

应用型本科院校**土木工程**专业系列教材

YINGYONGXING BENKE YUANXIAO
TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI



TUMU GONGCHENG

结构力学

文国治 □ 主 编

陈奕柏 王达诤 □ 副主编

张来仪 □ 主 审



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

应用型本科院校**土木工程**专业系列教材
YINGYONGXING BENKE YUANXIAO
TUMU GONGCHENG ZHUANYE XILIE JIAOCAI



TUMU GONGCHENG

结构力学

文国治 ■ 主 编
陈奕柏 王达谔 ■ 副主编
张来仪 ■ 主 审
刘晓红 高占远 ■ 参 编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是应用型本科院校土木工程专业系列教材之一。本书依据教育部2008年审定的《结构力学课程教学基本要求(A类)》,为应用型本科院校土木工程专业而编写。

全书共12章,包括:绪论、平面体系的几何组成分析、静定梁和静定刚架、三铰拱、静定平面桁架和组合结构、静定结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法与近似法、影响线、矩阵位移法、结构的动力计算等内容。每章均有本章导读、本章小结、思考题和习题。附录提供了一个用F90语言编写的矩阵位移法应用程序。

本书取材时坚持“够用为度”的原则,既注重体系的完整性,又突出知识的实用性,在叙述时注意教材的可读性,方便教师教学和学生自学。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学/文国治主编. —重庆:重庆大学出版社,
2009.8

(应用型本科院校土木工程专业系列教材)

ISBN 978-7-5624-4883-9

I. 结… II. 文… III. 结构力学—高等学校—教材
IV. 0342

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第079388号

应用型本科院校土木工程专业系列教材

结构力学

主 编 文国治

副主编 陈奕柏 王达途

主 审 张来仪

责任编辑:刘颖果 郭一之 版式设计:林青山

责任校对:张洪梅 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆华林天美印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:23.75 字数:593千

2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4883-9 定价:33.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

教师信息反馈表

为了更好地为教师服务,提高教学质量,我社将为您的教学提供电子和网络支持。请您填好以下表格并经系主任签字盖章后寄回,我社将免费向您提供相关的电子教案、网络交流平台或网络化课程资源。

请按此裁下寄回我社或在网上下载此表格填好后E-mail发回

书名:		版次	
书号:			
所需要的教学资料:			
您的姓名:			
您所在的校(院)、系:	校(院)	系	
您所讲授的课程名称:			
学生人数:	_____人	_____年级	学时:
您的联系地址:			
邮政编码:		联系电话	(家)
			(手机)
E-mail:(必填)			
您对本书的建议:	系主任签字 盖章		

**请寄:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)
重庆大学出版社市场部**

邮编:400030

电话:023-65111124

传真:023-65103686

网址:<http://www.cqup.com.cn>

E-mail:fxk@cqup.com.cn

前 言

本书是为应用型本科院校的土木工程专业而编写的教材,同时兼顾了一般本科院校的教学需要。适用于上述两类院校的四年制“大土木”专业(包括建筑工程、道路与桥梁工程、岩土工程、水利工程和建筑安装工程等专门化方向),也可供土建类其他各专业及有关工程技术人员参考,书中的前 10 章内容还可作为专科生教材。

本书的编写依据是教育部 2008 年审定的《结构力学课程教学基本要求(A类)》。为了培养高素质应用型专门人才,在本书的编写过程中,贯彻了以下原则:一是精选内容,既注重体系的完整性,又突出知识的实用性,并把握好够用为度的要求;二是注意教材的可读性,做到通俗易懂、循序渐进;三是方便教师教学和学生自学,每章内容在讲解之前有“本章导读”,讲完之后有“本章小结”,并配有较多的思考题和习题。另外,与本书配套的 PPT 课件及部分习题答案均挂在重庆大学出版社网站上,可自行下载。

完成本教材的教学约需 100 理论学时,各章学时分配可参考下表:

章次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
学时	2	5	8	3	6	10	12	10	6	10	14	14	100

理论学时包含了习题课及第 11 章的上机实践,上机实践需 6~8 学时,并按 0.5 的系数折算为理论学时。

本书由文国治制定编写大纲。参加编写工作的有:洛阳理工学院刘晓红(第 2、5、9 章),南阳师范学院高占远(第 7、8 章),海南大学陈奕柏(第 4、12 章),重庆大学王达淦(第 3、11 章及附录)、文国治(第 1、6、10 章)。本书部分内容分别由陈奕柏、王达淦修改统稿,全书由文国治定稿。



本书承蒙重庆大学城市科技学院张来仪教授精心审阅,对编写大纲及书稿提出了许多宝贵意见,对提高本书的质量起了重要作用。

本书的编写还得到了各位编者所在学校领导的关心支持、同仁的帮助。籍本书出版之际,编者在此一并致以衷心的感谢。

由于时间仓促,且编者水平有限,书中难免存在不足之处,欢迎读者批评指正。

编者

2009年3月

目 录

前 言

第 1 章 绪 论	1
1.1 结构力学的研究对象和任务	1
1.2 杆件结构的计算简图	3
1.3 平面杆件结构的分类	9
本章小结	11
思考题	11
第 2 章 平面体系的几何组成分析	12
2.1 几何不变体系和几何可变体系	12
2.2 几何组成分析中的几个概念	14
2.3 几何不变体系的组成规则	18
2.4 几何组成分析举例	21
2.5 体系的几何组成与静力特性的关系	24
本章小结	25
思考题	26
习 题	26
第 3 章 静定梁和静定刚架	31
3.1 单跨静定梁	31

3.2	多跨静定梁	44
3.3	静定平面刚架	48
	本章小结	54
	思考题	55
	习 题	56
第 4 章	三铰拱	61
4.1	概述	61
4.2	三铰拱的内力计算	63
4.3	三铰拱的合理拱轴线	68
	本章小结	71
	思考题	71
	习 题	72
第 5 章	静定平面桁架和组合结构	75
5.1	概述	75
5.2	静定平面桁架	78
5.3	三种简支桁架的比较	88
5.4	静定组合结构	91
5.5	静定结构的一般特性	94
	本章小结	96
	思考题	97
	习 题	97
第 6 章	静定结构的位移计算	102
6.1	概述	102
6.2	变形体系的虚功原理	103
6.3	平面杆件结构位移计算的一般公式	108
6.4	静定结构在荷载作用下的位移计算	110
6.5	图乘法	114
6.6	静定结构在支座位移时的位移计算	120
6.7	静定结构在温度变化时的位移计算	121
6.8	线性弹性结构的互等定理	124
	本章小结	126
	思考题	127
	习 题	129

第 7 章 力法	134
7.1 超静定结构概述	134
7.2 力法的基本原理	137
7.3 力法的典型方程	139
7.4 用力法计算超静定结构在荷载作用下的内力	141
7.5 用力法计算超静定结构在支座位移和温度变化时的内力	150
7.6 对称性的利用	154
7.7 超静定结构的位移计算及力法计算的校核	160
7.8 超静定结构的一般特性	161
本章小结	162
思考题	162
习 题	163
第 8 章 位移法	168
8.1 概述	168
8.2 等截面直杆的转角位移方程	170
8.3 位移法的基本概念	176
8.4 位移法的典型方程	181
8.5 用位移法计算超静定结构在荷载作用下的内力	185
8.6 用位移法计算超静定结构在支座位移时的内力	194
8.7 直接利用平衡条件建立位移法方程	196
本章小结	198
思考题	198
习 题	199
第 9 章 力矩分配法与近似法	204
9.1 力矩分配法的基本概念	204
9.2 多结点结构的力矩分配	211
* 9.3 多层多跨刚架的近似计算方法	220
本章小结	224
思考题	225
习 题	225
第 10 章 影响线	230
10.1 影响线的概念	230
10.2 静力法作静定梁的影响线	232
10.3 结点荷载作用下梁的影响线	237
10.4 机动法作静定梁的影响线	239

10.5	利用影响线求量值	242
10.6	移动荷载最不利位置的确定	244
10.7	机动法作连续梁的影响线	248
10.8	内力包络图	250
	本章小结	255
	思考题	255
	习 题	256
第 11 章	矩阵位移法	261
11.1	概述	261
11.2	杆件结构的离散化	262
11.3	单元坐标系中的单元刚度矩阵	266
11.4	整体坐标系中的单元刚度矩阵	271
11.5	用直接刚度法形成结构刚度矩阵	273
11.6	结构的综合结点荷载列阵	279
11.7	矩阵位移法的计算步骤	283
	本章小结	293
	思考题	293
	习 题	294
第 12 章	结构的动力计算	298
12.1	概述	298
12.2	单自由度体系的振动方程	301
12.3	单自由度体系的自由振动	304
12.4	单自由度体系在简谐荷载作用下的受迫振动	313
* 12.5	无阻尼单自由度体系在一般动荷载作用下的受迫振动	320
12.6	两个自由度体系的自由振动	322
12.7	两个自由度体系在简谐荷载作用下的受迫振动	331
* 12.8	振型分解法	337
	本章小结	343
	思考题	344
	习 题	345
附 录	352	
	平面杆件结构先处理法静力分析程序 PFF	352
参考文献	370	

1

绪 论

【本章导读】

- 教学的基本要求:了解结构力学的研究对象和任务;了解选取结构计算简图的原则、要求及其主要内容;了解平面杆件结构的分类。
- 教学内容的重点:结构力学的研究对象和任务;杆件结构的计算简图。
- 教学内容的难点:结构计算简图的选取。

1.1 结构力学的研究对象和任务

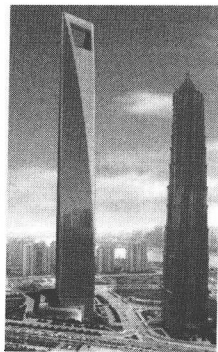
► 1.1.1 结构及其分类

建筑物或构筑物中承担荷载而起骨架作用的部分,或其中的某些承重构件,都可称为结构。图 1.1 是一些工程结构实例,我们看到的只是结构的外形,只有图 1.1(b)中的桥梁结构的受力骨架是展现在外的。图 1.14 所示单层厂房由屋面板、屋架、柱和基础等组成的受力体系是结构,单独看其中的屋面板、屋架等也是结构。

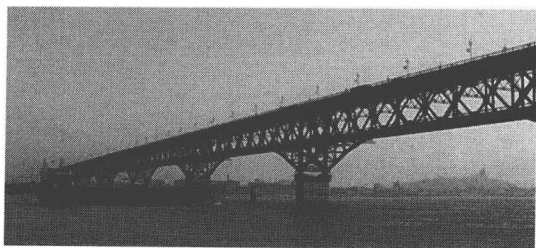
结构按其几何特征通常分为以下 3 类:

1) 杆件结构

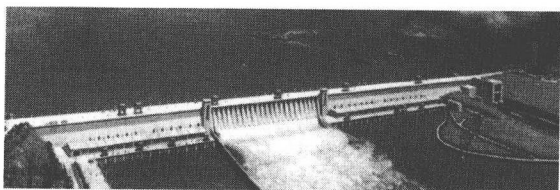
杆件结构是由杆件或若干杆件相互连接组成。杆件的几何特征是外形细长(如图 1.2 所示),其长度 l 比截面宽度 b 和高度 h 大得多。杆件结构也称杆系结构,是土木工程中普遍应



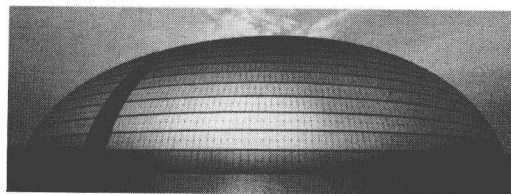
(a) 上海金茂大厦(右)和国际金融中心(左)



(b) 南京长江大桥



(c) 长江三峡大坝



(d) 国家大剧院

图 1.1 工程结构实例

用的一种结构型式。图 1.14 (c)、(d) 所示屋架及排架均是杆件结构。

2) 薄壁结构

薄壁结构又称为**板壳结构**。薄壁构件的厚度 h 要比长、宽两个尺度小得多(如图 1.3 所示),当为平面形状时称为**平板**,当为曲面时称为**壳体**。图 1.1 (d) 所示国家大剧院的屋面即为壳体结构。

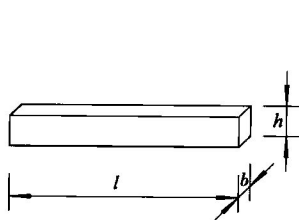
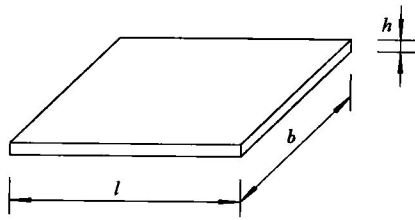
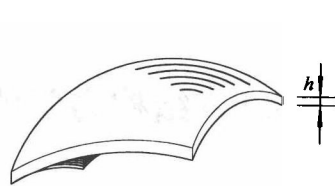


图 1.2 杆件



(a) 平板



(b) 壳体

图 1.3 薄壁构件

3) 实体结构

实体结构是由长、宽、厚三个尺度大致相当的块体组成的结构。图 1.4 所示挡土墙、图 1.1 (c) 所示长江三峡大坝均是实体结构的例子。

▶ 1.1.2 结构力学的研究对象和任务

结构力学的研究对象是杆件结构、薄壁结构和实体结构的受力分析将在弹性力学中进行研究。严格地说,一般的杆件结构是空间结构,但它们中的大多数均可简化为平面结构。所以,本课程主要研究平面杆件结构,即组成结构的所有杆件及结构所承受的外荷载都在同一平面内的结构。

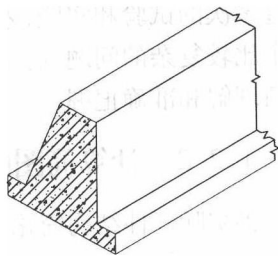


图 1.4 挡土墙

结构力学研究杆件结构的强度、刚度和稳定性问题,其具体任务包括以下几个方面:

- ①杆件结构的组成规律和合理的组成方式。
- ②杆件结构内力和位移的计算方法,以便进行结构强度和刚度的验算。
- ③杆件结构的稳定性以及在动力荷载作用下的反应。

结构力学是土木工程专业的一门重要的专业基础课,在各门课程的学习中起着承上启下的作用。

结构力学是理论力学和材料力学(合称工程力学)的后续课程。理论力学主要研究刚体机械运动的基本规律和力学的一般原理,材料力学主要研究单根杆件的强度、刚度和稳定性。因此,理论力学和材料力学是学习结构力学前先修的重要基础课程,它们为结构力学提供力学分析的基本原理和基础。

同时,结构力学为后续的弹性力学以及混凝土结构、砌体结构和钢结构等专业课程提供了进一步的力学基础知识。因此,结构力学课程在土木工程专业中占有重要的地位。

1.2 杆件结构的计算简图

▶ 1.2.1 计算简图及其选择原则

建筑物的实际结构是很复杂的,要完全按照结构的实际情况进行力学分析几乎是不可能的,而从工程观点来看也是没必要的。因此,在进行结构分析之前,一般都要对实际结构进行简化,抓住其主要受力特征,略去次要因素,用一个简化的力学模型来代替实际结构。这种简化的力学计算模型称为实际结构的计算简图。

计算简图的选择应遵循下列两条原则:

- ①能反映实际结构的受力及变形性能。
- ②保留主要因素,略去次要因素,使计算简图便于计算。

需要指出,在上述原则指导下,计算简图的选择要结合当时当地的具体要求和条件进行,并不是一成不变的。譬如,对不重要的结构可以采用较简单的计算简图,对重要的结构应采用较精确的计算简图;在初步设计阶段可选择较粗糙的计算简图,在施工图设计阶段可选择较精确的计算简图;用手算时可选取较简单的计算简图,用电算时可选取较复杂的计算简图。

对于常用的结构型式,可借助前人的经验直接选取计算简图;对于一些新型结构,往往要

通过多次的试验和实践,才能获得比较合理的计算简图。总的来说,结构计算简图的选择是一个比较复杂的问题,需经过本书以后各章和后续专业课的学习以及今后工作的实践,才能逐渐理解和准确把握。

► 1.2.2 计算简图的简化要点

将实际杆件结构简化为计算简图,通常应从以下几方面进行简化:

1) 结构体系的简化

实际工程结构都是空间结构,但计算空间结构的工作量很大。在多数情况下,常可以忽略一些次要的空间约束而将空间结构分解为平面结构,使计算得到简化,并能满足一定的工程精度要求。

2) 杆件的简化

在杆件结构中,当杆件的长度大于其截面宽度或高度的5倍以上时,通常可认为杆件变形时其横截面仍保持平面,截面上某点的应力可根据截面的内力(弯矩、剪力、轴力)来确定。由于内力只沿杆长方向变化,因此,在计算简图中,不论是直杆或曲杆均可用其轴线(截面形心的连线)表示。

3) 结点的简化

杆件与杆件的连接处用杆件轴线的交点表示,称为结点(或节点)。实际工程结构中杆件连接处的构造形式多种多样,但在计算简图中通常简化为以下3种理想情况:

(1) 刚结点

刚结点的特点是汇交于结点的各杆端之间不能发生相对转动,各杆间可相互传递力和力矩。图1.5(a)所示为一现浇钢筋混凝土刚架的结点,梁和柱的钢筋在该处用混凝土浇成整体,其计算简图如图1.5(b)所示。当结构发生变形时,汇交于刚结点各杆端的切线之间的夹角将保持不变,各杆端转动同一角度 φ ,如图1.5(c)所示。

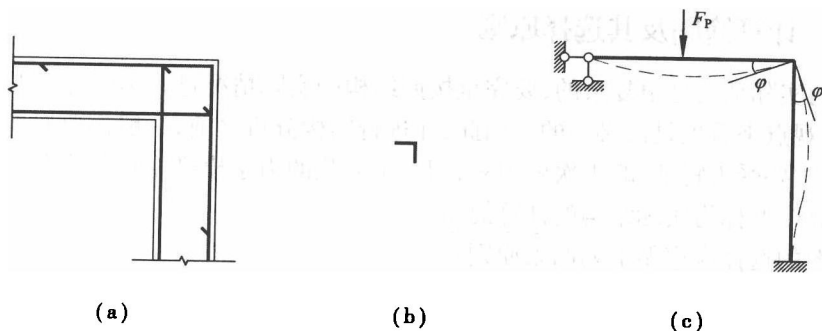


图 1.5 现浇钢筋混凝土刚架结点

(2) 铰结点

铰结点的特点是汇交于结点的各杆端可以绕结点自由转动,各杆间可相互传递力,但不能传递力矩。图1.6(a)所示为一钢桁架的结点,是通过结点板把各杆件焊接在一起的。实际上,各杆端不能自由地相对转动,但在桁架中各杆主要承受轴力,因此计算时将这种结点简

化为铰结点,如图 1.6(b)所示。

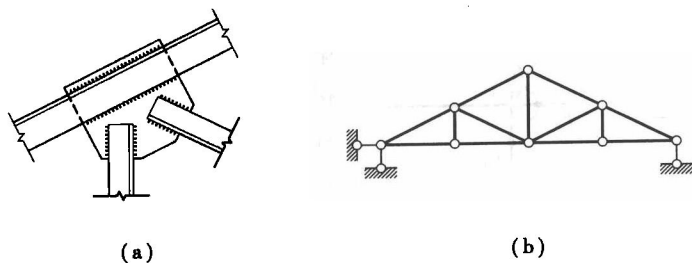


图 1.6 铰结点

(3) 组合结点

在同一结点上,某些杆件相互刚结,而另一些杆件相互铰结,则称为组合结点。图 1.7 所示结点 A,其中杆件①与杆件②在结点 A 刚结,杆件③与杆件①、②在结点 A 铰结。

4) 支座的简化

(1) 活动铰支座

桥梁中用的辊轴支座即属于活动铰支座,如图 1.8(a)所示。它允许结构绕铰 A 转动和沿支承平面方向移动,但 A 点不能沿垂直于支承面的方向移动。因此,当不考虑支承平面上的摩擦力时,这种支座的反力将通过铰 A 的中心并与支承面相垂直,即反力的作用点和方向都是确定的,只有它的大小是一个未知量。根据上述特征,这种支座可以用一根垂直于支承面的链杆表示,如图 1.8(b)所示。

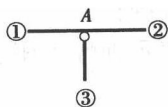


图 1.7 组合结点

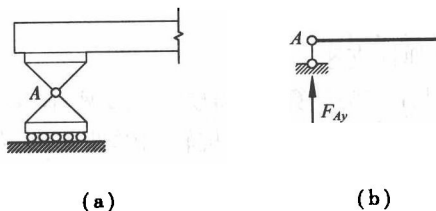


图 1.8 活动铰支座

(2) 固定铰支座

这种支座的构造如图 1.9(a)所示,常简称为铰支座。它允许结构绕铰 A 转动,但 A 点不能沿水平或竖向移动。支座反力将通过铰 A 中心,但其大小和方向都是未知的,通常可用水平反力 F_{Ax} 和竖向反力 F_{Ay} 表示。这种支座的计算简图可用交于 A 点的两根支承链杆来表示,如图 1.9(b)或(c)所示。

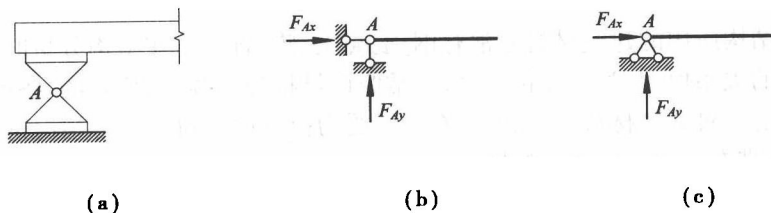


图 1.9 固定铰支座

(3) 固定支座

这种支座不允许结构在支承处发生任何方向的移动和转动。图 1.10(a) 所示悬臂梁, 当梁端插入墙身有相当深度, 且四周与墙体紧密接触时, 梁端被完全固定, 可以视为固定支座, 计算简图如图 1.10(b) 所示。它的反力大小、方向和作用点位置都是未知的, 通常用水平反力 F_{Ax} 、竖向反力 F_{Ay} 和反力偶 M_A 来表示。

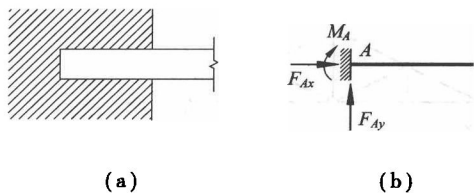


图 1.10 固定支座

(4) 定向支座

定向支座又称滑动支座。图 1.11(a) 为定向支座的示意图, 结构在支承处不能转动, 不能沿垂直于支承面的方向移动, 但可沿支承面方向滑动。计算简图用垂直于支承面的两根平行链杆表示(如图 1.11(b) 所示), 其反力为一个垂直于支承面的力和一个力偶。此外还有图 1.11(c) 所示的另一种定向支座。

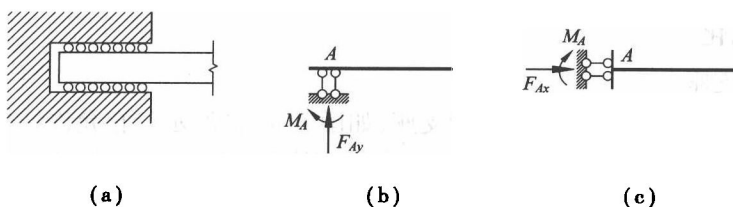


图 1.11 定向支座

上述 4 种支座都假定其本身不发生变形, 计算简图中的支杆被认为是刚性链杆, 这类支座称为刚性支座。

(5) 弹性支座

如果在结构计算中, 需要考虑支座本身的变形时, 则称这种支座为弹性支座。弹性支座又分为抗移动弹性支座和抗转动弹性支座, 如图 1.12 所示。图中 k 表示弹性支座发生单位移动(或单位转动)时所产生的反力(或反力偶), 称为弹性刚度系数。

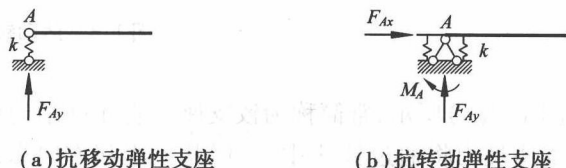


图 1.12 弹性支座

5) 材料性质的简化

土木工程结构所用的建筑材料通常有钢、混凝土、砖、石等。在结构分析时必须建立材料受力与变形间的关系模型, 为了简化计算, 通常假设材料为连续的、均匀的、各向同性的、完全弹性或弹塑性的。对金属材料, 以上假设在一定受力范围内是符合实际情况的, 但对混凝土、砖、石等材料则带有一定程度的近似性。

6) 荷载的简化

荷载是指主动作用在结构上的外力。例如结构的自重, 作用在结构上的人群或货物的重

量、土压力、水压力、风力、车轮的压力等。在杆件结构的计算简图中,杆件是用其轴线代表的,所以上述荷载均简化为作用在杆件轴线上的力。

► 1.2.3 荷载的分类

根据荷载作用时间的长短、分布尺寸的大小和作用的性质,荷载可作如下分类。

1) 按照荷载作用时间的长短分

① **恒载**:永久作用在结构上的不变荷载,如结构自重、固定设备、土压力等。

② **活载**:暂时作用在结构上的可变荷载,如临时设备、人群、风力、水压力、移动的汽车和吊车等。

对结构进行计算时,恒载和大部分活载在结构上的位置可以认为是固定的,这种荷载称为**固定荷载**。有些活载,如桥梁上的汽车荷载、吊车梁上的吊车荷载等,在结构上的位置是移动的,这种荷载称为**移动荷载**。

2) 按照荷载的分布情况分

① **集中荷载**:当荷载的分布面积远小于结构的尺寸时,则可认为此荷载是作用在结构的一个点上,称为集中荷载。集中荷载有集中力和集中力偶两种。

② **分布荷载**:当荷载的分布面积较大时,即是分布荷载。分布荷载又可分为均匀分布荷载、线性分布(如三角形或梯形分布)荷载等。

3) 按照荷载作用的性质分

① **静力荷载**:静力荷载的大小、方向和位置不随时间而变化或变化极为缓慢,不会使结构产生显著振动,因而可略去惯性力的影响。恒载以及只考虑位置改变而不考虑动力效应的移动荷载都是静力荷载。

② **动力荷载**:动力荷载是随时间迅速变化的荷载,它使结构产生显著振动,因而惯性力的影响不能忽略。如往复周期荷载(机械运转时产生的荷载)、冲击荷载(爆炸冲击波)和瞬时荷载(地震、风震)等。

除荷载外,还有其他一些因素也可以使结构产生内力和位移,例如温度变化、支座沉陷、制造误差、材料胀缩等。从广义上说,可将这些因素视为广义荷载。

► 1.2.4 结构计算简图举例

【例 1.1】 图 1.13(a) 所示为一根两端搁在墙上的梁,其上放一重物,现确定梁的计算简图。

【解】 (1) 结构体系的简化

梁在重物作用下,可在梁轴所在的竖向平面内产生弯曲变形,两端的墙体对梁起到竖向约束作用,但不能约束梁端的转角变形,故可将梁简化为一轴线方向的简支梁,如图 1.13(b) 所示。

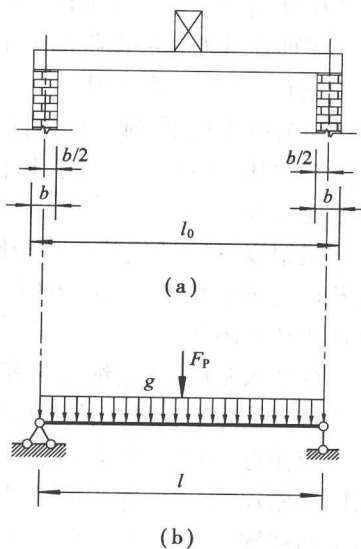


图 1.13 例 1.1 图