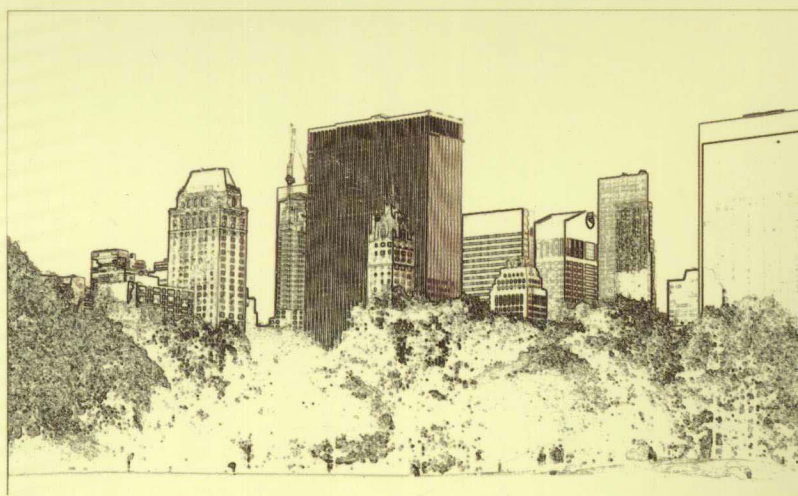


普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

混凝土结构 设计原理

● 关 萍 主编

EDUCATION



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

混凝土结构设计原理

主 编 关 萍

副主编 纪晓东 王怀亮 翟 莲

参 编 王志云 苗 峰

主 审 王清湘



机械工业出版社

本书为高等院校土木工程专业的专业基础课教材。本书根据 GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》、GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》、JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》编写而成,全书共 11 章,包括绪论、混凝土结构材料的物理和力学性能、混凝土结构设计方法、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算、受压构件截面承载力计算、受拉构件截面承载力计算、受扭构件承载力计算、正常使用阶段验算及结构的耐久性、预应力混凝土构件、混凝土结构按《公路桥规》的设计原理。

本书理论部分条理清晰,概念清楚,力求简明扼要;注重突出应用,给出了规范化的计算方法和详细实用的设计步骤,并配有相当数量的例题;每章内容前有学习要求,内容后有小结、思考题和习题等,便于学生自学。本书既可作为高等院校土木工程、工程管理及相关专业的教材,也可作为设计、施工、监理和科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理/关萍主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 7
普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材
ISBN 978-7-111-42585-4

I. ①混… II. ①关… III. ①混凝土结构—结构设计—高等学校—教材 IV. ①TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 106689 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:马军平 责任编辑:马军平 林 辉

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:张 静 责任印制:李 洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2013 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·22.25 印张·551 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-42585-4

定价:43.90 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

“混凝土结构设计原理”是土木工程专业必修的一门专业基础课。该课程主要介绍混凝土结构基本构件（压、拉、弯、剪、扭）的破坏形态、受力特点、构造要求、承载力计算，介绍钢筋混凝土裂缝、变形和耐久性问题以及预应力混凝土结构的基本知识。学生通过本课程的学习要掌握混凝土结构基本构件的基本概念、基本理论和设计方法，为深入学习土木工程专业知识打下扎实的理论基础。本书既可作为高等院校土木工程及相关专业的教材，也可作为设计、施工、监理和科研人员的参考书。

本书是按照高等学校土木工程专业指导委员会编制的《高等学校土木工程专业本科培养目标和培养方案及课程教学大纲》（2002年11月出版）中的“混凝土结构”课程教学大纲的要求组织编写的。全书内容共分11章，包括：绪论、混凝土结构材料的物理力学性能、混凝土结构设计方法、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算、受压构件截面承载力计算、受拉构件截面承载力计算、受扭构件截面承载力计算、正常使用阶段验算及结构的耐久性、预应力混凝土构件、混凝土结构按《公路桥规》的设计原理。

本书注重反映先进的科技成果，结合GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》、JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》进行了编写。为了便于学生使用，本书在编写过程中，理论部分条理清晰，概念清楚，力求简明扼要；注重突出应用，给出了规范化的计算方法和详细实用的设计步骤，并配有相当数量的例题；每章内容前有学习要求，内容后有小结、思考题和习题等，便于学生自学。

本书由长期担任“混凝土结构设计原理”课程教学工作的教师共同编写，由大连大学关萍教授担任主编。参加本书编写的有：大连大学关萍（第1章、3章、4章、5章）、大连海洋大学王志云（第2章）、吉林建筑工程学院翟莲（第6章）、大连大学王怀亮（第7章、10章）、大连大学纪晓东（第8章、9章）、大连大学苗峰（第11章）。全书主审为大连理工大学王清湘教授。

在本书的编写过程中，我们查阅和参考了国内外同行的著作和国家发布的最新法规和相关行业规范，在参考文献中列出，在此向这些书刊的作者们致以深深的谢意！限于编者水平，书中不妥之处，欢迎读者批评指正。

编者

目 录

前言

第1章 绪论..... 1

学习要求..... 1

1.1 混凝土结构的基本概念和特点 1

1.2 混凝土结构的发展与工程应用 3

1.3 本课程的主要内容、特点及学习

应注意的问题 6

小结..... 8

思考题..... 8

第2章 混凝土结构材料的物理和

力学性能 9

学习要求..... 9

2.1 钢 筋 9

2.2 混凝土 16

2.3 钢筋与混凝土的粘结 27

小结 32

思考题 33

第3章 混凝土结构设计方法 34

学习要求 34

3.1 结构的功能要求及极限状态 34

3.2 结构上的作用、作用效应及结构

抗力 36

3.3 可靠度分析的基本概念 40

3.4 结构极限状态设计表达式 42

3.5 结构防连续倒塌设计原则 45

3.6 既有结构再设计原则 46

小结 47

思考题 48

习题 48

第4章 受弯构件正截面承载力计算..... 50

学习要求 50

4.1 概述 50

4.2 受弯构件构造要求 51

4.3 正截面受弯性能试验研究 54

4.4 正截面受弯承载力计算的基本规定 58

4.5 单筋矩形截面正截面受弯承载力

计算 62

4.6 双筋矩形截面正截面受弯承载力

计算 68

4.7 T形截面正截面受弯承载力计算 73

小结 80

思考题 81

习题 82

第5章 受弯构件斜截面承载力计算..... 84

学习要求 84

5.1 概述 84

5.2 斜截面受剪性能的试验研究 85

5.3 斜截面受剪承载力计算公式 90

5.4 斜截面受剪承载力计算公式的适用

范围 92

5.5 斜截面受剪承载力计算方法 93

5.6 斜截面受弯承载力 98

小结 107

思考题 108

习题 108

第6章 受压构件截面承载力计算 110

学习要求 110

6.1 概述 110

6.2 受压构件的构造要求 111

6.3 轴心受压构件承载力计算 113

6.4 偏心受压构件正截面受力性能分析 121

6.5 矩形截面非对称配筋偏心受压构件

正截面承载力计算 125

6.6 矩形截面对称配筋偏心受压构件

正截面承载力计算 135

6.7 I形截面对称配筋偏心受压构件

正截面受压承载力计算 140

6.8 正截面承载力 $N-M$ 相关曲线及

其应用 145

6.9 均匀配筋和双向偏心受压构件正截面

受压承载力计算 147

6.10 偏心受压构件斜截面承载力计算 149

小结 150

思考题 151

习题	151	10.3 预应力混凝土轴心受拉构件的 应力分析	211
第7章 受拉构件截面承载力计算	153	10.4 预应力混凝土轴心受拉构件的 计算和验算	217
学习要求	153	10.5 预应力混凝土受弯构件的计算	225
7.1 概述	153	10.6 部分预应力混凝土和无粘结 预应力混凝土	247
7.2 轴心受拉构件正截面承载力计算	153	10.7 预应力混凝土构件的构造要求	250
7.3 偏心受拉构件正截面承载力计算	154	小结	253
7.4 偏心受拉构件斜截面承载力计算	157	思考题	254
小结	158	习题	255
思考题	159	第11章 混凝土结构按《公路桥规》的 设计原理	257
习题	159	学习要求	257
第8章 受扭构件承载力计算	160	11.1 公路桥涵工程钢筋、混凝土的种类 与选用原则	257
学习要求	160	11.2 概率极限状态设计方法	257
8.1 概述	160	11.3 受弯构件正截面承载力计算	262
8.2 纯扭构件受扭承载力计算	161	11.4 受弯构件斜截面承载力计算	270
8.3 弯剪扭构件承载力计算	166	11.5 受压构件截面承载力计算	277
8.4 压弯剪扭构件承载力计算	171	11.6 裂缝宽度、变形验算与短暂状况 应力控制	287
小结	174	11.7 预应力混凝土构件	292
思考题	174	小结	332
习题	174	思考题	333
第9章 构件正常使用阶段验算及 结构的耐久性	176	习题	334
学习要求	176	附录	336
9.1 概述	176	附录1 GB 50010—2010《混凝土结构 设计规范》附表	336
9.2 受弯构件变形验算	177	附录2 JTG D62—2004《公路钢筋混凝土 及预应力混凝土桥涵设计规范》 附表	343
9.3 裂缝宽度验算	184	参考文献	349
9.4 混凝土结构的耐久性	190		
小结	195		
思考题	195		
习题	196		
第10章 预应力混凝土构件	197		
学习要求	197		
10.1 预应力混凝土的基本知识	197		
10.2 预应力混凝土构件设计的一般规定	203		

第1章 绪 论

学习要求

- ① 掌握混凝土结构的特点；
- ② 了解混凝土结构的优缺点；
- ③ 了解混凝土结构的发展概况与工程应用；
- ④ 了解本课程的特点及学习时的注意事项。

1.1 混凝土结构的基本概念和特点

1.1.1 混凝土结构的基本概念

以混凝土为主要材料制成的结构称为混凝土结构，它包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构、纤维混凝土结构等。混凝土结构广泛应用于工业与民用建筑、桥梁、隧道、矿井以及水利、海港、核电等工程建设中，是目前土木工程中应用最多的一种结构形式。

素混凝土结构是指无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构。素混凝土材料的抗压强度高，抗拉强度却很低，一般只有抗压强度的 $1/20 \sim 1/8$ ；混凝土破坏具有明显的脆性性质。因此，在实际工程应用中素混凝土结构主要被用于以受压为主的非承重结构。

钢筋混凝土结构是指配置受力钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土结构。钢筋的抗拉和抗压强度都很高，把钢筋和混凝土这两种材料按照合理的方式结合在一起，可以取长补短，各自发挥其力学性能。利用混凝土的抗压性能，钢筋的抗拉和抗压性能，形成受力良好的钢筋混凝土结构。

预应力混凝土结构是指配置受力预应力筋，通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土结构。

型钢混凝土结构是指利用型钢或钢板焊成的钢骨架作为配筋的混凝土结构，又称为钢骨混凝土结构。

钢管混凝土结构是指在钢管内浇筑混凝土形成的混凝土结构。

纤维混凝土结构是指采用各种短纤维（钢纤维、聚丙烯纤维等）与混凝土一起搅拌形成的混凝土结构。

实际工程中，以钢筋混凝土和预应力混凝土结构的应用为多，本书主要介绍钢筋混凝土和预应力混凝土结构基本构件的力学性能、设计方法，为今后学习其他形式的混凝土结构打下基础。

1.1.2 混凝土结构的特点

图 1-1a 所示为截面尺寸为 $150\text{mm} \times 300\text{mm}$ 的 C20 素混凝土简支梁，在跨中集中荷载 P 作用下，梁跨中截面底部受拉边缘产生的拉应力一旦达到混凝土的抗拉强度 f_t ，梁便很快因开裂而产生脆性断裂破坏，无明显预兆。因此，梁的开裂荷载 P_{cr} 即为其破坏荷载 P_u ，即 $P_u \approx P_{cr} = 9.7\text{kN}$ ，破坏时跨中截面顶部受压边缘的压应力远未达到混凝土的抗压强度 f_c 。梁的承载力取决于混凝土的抗拉强度，混凝土抗压强度高的特点没有得到充分发挥，承载力很低。因此，素混凝土梁在工程中不能作为主要受力构件。

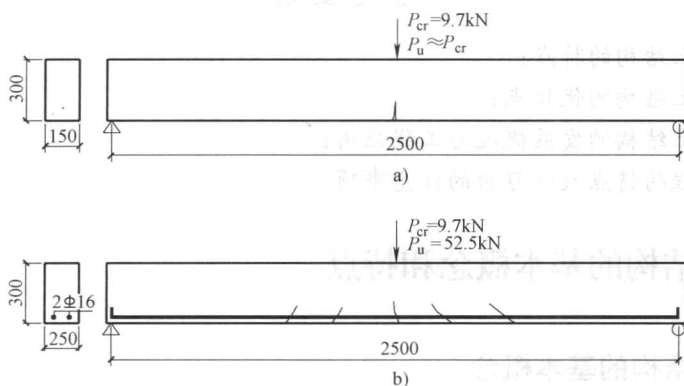


图 1-1 混凝土简支梁的破坏

a) 素混凝土简支梁 b) 钢筋混凝土简支梁

图 1-1b 所示为截面尺寸、跨度、混凝土材料与图 1-1a 完全相同的钢筋混凝土简支梁，在梁的受拉区配置了 $2\Phi 16$ 钢筋。虽然当荷载达到约 $P_{cr} = 9.7\text{kN}$ 时，梁的受拉区还会开裂，但开裂后，拉力可由钢筋承担，荷载可以继续增加，直至钢筋达到受拉屈服强度，此时荷载为 $P_y = 50\text{kN}$ 。钢筋屈服后有较长的屈服台阶，荷载还可以略有增加，梁可以继续一段较长的变形过程，最后因受压区破坏而达到极限荷载 $P_u = 52.5\text{kN}$ ，破坏时受压区混凝土达到受压强度。由此可见，配置钢筋后，钢筋混凝土梁的承载力比素混凝土梁提高很多，钢筋的抗拉强度和混凝土的抗压强度均得到充分利用，而且破坏过程有明显预兆。钢筋混凝土梁从开裂荷载 $P_{cr} = 9.7\text{kN}$ 到屈服荷载 $P_y = 50\text{kN}$ 的过程中是带裂缝工作的，但通常情况下裂缝宽度很小，不至于影响正常使用。

与素混凝土结构相比，钢筋混凝土结构具有以下的特点：

- 1) 钢筋混凝土梁的承载力比素混凝土梁大大提高。
- 2) 素混凝土梁破坏突然，没有明显预兆，而钢筋混凝土梁则表现出较好的延性，破坏前有明显预兆。
- 3) 钢筋混凝土梁最终因混凝土被压碎而破坏，此时钢筋已经屈服，钢筋和混凝土的材料强度均得到充分利用。

钢筋有时也可以用来协助混凝土受压，改善混凝土的受压脆性破坏性能和减小截面尺寸。

1.1.3 钢筋混凝土结构的优缺点

钢筋混凝土结构在土木工程结构中有广泛的应用，这是因为与其他结构相比它有很多优

点,其主要优点是:

- 1) 材料利用合理。钢筋和混凝土的材料强度可以得到充分发挥。对于一般工程结构,钢筋混凝土结构的经济指标优于钢结构。
- 2) 可模性好。混凝土可根据需要浇筑成各种形状和尺寸,适用于各种形状复杂的结构,如空间薄壳、箱形结构等。
- 3) 耐久性好。在一般环境条件下,钢筋可以受到混凝土的保护不发生锈蚀,而且混凝土的强度随着时间的增长还会有所增长,并能降低维护费用。
- 4) 耐火性好。混凝土是不良导热体,当发生火灾时,由于混凝土保护层的作用,混凝土内的钢筋不会像钢结构那样很快升温达到软化而丧失承载能力,在常温至 300°C 范围内,混凝土强度基本不降低。
- 5) 整体性好。现浇混凝土结构整体性好,且通过合适的配筋,可获得较好的延性,适用于抗震、抗爆结构。
- 6) 易于就地取材。在混凝土结构中,钢筋和水泥这两种工业产品所占的比例较小,砂、石等材料所占比例较大,可以就地取材。近年来利用建筑垃圾、工业废渣制造再生骨料,利用粉煤灰等作为水泥的外加成分,改善混凝土的性能,有利于保护环境。

钢筋混凝土结构也存在着一些缺点:

- 1) 自重过大。这对于建造大跨度结构和高层建筑是不利的。
- 2) 抗裂性能较差。由于混凝土的抗拉强度较低,在正常使用时,钢筋混凝土结构往往带裂缝工作,裂缝存在会影响结构物的正常使用和耐久性。
- 3) 施工比较复杂,工序多。浇筑混凝土时需要模板支撑,户外施工受季节、天气条件限制等。
- 4) 补强修复比较困难。新老混凝土不易形成整体,混凝土结构一旦破坏,修补和加固比较费事。

随着科学技术的发展,上述缺点已在一定程度上得到了克服和改善。例如,采用轻质混凝土可以减轻结构自重,采用预应力混凝土可以提高结构或构件的抗裂性能;采用碳纤维加固混凝土结构技术对发生损坏的混凝土结构或构件进行修复加固等。

1.2 混凝土结构的发展与工程应用

1.2.1 混凝土结构的发展阶段

混凝土结构是在 19 世纪中期开始得到应用的,与砌体结构、木结构、钢结构相比,它是一种出现较晚的结构形式。但是,由于混凝土结构具有很多明显的优点,使其在各方面的应用发展很快,现已成为世界各国占主导地位的结构。

混凝土结构的发展,大体上可分为三个阶段。

第一阶段是从钢筋混凝土发明至 20 世纪初。这一阶段所采用的钢筋和混凝土的强度都比较低,混凝土结构主要用来建造中小型楼板、梁、拱和基础等构件。其计算理论套用弹性理论,设计方法采用允许应力法。

第二阶段是从 20 世纪初到第二次世界大战前后。这一阶段混凝土和钢筋的强度有所提

高, 预应力混凝土结构的发展和应用, 使钢筋混凝土被用于建造大跨度的空间结构。同时, 开始进行混凝土结构的试验研究, 在计算理论上开始考虑材料的塑性, 已开始按破损阶段计算结构的破坏承载力。

第三阶段是从第二次世界大战以后至今。在这一阶段, 随着建设速度加快, 对材料性能和施工技术提出更高要求, 出现装配式钢筋混凝土结构、高效预应力混凝土结构、泵送商品混凝土等工业化生产技术。高强混凝土和高强钢筋的发展和先进施工机械设备的发明, 建造了一大批超高层建筑、大跨度桥梁、特长跨海隧道、高耸结构等大型工程, 成为现代土木工程的标志。在计算理论上已过渡到充分考虑混凝土和钢筋塑性的极限状态设计原理, 在设计方法上已过渡到以概率理论为基础的多系数表达的设计公式。混凝土本构模型的研究以及计算机技术的发展, 使人们可以利用非线性分析方法对各种复杂混凝土结构进行全过程受力模拟; 而新型钢筋和混凝土材料以及复合结构的出现, 又不断提出新的课题, 并不断促进混凝土结构的发展。

1.2.2 混凝土结构的工程应用

房屋建筑工程方面, 厂房、住宅、办公楼等多高层建筑广泛采用混凝土结构。世界最高的混凝土建筑是阿拉伯联合酋长国的哈利法塔, 高 828m, 为钢筋混凝土与钢结构组合结构。我国内地目前最高的钢筋混凝土建筑是上海环球金融中心 (492m, 地上 101 层), 其主体结构为钢筋混凝土结构。

在大跨度建筑方面, 预应力混凝土屋架、薄腹梁、钢筋混凝土拱、薄壳等已得到广泛应用。法国巴黎国家工业与发展技术展览中心大厅的平面为三角形, 屋盖结构采用拱身为钢筋混凝土装配整体式薄壁结构的落地拱, 跨度为 206m; 意大利都灵展览馆拱顶由装配式混凝土构件组成, 跨度达 95m; 澳大利亚悉尼歌剧院的主体结构由三组巨大的壳片组成, 壳片曲率半径为 76m, 建筑涂白色, 状如帆船, 已成为世界著名的风光建筑。

在桥梁建设方面, 很大一部分中小跨度桥梁采用钢筋混凝土建造, 结构形式有梁、拱、桁架等。一些大跨度桥虽已采用钢悬索或钢斜拉索, 但其桥面结构也有混凝土结构。目前世界上跨度最大的混凝土拱桥是四川万县长江大桥, 为劲性骨架钢管混凝土上承式拱桥, 净跨达 420m。我国跨度最大的拱桥是重庆的朝天门长江大桥, 为钢桁架结构, 主跨达 552m。我国最大的铁路拱桥为广深港高铁, 广深段的骊岗涌大桥, 160m 的主跨采用预应力混凝土连续梁与钢管拱组合结构。

在特种结构与高耸结构方面, 许多电视塔、储水池、储仓构筑物、电线杆、上下水管道等均可见到混凝土结构的应用。由于滑模施工技术的发展, 许多高耸建筑可以采用混凝土结构。例如, 加拿大多伦多电视塔 (高 549m), 我国最高的电视塔为上海电视塔 (高 415.2m), 它们的主体均为混凝土结构。

在水利工程中, 因混凝土自重大, 砂石比例大, 易于就地取材, 故常用来修建大坝。瑞士大狄克桑斯坝, 坝高 285m, 坝顶宽 15m, 坝底宽 225m, 坝长 695m, 库容量 4 亿 m^3 , 是目前世界上最高的重力坝。我国龙羊峡水电站拦河大坝为混凝土重力坝, 坝高 178m, 坝顶宽 15m, 坝底宽 80m, 坝长 393.34m。长江三峡水利枢纽工程, 大坝高 186m, 坝体混凝土用量达 1527 万 m^3 , 是世界上最大的水利工程。

混凝土结构在其他特殊的工程结构中也有广泛的应用, 如地下铁道的支护和站台工程、

核电站的安全壳、飞机场的跑道、海上采油平台、填海造地工程等。

1.2.3 混凝土材料与结构的发展

混凝土材料已成为现代应用最广泛的工程材料,混凝土结构在各类工程结构中占有主导地位。随着工程建设的广泛兴起和工程要求的不断提高,混凝土材料与结构会发展得越来越快。

1. 材料方面

混凝土材料主要发展方向是高强、高性能、轻质、耐久、高抗裂性和易于成型、绿色环保;钢筋的发展方向是高强、较好的延性和较好的粘结锚固性能。

为了提高混凝土的强度、改善混凝土的工作性能,高强、高性能混凝土、自密实混凝土的应用越来越广。我国已制成强度等级 100N/mm^2 以上的混凝土,并在建筑结构中加以应用。另外,在混凝土组成的材料中掺入外加剂或其他胶凝材料,还可以显著提高混凝土的耐久性能、施工性能和工作性能。

自密实混凝土是指具有高流动性、不离析、均匀性和稳定性,浇筑时依靠其自重流动,无需振捣而达到密实的混凝土。由于免振自密实混凝土在工程上应用可以取得提高混凝土质量、改善混凝土施工操作、降低施工噪声以及提高劳动生产率、加快施工进度、降低工程费用等技术经济效果,近年来世界各国对此给予很大的重视与关注。

为了减轻混凝土结构的自重,国内外都在大力发展轻质混凝土。轻质混凝土主要采用轻质骨料,包括天然轻集料(浮石、凝灰石等)、人造轻集料(页岩陶粒、黏土陶粒、膨胀珍珠岩等)和工业废料(炉渣、矿渣粉煤灰陶粒等)。由轻质混凝土制成的结构自重可比普通混凝土减少 $20\% \sim 30\%$,在地震地区采用轻质混凝土结构可有效地减小地震作用,节约材料,降低造价。利用建筑垃圾、工业废渣作为再生骨料的再生混凝土也开始在工程中应用,这对实现资源的再生利用、保护环境有重要意义。

为了提高混凝土的抗裂性和耐久性而掺入高分子化合物的混凝土,如浸渍混凝土、聚合物混凝土、树脂混凝土等,也将得到发展和应用。试验室研究显示,这类混凝土不仅抗压强度高,抗拉性能也很好,而且耐磨、抗渗、抗冲击、耐冻等性能大大优于普通混凝土。

为了提高混凝土的抗拉强度,改善混凝土的抗裂、抗冲击、抗疲劳、抗磨等性能,在普通混凝土中掺入各种纤维(如钢纤维、玻璃纤维、碳纤维、合成纤维等)而形成的纤维混凝土已在工程中得到广泛应用。

对于钢筋,我国用于普通混凝土结构的钢筋强度已达 500MPa ,推广 400MPa 、 500MPa 级热轧带肋钢筋作为主要构件纵向受力的主导钢筋,在大跨度的预应力构件中采用强度为 $1570 \sim 1960\text{N/mm}^2$ 的高强钢丝和钢绞线。为了提高钢筋的防腐性能,带有环氧树脂涂层的热轧钢筋已开始在某些有特殊防腐要求的工程中应用。

2. 结构方面

预应力混凝土结构由于抗裂性能好,可利用高强度材料,实现了跨度大、自重轻、节约建筑材料、改善建筑与结构功能等突出的优点,迎合了近代土木工程的发展趋势,现在已有先张法、后张法、无粘结预应力和体外张拉等技术。无粘结体内预应力混凝土结构消除了后张预应力筋管道的压浆,降低了预应力在管道内的摩阻损失,已在结构中广泛应用。体外预应力是后张预应力体系的重要分支之一,体外预应力混凝土结构有很多优点,预应力筋套管

布置简单,调整容易,简化了后张法的操作程序,大大缩短了施工时间;同时由于预应力筋布置于腹板外面,使得混凝土浇筑方便;由于预应力筋的位置,减少了施工过程中的摩擦损失且预应力筋更换方便易行。另外,在锚具方面将发展高效而耐久的锚具和夹具,在预制构件方面正在发展采用高强钢丝、钢绞线和高强度混凝土的大跨度高效预应力楼板,已适应大开间住宅的需要。

钢混凝土组合结构是由型钢或钢管与混凝土组合在一起而共同工作的一种结构形式。与普通钢筋混凝土结构相比,钢混组合结构可减小构件截面尺寸,减轻自重,增大有效使用空间,降低基础造价,节省模板,缩短施工周期,特别是其延性明显高于普通钢筋混凝土结构。与钢结构相比,钢混组合结构可以减少用钢量,降低造价,提高刚度,增加稳定性和整体性,提高结构的耐火性和耐久性等。

常用的钢混凝土组合结构有压型钢板与混凝土组合楼板、钢与混凝土组合梁、钢骨混凝土结构(也叫劲性混凝土结构)、钢管混凝土结构、外包钢混凝土结构五大类。

钢混凝土组合结构已在高层建筑、地下铁道、桥梁等构筑物中大量应用。随着钢混凝土组合结构研究的深入,施工工艺的不断提高,钢混凝土组合结构理论研究和实际应用将会迎来一个崭新的时代。

由于材料强度和性能的提高、设计计算理论的成熟、施工机械和技术的发展、计算机技术和科研水平的提高,混凝土结构的发展会更为迅猛,会不断向大跨、高耸、重载方向发展。

1.3 本课程的主要内容、特点及学习应注意的问题

1.3.1 课程的主要内容

“混凝土结构设计原理”课程是土木工程、工程管理专业必修的专业基础课,是一门应用面广、适用性强的专业主干课程。该课程主要介绍混凝土结构基本构件的受力性能和设计计算方法,内容包括钢筋与混凝土材料的力学性能,结构设计方法,结构基本构件(受弯构件、受压构件、受扭构件、受拉构件)的受力性能分析、设计计算和构造措施,正常使用阶段变形和裂缝的验算,预应力混凝土构件的原理与设计。

通过本课程的学习,学生掌握混凝土结构材料的特性、混凝土结构的设计方法和原则,能运用结构的设计原理、根据结构的特点进行一般的钢筋混凝土构件的设计,并满足规定的构造要求,了解混凝土结构的最新成果及发展方向,为后续学习及工作打下扎实的专业基础。该门课程重点培养和提高学生分析和解决工程实际问题的综合能力,加强学生工程师素质训练,提高学生专业素质,从而满足具有创新能力的应用型人才培养的要求。

1.3.2 课程特点及学习应注意的问题

1. 由于材料的离散性和复杂性,学习中应注重试验研究结果,注意与材料力学的联系与区别

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种力学性能不同的材料组合而成,且混凝土力学性能复杂,目前还没有建立起比较完整的混凝土强度理论体系,其受力性能受材料内部组成和外部因素(荷载、环境等)影响,因此,钢筋混凝土构件的计算理论和计算公式在很大程

度上是根据试验分析和概率数理统计理论。在学习本课程时要重视基本构件的试验研究,深刻理解构件试验的破坏形态和受力性能,应用公式时特别注意其使用条件。

钢筋混凝土基本原理与材料力学一样,都是研究构件受力时强度和变形规律的内容。混凝土是非均质、非连续、非弹性材料,由于其材料的复杂性,导致构件受力性能的差异。所以,材料力学公式在混凝土结构分析中可以直接应用的不多,但材料力学分析问题的基本思路,即由材料的物理关系、变形的几何、受力的平衡关系来建立构件的理论分析方法和基本方程的途径,同样适用于混凝土结构。因此,在学习本课程时应注意与材料力学的对比学习,找出它们之间的异同点。

2. 由于设计的综合性,学习中应注重培养综合分析问题的能力

构件或结构设计是一个综合性问题。设计过程包括结构方案、构件选型、材料选择、截面形式确定、配筋计算与构造、施工方案等,同时还需要考虑安全适用和经济合理。设计中许多数据可能有多种选择方案,最终设计结果应经过各种方案的比较,综合考虑使用、材料、造价、施工等各项指标的可行性,才能确定较为合适的设计结果。因此,对同一问题往往有多种解决的办法,答案往往不是唯一的。所以,在学习过程中,要注意培养对多种因素进行综合分析的能力。

3. 由于问题解答的多样性和复杂性,学习中应重视构造措施

在结构设计中,存在着选定混凝土和钢筋两种材料的不同强度等级和两种材料所用数量多少的配比问题,而这种配比可由设计者自行确定。因此,对相同荷载、同一构件,就可以设计出多个均能满足要求的解答,问题的解答不是唯一的。正是由于材料的配比具有选择性,因此,当比值超过了一定的范围就会引起构件受力性能及破坏形态的改变。为了防止构件出现非预期的破坏状态,往往对钢筋混凝土构件的计算公式规定出它们的适用条件,还规定出某些构造措施来保证。

构造措施是长期工程实践经验的积累,是试验研究与理论分析的成果。工程中用数值计算比较复杂的问题,可以通过构造措施加以解决,如混凝土收缩、温度影响等。因此,课程中有很多内容是关于构造要求,在学习中对各种构造要求要给予足够的重视,结构计算与构造措施同等重要。

4. 由于设计规范的权威性和强制性,学习中要注意熟悉、学习及运用设计规范

本课程的内容主要与 GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》、GB 50153—2008《工程结构可靠度设计统一标准》、GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》等有关。

规范是国家制定的有关结构设计计算和构造要求的技术规定和标准,是具有约束性和立法性的文件,是设计、校核、审批结构工程设计的依据。强制性条文是设计中必须遵守的带有法律性质的技术文件,这将使设计方法达到统一化和标准化,从而有效地贯彻国家的技术经济政策,保证工程质量。

设计工作是一项创造性工作。一方面在设计工作中必须按照规范进行,另一方面只有深刻理解规范的理论依据,才能更好地应用规范,充分发挥设计者的主动性和创造性。本学科还在不断地发展和更新,因此,设计工作也不应被规范束缚,在经过各方面的可靠性论证后,应积极采用先进的理论和技术。

5. 由于课程内容繁多,学习中应注意学习方法

“混凝土结构设计原理”课程内容多而杂,表现为内容多、概念多、公式多、符号多、

构造条文多。学生从先修数学、力学课程到混凝土结构设计原理的过渡过程比较重要,不然可能会出现概念不清、公式理解不透、计算步骤掌握不到位的情况。因此,在学习中要注意归纳总结,及时消化。

本课程有较强的实践性,在学习中可到施工现场,了解实际工程的结构布置、配筋构造、施工技术,也可进行必要的结构构件试验,以积累感性知识,增加工程经验,加深对混凝土结构基本理论知识的理解。

小 结

1. 以混凝土为主要材料制成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、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构、纤维混凝土结构等。实际工程中,以钢筋混凝土和预应力混凝土结构的应用为多。

2. 混凝土结构材料具有利用合理、可模性好、耐久性好、耐火性好、整体性好、易于就地取材等优点,也存在着自重过大、抗裂性较能差、施工比较复杂、补强修复比较困难的缺点。随着科学技术的发展,上述缺点已在一定程度上得到了克服和改善。

3. 学习本课程,应注重结构构件的试验研究结果,要重视其构造措施,要注意熟悉、学习及运用设计规范,培养综合分析问题的能力。

思 考 题

1-1 钢筋混凝土结构中配置一定形式和数量的钢筋有什么作用?

1-2 钢筋混凝土结构有哪些优点和缺点?如何克服这些缺点?

1-3 简述混凝土的应用与发展。

1-4 学习本课程时应注意哪些问题?

第2章 混凝土结构材料的物理和力学性能

学习要求

- ① 熟悉建筑工程中所用钢筋的品种、级别及其性能；
- ② 掌握混凝土在各种受力状态下的强度与变形性能；
- ③ 掌握钢筋和混凝土的选用原则；
- ④ 掌握混凝土结构对钢筋性能的要求及选用原则；
- ⑤ 理解钢筋与混凝土共同工作的原理；
- ⑥ 熟悉保证钢筋与混凝土之间协同工作的构造措施；
- ⑦ 熟悉钢筋的锚固与连接构造。

混凝土结构是由钢筋和混凝土这两种物理、力学性能均不同的材料组成，它们共同承受和传递结构的荷载。混凝土结构计算理论和计算公式的建立，都与这两种材料的力学性能密切相关。因此，要研究混凝土结构的受力性能，就必须了解钢筋和混凝土这两种材料的物理和力学性能、共同工作的原理及这两种材料在工程中的选用原则。

2.1 钢筋

2.1.1 钢筋的品种和级别

我国用于混凝土结构的钢筋主要有普通钢筋和预应力筋。

1. 普通钢筋

普通钢筋是指用于混凝土结构构件中的各种非预应力筋的总称，钢筋的外形如图 2-1 所示。GB 1499.1—2008《钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋》、GB 1499.2—2007《钢筋混凝土用钢 第 2 部分：热轧带肋钢筋》、GB 13014—1991《钢筋混凝土用余热处理钢筋》给出了各类钢筋的定义。

热轧光圆钢筋（Hot Rolled Plain Bars）是指经热轧成型并自然冷却，横截面通常为圆形，表面光滑的成品光圆钢筋。

热轧带肋钢筋（Ribbed Bars）是指横截面通常为圆形，且表面带肋的混凝土结构用钢材。根据肋的形状不同，又分纵肋、横肋和月牙肋。

普通热轧钢筋（Hot Rolled Bars）是指按热轧状态交货的钢筋。其金相组织主

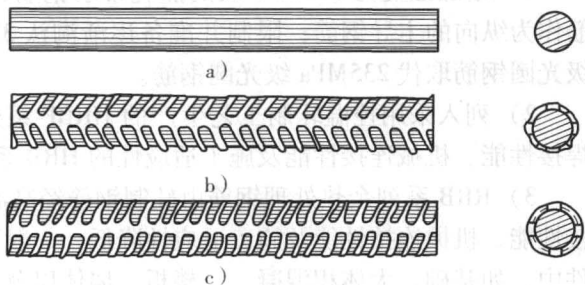


图 2-1 钢筋外形示意图

a) 光圆钢筋 b) 螺纹钢 c) 人字纹钢筋

要是铁素体加珠光体，不得有影响使用性能的其他组织存在。

细晶粒热轧钢筋（Hot Rolled Bars of Fine Grains）是指在热轧过程中，通过控轧和控冷工艺形成的细晶粒钢筋。其金相组织主要是铁素体加珠光体，不得有影响使用性能的其他组织存在，晶粒度不粗于9级。

钢筋混凝土用余热处理钢筋（Quenching and Delf-tempering Ribbed Steel Bars for the Reinforcement of Concrete）是指热轧后利用热处理原理进行表面控制冷却（穿水），并利用芯部余热自身完成回火处理所得的成品钢筋，其表面金相组织为淬火自回火组织。

同一个结构构件配筋时，强度较高的钢筋比强度较低的钢筋，在钢材的用量上有很大的差异。为了减少钢筋用量，减少原材料和能源消耗，减少污染环境，应当将建筑用钢的强度适当的提高。但也应注意采用强度较高的钢筋配筋时，有可能导致普通钢筋混凝土结构构件在正常使用阶段出现变形较大、裂缝较宽的问题。

根据钢筋产品标准的修改，不再限制钢筋材料的化学成分和制作工艺，而按性能确定钢筋的牌号和强度级别，并以相应符号表达。普通钢筋的类别、牌号、符号、牌号构成和英文字母含义见表2-1。

表 2-1 普通钢筋牌号的构成及其含义

类 别	牌 号	符 号	牌 号 构 成	英文字母含义
热轧光圆钢筋	HPB300	Φ	由 HPB + 屈服强度特征值构成	HPB—热轧光圆钢筋的英文（Hot Rolled Plain Bars）缩写
普通热轧钢筋	HRB335	Φ	由 HRB + 屈服强度特征值构成	HRB—热轧带肋钢筋的英文（Hot Rolled Ribbed Bars）缩写
	HRB400	Φ		
	HRB500	Φ		
细晶粒热轧钢筋	HRBF335	Φ ^F	由 HRBF + 屈服强度特征值构成	HRBF—在热轧带肋钢筋的英文缩写后加“细”的英文（Fine）首位字母
	HRBF400	Φ ^F		
	HRBF500	Φ ^F		
余热处理钢筋	RRB400	Φ ^R	由 RRB + 屈服强度特征值构成	RRB—余热处理筋的英文缩写

GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》修订淘汰了低强钢筋，根据混凝土构件对受力的性能要求，建议了各种牌号钢筋的用途：

1) 增加强度为500MPa级的热轧带肋钢筋；推广400MPa、500MPa级高强热轧带肋钢筋作为纵向的主导钢筋；限制并准备逐渐淘汰335MPa级热轧带肋钢筋的应用；用300MPa级光圆钢筋取代235MPa级光圆钢筋。

2) 列入采用控温轧制工艺生产的HRBF系列细晶粒带肋钢筋，推广具有较好的延性、焊接性能、机械连接性能及施工适应性的HRB系列普通热轧带肋钢筋。

3) RRB系列余热处理钢筋由轧制钢筋经高温淬水，余热处理后提高强度。其延性、焊接性能、机械连接性能及施工适应性降低，一般可用于对变形性能及加工性能要求不高的构件中，如基础、大体积混凝土、楼板、墙体以及次要的中小结构构件等。

4) 箍筋用于抗剪、抗扭及抗冲切设计时，其抗拉强度设计值受到限制，不宜采用强度高于400MPa级的钢筋。当用于约束混凝土的间接配筋（如连续螺旋配箍或封闭焊接箍）

时,其高强度可以充分发挥,采用 500MPa 级钢筋具有一定的经济效益。

2. 预应力筋

预应力筋是指用于混凝土结构构件中施加预应力的钢丝、钢绞线及预应力螺纹钢筋等的总称。钢丝和钢绞线外形如图 2-2 所示。

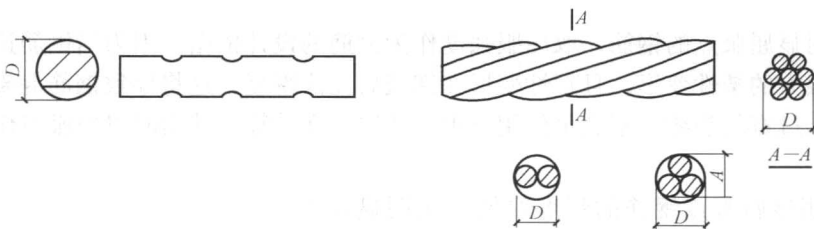


图 2-2 钢丝和钢绞线示意图

钢丝按加工状态分为冷拉钢丝和消除应力钢丝两类;按外形分为光圆、螺旋肋、刻痕三种。

预应力钢绞线按捻制结构分为用 2 根、3 根、7 根钢丝捻制的钢绞线;按其应力松弛性能分为 I 级松弛和 II 级松弛。

预应力螺纹钢筋是一种热轧成带有不连续的外螺纹的直条钢筋,该钢筋在任意截面处,均可用带有匹配形状的内螺纹的连接器或锚具进行连接或锚固。以屈服强度划分级别,其代号为“PSB”加上规定屈服强度最小值表示。

《混凝土结构设计规范》修订增加了预应力筋的品种:增补高强、大直径的钢绞线;列入大直径预应力螺纹钢筋(精轧螺纹钢筋);列入中强度预应力钢筋以补充中等强度预应力筋的空缺,用于中、小跨度的预应力构件;淘汰锚固性能很差的刻痕钢丝。

2.1.2 钢筋的强度与变形性能

钢筋的力学性能主要有强度和变形,通过单向拉伸试验可以得到钢筋的应力-应变关系曲线。根据钢筋的应力-应变曲线的不同特征,可把钢筋分为有明显屈服点钢筋和无明显屈服点钢筋。

1. 钢筋的强度取值

(1) 有明显屈服点钢筋的强度取值 有明显屈服点钢筋的应力-应变曲线如图 2-3 所示。由图可见,OA 为一段斜直线,应力与应变成比例变化,与 A 点对应的应力称为比例极限。OA 为理想弹性阶段,卸载后可完全恢复,无残余变形。过 A 点后,应变较应力增长得快,到达 B' 点后钢筋开始塑性流动, B' 点称为屈服上限,它与加载速度、截面形式、试件表面光洁程度等因素有关。当 B' 点降至屈服下限 B 点,此时应力基本不增加而应变急剧增长,曲线出现一个波动的小平台,这种现象称为屈服。B 点到 C 点的水平距离的大小称为流幅或屈服台阶,通常屈

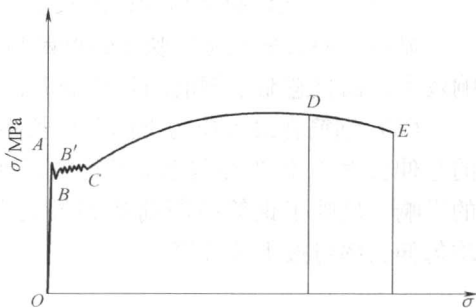


图 2-3 有明显屈服点钢筋的应力-应变曲线