

部編大學用書

船體結構設計

王偉輝 著

國立編譯館 主編
出版

226139

部編大學用書

船體結構設計

王偉輝著



國立編譯館 主編 出版

中華民國七十三年四月初版

船 體 結 構 設 計

版權所有
翻印必究

全一冊：精裝新台幣 伍佰貳拾元
平 肆佰捌拾

主編者：國 立 編 譯 館

編著者：王 偉 輝

出版者：國 立 編 譯 館
印行者

館 址：台北市舟山路二四七號

電 話：三 二 一 六 一 七 一

經銷處：黎明文化事業公司

地 址：台北市信義路三段二一三號

電 話：三 九 五 二 五 〇 八

序 言

於作者講授船體結構設計的經驗中，感覺甚需一本專為主修造船工程的學生所寫的教科書。今幸得國立編譯館之支助，使本書得以印行，便利學生研習，特申衷心之謝悃。

全書計分十章，包括船體縱向強度、橫向強度、挫曲強度及扭轉強度與剛度之分析與設計。爲使讀者能全盤瞭解近代船體結構設計之作業實務及分析理論，故專闢一章闡述結構設計之流程，一章討論基本彈性理論，以期由理論應用而達設計實務能依序漸進。對於船體各部結構之設計負荷及要求，係參照各船級協會之鋼船構造規範而決定，此爲現今執行船體結構設計之一依據標準，本書各章均加以配合引用。

書中所用專有名詞係依照五十二年國立編譯館編訂之造船工程名詞一書爲準，以期劃一。

本書匆促付梓，誤謬之處必多，尙祈宏達大雅，師友同好，不吝匡正，是所感荷。

王 偉 輝 謹識

中華民國六十九年六月

目 錄

第一章 結構設計流程

1—1	概論	1
1—2	分析與綜合之區分	1
1—3	船舶結構設計之特質	4
1—4	設計流程	6
1—4—1	船舶設計環線	6
1—4—2	船體結構設計流程	7
1—4—3	船舶主結構強度之整體設計體系	9
1—4—4	船級設計的概念	9
1—4—5	負荷分析	9
1—5	設計流程實例	12
1—5—1	實例之一	12
1—5—2	實例之二	13
1—5—3	實例之三	14
1—5—4	實例之四	14

第二章 基本彈性理論

2—1	應力	21
2—2	平衡方程式——平衡律	25
2—3	平面應力	27
2—4	應力之邊界條件——靜力邊界條件	27
2—5	結構系統中之變形位移及應變	28
2—6	變形體之變形條件——變形相適律	33
2—7	應力——應變關係——構成律	37
2—8	二維彈性問題	39

2 目 錄

2—8—1	平面應力問題	39
2—8—2	平面應變問題	40
2—8—3	艾瑞應力函數	41
2—8—4	聖維南原理	42
2—9	平板之基礎方程式	43
2—9—1	矩形平板之微分方程式	44
2—9—2	板一般式之某些特例	53
2—9—3	板之各種邊界條件	53
2—9—4	沿板邊界之反作用力	55
2—9—5	彈性支撐及彈性限制之邊界條件	57
2—9—6	板方程式之解法	58
2—10	撓曲板內之應變能	59
2—10—1	應變能之計算	60
2—10—2	應變能摘要	68
2—11	直柱之彈性挫曲	69
2—12	直柱之非彈性挫曲	71
2—12—1	非彈性挫曲之切線模數理論	72
2—12—2	非彈性挫曲之雙重模數理論	74
2—13	板之挫曲	78
2—14	板之非彈性挫曲——Bleich理論	80

第三章 船體之縱向強度

3—1	船體所受之縱向彎矩與剪力	92
3—2	靜水彎矩與波彎矩	94
3—3	縱向強度計算之標準狀態	95
3—4	靜水彎矩	98
3—4—1	重量曲線	98

3—4—2	浮力曲線	103
3—4—3	負荷曲線	104
3—4—4	剪力及彎矩曲線	105
3—4—5	Q(L)及M(L)不爲零時之修正法——船體平衡	106
3—5	波彎矩	112
3—6	靜態波彎矩	113
3—6—1	波彎矩計算之波型設定	114
3—6—2	依圖氏積分計算波彎矩	117
3—6—3	船形及波形諸要素對波彎矩之影響	122
3—6—4	靜態波彎矩之近似算法	127
3—6—5	最大總彎矩之略算式	131
3—7	動態波彎矩	131
3—7—1	Smith修正	131
3—7—2	船體在波中起伏運動之影響	136
3—7—3	船體在波中縱搖運動之影響	140
3—8	剖面模數及縱向彎應力	142
3—8—1	彎應力	142
3—8—2	縱向強度構件	143
3—8—3	剖面模數	143
3—8—4	船體混用不同材料之剖面模數	147
3—9	縱向強度之標準及船級協會要求	148
3—10	剪應力	156
3—11	船體之撓度	156
3—11—1	彎曲撓度曲線	157
3—11—2	剪切撓度曲線	158
3—12	特殊狀態之縱向強度	159

4 目 錄

3—12—1 下水時之縱向強度	159
3—12—2 傾斜時之縱向強度	160
3—13 高張力鋼縱向材之使用	163
3—14 專用船之載貨表	167
3—14—1 決定船舫靜水彎矩之載貨表	168
3—14—2 決定任意位置靜水彎矩之載貨表	171
3—14—3 決定剪力之載貨表	175

第四章 薄樑理論與船體之剪應力分析

4—1 法規對船體剪應力之要求	181
4—2 橫向隔艙壁對剪力分佈之影響	183
4—3 薄樑之工程彎曲理論	185
4—3—1 船體之剖面內力	185
4—3—2 符號規則及力系表示法	186
4—3—3 薄樑之彎應力分析	186
4—3—4 負荷之一般情況	190
4—3—5 薄樑截面幾何性質之近似算法	192
4—4 薄樑壁內的一般應力、應變及變形關係式	193
4—5 開口薄樑之剪流理論	196
4—6 無縫薄樑之剪流理論	199
4—7 無縫薄樑受剪力後之扭轉與翹曲	201
4—8 防翹材對樑壁剪流之影響	208
4—9 多巢形薄樑之剪流分析	209
4—10 多巢形薄樑剪流理論在船體結構之應用	212

第五章 補強板之有效幅度計算與結構簡化

5—1 板肋組合體之剪滯效應與剪力擴散	233
5—1—1 剪力擴散	233

5—1—2 剪滯效應·····	240
5—2 等值長度·····	243
5—3 Murray Boyd 有效幅度理論·····	246
5—4 Schade 氏有效幅度理論 ·····	251
5—5 Schade 氏有效幅度理論之應用 ·····	258

第六章 船體之橫向強度

6—1 概說·····	277
6—2 橫向構件之設計負荷·····	278
6—3 橫向構件之設計要求·····	282
6—4 橫向肋骨分析——力矩分配法·····	284
6—5 橫向結構解析之有限構體法·····	299
6—5—1 樑構體勁度矩陣·····	304
6—5—2 平面構體勁度矩陣——等應變三角形構體·····	308
6—5—3 桿構體勁度矩陣·····	313
6—5—4 應用實例·····	315

第七章 補強板之彎曲強度及其分析用圖表

7—1 承受水壓負荷之矩形狹長板·····	319
7—1—1 撓曲時長邊無法趨近之狹長板·····	319
7—1—2 長緣微小位移之影響·····	325
7—1—3 數例·····	328
7—2 承受水壓負荷之矩形非狹長板·····	330
7—2—1 承受均勻分佈負荷之簡支板·····	330
7—2—2 承受均勻分佈負荷四緣鉗制之矩形板·····	342
7—2—3 承受均勻分佈負荷二對緣簡支二對緣鉗制之矩形板·····	343
7—2—4 承受均勻分佈負荷二對緣簡支二對緣彈性支撐	

6 目 錄

之正方形板·····	344
7—3 承受三角形或梯形分佈負荷之簡支矩形板·····	345
7—4 板小撓度線性理論之界定·····	357
7—5 附防撓材之矩形板架·····	359
7—5—1 正交異質性板之平衡方程式·····	360
7—5—2 平衡方程式之解·····	367
7—6 防撓板架之撓度與應力分析圖表·····	372
7—7 數例·····	400
第八章 板架之挫曲強度	
8—1 平板之彈性挫曲·····	407
8—1—1 單向均勻壓縮之簡支板·····	407
8—1—2 雙向均勻壓縮之簡支板·····	412
8—1—3 四緣鉗制方板之挫曲·····	415
8—1—4 各種邊界情況之板挫曲·····	419
8—2 板之非彈性挫曲·····	420
8—2—1 非荷力緣彈性限制度相等之板·····	420
8—2—2 非荷力緣彈性限制度不等之板·····	422
8—2—3 非彈性範圍內臨界應力之計算·····	423
8—3 公式彙集及設計例則·····	427
8—3—1 板之挫曲公式·····	427
8—3—2 各種邊界及負荷情況之板挫曲係數 k ·····	433
8—3—3 樑柱中板件 $\frac{b}{t}$ 值之設計公式·····	446
8—4 附防撓材板架之挫曲·····	452
8—4—1 中央附一防撓材補強之簡支板·····	454
8—4—2 附二根等間距防撓材補強之簡支板·····	465
8—4—3 附三根等間距防撓材之簡支補強板·····	469

8—5	防撓材寸法之設計	471
8—6	結合壓縮、剪切及面內彎撓等負荷之平板挫曲	476
8—7	受剪力或純彎負荷之簡支補強板挫曲	484
8—7—1	附橫向防撓材長板之剪切挫曲	484
8—7—2	附縱向防撓材補強板之彎撓挫曲	487
8—8	二重底巢形結構之挫曲強度	489
8—9	側向及面內壓縮負荷結合作用之矩形板強度	501
8—10	挫曲板之極限抗壓強度	513
8—10—1	有效寬度之定義	515
8—10—2	Von Kàrmàn 有效寬度理論	518
8—10—3	Marguerre 有效寬度之大撓度理論	519
8—10—4	Koiter 有效寬度理論	533
8—10—5	板極限壓縮強度理論綜論	537

第九章 外板、甲板及艙壁之設計

9—1	各部板架結構之功能	543
9—2	底板中之應力種類	545
9—3	板結構強度之設計準則	547
9—4	外板及其縱材	549
9—5	單底及二重底	565
9—6	甲板及艙蓋	569
9—7	艙口角隅	575
9—8	肋骨	582
9—9	艙壁	590

第十章 船體之扭轉強度與剛度

10—1	對船體作用之扭矩	615
10—1—1	扭矩之成因	615

8 目 錄

10— 1 — 2	船體傾側時之扭矩·····	618
10— 1 — 3	船在斜波中行進時之扭矩·····	619
10— 1 — 4	船體橫搖時之扭矩·····	623
10— 2	實心棒扭轉之Prandtl應力函數解·····	626
10— 3	薄膜類比·····	633
10— 4	狹窄矩形板條之扭轉·····	635
10— 5	聖維南扭轉理論·····	638
10— 5 — 1	無縫薄管之聖維南扭轉·····	638
10— 5 — 2	開口薄管之聖維南扭轉·····	644
10— 6	瓦格納彎扭理論·····	646
10— 7	扭轉理論判別法·····	657
10— 8	普通船體之扭轉強度及剛度·····	661
10— 9	具有長大艙口船體之扭轉強度及剛度·····	664
10— 9 — 1	單層船殼船體之扭轉·····	665
10— 9 — 2	雙層船殼船體之扭轉·····	684
10— 9 — 3	艙口之變形·····	690
10— 9 — 4	開口斷面部兩端邊界條件之準確化·····	695
10—10	設計扭轉負荷及法規要求·····	708
10—10— 1	正浪海況之設計負荷·····	708
10—10— 2	斜浪海況之設計負荷·····	710
10—10— 3	結合應力計算·····	711

第一章 結構設計流程

1-1 概論

設計為所有工程初期之一項主要任務環節，在設計作業中，工程師將創造一種方法、一種步驟、一種措施、或更廣泛地說是在創設一種系統。其目的乃使工程系統能滿足所要求之性能（Performance），同時將所有會減低該系統效率之因素，儘量予以摒除。

工程設計中之創設行為（creative act）並非「無中生有」的創造，而其僅是將一些知識去揭露（uncover）、選擇（select）、改革（reshuffle）及組合（combine），簡言之即是綜合（synthesis）。綜合是設計之合理途徑，工程師利用這項手段可去改造（manipulate）一項既存之事實、觀念、技巧、方程式、以及其它某些用以達到設計目標之資料。這些既存之資訊即代表在設計工作中各種變數對工程性能及效率（efficiency）之分析能力（analysis capability），由之提供出合理設計途徑之基礎。苟無這種分析能力，設計頂多不過為一種單憑經驗或演變之處理方法（empirical or evolutionary process）而已。事實上大部份早期之工程作品，便未應用分析理論做基礎而予以建成的，如埃及的金字塔及羅馬之大道與拱門，便是許多單憑經驗而完成的工程實例中的幾個例子。可是經驗與演變的途徑發展較緩慢，就現代之工程言，經驗與演變之設計途徑已漸屈居於合理設計途徑（rational approach）——綜合法之輔助地位了。

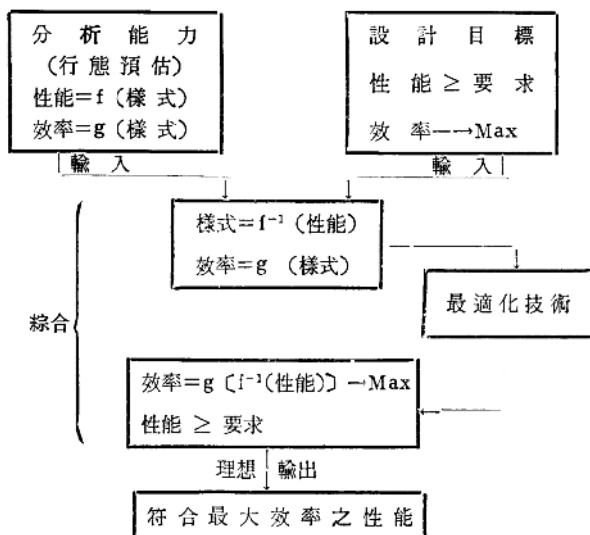
1-2 分析與綜合之區分

「分析」與「綜合」之區別，基本上係針對引用同樣一項知識之觀點或目的不同而已。「分析」係指：「應用一項抽象之數學模式（mathematical model）以對一理想化後之實際系統其性能行態（performace behavior）的預估能力（Capability to predict）」

2 第一章 結構設計流程

；然而「綜合」却是將觀點改變為：「已有對一系統性能行態之預估能力，而使用此能力去預估能表現所給定性能需要（performance requirements）之系統為何」。因為可滿足要求的往往非僅單一個系統可成立，因此在綜合過程中尚需仰賴一些制訂之效率尺標做基準，才可決定「多重系統解」（multiple system solution）之範圍。圖 1—1，係說明一合理設計途徑中分析與綜合之區別，注意該圖所示者乃係由「性能」、「要求」及「效率尺標」三項所定義之分析能力與設計目標而作綜合。

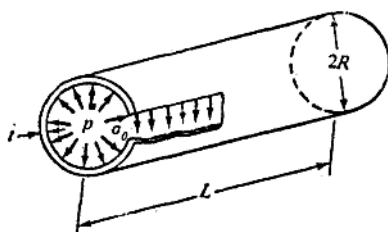
圖 1—1 基於分析能力與設計目標之合理綜合設計



應用綜合法時在輸入與理想輸出間存有三個步驟，第一步驟乃尋求以樣式為自變量之性能行態函數的反函數，而使樣式變為因變量，因其與分析之步驟相逆，故亦稱逆換步驟（inverting）；將此關係與以樣式為自變數之效率函數相結合，即可使用第二步驟之最適化技

術 (optimization technique)，以得到用性能要求所表示之效率函數；第三步驟乃再決定滿足所制訂效率尺標之性能為何，亦即求得最理想之輸出。

為說明以上之步驟，茲取一半徑為固定之壓力管（其兩端敞通故無縱向應力），就決定其最理想管壁厚之簡單設計實例而察之。性能要求定為該管無永久變形產生，其效率尺標制定在材料體積為最小之基礎上，圖 1-2 (b) 示與圖 1-1 相對應之設計步驟。



(a) 半徑固定之壓力管

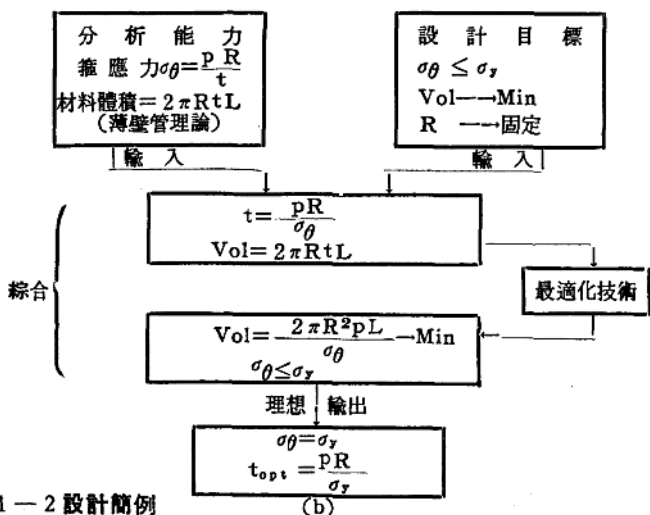


圖 1-2 設計簡例

(b)

4 第一章 結構設計流程

1-3 船舶結構設計之特質

質言之，結構設計為決定結構樣式（包括形狀與尺寸）之步驟，以滿足所需承載負荷之性能要求及達到預期之效率尺標。結構形狀係指型材形狀及各構件之排列情形而言；結構尺寸則指構件寸法及整個結構之尺寸而言。

一結構物可廣泛地定義為一種材料體（material body），其主要功能乃將其它物體容納於內及（或）支撐於外，由對這些物體動態之運輸或靜態之支撐以及材料自重而遭受負荷。故知承受負荷為結構物之基本性能要求。

設計雖可視為一種綜合之過程。但就船體般複雜之結構言，却很難由直接引用結構力學理論，便可綜合得出船舶結構所需之寸法及使用材料為何；除了一些較簡單之結構如上節所述圓管設計之例，始可由基於負荷、變形之考慮或其它準則，直接應用力學理論而得出結構寸法。因此船體結構設計師往往先模仿同型船策劃出一選定材料之結構樣式，然後去加以分析，以決定這樣的結構是否安全可行。苟無法滿足預期之要求，需修改原結構寸法後再行分析之，直至滿意為止，這種方法即為反覆法（iterational process）或稱試誤法（trial and error method）。由此可知船體結構強度理論勢必大部份之工作為「分析」而非「綜合」。上述過程中，對結構樣式之初始模仿策劃主要依賴經驗而得。當掌握了確實可用之經驗資料後，便可藉合理之比較計算（Comparative calculation）內插或外插，以做結構樣式之初始決定，初始寸法掌握得愈準確，則反覆分析之次數愈少，以爭取設計時效。

船舶種類繁多，結構形態複雜，且負荷狀況又很難決定，因此如欲以理論來分析船體結構問題，仍有相當困難。時至今日，吾人於船舶結構設計時，必須同時顧及結構形態、理論分析、生產方法及電腦

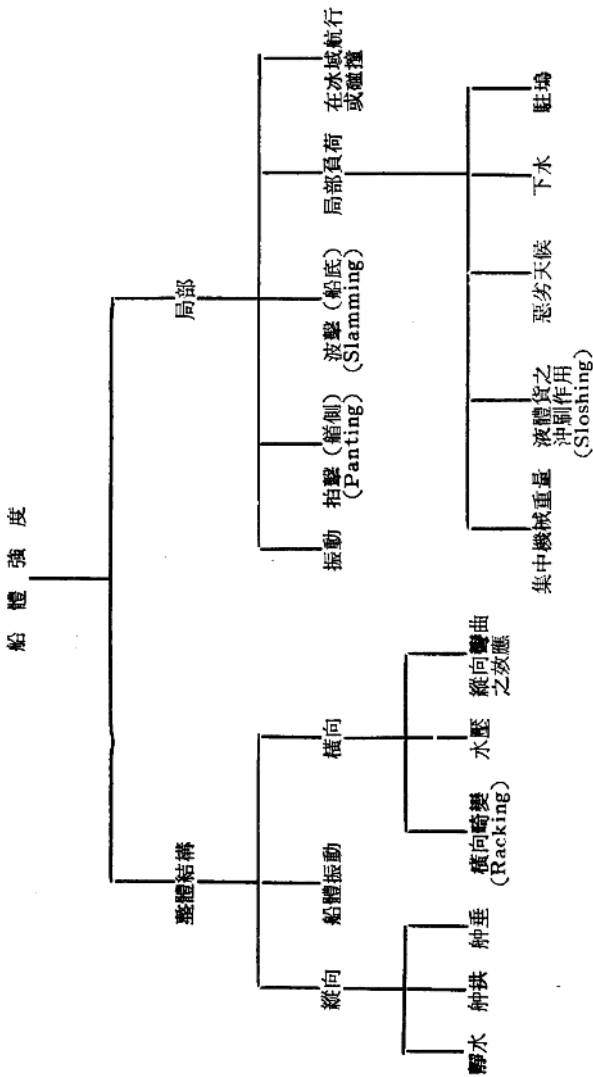


圖 1-3 船體強度之族系表