

GAOCENG JIANZHU

GANGJIN HUNNINGTU DAIXIN FENTIZHU

高层建筑

钢筋混凝土带芯分体柱

楚秀娟 / 著 ■■■■■■



西南交通大学出版社

www.xnjdcbs.com

GAOCENG JIANZHU
GANGJIN HUNNINGTU DAIXIN FENTIZHU

高层建筑.....

钢筋混凝土带芯分体柱

楚秀娟 / 著

西南交通大学出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

高层建筑钢筋混凝土带芯分体柱 / 楚秀娟著. —成都: 西南交通大学出版社, 2014.6
ISBN 978-7-5643-3175-7

I. ①高… II. ①楚… III. ①高层建筑—钢筋混凝土柱 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 144862 号

高层建筑钢筋混凝土带芯分体柱

楚秀娟 著

责任编辑	曾荣兵
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川川印印刷有限公司
成品尺寸	170 mm×230 mm
印 张	8.75
字 数	201 千字
版 次	2014 年 6 月第 1 版
印 次	2014 年 6 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3175-7
定 价	46.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

安全学科的研究对象是事故,研究目的是预防故事的发生和控制事故后的损失。本书主要研究钢筋混凝土结构高层建筑中短柱的抗震能力,由此得到抗侧移能力强、承载能力高、可实现“大震不倒、中震可修”目的的钢筋混凝土带芯分体柱的模型及其基本计算参数、构造理论和设计方法,为预防高层建筑底部短柱在地震作用下发生脆性破坏,同时为减小柱的截面面积提供设计依据。所以,本书研究对象属安全学科范畴。

本书介绍了地震造成的破坏特点并举例说明其危害性,阐述了在地震作用下研究高层建筑钢筋混凝土结构带芯分体柱及其计算机模拟技术的必要性。传统钢筋混凝土高层建筑随着建筑层数的增加,竖向荷载加大,因受轴压比限制而使得底部几层柱的截面加大,造剪跨比小、延性差,由此而易发生剪切破坏和小偏心受压破坏的短柱甚至超短柱。这两类破坏形式都是脆性破坏,是没有预兆的突发性破坏。建筑物抗震性能主要取决于结构物吸收地震能量的能力,它等于结构承载力与变形能力的乘积,即结构抗震能力是由其承载力和变形能力共同决定的。

短柱的脆性破坏和延性不足是钢筋混凝土框架结构地震及风灾作用下造成结构破坏甚至倒塌的主要原因。正确判断和处理短柱、超短柱是结构抗震设计过程中必须面对的主要问题。为提高承载能力和变形能力,在钢筋混凝土短柱内加入芯部钢筋并结合分体柱技术,形成钢筋混凝土带芯分体柱,将核心柱的高轴压比和分体柱的大剪跨比特点结合起来,直接变短柱为“长”柱,提高了延性、承载能力,同时也减小了柱截面面积,破坏形式由剪切型变为弯曲型,从而消除短柱、改善短柱的抗震性能,实现结构的抗震安全性的目的。工程结构在地震时遭受破坏是造成人员伤亡和财产损失的主要原因,其破坏程度与结构类型和抗震措施等有关。

本书研究钢筋混凝土带芯分体柱在压、弯、剪及地震作用下的承载能力,对提高高层建筑底部短柱竖向承载力、侧向变形能力和地震作用下的延性能力具有重要意义。结合钢筋混凝土带芯柱的强抗压性能(高轴压比)和钢筋混凝土分体柱的大侧移能力(减小的侧移刚度),提出了具有二者各自优点的钢筋混凝土



带芯分体柱,采用理论推导和数值模拟的方法对钢筋混凝土带芯分体柱在压、弯、剪及地震作用下的承载能力进行了较为系统的研究。运用材料力学、理论力学、弹塑性力学、钢筋混凝土结构学等相关理论,用理论推导和数值模拟的方法对钢筋混凝土带芯分体柱在轴心受压、偏心受压、剪切及地震作用下的承载能力进行了较为系统的研究,并推导出轴压、偏压、剪切承载力计算表达式,限定了使用条件。以此为基础,运用大型通用有限元 ANSYS/LS-DYNA 显示动力分析软件,建立了钢筋混凝土带芯分体柱承载能力计算模型,对轴压、偏压、剪切及地震作用下的钢筋混凝土带芯分体柱进行了模拟计算,通过分析计算结果与理论计算结果相比较,对计算公式的正确性和适用性进行验证,得出钢筋混凝土带芯分体柱同时具有分体柱和带芯柱各自的优点。在此基础上,提出了设计建议。

本书通过理论分析和数值模拟,主要得出以下结论:

(1) 钢筋混凝土带芯分体柱具有钢筋混凝土带芯柱的强抗压能力,结构面积小。由于柱芯钢筋参与受力,对钢筋混凝土带芯柱的轴压力提供一个增量,使得钢筋混凝土带芯分体柱可以承担更大的竖向荷载。因此,钢筋混凝土带芯柱在同等竖向承载力的情况下,相较其他柱体可以减小柱截面面积,增大房屋使用面积,减小混凝土用量,具有一定的经济效果。该增量与芯部钢筋及混凝土的材料系数、芯部配筋量、面积特征系数等有关。

(2) 钢筋混凝土带芯分体柱延性好。该柱中普通配箍率的提高和芯部箍筋的设置能够改善钢筋混凝土带芯分柱体的抗震性能,即使在轴压比很高时,配箍率对构件抗震性能——延性也有所提高作用。因此,为防止斜裂缝的出现及提高带芯分体柱的塑性转动能力,在带芯分柱体中采用较高配箍率是必要的。

(3) 带芯分柱体的抗弯承载力低于整截面柱的抗弯承载力。由于柱体中间设缝,抗弯刚度削弱,使其抗弯承载力低于整截面柱的抗弯承载力;但由于隔板的摩擦作用,其值略高于四个独立小柱的受弯承载力之和。本书取等于四个独立小柱的受弯承载力之和作为钢筋混凝土带芯分体柱的抗弯承载力。

(4) 带芯分柱体的截面承载力可以简化地按四个独立小柱之和计算。本书给出了钢筋混凝土带芯分体柱轴心受压、偏心受压及受剪承载力计算公式,分别用四个独立小柱的轴心受压、偏心受压及受剪承载力之和作为钢筋混凝土带芯分体柱的轴心受压、偏心受压及受剪承载力。

(5) 柱上下端整截面过渡区的设置是必要的。过渡区对分柱体受力性能的影响不大,但对防止竖向分缝开展过早进入节点区起到保护作用。

(6) 钢筋混凝土带芯分体柱的轴压比提高。由于柱芯钢筋参与受力,对钢筋混凝土带芯柱的轴压力提供一个增量,使得钢筋混凝土带芯分体柱可以承担更

大的竖向荷载,可以用各小柱面积之和来控制,与整体柱轴压比定义相同。

(7) 钢筋混凝土带芯分体柱有一定的适用范围。钢筋混凝土带芯分柱体适用于设防烈度为Ⅶ~Ⅺ度的框架,框架一剪力墙以及框支结构中剪跨比 $\lambda \leq 1.5$ 的短柱。钢筋混凝土带芯分体柱框架在满足《混凝土结构设计规范》《建筑抗震设计规范》和《高层建筑混凝土结构技术规程》的设计计算要求和带芯分柱体单体模拟试验所得设计建议后,能够使原来的短柱框架达到延性框架的要求。

(8) 模拟计算验证了前面理论推导所得公式的正确性。通过模拟计算发现,钢筋混凝土带芯分柱的芯部箍筋迟于普通箍筋进入工作状态,芯部纵筋只是在轴心受压时才有可能进入屈服状态。

得到主要创新点如下:

(1) 提出钢筋混凝土带芯分体柱的概念,并设计了在理论分析和数值模拟验证下得出相应的正截面轴心受压、偏心受压、斜截面受剪的承载力计算公式。

(2) 运用 ANSYS 结构分析软件对提出的结构模型进行了轴压、弯压、剪切、压弯剪共同作用及地震作用下的数值模拟计算,验证了推导出的钢筋混凝土带芯分体柱的承载力计算公式。

(3) 给出了钢筋混凝土带芯分体柱的轴压比计算公式,并给出了界限破坏时芯部钢筋的配筋率。

本书还需要进行以下研究:

(1) 由于要对本书研究的对象进行实验室试验和现实工程应用实践需要大量资金和大面积场地,同时需要一定量的人力、物力,尤其是需要先进的试验检测设备,受条件所限没有进行实验室试验。但毕竟实验室试验和现实工程应用实践是目前验证理论研究的重要手段之一,因而本书还需要进行进一步的实验验证和现实工程应用实践。

(2) 本书研究主要是在前人研究经验和成果的基础上根据现行规范和有关标准进行的理论推导,目前规范中的有些缺陷也在书中有所体现。例如:“大震不倒”、“中震可修”并没有明确的标准。随着其他有关研究成果的发展和相关标准、规范的进一步细化,本研究会有更进一步的发展。

(3) 轴压比的提高使得钢筋混凝土带芯分体柱在高轴压比状态下仍然具有很好的延性,实现延性框架,改变短柱的破坏形态,使短柱由剪切型破坏转化为弯曲型破坏,抗震能力显著提高。但轴压比公式稍显复杂,不便于快速手算。

(4) 芯柱使得钢筋混凝土带芯分体柱的竖向承载力、轴压比提高,在满足承载力的情况下可以减小柱截面积,减少混凝土用量,增大使用面积,节约投资,但没有建立剪跨比的加大对承载力提高和侧移能力加大的直接关系式。



(5) 结合带芯柱的强抗压能力和分体柱的强侧移能力于一体, 实现变短柱的脆性剪切破坏为长柱的延性弯剪破坏, 但界限破坏时芯部钢筋只有一小部分参与受力, 此时芯部钢筋的利用率不高。

笔 者

2014 年 5 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 问题提出的目的和意义	1
1.2 本研究领域的国内外概况	9
1.3 本书研究内容	17
1.4 本章小结	18
第 2 章 高层建筑的抗震能力分析	19
2.1 抗震设计思想的发展历程 ^[3]	19
2.2 抗震分析方法	20
2.3 抗震设计方法	21
2.4 我国钢筋混凝土抗震设计的分析方法和不足	25
2.5 高层建筑在地震作用下柱的破坏形态	31
2.6 提高钢筋混凝土短柱抗震性能的方法	34
2.7 本章小结	38
第 3 章 钢筋混凝土带芯分体柱正截面受压承载力计算	40
3.1 轴心受压承载力计算理论	40
3.2 钢筋混凝土带芯分体柱的力学性质	54
3.3 偏心受压破坏形态与特征	60
3.4 钢筋混凝土带芯分体柱偏心受压基本理论	63
3.5 本章小结	70
第 4 章 带芯分体柱斜截面承载力计算	71
4.1 钢筋混凝土柱斜截面受剪承载力	71



4.2	钢筋混凝土带芯分体柱的斜截面承载力	74
4.3	本章小结	85
第5章	应用 ANSYS/LS-DYNA 对钢筋混凝土带芯分体柱的数值模拟	86
5.1	ANSYS/LS-DYNA 简介	86
5.2	钢筋混凝土带芯分体柱承载力及抗震作用数值模拟	91
5.3	钢筋混凝土带芯分体柱有限元模拟结果分析	101
5.4	本章小结	104
第6章	钢筋混凝土带芯分体柱抗震设计建议	105
6.1	设计总原则	105
6.2	钢筋混凝土带芯分体柱与框架的构造	106
6.3	钢筋混凝土带芯分体柱框架与柱的设计计算	107
6.4	钢筋混凝土带芯分体柱框架梁柱节点的设计计算	116
第7章	结论和展望	118
7.1	主要结论	118
7.2	创新点	119
7.3	展望	119
参考文献		121

第1章 绪论

安全科学是研究事故的发生、发展、后果规律的科学。地震是人类面临的最严重的自然灾害之一，引起建筑物的破坏是地震造成人员伤亡和财产损失的主要表现。如何避免地震灾害引起的房倒屋塌、房屋损坏，实现建筑物尤其是高层建筑的抗震设计要求——“大震不倒、中震可修、小震不坏”，是安全科学预防建筑抗震灾害的一项重要内容。

1.1 问题提出的目的和意义

1.1.1 问题提出的目的

安全学科的研究对象是事故，目的是预防事故的发生和控制事故后的损失。事故包含职业病和自然灾害，它们都符合事故的定义：人们不期望发生的、造成生命、健康、财产、效率和环境损失的意外事件^[1]。地震灾害引起的房倒屋塌造成大量人员伤亡和其他财产损失、社会损失，是人类难以避免的严重事故，直接影响国民经济的发展。因此，对预防地震引起的建筑破坏并由此造成的伤亡和损失具有重要意义。

建筑物抵抗地震引起的破坏的能力叫建筑物的抗震能力，主要取决于结构吸收地震能量的能力，它等于结构承载力与变形能力的乘积，即结构抗震能力是由其承载力和变形能力共同决定的。承载力较低，但具有较大延性的结构——分体柱，吸收的能量多，虽然较早出现损坏，但能经受住较大的变形，避免倒塌；反之，有较高承载力的脆性结构——钢筋混凝土短柱，虽然吸收能量也较多，可一旦遭遇到超过设计水准的地震作用，就很容易发生脆性破坏而突然倒塌，违背了建筑规范中“大震不倒”的设计原则。本书的研究是要提出钢筋混凝土带芯分体柱的概念，与传统普通钢筋混凝土柱相比，其受压承载力提高、受剪承载力基本不变、受弯承载力稍有降低，但是变形能力和延性均得到显著提高、其破坏形态由剪切型转化为弯曲型，实现了短柱变“长柱”的设



想,有效地改善了短柱和超短柱的抗震性能;同时得到该柱的基本设计理论、构造做法和参数,以期实现“大震不倒、中震可修”目的,因而本书研究的问题属安全。

要研究建筑物的抗震问题,首先应对地震灾害进行分类。

1.1.2 地震灾害破坏分类

地震是地球内部缓慢积累的能量突然释放,或由于种种自然原因或人为原因引起的地球表层的错动。地震是自然灾害中危害最大的灾种之一,也是绝大部分工程结构的控制荷载。按成因,地震分为三种类型:构造地震、火山地震和陷落地震。据统计^[1],地球上平均每年发生可以记录到的大小地震有500万次之多,其中有感地震(2.5级以上)在15万次以上,能造成破坏的5级以上地震约1000次,造成严重破坏的地震不到20次,造成巨大灾害的7级以上地震10次,而8震级以上、震中烈度XI度以上的毁灭性地震仅2次。在这些地震中,小震到处都有,而大震只发生在某些地区——主要地震带(环太平洋地震带,喜马拉雅地中海地震带也称欧亚地震带,沿北冰洋、大西洋、印度洋主要山脉的狭窄表浅地震带以及位于东非、夏威夷群岛的裂谷活动带)上。地震造成自然破坏,给人类社会带来灾难,造成不同程度的人身伤亡和经济损失。地震破坏主要表现为地表破坏、工程结构破坏和次生灾害^[3]。

1. 地表破坏

地震所造成的地表破坏主要有山石崩裂、山体滑坡、地裂缝、地面陷落、管涌冒砂等。山石崩裂塌方量一次可达百万方,最大石块体积大于房屋体积,并可阻塞公路,中断交通。在陡坡附近会引起滑坡,在岩溶地形或采空区会发生地陷,喷水冒砂地段也有可能发生地陷。地裂缝是地震作用下地表受到挤压、拉伸、扭转作用造成的,穿过建筑物时能使墙体或基础断裂、错动甚至倒塌。按成因,地裂缝分两种:构造裂缝和非构造裂缝。其中,构造裂缝不受地形地貌影响,走向与地下断裂带一致,是地震断裂带在地表的反映,规模较大,一般长达几千甚至几万米,宽几米甚至几十米;非构造裂缝受地形、地貌、地质条件影响较大,大多沿河岸、边坡、沟坑周边和古河道分布,常有水存在,与喷水冒砂并存,形状多样,规模较小。地下水位较高的地区,易出现砂土液化,水夹砂喷出地面就形成管涌。如图1.1所示。^[2]

图 1.1 日本三陆地震后的地裂缝^[2]

Fig 1.1 the Ground crack after the
3-L earthquake in Japan

图 1.2 被震毁的唐山市胜利桥^[2]

Fig 1.2 the destroyed Victory - bridge
in Tangshan earthquake

2. 工程结构破坏

工程结构在地震时遭受破坏是造成人员伤亡和财产损失的主要原因，其破坏程度与结构类型和抗震措施等有关。结构破坏主要表现在：承重结构承载力不足或抵抗变形能力不足，致使变形过大，超过了结构的承载能力极限状态；结构失稳，受压构件长细比过大、节点强度不足、延性不足、锚固质量差等易引起结构失稳；地基失效，强震作用下地基承载力下降或地基土液化造成建筑倾斜、倒塌，如图 1.2 ~ 1.4 所示。1968 年 5 月 16 日日本十绳冲发生 7.9 级地震，钢筋混凝土柱破坏较多，短柱剪切破坏尤其突出；1975 年 4 月 21 日日本大分发生 6.4 级地震，在同一建筑物中长短柱的混合使用加剧了建筑物的损坏；1978 年 2 月 20 日日本宫成冲发生 6.7 级地震，破坏情况与十绳冲相似；1994 年 1 月 17 日美国北岭发生 6.8 级地震，未经延性设计的钢筋混凝土框架柱被剪切破坏，建筑损坏及经济损失大；1995 年 1 月 17 日日本阪神发生 7.2 级地震，神户损失非常严重，但按现代延性设计的钢筋混凝土框架结构损坏较小；1999 年 8 月 17 日土耳其发生 7.4 级地震，钢筋混凝土结构箍筋不足，框架结构破坏和倒塌多^[4]。

3. 次生灾害

地震次生灾害主要有水灾、火灾、毒气污染、滑坡、泥石流、海啸等，由此引起的破坏也非常严重。1923 年日本东京大地震，震倒房屋 13 万幢，而震后火灾烧毁房屋 45 万幢；1960 年智利沿海发生地震后 22h，海啸袭击了 17 000km 以外的日本本州和北海道的太平洋沿岸地区，浪高近 4m，冲毁了海港、码头和沿岸建筑物；1970 年秘鲁大地震，瓦斯卡兰山北峰泥石流从 3 750m 高处泻下，流速达 320m/h，摧毁、淹没了村镇和建筑，使地形改观，死亡人数达 25 000 人^[2]。



图 1.3 1999 年台湾大地震中倒塌的教学楼^[2]

Fig 1.3 the school building collapsed in Taiwan earthquake in 1999

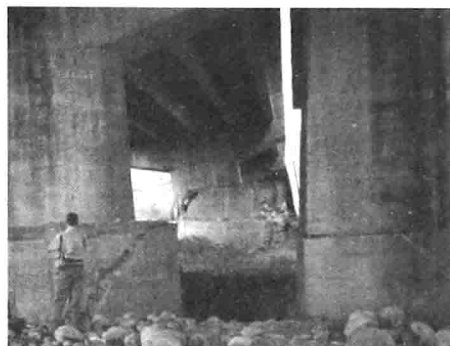


图 1.4 1999 年台湾大地震中被震断的桥墩^[2]

Fig 1.4 the pier broken in Taiwan earthquake in 1999

1.1.3 地震灾害特点

1. 突发性强，难以准确预测

地震发生在极短的瞬间，断层破坏的实际过程仅为几秒钟。当前地震工作者尽管已掌握了一些地震发生的规律和特点，并且进行了几次成功的预报^[3]，但从整体来看，与其他学科所取得的成果相比还处于非常初级的阶段，而就目前的技术手段和研究水平，也还难于准确预测。另外，地震发生突然，人们来不及反应，所以逃生困难，造成大量人员伤亡。

2. 波及范围大

地震是震源发生构造破坏，巨大能量以地震波的形式向周围迅速传递，由于地震波在地壳内弹跳和回播，大地晃动会继续较长的时间。地震波每震荡循环一次，对建筑的冲击就增加一次，由于应力是逐次累加的，从而使地震灾害波及更大的范围。建筑的最严重破坏是在最后的地震动过程中。

3. 伴随余震

尽管地震发生突然、持续时间短，但大的地震之后往往会有持续不断的余震，有的甚至能持续两三天。余震往往使人们处于恐慌之中。

4. 次生灾害严重，损失巨大

地震造成地表严重破坏，从而导致大量次生灾害：水灾、火灾、毒气污染、

滑坡、泥石流、海啸等伴生现象,对人员疏散、抢险救援造成很大的困难,大量人员伤亡及财产损失往往是由次生灾害引起的。

5. 房倒物塌是人员死亡的主要原因

地震发生突然、人员来不及撤离便出现大量的房倒物塌现象,使人们生命、财产损失巨大,据统计^[4],大部分人员伤亡、财产损失是房屋倒塌引起砸伤、窒息造成的。而1906年旧金山8.3级地震后有少量楼房得以保存,表明人们目前虽不能制止地震的发生,但建筑工程师可以通过努力,设计出具有优良防震性能的建筑物。

6. 柱破坏引起房屋坍塌

房屋倒塌多是墙、柱等竖向构件破坏引起的,而这些破坏均为竖向构件不能满足地震作用下巨大的侧向力、侧向位移和扭转造成的,都是超强度破坏,且主要为脆性破坏,如图1.5~1.8所示。1968年5月16日日本十绳冲发生7.9级地震,钢筋混凝土柱破坏较多,短柱剪坏尤其突出;1975年4月21日日本大分发生6.4级地震,在同一建筑物中长短柱混合使用的加剧了建筑物的损坏;1978年2月20日日本宫成冲发生6.7级地震,破坏情况与十绳冲相似;1994年1月17日美国北岭发生6.8级地震,未经延性设计的钢筋混凝土框架柱被剪坏,建筑损坏及经济损失大;1995年1月17日日本阪神发生7.2级地震,神户经济损失非常严重,但按现代延性设计的钢筋混凝土框架结构损坏较小;1999年8月17日土耳其发生7.4级地震,钢筋混凝土结构箍筋不足,框架结构破坏和倒塌多^[5]。

7. 救灾困难

地震造成的房屋倒塌使人非死即伤,即使受伤较轻的人员处于危险区域也容易造成头脑麻木和心理恐慌,难以在短时间内选择正确的逃生路线,致使判断错误,加重了灾害程度。同时,救灾人员则由于不易侦察震毁的废墟中的情况,不易接近受灾群众实施直接救援,使人员遭遇的危险性增加并增大抢险救灾的难度。

8. 灾后重建难度大

大的地震造成地面、建筑物、生命线工程等的严重破坏,甚至坍塌成为废墟,不仅使生命、财产、环境损失严重。同时灾后重建有一定困难:垃圾清运工作量巨大;地质勘察、地基处理难度增加;灾后物资、财力供应甚至生产力水平



下降；使得灾后重建难度巨大。



图 1.5 唐山地震中某房屋一层柱全部倒塌，上部坐落^[2]

Fig 1.5 the columns of 1F collapsed, toppers dropped in Tangshan earthquake

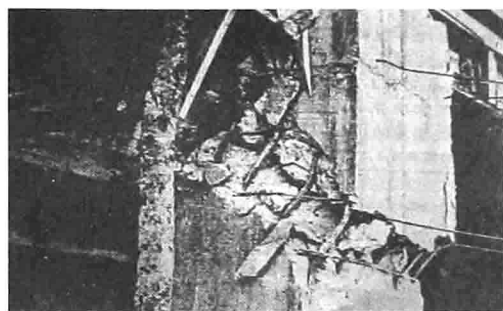


图 1.6 柱头剪切破坏^[2]

Fig 1.6 the top of column destroyed by shearing

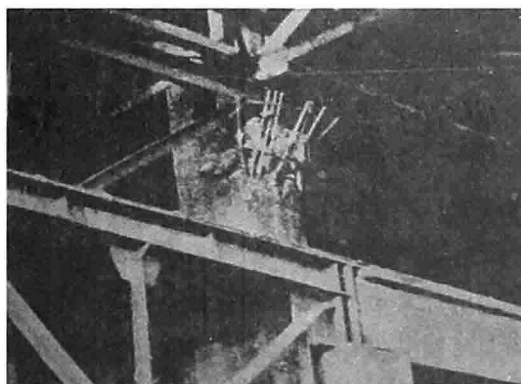


图 1.7 柱酥裂，屋架下沉^[2]

Fig 1.7 the column crisped, the truss sunk



图 1.8 柱扭转破坏^[2]

Fig 1.8 the column destroyed by turn

1.1.4 研究地震灾害和短柱破坏规律的必要性

由于地震灾害具有上述特点，使得目前对地震发生机理和规律的研究还存在不足。地震会产生重大的危害，而建筑坍塌是地震重大灾害之一。地震发生后，能量传递迅速且变化范围大，变化复杂，使建筑物的受力情况在短期内发生急剧变化，偏离既定传力路径，超过结构构件的承载、变形能力，引起结构破坏或倒塌，使灾区或灾区波及的区域中的人员被砸伤、窒息，或次生灾害火灾、爆炸、毒气泄漏等致人死亡，酿成重大事故，从而产生难以弥补的损失和危害。因此，地震发生后，及时准确地掌握结构受力状态的变化、应力应变分布变化与发展规律、结构薄弱环节位置与时间、脆性破坏发生的条件等情况，是建筑抗震救灾，尤其是高层建筑抗震救灾工作的重点。由于地震对上述参数的动态影响造成上述

参数随时间的复杂变化,其影响范围波及整个结构系统,以及地震及结构的复杂性和地震试验的破坏性大、耗资巨大^[4],以实验模拟地震对整个高层建筑结构系统的影响几乎是不可能的。而地震及余震阶段结构构件的状态变化的数学模型是可以较准确地建立的,可以应用计算机模拟技术进行全面、准确地计算上述参数。因此,一定条件下的计算机模拟具有存在的重要价值。

地震是结构破坏最为复杂的因素之一,因此针对地震的计算机模拟在计算机应用及抗震设计思想提出的初期即开始尝试。地震模拟技术就是应用计算机数值模拟分析的方法,解算地震波、震级、烈度和结构、构件受力(弯、剪、扭、拉、压及其合力作用)、节点受力和整体变形、层间位移等工况参数在地震影响下的动态变化和时间及影响的一种技术。虽然建筑抗震电算模拟技术已经经过二十多年的试用、修改、推广等过程,并且也在应用中取得了一定的效果,但是由于现有的动态模拟技术及相应软件在进行地震常态的建模和求解过程中把全部地震波视为单纯的机械波,过于简化了模型和计算。

众所周知,地震发生后,地表各土层由于受到地震波的震密、挤压、抛拉、扭转^[6]作用,密度发生变化,甚至发生液化,在重力场作用下诱发流动,此时的地基土承载力特征值由土密度和含水量控制;而混凝土结构构件在地震波的震密、挤压、抛拉作用下,由于蓄能能力有限,易发生压屈破坏和斜拉破坏、斜压破坏、剪拉破坏、剪压破坏、黏结破坏、高轴压剪切破坏、拉扭破坏、剪扭破坏等脆性破坏。在震中附近区域,由于纵横波能量不同,各向破坏作用大小不均匀。纵波能量的不均匀传递使得建筑物承受竖向力的结构构件轴力发生变化,造成原来以承受轴压力为主的小偏心受压构件转变为以承受水平力为主的大偏心受压构件以变为原来以承受水平力为主的大偏心受压构件转变为承受轴压力为主的小偏心受压构件。甚至纯剪构件又变为同时受弯、剪、扭、拉、压综合作用的复杂构件。此外,整体扭转变形、层间位移会使构件达到或超过构件极限承载能力和极限变形能力。因此,地震发生后震区建筑物的受力及变形情况是非常复杂的,采用传统的结构技术和数值模拟方法,虽然能基本模拟出地震作用下的结构总体效果,但对考察局部个别构件详细的抗震性能状态却无能为力,例如不能够有效地模拟超配筋结构、构件地震作用下的工作情况。

目前已有针对建筑结构地震作用计算机模拟研究,其主要集中在地震动参数、建筑破坏形态、构件震后性能等方面,但是对采取一定措施改善构件的脆性破坏特征的计算机模拟研究还较少。对地震过程中结构系统中的典型的受力现象,如弯扭、剪压等。钢筋混凝土带芯分体柱 ANSYS-LS/DYNA 计算机模拟可以在弯、剪、扭、拉、压及其合力作用下详细计算钢筋混凝土带芯分体柱的动态



变化过程，能解决 PKPM^[7] 系列软件 SATWE、SAT-8 和 TAT 模拟技术所不能解决的问题。因此，有必要对钢筋混凝土带芯分体柱进行地震作用下的计算机模拟。

1.1.5 研究建筑物在地震运动下的现实模拟的必要性

地震灾害的高度不确定性和现代地震灾害引起严重次生灾害和巨额经济损失的特点，使得世界各国工程界对现有抗震设计思想和方法不得不进行深刻的反思，从而进一步探讨更完善的结构抗震设计思想、理论和方法。由于计算机具有快速运算和快速决断的特点，所以在必要的实验及检验检测系统的支持下，利用计算机的这种优势，通过自动控制设备实施减灾、救灾控制措施。为了实现大震不倒，使震后救灾人员能够直观了解废墟下受灾人员位置特点、次生灾害蔓延趋势及救灾措施的实施效果（包括不同救灾方案的实施效果比较）。由于建筑体量大、质量大、建筑材料不透明、倒塌的不规则、受灾程度的不均匀性，实现“可视度”，一般只能通过计算机模拟技术，仿真地震发生及救灾过程。应用现实模拟技术，可以生成交互式三维计算机图像、模拟地震灾害现场，所以能为安全事故调查及广大人民群众、抗震救灾人员安全培训提供新的技术手段。但是，在安全领域，尤其是在地震灾害领域，现实模拟的研究才刚刚开始，在安全领域中的应用也很少见。因此，现实模拟技术在抗震安全领域中的应用潜力巨大，前景广阔。

1.1.6 本书要解决的问题及意义

根据上面提出的抗震设计应用中存在的问题，本书主要研究高层建筑钢筋混凝土带芯分体柱的特征及其地震作用下的受力、变形特点，分析其在弯矩、高层剪力、轴力、地震作用下的变形特征规律及破坏特点，建立地震灾害作用下结构受力模型，从而提高对结构地震模拟的准确性。对于地震特性的描述，当前许多国家均已取得一定成果^[8,9,10]。对于结构在地震作用下受到破坏造成的模拟误差问题，由于中震破坏地点和小震破坏程度不易直接观察到，因而比较复杂，可考虑采取监测等辅助手段帮助确定，此问题有待于今后进一步研究。

通过本书的研究，主要解决三个方面的问题：

（1）建立钢筋混凝土带芯分体柱的构造模型，进行各种受力状态下的方程推导，给出有关参数。解决目前建筑抗震理论中对短柱承载能力和抗震延性不足的问题。