



中等专业学校讲义

结构静力学

沈 煜 编 著

建筑工程出版社

中等專業學校講義

結 構 靜 力 學

沈 煜 編 著

建筑工程出版社出版

• 1958 •

內 容 提 要

本书共分十章,首先叙述结构静力学的概念和结构的几何不变性,接着说明挡土墙、多跨静定梁、静定刚架、三铰拱和静定平面桁架的解算,以及静定结构的影响綫和变位的求法,最后叙述超静定刚架和連續梁的計算。

本书可用作土建性質的中等专业学校讲义或教学参考书。

結 构 靜 力 学

沈 燧 編 著

*

建筑工程出版社出版 (北京市阜成門外大街)

(北京市書刊出版業營業許可証出字第052號)

建筑工程出版社印刷廠印刷 · 新華書店發行

書號 815 230千字 851×1168 $\frac{1}{32}$ 印張 8 $\frac{7}{8}$

1958年8月第1版 1958年8月第1次印刷

印數: 1—3,360 册 定价 (10) 1.40 元

目 录

第一章 緒 論	7
§1 結構与結構靜力学	7
§2 結構的計算簡图及分类	7
§3 平面結構的支座	10
§4 荷載	11
§5 結構靜力学发展的概述, 祖国及苏联学者在这方面的 貢獻	12
复习問題	15
第二章 平面結構几何不变性的确定法	16
§6 結構几何不变性的概念	16
§7 盘 体	17
§8 平面結構的自由度	17
§9 結構几何不变的必要条件和充分条件, 危形結構	21
复习問題	25
习 題	25
第三章 挡土牆	27
§10 挡土牆的基本知識	27
§11 散 体	27
§12 主动压力和被动压力	28
§13 滑动角和主动压力的确定	29
§14 主动压力图解法	31
§15 主动压力数解法	35
§16 总压力图和压力强度图	36
§17 超载的影响	38
§18 在特殊情况下的压力强度图	40
§19 被动压力数解法	42

§ 20 挡土墙几何不变性的驗算	44
§ 21 挡土墙的强度計算	46
复习問題	50
习 題	51
第四章 多跨靜定梁,靜定剛架	53
§ 22 多跨靜定梁的基本知識	53
§ 23 多跨靜定梁的数解法——主梁和次梁	55
§ 24 多跨靜定梁的性能	58
§ 25 剛架的基本知識	62
§ 26 靜定剛架数解法	63
§ 27 多跨与多層靜定剛架	71
复习問題	72
习 題	72
第五章 三鉸拱	74
§ 28 拱的基本知識	74
§ 29 三鉸拱的数解法	75
§ 30 三鉸拱的图解法	83
§ 31 合理拱軸的选择	86
§ 32 拱結構的性能	88
§ 33 穹隆的計算	89
复习問題	95
习題	96
第六章 靜定平面梁式桁架	98
§ 34 桁架的經濟性及应用范围	98
§ 35 桁架的杆件——桁架的理想情况和实际情况	99
§ 36 桁架的分类	100
§ 37 桁架的几何不变性和靜定条件	102
§ 38 靜定桁架的数解法	106
§ 39 靜定桁架的图解法	114
§ 40 靜定桁架的混解法	118
§ 41 屋架杆件中的节点荷載	120
§ 42 屋架杆件設計內力的計算	124
§ 43 用表計算桁架——內力系数法	127

§ 44 組合桁架的計算	128
§ 45 复杂桁架的計算——通路法	133
§ 46 桁架的最有利形式——弦的外形对于內力的影响	135
复习問題	137
习 題	138
第七章 靜定結構中的影响綫	142
§ 47 影响綫的定义和用途	142
§ 48 用影响綫求內力	143
§ 49 影响綫直綫綫段的特性	144
§ 50 简单梁和外伸梁的影响綫	145
§ 51 多跨靜定梁的影响綫	151
§ 52 节点传递荷載情形下的影响綫	153
§ 53 在一組相連系的集中活載作用时, 求指定截面的最大內力	157
§ 54 两个相連系的集中活載作用时, 简单梁內绝对最大弯矩的求法	163
§ 55 活載的类型——标准載重制	165
§ 56 简单桁架杆件內力的影响綫	168
§ 57 等代荷載及其应用	171
复习問題	174
习 題	174
第八章 靜定結構的变位求法	177
§ 58 結構变位的概念	177
§ 59 广义力与广义变位	177
§ 60 变位的符号	179
§ 61 外力的功	179
§ 62 內力的功	181
§ 63 外功和內功的关系	186
§ 64 可能功	186
§ 65 功的互等定理	188
§ 66 变位互等定理	189
§ 67 求結構任意点变位的一般公式——莫尔公式	190
§ 68 用图形相乘求变位——維列沙金法	197

复习問題.....	204
习 題.....	205
第九章 用力法計算超靜定剛架.....	207
§ 69 超靜定結構的概念.....	207
§ 70 超靜定結構次數的確定.....	208
§ 71 超靜定結構的基本結構.....	210
§ 72 超靜定剛架的計算例題.....	211
§ 73 力法，力法方程式.....	216
§ 74 超靜定剛架的簡化計算.....	217
§ 75 用表計算超靜定剛架.....	221
复习問題.....	222
习 題.....	223
第十章 連續梁.....	225
§ 76 連續梁.....	225
§ 77 連續梁的三彎矩方程式.....	225
§ 78 連續梁的支座反力.....	231
§ 79 連續梁固定端和外伸臂的處理.....	232
§ 80 連續梁中任意截面內的彎矩和剪力的計算.....	236
§ 81 連續梁承受荷載的最不利位置.....	238
§ 82 用表計算連續梁.....	244
§ 83 超靜定結構與靜定結構的優缺點比較.....	247
复习問題.....	248
习 題.....	249
附 录.....	251
家庭作業.....	271
參考書籍.....	284

第一章 緒 論

§ 1 結構与結構靜力学

广义說来,凡若干事物按照一定的方法組成互有关系的整体,都可称为結構。如“社会結構”、“經濟結構”、“地質結構”等等。但在工程中,所謂結構,乃指在一定力系作用下而維持平衡的一部或数部的合体而言,例如:梁、柱、牆、房屋、桥梁及堤坝等都是。

結構靜力学是根据靜力学的基本原理研究結構的几何不变性、强度和刚度的原理和計算的科学。所謂結構的几何不变性,是指結構的全部或一部除了在外力的作用下发生微小的变形外,并无任何机动自由的可能,那末这样的結構称为几何不变的;結構的强度和刚度乃指結構在外力作用时所发生的內力和变形的大小。在設計結構物的时候,不但要使結構有足够的几何不变性、强度和刚度以保証安全,并且还必須考虑經濟的原则。因此,研究結構靜力学的任务是:

1. 决定結構在外力作用下所发生的內力和变形;
2. 研究結構組成的规律和性能;
3. 就安全和經濟的观点研究建筑物結構的合理化。

結構靜力学与材料力学的关系是很密切的,在結構計算中經常需要引用材料力学的法則来考虑外力对結構的作用(拉伸、压缩、弯曲、扭轉及它們的联合作用)。它又是今后有关各专业課程(鋼筋混凝土結構、鋼木結構、砖石結構及地基与基础等)的基础,并为研究这些課程作出准备。

§ 2 結構的計算簡图及分类

無論怎样简单的結構,它的实际情形常是相当复杂的。如果完

全精确地按照结构各部分的实际情形来进行计算，那会使计算工作非常复杂，甚至无法计算。为了使计算简便起见，常设法用一种理想的计算简图来表示实际的结构。但此种简图的选择必须符合两个条件：(1)应该尽可能地符合实际情形；(2)应该使计算尽量简化。这样，计算结果才能符合原定的任务和要求^①。例如如图1—1a的

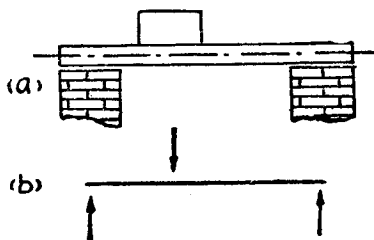


图 1—1

横梁搁在墙上，中置重物；如按实际情况分析，两端反力就无法确定。因为反力沿着墙宽分布的情形是难以知道的。今假定反力分布是均匀的，则其合力必定作用在墙宽正中，同时倘用梁的轴线代表梁的本身，这样就得到图1—1b的计算简图。

又如图1—2a的桁架，其计算简图如图1—2b所示，各杆件的接合都假定是铰接的。这样做法是能满足上述两个条件的。

结构的分类方法甚多，按照不同的观点，可将结构分为各种不同的类型。

按几何的观点来分：

1. 杆件结构 系若干杆件组接而成。所谓杆件乃指长度远大于高度和宽度的物体。杆件结构又分为平面结构和空间结构，前者乃指各杆件的轴线和外力作用线都处在同一平面内的结构，而后者则指轴线和外力作用线不在同一平面内的结构。实际的结构多为空间结构，在计算时，大多数的空间结构可以分解为若干平面结构来研究。

又可按杆件接合的方式把杆件结构分为下列三种结构：(1)

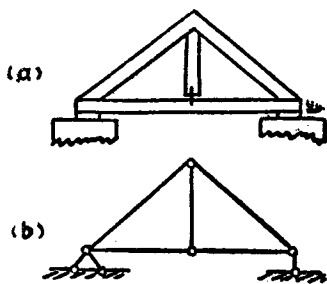


图 1—2

① 在材料力学里我们已经使用过计算简图，如以梁的轴线代替真正的梁。

桁架:如图1—3a所示,这类结构的杆件是互相铰接的,铰接的特点是连接于铰的各杆件只能对于铰轴发生相对的旋转而不能发生相对的位移。

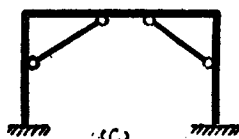
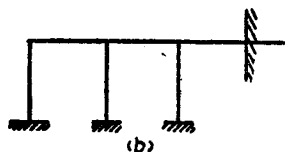
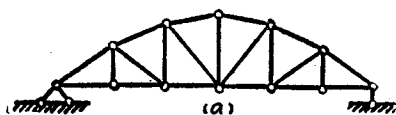


图 1—3

因此在桁架杆件中只能产生轴向内力,而不能产生弯矩;(2)刚架:如图1—3b所示,杆件是互相刚接的,就是接合处是完全固定的。各杆件在连接处不能作相对的转动。因此各杆件的作用与梁相似,主要是产生弯矩,而轴向力和剪力都是次要的;(3)混合结构:如图1—3c所示,杆件的接合是兼有铰接和刚接的结构。

2. 薄壁结构 系由长度和宽度都远大于厚度的构件组合而成。此类结构又分为平板结构和壳体结构两种(图1—4)。

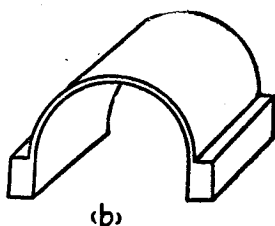
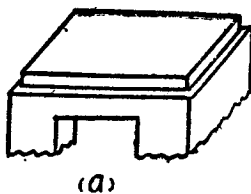


图 1—4

3. 实体结构 结构的长宽高三个尺度相差不大,多靠本身重量以维持其几何不变性,如挡土墙、基础、桥墩等是(图1—5)。

按支座反力的方向来分:这种分类方法是苏联学者所独创的。

1. 梁式结构 结构在竖向荷载作用下其支座只产生竖向反力的,称为梁式结构,如图1—6a所示;

2. 拱式结构 结构在竖向荷载作用下其支座将产生水平分

反力的,称为拱式结构,如图 1—6b 所示。

按计算的方法来分:

1. 静定结构 结构的内力和变形只须用静力学平衡条件即可确定的称为静定结构;

2. 超静定结构 静力学平衡条件不足以确定内力和变形的结构,称为超静定结构。此类结构必须借助于本身的弹性变形原理才能进行分析。

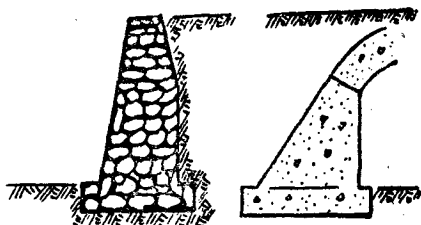


图 1—5

§3 平面结构的支座

结构和基础或地面的连接物,称为支座。平面结构的支座有下列几种:

1. 铰轴支座 如图 1—7a 所示,结构和基础间倘用一根链杆联结着。支座受到的约束,只是在沿链杆方向不能移动,对于链杆可以转动,在垂直于

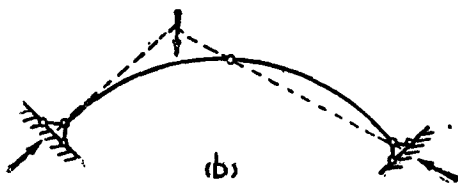
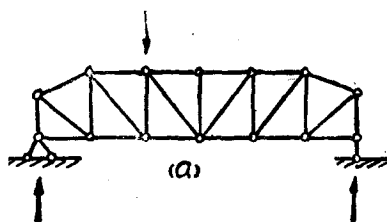


图 1—6

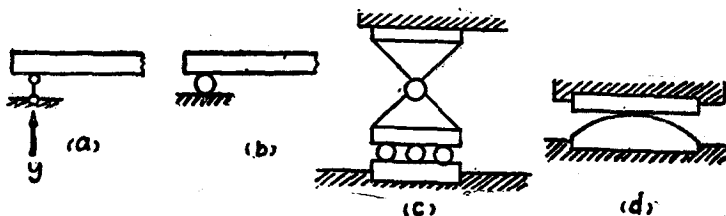


图 1—7

链杆的方向上仍可移动。所以铰轴支座的反力只有一个未知数,就是 y 力的数值,至于 y 力的作用点和方向都是已知的。图 1—7c、d

是这类支座的实际图式，而图 1—7a、b 则是它们最常用的两种计算简图。

2. 铰支座 如图 1—8a 所示，如果用两根相交的链杆将结构和基础连结起来，支座端就无法移动，只能绕这两根链杆的交点而转动，支座反力是两根链杆内力的合力，并一定通过链杆的交点。所以铰支座的反力作用点是已知的，未知数是它的 x 向和 y 向两个分力的数值，亦可说是它的数值和方向。图 1—8a、b 是铰支座的

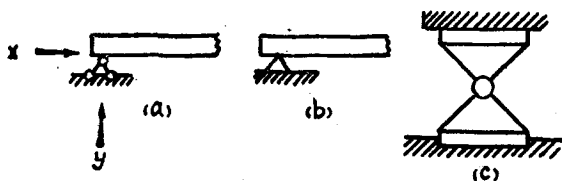


图 1—8

常用的计算简图；图 1—8c 则是它的实际图式。

3. 固定支座 如图 1—9a 所示，倘用三根不平行亦不交于一点的链杆把结构和基础相连接起来，结构就不能作任何移动和转动。

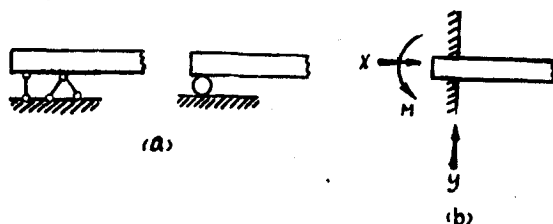


图 1—9

因此，反力未知数有三个：水平和垂直方向的分力 x 和 y 以及弯矩 M 。亦可以说固定支座的反力未知数有三，即数值、方向和作用点。图 1—9b 是固定支座常用的计算简图。

§ 4 荷 载

结构应当能安全地担负它将可能遭遇的各种荷载。荷载分恒

載和活載兩種。永久停放在結構上的荷載叫作恒載，如結構自重、水壓力、土壓力等，在使用結構的過程中，這些荷載都不變。在計算結構時，隨計算的目的可能計入也可能不計入的荷載叫作活載，如機車、人群、風雪等。

根據作用的特性，又可把結構所受的荷載分為靜力荷載（簡稱靜載）和動力荷載（簡稱動載）兩種。靜力荷載作用於結構上時，系逐漸達到其最後計算值，無須把慣性力列入計算中。動力荷載有沖擊荷載（如打樁時鏈對樁的打擊）、瞬加荷載（系在瞬時內能把全部重量作用於結構的荷載，例如汽車進入橋梁時車輪的壓力作用）等。考慮動力荷載時應將慣性力列入計算。

結構除了承受荷載外，還可承受另外一些作用，例如溫度的作用、材料的收縮、支座的沉陷或移動等。

§5 結構靜力學發展的概述，祖國及蘇聯學者在這方面的貢獻

結構靜力學這門科學是逐漸形成起來的，它的发展系隨着生產的發展程度而進行的。在遠古時，人類用自然賦予的木石為建築材料，因此所造成的結構基本上具有這些材料所特有的形狀，如石造的金字塔和木制的梁、柱等。十七世紀時，伽利略（Галилей）（1564～1642年）已經從事於材料強度的研究。他在1638年出版了材料力學一書，初步地把理論和實際結合起來。但當時的建築者們尚未掌握充分的科學基礎，他們對結構中內力的分布並不加以計算，只以前輩的經驗作根據加入自己的分析來決定結構的尺寸。這樣，為了保證結構的安全，只得以耗費材料來補償知識的不足。從保留至今的石過道和半圓拱橋就可以看出這些情況來。這些情況一直保持到十九世紀初葉。

十九世紀前半期由於工業的發展，各種鋼鐵軋製品大量生產，結構計算由是得到發展。鋼材不但可以製成梁而且亦可以製成長跨度的桁架，這就引起了桁架理論的發展（桁架的合理形狀和變位理論等）。在十九世紀末葉出現了新型的建築材料鋼筋混凝土，由

予钢筋混凝土结构的整体性,就迫使工程师轉向刚架的研究,超靜定結構計算理論于是得到了发展。

在我国古代,劳动人民和艺术家在結構工程上是有輝煌的成就的。远在公元前1400年,我們的祖先已能利用天然材料創造直到现在还在应用着的架成結構。这种結構就是先在地上筑土为台,台上安石础、立木柱,柱上安置梁架,梁架与梁架之間以櫟将它们牽連,櫟上安椽,作成一個骨架,以承托上面的荷載。我国所有的宮殿、庙宇及絕大多数民居和农舍,基本上全是采用这种架成結構的。無論从实用上或艺术上說,比起欧洲古代采用叠石制造的建築要高明得多。还有,隋朝(581~618年)匠师李春在河北省赵县洹河上建造了一座跨径38公尺的单孔石拱桥。在桥身石孔中貫以熔鉄,起着相当现在钢筋混凝土中鋼筋的作用;其拱圈两端各有两个小拱,以便排洩洪水,以减少对桥身的威胁,这种措施在800年后才出現于欧洲。再如秦朝(公元前221~202年)蜀郡太守李冰所主建的四川灌县都江堰。筑堰的材料采取当地的竹子和卵石,用直径1公尺、长33公尺的竹籠,中間填滿卵石,堆砌成堤,把岷江分成內外两江,內江灌溉,外江排洪。这一构造簡單、规模宏伟的水利建築物,已使用二千多年,今尚完好存在。李冰所遺留下来的治水方法象竹籠、橈槎、分水堰及人字堤等,至今仍有应用的价值。关于建筑方面的撰述,以我国为最早,“周礼”“考工記”作于公元前数百年。宋代李明仲的“营造法式”共36卷,凡357篇,引証淵博,解說詳明,不仅是研究中国建筑的秘典,也是世界上最早最完备的有关建筑結構的著作。

解放以前,我国是半封建半殖民地的国家,工业和科学得不到发展。解放以后,在毛主席和中国共产党的正确領導,以及苏联专家的无私帮助下,各个生产战綫都創造了不少奇迹。例如以惊人的速度完成了成渝鉄路和荆江分洪工程;有計劃地进行具有历史意义的治淮工程;建筑了规模宏大的第一汽車廠;此外在不久前建成武汉长江大桥工程,其技术的复杂性为我国桥梁史上所未见。现在,祖国正在胜利地进行社会主义建設,五年計劃将对我国結構科

学的工作者提出生产实践中的各种各样的問題。随着祖国建設事业的发展,結構靜力学这門科学亦将进一步地向前发展。

俄国及苏联学者在結構力学的发展上的貢獻是极为巨大的。在俄国学者中,首先應該提到力学专家 И.П. 庫里宾(Кулибин)(1735~1818年)。在当时的彼得堡,連接涅瓦河的两岸只有一些浮桥,在春天流冰期和秋天洪水时就不得不拆开,停止交通。庫里宾第一个以科学实验的态度研究了整个結構,設計成一跨长298公尺的单孔式永久性桥梁。庫里宾又是最早把支座反力分解为垂直和水平两个分反力的使用者。Л.И. 朱拉夫斯基(Журавский)(1821~1891年)是俄国杰出的工程师。他首先建立桥梁桁架的計算理論,确定了位置近于桁架中間的竖杆和斜杆中的內力小于位置近于支座处的竖杆和斜杆中的內力。当时的欧美連这些概念也还没有。朱拉夫斯基在材料力学上的研究也是很卓越的,他发现了弯曲梁中存在有軸向剪应力,并导出了它的計算公式 $\left(\tau = \frac{QS}{Jb} \right)$ 。

对于弯矩与剪力間的关系,也是他首先确定下来的。朱拉夫斯基在那时就已知道理論与实践相結合的必要性了。他說:“不以試驗結果来检查的計算,往往会流于幻想”。对于結構稳定性理論方面 Ф.С. 叶辛斯基(Ясинский)(1856~1899年)教授作了光輝的研究。他第一个研究了結構的几何不变性,解决了开式桥梁(即桁架間上部沒有系杆的下承式桥梁)上弦杆的几何不变性問題,防止了桥梁建造中的很多事故。卓越的桥梁工程师 Л.Д. 普罗斯庫利亚柯夫(Проскуряков)(1858~1926年)在設計桥梁中首先采用影响綫的方法,并創造了用等效均布荷載代替集中荷載的計算。

本世紀中,由于社会主义制度的优越性,苏联学者对結構靜力学的貢獻远非資本主义国家所能比拟。近代結構靜力学的基本問題之一的超靜定結構的計算方法,以往是需要大量的計算工作的,在苏联這一問題已得到彻底的解决。如对于簡單和复杂的超靜定結構在理論上及計算上的一般性問題,在 И.М. 拉賓納維奇(Рабинович)教授的“杆件系統結構力学”中已全面的研討和深刻

的闡明。对于各种不同复杂性的刚架計算問題，Б.Н. 日莫契金(Жемочкин)和 А.А. 葛渥士杰夫(Гвоздев)都有成功的研究。在薄壁結構理論的研究上，斯大林獎金兩次獲得者 В.З. 符拉索夫(Власов)教授及他的學派的著作，使蘇聯在結構力學及應用彈性理論方面推進到世界的第一位。蘇聯學者還首先從事於結構按極限狀態計算的研究，研究這個問題的重要意義是徹底地改變過去的計算方法和結構設計，可以非常精確地估計出結構的承載能力，因而就可減低安全係數，保證了結構的經濟性和使計算更符合於結構的實際作用。А.Ф. 洛列特(Лолейт)教授首先把按極限狀態的計算方法應用到鋼筋混凝土結構的計算里。

在蘇聯，由於理論與實踐相結合，結構力學的發展和研究為世界第一^①，在許多問題上超越了外國。有好些方法在蘇聯發表了許多年之後才在國外出現；有好些解法在蘇聯已廣泛通行，而在國外尚不知悉。學習蘇聯將會使我們少走彎路，而提早完成祖國的社會主義建設。

祖國和蘇聯在結構靜力學方面，無論在實踐上或在理論上，都有輝煌的貢獻，我們不能在緒論中一一詳細敘述。

復 習 問 題

1. 在工程中，結構的定義是什麼？
2. 結構靜力學課程研究些什麼？它的任務是什麼？
3. 什麼叫做結構的計算簡圖？選擇計算簡圖時應注意些什麼？
4. 結構如何分類？
5. 平面結構的支座有哪幾種？試說明其常用符號和反力的情況？
6. 結構所受的荷載有哪些？
7. 試簡述結構靜力學的發展概況，祖國和蘇聯學者在這方面的貢獻如何？

① 見 И.М. 拉賓諾維奇“蘇聯杆件體系建築力學的成就”，1949年。

第二章 平面結構幾何不變性的確定法

§ 6 結構幾何不變性的概念

任一結構的構件在外力作用下都要發生變形。但這些變形比起構件原來的尺寸來是很微小的，不足以影響結構的幾何不變性。從幾何不變的觀點，可以把結構分為幾何不變的和幾何可變的兩種。這一章我們只限於討論平面結構的幾何不變性。

1. 幾何不變結構 僅在各構件發生變形后才引起形變的結構是幾何不變結構，如圖 2—1b 和 d。

2. 幾何可變結構：

(1) 內部幾何可變結構 在極微小的外力作用下結構即發

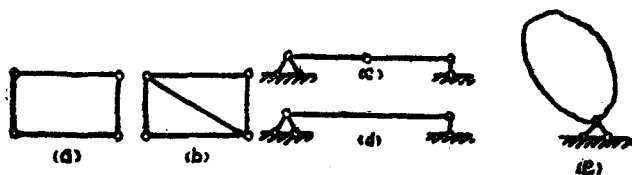


圖 2—1

生很大的形變，形變的產生並非由於它各構件先發生了形變，而是由於結構本身不健全之故。如鉸接四邊形(圖2—1a)和跨中置有一鉸的簡單梁(圖2—1c)只要在其上作用一極微小的外力時，其構件的尺寸甚至來不及改變，而整個結構形狀已變了樣。

(2) 外部幾何不變結構 結構本身組織雖然幾何不變，但它的支座與地面的聯繫情況是幾何可變的，如圖2—1e所示。

結構的幾何不變性是結構能夠負擔荷載的必備條件之一。因此，在任何結構計算之前，必須先核算它是否幾何不變。否則，計