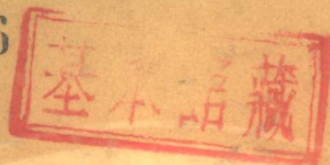


70056



高等學校教學用書

桿件與桿系之彎曲 及穩定性

Л. И. 考洛特金
А. З. 勞克辛著
Н. Л. 西維爾斯

高等教育出版社





定價 ¥2.74

高等學校教學用書



桿件與桿系之彎曲 及穩定性

Я. И. 考洛特金

A. З. 勞克辛著

Н. Л. 西維爾斯

陳鐵雲 楊代盛 王本立 譯
金德賢 李學道

高等教育出版社



本書係根據蘇聯國立機器製造與船舶製造科技書籍出版社(Государственное научно-техническое издательство машиностроительной и судостроительной литературы)1953年出版的Я. И. 考洛特金(Я. И. Короткин), А. З. 勞克辛(А. З. Локшин)和Н. Л. 西維爾斯(Н. Л. Сиверс)合著“桿件與桿系之彎曲及穩定性(船舶結構力學)” [Изгиб и устойчивость стержней и стержневых систем (Строительная механика корабля)]譯出。原書經蘇聯文化部前高等教育總署審定為造船學院的教學參考書。

本書係由上海交通大學造船系陳鐵雲、楊代盛、王本立、金德賢及李學道五位教師集體翻譯，並經互校，其分工如下：序、緒論、第一章—金德賢譯；第二章—金德賢、王本立譯；第三章、第四章、第五章—楊代盛譯；第六章—王本立、李學道譯；第七章、第八章—陳鐵雲譯。

桿件與桿系之彎曲及穩定性

Я. И. 考洛特金等著

陳鐵雲等譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

書號 493 (課 431) 開本 850×1168 1/32 印張 16 4/16 插頁 4 字數 415,000

一九五五年十二月上海第一版

一九五六年四月上海第二次印刷

印數 1,001—2,500

定價(8) 2.74

目 錄

序

緒論	9
第一章 應用虛位移原理研究彈性體的平衡問題	13
§ 1. 廣義座標及廣義力	13
§ 2. 彈性體的虛位移原理	17
§ 3. 彈性體系的基本性質	18
§ 4. 彈性體系的變形位能, 克拉必隆定理, 卡斯奇梁諾定理, 變形的基本情況 的變形位能計算	20
§ 5. 最小功原理	24
§ 6. 位移互等原理	27
§ 7. 應用虛位移原理研究桿系的平衡問題	28
第二章 直樑的彎曲	37
§ 1. 樑的彎曲理論的基本關係, 符號法則	37
§ 2. 等直樑彎曲的微分方程式及其積分, 邊界條件	41
§ 3. 初參數法	48
§ 4. 自由支持在剛性支座上的連續樑的計算	54
§ 5. 自由支持在等距剛性支座上並在一個跨度內承受荷重的不變斷面多跨連續 樑的計算, 支點力偶係數	65
§ 6. 自由支持在獨立彈性支座上的連續樑的計算	71
§ 7. 各種獨立彈性支座的柔性係數的確定	80
§ 8. 階梯變斷面樑的計算	86
§ 9. 變斷面樑的彎曲微分方程式的積分	88
§ 10. 應用卡斯奇梁諾定理計算變斷面樑	92
§ 11. 應用位移互等原理建立影響線	96
§ 12. 角變形法的基本依據	102
§ 13. 在支座上彈性固定的連續樑的彎曲	104
§ 14. 開放型薄壁型鋼彎曲時切應力的確定	107

§ 15. 由剪切所形成的撓度的確定和解靜不定性剪切的考慮	110
§ 16. 按照極限荷重來計算樑	113
第三章 直桿的平面剛架計算	119
§ 1. 計算方法和剛架分類	119
§ 2. 節點不動的簡單剛架	124
§ 3. 節點可動的和直角邊的簡單剛架	125
§ 4. 節點可動的斜角邊簡單剛架	128
§ 5. 不動節點的複雜剛架	134
§ 6. 可動節點的直角邊的剛架	138
§ 7. 對稱結構計算的簡化	140
§ 8. 線性方程組的演算	141
§ 9. 節點的逐步平衡法	150
第四章 曲桿剛架	162
§ 1. 基本假設。靜定曲桿剛架位移之決定	162
§ 2. 解求曲桿剛架的靜不定性	166
§ 3. 圓環彎曲研究。疊加法	173
§ 4. 均勻分佈壓力的特性	179
§ 5. 組合環的計算	183
§ 6. 變斷面和任意形狀的環的計算	190
§ 7. 由圓弧組成的長圓環計算	193
第五章 在連續彈性基礎上的梁的彎曲	199
§ 1. 在連續彈性基礎上的梁的彎曲微分方程及其積分	199
§ 2. 無限長梁的彎曲	205
§ 3. 應用初因數法研究彈性基礎樑的彎曲	210
§ 4. И. Г. 布勃諾夫問題及彈性基礎上單跨梁彎曲之其他情形	217
§ 5. 計算在支點斷面彈性固定的彈性基礎梁。支點力偶係數, И. Г. 布勃諾夫 公式	234
§ 6. 在彈性基礎上的連續梁的三彎矩定理	239
§ 7. 應用 Г. Б. 克利舍維奇函數計算連續彈性基礎梁	240
§ 8. 剪力對彈性基礎樑的彎曲的影響	245
§ 9. 在剛性變化的彈性基礎上的變斷面樑計算	251
第六章 平面板架計算	261
§ 1. 基本假設	261

§ 2. 用分佈荷重代替集中力時, 樑的彈性線和彎矩值誤差的判定	267
§ 3. 節點數目很少的板架的計算, 靜不定值的選擇	271
§ 4. 具有很多同樣的主向樑和一根交叉構件的板架的計算	278
§ 5. 有數根交叉構件的板架, И. Г. 布勃諾夫的基本微分方程式組	283
§ 6. 按照“主彎曲”法計算有數根交叉構件的板架, 基本方程式	287
§ 7. 用展開成自由振動形式的級數的方法來計算具有數根交叉構件的板架	303
§ 8. 對稱地固定的交叉構件和荷重沿長度不變的情況	312
§ 9. И. Ф. 伯潑考維奇教授的綜合問題	324
§ 10. 計算平板架的近似方法	328
§ 11. 板架極限荷重的決定	338
第七章 桿件的複雜彎曲	344
§ 1. 桿件複雜彎曲的微分方程式	344
§ 2. 單跨度桿件兩端的邊界條件	345
§ 3. 等直桿件複雜彎曲的微分方程式的一般積分	347
§ 4. 軸向壓縮的情形	348
§ 5. 在桿件的複雜彎曲時力作用的疊加原理的應用	349
§ 6. 受有支座彎矩的桿件的彈性線	351
§ 7. 受均勻分佈荷重的自由支持的桿件	354
§ 8. 受均勻荷重的剛性固定桿件	359
§ 9. 端點同樣彈性固定的桿件的解	361
§ 10. 在複雜彎曲時多跨度桿件的計算	364
§ 11. 結論, 對於船舶骨架樑的複雜彎曲的影響的估價	366
第八章 桿件的穩定性	369
§ 1. 喪失穩定性現象的分類	369
§ 2. 穩定的和不穩定的平衡狀態, 臨界荷重	371
§ 3. 決定歐拉荷重的方法	374
§ 4. 自由支承的軸向壓桿的穩定性(基本歐拉的情形)	375
§ 5. 另幾種固定式樣的軸向壓桿的穩定性	377
§ 6. 兩端彈性固定的等直桿件的穩定性	381
§ 7. 支架在剛性支座上的連續桿件的穩定性	387
§ 8. 根據利用中性平衡微分方程式來求歐拉荷重的方法	390
§ 9. 尋求桿件歐拉荷重的能量法	392
§ 10. 在一般情形裏用能量法解決問題的計算公式	393
§ 11. 用能量法求歐拉荷重的例題	397

§ 12. 桿件中性平衡微分方程式的循序漸進積分法	403
§ 13. 組合法	408
§ 14. 布勃諾夫—加蘭金法	410
§ 15. 等截面的均勻壓桿的臨界荷重的決定	411
§ 16. 對於不符合虎克定律的影響的不均勻的壓縮桿件的近似計算	419
§ 17. 位於連續彈性基礎上桿件的穩定性	422
§ 18. $\Phi. C.$ 雅辛斯基的問題	425
§ 19. 船體骨架樑的彎曲平面形狀的穩定性	431
§ 20. 彈性支座上單跨度桿件的穩定性，支座的臨界剛度	448
§ 21. 獨立彈性支座上的連續桿件的穩定性	450
§ 22. 在許多等間距等剛性的彈性支座上自由支承的壓桿的穩定性問題	455
§ 23. 簡單鉸架的穩定性	462
§ 24. 某些剛架結構的穩定性問題	469
§ 25. 受壓曲桿的承載能力	474
附錄	482
參考書目	519

序

由於蘇聯共產主義建設速度的增長，以及新航線的開闢，在蘇聯造船工業面前提出了新的任務。

在勝利地解決上述問題中，我們的担負培養高度熟練的造船工程師人才的造船工業高等學校應該起着很大的作用。

如第十九次黨代表大會關於蘇聯發展國民經濟的第五個五年計劃的指令中所規定的那樣，爲了擴大工程師人才的培養就必須有合適的教材。

由於 И. Ф. 伯潑考維奇教授的專門著作“船舶結構力學”篇幅很大，而且所包括的問題很廣，不能作爲學生在該課程方面的教學參考書，所以列寧格勒造船學院船舶結構力學教研室的全體成員就企圖編著上述課程的每一篇的教學參考書。

本書包括船舶結構力學教程的第一篇材料——“桿件與桿系之彎曲及穩定性”。此教程是根據蘇聯高等教育部所批准的教學大綱編寫成的。

本書內應用了很多新的解法，這些解法在以前出版的教材中是沒有提到過，例如 А. А. 庫裘莫夫所研究出的鈹架彎曲及穩定性的計算方法，船體骨架樑平面彎曲形式的穩定性的計算方法等等。我們用新的方式來說明對稱固定樑的支點力偶係數的普遍關係，和在求非均勻受壓桿件的臨界荷重時考慮不符合虎克定律的計算方法，並作出關於應用 П. В. 克利席維奇函數計算彈性基礎樑問題的新見解，以及其他等等。

著者打算使本教學參考書不僅對學生有益，而且對從事於船體強

度問題的工程師們也有幫助。

在編寫本教學參考書時，著者之間的分工如下：

第一，二，三章由 И. Л. 西維爾斯編寫；第五，六章由 А. Б. 勞克辛編寫；第七，八章由 Я. И. 考洛特金編寫；第四章由 Я. И. 考洛特金與 А. Б. 勞克辛共同編寫。

著者將以感謝的心情來接受讀者的批評性意見。

著者

緒 論

有如每一種工程建築一樣，船舶必須具有足夠的強度和剛性，亦即具有在使用期間能承受作用於其上的荷重而不致損壞與發生巨大變形的能力。

在滿足所有強度和剛性的條件下，使船體重量儘量小是特別重要的，因為船體過重就會使它的裝載量、航程等減少。

使工程師能夠用合理方法來計算建築物的強度和剛性的這門科學叫做結構力學。

結構力學應當解答下列問題：

(1) 當建築物受到外力系作用時其內部將會產生怎樣的應力——內力問題；

(2) 在建築物使用時將有怎樣的外力作用於其上——外力問題；

(3) 在建築物內將允許怎樣的應力和形變而不致損壞其強度和剛度——許用應力(形變)問題。

船舶結構力學就是解答適用於船體上的這些問題。

船體強度問題首先是由彼得堡科學院院士廖那達·歐拉研究出來的。他同時也奠定了對船舶結構力學起着巨大作用的彈性體系之穩定性理論。

成為一門科學的船舶結構力學是在二十世紀初期由蘇聯 И. Г. 布勃諾夫教授的著作所奠立的。И. Г. 布勃諾夫的著作在這門科學裏是劃時代的。他提出了並且部分地解決了幾乎所有到現在仍為學者們所研究的基本問題。

在 1912 年和 1914 年分兩卷出版的他的著名教程“船舶結構力學”

的序言上，И. Г. 布勃諾夫寫着：

“本教程的目的是在講述與船體強度計算有關的結構力學部分，並且說明怎樣運用已得到的結論來決定各種船體結構的強度尺寸。在教程的第一卷內探討關於樑的強度問題，在第二卷內講述關於鈹架及鈹的知識，而後一卷才是真正的船舶結構力學。因此，在本書內不得不詳細地講述差不多在一般教程內所沒有的結構力學的某些部分，而所有那些與所提出的問題沒有直接連繫的部分就大大地縮減，甚至完全略去”。

要簡單地闡述在這經典著作中所賦予的一切新的內容是困難的。但是僅僅提到平面鈹架的彎曲及穩定性計算理論的奠立和由伊萬·蓋里哥耶維奇·布勃諾夫所創出的微分方程之積分法，就足以說明 И. Г. 布勃諾夫是一位卓越的教授。

在 1915 年 В. Г. 迦列爾金院士所提出的微分方程的積分法，實質上與 И. Г. 布勃諾夫法是一致的。現在這方法是以迦列爾金法廣泛地爲人所熟知，雖然按公道來講應該稱之爲布勃諾夫-迦列爾金法。

А. Н. 克雷洛夫院士對船舶結構力學作出了巨大的貢獻。他給出了決定作用於海洋船舶上的外力的科學方法，並建立了船舶結構力學的另一篇——船體振動。

在蘇聯，與社會主義建設任務相連繫着的船舶結構力學的 巨大發展是開始於二十年代的後半期，而且它是反映在 И. Ф. 伯潑考維奇教授，Ю. А. 西曼斯基教授及其他等的著作中。

在 И. Ф. 伯潑考維奇教授的著作中，應當特別指出的是關於鈹架和由支挺加強的鈹之穩定性的研究，關於有若干交叉構件的鈹架之彎曲計算的研究，關於求寬鈹樑翼鈹的減縮係數的研究，以及其他等。

廣泛熟知的 И. Ф. 伯潑考維奇關於“船舶結構力學”教程的專門著作真正是這一方面的科學知識的百科全書，而且在全世界的科學文獻中也沒有與之相匹的。

1946年 И. Ф. 伯潑考維奇的這部專著榮膺了斯大林獎金一等獎。討論在週期性和瞬時性的荷重作用下船體及其個別部分的計算之 Ю. А. 西曼斯基的著作“船體結構的動力計算”同樣也榮膺了斯大林獎金一等獎。

船舶結構力學的蘇維埃學派把正在繼續勝利地發展這門科學的許多研究工作者團結在自己的隊伍裏。

在緒言裏我們沒有可能提出所有蘇維埃學者在船舶結構力學方面的無數有價值的著作。在講述到本教程的相應問題時我們將再提到這些著作。

雖然毫無疑義地船舶結構力學過去曾對飛機結構力學的發展有過影響,但是直到現在為止,船舶結構力學稍為脫離了結構力學的其他部分而獨立發展的。

從船體計算時所遇到的那些問題的特殊性裏應該可以找到關於這個問題的說明。

蘇維埃學者在桿系計算理論上作出了巨大的貢獻。值得特別提出的是 В. З. 佛拉索夫和 А. А. 烏曼斯基教授關於細長桿件計算理論的著作, В. А. 高爾布諾夫和 Ю. В. 克洛道夫關於空間剛架計算的著作, А. Р. 爾讓尼采關於組合桿件計算的著作, А. А. 果茲捷夫和 И. М. 拉濱諾維奇關於剛架的著作。雖然這些研究工作尚沒有在船舶結構力學方面的文獻中充分地反映出來,但是毫無疑義地這對船體強度上的有關問題的研究是有良好影響的。

船舶結構力學係造船系基本課程之一。列寧格勒造船學院採用下列順序來講授這門課程。在第五學期內學習桿件與桿系之彎曲及穩定性問題,而在第六學期內講授板與殼的彎曲及穩定性問題。船舶結構力學的前兩篇與在第二學年學習的材料力學是有區別的,這個區別不僅是在研究的方法上而且也在它們所分析問題的複雜程度上。在第七學期內學習與船舶結構力學有密切關係的彈性理論問題。因此這三個

學期完全是化在研究內力的問題上。在第八學期內學習船體振動的一篇，這是研究在週期性和瞬時性的荷重作用下的船體結構性能問題的一篇。第五學年的全部教學大綱內容就僅僅在船體強度的研究上。船舶結構力學教程的前面所有幾篇就是解決與船體強度的實際計算有關的諸問題之理論基礎。在教程的這一篇裏，外力和許用應力的諸問題以及船體的合理設計的問題將特別加以研討。

第一章 應用虛位移原理研究 彈性體的平衡問題

§ 1. 廣義座標及廣義力

研究彈性體的性質就需要研討作用在物體上而使它變形的外力所作的功，以及阻止此變形的內力所作的功。跟着物體的變形它所有各點，包括力的作用點在內也同時發生位移。

彈性體上諸點在空間中所完成的任何位移在笛卡爾座標軸向內可以分解成爲三個移動位移。空間內一點的全位移在笛卡爾座標軸上的這三個投影稱之爲笛卡爾座標，且用相應於 x, y 和 z ^① 的三個座標軸的 u, v 和 w 來表示。

爲了解決結構力學的許多問題，用某些別的，通常稱爲廣義座標的座標參數來代替笛卡爾座標，將是合理的。

但是，能夠稱爲廣義座標的僅是選用來代替笛卡爾座標的這種座標組，由它們可以完全決定彈性體或彈性體系上的所有諸點的位移。

例如，對於沿着直線移動的而同時繞着垂直於移動位移平面的軸迴轉的物體而言，物體上所有諸點的位移將完全決定於兩個座標——迴轉軸的移動位移和對此軸的轉角。因而在此個別的情況下，可以把移動位移與轉角當作是廣義座標。

上面所選擇的廣義座標組並不是唯一的。

物體的同樣一個位移可用各種的廣義座標組來表示。就上述物體位移的情況，我們可以把對於垂直於移動位移平面的兩個平行軸的轉

① 不應把我們所引用的座標概念與點的座標相混淆。

角當作是它的廣義座標。

完整體系^①的廣義座標的數目與自由度的數目是相同的。同時每一個笛卡爾座標與廣義座標之間有某種函數關係，此種函數關係由體系的幾何結構和廣義座標的選擇所決定。

我們立即看到廣義座標應當這樣來選擇，以便使它們成為獨立的座標，而且在廣義座標任意的增量下也不破壞加於該體系上的約束。

由於彈性體的相對剛性，亦即在力作用下它的變形是微不足道的，所以我們就只應該利用物體上諸點的小位移，這樣就足以把笛卡爾座標與下式的廣義線性關係連繫起來：

$$\left. \begin{aligned} u_i &= \sum_{k=1}^n \alpha_{ik} q_k \\ v_i &= \sum_{k=1}^n \beta_{ik} q_k \\ w_i &= \sum_{k=1}^n \gamma_{ik} q_k \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 u_i , v_i 和 w_i —物體之第 i 點的全位移在座標軸 x , y 和 z 上之投影；

q_k —廣義座標；

α_{ik} , β_{ik} 和 γ_{ik} —數值係數。

對彈性體來講，自由度的數目 n 是無限大，但是在近似解法中 n 只得取作是有限的和足夠小的整數。

其已完全確定的廣義力系是和所選擇的廣義座標系統相適應的。

爲了弄清廣義力的概念，設作用在物體上的外力在笛卡爾座標軸上的投影爲 X_i , Y_i 和 Z_i ，而其作用點的全位移在這同樣軸上的投影相應爲 u_i , v_i 和 w_i 。

設體系所有諸點的位移有無限小的增量，求出外力對此無限小位

^① 完整性的概念假定已在理論力學教程中知道。參閱 Л. Г. 洛強斯基和 А. И. 路爾葉合著“理論力學”第二卷。

移所作的功。

就整個物體而言，此功可由下面的總和求得

$$\delta R = \sum_i (X_i \delta u_i + Y_i \delta v_i + Z_i \delta w_i). \quad (2)$$

將式(1)代替式(2)內的位移增量 δu_i , δv_i 和 δw_i , 且調換所得功的式子的總和次序, 得

$$\delta R = \sum_{k=1}^n \left\{ \sum_i (X_i \alpha_{ik} + Y_i \beta_{ik} + Z_i \gamma_{ik}) \right\} \delta q_k. \quad (3)$$

令式(3)的大括弧內的量為 Q_k , 以後就稱之為廣義力, 因而這廣義力應了解為在外力的功的增量式子內的相應之廣義座標增量 δq_k 的乘數。

於是,

$$Q_k = \sum_i (X_i \alpha_{ik} + Y_i \beta_{ik} + Z_i \gamma_{ik}). \quad (4)$$

下面遵循所取的廣義力的定義, 介紹求廣義力的程序。

設廣義座標中的一個給以無限小增量, 而其餘所有的仍保留不變, 計算所有外力對此位移所作的功。在求得的功之式子內廣義座標增量的乘數, 就是我們所需要的廣義力

例題 1. 假定位於一平面內的一些集中力 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ 作用於物體上(圖 1)。物體在上述力作用之下可以有沿 OX 和 OY 軸向的移動位移與繞着通過 O 點且垂直於圖面的軸 OZ 轉動。

把移動位移在 OX 和 OY 軸上的投影 u 和 v 與繞 OZ 軸的轉角 φ 當作廣義座標, 且給予

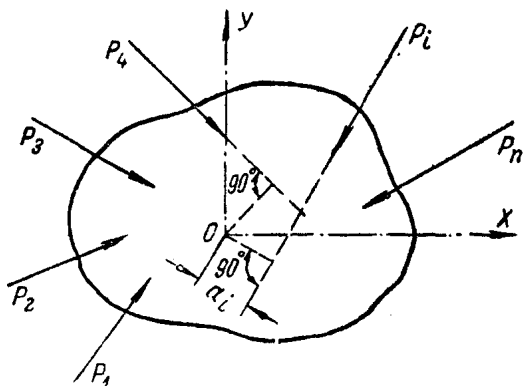


圖 1