



四川理工学院课程实施大纲

课程名称：结构抗震设计
授课班级：土木工程 2014 级 13579 卓越班
任课教师：刘鸿
工作部门：土木工程学院
联系方式：13541682539

四川理工学院 制

2017 年 2 月

《结构抗震设计》

课程实施大纲基本信息

课程代码：

课程名称：结构抗震设计

学 分：3

总 学 时：38

学 期：1

上课时间：2016—2017 学年第 2 学期

上课地点：四川理工学院汇南教学楼 N1-406

答疑时间和方式：课余时间；课堂答疑，组建本门课程学习 QQ 群，公布教师办公电话及 E-mail 进行答疑

答疑地点：上课的教室，教师办公室，网络及电话

授课对象：建工学院土木工程 2014 级 13579 卓越本科班学生

任课教师：刘鸿

学 院：建工学院

邮 箱：2654648080@qq.com

联系电话：13541682539

目录

1.教学理念.....	8
2.结构抗震设计介绍.....	9
2.1 课程的性质.....	9
2.2 课程在学科专业结构中的地位、作用.....	9
2.3 课程的前沿及发展趋势.....	9
2.4 学习本课程的必要性.....	10
3.教师简介.....	10
3.1 教师的职称、学历.....	10
3.2 教育背景.....	10
3.3 研究兴趣（方向）.....	10
4.先修课程.....	10
5.课程目标.....	10
6.课程内容.....	11
6.1 课程的内容概要.....	11
6.2 教学重点、难点.....	11
6.3 学时安排.....	13
7.课程实施.....	13
7.1 教学单元一.....	13
7.1.1 教学日期.....	14
7.1.2 教学目标.....	14
7.1.3 教学内容（含重点、难点）.....	14
7.1.4 教学过程.....	14
7.1.5 教学方法.....	15
7.1.6 作业安排及课后反思.....	15
7.1.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	15
7.1.8 参考资料.....	16
7.2 教学单元二.....	16
7.2.1 教学日期.....	16
7.2.2 教学目标.....	16
7.2.3 教学内容.....	16
7.2.4 教学过程.....	16
7.2.5 教学方法.....	17
7.2.6 作业安排及课后反思.....	17
7.2.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	17
7.2.8 参考资料.....	17
7.3 教学单元三.....	17
7.3.1 教学日期.....	17
7.3.2 教学目标.....	17
7.3.3 教学内容.....	18
7.3.4 教学过程.....	18
7.3.5 教学方法.....	19
7.3.6 作业安排及课后反思.....	19

7.3.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	19
7.3.8 参考资料.....	19
7.4 教学单元四.....	19
7.4.1 教学日期.....	19
7.4.2 教学目标.....	19
7.4.3 教学内容.....	20
7.4.4 教学过程.....	20
7.4.5 教学方法.....	21
7.4.6 作业安排及课后反思.....	21
7.4.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	21
7.4.8 参考资料.....	21
7.5 教学单元五.....	21
7.5.1 教学日期.....	21
7.5.2 教学目标.....	21
7.5.3 教学内容.....	21
7.5.4 教学过程.....	22
7.5.5 教学方法.....	25
7.5.6 作业安排及课后反思.....	25
7.5.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	25
7.5.8 参考资料.....	25
7.6 教学单元六.....	26
7.6.1 教学日期.....	26
7.6.2 教学目标.....	26
7.6.3 教学内容.....	26
7.6.4 教学过程.....	26
7.6.5 教学方法.....	28
7.6.6 作业安排及课后反思.....	28
7.6.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	28
7.6.8 参考资料.....	28
7.7 教学单元七.....	28
7.7.1 教学日期.....	28
7.7.2 教学目标.....	28
7.7.3 教学内容.....	28
7.7.4 教学过程.....	29
7.7.5 教学方法.....	31
7.7.6 作业安排及课后反思.....	31
7.7.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	31
7.7.8 参考资料.....	31
7.8 教学单元八.....	31
7.8.1 教学日期.....	31
7.8.2 教学目标.....	31
7.8.3 教学内容.....	31
7.8.5 教学方法.....	33
7.8.6 作业安排及课后反思.....	33

7.8.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	33
7.8.8 参考资料.....	33
7.9 教学单元九.....	34
7.9.1 教学日期.....	34
7.9.2 教学目标.....	34
7.9.3 教学内容.....	34
7.9.4 教学过程.....	34
7.9.5 教学方法.....	35
7.9.6 作业安排及课后反思.....	36
7.9.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	36
7.9.8 参考资料.....	36
7.10 教学单元十.....	36
7.10.1 教学日期.....	36
7.10.2 教学目标.....	36
7.10.3 教学内容.....	36
7.10.4 教学过程.....	37
7.10.5 教学方法.....	39
7.10.6 作业安排及课后反思.....	39
7.10.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	39
7.10.8 参考资料.....	39
7.11 教学单元十一.....	39
7.11.1 教学日期.....	39
7.11.2 教学目标.....	39
7.11.3 教学内容.....	39
7.11.4 教学过程.....	40
7.11.5 教学方法.....	41
7.11.6 作业安排及课后反思.....	41
7.11.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	42
7.11.8 参考资料.....	42
7.12 教学单元十二.....	42
7.12.1 教学日期.....	42
7.12.2 教学目标.....	42
7.12.3 教学内容.....	42
7.12.4 教学过程.....	42
7.12.5 教学方法.....	45
7.12.6 作业安排及课后反思.....	45
7.12.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	45
7.12.8 参考资料.....	45
7.13 教学单元十三.....	46
7.13.1 教学日期.....	46
7.13.2 教学目标.....	46
7.13.3 教学内容.....	46
7.13.4 教学过程.....	46
7.13.5 教学方法.....	51

7.13.6 作业安排及课后反思.....	51
7.13.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	51
7.13.8 参考资料.....	51
7.14 教学单元十四.....	51
7.14.1 教学日期.....	51
7.14.2 教学目标.....	51
7.14.3 教学内容.....	51
7.14.4 教学过程.....	52
7.14.5 教学方法.....	57
7.14.6 作业安排及课后反思.....	57
7.14.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	57
7.14.8 参考资料.....	57
7.15 教学单元十五.....	57
7.15.1 教学日期.....	57
7.15.2 教学目标.....	57
7.15.3 教学内容.....	57
7.15.4 教学过程.....	57
7.15.5 教学方法.....	61
7.15.6 作业安排及课后反思.....	61
7.15.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	61
7.15.8 参考资料.....	61
7.16 教学单元十六.....	61
7.16.1 教学日期.....	61
7.16.2 教学目标.....	62
7.16.3 教学内容.....	62
7.16.4 教学过程.....	62
7.16.5 教学方法.....	68
7.16.6 作业安排及课后反思.....	68
7.16.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	68
7.16.8 参考资料.....	68
7.17 教学单元十七.....	68
7.17.1 教学日期.....	68
7.17.2 教学目标.....	68
7.17.3 教学内容.....	68
7.17.4 教学过程.....	69
7.17.5 教学方法.....	76
7.17.6 作业安排及课后反思.....	76
7.17.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	76
7.17.8 参考资料.....	77
7.18 教学单元十八.....	77
7.18.1 教学日期.....	77
7.18.2 教学目标.....	77
7.18.3 教学内容.....	77
7.18.4 教学过程.....	77

7.18.5 教学方法.....	82
7.18.6 作业安排及课后反思.....	82
7.18.7 课前准备情况及其他相关特殊要求.....	83
7.18.8 参考资料.....	83
8.课程要求.....	83
8.1 学生自学要求.....	83
8.2 课外阅读要求.....	83
8.3 课堂讨论要求.....	83
8.4 课程实践要求.....	83
9.课程考核.....	83
9.1 出勤（迟到、早退等）、作业、报告等的要求.....	83
9.2 成绩的构成与评分规则说明.....	84
9.3 考试形式及说明.....	84
10.学术诚信.....	84
10.1 考试违规与作弊处理.....	84
10.2 杜撰数据、信息处理等.....	85
10.3 学术剽窃处理等.....	85
11.课堂规范.....	85
11.1 课堂纪律.....	85
11.2 课堂礼仪.....	86
12.课程资源.....	86
12.1 教材与参考书.....	86
12.2 专业学术著作.....	86
12.3 专业刊物.....	86
12.4 网络课程资源.....	86
13.教学合约.....	87
13.1 阅读课程实施大纲，理解其内容.....	87
13.2 同意遵守课程实施大纲中阐述的标准和期望.....	87
14.其他说明.....	87

1.教学理念

大学教育围绕一个“育人目标”核心，注重人的全面发展，重点培养学生的自学能力、实践能力和创新能力。即以学生为“中心”，教师为“主体”的教与学的关系。在具体的教学中，以“课”为教学活动单位，将学生能力锻炼作为核心，遵循理论实际相结合、学以致用和因材施教的原则，使学生在循序渐进的教学过程中短时、优效地获得系统的科学知识。

学好一门专业课，尤其是核心专业课，必须理清思路，对整个学习过程进行合理的规划。除了掌握基本知识和基本理论以外，更重要的还需要把有关的重要研究成果融入课程体系中，并结合典型案例，形成科学的、系统的内容架构。在学时允许的条件下，通过介绍与本课程相关的最新研究成果以及研究成果的应用实例，进一步拓展视野，充实学习内容，深化课程认识，为今后学习与工作打下扎实的基础。

结构抗震设计既是一门理论课程同时也是一门方法类课程，该课程以工程数学、工程力学为基本方法，要求有较强的逻辑思维能力。课程具有结构受力复杂、概念很多、内容繁杂、计算繁多的特点，针对我校培养应用型工程技术人才的培养目标，并考虑到我校学生数学基础较薄弱的特点，在教学过程中，针对应用本科的培养要求，即重知识和理论的应用，轻理论和公式的推导。这样不至于让学生因为课本上一大堆繁琐的数学公式而不知前因后果，产生课程学习的畏难情绪。课程实施主要采用讲授法、引导法、提问法、对比法、归纳法、演示法、练习法以及案例分析法等多种教学方法，同时结合教师自身的研究和工程经验，以基于理论研究、工程应用的学习亦作为教学方法的重要方面，充分调动学生的学习热情，使学生通过积极的思维、操作、演练，主动地获取知识，确保学生学有所得。在上课形式上，运用多媒体教学手段，方便对新近前沿研究领域、成果的介绍，以实现良好的教学效果。

整个教学实施过程中，我将秉承以下的教学风格：

(1) 公平对待每一位学生。在教学过程中，我将对学生持民主与尊重的态度，对不同出身、性别、智力、相貌、年龄、个性以及关系密切程度不同的学生尽量做到一视同仁，同等对待，对每一位学生都关心、爱护、无偏袒、

不以个人的私利和好恶作标准；

(2) 以一种有趣的教学方式传递知识。在教学过程中，我尽量寻求有趣的方式向学生传递知识，例如：提问环节鼓励学生主动回答问题；教学讲授环节，尽量多举与实际生活息息相关的例子，用最浅显易懂、幽默的语言表达课程中比较复杂抽象的概念。其目的是让学生积极参与整个教学环节，通过参与和体验，高效地学习该课程。

(3) 积极引导学生的主动学习。在教学过程中，我将通过案例分析、知识点对比、归纳等多种讲授方式引导学生积极主动的学习，使学生深刻体会所学知识对实际工程、未来可言道路或职场工作的价值。

2. 结构抗震设计介绍

2.1 课程的性质

结构抗震设计是土木工程专业研究高层结构的受力特性的专业课程，采用力学分析方法探讨高层结构各种结构体系的受力及变形特点。在其发展过程中逐步融入了材料技术、电子技术、建筑学理论、数学、计算机与信息学技术，使之与众多学科有着广泛的联系和交叉，已经成为土木工程学科结构领域的门槛。

结构抗震设计有助于掌握建筑结构设计施工方面的基本理论和方法，有助于了解土木工程的防灾与减灾的基本原理及一般设计方法，同时也有助于了解有关法规、规范与规程。

2.2 课程在学科专业结构中的地位、作用

《结构抗震设计》是土木工程各专业的一门核心专业基础课，也是土木工程学科课程中理论与实践联系比较密切的主干课程之一，因而占有重要的中心地位。它研究各种载体作用下结构的受力及变形特性，研究地震灾害作用下的破坏规律，为提高结构的经济性、安全性、耐久性提供理论依据。

2.3 课程的前沿及发展趋势

地震是一种突发的自然灾害，我国是世界上多地震国家之一，六、七十年代的强烈地震造成了严重损失，近几十年地震比较活跃，搞好新建工程的抗震设计是最根本的减灾措施。随着新材料的不断出现、力学分析方法和分

析手段的发展、结构设计和施工技术的进步以及现代化机械和电子技术的飞跃，结构抗震形式更加合理的进一步研究，可以预见，在今后的土木工程领域，结构抗震仍将是世界各国在城市建设中的首要考虑问题之一，扮演重要的角色。因此，对于建工学院的相关专业来说，《结构抗震设计》都在土木工程学科的发展中起着先导作用。

2.4 学习本课程的必要性

- (1)进一步加深对土木工程学科的认识；
- (2)有利于系统的把握土木工程学科的研究内容及研究方法；
- (3)有利于理解结构抗震设计在土木工程设计应用及施工管理中的重要作用。

3.教师简介

3.1 教师的职称、学历

刘鸿，男，1969年12月出生，副教授，博士。

3.2 教育背景

刘鸿，男，1969年11月出生，博士，副教授，建工学院教师。

主要教育背景：

1995.4—1999.12 在西南交通大学读大学；

2004.9—2007.5 在西南交通大学读硕士研究生；

2008.9—2013.1 在西南交通大学读博士研究生。

3.3 研究兴趣（方向）

主要研究方向：结构工程、岩土工程。

4.先修课程

《工程力学》、《高等数学》、《土力学与基础工程》、《土木工程材料》、《钢筋混凝土原理》等。

5.课程目标

1、任务和地位：

《结构抗震设计》是结构设计的基础，是研究地震分布及发生规律性及结构抗震的受力特性及变形破坏规律的一门科学。其任务主要是应用力学、数学的理论和方法，从

结构受力角度来阐明高层房屋安全性、耐久性性能要求，重点对框架、框支剪力墙、框架—剪力墙的受力特性及变形破坏规律展开研究，是一门结构与力学、数学相结合的学科。《结构抗震设计》是土木工程学科的专业基础课，在结构专业学生的知识结构中起着承前启后的重要作用。

2、知识方面：

掌握结构抗震设计的基础知识，包括基本理论、研究方法和技术等。如结构形式、概念设计地震震害规律；结构体系、框架、剪力墙、框架—剪力墙、筒体结构的结构布置及变形规律，高层房屋结构的几何尺度设计要求；高层房屋结构的荷载及地震作用、设计要求的基本知识。还有框架、剪力墙、框架—剪力墙结构近似计算手段与方法。帮助学生形成高层房屋结构设计的基本观点，明确高层房屋结构设计的基本原理及其应用。

3、能力方面：

要求学生掌握高层房屋结构设计，基本计算技能，如反弯点法、D值法、连续连杆法。熟悉高层框架、剪力墙、框架—剪力墙结构的受力特性及变形破坏规律。

4. 情感与认知方面：

培养学生的合作、交流与合作能力。

总之，顺应时代的发展要求，通过本课程的教与学，培养精通结构设计知识的土木工程专业相关复合型人才。

6.课程内容

6.1 课程的内容概要

结构抗震设计课程授课内容包括、第一章绪论、第二章场地与地基、第三章结构地震反应分析与抗震计算、第四章多层砌体结构抗震设计、第五章多高层建筑钢筋混凝土结构抗震设计，共五部分内容。

6.2 教学重点、难点

一、教学重点

第一章：

- 1.地震与地震动；
- 2.地震震级与地震烈度；
- 3.地震灾害概说；
- 4.工程抗震设防；
- 5.抗震设计的总体要求。

第二章：

- 1.场地划分与场地区划；
- 2.地基抗震验算；
- 3.场地土液化及其防治。

第三章：

- 1.单自由度体系的弹性地震反应分析；
- 2.单自由度体系的水平地震作用与反应谱；
- 3.多自由度弹性体系的最大地震反应与水平地震作用；
- 4.结构抗震验算。

第四章：

- 1.多层砌体结构选型与布置；
- 2.多层砌体结构的抗震计算；
- 3.多层砌体结构抗震构造措施。

第五章：

- 1.选型、结构布置和设计原则；
- 2.钢筋混凝土框架结构的抗震设计。

二、教学难点

第一章：

- 1.地震与地震动；
- 2.地震震级与地震烈度；
- 3.地震灾害概说；
- 4.工程抗震设防；
- 5.抗震设计的总体要求。

第二章：

- 1.场地划分与场地区划;
- 2.地基抗震验算;
- 3.场地土液化及其防治。

第三章:

- 1.单自由度体系的弹性地震反应分析;
- 2.单自由度体系的水平地震作用与反应谱;
- 3.多自由度弹性体系的最大地震反应与水平地震作用;
- 4.结构抗震验算。

第四章:

- 1.多层砌体结构选型与布置;
- 2.多层砌体结构的抗震计算;
- 3.多层砌体结构抗震构造措施。

第五章:

- 1.选型、结构布置和设计原则;
- 2.钢筋混凝土框架结构的抗震设计。

6.3 学时安排

课时安排如下:

章次	教学内容	授课学时
一	绪论	10
二	场地与地基	8
三	结构地震反应分析与抗震计算	10
四	多层砌体结构抗震设计	4
五	多高层建筑钢筋混凝土结构抗震设计	4
	合计	36+2

7.课程实施

7.1 教学单元一

7.1.1 教学日期

2017年3月1日

7.1.2 教学目标

掌握地震的类型，掌握诱发地震、天然地震的类型，了解结构抗震设计的内容及其发展历史、结构抗震设计特点，建立新型结构设计理念。

7.1.3 教学内容（含重点、难点）

【教学内容】

一、地震灾害统计及地震的类型：

诱发地震的类型，天然地震的类型；结构抗震设计研究的对象和方法。

二、结构抗震设计的内容：

第一部分：讨论场地与地基。

第二部分：主要内容为结构地震反应分析与抗震计算。

第三部分：主要内容为多层砌体结构抗震设计。

第四部分：主要内容为多层钢筋混凝土框架结构抗震设计。

三、研究结构抗震设计的目的及其与其他学科的关系：

结构抗震设计与各基础学科的关系及研究进展。

四、结构抗震设计是一门比较难学的课程，在学习过程中要注意以下几方面：

1.认真听讲

2.课后认真复习

3.注意内容的前后衔接

【教学重难点】

1.地震的类型

2.诱发地震

3.构造地震发生原理

4.结构抗震设计学科的研究内容和主要研究方法，理解结构抗震设计与土木工程之间的紧密联系，体会本学科特点。

7.1.4 教学过程

教学具体过程（90分钟，学生出勤登记册下发签到作为平时上课考勤，下同不再列出）：

本课程的开始首先出示结构抗震设计相关教学幻灯片，展示国外标志性高层建筑，分别出示或板书地震灾害统计历史示意图和学生一起分析这些地震灾害现象，揭示如下主要问题：地震灾害的主要特征，地震灾害的种类，在这个过程中板书出结构抗震设计和地震灾害之间的关系图。

在对结构抗震设计主要内容进行讲解的过程中出示多媒体课件（总计 70 张，分别从理论到规范，从理论到具体多个角度分析和解释结构抗震设计研究的主要内容，65 分钟）

组织学生讨论（20 分钟）：

（分组，讨论结束后组长进行总结回答，教师给出评价作为本组学生的一次课堂成绩记入学生登分册）

结合结构抗震设计主要研究学习内容和前面已经学习过的基础课程讨论结构抗震设计和本专业的相关性：主要从以下两个方面给出提示：

结构抗震设计和土木工程的关系；

土木工程专业的特点。

作业布置及课程预习（5 分钟）：

预习参考书：

- 1.李国强， 建筑结构抗震设计（第三版），中国建筑工业出版社，2011.8，第一章 1-3 页.

7.1.5 教学方法

多媒体教学结合讲授。

7.1.6 作业安排及课后反思

- 1.地震的类型？
- 2.诱发地震的类型？
- 3.简述构造地震发生原理
- 4.简述结构抗震设计的主要内容？
- 5.结构抗震设计和土木工程专业有什么关系？为什么说结构抗震设计是一门重要的专业基础课程？
- 6.预习震源、震中、震源深度的概念。

7.1.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

无。

7.1.8 参考资料

本课程使用教材：第一章 1-3 页。

7.2 教学单元二

7.2.1 教学日期

2017 年 3 月 3 日

7.2.2 教学目标

- (1) 掌握震源、震中、震源深度的概念；
- (2) 掌握地震动的三要素的概念；
- (3) 了解地震波的传播特点。

7.2.3 教学内容

教学内容

- (1) 震源、震中、震源深度的概念；
- (2) 地震动的三要素的概念；
- (3) 地震波的传播。

重点：震源、震中、震源深度的概念；地震动的三要素的概念。

难点：

无

7.2.4 教学过程

教学具体过程（90 分钟）：

复习上节学习内容：

请 3 名同学回答上节课学习内容（5 分钟），教师评价记入登分册。

问题 1 地震的类型

问题 2 诱发地震的类型

问题 3 构造地震发生原理

（1）本课程的开始首先以我国古代地震观察为例进行讲解：出示相关教学幻灯片，展示我国古代在地震观察的贡献，和学生一起分析这些关系，巩固上节学习的内容（讲述法）：

震源、震中、震源深度的概念；

震中距的计算方法。

(2) 地震动的三要素：最大振幅、频谱、持续时间的概念：出示相关教学幻灯片，展示建筑结构抗震设防和地震动的三要素以及震源、震中、震源深度的之间的关系。

(3) 地震波的传播：出示相关教学幻灯片，展示地震波发生及传播方法（对比讲授）。

(4) 内地对地震波发生及传播方法掌握所取得成就的贡献（对比讲授）：
我国精准测量出现了大批的分析计算、科学管理水平的提高。

师生互动，结合幻灯片分析如下两个问题学生分组进行讨论：

1 如何理解震源、震中、震源深度的概念？

2 地震波的传播有哪些形式？

7.2.5 教学方法

多媒体教学结合讲授

7.2.6 作业安排及课后反思

1. 要求理解震源、震中、震源深度的概念
2. 地震动的三要素：最大振幅、频谱、持续时间的概念

7.2.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习地震震级与地震烈度内容。

7.2.8 参考资料

本课程使用教材：第一章 3-4 页。

7.3 教学单元三

7.3.1 教学日期

2017 年 3 月 8 日

7.3.2 教学目标

掌握地震震级 M 、地震烈度 I 概念，掌握地震震级 M 与震源释放能量 E

的关系，掌握地震震级 M 与地震烈度 I 的关系，掌握基本烈度概念，建立地震区划新型设计理念。

7.3.3 教学内容

- (1) 地震震级 M 、地震烈度 I ;
- (2) 地震震级 M 与震源释放能量 E 的关系;
- (3) 地震震级 M 与地震烈度 I 的关系;
- (4) 基本烈度概念，建立地震区划新型设计理念。

重点:

- (1) 地震震级 M 与震源释放能量 E 的关系;
- (2) 地震震级 M 与地震烈度 I 的关系。

难点:

- (1) 地震震级 M 与震源释放能量 E 的关系;
- (2) 地震震级 M 与地震烈度 I 的关系。

7.3.4 教学过程

教学具体过程 (90 分钟):

复习上节学习内容:

请 3 名同学回答上节课学习内容 (5 分钟)，教师评价记入登分册。

问题 1. 要求理解震源、震中、震源深度的概念

问题 2. 地震动的三要素: 最大振幅、频谱、持续时间的概念

(1) 本课程的开始首先以掌握地震震级 M 为例进行讲解: 出示相关教学幻灯片, 展示地震震级 M 计算方法 (讲述法):

地震震级 M : 衡量一次地震强弱程度即地震所释放的能量大小的度量指标。

$$M = \log A + R(\Delta)$$

掌握地震震级 M 、地震烈度 I 概念, 掌握地震震级 M 与震源释放能量 E 的关系, 掌握地震震级 M 与地震烈度 I 的关系, 掌握基本烈度概念, 建立地震区划新型设计理念。

(2) 地震震级 M 与震源释放能量 E 的关系: 出示相关教学幻灯片, 展示地震震级 M 与震源释放能量 E 的关系:

$$\log E = 11.8 + 1.5M$$

(3) 地震烈度，地震震级M与地震烈度I的关系（讲授法、引导法和提问法）

地震烈度：地震时一定地点地面震动的强弱程度，是某一区域的地表和各类建筑物遭受某一次地震影响的平均强弱程度。

（讲授法、引导法和提问法）

引导学生回忆直线表示的什么关系式？（同时增减）。地震震级M与地震烈度I的关系

$$M=1+2I/3$$

(4) 基本烈度及附录B设防烈度（讲授法）

基本烈度，是指一个地区在一定时期（我国取50年）一般场地条件下按一定的概率（我国取10%）可能遭遇到的最大地震烈度。

师生互动，结合附录B分析以下问题学生分组进行讨论：

1 设防烈度如何分组？

7.3.5 教学方法

多媒体教学结合讲授。

7.3.6 作业安排及课后反思

- 1.结构抗震设计规范相关内容的阅读
- 2.设防烈度如何应用？

7.3.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习地震分布分布规律及地震破坏作用的三种形式。

7.3.8 参考资料

本课程使用教材：第一章 4-5 页.

7.4 教学单元四

7.4.1 教学日期

2016年3月10日

7.4.2 教学目标

了解地震分布分布规律，了解地震破坏作用的三种形式，了解地震破坏作用与地震烈度关系。

7.4.3 教学内容

一、教学内容

- 1 地震分布分布规律
- 2 地震破坏作用的三种形式
- 3 地震破坏作用与地震烈度关系

二、教学重点

- 1.地震分布分布规律
- 2.次生灾害。

三、教学难点

- 1.地震破坏作用与地震烈度关系

7.4.4 教学过程

(1) 世界范围内，地震分布呈现带形分布规律。(讲述法)

两组主要地震带：

环太平洋地震带（80--90）%，沿南北美洲西海岸、阿留申群岛，转向西南到日本列岛，再经我国台湾岛，到菲律宾、新几内亚、新西兰。

欧亚地震带，西起大西洋的亚速岛，经意大利、土耳其、伊朗、印度北部、我国西部和西南地区，过缅甸、印度尼西亚。

(2) 地震破坏作用表现为三种形式：地面破坏、建筑物的破坏、次生灾害（讲述法）

地面破坏如地面裂缝、错动、塌陷、喷水冒砂等；

建筑物的破坏如房屋倒塌、桥梁断落、水坝开裂、铁轨变形等；

次生灾害如火灾、水灾、毒气泄漏、瘟疫。

(3) 地震破坏作用与地震烈度关系（讲述法）

见灾害统计数据。

师生互动，结合幻灯片分析如下两个问题学生分组进行讨论：

- 1 次生灾害的主要内容？
- 2 分析地震破坏作用与地震烈度关系？

7.4.5 教学方法

多媒体教学结合讲授

7.4.6 作业安排及课后反思

1.地震破坏作用与地震烈度关系；

7.4.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习工程抗震设防目标及要求内容。

7.4.8 参考资料

本课程使用教材：第一章 6-7 页.

7.5 教学单元五

7.5.1 教学日期

2016 年 3 月 15 日

7.5.2 教学目标

掌握工程抗震设防目标及要求，掌握“三水准”抗震设防目标、两阶段抗震设计方法，掌握建筑物重要性分类与设防标准，掌握场地选择，了解抗震设计的总体要求。

7.5.3 教学内容

一、教学内容

- 1.工程抗震设防目标及要求；
- 2.“三水准”抗震设防目标
- 3.两阶段抗震设计方法
- 4.建筑物重要性分类与设防标准
- 5.场地选择

6.抗震设计的总体要求。

二、教学重点

1. “三水准”抗震设防目标；

2.两阶段抗震设计方法。

三、教学难点

1. “三水准”抗震设防目标；

2.两阶段抗震设计方法。

7.5.4 教学过程

(1)复习上节课知识点（引导法）

引导学生回忆地震破坏作用与地震烈度关系。

(2)工程抗震设防目标及要求（讲述法）

简称为：“小震不坏，中震可修，大震不倒”。

工程抗震设防总目标：通过抗震设防，减轻建筑的破坏，避免人员死亡，减轻经济损失。

(3)“三水准”抗震设防目标（讲述法）

当遭受低于本地区抗震设防烈度的多遇地震影响时，一般不受损坏或无需修理可继续使用。

当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震影响时，可能损坏，经一般修理或无需修理仍可继续使用。

当遭受高于本地区抗震设防烈度的预估的罕遇地震影响时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

(4)两阶段抗震设计方法（讲述法）

第一阶段：达到小震不坏、中震可修，对绝大多数结构进行小震作用下的结构和构件承载力验算和弹性变形验算；在此基础上对各类结构按规定要求采取抗震措施。

第二阶段：达到大震不倒，对一些规范规定的结构进行大震作用下的弹塑性变形验算。

(5)建筑物重要性分类与设防标准（讲述法）

甲类：重大建筑工程和可能发生严重次生灾害的建筑

乙类：地震时使用不能中断或需尽快恢复的建筑

丙类、丁类：除以上以外的一般建筑

(6) 抗震设计的总体要求（讲授法、提问法）

建筑抗震设计包括三个层次的内容与要求：

①概念设计：从总体上把握抗震设计的基本原则；

②抗震计算：为建筑抗震设计提供定量手段；

③构造措施：保证结构整体性，加强局部薄弱环节，保证抗震计算结果的有效性。

提问：

①哪些课程学习曾接触该类问题？

(7) 注意场地选择、建筑体型布置的基本原则、利用结构延性、多道防线、注意非结构因素（讲授法、引导法和提问法）

①注意场地选择：根据土质、地形等情况将地段划分为有利、不利、危险地段。

表：有利、不利、危险地段划分

地段类别	地质、地形、地貌
有利地段	稳定基岩，坚硬土，开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等
不利地段	软弱土，液化土，条状突出的山嘴，高耸孤立的山丘，非岩质的陡坡，河岸和边坡的边缘，平面分布上成因、岩性、状态明显不均匀的土层（如故河道、疏松的断破裂带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基）等
危险地段	地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等及发震断裂带上可能发生地表错位的部位

②把握建筑体型布置中，建筑平立面布置的基本原则是：

对称：有利于减轻结构的地震扭转效应

规则：地震时结构各部分的振动易于协调，应力集中现象少

质量与刚度变化均匀：在平面方向尽量使结构的刚度中心与质量中心一致，

避免远离刚度中心的构件发生严重震害；在高度方向结构质量与刚度不宜有悬殊的变化，避免“变形集中”和“鞭梢效应”。

平面不规则类型

不规则类型	定义
扭转不规则	在结构的一角端垂直于一轴线的最大弹性层间位移，大于结

	构平面相应两角端弹性层间位移平均值的 1.2 倍
凹凸不规则	结构平面凸出或凹进的一侧尺寸，大于相应投影方向总尺寸的 30%，则该结构平面存在凹角或凸角不规则
楼板局部不连续	楼板局部不连续或刚度突变，是指结构平面局部收缩或大开洞处的有效楼板宽度小于结构平面典型宽度的 50%，或开洞面积大于该层楼板面积的 30%，以及较大的楼板错层

向竖向不规则

向竖向不规则类型	定义
侧向刚度不规则	该层侧向刚度小于上一层的70%，或小于其上相邻三个楼层刚度平均值的80%；除顶层外，局部收进的水平向尺寸大于相邻下一层的25%
竖向抗侧力构件不连续	竖向抗侧力构件（柱、抗震墙、抗震支撑）的内力由水平转换构件（梁、桁架等）向下传递
楼层承载力突变	该层间抗侧力结构的承载力小于上一层的 80%

③利用结构延性

设计中通过构造措施和截面设计尽量增加结构与构件的延性，结构的变形能力取决于组成结构的构件及其连接的延性水平。

规范对各类结构采取的抗震措施，基本上是提高各类结构构件的延性水平。

这些抗震措施是：

采用水平向（圈梁）和竖向（构造柱、芯柱）混凝土构件，加强对砌体结构的约束，或采用配筋砌体；使砌体在发生裂缝后不致坍塌和散落，地震时不致丧失对重力荷载的承载能力；

避免混凝土结构的脆性破坏（包括混凝土压碎、构件剪切破坏、钢筋同混凝土粘结破坏）先于钢筋的屈服；

避免钢结构构件的整体和局部失稳，保证节点焊接部位（焊缝和母材）在地震时不致开裂。

④多道防线

如“强柱弱梁”型框架结构有两道抗震防线：从结构弹性到部分梁出现塑性铰；从梁塑性铰发生较大转动到柱根破坏。

在两道防线之间，大量地震输入能量被结构的弹塑性变形所消耗。

设置手段：采用超静定结构、设置人工塑性铰、利用填充墙、设置耗能元件或装置等。

设置原则：不同的设防阶段应使结构周期有明显差别，避免共振；最后一道防线要具备一定的强度和足够的变形潜力。

⑤注意非结构因素

非结构构件对结构的影响：影响主体结构的动力特性（周期、阻尼等）；地震时会先期破坏。

非结构构件，包括建筑非结构构件和建筑附属机电设备，自身及其与结构主体的连接，应进行抗震设计：附着于楼、屋面结构上的非结构构件，应与主体结构有可靠的连接或锚固，避免地震时倒塌伤人或砸坏重要设备；围护墙和隔墙应考虑对结构抗震的不利影响，避免不合理设置而导致主体结构的破坏；幕墙、装饰贴面与主体结构应有可靠连接，避免地震时脱落伤人；安装在建筑上的附属机械、电气设备系统的支座和连接，应符合地震时使用功能的要求，且不应导致相关部件的损坏。

师生互动，结合幻灯片分析如下两个问题学生分组进行讨论：

- 1 工程抗震设防目标？
 - 2 结构总体布置原则包含的主要内容？
 - 3 两阶段抗震设计方法
- (7) 本章小结（归纳法）

7.5.5 教学方法

多媒体教学结合讲授。

7.5.6 作业安排及课后反思

- 1.有利、不利、危险地段划分？
- 2.两阶段抗震设计方法？

7.5.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习场地划分与场地区划内容。

7.5.8 参考资料

本课程使用教材：第二章 8-14 页.

7.6 教学单元六

7.6.1 教学日期

2016年3月17日

7.6.2 教学目标

了解地震效应、场地区划概念，掌握场地、覆盖层厚度概念，掌握场地的类别及其适用范围。

7.6.3 教学内容

一、教学内容

- 1.场地及其地震效应
- 2.覆盖层厚度
- 3.场地的类别
- 4.场地区划

二、教学重点

- 1.场地、覆盖层厚度概念；
- 2.场地的类别。

三、教学难点

- 1.地的类别。

7.6.4 教学过程

教学具体过程：

（1）场地及其地震效应（讲授法）

①场地：建筑物所在地，其范围大体相当于厂区、居民点和自然村的范围。

②场地的地震效应：历史震害资料表明，房屋倒塌率随土层厚度的增加而加大。

土层对地震波的作用表现在两方面：放大通过频率与场地固有周期接近

的波群；过滤缩小频率与场地固有周期不一致的波群。

使得地表震动的卓越周期在很大程度上取决于场地的固有周期，所以坚硬场地土的震动以短周期为主，软弱场地土的震动以长周期为主。

硬（软）土上的刚（柔）性建筑震害严重。一般说来，软土地基上的建筑物震害要重于硬土地基。

场地的地震效应

多层土的地震效应主要取决于三个基本因素：覆盖土层厚度；土层的剪切波速；岩土阻抗比。

（2）覆盖层厚度（讲授法）

定义：地下基岩或剪切波速大于500m/s的坚硬土层至地表面的距离,也即覆盖在基岩面上部的土层厚度。

其典型布置图。

（3）场地的类别（讲授法）

不同场地上的地震动频谱特性有明显差别，为了反映这一特点，规范将场地划分为4个类别。

场地类别是根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度两个指标综合确定的。

土层等效剪切波速

$$v_{se} = d_0 / \sum_{i=1}^n d_i / v_{si} \quad (2-1)$$

式中： d_0 —计算深度，取覆盖层厚度与20m两者的较小值

对于不超过10层和高度30m以下的丙、丁类建筑，可根据岩土性状划分场地类别和估计各土层的剪切波速。

（4）场地区划（讲授法）

对于中等规模以上的城市，我国抗震规范允许采用经过批准的场地抗震设防区划进行抗震设计。

场地设计地震动的区域划分一般给出城区范围内的场地类别区域划分、设防地震动参数区划和场地地面破坏潜势区划等结果；

场地固有周期 T 的计算方法

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{4h_i}{v_{si}} \quad (2-2)$$

师生互动，结合幻灯片分析如下两个问题学生分组进行讨论：

1土层等效剪切波速、场地固有周期影响因素？

7.6.5 教学方法

多媒体教学结合讲授

7.6.6 作业安排及课后反思

1.自己独立分析例题。

7.6.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习2.2 地基抗震验算。

7.6.8 参考资料

本课程使用教材：第二章 15-18 页.

7.7 教学单元七

7.7.1 教学日期

2016 年 3 月 22 日

7.7.2 教学目标

了解地基抗震设计原则，掌握地基土抗震承载力、地基抗震验算的计算方法，掌握地基土液化概念。

7.7.3 教学内容

一、教学内容

- 1 地基抗震设计原则；
- 2 地基土抗震承载力；
- 3 地基抗震验算；

4 地基土液化及其危害。

二、教学重点

- 1.地基土抗震承载力；
- 2.地基土液化及其危害。

三、教学重点

- 1.地基土抗震承载力；
- 2.地基土液化及其危害。

二、教学难点

- 1.地基土抗震承载力；
- 2.地基土液化及其危害。

7.7.4 教学过程

教学具体过程：

(1) 地基抗震设计原则（讲授法）

大量地基具有较好的抗震能力；但有四类不利地基：

①液化地基——地基失效、不均匀沉陷、滑坡等（7-9度，6度不考虑液化）

②软土地基——震陷、不均匀沉陷等（7-9度；8、9度明显）

③严重不均匀地基——不均匀沉陷等（6-9度）

④新填土及其它不稳定地基——不均匀沉陷、滑移等（7-9度）

松软土地基通常指淤泥、淤泥质土、冲填土、杂填土及地基承载力标准值小于**80**（7度）、**100**（8度）、**120**（9度）**kPa**的粘性土、粉土等软土层。

松软土地基在地震时会全部或部分丧失承载能力或产生不均匀沉陷，造成建筑物破坏，所以应采取地基处理措施（如置换、加密、强夯等）消除土的动力不稳定性，或采用桩基础避开不利影响。

可不进行天然地基及基础的抗震承载力验算的建筑：砌体；一般厂房、单层空旷房屋、多层框架厂房；不超过**8**层且高度在**25m**以下的一般民用框架房屋等；

规范规定可不进行上部结构抗震验算的建筑。

对位于软弱场地土上的建筑物，基本烈度在**7**度以上时，应采取防地裂措

施；

(2) 地基土抗震承载力（讲授法）

进行天然地基抗震验算时，地基土的抗震承载力为：

$$f_{aE} = \xi_a f_a \quad (2-3)$$

表2-1地基土抗震承载力调整系数

岩土名称和性状	ξ_a
岩石，稍密的碎石土，密实的砾、粗、中砂， f_{ak} 的粘性土和粉土	1.5
中密、稍密的碎石土，中密和稍密的砾、粗、中砂，密实和中密的细、粉砂， $150\text{kPa} \leq f_{ak} < 300\text{kPa}$ 粘性土和粉土	1.3
稍密的细、粉砂， $100\text{kPa} \leq f_{ak} \leq 150\text{kPa}$ 的粘性土和粉土，新近沉积的粘性土和粉土	1.1
淤泥，淤泥质土，松散的砂，填土	1

调整的出发点：

- 1) 地震是偶发事件，地基抗震承载力安全系数可比静载时降低；
- 2) 多数土在有限次的动载下，强度较静载下稍高。

(3) 地基抗震验算（讲授法）

验算地基承载力时，应将建筑物上各类荷载效应和地震作用效应加以组合，并取基底压力为直线分布。

验算公式：

$$p \leq f_{aE} \quad (2-4)$$

$$p_{\max} \leq 1.2 f_{aE} \quad (2-5)$$

且应满足：对于高宽比大于4的高层建筑，基底不宜出现拉应力；一般建筑，基底零应力区面积不超过基础底面的15%。

(4) 地基土液化及其危害（讲授法）

液化现象：地震作用压密饱和土颗粒结构，使颗粒间的孔隙水压力急剧上升，冲散了土颗粒间的有效连接使土处于悬浮状态，达到液化，场地土失效。

危害：喷水冒砂，地基失效，地面陷坑、上鼓、开裂、滑移等，使结构倾斜、下沉、开裂、破坏。

影响因素：地质年代；土层土粒的组成和密实程度；砂土层埋置深度；地下水位深度；地震烈度；地震持续时间等。

唐山地震时，严重液化地区喷水高度可达8米，厂房沉降可达1米。

师生互动，结合幻灯片分析如下两个问题学生分组进行讨论：

1 液化现象危害性的表现形式？

7.7.5 教学方法

多媒体教学结合讲授

7.7.6 作业安排及课后反思

作业：1.复习例题 3-1。

7.7.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习地基土液化及其防治内容。

7.7.8 参考资料

本课程使用教材：第 2 章 18-20 页.

7.8 教学单元八

7.8.1 教学日期

2016 年 3 月 24 日

7.8.2 教学目标

掌握液化的判别、液化地基的评价方法。

7.8.3 教学内容

一、教学内容

- 1.液化的判别；
- 2.液化地基的评价。

二、教学重点

- 1.液化的判别；
- 2.液化地基的评价。

三、教学难点

- 1.液化的判别。

7.8.4 教学过程

教学具体过程:

(1) 复习上节课知识点 (引导法)

引导学生回忆地基土液化现象及其危害。

(2) **地基土液化的判别** (讲授法)

① 液化判别和处理的一般原则:

对存在饱和砂土和粉土 (不含黄土) 的地基, 除6度外, 应进行液化判别。对6度区一般情况下可不进行判别和处理, 但对液化敏感的乙类建筑可按7度的要求进行判别和处理。

存在液化土层的地基, 应根据建筑的抗震设防类别、地基的液化等级结合具体情况采取相应的措施。

② 饱和土液化的判别按**两步进行**:

初步判别:

饱和的砂土或粉土, 符合下列条件之一时, 判别为不液化: 地质年代为第四纪晚更新世及其以前且设防烈度为7、8度时; 粉土的粘粒含量百分率不小于: 7度---10%; 8度---13%; 9度---16%。地下水位深度(d_w)和覆盖非液化土层厚度(d_u)满足下列条件之一时:

$$d_w > d_0 + d_b - 3 \quad (2-6)$$

$$d_u > d_0 + d_b - 2 \quad (2-7)$$

$$d_u + d_w > 1.5d_0 + 2d_b - 4.5 \quad (2-8)$$

d_0 : 液化土特征深度; d_b : 基础埋置深度。

表2-2 液化土特征深度

饱和土类别	烈度		
	7	8	9
粉土	6m	7m	8m
砂土	7m	8m	9m

③ 标准贯入实验判别液化土

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] \sqrt{\frac{3}{\rho_c}} \quad (2-9)$$

表2—3 标准贯入锤击数基准值

设计地震分组	7度	8度	9度
第一组	6 (8)	10 (13)	16

第二、三组	8 (10)	12 (15)	18
-------	--------	---------	----

(3) 液化地基的评价 (讲授法)

定量分析、评价液化土的指标为液化指数 I_{LE}

$$I_{LE} = \sum_{i=1}^n (1 - \frac{N_i}{N_{crit}}) d_i w_i \quad (2-10)$$

表2-4 抗震规范将场地土的液化程度划分为三个等级

液化等级	轻微	中等	严重
判别深度为15m时的液化指数	$0 < I_{LE} \leq 5$	$5 < I_{LE} \leq 15$	$I_{LE} > 15$
判别深度为20m时的液化指数	$0 < I_{LE} \leq 6$	$6 < I_{LE} \leq 18$	$I_{LE} > 18$

表2-5 震害情况

液化等级	地面喷水冒砂情况	对建筑物的危害情况
轻微	地面无喷水冒砂, 或仅在洼地、河边有零星的喷水冒砂点	危害性小, 一般不致引起明显的震害
中等	喷水冒砂可能性大, 从轻微到严重均有, 多数属中等	危害性较大, 可造成不均匀沉陷和开裂, 有时不均匀沉陷可达 200mm
严重	一般喷水冒砂都很严重, 地面变形很明显	危害性大, 不均匀沉陷可能大于 200mm, 高重心结构可能产生不允许的倾斜

7.8.5 教学方法

多媒体教学结合讲授

7.8.6 作业安排及课后反思

1.地基土液化的判别方法?

7.8.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习液化地基的抗震措施。

7.8.8 参考资料

本课程使用教材: 第2章20-24页。

7.9 教学单元九

7.9.1 教学日期

2016年3月29日

7.9.2 教学目标

掌握液化地基的抗震措施。

7.9.3 教学内容

一、教学内容

- 1.全部消除地基液化措施；
- 2.部分消除地基液化措施；
- 3.基础和上部结构处理措施。

二、教学重点

- 1.全部消除地基液化措施；
- 2.基础和上部结构处理措施。

三、教学难点

无。

7.9.4 教学过程

教学具体过程：

(1)复习上节课知识点（引导法）

引导学生回忆地基土液化的判别方法。

(2)全部消除地基液化措施（讲授法）

表2-6 抗液化措施

建筑类别	地基的液化等级		
	轻微	中等	严重
乙类	部分消除液化沉陷，或对基础和上部结构处理	全部消除液化沉陷，或部分消除液化沉陷且对基础和上部结构处理	全部消除液化沉陷

丙类	基础和上部结构处理，亦可不采取措施	基础和上部结构处理，或更高要求的处理措施	全部消除液化沉陷，或部分消除液化沉陷且对基础和上部结构处理
丁类	可不采取措施	可不采取措施	基础和上部结构处理，或其他经济措施

①全部消除地基液化措施

采用桩基、深基础、土层加密法或挖除全部液化土层等措施；

- 采用深基础时，基底埋入液化深度以下稳定土层中不小于**0.5**米；
- 采用加密法对液化地基进行加固处理时，应处理至液化深度下界，且

$N_{63.5} < N_{cr}$ 下限；

- 挖除全部液化土层分层回填时，地基处理宽度（基底以外）应超过基地下处理深度的**1/2**，且不小于处理总宽度的**1/5**。

（3）部分消除地基液化措施（讲授法）

处理深度应使液化指数减小；对于独立基础和条形基础，处理深度不小于基底下液化土特征深度和基础宽度的较大值；处理后的液化土层应满足：

$N_{63.5} < N_{cr}$ 。

（4）基础和上部结构处理（讲授法）

选择合适的地基埋深，调整基底底面积，减小基础偏心；加强基础的整体性和刚度；增强上部结构的整体刚度和均匀对称性，合理设置沉降缝；管线穿过建筑处采用柔性接头。

一般情况下，除丁类建筑以外，不能将未处理的液化土层作为地基的持力层。

本讲师生互动

课堂提问：

1. 全部消除地基液化措施的实际意义？
2. 基础和上部结构处理的实际意义？

引导学生思考：

1. 全部消除地基液化措施的实现方法？

（5）本章小结（归纳法）

7.9.5 教学方法

多媒体教学结合讲授

7.9.6 作业安排及课后反思

作业：教材P25，1~4

7.9.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习单自由度弹性体系运动方程

7.9.8 参考资料

本课程使用教材：“第2章 抗液化措施”部分，P24-25。

7.10 教学单元十

7.10.1 教学日期

2017年3月31日

7.10.2 教学目标

掌握结构地震反应、结构地震作用、结构动力特性、地震反应分析；掌握单自由度弹性体系运动方程；掌握运动方程的解。

7.10.3 教学内容

一、教学内容

- 1.结构地震反应、结构地震作用、结构动力特性、地震反应分析；
- 2.单自由度弹性体系运动方程；
- 3.运动方程的解。

二、教学重点

- 1.结构地震反应；
- 2.单自由度弹性体系运动方程。

三、教学难点

- 1.结构地震反应；
- 2.单自由度弹性体系运动方程。

7.10.4 教学过程

(1) 复习课知识点 (引导法)

引导学生回忆场地的概念。

(2) 结构地震反应、结构地震作用、结构动力特性、地震反应分析 (讲授法)

结构地震反应: 由地震引起的结构振动, 包括结构的位移反应、速度反应、加速度反应及内力和变形 等。

结构地震作用: 是指地面震动在结构上产生动力荷载, 俗称为地震荷载, 属于间接作用。

结构动力特性: 结构的自振周期、振动频率、阻尼、振型等。

结构的地震反应分析: 是结构地震作用的计算方法, 应属于结构动力学的范畴。

(3) 单自由度弹性体系运动方程 (讲授法、引导法和提问法)

① 计算简图

等高单层厂房和公路高架桥、水塔等, 将该结构中参与振动的所有质量全部折算至屋盖处, 而将墙、柱视为一个无重量的弹性杆, 这样就形成了一个单质点体系。当该体系只作单向振动时, 就形成了一个单自由度体系。

假定地基不产生转动, 而把地基的运动分解为一个竖向和两个水平方向的分量, 然后分别计算这些分量对结构的影响。

② 运动方程

取质点为隔离体, 作用在质点上的惯性力:

$$I = -m[\ddot{x}_g(t) + \ddot{x}(t)]$$

弹性恢复力: $S = -kx(t)$

阻尼力: $R = -c\dot{x}(t)$

• 根据达朗贝尔原理, 运动方程为:

$$-m[\ddot{x}_g(t) + \ddot{x}(t)] - c\dot{x}(t) - kx(t) = 0$$

$$\text{或 } m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = -m\ddot{x}_g(t)$$

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega\dot{x} + \omega^2x = -\ddot{x}_g$$

周期

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

圆频率

$$\omega = \sqrt{k/m}$$

阻尼比

$$\zeta = \frac{c}{2\omega m} = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

考虑阻尼的结构自振圆频率

$$\omega_D = \omega\sqrt{1-\zeta^2}$$

这是一个二阶常系数非齐次微分方程。令方程式左边=0，得该方程的齐次解。非齐次微分方程解由有上述的齐次解和特解两部分组成。

(4) **运动方程的解**（讲授法、引导法）

引导学生回忆微分方程数学方法。

质点相对于地面的位移为

$$x(t) = \frac{1}{m\omega_D} \int_0^t F_E(\tau) e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau$$

相对于地面最大位移反应

$$S_d = |x(t)|_{\max} = \frac{1}{\omega} \left| \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau \right|_{\max}$$

质点相对于地面的最大加速度反应为

$$S_a = |\ddot{x}(t) + \ddot{x}_g|_{\max} = \omega \left| \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\zeta\omega(t-\tau)} \sin \omega(t-\tau) d\tau \right|_{\max}$$

本讲师生互动

课堂提问：

- 1.运动方程参数的定义？
2. 运动方程的解的几何意义？

引导学生思考：

- 1.运动方程的解的复杂性？

7.10.5 教学方法

多媒体教学结合讲授

7.10.6 作业安排及课后反思

作业布置及课程预习：

作业：复习教材27-32内容。

7.10.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习第3章单自由度弹性体系的水平地震作用及其反应谱内容。

7.10.8 参考资料

本课程使用教材：“第3章 单自由度体系弹性地震反应分析”部分，27-32。

7.11 教学单元十一

7.11.1 教学日期

2017年4月5日

7.11.2 教学目标

掌握单自由度弹性体系的水平地震作用计算，掌握地震反应谱。

7.11.3 教学内容

一、教学内容

- 1.单自由度弹性体系的水平地震作用；
- 2.地震反应谱。

二、教学重点

- 1.单自由度弹性体系的水平地震作用；
- 2.地震反应谱。

三、教学难点

1.单自由度弹性体系的地震反应谱。

7.11.4 教学过程

(1) 复习上节课知识点 (引导法)

引导学生回忆单自由度体系弹性地震反应分析运动方程及其解。

(2) 单自由度弹性体系的水平地震作用 (讲授法)

单自由度体系的水平地震作用为质点所受最大惯性力

$$F = m|\ddot{x}_g(t) + \ddot{x}(t)|$$
$$F = m|(\ddot{x}_g + \ddot{x})|_{\max} = k|x|_{\max}$$

可见, 在地震作用下, 质点在任一时刻的相对位移 $x(t)$ 将与该时刻的瞬时惯性力成正比。因此可认为这一相对位移是在惯性力的作用下引起的, 惯性力对结构体系的作用和地震对结构体系的作用效果相当, 可认为是一种反映地震影响效果的等效力, 利用它的最大值来对结构进行抗震验算, 就可以使抗震设计这一动力计算问题转化为相当于静力荷载作用下的静力计算问题。

(3) 地震反应谱 (讲授法)

质点在任一时刻的相对位移 $x(t)$

$$x(t) = \frac{1}{m\omega_D} \int_0^t F_E(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau$$

质点相对于地面的最大速度反应为

$$S_v = |\dot{x}(t)|_{\max} = \omega \left| \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau \right|_{\max}$$

质点相对于地面的最大加速度反应为

$$S_a = |\ddot{x}(t) + \ddot{x}_g|_{\max} = \omega \left| \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega(t-\tau) d\tau \right|_{\max}$$
$$= \frac{2\pi}{T} \left| \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi \frac{2\pi}{T}(t-\tau)} \sin \frac{2\pi}{T}(t-\tau) d\tau \right|_{\max}$$

质点的绝对最大加速度取决于地震时地面运动加速度、结构的自振周期及结构的阻尼比。在阻尼比、地面运动确定后, 最大反应只是结构周期的函数。

单自由度体系在给定的地震作用下地震最大加速度反应与其自振周期 T

的关系曲线，定义为地震加速度反应谱，简称为**地震反应谱**。

$$S_a(T) = \left| \frac{2\pi}{T} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi \frac{2\pi}{T}(t-\tau)} \sin \frac{2\pi}{T}(t-\tau) d\tau \right|_{\max}$$

根据1940年埃尔森特罗地震时地面运动加速度记录绘出的加速度反应谱曲线可见：

①加速度反应谱曲线为一多峰点曲线。当阻尼比等于零时，加速度反应谱的谱值最大，峰点突出。但是，不大的阻尼比也能使峰点下降很多，并且谱值随着阻尼比的增大而减小；

②当结构的自振周期较小时，随着周期的增大其谱值急剧增加，但至峰值点后，则随着周期的增大其反应逐渐衰减，而且渐趋平缓。

根据反应谱曲线，对于任何一个单自由度弹性体系，如果已知其自振周期和阻尼比，就可以从曲线中查得该体系在特定地震记录下的最大加速度。

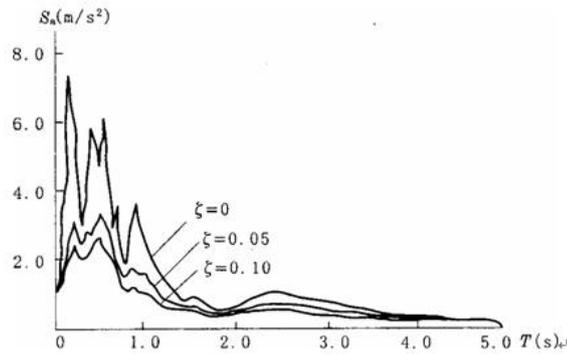


图3-1 阻尼比对地震反应谱的影响

本讲师生互动

课堂提问：

- 1.单自由度弹性体系的水平地震作用的实际意义？
- 2.地震反应谱的实际意义？

引导学生思考：

- 1.水平地震作用计算涉及的内容？

7.11.5 教学方法

多媒体教学结合讲授

7.11.6 作业安排及课后反思

作业：复习教材P35-37

7.11.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习延性的一般概念

7.11.8 参考资料

本课程使用教材：“第3章 设计反应谱”部分，P35-37。

7.12 教学单元十二

7.12.1 教学日期

2017年4月7日

7.12.2 教学目标

掌握设计反应谱的基本概念及其计算方法。

7.12.3 教学内容

一、教学内容

- 1.设计反应谱的基本概念；
- 2.设计反应谱的计算方法。

二、教学重点

- 1.设计反应谱的基本概念；
- 2.设计反应谱的计算方法。

三、教学难点

- 1.设计反应谱的基本概念；
- 2.设计反应谱的计算方法。

7.12.4 教学过程

(1)复习上节课知识点（引导法）

引导学生回忆单自由度弹性体系的水平地震作用及其地震反应谱。

(2)设计反应谱的基本概念（讲授法）

把水平地震作用的基本公式变换为

$$F = m|\ddot{x}(t) + \ddot{x}_0(t)|_{\max} = mS_a = mg \frac{S_a}{g} \cdot \frac{|\ddot{x}_0(t)|}{g} = G\beta k$$

$k = \frac{|\ddot{x}_0(t)|}{g}$ --地震系数，表示地面运动的最大加速度与重力加速度之比。

规范根据烈度所对应的地面加速度峰值进行调整后得到地震系数k与地震烈度的关系表

表3-1 地震系数k与地震烈度的关系表

基本烈度	6	7	8	9
设计基本地震加速度值	0.05g	0.1g	0.2g	0.4g
K	0.05	0.1	0.2	0.4

$\beta = \frac{S_a}{|\ddot{x}_0(t)|}$ --动力系数，是单质点最大绝对加速度与地面最大加速度之比。即表示

由于动力效应，质点最大绝对加速度比地面最大加速度放大了多少倍。

$$\beta = \frac{S_a}{|\ddot{x}_0(t)|_{\max}} = \frac{2\pi}{T} \frac{1}{|\ddot{x}_0(t)|_{\max}} \left| \int_0^t \ddot{x}_0(\tau) e^{-\zeta \frac{2\pi}{T}(t-\tau)} \sin \frac{2\pi}{T}(t-\tau) d\tau \right|_{\max}$$

β 与 T 的关系曲线称为 β 谱曲线，实质也是一条加速度反应谱曲线。

标准反应谱曲线：根据大量的强震记录算出对应于每一条强震记录的反应谱曲线，然后统计求出的最有代表性的平均曲线。

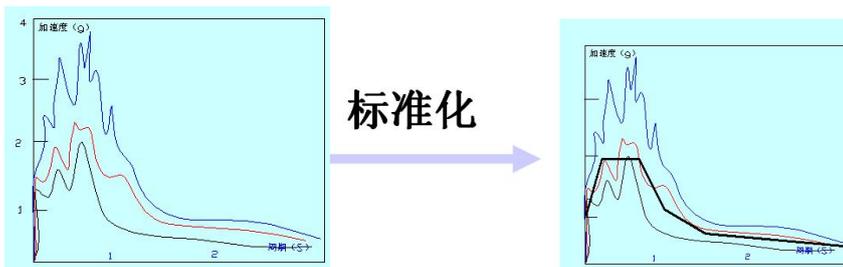


图3-2标准反应谱曲线

设计反应谱

为了便于计算，《抗震规范》采用相对于重力加速度的单质点绝对最大加速度与体系自振周期之间的关系谱，实质是加速度谱。 α 称为地震影响系数。

$$\alpha = \frac{S_a}{g} = k\beta$$

$$\text{因 } F = mS_a = mg \frac{S_a}{g} \cdot \frac{|\ddot{x}_0(t)|}{g} = G\beta k$$

$$\text{则水平地震力} \quad F = \alpha G$$

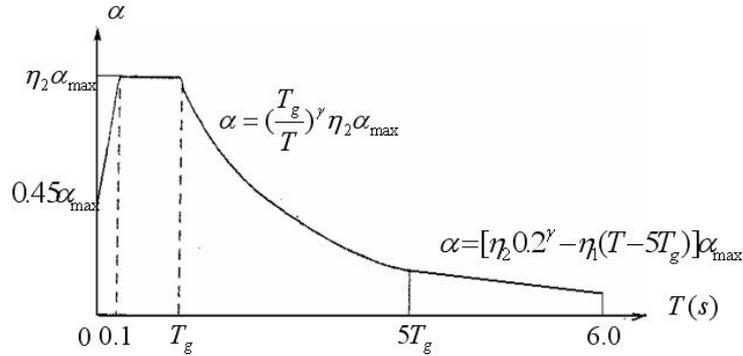


图3-3 地震影响系数谱曲线

(3) 设计反应谱的计算方法（讲授法）

①各系数意义

- T ---结构周期；
- α ---地震影响系数；
- T_g ---为特征周期值，与场地类别和地震分组有关，见下。

表3-2 特征周期值 T_g

设计地震分组	场 地 类 别			
	I	II	III	IV
第一组	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.35	0.45	0.65	0.90

衰减指数 γ

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.5 + 5\zeta}$$

直线下降段斜率调整系数 η_1

$$\eta_1 = 0.02 + (0.05 - \zeta)/8,$$

阻尼调整系数 η_2 :

当 $\eta_2 < 0.55$ 时，取 $\eta_2 = 0.55$

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.06 + 1.7\zeta}$$

②分段计算方法

• $T_g \leq T \leq 5T_g$ 时

$$\alpha = \left(\frac{T_g}{T}\right)^\gamma \eta_2 \alpha_{\max}$$

• $5T_g \leq T \leq 6s$ 时

$$\alpha = (\eta_2 0.2^\gamma - \eta_1 (T - 5T_g)) \alpha_{\max}$$

表3-3 水平地震影响系数最大值 α_{\max}

地震影响	烈度			
	6	7	8	9
多遇地震	0.04	0.08(0.12)	0.16(0.24)	0.32
罕遇地震	-----	0.50(0.72)	0.90(1.20)	1.40

注：括号数字分别对应于设计基本加速度0.15g和0.30g地区的地震影响系数。

(4) 例题讲授分层法使用（讲授法）

本讲师生互动

课堂提问：

- 1.设计反应谱的物理意义是什么？
- 2.设计反应谱的计算方法？

引导学生思考：

- 1.计反应谱的计算步骤？

7.12.5 教学方法

多媒体教学结合讲授。

7.12.6 作业安排及课后反思

- 1.复习教材P41，例题3-2。

7.12.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习多自由度弹性体系地震反应分析的振型分解法内容。

7.12.8 参考资料

本课程使用教材：“第3章 设计反应谱”部分，P38-41。

7.13 教学单元十三

7.13.1 教学日期

2017年4月12日

7.13.2 教学目标

了解多自由度弹性体系地震反应分析的振型分解法，了解振型分解反应谱法；掌握底部剪力法。

7.13.3 教学内容

一、教学内容

- 1.多自由度弹性体系地震反应分析的振型分解法；
- 2.振型分解反应谱法；
- 3.底部剪力法。

二、教学重点

- 1.底部剪力法。

三、教学难点

- 1.底部剪力法。

7.13.4 教学过程

(1)复习上节课知识点（引导法）

引导学生回忆设计反应谱的计算步骤。

(2)多自由度弹性体系地震反应分析的振型分解法（讲授法）

①多质点体系

在进行建筑结构的动力分析时，对于质量比较分散的结构，为了能够比较真实地反映其动力性能，可将其简化为多质点体系，并按多质点体系进行结构的地震反应分析。一般 n 层结构有 n 个质点， n 个自由度。

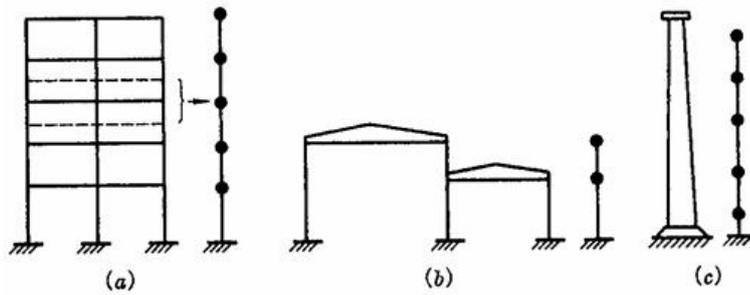


图3-4 多质点体系

②运动方程

多自由度体系的运动方程

惯性力
$$I_i = m_i(\ddot{x}_i + \ddot{x}_g)$$

弹性恢复力
$$S_i = k_{i1}x_1 + k_{i2}x_2 + \cdots + k_{in}x_n$$

阻尼力
$$R_i = c_{i1}\dot{x}_1 + c_{i2}\dot{x}_2 + \cdots + c_{in}\dot{x}_n$$

运动方程
$$m_i\ddot{x}_i + \sum_{j=1}^n c_{ij}\dot{x}_j + \sum_{j=1}^n k_{ij}x_j = -m_i\ddot{x}_g$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

$$[m]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [k]\{x\} = -[m]\{I\}\ddot{x}_g(t)$$

(3) 振型分解反应谱法 (讲授法)

多自由度弹性体系在地震时质点所受到的惯性力就是质点的地震作用。

质点上的地震作用为：

$$\begin{aligned} F_i(t) &= -m_i[\ddot{x}_0(t) + \ddot{x}_i(t)] \\ &= -m_i \sum_{j=1}^n \gamma_j X_{ji} [\ddot{x}_0(t) + \ddot{\Delta}_j(t)] \end{aligned}$$

式中 $\ddot{x}_0(t)$ ——地面运动的加速度；

$\ddot{x}_i(t)$ ——质点*i*的相对加速度；

$[\ddot{x}_0(t) + \ddot{\Delta}_j(t)]$ ——与第*j*振型相应振子的绝对加速度。

根据上式作出 $F_i(t)$ 随时间变化的曲线，即时程曲线。曲线上 $F_i(t)$ 的最大值就是设计用的最大地震作用。由于计算繁琐，一般采用先求出每一振型的最大地震作用及其相应的地震作用效应，然后组合这些效应，以求得结构的最大地震作用效应。

$$\alpha_j = \frac{[\ddot{x}_0(t) + \ddot{\Delta}_j(t)]_{\max}}{g}$$

$$\gamma_j = \frac{\{X\}_j^T [m] \{1\}}{\{X\}_j^T [m] \{X\}_j} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i X_{ji}}{\sum_{i=1}^n m_i X_{ji}^2}$$

式中 α_j ——相应于第 j 振型自振周期 T_j 的地震影响系数；

γ_j —— j 振型的振型参与系数；

X_{ji} —— j 振型 i 质点的水平相对位移，即振型位移；

G_i ——集中于 i 质点的重力荷载代表值。

则上式写为：
$$F_{ji} = \alpha_j \gamma_j X_{ji} G_i$$

振型组合

求出 j 振型 i 质点上的最大地震作用后，就可计算结构的地震作用效应 S_j （弯矩、剪力、轴力、变形），这里的 S_j 也是最大值。

但任一时刻当某一振型的地震作用（使其相应的效应）达最大值时，其他各振型的地震作用及效应并不一定也达最大值。则结构总的地震作用效应近似采用“平方和开方”的方法确定，即：

$$S = \sqrt{\sum S_j^2}$$

式中 S ——水平地震作用效应；

S_j —— j 振型水平地震作用产生的作用效应，包括内力和变形。

(4) 底部剪力法（讲授法）

用振型分解反应谱法计算比较复杂，质点多时无法手算。对于高度不超过40m，以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的结构，以及近似于单质点体系的结构，总的地震作用效应与第一振型的地震剪力分布相近，可用第一振型的地震剪力作为结构的地震剪力，此方法称为底部剪力法。

①底部剪力法适用范围和假定

适用条件：对于高度不超过40m，以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的结构，以及近似于单质点体系的结构，可以采用底部剪力法。

假定：位移反应以第一振型为主，为一直线。

②总思路是：首先求出等效单质点的作用力（即底部剪力），然后再按一

定的规则分配到各个质点，最后按静力法计算结构的内力和变形。

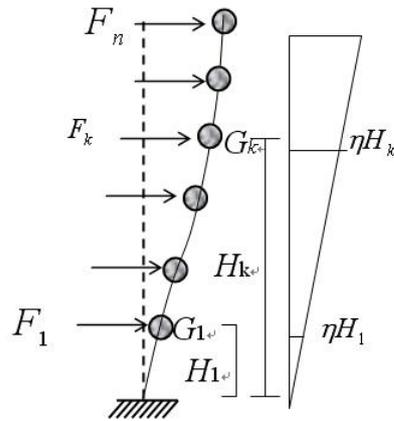


图3-5 底部剪力法

③底部剪力计算

根据底部剪力相等的原则，把多质点体系用一个与其基本周期相等的单质点体系代替。

底部剪力用下式进行计算： $F_{Ek} = \alpha_1 G_{eq}$

α_1 ——对应基本周期的地震影响系数，对于多层砌体房屋、底部框架和多层内框架砖房，可取水平地震影响系数最大值；

G_{eq} ——结构等效总重力荷载代表值，

c ——等效系数；单质点： $c=1$ ；多质点： $c=0.85$

④各质点的水平地震作用标准值的计算地震反应以基本振型为主，而且基本振型接近于直线，呈倒三角形，故

$$F_i = \frac{H_i G_i}{\sum_{k=1}^n H_k G_k} F_{EK} \quad \text{适用于基本周期 } T_1 \leq 1.4T_g \text{ 的结构。}$$

地震作用下各楼层水平地震层间剪力为

$$V_i = \sum_{k=i}^n F_k$$

⑤对底部剪力法的修正

●当 $T_1 \geq 1.4T_g$ 时，由于高振型的影响，按上式计算的结构顶部地震剪力偏小，故需进行调整。

调整的方法是将结构总地震作用的一部分作为集中力作用于结构顶部，

再将余下的部分按倒三角形分配给各质点。

顶部需附加水平地震作用：

$$\Delta F_n = \delta_n F_{EK}$$

$$F_i = \frac{H_i G_i}{\sum_{k=1}^n H_k G_k} F_{EK} (1 - \delta_n)$$

$$F_{Ek} = \alpha_1 G_{eq}$$

δ_n —顶部附加地震作用系数，多层内框架砖房0.2，多层钢混、钢结构房屋按下表，其它可不考虑。

表3-4 顶部附加地震作用系数

$T_g(s)$	$T_1 > 1.4T_g$	$T_1 \leq 1.4T_g$
≤ 0.35	$0.08T_1 + 0.07$	
$0.35 \sim 0.55$	$0.08T_1$	
> 0.55	$0.08T_1 - 0.02$	0

当房屋顶部有突出屋面的小建筑物时，上述附加集中水平地震作用应置于主体房屋的顶层而不应置于小建筑物的顶部，但小建筑物顶部的地震作用仍可按上式计算。

●鞭端效应

底部剪力法适用于重量和刚度沿高度分布比较均匀的结构。

当建筑物有突出屋面的小建筑如屋顶间、女儿墙和烟囱等时，由于该部分的重量和刚度突然变小，地震时将产生鞭端效应，使得突出屋面小建筑的地震反应特别强烈，其程度取决于突出物与建筑物的质量比与刚度比以及场地条件等。

为了简化计算，《抗震规范》规定，当采用底部剪力法计算这类小建筑的地震作用效应时，宜乘以增大系数3，但此增大部分不应往下传递，但与该突出部分相连的构件应予计入；当采用振型分解法计算时，突出屋面部分可作为一个质点。

本讲师生互动

课堂提问：

1.底部剪力法适用范围和假定是什么？

2.底部剪力法的计算内容？

引导学生思考：

1.鞭端效应的地震效果？

7.13.5 教学方法

多媒体教学结合讲授。

7.13.6 作业安排及课后反思

1.使用教材：复习“第3章 底部剪力法”部分54-57

7.13.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习双肢墙的计算。

7.13.8 参考资料

本课程使用教材：“第3章 底部剪力法”部分54-57。

7.14 教学单元十四

7.14.1 教学日期

2017年4月14日

7.14.2 教学目标

了解结构竖向地震作用，了解建筑结构抗震验算内容。

7.14.3 教学内容

一、教学内容

1.结构竖向地震作用。

2.建筑结构抗震验算。

二、教学重点

1.建筑结构抗震验算。

三、教学难点

1. 建筑结构抗震验算。

7.14.4 教学过程

一、复习上节课知识点（引导法）

引导学生回忆底部剪力法的计算内容。（内力计算）

二、结构竖向地震作用（讲授法）

①竖向地震作用会在结构中引起竖向振动。根据观测资料的统计分析，在震中距小于200km范围内，同一地震的竖向地面加速度峰值与水平地面加速度峰值之比 a_v/a_h 平均值约为1/2，甚至有时可达1.6。

震害调查表明，在高烈度区，竖向地震的影响十分明显，尤其是对高柔的结构。对于较高的高层建筑，其竖向地震作用在结构上部可达其重量的40%以上。

《抗震规范》规定，对于烈度为8度和9度的大跨和长悬臂结构、烟囱和类似的高耸结构以及9度时的高层建筑等，应考虑竖向地震作用的影响。

②高耸结构和高层建筑的竖向地震作用

● 竖向地震反应谱：

● 竖向地震反应谱与水平地震反应谱的比较：形状相差不大，加速度峰值约为水平的1/2至2/3。故可利用水平地震反应谱进行分析。

● 《抗震规范》规定竖向地震影响系数取其最大值，且为水平地震影响系数最大值的65%，即：

● 计算方法

高耸结构和高层建筑竖向第一振型的地震内力与竖向前5个振型按平方和开方组合的地震内力相比较，误差仅在5%--15%。此外，竖向第一振型的数值大致呈倒三角形形式，基本周期小于场地特征周期。因此，高耸结构和高层建筑竖向地震作用可按与底部剪力法类似的方法计算，即先求出结构的总竖向地震作用。

高耸结构和高层建筑竖向地震作用的计算公式

$$F_{EVK} = \alpha_{V\max} G_{eq}$$

$$G_{eq} = 0.75 \sum G_i$$

$$\alpha_{V \max} = 0.65 \alpha_{H \max}$$

F_{EVK} ——结构总竖向地震作用标准值；

$\alpha_{V \max}, \alpha_{H \max}$ ——竖向、水平地震影响系数最大值。

质点*i*的竖向地震作用标准值

$$F_{Vi} = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} F_{EVK}$$

规范要求：9度时，高层建筑楼层的竖向地震作用效应应乘以1.5的增大系数。

三、建筑结构抗震验算（讲授法）

1、结构抗震承载力验算

①结构抗震计算原则

各类建筑结构的抗震计算应遵循下列原则：

- 在验算水平地震作用效应时，一般情况下可在建筑结构的两个主轴方向分别考虑水平地震作用并进行抗震验算，各方向的水平地震作用应由该方向抗侧力构件承担。
- 有斜交抗侧力构件的结构，当相交角度大于15°时应分别计算各抗侧力构件方向的水平地震作用。
- 质量和刚度分布明显不对称的结构，应考虑双向水平地震作用下的扭转影响其他情况宜采用调整地震作用效应的方法考虑扭转影响。
- 8度和9度时的大跨度结构、长悬臂结构，9度时的高层建筑，应考虑竖向地震作用。

②结构抗震计算方法确定

- 高度不超过40m，以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的结构，以及近似于单质点体系的结构，宜采用底部剪力法等简化方法。
- 除上述以外的建筑结构，宜采用振型分解反应谱法。

- 特别不规则的建筑、甲类建筑和下表所列高度范围的高层建筑，应采用时程分析法进行多遇地震下的补充计算，可取多条时程曲线计算结果的平均值与振型分解反应谱法计算结果的较大值。

③重力荷载代表值

在抗震设计中，当计算地震作用的标准值、计算结构构件的地震作用效应与其他荷载效应的基本组合时，作用于结构的重力荷载采用重力荷载代表值，它是永久荷载和有关可变荷载的组合值之和，即：

$$G_E = G_K + \sum \psi_{Ei} Q_{Ki}$$

G_K —— 结构或构件的永久荷载标准值；

Q_{Ki} —— 结构或构件第*i*个可变荷载的标准值；

ψ_{Ei} —— 第*i*个可变荷载的组合值系数，查规范表取值。

抗震计算时重力荷载代表值集中到每个楼层质点处。

④结构构件截面的抗震验算

在抗震设计的第一阶段，对绝大多数结构要进行多遇地震作用下的结构和构件承载力验算，即用多遇地震的水平地震作用标准值，采用线弹性理论的方法求出结构构件的地震作用效应，再与其他荷载效应组合，计算出结构内力组合设计值进行验算，以达到“小震不坏”的要求。

截面承载力验算按下式进行：

$$S \leq R / \gamma_{RE}$$

S —— 包含地震作用效应的结构构件内力组合的设计值；

R —— 结构构件承载力设计值；

γ_{RE} —— 承载力抗震调整系数，用以反映不同材料和受力状态的结构构件具有不同的抗震可靠指标。其值查表采用。当仅考虑竖向地震作用时，对各类构件均取为1.0。

结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合，应按下式计算：

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{Ev} S_{Evk} + \psi_W \gamma_W S_{Wk}$$

γ_G —— 重力荷载分项系数，一般情况应采用1.2，当重力荷载效应对构件承载能力有利时，不应大于1.0；

γ_{Eh} 、 γ_{Ev} ——分别为水平、竖向地震作用分项系数，应按下表采用；

2. 结构的抗震变形验算包括两个部分：

- 在多遇地震作用下结构的弹性变形验算，属于第一阶段的抗震设计内容；
- 在罕遇地震作用下结构的弹塑性变形验算，属于第二阶段的抗震设计内容。

①多遇地震作用下结构的抗震变形验算

目的：抗震设计要求结构在多遇地震作用下保持在弹性阶段工作，不受损坏，其变形验算的主要目的是对框架等较柔结构以及高层建筑结构的变形加以限制，使其层间弹性位移不超过一定的限值，以免非结构构件(包括围护墙、隔墙和各种装修等)在多遇地震作用下出现破坏，保证小震不坏。

验算公式，楼层内最大弹性层间位移应符合下式

$$\Delta u_e \leq [\theta_e] h$$

Δu_e ——多遇地震作用标准值产生的楼层最大弹性层间位移，计算时除以弯曲变形为主的高层建筑外，不应扣除结构整体弯曲变形和扭转变形。各作用分项系数取1.0。钢筋混凝土结构构件的截面刚度可采用弹性刚度；

$[\theta_e]$ ——弹性层间位移角限值，查规范表采用；

h ——计算楼层层高。

②楼层内最大弹性层间位移计算

对于按底部剪力法分析结构地震作用时，其弹性位移计算公式为

$$\Delta u_e(i) = V_e(i) / K_i$$

$\Delta u_e(i)$ ——第*i*层的层间位移；

K_i ——第*i*层的侧移刚度；

$V_e(i)$ ——第*i*层的水平地震剪力标准值。

③罕遇地震作用下的结构抗震变形验算

验算目的——不倒塌

- 罕遇地震作用下，结构进入弹塑性工作阶段；结构进入弹塑性后（屈服），结构承载能力已经没有储备，需要通过发展塑性变形来吸收和消

耗地震输入的能量；若结构的变形能力不足，结构会倒塌。

- 通过验算结构在罕遇地震作用下的变形能力，判断结构是否具有足够的安全性。

验算范围

- 经过第一阶段抗震设计的结构，构件已经具备了必要的延性，多数构件可以满足在罕遇地震下不倒塌的要求；对某些处于特殊条件的结构，尚须计算其在罕遇地震作用下的变形，即进行第二阶段抗震设计，以考察安全性。

④薄弱楼层层间弹塑性位移的计算

- 在一定条件下，层间弹塑性变形与层间弹性变形存在着比较稳定的关系，即可以用一放大系数 η_p 表示。

$$\Delta u_p = \eta_p \Delta u_e \quad \Delta u_e(i) = \frac{V_e(i)}{k_i}$$

Δu_p ——弹塑性层间位移；

η_p ——弹塑性位移增大系数；按规范表取用。

Δu_e ——罕遇地震作用下按弹性分析的层间位移；

$V_e(i)$ ——罕遇地震作用下第*i*层的弹性地震剪力；

k_i ——第*i*层的层间刚度。

⑤结构薄弱层弹塑性层间位移按下式验算：

$$\Delta u_p \leq [\theta_p] h$$

$[\theta_p]$ ——弹塑性层间位移角限值，查下表采用；

h ——薄弱层楼层高度或单层厂房上柱高度。

本讲师生互动

课堂提问：

- 1.弹性层间位移是什么？
- 2.建筑结构抗震验算内容是什么？

引导学生思考：

1. 结构竖向地震作用应用了哪些专门知识？

四、本章小结（归纳法）

7.14.5 教学方法

多媒体教学结合讲授。

7.14.6 作业安排及课后反思

1.使用教材：复习“第3章 结构竖向地震作用、建筑结构抗震验算”部分内容。

7.14.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习第4章 多层砌体结构的震害特点、多层砌体结构选型与布置。

7.14.8 参考资料

本课程使用教材：“第3章 结构竖向地震作用、建筑结构抗震验算”部分，P63-64、P84-91。

7.15 教学单元十五

7.15.1 教学日期

2017年4月19日

7.15.2 教学目标

了解多层砌体结构的震害特点，了解多层砌体结构选型与布置要求。

7.15.3 教学内容

一、教学内容

- 1.多层砌体结构的震害特点；
- 2.多层砌体结构选型与布置要求。

二、教学重点

- 1.多层砌体结构选型与布置要求。

三、教学难点

- 1.多层砌体结构选型与布置要求。

7.15.4 教学过程

一、复习上节课知识点（引导法）

引导学生回忆第3章的主要内容。

二、多层砌体结构的震害特点（讲授法）

1、宏观震害统计

多数砖房的抗破坏能力很低，但抗倒塌能力较高，经过合理的设计，可用于地震区。

①历史震害统计（设防）

表4-1 天津市8度区经7度设防的74年通用住宅震害统计(%)

基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
70.7	19.5	9.8	0.0	0.0

表4-2 唐山地区8度区多层砖房的震害统计(%)

基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
11.8	35.3	29.4	23.5	0.0

从震害调查可见：经抗震设防可减轻砌体结构的震害，减少严重破坏和倒塌率。历史震害统计（未设防）：

表4-3 唐山地区多层砖房的震害统计(%)

破坏程度	烈度			
	8	9	10	11
倒塌	0.0	25.1	68.0	81.8

未经抗震设防的多层砖房在高烈度区的倒塌率非常高。

2、震害现象及分析

①倒塌

外纵墙全部脱开横墙，而坍塌是较常见的震害。

②裂缝

抗剪承载力不足，产生裂缝，主要有“X”形、水平和竖向三种类型。

③其它破坏

•楼梯间破坏

楼梯间的墙体一般震害较重。原因是：横墙间距小，抗剪刚度大；空间刚度较小；墙体有削弱等。

•房屋附属物

突出屋面的屋顶间（电梯机房、水箱间等）、烟囱、女儿墙，由于“鞭端效应”引起破坏。房屋附属物的破坏比下部主体结构破坏严重。6度区有所破坏，7度区普遍破坏，8-9度区几乎全部破坏或倒塌。

- 楼板和屋盖

楼板和屋盖是地震时传递水平地震作用的主要构件。

对于预制板楼板、楼盖，由于整体性较差、板缝偏小混凝土灌缝不够密实，地震时易于拉裂。9度以上地区，由于墙体开裂、错位、倒塌引起楼板、楼盖掉落。预制板端部搁置长度过短或无可靠的板与板及板与墙的拉接措施，也造成震害。

3、震害规律

刚性楼盖房屋，上轻下重；柔性楼盖房屋，上重下轻；

- 横墙承重房屋震害轻于纵墙承重；
- 坚硬地基上房屋震害轻于软弱及非均匀地基上房屋的震害；
- 外廊式房屋往往地震破坏较重；
- 预制楼板结构比现浇楼板结构破坏重；
- 房屋两端、转角、楼梯间及附属结构的震害较重。

三、多层砌体结构选型与布置（讲授法）

1、结构布置

平立面尽量规整、抗侧力墙平面上应对齐、贯通；

- 竖向宜上下连续；
- 尽量采用横墙承重或纵横墙承重体系；
- 楼梯间避开房屋尽端和转角处；
- 合理设置防震缝。

防震缝缝宽：50—100mm；双墙防撞。

设置条件：①立面高差大于6米；

②有错层，且楼板高差较大；

③各部分结构质量和刚度截然不同。

2、房屋的总高度与层数

①房屋越高，地震作用越大，震害越严重；应限制高度与层高。

表4-4 限制高度与层高

房屋类别	最小 (mm)	烈度							
		6		7		8		9	
		高度	层数	高度	层数	高度	层数	高度	层数
普通粘土砖	240	24	8	21	78	18	6	12	4
多孔粘土砖	240	21	7	21	7	18	6	12	4
	190	21	7	18	6	15	5	---	---
混凝土小砌块	190	21	7	21	7	18	6	---	---

②对医院、教学楼等及横墙较少的多层砌体房屋，总高度应比前表的规定降低3m,层数相应减少一层；

③横墙较少的多层砖砌体住宅楼，当按规定采取加强措施并满足抗震承载力要求时，其高度和层数应允许仍按上表的规定采用。

3、房屋的高宽比

为了避免整体弯曲破坏，保证稳定性，限制高宽比

表4-5 房屋最大高宽比

烈度	6	7	8	9
最大高宽比	2.5	2.5	2.0	1.5

注：单面走廊房屋的总高度不包括走廊宽度

4、抗震横墙的间距

为了保证结构的水平刚度，限制横墙间距

表4-6 房屋抗震横墙最大间距(m)

房屋类型	烈度			
	6	7	8	9
现浇或装配整体式钢筋混凝土楼、屋盖	18	18	15	11
装配式钢筋混凝土楼、屋盖	15	15	11	7
木楼、屋盖	11	11	7	4

5、房屋的局部尺寸

在强烈地震作用下，房屋首先在薄弱部位破坏，这些薄弱部位一般是，窗间墙、尽端墙段、突出屋顶的女儿墙等。

表4-7 房屋局部尺寸限值(m)

部位	烈度			
	6	7	8	9
承重窗间墙最小宽度	1.0	1.0	1.2	1.5
承重外墙尽端至门窗洞边的最小	1.0	1.0	1.2	1.5

距离				
非承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离	1.0	1.0	1.0	1.0
内墙阳角至门窗洞边的最小距离	1.0	1.0	1.5	2.0
无锚固女儿墙(非出入口处)的最大高度	0.5	0.5	0.5	0.0

本讲师生互动

课堂提问：

- 1.多层砌体结构震害现象？
- 2.多层砌体结构选型与布置包括哪些方面？

引导学生思考：

- 1.多层砌体结构选型与布置的应用？

7.15.5 教学方法

多媒体教学结合讲授。

7.15.6 作业安排及课后反思

1.使用教材：复习“第4章 多层砌体结构的震害特点、多层砌体结构选型与布置”部分94-98

7.15.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习例题一多肢墙的肢墙内力及顶点位移计算。

7.15.8 参考资料

本课程使用教材：“第4章 多层砌体结构的震害特点、多层砌体结构选型与布置”部分94-98。

7.16 教学单元十六

7.16.1 教学日期

2017年4月21日

7.16.2 教学目标

掌握多肢墙的肢墙内力及顶点位移计算方法。

7.16.3 教学内容

一、教学内容

1. 多层砌体结构的抗震计算；
2. 多层砌体结构抗震构造措施。

二、教学重点

1. 多层砌体结构的抗震计算；
2. 多层砌体结构抗震构造措施。

三、教学难点

1. 多层砌体结构的抗震计算。

7.16.4 教学过程

一、复习上节课知识点（引导法）

引导学生回忆多层砌体结构选型与布置。

二、多层砌体结构的抗震计算（讲授法）

只需验算不利墙段在水平地震力作用下墙体自身平面内的抗剪承载力。

1、基本步骤：

- ① 确立计算简图；
- ② 分配地震剪力；
- ③ 对不利墙段进行抗震验算。

2、计算简图

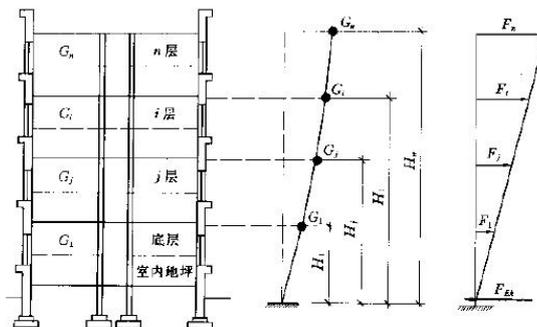


图4-1 计算简图

图中的 G_i 包括楼（屋）盖重力荷载代表值及上下层墙体、构造柱各一半的重力荷载。底部固端位置：浅基础取为基础顶面；深基础取为室外地坪下0.5m处；

3、地震剪力的计算与分配

①楼层水平地震剪力

采用底部剪力法计算水平地震作用

●底部总地震剪力标准值

$$F_{Ek} = \alpha_{\max} G_{eq}$$

其中： G_{eq} —为结构等效总重力荷载，单质点取总重力荷载代表值，多质点取总重力荷载代表值的85%。

●各楼层水平地震力标准值

$$F_i = \frac{G_i H_i}{\sum G_i H_i} F_{Ek}$$

●各楼层地震剪力标准值

$$V_i = \sum_i^n F_i$$

②楼层地震力在各抗震墙体的分配

刚性屋盖

$$V_{ji} = \frac{K_i}{\sum K_i} V_j$$

柔性屋盖

$$V_{ji} = \frac{A_i}{\sum A_i} V_j$$

中等刚性屋盖

$$V_{ji} = \frac{1}{2} \left(\frac{K_i}{\sum K_i} + \frac{A_i}{\sum A_i} \right) V_j$$

其中： K_i —第*i*道抗震墙的抗侧刚度；

A_i —第*i*道抗震墙的从属面积；

③墙体抗侧刚度计算

定义:墙体高宽比 $\beta = \frac{h}{b}$

$$\beta \leq 1 \quad K = \frac{Et}{3\beta}$$

$$1 < \beta \leq 4 \quad K = \frac{Et}{3\beta + \beta^3}$$

$$4 < \beta \quad K = 0$$

4、墙体抗震强度验算

①砌体抗剪强度理论

- 主拉应力强度验算公式（砖砌体）：

$$\sigma_1 = -\frac{\sigma_0}{2} + \sqrt{\left(-\frac{\sigma_0}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

- 剪切摩擦强度理论（砌块砌体）：

$$f_V = f_{V0} + \mu\sigma_0$$

规范的砌体抗震强度设计值

各类砌体沿阶梯形截面破坏的抗剪强度设计值

$$f_{VE} = \xi_N f_V$$

②砌体截面抗震强度验算

验算承受剪力较大的、或竖向压应力较小的、或局部截面较小的不利墙段。

$$V \leq \frac{f_{VE} A}{\gamma_{RE}}$$

横向配筋砌体：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (f_{VE} + \xi_s f_y \rho_v) A$$

三、多层砌体结构抗震构造措施（讲授法）

目的：

- 加强结构的整体性；
- 保证抗震计算目的的实现；

●弥补抗震计算的不足。

1、加强结构的连接

①纵横墙的连接

对7度区层高超过3.6m或长度大于7.2m的大房间以及8度、9度时外墙转角及内外墙交接处，未设构造柱时，应沿墙高每隔0.5m配置2 ϕ 6拉结钢筋，并每边伸入墙内不少于1m。

后砌的非承重墙应沿墙高每隔0.5m配置2 ϕ 6钢筋与承重墙或柱拉结，并每边伸入墙内不少于0.5m。

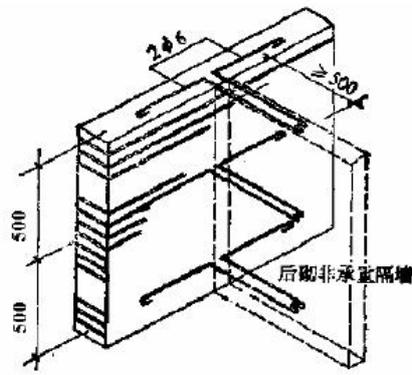


图4-2 拉结钢筋配置

混凝土小砌块房屋墙体交接处或芯柱与墙体连接处应沿墙高每隔0.6m设置 ϕ 6点焊钢筋网片，网片每边伸入墙内不少于1m。

②楼板间及楼板与墙体的连接

钢筋混凝土预制板之间及其与板、墙和圈梁之间的连接要可靠；现浇钢筋混凝土楼板伸入墙内的长度一般不小于**120mm**，在梁上不小于**80mm**。

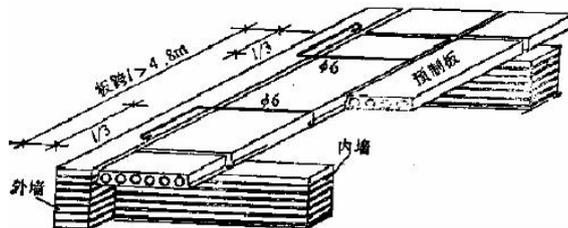


图4-3 楼板间及楼板与墙体的连接

2、设置钢筋混凝土构造柱和芯柱

①构造柱和芯柱的作用

试验研究表明：构造柱对开裂后的墙体主要起着约束作用，使其延性增

加，抗倒塌能力大大提高；

②设置要求

●构造柱

砖房构造柱的设置要求：外廊式和单面走廊式的多层房屋，应根据房屋增加一层后的层数，按上表设置构造柱，且单面走廊两侧的纵墙均应按外墙处理。

教学楼、医院等横墙较少的房屋，应根据房屋增加一层后的层数，按上表设置构造柱；当教学楼、医院等横墙较少的房屋为外廊式或单面走廊式时，应按前款要求设置构造柱，但6度不超过四层、7度不超过三层和8度不超过二层时，应按增加二层后的层数考虑。

构造柱的截面不应小于**240mm×180mm**；

●箍筋间距不宜大于**250mm**或**200mm**；

●房屋四角的构造柱可适当加大截面及配筋。

●构造柱与墙的连接应先砌墙、后浇混凝土，墙应砌成马牙槎，并应沿墙高设水平拉结钢筋；

③芯柱（砌块房屋）

分中、小型砌块分别设置

混凝土小砌块房屋应按下表要求设置钢筋混凝土芯柱；

对医院、教学楼等横墙较少的房屋，应根据房屋增加一层后的层数按下表要求设置芯柱。

表4-8 混凝土中砌块房屋芯柱设置部位

烈度	设置部位
6、7	外墙转角、楼梯间四角、山墙与内纵墙交接处、隔开间横墙与外纵墙交接处、大房间内外墙交接处
8	外墙转角、楼梯间四角、横墙与纵墙交接处、横墙门洞两侧、大房间内外墙交接处

芯柱截面不宜小于**120 mm×120 mm**。

●芯柱混凝土强度等级不应低于**C20**。

●芯柱的竖向钢筋应贯通墙身口与圈梁连接；

- 插筋不应小于**1Φ12**；8度时超过六层和9度时，插筋不应小于**1Φ14**；
- 芯柱应伸入室外地面下**500 mm**或与埋深小于**500 mm**的基础圈梁相连。

3、合理布置圈梁

作用：提高刚度，增强整体性，减轻震害；

砖房现浇钢筋混凝土圈梁设置要求

①装配式钢筋混凝土楼盖、屋盖或木楼盖、屋盖的砖房，横墙承重时应按下表的要求设置圈梁，纵墙承重时每层均应设置圈梁，且抗震墙上的圈梁间距应比表内要求适当加密。

②现浇或装配整体式钢筋混凝土楼盖、屋盖与墙体可靠连接的房屋可不另设圈梁，但楼板沿墙体周边应加强配筋，并应与相应的构造柱钢筋可靠连接。

③圈梁应闭合，遇有洞口应上下搭接，圈梁宜与预制板设在同一标高处或紧靠板底。

④圈梁在前表要求的间距内无横墙时，应利用梁或板缝中配筋替代圈梁。

表4-9 布置圈梁

墙类	烈度		
	6、7	8	9
外墙及内纵墙	屋盖处及每层楼盖处	屋盖处及每层楼盖处	屋盖处及每层楼盖处
内横墙	同上；屋盖处间距不应大于 7m ，楼盖处间距不应大于 15m ，构造柱对应部位	同上；屋盖处沿所有横墙，且间距不应大于 7m ；楼盖处间距不应大于 7m ，构造柱对应部位	同上；各层所有横墙

圈梁的截面尺寸及配筋

圈梁的截面高度一般不应小于**180mm**，配筋应符合下表要求，但在软弱粘性土、液化土、新近填土或严重不均匀土层上的砌体房屋的基础圈梁，截面高度不应小于**180mm**，配筋不应少于**4Φ12**。

4、重视楼梯间的设计

- 8、9度时，顶层的横墙和外纵墙每**500**高设**2Φ6**的通长钢筋；
- 9度时，在休息平台处设**60**厚配筋砂浆带（**M7.5，2Φ10**）；
- 8、9度时，楼梯间及门厅内墙阳角处大梁支承长度**≥500**，且与圈梁连接；
- 装配的楼梯段应与平台板可靠连接；不应采用插入墙内的悬挑踏步，不采用无筋砖砌栏板；

- 突出屋面间，应将构造柱伸到顶部，与圈梁连接，墙中设拉结筋。

本讲师生互动

课堂提问：

- 1.地震剪力的计算与分配的主要内容？
- 2.多层砌体结构抗震构造措施？

引导学生思考：

- 1.地震剪力的计算与分配计算分析方法？

7.16.5 教学方法

多媒体教学结合讲授。

7.16.6 作业安排及课后反思

- 1.复习有关例题内容

7.16.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习框架—剪力墙结构的内力和位移计算。

7.16.8 参考资料

本课程使用教材：“第4章多层砌体结构的抗震计算、多层砌体结构抗震构造措施”部分，P154-157。

7.17 教学单元十七

7.17.1 教学日期

2017年4月26日

7.17.2 教学目标

了解多高层钢筋混凝土结构震害及其分析，了解选型、结构布置和设计原则，掌握钢筋混凝土框架结构的抗震设计。

7.17.3 教学内容

一、教学内容

- 1.多高层钢筋混凝土结构震害及其分析；
- 2.选型、结构布置和设计原则；

3.钢筋混凝土框架结构的抗震设计。

二、教学重点

1.钢筋混凝土框架结构的抗震设计。

三、教学难点

1.钢筋混凝土框架结构的抗震设计。

7.17.4 教学过程

一、复习上节课知识点（引导法）

引导学生回忆底部剪力法计算方法。

二、多层及高层钢筋混凝土结构震害及其分析（讲授法）

导入案例

1972年尼加拉瓜首都马那瓜发生的地震中，有两幢钢筋混凝土结构的高层建筑，相隔不远，一幢是15层的中央银行大厦，其结构布置上下不连续、平面不对称；另一幢是18层的美洲银行大厦，其结构布置均匀对称。

钢筋混凝土结构具有较好的抗震性能，地震时所遭受的破坏比砌体结构的震害轻得多。但如果设计不合理、施工质量不良，多层和高层钢筋混凝土结构建筑也会产生严重的震害。

1、震害及其分析

●结构布置不合理产生的震害

①平面布置不当产生的震害

②竖向不规则产生的震害(薄弱层)

●防震缝处碰撞

防震缝宽度过小，地震时结构相互碰撞造成震害。

●框架整体的震害

框架的整体破坏形式按破坏性质可分为延性破坏和脆性破坏，按破坏机制可分为梁铰机制(强柱弱梁型)和柱铰机制(强梁弱柱型)。

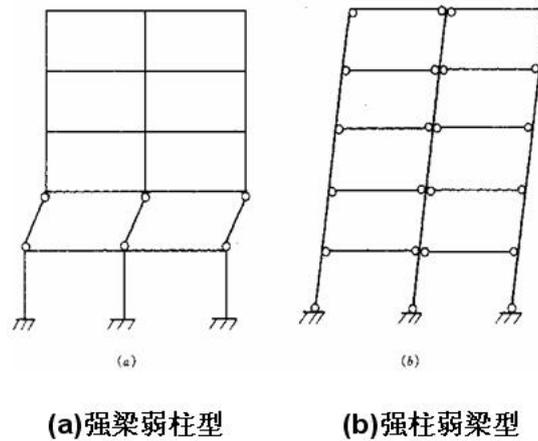


图5-1 框架的整体破坏形式

●框架梁的震害

震害多发生于梁端。在地震作用下梁端纵向钢筋屈服，出现上下贯通的垂直裂缝和交叉裂缝。破坏的主要原因是梁端屈服后产生的剪力较大。

●框架柱的震害

梁柱变形能力不足，构件过早发生破坏。一般是梁轻柱重，柱顶重于柱底，尤其是角柱和边柱更易发生破坏。

●梁柱节点

节点核心区产生对角方向的斜裂缝或交叉斜裂缝，混凝土剪碎剥落。

●填充墙的震害

砌体填充墙刚度大而承载力低，首先承受地震作用而遭破坏。一般7度即出现裂缝，8度和8度以上地震作用下，裂缝明显增加，甚至部分倒塌，填充墙破坏的主要原因是：墙体受剪承载力低，变形能力小，墙体与框架缺乏有效的拉结，在往复变形时墙体易发生剪切破坏和散落。

●抗震墙的震害

在强震作用下，抗震墙在反复荷载作用下形成X型剪切裂缝。

●抗震墙中的连梁震害

在强震作用下还表现在连梁上，其跨度小，高度大形成深梁，在反复荷载作用下形成X型剪切裂缝，为剪切型脆性破坏，尤其是在房屋1/3高度处的连梁破坏更为明显。

●震害中的重要启示：抗震概念设计是非常重要的；重视局部的加强措施。

三、多高层钢筋混凝土结构选型、结构布置和设计原则（讲授法）

1、选型

①房屋高度

综合考虑结构类型、抗震性能、地基条件和震害经验等因素，从使用合理和经济的角度出发，来确定房屋的最大适用高度。

- 优先选用现浇式或装配整体式框架，且双向刚接。
- 加强楼盖的整体性。浇面层，叠合构件
- 选取合适的填充墙。
- 选择合理的基础形式。

表5-1 现浇钢筋混凝土房屋适用的最大高度（m）

结构类型		6度	7度	8度	9度
框架		60	55	45	25
框架-抗震墙		130	120	100	50
抗震墙	全部落地	140	120	100	60
	部分框支	120	100	80	/
筒体	框架-核心筒	150	130	100	70
	筒中筒	180	150	120	80
板柱—抗震墙		40	35	30	/

2 结构布置

①平立面布置宜规则对称

平面：尽量规则图5-2；

立面：竖向刚度均匀、最大高宽比限值。

对于不规则结构，适当降低房屋高度，采用较为精确的内力分析方法，按较高抗震等级采取抗震措施。

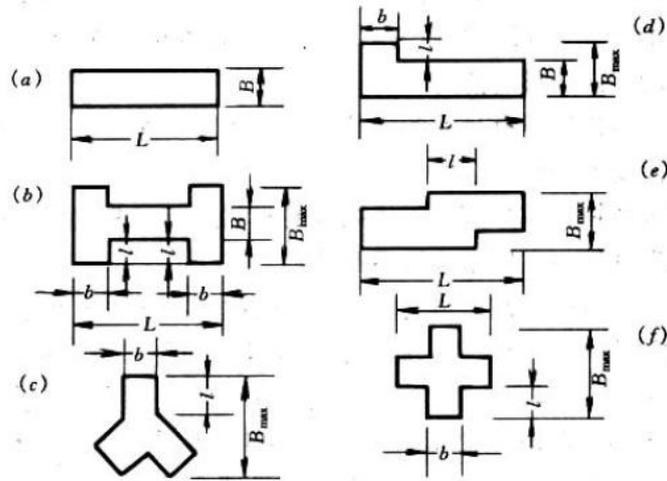


图5-2 高层建筑平面布置

我国《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3-2002)(以下简称高层规程)将钢筋混凝土高层建筑结构按房屋高度划分为A级和B级两个级别。规定了各自的最大适用高度和高宽比的限制,提出了不同的抗震设计要求。

A级高度的建筑是目前应用最广泛的建筑,B级高度的建筑的最大适用高度和高宽比可较A级适当放宽,但其结构抗震等级、抗震计算及构造措施等要求更加严格。参见相关表格。

表5-2 多层及A级高度钢筋混凝土高层建筑结构的最大适用高度

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度			
			6度	7度	8度	9度
框架		70	60	55	45	25
框架-抗震墙		140	130	120	100	50
抗震墙	全部落地抗震墙	150	140	120	100	60
	部分框支抗震墙	130	120	100	80	不应采用
筒体	框架-核心筒	160	150	130	100	70
	筒中筒	200	180	150	120	80
板柱-抗震墙		70	40	35	30	不应采用

表5-3 B级高度钢筋混凝土高层建筑结构的最大适用高度

结构体系	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6度	7度	8度
框架-抗震墙	170	160	140	120

抗震墙	全部落地抗震墙	180	170	150	130
	部分框支抗震墙	150	140	120	100
筒体	框架-核心筒	220	210	180	140
	筒中筒	300	280	230	170

表5-4 A级高度钢筋混凝土高层建筑的适用的最大高宽比

结构体系	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6度、7度	8度	9度
框架、板柱-抗震墙	5	4	3	2
框架-抗震墙	5	5	4	3
抗震墙	6	6	5	4
筒中筒、框架-核心筒	6	6	5	4

②柱网布置要简单规整

楼梯间尽量不放在端头，拐弯处。

③填充墙布置要上下、左右均衡，优先选用轻质材料。

填充墙与框架柱之间宜脱开或采用柔性连接

④砌体女儿墙中宜设构造柱，墙顶设压顶，在人流出入口与主体结构锚固。

⑤防震缝

- 足够的缝宽。
- 设防撞墙

钢筋混凝土框架房屋的防震缝宽度，当高度不超过15m时可采用70mm，超过15m时，6、7、8、9度相应每增加高度5m、4m、3m、2m，宜加宽20mm。防震缝两侧结构类型不同时，按不利体系考虑，并按低的房屋高度计算缝宽。

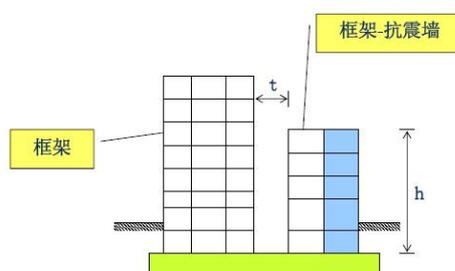


图5-3 防震缝

2、材料

- 混凝土强度等级：一级框架主体构件不低于C30；构造柱、圈梁等构件不

低于C20。

- 钢筋强度等级

受力筋：HRB335、HRB400

箍筋：HPB235、HRB335、HRB400

强屈比 ≥ 1.25 ， f_y 实测/ $f_{yk} \leq 1.3$ 。

施工中替换钢筋要遵循承载力相等的原则

3、抗震等级

确定抗震分析及抗震措施的宏观标准。

- 根据设防烈度、房屋高度、结构类型等因素确定。
- 四个等级丙类建筑按表5-5确定

抗震等级是多层和高层钢筋混凝土结构、构件进行抗震设计的标准。同一结构体系，不同的抗震等级，具有不同的抗震设计计算（抗弯、抗剪等）和构造措施要求。

为此，我国抗震设计规范和高层规程综合考虑建筑重要性类别、设防烈度、结构类型及房屋高度等因素，对钢筋混凝土结构划分了不同的抗震等级。

表5-5 多层及A级高度的高层建筑结构抗震等级

结构类型		抗震设防烈度						
		6度		7度		8度		9度
框架	高度(m)	≤ 30	> 30	≤ 30	> 30	≤ 30	> 30	≤ 25
	框架	四	三	三	二	二	一	一
框架-抗震墙	高度(m)	≤ 60	> 60	≤ 60	> 60	≤ 60	> 60	≤ 50
	框架	四	三	三	二	二	一	一
	抗震墙	三		二		一	一	一
抗震墙	高度(m)	≤ 80	> 80	≤ 80	> 80	≤ 80	> 80	≤ 60
	抗震墙	四	三	三	二	二	一	一
框支抗震墙	非底部加强部位抗震墙	四	三	三	二	二	不应采用	不应采用
	底部加强部位抗震墙	三	二	二		一		
	框支框架	二		二	一	一		
筒体	框架-核心筒	框架	三		二		一	
		核心筒	二		二		一	
	筒中筒	内筒	三		二		一	
		外筒	三		二		一	

板柱-抗震墙	板柱的柱	三	二	一	不应采用
--------	------	---	---	---	------

4、裙房与主楼的等级

当裙房与主楼相连时，除应按裙房本身确定外，其抗震等级不应低于主楼的抗震等级；当裙房与主楼分离时（设有防震缝），应按裙房本身确定抗震等级。

图中c为抗震等级

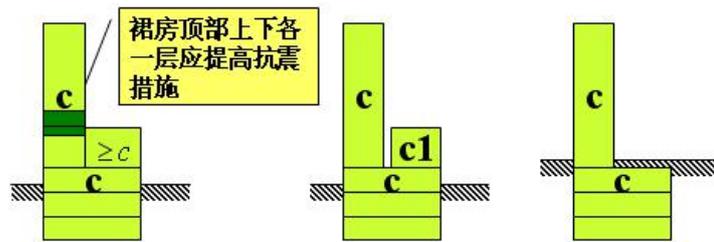


图5-4 裙房与主楼关系

5、按抗剪要求的截面限制条件

对于跨高比大于2.5的梁、剪跨比大于2的柱：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.20 f_c b h_0)$$

对于跨高比不大于2.5的梁、剪跨比不大于2的柱：

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.15 f_c b h_0)$$

剪跨比

$$\lambda = \frac{M^c}{(V^c h_0)}$$

四、钢筋混凝土框架结构的抗震设计（讲授法）

一般结构在纵横两个主轴方向进行抗震计算；框架柱的边长一般不小于300mm，避免形成短柱；采用柱下单独基础时，某些情况需要沿两个主轴方向设置基础系梁；在竖向荷载作用下的结构内力可以调幅；现浇框架：0.8~0.9；装配整体式：0.7~0.8；地震作用产生的结构内力不能调幅。

1、框架结构的设计要点

地震作用及框架内力的计算

①水平地震作用的计算

- 用顶点位移法计算基本自振周期:

$$T_1 = 1.7\psi_T \sqrt{u_T} \quad \psi_T \text{取} 0.6 \sim 0.7$$

- 用底部剪力法求水平地震作用:

$$\Delta F_n = \delta_n F_{EK}$$

$$F_i = \frac{H_i G_i}{\sum_{k=1}^n H_k G_k} F_{EK} (1 - \delta_n)$$

$$F_{EK} = \alpha_1 G_{eq}$$

- ②水平地震作用下框架内力计算

D值法

$$D_i = \alpha_i \frac{12EI_{ci}}{h_i^3}$$

- ③竖向荷载作用下框架内力计算（分层法）

分层法（弯矩分配法）；梁上的内力可进行调幅。

本讲师生互动

课堂提问:

- 1.多高层钢筋混凝土结构震害位置?
- 2.多高层钢筋混凝土结构选型、结构布置和设计原则的主要内容?

引导学生思考:

- 1.多高层钢筋混凝土结构震害与结构选型、结构布置和设计原则的关系?

7.17.5 教学方法

多媒体教学结合讲授。

7.17.6 作业安排及课后反思

- 1.使用教材：复习“第五章 多层及高层钢筋混凝土结构震害及其分析；选型、结构布置和设计原则；钢筋混凝土框架结构的抗震设计”部分118-131。

7.17.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

预习钢筋混凝土框架结构的抗震设计。

7.17.8 参考资料

本课程使用教材：“第五章多层及高层钢筋混凝土结构震害及其分析；选型、结构布置和设计原则；钢筋混凝土框架结构的抗震设计”部分，P118-131。

7.18 教学单元十八

7.18.1 教学日期

2017年4月28日

7.18.2 教学目标

掌握框—剪结构刚结体系在水平荷载下内力计算方法，了解框架—剪力墙的受力和位移特征。

7.18.3 教学内容

一、教学内容

- 1.地震作用在结构各部分的分配；
- 2.截面设计和构造；
- 3.框架节点核心区的设计。

二、教学重点

- 1.地震作用在结构各部分的分配；
- 2.框架节点核心区的设计。

三、教学难点

- 1.地震作用在结构各部分的分配；
- 2.框架节点核心区的设计。

7.18.4 教学过程

一、复习上节课知识点（引导法）

引导学生回忆钢筋混凝土框架结构的抗震设计。

二、地震作用在结构各部分的分配（讲授法）

$$V_{ji} = \frac{D_{ji}}{\sum_{k=1}^n D_{jk}} V_j$$

2、内力计算

D值法。

三、截面设计和构造（讲授法）

1、截面设计

各种荷载作用下结构的内力

↓

内力组合

↓

控制截面的最不利的内力

↓

截面计算配筋和构造设计

2、**内力组合**：有地震作用组合。其内力组合设计值为

$$S = \gamma_{GE} S_{GE} + 1.3 S_{Eh}$$

式中 S_{GE} ——由重力荷载代表值计算的内力；

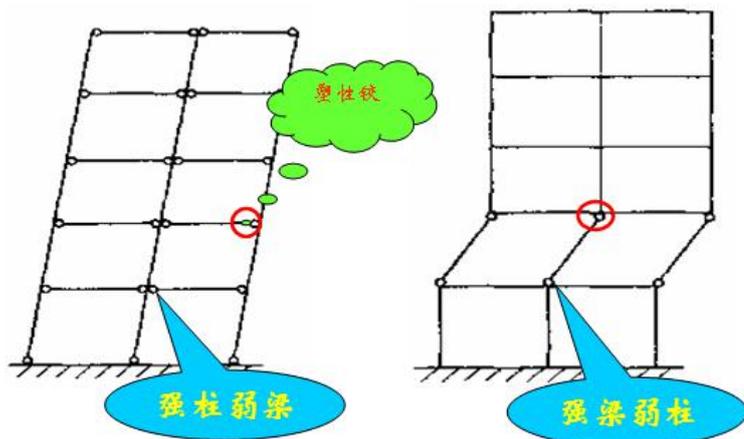
S_{Eh} ——由水平地震作用标准值计算的内力；

γ_{GE} ——重力荷载分项系数，一般取1.2，当重力荷载效应对构件有利时，不应大于1.0。

最不利组合指截面配筋量较大的组合，并非 S_{max} 。

3、构件截面设计

框架结构在水平地震作用下的整体破坏机制可分为两种类型：强柱弱梁型和强梁弱柱型。



①延性框架的概念

延性：指结构的后期变形能力。

延性框架：在地震作用效应下，具有一定的承载力、刚度、变形能力和耗能能力的框架。

②延性框架的设计措施：

强柱弱梁；

强剪弱弯；

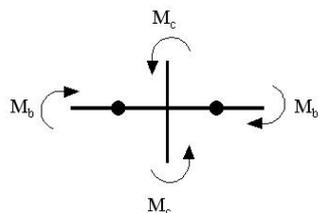
强节点、强锚固。

③根据“强柱弱梁”原则的调整。

一、二、三级框架的梁柱节点处，除框支层最上层的柱上端、框架顶层和柱轴压比小于0.15者外，柱端弯矩设计值应符合下式要求

$$\sum M_c = \eta_c \sum M_b$$

η_c 为强柱系数，一级为1.4，二级为1.2，三级为1.1。当反弯点不在柱的层高范围内时，柱端的弯矩设计值可直接乘以上述强柱系数。



9度、一级框架（节点处）

$$\sum M_c = 1.2 \sum M_{bua}$$

其中， $\sum M_c$ 为节点上、下柱端截面顺时针或反时针方向组合的弯矩设计值

之和，上、下柱端的弯矩设计值，一般情况可按弹性分析分配；

$\sum M_b$ 为节点左右梁端截面反时针或顺时针方向组合的弯矩设计值之和，节点左右梁端均为负弯矩时，绝对值较小的弯矩应取零；

$\sum M_{bua}$ 为节点左、右梁端截面反时针或顺时针方向根据实配钢筋面积(考虑受压筋)和材料强度标准值计算的抗震受弯承载力所对应的弯矩值之和；

抗震设计时，框架角柱应按双向偏心受力构件进行正截面承载力设计。一、二、三级框架结构的角柱，调整后的弯矩应乘以不小于1.1的增大系数，并应满足规范的其他相应要求。

一、二、三级框架结构的底层柱下端截面的弯矩设计值，应分别乘以增大系数1.5、1.25和1.15。底层柱纵向钢筋宜按上下端的不利情况配置。此处底层指无地下室的基础以上或地下室以上的首层。

④根据“强剪弱弯”原则的调整。

框架梁

一二三级框架

$$V_b = \frac{\eta_{vb}(M_b^l + M_b^r)}{l_n} + V_{Gb}$$

$$9\text{度、一级框架 } V_b = \frac{1.1(M_{bua}^l + M_{bua}^r)}{l_n} + V_{Gb}$$

框架柱

一二三级框柱

$$V_c = \frac{\eta_{vc}(M_c^t + M_c^b)}{H_n}$$

9度、一级框柱还要满足

$$V_c = \frac{1.2(M_{cua}^t + M_{cua}^b)}{H_n}$$

⑤强节点弱构件

4、框架梁柱截面抗震承载力验算。

①框架梁、柱正截面抗震承载力验算

$$S \leq \frac{R}{\gamma_{RE}}$$

② 框架梁、柱斜截面抗震受剪承载力验算

梁

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.15 f_c b h_0)$$

均布荷载

$$V_b \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[0.42 f_t b h_0 + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \right]$$

集中荷载

$$V_c \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1.05}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.056 N \right]$$

柱

柱轴力为压力

$$V_c \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1.05}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.056 N \right]$$

柱轴力为拉力

$$V_c \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1.05}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 - 0.2 N \right]$$

③ 截面尺寸验算

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.15 f_c b h_0) \text{ 及 } V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.20 \beta_c f_c b h_0) \text{ 比较。}$$

三、框架节点核心区的设计（讲授法）

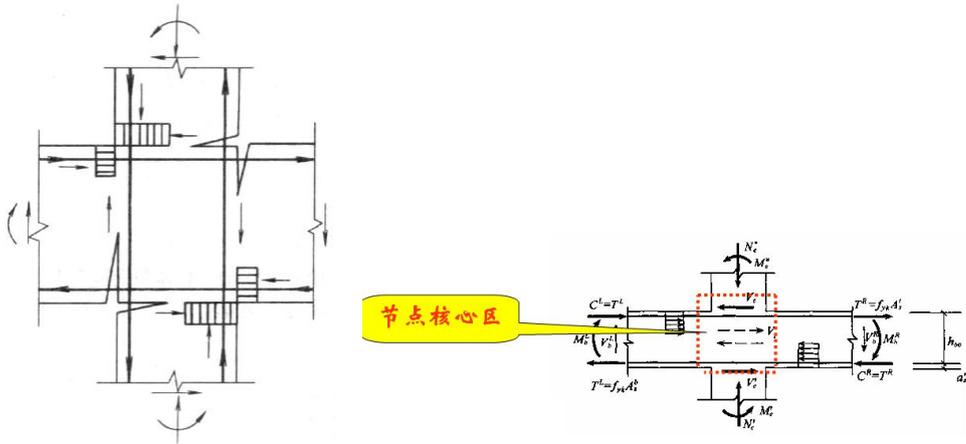
1、设计原则：

- ① 节点承载力不低于其他构件的承载力；
- ② 多遇地震时，节点应在弹性范围内工作；
- ③ 罕遇地震时，应保证竖向荷载的传递；
- ④ 节点配筋不应使施工困难。

2、破坏形态

节点核心区的主要破坏形式为剪切破坏；

破坏特征：交叉斜裂缝、混凝土被压碎、柱纵筋压屈



3、节点核心区的抗震验算要求

核心区混凝土强度等级与柱相同时，一、二级框架节点应进行抗震验算；三、四级可不进行验算，但应符合构造要求；三级框架高度接近二级的下限时应验算。

节点核心区混凝土强度等级不宜低于柱，否则应进行正斜截面承载力验算。

①节点受剪承载力的设计要求

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (1.1\eta_j f_t b_j h_j + 0.05\eta_j N \frac{b_j}{b_c} + f_{yv} A_{svj} \frac{h_{b0} - a_s'}{s})$$

9度区：

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.9\eta_j f_t b_j h_j + f_{yv} A_{svj} \frac{h_{b0} - a_s'}{s})$$

②节点受剪截面限制条件——剪压比限制

$$V_j \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.30\eta_j \beta_c f_c b_j h_j)$$

③柱的截面尺寸：柱轴压比限制。

$$n = \frac{N}{f_c A}$$

7.18.5 教学方法

多媒体教学结合讲授。

7.18.6 作业安排及课后反思

1.使用教材：“第五章 钢筋混凝土框架结构的抗震设计”部分5-3~5-8。

7.18.7 课前准备情况及其他相关特殊要求

要求自己自主复习。

7.18.8 参考资料

本课程使用教材：“第五章 钢筋混凝土框架结构的抗震设计”部分，P131-143。

8.课程要求

8.1 学生自学要求

- (1)要求学生提前预习、课后复习，形成自学习惯；
- (2)在教学过程中，对课外知识随堂布置自学内容；

8.2 课外阅读要求

利用课程实施大纲“课程资源”所提供的参考资料进行课外阅读。

8.3 课堂讨论要求

对于专门安排的课堂讨论，允许学生和同班同学共同讨论问题，在讨论过程中允许学生利用教材及收集网络资源进行讨论，请注意声音音量大小，避免喧哗，讨论结束，根据学生主动回答问题的情况，由任课教师当堂宣布平时成绩记录结果。同时，允许同学阐述自己的观点，别的同学应予以尊重，并不得嘲弄和人身攻击。

8.4 课程实践要求

无。

9.课程考核

9.1 出勤（迟到、早退等）、作业、报告等的要求

出勤：本课程的学习中，选课同学应该主动遵守四川理工学院学生管理

条例中关于出勤的相关政策规定。本课程将采用倒扣分的形式，即对无故缺席的同学（包括课后补假的同学），每缺席1次平时成绩扣5分，直至扣完。此外，本课程每一次请假需在授课前提交请假条。

迟到与早退：上课铃后进入教室的同学算迟到，下课铃前擅自离开教室的同学算早退。5次无故迟到10分钟及10分钟以内的同学算缺席1次，1次无故迟到10分钟及10分钟以上的同学算缺席1次；1次无故早退的同学算缺席1次。

4；每一次课后作业根据同学完成情况给出等级分数，未交者该次作业按等级“E”计，补交作业按等级“D”计。等级分数与百分制分数换算亦详见表9-1。

表9-1 等级分数与百分制分数换算

等级分数	百分制分数
A ⁺	98
A	95
A ⁻	90
B ⁺	88
B	95
B ⁻	80
C	70
D	60
E	0

9.2 成绩的构成与评分规则说明

本门功课采取平时成绩+考试卷面成绩综合评分的形式，依据四川理工学院相关规定进行，具体成绩计算方式如下：

1 平时成绩（40%）：出勤（迟到，早退，缺席等）、作业、课堂讨论及回答问题表现等；

2 卷面成绩（60%）：以试卷分数的60%记入总成绩（补考成绩另算）。

9.3 考试形式及说明

课程实行闭卷考试的形式，具体考试要求按四川理工学院教务处规定执行。

10.学术诚信

10.1 考试违规与作弊处理

考试作弊、协助他人作弊行为违反学术诚信，其中作弊是指任何利用或企图利用不诚实、欺诈或未经认可的手段以力图获得学分的行为；抄袭是指窃取他人的作品当作自己的，包括完全照抄他人作品和在一定程度上改变其形式或内容的行为。学术诚信问题零容忍，学生抄袭或其他欺诈行为一经证实，该课程成绩将被判不及格，情节严重者将上报学校。请同学们高度重视学术诚信问题，对自己负责，严格要求自己，遵守四川理工学院相关的管理规范要求。考试违规与作弊依据学校相关规定处理。

10.2 杜撰数据、信息处理等

杜撰数据、信息行为违反学术诚信，学术诚信问题零容忍，学生抄袭或其他欺诈行为一经证实，该课程成绩将被判不及格，情节严重者将上报学校。

10.3 学术剽窃处理等

学术剽窃行为违反学术诚信，学术剽窃是指把他人的观点表达成自己的，而不注明引用来源的行为。对违反学术诚信问题实行零容忍，学生抄袭或其他欺诈行为一经证实，该课程成绩将被判不及格，情节严重者将上报学校。

11. 课堂规范

11.1 课堂纪律

课堂纪律：依据四川理工学院学生守则等相关规定。在教学过程中请同学尽量做到以下几点：

- (1) 上课期间请不要把玩手机，请关闭手机，或将手机调至振动模式；
- (2) 请注意服装礼仪，无故穿拖鞋、背心的同学请不要进入教室；
- (3) 上课期间请不要说话或大声喧哗，干扰其他同学听课与思考；
- (4) 迟到的同学请安静地找座位坐下，并认真听讲；
- (5) 若在课堂期间有私事需要处理，请安静离开，到教室外解决后安静地回到座位上；
- (6) 课堂讲授过程中若需表达自己的观点前，请举手示意，得到允许后发言；
- (7) 课堂提问过程中请不要随意提醒或帮答，若想阐述自己的观点，需在答题同学言毕后，举手示意，得到允许后发言；

(8)课堂讨论过程中请注意聆听别人的观点，发表自己观点时不许涉及人身攻击。

11.2 课堂礼仪

学生应该主动遵守四川理工学院学生管理条例中关于课堂礼仪的相关政策规定。学生应该做到言语文明、对老师和同学文明礼貌，衣着整齐，和谐解决课堂上出现的各种矛盾，对表现课堂礼仪特别突出的同学，依据表现增加平时成绩（最高5分），并对全班宣布。

12.课程资源

12.1 教材与参考书

1.教材

李国强编著，《建筑结构抗震设计》，北京，中国建筑工业出版社，2011。

2.参考书

(1)龙帮云编著，《建筑结构抗震设计》，北京，东南大学出版社，南京，2011；

(2)王社良编著，《抗震结构设计》，武汉，武汉理工大学出版社，北京，2014。

12.2 专业学术著作

教师提供相关资源，学生根据自己实际情况自由选择参阅。

梁启智编著，高层建筑结构分析与设计，广州，华南理工大学出版社，1992。

12.3 专业刊物

(1)中国土木工程学会主办，建筑结构；

(2)同济大学主办，结构工程师。

12.4 网络课程资源

网络课程资源：教师提供相关资源，学生根据自己实际情况自由选择参阅。

可参阅<http://www.docin.com/>豆丁网提供的有关资料。

13.教学合约

13.1 阅读课程实施大纲，理解其内容

- (1) 我已经认真阅读了《结构抗震设计》课程实施大纲，并清楚理解其中所陈述的内容；
- (2) 任课教师已预备足够的时间让我咨询课程实施大纲的相关内容；
- (3) 我认同任课教师针对课程实施所提的课程标准；
- (4) 我同意遵守本课程实施大纲中所阐述的课程考核方式、学术诚信规定、课堂规范等规定。

签名：

日期：

注：《课程修读备忘录》请务必在2017年2月 日前签名并返还任课教师。

13.2 同意遵守课程实施大纲中阐述的标准和期望

全部同学结合教材及四川理工学院有关规定分班讨论，充分理解《结构抗震设计》课程实施大纲后形成集体意见再反映给任课教师，任课教师对学生作好课程实施大纲的解释工作，请学生同意遵守课程实施大纲中阐述的标准和期望。

14.其他说明

其它未尽事项，在今后教学过程中予以完善。