

697

437
243

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审定

混凝土结构

(下 册)

主 编 彭少民

武汉工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构(下册)/彭少民主编. —武汉:武汉工业大学出版社,2002. 2
ISBN 7-5629-1790-6

I. 混…

II. 彭…

III. 土木工程-混凝土-结构设计-高等学校-教材

IV. TU37

出版者:武汉工业大学出版社(武汉市:武昌珞狮路 122 号 邮编:430070)

印刷者:武汉工业大学出版社印刷厂

发行者:各地新华书店

开 本:880×1230 1/16

印 张:19.75

插 页:1

字 数:663 千字

版 次:2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5629-1790-6/TU·182

印 数:1~5000 册

定 价:30.00 元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

普通高等学校土木工程专业新编系列教材

编 审 委 员 会

顾 问:成文山 滕智明 罗福午 魏明钟 李少甫

甘绍熺 施楚贤 白绍良 彭少民 范令惠

主 任:江见鲸 吕西林 高鸣涵

副主任:朱宏亮 辛克贵 袁海庆 吴培明 李世蓉

苏三庆 刘立新 赵明华 孙成林

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

于书翰 丰定国 毛鹤琴 甘绍熺 白绍良

白晓红 包世华 田道全 成文山 江见鲸

吕西林 刘立新 刘长滨 刘永坚 刘伟庆

朱宏亮 朱彦鹏 孙家齐 孙成林 过静君

李少甫 李世蓉 李必瑜 吴培明 吴炎海

辛克贵 苏三庆 何铭新 汤康民 陈志源

罗福午 周 云 赵明华 赵均海 尚守平

施楚贤 柳炳康 姚甫昌 胡敏良 俞 晓

桂国庆 顾敏煜 徐茂波 袁海庆 高鸣涵

蒋沧如 谢用九 彭少民 覃仁辉 蔡德明

燕柳斌 魏明钟

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德明

前 言

我国高等学校土木工程教育正逐步向宽口径土木工程专业发展,要求毕业生能从事土木工程的设计、施工与管理的工作,业务范围涉及房屋建筑、隧道与地下建筑、公路与城市道路、铁道工程、桥梁、矿山建筑等。为此,在向宽口径专业过渡阶段,我国高等学校土木工程专业教学指导委员会提出,拟将扩宽范围在保证专业基础课程的前提下,分成若干课群组,如建筑工程类;道路桥梁类;地下、岩土、矿井建设类等。

本书系建筑工程类的一门专业课程教材,是在学生已修“混凝土结构基本原理”的基础上,从专业培养目标出发,提供学生以职业工程师的基本训练。通过本课程的学习,学生应对混凝土建筑结构工程领域中结构设计有比较完整的训练。

本书根据教学大纲的要求,编写内容包括:混凝土梁板结构设计,阐述楼盖和屋盖的结构设计理论与方法;混凝土单层工业厂房设计,尽管工业厂房近年来逐渐增多采用钢结构,但混凝土结构单层工业厂房由于标准化、工业化程度高,仍为主要结构型式之一;钢筋混凝土框架结构,这部分内容对于学生掌握多、高层混凝土结构设计理论与方法,无论结构分析或截面设计,都是作为工程师训练的重要内容。最后,我们广泛吸收了有关专家的建议,增加了“组合结构”一章,若在执行土木工程专业教学计划中已安排选修“组合结构设计”课程,则可不必要再安排这一章的教学内容。

本书各章均编写了本章提要、本章小结、思考题与习题。

本书由彭少民教授担任主编。具体编写分工为:第1章由龙炳煌、杨万庆编写;第2章由徐礼华编写;第3章由柳炳康编写;第4章由王小平、彭少民编写。全书由彭少民、龙炳煌负责审阅、统稿,并对部分章节作了适当修改。

鉴于目前处于土木工程专业向宽口径拓展过渡阶段,我们对土木工程专业的课程设置、教材内容安排尚需逐步加深理解,在本书的编写过程中一定存在很多不足之处,诚恳希望读者不吝指正。

编 者

2001年10月

出版说明

1998年7月,教育部颁布了新的普通高等学校本科专业目录,1999年全国高等学校都已按新的专业目录招生。新的土木工程专业专业面大大拓宽,相应的专业业务培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。原有的教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求,组织一套新的土木工程专业系列教材成为众多院校的翘首之盼。武汉工业大学出版社在中国土木工程学会教育工作委员会的指导和帮助下,经过大量的调研,组织国内29所大学的土木工程学科的教授共同编写了这套系列教材。

本套教材的主、参编人员及编委会顾问遵照1998年1月建设部全国土木建筑工程专业教学指导委员会昆明会议和1998年5月上海的全国土木工程专业系主任会议的精神,经过充分研讨,决定首批编写出版29种主干课程的教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,以后再根据专业方向的需要逐步增补。中国土木工程学会教育工作委员会组织专家审查了本套教材的编写大纲,决定将其作为“中国土木工程学会教育工作委员会审定教材”出版。作为一套全新的系列教材,本套教材的“新”体现在以下几点:

体系新——本套教材从“大土木”的专业要求出发,从整体上考虑专业的课程设置和各门课程的内容安排,按照教学改革方向要求的学时统一协调与整合,组成一套完整的、各门课程有机联系的系列。整套教材的编写除正文外,大多增加了本章提要、本章重点、例题详解、思考题、习题等,以使教材既适合教学需要,又便于学生自学。

内容新——本套教材中各门课程教材的主、参编人员特别注意了教材内容的更新和吸收各校教学改革的阶段性成果,以适应21世纪土木工程人才的培育要求。

规范新——本套教材中凡涉及土木工程规范的全部采用国家颁布的最新规范。

本套教材是新专业目录颁布实施后的第一套土木工程专业系列教材,是面向新世纪、适应新专业的一套全新的教材。能为新世纪土木工程专业的教材建设贡献微薄之力,自是我们应尽的责任和义务,我们感到十分欣慰。然而,正因其为第一套教材,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。嚶其鸣矣,求其友声,我们诚恳地希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提意见和建议,以便我们不断修改、完善全套教材,共同为教育事业的发展作出贡献。

武汉工业大学出版社

2000.2

目 录

1 梁板结构设计	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 现浇式楼盖	(2)
1.2.1 单向板肋梁楼盖	(2)
1.2.2 双向板肋梁楼盖	(23)
1.2.3 无梁楼盖	(36)
1.3 叠合式楼盖	(52)
1.3.1 叠合梁板的形式	(52)
1.3.2 叠合梁的计算方法	(53)
1.3.3 叠合板的设计	(56)
1.4 装配式楼盖	(57)
1.4.1 概述	(57)
1.4.2 预制梁板的形式	(57)
1.4.3 铺板式楼盖的结构布置和连接	(58)
1.4.4 铺板式楼盖的计算要点	(59)
1.5 无粘结预应力混凝土楼盖设计	(61)
1.5.1 概述	(61)
1.5.2 无粘结预应力楼盖设计方法	(63)
1.5.3 受冲切设计计算	(66)
1.5.4 设计步骤	(69)
1.5.5 无粘结预应力楼盖构造要求	(70)
1.5.6 无粘结预应力混凝土楼盖设计实例	(72)
本章小结	(79)
思考题与习题	(79)
2 单层厂房	(80)
2.1 概 述	(80)
2.1.1 单层厂房的特点	(80)
2.1.2 单层厂房的结构分类	(80)
2.2 单层厂房的结构组成与结构布置	(81)
2.2.1 结构组成	(81)
2.2.2 结构布置	(84)
2.3 单层厂房结构主要构件选型	(94)
2.3.1 国家建筑设计标准设计图集介绍	(95)
2.3.2 屋面主要构件选型	(95)
2.3.3 屋架(屋面梁)选型	(98)
2.3.4 吊车梁选型	(100)
2.3.5 常用柱型	(102)
2.4 排架内力分析	(104)
2.4.1 计算简图	(104)
2.4.2 荷载计算	(105)

2.4.3	排架内力分析	(111)
2.4.4	不等高排架内力分析	(114)
2.4.5	排架内力组合	(116)
2.4.6	排架内力分析考虑整体空间工作的概念	(118)
2.4.7	排架计算中的几个问题	(121)
2.4.8	排架的横向水平位移验算	(123)
2.4.9	单层钢筋混凝土柱厂房抗震计算	(123)
2.5	单层厂房结构主要构件设计	(132)
2.5.1	钢筋混凝土屋架设计要点	(132)
2.5.2	钢筋混凝土柱设计	(136)
2.5.3	钢筋混凝土柱下独立基础设计	(149)
2.5.4	吊车梁设计要点	(156)
2.6	单层厂房结构设计实例	(163)
2.6.1	单层厂房结构设计计算实例	(163)
2.6.2	单层厂房结构设计标准构件选型实例	(179)
	本章小结	(185)
	思考题与习题	(185)
3	钢筋混凝土框架结构	(188)
3.1	框架结构体系及布置	(188)
3.1.1	框架结构体系	(188)
3.1.2	变形缝	(189)
3.1.3	框架梁、柱截面尺寸	(190)
3.1.4	框架结构计算简图	(192)
3.2	竖向荷载作用下框架内力分析的近似方法	(193)
3.2.1	分层法	(193)
3.2.2	弯矩二次分配法	(196)
3.3	水平荷载作用下框架结构内力和侧移的近似计算	(199)
3.3.1	反弯点法	(199)
3.3.2	改进反弯点法(D 值法)	(201)
3.3.3	框架结构侧移的近似计算	(212)
3.4	荷载效应组合原则和构件设计	(214)
3.4.1	荷载效应组合	(214)
3.4.2	构件截面设计	(217)
3.4.3	框架结构的构造要求	(226)
3.5	框架结构抗震设计	(220)
3.5.1	抗震设计思想	(220)
3.5.2	地震作用计算	(221)
3.5.3	荷载效应组合	(223)
3.5.4	框架结构构件截面抗震设计	(224)
3.5.5	框架结构抗震构造措施	(230)
3.6	基础设计	(243)
3.6.1	基础设计一般原则	(235)
3.6.2	条形基础	(236)
3.6.3	十字交叉条形基础	(238)
3.6.4	筏板基础	(240)

本章小结.....	(241)
思考题与习题.....	(242)
4 组合结构	(243)
4.1 概述	(243)
4.1.1 压型钢板-混凝土组合板	(243)
4.1.2 钢-混凝土组合梁	(252)
4.1.3 钢管混凝土结构	(246)
4.1.4 型钢混凝土结构	(248)
4.2 压型钢板-混凝土楼板设计	(251)
4.2.1 概述	(251)
4.2.2 压型钢板设计	(251)
4.2.3 组合板设计	(255)
4.3 钢-混凝土组合梁设计	(260)
4.3.1 概述	(260)
4.3.2 组合梁的弹性理论分析方法	(262)
4.3.3 组合梁的塑性理论分析方法	(271)
4.3.4 组合梁抗剪连接件设计	(276)
4.4 钢管混凝土结构设计	(279)
4.4.1 概述	(279)
4.4.2 钢管混凝土材料工作性能及原理	(281)
4.4.3 钢管混凝土受压短柱承载力	(284)
4.4.4 钢管混凝土单肢受压柱承载力计算	(288)
4.4.5 钢管混凝土单肢柱计算实例	(395)
4.4.6 梁柱节点做法	(298)
本章小结.....	(300)
思考题与习题.....	(300)
附图.....	(301)
参考文献.....	(305)

1 梁板结构设计

本章提要

对于现浇整体式单向板肋形楼盖,要求熟练掌握其内力按弹性理论及考虑塑性内力重分布的计算方法;建立折算荷载、塑性铰、内力重分布、弯矩调幅等概念;深入了解连续梁、板截面设计特点及配筋构造要求。对于现浇整体式双向板肋形楼盖,要求了解其静力工作特点;掌握内力按弹性理论计算的近似方法;熟悉这种楼盖结构截面设计和构造要求。对于叠合式楼盖,要求了解其形式、掌握内力的计算方法及构造要求。对于装配式楼盖,要求了解预制梁板的形式、掌握其结构布置和连接及内力计算要点。对于无粘结预应力楼盖,要求掌握其设计方法及构造要求。

1.1 概 述

楼盖和屋盖是建筑结构的重要组成部分。楼盖也称楼层,通常由面层、结构层和顶棚组成。屋盖也称屋顶,有坡屋顶与平屋顶之分,坡度小于 $1:10$ 的称为平屋顶。平屋顶通常由防水层、结构层和保温层组成,其中保温层是指在结构层上做的隔热通风层或在结构层下做的吊顶通风隔热层。

在建筑结构中,混凝土楼盖的造价约占土建总造价的 $20\%\sim 30\%$;在钢筋混凝土高层建筑中,混凝土楼盖的自重约占总自重的 $50\%\sim 60\%$,因此降低楼盖的造价和自重对整个建筑物来讲是至关重要的。减小混凝土楼盖的结构设计高度,可降低建筑层高,对建筑工程具有很大的经济意义。混凝土楼盖设计对于建筑隔声、隔热和美观等建筑效果有直接影响,对保证建筑物的承载力、刚度、耐久性,以及提高抗风、抗震性能等也有重要的作用。对于结构设计人员来讲,混凝土楼盖设计是一项基本功。

建筑结构承重体系可分为水平的和竖向的两个结构体系,它们共同承受作用在建筑物上的竖向力和水平力,并把这些力可靠地传给竖向构件直至基础。构成楼、屋盖的梁板结构属于水平结构体系,承重砌体、柱、剪力墙、筒体等属于竖向结构体系。

楼盖的主要结构功能:

- (1) 把楼盖上的竖向力传给竖向结构;
- (2) 把水平力传给竖向结构或分配给竖向结构;
- (3) 作为竖向结构构件的水平联系和支撑。

对楼盖的结构设计要求:

- ① 在竖向荷载作用下,满足承载力和竖向刚度的要求;
- ② 在楼盖自身水平面内要有足够的水平刚度和整体性;
- ③ 与竖向构件有可靠的连接,以保证竖向力和水平力的传递。

楼盖的结构类型有三种分类方法:

按结构形式,可分为单向板肋梁楼盖、双向板肋梁楼盖、井式楼盖、密肋楼盖和无梁楼盖等,分别如图1.1(a、b、c、d和e)所示。其中,单向板肋梁楼盖和双向板肋梁楼盖应用最普遍。

按预加应力情况,可分为钢筋混凝土楼盖和预应力混凝土楼盖两种。在预应力混凝土楼盖中,采用无粘结预应力混凝土楼盖有如下特点:

- ① 有利于降低建筑物层高和减轻结构自重;
- ② 改善结构的使用功能,在自重和准永久荷载作用下楼板挠度很小,控制或减小裂缝的发生和发展;
- ③ 增大楼板跨度,可以增加使用面积,适应楼层用途的变化;

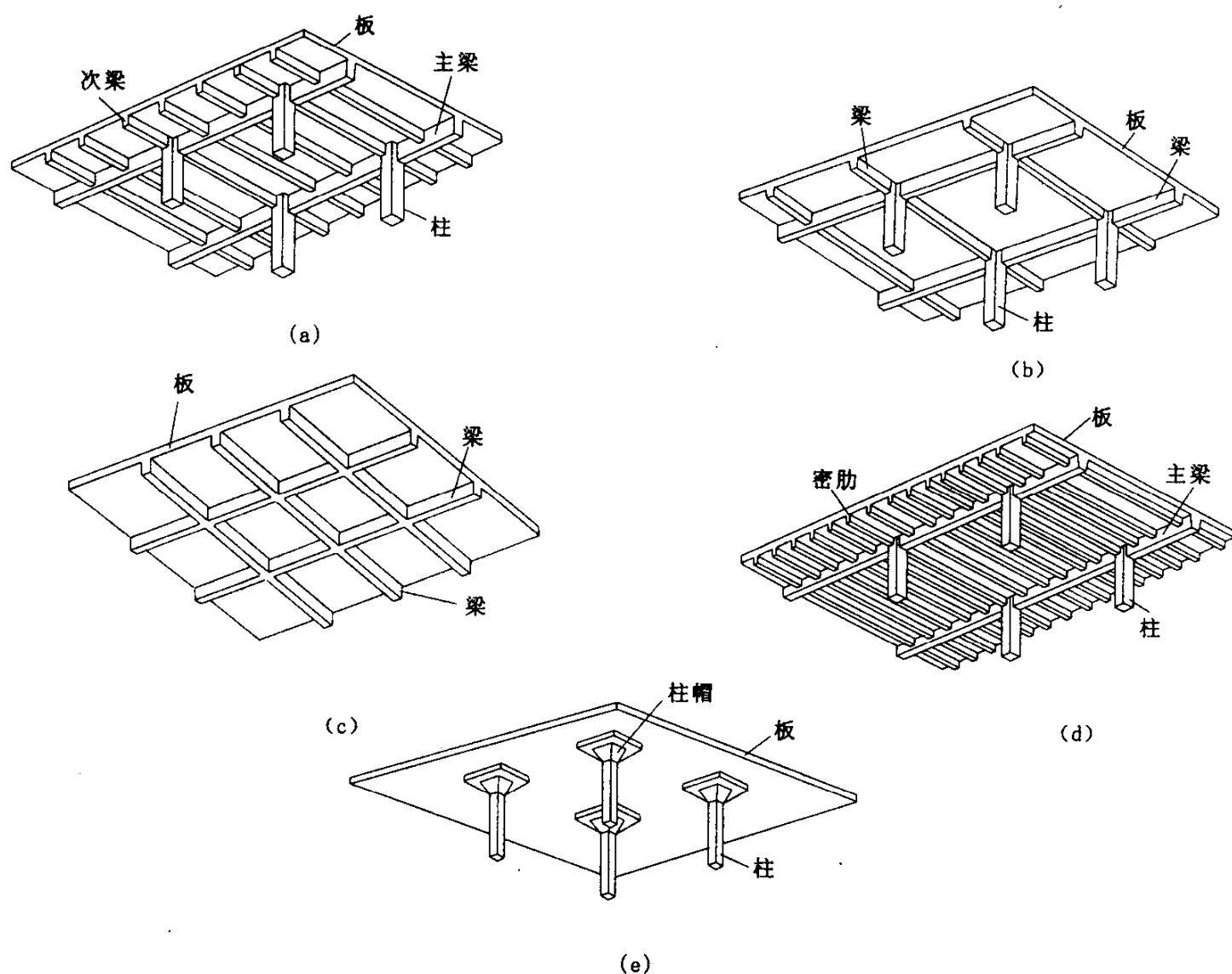


图 1.1 楼盖的结构形式

(a) 单向板肋梁楼盖; (b) 双向板肋梁楼盖; (c) 井式楼盖; (d) 密肋楼盖; (e) 无梁楼盖

④ 施加预应力后模板就可以拆除,施工方便,速度快;

⑤ 节约钢材和混凝土。

按施工方法,可分为现浇式、装配式和装配整体式。现浇楼盖的刚度大,整体性好,抗震抗冲击性能好,对不规则平面的适应性强,开洞方便。缺点是模板消耗量大,施工工期长。我国《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程》规定,在高层建筑中,楼板宜现浇;对抗震设防的建筑,当高度 $\geq 50\text{m}$ 时,楼盖应采用现浇;当高度 $\leq 50\text{m}$ 时,在顶层、刚性过渡层和平面复杂或开洞过多的楼层,也应采用现浇楼盖。

商品混凝土、泵送混凝土以及工具式模板的广泛采用,导致国内外的钢筋混凝土结构楼盖大多采用现浇。而我国的钢筋混凝土高层建筑中的楼盖,基本上是现浇的。

装配式楼盖主要用在多层房屋,特别是多层住宅中。装配整体式楼盖是提高装配式楼盖的刚度、整体性和抗震性能的一种改进措施,它集中了现浇式和装配式楼盖两者的优点,克服了不足之处。

1.2 现浇式楼盖

1.2.1 单向板肋梁楼盖

单向板肋梁楼盖的设计步骤为:

- ① 结构平面布置,确定板厚和主、次梁的截面尺寸;
- ② 确定板和主、次梁的计算简图;
- ③ 荷载及内力计算;
- ④ 截面承载力计算,配筋及构造,对跨度大或荷载大或情况特殊的梁、板还需进行变形和裂缝的验算;
- ⑤ 绘施工图。

1.2.1.1 单向板的概念

主要在一个方向受力的板,称为单向板。单向板的计算方法与梁相同,故又称梁式板,一般包括以下三种

形式:

(1) 悬臂板

如一边支承的板式雨篷和一边支承的板式阳台等。

(2) 对边支承板

如对边支承的装配式铺板和走廊中的现浇走道板等。

(3) 两相邻边支承板、三边支承板及四边支承板

按弹性理论,当四边支承板两个方向计算跨度之比 $l_{02}/l_{01} > 2$ 时,则按跨度为 l_{01} 的单向板设计(按塑性理论, $l_{02}/l_{01} > 3$ 的是单向板)。

如图 1.2 所示,在承受均布荷载的四边支承板跨中截出两个互相垂直的宽度均为 1m 的板带。假定不计邻接板带的影响,由跨中挠度 f_A 相等的条件,可求得荷载 q 在 l_1 、 l_2 方向的分配值 q_1 、 q_2 :

$$f_A = \alpha_1 \frac{q_1 l_{01}^4}{EI_1} = \alpha_2 \frac{q_2 l_{02}^4}{EI_2} \quad (1.1)$$

$$q = q_1 + q_2 \quad (1.2)$$

式中 α_1 、 α_2 ——挠度系数,根据板带两端的支承情况而定,两端简

$$\text{支时, } \alpha_1 = \alpha_2 = \frac{5}{384}。$$

如果忽略钢筋在两个方向的位置差别及数量不同等影响,取 $I_1 = I_2$,则

$$q_1 = \frac{l_{02}^4}{l_{01}^4 + l_{02}^4} q \quad q_2 = \frac{l_{01}^4}{l_{01}^4 + l_{02}^4} q \quad (1.3)$$

以上分析中,忽略了邻近板带的影响,因此是近似的。由式(1.3)可知,四边支承板上的荷载主要是通过两个方向的弯曲把荷载传递到两个方向上去的。当 $l_{01}/l_{02} > 2$ 时,在长跨方向分配到的荷载不到 6%,故在设计中可仅考虑板在短跨方向受弯,即在计算中忽略荷载在长跨方向的传递,只在构造上对长跨方向的受弯作适当处理。

1.2.1.2 结构平面布置

单向板肋梁楼盖由板、次梁和主梁构成。其中,次梁的间距决定板的跨度,主梁的间距决定次梁的跨度,柱网尺寸决定主梁的跨度。单向板、次梁和主梁的常用跨度为:

单向板:1.8~2.7m,荷载较大时取较小值,一般不宜超过 3m;

次梁:4~6m;

主梁:5~8m。

常见的单向板肋梁楼盖的结构平面布置方案有以下三种:

(1) 主梁横向布置,次梁纵向布置

如图 1.3a 所示,其优点是主梁和柱可形成横向框架,房屋的横向刚度大,而各榀横向框架间由纵向的次梁相连,故房屋的纵向刚度亦大,整体性较好。此外,由于主梁与外纵墙垂直,使外纵墙上窗的高度有可能开得大一些,也减少了天棚处梁的阴影,对室内采光有利。

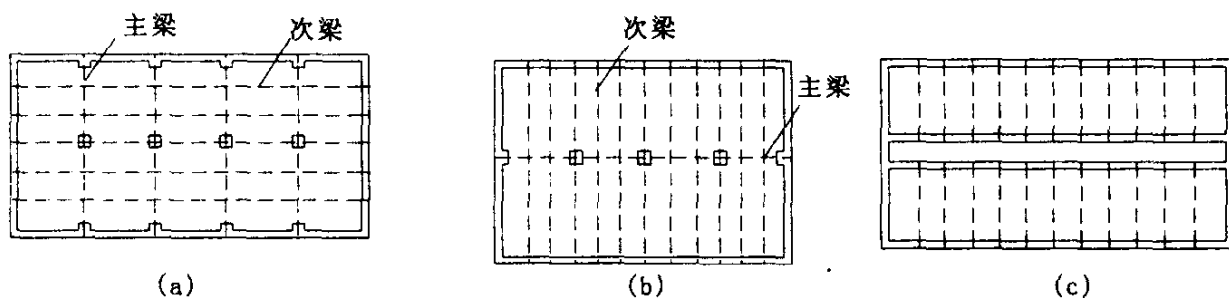


图 1.3 梁的布置

(a) 主梁沿横向布置;(b) 主梁沿纵向布置;(c) 有中间走廊

(2) 主梁纵向布置,次梁横向布置

如图 1. 3b 所示,这种布置适用于横向柱距比纵向柱距大得多的情况。它的优点是减小了主梁的截面高度,增大了室内净高。

(3) 只布置次梁,不布置主梁

如图 1. 3c 所示,它适用于有中间走道的楼盖。

楼盖结构平面布置时,应注意以下问题:

(1) 要考虑建筑效果。例如,应避免把梁,特别是把主梁搁置在门、窗过梁上,否则将增大过梁的负担,建筑效果也差。

(2) 要考虑其它专业工种的要求。例如,在旅馆建筑中,要设置管线检查井,若次梁不能贯通,就需在检查井两侧放置两根小梁。

(3) 在楼、屋面上有机器设备、冷却塔、悬吊装置和隔墙等地方,宜设梁承重。

(4) 主梁跨内最好不要只放置一根次梁,以减小主梁跨内弯矩的不均匀。

(5) 不封闭的阳台、厨房和卫生间的板面标高宜低于相邻板面 30~50mm。

(6) 楼板上开有较大尺寸的洞口时,应在洞边设置小梁。

1. 2. 1. 3 连续梁、板按弹性理论的内力计算

(1) 计算假定

① 梁、板均为弹性杆件,其抗弯刚度为 $E_c I$, 其中 E_c 为混凝土弹性模量, I 为截面惯性矩;

② 梁、板的支承情况按表 1. 1 采用。

表 1. 1 连续梁、板的支承

构件类型	边 支 座		中 间 支 座	
	砌 体	梁或柱	梁或砌体	柱
板	简 支	固 端	支承链杆	
次 梁	简 支	固 端	支承链杆	
主 梁	简 支	$i_l/i_c > 5$ 简支		$i_l/i_c > 5$ 支承链杆
		$i_l/i_c \leq 5$ 框架梁		$i_l/i_c \leq 5$ 框架梁

注: i_l 、 i_c 分别为主梁和柱的抗弯线刚度;支承链杆是位于支座宽度中点的能自由转动的刚杆。

③ 在确定梁、板的支座反力时,为了方便,可忽略梁、板的连续性,每一跨都按简支梁来计算其支座反力。

假定②中,有四点与实际情况不符:

(a) 端支座大多有一定的嵌固作用,故配筋时应在梁、板端支座的顶部放置一定数量的构造钢筋,以承受可能产生的负弯矩。当主要承受均布线荷载 q 时,通常取此负弯矩值为 $\left(-\frac{1}{10} \sim -\frac{1}{12}\right) q l^2$ 。

(b) 支承链杆可自由转动的假定,实质是忽略了次梁对板、主梁对次梁的约束以及柱对主梁的约束。引起的误差将用折算荷载的方式来加以修正。

(c) 支座总是有一定宽度的,并不像计算简图中那样只集中在一点上,所以要对支座弯矩和剪力进行调整。

(d) 链杆支座没有竖向位移,假定成链杆实质上就是忽略了次梁的竖向变形对板的影响,也忽略了主梁的竖向变形对次梁的影响。

(2) 计算单元

板可取 1m 宽度的板带作为其计算单元。主、次梁的截面形状都是两侧带翼缘(板)的 T 形截面,楼盖周边处的主、次梁则是一侧带翼缘的。每侧翼板的计算宽度取与相邻梁的中心距的一半。由前述假定③知,一根次梁的负荷范围以及次梁传给主梁的集中荷载范围如图 1. 4 所示。

板、次梁主要承受均布线荷载,主梁主要承受由次梁传来的集中荷载。由于主梁的自重所占比例不大,为了计算方便,可将其换算成集中荷载加到次梁传来的集中荷载内。所以从承受荷载的角度来看,主梁主要承受集中荷载,次梁主要承受均布线荷载,故主梁的弯矩图和剪力图的起伏比次梁的大,在切断或弯起主梁的

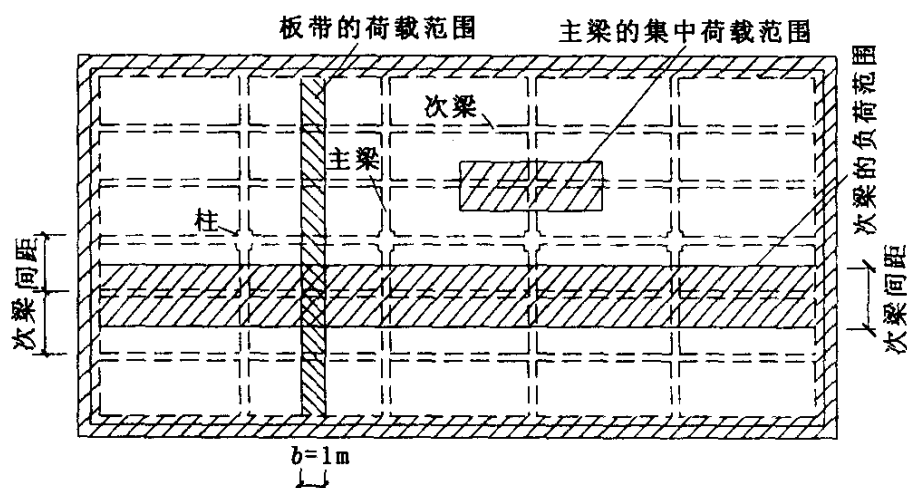


图 1.4 板、梁的荷载计算范围

纵向钢筋以及配置主梁的箍筋时要特别注意这一点。

(3) 计算简图

由前述假定②知,连续梁、板的计算简图如图 1.5a 所示。对于连续梁、板的某一跨来说,作用在其它跨上的荷载都会对该跨内力产生影响,但作用在与它相隔两跨以上的其余跨内的荷载对它的影响较小,可以忽略。这样,对于等截面且等跨度的连续梁、板,当实际跨数超过五跨时,可按五跨计算,如图 1.5b 所示。也就是说,所有中间跨的内力和配筋都按第三跨来处理,如图 1.5c 所示。计算时,常称边跨为第一跨,支座 A、B 和 C 分别称为边支座、第一内支座和第二支座。

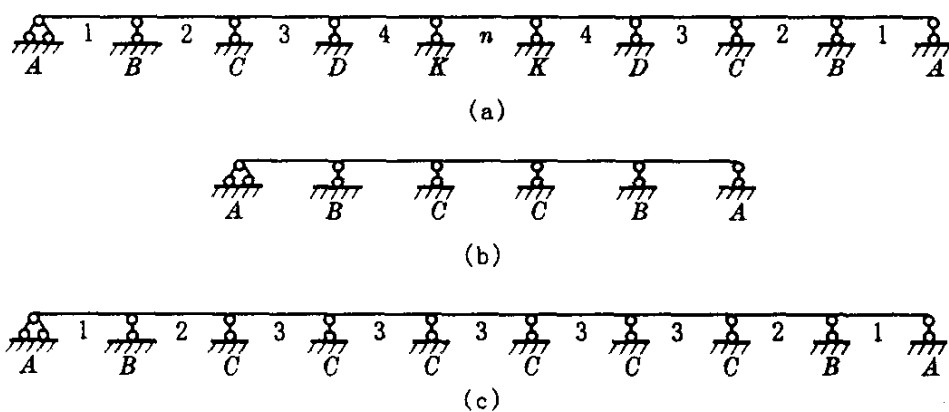


图 1.5 连续梁、板的计算简图

(a) 实际简图; (b) 计算简图; (c) 考虑配筋构造时的简图

对于跨数超过五跨的连续梁、板,当各跨荷载相同,且跨度相差不超过 10% 时,可按五跨的等跨连续梁、板进行计算。

梁、板的计算跨度 l_0 是指在内力计算时所采用的跨间长度。从理论上讲,某一跨的计算跨度应取该跨两端支座反力合力作用点之间的距离。但在梁板设计中,当按弹性理论计算时,根据边支座的支承形式,板和次梁边跨的计算跨度取值与中间跨不同:

(a) 当边跨端支座为固端支座时,由前述假定②知,边跨和中间跨的计算跨度 l_0 都取为支座中到中,即中间跨:

$$l_0 = l_n + b \quad (1.4)$$

边跨:

$$l_0 = l_n + \frac{b}{2} + \frac{a}{2} \quad (1.5)$$

式中 a, b ——分别为边支座、中间支座或第一内支座的长度;

l_n ——净跨长。

(b) 当边跨端支座是简支支座时,对于板,当板厚 t 不小于 a ,对于主、次梁, a 不小于 $0.05l_n$,边跨的计算跨度仍按(1.5)式,否则按下式:

板 $t < a$ 时,

$$l_0 = l_n + \frac{b}{2} + \frac{t}{2} \quad (1.6)$$

次梁、主梁 $a < 0.05l_n$ 时,

$$l_0 = l_n + \frac{b}{2} + 0.025l_n \quad (1.7)$$

这是为了防止边支座 a 过长时,合力作用点可能内移而作出的规定(注:板的边支座合力作用点位置主要与板厚有关,主次梁则主要与其跨度有关)。

当按塑性理论计算时,板和次梁的计算跨度,边跨一般取 $l_n + t/2$,中间跨取 l_n 。

梁、板的计算跨度也可按表 1.2 采用。

表 1.2 连续梁、板的计算跨度 l_0

支 承 情 况	按弹性理论计算		按塑性理论计算	
	梁	板	梁	板
两端与梁(柱)整体连接	l_c	l_c	l_n	l_n
两端搁置在墙上	$1.05l_n \leq l_c$	$l_n + t \leq l_c$	$1.05l_n \leq l_c$	$l_n + t \leq l_c$
一端与梁整体连接, 另一端搁置在墙上	$1.025l_n + b/2 \leq l_c$	$l_n + b/2 + t/2 \leq l_c$	$1.025l_n \leq l_n + a/2$	$l_n + t/2 \leq l_c + a/2$

注:表中的 l_c 为支座中心线间的距离, l_n 为净跨, t 为板的厚度, a 为板、梁在墙上的支承长度, b 为板、梁在梁或柱上的支承长度。

(4) 折算荷载

在均布荷载作用下,板和次梁的内力按折算荷载设计值进行计算。以图 1.6 所示的板为例来说明。板与次梁整浇在一起,板的转动将引起次梁扭转。假设次梁抗扭刚度为零,板就可以在支承处自由转动,完全符合前述假定②中“自由转动的链杆支座”的假设,不必修正。实际上,次梁的抗扭能力将限制板的自由转动,使板在支承处的转角由链杆支承时的 θ 减小为 θ' ,如图 1.6 所示,这样就减小了板的内力。为了使板的内力计算值更接近于实际,可以进行适当的调整。这种处理方法也适用于支承于主梁之上的次梁。

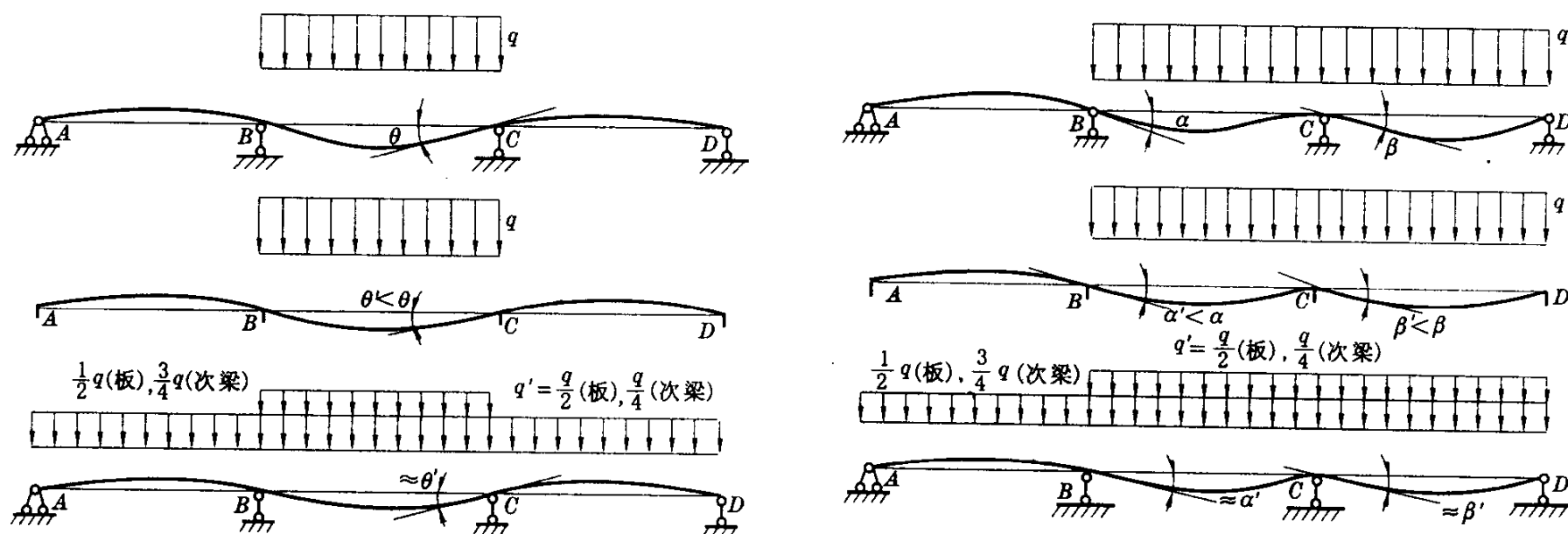


图 1.6 次梁抗扭刚度对板的影响

考虑到板或次梁在支承处的转动主要是由活荷载的不利布置产生的,因此比较简便的修正方法是在荷载总值不变的条件下,增大恒荷载,减小活荷载,即在计算板和次梁的内力时,采用折算荷载:

连续板

$$g' = g + \frac{q}{2}, \quad q' = \frac{q}{2} \quad (1.8)$$

连续次梁

$$g' = g + \frac{q}{4}, \quad q' = \frac{3q}{4} \quad (1.9)$$

式中 g, q ——单位长度上恒荷载、活荷载设计值;

g', q' ——单位长度上折算恒荷载、折算活荷载设计值。

当板或次梁搁置在砌体或钢结构上时不作调整。

这样调整后,在 q' 作用下的板或次梁的支座转角大致与实际情况接近,如图 1.6 所示。由于主梁的重要性高于板和次梁,且它的抗弯刚度通常比柱的大,故对主梁一般不作调整。

(5) 活荷载的最不利布置

活荷载的位置是可变的,活荷载的不利布置是指在这种情况下可得到支座截面或跨内截面的最大内力(绝对值)。图 1.7 示出了单跨承载时,五跨连续梁的弯矩 M 和剪力 V 的图形。

活荷载的最不利布置规律:

(a) 求某一支座截面最大负弯矩(最小弯矩)时,应在它的左右二跨布置活荷载,然后向左、向右每隔一跨布置;

(b) 求某一跨的跨内截面最大正弯矩时,应在该跨布置活荷载,然后向左、向右每隔一跨布置;

(c) 求某一跨的跨内最小正弯矩(或最大负弯矩)时,该跨不布置活荷载,而在其左右邻跨布置活荷载,然后向左、向右每隔一跨布置;

(d) 求某一支座左、右边的最大剪力(绝对值)时,活荷载布置与(a)相同。

(6) 支座弯矩及剪力的修正

按弹性理论计算连续梁、板内力时,中间跨的计算跨度取支座中心线间的距离,这样求得的支座弯矩及剪力都是支座中心处的。当梁、板与支座整体连接时,支座边缘处的截面高度比支座中心处的小得多,为了使梁、板结构的设计更加合理,可取支座边缘的内力作为设计依据,并按以下公式计算:

支座边缘截面的弯矩设计值 M_b :

$$M_b = M + V_0 \frac{b}{2} \quad (1.10)$$

式中 M ——支座中心处的弯矩设计值;

V_0 ——按简支梁计算的支座中心处的剪力设计值,取绝对值;

b ——支座宽度。

支座边缘截面的剪力设计值 V_b :

均布荷载

$$V_b = V - (g + q) \frac{b}{2} \quad (1.11)$$

集中荷载

$$V_b = V \quad (1.12)$$

式中 V ——支座中心处的剪力设计值。

(7) 内力包络图

当求出了支座截面和跨内截面的最大弯矩、最大剪力后,就可进行截面设计,确定钢筋用量。如果要确定梁上部纵向钢筋的切断与下部纵向钢筋的弯起还需要知道最大弯矩和最大剪力沿跨度的变化情况,这就要求画出弯矩包络图和剪力包络图。

现以承受均布荷载的五跨连续梁的弯矩包络图来说明。根据活荷载的不同布置情况,每一跨都可以画出四种弯矩图,分别对应于跨内最大正弯矩、跨内最小正弯矩(或负弯矩)和左、右支座截面的最大负正弯矩。当边支座为简支时,边跨只能画出三种弯矩图形。把这些弯矩图形全部叠画在一起,并取其外包线所构成的图形即为弯矩包络图。它完整地给出了一个截面可能出现的弯矩设计值的上、下限,如图 1.8a 所示。同样可画出剪力包络图,如图 1.8b 所示。

(8) 内力计算

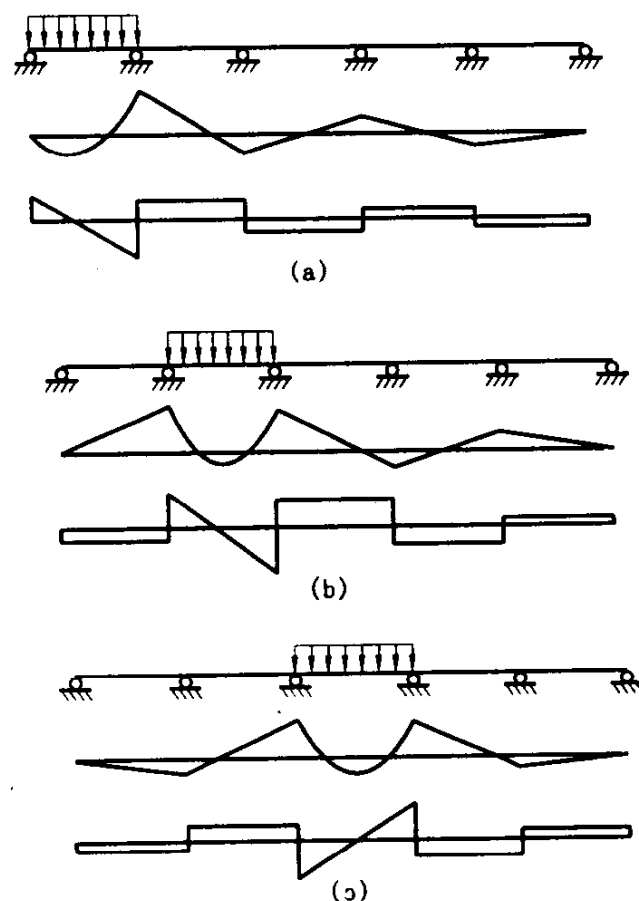


图 1.7 单跨承载时连续梁的内力

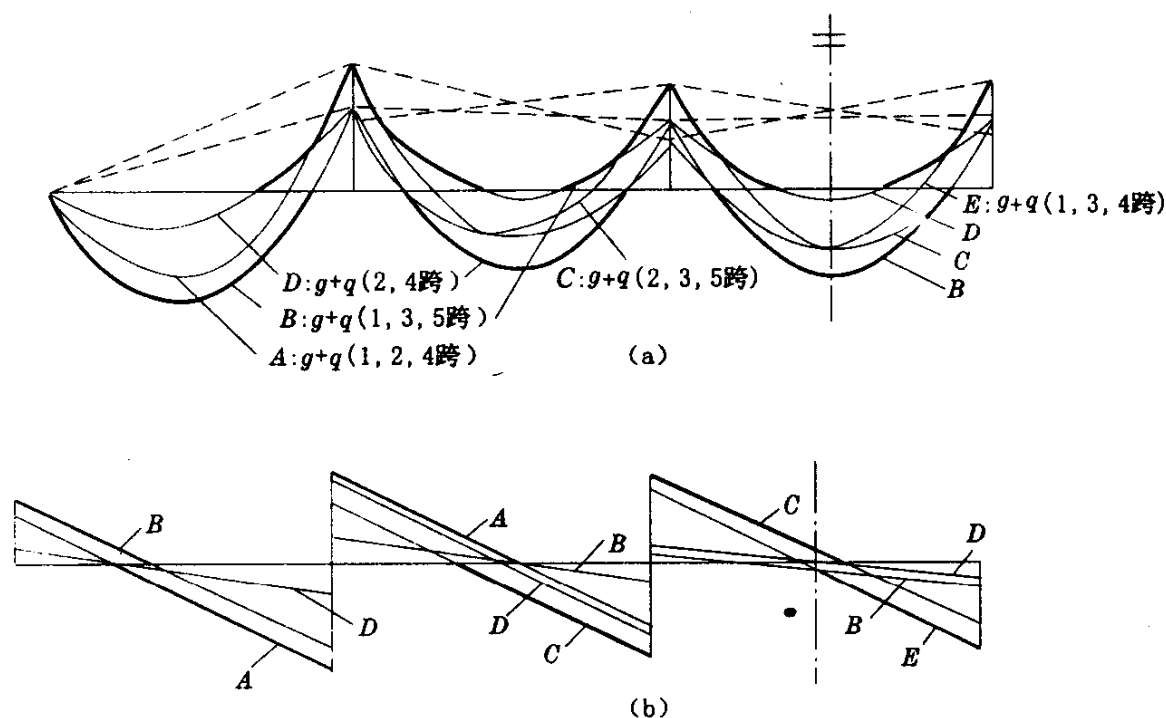


图 1.8 内力包络图

(a) 弯矩包络图; (b) 剪力包络图

连续梁、板按弹性理论的内力计算有:

- (a) 等截面、等跨度、支座是简支的连续梁、板的弹性内力计算;
- (b) 均布荷载作用下, 等截面不等跨, 简支的连续梁、板的弹性内力计算;
- (c) 不等截面不等跨连续梁、板的弹性内力计算。

以上可按结构力学的方法分析内力, 现在介绍计算时常采用的实用弯矩分配法。

实用弯矩分配法的原理与一般的弯矩分配法相同, 它可以由一张表格一次算出所有支座截面的最大负弯矩值, 因为求支座最大剪力的活荷载布置图式与求支座最大负弯矩的是相同的, 所以也就能同时求出各支座的最大剪力值。欲求各跨内最大正弯矩值时, 可再列一张表格算出。

实用弯矩分配法的特点:

- (1) 要同时算出两种荷载, 即总荷载(恒+活)以及恒荷载作用下, 支座截面的两个固端弯矩值 $\bar{M}$;
- (2) 在计算支座不平衡弯矩时, 要在两个固端弯矩值中, 按照活荷载不利布置的要求选择其中的一个进行计算;
- (3) 只考虑相邻支座的弯矩传递, 并且只传递一次。

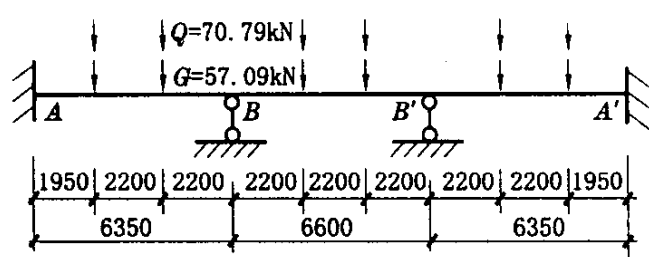


图 1.9 计算简图

符号规定: 作用在杆端的弯矩或剪力使杆件绕另一端顺时针转动为正, 反之为负。这样, 弯矩传递系数就是正的 $1/2$ 。

以例题 1.1 中图 1.27 的梁为例来解释实用弯矩分配法。

求支座 A、B 的最大负弯矩及相应的支座 B'、A' 的负弯矩计算(图 1.9)。

先求出各跨梁的线刚度 $i = \frac{EI}{l}$ 以及分配系数 μ , 再分别算出

恒荷载与总荷载作用下的固端弯矩值, 简称恒 $\bar{M}$ 和总 $\bar{M}$ 。

$$\text{恒} \quad \bar{M} = Ga \left(1 - \frac{a}{l} \right) = 57.09 \times 2.2 \times \frac{2}{3} = 83.73 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{总} \quad \bar{M} = (G+Q)a \left(1 - \frac{a}{l} \right) = 127.88 \times 2.2 \times \frac{2}{3} = 187.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

B 支座: 由活荷载的不利布置知, B 支座两侧的跨间应布置活荷载, 故应取总 $\bar{M}$, 而相邻跨 B'A' 则不布置活荷载, 应取恒 $\bar{M}$, 这样 B 支座就是 A 端和 B' 端传过来的弯矩, 不过要分两步来计算: 先对相邻 A、B' 支座不平衡弯矩进行分配, 再把分配给 A 支座右截面和 B' 支座右截面的弯矩传过来, 即先分配后传递, 故称为分传弯矩。在确定 B' 支座不平衡弯矩时, 所挑选的固端弯矩值应是左侧的总 $\bar{M} = +187.56 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 右侧的恒 $\bar{M} = -83.73 \text{ kN} \cdot \text{m}$, 于是分传弯矩为

$$\frac{1}{2} \times [-0.5 \times (187.56 - 83.73)] = -25.96 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

A 支座分传弯矩为

$$\frac{1}{2} \times (-187.56) = -93.78 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

这两个分传弯矩要与 B 支座左右两侧固端弯矩总 $\bar{M}$ 相加, 构成新的固端弯矩 (相加弯矩之和)

$$B_{\text{左}} = 187.56 - 93.78 = +93.78 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad B_{\text{右}} = -187.56 - 25.96 = -213.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

将这两个固端弯矩相加就是 B 支座的不平衡弯矩。再计算分配弯矩

$$(-213.52 + 93.78) \times (-0.5) = 59.87 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

把分配弯矩与“相加之和”弯矩值合并, 可得 B 支座的最终弯矩值。

$$B_{\text{左}} = 93.78 + 59.87 = 153.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$B_{\text{右}} = -213.52 + 59.87 = -153.65 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

在整个计算过程中, 有两点要特别注意: 一是要结合活荷载的不利布置来选取固端弯矩值, 是恒 $\bar{M}$, 还是总 $\bar{M}$; 二是采取了一步到位的分传弯矩的方法, 简化了计算表格。

1.2.1.4 连续梁、板考虑内力重分布的计算

(1) 内力重分布的概念

超静定结构的内力不仅与荷载有关, 而且还与结构的计算简图以及各部分抗弯刚度的比值有关。如果计算简图或刚度的比值发生变化, 内力也要随之变化。由于钢筋混凝土结构材料的非线性, 其截面的受力全过程一般有三个工作阶段: 开裂前的弹性阶段、开裂后的带裂缝阶段和钢筋屈服后的破坏阶段。在弹性阶段, 刚度不变, 内力与荷载成正比。进入带裂缝阶段后, 各截面间的刚度比值发生改变, 故各截面间内力的比值也将随之改变。个别截面受拉钢筋屈服后进入破坏阶段而形成塑性铰, 引起结构计算简图改变, 使内力的变化规律发生变化。混凝土结构由于刚度比值改变或出现塑性铰引起结构计算简图变化, 从而引起的结构内力不再服从弹性理论的内力规律的现象称为塑性内力重分布或内力重分布。

要注意内力重分布与应力重分布两者的区别。应力重分布是指截面上各纤维层间的应力变化规律不同于弹性理论而言的, 并且不论对静定的还是超静定的混凝土结构都存在。内力重分布则是指结构上各个截面间内力变化规律不同于弹性理论而言的, 并且只有超静定结构才有内力重分布现象, 对静定结构是没有的, 因为静定结构的内力与截面刚度无关, 而且出现一个塑性铰就意味着结构的破坏。

① 内力重分布的两个阶段

两端固定的单跨等截面梁, 设破坏时的均布荷载为 q_u , 根据弹性理论, 支座弯矩 $M_c = -q_u l^2 / 12$, 跨中弯矩 $M_0 = q_u l^2 / 24$ 。现在来研究当支座和跨中截面都按平均值 $0.5(q_u l^2 / 12 + q_u l^2 / 24) = q_u l^2 / 16$ 配筋的情况。

在荷载小于开裂荷载 q_{cr} 时, 结构可按弹性理论计算, 支座弯矩和跨中弯矩

$$M_c = -\frac{q_{cr} l^2}{12} \quad M_0 = \frac{q_{cr} l^2}{24} \quad (1.13)$$

而

$$-\frac{2M_c}{2} + M_0 = \frac{q_{cr} l^2}{8} \quad |M_c : M_0| = 2$$

当荷载达到 q_{cr} 时, 两端支座截面产生裂缝, 导致支座截面附近区段内的刚度下降, 而跨中截面尚未开裂, 还保持原来的刚度。随着荷载的增加, 支座截面的弯矩增长减缓而跨中弯矩增长则加快。由于平衡条件成立, 两者仍应保持 $|-2M_c/2| + M_0 = q l^2 / 8$ 的关系。随后, 跨中截面开裂出现刚度下降, 如果支座和跨中截面都有足够的塑性变形能力, 那么在支座区段的钢筋屈服时, 就可以把支座截面看作是能够转动, 且能承担弯矩 $M_u = -q_u l^2 / 16$ 的塑性铰。这样, 梁就成为两端铰支的静定梁, 跨中弯矩按简支梁的规律增加, 出现明显的内力重分布。最后, 当跨中弯矩达到 $M_u = q_u l^2 / 16$ 使梁成为几何可变体系时, 梁便不能继续承担荷载。这时,

$$\begin{aligned} |-M_c| = M_0 = M_u = \frac{1}{16} q_u l^2 \quad \left| -\frac{2M_c}{2} \right| + M_0 &= \frac{1}{8} q_u l^2 \\ |M_c : M_0| &= 1 \end{aligned} \quad (1.14)$$