

建筑工程常用公式及应用系列 >>

混凝土结构 常用公式及应用

黄梅 主编

$$\eta_2 = 0.5 + \frac{a_s h_0}{4u_m}$$

$$l_{ab} = \alpha \frac{f_y}{f_t} d$$

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \epsilon_{cu}}}$$

$$\eta_1 = 0.4 + \frac{1.2}{\beta_s}$$

$$M \leq a_1 f_c b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right)$$



化学工业出版社

建筑工程常用公式及应用系列

混凝土结构常用公式及应用

黄 梅 主 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书依据国家最新颁布的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)、《建筑工程冬期施工规程》(JGJ/T 104—2011)等标准进行编写,主要介绍了混凝土结构设计及施工中常用公式及其应用。本书内容包括:一般构造计算,受弯构件计算,受压构件计算,受拉构件计算,受扭构件计算,受冲切、局部受压承载力计算和疲劳验算,正常使用极限状态验算,其他结构构件计算,预应力混凝土结构计算,混凝土结构工程施工计算。

本书内容丰富,实用性强,可供混凝土结构工程设计人员、施工人员及相关专业大中专院校的师生学习查阅。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构常用公式及应用/黄梅主编. —北京:
化学工业出版社, 2014. 11

(建筑工程常用公式及应用系列)

ISBN 978-7-122-21613-7

I. ①混… II. ①黄… III. ①混凝土结构-结构设计-
设计公式 IV. ①TU370.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第190567号

责任编辑:徐娟

文字编辑:吴开亮

责任校对:宋夏

装帧设计:王晓宇

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:三河市延风印装厂

850mm×1168mm 1/32 印张8 字数220千字

2015年1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:29.00元

版权所有 违者必究

前言 FOREWORD

随着我国国民经济的迅速发展和人民生活水平的提高，各项建设工程得到迅猛发展，混凝土结构在建筑结构中的应用越来越频繁。近年来，为了适应当前建筑结构的发展需要，我国对建筑领域的一系列标准规范进行了修订与完善，因而市面上出现了很多介绍混凝土结构设计、施工的书籍，但这些书籍大多数是在介绍设计原理、设计体系的同时，将混凝土结构常用的计算公式包罗其中进行泛泛讲解，读者在遇到有关混凝土结构计算问题时，查阅起来很不方便，因此迫切需要一本囊括混凝土结构设计与施工常用计算公式的参考书作为参考和指导。基于以上原因，我们组织相关技术人员，依据国家最新颁布的《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）、《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2012）、《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55—2011）、《建筑工程冬期施工规程》（JGJ/T 104—2011）等标准规范，编写了这本《混凝土结构常用公式及应用》，旨在满足广大技术人员的迫切需要，帮助他们快速解决一些与混凝土结构有关的计算问题，提高其业务水平，保证工程施工质量。

本书依据最新的标准规范进行编写，全面而系统地介绍了混凝土结构中的计算公式，使读者参考起来更加便捷，掌握更加迅速。同时，本书将理论知识与实际应用相结合，用实例来说话，让原本枯燥乏味的公式变得生活化，更加具有真实性和实用性。

本书由黄梅主编，参加编写的还有王文胜、王霞、王丽娟、王健宫、朱永新、马田、冯义显、巩晓东、刘秀民、刘平、江潮、许琪、张文权、齐丽娜、杨丕鑫、解兆谦、温晓杰、白雅君。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，若有疏漏或不妥之处，恳请有关专家和读者提出宝贵意见，予以批评指正，以便做进一步修改和完善。

编者

2014年8月

CONTENTS

目录

1	Page
一般构造计算	1
1.1 承载能力极限状态计算	1
1.1.1 设计表达式	1
1.1.2 荷载基本组合效应设计值	2
1.2 正常使用极限状态验算	4
1.3 钢筋锚固长度计算	10
1.4 钢筋搭接长度计算	12
1.5 最小配筋率	13

2	Page
受弯构件计算	16
2.1 受弯构件正截面受弯承载力计算	16
2.1.1 基本假定	16
2.1.2 相对界限受压区高度 ξ_b	19
2.1.3 矩形截面受弯构件	20
2.1.4 I形截面受弯构件	21
2.1.5 公式应用	23
2.2 受弯构件斜截面受剪承载力计算	27
2.2.1 矩形、T形和I形截面受弯构件	27
2.2.2 无腹筋板受弯构件	31
2.2.3 公式应用	32

3	Page
受压构件计算	35
3.1 受压构件正截面承载力计算	35

3.1.1 轴心受压构件	35
3.1.2 偏心受压构件	38
3.1.3 公式应用	44
3.2 受压构件斜截面受剪承载力计算	47

4

受拉构件计算

Page

51

4.1 受拉构件正截面承载力计算	51
4.1.1 轴心受拉构件	51
4.1.2 偏心受拉构件	51
4.1.3 公式应用	53
4.2 受拉构件斜截面受剪承载力计算	54

5

受扭构件计算

Page

56

5.1 纯扭构件承载力计算	56
5.1.1 矩形截面受扭构件	56
5.1.2 T形和I形截面受扭构件	57
5.1.3 箱形截面受扭构件	58
5.1.4 公式应用	58
5.2 压扭构件承载力计算	62
5.3 拉扭构件承载力计算	63
5.4 剪扭构件承载力计算	63
5.4.1 矩形截面	63
5.4.2 T形和I形截面	64
5.4.3 箱形截面	64
5.4.4 公式应用	65
5.5 弯剪扭构件承载力计算	67
5.6 压弯剪扭构件承载力计算	69
5.7 拉弯剪扭构件承载力计算	69

6.1 受冲切承载力计算	71
6.1.1 不配置箍筋或弯起钢筋时	71
6.1.2 板柱节点中的板	73
6.1.3 配置箍筋或弯起钢筋时	77
6.1.4 阶形基础	78
6.1.5 公式应用	79
6.2 局部受压承载力计算	84
6.2.1 局部受压区的截面尺寸	84
6.2.2 局部受压承载力计算	86
6.2.3 公式应用	87
6.3 疲劳验算	88
6.3.1 受弯构件正截面疲劳验算	88
6.3.2 受弯构件斜截面疲劳验算	95
6.3.3 公式应用	96

7.1 裂缝控制验算	99
7.2 受弯构件挠度验算	110

8.1 梁	117
8.2 梁柱节点	119
8.3 牛腿	120
8.4 预埋件	123
8.4.1 直锚筋预埋件	123
8.4.2 弯折锚筋预埋件	125
8.4.3 公式应用	125

8.5	深受弯构件计算	129
8.5.1	正截面受弯承载力与斜截面受剪承载力计算	129
8.5.2	深梁相关计算	130
8.5.3	公式应用	132
8.6	无支撑叠合梁板	133
8.6.1	预制构件和叠合构件的正截面受弯承载力计算	133
8.6.2	预制构件和叠合构件的斜截面受剪承载力计算	134
8.6.3	叠合面的受剪承载力计算	134
8.6.4	纵向受拉钢筋的应力计算	134
8.6.5	混凝土叠合构件的最大裂缝宽度	135
8.6.6	叠合构件的刚度计算	136
8.6.7	短期刚度计算	136
8.6.8	公式应用	137

9

预应力混凝土结构计算

Page

141

9.1	张拉控制应力	141
9.2	预应力损失值计算	141
9.2.1	锚固损失	141
9.2.2	孔道摩擦损失	145
9.2.3	温差损失	145
9.2.4	应力松弛损失	146
9.2.5	混凝土收缩、徐变损失	146
9.2.6	弹性压缩损失	150
9.2.7	预应力损失组合	151
9.2.8	公式应用	151
9.3	预应力混凝土受弯构件的计算	155
9.3.1	预应力混凝土受弯构件应力计算式	155
9.3.2	施工阶段验算	158

10

混凝土结构工程施工计算

10.1 模板工程施工计算	170
10.1.1 混凝土模板用量计算	170
10.1.2 模板构件临界长度的计算	174
10.1.3 模板承受侧压力计算	176
10.1.4 现浇混凝土模板简易计算	177
10.1.5 公式应用	186
10.2 钢筋工程施工计算	188
10.2.1 钢筋下料长度计算	188
10.2.2 钢筋冷拉施工计算	195
10.2.3 公式应用	198
10.3 预应力工程施工计算	200
10.3.1 预应力筋下料长度计算	200
10.3.2 预应力筋放张施工计算	203
10.3.3 公式应用	205
10.4 混凝土工程施工计算	206
10.4.1 混凝土配合比计算	206
10.4.2 混凝土浇筑强度及时间计算	214
10.4.3 泵送混凝土浇筑施工计算	215
10.4.4 混凝土裂缝控制施工计算	218
10.4.5 混凝土表面温度控制裂缝计算	225
10.4.6 公式应用	226
10.5 冬期施工计算	232
10.5.1 混凝土的热工计算	232
10.5.2 用成熟度法计算混凝土早期强度	236
10.5.3 公式应用	240

1.1 承载力极限状态计算

1.1.1 设计表达式

对于承载力极限状态,应按荷载的基本组合或偶然组合计算荷载组合的效应设计值,并应采用下列设计表达式进行设计:

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

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

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,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;

$R()$ ——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;

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。

注:式(1-1)中的 $\gamma_0 S$ 为内力设计值,在各章中用 N 、 M 、

V、T 等表达。

1.1.2 荷载基本组合效应设计值

荷载基本组合的效应设计值 S ，应从下列荷载组合值中取用最不利的效应设计值确定。

(1) 由可变荷载控制的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S = \sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G_{jk}} + \gamma_{Q_1} \gamma_{L_1} S_{Q_{1k}} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} \Psi_{c_i} S_{Q_{ik}} \quad (1-3)$$

式中 γ_{G_j} ——第 j 个永久荷载的分项系数，应按表 1-1 取值；

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

γ_{L_i} ——第 i 个可变荷载考虑设计使用年限的调整系数，其中 γ_{L_1} 为主导可变荷载 Q_1 考虑设计使用年限的调整系数；

$S_{G_{jk}}$ ——按第 j 个永久荷载标准值 G_{jk} 计算的荷载效应值；

$S_{Q_{ik}}$ ——按第 i 个可变荷载标准值 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_{c_i} ——第 i 个可变荷载 Q_i 的组合值系数；

m ——参与组合的永久荷载数；

n ——参与组合的可变荷载数。

表 1-1 永久荷载分项系数 γ_{G_j}

项 目	效应组合情况	γ_{G_j}
永久荷载效应对结构不利时	对由可变荷载效应控制的组合	1.2
	对由永久荷载效应控制的组合	1.35
永久荷载效应对结构有利时	—	≤ 1.0

表 1-2 可变荷载分项系数 γ_{Q_i}

项 目	γ_{Q_i}
对标准值大于 4kN/m^2 的工业房屋楼面结构的活荷载	1.3
其他情况	1.4

(2) 由永久荷载控制的效应设计值，应按下式进行计算：

$$S = \sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G_{jk}} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} \Psi_{c_i} S_{Q_{ik}} \quad (1-4)$$

注:1. 基本组合中的效应设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

2. 当对 $S_{Q_{ik}}$ 无法明显判断时,应轮次以各可变荷载效应作为 $S_{Q_{ik}}$,并选取其中最不利荷载组合的效应设计值。

【例 1-1】 一简支梁,安全等级为二级,计算跨度 $l_0=4\text{m}$,承受均布永久荷载标准值 $g_k=8\text{kN/m}$,均布可变荷载标准值 $q_k=6\text{kN/m}$,集中可变荷载标准值 $Q_k=30\text{kN}$,作用于跨中。 $\Psi_{c_i}=0.7$ 。求该梁跨中截面的弯矩设计值(如图 1-1 所示)。

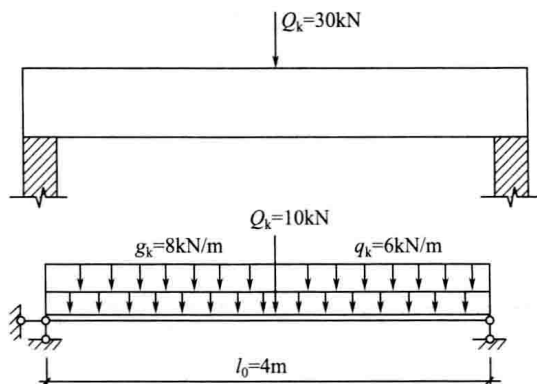


图 1-1 某简支梁计算简图

【解】 (1) 可变荷载效应控制的组合计算。

$$M = 0.9 \times \left(1.2 \times \frac{1}{8} \times 8 \times 4^2 + 1.4 \times \frac{1}{8} \times 6 \times 4^2 + 1.4 \times 0.7 \times \frac{1}{4} \times 30 \times 4 \right) = 0.9 \times 65.4 = 58.86 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 按永久荷载效应控制的组合计算。

$$M = 0.9 \times \left(1.35 \times \frac{1}{8} \times 8 \times 4^2 + 1.4 \times 0.7 \times \frac{1}{8} \times 6 \times 4^2 + 1.4 \times 0.7 \times \frac{1}{4} \times 30 \times 4 \right) = 0.9 \times 62.76 = 56.48 \text{ kN} \cdot \text{m} < 58.86 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

按可变荷载效应控制的组合计算结果取用。

1.2 正常使用极限状态验算

对于正常使用极限状态,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,并按下列设计表达式进行设计:

$$S_d \leq C \quad (1-5)$$

式中 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,见表 1-3~表 1-12。

表 1-3 结构构件的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值

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	ω_{lim}	裂缝控制等级	ω_{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,按表中二 a 级环境的要求进行验算;在一类和二 a 类环境下的需做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《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)第 7 章的要求。

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。

表 1-4 钢筋混凝土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中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。

表 1-5 木结构受弯构件挠度限值

构件类别		挠度限值 $[\omega]$
檩条	受弯构件的计算跨度 $\leq 3.3\text{m}$	1/200
	受弯构件的计算跨度 $> 3.3\text{m}$	1/250
椽条		1/150
吊顶中的受弯构件		1/250
楼板梁和搁栅		1/250

表 1-6 钢结构受弯构件的挠度容许值

构件类别	挠度容许值	
	$[v_T]$	$[v_Q]$
吊车梁和吊车桁架(按自重和起重量最大的一台吊车计算挠度)		
(1) 手动起重机和单梁起重机(含悬挂起重机)	$l/500$	—
(2) 轻级工作制桥式起重机	$l/750$	
(3) 中级工作制桥式起重机	$l/900$	
(4) 重级工作制桥式起重机	$l/1000$	

续表

构件类别	挠度容许值	
	$[v_T]$	$[v_Q]$
手动或电动葫芦的轨道梁	$l/400$	—
有重轨(质量等于或大于 38kg/m)轨道的工作平台梁	$l/600$	—
有轻轨(质量等于或大于 24kg/m)轨道的工作平台梁	$l/400$	—
楼(屋)盖梁或桁架、工作平台梁(第3项除外)和平台板		
(1) 主梁或桁架(包括设有悬挂起重设备的梁和桁架)	$l/400$	$l/500$
(2) 仅支承压型金属板屋面和冷弯型钢檩条	$l/180$	—
(3) 除支承压型金属板屋面和冷弯型钢檩条外,尚有吊顶	$l/240$	—
(4) 抹灰顶棚的次梁	$l/250$	$l/350$
(5) 除(1)、(2)款外的其他梁(包括楼梯梁)	$l/250$	$l/300$
(6) 屋盖檩条		
支承压型金属板、无积灰的瓦楞铁和石棉瓦屋面者	$l/150$	—
支承有积灰的瓦楞铁和石棉瓦等屋面者	$l/200$	—
支承其他屋面材料者	$l/200$	—
有吊顶	$l/240$	—
(7) 平台板	$l/150$	—
墙架构件(风荷载不考虑阵风系数)		
(1) 支柱	—	$l/400$
(2) 抗风桁架(作为连续支柱的支承时)	—	$l/1000$
(3) 砌体墙的横梁(水平方向)	—	$l/300$
(4) 支承压型金属板的横梁(水平方向)	—	$l/100$
(5) 支承瓦楞铁和石棉瓦墙面的横梁(水平方向)	—	$l/200$
(6) 带有玻璃窗的横梁(竖直和水平方向)	$l/200$	$l/200$

注:1. l 为受弯构件的跨度(对悬臂梁和伸臂梁为悬臂长度的2倍)。

2. $[v_T]$ 为永久和可变荷载标准值产生的挠度(如有起拱应减去拱度)的容许值; $[v_Q]$ 为可变荷载标准值产生的挠度的容许值。

3. 当吊车梁或吊车桁架跨度大于 12m 时,其挠度容许值 $[v_T]$ 应乘以 0.9 的系数。

表 1-7 单层钢结构柱顶水平位移容许值

结构体系	吊车情况	柱顶水平位移
排架、框架	无桥式吊车	$H/150$
	有桥式吊车	$H/400$

续表

结 构 体 系	吊 车 情 况		柱顶水平位移
门式刚架	无吊车	当采用轻型钢墙板时	$H/60$
		当采用砌体墙时	$H/100$
	有桥式吊车	当吊车有驾驶室时	$H/400$
		当吊车由地面操作时	$H/180$

注:1. H 为柱高度。

2. 轻型框架结构的柱顶水平位移可适当放宽。

表 1-8 单层厂房钢排架柱和露天栈桥柱的位移(计算值)容许值

位移的种类	按平面结构图形计算	按空间结构图形计算
厂房柱的横向位移	$H_c/1250$	$H_c/2000$
露天栈桥柱的横向位移	$H_c/2500$	—
厂房和露天栈桥柱的纵向位移	$H_c/4000$	—

注:1. H_c 为基础顶面至吊车梁或吊车桁架的顶面的高度。

2. 计算厂房或露天栈桥柱的纵向位移时,可假定吊车的纵向水平制动力分配在温度区段内所有的柱间支撑或纵向框架上。

3. 在设有 A8 级吊车的厂房中,厂房柱的水平位移(计算值)容许值宜减小 10%。

4. 在设有 A6 级吊车的厂房柱的纵向位移宜符合表中的要求。

表 1-9 单层门式刚架柱顶位移设计值的限值

吊车情况	其他情况	柱顶位移限值
无吊车	当采用轻型钢墙板时	$h/60$
	当采用砌体墙时	$h/100$
有桥式吊车	当吊车有驾驶室时	$h/400$
	当吊车由地面操作时	$h/180$

注:表中 h 为刚架柱高度。

表 1-10 单层门式刚架受弯构件的挠度与跨度比限值

项 目	构 件 类 别	构件挠度限值
竖向挠度	门式刚架斜梁	
	仅支承压型钢板屋面的冷弯型钢檩条	$L/180$
	尚有吊顶	$L/240$
	有悬挂起重机	$L/400$