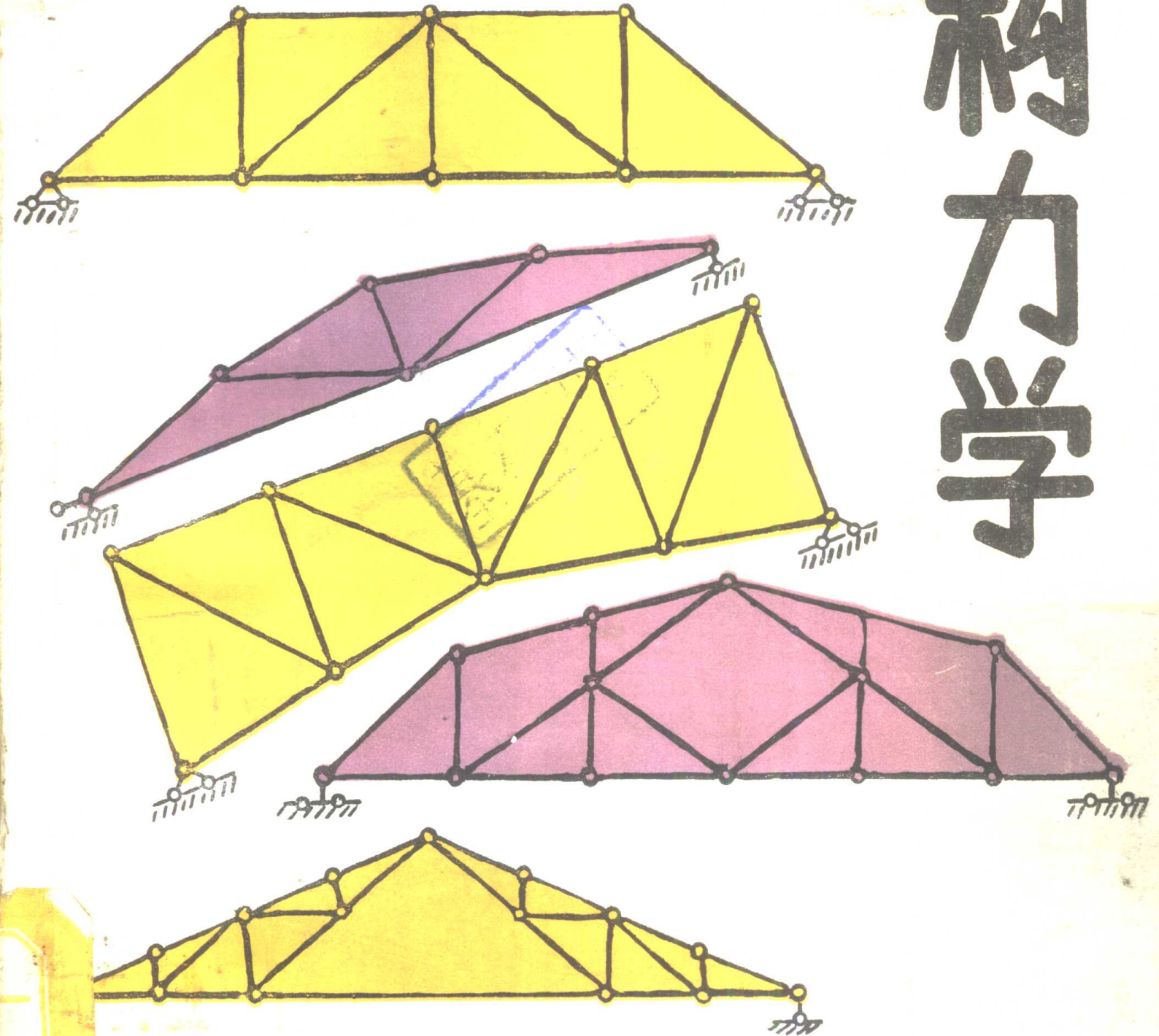


976744

0342

4055

结构力学



李振邦 刘先贫

宋美君 许生超

人民交通出版社

高增礼 编

出版社

结 构 力 学

Jiegou Lixue

李振邦 刘先贫 高增礼 编
宋美君 许生超

人民交通出版社

EAB42/X207

(京)新登字091号

结 构 力 学

李振邦 刘先贫 高增礼 编
宋美君 许生超

插图设计: 王惠茹 正文设计: 周 圆 责任校对: 杨 杰

人民交通出版社出版发行

(100013北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

曙光印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 28.75 字数: 730千

1992年9月 第1版

1993年12月 第1版 第2次印刷

印数: 6001—8000册 定价: 16.00元

ISBN 7-114-01460-0/O·00001

内 容 提 要

本书系统讲述了结构力学的基本部分，内容包括：平面体系的机动分析，各种静定结构——多跨梁刚架、三铰拱、桁架等的内力与位移计算，超静定结构的力法、位移法、渐近法及矩阵位移法等各种求解方法，同时还介绍了能量法，适当增加了电算的份量。

本书各章附有小结、思考题及习题，便于自学。可作为交通部门有关土建类专业的大专教材，同时可作为有关专业成人教育的教材与工程技术人员自学参考用书。

前 言

结构力学是工科院校土建类专业开设的一门主课，是从事结构工程技术人员所必须具备的基本功。它属于技术基础课，因而具有专业课的特色。当今各行业的结构力学版本甚多，唯公路交通部门独缺，为求填补这项空白，我们编写了此书。在编写中我们力求精选内容，去掉陈旧与繁琐内容，注意加强学科体系的系统与严谨。取材尽量结合工程实际应用，充分反映学科的新发展，又注意到先进性与实用性，更新与继承的正确结合。为便于读者自学掌握，各章附有小结与思考题，是一本比较便于自学的读物。本书第一、二、十四、十五章由李振邦编写，第三、四、五、八章由刘先贫编写，第六章由宋美君编写，第七、九、十章由许生超编写，第十一、十二、十三章由高增礼编写，附录由韩振泰编写，全书的编写由李振邦负责。在编写过程中得到重庆交通学院、长沙交通学院及西安公路学院结构力学老师们的热心支持，一些老师为本书的选题、画图作了大量的工作，在此深表谢意！

本书虽然在提高先进性、实用性与易读性各方面作了一定的努力，但由于编写水平与时间所限，一定存在许多不足之处，希望能在广大读者关心与批评指正下，不断得到完善。

李 振 邦

1991年6月于西安

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 结构力学研究的对象与任务	1
§ 1-2 荷载分类	2
§ 1-3 结构计算图形的简化	3
§ 1-4 结构的分类	9
§ 1-5 结构力学的学习方法	10
第二章 平面体系的机动分析	12
§ 2-1 机动分析的基本概念	12
§ 2-2 平面体系的计算自由度	14
§ 2-3 平面体系几何不变组成规则	16
§ 2-4 几何组成分析方法与示例	20
§ 2-5 小结	23
第三章 静定梁与静定平面刚架	26
§ 3-1 单跨静定梁的内力计算	26
§ 3-2 多跨静定梁	30
§ 3-3 静定平面刚架	32
§ 3-4 小结	38
第四章 三铰拱	43
§ 4-1 概述	43
§ 4-2 三铰拱的计算	44
§ 4-3 压力线与合理拱轴线	48
§ 4-4 小结	51
第五章 静定平面桁架	54
§ 5-1 概述	54
§ 5-2 桁架的计算	55
§ 5-3 常用桁架比较	62
§ 5-4 拱式桁架与桁梁组合结构	64
§ 5-5 小结	66
第六章 影响线及其应用	71
§ 6-1 影响线的概念	71
§ 6-2 用静力法作单跨静定梁的影响线	71
§ 6-3 用机动法作单跨静定梁的影响线	77
§ 6-4 多跨静定梁的影响线	78
§ 6-5 结点荷载作用下的影响线	81

§ 6-6 静力法作三铰拱的影响线	84
§ 6-7 静力法作桁架的影响线	86
* § 6-8 用静力法作静定组合结构的影响线	89
§ 6-9 利用影响线求量值	91
* § 6-10 公路标准荷载制	95
§ 6-11 最不利荷载位置的确定	95
* § 6-12 换算荷载	103
§ 6-13 简支梁绝对最大弯矩与内力包络图	106
§ 6-14 小结	113
第七章 静定结构位移计算	122
§ 7-1 结构位移概述	122
§ 7-2 结构位移计算的基本原理与一般公式	123
§ 7-3 荷载作用下的位移计算	128
§ 7-4 图乘法	132
§ 7-5 温度变化时的位移计算	137
§ 7-6 支座移动时的位移计算	139
§ 7-7 互等定理	140
§ 7-8 位移影响线	142
§ 7-9 小结	143
第八章 静定结构的普遍性质	150
§ 8-1 几何构造与静力分析的关系	150
§ 8-2 静定结构解的基本特性	152
§ 8-3 静定结构的一般性质	154
§ 8-4 小结	156
第九章 力法及其应用	153
§ 9-1 超静定结构概述	158
§ 9-2 超静定次数与基本体系	159
§ 9-3 力法的基本概念	162
§ 9-4 力法典型方程	163
§ 9-5 荷载作用下力法的计算步骤与示例	165
§ 9-6 对称性的利用	173
§ 9-7 温度变化时的超静定结构计算	182
§ 9-8 支座移动时的超静定结构计算	184
§ 9-9 超静定结构位移计算	187
§ 9-10 超静定结构计算结果的校核	189
* § 9-11 弹性支座连续梁五弯矩方程	191
§ 9-12 小结	195
第十章 超静定拱的计算	205
§ 10-1 概述	205
§ 10-2 两铰拱的计算	207

§ 10-3	对称无铰拱的弹性中心	211
§ 10-4	荷载作用下无铰拱的计算	213
§ 10-5	无铰拱的影响线	222
§ 10-6	无铰拱的附加内力	227
* § 10-7	无铰拱的弹性常数	230
§ 10-8	小结	232
第十一章	位移法及其应用	236
§ 11-1	概述	236
§ 11-2	等截面直杆的转角位移方程	237
§ 11-3	位移法的基本未知量与基本体系	244
§ 11-4	位移法的典型方程	248
§ 11-5	位移法的计算步骤与示例	251
* § 11-6	温度改变与支座移动时的计算	257
§ 11-7	用平衡条件建立位移法方程	262
§ 11-8	小结	263
第十二章	渐近法	268
§ 12-1	概述	268
§ 12-2	力矩分配法的基本概念	268
§ 12-3	力矩分配法的解题步骤与示例	272
§ 12-4	力矩分配法与位移法的联合应用	276
§ 12-5	无剪力分配法	283
* § 12-6	迭代法	288
§ 12-7	连续梁的影响线	295
§ 12-8	连续梁的内力包络图	300
§ 12-9	小结	303
第十三章	矩阵位移法	309
§ 13-1	概述	309
§ 13-2	单元坐标系中的单元刚度矩阵	309
§ 13-3	结构坐标系中的单元刚度矩阵	315
§ 13-4	结构刚度矩阵的形成及其性质	320
§ 13-5	直接刚度法及示例	326
§ 13-6	综合结点荷载列矩阵	340
§ 13-7	矩阵位移法的计算步骤与示例	348
§ 13-8	组合结构与连续拱的分析	361
§ 13-9	小结	372
*第十四章	能量原理及其应用	380
§ 14-1	能量原理基本概念	380
§ 14-2	变分法的概念	382
§ 14-3	虚功原理及其应用	384
§ 14-4	势能原理及其应用	387

§ 14-5	余能驻值原理与其应用.....	396
§ 14-6	混合能量原理.....	401
§ 14-7	小结.....	403
第十五章	超静定结构总述.....	406
§ 15-1	超静定结构解法综述.....	406
§ 15-2	力法和位移法的引申与扩大应用.....	407
§ 15-3	近似法.....	410
§ 15-4	超静定结构的基本特性.....	415
附录:	连续梁、平面桁架与平面刚架的计算机程序和说明.....	420
主要参考书目		450

第一章 绪 论

§ 1-1 结构力学的研究对象与任务

凡具有某种使用功能的建筑物，都承受着一定荷载的作用。其中起支承荷载作用的骨架，称为结构，如公路中的桥梁、隧道、涵洞和挡土墙等构筑物。房屋建筑中的梁柱体系与框架等也是结构的典型实例。

结构按照它的几何形状可分为三大类：

1) 杆件结构 凡长度方向几何尺寸远大于横截面其它尺寸的构件，称为杆件。该类结构是由这种杆件所组成，如梁柱体系与框架、桁架等（见图 1-1）。

2) 板壳结构 这类结构的几何特征是它的厚度远小于长度和宽度，中面为平面称为板，中面为曲面称为壳（见图 1-2），如桥面、路面与屋盖等。

3) 块体结构 这类结构的长、宽、厚三个方向的尺寸相近。如建筑物的基础、挡土墙、坝体等（见图 1-3）。

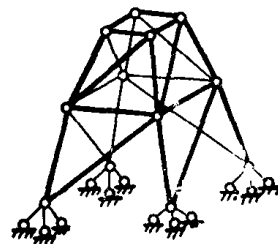
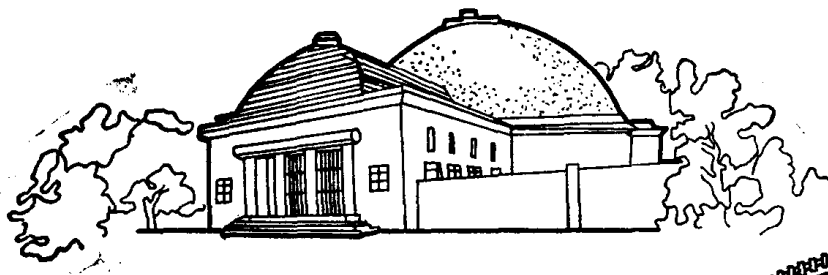
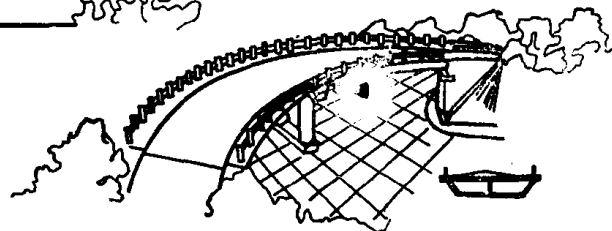


图 1-1

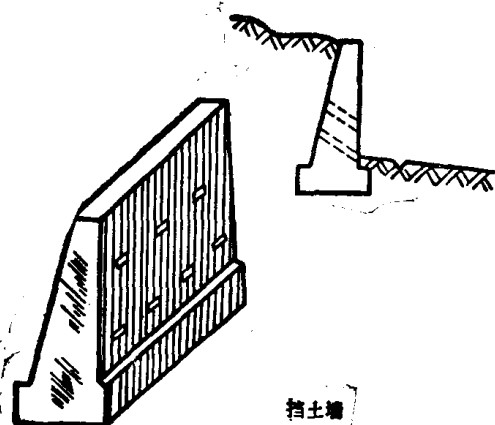


a)



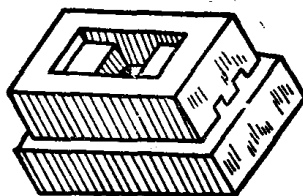
b) 横截面

图 1-2



挡土墙

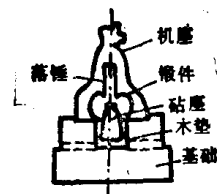
a)



基础

b)

图 1-3



广义结构力学系指以杆、板壳、块体三类结构与其组合体为研究对象。通常，结构力学是以杆件组成的体系为研究对象，又称杆件系统结构力学。板壳与块体组成的结构在弹性力学里研究。

结构力学是研究结构受力性能与承载能力的科学。它具体研究结构在荷载作用、温度变化、支座移动等因素作用下产生的内力与位移，计算结构的强度、刚度与稳定性，以及动荷载作用下的效应，同时研究结构的组成规律、结构形式与截面尺寸的合理选择。使结构设计符合既经济又安全的原则。

本教材讲授结构力学的基本部分，内容包括结构和机动分析，静定结构的内力与位移计算，以及超静定结构各种常用分析方法（力法、位移法、渐近法及结构矩阵位移法等）。结构动力学、结构稳定及极限荷载等内容作为结构力学的专题另编，与本书配套。

§ 1-2 荷载分类

作用于结构上的外力可分为主动力与被动力，主动作用于结构上的外力称为荷载，由它所产生的被动力称为反力。如结构自重，桥梁行驶的车辆载重，吊车梁上起吊的重物，土压力、水压力、风荷载等，通常所指荷载即为这类狭义荷载。如温度变化、支座移动、材料收缩等因素作用，可使结构产生变形甚至产生内力，这些外在因素可看成是一种广义荷载。

荷载可根据不同性质进行分类，通常分为：

1) 分布荷载与集中荷载

按照荷载作用区域的大小，可分为分布荷载与集中荷载，均布荷载是当分布荷载的集度为常量时的特例。真正的集中荷载是不存在的，它是当荷载作用区域很小时的一种近似简化。

2) 固定荷载与移动荷载

按照荷载作用位置有无变化，可分为固定荷载，又称恒载，如结构自重；以及移动荷载，又称活载，如行驶在桥梁上的车辆及人群。

3) 静荷载与动荷载

按照荷载随时间变化的性质可分为静载与动载。静载是指作用大小、位置、方向均不随时间变化的荷载，通常是指由于加载缓慢，结构变形加速度很小，因而产生的惯性力可以略去不计。动载是指随时间变化的荷载，此时需考虑变形加速度产生的惯性力。

4) 主要荷载与附加荷载

按照荷载作用的主次，荷载可分为主要荷载与附加荷载。主要荷载系指结构在正常使用条件下所承受的荷载，如结构自重，移动荷载等。附加荷载是指在某种条件下作用的临时性荷载，如水压力、风荷载、温度变化影响等。在各种设计规范中，对主要荷载与附加荷载的组合方法有明确规定。

在进行结构计算之前，要对结构所承受的荷载合理加以确定。对作用于结构上的恒载如自重、填土压力等项易于确定，但对于移动荷载与附加荷载则不易确定。需深入调查研究，并参考‘荷载规范’及有关资料慎重加以确定。荷载的合理确定是合理进行结构计算与设计的重要前提，荷载估计过高会造成浪费，估计过低将使结构工作不安全。

§ 1-3 结构计算图形的简化

一个实际结构的几何形状与受力状态总是比较复杂的, 如果要完全按照结构的实际工作状态进行受力分析, 往往是很困难的, 而且是不必要的。故通常在计算中简化结构的几何形状表示, 并略去实际结构中受力的一些次要影响因素, 得到一个既能反映结构主要受力特征又比较简化的计算图形, 称为计算简图。它的合理恰当选择是至关重要的, 而且是必须解决的首要问题。

一、结构计算简图选择的原则

1) 计算简图要能符合结构的实际工作状态与反映结构的主要受力特征。因之结构上主要承载因素要保留, 而只能略去一些次要的因素。

2) 在保证计算简图符合实际的前提下, 力求使简图便于进行受力分析, 使计算尽可能地得到简化。

对于同一结构, 由于计算目的与计算手段的不同, 因而可能对计算简图作不同的选择。如初步设计阶段, 计算简图可略为粗糙些, 而在设计的最后阶段, 计算简图则要求完善与准确。在进行电算时, 计算简图可比手算稍为复杂些。因之计算简图要根据需要与可能, 按照前述原则加以选择。

二、结构计算图形简化方法

计算简图是对实际结构的几何形状, 支承条件, 连接方式、承受荷载等许多方面进行合理简化得到的。下面分别就这些方面如何进行简化具体加以说明。

1) 结构几何形状的简化

将空间结构简化为平面结构。一般实际结构均为空间体系, 结构的各个部分相互连接成为一个空间的整体, 以承受来自各个方向的荷载。但有时根据对称性条件, 可将一个空间结构略去次要的横向约束影响, 分解为平面结构进行受力分析, 如图 1-4 所示桁架梁桥的简化。

将杆件用轴线表示。对于长度远大于其它两方向尺寸的杆件, 截面上应力可由截面的内力来确定。在计算简图中可用杆件轴线上的点表示截面的位置, 不论是直杆或曲杆均可用轴线表示实际杆件。对于微弯曲杆件或阶梯形杆件, 在不致引起显著误差条件下, 可近似用直杆轴线代替。如对图 1-5 所示厂房屋架的分析。

2) 杆件结点的简化

杆件的连接部分实际上是一个连接

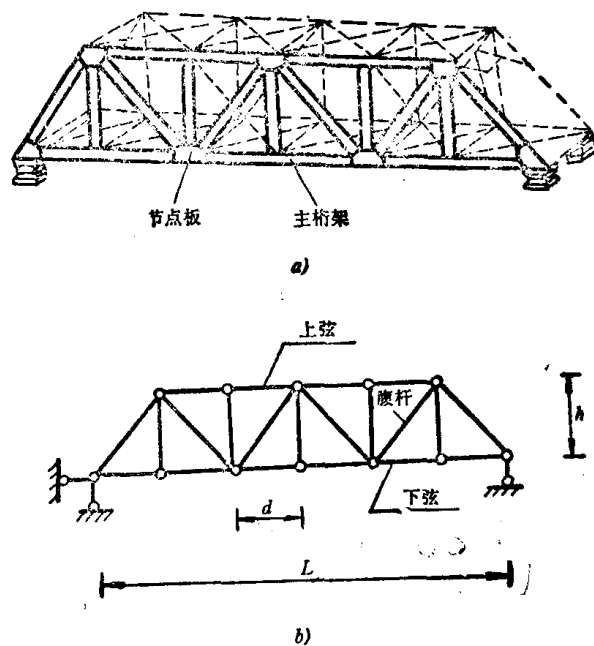


图 1-4

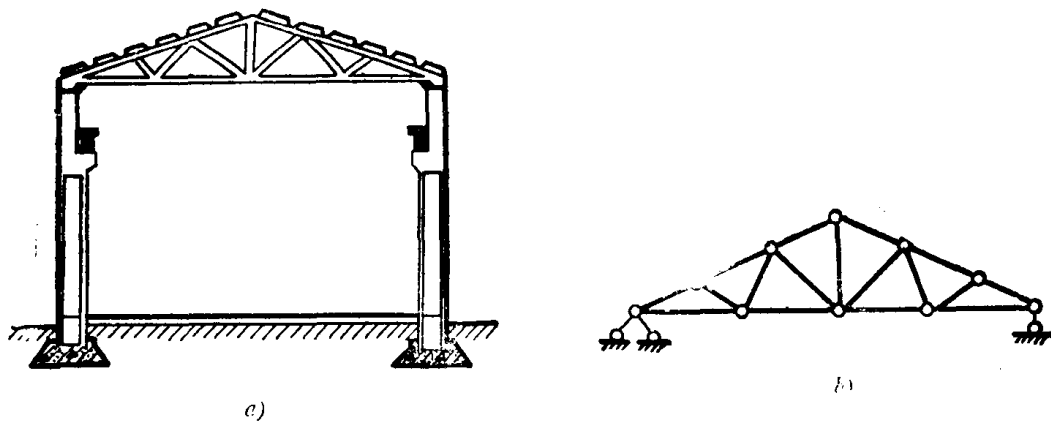


图 1-5

区域，计算中简化为一个结点。结点归纳为用两种理想化的情形表示。

a) 铰结点

要求被连接的杆件在连接处只容许转动，不容许发生任何相对移动。同时假定不存在转动摩擦，不传递力矩，只传递剪力与轴力。这种绝对理想情形实际并不存在，通常将螺栓、铆钉或榫头连接，近似看作理想铰结（见图 1-6）。

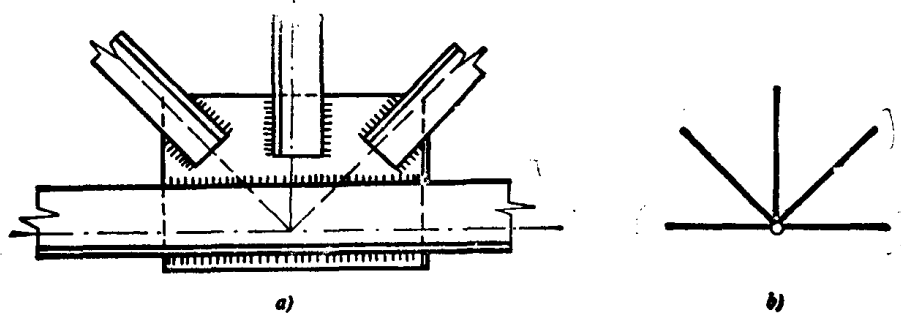


图 1-6

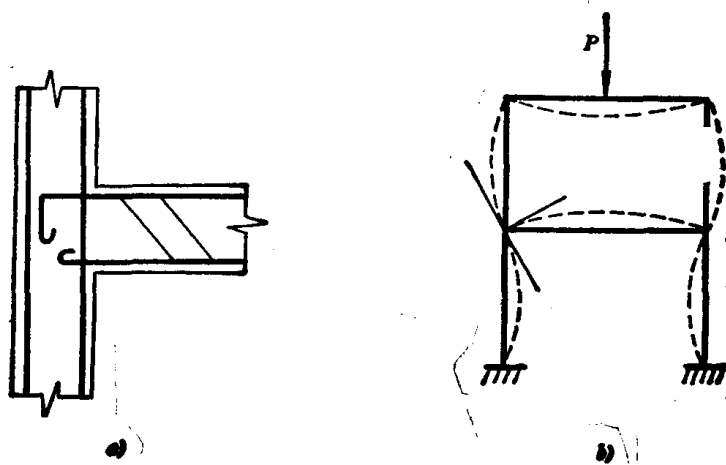


图 1-7

b) 刚结点

要求被连接杆件在连接处保持刚性，即既无转动，又无相对线位移，它可以传递轴

力、剪力与力矩。如焊结点与现浇钢筋混凝土结点可当作刚性结点对待,如图 1-7 所示。

3) 支座的简化

支座为结构与基础相连接的一种装置。它具有两个方面的功能:一是构造功能,它限制结构的位移,保证稳定承载与正常工作;二是传力功能,它支承结构物,将结构承受的力传递给基础与地基。对于平面结构,杆件轴线与作用荷载及支座反力在同一平面内,故支座简化为平面约束形式。支座构造按照对位移约束的功能可分为下面几类。

a) 滚动支座

这种支座构造如图 1-8a) 所示,上部结构可绕铰 A 转动,同时它通过辊轴可在垫块上左右平移。它只能限制竖向位移,通常略去平移时摩擦的影响,故它只作用竖向反力 R_A ,且通过铰中心,可简化为一根竖向支座链杆〔见图 1-8b)〕。对于自由搁置在墩、柱上的梁亦可简化为此种支座。

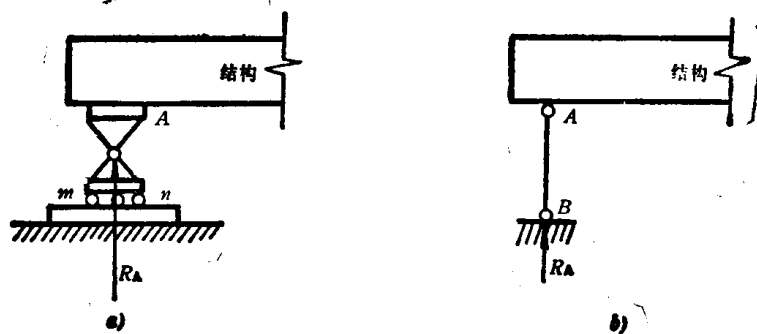


图 1-8

b) 固定铰支座

这种支座构造如图 1-9a) 所示。它与滚座不同之处是取消辊轴,使上部结构只能绕铰 A 转动,限制了水平位移与竖向位移的发生。故它存在水平反力 H_A 与竖向反力 V_A ,合力 R_A 通过铰中心,因而它可用两根相交于 A 的支座链杆表示〔见图 1-9b)、c)〕。

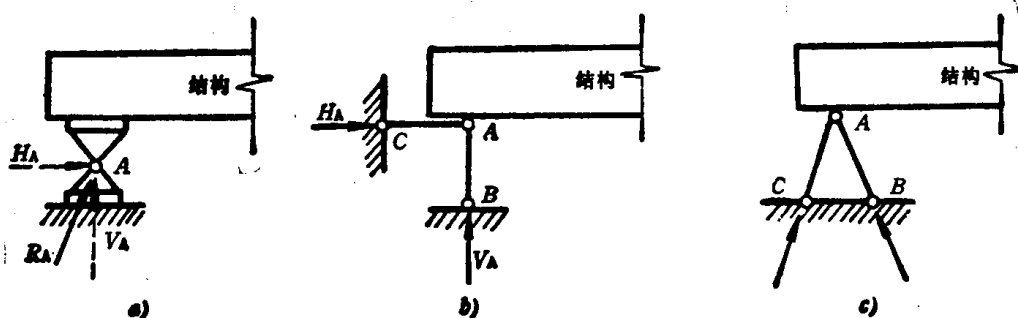


图 1-9

c) 定向滑动支座

这种支座的简略构造如图 1-10a) 所示,它只允许结构沿它的支承面滑移,限制其转动与垂直于支承平面方向上的移动,故存在反力矩与垂直于支承平面的反力。它可用如图 1-10b) 所示两根平行支座链杆表示。

d) 固定支座

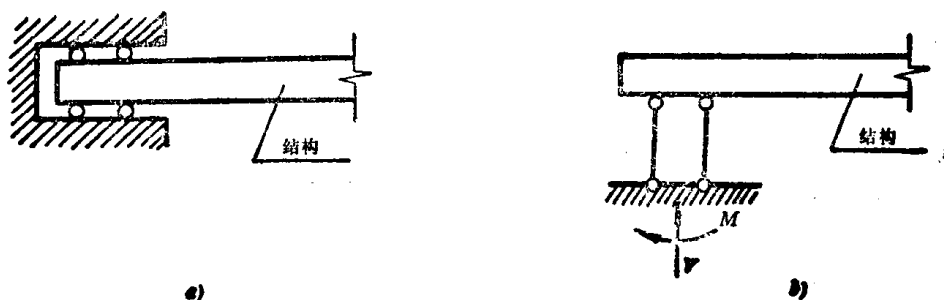


图 1-10

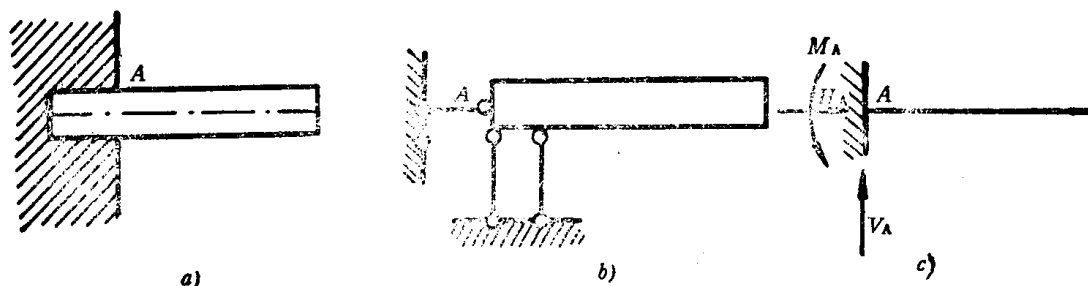


图 1-11

图 1-11a) 表示一种最简单的固定支座形式。它限制结构在连接处发生转动与任何相对移动，因而它存在反力 H_A 与 V_A 及反力矩 M_A 。它可用三根互不平行且不交于一点的支座链杆表示〔见图 1-11b)〕，在计算简图中通常表示为图 1-11c) 的形式。

e) 弹性支承

前述支承均假定为刚性，当支座刚度远大于结构刚度时，这种假定是符合实际的。如支座与结构两者刚度接近时，此时应假定为弹性支承，它既有一定的某种位移的约束作用，又容许发生一定的某种位移。如弹簧支座、橡胶支座与交叉梁系中纵梁的中间支座，如图 1-12b) 所示。在弹形范围内，弹性支承的刚度为常量，反力与支承发生变形的大小成正比。

4) 材料性质的简化

通常用的建筑材料有砖石、混凝土、钢筋混凝土、钢材及木材等。通常在结构计算中，对使用材料一般假定为均匀连续、各向同性、完全弹性的理想弹性体。因而对材料的物理参数取作常量，且适用于虎克定律，使计算大为简化。

上述假定对于金属材料是符合实际的，对混凝土、钢筋混凝土与砖石等材料是近似符合实际的。至于木材、橡胶等各向异性材料，在应用上述假定时必须注意。

5) 荷载的简化

作用于结构上的荷载可分为体力与面力两种，体力为分布于物体体积内的力，且与物体的体积有关，如自重与惯性力等。面力为作用物体外表面上的力，为物体之间相互接触传递的力，如车轮压力、土压力、水压力等。在一般结构受力分析中，不考虑纵向纤维间的挤压应力，将体力与面力均简化为作用于杆件轴线上的力。当荷载作用区域与结构本身的体积相比很小时，可简化集中荷载；当荷载作用区域较大时，则用分布荷载表

梁用轴浅表示, 桥台支承作用用一端固定铰支座与一端滚动支座表示, 由横梁传递给主梁的力用集中力表示, 于是可得图 1-13b) 表示的主梁计算简图。

再举一个屋架的例子, 构造如图 1-14a) 所示。屋面板铺设在檩条上, 檩条搁置在屋架上弦上, 屋架支承在柱子上。力的传递依次通过屋面板、檩条和屋架与柱子等平面承重结构完成, 可取屋架作为一个平面结构进行分析。为简化起见, 对构造与荷载分布作如下假定。

1) 所有接触面上的压应力并非是均布的。为简便起见, 略去局部应力集中效应, 假定应力是均布的, 可用通过接触面中心的合力表示。

2) 屋面板一般是连续的, 为简化起见, 假定屋面板为分块简支搁置于檩条上。檩条并非完全放在屋架上弦结点上, 对此可按杠杆原理分配作用于上弦结点上, 略去上弦杆弯曲的影响。

3) 将屋架杆件结点假定为理想铰结, 屋架简支于墙柱上, 略去横向联系的影响。

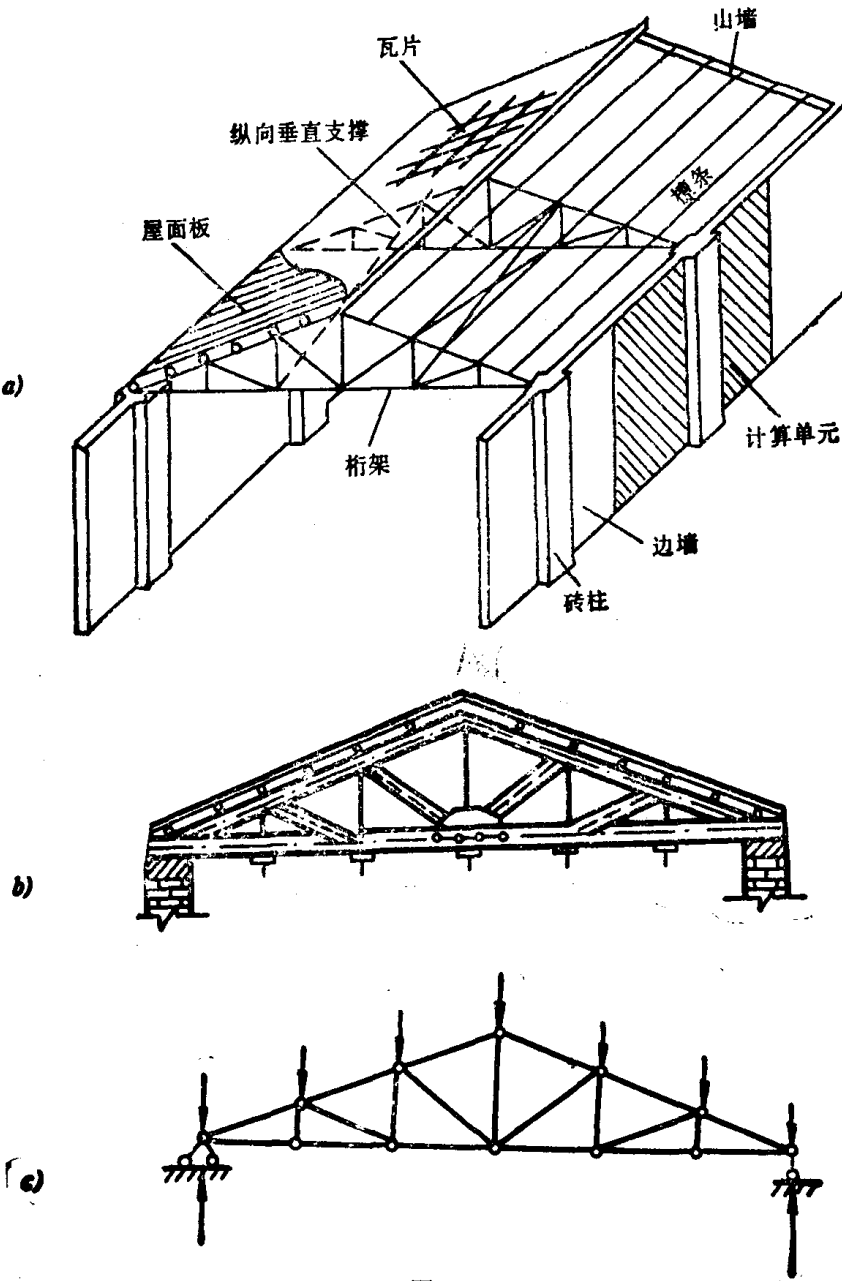


图 1-14