

金 属 结 构

稳 定 设 计 准 则 解 说

〔美〕 B.G. Johnston 主编

董其震 宋慕兰 方根生 译
 荣廷玉 胡正民
 钱冬生 校

中 国 铁 道 出 版 社

1981年·北京

金 属 结 构

稳 定 设 计 准 则 解 说

〔美〕 B.G.Johnston主编

董其震	宋慕兰	方根生	译
	荣廷玉	胡正民	
	钱冬生	校	

中 国 铁 道 出 版 社

1981年·北京

内 容 简 介

本书是美国“结构稳定研究委员会”主持编写的关于金属结构稳定问题的设计参考用书。主要介绍各种受压构件(包括压杆、梁、压弯杆、平板、拱、壳、多层刚架及结合柱等)稳定研究最新成果及实用设计方法,并系统而详尽地介绍了当代世界各国这方面的研究情况,内容丰富,有益于实用。可供金属结构设计和研究人员、规范制订人员以及大专院校师生参考。

Structural Stability Research Council
Guide to Stability Design Criteria for Metal
Structures

Third Edition
edited by Bruce G. Johnston
John Wiley & Sons, Inc. 1976

金属结构稳定设计准则解说

董其震 宋慕兰 方根生 荣廷玉 胡正民 译
钱冬生 校

中国铁道出版社出版

责任编辑 王能远 封面设计 王毓平

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: 22.375 字数: 426 千

1981年11月 第1版 1981年11月 第1次印刷

印数: 0001—4,500册 定价: 2.30元

译 序

自从在工程技术方面应用电算以来,结构设计理论业已发生了根本性的变化。以结构稳定理论中的一个简单问题,即两端铰接的中心受压钢杆件为例,在电算没有被引用时,一般还是习惯于用理想直杆为其数学模型。这种模型和实用杆有很大出入。而且,实用杆的缺陷对于压杆计算成果的复杂影响,也很难用所设特殊安全系数来表达。von Kármán 在其1908年所开始作的博士论文中,业已提出一个可以用于推算有缺陷钢杆压溃荷载的方法,但因计算繁复,在金属结构稳定的若干专著中也不愿介绍。到六十年代后期,所说的计算困难已因采用电算而可以克服,但积习相沿,许多钢结构设计规范在其中心压杆容许应力的制订中,所采用的还是从前的那一些作法。

笔者曾于1972~1974年参加我国《铁路工程技术规范》关于钢桥条文的修订。当时曾在评述国外钢压杆研究的基础上,建议取有缺陷的实用杆为计算模型,求算其压溃荷载,借以制订压杆容许应力。这一建议业经采纳,在所进行的计算中,也开始使用了电算。其情况可参看钱冬生著《钢压杆的承载力》一书,人民铁道出版社,1979年版,第六章。

为了将我国钢结构稳定问题的研究推向新的高度,对世界各国在这方面的最新成果作一鸟瞰,殆属必需。据了解:美国各种钢结构规范(包括公路桥、铁路桥、各类建筑物、容器、管道等)关于稳定问题的规定,实质上都是以美国结构稳定研究委员会(原名压杆研究委员会)所提供的资料和建议为其依据。而为了给钢结构规范和细则的制订者以方

便，该委员会历来就编写有《金属结构稳定设计准则解说》一书，全面而及时地介绍当代各国新的成果，并提出建议乃至算例。《解说》的内容，现不但包括压杆、梁、压弯杆、拱和平板，还包括圆形筒壳、球状壳、多层刚架以及结合柱（指外包或内填混凝土的钢柱）等，内容丰富，参考文献达1,000种以上，反映了当代水平。其中大多数新问题几乎都是借助电算来解决的，手此一卷，对于钢结构稳定问题研究的前景，殆可预测一二。

现将《解说》的最新版本（第3版，1976年）译出*，以飨读者，希望钢结构规范的制订者，重要钢结构的设计者，广大的钢结构工作者，能从中获得一些对各自所从事的工作有益的资料。

钱冬生 1980.11.
于西南交通大学

*本书各章的译者为：第1、2、3、8章——董其震，第4、5、6、7、9章——宋慕兰，第11、13、15、19章及附录B——方根生，第10、16、18章——荣廷玉，第12、14、17章——胡正民。

前 言

从1944年创立时开始,结构稳定研究委员会 (Structural Stability Research Council, 以前是CRC) 的主要目标,就是推动金属结构受压部件所进行的研究,并对其设计方法的改进给予帮助。对于从事实际工作的工程师和规范修订者,委员会在提供简单而精炼的设计方法,并指明其限制方面,作出了解说。

1956年, L.S. Beedle和Jonathan Jones为本解说起草了它的第一个大纲。1960年,本解说第一版问世;对于委员会的第一位主席,当时所刊出的献词是:“十二年来,委员会第一任主席Shortridge Hardesty慷慨地付出时间、精力和物质支援。他既抓紧工程实用问题,也抓紧需要研究的基本理论。对于所有在CRC工作的人讲,他的影响是深得人心的。”

本解说第三版,新增的章节是不少的。在第一版,全书包括五章;在第二版,七章;在第三版,计十九章。在第三版,新的主题是:壳及类壳结构,拱,多层刚架,结合柱,厂房柱,楔形杆件。比旧版增订较多的是:筒壳杆件,薄壁构造,加劲板,动力荷载效应,结构安全度。

(此处略去委员会对主编、参与编写人员、资助单位的感谢等文字——译者)

在1975年,当本解说第三版的稿件业已在出版单位时,委员会的名称从CRC改为现名(即Structural Stability Research Council),借以反映其在三十多年的活动中所已扩大的研究范围。相应地,本解说的名称也改为《金属结构稳

定设计准则解说》。只因稿件在其时业已发排，在本解说的正文和若干标题之中就有很多地方仍用旧名。

本解说编辑委员

E.H.Gaylord, Chairman	J.A.Gilligan
A.Amirikian	G.Haaijer
W.J.Austin	T.R.Higgins
L.S.Beedle	J.S.B.Iffland
C.Birnstiel	S.H.Iyengar
K.P.Buchert	A.L.Johnson
J.W.Clark	B.G.Johnston
A.P.Cole	R.G.Kline
D.A.DaDeppo	F.D.Sears
J.L.Durkee	D.Sfintesco
S.J.Errera	D.R.Sherman
G.F.Fox	J.Springfield
T.V.Galambos	G.Winter

关于本书所用代号、缩写及 计量单位的说明

(一) 型钢及杆件截面

在1970年,美国钢结构手册正式采用业已通行于美国钢铁界的型钢代号,其字母和所指型钢的关系如下:

W——宽翼缘工形钢

S——标准工形钢

C——标准槽形钢

HP——用作支承桩的宽翼缘工形钢

M——不属于W、S、HP的工形钢

MC——非标准的槽形钢

WT, ST, MT——由W、S、M切成的T形钢

列在字母后的数字,位于 $\times$ 号前者表示截面高度以in.计,位于 $\times$ 号后者表示单长重量以lb/ft计。例:W12 $\times$ 65表示截面高度为12 in.,每ft重65lb的宽翼缘工形钢。

又:焊接宽翼缘截面每用WW表示,例:WW23 $\times$ 681表示截面高度23 in.,每ft重681lb的焊接宽翼缘工形截面。

又:L表示角钢,其后数字表示肢宽及肢厚,以in.计。例:L6 $\times$ 4 $\times$ 5/8表示肢宽分别为6及4 in.,肢厚为5/8 in.的角钢。

又:PL表示板钢,其后的数字现改为先写厚度,后写宽度。例:PL $\frac{1}{2}$ $\times$ 18表示厚度 $\frac{1}{2}$ in.的板钢,宽度为18 in.。

(二) 应 力 方 面

用 f 表示计算应力，用 F 表示容许应力（但屈服点用 F_y 表示，可称例外），加角注表示应力性质。例：

f_a ——平均压应力（中心受压时）

f_b ——弯曲（纤维）压应力

f_v ——腹板平均剪应力

F_a ——压杆容许压应力（中心受压时）

F_b ——弯曲容许（纤维）压应力

F_y ——屈服点

也用 σ 和 τ 表示应力，这在不少情况和 f 或 F 相通。例：

σ_a ——平均法应力

τ ——剪应力

σ_y ——屈服强度，屈服平值应力

(三) 缩 写

AA 铝协会

AASHTO 美国公路及运输工作者协会

AISC 美国钢结构学会

AISE 铁钢工程师协会（美国）

AISI 美国铁钢学会

AREA 美国铁路工程师协会

ASCE 美国土木工程师学会

ASME 美国机械工程师学会

ASTM 美国材料和测试学会

CISC 加拿大钢结构学会

CRC 压杆研究委员会

CSA 加拿大标准协会

目 录

关于本书所用代号、缩写及计量单位的说明 1

第一章 绪论 1

1.1 金属柱的历史和现状 1

1.2 解说的范围和梗概 2

1.3 结构金属的力学特性 4

1.4 定义13

1.5 曲后表现16

第二章 结构安全度19

2.1 引 言19

2.2 结构安全度的概念19

2.3 荷载系数和抗力系数设计法（极限状态设计）22

2.4 柱子的安全度24

2.5 柱子支承细节的安全性25

第三章 中心受压柱29

3.1 引 言29

3.2 压屈荷载理论30

3.3 几何缺陷的影响44

3.4 铝合金柱的强度47

3.5 钢柱的强度58

3.6 钢柱设计考虑事项69

3.7 构架柱的有效长度81

3.8 变截面压杆85

3.9 对侧向支撑的要求85

第四章 板的局部屈曲92

4.1 引 言92

4.2 板在均匀压应力作用下的压屈应力94

4.3 轧制型材和箱形杆板件的系数 k	98
4.4 由压屈应力所决定的最小板厚	102
4.5 基于曲后强度的轴向受压板的有效宽厚比	106
4.6 在其他边缘加载条件下的板件	115
第五章 动载效应	131
5.1 引 言	131
5.2 参数谐振	133
5.3 简支常截面压杆	134
5.4 其他成果	136
第六章 侧向无支撑梁	141
6.1 引 言	141
6.2 矩形和箱形梁	147
6.3 双对称的工形梁和板梁—引言	151
6.4 方法A: 双对称工形梁和板梁的基本设计方法	153
6.5 方法B: 关于双对称工形梁和板梁简化的单一公 式法	160
6.6 方法C: 对于双对称工形梁和板梁简化的双式法	162
6.7 关于双对称工形梁和板梁设计公式的总结	163
6.8 对于 y - y 轴对称而对于 x - x 轴不对称的板梁	164
6.9 具有变翼缘面积的双对称板梁	168
6.10 连续梁	169
6.11 槽形和特种型材	170
6.12 侧向支撑类型	172
6.13 混凝土外包层的作用	173
第七章 板 梁	179
7.1 引 言	179
7.2 以腹板压屈作为设计的基础	180
7.3 板梁的抗剪强度	182
7.4 无中间加劲肋的板梁	197
7.5 板梁的弯曲强度	198
7.6 弯矩和剪力的复合	202

7.7 有纵向加劲肋的板梁	204
7.8 端板段	208
7.9 加劲肋的设计	209
7.10 在边缘荷载作用下的板段	212
7.11 疲劳	215
7.12 所需进行的研究	215
第八章 压弯杆	228
8.1 引 言	228
8.2 以纤维屈服时的荷载为基准的压弯杆设计	232
8.3 不发生侧向屈曲的压弯杆的强度	236
8.4 侧向无支撑的压弯杆的强度	242
8.5 端弯矩不等时的压弯杆	244
8.6 有横向荷载的压弯杆	245
8.7 双向弯曲的压弯杆	247
8.8 对交叉影响设计公式的评价	259
8.9 受约束的压弯杆	262
8.10 设计动向和所需进行的研究	264
第九章 薄壁金属结构	278
9.1 引 言	278
9.2 受弯构件	279
9.3 受压杆件	295
9.4 薄壁骨板的隔板作用	308
9.5 对支撑的要求	309
第十章 圆管和壳	320
10.1 引 言	320
10.2 制造	320
10.3 材料性质	322
10.4 屈曲的一般表现	323
10.5 受轴压的圆管及筒壳	325
10.6 弯矩作用下的筒壳	346
10.7 扭矩作用下的筒壳	348

10.8	承受横向剪力的筒壳	351
10.9	匀布压力作用下的筒壳	351
10.10	复合加载的筒壳	376
10.11	特殊课题	385
第十一章	楔形杆件	406
11.1	引言	406
11.2	刚架分析	407
11.3	应力分析	414
11.4	楔形杆件的稳定性	416
11.5	轴向压力公式的推导	419
11.6	弯曲公式的推导	424
11.7	交叉影响: 轴向压力和弯矩	431
11.8	小结	434
第十二章	缀条、缀板或孔板组合压杆	438
12.1	引言	438
12.2	轴向力和剪切变形的影响	440
12.3	缀条式杆件	441
12.4	缀板式压杆	447
12.5	系板和系板柱	452
12.6	孔板式压杆	456
12.7	格构式塔架和桅杆的设计	458
第十三章	厂房柱	462
13.1	引言	462
13.2	阶形柱的有效长度	464
13.3	阶形柱的设计方法	466
13.4	设计趋势和所需进行的研究	474
第十四章	横向弹性约束杆	476
14.1	引言	476
14.2	受压弦杆的压屈	478
14.3	次要因素对压屈荷载的影响	485
14.4	由于横梁弯曲和弦杆初偏心所引起的上弦应力	486

14.5	设计步骤	487
14.6	受压翼缘有弹性支撑的板梁	491
14.7	有缆风的塔架	491
第十五章	多层刚架	497
15.1	引言	497
15.2	刚架的屈曲和失稳	497
15.3	抵抗侧向荷载所用的方法	500
15.4	有效长度设计法	501
15.5	K 的确定	505
15.6	柱脚对 K 的影响	510
15.7	柔性连接对 K 的修正	510
15.8	残余应力和有效惯性矩对 K 值的影响	511
15.9	楼板的隔板作用和刚架扭转失稳问题	512
15.10	塑性设计法	513
15.11	P/Δ 设计法	519
15.12	用容许应力法所设计的刚架的强度——综合论述	525
15.13	可按不考虑失稳来设计的刚架	532
15.14	设计例题	533
第十六章	拱	549
16.1	引言	549
16.2	拱在单纯轴压时的面内弹性屈曲	549
16.3	拱在一般荷载作用下的面内屈曲	556
16.4	拱的弯曲分析	562
16.5	扁拱	563
16.6	对称荷载下的对称扁拱	565
16.7	曲杆的面外屈曲	572
16.8	圆弧拱形杆件的面外屈曲	573
16.9	抛物线拱的面外屈曲	576
16.10	横撑拱	578
16.11	在侧向力作用下的侧向挠度和应力的增大	579

16.12 开口薄壁截面拱	579
第十七章 加劲平板	587
17.1 引 言	587
17.2 分析方法	587
17.3 加劲板件在单轴压力下的弹性屈曲	588
17.4 纵向加劲板在纵向压力下的曲后表现	595
17.5 正交异性板的屈曲	599
17.6 压力和剪力的组合	605
17.7 受压并横向承载的板	609
17.8 残余应力	611
17.9 需要研究的问题	614
第十八章 壳及壳状结构	618
18.1 引 言	618
18.2 总体屈曲——球面壳状结构	620
18.3 局部屈曲——球面壳状结构	625
18.4 构件屈曲	626
18.5 设计的趋势及待研究的问题	626
第十九章 结合柱	631
19.1 引 言	631
19.2 外包混凝土的型钢柱的研究	635
19.3 外包混凝土的型钢柱的设计	637
19.4 混凝土填充钢管的研究	649
19.5 内填混凝土钢柱的设计	650
19.6 设计趋势和所需进行的研究	656
附录A 综合性参考文献	663
附录B 压杆研究委员会技术备忘录	667

第一章 绪 论

1.1 金属柱的历史和现状

无论是人工结构还是天然结构，或是在房屋建筑和桥梁之内，或是在树木和植株之内，在抵抗重力荷载方面，柱子都是关键性构件。

金属柱的发展是与下述工作的发展相联系的：理论研究、材料、试验机、测试仪表、设计方法和设计的标准化。近代压杆理论的创立是1744年从Euler（欧拉）开始的。那时，结构金属还没有在工程上应用，设计基本上仍然被当作艺术，用柱子理论去进行设计也就没有多大需要了。但在1783年，熟铁轧制型材开始生产，接着出现了结构钢。而在1856年，Bessemer的转炉炼钢法又使它（即结构钢）能够供应市场需要。熟铁和钢，是它们促使十九世纪二十年代所开始的铁路建设得到了发展，而铁路的发展又产生了对铁路桥梁的需要。这样，在金属结构设计中使用压杆理论的真正推动力就开始到来了。

1807年，Thomas Young就决定了直杆在偏心荷载作用下，以及具有初曲的压杆在中心荷载作用下的理论挠度曲线，但直到1858年，才产生了“正割公式”，后来，这个公式便成了铁路桥梁规范压杆公式的基础。在十九世纪后期，有了测量应变的仪器，定量的试验研究从此成为可能。与此同时，为使欧拉算式能用来推算非弹性阶段的压屈荷载，曾有人对它提出了修正。

现代桥梁和房屋建筑设计规范是在过去80年间发展起来

的。在这期间，理论、实验技术和结构研究成果不断地经历着提炼、成长以及多样化的过程。最近30年的主要成就则是：关于残余应力对钢柱非弹性状态作用的认识，关于塑性设计的研究，关于结构体系的大型实验，以及关于利用电子计算机解决结构设计中的复杂力学问题能力的飞速提高。压杆研究委员会（CRC）的意图，就是想在这本解说中，将进一步改善金属压杆和金属结构设计准则所需的基础知识献给读者。

1.2 解说的范围和梗概

解说给出了关于理想压杆及结构的压屈荷载的计算*。在某些场合，它也给出了有初始缺陷杆件的工作表现那样一些更富现实意义的问题。对压屈荷载理论的研究，可以增进我们对压屈现象的理解，可以提供在缺陷降低到零时的那个极限状态现象，并且为某些情况提供有用的设计准则。但若曲后承载力显然大于或者显然小于压屈荷载，那末，在决定设计所取安全荷载方面，它（曲后承载力）当然就应有重要意义。而本解说的意图，是让规范修订者或工程师，按照他所认为恰当的保险程度去决定设计荷载。

由于在研究方面时常会有新发现，在材料、制造工艺和设计方法方面时常会发生变化，在型材和杆件方面时常会有新品种或新形式，定期地对压杆理论和设计的关系进行审查就是必要的了。

本解说第3版反映了最近的研究成果，它包括下述内容：

1. 关于钢压杆残余应力的研究，着重于热轧梁和柱的重型型材，以及焊接的重型H形和箱形截面杆。

*见1.4节“定义”及1.5节“曲后表现”。