



世纪高等教育给排水科学与工程系列规划教材

第2版

给水排水工程结构

张飘◎主编



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等教育给排水科学与工程系列规划教材

给水排水工程结构

第 2 版

主 编 张 飘

副主编 王 萱 冯海英

参 编 李东方

主 审 时旭东



机械工业出版社

本书是依据 GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》、GB 50003—2011《砌体结构设计规范》、GB 50069—2002《给水排水工程构筑物结构设计规范》及 CECS 138:2002《给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程》等编写而成的。

全书共十一章,第一章至第八章介绍的是钢筋混凝土结构和砌体结构的基本构件理论计算方法,系统地介绍了钢筋混凝土材料和砌体材料的力学性能、概率极限状态设计法以及受弯、受压和受拉构件及结构基础的承载力计算;第九章至第十一章介绍的是给水排水工程结构基本构筑物的理论计算和设计方法,以及中小型地面泵房结构设计的基本理论及设计方法。

本书贯彻少而精的原则,在内容上由浅入深,循序渐进,重点突出,强调实际工程的应用。

本书适合普通高等院校给排水科学与工程专业师生及从事水工结构的工程技术人员使用。

本书配有电子课件,免费提供给选用本书作为教材的授课教师,需要者登录机械工业出版社教育服务网(www.cmpedu.com)注册下载,或根据书末的“信息反馈表”索取。

图书在版编目(CIP)数据

给水排水工程结构/张飘主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2013. 11

21 世纪高等教育给排水科学与工程系列规划教材

ISBN 978-7-111-44701-6

I. ①给… II. ①张… III. ①给水工程—工程结构—高等学校—教材②排水工程—工程结构—高等学校—教材 IV. ①TU991

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 264878 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:刘 涛 责任编辑:刘 涛 臧程程

版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英

封面设计:陈 沛 责任印制:乔 宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2014 年 2 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·27.5 印张·680 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-44701-6

定价:49.90 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

第2版前言

本书的内容安排参考了2004年由中国建筑工业出版社出版的《全国高等学校土建类专业本科教育培养目标和培养方案及主干课程教学基本要求——给水排水工程专业》中“给水排水工程结构”课程的基本要求,及由高等学校给排水科学与工程本科专业指导委员会编制的《高等学校给排水科学与工程本科指导性专业规范》(中国建筑工业出版社,2012年)中专业知识体系内的核心知识领域推荐课程“土建工程基础”的核心内容的要求。由于目前各高等院校对这一课程的讲授学时不统一,大体上在48~64学时,因此在编写本书时,考虑了适应各学时安排的内容选择问题。书中标有“*”号的章节可作为不在课堂讲授的参考内容,其他章节也可根据具体情况在讲授时作适当删减。

本书绪论、第二章、第十章以及第六章的部分内容由河北建筑工程学院张飘编写;第一章、第八章、第十一章及第六章的部分内容由山东农业大学王萱编写;第七章、第九章由河北工程大学冯海英编写;第三章、第四章及第五章由内蒙古农业大学李东方编写。全书由张飘主编并统稿,清华大学土木水利学院时旭东教授主审。时旭东教授认真审核了全书,并提出了宝贵的修改意见,在此对时教授表示衷心的感谢。

本书在编写过程中,参考了大量文献资料,引用了其中的部分内容,在此,谨向这些文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

第1版前言

本教材的内容安排参考了1983年全国高等院校给水排水专业教学大纲会议制定的四年制本科用“给水排水工程结构”课程教学大纲,及2003年出台的由高等学校土建学科教学委员会给水排水工程专业指导委员会编制的《全国高等学校土建类专业本科教育培养目标和培养方案及主干课程教学基本要求》中“给水排水工程结构”课程的基本要求,由于目前各高等院校对这一课程的讲授学时不统一,大体上在48~64学时,因此在编写本教材时,考虑了适应各学时安排的内容选择问题。书中标有“*”号的章节可作为不在课堂讲授的参考内容,其他章节也可根据具体情况在讲授时作适当删减。

本书绪论、第二章、第十章及第六章的部分内容由河北建筑工程学院张飘编写;第一章、第六章、第八章及第十一章由山东农业大学王萱编写;第七章、第九章由河北工程大学冯海英编写;第三章、第四章及第五章由内蒙古农业大学李东方编写。全书由张飘主编并统稿,清华大学土木水利学院时旭东教授主审。时旭东教授认真审核了全书,并提出了宝贵的修改意见,在此对时教授表示衷心的感谢。另外,山东农业大学赵星明及河北建筑工程学院张海平也参与了本书编写的部分工作。

本书在编写过程中,参考了大量文献资料,引用了其中的部分内容,在此,谨向这些文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

信息反馈表

尊敬的老师：

您好！感谢您多年来对机械工业出版社的支持和厚爱！为了进一步提高我社教材的出版质量，更好地为我国高等教育发展服务，欢迎您对我社的教材多提宝贵意见和建议。另外，如果您在教学中选用了《给水排水工程结构》第2版（张飘主编），欢迎您提出修改建议和意见。索取课件的授课教师，请填写下面的信息，发送邮件即可。

一、基本信息

姓名：_____ 性别：_____ 职称：_____ 职务：_____
邮编：_____ 地址：_____
学校：_____ 学院：_____ 专业：_____
任教课程：_____ 电话：_____—_____（H）_____（O）
电子邮件：_____ 手机：_____ QQ：_____

二、您对本书的意见和建议

（欢迎您指出本书的疏误之处）

三、您对我们的其他意见和建议

请与我们联系：

100037 机械工业出版社·高等教育分社 刘编辑 收

Tel: 010 - 88379542 (O), 68994030 (Fax)

E-mail: ltiao929@163.com

<http://www.cmpedu.com> (机械工业出版社·教育服务网)

<http://www.cmpbook.com> (机械工业出版社·门户网)

目 录

第 2 版前言

第 1 版前言

绪论	1
第一章 土建结构常用材料的力学性能	6
第一节 钢筋	6
第二节 混凝土	13
第三节 钢筋和混凝土的共同工作	25
第四节 砌体材料	31
思考题	41
第二章 土建结构基本计算原则	43
第一节 基本概念	43
第二节 结构的可靠度理论	46
第三节 荷载代表值和材料性能标准值	49
第四节 概率极限状态设计法	50
思考题	55
计算题	55
第三章 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	56
第一节 概述	56
第二节 钢筋混凝土受弯构件试验结果分析	57
第三节 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算	60
第四节 钢筋混凝土适筋受弯构件正截面承载力计算	64
第五节 构造要求	82
思考题	85
习题	86
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	87
第一节 受弯构件斜截面受力与破坏分析	87
第二节 受弯构件斜截面受剪破坏主要形态	90
第三节 斜截面受剪承载力计算	92
第四节 斜截面受弯承载力分析及其构造措施	103
第五节 构造要求	106
思考题	108
习题	109
第五章 钢筋混凝土受弯构件的裂缝宽度和挠度验算	110
第一节 钢筋混凝土受弯构件的裂缝宽度验算	110
第二节 钢筋混凝土受弯构件的挠度验算	117

思考题	125
习题	125
第六章 钢筋混凝土受压构件	126
第一节 受压构件的分类及构造要求	126
第二节 配有普通箍筋的轴心受压构件	128
第三节 偏心受压构件	132
思考题	157
习题	157
第七章 钢筋混凝土受拉构件	159
第一节 轴心受拉构件	159
第二节 偏心受拉构件	164
思考题	173
习题	173
第八章 基础设计	174
第一节 概述	174
第二节 无筋扩展基础(刚性基础)设计	180
第三节 钢筋混凝土柱下基础设计	182
思考题	189
习题	189
第九章 钢筋混凝土梁板结构	190
第一节 概述	190
第二节 整体式单向板肋形梁板结构	191
第三节 整体式双向板肋形梁板结构	221
第四节 圆形平板结构	228
* 第五节 整体式无梁板结构	236
* 第六节 装配式梁板结构	249
* 第七节 板上开洞的构造处理	253
思考题	254
习题	255
第十章 钢筋混凝土水池设计	256
第一节 水池的结构形式	256
第二节 水池的荷载	258
第三节 地基承载力及抗浮稳定性验算	262
第四节 钢筋混凝土圆形水池设计	264
第五节 钢筋混凝土矩形水池设计	298
思考题	346
* 第十一章 中小型地面泵房结构设计概要	347
第一节 中小型泵房墙体设计	347
第二节 无筋砌体构件的承载力计算	356
第三节 门窗过梁和圈梁	362
思考题	365
习题	365

附录	366
附录 A 钢筋和混凝土的性质、受弯构件的允许挠度值及裂缝控制	366
附录 B 钢筋混凝土构件计算用表	368
附录 C 钢筋混凝土构件不需作验算的条件	372
附录 D 常用系数及静力计算表	373
附录 E 圆形水池池壁内力系数、双向受力壁板壁面温差作用下的弯矩系数、四边支承双向板的边缘刚度系数及弯矩传递系数、双向板的边缘反力	393
附录 F CECS 138: 2002《给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程》给出钢筋混凝土矩形截面处于受弯或大偏心受压（拉）状态时的最大裂缝宽度计算	428
参考文献	430

绪 论

给水排水工程结构通常是由各类构筑物和建筑物组成的。常用的构筑物有水池、水塔、取水井、沟渠、管道、检查井等，建筑物则包括泵房及其他生产、管理用房。“给水排水工程结构”课程所讨论的就是这些构筑物和建筑物的结构设计问题。

在给水排水工程中，构筑物和建筑物的结构部分往往占用相当大的一部分基本建设投资，而结构设计的质量又直接关系到给水排水工程的坚固性、适用性和经济性。因此，结构设计是给水排水工程设计中相当重要的组成部分。

一、工程结构及其分类

由一定材料制成的若干构件，相互连接而建成的能承受荷载和其他间接作用的体系，叫做工程结构。它是建筑物和构筑物中承重骨架的总称。组成工程结构的基本构件有板、梁、柱、墙、基础、索、杆等。

工程结构可有不同的分类方法。按照使用功能的不同可分为建筑结构、桥梁工程结构、给水排水工程结构、岩土工程结构、水利工程结构、特种工程结构等；按照结构受力体系不同可分为墙体结构、框架结构、排架结构、网架结构、悬索结构、拱结构、空间薄壳结构、舱体密封结构等；按照结构构件所用材料不同可分为混凝土结构、砌体结构、混合结构、钢结构、木结构等。

二、给水排水工程常用结构及其特点

给水排水工程结构是结构工程中的一个专门领域，由于其使用要求、结构形式、作用荷载以及施工方法都有特殊性，故其设计计算理论和方法同一般结构工程有所不同，主要特点表现在：第一，给水排水构筑物大多是形状比较复杂的空间薄壁结构，对抗裂抗渗、防冻保温及防腐有严格要求；第二，变形要求除了考虑一般工程可能遇到的重力荷载、风雪荷载、水压力、土压力外，对温度作用、混凝土收缩、地基不均匀沉降引起的变形也应缜密考虑。

混凝土结构、砌体结构和混合结构是给水排水工程的常用结构。混凝土结构是钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和素混凝土结构的总称，其中钢筋混凝土结构是工程结构中应用最广泛的结构形式，也是本书重点阐述的内容。

由钢筋和混凝土按照一定方式结合而成的构件，在建筑中组成承担外荷载和变形作用的骨架体系，称为钢筋混凝土结构。由不同尺寸或形状的块体（包括砖、石等各种砌块）用砂浆作粘结剂砌筑而成的结构称为砌体结构。

我国当前的大、中型给水排水构筑物一般采用的均是钢筋混凝土结构，其中大型圆水池多采用预应力混凝土结构；而一些小型构筑物则采用部分钢筋混凝土结构、部分砌体结构的混合形式，或全部采用砌体结构以及配筋砌体结构。给水排水工程中的房屋建筑则大多采用混合结构，其中某些大型泵房也可以全部采用钢筋混凝土结构。钢筋混凝土结构和砌体结构之所以能在给水排水工程中得到广泛应用，是由它本身的特点所决定的。

(一) 钢筋混凝土结构构件的受力特性

混凝土是一种抗压强度较高而抗拉强度相当低的材料，而钢筋的抗拉强度和抗压强度都相当高。工程中，在钢筋强度满足要求的情况下，因其柔性大，挠度满足不了工程要求。如果将这两种材料采取一定的方式结合起来，应用到工程中，钢筋和混凝土这两种材料可以发挥各自的优点，且能摒弃各自所存在的缺点，从而做到经济合理、物尽其用。

取图 1a、b 两根试验梁进行试验比较。图 1a 所示为一根未配置钢筋的素混凝土简支梁，跨度为 4m，截面尺寸为 $b \times h = 200\text{mm} \times 300\text{mm}$ ，混凝土强度等级为 C20，梁的跨中作用一集中荷载 P ，对其进行破坏性试验。结果表明，当荷载较小时，截面上的应力如同弹性材料制成的梁一样，沿着高度呈直线分布；当荷载增大到使梁内最大弯矩截面处受拉区边缘纤维拉应力达到混凝土抗拉极限强度时，该处的混凝土被拉裂，裂缝沿截面高度方向迅速开展，试件随即发生断裂破坏，此时的破坏荷载值 P 只有 8kN。这种梁不仅破坏时受压区混凝土的抗压能力远未充分利用，而且破坏发生得很突然，事先没有明显的预兆。因此，素混凝土结构构件在大多数工程中没有什么实用价值。

如果在该梁的受拉区配置三根直径为 16mm 的 HRB335 级钢筋（记作 $3\Phi 16$ ），并在受压区配置两根直径为 10mm 的架立钢筋和适当的箍筋（记作 $2\Phi 10$ ），再进行同样的加荷试验（图 1b），当加荷到一定数值使梁截面受拉区边缘纤维应力达到混凝土抗拉极限强度时，混凝土被拉裂。在裂缝处原由混凝土和钢筋共同承担的拉力转由钢筋单独承担，而受压区压力仍由混凝土承担，故可以继续加荷。此时梁的变形将相应发展，裂缝的数量和宽度也相应地增大增多，直到受拉钢筋抗拉强度和受压混凝土抗压强度均被充分利用时，试件才发生破坏，此时的破坏荷载为 36kN。这种钢筋混凝土梁，破坏前其裂缝及变形都发展得很充分，有明显的破坏预兆。

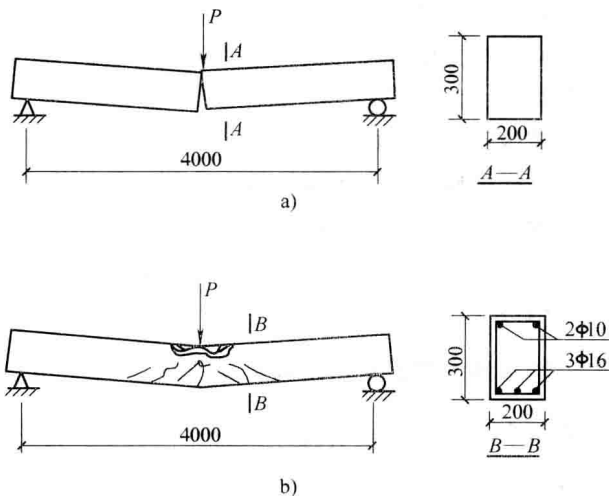


图 1 素混凝土梁与钢筋混凝土梁的破坏情况对比

上述试验表明，在混凝土结构中配置一定数量的钢筋以后，结构构件可以得到如下效果：

- 1) 结构的承载力有很大提高。
- 2) 结构的其他受力特性同时得到了显著改善。

(二) 钢筋混凝土结构的其他特点

钢筋混凝土结构除了比素混凝土结构具有较高的承载力和较好的受力性能以外，与其他结构相比还具有下列优点：

- 1) 就地取材。钢筋混凝土结构中，砂和石料所占比例很大，水泥和钢筋所占比例较小，砂和石料一般都可以由建筑工地附近取材。
- 2) 节约钢材。钢筋混凝土结构的承载力较高，大多数情况下（如受弯构件及受压构

件) 可用来代替钢结构, 因而节约钢材, 降低造价。

3) 耐久、耐火性强。钢筋埋放在混凝土中, 混凝土具有弱碱性, 钢筋在混凝土的保护下不易发生锈蚀, 因而提高了结构的耐久性。当发生火灾时, 钢筋混凝土结构不会像木结构那样易被燃烧, 也不会像钢结构那样因熔点较低遭遇火灾很快被软化而导致结构破坏。

4) 可模性好。钢筋混凝土结构可以根据需要浇筑成任何形状和尺寸。

5) 整体性、抗震性较好。钢筋混凝土结构, 特别是现浇钢筋混凝土结构, 具有良好的整体性和抗震性。

钢筋混凝土结构还具有良好的抗渗性和抗冻性, 这些特点都是给水排水构筑物所特别需要的。

钢筋混凝土结构也具有下述一些缺点:

1) 自重大。钢筋混凝土的重度约为 25kN/m^3 , 比砌体和木材的重度都大。它虽然比钢材的重度小, 但结构的截面尺寸较大, 因而其自重远远超过相同跨度或承载力的钢结构的重量。

2) 抗裂性较差。混凝土的抗拉强度很低, 因此, 普通钢筋混凝土结构的受拉区经常带裂缝工作。

3) 加固和改建比较困难, 以及在低温条件下施工时需要采取专门的保温防冻措施。

近年来已经采取了不少措施来克服上述缺点。其中比较突出的, 如: 通过推广装配式结构以及在现浇钢筋混凝土结构中采用工具式滑动模板和定型化大模板等来降低施工成本, 加快施工进度; 通过采用预应力混凝土结构来改善构件的抗裂性, 降低材料消耗和减轻自重。特别是在大型圆水池池壁上采用预应力混凝土结构, 其效果更为显著。

(三) 砌体结构的特点

砌体结构是一种传统的结构形式。它虽然具有一些显而易见的缺点, 如需要笨重的手工操作, 结构本身体积大, 抗裂和抗渗性能差, 抗震能力差等, 因为它能充分利用地方材料, 不用或少用两大主材 (钢材、木材), 造价低, 施工条件简单, 因此在给水排水工程中的小型构筑物中仍然用得不少。砌体的受力特点也是抗压强度较高, 而抗拉强度很低, 因此它主要适用于轴心受压和偏心较小的受压构件。如果受材料供应条件限制而需要采用砌体材料砌筑水池池壁时, 也可采取在灰缝内配置钢筋或在砌体内设置钢筋混凝土带的办法来提高砌体的抗拉强度。正因为砌体的抗拉强度低, 所以砌体结构在给水排水构筑物中对温度应力、地基不均匀沉降和地震作用等比较敏感, 容易出现裂缝, 其抗渗性能也比较差, 必须采取专门的防水措施。这些因素使砌体结构在给水排水工程中的应用受到一定限制。

三、本课程的任务、特点及学习方法

给水排水工程结构设计工作一般是由工艺、结构、建筑等工种相互配合, 共同完成的。结构设计是给水排水工程设计中的一个有机组成部分, 它与工艺设计以及建筑设计之间存在着既相互联系又相互制约的辩证关系。

结构设计的任务是根据工程任务中所提出的各项条件和要求 (如工程地点、供水水源情况或所处理的废水性质、设计规模、投资及占地面积等), 结合当地的工程实际, 与工艺和建筑设计相配合, 选择结构方案和结构形式, 再根据各个构筑物或建筑物的受力特点和地质条件, 确定其计算简图, 选定钢筋等级和混凝土强度等级, 然后根据内力分析结果计算截

面尺寸和配筋数量,并采取必要的构造措施,最后完成结构施工图。

给水排水工程的结构设计应全面符合坚固适用、经济合理、技术先进的设计原则。通常设计人员需要通过深入的调查研究,全面掌握与工程项目设计有关的第一手资料。在此基础上,根据结构本身的特定规律,对各种影响因素进行综合分析对比,正确处理可能出现的各种矛盾。例如,在设计中常需要对能够满足工艺要求的各种构筑物的布置方案或结构方案,进行技术经济指标的综合分析对比,以确定相对最佳方案。又如,在确定结构的受力体系和计算简图时,由于给水排水构筑物的受力情况和结构体系往往比较复杂,设计人员常需根据具体情况对结构体系进行某种简化,以使用比较简单的计算方法求解内力。这时,关键的是简化后的计算简图应尽可能正确地反映结构的实际受力情况。如若不然,即使计算再精确,其结果也必然是不可靠的。

本书的编写目的是使学生通过本课程的学习,掌握必要的钢筋混凝土结构及砌体结构的基本理论以及结构设计的基本计算方法,以便在工艺设计时能够主动地考虑构筑物和建筑物结构设计的可能性、合理性和经济性。而且,在必要时能独立进行一般结构构件和简易构筑物的设计,或运用本课程中所介绍的基本知识正确处理施工中的结构问题。

本书内容共十一章。第一章介绍土建结构常用材料的力学性能。第二章到第八章分别介绍钢筋混凝土结构设计的基本原理和各类基本构件的设计计算方法及构造要求,这是结构设计的基础理论部分。考虑到专业对本课程的要求,各章在内容安排上侧重于阐明物理概念和公式、图表的应用,而不在试验结果分析和公式推导上花费过多篇幅。第九章介绍了一般钢筋混凝土梁板的设计要点。这部分内容是设计各类现浇钢筋混凝土结构的通用基础知识。由于给水排水构筑物,特别是大、中型构筑物的结构体系通常都比较复杂,设计工作多是由专业结构设计人员完成的。根据专业对本课程的要求,本书不可能对各类复杂构筑物的设计理论逐一进行介绍,故在第十章中仅以比较简单的、有代表性的构筑物,即圆形水池和矩形水池为例,对构筑物结构设计的全过程作了比较全面的介绍,以使学生对这类构筑物的设计方法和计算步骤有一个比较完整的概念。第十一章简单介绍了中小型地面泵房的设计要点。

在学习本课程的过程中,学生应注意以下几点:

1) 混凝土与砌体均为弹塑性复合材料,力学性能比较复杂,力学公式多数都不能直接被应用,因此结构基本计算理论是以试验为基础的。书中基本构件计算公式中有相当一部分是根据试验研究得到的半理论半经验公式,对这些公式的学习应注意其试验基础、试件受力破坏过程和特征、简化的物理力学模型、公式的适用条件和应用方法。

2) 由于结构基本计算理论是以试验为基础的,所以其计算公式或简化的物理力学模型均有一定的局限性,换句话说,结构计算只是结构设计的手段之一,并不是所有问题都能通过计算来解决。为使设计的实际工程结构安全、适用,构造设计是结构设计不可缺少的重要内容之一。构造设计的基本原则大体上可以归纳为:保证结构的实际工作尽可能与计算假定相符合;采用构造措施来保证结构足以抵抗计算中忽略了而实际上可能存在的内力;采用构造措施避免发生不希望的破坏状态;采用构造措施来保证结构在灾害或偶然事件发生时的相对稳定性,避免因结构的局部破坏而造成整个结构坍塌;采用构造措施来增强结构的抗裂性、抗渗性和耐久性等。构造设计更多地依赖于经验,本书所介绍的构造知识,部分为规范所规定,部分为行之有效的常规做法。学生在学习构造知识时往往感到繁琐枯燥,经常有所偏废,应该克服这种现象。在工程事故中,由于构造不当而造成的灾害屡见不鲜,因此,对

构造问题不能掉以轻心。在学习构造知识时，应注重对构造原则的理解和掌握；对所用的构造措施，应明确认识其目的；对一些基本的构造规定，应加强记忆。

3) 结构设计是一种富有创造性的劳动，任何一项设计都有多种方案可供选择，即使是在给定的荷载作用下设计同一种构件，构件的截面形式和尺寸、配筋方式和数量都可以有多种方案。这时往往需要综合考虑结构的适用性、材料选择、造价、施工条件等多方面因素，才能做出较为合理的方案。为此，在本课程的学习过程中要注意培养自己综合分析问题的能力，避免教条思想，生搬硬套。同时应能注意培养自己在结构设计中的决策能力。在结构设计的全过程中，材料和结构类型的选择及结构布置等决策性步骤，对结构的安全适用、经济合理性往往比个别截面设计计算具有更大影响。

4) 本课程内容实践性强，工程质量控制要求严谨，学生在学习的过程中，同时要注意学习相关规范。结构设计规范是国家颁布的关于结构设计计算和构造要求的技术规定和标准，设计、施工等工程技术人员都必须遵守技术法规，增强法制观念，所以熟悉并学会应用有关规范同样是学习本课程的重要任务之一。

第一章

土建结构常用材料的力学性能

钢筋混凝土结构和砌体结构是土木建筑工程中的常用结构。了解钢筋、混凝土及砌体材料的力学性能，是掌握钢筋混凝土和砌体结构构件的受力性能、计算理论和设计方法的基础。钢筋混凝土结构和砌体结构的计算、构造和设计问题一般都和材料性能密切相关。

第一节 钢 筋

一、钢筋的强度和变形

(一) 钢筋的应力-应变曲线

普通钢筋混凝土及预应力混凝土结构所用的钢筋可分为两类：有明显流幅的钢筋和无明显流幅的钢筋（习惯上分别称它们为软钢和硬钢）。

(1) 有明显流幅的钢筋的拉伸应力-应变曲线 有明显流幅的钢筋的典型拉伸应力-应变曲线如图 1-1 所示，其特点如下：

1) 自开始加荷到应力达到比例极限之前 (Oa 段)，应力与应变成正比。

2) 超过比例极限后，应力与应变不再成正比，应变的增加速度变得比应力快，但在 a' 点以下，应变在卸荷后可全部恢复，因此对应于 a' 点的应力称为“弹性极限”。

3) 应力超过弹性极限，在卸荷后应变已不能全部恢复。当应力应变达到 b 点后进入屈服阶段，钢筋会在应力不增加的情况下产生相当大的塑性变形，直到应力-应变曲线上的 d 点为止，此时应力-应变曲线基本呈水平线 cd 。这种现象称为“屈服”， c 、 d 两点间的应变值称为“屈服台阶”或“流幅”。对于一般有明显流幅的钢筋来说， b 、 c 两点分别称为屈服上限和屈服下限。屈服上限为开始进入屈服阶段时的应力，呈不稳定状态；达到屈服下限时，应变增长，应力基本不变，比较稳定。相应于屈服下限 c 点的应力称为屈服极限，屈服极限又称“屈服强度”。

由于弹性极限与屈服极限之间的差距很小，故常忽略弹性极限。

4) 超过 d 点后，钢筋应力开始重新增长，但伴之以相当明显的塑性变形，这个阶段

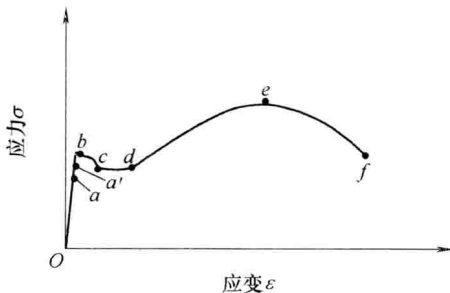


图 1-1 有明显流幅的钢筋的
拉伸应力-应变曲线

(de 段) 称为钢筋的“强化阶段”。对应于最高点 e 的应力称为强度极限, 又称钢筋的抗拉强度。

5) 过 e 点后, 在试件的某个较薄弱部位应变急剧增加, 应力随之下降, 钢筋直径迅速变细, 即产生“缩颈”现象 (图 1-2), 达到 f 点试件在缩颈处被拉断。

(2) 无明显流幅的钢筋的拉伸应力-应变曲线 无明显流幅的钢筋的典型的拉伸应力-应变曲线如图 1-3 所示。这类钢筋的抗拉强度一般都很高, 但变形很小, 也没有明显的屈服点, 通常取相当于残余应变为 0.2% 时的应力值 $\sigma_{0.2}$ (即把钢筋拉到该应力值后放松到应力为零, 这时的残余应变为 0.2%) 作为假想屈服点, 称为条件屈服强度 (图 1-3)。



图 1-2 钢筋受拉时的缩颈现象

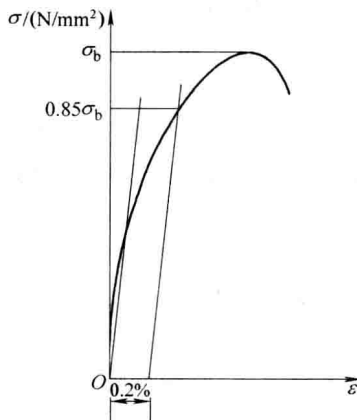


图 1-3 无明显流幅的钢筋的拉伸应力-应变曲线

注: σ_b 为最大拉应力。

(二) 钢筋的强度和变形指标

(1) 屈服强度和抗拉强度 对于有明显流幅的钢筋, 屈服强度是关键强度指标。因为结构构件中某一截面钢筋应力达到屈服强度后, 它将在荷载基本不增加的情况下产生持续的塑性变形, 绝大多数构件在钢筋尚未进入强化阶段之前就已破坏或产生过大的变形与裂缝。因此, 一般结构设计中不考虑钢筋强化阶段的工作, 而取屈服强度作为设计强度的设计依据。此外, 钢筋的屈强比 (屈服强度与抗拉强度的比值) 表示结构可靠性的潜力。在抗震结构中, 考虑受拉钢筋可能进入强化阶段, 要求其屈强比不大于 0.8, 因而钢筋的抗拉强度是检验钢筋质量的另一强度指标。

由于无明显流幅的钢筋的屈服强度不易测定, 因此这类钢筋的检验以抗拉强度作为主要指标。条件屈服强度所对应的应力值 $\sigma_{p0.2}$ 约为抗拉强度的 0.85 倍, 即

$$\sigma_{p0.2} = 0.85 \sigma_b \quad (1-1)$$

式中 σ_b ——钢筋的抗拉强度。

各类钢筋的强度指标详见附录 A 中表 A-1 (1) 和表 A-1 (2)。

钢筋除需有足够的强度外, 还应具有一定的塑性变形性能。钢筋的塑性变形通常以钢筋试件的伸长率和冷弯性能两个指标来衡量。

(2) 钢筋的伸长率 钢筋的伸长率可用钢筋断后伸长率和钢筋最大力下的总伸长率两个指标分别表示。

如图 1-4 所示, 一定标距长度 (l_1) 的钢筋试件在拉断后所残余的塑性应变称为钢筋的

断后伸长率,用百分率表示[式(1-2)]。伸长率越大,塑性越好。

$$\delta = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 δ ——断后伸长率(%)；

l_1 ——钢筋拉伸前的标距长度,钢筋标距 l_1 通常取为试件直径的5倍或10倍,相应的断后伸长率以 δ_5 或 δ_{10} 表示；

l_2 ——钢筋包含缩颈区的量测标距断后的长度。

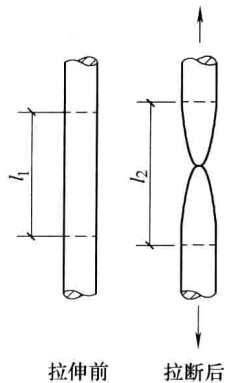


图 1-4 钢筋拉伸
断裂示意图

钢筋断后伸长率只能反映钢筋残余变形的大小,包括断口缩颈区域的局部变形。断后伸长率忽略了弹性变形,不能反映钢筋受力的总体变形能力。而且,断后伸长率受标距取值大小影响,使得不同标距长度得到的结果不一致。对于同一钢筋,标距长度取值较大时测得的断后伸长率较小,而标距长度取值较小时测得的断后伸长率较大。另外,量测钢筋断后的标距长度需将断后的两段钢筋对合后量测,容易产生人为误差。鉴于此,GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》采用钢筋最大力下的总伸长率来统一评价钢筋的塑性性能。

钢筋最大力下的总伸长率 δ_{gt} (又称均匀伸长率)是钢筋达到最大应力 σ_b 时的变形,包括塑性残余变形 ε_r 和弹性变形 ε_e 两部分,如图 1-5 所示。最大力下的总伸长率 δ_{gt} 可用下式表示:

$$\delta_{gt} = \left(\frac{L - L_0}{L_0} + \frac{\sigma_b}{E_s} \right) \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 δ_{gt} ——最大力下的总伸长率(%)；

L_0 ——试验前钢筋的原始标距长度(不包含缩颈区)；

L ——试验后量测标距之间的距离；

σ_b ——钢筋的最大拉应力(极限抗拉强度)；

E_s ——钢筋的弹性模量。

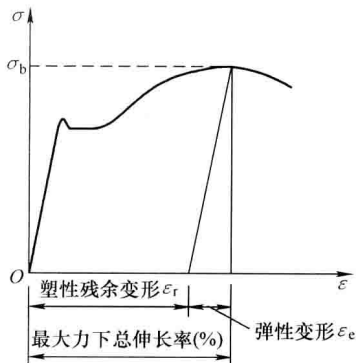


图 1-5 钢筋最大力下的总伸长率

上式前项反映了钢筋的塑性残余变形,后项反映了钢筋在最大力下的弹性变形。

钢筋最大力下的总伸长率按照图 1-6 进行量测。在距离断裂点较远的一侧选择 Y 和 V 两个标记点,标记点 Y 或 V 与夹具的距离不应小于 20mm 或钢筋的公称直径 d 两者中较大值,标记点 Y 或 V 与断裂点之间的距离不应小于 50mm 或钢筋的公称直径两倍 ($2d$) 两者中较大值。标记点 Y 和 V 之间的原始标距 (L_0) 至少应为 100mm。钢筋拉断后量测标记点 Y 和 V 之间的距离 (L),根据钢筋拉断时的最大拉应力 σ_b ,代入公式即可计算出最大力下的总伸长率 δ_{gt} 。

(3) 冷弯性能 钢筋的冷弯性能通过冷弯试验来检验。它是衡量钢筋塑性性能的又一项指标。将钢筋围绕某一规定直径 D 的辊轴(弯心)进行弯曲(图 1-7), α 称为冷弯角,试验时一般取 180° 或 90° 。要求在达到规定的冷弯角度时钢筋不发生裂纹、起层和断裂。冷弯性能可间接地反映钢筋的塑性性能和内在质量。冷弯试验中,钢辊直径 D 越小、冷弯角 α 越大,则钢筋塑性越好。