

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

混凝土结构设计 与施工图

● 王海军 魏华 等编著

EDUCATION



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

混凝土结构与施工图

王海军 魏 华 等 编著



机械工业出版社

本书是为适应国家建设对卓越工程师的要求,满足高等学校土木工程专业培养应用型人才的需要,根据最新的国家规范和标准编写而成的。内容以房屋建筑结构为主,主要讲述混凝土建筑结构的三种基本结构体系的设计与施工图,包括混凝土结构设计概述,梁板结构、多层框架结构、单层厂房排架结构设计和结构施工图绘读。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供从事混凝土结构设计、施工技术管理和科研的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构与施工图/王海军,魏华等编著. —北京:机械工业出版社, 2013.6

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-42624-0

I. ①混… II. ①王…②魏… III. ①混凝土结构-结构设计-高等学校-教材②混凝土结构-混凝土施工-高等学校-教材 IV. ①TU37②TU755

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第109283号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:马军平 责任编辑:马军平 臧程程

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18印张·443千字

标准书号:ISBN 978-7-111-42624-0

定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

为适应国家建设对建筑类卓越工程师的需求，满足高等学校土木工程专业培养应用型人才的需要，我们根据最新的国家规范和标准编写了本书。

本书在内容体系安排时，除梁板结构、框架结构和排架结构之外，为强化工程实践能力的培养，增加了两章：一章是混凝土结构设计概述，利于读者从总体上把握结构设计与分析方法；另一章是结构施工图绘读，利于增强读者结构施工图的绘制和识读能力。

混凝土结构课程兼具理论性和实践性，本书撰写时力求做到以下几点：强调以读者为中心，利于自主学习；强调基本概念和科学分析的逻辑，培养科学思维能力；强调理论计算与规范应用的结合，培养工程能力；强调思考题与习题对知识的归纳和拓展。

本书由王海军（第1章、第5章）、赵云（第2章）、魏华（第3章）、徐亚峰（第4章）、张辉（附录）编写，全书由王海军、魏华统编定稿。编写过程中，参考了国内同行的论文资料、各类教材和专著，在此向这些文献的作者表示衷心感谢。

限于水平，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第1章 混凝土结构设计概述	1
1.1 结构类型和体系	1
1.2 结构设计的内容和要求	4
1.3 结构的选型与布置原则	5
1.4 混凝土结构的设计原则	6
1.5 混凝土结构的分析方法	8
1.6 结构分析软件介绍	19
第2章 梁板结构设计	21
2.1 概述	21
2.2 现浇单向板肋梁楼盖	24
2.3 现浇双向板肋梁楼盖	52
2.4 无梁楼盖	68
2.5 楼梯和雨篷	77
思考题	89
习题	90
第3章 多层框架结构设计	92
3.1 多层框架结构的组成与布置	92
3.2 框架结构的计算简图	96
3.3 框架结构的内力计算	97
3.4 框架结构的侧移计算	106
3.5 框架结构的内力组合	110
3.6 框架结构的构件设计	111
3.7 框架结构的基础设计	114
3.8 现浇混凝土多层框架结构设计示例	125
思考题	146
第4章 单层厂房排架结构设计	148
4.1 单层厂房的结构组成和布置	148
4.2 单层厂房主要结构构件及选型	156
4.3 结构荷载的传递路径	162
4.4 排架的计算	163
4.5 排架柱的设计	181
4.6 排架柱基础的构造要求	189

4.7 吊车梁设计	195
思考题	197
习题	198
第5章 结构施工图绘读	199
5.1 结构设计总说明	199
5.2 现浇框架、梁、柱、剪力墙的平面整体表示方法	203
5.3 现浇有梁楼面与屋面板的平面整体表示方法	213
5.4 现浇板式楼梯的平面整体表示方法	216
5.5 基础的平面整体表示方法	221
思考题	232
附录	233
附录1 《混凝土结构设计规范》规定的材料力学指标	233
附录2 钢筋的计算截面面积及公称质量	235
附录3 常用材料和构件自重	237
附录4 《建筑结构荷载规范》对荷载的有关规定	240
附录5 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数表	257
附录6 双向板弯矩、挠度计算系数表	267
附录7 钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距	271
附录8 现浇钢筋混凝土板的最小厚度	272
附录9 单阶柱柱顶反力与水平位移数值	272
附录10 规则框架承受均布及倒三角形分布水平力作用时反弯点的高度比	276
参考文献	282

第1章 混凝土结构设计概述

本章学习要求

1. 了解结构的概念、类型和体系。
2. 熟悉结构设计的内容、要求与原则。
3. 掌握结构计算简图的概念及简化方法。
4. 熟悉混凝土结构的分析方法。

结构是人们用来表达世界存在状态和运动状态的专业术语。其中，结是结合之义，构是构造之义，如语言结构、建筑结构等。在土木工程领域，广义的结构是指建筑物、构筑物的构造式样。如汉代王延寿的《鲁灵光殿赋》中有“於是详察其栋宇，观其结构”；唐代姚合的《题凤翔西郊新亭》诗中有“结构方殊绝，高低更合宜”；清代黄钧宰的《金壶浪墨·起蛟》中有“金陵陈氏园，结构玲珑，规模略小”等。狭义的结构是指建筑物、构筑物的承重骨架，即由各种材料（砖、石、混凝土、钢材和木材等）建造的结构构件通过节点连接而组成能承受并传递荷载的受力骨架，如梁板结构、框架结构、排架结构等。本书所讲“混凝土结构”是指以混凝土为主要材料的建筑结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构等。

设计是指依据现行设计规范和标准，根据任务要求和限制条件，应用设计工具将满足要求的建筑通过视觉形式表述出来的活动过程。在我国，建筑结构的设计计算采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以可靠指标度量结构构件的可靠度，采用带分项系数的设计表达式进行设计。

一个优秀的建筑工程应该满足“功能、结构、美观、建造的统一”，需要通过建筑师、结构工程师和设备工程师的密切配合共同完成。结构工程师的主要任务是结构设计，即通过结构计算、分析，在结构的可靠与经济之间选择一种合理的平衡，力求以最高的性价比，使所设计的结构在规定的条件下和使用期限内，满足预定的安全性、适用性和耐久性等功能要求。

1.1 结构类型和体系

1.1.1 结构类型

按结构用途分为建筑结构、桥梁结构、地下结构、水工结构、特种结构等。不同用途的结构，因其使用功能和荷载作用特性的不同，结构形式和结构体系有很大差别。

按结构形式分为拱结构、墙体结构、排架结构、刚架结构、框架结构、筒体结构、折板结构、网架结构、壳体结构、索结构、膜结构、充气结构等。

按结构材料分为木结构、砌体结构、混凝土结构、钢结构、组合结构和混合结构。不同

结构材料的受力特性有很大差异,因此结构形式和结构体系也取决于所采用的结构材料。组合结构是指构件由不同结构材料组合构成,如钢筋混凝土构件、钢管混凝土构件、钢-混凝土组合梁。混合结构是指结构中的不同构件可采用不同材料,单个构件却采用同一材料构成的结构,这样可以根据结构不同部位的受力特征采用不同材料构件,充分发挥材料特长和构件的使用效率,结构的整体性能更为优越。

按结构的位置分上部结构和下部结构。通常将自然地面或 ± 0.000 以上部分称为上部结构, ± 0.000 以下部分称为下部结构。下部结构主要包括地下室和基础。基础可以分为柱下独立基础、墙下或柱下条形基础、筏形基础、箱形基础和桩基础等。

1.1.2 结构体系

所谓结构体系是基本构件按一定的传力路径构成的受力骨架定式,一种结构体系通常对应一种结构分析计算简图,并形成相应的计算理论和计算方法,以及相关的配套技术。常见的结构体系有:

(1) 混合结构体系 混合结构体系又称砖混结构,是指房屋的墙、柱和基础等竖向承重构件采用砌体结构,屋盖、楼盖等水平承重构件则采用钢筋混凝土结构(或钢结构、木结构)所组成的房屋承重结构体系。混合结构体系具有横向刚度大,造价低廉,施工简单,保温隔热效果较好的优点,但平面灵活性差。混合结构体系适合7层以下建筑。

(2) 框架结构体系 框架结构是利用梁柱刚接组成的纵、横向框架,共同承受竖向荷载及水平荷载的结构。框架结构具有平面布置灵活,内部空间大,空间分隔随意,刚度大,整体性好,利于抗震的优点,但侧向刚度小。框架结构适合15层以下建筑。

(3) 剪力墙结构体系 剪力墙结构是利用纵、横墙体承受竖向荷载及水平荷载的结构。纵、横墙体也可兼作维护墙或分隔房间墙。其优点是整体性好,侧向刚度大,在水平荷载作用下侧移小;缺点是剪力墙间距小,平面布置不灵活,不适合于要求大空间的公共建筑。剪力墙结构适用于小开间住宅、旅馆等建筑,在30m范围内适用。

(4) 框架-剪力墙结构体系 框架-剪力墙结构是在框架结构中设置适当剪力墙的结构,它具有框架结构平面布置灵活,有较大空间,侧向刚度大的优点。在此种结构中,剪力墙主要承受水平荷载,框架主要承担竖向荷载。框架-剪力墙结构一般适用于10~25层的建筑。

(5) 筒体结构体系 筒体结构是将剪力墙集中到房屋的内部或外部形成封闭的筒体的结构。除具有框架结构的优点外,筒体结构还具有空间刚度极大,抗扭性能好的优点。筒体结构适用于30~50层的建筑。

(6) 排架结构体系 排架结构由屋架、柱和基础组成,柱与屋架铰接,与基础刚接。排架结构传力明确,构造简单,施工也较方便,常应用于单层工业厂房,也用于影剧院、菜市场、仓库等民用建筑。

(7) 桁架结构体系 桁架结构是由直杆在端部相互连接而成的平面或空间承重的格构式结构。它在竖向和水平荷载作用下各杆主要承受轴向拉力或轴向压力(当有侧向荷载作用在桁架的个别杆件上时,它们也会像梁一样受弯曲),从而能充分利用材料的强度。桁架结构具有受力合理,计算简便,施工方便,适应性强的优点,常用于屋盖结构中的屋架、高层建筑中的支撑系统或格构墙体、桥梁工程中的跨越结构、高耸结构等。

(8) 网架结构体系 网架结构是由许多杆件按照一定的网格形式通过节点连接组成的

网状三维杆系结构,可分为平板网架和曲面网架两种。平板网架采用较多,优点是杆件受力合理,节省材料,整体性好,刚度大,抗震性能好,杆件类型较少,适于工业化生产。网架结构常用于大、中跨度的屋盖结构。

(9) 拱式结构体系 拱式结构是由曲线形或折线形平面杆件组成的平面结构构件,分拱圈和支座两部分。拱圈在荷载作用下主要承受轴向压力(有时也承受弯矩和剪力),支座可做成能承受竖向和水平反力以及弯矩的支墩,也可用拉杆来承受水平推力。拱式结构受力合理,可利用抗压性能良好的混凝土建造大跨度的拱式结构,常用于体育馆、展览馆等建筑中。

(10) 悬索结构体系 悬索结构是由柔性受拉索及其边缘构件所形成的承重结构,按受力状态分为平面悬索结构和空间悬索结构。悬索结构能充分利用高强材料的抗拉性能,具有跨度大、自重小、材料省、易施工等优点。悬索结构常用于大跨桥梁、体育馆、飞机库、展览馆、仓库等大跨度屋盖结构中。

(11) 薄壁空间结构体系 薄壁空间结构是由两个几何曲面及其边缘构件(可由梁、拱或桁架等构成)构成的壳体结构,属于空间受力结构。因壳体厚度要比其他尺寸(如跨度)小得多,故壳体主要承受曲面内的轴向压力,弯矩很小,材料强度能得到充分利用。它具有受力合理、承载力高、刚度大、用料省、自重小等优点。薄壁空间结构常用于大跨度的屋盖结构,如展览馆、剧院、厂房、飞机库等。

(12) 薄膜结构体系 薄膜结构是指用薄膜材料制成的构件,它或者由空心封闭式薄膜充入空气后形成,或者将薄膜张拉后形成。它具有重量轻、跨度大、构造简单、造型灵活、施工简便等优点,但隔热、防火性能差,充气薄膜尚有漏气缺陷、需持续供气,故仅适用于轻便流动的临时性和半永久性建筑。

此外,还有一些新型结构体系出现,如索膜结构、充气结构、悬挂结构等。

不管是哪一种结构总体系,总可以分解为水平结构分体系、竖向结构分体系以及基础体系三个分体系。

水平结构分体系也称为楼(屋)盖体系,常见的有梁板结构、拱结构、桁架结构、网架结构、折板结构、筒壳结构、斜拉或悬索结构、张拉索结构、弦支结构等。其主要作用有:①跨越水平空间,承受其上的竖向荷载作用,并将它们传递给竖向结构分体系或支座;②把作用在整个结构上的水平力传递或分配给竖向结构体系;③支承竖向构件,与竖向结构构件形成整体结构,提高整个结构的抗侧刚度和承载力。

竖向结构分体系是整个结构的关键,通常整体结构体系的名称是以竖向结构体系来标志的,如排架结构、框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构及巨型结构等。竖向结构分体系的主要作用是:①承受水平体系传来的全部荷载,并将其传递给基础体系;②承受直接作用在竖向构件上的风荷载、地震作用等水平作用,并将其传递给基础体系。

基础体系也称下部结构,常见的有独立基础、条形基础、交叉基础、筏形基础、箱形基础、桩基及沉井等。其作用为:①把上述两类分体系传来的重力荷载全部传给地基;②承受地面以上的上部结构传来的水平作用力,并把它们传给地基;③限制整个结构的沉降,避免不允许的不均匀沉降和结构的滑移。

1.2 结构设计的内容和要求

1.2.1 结构设计的内容

结构设计分为方案设计、技术设计和施工图设计等三个阶段，基本内容有：结构方案、结构布置、荷载组合与结构分析、结构计算、构件及其连接构造的设计、施工图绘制。GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》中规定混凝土结构设计应包括下列内容：

1) 结构方案设计，包括结构选型、传力途径和构件布置。方案设计是根据建筑物所处的环境条件、使用要求和空间需求，确定合适的结构方案和结构布置，并选择合适的结构材料。对于一般工程，可根据本工程所处的环境与地质条件和材料供应及施工技术水平，参照以往既有同类结构设计经验进行结构方案设计。根据方案设计提出的几种结构方案和主要荷载情况，进行较为深入的分析，并对分析结果进行综合比较，如可分别采用不同结构材料、不同结构体系、不同结构布置进行初步计算分析比较，并对有关问题进行专门分析和研究，在此基础上初步确定结构整体和各部分构件尺寸以及所采用的主要技术。

2) 作用及作用效应分析。作用分析中，要分析和确定在工程生命周期内结构上可能承受的各种荷载与变形作用的形式和量值，并应根据工程所处环境估计环境介质对结构耐久性的影响。作用效应分析中，要确定结构分析计算简图，对各种荷载和变形作用进行结构分析计算，进行荷载组合，获得结构整体受力性能以及各个部位的受力和变形大小。

3) 结构构件截面配筋计算或验算。根据所选用的结构材料，进行结构构件计算和构件构造、连接措施的设计，如混凝土构件的配筋计算，并进行适用性验算，考虑耐久性及施工的要求。

4) 结构及构件的构造、连接措施。

5) 耐久性、施工的要求。

6) 满足特殊要求结构的专门性能设计。

1.2.2 结构设计要求

结构设计的总体要求是符合规范，满足结构的功能要求，经济合理，施工方便。

结构设计工作中，结构体系、结构布置、荷载、强度、刚度、构造、计算及施工图绘制等应遵照有关规范、标准和规程。

结构的功能要求是指结构或构件在规定的設計使用年限内，在正常维护条件下，应能保持其使用功能，而不需要进行大修加固，包括安全性、适用性和耐久性。

1) 安全性。结构在预定的使用期间，应能承受在正常施工、正常使用情况下可能出现的各种荷载、外加变形（如超静定结构的支座不均匀沉降）、约束变形（如温度和收缩变形受到约束时）等的作用。在偶然事件（如地震、爆炸）发生时和发生后能保持整体稳定性，不致发生倒塌或连续破坏而造成生命财产的严重损失。

2) 适用性。结构在正常使用期间具有良好的工作性能。如不发生影响正常使用的过大的变形（挠度、侧移）、振动（频率、振幅），不产生让使用者感到不安的过宽的裂缝。

3) 耐久性。结构在正常使用和正常维护条件下，应具有足够的耐久性。如混凝土保护

层不发生严重风化、腐蚀、脱落,裂缝不得过宽而引起钢筋锈蚀,结构的承载力和刚度不应随时间有过大的降低等。

结构设计时要照顾到施工方便,如混凝土强度等级种类不要太多,在一个构件内配筋的直径不要有太多种,要考虑到施工人员素质、材料及施工质量等,不要太理想化以致施工结果与设计的理论条件差距过大。

对于新材料、新技术和新方法的应用,不能局限于已颁布的技术标准、规范和规程。在新理论和新技术的初期应用阶段,应经过必要的试验研究和论证,确保其可靠性。经过一段时间的实践和完善,新理论和新技术的内容可纳入有关技术标准、规范和规程,或编制专门技术规程,以推广使用。

1.3 结构的选型与布置原则

1.3.1 结构选型

进行结构设计时,首先要选择各类结构分体系的形式,包括水平结构、竖向结构和下部结构的选型。选型主要根据建筑物的功能要求、建筑场地的工程条件(如地形、地震设防烈度、风雪荷载、气温变化和最高雨量等)、现场施工条件和工期要求,经综合分析比较后确定,要达到“满足使用要求,受力性能好,施工简便,经济合理”的要求。

1.3.2 结构布置

结构形式选定以后,要进行结构布置,包括定位轴线布置、构件布置和变形缝设置。

定位轴线用来确定结构构件的水平位置,一般有横向定位轴线和纵向定位轴线,当建筑平面形状复杂时还可能有斜向定位轴线。

结构构件的布置原则:

- 1) 在满足使用要求的前提下,结构体形规则,对不规则的结构应进行水平地震作用计算和内力调整,并对薄弱部位采取有效的抗震构造措施。
- 2) 平面布置须有利于抵抗水平和竖向荷载,受力明确,传力直接,力求均匀、对称并具有一定的抗扭刚度。
- 3) 竖向结构的刚度、承载力和质量分布均匀、连续变化,避免强度和刚度发生突变。
- 4) 荷载的传递路线明确,结构计算简图简明、易于确定。
- 5) 结构的整体性好,受力可靠,重要构件和关键传力部位应增加冗余约束或有多条传力路径,防止因局部破坏引起的结构连续倒塌。
- 6) 施工简便,经济合理。

变形缝包括伸缩缝、沉降缝和防震缝。变形缝的设置应满足相关设计规范的要求。伸缩缝可以防止由于温度变化引起的温度应力超过材料的抗拉强度而产生过大裂缝或变形。当建筑物的平面尺寸较大时,应考虑设置伸缩缝。在地基不均匀或者建筑体形复杂,房屋高度或荷载差异较大时,应在适当部位设置沉降缝。在地震区,为避免强震发生时建筑物的不同结构单元发生碰撞而导致房屋破坏,应考虑设置防震缝。变形缝的设置会给建筑使用和建筑平面及立面处理带来不便,应通过平面布置、结构构造和施工措施尽量不设缝或少设缝。

1.4 混凝土结构的设计原则

1.4.1 极限状态设计原则

结构的极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两类。

承载能力极限状态是指对应于结构或结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形。《混凝土结构设计规范》要求所有结构构件均应进行承载力计算，处于地震区的尚应进行抗震承载力验算，有些结构必要时还应进行倾覆、滑移的验算，此外还要保证结构的整体稳定性，使局部破坏不至于导致大范围或连续的倒塌。当结构或结构构件出现下列状态之一时，应认为超过了承载能力极限状态：

- 1) 整个结构或结构的一部分作为刚体失去平衡，如雨篷压重不足而倾覆、烟囱抗风不足而倾倒、挡土墙抗滑不足在土压力作用下而整体滑移等。
- 2) 结构构件或其连接因超过材料强度而破坏（包括疲劳破坏），如轴心受压构件中混凝土达到了轴心抗压强度，构件的钢筋因锚固长度不足而被拔出等，或因变形过大而不适于继续承受荷载。
- 3) 结构转变为机动体系，如构件发生三铰共线而形成机动体系，丧失承载能力。
- 4) 结构或构件丧失稳定，如细长柱到达临界荷载后压屈失稳而破坏。

正常使用极限状态是对应于结构或结构构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。《混凝土结构设计规范》要求：对使用上需控制变形值的结构构件，应进行变形验算；对使用上要求不出现裂缝的构件，应进行混凝土拉应力验算；对使用上允许出现裂缝的构件，应进行裂缝宽度验算。当出现下列状态之一时，应认为超过了正常使用极限状态：

- 1) 影响正常使用或外观的变形，如吊车梁变形过大导致起重机不能正常行驶、梁挠度过大影响外观等。
- 2) 影响正常使用或耐久性能的局部损坏，如水池池壁开裂漏水不能正常使用、裂缝过宽导致钢筋锈蚀等。
- 3) 影响正常使用的振动，如由于机器振动而导致结构的振幅超过按正常使用要求所规定的限位等。
- 4) 影响正常使用的其他特定状态，如相对沉降量过大等。

1.4.2 防连续倒塌设计原则

结构连续倒塌是指结构因偶然作用而造成结构局部破坏后，引起连锁反应，导致与破坏失效构件相连的构件连续破坏，最终导致结构的大范围倒塌。造成连续倒塌的原因有很多，包括设计和建造过程中的人为失误，以及在设计考虑范围之外的意外事件引起的荷载作用，如地震、火灾、飓风、施工缺陷、人为错误、煤气爆炸、车辆撞击、恐怖袭击等（不包括无法抗拒的地质灾害及人为破坏作用）。连续倒塌一旦发生，往往造成严重的人员伤亡及经济损失，并产生恶劣的社会影响，典型事件如：1968年英国伦敦的RonanPoint公寓因煤气爆炸而导致连续倒塌，1995年美国俄克拉荷马州AlfredPMurrah大楼由于炸弹爆炸而发生连续倒塌，2001年美国911事件中纽约世界贸易中心的两幢110层摩天大楼在遭到飞机撞击

后相继倒塌,2008年我国汶川地震中大量建筑物也发生连续倒塌等。

近年来,建筑结构的连续倒塌问题受到工程界的广泛关注,成为结构工程和防灾减灾领域的重要研究前沿。为适应结构安全及防灾减灾要求,提高结构在偶然作用下的抗灾性能,一些国家编制了相关的分析与设计规程,如欧洲标准 Eurocode 1、美国 GSA (General Service Administration) 和 DoD (Department of Defense) 等。在我国,新颁布的 GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》增加了结构防连续倒塌设计的内容。

1. 混凝土结构防连续倒塌设计要求

- 1) 采取减小偶然作用效应的措施。
- 2) 采取使重要构件及关键传力部位避免直接遭受偶然作用的措施。
- 3) 在结构容易遭受偶然作用影响的区域增加冗余约束,布置备用的传力途径。
- 4) 增强疏散通道、避难空间等重要结构构件及关键传力部位的承载力和变形性能。
- 5) 配置贯通水平、竖向构件的钢筋,并与周边构件可靠地锚固。
- 6) 设置结构缝,控制可能发生连续倒塌的范围。

2. 混凝土结构防连续倒塌设计的方法

对一般结构,需定性增强结构的防连续倒塌性能,仅须满足以下概念要求,如:①加强楼梯、避难室、底部边墙、角柱等重要部位;②在关键要害区设置缓冲装置(防撞墙、裙房等)或泄能通道(开敞布置或轻质墙体、轻质屋盖等);③布置分割缝,控制房屋连续倒塌的范围;④增加关键部位的冗余及备用传力途径(斜杆、拉杆等)。

对防连续倒塌设计的定量设计方法,《混凝土结构设计规范》提出了以下三种方法:

(1) 局部加强法 对可能遭受偶然作用而发生局部破坏的竖向重要构件和关键传力部位,可提高结构的安全储备和变形能力;也可直接考虑偶然作用进行结构设计。

(2) 拉结构件法 在结构局部竖向构件失效的条件下,按梁—拉结模型、悬索—拉结模型和悬臂—拉结模型进行极限承载力计算,维持结构的整体稳固性。

(3) 去除构件法 按一定规则去除结构的主要受力构件,采用考虑相应的作用和材料抗力,验算剩余结构体系的极限承载力;也可采用受力—倒塌全过程分析,进行防倒塌设计。

当进行偶然作用下结构防连续倒塌的验算时,作用宜考虑结构相应部位倒塌冲击引起的动力系数。在承载力函数的计算中,混凝土强度仍取用强度标准值 f_{ck} ;钢筋强度改用极限强度标准值 f_{stk} (或 f_{ptk}),宜考虑偶然作用下结构倒塌对结构几何参数的影响。必要时可考虑材料性能在动力作用下的强化和脆性,并取相应的强度特征值。

1.4.3 既有结构的设计原则

既有结构是指已经存在的各类工程结构。在下列六种情况下,需要对既有结构进行评定、验算或重新设计。

- 1) 达到设计年限后延长继续使用年限的。
- 2) 为消除安全隐患而进行的设计校核。
- 3) 结构改变用途和使用环境而进行的复核性设计。
- 4) 对既有结构进行改建。
- 5) 扩建既有的建筑结构。
- 6) 结构事故或灾后受损结构的修复加固等。

既有结构设计前,应根据 GB/T 50344—2004《建筑结构检测技术标准》等进行检测,根据 GB 50153—2008《工程结构可靠性设计统一标准》、GB 50144—2008《工业建筑可靠性鉴定标准》、GB 50292—1999《民用建筑可靠性鉴定标准》等的要求,对其安全性、适用性、耐久性及抗灾害能力进行评定,从而确定设计方案。评定时,除应按上述现行国家标准的要求外,还应符合下列规定:

1) 应根据评定结果、使用要求和后续使用年限确定既有结构的设计方案。

2) 对既有结构改变用途或延长使用年限时,承载能力极限状态的验算应符合《混凝土结构设计规范》的规定。

3) 对既有结构进行改建、扩建或加固改造而重新设计时,承载能力极限状态的计算应符合《混凝土结构设计规范》和相关标准的规定。

4) 既有结构的正常使用极限状态验算及构造要求应符合《混凝土结构设计规范》的规定。

5) 必要时可对使用功能作相应的调整,提出限制使用的要求。

对既有结构进行改建、扩建或加固修复时,应考虑检测、评定的结果进行重新设计。重新设计时应符合下列规定:

1) 应优化结构方案,保证结构的整体稳固性,避免只考虑局部处理的片面做法,避免承载力及刚度突变。

2) 荷载可按现行荷载规范的规定确定,也可根据使用功能和后续使用年限作适当的调整。

3) 结构既有部分混凝土、钢筋的强度设计值应根据强度的实测值确定;当材料的性能符合原设计的要求时,可按原设计的规定取值;应注意新旧材料结构间的可靠连接。

4) 设计时应考虑既有结构构件实际的几何尺寸、截面配筋、连接构造和已有缺陷的影响;当符合原设计的要求时,可按原设计的规定取值。

5) 设计时应考虑既有结构的承载历史及施工状态的影响,对既有结构与后加部分可按二阶段成形的叠合构件,按《混凝土结构设计规范》第 9.5 节的规定进行设计。

1.5 混凝土结构的分析方法

结构分析主要是对结构在各种荷载与非荷载作用下所产生的内力和变形等作用效应进行分析计算,是结构设计计算中的主要工作。

结构分析时首先需要确定结构所承受的最不利作用效应组合。考虑各种荷载与作用同时出现的概率,进行最不利作用效应组合,得到结构及构件各控制部位的内力设计值。当结构在施工和使用期的不同阶段有多种受力状况时,应分别进行结构分析,并确定其最不利作用效应组合。对重要结构,当需考虑火灾、飓风、爆炸、撞击等偶然作用时,还应通过结构分析得到结构在该作用效应组合情况下的整体受力性能。

混凝土结构按承载能力极限状态计算和按正常使用极限状态验算时,应对结构的整体进行作用效应分析;必要时还应对结构中受力状况特殊的部分进行更详细的结构分析。结构分析方法应符合以下三类基本方程:

1) 力学平衡条件。结构的整体及其部分必须满足力学平衡条件。

2) 变形协调条件。在不同程度上符合结构的变形协调条件,包括节点和边界的约束条件。

3) 本构关系。采用合理的材料本构关系或构件单元的受力-变形关系。

结构分析包括分析模型、分析理论和方法,关键问题是建立合理的结构分析模型,即计算简图和计算模型。

1.5.1 结构分析模型

实际结构进行简化的过程称为力学建模,简化后可以用于分析计算的模型称为结构计算简图。计算简图的确定需要力学概念、工程结构知识和实践经验相结合,根据反映实际结构的主要受力、变形等特性进行合理简化及抽象,既要忽略次要因素使计算工作尽量简化,又要使计算结果有足够的精确性。建立计算简图的主要内容及要求包括:

1) 几何特征。结构分析采用的计算简图应能代表实际结构的各种几何尺寸。

2) 约束。边界条件和连接方式应符合结构的实际受力情况,并应有相应的构造措施加以保证。

3) 材料。材料性能指标应符合结构的实际情况。

4) 荷载。结构上各种作用的取值与组合、初始应力和变形状况等,应符合结构的实际工作状况。

5) 简化。结构分析中所采用的各种近似假定和简化手段,应有理论或试验的依据,或经工程实践验证。

6) 计算精度。计算结果的精度应符合工程设计的要求。

以结构计算简图为基础,依据相应的力学及物理原理建立的表示作用于结构上的外力与结构响应的各个量之间的数学关系,称为结构的计算模型。常依据的原理有力系平衡原理、虚位移原理、达朗贝尔原理、哈密尔顿原理、能量守恒原理等。如对静定结构体系,可根据力系平衡原理建立方程,建立计算模型;对线弹性超静定结构体系,可根据力系平衡原理、变形协调条件和材料本构关系建立相应的线性方程组或偏微分方程组,或其他的数学关系,建立计算模型。计算模型可用解方程、数值计算等方法求解,用误差分析或灵敏性分析进行模型分析,用现场试验或实验室试验获得的实际结构现象、数据进行模型检验,以验证计算简图及计算模型的合理性和适用性。如果二者不符合,则应该考虑重新确定计算简图及建立计算模型,重新分析比较,不断反复完善,直至检验结果达到工程应用的要求。

混凝土结构的构造和受力往往十分复杂,一般不可能完全按其实际状况进行结构分析,通常都是在理论或试验分析的基础上进行必要的简化和近似假定,使分析模型既能较正确反映结构的真实受力状态,又能适应所选用分析软件的力学模型和运算能力,以保证分析结果的可靠性。结构的计算简图常从体系、材料、支座、荷载等方面进行简化。

1. 结构体系的简化

从严格意义上来说,结构整体分析模型都应该是三维空间结构。除了具有明显空间特征的结构外,在通常情况下可以根据结构布置和受力特征,忽略次要的空间约束,将实际的空间结构简化为平面结构进行分析。

对于延长方向横截面保持不变的结构,如隧洞、厂房等,可作两相邻横截面截取平面结构(切片)计算,如图1-1所示。

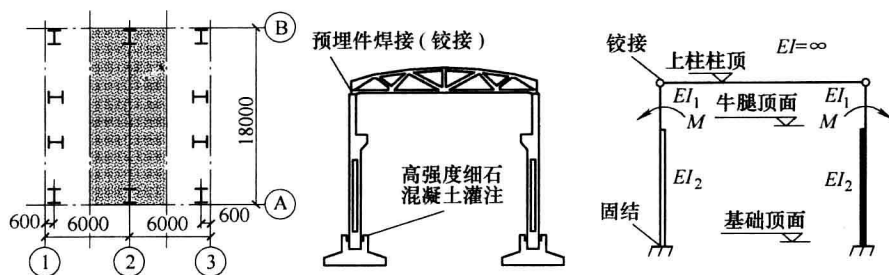


图 1-1 排架结构分析模型

对于多跨多层的空间框架，根据纵横向刚度和荷载，截取纵向或横向的平面框架来分析，如图 1-2 所示。如果仅考虑楼面均布荷载和沿横向均匀分布的水平荷载（如风荷载）作用时，各横向平面框架的侧向变形基本一致，因而可从中取出一榀横向平面框架进行分析。需要注意的是，水平荷载作用下各横向平面框架的侧向变形基本一致的条件通常是由楼板平面内足够的刚度保证的，通常称为楼板平面内的刚度无穷大假定。一般情况下这一条件是满足的。但如果楼板上开洞较大，尤其是当楼板边缘处开洞时，该条件就不满足，此时不能按平面框架结构计算，而需要考虑楼板平面内变形影响，按各榀横向框架协调工作进行计算，这实际上是一种近似的三维空间分析。若空间结构是由几种不同类型的平面结构组成（如框剪结构），在一定条件下可以把各类平面结构合成一个总的平面结构，并算出每类平面结构所分配的荷载，分别计算每类平面结构。

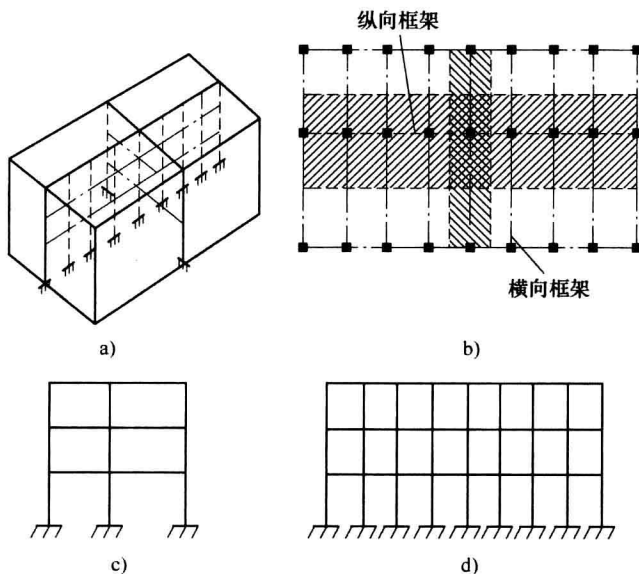


图 1-2 平面框架结构分析模型

对梁板结构，常将梁及板均简化为多跨连续梁、末端及中间支座为铰支座的计算简图，如图 1-3 所示。

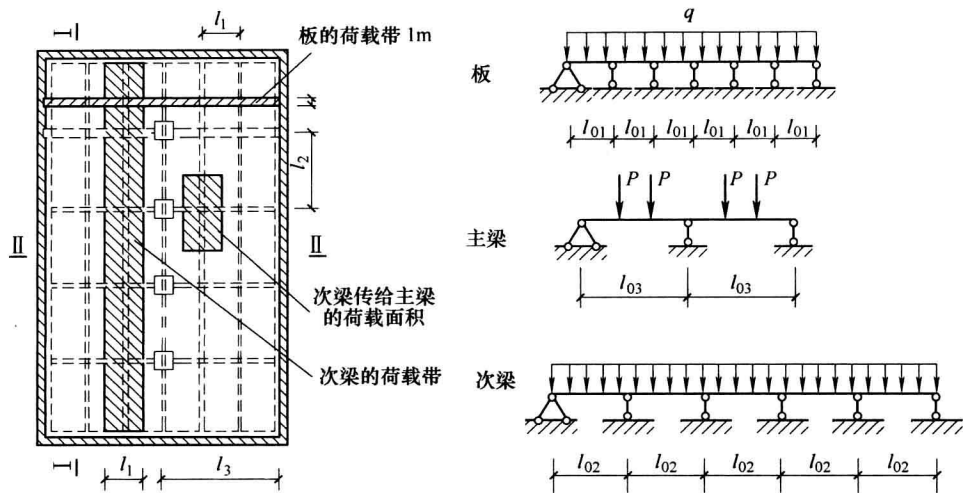


图 1-3 楼盖梁板结构分析模型

对空间结构，其构件往往同时承受多个方向内力，需简化为空间模型。如作用力沿两个以上的方向传递时实体结构简化为壳体结构，平面和空间布置复杂的杆系结构简化为网架结构等。

2. 构件的简化

对于常用的杆系结构，除了短杆深梁外，线性杆件一般用一根位于截面几何中心轴线的直线代替，杆件之间的连接区域用结点表示，并由此组成杆件系统（杆系内部结构）。梁、柱等杆件的计算跨度或计算高度可按其两端支承长度的中心距或净距确定，并应根据支承节点的连接刚度或支承反力的位置加以修正，并将荷载作用点转移到杆件的轴线上。如在砌体结构中，搁置于砖墙上的钢筋混凝土梁，当梁在墙上的支撑长度较小时，一般取计算简图为简支梁，如图 1-4a 所示；对于外伸梁，简化为连续简支梁，如图 1-4b 所示。

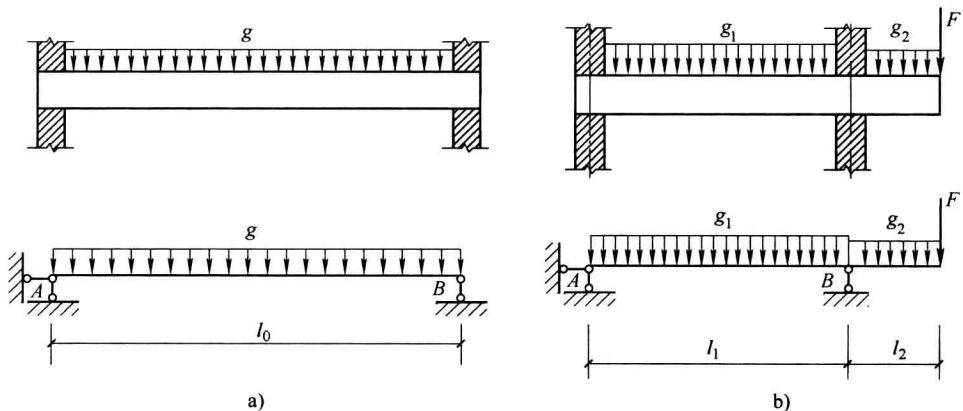


图 1-4 梁的简化

a) 简支梁 b) 外伸梁

对于板式楼梯，平台板可简化为支承于平台梁和墙体或过梁上的简支梁，如图 1-5b 所示；梯段板支承在平台梁上和楼层梁上，可简化为斜放的简支梁，计算跨度取平台梁间的斜长净距，如图 1-5c 所示。

对于单层厂房排架柱，常简化为上端与屋架铰接、下端固结的柱，一般以牛腿面为界，上柱和下柱的刚度不同，如图 1-6 所示。

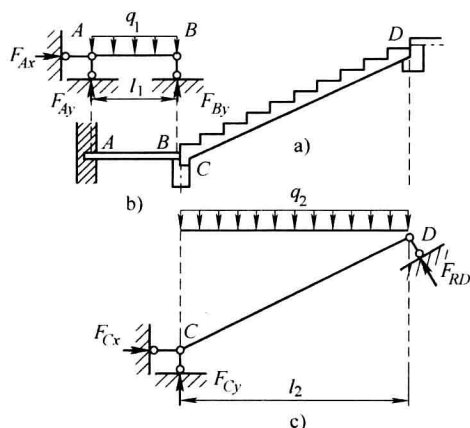


图 1-5 楼梯板的简化

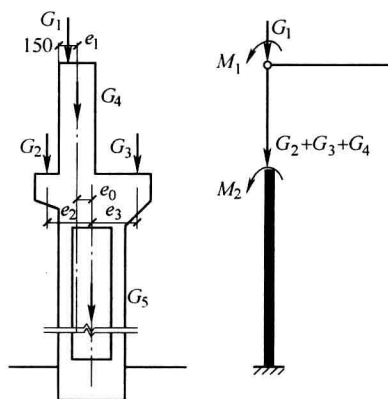


图 1-6 排架柱的简化

3. 杆件间连接的简化

结构中两个或两个以上的杆件间的连接区简化为杆轴线的汇交点，称为结点。根据支承情况和连接构造措施，杆件连接理想化为铰结点、刚结点和组合结点，如图 1-7 所示。铰结点为各杆在结点处互不分离，但可以自由转动，即铰结点可以承受和传递力，但不能承受和传递力矩，如木屋架的结点，非整体浇筑的次梁、板与其支承构件的连接部位。刚结点为各杆在结点处既不能相对移动，也不能相对转动，即刚结点不仅能承受和传递力，而且能承受和传递力矩，如现浇混凝土结构和装配整体式结构的梁柱结点、柱与基础连接处等。组合结点是铰结点和刚结点的组合形式，也称为半铰结点，其特征是所联结的杆件在结点处不能发生相对移动，其中一部分杆件为刚接，各杆端还不能相对转动，而其余杆件为铰接，可以绕结点转动。

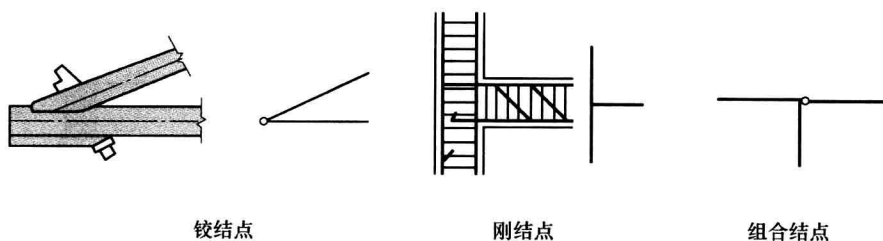


图 1-7 杆件间的连接

在确定结点简图时，除要考虑结点的构造情况外，还要考虑结构的几何组成情况。如工程中的钢桁架和钢筋混凝土桁架，虽然从结点构造上看接近于刚结点，但其受力状态却与一般刚架不同，因为其几何构造是桁架，几何不变性不依靠结点的刚性，因此结点处弯矩很小。也就是说，轴力是主要的，弯曲内力是次要的，把各结点简化为铰结点，按理想桁架计算主要内力是合理的，如图 1-8 所示。但空腹梁则不同，如果把所有刚结点都改为铰结点，则不能维持几何不变，其承载性能依赖于结点的刚性，所以结点必须取为刚结点，按刚架计算。