

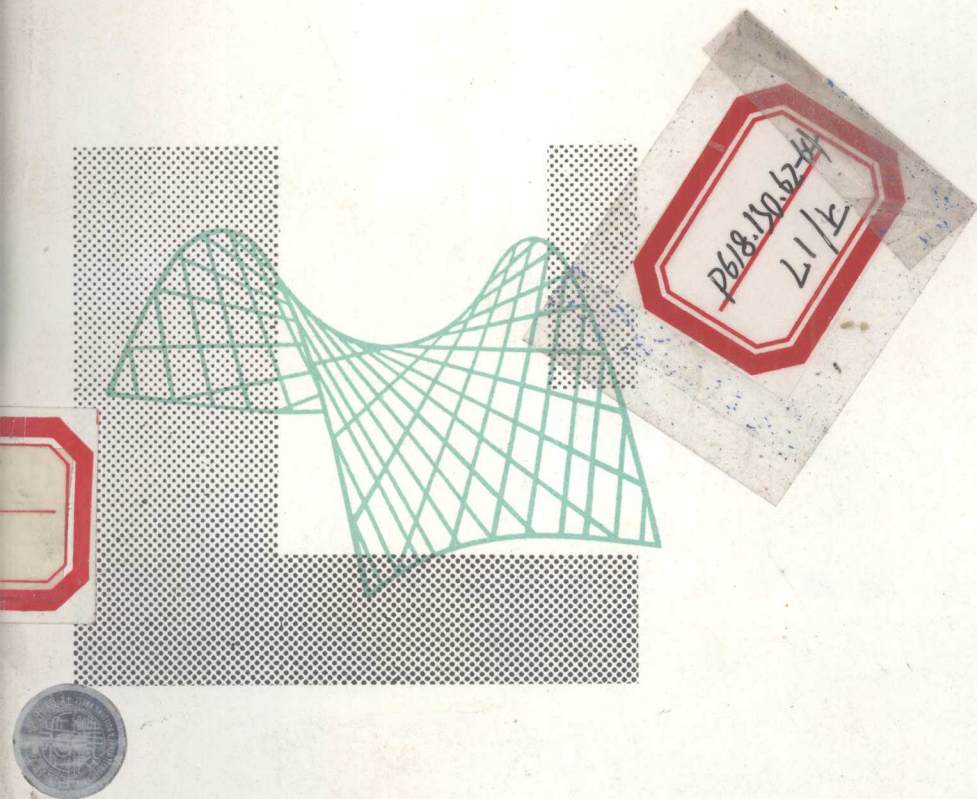
高等学校建筑学专业系列教材

建设部“九五”  
重点教材

# 建筑结构 选型

张建荣 主编

● 中国建筑工业出版社



建设部“九五”重点教材

高等学校建筑学专业系列教材

# 建筑结构选型

张建荣 张贵寿 赵 鸣 编  
韦玉华 刘新良

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构选型/张建荣主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 1998  
ISBN 7-112-02187-1

I. 建… II. 张… III. 建筑结构-教材 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 29257 号

本书较全面系统地介绍了常用的建筑结构型式, 包括梁、屋架、刚架、拱、薄壁空间结构、网架、网壳、悬索、拉力薄膜结构、混合空间结构、多层建筑结构、高层建筑结构、平面楼盖结构、楼梯等。对上述各种结构型式分别介绍其结构组成、受力特点、布置方式、适用范围、构造要点等。编写本书时力求对各种结构型式进行系统归纳, 以给出有关建筑结构体系完整的概念, 同时又注意介绍国内外各种建筑结构体系的实例, 使学生加深认识, 开拓设计思路。

本书可作为建筑学及其相近专业的建筑结构选型课程的教材, 也可供土木工程及其相近专业人员的教学或设计参考。

\* \* \*

责任编辑 赵梦梅

建设部“九五”重点教材  
高等学校建筑学专业系列教材

建筑结构选型

张建荣 张贵寿 赵 鸣 编  
韦玉华 刘新良

\*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)  
新华书店总店科技发行所发行  
北京云浩印制厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16 $\frac{3}{4}$  字数: 406 千字  
1999 年 6 月第一版 1999 年 6 月第一次印刷  
印数: 1 5 0 0 0 册 定价: 17.20 元

ISBN 7-112-02187-1  
TU·1679 (8913)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 前 言

本书是在我们为同济大学建筑学、室内设计、工业与民用建筑等专业编写的“建筑结构选型”课程讲义的基础上，经多年试用、修改、充实而成。

本书较全面系统地介绍了常用的建筑结构型式，包括梁、屋架、刚架、拱、薄壁空间结构、网架、网壳、悬索、拉力薄膜结构、混合空间结构、多层建筑结构、高层建筑结构、平面楼盖结构、楼梯等。对上述各种结构型式分别介绍其结构组成、受力特点、布置方式、适用范围、构造要点等。编写时力求对各种结构型式的系统归纳，给学生一个完整的结构体系的概念，同时又注意介绍国内外各种结构体系的实例，巩固和加深对这些概念的认识，开拓学生的设计思路。

本书由张建荣编写第一、第五至十章，张贵寿编写第二至四章，赵鸣编写第十一、十二章，韦玉华编写第十三章，刘新良编写第十四章。全书由张建荣主编统稿。郁康参加了第七至九章部分资料的整理工作，在前期准备及编写工作中还得到了同济大学黄鼎业教授、颜德炬教授、陈扬骥教授、钱若军教授、范家骥教授的关心、支持和帮助。谨此一并表示衷心的感谢。

由于水平所限，书中必有错误或不当之处，敬请各方面的同行和读者批评指正。

# 目 录

第一章 梁	1
第一节 梁的型式	1
第二节 梁的受力与变形	4
第三节 钢筋混凝土梁的构造	6
第二章 桁架结构	7
第一节 桁架结构的受力特点	7
第二节 屋架结构的型式	11
第三节 屋架结构的选型与布置	16
第四节 屋架结构的实例	18
第五节 桁架结构的其他型式	21
第三章 单层刚架结构	28
第一节 单层刚架结构的受力特点	28
第二节 单层刚架结构的型式	31
第三节 单层刚架结构的构造与布置	35
第四节 单层刚架结构的工程实例	40
第四章 拱式结构	42
第一节 拱的受力特点	42
第二节 拱脚水平推力的平衡	45
第三节 拱式结构的型式	47
第四节 拱式结构的选型与布置	48
第五节 拱式结构的工程实例	51
第五章 薄壁空间结构	54
第一节 概述	54
第二节 圆顶	59
第三节 筒壳	67
第四节 折板	73
第五节 双曲扁壳	78
第六节 双曲抛物面扭壳	82
第七节 空间薄壁结构的其他型式	87
第六章 平板网架结构	92
第一节 概述	92
第二节 平板网架的结构体系及其形式	93
第三节 网架结构的支承方式	98

245	第四节	网架结构的受力特点及其选型	100
245	第五节	网架结构主要几何尺寸的确定	103
245	第六节	网架结构的构造	106
245	第七节	组合网架结构	112
245	第八节	网架结构的工程实例	117
245	第七章	网壳结构	124
245	第一节	概述	124
245	第二节	筒网壳结构	125
245	第三节	球网壳结构	129
245	第四节	扭网壳结构	135
245	第五节	其他形状的网壳结构	139
245	第六节	网壳结构的选型	141
245	第八章	悬索结构	143
	第一节	概述	143
	第二节	悬索的受力与变形特点	144
	第三节	悬索结构的型式	146
	第四节	悬索结构的稳定	152
	第五节	悬索结构的工程实例	155
245	第九章	大跨度建筑结构的其它型式	158
	第一节	混合空间结构	158
	第二节	斜拉混合结构	166
	第三节	薄膜结构	171
	第四节	张拉整体体系和索穹顶	180
245	第十章	建筑体型与结构布置	185
	第一节	建筑体型	185
	第二节	结构布置	189
	第三节	结构构造	193
245	第十一章	多层建筑结构	198
	第一节	多层砌体与混合结构	198
	第二节	多层框架结构	201
	第三节	无梁楼盖结构	207
	第四节	多层建筑的其他结构型式	210
245	第十二章	高层建筑结构	216
	第一节	概述	216
	第二节	高层建筑结构体系	217
	第三节	高层建筑结构布置实例	228
245	第十三章	楼盖结构	234
	第一节	肋梁楼盖结构	234
	第二节	井格梁楼盖结构	237

(1) 第三节	密肋楼盖结构	240
(2) 第四节	无粘结预应力混凝土楼盖结构	243
第五节	组合楼盖结构	245
第六节	装配式、装配整体式及叠合楼盖结构	248
第十四章	楼梯结构	252
第一节	概述	252
第二节	梁式楼梯	253
第三节	板式楼梯	253
第四节	悬挑式楼梯	254
第五节	螺旋型楼梯	255
第六节	楼梯结构的其他型式	256
参考文献		258

# 第一章 梁

梁是房屋建筑中应用最广泛的构件之一，也是建筑结构中最基本的构件。梁主要承受垂直于梁轴线方向的荷载的作用。与其他的横向受力结构（如桁架、拱等）相比，梁的受力性能是属于差的，但它分析方便、制作简单，故在中小跨度建筑中仍得到了大量的应用。

## 第一节 梁 的 型 式

梁的型式很多，可以按材料分类，也可以按截面形式分类。

### 一、梁按材料分类

梁按材料分类有石梁、木梁、钢梁、钢筋混凝土梁、预应力混凝土梁及钢-钢筋混凝土组合梁等等。

在古代大量的石建筑中，石梁（石板）得到了大量的应用，其跨度有的达8~9m。如古希腊建于公元前356年的阿提密斯庙（Temple of Artemis），石梁的跨度最大达8.6m左右。但石材尽管抗压强度很高，抗拉强度却很低，所以石梁高度往往很大，极其笨重，而跨度却很小，使柱网尺寸受到限制，影响室内空间的使用。图1-1-1为古希腊雅典的帕提农神庙（Parthenon），其建筑型式为古希腊神庙中最典型的列柱围廊式。建筑平面为长方形，双层叠柱式围廊的柱距约4.2m，神庙内石柱林立，使用很不方便。

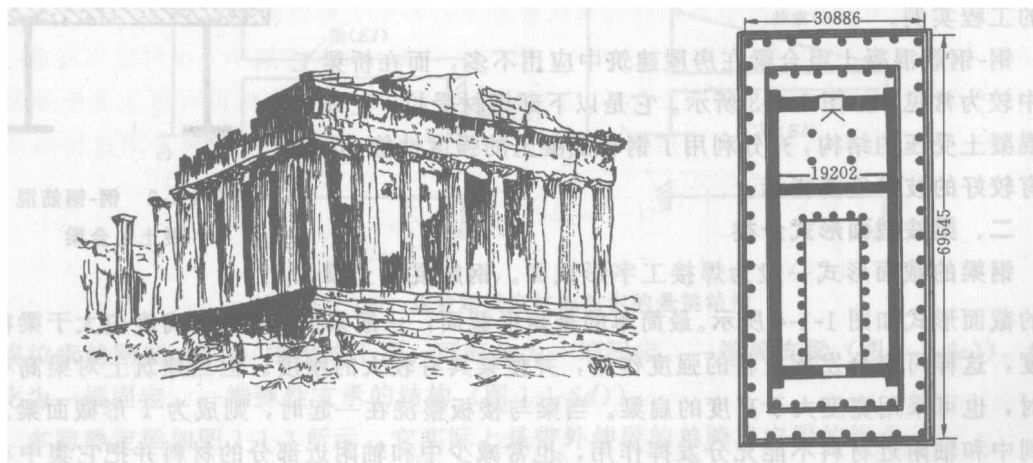


图 1-1-1 古希腊帕提农神庙

木梁在我国古代的庙宇、宫殿建筑中应用极为普遍，直至近代仍有较多应用。如图1-1-2所示的北京故宫太和殿，木梁跨度约11m左右。由于木材自重轻，抗拉、抗压强度均较高，因此，木梁比石梁截面小、跨度大，室内空间开阔，使用方便。但木材防腐、防蛀、防火性能差，且资源有限，因此在现代建筑结构中渐遭淘汰。但本世纪以来由于化学工业和



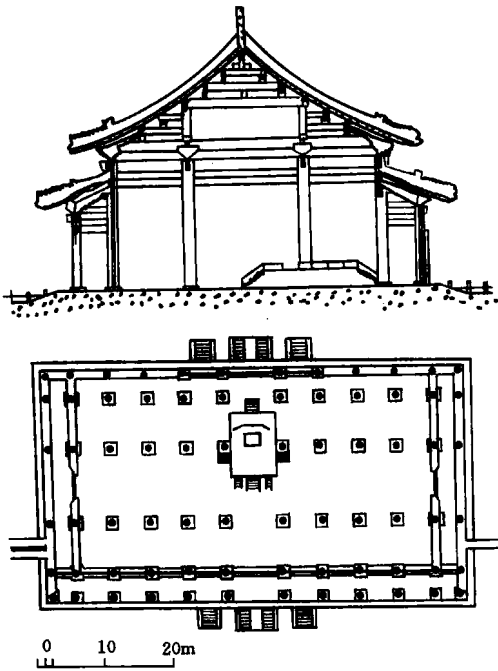


图 1-1-2 北京故宫太和殿

建材生产水平的提高,出现了胶合木(胶合板、胶合梁)结构。胶合木结构具有良好的防腐、防蛀、阻燃的性能,且具有比普通木材更高的强度,并可充分利用木材资源,因而得到了较好的发展和应用。

钢梁的材料强度高、施工方便、适用范围广。尽管钢材容重较大,但由于材料强度高,所需截面尺寸较小,钢梁的自重比相同跨度混凝土梁要轻。但钢材防腐、防火性能较差,造价和维修费用较高,在房屋建筑中很少直接采用实腹钢梁,常常采用更为经济省料的其他结构型式。

钢筋混凝土梁是目前应用最为广泛的梁。它利用混凝土受压,纵向钢筋受拉,箍筋受剪,由纵向钢筋、箍筋和混凝土共同工作,整体受力。钢筋混凝土梁具有受力明确、构造简单、施工方便、造价低廉等优点,缺点是自重较大。当跨度较大时,常受到挠度和裂缝宽度等控制条件的限制,跨度一般不超过 12m。

预应力混凝土梁则可部分地克服钢筋混凝土梁的缺点,由于在受拉区施加了预压应力并对梁进行了预起拱,可有效地控制梁的裂缝宽度和挠度;由于采用了高强混凝土和高强钢筋,可有效地节省材料、减轻结构自重。预应力混凝土梁的适用跨度一般可达 18m,也有超过 30m 及更大跨度的工程实例。

钢-钢筋混凝土组合梁在房屋建筑中应用不多,而在桥梁工程中较为常见,如图 1-1-3 所示。它是以下部钢材受拉、上部钢筋混凝土受压的结构,充分利用了钢和混凝土的强度性能,因而具有较好的技术经济指标。

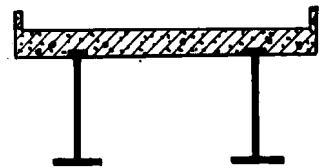


图 1-1-3 钢-钢筋混凝土组合梁

## 二、梁按截面形式分类

钢梁的截面形式一般为焊接工字形截面。钢筋混凝土梁常见的截面形式如图 1-1-4 所示。最简单的是矩形截面,一般来说,梁截面高度应大于梁截面宽度,这样可充分发挥材料的强度作用,并使梁具有较大的刚度。但当建筑上对梁高有限制时,也可采用宽度大于高度的扁梁。当梁与楼板整浇在一起时,则成为 T 形截面梁。考虑到中和轴附近材料不能充分发挥作用,也常减少中和轴附近部分的材料并把它集中布置到上下边缘处,形成了工字形截面梁或箱形截面梁。

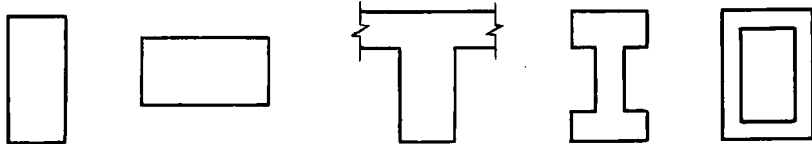


图 1-1-4 钢筋混凝土梁的截面形式

较大跨度的梁常采用薄腹梁并施加预应力。根据简支梁的受力特点，为适应弯矩和剪力的变化，可采用变高度双坡薄腹梁（图 1-1-5a）、鱼腹梁（图 1-1-5b）、空腹梁（图 1-1-5c）等。因为梁跨中以承受弯矩为主，故可采用薄腹的工字形截面梁或空腹梁，通过增加梁高来提高梁的抗弯承载力。在梁端因弯矩变小而剪力增大，这时可减小梁高，但应增加梁宽来提高梁的抗剪承载力，故常采用矩形截面。普通钢筋混凝土薄腹梁的适用跨度为 6~12m，预应力混凝土薄腹梁的适用跨度为 12~18m。

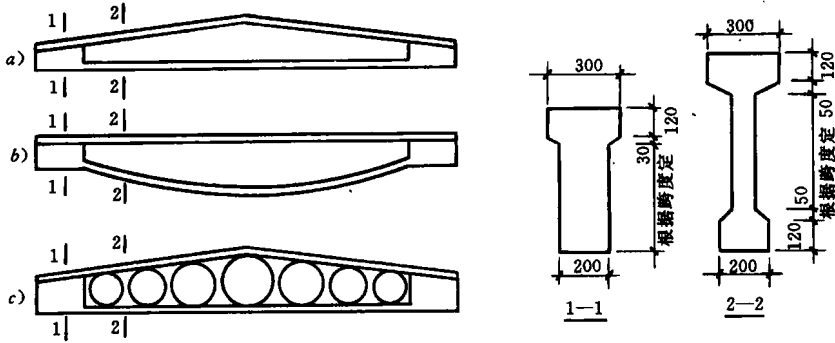


图 1-1-5 薄腹梁的主要形式

### 三、梁按支座约束条件分类

梁按支座约束条件分类，可分为静定梁和超静定梁。根据梁跨数的不同，有单跨静定梁或单跨超静定梁、多跨静定梁或多跨连续梁。

单跨静定梁有简支梁和悬臂梁。单跨超静定梁常见的有两端固定梁，和一端固定一端简支梁。对于悬臂端设支柱或拉索的悬挑结构（图 1-1-6a）、b），根据梁的刚度（ $EI$ ）与

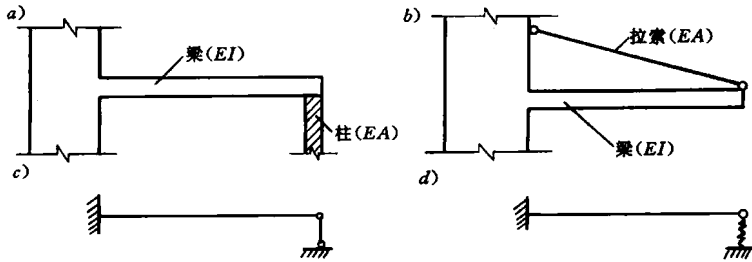


图 1-1-6 悬臂端设支柱或拉索的悬挑结构

柱或拉索的刚度（ $EA$ ）之比的不同，可简化为一端固定、一端简支梁（图 1-1-6c），也可简化为一端固定、一端弹性支承的结构（图 1-1-6d）。

多跨静定梁如图 1-1-7 所示。它实际上是带外伸段的单跨静定梁的组合。

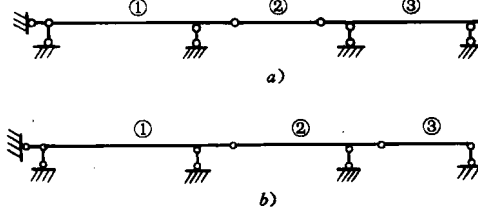


图 1-1-7 三跨静定梁

## 第二节 梁的受力与变形

梁主要承受垂直于梁轴线方向的荷载的作用，其内力主要为弯矩和剪力，有时也伴有扭矩或轴力。梁的变形主要是挠曲变形。梁的受力与变形主要与梁的约束条件有关。

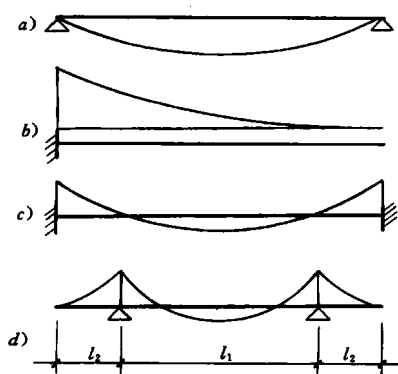


图 1-2-1 单跨梁在竖向荷载作用下的内力

单跨梁在竖向均布荷载作用下的弯矩图如图 1-2-1 所示。

图 1-2-1a) 所示的简支梁构造简单，工程中极易实现。其缺点是内力和挠度较大，常用于中小跨度的建筑物。简支梁是静定结构，当两端支座有不均匀沉降时，不会引起附加内力。因此，当建筑物的地基较差时采用简支梁结构较为有利。简支梁也常被用来作为沉降缝之间的连接构件。

图 1-2-1b) 为悬臂梁。其优点是在悬臂端无支承构件，视野开阔，空间布置灵活。其缺点是在结构的固定端有较大的倾覆力矩。设计时除了考虑结构的强度和变形外，还要注意结构的抗倾覆稳定性。一般认为，悬挑结构的抗倾覆安全系数应大于 1.5。即

$$\frac{\text{抗倾覆力矩}}{\text{倾覆力矩}} > 1.5$$

悬挑结构倾覆力矩的平衡一般可采用图 1-2-2 所示的几种方式。图 1-2-2a) 为上部压重平衡，在跨度较小的雨篷、阳台结构中常被采用；图 1-2-2b) 为下部拉压平衡，下部支承柱一个受拉、一个受压，有时也采用受拉索代替柱子，常见于悬挑网架、悬挑网壳结构；图 1-2-2c) 为左右自平衡，左右可以完全对称，常用于机库、车库建筑中，也可以不对称，小跨方向可作为服务性用房；图 1-2-2d) 为副跨框架平衡，整个结构也可看成是带悬挑的框架结构，这时结构设计时应对整个房屋结构进行分析，剧院的挑台常采用这种结构型

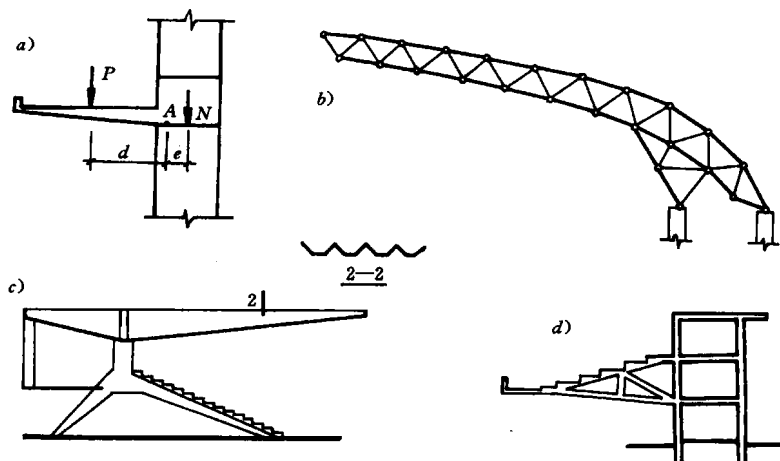


图 1-2-2 悬挑结构的平衡方式

a) 上部压重平衡；b) 下部拉压平衡；c) 左右自平衡；d) 副跨框架平衡

式。

图 1-2-1c) 为两端固定梁。当梁柱结构中柱刚度比梁刚度大很多且梁柱节点构造为刚接时, 可按两端固定梁分析梁在竖向荷载作用下的内力与变形。对于一般情况下梁柱刚度相差不多的情况, 则柱对梁的约束作用应视作弹性支承, 这时梁在竖向荷载作用下的内力和变形介于两端固定梁和两端简支梁之间。

图 1-2-1d) 为两端外伸的简支梁。由于两端外伸段负弯矩的作用, 外伸梁中间部分的最大正弯矩和挠度都将小于相同跨度的简支梁, 这一受力性能对于充分发挥材料的作用是十分有利的, 而在结构构造上也是很容易实现的。对于受竖向均布荷载作用的情况, 当外伸段的长度  $l_2 = \frac{\sqrt{2}}{4}l_1$  时, 梁内的最大正弯矩和最大负弯矩相等。

图 1-2-3 为三跨连续梁在竖向均布荷载作用下的弯矩图与变形图。由图可见, 梁内最大弯矩比同跨度简支梁的最大弯矩要小 25% 左右, 挠度则可减小一半左右。多跨连续梁的负弯矩峰值出现在支座上方, 最大正弯矩则出现在跨中附近, 但不一定在跨中。多跨连续梁的最大弯矩也是不等的。以三跨等跨连续梁为例, 边跨跨中的最大正弯矩为中支座负弯矩的 80%, 而中跨跨中的最大正弯矩仅为中支座负弯矩的 25%, 为充分利用截面的承载力, 除钢筋混凝土结构可通过配筋量来调节外, 对大跨度结构也可通过采用变高度梁 (图 1-2-4a)) 来调整, 也可通过改变梁的跨度 (图 1-2-4b)), 使梁的弯矩最大值趋于均匀。

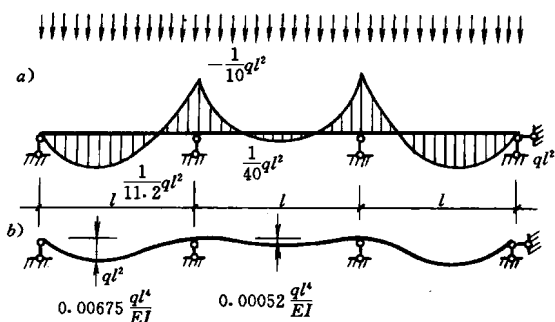


图 1-2-3 三跨连续梁的弯矩图与变形图

a) 弯矩图; b) 变形图

使梁的弯矩最大值趋于均匀。

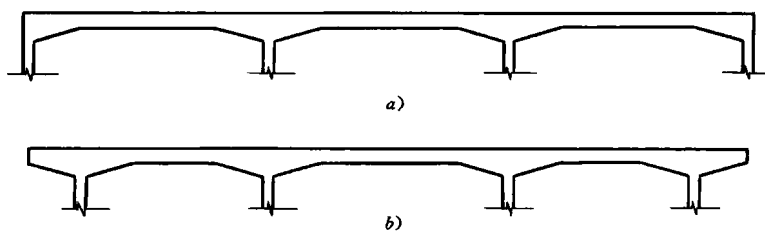


图 1-2-4 多跨连续梁的形式

多跨连续梁为超静定结构, 其优点是内力小、刚度大、抗震性能好、安全储备高, 其缺点是对支座变形敏感, 当支座产生不均匀沉降时, 会引起附加内力。如图 1-2-5 所示。

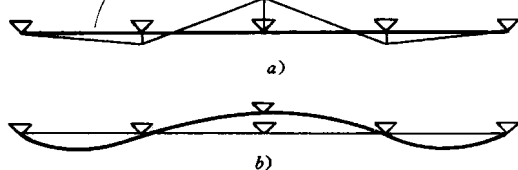


图 1-2-5 多跨连续梁支座不均匀沉降引起的变形与弯矩

a) 变形; b) 弯矩

图 1-1-7 所示的多跨静定梁也可以看成是在多跨连续梁的弯矩为零处断梁设铰, 使之成为静定结构。因此, 它既具有多跨连续梁的弯矩图形, 又不会因支座不均匀沉降产生附加内力。但当荷载发生变化时, 其适应性显然不如多跨连续梁好。

### 第三节 钢筋混凝土梁的构造

钢筋混凝土梁的截面尺寸应根据与梁的跨度、荷载大小、支承情况，及建筑使用要求确定，一般梁的高度可取梁的跨度的  $1/14 \sim 1/8$ ，美国和西欧各国取值较小，常为  $1/25 \sim 1/15$ 。梁的宽度可取梁的高度的  $1/3 \sim 1/2$ 。当梁的截面高度受到限制时，也可采用梁宽大于梁高的扁梁。当荷载较大时，梁的截面应取得大些，简支梁应比连续梁截面取得大些，施加预应力时梁的截面高度可取的小些。

直接作为屋面梁的钢筋混凝土薄腹梁，采用卷材防水时，屋面坡度可取  $1/8 \sim 1/12$ ，薄腹梁的腹板厚度，可取  $60 \sim 100\text{mm}$ ；上翼缘宽度可取  $250 \sim 400\text{mm}$ ，取决于屋面板的搁置要求；下翼缘宽度可取  $200 \sim 300\text{mm}$ ，取决于钢筋的布置要求。

## 第二章 桁架结构

桁架结构受力合理、计算简单、施工方便、适应性强，对支座没有横向推力，因而在结构工程中得到了广泛的应用。在房屋建筑中，桁架常用来作为屋盖承重结构，这时常称为屋架。屋架的主要缺点是结构高度大，侧向刚度小。结构高度大，增加了屋面及围护墙的用料，同时也增加了采暖、通风、采光等设备的负荷，并给音响控制带来困难。侧向刚度小，对于钢屋架特别明显，受压的上弦平面外稳定性差，也难以抵抗房屋纵向的侧向力，这就需要设置支撑。一般房屋纵向的侧向力并不大，但支撑很多，都按构造（长细比）要求确定截面，故耗钢量不少但未能材尽其用。

### 第一节 桁架结构的受力特点

#### 一、桁架结构的组成

简支梁在竖向均布荷载作用下，沿梁轴线的弯矩和剪力的分布和截面内的正应力和剪应力的分布都极不均匀。在弯矩作用下，截面正应力分布为受压区和受拉区两个三角形，在中和轴处应力为零，在上下边缘处正应力为最大，因此，若以上下边缘处材料的强度作为控制值，则中间部分的材料不能充分发挥作用。同时，在剪力作用下，剪应力在中和轴处最大，在上下边缘处为零，分布在上下边缘处的材料不能充分发挥其抗剪作用。尽管通过改变梁的截面形式（例如把梁截面由矩形改为工字形）、改变梁的截面尺寸（例如在梁的跨中和支座附近变高度、变梁宽）等做法可改善梁的受力性能，但这些都只是量的改变而难以达到质的飞跃。

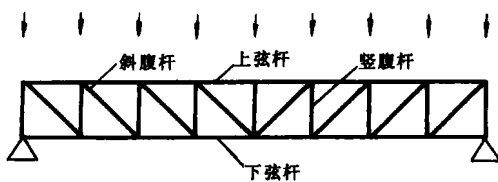


图 2-1-1 桁架结构

图 2-1-1 所示的桁架结构则具有与简支梁完全不同的受力性能。尽管从结构整体来说，外荷载所产生的弯矩图与剪力图与作用在简支梁上时完全一致，但在桁架结构内部，则是桁架的上弦受压、下弦受拉，由此形成力偶来平衡外荷载所产生的弯矩。外荷载所产生的剪力则是由斜腹杆轴力中的竖向分量来平衡。因此，在桁架结构中，各杆件单元（上弦杆、下弦杆、斜腹杆、竖杆）均为轴向受拉或轴向受压构件，使材料的强度可以得到充分的发挥。

#### 二、桁架结构计算的假定

实际桁架结构的构造和受力情况一般是比较复杂的。为了简化计算，通常采用以下几个基本假定：

1. 组成桁架的所有各杆都是直杆，所有各杆的中心线（轴线）都在同一平面内，这一平面称为桁架的中心平面。

2. 桁架的杆件与杆件相连接的节点均为铰接节点。

3. 所有外力（包括荷载及支座反力）都作用在桁架的中心平面内，并集中作用于节点上。

上述假定 2 是桁架结构简化计算模型的关键，在实际房屋建筑工程中，真正采用铰接节点的桁架是极少的。例如，木材常常采用榫接，与铰接的力学要求较为接近；钢材常用铆接或焊接，节点可以传递一定的弯矩；钢筋混凝土的节点构造则往往采用刚性连接。如

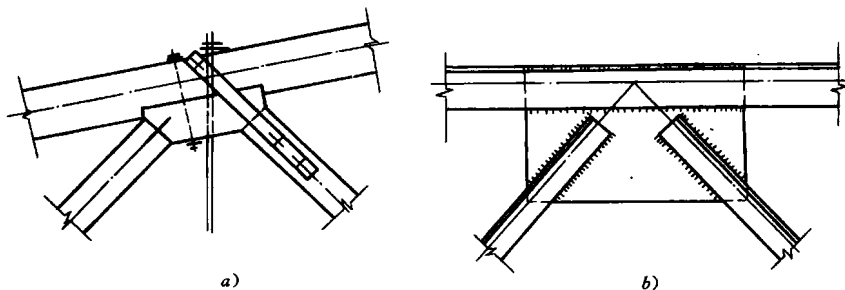


图 2-1-2 桁架结构的节点

a) 木桁架节点；b) 钢桁架节点

图 2-1-2 所示。因此，严格地说，钢桁架和钢筋混凝土桁架都应该按刚架结构计算，各杆件除承受轴力外，还承受弯矩的作用。但进一步的理论分析和工程实践经验表明，上述杆件内的弯矩所产生的应力很小，只要在节点构造上采取适当的措施，其应力对结构或构件不会造成危害，故一般计算中均将桁架结构节点按铰接处理。

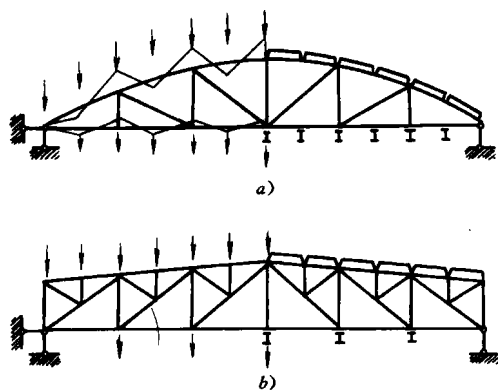


图 2-1-3 桁架上下弦的受力

a) 荷载作用于节间；b) 荷载作用在节点上

把节点简化成铰接节点后，为保证各杆仅承受轴力，还必须满足假定 3 的要求，即桁架结构仅受到节点荷载的作用。对于桁架上直接搁置屋面板的结构，当屋面板的宽度和桁架上弦的节间长度不等时，上弦将受到节间荷载的作用并产生弯矩；或对下弦承受吊顶荷载的结构，当吊顶梁间距与下弦节间长度不等时，也会在下弦产生节间荷载及弯矩。这将使上、下弦杆件由轴向受压或轴向受拉变为压弯或拉弯构件（图 2-1-3a），是极为不利的。对于木桁架或钢筋混凝土桁架，因其上、下弦杆截面尺寸较大，节间荷载所产生的弯矩对构件受力的影响可通过适当增大截面或采取一些构造措施予以解决。而对于钢桁架，因其上、下弦截面尺寸很小，节间荷载所产生的弯矩对构件受力有较大影响，将会引起材料用量的大幅度上涨。这时候，桁架节间的划分应考虑屋面板、檩条、吊顶梁的布置要求，使荷载尽量作用在节点上。当节间长度较大时，在钢结构中，常采用再分式屋架，如图 2-1-3b) 所示，使屋面荷载直接作用在上弦节点上，避免了上弦受弯。

### 三、桁架结构的内力

尽管桁架结构中以轴力为主，其构件的受力状态比梁的结构合理，但在桁架结构各杆

件单元中，内力的分布是不均匀的。若同一类杆件截面的大小一致，则杆件的截面尺寸应由同一类构件中内力最大者所决定，其余杆件的材料强度仍不能得到充分的发挥。下面我们以工程中最常见的平行弦桁架、三角形桁架、梯形桁架、折线形桁架为例，来分析桁架结构的内力分布特点。

### 1. 弦杆的内力

从整体上看桁架的受力与梁是一致的，外荷载所产生的弯矩  $M$  与剪力  $N$  如图 2-1-4 所示。为求桁架各杆件内的轴力，作截面  $M-M'$ ，截得各杆件内力为  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ ，对斜腹杆与弦杆之交点取矩得

$$N_1 = \frac{M_0}{h}$$

$$N_2 = -\frac{M_0}{h}$$

式中  $M_0$  为按简支梁计算的矩心节点处的弯矩值， $h$  为屋架高度。

$N_2$  若为负值则表示其受压。

按上述方法分析矩形桁架、三角形桁架和折线

形桁架，所得内力分布如图 2-1-5 所示。

由图 2-1-5a) 可见，矩形桁架高度相等，上、下弦各节间的内力随外荷载产生的总弯矩而变化，跨中节间轴力大、靠近支座处轴力较小或为零，上、下弦内力变化较大。图 2-1-5b) 为三角形桁架的内力图，三角形桁架的高度自跨中最大处向支座节点最小处呈线性变化，而弯矩的变化自跨中向支座呈抛物线变化，弯矩的减小速度比桁架高度的减小速度慢，故上、下弦杆内力在跨中节间最小，而在靠近支座处最大。由以上的分析可知，高度呈抛物线型的桁架是最理想的桁架形式。因桁架高度的变化与外荷载所产生的弯矩图完全一致，使上、下弦杆各节间轴力也完全相等。为方便上弦杆施工放样，也可将上弦曲线作成圆形使屋架外形与抛物线弯矩图形十分接近。但曲线形的桁架结构施工尚嫌复杂，为便于制作，常将桁架上弦各节点与弯矩图重合，而在各节点之间取直线，即成为折线形桁架，如图 2-1-5c) 所示。这时，上、下弦杆内各节间轴力基本相等。梯形桁架高度的变化在矩形桁架与三角形桁架之间，因此其上、下弦内力分布也在上述两种桁架之间。根据梯形桁架防水层构造的不同，可分为缓坡梯形桁架和陡坡梯形桁架。缓坡梯形桁架适用于卷材防水屋面，因其屋架高度变化较小，其内力变化接近矩形桁架。陡坡梯形桁架适合于屋面板构件自防水屋面，屋面坡度常为  $1/5 \sim 1/3$ ，其屋架高度变化较大，内力变化接近于三角形桁架。

### 2. 腹杆的内力

腹杆内力的计算可根据节点平衡条件求得。以图 2-1-4 所示的矩形桁架为例，由  $\Sigma Y = 0$  可得斜腹杆的内力

$$N_3 = \frac{V_0}{\sin \alpha}$$

同时，由腹杆和斜腹杆相交节点上的平衡条件  $\Sigma Y = 0$  可得竖腹杆内力为

$$N_4 = V_0$$

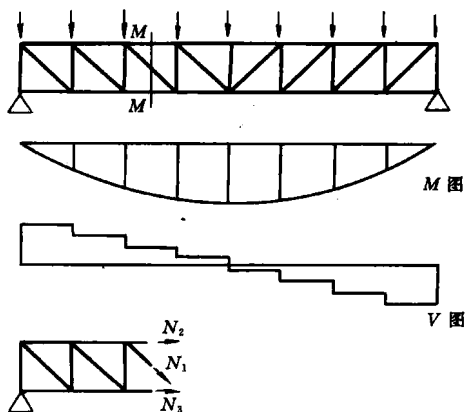


图 2-1-4 桁架内力计算



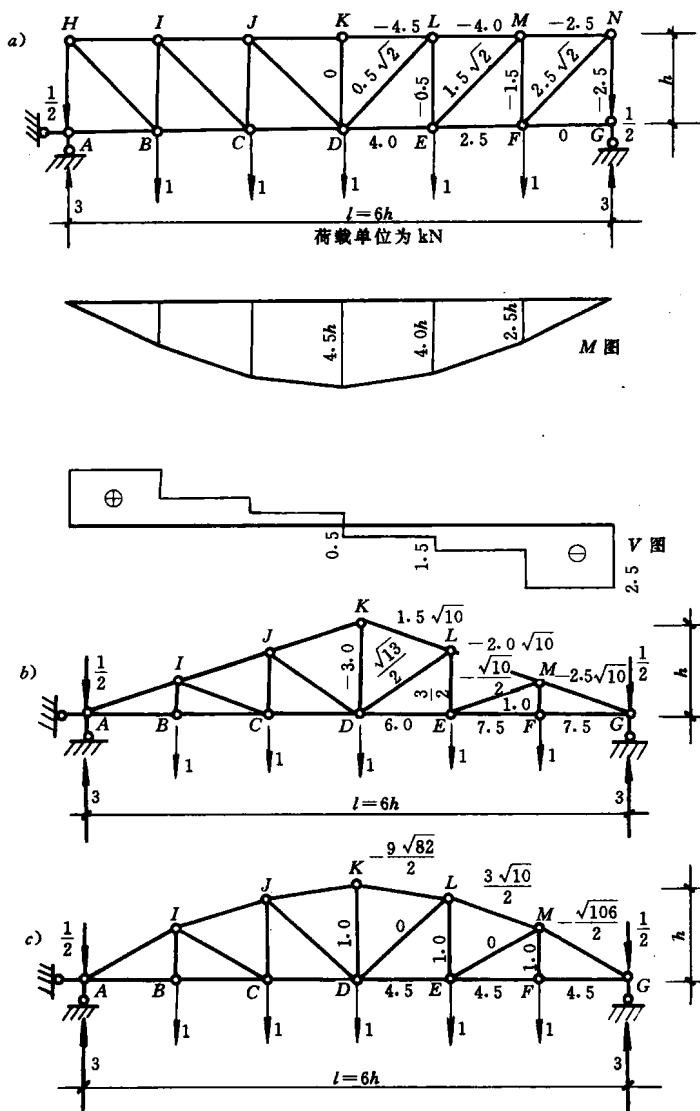


图 2-1-5 桁架内力分布图

式中  $V_0$  为按简支梁计算的相应截面处的剪力值。

图 2-1-5 同时给出了矩形桁架、三角形桁架、折线形桁架的腹杆内力，由图可见，矩形桁架为等高度，故沿跨度方向各腹杆的轴力变化与剪力图一致，跨中小而支座处大，其值变化较大。三角形桁架因高度变化速度大于剪力变化速度，故斜腹杆和竖腹杆的受力都是跨中大，支座处小，而抛物线形桁架或折线形桁架的腹杆内力全部为零。可以想象，梯形桁架的腹杆受力应介于矩形桁架和三角形桁架之间。

值得注意的是，斜腹杆的布置方向对腹杆受力的符号（拉或压）有直接的关系。对于矩形桁架，斜腹杆外倾受拉，内倾受压，竖腹杆受力方向与斜腹杆相反，如图 2-1-6 所示。对于三角形桁架，斜腹杆外倾受压，内倾受拉，而竖腹杆则总是受拉。