

無線電塔桅鋼結構

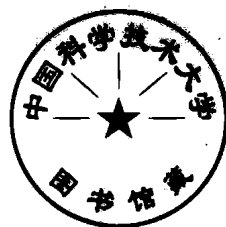
俞載道 王肇民 編



科技衛生出版社

無線電塔桅鋼結構

俞載道 王肇民 編



科技衛生出版社

內 容 提 要

本書系統地敘述無線電桅杆和無線電塔架設計,書中詳細地討論了桅杆和塔架的結構布置、構造特點、計算步驟及其架設方法等,并附以桅杆和塔架的計算實例。本書有助於讀者掌握無線電桅杆和無線電塔架及其類似結構的設計。

本書供高等工業學校教學及畢業設計參考,并適合于土建及電信工程技術人員在設計及施工時作為參考之用。

無 線 電 塔 桅 鋼 結 構

編 者 俞載道 王麟氏

科技衛生出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可證出 093 號

上海市印刷五廠印刷 新華書店上海發行所總經售

統一書號: 15 · 935

開本 850×1168 1/32 · 印張 9 · 插頁 3 · 字數 213,000

1958年10月第1版

1958年10月第1次印刷 · 印數 1—2,000

定價: (10) 1.60 元

序

随着我國社会主义建設事業蓬勃地开展：無綫电通訊，無綫电廣播等事業也得到了巨大的發展。目前在我國首都將建立中國第一個电视廣播中心，这不能不使人感到兴奋。我們知道：無綫电廣播中心的建立，必將同时要造天綫建筑——無綫电桅杆或無綫电塔架。因此，無綫电塔桅結構在今后將是一种常見的工程結構物。

無綫电桅杆和無綫电塔架鋼結構，本來是屬於“鋼結構”的一部分。通常往往將这部分的材料作为“鋼結構”書中的一篇或一章，因而不可能寫得完整而詳尽。关于無綫电塔桅結構方面的專著在國外也是比較不多的，在國內似乎还未見到过。因此，在今天編寫一本專門叙述無綫电塔桅結構方面的書籍想是有它一定的意义。

由于無綫电塔桅鋼結構原系“鋼結構”的一个組成部分，故在本書內容的安排上，凡屬於一般鋼結構範圍內的材料不再編入。編者在編寫时，假定讀者已經具有一般鋼結構、普通材料力学和結構力学等方面的知識，而這些要求，对于閱讀本書的同學們和設計技術工作者們來講應該是不成問題的。

本書組成部分共有九章和三个附錄。第一章略述無綫电波傳播方面的一般常識，無綫电塔桅結構的大概輪廓及其發展簡史等。第二章略述用于無綫电塔桅鋼結構方面的材料性能，包括作为塔桅結構本身材料的鋼料、鋼絲繩和絕緣材料等。第三章是最長而且也是很重要的一章。在這章中，凡是关于無綫电塔桅結構形式体系的選擇、尺寸的确定、各部分的布置以及詳細構造特点等都比較詳尽地加以叙述，同时对于各种布置方案用实际的数据加以分

析和比較。從第四章到第八章，按設計無線電塔桅結構的程序，詳盡地敘述了無線電塔桅結構方面的計算——從荷載計算起一直到塔桅的基礎。這部分的材料主要取自 T. A. 薩維斯基所著的“無線電桅杆計算原理”一書。原因是目前有關設計部門計算無線電塔桅結構所用的公式都取自該書，或蘇聯的無線電桅塔結構設計規範（由 T. A. 薩維斯基主編的規範中，其計算公式和該書一樣），凡原書中對某些計算公式的來源缺乏導演或正負號容易混淆之處，在本書中均加以補充和改進。無線電桅杆的动力計算方法是較現行的靜力計算方法更能真實地反映結構的受力工作情況；但由於這個計算方法比較複雜，目前在一般設計中還未普遍採用，同時限於本書篇幅，故在本書中不再介紹。如果讀者對於這個問題有興趣的話，則可參考上述 T. A. 薩維斯基所著一書或其他有關文獻。最後一章關於塔桅結構的架設僅對架設起重機械，塔桅結構的分段架設和整體架設等加以簡單扼要地描述；因為編寫這一章的目的，一方面是為了本書的完整性，另一方面是使同學們或設計技術工作者們對於塔桅結構的架設方面有一些必要的基本概念。

為了更好地說明塔桅結構的計算方法和步驟，特在書末附錄中附有無線電桅杆和無線電塔架的計算數例。在附錄三中列入 a 、 b 、 c 三角系數表，這樣可節省計算桅杆時的勞動量。

在本書中所引用的代表符號很多，由於字母的不足以及一般常用的慣例，往往一個字母代表兩種或甚至兩種以上不同的含義，例如 $[\lambda]$ 在第一章中代表波長，在以後又代表長細比。因此，為了避免誤解起見，除在文內說明外，並在卷首另附字母代表符號表以備查考。

本書是在“無線電桅杆鋼結構”講義的基礎上寫成的。該講義曾作為同濟大學工業與民用建築結構專業同學做無線電桅杆畢業設計的主要參考書。在本書編寫過程中，除增加了塔桅結構架設，

塔架構造和計算等部分外,原講義中的各章節均重新加以編寫。

最后,編者对于第一机械工業部第九設計院薛楚書总工程师在審閱本書手稿时,所給予極其宝贵的意見致以深切的謝意。

編者

1958年8月于上海同济大学

本書各章主要符号表

第一章

- f ——無線電波的頻率；
 V ——無線電波的傳播速率；
 λ ——無線電波的波長。

第二章

- C_x ——渦流系数；
 E ——彈性模量；
 E_κ ——鋼絲繩的縱向彈性模量；
 G ——剪切模量；
 g ——鋼絲繩單位長度的重量；
 g' ——一根鋼絲單位長度的重量；
 K ——鋼絲扭絞長度增加系数；
 K_1 ——鋼絲鍍鋅重量增加系数；
 n ——鋼絲繩中的鋼絲根數；
 α ——絞膨脹系数；
 γ ——鋼料的容積重；
 ϕ ——鋼絲扭絞成股的扭角；
 ψ ——鋼絲由股扭絞成鋼絲繩的扭角。

第三章

- H ——塔架或桅杆的高度；
 λ ——無線電波的波長；
 σ_0 ——纜繩的初拉应力。

第四章

- b ——塔桅結構的側面寬度；
 c ——裹冰厚度；

- C_x ——渦流系数；
 d ——杆件直徑或絛繩直徑；
 D ——杆件和裹冰直徑， $D = d + 2C$ ；
 D_{kp} ——因扭矩而產生的斜杆內力；
 e ——天綫至結構断面扭轉中心的距离；
 F ——結構的迎風面積；
 F_1 ——杆件和裹冰的截面面積；
 F_2 ——杆件的截面面積；
 g ——重力加速度；
 H ——塔架高度；
 K ——动力系数；
 M_{kp} ——天綫拉断对結構所產生的扭矩；
 n ——塔桅結構的面数；
 q_0 ——風压值；
 q_c ——裹冰單位長度的重量；
 R_e ——雷諾系数；
 T ——周期，或天綫的水平能力；
 V ——風速；
 w ——單位長度上的風荷載；
 W ——風荷載；
 α ——斜杆与水平綫的交角，或風与結構表面的交角；
 γ_c ——裹冰的單位容積重；
 ρ ——結構断面扭轉中心至結構側面的垂直距离；
 μ ——空气流动粘性；
 $(1 + \eta)$ ——立体系数；
 σ_0 ——絛繩初应力。

第 五 章

- A ——絛繩支座反力，或絛繩方程式中的簡式代号；
 b ——絛繩方程式中的簡式代号；
 B ——絛繩方程式中的簡式代号；
 E_k ——絛繩的彈性模量；
 f ——柔索綫矢高；
 F ——絛繩截面面積；

- g_l ——桅杆杆身單位長度的重量；
 G ——作用在桅杆上的集中荷載；
 H ——柔索水平拉力；
 ΔH ——絛繩結点因溫度变化而產生的垂直变位；
 $\Delta H'$ ——絛繩因杆身溫度变化而產生的伸縮；
 k —— H/q ；
 l ——柔索跨長；
 l_i ——桅杆杆身的長度；
 Δl ——絛繩因結点位移而生的伸縮；
 M_x ——弯矩；
 n ——結点的絛繩数；
 N ——桅杆的縱向力，或絛繩張力的縱向分力；
 p ——單位体積絛繩上的換算荷載；
 $p_{\kappa\sigma}$ ——單位体積絛繩上的等值換算荷載；
 P_y ——絛繩結点水平荷載；
 q ——柔索均布荷載，或作用在絛繩上的均布荷載的垂直于絛繩的分量；
 $\bar{q}$ ——單位長度絛繩自重，或單位長度上的絛繩和裹冰重；
 q_0, q_i ——在初始状态及在 i 状态下的 q 值；
 R^0 ——支座反力；
 S ——柔索全長；
 t° ——溫度；
 t_0°, t_i° ——在初始状态及在 i 状态下的溫度；
 U_n ——絛繩結点風压力；
 w ——單位長度上的風荷載；
 x ——坐标；
 y ——坐标，或絛繩結点的水平位移；
 α ——絛繩或桅杆的溫度綫膨脹系数；
 β ——絛繩傾角；
 γ ——絛繩結点位移偏角；
 δ ——絛繩結点的柔性或称結点支座順从性；
 φ ——風向与絛繩平面所成的交角；
 σ ——絛繩拉应力；

σ_0, σ_i ——在初始状态下及在 i 状态下的 σ 值;

ξ ——支座顺从性的系数;

η ——集中荷载影响系数;

第六章

a_k ——桅杆方程式中的三角系数;

A_k ——常数;

b_k ——桅杆方程式中的三角系数;

B_k ——常数;

c_k ——桅杆方程式中的三角系数;

C_k ——常数;

D_k ——常数;

D ——斜杆内力;

e ——结点偏心距;

E ——弹性模量;

F ——塔架杆件截面积;

F_n ——桅杆截面的净面积;

F_{2p} ——桅杆截面的毛面积;

F_p ——斜杆截面积;

G_k ——第 k 跨的桅杆自重;

J ——桅杆杆身断面惯矩;

J_0 ——塔架主材对自身形心轴的惯矩;

l ——支座结点间杆身的几何跨长,或塔架杆件长度;

M ——支座左边或右边的弯矩,或跨中弯矩,或扭矩;

M_e ——缆绳结点偏心弯矩;

n ——桅杆杆肢数目;或塔架面数;或塔架主材根数;

N ——桅杆轴向力,或塔架主材内力;

N_1 ——由于单位荷载所引起的塔架杆件内力;

N_p ——由于外荷载所引起的塔架杆件内力;

P ——水平作用力;

q_k ——桅杆缆绳结点间跨度上的均布横向荷载;

Q ——剪力或横向力;

r ——桅杆杆身断面的迴转半径;

P_k^0 ——作用在 l_k 及 l_{k+1} 跨上的外荷载在 k 支座上所引起的支座

压力;

R_k ——由于外荷载(包括作用在纜繩上的風荷载)在 k 支座上所引
起的支座压力;

$\bar{R}_k$ ——由于支座弯矩及軸向力在 k 支座上所引起的支座压力;

U_k ——第 k 个纜繩結点上的風压力;

Π_H ——桅杆断面的淨断面矩量;

W_{zp} ——桅杆断面的毛断面矩量;

x ——横坐标;

y ——縱坐标,或纜繩結点位移,或塔架某点的变位;

$[y]$ ——容許位移;

α ——斜杆与水平綫的交角;

α_k ——代号,等于 $\sqrt{N_k/EJ_k\xi_k}$;

β ——纜繩傾角;

δ ——纜繩結点順从性;

δ ——由于支座变位所引起的支座角位移;

λ_{npu} ——折算長細比;

φ_0, φ_1 , 及 φ_p ——中心受压杆件縱向弯曲折减系数;

$\varphi_k = \alpha_k l_k$;

θ ——桅杆軸綫在支座处的角位移;

$\nu = \frac{1}{\delta}$ ——結点支座剛度;

ρ ——扭心到塔架面的垂直距离;

σ ——应力;

$[\sigma]$ ——容許应力;

ξ ——考慮橫向力影响的系数;

ω ——塔架变位修正系数。

第七章

a_k ——桅杆方程式中的三角系数;

$a_{kf} = \sum_{p=i}^j v_p/S_f$ ——系数 B 的余因式;

b_k ——桅杆方程式中的三角系数;

B_i, B_f ——系数行列式展开式的系数;

c_k ——桅杆方程式中的三角系数;

D ——系数(S_{ij})的行列式;

E ——彈性模量；
 J_k ——桅杆杆身断面慣矩；
 l ——桅杆絛繩結点間的跨長；
 M_k ——支座弯矩；
 N ——軸向力；
 s ——穩定安全系数；
 $[s]$ ——容許穩定安全系数；
 $S = N/l$ ；
 S_{ij} ——准則方程組的系数；
 y_i ——准則方程組的未知数（表示結構变位），或絛繩結点变位；
 $\alpha_k = \sqrt{\frac{s \cdot N_k}{E J_k \xi_k}}$ ；
 $\beta = \frac{s \cdot S}{v}$ ——單位参数的穩定安全系数；
 $\varepsilon = e \cdot \operatorname{tg} \beta$ （ e 为絛繩結点偏心距， β 为絛繩傾角）；
 $\phi_k = \alpha_k \cdot l_k$ ；
 $\mu = v \cdot \frac{\varepsilon}{l}$ ；
 v ——絛繩結点支座剛度；
 $v_p = v \left(1 + \frac{\varepsilon}{l} \right) = \mu + v$ ；
 ξ_k ——考慮橫向力影响的系数。

第 八 章

b ——基礎底寬之半；
 B ——擋土板寬度；
 f ——土壤与基礎底面間的摩擦系数；
 G_ϕ ——基礎自重；
 E_{zp} ——基礎台階上的复土重；
 F ——基礎底面積；
 h_0 ——基礎地上部分的高度；
 h_1 ——絕緣支座高度；
 H ——基礎地下部分的埋置深度；或擋土牆高度；
 h ——風荷載合力作用綫与基礎面的距离，或擋土板上端的埋置深度；

- K ——地錨基礎的安全係數;
 $[K]$ ——規定的抗拉安全係數;
 $[K_c]$ ——規定的滑移安全係數;
 K'_c ——基礎受拉時的滑移安全係數;
 K_p ——基礎抗拉安全係數;
 $[K_{onp}]$ ——規定的傾復安全係數;
 l ——塔架相鄰柱腳的中心距;
 m ——工作條件係數;
 n ——超載係數,或土壤的空隙率;
 M_H^x, M_H^y ——作用在塔腳上的水平力(除去風荷載)對於基礎面繞 x 或 y 軸的彎矩;
 M_{onp} ——復力矩;
 P ——作用在桅杆上的垂直荷載的總和;
 R_0 ——作用於單位長度擋土牆上的土壓力;
 R_a ——單位長度上的主動土壓力;
 R_n ——單位長度上的被動土壓力;
 R_i ——作用在塔架基礎上的垂直力;
 R_p ——塔架基礎所受的拉力;
 R_c ——塔架基礎所受的壓力;
 T ——作用在桅杆中央基礎上的水平力,或纜繩拉力的合力;
 T_x, T_y ——作用在塔架基礎上的 x 或 y 方向上的水平力;
 T_x, T_y ——所有作用在塔架上的水平力在 x 或 y 方向上的分力;
 T_{max} ——在塔架基礎受拉的同時,作用在基礎上的 x 方向或 y 方向的最大水平力;
 W ——作用在塔架上的風荷載,或基礎底面積的截面矩量;
 α ——纜繩拉力合力與地面的交角,或擋土牆壁與鉛垂綫的夾角;
 β ——土壤表面與水平綫的交角;
 γ_0 ——土壤的單位容積重;
 λ_a ——主動土壓係數;
 λ_n ——被動土壓係數;
 ϕ ——土壤的內摩擦角;
 ϕ_0 ——擋土牆與土壤之間的摩擦角;
 $\psi = 90^\circ - \phi_0 - \alpha$;
 $[\sigma]$ ——土壤的容許壓應力。

目 錄

序	i
本書各章主要符号表	vii
第一章 概論	1
§ 1 無線電波的傳播	1
§ 2 各種波段電波的应用範圍	4
§ 3 中波廣播天綫及其場地的布置	5
§ 4 無線電桅杆和無線電塔架	9
§ 5 無線電塔桅結構發展簡史	12
第二章 材料	20
§ 1 概述	20
§ 2 鋼材	21
§ 3 鋼絲繩	25
§ 4 絕緣材料	29
第三章 塔桅結構組成部分的体系,形式,布置及其構造	
特点	34
§ 1 塔桅結構設計的基本原則	34
§ 2 絳繩的布置	35
§ 3 絕緣子,絳繩套管,固定子及絳繩拉緊設備	41
§ 4 桅杆和塔架几何尺寸的选择	45
§ 5 塔桅結構形式及其断面選擇	52
§ 6 塔桅結構的腹杆系統	58
§ 7 塔桅結構的構造	59

§ 8	塔桅內部及其另件構造	67
§ 9	塔桅結構的支座	71
第四章	計算荷載和作用力	78
§ 1	荷載的分類	78
§ 2	結構自重	78
§ 3	風荷載	79
§ 4	裹冰和雪	82
§ 5	溫度	84
§ 6	天綫荷載	84
§ 7	地震力	86
§ 8	其他荷載及作用力	87
§ 9	計算荷載的組合	87
§ 10	無線電塔桅結構的設計步驟	88
第五章	絳繩計算	89
§ 1	絳繩計算總述	89
§ 2	柔索原理簡述	90
§ 3	絳繩計算公式的導演	92
§ 4	絳繩結點水平荷載的計算	99
§ 5	由三根絳繩組成的結點、絳繩應力與結點變位的計算	102
§ 6	由四根絳繩組成的結點、絳繩應力與結點變位的計算	106
§ 7	絳繩工作的研究	109
第六章	桅杆及塔架的計算	115
§ 1	桅杆計算總則	115
§ 2	精確計算桅杆的方程式	122
§ 3	桅杆杆身內力的確定	129
§ 4	桅杆應力的驗算	133

§ 5	塔架計算	135
§ 6	塔架腹杆中的預加初拉力問題	140
§ 7	关于按極限状态來計算塔桅結構的問題	140
第七章	塔桅結構的穩定計算	142
§ 1	桅杆穩定問題概述	142
§ 2	桅杆整体穩定研究的精确方法	144
§ 3	桅杆整体穩定的近似計算法	147
§ 4	鉸鏈杆件系統穩定的計算	150
§ 5	平均参数法	155
§ 6	無綫电桅杆穩定的研究	160
§ 7	無綫电塔架的穩定問題	163
第八章	基礎与地錨	164
§ 1	塔桅基礎概述	164
§ 2	桅杆中央基礎	165
§ 3	塔架基礎	170
§ 4	絛繩地錨基礎	176
§ 5	蘑菇形地錨的計算	182
第九章	塔桅結構的架設	190
§ 1	概述	190
§ 2	架設起重机械	191
§ 3	桅杆架設前的准备工作	200
§ 4	桅杆杆身的分段架設	203
§ 5	塔架的分段架設	209
§ 6	塔桅結構的整体架設	211
§ 7	塔桅結構架設的保安技術措施	214
附錄		215
附錄一	204.5 公尺無綫电桅杆設計	215
附錄二	125 公尺無綫电塔架設計	242
附錄三	三角系数 $\bar{\alpha}$, $\bar{b}$, $\bar{c}$ 表	270
参考文献		272

第一章 概 論

§ 1 無線電波的傳播

無線電波是一種看不見的電磁波，它具有許多和光波完全相同的基本特性。

無線電波和光波一樣，以每秒 300,000 公里的速率傳播；這個速率相當於一秒鐘內繞地球赤道七圈半。無線電波還具有所謂能量散射現象，電波的能量隨著傳播距離的增加而逐漸減弱。電波穿過媒質時，可能被媒質吸收掉一部分能量。同時，無線電波在傳播的進程中，和光波一樣，亦會產生反射，折射和繞射等現象。

無線電波和光波之間的唯一區別就是：光波是看得見的，無線電波是看不見的；換句話說，也就是光波的頻率比無線電波的頻率高得多。

決定無線電波性質的基本特征，就是頻率和波長。無線電波的頻率、波長和傳播速率之間，有一定的關係。頻率是每秒鐘電波振動的次數，波長是每一次振動電波在空間所進行的距離。因此，每秒鐘電波總共所進行的距離，應該是頻率和波長的乘積。這乘積也就是無線電波的傳播速率。表達無線電波的頻率、波長和傳播速率之間的關係的公式如下：

$$V = \lambda \times f; \quad (1-1)$$

式中 V ——無線電波的傳播速率 3×10^8 公尺/秒；

λ ——無線電波的波長(公尺)；

f ——無線電波的頻率(周/秒)。

從公式(1-1)中可以看出，由於無線電波的傳播速率是常數，