

HUNNINGTU
JIEGOU SHEJI YUANLI
FUXI YU JIETI ZHIDAO

混凝土结构设计原理 复习与解题指导

张庆芳 白建方 编著



化学工业出版社

HUNNINGTU
JIEGOU SHEJI YUANLI
FUXI YU JIETI ZHIDAO

混凝土结构设计原理 复习与解题指导

张庆芳 白建方 编著



化学工业出版社
北京

本书根据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)和东南大学、同济大学、天津大学合编的《混凝土结构》(上册)——混凝土结构设计原理(第四版)编写,每章包括基本公式、重点难点、疑问解答、常见题型与解题思路、典型例题等内容。其中典型例题部分针对三校合编教材每章习题中有代表性的题目,进行了详细地解答。另外,又新增了一些考察基本概念和解题能力的练习题,以帮助读者进一步加深对教材相关内容的理解。

本书可供备考专接本考试的考生学习,也可作为土木工程专业的本科生学习钢筋混凝土结构、结构设计原理及相关课程的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理复习与解题指导/张庆芳,白建方编著. —北京:化学工业出版社,2010.8
ISBN 978-7-122-08876-5

I. 混… II. ①张… ②白… III. 混凝土结构-结构设计-教学参考资料 IV. TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 117561 号

责任编辑:袁海燕
责任校对:边涛

装帧设计:张辉

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:北京市兴顺印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张7¾ 字数201千字 2010年9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:20.00 元

版权所有 违者必究

前 言

《混凝土结构设计原理》是土木工程专业重要的学位课，也是结构工程专业专接本考试、研究生入学考试的必考课之一。该课程概念多、公式多、构造多，知识点繁杂，不容易记忆，也不便于复习，所以有必要科学地将主要内容进行提炼、归纳和总结，并对主要题型加以梳理，形成明确的解题思路，唯有如此在复习考试时才能做到得心应手、事半功倍。本书正是基于这一目的精心编写的。

目前针对这门课程所编教材很多，但采用量最大的当属由东南大学、天津大学、同济大学三校合编的《混凝土结构》（上册）——混凝土结构设计原理（第四版），该书属于普通高等教育“十一五”国家级规划教材，同时也是土木工程专业专接本考试指定教材。本书的内容编排便参照该教材第四版进行。每章大致分为主要内容、基本公式、重点难点、常见题型与解题思路、疑问解答、典型例题以及练习题等环节。

在每一章的主要内容部分用框图的形式，直观地给出该章的主要知识点以及各知识点之间的联系，做到条理清楚、方便记忆；基本公式部分对该章所用到的主要计算公式加以汇总，并附有计算简图，方便学生复习时采用；随后的重点难点针对考试中涉及的一些重点和难点内容进行解释；在常见题型与解题思路这个环节给出该章可能遇到的题型以及各题型的解题思路、解题步骤，让学生做题时有章可循，不至于无从下手；对于教材中介绍不甚详细但实际中学生经常问到的题目在疑问解答部分给以解答；而典型例题部分则针对三校合编教材每章习题中有代表性的题目，进行了详细解答；在每章最后增加了一些考察基本概念和解题能力的练习题，并附有参考答案，以帮助读者进一步加深对教材相关内容的理解。

整个书的内容紧紧围绕复习、考试来进行，针对性强、简单实用。

本书由石家庄铁道大学白建方（第1、2、6、7、8章）和张庆芳（第3、4、5、9章与自测题）编写。所在单位石家庄铁道大学土木工程学院为本书的出版创造了良好的外部环境。在本书的编写过程中参考和引用了同行的一些文献资料，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，再加上时间仓促，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请读者批评指正，以便及时改进。

编 者
2010年5月

目 录

第 1 章 混凝土结构材料的物理力学性能	1
1.1 主要内容	1
1.2 基本公式	1
1.3 重点难点	2
1.4 疑问解答	3
1.5 练习题	6
1.6 习题答案	7
第 2 章 混凝土结构设计方法	9
2.1 主要内容	9
2.2 重点难点	9
2.3 典型例题	14
2.4 练习题	15
2.5 习题答案	17
第 3 章 受弯构件的正截面承载力	19
3.1 主要内容	19
3.2 基本公式	19
3.3 重点难点	21
3.4 常见题型与解题思路	23
3.5 疑问解答	25
3.6 典型例题	26
3.7 练习题	28
3.8 习题答案	30
第 4 章 受弯构件的斜截面承载力	32
4.1 主要内容	32
4.2 基本公式	32
4.3 重点难点	33
4.4 常见题型与解题思路	37
4.5 疑问解答	37
4.6 典型例题	38
4.7 练习题	41
4.8 习题答案	43
第 5 章 受压构件的截面承载力	46
5.1 主要内容	46
5.2 基本公式	46
5.3 重点难点	48

5.4	常见题型与解题思路	49
5.5	疑问解答	53
5.6	典型例题	54
5.7	练习题	58
5.8	习题答案	60
第6章	受拉构件的截面承载力	62
6.1	主要内容	62
6.2	基本公式	62
6.3	常见题型与解题思路	64
6.4	疑问解答	65
6.5	典型例题	66
6.6	练习题	67
6.7	习题答案	68
第7章	受扭构件的扭曲截面承载力	69
7.1	主要内容	69
7.2	基本公式	69
7.3	重点难点	71
7.4	常见题型与解题思路	72
7.5	疑问解答	73
7.6	典型例题	74
7.7	练习题	77
7.8	习题答案	78
第8章	挠度、裂缝宽度验算及延性和耐久性	80
8.1	主要内容	80
8.2	重点难点	80
8.3	常见题型与解题思路	83
8.4	典型例题	85
8.5	练习题	88
8.6	习题答案	90
第9章	预应力混凝土构件	91
9.1	主要内容	91
9.2	基本公式	91
9.3	疑问解答	94
9.4	练习题	95
9.5	习题答案	96
自测题		97
参考文献		117

第 1 章 混凝土结构材料的物理力学性能

1.1 主要内容

本章主要内容见图 1-1。

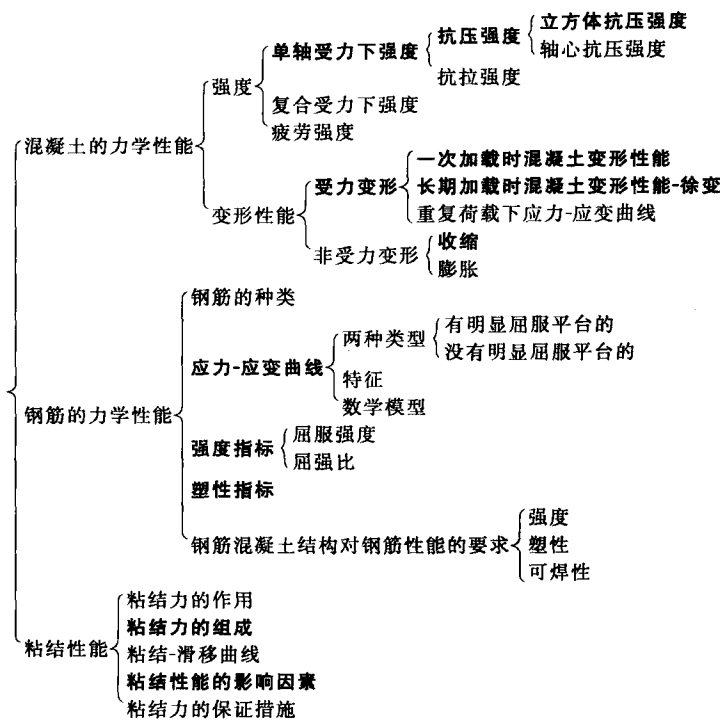


图 1-1 本章主要内容

注：图中黑体字为本章重点。

1.2 基本公式

1.2.1 混凝土立方体抗压强度标准值的计算

$$f_{cu,k} = \mu_f - 1.645\sigma_f \quad (1-1)$$

式中， μ_f 为立方体抗压强度 f_{cu} 的均值， σ_f 为其标准差。

1.2.2 混凝土轴心抗压强度与立方体抗压强度的关系

$$f_{ck} = 0.88\alpha_{c1}\alpha_{c2}f_{cu,k} \quad (1-2)$$

式中 α_{c1} ——棱柱体强度与立方体强度的比值,当混凝土的强度等级不大于 C50 时 $\alpha_{c1} = 0.76$;当混凝土的强度等级为 C80 时, $\alpha_{c1} = 0.82$;当混凝土的强度等级为中间值时,在 0.76 和 0.82 之间插值;

α_{c2} ——混凝土的脆性系数,当混凝土的强度等级不大于 C40 时, $\alpha_{c2} = 1.0$;当混凝土的强度等级为 C80 时, $\alpha_{c2} = 0.87$;当混凝土的强度等级为中间值时,在 1.0 和 0.87 之间插值;

0.88——考虑结构中的混凝土强度与试件混凝土强度之间的差异等因素的修正系数。

1.2.3 混凝土抗拉强度与立方体抗压强度的关系

$$f_{tk} = 0.88 \times 0.395 f_{cu,k}^{0.55} (1 - 1.645\delta)^{0.45} \times \alpha_{c2} \quad (1-3)$$

式中 δ ——变异系数, $\delta = \sigma/\mu$;

0.88 和 α_{c2} 的意义与 (1-2) 相同。

1.2.4 混凝土三向受压强度

$$f'_{cc} = f'_c + (4.5 \sim 7.0) f_L \quad (1-4)$$

式中 f'_{cc} ——有侧向压力约束试件的轴心抗压强度;

f'_c ——无侧向压力约束的圆柱体试件的轴心抗压强度;

f_L ——侧向约束压应力。

公式中, f_L 前的数字为侧向应力系数,平均值为 5.6,当侧向压应力较低时得到的系数值较高。本公式是推导螺旋配箍轴心受压构件承载力计算公式的基础。

1.2.5 混凝土弹性模量的计算公式

$$E_c = \frac{10^2}{2.2 + \frac{34.7}{f_{cu,k}}} \quad (1-5)$$

1.2.6 钢筋屈服强度标准值的计算

$$f_{yk} = \mu_s - 2.0\sigma_s \quad (1-6)$$

式中, μ_s 为钢筋屈服强度的均值, σ_s 为其标准差。

1.3 重点难点

1.3.1 影响混凝土立方体抗压强度的因素

混凝土的强度与水泥强度、水灰比、骨料品种、混凝土配合比、硬化条件和龄期等有很大关系。此外,试件的尺寸及形状、试验方法和加载速度不同,得到的强度也不同。

1.3.2 混凝土的变形

混凝土的变形分为受力变形和非受力变形。受力变形又可细分为一次短期加载、荷载长期作用和多次重复荷载作用 3 种情况。非受力变形主要包括收缩和膨胀。一次短期加载下的变形性能主要由应力-应变曲线来反映,荷载长期作用下的变形性能主要指徐变。

1.3.3 混凝土的弹性模量

在计算混凝土构件的截面应力、变形、预应力混凝土构件的预压应力,以及由于温度变

化、支座沉降产生的内力时,需要利用混凝土的弹性模量。由于一般情况下受压混凝土的 $\sigma-\epsilon$ 曲线是非线性的,应力和应变的关系并不是常数,这就产生了“模量”的取值问题。

目前我国《规范》中弹性模量 E_c 值是用下列方法确定的:采用棱柱体试件,取应力上限为 $0.5f_c$ 重复加荷5~6次。由于混凝土的塑性性质,每次卸载为零时,存在残余变形。但随荷载多次重复,残余变形逐渐减小,重复加荷5~6次后,变形趋于稳定,混凝土的 $\sigma-\epsilon$ 曲线在 $0.5f_c$ 以下段接近于直线(图1-2),该直线的斜率为混凝土的弹性模量。

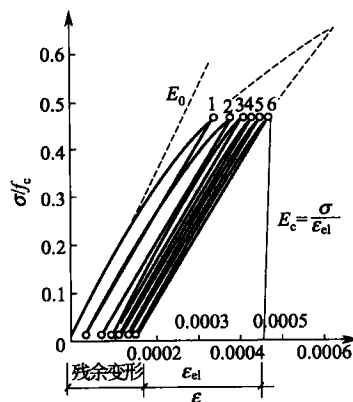


图1-2 混凝土弹性模量 E_c 的测定方法

1.3.4 钢筋伸长率

钢筋拉断后的伸长值与原长的比率称为伸长率,伸长率越大表明钢筋的塑性越好;伸长率用 δ 表示,我国以往用钢筋试样拉断后断口两侧的残留应变(用百分率表示)作为伸长率,即

$$\delta = \frac{l' - l}{l} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 l ——钢筋拉伸试验试件的应变测量标距;

l' ——试件经拉断并重新拼合后量测断口两侧的标距,即产生残留伸长后的标距。

国内对应变量测标距规定取 $l=5d$ (d 为试件直径),相应的伸长率用 δ_5 表示;也有取 $l=10d$ 和 $l=100d$ 的,相应的伸长率分别用 δ_{10} 和 δ_{100} 表示。通常 $\delta_5 > \delta_{10}$,这是因为残留应变主要集中在颈缩区段内,而颈缩区段的长度与量测标距的大小无关,标距越短,获得的平均残留应变自然就越大。

1.3.5 钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求

强度高、塑性好、可焊性好、与混凝土的粘结锚固性能好。

1.3.6 粘结力的组成

化学胶结力、摩擦力、机械咬合力、锚固力。其中对于光面钢筋来说主要为摩擦力,而对于变形钢筋则主要为机械咬合力。

1.3.7 影响粘结强度的因素

- ① 随混凝土的强度等级提高而提高;
- ② 变形钢筋较光圆钢筋的粘结强度高;
- ③ 钢筋间的净间距越小,粘结强度越低;
- ④ 沿横向布置的钢筋可以提高粘结强度;
- ⑤ 横向压力可以提高粘结强度。

1.4 疑问解答

(1) 各因素是如何影响混凝土立方体抗压强度的?

- ① 原材料品质的影响 水泥标号越高,颗粒越细,则生成水泥石的强度和粘结力越强,

混凝土的强度也就越高。所以在选择水泥标号时,一般应使水泥的抗压强度等级不低于要求的混凝土强度等级的1.5~2倍。一般承重结构应采用抗压强度检验指标不低于40N/mm²的水泥。

在集料中,石子的品质对混凝土强度的影响较显著。不但集料本身的强度及级配会直接影响混凝土的质量,集料(特别是石子)的颗粒形状对混凝土强度也有显著影响,这种影响与水灰比的影响互相关联。当水灰比较低时,用具有棱角且表面粗糙的碎石拌制的混凝土,强度高于砾石混凝土。因此对于主要是承受拉力的结构、有严格抗裂性要求的结构或承受多次重复荷载的结构,最好是采用碎石混凝土。当水灰比在0.65以上时,碎石混凝土和砾石混凝土的强度基本上没有区别。集料的最大粒径对混凝土的强度也有影响。较大的集料颗粒会增大混凝土内部组织的非匀质性和非连续性,可能使混凝土的强度降低。因此,集料的最大粒径一般不宜大于25~40mm,且不宜大于构件最小尺寸的1/4,也不应大于钢筋的最小间隔。

② 水灰比及水泥用量的影响 在保证混凝土凝固所需化学结合水和混凝土拌和料振捣密实所需塑性的前提下,混凝土的强度随水灰比的降低而提高。水泥水解和完成水化作用所需的水不超过水泥质量的20%,即理论上的最小水灰比为0.2。从拌制和振捣的需要出发,水灰比不能低于0.3。对具有良好振捣条件的工厂预制构件,可采用水灰比为0.3~0.4的干硬性混凝土拌和料,否则应采用水灰比为0.5~0.7的塑性混凝土拌和料。一般水灰比最好不超过0.6。水泥用量对混凝土强度的影响,与水灰比及集料的粒径、级配有关。一般地说,在一定限度内水泥用量愈多,混凝土的强度愈高,但超过一定限度后,继续增加水泥用量,混凝土的强度不再提高。

水灰比和水泥用量不但对混凝土的强度有重要影响,而且对混凝土的徐变、收缩等性能也有重要的影响。在结构设计时,常常需对水灰比和水泥用量这两项指标提出专门要求。

③ 混凝土强度随龄期增长的规律 水泥石内部组织结构随时间的发展变化,使混凝土的强度随龄期而提高,提高的速度与水泥品种、养护条件(温、湿度)等因素有关。在正常自然条件下,用普通硅酸盐水泥拌制的混凝土,早期强度提高较快,28d龄期可完成最终强度的80%。矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥混凝土的早期强度提高较慢,但在28~90d龄期之间的后期强度提高较快。

另外,混凝土强度一般随着试件尺寸的增加而降低,随着加载速度的提高而提高。

(2) 混凝土棱柱体试件一次短期加载下的受压破坏机理是怎么样的?

混凝土的抗压强度远低于砂浆和粗骨料任一单体材料的强度。例如:粗骨料的抗压强度为90N/mm²,砂浆抗压强度为48N/mm²,由这两种材料组成的混凝土抗压强度只有24N/mm²,其原因可从混凝土受压破坏的机理来分析。由水泥、水、骨料组成的混凝土,在硬化过程中水泥和水形成的水泥石与骨料粘结在一起。凝结初期由于水泥石收缩、骨料下沉等原因,在水泥石和骨料之间的交界面上形成微裂缝,它是混凝土中最薄弱的环节,加荷前已存在这种微裂缝。在外力作用下,微裂缝将有一个发展过程。混凝土的破坏过程是裂缝不断产生、扩展和失稳的过程。

研究表明:混凝土从开始加荷到破坏的全过程可分为三个阶段。

第Ⅰ阶段,应力较小时, $\sigma \leq (0.3 \sim 0.4)f_{ck}$,微裂缝没有明显的发展,在砂浆和骨料的结合面的某些点上产生拉应力集中,当拉应力超过了结合面的粘结强度时,这些点就开裂,从而减缓应力集中并恢复平衡。当应力不增大时,不再出现新的裂缝,分散的细微裂缝处于稳定状态。

第Ⅱ阶段, $(0.3 \sim 0.4)f_{ck} \leq \sigma \leq (0.7 \sim 0.9)f_{ck}$,随着荷载的增大,水泥石中的裂缝与

骨料的微裂缝不断产生、发展。但这些裂缝仍然处于稳定状态,即荷载不增大,裂缝不会持续发展。由于不可恢复的变形明显增加,应力-应变曲线弯向应变轴,横向变形系数增大。

第Ⅲ阶段, $(0.7 \sim 0.9)f_{ck} \leq \sigma \leq f_{ck}$, 随着荷载的增大,裂缝宽度和数量急剧增加,水泥石中裂缝与骨料结合处微裂缝连接成通缝。即使应力不增加,裂缝也会持续扩展,裂缝已进入非稳定状态。应力再增加,混凝土内裂缝大量扩展,骨料与混凝土之间的粘结作用基本消失。当应力达到 f_{ck} 后,混凝土内裂缝形成了破坏面,将混凝土分成若干个小柱体,但混凝土的强度并未完全丧失。随着沿破坏面上的剪切滑移和裂缝的不断延伸扩大,应变急剧增大,承载能力下降,试件表面出现不连续的纵向裂缝,应力-应变曲线出现下降段。最后骨料与水泥石的粘结基本丧失,滑移面上摩擦咬合力耗尽,试件被压酥破坏。

由破坏机理分析可知,混凝土受压破坏是由于混凝土内裂缝的扩展所致。

根据破坏机理,可通过约束横向变形限制微裂缝的发展,从而提高混凝土的强度。如配螺旋箍筋或采用钢管混凝土,约束混凝土的横向变形,以提高混凝土的抗压强度。

(3) 混凝土徐变的产生原因及影响因素有哪些?

① 产生徐变的原因 混凝土徐变的成因,一般而言,归因于混凝土中未晶体化的水泥胶凝体,在持续的外荷载作用下产生粘性流动,压应力逐渐转移给骨料,骨料应力增大,试件变形也随之增大。卸荷后,水泥胶凝体又逐渐恢复原状,骨料遂将这部分应力逐渐转回给胶凝体,于是产生弹性后效。当压应力较大时,在荷载的长期作用下,混凝土内部裂缝不断发展,致使应变增加。

② 徐变对钢筋混凝土结构的影响 徐变对结构的影响主要是使变形增大,使预应力混凝土的预应力产生损失,使结构或构件产生内力重分布或使截面产生应力重分布以及引起应力松弛等。徐变对结构的影响,在多数情况下是不利的。但徐变引起的内力或应力重分布及应力松弛有时候对结构有利。例如,对钢筋混凝土轴心受压柱,混凝土徐变引起的混凝土和受压钢筋之间的应力重分布,使钢筋和混凝土的应力有可能同时到达各自的强度,有利于材料强度的充分利用,对存在温度应力的结构,混凝土徐变可能使温度应力降低。

③ 影响徐变的因素及减少徐变的措施 混凝土的制作、养护都对徐变有影响。养护环境湿度愈大、温度愈高,徐变就愈小,因此,加强混凝土的养护,促使水泥水化作用充分,尽早并尽量多结硬,尽量减少转化为结晶体的水泥胶凝体的成分,是减少徐变的有效措施。对混凝土加以蒸汽养护,可使徐变减少 20%~35%。若在使用期处于高温、干燥条件下,则构件的徐变将增大。

显然,在混凝土的组成成分中,水灰比愈大,徐变愈大,在常用的水灰比(0.4~0.6)情况下,徐变与水灰比呈线性关系;水泥用量愈多,徐变也愈大;水泥品种不同对徐变也有影响,用普通硅酸盐水泥制成的混凝土,其徐变要较火山灰质水泥或矿渣水泥制成的大。

减少水灰比,采用引起徐变小的火山灰质水泥或矿渣水泥制成的混凝土,可以减少徐变。

骨料的力学性质也影响徐变变形大小,骨料愈坚硬、弹性模量愈大以及骨料所占体积比愈大,徐变就愈小。因为对于骨料无所谓徐变,骨料能阻滞水泥胶体的蠕动,其弹性模量及所占体积比大,则阻滞作用好。试验表明,当骨料所占体积比由 60% 增加到 75% 时,徐变量将减少 50%。

荷载持续作用的时间愈长,徐变也愈大。混凝土龄期愈短,徐变越大。因此增大混凝土龄期,徐变将减小。

1.5 练习题

一、判断题

1. 对钢筋冷拔可以提高其抗拉强度和抗压强度。 ()
2. 一般情况下, 梁上部钢筋的粘结强度高于梁下部钢筋。 ()
3. 徐变对结构的影响有时是有利的。 ()
4. 伸入支座的锚固长度越长, 粘结强度越高。 ()
5. 混凝土疲劳强度取决于荷载的重复次数。 ()

二、选择题

1. 有明显屈服点的钢筋的强度标准值是根据下面 () 项指标确定的。
A. 极限抗拉强度 B. 比例极限 C. 下屈服点 D. 上屈服点
2. 高碳钢筋采用条件屈服强度, 以 $\sigma_{0.2}$ 表示, 即: ()。
A. 取极限强度的 20% B. 取应变为 0.002 时的应力
C. 取应变为 0.2 时的应力 D. 取残余应变为 0.002 时的应力
3. 下面关于影响混凝土强度的说法, 正确的有: ()。
A. 试件截面尺寸小, 测得的混凝土强度小 B. 龄期短, 测得的混凝土强度低
C. 加荷速度快, 测得的混凝土强度低 D. 水灰比大, 测得的混凝土强度高
4. 混凝土强度等级用 150mm 立方体抗压试验, 按下列 () 确定。
A. 平均值 μ_{fcu} B. $\mu_{fcu} - 1.645\sigma$ C. $\mu_{fcu} - 2\sigma$ D. $\mu_{fcu} - \sigma$
5. 下列各种复合受力状态 (图 1-3), 混凝土抗压强度的次序为: ()。

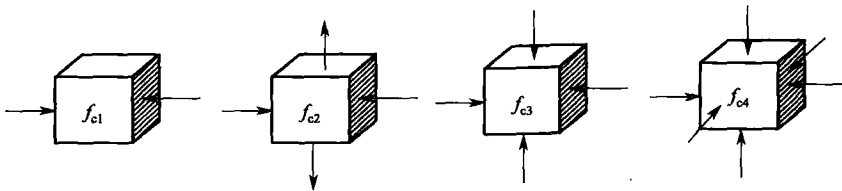


图 1-3 各种复合受力状态

- $f_{c1} < f_{c2} < f_{c3} < f_{c4}$
 - $f_{c2} < f_{c1} < f_{c3} < f_{c4}$
 - $f_{c2} < f_{c1} = f_{c3} < f_{c4}$
 - $f_{c1} = f_{c2} < f_{c3} < f_{c4}$
6. 混凝土内部最薄弱的环节是: ()。
A. 砂浆的抗拉强度 B. 水泥石的抗拉强度
C. 砂浆与骨料接触面间的粘结 D. 水泥石与骨料间的粘结
 7. 截面上同时存在正应力和剪应力时, ()。
A. 剪应力降低了混凝土的抗拉强度, 但提高了抗压强度
B. 剪应力提高了混凝土的抗拉强度和抗压强度
C. 不太高的压应力可以提高混凝土的抗剪强度
D. 不太高的拉应力可以提高混凝土的抗剪强度
 8. 减小混凝土徐变, 可采用的措施是 ()。
A. 增加水泥用量 B. 增加水用量
C. 提早混凝土的加载龄期 D. 蒸汽养护混凝土
 9. 以下关于混凝土收缩, 说法正确的是: ()。
(1) 收缩随时间而增长
(2) 水泥用量愈小, 水灰比愈大, 收缩愈大

(3) 骨料弹性模量大、级配好, 收缩愈小

(4) 环境湿度愈小, 收缩也愈小

(5) 混凝土收缩会导致应力重分布

A. (1)、(3)、(5) B. (1)、(4) C. (1)~(5) D. (1)、(5)

10. 关于钢筋与混凝土之间的粘结力, 说法正确的是 ()。

A. 变形钢筋与混凝土之间的粘结力比光面钢筋略有提高

B. 变形钢筋的粘结能力主要取决于钢筋表面凸出的肋的作用

C. 粘结力主要取决于钢筋的直径的大小

D. 粘结力主要取决于混凝土强度等级

三、填空题

1. 由于“尺寸效应”, 混凝土立方体试块当边长为 200mm、100mm 时, 欲转化为标准试件的抗压强度, 应分别乘以_____、_____。

2. 混凝土轴心抗拉强度只有立方体抗压强度的_____。

3. 试验表明, 混凝土处于三向压应力状态时, 不仅可以提高_____, 而且可以提高_____, 所以, 实际工程中, 通常在钢筋混凝土构件中设置_____或_____等来约束混凝土。

4. 在描述混凝土强度的诸多指标中, 最基本的指标是_____。

5. 混凝土强度等级越高, 则 $\sigma-\epsilon$ 曲线的下降段_____。

四、简答题

1. 我国用于钢筋混凝土结构的钢筋主要有几种? 说明各种钢筋的应用范围。

2. 混凝土的选用原则是什么?

3. 为什么混凝土的长期抗压强度小于短期抗压强度?

4. 为了保证钢筋在混凝土中有可靠的锚固, 可采取哪些措施?

5. 什么是混凝土的收缩? 收缩对混凝土构件有何影响?

1.6 习题答案

一、判断题

1. ✓ 分析: 对钢筋冷拉只可以提高抗拉强度, 对钢筋冷拔可以同时提高抗拉强度和抗压强度。

2. × 分析: 由于浇筑过程中混凝土泌水、离析等, 顶部钢筋下面水和空气增加较多, 而且由新鲜混凝土拌和物的沉陷所引起的周围混凝土的相对位移也会比较大。所以一般情况下, 梁上部钢筋的粘结强度低于梁下部钢筋。

3. ✓ 分析: 徐变对结构的影响, 在多数情况下是不利的。但徐变引起的内力或应力重分布及应力松弛有时候对结构有利。例如, 对钢筋混凝土轴心受压柱, 混凝土徐变引起的混凝土和受压钢筋之间的应力重分布, 使钢筋和混凝土的应力有可能同时到达各自的强度, 有利于材料强度的充分利用; 对存在温度应力的结构, 混凝土徐变可能使温度应力降低。

4. × 分析: 短锚试件破坏时沿锚长上各处的粘结应力相差不大, 高应力区相对较大, 平均应力较高。对于锚长度较大的拉拔试件, 斜向拉应力使肋间混凝土挤碎, 加载端裂缝的出现仅表明粘结遭到局部破坏。因此, 一般来说长锚试件平均粘结强度低于短锚试件, 但拉拔力总值大。

5. × 分析: 混凝土疲劳强度不仅与荷载的重复次数有关, 还与重复作用的应力变化幅度有关。

二、选择题

1. C 2. D 3. B 4. B 5. B 6. C 7. C 8. D 9. A 10. B

三、填空题

1. 1.05 0.95

2. $\frac{1}{17} \sim \frac{1}{8}$

3. 混凝土的强度 延性 螺旋箍筋 钢管

4. 立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$

5. 越陡峭

四、简答题

1. 答：有热轧钢筋、热处理钢筋、预应力钢丝及钢绞线四种。在钢筋混凝土结构中主要采用热轧钢筋，在预应力混凝土结构中这四种钢筋均会用到。

2. 答：钢筋混凝土构件的混凝土强度等级不应低于 C15；当采用 HRB335 级钢筋时，混凝土强度等级不宜低于 C20；当采用 HRB400 和 RRB400 级钢筋以及承受重复荷载的构件，混凝土强度等级不得低于 C20，预应力混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C30；当采用钢绞线、钢丝、热处理钢筋作预应力钢筋时，混凝土强度等级不宜低于 C40。

3. 答：因为在荷载的长期作用下，即荷载维持不变，混凝土的变形会随时间而增长，这种现象称为徐变。

试验表明，当 $\sigma = (0.5 \sim 0.8)f_c$ 时，由于微裂缝在长期荷载作用下不断地发展，塑性变形剧增，徐变与应力不成正比，称为非线性徐变。当应力更高， $\sigma > 0.8f_c$ 时，试件内部裂缝进入非稳态发展阶段，非线性徐变变形骤然增加，变形是不收敛的，将导致混凝土破坏。所以应用上取 $\sigma = 0.8f_c$ 作为混凝土的长期抗压强度。

在工程实际中，构件长期处于不变的高应力作用下是不安全的，设计时要给予注意。

4. 答：为使钢筋在混凝土中有可靠的锚固，可采取以下措施。

(1) 钢筋之间的距离和混凝土保护层不能太小。

(2) 构件裂缝间的局部粘结应力使裂缝间的混凝土受拉。为了增加局部粘结作用和减小裂缝宽度，在同等钢筋面积的条件下，宜优先采用小直径的变形钢筋。

(3) 光面钢筋粘结性能较差，应在钢筋末端设弯钩，增大其锚固粘结能力。

(4) 为保证钢筋伸入支座的粘结力，应使钢筋伸入支座有足够的锚固长度。如支座长度不够，可将钢筋弯折，弯折长度计入锚固长度内，也可在钢筋端部焊短钢筋、短角钢等方法加强钢筋混凝土的粘结能力；实际工程中，由于材料的供应条件和施工条件的限制，钢筋常常需要搭接，钢筋的搭接要有一定长度才能满足粘结强度的要求。钢筋的锚固长度和搭接长度与混凝土的强度、钢筋的强度等级、抗震等级和钢筋直径等因素有关。

(5) 钢筋不宜在混凝土的受拉区截断，如必须截断，则应满足在理论上不需要钢筋点和钢筋强度的充分利用点外伸一段长度才能截断。

(6) 横向钢筋的存在约束了径向裂缝的发展，使混凝土的粘结强度提高，故在大直径钢筋的搭接和锚固区域内设置横向钢筋（箍筋加密等），可增大该区段的粘结能力。

5. 答：混凝土在空气中硬化时体积会缩小，这种现象称为混凝土的收缩。收缩的影响主要有：①收缩受到约束时，将使混凝土中产生拉应力，甚至引起混凝土的开裂；②混凝土收缩会使预应力混凝土构件产生预应力损失；③对超静定结构（如拱结构），收缩也会引起不利的内力。

第2章 混凝土结构设计方法

2.1 主要内容

本章主要内容见图 2-1。

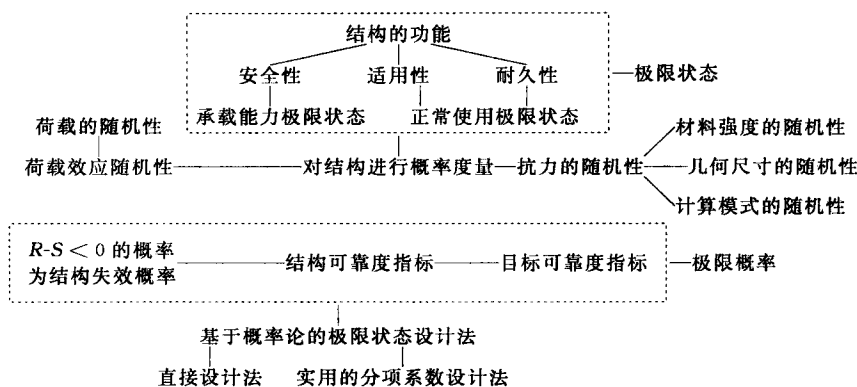


图 2-1 本章主要内容

2.2 重点难点

2.2.1 荷载及其随机性

2.2.1.1 荷载与作用

工程结构最重要的一项功能是承受其使用过程中可能出现的各种环境作用。如房屋结构要承受自重、人群和家具以及风和地震作用等；桥梁结构要承受车辆重力、制动力与冲击力、水流压力等；隧道结构要承受水土压力、爆炸作用等。将由各种环境因素产生的直接作用在结构上的各种集中力或分布力的集合称为荷载，这是对结构的一种直接作用。但荷载并不是使结构产生内力和变形的唯一原因。外加变形或约束变形也会使结构内部出现应力和应变。地震作用就是一种外加变形，场地的摇动使结构出现受迫振动，外加的变形伴随着力和位移的反应出现。温度变化会导致约束变形，屋面在阳光暴晒下伸长，屋面结构由于温度而出现变形差异，结构也因此产生应力和应变。此外，诸如基础不均匀沉降、混凝土的收缩徐变、焊接等因素也都能使结构产生效应。我们把这种能够引起结构内力或变形的非直接作用因素称为间接作用。

为了统一这些使结构产生效应的各种环境因素，《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)做了下述定义：

施加在结构上的集中力或分布力的集合或在结构中产生外加变形或约束变形的原因，总称为结构上的作用。

2.2.1.2 作用的分类

从不同的角度可对作用做出不同的分类。

(1) 按其随时间的变异分

永久作用：即作用的量值随时间的变异相对于平均值而言可以忽略不计。例如，结构的自重、土压力、混凝土收缩和焊接变形产生的作用力、预加应力等。

可变作用：即作用的量值随时间的变异相对于平均值而言不可忽略不计。例如楼面活载、安装荷载、风荷载、雪荷载、温度变化、波浪荷载等。

偶然作用：是指在设计基准期内不一定会出现，但一旦出现，其量值可能很大，而持续时间一般较短的作用，例如撞击、爆炸、严重腐蚀等。

地震作用属于哪一类呢？在设计基准期可能遇到的中小地震，包括基本烈度的地震，应属于可变作用，而特大地震则属偶然作用的范畴。

按时间变异的不同，应当分别选择不同的概率模型，同时在进行极限状态设计时，应按作用出现的持续时间长短来选取恰当的代表值。

(2) 按其随空间的变异分

固定作用：作用在结构上的位置是固定的，例如设备重量、结构自重等。

可动作用：作用在结构上的位置是可能移动的，例如吊车荷载等。

在进行荷载效应组合时，应考虑荷载的空间位置。

(3) 按结构对作用的反应分

静态作用：这种作用是逐渐地、缓慢地施加在结构上的，其加速度可以忽略不计，如自重、楼面活荷载、雪荷载等。

动态作用：施加这类作用时，会使结构产生显著的加速度，如地震、设备振动、高耸结构上的脉动风压等。对这类作用，在进行结构分析时，应当考虑其动力效应。

在划分作用为静态或动态时，主要不是看作用本身是否有动力特性，而要看结构会不会因此出现不可忽略的加速度。例如大多数活荷载，也有一定的动力特性，但结构的反应加速度很小，也可以把这种荷载看成是静态作用。

动态作用的效应，不仅与作用本身的特性有关，而且还与结构的动力特性有关，这是与静态作用的重要区别。例如雪荷载加在一栋房子上，不论这栋房子的柱子是钢的、钢筋混凝土的或砖石的，荷载值不会改变。但当地震作用加于这些房屋时，结构的特性不同，自振周期不同，地震作用的大小会相应变化。

作用按时间、按空间位置和按结构反应进行分类，是三种不同的分类方法，各有其不同的用途。例如，现行荷载规范中的几种主要荷载可分属为：恒载是属于固定的、静态的永久作用；民用建筑的楼面活荷载及桥面上的人群荷载，是可动的可变作用；吊车荷载及车辆荷载是可动的、可变的动态作用；风荷载是可动的可变作用，其中稳定风压属于静态，脉动风压则属于动态；雪荷载一般可以认为是固定的可变作用。

尽管在概念上从“荷载”扩大到了“作用”，但对各种间接作用及其效应的研究还是不够的。在教材中主要还是以直接作用即荷载为研究对象，因此，接下来的内容并不严格区分“荷载”和“作用”。

2.2.1.3 作用效应

作用效应是指由于施加在结构上的作用产生的结构的内力与变形，如拉、压、剪、扭、弯等类内力和伸长、缩短、挠度、转角等类变形。

在目前规范中做了一个假定：即认为荷载效应与荷载成线性关系或近似线性关系：

$$S=CQ \quad (2-1)$$

式中 C ——荷载效应系数，与结构形式、荷载形式及效应类型有关。例如，一根受均布荷

载 q 作用的简支梁, 其跨中弯矩 $M = \frac{1}{8}ql^2$, $\frac{1}{8}l^2$ 就是效应系数。与荷载的变异性相比, 荷载效应系数的变异性较小, 可近似当作常数。这样荷载效应的概率特性 (概率分布) 与荷载的概率特性将相同。

2.2.1.4 作用代表值

(1) 作用标准值

各种作用标准值是建筑结构按承载能力极限状态设计时采用的作用基本代表值, 为其设计基准期内最大作用统计分布值。

永久作用的标准值可按构件的设计尺寸和材料容重的标准值确定。

可变作用的标准值宜统一由设计基准期最大作用概率分布的某一分位数确定, 即具有 95% 保证率的上分位值。作用标准值按下式计算, 即:

$$p_k = \mu_t + 1.645\sigma_t \quad (2-2)$$

(2) 作用频遇值

可变作用的频遇值是指在设计基准期内, 其超越的总时间为规定的较小比率或超越频率为规定频率的荷载值。作用频遇值用于正常使用极限状态验算时。

(3) 作用准永久值

可变作用的准永久值是指在设计基准期内, 其超越的总时间约为设计基准期一半的作用代表值。一般说来, 应用于正常使用极限状态的设计或验算。

2.2.1.5 荷载设计值

荷载分项系数与荷载标准值的乘积, 称为荷载设计值。如永久荷载设计值为 $\gamma_G G_k$, 可变荷载设计值为 $\gamma_Q Q_k$ 。

2.2.1.6 荷载效应的组合

(1) 承载力极限状态

当由可变荷载效应控制时, 由下式进行组合:

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

由永久荷载效应控制时, 由下式进行组合:

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

式中 γ_G ——永久荷载分项系数。当其效应对结构不利时, 对式(2-3)应取 1.2, 对式(2-4)应取 1.35; 当其效应对结构有利时, 应取 1.0;

S_{Gk} ——按永久荷载标准值计算的荷载效应值;

S_{Qik} 和 S_{Q1k} ——第 i 个和第 1 个可变荷载的效应, 设计时应把效应最大的可变荷载取为第 1 个; 如果荷载效应哪个最大不明确, 则需把不同的可变荷载作为第 1 个来比较, 找出最不利组合;

γ_{Q1} 和 γ_{Qi} ——第 1 个和第 i 个可变荷载的分项系数, 一般情况下应取 1.4, 对标准值大于 4kN/m^2 的工业房屋楼面结构的活荷载应取 1.3;

ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合值系数, 应分别按《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) 各章的规定采用;

n ——参与组合的可变荷载数。

(2) 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、频遇组合和准永久组合, 按下式进行设计。