



面向21世纪课程教材

高校土木工程
专业指导委员会规划推荐教材

混凝土 结构基本原理

(第二版)

苏小卒 龚绍熙 熊本松 赵 鸣 薛伟辰 编著
张 誉 主编

中国建筑工业出版社

面向 21 世纪课程教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

混凝土结构基本原理

(第二版)

苏小卒 龚绍熙 熊本松 赵 鸣 薛伟辰 编著
张 誉 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构基本原理/张誉主编. —2 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 1

(面向 21 世纪课程教材. 高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材)

ISBN 978-7-112-13988-0

I. ①混… II. ①张… III. ①混凝土结构-高等学校-教材 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 012634 号

为满足《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的要求, 和适应最近修订的《混凝土结构设计规范》的新思路、新概念、新要求, 对本书进行修订。本次修订增加了结构整体性、结构分析、既有结构设计特点、防止连续倒塌的原则等内容, 对全书内容重新编排, 作了适当删减和充实。本教材主要内容有: 结构的整体性、结构分析、既有结构特点、材料基本力学性能、构件轴心受力性能、偏心受压性能、受弯性能、受剪性能、受扭性能、受冲击性能、构件适用性、结构的耐久性、灾害作用下的结构性能等。

本教材可作为土木工程专业基础课教材, 也可供从事钢筋混凝土结构设计、施工的工程技术人员参考。

责任编辑: 王 跃 吉万旺

责任设计: 李志立

责任校对: 党 蕾 陈晶晶

面向 21 世纪课程教材
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

混凝土结构基本原理

(第二版)

苏小卒 龚绍熙 熊本松 赵 鸣 薛伟辰 编著
张 誉 主 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 24 $\frac{3}{4}$ 字数: 490 千字

2012 年 5 月第二版 2012 年 5 月第十三次印刷

定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-13988-0

(22020)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第二版前言

本教材自 2000 年第一版出版以来，已经印刷十余次。在这十二年期间，我国的经济建设突飞猛进，土木工程科学技术有很大进步。在建设工程蓬勃发展的过程中，也出现了不少工程事故，为此国家从生产安全政策和技术层面上都做出不少新规定，作为工程教学的土木工程专业的基础课教材理应适应新要求，有必要对原教材作适当增订修改。

本教材着重讲授混凝土结构基本构件受力特性及其计算基本原理，为了与后续的结构设计课程和施工课程相衔接，同时也为进一步学习打好基础，对涉及结构安全的结构整体性、结构分析、耐久性设计要求、防止连续倒塌设计的原则以及既有结构设计的特点等重要概念在本次修改中作了适当增补，此外对原有各章内容重新编排，作了适当删减和充实，如调整了实用钢筋的种类，调整了受压构件的二阶效应（ $P-\delta$ 效应）的计算；通过降低箍筋项的抗力系数提高了受剪安全储备；补充了拉扭和拉-弯-剪-扭复合抗力的计算；增加了双向偏心受压相关内容；提高了受冲切承载力；增补了无粘结预应力内容；补充了既有结构耐久性的评定等。

参加本教材第二版编写工作的有：张誉（第 1 章、第 12 章），赵鸣（第 2 章、第 6 章、第 9 章），熊本松（第 3 章、第 5 章），龚绍熙（第 4 章、第 11 章），苏小卒（第 7 章、第 8 章），薛伟辰（第 10 章、第 13 章）。对在第一版中的作者李杰、郑步全、陆浩亮、林宗凡所做的贡献，表示衷心感谢。

感谢高等学校土木工程学科专业指导委员会和中国建筑工业出版社对教材第二版编写出版的有力支持。

由于编著者水平所限，书中还会有不足或错误，欢迎读者批评指正。

张 誉

2011 年 11 月 11 日

第一版前言

我国高级工程专门人才培养模式正在面向专业宽口径方向转变，教育部新的本科专业目录，已将建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设、涉外建筑工程、饭店工程等专业合并扩宽为一个土木工程专业。编写适用于宽口径专业的专业基础课——《混凝土结构基本原理》的教材是实施教学改革的一个必要条件。

土木工程专业涉及工程领域很广，混凝土结构的类型很多，但其基本受力构件的受力特点还是共性的。鉴于目前土木工程不同结构类别采用的设计规范尚不一致，本教材精选内容，突出受力性能分析，加强基础理论，而不拘泥于规范的具体规定。教材内容和体系注意到学生从数学、力学基础课过渡到学习专业课的认识规律，从材料性能、截面受力特征到构件抗力机理、承载力及变形的计算方法，形成完整体系，建立正确的基本概念和科学分析的逻辑思维。本教材为进一步学习混凝土结构设计专业课打下基础，为此，在计算方法中适当照顾到新修订的混凝土结构设计规范的规定和要求。每章都附有思考题和习题。为拓宽学生的知识面，在教材中对灾害下的混凝土结构的性能和混凝土结构的耐久性也作了适当介绍。

本教材在同济大学土木工程学院的组织下，由长期担任该课程教学的教师共同编写，委托我担任主编，参加编写的有张誉（第1章、第12章）、郑步全（第2章）、陆浩亮（第3章）、龚绍熙（第4章）、熊本松（第5章）、李杰（第6章、第13章）、苏小卒（第7章、第8章）、赵鸣（第9章）、薛伟辰（第10章）、林宗凡（第11章）。

清华大学江见鲸教授在百忙中为本教材审阅，并提出宝贵意见，在此表示诚挚谢意。

本教材作为土木工程专业基础课来编写是初次尝试，由于编者知识所限，书中可能会有诸多不妥或错误之处，敬请读者批评指正。

张 誉

2000年3月15日

目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1.1 混凝土结构的特点及其应用概况	1
§ 1.2 混凝土结构的形式	4
§ 1.3 结构的整体性及结构分析	6
§ 1.4 既有结构的特点及设计	8
§ 1.5 混凝土结构的拓展及展望	9
思考题	13
第 2 章 混凝土与钢筋材料的基本力学性能	14
§ 2.1 混凝土的物理力学性能.....	14
§ 2.2 钢筋的物理力学性能.....	27
思考题	35
第 3 章 轴心受力构件的受力性能	36
§ 3.1 轴心受拉构件的受力分析.....	36
§ 3.2 轴心受压短柱的破坏形态和承载力计算.....	42
§ 3.3 轴心受压长柱的破坏形态和承载力计算.....	51
§ 3.4 配有纵筋和螺旋筋的轴心受压柱的受力分析.....	54
思考题	57
习题	58
第 4 章 受弯构件正截面受力性能	61
§ 4.1 概述.....	61
§ 4.2 受弯构件的试验研究.....	63
§ 4.3 受弯构件正截面受力分析.....	69
§ 4.4 受弯构件正截面受弯承载力的简化分析.....	78
§ 4.5 双筋矩形截面受弯构件的受力分析和正截面受弯承载力计算.....	88
§ 4.6 T 形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算.....	95
§ 4.7 深受弯构件的受力特性和受弯承载力计算	100
§ 4.8 受弯构件的延性	106
思考题.....	109
习题.....	111

第 5 章 偏心受力构件正截面受力性能	113
§ 5.1 概述	113
§ 5.2 偏心受压构件的试验研究	115
§ 5.3 偏心受压构件的受力分析	122
§ 5.4 偏心受压构件承载力的计算	135
§ 5.5 双向偏心受压构件的承载力计算	160
§ 5.6 偏心受拉构件的受力分析	164
§ 5.7 偏心受拉构件承载力计算	166
思考题.....	168
习题.....	169
第 6 章 构件受剪性能	171
§ 6.1 构件弯剪斜裂缝的形式	171
§ 6.2 构件受剪破坏形态及其影响因素	176
§ 6.3 构件抗剪机理	181
§ 6.4 有轴力作用构件的斜截面承载力计算	187
§ 6.5 剪力墙的抗剪性能	190
§ 6.6 保证构件受剪性能的构造措施	195
思考题.....	201
习题.....	202
第 7 章 构件受扭性能	205
§ 7.1 平衡扭转与协调扭转性能	205
§ 7.2 混凝土结构构件受纯扭作用的性能	206
§ 7.3 混凝土结构构件受弯剪扭作用的性能	219
§ 7.4 混凝土结构构件受压扭作用的性能	228
§ 7.5 混凝土结构构件受拉扭作用的性能	235
§ 7.6 例题和构造要求	236
思考题.....	241
习题.....	242
第 8 章 构件受冲切和局压性能	245
§ 8.1 概述	245
§ 8.2 混凝土板受冲切作用的性能和分析	246
§ 8.3 混凝土基础受冲切作用的性能和分析	252
§ 8.4 混凝土局部受压承载力的计算	254
§ 8.5 例题	257
思考题.....	261
习题.....	261

第 9 章 粘结与锚固性能	263
§ 9.1 粘结的作用	263
§ 9.2 粘结机理	264
§ 9.3 粘结强度	266
§ 9.4 锚固长度、搭接长度及构造要求	271
思考题.....	278
习题.....	279
第 10 章 预应力混凝土结构基本原理	280
§ 10.1 概述.....	280
§ 10.2 预应力混凝土的材料和锚具.....	283
§ 10.3 预应力损失的计算.....	287
§ 10.4 预应力混凝土构件的受力性能.....	293
§ 10.5 超静定预应力混凝土结构的受力性能.....	299
§ 10.6 无粘结预应力混凝土结构的受力性能.....	300
§ 10.7 构造措施.....	304
思考题.....	307
习题.....	307
第 11 章 混凝土构件的适用性	308
§ 11.1 概述.....	308
§ 11.2 钢筋混凝土受弯构件的变形控制.....	309
§ 11.3 混凝土构件的裂缝控制.....	323
思考题.....	338
习题.....	339
第 12 章 混凝土结构的耐久性	341
§ 12.1 概述.....	341
§ 12.2 材料的劣化.....	343
§ 12.3 混凝土结构耐久性设计.....	355
§ 12.4 既有混凝土结构耐久性评估.....	358
思考题.....	360
第 13 章 灾害作用下的钢筋混凝土结构性能	361
§ 13.1 概述.....	361
§ 13.2 抗震性能.....	362
§ 13.3 抗火性能.....	368
§ 13.4 抗连续倒塌性能.....	375
思考题.....	378
附录一：习题参考答案	380
附录二：英文版目录	384
主要参考文献	388

第1章 绪 论

§ 1.1 混凝土结构的特点及其应用概况

1.1.1 混凝土结构的特点

混凝土结构包括有素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构及配置各种纤维筋的混凝土结构。最常用的是由钢筋和混凝土两种材料组成的钢筋混凝土结构。据十年前统计,我国每年混凝土用量 9 亿 m^3 , 钢筋用量 2000 万 t, 我国每年用于混凝土结构的耗资达 2000 亿元以上。

钢筋混凝土结构是混凝土结构中最具代表性的一种结构。混凝土材料抗压强度较强, 抗拉能力很低, 而钢筋抗拉强度很高, 将两者结合在一起协同工作, 能充分发挥两种材料各自特长, 而且可以克服钢材易锈、需要经常维护的麻烦, 钢筋置于混凝土中不易受腐蚀, 可提高其耐火性; 混凝土材料本身脆性, 有钢筋协同工作, 可以增加其延性。钢筋混凝土结构已成为土木工程中应用最为广泛的一种结构形式, 它具有很多优点:

(1) 可以根据需要, 浇筑成各种形状和尺寸的结构, 如曲线型的梁和拱、空间薄壳等形状复杂的结构;

(2) 强价比相对要大, 用同样的费用做的木、砖、钢结构受力构件的承载力远比用钢筋混凝土制成的构件要小;

(3) 耐火性能比其他材料结构要好, 遭火灾时与钢结构相比, 钢筋有混凝土保护层包裹, 不会因升温软化;

(4) 比其他结构的耐久性能要好, 钢结构为防锈腐蚀需要经常维护, 钢筋被混凝土包裹, 不易生锈, 钢筋混凝土结构使用寿命最长, 混凝土结构还可以用于防辐射的工作环境, 如用于建造原子反应堆安全壳等;

(5) 整体浇筑的钢筋混凝土结构整体性好, 对抵抗地震、风载和爆炸冲击作用有良好性能;

(6) 混凝土中用量最多的砂、石等原料, 可以就地取材。

事物总是一分为二, 钢筋混凝土结构同样也存在一些弱点, 如自重较大, 不利于建造大跨结构; 抗裂性差, 过早开裂虽不影响结构的承载力, 但对要求防渗漏的结构, 如容器、管道等, 使用受到一定限制; 现场浇筑施工工序多, 需养护,

工期长，并受施工环境和气候条件限制等等。

随着对钢筋混凝土结构的深入研究和工程实践经验的积累，混凝土结构的缺点在逐步克服，如采用预应力混凝土可以提高其抗裂性，并扩大其使用范围，可以用到大跨结构和防渗漏结构；采用高性能混凝土，可以改善防渗漏性能；采用轻质高强混凝土，可以减轻结构自重，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，加快施工进度等等。

1.1.2 混凝土与钢筋共同工作的基础

1. 粘结作用

钢筋和混凝土两种材料组成为钢筋混凝土能有效地协同工作，有赖于混凝土硬化后钢筋与混凝土接触表面之间存在粘结作用，粘结作用来源于水泥浆胶体与钢筋接触面的化学粘着力、由于混凝土结硬的收缩将钢筋紧紧握裹而产生的摩擦力和钢筋表面凹凸不平而产生的机械咬合力。通过粘结应力可以传递两材料间的应力，使钢筋和混凝土共同受力。

2. 变形协调作用

钢筋和混凝土两种材料的温度膨胀系数很接近，钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，混凝土为 $(1.0 \sim 1.4) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。当温度变化时，不会因温度变化造成各自伸（或缩短）而不协调，从而产生较大的相对变形，因此二者能共同工作。

3. 良好的材料匹配

钢筋与混凝土两者粘结在一起能很好地共同工作，还需注意混凝土要有良好的配合比、浇捣工艺和养护。混凝土在空气中结硬体积会收缩，在水中结硬体积会膨胀，收缩比膨胀要大得多。仅混凝土一种材料时，其收缩自由不会产生裂缝；而与钢筋结合在一起，混凝土要收缩必然要带动钢筋，但钢筋在空气中不收缩，将阻止混凝土自由缩短。混凝土收缩会使钢筋受压，而钢筋使混凝土受拉，甚至开裂，混凝土退出工作，拉力会全部转移给钢筋承担，因此对混凝土必须减少水灰比、加强振捣和良好养护。

1.1.3 混凝土结构的应用及其发展历史

钢筋混凝土结构与砖石结构、钢木结构相比，历史并不长，仅有 150 年左右，但因其可以就地取材，发展非常迅速。在 20 世纪初以前，所采用的钢筋和混凝土强度都非常低，仅限于建造一些小型梁、板、柱、基础等构件，钢筋混凝土本身计算理论尚未建立，设计沿用材料力学容许应力方法；1920 年以后，预应力混凝土的发明和应用，混凝土和钢筋强度有所提高，试验研究的发展，计算理论已开始考虑材料的塑性性能，1938 年左右已开始采用按破损阶段计算构件破坏承载力；进入 1950 年，随着高强混凝土、高强钢筋的出现，采用装配式钢筋混凝土结构、泵送商品混凝土工业化生产方式，许多大型结构，如超高层建

筑、大跨桥梁、特长隧道的不断兴建，计算理论已过渡到按极限状态设计方法；近数十年来，国内外在钢筋混凝土学科领域进行了大量研究，使这门学科的计算理论日趋完善，引入数学统计理论，设计已过渡到以概率论为基础的可靠度设计方法；随着计算机的发展，钢筋混凝土结构分析中引入了数值方法，结构受力性能已发展采用非线性有限元分析；钢筋混凝土构件在复合受力和反复荷载作用下的计算理论正朝着从受力机理建立统一计算模式的方向发展，从而使钢筋混凝土结构计算理论和工程实践提高到一个新的水平。混凝土结构已成为土木工程中最重要的一种结构形式，广泛应用于土木工程各个领域，现摘要举例说明。

在房屋工程中，多层住宅、办公楼大多采用砌体结构作为竖向承重构件，然而楼板和屋面几乎全部采用预制钢筋混凝土板或现浇钢筋混凝土板；多层厂房和小高层房屋更多的是采用现浇的钢筋混凝土梁板柱框架结构；单层厂房也多是采用钢筋混凝土柱，钢筋混凝土屋架或薄腹梁、V形折板等。高层建筑采用钢筋混凝土结构体系更是获得很大发展，目前，世界上高度大于400m的十大高楼中，我国就有6座，如上海浦东金茂大厦，88层、建筑高度421m，为正方形框筒结构，内筒墙厚850mm，混凝土强度C60，外围为钢骨混凝土结构柱和钢柱。与其毗邻的上海环球金融中心大厦95层，高度492m，也是核心筒与巨型柱的组合结构，在两座大楼二层标高处有连廊连接，行人可以在“空中”穿行两座大楼之间，形成上海浦东金融区一个独特景观。目前世界最高建筑是2011年投入使用的阿联酋的迪拜哈利法塔，162层，高度是828m。

在桥梁工程中，中小跨桥梁绝大部分采用钢筋混凝土结构建造，如1976年建造的洛阳黄河桥共67孔，由跨度为50m的简支架组成。用钢筋混凝土拱建桥更具优势，我国江南水乡到处可见混凝土拱桥，我国1997年建成的四川万州长江大桥，为上承式拱桥，采用钢管混凝土和型钢骨架建成三室箱形截面，跨长420m，单孔跨江，无水下基础，全桥长814m，为世界上最大跨径的混凝土拱桥，即使有些大跨桥梁，当跨度超过500m采用钢悬索或钢制斜拉索，但其桥墩、塔架和桥面结构都是采用钢筋混凝土结构，如1993年建成的上海杨浦斜拉桥，主跨602m。跨度在600m以上的斜拉桥，世界有6座，中国占4座，我国已建100多座斜拉桥，2008年通车的苏通斜拉大桥，是双塔双索面的斜拉桥，主跨径1088m，大桥主桥高298m。

在隧道工程中，据1995年报导我国已修建4800座，总长2250km的铁道隧道，其中成昆铁路线中有隧道427座，总长341km；公路隧道向双向每洞双车道发展，我国秦岭终南山公路隧道就是双洞，单洞长18.02km，是世界最长的双洞高速公路隧道。仅上海就修建13条过江隧道。地铁具有安全、运输量大、减小噪声污染等优点。已成为现代城市重要的交通设施，我国现有十余个城市建有地铁，上海就有11条地铁线路，总长420km，居全球城市首位。与此同时，我国正在大力发展高架高速铁路，客运专线已达13000km，其中架空轨道线路也

是钢筋混凝土结构。

在水利工程中,水利枢纽中的水电站、拦洪坝、引水渡槽等都是采用钢筋混凝土结构,例如我国长江三峡工程就是由大坝、水电站和通航建筑物三部分组成,其中三峡大坝为混凝土重力坝,主要作用是泄洪,坝长 2335m,底宽 115m,顶宽 40m。最大坝高 181m,混凝土浇筑量为 2794m³。南水北调是一项跨世纪大型工程,沿线就建有很多预应力混凝土渡槽。

除上述一些工程外,还有一些特种结构,如电线杆、烟囱、水塔、筒仓、储水池、电视塔、核电站反应堆安全壳、近海采油平台等也都是用钢筋混凝土结构建造,如我国宁波北仑火力发电厂有高度达 270m 的筒中筒烟囱;我国曾建造过倒锥形水塔,容量为 1500m³;世界上容量最大的水塔是瑞典马尔默水塔,容量达 10000m³;我国山西云岗建成两座预应力混凝土煤仓,容量 6 万 t。随着滑模施工技术的发展,很多高耸建筑采用钢筋混凝土结构,世界最高的电视塔加拿大多伦多电视塔。塔高 553.3m,就是用钢筋混凝土建造;其次是莫斯科电视塔,高 537m;上海东方明珠电视塔由三个钢筋混凝土筒体组成独特造型,高 456m;2009 年投入使用的广州电视塔是由钢结构外框筒和钢筋混凝土核心筒组成,核心筒结构高度 450m 外加无线电桅杆 150m 总高度达 600m,已跃居世界前茅。

§ 1.2 混凝土结构的形式

1.2.1 混凝土结构的组成

钢筋混凝土结构由很多受力构件组合而成,主要受力构件有楼板、梁、柱、墙、基础等。

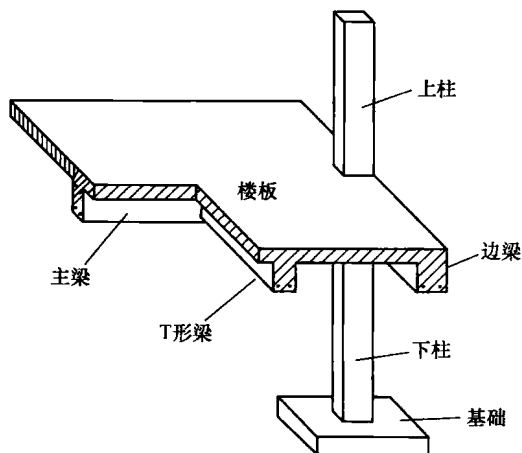


图 1-1 混凝土结构的组成

楼板:是将活荷载和恒载通过梁或直接传递到竖向支承结构(柱、墙)的主要水平构件,其形式可以是实心板、空心板、带肋板等。

梁:是将楼板上或屋面上的荷载传递到立柱上,前者为楼盖梁,后者为屋面梁,有时梁与板整浇在一起,中间的梁形成 T 形梁(图 1-1),边梁构成 L 形梁。

柱:其作用是支承楼面体系,属于受压构件,荷载有偏心作用

时，柱受压的同时还会受弯。

墙：与柱相似，是受压构件，承重的混凝土墙常用作基础墙、楼梯间墙，或在高层建筑中用于承受水平风载和地震作用的剪力墙，它受压的同时也会受弯。

基础：是将上部结构重量传递到地基（土层）的承重混凝土构件，其形式多样，有独立基础、桩基础、条形基础、平板式片筏基础和箱形基础等。

1.2.2 混凝土结构的基本构件

每一个承重结构都是由一些基本构件组成，按其形状和受力特点，可以汇总如图 1-2 所示。

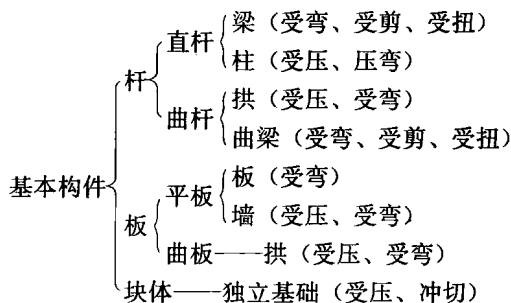


图 1-2 基本构件类型

1.2.3 混凝土结构的类型

混凝土结构按其构成的形式可分为实体结构和组合结构两大类。坝、桥墩、基础等通常为实体，称为实体结构；房屋、桥梁、码头、地下建筑等通常由若干基本构件连接组成，称为组合结构。连接组成的节点，如只能承受拉力、压力的称为铰接；如同时能承受弯矩等其他力作用时，称为刚接。前者有由压杆与拉杆铰接组成的桁架、梁与柱铰接的排架等；后者有压杆与拉杆刚接的空腹桁架、梁与柱刚接的框架等。

若组成的结构与其所受的外力在计算中视为皆在同一平面之内时，则称为平面结构，如平面排架、平面框架、平面拱等；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考虑时，则称该结构为空间结构，如壳体结构及考虑到双向地震作用时的框架，需作为空间结构计算。

以普通混凝土为主制成的结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。素混凝土结构主要用于承受压力的结构，如基础、支墩、挡土墙、堤坝、地坪路面等；钢筋混凝土结构适用于各种受拉、受压和受弯的结构，如各种桁架、梁、板、柱、拱、壳等；预应力混凝土由于抗裂性好、刚度大和强度高，更适宜建造一些跨度大、荷载重及有抗裂抗渗要求的结构，如大跨屋架、桥梁、水池等。

§ 1.3 结构的整体性及结构分析

1.3.1 混凝土结构整体性的概念

如前所述,一个结构是由很多基本构件组成,每个构件都要满足设计荷载作用下的承载力小于荷载效应的计算值,确保构件承载力的安全,同时要满足一般使用功能的要求,本教材重点介绍的正是这些基本构件各种受力性能及其计算原理,然而有些时候结构会发生灾难性的倒塌事故,其原因在于结构缺乏整体性。

所谓结构整体性(或称为整体稳固性)是指结构不应发生与其初始破坏不相称的严重破坏后果,即局部破坏而不至于引起大范围的连续倒塌。结构整体性概念应贯穿到设计、施工、使用的整个结构生命周期。

在设计阶段应从结构方案,平面布置,结构分析,结构连接构造四个环节考虑,要求对结构合理设计,使其在局部范围内主要承重构件失效后仍能保证荷载有效传递,加强结构构件间的连接或设置结构缝,阻止连续性倒塌的蔓延;在施工阶段,在建的混凝土结构是一个时变结构(Time dependent structure),它由尚未达到设计强度的构件及支承它的模板和支撑系统组成,其材料性能,几何形态都随时间在变化,要防止混凝土未达到规定的强度而拆模引起的破坏,要合理安排施工程序,严格控制施工荷载不得超过设计预计的荷载;在结构建成使用过程中不得任意改变使用功能,或增加荷载以及恶化使用环境,要按规定定期维修和保养。

1.3.2 结构分析的内容

任何一种建筑设施(工业与民用建筑、桥梁、地下建筑空间等)都是由承重结构体系支撑着,结构设计与建筑设计、设备设计、地下设计相关联,相互配合,结构设计是设计工作中很关键的一个专业。

设计结构的安全是由确定结构方案、结构分析、截面配筋计算、连接构造设计四个环节控制。结构分析在设计过程中起到承上启下的作用,它是截面配筋计算的依据,是设计连接构造的基础。结构分析的内容有:

1. 确定结构上的作用。作用到结构上的有直接作用(荷载),间接作用(温差、收缩、沉降、移位等)及偶然作用(自然灾害和非常规的人为因素作用等)。

由于结构在施工期和使用期的不同阶段有各种受力状况,尚应按不同状况进行分析计算,并确定其最不利组合。

2. 建立计算模型。为求得各种作用对结构引起的效应(内力、应力、变形),必须建立计算模型才能进行计算。通常在某些假定基础上建立计算简图,这些简化应尽量符合结构实际承载受力情况,它反映出结构体系的几何尺寸、形

状特征、构件的布置、边界条件以及结构作用（荷载）的分布、建立计算简图是结构分析的核心内容。

3. 效应的计算。有了计算简图，可以根据确定的荷载作用，选择适当分析方法计算结构的效应（构件的内力），作为截面配筋计算的依据，在计算效应时应考虑到不对称结构在重力作用下竖向构件中因偏心受力引起的附加内力，可能产生二阶效应（即所谓 $P-\Delta$ 二阶效应）。二阶效应可能使作用效应显著增大时，在整体结构分析时应考虑二阶效应的不利影响。

1.3.3 结构分析的方法

结构分析应满足下列要求：

- 1) 应满足力学平衡条件；
- 2) 在不同程度上符合变形协调条件，包括节点和边界的约束条件；
- 3) 采用合理的材料本构关系和构件单元的应力-应变关系。

结构分析根据结构类型、受力特点和材料性能，可以选择的分析方法有：

1. 弹性分析法

弹性分析是视混凝土材料为均质体，用定值弹性模量的线性本构关系分析，方法比较简单。体型规则的空间结构，可沿柱列或墙轴线分解为不同方向的平面结构分别进行分析，但要考虑平面结构的空间协同工作；梁、柱、杆等一维构件的轴线取截面几何中心的连线，二维构件（墙、板）的中轴面取截面中线组成的平面或曲面，现浇结构或装配整体式结构梁柱节点、柱与基础连接处视为刚接，预制装配式的次梁两端及板跨两端近似取作为铰接。梁、柱的连接部分的刚度远大于构件中间截面的刚度时可作为刚域处理。梁的计算跨度或柱的计算高度可按其两端支承长度的中心距或净距确定，但要根据支承节点连接刚度或支承反力的位置修正。

对一般结构用弹性方法所得到的内力误差不太大，但要考虑到支承在梁上板的承载变形较大时，支梁在竖向不均匀沉降及约束扭转时，都可能反过来影响板的内力分布，要注意到混凝土受力开裂和徐变等因素，材料的非线性性质和材料性能退化引起刚度折减的影响。

2. 塑性内力重分布分析法

混凝土连续梁和连续单向板，或重力荷载作用下的框架、框架-剪力墙结构中的现浇梁以及双向板等都可以用塑性内力重分布方法进行分析。当某些截面达到承载力极限状态（屈限），而材料尚有很好的塑性变形能力，由于存在冗余约束，整个构件仍能继续承载不至于破坏。这种将其视为能够承受一定弯矩的塑性铰，可以新的计算简图继续承载，外荷继续增加时，支座弯矩保持不变而跨中弯矩则相应增加，这现象称之为塑性内力重分布。

基于弹性分析的塑性内力重分布方法经弹性分析求得内力后，可对支座或节

点弯矩进行适当调幅并确定相应的跨中弯矩。由于塑性铰出现,构件的变形和抗弯能力调小部位的裂缝宽度会加大,因此对负弯矩调幅幅度应有一定限制,并对构件的变形和裂缝宽度验算,满足正常使用状态的要求。

3. 塑性极限分析法

当超静定结构具有足够的塑性变形能力时,某些截面屈服并不意味着整个结构破坏,结构往往还可以继续承载,只有当足够数量的截面屈服而使结构体系形成几何可变机构时,结构才达到最大承载能力。利用这种规律的塑性极限分析计算,就能充分发挥超静定结构承载能力。

承受均匀荷载的周边支承的双向矩形板,已有成熟的塑性极限设计方法,如塑性铰线法或条带法。

4. 非线性分析法

工程中受力复杂的结构或重要结构,才采用弹塑性分析,它采用钢筋混凝土结构实际形状,尺寸及边界条件、配筋情况及实际材料性能,引入材料应力应变关系、计算单元内力变形关系、界面粘结滑动关系,进行结构受力全过程分析。这种分析方法比较复杂、计算工作量大,需要有比较成熟的软件完成。

5. 试验分析方法

体形复杂受力特殊的重要结构,也可以用足尺或缩尺试验模型的试验结果,采用相似理论关系,根据受力特征和破坏形态进行分析。

试验模型应采用能模拟实际结构受力特征的材料制作。

§ 1.4 既有结构的特点及设计

1.4.1 既有混凝土结构的特点

既有结构为已建成正在使用的结构,为保证既有结构的安全可靠,并延长其使用年限,满足近年来日益增多的,对既有结构改变用途,扩建改建、修复加固继续使用的需要,在新的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)中新增一节,给出既有混凝土结构设计原则。

既有结构性能与拟建结构有着不同特点,前者在使用过程中可能使用功能有过变更,荷载的数量和分布与当初设计时会有所不同,且由于在不利环境下的长期荷载作用下,结构会存在一些功能的退化,如腐蚀、开裂、变形或曾遭遇过偶然作用(火灾、地震、冲击作用等),既有结构的连接部位也可能存在着一定的隐患。

鉴于既有结构原有设计安全度一般偏低,且对耐久性要求考虑不足的现实,为继续使用有必要对既有结构的材料性能退化程度、结构构件实际承载能力、结构连接的可靠程度及结构的整体性进行技术检测、验算与评估。

检测和评估密切相关不分离,既有结构现场检测,应根据现行国家标准《建筑结构检测技术标准》要求进行操作,检测结果的评定,根据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》、《工业建筑可靠性鉴定标准》、《民用建筑可靠性鉴定标准》等要求,对其安全性、适用性、耐久性及抗震能力作出鉴定结论。

1.4.2 既有结构的设计

当既有结构需改建、扩建或加固修复时,必须重新进行设计,设计应考虑既有结构的现状,经检测分析确定的既有部分材料的实际强度和几何尺寸等参数,当截面配筋和连接构造符合原设计要求,可按原设计的规定取值。结构后加部分完全按新的设计规范的规定取值,同时应注意新旧材料结构界面的可靠连接,并注意到既有结构的承载历史以及施工支撑卸载状态时内力分配的影响。切忌只考虑局部加固处理的片面做法,避免由于仅对局部进行处理引起的结构承载力或刚度的突变,必须保证既有结构的整体稳固性。

为保证既有结构设计的安全,承载能力极限状态计算仍应按设计规范计算,但对正常使用状态验算及构造措施,可参照设计规范要求,根据具体情况作适应调整,不要为构造要求花费更多代价,必要时也可对使用功能作相应调整或提出限制使用的要求。

既有混凝土结构经检测可靠性鉴定确认需要加固时,应根据鉴定结论和委托方提出的要求进行加固设计。加固可分为直接加固与间接加固两类:直接加固根据工程实际情况,可选择增大截面加固法、置换混凝土加固法、外粘钢板加固法、粘贴纤维复合材加固法、绕丝加固法或高强度网片法、复合砂浆外加层加固法等;间接加固可选用外加预应力加固法或增设支承点加固法等。加固方法可同时配合使用裂缝修补技术、锚固技术和阻锈技术等措施,力求达到加固后的最佳效果。

加固设计的范围,可以是整幢结构物或其中某独立区段,也可以是指定的结构部位、构件或连接区域。加固设计应与加固施工方法紧密配合采取有效措施,保证新增的构件部件与原结构可靠连接,新增截面粘结或植筋必须牢固,能形成整体共同工作。加固设计应遵循《混凝土结构加固设计规范》的有关规定。要考虑到结构的整体性的要求。

结构加固设计应预计到在加固过程中可能出现的倾斜,过大变形失稳或倒塌事故的发生,在加固设计时应提出相应的临时性安全措施,明确要求加固施工单位必须严格执行。

§ 1.5 混凝土结构的拓展及展望

为进一步发挥钢筋混凝土结构的优越性,在所用的材料上和配筋方式上又有