = 不均匀覆冰最大垂直荷载标准值

(2) 过程参数计算

$$FHLoad = HLoad * HdisCof$$

$$BHLoad = HLoad * (1 - HdisCof)$$

$$HTVload[0] = FHLoad + FTLoad * \sin(\text{LineAngle}/2)$$

$$HTVload[1] = FTLoad * \cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$HTVload[2] = VLoad$$

$$HTVload[3] = BHLoad + BTLoad * \sin(\text{LineAngle}/2)$$

$$HTVload[4] = -BTLoad * \cos(\text{LineAngle}/2)$$

$$HTVload[5] = VLoad$$

(3) 荷载设计值计算结果

$$FHRes = 0.9 * 1.4 * HTV[0]$$

$$FTRes = 0.9 * 1.4 * HTV[1]$$

$$BHRes = 0.9 * 1.4 * BTV[3]$$

$$BTRes = 0.9 * 1.4 * BTV[4]$$

最小垂重工况下的垂直荷载设计值计算:

VWindLoad = 大风工况最小垂直荷载

如果大风工况最大垂重荷载标准值 ≥ 0

$$FVRes = [1.0 * 1.0 * VWindLoad + 0.9 * 1.4 * (HTV[2] - VWindLoad)] * VdisCof$$

$$BVRes = [1.0 * 1.0 * VWindLoad + 0.9 * 1.4 * (HTV[5] - VWindLoad)] * (1 - VdisCof)$$

如果大风工况最大垂重荷载标准值 < 0 (出现倒拔情况)

如果不均匀覆冰荷载 $>$ 大风荷载 (即不均匀覆冰倒拔荷载 $<$ 大风倒拔荷载)

$$FVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 0.9 * 1.0 * (HTV[2] - VWindLoad)] * VdisCof$$

$$BVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 0.9 * 1.0 * (HTV[5] - VWindLoad)] * (1 - VdisCof)$$

如果不均匀覆冰荷载 $<$ 大风荷载 (即不均匀覆冰倒拔荷载 $>$ 大风倒拔荷载)

$$FVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 0.9 * 1.4 * (HTV[2] - VWindLoad)] * VdisCof$$

$$BVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 0.9 * 1.4 * (HTV[5] - VWindLoad)] * (1 - VdisCof)$$

最大垂重工况下的垂直荷载设计值计算:

VWindLoad = 大风工况最大垂直荷载

如果大风工况最大垂重荷载标准值 ≥ 0

$$FVRes = [1.0 * 1.2 * VWindLoad + 0.9 * 1.4 * (HTV[2] - VWindLoad)] * VdisCof$$

$$BVRes = [1.0 * 1.2 * VWindLoad + 0.9 * 1.4 * (HTV[5] - VWindLoad)] * (1 - VdisCof)$$

如果大风工况最大垂重荷载标准值 < 0 (出现倒拔情况)

如果不均匀覆冰荷载 $>$ 大风荷载 (即不均匀覆冰倒拔荷载 $<$ 大风倒拔荷载)

$$FVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 0.9 * 1.0 * (HTV[2] - VWindLoad)] * VdisCof$$

$$BVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 0.9 * 1.0 * (HTV[5] - VWindLoad)] * (1 - VdisCof)$$

如果不均匀覆冰荷载 $<$ 大风荷载 (即不均匀覆冰倒拔荷载 $>$ 大风倒拔荷载)

$$FVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 0.9 * 1.4 * (HTV[2] - VWindLoad)] * VdisCof$$

$$BVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 0.9 * 1.4 * (HTV[5] - VWindLoad)] * (1 - VdisCof)$$

6. 低温

6.1 低温荷载状态类别

荷载状态	荷载状态描述	备注
1	终端塔，最大垂直力	终端塔,靠近构架侧各向荷载为 0
2	前后侧张力相同（取大值），最大垂直力	
3	前后侧张力不同，最大垂直力	

6.2 计算过程

1) 相关参数及描述

参数	描述	备注
HLoad	水平荷载标准值	前缀标识 F/B 分别对应前侧/后侧
TLoad	张力荷载标准值	
VLoad	垂重荷载标准值	
VWindLoad	大风最大垂重荷载标准值	
HdisCof	前侧水平荷载分配系数	
VdisCof	前侧垂直何在分配系数	
WindAngle	大风攻角	
LineAngle	线路转角	
HTVload	计算过程参数： HTVload[0]~ HTVload[2]：前侧水平、张力、垂重 HTVload[3]~ HTVload[5]：后侧水平、张力、垂重	
HRes	水平荷载设计值	
TRes	张力荷载设计值	
VRes	垂重荷载设计值	

2) 计算逻辑

总说明：低温荷载计算过程为：标准荷载及分配系数取值→过程参数计算→荷载设计值计算

(1) 标准荷载及分配系数取值

➤ 终端塔，最大垂直力

HLoad = 低温水平荷载标准值（低温工况其他荷载状态 HLoad 均按此取值，下略）

HdisCof = 1.0

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 0

VLoad = 低温/长期最大垂直荷载标准值

VdisCof = 1.0

➤ 前后侧张力相同（取大值），最大垂直力

HdisCof = 用户填写的水平荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，HdisCof 均按此取值，下略）

FTLoad = 大张力侧张力
 BTLload = 大张力侧张力
 VLoad = 低温最大垂直荷载标准值
 VdisCof= 用户填写的垂重荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，VdisCof 均按此取值，下略）

➤ 前后侧张力不同，最大垂直力

FTLoad = 大张力侧张力
 BTLload = 小张力侧张力
 VLoad = 低温最大垂直荷载标准值

(2) 过程参数计算

FHLoad = HLoad * HdisCof
 BHLoad = HLoad * (1 - HdisCof)
 HTVload[0] = FHLoad + FTLoad * Sin(LineAngle/2)
 HTVload[1] = FTLoad * Cos(LineAngle/2)
 HTVload[2] = VLoad
 HTVload[3] = BHLoad + BTLload * Sin(LineAngle/2)
 HTVload[4] = -BTLload * Cos(LineAngle/2)
 HTVload[5] = VLoad

(3) 荷载设计值计算结果

FHRes = 1.0 * 1.4 * HTV[0]
 FTRes = 1.0 * 1.4 * HTV[1]
 BHRes = 1.0 * 1.4 * BTV[3]
 BTRes = 1.0 * 1.4 * BTV[4]
 如果低温最大垂重荷载标准值 >= 0
 FVRes = (1.0 * 1.2 * HTV[2]) * VdisCof
 BVRes = (1.0 * 1.2 * HTV[5]) * (1 - VdisCof)
 如果低温最大垂重荷载标准值 < 0
 FVRes = (1.0 * 1.4 * HTV[2]) * VdisCof
 BVRes = (1.0 * 1.4 * HTV[5]) * (1 - VdisCof)

7. 长期工况

7.1 长期状态类别

荷载状态	荷载状态描述	备注
1	终端塔，最大垂直力	终端塔,靠近构架侧各向荷载为 0
2	前后侧张力相同（取大值），最大垂直力	
3	前后侧张力不同，最大垂直力	

7.2 计算过程

3) 相关参数及描述

参数	描述	备注
HLoad	水平荷载标准值	前缀标识 F/B 分别对应前侧/后侧
TLoad	张力荷载标准值	

VLoad	垂重荷载标准值	
VWindLoad	大风最大垂重荷载标准值	
HdisCof	前侧水平荷载分配系数	
VdisCof	前侧垂直何在分配系数	
WindAngle	大风攻角	
LineAngle	线路转角	
HTVload	计算过程参数： HTVload[0]~ HTVload[2]：前侧水平、张力、垂重 HTVload[3]~ HTVload[5]：后侧水平、张力、垂重	
HRes	水平荷载设计值	
TRes	张力荷载设计值	
VRes	垂重荷载设计值	

4) 计算逻辑

总说明：长期荷载计算过程为：标准荷载及分配系数取值→过程参数计算→荷载设计值计算

(4) 标准荷载及分配系数取值

➤ 终端塔，最大垂直力

HLoad = 长期水平荷载标准值（长期工况其他荷载状态 HLoad 均按此取值，下略）

HdisCof = 1.0

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 0

VLoad = 长期最大垂直荷载标准值

VdisCof = 1.0

➤ 前后侧张力相同（取大值），最大垂直力

HdisCof = 用户填写的水平荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，HdisCof 均按此取值，下略）

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 大张力侧张力

VLoad = 长期最大垂直荷载标准值

VdisCof = 用户填写的垂重荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，VdisCof 均按此取值，下略）

➤ 前后侧张力不同，最大垂直力

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 小张力侧张力

VLoad = 长期最大垂直荷载标准值

(5) 过程参数计算

$FHLoad = HLoad * HdisCof$

$BHLoad = HLoad * (1 - HdisCof)$

$HTVload[0] = FHLoad + FTLoad * \sin(LineAngle/2)$

$HTVload[1] = FTLoad * \cos(LineAngle/2)$

$HTVload[2] = VLoad$

$HTVload[3] = BHLoad + BTLoad * \sin(LineAngle/2)$

$HTVload[4] = -BTLoad * \cos(LineAngle/2)$

$$\text{HTVload}[5] = \text{VLoad}$$

(6) 荷载设计值计算结果

$$\text{FHRes} = 1.0 * 1.4 * \text{HTV}[0]$$

$$\text{FTRes} = 1.0 * 1.4 * \text{HTV}[1]$$

$$\text{BHRes} = 1.0 * 1.4 * \text{BTV}[3]$$

$$\text{BTRes} = 1.0 * 1.4 * \text{BTV}[4]$$

如果长期最大垂重荷载标准值 ≥ 0

$$\text{FVRes} = (1.0 * 1.2 * \text{HTV}[2]) * \text{VdisCof}$$

$$\text{BVRes} = (1.0 * 1.2 * \text{HTV}[5]) * (1 - \text{VdisCof})$$

如果长期最大垂重荷载标准值 < 0

$$\text{FVRes} = (1.0 * 1.4 * \text{HTV}[2]) * \text{VdisCof}$$

$$\text{BVRes} = (1.0 * 1.4 * \text{HTV}[5]) * (1 - \text{VdisCof})$$

8. 验冰工况

8.1 验冰状态类别

荷载状态	荷载状态描述	备注
1	终端塔，最大垂直力	终端塔,靠近构架侧各向荷载为 0
2	前后侧张力不同，最大垂直力	

8.2 计算过程

1) 相关参数及描述

参数	描述	备注
HLoad	水平荷载标准值	前缀标识 F/B 分别对应前侧/后侧
TLoad	张力荷载标准值	
VLoad	垂重荷载标准值	
VWindLoad	大风最大垂重荷载标准值	
HdisCof	前侧水平荷载分配系数	
VdisCof	前侧垂直何在分配系数	
WindAngle	大风攻角	
LineAngle	线路转角	
HTVload	计算过程参数： HTVload[0]~ HTVload[2]：前侧水平、张力、垂重 HTVload[3]~ HTVload[5]：后侧水平、张力、垂重	
HRes	水平荷载设计值	
TRes	张力荷载设计值	
VRes	垂重荷载设计值	

2) 计算逻辑

总说明：验冰荷载计算过程为：标准荷载及分配系数取值→过程参数计算→荷载设计值计算

(1) 标准荷载及分配系数取值

➤ 终端塔，最大垂直力

HLoad = 大风水平荷载标准值（验冰其他工况 HLoad 均按此取值，下略）

HdisCof = 1.0

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 0

VLoad = 验冰最大垂直荷载标准值

VdisCof = 1.0

➤ 前后侧张力不同，最大垂直力

HdisCof = 用户填写的水平荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，HdisCof 均按此取值，下略）

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 小张力侧张力

VLoad = 验冰最大垂直荷载标准值

VdisCof = 用户填写的垂重荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，VdisCof 均按此取值，下略）

(2) 过程参数计算

FHLoad = HLoad * HdisCof

BHLoad = HLoad * (1 - HdisCof)

HTVload[0] = FHLoad + FTLoad * Sin(LineAngle/2)

HTVload[1] = FTLoad * Cos(LineAngle/2)

HTVload[2] = VLoad

HTVload[3] = BHLoad + BTLoad * Sin(LineAngle/2)

HTVload[4] = -BTLoad * Cos(LineAngle/2)

HTVload[5] = VLoad

(3) 荷载设计值计算结果

FHRes = 0.75 * 1.4 * HTV[0]

FTRes = 0.75 * 1.4 * HTV[1]

BHRes = 0.75 * 1.4 * HTV[3]

BTRes = 0.75 * 1.4 * HTV[4]

最大垂重工况下的垂直荷载设计值计算：

如果大风工况最大垂重荷载标准值 ≥ 0

FVRes = $[1.0 * 1.2 * V_{WindLoad} + 0.75 * 1.4 * (HTV[2] - V_{WindLoad})] * V_{disCof}$

BVRes = $[1.0 * 1.2 * V_{WindLoad} + 0.75 * 1.4 * (HTV[5] - V_{WindLoad})] * (1 - V_{disCof})$

如果大风工况最大垂重荷载标准值 < 0 (出现倒拔情况)

如果验冰荷载 $>$ 大风荷载（即验冰倒拔荷载 $<$ 大风倒拔荷载）

FVRes = $[1.0 * 1.4 * V_{WindLoad} + 0.75 * 1.0 * (HTV[2] - V_{WindLoad})] * V_{disCof}$

BVRes = $[1.0 * 1.4 * V_{WindLoad} + 0.75 * 1.0 * (HTV[5] - V_{WindLoad})] * (1 - V_{disCof})$

如果验冰荷载 $<$ 大风荷载（即验冰倒拔荷载 $>$ 大风倒拔荷载）

FVRes = $[1.0 * 1.4 * V_{WindLoad} + 0.75 * 1.4 * (HTV[2] - V_{WindLoad})] * V_{disCof}$

BVRes = $[1.0 * 1.4 * V_{WindLoad} + 0.75 * 1.4 * (HTV[5] - V_{WindLoad})] * (1 - V_{disCof})$

9. 舞动工况

9.1 舞动状态类别

荷载状态	荷载状态描述	备注
1	终端塔，最大垂直力	终端塔,靠近构架侧各向荷载为 0
2	前后侧张力不同，最大垂直力	

9.2 计算过程

3) 相关参数及描述

参数	描述	备注
HLoad	水平荷载标准值	前缀标识 F/B 分别对应前侧/后侧
TLoad	张力荷载标准值	
VLoad	垂重荷载标准值	
VWindLoad	大风最大垂重荷载标准值	
HdisCof	前侧水平荷载分配系数	
VdisCof	前侧垂直何在分配系数	
WindAngle	大风攻角	
LineAngle	线路转角	
HTVload	计算过程参数： HTVload[0]~ HTVload[2]：前侧水平、张力、垂重 HTVload[3]~ HTVload[5]：后侧水平、张力、垂重	
HRes	水平荷载设计值	
TRes	张力荷载设计值	
VRes	垂重荷载设计值	

4) 计算逻辑

总说明：舞动荷载计算过程为：标准荷载及分配系数取值→过程参数计算→荷载设计值计算

(4) 标准荷载及分配系数取值

➤ 终端塔，最大垂直力

HLoad = 大风水平荷载标准值（舞动其他工况 HLoad 均按此取值，下略）

HdisCof = 1.0

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 0

VLoad = 舞动最大垂直荷载标准值

VdisCof = 1.0

➤ 前后侧张力不同，最大垂直力

HdisCof = 用户填写的水平荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，HdisCof 均按此取值，下略）

FTLoad = 大张力侧张力

BTLoad = 小张力侧张力

VLoad = 舞动最大垂直荷载标准值

VdisCof = 用户填写的垂重荷载前侧分配系数（对于非终端塔其他工况，VdisCof 均按此取值，下略）

(5) 过程参数计算

$$FHLoad = HLoad * HdisCof$$

$$BHLoad = HLoad * (1 - HdisCof)$$

$$HTVload[0] = FHLoad + FTLoad * \sin(LineAngle/2)$$

$$HTVload[1] = FTLoad * \cos(LineAngle/2)$$

$$HTVload[2] = VLoad$$

$$HTVload[3] = BHLoad + BTLoad * \sin(LineAngle/2)$$

$$HTVload[4] = -BTLoad * \cos(LineAngle/2)$$

$$HTVload[5] = VLoad$$

(6) 荷载设计值计算结果

$$FHRes = 0.75 * 1.4 * HTV[0]$$

$$FTRes = 0.75 * 1.4 * HTV[1]$$

$$BHRes = 0.75 * 1.4 * BTV[3]$$

$$BTRes = 0.75 * 1.4 * BTV[4]$$

最大垂重工况下的垂直荷载设计值计算：

如果**大风工况**最大垂重荷载标准值 ≥ 0

$$FVRes = [1.0 * 1.2 * VWindLoad + 0.75 * 1.4 * (HTV[2] - VWindLoad)] * VdisCof$$

$$BVRes = [1.0 * 1.2 * VWindLoad + 0.75 * 1.4 * (HTV[5] - VWindLoad)] * (1 - VdisCof)$$

如果**大风工况**最大垂重荷载标准值 < 0 (出现倒拔情况)

如果舞动荷载 $>$ 大风荷载 (即舞动倒拔荷载 $<$ 大风倒拔荷载)

$$FVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 0.75 * 1.0 * (HTV[2] - VWindLoad)] * VdisCof$$

$$BVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 0.75 * 1.0 * (HTV[5] - VWindLoad)] * (1 - VdisCof)$$

如果舞动荷载 $<$ 大风荷载 (即舞动倒拔荷载 $>$ 大风倒拔荷载)

$$FVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 0.75 * 1.4 * (HTV[2] - VWindLoad)] * VdisCof$$

$$BVRes = [1.0 * 1.4 * VWindLoad + 0.75 * 1.4 * (HTV[5] - VWindLoad)] * (1 - VdisCof)$$

附录五：常规塔荷载组合实现阐释

SmartLoad 耐张塔与悬垂塔使用的荷载状态表述为同一个语法体系，本手册以一耐张塔为例，进行荷载组合的实现说明。

假定某 220kV 单回路耐张塔，角度 0~20°，荷载组合一般由大风相关工况、覆冰相关工况、断线相关工况、安装相关工况、不均匀冰相关工况、低温相关工况、长期相关工况及验冰相关工况组成（新规程后，有可能还需要舞动相关工况），具体如下。

1. 正常运行工况（以大风为例）

大风工况考虑了大风攻角（如本范例的 0-45-90-270）、线路转角（大小转角）、前后张力（取大值或取不同）及垂直力（小垂重或大垂重），所需总工况数=4*2*2*2=32，即 32 个工况组合可满足对以上变量因素的任意组合，可满足设计需求，具体见下图（红色部分为荷载组合信息，浅绿色部分为对应工况备注，.DTC 文件中即可查看相应的）。

				G1	G2	C1	C2	C3	J1	J2	J3					
1	1	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	0	大风	小转角	前后张力取大值	最小垂直力
2	1	45	0	3	3	3	3	3	3	3	3	45	大风	小转角	前后张力取大值	最小垂直力
3	1	90	0	3	3	3	3	3	3	3	3	90	大风	小转角	前后张力取大值	最小垂直力
4	1	270	0	3	3	3	3	3	3	3	3	270	大风	小转角	前后张力取大值	最小垂直力
5	1	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	0	大风	小转角	前后张力取不同	最小垂直力
6	1	45	0	4	4	4	4	4	4	4	4	45	大风	小转角	前后张力取不同	最小垂直力
7	1	90	0	4	4	4	4	4	4	4	4	90	大风	小转角	前后张力取不同	最小垂直力
8	1	270	0	4	4	4	4	4	4	4	4	270	大风	小转角	前后张力取不同	最小垂直力
9	1	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	大风	小转角	前后张力取大值	最大垂直力
10	1	45	0	5	5	5	5	5	5	5	5	45	大风	小转角	前后张力取大值	最大垂直力
11	1	90	0	5	5	5	5	5	5	5	5	90	大风	小转角	前后张力取大值	最大垂直力
12	1	270	0	5	5	5	5	5	5	5	5	270	大风	小转角	前后张力取大值	最大垂直力
13	1	0	0	6	6	6	6	6	6	6	6	0	大风	小转角	前后张力取不同	最大垂直力
14	1	45	0	6	6	6	6	6	6	6	6	45	大风	小转角	前后张力取不同	最大垂直力
15	1	90	0	6	6	6	6	6	6	6	6	90	大风	小转角	前后张力取不同	最大垂直力
16	1	270	0	6	6	6	6	6	6	6	6	270	大风	小转角	前后张力取不同	最大垂直力
17	1	0	20	3	3	3	3	3	3	3	3	0	大风	大转角	前后张力取大值	最小垂直力
18	1	45	20	3	3	3	3	3	3	3	3	45	大风	大转角	前后张力取大值	最小垂直力
19	1	90	20	3	3	3	3	3	3	3	3	90	大风	大转角	前后张力取大值	最小垂直力
20	1	270	20	3	3	3	3	3	3	3	3	270	大风	大转角	前后张力取大值	最小垂直力
21	1	0	20	4	4	4	4	4	4	4	4	0	大风	大转角	前后张力取不同	最小垂直力
22	1	45	20	4	4	4	4	4	4	4	4	45	大风	大转角	前后张力取不同	最小垂直力
23	1	90	20	4	4	4	4	4	4	4	4	90	大风	大转角	前后张力取不同	最小垂直力
24	1	270	20	4	4	4	4	4	4	4	4	270	大风	大转角	前后张力取不同	最小垂直力
25	1	0	20	5	5	5	5	5	5	5	5	0	大风	大转角	前后张力取大值	最大垂直力
26	1	45	20	5	5	5	5	5	5	5	5	45	大风	大转角	前后张力取大值	最大垂直力
27	1	90	20	5	5	5	5	5	5	5	5	90	大风	大转角	前后张力取大值	最大垂直力
28	1	270	20	5	5	5	5	5	5	5	5	270	大风	大转角	前后张力取大值	最大垂直力
29	1	0	20	6	6	6	6	6	6	6	6	0	大风	大转角	前后张力取不同	最大垂直力
30	1	45	20	6	6	6	6	6	6	6	6	45	大风	大转角	前后张力取不同	最大垂直力
31	1	90	20	6	6	6	6	6	6	6	6	90	大风	大转角	前后张力取不同	最大垂直力
32	1	270	20	6	6	6	6	6	6	6	6	270	大风	大转角	前后张力取不同	最大垂直力

大风工况为正常运行工况之一（大风、覆冰、低温及长期），常规塔正常运行工况的特点为所有导地跳线挂点（真实或者虚拟）在同一个工况下均处于一个荷载状态，具体如下：

(1) 大风工况、大风攻角、线条角度对应关联逻辑示意图：

						G1	G2	C1	C2	C3	J1	J2	J3
						1	0	0	3	3	3	3	3
						1	45	0	3	3	3	3	3
						1	90	0	3	3	3	3	3
						1	270	0	3	3	3	3	3
						1	0	0	4	4	4	4	4
						1	45	0	4	4	4	4	4
						1	90	0	4	4	4	4	4
						1	270	0	4	4	4	4	4
						1	0	0	5	5	5	5	5
						1	45	0	5	5	5	5	5
						1	90	0	5	5	5	5	5
						1	270	0	5	5	5	5	5
						1	0	0	6	6	6	6	6
						1	45	0	6	6	6	6	6
						1	90	0	6	6	6	6	6
						1	270	0	6	6	6	6	6
						1	0	20	3	3	3	3	3
						1	45	20	3	3	3	3	3
						1	90	20	3	3	3	3	3
						1	270	20	3	3	3	3	3
						1	0	20	4	4	4	4	4
						1	45	20	4	4	4	4	4
						1	90	20	4	4	4	4	4
						1	270	20	4	4	4	4	4
						1	0	20	5	5	5	5	5
						1	45	20	5	5	5	5	5
						1	90	20	5	5	5	5	5
						1	270	20	5	5	5	5	5
						1	0	20	6	6	6	6	6
						1	45	20	6	6	6	6	6
						1	90	20	6	6	6	6	6
						1	270	20	6	6	6	6	6
0	大风	小转角	前后张力取大值	最小垂直力		1	0	0	6	6	6	6	6
45	大风	小转角	前后张力取大值	最小垂直力		1	45	0	6	6	6	6	6
90	大风	小转角	前后张力取大值	最小垂直力		1	90	0	6	6	6	6	6
270	大风	小转角	前后张力取大值	最小垂直力		1	270	0	6	6	6	6	6
0	大风	小转角	前后张力取不同	最小垂直力		1	0	0	3	3	3	3	3
45	大风	小转角	前后张力取不同	最小垂直力		1	45	20	3	3	3	3	3
90	大风	小转角	前后张力取不同	最小垂直力		1	90	20	3	3	3	3	3
270	大风	小转角	前后张力取不同	最小垂直力		1	270	20	3	3	3	3	3
0	大风	小转角	前后张力取大值	最大垂直力		1	0	20	4	4	4	4	4
45	大风	小转角	前后张力取大值	最大垂直力		1	45	20	4	4	4	4	4
90	大风	小转角	前后张力取大值	最大垂直力		1	90	20	4	4	4	4	4
270	大风	小转角	前后张力取大值	最大垂直力		1	270	20	4	4	4	4	4
0	大风	小转角	前后张力取不同	最大垂直力		1	0	20	5	5	5	5	5
45	大风	小转角	前后张力取不同	最大垂直力		1	45	20	5	5	5	5	5
90	大风	小转角	前后张力取不同	最大垂直力		1	90	20	5	5	5	5	5
270	大风	小转角	前后张力取不同	最大垂直力		1	270	20	5	5	5	5	5
0	大风	大转角	前后张力取大值	最小垂直力		1	0	20	6	6	6	6	6
45	大风	大转角	前后张力取大值	最小垂直力		1	45	20	6	6	6	6	6
90	大风	大转角	前后张力取大值	最小垂直力		1	90	20	6	6	6	6	6
270	大风	大转角	前后张力取大值	最小垂直力		1	270	20	6	6	6	6	6
0	大风	大转角	前后张力取不同	最小垂直力		1	0	20	6	6	6	6	6
45	大风	大转角	前后张力取不同	最小垂直力		1	45	20	6	6	6	6	6
90	大风	大转角	前后张力取不同	最小垂直力		1	90	20	6	6	6	6	6
270	大风	大转角	前后张力取不同	最小垂直力		1	270	20	6	6	6	6	6
0	大风	大转角	前后张力取大值	最大垂直力		1	0	20	6	6	6	6	6
45	大风	大转角	前后张力取大值	最大垂直力		1	45	20	6	6	6	6	6
90	大风	大转角	前后张力取大值	最大垂直力		1	90	20	6	6	6	6	6
270	大风	大转角	前后张力取大值	最大垂直力		1	270	20	6	6	6	6	6
0	大风	大转角	前后张力取不同	最大垂直力		1	0	20	6	6	6	6	6
45	大风	大转角	前后张力取不同	最大垂直力		1	45	20	6	6	6	6	6
90	大风	大转角	前后张力取不同	最大垂直力		1	90	20	6	6	6	6	6
270	大风	大转角	前后张力取不同	最大垂直力		1	270	20	6	6	6	6	6

(2) 荷载状态关联示意图

				荷载状态	荷载状态描述															
				1	终端塔，最小垂直力															
				2	终端塔，最大垂直力															
				3	前后侧张力相同（取大值），最小垂直力															
				4	前后侧张力不同，最小垂直力															
				5	前后侧张力相同（取大值），最大垂直力															
				6	前后侧张力不同，最大垂直力															
				7	前后侧张力相同，最小垂直力 前侧为0 后侧倒拔															
				8	前后侧张力不相同，最小垂直力 前侧为0															
				9	前侧大张力、大垂重，后侧小张力、小垂重（倒拔）															
				10	前侧小张力、大垂重，后侧小张力、小垂重（倒拔）															
				11	前侧小张力、0垂重，后侧小张力、小垂重（倒拔）															
												G1	G2	C1	C2	C3	J1	J2	J3	编号
1	0	大风	小转角	前后张力取大值	最小垂直力	1	0	0				3	3	3	3	3	3	3	3	1
2	45	大风	小转角	前后张力取大值	最小垂直力	1	45	0				3	3	3	3	3	3	3	3	2
3	90	大风	小转角	前后张力取大值	最小垂直力	1	90	0				3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	270	大风	小转角	前后张力取大值	最小垂直力	1	270	0				3	3	3	3	3	3	3	3	4
5	0	大风	小转角	前后张力取不同	最小垂直力	1	0	0				4	4	4	4	4	4	4	4	5
6	45	大风	小转角	前后张力取不同	最小垂直力	1	45	0				4	4	4	4	4	4	4	4	6
7	90	大风	小转角	前后张力取不同	最小垂直力	1	90	0				4	4	4	4	4	4	4	4	7
8	270	大风	小转角	前后张力取不同	最小垂直力	1	270	0				4	4	4	4	4	4	4	4	8
9	0	大风	小转角	前后张力取大值	最大垂直力	1	0	0				5	5	5	5	5	5	5	5	9
10	45	大风	小转角	前后张力取大值	最大垂直力	1	45	0				5	5	5	5	5	5	5	5	10
11	90	大风	小转角	前后张力取大值	最大垂直力	1	90	0				5	5	5	5	5	5	5	5	11
12	270	大风	小转角	前后张力取大值	最大垂直力	1	270	0				5	5	5	5	5	5	5	5	12
13	0	大风	小转角	前后张力取不同	最大垂直力	1	0	0				6	6	6	6	6	6	6	6	13
14	45	大风	小转角	前后张力取不同	最大垂直力	1	45	0				6	6	6	6	6	6	6	6	14
15	90	大风	小转角	前后张力取不同	最大垂直力	1	90	0				6	6	6	6	6	6	6	6	15
16	270	大风	小转角	前后张力取不同	最大垂直力	1	270	0				6	6	6	6	6	6	6	6	16
17	0	大风	大转角	前后张力取大值	最小垂直力	1	0	20				3	3	3	3	3	3	3	3	17
18	45	大风	大转角	前后张力取大值	最小垂直力	1	45	20				3	3	3	3	3	3	3	3	18
19	90	大风	大转角	前后张力取大值	最小垂直力	1	90	20				3	3	3	3	3	3	3	3	19
20	270	大风	大转角	前后张力取大值	最小垂直力	1	270	20				3	3	3	3	3	3	3	3	20
21	0	大风	大转角	前后张力取不同	最小垂直力	1	0	20				4	4	4	4	4	4	4	4	21
22	45	大风	大转角	前后张力取不同	最小垂直力	1	45	20				4	4	4	4	4	4	4	4	22
23	90	大风	大转角	前后张力取不同	最小垂直力	1	90	20				4	4	4	4	4	4	4	4	23
24	270	大风	大转角	前后张力取不同	最小垂直力	1	270	20				4	4	4	4	4	4	4	4	24
25	0	大风	大转角	前后张力取大值	最大垂直力	1	0	20				5	5	5	5	5	5	5	5	25
26	45	大风	大转角	前后张力取大值	最大垂直力	1	45	20				5	5	5	5	5	5	5	5	26
27	90	大风	大转角	前后张力取大值	最大垂直力	1	90	20				5	5	5	5	5	5	5	5	27
28	270	大风	大转角	前后张力取大值	最大垂直力	1	270	20				5	5	5	5	5	5	5	5	28
29	0	大风	大转角	前后张力取不同	最大垂直力	1	0	20				6	6	6	6	6	6	6	6	29
30	45	大风	大转角	前后张力取不同	最大垂直力	1	45	20				6	6	6	6	6	6	6	6	30
31	90	大风	大转角	前后张力取不同	最大垂直力	1	90	20				6	6	6	6	6	6	6	6	31
32	270	大风	大转角	前后张力取不同	最大垂直力	1	270	20				6	6	6	6	6	6	6	6	32

2. 断线工况

220kV 单回路耐张塔断线一般为：

- 1.任意断一根地线，或一相导线（或分裂线）；
- 2.任意断两相导线（或分裂线），地线不断。

考虑线路大小角度及最大最小垂重区分，所需工况个数为

$C_2^1 * C_3^1 * 2 * 2 + C_3^2 * 2 * 2 = 2 * 3 * 2 * 2 + 3 * 2 * 2 = 36$ ，SmartLoad 自动组合的工况见下图（共 36 组，满足规程规范设计要求）。

				G1	G2	C1	C2	C3	J1	J2	J3					
1	3	90	0	1	5	1	5	5	5	5	5	断线	小转角	最小垂直力	断地线1	断导线1
2	3	90	0	1	5	5	1	5	5	5	5	断线	小转角	最小垂直力	断地线1	断导线2
3	3	90	0	1	5	5	5	1	5	5	5	断线	小转角	最小垂直力	断地线1	断导线3
4	3	90	0	5	1	1	5	5	5	5	5	断线	小转角	最小垂直力	断地线2	断导线1
5	3	90	0	5	1	5	1	5	5	5	5	断线	小转角	最小垂直力	断地线2	断导线2
6	3	90	0	5	1	5	5	1	5	5	5	断线	小转角	最小垂直力	断地线2	断导线3
7	3	90	0	2	6	2	6	6	6	6	6	断线	小转角	最大垂直力	断地线1	断导线1
8	3	90	0	2	6	6	2	6	6	6	6	断线	小转角	最大垂直力	断地线1	断导线2
9	3	90	0	2	6	6	6	2	6	6	6	断线	小转角	最大垂直力	断地线1	断导线3
10	3	90	0	6	2	2	6	6	6	6	6	断线	小转角	最大垂直力	断地线2	断导线1
11	3	90	0	6	2	6	2	6	6	6	6	断线	小转角	最大垂直力	断地线2	断导线2
12	3	90	0	6	2	6	6	2	6	6	6	断线	小转角	最大垂直力	断地线2	断导线3
13	3	90	0	5	5	1	1	5	5	5	5	断线	小转角	最小垂直力	断导线2	断导线1
14	3	90	0	5	5	1	5	1	5	5	5	断线	小转角	最小垂直力	断导线3	断导线1
15	3	90	0	5	5	5	1	1	5	5	5	断线	小转角	最小垂直力	断导线3	断导线2
16	3	90	0	6	6	2	2	6	6	6	6	断线	小转角	最大垂直力	断导线2	断导线1
17	3	90	0	6	6	2	6	2	6	6	6	断线	小转角	最大垂直力	断导线3	断导线1
18	3	90	0	6	6	6	2	2	6	6	6	断线	小转角	最大垂直力	断导线3	断导线2
19	3	90	20	1	5	1	5	5	5	5	5	断线	大转角	最小垂直力	断地线1	断导线1
20	3	90	20	1	5	5	1	5	5	5	5	断线	大转角	最小垂直力	断地线1	断导线2
21	3	90	20	1	5	5	5	1	5	5	5	断线	大转角	最小垂直力	断地线1	断导线3
22	3	90	20	5	1	1	5	5	5	5	5	断线	大转角	最小垂直力	断地线2	断导线1
23	3	90	20	5	1	5	1	5	5	5	5	断线	大转角	最小垂直力	断地线2	断导线2
24	3	90	20	5	1	5	5	1	5	5	5	断线	大转角	最小垂直力	断地线2	断导线3
25	3	90	20	2	6	2	6	6	6	6	6	断线	大转角	最大垂直力	断地线1	断导线1
26	3	90	20	2	6	6	2	6	6	6	6	断线	大转角	最大垂直力	断地线1	断导线2
27	3	90	20	2	6	6	6	2	6	6	6	断线	大转角	最大垂直力	断地线1	断导线3
28	3	90	20	6	2	2	6	6	6	6	6	断线	大转角	最大垂直力	断地线2	断导线1
29	3	90	20	6	2	6	2	6	6	6	6	断线	大转角	最大垂直力	断地线2	断导线2
30	3	90	20	6	2	6	6	2	6	6	6	断线	大转角	最大垂直力	断地线2	断导线3
31	3	90	20	5	5	1	1	5	5	5	5	断线	大转角	最小垂直力	断导线2	断导线1
32	3	90	20	5	5	1	5	1	5	5	5	断线	大转角	最小垂直力	断导线3	断导线1
33	3	90	20	5	5	5	1	1	5	5	5	断线	大转角	最小垂直力	断导线3	断导线2
34	3	90	20	6	6	2	2	6	6	6	6	断线	大转角	最大垂直力	断导线2	断导线1
35	3	90	20	6	6	2	6	2	6	6	6	断线	大转角	最大垂直力	断导线3	断导线1
36	3	90	20	6	6	6	2	2	6	6	6	断线	大转角	最大垂直力	断导线3	断导线2

断线工况分为事故状态和非事故状态，事故状态下关联实现逻辑见下图；非断线项均处于非事故状态（用 5/6 表述，5：未断线，最小垂直力；6：未断线，最大垂直力）。

				荷载状态		荷载状态描述											
				1	2	断线，最小垂直力-耐张塔											
				3	4	断线，最小垂直力-直线塔											
				5	6	未断线，最小垂直力											
						未断线，最大垂直力											
断线	小转角	最小垂直力	断地线1	断导线1	3	90	0	G1	G2	C1	C2	C3	J1	J2	J3		
断线	小转角	最小垂直力	断地线1	断导线2	3	90	0	1	5	5	1	5	5	5	5	5	
断线	小转角	最大垂直力	断地线1	断导线1	3	90	0	2	6	2	6	6	6	6	6	6	
断线	小转角	最大垂直力	断地线2	断导线2	3	90	0	2	6	6	2	6	6	6	6	6	
断线	小转角	最小垂直力	断导线2	断导线1	3	90	0	5	5	1	1	5	5	5	5	5	
断线	小转角	最小垂直力	断导线3	断导线1	3	90	0	5	5	5	1	5	1	5	5	5	
断线	小转角	最大垂直力	断导线2	断导线1	3	90	0	6	6	2	2	6	6	6	6	6	
断线	小转角	最大垂直力	断导线3	断导线1	3	90	0	6	6	2	6	2	6	6	6	6	
断线	小转角	最大垂直力	断导线3	断导线2	3	90	0	6	6	6	2	2	6	6	6	6	

3. 安装工况

耐张塔施工主要考虑以下几种类型：

1.紧前档，后档无线：依次对各地线、导线进行操作，操作后进入已紧状态，荷载组合

荷载状态	荷载状态描述									
1	正紧线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）									
2	已紧线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）									
3	正挂线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）									
4	已挂线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）									
-4	后挡已挂线，前挡无线，有临时拉线（耐张塔）									
5	正紧线，后挡挂好，紧前档（前档无临时拉线）									
6	已紧线，后挡挂好，紧前档（前档无临时拉线）									
7	正挂线，后挡挂好，挂前档（前档无临时拉线）									
8	已挂线，后挡挂好，挂前档（前档无临时拉线）									
9	正常相									
10	正起吊，直线塔									
11	已起吊，直线塔									
12	正锚，直线塔									
13	已锚，直线塔									

					G1	G2	C1	C2	C3	J1	J2	J3				
1	4	90	0		1	0	0	0	0	0	0	0	安装	紧线小转角	当前操作相：	地线1
2	4	90	0		2	1	0	0	0	0	0	0	安装	紧线小转角	当前操作相：	地线2
3	4	90	0		2	2	1	0	0	0	0	0	安装	紧线小转角	当前操作相：	导线1
4	4	90	0		2	2	2	1	0	0	0	0	安装	紧线小转角	当前操作相：	导线2
5	4	90	0		2	2	2	2	1	0	0	0	安装	紧线小转角	当前操作相：	导线3

成，具体见下图。

2.挂前档，后档无线：依次对各地线、导线进行操作，操作后进入已挂紧状态，荷载组合成，具体见下图。

荷载状态	荷载状态描述																			
1	正紧线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）																			
2	已紧线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）																			
3	正挂线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）																			
4	已挂线，后挡无线，有临时拉线（耐张塔）																			
-4	后挡已挂线，前挡无线，有临时拉线（耐张塔）																			
5	正紧线，后挡挂好，紧前挡（前挡无临时拉线）																			
6	已紧线，后挡挂好，紧前挡（前挡无临时拉线）																			
7	正挂线，后挡挂好，挂前挡（前挡无临时拉线）																			
8	已挂线，后挡挂好，挂前挡（前挡无临时拉线）																			
9	正常相																			
10	正起吊，直线塔																			
11	已起吊，直线塔																			
12	正锚，直线塔																			
13	已锚，直线塔																			
						G1	G2	C1	C2	C3	J1	J2	J3							
1	4	90	0			3	0	0	0	0	0	0	0	安装	挂线小转角	当前操作相：	地线1			
2	4	90	0			4	3	0	0	0	0	0	0	安装	挂线小转角	当前操作相：	地线2			
3	4	90	0			4	4	3	0	0	0	0	0	安装	挂线小转角	当前操作相：	导线1			
4	4	90	0			4	4	4	3	0	0	0	0	安装	挂线小转角	当前操作相：	导线2			
5	4	90	0			4	4	4	4	3	0	0	0	安装	挂线小转角	当前操作相：	导线3			

4. 不均匀覆冰工况

不均匀覆冰可构造出最大弯（所有导地线同时同侧脱冰）及最大扭（左侧导地线及右侧导地线同时不同侧脱冰），在最大弯或者最大扭过程，跳线保持正常覆冰状态。

（1）最大弯构造逻辑：所有导地线同时同侧脱冰，跳线保持正常覆冰状态，具体如下：

												荷载状态	荷载状态描述								
												1	终端塔，最小垂直力 正常脱冰								
												-1	终端塔，最小垂直力 反向脱冰								
												2	终端塔，最大垂直力 正常脱冰								
												-2	终端塔，最大垂直力 反向脱冰								
												3	最小垂直力 正常脱冰								
												-3	最小垂直力 反向脱冰								
												4	最大垂直力 正常脱冰								
												-4	最大垂直力 反向脱冰								
												5	正常相，最小垂直力								
												6	正常相，最大垂直力								
												G1	G2	C1	C2	C3	J1	J2	J3		
1	5	90	0	3	3	3	3	3	5	5	5	不均匀覆冰-最大弯	最小垂直力	小转角							
2	5	90	0	4	4	4	4	4	6	6	6	不均匀覆冰-最大弯	最大垂直力	小转角							
3	5	90	0	-3	3	-3	3	3	5	5	5	不均匀覆冰-最大扭	最小垂直力	小转角							
4	5	90	0	3	-3	3	-3	-3	5	5	5	不均匀覆冰-最大扭	最小垂直力	小转角							
5	5	90	0	-4	4	-4	4	4	6	6	6	不均匀覆冰-最大扭	最大垂直力	小转角							
6	5	90	0	4	-4	4	-4	-4	6	6	6	不均匀覆冰-最大扭	最大垂直力	小转角							
7	5	90	20	3	3	3	3	3	5	5	5	不均匀覆冰-最大弯	最小垂直力	大转角							
8	5	90	20	4	4	4	4	4	6	6	6	不均匀覆冰-最大弯	最大垂直力	大转角							
9	5	90	0	-3	3	-3	3	3	5	5	5	不均匀覆冰-最大扭	最小垂直力	大转角							
10	5	90	0	3	-3	3	-3	-3	5	5	5	不均匀覆冰-最大扭	最小垂直力	大转角							
11	5	90	0	-4	4	-4	4	4	6	6	6	不均匀覆冰-最大扭	最大垂直力	大转角							
12	5	90	0	4	-4	4	-4	-4	6	6	6	不均匀覆冰-最大扭	最大垂直力	大转角							

（2）最大扭构造逻辑：所有导地线同时不同侧脱冰，跳线保持正常覆冰状态（同上），具体如下：

												荷载状态	荷载状态描述				
												1	终端塔，最小垂直力 正常脱冰				
												-1	终端塔，最小垂直力 反向脱冰				
												2	终端塔，最大垂直力 正常脱冰				
												-2	终端塔，最大垂直力 反向脱冰				
												3	最小垂直力 正常脱冰				
												-3	最小垂直力 反向脱冰				
												4	最大垂直力 正常脱冰				
												-4	最大垂直力 反向脱冰				
												5	正常相，最小垂直力				
												6	正常相，最大垂直力				
												5	5	5	不均匀覆冰-最大弯	最小垂直力	小转角
												6	6	6	不均匀覆冰-最大弯	最大垂直力	小转角
												5	5	5	不均匀覆冰-最大扭	最小垂直力	小转角
												5	5	5	不均匀覆冰-最大扭	最小垂直力	小转角
												6	6	6	不均匀覆冰-最大扭	最大垂直力	小转角
												6	6	6	不均匀覆冰-最大扭	最大垂直力	小转角
												5	5	5	不均匀覆冰-最大弯	最小垂直力	大转角
												6	6	6	不均匀覆冰-最大弯	最大垂直力	大转角
												5	5	5	不均匀覆冰-最大扭	最小垂直力	大转角
												6	6	6	不均匀覆冰-最大扭	最大垂直力	大转角
												6	6	6	不均匀覆冰-最大扭	最大垂直力	大转角