



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

混凝土结构

(公路桥梁工程类专业用)

杨吉新 李 红 王开凤 主编



武汉理工大学出版社
Wuhan University of Technology Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

混凝土结构

(公路桥梁工程类专业用)

杨吉新 李 红 王开凤 主编
金文成 主审

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

【内容提要】

本书系根据高等学校土木工程专业、公路桥梁与渡河工程专业混凝土结构课程的教学要求,参照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)编写,主要内容包钢筋混凝土结构的组成材料,基本计算原则,压、拉、弯、扭等基本构件的设计计算原理,以及预应力混凝土结构设计计算等。

本书可作为大专院校与公路桥梁工程相关的各专业(公路桥梁与渡河工程专业、土木工程专业等)的教材,也可供从事公路桥梁设计、施工和管理的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构/杨吉新等主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2007.8
ISBN 978-7-5629-2584-2

I. 混…
II. 杨…
III. 混凝土结构
IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 129440 号

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070

<http://www.techbook.com.cn>

印刷者:武汉理工大印刷厂

经销者:各地新华书店

开 本:850×1168 1/16

印 张:16.5

字 数:446 千字

版 次:2007 年 8 月第 1 版

印 次:2007 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

前 言

《混凝土结构》是与公路桥梁工程相关的各专业重要的专业基础课,其内容应以我国现行桥梁设计规范为依据,反映桥梁及结构工程科研和工程实践的最新成果。

本书根据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)编写。教材中计算体系、设计方法、计量单位、符号、术语和公式等均采用新规范的规定。

全书共分 10 章,主要内容有:混凝土结构的组成材料,钢筋混凝土结构基本计算原则,钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算,受弯构件斜截面承载力计算,受扭构件的承载力计算,受压构件的承载力计算,受拉构件的承载力计算,构件抗裂、变形和裂缝宽度计算,预应力混凝土结构设计计算等。各章均附有复习题。

编写力求文字简练、重点突出、简明实用、理论联系实际。全书在讲清基本概念和基本原理的基础上,介绍了工程设计中实用的计算方法。

本书编写人员及分工为:第 4、5 章由李红编写;第 8、9 章由王开凤编写;其他各章由杨吉新编写。

研究生雷凡、王晓琴、贺效强、彭梦泽、张可、邹振东参加了部分编写工作。

本书由华中科技大学金文成教授主审。武汉理工大学姜增国教授对本书的编写提出了许多宝贵的意见。

本书编写过程中参考和引用了国内近年来正式出版的有关混凝土结构的规范、教材等,在此谨向有关作者表示感谢。

由于时间仓促,加上编者的水平有限,书中难免存在不妥或疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2007 年 4 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 混凝土结构的概念与特点	(1)
1.1.1 基本概念	(1)
1.1.2 钢筋混凝土结构的构建原理与特点	(1)
1.1.3 预应力混凝土结构的构建原理与特点	(4)
1.2 混凝土结构的发展简况及其应用	(5)
1.2.1 混凝土结构的发展	(5)
1.2.2 混凝土结构的应用	(6)
复习题	(6)
2 钢筋混凝土组成材料	(7)
2.1 前言	(7)
2.2 钢筋	(7)
2.2.1 钢筋的成分、级别和品种	(7)
2.2.2 钢筋的强度与变形	(7)
2.2.3 钢筋的冷加工和热处理	(9)
2.2.4 钢筋的徐变和应力松弛	(10)
2.2.5 钢筋的疲劳现象	(10)
2.3 混凝土	(10)
2.3.1 混凝土的强度	(10)
2.3.2 混凝土的变形	(12)
2.3.3 混凝土的配制要求与措施	(20)
2.4 材料强度的标准值与设计值	(20)
2.4.1 材料强度指标的取值原则	(20)
2.4.2 混凝土强度标准值和强度设计值	(21)
2.4.3 钢筋的强度标准值和强度设计值	(22)
2.4.4 规范要求与取值	(22)
复习题	(23)
3 钢筋混凝土结构的设计原则	(24)
3.1 引言	(24)
3.2 概率极限状态设计方法	(25)
3.2.1 结构的可靠性和可靠度	(25)
3.2.2 结构的极限状态	(26)
3.3 设计表达式	(26)
3.3.1 三种设计状况	(26)
3.3.2 承载能力极限状态的设计表达式	(27)

3.3.3 正常使用极限状态的设计表达式·····	(28)
3.4 作用及其效应组合·····	(29)
3.4.1 作用(荷载)的分类·····	(29)
3.4.2 作用(荷载)的代表值·····	(30)
3.4.3 作用(荷载)效应组合·····	(30)
复习题·····	(33)
4 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算 ·····	(34)
4.1 引言·····	(34)
4.2 受弯构件的截面形式与构造要求·····	(34)
4.2.1 截面形式·····	(34)
4.2.2 截面尺寸·····	(34)
4.2.3 钢筋构造·····	(35)
4.3 受弯构件正截面破坏形态·····	(38)
4.4 受弯构件正截面承载力计算的基本原则·····	(39)
4.4.1 基本假定·····	(39)
4.4.2 适筋梁与超筋梁的界限及界限配筋率·····	(39)
4.4.3 最小配筋率·····	(40)
4.5 单筋矩形截面受弯构件·····	(40)
4.5.1 基本公式及适用条件·····	(41)
4.5.2 单筋矩形截面的计算方法·····	(42)
4.6 双筋矩形截面受弯构件·····	(44)
4.6.1 基本公式及适用条件·····	(44)
4.6.2 双筋矩形截面的计算方法·····	(45)
4.7 T形截面受弯构件·····	(47)
4.7.1 概述·····	(47)
4.7.2 两类T形截面及其判别·····	(48)
4.7.3 基本计算公式及适用条件·····	(49)
4.7.4 计算方法·····	(50)
4.7.5 其他截面的计算方法·····	(52)
复习题·····	(53)
5 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算 ·····	(55)
5.1 引言·····	(55)
5.2 受弯构件斜截面的受力特点和破坏形态·····	(56)
5.2.1 无腹筋简支梁斜截面受力分析·····	(56)
5.2.2 有腹筋简支梁斜截面受力分析·····	(56)
5.2.3 剪跨比·····	(57)
5.2.4 斜截面受剪的三种主要破坏形态·····	(57)
5.3 受弯构件斜截面抗剪能力的主要影响因素·····	(58)
5.4 受弯构件的斜截面抗剪承载力·····	(59)
5.5 等高度简支梁腹筋的设计与复核·····	(61)

5.5.1 腹筋的设计	(61)
5.5.2 斜截面抗剪承载力复核	(62)
5.6 构造措施与要求	(63)
5.6.1 保证斜截面抗弯承载力的构造措施	(63)
5.6.2 纵向受拉钢筋的弯起位置	(64)
5.6.3 构造要求	(65)
5.7 简支梁腹筋设计示例	(67)
5.8 连续梁的抗剪性能	(73)
复习题	(74)
6 钢筋混凝土受扭构件的承载力计算	(75)
6.1 引言	(75)
6.2 抗扭构件的构造要求	(75)
6.3 纯扭构件的承载力	(76)
6.3.1 矩形截面纯扭构件的破坏特征	(77)
6.3.2 纯扭构件的开裂扭矩	(79)
6.3.3 纯扭构件的承载力计算理论	(81)
6.3.4 矩形截面纯扭构件的承载力计算	(84)
6.4 弯剪扭构件的承载力	(85)
6.4.1 剪扭构件的承载力计算	(85)
6.4.2 抗剪扭配筋的上下限	(86)
6.4.3 在弯矩、剪力和扭矩共同作用下的配筋计算	(87)
6.4.4 T形和I形截面受扭构件	(87)
6.4.5 箱形截面受扭构件	(90)
复习题	(91)
7 钢筋混凝土受压构件的承载力计算	(92)
7.1 引言	(92)
7.2 轴心受压构件的承载力计算	(94)
7.2.1 构造要求	(94)
7.2.2 轴心受压构件的正截面承载力计算	(95)
7.3 偏心受压构件正截面受力特点和破坏形态	(101)
7.3.1 偏心受压构件的破坏形态	(101)
7.3.2 大、小偏心受压的界限	(103)
7.4 偏心受压构件的纵向弯曲	(103)
7.4.1 偏心受压构件的破坏类型	(104)
7.4.2 偏心距增大系数	(104)
7.5 矩形截面偏心受压构件	(105)
7.5.1 矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算的基本公式	(105)
7.5.2 矩形截面偏心受压构件非对称配筋的计算方法	(107)
7.5.3 矩形截面偏心受压构件的构造要求	(112)
7.5.4 矩形截面偏心受压构件对称配筋的计算方法	(118)

7.6 其他截面偏心受压构件	(122)
7.6.1 I形和T形截面偏心受压构件	(122)
7.6.2 圆形截面偏心受压构件	(129)
复习题	(133)
8 钢筋混凝土受拉构件的承载力计算	(135)
8.1 引言	(135)
8.2 轴心受拉构件的正截面承载力计算	(135)
8.3 偏心受拉构件的正截面承载力计算	(135)
8.3.1 偏心受拉构件的受力特征	(135)
8.3.2 小偏心受拉构件正截面承载力计算	(136)
8.3.3 大偏心受拉构件正截面承载力计算	(138)
8.4 偏心受拉构件的斜截面承载力计算	(141)
8.5 构造要求	(142)
复习题	(142)
9 钢筋混凝土构件应力、变形和裂缝宽度计算	(143)
9.1 引言	(143)
9.2 变形和裂缝极限状态的限值规定	(143)
9.2.1 变形的限值规定	(143)
9.2.2 裂缝宽度限值	(144)
9.3 应力计算	(144)
9.4 受弯构件的变形计算	(148)
9.4.1 受弯构件的刚度计算	(148)
9.4.2 预拱度的设置	(149)
9.5 裂缝宽度计算	(149)
9.5.1 计算理论法	(150)
9.5.2 数理统计法	(150)
复习题	(157)
10 预应力混凝土结构	(158)
10.1 预应力混凝土结构的分类	(158)
10.2 张拉方法和锚具	(159)
10.2.1 张拉预应力钢筋的方法	(159)
10.2.2 锚具	(161)
10.2.3 张拉千斤顶	(165)
10.2.4 预加应力的其他设备	(166)
10.3 预应力混凝土结构的材料	(168)
10.3.1 混凝土材料	(168)
10.3.2 预应力钢材	(169)
10.4 张拉控制应力和预应力损失	(171)
10.4.1 张拉控制应力	(171)
10.4.2 各种预应力损失值	(172)

10.4.3 预应力损失值的组合	(177)
10.5 预应力混凝土构件的计算	(177)
10.5.1 施工阶段	(177)
10.5.2 使用阶段	(178)
10.6 轴心受拉构件	(179)
10.6.1 预应力轴心受拉构件各阶段的应力分析	(179)
10.6.2 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	(183)
10.7 受弯构件	(185)
10.7.1 受弯构件正截面承载力计算	(185)
10.7.2 受弯构件斜截面承载力计算	(189)
10.7.3 受弯构件的应力计算	(190)
10.7.4 受弯构件的抗裂验算	(197)
10.7.5 受弯构件挠度验算	(199)
10.7.6 端部锚固区计算	(202)
10.8 预应力混凝土简支梁设计	(206)
10.8.1 设计计算步骤	(206)
10.8.2 预应力混凝土简支梁的截面设计	(206)
10.8.3 截面尺寸和预应力钢筋数量的选定	(208)
10.8.4 预应力钢筋的布置	(210)
10.8.5 非预应力钢筋的布置	(214)
10.8.6 锚具的防护	(215)
10.9 预应力混凝土简支梁计算示例	(215)
10.9.1 设计资料	(215)
10.9.2 主梁尺寸	(215)
10.9.3 主梁全截面几何特性	(215)
10.9.4 主梁内力计算	(218)
10.9.5 钢筋截面积估算及钢束布置	(218)
10.9.6 主梁截面几何特性计算	(223)
10.9.7 持久状况截面承载能力极限状态计算	(224)
10.9.8 钢束预应力损失估算	(226)
10.9.9 应力验算	(230)
10.9.10 抗裂性验算	(233)
10.9.11 主梁变形(挠度)计算	(235)
10.9.12 锚固区局部承压计算	(237)
复习题	(239)
附表	(241)
常用术语和符号	(248)
参考文献	(253)

1 绪 论

1.1 混凝土结构的概念与特点

1.1.1 基本概念

将水泥、水、砂、石及添加剂按一定比例配制,经拌和、振捣、养护而成的人工石材,称为水泥混凝土,通常简称为混凝土,工程中简写为“砼”。混凝土是一种复合材料,可用作工程中的结构用材和非结构用材。

以混凝土为主要材料制作的结构称为混凝土结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构。

仅由混凝土制作而成的结构称为素混凝土结构。素混凝土结构主要用于承受压力而不承受拉力的结构,如重力堤坝、支墩、基础、挡土墙、地坪、路面等,其设计计算可参照砌体结构进行,不在本书讨论之列。

由混凝土和钢筋共同构成的结构称为钢筋混凝土结构(或普通钢筋混凝土结构)。

由混凝土和钢筋构成但在制作时采用了预应力施工工艺的结构称为预应力混凝土结构(或预应力钢筋混凝土结构)。

本书主要讲解钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构的设计原理。

1.1.2 钢筋混凝土结构的构建原理与特点

为什么要在混凝土中放置钢筋来建造工程结构或构件?

我们知道,工程结构是指人工建造物(如建筑、桥梁等)中用来受力的那一部分。构件是组成结构的单元,结构由一个或多个构件组成。对于结构或构件而言,承受荷载的作用是其主要功能,因此其组成材料应具有良好的力学性能。

混凝土是一种人造石材,其抗压强度较高,造价低,耐久性好,施工方便,是一种理想的工程材料。但是,混凝土有一个很大的缺点,这就是抗拉能力很差,其抗拉强度约为立方体抗压强度的 $1/18 \sim 1/8$,极限拉应变不到极限压应变的 $1/20$,每米仅能伸长 $0.10 \sim 0.15 \text{ mm}$ 。因此,混凝土特别适用于制作承压构件。但是,工程中纯承压构件非常少,更多的是弯剪、弯扭、弯压及其他组合受力构件。在这些构件中既会出现较大的压应力,也会出现较大的拉应力。若构件仅由混凝土来制作,容易发生破坏,承受不了多大的荷载。

工程中另外一种常用的材料是钢材。钢材是一种拉压等强度材料,其抗拉、抗压强度均很高,且制作方便,但钢材资源有限,价格较贵。

考虑混凝土抗压强度较高和钢材抗拉强度较高的特点,如果将混凝土和钢材结合起来,对构件中受压的部分用混凝土来承力,而对受拉的部分用钢材来承

力,则既可形成承载能力较高、刚度较大的结构构件,又可降低工程造价。这无疑是一种很好的设想,钢筋混凝土正是基于这种设想而构建的。

下面以一简支梁为例来描述钢筋混凝土构件的工作特点。

一根素混凝土梁,当它承受图 1-1(a)所示的竖向荷载作用时,在梁的跨中正截面上受到弯矩作用。截面在中和轴以上受压,以下受拉。当荷载达到某一数值 F_c 时,梁截面的受拉区边缘混凝土的拉应力超过抗拉强度,拉应变达到极限拉应变,即出现竖向弯曲裂缝。此时,裂缝处截面的受拉区混凝土退出工作,该截面处受压高度减小,即使荷载不再增加,竖向弯曲裂缝也会迅速向上发展,从而导致梁骤然断裂,见图 1-1(b)。这种破坏是很突然的。也就是说,当荷载达到 F_c 的瞬间,梁立即发生破坏。 F_c 为素混凝土梁受拉区出现裂缝的荷载,一般称为素混凝土梁的抗裂荷载,也是素混凝土梁的破坏荷载。由此可见,素混凝土梁的承载能力是由混凝土的抗拉强度控制的,而受压区混凝土的抗压强度远未被充分利用。

现在改用钢筋混凝土结构。在上述混凝土梁的受拉区配置适量的纵向受力钢筋,就构成了钢筋混凝土梁。试验表明,与素混凝土梁有相同截面尺寸的钢筋混凝土梁承受竖向荷载作用时,荷载略大于 F_c 时受拉区混凝土边缘仍会出现裂缝。在出现裂缝的截面处,受拉区混凝土虽退出工作,但配置在受拉区的钢筋将可承担几乎全部的拉力。此时,钢筋混凝土梁不会像素混凝土梁那样立即断裂,而是继续承受荷载作用,直至受拉钢筋达到屈服,继而截面受压区的混凝土也被压碎,梁才被破坏,见图 1-2。因此,混凝土的抗压强度和钢筋的抗拉强度都能得到充分的利用,使梁的承载能力比素混凝土梁提高很多。

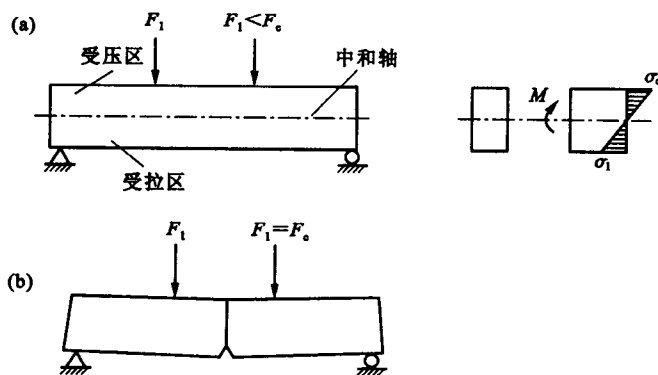


图 1-1 素混凝土梁

(a) 受竖向力作用的素混凝土梁; (b) 素混凝土梁的断裂

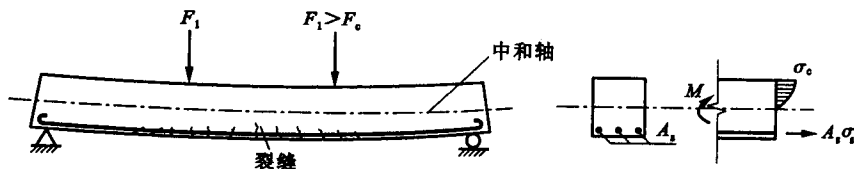


图 1-2 钢筋混凝土梁及其开裂

由此可见,由混凝土和钢筋组合可构造承载能力较大的构件和结构,但它们能否长期共同工作呢?

实践表明,钢筋和混凝土这两种材料可以有效地结合在一起而长期共同工作,主要原因在于:

① 混凝土和钢筋之间有着良好的粘结力,能使两者可靠地结合成一个整体,在荷载作用下能

够很好地共同变形,完成其预定结构功能。

② 钢筋和混凝土的温度线膨胀系数也较为接近,钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。因此,当温度发生变化时,不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的粘结。

③ 包围在钢筋外面的混凝土,起着保护钢筋免遭锈蚀的作用,使钢筋与混凝土能够长期共同工作。

同钢材、木材、石材等材料制作的结构相比,钢筋混凝土结构具有如下优点:

① 组成材料资源丰富。钢筋混凝土的主要用料是混凝土,而混凝土是由水泥、砂石、水及少量添加剂配成。生产水泥的主要原料是石灰石、粘土和少量铁矿粉。归根到底,制作混凝土的原材料主要是粘土、石材、水,这些天然材料在地球上特别是陆地上资源丰富,可谓取之不尽。与之相比,地球上拥有的木材资源和生产钢材的铁矿资源均是非常有限的。它的这一特点,使人们持续不断地进行大规模工程建设成为可能。

② 经济指标高。因材料资源丰富,且易于就地取材,故工程造价较低。

③ 整体性好。由于混凝土可以连续不断地进行浇筑,因此,钢筋混凝土结构或构件可以一次制成,这就使结构或构件具有很好的整体性。

④ 可模性好。钢筋混凝土可以根据需要浇制成各种形状和尺寸的结构。

⑤ 耐久性好。在钢筋混凝土结构中,混凝土的强度随时间的增加而增长,且钢筋受混凝土的保护而不易锈蚀,所以钢筋混凝土的耐久性是很好的,不像钢结构那样需要经常的保养和维修。处于侵蚀性气体或受海水浸泡的钢筋混凝土结构,经过合理的设计及采取特殊的措施,一般也可满足工程需要。

⑥ 耐火性好。混凝土包裹在钢筋之外,起着保护作用。若有足够厚度的保护层,就不致因火灾使钢材很快达到软化的危险温度而造成结构的整体破坏。与钢木结构相比,钢筋混凝土结构的耐火性更好。

但是,钢筋混凝土结构也存在一些缺点:

① 抗裂性较差。在混凝土中合理地配置钢筋后,虽然可以使构件的承载能力得以提高,但由于混凝土的抗拉强度很低,极限拉应变也很小,当受拉区的混凝土承受的拉应力大于抗拉强度(或出现的拉应变大于极限拉应变)时,混凝土即开裂形成裂缝,原承受的拉应力转由钢筋承担,仍可继续工作。随着荷载的增加,裂缝将逐渐扩宽。因此,钢筋混凝土结构抗裂性较差,在正常使用时常常是带裂缝工作的。由于裂缝存在,不仅使得构件刚度下降,而且使得钢筋混凝土构件不能应用于不允许开裂的场合。

② 自重。混凝土比强度(强度与质量密度之比)比钢材小,当承受同样的荷载时,用混凝土制作的构件要比用钢材制作的构件自重。自重过大对于大跨度结构、高层建筑以及结构的抗震都是不利的。

③ 不能发挥高强度材料的作用。由于钢筋混凝土结构通常是带裂缝工作的,而工程中对裂缝的宽度要给以限制,这就使得高强度材料不能充分发挥作用。譬如,对图 1-2 所示受弯构件,当受拉区的混凝土开裂时,钢筋中的拉应力还很小。随着荷载的增加,钢筋中的拉应力逐渐增大,混凝土的裂缝宽度也逐渐增大。当荷载增加到一定量值,若钢筋的强度很高,钢筋中的应力虽未使钢筋发生屈服,但混凝土中的裂缝宽度超过了正常使用要求的限制值,此时即认为此构件不能再使用。因此,钢材的强度再高,也很难发挥作用。所以,钢筋混凝土结构中常用 R235 或 HRB335 的低强度钢筋,不提倡用更高强度的钢材。而混凝土也常用 C40 以下,不用更高级别的混凝土。当然,要满足裂缝控制要求,也可采用增大构件的截面尺寸和钢材用量的办法,但这将导致自重过大,使钢

钢筋混凝土结构用于大跨度或承受动力荷载的结构成为不可能或很不经济。

此外,钢筋混凝土结构材质不均匀,施工质量不易控制;建造较为费工,现浇结构模板需耗用较多的木材;施工受到季节气候条件的限制;补强修复较困难;隔热隔声性能较差等。这些缺点,在一定条件下限制了钢筋混凝土结构的应用。

1.1.3 预应力混凝土结构的构建原理与特点

如前所述,钢筋混凝土结构具有抗裂性较差、自重大、不能发挥高强度材料的作用等缺点,这使得它的应用受到限制。如何克服这些不足,使钢筋混凝土结构能更广泛地应用于工程,成为工程界感兴趣的问题。人们通过长期的工程实践及研究,找到了解决这一问题的有效途径,这就是通过在钢筋混凝土结构中施加预应力的办法,形成预应力混凝土结构。

所谓预应力混凝土,就是人为地在钢筋混凝土中引入内部压应力,且其数值和分布恰好能将使用荷载产生的拉应力抵消到一个合适的程度的配筋混凝土。

现以图 1-3 所示预应力混凝土简支梁为例,说明预应力混凝土的概念。

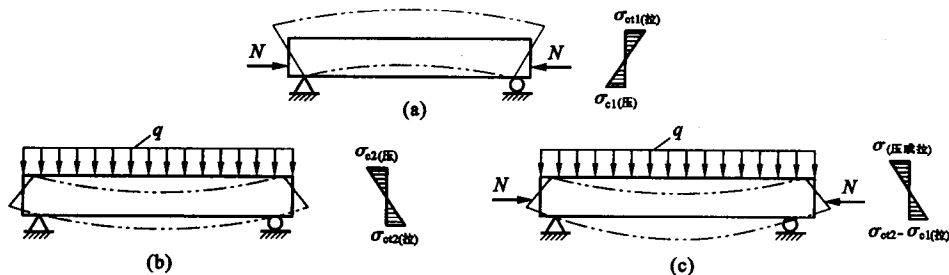


图 1-3 预应力混凝土结构基本原理图

(a) 预压力作用下;(b) 外荷载作用下;(c) 预压力和外荷载共同作用下

在荷载作用之前,预先在梁的受拉区施加偏心压力 N ,使梁下边缘混凝土产生预压应力为 σ_{e1} ,梁上边缘产生预拉应力 σ_{e1} ,如图 1-3(a)所示。当荷载 q (包括梁自重)作用时,梁跨中截面下边缘产生拉应力 σ_{e2} ,梁上边缘产生压应力 σ_{e2} ,如图 1-3(b)所示。这样,在预压力 N 和荷载 q 共同作用下,梁的下边缘拉应力将减至 $\sigma_{e2} - \sigma_{e1}$,梁上边缘应力一般为压应力,但也有可能为拉应力,如图 1-3(c)所示。如果增大预压力 N ,则在荷载作用下梁的下边缘的拉应力还可减小,甚至变成压应力。

由此可见,预应力混凝土构件可延缓混凝土构件的开裂,使得混凝土可以全截面参加工作,这就达到了提高构件抗裂性能和刚度的目的,克服了钢筋混凝土的主要缺点。值得一提的是,预应力混凝土结构的材料仍然是钢筋混凝土,只不过采用了新的施工工艺而已。

预应力混凝土具有很多的优点:

① 提高了构件的抗裂性能和刚度。对构件施加预应力后,使得构件在使用荷载作用下可不出现裂缝,或者可使裂缝大大推迟出现,有效地改善了构件的使用性能,提高了构件的刚度,增加了结构的耐久性。

② 可以节省材料,减少自重。预应力混凝土由于采用高强度材料,因而可减少构件截面尺寸,节省钢材与混凝土用量,降低结构物的自重。这对自重比例很大的大跨径桥梁来说,更有着显著的优越性。大跨度和重载荷结构,采用预应力混凝土结构一般是经济合理的。

③ 可以减小混凝土梁的竖向剪力和主拉应力。预应力混凝土梁的曲线钢筋(束),可使梁中支座附近的竖向剪力减小;又由于混凝土截面上预压应力的存在,使荷载作用下的主拉应力也相应减小。这有利于减小梁的腹板厚度,使预应力混凝土梁的自重可以进一步减小。

④ 结构质量安全可靠。施加预应力时,钢筋(束)与混凝土同时经受了一次强度检验。如果在张拉钢筋时构件质量表现良好,那么,在使用时也可以认为是安全可靠的。因此,有人称预应力混凝土结构是经过预先检验的结构。

⑤ 预应力可作为结构构件连接的手段,促进了桥梁结构新体系与施工方法的发展。

此外,预应力还可以提高结构的耐疲劳性能。因为具有强大预应力的钢筋,在使用阶段由加荷或卸荷所引起的应力变化幅度相对较小,所以引起疲劳破坏的可能性也小。这对承受动荷载的桥梁结构来说是很利。

但预应力混凝土结构也有一些缺点:

① 工艺较为复杂,对施工质量要求很高,因而需要配备一支技术较熟练的专业队伍。

② 需要有专门设备,如张拉机具、灌浆设备等。先张法需要有张拉台座;后张法还要耗用数量较多、质量可靠的锚具。

③ 预应力混凝土构件的上拱度不易控制。它随混凝土徐变的增加而加大,如存梁时间过久再进行安装,就可能使上拱度很大,造成桥面不平顺。

④ 预应力混凝土结构的开工费用较大,对于跨径小、构件数量少的工程,成本较高。

但是,以上缺点是可以设法克服的。例如应用于跨径较大的结构,或跨径虽不大,但构件数量很多时,采用预应力混凝土结构就比较经济了。总之,只要从实际出发,因地制宜地进行合理设计和妥善安排,预应力混凝土结构就能充分发挥其优越性,所以它在近数十年来得到了迅猛的发展,对桥梁新体系的发展起了重要的推动作用。这是一种极有发展潜力的工程结构。

1.2 混凝土结构的发展简况及其应用

1.2.1 混凝土结构的发展

1824年,英国人 J. Aspdin 发明了波特兰水泥,素混凝土随之出现。1849年,法国人 Joseph Louis Lambot 用水泥砂浆涂抹在钢丝网的两面做成小船,这是最早的钢筋混凝土结构;1861年,法国花匠 J. Monier 用钢丝作为配筋制作了花盆并申请了专利,后又申请了钢筋混凝土板、管道、拱桥等专利,尽管他不懂钢筋混凝土结构的受力原理,甚至将钢筋配置在板的中部,他却被认为是钢筋混凝土结构的发明者。1884年,德国人 Wayss, Bauschinger 和 Koenen 等提出了钢筋应配置在构件中受拉力的部位和钢筋混凝土板的计算理论。后来,钢筋混凝土结构逐渐得到了推广和应用。

同时,混凝土结构的材料强度也不断发展。美国 20 世纪 60 年代混凝土抗压强度平均值为 28 MPa,到了 70 年代提高到 42 MPa,当有特殊需要时,可达到 100 MPa,在试验室中可以达到 266 MPa。不仅混凝土结构的材料强度在不断提高,其质量密度也在逐渐降低。轻质混凝土材料越来越被广泛地应用到工程实际之中,如加气混凝土、陶粒混凝土、火山岩混凝土、碎砖混凝土等。此外,还有无砂混凝土,它是一种只有粗骨料,而无细骨料的混凝土材料。

随着多年来的努力,混凝土结构在其理论研究方面也取得了很大的发展。在设计方法上,从材料力学中的容许应力法发展到按经验法确定安全系数的破坏阶段设计法,一直到现在的极限概率设计法,其中包括了半经验半概率法、近似概率法、全概率法、生命全过程设计法也取得了很大发展。总之,在结构的基本理论、荷载的确定方法、结构的力学分析、构件的承载能力、设计方法和构造措施等方面均取得了很大进步。

1.2.2 混凝土结构的应用

从材料方面来看,土木工程中主要结构类型有木结构、砖石结构、钢结构、混凝土结构及组合结构。由于木材强度不高、易腐蚀,且资源有限,已不提倡在工程中应用。砖石结构强度低,不便于机械化施工,应用受到很大限制,目前主要用在重要性较低的工程中,如公路边坡护砌、挡土墙、跨度不大的桥梁、多层房屋建筑等。钢材强度高,适宜于建造大跨度桥梁和高层建筑,在工程中应用较多,但价格较高。混凝土结构因具有前述的众多优点,在工程中应用最为广泛。在房屋工程方面,高层建筑中绝大多数是混凝土结构或混凝土和钢的组合结构。在交通工程方面,隧道、桥梁、高速公路、城市高架桥、地铁大都采用混凝土结构。在水利工程方面,大坝、拦海闸墩、渡槽、港口等,基本上都是混凝土结构。在特种工程方面,如核电站的安全壳、热电厂的冷却塔、储水池、储气灌、海洋石油平台、电视塔等,也多用混凝土建造。可以预见,随着混凝土材料性能的提高和设计理论的完善,混凝土结构的应用将越来越广泛。

复 习 题

- 1.1 什么是混凝土结构?混凝土结构有哪些特点?
- 1.2 在钢筋混凝土结构或构件中,钢筋的作用是什么?
- 1.3 简述钢筋和混凝土能长期共同工作的主要原因。
- 1.4 什么是预应力混凝土结构?
- 1.5 预应力混凝土结构有哪些特点?

2 钢筋混凝土组成材料

2.1 前 言

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料所组成的。为了正确合理地进行钢筋混凝土结构的设计,首先必须深入了解钢筋混凝土结构及其构件的受力性能和特点。而对于混凝土和钢筋材料的物理力学性能的了解,则是掌握钢筋混凝土结构的构件性能、结构分析和设计的基础。

2.2 钢 筋

钢筋混凝土结构使用的钢筋,不仅要强度高,而且还要具有良好的塑性和可焊性,同时还要求与混凝土有较好的粘结性能。

2.2.1 钢筋的成分、级别和品种

钢材按化学成分可分为碳素钢和普通低合金钢两大类。

碳素钢除含有铁元素外,还有少量的碳、锰、硅、磷等元素。钢筋的含碳量越高,则其强度就越高,但其塑性和可焊性越差。一般把含碳量少于 0.22% 的称为低碳钢,把含碳量在 0.25%~0.6% 的称为中碳钢,而含碳量大于 0.6% 的则称为高碳钢。

在碳素钢的成分中加入少量的合金元素就成为普通低合金钢,如 20MnSi、20MnSiV、20MnTi 等,其中名称前面的数字代表平均含碳量(以万分之一计)。由于加入了合金元素,普通低合金钢虽然含碳量高,强度高,但其拉伸应力-应变曲线仍然具有明显的流幅。

JTG D62—2004 对钢筋混凝土结构使用的普通钢筋按照强度分为三个强度等级,详见表 2-1。

普通钢筋按照外形特征可分为热轧光圆钢筋和热轧带肋钢筋(图 2-1)。热轧光圆钢筋是经过热轧成型并自然冷却的表面平整、截面为圆形的钢筋。而热轧带肋钢筋则是经过热轧成型并自然冷却而其圆周表面通常带有两条纵肋和沿长度方向有均匀分布的横肋的钢筋。其中,横肋斜向一个方向而呈螺旋状的称为螺旋钢筋;而横肋斜向不同方向而呈“人”字形的,则称为人字纹钢筋;纵肋与横肋不相交且横肋为月牙状的,称其为月牙纹钢筋。

2.2.2 钢筋的强度与变形

钢筋的力学性能有强度和变形(包括弹性变形和塑性变形)等。单向拉伸试验是确定钢筋力学性能的主要手段。通过试验可以看到,钢筋的拉伸应力-应变

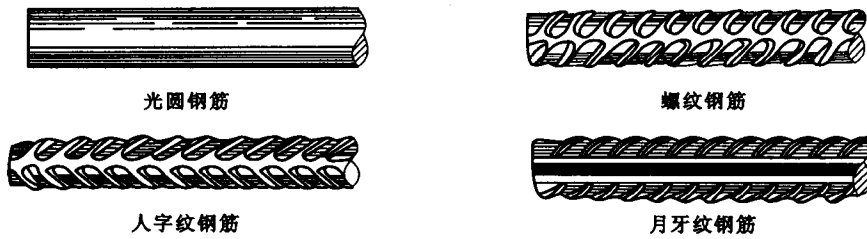


图 2-1 热轧钢筋的外形

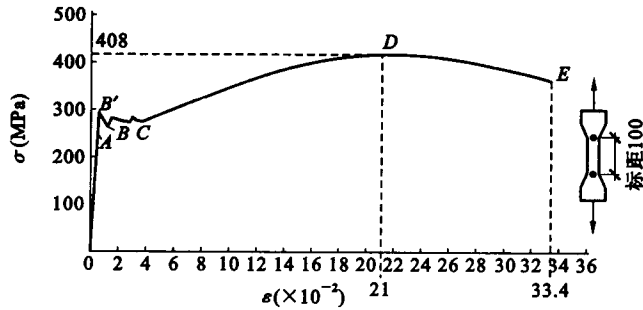


图 2-2 有明显流幅的钢筋应力-应变曲线

关系曲线可分为两大类,即有明显流幅的(图 2-2)和没有明显流幅的(图 2-3)。

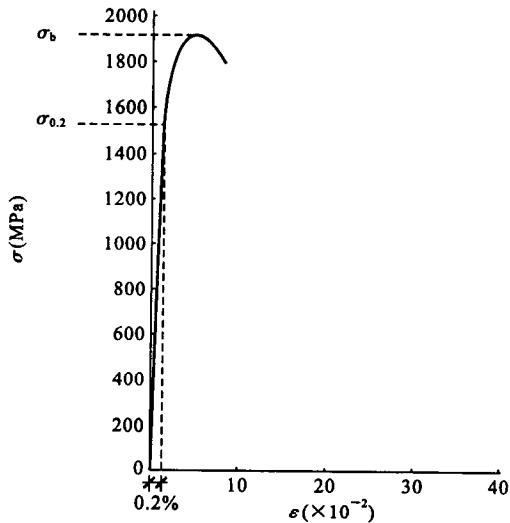


图 2-3 没有明显流幅的钢筋应力-应变曲线

图 2-2 为有明显流幅的钢筋拉伸应力-应变曲线。在达到比例极限 A 点之前,材料处于弹性阶段,应力与应变的比值为常数,即为钢筋的弹性模量 E_s 。此后应变比应力增加快,到达 B' 点进入屈服阶段,即使应力不再增加,应变也会继续增加很多,应力-应变曲线图形接近水平线,称为屈服台阶(或流幅)。对于有屈服台阶的钢筋来讲,有两个屈服点,即屈服上限(B'点)和屈服下限(B点)。屈服上限受试验加载速度、表面光洁程度等因素影响而波动;屈服下限则较稳定,故一般以屈服下限为依据,称为屈服强度。过了 C 点后,材料又恢复部分弹性进入强化阶段,应力应变关系表现为上升的曲线,到达曲线最高点 D, D 点的应力称为极限强度。过了 D 点后,试件的薄弱处发生局部“颈缩”现象,应力开始下降,应变仍继续增加,到 E 点后发生断裂。

E 点所对应的应变(用百分数表示)称为伸长率,用 δ_{10} 或 δ_5 表示(分别对应于量测标距为 $10d$ 或 $5d$, d 为钢筋直径)。

有明显流幅的钢筋拉伸时的应力-应变曲线显示了钢筋的主要物理力学指标,即屈服强度、抗拉极限强度和伸长率。屈服强度是钢筋混凝土结构计算中钢筋强度取值的主要依据,把屈服强度与抗拉极限强度的比值称为屈强比,它可以用来表示材料的强度储备。一般屈强比要求不大于 0.8。伸长率是衡量钢筋拉伸时的塑性指标。

表 2-1 为我国国家标准对钢筋混凝土结构所用普通热轧钢筋(具有明显流幅)的机械性能作出