

Computation Theory and Practical Design Method
of New Composite-wall Structure

新型复合墙结构 计算理论与实用设计方法

黄 炜 等著

陕 西 出 版 集 团
陕 西 科 学 技 术 出 版 社

新型复合墙结构计算理论与 实用设计方法

黄 炜 等著

陕 西 出 版 集 团
陕西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

新型复合墙结构计算理论与实用设计方法/黄炜等著.

—西安:陕西科学技术出版社,2009.9

ISBN 978-7-5369-4682-8

I. 新… II. 黄… III. ①墙-结构计算②墙-结构设计
IV. TU227

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 173126 号

作者简介

黄炜:博士(后),教授。

1976 年 1 月出生,1998 年 6 月毕业于西安交通大学建力学院工业与民用建筑专业,获工学学士学位。2004 年 6 月毕业于西安建筑科技大学土木工程学院结构工程专业,获工学博士学位。2004 年 7 月留校进行教学及科研工作,现为西安建筑科技大学土木学院教授,并于 2005 年 6 月至 2007 年 12 月在西安交通大学力学博士后流动站学习。近 5 年来,一直从事新型结构体系、工程结构抗震、强度理论等方面的研究工作。作为项目的负责人及主要完成人,参加了多项课题的研究工作(国家自然科学基金、博士后基金、国家“十五”、“十一五”科技攻关等项目),发表核心期刊论文 70 多篇,并主编教材 1 部,主要参编地方规程 2 部,指导硕士生 12 人、协助指导博士生 6 人,获国家科技进步二等奖 1 项、省市科技进步奖 5 项。

出 版 者 陕西出版集团 陕西科学技术出版社

西安北大街 131 号 邮编 710003

电话(029)87211894 传真(029)87218236

<http://www.snstp.com>

发 行 者 陕西出版集团 陕西科学技术出版社

电话(029)87212206 87260001

印 刷 陕西雨润印刷物资有限公司

规 格 787mm×1092mm 16 开本

印 张 12.5

字 数 285 千字

版 次 2009 年 9 月第 1 版

2009 年 9 月第 1 次印刷

定 价 25.00 元

版权所有 翻印必究

序

住宅问题是世界各国都面临的社会问题,“人人享有适当的住宅”已成为联合国第二次人居大会提出的战略目标。实现住宅产业化,满足小康生活需求,始终是我国政府及科学工作者多年来的奋斗目标。住宅建设作为我国的传统产业,目前主要存在以下问题:住宅结构形式单一,大量城乡住宅抗震性能较差,能源及原材料消耗大,新型墙体材料应用比例小,生产工艺水平低下,工业化程度不高,劳动生产率及技术含量低,质量难以控制。

近年来,国内工程界科技人员在对传统住宅结构的改造与创新方面,已经取得了较多硕果,一批适合我国国情和地域特点的新型住宅结构体系应运而生。但这些建筑结构并没有真正达到生态建筑的要求,而且在墙体材料、结构构造、受力性能、设计理论等方面的基础性研究也有待完善,技术推广和应用与欧美等发达国家仍有较大的差距。因此,运用高新技术加快传统建筑业的技术进步和优化升级,发展耗能减震、节能保温、绿色环保、经济实用且适宜于产业化发展的新型住宅结构体系,已成为住宅建筑业全新的发展方向。

本课题组研发的新型复合墙结构体系,是一种生态环保、节能保温、耗能减震、快速建造、经济实用的建筑结构新体系。在本项目前期,课题组对新型复合墙结构体系进行了大量的试验与理论研究工作,获得包括国家自然科学基金、博士后基金、国家“十五”、“十一五”科技支撑计划项目等多项科研项目资助,已经较系统地建立起该结构体系的计算理论及实用设计方法。

在课题组前期研究成果的基础上,本书对基于统一强度理论的生态材料本构模型及屈服准则研究、复合墙体的破坏模式及抗震性能、基于统一强度理论的复合墙体竖向承载力及开裂荷载计算、复合墙体的复合材料刚度模型与极限承载力、新型复合墙结构的弹塑性计算模型、新型复合墙结构的实用设计方法及多层复合墙结构优化设计方法等方面,进行了较为详细的阐述。

本书第1章、第3章、第5章、第6章、第7章、第8章由西安建筑科技大学土木工程学院黄炜教授执笔,第4章由西安建筑科技大学土木工程学院陈国新博士执笔,第9章由西安建筑科技大学土木工程学院侯莉娜博士执笔,第2章由黄炜及陈国新共同执笔。本书在编写过程中参考了大量国内外文献,引用了一些学者的资料,相关内容在每章末的参考文献中均予以列出。

诚挚感谢西安建筑科技大学姚谦峰教授和西安交通大学俞茂宏教授对本书予以的批评指正。诚挚感谢参与本书研究及编排工作的其他同学:荆罡、孟宏睿、张程华、吴浩珍、李云璋、唐强、路振锋、席秋红、穆林、陈海燕。感谢参考文献的作者,正是你们的成就和贡献,使本书得以受益。

鉴于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

本书得到以下研究课题资助:

陕西省重点学科建设专项资金资助项目(E01001、E01003)、国家自然科学基金项目:生态复合墙结构非线性行为与分灾优化设计方法研究(50908188)、密肋壁板结构能量转化机理与分灾抗震理论研究(50878021);国家“十一五”科技支撑项目:住宅施工关键技术研究及装备开发(2006BAJ04A02-5)、村镇住宅施工验收标准研究(2008BAJ08B011-03)、陕南灾后绿色乡村社区建设技术集成与示范(2008BAK51B04);中国博士后基金:新型密肋复合结构计算模型及抗震计算理论研究(2005038606);陕西省13115项目:生态节能复合墙结构设计方法与应用关键技术研究(2008ZDKG-76)。

作者

2009年5月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 结构体系研究概况	(1)
1.1.1 研究背景	(1)
1.1.2 结构体系简介	(2)
1.1.3 新型复合墙结构的受力特点	(3)
1.2 相关内容的国内外研究现状及分析	(4)
1.2.1 生态墙体材料研究现状	(4)
1.2.2 新型结构体系	(5)
1.2.3 强度理论的发展与应用	(7)
1.2.4 墙结构的宏观计算模型	(8)
1.2.5 复合结构力学模型研究	(10)
1.3 本文主要研究内容	(11)
参考文献	(12)
第2章 基于统一强度理论的生态材料本构模型及屈服准则研究	(16)
2.1 统一强度理论概述	(16)
2.1.1 强度理论的发展	(16)
2.1.2 双剪统一强度理论的数学表达式	(17)
2.1.3 统一强度理论在 π 平面的极限线	(18)
2.1.4 在平面应力状态下的统一强度理论极限线	(20)
2.1.5 三参数统一强度理论	(21)
2.2 基于统一强度理论的生态材料的力学性能及本构方程	(22)
2.2.1 生态材料概述	(22)
2.2.2 轻质加气混凝土基本力学性能及其单轴本构方程研究	(24)
2.2.3 泡沫混凝土基本力学性能及其单轴本构方程研究	(26)
2.2.4 基于统一强度理论的生态砌块屈服准则及多轴弹塑性本构关系	(27)
参考文献	(30)

第3章 新型复合墙体的抗震性能对比试验研究	(32)
3.1 第一批新型复合墙体试验研究	(32)
3.1.1 第一组试验研究	(32)
3.1.2 第二组试验研究	(39)
3.1.3 两组试验墙体破坏类型对比分析	(44)
3.2 第二批新型复合墙体试验研究	(46)
3.2.1 4种内填砌块材料的基本性能概述	(46)
3.2.2 试验概况	(47)
3.2.3 不同内填砌块的复合墙体抗震性能对比分析	(50)
3.2.4 不同内填材料墙体破坏模式对比分析	(57)
参考文献	(65)
第4章 基于统一强度理论的新型复合墙体竖向承载力及开裂荷载计算	(67)
4.1 基于统一强度理论的新型复合墙体轴心受压承载力分析	(67)
4.1.1 试验概况	(67)
4.1.2 基于双剪统一强度理论的新型复合墙体竖向受压承载力分析	(68)
4.1.3 轴心受压承载力公式对比分析	(69)
4.2 基于统一强度理论的新型复合墙体开裂荷载计算	(70)
4.2.1 试验概况	(70)
4.2.2 墙体开裂荷载计算公式	(71)
4.2.3 墙体初始开裂荷载的实用计算公式	(73)
参考文献	(75)
第5章 新型复合墙体非线性有限元分析	(76)
5.1 新型复合墙体非线性有限元理论基础	(76)
5.1.1 墙体中不同材料的本构模型	(76)
5.1.2 新型复合墙体中裂缝的处理	(85)
5.1.3 新型复合墙体中不同材料的联结问题	(88)
5.2 新型复合墙体非线性有限元分析	(90)
5.2.1 新型复合墙体非线性有限元模型	(90)
5.2.2 新型复合墙体非线性有限元数值计算结果分析	(95)
参考文献	(98)
第6章 新型复合墙体的复合材料刚度模型与极限承载力研究	(100)
6.1 新型复合墙体复合材料弹性刚度模型	(100)
6.1.1 面积等效法	(101)
6.1.2 复合材料等效法	(102)
6.2 新型复合墙体的双参数损伤模型分析	(104)
6.2.1 现有结构的几种双参数地震损伤模型	(104)
6.2.2 新型复合墙体的双参数损伤模型	(105)

6.2.3 双参数地震损伤模型参数的确定	(106)
6.2.4 墙体的损伤评价	(108)
6.3 新型复合墙体斜截面抗剪极限承载力研究	(109)
6.3.1 影响新型复合墙体斜截面抗剪能力的主要因素	(109)
6.3.2 偏心受压新型复合墙体斜截面抗剪极限承载力计算公式	(111)
6.4 新型复合墙体正截面极限承载力研究	(117)
6.4.1 墙体正截面极限承载力非线性全过程分析	(117)
6.4.2 墙体正截面压弯承载力实用计算公式	(119)
参考文献	(123)
第7章 新型复合墙结构的弹塑性计算模型研究	(125)
7.1 结构弹性阶段模型——刚架-复合弹性板模型	(125)
7.1.1 刚架-复合弹性板模型概述	(125)
7.1.2 刚架-复合弹性板模型分析	(126)
7.1.3 刚架-复合弹性板模型的验证	(135)
7.2 结构弹塑性阶段模型之一——刚架-等效斜压杆模型	(141)
7.2.1 刚架-等效斜压杆模型概述	(141)
7.2.2 刚架-斜压杆模型分析	(141)
7.2.3 刚架-等效斜压杆模型的验证	(147)
7.3 结构弹塑性阶段模型之二——刚架-整体斜撑模型	(150)
7.3.1 刚架-整体斜撑模型概述	(150)
7.3.2 刚架-整体斜撑模型分析	(150)
7.3.3 整体斜撑单元中的塑性铰设定的验证	(153)
7.3.4 刚架-整体斜撑模型的验证	(154)
参考文献	(156)
第8章 新型复合墙结构实用设计方法规定	(158)
8.1 总则	(158)
8.2 新型复合墙结构的设计原则	(158)
8.2.1 设计原则	(158)
8.2.2 房屋适用高度和高宽比	(159)
8.2.3 结构布置	(160)
8.2.4 楼盖结构	(161)
8.2.5 水平位移限值	(161)
8.2.6 抗震等级	(163)
8.3 新型复合墙结构计算分析	(163)
8.3.1 新型复合墙结构计算模型	(163)
8.3.2 新型复合墙结构抗震计算步骤	(164)
8.4 多层新型复合墙结构实用设计方法	(164)

8.4.1 多层新型复合墙结构构件设计	(164)
8.4.2 多层新型复合墙结构连接构造	(167)
8.5 中高层新型复合墙结构实用设计方法	(167)
8.5.1 中高层新型复合墙构件设计与构造	(167)
8.5.2 中高层新型复合墙结构连接构造	(169)
第9章 多层新型复合墙结构优化设计方法研究	(170)
9.1 多层新型复合墙结构优化设计原理	(170)
9.1.1 多层新型复合墙结构优化设计数学模型	(170)
9.1.2 多层新型复合墙结构优化设计实现方法	(172)
9.2 基于遗传算法的新型复合墙体优化设计方法	(176)
9.2.1 新型复合墙体优化设计数学模型	(176)
9.2.2 基于遗传算法的新型复合墙体优化设计方法实现	(179)
9.3 多层新型复合墙结构优化设计实例分析	(184)
9.3.1 工程简介	(184)
9.3.2 结构优化设计	(185)
9.3.3 优化结果分析	(189)
参考文献	(191)

第1章 绪论

1.1 结构体系研究概况

1.1.1 研究背景

住宅问题是世界各国都面临的社会问题,“人人享有适当的住宅”已成为联合国第二次人居大会提出的战略目标。实现住宅产业化,满足小康生活需求,始终是我国政府及科学工作者多年来的奋斗目标。住宅建设作为我国的传统产业,目前主要存在以下问题:住宅结构形式单一,大量城乡住宅抗震性能较差,能源及原材料消耗大,新型墙体材料应用比例小,生产工艺水平低下,工业化程度不高,劳动生产率及技术含量低,质量难以控制。

目前,我国住宅结构形式单一,仍以多层砖混砌体结构为主,大量城乡住宅抗震性能较差。我国 600 多座大中城市 70% 以上位于地震区,其中 54 座重要城市位于高烈度区,大量城中村住宅抗震措施不满足现行抗震规范要求,我国 80% 以上的村镇住宅无抗震设防措施,历次大地震中砖混结构的倒塌率在 90% 以上。在此次震惊中外的四川汶川大地震中,仅四川省倒塌和损坏的房屋就达 400 多万间,部分城镇几乎是夷为平地(如受灾非常严重的北川县城),与其相邻的甘肃省和陕西省分别倒塌和损坏的房屋 40 多万间和 30 多万间,造成了严重的人员伤亡和巨大的财产损失。

就能源、环境而言,我国是发展中国家,同时也是一个能源消耗较大、利用率很低的国家,作为我国国民经济支柱产业之一的建筑业能源消耗巨大。目前,我国每年大约有 20 亿 m^2 的建筑总量,接近全球年建筑总量的一半;据统计,1996 年我国建筑能耗占能源消耗总量的 24%,2001 年已达到总量消耗的 27.6%,到 2020 年,我国建筑消耗能源将达到总量的 40%,建筑能耗将接近 11 亿 t 标准煤;与此同时,已建成的近 400 亿 m^2 建筑中 99% 为高耗能,每年新建的 16 亿 ~ 20 亿 m^2 房屋中有 95% 以上是高耗能,与同等气候条件的发达国家的建筑相比,我国建筑物的传热系统和空气渗透率要高出几倍,单位建筑面积的能耗是发达国家的 2 ~ 3 倍。

生态建材是指采用清洁的生产技术,少占用天然资源和能源,大量使用工业或城市固态、液态废弃物生产的无毒害、无污染、有利于人体健康的建筑材料。近 20 年来,欧美、日本等工业发达的国家对生态建材的发展非常重视。在我国,虽然生态建材发展速度较快,但主要集中于研究领域,在推广应用方面还处于起步阶段。例如,石膏板、纤维增强低碱度水泥建筑平板、蒸压加气混凝土板、轻质集料混凝土条板、陶粒混凝土板、钢丝网架水泥夹芯板、金属面夹芯板、复合轻质夹芯隔墙板、条板,相变储能石膏板等墙体材料都较之于传统墙体材料有明显的优点,但其原料配比、生产工艺、技术流程以及建筑施工技术,都存在或多或少的的问题,有待解决和提高。此外,国内外不少研究者关注按环

保和生态平衡理论设计制造出新型建筑材料、新型墙体材料,如采用生活和工业废弃物生产的生态混凝土、生态建筑卫生陶瓷、生态建筑玻璃等大多处于研究阶段。

近年来,国内工程界科技人员在对传统住宅结构的改造与创新方面,已经取得较多硕果,一批适合我国国情和地域特点的新型住宅结构体系应运而生。例如:轻型砌块建筑、异形柱框轻结构体系、轻骨料混凝土建筑、钢丝网苯板混凝土剪力墙、空心混凝土剪力墙、短肢剪力墙结构体系、薄壁剪力墙 CL 结构体系、轻钢住宅结构体系等。但这些建筑结构并没有真正达到生态建筑的要求,而且墙体材料、结构构造、受力性能、设计理论等方面的基础性研究也有待完善,技术推广和应用与欧美等发达国家仍有较大的差距。因此,运用高新技术加快传统建筑业的技术进步和优化升级,发展耗能减震、节能保温、绿色环保、经济实用且适宜于产业化发展的新型住宅结构体系已成为住宅建筑业全新的发展方向。

1.1.2 结构体系简介

课题组研发的新型复合墙结构体系是一种适应我国国情、满足墙体材料革新及建筑节能要求的生态、节能、减震、装配整体式住宅结构新体系。它主要由预制的新型复合墙板和隐形框架及楼板装配现浇而成,如图 1-1 所示。作为结构的主要受力构件——新型复合墙体,是由新型复合墙板与隐形外框组成的墙肢或墙段。

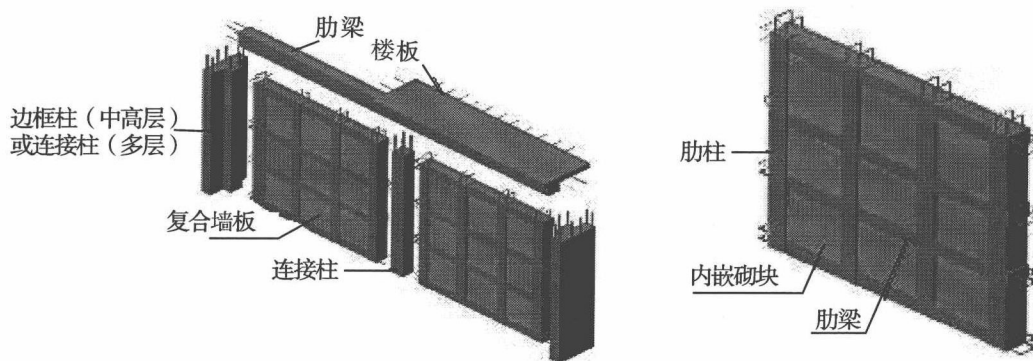


图 1-1 新型复合墙结构构造示意图

新型复合墙板是以截面和配筋较小的钢筋混凝土框格,内嵌以工农业废料为主的填充砌块组成。在竖向及水平荷载作用下,复合墙板中的钢筋混凝土密肋与填充砌块两者相互作用、相互约束、共同受力,充分发挥各自性能。在地震作用下,复合墙体中的填充砌块由于受到钢筋混凝土密肋的约束,其裂缝被限制在一定范围之内,在反复地震作用下,一方面荷载产生的裂缝在反方向加载时将趋于闭合,并能继续有效地承受地震作用,

从而使得填充块体有效参与结构的抗侧力体系成为可能;其次,由于众多块体在约束条件下的开裂与非弹性变形,类似一耗能装置,可吸收及耗散大量地震能量,从而可有效提高结构的耗能能力,使主体结构在大震中不致有较大损坏。另外,复合墙体中的内填材料,因地制宜、就地取材、节能环保,取代传统黏土砖,解决了墙板集承重、围护、节能为一体的技术难题。

新型复合墙结构可分为多层及中高层,复合墙板可根据竖向及水平力的不同进行框格优化配比设计,隐形框架在中高层建筑中依据受力计算确定截面及配筋,在多层建筑中按构造设计。新型复合墙结构独特的构造特点使其承力体系的3部分构件:砌块、肋格及外框,能够在小震、中震及大震作用下依次发挥主要作用,分阶段释放地震能量,具有多道抗震防线,是一种基于结构地震反应控制技术的新型耗能减震结构体系。

1) 在多遇地震作用时,墙板中填充砌块由于受到框格的约束,可能没有裂缝或裂缝被限制在一定范围之内,在反复荷载作用下,荷载产生的微小裂缝在反方向加载时将趋于闭合,并能继续有效地承受荷载,其力学模型可以看作等效弹性板,结构无明显破坏。

2) 在中等强度地震作用时,墙板内填充砌块由于强度较低,普遍开裂,砌块的刚度和承载能力下降较快,而由框格和开裂砌块构成的刚架-斜压杆受力体系,此时成为抵抗地震作用的主要构件,主体结构无明显破坏,破坏主要集中在填充块体,震后容易修复。

3) 在强烈地震作用时,众多砌块在约束条件下破坏严重甚至剥落,使得墙板类似一耗能装置:一方面,可以积极耗散地震能量;另一方面,使结构从一种稳定体系过渡到另一种新的稳定体系,实现周期调整,以避开地震动所引起的共振效应,可保证结构最低限度的安全。另外,试验研究表明:在强烈地震动持续作用下,墙板的肋梁、肋柱破坏严重,但结构由于隐形框架的存在仍能保持良好的抗倒塌能力。

1.1.3 新型复合墙结构的受力特点

作为一种新型装配整体式结构,新型复合墙结构的受力特点不同于传统的现浇整体式结构体系。从前期的试验结果和理论分析来看,主要表现在以下几个方面:

(1) 墙体受力的复杂性

新型复合墙体是将力学性能相差悬殊的两种材料通过特殊构造,转换成一种强度较高、抗震性能优良的结构受力构件。其中:肋梁主要承担水平剪力;肋柱主要承担竖向荷载及少部分水平荷载;框格对砌块形成有效约束,限制砌块裂缝的延伸和发展;填充砌块对墙体的抗侧刚度有很大提高,分担较大部分的水平荷载,并对肋梁、肋柱形成反约束作用;外框柱主要承受墙体的整体弯矩。结构中的墙体一般处于弯、剪、压复合受力作用下,加之试件在制作上的复杂性和材料的多样性,墙体的受力状态也是复杂、多样的。

(2) 结构连接的特殊性

由于新型复合墙结构采用装配现浇式的施工方法,从而给墙板位移边界条件的确定带来了一定的困难。理想状态下的新型复合墙板应该四边均为约束边界,以保证结构的整体受力性能。然而,在工程实践中,墙板底部钢筋的锚固问题不易解决。合理、简化地描述墙板的位移边界条件,是结构计算建模的关键问题之一。

(3) 结构破坏的多样性

新型复合墙结构由砌块、肋格、外框等构件多层嵌套,构件之间具有多种协同工作关系,结构破坏模式不单一,如果设计不当,将不能实现结构合理破坏机制。

1.2 相关内容的国内外研究现状及分析

1.2.1 生态墙体材料研究现状

随着生态建筑的发展,国内外不少研究者按环保和生态平衡理论设计制造出新型建筑材料、新型墙体材料;同时,采用高新技术对占主导地位的传统建筑材料进行环境协调化改造,采用新工艺利用固体废弃物开发生态建材,越来越受到人们的广泛关注。

(1) 泡沫混凝土

泡沫混凝土是用物理、机械方法将泡沫剂水溶液制备成泡沫,再将泡沫加入含硅材料(砂、粉煤灰等)、钙质材料(石灰、水泥)、水及附加剂组成的料浆中,经混合搅拌、浇注成型、蒸养或蒸压养护而成的轻质多孔建筑材料。泡沫混凝土是一种轻质、保温、隔热耐火、隔音和抗冻的混凝土材料,料浆可以自流平、自密实,施工和易性好,便于泵送及整平,与所有其他建材几乎都有较好的相容性,且强度可调整。

(2) 轻骨料混凝土

轻骨料混凝土是采用轻质多孔粗骨料代替普通粗骨料(碎石或卵石),与普通砂、水泥和水泥配合而成的混凝土。轻骨料混凝土性能优良(密度小、相应强度高,隔热、保温性能好,耐火、耐久、抗冻性能优,抗震性能、抗渗性能强等)、应用范围广、适应性强、节能效果显著、经济和社会效益好。轻骨料混凝土技术的发展,为解决当今社会天然资源日益枯竭、各种废弃物和垃圾日益增多的难题提供了一条重要途径,从而达到了变废为宝的目的。

(3) 植物纤维水泥基材料

植物纤维水泥基材料来源于植物的天然纤维,例如稻草、青草和麦秸。由于植物纤维的廉价性、来源广泛性和环境友好性,许多学者对植物纤维水泥基进行了深入研究。香港理工大学叶颖薇等人,研发了价格低廉、防渗防漏、性能优异的植物纤维水泥复合板;山东建材学院李国忠等人,针对含有钢渣的植物纤维增强水泥基复合材料,研究了其基体结构和界面状况对材料性能的影响;吉林建筑工程学院肖力光、李会生等人,对玉米秸秆水泥基复合材料进行了相关研究。

(4) 粉煤灰及其他工业废渣墙体材料

综合利用粉煤灰及其他工业废渣生产墙体材料。我国许多地区粉煤灰、煤矸石、矿渣资源丰富,可代替黏土生产粉煤灰烧结砖、煤矸石烧结多孔砖、矿渣砖等。这样不仅维系了生态环境的良性循环,而且实现了固体废弃物的再生利用。

(5) 化学工业废渣墙体材料

化学工业的某些废渣(磷石膏、氟石膏、排烟脱硫石膏等)可代替天然石膏制作石膏板、石膏砌块等。马铭杰、朱丽利用海盐化工产生的废渣盐石膏经过一定工艺处理,生产轻型墙体材料盐石膏空心条板,该产品与天然石膏空心条板相比,原料采用及生产工艺都有较大改进,生产成本却大幅度下降。经测试,该产品完全可替代天然石膏空心条板,

技术性能指标达到了规定的相关标准。

(6) 建筑垃圾墙体材料

利用建筑垃圾生产标砖、多孔砖、空心板、空心砌块等建筑材料。陈胜利等人用废弃的泡沫聚苯乙烯经破碎后作为轻骨料,与水泥或粉煤灰水泥混合制成保温的砌块或墙板,具有很好的保温性能和变形性能,在墙体填充材料中被广泛应用,成功地解决了建筑垃圾、废物的再生利用问题。

1.2.2 新型结构体系

近年来,国内外工程界科技人员在对传统住宅结构的改造与创新方面,已经取得较多硕果,一批适合各国国情和地域特色的新型住宅结构体系应运而生。

(1) 异形柱框轻结构体系

将 T、L、Z 或十字形等异型截面框架柱与梁、楼板构成不露柱子的隐形框架承重结构,并采用轻质墙体作内隔墙或保温、隔热、节能的维护墙。其特点是:①解决了框架柱在住宅内部有棱角的问题;②隐形框架结构中采用轻质、保温新型墙材,符合墙体改革要求;③自重较砖混结构降低约 1/3,减少了地震反应,并有利于地基处理。

(2) 短肢剪力墙结构体系

根据中高层住宅平面特点,把短肢墙与核心筒体利用联系梁连成整体的结构形式。其特点是:一般墙肢长约为 5~8 倍肢宽,使用多样且灵活,大大改善了矩形柱使用不便的缺点,并且可通过调整短肢墙的尺寸和布置来调整刚度大小和刚度中心的位置。

(3) CL 结构体系

由钢丝网夹芯(聚苯保温材料)混凝土复合墙作为外围承重墙或隔户墙,钢筋混凝土异型柱作为内部竖向承重的一种带边框的剪力墙体系。其特点是:①复合墙板与边框能够协同工作,结构整体受力性能良好;②CL 结构体系保温、隔声,且能满足经济性要求。

(4) 轻钢住宅结构体系

以经济型构件及其组合构件作为住宅承重骨架,以轻型墙体材料作为围护结构所构成。其特点是:①建筑空间布置灵活,轻质高强,安全性高;②构造简单、施工方便、重量轻、现场组装、建造速度快;③轻钢结构的延性分析、防火、防锈、隔声等方面需作进一步研究和完善。

(5) 墙梁柱复合结构受力体系

是基于框架结构和砌体结构特点的基础上,结合两者的优点,提出的一种新型的结构受力体系。该结构以钢筋型墙板和型钢型墙板为基本单元,经现场拼装焊接并辅以关键部位浇筑而成。其特点是:结构所用的两种类型墙板均有较高的承载力和较好的变形性能,能够满足该结构承载力的要求。

(6) 张弦梁结构

是由日本学者 M. Saitoh 教授于 20 世纪 80 年代初提出。该结构是一种自平衡体系。双向张弦梁结构是将数榀平面张弦梁结构沿横纵向交叉布置,由拱梁、撑杆和弦组合而成。其特点是:由于撑杆对拱梁的作用力,拱梁竖向稳定性增强,又因拱梁交叉连接,结构呈空间传力体系,故侧向约束加强。

(7) 新型竹结构体系

是由湖南大学现代竹木及组合结构研究所基于现代力学、材料学、结构设计及试验学等理论,提出的一种以普通的胶合竹板为基本材料的新型预制装配式结构体系。其特点是:①原材料来源广,可再生;②竹材具有良好的物理力学性能和加工性能;③外形美观,耐久性好。

(8) CS 板新型节能住宅建筑体系

这是一种采用 CS 承重墙板、楼板及屋面板等构件,并以“构造柱”和“圈梁”为主要节点构造连接方法而构成的新型节能结构住宅体系。其特点是:①整体性强;②抗震性能优越;③CS 板新型节能住宅建筑体系实现承重、保温和隔音一体化。

(9) 轻型复合结构体系

这是一种以复合墙板作外承重墙,多孔墙板作内承重墙,预应力混凝土轻质墙板作隔墙,预应力混凝土大跨度装配整体式多孔板作楼板的新型住宅结构体系。其特点是:①自重轻,地震反应小;②整体性好,具有较强的耗能能力和抗倒塌能力,变形性能介于框架和剪力墙之间。

(10) 钢-混凝土组合空腹板架结构

是一种由下层双向设置的钢筋、上层混凝土平板及连接上、下层并使之共同工作的钢管剪力键组成的新型结构住宅体系。其特点是:①整体性好、刚度大;②自重轻,可实现以较小的截面高度跨越较大的空间;③平面灵活分隔布置,增加了建筑的有效使用空间;④剪力键间形成的空腹部分可作水平管线设备支架,增加建筑空间,并可节约 2 次装修费用。

(11) 轻木-混凝土混合结构

通过可靠锚栓,将上部轻木结构与下部混凝土结构连接而成的混合结构。其特点是:①混合结构中,上部轻型木结构具有良好的抗震性能;②轻木-混凝土混合结构适用于底层车库或商店、上部木结构住宅等民用建筑。

(12) 框架复合剪力墙结构体系

在框架梁、柱所组成的平面内增加十字形支撑,形成钢筋混凝土框撑格形结构,在格构中砌筑砖或承重砌块,形成钢筋混凝土框撑格构复合剪力墙。其特点是:①抗震性能好;②结构自重轻;③整体性好,具有较强的耗能能力和抗倒塌能力;④适应于多层、中高层(小高层)住宅建筑。

(13) 薄壁钢-混凝土组合结构

是由冷弯薄壁型钢或薄壁钢管和混凝土的组合构件构成的一种新型结构形式。其特点是:①具有轻钢结构的优点;②改善了薄钢板的稳定性;③增强了结构的防火性能;④施工方便、工期短;⑤适用于中、低层房屋。

(14) 框架-网格墙结构体系

由框架、网格墙、组合柱和普通实心剪力墙组成,共同承受竖向及水平荷载。其特点是:①整体性好,具有较强的耗能能力和抗倒塌能力;②具有优良的保温、隔热性能;③使用大量工业废料粉煤灰和白色垃圾聚苯,节约能源、保护环境,符合绿色建材发展方向。

(15) 钢框架-混凝土筒结构

由钢框架和钢筋混凝土核心筒组成,两者共同承担竖向荷载,其中芯筒承担绝大部分的水平力。其特点是:①具有钢结构和混凝土结构的优点;②整体性能优于钢结构和混凝土结构;③具有多道抗震防线。

1.2.3 强度理论的发展与应用

强度理论非常复杂但应用极其广泛,涉及力学、土木、机械、航空等许多学科。强度理论研究的是微小单元体在空间应力作用下的屈服准则、破坏规律及其相应的计算准则。它为各类工程结构和机器的强度设计提供计算准则,同时也是材料力学、塑性力学、岩土力学、土力学、金属压力加工原理、机器零件设计、结构塑性分析、飞机结构强度、钢筋混凝土结构理论以及各种工程结构强度计算所需的基本理论。因此,对强度理论的深入研究,无论是在理论上,还是在工程实际中和经济效益上,都具有很重要的意义。由于强度理论影响的广泛性和重要性,从17世纪到现在,有众多的学者从事这方面的研究,并建立了不同的理论。

(1) 早期的强度理论

1) 最大正应力理论。这是关于材料在复杂应力下强度的第一个理论,它只考虑了3个主应力中的最大主应力。

2) 最大应变理论。该理论对最大伸长准则或最大应变准则首次作了论述。最大应变理论曾广为流行,但今天已很少有人应用。

3) 最大剪应力强度理论。现在也称之为 Tresca 屈服准则或第三强度理论。它只考虑了3个主应力中的第一主应力和第三主应力,而中间主应力被忽略了。

(2) 20 世纪初期的强度理论

1) Mohr - Coulomb 强度理论。此理论与 Tresca 屈服准则相似,它考虑了材料的拉压强度差效应,广泛应用于岩土力学中。但 Mohr - Coulomb 强度理论也只考虑了3个主应力中的第一主应力和第三主应力,而中间主应力被忽略了。

2) Huber - von Mises 强度理论。该强度理论被广泛应用于具有相同拉伸屈服应力和压缩屈服应力的金属材料。通常称之为歪形能强度理论,或 Mises 准则,也称其为第四强度理论。

3) 还有很多新理论和新模型,如20世纪30年代的八面体切应力理论和广义八面体切应力理论,40年代的联合强度理论,50年代的屈服面公设和分段线性屈服面,60年代的剑桥帽子模型,70年代的角隅模型和真三轴试验,80年代的各种本构模型以及多参数准则等。这些理论都是从各自不同的假设和力学模型出发,推导出不同的数学表达式,所以都只是适用于某一类材料的单一强度理论。

(3) 统一强度理论

俞茂宏以双剪单元体为力学模型,考虑作用于双剪单元体上全部应力分量以及它们对材料破坏的不同影响,建立了统一强度理论。双剪统一强度理论的定义为:当作用于单元体上的两个较大主切应力以及相应的正应力函数达到某一极值时,材料发生破坏。统一强度理论从一个统一的力学模型出发,考虑中间主应力影响、拉压强度差效应,建立了一个全新的强度理论,将以往各种只适用于某一材料的单一强度理论发展为适合于众

多类型材料的统一强度理论,从而为新型复合墙体中填充不同生态材料在计算分析时提供了一个统一解。同时,采用合理的强度理论可以很好地发挥材料的强度潜能,减轻结构重量,取得较好的经济效益,最终实现节约能源的目的。

1.2.4 墙结构的宏观计算模型

墙结构的宏观计算模型是将一段墙体简化为一个单元,在满足其简化条件下来模拟结构的真实状态。目前主要的墙结构宏观模型如下:

(1) 等效梁模型

该模型的构件是用单元分量模型模拟,即单元是由杆端带有非线性转动弹簧的线弹性梁单元组成,构件的屈服仅集中发生在杆端的塑性铰处。该模型的最大缺陷是它假设其转动始终围绕着墙横截面的形心轴,而没有考虑到剪力墙横截面中性轴的移动。

(2) 墙板单元模型

将墙用墙柱代替,上下端设刚域,与框架梁柱节点铰接,并采用了受力前后剪力墙横截面保持平面和刚性周边的假设。此模型能将剪力墙组合到框架中的任意位置上,并考虑了墙板单元4个角部节点与框架对应点的变形协调,计算量小;但在进行非线性分析时,存在着与等效梁模型一样的缺点,而且对墙体刚度用1个刚度降低系数作折减,显得过于粗糙。

(3) 等效支撑模型

将墙体用具有等效抗剪刚度的支撑替换,同时对支撑两侧柱截面面积按等效抗弯刚度进行修正,与框架梁柱节点铰接,主要用于框架-剪力墙结构。此模型不能体现剪力墙的轴向刚度,在刚度替换过程中导致剪力墙力学性能的变化,不全符合结构实际受力情况。

(4) 三垂直杆元模型

1984年,Kabeyasawa等人提出了三垂直杆元模型。该模型是将均匀受弯墙构件理想化为在上、下楼面水平具有无限刚梁的垂直杆单元,其中外侧的两个杆元代表了墙的两边柱的轴向刚度,中间单元由位于底部的垂直、水平和转动弹簧组成,各代表了中间墙板的轴向、剪切和弯曲刚度,墙体的滞回特性由这三个杆元分别模拟。

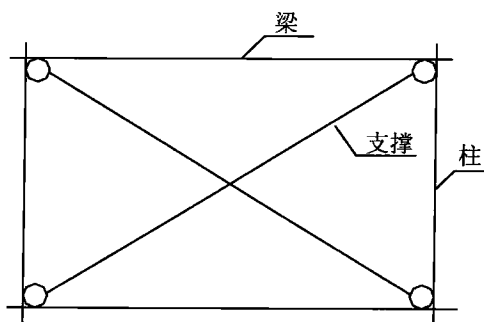


图 1-2 剪力墙等效支撑模型

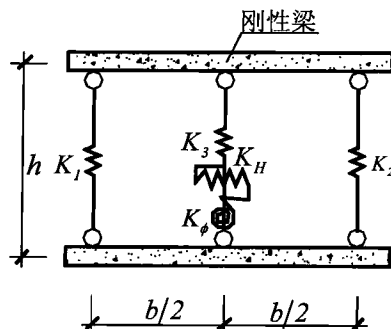


图 1-3 剪力墙三垂直杆模型

(5) 多垂直杆元模型

1988年,Vulcano和Bertero基于模拟弯曲性能的纤维单元模型的思想,提出了一个三垂直杆元模型的修正模型,即多垂直杆元模型。在该模型中,位于一楼层上、下楼板位置处的无限刚性梁,由许多个相互平行的垂直杆单元相连。其中,两侧杆元代表两边柱