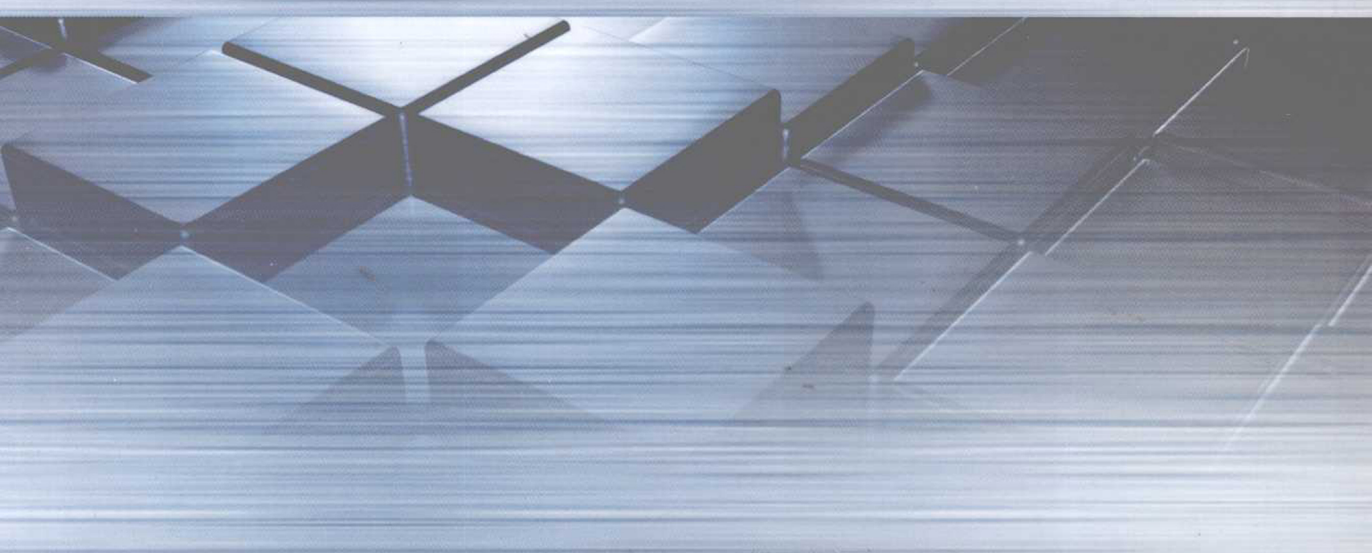


手把手教你学设计系列丛书

混凝土 结构设计

HunNingTu
JieGou SheJi



上官子昌 经东风 王新明 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



手把手教你学设计系列丛书

混凝土结构设计

上官子昌 经东风 王新明 等编著



机械工业出版社

本书与国家现行规范、标准、规程相一致，主要介绍了混凝土结构设计过程中所涉及的知识，对于保证混凝土结构的设计深度和设计质量具有很强的实用性和指导性。本书主要介绍了混凝土结构设计概述、混凝土梁板结构设计、单层厂房结构设计、混凝土框架结构设计和高层建筑结构设计等内容。

本书可作为土木工程专业的专业基础课教材，也可作为从事混凝土结构设计、制作和监理技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构设计/上官子昌等编著. —北京: 机械工业出版社, 2012. 4
(手把手教你学设计系列丛书)

ISBN 978-7-111-37493-0

I. ①混… II. ①上官… III. ①混凝土结构—结构设计 IV. ①TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 025511 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: 闫云霞 责任编辑: 闫云霞 陈将浪

版式设计: 霍永明 责任校对: 张 媛

封面设计: 马精明 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)

2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.25 印张 · 424 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-37493-0

定价: 58.00 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

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国经济的飞速发展，城市面貌日新月异，一栋栋高楼大厦拔地而起，同时建筑功能也不断丰富，造型也越来越新颖，使工程设计越来越复杂。目前，国家修订并颁布了《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010），为使读者对新规范的内容能快速理解、掌握和应用，适应混凝土结构广泛应用的新局面，我们组织了混凝土设计方面的专业人员编写了此书。

混凝土结构是土木工程中广泛使用的一种结构，本书依据现行的《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）、《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）和《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ 3—2010）编写，具有很强的针对性和实用性。本书理论与实践相结合，更注重实际经验的运用；在结构体系上重点突出、详略得当，还注意了知识的融贯性，突出了整合性；而且体例新颖，由浅入深，循序渐进，通俗易懂，容易上手。

本书可作为土木工程专业的专业基础课教材，也可作为从事混凝土结构设计、施工和监理技术人员的参考用书。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中缺点和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

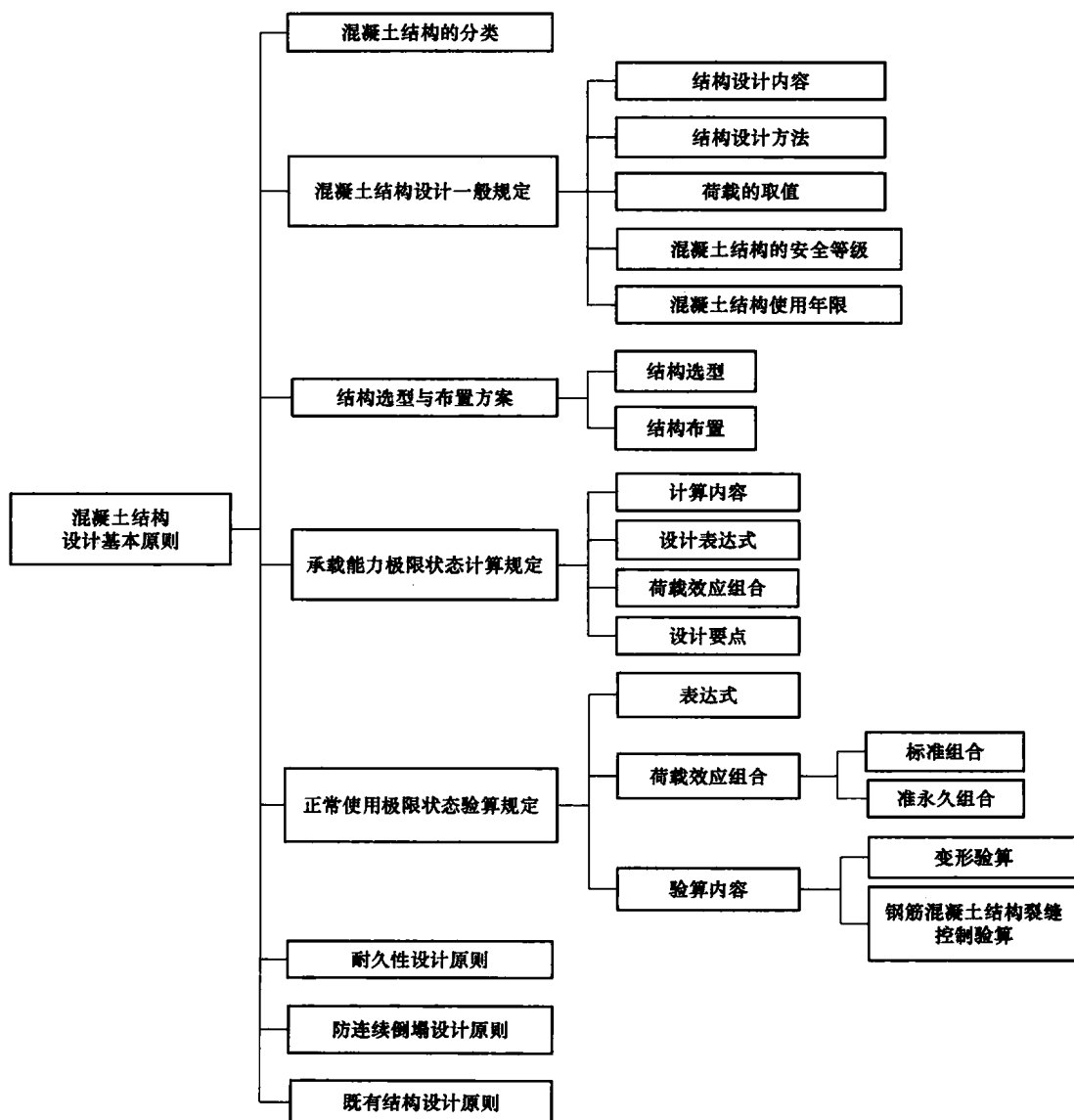
第一章 混凝土结构设计概述	1
第一节 混凝土结构设计基本原则	1
第二节 混凝土结构分析	15
第二章 混凝土梁板结构设计	21
第一节 概述	21
第二节 单向板肋梁楼盖设计	26
第三节 双向板肋梁楼盖设计	50
第四节 现浇无梁楼盖设计	58
第五节 楼梯设计	70
第三章 单层厂房结构设计	83
第一节 单层厂房结构的组成与布置	83
第二节 排架结构内力分析	98
第三节 单层厂房排架柱设计	118
第四节 柱下独立基础设计	127
第四章 混凝土框架结构设计	135
第一节 框架结构的组成和结构布置	135
第二节 框架结构计算简图及荷载计算	141
第三节 荷载作用下框架结构内力及侧	

移计算	146
第四节 荷载效应组合和构件设计	159
第五节 框架结构构造要求	163
第六节 多层框架柱下基础	168
第五章 高层建筑结构设计	177
第一节 高层建筑结构体系结构布置	177
第二节 高层建筑结构荷载及地震作用	186
第三节 高层建筑结构设计要求与计算	200
第四节 混凝土剪力墙结构设计	207
第五节 混凝土框架-剪力墙结构设计	227
第六节 筒体结构设计	235
附录	245
附录 A 近似计算偏压构件侧移二阶效应的增大系数法	245
附录 B 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数	246
附录 C 双向板弯矩、挠度计算系数	255
附录 D 框架柱反弯点高度比	259
参考文献	266

第一章 混凝土结构设计概述

第一节 混凝土结构设计基本原则

本节导读：



【详 解】

◆混凝土结构的分类

1. 混凝土竖向结构

(1) 结构特点。建筑结构主要是承受垂直荷载和水平荷载。垂直荷载要求结构具有足够的抗压强度, 水平荷载则要求结构具有足够的抗弯强度、抗剪强度及刚度和延性。层数越高, 水平荷载的作用就越突出。不同结构类型所能承受的水平荷载的能力不同, 因此它们拥有各自的特点和适用范围。

(2) 纯框架结构。纯框架结构是由柱和梁、板所组成的承重结构。由于纯框架结构不设承重墙, 建筑平面布置灵活, 所以可以形成较大的空间, 特别适用于各类公共建筑和仓库、车间。如果柱间梁的高度压缩到与楼板同样的高度, 则成为楼板内的暗梁, 称为板柱体系, 其平面布置更趋灵活, 层高也可以适当降低。

纯框架结构的优点为承受垂直荷载能力强; 缺点为抵抗水平荷载的能力较低, 侧向刚度差, 水平位移大。高烈度地震区一般不宜采用纯框架结构建造高层建筑。

(3) 剪力墙结构。剪力墙结构是由承重墙和楼板组成的承重结构, 以承重墙代替框架中的梁、柱来承受建筑物的垂直荷载和水平荷载。由于建筑结构的承重墙除了要承受由垂直荷载所产生的竖向压力外, 还要承受由水平荷载所产生的剪力和弯矩, 所以称为剪力墙。

剪力墙结构较框架结构承受水平荷载的能力强, 刚度大, 水平位移小。剪力墙的建造层数一般比纯框架结构要多。剪力墙既可以作为承重墙, 又可以作为围护墙。

剪力墙结构的灵活性不如框架结构但可进行改善:

1) 改善途径之一是适当扩大承重墙的间距, 采用大开间: 如住宅的开间由 2.4 ~ 4.2m 发展到 4.8 ~ 7.2m, 分户墙仍为承重墙, 户内分室墙采用轻隔墙; 旅馆的客房开间由 3.3 ~ 4.5m 发展到 6.6 ~ 9.0m, 每两间设一道承重墙和一道轻隔墙。

2) 改善途径之二是减少承重内纵墙, 以增加进深方向的灵活性。

为解决住宅、旅馆等高层剪力墙结构的底层设置商店、餐厅、门厅与会议厅等大空间的需要, 可采用底层为部分框架、上部标准为剪力墙的框支剪力墙结构, 如图 1-1 所示。

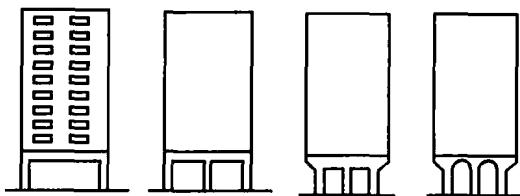


图 1-1 框支剪力墙结构剖面

在地震区, 不允许采用底层为纯框架的鸡腿式框支剪力墙结构, 而应将一部分剪力墙落地以形成封闭筒体, 成为象腿式框支剪力墙结构。落地剪力墙的间距 L 不宜大于建筑物宽度 B 的 2.5 倍, 如图 1-2 所示。

(4) 框架-剪力墙结构。在框架结构中设置一部分剪力墙, 形成由框架和剪力墙共同作用的框架-剪力墙结

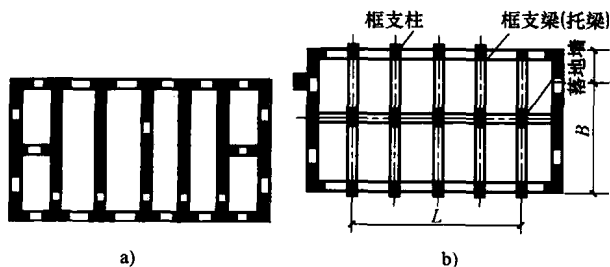


图 1-2 底层大空间剪力墙结构平面

构。框架-剪力墙结构与框架结构相比,增强了抵抗水平荷载的能力,提高了侧向刚度;基本保持了平面布置灵活的优点。房屋的垂直荷载通过楼板分别由框架和剪力墙共同承担,而水平荷载则主要由剪力墙承担。

(5) 筒体结构。筒体结构是由框架结构和剪力墙结构发展而成的一种空间结构,由若干片纵、横交接的框架或剪力墙与楼板连接,围成筒状封闭骨架。

筒体结构由于具有承受水平荷载的良好刚度,并能形成较大的使用空间,故多用于较高的建筑物。

筒体结构可分为框架-筒体、筒中筒和组合筒(我国目前采用前两种筒体结构较多),其中组合筒包括成束筒和成组筒,如图1-3所示。

框架-筒体结构的内筒结构是指在建筑的平面中心部分形成由电梯井、楼梯间、管道间和服务间等组成的筒体,而建筑物的周围为一般柱距的框架,并由内筒承受主要的水平荷载和一部分垂直荷载;外框架仅承受另一部分垂直荷载和很小的水平荷载。

筒中筒结构由内筒和外筒组合而成,通过楼板协同工作,可以共同承担很大的水平荷载。外框架密柱的间距一般在3m以内。内筒通常为单筒,也有采用双层筒或三层筒的,如香港合和中心的内筒即为三层筒,外筒直径48m,柱距3.05m,最大内筒直径22m。

成束筒是由若干单元筒集中成一体,从而形成刚度极大的空间结构,如芝加哥西尔斯大厦就是由9个方形筒组成,每个筒的平面尺寸为22.9m×22.9m,整个建筑的平面尺寸为68.7m×68.7m。

成组筒是若干个单筒通过楼面组合而成的空间结构。

此外,还可在内筒的周围按照客房或办公的需要设置剪力墙,形成剪力墙-筒体结构,如图1-4所示。

2. 混凝土水平结构

(1) 有梁楼盖。框架结构的传统做法是采用有梁楼盖,大柱网常采用主梁→次梁→楼板的顺序做法,优点是楼板厚度较薄,刚度较好;缺点是梁的高度大,层高增大,不利于灵活布置平面,施工较复杂。

(2) 无梁楼盖。在框架和框架-剪力墙结构中,将梁高降至与楼板同一高度,形成楼板中的暗梁,故称为板柱结构;在剪力墙结构中通常采用无梁平板,称为板墙结构。

为了保证结构的水平刚度,采用平板式楼盖需有一定的厚度,板柱结构中设柱帽的最小厚度为12cm;无柱帽的最小厚度为15cm。大跨度无梁楼盖(筒体结构和板柱结构)为了减轻自重和增加楼盖自身的结构刚度,多采用无粘结预应力混凝土楼盖(单向或双向),跨度可达到6~12m。

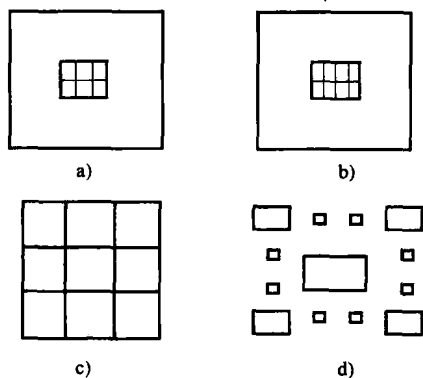


图1-3 各种筒体典型平面

a) 框架-筒体 b) 筒中筒
c) 成束筒 d) 成组筒

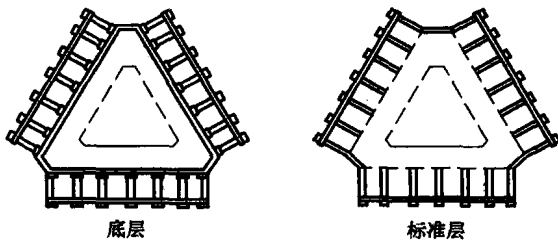


图1-4 剪力墙-筒体结构示意图

(3) 密肋楼盖。密肋楼盖是由薄板与小梁组成，小梁的截面小且密，故称为密肋。密肋可以是单向支承，也可以是双向支承（图 1-5），板的厚度可小至 5cm。这种楼盖一般用于大柱网的厅、书库和阅览室等。

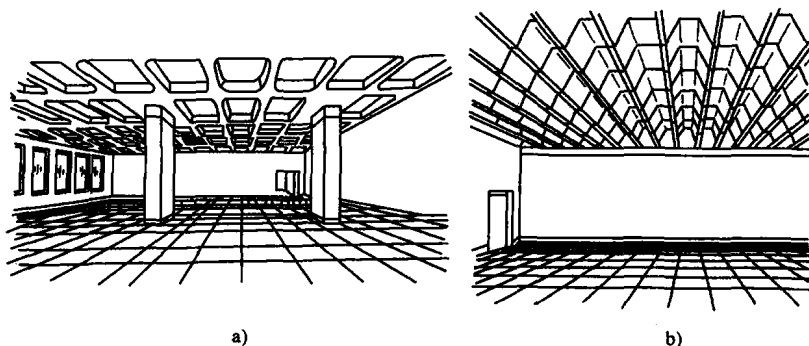


图 1-5 密肋楼板

a) 双向 b) 单向

(4) 叠合楼板。叠合楼板是由预制板和现浇钢筋混凝土层叠合而成的装配整体式楼板。在现浇叠合层内可敷设水平设备管线。

◆ 混凝土结构设计一般规定

1. 结构设计内容

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。
- (2) 作用及作用效应分析。
- (3) 结构的极限状态设计。
- (4) 结构及构件的构造、连接措施。
- (5) 对耐久性、施工的要求。
- (6) 满足特殊要求结构的专门性能设计。

2. 结构设计方法

混凝土结构采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以可靠指标 β 来度量它的可靠度，采用分项系数的设计表达式进行设计。只要按照设计规范规定的方法进行计算，混凝土结构自然就具有相应的可靠度。

结构的极限状态是指整个结构或它的一部分能够满足设计规定功能的特定状态；当超过这个特定状态时，结构即不能满足这些功能要求。设计规范中的极限状态分为两种：

(1) 承载能力极限状态。相应于结构或结构构件达到最大承载力、出现疲劳破坏或不适于继续承载的变形，或结构的连续倒塌。

(2) 正常使用极限状态。相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。

3. 荷载的取值

(1) 结构上的直接作用（荷载）应根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2001）（以下简称《荷载规范》）及相关标准确定；地震作用应根据现行国家标准

《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010) 确定。

(2) 间接作用和偶然作用应根据有关的标准或具体条件确定。

(3) 直接承受起重机荷载的结构构件应考虑起重机荷载的动力系数。预制构件在制作、运输及安装时应考虑相应的动力系数。对现浇结构, 必要时应考虑施工阶段的荷载。

4. 混凝土结构的安全等级

混凝土结构的安全等级应符合现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008) 的规定; 房屋建筑结构的安全等级应根据结构破坏可能产生后果的严重性按表 1-1 划分。

表 1-1 房屋建筑结构的安全等级

安全等级	破坏后果	示 例
一级	很严重: 对人的生命、经济、社会或环境影响很大	大型的公共建筑等
二级	严重: 对人的生命、经济、社会或环境影响较大	普通的住宅和办公楼等
三级	不严重: 对人的生命、经济、社会或环境影响较小	小型或临时性储存建筑等

注: 房屋建筑结构抗震设计中的甲类建筑和乙类建筑, 其安全等级宜规定为一级; 丙类建筑, 其安全等级宜规定为二级; 丁类建筑, 其安全等级宜规定为三级。

混凝土结构中各类结构构件的安全等级, 宜与整个结构的安全等级相同。对其中部分结构构件的安全等级, 可根据其重要程度进行适当调整。对于结构中的重要构件和关键传力部位, 宜适当提高其安全等级。

5. 混凝土结构使用年限

混凝土结构的设计使用年限应符合现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008) 的规定:

(1) 房屋建筑结构的设计基准期为 50 年。

(2) 房屋结构设计使用年限应按表 1-2 采用。

表 1-2 房屋结构设计使用年限

类 别	设计使用年限/年	示 例
1	5	临时性建筑结构
2	25	易于替换的结构构件
3	50	普通房屋和建筑物
4	100	标志性建筑和特别重要的建筑结构

设计应明确结构的用途, 在设计使用年限内未经技术鉴定或设计许可, 不得改变结构的用途和使用环境。

◆ 结构选型与布置方案

1. 结构选型

结构选型包括上部结构选型和地基基础选型, 主要根据建筑物的功能要求、建筑场地的工程地质条件、现场施工条件、工期要求和环境要求, 经综合的分析比较加以确定, 做到既满足使用要求、结构受力性能好, 又施工方便、经济合理。

2. 结构布置

结构布置包括定位轴线布置、构件布置和设置变形缝。

(1) 定位轴线布置。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。

(2) 构件布置。结构构件的布置应在满足使用要求的前提下，沿结构的平面和竖向，应尽可能简单、规则、对称，避免承载力和刚度发生突变。而且荷载的传递路线应当明确，结构计算简图简明易于确定。

(3) 设置变形缝。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。

1) 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的裂缝或变形。当建筑物的平面尺寸较大时，应考虑设置伸缩缝。

2) 在地基土的压缩性较大且不均匀或者建筑体型复杂，房屋高度或荷载差异较大时，应在适当部位用沉降缝将其划分为若干个独立的结构单元。

3) 在地震区，为避免强震发生时建筑物的各结构单元因体形不同发生相互碰撞而导致房屋破坏，应考虑设置防震缝。

由于变形缝的设置会给建筑使用和建筑平面及立面的处理带来不少麻烦，因此应通过平面布置、结构构造和施工措施尽量不设置变形缝或少设置变形缝。

◆ 承载能力极限状态计算规定

1. 承载能力极限状态计算内容

混凝土结构的承载能力极限状态计算应包括下列内容：

- (1) 结构构件应进行承载力（包括失稳）计算。
- (2) 直接承受重复荷载的构件应进行疲劳验算。
- (3) 有抗震设防要求时，应进行抗震承载力计算。
- (4) 必要时还应进行结构的倾覆、滑移和漂浮验算。
- (5) 对于可能遭受偶然作用，且倒塌可引起严重后果的重要结构，宜进行防连续倒塌设计。

2. 承载能力极限状态设计表达式

对持久设计状况、暂短设计状况和地震设计状况，当用内力的形式表达时，结构构件应采用下列承载能力极限状态设计表达式

$$\gamma_0 S \leq R \quad (1-1)$$

$$R = \frac{R(f_c, f_s, a_k, \dots)}{\gamma_{Rd}} \quad (1-2)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数；在持久设计状况和短暂设计状况下，对安全等级为一级的结构构件不应小于 1.1，对安全等级为二级的结构构件不应小于 1.0，对安全等级为三级的结构构件不应小于 0.9；在地震设计状况下不应小于 1.0；

S ——承载能力极限状态下作用组合的效应设计值；对持久设计状况和暂短设计状况按作用的基本组合计算；对地震设计状况按作用的地震组合计算；

R ——结构构件的抗力设计值；

R ——结构构件的抗力函数；

γ_{Rd} ——结构构件的抗力模型不定性系数，对静力设计，一般结构构件取 1.0，重要结构构件或不确定性较大的结构构件根据具体情况取大于 1.0 的数值；对抗震设计，采用承载力抗震调整系数 γ_{RE} 代替 γ_{Rd} 的表达形式；

f_c 、 f_s ——混凝土、钢筋的强度设计值；

α_k ——几何参数的标准值；当几何参数的变异性对结构性能有明显的不利影响时，可另增减一个附加值。

3. 荷载效应组合

(1) 由可变荷载效应控制的组合

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ei} S_{Qik} \quad (1-3)$$

式中 γ_G ——永久荷载的分项系数，应按表 1-3 采用；

γ_{Qi} ——第 i 个可变荷载的分项系数，其中 γ_{Q1} 为可变荷载 Q_1 的分项系数，应按表 1-3 采用；

S_{Gk} ——按永久荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值；

S_{Qik} ——按可变荷载标准值 Q_k 计算的荷载效应值，其中 S_Q 为可变荷载效应中起控制作用的；

ψ_{ei} ——可变荷载 Q 的组合值系数，应分别按各章的规定采用；

n ——参与组合的可变荷载数。

表 1-3 基本组合的荷载分项系数

序 号	项 目	内 容
1	永久荷载的分项系数	1) 当其效应对结构不利时： ① 对由可变荷载效应控制的组合，取 1.2 ② 对由永久荷载效应控制的组合，取 1.35 2) 当其效应对结构有利时 ① 一般情况下，取 1.0 ② 对结构的倾覆、滑移或漂浮验算，取 0.9
2	可变荷载的分项系数	1) 一般情况下取 1.4 2) 对标准值大于 4kN/m^2 的工业房屋楼面结构的活荷载取 1.3

注：对于某些特殊情况，可按建筑结构有关设计规范的规定确定。

(2) 由永久荷载效应控制的组合

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ei} S_{Qik} \quad (1-4)$$

基本组合中的设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

当对 S_{Q1k} 无法明显判断时，可轮次以各可变荷载效应 S_{Qik} 为 S_{Q1k} ，选其中最不利的荷载效应组合为设计依据。

当考虑以竖向的永久荷载效应控制的组合时，参与组合的可变荷载仅限于竖向荷载。

(3) 对于一般排架、框架结构，基本组合可采用简化规则，并应按下列组合值中取最不利值确定：

1) 由可变荷载效应控制的组合

$$S = \gamma_c S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k}$$

$$S = \gamma_c S_{Gk} + 0.9 \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} S_{Qik} \quad (1-5)$$

2) 由永久荷载效应控制的组合仍按公式 (1-4) 式采用。

4. 承载能力极限状态设计要点

(1) 对二维、三维混凝土结构构件, 当按弹性或弹塑性方法分析并以应力形式表达时, 可将混凝土应力按区域等代成内力设计值, 按承载能力极限状态计算规定进行计算; 也可直接采用多轴强度准则进行设计验算。

(2) 对偶然作用下的结构进行承载能力极限状态设计时, 公式 (1-1) 中的作用效应设计值 S 按偶然组合计算, 结构重要性系数 γ_0 取不小于 1.0 的数值; 公式 (1-2) 中混凝土、钢筋的强度设计值 f_c 、 f_s 改用强度标准值 f_{ck} 、 f_{yk} (或 f_{pyk})。

当进行结构防连续倒塌验算时, 结构构件的承载力函数按《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 中的防连续倒塌设计原则确定。

(3) 对既有结构的承载能力极限状态设计, 应按下列规定进行:

1) 对既有结构进行安全复核、改变用途或延长使用年限而验算承载能力极限状态时, 应符合承载能力极限状态计算规定。

2) 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》(GB 50010—2010) 中既有结构设计原则的规定。

◆ 正常使用极限状态验算规定

1. 正常使用极限状态验算表达式

(1) 混凝土结构构件应根据其使用功能及外观要求, 按下列规定进行正常使用极限状态验算:

- 1) 对需要控制变形的构件, 应进行变形验算。
- 2) 对使用上限制出现裂缝的构件, 应进行混凝土拉应力验算。
- 3) 对允许出现裂缝的构件, 应进行受力裂缝宽度验算。
- 4) 对有舒适度要求的楼盖结构, 应进行竖向自振频率验算。

(2) 对于正常使用极限状态, 钢筋混凝土构件、预应力混凝土构件应分别按荷载的准永久组合并考虑长期作用的影响或标准组合并考虑长期作用的影响, 采用下列极限状态设计表达式进行验算

$$S \leq C \quad (1-6)$$

式中 S ——正常使用极限状态的荷载组合的效应设计值;

C ——结构构件达到正常使用要求所规定的变形、应力、裂缝宽度和自振频率等的限值。

2. 荷载效应组合

在计算正常使用极限状态的荷载效应组合值 S 时, 应首先确定荷载效应的标准组合与准永久组合。荷载效应的标准组合和准永久组合应按下列规定计算:

(1) 标准组合

$$S = S_{Gk} + S_{Qik} + \sum_{i=2}^n \psi_{ei} S_{Qik} \quad (1-7)$$

(2) 准永久组合

$$S = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (1-8)$$

式中 ψ_{ei} , ψ_{qi} ——第 i 个可变荷载的组合值系数和准永久值系数。

必须指出, 在荷载效应的准永久组合中, 仅包括在整个使用期内出现时间很长的荷载效应值, 也就是荷载效应的准永久值 $\psi_{qi} S_{ik}$; 而在荷载效应的标准组合中, 既包括在整个使用期内出现时间很长的荷载效应值, 又包括出现时间不长的荷载效应值, 所以荷载效应的标准组合值出现的时间是不长的。

3. 验算内容

正常使用极限状态的验算内容包括变形验算和裂缝控制验算 (抗裂验算和裂缝宽度验算)。

(1) 变形验算。钢筋混凝土受弯构件的最大挠度应按荷载效应的准永久组合计算, 预应力混凝土受弯构件的最大挠度应按荷载效应的标准组合计算, 并考虑荷载长期作用影响的最大挠度 $f_{\max}$ 不应超过挠度限值 $f_{\lim}$ (表 1-4), 即

$$f_{\max} \leq f_{\lim} \quad (1-9)$$

表 1-4 受弯构件的挠度限值

构件类型	挠度限值
吊车梁: 手动起重机	$l_0/500$
电动起重机	$l_0/600$
屋盖、楼盖及楼梯构件:	
当 $l_0 < 7\text{m}$ 时	$l_0/200$ ($l_0/250$)
当 $7 \leq l_0 \leq 9\text{m}$ 时	$l_0/250$ ($l_0/300$)
当 $l_0 > 9\text{m}$ 时	$l_0/300$ ($l_0/400$)

注: 1. 表中 l_0 为构件的计算跨度; 计算悬臂构件的挠度限值时, 其计算跨度 l_0 按实际悬臂长度的两倍取用。

2. 表中括号内的数值适用于使用上对挠度有较高要求的构件。

3. 如果构件制作时预先起拱, 且使用上也允许, 则在验算挠度时可将计算所得的挠度值减去起拱值; 对预应力混凝土构件, 还可减去预加力所产生的反拱值。

4. 构件制作时的起拱值和预加力所产生的反拱值, 不宜超过构件在相应荷载组合作用下的计算挠度值。

(2) 钢筋混凝土结构裂缝控制验算

1) 受力裂缝控制验算。结构构件正截面的受力裂缝控制等级分为三级。在直接作用下, 结构构件的裂缝控制等级划分及要求应符合下列规定:

① 一级: 严格要求不出现裂缝的构件, 按荷载标准组合计算时, 构件受拉边缘混凝土不应产生拉应力。混凝土构件边缘的拉应力 σ_{tek} 应满足

$$\sigma_{\text{tek}} \leq 0 \quad (1-10)$$

② 二级: 一般要求不出现裂缝的构件, 按荷载标准组合计算时, 构件受拉边缘混凝土的拉应力不应大于混凝土抗拉强度的标准值, 即

$$\sigma_{\text{tek}} \leq f_{t,k} \quad (1-11)$$

式中 $f_{t,k}$ ——混凝土轴心抗拉强度标准值。

按荷载效应准永久组合计算时, 构件受拉边缘混凝土的拉应力应满足

$$\sigma_{\text{tek}} \leq 0 \quad (1-12)$$

当有可靠经验时可适当放宽要求。

③ 三级: 允许出现裂缝的构件, 对钢筋混凝土构件, 按荷载准永久组合并考虑长期作用影响计算时, 构件的最大裂缝宽度不应超过表 1-5 规定的最大裂缝宽度限值; 对预应力混凝土构件, 按荷载标准组合并考虑长期作用的影响计算时, 构件的最大裂缝宽度不应超过表 1-5 规定的最大裂缝宽度限值; 对二 a 类环境的预应力混凝土构件, 还应按荷载准永久组合计算, 构件受拉边缘混凝土的拉应力不应大于混凝土的抗拉强度标准值, 即

$$w_{\max} \leq w_{\lim} \quad (1-13)$$

2) 楼盖结构验算。对混凝土楼盖结构应根据使用功能的要求进行竖向自振频率验算, 并宜符合下列要求:

- ① 住宅和公寓不宜低于 5Hz。
- ② 办公楼和旅馆不宜低于 4Hz。
- ③ 大跨度公共建筑不宜低于 3Hz。

表 1-5 结构构件的裂缝控制等级和最大裂缝宽度限值 (单位: mm)

环境类别	钢筋混凝土结构		预应力混凝土结构	
	裂缝控制等级	w_{lim}	裂缝控制等级	w_{lim}
—	三级	0.30 (0.40)	三级	0.20
二 a		0.20		0.10
二 b			二级	—
三 a、三 b			一级	—

注: 1. 对处于年平均相对湿度小于 60% 的地区的受弯构件, 其最大裂缝宽度限值可采用括号内的数值。

2. 在一类环境下, 对于钢筋混凝土屋架、托架及需进行疲劳验算的吊车梁, 其最大裂缝宽度限值应取 0.2mm; 对于钢筋混凝土屋面梁和托梁, 其最大裂缝宽度限值应取 0.3mm。
3. 在一类环境下, 对于预应力混凝土屋面梁、托梁、屋架、托架、屋面板和楼板, 应按二级裂缝控制等级进行验算; 在一、二类环境下, 对于需进行疲劳验算的预应力混凝土吊车梁, 应按一级裂缝控制等级进行验算。
4. 表中规定的预应力混凝土构件的裂缝控制等级和最大裂缝宽度限值仅适用于正截面的验算; 预应力混凝土构件的斜截面裂缝控制验算应符合《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 中正常使用极限状态验算的有关规定。
5. 对烟囱、筒仓和处于液体压力下的结构构件, 其裂缝控制要求应符合专门标准的有关规定。
6. 对处于四、五类环境下的结构构件, 其裂缝控制要求应符合专门标准的有关规定。
7. 表中的最大裂缝宽度限值适用于验算荷载作用引起的最大裂缝宽度。

◆ 耐久性设计原则

(1) 混凝土结构应根据设计使用年限和环境类别进行耐久性设计, 耐久性设计包括下列内容:

- 1) 确定结构所处的环境类别。
- 2) 提出材料的耐久性质量要求。
- 3) 确定构件中钢筋的混凝土保护层厚度。

- 4) 满足耐久性要求相应的技术措施。
- 5) 在不利的环境条件下应采取的防护措施。
- 6) 提出结构使用阶段检测与维护的要求。

对临时性的混凝土结构,可不考虑混凝土的耐久性要求。

混凝土结构的环境类别划分应符合表 1-6 的要求。

(2) 设计使用年限为 50 年的混凝土结构,其混凝土材料应符合表 1-7 的规定。

表 1-6 混凝土结构的环境类别

环境类别	条 件
一	室内干燥环境;无侵蚀性静水浸没环境
二 a	室内潮湿环境;非严寒和非寒冷地区的露天环境;非严寒和非寒冷地区与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境;严寒和寒冷地区的冰冻线以下与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境
二 b	干湿交替环境;水位频繁变动环境;严寒和寒冷地区的露天环境;严寒和寒冷地区冰冻线以上与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境
三 a	严寒和寒冷地区冬季水位变动区环境;受除冰盐影响环境 海风环境
三 b	盐渍土环境;受除冰盐作用环境 海岸环境
四	海水环境
五	受人为或自然的侵蚀性物质影响的环境

注: 1. 室内潮湿环境是指构件表面经常处于结露或湿润状态的环境。

2. 严寒和寒冷地区的划分应符合国家现行标准《民用建筑热工设计规范》(GB 50176—1993)的有关规定。

3. 海岸环境和海风环境宜根据当地情况,考虑主导风向及结构所处迎风、背风部位等因素的影响,由调查研究和工程经验确定。

4. 受除冰盐影响环境为受到除冰盐盐雾影响的环境;受除冰盐作用环境指被除冰盐溶液喷射的环境及使用除冰盐地区的洗车房、停车楼等建筑。

表 1-7 结构混凝土材料的耐久性基本要求

环境等级	最大水胶比	最低强度等级	最大氯离子含量 (%)	最大碱含量/(kg/m ³)
一	0.60	C20	0.30	不限制
二 a	0.55	C25	0.20	3.0
二 b	0.50 (0.55)	C30 (C25)	0.15	
三 a	0.45 (0.50)	C35 (C30)	0.15	
三 b	0.40	C40	0.10	

注: 1. 氯离子含量指其占胶凝材料总量的百分比。

2. 预应力构件混凝土中的最大氯离子含量为 0.05%;最低混凝土强度等级应按表中的规定提高两个等级。

3. 素混凝土构件的水胶比及最低强度等级的要求可适当放松。

4. 有可靠工程经验时,二类环境中的最低混凝土强度等级可降低一个等级。

5. 处于严寒和寒冷地区二 b、三 a 类环境中的混凝土应使用引气剂,并可采用括号中的有关参数。

6. 当使用非碱性集料时,对混凝土中的碱含量可不进行限制。

(3) 混凝土结构及构件,还应采取加强耐久性的相应措施:

1) 预应力混凝土结构中的预应力筋应根据具体情况采取表面防护、管道灌浆和加大混

凝土保护层厚度等措施, 外露的锚固端应采取封锚和混凝土表面处理等有效措施。

2) 有抗渗要求的混凝土结构, 混凝土的抗渗等级应符合有关标准的要求。

3) 严寒及寒冷地区的潮湿环境中, 结构混凝土应满足抗冻要求, 混凝土抗冻等级应符合有关标准的要求。

4) 处于二、三类环境中的悬臂构件宜采用悬臂梁-板的结构形式, 或在其上表面增设防护层。

5) 处于二、三类环境中的结构构件, 其表面的预埋件、吊钩和连接件等金属部件应采取可靠的防锈措施。对于后张预应力混凝土外露金属锚具, 应采取可靠的防腐及防火措施, 并应符合下列规定:

① 无粘结预应力筋的外露锚具应采用注有足量防腐油脂的塑料帽封闭锚具端头, 并应采用无收缩砂浆或细石混凝土封闭。

② 对处于二 b、三 a、三 b 类环境条件下的无粘结预应力锚固系统, 应采取全封闭的防腐蚀体系, 其封锚端及各连接部位应能承受 10kPa 的静水压力而不得透水。

③ 采用混凝土封闭时, 其强度等级宜与构件混凝土强度等级一致, 且不应低于 C30。封锚混凝土与构件混凝土应可靠粘接, 锚具在封闭前应将周围混凝土界面凿毛并冲洗干净, 且宜配置 1~2 片钢筋网, 钢筋网应与构件混凝土拉结。

④ 采用无收缩砂浆或混凝土封闭保护时, 其锚具及预应力筋端部的保护层厚度不应小于: 一类环境时 20mm; 二 a、二 b 类环境时 50mm; 三 a、三 b 类环境时 80mm。

6) 处在三类环境中的混凝土结构构件, 可采用阻锈剂、环氧树脂涂层钢筋或其他具有耐腐蚀性能的钢筋、采取阴极保护措施或采用可更换的构件等措施。

(4) 一类环境中, 设计使用年限为 100 年的混凝土结构应符合下列规定:

1) 钢筋混凝土结构的最低强度等级为 C30; 预应力混凝土结构的最低强度等级为 C40。

2) 混凝土中的最大氯离子含量为 0.06%。

3) 宜使用非碱活性集料, 当使用碱活性集料时, 混凝土中的最大碱含量为 $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ 。

4) 混凝土保护层的最小厚度应符合表 1-8 的规定; 当采取有效的表面防护措施时, 混凝土保护层的最小厚度可适当减小。

表 1-8 混凝土保护层的最小厚度

(单位: mm)

环境类别	板、墙、壳	梁、柱、杆
一	15	20
二 a	20	25
二 b	25	35
三 a	30	40
三 b	40	50

注: 1. 混凝土强度等级不大于 C25 时, 表中保护层厚度的数值应增加 5mm。

2. 钢筋混凝土基础宜设置混凝土垫层, 基础中钢筋的混凝土保护层厚度应从垫层顶面算起, 且不应小于 40mm。

(5) 二、三类环境中, 设计使用年限为 100 年的混凝土结构应采取专门的有效措施。

(6) 耐久性环境类别为四类和五类的混凝土结构, 其耐久性要求应符合有关标准的规定。

(7) 混凝土结构在设计使用年限内还应遵守下列规定:

1) 建立定期检查、维修制度。