

162686 166812

高 基 本 官 藏 用 書
基 本 官 藏

結 構 理 論

第 一 卷

И. П. 普洛柯費耶夫著

高 等 教 育 出 版 社

Y

551

5/8034

T1K8

高等學校教學用書



結 構 理 論

第一卷

И. И. 普洛柯費耶夫著
陳 英 俊 等 譯

高 等 教 育 出 版 社

本書係根據蘇聯鐵路運輸出版社(Государственное транспортное железнодорожное издательство)出版的普洛柯費耶夫(И. П. Прокофьев)著“結構理論”(Теория сооружений)第一卷1947年第四版增訂版譯出。原書經蘇聯交通部學校教育司審定為高等鐵路運輸學校用教科書。

本書共分三卷,其內容說明可參看本書原序。第二、三卷亦將相繼譯出。

本書係唐山鐵道學院橋梁隧道系全體教師合譯,由結構理論教研組校核。

本書原由商務印書館出版,自1956年12月起改由本社出版。

結 構 理 論

第 一 卷

И. П. 普洛柯費耶夫著

陳英俊等譯

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)

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

書號 15010·341 開本 850×1168 1/32 印張 13 1/16 字數 361,000

一九五三年十一月商務初版(共印 7,500)

一九五六年十二月上海新一版

一九五七年二月上海第一次印刷

印數 1—1,000

定價(10) 1.64

原 序

現在的第四版『結構理論』(鐵路運輸出版社的第一版)以三冊發行。與以前的版本一樣,第一與第二冊研究靜定與超靜定結構的形成及其靜力學計算。第三冊則研究結構的動力計算及結構的穩定性計算。

教程的第一冊是在覆核了第三版並稍作補充的基礎上出版的。與前幾版一樣,本版仍保留了這樣的目的性即保證使各種結構專業,在它們結構力學課程範圍不同的情況下,皆可把本書用為教科書。爲了這一目的,在簡單桁架部分中,其中特別有幾章,將多重腹桿桁架與複桿桁架的形成與計算問題,及對於給水專業、水工專業以及其他與之性質相近的專業非關必要的問題劃入了特殊章內。爲了同樣的目的,在特殊的幾章中,更劃入了橋梁專業所必需的聯合結構的形成與計算問題以及機動計算方法等等。

本版刪去了若干極度專門化的問題與複雜的範例,經驗告訴我們這些是學生所不需用的。

在覆核第三版時作者曾蒙許多人士的期望與指示,謹此向之致謝。並向擔當校閱工作的我的共同工作者 Л. М. 依曼立亞諾夫, П. П. 普立也夫 柯致謝。

П. 普洛柯費耶夫教授

第一卷目錄

原序	
概論	1
緒論	1
第一章 基本觀念	5
§ 1 結構理論的主題	5
§ 2 載重的型式	9
§ 3 計算方法	10
§ 4 平面結構的支座	11
第二章 活載的計算	17
§ 5 影響線的概念	17
§ 6 以靜力學方程式作支承反力、力矩及剪力的影響線	18
§ 7 用機動法作影響線	22
§ 8 用機動法作簡支梁影響線	26
§ 9 影響線的特性	28
§ 10 載重系最不利位置的決定	30
§ 11 按影響線縱距計算力矩及應力	34
§ 12 以換算載重求應力與力矩	37
梁式結構	41
第三章 簡支梁	41
§ 13 靜載重下的力矩與剪力	41
§ 14 移動載重下的力矩與剪力	43
§ 15 絕對最大力矩	43
第四章 雙支點懸出梁	55
§ 16 一般特性	55
§ 17 支承反力及其影響線	56
§ 18 懸出部份截面中的力矩與剪力及其影響線	57
§ 19 支承之間部份截面內的力矩與剪力及其影響線	58
§ 20 複式懸出梁及其靜定條件	62
§ 21 複式懸出梁在靜載重下的計算	64
§ 22 複式懸出梁力矩圖的圖解法	66
§ 23 複式懸出梁的影響線	68
第五章 簡單的梁式桁架	73

§ 24 一般概念	73
§ 25 靜定及穩定的條件	74
§ 26 專門名辭	79
§ 27 按靜力學條件求桁架應力	83
§ 28 圖解求應力法	91
§ 29 克林蒙那圖作圖法	93
§ 30 克林蒙那圖解法的特殊情形	96
§ 31 用截面法作影響線	100
§ 32 用節點法作影響線	106
§ 33 桁架腹桿應力的符號、數值與節間中斜桿方向的關係	111
§ 34 桁架外形對桁架桿件中應力數值的影響	116
§ 35 應用機動法作桁架影響線	126
第六章 具有複式桿件的梁式桁架	133
§ 36 複桿桁架(具有複式桿件的桁架)作用的概念	133
§ 37 解析法求應力	135
§ 38 影響線的作法	138
第七章 多重腹桿的梁式桁架	148
§ 39 桁架內部的形成	148
§ 40 雙格式與雙斜桿式桁架的解析計算及其影響線作法	152
§ 41 用代替桿件求應力	161
§ 42 按機動法用速度圖求應力	164
§ 43 穩定性的判別	169
§ 44 用速度圖作影響線	174
第八章 懸臂桁架	185
§ 45 簡單懸臂桁架的特點	185
§ 46 支承中間部份各桿件的應力及其影響線	186
§ 47 懸臂部份桿件應力及其影響線	188
第九章 多支承靜定桁架	193
§ 48 多支承靜定桁架的組成	193
§ 49 由靜力學條件求支承反力	197
§ 50 用機動法求支承反力	199
推力結構	205
第十章 基本原理	205
§ 51 關於推力結構及其形成的一般概念	205
§ 52 支承反力的求法	209
第十一章 實體拱	213

§ 53 內力及力矩	213
§ 54 壓力多邊形及壓力曲線	215
§ 55 力矩影響線	219
§ 56 決定總影響線中相交的零點	221
§ 57 剪力影響線	223
§ 58 縱力影響線	225
§ 59 核心力矩	229
§ 60 三鉸拱的合理拱軸	231
第十二章 拱式桁架	238
§ 61 三鉸拱式桁架	238
§ 62 按靜力學條件求應力	239
§ 63 用機動法求應力	247
§ 64 拱式桁架的外形對應力數值及符號的影響	249
第十三章 懸臂式三鉸拱	255
§ 65 支承反力的分力	255
§ 66 力矩及剪力	256
§ 67 懸臂式拱桁架的應力	257
第十四章 混合結構	262
§ 68 一般概念	262
§ 69 計算方法	263
第十五章 吊索式桁架	272
§ 70 吊索式桁架的特性	272
§ 71 吊索式桁架的基本組成	272
§ 72 瑞斯克拉爾結構	275
結構變位的決定	277
第十六章 基本理論	277
§ 73 緒論	277
§ 74 外力功一般化的公式	279
§ 75 內力功的公式	280
§ 76 直梁的虛功公式	283
§ 77 直梁的實功公式	284
§ 78 位能的性質	286
§ 79 彎梁的位能公式	291
§ 80 功的互等定理(柏提定理)	293
§ 81 變位之互等定理(麥克斯威爾定理)	295
第十七章 變位的數解法	297
§ 82 結構變位的公式(摩爾-麥克斯威爾公式)	297

§ 83 用位能微分法推求變位	302
§ 84 按圖線計算變位	305
§ 85 計算變位時由對稱條件所產生的簡化	311
§ 86 決定溫度變化所產生的變位	316
§ 87 變位影響線	320
第十八章 用彈性載重決定變位	323
§ 88 緒論	323
§ 89 用靜力矩法決定變位	324
§ 90 應用索線多邊形作變位圖	329
§ 91 實體截面結構彈性載重數值的求法	331
§ 92 特殊情形	336
§ 93 架成結構中彈性載重的計算	339
§ 94 推力結構的變位圖作法	345
§ 95 應用彈性載重法的總結討論	348
第十九章 用維氏圖求變位	350
§ 96 作法的基礎	350
§ 97 作簡單桁架的圖線	351
§ 98 作複雜桁架的圖線	354
空間結構	357
第二十章 靜定空間桁架及其計算	357
§ 99 空間結構及其與地基的連結	357
§ 100 力在六個方向上的分解	359
§ 101 力在三個方向上的分解	363
§ 102 靜定空間架成結構的形成	369
§ 103 用分解為平面結構的方法計算結構	376
§ 104 用節點法及截面法求應力	377
§ 105 用代替法求應力	378
§ 106 變位的決定	380
習題解答及答案	381
附錄	407
俄中文名詞對照表	407
人名對照表	410

概 論

緒 論

“結構理論”這門科學是逐漸形成起來的；其章節的發展與深入化，係按照生產建築材料技術的發展與工業的發展而不均等地進行着。

由於在遠古時，用自然所賦予的木、石為建築材料，因之，勢所必然的，由之所造成的結構物基本上具有這些材料所特有的形狀，如拱、石造的金字塔，與木製的梁。保留至今的石過道與半圓拱橋使我們可以有把握地說，古代建築者並未掌握充份的科學基礎，他們是以前輩的經驗作根據，同時部分地根據自己的直覺。對於結構物並不加以計算，結構的尺寸係接近似的經驗論據預定出來，這樣自然就招致了創立一系列的實驗係數與假說。可以說，在技術中，這種情況一直保持到十九世紀的初葉。

到十九世紀初葉以前，就已經由思想家們作出了關於直梁或直桿的變形的一系列假說與結論，提供了建立“材料力學”的基礎。其中某些假說與結論後來藉助於精確儀器為實驗所證實，它們至今仍為具有功用的論據。但是甚至在十九世紀中葉，努力於創造新型結構的建築家們，仍須以研究大模型的經驗作根據。

建築家們既然不會推算結構物中應力的分佈，就不得不走向使用多餘的材料以保證結構物的強度。以耗費材料來補償知識的不足。

但仍然可以認為十九世紀是過渡到結構的理論計算的時期。工業的發展及如鋼（鐵）以及各種鋼的軋製品的大量生產的開始，都是走向

這一方面的巨大推動力。用鋼不但可以製成梁而且可以製成由鉸接長桿組成的大跨度桁架，這一可能性引起了桁架理論的發展，因而也引起了研究桁架的合理形狀、研究桁架變位的理論等等；在十九世紀的整個下半期這些工作有力地繼續發展着。

十九世紀末在建築技術中出現了新的建築材料——鋼筋混凝土。鋼筋混凝土的整體性為鉸接結構所沒有，它的出現迫使工程師的思路轉向剛結架成結構的研究，結果使剛架計算理論得到了發展。

在本世紀內由於固定的與移動的振動載重增大了馬力，乃開始注意到用所謂動力載重作結構的計算。雖然這種結構計算的方法尚未獲得像靜力計算法那樣的發展，但至少已能用近似方法作此種計算。

具有細長壓桿的結構，以其尺寸增大，使我們不得不提出關於計算結構穩定性的問題。在本世紀這種結構計算的方法也得到了大量發展。

在吾國^①，一般稱為“結構力學”，並且分為“材料力學”與“結構理論”兩個部份的科學就是這樣逐漸形成的。既然結構力學，基本上具有研究用各種材料所造成的結構的作用的任務，它就不得不離開結構的真實情況，它就不得不把主要因素成為概念之後，再以整套假定，把結構的真實情況理論化，這樣就能樹立起結論的共同性。

結構力學不得不採用的第一件事就是引用假定的理論簡圖。引用與研究理論簡圖是以有意識地略去結構作用中的二次影響為根據的，引用與研究理論簡圖，才能綜合真實結構的各種類型，才能用足夠的準確度來敘述結構作用的特性，並可以確定結構及其各部的必要尺寸。把結構理論化的有：將空間結構分解為平面結構，把鉚接與銲接接筍當作鉸接，化真實載重為假定的簡圖等等。

結構理論既然是一門實用科學，以研究物理性質不同的與各部份彈性不一致的物體為其任務，它就必須採用一系列可用的假設作為結

① 係指蘇聯——譯者註。

構理論的一般化結論的基礎；這些假設是：

(1) 物質均勻且連續不斷地分佈於物體全部體積中，且物體各點皆具有同一的彈性。

(2) 變形與應力成比例(虎克關係)。

(3) 物體性質不隨時間而變化，且內功與時間無關。

顯然，依照已作出的假定，而得出的結構理論的結論僅能應用於這些結論被充分證實的界限中，亦即只能應用於材料的這些應力界限中，在這些界限以內，剩餘變形實際上接近於零，且彈性變形與結構本身的尺寸相比較則甚小。這些假設使我們可以用下列原理來計算結構理論中所研究的彈性體：如作用力與變形無關的原理，又若物體處於平衡狀態時，力乘無限小虛變位的功等於零的拉格蘭原理。這兩個原理都是結構理論的基礎，結構理論的一切結論皆以它們作根據，這些結論大大的簡化了結構計算。

無疑地，在所有上述的假設之下，結構理論所提供的計算是有條件的。上述諸假定之應用為下列事實所證實：用儀器測量在載重作用下結構所發生的真實變位，這一測量告訴我們，測得的數值十分接近於已得的計算。但是這些有條件的計算却使我們能夠揭露出靜重作用時的結構應力分佈圖，因之就使工程師們對計算的結論可以更有把握；並向結構形狀的合理化與大量的節省材料這一方向發展。這裏面包含着理論發展第二時期的意義。

結構理論的靜力計算部份，在其現時情況下，乃是了解結構物作用的第一個基本步驟，它本身就指出了計算必須接近於結構作用的真實情況；無論是將這些計算深入化，或者是根據研究已有結構與研究正在架設的結構的經驗而定出修正數值，皆可以達到計算必須接近於結構作用的真實情況的目的。理論與實驗的綜合，已經給靜力計算作了一系列的修正，已經能給予結構作用以更準確的估計，並且已經可能使用更高的容許應力。

用科學試驗方法以研究結構,乃是代替以前兩種方法(實驗法與理論法)而來的新時期;它的任務中包括:研究材料的物理性質,並在這個基礎上創造具有較好力學性質的新材料,研究由根據極限強度所估計的容許應力,轉向於推求全部結構或部份結構的抵抗力的可能性。研究動力載重作用所引起的結構振動,研究穩定性等等。

晚近三十年來,蘇聯的科學工作者進行了許多關於這些問題的研究。這些問題提供了有價值的結果。

第一章 基本觀念

§ 1 結構理論的主題

人手創造出來的一切東西叫做結構。但在技術上，這個名稱却指的是結構物，其尺寸與式樣是以經濟與技術的計算來決定的。

任何結構的長久存在，都要求結構在所有可能的外力作用下，就結構的一切部份而說，結構應當是穩定與堅實的。但若是不知道外力的作用，不知道外力與載重所引起的內力與力矩在結構各部份的分佈，則不能研究結構的穩定性與堅固性。因此，結構理論的任務就是研究內力在結構各部份中的分佈，並且在結構不利的載重情形下推求應力的數值。但是因為任何結構，不僅應當各部都堅固，並且也要經濟，即沒有過剩的尺寸，所以結構理論的第二個任務，是研究結構的適宜形狀與型式。結構的形狀與型式按材料的技術特性而大不相同。

用石與混凝土造成的結構，亦即用僅能承受壓力的材料所造成的結構，它們的特性是形狀巨大：擋土牆（圖 1），穹頂（圖 2）等等，這些結構的橫向尺寸比結構的長度大得多。

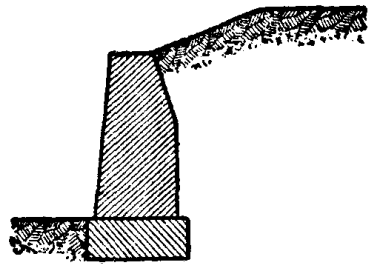


圖 1

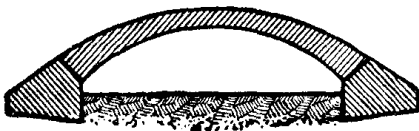


圖 2

兩個尺寸（長與寬）大，第三個尺寸（厚）較小的結構，一般多用以承受彎曲，例如板、殼（圖 3）等等。因此，這些結構用鋼，鋼筋混凝土，木材造成。

以橫向尺寸較長度為小的桿件所組成的結構屬於下列類型。此種結構的桿件，承受壓力與拉力，因此它們是以善於抵抗壓力與拉力的材

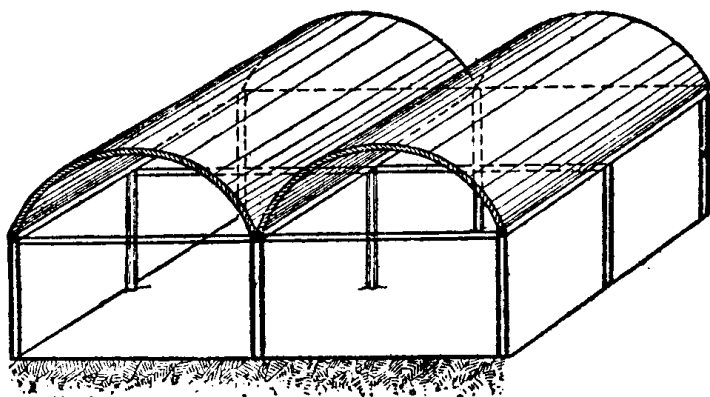


圖 3

料：木材、混凝土等造成的。梁、柱（圖 4），桁架（圖 5）等屬於這類結構。

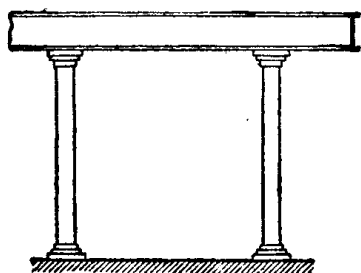


圖 4

事實上，一切結構都具有三向尺寸，因此都是空間的。但在大多數結構中，載重的性質與各組成部分的形狀，使我們可以把它們分解為幾個平面系，平面系的一個尺寸比其他兩個尺寸小，在平面系上作用着的載重，其位置在該系的平面內或在與此系平行的平面內。

例如，任何一個橋梁，其本身為一空間系（圖 6），受到因自重與列車重所引起的豎直載重與因風壓力所引起的水平載重，我們可以把這個橋梁分解為下列的平面系：

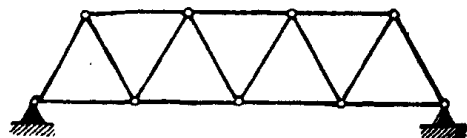


圖 5

(1) 橫向系統（圖 a ），按橫梁 AB 的數目而定。此種橫梁承受一對或若干對輪的載重。

(2) 兩個豎直桁架， AA' 與 BB' ，每一桁架承受全橋重量之半與列車重量之半；列車載重由梁的 AB 支座傳遞到這些桁架平面中。

(3) 兩個水平桁架 C 位於 AB 及 $A'B'$ 二平面內，用以承受橋外側

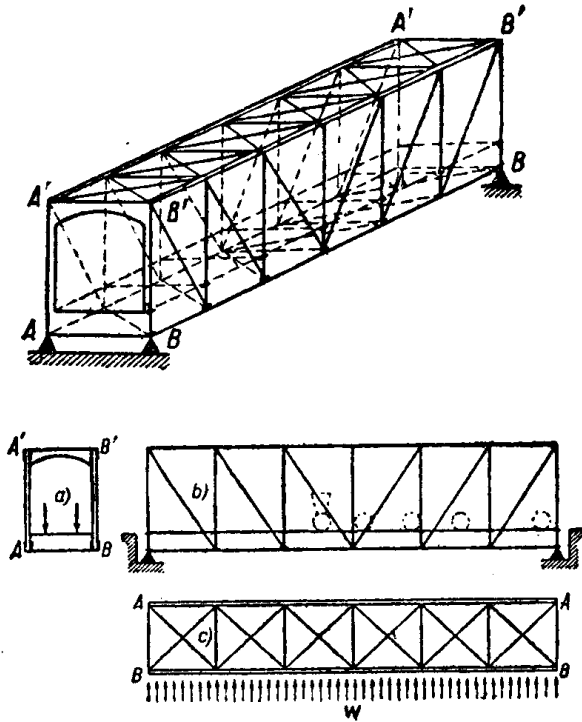


圖 6

面上水平風壓力 W 。

在實體結構中(擋土牆、穹頂等等),一般地把橫截面的平面劃出作為平面系,在此種情形下,使橫向截面的厚度等於單位長度(圖 7),這

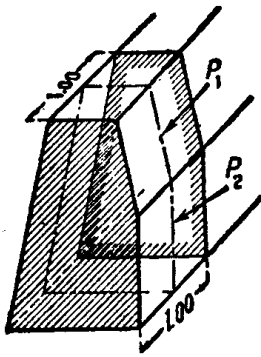


圖 7

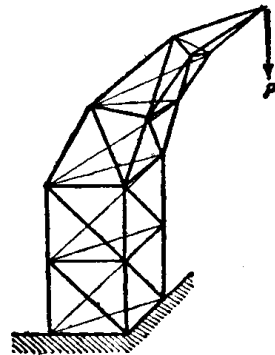


圖 8

樣，作用在實體結構上的載重就變成了單位長度上的壓力。

然而有的結構不能被分解為幾個平面系。例如結構物其桁架平面與豎直力所在的平面不相符合，因而一個平面就不能獨立地作用，即屬於這類結構。這種結構被當作空間結構。

梁、柱等等是型式最簡單的結構。把最簡單的桿件連成爲一個整體，就造成複雜型式的結構。複雜結構的組成是這樣的，最簡單的組成結構的部分彼此能獨立作用。但是有的結構，只有在結構的一切組成部份共同作用時才可能存在。這種結構用鉸節及剛節形成，叫作架成結構。

由理論觀點來看，鉸接結構是許多彼此在末端以鉸連接的幾何軀體。鉸接三角架是這種鉸接結構的最簡單例子（圖 9）。在三角架中，

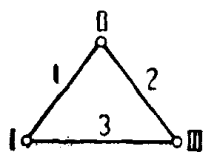


圖 9

若邊的長度不變，則鉸的變位是不可能的，因之頂部有鉸的三角架是穩定的結構。總之，任何鉸接結構應該是幾何穩定的。若是鉸接的盤或桿的尺寸不變動時（即任一桿件或盤都不變形時），就不可能改變它在結構中的相對位置，這樣幾何的穩定性才可得

以保證。由這觀點來看，鉸接四邊形 $abcd$ （圖 10）是不穩定結構，例如桿 bc 繞點 E_2 旋轉，與盤 ad 相對的有了位移，點 E_2 謂之瞬心，就是用以連接盤與桿件的虛鉸。穩定結構的組成與穩定性的研究將在以後（§ 25, 43）詳細研究之。

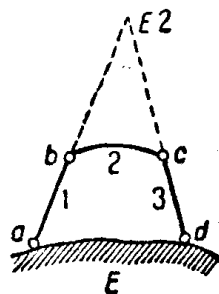


圖 10

桁架是架成結構的最簡單型式，它是許多末端以鉸相連結的桿件（圖 11）。桁架可以是獨立的結構，也可以是較複雜結構的一部份。圖 11, b 示石頭支座 C 與 D ，基本桁架 AB 以及輔助小桁架 1—2, 2—3 等所組成的結構。

以剛節代替了個別部分的鉸節的結構系統，在技術上叫做剛架系

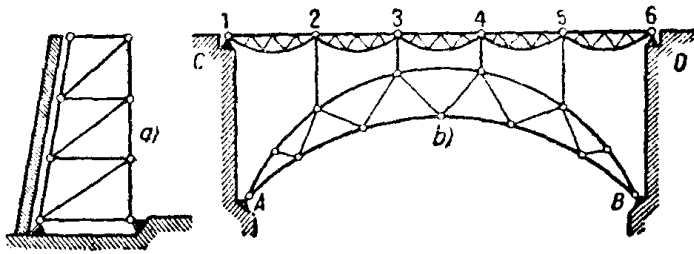


圖 11

(圖 12, *a* 與 *b*)。其與桁架的區別在於桿件末端的剛節僅允許桿件間的夾角有彈性變形。剛性節點保證了結構的穩定性，因此四角形及多角形才可能成為穩定的形狀。

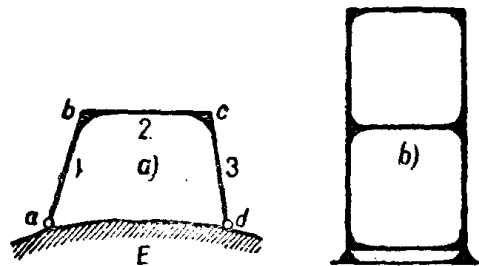


圖 12

§ 2 載重的型式

我們研究在外力作用下的一切結構，其外力為一向量有一定的着力點方向與大小。

作用於任何結構上的外力分為作用力與反力，作用在結構上的風、人羣、結構自重等為作用力。這些作用力引起結構的移動。在作用力作用下阻止結構移動的支點抵抗力被稱為支承反力。

載重分為靜重與活重。屬於靜重的有：結構自重、橋板重量、屋頂重量；總之是永久停放在結構上的載重。在使用結構的過程中，這些載重，都不變更。用於計算中的活重按計算的目的而不同。列車、人羣、風等等屬於活重。

為了與定位活重(風、雪)相區別，在結構中位置能變動的活重被稱為移動載重(例如，列車、汽車、人羣)。

按型式說，載重可以是分佈的與集中的。分佈於已知面積，或沿已