

塔吉构

设计误区与提示

概念 • 实践 • 经验

乐俊旺 编著

DESIGN OF TOWER AND GUYED MASS
STRUCTURE-MISLEADING REGION AND POINTS

中国建筑工业出版社

结构 设计误区与提示

概念 实践 经验

乐俊旺 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

塔桅结构设计误区与提示/乐俊旺编著. —北京: 中国

建筑工业出版社, 2017. 7

ISBN 978-7-112-20788-6

I. ①塔… II. ①乐… III. ①塔—桅杆—结构设计

IV. ①TU761.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 114355 号

本书针对塔桅结构设计中经常遇到却容易产生误解的一些问题, 采用讲解和提示的方式, 明确概念, 识别误区, 借鉴实践, 总结经验。内容包括荷载、计算、构造、结构、紧固件和其他。有的还附有案例和计算图表。

本书可供塔桅结构工程设计、施工图审查、监理、检测和研究人员等参考。

责任编辑: 赵梦梅 郭 栋

责任校对: 李美娜 焦 乐

塔桅结构设计误区与提示

乐俊旺 编著

*

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

北京锋尚制版有限公司制版

北京京华铭诚工贸有限公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 13 字数: 218 千字

2018 年 1 月第一版 2018 年 1 月第一次印刷

定价: 30.00 元

ISBN 978-7-112-20788-6

(30452)

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

塔桅结构广泛用于广播电视、微波通信、输电线路、气象监测、石油化工、兵器工业以及导航标志等各个领域。随着国民经济的发展,现代塔桅结构,不仅功能越来越多,而且高度越来越高,规模越来越大。集发射广播电视和多功能的600m高的广州塔和365m高的深圳气象桅杆,分别于2010年和2016年相继建立。通信塔更是每年数以万计的耸立在祖国大地上。从事塔桅结构专业的设计人员,多来自工民建专业,在学校里,还没有开设塔桅专业的课程,而从事这一行业的,包括设计、制造、施工、安装、监理、检测和维护等队伍越来越庞大,仅生产厂家就达三百多家。专业人员的专业知识跟不上事业发展的需求,工程事故时有发生。

笔者从事塔桅结构专业设计和技术研究工作50年,在实践中有所体会,在学术交流、讲课培训、工程评审、事故处理以及竣工验收等过程中,发现一些问题,针对有关问题做过咨询和参加过研讨。在此应同行们的建议,以解答问题和提示的方式以及相应的案例,汇编了这本手册,明确概念,识别误区,借鉴实践,总结经验。

本书由国家铁塔工程安全质量监督检验中心夏大桥主任审阅,在此表示感谢。

由于笔者水平有限,谬误之处,谨望同仁指正。

目 录

第1章 荷载

1. 荷载取值“宁大勿小”	2
2. 以基本风压的重现期当作塔桅构筑物的使用期限	3
3. 挑选 50 年中的最大风速作为重现期 50 年一遇的最大风速	3
4. 直接取山顶或山坡风速作为山上设计风速	3
5. 以山谷风速推算山上的设计风压	4
6. 风仪高度、重现期和时距的换算	5
7. 塔桅结构遇 8 级大风需要检查与设计风压不符	5
8. 覆冰荷载	6
9. 圆形截面杆件的体型系数应取标准值	7
10. 微波天线的体型系数变化并非线性关系	8
11. 塔架体型系数及挡风面积计算	9
12. 组合腿的塔架体型系数及挡风面积计算	10
13. 天线挡风面积宜计入透风系数	11
14. 电视蝙蝠翼天线的质量与挡风面积	11
15. 电视 UHF 四偶极板天线的挡风面积	12
16. 塔桅结构的风振系数	12
17. 自立式塔架的风振系数和体型系数不能替代塔楼的阵风系数	15
18. 地面粗糙度类别与计算程序不符	15
19. 利用原有塔桅构筑物必须进行结构核算	16
20. 桅杆纤绳的横向共振	17

21. 楼顶钢塔的地震效应	17
22. 质量密度与重力密度	20

第2章 计算

1. 自立式塔架的自振周期计算	22
2. 自立式塔架的整体稳定性	22
3. 塔桅结构的混沌现象	23
4. 格构式轴心受压构件换算长细比公式的使用范围	25
5. 塔桅构件中的拉杆为什么也规定容许长细比	26
6. 格构式桅杆杆身截面刚度的折减	26
7. 塔架主柱法兰盘及螺栓连接计算应视部位而定	27
8. 塔靴设计	27
9. 柔性交叉斜杆内力计算应采用逐次消去法,并同时考虑竖向荷载的作用	28
10. 塔架腹杆为柔性圆钢拉杆(带有螺栓扣)的强度验算	29
11. 塔架结构使用其他结构计算软件应做些假定	30
12. 塔架结构的有限元计算	31
13. 塔架基础及基础骨架(锚栓)计算	31
14. 带塔楼的自立塔基础抗拔计算	32
15. 钢自立塔要否进行地基变形、基础沉降计算	32
16. 桩基与基桩	33
17. 塔架基础骨架(锚栓)的抗剪控制与二期混凝土	33
18. 拉线式桅杆底座为固接的杆身计算	35
19. 有悬臂段的拉线式桅杆用连梁法计算时角位移连续条件不成立	35
20. 无悬臂段的拉线式桅杆顶点变位曲线不收敛	35
21. 桅杆纤绳初应力的选择	36
22. 风荷载对桅杆不同方向的纤绳的作用风向是不同的	36
23. 三方纤绳桅杆最大位移的作用风向	37

24. 纤绳节点水平变位与桅杆支座处的水平位移	38
25. 桅杆纤绳计算风向应与原计算公式一致	38
26. 天线支持桅杆上的任何连接构造均由桅杆结构承受	38
27. 桅杆纤绳在风载和自重作用下对杆身的水平和垂直压力计算	39
28. 桅杆纤绳安装长度计算	40
29. 格构式桅杆强度及稳定验算要注意弯矩作用方向和柱肢分布情况	40
30. 拉线式桅杆构件强度验算	40
31. 拉线式桅杆分肢强度验算	41
32. 拉线式桅杆的局部稳定性验算	42
33. 拉线式桅杆跨间稳定性的几种验算方法	42
34. 拉线式桅杆分肢稳定性的验算	46
35. 桅杆结构的整体稳定性计算	46
36. 拉线式桅杆不宜采用有限元计算方法	47
37. 高强度钢材对由稳定控制的塔桅结构不经济	48
38. 纤绳钢丝绳	48
39. 带有电梯井道的塔架计算	48
40. 塔桅结构的水平位移限值	49
41. 钢材应力超值惯例不适合于极限状态设计方法	49
42. 埃菲尔效应	50
43. 自立塔下部荷载对上部结构的影响	50
44. 塔楼舒适度	51
45. 计算桅杆纤绳水平距离均假设场地为水平面的风险	53
46. 场地呈线性坡度的桅杆纤绳水平距离计算	54
47. 复杂地形的桅杆纤绳水平距离计算	54
48. 重力式地锚计算	57
49. 基础的锚栓长度与混凝土的粘结强度	59
50. 锚杆基础中的单根锚杆抗拔承载力	59
51. 钢筋混凝土筒形塔体不必验算共振产生的惯性力	60
52. 地震作用与风荷载对塔桅结构计算的影响	60

53. 塔架复杂截面的外力分配	61
-----------------------	----

第3章 构造

1. 塔架变坡处柱肢截面吻合条件	65
2. 塔架过渡段塔柱外倾现象	66
3. 塔架底段斜杆倾角不宜太陡	66
4. 塔架过渡段的塔柱倾角不宜太小	68
5. 自立塔的塔楼和平台对顶部桅杆段的作用	68
6. 塔架横膈的作用与设置	68
7. 人工调直受压杆件的变形无济于事	69
8. 控制格构式结构变形的腹杆布置原则	71
9. 自立塔的腹杆布置	72
10. 钢管组合塔架的米式腹杆	72
11. 塔架角钢组合结构不宜采用米式腹杆体系	74
12. 截面为四边形的塔架不应采用柔性交叉斜杆	75
13. 塔架角钢交叉斜杆间的垫块不可省	75
14. 自立式塔架为角钢柱肢的连接构造	75
15. 型钢构件应与连接螺栓匹配	76
16. 自立塔顶部插入式桅杆的受力分析	77
17. 组合腿的塔柱改变截面时的构造	78
18. 塔靴作用	78
19. 四边形塔架的基础骨架和法兰螺栓采用 6M 的布置	79
20. 塔架基础的联系梁设置不宜过低	80
21. 塔架基础联系梁的作用与构造	80
22. 桩基构造	80
23. 斜基础柱轴向力的分解应受力明确	81
24. 斜桩可不设联系梁	81
25. 钢管主柱的排水	83

26. 米式腹杆交点构造	84
27. 重力式地锚应三线汇交	85
28. 桅杆纤绳共锚拉杆倾角应为合力方向	85
29. 桅杆底座的铰接与固接	86
30. 桅杆纤绳固接方法	87
31. 双层配筋是克服钢筋混凝土筒形塔体内壁竖向裂缝的基本构造措施	88
32. 单层配筋的钢筋混凝土筒形塔体内壁竖向裂缝不可避免	89
33. 增加壁厚不一定能提高混凝土筒形塔体的抗裂性	90
34. 为提高混凝土筒形塔体的抗裂性采用高强度钢材不经济	90
35. 钢筋混凝土结构不宜掺加化学剂	91
36. 钢筋混凝土筒形塔风振效应及构造措施	92
37. 电梯井道温度变形	93
38. 塔桅结构不是设备, 属于构筑物	93
39. 电视塔设计不易定型	95
40. 大直径筒体的径厚比	96
41. 大直径筒体连接法兰盘	96
42. 锥形管的插接长度	97
43. 独管塔不宜采用等截面	97
44. 圆形塔楼楼层的梁系布置	97
45. 不设支撑的平台梁构造	98
46. 焊缝的质量要求	98
47. 角焊缝的尺寸要求	98
48. 基础骨架、钢筋不能作为防雷接地引下线	99

第4章 结构

1. 塔桅工程场地必须进行工程地质勘察	101
2. 在自立塔上部加设纤绳	102

3. 自立式塔架立面的合理形式	102
4. 自立式塔架主柱的理想坡度	103
5. 自立式塔架底部宽度宜宽不宜窄	104
6. 复杂塔型应明确结构体系和类型	104
7. 自立式塔架的 K 形腹杆	105
8. 以增加纤绳层数缩短桅杆跨距超越限高的风险	105
9. “纤绳层次多多益善”	105
10. 桅杆的悬臂段	106
11. 固接支座的拉线式桅杆底部无需扩大	106
12. 截面为四边形的桅杆结构抗扭纤绳布置	106
13. 保证桅杆整体稳定的条件	107
14. 桅杆纤绳的预拉和初拉力	108
15. 构件集装箱运输的尺寸要求	109

第 5 章 紧固件

1. 高强度螺栓连接	111
2. 螺栓的性能等级与钢号应一致	112
3. 螺栓的螺纹长度不要擅自确定	112
4. 螺栓螺纹处的计算面积	112

第 6 章 其他

1. 钢结构不耐火	115
2. 钢塔桅结构防火保护与耐火极限	116
3. 自立塔避雷针的保护范围	116
4. 与塔架接地装置连接的机房设备等必须自行接地	117
5. 航空障碍灯的设置与障碍标志	118
6. 钢塔桅结构的防腐	118

7. 瓷件安全系数	121
8. 桩基承台的作用	121
9. 基础骨架上部螺栓的螺母和垫圈应予镀锌	123
10. 自立塔钢筋混凝土基础的浇筑	123
11. 多边形锥型卷管的边长确定	124
12. 我国规范的编号	124

附录

【附录一】塔桅结构设计常用规范与标准	126
【附录二】边宽 1m 三方纤绳中波桅杆定型设计计算结果 (桅杆结构矩阵位移法)	134
【附录三】钢塔架构件定型设计	141
【附录四】蛋形绝缘子质量及挡风面积	145
【附录五】普通螺栓、锚栓连接承载能力	146
【附录六】土的黏聚力 c (kN/m^2) 和内摩擦角 φ ($^\circ$)	147
【附录七】钢管轴心受拉和轴心受压承载能力表	149

参考文献

塔桅结构 设计误区与提示

概念 实践 经验

第1章 荷载

1. 荷载取值“宁大勿小”

设计荷载是原始设计数据，它对结构计算的影响要比采用任何精确计算方法所产生的误差大得多。因此，确定设计荷载要准确，要符合实际，取值小了，固然影响结构安全；但取值大了，不仅造成材料浪费，而且会给设计带来难度，最终导致不合理设计。

由于风荷载是可变荷载，某些建塔场地无规范可循，因此，设计人员对风荷载取值采取“宁大勿小”的做法。作为高耸构筑物的塔桅结构，风荷载是控制荷载，尤其拉线式桅杆结构，对风荷载反应敏感，荷载取值大了，轻则影响纤绳和零构件规格的正常采用，重则需要更改桅杆结构和重新设计纤绳零构件。一念之差，更新换代。

应该注意，业主提供的风速资料往往是偏大的，除特殊情况，需要经过调查研究、对比分析外，应以现行《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012 为依据。

【案例 1】

河南淮阳有一座 60m 左右的自立塔，某厂设计，在设计说明书中，有意将基本风压提高为 0.5kPa。建立不久，于 2007 年遇上特大风载倒塌了。业主要求赔偿，理由是，气象报道的风载并没有超过设计说明书中提供的基本风压。其实，这次罕遇风载已经超过了“荷载规范”规定的当地的基本风压，属于灾害性破坏，得不偿失。

2. 以基本风压的重现期当作塔桅构筑物的使用期限

基本风压的重现期,是根据历年的风速资料数据,经数理统计分析确定的。现行《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012 确定的 50 年一遇的风压,只是说明平均 50 年有可能出现一次的风压,或者说平均每年有 $1/50$ 的出现概率,也就是说每年不出现 50 年一遇大风的保证率为 98%,并未说明构筑物的使用期限为 50 年。风荷载虽然是塔桅结构的控制荷载,但荷载效应并非是塔桅构筑物使用期限的唯一因素,还受材料性能、制作质量、安装精度、防腐措施、基础施工、使用维护以及计算模型等随机因素的影响。因此,塔桅构筑物的使用期限(俗称寿命)只能用概率来描述,即在规定的时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率(可靠概率),采用以概率理论为基础的极限状态设计方法分析确定。现行国内外标准都采用可靠指标 β 代替失效概率来度量。虽然《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001 规定的设计基准期也取 50 年,但两者的含义是不同的。

3. 挑选 50 年中的最大风速作为重现期 50 年一遇的最大风速

在荷载规范中,重现期为 50 年一遇的最大风速,是根据气象站、台历年的最大风速记录、风仪高度和时次、时距换算为离地 10m 高、自记 10min 平均年最大风速 (m/s),经过数理统计、分析而确定的 50 年的最大风速,挑选出来的 50 年中的最大风速,不一定代表 50 年一遇的最大风速。

4. 直接取山顶或山坡风速作为山上设计风速

山顶和山坡风速比山麓大是符合风速随高度递增规律的,然而有些气象台,尤其在 20 世纪 80 年代以前,风速记录一般是用风速板观测的,测得的风速

$>40\text{m/s}$ 屡见不鲜,这是由于风速板是根据气流为水平状态条件下设计的,而气流上升越过山峰时的爬坡抬升作用,瞬时的惯性力很可能使风速板越过水平线 40m/s 的标记。即使取低限 40m/s 为基本设计风速,山顶的基本风压也要达到 1.0kN/m^2 。这种情况,还是以山麓附近的基本风压,按高度变化规律取值为宜。

5. 以山谷风速推算山上的设计风压

对于与风向一致的峡谷口,山高大于 $3/2$ 谷宽,且上风向在山高 10 倍远的地域没有屏障,那么由于气流的狭管效应使风速增大;或者在冬季,由于强大的冷空气(高山雪风),越过山脊后,从背阳面下沉到地面,使风速增大,都会造成山下建筑物灾害性破坏,如果以此推算山上的设计风压,就会大于实际值。这种情况,宜将山谷风压乘以 0.75 后,再按高度变化系数推算山上设计风压。

【案例 1】

20 世纪 70 年代,在福建泉州清源山上(相对高度 480m),建造一座广播电视发射塔,当地气象部门提供的,山上风速 $>40\text{m/s}$ 。但又获悉,在一次大风中,山下建筑遭受破坏,而山上却无损失。

根据以上资料,设计风压究竟取多大,才能保证构筑物的安全,又不致浪费材料?为此,进行了实地考察和对比分析。

鉴于山上的主导风向为东北风,而来流方向有起伏绵延的小丘陵,增加了地面的粗糙度,于是按当时的《工业与民用建筑结构荷载规范》TJ 9-74,先取山下基本风压,然后,将高度变化系数 K_z 降低 20% 采用,即

$$w = 65 \times 2.8 \times 0.8 = 145.6 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{均按当时标准})$$

最后,取山上设计风压: $w = 150 \text{ kg/m}^2$,不再考虑高度变化。

该工程经 30 多年的运行实践,安然无恙。以后在山上扩建等,就一直沿用了这个风压值。

6. 风仪高度、重现期和时距的换算

对于气象站、台提供的风速资料，凡是自记最大风速，一定是 10min 平均年最大风速，自记极大风速一定是瞬时风速；凡是定时最大风速，不论其观测次数多少，都是 2min 平均风速；凡是非定时的极大风速，也都是瞬时风速。不是 10min 平均年最大风速的都得进行换算。自记瞬时风速与 10min 平均最大风速之比值约为 1.5，在山坡上利用风速板测得的瞬时风速尚要乘上 0.9 的系数。以风荷载控制的塔桅结构，根据结构的重要性，应考虑适当提高其重现期。表 1-1~表 1-3 分别为不同风仪高度、不同重现期和不同时距与《建筑结构荷载规范》的相应规定之间的换算系数和比值。

不同风仪高度与 10m 风仪高度换算系数 表 1-1

风仪高度 (m)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20
换算系数	1.14	1.11	1.07	1.04	1.02	1.0	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.89

不同重现期与 50 年重现期的风压比值 表 1-2

重现期 (年)	5	10	15	20	30	40	50	60	100
μ_r	0.66	0.77	0.82	0.87	0.93	0.97	1.0	1.03	1.10

不同时距与 10min 时距风速的平均比值 表 1-3

时距	1h	10min	5min	2min	1min	30s	20s	10s	5s	瞬时
统计比值	0.94	1.0	1.07	1.16	1.20	1.26	1.28	1.35	1.39	1.50

7. 塔桅结构遇 8 级大风需要检查与设计风压不符

风力等级、风速与风压 表 1-4

蒲福风力等级	名 称	距地 10m 高处相当风速 (m/s)	距地 10m 高处相当风压 (kN/m ²)
8	大 风	17.2~20.7	0.185~0.268

续表

蒲福风力等级	名 称	距地 10m 高处相当风速 (m/s)	距地 10m 高处相当风压 (kN/m ²)
9	烈风	20. 8~24. 4	0. 270~0. 372
10	狂风	24. 5~28. 4	0. 375~0. 504
11	暴风	28. 5~32. 6	0. 508~0. 664
12	台风 (飓风)	32. 7~36. 9	0. 668~0. 851
13	—	37. 0~41. 4	0. 856~1. 071
14	—	41. 5~46. 1	1. 076~1. 328
15	—	46. 2~50. 9	1. 334~1. 619
16	—	51. 0~56. 0	1. 626~1. 960

表 1-4 为“蒲福风力等级” 8~16 级的相应风速和风压。

现行荷载规范所列的我国各城市 50 年一遇的风压范围为 0. 30~1. 85kN/m²；《高耸结构设计规范》GB 50135 和《钢塔桅结构设计规范》GY 5001 强制规定，基本风压取值不得小于 0. 35kN/m²，均在表 1-4 所列的“蒲福风力等级” 9 级和 9 级以上。因此，塔桅结构设计要求每遇 8 级大风必须上塔检查就不尽合理。严格来说，应按设计风压的相应风力等级确定。

8. 覆冰荷载

在电力行业中，裹冰称为覆冰，《高耸结构设计规范》GB 50135—2006 包括电力行业，就改称覆冰荷载。

大气中因不同的降水方式形成三种覆冰：雾凇、雨凇和混合凇。

雾凇形成气温约为-8℃，风速约为 3~8m/s，重度约为 2~5kN/m³，比较脆弱，易被气流扰动或结构颤动脱落。

雨凇形成气温约为 0~8℃，风速约为 10~20m/s，最高达 25m/s，重度一般为 9kN/m³，对结构附着性能强，是最不利的结构裹冰，也是结构设计应考虑