鉄路員工技术手冊第一卷第二冊

力学及流体力学

苏联鉄路員工技术手冊編纂委員会編

人 民 鉄 道 出 版 社

鉄路員工技术手冊第一卷第二冊

力学及流体力学

苏联鉄路員工技术手冊編纂委員会編

唐山鉄道学院譯

人民鉄道出版社

一九五七年·北京

本書系根据苏联鉄路員工技术手册第一卷中「力学」及「流体力学」二篇譯出，列举有計算方法及公式圖表等。可供鉄路及公路工程技术人員，水利工程技术人員，以及一般土木建筑工程师、技术員参考用。

本卷主編者：别洛寬（Н•И•Белоконь）。

本册編写者：伏龙可夫（И • М • Воронков），克里明可夫（Б • В • Клименков），切尔尼金（В • И • Черникин）。

本册譯校者：黄安基，金傳炳，盧孝棣，徐鶴龄，舒仲周。

鉄路員工技术手册第一卷第二册

力 学 及 流 体 力 学

ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКА

ТОМ.1, ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ

苏联鉄路員工技术手册編纂委員会編，

苏联国家鉄路运輸出版社（1949年莫斯科俄文版）

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ

Москра 1949

唐山鉄道学院譯

人民鉄道出版社出版（北京市霞公府17号）

北京市書刊出版業营業許可証出字第010号

新 华 書 店 發 行

人民鉄道出版社印刷厂印（北京市建国門外七聖庙）

書号807　开本850×1168 $\frac{1}{32}$　印張9 $\frac{1}{16}$　字数232千

1957年8月第1版

1957年8月第1版第1次印刷

印数0001—1,480册　定价（10）1.50元

目　　录

力　学

基本定义

力学是关於物体运动的普遍規律的学說。运动是物質的不可分割的屬性，因而在圍繞着我們的宇宙內一切發生着的現象和过程都是物質运动的不同形式。

力学从事於研究物質运动的最簡單形式——所謂机械运动，即隨着时間的变化物体在空間位置的改变。

作为古典力学的基础的为1687年牛頓在其『自然哲学的数学原理』❶中以准确的和完善的形式敘述了的一些定律。这些定律是人类許多世紀以来由直接观察、試驗以及生产活动的結果逐漸积累起来的那些屬於力学范圍內的無数事实的概括。虽然在二十世紀的前二十五年中發生的相对論原理在物理学范圍內和力学范圍內都引起了根本的帶原則性的变革，並且否定了古典力学的一些定律，但是即使在現时古典力学也还保有它的价值。这是由於，如試驗和計算所显示，在古典力学与基於相对論原理的新力学的結論間的数量上的差別只是在研究这样的現象，即当观察速度很大、接近於光的速度（3×10^5公里/秒）时才成为重要；至於在与光的速度差得远的速度时，这数量上的差別是如此之小，它們完全可以忽略。因此古典力学即使在現时仍然是一个理論基础，在其上建筑着一切应用技术科目並且进行着一切技术計算。

力学通常分为三个基本部分——靜力学、运动学与动力学。靜力学是用来研究質点系上力的平衡条件。运动学从事於从运动

❶ 这一著作已由A.H.克雷洛夫院士譯成俄文。

的几何性質来研究質点系的运动，不考慮作用於質点系上的力。动力学的对象是建立和研究質点系的运动与作用於其上的力之間的联系。

在量的量度上採用了兩种通用的單位制：物理單位制（CGS制）或者工程單位制（MKS制）。在物理單位制中基本單位为：長度單位——公分，質量單位——克，时間單位——秒。在工程單位制中基本單位为：長度單位——公尺，力的單位——公斤时間單位——秒。一切用来量度不同的量的其他單位，在兩种單位制中都是由这所述的三个基本單位导出的。在力学中採用工程單位制。

靜 力 学

有共同作用点的力

力的合成。各点間距离为常数的物体称为絕对剛体；因此这样的物体的形狀和尺寸压力的作用下是保持不变的。在剛体中可以將力沿着其作用線移动，即作用在剛体上的力是滑动向量。

作用在剛体上同一点的兩个力$\overline{P_1}$与$\overline{P_2}$可以以作用在这一点上的合力$\overline{R}$来代替，$\overline{R}$在方向上与数値上等於在力$\overline{P_1}$与$\overline{P_2}$上所作的平行四边形的对角線（力的平行四边形定律）。

如果力$\overline{P}_1$、$\overline{P}_2$、$\overline{P}_3$、$\overline{P}_4$、$\overline{P}_5$（圖2a）作用在剛体的同一点上，或者这些力的作用線相交於一点，則这些力可以化为一个合力，

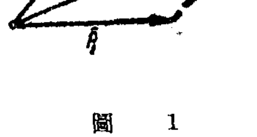

圖　1

圖　2a

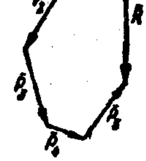

圖　2б

这合力通过所有的力的共同作用点。其大小可將給知力逐一按平行四边形規則相加或由作力多边形而相加（圖26），則合成就可以求得，而連結第一个力的起点与末一个力的終点的向量（力多边形的封閉边）就是給知力的合力（力多边形規則）。同时，力相加的次序对於最后結果並無任何影响。

在求合力的分析法中，选擇原点可在所有給知力的共同作用点上的一个直角坐标系並將这些力投影在三个坐标軸方向上。

合力的投影：

$$R_x = R\cos\alpha = \Sigma P_i\cos\alpha_i = \Sigma X_i;$$

$$R_y = R\cos\beta = \Sigma P_i\cos\beta_i = \Sigma Y_i;$$

$$R_z = R\cos\gamma = \Sigma P_i\cos\gamma_i = \Sigma Z_i。$$

合力的大小作为平行六面体的对角線求出：

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2},$$

而它与坐标軸間的角由等式

$$\cos\alpha = \frac{R_x}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}};$$

$$\cos\beta = \frac{R_y}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}};$$

$$\cos\gamma = \frac{R_z}{\sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}}。$$

求出。

力的平衡。有共同作用点的**諸力平衡的条件**在於：它們的合力$\overline{R}$等於零，即这些力的力多边形自行封閉；此条件分析地表为：

$$\Sigma X_i = 0;\ \ \Sigma Y_i = 0;\ \ \Sigma Z_i = 0$$

所有各力在每一坐标軸上的投影之和等於零）。

力的分解。分解給知力$\overline{P}$沿着与它位於同一平面內的兩个已

知方向 1 与 2 的問題，唯一的方法是作平行四边形解之，平行四边形的边为已知方向 1 与 2，而給知力 $\overline{P}$(圖3)就是它的对角線。

沿着不位於同一平面內的三个方向 1、2、3，力 $\overline{P}$ 可以用唯一的方式分解。即可以用类似前面的方法解此問題——作出平行六面体，其稜为已知的方向，給知力 $\overline{P}$（圖 4）为它的对角線。

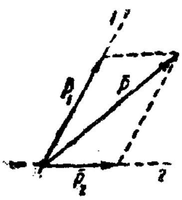

圖 3

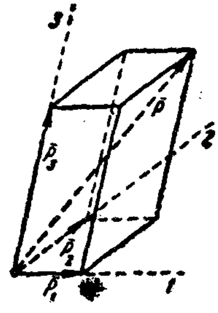

圖 4

分解力 $\overline{P}$ 沿着与它位於同一平面內的三个或更多的已知方向，或者沿着不位於同一平面內的多於三个已知方向，已經是一个不定的問題。

平 行 力

平行力的合成。如果作用在剛体上的兩給知力 $\overline{P}_1$ 与 $\overline{P}_2$ 的作用線平行，而且这些力指向相同，則这样的兩力化为一个合力 $\overline{R}$，其值等於兩給知力的算术和，那就是，$R=P_1+P_2$（圖 5）。$\overline{R}$ 的作用線平行於給知力的作用線且內分它們之間的距离为兩線段，此兩線段之長与这些力的大小成反比，即 $\frac{AC}{CB}=\frac{P_2}{P_1}$。如果力 $\overline{P}_1$ 与 $\overline{P}_2$ 指向不同（反向平行）且数值上不相等，則在此情形下它們的合力数值上等於它們的差並且指向与較大的力相同（圖 6）。此合力的作用線以比例 $\frac{P_2}{P_1}$ 外分距离 AB；因此，以前的比例形式在此情形下也还是成立的，不过点 C 位於線段 AB 之外，在較大的力一边。由此比例得到（在兩种情形下）下列等式：

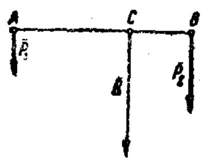

圖 5

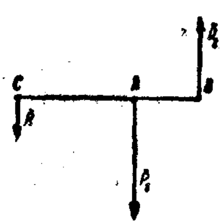

圖 6

$$\frac{AC}{P_2}=\frac{CB}{P_1}=\frac{AB}{R},$$

由此

$$AC=\frac{P_2}{R}AB\text{与}CB=\frac{P_1}{R}AB。$$

如果兩个反向平行力数值上相等，那就是，$\overline{P}_1=-\overline{P}_2$，则它們形成一个力偶。这样的兩个数值上相等的反向平行力不能化为一个合力，換句話說，**力偶沒有合力**。

反面的問題也易於解決：分解給知力$\overline{R}$为兩个与它平行的分力，它們的作用線应当通过兩已知点A与B。因为所求分力的作用線为已知，則所余的仅要求出它們的数值。既然点A与B已給知，則距离AB、AC与CB將为已知（点C为力R的作用線与直線AB的交点），而因此由上述比例求得

$$P_1=\frac{CB}{AB}R\text{与}P_2=\frac{AC}{AB}R。$$

如果在剛体上作用有一些指向相同的平行力，則由逐次的合成，这些力化为一个合力，平行於給知力，指向相同且数值上等於它們的算术和。如果作用着的平行力中某些力指向一边，而其他的力指向相反的一边，这力系或者化为一个合力，数值上等於所有給知力的代数和，或者化为一个力偶（在此情形下所有給知力的代数和等於零），或者处於平衡，即化为兩个力，数值上相等沿着同一直線且指向相反。

平行力的中心。給知諸平行力的合力的作用線所通过的一点並且此点的位置只依賴於給知諸平行力的大小和它們的作用点但不依賴於它們的方向，这样的点称为**給知平行力系的中心**。所以，如果規定給知諸平行力的作用点和大小而只改变这些力的方向，但它們仍保持着平行性，則这些力的合力，虽然改变着自己的方向，但总將通过一点——这些平行力的中心。如果平行力是給知物体的質点的重量，則这样的平行力的中心称为此物体的**重**

心。平行力的中心 C 的坐标决定於公式

$$x_c=\frac{\Sigma P_i x_i}{\Sigma P_i};\quad y_c=\frac{\Sigma P_i y_i}{\Sigma P_i};\quad z_c=\frac{\Sigma P_i z_i}{\Sigma P_i}。$$

在这些公式中，x_i、y_i、z_i表示給知諸平行力的作用点的坐标，而这些力的数值P_i取代数值，即指向於一边的力認为是正的，而指向於相反的一边的力認为是負的。

力　矩

力偶矩。力偶的变換。某向量的数值等於力偶中的某力的大小乘以此力偶的臂，即乘以力偶的力作用線間的距离，这向量称为**給知力偶的矩**。此向量沿着力偶平面的垂線指向那一边，使得自此向量端点朝着力偶的观察者將会見到力偶的兩力对此力偶的臂的中点指向逆时針方向（圖７）。至於此向量的作用点（它的起点）可以任意选擇，那就是，力偶矩是**自由向量**。力偶作用在給知剛体上的效用完全由其向量矩来确定。由此推知：１）如果兩力偶有大小相等的向量矩（即数值上相等，平行且指向同一边），則这些力偶**互等**，即它們在給知剛体上产生一样的作用，因而可以互相代替；２）不改变給知力偶在物体上的作用，可以引入此力偶的任何变換，在此变換时其向量矩保持不变。所以可以隨意將給知力偶在其平面內移动；可以移动力偶至另一与此力偶平面平行的平面；另外可以改变給知力偶的力的大小和臂，但使它的矩的大小保持不变。

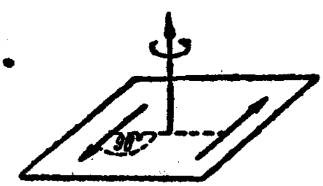

圖　7

力偶的合成。如果在給知剛体上作用有一在空間任意分佈的力偶系，則这些力偶總是可以化为一个合成力偶，其矩等於給知各力偶矩的几何和；所以，力偶合成的运算化为它們的向量矩根据多边形規則的加法。如果（在特殊情形下）所有給知力偶均位於同一平面內，因而它們的矩平行；則在此情形下它們可以代数

地相加，並且指向一边的矩被認为是正的，而指向相反边的矩被認为是負的。如果給知力偶的向量矩之和等於零，則这些力偶互相平衡。

力对於点之矩。如果由向量$\overline{AB}$所表示的力$\overline{P}$作用在物体上，且一任意点O（圖8）为給知，則与力偶矩相似，此力对於点O之矩也可以向量形式表示之。此向量作用在点O並沿着三角形OAB的平面的垂線指向那一边，使得自此向量端点朝着此三角形的观察者將会見到力$\overline{P}$对於点O指向逆时針方向。此向量的大小（模）等於已知力的大小乘以它对於点O之臂的乘积，即乘以自点O至力$\overline{P}$作用線所作垂線之長h（即乘以三角形OAB之高），所以

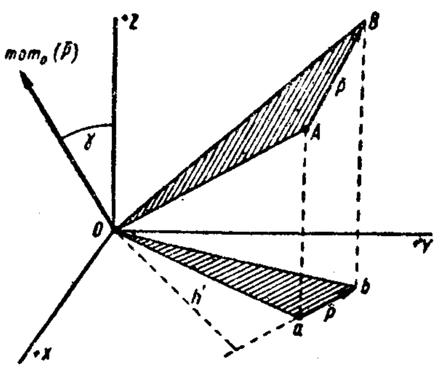

圖 8

$|mom_0(\overline{P})|=Ph=2\times OAB$的面积。

如果在給知物体上作用有可化为一个合力$\overline{R}$的力系$\overline{P_i}$，則此合力对於任意点O之矩等於力系$\overline{P_i}$对於同一点之**矩的几何和**（伐里囊定理），即

$$mom_o(\overline{R})=\Sigma mom_o(\overline{P_i})。$$

如果力系$\overline{P_i}$位於同一平面內，則它們对於位於同平面內的任意点的矩沿着同一直線的方向，因而在此情形下这些矩代数地相加，並且規定於給知点沿逆时針方向的力矩被認为是正的，而沿着順时針方向的力矩被認为是負的。

在力偶的情形下，这力偶的力对於任意点O之矩的几何和为常量，且等於这力偶的向量矩，即

$$mom(\overline{P}-\overline{P})=mom_o(\overline{P})+mom_o(-\overline{P})。$$

力对於軸之矩。除了力对於点之矩外，在力学中还必須研究

力对於軸之矩；为了求出力 $\overline{P}$ 对於給知軸 z（圖 8）之矩，应当將这力投影到垂直於这軸的平面上，例如投影到平面 Oxy 上，並且应当將所得投影的数值 p 乘以自 z 軸与此平面的交点 O 作向此投影線上的垂線長 h'，即

$$mom_z(\overline{P}) = h'p = 2 \times \text{面积} Oab。$$

同时，如果对於自給知軸的正端观看的观察者来說，力 $\overline{P}$ 在垂直於此軸的平面上的投影对於給知軸与此平面的交点將指向逆时針方向，此矩被認为是正的；在相反情形下矩被認为是負的；所以，力对於軸之矩是無向量的代数值。如果力与給知軸位於同一平面內，則力对於此軸之矩为零，因为在此情形下或者 $p=0$（力平行於軸），或者 $h'=0$（力的作用線通过軸）。

力 $\overline{P}$ 对於坐标軸 x，y，z 之矩分析地由公式

$$mom_x(\overline{P}) = yZ - zY;\quad mom_y(\overline{P}) = zX - xZ;$$

$$mom_z(\overline{P}) = xY - yx$$

求得，式中 x、y、z 表示給知力作用点的坐标，而 X、Y、Z 表示力在坐标軸上的投影。

对於軸之矩，正如力对於点之矩一样，伐里囊定理也是成立的，即

$$mom_x(\overline{R}) = \Sigma mom_x(\overline{P_i})。$$

如果以 γ（圖 8）表示向量 $mom_o(\overline{P})$ 与 z 軸正向間的夾角，則此向量在 z 軸上的投影將等於

$$|mom_o(\overline{P})|\cos\gamma = 2 \times \text{面积} OAB\cos\gamma。$$

但三角形 oab 为三角形 OAB 在垂直於 z 軸的平面 xoy 上的投影，因而

$$2 \times \text{面积} OAB\cos\gamma = 2 \times \text{面积} Oab = mom_z(\overline{P})。$$

所以，

$$|mom_o(\overline{P})|\cos\gamma = mom_z(\overline{P}),$$

即力对於給知点之向量矩在通过此点之任意軸上的投影等於此力

对於同一軸之矩。

如果在可以繞固定軸轉动的給知剛体上作用有力系$\overline{P_i}$，則当此物体平衡时，力$\overline{P_i}$对於物体的轉动軸之矩的代数和必須等於零。

这一繞固定軸轉动的剛体的平衡条件，經常用於靜力学的問題中，例如用於屬於槓桿平衡情形的問題中。

平　面　力　系

力系向給知中心的簡化。 应用力的作用点沿此力作用線移动的可能性以及平行四边形規則，位於同一平面內的力系可以化为一个合力或者化为一个力偶。

但是在研究平面力系时通常应用另一方法，这方法称为**力系向給知中心的簡化**。

应当記住，作为滑动向量，力仅可沿着它的作用線移动。

当力$\overline{P}$平行移动至另一点（至位置$\overline{P_1}$），此点位於距离力$\overline{P}$的作用線为d处，則得一附加力偶，其矩等於$M=Pd$(圖 9)。

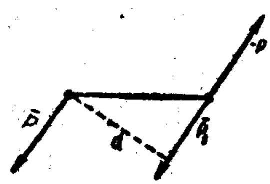

圖 9

当应用力向給知中心簡化的方法时也用到这一輔助定理，此方法如下述：选擇位於給知力系平面內的任意点O，称为**簡化中心**，將所有的力平行於自身移动至該点，並且在每一力移动时得到一附加力偶，其向量矩等於此力对於选定的簡化中心之矩。將所有移来的力根据力多边形規則相加並化为一个力$\overline{R}$，称为**給知力系的主向量**。再將所有的附加力偶相加，將它們化为一个力偶，其矩M_o称为**給知力系**对於中心O的**主矩**。此时

$$\overline{R}=\Sigma\overline{P_i};$$

$$R_x=\Sigma X_i;\ R_y=\Sigma Y_i \text{ 与 } M_o=\Sigma mom_o(\overline{P_i})$$

$$=\Sigma(x_iY_i-y_iX_i)。$$

平面力系的平衡条件。 如果平面力系处於平衡，則此力系的主向量和它的主矩必須等於零；所以

$$\sum X_i = 0；\ \sum Y_i = 0 \text{ 与 } \sum(x_i Y_i - y_i X_i) = 0。$$

如果使平面力系中所有的力对於不位於同一直線上的任选的三点中每一点之矩的和均等於零，平面力系的这三个平衡条件可表为另一形式。

在解静力学問題时，經常在兩个支座反力中只有其中一个力的方向为已知，則应用下列定理很是便利：**如果三个不平行的力处於平衡，則这些力的作用線相交於一点。**在此情形下支座反力可由此理由确定，即在所述定理的基础上所有主动力的合力的作用線与兩支座反力的作用線应当相交於一点而且这三力的力多边形亦应当是封閉的。

例。 在圖10上表一起重机圖形。上面軸承的支座反力$\overline{R_B}$为水平指向；支座反力$\overline{R_A}$的作用線应当通过主动力$\overline{Q}$与支座反力$\overline{R_B}$的交点O；由此力$\overline{R_A}$的方向可以确定。$\overline{R_A}$与$\overline{R_B}$的大小然后由力三角形决定之。

在解此題的分析法中应当写出作用在起重机上所有的力的三个平衡条件。如果將坐标軸y指向AB方向，而坐标軸x垂直於AB方向，然后將所有的力投影在这些軸上並写出所有的力对於点A之矩的和，可得下列三方程式：

$$X_A - R_B = 0；\ Y_A - Q = 0；\ hR_B - dQ = 0，$$

此处$h = AB$，d为力$\overline{Q}$对於点A之臂，而X_A与Y_A表示力$\overline{R_A}$在坐标軸上的投影。由此三个方程式可以确定三个未知力

$$X_A = R_B = \frac{dQ}{h},\ Y_A = Q。$$

反力之值

$$R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}。$$

如果作用在物体上所有的力（也包括約束反作用力）为平行，則每一力在垂直於这些力的x軸上的投影將等於零，而因此

在此情形下不是三个平衡条件而是下列兩个平衡条件：

$$\Sigma Y_i = 0,\quad \Sigma x_i Y_i = 0。$$

作为第二个例子来考察下列問題。

可化为一个合力$\overline{R}$的一个給知平面力系应当与三个力互相平衡，这三力的作用線1、2、3为已知。求这些力的数值(圖11)。

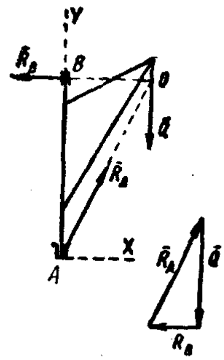

圖 10

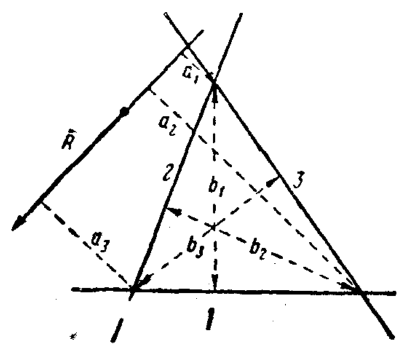

圖 11

为解此問題选取力矩中心在兩个已知作用線的交点上，例如在作用線2与3的交点上；列出此点的力矩方程式 $Ra_1 = P_1 b_1$；求得沿着作用線1方向的力$\overline{P_1}$的数值：$P_1 = \frac{a_1}{b_1} R$。

类似地由对於直線1与直線2及3的交点的力矩方程式求得力 P_2 及 P_3：

$$P_2 = \frac{a_2}{b_2} R \quad 及 \quad P_3 = \frac{a_3}{b_3} R$$ [①]。

題解仅在这一情形下才为可能，即当三个已知直線1、2与3不相交於一点。

空 間 力 系

力系向給知中心的簡化。 为了作用在剛体上並任意分佈在空間的諸力$\overline{P_i}$的合成，可这样进行，即与在合成位於同一平面內

① 在給知中的兩根作用線，例如2与3，为平行的情形下，为了求 P_1，应当写出在垂直於这些作用線的軸上的投影方程式。

的諸力时相似。在一般情形下空間力系化为作用在任意选擇的、称为**簡化中心**的一点 O 上的一个力 $\overline{R}$ 以及矩 $\overline{M}_o$ 的力偶。

此力 $\overline{R}$ 称为**給知力系的主向量**，而向量矩 $\overline{M}_o$ 称为它的**对於所选簡化中心 O 的主矩**。

同时：

$$\overline{R}=\Sigma\overline{P}_i \quad \text{与} \quad \overline{M}_o=\Sigma\, mom_o(\overline{P}_i)。$$

由此：

$$R_x=\Sigma X_i;\ R_y=\Sigma Y_i;\ R_z=\Sigma Z_i;$$

$$M_{ox}=\Sigma\, mom_x(\overline{P}_i)=\Sigma(y_iZ_i-z_iY_i);$$

$$M_{oy}=\Sigma\, mom_y(\overline{P}_i)=\Sigma(z_iX_i-x_iZ_i);$$

$$M_{oz}=\Sigma\, mom_z(\overline{P}_i)=\Sigma(x_iY_i-y_iX_i)。$$

由給知力系向任意中心簡化的結果所得到的力偶中的一个力总可以这样选擇，使得这个力作用在簡化中心。这样，將这力与主向量相加后，得到兩个成十字形的力。所以，**空間力系总可以化为兩个成十字形的力**。

平衡的条件。 为了空間力系的平衡，必要而且充分的是（正如为了平面力系的平衡一样），这力系的主向量和它对於任意选擇的点的主矩应該等於零，或者（在分析式中）給知力系所有的力在三个坐标軸的每一軸上投影之和均等於零以及它們对於这些軸中每一軸之矩的和也等於零。

所以，对於空間力系我們有六个平衡条件：

$$\Sigma X_i=0;\ \Sigma Y_i=0;\ \Sigma Z_i=0;$$

$$\Sigma(y_iZ_i-z_iY_i)=0;\ \Sigma(z_iX_i-x_iZ_i)=0;$$

$$\Sigma(x_iY_i-y_iX_i)=0。$$

屬於在空間力系作用下的剛体平衡的靜力学問題可用这六个方程式解出。

用这六个方程式，关於分解任意力 $\overline{P}$ 为沿着已知直線方向的分力的問題也可以解出，因为当改变这些分力的方向为相反的方

向时，我們得到一个力系，对於它来說，已知力$\overline{P}$为平衡力。所以，所有这些力应当滿足上面所述的六个平衡条件。因为所求分力的作用線为已知，則有了六个方程式，就可以由它們决定六个分力的大小；所以，沿着在空間的六个已知直線分解給知力是一个靜定問題。

如果已知的六根直線是这样分佈，使得可以引一直線通过所有这六根直線而不通过給知力$\overline{P}$的作用線，則此問題將成为不可能。

为解此問題可以选擇兩根軸，通过六根已知直線中的四根直線，並可写出对於这些軸的力矩方程式。在所得的兩个方程式中六个未知力中只含有兩个未知力，它們就可由这些方程式定出。

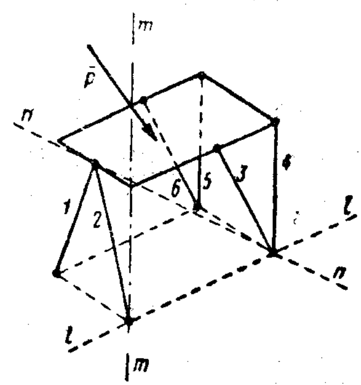

圖 12

例（圖12）。 水平板由六根桿子固定並受到集中力$\overline{P}$的作用。直線mm与桿1、2、3、4及5相交於有限大或無限大的距离；因此这些桿子的反力对於軸mm之矩等於零，因而由对於此軸的力矩方程式可以求出桿6的反力。然后由对於軸nn的力矩方程式桿5的反力可以确定。再次由对於軸ll的力矩方程式桿1的反力可以求出，如此类推。

所研究过的問題对於固定任意物体在細長桿子上的情形具有重要意义，这些桿子只能承受拉力或者压力，但不能受弯曲应力。

为使問題为靜定的，这样的桿子不应多於六根。

虛 位 移 原 理

在給知瞬时凡为加在質点系上的約束所許可的、此質点系的任何無限小的位移称为**此質点系的虛位移（可能位移）**。如果以