

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 25320111151740

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

钢筋混凝土梁板三维条带设计方法研究

——无次梁

Research on 3D Strip Designing Method for Reinforced
Concrete beam slab—without secondary beam

杨 帆

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: 2014 年 4 月

论文答辩时间: 2014 年 5 月

学位授予日期: 2014 年 6 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2014 年 05 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

为了进一步探索完善钢筋混凝土梁板协同工作设计方法,在文献[13]、[14]、[35]、[36]、[37]系列研究的基础上,本文通过非线性有限元数值(ANSYS)模拟分析,对文献[36]、[37]提出的“三维条带法”膜效应系数、调幅系数作了必要的调整、修正和统一,使“三维条带法”分析的内力与非线性数值模拟更为接近,并分析了梁板膜效应系数的影响因素。此外分析还表明楼板支座负弯矩应为正弯矩的3~15倍,而非“边支承板”的1.5~2.5倍。文中还分析了满布竖向荷载及考虑竖向活载不利布置情况的内力分布差异,以及楼板反弯点的变化规律,给出了楼板负弯矩钢筋截断位置的设计建议。

设计分析模型为一层双向不等柱距3×3跨钢筋混凝土框架梁板结构(足尺模型)。计算分析表明,三板条和四板条划分方法对结构弹塑性内力的影响不大,边缘板带的宽度取短跨跨度的四分之一与各自跨度的四分之一时对结构弹塑性内力的影响也不大,工程设计中可根据具体情况灵活划分。框架结构中膜效应对梁板弹塑性内力的影响是巨大的,分析表明,影响膜效应的主要因素是柱的侧向刚度,故就工程设计而言膜效应系数可近似取一定值。文中还对悬挑板、悬挑梁、悬挑梁板的模型进行分析,结果表明,悬挑梁及悬挑板均不存在膜效应的影响,再次说明柱侧移刚度是梁板膜效应的主要来源;悬挑梁板(板位于梁顶部)中的梁,由于板的作用,其弹塑性弯矩也明显减小。分析认为,框架梁支座负弯矩减小(调幅)及支承于框架的楼板负弯矩增大的主要原因是梁在这一区域处于偏心受压状态,而板则处于偏心受拉状态。

大量模型非线性数值模拟分析表明,三维条带设计法是考虑钢筋混凝土梁板协同工作较为理想及实用的设计方法。

关键词: 三维条带法; 梁板协同工作; 板负筋截断位置

ABSTRACT

To further explore and complete the designing method for RC floor considering beam-slab cooperative work, based on the study of literature [13],[14], [35] ,[36] and [37], the article adjusted, corrected and unified the membrane action coefficient and adjustment coefficient of “3D strip method” which proposed by literature [35] and [36] by nonlinear numerical analysis using FEM (Ansys), and let the internal force analyzed by “3D strip method” closer to which analyzed by nonlinearity simulation, and analyzed influence factors of the coefficients. In addition, analysis results showed that the negative moment of slab should be 3-15 times of positive moment, rather than 1.5-2.5 times known by “edge-supported slab” concept. And the article analyzed the difference of models’ inner forces under vertical fully load distribution and vertical unfavorable live load distribution, and the change rule of moment-inflection-point, and gave a design proposal of the location of slab negative reinforcement cut-off.

Analyzing model is a two-way unequal column 3×3 span RC frame of single floor model (full-scale model). Due to the computational analysis, slab dividing methods named 3-strips and 4-strips does not much affect the plasticity inner force, width of edge-strip can be 1/4 short-span or 1/4 its-span and it does not much affect the plasticity inner force too, so we can divide the slab to strips neatly according to particular case in engineering designing. In frame structure the influence of membrane action to plasticity inner force of beam-slab is very huge, and analysis shows that the main influencing factor of membrane action is the stiffness of column, so the article gave fixed values as membrane coefficients for engineering design. can In addition, the article analyzed models with bridging piece, outrigger and bridging piece with beam, the analysis result indicates that there is not membrane action in bridging piece and outrigger, and shows that the stiffness of column is the main source of membrane action again; because of the effect of slab, the plasticity inner force of beam in the bridging piece (align the beam and slab upper edges) reduce obviously. Analysis

indicates that the main reason of the reduce of hogging moment of frame beam support (moment modulation) and the increase of hogging moment of frame slab support is that stress states of beam is eccentric compression and of slab is eccentric tension in this area.

A large number of nonlinear numerical analysis indicates that, 3D strip design method is a comparatively ideal and practical design method considering cooperative work of RC beam-slab.

Key words: 3D strip method; beam-slab cooperative work; slab negative reinforcement cut-off

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	II
目 录.....	IV
第一章 综述.....	1
1.1 概述.....	1
1.1.1 本文研究意义.....	1
1.1.2 楼盖分析基本理论.....	1
1.2 楼盖设计研究现状.....	3
1.2.1 设计方法简介.....	3
1.2.2 条带法简介.....	5
1.2.3 有限元法简介.....	7
1.2.4 传统设计方法的不足.....	8
1.3 楼盖整体性能研究现状.....	9
1.3.1 梁板协同工作.....	9
1.3.2 薄膜效应.....	10
1.3.3 考虑梁板协同工作的设计方法.....	12
1.4 本文主要研究工作.....	14
1.4.1 本文研究前提.....	14
1.4.2 本文研究内容.....	16
1.4.3 本文荷载工况.....	17
1.4.4 本文研究方法.....	17
1.4.5 本文研究模型.....	18
第二章 三维条带法.....	20
2.1 引言.....	20
2.2 板条划分原则.....	22

2.3 板面荷载分配	20
2.4 Sap 模型建立与计算	23
2.4.1 模型计算简图.....	23
2.4.2 模型参数调整.....	23
2.4.3 Sap 荷载工况.....	25
2.4.4 弯矩调整及配筋计算.....	25
2.5 Ansys 模型建立与计算	28
2.5.1 网格密度.....	28
2.5.2 模型其他参数.....	30
2.5.3 模型加载、约束及收敛.....	31
2.5.4 查看及分析结果.....	31
2.6 板条的划分方法探讨	31
2.6.1 6×6 模型	32
2.6.2 9×6 模型	35
2.6.3 其他不等跨模型.....	40
2.7 本章小结	41
第三章 三维条带法的梁板协同工作分析	43
3.1 引言	43
3.2 基于梁板协同工作的膜效应系数	43
3.3 关于膜效应系数 ζ 的若干分析	44
3.3.1 框架梁膜效应系数 ζ 影响因素	44
3.3.2 楼板膜效应系数 ζ 影响因素	47
3.3.3 挑梁、挑板的调整.....	48
3.4 弯矩调整原理探讨	48
3.4.1 薄膜效应.....	48
3.4.2 梁板相互作用	49
3.5 活荷载不利布置对模型的影响	52
3.5.1 荷载的不利布置方式.....	52
3.5.2 荷载不利布置的影响讨论.....	53

3.6 本章小结.....	63
第四章 三维条带法的应用——板负筋构造探讨	65
4.1 引言.....	65
4.2 板负弯矩筋截断位置.....	65
4.2.1 工程常用截断点.....	65
4.2.2 本文研究模型.....	66
4.2.3 楼板反弯点确定方法.....	67
4.2.4 楼板反弯点位置.....	72
4.2.5 楼板负弯矩筋截断位置.....	73
4.3 本章小结.....	76
第五章 结论及展望.....	78
5.1 结论.....	78
5.2 展望.....	80
参考文献.....	82
致 谢.....	86

CONTENTS

ABSTRACT	I/II
CONTENTS.....	IV
Chapter 1 Review	1
1.1 Overview	1
1.1.1 Significance of this study	1
1.1.2 The basic theory of floor analysis	1
1.2 Research review on floor design.....	3
1.2.1 Introduction for design method.....	3
1.2.2 Strip method.....	5
1.2.3 Finite element method.....	7
1.2.4 The shortcomings of traditional design method.....	8
1.3 Research review on floor overall performance.....	9
1.3.1 Cooperative work of beam and slab.....	9
1.3.2 Membrane action.....	10
1.3.3 The design method considering Cooperative work of beam-slab.	12
1.4 Main research of this study	14
1.4.1 The premise	14
1.4.2 The substance	16
1.4.3 The Load	17
1.4.4 The method.....	17
1.4.5 The model.....	18
Chapter 3 3D strip method.....	20
2.1 Introduction	20
2.2 Load distribution.....	22
2.3 Classification principles of strip.....	20

2.4 Sap-model and calculation	23
2.4.1 Calculation diagram	23
2.4.2 Coefficients adjustment.....	23
2.4.3 Load case.....	25
2.4.4 Moment adjustment ,reinforcement calculation.....	25
2.5 Ansys-model and calculation.....	28
2.5.1 Mesh density	28
2.5.2 Parameter.....	30
2.5.3 Loading ,constraint and convergence.....	31
2.5.4 Analyse the results.....	31
2.6 Discussion on how to divide slab into strips.....	31
2.6.1 6×6 model	32
2.6.2 9×6 model	35
2.6.3 Other unequal span models	40
2.7 Conclusion.....	41
Chapter 3 Analysis for cooperative work of 3D strip method	43
3.1 Introduction	43
3.2 membrane action coefficient ζ.....	43
3.3 Analysis on membrane action coefficient ζ	44
3.3.1 Influencing factors of beam ζ	44
3.3.2 Influencing factors of slab ζ	47
3.3.3 Adjustment for cantilever beam ζ and cantilever slab ζ	48
3.4 The principle of moment adjustment	48
3.4.1 Membrane action.....	48
3.4.2 Cooperation of beam and slab.....	49
3.5 The effects of unfavorable live load distribution.....	52
3.5.1 The method for unfavorable live load distribution.....	52
3.5.2 Discussion of the effects	53
3.6 Conclusion.....	63

Chapter 4 slab negative reinforcement structure _an application of 3D strip method	65
4.1 Introduction	65
4.2 Cut-of of negative reinforcement	65
4.2.1 Cut-of in works	65
4.2.2 Model	66
4.2.3 The way to find the moment-inflection-point	67
4.2.4 The moment-inflection-point	72
4.2.5 Negative reinforcement cut-of	73
4.3 Conclusion.....	76
Chapter 5 Conclusions and expectations	78
5.1 Conclusion.....	78
5.2 Expectation	80
Reference.....	82
Acknowledgements.....	86

第一章 综述

1.1 概述

1.1.1 本文研究意义

钢筋混凝土楼盖可支承在钢筋混凝土梁、砖墙、钢筋混凝土墙或钢构件上，亦可直接支承在柱上，还可以铺在地面上，成为一个楼盖体系。楼盖体系提供了平坦的可供使用的表面，是重要的水平承重结构，承担并且传递竖向荷载。同时，楼板将所有竖向承重构件连成一个整体，作为竖向承重构件的水平支撑，以提高竖向承重结构的稳定性。

楼盖体系同时也承担着水平荷载（风荷载、地震荷载）的传递，在各个抗侧力构件中进行分配。所以，楼盖在建筑抗震中也是至关重要的。

从唐山地震和汶川地震中我们看到，大量的钢筋混凝土框架结构出现“强梁弱柱”的破坏模式，而规范所要求的“强柱弱梁”的破坏模式几乎没有出现。这一现象的主要原因，是楼板对框架梁抗弯能力起到了很大的增强作用^[1]。为了实现“强柱弱梁”，2010 新版抗震规范在 2001 版抗震规范的基础上对柱端弯矩增大系数进行不同程度的提高，国内外研究及国外规范表示，这还是具有一定的局限性，要确保框架结构“强柱弱梁”机制的实现，关键还是要综合考虑楼盖体系的影响。

钢筋混凝土楼盖体系按支承条件可分为无梁楼盖及肋梁楼盖两类^[2]。

随着大跨度、大空间建筑的发展，高层建筑结构对楼盖高度的限制，人们对钢筋混凝土楼盖提出了更高的要求，如何对其进行更科学合理地设计，提高建筑结构整体的抗震性能，进一步改善其受力性能，节约材料用量成为亟待研究的一个重要课题。

1.1.2 楼盖分析基本理论

关于钢筋混凝土肋梁楼盖体系的分析，国内外研究者提出了有很多种方法，基本上依据弹性理论、塑性分析理论以及塑性极限分析理论等进行分析的。

一、板的弹性理论

一般工程中楼盖体系的板，其厚度 t 远小于板面最小尺寸 b ，其比值大都符合 $(1/80 \sim 1/100) < t/b < (1/5 \sim 1/8)$ ，均满足弹性薄板理论^{[3][4]}。弹性薄板弯曲理论为近似理论，建立在以下两个假设上：

- 1、在板变形前，原垂直于板中间面的线段（即设想板是由无数长为 t 的垂直于中间面的线段材料密集而成的）在板变形后，仍垂直于微弯了的中间面^[3]；
- 2、作用于与中间面相平行的诸截面内的正应力与横截面内的应力相比很小，可忽略不计^[3]。

二、板的塑性理论

弹性方法过于复杂的方程与难以明确的支承条件给分析带来一定难度，保守的计算结果带来了工程上的不经济性，弹性分析方法还在一些重要方面受到限制，如板区格规则性、支承条件、楼板开洞等，而实际上，很多板并不满足这些限制。因此引入了塑性分析的概念。

钢筋混凝土楼盖一般为超静定结构，在承受荷载时，受混凝土的非弹性变形、裂缝的出现和开展、钢筋的锚固滑移以及塑性铰的形成和转动等因素的影响，结构构件的刚度在各受力阶段不断变化，所以钢筋混凝土楼盖实际内力与变形与用弹性方法按不变刚度计算的结果差别明显^[5]。塑性方法中，考虑结构的塑性内力重分布进行内力计算。

大多数钢筋混凝土板按照以上方法，以弹性方法计算的弯矩进行设计，而板的配筋却按在设计荷载阶段考虑了构件的实际非弹性性质的承载力方法进行计算，但很明显，这种分析设计方法是不协调的，尽管这样做安全但过于保守^[5]。

三、塑性极限理论

在钢筋混凝土结构的试验和使用过程中，有时需要预估其所能承受的极限荷载值。对塑性极限理论，结构的极限破坏荷载介于实际破坏荷载的上限与下限之间，又称极限平衡法。这两个限值可由已确定的方法得出，在求精确解时应使由该限值求得的极限荷载收敛得精确解^[2]。

1、上限定理

上限定理是假设各塑性铰处的弯矩等于屈服弯矩且满足边界条件，若板对位移的微小增量所作的内功等于给定荷载对此位移的微小增量所作的外功，则此荷载为实际承载能力的上限^[2]。

2、下限定理

下限定理是在一个给定的外荷载下,若可找出一种弯矩分布既满足平衡要求,且在任何位置的弯矩不超过屈服弯矩,又满足边界条件,则此给定荷载为实际承载能力的下限^[2]。

1.2 楼盖设计研究现状

1.2.1 设计方法简介

在楼盖基本理论的基础上,衍生出许多楼盖的设计方法,有基于弹性理论的弹性设计法、基于塑性理论的弹塑性设计法和塑性极限理论的塑性设计法等,随着计算机的发展,在计算机分析的便捷条件下,更是大力推进了楼盖的设计方法研究。

一、弹性设计法

弹性设计方法是在假定材料是弹性的基础上,由于其应力与应变成比例,采用结构力学方法计算其内力与变形。对于尺寸和荷载都很规整的结构,均有现成的系数可参考。基于弹性理论的设计的方法有很多,如结构力学解析方法、有限差分法、有限元法、数值近似法、拟梁法^[6]等^[7]。

钢筋混凝土楼板多是超静定结构,故弹性设计方法不适用于结构开裂以后的情况。根据板弹性理论下的弯矩分布、塑性理论下的强度分布、在模型试验结果及实际经验,美国的 ACI 规范还提出了半经验的直接设计法和近似弹性分析的等代框架法等。

二、弹塑性设计法

弹塑性设计法是考虑塑性内力重分布的设计方法,能较好地反映混凝土结构开裂后的受力情况。弹塑性设计法,有弯矩调幅法、UBC 法等。其中弯矩调幅法,是对结构按弹性方法所算得的最大弯矩值进行适当的调整,用以考虑结构因非弹性变形引起的内力重分布,同时保证结构在正常使用截断变形和裂缝满足规范要求^[2]。目前许多国家包括我国都一直采用此法进行设计计算。

但由于塑性内力重分布是以结构开裂和塑性变形得到一定的发展为先决条件的,对抗裂要求较高、处于浸蚀或潮湿环境、直接承受动力或疲劳荷载、处于

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.

厦门大学博硕士论文摘要库