

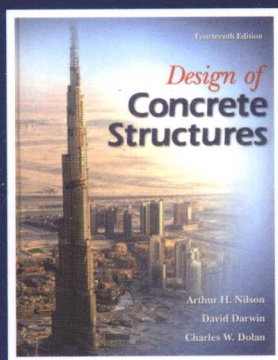
Mc  
Graw  
Hill  
Education

国外土木工程精品丛书

导读版

# 混凝土结构设计 Volume I

Arthur H. Nilson David Darwin Charles W. Dolan



# *Design of Concrete Structures*



哈尔滨工业大学出版社  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

国外土木工程精品丛书

# 混凝土结构设计

Design of Concrete Structures

Volume I

Arthur H. Nilson

David Darwin

Charles W. Dolan



哈尔滨工业大学出版社

# 黑版贸审字 08-2014-090 号

Nilson

Design of concrete structures, 14e

9780073293493

Copyright © 2010 by McGraw-Hill Education.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Bilingual edition is jointly published by McGraw-Hill Education and Harbin Institute of Technology Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2014 by McGraw-Hill Education and Harbin Institute of Technology Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可,对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播,包括但不限于复印、录制、录音,或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权双语版由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司和哈尔滨工业大学出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内(不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾)销售。

版权© 2014 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与哈尔滨工业大学出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签,无标签者不得销售。

## 图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计=Design of concrete structures. 1:

英文/(美)尼尔森(Nilson, A. H.), (美)达尔文(Darwin, D.),

(美)多兰(Dolan, C. W.)主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-5603-4964-0

I. ①混… II. ①尼… ②达… ③多… III. ①混凝土结构-结构设计-英文  
IV. ①TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 280093 号

责任编辑 王桂芝 任莹莹

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 26.25

版 次 2015 年 1 月第 1 版 2015 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4964-0

定 价 128.00 元

---

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

# 出版说明

《混凝土结构设计》是《Design of Concrete Structures》(第14版)的英文导读版。为了满足土木工程专业科研工作者和广大学生的需求,保证引进图书的适用性,我们前期进行了广泛的市场调研,并访问了该领域的相关专家,组成了推荐专家委员会。为了保证本书的原汁原味,同时便于读者阅读,我们又请哈尔滨工业大学土木工程学院的领导推荐了有出国经历、外语水平较高的本专业优秀教师,组成了编译委员会。为了便于读者使用,我们将本书分为 Volume I (包含第1~11章)和 Volume II (包含第12章~索引)两卷。为了方便读者快速了解各章内容,并保持原书的风格,我们将各章的导读内容集中放在出版说明中。各章导读内容如下:

## 第1章 绪论

混凝土是水泥、砂、石、矿物掺合料、外加剂及水按一定配合比混合经养护硬化形成的人造石材,它可根据需要浇筑成不同的形状和尺寸。大部分混凝土包含细骨料和粗骨料。混凝土的部分水用于化学反应,多余水用以提高混凝土的流动性,确保混凝土硬化之前,填充模板并包裹保护钢筋。通过调整混凝土的组成材料,可实现混凝土性能和用途多元化。特殊水泥(例如早强水泥)、特殊骨料(例如各种轻质或重质骨料)、外加剂(例如减水剂、引气剂)、矿物掺合料(硅灰和粉煤灰)和特殊养护方法(例如蒸汽养护)等可进一步拓宽混凝土的性能。

## 第2章 材料

本书主要涉及普通混凝土结构构件及采用预应力钢丝、钢绞线或高强合金钢筋的预应力混凝土。材料的特性和基本力学性能是理解混凝土结构性能的基础,同时也是结构安全性、经济性和适用性的保障。前一章假定了材料应力-应变关系,本章简要概述材料的基本性能,同时介绍常用普通钢筋及预应力筋的力学性能。文后列出了大量参考文献,以便为读者提供更多信息。

## 第3章 受弯构件正截面受力分析与设计

钢筋混凝土构件分析与设计的基本假定已在1.8节介绍过,1.9节以简单的轴心受压构件为例介绍了如何应用这些假定。学习本章内容之前,学生应复习1.8、1.9节的内容,本章钢筋混凝土梁分析与设计方法,采用了相同的概念和基本假定。受弯构件的分析和设计,包括混凝土截面尺寸选择和纵向钢筋配置。梁设计的其余内容,包括抗剪钢筋、钢筋黏结锚固和正常使用极限状态的关键问题(变形限值和混凝土裂缝控制等)将在第4~6章介绍。

## 第4章 受弯构件斜截面受力分析与设计

需要认识到混凝土构件的抗剪分析与设计并不仅是计算剪应力。梁破坏时混凝土平均剪应力远小于其抗剪强度,起决定作用的是斜截面拉应力,该拉应力是剪应力和纵向弯



曲引起的正应力共同作用引起的。本章主要内容为斜截面拉应力的分析与设计,同时也是理解和应用美国混凝土结构设计规范 2008 版抗剪设计条文的机会。首先研究无腹筋梁抗剪性能,包括裂缝的位置、发展方向和斜截面开裂荷载。之后,按照现行混凝土结构设计规范,给出普通梁和特殊梁,如深梁等抗剪钢筋的设计计算方法。

## 第 5 章 黏结、锚固及延伸长度

若钢筋与相邻混凝土之间发生相对滑移,则 1.8 节中同一截面钢筋与相邻混凝土应变相同这一假定将不适用。为确保钢筋混凝土构件按预期设想工作,钢筋和混凝土之间的可靠黏结力是必要的,以阻止钢筋和混凝土之间发生相对滑移。

早期,当混凝土配置光圆钢筋时,黏结力主要由相对较弱的化学胶着力和钢筋与混凝土接触面间的摩擦力提供。当承受较大荷载时,接触面上的剪应力超过化学胶着力和静摩擦力,小量滑移将导致钢筋和相邻混凝土相互咬合。但光圆钢筋和混凝土接触面上的这种黏结强度很低,常导致接触面发生滑移破坏,致使因光圆钢筋从混凝土中被拔出而发生梁板坍塌。为避免这种破坏,需增强钢筋端部锚固,常用方法是在钢筋端部设置弯钩。若黏结力足够大,即使远离梁端部位的钢筋和混凝土发生滑移,梁仍不会坍塌。这是由于受压混凝土与受拉钢筋共同作用,形成了拉杆-拱效应。这种情况下,远离梁端的钢筋和混凝土之间没有黏结力。无黏结力时,钢筋所受的力是恒定的。因此,这类梁中钢筋的伸长比未发生黏结破坏的梁中钢筋伸长更大,导致更大的变形和更宽的裂缝。为了改善这一状况,目前美国和世界多国常采用变形钢筋(见 2.14 节)。变形钢筋的肋与周围混凝土间的机械咬合作用大幅增强了黏结性能。采用变形钢筋时,一般不需要类似端部弯钩这样的特殊锚固措施。此外,采用变形钢筋也可减小裂缝宽度和构件变形。

## 第 6 章 混凝土构件的使用性能

早期钢筋混凝土结构设计中,正常使用极限状态是间接考虑的,即正常使用荷载下常规构件混凝土、钢筋的应力不超过结构正常使用应力限值。近年来,由于更高强度材料的广泛应用,进一步降低了构件的截面尺寸,导致间接方法不适用。与以往不同,现行设计方法基于更精确的计算方法,使细长构件得以应用。现行设计方法在结构构件满足承载力要求的前提下,分别计算其在正常使用荷载下裂缝宽度和变形。

本章给出的裂缝控制方法确保正常使用荷载下,钢筋混凝土梁受弯裂缝宽度满足限值要求,裂缝分布均匀;同时,构件的短期和长期变形不至于过大。

## 第 7 章 混凝土受扭构件的分析与设计

钢筋混凝土结构构件常承受弯矩和剪力,而柱不仅承受轴力,还承受弯矩和剪力。此外,结构构件还可能承受扭矩,使构件沿纵向产生扭转变形。扭矩很少单独存在,一般与弯矩和横向剪力共同作用在构件上,某些情况下,还有轴力。

尽管现行设计分析方法可以在理论上计算平衡扭转和协调扭转,但当扭矩引起的应力较低或有另外的平衡状态时,设计者经常忽略扭矩这一次要效应。美国混凝土结构设计规范或其他设计规范中是允许这样处理的。另一方面,当扭矩起控制作用时,例如图 7.2 所示平面呈曲线的桥梁,需对扭转进行详细的分析并配置抗扭钢筋,具体方法将在本章讲述。

## 第8章 短柱

将以承受压力为主的构件定义为柱。通常,柱也承受单向或双向弯矩,弯矩将使截面部分区域受拉。在这种情况下,柱也被视为受压构件,因为压力决定构件的受力性能。常见的受压构件如结构中的竖向构件,包括受压拱、框架或排架的斜撑、桁架的受压杆件、壳体受压部位等,还包括其他所有承受压力的构件。本章采用柱代替受压构件,一方面是为了简化,另一方面也是因为柱的应用量大面广。

一般有三种钢筋混凝土受压构件:

- (1)普通混凝土柱;
- (2)约束混凝土柱;
- (3)组合柱。

第(1)、(2)两种柱较常见,在本章将着重讨论。

## 第9章 长柱

美国混凝土结构设计规范给出了细长柱的设计方法。规范第 10.10.5 ~ 10.10.7 条给出了细长柱设计的弯矩增大法。该方法与美国钢结构设计规范关于钢柱的设计方法相似。美国混凝土结构设计规范第 10.10.3、10.10.4 条给出了另一种计算方法:直接计算侧向位移对框架柱承载力的影响,即二阶效应法,该方法在许多商用设计分析软件中得到广泛应用。

这里需要指出,工程中大多数柱均为短柱。美国混凝土结构设计规范给出了是否需要考虑长细比效应的简化判别方法,将在 9.4 节详细讲述。本章 9.2 节、9.3 节讲述的柱失稳和长细比效应,是 9.4 节的背景知识。

## 第10章 压杆-拉杆模型

钢筋混凝土梁设计中假定同一截面上应变沿梁高呈线性分布,这一假定的正确性得到圣维南原理的验证。以轴心受力构件为例,即使荷载或截面变化引起应变不均匀分布,当距荷载加载点不小于截面长边尺寸  $h$  时,应变仍均匀分布;但在距加载点距离小于  $h$  的应变不均匀区,圣维南原理并不适用。这导致混凝土结构在集中荷载作用点区域、洞口周围和截面变化区域存在明显的应力扰动区。深梁、柱牛腿存在扰动区。因此,钢筋混凝土结构构件可分为两个区域,适用梁理论的区域定义为 B-区,而存在影响构件性能的应力扰动区,定义为 D-区。图 10.1 列出了不同构件的 D-区。

当混凝土处于弹性和未开裂阶段时,D-区应力可通过有限元方法或弹性理论计算。混凝土开裂后,应变分布被扰乱,引起构件截面应力重分布。这种情况下,可应用桁架模型分析扰动区的应力,该模型称为压杆-拉杆模型。这一模型将复杂设计问题简化,同时提供一个相对安全的结果。如图 10.2 所示,压杆-拉杆模型由混凝土受压腹杆、钢筋拉杆和相交节点区组成(为便于说明,压杆用虚线表示,拉杆用实线表示)。

## 第11章 钢筋混凝土节点设计

本章大部分内容讲述在竖向荷载或水平风荷载作用下,美国混凝土设计规范基于强度的现浇混凝土框架节点设计方法。地震作用下,节点需承担反复荷载直至进入弹塑性阶段,这与静载下节点受力不同,将在第 20 章单独讨论。尽管牛腿经常出现在预制构件

而不是现浇结构中,但牛腿与现浇节点的设计方法类似,也在本章讲述。

## 第 12 章 超静定梁和框架的分析

钢结构和木结构由单独制作的构件并通过铆钉、螺栓、焊接或钉子连接而成。除一些特殊设计的节点为刚接外,其他节点由于刚度不足,不能将构件的弯矩传递给其余构件。对现浇钢筋混凝土结构,钢筋在构件端部不能断开,而是深入到节点中。节点施工时,通过清理前批浇筑的混凝土表面并施以素浆处理,将钢筋深入节点等措施,确保前后浇筑的混凝土浑然一体。因此,钢筋混凝土结构通常具有良好的整体性或连续性。作用于某个构件的荷载将使整个结构产生变形和应力。对预制混凝土结构,尽管与钢结构一样,构件单独预制,但节点通常设计为刚接,以传递弯矩、剪力和轴力,保证结构的连续性。

## 第 13 章 板的分析与设计

钢筋混凝土结构中,楼盖用来将房屋分隔为若干层。钢筋混凝土板上下表面平行(近似平行),通常水平布置。板一般支承于梁(板与该类梁常同时浇筑)或砌体墙/钢筋混凝土墙上。若板为对边支承或四边支承板长边与短边之比大于 2 时,则板为单向板,荷载沿短边传递。若四边支承板长边与短边之比不大于 2 时,则为双向板,荷载沿双向传递。

某些情况下,板直接支承在柱上,而不支承于主梁或次梁。这样的楼盖称为无柱帽无梁楼盖,在跨度、荷载均不大的情况下应用。有柱帽/托板的无梁楼盖尽管无梁支承,但在板与柱的相交处,板局部加厚,柱截面局部加大,这些部位分别称为柱帽和托板。与有柱帽无梁楼盖相似,由双向梁交叉形成的楼盖称为井字梁楼盖或华夫楼盖。为降低实心板的自重,经常用金属或玻璃纤维制成的模板填充局部,使其成为井字梁楼盖。通常,靠近柱的区域不设置填充物,柱周围为实心板,具有较强的抗弯、抗剪能力。

## 第 14 章 板的塑性铰线法

板的塑性铰线法由英格斯莱乌(Ingerslev)首次提出,并由约翰森(Johansen)改进。板受力破坏时形成的屈服线称为塑性铰线。对超载作用板,板块沿塑性铰线转动,变形引起塑性铰线上弯矩所作的内功与外载所作外功相等。

钢筋屈服后,控制截面的曲率急剧增加,但变形增加不多。与塑性铰线区域变形引起的截面曲率相比,板其余部分的弹性曲率很小,因此可认为板在支座和塑性铰线之间的区域为刚体,板曲率集中在塑性铰线区域。塑性铰线具有转动能力,且能传递弯矩。将单位宽度内板承载力定义为板名义承载力,即  $m_p = m_n$ ,其中,按第 3 章常规方法计算。基于安全考虑取抗弯承载力设计值,一般取 0.9,因为大部分板的配筋率小于 0.005。

对如图 14.1 所示简支板,若板中出现一条塑性铰线即达到承载能力极限状态。对超静定板,即使出现一条或多条塑性铰线,也可继续承担荷载。如图 14.2a 所示,均布荷载作用下两端固接板,假定该板正、负弯矩区配筋相同,其弹性弯矩图如图 14.2b 所示。随着荷载逐渐增加,板先在支座塑性铰线处转动,随着板上荷载继续增大,跨中弯矩继续增大,当其等于跨中抗弯承载力时,板跨中出现塑性铰线,如图 14.2c 所示。板破坏前的弯矩图如图 14.2d 所示。应注意,弹性正、负弯矩绝对值之比为 1:2,而受弯承载力则相同。这是由于塑性变形引起弯矩重分布,对该板,破坏前其正、负弯矩绝对值之比为 1:1。

12.9节已经讨论了弯矩重分布,破坏前弯矩调幅不是由弹性分析结果决定,而是由配筋情况决定。

### 第15章 板的条带法

条带法(也称为平衡法),首先假定满足平衡条件的板弯矩分布,按弯矩进行配筋设计。若弯矩满足内力平衡与边界条件,且该弯矩不大于板的屈服承载力,则假定的外荷载为板能承担荷载的下限值。条带法的计算结果偏于安全,非常适合工程应用,尽管计算结果与实际承载力有差别,但不影响结构安全。条带法是一个用来计算钢筋面积的设计方法,该方法鼓励设计者合理、经济地布置钢筋,同时能确保板安全。该方法也适用于开洞板和异形板。

### 第16章 基础与地基

基础通常为埋于地面以下的下部结构,通过基础将结构上部荷载传递给地基土或岩石。地基土在上部荷载作用下受压变形发生沉降。基础设计的两个基本要求:一是基础的总沉降不应超过一定的限值;二是结构不同部分的基础不均匀沉降应尽量小。为避免结构发生破坏,减小基础不均匀沉降,即基础不同部位的沉降差,比减小结构总体沉降更重要。

为减小上述沉降,必须做到:(1)将结构荷载传递给承载力高的地基持力层;(2)承受荷载的地基土面积足够大,尽量分散地基土压力。若基础底部持力层不能满足上述要求,则必须设置如桩基础、箱形基础等深基础,将荷载传递给埋深更深、地耐力更高的持力层。若基础底部持力层满足上述要求,则该持力层可起到分散荷载、支承上部结构的作用。这样的基础称为扩展基础,也是本章主要讨论的基础类型。

### 第17章 挡土墙

当土体或其他松散材料无法自由堆积时,可用挡土墙支挡。当深基坑开挖、河堤或路堤等工程受场地条件、建筑功能或经济条件限制时,应采用挡土墙支挡。例如,铁路或高速公路的路权宽度是固定的,路堤宽度必须小于路权宽度。类似地,地下室外墙必须在建筑红线以内,且必须能够承担地下室周围土体侧压力。

根据工程条件和工程造价等选择三种类型的挡土墙。通常,重力式挡土墙高度较低,一般不大于3 m。悬臂式挡土墙高度在3~6 m时较经济,而扶壁式挡土墙一般适用于高度大于6 m的情况。

### 第18章 混凝土建筑体系

本章之前的章节关注钢筋混凝土构件设计,例如板、柱、梁和基础。这些结构构件结合在一起创造出结构体系或其他建筑。结构工程师一个重要的职责即是因地制宜,在众多结构体系中选择一个最合理的。与构件的精细化设计相比,结构体系的合理选择,对结构的经济性和适用性影响更显著。在工程初步设计时就与建筑师密切合作是必要的,不仅可满足建筑功能和美观要求,而且可最大限度地发挥钢筋混凝土结构的作用。

### 第19章 预应力混凝土

预应力混凝土结构的发展,可克服普通钢筋混凝土结构的缺点。预应力混凝土构件是指对构件施加预加力,使其产生内应力,该内应力可以抵消部分或全部外荷载引起的应

力。混凝土是一种受压性能良好的材料,但其抗拉强度较低。预应力使结构上产生一定的预压力,将降低或抵消构件中可能出现的拉应力。正常使用极限状态下,裂缝减小甚至不出现裂缝,变形被控制在可接受的范围内。事实上,在正常使用时,外荷载与预应力共同作用下可使合理设计的预应力混凝土构件变形为零。工程师合理选择预应力钢丝钢绞线、高强度钢筋和高强混凝土,不但可满足现代建筑对大跨重载的要求,而且可以创造出若干新型结构体系。

## 第20章 抗震设计

地震是由地壳板块之间相互挤压碰撞造成板块边沿及板块内部产生错动和破裂引起的。地震通过波的形式传播。临近断层线的区域,更易发生地震。对建筑结构而言,地震作用由地球表面的随机水平地震和竖向地震组成。一方面,地面在运动,另一方面惯性使结构倾向于维持原状,导致结构发生位移、受力,可能引起灾难性后果。抗震设计的目的是使结构能抵抗地震引起的作用。

结构可能遭受地震作用,因此面临如下选择:

- (1) 给结构提供足够的刚度和承载力,在地震作用下将结构变形限制在一定范围内;
- (2) 提供高延性的结构,结构初始造价较低,在发生较大非弹性变形时,结构仍能满足承载力要求。

本书能够顺利出版,得到了哈尔滨工业大学土木工程学院及兄弟院校众多专家的大力支持,在此一并表示诚挚的谢意。

土木工程图书工作室

2014年11月

## 作者简介

亚瑟 H. 尼尔森近四十年来一直从事钢筋混凝土结构的研究、教学,并指导工程实践。他 1956 年起在康奈尔大学工学院任教,讲授研究生、本科生“钢筋混凝土结构设计”和“预应力混凝土结构设计”课程,直至 1991 年退休。1978~1985 年任该校结构工程系主任。尼尔森博士担任包括美国混凝土学会(ACI)建筑规范分会(318-D)在内的多个学术委员会委员。他在高强混凝土方向的开创性工作被广泛认可,1974 年获美国混凝土学会沃森(Wason)材料研究奖,1986、1987 年两次获美国混凝土学会沃森最佳学术论文奖,1993 年获美国混凝土学会结构研究奖。尼尔森教授是美国混凝土学会名誉会士和美国土木工程学会(ASCE)会士。他因教学效果杰出而深受康奈尔大学土木工程专业学生的敬仰,并于 1991 年当选为名誉教授。他还在曼彻斯特大学、斯坦福大学和米兰理工大学兼职进行科研与教学工作。他是美国多个州的注册结构工程师,在投身于教学工作之前,全职从事结构设计。他 1948 年于斯坦福大学获学士学位,1956 年于康奈尔大学获硕士学位,1967 年于加州大学伯克利分校获博士学位。

大卫·达尔文 1974 年起在美国堪萨斯大学任教,1982 年起任结构工程与材料实验室主任,1990 年被聘任为土木工程迪恩 E. 阿克思(Deane E Ackers)杰出教授。2007~2008 年任美国混凝土学会主席,也是该学会裂缝专业委员会 224 和钢筋与混凝土黏结专业委员会 408 的前主任。他是美国混凝土学会建筑规范分会 318-B(钢筋和延伸长度)和 ACI-ASCE 抗剪与抗扭专业委员会 445 的委员。达尔文博士是钢筋混凝土结构裂缝控制、钢筋与混凝土黏结性能方面的知名专家。由于他在素混凝土和钢筋混凝土方面卓有成效的工作,获 1992 年美国混凝土学会亚瑟 R. 安德森(Arthur R. Anderson)奖和 1996 年美国混凝土学会结构研究奖;由于他在教学和结构设计方面的贡献,获 2005 年美国混凝土学会乔 W. 凯利(Joe W. Kelly)奖。他获美国土木工程学会多项奖励,包括 1985 年沃尔特 L. 胡贝尔(Walter L. Huber)土木工程研究奖、1991 年莫伊塞弗(Moisieff)奖、1996 年和 2000 年土木工程前沿奖、1997 年理查德 R. 托伦斯(Richard R. Torrens)奖和 2008 年丹尼斯 L. 特克斯特里(Dennis L. Tewksbury)奖。他因教学成果优秀而深受堪萨斯大学土木工程专业学生的敬仰。他是美国土木工程学会结构工程期刊的前任编委,美国混凝土学会和土木工程学会会士。他是注册结构工程师,在混凝土材料与结构方面指导工程实践。于 2003 年当选伊利诺斯大学土木与环境工程系杰出校友。他获硕士学位之后曾在美国陆军工程兵团工作四年。他 1967 年、1968 年在康奈尔大学分获学士、硕士学位,1974 年在伊利诺斯大学香槟分校获博士学位。

查尔斯 W. 多兰 1991 年起在怀俄明大学任教,1998~2001 年任系主任。2002 年被聘为 H. T. 珀森(H. T. Person)工学教授。现任美国混凝土学会建筑规范分会主席(318-

R),美国混凝土学会运输轨道分会 358 技术推广委员会主任和 ACI-ASCE 预应力混凝土 423 专业委员会主任。在近二十年的工程设计与实践中,他参与沃尔特-迪斯尼世界单轨铁路、底特律市区轻轨交通系统、达拉斯-沃思堡国际机场(译注:世界第 7 大机场)轨道交通系统的工程设计,是迪拜棕榈群岛单轨铁路概念设计的负责人。由于在预应力混凝土方面的杰出贡献,他 1973 年获美国土木工程学会 T. Y. Lin (林同炎) 奖。由于推动了混凝土及预应力混凝土结构设计的发展,他 2005 年获美国混凝土学会亚瑟 R. 安德森奖。他是美国混凝土学会和预应力混凝土学会会士,是国际上公认的纤维混凝土方向的领军者。他是注册结构工程师,指导混凝土结构设计。他 1965 年于麻省大学获学士学位,1967 年和 1989 年在康奈尔大学分获硕士和博士学位。



# 前 言

第 14 版《混凝土结构设计》致力于两个目标:一是使读者深刻理解混凝土结构的受力性能,二是提高读者在工程设计中应用现行规范的能力。该版本采用国际单位制,其内容已按照 2008 版美国混凝土结构设计规范(ACI318M-08)进行了更新。

一般而言,仅进行设计技能训练并掌握规范条文,还难以成功设计。由于新成果、新设计方法的持续引入和应用,规范条文是不断更新的。为理解并安全地将这些新成果应用于创新设计,工程师需要对混凝土、钢筋的基本力学性能和钢筋混凝土结构的受力性能有全面的认识。另一方面,结构工程师的主要任务是确保结构安全、经济和高效。因此,以深刻理解为基础,并熟悉现行规范的设计过程是必要的。本版与以往版本类似,满足了以上两方面的需求。

该书不仅涵盖了混凝土受弯、受剪、受扭和轴心受力构件的基本力学性能和设计方法,而且提供了多种结构的设计方法,还给出了板的深入分析思路,地基、基础和挡土墙等的设计方法,以及非常重要的节点设计方法。受弯构件设计一章,扩充了材料性能和设计例题。更新了结构抗震设计相关内容,并简要介绍预应力混凝土结构。

混凝土结构设计规范指导美国多个州的设计,同时也是世界多国的模式规范,其 2008 版有很多显著变化:修订了细长柱和抗震设计方法,与上一轮规范相比,细长柱的设计方法有所简化,而抗震设计增加了重要内容;增加了双向板抗冲切锚栓设计内容和钢筋的机械锚固方法。

本书除按照混凝土结构设计规范 2008 版更新内容之外,还引入了美国公路桥梁设计规范 2008 修订版中基于改进压力场法的构件抗剪设计内容。

对板设计进行全面深入分析是本书的一个显著特征。在板的设计与分析一章,除板常规塑性设计方法外,还论述了包含抗冲切锚栓设计在内的单向板、双向板和柱支承板设计方法。基于塑性铰线的板承载力分析和基于条带法的板设计,均对新型结构的设计具有特别的价值。

关于结构分析的相关章节是本书另一特色,包括荷载效应组合、弯矩和剪力包络图的阐述、重力荷载和水平荷载下结构构件的设计指导方法及钢筋混凝土结构初步设计。

当前设计多采用通用、商用或个人特别编制的计算软件完成。本书给出了结构构件设计的详细步骤,强化设计过程理解,指导学生和工程师掌握日益详实的现行规范设计方法。一旦掌握这些方法,可以非常方便地将设计步骤转换为计算程序以辅助结构设计。广泛应用的商业程序的相关内容可见本书所列参考文献。

本书适用于一至两学期的钢筋混凝土设计课程。受学时限制,第一学期可主要讲授以下基本章节(可能在大学第四年讲授):第 1 章绪论,第 2 章材料,第 3 章受弯构件正截面受力分析与设计,第 4 章受弯构件斜截面受力分析与设计,第 5 章黏结、锚固及延伸长度,第 6 章混凝土构件的使用性能,第 8 章短柱,第 13 章前 4 节中关于单向板和双向板的内容。未必有足够的学时讲授第 12 章框架分析和第 18 章结构体系分析,但这部分内容与前面部分内容一起,可作为学生课外自学的内容。根据作者的经验,课外自学有助于激发学生的学习热情。

这本书作为研究生后继课程的教材是足够的,一般在研究生第一学年授课时使用。作者发现,这为研究生深入理解钢筋混凝土结构设计,提供了非常好的机会。该课程一般以第12章和第18章相关内容开始,接着讲授第7章混凝土受扭构件的分析与设计、第9章长柱、第10章压杆-拉杆模型和第11章钢筋混凝土节点设计。同时可深入讲解板的设计方法,包括第13章剩余内容,第14、15章中板塑性设计方法、基于塑性铰线的板承载力分析和基于条带法的板设计。第16、17章的基础和挡土墙及第20章抗震设计概述也适合在研究生课程中讲授。若受学时限制,第19章预应力混凝土可压缩为一个学时简要讲述。

每章结尾均提供本章参考文献,可供愿意通过自学增长知识的读者参考。

作者非常高兴能为读者提供一个国际单位制版本。尽管该书已在世界范围内广泛应用,但以前的版本采用美国经常使用的英寸-磅单位制。考虑到英寸-磅单位在世界范围内应用并不广泛,出版与美国混凝土设计规范同样采用国际单位制的版本是作者长期的愿望。该书的出版,实现了作者的愿望。

记录下该书的历程是有意义的。该书是第14版,源于1923年康奈尔大学结构工程专业伦纳德 C. 厄克特(Leonard C. Urquhart)教授和查尔斯 E. 奥鲁克(Charles E. O'Rourke)教授的讲义。在该书不平凡的86年中,随着研究进展、材料进步和设计分析方法的改进,不同版本是持续更新的。该书第2~4版立足于钢筋混凝土结构设计必修课教材。康奈尔大学的乔治·温特(George Winter)教授与厄克特教授一起完成了该书第5、6版的修订。温特教授与该书的作者一起完成了第7、8、9版的修订,扩充了该书的内容和深度。该书第10、11、12版由尼尔森教授和温特教授共同修订,但温特教授1982年去世,堪萨斯大学的大卫·达尔文教授完成了后继工作。

尼尔森教授、大卫·达尔文教授和怀俄明大学的查尔斯·多兰教授一起完成该书第13版的修订。他们在混凝土与预应力混凝土研究与教学方面有很深的造诣,同时均是规范主要起草人,具有丰富的工程经验、鲜明的设计观点和很强的结构概念,使该书脱颖而出。

非常感谢该书的评审专家和作者的研究生对该版本和以前版本提出的建设性建议。作者特别感谢以下评审专家:犹他州立大学保罗巴尔(Paul Barr)、俄克拉荷马州立大学罗伯特 N. 爱默生(Robert N. Emerson)、亚利桑那州立大学 A. 法非蒂斯(A. Fafitis)、田纳西理工大学 R. 克来格·亨德森(R. Craig Henderson)、爱荷华州立大学麦克斯波特(Max Porter)、阿克伦大学乔匹忠(Pizhong Qiao 音译)、路易斯安那理工大学阿济兹·希伯(Aziz Saber)和俄亥俄大学埃里克·斯坦伯格(Eric Steinberg)。感谢麦格劳-希尔(McGraw-Hill)集团出版社工作人员,特别是责任编辑黛布拉·哈希(Debra Hash)、执行编辑洛兰·布切克(Lorraine Buczek)和部门经理梅丽莎·莱克(Melissa Leick)。

感谢原作者对我们的馈赠。尽管厄克特教授和奥鲁克教授对该书的细节部分并不十分了解,但客观地讲,他们的教育理念是前期版本成功的保障。特别感谢乔治·温特教授对本书章节规划发挥的积极作用。

亚瑟 H. 尼尔森  
大卫·达尔文  
查尔斯 W. 多兰

# *About the Authors*

**Arthur H. Nilson** was engaged in research, teaching, and consulting relating to structural concrete for over 40 years. He has been a member of the faculty of the College of Engineering at Cornell University since 1956, in charge of undergraduate and graduate courses in the design of reinforced concrete and prestressed concrete structures until his retirement in 1991. He served as Chairman of the Department of Structural Engineering from 1978 to 1985. Dr. Nilson has served on many professional committees, including Building Code Subcommittee 318-D of the American Concrete Institute (ACI). His pioneering work on high-strength concrete has been widely recognized. He was awarded the ACI Wason Medal for materials research in 1974, the ACI Wason Medal for best technical paper in 1986 and 1987, and the ACI Structural Research Award in 1993. Professor Nilson is an Honorary Member of ACI and a Fellow in the American Society of Civil Engineers (ASCE). He has been honored by the civil engineering student body at Cornell for outstanding teaching. He was elected Professor Emeritus in 1991. He has held research appointments or lectureships at the University of Manchester, Salford University, and the Technical University of Milan. He is a registered professional engineer in several states and, prior to entering teaching, was engaged in full-time professional practice. He received the B.S. degree from Stanford University in 1948, the M.S. from Cornell in 1956, and the Ph.D. from the University of California at Berkeley in 1967.

**David Darwin** has been a member of the faculty at the University of Kansas since 1974 and has been director of the Structural Engineering and Materials Laboratory since 1982. He was appointed the Deane E. Ackers Distinguished Professor of Civil Engineering in 1990. Dr. Darwin served as President of the American Concrete Institute in 2007–2008 and is a member and past chair of ACI Committees 224 on Cracking and 408 on Bond and Development of Reinforcement. He is also a member of ACI Building Code Subcommittee 318-B on Reinforcement and Development and of ACI-ASCE Committee 445 on Shear and Torsion. Dr. Darwin is an acknowledged expert on concrete crack control and bond between steel reinforcement and concrete. He received the ACI Arthur R. Anderson Award in 1992 for his research efforts in plain and reinforced concrete, the ACI Structural Research Award in 1996, and the ACI Joe W. Kelly Award in 2005 for his contributions to teaching and design. He has also received a number of awards from the American Society of Civil Engineers, including the Walter L. Huber Civil Engineering Research Prize in 1985; the Moisseiff Award in 1991; the State-of-the-Art of Civil Engineering Award in 1996 and 2000; the Richard R. Torrens Award in 1997; and the Dennis L. Tewksbury Award in 2008. He has been honored for his teaching by the civil engineering students at the University

of Kansas. He is past editor of the ASCE *Journal of Structural Engineering*. Professor Darwin is a Fellow of ACI and ASCE. He is a licensed professional engineer and serves as a consultant in the fields of concrete materials and structures. He was honored with the Distinguished Alumnus Award from the University of Illinois Civil and Environmental Engineering Alumni Association in 2003. Between his M.S. and Ph.D. degrees, he served four years with the U.S. Army Corps of Engineers. He received the B.S. and M.S. degrees from Cornell University in 1967 and 1968 and the Ph.D. from the University of Illinois at Urbana-Champaign in 1974.

**Charles W. Dolan** has been on the faculty at the University of Wyoming since 1991, serving as Department Head from 1998 to 2001. He was appointed the H. T. Person Professor of Engineering in 2002. He is currently chair of Building Code Subcommittee 318-R of the American Concrete Institute. He has served as chair of the Technical Activities Committee, of ACI Committee 358 on Transit Guideways, and of ACI-ASCE Committee 423 on Prestressed Concrete. In private design practice for nearly 20 years, he was the project engineer on the Walt Disney World Monorail, the Detroit Downtown Peoplemover guideway, and the Dallas–Fort Worth Airport transit system guideway and is responsible for the conceptual design of the Dubai Palm Island monorail. He received the T. Y. Lin Award from ASCE in 1973 for outstanding contributions to the field of prestressed concrete and the Arthur R. Anderson award from ACI in 2005 for advancements in the design of reinforced and prestressed concrete structures. A Fellow in ACI and the Prestressed Concrete Institute (PCI), he is an internationally recognized leader in the development of fiber reinforced polymers for concrete reinforcement. He is a registered professional engineer and a consultant in the design of structural concrete. He received the B.S. from the University of Massachusetts in 1965 and the M.S. and Ph.D. from Cornell University in 1967 and 1989.

# Preface

The fourteenth edition of *Design of Concrete Structures* has the same dual objectives as the previous work: first to establish a firm understanding of the behavior of structural concrete, then to develop proficiency in the methods used in current design practice. To produce this SI Edition, the text has been updated in accordance with the provisions of the metric version of the 2008 American Concrete Institute (ACI) Building Code (ACI 318M-08).

It is generally recognized that mere training in special design skills and codified procedures is inadequate for successful professional practice. As new research becomes available and new design methods are continually introduced, these procedures are subject to frequent changes. To understand and keep abreast of these rapid developments and to engage safely in innovative design, the engineer needs a thorough grounding in the basic performance of concrete and steel as structural materials, and in the behavior of reinforced concrete members and structures. On the other hand, the main business of the structural engineer is to design structures safely, economically, and efficiently. Consequently, with this basic understanding as a firm foundation, familiarity with current design procedures is essential. This edition, like the preceding ones, addresses both needs.

The text not only presents the basic mechanics of structural concrete and methods for the design of individual members for bending, shear, torsion, and axial forces, but also provides much detail pertaining to applications in the various types of structural systems, including an extensive presentation of slabs, footings, foundations, and retaining walls. The important topic of joint design is included. The chapter on flexural design has been expanded to improve the presentation of both the basic material and the example problems, coverage of seismic design is updated, and an introduction to prestressed concrete is included, as in previous editions.

There have been a number of significant changes in the 2008 ACI Building Code, which governs design practice in most of the United States and serves as a model code in many other countries as well. Among these are a reorganization of the provisions for both slender column and earthquake design, the former with some simplification compared to earlier Codes and the latter with some important additions; and the addition of headed studs for use as shear reinforcement in two-way slabs and headed deformed bars as another option for use in anchoring reinforcement.

In addition to changes in the ACI Code, the text includes the modified compression field theory method of shear design as updated in the 2008 Interim Revisions to the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) *LRFD Bridge Design Specifications*.

A feature of the text is the comprehensive presentation of all aspects of slab design. A chapter covering one-way and two-way edge-supported and column-supported slabs, including the new Code material on headed studs, is followed by chapters on slab

analysis and design based on the theory of plasticity covering, respectively, the yield line method for analysis and the strip method for design of slabs, both particularly useful for innovative structures.

A special strength of the text is the analysis chapter, which includes load combinations for use in design, a description of envelope curves for moment and shear, guidelines for proportioning members under both gravity and lateral loads, and procedures for developing preliminary designs of reinforced concrete structures.

Most present-day design is carried out using computer programs, either general-purpose, commercially available software or individual programs written for special needs. Step-by-step procedures are given throughout the book to guide the student and engineer through the increasingly complex methodology of current design, with the emphasis on understanding the design process. Once mastered, these procedures are easily converted into flowcharts to aid in programming. References are given, where appropriate, to the more widely used commercial programs.

The text will be found suitable for either a one or two-semester course in the design of concrete structures. If the curriculum permits only a single course (probably taught in the fourth undergraduate year), the following will provide a good basis: the introduction and treatment of materials found in Chapters 1 and 2, respectively; the material on flexure, shear, and anchorage in Chapters 3, 4, and 5; Chapter 6 on serviceability; Chapter 8 on short columns; and the introduction to one and two-way slabs found in the first four sections of Chapter 13. Time may or may not permit classroom coverage of frame analysis or building systems, Chapters 12 and 18, but these could well be assigned as independent reading, concurrent with the earlier work of the course. In the authors' experience, such complementary outside reading tends to enhance student motivation.

The text is more than adequate for a second course, most likely taught in the first year of graduate study. The authors have found that this is an excellent opportunity to provide students with a more general understanding of reinforced concrete structural design, often beginning with Chapters 12 and 18 and followed by the increasingly important topics of torsion, Chapter 7; slender columns, Chapter 9; the strut-and-tie method, Chapter 10; and the design and detailing of joints, Chapter 11. It should also offer an opportunity for a much expanded study of slabs, including the remaining sections of Chapter 13, plus the methods for slab analysis and design based on plasticity theory found in Chapters 14 and 15, yield line analysis and the strip method of design. Other topics appropriate to a second course include foundations and retaining walls, Chapters 16 and 17, and the introduction to seismic design in Chapter 20. Prestressed concrete is sufficiently important to justify a separate course. If time constraints do not permit this, Chapter 19 provides an introduction and can be used as the text for a one-credit-hour course.

At the end of each chapter, the user will find extensive reference lists, which provide an entry into the literature for those wishing to increase their knowledge through independent study.

The authors are especially pleased to provide our readers with a true SI Edition. While the text has always been available worldwide, the presentation has in the past been limited to inch-pound units, which are customary in the United States. Well aware of the lack of applicability of inch-pound units throughout the rest of the world, it has been a goal of the authors to develop a version of the text in SI units based on the metric version of the ACI Code, ACI 318M. With this volume, that goal has been achieved.

A brief historical note may be of interest. This book is the fourteenth edition of a textbook originated in 1923 by Leonard C. Urquhart and Charles E. O'Rourke, both