

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: 25320101151699

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

钢筋混凝土梁板协同工作设计方法研究

——框架梁-次梁-板结构

Research on coordinated work of concrete beam and slab

—frame beam-subbeam-slab structure

刘 淼

指导教师姓名: 李少泉 教授

专业名称: 建筑与土木工程

论文提交日期: 2013年5月

论文答辩时间: 2013年6月

学位授予日期: 2013年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人：_____

2013年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为()课题(组)的研究成果，获得()课题(组)经费或实验室的资助，在()实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

按照“边支承板”的观念设计钢筋混凝土框架梁-次梁-板结构，忽略了梁-板之间的协同工作特点，导致结构分析内力的分布（特别是楼板内力）与结构实际内力分布有较大差异。因此，揭示“边支承板”设计理论存在的问题，研究钢筋混凝土框架梁-次梁-板结构协同工作机理，是工程界较为关心的问题之一。

本文通过非线性有限元（ANSYS）数值模拟分析，揭示了边支撑板设计方法存在的问题，探索了钢筋混凝土梁-板协调工作的基本规律；提出了“空间板条法”，实现了梁板协同工作的内力分析方法，模型设计及非线性有限元数值模拟分析表明，“空间板条法”可以较为真实的反应钢筋混凝土梁板协同工作状态。

计算分析模型为一层双向等柱距 3 跨×3 跨钢筋混凝土框架梁-次梁-板结构（足尺模型），文中给出了板条的划分原则和方法。非线性有限元分析表明，膜效应不仅可以提高板的承载力，而且可以提高梁的承载力，膜效应对框架梁，非框架梁，板的影响是有差异的。本文在大量非线性有限元数值模拟分析的基础上，认为膜效应影响系数 ζ 可取，框架梁：边跨 $\zeta=0.6$ 、中跨 $\zeta=0.45$ ；非框架梁：边跨 $\zeta=0.85$ 、中跨 $\zeta=0.45$ ；板：支撑于框架梁的负弯矩 $\zeta=0.85$ 、其余部位 $\zeta=0.45$ 。为了探讨层间侧限约束对膜效应的影响，文中还分析了两层的 3 跨×3 跨框架梁-次梁-板结构，通过对比层间的梁板钢筋应力，认为层间侧限约束对膜效应的影响甚小，可以忽略。

在上述分析的基础上，认为“空间板条法”相比“边支承板”的设计观念可以更真实的反应钢筋混凝土梁板协同工作的状态。

关键词：梁板协同工作；非线性有限元分析；空间板条法

ABSTRACT

It is used the concept of “edge-supported slab” to design the reinforced concrete frame-beam-sub-beam-slab structure, which can not present the coordinated work of beams and slabs, cause the large differences of analytical internal force distribution (specially internal force of slabs)with actual internal force distribution. Revealing the exit problem of the design theory of “edge-supported slab”, researching the mechanism of coordinated work of reinforced concrete frame-beam-sub-beam-slab structure and improving the analysis method of that are caught much attention by engineering.

Through the nonlinear finite element analysis (ANSYS) numerical simulation reveals the problems existing in the “edge-supported slab” design method, explores the basic rule of reinforced concrete beam - slab coordination; propose the "space panel method" to achieve the beam and slab of collaborative work analysis method, model design and non-linear finite element numerical simulation analysis shows that "space panel method" can reflect the real response of reinforced concrete beam and slab of collaborative work.

Calculation model is a two-way column from 3 x 3 span reinforced concrete frame beam - subbeam - slab structure (full scale model), the classification principles and methods of the slats are also given in this paper. Nonlinear finite element analysis show that the membrane effect not only can improve the bearing capacity of slab, and can improve the bearing capacity of the beam, membrane effect on frame beams, frame beams, the influence of the plate there is a difference. On the basis of nonlinear finite element numerical simulation analysis presented in this paper, the membrane effect coefficient of z , frame beam: side span $\zeta = 0.6$, midspan $\zeta = 0.45$; the nonframe beam, side span $\zeta = 0.85$, midspan $\zeta = 0.45$; slab: supported by main-beams, the negative bending moment $z = 0.85$, the rest part $\zeta = 0.45$. To investigate membrane effect of interaction between the layers, the paper also analyzes a two layers of the 3 x 3 across the frame beam - subbeam - slab structure, through the contrast between the layers of beam slab reinforcement stress, that between the layers membrane effect of mutual influence is very small, which can be ignored.

On the basis of above analysis, the “space panel method” compared to “edge-supported slab” design concept can be more realistic response the reinforced concrete beam slab coordinated work.

Keywords: coordinated work of beams and slabs; Nonlinear finite element analysis; space panel method

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

摘 要	1
ABSTRACT	1
CONTENTS	1
第一章 文献综述	1
1.1 钢筋混凝土楼盖的设计方法	1
1.1.1 边支撑板的设计方法.....	1
1.1.2 柱支撑板的设计方法.....	2
1.1.3 条带法.....	6
1.1.4 现有设计方法存在的问题.....	8
1.2 薄膜效应	9
1.3 有限元法	10
1.3.1 选取分析模型.....	11
1.3.2 有限元模型的建立.....	13
1.3.3 收敛控制与策略.....	15
1.3.4 命令输入方式.....	17
第二章 梁板协同工作设计方法探讨	18
2.1 空间板条的分析方法	18
2.1.1 板条的划分原则和方法.....	18
2.1.2 板条模型的计算简图和荷载分配方式.....	21
2.1.3 板条模型梁板刚度的调整系数.....	22
2.1.4 梁板的膜效应分析.....	23
2.1.5 小节.....	35
2.2 空间板条法计算模型与边支撑板计算模型对比	35
2.2.1 边支撑板的设计模型.....	37
2.2.2 空间板条法的设计模型.....	40
2.2.3 两种设计方法设计弯矩的对比.....	42
2.2.4 两种设计方法加载到 7.15KN/m ² 的结果对比	47
2.2.5 两种设计方法加载到准永久值的结果对比.....	54
2.2.6 边支撑法设计结果分析.....	61
2.2.7 空间板条法的结果分析.....	68
2.3 膜效应对比分析	77
2.3.1 单跨简支梁的实验结果.....	77
2.3.2 空间板条法的设计模型.....	77

2.4 两层空间板条法设计模型结果分析	80
2.4.1 二层空间板条法的设计模型	81
2.4.2 两层模型第一层，第二层与一层模型板的应力对比	81
2.4.3 两层模型第一层，第二层与一层模型梁的应力对比	86
2.5 本章总结	88
第三章 空间板条法的计算模型分析	91
3.1 试验模型简述	91
3.2 试验模型的弯矩分析	92
3.2.1 模型板带的弯矩分析	92
3.2.2 控制截面处的板带弯矩分析	97
3.2.3 梁的弯矩分析	99
3.3 试验模型的应力分析	101
3.3.1 模型板截面的应力分析	101
3.3.2 模型梁的应力分析	107
3.4 本章总结	110
第四章 结论及展望	111
4.1 结论	111
4.2 展望	112
参考文献	114
致 谢	116

CONTENTS

Abstract	1
Chapter 1 The literature review	1
1.1 .The design method of reinforced concrete	1
1.1.1 Edge-supported slab design method.....	1
1.1.2 Column-supported slab design method.....	2
1.1.3 Srip method	6
1.1.4 The existing problems of design methods.....	8
1.2 Membrane effect	9
1.3 Finite element method	10
1.3.1 The analysis model.....	11
1.3.2 The establishment of the finite element model	13
1.3.3 Convergence control and strategy	15
1.3.4 Command input method.....	17
Chapter 2 Discussion of design method which considered the	
coordinated work of beams and slabs.....	18
2.1 Analysis method of space panel	18
2.1.1 Classification principles and methods of the slat.....	18
2.1.2 Strip loading ways and calculation of the space panel model.....	21
2.1.3 The parameters of the lath beam slab stiffness model	22
2.1.4 Membrane effect analysisel.....	23
2.1.5 Section.....	35
2.2 .Space panel method to calculate model compared with	
the“edge-supported slab model.....	35
2.2.1 The edge-supported slab model.....	37
2.2.2 The design model of space panel method	40
2.2.3 Two methods of design	42
2.2.4 Two design methods loaded to the 7.15KN/m ² results	47
2.2.5 Two design methods loaded to the quasi permanent value value results	
.....	54
2.2.6 Edge-support method design result.....	61
2.2.7 Pace panel method results	68
2.3 Membrane effect analysis.....	77
2.3.1 Single span beam experiment results	77
2.3.2 Space panel method design model results.....	77

2.4 Two layers of space panel method design model results80

 2.4.1 Space panel method design model 81

 2.4.2 Two layer model and a layer of model slab results comparison 81

 2.4.3 Two layer model and a layer of model beam stress comparison 86

2.5 This chapter section88

Chapter 3 Space span method analysis of the calculation model...91

3.1 Test model outline..... 91

3.2 Test model of bending moment analysis..... 92

 3.2.1 Model plate bending moment analysis..... 92

 3.2.2 Control strip bending moment of the cross section..... 97

 3.2.3 Beam bending moment analysis..... 99

3.3 Beam bending moment analysis.....101

 3.3.1 Model plate section stress analysis 101

 3.3.2 Stress analysis of model beam 107

3.4 This chapter section.....110

Chapter 4 Conclusions and expectations 111

4.1 Conclusion.....111

4.2 Expectations112

Reference 114

Acknowledgements..... 116

第一章 文献综述

1.1 钢筋混凝土楼盖的设计方法

钢筋混凝土板的设计，有多种方法。综合国内外的设计理论，大约可分为：把梁简化为简支或固支的边支承板设计方法，如弹性理论、极限平衡法；考虑梁板协同工作的柱支承板设计方法，如直接设计法、条带法、等代框架法等；有限元法及多种近似计算方法^{[1]~[5]}。

1.1.1 边支撑板的设计方法

我国《混凝土结构设计规范 GB50010-2010》^[6]规定，混凝土板应按下列原则进行计算：

- 1、两对边支承的板应按单向板计算；
- 2、四边支承的板应按下列规定计算：
 - (1) 当长边与短边长度之比不大于 2.0 时，应按双向板计算；
 - (2) 当长边与短边长度之比大于 2.0，但小于 3.0 时，宜按双向板计算；当按沿短边方向受力的单向板计算时，应沿长边方向布置足够数量的构造钢筋；
 - (3) 当长边与短边长度之比大于或等于 3.0 时，可按沿短边方向受力的单向板计算。

(一). 现浇单向板肋梁楼盖设计方法

现浇单向板肋梁楼盖的设计步骤为：结构平面布置，并初步拟定板厚和主、次梁的截面尺寸；确定梁、板的计算简图；梁、板的内力分析；截面配筋及构造措施；绘制施工图。

1. 连续梁、板按弹性理论的内力计算

明确活荷载最不利布置后，可按《结构力学》中的方法求出弯矩和剪力。对于等跨连续梁，可由相关图表查出相应的弯矩、剪力系数，并求出对应的内力。

2. 连续梁、板按调幅法的内力计算；

所谓弯矩调幅法，就是对结构按弹性理论所算得的弯矩值和剪力值进行适当

的调整（通常是对那些弯矩绝对值较大的截面弯矩进行调整），然后按调整后的内力进行截面设计和配筋构造的设计方法^{[7]~[9]}。

（二）. 现浇双向板肋梁楼盖的设计方法

1. 双向板按弹性理论的内力计算；

对于单跨双向板，当板厚远小于板短边边长的 $1/30$ ，且板的挠度远小于板厚时，可按弹性薄板计算其内力。在工程应用中可采用查表法。

2. 双向板按塑性铰线法的内力计算；

塑性铰线法计算双向板分两个步骤：首先假定板的破坏机构，即由一些塑性铰线把板分割为若干刚性板所构成的破坏机构；然后利用虚功原理，建立外荷载与作用在塑性铰线上的弯矩之间的关系，从而求出各塑性铰线上的弯矩，以此作为各截面的弯矩设计值进行配筋设计。

从理论上讲，塑性铰线法得到的是一个上限解。实际上，由于穹隆作用等有利因素，试验得到的板破坏荷载都超过按塑性铰线算得的值^{[7]~[9]}。

1.1.2 柱支撑板的设计方法

根据美国的混凝土结构设计规范 ACI，柱支撑的设计方法主要为直接设计法和等代框架法。在直接设计法中，板被划分成设计板条。因采用柱和相关板条的刚度进行框架分析，该方法不考虑板双向弯曲的影响。为了保证该方法的计算精度，使用该方法时有较多限制条件。等代框架法，由于考虑了板的双向弯曲，对板柱相对刚度进行调整，同简单框架法相比是一种更精确，限制条件较少的方法。等代框架法处理的理想简化框架同实际框架相接近。等代框架法简便易行，便于工程应用。在通常的设计中，大多数板柱体系采用等代框架法进行分析^[39]。

（一）直接设计法

1. 直接设计法的使用条件

当双向板满足下列条件时，可用半经验的直接设计法得出弯矩^{[10][11][12]}。

- （1）. 每个方向至少有连续3跨。
- （2）. 区格为矩形，各区格的长、短跨度比不大于2。
- （3）. 两个方向的相邻两跨的跨度差均不大于长跨的 $1/3$ 。
- （4）. 柱子离相邻柱中心线的最大偏差在两个方向均为偏心方向跨度的10%。

(5) 荷载仅为重力荷载，且活载不超过2倍恒载。

(6) 若柱轴线上有梁，则在两个垂直方向梁的相对刚度比应在0.2~5.0之间。

2. 设计荷载下的总静力弯矩

在计算区格的总弯矩 M_0 时，采用净跨 l_n 。净跨距为柱侧面到侧面的距离，柱帽、支托或墙的侧面之间的距离，但不得小于 $0.65l_1$ 。在支座中心线两侧，以区格板中心线为界的板带，一跨的总设计弯矩为

$$M_0 = \frac{ql_2 l_n^2}{8} \quad (式1.1)$$

3. 临界截面的弯矩分配

内跨的总弯矩可按下列比例在正、负临界弯曲截面之间进行分配：

负设计弯矩 $M_U = 0.65M_0$

正设计弯矩 $M_U = 0.35M_0$

如图所示。负弯矩的临界截面取在矩形支座的侧表面，对于圆形支座，取为与圆形支座等面积的方形支座的侧表面。

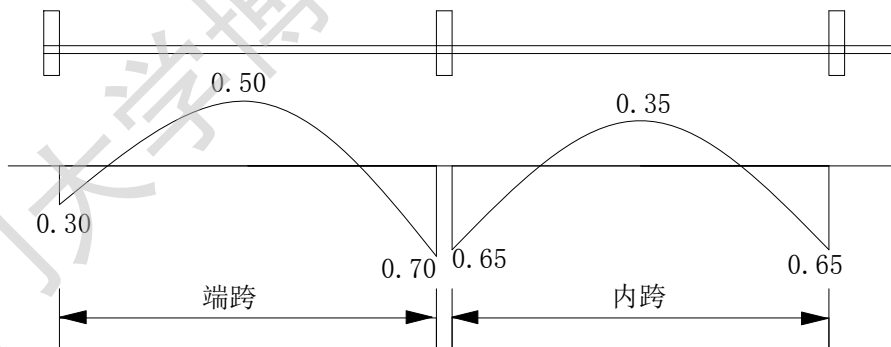


图 1.1 总静力弯矩 M_0 在正、负弯曲临界截面的分配

端跨的总弯矩在三个临界弯矩截面（内负、正和外负，见图1）的分配取决于外柱或外墙对板的弯曲约束作用和柱轴线上是否有梁。ACI318-05规范第13.6.3条规定了5种情况下端跨的弯矩分配系数，列于表1.1。

相应于每种情况的系数列于表1,这些系数基于三维弹性分析，并参照试验和

实际经验进行了一定修正。内支座的负弯矩可能和普通支座跨的弯矩不同，设计板时应能抵抗这两个弯矩中的大者，除非根据相对刚度原理作了不平衡弯矩分配的特殊分析。板有边梁时的边梁或无边梁时的板边在设计时应能抵抗因表1中所列外负弯矩所分担的扭矩。

表 1.1 静力弯矩 M_0 在端跨的正、负弯矩分配系数

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
	外边无约束	支座间有梁	内支座间无梁		外边全约束
			无边梁	有边梁	
内负弯矩	0.75	0.7	0.7	0.7	0.65
正弯矩	0.63	0.57	0.52	0.5	0.35
外负弯矩	0	0.16	0.26	0.3	0.65

(a) 为外边缘无约束弯矩，墙即属于这种情况，它仅提供竖向支承但无转动约束。

(b) 为在区格的各边都有梁的双向板。

(c) 为无柱帽平板，完全无梁。

(d) 为外侧边缘有梁的无柱帽平板。

(e) 为全约束边缘，与刚度很大的钢筋混凝土墙整浇的板即属此情况。

4. 弯矩的横向分配

将弯矩 M_0 按上述方法分配给正、负弯矩截面后，还需将设计弯矩沿临界截面的宽度方向进行分配。设计时认为弯矩在中间板带和柱上板带各自范围内均匀分布是较方便的，但当柱轴线上有梁时，因梁的刚度较大，梁比相邻的板承受更大的柱上板带弯矩。总的负弯矩和正弯矩在中间板带、柱上板带以及梁之间的分配取决于比值 l_2/l_1 、梁有板的相对刚度以及边梁对板扭转的约束作用。

用以定义各方向梁和板相对刚度的参数为：

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \tag{式1.2}$$

式中 E_{cb} E_{cs} 分别为梁和板的混凝土的弹性模量，它们通常是相等的， I_b 和 I_s 分别为有效梁和板的惯性矩。带下标的参数 α_1 、 α_2 分别表示 l_1 、 l_2 方向的 α 计算值。

梁和板的抗弯刚度可用混凝土的毛截面计算，忽略钢筋和可能有的裂缝，忽略柱帽和柱顶板对抗弯刚度的影响。如果有梁， I_b 按图2定义的有效截面计算。

对于板, $I_s = bh^3/12$, 此处 b 为梁两侧区格中心线间的宽度。

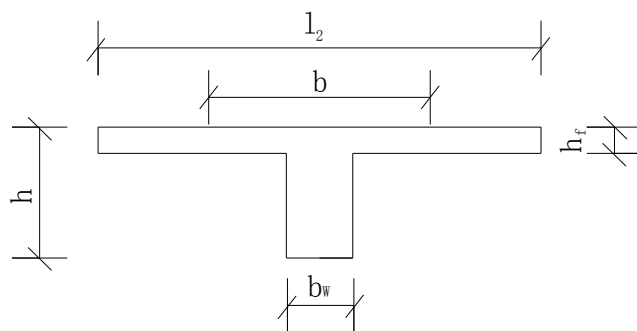


图 1.2 板和有效梁的截面

有效横向边梁抗扭所提供的相对约束以参数 β_t 表示, β_t 定义为:

$$\beta_t = \frac{E_{cb}C}{2E_{cs}I_s} \tag{式1.3}$$

式中常数 C 与有效横向梁的抗扭刚度有关, 计算常数 C 时, 可将截面分成几个矩形, 然后按下式将各部分相加:

$$C = \sum \left(1 - 0.63 \frac{x}{y} \right) \frac{x^3 y}{3} \tag{式1.4}$$

式中 x 为矩形的短边尺寸; y 为矩形的长边尺寸。

确定了这些参数以后, 可将负弯矩和正弯矩在柱上板带和中间板带之间进行分配, 表 1.2 为分配给柱上板带的正、负弯矩的百分率。在这些值之间的数值可用线性插入法求得。

表 1.2 柱上板带临界截面分配到总弯矩的百分率

		l_2/l_1			
		0.5	1	2	
内负弯矩	$\alpha_1 l_2/l_1 = 0$	75	75	75	
	$\alpha_1 l_2/l_1 \geq 1.0$	90	75	45	
外负弯矩	$\alpha_1 l_2/l_1 = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
		$\beta_t \geq 2.5$	75	75	75
	$\alpha_1 l_2/l_1 \geq 1.0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
		$\beta_t \geq 2.5$	90	75	45
正弯矩	$\alpha_1 l_2/l_1 = 0$	60	60	60	
	$\alpha_1 l_2/l_1 \geq 1.0$	90	75	45	

当 $\alpha_1 l_2/l_1 \geq 1$ 时, l_1 方向柱轴线梁的分配弯矩为柱上板带弯矩的 85%。当 $\alpha_1 l_2/l_1$

在0~1之间时,用线性插入法算出分配给梁的弯矩。

(二).等代框架法

当双向板的几何尺寸及荷载满足六个限制条件时,直接设计法是适用的,否则还有更通用的方法。Peabody 在 1948 年提出了一个方法^[13],并作为弹性分析设计引入了随后的 ACI 规范版本。六十年代在 Illinois 大学进行研究的基础上,此方法又有很大的扩展和改进^{[14][15]},并作为等代框架法出现在现行 ACI 规范中。

等代框架法是用弯矩分配法进行分析推导得出的。等代框架法将结构沿纵向及横向分成以柱轴线为中心连续框架,每一框架由一排柱和一个宽连续梁组成。梁或板梁包括以柱两侧区格的中心线为界的楼板部分。如果有柱轴线梁或柱顶板,亦包括在内。在垂直荷载下,每层楼盖和相连柱子可分别进行分析,假定柱和上面及下面的楼盖固接。在计算内支座弯矩时,可假设连续框架在距该支座两个板区格处为完全固定,只要框架连续通过该点。这样处理是方便而足够准确的。

板梁的惯性矩:分析时所用的惯性矩以混凝土的截面为基础,忽略钢筋,但应考虑截面沿构件轴线的变化。

等代柱:在等代框架法分析中,认为柱是通过受弯跨度横向的受扭构件与连续板梁相连,受扭构件延伸至此板梁两侧区格的中心线。这些横向抗扭构件的扭转变形减少了支座处实际柱的有效抗弯刚度。在分析时,这一影响取用刚度小于实际柱刚度的等代柱加以考虑。

但是由于等代框架法要求条件比较苛刻,在跨中有次梁的情况,不能使用,所以在美国的规范,关于主次梁楼板的设计还是按照边支撑板的设计方法进行设计的。

1.1.3 条带法

钢筋混凝土板的塑性分析方法,是以假定的破坏机构或以假定的弯矩分布图形为基础进行分析,以求出板的极限承载能力。因此,用这种方法,虽然很少情况能够求得板的极限承载能力的精确解‘但是,可能确定出极限承载能力的上限值或下限值,其依据是塑性理论的下述两个定理^{[16][17][18]}。

上很定理,根据任何一种假定的破坏机构算得的结构能承担的荷载值,一定

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库