



白建方◎主编

SHIYONG JIANZHU
JIEGOU SHEJI

实用建筑 结构设计



化学工业出版社

白建方◎主编

SHIYONG JIANZHU
JIEGOU SHEJI

实用建筑 结构设计



化学工业出版社

·北京·

前言

建筑是供人们生产生活和其他活动的房屋或场所，各类建筑都离不开梁、板、墙、柱、基础等物体，它们相互连接形成建筑的骨架。建筑中由若干构件连接而成的能承受作用的平面或空间体系称为建筑结构。

通常，人们会把结构设计工作有意无意地高化，也可以叫神化，即把结构设计理解为一般人不能很好胜任的工作之一。在学校，结构设计也被认为是教科书中步骤繁琐的复杂设计作业。建筑工程等专业变更为土木工程专业的10年来，按照国家高等学校土木工程指导委员会制定的培养方案，学习土木工程专业的学生毕业后应该能够从事设计、施工、管理工作，而且涉及范围包括房屋建筑、公路与城市道路、铁路、矿山建筑等，实际上一人不可能多专，毕业生的专业技能掌握程度并不尽如人意，大部分同学参加工作后发现专业技能应从零开始学习。当然导致学生毕业后专业技能较差的因素还有很多，比如：工程建设的标准不够统一，建筑工程、铁路工程等各自有各自的行业标准；而学校专业课时在逐渐减少，计算机、英语、政治理论课增多；学生的总课时在减少等。诸多原因造成了学生的专业知识学得不够扎实，毕业后难以马上胜任工作。

从另一个角度来讲，目前社会上职业性培训是企业提高和发展的一个“图腾”，职业培训教材也就是来实现这个“图腾”的技术工具。市场上《建筑结构》国家规划教材版本可谓琳琅满目，建筑单一结构方面工具书每年都有更新，然而，真正适合住房和城乡建设领域《建筑结构》的相关图书还为数不多，我们这本书从知识深度上将源于教材，既不脱离《建筑结构》教材的轨道，又高于《建筑结构》教材，起到了衔接学校知识与实践能力的纽带作用，有一句话说得好，适合的就是最好的。

这本书在体例设计上采用了教材与工具书相结合的立体化风格。首先，从内容上一方面避免了教材的知识点多但偏于浅显，工具书内容又过于深涵的特点；另一方面又舍去了教材的古板、传统的方式，吸取教材清晰分明的特点，采用工具书相对较为活泼的体例格式，使读者不至于被枯燥、繁琐的设计思想所禁锢，即欲把结构设计的“复杂”用简练、易懂、醒目为主元素的表达方式呈现给广大读者朋友。

本书在内容阐述时有的放矢、详略得当。比如，国家规划的《建筑结构》教材囊括了建筑的所有结构，此次编写的这本《实用建筑结构设计》会对实际上应用较多且占现代建筑结构重要比例的混凝土结构、钢筋混凝土结构多着笔墨，而对应用较少的结构体系则少讲或不讲。另外，对于每一结构体系，分别从该结构所用的材料性质、构造体系、设计计算方法以及抗震方面依次进行较为详细的讲解。

本书编写过程中得到了相关专业人士的支持和帮助，其中，杨晓方、孙兴雷、李红芳、刘彦林、杨静林、张素景、马立棉、张计英等也参与了本书的编写，在此表示衷心的感谢，鉴于时间所限，书中难免有疏漏之处，希望广大读者朋友见谅，并给予建议及支持。

编者
2011年8月

目 录

第一章 结构设计概述	1
第一节 结构设计的基本原则.....	1
一、结构分类及应用.....	1
二、结构的功能要求.....	1
第二节 结构设计准则.....	2
一、建筑结构的极限状态.....	2
二、承载能力极限状态计算.....	3
三、正常使用极限状态计算.....	4
四、混凝土结构方案.....	6
五、结构抗倒塌设计.....	7
六、耐久性验算.....	8
七、既有结构的设计	10
强化训练台	10
第二章 砌体结构	11
第一节 砌体及其基本材料力学性能	11
一、砌体结构的特点	11
二、砌体的分类	12
三、砌体材料	13
四、砌体的力学性能	15
第二节 砌体结构构件承载力计算	19
一、无筋砌体受压构件	19
二、无筋砌体局部受压	21
三、无筋砌体轴心受拉构件	24
四、网状配筋砖砌体	24
第三节 砌体的构造要求	26
一、墙、柱高厚比的验算	26
二、过梁	28
三、墙梁	29
四、多层砌体房屋结构	34
强化训练台	38
第三章 钢筋和混凝土的力学性能	40
第一节 钢筋的性能及要求	40
一、钢筋的分类	40
二、钢筋的强度和变形	40
三、钢筋的塑性性能	44
四、混凝土结构对钢筋性能的要求	45

五、钢筋的选用	45
第二节 混凝土的力学性能	47
一、混凝土的强度	47
二、混凝土的变形	49
第三节 钢筋与混凝土之间的黏结	52
一、黏结作用	52
二、黏结强度	52
三、影响黏结强度的因素	55
强化训练台	55
第四章 钢筋混凝土构件	56
第一节 受弯构件	56
一、受弯构件正截面承载力计算	56
二、受弯构件斜截面承载力计算	81
第二节 受压构件	88
一、受压构件概述	88
二、轴心受压构件承载力计算	90
三、偏心受压构件承载力计算	92
第三节 受扭构件	104
一、纯扭构件承载力计算	104
二、弯剪扭构件承载力计算	107
第四节 受拉构件	116
一、轴心受拉构件承载力计算	116
二、偏心受拉构件承载力计算	117
第五节 受冲切承载力计算	120
第六节 局部受压承载力计算	125
第七节 构件裂缝宽度及疲劳验算	127
一、裂缝宽度的验算	127
二、构件变形的验算	133
三、疲劳验算	136
强化训练台	140
第五章 预应力混凝土构件	142
第一节 预应力混凝土构造概述	142
一、预应力混凝土的简介	142
二、先张法应力混凝土构造要求	144
三、后张法应力混凝土构造要求	145
第二节 张拉控制应力	148
一、张拉控制应力概述	148
二、预应力损失	148
第三节 预应力混凝土轴心受拉构件计算	151
一、使用阶段的计算	151
二、施工阶段的验算	154
强化训练台	154

第六章 楼台、楼梯、阳台及雨篷	155
第一节 楼盖	155
一、钢筋混凝土平面楼盖概述	155
二、单向板肋梁楼盖的设计	156
三、双向板肋梁楼盖的设计	163
四、装配式楼盖的设计	168
第二节 楼梯	173
一、现浇梁式楼梯	173
二、现浇板式楼梯	175
第三节 悬挑构件	179
强化训练台	180
第七章 钢结构	181
第一节 钢结构及其材料	181
一、钢结构的类型及特点	181
二、钢材的主要性能	182
三、钢材的品种及规格	184
第二节 钢结构的连接	186
一、焊接连接	187
二、螺栓连接的设计与计算	196
三、铆钉连接	201
第三节 钢构件的计算	201
一、受弯构件的计算	201
二、轴心受力构件计算	211
三、拉弯构件和压弯构件的计算	212
第四节 钢屋盖	215
一、钢屋架	215
二、托架	217
三、天窗架	217
四、檩条	218
五、屋盖支撑	219
强化训练台	221
第八章 钢筋混凝土单层厂房排架结构	222
第一节 单层厂房结构布置	222
一、单层厂房的结构组成	222
二、单层厂房的结构布置形式	224
第二节 单层厂房排架结构计算	230
一、计算假设	230
二、荷载计算	231
三、内力计算	235
四、控制截面和内力组合	237
五、柱的设计	238
强化训练台	249

第九章 多高层框架结构	250
第一节 多高层框架结构体系.....	250
第二节 多高层框架结构的布置原则.....	254
第三节 多高层框架结构计算.....	255
一、计算简图.....	255
二、荷载计算.....	255
三、非抗震设防的框架结构构造要求.....	256
四、抗震设防的框架结构构造要求.....	260
强化训练台.....	261
第十章 建筑结构抗震设计	262
第一节 建筑结构抗震设防.....	262
一、建筑抗震设防分类.....	262
二、建筑抗震设防标准.....	262
三、建筑抗震设防的原则.....	263
四、建筑抗震概念设计.....	263
第二节 地基基础的抗震设计.....	266
第三节 多层框架结构的抗震设计.....	270
强化训练台.....	282
参考文献	283

第一章 结构设计概述



小说明

本章主要说明建筑结构设计的基本原则、任务和准则。

第一节 结构设计的基本原则

一、结构分类及应用

建筑结构是指建筑物中由若干个基本构件按照一定的组成规则，通过符合规定的连接方式所组成的能够承受并传递各种作用的空间受力体系，又称为骨架。建筑结构按承重结构所用材料可分为混凝土结构、砌体结构、钢结构和木结构等，按承重结构类型可分为框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构、排架结构、网架结构、悬索结构、壳体结构等。

砌体结构又称砖石结构，是砖砌体、砌块砌体、石砌体建造的结构的统称。砌体结构是我国建造工程中 20 世纪 90 年代之前最常用的结构形式，墙体结构中砖石砌体约占 95% 以上，主要应用于多层住宅、办公楼等民用建筑的基础、内外墙身、门窗过梁、墙柱等构件（在抗震设防烈度 6 度区，烧结普通砖砌体住宅可建成 8 层），跨度小于 24m 且高度较小的俱乐部、食堂及跨度在 15m 以下的中小型工业厂房，60m 以下的烟囱、料仓、地沟、管道支架和小型水池等。

混凝土结构是指由混凝土和钢筋两种基本材料组成的一种能共同作用的结构材料。自从 1824 年发明波特兰水泥、1850 年出现钢筋混凝土以来，混凝土结构已广泛应用于工程建设，如各类建筑工程、构筑物、桥梁、港口码头、水利工程、特种结构等领域。采用混凝土作为建筑结构材料，主要是因为混凝土的原材料（砂、石子等）来源丰富，钢材用量较少，结构承载力和刚度大，防火性能好，造价便宜。钢筋混凝土技术于 1903 年传入我国，现在已成为我国发展高层建筑的主要材料。随着科学技术的进步，钢与混凝土组合结构也得到了很大发展，并已应用到超高层建筑中。其构造有型钢外包混凝土构件，简称刚性混凝土结构；还有钢管内填混凝土构件，简称钢管混凝土结构。它们的主要优点是抗震性能比混凝土结构还要好。

钢结构是指建筑物的主要承重构件全部由钢板或型钢制成的结构。由于钢结构具有承载能力高、重量较轻、钢材材质均匀、塑性和韧性好、制造与施工方便、工业化程度高、拆迁方便等优点，所以它的应用范围相当广泛。目前，钢结构多用于工业与民用建筑中的大跨度结构、高层和超高层建筑、重工业厂房、受动力荷载作用的厂房、高耸结构以及一些构筑物等。

二、结构的功能要求

结构设计的目的是要使所设计的结构能够完成由其用途所决定的全部功能要求。结构的

功能要求包括以下几个方面。

(1) 安全性。结构在预定的使用期限内, 应能承受正常施工、正常使用时可能出现的各种荷载、强迫变形(如超静定结构的支座不均匀沉降)、约束变形(如由于温度及收缩引起的构件变形受到约束时产生的变形)等的作用。在偶然荷载(如地震、强风)作用下或偶然事件(如火灾、爆炸)发生时和发生后, 构件仅产生局部损坏, 不会发生连续倒塌现象。在自然灾害频发的今天, 安全性就显得尤为重要。

(2) 适用性。结构在正常使用的荷载作用下具有良好的工作性能, 如不发生影响正常使用的过大挠度、永久变形和动力效应(过大的振幅和振动), 不产生令使用者感到不安的裂缝宽度。

(3) 耐久性。结构在正常使用和正常维护的条件下, 在规定的环境中, 在预定的使用期限内应有足够的耐久性, 如不发生由于混凝土保护层碳化或氯离子的侵入导致的钢筋锈蚀而影响结构的使用寿命。

这些功能要求概括起来可以称为结构的可靠性, 即结构在规定的时间内(如设计使用年限为 50 年)、规定的条件下(正常设计、正常施工、正常使用和维修, 不考虑人为过失)完成其预定功能的能力。

(4) 经济性。为落实节能、降耗、减排、环保和可持续发展的基本国策, 要淘汰低强材料, 推广高强、高性能材料, 注重经济的节约性。

第二节 结构设计准则

一、建筑结构的极限状态

结构能够满足功能要求而且能够良好地工作, 称为结构“可靠”或“有效”。反之, 则称为结构“不可靠”或“失效”。区分结构工作状态可靠与失效的标志是“极限状态”。极限状态是结构或构件能够满足设计规定的某一功能要求的临界状态, 且有明确的标志及限值。超过这一界限, 结构或构件就不能再满足设计规定的该项功能要求, 而进入失效状态。根据功能要求, 结构的极限状态可分为以下两类。

1. 承载能力极限状态

结构或构件达到最大承载力或达到不适于继续承载的变形的极限状态, 结构在偶然作用下连续倒塌或大范围破坏为承载能力极限状态。当结构或构件出现下列状态之一时, 即认为超过了承载能力极限状态。

(1) 整个结构或其中的一部分作为刚体失去平衡(如倾覆、过大的滑移)。

(2) 结构构件或连接部位因材料强度被超过而遭破坏, 包括承受多次重复荷载构件产生的疲劳破坏(如钢筋混凝土梁受压区混凝土达到其抗压强度)。

(3) 结构构件或连接因产生过度的塑性变形而不适于继续承载(如受弯构件中的少筋梁)。

(4) 结构转变为机动体系(如超静定结构由于某些截面的屈服, 形成塑性铰使结构成为几何可变体系)。

(5) 结构或构件丧失稳定(如细长柱达到临界荷载发生压屈)。

(6) 地基丧失承载力而破坏。

2. 正常使用极限状态

结构或构件达到正常使用或耐久性的某项规定限值的极限状态或产生影响耐久性能的局

部损坏为正常使用极限状态。当结构或构件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变形（如梁产生超过了挠度限值的过大的挠度）。

(2) 影响正常使用或耐久性局部损坏（如不允许出现裂缝的构件开裂；允许出现裂缝的构件，其裂缝宽度超过了允许限值）。

(3) 影响正常使用的振动。

(4) 影响正常使用的其他特定状态（如由于钢筋锈蚀产生的沿钢筋的纵向裂缝）。

为提高使用质量，正常使用极限状态还包括舒适度的要求。

二、承载能力极限状态计算

在进行建筑结构设计时，应针对承载能力极限状态和正常使用极限状态，根据结构的特点和使用要求给出具体的标志和限值，以作为结构设计的依据。以对应于结构的各种功能要求的极限状态作为结构设计依据的设计方法，称为“极限状态设计法”。

(1) 在极限状态设计方法中，结构构件的承载力计算应采用下列表达式：

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

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

式中 γ_0 ——结构重要性系数，见表 1-1；

S ——承载能力极限状态的荷载效应组合设计值；

R ——结构构件的承载力设计值，在抗震设计时，应除以承载力抗震调整系数 γ_{RE} ；

$R(\cdot)$ ——结构构件的抗力函数；

f_c, f_s ——混凝土、钢筋的强度设计值；

a_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；

r_{Rd} ——结构构件的抗力模型不定性系数，静力设计取 1.0，对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。抗震设计应用承载力抗震调整系数 r_{RE} 代替 r_{Rd} 。

表 1-1 构件设计使用年限及重要性系数 γ_0

设计使用年限或安全等级	示 例	γ_0
5 年及以下或安全等级为三级	临时性结构	≥ 0.9
50 年或安全等级为二级	普通房屋和构筑物	≥ 1.0
100 年及以上或安全等级为一级	纪念性建筑和特别重要的建筑结构	≥ 1.1

注：对于设计使用年限为 25 年的结构构件，各种材料结构设计规范可根据各自情况确定结构重要性系数 γ_0 取值。

(2) 由可变荷载效应控制的组合：

$$S = \gamma_G S_{G_k} + \gamma_{Q_1} S_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Q_i} \psi_{ci} S_{Q_{ik}} \quad (1-3)$$

式中 γ_G ——永久荷载的分项系数，应按表 1-2 采用；

γ_{Q_i} ——第 i 个可变荷载的分项系数，其中 γ_{Q_1} 为可变荷载 Q_1 的分项系数，应按表 1-2 采用；

S_{G_k} ——按永久荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值；

$S_{Q_{ik}}$ ——按可变荷载标准值 Q_{ik} 计算的荷载效应值，其中 $S_{Q_{1k}}$ 为诸可变荷载效应中起控制作用者；

ψ_{ci} ——可变荷载 Q_i 的组合值系数，应分别按各建筑结构设计规范的规定采用；

n ——参与组合的可变荷载数。

表 1-2 基本组合的荷载分项系数

项 目	内 容
永久荷载的分项系数	(1)当其效应对结构不利时: 对由可变荷载效应控制的组合,取 1.2; 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: 一般情况下取 1.0; 对结构的倾覆、滑移或漂浮验算,取 0.9
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来确定。

(3) 由永久荷载效应控制的组合:

$$S = \gamma_G S_{G_k} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} \psi_{ci} S_{Q_{ik}} \quad (1-4)$$

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 $S_{Q_{ik}}$ 无法进行明确判断时,轮次以各可变荷载效应为 $S_{Q_{ik}}$,选其中最为不利的荷载效应组合。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。

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

由可变荷载效应控制的组合:

$$S = \gamma_G S_{G_k} + \gamma_{Q_1} S_{Q_{1k}} \quad (1-5)$$

$$S = \gamma_G S_{G_k} + 0.9 \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} S_{Q_{ik}} \quad (1-6)$$

由永久荷载效应控制的组合仍按式(1-4)采用。

三、正常使用极限状态计算

在正常使用极限状态计算中,应根据不同的设计要求,采用荷载的标准组合、频遇组合或准永久组合,按下列设计表达式进行设计:

$$S \leq C \quad (1-7)$$

式中 S ——正常使用极限状态的荷载效应组合的设计值;

C ——结构构件达到正常使用要求的规定限值,应按各有关建筑结构设计规范的规定采用。

正常使用情况下荷载效应和结构抗力的变异性,已经在确定荷载标准值和结构抗力标准值时作出了一定程度的处理,并具有一定的安全储备。考虑到正常使用极限状态设计属于校核验算性质,所要求的安全储备可以略低一些,所以采用荷载效应及结构抗力标准值进行计算。

(1) 对于标准组合,荷载效应组合的设计值 S 按下式计算(仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况):

$$S = S_{G_k} + S_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Q_{ik}} \quad (1-8)$$

标准组合是在设计基准期内根据正常使用条件可能出现最大可变荷载时的荷载标准值进行组合而确定的,在一般情况下均采用这种组合值进行正常使用极限状态的验算。

(2) 对于频遇组合,荷载效应组合的设计值可按下式计算:

$$S = S_{G_k} + \phi_{f1} S_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \phi_{qi} S_{Q_{ik}} \quad (1-9)$$

式中 ϕ_{f1} ——可变荷载 Q_1 的频遇值系数；

ϕ_{qi} ——可变荷载 Q_i 的准永久值系数。

频遇组合是采用考虑时间影响的频遇值为主导进行组合而确定的。当遇到结构或构件允许考虑荷载有较短的总持续时间或较少可能出现次数这种情况时，应按其相应的最大可变荷载的组合（即频遇组合），进行正常使用极限状态的验算。例如构件考虑疲劳的破坏，应按所需承受的疲劳次数相应的频遇组合值，进行疲劳强度的验算，但如采用较大的荷载标准组合值进行验算时，则构件将会超过所需承受的疲劳次数，亦即其实际设计使用年限超过了设计基准期，但该构件最终是要随着设计使用年限仅为设计基准期的结构及其他构件而报废，可见按频遇组合值验算是较为经济合理的。

对于频遇组合的应用，尤其是当结构振动涉及人的舒适性、影响非结构构件的性能和设备的使用功能时，则应采用这种荷载组合进行极限状态的验算。

(3) 对于准永久组合，荷载效应组合值可按式计算：

$$S = S_{G_k} + \sum_{i=1}^n \phi_{qi} S_{Q_{ik}} \quad (1-10)$$

准永久组合是采用设计基准期内持久作用的准永久值进行组合而确定的。它是考虑可变荷载的长期作用起主要影响并具有自己独立性的一种组合形式。

(4) 混凝土结构构件正常使用极限状态的验算应包括下列内容：

- ① 对使用上需要控制变形的结构及构件，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 对使用上允许出现裂缝的构件，应进行受力裂缝宽度验算；
- ④ 对于使用上有舒适度要求的楼盖结构，应进行自振频率的验算。

(5) 混凝土构件的挠度应不影响其使用功能和外观要求。

受弯构件的最大挠度应按荷载效应的标准组合或准永久组合并考虑荷载长期作用影响进行计算，其计算值不应超过表 1-3 规定的挠度限值。

表 1-3 受弯构件的挠度限值

构 件 类 型		挠度限值
吊车梁	手动吊车	$l_0/500$
	电动吊车	$l_0/600$
屋盖、楼盖及楼梯构件	当 $l_0 < 7\text{m}$ 时	$l_0/200(l_0/250)$
	当 $7\text{m} \leq l_0 \leq 9\text{m}$ 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 2 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，不宜超过构件在荷载效应的准永久组合作用下的计算挠度值。

5. 当挠度限值不满足混凝土构件的使用功能和外观要求时，设计可对挠度限制进行调整。

(6) 结构构件正截面的受力裂缝控制等级分为三级。裂缝控制等级的划分及要求应符合下列规定。

一级——严格要求不出现裂缝的构件。按荷载效应的标准组合计算时，构件受拉边缘混凝土不应产生拉应力。

二级——一般要求不出现裂缝的构件。按荷载效应的标准组合计算时,构件受拉边缘混凝土拉应力不应大于混凝土抗拉强度的标准值。

三级——允许出现裂缝的构件。对钢筋混凝土构件,按荷载效应的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 1-4 规定的最大裂缝宽度限值。对预应力混凝土构件,按荷载效应的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 1-4 规定的最大裂缝宽度限值;对二 a 类环境等级下的预应力混凝土构件,还应按荷载效应的准永久组合计算,且构件受拉边缘混凝土拉应力不应大于混凝土抗拉强度的标准值。

(7) 结构构件应根据结构类型和环境等级及裂缝控制等级,按表 1-4 的裂缝宽度限值 w_{lim} 及混凝土拉应力控制要求进行验算。

表 1-4 结构构件的裂缝宽及混凝土拉应力限值

环境类别及 耐久性作用等级 (环境等级)	钢筋混凝土结构			预应力混凝土结构		
	裂缝控制 等级	w_{lim} /mm	荷载组合	裂缝控制 等级	w_{lim} /mm 拉应力限值	荷载组合
—	三级	0.30(0.40)	准永久	三级	0.20	标准
二 a		0.20				0.10 拉应力不大于 f_{rk}
二 b				二级	拉应力不大于 f_{rk}	标准
三 a、三 b				一级	无拉应力	标准

注:1. 对处于年平均相对湿度小于 60% 地区一类环境等级下的钢筋混凝土受弯构件,其最大裂缝宽度限值可采用括号内的数值。

2. 在一类环境等级下,对钢筋混凝土屋架、托架及需做疲劳验算的吊车梁,其最大裂缝宽度限值应取为 0.20mm;对钢筋混凝土屋面梁和托梁,其最大裂缝宽度限值应取为 0.30mm。

3. 在一类环境等级下,对预应力混凝土屋架、托架及双向板体系,应按二级裂缝控制等级进行验算;对预应力混凝土屋面梁、托梁、单向屋面板和楼板,按表中二 a 环境等级的要求进行验算。

4. 对需做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。

5. 对于烟囱、筒仓、处于液体压力下的结构构件及电视塔等各种高耸结构,其裂缝控制要求应符合专门标准的有关规定。

6. 对混凝土保护层厚度较大的构件,可根据实践经验对表中的最大裂缝限值适当放宽。

(8) 对大跨混凝土楼盖结构,宜进行竖向自振频率验算,其自振频率宜小于表 1-5 的限值。

表 1-5 楼盖竖向自振频率的限值

Hz

房屋类型	跨度/m	
	7~9	大于 9
住宅、公寓	6	5
办公、旅馆	4	3
大跨度公共建筑	3	

四、混凝土结构方案

(1) 混凝土结构的方案设计应遵循下列原则:

- ① 结构的平、立面布置宜简单、规则、均匀、连续,高宽比、长宽比适当;
- ② 根据建筑的使用功能布置结构体系,合理确定结构构件的型式;
- ③ 结构传力途径应简捷、明确,关键部位宜有多条传力途径,竖向构件宜连续贯通、对齐;
- ④ 宜采用超静定结构,并增加重要构件的冗余约束;
- ⑤ 结构的刚度和承载力宜均匀、连续;

⑥ 为避免连续倒塌,必要时可设置结构缝将结构分割为若干独立的单元。

(2) 混凝土结构体系中结构缝的设计应遵循下列原则:

① 应根据结构体系的受力特点、尺度、形状、使用功能,合理确定结构缝的位置和构造型式;

② 结构缝的构造应满足相应功能(伸缩、沉降、防震等),并宜减少缝的数量;

③ 混凝土结构可根据需要在施工阶段设置临时性的缝(收缩缝、沉降缝、施工缝、引导缝等);

④ 应采取有效措施减少设缝对使用功能带来的不利影响。

不同类型结构缝的功能很多,主要是为控制下列不利因素的影响:混凝土收缩、温度变化、基础沉降、应力集中、结构防震、连续倒塌等。除永久缝以外,还有临时性的缝:施工接槎、后浇带、引导缝(在确定的位置引导裂缝出现,并预先采取措施消除其影响)等。

结构缝的设计应满足建筑观感、装修和使用功能(止水、防渗、保温、隔声等)的要求;且应满足结构性能、施工可行性等要求,并应遵循“一缝多能”的原则,减少缝的数量。

(3) 结构构件的连接和构造应遵守下列原则:

① 连接处的承载力应不小于被连接构件的承载力;

② 当混凝土结构与其他材料构件连接时,应采取适当的连接方式;

③ 应考虑构件变形对连接节点及相邻结构或构件造成的影响。

(4) 混凝土结构的方案设计还应考虑下列要求:

① 有利于减小偶然作用效应的影响范围,避免结构发生与偶然作用不相匹配的大范围破坏或连续倒塌;

② 减小环境条件对建筑结构耐久性的影响;

③ 符合节省材料、降低能耗与环境保护的要求。

五、结构抗倒塌设计

(1) 对于可能遭受偶然作用的重要结构,宜进行结构抗倒塌设计。

结构抗倒塌设计是为在各种灾害的偶然作用下以及作用后,混凝土结构能保持必要的整体稳固性,不出现与起因不相称的破坏后果,防止出现结构的连续倒塌。

抗倒塌设计对于建筑结构的安全极为重要。结构抗倒塌设计适用于结构安全等级为一级的可能遭受偶然作用的结构、为抵御灾害作用而须增强抗灾性能的结构。地质灾害等不可抗拒的灾害不包括在抗倒塌设计的范围内。

抗倒塌设计的目标是:在偶然作用下结构体系可能局部破坏,但应具有依靠剩余结构继续承载而避免发生大范围破坏或连续坍塌的能力。

(2) 混凝土结构的抗倒塌设计宜遵循下列原则:

① 避免使结构中的关键构件直接遭受偶然作用;

② 采取减小偶然作用或效应的措施;

③ 在容易遭受意外荷载影响的结构的区域增加冗余约束;

④ 增强疏散通道、避难场所及结构关键传力部位的承载能力和变形性能;

⑤ 采用变形性能较好的材料和结构形式。

(3) 结构抗倒塌设计可选择下列方法:

① 拉结构件法,通过贯通水平构件的最小配筋和构造措施,使缺失支承后的水平构件能够按梁、悬索或悬臂继续承载受力,维持结构的整体稳固性;

② 拆除构件法,按一定规则拆除主要受力构件,依靠结构体系中的剩余部分进行承载

力验算；

③ 非线性分析法，通过结构的受力——倒塌全过程的非线性分析，模拟结构的连续倒塌过程。

(4) 结构抗倒塌设计的荷载效应应根据倒塌的具体情况确定，并应考虑倒塌冲击引起的动力系数。材料强度应取标准值或实测值，并应考虑动力荷载作用下材料强化和脆性的影响。

六、耐久性验算

材料的耐久性是指它暴露在使用环境下，抵抗各种物理和化学作用的能力。对钢筋混凝土结构而言，钢筋被浇筑在混凝土内，混凝土起到保护钢筋的作用。如果对钢筋混凝土结构能够根据使用条件进行正确的设计和施工，在使用过程中又能对混凝土认真地进行定期维护，可使其使用年限达百年以上，因此，它是一种很耐久的材料。

钢筋混凝土结构长期暴露在使用环境中，会使材料的耐久性降低。影响因素主要有材料的质量、钢筋的锈蚀、混凝土的抗渗及抗冻性、除冰盐对混凝土的破坏等。

(1) 房屋混凝土结构的耐久性设计应包括下列内容：

- ① 确定结构的环境类别及作用等级（简称环境等级）；
- 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 在不利的环境条件下应采取的防护措施；
- ⑤ 满足耐久性要求相应的施工措施；
- ⑥ 提出结构使用阶段的维护与检测要求。

(2) 混凝土建筑结构的环境类别和耐久性作用等级，可按表 1-6 确定。

表 1-6 混凝土结构的环境类别

环境类别	条 件
—	室内干燥环境； 无侵蚀性静水浸没环境
二 a	室内潮湿环境； 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现行国家标准《民用建筑热工设计规划》(GB 50176) 的有关规定。

3. 海岸环境和海水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. 受除冰盐影响环境是指受到除冰盐盐雾影响的环境，受除冰盐作用环境是指被除冰盐溶液溅射的环境以及除冰盐地区的洗车房、停车楼等建筑。

5. 暴露的环境是指混凝土结构表面所处的环境。

(3) 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 1-7 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	最大碱含量/%
—	0.60	C20	不限制
二 a	0.55	C25	3.0
二 b	0.55(0.50)	C30(C25)	3.0
三 a	0.45(0.50)	C35(C30)	3.0
三 b	0.40	C40	3.0

- 注：1. 预应力混凝土构件的最低混凝土强度等级应按表中的规定提高两个等级。
 2. 素混凝土构件的水胶比及最低强度等级可适当放松。
 3. 有可靠工程经验时，一类和二类环境中的最低混凝土强度等级可降低一个等级。
 4. 三类（冻融循环）环境中使用引气剂的混凝土，可采用括号中的有关参数。
 5. 当使用非碱活性骨料时，对混凝土中的碱含量可不作限制。

(4) 结构混凝土中氯离子的含量不应超过表 1-8 规定的限值。

表 1-8 结构混凝土中氯离子含量的限值

		%			
氯离子含量 构件	环境等级	—	二 a	二 b、三 a	三 b
钢筋混凝土构件		0.30	0.20	0.15	0.10
预应力混凝土构件		0.06			

注：氯离子含量系指其占硅酸盐水泥熟料的百分率。

(5) 设计使用年限 100 年的混凝土结构，应按相应环境及用途将耐久性作用等级提高一级进行设计。

设计使用年限为 25 年的混凝土结构，可按相应环境及用途将耐久性作用等级降低一级进行设计。

(6) 预应力混凝土构件，还应满足下列耐久性的规定：

① 预应力筋可根据工程的具体情况采取表面防护、管道灌浆、加大混凝土保护层厚度等措施；

② 预应力筋外露锚固端应采取封锚和混凝土表面处理等有效措施；

③ 必要时，可采用可更换的预应力体系。

(7) 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。

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

有氯盐腐蚀的混凝土结构，其受力钢筋可采用环氧树脂涂层钢筋、镀锌预应力筋或采取阴极保护处理等防锈措施。

处于二、三、四类环境中的悬臂板，其上表面宜增设防护层。

结构表面的预埋件、吊钩、连接件等金属部件应与混凝土中的钢筋隔离，并采取可靠的防锈措施。

(8) 混凝土结构在设计使用年限内还应遵守下列规定：

① 结构应按设计规定的环境条件正常使用；

② 结构应进行必要的维护，并根据使用条件定期检测；

③ 设计中可更换的混凝土构件应按规定定期更换，构件表面的防护层，应按规定定期

维护；

- ④ 结构出现可见的耐久性缺陷时，应及时进行处理。

七、既有结构的设计

(1) 对下列情况的既有结构应进行相应的设计：

- ① 延长既有结构的设计使用年限；
- ② 加固有安全隐患的既有结构；
- ③ 改变用途或使用环境的既有结构；
- ④ 既有结构的改建、扩建；
- ⑤ 受损结构的修复。

(2) 既有结构设计应遵守下列基本原则：

- ① 应按现行有关标准进行检测和可靠性评估，确定相应的设计参数；
- ② 承载能力极限状态设计应符合现行有关标准的规定；
- ③ 正常使用极限状态设计宜符合现行有关标准的规定；
- ④ 必要时可对使用功能及设计使用年限做相应的调整。

(3) 既有结构的设计应符合下列规定：

- ① 综合考虑优化结构方案，提高整体稳固性；
- ② 结构上的作用按现行标准取值；也可在限定使用功能及使用年限的条件下，根据实际情况适当调整；
- ③ 既有结构的构件尺寸、连接构造和已有缺陷等，按实际情况确定；
- ④ 结构既有部分的材料性能由检测评估确定，后加部分按现行规范取值；
- ⑤ 既有结构与新增构件之间应采取有效的构造措施，保证可靠地协调受力；
- ⑥ 应考虑结构构件承载历史的影响，按两阶段受力的构件进行设计。

强化训练台

- 1. 结构按承重结构分类可分为哪几类？有何特征？
- 2. 建筑结构的性能要求有哪些？
- 3. 什么是建筑结构的极限状态？结构极限状态主要包括哪两类？
- 4. 承载能力极限状态计算的表达式是什么？
- 5. 如何设计混凝土结构的耐久性？