



2015 执业资格考试丛书

一级注册结构工程师专业考试 规范条文熟悉·理解·应用 **混凝土结构 桥梁结构**

2015

孙惠镐 秦大航 编著

中国建筑工业出版社

执业资格考试丛书

一级注册结构工程师专业考试
规范条文熟悉·理解·应用
混凝土结构 桥梁结构

孙惠镐 秦大航 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

一级注册结构工程师专业考试规范条文熟悉·理解·应用 混凝土结构 桥梁结构/孙惠镐, 秦大航编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015.5

(执业资格考试丛书)

ISBN 978-7-112-17679-3

I. ①一… II. ①孙… ②秦… III. ①建筑结构-工程师-资格考试-自学参考资料②混凝土结构-工程师-资格考试-自学参考资料③桥梁结构-工程师-资格考试-自学参考资料 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 015822 号

本书为参加一级注册结构工程师专业考试的“应试”教材。本书以现行各本结构规范为核心展开, 以让考生最大程度的熟悉、理解规范条文并最终能灵活运用规范条文快速正确解题为最终目的, 因此本书的章节顺序和内容与相对应的结构规范的章节顺序和内容完全一致。本书通过系统阐述结构规范条文和历年真题、详解各类综合选择题和连体计算题、总结快速解题思路和技巧等方式作为帮助考生正确理解和应用规范条文的重要实践环节。本书主要内容为一级注册结构工程师专业考试中混凝土结构、桥梁结构等部分的内容。

本书可供参加一、二级注册结构工程师专业考试的考生考前复习使用, 也可作为结构工程师日常学习规范条文的工具书。

责任编辑: 何玮珂

责任设计: 李志立

责任校对: 姜小莲 赵 颖

执业资格考试丛书
一级注册结构工程师专业考试
规范条文熟悉·理解·应用
混凝土结构 桥梁结构
孙惠镐 秦大航 编著

*

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

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 25 字数: 624 千字

2015 年 3 月第一版 2015 年 3 月第一次印刷

定价: 62.00 元

ISBN 978-7-112-17679-3
(26907)

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)

前 言

本书是一级注册结构工程师专业考试规范条文熟悉·理解·应用执业资格考试考前指导教材的第四本：“混凝土结构 桥梁结构”。

本书第一部分是混凝土结构，混凝土结构是注册结构工程师考试的重点科目之一。混凝土结构分四章，前三章根据《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 进行编写；第四章根据历年的考题进行编写。第二部分是桥梁结构。尽管桥梁结构与建筑物结构设计的关联度不大，但城市人行天桥等轻型桥梁结构设计也常会遇到。桥梁结构分为三章：第五章桥梁的基本组成、分类与总体布置；第六章梁式桥结构分析及构件计算要点；第七章桥梁结构习题的解题指导。

第一章混凝土基本构件是混凝土结构设计的基本部分。内容涉及《混凝土结构设计规范》：（1）设计规定、材料、结构分析；（2）承载能力极限状态计算（正截面、斜截面、扭曲截面、冲切、局压和疲劳等）；（3）正常使用极限状态（裂缝和挠度）；（4）构造规定。

第二章是混凝土结构构件与常用结构。第一节是现浇钢筋混凝土楼盖结构（包括板、梁；第二节钢筋混凝土框架（包括框架梁、框架柱和梁柱节点）；第三节剪力墙、叠合构件、预埋件等；第四节预应力混凝土结构构件。

第三章是混凝土结构构件的抗震设计。这一章是根据《混凝土结构设计规范》中的第11章进行编写。内容涉及：混凝土结构抗震设计的一般规定；框架梁、框架柱（框支柱、排架柱等）、梁柱节点；剪力墙、连梁等。

第四章是作者根据历年混凝土结构考题和近年来考题的变化进行编写。目的是使考生在考前准备阶段和参加考试时如何适应本课程所涉及的规范、两类不同的题型（选择题和连体计算题）以及近几年来关于混凝土结构考题的变化。

作者在编写混凝土结构的各章节时，始终遵循下列三条主线：

第一条主线是通过教材中各章节的内容、例题和练习题，让考生明确“熟悉、理解和应用规范”是注册结构工程师执业考试成绩好坏的关键。因此，在备考的过程中，考生应把主要精力放在对规范的学习、理解和应用上。

第二条主线是根据历年混凝土结构的考题，找出混凝土结构考题涉及哪些规范？规范中哪些章节？便于考生有针对性地掌握考点、提高备考的效率。因此，前三章根据《混凝土结构设计规范》编写外；第四章第一节列出了混凝土结构考题中常用的设计规范，其中《建筑结构荷载规范》和《建筑结构抗震设计规范》是重点，并指出考题相应的规范章、节。

第三条主线是考题。前四章混凝土结构编集了8年的考题125道。前三章每一节最后均有练习题（均为历年真题）。练习题帮助我们正确应用规范条文。由于第一章练习题不多，因此在承载力极限状态（正截面、斜截面、扭曲截面）中，增加了19个例题，便于

考生掌握这些基本计算。第四章以考题为核心进行编写。第一节将 2006 年~2011 年混凝土结构考题中,涉及非《混凝土结构设计规范》以外的规范进行编写;第二节阐述选择题和连体计算题的特点和近年来的变化;第三节是 2012 年和 2013 年两年混凝土结构考题。

从 2006 年~2011 年混凝土结构考题的分布:第一章 25 题、第二章 11 题、第三章 19 题,第四章第一节 38 题。大致可以看出,《混凝土结构设计规范》考题 55 道,其他规范考题 38 道,其比例约为 6:4。这就是说,考生在重视《混规》的同时,对考题较多的《抗规》、《荷规》也应予以重视。

第五章讲述桥梁的基本组成、分类与总体布置。第一节桥梁由上部结构和下部结构组成;分特大桥、大桥、中桥、小桥和涵洞,梁桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥。第二节梁桥的计算模型、边界条件。第三节桥梁的布置和耐久性。第四、五二节关于桥梁上部结构和下部结构的构造。

桥梁结构的重点是第六章,梁式桥结构分析和构件计算。桥梁结构与建筑结构,作用在两种结构上的可变作用有很大区别,桥梁结构上的汽车荷载、水压力、温度作用等可变作用需要进行重点分析。车辆荷载进行横向分布,考虑影响线,桥墩要进行纵向水平力计算问题以及桥梁存在温度伸缩问题。构件计算涉及车道板、桥梁构件、支座等计算。桥梁的抗震设计单独设节讲述。

桥梁结构内容的编写有两条主线:

第一条主线是教材内容包含五本桥梁设计规范。重点是两本规范:一本是《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2004;另一本是《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D 62—2004。

另一条主线是编入大量的桥梁结构考题和练习题。第五章例题 14 道,第六章例题 55 道,第七章解题指导 62 道,总计 131 道习题,大致相当于近 20 年桥梁结构考题。通过考题和练习题,是考生熟悉、理解和应用规范条文的最好方法。

本书第一章~第四章混凝土结构部分由孙惠镐编写;第五章~第七章桥梁结构部分由秦大航编写。两位作者均有丰富的教学经验和长期的设计实践。主观上希望本书内容针对性强、覆盖面广,对参加“混凝土结构”和“桥梁结构”两科目注册结构工程师专业考试的考生,有助于提高考试的通过率。但毕竟作者在时间上、精力上有力不从心的感觉。因此,书中有不妥或错误之处望读者提出批评指正,作者在下一版中予以改正。本书编写练习题时,有刘安民、叶锦秋等人参与解答工作,作者对几位参与者表示感谢。

孙惠镐 秦大航

目 录

第一章 混凝土基本构件	1
第一节 设计规定、材料、结构分析	1
第二节 正截面受弯承载力	15
第三节 斜截面受弯承载力	35
第四节 正截面受压承载力	49
第五节 正截面受拉、扭曲截面承载力	61
第六节 冲切、局部受压、疲劳	76
第七节 裂缝和挠度验算	92
第八节 构造规定	104
第二章 混凝土结构构件与常用结构	114
第一节 楼盖结构与板、梁构件	114
第二节 框架结构、柱、梁柱节点及牛腿	137
第三节 墙、叠合构件、预制构件、预埋件及连接件	149
第四节 预应力混凝土结构构件	159
第三章 混凝土结构构件抗震设计	172
第一节 一般规定、材料	172
第二节 框架梁、柱、梁柱节点和排架柱	175
第三节 剪力墙、连梁、预应力构件和板柱节点	199
第四章 关于“混凝土结构”考题	212
第一节 “混凝土结构”考题中常用的设计规范（《混凝土结构设计规范》除外）	212
第二节 连体计算题和选择题	230
第三节 2012 年、2013 年“混凝土结构”考题	240
第五章 桥梁的基本组成、分类与总体布置	262
第一节 桥梁的组成、分类与基本结构形式	262
第二节 梁式桥的计算模型和约束边界条件	267
第三节 桥梁总体布置	270
第四节 桥梁的墩台和基础	277

第六章 梁式桥结构分析及构件计算要点	285
第一节 基本要求	285
第二节 可变作用	290
第三节 内力影响线	309
第四节 柔性墩台纵向水平力计算	319
第五节 行车道板计算	324
第六节 梁式桥有效翼缘宽度	329
第七节 桥梁结构预应力构件计算要点	331
第八节 桥梁伸缩装置	343
第九节 桥梁支座	346
第十节 桥梁抗震设计要点	352
第七章 桥梁结构习题的解题指导	369
参考文献	394

第一章 混凝土基本构件

第一节 设计规定、材料、结构分析

一、基本设计规定

1. 一般规定

1) 混凝土结构设计内容

- (1) 结构方案设计，包括结构选型、构件布置及传力途径；
- (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) 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) 设计方法

混凝土结构设计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，采用分项系数设计表达式。

3) 混凝土结构的极限状态设计

(1) 承载能力极限状态：结构或结构构件达到最大承载力、出现疲劳破坏、发生不适于继续承载的变形或因结构局部破坏而引发的连续倒塌。

(2) 正常使用极限状态：结构或结构构件达到正常使用的某项规定限值或耐久性能的某种规定状态。

4) 结构上的作用

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 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 确定。

5) 结构的安全等级

混凝土结构的安全等级和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 的规定。

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。

2. 结构方案

1) 混凝土结构的设计方案

- (1) 选用合理的结构体系、构件形式和布置；
- (2) 结构的平、立面布置宜规则，各部分的质量和刚度宜均匀、连续；
- (3) 结构传力途径应简捷、明确，竖向构件宜连续贯通、对齐；
- (4) 宜采用超静定结构，重要构件和关键传力部位应增加冗余约束或有多条传力

途径；

(5) 宜采取减小偶然作用影响的措施。

2) 混凝土结构中的结构缝

(1) 应根据结构受力特点及建筑尺度、形状、使用功能要求，合理确定结构缝的位置和构造形式；

(2) 宜控制结构缝的数量，并应采取有效措施减少设缝对使用功能的不利影响；

(3) 可根据需要设置施工阶段的临时性结构缝。

3) 结构构件的连接

(1) 连接部位的承载力应保证被连接构件之间的传力性能；

(2) 当混凝土构件与其他材料构件连接时，应采取可靠的措施；

(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。

3. 承载能力极限状态计算

1) 承载能力极限状态计算的内容

(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) 必要时尚应进行结构的倾覆、滑移、漂浮验算；

(5) 对于可能遭受偶然作用，且倒塌可能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

$$\gamma_0 S \leq R \quad (1.1-1)$$

$$R = R(f_c, f_s, a_k, \dots) / \gamma_{Rd} \quad (1.1-2)$$

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；对地震设计状况下应取 1.0；

S ——承载能力极限状态下作用组合的效应设计值：对持久设计状况和短暂设计状况应按作用的基本组合计算；对地震设计状况应按作用的地震组合计算；

R ——结构构件的抗力设计值；

$R(\cdot)$ ——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：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 γ_{RE} 代替 γ_{Rd} ；

f_c 、 f_s ——混凝土、钢筋的强度设计值，应根据《混规》第 4.1.4 条及第 4.2.3 条的规定取值；

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，应增减一个附加值。

注：公式 (1.1-1) 中的 $\gamma_0 S$ 为内力设计值，在《混规》各章中用 N 、 M 、 V 、 T 等表达。

3) 二维、三维混凝土构件

(1) 按弹性或弹塑性方法分析以应力形式表达时，可将混凝土应力按区域等代成内力

设计值，按《混规》第 3.3.2 条进行计算；

(2) 采用多轴强度准则进行设计验算时，应符合《混规》附录 C 第 C.4 条的有关规定。

4) 偶然作用下结构承载力极限状态设计

对偶然作用下的结构承载力极限状态，根据其受力特点对设计表达式进行修正：

(1) 按式 (1.1-1) 中的作用效应设计值 S 按偶然组合计算，结构重要性系数 $\gamma_0 \geq 1.0$ 。

(2) 式 (1.1-2) 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})。

(3) 进行结构防连续倒塌验算时，结构构件的承载力函数按《混规》第 3.6 节的原则确定。

4. 正常使用极限状态验算

1) 验算的内容

(1) 对需要控制变形的构件，应进行变形验算；

(2) 对不允许出现裂缝的构件，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) 对舒适度有要求的楼盖结构，应进行竖向自振频率验算。

2) 设计表达式

对于正常使用极限状态：钢筋混凝土构件按荷载准永久组合并考虑长期作用影响；预应力混凝土构件按荷载标准组合并考虑长期作用影响。极限状态设计表达式为：

$$S \leq C \quad (1.1-3)$$

式中： S ——正常使用极限状态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。

3) 受弯构件最大挠度

钢筋混凝土受弯构件的最大挠度应按荷载的准永久组合，预应力混凝土受弯构件的最大挠度应按荷载的标准组合，并均应考虑荷载长期作用的影响进行计算，其计算值不应超过表 1.1-1 规定的挠度限值。

受弯构件的挠度限值

表 1.1-1

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，尚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。

4) 构件正截面受力裂缝分级

结构构件正截面的受力裂缝控制等级分为三级，等级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《混规》表 3.4.5 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《混规》第 3.4.5 条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，尚应按荷载准永久组合计算，且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。

5) 最大裂缝宽度

结构构件应根据结构类型和《混规》第 3.5.2 条规定的环境类别，按表 1.1-2 的规定选用不同的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值 w_{lim} 。

结构构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度的限值 (mm) 表 1.1-2

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}
一	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% 地区一类环境下的受弯构件，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，对钢筋混凝土屋架、托架及需作疲劳验算的吊车梁，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；对一类环境下的预应力混凝土屋面梁、托梁、单向板，应按表中二 a 级环境的要求进行验算；在一类和二 a 类环境下需作疲劳验算的预应力混凝土吊车梁，应按裂缝控制等级不低于二级的构件进行验算；
- 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《混规》第 7 章的有关规定；
- 5 对于烟囱、筒仓和处于液体压力下的结构，其裂缝控制要求应符合专门标准的有关规定；
- 6 对于处于四、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为用于验算荷载作用引起的最大裂缝宽度。

6) 自振频率验算

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。

5. 耐久性设计

1) 耐久性设计内容

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) 提出对混凝土材料的耐久性基本要求；
- (3) 确定构件中钢筋的混凝土保护层厚度；
- (4) 不同环境条件下的耐久性技术措施；
- (5) 提出结构使用阶段的检测与维护要求。

注：对临时性的混凝土结构，可不考虑混凝土的耐久性要求。

2) 混凝土结构暴露的环境类别应按表 1. 1-3 的要求划分。

混凝土结构的环境类别 表 1. 1-3

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现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176 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使用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，其混凝土材料宜符合表 1. 1-4 的规定。

结构混凝土材料的耐久性基本要求

表 1.1-4

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 氯离子含量系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 0.06%；其最低混凝土强度等级宜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 当使用非碱活性骨料时，对混凝土中的碱含量可不作限制。

4) 耐久性技术措施

(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、孔道灌浆、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、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，其防护要求见《混规》第 10.3.13 条；

(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。

5) 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) 宜使用非碱活性骨料，当使用碱活性骨料时，混凝土中的最大碱含量为 3.0kg/m³；

(4) 混凝土保护层厚度应符合《混规》第 8.2.1 条的规定；当采取有效的表面防护措施时，混凝土保护层厚度可适当减小。

6. 防连续倒塌设计原则

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) 重要结构防连续倒塌设计方法

(1) 局部加强法：提高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的安全储备，也可直接考虑偶然作用进行设计。

(2) 拉结构件法：在结构局部竖向构件失效的条件下，可根据具体情况分别按梁-拉结模型、悬索-拉结模型和悬臂-拉结模型进行承载力验算，维持结构的整体稳固性。

(3) 拆除构件法：按一定规则拆除结构的主要受力构件，验算剩余结构体系的极限承载力；也可采用倒塌全过程分析进行设计。

3) 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。在抗力函数的计算中，混凝土强度取强度标准值 f_{ck} ；普通钢筋强度取极限强度标准值 f_{stk} ，预应力筋强度取极限强度标准值 f_{ptk} 并考虑锚具的影响。宜考虑偶然作用下结构倒塌对结构几何参数的影响。必要时尚应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。

二、材料

1. 混凝土

1) 混凝土强度

(1) 混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。立方体抗压强度标准值系指按标准方法制作、养护的边长为 150mm 的立方体试件，在 28d 或设计规定龄期以标准试验方法测得的具有 95%保证率的抗压强度值。

(2) 素混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C15；钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C20；采用强度等级 400MPa 及以上的钢筋时，混凝土强度等级不应低于 C25。

预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C40，且不应低于 C30。

承受重复荷载的钢筋混凝土构件，混凝土强度等级不应低于 C30。

2) 混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 、设计值 f_c

混凝土轴心抗压强度标准值 f_{ck} 见表 1.1-5，设计值 f_c 见表 1.1-6。

混凝土轴心抗压强度标准值 (N/mm²) 表 1.1-5

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{ck}	10.0	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2

混凝土轴心抗压强度设计值 (N/mm²) 表 1.1-6

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_c	7.2	9.6	11.9	14.3	16.7	19.1	21.1	23.1	25.3	27.5	29.7	31.8	33.8	35.9

3) 混凝土轴心抗拉强度标准值 f_{tk} 见表 1.1-7，轴心抗拉强度设计值 f_t 见表 1.1-8。

混凝土轴心抗拉强度标准值 (N/mm²) 表 1.1-7

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.20	2.39	2.51	2.64	2.74	2.85	2.93	2.99	3.05	3.11

混凝土轴心抗拉强度设计值 (N/mm^2)

表 1.1-8

强度	混凝土强度等级													
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
f_t	0.91	1.10	1.27	1.43	1.57	1.71	1.80	1.89	1.96	2.04	2.09	2.14	2.18	2.22

4) 混凝土弹性模量 E_c 。

混凝土受压和受拉的弹性模量 E_c 宜按表 1.1-9 采用。

混凝土的弹性模量 ($\times 10^4 \text{ N}/\text{mm}^2$)

表 1.1-9

混凝土强度等级	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
E_c	2.20	2.55	2.80	3.00	3.15	3.25	3.35	3.45	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80

注：1 当有可靠试验依据时，弹性模量可根据实测数据确定；

2 当混凝土中掺有大量矿物掺合料时，弹性模量可按规定龄期根据实测数据确定。

混凝土的剪切变形模量 G_c 可按相应弹性模量值的 40% 采用。

混凝土泊松比 ν_c 可按 0.2 采用。

5) 混凝土的疲劳强度设计值

混凝土轴心抗压疲劳强度设计值 f_c^f 、轴心抗拉疲劳强度设计值 f_t^f 应分别按表 1.1-6、表 1.1-8 中的强度设计值乘疲劳强度修正系数 γ_p 确定。混凝土受压或受拉疲劳强度修正系数 γ_p 应根据疲劳应力比值 ρ_c^f 分别按表 1.1-10、表 1.1-11 采用；当混凝土承受拉-压疲劳应力作用时，疲劳强度修正系数 γ_p 取 0.60。

疲劳应力比值 ρ_c^f 应按下列公式计算：

$$\rho_c^f = \frac{\sigma_{c,\min}^f}{\sigma_{c,\max}^f} \quad (1.1-4)$$

式中： $\sigma_{c,\min}^f$ 、 $\sigma_{c,\max}^f$ —— 构件疲劳验算时，截面同一纤维上混凝土的最小应力、最大应力。

混凝土受压疲劳强度修正系数 γ_p

表 1.1-10

ρ_c^f	$0 \leq \rho_c^f < 0.1$	$0.1 \leq \rho_c^f < 0.2$	$0.2 \leq \rho_c^f < 0.3$	$0.3 \leq \rho_c^f < 0.4$	$0.4 \leq \rho_c^f < 0.5$	$\rho_c^f \geq 0.5$
γ_p	0.68	0.74	0.80	0.86	0.93	1.00

混凝土受拉疲劳强度修正系数 γ_p

表 1.1-11

ρ_c^f	$0 < \rho_c^f < 0.1$	$0.1 \leq \rho_c^f < 0.2$	$0.2 \leq \rho_c^f < 0.3$	$0.3 \leq \rho_c^f < 0.4$	$0.4 \leq \rho_c^f < 0.5$
γ_p	0.63	0.66	0.69	0.72	0.74
ρ_c^f	$0.5 \leq \rho_c^f < 0.6$	$0.6 \leq \rho_c^f < 0.7$	$0.7 \leq \rho_c^f < 0.8$	$\rho_c^f \geq 0.8$	—
γ_p	0.76	0.80	0.90	1.00	—

注：直接承受疲劳荷载的混凝土构件，当采用蒸汽养护时，养护温度不宜高于 60℃。

混凝土疲劳变形模量 E_c^f 应按表 1.1-12 采用。

混凝土的疲劳变形模量 ($\times 10^4 \text{ N}/\text{mm}^2$)

表 1.1-12

强度等级	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
E_c^f	1.30	1.40	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90

2. 钢筋

1) 钢筋的选用

(1) 纵向受力普通钢筋宜采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋，也可采用 HPB300、HRB335、HRBF335、RRB400 钢筋；

(2) 梁、柱纵向受力普通钢筋应采用 HRB400、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋；

(3) 箍筋宜采用 HRB400、HRBF400、HPB300、HRB500、HRBF500 钢筋，也可采用 HRB335、HRBF335 钢筋；

(4) 预应力筋宜采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋。

2) 钢筋的强度标准值

(1) 钢筋的强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。

(2) 普通钢筋的屈服强度标准值 f_{yk} 、极限强度标准值 f_{stk} 应按表 1.1-13 采用；预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋的屈服强度标准值 f_{pyk} 、极限强度标准值 f_{ptk} 应按表 1.1-14 采用。

普通钢筋强度标准值 (N/mm²) 表 1.1-13

牌 号	符 号	公称直径 d (mm)	屈服强度标准值 f_{yk}	极限强度标准值 f_{stk}
HPB300	Φ	6~22	300	420
HRB335 HRBF335	Φ Φ^F	6~50	335	455
HRB400 HRBF400 RRB400	Φ Φ^F Φ^R	6~50	400	540
HRB500 HRBF500	Φ Φ^F	6~50	500	630

预应力筋强度标准值 (N/mm²) 表 1.1-14

种 类		符号	公称直径 d (mm)	屈服强度标准值 f_{pyk}	极限强度标准值 f_{ptk}
中强度预应力 钢丝	光面 螺旋肋	Φ^{PM}	5、7、9	620	800
		Φ^{HM}		780	970
				980	1270
预应力螺纹 钢筋	螺纹	Φ^T	18、25、 32、40、 50	785	980
				930	1080
				1080	1230
消除应力钢丝	光面	Φ^P	5	—	1570
				—	1860
	螺旋肋	Φ^H	7	—	1570
			9	—	1470
				—	1570

续表

种 类		符号	公称直径 d (mm)	屈服强度标准值 f_{pyk}	极限强度标准值 f_{ptk}
钢绞线	1×3 (三股)	Φ^S	8.6、10.8、 12.9	—	1570
				—	1860
				—	1960
	1×7 (七股)		9.5、12.7、 15.2、17.8	—	1720
				—	1860
				—	1960
				21.6	—

注：极限强度标准值为 1960N/mm² 的钢绞线作后张预应力配筋时，应有可靠的工程经验。

3) 钢筋的强度设计值

普通钢筋的抗拉强度设计值 f_y 、抗压强度设计值 f'_y 应按表 1.1-15 采用；预应力筋的抗拉强度设计值 f_{py} 、抗压强度设计值 f'_{py} 应按表 1.1-16 采用。

当构件中配有不同种类的钢筋时，每种钢筋应采用各自的强度设计值。横向钢筋的抗拉强度设计值 f_{yv} 应按表中 f_y 的数值采用；当用作受剪、受扭、受冲切承载力计算时，其数值大于 360N/mm² 时应取 360N/mm²。

普通钢筋强度设计值 (N/mm²) 表 1.1-15

牌 号	抗拉强度设计值 f_y	抗压强度设计值 f'_y
HPB300	270	270
HRB335、HRBF335	300	300
HRB400、HRBF400、RRB400	360	360
HRB500、HRBF500	435	410

预应力筋强度设计值 (N/mm²) 表 1.1-16

种 类	极限强度标准值 f_{ptk}	抗拉强度设计值 f_{py}	抗压强度设计值 f'_{py}
中强度预应力钢丝	800	510	410
	970	650	
	1270	810	
消除应力钢丝	1470	1040	410
	1570	1110	
	1860	1320	
钢绞线	1570	1110	390
	1720	1220	
	1860	1320	
	1960	1390	
预应力螺纹钢筋	980	650	410
	1080	770	
	1230	900	

注：当预应力筋的强度标准值不符合表 1.1-16 的规定时，其强度设计值应进行相应的比例换算。