

钢筋混凝土设计的极限状态理论

(第 三 版)

[英] B·P·休斯 著

俞同华 印定安 李正良 译



同济大学出版社

关于极限状态理论的按语

钢筋混凝土设计的极限荷载理论的产生,最初曾促使人们对传统的弹性理论方法产生怀疑。然而,随着知识的不断更新,每一个理论都被赋予了正确的看法,现已表明,上述两个理论在极限状态理论所提供的更宽阔的概念中,都有其应用范围。正常使用极限状态通常采用弹性理论,而承载能力极限状态则采用极限荷载理论。

极限状态理论的合理方法和基本原理,不在于仅是简单采纳现有的弹性理论和极限荷载理论。它根据半概率方法,引进了分项安全系数、特征荷载和特征强度的概念。极限状态理论使框架的设计更精确,从而更为经济。极限状态理论使得 CP 110 和 BS 5337 提出的设计方法能随时结合应用所取得的研究成果;它还集中注意力于知识的不足之处,引导着未来的研究。

在 CP 114:1957 中所给出的弹性理论,采用了一个(应力)安全系数,即极限强度与资用应力之比,对混凝土取 3,对钢筋取 2。CP114:1957 中所给出的极限荷载理论,采用了一个为 2 的荷载(安全)系数(即极限荷载与资用荷载之比为 2),以及一个仅对混凝土强度的安全系数。极限状态理论采用至少两个与特征荷载和特征强度有关的分项安全系数,以合理地考虑预计的变化,因而使设计能做得更有把握、更为经济。

还应通过对各种极限状态的分析,使未来的设计能避免在建筑师和工程师之间相互交界处常会出现的某些不周。较好的裂缝控制和对风化的较大重视——例如在建筑的细部设计中避免建筑表面大面积地任意流水,采用加气剂以提高混凝土抗风化特征——诸如此类措施都能大大提高混凝土结构寿命期内适用性要求,并增进结构的美好外观。

(沪)新登字204号

责任编辑 司徒妙龄
封面设计 王 肖 生

钢筋混凝土设计的极限状态理论
(第 三 版)

[英] B·P·休斯著

俞同华 印定安 李正良译

同 济 大 学 出 版 社

(上海四平路 1239 号)

新华书店上海发行所发行

启东市印刷三厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 28 字数: 710千字

1995年6月第1版

1995年6月第1次印刷

印数: 1—1000

定价: 38.00元

ISBN7-5608-1334-8/TU·141

钢筋混凝土设计的极限状态理论

(第 三 版)

Gangji Hunningtu Sheji De Jixianzhuangtai Lilun (disanban)

原版书名及作者:

Limit state theory
for
reinforced concrete design
SI units
(Third edition)

B P Hughes
DSc, PhD, CEng, MICE, FStructE
Professor of Civil Engineering
University of Birmingham.

内 容 提 要

本书在极限状态理论的基础上对钢筋混凝土的梁、板、柱、墙、挡土墙和挡水结构等的设计原理、方法和步骤作了全面、系统的介绍，并对按各种极限状态进行结构的分析、计算和构件截面的配筋、验算时所用的公式、数据和图表也作了充分的介绍和说明。第十五章还对混凝土配料设计和质量控制的基本原理和方法作了叙述。附录中摘录了英、欧有关规范的内容。

本书可供公路、铁路和城市桥梁、水利、工业与民用建筑等土建专业钢筋混凝土工程结构设计人员、施工人员、研究人员和有关院校的师生参考、学习之用，对了解英国的钢筋混凝土设计理论和方法以及英国大学土建类专业师生的教学内容有很大帮助。

原书扉页摘录

First Published in Great Britain, 1971

Second edition, 1976, Reprinted, 1977

Third edition, 1980

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording and/or otherwise without the prior written permission of the publishers. This book may not be lent, resold, hired out or otherwise disposed of by way of trade in any form of binding or cover other than that in which it is published, without the prior consent of the publishers. This book is sold subject to the Standard Conditions of Sale of Net Books and may not be resold in the UK below the net price.

本中译本经英国伦敦朗曼公司(Longman Group UK Limited, London)安排并授权
同济大学出版社翻译出版。

译者序

《钢筋混凝土设计的极限状态理论》一书是英国伯明翰大学教授 B.P 休斯所编著的一本专业教材。书中对极限状态理论的基本原理以及钢筋混凝土结构包括梁、板、柱、墙等内力分析、应力计算和截面的配筋验算等作了详细的阐述,提出设计计算的方法、算式、数据和图表等详细资料,给出必要的计算实例和练习题。内容有较强的系统性和实用性,叙述由浅入深并兼顾一般和特殊,着眼于帮助读者便于理解和掌握基本内容,做到能切实动手进行设计计算。

本书所依据的规范和制订规范、提出标准的有关协会和国际组织有:英国(工业)标准(如 BS 4449:1978 等)及其修订本(如 AMD 1364 等);英国建工统一实用规范(如 CP 110:1972)及其修订本(如 AMD 2289);欧洲混凝土委员会(CEB);国际预应力混凝土协会(FIP);美国混凝土学会(ACI)等。

钢筋混凝土结构设计的理论和方法经历着不同的发展阶段。在相当长一段时期里,各国一直采用以弹性理论为基础的容许应力设计法。此法以凭经验判定的单一安全系数度量结构的安全度。随着对结构材料和结构破坏性能研究的逐步深入,到本世纪 30 年代,在结构设计上开始采用考虑钢筋混凝土破坏阶段工作状况的破坏强度设计法,也称极限荷载设计法。至 50 年代,前苏联学者更进一步提出极限状态设计法,它被订入国家设计规范。该法综合了前面两种方法的优点,既验算使用阶段的容许应力、裂缝宽度和挠度,也验算破坏阶段的承载能力,用多系数(超载系数、材料匀质系数、工作条件系数)代替单一安全系数来度量结构的安全度。该法考虑较为全面,概念比较明确。60 年代,美国和加拿大的规范也采用此法。现在许多国家和国际组织均采用以极限状态理论为基础的设计方法。

极限状态设计法按其发展的历史进程可分为半概率极限状态设计法和概率极限状态设计法。半概率法仅对荷载和材料强度的特征值采用概率取值,但其荷载系数和抗力系数本质上仍然是一种以经验确定的安全系数。概率极限状态的设计式是用荷载或荷载效应、材料性能和几何参数的标准值附以各种安全系数,再加上结构重要性系数来表达,在结构极限状态方程和结构可靠度之间以概率理论建立关系。对承载能力极限状态采用荷载效应的基本组合和偶然组合进行设计,对正常使用极限状态按荷载的短期效应组合和长期效应组合进行设计。目前世界上对极限状态理论基本上处于半概率设计法实施阶段的水平(水准 I)上,现正致力于更高水平(水准 II)的半概率极限状态设计的研究。全概率设计法的实施,则还需经历一个较长的发展阶段。

我国在 70 年代已将基于半概率的设计方法引入有关设计规范。70 年代末,制订了《建筑设计统一标准》。1978 年的《公路预应力混凝土桥设计规范》已采用极限状态法。1985 年颁布的《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTJ 023-85)》,对钢筋混凝土和预应力混凝土桥涵结构,也采用半概率极限状态设计法。

按我国的设计规范,极限状态主要地分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两类。承载能力极限状态是指工程结构临近丧失承载能力的状态,例如:整个房屋或桥梁的倾

覆；由于主要构件控制截面的破坏，或受压构件失稳，或偶然的严重事故造成局部损伤，从而使整个结构或它的大部分处于即将倒塌状态；以及作用荷载所造成的疲劳破坏等。正常使用极限状态是指结构不能再按原设计要求正常使用的状态，例如：结构的挠度过大、裂缝过宽（要影响结构的耐久性）、结构的振动过大等。

本书虽在各种极限状态时的各项安全系数取值和应力、变形、裂缝宽度等容许值与我国规范中的规定不尽相同，分析计算的理论、方法和公式也有不同，但所述基本原理以及所提供的经验和资料，无疑对我国广大工程技术人员和高校师生在学习和掌握极限状态理论和设计方法上将会给出有益的启示和帮助，对我国今后修订规范也将有很大的参考价值。

本书的作者序、《代号表》、《关于极限状态理论的按语》、第四章至第十二章、第十五章和附录由俞同华译。第一章至第三章由印定安初译，第十三章和第十四章由李正良初译，同济大学桥梁专业 89 届学生也曾做过部分初译工作，以上均由俞同华终译定稿。

由于译者水平有限，译文中错误之处，诚恳欢迎批评指正。

为出版本书，译者曾与原版书作者休斯教授通信，并通过他与原书版权拥有者英国朗曼公司取得联系，经过一段时期的信函协商，签订了该公司与同济大学出版社之间翻译出版本书的认可合同，完成了国际社会版权法有关的程序。

译者 1992 年 1 月于同济大学

中 文 版 序

为《钢筋混凝土设计的极限状态理论》一书中译本的完成,向俞同华教授祝贺。本书英文版原为全世界使用英语的国家(主要是在工程实践中普遍地应用英国规范的国家)中讲英语的读者而写。我感到荣幸的是本书的主旨——叙述关于混凝土结构的基本概念及对混凝土结构特性的理解,并阐明基本原理在按具体规范进行分析和设计中的典型性应用——能被更为广大的读者所接受。因此我非常高兴地为中文版写此简短序言,祝愿中译本的出版圆满成功。

B. P. 休 斯

(土木工程教授)

1992 年 3 月于英国伯明翰市

伯明翰大学土木工程学院)

March 1992

Preface to Chinese Edition

Professor Yu Tonghua is to be congratulated on completion of this Chinese translation of "Limit State Theory for Reinforced Concrete Design". The UK edition was written assuming English speaking readers in English speaking countries throughout the world where UK codes are in common use in local practices.

I am honoured therefore that the essential aims of the book - to present basic concepts and understanding of the behavior of concrete structures and to illustrate typical applications of fundamentals to analyses and design with reference to a particular code - can be received by an even wider readership. It is with great pleasure therefore that I write this short preface to the translation and wish it every success.

Barry P. Hughes

作者第三版序

自本书第二版于1976年出版以来,CP110和BS5337以及有关规范的进一步修订本已经出版,第二版第十一章中有关变形缝的一个主要部分也有修改。同时还乘此机会对全书进行了许多小的改正和修订。增加了用于袖珍程序计算器的计算机程序实例数则,包括一个用于不超过15开间的多层框架风荷载分析的通用程序,一个能很好地说明流程图的“才智人”游戏的程序和用分析的“累计总和法”来控制混凝土质量的程序。根据结构工程师协会和混凝土协会1978年联合委员会关于混凝土结构抗火细部设计的报告,本版对附录M也作了修订。

为满足对设计作简明介绍的需要,特别是考虑到现有的现代化辅助手段,本版加进了新的一章,以帮助读者开阔对“设计”的理解,以免把“设计”局限于“分析”这一狭窄的概念上。补充了关于梁和板构造和挡土墙的几则实例和计算步骤,以便说明设计方法和原理,为更好地理解在以后几章中所述的钢筋混凝土结构和结构构件的分析和设计作准备。

再次感谢对本书前两版作过帮助的所有组织和个人。我还感谢所有对本版曾提过有益意见和建议的朋友、同事、学生和以前的学生,特别是R·D·安珂先生,J·E·埃希博士,L·A·克拉克博士,B·梅非尔德博士,J·K·奈司别特先生和A·J·怀特逊博士。朱利叶·希尔女士打印了本版修订稿,我的女儿海勒雷和沙拉校对了索引,在此也一并鸣谢。

作者第二版序

自本书第一版于1971年出版以来,以极限状态理论为基础的统一规范CP 110:1972《混凝土的结构应用》已经发表,且现又增补了CP 2007-BS 5337 极限状态版本《混凝土挡水结构》。应予庆贺的是,英国标准协会委员会主席D·D·曼休斯博士和A·W·希尔先生领导了这些基本文件的制订,使之最后圆满成功。在第二版中有较大改进的是,采用了由欧洲混凝土委员会和美国混凝土学会提出并经1971年欧洲混凝土委员会会议通过的国际公认的符号原则;优先选用国际商定的符号和SI单位的原则也得到了尊重和遵循,因此本版总的说来是与CP 110和BS 5337相一致的。一个例外是,凡CP 110和BS 5337与国际通用符号不一致、有可能产生混淆的地方,本版则遵循了国际通用符号(与CP 110其他细小的差别,表明在代号表后的注中)。

附录C(是CP 110关于钢筋混凝土基本设计要求快速判定的简要摘录)——已完全修改并分细。新增的附录有关于素混凝土墙、挡水结构(BS 5337)、接缝(按CP 110和BS 5337)、抗火(按1975年联合报告)和风荷载(按CP 3第五章第二部分)等部分。为进一步扩充内容,本版还增加了关于混合料配料设计和质量控制的新的一章。

希望本版仍能帮助学生理解混凝土理论和实践的基本原理以及含于极限状态规范中的合理概念,并使在职工程师们能迅速掌握CP 110和BS 5337的基本要求。

建议第一章到第五章中的部分章节,第六章第一节,第八章,第九章第一节到第四节和

第十五章作为大学二年级的教程,但在各大学之间可有所不同。在伯明翰大学,混凝土结构和工艺一课是总结构课程的补充课程。经伯明翰大学和伦敦大学(国王学院)的同意,本版翻印了选自近期考卷的试题。试题后用括号注明大学课程、年份和规定的答题时间,例如,(UL 2 1969, 36 分钟)表明这是一个 1969 年伦敦大学国王学院二年级学生的 36 分钟试题。

在本次修订中,我应感谢 R·D·安珂先生(附录 M),J·E·埃希博士和 R·M·威尔考克博士(附录 V),N T·范特希博士(附录 E)和 M·R·普林司博士(附录 I)。同时也感谢所有对第一版提过评论意见的人,特别是 J·E·埃希博士,J·比汉先生,W·B·克兰司东博士,J·E·C·费厄伯勒舍先生,J·盖司脱先生,L·L·琼斯教授,J·K·奈司别特先生,A·司密斯先生和 P·司宛纳尔博士。

经英国标准协会的同意,本版复印了如下内容:CP 110:1972 和 BS 5337:1976 (即统一规范和单独的挡水规范)的摘要;房屋设计基本数据规范 CP 3 第五章荷载第一部分:1976 年恒载和作用荷载第二部分;1972 年风荷载;BS 4449:1969 中关于混凝土配筋用热轧钢筋的规定;以及 BS 4466:1969 中关于混凝土中钢筋的弯转尺寸和钢筋一览表(英国标准协会地址:2 Park Street, London W1Y 4AA。从该协会可获得有关文件的完整文本)。经结构工程师协会和混凝土协会同意,本版还选录了关于钢筋混凝土细部设计的报告摘要;介绍钢筋混凝土和预应力混凝土结构计算的一个标准化方法;以及关于混凝土结构防火的内容。

本人谨向其著作中曾被本书引用的其他作者以及同意摘录其文献的团体,包括水泥和混凝土协会和英国预拌混凝土协会致谢。

最后,我要向我妻和我家庭其他成员为他们的容忍和鼓励及对本版所作编辑上的帮助,以及 J·淑蕾女士为本修订本打印手稿表示感谢。

代 号 表

A_c	混凝土截面积($=bh$)
A_{c1}	混凝土实际面积(或净截面积)
A_s	钢筋截面积
A_{s0}	为平衡受压钢筋所附加的受拉钢筋截面积(对于梁)
A_{sc}	受压钢筋截面积(柱中纵向钢筋总截面积)
A'_{sc1}	在较高受压面内布于水平1处受压钢筋截面积
A_{sc2}	在较低受压面内布于水平2处受压钢筋截面积(也可能受拉)
A_{st}	抗扭纵向钢筋截面积
A_{st}	受拉钢筋截面积
A_{sv}	箍筋双肢面积
a	挠度;粗集料体积含量
a_{cr}	所考虑的点(裂缝)离最近的纵筋表面的距离
b	截面宽度;细集料的容积比
b_c	受压面宽度
b_t	受拉钢筋水平处的截面宽度
b_w	腹板或肋宽度
C	扭转系数;统计常数($=n/\sigma\sqrt{(2\pi)}$)
${}_NC_n$	从 N 项里取 n 项的组合数
c	混凝土保护层;水泥体积率
D	偏差($=x_i - \mu$)
D'_i	按组宽 w 第 i 组从第0组的偏离
d	受拉钢筋有效高度(CP 114中的 d_1)
d'	受压钢筋高度
d_n	中性轴高度(按弹性分析;参见代号 x 的说明)
d_2	钢筋高度
E_c	混凝土静力割线弹性模量
E_s	钢筋的弹性模量
e	自然(纳皮尔)对数
e	偏心距
F	极限(设计)荷载;力(带下标,如面积 A);累计频率
F_d	容许荷载
F_k	特征荷载
F_{kv}	可变特征荷载
F_{im}	冲击荷载

F_c	基本系紧力
E_{var}	可变设计荷载
f	设计强度
f_b	平均(或锚固)粘结应力
f_{bs}	局部(或弯曲)粘结应力
f_c	混凝土应力(受压为正)
f_c	混凝土抗压设计强度
f'_c	圆柱体压碎强度
f_{cb}	受弯时边缘纤维处混凝土应力(受压为正)
f_{co}	直接受压时混凝土应力(受压为正)
f_{ct}	混凝土拉应力(受拉为正)
f_{cu}	混凝土立方体特征强度
f_{dc}	直接受压时混凝土容许应力
f_{db}	受弯时混凝土容许应力
f_{dc}	钢筋容许压应力
f_{dt}	钢筋容许拉应力
f_i	第 i 组值的频率
f_k	特征强度或抗力
f_{ku}	混凝土单轴受压特征强度
f_m	平均强度或抗力
f_{mou}	立方体平均强度
f_s	钢筋应力(受拉为正)
f_{sc}	钢筋压应力(受压为正)
f'_{sc1}	在高受压面内的受压钢筋压应力(受压为正)
f_{sc2}	在另一面内受压钢筋压应力(受压为正)
f_{st}	钢筋拉应力(受拉为正)
f_{sv}	剪切钢筋的(拉)应力
f_y	钢筋的特征强度
f_{yl}	纵向钢筋特征强度
f_{yv}	箍筋特征强度
$*f_{yc}$	受压钢筋设计屈服强度
$*f_{yt}$	受拉钢筋设计屈服强度
G	剪切模量
G_k	特征恒载
g	分布恒载
g_k	单位面积特征恒载
h	弯曲平面内截面总高度; 统计常数 $(= (\sigma\sqrt{2})^{-1})$
i	整数
h_c	柱头直径

h_f	翼缘厚度
h_n	不开裂截面的中性轴高度(弹性理论)
I_c	混凝土全截面面积二次矩
I_e	换算截面(相应的开裂截面)二次矩
I_0	毛截面(相应的不开裂截面)的面积二次矩
K, k	各种常数或系数
K_b, K_l, K_u	分别为梁、下柱和上柱的刚度
L_e, l_s	有效跨径
L_{sx}, l_{sx}	对主轴的弯曲有效高度
L_{sy}, l_{sy}	对次轴的弯曲有效高度
L_m, l_m	l_1 和 l_2 的平均值
L_0, l_0	端约束之间柱的净高
L_x, l_x	(矩形板)短边长度
L_y, l_y	(矩形板)长边长度
L_1, l_1	从柱中心量起的沿跨径方向板段的长度
L_2, l_2	从柱中心量起的板段的宽度
M	弯矩; 极限荷载引起的弯矩
M_a	柱内增加的弯矩
M_{ada}	最大附加弯矩
M_d	设计抵抗矩(弹性理论)
M_{dc}	受压设计抵抗矩
M_{dct}	受拉混凝土设计抵抗矩
M_{dt}	设计抗拉弯矩
M_e	固端弯矩
M_i	极限荷载引起的柱内最大初始弯矩(但 $\leq 0.05Nh$)
M_{ix}	极限荷载引起的细长柱对主轴的初始弯矩
M_{iy}	极限荷载引起的细长柱对次轴的初始弯矩
M_{sx}, M_{sy}	跨径分别为 l_x 和 l_y 的单位宽度板条跨中弯矩
M_t	极限荷载引起的柱中总弯矩
M_{tx}	极限荷载引起的对细长柱主轴的总弯矩
M_{ty}	极限荷载引起的对细长柱次轴的总弯矩
M_u	极限抵抗矩
M_{ux}	假定受轴向极限荷载和仅对主轴弯曲时短柱的最大承弯能力
M_{uy}	假定受轴向极限荷载和仅对次轴弯曲时短柱的最大承弯能力
M_x, M_y	极限荷载引起的对短柱的主轴和次轴产生的弯矩
M_0	产生零应力所需的弯矩
M_1	极限荷载引起的较小的初始端弯矩(假定柱以双曲率弯曲时为负)
M_2	极限荷载引起的较大的初始端弯矩(假定为正)
m	沿弯矩轴方向每单位长度的抵抗矩

m_x	x 方向钢筋(单位长度)的抵抗矩
m_y	y 方向钢筋(单位长度)的抵抗矩
N	所考虑截面上的极限轴向荷载; 总体大小
N_{axial}	作用有 $0.05Nh$ 的弯矩时柱的轴向受荷能力(N 和 h 见代号表另条)
N_{bal}	相当于平衡条件时柱的轴向荷载(见第三章第五节)
N_{ua}	不计弯曲时柱的轴向受荷能力
n	每单位面积总极限荷载; 样本数
n_s	层数
n_w	墙的单位长度轴向荷载
${}_nP_n$	从 N 中取 n 的排列数
Q_k	特征作用荷载
q	分布活荷载
q_k	单位面积上的特征活载
r	弯曲内半径
r_b^{-1}	梁跨中或支点截面的曲率
r_0^{-1}	初始曲率
r_{bi}^{-1}	由永久荷载引起的长期曲率
r_{cs}^{-1}	收缩引起的曲率
r_x^{-1}	梁 x 点的曲率
s	一般为补充钢筋的间距; 裂缝间距; (估计的) 标准偏差
s_b	钢筋间距
s_v	沿构件方向箍筋的间距
T	扭矩; 由极限荷载引起的扭矩
t	时间
u	周长
u_{crit}	临界周边的长度
V	极限荷载引起的剪力
V_c	混凝土的极限抗剪力
v	剪应力
v_c	混凝土极限剪应力
v_t	扭转剪应力
v_{tu}	极限扭转剪应力
W	一般为荷载
w	裂缝宽度; 分布荷载; 分布风荷载; 水的体积率; 组间隔(统计学)
W_k	特征风荷载
W_{var}	可变设计荷载(破坏时 $= 0.4G_k + 1.6Q_k$)
x	中性轴高度(仅指非弹性分析); 坐标
x_i	独立变量的第 i 个值
x'_i	第 i 组中点独立变量的值

x_0'	最低的 0 组中点独立变量的值
$\bar{x}$	总体平均值或试样平均值(估计)
x_1	箍筋的较小尺寸
y	坐标; 离中性轴的坐标距离(对梁正方向为向下)
$\bar{y}$	应力图块形心高度
y_1	箍筋的较大尺寸
Z	截面模量($= I/y$)
z	力偶臂, 坐标; 统计学系数($= D/\sigma$)
α	角度; 系数
α_c	柱刚度总和与梁刚度总和之比
α_{c_1}	柱下端 α_c 的值
α_{c_2}	柱上端 α_c 的值
$\alpha_{c_{min}}$	α_{c_1} 和 α_{c_2} 的最小值
α_e	模数比
α_n	系数, 为柱所受轴向荷载的函数
α_{sx}, α_{sy}	板角上无抗扭或阻止上翘设施时板的弯矩系数
β	角度; 系数
β_b	梁弯矩与梁内使用应力之比(见第三章第三节)
β_{red}	抵抗矩折减率
β_{sx}, β_{sy}	板角有抗扭和抗上翘设施时板的弯矩系数
β_w	素墙的系数, 取决于 b/h 之比
β_1	基底长边与短边之比
γ_f	荷载分项安全系数
γ_m	强度分项安全系数
ΔM_e	固端弯矩差
δ	偏离系数
δ_n	弹性理论的中性轴高度比(d_n/d)
ϵ_{cs}	收缩应变
ϵ_m	平均应变
ϵ_1	所考虑水平处的应变
ξ	系数(见 ξ, ψ, ζ)
θ	转角
θ_s	受压面和受拉钢筋间夹角
λ	系数
λ_w	墙的系数, 取决于尺寸大小及所采用的混凝土
μ	摩擦系数; 真实平均值
ν	泊松比
ξ, ψ, ζ	设计指南所给出的系数
ξ	系数