

高耸结构的 设计

GAOSONG JIEGOU
DE SHEJI

《高耸结构设计规范》管理组

86.29
9010196

高耸结构的设计

《高耸结构设计规范》宣讲材料



同济大学《高耸结构设计规范》管理组编
北京市市政设计研究院
《特种结构》杂志社

出版发行

一九九〇年三月

内 容 简 介

国标《高耸结构设计规范》管理组为配合国家标准规范在全国实施而编写此教材。其主要内容是：（1）基本规定、荷载、钢塔架和桅杆结构、钢筋砼圆筒形塔、地基与基础等六章；（2）将要颁发的国标《高耸结构设计规范》（全文）；（3）规范条文说明。（4）有关厂家、公司、单位简介。该书文、图、表并茂。内容翔实，数据可靠，配有设计原则、计算方法，结构构造要求、计算实例等，是一本难得的指导性工具书，也是一本极好的土建结构专业人员学习提高教材。规范管理组将以此书为教材在全国各地开办讲习班。



目 录

前 言

- 一、我国高耸结构标准化工作的发展…………… (1)
- 二、高耸结构设计规范内容要点…………… (5)

第一章 总 则 …………… (13)

第二章 基本规定…………… (17)

- 一、概率极限状态设计方法…………… (17)
- 二、结构可靠度概念及高耸结构安全等级…………… (19)
- 三、(概率)承载能力极限状态设计表达式…………… (21)
- 四、正常使用极限状态设计表达式及变形控制
条件…………… (26)

第三章 载 荷 …………… (27)

- 第一节 荷载分类…………… (27)
- 第二节 风荷载…………… (28)
 - 一、风力、风速、风压…………… (28)
 - 二、风速风压关系公式…………… (28)
 - 三、风对结构作用(风效应)…………… (30)
 - (一) 顺风向平均风或平均风力的计算… (32)
 - (二) 顺风向脉动风作用(或风振力)的
计算…………… (38)

(三) 横风向共振风荷载的计算·····	(53)
第三节 裹冰荷载·····	(60)
一、裹冰的形成·····	(61)
二、裹冰的类别·····	(62)
三、国外在裹冰方面的设计经验·····	(63)
四、对我国裹冰荷载设计规定的说明·····	(65)
第四节 地震作用·····	(66)
一、概 述·····	(66)
二、震级和裂度·····	(67)
三、确定地震力的方法·····	(70)
(一) 静力理论·····	(70)
(二) 动力理论·····	(71)
1. 反应谱理论及地震力计算·····	(72)
2. 地震力简化计算方法·····	(83)
3. 竖向地震力·····	(84)
第四章 钢塔架和桅杆结构·····	(86)
第一节 概 述·····	(86)
第二节 钢塔桅结构的内力分析·····	(87)
一、塔架结构分析方法·····	(87)
二、桅杆结构分析方法·····	(91)
第三节 钢塔桅结构的变形和整体稳定·····	(94)
一、塔桅结构的变形计算·····	(94)
二、塔桅结构的整体稳定·····	(95)
第四节 纤 绳·····	(97)
第五节 轴心受拉和轴心受压构件·····	(99)

一、轴心受压构件的稳定.....	(99)
二、塔桅结构的构件长细比.....	(101)
第六节 偏心受拉和偏心受压构件.....	(104)
一、偏心受压构件的强度计算.....	(104)
二、压弯构件的整体稳定.....	(104)
第七节 焊缝连接和焊栓连接计算.....	(108)
第八节 钢管连接构造和计算.....	(110)
一、钢管连接构造形式.....	(110)
二、钢管连接强度计算.....	(112)
三、钢管连接焊缝计算.....	(114)
第九节 法兰盘连接构造和计算.....	(115)
一、法兰盘连接构造.....	(115)
二、法兰盘连接计算.....	(118)

第五章 钢筋混凝土圆筒形塔.....(120)

第一节 概 述.....	(120)
第二节 混凝土和钢材在高温下的性能.....	(121)
第三节 筒身附加弯矩的计算.....	(122)
第四节 塔筒承载能力极限状态的计算.....	(130)
一、受压区无孔洞时.....	(131)
二、受压区有一个孔洞时.....	(132)
第五节 塔筒在正常使用条件下的荷载应力计算	(136)
一、单向应力情况.....	(137)
二、双向应力情况.....	(141)
三、单向和双向应力情况的分界点.....	(145)

第六节	塔筒在正常使用条件下的温度应力 计算	(147)
第七节	筒壁温度应力的近似计算	(163)
第八节	塔筒在正常使用条件下的裂缝宽度 验算	(165)
第九节	塔筒计算步骤	(167)
第六章	地基与基础	(169)
第一节	一般规定	(169)
第二节	地基计算	(170)
	一、地基承载力验算	(170)
	二、基础底面压力计算	(171)
	三、地基变形计算	(177)
第三节	刚性基础和板式基础	(186)
	一、刚性基础	(186)
	二、板式基础	(188)
第四节	基础的抗拔稳定和抗滑稳定	(193)
	一、基础抗拔稳定计算	(193)
	二、基础的抗滑稳定计算	(206)
附件：一、	高耸结构设计规范（全文）	(211)
	二、高耸结构设计规范条文 说明	(353)
有关公司、厂家、单位简介		(413)

前 言

一、我国高耸结构标准化工作的发展

高耸结构门类较多，它包括电视塔，拉线桅杆，微波塔、送电线路杆塔、石油化工塔、发射塔、大气污染监测塔、烟囱、排气塔、水塔、矿井架等。我国自解放以来，随着国民经济发展的需要，全国设计建造了许许多多高耸结构。早期的设计主要参考苏联五十年代的各类专业设计规范规程。待至六十年代、七十年代我国民用、工业部门先后制订了一些自己的专业设计规范规程，供设计使用，在建设中作出了贡献。

但是，在编制各类高耸结构专业设计规范规程时，每多偏重于分散进行，而对高耸结构总体缺少一项高层次的技术经济统一指导工作，因此我国各类高耸结构至今在结构可靠度，设计荷载和结构抗力，甚至设计方法等方面，均参差不齐，比较混乱，这与目前国际、国内工程结构设计标准化工作发展现状颇不相称。类同的高耸结构设计混乱情况在苏联、英、美、日本等国也延续到七十年代初期。之后在国际标准化的影响下，不断进行调整统一，而有所改进。

我国从70年代中期对建筑结构设计开展了结构可靠度及荷载组合的系统研究，于80年代初制订出《建筑结构设计统一标准》，作为修订各本建筑结构设计规范的依据，并采用了以概率理论为基础的极限状态设计方法，从而在建筑结构

设计方面迈出了一大步，并与国际标准组织（ISO）的标准做到并驾齐驱。近数年来，又在房屋（建筑）工程、港口航道工程，水利工程、铁道工程、公路工程的协作努力下开展了工程可靠度的研究，并于今秋将提出“工程结构可靠度设计统一标准”。这一标准乃是土建结构设计方面的第一层次的标准。同时，港口、水工、铁道工程、交通工程又分别在研究，制订各自的可靠度设计统一标准。这些与已颁布的“建筑设计统一标准”配套成为第二层次的标准。因此，再经一段努力，我国土木工程结构设计在有关结构可靠度统一标准的指引下，即可全方面推行以概率理论为基础的极限状态设计方法，而进入一个新的发展阶段。

高耸结构是土木工程结构中的一种特种结构。一个情况，它不仅种类多，而且涉及的生产、使用部门多，另一个情况，其现有的专业设计规范规程比较混乱，与目前土木工程结构的标准化发展现状不甚适应，为此国家标准主管部门特提出高耸结构设计规范规程的编制任务，不难理解，这本规范既是标准技术发展的需要，也是我国四化建设的需要。

高耸结构设计规范的编制原则

为使规范能适应国内标准化工作的发展趋势并满足四化建设的需要，高耸规范按照下列原则进行编制：

（1）高耸规范应是一本高层次的综合性结构设计规范，除应符合技术先进、经济合理、安全适应、确保质量等总要求外，并应对各类高耸结构的共性问题进行协调、平衡与统一。至于专业特性问题则由专业规范规程自行规定。

（2）高耸结构设计必须符合国情，又需尽量向有关国

际标准靠拢。以近年国内外高耸结构的科研成果及设计经验为主要编制依据。规范主要以《建筑结构设计统一标准》为准则，特别是结构可靠度和极限状态设计的原则。设计理论和方法应从70年代的极限状态定值设计法迈进到极限状态概率设计法。高耸规范中的术语符号、计量单位应采用现行国家标准《建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语》的规定。

(3) 遵照荷载规范和各本结构设计规范(钢结构、混凝土结构、地基基础、建筑结构抗震)81—86年的修订稿的基本规定、编制过程中做好对口工作。内容尽量减少重复，仅对高耸结构特别重要部分或为保持高耸规范系统性而考虑了有一定的内容搭接，(这也符合规范使用者的希望)。

(4) 高耸规范的荷载分类及组合主要参照荷载规范及抗震规范的有关规定。仅对高耸结构有显著影响的风荷载、地震作用及裹水荷载专门作了些条文规定。

高耸结构设计规范的编制过程

(1) 1982年上半年成立编制组，初步讨论确定规范章节，明确编写分工，会后分片包干拟订章节框架并草拟条文。82年底在高耸结构委员会年会上经过讨论收集改进意见。

(2) 1983年上半年完成规范草稿，83年秋在高耸结构委员会年会上讨论后，编制组进行修改，并于年底完成规范征求意见初稿，寄发全国有关设计单位广泛征求意见。

(3) 1984年秋将规范初稿连同全国意见在高耸结构委员会年会上讨论后，经编制组具体分析修改，并于84年底完

成规范征求意见稿。

(4) 1985年初将规范征求意见稿再寄发有关部门及主要设计单位征求意见,并寄送全国十二位专家进行详细审阅,取得了系统的意见,是年夏召开编制组工作会议。进行分析修改。

(5) 1986年先后参加荷载及各本建筑设计规范修订定稿审查会议,使内容得到进一步协调,于年底完成高耸规范送审稿,并组织了规范试设计工作。

(6) 1987年7月高耸规范召开了规范审查会议。会议提出了审查意见,并给予一定的评价。下半年经修改整理而完成高耸规范报批稿。

高耸结构设计规范试设计结果

试设计是以送审稿为基础,对比各部门的传统设计进行的。试设计共有193.5m送电线路铁塔,47m的 ZM_1 及 ZM_2 型送电线路塔,142m的电视塔,264m及148m拉绳无线电桅杆,74m微波塔,以及45m石油化工塔框架式基础和36m石油化工塔圆筒式基础等9项。试设计结果在规范审查会后稍作调整,新旧设计结果比较大致如下:

(1) 对于钢塔构件内力,一般增加5%~10%,相应的材料增加5%左右,仅个别构件增加材料达10%左右。

(2) 对于大量不同高度的送电线路,钢塔和电视塔总用钢量从基本相等到增加4%。

对于148m拉线无线电桅杆,由于风荷载的各种系数有些出入及设计方法的改变,总用钢量增加达8%。但拉线桅杆高度为264m时,则用钢量比较接近,仅增加1%。

(4) 对于74m微波塔, 由于风荷载各种系数有些出入及设计方法的改变, 总用钢量增加10%。

(5) 对于48m石油化工塔框架式基础用钢量基本相等, 但对36m石油化工塔圆筒式基础, 由于上部结构风振沿高度变化新旧规定不同, 以致用钢量增加9%。

(6) 对于混凝土圆筒形塔, 目前国内建成者尚少, 故未做试设计比较。至于烟囱试设计则留待烟规今后进行之。

二、高耸结构设计规范内容要点

规范共分总则、基本规定、荷载、钢塔架和桅杆结构、钢筋混凝土圆筒形塔、地基基础六章, 并附八个附录。

第一章 总 则

本章内容主要阐明:

(1) 编制本规范的目的和总要求, 以及本规范的适用范围。

(2) 高耸结构设计规范与结构设计基础标准、荷载及各本结构设计规范以及各类高耸结构的专业设计规范规程的关系。

(3) 根据高耸结构的特点、设计中必须同时考虑解决的若干施工及使用中的问题。

第二章 基本规定

本章主要阐明:

(1) 规范采用的设计方法是《建筑结构设计统一标准》所规定的、以概率理论为基础的极限状态设计方法,并交待承载能力及正常使用两种极限状态的概念。

(2) 规范划分高耸结构安全等级问题。所以只划分为一、二两个安全等级,是考虑到高耸结构一般均用于广播通讯,能源工业及能源输送等方面,不论平时或战时,其破坏后果的严重性均较大的缘故。

(3) 承载能力极限状态

①根据荷载规范的规定给出了承载能力基本组合设计表达式,及各类荷载的相应分项系数值。对偶然组合则只指明建立其设计表达式时的一般原则。

②对于在传统设计中采用不同荷载组合方式的各类高耸结构,规范通过宏观校准归纳,使其向《荷载规范》的组合模式靠拢一步,分别以风荷载、裹冰荷载、安装检修荷载、温度作用作为第一可变荷载给定其余参与组合的可变荷载的组合值系数。

③抗震设计遵照抗震规范的规定,在基本组合中采用了重力荷载 G_E 以泛指所有竖向荷载。其设计表达式、荷载分项系数、组合值系数等均自成一套。详细参见规范及条文编写说明。

(4) 正常使用极限状态

①对于正常使用极限状态规范按荷载(作用)的持久性从理论上给出短期及长期效应组合。但由于研究得还不多,目前仍可用过去的方法进行计算。

②规范根据过去的设计经验给出一般高耸结构的正常使用极限状态的控制条件(即限值),但当工艺或使用上有特

殊要求时可参照各专业设计规范规程的规定采用。

第三章 荷 载

本章主要阐明：

(1) 根据荷载规范的荷载分类原则将设计高耸结构有关的各种荷载分为永久、可变和偶然三类。对设计高耸结构占重要位置的风载、裹冰荷载及地震作用则专门列节叙述。

(2) 基本风压、风压高度变化系数及风载体形系数均采用荷载规范的规定。只根据高耸结构的特点作了下列修正或补充：

①根据荷载规范规定，设计高耸结构的风压用统计50年一遇，对特别重要的可用100年一遇，即按荷载规范的 ω_0 分别乘以重现期调整系数 $\mu_r = 1.1$ 或 1.2 采用。

②对风载体形系数，仅汇列了一些高耸结构有关体型的数据。所有系数值仍与荷载规范保持了一个体系。

(3) 风振

①顺风向风振采用荷载规范修订稿的规定，仅为使用方便，将风振系数原表达式转化为 $\beta_z = 1 + \xi \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2$ ，其中 ξ 、 ε_1 、 ε_2 可分别由系数表查得。这里应予注意，荷载规范修订稿（及本规范）对风振分析有所改进，它是根据多自由度体系，按随机振动理论及振动型分解法进行的，所得的风振系数自下而上沿结构高度逐渐增大。（与旧荷载规范不同）。这也是造成试设计用钢量要增大的原因之一。

②对于圆形截面的高耸结构在一定雷诺数范围内提出横向风振的计算。（详见规范正文及条文编写说明）。有时其效应与顺风向风振组合后，会控制设计的。横向风振列入规范

在国内外尚属首次。

(4) 本章给出裹冰荷载。构件裹冰后除增加了结构的自重外,还加大了结构构件的挡风面积,从而增大了风载。后者危险性较大,会使塔桅导线等遭致破坏。因此裹冰厚度必通过实际调查确定。规范给出的我国轻、重裹冰区及其标准裹冰厚度,只有参考意义。此外,规范还给出了裹冰重度以及裹冰高度递增系数等。裹冰荷载列入设计规范国内还是首次。

(5) 地震作用和抗震验算

①为了设计方便,规范阐明:在不同烈度条件下水平地震与竖向地震的如何组合,在某种场地及烈度条件下,可不验算抗震,以及在某种基本风压,场地及烈度条件下,钢筋混凝土圆筒形塔结构由风荷载控制等问题。

②阐明地震作用的各种计算方法及其应用。采用振型分解反应谱法给出了水平地震力及竖向地震力的计算。

③给出高耸结构抗震计算时的重力荷载代表值的取值等。

第四章 钢塔架及桅杆结构

本章主要内容为:

(1) 阐明钢塔桅设计时结构选型和选材的重要性,同时除满足计算外,尚应强调满足构造要求。选材应符合现行钢结构设计规范的规定。一般应采用低温冲击韧性较好的16Mn钢,3号镇静钢等钢种。同时为了防止腐蚀宜采用热镀锌或热喷涂技术作适当处理。

(2) 为了钢结构构件计算的需要,规范在附录一中给出了各种钢材和钢丝绳的强度设计值和弹性模量,以及螺栓

和焊缝等的强度设计值。这些设计指标摘自现行钢结构设计规范及有关国家标准。此外,根据设计经验对塔桅钢丝绳计算提出了初应力建议值。

(3) 塔桅结构中常遇的构件是轴心受拉、轴心受压构件和偏心受拉偏心受压构件。

①规范对轴心受拉和偏心受拉构件给出了截面强度计算公式,对轴心受压及偏心受压构件给出了构件稳定验算公式。稳定验算时,有构件长细比 λ 及受压构件稳定系数 φ 两个问题。

②规范略加简化后对塔桅弦杆、斜杆和横杆及横膈给出了 λ 计算公式。对不同格构式构件给出了换算长细比 λ_0 的计算公式。同时对各种构件规定了 λ 限值。

③列为规范附录二的不同钢种的构件受压稳定系数 φ ,可按不同 λ 查取相应 φ 值。(摘自现行钢塔结构设计规范)。

④规范列表给出了计算偏心受压构件时弯矩作用平面内和平面外的构件等效弯矩系数 β_{mx} 和 β_{1x} 。

⑤规范还给出格构式偏心受压构件的单肢强度计算及缀条、缀板的内力计算等。

(4) 螺栓、焊接及法兰盘连接是高耸结构常用的三种连接。规范系统地详细地分别介绍了计算方法。在此提请注意,塔桅钢结构的节点及连接是抗震设计中的关键部位。

(5) 根据钢塔桅结构使用特点对生产制作运输安装以及对焊缝、螺栓和法兰盘连接等提出若干具体构造、尺寸和精度要求,详见规范条文。

第五章 钢筋混凝土圆筒形塔

本章主要阐明下列内容：

(1) 圆筒形塔一般用于电视塔，也有用于排气塔和大跨越送电线路塔。国内到80年代才开始用以建造电视塔。当塔上装有方向性要求的设备时，工艺设计一般会提出设备所在位置处塔身的转角限值，为了满足这一控制条件，有时会影响到高塔外形设计及尺寸选择。

(2) 高塔是低频振动的结构，其自振周期一般在1秒以上。在脉动风作用下，游览平台处或塔楼上可能产生明显的振感，达到令人难以承受的程度，此时也得控制振动加速度和振幅。采用振型分解法计算振动加速度非常繁琐，规范仅推荐了一个简便计算方法，见规范公式(5.2.4)。

(3) 钢筋混凝土塔的动力特性计算，目前都采用多质点弹性体系结构的数值解法。塔的截面刚度可取 $0.85E_cI$ ；使用过程中由于开裂和塑性变形，截面刚度有所降低，为计算方便一般假定为定值而取 $0.65E_cI$ 。

(4) 根据混凝土结构设计规范修订稿的有关规定，高耸规范提出的塔筒承载力及裂缝宽度的计算，对于有孔洞的圆环形截面，规范还经推导而得相应的计算公式。具体公式推导，详见规范和有关文章及条文说明。为了便于计算塔筒水平受压区半角(系数) ϕ ，规范还以附录三给出 ϕ 角计算表。

(5) 截面设计时应考虑附加弯矩 ΔM 的影响。 ΔM 除规范正文给出了计算外，附录四和有关资料还提出了近似计算方法。