

科學圖書大庫

船舶結構學

譯者 王偉輝

徐氏基金會出版

U663

125715

W41

(2)

科學圖書大庫

船舶結構學

譯者 王偉輝



徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫

版權所有



不許翻印

中華民國六十七年十一月十八日再版

船舶結構學

基本定價 3.40

譯者 王偉輝 台灣大學造船工程學研究所碩士
省立海洋學院造船工程學系講師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686 號
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第15795號
承印者 利達印刷廠有限公司 台北市柳州街165號
電話 3318056

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力。在整個社會長期發展上，乃對人類未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，自應各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同將人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之收穫，已超越以往多年累積之成果。昔之認為若幻想者，今多已成為事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，尤為社會、國家的基本使命。培養人才，起自中學階段，此時學生對基礎科學，如物理、數學、生物、化學，已有接觸。及至大專院校專科教育開始後，則有賴於師資與圖書的指導啓發，始能為耐為大器。而從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學，旨趣崇高，彌足欽佩！

本基金會係由徐銘信氏捐資創辦；旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利，民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，惜學成返國服務者十不得一。另曾贈送國內數所大學儀器設備，輔助教學，尚有微效；然審情度理，仍嫌未能普及，遂再邀請國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。以主任委員徐銘信氏為監修人，編譯委員王洪鑑氏為編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱工作。「科學圖書大庫」首期擬定二千種，凡四億言。門分類別，細大不捐；分為叢書，合則大庫。為欲達成此一目標，除編譯委員外，本會另聘從事

翻譯之學者五百餘位，於英、德、法、日文出版物中精選最近出版之基本或實用科技名著，譯成中文，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，內容嚴求深入淺出，圖文並茂。幸賴各學科之專家學者，於公私兩忙中，慨然撥冗贊助，譯著圖書，感人至深。其旅居國外者，亦有感於爲國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬多寡，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，其報國熱忱，思源固本，至足欽仰！

今科學圖書大庫已出版一千餘種，都二億八千餘萬言；尙在排印中者，約數百種，本會自當依照原訂目標，廣續進行，以達成科學報國之宏願。

本會出版之書籍，除質量並重外，並致力於時效之爭取，舉凡國外科學名著，初版發行半年之內，本會即擬參酌國內需要，選擇一部份譯成中文本發行，惟欲實現此目標，端賴各方面之大力贊助，始克有濟。

茲特掄誠呼籲：

自由中國大專院校之教授，研究機構之專家、學者，與從事工業建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究之學人、留學生；

大專院校及研究機構退休之教授、專家、學者

主動地精選最新、最佳外文學名著，或個別參與譯校，或就多年研究成果，分科撰著成書，公之於世。本基金會自當運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。尙祈各界專家學人，共襄盛舉是禱！

徐氏基金會 敬啓

中華民國六十四年九月

原 序

近二十年來，在船舶結構強度方面，曾經完成許多研究工作，然實用造船工程師今日所面臨必須解決的結構問題却較往日為多。尤其是縱向強度，這方面結構強度之計算，在設計部門及船級協會現已非常普通。此乃一方面由於某些船型（如油輪）尺寸之增大，以及新船型（如散裝貨船）之發展；另一方面則由於對船舶結構材料寸法之決定，欲使其更合乎邏輯及科學基礎之努力所致。

對於船舶橫向及局部結構設計之分析，已在進行，這類工作之發展，由於電子計算機之問世而更形簡易，其研究成果可在世界各技術性學會所發表之論文中獲知，然對此大部分研究內容，迄今尚無於一冊專集內均加以蒐集引用者。

本書之主旨乃企望能彌補此項缺陷，並對整個船舶結構問題加以通盤考慮，同時列有許多參考文獻，以期有助於對各項專題做更進一步之研究。

本書不僅包含大部分大學及技術學院中大學部之課程內容，同時對於研究工作者及實用造船工程師亦有所裨益。

馬克爾 1967

W·Muckle

譯 序

本書係譯自 William Muckle 所著之 *Strength of Ship's Structures* 一書。馬克爾博士係英國船舶結構界之名家，其對船體結構分析所發展出之許多實用方法，普遍為世界各國所採用者，有船體縱向強度及船體建築方面之分析理論。

討論船舶結構之專書，坊間尚不多見，緣以馬克爾博士原書蒐集之材料，幾乎引用了1967年以前美英二國在船舶結構上之重要研究論著，可見其內容豐實之梗概，尤其全書說理透澈而有系統，無一般論文集支離瑣碎之弊，遂特譯出該書，以饗國內造船界人士參考。譯者不自付識陋，誤謬之處恐所難免，如蒙賢達先進賜予匡正，曷勝感激。

王偉輝 謹誌

民國六十六年二月 於省立海洋學院

目 錄

原 序

第一章 緒 論

- 1-1 海中船舶所受之力…………… 1
 - 1-1-1 靜力
 - 1-1-2 動力
- 1-2 船舶結構之畸變…………… 4
- 1-3 船舶結構之功能…………… 7

第二章 船舶結構材料

- 2-1 結構材料性質之決定… 11
 - 2-1-1 拉伸試驗
 - 2-1-2 彎曲試驗
 - 2-1-3 衝擊試驗
- 2-2 結構材料…………… 13
 - 2-2-1 軟鋼
 - 2-2-2 脆性破裂
 - 2-2-3 耐低溫鋼
 - 2-2-4 高拉力鋼
 - 2-2-5 鋁合金
 - 2-2-6 塑膠

第三章 縱向彎曲

- 3-1 波系之假設形式…………… 22
- 3-2 舢拱與舢垂…………… 25

- 3-3 浮力曲綫…………… 26
- 3-4 重量曲綫…………… 33
- 3-5 荷重單項之分佈…………… 36
- 3-6 重量曲綫之修改型式… 37
- 3-7 負荷、剪力及彎矩曲綫 38
- 3-8 剪力及彎矩曲綫之特性 41
- 3-9 重量分佈對彎矩之影響 42
- 3-10 由於增加重量之彎矩計算…………… 42
- 3-11 彎矩與剪力之近似估算 44
- 3-12 慕雷法…………… 45
- 3-13 門德里法…………… 48
- 3-14 最大剪力之近似估算… 50
- 3-15 計算船舶結構近似彎矩之另法…………… 52
 - 3-15-1 浮力矩
 - 3-15-2 重量矩
 - 3-15-3 最大彎矩之決定
- 3-16 對剪力與彎矩近似計算之一般注意事項…………… 56

第四章 結構中應力與撓度之計算

- 4-1 彎曲理論在船舶結構之應用…………… 57
- 4-2 剖面模數之計算…………… 59

4-3	傾斜情況之應力	62
4-4	結構撓度之計算	64
4-5	結構中剪應力之計算	66
4-6	剪應力對彎曲應力之影響	68
4-7	對於理論之評註	73
4-8	計算剪撓度之應變能法	73
4-9	縱向強度之標準	76
4-10	縱向強度之載重綫標準	78
4-11	縱向強度計算結果之解釋	80

第五章 動力效應

5-1	概論	82
5-2	水粒子運動對船於波中浮力之影響	82
5-3	船體運動對縱向強度之影響	88
5-4	靜水中之船體起伏	88
5-5	靜水中有阻尼之船體起伏	90
5-6	在規則波中之船體起伏	91
5-7	規則波中之船體起伏對縱向強度之影響	95
5-8	船體縱搖	96
5-9	船體縱搖之自然週期	96
5-10	波中船體之縱搖	98
5-11	船體縱搖對縱向強度之影響	99
5-12	波中壓力變化之效應	100
5-13	船體起伏與縱搖結合之效應	100
5-14	不規則波中船體之起伏	

與縱搖	101
-----	-----

5-15	非綫性船體起伏與縱搖	101
------	------------	-----

5-16	水平彎曲	102
------	------	-----

第六章 船體縱向強度之實驗

6-1	概論	105
6-2	全比例靜力實驗	105
6-3	靜力試驗之一般結論	109
6-4	實海中船舶之全比例試驗	109
6-5	其它有關縱向強度之全比例資料	113
6-6	縱向強度之模型試驗	114
6-7	決定縱向彎曲之統計途徑	116
6-8	彎矩譜之預估	118

第七章 應變與撓度之測量

7-1	概論	120
7-2	單向應力與應變	120
7-3	雙向應力與應變	121
7-4	主應力與應變	122
7-5	最大剪應力	123
7-6	主應變之決定	123
7-7	應變計之類型	127
7-7-1	機械應變計	
7-7-2	電應變計	
7-7-3	音響應變計	
7-7-4	電阻應變計	
7-7-5	數位伏特計與電應變計之併用	
7-7-6	統計應變計	
7-7-7	模型結構	

7-8	撓度之測量	133
-----	-------	-----

7-9	偏光彈性學	135
-----	-------	-----

第八章 板之理論

8-1	概論	136
-----	----	-----

8-2	寬板之彎曲	136
-----	-------	-----

8-3	嵌板之彎曲	137
-----	-------	-----

8-4	簡支矩形板	141
-----	-------	-----

8-5	均勻散佈負荷之簡支板	142
-----	------------	-----

8-6	利用應變能法求板問題之解	146
-----	--------------	-----

8-7	邊緣力偶引起之矩形板彎曲	150
-----	--------------	-----

8-8	邊緣鉗制之板	151
-----	--------	-----

8-9	薄膜應力對板強度之影響	153
-----	-------------	-----

8-10	平面應力理論	157
------	--------	-----

8-11	在任意負荷分佈時之應用	160
------	-------------	-----

8-12	板承受集中負荷之情況	161
------	------------	-----

8-13	平面應力理論應用至船舶結構問題	162
------	-----------------	-----

第九章 結構之挫曲

9-1	概論	163
-----	----	-----

9-2	柱端軟接之臨界負荷	164
-----	-----------	-----

9-3	有初始曲率之柱	166
-----	---------	-----

9-4	應用應變能法至彈性穩定性問題之解	170
-----	------------------	-----

9-5	寬板之挫曲	171
-----	-------	-----

9-6	簡支矩形板之挫曲	172
-----	----------	-----

9-7	縱向防撓材對板挫曲強度之影響	177
-----	----------------	-----

9-8	鉚接船與焊接船中板挫曲強度之比較	180
-----	------------------	-----

9-9	縱向與橫向加強之組合	181
-----	------------	-----

9-10	橫向防撓材對板挫曲之影響	182
------	--------------	-----

9-11	曲率對板挫曲強度之影響	185
------	-------------	-----

9-12	彎曲嵌板之挫曲	188
------	---------	-----

9-13	板之次挫曲行態	191
------	---------	-----

9-14	承受側向及壓縮負荷之構件	197
------	--------------	-----

9-15	承受端負荷及側向負荷之嵌板	203
------	---------------	-----

9-16	板之實驗	204
------	------	-----

第十章 結構問題之解法與局部強度問題

10-1	樑之彎矩與撓度	212
------	---------	-----

10-2	受任意分佈負荷之固定端樑	214
------	--------------	-----

10-3	端點為中等固定度之樑	216
------	------------	-----

10-4	依著於二個支點以上之樑	217
------	-------------	-----

10-5	三力矩定理在船舶結構之應用	219
------	---------------	-----

10-6	水密艙壁	220
------	------	-----

10-7	應變能法用於彎矩問題之解	223
------	--------------	-----

10-8	利用應變能法求解靜不定結構問題	223
------	-----------------	-----

10-9	門形剛架之另解	226
------	---------	-----

10-10	有牽索之吊桿柱問題	228
-------	-----------	-----

10-11	力矩分配	229
-------	------	-----

10-12 無窮級數在彎矩及撓度 問題之應用.....	236	12-1 概論.....	273
10-13 簡支樑.....	236	12-2 應變能法.....	273
10-14 受集中負荷之簡支樑.....	239	12-3 力矩分配法.....	276
10-15 固定端點之樑.....	240	12-4 應變能法與力矩分配法 之比較.....	278
10-16 無窮級數法之限制.....	243	12-5 橫向強度計算結果之說 明.....	279
10-17 寬凸緣桁之有效幅度.....	244	12-6 腋板連接之影響.....	279
10-18 平面應力理論在有效幅 度之應用.....	244	12-7 橫向強度視為三維問題	280
10-19 有效幅度之另解.....	249	12-8 縱向彎曲對橫向強度之 影響.....	282
第十一章 格 架		12-9 動力效應對橫向強度之 影響.....	282
11-1 概論.....	253	第十三章 合成結構	
11-2 簡單格架.....	253	13-1 概論.....	286
11-3 複防撓材格架.....	255	13-2 同彈性模數之兩種材料	286
11-4 簡支格架.....	255	13-3 異彈性模數之兩種材料	289
11-5 簡支格架另法.....	258	13-4 合成樑之彎曲.....	290
11-6 固定端點格架.....	263	第十四章 結構不連續及船艙 建築	
11-7 中等固定度格架.....	264	14-1 概論.....	293
11-8 剪撓度.....	265	14-2 結構不連續.....	293
11-9 應用不等方性板論至格 架問題之解.....	265	14-2-1 船艙建築端點	
11-10 複防撓材格架問題之解	266	14-2-2 甲板開口	
11-11 其他影響格架問題解之 因素.....	268	14-2-3 桁之端點與其它結構構 件	
11-12 格架之挫曲.....	268	14-3 船艙建築.....	297
11-13 中等固定度格架.....	271	14-3-1 船艙效率之影響因素	
11-14 同時承受側向及端點負 荷之格架.....	272	14-3-2 依彎曲理論對船艙甲板 寸法之決定	
11-15 視為船體橫向結構部分 之格架.....	272	14-3-3 船艙效率之影響	
第十二章 船體橫向強度			

14-3-4 鋁質船體建築	15-2 應力應變圖..... 332
14-3-5 船體建築之理論	15-3 塑性中性軸與塑性力矩 之計算..... 333
14-3-6 克勞福特理論	15-4 簡支樑之極限強度..... 334
14-3-7 克勞福特理論之修正	15-5 固定端點樑之極限強度 336
14-3-8 鬆逼法用於船體建築問題之解	15-6 塑性理論與實驗之比較 337
14-3-9 用平面應力理論求解船體建築問題	15-7 塑性理論在船體結構之 應用..... 337
14-3-10 對長甲板艙房問題之另解	15-8 船舶之極限縱向強度... 339
14-3-11 有大側開口之船體建築	15-9 結論..... 341
14-3-12 船體建築之橫向強度	
14-3-13 船體建築之一般注意事項	

第十五章 塑性理論

15-1 概論..... 332

附 錄 船級協會及其對船體結構設計之影響

參攷文獻

名詞對照索引

第一章 緒 論

1-1 海中船舶所受之力

當一船在海上必受有一些能使結構變形之力。因而於研究結構強度之初，首須對這些力之大小有一正確之評估。這些力大體可分為二類：(1)靜力及(2)動力。

1-1-1 靜力 在考慮靜力時，最好想像船體係浮於靜水中而保持平衡。此時作用力有二，一為垂直於水面指向地心之船體本身及其所裝載之重量，另一則為垂直作用於船體外表之靜水壓力。由於船體係靜止浮於水面，故靜水壓力必有一垂向分量，其大小與重量相等而方向相反。靜水壓力尚應有縱向及橫向分量，此二分量之合力均等於零，但其能使結構產生局部變形，此將於以後加以論述。

雖然總浮力與重量相等，但浮力與重量沿船長方向之分佈並不一定相同。單位船長之浮力為

$A \times \text{流體比重}$

A 為船體之橫剖面浸水面積。由此可知單位船長之浮力曲綫僅與船體橫剖面浸水面積成一簡單之比例，此曲綫如圖 - 1 所示。單位船長之重量係與各項重量在船上之配置有關，故其與船體一般佈置及船型均多少有些關係，並且尚與裝載貨物、燃油等之比重及其所在位置有關。單位船長之重量曲綫通常甚不規則，如圖 - 1 所示。

設 b = 單位長度之浮力 (噸/呎)

w = 單位長度之重量 (噸/呎)

$$\text{則總浮力} = \Delta = \int_0^L b \, dx$$

$$\text{總重量} = \Delta = \int_0^L w \, dx$$

$$\text{或} \quad \int_0^L b \, dx = \int_0^L w \, dx$$

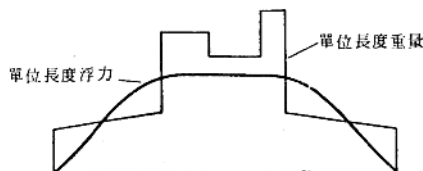


圖-1 靜水中之浮力曲線及重量曲線

若這些積分之上下限係自艙端至一距離 x ，則

$$\text{自 } 0 \text{ 至 } x \text{ 部份結構之力} = \int_0^x b \, dx - \int_0^x w \, dx$$

此表示船體於 x 處所受之剪力，此剪力有使在 x 左右兩部份船體上下錯開之趨勢。若算出沿船長各點之剪力，則可繪一剪力曲線 (Curve of shearing force)，示之於圖-2。

在 x 斷面處之重量力矩

$$M_w = \iint w \, dx \, dx$$

在 x 斷面處之浮力力矩

$$M_b = \iint b \, dx \, dx$$

$$\text{淨力矩} = \iint b \, dx \, dx - \iint w \, dx \, dx$$

此即表示引起船體如樑一樣在縱垂平面內彎曲之彎矩 (Bending moment)，其乃浮力與重量沿船長方向分佈不相同的結果之一，彎矩曲線 (Bending moment curve) 如圖-2 所示。

以上討論係應用於靜水中之船體，但對在波浪中運動之船體亦為同樣正確。在波浪中，重量分佈保持不變，但由於自由液面不再為水平，沿船長之浮力分佈即發生變化。首先吾人仍想像船體於波浪中保持靜力平衡而不計動力效應（Dynamic effects），此時靜浮力仍與船體重量相等，同時其沿船長有不同之分佈。圖 - 3 示船體在波長等於船長之規則波中保持平衡

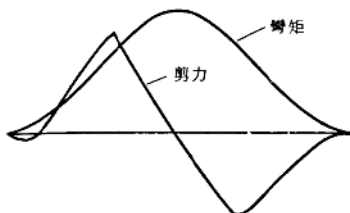


圖 - 2 剪力及彎矩曲線

時，所繪出之浮力曲線，其類別有(a)波峯在船艙(b)波峯在船艙。

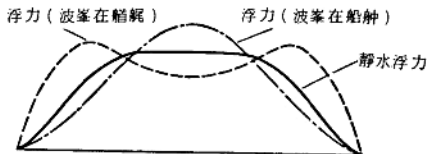


圖 - 3 波中浮動曲綫與靜水浮力之比較

對浮力分佈之修改，即產生對作用於船體剪力及力矩之修改，因而使剪力及彎矩與靜水時者將有所不同。然可將作用於船體之總力與總力矩分為二部份如下：

$$\text{總剪力} = \text{靜水剪力} + \text{波剪力}$$

$$\text{總彎矩} = \text{靜水彎矩} + \text{波彎矩}$$

靜水剪力與靜水彎矩在船體某一特定負荷狀況時為常數，故波系之影響被認作是疊加於基本數量上之量。

1-1-2 動力 當船體在波系中運動，於評估船體結構上之作用力時，尚另有二因素需要加以考慮。第一為波浪本身，第二為動力效應。對船體在波浪中浮力之評估，其初步近似值，乃與在靜水中一樣，係假定船殼表面任一點之壓力，與其在自由液面下之距離成正比。但由於波浪中水質點之運動，壓力大小並非如此，為了作浮力之正確計算，必須就此效應作一修正，該修正被稱為「史密斯效應」(Smith effect)，其將於以後論述之。在此吾人可言，此效應係減少船體在波峯處之浮力，而增加在波谷處之浮力。在強度計算中此效應通常被忽略。

另一動力效應係由船體運動而產生。一船體在波系中有六個運動自由度 (Degrees of freedom)，三個線性，三個轉動。三個線性運動包括：垂向運動稱之起伏 (Heaving)，橫向運動稱之側移 (Swaying)，及前後運動稱之縱移 (Surging)。三個轉動運動包括：對縱軸之橫搖 (Rolling)，對橫軸之縱搖 (Pitching)，及對垂軸之平擺 (Yawing)。所有這些運動均包含加速度，並可傳遞至船體中每一質量，而產生動力，或稱慣性力，其可累加至船體各項靜重量之上。就船體而論，這些加速度通常均甚小，僅為重力加速度 g 之若干分之一。在這方面，船體問題不若飛機，其在某種情況下，動力加速度可高達數倍 g ，因之動力比靜力猶大，體船雖受有些微的動力，一般較之靜力却小很多。

當船體在海中衝進時，特別是縱搖及起伏二運動甚為劇烈，對船體結構將產生動力負荷。在嚴重情況時，船體運動會使其完全離開水面，當船體再度與水接觸時，即產生甚大之動力負荷，此現象特別是發生於船艏端，常稱之為波擊 (Slamming)。此種波擊力係屬局部性者，但却能使船體結構產生振動，而將應力傳至其它部位。

除了波浪中之運動外，其它能對結構產生動力負荷者便是風，當風作用至船體之暴露表面便產生高壓，如此引起之力，除了在某些特殊之例子中，多半不會太大。最後要說者，即風為一切動力之根源，因為波浪亦由風而起。

1-2 船舶結構之畸變

在研討作用於船體之靜力負荷時，已知船體會如樑一般在其縱垂面內發生彎曲，此為船體畸變 (Distorsion) 中最重要之一種，同時整個船體

結構皆參與這種畸變。當考慮船體結構之縱向彎曲 (Longitudinal bending) 時，必須提及者，乃船體亦可能發生水平彎曲。當船體在規則波系中斜進時，如圖 - 4，則波峯不與船體中綫垂直，圖 - 5 示沿船長不同位置處，波之斜率有時為正，有時為負。此示知必有側向力作用於船體之上，不僅使船體發生側移，同時尚能引起水平彎曲 (Bending in the horizontal plane)，這種彎曲以往均被忽略，保守地說，這種側向力所引起之剪力與彎矩其值甚小。

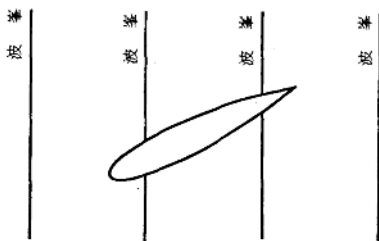


圖 - 4 船體在波系中斜進

再參閱圖 - 5，很明顯地，因為在不同斷面處，波之斜率變化，故不僅在各斷面內產生側向力，尚有扭矩產生。此扭矩係船長逐漸改變其符號，

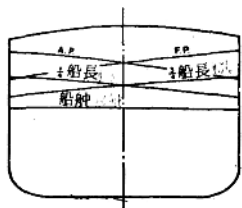


圖 - 5 沿船長不同斷面處之波面

故船體可能因扭轉 (Twisting) 而產生扭應力。吾人可能再度懷疑這種畸變就結構強度之觀點言是否重要，有關此問題過去曾做過一部份研究，但目前由於艙口日漸增大之趨勢，而減少了結構之抗扭剛度，其重要性便已顯示出來。