

高等学校教学用书

理論力学

建筑力学教程第一部分

B. Ф. 道契斯基著

高等教育出版社

高等学校教学用书



理 論 力 学

建筑力学教程第一部分

B. Ф. 道契斯基著
謝明法 叶開沅譯

高等教育出版社

本書係根據蘇聯國立建築書籍出版社(Государственное архитектурное издательство)出版的日莫契金(Б. Н. Жемочкин)教授主編的“建築力學教程”(Курс строительной механики)之第一部分道契斯基(В. Ф. Точиский)副教授著的“理論力學”(Теоретическая механика)1948年版譯出的。

原書經蘇聯部長會議建築專業委員會教育處(Отдел учебных заведений Комитета по делам архитектуры при Совете Министров СССР)批准作為高等建築學校的教科書。

本書序言及靜力學中第一至第五章,運動學及動力學全部為謝明法同志所譯,第六章重心為葉爾沉同志所譯。

理 論 力 學

建筑力学教程第一部分

В. Ф. 道契斯基著

謝明法等譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內法界寺7號
(北京市書刊出版業營業許可證出字第054號)

上海市印刷三廠印刷 新华書店發行

統一書號 15010·22 開本 850×1168 1/32 印張 5

字數 223,000 印數 7,501—8,500 定價(4) 洋0.70

1954年12月第1版 1959年2月上第4次印刷

卷首語

在建築力學方面，已經出版了許多很好的課本與教學參考書。不過，那些書基本上都是給結構專業的大學生或中等技術學校的學生用的。到目前為止，還沒有一本符合於建築學院與建築系的教學大綱的教本。本教程的出版為的是要填補這一存在着的空白。

本教程包括三部份：理論力學、材料力學與結構靜力學。把理論力學這部份列入本教程的範圍內，是因為，在建築學院及建築系中，理論力學並非一門獨立的課程，而是看作學習材料力學與結構靜力學時的輔助課程。

未來的建築師們，從其業務範圍來看，不見得非直接從事結構的設計和計算不可。然而，他們無疑地要去挑選結構的圖樣，確定結構及其構件的一般尺寸的。因此，在本教程中，除了敘述計算理論的基本原理外，還着重地敘述了，在設計結構草圖時為了事先決定尺寸所適用的近似計算方法。

本教程係由莫斯科建築學院建築力學教研室的教師們集體編寫而成，並且基本上是與教學大綱的要求以及該課程在總的教學計劃中所應佔的比重相符合的。

本教程各部份的編寫者如下：理論力學——B. Ф. 道契斯基副教授；材料力學——С. Н. 尼基伏落夫教授；結構靜力學——第一至第四章為Д. П. 巴謝夫斯基副教授，其餘各章為B. H. 日莫契金教授。主編為B. H. 日莫契金教授。

作為編寫一部能符合建築學院的學生們所需要的建築力學教程的初步嘗試，本教程在講述方法及其它方面當然不免有許多缺點。讀者的一切意見和願望當為編者所滿懷謝忱地接受，並將在再版時加以考慮。

序 言

建築師們在設計和建造建築物時，所要解決的基本問題之一，是保證建築物的堅固性和耐久性。

許多著名的建築古蹟，經歷了數千年而保持了足夠的堅固性。古代的建築師們不惜材料，不惜勞力，不惜時間，同時以較大的安全因素保證着自己的建築物，把它的牆築得過厚，圓柱和柱石建得過大。可惜，關於古代的建築師們怎樣決定結構構件的尺寸這方面，差不多沒有留下一點記載。

古代的建築物，在構造方面，沒有大的差異。當建造新建築物時，就依照已證明是正確的老的結構形式。

如果新採用的結構形式，比起早已修成了的結構物，有着很大的不同，而且還是堅固和經久耐用些，那麼就把它採用為後來的建築的範例。這樣，工程質量的優良與否就全靠生活經驗來決定了。而結構的改良就祇能進行得很慢很慢。

在技術發達到現代的水平而實際所採用的建築形式又是多種多樣的情況下，建築師不可能把自己的業務放在這種以時年計，甚至歷時幾個世紀的實驗基礎上。現在，必須建造得迅速、堅固和經濟。

不能設想，要現代的建築師在建造建築物前，預先按照實物的大小，形成了模型，用荷載來試驗它，並且祇有在確信了模型的堅固性以後，才動手去建造。然而，在古代恰恰是這樣來判定堅固性的。在現代，結構計算被認為具有極重大的意義。在設計結構物時，必須確定結構物所要承受的外力，決定結構各部份上內力分佈的規律，最後並挑選結構物的尺寸，使它既保證足夠的堅固性同時又不失之過大。

至於結構計算的方法，將在建築力學中去說明。

建築力學是由下列幾門課程所組成：

- (a) 理論力學；
- (b) 材料力學；
- (c) 狹義的建築力學，它也稱為結構靜力學或結構學原理。
- (d) 彈性力學。

理論力學研究剛體（包括質點在內）的平衡和運動的問題。力系的平衡諸定律在靜力學部分中講述，運動定律在運動學中，而力和運動之間的連繫則在動力學中說明。理論力學可以當作一門獨立的課程，但是也可以把它列入建築力學內。

材料力學是以上述的理論力學為基礎的，不過還要考慮到建築材料的物理特性。

在材料力學中，要說明結構構件的強度與穩定性的諸問題，要研究力在主要構件——在樑上或桿件上的作用，並且要決定內力和形變。

建築力學也叫作結構靜力學，乃是研究由樑或者桿件所組成的結構系統的強度和穩定性的。

在彈性力學中，也研究材料力學中所研究的問題，不過是更深入一步，而且也研究那些用材料力學的方法所不能解決的問題。在材料力學中，為了求得可以應用於實際的近似解答，必須設想許多假定，彈性力學却是不需要作這些假定的。同時，用彈性力學的方法，可以估計由材料力學所得到的解答的精確程度。彈性力學的最大特點在於數學工具的強有力的發揮。

彈性力學沒有列入本教程中。

為着實用的目的，建築力學沒有涉及材料的內部結構的問題。但是，一方面建築力學畢竟與材料的物理特性有關，而密切地與物體的物理構造相關連；另一方面，因為建築力學專講結構計算的問題，所以建築力學又直接同工程學科連結起來。

與實際需要密切聯繫着的建築力學，應該以實驗為基礎，理論上得出的結果還需要用實驗方法來檢驗。不瞭解建築材料的性質，就無從

論及建築材料的強度。

因此，人們早就想出了許多以研究建築材料的機械性質為目的的實驗裝置。在十九世紀中期，就出現了佈置得很好，配備着為試驗材料用的重型機械的實驗室了。現代的實驗室的任務是更加大大地擴充了。在實驗室中，並不僅限於決定材料的機械強度，而且還要研究溫度的影響，荷載週期作用的影響，變形隨時間的變化等等。最近，已經可以在實驗室中試驗完整的結構模型了。祇有理論與實驗的密切結合，才是建築力學繼續勝利發展的保證。

基本定義

理論力學是關於物體的機械運動以及其平衡的科學。

機械運動所指的是運動的最簡單的形式，即物體在空間中的位移。至於運動的其它形式——分子、原子與電子的運動——要在化學和物理學的專門部份中去研究。

物體的平衡乃是機械運動的特殊形式。

研究理論力學首先有着一般的教育意義，因為它幫助我們認識在我們周圍的世界中所發生的許多現象。這門科學同時又在工程中起着重大的作用，因為在設計和建造各種結構物及機器時所用的許多工程計算，是以理論力學中的定律為基礎的。

如上所述，理論力學包括下列三部份：**靜力學**，**運動學**及**動力學**。

目 錄

卷首語

序言

基本定義

第一篇 靜力學

第一章 靜力學的基本概念及原理.....	1
§ 1 絕對剛體、質點以及力的概念	1
§ 2 靜力學中的基本定義	2
§ 3 靜力學的諸原理	3
§ 4 約束與約束的反應力。約束解除的原理	7
§ 5 滑動摩擦的諸定律	10
第二章 共面匯交力系	11
§ 6 匯交力系合成之圖解法	11
§ 7 三個共面非平行力的平衡	16
§ 8 力在軸上的投影。匯交力系合成之分析法	18
§ 9 習題	22
第三章 共面力系	23
§ 10 共面非匯交力系合成的力之多邊形法	23
§ 11 平行力之合成與分解。第一類槓桿與第二類槓桿	24
§ 12 力偶、力偶矩。關於力偶等效性的諸定理	28
§ 13 共面力偶之合成	31
§ 14 平面內力對於一點的矩。范里農定理	32
§ 15 物體對於傾覆的穩定性	35
§ 16 共面力系簡化為一個力與一個力偶。范里農定理用於非匯交力系	37
§ 17 共面力系平衡方程的三種形式	39

§ 18	支座反應力以及桁架桿件中的應力決定法	46
§ 19	若干物體的平衡	49
§ 20	習題	51
第四章 圖解靜力學的基礎		54
§ 21	共面力系利用力多邊形與繩索多邊形的合成法	54
§ 22	力系簡化為一個力偶時的情形與力系為平衡時的情形	57
§ 23	決定梁之支座反應力的圖解靜力學法	58
§ 24	決定力矩的圖解靜力學法	61
§ 25	習題	64
第五章 空間力系		64
§ 26	力在直角坐標軸上的投影	64
§ 27	匯交力系之合成及其平衡方程	65
§ 28	力沿空間三個指定的方向的分解	67
§ 29	力對於直角坐標軸之矩	68
§ 30	空間的力偶理論	69
§ 31	空間力系簡化為一個力及一個力偶	72
§ 32	空間力系的平衡方程	73
§ 33	習題	75
第六章 重心		77
§ 34	平行力的中心及其坐標	77
§ 35	物體、幾何圖形(面積的)與線的重心	80
§ 36	重心求法舉例	83
§ 37	平面重心的圖解求法	89
§ 38	習題	91
第二篇 運動學		
第七章 質點的運動		93
§ 39	質點的直線運動,其速度及加速度	93
§ 40	勻變速直線運動	94

§ 41	質點的簡諧振動	97
§ 42	平面內質點之曲線運動	99
§ 43	加速度沿切線及法線的投影	102
§ 44	關於質點的相對運動的概念	104
§ 45	習題	105
第八章 剛體的平面運動		106
§ 46	剛體的平移及(圍繞固定軸的)轉動	106
§ 47	剛體圍繞固定軸轉動時其質點的速度及加速度	108
§ 48	剛體的平面平行運動	109
§ 49	平面圖形的運動分解為平移與轉動	112
§ 50	習題	113

第三篇 動力學

第九章 動力學的基本定律及質點動力學之一般定理		115
§ 51	動力學之基本定律(牛頓諸定律)	115
§ 52	質點平面運動的微分方程	116
§ 53	質點的動量定理	118
§ 54	力所作之功。功率	120
§ 55	質點的活動定理	122
§ 56	關於勢能的概念。能量守恆定律	123
§ 57	習題	125
第十章 達朗伯原理與拉格朗日原理重心運動定律		125
§ 58	達朗伯原理用於質點	126
§ 59	達朗伯原理用於力學系統	127
§ 60	虛位移	129
§ 61	虛位移原理(拉格朗日原理)	131
§ 62	質點系之重心運動定律	135
§ 63	習題	136

第十一章 物體之碰撞與振動.....	137
§ 64 關於非彈性碰撞及彈性碰撞之概念.....	137
§ 65 兩個作平移運動的物體間的非彈性碰撞.....	138
§ 66 非彈性碰撞中的動能損失.....	139
§ 67 自由簡諧振動.....	140
§ 68 關於受迫振動與共振之概念.....	145
§ 69 習題.....	147

第一篇 靜力學

靜力學研究兩個基本問題：

- (1) 如何用較簡單的力系來替代已知力系。
- (2) 力系的平衡條件是怎麼樣的。

第一章 靜力學的基本概念及原理

§ 1 絕對剛體、質點以及力的概念

每個固體，在外部作用的影響下，就會改變本來的形狀（即變形），例如收縮、伸長、撓曲或扭曲等。不過，這些形變多半是極其微小，以致在解決許多實際問題時，可以對它們不加考慮。在這種情況下，可以把物體當作絕對剛性來看待，也就是，看作這種樣的物體，在任何外力的作用下，各部份之間的距離保持不變。這種假想的物體，我們以後就叫作剛體，或簡稱之為物體。

質點是一種假想的剛體，它的大小，與研究問題時所牽涉到的其它幾何量相比時，可以忽略不計。但是可以設想在一質點上集中着任意大小的質量。例如在天文學中研究行星的運動時，行星是被看成為質點的，因為雖然行星非常大，但是它們的大小與行星之間的距離相比時，畢竟還是極其微小的。在這種情形下，在每個這樣的行星（質點）上，就集中着很大的質量。

另一方面，所有的物體都可以想像為由無數個極其微小，其致於無

窮小的粒子所組成，在這些粒子上面集中着極其微小的，甚致於無窮小的質量。所有這些粒子，都可以看作質點。

力是物體與物體之間相互的機械作用。力對物體上的機械作用決定於三個因素：力的大小(強度)、力的方向與作用點。

力在工程單位制中，以千克為單位；1000 千克等於 1 噸(τ)。爲了測量力的大小，採用一種叫測力計的儀器。其中最簡單的就是常用的彈簧秤。它的作用原理是，在一定的限度內，彈簧的伸長與作用力是成正比。在力學中，如同在物理學中一樣，有兩種量：有方向的與無方向的。

凡具有數值和一定方向的量稱爲矢量，如力，速度。

祇有數值而沒有方向的量稱爲標量，如物體的溫度、壓強、比重、體積等等；祇有當兩個矢量，具有相等的數值(或橫量)和相同的方向時，它們才被認爲是相等的。

力是矢量，因爲它對物體的作用，不僅要看它的大小，而且要看它的方向而定。

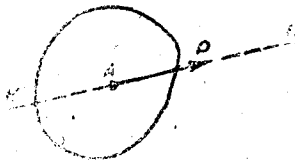


圖 1

在插圖(圖 1)中，力表爲一個尾端帶有箭頭的直線段。這線段的長度，按一定的比例尺，表示力的數值。箭頭指示力的作用方向。矢量所在的直線 KL ，稱爲力的作用線。矢量的起點 A 與力的作用點相重合。力以上面帶有橫線的字母來表示，如 \overline{P} 、 \overline{Q} 、 \overline{F} 等等。字母上加一橫，標誌出力是向量。不過，以後爲了簡便起見，將以不帶橫線的字母表示力。

§ 2 靜力學中的基本定義

一個已知物體內各部份之間互相作用的力，對於這個物體來說，稱爲內力。由另一物體所產生的力，對於該物體來說稱爲外力。例如

物體的彈性力就是內力，而地球的吸引力（物體的重量），對於已知物體而言，乃是外力。

力系是指作用在同一個物體上的許多力的全體。

凡是互相替換地施於物體之上而不改變對於物體的作用（亦即物體之靜止狀態或運動狀態），的力系都稱為等效力系。

若物體在某力系作用下，仍能保持平衡，則該力系就稱為平衡力系。

假如已知力系與一個單獨的力等效，那麼這一個力就叫作該力系的合力。與合力相等而方向相反並在同一直線上的力則為平衡力。

§ 3 靜力學的諸原理

原理 1 作用於物體上一點的兩個大小相等而方向相反的力互成平衡，其合力則為零。

這個原理適用於一切物體（剛體或彈性體）。

作用於剛體上不同的兩點，但是位於同一作用線上的兩個大小相等而方向相反的力也互成平衡。

原理 2 加上或除去互成平衡的若干力，不會改變剛體的力學狀態（即剛體的平衡狀態或運動狀態）。

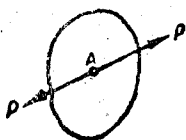


圖 2

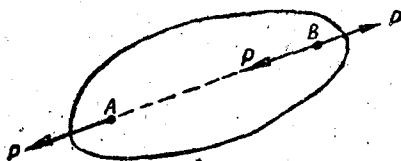


圖 3

系 在剛體中，力可以沿其作用線移到任意點，而它對物體的作用不會因之改變。設有一個力 P 作用於剛體上的 A 點（圖 3）。我們要證明，設若把這個力沿着它的作用線移到物體上的一個任意點 B 上去，則這個力對物體的作用將還與前一樣。

我們沿着 AB 線在 B 點加上兩個相等而方向相反的力 P 根據原理 2, 增加這兩個力並不會改變原來在 A 點的力 P 對於體的作用。而根據原理 1, 分別作用在 A 點和 B 點上的兩個大小相等而方向相反並在同一直線上的力互成平衡, 於是還剩下了一個力 P , 但它已是作用在 B 點上的了, 這就是所要證明的 ①。

原理 3 作用於物體上一點的兩力的合力, 也作用於同一點上, 其大小與方向就等於以這兩力為邊所作成的一個平行四邊形的對角線。

設有兩個力 P 和 Q 作用於物體上的 A 點 (圖 4), 則其作用可以用一個單獨的力 R (即合力) 的作用來代替, 這個合力亦即平行四邊形 $APRQ$ 的對角線。這個平行四邊形是把 P 和 Q 兩個力, 按某一比例尺, 依照它們的作用方向在圖紙上定出, 並以此作為兩邊而作成的。其結果可以縮寫成矢量和的形式 $\vec{R} = \vec{P} + \vec{Q}$, 也就是說, 合力 R 的作用等於力 P 和 Q 力作用的和。

應當指出, 按照數量而言, $R < P + Q$ (代數不等式)。由三角形

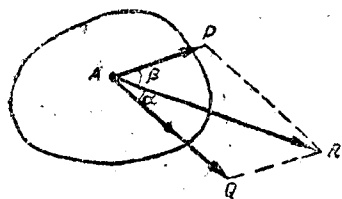


圖 4

ARQ 中我們得到:

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 - 2PQ \cos(180^\circ - \varphi)},$$

這裏 $\varphi = \alpha + \beta$ —— 已知力之間的夾角 (圖 4)。

但是, $\cos(180^\circ - \varphi) = -\cos\varphi$; 所以

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ \cos\varphi}. \quad (1)$$

其次我們得到:

$$\frac{P}{R} = \frac{\sin\alpha}{\sin(180^\circ - \varphi)} \quad \text{與} \quad \frac{Q}{R} = \frac{\sin\beta}{\sin(180^\circ - \varphi)}$$

由此

$$\sin\alpha = \frac{P}{R} \sin\varphi \quad \text{與} \quad \sin\beta = \frac{Q}{R} \sin\varphi. \quad (2)$$

① 如果考慮到發生於物體內部的, 各部份之間的內力時, 或決定物體的形變時, 那麼力就不能隨便沿其作用線移動了。關於這一問題的詳細討論, 參看本教程第二部份——材料力學。

由此可見，如果給定力 P 和 Q 的大小，以及它們之間的夾角，則按公式(1)和(2)就可以求得合力 R 的大小以及合力與 P 、 Q 兩力作用方向之間的夾角 α 及 β 。

原理 4 作用力與反作用力相等值、反向且共線。也可以這樣來敘述這個原理，任何兩個質點互相作用的力總是大小相等而方向相反的，其作用方向就在兩個質點的連線上。

例如，若質點 A (圖 5, a) 以 P_1 力吸引質點 B ，則質點 B 就以相等而方向相反並且共一作用線的力 P_2 作用於點 A ，即是說，就數值而言 $P_1 = P_2$ 。其中的一個力叫作作用力，另一個力就叫作反作用力（或反應力）。這個原理無論是對物體的平衡狀態或運動狀態而言都是正確的。這個原理的意義是說，自然界中一切的力總是成對出現的（成雙的）。當一個力作用於某一物體上時，總有另一個與之等值，反向、共線而作用在另一物體上的力存在。這樣的兩個力是作用在不同的兩個物體上的，因而說它們互成平衡是毫無意義的。

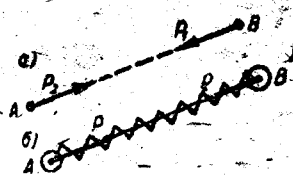


圖 5



圖 6

讓我們舉例來說明作用力與反作用力的原理。

1. 物體與物體之間的吸引力和排斥力 設有兩個小球 A 和 B ，以橡皮帶或彈簧連結起來 (圖 5, b)。如果預先把橡皮帶拉長，並且把這兩個小球放在光滑的水平面上，那麼它們之間就會出現兩個力 P ，在其作用下，小球將彼此靠攏。這兩個力的大小雖將改變，然而在運動過程中