

高等学校教学用书

船舶强度

亚·亚·庫尔久莫夫著

高等教育出版社

PDF

17702

高等学校教学用书



船 舶 强 度

亚·亚·库尔久莫夫著

張孝鏞 李学道 史联芳 合译

郭可評 陈鉄云

軍事工程学院

☆ 243211 ☆

图书馆藏书



高等教育出版社

本书系根据苏联国立造船工业出版社 (Государственное
союзное издательство судостроительной промышленности)
出版、亚·亚·库尔久莫夫 (А. А. Курдюмов) 著“船舶强度”
(Прочность корабля) 一书 1956 年版译出。原书经苏联高等
教育部多科性工学院与机器制造高等学校主管司审定为船舶制
造高等学校教学参考书。

原书系根据苏联高等教育部批准的造船专业“船舶结构力
学”教学大纲编写, 专门论述船舶强度的基本问题, 并特别注意
了计算方案的分析和选择。

本书与我社已出版的“杆件与杆系之弯曲及稳定性”、“板与
圆筒形壳的弯曲及稳定性”和“船舶振动”三书都是高等学校造
船专业“船舶结构力学”课程的教材, 不仅供教学上使用, 并可
供造船工程师在进行船舶结构的强度计算时利用。

本书绪论及第五、六章由张孝籍译, 第一章由李学道译, 第
二、三章由陈铁云译, 第四章由陈铁云和史联芳合译, 第七、八
章由郭可群译, 第九、十章由史联芳译, 最后由桑国光、李学道总
校。

船 舶 强 度

亚·亚·库尔久莫夫著

张孝籍 李学道 史联芳 合译

郭可群 陈铁云

高等教育出版社出版 北京宣武门内大街 27 号

(北京市书刊出版业营业许可出字第 054 号)

京华印书局印装 新华书店发行

统一书号 15010-886 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 12 $\frac{7}{16}$

字数 319,000 印数 0001—1,200 定价 (7) ¥1.40

1960 年 2 月第 1 版 1960 年 2 月北京第 1 次印刷

序

本书是根据苏联高等教育部批准的船舶制造高等学校“船舶结构力学”教学大纲而编写的。

作者认为在教程中充满各种不同计算方案的详细分析是不适宜的,这些计算方案可以在手册性的参考书籍中找到,所以作者力求阐述所讨论到的各种问题的本质。当然,所列举的这些问题不能认为是详尽无遗的。经验证明,最严重的差错并不是计算上误差的结果,而是由于选择了不符合结构物实际工作情况的不正确计算方案所致。因此,在本书中特别注意计算方案的分析 and 选择。

同时,作者认为教学参考书的内容应该与学生时间的安排相适应,因此力求对所提到的各种问题作尽可能简要的叙述。

作者将接受关于本书的一切意见,并致谢忱。

目 录

序.....	vi
緒論.....	1
第一章 求引起船体总弯曲的外力.....	11
§ 1. 引起船体总弯曲的力.....	11
§ 2. 作重量曲线.....	13
§ 3. 求在静水上的切力和弯矩.....	19
§ 4. 静水上弯矩的研究.....	23
§ 5. 船舶挠度对于静水弯矩值的影响.....	27
§ 6. 波浪及其要素.....	32
§ 7. 选择求船舶在不平静的海面上的所受外力的方法.....	37
§ 8. 将船舶静置在波上, 选择危险的波和船舶在波上的危险位置.....	40
§ 9. 斜航程对于将船舶静置在波上时弯矩的影响. 扭矩.....	48
§ 10. 按照克雷洛夫-布勃诺夫的方法将船舶动置在波上.....	53
§ 11. 对称船舶动力弯矩的分析.....	64
§ 12. 求船舶静置在波上时的附加切力和弯矩.....	70
第二章 船体总纵弯曲时的强度计算.....	83
§ 13. 船体构件的分类.....	83
§ 14. 第一次近似求船体总纵弯曲所引起的法向应力.....	84
§ 15. 求船底板架的弯曲应力.....	89
§ 16. 船体纵向构件的稳定性.....	101
§ 17. 第二次近似求总弯曲的应力(减缩系数法).....	111
§ 18. 直接求第二次近似的总弯曲应力.....	121
§ 19. 由于防挠材及壳板的弯曲而引起的局部应力. 应力的合成.....	122
§ 20. 求船体横剖面的极限弯矩.....	126
§ 21. 求船端在斜弯曲时的应力.....	129
§ 22. 求总弯曲时的切应力.....	130
§ 23. 求总弯曲时的挠度.....	132
§ 24. 求温度应力与船体变形.....	135
第三章 剖面选择.....	137
§ 25. 承受弯曲的型材剖面的特性.....	137

§ 26. 求工字形剖面的惯性矩及剖面模数的布勃諾夫公式	140
§ 27. 選擇单独工作的梁的剖面	142
§ 28. 附連于壳板的型材的剖面模数的变化	146
§ 29. 選擇附連于壳板的型材剖面	147
§ 30. 剖面局部穩定性的保證	152
§ 31. 剖面总穩定性的保證	156
§ 32. 剖面腹板的相当面积及它的抗剪刚度	160
第四章 求船体縱向构件的尺度	163
§ 33. 关于船体縱向构件選擇的原始数据及一般見解	163
§ 34. 板的强度与稳定性之間的关系	166
§ 35. 縱向防撓材的强度和稳定性	170
§ 36. 船底外板和内底板厚度間的对比关系	177
§ 37. 選擇船底板架的骨架式	182
§ 38. 第一次近似求船底縱向构件的尺度。关于材料選擇的見解	188
§ 39. 第二次近似求縱向构件的尺度	192
§ 40. 船底材料的結構分布及縱向构件尺度的最后确定	199
第五章 許用应力	203
§ 41. 关于選擇許用应力和計算荷重的一般見解	203
§ 42. 在不变荷重下的强度	211
§ 43. 在靜变及动变荷重下的强度	220
§ 44. 在冲击荷重下的强度	226
§ 45. 造船工程中的許用应力	227
第六章 船舶板架的計算	234
§ 46. 船舶板架及其工作情况	234
§ 47. 甲板和平台参加总弯曲的問題	235
§ 48. 甲板板架穩定性的保證	247
§ 49. 橫向荷重下的甲板和平台的强度計算及骨架式的選擇	258
§ 50. 作用在舷側板架上的荷重及骨架式的選擇	266
§ 51. 肋骨剛架的計算	272
§ 52. 对于冰荷重的舷側計算	279
§ 53. 作用在仓壁上的荷重, 及仓壁結構形式的選擇	283
§ 54. 船舶进塢时橫仓壁的强度計算	286
§ 55. 在橫向荷重作用下仓壁的强度計算	289
第七章 上层建筑及甲板室的强度計算	295
§ 56. 上层建筑及甲板室强度計算的課題	295
§ 57. 彈性連接的組合杆的弯曲微分方程式	299

§ 58. 进一步确定剖面内法向应力的分布规律。求刚性系数	305
§ 59. 单层上层建筑的计算	310
§ 60. 受不多于两个仓壁支持的单层甲板室的计算	315
§ 61. 使甲板室不参与船体总弯曲的结构措施	318
第八章 船舶在坞中及下水时的强度计算	323
§ 62. 船舶在坞中及下水时强度计算的课题	323
§ 63. 求龙骨墩及井字墩的刚度	324
§ 64. 船舶在坞中支持在仓壁下时井字墩反力的计算	327
§ 65. 船舶搁置在干坞中龙骨墩列上时求龙骨墩反力	329
§ 66. 船舶搁置在浮坞中时龙骨墩反力的计算	339
§ 67. 船舶纵向下水时求下水装置反力	345
§ 68. 船舶在坞中及下水时船体总强度和局部强度的校核	350
第九章 某些船体结构的强度计算	354
§ 69. 求船舶摇摆时的惯性力	354
§ 70. 在惯性力作用下桅及桅下加强构件的强度计算	357
§ 71. 上层建筑和甲板室在惯性力作用下的强度计算	358
§ 72. 机器下加强构件的计算	359
§ 73. 在绞盘、起锚机、系缆桩、导缆器等下面加强构件的计算	361
§ 74. 推进器轴人字架及其加强构件的计算	364
§ 75. 加强船体的一般原则	366
第十章 船舶强度的实验研究方法	372
§ 76. 强度的实验研究的任务	372
§ 77. 模型试验	374
§ 78. 实物试验	377
§ 79. 求应力和位移	379
§ 80. 按剩余变形求荷重值	384
§ 81. 求欧拉荷重	388
参考书目	391

緒 論

所有的工程建築物，包括船舶在內，都應該具有足夠的強度和剛度，也就是有能力抵抗在營運過程中可能受到的各種外力，而不致破壞完整性及產生較大的變形。

保證強度條件（不破壞性條件）是主要的；至於剛度，則在大多數實際情況下，如果強度條件能滿足，剛度總是足夠的。只有在個別的特殊情況下，已保證有足夠強度的建築物，由於必要剛度的要求而須再增大其尺度。

因此，我們以後將討論足夠強度的條件，而對於必要剛度的條件，則僅在結構物的工作情況引起這一問題時才來討論。

足夠強度的條件（建築物的不破壞性條件）是：

$$\max S_{\text{實際}} \leq \min S_{\text{結構材料}} \quad (1)$$

即在使用過程中的實際荷重下（符號的上角），建築物中的最大實際內力（符號的下角）不超過相對於結構材料最小可能極限強度的最小可能內力。

建築物的強度是按作用在建築物中的各種應力數值來衡量的，為了確定這些應力，需要知道當使用建築物時作用在其上的各種外力，並需要能根據作用力借助於計算求出應力。這些應力應該與結構材料的危險應力相比較，然後才可能判斷建築物的強度是否獲得保證。

在造船工程中估計船體強度的現有方法是以預先規定某一計算荷重作為基礎的。根據這一荷重用計算方法求出應力，並把它與許用應力相比較，許用應力則等於以所謂安全系數除危險應力所得的商（按“名義”安全系數計算）。如果外力與應力之間並不存在線性比例關係，則將計算荷重乘以安全系數（即得危險荷重），然後將（按危險荷重求得

的)应力与危險应力相比較(按“实际”安全系数計算)。

根据这种計算方法,在船舶結構力学中就分成外力問題、內力問題和强度校核問題。

現时发展最快的部分是內力問題,即按給定力求应力的各种問題。这是因为,內力問題(彈性理論、梁、剛架、板架、板、壳等等的計算)是以不多的一些为試驗所証实的基本原理作为基础的,而新結果的获得又主要与利用数学工具有关。同时必須指出,所有已得到的解都是对于理想化的結構图式而言的,这种結構仅具有真实結構的一些主要特性,而自然不能把它的特性的多样化全部反映出来。

船舶强度教程的任务是研究营运过程中作用在船体及其各个部分上的各种外力,确定是否可能利用現有的計算方案对真实結構进行計算以及討論有关选择危險应力和許用应力的問題,即有关选择安全系数的問題。

安全系数的选择对整个强度計算的可靠性具有决定性的意义,因为不破坏性的条件能否实现就决定于安全系数。

應該指出,安全系数本身作为危險应力与許用应力之比或危險荷重与計算荷重之比,并不能明确地判断結構强度是否得到保証,即有可能实现不破坏性条件(1)。

事实上,如果在营运条件不变的情况下对任何建筑物增加計算荷重,則为了保持其强度不变,就应该相应地也提高許用应力,即减小安全系数。因此,仅仅按照这个安全系数来判断强度,也如同认为在計算中安全系数取得較小就是所用計算方法的完善性的指标一样,都是不可以的。

当进行强度計算时,如上所述,我們先选择某一計算荷重,假定其构成与破坏荷重的构成相同,而后根据这一荷重用計算方法确定結構中的內力。后一計算通常带有假定性質,因为所采用的計算公式是对結構的理想化图式而导得的,而且只考虑了它的一些主要特性,这就不

可避免地將導致某些誤差。

應該指出，在船舶結構力學的書籍中普遍應用的名詞“假定性計算”，不能認為是適當的，因為有時候會將計算的假定性理解成不可能正確估計強度的意思。事實上，這裡所指的是近似的計算，即僅反映現象的最主要方面，同時隨著計算方法的改進，計算的正確性總是不斷地在提高的；下面將特別注意在用計算確定內力時實際上需要怎樣的精確度。

直到現在，關於如何選擇安全系數的問題還解決得非常粗糙，它的大小是以某些研究人員對建築物已有的營運實際情況的主觀分析為基礎來選定的。

以運用數學統計方法為基礎的、分析這種實際情況和選取安全系數的客觀方法，在結構力學的許多著作中得到了發展^①，這無疑地是所有已知方法中最先進的一種。

這一方法在造船界中暫時還沒有得到應用，但是每一個工程人員有必要了解它的原理，因為它能培養對強度計算的正確看法並指出其進一步改進的道路。

現在談一下統計方法中一些最簡單的問題，並確立安全系數的大小與實現不破壞性條件(1)的可能性之間的關係。

設 $S_{\text{計算力}}$ 為所討論的內力，是根據假定性計算（符號的下角）對計算荷重（符號的上角）而決定的； $S_{\text{計算}}$ 則為同一結構中的額定危險內力。

這一額定內力與材料的額定應力 $R_{\text{計算}}$ （屈服極限、疲勞極限等等）

① Н. С. Стрелецкий, Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений, Стройиздат, 1947, 以及 Сборник вопросы безопасности и прочности строительных конструкций, ЦНИИПС, Гос. издательство литературы по строительству и архитектуре, 1952, 在該書中可找到關於此問題的許多論文的索引。

之間有下列关系:

$$S_{材料}^{假定} = \Phi R_{材料}^{假定}$$

式中 Φ 为剖面的几何要素(面积、剖面模数等等);

$R_{材料}^{假定}$ 即指与ГОСТ等中所列的材料机械性质相符的那一数值。

$$\text{假定} \quad S_{材料}^{假定} = k S_{材料}^{计算}; \quad (2)$$

$$S_{材料}^{假定} = c S_{材料}^{假定}, \quad (3)$$

不破坏性的条件(1)便化为

$$k S_{材料}^{计算} \leq c S_{材料}^{假定} \quad (4)$$

$$\text{或} \quad k_0 S_{材料}^{计算} \leq S_{材料}^{假定}, \quad (5)$$

$$\text{式中} \quad k_0 = k : c. \quad (6)$$

量 k_0 即为所讨论的安全系数。为了要确立一种合理的方法来规定安全系数以保证不破坏性条件, 现在便分别地来讨论系数 k 和 c 。

根据恒等的演化

$$\frac{S_{材料}^{假定}}{S_{材料}^{计算}} = \frac{S_{材料}^{假定}}{S_{材料}^{计算}} \cdot \frac{S_{材料}^{假定}}{S_{材料}^{计算}}. \quad (7)$$

可将系数 k 写成两个乘数的积:

$$k = k_1 k_2,$$

式中

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= S_{材料}^{假定} : S_{材料}^{计算} \\ k_2 &= S_{材料}^{假定} : S_{材料}^{假定} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$S_{材料}^{假定}$ 为按假定性计算方法对实际荷重而决定的内力。

系数 k 也可以写成更多乘数的形式, 但这将使以后的讨论更加复杂, 而且也不一定能使计算更为精确。

问题是这样的, 多变量(变量为偶然量)的函数一般均较单变量的函数显现较小的变化性。因此, 由几个偶然量所决定的那些系数 k_i 将显得较稳定些。

在内力正比于外力的这种最简单情况中, 内力和外力在计算状况

下的性質實際上是一樣的，係數 k_1 應該認為是實際荷重與計算荷重之比

$$k_1 = Q_{\text{實際}} : Q_{\text{計算}}, \quad (9)$$

即 k_1 表征着荷重的狀況。至於係數 k_2 (實際內力與用假定性計算方法對同樣荷重所求得的內力之比)，則表征着決定內力時所用方法的精確性，而在所討論的這種最簡單情況中應認為與係數 k_1 無關。

係數 k_1 之值應該根據對建築物在營運過程中所受的荷重大小進行長期觀察來決定。係數 k_2 之值則應根據專門進行的實驗，並把實驗所得內力和應用假定性計算所得內力^① 相比較來決定。根據這些資料應繪制相應的係數之值的頻率曲線。

例如，假定 $k_1^{(0)}$ 和 $k_1^{(n)}$ 為比值 k_1 的最小和最大值，是由觀察結果所得的； N 為觀察的總次數。將量 k_1 的變化範圍等分成 n 個間隔： $(k_1^{(0)}, k_1^{(1)})$ ， $(k_1^{(1)}, k_1^{(2)})$ 等等，而每一間隔的長度等於 $\delta = \frac{k_1^{(n)} - k_1^{(0)}}{n}$ ，並算出在間隔 $(k_1^{(i)}, k_1^{(i+1)})$ 中觀察到的 k_1 值的次數 N_i ，依此類推。

取觀察的總次數 N 為 100%，並在每一 $(k_1^{(i)}, k_1^{(i+1)})$ 線段上繪制高為 $\frac{N_i}{N} \cdot 100\%$ 的矩形，這樣就得出頻率曲線，如圖 1 所示。全部矩形的高度之和等於 100%。

利用這一曲線可以決定在範圍 $(k_1^{(i)}, k_1^{(i+1)})$ 內的 k_1 系數出現的次數在總次數中占多大部分。

某一“期待”的事件出現的次數與事件總次數之比稱為或然率，

因此根據頻率曲線可以確定係數 k_1 的觀察值位於 $(k_1^{(i)}, k_1^{(i+1)})$ 範圍內的或然率。

顯然，在所論間隔中 k_1 值出現的或然率，不但可由相應矩形的高

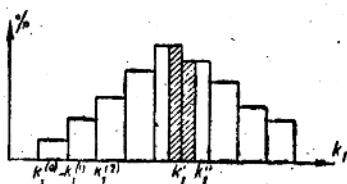


圖 1

① 關於這些問題，我們以後將不止一次地講到。

度来决定,同时也可以认为是等于这一矩形的面积与频率曲线所包含的总面积之比。后一种求法更方便些,因为在用連續曲线来代替阶梯曲线时(即当减小間隔的长度 δ 使之接近于零时),这仍然是正确的。

利用图1所示的频率曲线,就有可能来判断在任何范围 k_1' 和 k_1'' 之間系数 k_1 值过去出現的或然率。为了使观察的结果有可能引伸(外

插)到今后的事件中去,应根据频率曲线繪制理論分布曲线,如图2所示^①。分布曲线的面积取为一,所以在間隔 $(k_1^{(a)}, k_1^{(b)})$ 之間 k_1 值出現的或然率在数值上等于图2中

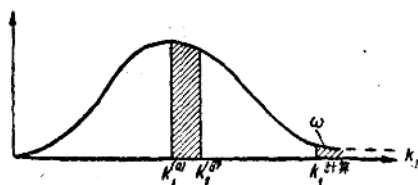


图 2

繪有斜綫部分的面积。

由理論分布曲线看出,它是渐近于横軸的,所以 k_1 值可以任意地大,虽然,出現很大 k_1 值的或然性是很小的。因此,即使計算的其余部分做得完全精确,即 $k_2=c=1$,但在理論上仍不可能实现不破坏性条件(5)。所以,只可以这样說,在計算中选定的安全系数 k_1 計算之下,結構遭受破坏的或然率 ω (破坏率)是怎样,或者不破坏性的保障程度 $\Gamma=1-\omega$ (安全度)是怎样。

如果建筑物在营运过程中所出現的值 $k_1 < k_1^{***}$,則結構不致破坏;如果 $k_1 > k_1^{***}$,則它将受到破坏。結構的破坏率显然将决定于图2上的斜綫面积 ω 。在利用系数 k_1 值的分布曲线时应该注意,它是对某給定的外力分布方法而繪制的,因此在計算中所选取的安全系数,也就应该是指这一种外力分布方法而言的。

应该指出,如果值 $k_1 = k_1^{***}$ 已处于分布曲线的渐近部分,則繼續增大安全系数不可能有助于降低破坏率;分布曲线愈平坦,則給定的破

^① 我們不可能在此叙述繪制分布曲线的方法,因为这样就需要先叙述許多有关或然率理論的問題。

坏率 ω 所相应的安全系数也就愈大。

实际上可取的破坏率大小,或者說得更确切些,不破坏性条件(1)遭到破坏的或然率,只能根据对在营运过程中经过考驗的结构的分析来确定,并且其大小即使对同一结构物而言亦随所討論的究竟是哪一个构件而在一定的范围内变动。显然,例如,应力超过屈服极限的可能性对于分布于结构材料大部分体积中的总应力来讲,就較局部应力更危险。在第一种情况中可能出现总的剩余变形,此后结构就破坏了;而在第二种情况中,如果是塑性材料,则仅产生应力的重新分布。

各种条件(指那些在满足时对某些特性是有利的条件)的破坏率的容许值,应视各該条件遭受破坏所引起的后果如何而定。

例如,一百只胡桃中发现一只空心的,即出现空心胡桃的或然率等于0.01,这并不足以成为这批胡桃报废的理由,但一百顶降落伞中发现一顶不能张开就必须将整批降落伞报废。

确定了安全系数与结构破坏率的关系后,现在来談繪制系数 k_0 的分布曲线問題,該系数就是我們主要感兴趣的。設 $c=1$,即 $k_0=k_1k_2$,然后来建立繪制 k_0 分布曲线的方法,并认为 k_1 和 k_2 的分布曲线为已知。知道了繪制两个量的乘积的分布曲线,就可以繪制任意多个量的乘积的分布曲线。

如上所述,系数 k_1 和 k_2 在最簡單的情况中是互不相关的^①,由此可見,在討論繪制系数 k_0 的分布曲线时,我們实际上应该求解两个独立量的乘积处在某个間隔中的或然率問題。为解此問題,須熟悉一下或然率理論中某些最簡單的概念。

假定我們同时进行两桩独立事件,例如投擲骰子及从全副紙牌中抽出一張牌。試問同时在骰子中擲出两点并在全副紙牌中抽到黑桃皇后的或然率是多少?

① 在一般情況下, k_1 和 k_2 兩量之間將存在所謂相关連系(корреляционная связь),对此我們不加討論。

对于精确的正方体而言；擲出一点到六点之間任何点数的或然率是同样的，所以，擲出两点的或然率为 $p_1 = \frac{1}{6}$ 。从全副紙牌中抽到任何

一張的或然率都是同样的，所以，抽到黑桃皇后的或然率等于 $p_2 = \frac{1}{52}$ 。

骰子中的每一点数可以和全副紙牌中的任何一張配合，因此总共可有 $6 \times 52 = 312$ 种或然率相等的組合情况，即观察到的情况，而其中只有一种是所期待的。所以，同时出現两点和黑桃皇后的或然率等于 $\frac{1}{312}$ ，即 $p = p_1 p_2$ 。由此可见，两个独立事件同时出現的或然率等于每一事件出現的或然率之乘积。

不应该认为，进行 312 次投擲骰子及抽出一張紙牌的試驗一定能够得到我們所期待的組合情况。但是如果我們无限地增加試驗的次数，則試驗次数与成功次数之比将趋近于 312。

如果 $y_i(k_i)$ 是量 k_i 的分布曲綫方程式，則按定义，在間隔 $(k'_1, k'_1 + dk_1)$ 中量 k_1 出現的或然率等于 $y_1(k'_1)dk_1$ 。所以，如果討論两个独立量 k_1 和 k_2 ，則这两量在間隔 $(k'_1, k'_1 + dk_1)$ 和 $(k'_2, k'_2 + dk_2)$ 中同时出現的或然率将等于 $y_1(k'_1)y_2(k'_2)dk_1dk_2$ 。

k_1 和 k_2 两量同时出現在間隔 (k'_1, k''_1) 和 (k'_2, k''_2) 中的或然率相应地由下列积分决定：

$$F = \int_{k'_1}^{k''_1} \int_{k'_2}^{k''_2} y_1(k_1)y_2(k_2)dk_1dk_2. \quad (10)$$

为了确定乘积 $u = k_1 k_2$ 出現在某个間隔中的或然率，亦即要从两个乘数的所有可能乘积的总数中选出等于 u 的乘积来，我們就在积分式(10)中替换变量，取 u 作为自变量。設

$$u = k_1 k_2;$$

$$v = k_2$$

或

$$k_1 = \frac{u}{v};$$

$$k_2 = v.$$

根据在重积分中替换变量的法则, (10)式应改写为

$$F = \iint y_1\left(\frac{u}{v}\right) y_2(v) |D| du dv, \quad (11)$$

式中 D 为所谓雅可宾 (Якобиан, Jacobian), 由下式决定:

$$D = \begin{vmatrix} \frac{\partial k_1}{\partial u} & \frac{\partial k_1}{\partial v} \\ \frac{\partial k_2}{\partial u} & \frac{\partial k_2}{\partial v} \end{vmatrix}$$

而在所讨论的情况中

$$D = \frac{1}{v} = \frac{1}{k_2}.$$

因此, 在 (11) 式中使 $v = k_2$ 并将 D 的数值代入, 得

$$F = \int \int_{u, k_2} y_1\left(\frac{u}{k_2}\right) y_2(k_2) du \frac{dk_2}{k_2}, \quad (12)$$

按推导的意义而言, 式中对 k_2 的积分是对 k_2 的所有可能值进行的, 而对 u 的积分则仅在我们所需的区间内进行。

如果 $y(u)$ 是我们所需要的 u 的分布曲线, 则按定义

$$F = \int_u y(u) du,$$

于是

$$y(u) = \frac{\partial F}{\partial u},$$

并且根据 (12) 式

$$y(u) = \int_{k_2} y_1\left(\frac{u}{k_2}\right) y_2(k_2) \frac{dk_2}{k_2}. \quad (13)$$

根据 (13) 式就可以绘制乘积 $k = k_1 k_2$ 的分布曲线, 该乘积就是上

面用 u 代表的。

作用在某个一定建筑物上的外力(系数 k_1)的分布曲綫, 應該認為是給定的, 所以我們并不能对它有所影响。系数 k_2 的分布曲綫决定于所用計算方法的精确性, 因此我們是能够对它有所影响的。

但是應該指出, 并且可以用計算来証明, 决定內力的方法更精确一些的结果, 在許多情况下对所得的分布曲綫影响不大, 因此, 为了保証应有的安全度所应取的安全系数, 实际上与应用更粗略的計算方法时相同。

我們談这些問題的目的有两点。

第一, 需要在一开始就防止一种常見的傾向, 即不顧劳动量的消耗, 而采用极其精确的方法根据給定的外力去决定应力, 忘了这些給定的外力及許用应力都是非常近似的。

第二, 或許这才是主要的, 上述关于安全系数結構的見解之发展(这种見解在本教程全书中将不止一次地重复提到), 将有助于理解許多已确立的船舶結構力学的原理, 指出船舶强度上各种問題的发展途徑及确定造船工程的理論与实际之間的正确联系形式。