

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: 25320091151482

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

## 带加强层的框架核心筒结构性能研究

The Performance Analysis of Frame-corewall Structure with  
Strengthened Story

王巧娜

指导教师姓名: 林树枝教授 雷鹰教授

专 业 名 称: 防灾减灾工程及防护工程

论文提交日期: 2012 年 5 月

论文答辩时间: 2012 年 6 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2012 年 6 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 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

随着城市用地紧张化及高新技术的发展,房屋建筑的高度不断增加。框架核心筒结构是高层建筑的常用结构体系。当框架核心筒结构抗侧力刚度不能满足要求时,常考虑在框架核心筒结构中设置水平伸臂,必要时还可以沿楼层外围结构周边设置环带。

目前国内高层、超高层的钢筋混凝土框架核心筒结构中,主要采用的是实腹梁式水平伸臂,对于钢筋混凝土伸臂桁架缺少系统性的研究。同时,国内外在环带对框架核心筒结构的影响方面的研究较少。为此,本文在这方面做了一些工作:

本文采用 ETABS 建立结构有限元模型。对一幢 50 层带钢筋混凝土伸臂桁架的框架核心筒结构,详细分析加强层设置位置、加强层数量、加强层刚度、加强层形式和伸臂与外框架柱连接方式对结构周期、侧移、内力的影响;同时,还采用三维图形显示仅设置一个加强层时加强层设置位置、加强层刚度同时变化后结构顶点侧移的分布规律。并提出了实际工程中设置水平伸臂时的最优位置、数量及刚度的建议。

其次,建立一个 60 层带钢筋混凝土伸臂桁架的框架核心筒结构模型,详细分析了不同环带刚度方案下结构自振周期、侧移、内力的反应,总结了环带对带伸臂的框架—核心筒的影响及实际工程的建议。

本文较为全面地研究了带加强层后钢筋混凝土框架核心筒结构的结构自振周期、结构侧移、结构内力的影响,有助于指导实际工程设计。

**关键词:** 框架—核心筒; 水平伸臂; 伸臂桁架; 环带

## Abstract

With the developments of city and the innovations of new technologies, the height of the civil engineering structures is increasing. Frame-core tube structure is a commonly used style in high-rise building. When the rigidity of the frame-core tube is not enough for the resistance of lateral load, outriggers are often considered to set up between the core and the outside frame in engineering. And if necessary, belts will set up along the floor around the outer structure.

The solid-web girder horizontal outriggers research is emphasized in domestic high-rise and super high-rise reinforced concrete frame-core tube structures. The reinforced concrete cantilever truss lacks of systematic research. And the research of belt is ignored. Therefore, this paper has done some researches on these aspects.

This paper uses three dimensional finite element software ETABS to establish structure models. Firstly, set up a 50 floors a frame-core tube structure with reinforced concrete outrigger truss. And then, this paper detail analysis on the influence of the structure period, lateral displacement, internal force when change optimal location, strengthening layer number, reinforcing layer stiffness, reinforcing layer forms and the connection modes between reinforcing layer and frame column. And then use three dimensional graphics display the lateral displacement in changing arranged position and the stiffness of strengthen, when set up single outrigger.

Secondly, the thesis conducts a space dynamic analysis on a framed-tube structure that has different belted and outrigger plans by ETABS, compares and sums up the change of structural vibration period, lateral displacement and internal force response.

The influence of reinforced concrete cantilever truss and belt to the framed-tube structure are overall described. The conclusion can help design in practical engineering.

**Key Words:** frame-core tube; horizontal outriggers; cantilever truss; belts

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 选题背景 .....	1
1.2 带水平伸臂的高层结构的特点 .....	3
1.2.1 加强层结构的类型 .....	3
1.2.2 带水平伸臂的高层结构的工作特点 .....	4
1.3 加强层的研究现状 .....	5
1.3.1 加强层位置的优化研究现状 .....	5
1.3.2 加强层刚度的优化研究现状 .....	7
1.3.3 加强层受力性能研究现状 .....	7
1.4 本文的主要研究内容 .....	9
<b>第二章 带加强层高层结构分析的基本理论</b> .....	<b>11</b>
2.1 高层建筑结构分析通用软件 ETABS .....	11
2.2 高层建筑结构的抗震设计理论和方法 .....	12
2.2.1 振型分析 .....	12
2.2.2 反应谱分析 .....	14
2.2.3 时程分析 .....	15
2.3 按刚性加强层分析伸臂的最优位置 .....	16
2.4 本章小结 .....	20
<b>第三章 带水平伸臂的框架核心筒结构</b> .....	<b>21</b>
3.1 计算模型 .....	21
3.1.1 模型概况 .....	21
3.1.2 加强层设置方案 .....	23
3.2 不同加强层位置方案分析 .....	25
3.2.1 不同加强层位置对结构周期的影响 .....	25
3.2.2 不同加强层位置对结构侧移的影响 .....	26
3.2.3 不同加强层位置对结构内力的影响 .....	34
3.3 设置不同数量水平加强层方案分析 .....	41



3.3.1 加强层数量对结构周期的影响.....	42
3.3.2 加强层数量对结构侧移的影响.....	43
3.3.3 加强层数量对结构内力的影响.....	52
<b>3.4 设置不同刚度水平加强层方案分析.....</b>	<b>61</b>
3.4.1 加强层刚度对结构周期的影响.....	61
3.4.2 加强层刚度对结构侧移的影响.....	62
3.4.3 加强层刚度对结构内力的影响.....	66
<b>3.5 设置不同形式水平加强层方案分析.....</b>	<b>70</b>
3.5.1 不同加强层形式对结构周期的影响.....	71
3.5.2 不同加强层形式对结构侧移的影响.....	72
3.5.3 不同加强层形式对结构内力的影响.....	76
<b>3.6 双变量对水平伸臂最优位置的影响.....</b>	<b>80</b>
<b>3.7 弹性时程分析.....</b>	<b>81</b>
<b>3.8 本章小结.....</b>	<b>84</b>
<b>第四章 环带对带水平伸臂的框架核心筒结构性能的影响.....</b>	<b>87</b>
4.1 模型概况.....	87
4.2 设置一个伸臂时环带裙梁刚度影响.....	89
4.2.1 环带对结构周期的影响.....	89
4.2.2 环带对结构侧移的影响.....	90
4.2.3 环带对结构内力的影响.....	95
4.3 弹性时程分析.....	101
4.4 本章小结.....	103
<b>第五章 结论与展望.....</b>	<b>105</b>
5.1 结论.....	105
5.2 展望.....	107
<b>参考文献.....</b>	<b>108</b>
<b>致 谢.....</b>	<b>112</b>
<b>攻读硕士学位期间发表论文.....</b>	<b>113</b>

# Table of Contents

<b>Chapter 1 Preface .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Background .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 The characteristics of strengthened story .....</b>	<b>3</b>
1.2.1 The type of strengthened story .....	3
1.2.2 The working characteristics of strengthened story .....	4
<b>1.3 The research of strengthened story .....</b>	<b>5</b>
1.3.1 The research on the optimization of the layer's position .....	5
1.3.2 The research on the optimization of the layer's stiffness .....	7
1.3.3 The research on the mechanical properties of strengthen layer .....	7
<b>1.4 The main work of this paper .....</b>	<b>9</b>
<b>Chapter 2 The base analysis theory of strengthened story .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Analysis software ETABS .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 The seismic design theory and method of high-rise building .....</b>	<b>12</b>
2.2.1 Vibration mode analysis .....	12
2.2.2 Response spectrum analysis .....	14
2.2.3 Time history analysis .....	15
<b>2.3 The optimal loaction of rigid outrigger .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 Summary .....</b>	<b>20</b>
<b>Chapter 3 The frame-core tube structure with outrigger .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 The finite element model .....</b>	<b>21</b>
3.1.1 The general situation of model .....	21
3.1.2 The setting scheme of outrigger .....	23
<b>3.2 Analysis the influence of outrigger's position .....</b>	<b>25</b>
3.2.1 The influence on vibration period .....	25
3.2.2 The influence on lateral displacement .....	26
3.2.3 The influence on internal force response .....	34
<b>3.3 Analysis the influence of outriggers'number .....</b>	<b>41</b>

3.3.1 The influence on vibration period.....	42
3.3.2 The influence on lateral displacement .....	43
3.3.3 The influence on internal force response .....	52
<b>3.4 Analysis the influence of outriggers’s stiffness.....</b>	<b>61</b>
3.4.1 The influence on vibration period.....	61
3.4.2 The influence on lateral displacement .....	62
3.4.3 The influence on internal force response .....	66
<b>3.5 Analysis the influence of outriggers’ type.....</b>	<b>70</b>
3.5.1 The influence on vibration period.....	71
3.5.2 The influence on lateral displacement .....	72
3.5.3 The influence on internal force response .....	76
<b>3.6 Analysis the influence of double variables.....</b>	<b>80</b>
<b>3.7 Time history analysis.....</b>	<b>81</b>
<b>3.8 Summary .....</b>	<b>84</b>
<b>Chapter 4 The influence of belts on strengthened story .....</b>	<b>87</b>
<b>4.1 The finite element model.....</b>	<b>87</b>
<b>4.2 Analysis the influence of belts’s stiffness .....</b>	<b>89</b>
4.2.1 The influence on vibration period.....	89
4.2.2 The influence on lateral displacement .....	90
4.2.3 The influence on internal force response .....	95
<b>4.3 Time history analysis.....</b>	<b>101</b>
<b>4.4 Summary .....</b>	<b>103</b>
<b>Chapter 5 Conclusion and prospect.....</b>	<b>105</b>
<b>5.1 Conclusion.....</b>	<b>105</b>
<b>5.2 Prospect .....</b>	<b>107</b>
<b>Reference.....</b>	<b>108</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>112</b>
<b>List of published papers .....</b>	<b>113</b>

# 第一章 绪论

## 1.1 选题背景

由于技术上的可能性、经济上的可行性、城市人口剧增用地紧张导致的必然性，现代高层建筑得到了蓬勃的发展。我国很多大中城市涌现出不少超高层建筑，如上海环球金融中心大厦、深圳地王大厦等。这些建筑的建成不仅能推动经济发展，而且也能成为当地的地标性建筑，因此研究并保证其安全性与适用性是非常重要的。

随着轻质高强材料的广泛应用，现代的高层建筑在发展中不断突破原有的高度范畴，越来越高、越来越柔；结构体系也在不断创新；结构的复杂程度越来越高。超高层建筑给结构设计和建造带来了两个重要问题：①在水平荷载(地震或风荷载)作用下，结构的侧向位移过大；②主要抗侧力构件所受弯矩过大。如何选择合理的、经济、安全的结构形式成为解决问题的关键。

目前常见的超高层建筑结构形式有以下几种：框架—核心筒体系；多筒体体系；框架支撑体系；巨型框架体系等。在高层建筑的實際设计中，框架—核心筒结构以其疏柱、大开间的特点成为常用结构体系。核心筒是框架—核心筒中的主要的抗侧力构件，顶点的位移和层间变形由结构的抗侧刚度大小决定，建筑越高要求结构的抗侧刚度越大<sup>[1]</sup>。利用电梯间、楼梯间等中央服务区组合成的核心筒尺寸往往受到建筑上的制约，容易出现抗侧刚度不够、核心筒底部弯矩过大、设计实现困难等问题<sup>[2]</sup>；而在地震作用下，增强核心筒的抗侧刚度，地震作用就会加大<sup>[1]</sup>。在实际工程中为了解决框架—核心筒侧移刚度随高度增加不满足规范限值要求的特点，常考虑利用建筑的设备层、避难层空间，布置加强层，即在该楼层的核心筒与外围框架之间设置较大的水平伸臂构件或同时沿该层的外围框架设置刚度较大的周边环带<sup>[3]</sup>。

用加强层来提高框架—核心筒结构体系的抗侧刚度是由Barkacki提出的<sup>[4]</sup>。目前国内高层框架—核心筒结构使用设置加强层来优化结构的性能日趋广泛。表1.1列出了国内外一些带加强层的超高层建筑。

表 1.1 高层建筑加强层结构体系的工程应用统计

工程名称	RC/ST /SRC	结构体系	层数	加强层位置	加强层类型
上海金茂大厦	SRC		88	25/52/86	伸臂桁架
深圳地王大厦	SRC	框筒	81	2/22/41/66	伸臂桁架
深圳中航广场大厦			64	8/25/44/61	伸臂桁架 外围周边环带
香港交易广场大厦	RC	框筒	51	20/37	梁式水平伸臂
佳木斯国泰大厦	RC		43	14/32/43	梁式水平伸臂
北京国际大厦	RC	筒中筒	41	13/26/37	梁式水平伸臂
厦门远华国际中心大厦	SRC	框筒	88		伸臂桁架
天津华信商厦	RC	筒中筒	48	21/36	梁式水平伸臂
广州合银大厦	RC	框筒	60	11/27/42	伸臂桁架
美国威斯康星中心大楼	ST		42	17/42	伸臂桁架
东京新宿行政大楼	ST		54	14/27/40/54	伸臂桁架
青岛广场			54	23/41	加高裙梁

资料来源：沈蒲生：《带加强层与错层高层结构设计及施工》，机械工业出版社，2009年8月

近年来，在高层建筑结构抗风、抗震设计中，在结构的适当部位设置加强层是一种有效控制结构侧移的方法。这种方法的优点是：(1)有效减少结构侧移、增大结构抗侧刚度，顶点位移和层间侧移减小。超高层建筑合理设置加强层其顶点位移可比不设置加强层情况降低 10-32%，效果显著<sup>[5]</sup>；(2)可明显改善结构受力状态：①外框柱的轴压力明显增大，部分原来由构件的抗弯作用来抵抗的倾覆力矩改由外框柱的轴向拉压来抵抗，两者相比而言，后者的材料利用率高；②内筒或剪力墙的弯矩减小，能一定程度上避免高层建筑中应用框架—筒体结构出现的芯筒底部弯矩过大、设计实现困难等问题<sup>[2]</sup>；(3)利用技术层避难层设置水平加强层，可较好解决建筑底部或其它层次需要开设大空间造成结构上下层形式不同和结构布置上的矛盾，从而满足建筑功能需求<sup>[6]</sup>；(4)设置加强层能够产生具明显的经济价值<sup>[7-9]</sup>：①在满足使用功能和规范要求的前提下，减小了剪力墙、筒体和柱等竖向构件的截面尺寸，增加了使用面积，有利于建筑使用；②由于减小了剪力

墙、筒体的柱等竖向构件的截面尺寸，与不设水平加强层的相应结构相比，可节约混凝土 12%左右，可减轻自重，降低造价。

加强层的设置能有效控制结构侧移，但是它会使结构刚度沿竖向发生突变，加强层附近几层的内力发生突变<sup>[10]</sup>。(1)核心筒墙肢沿高度弯矩发生急剧变化，在加强层的上、下几层弯矩大幅度增加，核心筒的剪力在加强层的上、下几层同样有较大幅度的增加；(2)柱的轴力在加强层的下层突然增大，柱的弯矩和剪力在加强层的上、下层亦急剧增加；(3)加强层的水平伸臂构件承受很大的弯矩和剪力，加强层上下楼板会产生较大的翘曲，主应力符号发生改变。由于存在内力突变，在罕遇地震作用下，带“刚性”加强层的框架-核心筒结构如无专门措施，结构的破坏机理难以呈现“强柱弱梁”和“强剪弱弯”的延性屈服机制，加强层及其上、下层应力的集中很容易形成薄弱层，导致结构的破坏甚至倒塌<sup>[11]</sup>。

## 1.2 带水平伸臂的高层结构的特点

### 1.2.1 加强层结构的类型

加强层水平外伸构件一般可归纳为如下三种基本形式：实体梁（或整层箱形梁）、斜腹杆桁架和空腹桁架，如图 1.1 所示。

加强层周边水平环带构件一般可归纳为开孔梁、斜腹杆桁架和空腹桁架三种基本形式<sup>[12]</sup>，如图 1.2 所示。

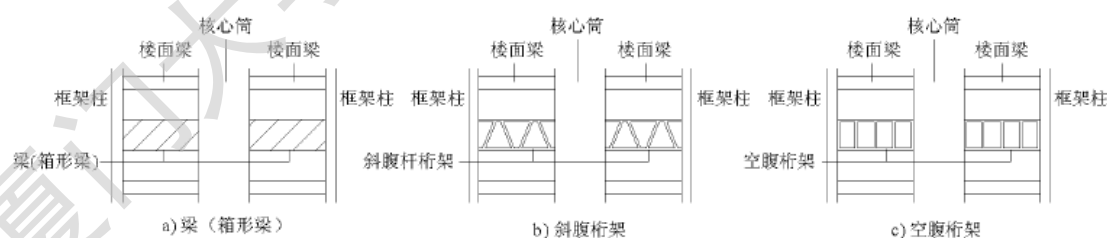


图 1.1 水平外伸构件基本形式

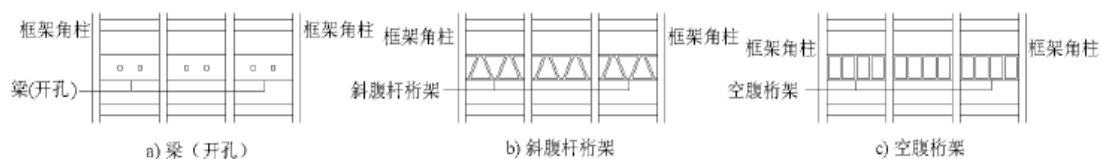


图 1.2 水平环带构件基本形式

### 1.2.2 带水平伸臂的高层结构的工作特点

带水平伸臂的高层建筑，由一个钢筋混凝土筒体或带支撑的钢框架筒，通过刚性的水平伸臂与外柱连接构成。筒体可以位于两个柱列之间且伸臂向两边伸出，也可以位于建筑物的一侧而悬臂向一边伸出与柱相互连接<sup>[4]</sup>(图 1.3)。

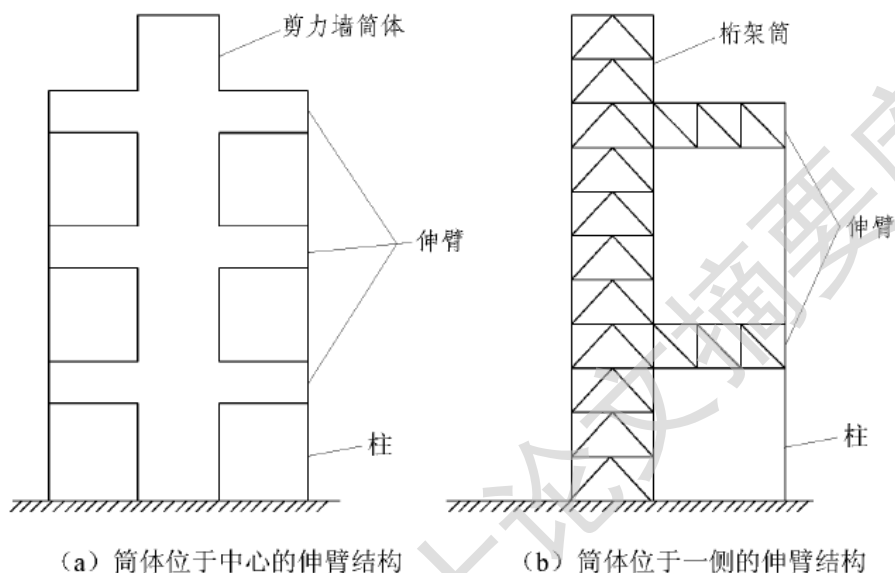


图 1.3 带伸臂的筒体结构图

当水平荷载作用于结构上时，由伸臂约束的柱将阻止筒体的转动，因而使筒体的水平位移和弯矩比只有单独筒体受水平作用时小(图 1.4)。其结果相当于增加了结构作为一个竖向悬臂构件受弯时的截面高度，并相应减小了迎风面和背风面其它柱子的拉力和压力<sup>[6]</sup>。

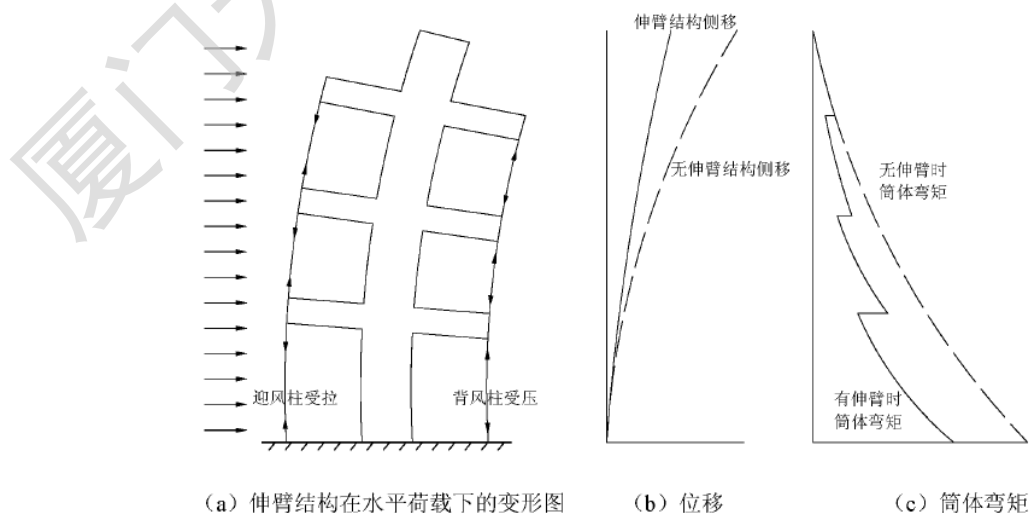


图 1.4 有无伸臂时结构性能能力比图

除了位于伸臂端部的柱子以外，通常还要布置其他周边柱来帮助约束伸臂，这可以通过在伸臂高度处设置一条像带子一样的深裙梁来实现。为了使伸臂和深裙梁在抗剪和抗弯时有足够的刚度，通常将它们做成至少一层、一般为两层高<sup>[9]</sup>。为了减少因其引起的使用不便，通常将其布置在设备层。

一个结构有时通过在顶部设一伸臂层而有效的增加自身刚度，对这种情况，也叫做“顶帽”结构。每增加一个伸臂层都会增加结构的侧向刚度，但所增加的量是递减的。在很高的高层建筑，有时会用到四个伸臂层<sup>[10]</sup>。

尽管伸臂体系在增加结构抗侧刚度方面非常有效，但它不会增加结构的抗剪能力，剪力必须主要有筒体部分承担<sup>[7]</sup>。

### 1.3 加强层的研究现状

自 Barkacki 于 1962 年提出用加强层来提高结构抗侧刚度的概念，并应用于加拿大蒙特利尔一栋 47 层的建筑以来，各国学者和工程师在总结前人研究成果的基础上，不断进行研究，发展和完善这一结构形式，并且各有侧重点。

#### 1.3.1 加强层位置的优化研究现状

1975 年，美国学者 Taranath<sup>[13]</sup>将设置有加强层的框架—核心筒结构简化为较简单的二维平面分析模型。该模型的基本要点是：加强层刚度无穷大，加强层与核心筒刚性连接，与外围框架柱铰接。这种模型反映了带加强层结构的工作机理，概念清晰明确。Taranath 使用该模型以顶部侧移最小为控制目标，得出设置一个加强层时其最优位置位于离顶部 0.455 倍全高位置的结论。

同年，McNabb J.W 和 Muvdi B.B<sup>[14]</sup>证实了 Taranath 分析设置一道加强层时位置优化的结论，并利用该简化模型进一步求得带两道加强层的结构的最优位置在离结构顶部 0.312 和 0.685 倍全高处。

20 世纪 80 年代初，加拿大 B.S. Smith 教授提出了均匀加强层结构的近似分析方法<sup>[4]</sup>。所谓均匀加强层结构是指结构沿房屋高度方向构件刚度保持不变即结构具有均匀的筒体、均匀的柱子、各伸臂结构的尺寸相近，用变形协调方法，考虑在加强层位置处核心筒的转角与对应的伸臂相同的协调条件，建立方程求得内力、位移解析解，通过设定抗侧刚度最大化为优化目标，对位移函数求导得出加



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库