

024

[苏联] А. Б. 普罗托波波夫 合著
В. И. 茹 列 夫



飞机各部件构造 及其工作原理

新华书店
北京发行所
发行

国防工业出版社

飞机各部件构造及 其工作原理

[苏联] A. Б. 普罗托波波夫、B. И. 茹列夫 著

卫本琦、馮元生 译

林振申 校



国防工业出版社

1964

內 容 簡 介

書中以淺顯的方式討論在飛行中作用在飛機上的載荷，以及飛機各主要部件（包括機翼、尾翼、機身及起落架）的結構傳力問題。為了使廣大讀者更好地理解本書的內容，書中也簡要地討論了結構力學的基本概念。

書中對飛機部件基本結構元件的受力和各元件間的傳力，特別是大展弦比的直機翼和後掠機翼的根部傳力，分析得很詳細和清晰，使讀者通過本書能對飛機各主要部件的構造和受力獲得一個較有系統、較全面的初步了解。

在分析傳力時，書中所附大量清晰的插圖，能幫助讀者很好地了解飛機部件受載及其在載荷下工作的複雜問題，了解所討論問題的物理本質，並從而避免了繁複的數學運算式子。

本書適用於從事飛機生產的技術人員和從事飛機使用及維護方面的人員，對從事飛機設計工作的工程技術人員，也有參考價值。對於高等和中等航空院校有關專業的師生，本書是一本有益的參考書籍。

КОНСТРУКЦИЯ И РАБОТА ЧАСТЕЙ САМОЛЕТА

А. Б. Протопопов, В. И. Жулев

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО 1958

*

飛機各部件構造及其工作原理

卫本琦、馮元生 譯

林 振 申 校

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號

新華書店北京發行所發行 各地新華書店經售

國防工業出版社印刷廠印裝

*

850×1168¹/₃₂ 印張8³/₈ 214千字

1964年12月第一版 1964年12月第一次印刷 印數：0,001—1,800冊

統一書號：15034·792 定價：（科六）1.30元

目 录

譯者序	4
原序	6
第一章 結構力学的基本概念	7
第二章 机翼	32
第三章 典型机翼构件和零件中力的傳遞过程	55
第四章 机翼横剖面应力近似計算的概念	87
第五章 机翼在大开口区附近的受力和构造特点	99
第六章 机翼与机身对接处机翼的受力和构造特点	108
第七章 机翼零件的构造 (它們的几何形状和材料)	138
第八章 飞机的尾翼	153
第九章 机身	167
第十章 飞机动力強度問題	189
第十一章 飞机的起落架	215
参考文献	267

譯 者 序

本書討論了飛機主要部件(包括機翼、尾翼、機身和起落架)的傳力,亦即討論了這些部件所受外載大致情況,以及這些外載如何通過受局部載荷的元件傳到主要受力元件上去和最後傳到該部件與其他部件相連接的接頭上去的傳遞過程。在分析這些力和力矩的傳遞過程時,取了各種分離體,闡明了其內力的大致分布。由於傳力是只作力的性質分析,所以與設計計算相比較,進行了更多的簡化假設,以便把這些部件受力工作特性的物理本質闡述得更明確。

此外本書還在不少地方把受力工作特性與飛機的使用維護問題很好地聯繫起來,這也是本書的一個特色。

有關結構傳力問題的專著本書還是第一本,而傳力問題對航空工程技術人員來講,尤其是对廣大使用人員以及飛機設計人員,都是一個相當重要的問題,因此本書是一本有益的參考書。同樣,本書對航空院校的有关專業師生來講,也是很有參考價值的。

書中對機翼基本元件的受力和各元件間的傳力分析得特別詳盡清晰。尾翼和機身則由於有了機翼部件傳力分析的基礎,就分析得較簡單一些。起落架除了傳力分析外,還說明了這一部件的一些基本工作原理。

在分析時,附有很多幫助說明傳力的插圖,這對幫助讀者掌握本書內容是很有好處的。

總的來說,通過本書讀者可對飛機各主要部件的傳力獲得一個較有系統、較全面的基本了解。

不過由於本書原版的出版年代較早,其主要內容是近音速飛

机結構部件的分析，而超音速飞机和現代大型飞机的一些部件的分析，如三角机翼，小展弦比平直机翼，全动尾翼和多輪起落架等結構的傳力，就沒有談到，或略为談及而內容較少，分析不够全面。书中有些論述的观点結論等，对近音速飞机尚屬合适，而对于超音速飞机就不甚合适。具体問題已在譯文中注釋說明。

作为飞机主要受力結構部件的机身，亦即书中的第九章，內容太少了一些，有些重要的問題未曾論及，也是一个缺陷。

在原文的文字书写上，也有不够簡洁之处，为保留原文的用詞語气，譯文未作修改。

譯 者

一九六三。十一。

原 序

經驗表明，飞机构造中有些問題比較容易領會，有些問題則較難領會。

飞机各部分作为受力結構来看，它們的受力原理以及飞机結構力学是最難領會的。

这一点是完全可以理解的。薄壁結構的現代飞机，它的結構力学是相当复杂的。同时，飞机結構力学方面的书籍主要是闡述飞机設計时的强度計算問題，因而只是对于从事飞机設計的人員才是适合的。对于广大的大多数不从事結構設計的航空工作人員，首先是对于使用人員來說，这些书籍份量过于繁重并且難懂。

但是，假如对飞机各部分在載荷作用下的工作原理沒有清晰的概念，想要正确的使用它，并最大限度地利用其战斗性能，这是不可想像的。

本书試圖提供关于飞机各个部分构造基本原則的概念，以及这些部件在載荷作用下的工作情况。为了避免公式和算式使本书的份量过重，书中未討論飞机的强度計算，因此本书容易为广大讀者所接受。

第一章 結構力学的基本概念

結構力学的任务是研究結構在載荷作用下的工作情况。

受力結構，或簡称为結構，是一种工程构体，它的一部分相对于另一部分是固定不动的，同时能承受較大外力的作用。結構所受外力的大小和作用特点在很大程度上（而有时完全）决定了它的构造、結構以及使用特点。

机翼、机身、尾翼及起落架（已放下的起落架）都是受力結構。合理的使用它們就要求对它們在載荷作用下的工作情况有清晰的概念。

术语“在載荷作用下的工作情况”的意思是：結構对所作用的外力有什么反应，当外力作用时在結構中产生（或应该产生）些什么变化。这些变化如下：

1. 結構变形，稍許改变自己的形状。結構的各个元件和各部分伸长或縮短，改变它們之間的原有夹角，結構中的各个点之間发生相对位移（图1 a）。

2. 在結構零件的材料內以及零件之間，在結合处及接头中产生內力，即零件之間及零件內部材料各质点間的相互作用力。这些內力是对外載荷的反应并与它們保持着严格的关系（图1 b）。

3. 結構或其个别部分可能破坏（图1 c）。

这样，在載荷作用下結構工作的研究包括弄清外載荷本身，然后研究它們所引起的結構变形和內力，最后还要研究結構严重破坏的条件。

对于使用来说，最重要的問題是弄清結構各部分之間作用的并通过接合面和接头傳遞的內力的特征和大致数值，因为它們决定結構的可能型式，以及出現損伤和故障的可能性。

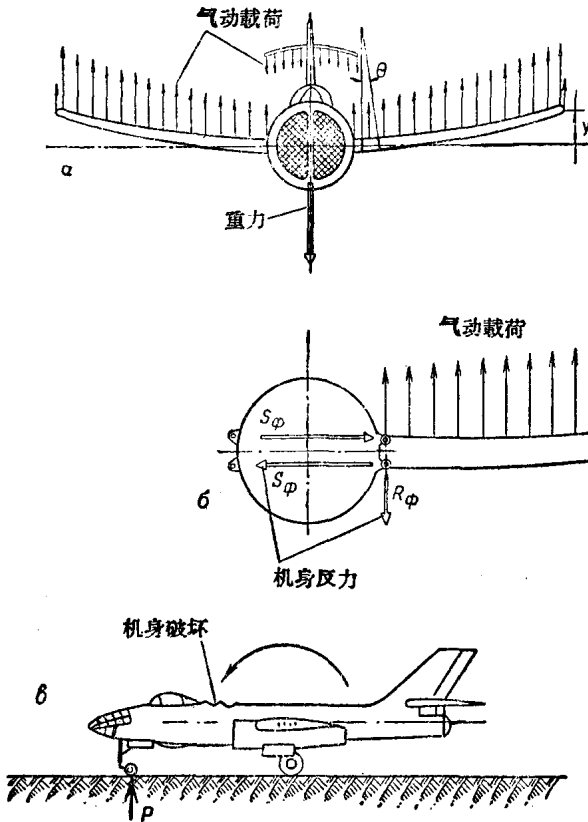


图1 载荷对结构的作用:

a —在外载作用下结构产生变形,例如机翼和水平尾翼受到弯曲,翼尖上移(y)而机翼剖面间的夹角 θ 改变; b —在材料内部和接头处产生了力,例如在和机身连接的机翼对接接头处产生力 R_{ϕ} 和 S_{ϕ} ; b —结构或零件可能破坏(例如,在不容许的粗暴着陆时,受到前轮力 P 撞击的机身)。

结构或其任一部分的平衡条件是求解内力问题的基本方法。这种方法的实质有如下述:

因为结构是静止的,所以作用于其上的全部力系是平衡的,否则它不会静止不动(图2 a)。我们已知道作用于结构的外力,但

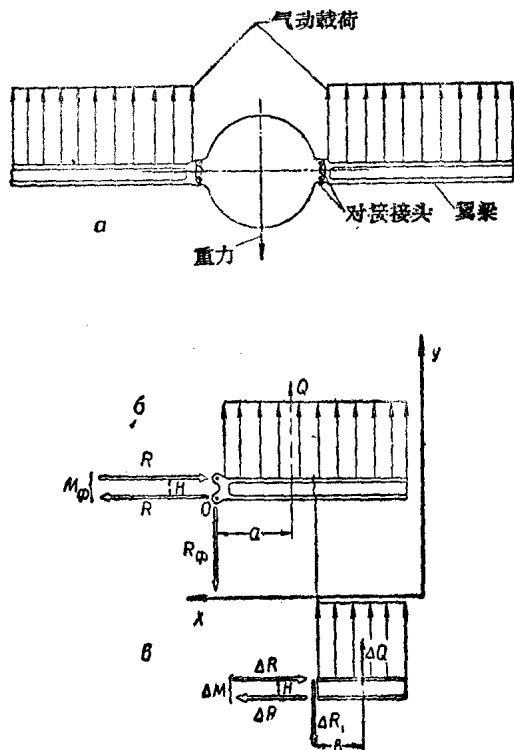


图 2 结构中内力的确定:

a —全部外载荷都是已知的, 结构 (如机翼大梁) 是平衡的;
 b —为了研究大梁的平衡条件而将它卸下来; 大梁是平衡的, 也就是说, 作用于其上的全部力都是已知的并形成一平衡力系:
 大梁平面内全部力在相互垂直的两个轴上的投影之和等于零, 对任一点 (如 O 点) 力矩之和等于零:

$$Q - R\phi = 0, \quad R - R = 0, \quad Qa = M_\phi = RH,$$

式中 Q ——气动载荷的合力;

B —为了确定构造中的内力, 我们切出一部分 (如大梁的一部分), 同时由平衡条件确定其余部分和切出段之间相互作用的内力

$$\Delta R_1 = \Delta Q, \quad \Delta Q' = \Delta M, \quad \Delta R \cdot H = \Delta Qb,$$

式中 ΔQ ——作用于切出段的总载荷。

它并不是作用于结构上的全部力。在其上作用的还有从支点和支座接合面传来的力（例如，机翼上作用有由机身固定接头传来的力）。这些力我们暂时还不知道，但为了弄清结构上的所有载荷，必须知道它们。为此我们假想将结构从它的所有支点和接头处分离开来（例如，将机翼由机身上分离开来，图26）。

我们设想在假想分离面处有支点给结构的反作用力。因为反作用力应与已知外载荷（主动力）一起组成平衡力系，所以根据必须的平衡条件，我们可以求得支点反力的大小。现在，整个结构是平衡的。作用在结构上的全部力，包括作用力和反作用力都成为已知的了。这个平衡力系也就是结构的总载荷，现在则可以把它当作“外载荷”。

现在我们可以来寻求结构各部分间相互作用的内力。这里我们作完全相同的处理。设想把结构的一部分切割开，而切割表面正好通过我们感兴趣的接头或零件（图26）。此时，在被切开的这部分结构上仍保留一部分已知外力。这部分力已不是自身平衡的了，但是作用于被切开部分结构上的全部力无疑是平衡的，因为这部分是静止的。这就是说，它的平衡状态是由于切割面上附加内力的作用而形成的。再一次说明，考虑平衡条件可以求得这些内力。

不断地取分离体和解平衡方程，可以把我们所感兴趣的接头和零件中的内力都弄清楚。

要提出注意的是，为了确定内力，只有平衡条件不总是足够的。在这种情况下，问题变成所谓静不定的了。为了解决这种问题需要引用补充的条件，这是相当复杂的事情。在以后讲述有关确定内力的问题时，将简化到有可能仅用平衡方法来解它们。因此对于静不定问题我们仅这样提一提。

力和力的转换

实际的力总是分布地作用在物体的每一质点上，或是作用在

其表面各点上。

重力、慣性力及磁力等都是体积力。它們的单位是公斤/厘米³。

空气压力、零件对另一零件在接触面上的压力、零件的一部分对另一部分在假想切割面处的相互作用力等都是表面力(图3)。这些力可以垂直于作用表面,也可以同它相切,它們的单位是公斤/厘米²。两个相接触的零件可以产生垂直于接触面的相互压力,也可以产生和接触面相切的摩擦力(滑动和旋轉时)。在零件的假想切割面处作用有正应力(垂直于切割面)和切应力。

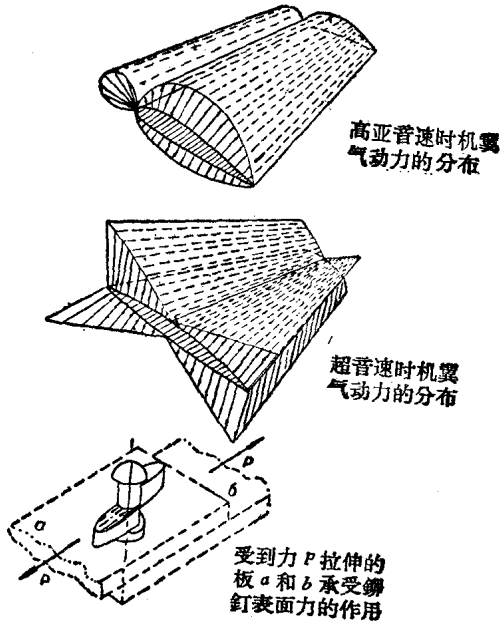


图3 沿表面分布作用的力的举例。

除体积力和表面力外,还用到单位长度力和集中力。实际上不会碰到这种力,这只是为了便于討論問題而作的必要抽象。关于它們的近似物理概念,可以設想为尖利的刀和针对平面的压力。单位长度力是沿一条綫分布的,它的单位是公斤/厘米。集中力

作用在一点上，它的单位是 公斤。为了将体积力和表面力转换为它们最终的合力，广泛地采用单位长度力和集中力。例如，体积力可合并为表面力。同一方向的表面力相加可以得到单位长度力，最后，单位长度力又可沿其作用线集中为一集中力（图4）。单位长度力和集中力可以是垂直于所论述表面的，也可以是和它相切的。

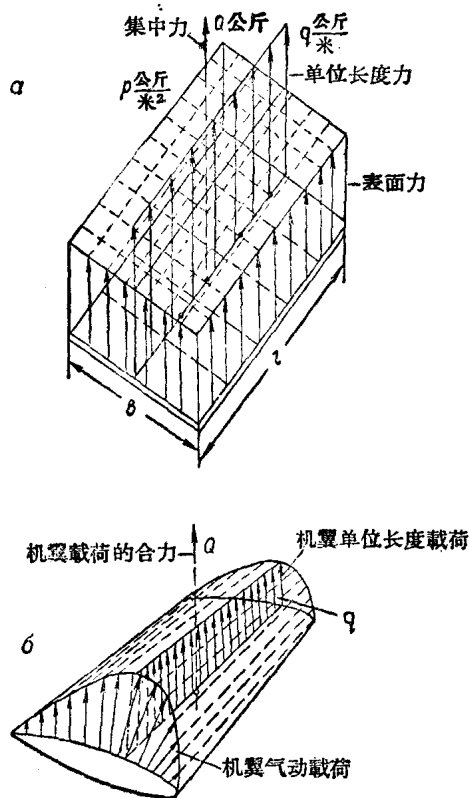


图4 表面力和单位长度力:

$$q = p \left[\frac{\text{公斤}}{\text{米}^2} \right] b [\text{米}] = q \frac{\text{公斤}}{\text{米}}$$

$$q = \left[\frac{\text{公斤}}{\text{米}^2} \right] \cdot l [\text{米}] = Q \text{ 公斤}$$

表面力 p [公斤/米²] (例如: (a) 是平板上的吸力, (b) 是机翼上的吸力), 可以变换为单位长度力 q [公斤/米], 而单位长度力又可变换为集中的合力 Q [公斤]。

在力的轉換時我們要注意真實力系的替換、力的轉移、力偶的變換或轉移等，簡言之，任何力的靜力等值變換在結構力學中被廣泛應用着，但是，只是在研究平衡問題時才能應用這些方法。當轉到研究結構或其一部分中力的作用問題時，任何一種力的變換都是不容許的，因為任何力的變換都會改變力在結構中的作用情況，結果內力、變形和位移都不同了。例如，為了要確定機翼固定結頭中的反力（這是個平衡問題），可用其合力代替分布載荷。在研究機翼的受力情況時，如果把合力當作機翼的載荷，那麼就

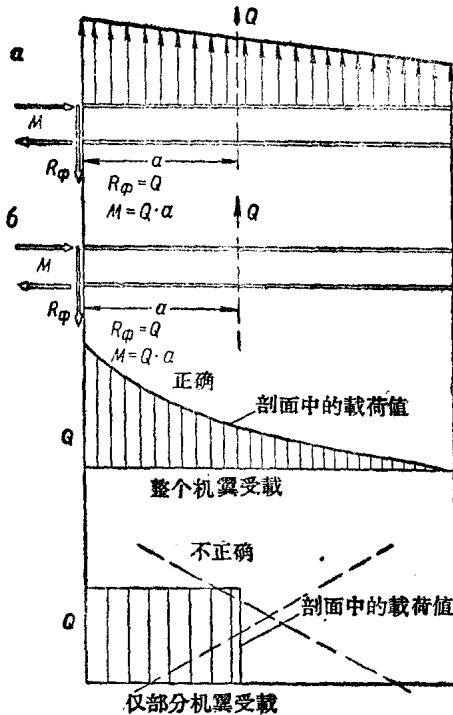


圖 5 力系的變換：

任何力系的變換只是在確定平衡條件時才可應用；在研究力在結構中的作用時任何變換都是不容許的；對於確定反作用力和力矩（ R_ϕ 和 M ）時，可以利用合力（ a 和 b ），但在確定任一剖面的受載情況時就不能用合力。

要犯严重的錯誤。这样将会得出只是机翼的一部分（根部）由于这种“載荷”而受力的結論，然而，十分明显，真实分布載荷在整个机翼中都会引起內应力的（图5）。

后面在进行力的轉換时需引用力或力系的变换和轉化这两个术语。讓我們来解釋一下这两个在形式上类似而概念上却不同的术语。

变换指的是力系的假想变化，由它的一种形式轉为靜力等值的和便于解决問題的另一形式。

轉化指的是，当力由結構的一部分傳給另一部分时，力系形式的真实变化（也是在保持靜力等值的条件下）。这种变化与傳遞力系的結合面构造有关。讓我們用最简单的例子來說明这一点。在固定于圓管的一个搖臂上作用有某一載荷，載荷經過变换可合并为一力矩 M （图6）。这个力矩企图轉动搖臂，随后也扭轉圓管。因而，直接作用在搖臂上的力矩由搖臂傳給圓管（大小不变）。但

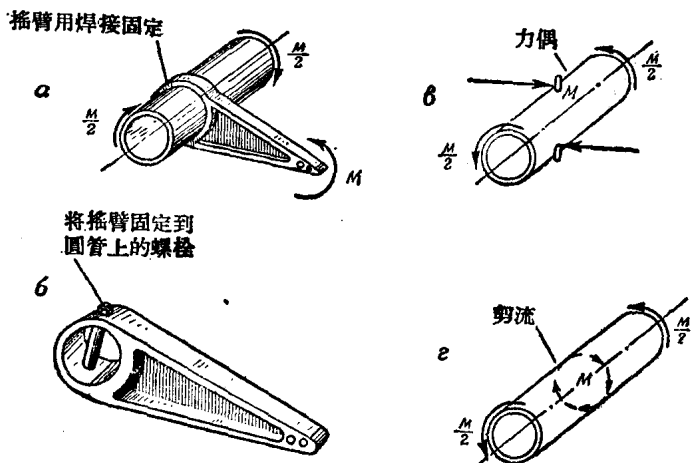


图6 載荷的轉化:

α —用焊接方法固定在圓管上的搖臂承受力矩 M ； δ —搖臂用螺栓固定在圓管上； ϵ —力矩以力偶的形式由搖臂傳給圓管（当搖臂用螺栓固定时）； ϵ —力矩以剪流形式由搖臂傳給圓管（当搖臂用焊接固定时）。

是傳給圓管的力矩形式却與搖臂在圓管上的固定結構有關。~~如搖臂~~用一個螺栓固定在圓管上（圖66），那麼力矩以剪切螺栓的一對力偶的形式傳遞（圖66）。當用兩個螺栓固定時，則為兩對力偶的形式。當用很多螺栓或鉚釘固定時，則為很多對力偶形式。最後，當用焊接固定時，則力矩以沿整個焊縫分布的剪流形式傳遞（圖67）。這樣，力的轉化並不是由便於解決問題來確定，而是由結構的實際構造所確定。

材料和結構的基本性能

剛度、強度、穩定性、彈性和塑性都是結構和材料的基本性質，它們代表結構和材料在載荷作用下的工作能力。

剛度 剛度，實質上就是材料（結構）在載荷作用下抵抗變形的抵抗能力（圖7）。因此，為了改變剛性物體的形狀，就需要某一足夠大的力。如果物體（不受拘束的液體、氣體、柔索和鏈條）不具有這種能力，就稱它為**非剛性物體**。不應把剛度和硬度混為一談。硬度指的是抵抗局部破壞的能力，且主要指抵抗表面破壞的能力（擦傷、微度磨損、壓傷和刺傷）。例如，鋼淬火並不改變它的剛度，而是提高硬度和強度。

在研究結構受力時，經常把它的支點或某些其它部分假定為“絕對剛性的”，也就是說，在任何載荷情況下都是不變形的。當然，這只是為了簡化問題的抽象。實際上這種物體是不存在的，所有物體或多或少都是有剛度的。

數值上確定剛度需要預先說明材料所處的狀態。

可能有兩種情況：

1) 材料或結構具有成比例的抵抗力，即所謂在比例極限內工作；在此情況下，變形隨載荷按比例增長（圖8a段）；

2) 在某一相當大的載荷下，材料或結構的抵抗力開始不按比例變化。變形開始比載荷增加得快些，就是說，在比例極限以外或高於比例極限工作（圖8b段）。

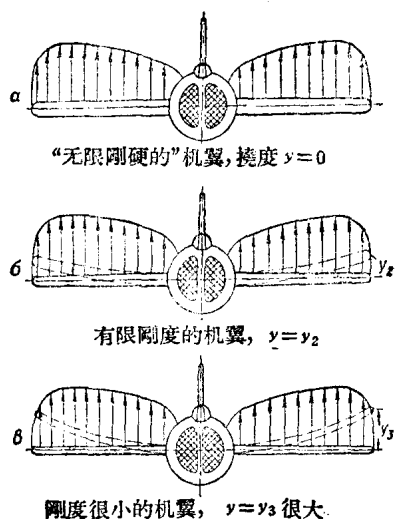


图7 用于说明结构刚度的图。

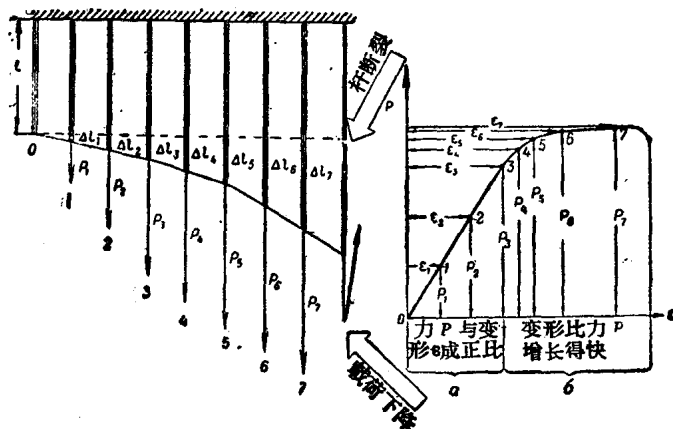


图8 杆子在载荷作用下的工作情况:

当外力在 P_3 以下增加时, 变形和作用力成正比 (a 段) 一杆子的材料在比例极限以内工作; 当外力进一步增加时, 变形比外力增长得要快 (b 段) 一材料在比例极限以外工作。