

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本

桿件系統結構力學

上 冊

И. М. РАБИНОВИЧ 著

同濟大學結構力學教研室譯

龍 門 聯 合 書 局

中央人民政府高等教育部推薦
高等學校教材試用本



桿件系統結構力學

上 冊

И. М. 杜皮諾維契著

同濟大學結構力學教研室

江苏工业学院图书馆
藏书章

龍 門 聯 合 書 局

本書係根據蘇聯建築書籍出版社 (Государственное издательство строительной литературы) 出版的拉皮諾維契教授 (Проф. И. М. Рабинович) 著“桿件系統結構力學” (Строительная механика стержневых систем) 1946 年版譯出。原書經蘇聯人民委員會全蘇高等教育事業委員會審定為建築專業教科用書。

本書中文本分上下兩冊出版, 由同濟大學結構力學教研室王達時、王龍甫、朱寶華、吳之翰、俞 徵、俞載道、金成棟、張家麟 陳宗偉等翻譯。

中央人民政府高等教育部推薦 高等學校教材試用本的說明

充分學習蘇聯的先進經驗，根據國家建設需要，設置專業，培養幹部，是全國高等學校院系調整後的一項重大工作。在我國高等學校裏，按照所設置的專業試用蘇聯教材，而不再使用以英美資產階級教育內容為基礎的教材，是進一步改革教學內容和提高教學質量的正確方向。

一九五二年九月二十四日人民日報社論已經指出：‘蘇聯各種專業的教學計劃和教材，基本上對我們是適用的。它是真正科學的和密切聯系實際的。至於與中國實際結合的問題，則可在今後教學實踐中逐漸求得解決。’我們現在就是本着這種認識來組織人力，依照需要的緩急，有計劃地大量翻譯蘇聯高等學校的各科教材，並將陸續向全國推薦，今後教學實踐中逐漸校教材的試用本。

充分學習蘇聯的先進經驗，根據國家建設需要，設置專業，培養幹部，是全國高等學校院系調整後的一項重大工作。在我國高等學校裏，按照所設置的專業試用蘇聯教材，而不再使用以英美資產階級教育內容為基礎的教材，是進一步改革教學內容和提高教學質量的正確方向。

中央人民政府高等教育部

原 序

本書旨在供作建築高等學校學生的教科書之用。它的主要材料係將著者的兩卷集“桿件系統結構力學教程”大大地精簡(超過一倍)而得。不包含在必要的教學大綱中的所有題材,大量例題和特殊情況,全部歷史的概述和引證的文獻等已被全部刪除。索線多邊形理論一章尤其大大地被精簡。增添了新的兩章,論述關於結構穩定性近似計算的和結構動力學的基本原理。在“教程”印行中所潛入的文字和圖的錯誤,凡已被發現的,悉已修正。這樣,本書更適合於培養學生使通曉現有教學大綱範圍中的課題的直捷任務。

著者認為必須着重指出,本書適合於比較狹的任務,不能用來代替他的“桿件系統結構力學教程”。

拉皮諾維契

目 錄

第一章 緒論	1
1. 結構力學的對象和任務	1
2. 結構計算示意圖的概念	2
3. 結構的計算示意圖的分類	4
4. 平面桿件系統支座的分類	6
第二章 結構的機動分析	9
5. 由剛體組成的平面機動鏈的自由度	9
6. 例題和習題	11
7. 平面鉸接鏈桿系統的自由度	13
8. 例題和習題	15
9. 幾何不變形系統組成的原則	15
10. 系統的瞬時變形	17
11. 系統的機動分析的步驟	18
第三章 結構力學的圖解法和索線多邊形	20
12. 圖解法在結構力學中的作用	20
13. 索線多邊形和力多邊形	21
14. 標記	23
15. 相應於已知索線多邊形的平行力和在索線多邊形中各部 分內力的數解方程式	24
16. 用索線多邊形求合力	25
17. 連續分佈力系的索線多邊形	27
18. 相等的索線多邊形間的相互關係	28

19. 索線多邊形的已定兩邊(或它們的延長線)通過已知兩點的作法	30
20. 索線多邊形的已定三邊(或它們的延長線)通過已知三點的作法	31
21. 索線多邊形的特殊情況——合力多邊形	31
22. 應用索線多邊形來確定平面力系的靜力矩	32
23. 平行力的靜力矩的作圖法	34
24. 力矩的比例尺	35
25. 含有集中力偶的平行力系的索線多邊形作圖法	36
26. 力多邊形和索線多邊形的閉合和不閉合情形的靜力分析	37
27. 應用索線多邊形確定支座的反力	38
28. 應用索線多邊形繪製簡單梁的彎矩圖和切力圖	39
29. 節點傳達荷重下 M 和 Q 圖的繪製	40
30. 多孔靜定梁的 M 和 Q 圖的繪製	41
31. 簡單梁的彈性曲線和傾角圖的繪製	44
32. 多孔靜定梁的彈性曲線和傾角圖的繪製	47
第四章 影響線通論和應用實例	49
33. 影響線的概念	49
34. 繪製影響線的靜力學方法 簡單梁的影響線	50
35. 多孔梁的內力影響線	55
36. 影響線縱座標的度量	57
37. 不動的集中力系的影響	58
38. 按照任何規律分佈的不動的連續荷重的影響	58
39. 關於影響線直線部分的一種特性	60
40. 節點荷重的影響	61
41. 繪製影響線的機動法	62
42. 用機動法繪製影響線的例題和習題	64
43. 三角形影響線的最不利荷重	66

44. 用平均分佈荷重配合任何影響線上的最不利荷重	68
45. 由於行動的火車荷重在簡單梁上所引起的最大彎矩的確定	70
46. 確定最不利的火車位置的例子	71
47. 火車荷重彎矩表的製成和它的應用	73
48. 影響線的微商和它的應用	74
第五章 靜定系統的通性	77
49. 什麼是靜定桿件系統	77
50. 把未知數分為兩類	77
51. 系統的靜定性和幾何不變性間的關係	78
52. 瞬時變化性的靜定準則 無荷重法	79
53. 在結構的基本部分和固定在基本部分上的其他部分中的內力	80
54. 平衡荷重的影響	82
55. 相等改換荷重的影響	82
56. 溫度變化 支座移動和桿件長度不精確的影響	84
第六章 三鉸拱	86
57. 基本概念	86
58. 確定支座反力的數解法	88
59. 彎矩 M 圖	93
60. 豎荷重下三鉸拱軸的合理外形	94
61. 由於豎荷重的切力圖和軸向力圖	96
62. 支座反力的圖解	98
63. 合力多邊形和壓力曲線	99
64. 核心力矩和軸向應力	101
65. H, M, Q 和 N 的影響線	102
66. 應用零點繪製同樣的影響線	104

67. 習題和例題	105
-----------	-----

第七章 靜定平面桁架的計算 梁式和懸臂梁式桁架 106

68. 桁架概念	106
69. 桁架的分類	107
70. 瞬時變形的鉸接桿件系統	113
71. 瞬時變形性的靜力特徵	114
72. 速度圖的繪製	117
73. 機動法檢查瞬時變形性	119
74. 桁架的荷重	120
75. 確定桁架內力的一般方法及其變態	121
76. 節點截斷法	122
77. 節點平衡的特殊情形	125
78. 麥克斯維爾-克立毛奈(Максвелл-Кремона)圖	128
79. 麥克斯維爾-克立毛奈圖的配合作法	132
80. “不確定比例尺”的圖解法	133
81. 節點荷重 作用在桁架裏面節點上時的圖解法	134
82. 具有交叉桿件桁架的圖解法	135
83. 立脫爾(Риттер)的方法	137
84. 例題, 有平行弦和斜桿式的腹桿的桁架 (圖 217)	138
85. 例題有不平行弦和斜桿式的腹桿的桁架 (圖 223)	142
86. 立脫爾法應用在比較複雜的情況中	144
87. 合力法	148
88. 兩個或者幾個截面的方法	149
89. 桿件代替法(Геннеберг 法)	150
90. 機動法 用速度圖求內力	153
91. 桁架在非節點荷重下的計算	155
92. 組合桁架的計算	156

第八章 梁式和懸臂梁式桁架中內力的影響線160

- 93. 用截面法或截斷節點法作影響線160
- 94. 習題167
- 95. 瞬時轉動中心的應用170
- 96. 速度圖的應用173

第九章 有橫推力的桁架和有橫推力的聯合桁架...175

- 97. 具有斜支座鏈桿的桁架175
- 98. 三鉸拱式桁架(腹桿式的三鉸拱)(圖 267)177
- 99. 關於懸跨系統的總論179
- 100. 用加勁梁加強的懸鏈的計算180
- 101. 多弦索線多邊形和關於多弦懸跨桁架一般理論的概念 ...184
- 102. 射線式多弦懸跨結構計算例題187

第十章 平面桁架的桿件和節點的變位191

- 103. 引言191
- 104. 關於維立屋脫(Виллио)圖的概念192
- 105. 在比較一般的情形下維立屋脫圖的作法194
- 106. 用維立屋脫圖作桁架撓曲線197
- 107. 撓曲線像索線多邊形的作法198

第十一章 空間桁架202

- 108. 計算空間桁架的意義202
- 109. 空間力的相加202
- 110. 力分解為和它共點的三個分力204
- 111. 分解力在六個方向的情況207
- 112. 分解力在六個方向的不定性的情況208
- 113. 空間桁架的幾何不變形性和不動性的特徵210

114. 習題和例題	214
115. 確定桁架內力的截斷節點法	216
116. 分解桁架為平面系統的內力確定	218
117. 用代替桿件法確定內力	219

第一章 緒 論

§1. 結構力學的對象和任務

結構力學在這個名詞的廣泛意義上，應該稱作從事於研討建築物在強度、剛度和穩定性上的計算原理和方法的科學。

對於在計劃中的新的結構，在它強度和穩定性上的計算的目的是爲了保障這些結構充分的安全，但不是過度的安全，因而結合着它們的長久性和經濟性。計算剛度的目的是在消除結構變形的呈現（撓曲，沉降和振動）的可能性，雖然這些變形對於結構的本身還是安全的，但是在運用的觀點上是不適宜的。

不僅在計劃新的結構時必須應用計算，而在所有那種情況下，即當存在的結構必須受到新的、以前未曾預料到的荷重作用的時候，亦須計算。計算必須查明這些荷重在何種程度下是允許的，是否需要進行加強結構和怎樣加強它。

結構力學在現代結構事業中的價值是很大的。計算賦予設計工程人員以這樣的能力，關於這種能力在一百年前還是不可能夢想的，計算好像揭露在設計人員的眼前隱藏在結構裏的靜力和有時候隱藏着的動力，因而可以考慮到力對結構任何部分的作用，並且預測到在所選的各部分的配合下，發生在材料內的應力。

如果把結構力學看作純粹的數學課程，那就犯了危險的錯誤想法。由於結構力學涉及用不同建築材料所造成的實際結構的強度和剛度，所以它的結論必須根據這些材料的實際性質的研究和認識，也就是，根據用適當方法所提供的試驗。

所有有關結構本身的假定，和在擬定適當計算方法時我們賦予結構所有性質的假定，必須用同樣的方法證實。

祇有經過了試驗的檢查階段後，理論方才可作為可靠。

測定發生在結構模型內的和結構本身內的應力和變形的現代試驗技術，已經到達極高的水準，這是對結構力學一個強大的幫助。

我們在這裏所已經談到的一切是有關廣義的結構力學，也就是說，直接地或間接地有關結構計算的綜合課程。這些綜合課程是材料力學、彈性理論和狹義的、通常所稱的結構力學。材料力學主要的是從事於簡單梁計算的理論，它對結構構造和機械構造同樣是重要的課程。狹義的結構力學不同於材料力學，它主要的是敘述組成結構的梁系統或桿件系統的計算理論。這二種課程都是主要地企圖應用比較簡單的數學方法解決問題。彈性理論和它們的差別最重要的是提出在所有的結論上可能更多的精確性和準確性，因此不得不採用更加複雜的數學工具。

狹義上的結構力學也另稱作結構理論。

為簡略起見，我們今後將祇用結構力學的狹隘意義並且將不和結構理論的名詞作任何區別。

我們稱這本書為“桿件系統的結構力學”，因為在現階段，這種系統的計算差不多正確地確定了結構理論教程的內容。

很久以來，這項科學的名稱是這樣沿用的，但是有些著作家到現在還用“結構靜力學”或“結構圖解靜力學”的名稱。

上面最後的一種名稱完全不符合這門科學的實際內容，因為數解法的作用，並不比圖解法的佔較次的地位。“結構靜力學”的名稱似乎也有些陳舊，因為除了靜力學以外，在現代的結構理論中動力學的問題已經起着明顯的作用。

§2. 結構計算示意圖的概念

結構計算示意圖是實際結構的簡化形像；在計算過程中它替代着原來的結構。

在希望給工程師一個可以直接應用到實踐上的解答，結構力學不得不採取問題上條件的簡化，放棄一系列比較不很重要的因素，並且運

用計算示意圖來代替實際結構。

計算示意圖的選擇是任何結構在計算上的很重要的部分。計算示意圖的選擇必須使問題的解答成為可能，同時從問題的複雜性觀點上是實際可以採用的。忽略了某些條件，當然不難地可以得到相當簡單的示意圖，但是同時這個簡單示意圖必須可能真實地反映問題的本質，並且保障計算的足夠可靠性和確實性。

有的時候，同一結構的計算採用幾種示意圖：為了預先選擇桿件的面積，採用比較簡單的示意圖，然後在最後的計算中採用比較複雜和精確的示意圖。

計算示意圖是結構力學發展水準的標誌，因為這種示意圖逐漸地變成更加真確和更趨完善。

我們將舉一個計算示意圖的例子。

梁式系統的金屬橋孔結構通常是由兩個豎桁架組成，這兩個豎桁

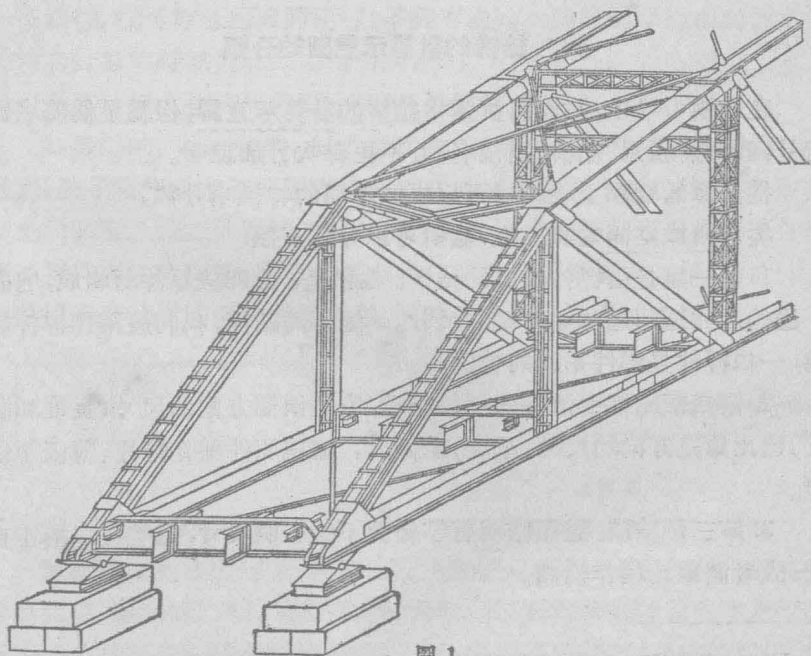


圖 1

架之間，連繫着縱向橫向的支撐及橋面系統。橋面系統包括二端鉚接或者焊接到豎桁架的橫梁，鉚接或者焊接到橫梁的縱梁和擱置在縱橫梁上各種形式橋面的行駛部分。組成豎桁架的金屬的桿件，在端頭堅固地互相連接着。這種橋孔結構的大概形式表示在圖 1 的透視圖中¹。

在豎荷重下這種橋孔結構的計算通常是不把整個系統看作空間系統，而把荷重按照槓桿的定理分配到兩個桁架，並且把每個桁架看作獨立的系統。連接件和橋面的變形以及某些內力傳給主桁架的影響是忽略掉的。主桁架上的每一桿件是用它的幾何軸來替代的；所有這些軸又認為嚴格地處在同一平面中。形成桁架節點的所有桿件的端又認為嚴格地相交在一點，即節點的中心。桿件的相互連接件假定是理想的鉸。外力是認為嚴格地作用在桁架的理想圖形平面中。不移動的和移動的支座認為是理想的鉸；摩擦力不計。所有這些假定的綜合形成這橋孔結構計算示意圖的特點。

§3. 結構的計算示意圖的分類

在結構力學中，我們將祇運用結構的計算示意圖，但爲了簡略名詞起見，我們將祇用“結構”這個名詞，不再每次另加說明。

從計算的觀點上說結構可以根據不同的特性來分類。

從幾何或空間的觀點上，結構可以分爲三類：

1. 第一類是由桿件組成的結構，也就是，由那些原件所組成，它們一邊的尺寸遠超過其他二邊的尺寸。這樣的結構，我們將稱作桿件結構，一根桿件是桿件系統的特例。

2. 第二類結構由這樣的原件組成，它的兩個方向的尺寸（長度和闊度）遠比第三方向的尺寸（厚度）來得大。這些原件稱作薄片、薄板和薄殼。

3. 第三類結構，這類結構有等級大小的三個尺寸，這些可以稱作實體，或者簡單地稱作物體。

¹ 採自 Е. О. Патон 教授所著 “Железные Мосты” (鋼橋) Т. I. 1915. 第 1 頁。

計算示意圖根據幾何觀點的特性來分類是很重要的，因為按照計算的性質，上述的三類很明確地彼此有所區別。在這門課程裏所考慮到的差不多專門是桿件系統。

桿件系統也可分成平面的和空間的兩種。所有桿件的軸和外力作用線在同一平面內的那種系統稱作平面系統，不符合這條條件的系統稱作空間系統。

從機動的觀點，系統分為：

- (1) 祇具有必要的機動控制數目的幾何不變形和不動的；
- (2) 具有任何多餘的控制數目的幾何不變形和不動的；
- (3) 幾何變形的。

祇因材料變形而引起系統形狀的改變的系統稱作幾何不變形系統，換句話說，稱作幾何不變形的那種系統假使由絕對堅硬的材料所做成是不會改變本身的形狀的。機動的特性有很重要的意義，因為作為一個結構，祇可符合前面的兩類（不變形的）。同時這兩組按照靜定的特性和計算的特點彼此嚴格地有所區別。

從原件相互連接的特點的觀點，結構分為：

1. 鉸接的，2. 剛接的，3. 混合接的。在平面桿件結構的計算示意圖裏，鉸是看作祇允許兩個桿件繞垂直於平面和通過鉸心的軸作相對轉動的裝置。鉸上的摩擦力認為等於零。圖 2 的框架可以作為原件剛接的桿件系統的例子；圖 3 的混合梁作為混合接系統的例子。原件互相連接的方法影響到結構的作用，同時也影響到計算的方法。

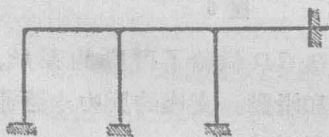


圖 2

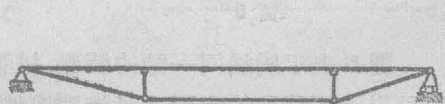


圖 3

從支座反力的方向的觀點，結構可為無推力的或者有推力的。

豎荷重產生在支座上，祇有豎反力的結構是屬於第一類。所有其餘的結構，屬於第二類。對於有推力的系統，具有特徵性的支座水平反力的存在很重要地影響到系統本身的作用，也影響到支座的作用。

§4. 平面桿件系統支座的分類

這些支座祇允許在系統的平面內有某種運動，它們可以有三類：

1. 鉸接移動支座 圖 4 表示金屬橋孔結構的移動支座的構造。橋孔結構是和上面的承墊 a 鉸接着的，承墊 a 擱置在圓柱形的滾軸 b 上；滾軸 b 可以沿着下面的具有圓柱面或平滑面的承墊在桁架的平面中滾動。但是不可能沿它母線（垂直於桁架平面的）方向滑動。

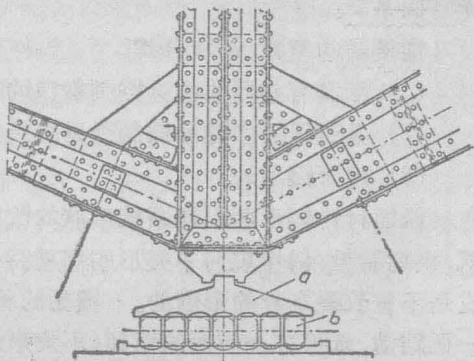


圖 4

這種支座表現在構造上可以有很多樣的，但是它的計算示意圖可以經常畫成像圖 5 所示的式樣。從機動的觀點，這種支座的特點是它並不阻礙系統在它的平面內轉動，也不阻礙它在平行於直線 MN 方向的移動，而僅消除它沿垂直於 MN 直線方向的移動的可能性。

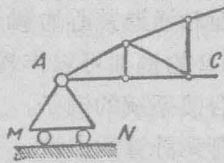


圖 5

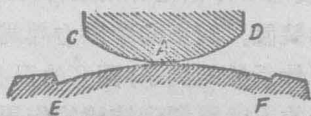


圖 6

圖 6 表示屬於同一類的裝置，這裏，座墊 CD 供給了可動的系統，它可以沿不移動的表面 EF 無摩擦地轉動和滑動。支座的反力永遠通過接觸點 A 並且指向兩根曲線的公有垂直線的方向。

鉸接移動支座的機動和靜力性能，可以用圖 7 的模型代表，也就是用垂直於支座直線 MN （圖 5）的所謂支鏈桿 AB 來表達。這樣的鏈桿允許系統繞 A 點轉動，並且允許系統沿以 B 點為圓心、 BA 為

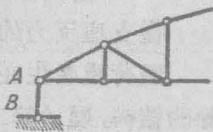


圖 7