

内 容 提 要

《工程结构设计原理》是土木工程专业的主干专业基础课教材,将钢结构、混凝土结构、砌体结构以及组合结构的基本原理和基本构件有机结合起来,以基本原理为主,实现了通用化、综合化。本书共 10 章,主要包括:以概率为基础的结构设计方法,工程结构材料的物理力学性能,构件的连接,梁的承载力设计、柱的承载力设计,构件的正常使用和耐久性控制,预应力构件设计,以及综合应用的梁板结构设计等。

本书突出受力性能分析,强调基本概念和原理,不过多地拘泥于规范的具体规定,不仅可作为土木工程专业本科学生的教材,也可供电大、职大、函大、网大和自学考试等同类专业学生以及从事土木工程的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程结构设计原理 曹双寅,舒赣平,冯健编著 曹

南京:东南大学出版社,1999.10

16开 31.5cm×23cm 16.5印张 385千字

I 曹双寅 II 曹双寅 III 冯健 IV 工程结构设计 高等学校教材 IV 622.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(99)第 10395 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人 宋增民

江苏省新华书店经销 溧阳市印刷厂印刷

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16.5 字数 385 千字

1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月第 1 次印刷

印数 10000 册 定价 16.50 元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-8359215)

修订说明

本书是“新世纪土木工程专业系列教材”之一。

根据教育部新的普通高等学校本科专业目录,原建筑工程、交通土建工程、桥梁工程、地下结构工程等多个专业合并为土木工程专业,人才培养模式正在向宽口径方向转变。为了适应土木工程本科专业基础知识的教学需要,必须对上述各原专业的专业基础知识课进行整合,其中将原多门结构课程的整合作为教学内容和课程体系改革的重点。

课程教学组经过首轮教学实践,改变了以各种结构材料自成体系的模式,将混凝土结构、钢结构、砌体结构和组合结构的基本原理及基本构件有机地结合起来,编写出了通用化、综合化的工程结构设计原理教材。由于这些结构的理论都是以工程力学为基础,其内力分析、应力与应变分析方法等是相同的,突出的不同点是材料的特性,因此,在掌握共性的基本原理基础上,以基本构件为主线结合不同材料结构的特点分类阐述,可以建立起从整体到局部,最后再综合的思维方法,有利于提高教学质量。

本教材立足于基本概念,加强基础理论知识,突出受力基本性能和设计原理,而不拘泥于规范的具体规定。通过学习,使学生掌握土木工程结构的基本知识、基本原理和基本设计方法,为理解和掌握各种结构设计规范,继续学习《建筑结构设计》、《桥梁工程》、《地下结构工程》等专业课程奠定扎实的基础。本书的主要内容包括:以概率为基础的结构设计方法,工程结构材料的物理力学性能,构件的连接,梁、板、柱等基本构件的受力性能、破坏形态、承载能力和正常使用的设计计算原理。另外,为了进行综合训练并配合课程设计的教学要求,本教材还给出了钢筋混凝土楼盖、钢平台的设计示例。

本教材出版时,引用了相应结构规范的送审稿。此次修订,依照现行规范予以调整。

本教材可作为土木工程专业学生专业基础课程的教材和参考书,也适合于电大、职大、函大、网大和自学考试等同类专业以及从事土木工程的工程技术人员参考使用。

本教材由东南大学《工程结构设计原理》课程教学组集体编写,第1章由曹双寅编写,第2章由舒赣平编写,第3章由蒋永生、穆保岗编写,第4章由冯健编写,第5章由邱洪兴编写,第6章由蒋永生、叶见曙编写,全书由曹双寅主编,蒋永生主审。

教材的编写,参考并引用了一些公开出版和发表的文献,谨向这些作者表示衷心感谢。

由于整合的力度大,作者水平所限,书中疏漏和错误之处,敬请读者批评指正,以便日臻完善。

曹双寅
2002年 猿月

目 录

员 绪论	(员)
员 结构的组成及分类	(员)
员 结构的发展概况	(员)
员 结构的组成	(员)
员 结构的分类	(圆)
员 混凝土结构	(猿)
员 混凝土结构的特点	(猿)
员 混凝土结构的现状与发展	(缘)
员 钢结构	(远)
员 钢结构的特点	(远)
员 钢结构的现状与发展	(远)
员 砌体结构	(苑)
员 砌体结构的特点	(苑)
员 砌体结构的现状及发展	(苑)
圆 结构基本计算原则	(愿)
圆 结构上的作用	(愿)
圆 作用及作用效应	(愿)
圆 作用的分类	(愿)
圆 荷载的随机性与概率模式	(怨)
圆 荷载的代表值	(员)
圆 结构的抗力	(员)
圆 抗力及其不定因素	(员)
圆 材料强度的标准值	(员)
圆 抗力 砸的概率分布模式和统计参数	(员)
圆 结构的功能和极限状态	(员)
圆 结构的功能	(员)
圆 结构的极限状态	(员)
圆 结构可靠性设计的基本原理	(员)
圆 功能函数与极限状态方程	(员)
圆 结构的可靠性	(员)
圆 可靠度的计算方法及可靠指标	(员)
圆 基于近似概率法的设计表达式	(员)
圆 一般方法	(员)
圆 我国现行规范采用的基本设计表达式	(猿)
圆 分项系数的确定	(猿)

复习思考题	(猿)
猿 工程结构材料的物理力学性能	(猿)
猿猿 钢材的物理力学性能	(猿)
猿猿猿 简单应力状态下钢材的力学性能	(猿)
猿猿猿 复杂应力状态下钢材的力学性能	(猿)
猿猿猿 影响钢材性能的一般因素	(猿)
猿猿猿 结构对钢材的要求及钢材的分类	(猿)
猿猿 混凝土的物理力学性能	(猿)
猿猿猿 简单受力状态下混凝土的力学性能	(猿)
猿猿猿 复杂受力状态下混凝土的性能	(猿)
猿猿猿 钢筋与混凝土的粘结	(猿)
猿猿 砌体的材料及力学性能	(猿)
猿猿猿 砌体的材料及种类	(猿)
猿猿猿 砌体的力学性能	(猿)
复习思考题	(猿)
源 构件的连接	(猿)
源源 钢结构的连接	(猿)
源源猿 焊缝连接和焊接结构的特性	(猿)
源源猿 焊接残余应力和残余变形	(猿)
源源猿 螺栓连接及构造	(猿)
源源 钢筋混凝土构件连接	(猿)
源源猿 钢筋的连接	(猿)
源源猿 预制板的连接	(猿)
源源猿 预制构件的连接	(猿)
源源 钢结构连接计算和构造	(猿)
源源猿 对接焊缝的计算和构造	(猿)
源源猿 角焊缝的构造与计算	(猿)
源源猿 普通螺栓连接的受力性能和计算	(猿)
源源猿 高强度螺栓连接的受力性能和计算	(猿)
复习思考题	(猿)
缘 梁的结构形式和破坏类型	(猿)
缘缘 梁上的荷载、荷载效应及抗力	(猿)
缘缘 梁的结构类型	(猿)
缘缘猿 梁的分类	(猿)
缘缘猿 梁的截面形式	(猿)
缘缘 梁的主要破坏类型	(猿)
缘缘猿 以极限状态区分梁的破坏类型	(猿)
缘缘猿 用力学方法探讨强度破坏的类型	(猿)
缘缘猿 钢梁的主要破坏类型	(猿)

缘猴源	钢筋混凝土梁的主要破坏类型	(员猴)
缘猴	梁的设计思路	(员猴)
缘猴员	梁的主要破坏类型汇总	(员猴)
缘猴圆	梁的设计思路	(员猴)
复习思考题	(员猴)
远	钢梁计算原理	(员猴)
远猴	钢梁的强度	(员猴)
远猴员	弯曲正应力	(员猴)
远猴圆	剪应力	(员猴)
远猴猿	局部压应力	(员猴)
远猴源	折算应力	(员猴)
远猴圆	钢梁的刚度	(员猴)
远猴猿	钢梁的整体稳定	(员猴)
远猴猿员	一般概念	(员猴)
远猴猿圆	梁的扭转	(员猴)
远猴猿猿	梁整体稳定的基本理论	(员猴)
远猴猿源	影响梁整体稳定的主要因素	(员猴)
远猴猿缘	梁整体稳定的计算	(员猴)
远猴猿远	梁整体稳定系数 $\varphi_{\text{遭}}$	(员猴)
远猴源	钢梁截面设计	(员猴)
远猴源员	型钢梁截面设计	(员猴)
远猴源圆	组合梁截面设计	(员猴)
远猴缘	梁的局部稳定和加劲肋设计	(员猴)
远猴缘员	矩形薄板的屈曲	(员猴)
远猴缘圆	梁翼缘板的局部稳定	(员猴)
远猴缘猿	梁腹板的局部稳定	(员猴)
远猴缘源	梁腹板加劲肋的设计	(员猴)
远猴远	考虑腹板屈曲后强度的钢梁设计	(员猴)
远猴远员	工字形截面组合梁腹板屈曲后的抗弯承载力	(员猴)
远猴远圆	工字形截面组合梁腹板屈曲后的抗剪承载力	(员猴)
远猴远猿	工字形截面组合梁考虑梁腹板屈曲后的计算	(员猴)
远猴远源	考虑腹板屈曲后强度的梁的加劲肋设计要求	(员猴)
远猴苑	梁的拼接	(员猴)
远猴苑员	工厂拼接	(员猴)
远猴苑圆	工地拼接	(员猴)
复习思考题	(员猴)
苑	混凝土梁承载力计算原理	(员猴)
苑猴	概述	(员猴)
苑猴圆	正截面受弯承载力	(员猴)

苑园缘	梁类构件的一般构造要求	(苑园缘)
苑园园	正截面受力的三个阶段	(苑园园)
苑园猿	正截面受力分析	(苑园猿)
苑园源	受弯构件正截面承载力计算	(苑园源)
苑园缘	双筋矩形截面梁	(苑园缘)
苑园远	T形截面梁	(苑园远)
苑园猿	斜截面受剪承载力	(苑园猿)
苑园猿	无腹筋梁的抗剪性能	(苑园猿)
苑园园	有腹筋梁的抗剪性能	(苑园园)
苑园猿	斜截面受剪承载力计算	(苑园猿)
苑园源	斜截面受弯承载力	(苑园源)
苑园缘	腹筋的一般构造要求	(苑园缘)
苑园源	受扭承载力	(苑园源)
苑园源	概述	(苑园源)
苑园园	纯扭作用下的开裂扭矩	(苑园园)
苑园猿	纯扭作用下的承载力计算	(苑园猿)
苑园源	弯剪扭共同作用下的承载力计算	(苑园源)
苑园缘	适用条件	(苑园缘)
苑园远	复习思考题	(苑园远)
愿	柱的结构形式及破坏类型	(苑园愿)
愿园缘	工程结构中的轴向受力构件	(苑园缘)
愿园园	按轴向力作用的位置分类	(苑园园)
愿园园	轴向受拉构件	(苑园园)
愿园园	轴向受压构件——柱	(苑园园)
愿园猿	轴向受力构件的材料选用及截面形式	(苑园猿)
愿园猿	轴向受拉构件的材料及截面形式	(苑园猿)
愿园园	轴向受压(压弯)构件的材料及截面形式	(苑园园)
愿园源	柱的主要破坏类型	(苑园源)
愿园源	截面强度破坏	(苑园源)
愿园园	失稳破坏	(苑园园)
苑园远	复习思考题	(苑园远)
怨	钢轴心受力及拉弯、压弯构件	(苑园怨)
怨园缘	轴心受拉和轴心受压构件的强度	(苑园缘)
怨园园	轴心受拉和轴心受压构件的刚度	(苑园园)
怨园猿	轴心受压构件的整体稳定	(苑园猿)
怨园猿	概述	(苑园猿)
怨园园	弹性弯曲屈曲(失稳)	(苑园园)
怨园猿	弹塑性屈曲(切线模量理论)	(苑园猿)
怨园源	构件缺陷对屈曲临界力的影响	(苑园源)

怨戮缘	整体稳定计算公式	(圆园)
怨戮源	轴心受压构件的局部稳定	(圆园)
怨戮圆	单向均匀受压薄板的屈曲	(圆园)
怨戮圆	轴心受压构件局部稳定的实用计算方法	(圆园)
怨戮圆	设计时加强局部稳定的措施	(圆园)
怨戮缘	实腹式轴心受压构件的截面设计和构造要求	(圆园)
怨戮圆	实腹式轴心受压构件的截面选择	(圆园)
怨戮圆	实腹式轴心受压构件构造要求	(圆园)
怨戮远	格构式轴心受压构件	(圆园)
怨戮圆	概述	(圆园)
怨戮圆	格构式轴心受压构件绕虚轴的整体稳定	(圆园)
怨戮圆	格构式轴心受压构件分肢的稳定和强度	(圆园)
怨戮圆	格构式轴心受压构件分肢的局部稳定	(圆园)
怨戮圆	格构式轴心受压构件的截面设计	(圆园)
怨戮圆	格构式轴心受压构件的缀件设计	(圆园)
怨戮圆	格构式轴心受压构件的横隔	(圆园)
怨戮苑	拉弯构件和压弯构件	(圆园)
怨戮圆	概述	(圆园)
怨戮圆	拉弯构件和压弯构件的强度计算	(猿园)
怨戮圆	实腹式单向压弯构件在弯矩作用平面内的稳定计算	(猿园)
怨戮圆	实腹式单向压弯构件在弯矩作用平面外的整体稳定计算	(猿园)
怨戮圆	实腹式双向压弯构件的稳定计算	(猿园)
怨戮圆	实腹式压弯构件的局部稳定	(猿园)
复习思考题		(猿园)
猿园	混凝土柱承载力计算原理	(猿园)
猿园	轴心受压柱的承载力计算	(猿园)
猿园	配有普通箍筋柱正截面承载力计算	(猿园)
猿园	配有螺旋箍筋柱正截面承载力计算	(猿园)
猿园	偏心受压构件计算的基本原则	(猿园)
猿园	矩形截面偏心受压构件正截面承载力设计	(猿园)
猿园	基本计算公式	(猿园)
猿园	相关曲线及其规律	(猿园)
猿园	不对称配筋构件正截面承载力计算方法	(猿园)
猿园	对称配筋构件正截面承载力计算方法	(猿园)
猿园	工字形及 裁形截面偏心受压构件正截面承载力计算	(猿园)
猿园	基本计算公式	(猿园)
猿园	计算方法	(猿园)
猿园	圆形和环形截面偏心受压构件正截面承载力计算	(猿园)
猿园	圆形截面偏心受压构件	(猿园)

15.2.1.1	环形截面偏心受压构件	(猿猿)
15.2	受拉构件正截面承载力计算	(猿猿)
15.2.1	轴心受拉构件正截面承载力计算	(猿猿)
15.2.2	偏心受拉构件正截面承载力计算	(猿猿)
15.3	斜截面受剪承载力计算	(猿猿)
15.3.1	受压构件斜截面受剪承载力计算	(猿猿)
15.3.2	受拉构件斜截面受剪承载力计算	(猿猿)
	复习思考题	(猿猿)
16	砌体受压构件承载力计算原理	(猿猿)
16.1	无筋砌体受压构件	(猿猿)
16.1.1	无筋砌体受压构件的受力特点	(猿猿)
16.1.2	无筋砌体受压承载力计算公式	(猿猿)
16.2	砌体局部受压	(猿猿)
16.2.1	局部均匀受压	(猿猿)
16.2.2	梁端局部受压	(猿猿)
16.3	配筋砌体构件	(猿猿)
16.3.1	网状配筋砖砌体构件	(猿猿)
16.3.2	组合砖砌体构件	(猿猿)
16.4	砖砌体和钢筋混凝土构造柱组合墙	(猿猿)
	复习思考题	(猿猿)
17	构件的变形计算原理	(猿猿)
17.1	截面弯曲刚度的概念及定义	(猿猿)
17.2	混凝土受弯构件的短期刚度 B_s	(猿猿)
17.2.1	平均曲率	(猿猿)
17.2.2	裂缝截面的应变 ϵ_{yk} 和 ϵ_{sk}	(猿猿)
17.2.3	平均应变 ϵ_{yk} 和 ϵ_{sk}	(猿猿)
17.2.4	短期刚度 B_s 的一般表达式	(猿猿)
17.3	参数 η 、 ψ 和 ζ 的表达式	(猿猿)
17.3.1	裂缝截面处内力臂长度系数 η	(猿猿)
17.3.2	裂缝间纵向受拉钢筋应变不均匀系数 ψ	(猿猿)
17.3.3	系数 ζ	(猿猿)
17.3.4	短期刚度 B_s 的计算公式	(猿猿)
17.3.5	影响短期刚度的因素	(猿猿)
17.4	混凝土受弯构件刚度 B	(猿猿)
17.5	混凝土受弯构件挠度计算中的最小刚度原则	(猿猿)
17.6	受弯构件挠度验算及相关问题的讨论	(猿猿)
17.6.1	受弯构件挠度验算	(猿猿)
17.6.2	对受弯构件挠度验算的讨论	(猿猿)
	复习思考题	(猿猿)

章	裂缝宽度的计算原理及耐久性控制	(猿猿)
章	混凝土的裂缝与控制标准	(猿猿)
节	产生裂缝的原因	(猿猿)
节	裂缝的控制标准	(猿猿)
节	裂缝宽度的计算理论	(猿猿)
章	钢筋混凝土构件裂缝宽度验算	(猿猿)
节	裂缝的出现、分布和开展	(猿猿)
节	平均裂缝间距	(猿猿)
节	平均裂缝宽度	(猿猿)
节	最大裂缝宽度及其验算	(猿猿)
章	混凝土结构的耐久性	(猿猿)
节	耐久性的概念与主要影响因素	(猿猿)
节	混凝土的碳化	(猿猿)
节	钢筋的锈蚀	(猿猿)
节	耐久性设计	(猿猿)
	复习思考题	(猿猿)
章	预应力混凝土结构的基本原理	(猿猿)
节	预应力混凝土的基本概念	(猿猿)
节	预应力的概念	(猿猿)
节	施加预应力的目的	(猿猿)
节	预加应力的效果	(猿猿)
节	预应力混凝土与钢筋混凝土的比较	(猿猿)
节	预应力混凝土结构的优点	(猿猿)
节	预加应力的方法	(猿猿)
节	先张法	(猿猿)
节	后张法	(猿猿)
节	预应力混凝土分类	(猿猿)
节	全预应力混凝土和部分预应力混凝土	(猿猿)
节	全预应力混凝土	(猿猿)
节	部分预应力混凝土	(猿猿)
节	无粘结和有粘结	(猿猿)
节	预应力混凝土材料及锚夹具	(猿猿)
节	预应力混凝土材料	(猿猿)
节	预应力混凝土结构的锚夹具	(猿猿)
节	预应力损失	(猿猿)
节	张拉控制应力	(猿猿)
节	预应力损失	(猿猿)
节	预应力损失的组合	(猿猿)
节	预应力的传递和局部承压	(猿猿)

15.1.1	先张法预应力筋的预应力传递长度和锚固长度	(源缘)
15.1.2	局部受压承载力计算	(源远)
15.2	等效荷载	(源愿)
15.3	预应力技术的发展	(源怨)
	复习思考题	(源愿怨)
15.4	预应力混凝土轴心受拉构件	(源园)
15.4.1	承载力计算	(源园)
15.4.2	使用阶段抗裂度及裂缝宽度验算	(源园)
15.4.3	施工阶段的验算	(源园)
	复习思考题	(源园)
15.5	预应力混凝土受弯构件	(源缘)
15.5.1	正截面受弯承载力计算	(源缘)
15.5.1.1	计算简图	(源缘)
15.5.1.2	基本公式	(源缘)
15.5.1.3	适用条件	(源远)
15.5.2	使用阶段正截面抗裂度、裂缝宽度及变形验算	(源园)
15.5.3	斜截面受剪承载力计算	(源愿)
15.5.4	斜截面抗裂度验算	(源怨)
15.5.5	施工阶段的验算	(源园)
	复习思考题	(源园)
15.6	板的结构分析	(源园)
15.6.1	板的类型	(源园)
15.6.2	板的弹性设计理论	(源园)
15.6.2.1	连续单向板的弹性分析	(源园)
15.6.2.2	边支承双向板的弹性分析	(源怨)
15.6.3	板的塑性设计理论	(源远)
15.6.3.1	超静定结构的塑性内力重分布	(源远)
15.6.3.2	连续单向板按调幅法的内力计算	(源园)
15.6.3.3	双向板按塑性铰线法的计算	(源怨)
	复习思考题	(源缘)
15.7	混凝土梁板设计	(源远)
15.7.1	混凝土单向板肋梁楼盖设计	(源远)
15.7.1.1	结构布置	(源远)
15.7.1.2	计算简图	(源怨)
15.7.1.3	连续梁、板按调幅法的内力计算方法	(源怨)
15.7.1.4	板、次梁、主梁的截面设计及构造	(源缘)
15.7.1.5	单向板肋梁楼盖设计例题	(源园)
15.7.2	混凝土双向板肋梁楼盖设计	(源园)
15.7.2.1	双向板设计要点	(源园)

员圆园圆	支承梁设计要点	(源圆)
员圆园圆	双向板设计例题	(源圆)
员圆园圆	混凝土双向柱支承板设计要点	(源圆)
员圆园圆	概述	(源圆)
员圆园圆	直接设计法	(源圆)
员圆园圆	等代框架法	(源圆)
员圆园圆	板的抗冲切计算与柱帽设计	(源圆)
员圆园圆	截面设计与构造要求	(源圆)
员圆园圆	混凝土楼梯设计	(源圆)
员圆园圆	概述	(源圆)
员圆园圆	板式楼梯	(源圆)
员圆园圆	梁式楼梯	(源圆)
员圆园圆	现浇楼梯的一些构造处理	(源圆)
员圆园圆	楼梯设计实例	(缘圆)
复习思考题		(缘圆)
员圆园圆	平台钢结构	(缘圆)
员圆园圆	平台钢结构的组成与结构布置	(缘圆)
员圆园圆	平台钢结构的组成	(缘圆)
员圆园圆	平台梁格布置	(缘圆)
员圆园圆	平台铺板设计	(缘圆)
员圆园圆	平台铺板的构造	(缘圆)
员圆园圆	平台铺板的计算	(缘圆)
员圆园圆	平台梁	(缘圆)
员圆园圆	一般要求	(缘圆)
员圆园圆	型钢梁	(缘圆)
员圆园圆	组合梁	(缘圆)
员圆园圆	平台柱与柱间支撑	(缘圆)
员圆园圆	柱网布置及柱截面	(缘圆)
员圆园圆	柱及柱间支撑的设计	(缘圆)
员圆园圆	柱脚	(缘圆)
员圆园圆	钢平台的连接构造	(缘圆)
员圆园圆	梁的连接	(缘圆)
员圆园圆	梁与轴心受压柱的连接	(缘圆)
员圆园圆	平台栏杆	(缘圆)
员圆园圆	钢楼梯	(缘圆)
员圆园圆	直梯	(缘圆)
员圆园圆	斜梯与旋转楼梯	(缘圆)
员圆园圆	组合梁板结构设计要点	(缘圆)
员圆园圆	概述	(缘圆)

圆 压型钢板组合板设计	(缘)
圆 组合板的内力分析	(缘)
圆 组合板的截面设计	(缘)
圆 组合板的构造要求	(缘)
圆 组合梁设计	(缘)
圆 组合梁的内力分析	(缘)
圆 组合梁的承载力计算	(缘)
圆 组合梁的挠度和裂缝宽度验算	(缘)
复习思考题	(缘)
附录 员 材料规格、性能及截面特性	(缘)
附录 圆 钢构件的强度与稳定	(缘)
附录 猿 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数表	(缘)
附录 源 双向板计算系数符号说明	(缘)
参考文献	(缘)

员 绪论

本章简单介绍了一般工程结构的组成和特点,通过学习,应掌握钢结构、混凝土结构和砌体结构的一般概念和特点,了解钢结构、混凝土结构和砌体结构在国内外的应用发展概况。

员 结构的组成及分类

员 结构的发展概况

我国应用最早的建筑结构是木结构和砖石结构。山西五台山佛光寺大殿(847年)、远皂高的应县木塔(1056年)均为木结构梁柱承重体系;河北省赵县的安济桥(1085~1090年)是世界上最早的单孔空腹式石拱桥;举世闻名的万里长城、现存最完整的都城墙——南京城墙等,均是采用砖石结构。现在,木结构已经很少采用,但砌体结构仍然是我国建筑业,尤其是住宅建设的主要结构形式。

我国是采用钢(铁)结构较早的国家。320年,在我国西南地区建造了世界上最早的铁链桥——兰津桥。元江桥、盘江桥和泸定大渡河铁索桥等都是钢(铁)结构。19世纪,随着钢材生产技术的发展,钢结构的应用在国外也迅速发展。1949年新中国成立以后,我国钢结构得到一定程度的发展,但由于受钢产量的限制,钢结构仅用在重型厂房、大跨度建筑、桥梁以及塔桅等结构中。改革开放后,我国经济建设迅速发展,1976年我国钢产量跃居世界第一,年产量超过1亿吨,钢材的质量、规格及数量等能够满足建筑市场的需求,钢结构的应用领域有了较大的扩展。1982年建设部颁发的《中国建筑技术政策》中已明确提出了发展钢结构的要求。可以预计,不久的将来,钢结构在我国将会迅猛发展。

1824年波特兰水泥(我国通称硅酸盐水泥)问世后不久,出现了钢筋混凝土结构。1825年法国人朗波制造了第一艘钢筋混凝土小船。1832年英国人威尔金先生获得了一种钢筋混凝土楼板的专利。1840年,法国工程师科瓦列著文阐述了这种新建筑的原理。1845年法国花匠蒙列用加钢筋网的水泥砂浆制作花盆,1846年蒙氏获得了这种花盆的专利,随后又获得了用这种方法制造其他钢筋混凝土构件——梁、板及管等的专利权。1852年德国工程师道伦首次提出了对钢筋混凝土施加预应力的概念,因当时钢材强度不高,未获得实际结果。1868年法国工程师弗列西涅利用高强钢丝和高强度混凝土并施加高的预应力制造预应力构件,获得了成功。随后,混凝土结构的计算理论和应用迅速发展。二战以后,由于高强度钢筋和混凝土的出现及广泛应用和商品混凝土、装配式混凝土结构等工业化生产技术的推广,钢筋混凝土结构得到迅猛发展,许多大型的结构工程,如高层及超高层建筑、大跨度桥梁、隧道、高耸结构等广泛应用了钢筋混凝土结构。在我国,新中国成立后,钢筋混凝土结构在工业与民用建筑、桥梁及隧道、道路、水利工程等领域的应用迅猛发展,设计理论和施工技术等方面均取得了巨大成就。

员 结构的组成

工程结构是由若干个单元,按照一定的规则,通过正确的连接方式所组成的能够承受并传递荷载和其它间接作用的骨架。这些单元就是工程结构的基本构件。

工程结构的基本构件有板、梁、柱、墙、杆、拱、索和基础等 如图 1-1 所示。板为房屋建筑或桥梁等提供活动面 ,直接承受作用在其上的活动荷载和永久荷载 ,并将这些荷载传递到梁或墙等支撑构件上 ,板的主要内力是弯矩和剪力 ,是受弯构件。梁是板的支撑构件 ,承受板传来的荷载并将其传递到柱、墙或主梁上 ,它的主要内力是弯矩和剪力 ,有时也承担扭矩 ,属受弯构件。柱和墙的作用是支撑楼面体系(梁、板) ,其主要内力是轴向压力、弯矩和剪力等 ,是受压构件。拱是工程结构特别是地下结构的一种主要受力构件 ,是受压构件 ,它可以通过调整拱的形体来调整构件的内力。索是悬挂构件或结构体系的主要传力单元 ,一端固定在被悬挂的构件上 ,另一端固定于其它的结构体系上 ,索主要承受拉力 ,是受拉构件。杆的用途很多 ,如组成屋架或其它空间构件的弦杆、结构的支撑等等 ,其内力主要是轴向拉力或压力 ,是轴心受力构件。基础是将柱及墙等传来的上部结构荷载传递给地基的下部结构。

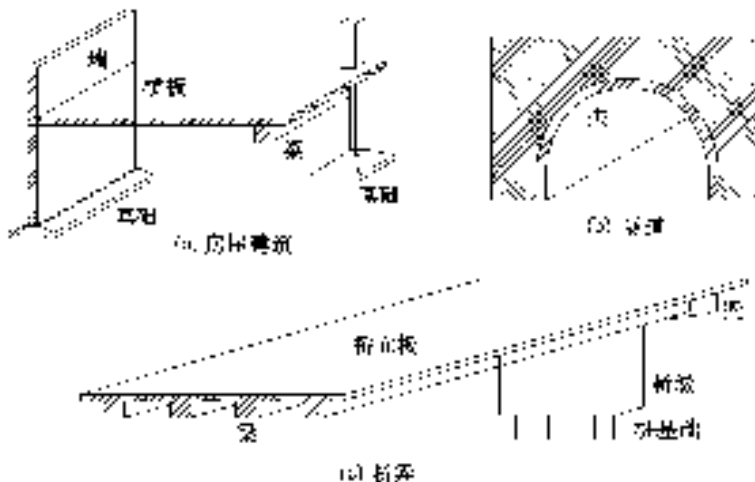


图 1-1 工程结构的组成

1.1 结构的分类

结构的种类很多 ,有多种分类方法。一般可以按照结构所用的材料 ,或结构受力体系、使用功能、外形特点以及施工方法等进行分类。各种结构有其一定的适用范围 ,应根据工程结构功能、材料性能、不同结构形式的特点和使用要求以及施工和环境条件等合理选用。

按照所采用的材料 ,工程结构的类型主要有混凝土结构、钢结构、砌体结构和木结构等。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、纤维筋混凝土结构和其它各种形式的加筋混凝土结构。砌体结构包括砖石砌体结构、砌块砌体结构。这些结构材料可以在同一结构体系混合使用 ,形成混合结构 ,如屋盖和楼盖采用混凝土结构 ,墙体采用砌体 ,基础采用砖石砌体或钢筋混凝土 ,就形成了砖混结构。这些结构材料也可以在同一构件中混合使用 ,形成组合构件 ,如屋架上弦采用钢筋混凝土 ,下弦采用钢拉杆 ,就形成了钢原混凝土组合屋架 ,又如在钢筋混凝土柱中配置型钢则形成了钢原混凝土组合柱。

按照结构的受力体系 ,工程结构的类型主要有框架结构、剪力墙结构、筒体结构 ,塔式结构、桅式结构、悬索结构、悬吊结构、壳体结构、网架结构、板柱结构、墙板结构、折板结构、充气结构、膜结构等。框架结构的主要竖向受力体系由梁和柱组成 ,剪力墙结构的主要竖向受力体系由钢筋混凝土墙组成 ,筒体结构是在高层建筑中 ,利用电梯井、楼梯间或管道井等四周封闭

的墙形成内筒,也可以利用外墙或密排的柱作为外筒,或两者共用形成筒中筒结构,框架、剪力墙和筒体也可以组合形成框架剪力墙结构、框架筒体结构等结构体系;塔式结构是下端固定、上端自由的高耸构筑物,桅式结构是由一根下端为铰接或刚接的竖立细长杆身桅杆和若干层纤绳所组成的构筑物;悬索结构的承重结构由柔性受拉索及其边缘构件组成,索的材料可以采用钢丝束、钢丝绳、钢绞线、圆钢、纤维复合材料以及其它受拉性能良好的线材,而楼面荷载通过吊索或吊杆传递到固定在筒体或柱子上的水平悬吊梁或桁架上,并通过筒体或柱子传递到基础的结构体系称为悬吊结构;壳体结构是由曲面平板与边缘构件(梁、拱或桁架等)组成的空间结构;网架结构是由多根杆件按照一定的网格形式,通过节点连结而形成的空间结构;仅由楼板和柱组成承重体系的结构称为板柱结构;仅由楼板和墙组成承重体系的结构则称为墙板结构;由多块条形平板组合而成的空间结构统称为折板结构;充气结构是用薄膜材料制成的构件冲入气体后而形成的结构;若用柔性受拉索和薄膜材料及边缘构件组成的结构称为膜结构。对不同受力体系的工程结构,采用何种结构材料十分重要,关键在于充分发挥材料的特性,既要有好的功能,又要有较好的经济效益。

按照建筑物、构筑物或结构的使用功能,工程结构可以分成建筑结构,如住宅、公共建筑、工业建筑等;特种结构,如烟囟、水池、水塔、筒仓、贮藏罐、挡土墙等;桥梁结构,如公路铁路桥、立交桥、人行天桥等;地下结构,如隧道、涵洞、人防工事、地下建筑等。

按照建筑物的外形特点,工程结构可以分为单层结构、多层结构、高层结构、大跨结构和高耸结构(如电视塔等)等。

按照结构的施工方法,工程结构可以分成现浇结构、预制装配结构和预制与现浇相结合的装配整体式结构。另外,按照结构使用前是否预先施加应力,还有预应力结构和非预应力结构等。

1.1 混凝土结构

1.1.1 混凝土结构的特点

钢筋混凝土是由两种力学性能不同的材料——混凝土和钢筋,按照一定的原则结合成一体,共同发挥作用的结构材料。混凝土硬化后如同石料,抗压强度很高,但抗拉强度很低。而钢筋的抗拉和抗压强度均很高,但是其抗火能力差,在一般环境中容易锈蚀。两者结合,可以取长补短,成为性能优良的结构材料。

钢筋和混凝土有较好的共同工作的基础。这是基于:

(1) 钢筋和混凝土之间存在较好的传递应力的能力,在荷载作用下,不产生相对滑移,保证两种材料协调变形、共同受力。混凝土硬化后,钢筋和混凝土接触面之间存在着粘结力,粘结作用主要来源于混凝土中水泥凝胶体的化学粘着力、混凝土硬化收缩握裹钢筋产生的摩擦力和钢筋表面刻痕等产生的机械咬合力。

(2) 钢筋和混凝土两种材料的温度线膨胀系数相近,钢材为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$ 。当温度变化时,两者不会产生过大的不协调变形而导致破坏。

(3) 混凝土对钢筋良好的保护作用,结构的抗火能力和耐久性大大提高。

钢筋混凝土结构可以充分发挥两种材料的强度优势,取长补短。现以图 1.1 所示的素混凝土和钢筋混凝土简支梁为例进行说明。

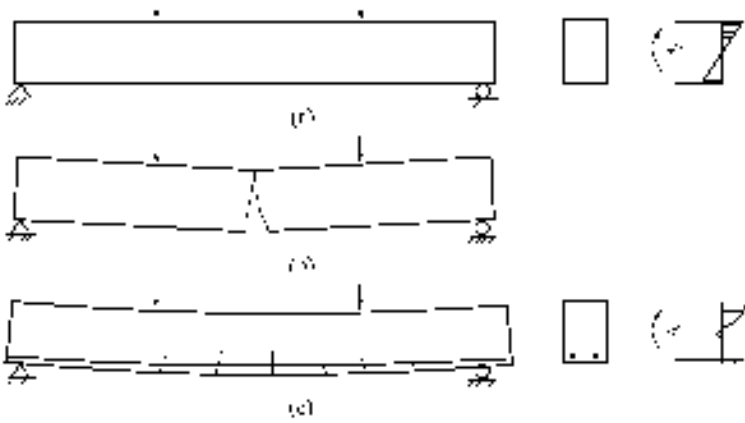


图 1-10 混凝土简支梁破坏示意

(a) 尚未开裂的素混凝土梁 (b) 遭开裂后的素混凝土梁 (c) 遭开裂后的钢筋混凝土梁

根据工程力学原理,在荷载作用下,梁的跨中正截面上由于弯矩作用,中和轴以上受压、以下受拉,离中和轴距离越大,应力值越高。荷载较小时,随着荷载的增大,受拉区和受压区应力近似线形增大(图 1-10a),当受拉区边缘混凝土的拉应力还没有超过混凝土的抗拉能力时,该梁尚能继续承担荷载。当荷载继续加大至一定量时,受拉区边缘混凝土的拉应力达到混凝土的抗拉能力,出现裂缝。此时,对素混凝土梁(图 1-10b),由于截面裂缝处混凝土退出工作,裂缝向上延伸,截面的实际高度减小,迅速丧失承担外弯矩的能力,而使梁断裂。对钢筋混凝土梁(图 1-10c),受拉区裂缝出现后,受拉钢筋承担了大部分受拉区的拉力,该梁仍可以继续承担荷载。随着外荷载的继续增大,钢筋的拉应力也不断增大,直至受拉钢筋应力达到屈服强度,受压区混凝土达到抗压强度时被压碎,梁破坏。显然,钢筋混凝土梁的承载能力远高于素混凝土梁。素混凝土梁的承载能力取决于混凝土的抗拉强度,破坏时混凝土的抗压能力远没有发挥。而钢筋混凝土梁的承载能力取决于钢筋的抗拉强度和混凝土的抗压强度,两种材料的优势均得到充分发挥。

钢筋混凝土结构在工程结构中得以广泛应用,除上述能够充分利用两种材料的强度优势外,还有下述一些优点:

(1) 耐久性好。在正常环境条件下,混凝土材料本身具有很好的化学稳定性,其强度随着时间的增加也有所增长。同时,钢筋被混凝土包裹,不易生锈。

(2) 耐火性好。混凝土材料的耐火能力高于其它建筑材料。混凝土的热传导性能较差,在火灾中,由于混凝土对钢筋的包裹,延缓了钢筋的升温过程,使其不至于很快达到软化温度而导致结构破坏。

(3) 可模性好。新拌混凝土是可塑的,可以根据需要,浇注成各种形状和尺寸的结构以满足各种工程的需要。

(4) 整体性好。现浇钢筋混凝土结构的整体性好,抗御地震、震动和爆炸以及结构的不均匀沉降能力强。

(5) 就地取材。混凝土材料中,砂、石等用量大的材料产地广泛,易于就地取材。另外,也可以利用工业废料,有利于环境保护。

钢筋混凝土结构的主要缺点是:

(员) 自重。混凝土材料的容重约为 24kN/m^3 , 钢筋混凝土的容重接近 25kN/m^3 。与钢结构相比, 混凝土结构构件的截面尺寸较大, 因此结构的自重也较大, 这对建造大跨度结构、高层结构, 减少地震反应等不利。

(圆) 抗裂性差。由于混凝土材料抗拉性能很差, 加之在硬化过程和使用过程中产生收缩, 钢筋混凝土结构很容易出现裂缝, 与素混凝土相比, 钢筋混凝土抗裂能力提高不多。所以, 普通混凝土结构在正常使用条件下一般是带裂缝工作的。

(猿) 施工环节多, 周期长。混凝土结构的建造需要经过绑扎钢筋、支模板、浇注、养护等多道施工工序, 生产周期较长, 施工质量和进度等易受环境条件的影响。

(源) 拆除、改造难度大。混凝土是通过内部水泥的水化反应形成一体, 混凝土硬化后强度很高。它不能像钢材一样, 通过焊接、气割等措施进行二次加工, 使构件加大或分割。所以, 已有钢筋混凝土结构的拆除和改造的难度较大。

员 混凝土结构的现状与发展

与木结构、砌体结构和钢结构相比, 混凝土结构是一种较新的结构形式, 但它的发展速度和在土木工程中占有的比重是其它结构形式无法相比的, 其应用范围涉及到土木工程的各个领域。

在建筑工程中, 房屋建筑的楼板几乎全部采用钢筋混凝土结构现浇板或预制板。多层工业厂房、综合楼和部分建筑要求高的住宅和办公楼等结构受力体系一般均采用钢筋混凝土梁、柱等组成的框架结构体系。在高层及超高层建筑中, 混凝土结构也占据主导地位, 一般采用的是钢筋混凝土框架、原剪力墙结构、剪力墙结构、框架、原筒体结构和筒体结构等, 有时与钢结构混合采用, 形成组合结构体系。目前在建的上海浦东环球金融中心大厦, 设计 101 层, 高 468m , 建成后将成为世界最高的建筑, 它的内筒采用的就是钢筋混凝土结构。

在桥梁工程中, 绝大多数中小跨度桥梁和部分大跨度桥梁采用混凝土结构, 结构形式一般有钢筋混凝土或预应力混凝土简支梁、连续梁、拱或桁架等。对采用钢悬索或斜拉索结构的桥梁, 其桥墩、塔架和桥面结构等也多采用钢筋混凝土结构。

在隧道工程中, 新中国成立后修建了数千公里隧道, 包括铁路隧道、公路隧道、地下铁路隧道和过江隧道等, 均采用了钢筋混凝土结构。

在水利工程中, 大型水利枢纽工程中的拦水坝等一般均采用钢筋混凝土结构, 如已建成的葛洲坝、小浪底大坝, 三峡水利枢纽的主坝等主体结构均采用的是钢筋混凝土结构。

在其它一些领域, 如人防工事、地下停车场、地下铁路车站等大型地下结构工程, 电视塔、烟囱等高耸结构, 贮水池、水塔、输水管、电线杆等市政设施, 筒仓、海上采油平台、核发电站的安全壳等特种工业设施等, 也大部分采用了钢筋混凝土结构。

混凝土结构在 20 世纪获得了巨大的发展。可以肯定, 在 21 世纪里, 混凝土将仍然作为主要的工程材料, 并在材料、构造形式等方面得到进一步的发展。

混凝土材料作为混凝土结构的主体, 主要向着具有优良物理力学性能和良好耐久性的轻质高性能混凝土发展, 混凝土强度将逐渐提高。目前我国普遍应用的混凝土强度等级一般在 $\text{C}20$ ~ $\text{C}40$, 个别工程已经应用到 $\text{C}60$ 。新型外加剂的研制与应用将不断改善混凝土的物理力学性能, 以适应于不同环境、不同要求的混凝土结构。

配筋材料作为混凝土结构的关键组成部分, 除了传统钢筋材料本身的物理力学性能将会不断改善外, 新型配筋材料和配筋形式也将不断发展, 从而形成许多新的混凝土结构形式, 极