

钢筋混凝土结构

下 册

天 津 大 学
同 济 大 学
南 京 工 学 院



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

钢 筋 混 凝 土 结 构

下 册

天 津 大 学
同 济 大 学
南 京 工 学 院

中国建筑工业出版社

本书为下册，主要讲述钢筋混凝土结构物，包括梁板结构、单层厂房、多层和高层房屋的设计原理、计算方法和构造特点，以及抗震设计要点等。

本书是高等学校工业与民用建筑专业或建筑结构工程专业钢筋混凝土结构课程的试用教材，也可供有关的设计、施工和科研工作者参考。

高等学校试用教材
钢筋混凝土结构

下 册

天 津 大 学

同 济 大 学

南 京 工 学 院

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：19 字数：458 千字

1980年12月第一版 1981年12月第二次印刷

印数：52,551—106,100册 定价：1.95元

统一书号：15040·3991

目 录

第十章 梁板结构	1
10-1 单向板肋梁楼盖	1
10-1-1 结构布置	2
10-1-2 单向板肋梁楼盖按弹性理论的计算	3
10-1-3 塑性内力重分布的基本原理	7
10-1-4 弯矩调幅法及连续板、梁的内力计算	12
10-1-5 单向板肋梁楼盖的截面计算和构造要求	19
10-1-6 单向板肋梁楼盖设计例题	23
10-1-7 装配式钢筋混凝土楼盖	35
10-2 双向板肋梁楼盖	38
10-2-1 双向板的试验研究	38
10-2-2 双向板按弹性理论的计算	39
10-2-3 双向板按塑性理论的计算	41
10-2-4 双向板的截面设计与构造要求	49
10-3 无梁楼盖	52
10-3-1 无梁楼盖的类型与试验研究	52
10-3-2 柱帽设计	53
10-3-3 无梁楼盖按弹性理论的计算	55
10-3-4 无梁楼盖按塑性理论的计算	56
10-3-5 无梁楼盖的构造	58
10-4 梁板结构体系的应用示例	59
10-4-1 楼梯	60
10-4-2 雨篷	65
第十一章 单层厂房	69
11-1 概述	69
11-2 单层厂房结构组成和布置	70
11-2-1 结构组成	70
11-2-2 柱网布置、变形缝	72
11-2-3 支撑的作用和布置原则	73
11-2-4 抗风柱、圈梁、连系梁、过梁和基础梁的作用和布置原则	75
11-3 排架计算	77
11-3-1 计算简图	77
11-3-2 排架荷载计算	78
11-3-3 用剪力分配法计算等高排架	82
11-3-4 内力组合	84
11-3-5 单层厂房排架考虑整体空间作用的计算	89
11-3-6 排架计算中的几个问题	93

11-4 单层厂房柱	96
11-4-1 柱的形式	96
11-4-2 矩形、工字形柱的设计	97
11-4-3 牛腿	99
11-4-4 双肢柱的设计	103
11-5 柱下单独基础	107
11-5-1 概述	107
11-5-2 平板式单独基础的设计	107
11-5-3 带短柱的平板式基础的设计要点	115
11-6 单层厂房屋盖结构	116
11-6-1 概述	116
11-6-2 屋面构件	116
11-6-3 屋面梁和屋架	119
11-6-4 板梁(架)合一的屋盖结构	126
11-6-5 天窗架	129
11-6-6 托架	129
11-7 吊车梁	131
11-7-1 吊车梁的受力特点	131
11-7-2 钢筋和混凝土的疲劳性能	132
11-7-3 吊车梁的形式和构造要点	136
11-7-4 等截面吊车梁的计算要点	138
第十二章 多层和高层房屋	147
12-1 竖向承重结构的形式和布置	147
12-1-1 竖向承重单体的形式	147
12-1-2 竖向承重结构体系——竖向承重单体的布置	150
12-1-3 沉降缝与伸缩缝	156
12-1-4 多层和高层房屋水平位移的限制	158
12-2 荷载	158
12-2-1 楼面活荷载	159
12-2-2 风荷载	159
12-2-3 温度荷载	160
12-2-4 荷载组合	161
12-3 多层多跨框架的内力及侧移计算	161
12-3-1 竖向荷载作用下的内力近似计算——分层法	161
12-3-2 水平荷载作用下的内力近似计算(一)——反弯点法	162
12-3-3 水平荷载作用下的内力近似计算(二)——改进反弯点法	165
12-3-4 水平荷载作用下的侧移近似计算——修正反弯点法	171
12-3-5 框架构件的抗弯刚度 EJ	176
12-4 框架的温度影响	176
12-5 框架杆件截面的计算	179
12-5-1 柱	179
12-5-2 迭合梁	179
12-6 框架节点设计	183

12-6-1	现浇框架的节点	183
12-6-2	装配整体式框架的柱节点	184
12-6-3	装配整体式框架的梁柱节点	185
12-6-4	装配整体式框架梁与楼板的连接	188
12-7	剪力墙体系房屋在水平荷载作用下内力与位移的计算	188
12-7-1	整截面剪力墙的内力及位移计算	189
12-7-2	整体小开口墙的内力及位移计算	191
12-7-3	双肢墙的内力及位移计算	193
12-7-4	壁式框架的内力及位移计算	199
12-7-5	各类剪力墙的受力特点及其分类界限	202
12-8	剪力墙的截面强度计算及构造要求	205
12-8-1	矩形截面偏心受压(拉)单肢剪力墙的正截面强度计算	205
12-8-2	矩形截面偏心受压(拉)单肢剪力墙的斜截面强度计算	207
12-8-3	连系梁的截面强度计算	209
12-8-4	剪力墙截面的构造要求	209
12-9	剪力墙体系房屋的构造要求	210
12-9-1	墙与墙的连接	210
12-9-2	墙与楼板间的连接	213
12-9-3	房屋整体性对楼面的要求	214
12-10	框架——剪力墙体系房屋在水平荷载作用下内力和位移的计算	215
12-10-1	在水平荷载作用下, 框架——剪力墙体系的简化计算法	215
12-10-2	综合框架抗侧刚度 C_k 与等效抗侧刚度 C_{k0}	220
12-11	基础	223
12-11-1	基础的类型及其选择	223
12-11-2	条形基础的内力计算	228
12-11-3	十字形基础的内力计算	237
12-11-4	片筏基础的内力计算	239
12-11-5	箱形基础的计算	241
12-11-6	基础的配筋构造	246
第十三章	房屋结构抗震设计要点	252
13-1	概述	252
13-2	地震荷载	253
13-2-1	结构计算简图的确定	253
13-2-2	地震荷载的计算公式	254
13-2-3	荷载组合和强度验算	258
13-3	单层厂房抗震构造措施	258
13-3-1	结构选型	258
13-3-2	防震缝的设置	261
13-3-3	支撑系统布置	261
13-3-4	节点连接要求	262
13-3-5	构件构造	262
13-3-6	围护结构	263
13-4	多层框架抗震构造措施	263

13-4-1	结构体系选择	263
13-4-2	抗震墙的要求	264
13-4-3	对装配式框架的要求	265
13-4-4	框架变形控制	265
13-4-5	防震缝的设置	265
13-4-6	梁柱及节点构造	266
13-4-7	填充墙	268
附表		269

第十章 梁 板 结 构

钢筋混凝土梁板结构主要有现浇和预制两大类。预制钢筋混凝土构件具有节约劳动力及材料，加快施工进度，便于工业化生产和机械化施工等优点，在我国早已得到广泛的应用。

现浇钢筋混凝土梁板结构，其整体刚性好，适应各种有特殊布局的楼面，如多层工业建筑的楼盖，当承受有某些特殊设备荷载，或者具有较复杂孔洞时可采用之。此外，在有振动荷载的建筑中也常采用现浇钢筋混凝土楼盖。一般中、小型民用建筑中，现浇梁板通常只在公共建筑的门厅部分，或建筑平面布置不规则的局部楼面，以及卫生间等处采用。但随着高层建筑的日益增多，以及施工技术的不断革新和多次重复使用的工具式钢模板的发展，现浇结构的应用将会逐渐增多。

现浇钢筋混凝土楼盖，按楼板支承受力条件的不同，又可分为单向板肋梁楼盖、双向板肋梁楼盖和无梁楼盖。

在某些场合下，为了提高装配式楼盖的空间刚度和整体性，往往采用装配整体式楼盖。装配整体式楼盖为将各预制构件（包括梁和板）在吊装就位后，使之构成整体。目前常用的整结方法有：板面作配筋现浇层；迭合梁以及各种焊接连接等。

采用装配整体式结构，往往需要增加焊接工作量，并进行混凝土的二次浇灌。因而对于结构的装配程度及施工进度将会带来一定的不利影响。但它的整体性较装配式结构好。同现浇结构比较，则能减少支模，故对于某些多层工业厂房、高层民用房屋以及有抗震设防要求的某些建筑，可采用这种结构形式。

10-1 单向板肋梁楼盖

肋梁楼盖一般由板、次梁和主梁组成（图10-1）。板的四周可支承于次梁、主梁或砖墙上。当板的长边 l_2 与短边 l_1 之比较大时，板上荷载主要是沿 l_1 方向传递到支承构件上，而沿 l_2 方向传递的荷载很少，可以略去不计。这种认为其工作主要仅沿短向受弯的板称为单

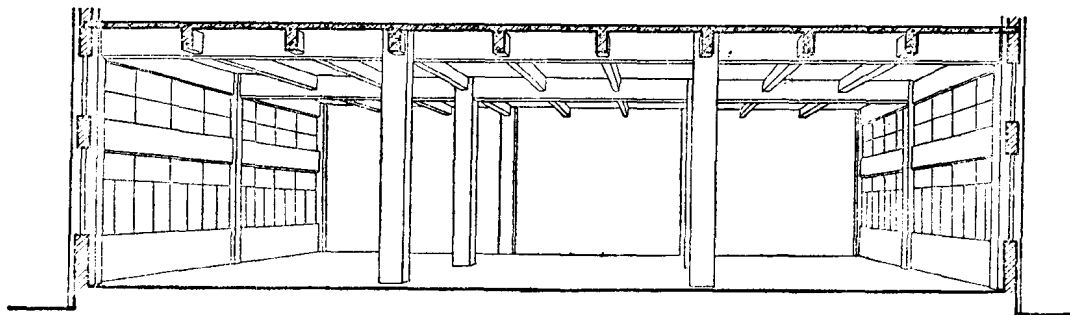


图 10-1 肋梁楼盖

向板（图10-2a）。当 l_2 与 l_1 之比较小时，板上的荷载将通过两个方向传递到相应的支承构件上，这种双向受弯的板称为双向板（图10-2b）。

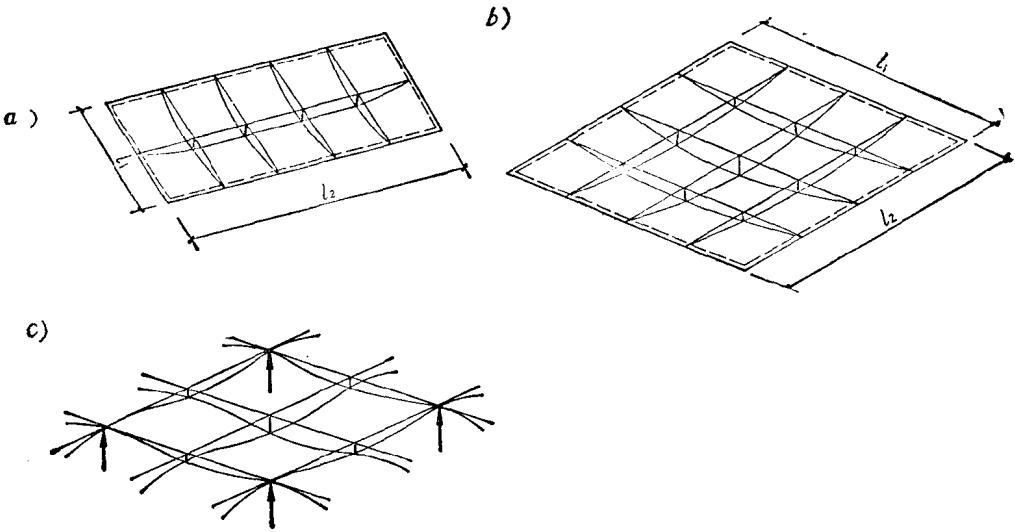


图 10-2

a) 四边简支单向板的变形；b) 四边简支双向板变形；c) 柱支承无梁楼盖的变形

按弹性理论计算时，当 $l_2/l_1 > 2$ ，沿 l_1 方向支承的影响已很小，因此可认为，凡 $l_2/l_1 > 2$ 的板属单向板， $l_2/l_1 \leq 2$ 的板，属双向板。但对于考虑塑性内力重分布计算的板，当 $3 > l_2/l_1 > 2$ 时，仍然显示出一定程度双向受力的影响，因此这时一般将双向板边长比的分界取为3。

当楼面不设次梁和主梁，板直接支承于柱上时，则构成无梁楼盖。

图10-2示出在三种不同支承条件下，板受荷后的变形情况。

10-1-1 结构布置

在肋梁楼盖中，应根据房屋的平面尺寸，柱网布置，隔墙和洞口位置以及荷载大小等因素进行梁格布置。以下简述梁格布置中一些值得注意的问题。

柱的间距或承重墙的布置，首先应满足使用要求。柱或墙的间距往往决定了主、次梁的跨度，故建筑设计时应照顾到梁格布置尺寸的合理、整齐。根据设计经验及经济效果，一般板的跨度以1.7~2.7m为宜，次梁为4.0~6.0m，主梁则为5.0~8.0m。

当次梁沿房屋纵向布置，而主梁沿横向布置时（图10-3a），一般在房屋横向，主梁和柱可构成较刚性的框架体系，其抵抗水平荷载的侧向刚度较大。各榀框架间由次梁将其牢固联系起来，故房屋整体刚度较好。此外，由于主梁与外墙面窗户垂直，因此窗扇的高度可较大，对于室内采光有利。

当横向柱距大于纵向柱距较多时，也可沿纵向布置主梁（图10-3b）。因为主梁承受荷载较大，减小其跨度将有利于房屋净高，且吊天棚上的采光也较为均匀。

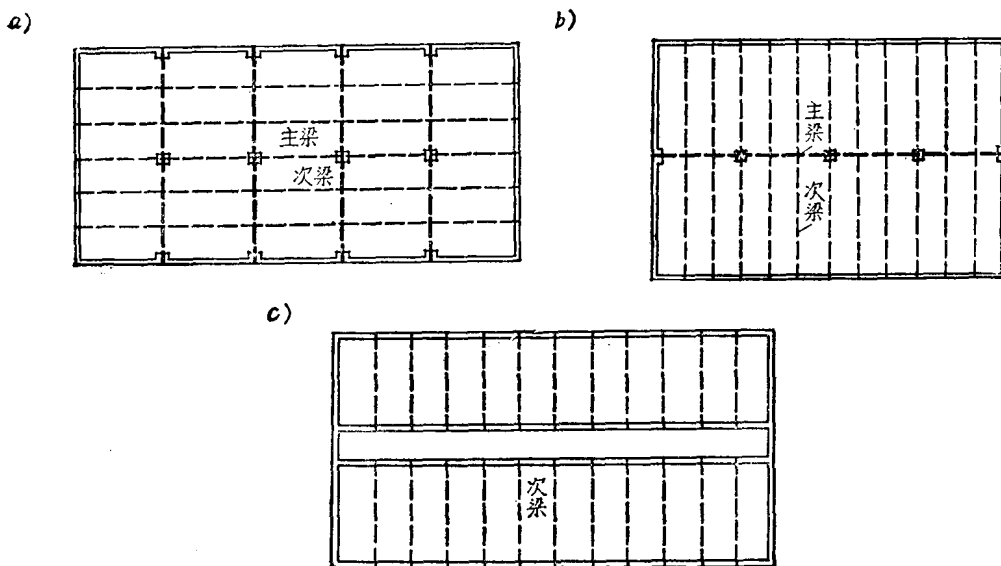


图 10-3

a) 主梁沿横向布置; b) 主梁沿纵向布置; c) 有中间走廊

在有中间走廊的房屋中, 常可利用中间纵墙承重, 这时可仅布置次梁而不设主梁 (图 10-3 c)。

此外, 门窗洞口的位置也影响着梁格布置, 一般主梁和次梁应避免搁置于门窗洞口上, 否则应增设过梁。特别是主梁, 在砖墙承重的房屋中, 应力求将其布置在窗间墙上。

对于公共建筑的门厅以及下层为商店、上层为住宅的民用房屋, 往往在楼面上设有隔断墙或承重墙。工业建筑中则经常遇到楼面上安放有机器设备或有悬吊设备, 这时楼盖上应在其相应位置布置承重梁。当工业建筑楼板上开有较大洞口, 必要时应沿洞口周围布置小梁。

从经济效果考虑, 因次梁的间距决定了板的跨度, 而楼盖中板的混凝土用量占整个楼盖混凝土用量的50~70%, 因之, 板厚宜取较小值, 在进行梁格布置时, 应考虑这一因素。此外, 当主梁跨中布置的次梁数目多于一根时, 其弯矩变化较为平缓, 梁的工作较有利。

梁格的布置除考虑上述因素外, 还应尽量做到有规律性, 避免凌乱。梁系以贯通为宜。其荷载传递应直接, 同时还应考虑施工时支模的方便。民用建筑中尚应适当照顾吊天棚处理方便等。

10-1-2 单向板肋梁楼盖按弹性理论的计算

按弹性理论的计算是指在进行梁(板)结构的内力分析时, 假定梁(板)为理想的弹性体系, 这时可按《结构力学》中阐述的一般方法进行计算。

1. 计算简图

肋梁楼盖中的板和次梁多分别支承于次梁和主梁上, 计算时一般将其支座视为铰支, 即不考虑支承节点的刚性和局部加厚, 由此所引起的误差, 将在计算荷载和弯矩值中加以调整。

主梁可支承于砖墩上或钢筋混凝土柱上。对于前者,支承应视为铰接的;对于后者,其计算简图应根据梁柱抗弯刚度比而定。如果与主梁整浇的钢筋混凝土柱的抗弯刚度比主梁的抗弯刚度小很多,则可将主梁视作铰支于钢筋混凝土柱上的连续梁进行计算。否则梁柱将形成框架结构,此时,主梁应按框架梁进行设计。

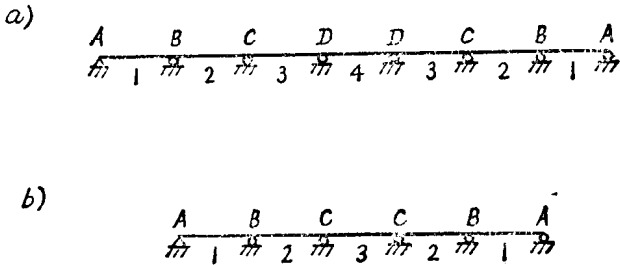


图 10-4
a) 实际简图; b) 计算简图

对于跨数超过五跨的等截面连续梁(板),其各跨受荷相同,且跨度相差不超过10%时,可按五跨等跨度连续梁进行计算,其计算简图见图10-4。

板、梁的计算跨度 l 是指在计算弯矩时所应采取的跨间长度,其值与反力分布有关,即与支承长度 a 和构件本身刚度有关。在设计中一般按下列规定采用:

两端搁置的单跨板 $l = l_0 + h$ (式中 l_0 为板的净跨; h 为板厚)

两端与梁整浇 $l = l_0$

单跨梁 $l = l_0 + a \leq 1.05l_0$

对多跨连续板和梁,其计算跨度均取支承中心线间距离,但当简支时,如果支承面过长,还要求 $l \leq 1.1l_0$ (板)、 $l \leq 1.05l_0$ (梁)。

2. 荷载

作用于楼盖上的荷载有恒载及活荷载。恒载包括结构自重、构造层重、永久性设备重等。活荷载为使用时的人群、堆料、设备等重量。

板、次梁及主梁所承受的荷载,应根据其实际情况确定。一般在确定板传递给次梁的荷载,次梁传递给主梁的荷载,以及主梁传递给柱(墙)的荷载时,均忽略结构的连续性而按简支进行计算。板及次梁一般承受均布荷载,而主梁则多承受次梁传来的集中荷载。

3. 荷载的最不利组合及内力包络图

由于活荷载的位置是可变的,因之在设计连续梁、板时,应研究活荷载如何布置将使构件各截面上的内力为最不利。今以一五跨连续梁为例来阐明这一问题。

图10-5示该梁分别于不同跨度承受荷载时的弯矩和剪力图。通过研究梁上弯矩和剪力图的变化规律及其不同组合后的效果,我们不难得出求梁上各截面活荷载最不利布置的下述原则:

(1) 求某跨跨中最大正弯矩时,应在该跨布置活荷载,然后向其左右,每隔一跨布置活荷载。

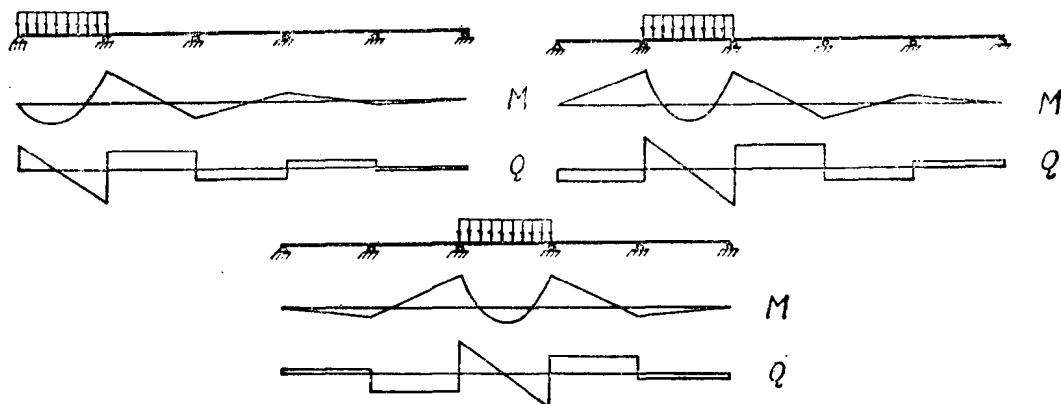


图 10-5 荷载不同布置时连续梁的M、Q图

(2) 求某跨跨中最大负弯矩时(即最小弯矩), 该跨应不布置活荷载, 而在两相邻跨布置活荷载, 然后每隔一跨布置。

(3) 求某支座最大负弯矩时, 应在该支座左右两跨布置活荷载, 然后每隔一跨布置。

(4) 求某支座截面最大剪力, 其活荷载布置与求该支座最大负弯矩时的布置相同。

例如, 对上述五跨连续梁, 当求1、3、5跨跨中最大正弯矩时, 应将活荷载布置在1、3、5跨。而求其跨中最小弯矩, 则应将活荷载布置在2、4跨。求B支座最大负弯矩, 应将活荷载布置在1、2、4跨等等。

梁上恒载则应按实际情况布置。

在了解荷载最不利布置后, 应进一步求出各截面所可能产生的最不利内力值(包括 $\pm M$ 及 Q), 以便进行连续梁的配筋计算。

将恒载在各截面产生的内力迭加上各相应截面最不利活荷载所产生的内力, 便得出各截面所可能出现的最不利内力。附表17列出了等跨连续梁在均布荷载和几种集中荷载作用下的内力系数, 计算时可直接查用。

图10-6a)示出一承受均布荷载的五跨连续梁的弯矩迭合图, 其外包线示出各截面可能出现的弯矩值的上、下限, 这些外包线围成的图形称弯矩包罗图(在图中用粗线示出)。利用类似的方法可绘出剪力包罗图(图10-6b)。

绘制每跨弯矩包罗图时, 可根据最不利荷载布置求出相应的两边支座弯矩, 以支座弯矩间连线为基线, 绘承受恒载或恒载加活载的简支弯矩图^①, 将这些弯矩图逐个迭加, 其外包线即为所求的弯矩包罗图。对等跨梁, 边跨有两根基线, 因发生跨中最大和最小弯矩的支座弯矩相同。而内跨则有三根基线, 亦因发生跨中最大和最小弯矩的支座弯矩相同。

4. 折算荷载和弯矩、剪力的计算值

如前所述, 在确定肋梁楼盖中支座整结的板、梁计算简图时, 系假定其支座为铰支承, 计算跨度取为支承中心线间的距离, 这样, 将使计算结果与实际情况存在一定差别。此影响可在下述折算荷载与弯矩、剪力的计算值中予以调整。

① 绘均布荷载下的简支弯矩图时, 可将每跨等分为十个截面, 以跨度中心截面弯矩为100%, 则其它各截面弯矩分别为96%、84%、64%及36%和0。

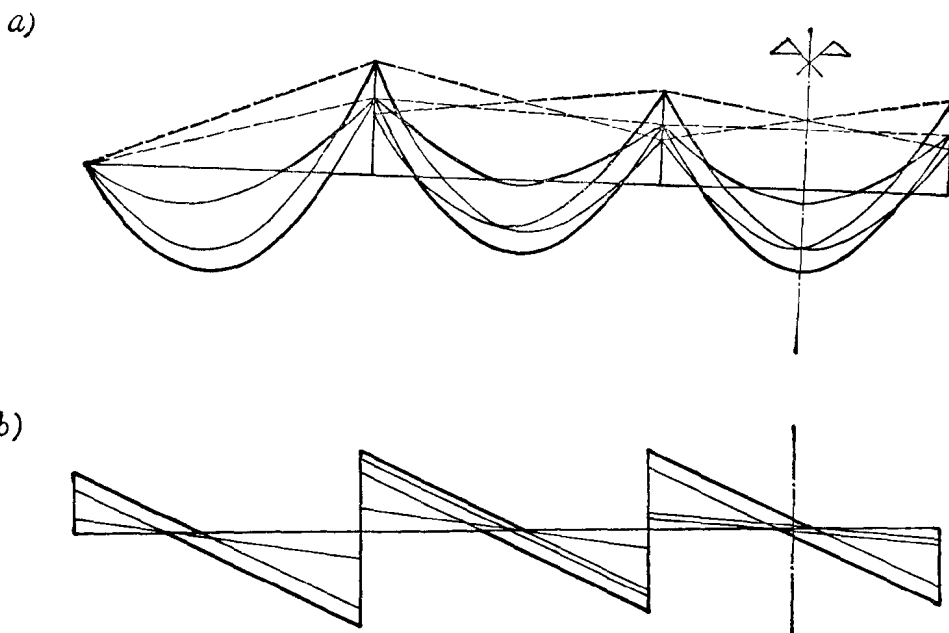


图 10-6

a) 承受均布荷载的五跨连续梁的弯矩选合图；b) 承受均布荷载的五跨连续梁的剪力选合图

(1) 折算荷载

将与板、梁整结的支承按铰支承计算，即未考虑次梁对板，以及主梁对次梁在支承处的弹性约束作用。实际上，当板受荷发生弯曲转动时，将带动作为其支座的次梁产生扭转，而次梁的扭转抵抗则将部分地阻止板的自由转动，见图10-7 a)、b)，亦即此时板支座截面转角 $\theta' < \theta$ ，其效果相当于降低了板的弯矩值。类似的情况也发生在次梁和主梁之间。

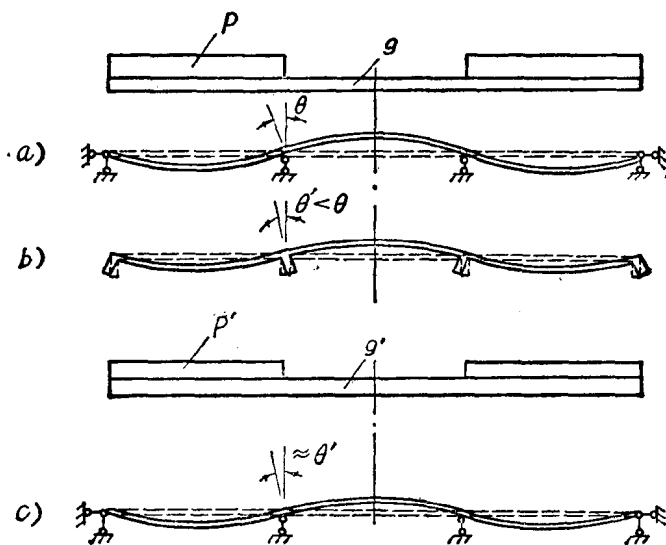


图 10-7

a) 理想铰支座时的变形；b) 支座弹性约束时的变形；c) 采用折算荷载时的变形

为了考虑这一有利影响，目前一般系采用增大恒载和相应地减小活荷载的办法来处理，即以折算荷载来代替计算荷载（图10-7c）。对于板和次梁，其折算荷载取值如下：

$$\text{板} \quad g' = g + \frac{1}{2}p; \quad p' = \frac{1}{2}p \quad (10-1)$$

$$\text{次梁} \quad g' = g + \frac{1}{4}p; \quad p' = \frac{3}{4}p \quad (10-2)$$

式中 g' ——折算恒载；
 p' ——折算活荷载；
 g ——实际计算恒载；
 p ——实际计算活荷载。

当板或梁搁置在砖墙或钢梁上时，则荷载不得作此调整。

(2) 弯矩及剪力的计算值

因为按弹性方法计算，其跨度取支承中心线间的距离，因而其支座最大负弯矩将发生在支座中心处，在与支座整结的梁、板中，该处截面较高，故实际计算弯矩应按支座边缘处取用（图10-8a），此弯矩的计算值可按式近似求得：

$$M_j = M - Q_0 \frac{b}{2} \quad (10-3)$$

式中 M ——支座中心处弯矩；
 Q_0 ——按简支梁计算的支座剪力；
 b ——支座宽度。

剪力计算值亦应按支座边缘处采用（图10-8b）。

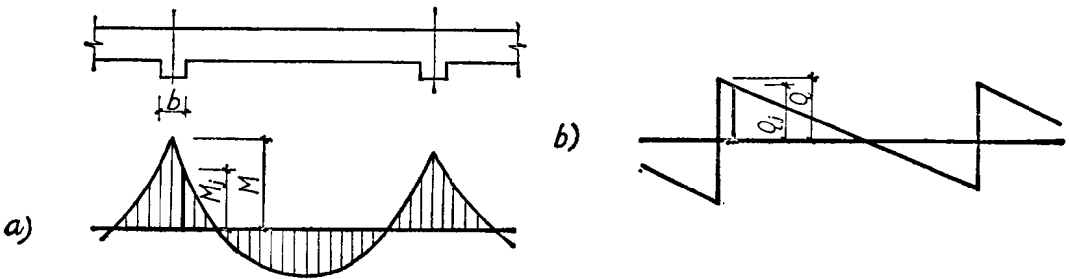


图 10-8

a) 弯矩计算值；b) 剪力计算值

$$\text{均布荷载时} \quad Q_j = Q - (g + p) \frac{b}{2} \quad (10-4)$$

$$\text{集中荷载时} \quad Q_j = Q \quad (10-5)$$

式中 Q ——支座中心处的剪力；
 g 、 p ——作用在梁上的均布恒载和活荷载。

10-1-3 塑性内力重分布的基本原理

如第三章所述，钢筋混凝土梁在荷载作用下载面的应力状态是经历了从开裂前工作阶段（第Ⅰ阶段）、带裂缝工作阶段（第Ⅱ阶段）直至最终的破坏阶段（第Ⅲ阶段）。在加荷初期，混凝土和钢筋基本上处于弹性阶段。在第Ⅱ工作阶段，随着压区混凝土应力的不

断增大，混凝土塑性变形逐渐发展。在第Ⅲ阶段，由于钢筋屈服，其应变剧增，混凝土压应力亦很快增长，塑性变形相应不断增大，如钢筋流幅足够大，则钢筋应力将维持在屈服点直至混凝土被压碎而使截面破坏。

钢筋混凝土截面在按强度计算时，已充分地反映了材料的这一塑性性能，但是，超静定钢筋混凝土结构的内力计算，在按前述的弹性分析方法中，却忽视了钢筋混凝土材料和构件工作中存在着的种种非弹性性质，假定结构的刚度不随荷载大小而改变。这样，按破坏阶段的构件截面计算和按弹性方法的结构内力计算是互不协调的。

钢筋混凝土结构在各个工作阶段，其内力和变形与按不变刚度的弹性体系分析的结果是不一致的，即在结构中产生了内力重分布现象。事实上，这种内力重分布在裂缝出现前即已产生，但不明显。在裂缝出现后重分布的程度不断加大，而在受拉钢筋屈服后更大大地加剧了这一现象。试验表明，由于内力重分布使超静定结构的实际承载能力往往比按弹性分析的大，因此，考虑塑性内力重分布计算超静定钢筋混凝土结构，不仅可消除其内力计算和截面计算间的矛盾，而且还可获得一定的技术经济效益。

此外，研究裂缝出现后的内力重分布，还有助于正确地估计结构在使用条件下的变形和裂缝开展值，以便更合理地评价结构的使用质量。

本节仅论述内力重分布与结构承载能力方面的问题。

1. 钢筋混凝土受弯构件的塑性铰

由于钢筋和混凝土材料所具有的塑性性能，在弯矩作用下载面将产生塑性转动。现以某高校试验的J₁梁来进一步研究受弯构件的这一特性。

试件为简支梁，于跨中施加集中荷载，梁配筋率为中等。图10-9示试验得出的弯矩与曲率（即 $M-\varphi$ ）关系曲线，从图中可见，在加荷初期弯矩与曲率间呈直线关系，随着裂缝出现，弯矩与曲率间的关系渐偏离初期直线，当达到钢筋屈服点以后，曲线斜率急剧减小，弯矩与曲率间明显地呈曲线形，以后随着截面内力臂的某些增长，弯矩虽有提高，但曲率却增长更快，曲线具有近水平的延长段，截面破坏时，曲线有所下降。从第三章图3-38可以看出，随着配筋率降低，破坏前 $M-\varphi$ 曲线中近水平的延长段更长，截面延性更好。对高配筋率的梁，破坏前弯矩与曲率明显地呈曲线形，曲线将由上升而直接转为降落，也就是说，从钢筋屈服到构件破坏这一过程非常短促。

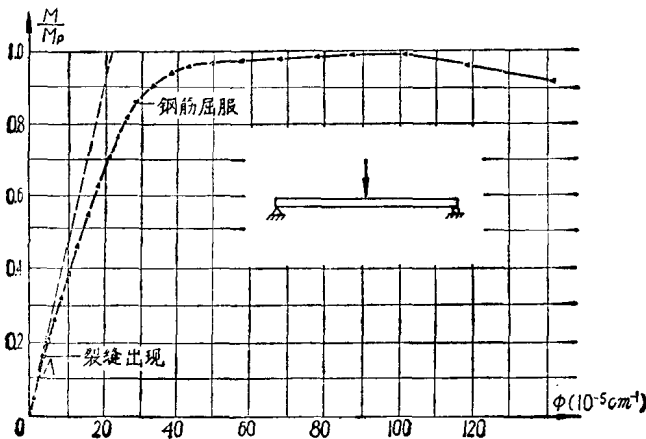


图 10-9 $M-\varphi$ 曲线

$M-\varphi$ 曲线上接近水平的延长段即意味着在 M 增加极少的情况下, 截面相对转角激增, 从而形成了一个能转动的“铰”。这是塑性变形集中发展的结果, 可以认为这是弯曲构件的受弯“屈服”现象。对于这种在结构中非弹性变形集中产生的区域, 在杆系结构中称塑性铰 (在板内则称为塑性铰线)。为铰 (或铰线) 所联结的相邻部分可向一个方向产生相互转动, 它们可使超静定结构的超静定次数减少, 终至使结构转变为机动体系。

对上述简支梁, 随着跨中塑性铰的出现, 与铰毗连截面间产生了较大的转动, 因而可以认为静定梁已转化成一个几何可变体系, 结构的承载能力即到达其极限值。

当截面配筋率不超过最大配筋率时, 钢筋混凝土受弯构件的塑性铰主要是由于受拉钢筋屈服后产生较大的塑性变形使截面发生塑性转动所形成, 此时中和轴略有上升使内力臂长有所增大, 因而导致抵抗弯矩的某些提高, 最后将由于混凝土应变达极限值, 混凝土被压碎而使构件破坏。对于超筋梁, 一般在破坏时钢筋尚未屈服, 此时塑性铰主要是由于混凝土的塑性变形引起截面转动而形成, 其转动量比前一种塑性铰小得多。下面我们主要研究前一种情况。

现仍以上述简支梁在跨中作用集中荷载为例来说明塑性铰的分布范围及其转角。试研究图10-10c的 $M-\varphi$ 曲线: 在 A 点钢筋屈服, 其弯矩为 M_q , 此时截面到达“弹性极限”, 塑性铰形成, 相应的曲率为 φ_q , 在 B 点附近弯矩达最大值 M_p , 相应的曲率为 φ_p , 此后弯矩不再增加, 至 C 点混凝土压坏。截面全部塑性转动的曲率可由 B 点和 A 点曲率之差 $\varphi_p - \varphi_q$ 确定, 它表示了截面的延性指标。从图 10-10b 可看出, 理论上可以认为梁的弯矩图上相应于 $M > M_q$ 的部分即成为塑性铰的范围。当梁中部最危险截面的弯矩达 M_p 时, 在距该截面 $l_s/2$ 处的弯矩为 M_q , l_s 称为塑性铰长度。

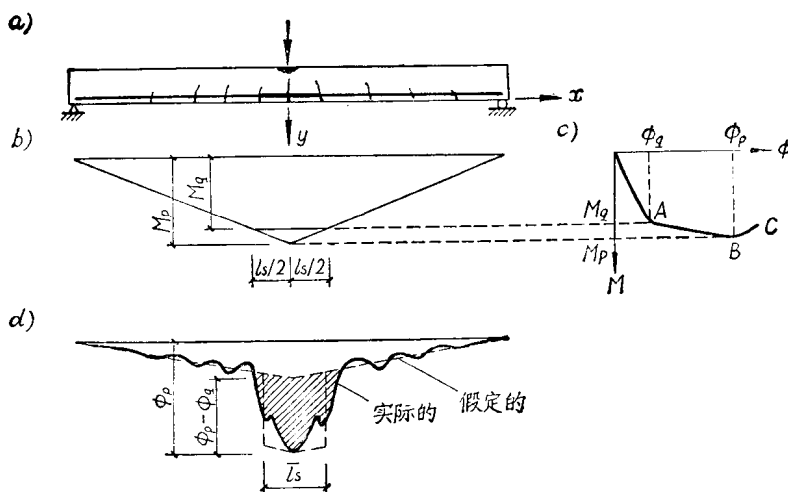


图 10-10

a) 构件; b) 弯矩; c) $M-\varphi$ 曲线; d) 曲率

图10-10d为梁的曲率分布图, 图中实线为曲率的实际分布。现将曲率分为曲率的弹性部分 φ_e 和曲率的塑性部分 φ_p (图中加阴影线部分), 因此塑性铰的转角 θ_s 理论上可以采取对曲率的塑性部分积分的方法计算。但是实际上, 要将曲率的塑性部分具体积分出来是有一定困难的。从图中可以看出, 曲率曲线是非光滑的, 在两裂缝间曲率下降, 而在裂缝截

面处则出现峰值，因此在计算塑性铰转角时往往将曲率的塑性部分假定在某一等效区段 $\bar{l}_s$ 内均匀分布，即将曲率的塑性部分用等效矩形来代替，此矩形的高为塑性曲率 $\varphi_s = \varphi_p - \varphi_q$ ，宽为 $\bar{l}_s$ ，矩形的面积与曲率的阴影线部分面积相同。图10-10d表示出梁中部的等效塑性区段长度 $\bar{l}_s = \beta l_s$ ，考虑在这个长度上的塑性曲率为常数，因而塑性铰的转角 θ_s 可写作

$$\theta_s = (\varphi_p - \varphi_q) \bar{l}_s \quad (10-6)$$

影响塑性铰等效长度 $\bar{l}_s$ 的因素较多，为了求算 θ_s 值，国内外研究者均提出过一些经验公式，这些公式不仅繁简不同，其差别有时亦较大，要寻求实用而足够准确的算式，还需要进一步研究。

以上所谈是钢筋混凝土塑性铰的基本特性，研究钢筋混凝土塑性铰的形成、转动及其分布长度，我们不难得出：钢筋混凝土塑性铰和普通铰是不相同的，首先塑性铰不是集中于一点，而是形成在一小段局部变形很大的区域；在塑性铰处弯矩不等于零而等于该截面所能承受的极限弯矩，此外，它是单向铰，仅能沿弯矩作用方向产生一定限度的转动。

2. 钢筋混凝土超静定结构的内力重分布

在钢筋混凝土超静定结构中，基于构件出现裂缝后引起的刚度变化以及塑性铰的出现，在构件诸截面间将产生内力重分布。

今以一双跨连续梁为例来说明这一问题。图10-11a示一双跨连续梁，每跨距离中间支座 $1/3$ 跨度处作用有集中荷载 P ，现研究中间支座截面上及荷载截面处，弯矩随荷载变化的情况。

(1) 弹性阶段：在加荷初期，混凝土出现裂缝以前，整个梁接近于弹性体系一样工作，其弯矩如图10-11b所示。

(2) 弹塑性阶段：加荷至中间支座拉区混凝土出现裂缝，但跨中尚未出现裂缝，此时梁中内力重分布已渐明显。由于中间支座混凝土开裂引起该处刚度减小，使中间支座处弯矩增长率降低，而跨中弯矩增长率则加大。继续加荷至跨中出现裂缝，但中间支座的受

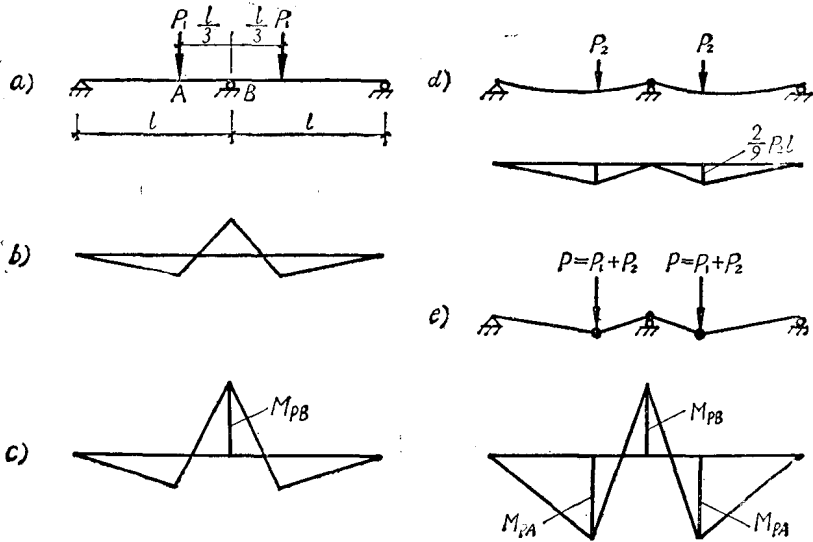


图 10-11 双跨连续梁弯矩随荷载的变化过程