



CALCULATION METHODS OF THE POWER SUBSTATION
STRUCTURE DESIGN

变电站结构设计 计算方法

徐国林 查晓雄

主编

中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司



中国建筑工业出版社

变电站结构设计计算方法

徐国林 查晓雄 主编
中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

变电站结构设计计算方法/徐国林, 查晓雄, 中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 7

ISBN 978-7-112-22086-1

I. ①变… II. ①徐… ②查… ③中… III. ①变电所-建筑结构-结构设计-计算方法 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 075703 号

本书讨论了屋外变电站的布置和结构, 对钢筋混凝土电杆, 预应力混凝土电杆, 混凝土电杆, 薄壁离心钢管混凝土电杆, 离心钢管混凝土电杆的相关强度、刚度、极限承载力的计算方法、简化计算方法等进行了详细介绍和说明。对变电构架的稳定分析与计算, 结构的荷载和可靠度也进行了讲解。本书后半部分主要为人字柱等的相关试验研究, 也综合分析了连接节点、法兰螺栓的构造计算。

责任编辑: 辛海丽

责任校对: 刘梦然

变电站结构设计计算方法

徐国林 查晓雄

主编

中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京君升印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 23 字数: 55 千字

2018 年 9 月第一版 2018 年 9 月第一次印刷

定价: 66.00 元

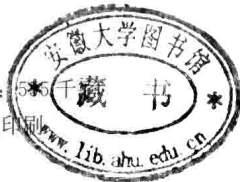
ISBN 978-7-112-22086-1

(31978)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)



前 言

有关变电站构（支）架结构的设计计算没有有关的设计计算规定，1990 年能源部电力设计管理局为适应电力建设发展的需要，委托浙江省电力设计院会同有关电力设计院编制《变电所建筑结构设计技术规定》NDGJ 96—92，并参编了《变电站建筑结构设计技术规程》DL/T 5457—2012。

在编制过程中除进行了大量的调查研究外，并对具有我国特色的变电站构（支）架，包括常用的钢管、钢筋混凝土环形杆和离心钢管混凝土的组合变电构架，与哈尔滨工业大学（土木工程学院和深圳研究生院）合作进行了大量的力学特性的试验研究，特别是对各种结构形式的变电构架的稳定性分析与计算进行了全面的探讨和分析。另外，对拉压杆系结构的稳定性，为了验证理论计算的正确性，在哈工大结构实验室进行了大量的 1:7 的模拟试验，以论证理论计算与试验实测的符合程度，试验结果吻合程度良好。

为了在实际工程建设中得到应用，专门进行了 220kV 混凝土电杆人字柱变电构架、500kV 钢管 A 字柱和离心钢管混凝土 A 字柱变电构架的整体真型试验，证明了试验实测结果与理论分析计算的符合程度良好。

参编单位（东北院、华东院、西北院）的有关专家，根据多年来的工程实践和设计经验，编写了有关的专题和试验研究的论文，共同编制了有关变电站构（支）架设计计算的有关规定。

本规定不仅适用于电网系统的变电站的结构设计，并适用于火力发电厂屋外配电装置的构（支）架结构、水电站、核电站和工业企业专用变电站的结构设计。

编写本书的目的，主要是为了帮助工程技术设计人员更好地了解《规程》的规定，并有所发展和创新。

中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司

目 录

一、一般规定	1
1 屋外变电构(支)架的荷载与荷载组合	3
2 变电所结构的荷载与可靠度	12
3 对应用风荷载公式的几点说明	22
4 变电构架中间柱的计算	29
5 导线过牵引对构架的影响	49
6 屋外变电构架温度变化作用效应的分析	55
7 变电构架温度应力计算	62
8 分裂导线短路电流冲击力对构架的影响	67
9 变电所 500kV 联合构架的设计	72
二、变电构架的稳定性分析与计算	79
10 变电构架的稳定性分析与计算	81
11 弯矩沿杆长变化对偏心受压杆件承载力的影响	145
12 变电构架压弯柱的分析	152
三、变电构架的整体试验研究	161
13 钢筋混凝土电杆人字柱的试验研究	163
14 500kV 薄壁离心钢管混凝土变电构架的试验研究	168
四、混凝土电杆承载能力的计算	181
15 混凝土电杆的正截面强度计算介绍	183
16 混凝土电杆正截面强度的简化计算	198
17 预应力混凝土电杆正截面强度的简化计算	205
18 钢筋混凝土电杆偏心受拉构件极限承载能力的计算方法	210
19 预应力混凝土电杆偏心受拉构件极限承载能力的计算方法	218
20 混凝土电杆正截面极限承载能力的统一计算方法	225
21 混凝土电杆受压柱极限承载能力的计算方法	236
22 混凝土电杆正截面抗裂度和裂缝宽度的计算	242
23 混凝土电杆在标准荷载作用下的刚度计算	261
五、薄壁离心钢管混凝土构件的计算与构造	269
24 薄壁离心钢管混凝土构件正截面强度计算	271
25 薄壁离心钢管混凝土构件正截面强度简化计算	279
26 薄壁离心钢管混凝土偏心受拉构件正截面强度计算	284
27 薄壁离心钢管混凝土受压柱极限承载能力的计算	289
28 离心钢管混凝土格构柱承载能力的计算	296

29 薄壁离心钢管混凝土构件连接接头的试验研究 302

30 离心钢管混凝土拔梢杆的刚度与变形计算 308

31 连接节点的构造及计算 318

32 法兰螺栓简化计算 338

33 杯形基础上拔计算的试验研究 343

六、抗震设计 347

34 屋外变电构架、设备支架抗震设计 349

一、一般规定

1 屋外变电构（支）架的荷载与荷载组合

徐国林

1 概述

变电构（支）架的主要作用是用来支承各种电气设备及带电导体。变电构架是屋外配电装置支持或悬挂导线的支承结构，支架是支持各种电气设备（断路器、隔离开关、电流（压）互感器、避雷器、阻波器、结合电容器与支持瓷瓶等）的支承结构。

屋外配电装置的导线，按其对构架作用的力学特性的不同，基本上可分为两大类：

（1）软导线。单导线或组合导线。

（2）硬导线。一般采用单根的管型母线，也有采用多根管型母线组合的组合母线。

变电构架所承受的荷载，主要是由导线在各种不同工况条件下对构架所产生的作用力。屋外配电装置导线的工作条件与电气设备及系统的运行状态，安装检修条件和外界的气象条件（环境温度、风速、复冰程度等）有关。而且是随着外界气象条件的变化而变化的，因此，导线的作用力不是常量。在工程设计中必须搜集当地的气象资料，根据配电装置导线的运行、安装、检修等要求，确定导线工作状态的工况条件。

在正常运行情况下，导线最大张力出现的可能条件，主要有以下几种工况：

（1）最大风速。取在最大风速时可能同时发生的相应环境温度，一般均在环境温度为 $-5\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，因为在最低气温条件下是不可能同时发生最大风的。

（2）最大复冰。形成导线复冰的气象条件一般均在环境温度 -5°C ， 10m/s 风速左右，在低温或大于 10m/s 风速以上的条件不可能形成导线复冰。

（3）最低温。温度的降低将使导线的长度缩短，弛度减小而使导线张力增大，最低温一般发生在无风的情况下。

在导线的安装及检修情况下，要考虑在现有的安装、检修方式的条件下可能产生的最不利的工况：

（1）安装。主要是指导线的架设与移换，其作用的荷载与导线架设或移换的工具、方法以及程度有关。一方面要充分考虑各种架设或移换导线的方式，在架设或移换导线的过程中可能产生的最不利荷载；另一方面，也应该注意尽量避免因安装方式的不当而使构架的受力状态恶化，大大增加结构的材料消耗，否则应采取措施限制安装荷载。

（2）检修。导线检修的主要目的是检查维护或更换金具、绝缘子串和引下线的线夹，接引或拆引引下线，其荷载的取值决定于导线的检修方式。

事故断线情况《送电线路规程》规定：要考虑导（地）线断线的情况，但根据调查尚未发现高压和超高压变电所的软导线有断线的情况，这主要是因为变电所的母线受外界的

损伤和维护条件要比送电线路好得多，只要出现导线断股现象就能及时发现，及时维修，而且变电所导线和金具安全系数的取值要比送电线路高得多，因此，事故情况考虑断一相导线已属安全，不可能发生二相或三相导线同时断线的情况，但在一般情况下，断一相导线对构架设计不起控制作用，为了简化计算，不考虑导线断线的条件。

在缺乏气象资料的情况下，可参考表 1，结合工程的具体条件选用。

典型气象区气象条件 表 1

序号	工作情况	气象条件及 附加荷重	气象分区								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	最高最低 温度时	温度(℃)	－5， ＋40	－10， ＋40	－10， ＋40	－20， ＋40	－10， ＋40	－20， ＋40	－40， ＋40	－20， ＋40	－20， ＋40
		风速(m/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		覆冰厚度(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		导线工作状况	导线全部正常工作，无附加荷重								
2	最大风速	温度(℃)	＋10	＋10	－5	－5	＋10	－5	－5	－5	－5
		风速(m/s)	35	30	25	25	30	25	20	30	30
		覆冰厚度(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		导线工作状况	导线全部正常工作，无附加荷重								
3	有冰有风时 (最大荷载)	温度(℃)	－5	－5	－5	－5	－5	－5	－5	－5	－5
		风速(m/s)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		覆冰厚度(mm)	0	5	5	5	10	10	10	15	20
		导线工作状况	导线全部正常工作，无附加荷重								
4	安装检修时	温度(℃)	0	0	－5	－10	－5	－10	－15	－10	－10
		风速(m/s)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		覆冰厚度(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		导线工作状况	按规定的荷重条件，考虑导线安装及检修时对构架的不利的条件组合								

注：导线最高温度按 70℃ 计算。

2 荷载的种类及其取值的确定

2.1 荷载的种类

(1) 导（地）线荷载

由电气专业提供，其中包括在最低温，最大风，复冰、安装和检修工况条件下，导（地）线的水平张力，垂直荷重，侧向风压，导线偏角，弛度和荷载因子 D 值以及相应的挂线点位置和对挂线板的构造要求。

导线的弛度和荷载因子 D 值主要是用来计算中间柱的不平衡张力。

变电所线路侧出线构架的导线张力由线路电气专业提供，在一般情况下，其最大控制张力标准值可按表 2 数值取用。

最大控制张力值

表 2

电压等级	导线(kN)	地线(kW)
35kN	2.0~2.5	1.0
110kN	5.0	2.6
220kN	10.0	5.0
500kN	60.0	10.0

连续出线构架的平均偏角取 5° ，如有特殊要求时应在任务书中说明。独立出线构架的偏角如无特殊要求时，一般可取 $10^\circ\sim 15^\circ$ 。

最大控制张力是指出线侧线路导线在最大风或最大覆冰工况下所产生的导线张力，其余工况条件下的导线张力应以最大控制张力的工况条件作为初始条件，推算出检修安装，最低温等工况条件下的导线张力，垂直荷重和侧向风压，例如根据当地的气象条件最大导线张力的控制条件为最大风工况，则应以最大风工况条件为导线张力计算的初始状态，计算出最大覆冰、检修安装以及其他工况条件一的导线张力，垂直荷重和侧向风压。

(2) 导线的安装荷载

导线安装荷载的确定，主要根据图 1 所示的导线架设方法进行计算的。

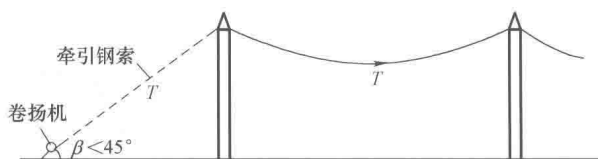


图 1

滑轮挂在横梁挂线点一侧的节点上，用牵引钢丝绳穿过滑轮将导线的金具或绝缘子串绑住，然后通过卷扬机进行紧线，当导线紧到可以将固定绝缘子串的金具与横梁挂线板连接时，在梁上的作业人员用螺栓将金具与挂线板固定，并要求牵引绳索与地面的夹角不大于 45° 。

此时，作用在导线紧线相的垂直荷重应为

$$G_0 = \alpha T \sin 45^\circ + G + Q \quad (1)$$

式中 T ——安装情况的导线张力；

α ——滑轮摩擦系数，取 $\alpha = 1.1 \sim 1.2$ ；

G ——导线的垂直荷重；

Q ——作用在梁上的人及工具重，取 2.0kN 。

(3) 架设或移换导线的牵引

通过 $110\sim 500\text{kV}$ 构架过牵引的试验，工程实测与计算得出，过牵引张力倍数的大小不但与荷载和弧垂有关，而且与构架的整体刚度有关，但主要决定于挂线滑轮和牵引绳绑扎的位置和方式。试验和计算表明，采用上滑轮挂线方案（包括牵引绳由架上滑过的方案）不但可减小过牵引力，如滑轮及绑扎绝缘子串的位置恰当，过牵引张力还可以小于当时导线的正常张力。若采用下滑轮挂线时的过牵引张力有时可达正常张力的三倍左右。所以只要施工安装方法恰当，安装时的过牵引张力对构架不起控制作用。在更换绝缘子串时，一般过牵引值仅在 $30\sim 50\text{mm}$ 范围内，对构架更不起控制作用。因此，在设计中一般

可不考虑过牵引的影响，但在电气施工图中应明确说明安装及限制条件。

(4) 导线上人检修荷载

导线上检修分带电和停电上人检修两种方式。导线上人检修的主要目的是为了检查、更换和检修引下线的线夹以及进行带电接引或拆引。带电作业采用单相作业方式，停电作业一般也是采用单相作业方式。但有时由于负荷比较紧张，停电时间受限制，特别是母线的检修往往就得三相同时上人检修。从所调查的十一个变电工区有统计，都曾采用过三相同时停电上人检修的方式，但是一般情况下很少采用。因此只有主付母线或旁路母线才考虑三相导线同时上人检修，其他情况只考虑单相带电上人检修。

导线上人检修的方式一般有：

另外，凡导线的跨中无引下线线夹金具等需要维护检修的，一般可不考虑上人检修的荷载。

① 用绝缘绳梯悬挂在导线上（绳梯法）；

② 用绝缘硬梯挂在导线上（停电作业有时用竹梯），称为吊梯法；

③ 用绝缘硬梯（或竹梯）一端支承在地上，另一端挂（或靠）在导线上，称为靠梯法；

④ 用绝缘立梯（人字梯）或立杆（打拉线）；

⑤ 用绝缘杆横在三相导线上，人骑在绝缘杆与导线的交叉点上沿导线滑行，也称为滑杆法。

不论导线单相或三相上人作业，一般都采用吊梯法和绳梯法，基本上已不采用滑杆法，因为人在导线上滑行不仅对导线有损伤，而且不安全。现在有相当一部分的变电所已配置液压自动升降检修车，导线上不再作用上人检修荷载。

导线上人荷载的取值：

① 单相带电上人检修荷载，考虑了目前所采用的较为严重的作用方式，即绳梯法，除了要考虑检修人员的人及工具重量外，尚需要有人把绳梯蹬紧的力，以防绳梯转动。根据华东院在工程中实测为 $0.8 \sim 1.0\text{kN}$ ，东北院实测为 1.35kN ，为安全起见，对 330kV 及以下的配电装置取 1.5kN ，对 500kV 配电装置取 3.5kN 。

② 三相停电同时上人检修荷载考虑按吊梯法确定（按 1.0kN 计算），即 0.75 （人重） $+0.10$ （工具重） $+0.15$ （硬梯重） $=1.0\text{kN}$ 。

若采用绳梯法上人检修，由于上人检修的位置三相不可能同时处在最不利位置，因此 330kV 及以下的配电装置三相导线同时上人荷载取 1.0kN ，仍属安全的。对 500kV 配电装置则取 2.0kN 。

(5) 设备的自重和操作荷重

电气设备的自重和操作荷重，一般都由电气专业提供，结构设计人员应熟悉设备性能，了解制造厂家所提供的资料。

当阻波器悬挂在梁上时，在计算安装工况条件时，除考虑起吊设备（滑轮）的重量外，还应考虑两倍阻波器的自重和作用在梁上的 2kN 的人及工具重（集中荷重）。

在起吊变压器钟罩时，应乘以 1.2 冲击系数，即起吊主变钟罩的总重 = 滑轮组重 $+ 1.2$ （钟罩重）。

(6) 结构自重和结构风压，按《荷载规范》进行计算。

(7) 高型和半高型配电装置隔离开关操作平台和连接天桥的活荷载标准值采用 1.5kN/m^2 。操作平台板还应取设备自重按集中荷载验算（安装检修堆放设备）。在计算梁、柱基础时，活荷载可乘以下列的折减系数：

当荷重面积为 $10\sim 20\text{m}^2$ 时，0.7

当荷重面积大于 20m^2 时，0.6

(8) 地震力、温度应力和短路电流力的计算和取值，详见有关专题的论述。

2.2 荷载的分类及荷载分项系数

荷载可分永久荷载，可变荷载和偶然荷载三类。

(1) 永久荷载。结构自重，固定的设备重，土重以及导（地）线在无冰无风情况下的导线张力及垂直荷重。

(2) 可变荷载。风荷载，覆冰荷载以及大风或复冰工况下的导线张力，运行、安装和检修时的活荷载，地震作用以及温度变化所产生荷载等。

(3) 偶然荷载。短路电流，验算稀有风载或冰载等。

荷载分项系数可按下列数值取用：

(1) 永久荷载分项系数 γ_G

一般采用 1.2，当其效应对结构抗力有利时采用 1.0。

(2) 可变荷载分项系数 γ_Q

一般采用 1.4。在计算温度作用效应时可采用 1.0；对地震作用效应：当仅考虑水平地震作用效应（即不计竖向地震作用效应）或仅考虑竖向地震作用效应时，均采用 1.3。

(3) 偶然荷载分项系数

一般均采用 1.0。

各种工况条件下由导线作用效应对构架所产生的导线水平张力，垂直荷重和侧向风压荷载分项系数，主要是根据屋外变电构架软导线的受力特点确定的。导线的作用效应主要是由导线的自重（永久荷载）和作用在导线上的风荷载、冰荷载、温度效应以及检修安装时的临时荷载（可变荷载）所产生的，因此，其荷载系数主要是根据其荷载效应的比值（永久荷载 G 和可变荷载 Q 的比值）确定的，即

$$\text{荷载系数 } r_s = \frac{\gamma_G G + \gamma_Q Q}{G + Q}$$

(1) 最大风和最大覆冰工况

根据统计在最大风（ $v=30\sim 40\text{m/s}$ ）和最大覆冰厚度为 $5\sim 10\text{mm}$ 的情况下，由永久荷载和可变荷载效应所产生的导线张力之比为 $0.7:0.3\sim 0.55:0.45$ 左右，相应的荷载系数 γ_s 为 $1.26\sim 1.29$ 。对于垂直荷重 γ_s 可取 1.25。按规定导线侧向风压的 γ_s 应取 1.4，但考虑到风荷载作用在导线上的不均匀性，同时为了计算方便起见，凡最大风和最大覆冰工况条件下的荷载分项系数统一采用 1.3。

(2) 导线上人检修工况条件下导线的水平张力和垂直荷重主要是由导线的自重和作用在导线上的人重及工具重所产生的，风荷载作用的影响甚小（ $v=10\text{m/s}$ ），因此， γ_s 可取 1.2。

(3) 安装工况条件下导线的水平张力和垂直荷重，主要取决于导线的架设方法，程序

以及导线紧时可能产生的过牵引。

对安装工况条件下荷载分项系数的取值，基本上有两种意见：

第一种意见认为安装工况条件下荷载变化的幅度较大，而且在紧线过程中梁上还有人作业，为了保证作用人员的人身安全， γ_s 宜采用 1.3 或 1.4。

第二种意见认为原《架空送线路设计技术规程》SDJ 3—76 和《火力发电厂土建结构设计技术规定》SDGJ 64—84 都规定：安装检修工况条件下的荷载组合系数为 0.9，即相当于荷载分项系数 $\gamma_s = 1.3 \times 0.9 = 1.17$ ，而且经过大量的工程实践证明原规定是合适的，建议 γ_s 取 1.2。

3 构架的设计条件

屋外变电构架根据其在配电装置中的作用及受力特性，基本上可分为三类：(1) 终端构；(2) 中间构；(3) 转角构。变电所的屋外变构架均属于耐张型，很少采用悬垂型。

1963 年配电装置专业座谈会总结中曾指出：“屋外配电装置布置中，终端构出现的机会较多，为减少构件制作和设计类型，扩建和改造方便，以及供电安全可靠起见，所以构架均按终端考虑”。但在以后的工程实践中，并没有完全按此规定执行，因此，在以后编制的《高压配电装设计技术规程》SDJ 57—76 时，修正了这一规定，明确“屋外配电装置的铰线，应根据当时气象条件和不同工作情况（安装、正常运行、检修）进行计算。构架应根据实际情况，分别按终端构架和中间构架设计”。以后编制的《火力发电厂土建结构设计技术规定》SDGJ 64—74 还明确规定了终端构和中间构的具体条件。

3.1 终端构架的设计条件

(1) 运行情况，取最大风速、覆冰或最低气温时对构架及基础的最不利荷载。

(2) 安装情况，应考虑构架组立、导线紧线及紧线时作用在梁上的人及工具重。

(3) 检修情况，对 10m 及以上的构架，应考虑单相带电检修和三相停电检修时导线上人对构架及基础的影响。

对单侧打拉线的单杆结构，在导线未架设前，构架不能承受反向荷载，有的工程因未考虑这种结构在顺拉线反向大风作用下的不稳定因素，曾发生过倒杆事故。因此，当采用这种结构时，必须计算在导线未架设时，在最大风作用下柱和基础的强度和稳定性，否则应采取打反向拉线或临拉线的措施。当需要打临时拉线时，必须在施工图中予以详细说明。

出线构架一般均按终端构架设计，因为变电所内部的构架基本上是一次建成的，而线路侧的导线是分期建设的。架设导线的程序一般也是先变电所侧，后线路侧。先架设线路侧，后架设变电所侧导线的情况一般是很少的，但往往是最不利的工况。

在线路侧一般不考虑导线上人检修的荷载，因为在线路侧导线的跨中是没有引下线的。只有当阻波器挂在线路侧的导线上时，才考虑导线单相带电上人作业的荷载（按荷载实际作用位置进行计算）。

3.2 中间构架的设计条件

中间构架的特点是在正常运行情况下，两侧均挂有导线，当两侧的导线张力相等时，

构架处在平衡状态，只有当两侧导线张力不相等或相邻跨上人检修时才产生不平衡张力（也称“张力差”）。中间构架在正常运行，导线上人检修的情况下，可按不平衡张力（张力差）进行设计。

张力差设计法可分为绝对张力差法和构架挠曲后对不平衡张力影响后的相对张力差法。

绝对张力差法假定构架的梁柱为一刚性体，在不平衡张力的作用下梁和支柱是绝对不变形的，只需根据电气专业提供的相邻档距的导线张力，取其两者的差值进行构架的设计。

相对张力差法系假定构架的梁柱为一弹性体，在不平衡张力的作用下将产生弹性变形，从而使导线张力较大一侧的档距缩短，弛度增大，随之导线张力减小，同时使导线张力较小一侧的档距增大，弛度减小，而导线张力增大，直到达到新的平衡，以此时的张力差称为相对张力差，它要比原来的绝对张力差小得多。其计算方法参见《变电构架中间柱的计算》一文。

按相对张力差设计中间柱在正常运行工况条件下一般不起控制作用，起控制作用的是安装架设或检修移换导线。对中间柱在安装架设或移换导线情况下的设计条件基本上有两种意见：一种认为变电构架的三材消耗和土建投资远比输电线路为少，但比输电线路重要得多，因此，在安装时应考虑按一侧架线，另一侧未架线的情况进行计算，应尽量避免在安装过程中打临拉线，以保证构架在安装过程中的足够的强度和刚度。另一种意见认为在一般情况下，结构由安装条件控制不尽合理，不应作为计算条件，而应作为验算条件，若不能满足验算条件要求，允许在安装过程中打临时拉线，但必须在施工图是予以详细说明。

《土规》SDGJ 64—84 综合了上述两种意见，对中间构架的设计条件作了如下规定：

“两侧均挂有导线的中间构架，应考虑在运行情况或导线上人检修情况时产生的不平衡张力外，还应考虑在安装或移换导线时所产生的最不利情况。一般可按一侧架线，另一侧不架线的条件进行计算，此时不仅作强度计算。根据工程的具体条件，也允许在安装过程中打临时拉线”。

不论是终端构架或中间构架，凡导线跨中无引下线的不考虑导线上人检修的荷载。

4 荷载的合理组合

荷载组合的原则应将各种可能同时发生的最不利的荷载，根据概率统计的原理统计与计算同时发生的概率，确定荷载的组合和组合系数。

荷载组合的合理与否，直接关系到结构的可靠性的经济性。根据调查，虽然《土规》对荷载组合作了统一规定，但由于认识和习惯做法的差异，在荷载组合方面仍存在着很大的差别，归纳起来，大致存在如下几种做法：

（1）单一荷载法。电气专业提一个单一的最大荷载作为计算荷载，不考虑其他情况的荷载组合。有时有的电气人员怕不安全，又在最大荷载上乘以大于 1.2 的安全系数。

（2）最大荷载组合法。把不可能同时产生的最不利荷载组合起来，作为构架的计算荷载，最大冰与最大风组合，考虑导线三相上人时采用最大风速等等。

(3) 估算法。有的采用公式估算法，也有的采用截面估算法，即

$$\text{导线张力 } H = \frac{F(\text{导线截面})\sigma(\text{破坏应力})}{K(\text{安全系数})}$$

还有的根据相似工程估算。这种方法比较粗糙，误差较大。

(4) 按规定进行合理组合

由于荷载组合方法不同，差别甚大，有的偏于保守，有的则偏于不安全。例如，同样是 220kV 构架，设计条件完全相同，有的一根梁的耗钢量高达 1000kg，而有的却只有 500kg。因此，荷载必须根据各种不同的工况和条件分别进行荷载的合理组合。

4.1 正常运行工况的组合

(1) 覆冰工况。覆冰气象条件下的导线张力，结构风压计算风速 $v=10\text{m/s}$ ，不考虑其他附加荷载。

(2) 最大风工况。最大风气象条件下的导线张力及相应的最大风速作用下的结构风压，风向与导线作用方向垂直。当构架上有方向互相垂直的导线作用时，凡顺风方向的导线张力一律取相应于安装条件时的导线张力（风速 $v=10\text{m/s}$ ）。结构风压的作用方向也应垂直于导线方向，不考虑其他附加荷载。

(3) 最低温工况。最低温气象条件下的导线张力，无风，无其他附加荷载。一般情况下，对构架设计不起控制作用。

4.2 安装检修工况组合

(1) 安装工况。安装气象条件下的导线张力，风速取 10m/s 考虑紧线所产生的垂直荷重，同时梁上有 2kN 的人重及工具重的集中荷重。只考虑单相紧线（任意相），不考虑三相同时紧线。

出线构要考虑阻波器的安装，三相导线全部安装架设完毕，阻波器已挂好二相（任意二相），最后安装第三台阻波器的最大不利情况。

(2) 检修工况。单相或三相导线同时上人条件的导线张力，风速取 10m/s ，横梁上不作用任何附加荷载。

单相导线带电上人检修时，只有一相导线上人，其余未上人相导线应取相应于安装工况条件下的导线张力。

三相导线同时上人检修时，只考虑在一个档距内有一个回路三相导线上人检修，不考虑相邻档、相邻回路或上下母线同时上人检修的情况。其余未上人档（或回路）应取相应于安装工况条件下的导线张力。

4.3 温度变化效应的组合

当计算两端设有刚性支撑的连续排架，其总长超过 150m 或连续多跨刚架，其总长超过 100m 时，应考虑温度应力的影响。其最不利的组合有如下几种情况：

(1) 较低气温条件下安装（允许冬季露天作业的最低气温），其温度差应取当日平均最高温度与安装情况下较低温度的差值，其所产生的温度应力（伸长）应与安装工况条件下的导线张力组合。

(2) 较高气温条件下安装 (允许夏季露天作业的最高气温), 其温度差应取当地日平均最低温度与安装情况下较高温度的差值, 其所产生的温度应力 (缩短) 应与最低温工况条件下的导线张力组合。

(3) 在较低温或较高温条件下安装, 与最大风组合, 此时的温差 Δt 应取与最大气象条件下的计算温度与较低温或较高温的差值。计算温度差一般可取 $+35^{\circ}\text{C}$ 和 -30°C 。

(4) 在取计算温差 Δt 时, 尚需考虑结构表面温度与环境温度所存在的差异。根据葛州坝 500kV 升压站夏季实测钢结构表面的平均温度与环境温度之差为 $3.0\sim 10.7^{\circ}\text{C}$, 其中 11 时 30 分~13 时为最高, 平均温度差为 $9.2\sim 10.7^{\circ}\text{C}$, 建议可按 5°C 考虑。

4.4 地震效应的组合

取最不利方向的水平地震作用, 结构及设备的自重, 20% 的最大风载或 50% 的最大覆冰荷载及相应的导线张力。

构架和基础按照上述几种工况分别进行组合, 并取其对构件及基础不利者进行设计。在设计中特别要注意, 有时某一工况下的导线张力最大, 组合结果不一定对某些构件最不利, 有时往往还可能成为有利因素。

操作平台的活荷载不应与覆冰或最大风工况条件下的导线张力组合。

在计算构架基础的上拔、倾覆及地基承载力时, 不考虑风振的影响, 风振系数取 1.0。

当构架承受两种及两种以上可变荷载时, 若有风荷载参与组合, 荷载组合系数 φ_c 可取 0.75; 若无风荷载参与组合则取 1.0。

对于荷载的基本组合, 荷载效应组合的设计值可按下列公式确定:

(1) 正常运行、安装和检修工况荷载效应的组合

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_D S_{Dk} + \gamma_W S_{Wk}$$

(2) 温度变化效应的组合

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_t S_{tk} + \varphi_c (\gamma_D S_{Dk} + \gamma_W S_{Wk})$$

式中 S ——荷载效应的设计值;

γ_G ——永久荷载分项系数 (结构和设备的自重);

γ_t ——温度效应的荷载分项系数;

γ_D ——导 (地) 线荷载效应的荷载分项系数;

γ_W ——风荷载的荷载分项系数;

φ_c ——荷载组合值系数;

S_{Gk} ——由永久荷载效应所引起的结构 (构件) 的内力 (应力) 标准值;

S_{tk} ——由温度变化效应所引起的结构 (构件) 的内力 (应力) 标准值;

S_{Dk} ——由导 (地) 线荷载效应所引起的结构 (构件) 的内力 (应力) 标准值;

S_{Wk} ——由结构风压所引起的结构 (构件) 内力 (应力) 标准值。