

陈惠发 著
周绥平 译

钢框架稳定设计

Stability Design of
Steel Frames

世界图书出版公司

钢 框 架 稳 定 设 计

世界图书出版公司

上海·西安·北京·广州

图书在版编目(CIP)数据

钢框架稳定设计/(美)陈惠发著;周绥平译-上海:
上海世界图书出版公司,1999.8
ISBN 7-5062-4298-2

I. 钢… II. ①陈… ②周… III. 钢框架:稳定性
设计 IV. TU398

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 33748 号

Copyright 1991 CRC Press

钢框架稳定设计

陈惠发著 周绥平译

上海世界图书出版公司出版发行

上海市武定路 555 号

邮政编码 200040

上海申光印刷厂印刷

各地新华书店经销

开本:850×1168 1/32 印张:13.875 字数:346 000

1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-5062-4298-2/T·29

图字:09-1999-168 号

定价 60.00 元

陈惠发(W. F. Chen)教授简介

陈惠发(W. F. Chen)教授是美国普渡大学土木工程学院结构工程系主任,并获美国乔治·古德文(George E. Goodwin)杰出教授荣誉头衔。陈教授 1959 年获台湾成功大学学士学位,1963 年获美国理海大学结构工程硕士学位,1966 年获美国布朗大学固体力学博士学位。1995 年入选美国国家工程院院士。

陈教授研究范围广泛,遍及工程材料本构模型、土壤及混凝土塑性、梁与柱的连接及结构稳定各个领域,是国际知名的专家,并先后荣获多项重要学术奖,包括美国钢结构学会希金斯奖(T. R. Higgins)、美国土木工程学会雷蒙·瑞斯研究奖(Raymond C. Reese),还有德国汉伯德基金奖(Von Humbolt)。

陈教授现为美国结构稳定研究学会执行委员会,及美国钢结构学会规范委员会成员。既是六家国际工程期刊编辑委员会的委员,又是结构工程及土木工程两种系列丛书的编辑。陈教授发表研究论文四百多篇,英文专著 17 册,主编英文书籍 11 册,合著及编写专章英文书籍 27 册。其中 Theory of Beam-Columns 一书(中文译本名为《梁柱分析与设计》)堪称稳定理论经典之作。陈教授最新发表的著作有:《钢框架稳定设计》(1991 年)、《混凝土结构工程施工过程安全分析》(1991 年)、《钢框架高等分析:理论、计算机程序及应用》(1993 年)以及两部关于材料本构方程的专著。

陈教授不仅研究学术卓有成就,而且对推动学术活动,热心土木工程教育事业更是不遗余力。曾赴世界各地讲学,他培养的硕

士、博士遍及世界各大洲。陈教授热爱祖国,对大陆及台湾的土木工程学术发展给予了极大的关心。陈教授的著作译为中文并在国内出版的有:《极限分析与土体塑性》(人民交通出版社,北京,1995年)、《梁柱分析与设计》(科技图书股份有限公司,台北,1994~1995年;人民交通出版社,北京,1996年)、《钢框架稳定设计》(上海世界图书出版公司,上海,1999年)。这些书能够在大陆、台湾出版,亦是陈教授鼎力支持的结果。

译 者 序

本书根据 W. F. Chen (陈惠发) 和 E. M. Lui 合著“Stability Design of Steel Frames”一书译出。本书对近年来美国在钢构件及钢框架弹塑性稳定问题, 以及连结柔性对框架承载力的影响的研究, 进行了系统而简要的论述。对于稳定问题本书从最基本的概念开始叙述。读者无须事先熟悉这一课题, 便可通过阅读本书了解这一领域的前沿研究成果。

在翻译本书的过程中, 陈惠发教授又专为本书撰写了中译版前言。前言中对近年来取得重大进展的各个工程结构领域作了简要总结, 并强调指出: 集现代稳定理论及塑性理论之大成的钢框架高等分析方法, 由于它能够较为真实算出计入连接柔性后, 框架构件塑性渐变的全过程, 同时又能较为准确地算出各种荷载下结构真实的弯矩分布情况, 因此, 它必将成为 21 世纪结构设计的基本工具, 成为编制新一代规范的基础。而本书的出版, 将对中国工程师了解和研究这一方法, 提供有力的帮助。因此, 本书的出版又是非常及时和重要的。

本书的翻译得到陈惠发教授的指导和帮助, 同时本书能够出版, 也是陈教授积极支持和帮助的结果。在此表示衷心感谢! 本书中译版前言特邀段炼博士翻译, 特此致谢!

本书可供从事建筑结构研究、设计、教学及工程建设中的科技人员使用。本书翻译疏漏之处在所难免, 敬请读者批评指正。

周绥平

1998 年 10 月 25 日

中译版前言

近四十年来,钢结构稳定研究取得了令人瞩目的成就。大量学术论文、博士论文和科学专著的出版发表以及高等学校各种新课的设置,都从不同的侧面反映了这种巨大的成就。但是我认为真正能够衡量结构工程领域成就的标准在于有多少科研成果能够应用于工程实践。质言之,科学研究的目的在于将其成果付诸实施。世界范围内的科学进步正在推动着工程技术的发展,当今工程师已对结构稳定有了更深刻的理解。下面我将为中国读者简要地总结取得重大进展的若干结构领域。首先从工程实例着手,然后介绍如何在更好地了解结构性能的基础上,进一步提出新的更好的设计方法。

结构构件的性能

六十至七十年代,人们应用大型计算机及有限单元法,对结构构件:如梁、柱及压弯构件(梁—柱)的强度和性能进行了非常深入的研究。许多成果已经被用于建筑规范和标准设计。特别值得一提的是:双向受力构件设计方法的重大改进。欧美各国大学和研究机构对此作了大量的研究。范围涉及各种平面和空间荷载组合作用下的压弯构件;研究手段包括足尺试验和复杂的有限单元分析。该成果已经列入美国钢结构协会(AISC)建筑规范及欧洲规范,成为标准的设计准则。详细内容可参考专著——梁柱理论(Theory of Beam-Column, W. F. Chen and T. Atsuta, 1976—1977, McGraw-Hill, New York)。该书分为两册已译为中文,并分别由北京人民交通出版社(简体字)及台湾科技图书股份有限公司(繁体字)出版,书名改为“梁—柱分析与设计”。

另一取得重大进展的领域是深水海洋平台结构大中型组装圆

管构件的设计。特别是以“静水压力对柱子承载力的影响”,“受损梁一柱的承载力和性能”,以及“灌浆加固的受损构件的性能”等几个专题研究为主导,对 API 规范(美国石油工业协会),及海洋平台结构的设计实践作出了重大修改。相关内容已在下述两部专著中详述:“海洋平台结构中的管状构件”(Tubular Members in Off-shore Structures, W. F. Chen and D. J. Han 1985 London),“圆管构件的分析及软件”(Analysis and Software of Cylindrical Members, W. F. Chen and S. Toma, 1996, Boca Raton)

结构体系的性能

三十五年前,当我刚从事这一领域的研究时,一个线弹性或简单塑性结构体系的一阶效应分析已是一个很难的课题。现在,随着计算技术奇迹般的进展,对一具有成千上万个自由度的复杂结构体系进行二阶非线性分析已是司空见惯。即使应用一个微型计算机,也可对各种高层建筑的结构体系进行有效地模拟计算。当前主要不足在于像混凝土楼板、组合结点及墙体这样的次要(附属)结构构件的性能还不能被有效地包括在计算模型中。

微机,特别是工作站在计算和图像处理方面的发展,已经使非常复杂的分析计算不成问题。虽然,目前工程设计中仍在采用一阶弹性和塑性分析,但新规范已推荐优先采用二阶分析方法。二阶非线性分析的基本理论已经成熟,并有专著详述,特别是周绥平教授翻译的本书“钢框架稳定设计”。考虑到将非线性分析用于设计已是指日可待,本书的翻译对中国工程师同仁是非常及时和重要的,因此将非线性分析应用于实践实在具有挑战性。

最近出版的两部专著 在运用“直接二阶非线性分析”进行框架设计。第一部专著“塑性设计和二阶分析”(Plastic Design and Second-order Analysis, W. F. Chen and I. Sohal, 1995)主要介绍了以美国钢结构协会 1993(1993, AISC-LRFD)荷载与抗力系

数设计规范为依据,融结构稳定理论和传统塑性理论为一体的设计方法,并详细探讨了各种框架结构的设计。另一部专著“钢结构荷载与抗力系数设计——高等分析法”(LRFD Steel Design Using Advanced Analysis, W. F. Chen and S. E. Kim, 1997)则提出了另一种不用 K-系数(有效长度系数),用“直接二阶非弹性分析”进行荷载与抗力设计的方法。该方法设计的结构完全满足 1993AISC-LRFD 规范要求。这两部专著中所阐述的实用高等分析法将激励着工程师采用更精确的分析方法和计算机程序。由于用高等分析法来设计可以更准确算出结构的破坏模式,使结构安全度更为统一,并增加使用期限且易于维修,因此代表最新技术的高等分析法将成为二十一世纪结构工程师的基本设计工具。

框架连接设计

传统的钢框架分析和设计通常都假定:梁与柱的连接或为完全刚性,或为理想铰接。事实上,所有现实中的框架连接既非完全刚性,也非理想铰接,而是介于这两种极端情况之间。虽然美国钢结构协会的荷载与抗力设计规范(AISC-LRFD, 1993)已规定了可在设计中明确考虑连接的柔性,但该规范却没有对设计半刚性框架(现称为部分约束的框架,或简称 PR 框架)作出任何具体的规定。为此,我和高藤、刘德源在 1996 年出版了新书——“半刚性框架的稳定设计”(Stability Design of Semi-Rigid Frames, W. F. Chen Y. Goto and J. Y. R. Liew, 1996)。该书以熟悉传统钢结构分析设计法而不甚了解直接二阶弹性或非弹性柔性连接框架分析的工程师为对象,详细探讨了柔性连接框架及普通框架的稳定设计。该书所提供的设计方法及便于自学的计算机软件,将使它成为结构工程师设计半刚性框架的必读之物。

新一代建筑规范

最初编制抗震设计规范时,人们主要考虑生命安全。随着工程实践的发展,以生命安全为依据的现行规范和不同建设单位及各种功能需求之间的矛盾越来越明显。震后加固造价猛增的趋势清楚地告诉人们:设计不仅要考虑结构的损坏,而且还要考虑加固补强的造价。1994年1月17日美国加利福尼亚州北岭(Northridge) 6.8级大地震再次证明这一点。震害调查表明:数百栋建筑中,钢结构除连接外没有发生倒塌破坏。人们发现隐藏于消防设施、墙体及天花板后的连接发生了严重断裂现象。因为只有对结构的损坏程度和加固的造价做出合理的估计后,才有可能设计出经济安全的抗震加固方案。抗震加固时,人们总是在安全与经济之间权衡选择。是拆除这些结构,还是修复已损坏的连接,完全取决于是否能以较合理的造价,运用当代工程技术加固连接并使它具有比以前更高的承载力。因此,深入研究下文所述的“框架设计高等分析”将为编制新一代规范提供必要的基础。

框架设计高等分析

目前,人们已经能够计算出结构在地震荷载作用下进入非线性范围内的行为。高等分析集稳定理论和塑性理论之大成,能够算出刚性或柔性连接的钢框架中各构件塑性渐变的全过程。该方法的最大功能在于它能够准确地计算出各种荷载作用下结构的真实弯矩分布,使人们能根据构件的塑性弯矩承载能力有目的地(策略地)在结构中设置一些“断点”,并以这些结构“保险丝”的献身,来确保整体结构及大部分连接仍处于安全可靠状态。这样不仅可以降低震后补强的费用,而且还可以预示连接破坏的位置,从而使震害调查的费用大为降低。

为了使高等分析应用于工程实践,研究生的培养是高等学校

科学研究的基础性工作。我相信,随着本书中译本的出版,中国的高校及研究机构将会培养出更多的高水平的一流结构工程专家和工程师。将先进的国外科技专著译成中文,意义深远。为了使读者进一步了解作为结构工程专业跨入二十一世纪的最新设计法——高等分析技术,下面列出我近年编著的一系列有关结构稳定和塑性的书籍,以供参考。

- “结构稳定:理论与实践”(Structural Stability: Theory and Implementation, W. F. Chen and E. M. Lui, 1987)。

- “塑性理论——结构工程师”(Plasticity for structural Engineers, W. F. Chen and D. J. Han, 1988)。

- “结构塑性:理论、例题和 CAE 软件”(Structural Plasticity: Theory, Problems and CAE Software, W. F. Chen and H. Zhang, 1990)。

- “钢框架高等分析”(Advanced Analysis of Steel Frames, W. F. Chen and S. Toma, 1994)。

- “钢框架高等分析和设计——塑性铰法”(D. W. White and W. F. Chen, 1993)。

Wai-Fah Chen(陈惠发)

美国印第安那州·西拉菲耶特市
普渡大学(Purdue University)

1996 年 11 月

前 言

自《梁柱理论》一书(上、下卷, W. F. Chen 及 T. Atsuta 著, 纽约 McGraw-Hill 出版社 1976—1977 年出版)问世以来, 我们对钢构件及钢框架性能及设计诸方面的了解已有极大的增加, 并且在过去的十年里又有了许多延伸和推广。尤其是计算机硬件及软件的迅速发展, 使得工程师及设计师们能够更加准确地预测结构特性。随着对结构特性的深入了解, 结构分析方法也得到了很大的改进。工程师们已能够采用极限状态设计法。极限状态是指结构构件或其部件在正常条件(使用极限情况)下, 不能完成预期功能, 或者是在非常情况(最终极限状态)下产生破坏的情况。最近, 美国钢结构学会出版的荷载抗力系数设计规范(LRFD, AISC 1986), 就采用了极限状态法。一般说来, 此法用于钢结构设计更为合理, 尤其是钢梁柱设计。

本书对近年来钢构件、钢框架设计及分析研究作了简要的概述, 其目的在于, 就非弹性构件与框架分析和设计, 以及结点柔性对框架性能及设计的影响等当前的热门课题, 给读者提供一个参考线索。

本书具有实用价值, 对于结构稳定理论和设计的传统教科书, 本书是有益的补充。本书所选内容, 从杆件到连接乃至框架均作了系统的编排。由此可以引导读者无须事先熟悉这一课题, 便可走向当前该项研究工作的前沿。实际上, 由 W. F. Chen 编写的专著:

《钢框架结点的柔性》(1987)和《钢梁与钢柱的连接》(1988)(伦敦 Elsevier Applied Science 出版社出版)中的大部分内容,都是极为新颖的原始材料。这里,我们将这些材料与 Purdue 大学、Syracuse 大学以及其它各地的最新研究成果融为一体,构成本书的基本内容。本书所提供的系统编排的材料,在这一领域的一般参考书中尚未出现。

W. F. Chen
E. M. Lui 1991.

符 号

荷载及弯矩

P	轴向荷载
p	P/P_y = 无量纲轴向荷载
P_{cr}	弹性屈曲荷载
P_e	$\pi^2 EI/L^2$ = 欧拉屈曲荷载
P_{ek}	$\pi^2 EI/(KL)^2$ = 考虑柱端约束条件的弹性屈曲荷载
P_n	标准轴向承载力
P_u	考虑几何缺陷及材料塑性的柱极限承载力(即柱所需极限承载力—译者注)
P_y	AF_y = 屈服承载力
M	弯矩
m	M/M_y = 无量纲弯矩
M_1, M_2	分别为梁柱小端弯矩及大端弯矩
M_{cr}	弹性屈曲弯矩
M_{ocr}	$(\pi/L)\sqrt{(EI_y GJ)}\sqrt{(1+W_R^2)}$ = 纯弯时的弹性屈曲弯矩, 式中 $W_R^2 = (\pi^2/L^2)(EC_w/GJ)$
M_{eq}	$C_m M_2$ = 等效均匀弯矩
M_n	标准弯矩承载力
M_{ll}	框架侧移引起的构件所需抗弯承载力
M_{nl}	假定框架无侧移时,构件所需抗弯承载力
M_p	ZF_y = 塑性弯矩
P_{pc}	考虑轴力影响的塑性弯矩
M_u	考虑几何缺陷及材料塑性的梁极限抗弯承载力(即梁所需抗弯承载力—译者注)

M_y SF_y = 屈服弯矩

几何特性及尺寸

A 截面积

b 受压单元的宽度

b_f 翼缘宽度

C_w 截面翘曲常数

e 端部偏心

d 构件总高度

h 楼层高度

I Ar^2 = 惯性矩

J 截面均匀扭转(森文南扭转)常数

L 长度

r $\sqrt{(I/A)}$ = 回转半径

S 弹性截面模量

t 连接部分厚度

u, v 分别为 x 及 y 方向位移

Z 塑性截面模量

Φ 曲率

Φ_y M_y/EI = 屈服曲率

ϕ Φ/Φ_y 无量纲曲率

λ_b $\sqrt{(M_p/M_{cr})}$ = 梁的长细比

λ_c $\sqrt{(P_y/P_{ck})} = KL/\pi r \sqrt{(F_y/E)}$ = 柱长细比参数

δ 柱的侧向挠度

Δ 框架侧向位移

Δ_0 计算楼层一阶侧向位移

γ 扭转角

材料参数

E	钢材弹性模量(29000ksi)
G	钢材弹性剪切模量(11 200ksi)
F_y, σ_y	屈服应力
ν	泊松比

与稳定及 LRFD 有关的系数

A_F	放大系数
B_1	LRFD 中梁柱 $P-\delta$ 弯矩放大系数 $= C_m / (1 - P/P_{ek}) \geq 1.0$
B_2	LRFD 中梁柱 $P-\Delta$ 弯矩放大系数 $= 1 / [1 - \sum (P/P_{ek})]$ 或 $1 / [1 - \sum (P\Delta_0/hH)]$
C_b	M_{cr}/M_{ocr} = 梁等效弯矩系数
C_m	梁柱等效弯矩系数
K	$\sqrt{(P_e/P_{ek})}$ = 等截面构件有效长度系数
k	$\sqrt{(P/EI)}$
G_A, G_B	结点弯曲刚度比
ϕ	抗力系数
ϕ_b	弯曲抗力系数 = 0.9
ϕ_c	受压抗力系数 = 0.85
u	$kL/2$
s_{ii}, s_{ij}	稳定函数

连接参数

C, D	曲线拟合常数
K	标准化参数

M	连接弯矩
M_u	连接极限抗弯承载力
n	形状参数
R_k	连接刚度
$\bar{R}_k$	$R_k L / EI =$ 无量纲连接刚度
R_{kb}	计算 M_{li} 所用的设计连接刚度
R_{kf}, R_{kp}	应变硬化连接刚度
R_{ki}	初始连接刚度
R_{k0}	计算 M_{at} 所用的设计连接刚度
θ_r	连接转动变形