



建筑工程质量控制丛书

混凝土 结构防灾技术

● 陈龙珠 陈晓宝 黄 真 等编著



化学工业出版社

 建筑工程质量控制丛书

混凝土 结构防灾技术

● 陈龙珠 陈晓宝 黄真 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构防灾技术/陈龙珠, 陈晓宝, 黄真等编
著. —北京: 化学工业出版社, 2005. 11
(建筑工程质量控制丛书)
ISBN 7-5025-7859-5

I. 混… II. ①陈…②陈…③黄… III. 混凝土结
构-防灾-技术 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 130245 号

建筑工程质量控制丛书

混凝土结构防灾技术

陈龙珠 陈晓宝 黄真 等编著

责任编辑: 郭乃铎 马燕珠

文字编辑: 李玉峰

责任校对: 陈静

封面设计: 于兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 20 字数 367 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7859-5

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

出版者的话

混凝土具有强度高、耐久性好、原料来源广、制作工艺简单、成本较低、适用于各种自然环境等优点，因此，它是世界上使用量最大、最为广泛的工程材料。近年来，随着工程技术的不断更新，混凝土的组成及施工工艺也发生了巨大变化，混凝土结构的研发与创新，新材料、新工艺、新技术的开发应用，典型工程的创新应用等均取得了长足的进步，建造了许多举世瞩目的工程项目。为了及时总结推广和应用混凝土的新技术、新工艺、新材料，总结在混凝土研究开发方面的创新，以期能进一步促进对混凝土的科学研究和技术发展，我们特邀请了中国建筑材料科学研究院、中国建筑科学研究院、原冶金部建筑科学研究总院、上海交通大学等有关科研院所和企业的专家、教授编写了《混凝土技术丛书》、《建筑工程质量控制丛书》。

这两套丛书总结和反映了国内外有关混凝土研究、开发、应用的最新技术、最新进展，书中有不少数据与理论是作者的长期实践经验与总结，这些资料非常宝贵，有的是第一次公开出版，有非常重要的参考价值。这两套丛书是从事土木与水利工程的地质勘探、结构设计、施工技术、质量检测和监理等科研院所人员和工程技术人员自学提高的参考书，同时也可作为继续教育的培训用书及相关院校师生的参考书。

我们真诚地欢迎读者和用户对本丛书提出宝贵的意见和建议，以便在再版时不断使其得到改进和完善。

化学工业出版社

2005 年 11 月

前 言

世界上的任何事物都在不断地运动着，而灾害指的就是其中会导致人员伤亡和财产损失的变化过程。引发灾害的原因可能是自然的、人为的或自然与人为的综合作用。长期以来，人类社会的创造物质文明的同时，也经常严重破坏原有的自然生态环境，而由此引发的人为灾害与自然灾害已共同构成了对人类生存和社会可持续发展的重大威胁。人类日益高度城市化的生活方式，使得人口、文化和物质财富高度集中化，灾害所带来的损失便随之急剧增大。我国是一个受多种侵袭的国家，由地震、洪水、台风和火灾等带来的损失十分巨大。作为一门新的综合性学科，在联合国 1990 年起开展的“国际减灾十年活动”的推动下，我国对工程防灾减灾的科学技术研究方兴未艾。

利用各种材料建造出美观、实用和舒适的工程结构，是人类文明进步的一个重要标志。近百年来，由于混凝土结构可以就地取材，用钢量小，造价便宜，防灾性能较好，而且其构件可以现浇、预制成各种形状，因而在土木与水利工程等领域得到了广泛的应用。为使工程设计、施工、使用和维护更加有利于防灾减灾，有必要向有关专业技术和管理人员以及研究生、高年级本科生较为系统地介绍混凝土结构防灾的基础知识、科学研究与应用技术现状。为此，我们以我国现行的有关技术标准为主要依据，组织编写了这本《混凝土结构防灾技术》。

本书共分八章，包括：混凝土结构及其防灾技术绪论（陈龙珠编写），混凝土材料的物理力学特性（陈晓宝、陈龙珠编写），混凝土结构地震防护技术（黄真、陈龙珠编写），混凝土结构火灾防护技术（陈龙珠、陈晓宝编写），混凝土结构抗爆与防护技术（何军、陈龙珠编写），混凝土结构抗风技术（陈龙珠、何军编写），混凝土结构耐久性（陈晓宝编写），混凝土结构健康监测技术（王建民编写）。全书由本人负责修改、统稿。

由于混凝土结构防灾技术涉及的专业知识面很广，学科交叉性很强，而且每种灾害及其防护技术均有着各自较为庞大的体系，以至于很难以有限的篇幅对它们进行简明扼要的阐述。因此，本书在内容取舍和表达等方面难免存在不足甚至不当之处，恳请读者多加批评指正，以便今后修改完善。

本书在编写过程中参阅了大量的科技论文、著作、现行技术标准和新闻图片等资料，在此特向各位被引用文献的作者表示衷心的感谢。

本书在编写出版过程中，得到了化学工业出版社领导和有关同志的大力支

持。上海交通大学土木工程系研究生周玲、李静、龙小梅、蒋晓静、朱佳君等同学为本书收集、整理了许多有益的文献资料。编者在此一并致以衷心的感谢！

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. S. Li' or similar, written in a cursive style.

2005 年 8 月于上海交通大学工程馆

目 录

第一章 绪论	1
第一节 混凝土结构发展概论.....	1
一、工程结构的基本概念.....	1
二、钢筋混凝土结构的几个重要特点.....	2
三、混凝土结构体系分类.....	3
第二节 混凝土结构防灾技术概述.....	8
一、灾害的基本概念.....	8
二、混凝土结构的防灾技术	13
参考文献	17
第二章 混凝土材料的物理力学特性	18
第一节 混凝土的基本物理特性	18
第二节 混凝土的静力学特性	19
一、混凝土基本力学特性	19
二、混凝土在短期加载下的本构关系	26
第三节 混凝土在重复荷载下的力学特性	31
一、混凝土的疲劳强度和疲劳变形模量	31
二、混凝土在反复荷载作用下应力-应变关系	32
三、混凝土的耗能能力	34
第四节 混凝土的高温力学特性	34
一、高温对混凝土强度的影响	35
二、高温下混凝土的应力-应变关系	37
三、高温对混凝土弹性模量的影响	37
参考文献	37
第三章 混凝土结构地震防护技术	39
第一节 地震知识及混凝土结构的震灾	39
一、地震成因及地震带分布	39
二、地震波特性	45
三、地震灾害事例	47
四、地震灾害特征	52

五、建筑抗震设计的必要性	54
第二节 混凝土结构抗震设计	55
一、建筑物的分类及其抗震设防标准	55
二、建筑场地	57
三、地震反应谱	59
四、抗震设计的基本原则	61
五、地震作用计算方法	67
六、结构抗震验算方法	70
七、多层和高层钢筋混凝土结构的抗震设计要点	72
第三节 混凝土结构隔震技术设计	76
一、结构隔震技术原理	77
二、基础隔震技术	80
三、房屋隔震设计要点	85
四、工程应用概况	88
第四节 混凝土结构消震技术设计	90
一、结构阻尼消能减震原理	91
二、消能减震技术的特点	92
三、消能减震体系的类型	93
四、消能减震设计	100
五、结构动力消震	104
第五节 混凝土结构抗震鉴定与加固技术	108
一、建筑的抗震鉴定	108
二、混凝土结构抗震加固技术	111
第六节 混凝土结构抗震试验技术	117
一、结构抗震试验分类	117
二、结构抗震试验结果分析	126
参考文献	127
第四章 混凝土结构火灾防护技术	129
第一节 火灾和建筑防火基本知识	129
一、燃烧的基础知识	129
二、火灾和防火设计基本知识	132
第二节 混凝土结构的火灾和高温损伤问题	137
一、混凝土结构的火灾问题	137
二、混凝土结构的高温损伤问题	139

第三节 混凝土结构耐火与高温试验技术	140
一、建筑构件的耐火试验	140
二、混凝土构件的高温试验技术	148
第四节 建筑防火设计	150
一、建筑总平面布局与防火间距	150
二、民用建筑防火设计的一般规定	153
三、火灾扑救器材	158
第五节 混凝土结构抗火设计	159
一、混凝土结构抗火设计的一般原则	159
二、整体膨胀效应产生的内力	161
三、混凝土结构正截面耐火强度的验算	161
四、混凝土结构的防火构造	164
第六节 火灾后混凝土结构的评估与加固	166
一、火灾后的现场检查	167
二、结构受损程度评定	169
三、火灾后损伤混凝土结构的加固	170
参考文献	174
第五章 混凝土结构抗爆与防护技术	175
第一节 爆炸灾害概述	175
一、爆炸类型	175
二、混合物的爆炸极限特性	177
三、爆炸危害方式	180
第二节 厂房和仓库防爆设计	180
第三节 混凝土结构的防爆设计	183
一、爆炸荷载	183
二、快速加载下的材料性能	184
三、受弯构件	187
四、受压构件	190
第四节 混凝土结构的战争灾害防护	191
一、核爆炸地面空气冲击波	192
二、荷载及荷载组合	193
三、结构动力计算	193
四、内力分析和截面设计	194
第五节 结构对邻近岩土工程爆破的振动防护	195

一、岩土爆破特性·····	195
二、爆破振动信号的特征·····	196
三、岩土爆破振动效应及其控制·····	198
第六节 混凝土结构抗爆试验技术·····	201
参考文献·····	204
第六章 混凝土结构抗风技术·····	206
第一节 风的基本知识·····	206
一、大气·····	206
二、风的形成·····	208
三、风级·····	212
第二节 风灾·····	213
一、几类风灾·····	213
二、我国风区概况·····	221
第三节 混凝土结构抗风计算·····	223
一、基本风速和基本风压·····	223
二、结构顺风向风荷载和风振响应·····	228
三、结构横风向风振·····	237
四、风的总荷载效应·····	241
第四节 高层建筑抗风·····	241
一、高层建筑的风振特点·····	241
二、风力作用下的鞭梢效应·····	242
三、风力作用下的舒适度分析·····	244
第五节 建筑抗风试验技术·····	245
一、建筑风洞实验的必要性·····	245
二、建筑风洞实验技术概况·····	246
第六节 建筑风振控制概述·····	248
参考文献·····	248
第七章 混凝土结构耐久性·····	250
第一节 混凝土结构耐久性问题·····	250
一、结构的耐久性·····	250
二、混凝土结构的耐久性问题·····	251
第二节 混凝土结构劣化机理·····	253
一、混凝土结构材料劣化·····	253
二、混凝土结构的性能退化·····	258

第三节 混凝土结构的长期环境作用	260
一、混凝土结构的长期环境作用等级	260
二、混凝土结构的长期环境作用分类	261
三、混凝土结构的长期环境作用设计选择	263
第四节 混凝土结构耐久性设计分析模型	264
一、极限状态设计	264
二、劣化后的结构性能预测	264
第五节 提高混凝土结构耐久性的措施	268
一、设计原则	268
二、设计内容	269
三、构造措施	270
四、混凝土材料选用	272
五、施工质量检验	272
参考文献	274
第八章 混凝土结构健康监测技术	276
第一节 结构健康监测的基本概念	276
一、结构健康监测系统的组成	277
二、土木工程结构健康监测特点	278
第二节 结构损伤检测方法	280
一、土木工程结构损伤检测方法分类	280
二、土木工程结构动态参数检测方法	283
三、人工神经网络在土木工程结构损伤检测中的应用	288
四、小波分析技术在结构损伤检测中的应用	294
五、结构模态参数和物理参数实测的其他问题	299
第三节 桥梁结构健康监测系统实例介绍	300
一、监测系统方案设计	302
二、系统安装与实时监测	303
三、系统设备	305
第四节 土木工程结构健康监测未来研究方向	305
参考文献	306

第一节 混凝土结构发展概论

一、工程结构的基本概念

土木工程涉及房屋建筑、道路、桥梁、隧道、给排水等。一般的房屋建筑大多是由基础、柱、墙、梁、楼板、楼梯、屋面和门、窗等构成的；对桥梁，则主要由基础、墩、桥面、护栏等构成。通俗地说，工程结构指的就是这些建筑物的承重骨架，是建筑物赖以生存的主要条件。由于自然环境和人为因素，在建筑物的使用期限内，结构实际承受的将不仅是自重等竖向荷载，而且还要抵抗由地震、风等引起的侧向荷载。

建筑材料和建造技术的发展决定着结构形式的变革，而结构形式的合理选择对建筑物的使用功能以及建筑美学等方面又有着很大的影响。大量房屋建筑的结构形式，依其使用功能、规模和所用建筑材料及受力情况的不同而有着不同的类型。依规模而言，可将房屋建筑分为单层、多层和高层建筑等。对单层、多层建筑，其主要的结构形式包括墙体承重结构、框架承重结构等。依所用的建筑材料，目前有混合结构、钢筋或钢管混凝土结构和钢结构等基本形式。混合结构是指在同一座建筑中，其重要承重构件分别是由不同的材料制成的，如砖与木、砖与钢筋混凝土、钢筋混凝土与钢等，其中以砖墙为主体的混合结构又称为砖混结构，它是目前已有多层建筑的主要结构形式。

钢筋混凝土结构是指建筑物的主要承重构件由钢筋混凝土材料制成。混凝土的抗压强度较高，但抗拉强度很低；而钢筋的抗压和抗拉强度均很高。将这两者结合在一起的钢筋混凝土，便充分地发挥了两种材料各自的特长。由于就地取材性好，用钢量小，造价较为便宜，抗震、防火和耐久性能等好，而且其构件可以现浇和预制成各种形状，钢筋混凝土结构的适用范围极其广泛，是高层建筑、大



跨桥梁、地下建筑和地铁隧道的主要结构形式。

钢结构则是指建筑物的主要承重构件由钢材制成，具有强度高、质量（重量）轻且布置灵活、抗震性能好、施工速度快等优点，但防锈、防火等使用期间的维护要求较高，目前主要用于大跨厂房、桥梁和公共建筑以及高层建筑中。

二、钢筋混凝土结构的几个重要特点

1. 钢筋和混凝土间的粘结作用

钢筋和混凝土两种材料在钢筋混凝土构件中能否有效地协同工作，取决于混凝土硬化后钢筋与混凝土接触表面之间粘结作用的强弱。这种粘结作用来源于混凝土与钢筋接触表面上凹凸不平的机械咬合力（约占总粘结力的 $3/4$ ），混凝土在钢筋环向方向的收缩、钢筋微弯或直径不均匀所产生的摩阻力，钢筋与水泥胶体的吸附和胶着力（约占总粘结力的 $1/10$ ）。钢筋与混凝土之间粘结力的大小反映了钢筋与混凝土界面相互作用的能力，其中包括两者间的应力和变形协调性能，使钢筋和混凝土共同受力。

2. 钢筋与混凝土间的变形协调性

钢筋和混凝土两种材料的温度膨胀系数较为接近，其中钢筋为 1.2×10^{-5} ，混凝土则为 $(1.0 \sim 1.4) \times 10^{-5}$ 。当温度缓慢地变化时，两者将因温差较小而不会造成过大的相对变形（伸长或缩短），为二者能够在同一构件中协同工作提供了条件。但是，由于混凝土的导热性远比钢材的差，当遇到火灾等特殊情况下，钢筋和混凝土之间在短时间内就有可能因较大的温度差而产生较大的相对变形，继而破坏两者的共同作用。

3. 材料配比及养护条件对混凝土性状的影响

混凝土在空气中结硬时，体积会收缩。对素混凝土，其收缩因相对自由而不易产生裂缝；但对钢筋混凝土，因未受力钢筋在空气中基本上不变形，混凝土在结硬过程中的收缩必然要受到钢筋的阻碍作用，即混凝土收缩会使钢筋受压，同时又因钢筋的反作用而受拉，继而可能使钢筋与混凝土间界面以及构件表层出现裂缝。混凝土出现这些裂缝后，不但会减弱钢筋与混凝土间的粘结力，而且还会加速钢筋的腐蚀而影响其耐久性。因此，为使钢筋与混凝土两者粘结在一起能很好地协同工作，还要求混凝土要有良好的配合比、浇筑工艺和养护条件。

4. 钢筋混凝土结构的缺点及其改善途径

钢筋混凝土结构虽然优点突出，但它也存在着一些缺点，如自重重大而不利于建造大跨结构，容易开裂而影响承载力、耐久性或防渗性；现场浇筑施工工序多，工期长，工程质量受气候环境条件限制等。为克服混凝土结构的这些缺点，



人们一直探索采用一些新技术。例如，在工程建造阶段有计划地对部分构件施加预应力，由此提高混凝土构件或结构的抗裂性、刚度和承载力，并能够建造一些跨度大、荷载重以及抗裂抗渗要求高的结构，如大跨屋架、桥梁和大型水池等。另外，采用高性能混凝土，通过提高其密实度来改善混凝土的抗渗性；采用轻质高强混凝土，可以减轻自重，并改善隔热隔声性能；采用预制装配式结构，可以减少现场操作工序，克服气候条件限制，加快施工进度等。

三、混凝土结构体系分类

混凝土结构按其构成的形式可以分为实体结构和组合结构两大类。桥墩、水库大坝、某些基础等通常为几何尺寸较大的实体，称为实体结构或大体积混凝土结构。根据其受力特点，部分实体结构可以配置很少甚至不配置钢筋，此时的结构分别又可称为少筋混凝土结构和素混凝土结构。房屋、桥梁等建筑通常由若干基础、柱、梁和楼板等基本构件（图 1-1）连接而成，称为组合结构。由于这类结构通常要承受拉、压、弯或扭等多种作用，其构件混凝土中均要配置钢筋而形成钢筋混凝土结构。不同构件的连接部位称为节点

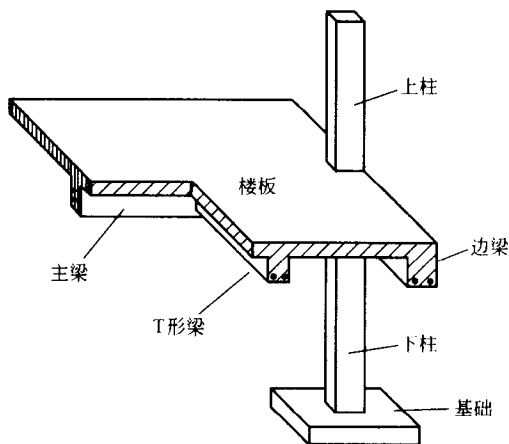


图 1-1 混凝土房屋结构的基本构件

点，若它只能承受拉力、压力的，则称为铰接节点，如桁架中的拉-压杆节点、排架中的梁-柱节点；若同时能承受弯矩等其他力的作用，则称为刚接节点，如空腹桁架中的拉-压杆节点、框架中的梁-柱节点等。

结构类型还可按结构与所受之力是否在同一平面来进行划分。若承重构件组成的结构与其所受的外力在计算中视为处于同一平面之内，则称其为平面结构；若组成的结构可以承受不在同一平面内的外力，且计算时也按空间受力体系考虑，则称其为空间结构。

1. 框架结构

由梁、柱通过节点连接而成的结构单元称为框架。全部竖向荷载和侧向荷载由框架承受的结构体系，称为框架结构。这种体系的结构不靠墙体承重，建筑平面布置灵活，可以适应不同使用功能的需求，适用于办公楼、教室、商场、住宅

等房屋建筑。

单榀框架只能在自身平面内抵抗侧向力。抗震框架结构的梁-柱必须采用刚接节点,使梁端能传递弯矩,同时使结构具有良好的整体性和比较大的刚度。框架结构有横向承重(图 1-2)、纵向承重或纵横双向承重三种方式。对一个具体工程,采用它们中的哪一种主要取决于楼板布置和荷载特性。

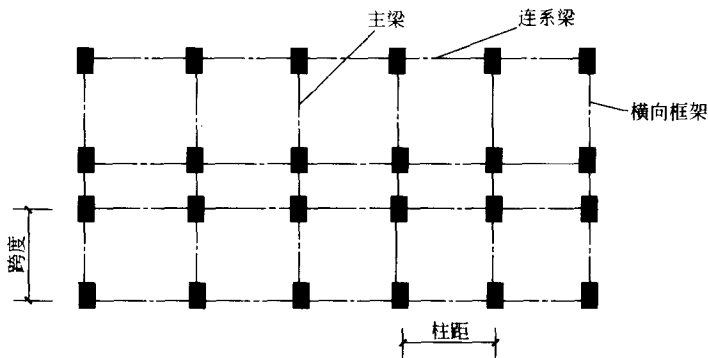


图 1-2 横向框架体系

图 1-3 是一种称为多层内框架体系的混合房屋结构,其外墙由砖墙(壁柱)承重,而内部由钢筋混凝土框架承重。这种结构体系一方面可使室内有较大的空间,比多层砖砌房屋布置灵活,容易满足使用要求;另一方面外墙既可承重,又可防寒隔热。多层内框架房屋较全框架房屋具有经济和施工简单等优点,因而在工业与民用建筑中应用颇为广泛。为了提高内框架房屋的抗震性能,内框架应采用多排柱,而不应采用单排柱。

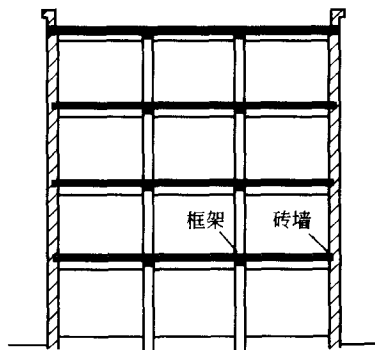


图 1-3 多层内框架体系

2. 剪力墙结构

用钢筋混凝土剪力墙(也叫抗震墙)承受竖向荷载和抵抗侧向力的结构称为剪力墙或抗震墙结构。受楼板跨度的限制,剪力墙结构的开间一般为 3~8m,适用于住宅、旅馆等建筑。剪力墙结构采用现浇钢筋混凝土,整体性好,承载力及侧向刚度大。延性剪力

墙具有良好的抗震性能。

剪力墙是平面构件,在其自身平面内有较大的承载力和刚度;但其平面外的



承载力和刚度较小，在结构设计中一般不予考虑。因此，剪力墙要双向布置，分别抵抗各自平面内的侧向力。

剪力墙一般需要开洞作为门窗，洞口宜上下对齐，成列布置，形成具有规则洞口的联肢剪力墙。短肢剪力墙是指墙肢截面高度与宽度之比为 $5 \sim 8$ 的剪力墙，有利于住宅平面布置和减轻结构自重。

为了使底部或底部若干层有较大的空间，可以将这些层的结构做成框架，而上部仍为剪力墙的框支剪力墙（图 1-4）。

图 1-5 是一种称作底框-抗震剪力墙体系的混合房屋结构，其底部为钢筋混凝土框架-抗震墙结构，上部为多层砖墙承重房屋。这种房屋多用于底部为商店、上层为住宅的建筑。由于底部框架-抗震墙房屋抗震性能较差，所以底部宜做成一层框架-抗震墙结构；当需要时，也可做成两层，但应持慎重态度。

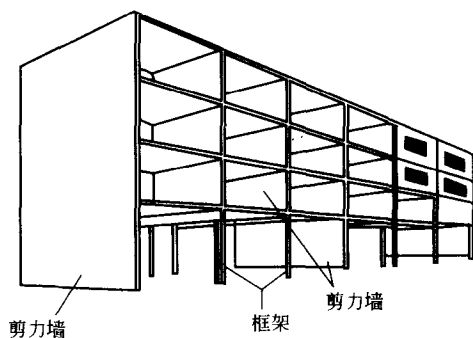


图 1-4 框支剪力墙体系

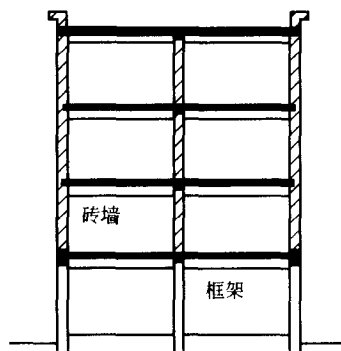


图 1-5 底框-抗震剪力墙体系

3. 框架-剪力墙结构

框架和剪力墙共同承受竖向荷载和侧向力，就成了框架-剪力墙结构（图 1-6）。它是一种双重抗侧力结构，侧移曲线的形状呈弯剪型。

框架-剪力墙结构体系既有框架结构布置灵活、延性好的特点，也有剪力墙结构刚度大、承载力高的特点，广泛应用于高层建筑。

4. 板柱-剪力墙结构

板柱结构是指钢筋混凝土无梁楼板和柱组成的结构。板柱结构施工方便，楼板高度小，可以减小层高，能提供大的适用空间，灵活布置隔断墙等，但板柱节点的抗震性能差，不宜用于高层建筑。在板柱结构中设置剪力墙，或将楼、电梯间做成钢筋混凝土井筒，即成为板柱-剪力墙结构。

5. 筒体结构

筒式结构是由框架-剪力墙结构与全剪力墙结构演变发展而来的。它将剪力

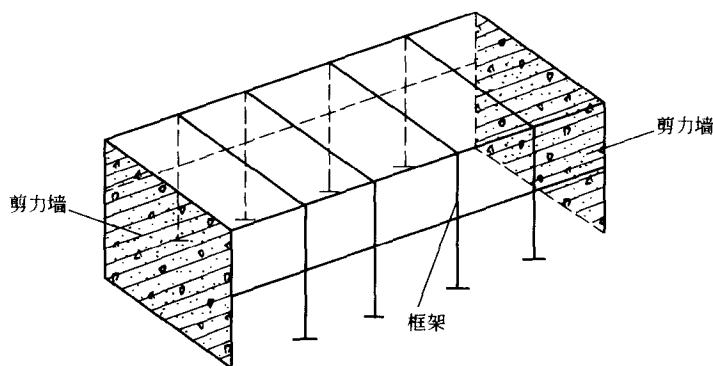


图 1-6 框架-剪力墙结构

墙集中到房屋的内部或外部形成封闭的筒体 [实腹筒, 图 1-7 (a)]。它的空间刚度极大, 抗扭性能也好; 又因剪力墙的集中而不妨碍房屋的使用空间, 最适用于各种高层公共建筑和商业建筑。

筒体与其他结构体系相结合后, 又有如下几种表现形式。

(1) 框筒结构 [图 1-7 (b)] 框筒是由布置在建筑物周边的柱距小、梁截面高的密柱、深梁型框架组成。在形式上, 框筒由四榀框架围成。框筒是空间结构, 其适用高度比框架结构高得多。较少单独采用框筒作为高层建筑的抗侧力体系, 它主要与内筒组成筒中筒结构, 或多个框筒组成束筒结构。

(2) 桁架筒结构 [图 1-7 (c)] 用稀柱、浅梁和支撑斜杆组成桁架, 布置在建筑物的周边, 就形成了桁架筒结构。

(3) 筒中筒结构 [图 1-7 (d)] 用框筒作为外筒, 将剪力墙或楼 (电) 梯间、管道竖井等服务设施集中在建筑平面的中心做成内筒, 就成为筒中筒结构。

筒中筒结构也是双重抗侧力体系, 在水平力作用下, 内、外筒协同工作, 其侧移曲线类似于框架-剪力墙结构, 呈弯剪型。

(4) 成束筒结构 [图 1-7 (e)] 两个或两个以上框筒排列在一起, 即为成束筒体系。

(5) 框架-核心筒结构 筒中筒结构的外框筒为密柱深梁, 影响对外视线, 景观较差, 建筑外形比较单调。加大外框筒的柱距, 减小梁的高度, 周边形成稀柱框架, 与内筒一起, 组成了框架-核心筒结构。周边框架与核心筒之间形成的可用空间较大。与筒中筒结构类似, 广泛用于写字楼、多功能建筑。

6. 巨型结构