高等学校教学用書

理論力學

上 册

E. Л. 尼古拉依著

高等教育出版社

本書係根據蘇聯技術理論書籍出版社（Государственное издательство технико—теоретической литературы）出版的尼古拉依（Е. Л. Николаи）著"理論力學"（Теоретическая механика）1952年第十六版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等工業學校教科書。

本書中譯本分上下兩册出版。上册包括剛體靜力學與運動學兩篇。原書正文前尚有"理論力學發展簡史"一文，但因為這篇文章是後來補譯的，所以中譯本改列在下册第二分册之末。

本書原由商務印書館出版，自1955年8月起改由本社出版。

理　論　力　學

上　册

Е. Л. 尼古拉依著

李文美　徐芝綸譯

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）

竹記印刷厂印刷　　新華書店總經售

書號 13010·168　開本 850×1168 1/32　印張 9 14/16　字數 215,000
一九五五年八月上海新一版
一九五六年12月上海第六次印刷
印數5,001–14,000　　定價(8)￥1.10

出版者的話

Е. Л. 尼古拉依所著的理論力學上册，現在發行的第十六版，按照著者逝世後出版的第十四與第十五版重印，未加修改。

和前兩版一樣，爲配合當前教學大綱的要求——在理論力學課程中應多注意力學的歷史，——在本書前冠以序論：專講理論力學的歷史發展。這序論是由本社約請 Н. Д. 莫依謝耶夫教授爲本書第十四版編寫的。

蘇聯技術理論書籍出版社

第十三版原序

我的"理論力學"上册第十三版是經過一些改寫後付印的。

本書的基本內容並沒有改變；改寫的是在講解靜力學與運動學的若干部份中引用了(根據現行的高等工業學校理論力學教學大綱)矢量代數與矢量分析。

引用矢量方法可以使許多力學問題的講解大爲簡化，不過也得承認，過份率直地引用這方法，有時候不僅不能減少反而會增加初學者掌握力學題材的困難。對於初學者，由於對矢量運算不夠熟悉，所以常常不容易瞭解問題的力學實質，因此我認爲，在以初學者爲對象的力學教本裏，矢量方法的引用是應該相當慎重的。

理論力學的講解可以用三種方法：幾何法、解析法(或坐標法)以及以矢量代數與矢量分析爲基礎的矢量法。在本書這一版的編寫中，我以爲這三種方法沒有一種是可以完全擯棄不用的。本書裏講解每一問題的時候，我選取了在我看來是達到目的的最簡捷的一種方法。當然，在每一種情形下，對於各種方法的取捨，主觀的因素是無可避免的。本書在這方面究竟成功到什麼程度，只有留待讀者來判斷了。

矢量代數最初步的原理，在靜力學的緒論裏就加以說明。矢量代數與矢量分析的其餘的必需知識，則根據需要，在本書有關部分加以講述。

關於本書的內容，在運動學(第二篇)裏有一些補充。第十八章(剛體的定點轉動)裏加上了角加速度(§ 114)，剛體內各點的加速度(§ 117)，剛體內某點的速度在與剛體固連的各坐標軸上的投影(§ 121)；第十九章(剛體的一般運動)裏加上了 § 124，提出了在任何牽連運動中的加速度合成定理。

本書以前的各版都稱爲"理論力學講義"，本版改用比較簡短的名稱"理論力學"。

E. 尼古拉依

尼氏理論力學上册譯序

本書是根據尼氏原著第十六版(1952)翻譯的。正文前原來有一篇序論"理論力學發展簡史",長達二十四頁;我們一直想把它儘先譯出。可是這序論裏有好幾處,我們要等找到足夠的參考資料後才敢定稿;這不只是爲了愼重,也因爲如果照字面直譯而不加一些解釋,對讀者的幫助可能是不大的。而且序論的內容,也只有在讀完理論力學之後才可能理解。因此,這篇文章是後來補譯的,並改列在下册第二分册之末。

我們分工譯出的初稿(第八章至十一章是徐芝綸譯的,其餘是季文美譯的),都經過互相核對。譯名是統一的,可是兩個人的文體很難做到完全一致。除例假之外,我們很少有整天的時間來做譯校的工作;所以,就是同一人譯出的部份,也可能有語氣不很連貫的地方。

由於時間和能力的限制,疏誤是難免的,希望讀者隨時指正。

譯者 1953 年 5 月

上册譯本三版附記

本書承華東航空學院胡沛泉同志、陳炎同志全部校閱一遍，彭炎午同志對照原文校閱多處；不僅指出許多排印中的疏誤以及文字上的修正，並且提出好幾處原則性的修改。又承清華大學力學教研組將本書§1, §6—8, §24—26等節，對照原文，逐句校訂，指出疏誤四處。

譯者除儘可能分別訂正外，謹此誌謝。

譯者 1954年6月

目　錄

第一篇　剛體靜力學

第二篇　運動學

第一篇　剛體靜力學

緒　　論

§1　靜力學.運動學.動力學

力學是關於物體運動的科學。

所謂物體的運動，我們理解爲物體隨着時間改變在空間的位置。此較廣義的運動（亦卽指物體形態、生物組織、社會團體等等的所有各種變化）是其他各種科學（物理學、化學、生物學、社會科學等等）所研究的對象。物體位置的改變，爲區別於其他各種運動，有時稱爲機械運動。本書中的"運動"，以後就專指機械運動。

理論力學研究物體運動的一般規律，並對於有關物體運動的各種問題，提供一般的解答方式與方法。把力學原理應用於解答專門的工程問題（例如應用於結構強度的分析與機器運動的研究等等），則屬於應用力學各部門的範圍。

機械現象（亦卽物體運動的各種現象）屬於物理現象的領域。在這種意義上，理論力學是理論物理學的一部門。

物體的平衡是運動的一個特殊情形。力學裏，研究物體平衡條件的這一部份，稱爲靜力學。平衡規律在本質上遠比一般的運動規律來得簡單；因此，靜力學自然也遠比力學的其他部份——研究物體運動現象的各部份——簡單淺易。所以，本書上册就從靜力學（第一篇）開始。

這樣的講解程序也和力學發展的歷史過程相符合。靜力學的基本定理從很古就已經發現，而運動現象有效的研究，只有在十七世紀發明了微量分析之後，才成爲可能。

其次將轉入物體運動的討論。在這裏，物體的運動先從純粹幾何觀點來研究（上册第二篇）。理論力學裏，研究運動的幾何性質的這一部份，稱爲運動學。在運動學裏，物體的運動被看爲與運動的物理原因無關。

然後進而研究物體由於物理原因所決定的運動（下册）。理論力學裏，從事於這種研究的部份，稱爲動力學。在動力學裏，將建立物體運動最一般性的規律。

這樣，理論力學分爲三部份：靜力學、運動學、動力學。

§2 矢量．矢量的加與減

在力學的各部份裏，都需要處理這樣的量：不僅要說明它們的大小，而且要指出它們在空間的方向；例如：力、速度、加速度等等。同時，也將遇到這樣的量：只有大小，並無方向；例如質量、能量等等。這兩種物理量各有專門名稱，第一種量稱爲矢量或向量，第二種量稱爲標量或純量。

作爲本書的開場，下面先對於矢量稍加說明。[1]

矢量與標量，最好在標記的方式上就加以區別。本書中，標量將用普通的字母代表；而矢量則將用粗體的字母代表。並且，設用粗體的某

[1] 關於矢量，在這裏只提出在靜力學開頭就必須用到的一些基本知識。矢量理論的詳細敍述，可參閱科欽所著的矢量計算與張量原理（Н. Е. Кочин, Векторное Исчисление и Начала Тензорного Исчисление）第六版，1938（譯者註：此書已有第七版，1951）。

一字母代表矢量，則這一矢量的大小或模（這是標量）將用普通體的同一字母代表。因此，必須區別矢量 $\boldsymbol{a}$ 與它的大小 a。有時爲表示矢量 $\boldsymbol{a}$ 的大小，亦採用符號 $|\boldsymbol{a}|$。[1]

取直線段 AB（圖 1）並註明這線段的明確方向，例如從點 A 到點 B；在圖上，這方向用加在點 B 的箭頭來表示。註明一定方向的這種線段，就是矢量的最簡單的實例。

任一矢量 $\boldsymbol{a}$，因具有一定的大小 a 與一定的方向，必可作圖表示：用線段 AB（圖 2），其長度包括 a 個長度單位（任意選擇的），而方向則與矢量的方向相同；在圖上，這方向用箭頭表示。點 A 稱爲矢的起點，點 B 稱爲矢的終點。有時亦將用兩個字母 AB 代表一個矢量，這時候，規定把註在矢的起點的字母寫在前面，註在終點的字母寫在後面。如

圖 1

圖 2

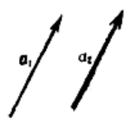

圖 3

果矢量 $\boldsymbol{a}$ 的方向是從 B 到 A，則須用 BA 代表這矢量。

兩個矢量 $\boldsymbol{a}_1$ 與 $\boldsymbol{a}_2$（圖 3），設大小相等，互相平行而且指向相同，則稱爲相等。

表示矢量的相等，將採用普通的等號：

$$\boldsymbol{a}_1=\boldsymbol{a}_2。$$

在矢量公式裏的某一矢量，設用兩個字母代表，則在這兩個字母的頂上將加一短劃。例如，爲表示矢量 AB 與 CD 的相等，將寫成：

---

[1] 在書寫時，用粗體很不方便。所以，在印刷裏矢量用粗體字母代表，在書寫時，仍用普通字母代表，但在字母頂上加一短劃（例如 $\overline{a}$）。

$$\overline{AB}=\overline{CD}。$$

設有若干矢量，例如 $\boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{a}_2, \boldsymbol{a}_3, \boldsymbol{a}_4$，等四個矢量(圖 4)，並作圖如下。從任一點 A 作矢量 $\overline{AB}$，等於矢量 $\boldsymbol{a}_1$；從畫出的線段的 B 端，作矢量 $\overline{BC}$，等於矢量 $\boldsymbol{a}_2$；從這線段的 C 端，作矢量 $\overline{CD}$，等於矢量 $\boldsymbol{a}_3$；最後，從點 D 作矢量 $\overline{DE}$，等於 $\boldsymbol{a}_4$。於是用直線連接第一矢量的起點 A 與最後矢量的終點 E。矢量 $\overline{AE}$ (從點 A 指向點 E)用字母 $\boldsymbol{a}$ 代表。這樣作出的矢量 $\boldsymbol{a}$ 稱爲原有矢量 $\boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{a}_2, \boldsymbol{a}_3, \boldsymbol{a}_4$ 的和，而上述的作圖則稱爲矢量的合成或相加；矢量 $\boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{a}_2, \boldsymbol{a}_3, \boldsymbol{a}_4$ 各稱爲分矢量。

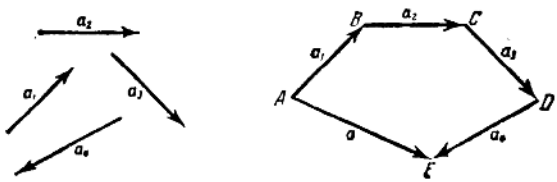

圖 4

表示矢量的合成或相加，將採用普通的加號：

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_1+\boldsymbol{a}_2+\boldsymbol{a}_3+\boldsymbol{a}_4。$$

設已知 n 個矢量 $\boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{a}_2, \cdots, \boldsymbol{a}_n$，它們的和等於 $\boldsymbol{a}$；則將寫爲

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_1+\boldsymbol{a}_2+\cdots+\boldsymbol{a}_n。$$

取兩個矢量 $\boldsymbol{a}_1$ 與 $\boldsymbol{a}_2$ (圖 5)。從任一點 A 作矢量 $\overline{AB}$ 與 $\overline{AC}$，分別等於矢量 $\boldsymbol{a}_1$ 與 $\boldsymbol{a}_2$，並用直線連接點 B 與點 C；矢量 $\overline{BC}$ (從 B 指向 C)

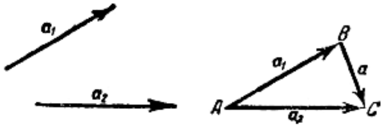

圖 5

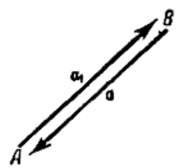

圖 6

用字母 $\boldsymbol{a}$ 代表。矢量 $\boldsymbol{a}$，設與矢量 $\boldsymbol{a}_1$ 相加可得矢量 $\boldsymbol{a}_2$，稱爲矢量 $\boldsymbol{a}_1$ 與 $\boldsymbol{a}_2$ 的差；而上述的作圖，稱爲矢量的相減。

表示矢量的相減，將採用普通的減號：

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_2-\boldsymbol{a}_1。$$

在 $\boldsymbol{a}_2=0$ 的特殊情形下，點 C 將與點 A 疊合，因而矢量 $\boldsymbol{a}$ 大小等於矢量 $\boldsymbol{a}_1$ 但沿相反方向（不是從 A 向 B，而是從 B 向 A，圖 6）。同時，在這一特殊情形下，上面的公式將成爲

$$\boldsymbol{a}=-\boldsymbol{a}_1。$$

由此可見，$-\boldsymbol{a}_1$ 是一個矢量，與矢量 $\boldsymbol{a}_1$ 大小相等方向相反。

§3　矢量乘以標量．單位矢量

設已知某一矢量 $\boldsymbol{a}$ 與某一正值的標量 m。作一個新的矢量，與已知矢量 $\boldsymbol{a}$ 同方向，而大小則等於已知矢量的大小 a 乘以標量 m。所得的新矢量稱爲矢量 $\boldsymbol{a}$ 與標量 m 相乘的積，並用 $m\boldsymbol{a}$ 代表。

所以，要把已知矢量乘以某一正的標量，只須把矢量的大小乘以標量，矢量的方向不變。

上節裏已經證明，矢量 $-m\boldsymbol{a}$ 與 $m\boldsymbol{a}$ 的區別不過是方向相反。因此，矢量 $\boldsymbol{a}$ 設乘以負的標量 $-m$，結果將等於矢量的大小 a 乘以數值 m，而方向則與原來的矢量相反。

設 $\boldsymbol{a}_1$ 與 $\boldsymbol{a}_2$ 是兩個相等的矢量，則分別乘以任一標量 m 所得的新矢量 $m\boldsymbol{a}_1$ 與 $m\boldsymbol{a}_2$ 亦必相等。所以，設

$$\boldsymbol{a}_1=\boldsymbol{a}_2,$$

則

$$m\boldsymbol{a}_1=m\boldsymbol{a}_2。$$

可見矢量的等式，並不因兩邊各乘以同一標量而喪失其相等性。

取若干個矢量 $\boldsymbol{a}_1, \boldsymbol{a}_2, \boldsymbol{a}_3, \boldsymbol{a}_4$（圖 7），並將它們相加。爲此，作多

邊形 $MNPQR$，各邊分別代表各矢量。各矢量的和 $\overline{MR}$ 用 $\boldsymbol{a}$ 代表。於是得

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_1+\boldsymbol{a}_2+\boldsymbol{a}_3+\boldsymbol{a}_4。$$

將點 P, Q 用直線與點 M 相連；並沿線段 MN, MP, MQ, MR 分別作線段 $MN_1=m\cdot MN$, $MP_1=m\cdot MP$, $MQ_1=m\cdot MQ$, $MR_1=m\cdot MR$, 各式中的 m 是任意一個正數。用直線順次連接點 N_1, P_1, Q_1, R_1，得新多邊形 $MN_1P_1Q_1R_1$，與多邊形 $MNPQR$ 相似。新多邊形的各邊，分別與多邊形 $MNPQR$ 的各對應邊平行，並各等於後者乘以正數 m。因此，矢量 $\overline{MN_1}$, $\overline{N_1P_1}$, $\overline{P_1Q_1}$, $\overline{Q_1R_1}$, $\overline{MR_1}$ 分別與矢量 $m\boldsymbol{a}_1, m\boldsymbol{a}_2, m\boldsymbol{a}_3, m\boldsymbol{a}_4$, $m\boldsymbol{a}$ 相等。

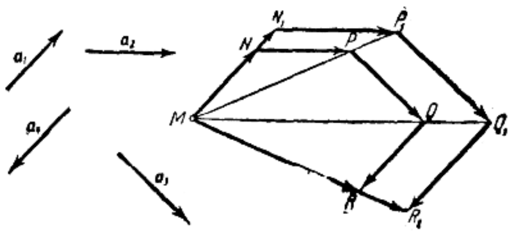

圖 7

但矢量 $\overline{MR_1}$ 是矢量 $\overline{MN_1}$, $\overline{N_1P_1}$, $\overline{P_1Q_1}$, $\overline{Q_1R_1}$ 的和，故

$$m\boldsymbol{a}=m\boldsymbol{a}_1+m\boldsymbol{a}_2+m\boldsymbol{a}_3+m\boldsymbol{a}_4。$$

上面所得的結論可以陳述如下：要把矢量和乘以某一正數，只須每一個分矢量各乘以這正數。

以上假定 m 是一個正數。設 m 是一個負數，可以用同樣的證明方法得到相似的結論。

大小等於一個單位値的矢量，稱爲單位矢量。設有某已知矢量 $\boldsymbol{a}$。作單位矢量與矢量 $\boldsymbol{a}$ 同方向；這單位矢量用 $\boldsymbol{e}$ 代表（因此，$e=1$）。矢

量 $\boldsymbol{a}$ 與 $\boldsymbol{e}$ 方向相同，但矢量 $\boldsymbol{a}$ 的大小等於矢量 $\boldsymbol{e}$ 的大小乘以 a。因此，

$$\boldsymbol{a}=a\boldsymbol{e}。$$

由此可見，任一矢量都可以用它的大小與對應的單位矢量的乘積來代表。

§4 矢量在軸上與平面上的投影

標明一定指向的無限長直線稱爲軸。

取矢量 $\boldsymbol{v}$ 與軸 x（圖 8），軸的指向在圖上用箭頭表示。用字母 A 與 B 代表矢量 $\boldsymbol{v}$ 的起點與終點，並通過點 A 與 B 各作垂直於軸 x 的平面 P 與 Q。這兩個平面與軸 x 的交點 a 與 b，稱爲點 A 與 B 在軸 x 上的投影。

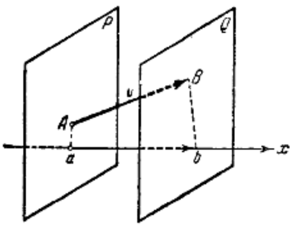

圖 8

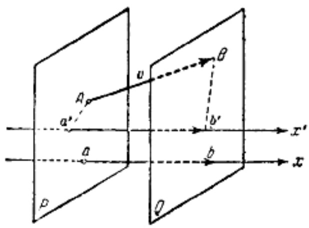

圖 9

線段 ab，設與軸 x 同向則取＋號，與 x 軸反向則取－號，稱爲矢量 $\boldsymbol{v}$ 在軸 x 上的投影；❶ 這投影用 v_x 代表。所以 $v_x=\pm ab$，式中的正負號照上述規則選取。必須注意，矢量在任何軸上的投影都是標量。

實際上，爲求出點 a 與 b，並非必須作出平面 P 與 Q。只須從點 A 與 B 作軸 x 的垂線 Aa 與 Bb；垂足 a 與 b 就是點 A 與 B 在軸 x 上的

❶ 線段 ab 所代表的矢量，稱爲矢量 $\boldsymbol{v}$ 沿軸向 x 的分量。