

高等学校教学用书

桿件系統結構力学

上册

И. М. 拉宾諾維奇著

高等教育出版社

030.2

551

170998

5/5030.2

T | K |

高等学校教学用书



桿件系統結構力學

上 冊

И. М. 拉賓諾維奇著
同濟大學結構力學教研組譯

高等教育出版社



本書系根据苏联國立建筑書籍出版社 (Государственное издательство строительной литературы) 出版的技術科学博士拉賓諾維奇 (И. М. Рабинович) 教授所著“桿件系統結構力学”(Строительная механика стержневых систем) 一書 1946 年版譯出。原書經苏联人民委员会全苏高等教育委员会審定为高等学校土建各專業教科書。

本書中譯本分上下兩册出版：上册共十一章，論述靜定結構力学。下册共十四章，主要論述普通的超靜定結構力学，最后四章分別論述桿件系統極限荷重的計算、結構穩定的計算、結構动力計算的原理以及擋土牆計算的原理。

本書原由同济大学結構力学教研室王达时、王龍甫、朱宝華、吳之翰、俞征、俞載道、金成棣、張家麟、陈宗偉等翻譯。再版时由王龍甫、朱宝華、吳之翰、俞征、張家麟、張相庭、翁智远、鄭有珍、李明昭等，儘量吸收讀者意見，重校修正。

本書原由龍門聯合書局出版，自 1956 年 3 月修訂后由高等教育出版社出版。

桿件系統結構力学

上 册

И. М. 拉賓諾維奇著

同济大学結構力学教研室譯

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 15010-32 開本 850×1168 1/32 印張 7 9/16 字數 188,000

一九五六年十月上海新一版

一九五六年十月上海第一次印刷

印數 1—6,000

定價(10) ¥ 1.10

原 序

本書系供土建高等學校學生作為教科書之用。它的主要材料是將著者的兩卷集“桿件系統結構力學教程”大大地精簡(不到一半)而得。完全刪去那些為必修教學大綱中所無的題材,大量刪減例題和特殊情況,全部刪去歷史概述和文獻引語。索綫多邊形理論一章尤其大加精簡。增添了新的兩章,論述關於結構穩定性和結構動力學近似計算的基本原理。在“教程”印行中所有的文字和圖的錯誤,凡已被發現的,都已修正。在這樣的方式下,本書就更適合於按現行教學大綱範圍來培養學生通曉這門課程的直接任務。

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”。

拉賓諾維奇

上册目 录

原序

第一章 緒論	1
§ 1. 結構力学的对象和任务	1
§ 2. 結構計算示意圖的概念	2
§ 3. 結構計算示意圖的分类	4
§ 4. 平面桿件系統支座的分类	6
第二章 結構的机动分析	9
§ 5. 由剛体組成的平面机动鏈的自由度	9
§ 6. 例題和習題	12
§ 7. 鉸接桿件平面系統的自由度	13
§ 8. 例題和習題	15
§ 9. 几何不变系統的組成原理	15
§ 10. 瞬变系統	17
§ 11. 系統机动分析的步驟	19
第三章 結構力学的圖解法和索多边形	20
§ 12. 圖解法在結構力学中的作用	20
§ 13. 索多边形和力多边形	21
§ 14. 標誌	23
§ 15. 對於与已知索多边形相应的平行力和對於其中各部分內力的数解式	25
§ 16. 用索多边形求合力	26
§ 17. 連續分佈力系的索多边形	28
§ 18. 等效索多边形之間的相互关系	29
§ 19. 索多边形的作法,其指定的兩边(或它們的延長綫)通过兩已知点	31
§ 20. 索多边形的作法,其指定的三边(或它們的延長綫)通过三已知点	31
§ 21. 索多边形的特殊情况——合力多边形	32
§ 22. 索多边形對於确定平面力系靜力矩的应用	33

§ 23. 平行力靜力矩的作法	35
§ 24. 力矩的比例尺	36
§ 25. 当平行力系含有集中力偶时索多边形的作法	37
§ 26. 力多边形和索多边形閉合和不閉合情形的靜力分析	38
§ 27. 应用索多边形确定支座反力	40
§ 28. 应用索多边形繪制簡單梁的弯矩圖和切力圖	40
§ 29. 在節点傳遞荷重下 M 圖和 Q 圖的作法	41
§ 30. 多跨靜定梁 M 圖和 Q 圖的作法	42
§ 31. 簡單梁的彈性曲綫和傾角圖的作法	46
§ 32. 多跨靜定梁的彈性曲綫和傾角圖的作法	48
第四章 影响綫通論及其应用的实例	50
§ 33. 關於影响綫的概念	50
§ 34. 繪制影响綫的靜方法; 簡梁的影响綫	51
§ 35. 多跨梁的内力影响綫	57
§ 36. 影响綫縱坐标的因次	60
§ 37. 靜止集中力系的影响	61
§ 38. 按照任何規律分佈的靜止連續荷重的影响	61
§ 39. 關於影响綫直綫部分的一种特性	63
§ 40. 節点荷重的影响	64
§ 41. 繪制影响綫的机动法	65
§ 42. 用机动法繪制影响綫的例題和習題	68
§ 43. 三角形影响綫的最不利荷重	69
§ 44. 任何影响綫由於均佈荷重的最不利載荷	72
§ 45. 由於行动列車在簡梁上所引起的最大弯矩的确定	74
§ 46. 确定列車的最不利位置的例題	75
§ 47. 列車力矩表的編制和应用	76
§ 48. 影响綫的微商及其应用	79
第五章 靜定系統的通性	81
§ 49. 什么是靜定桿件系統	81
§ 50. 未知数的分为兩組	81
§ 51. 系統的靜定性和几何不变性之間的关系	82
§ 52. 瞬时变化性的靜力判据, 零荷重法	83
§ 53. 在結構的基本部分和附屬於其上的各構件中的内力	84

§ 54. 平衡荷重的影响	86
§ 55. 等效改換荷重的影响	87
§ 56. 溫度变化、支座移动和桿件長度不精确的影响	88
第六章 三鉸拱	90
§ 57. 基本概念	90
§ 58. 确定支座反力的数解法	93
§ 59. 弯矩 M 圖	97
§ 60. 對於豎向荷重下三鉸拱軸的合理外形	99
§ 61. 由於豎向荷重的切力圖和軸向力圖	100
§ 62. 支座反力的圖解	102
§ 63. 合力多边形和压力曲綫	103
§ 64. 核心弯矩和法向应力	106
§ 65. H , M , Q 和 N 的影响綫	107
§ 66. 应用零点繪制各同样的影响綫	109
§ 67. 習題和例題	111
第七章 靜定平面桁架計算·梁式和懸臂梁式桁架	112
§ 68. 桁架的概念	112
§ 69. 桁架的分类	113
§ 70. 瞬变鉸接桿件系統	119
§ 71. 瞬变性的靜力特征	120
§ 72. 速度圖的繪制	128
§ 73. 檢查瞬变性的机动法	125
§ 74. 桁架的荷重	126
§ 75. 确定桁架內力的一般方法及其衍变	127
§ 76. 截断節点法	129
§ 77. 節点平衡的特殊情形	132
§ 78. 馬克思魏尔-克烈莫那圖	135
§ 79. 馬克思魏尔-克烈莫那圖的联合作法	139
§ 80. 用“不定比例尺”法作圖	140
§ 81. 輪廓內部的節点承受荷重时的圖解法	141
§ 82. 具有交叉桿件桁架的圖解法	143
§ 83. 立脫尔法	144
§ 84. 例題·有平行弦和斜桿式腹桿的桁架 (圖 217)	145

§ 85. 例題·有不平行弦和斜桿式腹桿的桁架(圖 223).....	149
§ 86. 應用立脫爾法的比較複雜的情況.....	152
§ 87. 合力法.....	155
§ 88. 兩截面法或多截面法.....	156
§ 89. 桿件代替法(亨奈貝爾格法).....	157
§ 90. 機動法·用速度圖求內力.....	160
§ 91. 在非節點荷重下的桁架計算.....	162
§ 92. 組合桁架的計算.....	164
第八章 梁式和懸臂梁式桁架中內力的影響綫	167
§ 93. 用截面法或節點法作影響綫.....	167
§ 94. 習題.....	174
§ 95. 瞬時轉動中心的应用.....	177
§ 96. 速度圖的应用.....	182
第九章 推力桁架和推力聯合系統	184
§ 97. 具有斜支座鏈桿的桁架.....	184
§ 98. 三鉸拱式桁架(腹桿式的三鉸拱)(圖 267).....	186
§ 99. 關於懸跨系統的總論.....	189
§ 100. 用加勁梁增強的懸鏈的計算.....	190
§ 101. 多弦索多邊形和關於纜索桁架一般理論的概念.....	193
§ 102. 輻射纜索結構計算例題.....	197
第十章 平面桁架的桿件和節點的位移	201
§ 103. 概論.....	201
§ 104. 關於維立屋圖的概念.....	202
§ 105. 在比較一般情形下的維立屋圖的作法.....	205
§ 106. 用維立屋圖作桁架的撓度綫.....	207
§ 107. 將撓度綫當作索多邊形來繪制.....	208
第十一章 空間桁架	213
§ 108. 計算空間桁架的意義.....	213
§ 109. 空間力的合成.....	213
§ 110. 把力分解為和它交在一點的三個分力.....	216
§ 111. 把力分解在六個方向上的一些情形.....	218
§ 112. 把力分解在六個方向上的一些不確定的情形.....	220

§ 113. 空間桁架的几何不变性和不动性的特征.....	221
§ 114. 習題和例題.....	225
§ 115. 用截斷節點法求桁架內力.....	228
§ 116. 用把桁架分解為平面系統的方法來求內力.....	230
§ 117. 用桿件代替法求內力.....	231

第一章 緒論

§ 1. 結構力学的对象和任务

就名詞的廣義來講，結構力学應該指從事於研究建築物的強度、剛度和穩定性計算的原理和方法的科學。

對所設計的新結構進行強度計算和穩定性計算的目的，在於保證這些結構有足夠的、但又不是多余的安全，這樣就把這些結構的耐久性和經濟性統一起來。計算剛度的目的是在於消除發生大的結構變形（撓曲、沉陷和振動）的可能性，雖然這些變形對於結構本身並無危險，但是從使用方面來看是不適宜的。

不僅在設計新的結構時必須進行計算，而當原有的結構必須受到新的或以前未曾考慮到的荷重作用時，亦須加以計算。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。

結構力学在現代建築事業中的價值是很大的。計算賦予設計工程人員以這樣一種能力，這種能力在一百年前還是不可能想像的。計算好像把隱藏在結構物里的靜力，而有時也把動力揭露在設計人員的眼前，使能考察力對結構任何部分的作用，以及預測在所選定的各部分的結合下在材料中所發生的應力。

如果把結構力学看作純粹的數學課程，那就犯了危險的錯誤。由於結構力学從事於研討所討論的是由某些建築材料所做成的實際結構物的強度和剛度，所以它的結論就應該根據這些材料的實際性質的研究和認識，也就是應該根據按相應方式所做的試驗。

所有關於構造本身的假定，和在擬定適當的計算方法時，我們所賦

予結構的所有的假定性質，必須用同樣的方法來檢查。

只有經過了試驗的檢查階段后，理論方能認為可靠。

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，已經到達極高的水平，這對於結構力學是一個強有力的幫助。

我們在這里所已經談到的一切是關於廣義的結構力學，也就是直接或間接與結構計算有關的一些課程的綜合。這些課程是材料力學、彈性理論和狹義的、通常所稱的結構力學。材料力學主要是從事於簡單梁計算的理論，它對建築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，它主要是研究組成結構物的梁或桿件系統的計算理論。這兩種課程都企圖主要地利用一些比較簡單的數學方法來解決問題。彈性理論和它們的差別是把結論的嚴密性和準確性提到首要的地位，因此不得不採用比較複雜得多的數學工具。

狹義的結構力學也另稱為結構理論。

為簡略起見，我們今後所用“結構力學”一名詞僅是狹義的，且和“結構理論”的名詞不加區別。

我們稱這本書為“桿件系統的結構力學”，因為目前這種系統的計算差不多確切地規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，但是有些作者到現在還用“結構靜力學”或“結構圖解靜力學”的名稱。

上面最後的一個名稱完全不符合這門科學的實際內容，因為數解法的作用，並不比圖解法佔較次要的地位。“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，結構力學不得不使問題的条件簡化，放棄一系列比較不很重要的因素，而以計算示意圖代替實際結構來處理問題。

計算示意圖的選擇是任何結構計算的很重大而緊要的一部分。計算示意圖的選擇必須使問題的解答成為可能，同時就問題複雜性的觀點上看來是實際可以採用的。由於略去某些条件，當然不難得到相當簡單的示意圖。但是這個簡單示意圖同時必須能比較真實地反映問題的本質，並且保證計算的足夠可靠性和準確性。

有的時候，同一結構的計算利用幾種示意圖：對於桿件截面的初步選擇，採取比較簡單的示意圖，而對於最後的計算採取比較複雜和精確的示意圖。

計算示意圖是結構力學發展水平的標志，因為這些示意圖已逐步地變得更準確和更完善。

我們來舉一個計算示意圖的例子。

一個梁式系統的金屬橋跨結構通常是由兩個豎桁架組成，其相互之間由縱向和橫向的支撐及橋面系統聯繫起來。橋面系統包括二端鉚接或焊接到主桁架的橫梁，鉚接或焊接到橫梁的縱梁和裝置在縱梁橫梁上各種形式的橋面。組成每一個桁架的金屬的桿件，兩端都堅固地互相鉚接着。這種橋跨結構的大概形式透視地表示在圖1中^①。

當在豎荷重下計算這種橋跨結構，通常是不把整個系統看作空間系統，而把荷重按照槓桿定律分配到兩個桁架，並且把每個桁架看作獨立的系統。支撐和橋面的變形以及其傳給主桁架的某些內力都略而不計。主桁架上的每一桿件是以其幾何軸綫來替代的；所有這些軸綫又認為是嚴格地佈置在同一平面中。形成桁架節點的所有桿件又認為在其兩端嚴格地相交在一點，即在節點的中心。桿件的相互連接都假定為理想鉸接的。外力是認為嚴格地作用在上述理想圖形的平面中。不

^① 採自巴頓(Е. О. Патон)教授所著“鋼橋”(Железные Мосты)卷I, 1915, 第1頁。

移动的和移动的支座認為是理想鉸接的；摩擦力不計。所有这些假定的綜合便形成这桥跨結構計算示意圖的特征。

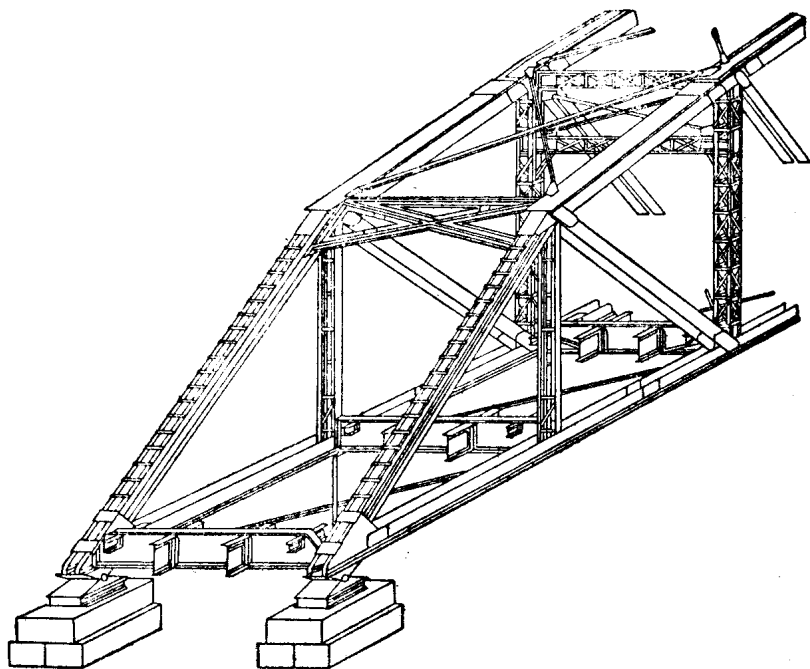


圖 1.

§ 3. 結構計算示意圖的分类

在結構力學中，我們將只以結構的計算示意圖來處理問題，但為了名詞的簡略起見，我們將只用“結構”這個名詞，不再每次另加說明。

按其計算的觀點上看來，結構可以根據不同的特性來分類。

從幾何或空間的觀點上，結構可以分為三類：

1. 由桿件組成的結構，也就是由這種原件所組成，它們的一個尺寸（長度）遠超過其他兩個尺寸。這樣的結構，我們稱之為桿件結構，一根單獨的桿件是桿件系統的特例。

2. 由这样的構件所組成的結構，它的兩個方向的尺寸（長度和闊度）远超过第三方向的尺寸（厚度）。这种構件称作薄片、薄板和薄殼。

3. 这类結構的三个尺寸是同級大小，这些可以称作塊体、实体或者簡單地称作物体。

計算示意圖按这样的特点來分类是很重要的，因为上述的三类在計算的特性上彼此大有区别。在本教程中差不多專講桿件系統。

桿件系統也可分成平面的和空間的兩種。所有桿件的軸綫和外力的作用綫在同一平面內的那种系統称作平面系統，不符合这个条件的系統称作空間系統。

从机动的观点來看，系統分为：

- (1) 只具有必要的机动約束数目的几何不变和不动的系統；
- (2) 具有某些多余約束的几何不变和不动的系統；
- (3) 几何可变的系統。

只因材料变形而引起形狀的改变的系統称为几何不变系統。換句話說，由絕對剛勁的材料所做成而不会改变本身形狀的称为几何不变的系統。机动的特性有很重要的意义，因为作为一个結構，只可採用前面的兩個类型（不变形的）。同时這兩個类型按照靜力的性質和計算的特点彼此又大有区别。

从構件相互連接的特点來看，結構分为：

1. 鉸接的，2. 剛接的，3. 混合的。在平面桿件結構的計算示意圖中，鉸是看作只允許兩個桿件繞垂直於其平面和通过鉸心的綫軸作相对轉动的裝置。鉸上的摩擦力認為等於零。圖 2 的剛架可以作为

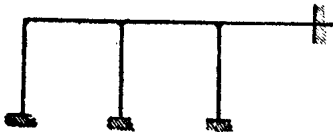


圖 2.

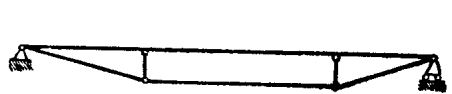


圖 3.

剛接構件的桿件系統的例子；圖 3 的桁構梁作為混合系統的例子。構件互相連接的方法反映到結構功用的特性，同時也影响到計算的方法。

从支座反力的方向來看，結構可分為無推力的和有推力的。

豎荷重只產生豎反力的結構屬於第一類。所有其余的結構屬於第二類。有推力的系統，具有特征性的支座水平分反力，在本質上影响到系統本身的功用，也影响到支座的功用。

§ 4. 平面桿件系統支座的分類

這些支座只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 表示金屬橋跨結構的移動支座的構造。

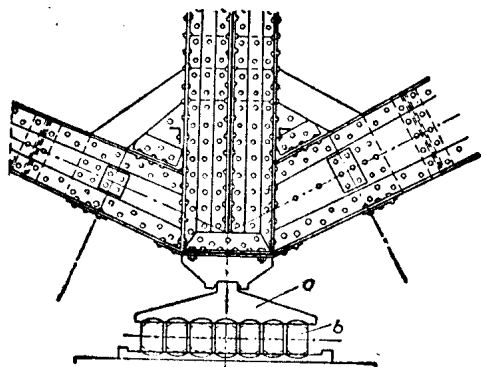


圖 4.

橋跨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，但不可能沿垂直於桁架平面的方向滑動。

這種支座表現在構造上可以是多種多樣的，但是它的

計算示意圖可以經常畫成像圖 5 所示的式樣。从機動觀點來看，這種支座的特點在於既不阻碍系統在它的平面內轉動，也不阻碍它在平行於直線 MN 方向的移動，而僅消除它沿垂直於直線 MN 方向的移動可能性。

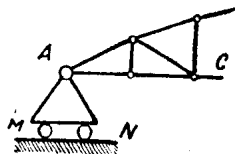


圖 5.

圖 6 表示屬於同一類型的裝置，這裡，給可動系統裝上了一塊承座墊 CD ，它可以沿着固定的表面 EF 無摩擦地轉動和滑動。支座反力永遠通過接觸點 A 並且指向兩曲線的公共法線的方

向。

鉸接移动支座的机动和靜力性能,可以用圖 7 的形式代表,也就是用垂直於支座直綫 MN (圖 5) 的所謂支·座·鏈·桿 AB 來代表。这样的鏈桿允許系統繞鉸 A 轉动,並且允許系統沿以 B 点为圓心以 BA 为半徑所作的圓周的方向移动。但是圓周上的無限小的一段可以作直綫。在另一方面,这样的支座形像是適宜的,它同时顯示支座反力的方向和位置: 这反力的作用綫是沿 AB 軸。这种支座反力只有一个未知数——反力的数量;同时支座用一根支·座·鏈·桿表示。

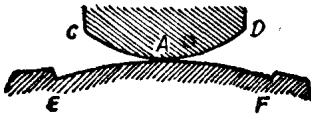


圖 6.

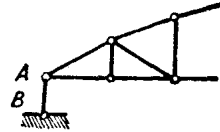


圖 7.

2. 鉸接不移动支座 这种支座只允許系統繞一垂直於系統平面的固定軸綫轉动。圖 8 表示金屬柱子的作为鉸接不移动支座的構造的

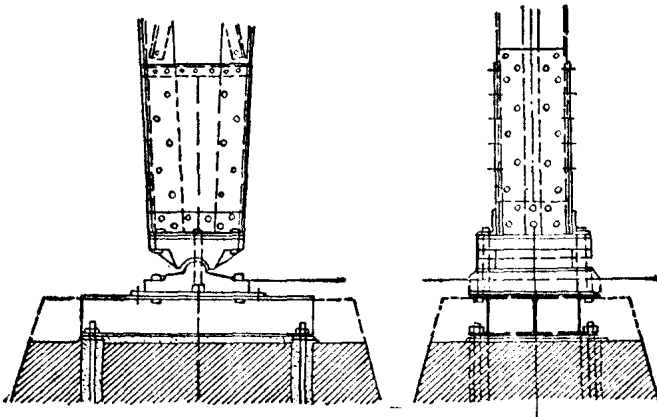


圖 8.

例子^①。这种支座的示意圖形式,在圖 9, a 中表明。从机动和靜力观

① 斯特萊勒茨基 (Н. С. Стрелецкий) 和格聶夫 (А. П. Генцев) 教授所著“金屬的構造” (Металлические конструкции) 1935, 第 804 頁。

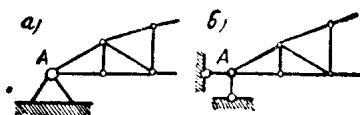


圖 9.

點來看, 這種支座可以完全用圖 9, б 來表達它的特点。支座反力通過 A 點, 並含有兩個在數量方面未知的分力, 這兩個未知數量正好由相交在 A 點而負荷

兩個反力的兩根支座鏈桿標誌着。

3. 不動支座或固定支座 對於金屬柱子的這種支座的例子, 表示

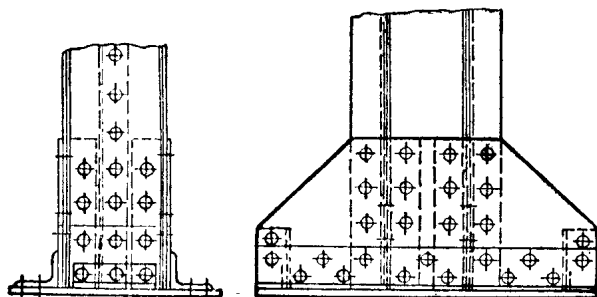


圖 10.

在圖 10^① 中。這種支座不允許有綫位移和角位移。現在所述的支座反力含有三個未知數; 例如, 這反力可以想像為一個力和一個力偶的形式, 大家知道, 力的大小和方向, 可以由這個力的兩個分力來確定, 而力偶可以由一個數量來確定, 就是力偶的力矩。按照未知數的數目, 固定支座可以用三根不相交在一點的支座鏈桿來表明 (圖 11)。



圖 11.

^① 斯特萊勒英基 (Н. С. Стрелецкий) 和格森夫 (А. Н. Генниев) 教授所著“金屬的構造” (Металлические конструкции) 1935, 第 804 頁。