

低层轻钢骨架住宅设计

——工程计算

丁成章 编著



机械工业出版社

本书是《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书的姊妹篇，但侧重于基础理论和实例计算。本书通过对国外冷轧薄壁轻钢构件设计规范的介绍和对低层轻钢骨架住宅设计方法和实例计算的介绍，能加深读者对受压薄板屈曲后强度、总截面、净截面和有效截面（或有效长度）的理解，也使得读者对扭转截面特性的主要参数，如 St. Venant 扭转常数 J 、扭曲扭转或翘曲（GBJ18—1987 称之为扇性抵抗矩）常数 C_w 、剪力中心位置 (X_0, Y_0) 和单对称常数 β_x 、以及空腔结构截面（HSS）的扭转常数 C 和剪力常数 C_{RT} 有一个全面的了解，并懂得如何在设计工作中去应用这些参数。

本书可作为高等工科院校结构类专业的参考教材，更适用于钢结构建筑行业的技术教育培训，也可作为钢结构建筑设计、研究和施工企业人员的设计参考书。

图书在版编目（CIP）数据

低层轻钢骨架住宅设计——工程计算/丁成章编著. —北京：机械工业出版社，2003.4

ISBN 7-111-11742-5

I. 低... II. 丁... III. 低层建筑：住宅—轻型钢结构—结构设计—工程计算 IV. TU241

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2003）第 012526 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：杨少彤

责任编辑：杨少彤 版式设计：张世琴 责任校对：罗莉华

封面设计：张 静 责任印制：

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·12 印张·290 千字

0 001 - 册

定价： 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

冷轧薄壁轻钢构件设计规范是属于钢结构建筑设计中的基础性规范，是低层（6层以下）轻钢骨架住宅骨架设计和高层建筑的维护和楼层骨架设计的指导性规范。近20年来，尤其是近10年来，发达国家在这一技术和产业领域发展步伐很快，已经形成了一个新的经济增长点。

当前中国的钢结构住宅市场也正蓄势待发，而我国目前尚没有制定出自己的冷轧薄壁轻钢构件设计规范，因而严重制约了我国钢结构产业的发展，难以形成新的产业和经济增长点。而本书依据当前国外已经成熟的技术标准，加以整理、归纳，期望能起到抛砖引玉的作用，促进中国钢结构住宅产业快速跟进国际先进技术和产业潮流。

本书第一章介绍了冷轧薄壁轻钢构件在国内外的的发展历史及应用现状。

本书第二章介绍了欧洲冷轧薄壁轻钢构件设计规范 EuroCode3，对一些基础性概念进行了很清晰的解释，使读者容易理解，比如，第二弯矩或附加弯矩（GBJ18—1987称之为双弯矩），局部失稳和整体失稳的现象和定义解释等。

本书第三章提供的一些公式是近年来国际钢结构材料行业的最新科学研究成果，用来计算结构型钢的扭转截面特性。国内目前出版的钢结构手册和教科书中基本都没有这些结构工程师经常需要的型钢的扭转截面特性参数。

本书第四章介绍了用查表法设计冷轧轻钢骨架住宅的方法。

本书第五章是按美国钢铁协会（AISI）设计规范要求，利用当代材料力学的最新研究成果，用工程计算的方法对低层轻钢骨架住宅的各个部件进行设计计算。

本书第六章是冷轧轻钢骨架构件截面特性表，也是国内目前出版的钢结构手册和教科书中所没有的内容。

本书第七章简介了轻钢骨架住宅的历史沿革及其所表现出来的美国建筑文化特征。

本书把当代材料力学的最新研究成果与钢结构建筑的应用实践结合起来而写，可作为高等院校结构专业的参考教材，还可作为有关行业设计和施工技术人员的技术参考书。其内容不但可用于低层（6层以下）轻钢骨架住宅和楼宇的设计验算和校核，也可供多层或高层建筑的轻钢骨架外围护墙和内隔墙设计参考。

丁成章

2003年1月于深圳

主要符号表

a_0	腹板直线宽度	I_y	对垂直重心轴的转动惯量
a_e	腹板有效宽度	J	St. Venant 扭转常数
a'	腹板孔位处测量的腹板剩余直线宽度	k_v	剪翘系数
A	面积	L	活荷载, 腹板孔长度, 单跨跨度
b	边缘尺寸	L_A	阁楼活荷载
b_{eff}, b_e	边缘有效宽度	L_f	楼层活荷载
b_0	边缘直线宽度	L_r	屋顶活荷载
b'	轴线交点之间的板长	m	剪力中心与腹板中心线之间的距离
B	建筑物宽度	M	施加的弯矩
B'	屋顶悬挑	M_a	允许弯矩
c	唇缘尺寸	M_s	屈服弯矩
c_0	唇缘直线宽度	M_u	极限弯矩
c_e	唇缘有效宽度	M_y	对 y 轴的允许弯矩
C_w	扭曲扭转 (或翘曲) 常数 GBJ18—1987 称其为扇性抵抗矩	N	孔宽, 支撑长度
C_{RT}	剪力常数	N_{eff}	有效托梁的数量
d	腹板尺寸	P	集中荷载或反作用力
d_s	沿着周边的长度单元	P_a	单个腹板允许临界集中荷载或反作用力
dA	面积单元	q_s	腹板孔缩减系数
D	静荷载, 腹板孔深度	Q	相对中性轴而言, 靠近外侧中性轴部分的静弯矩
D_c	天花静荷载	r	中性轴半径
D_f	楼层静荷载	R	内侧圆角半径
D_r	屋顶静荷载	R_c	腹板断裂缩减系数
D_w	墙静荷载	R_x	对水平重心轴的回转半径
D_x	垂直于托梁的弯曲刚度	R_y	对垂直重心轴的回转半径
D_y	平行于托梁的弯曲刚度	R_o	回转极半径
E	弹性模量	S	间距, 雪荷载
E_c	楼层粗地板的弹性模量	S_e	有效截面模数
F_q	无孔截面抗剪承载能力	S_x	对水平重心轴的截面模数
F_{qk}	有孔截面抗剪承载能力	S_y	对垂直重心轴的截面模数
F_{cr}	腹板临界强度	t	厚度
G	剪切模量	t_0	基本材料厚度, 或最小未镀层交付厚度
H	高度	T	扭矩
I	惯性矩	V	风速, 剪力
I_x	对水平重心轴的转动惯量	V_1	孔边缘的最大施加剪力

V_2	孔边缘的最小施加剪力	σ_u	极限正应力（等于抗拉强度）
V_a	允许剪切强度	σ_y 或 σ_s	屈服应力
V_{al}	带孔腹板允许剪切强度	σ_{ya}	冷轧加工后的屈服强度
w	每米荷载，线荷载	σ_{yf}	原始屈服点
w_t	全荷载	ρ	钢材密度，宽度缩减系数
w_l	活荷载	ρ_l	每米总重量
W	风荷载，每平方米荷载	ρ_{l0}	每米净重量
x	孔边缘到支撑边缘最近的距离	δ_{max}	允许挠度极限
x'	质心与腹板中心之间的距离	δ_{ot}	单跨预测挠度
x_{cg}	中性轴距顶部的距离	δ_0	楼层中部的挠度
x_0	剪力中心到质心的水平距离	λ	苗条系数或薄板系数
y_0	剪力中心到质心的垂直位置	Ω	安全系数
y_{cg}	中性轴距顶部的距离	β	单对称常数
σ_b	抗拉强度（等于极限正应力）	τ	横截面上的剪应力

目 录

前言		三、剪力中心	21
主要符号表		四、单对称常数	21
第一章 绪论	1	五、空腔结构截面 (HSS) 扭矩常数	21
一、冷轧薄壁轻钢构件简介	1	六、空腔结构截面 (HSS) 剪力常数	21
二、冷轧薄壁轻钢构件的结构特性	1	第三节 扭转截面特性参数实例计算	22
三、冷轧薄壁轻钢构件在中国的发展		一、开口横截面	22
现状	2	二、封闭横截面	29
四、冷轧薄壁轻钢构件在世界上的发展		第四章 用查表法设计冷轧轻钢骨架	
现状	3	住宅	32
五、现阶段发展我国冷轧薄壁轻钢构件		第一节 绪言	32
及住宅产业的对策与思考	5	第二节 骨架构件	33
第二章 欧洲冷轧薄壁轻钢构件设计		第三节 楼层骨架选型	34
规范简介	7	第四节 墙骨架选型	35
第一节 设计基础	7	第五节 屋顶骨架选型	38
第二节 局部失稳	10	第五章 用工程计算法设计冷轧轻钢骨	
第三节 横截面的局部承载力	14	架住宅	41
一、轴向拉伸	14	第一节 绪言	41
二、轴向受压	14	第二节 截面特性计算方法和实例计算	41
三、弯矩	15	一、S 截面 C 型钢柱 (或梁) 的截面特性	
四、受拉、受压和弯曲组合	15	计算方法简介	42
五、扭转	16	二、89S41—1.09 型钢的截面特性实例	
六、剪力	16	计算	49
七、局部横向力	16	三、203S41—1.37 型钢的总截面特性实	
八、组合力	17	例计算	58
第四节 构件整体失稳承载能力	17	第三节 螺钉能力计算方法和实例计算	67
一、轴向受压	17	一、螺钉能力计算方法简介	67
二、构件弯曲时的侧向扭转失稳	18	二、螺钉能力实例计算	68
三、弯曲与轴向受压	19	第四节 楼层托梁设计方法和实例计算	70
第五节 适用性限制规定	19	一、楼层托梁设计方法简介	70
第三章 当代材料力学研究成果简介 ...	20	二、楼层托梁设计实例计算	72
第一节 绪言	20	第五节 开孔腹板楼层托梁设计方法和实例	
第二节 型钢的扭转截面特性	20	计算	76
一、St. Venant 扭转常数	20	一、符号定义	76
二、扭曲扭转常数	21	二、开孔腹板楼层托梁设计方法简介	76
		三、开孔腹板楼层托梁设计实例计算	80

第六节 墙柱设计方法和实例计算	91	第三节 截面特性	152
一、墙柱设计荷载计算简介	91	一、截面特性表注	152
二、墙柱设计荷载实例计算	94	二、非承重柱(S)截面特性	152
三、墙柱设计方法简介	98	三、承重柱(S)截面特性	152
四、墙柱设计实例计算	106	四、承重(T)导轨截面特性	152
第七节 过梁设计方法和实例计算	121	五、U型槽钢截面特性	152
一、过梁设计方法简介	121	六、翻边U型槽钢截面特性	152
二、过梁设计实例计算	122		
第八节 剪力墙拉牢要求计算	124	第七章 冷轧轻钢骨架住宅技术的历史	
一、墙覆盖材料的能力	124	沿革与哲学思考	162
二、剪力墙地脚锚固连接能力	124	一、轻木骨架的历史背景	162
三、剪力荷载	124	二、美国建筑文化三要素	162
四、全高覆盖要求	125	三、君(梁柱)臣(墙)不分的地域建筑	
第九节 天花托梁设计方法和实例计算 ...	125	文化特征	164
一、天花托梁设计方法简介	125	四、绝不允许“独木”立千斤的险象	
二、天花托梁设计实例计算	131	出现	165
第十节 椽设计方法和实例计算	140	五、以柔克刚的节点设计	167
一、椽设计方法简介	140	六、两种文化引出的两种不同的产品开发	
二、椽设计实例计算	142	模式	167
		七、地域文化对建筑材料和生产方式的	
第六章 冷轧轻钢骨架构件产品技术		影响	169
资料	149	八、建筑材料对建筑力学及其设计思想的	
第一节 产品标识	149	影响	169
第二节 一般产品资料	150	九、产业、产品、产量	170
一、规范要求	150	十、轻钢骨架与轻木骨架的关系	171
二、材料规格	150	附录1 国际单位制英制转换	175
三、钢构件厚度	151	附录2 中英文材料力学及冷轧轻钢	
四、设计加强肋唇缘长度	151	骨架住宅用词汇对照	177
五、所有表的一般注释	151	参考文献	180
六、结构特性符号的定义	151		

第一章 绪 论

一、冷轧薄壁轻钢构件简介

大多数常用冷轧薄壁轻钢构件横截面都表明在图 1-1 中。这些剖面通常是冷滚轧成型，也可由热或冷滚轧钢带折弯压成。受制造方法的影响，冷轧结构的截面形状通常是开口、平直、尖锐和非对称结构。

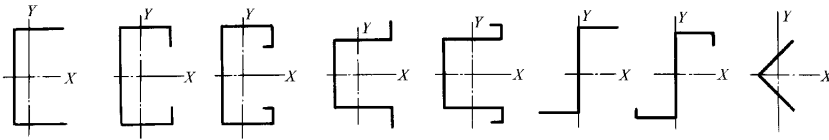


图 1-1

过去 100 年来，薄壁结构构件在建筑业的应用日益增加。因为它们有利于减轻建筑物的重量，能承受拉力、压力和弯曲力。薄壁构件的结构特性和荷载形式促成了这些结构典型的静力学特征：局部或整体失去稳定，形成不同的失稳现象。分析和设计时，可以选用有限元法（FEA）工具和设计规范。

由于冶金行业的产品技术和材料力学的基础理论都得到了快速发展，发达国家在钢结构设计规范中都普遍采用了屈曲强度理论。近 20 年来，几乎每个发达国家都有了相关的冷轧薄壁轻钢构件国家设计规范，比较有代表性的是美国钢铁协会规范 AISI。首次在冷轧薄壁轻钢构件设计规范中应用屈曲强度理论的 AISI 标准版本应当是在 1986 年，欧洲在 1993 年发布了冷轧薄壁轻钢构件设计规范 EuroCode3（ENV1993-1-3）。尽管很多欧洲国家都有自己的冷轧薄壁轻钢构件设计规范，但他们主要还是执行欧洲规范 EC3。芬兰更是将欧洲规范 EC3（ENV1993-1-3），翻译成（SFS-ENV1993-1-3），成为其国家应用文本（NAD）。另外，还有德国工业标准 DIN，加拿大标准协会的冷轧钢结构构件标准 CSA-S136，以及澳大利亚和新西兰这两个国家于 1996 年也联合发布实施了冷轧薄壁型结构钢规范 AS/NZS4600。

二、冷轧薄壁轻钢构件的结构特性

薄壁构件的横截面积通常由几个相当薄的要素部分（即平板部分和加强肋）组成。通过材料屈服，而不是破坏，使受压部分趋于失去稳定。在局部失稳模式，平板部分失稳，只会引起板要素的垂直位移和重新分配应力。在这种模式下，截面形状仅仅有轻微扭曲，因为只是在板要素的结合点上才会发生旋转现象。对于真实的扭曲失稳模式，由于边缘加强肋的失稳，会引起横截面部分产生较大的位移。在双失稳模式，横截面加强特性可能会变化，但由于不会出现整个横截面的平移或旋转，构件仍然有一些失稳（屈曲）后强度可以利用。在全部失稳模式，整个横截面产生很大的位移，导致整个构件完全失去了稳定。全部失稳模式首先取决于横截面的形状。对冷轧钢构件来说，弯曲失稳通常是发生在最小弯曲刚度方向。开口薄壁构件是典型的低抗扭刚度构件，所以和扭转同时发生的失稳模式可能是危险的。对于

点对称横截面（即 Z 型截面）情况，因为截面中心和剪力中心重合，可能会发生纯扭转失稳。在扭转失稳模式，横截面是围绕着剪力中心旋转。在弯扭共同失稳模式，单对称横截面（即 U、C 型截面）的横截面可能会产生平面移动。由于开口薄壁构件横截面的抗扭刚度低，侧向失稳是梁很可能发生的失效模式。依此类推，在许多情况下也可能引起受压边缘弯曲失稳，但是当折边被压平（即宽帽沿形状），它就不会像轴对称低横断面柱或平面对称的开口横断面柱那样失去承载能力。当然，如荷载有问题，受压或受弯构件可能出现塑性或弹塑性静力特性，但对于正常的建筑结构和荷载条件，稳定性才是设计薄壁构件的关键。

三、冷轧薄壁轻钢构件在中国的发展现状

中国到现在尚没有一个真正意义上的可用的冷轧薄壁轻钢骨架构件设计规范，而且我们的近邻，亚洲经济发展的领头羊，世界第二大经济体——日本的 JIS 标准也只是在 2002 年首次出版的《冷轧轻钢骨架住宅设计规范》中比较简单地提及了冷轧薄壁轻钢骨架构件设计方法，欧洲也是自 20 世纪 90 年代初（1987 年后）才开始奋起直追。像我们“从娃娃开始抓电脑普及教育”一样，欧洲国家为了迎接新一轮钢结构产业的发展高潮，启动的钢结构教育计划是从高等教育和职业技术教育抓起，组织了 20 多个国家的 400 多位钢结构专家，费时六年，编撰了一套教学资料。目前已经有 40 多个国家选用了这套教学资料，用以培养新一代的钢结构基础理论研究开发人员和包括技术工人在内的应用型人才。

传统的（铸铁或铸钢，热轧型钢）钢结构设计规范是要保证工程中所用的构件有足够的强度、刚度和稳定性，即所谓保证构件安全工作的三个基本要求（一般材料力学教材都将其称为材料力学的三大任务）。特别是按等稳定性准则制定的规范，它要求构件在产生总体失稳之前，构件的任何板件要素都不得产生局部失稳。

而冷轧薄壁轻钢骨架构件设计规范除了有这三个基本要求外，还要求在设计中能有效利用构件的局部失稳现象，可用三个主要技术特征来描述，即：

- 1) 壁厚；
- 2) 宽厚比；
- 3) 有效利用局部失稳现象（图 1-2 是利用有限元法计算并绘出的 C 型构件发生局部失稳的波状的局部屈曲图）。

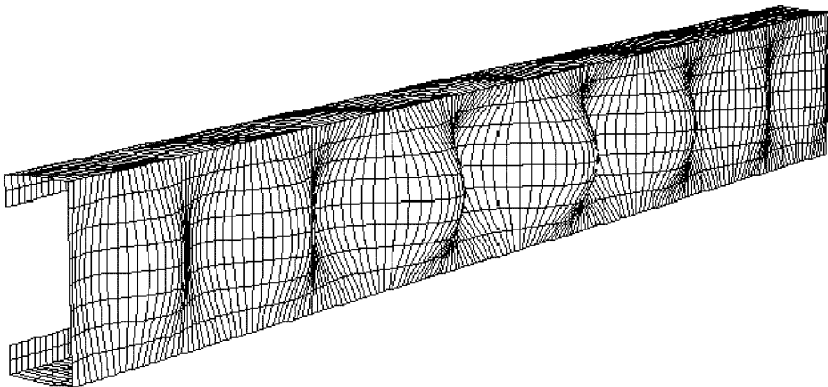


图 1-2

前两个特征仅仅是个技术指标问题，在技术规范中很容易做到，而第三个问题是属于设计理论基础问题，不是仅能通过调整几个设计参数就能实现的问题。

《冷弯薄壁型钢结构技术规范》（GBJ18—1987）对构件的厚度有要求（ $2\text{mm} \leq t \leq 6\text{mm}$ ），也突破了《钢结构设计规范》（GBJ17—1988）中对板件宽厚比限值的规定，允许板件产生局部失稳，并利用板件失稳之后的强度提高，从而引出了有效截面概念。但是在构件的截面特性表中缺少屈曲理论应用所需要的扭转截面特性参数，如 St. Venant 扭转常数 J ，扭曲扭转（或翘曲）常数 C_w （GBJ18—1987 称其为扇性抵抗矩），剪力中心位置（ X_0, Y_0 ），单对称常数 β_x ，有效截面模数 S_e ，以及空腔结构截面（HSS）的扭转常数 C 和剪力常数 C_{RT} 等等，也没有提出具体的计算方法。仅仅以“请参阅开口薄壁杆件的有关论著”一笔带过。另外，二次弯矩（GBJ18—1987 称其为双弯矩）和有效截面的计算方法介绍更是简单模糊。

四、冷轧薄壁轻钢构件在世界上的发展现状

重量极轻是冷轧薄壁轻钢结构最重要的特征，因此它们在生产领域里最重要的价值主要是用来减轻重量。早期是在运输工业，像飞行器和汽车制造业就很自然的需要这种产品。

在过去的几十年里，在全世界范围内，大量的研究工作已经改善了冷轧薄壁轻钢结构的制造、防腐保护、材料和制作规范，使得冷轧薄壁轻钢结构应用得以长期增长。冷轧薄壁轻钢结构现在已经在各种不同的建筑技术领域变得日益流行。低层住宅系统已经可以完全采用冷轧薄壁轻钢骨架构件作墙的骨架，以及包括桁架和围护材料在内的骨架系统和屋顶结构。因为冷轧薄壁轻钢构件的表现很灵活，设计中可以采用不同横截面形状，可以按设计者要求任意摆放，所以多层，高层乃至超高层建筑，以及大型场馆的建设也越来越离不开冷轧薄壁轻钢构件。

冷轧薄壁轻钢构件的结构特性和荷载形式导致了结构的一种典型的静力学特性：局部和整体失去稳定，形成不同的失稳现象。板件局部失稳，不等于构件丧失承载能力，可能还有相当可观的屈曲后强度可以利用，而且构件最终承载能力还可能高于发生局部失稳前的承载能力（详见第五章设计计算部分）。允许板件产生局部失稳，利用板失稳（屈曲）后的强度进行结构设计，是结构工程师多年来努力的目标。

近 20 年来，由于电子计算机运算速度和计算软件的快速发展，发达国家的研究人员不但用有限元法对冷轧轻钢骨架构件进行了系统深入的分析研究，分析了构件的弹性局部和整体（弯曲和扭转）失稳模型，而且为了了解构件的防火特性，他们还通过先进的非线性有限元模型实现了对高温环境下的冷轧薄壁开口横截面构件的特性研究。广泛的基础研究与实验工作促成了冷轧薄壁轻钢构件快速进入工程应用领域。

其实，英国的 Careman 早在 1932 年就提出了板件屈曲理论及屈曲强度、总截面、净截面和有效截面（或有效宽度）等概念，但将其写到技术标准中，并应用到工程实践中，是近几十年的事情。

尽管这样，发达国家的研究人员仍然觉得这些方法的复杂性限制了冷轧薄壁轻钢结构构件的应用，导致设计的过度保守，所以还在不断地进行深入细致的基础研究，技术标准不到两年就修改一次，以求更进一步减轻用钢量。

由于冷轧轻钢骨架构件大量应用在现代建筑和土木工程上，使当代土木工程发生了质的

变化（由土木变钢铁）。

俗话说，红花还需绿叶扶持，红花就是传统钢结构或钢混结构的承重梁柱，而绿叶当然是冷轧钢骨架构件。可以这么说：没有冷轧轻钢骨架构件，就建不成现代建筑；没有冷轧轻钢骨架构件，传统钢结构或钢混结构的承重梁柱就只能沉沦到与红砖或各种砌块为伍；没有冷轧轻钢骨架构件（如目前的中国建筑市场），各种需要采用冷轧轻钢骨架构件的新型现代建筑，只能用木材、铝型材、薄壁卷边檩条（GBJ18—1987）以及各种传统热轧钢型材替代，不但其效果不如冷轧轻钢骨架构件理想，施工作业不方便，成本价格也是非常之巨。

冷轧轻钢骨架构件作为现代（低层、多层和高层）建筑和大型场馆的维护和楼层骨架体系，伴随着钢结构行业的快速发展，已经成为一个独立的新兴产业。钢柱制造商联盟（SSMA）成员在美国就有上百家，加拿大、澳大利亚、新西兰都有其成员。

冷轧轻钢骨架构件用到低层住宅上，是一个典型的产品开发过程中的种瓜得豆现象。几个世纪以来，北美住宅一直是采用轻木骨架，这是因为北美有着丰富的木材货源，成本也相对其他建筑材料要低，性能也不错，然而，近年来随着建筑木材价格的增加和不可预知的市场波动，同时也涉及到质量问题、环保问题、资源的合理利用问题等，所以建造商和其他住宅供应商正寻找可供替代的建筑产品。

过去几十年来，使用冷轧轻钢骨架建造住宅的呼声很大，市场份额剧增。这主要是因为使用冷轧轻钢骨架建造住宅价格相对稳定，质量可靠，最重要的是可以按常规的结构进行设计，所以在商业市场取得了很大的成功，而且它的防火、防腐、防蚁特性，也吸引了许多建造商和设计人员的注意。

需要注明的是，这里所说的可以按常规的结构进行设计是针对轻木骨架住宅而言，而非砖混结构类住宅。在北美只需要用冷轧轻钢骨架构件直接替代轻木骨架构件，维护体系和其他建筑构件基本不需要作大的变动，因此技术跨度不大，这也是它受到住宅建造商和设计人员青睐的原因之一。

对于长期习惯于采用砖混结构的广大中国结构工程师来说，从砖混结构到轻钢骨架结构的转变，其技术跨度就略显大一点了。而且因为从围护体系到大部分的建筑材料供应都与传统砖混结构建筑不一样，几乎没有什么可借鉴的地方，这也是轻钢骨架住宅推广过程中的一个大难题。因为不论是政府官员、企业领导、建筑师、消费者对它都需要有一个了解、熟悉的过程，而且即使消费市场能够接受这种住宅，还要有一个技术标准体系，原材料配套体系，技术服务体系来支撑它。

如果一定要在钢结构建筑上继续采用砖混类（如红砖、水泥砌块和水泥板块等）围护建筑材料，虽然其技术跨度不大，可能短期内也很容易被消费者和投资商接受，但钢结构的所有优势基本都没有发挥出来，缺点却会暴露无疑，非常不利于这个行业的长期稳定发展。

为将冷轧轻钢骨架构件更好地应用于住宅类产品，由美国住房和城市发展部（HUD）牵头，美国钢铁协会（AISI）和国家住宅建造商协会（NAHB）组织发起，联合了众多地方和国家行业协会、数百家企业和几十所大学，对冷轧轻钢骨架的应用和发展进行了广泛深入的基础和应用研究，取得了丰硕的成果。

目前应用冷轧轻钢骨架构件建造低层（6层以下）住宅的国家和地区主要是北美的美国和加拿大，亚太地区的澳大利亚和新西兰。因为澳大利亚矿产资源丰富，冶金业发达，其建筑用钢技术享誉世界。新西兰的冷轧轻钢骨架设备制造技术也是世界一流，所以早期很多美

国厂商都从新西兰购置加工设备。东南亚也有一些国家少量应用。日本是在阪神大地震后才开始接触到这种（由美国援助的）住宅，并发现比他们几十年来自己独立开发的一些钢结构住宅体系要好，因而有心想改轩易辙，但谈何容易。因为近 50 年来日本已经投入巨资，产生了像积水、三泽、大和这样的一些巨大的集成住宅产业株式会社。它们已经建立了一套包括技术体系、原材料配套体系、生产制造体系乃至运输体系在内的完整的、有日本特色的钢结构住宅体系。现在要想重新更换一个产业的技术发展方向并非易事。尽管日本没有成熟的冷轧轻钢骨架住宅建造技术，但一些日本的钢铁企业正在积极引进和开创冷轧轻钢骨架住宅技术体系，更有一些日本高手还想到了利用中国的资金、人才和市场，在中国进行冷轧轻钢骨架住宅的基础性研究。当然，在当前的市场经济条件下，我们不能评述一个企业投资的行为的对与错，但这一现象却应该引起国内的众多钢铁企业和相关的政府部门注意。

中国的钢结构住宅基本是从零开始，好写最新最美的图画。同时我们也应该知道，冷轧轻钢骨架住宅是现代科学技术的产物，是一个非常成熟的住宅建造技术，我们只需吸收消化，不能闭门造车。一旦（WTO）大门打开，消费者就会用人民币投票来表达他们对现代科技产品的向往。闭门造车，从零开始的企业或死抱住（秦）砖（汉）瓦“砌”房技术不放的企业会死路一条。

五、现阶段发展我国冷轧薄壁轻钢构件及住宅产业的对策与思考

近 100 年来，不断有新的产业在世上出现，如：交通运输业、通信业、传媒业、空调业、电脑及互联网产业等等。新的产业改变了人类的生活方式，如在交通行业：汽车、火车、轮船、飞机的出现使地球显得越来越小。在通信行业：从有线电报到无线电报，从有线电话到无线电话，从声音传输到图像传输，使人们之间的距离拉得越来越远。传媒行业的发展也是惊人的，从有线广播到无线电收音机，从黑白电视到彩色电视，使人们不出家门而闻知天下事。空调产业的出现，不仅大大改善了人类的居住和工作环境，而且大大提高了人类的劳动生产率，并促进带动了各行各业的技术发展。电脑及互联网产业使得地球村的每一个人都自觉或不自觉地加入其中，对世界政治、经济、文化产生了目前还难以估量的影响。

随着产业的不断进步发展，各自产业内部的产品（实物消费与服务消费）也在不断升级、换代。层出不穷的新产品一个又一个推向市场。随着新产品的问世及被消费者的接受，随之而来的就是不断扩大产品产量，以满足消费者不断增长的需求。而任何产品只要它上了现代化的工业生产线，就会化腐朽为神奇，产量就会急剧上升，价格就会急剧下降，市场也会越做越大。而钢结构住宅就是一种可以在现代化生产线上批量生产的现代化工业产品，它必将进一步改善人类的居住和工作环境，并形成一个新的产业龙头，促进和带动各行各业的技术发展。

但是，现阶段如何在中国发展冷轧薄壁轻钢构件及钢结构住宅产业仍然是值得注意和思考的问题。

首先是切入点的问题，即采用何种技术模式发展集成（工业化，批量化）住宅产业。一位美国的经济学家曾就日、美两国集成住宅产业的发展模式作过研究和经济测算，仅就运输一项就发现日本模式的致命之处——运输成本巨大。因为日本的高速公路设计与运输车辆的规格不能像在美国那样可以运输整套住宅。所以日本的集成住宅大部分是模块化设计，而这种模块并非像其他工业产品那样是实体的，住宅的每一个模块就相当于一个集装箱空箱，一

套住宅几十个这样的“集装箱”空箱在高速公路上来回放空运输是多么的浪费。

第二个问题当然是选择技术标准问题了，我们国内市场经济发育得比较好的行业，尤其是一些有能力参与国际市场竞争的行业和企业都已经习惯于采用或等效采用国际标准，并能采用国际标准，能参与国际标准的制定为荣。历史和经验都已经充分证明，落后的标准是无法保护落后的行业的。

现代工业产品的开发都是在一定的基础上开始，一步一个脚印地向前推进。国际跨国集团的产品开发程序中都有一个重要步骤，就是 Marketing Research。所谓 Marketing Research 就是通过非常严谨的程序和多种技术手段对产品研发需要的资料进行收集和研究，而不是拍脑袋就能得出结论。它的主要目的是研究所在市场的现状和预测将来的市场走向。然后是 Banchmarking，所谓 Banchmarking 就是对所收集到的竞争对手的现有产品从技术、性能、价格、原材料采购、生产制造技术、品质管理多方面进行对比分析，从中得出正确的信息结论。从零开始进行研发，是一种典型的现代闭关自守思想，是技术出身的干部和官员最容易犯的错误。站得高，才能看得远，只盯着自己已经掌握的那点技术做文章，就很难放开眼量去走向世界。正所谓“河上有桥，为何还要去摸着石头过河”。在相当长的时间内，技术领域的前进还必须要以引进、吸收、消化为主，走捷径并不影响把中国的技术水平发展到国际领先地位。我们需要有宽阔的胸怀，开放的心态去迎接挑战。我们要充分利用目前所拥有的优势：廉价的劳动力和不可估量的市场容量来发展冷轧轻钢骨架住宅产业。

第二章 欧洲冷轧薄壁轻钢构件设计规范简介

所有发达国家的冷轧薄壁轻钢构件设计规范几乎都是同一个范本，区别不大。本章仅以欧洲规范 EuroCode3 (ENV1993-1-3) 为例作一简单介绍，本章中公式编号均为此欧洲规范编号，以方便读者对照查找。

第一节 设计基础

依据呈现的结构强度和稳定性形式的不同，薄壁构件分属于三种建筑类型。在类型 I，构件是结构整个刚性系统组成部分之一。在类型 II，构件仅是以要素的独立结构强度呈现出来。在类型 III，则仅仅是充当次要的护墙板结构。然而，这些不同的可靠性分类等级对设计似乎没有任何影响，构件设计时需要的最根本的限制规定 (ENV1993-1-1 中有定义)，局部安全系数 (γ_{m0} 和 γ_{m1}) 总是等于 1.1。系数 γ_{m0} 是用于计算横截面屈服强度， γ_{m1} 是用于计算构件失稳强度。适用性限制是以法则和应用规则的形式定义在 ENV1993-1-1 里，并在 ENV1993-1-3 里得到进一步完善。二个等级的局部系数 γ_{Mser} 值等于 1.0。

可以根据基本规范 EN1993-1-3，准确定性指出冷轧部件设计的耐久性。

制作薄壁构件的结构钢既可以冷轧，也可以焊接和电镀。表 2.1-1 列出了欧洲规范 ENV1993-1-3 中规定的钢材形式，根据规范，都可以用来设计冷轧钢，也能使用其他能满足条件的结构钢。在 ENV1993-1-3 的 3.1.2 章中明确指出，由于冷轧产生的增强屈服强度

表 2.1-1 典型的冷轧轴钢结构用结构钢

钢材类型	标准	等级	屈服强度 σ_s / (N/mm ²)	抗拉强度 (或极限正应力) σ_u / (N/mm ²)
建筑用热轧钢板	EN10025	S235	235	360
		S275	275	430
		S355	355	510
高屈服强度建筑用热轧钢板	EN10113 : 部分 2	S275N	275	370
		S355N	355	470
		S420N	420	520
		S460N	460	550
	EN10113 : 部分 3	S275M	275	360
		S355M	355	450
		S420M	420	500
		S460M	460	530
建筑用冷轧钢板	ISO4997	CR220	220	300
		CR250	250	330
		CR320	320	400

(续)

钢材类型	标准	等级	屈服强度 σ_s / (N/mm ²)	抗拉强度 (或极限正应力) σ_u / (N/mm ²)
建筑用连续热浸镀锌 碳钢板	EN10147	FeE220G	220	300
		FeE250G	250	330
		FeE280G	280	360
		FeE320G	320	390
		FeE350G	350	420
高屈服强度建筑用冷 轧钢板	预备稿 EN10149: 部 分 2	S315MC	315	390
		S355MC	355	430
		S420MC	420	480
		S460MC	460	520
		S500MC	500	550
		S550MC	550	600
	预备稿 EN10149: 部 分 3	S260NC	260	370
		S315NC	315	430
		S355NC	355	470
		S420NC	420	530

σ_{sa} 可作为荷载支撑能力。幸运的是, 对设计者来说, 3.1.2 章可以简化为: 基本屈服强度名义值 σ_{sb} 可以作为屈服强度应用在任何地方 (因此公式中的 σ_{sb} 均写可作 σ_s)。这是可以证明的, 因为平均比值 $\sigma_{sa}/\sigma_{sb} \approx 1.05$ 。薄壁构件的名义屈服强度 σ_{sb} 范围在 200~400N/mm², 而且国际上正趋向于使用更强的钢材, 如澳大利亚已经在使用屈服强度为 550 N/mm² 的建筑用钢, 使单位建筑面积的用钢量降低了一半还多。

当前国际上常用的低层轻钢骨架住宅建筑用钢与国产钢材规格等级对照详见表 2.1-2。

表 2.1-2 低层轻钢骨架住宅建筑用钢

等级	屈服强度 σ_s	
	k_{si}	N/mm ²
Q235	33	228
	34	235
Q345	50	345

其他有关冷轧薄壁轻钢构件设计的材料特性对设计者来说很熟悉, 详见表 2.1-3。

表 2.1-3 钢材的材料特性特性指标

弹性模数	剪切模数	线胀系数	密度	泊松比
E	G	α	ρ	ν
N/mm ²	N/mm ²	(以每℃计)	kg/cm ³	
203000	77900	12×10^{-6}	7850	0.3

ENV1993-1-3 规范草案仅适用于名义中心厚度为 $1.0\text{mm} < t_{\text{cor}} < 8.0\text{mm}$ 的构件。材料厚度条件变化为 $0.9\text{mm} < t_{\text{cor}} < 12.0\text{mm}$ 。名义中心厚度通常取 $t_{\text{cor}} = t_{\text{nom}} - t_{\text{zin}}$ ， t_{nom} 是名义薄板厚度， t_{zin} 镀锌层厚度（普通镀层 Z275 $t_{\text{zin}} = 0.04\text{mm}$ ）。

应该根据正规的良好的习惯去计算截面特性，但由于横截面形状复杂，大多数情况下需要近似求解，按指定的形状和大开口名义尺寸来确定总截面特性。根据欧洲规范 3.3.3 章特别条款，净面积等于总面积减去其他开口和所有扣件孔面积。由于冷轧，薄壁构件的拐角是圆形。根据设计规范，内圆半径为 $r \leq 5t$ 和 $r \leq 0.15b_p$ 时都忽略圆角对截面特性的影响，也就是用尖角替换圆角进行计算。根据设计规范，拐角处的纯平宽度 b_p 的定义详见图 2.2-1。如果超出了上面的限制，需要考虑圆角对截面特性的影响。要想足够准确，则需根据以下公式，减去与尖角（下角“sh”）相等的横截面的截面特性：

$$A_g \approx A_{g,sh}(1 - \delta) \quad (3.1a)$$

$$I_g \approx I_{g,sh}(1 - 2\delta) \quad (3.1b)$$

$$I_w \approx I_{w,sh}(1 - 4\delta) \quad (3.1c)$$

式中 A_g ——总面积；

I_g ——总面积的第二弯矩面积；

I_w ——总面积的翘曲常数；

δ ——取决于板要素数量 m 的系数，每个弯曲要素的数量 n ，弯曲要素的内圆 r_i 和实际平直宽度 b_{pi} ，计算公式如下：

$$\delta = 0.43 \sum r_i / \sum b_{pi} \quad (3.1)$$

计算有效截面特性时可以用该近似公式。由于选择受限，一般圆角通常都按尖角处理。

为了在设计计算中应用设计规范 ENV1991-1-3，不同部分横截面的宽厚比不能超出表 2.1-4 规定的范围。总之，他们呈现的这些极薄平板范围，可以使设计者自由处理横截面的形状构造。然而，需提供足够的加强肋，避免加强肋自己首先失稳的条件是：

$$0.2 \leq c/b \leq 0.6$$

对于边缘加强肋，避免加强肋自己首先失稳的条件是：

$$0.1 \leq d/b \leq 0.3$$

图 2.1-1 为纯理论宽度定义简图，其中：

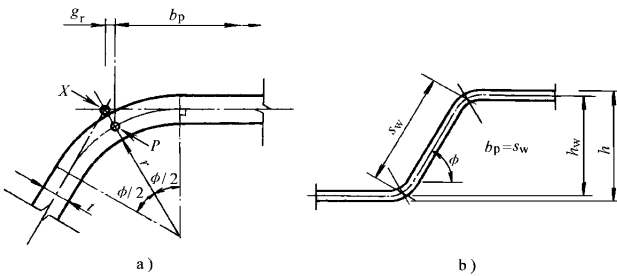


图 2.1-1 纯理论宽度定义

a) 拐角或弯曲中点 b) 腹板纯平宽度 b_p ($b_p = \text{斜高 } s_w$)

X 是中心线交叉点；

P 是拐角中点；

$$r_m = r + t/2$$

$$g_r = r_m [\tan(\phi/2) - \sin(\phi/2)]$$

表 2.1-4 平板的最大宽厚比

横截面要素	最大值	横截面要素	最大值
	$b/t \leq 50$		$b/t \leq 500$
	$b/t \leq 60$		$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$
	$b/t \leq 90$		

第二节 局部失稳

薄壁构件设计最本质的特征之一就是横截面的局部失稳。发生局部失稳会影响到构件的设计强度和硬度。可以用趋于局部失稳的独立要素的有效宽度和有效厚度概念来计算有效横截面特性。计算方法取决于不同要素的应力水平和分配情况。规范 ENV1993-1-C1.4.1 (4-6) 规定，只有验证时才用屈服应力 σ_s (比较安全的) 来计算极限抵抗，实际应力大小是用适用性限制规定的荷载来计算。这样，受压边没有加强肋的平板要素有效宽度计算的基本公式就可以用通式给出。根据 ENV 规范综合要求

$$\text{当} \quad \lambda_p \leq 0.673$$

$$\text{则} \quad \rho = 1 \quad (4.1a)$$

$$\text{当} \quad \lambda_p > 0.673$$

$$\text{则} \quad \rho = (\lambda_p - 0.22) \lambda_p^2 \quad (4.1b)$$

$$\lambda_p = (\sigma_c / \sigma_{el})^{1/2} = 1.052 (b_p / t) (\sigma_c / E / k_\sigma)^{1/2} \quad (4.1c)$$

$$\sigma_{el} = k_\sigma \pi^2 E / 12 (1 - \nu^2) (b_p / t)^2 \quad (4.1d)$$

式中 ρ ——宽度缩减系数；

λ_p ——苗条系数；

b_p ——宽度；

σ_c ——要素最大受压应力；