

苏联B.H.维列尔著

汽轮机调节



內 容 提 要

本書分別敘述汽輪機的調節原理,各種型式的調節系統,並介紹廣泛採用的各種危急保安裝置的結構。

本書是發電廠及汽輪機製造廠中級技術人員的良好參考書,並適合作為中等動力技術學校的教材。

В. П. БЕЛЛЕР

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРОВЫХ ТУРБИН

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1955

汽 輪 機 調 節

根據蘇聯國立動力出版社1955年莫斯科版翻譯

伍 能 譯 道 譯

*

843 R 223

水利電力出版社出版(北京西郊科委路二里溝)

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 84印張 * 181千字 * 定價(第10類)1.20元

1958年7月北京第1版

1958年7月北京第1次印刷(0001—2,730冊)

序 言

到目前为止，在汽轮机所发生的事故中30%的事故是由于调节系统工作不良而引起的。而调节工作之所以不良，在很大程度上，又是由于运行人员对于调节理论不够熟悉的缘故。为了消除这种缺点，在1953年和1954年，以Ф.Э.捷尔任斯基命名的全苏热工研究院曾举办了三次调节人员講習班。

本书就是根据作者在这几次講習班中講课时所用的讲义复稿而編写的。

在本书内，作者试用了不同于过去其他作者所慣用的方法来講述基本的调节原理。依我們看来，用叙述的方法来講課是有缺点的，因为它沒有指明发展的对象是什么，不能清楚地說明采用这一种或那一种装置是为了解决什么问题。而每一个解答都是以現成的形式提出的；往往同时提出了几个解决的方法，但未对各种方法的优缺点作出分析和批判。

为了消除上述的这些缺点，本书在叙述每一个问题时，都是先从研究問題是如何提出的开始，然后作理論上的探討，最后来解决問題。这样的叙述方式，可以使讀者不致只是简单地記住一些抽象的概念，同时也能够通过問題的解决过程，帮助讀者了解所發生的問題的實質。

显然，作者还没有能够严格地遵守这样的叙述方式；因此，非常欢迎讀者对本书提出批評意見，以便今后作者作同类講課时，能够更有条理地采取所提出的講述方法。

作 者

目 录

序 言

緒 論	5
第一章 理論力学基础	7
1-1. 力, 力的合成, 平行力的合力	7
1-2. 力矩, 力矩的合成, 力偶	11
1-3. 共点力的合成, 力的平行四边形	15
1-4. 直綫运动中的速度和加速度	17
1-5. 速度的合成	19
1-6. 旋轉运动	20
1-7. 沿圓周的加速度运动	22
1-8. 力学的基本定律	23
1-9. 惯性力, 达倫巴尔原理	24
1-10. 功	27
1-11. 摩擦力	30
1-12. 动能	30
第二章 汽輪机調节	34
2-1. 汽輪机調节的原理和任务	34
2-2. 調节靜力学	43
2-3. 摩擦力对于調节工作的影响	47
2-4. 带有增强机构(油动机)的調节系統	51
2-5. 变速机构	59
a) 調速器上具有輔助彈簧的变速机构	60
b) 具有活动滑塞油門套的变速机构	63
c) 槓杆接点为可动式的变速机构	64
2-6. 汽輪机的併列运行	65
2-7. 併列运行汽輪机轉数的改变	71
第三章 汽輪机調节系統的构件	73
3-1. 汽輪机的供油系統	73
a) 齒輪油泵和螺旋油泵	74
b) 离心油泵	81

3-2. 调速器	86
a) 重锤式离心调速器	86
b) 弹簧式离心调速器	89
c) 稳定和不稳定的调速器	90
d) 调速器的结构	98
e) 液压调速器	106
f) 感应机构的结构	112
3-3 调节阀门	117
a) 调节阀门的特性曲线	117
b) 作用在阀门上的蒸汽力	122
3-4. 增强机构 (油动机)	132
a) 带有断流式滑塞油门及双侧进油的油动机	133
b) 带有断流式滑塞油门及单侧进油的油动机	136
c) 带有节流式滑塞油门的油动机	139
d) 带有两个油动机的调节系统	143
e) 降低活塞式油动机中摩擦力的方法	144
3-5. 滑塞油门	151
a) 滑塞油门中的叠封	151
b) 作用在油门滑塞上的油的反作用力	157
c) 节流式滑塞油门孔口型线的绘制	159
d) 带有两次节流的滑塞油门	162
第四章 调节系统静力特性曲线与调节构件特性曲线的关系	165
4-1. A. B. 雪格里雅耶夫图解	165
4-2. 调节系统不均匀度的改变	166
a) 调速器特性曲线的改变	167
b) 连接关系特性曲线的改变	169
c) 调节阀门特性曲线的改变	173
4-3. 变速机构作用范围调整的改变	175
a) 调速器特性曲线的改变	179
b) 连接关系特性曲线的改变	181
c) 调节阀门特性曲线的改变	182

第五章 調節動力學	183
5-1. 調節系統的穩定性	184
5-2. 調節系統的快速作用	186
a) 調速器快速作用的提高	187
b) 油动机活塞運動速度的提高	189
c) 油动机活塞最大位移的減少	196
d) 加速器的採用	196
第六章 調節系統工作的檢查	198
6-1. 調節系統靜力特性曲線的測繪	199
a) 調速器的靜力特性曲線	199
b) 連接关系的特性曲線	202
c) 調節閥門的靜力特性曲線	204
d) 調節系統靜力特性曲線的構圖	206
e) 作用在調節閥門上的蒸汽力的確定	207
6-2. 撤荷時調節工作的檢查	209
a) 試驗的方法	209
b) 試驗結果的處理與分析	213
第七章 危急保安自動裝置	216
7-1. 危急保安器的計算	217
7-2. 停汽閥的驅動機構	224
参考文献	228

緒 論

如果沒有自動控制技術的使用原動機就不可能有廣闊的發展，只有靠自動調節，才有可能保證繼續不斷地獲得一定質量的能量。蒸汽機必須能在恒定轉數下發出能量，否則工具機的工況就會經常發生變化，而制品加工就不可能獲得良好的質量。在國民經濟各部門廣泛採用交流電作為動力基本形式的情況下，交流電的頻率及電壓質量必須保持恒定的意義就更顯得重要了。尤其重要的是交流電頻率的恒定；這樣才可以保證所有工業部門中的電動機轉數能獲得恒定。

交流電頻率的恒定，基本上是由並列運行機組自動控制系統的工作質量來決定的。但是要建立一個質量最高的調節系統是很困難的，這是因為現在所製造的汽輪發電機的功率都相當大

(100 000 瓩及以上)，並具有很高的轉數。在這種條件下，當撤去負荷時，機組的轉數在1至2秒鐘之間就可能達到允許的極限值(正常轉數的1.1至1.12倍)。因此，調節系統作用的速度就必須很快，使得汽輪發電機的角速度不會昇到危險的數值。

在蘇聯，抽汽式汽輪機已獲得了廣泛的使用，這就大大的提高了熱能和電能供給的經濟性。當使用這一類機組時，就在調節方面提出了新的任務，這就是必須建立一個既調節汽輪機轉數又調節抽汽壓力的聯合調節系統。

祇有靠調節理論的發展，才有可能完滿地完成所提出的任務。1876年，威施涅格拉茨基首先對直接作用調速器的工作，作了深刻的理論分析。基於這個分析，威施涅格拉茨基指出，重錘式的調速器祇有在採用了緩衝器的條件下才能够穩定地工作。

1899年，斯托端拉曾指出，要獲得調節的穩定，不僅可以採用緩衝器，而且可以採用能够感應汽輪機轉子加速度和角速度變化的調速器。由於威施涅格拉茨基和斯托端拉的工作，調節的理論就從半經驗的方法轉變為數學的、有根據的研究方法了。

机組功率增大，于是汽輪机調节閥門上的作用力也就相应地增大，这就提出了新的問題。这个問題在1873年由法尔柯采用了油动机順利地解决了。

抽汽式汽輪机的发展，就同时使得調节理論获得了相应的发展。1934年，И. Н. 伏思聶謝斯基曾发表了一篇論文“供热式汽輪机調节系統的选择問題”。这篇論文对于同时調节几个参数的那种調节系統，是一篇主要論文。

蒸汽参数的提高，增大了机組內中間容积(充滿蒸汽的)对調节过程的影响。这个影响曾被И. И. 基里洛夫和С. А. 康托尔，在他們1934年发表的“蒸汽容积对凝汽式汽輪机調节的影响”一文中所提出。

1940年到1952年間，И. И. 卡里別宁曾經发表了一系列的論文，詳細地闡述了調节系統的配合和結構的分析理論。这种理論用闡明調节过程物理概念的明显研究方法武装了工程师們。

苏联的汽輪机制造厂、科学研究院以及运行机构，在汽輪机調节理論中，尤其是在實踐中，曾經做出了很大的成績。

列宁格勒斯大林金屬工厂（М. З. 海菲茨等）、基洛夫工厂（В. Я. 契尔勒等）以及其他的汽輪机制造厂，在創造完善的汽輪机調节系統的工作中，起了主导的作用。

1948年，全苏热工研究院的工作人員（В. Н. 維列尔、А. В. 雪格里雅耶夫及Г. А. 基勒柯相茨）曾經为研究和使用液压調节系統，而榮獲了斯大林獎金。

1952年，А. В. 雪格里雅耶夫，С. Г. 斯密尔尼茨基和Д. А. 耶尔馬科夫等同志，曾經为了研究具有彈性式調速器的汽輪机調节系統，也榮獲了斯大林獎金。

第一章 理論力学基础

1-1. 力.力的合成.平行力的合力

在我們的周圍，隨時都可以碰到力的作用：在風的作用下，樹枝擺動；人們身體上的肌肉用力時，便挑起了担子；用手拉門時，門就打開了等等。所有這些運動，都是力作用的結果。同時必須注意到在每種情況下，力的產生都是由於一個物體對另一個物體作用的結果：例如，風作用到樹木上時，便將它吹彎；人對担子施以力時，就能將它挑起；人用手拉門時，便將門打開等等。

因此，力就是一個物體對另一個物體的作用。

當我們舉重時，我們就感到力作用在我們手上；那末，在這種情況下，我們對物體所施的力就克服了物體對我們的作用力。

為了慢慢地舉起任何一個重荷，就必須對此重荷施以等於該重荷重力的力。由牛頓所發現的這個自然界的規律，其定義如下：作用在物體上的力始終和它的反作用力相等。但應該記住，作用力和反作用力雖作用在同一點上，但是作用在不同的物體上。亦即手的力是作用在重物上，而所舉起來的重荷的重力，則作用在手上。

我們知道，在物體的側面施以推力時，絕不能將物體舉高。這就是說，要使物體在一定的方向產生運動，那末作用力也必須在同一方向上。因此，經驗指出，力不僅有大小，而且還有方向。為了在力的圖示中，表示出這兩種數值的特性，我們用箭頭來表示力作用的方向，而用在一定比例下的箭頭長度表示力的大小。

表示力的大小及方向的箭頭，稱為力的向量。

每個人都可從經驗中知道，如果馬車上的載荷過重時，一匹馬往往就不能夠將它拖動，而必須再套一匹馬，這樣才能將車子拖走。這就是說兩匹馬的力量相加起來共同制勝了馬車的阻力。

如果两匹馬是前后套上的(一匹跟着一匹), 那末两匹馬总的力将是这两匹馬力的总和。我們用比例尺定出力的大小时, 就可以用图解的方式来繪出这种力的合成。假定, 馬車的阻力是 100 公斤, 同时, 箭头的每一公厘代表 2 公斤(图 1-1); 此时, 馬車的阻力就可以用箭头 A 来表示, 箭头的长度为 50 公厘。而箭头的

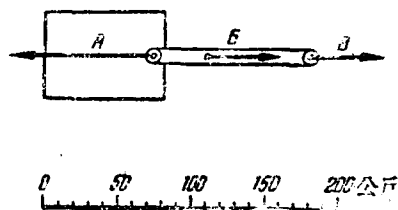


图1-1 力的图示

方向则指出了力作用的方向。

假定一匹馬的拉力是 50 公斤; 那末很显然, 为了拉动这部馬車, 就必须套上具有相同力量 (50 公斤) 的两匹馬。同时, 經驗指出, 两匹馬拉力的方向和大小, 並不因它們离馬車的远近而改变。重要的是, 这两匹馬的拉力应该处于同一方向的直綫上, 而这个方向是与馬車的阻力 A 的方向正相反。由此可以得出結論: 当力的作用点沿着这个力的作用方向移动时, 力的作用是不改变的。

这两匹馬的拉力可以用綫段 B 及 B 来表示, 每条綫段的长度为 25 公厘。

如果有一匹馬, 它的拉力有 100 公斤时, 那末这辆馬車用这匹馬即可拖动。在这种情况下, 一个力的作用, 便代替了两个力的作用, 換句話說, 这一个力的作用等于两个力的作用。因在这种条件下, 数量为 100 公斤的这个力, 它的作用等于数量为 50 公斤的这两个力的作用总和。于是, 可以得出結論: 把作用在一条直綫上的許多力的作用相加起来, 就可以制勝数值上等于作用力代数和的阻力。或者, 作用在一条直綫上的許多力, 可以用一个力的作用来代替, 这个力的大小, 等于所有作用力的代数和, 而方向决定于这些力的方向。

代替了許多力的作用的这个力, 就称为这些力的合力。

图 2 上所表示的力 A 、 B 及 B 作用在一条直綫上, 这些力的

合力則等于:

$$P = A + B - B \quad (1-1)$$

而方向是在力 A 及 B 的方向上。

(当将力合成时, 必須对作用在物体上的力及在該物体上的反作用力, 分开計算。)

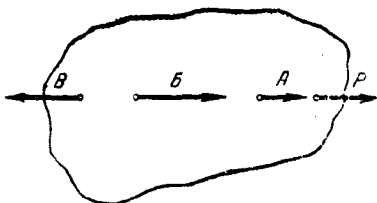


图1-2 作用在一条直线上力的合成

但是, 大家都知道, 馬套在車子上, 並不都是前后套上, 也有並排而套的。在並排而套的情況下, 这些馬的总力, 同样是大于单独一匹馬的拉力。經驗指出, 平行力的作用, 也可以像作用于一條直線上的許多力一样相加起来。也就是許多平行力的合力, 也等于这些力的代数和。但必須确定出, 合力的作用点在什么地方。

图1-3上表示的是方向相同而大小不同的平行力 A 和 B 。

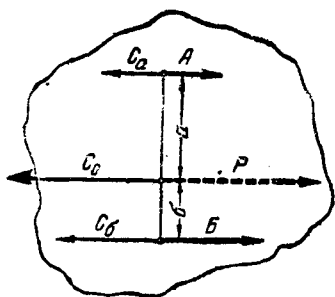


图1-3 作用在一个方向上平行力的合成

假定, 物体的阻力 C_0 是像图1-3上所表示的那样作用在物体上; 此时, 不难看出, 仅由 B 力就可以制胜阻力 C_0 , 而力 A 在不帮助 B 力制胜阻力的情况下則将使物体旋轉。如果阻力 C_0 (代替 C_0) 是作用在 A 力的方向綫上,

那末, 此力則可以单由 A 力来制胜 B 力則不协助 A 力而仅将物体旋轉。由此可知, 要用 A 和 B 力的共同作用来制胜阻力 C_0 , 只有在 C_0 是处于此 A , B 二力的中間时才有可能。如果 A , B 两力相等时, 就不难理解, 这两个力的合力将处在这两个力的中間位置上。

假定 B 力比 A 力大得多, 此时显然, A 力实际上对 B 力帮助不大, 而其合力将作用在靠近 B 力处。因此, 两个不等的平行力的合力, 将处于此两个力之間而接近于大力。經驗指出, 距离的比

数 $\frac{a}{b}$ (图1-3) 和力的比数 $\frac{A}{B}$ 成反比, 亦即

$$\frac{a}{b} = \frac{B}{A},$$

或 $aA = bB. \quad (1-2)$

在所研究的例子中，力 A 及 B 是表示其他的物体（在图1-3上未表示出的馬）对该物体的作用。力 C_0 ——该物体的反作用力，因此，这个反作用力不是作用在该物体上，而是作用在施作用于该物体的其他物体（馬）上。力 A 及 B 的总和应该等于阻力 C_0 ，它们的合力 P ，应该处于 C_0 的作用线上。力 C_0 按距离 a 及 b 反比分配到每一个作用物体（馬）上，亦即由 A 位置上的馬所制胜的阻力等于：

$$C_a = \frac{b}{a} \cdot C_0,$$

因为 $C_a + C_b = C_0,$

所以 $C_a = \frac{b}{a} (C_0 - C_a),$

由此 $C_a = \frac{b}{a+b} C_0. \quad (1-3)$

力 C_0 的作用和力 A 及 B 总的作用相平衡。亦即

$$C_0 = A + B,$$

由此 $C_0 - A - B = 0. \quad (1-4)$

后一等式指出了，相互平衡的力的总和等于零。

为了找出在相对方向上的平行力合成的关系，我們假定，有

同样的力 A 、 B 及 C_0 作用在物体 I 上（图1-4）。

如以上所述，在这种情况下，可以写出：

$$C_0 - A - B = 0,$$

也就是所有的力都处于平衡状态，由此

$$A = C_0 - B.$$

从这个等式中指出了，力 A 的

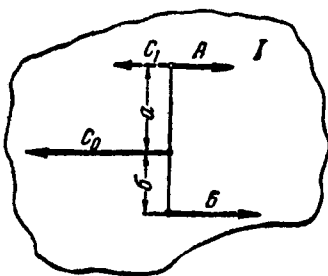


图1-4 作用在不同方向上平行力的合成

作用，平衡了力 C_0 及 B 的作用。

如果在力 A 的作用点上，再加上一个力 C_1 (大小等于力 A ，但是方向和它相反)，于是，它便平衡了力 A 的作用。因此，力 A 的作用，平衡了力 C_0 及 B 的总的作用，或者也就是平衡了力 C_1 的作用，亦即

$$A = C_1.$$

由此可以得出结论，这个 C_1 力就代替了 C_0 力及 B 力的总作用。因此它是这两个力的合力。

于是，当把两个方向相反的平行力合成时，其合力的大小等于这两个力的差数，方向与大力的方向相同，作用点处在靠大力一面的距离为 a 处。

距离 a (图1-4) 决定于下述的关系 (参看前述)：

$$A = \frac{b}{a} B,$$

由此

$$a = b \frac{B}{A};$$

因为

$$A = C_0 - B,$$

所以

$$a = b \frac{B}{C_0 - B}. \quad (1-5)$$

1-2. 力矩. 力矩的合成. 力偶

到目前为止，我們已經研究了作用在物体上，以引起直线运动的平行力的作用条件。但是，力也经常是这样地加在物体上，而使物体绕着某一轴线而旋转。图1-5上所示的是物体 I ，为了使它旋转，可以在离旋转中心 O 距离为 a 处加一力 A 。显然，如果将此力 A 加在中心 O 处，那末这个力就不可能使物体发生旋转。因此为了使此物体旋转，就必须使所加的力 A ，离

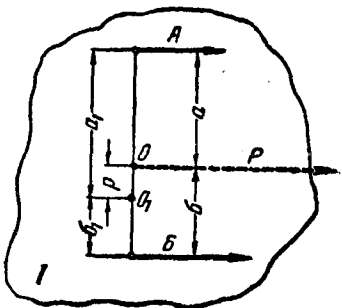


图1-5 平行力的合成力矩

开中心 O 有一段距离。力 A 到軸綫 O 的距离，是用垂直綫的长度来测量的，該垂直綫是这样的一段距离，就是从軸綫与平面（該平面与軸綫相垂直，並通过力的向量）的交点 O 到力作用綫上的垂直距离。如果通过力向量的平面不和軸綫相垂直的話（力和軸綫不垂直），那末力旋轉作用的确定，将比下述的情况来得复杂。

于是，旋轉的运动，将不仅决定于所加上的力的数值，而且决定于此力和旋轉中心的距离。

为了确定数量上的关系，我們現在来研究，作用在物体 I 上两个平行力 A 和 B (图1-5) 的作用。

首先假定，旋轉中心是处在这两个力的合力所处的点 O 处。在这种情况下，物体就不可能旋轉，我們在上面已經講过，这是因为合力的作用代替了 A 和 B 二力的作用。由此可以得出結論，旋轉中心处在这种位置时， A 力的旋轉作用，便被 B 力的旋轉作用所平衡了。在这种情况下， a 和 b 距离的关系和 (1-2) 式的关系相同：

$$Aa = Bb.$$

由此可以得出結論，力的旋轉作用是決定于力和力对旋轉中心距离的乘积。这个乘积便称为力矩。

为了进一步来研究問題，我們假定將旋轉中心移到了点 O_1 。在这种情况下，合力將处在与旋轉中心 O_1 相距为 P 处 (图1-5)。因此物体將发生旋轉。

合力 P 的作用等于此二力之和的作用，亦即

$$P = A + B.$$

为了將上式变成力矩，我們对所有的力均乘以其中之一的 B 力的力臂值 (B 力与旋轉中心的距离)：

$$Pb_1 = Ab_1 + Bb_1.$$

为了再化为各相应力的力臂，我們可以利用适当的關係；当采用了图1-5上所示的符号时，就可以得到这些关系：

$$b_1 = b - p; \quad a_1 = a + p; \quad b_1 = (a + b) - a_1,$$

将这些数值代入上一式，則得：

$$P(b-p) = A[(a+b) - a_1] + Bb_1.$$

脫去括号，得：

$$Pb - Pp = Aa + Ab - Aa_1 + Bb_1.$$

因为，

$$P = A + B, \quad \text{及} \quad Aa = Bb,$$

所以

$$-Pp = -Aa_1 + Bb_1.$$

引用了符号：

$$M_p = Pp; \quad M_A = Aa_1; \quad M_B = Bb_1$$

則得：

$$M_p = M_A - M_B. \quad (1-6)$$

所获得的等式指出：合力对于任意旋轉中心的力矩等于各分力对于旋轉中心力矩的代数和。

从上述的例子中可以看出，力矩的特点不仅表现在力矩的数值上，而且也表现在力矩的符号上。同时，力矩的符号不仅决定于力的作用方向，而且也决定于它們相对于軸綫中心的位置。如力 A 及 B 虽是作用在同一个方向中，而根据方程式 (1-6) 来判断时，这两个力的力矩則具有不同的符号。力矩的符号是由圍繞着所选定的軸綫的旋轉方向来决定的。亦即，軸綫中心的选择，就决定了力矩的符号。

如果有两个相等的力，处在距旋轉軸心相同的距离处，于是便产生了相同的旋轉作用，亦即产生了相同的力矩。因此如果将力移动，而仍保持住了离旋轉中心的距离时，則力矩的数值不变。

由此可以得出結論：相对于同一个軸心的力矩，可以用代数和相加，而与力的作用方向无关。

我們采用順时針旋轉的方向为正；此討，对于旋轉軸心 O_1 而言， A 力的力矩是正的， B 力的力矩是負的，而 P 力的力矩則又是正的(图1-5)。

下面我們用字母 M ，並帶相应的註脚来代表力矩；如 A 力的力矩則用 M_a 来表示。

力矩的数值及方向决定于旋轉极或点的选择。應該提醒一下，力臂是根据旋轉点到力的作用綫上的垂直距离来計量的。

我們現在来分析作用在相反方向上，两个相等的平行力的情形(图1-6)。

根据上述的原理，这两个力的和是：

$$P = A_1 - A_2 = 0.$$

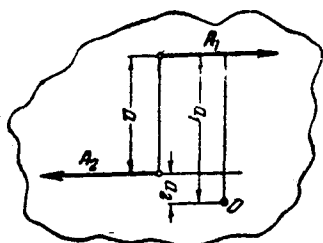


图1-6 力偶的力矩

我們現在来确定，对于任意点 O 的这两个力的力矩总和。

力 A_1 的力矩，按照图1-6上的符号是等于： $M_{A1} = A_1 a_1$ ；力 A_2 的力矩，则相应为：

$$M_{A2} = -A_2 a_2.$$

在这种情况下，力矩的和是：

$$M_A = M_{A1} + M_{A2} = A_1 a_1 - A_2 a_2.$$

因为： $A_1 = A_2$ ，所以， A_1 可以从括号中提出：

$$M_A = A_1 (a_1 - a_2),$$

或根据图 1-6， $a_1 - a_2 = a$

式中 a ——两个力之间的距离（与旋轉极的选择无关）。

因此， $M_A = A_1 a.$ (1-7)

力的这样组合，称为力偶。从所获得的等式中，可以下出这样的定义：

力偶相对于任意旋轉点的力矩等于力的大小与该两力之间距离的乘积。

在这种情况下，极点(点 O)的选择，不影响力矩的符号。

我們現在用表示在图 1-7 上的两个力偶实例来分析力偶力矩的合成。

将力矩合成时，合成力矩(如以前所指出的)等于各分力矩的代数和。

力矩的符号决定于围绕极点旋轉的方向：

$$M_p = A_1 a_1 - A_2 a_2 + B_1 b_1 - B_2 b_2.$$

因为 $A_1 = A_2$ 及 $B_1 = B_2$ ，因此上面的等式可以改写成这样：

$$M_p = A_1(a_1 - a_2) - B_1(b_2 - b_1) = A_1 a - B_1 b \quad (1-8)$$

(因为 $b_2 = b + b_1$ 以及 $a_2 = a_1 - a$) .

而上述的每一項都是力偶力矩:

$$M_A = A_1 a \text{ 及 } M_B = B_1 b .$$

因此, 从所获得的等式中, 可以下出这样的定义:

作用在同一平面上的力偶力矩总和等于各力偶力矩的代数和。

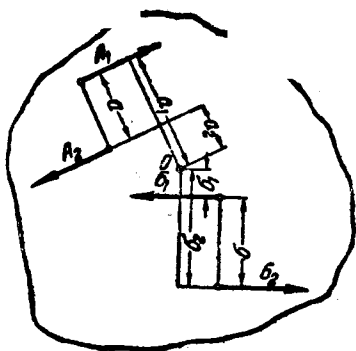


图1-7 力偶的力矩和

1-3. 共点力的合成 . 力的平行四边形

如果有两个力 A 及 B , 它们的方向成一角度, 而又共同作用在同一点 O 上的话, 那末经验和理论指出, 这两个力的合力 P 也将作用在同一点上, 而由分力向量所构成的平行四边形的对角线便等于 P 的方向和大小(见图 1-8)。

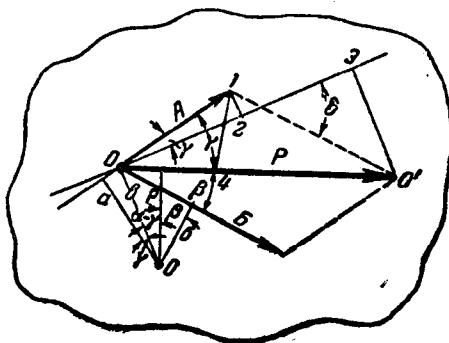


图1-8 力的平行四边形

我们现在来证明 A 和 B 两个力, 对于任意旋转点(或极) O_1 的力矩和等于合力 P 对于同一点的力矩。

力 A 对于点 O_1 的力矩是: $M_A = Aa$.

力 B 对于点 O_1 的力矩是: $M_B = Bb$.

这两个力的合成力矩是:

$$M = M_B + M_A = Bb + Aa .$$