

朱聘儒 编著

双向板无梁楼盖



中国建筑工业出版社

TU231

452871

I89

双向板无梁楼盖

朱聘儒 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

双向板无梁楼盖/朱聘儒编著. —北京:中国建筑工业出版社, 1999

ISBN 7-112-03914-2

I. 双… II. 朱… III. 双向板: 无梁平板-屋顶-结构设计 IV. TU231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 17864 号

双向板无梁楼盖

朱聘儒 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 8¹/₂ 字数: 227 千字

1999 年 6 月第一版 1999 年 6 月第一次印刷

印数: 1—3500 册 定价: 14.00 元

ISBN 7-112-03914-2
TU·3046 (9277)

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)

本书阐述旅游建筑、办公楼、公寓住宅、仓库、多层厂房等房屋建筑国内外已大量应用的无梁楼盖的设计计算原理与方法;其中还涉及升板、无粘结预应力、塑壳模板等楼盖设计问题,充分满足楼盖设计时多方面考虑的需要。书中主要介绍设计方法,也阐述其原理。全书包括六章:1. 绪论;2. 双向板板系的力学特征;3. 板格弯矩分析的主要结果;4. 双向板无梁楼盖的实用分析;5. 板与柱之间的连接设计;6. 双向板无梁楼盖的设计细节。各章均有大量设计实例及辅读分析例题。附录中载有压柱比拟法简介;框架内力分析表;框架梁柱刚域系数表。设计者可越过分析理论,直接自第4章开始参考进行设计。

本书可供房屋结构专业工程技术人员及大专院校师生阅读,也可作为大专院校辅助教材和毕业设计参考书。

前 言

双向平板无梁楼盖在适当的场合是一种很理想的结构,在国外已经普及,理论上也成系统,大学教科书中用单独一章作专门介绍;我国在这方面有差距,本科教学中只是稍作指点,工程技术人员深刻了解的也不多。到目前为止,国内尚未见到有一本系统而完整地阐明这类结构的专门论著,编写本书的目的就是想对这方面作一些系统的介绍,为我国经济建设和科技发展作一点贡献。

这本书是在这样的背景下形成的。作者曾在工程中做过这方面的结构设计,深入学习了国内外有关规范及其背景材料,对这种结构的内力分析及冲切计算等关键问题还作了专门述评,逐步形成了一个完整系统的概念,加之设计中又充实了感性认识,从而构成了本书的雏形。与此同时作者还以此类结构指导了数届学生的毕业设计,书稿在学生中试用过,充实提高修改了多次,使之日趋完善。

写这本书的时候曾遇到过一些问题。首先是如何把吸取外国经验和我国国情结合起来,并且恰当地把它们纳入我国规范系统;对此本书对其中一些关键问题作了专门的述评。其次是平板无梁楼盖还有一些横向关系,如无粘结预应力混凝土、塑壳模板、抗侧力设计中的竖向结构分析等,已加以注意联系,因为它们将关系到平板无梁楼盖今后的进一步发展,但尽量不喧宾夺主,一直以双向平板无梁楼盖为主线。第三个问题是理论与实践问题,为了面向广大工程技术人员,设计例题是必不可少的,它在本书中已占有不小的比重,但是对一种初次接触的新结构来讲,理性认识也很重要;从某种意义上讲原理是根本性的,决不能仅知其然而不知其所以然,故本书两者并重。

这本书的既定目标在绪论中已经讲了,本书可作为大学本科

学生补充教材或选修课教材,也可供工程技术人员参考。

由于水平所限,一定会有错误或不当之处,请读者批评指正。

邵永健及殷志文二位老师为本书作了校阅,谨表谢意。

谨以此书纪念我从事教育工作 50 周年。

目 录

第一章 绪论	1
1-1 双向板无梁楼盖的型式	1
1-2 双向板无梁楼盖的优缺点及其应用	4
1-3 简单的回顾	5
1-4 本书的编写意图	6
第二章 双向板板系的力学特征	8
2-1 矩形双向板的力学分析方法简介	8
2-2 双向板板格的板带划分	11
2-3 双向板板系的基本尺寸及其部件刚度	14
2-4 影响双向板板系受弯工作的主要参数	25
2-5 双向板板系中部件刚度公式综述	29
2-6 分析例题	31
第三章 板格弯矩分析的主要结果	39
3-1 概述	39
3-2 中间板格的弯矩分析	40
3-3 柱、牛腿或柱帽宽度对中间板格弯矩分布的影响	48
3-4 侧边板格的弯矩分析	50
3-5 端板格的弯矩分析	54
3-6 角板格的弯矩分析	61
3-7 分析例题	64
第四章 双向板无梁楼盖的实用分析	66
4-1 概论	66
4-2 总静力设计弯矩/直接设计法	69
4-3 条带支座截面负的设计弯矩及跨中截面正的设计弯矩/直接设计法	71
4-4 等效框架法	79

4-5	正负设计弯矩在截面上的分布	83
4-6	柱(墙)的设计弯矩/直接设计法	92
4-7	设计基本思路及设计例题	94
第五章	板与柱之间的连接设计	138
5-1	概述	138
5-2	无腹筋双向板的均匀冲切抗剪设计	138
5-3	双向板腹筋区均匀冲切抗剪设计	145
5-4	双向板剪力键区均匀冲切抗剪设计	149
5-5	板与柱之间的传递弯矩	157
5-6	板与柱之间偏心冲切受剪验算	161
5-7	板柱节点的冲切剪力汇集及内力组合	167
5-8	计算例题	170
第六章	双向板无梁楼盖的设计细节	181
6-1	柱帽及柱上托板	181
6-2	双向板的最小厚度	183
6-3	板的配筋细节	185
6-4	板的开洞	191
6-5	塑料模壳格形无梁楼盖的设计与构造	192
6-6	无粘结部分预应力混凝土在双向平板无梁楼盖中的应用	205
6-7	无梁楼盖房屋的抗侧力设计	212
6-8	设计例题	233
6-9	分析例题	243
附录		245
附录 A	压柱比拟法简介	245
附录 B	单层三等跨框架的内力分析表	254
附录 C	等效框架梁柱刚域的系数表	257
参考文献		263

第一章 绪 论

1-1 双向板无梁楼盖的类型

平面楼盖可以分为有梁的及无梁的两大类。当楼盖板格长边与短边之比大于2时,前者称为单向板梁式楼盖;当板格长边与短边之比小于等于2时,前者称为双向板梁式楼盖。同理,无梁楼盖按其纵横两向柱距之比亦可分为单向板无梁楼盖及双向板无梁楼盖。由于平面布置的要求,无梁楼盖的柱网一般接近正方形,常遇的均为双向板无梁楼盖。

双向板无梁楼盖一般包括以下四种型式:

(1) 带柱帽的无梁楼盖(plate-slab floor) 通常称为无梁楼盖,见图1-1。它的组成包括柱、柱帽、柱上托板及平板。柱帽及柱上托板有三个功能,一是增强平板与柱的连结,增强结构的刚度;二是可以缓和柱对平板的冲切作用;三是可以减小板的计算跨度和柱的计算长度。这种楼盖的内景略差一些。

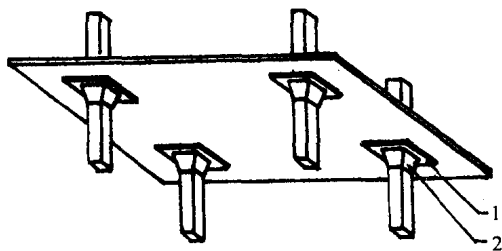


图 1-1 无梁楼盖

1—柱上托板;2—柱帽

(2) 平板无梁楼盖(plate-plate floor) 它的组成仅包括柱及平

板,见图 1-2。这种楼盖在节点处平板受柱的冲切作用较大,需要在柱顶处在平板内设置受剪配筋来加强。这种楼盖的天花平整。

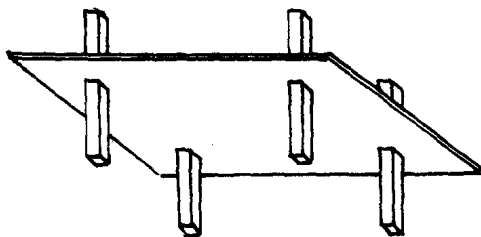


图 1-2 平板无梁楼盖

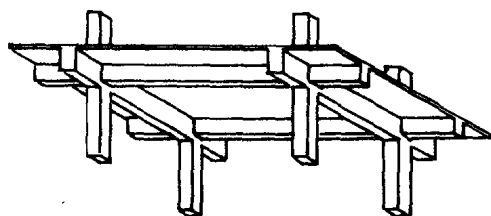


图 1-3 双向板楼盖

(3) 仅在柱上有梁的双向板楼盖 简称双向板楼盖,见图 1-3。从命名上看,它与双向板梁式楼盖的区别不大,而从实质上看,两者是有区别的。双向板楼盖

中采用的梁,其截面较小,梁的刚度没有梁式板楼盖中的梁的刚度那么大,不能把它充作板的支座,而只能算作对板的加强,是板的一个组成部分,它也只能从板系中分担部分内力来参与工作,不能把它当作独立的梁。而在双向板梁式楼盖中,梁还可以分次梁及主梁,板面荷载由板而次梁而主梁依次传递,整个楼面荷载最终由主梁承担。所以,前一种楼盖属于板系统,后一种楼盖属于梁系统。

柱上的梁有三个功能,一是增强板系对冲切受剪的抵抗能力,二是加强板与柱的连结,三是可以单独地承受一些集中力。

因为双向板楼盖的板格和柱网一般大,所以它的天花也很开敞。

(4) 双向密肋格形无梁楼盖(waffle slab) 见图 1-4。这种楼盖可以理解为在厚板下面规则地挖出一系列立方体后而成形的,其保留部分即为肋,因为肋的间距为 $0.9 \sim 1.2\text{m}$,故称为密肋式。这种楼盖为了抵抗冲切而在柱顶部分范围内可不挖空而保留成实体,见图 1-4(a);也可以沿柱列线一定宽度内不挖空而成“暗梁”,见图 1-4(b)。密肋楼盖的 T 形截面可以按截面惯性矩相当的原则而折算成一定厚度的实体板。这样,图 1-4(a)形式就等于带托板的无梁楼盖,而图 1-4(b)形式就等于柱上有梁的双向板楼盖。

这种楼盖目前一般用塑壳模板建造。

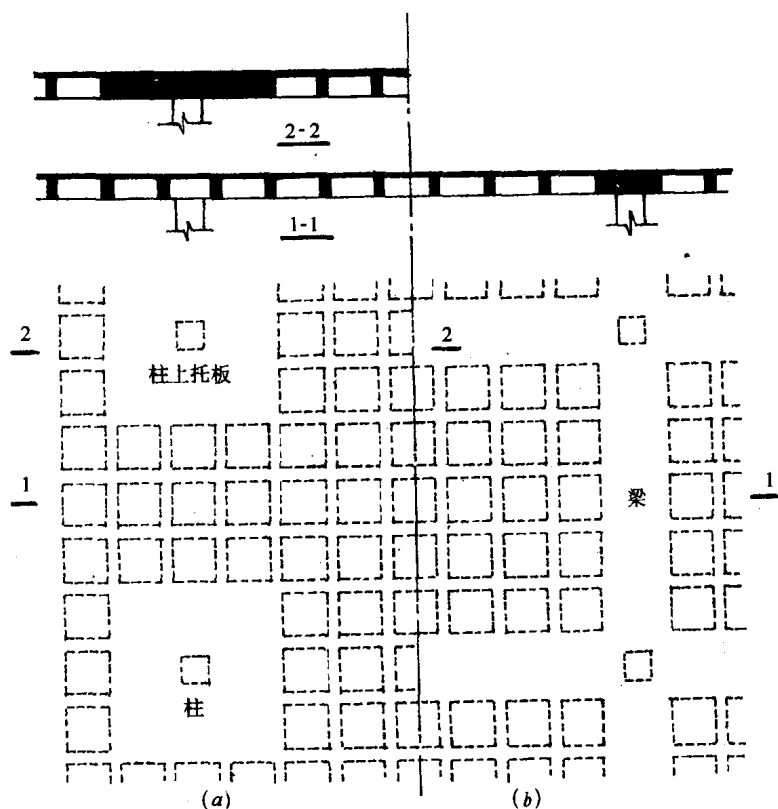


图 1-4 双向密肋无梁楼盖
(a)带柱上托板的;(b)带柱上暗梁的

1-2 双向板无梁楼盖的优缺点及其应用

双向板无梁楼盖可以有如下优点:

(1) 板底平整,可以不吊顶棚而直接粉刷做成天花。安装通风管道时可顺利通过,可以减小吊顶空间。

(2) 结构高度小,可显著地降低层高;与普通梁式楼盖相比,净高相同的公寓楼,每 10 层至少可以增加一层而建筑总高度不变,经济效益显著。

(3) 建造方便,模板及配筋简单,可以缩短工期。

双向板无梁楼盖的不足之处主要在材料消耗方面:

(1) 混凝土用量大,6m 柱距及活荷载为 4kN/m^2 的情况下,单向板梁式楼盖的混凝土折算厚度约为 140mm,而双向板无梁楼盖的混凝土折算厚度一般为 180mm 左右。但是,梁式楼盖因为板厚有限,在板中不能布设电气管路,需要在其上另行浇筑 50mm 厚的混凝土垫层,无梁楼盖则可以省去这个垫层,电气管路可以直接埋设在板内,两种楼盖的混凝土消耗基本上可以拉平。

(2) 用钢量较大,上述普通梁式楼盖,每 m^2 用钢量约为 16kg 左右,而无梁楼盖每 m^2 的用钢量约为 20kg 左右。

以上两种材料的消耗增大可以在降低层高和加快施工进度中得到补偿。

双向板无梁楼盖的应用与很多因素有关,有荷载、跨度、经济、美观、施工进度、抗震设防等各个方面。

带柱帽的无梁楼盖在板下有大体积的凸出体,房屋内景欠佳,但适用于跨度为 7m 左右且荷载较大的场合。根据分析,当活荷载大于 5kN/m^2 时,这种楼盖就比梁式楼盖经济,所以它通常用于仓库、多层厂房及地下筏式基础。我国实践表明,这种楼盖的抗震性亦好。

平板无梁楼盖的节点较弱,长期荷载下的挠度也偏大,但美观。它适用于跨度大约在 7.2m 以内及轻荷载的情况,如公寓、办

公楼等。这种楼盖宜用于无侧移结构体系,地震区宜慎用。

仅在柱上有梁的双向板楼盖是平板无梁楼盖的改善,因而它在荷载大小、跨度大小、侧移限制及抗震设防等制约条件方面都要比平板无梁楼盖宽松一些,这种楼盖的天花也很开敞。

双向密肋格形无梁楼盖可用于大荷载及大跨度房屋,柱网可以做到 $12\text{m} \times 12\text{m}$,活荷载可以大于 5kN/m^2 ,与平板无梁楼盖相比,大跨度时可减轻自重 20%,降低造价 17%。这种楼盖因为用塑壳模板建造,混凝土表面平滑,美观,可以不用二次抹灰,也可以不吊顶。它适用于商店营业厅、图书馆以及多层厂房等。

平板楼盖也可以做成预应力的,一般是用无粘结预应力体系,这种预应力方式可以如普通现浇楼盖一样施工,只是要多一道预应力工序。采用预应力方案可以增强板的刚度、减小板厚、扩大跨度和节约钢材。

无梁楼盖也可以用提升法建造,将平板事先在地坪上成叠生产,然后往上提升,自上而下逐层就位固定。这种施工方案进度快、省模板、文明施工,但需要专门的提升机具。我国在 60~70 年代有大量的提升施工实践,现已有专门的设计施工技术规范[3]。

1-3 简单的回顾

无梁楼盖早在 1906 年始创于美国,因为它带有柱帽,当时又称覃(菌)形楼盖,曾出现过不少配筋形式,有双向配筋、四向配筋及环向配筋等。在理论方面及试验方面都做了大量工作,国内外建造甚多,是一种成熟的结构型式。

平板无梁楼盖的出现也不晚,约在 1925 年以前,但真正的大量应用是在二次世界大战之后,主要用于高层公寓建筑。学者们在 60 年代后期曾做了不少这种楼盖的试验研究,60 年代后期至 70 年代前期学者们又对板的抗冲切受剪进行了深入的试验研究,所有这些成果最终都体现在美国混凝土学会 ACI 77 年的规范之中。

至于仅在柱上有梁的双向板楼盖,过去一直把梁截面选用得比较大,按照梁式楼盖设计,把梁当作承受板反力的支座。至于用“浅梁”作为板的加强设计,究竟应该如何考虑是一个空白,这个问题直到 ACI 71 规范颁布之后才得以解决。

双向密肋格形无梁楼盖是随着先进的塑壳定型模板的出现而得以大量推广,这种模板可以周转 50 次以上,三天就可以拆模,国外早有应用。我国原建筑科学研究院设计所^① 首先从国外引进,并首次用于北京图书馆的国家工程中,目前国内已有生产这种塑壳模板的专门厂家,在国内尤其是在华东已建成的双向密肋格形无梁楼盖工程已有百余个,主要用于商店、办公楼及多层厂房,技术经济效益和社会效益已逐渐为人们肯定。

1-4 本书的编写意图

随着国家建设事业的发展,各方面对结构的需求也日益变得丰富多采了,单一的梁板楼盖体系已不能适应需要,为此编写此书,以期和同行们共同学习这种平板楼盖体系,以实现以下目的:

(1) 扩大楼盖形式的视野,以便更好地适应经济建设发展和满足建筑功能对结构各方面的要求。

(2) 了解并掌握平板楼盖的受力特点,尽管可以由某个单位为这种楼盖编制专门的电算程序,但如若不掌握这种楼盖的受力特点,人云亦云,就无法在设计中取得主动,更谈不上有所创新,施工也只是按图施工,也是被动的。

(3) 掌握双向板无梁楼盖内力实用分析法。这种方法是建立在周密的理论分析基础上的,并有试验证明,数十年来早已为国内外所肯定;它物理概念明确,简单易行,可操作性强,在没有电算的情况下可以自行手算设计,在某种程度上比设计梁板楼盖还要便捷。

(4) 了解双向板无梁楼盖的构造要求。尤其是要从机理上去

① 现为建设部建筑设计院。

了解,包括对板的刚度要求、配筋形式及板上开洞口等具体规定。

本书共分六章,第四至六章是本书主体,第二章是前处理,第三章属于背景材料,如时间仓促可暂缓阅读,各章均附有思考题及例题进行总结和示范。为的是从本质方面和数量方面加深理解,它们也是本书的正式组成部分。书中还有设计例题,可供设计参考。

最后,应该指出,因为我国规范对双向平板无梁楼盖的规定还不很完善,本书资料主要来自外国,所以编写时注意了尽量和我国国情相结合。国内有相应的规定时将一并列出,供对比参考。至于双向板系无梁楼盖的内力分析,不会因国家而异,有些直接引自国外;而结构设计,因各国传统而有所不同,本书将遵循我国《建筑设计统一标准》GBJ 68—84 所规定的统一准则,要求

$$\gamma_0 S \leq R \quad (1-1)$$

其中结构构件抗力 R 的计算,必需时,仅引用国外计算模式的表达式,不涉及其材料强度的设计取值,更不涉及承载力因子等方面的考虑,完全按照我国规定的分项安全系数进行设计。鉴于目前对双向平板无梁楼盖的设计经验尚不太多,设计时暂时建议取用一个大于 1 的结构重要性系数 γ_0 。

第二章 双向板板系的力学特征

2-1 矩形双向板的力学分析方法简介

对双向板进行力学分析有三种途径。

1. 弹性理论

根据弹性力学,在垂直于板面的竖向荷载作用下,均质弹性薄板的竖向位移可以用以下四阶偏微分方程表达

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D} \quad (2-1)$$

式中 w ——在 (x, y) 坐标点处板在荷载方向的竖向位移;

q ——在板面上作用的单位面积上的竖向荷载,是坐标 (x, y) 的函数,单位 kN/m^2 ;

D ——板的抗弯刚度

$$D = \frac{Eh_f^3}{12(1+\nu^2)} \quad (2-2)$$

式中 h_f ——板的厚度;

E ——材料的弹性模量;

ν ——材料的泊桑比,对于混凝土, $\nu = \frac{1}{6}$ 。

由于 ν^2 是微量,忽略不计的话,公式(2-2)可改写为

$$D = \frac{Eh_f^3}{12} \quad (2-2a)$$

当解得竖向位移 w 函数之后,再由几何方程及物理方程就可以确定板的各点内力及变形。

早在 1820 年,在公式(2-1)的基础上,纳维尔(Navier)提出用

重三角级数求解均布荷载作用下的矩形板。

在 1899 年,奈维(Nevy)提出了均布荷载作用下矩形板的单三角级数解。后来,为了在双向板无梁楼盖上的应用,又编制了实用的计算表格,表 2-1 及表 2-2 就是其中的两个例子。

1920 年,尼尔逊(Nielsen)提出了板的差分解。

2. 极限平衡法

近年来,在钢筋混凝土结构的弯矩分析方法中,注意了结构临破坏前的极限状态,考虑材料的塑性发展。平板结构的极限状态内力分析,就是约翰逊(Jahnsen)于 1943 年首先提出的“屈服线”理论。

屈服线又称塑性铰线,图 2-1 为一定配筋条件的中间板格在均布竖向荷载作用下塑性铰线图案,图中实线为负弯矩铰线,虚线为正弯矩铰线。可以认为,铰线所包围的板块是绝对刚性的,它的

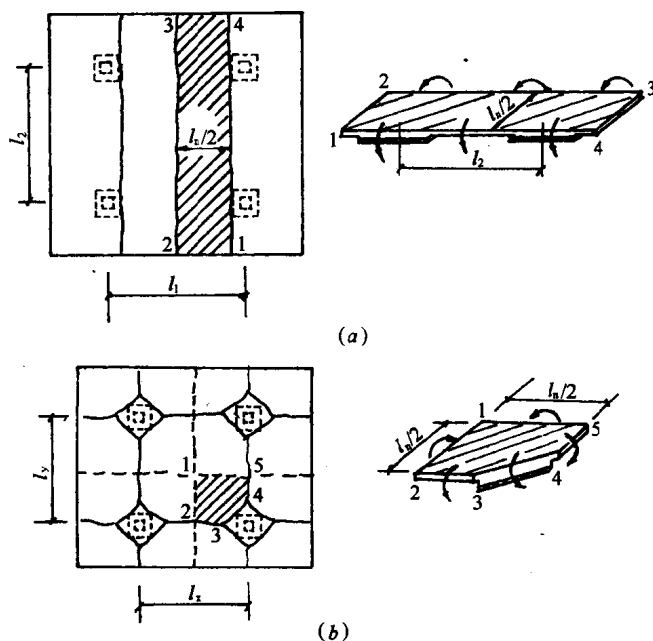


图 2-1 双向板无梁楼盖中间板格的塑性铰线

(a)图案 1;(b)图案 2