

# A



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高校建筑学与城市规划专业教材

# 建筑结构选型

(第二版)

张建荣 主编

中国建筑工业出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
A+U高校建筑学与城市规划专业教材

# 建筑结构选型

(第二版)

张建荣 主编

编 辑：高彦强、陈静、王爽  
责任编辑：张静、王付  
封面设计：张静、王付

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构选型/张建荣主编. —2版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2010.9

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·A+U  
高校建筑学与城市规划专业教材)

ISBN 978-7-112-12431-2

I. ①建… II. ①张… III. ①建筑结构 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 171558 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、膜结构、张拉结构、混合空间结构、多层建筑结构、高层建筑结构、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。同时又注意结合国内外的建筑实例, 特别是引用了大量我国最新建设成就, 如北京奥运建筑和上海世博建筑, 使学生加深认识, 开拓设计思路。

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

责任编辑: 赵梦梅 陈桦

责任设计: 赵明霞

责任校对: 张艳侠 王雪竹

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
A+U 高校建筑学与城市规划专业教材  
**建筑结构选型**

(第二版)

张建荣 主编

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京凌奇印刷有限责任公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 22¼ 字数: 555 千字

2011 年 1 月第二版 2011 年 8 月第二十次印刷

定价: 39.00 元

ISBN 978-7-112-12431-2

(19694)

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

(第二版)

本书在第一版的基础上做了较多调整和修改。主要有以下几个方面：

- 在第1章专门列出“悬挑结构”一节；
- 在第2章增加“张弦结构”一节；
- “膜结构”单独列为一章；
- 在“第10章大跨度建筑结构的其它型式”中增加了“弦支空间骨架结构”、“多面体空间刚架结构”的内容；
- 增加了多层建筑结构、高层建筑结构的若干内容；
- 删除了肋梁楼盖、预应力楼盖、组合楼盖、装配式楼盖等的内容。

本书编写时力求结合国内外的建筑实例，特别是引用我国最新建设成就，如北京奥运建筑和上海世博建筑，以使内容更为新颖、现实。

本书由张建荣主编。参加编写的有张贵寿、赵鸣、韦玉华、刘新良、周元强、陈刚、高飞等。由于水平所限，书中必有错误或不当之处，欢迎读者批评指正。

联系邮箱：[zhangjr@tongji.edu.cn](mailto:zhangjr@tongji.edu.cn)

张建荣  
2010年10月

# 前 言

(第一版)

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、颜德姮教授、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

<b>第 1 章 梁和悬挑结构</b> .....	1
1.1 梁的型式 .....	2
1.2 梁的受力与变形 .....	4
1.3 梁式结构的工程实例 .....	7
1.4 悬挑结构 .....	8
<b>第 2 章 桁架（屋架）结构</b> .....	17
2.1 桁架结构的受力特点 .....	18
2.2 屋架结构的型式 .....	22
2.3 屋架结构的选型与布置 .....	29
2.4 立体桁架 .....	31
2.5 张弦结构 .....	33
2.6 桁架结构的其他应用形式 .....	40
<b>第 3 章 单层刚架结构</b> .....	45
3.1 单层刚架结构的受力特点 .....	46
3.2 单层刚架结构的型式 .....	50
3.3 单层刚架结构的构造与布置 .....	54
3.4 单层刚架结构的工程实例 .....	59
<b>第 4 章 拱式结构</b> .....	65
4.1 拱的受力特点 .....	66
4.2 拱脚水平推力的平衡 .....	69
4.3 拱式结构的型式 .....	72
4.4 拱式结构的选型与布置 .....	73
4.5 拱式结构的工程实例 .....	76
<b>第 5 章 钢筋混凝土空间薄壁结构</b> .....	79
5.1 概述 .....	80
5.2 圆顶 .....	86
5.3 筒壳与锥壳 .....	95
5.4 双曲扁壳 .....	103

5.5	双曲抛物面扭壳 .....	107
5.6	折板 .....	114
5.7	雁形板 .....	120
5.8	幕结构 .....	124
<b>第6章</b>	<b>平板网架结构 .....</b>	<b>127</b>
6.1	概述 .....	128
6.2	平板网架的结构体系及其形式 .....	129
6.3	网架结构的支承方式 .....	134
6.4	网架结构的受力特点及其选型 .....	136
6.5	网架结构主要几何尺寸的确定 .....	140
6.6	网架结构的构造 .....	143
6.7	组合网架结构 .....	150
6.8	网架结构的工程实例 .....	155
<b>第7章</b>	<b>网壳结构 .....</b>	<b>163</b>
7.1	概述 .....	164
7.2	筒网壳结构 .....	165
7.3	球网壳结构 .....	170
7.4	扭网壳结构 .....	178
7.5	其他形状的网壳结构 .....	182
7.6	网壳结构的选型 .....	185
<b>第8章</b>	<b>悬索结构 .....</b>	<b>187</b>
8.1	概述 .....	188
8.2	悬索的受力与变形特点 .....	189
8.3	悬索结构的型式 .....	191
8.4	悬索结构的稳定 .....	199
8.5	悬索结构的工程实例 .....	202
<b>第9章</b>	<b>膜结构 .....</b>	<b>207</b>
9.1	概述 .....	208
9.2	充气膜结构 .....	211
9.3	支承膜结构 .....	221
<b>第10章</b>	<b>大跨度建筑结构的其它型式 .....</b>	<b>227</b>
10.1	张拉整体体系和索穹顶 .....	228

10.2	弦支空间骨架结构	233
10.3	斜拉结构	238
10.4	混合空间结构	246
10.5	多面体空间刚架结构	254
<b>第 11 章</b>	<b>多高层建筑的体型与结构布置</b>	<b>259</b>
11.1	建筑体型	260
11.2	结构布置	264
11.3	结构构造	269
<b>第 12 章</b>	<b>多层建筑结构</b>	<b>275</b>
12.1	多层砌体与混合结构	276
12.2	多层框架结构	279
12.3	井格梁楼盖结构	285
12.4	密肋楼盖结构	288
12.5	无梁楼盖结构	291
12.6	多层建筑的其他结构形式	294
<b>第 13 章</b>	<b>高层建筑结构</b>	<b>301</b>
13.1	概述	302
13.2	高层建筑的基本结构体系	306
13.3	高层建筑结构的特殊布置	314
13.4	巨型高层建筑结构型式	324
<b>第 14 章</b>	<b>楼梯结构</b>	<b>333</b>
14.1	概述	334
14.2	梁式楼梯	335
14.3	板式楼梯	338
14.4	悬挑式楼梯	338
14.5	螺旋形楼梯	340
14.6	楼梯结构的其他案例	342
	<b>主要参考文献</b>	<b>344</b>



# 第1章

## 梁和悬挑结构

梁和悬挑结构是建筑中常见的结构形式。本章主要介绍梁和悬挑结构的基本概念、分类、受力特点、工程实例等。首先介绍梁的基本概念和分类，然后介绍梁的受力特点和工程实例。最后介绍悬挑结构的基本概念和工程实例。

梁和悬挑结构的分类

### 梁和悬挑结构的分类

梁和悬挑结构的分类

- 1.1 梁的型式
- 1.2 梁的受力与变形
- 1.3 梁式结构的工程实例
- 1.4 悬挑结构

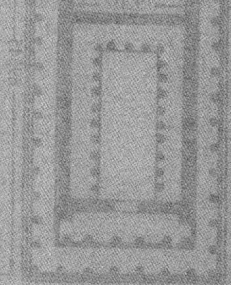


图 1-1-1 梁和悬挑结构的工程实例

梁和悬挑结构的工程实例



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。但梁传力明确，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。

## 1.1 梁的型式

梁的型式很多，可以按材料分类，按截面形式分类，也可以按约束条件分类。

### 1.1.1 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 Temple），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，有效使用空间极小。

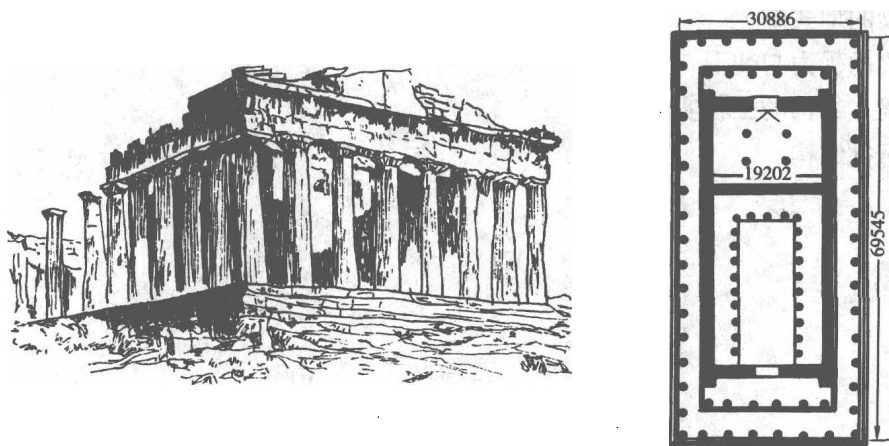


图1-1-1 古希腊帕提农神庙

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。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，且受自然资源和生长周期制约。近三四十年来，由于化学

工业和建材生产水平的提高,出现了胶合板、胶合梁等复合木结构材料。经过化学处理的胶合木材料具有良好的防腐、防蛀、阻燃性能,且具有比普通木材更高的强度,可充分利用木材资源,扩大了木结构在房屋建筑中的应用范围。

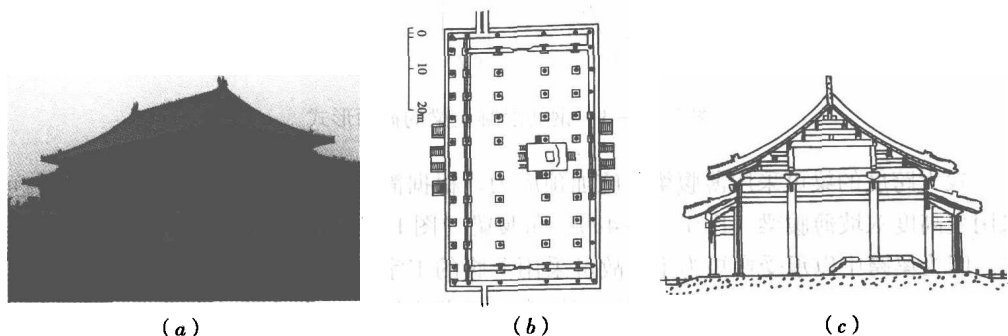


图 1-1-2 北京故宫太和殿  
(a) 太和殿照片; (b) 平面图; (c) 剖面图

钢梁强度高、施工方便、适用范围广。尽管钢材表观密度较大,但由于材料强度高,所需截面尺寸较小,故构件自重比相同跨度的混凝土构件要轻得多。但钢材防腐、防火性能较差,造价和维修费用较高,所以在房屋建筑中很少直接采用实腹钢梁,而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、箍筋承受剪力,由纵向钢筋、箍筋和混凝土共同工作,整体受力。钢筋混凝土梁具有耐久性好、耐火性好、节约钢材、造价低廉等优点,其缺点是自重大,当跨度较大时,常受到挠度和裂缝宽度等控制条件的限制,因此,其跨度一般不超过 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或钢绞线,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—钢筋混凝土组合梁常用在钢结构多高层建筑,下部为钢梁或钢桁架,上部为普通钢筋混凝土楼板,两者共同工作形成组合梁,可充分利用钢和混凝土的强度,具有较好的技术经济指标。

### 1.1.2 梁按截面形式分类

石梁的截面形式一般为矩形。木梁的截面形式常为圆形或矩形。钢梁的截面形式一般为工字形、槽形,当跨度较大时也有箱形截面。钢筋混凝土梁常见的截面形式如图 1-1-3 所示。一般来说,梁截面高度应大于梁截面宽度(图 1-1-3a),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(图 1-1-3b)。有时在梁上需要搁置预制楼板,但又要利用楼板厚度的空间以增加梁的高度,可采用图 1-1-3(c)的截面形式,称为花篮梁。当梁与楼板整浇在一起时,可考虑楼板的一部分作为翼缘参与工作,则成为 T 形截面梁(图 1-1-3d)。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,

这样便形成了工字形截面梁（图 1-1-3e）或箱形截面梁（图 1-1-3f）。

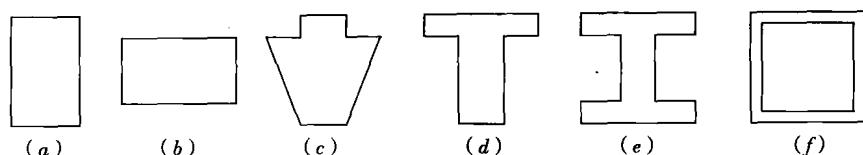


图 1-1-3 钢筋混凝土梁的截面形式

较大跨度的梁可采用薄腹梁并施加预应力。根据简支梁的弯矩和剪力分布特点，可采用变高度双坡薄腹梁（图 1-1-4a）、鱼腹梁（图 1-1-4b）、空腹梁（图 1-1-4c）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。

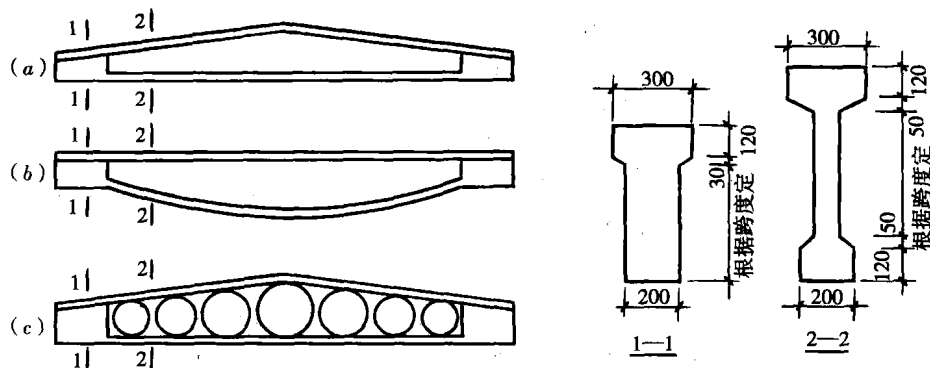


图 1-1-4 薄腹梁的主要形式

### 1.1.3 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、多跨静定梁或多跨超静定梁。单跨静定梁如简支梁和悬臂梁。单跨超静定梁常见的有两端固定梁、一端固定一端简支梁。三跨静定梁如图 1-1-5 所示，它实际上是带外伸段的单跨静定梁的组合。多跨超静定梁的常见形式是多跨连续梁。

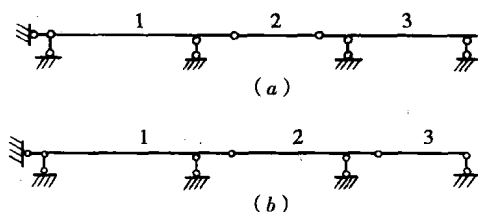


图 1-1-5 三跨静定梁

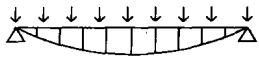
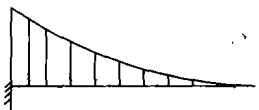

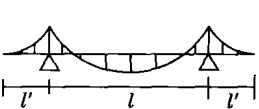
## 1.2 梁的受力与变形

梁主要承受垂直于梁轴线方向的荷载作用，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。单跨梁在竖向均布荷载作用下的计算简图、最大弯矩、最大变形如表 1-2-1 所示。其中  $q$  为均布荷载,  $l$  为跨度,  $E$  为材料的弹性模量,  $I$  为截面惯性矩。

单跨梁在竖向荷载作用下的内力及挠度

表 1-2-1

	弯矩图	最大弯矩	最大挠度
简支梁		$M_{\max} = \frac{1}{8}ql^2$	$w_{\max} = \frac{5ql^4}{384EI}$
悬臂梁		$-M_{\max} = \frac{1}{2}ql^2$	$w_{\max} = \frac{ql^4}{8EI}$
固端梁		$M_{\max} = \frac{1}{24}ql^2$ $-M_{\max} = \frac{1}{12}ql^2$	$w_{\max} = \frac{ql^4}{384EI}$
外伸梁		$M_{\max} = \frac{1}{8}ql^2 - \frac{1}{2}ql'^2$ $-M_{\max} = \frac{1}{2}ql'^2$	$w_{\text{跨中}} = \frac{ql^4}{384EI} \left[ 5 - 24 \left( \frac{l'}{l} \right)^2 \right]$

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, 故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。

悬臂梁的优点是在悬臂端无支承构件, 视野开阔, 故常用于阳台、雨篷、剧院楼层的挑台等结构。设计时除按最大负弯矩进行承载力设计并验算变形外, 需考虑结构的整体抗倾覆稳定性。

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。梁柱刚度相差不多时, 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。

简支梁两端带外伸段时, 由于两端外伸段负弯矩的作用, 其最大正弯矩和挠度都将变小, 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  $l' = \frac{\sqrt{2}}{4}l$  时, 梁内的最大正弯矩和最大负弯矩相等。

图 1-2-1 为三跨连续梁在竖向均布荷载作用下的弯矩图与变形图。三跨连续梁内最大正弯矩为  $\frac{1}{11.2}ql^2$ , 最大负弯矩  $\frac{1}{10}ql^2$ , 比同跨度简支梁的最大弯矩要小 25% 左右, 边跨挠度为  $0.00675 \frac{ql^4}{EI}$ , 比同跨度简支梁的挠度小一半左右, 这显示了连续梁的优越性。

从图中三跨连续梁弯矩值还可以看出，连续梁的最大弯矩为内支座处的负弯矩，最大正弯矩小于支座负弯矩的 90%，而中跨跨中的最大正弯矩仅为内支座负弯矩的 25%。若该梁为三跨等截面等强度梁，则需按内支座截面的内力进行梁的截面承载力设计。为充分利用材料强度，可采用变高度梁（图 1-2-2a），也可改变梁的跨度（图 1-2-2b），使梁的弯矩最大值趋于均匀。对于钢筋混凝土结构，还可通过配筋量来调节。

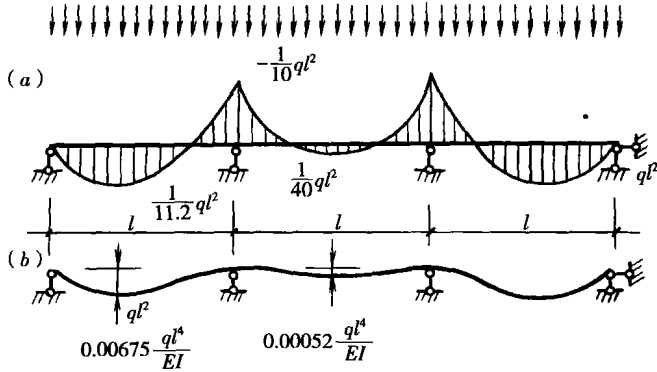


图 1-2-1 三跨连续梁的弯矩图与变形图  
(a) 弯矩图；(b) 变形图

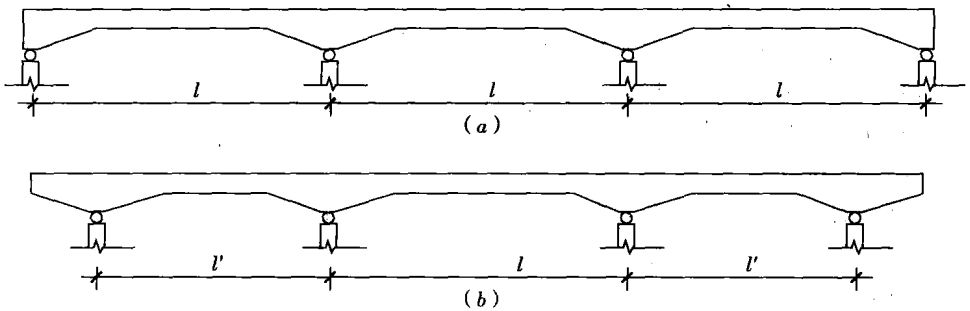


图 1-2-2 多跨连续梁的形式

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 1-2-3 所示。

为避免这一缺点，根据多跨连续梁的弯矩图，可在连续梁的弯矩为零处断梁设铰，使之成为图 1-1-5 所示的多跨静定梁。它既具有多跨连续梁相同的受荷能力，又不会因支座不均匀沉降产生附加内力。但问题是，在可变荷载作用下，弯矩为零的点是不确定的，因此多跨静定梁的受力显然不如多跨连续梁好。

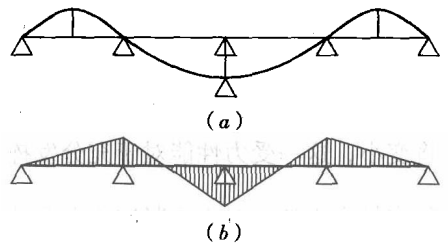


图 1-2-3 不均匀沉降对多跨连续梁的影响  
(a) 中间支座沉降引起的变形；  
(b) 中间支座沉降引起的弯矩

### 1.3 梁式结构的工程实例

近年来, 钢结构工程在我国大跨度建筑中得到广泛应用, 其中也不乏大跨度钢梁结构。上海浦东国际机场第二航站楼屋盖便是其中一例。该航站楼主楼的屋盖平面投影尺寸为 $414\text{m} \times 217\text{m}$ , 横剖面如图1-3-1所示, 其下部混凝土结构纵向支承点的间距为 $18\text{m}$ , 横向支承点的间距为 $46.85$ 、 $89$ 、 $46\text{m}$ 。

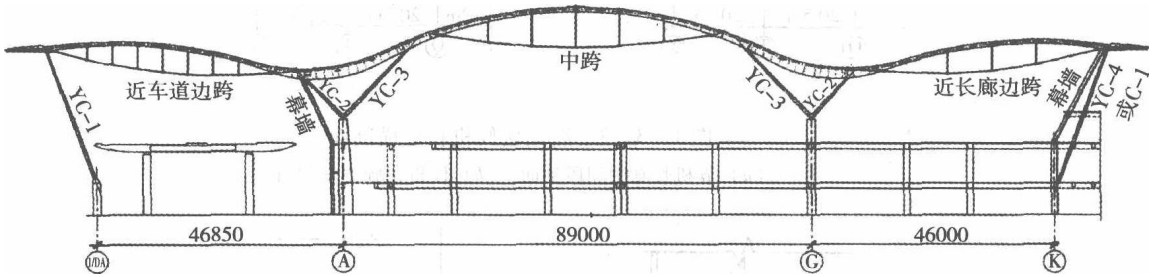


图1-3-1 航站楼主楼横剖面

整个屋盖上弦采用变截面箱形钢梁, 由于在中间两个支点处采用了树状柱, 整个屋盖 $217\text{m}$ 宽的方向分成了3个大跨、2个小跨、外带2个外伸段的五跨连续梁结构(图1-3-2a), 考虑钢柱的弹性变形, 连续梁的支座应为弹簧支座, 见图1-3-2(b)。在3个大跨跨中部分采用了梭形张弦梁结构(详见第2章第5节), 综合考虑结构受力及建筑造型要求, 箱形梁在位于树状柱上方的两个小跨截面高度最大, 在大跨往张弦梁跨中截面高度逐渐收小。同时在箱形梁宽度方向, 向大跨跨中逐渐分叉为两根较窄的箱形构件并围合出一个梭形空间, 布置屋面梭形天窗。从结构整体来看, 这一变截面曲梁的弯矩和剪力分布与图1-3-2(c)所示的直梁是一致的, 只是其梁截面的刚度沿梁长度方向是变化的。

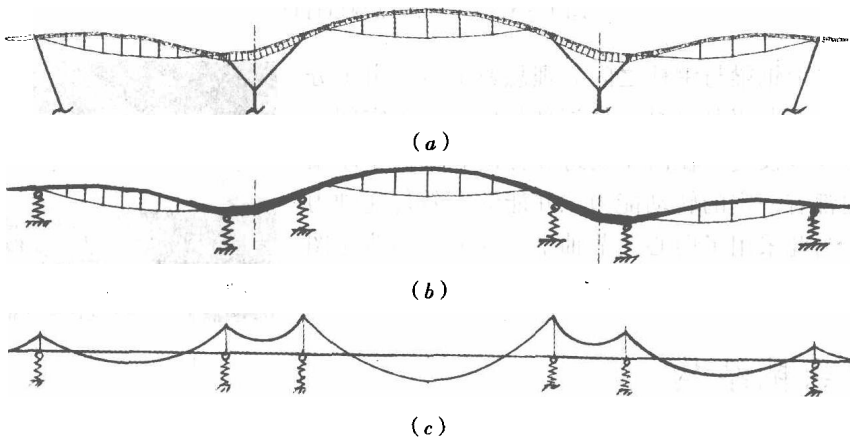


图1-3-2 航站楼主楼屋盖五跨连续梁结构

(a) 结构布置; (b) 结构计算简图; (c) 结构整体弯矩图

图 1-3-3 为浦东国际机场第二航站楼候机长廊剖面，其中图 1-3-3 (a) 为长廊中间段剖面，为两端带悬挑的三跨连续梁，图 1-3-3 (b) 为长廊端部剖面，为两端带悬挑的五跨连续梁。

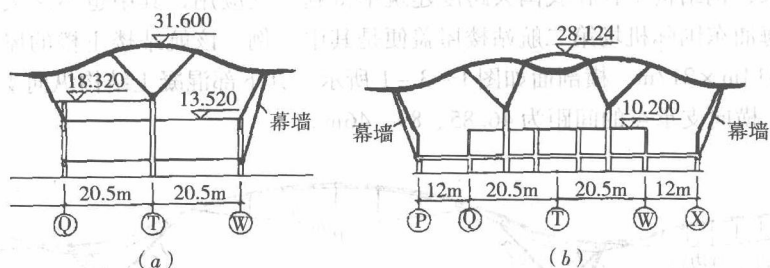


图 1-3-3 航站楼候机长廊横剖面  
(a) 候机长廊中间段剖面；(b) 候机长廊端部剖面

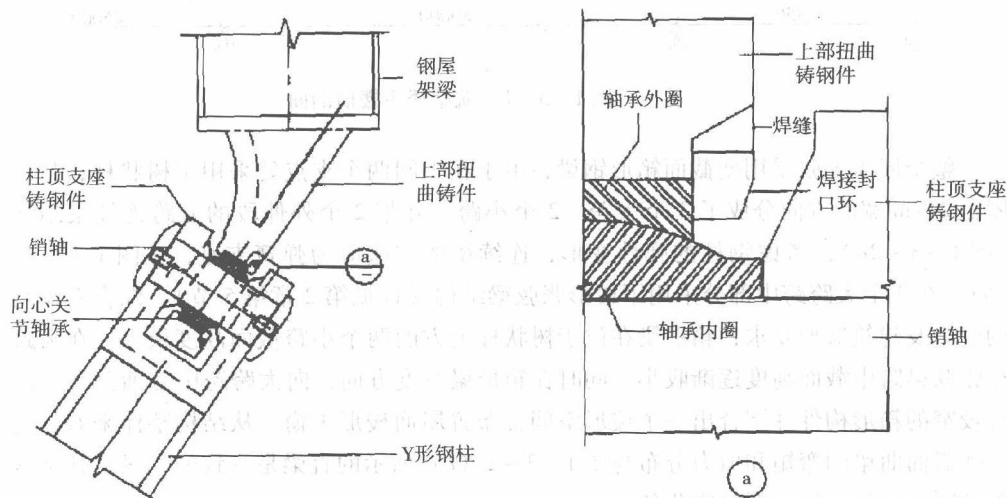


图 1-3-4 铰节点构造详图

屋面箱形钢梁与钢柱之间为理想铰节点，由于分别采用了 Y 形柱及树状柱，柱端部与屋面梁为空间斜交，故要求该铰支座在沿屋架跨度方向和垂直于屋架跨度方向都有一定的转动能力，并能够有效传递轴力和剪力，为此采用了向心关节轴承，其节点构造见图 1-3-4，柱端与屋面梁连接照片见图 1-3-5。



图 1-3-5 节点照片

## 1.4 悬挑结构

### 1.4.1 悬挑结构的形式

悬挑结构无端部支承构件，视野开阔，空间布置灵活，因而常常受到欢迎。图 1-4-1 为悬挑结构在体育场看台雨篷中的应用。悬挑结构可采用混凝土结构，也



可采用钢结构。早期的悬挑结构较多采用混凝土结构，若采用钢筋混凝土屋面板，则悬挑跨度一般仅数米至十余米，若采用压型钢板等轻型屋盖，则悬挑跨度可达二三十米。近年较多采用钢桁架结构，并采用薄膜结构覆盖，悬挑跨度可达数十米。如上海八万人体育场，最大悬挑跨度达 73.5m，详见第9章膜结构。

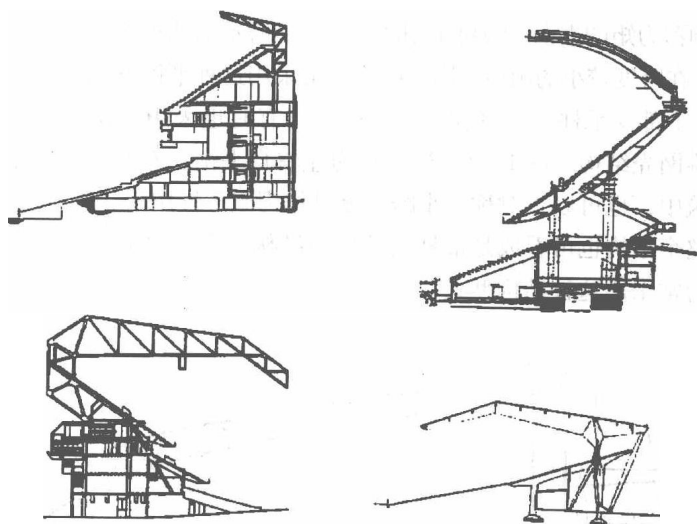


图 1-4-1 悬挑结构在体育场雨篷中的应用

悬挑结构也可用于大跨度体育馆等建筑，以减小屋盖结构的跨度。图 1-4-2 为首都体育馆速滑馆屋盖结构剖面图。屋盖主体结构四周由 60 榀预应力钢筋混凝土悬挑刚架支承。与梭形空间桁架屋盖结构协同工作的悬挑刚架的斜梁外挑 8m，使梭形桁架的跨度由 88m 减至 72m，在同样的荷载作用下，梭形桁架的杆件内力减小了 1/3。同时，由于在斜梁的下方设置了一道斜向支撑，使梁柱转角处的弯矩大为减少，因而截面变小，结构的造型也就显得轻巧美观。

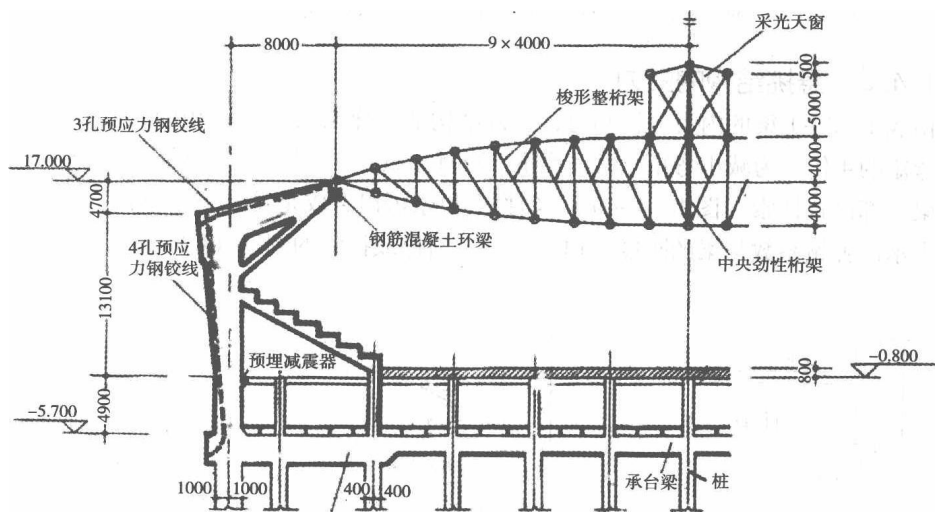


图 1-4-2 首都体育馆速滑馆屋盖结构剖面图