

中等專業學校教學用書

船舶結構力學

H. C. 索洛明科
B. C. 楚維可夫斯基 著
Я. Ф. 沙羅夫

高等教育出版社

中等專業學校教學用書



學 力 構 結 舶 船

И. С. 索洛明科, В. С. 楚維可夫斯基, Я. Ф. 沙羅夫著
張 孝 鏞 等 譯

高 等 教 育 出 版 社



本書係根據蘇聯國立機器製造及船舶製造科技書籍出版社 (Государственное научно-техническое издательство машиностроительной и судостроительной литературы) 1954 年出版, 索洛明科 (Н. С. Соломенко)、楚維可夫斯基 (В. С. Чувиковский) 和沙羅夫 (Н. Ф. Шаров) 合著並由沙羅夫總校訂的“船舶結構力學”(Строительная механика корабля) 一書譯出。原書經蘇聯運輸及重型機器製造工業部教育司審定作為船舶製造中等技術學校教學參考書。

全書共分四部分: 前兩部分敘述作為船體基本構件的梁和板的彎曲和穩定性的理論和計算以及板格和框架的計算。後兩部分敘述船體及其個別結構的強度計算和船體振動。

本書可作船舶製造中等技術學校的教學參考書, 此外也可供造船學院非造船專業的學生及造船修船部門設計人員和工程技術人員作參考之用。

本書由張孝鏞、嚴似松、卞燮昌合譯, 經王今校對, 並由張孝鏞總其成。

船 船 結 構 力 學

Н. С. 索洛明科, В. С. 楚維可夫斯基, Н. Ф. 沙羅夫著

張 孝 鏞 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 504(課 443) 開本 850×1168 1/32 印張 13 6/16 字數 340,000

一九五六年一月上海第一版

一九五六年一月上海第一次印刷

印數: 1—1,200

定價: (8) 洋 1.99

目 錄

序	9
緒論	11

第一部分 梁、交叉構材、框架

概論	14
第一章 直梁的彎曲	16
§ 1. 純彎曲時的正應力	16
§ 2. 梁在橫向荷重下作平彎曲的一般情形	20
§ 3. 彎曲時的切應力	24
§ 4. 直梁彎曲的微分方程式	28
§ 5. 梁彎曲的靜定情況	37
§ 6. 梁彎曲的超靜定情況	40
§ 7. 在剛性支座上的連續多跨梁	45
§ 8. 應用三彎矩定理計算連續多跨梁	46
§ 9. 關於在獨立彈性支座上的連續多跨梁計算的概念	54
§ 10. 位能。卡斯奇梁諾定理	58
§ 11. 關於梁在實體彈性基礎上彎曲的概念	64
§ 12. 等直梁的複雜彎曲	69
§ 13. 梁彎曲時梁剖面的選擇	71
第二章 鉸格和直線平框架的計算	77
§ 14. 基本概念	77
§ 15. 鉸格作用的一般特性	78
§ 16. 具有少數梁的鉸格之計算	79
§ 17. 複雜鉸格的計算	82
§ 18. 框架的作用的一般特性	82
§ 19. 少數結點的框架計算	83

第三章 桿的穩定性	86
§ 20. 穩定的和不穩定的彈性平衡狀態	86
§ 21. 受軸線壓縮作用的桿的平衡微分方程式。各種桿端固定情況下的臨界荷重	87
§ 22. 偏離於虎克定律的情形對於桿的穩定性的影響。關於歐拉荷重和臨界荷重的概念	92

第二部分 鈹的彎曲和穩定性

概論	97
第四章 絕對剛度鈹的筒形彎曲	101
§ 23. 按筒形面而撓曲的鈹	101
§ 24. 絕對剛度鈹筒形彎曲的微分方程式	102
§ 25. 按筒形面撓曲並自由擺支於剛性長方形周界上的鈹之計算	108
§ 26. 按筒形面撓曲並嵌固於剛性長方形周界上的鈹之計算	110
§ 27. 關於絕對剛度鈹的筒形彎曲的若干說明	111
第五章 絕對剛度鈹彎曲的一般情形	113
§ 28. 絕對剛度鈹彎曲的微分方程式	113
§ 29. 邊界條件	121
§ 30. 解答關於長方形鈹彎曲的課題的特點	121
§ 31. 自由擺支在剛性周界上並受到按正弦規律而分佈的橫向荷重作用的鈹的彎曲	125
§ 32. 應用三角級數研討自由擺支在剛性周界上的絕對剛度鈹的彎曲	128
§ 33. 絕對剛度鈹的變形位能	131
§ 34. 應用能量法研討絕對剛度鈹的彎曲	133
§ 35. 作用於中間面中的荷重對鈹彎曲的影響	136
§ 36. 絕對剛度鈹的計算——根據手冊和表格	140
第六章 有限剛度鈹的彎曲	147
§ 37. 基本概念	147
§ 38. 受橫向勻佈荷重和拉伸鏈鎖力作用的長的長方形鈹的彎曲因素之決定	151
§ 39. 鏈鎖應力之決定	159
§ 40. 總結	162
第七章 鈹的穩定性	164
§ 41. 基本概念	164

§ 42. 自由欄支在剛性周界上並在兩個互相垂直的方向上受到壓縮的長方形板的穩定性	165
§ 43. 自由欄支在剛性周界上並在一個方向受到壓縮的長方形板的穩定性	167
§ 44. 相對兩邊自由欄支在剛性周界上的長方形板的穩定性	170
§ 45. 應用能量法求解板的穩定性的課題	176
§ 46. 關於用剛性肋材扶強的板的穩定性	178
§ 47. 板在失去穩定性之後承受附加壓縮荷重的能力	182

第三部分 船體的總強度和局部強度

概論	189
第八章 船體及其個別結構的強度計算的基礎	191
§ 48. 船體和作用於船體的荷重、船體總強度和局部強度	191
§ 49. 進行強度計算的程序	194
§ 50. 鋼的強度特徵	195
§ 51. 強度假設、臨危應力和容許應力	201
第九章 船舶的總強度	203
§ 52. 基本概念	203
§ 53. 計算船體總強度的程序	205
§ 54. 在靜水中的彎矩和剪力之決定	211
繪製梯級重量曲線	211
繪製梯級浮力曲線	216
決定靜水中的剪力和彎矩	221
§ 55. 將船舶設置於波浪上及附加剪力和彎矩之決定	225
§ 56. 波峯和波谷上的總彎矩和總剪力之決定	231
§ 57. 船體在波浪上作總彎曲所產生的應力之決定(相當梁的計算)	234
相當梁的第一次近似計算	237
相當梁的第二次近似計算	240
第十章 船體局部強度計算	252
§ 58. 船底板格的強度計算	252
外殼板和內底板的計算	253
縱防撓肋材的計算	254
板格梁的計算	254
§ 59. 甲板和平台的強度計算	256

§ 60. 艙壁的強度計算	259
總述	259
艙壁受橫向壓力作用的計算	260
艙壁骨梁梁的計算	261
§ 61. 舷側板格的強度計算	263
第十一章 銲接合的強度計算	266
§ 62. 銲接合的基本型式和一般性徵	266
§ 63. 對接接合	267
§ 64. 搭接接合	269
§ 65. 搭鉸接合	272
§ 66. T 形接合	272
§ 67. 切口銲接合和電鉚	275
§ 68. 計算銲接合強度時的容許應力	276
第十二章 鉚接合的強度計算	279
§ 69. 鉚接合的一般性徵、鉚釘的工作條件	279
§ 70. 鉚接合的型式和計算	281
 第四部分 船舶振動和強度的動力計算	
概論	285
第十三章 振動運動學	289
§ 71. 基本定義	289
§ 72. 振動的矢量解釋	291
§ 73. 諧和振動的疊加	293
§ 74. 拍	295
§ 75. 振動分解為幾個分諧振	296
第十四章 一個自由度體系的振動	299
§ 76. 自由度	299
§ 77. 振動方程式之組成	299
§ 78. 振動微分方程式的解	305
§ 79. 阻尼與時間成比例的有阻尼自由振動	311
§ 80. 無阻尼的強迫振動	316
§ 81. 有阻尼的強迫振動	324

§ 82. 測量振動的儀器	327
第十五章 突加力和短時力在具有一個自由度體系上的作用	330
§ 83. 概述	330
§ 84. 突加恆力對於體系的作用	331
§ 85. 突然附加於體系的恆值力 P_0 經過時間 T 以後突然去除所生的作用	333
§ 86. 衝量對體系的作用	335
§ 87. 按任意規律隨時間而變的力對體系的作用	336
§ 88. 按折線隨時間而變的力對體系的作用	337
§ 89. 按正弦規律隨時間而變的短時力對體系的作用	339
§ 90. 當存在縫隙時體系在突加恆值力作用下的位移	342
§ 91. 總結	346
第十六章 若干個自由度體系的振動	347
§ 92. 兩個自由度體系的自由振動	347
§ 93. 兩個自由度體系的強迫振動	353
§ 94. 若干個自由度體系的自由振動	356
§ 95. 彈性物體的振動	363
§ 96. 確定具有若干個自由度的體系和彈性物體的主自由振動頻率的近似法	368
第十七章 船舶振動	374
§ 97. 各種形式的船體振動	374
§ 98. 船體的自由振動	375
§ 99. 舷外水對船體振動的影響	377
§ 100. 船舶自由振動頻率的計算例題	379
§ 101. 引起船舶行駛振動的各種力	381
直線往復運動時的不平衡慣性力	382
機器部件作迴轉運動時所發生的慣性力	383
推進軸裝配不良時所發生的力	384
螺旋槳工作時所發生的水動力	386
§ 102. 船體的強迫振動(行駛振動)	387
主坐標法	387
以封閉式決定強迫振動的方法	390
§ 103. 個別船體結構的局部振動	391
§ 104. 防止振動的辦法	392

附錄 I. 靜定梁的彎曲因素表	394
附錄 II. 單跨超靜定梁的彎曲因素表	406
附錄 III. 按筒形面撓曲的有限剛度鈹內的應力圖線	418
中俄名詞及人名對照表	421

序

本書係著者根據船舶製造中等技術學校船體製造專業方面所修的“船舶結構力學”課程的教學大綱而寫成的。但是鑒於船舶結構力學的現時情況，及一些不在上述教學大綱中論述的一系列重要問題的作用和意義，著者認為在本書中列入某些知識是適宜的。

在船舶製造中等技術學校的教學大綱中完全沒有訂入關於船舶振動及動力學計算方面的知識，但著者認為在現時情況下，中等技術學校的學生對這些問題多少應該瞭解一些。

在寫本書時，亦考慮到了讀者的數學修養水平。全部材料，除若干例外，都是根據中等技術學校學生的數學修養水平而敘述的。遇到敘述超出這一範圍時，例如在關於穩定性和振動的問題中不得不使用帶有常係數的微分方程式時，則作了必要的說明，使沒有微分方程理論知識的學生也能了解所述問題的本質。

著者首先力求闡明在外力作用下船體中所產生的各種現象的物理本質，而省略若干需要使用複雜數學程式的論據。

當利用本書作為中等技術學校的教學參考書時，下列各節可以刪去：第二部分第五章的 § 32、33、34 和 35，第七章的 § 44 和 45，第四部分第十五章的 § 88 和 89，第十六章的 § 92、93 和 94。

這本“船舶結構力學”分為四部分。

前兩部分是關於梁、交叉構材、框架及薄板等船體基本構件的強度計算和穩定性計算。讀者明瞭了這些研究結構力學一般問題的部分以後，就便於掌握後續的各章。

在第三部分中敘述整個船體的強度及其個別結構部分強度的計算

方法。第四部分研討船舶的振動和各結構部分受動力荷重作用時的計算。

因爲本書是按船舶結構力學整個課程而編寫成的第一部書，故著者請求讀者提供自己的批評和希望。這樣便可以消除現存的缺點並在將來可以編寫這門重要的船舶製造課程的教科書。

本書第一章由謝羅夫(В. Н. Серов)所寫；

第三、四、五、六、七、九章由索洛明科(Н. С. Соломенко)所寫；

第二、八、十、十一、十二章由楚維可夫斯基(В. С. Чувиковский)所寫；

第十三、十四、十五、十六、十七章由沙羅夫(Я. Ф. Шаров)所寫。

著者

緒 論

船舶是複雜的工程建築物，應該具有一系列的性能以便完成它的任務；船舶強度便是這些性能之一。

船舶結構力學是用來研究整個船體的強度及其個別部分強度的一門科學。

在船舶營運時，船體受到屬於靜力和動力性質的各種各類力的作用。這些力包括：船體、機器、設備及所載貨物的重力；水的浮力；在搖動時所產生的慣性力；浪的衝擊力；在機器和螺旋槳工作時所產生並引起船體振動的週期性力等等。

在船體結構力學中，船舶被看成是一個由外壳板、內底板、甲板板及艙壁板以及內部縱向和橫向骨架所組成的變剖面薄壳梁。這個梁應該具有足夠的總強度，即在它受到外力的作用而彎曲時不應該破裂。此外，船體的各個別部分（甲板、舷側、船底、艙壁、上層建築）都應該具有足夠的局部強度以承受作用在各該部分上的力。

在船舶製造和營運的實際過程中有過許多這樣的事例：當船體總強度不足時，船舶在艱難的航行條件下就破裂了。

有更多的事例說明，在舷側、甲板、艙壁、上層建築等個別船體結構的局部強度不足時，船舶的正常營運便遭受到了破壞。

例如，第二次世界大戰時，美國建造了載貨量在 10000 噸以上的所謂“自由”型和“勝利”型的貨船。根據官方公佈的資料，在 970 艘經過檢查的該型船舶中，142 艘的船體有重大的損傷，共有約 5000 種結構物損壞。該型船舶中的幾十艘折裂為兩段而沉沒。

當然，我們可以設計和製造出強度顯然可靠的船體，祇須把所有的

船體構材都做得相當堅實。但是，這樣的船體將很重，因此船舶的排水量便會過大，而造價便會很高。

船體應該具有足夠而並不過分的強度；這一點可以用不包含過大強度裕度的計算方法以選擇合理的結構來達到。

船體結構的特點之一，便是它有大量受到壓縮的構材。薄的構材如外壳鈹和甲板鈹在受壓縮時有時會凸起——失去穩定性。因此必須用計算來校核船體構材的穩定性。

除了必要的強度和穩定性以外，船體結構也應該具有相當的剛度。例如，相當堅強的甲板鈹格在荷重作用之下產生大的撓度，以致損壞絕緣體、室內裝修以及內部輕質的隔壁和艙壁，這種情形是不能容許的。

在船舶營運工作中，行駛振動具有很重要的意義。振動乃是船體的彈性擺動，是由於船舶行駛時作用在船體上的週期性力所引起的。這種週期性力發生在未加均衡的機器工作時，同樣也發生在螺旋槳工作時，當作用力變動的週期與船體自由振動的週期相重合時，振動就增強。

往往在行駛振動增強之時，船舶的駕駛儀器停止工作。強烈的振動使船上的人們感覺疲倦。個別船體結構的強烈局部振動可以使這些部分遭受破壞。因此，船體及其個別結構的振動對船舶的正常營運有不良影響。欲降低振動，必須降低引起振動的力，並力求做到作用在船體上的力的週期與船體自由振動的週期不相重合。

假使在船體的設計時期內對強度、穩定性、剛度和整個船體的振動及其個別部分的振動都作了適當的計算，則所有對於船體的要求都是可以滿足的。這類計算的方法和辦法就組成了一門科學——船舶結構力學。

船舶結構力學範圍內包括三類基本問題：

(1) 研究船舶製造和營運時作用在整個船體上及其個別部分上的外力；

(2) 在已知外力時研究船體各構材中應力的計算方法和辦法;

(3) 研究許可應力和強度條件。

俄羅斯和蘇聯的學者把結構力學創立並鑽研成爲一門科學。彼得堡科學院院士里翁奈得·歐拉以他的著作“船舶橫搖和縱搖時船舶各部分承受的力及尋求降低這種運動的方法的研究”(1759年)打下了這門科學的基礎。

卓越的俄羅斯學者伊凡·格利哥立維赤·布勃諾夫(Иван Григорьевич Бубнов)(1872—1919年)理應算是近代船舶結構力學這門科學的創始人。И. Г. 布勃諾夫以他的著作爲船舶在設計期間用計算方法相當精確地來確定船舶各構材的必要尺寸提供了廣泛的可能性。

這一門科學由於克留洛夫(А. Н. Крылов)、柏潑哥維赤(П. Ф. Папкович)、施孟斯基(Ю. А. Шиманский)和許多其他學者的著作而得到繼續發揚。

現時在這一門科學的範疇內,許多年青的蘇聯學者——А. Н. 克留洛夫、И. Г. 布勃諾夫、П. Ф. 柏潑哥維赤和 Ю. А. 施孟斯基的學生們正在勝利地工作着。蘇聯的學者們在我們國家黨和政府的關懷下獲得深入和擴展學識的一切條件,它們在船舶結構力學方面的工作已經超過了外國的學者,特別是在理論問題的研究上。

計算船體結構強度的現代方法比較起來是簡單和相當可靠的;這些方法使我們能夠建造輕而堅固的船體,這在船體設計、製造和營運的實踐中已經得到了證實。

第一部分 梁、交叉構材、框架

概 論

船體是由鋼板（外板、甲板板、平台板和內底板）組成的薄殼，其內部用梁、交叉構材和框架體系（肋骨、肋板、桁材、橫樑、縱樑）扶強。

此外，船體的內部用橫向和縱向的水密艙壁來分隔，其作用在保證船舶有必要的強度和不沉性。

外板、甲板板、平台、內底和艙壁板本身承受水的壓力和其他的載重，並將這些力傳遞到扶強它們的骨架上。骨架受到板上的力後，把它們傳遞到船體的強固構材上；至此，所有作用在船體上的力得到互相平衡。舷側、甲板、平台、內底和艙壁在這種情況之下，都是船體的強固構材，而作用於各該構材的內力都在這些結構的平面內。

因此，受到彎曲的梁、交叉構材和框架乃是保證船舶局部強度的基本船體結構。應該指出，交叉構材和框架本身就是由個別梁組成的，因此梁乃是船體骨架的基本構件。

梁的彎曲理論基於伯努利（Я. Бернулли）所提出的平剖面假說。按照這一假說，垂直於梁縱軸線的橫剖面，如在梁彎曲以前是平的話，在梁彎曲後仍然保持為平的，並垂直於梁彎曲後的軸線。實驗證明，在計算梁的縱向纖維變形（拉伸—壓縮）及其橫剖面上的應力時，根據這一假說來作解答，可得相當正確的結果。

平剖面假說將梁彎曲的研究簡化為對其軸線彎曲的研究（該軸線的剛度等於梁的剛度）。已知梁彎曲後的軸線位置，藉助於平剖面假說便容易求得梁上所有各點的位移和應力。

平剖面假說的概念使我們有可能很簡單地確定梁內應力的數值和性質。

第一章 直梁的彎曲

§ 1. 純彎曲時的正應力

當桿受橫向力，即垂直地作用於桿軸線的力，或受力偶（力矩）的作用而撓曲時所產生的變形，稱為桿的彎曲。

圖 1 所示受到橫向力作用的梁可以作為桿彎曲變形的一個範例，圖中的虛線表示梁在彎曲狀態下的形狀。

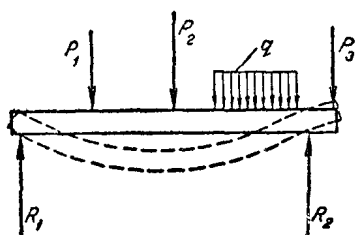


圖 1.

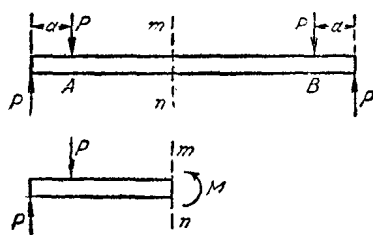


圖 2.

船體的大多數結構都受到橫向荷重的作用並產生彎曲變形。這種船體結構特別是指：舷側肋骨，受到舷外水的壓力；橫梁和縱樑，受到沖擊在甲板上的水的壓力；艙壁防撓材，當以該艙壁為隔壁的船艙內因灌水試驗艙壁或因船舶失事而充水時，受到水的靜水壓力等等。

如在等直桿的兩端加以大小相等且方向相反的力偶，則這時所產生的變形稱為純彎曲。圖 2 所示桿的 AB 段可以作為這種狀態的一個範例。

如桿具有縱向的對稱平面且外力偶在該平面內作用時，則純彎曲的這種個別情形稱為純平彎曲；與此相反，如力並不在對稱平面內時，則彎曲將是偏斜的。力 P 和臂距 a 的乘積，亦即引起彎曲的力偶 Pa 的