

黄 梅 主编

混凝土结构设计计算 实例详解

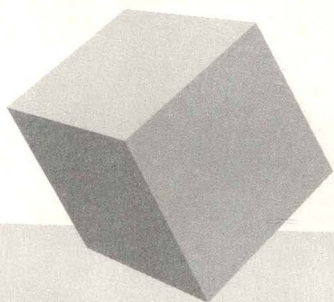
HUNNINGTU
JIEGOU
SHEJI JISUAN
SHILI XIANGJIE



化学工业出版社

黄 梅 主编

混凝土结构设计计算 实例详解



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书依据 2010 年新颁布实施的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010) 编写而成, 共分为十一章, 内容包括: 混凝土结构基本规定与结构分析、混凝土结构受弯构件承载能力极限状态计算、混凝土结构受压构件承载能力极限状态计算、混凝土结构受拉构件承载能力极限状态计算、混凝土结构受扭构件承载能力极限状态计算、混凝土结构受冲切和局部受压承载能力极限状态计算、混凝土结构疲劳验算、混凝土结构其他构件计算、预应力混凝土构件设计计算、正常使用极限状态验算、钢筋混凝土框架结构构件抗震设计计算。

本书可供混凝土结构设计人员使用, 也可作为建筑工程院校各专业教学参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构设计计算实例详解/黄梅主编. —北京:
化学工业出版社, 2013. 4
ISBN 978-7-122-16648-7

I. ①混… II. ①黄… III. ①混凝土结构-结构设计
②混凝土结构-结构计算 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 042506 号

责任编辑: 彭明兰
责任校对: 吴 静

文字编辑: 谢蓉蓉
装帧设计: 关 飞



出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 11 1/2 字数 280 千字 2013 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

编写人员

主 编 黄 梅

参 编

张黎黎 于 涛 何 影 孙丽娜

赵 慧 陶红梅 夏 欣 齐丽娜

毛 爽 朱 琳 姚烈明 赵 蕾

李香香 成育芳 刘 鑫 刘艳君

陈 杰

前 言

随着我国国民经济的迅速发展，混凝土结构在建筑结构中应用的比率越来越高，尤其是在国家建筑技术政策的支持下，混凝土结构建筑出现了规模更大、技术更新的局面。为了适应目前混凝土结构建筑的发展需要，我国对混凝土领域的标准规范进行了大规模的修订，因为标准规范是根据当时技术条件和环境条件下制定的，所以随着环境条件的变化、技术的进步、政策的调整等，原有的标准规范需要进行相应地补充、修订与完善，为了使混凝土结构设计人员掌握最新的标准规范，提高业务水平和操作技能，保证工程施工质量，我们组织相关技术人员，以《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）、《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2010）、《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2012）等现行标准规范为依据，并结合多年工程实际经验，编写了本书。

本书具有以下特点：

- （1）在内容编写上，本书依据最新的标准规范进行编写，简明扼要，通俗易懂，深入浅出，结合计算实例，全面而系统地介绍了混凝土结构构件的设计和计算方法；
- （2）在结构体系上，本书重点突出，详略得当，注意了相关知识的融贯性，并突出了整合性的编写原则。

本书在编写过程中，得到了有关技术人员和学者的热情帮助，在此表示感谢。由于时间和作者水平有限，尽管编者尽心尽力，反复推敲核实，但疏漏或不妥之处在所难免，恳请有关专家和读者提出宝贵意见，予以批评指正，以便作进一步修改和完善。

编 者

2013. 2

目 录

1 混凝土结构基本规定与结构分析	1
1.1 混凝土结构设计基本规定	1
1.1.1 一般规定	1
1.1.2 结构设计方案	1
1.1.3 承载能力极限状态计算	2
1.1.4 耐久性设计	3
1.1.5 防连续倒塌设计	5
1.1.6 既有结构设计	5
1.2 混凝土结构构造基本规定	6
1.2.1 伸缩缝	6
1.2.2 混凝土保护层	7
1.2.3 钢筋的锚固	7
1.2.4 钢筋的连接	9
1.2.5 纵向受力钢筋的最小配筋率	11
1.3 混凝土结构分析	12
1.3.1 结构分析的基本原则	12
1.3.2 分析模型	13
1.3.3 弹性分析	13
1.3.4 塑性内力重分布分析	14
1.3.5 弹塑性分析	14
1.3.6 塑性极限分析	15
1.3.7 间接作用分析	15
1.4 混凝土结构材料标准与计算规定	15
1.4.1 混凝土	15
1.4.2 钢筋	17
2 混凝土结构受弯构件承载能力极限状态计算	22
2.1 混凝土受弯构件截面破坏特征及构造规定	22
2.1.1 截面破坏特征	22
2.1.2 一般构造规定	22
2.2 受弯构件正截面承载力计算一般规定	24
2.2.1 基本假定	24
2.2.2 受压区混凝土等效应力图	25
2.2.3 相对界限受压高度	26
2.2.4 最小配筋率	26
2.3 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	26
2.3.1 基本计算公式	26
2.3.2 适用条件	28
2.3.3 计算方法	28
2.3.4 计算实例	30

2.4	双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	32
2.4.1	基本计算公式	32
2.4.2	适用条件	34
2.4.3	计算方法	34
2.4.4	计算实例	35
2.5	T形截面受弯构件正截面承载力计算	37
2.5.1	基本计算公式	37
2.5.2	适用条件	39
2.5.3	计算方法	39
2.5.4	计算实例	40
2.6	受弯构件斜截面承载力计算	41
2.6.1	基本计算公式	41
2.6.2	公式适用范围	42
2.6.3	计算方法	43
2.6.4	计算实例	44
3	混凝土结构受压构件承载力极限状态计算	46
3.1	轴心受压构件正截面承载力计算	46
3.1.1	配有普通箍筋的轴心受压构件正截面受压承载力计算	46
3.1.2	配有螺旋箍筋的轴心受压构件正截面受压承载力计算	47
3.2	偏心受压构件正截面承载力计算	51
3.2.1	一般规定	51
3.2.2	矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	52
3.2.3	I形截面偏心受压构件正截面承载力计算	62
3.3	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	66
3.3.1	受剪截面的条件	66
3.3.2	斜截面受剪承载力计算公式	67
3.3.3	不需要进行斜截面受剪承载力计算的条件	67
3.3.4	计算实例	67
4	混凝土结构受拉构件承载力极限状态计算	69
4.1	轴心受拉构件正截面承载力计算	69
4.2	偏心受拉构件正截面承载力计算	69
4.2.1	小偏心受拉正截面承载力计算	69
4.2.2	大偏心受拉正截面承载力计算	70
4.3	偏心受拉构件斜截面承载力计算	72
4.3.1	偏心受拉构件受剪截面条件	72
4.3.2	偏心受拉构件斜截面承载力计算	73
4.3.3	计算实例	73
5	混凝土结构受扭构件承载力极限状态计算	75
5.1	扭曲截面承载力计算一般规定	75
5.2	纯扭构件承载力计算	76
5.2.1	纯扭构件的开裂扭矩	76
5.2.2	纯扭构件受扭承载力计算	77
5.2.3	计算实例	78
5.3	剪扭构件承载力计算	80

5.3.1	矩形截面剪扭构件	80
5.3.2	T形、I形截面剪扭构件	81
5.3.3	箱形截面剪扭构件	81
5.3.4	计算实例	82
5.4	弯剪扭构件承载力计算	83
5.4.1	一般规定	83
5.4.2	弯剪扭构件承载力计算	83
6	混凝土结构受冲切和局部受压承载力极限状态计算	84
6.1	受冲切承载力计算	84
6.1.1	不配置箍筋或弯起钢筋时的计算	84
6.1.2	配置箍筋或弯起钢筋时的计算	85
6.1.3	阶形基础受冲切承载力计算	85
6.1.4	计算实例	86
6.2	局部受压承载力计算	88
6.2.1	配置间接钢筋的混凝土结构构件局部受压区的截面尺寸	89
6.2.2	配有间接钢筋的局部受压承载力计算	89
6.2.3	计算实例	91
7	混凝土结构疲劳验算	92
7.1	疲劳验算的一般规定	92
7.1.1	基本假定	92
7.1.2	计算应力的部位	92
7.2	受弯构件正截面疲劳验算	92
7.2.1	受弯构件正截面疲劳应力计算	92
7.2.2	受压区混凝土压应力和纵向受拉钢筋应力幅计算	92
7.2.3	换算截面受压区高度和惯性矩计算	93
7.3	受弯构件斜截面疲劳验算	94
8	混凝土结构其他构件的计算	97
8.1	单向板与双向板的计算	97
8.1.1	板计算的基本规定	97
8.1.2	板的构造配筋	98
8.2	梁内的附加钢筋计算	98
8.2.1	梁内纵向钢筋的净间距	98
8.2.2	集中荷载作用点的附加钢筋计算	99
8.2.3	梁内弯折处附加钢筋计算	99
8.2.4	梁简支端下部纵筋锚固长度	100
8.2.5	纵向受拉钢筋截断时的延伸长度	100
8.2.6	梁的构造钢筋	101
8.2.7	计算实例	101
8.3	梁柱节点计算	102
8.4	剪力墙结构计算	105
8.4.1	剪力墙正截面承载力计算	105
8.4.2	剪力墙斜截面承载力计算	106
8.4.3	计算实例	107
8.5	叠合式受弯构件的计算	109

8.5.1	叠合构件的一般规定	109
8.5.2	叠合式受弯构件计算	110
8.5.3	计算实例	113
8.6	深受弯构件计算	115
8.6.1	深梁相关计算	115
8.6.2	深受弯构件截面承载力计算	116
8.7	牛腿计算	118
8.8	预埋件及吊环计算	121
8.8.1	预埋件计算	121
8.8.2	吊环计算	123
8.8.3	计算实例	123
9	预应力混凝土构件设计计算	125
9.1	预应力混凝土构件的一般规定	125
9.1.1	预应力混凝土构件设计的一般规定	125
9.1.2	预应力混凝土构件的构造规定	125
9.2	张拉控制应力和预应力损失计算	126
9.2.1	张拉控制应力	126
9.2.2	预应力损失计算	127
9.3	预应力混凝土轴心受拉构件计算	131
9.3.1	预应力混凝土轴心受拉构件承载力计算	131
9.3.2	预应力混凝土轴心受拉构件裂缝控制验算	131
9.3.3	预应力混凝土轴心受拉构件法向应力验算	133
9.3.4	计算实例	134
9.4	预应力混凝土受弯构件计算	138
9.4.1	预应力混凝土受弯构件正截面承载力计算	138
9.4.2	预应力混凝土受弯构件斜截面承载力计算	140
9.4.3	预应力混凝土受弯构件裂缝控制验算	141
9.4.4	预应力混凝土受弯构件变形验算	144
9.4.5	预应力混凝土受弯构件施工阶段应力验算	145
9.4.6	计算实例	146
10	正常使用极限状态验算	152
10.1	正常使用极限状态验算的一般规定	152
10.2	裂缝宽度验算	153
10.3	受弯构件挠度验算	160
11	钢筋混凝土框架结构构件抗震设计计算	165
11.1	框架结构抗震设计的一般规定	165
11.1.1	混凝土结构抗震等级	165
11.1.2	抗震材料性能与要求	166
11.1.3	框架结构抗震构造要求	166
11.2	框架结构构件抗震计算	170
11.2.1	框架梁抗震计算	170
11.2.2	框架柱抗震计算	171
11.2.3	计算实例	173
	参考文献	175

1 混凝土结构基本规定与结构分析

1.1 混凝土结构设计基本规定

1.1.1 一般规定

(1) 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 结构构件截面配筋计算或验算；
- 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) 混凝土结构的极限状态设计应包括下列内容。

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：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) 混凝土结构上的直接作用（荷载）应根据现行国家标准《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2012）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。间接作用和偶然作用应根据有关的标准或具体条件确定。直接承受吊车荷载的结构构件应考虑吊车荷载的动力系数。预制构件制作、运输及安装时应考虑相应的动力系数。对于现浇混凝土结构，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—2008）的规定。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，可根据其重要程度适当调整。对于结构中重要构件和关键传力部位，宜适当提高其安全等级。

(5) 混凝土结构设计应考虑施工技术水平以及实际工程条件的可行性。有特殊要求的混凝土结构，应提出相应的施工要求。

(6) 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。

1.1.2 结构设计方案

(1) 混凝土结构的设计方案应符合下列要求：

- 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 宜减小偶然作用的影响范围, 避免发生因局部破坏引起的结构连续倒塌。

(2) 混凝土结构中结构缝的设计应符合下列要求:

① 应根据结构受力特点及建筑尺度、形状、使用功能, 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) 结构构件的连接应符合下列要求:

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, 应采取可靠的连接措施;

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。

(4) 混凝土结构设计应符合下列要求:

① 满足不同环境条件下的结构耐久性要求;

② 节省材料、方便施工、降低能耗与保护环境。

1.1.3 承载力极限状态计算

(1) 混凝土结构的承载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, 且倒塌可引起严重后果的重要结构, 宜进行防连续倒塌设计。

(2) 对持久设计状况、短暂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力极限状态设计表达式:

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

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

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; 对地震设计状况下不应小于 1.0;

S ——承载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;

$R(f_c, f_s, a_k, \dots)$ ——结构构件的抗力函数;

γ_{R_d} ——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_{R_E} 代替 γ_{R_d} 的表达形式;

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。

式(1-1)中的 $\gamma_0 S$,在《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)的各章中用内力值(N 、 M 、 V 、 T 等)表达;对预应力混凝土结构,尚应按《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)第10.1.2条的规定考虑预应力效应。

(3)对持久或暂短设计状况下的二维、三维混凝土结构,当采用应力设计的形式表达时,应按下列规定进行承载力极限状态的计算:

①按弹性分析方法设计时,可将混凝土应力按区域等代成内力,根据式(1-2)进行计算,应符合《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)第6.1.2条的规定;

②按弹塑性分析或采用多轴强度准则设计时,应根据材料强度的平均值进行承载力函数的计算,并应符合《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)第6.1.3条的规定。

(4)对偶然作用下的结构进行承载力极限状态设计时,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;当计算结构构件的承载力函数时,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)第3.6节的原则确定。

(5)对既有结构的承载力极限状态设计,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力极限状态时,宜符合“1.1.2”节中(2)的规定;

②对既有结构进行改建、扩建或加固改造而重新设计时,承载力极限状态的计算应符合《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)第3.7节的规定。

1.1.4 耐久性设计

(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不同环境条件下的耐久性技术措施;
- ⑤提出结构使用阶段检测与维护的要求。

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)混凝土结构的环境类别划分应符合表1-1的要求。

表 1-1 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

续表

环境类别	条 件
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，其混凝土材料应符合表 1-2 的规定。

表 1-2 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. 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 0.05% 时，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. 当使用非碱活性骨料时，对混凝土中的碱含量可不作限制。

（4）混凝土结构及构件还应采取下列耐久性技术措施：

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、管道灌浆、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；

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/m^3 ;
- ④ 混凝土保护层厚度应符合相关规定,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) 二、三类环境中,设计使用年限 100 年的混凝土结构应采取专门的有效措施。

(7) 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。

(8) 混凝土结构在设计使用年限内尚应遵守下列规定:

- ① 建立定期检测、维修的制度;
- ② 设计中的可更换混凝土构件应按规定定期更换;
- ③ 构件表面的防护层,应按规定维护或更换;
- ④ 结构出现可见的耐久性缺陷时,应及时进行处理。

1.1.5 防连续倒塌设计

(1) 混凝土结构防连续倒塌设计应符合下列要求。

- 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,布置备用传力途径;
- ④ 增强重要构件及关键传力部位、疏散通道及避难空间结构的承载力和变形性能;
- ⑤ 配置贯通水平、竖向构件的钢筋,采取有效的连接措施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) 重要结构的防连续倒塌设计可采用下列方法。

① 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。

② 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;也可直接考虑偶然作用进行结构设计。

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。

(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}),根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)第 4.1.3 条及第 4.2.2 条的规定取值, α_k 宜考虑偶然作用下结构倒塌对结构几何参数的影响。必要时可考虑材料强度在动力作用下的强化和脆性,并取相应的强度特征值。

1.1.6 既有结构设计

(1) 既有结构延长使用年限、安全复核、改变用途、改建、扩建或加固修复等,应对其进行评定、验算或重新设计。

(2) 对既有结构进行安全性、适用性、耐久性及抗灾害能力的评定时,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)的原则要求,并应符合下列

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 既有结构改变用途或延长使用年限时, 承载力极限状态的验算应符合相关规定;
 - ③ 对既有结构进行改建、扩建或加固改造而重新设计时, 承载力极限状态的计算应符合《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 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宜符合《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 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。
- (3) 既有结构的设计应符合下列规定:
- ① 应优化结构方案、提高结构的整体稳固性、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, 也可按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;
 - 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 应考虑既有结构的承载历史及施工状态的影响; 对于二阶段成形的叠合构件, 可按《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 第 9.5 节的规定进行设计。

1.2 混凝土结构构造基本规定

1.2.1 伸缩缝

- (1) 钢筋混凝土结构伸缩缝的最大间距可按表 1-3 确定。

表 1-3 钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距

单位: m

结构类别		室内或土中	露天
排架结构	装配式	100	70
	现浇式	75	50
框架结构	装配式	75	50
	现浇式	55	35
剪力墙结构	装配式	65	40
	现浇式	45	30
挡土墙、地下室墙壁等类结构	装配式	40	30
	现浇式	30	20

注: 1. 装配整体式结构的伸缩缝间距, 可根据结构的具体情况取表中装配式结构与现浇式结构之间的数值;

2. 框架-剪力墙结构或框架-核心筒结构房屋的伸缩缝间距, 可根据结构的具体情况取表中框架结构与剪力墙结构之间的数值;

3. 当屋面无保温或隔热措施时, 框架结构、剪力墙结构的伸缩缝间距宜按表中露天栏的数值取用;

4. 现浇挑檐、雨罩等外露结构的局部伸缩缝间距不宜大于 12m。

- (2) 对于下列情况, 表 1-3 中的伸缩缝最大间距宜适当减小:

- ① 柱高 (从基础顶面算起) 低于 8m 的排架结构;
- ② 屋面无保温、隔热措施的排架结构;
- ③ 位于气候干燥地区、夏季炎热且暴雨频繁地区的结构或经常处于高温作用下的结构;

- ④ 采用滑模类工艺施工的各类墙体结构；
- ⑤ 混凝土材料收缩较大，施工期外露时间较长的结构。

(3) 对下列情况，如有充分依据和可靠措施，表 1-3 中的伸缩缝最大间距可适当增大。

① 采用低收缩混凝土材料，采取分仓浇筑、后浇带、控制缝等施工方法，并加强施工养护；

② 采用专门的预加应力或增配构造钢筋的措施；

③ 采取减小混凝土收缩或温度变化的措施。

当增大伸缩缝间距时，尚应考虑温度变化和混凝土收缩对结构的影响。

(4) 当设置伸缩缝时，框架、排架结构的双柱基础可不断开。

1.2.2 混凝土保护层

(1) 构件中普通钢筋及预应力筋的混凝土保护层厚度应满足下列要求：

① 构件中受力钢筋的保护层厚度不应小于钢筋的直径 d ；

② 设计使用年限为 50 年的混凝土结构，最外层钢筋的保护层厚度应符合表 1-4 的规定；设计使用年限为 100 年的混凝土结构，最外层钢筋的保护层厚度不应小于表 1-4 中数值的 1.4 倍。

表 1-4 混凝土保护层的最小厚度 c

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。

(2) 当有充分依据并采取下列有效措施时，可适当减小混凝土保护层的厚度。

① 构件表面有可靠的防护层；

② 采用工厂化生产的预制构件，并能保证预制构件混凝土的质量；

③ 在混凝土中掺加阻锈剂或采用阴极保护处理等防锈措施；

④ 当对地下室墙体采取可靠的建筑防水做法或防腐措施时，与土壤接触一侧钢筋的保护层厚度可适当减少，但不应小于 25mm。

(3) 当梁、柱、墙中纵向受力钢筋的保护层厚度大于 50mm 时，宜对保护层采取有效的构造措施。可在保护层内配置防裂、防剥落的焊接钢筋网片，网片钢筋的保护层厚度不应小于 25mm，并应采取有效的绝缘、定位措施。

1.2.3 钢筋的锚固

(1) 当计算中充分利用钢筋的抗拉强度时，受拉钢筋的锚固应符合下列要求。

① 基本锚固长度应按下列公式计算。

a. 普通钢筋：

$$l_{ab} = \alpha \frac{f_y}{f_t} d \quad (1-3)$$

b. 预应力筋：

$$l_{ab} = \alpha \frac{f_{py}}{f_t} d \quad (1-4)$$

式中 l_{ab} ——受拉钢筋的基本锚固长度；

f_y 、 f_{py} ——普通钢筋、预应力筋的抗拉强度设计值；

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值，当混凝土强度等级高于 C60 时，按 C60 取值；

d ——锚固钢筋的直径；

α ——锚固钢筋的外形系数，按表 1-5 取用。

表 1-5 锚固钢筋的外形系数 α

钢筋类型	光面钢筋	带肋钢筋	螺旋肋钢丝	三股钢绞线	七股钢绞线
α	0.16	0.14	0.13	0.16	0.17

注：光面钢筋末端应做 180°弯钩，弯后平直段长度不应小于 $3d$ ，但作受压钢筋时可不作弯钩。

② 受拉钢筋的锚固长度应根据具体锚固条件按式(1-5) 计算，且不应小于 200mm：

$$l_a = \zeta_a l_{ab} \quad (1-5)$$

式中 l_a ——受拉钢筋的锚固长度；

ζ_a ——锚固长度修正系数，按表 1-6 的规定取用，当多于一项时，可按连乘计算，但不应小于 0.6。

表 1-6 受拉钢筋锚固长度修正系数 ζ_a

锚固条件	ζ_a	备 注
带肋钢筋的直径大于 25mm	1.10	—
环氧树脂涂层带肋钢筋	1.25	
施工过程中易受扰动的钢筋	1.10	
锚固区保护层厚度	$3d$	中间时按内插值， d 为锚固钢筋的直径
	$5d$	

③ 当锚固钢筋保护层厚度不大于 $5d$ 时，锚固长度范围内应配置横向构造钢筋，其直径不应小于 $d/4$ ；对梁、柱等杆状构件间距不应大于 $5d$ ，对板、墙等平面构件间距不大于 $10d$ ，且均不应小于 100mm，此处 d 为锚固钢筋的直径。

(2) 纵向受拉普通钢筋的锚固长度修正系数 ζ_a 应根据钢筋的锚固条件按下列规定取用：

① 当带肋钢筋的直径大于 25mm 时取 1.10；

② 环氧树脂涂层带肋钢筋取 1.25；

③ 施工过程中易受扰动的钢筋取 1.10；

④ 当纵向受力钢筋的实际配筋面积大于其设计计算面积时，修正系数取设计计算面积与实际配筋面积的比值，但对有抗震设防要求及直接承受动力荷载的结构构件，不应考虑此项修正；

⑤ 锚固区保护层厚度为 $3d$ 时修正系数可取 0.80，保护层厚度为 $5d$ 时修正系数可取 0.70，中间按内插取值，此处 d 为纵向受力带肋钢筋的直径。

(3) 当纵向受拉普通钢筋末端采用钢筋弯钩或机械锚固措施时，包括弯钩或锚固端头在内的锚固长度（投影长度）可取为基本锚固长度 l_{ab} 的 60%。钢筋弯钩和机械锚固的形式和技术要求应符合表 1-7 及图 1-1 的规定。