

● 高等学校教学用书 ●

轻钢结构

王 燕 徐永春 王新堂 编著



GAODENG
XUEXIAO
JIAOXUE
YONGSHU

冶金工业出版社

991075

高等学校教学用书

轻 钢 结 构

王 燕
徐永春 编著
王新堂

青岛建筑工程学院

冶金工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

轻钢结构/王燕等编著. -北京:冶金工业出版社,1997.8

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-2054-1

I. 轻… II. 王… III. 轻型钢结构-高等学校-教材 IV.
TU392.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 09071 号



出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

怀柔东茶坞印刷厂印刷;冶金工业出版社出版;各地新华书店发行

1997 年 10 月第 1 版,1997 年 10 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;13.5 印张;1 插页;323 千字;208 页;1-2000 册

17.20 元

前 言

轻钢结构是建筑结构中应用较为广泛的一种结构形式,我国近年来在体育馆、展览馆、库房、房屋接层以及工业厂房等建筑中均已普遍采用。为了使学校的教学适应现代化建设事业的需要,我们依据《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GBJ18—87)和《钢结构设计规范》(GBJ17—88)的规定,吸取了国内外的有关最新科技成果,编写了本书。

全书较系统地阐述了轻钢结构设计的基本理论、计算方法以及结构构件的设计和构造处理。本书既可作为工民建专业本科生教材,也可供从事轻钢结构设计的工程技术人员参考。

本书共分九章,较为详细地介绍了薄板屈曲、杆件的弯扭屈曲和压弯构件的基本理论与计算,并结合实际工程着重对压型钢板、檩条和墙梁,以及框架的设计作了介绍。在章节安排上尽量考虑教学上的方便。讲授全书约 40 学时,如果讲授 30 学时,第二章、第四章、第七章的内容可以选讲。本书每章都有一定数量的例题和习题,有助于读者理解内容和便于自学。

本书由青岛建筑工程学院王燕副教授担任主编,并编写了一、二、三、九章和工程实例;徐永春副教授编写了四、五、六章;王新堂博士编写了七、八章。西安建筑科技大学顾强教授和青岛建筑工程学院王泽霖副教授仔细审阅了全稿,并提出了宝贵意见,在此谨致谢意。

由于水平所限,错误和不妥之处在所难免,欢迎读者批评指正。

作 者

1997 年 4 月 15 日

7-A6/00/02

目 录

1 概述	(1)
1.1 轻钢结构的特点及材料	(1)
1.2 轻钢结构的连接	(3)
1.3 基本设计规定	(4)
1.4 基本构件计算	(9)
2 薄板的屈曲	(17)
2.1 概述	(17)
2.2 薄板屈曲的微分方程式——线性理论	(18)
2.3 单向均匀受压时薄板的临界荷载	(23)
2.4 薄板弯曲时的应变能	(25)
2.5 用雷莱—李兹法求解四边固定正方形板单向均匀受压时的临界荷载	(25)
2.6 用伽略金法计算受剪板的临界荷载	(27)
2.7 四边简支矩形板在非均匀压力下的屈曲	(29)
2.8 板的有限变形理论	(30)
2.9 轴向受压板的屈曲后性能	(34)
2.10 有效宽度和有效宽厚比	(37)
2.11 薄壁构件受压板件局部稳定性的计算	(41)
3 压型钢板	(45)
3.1 概述	(45)
3.2 压型钢板的截面特性和截面特性计算	(46)
3.3 压型钢板的强度和挠度计算	(49)
3.4 压型钢板的构造和连接	(53)
4 扭转屈曲和弯扭屈曲	(56)
4.1 剪力流和剪切中心	(56)
4.2 开口薄壁截面杆件的自由扭转	(62)
4.3 开口薄壁杆件的约束扭转	(64)
5 檩条设计	(83)
5.1 概述	(83)
5.2 实腹式檩条的设计	(84)

5.3 格构式檩条的设计	(93)
6 墙梁设计	(101)
6.1 概述	(101)
6.2 墙梁的计算	(101)
6.3 墙梁的构造	(104)
6.4 墙梁设计例题	(106)
7 压弯构件	(113)
7.1 概述	(113)
7.2 压弯杆件平面内的变形和内力	(113)
7.3 压弯构件在弯矩作用平面内的极限荷载	(120)
7.4 压弯杆件平面内的相关公式	(123)
7.5 压弯杆件平面外失稳及相关公式	(126)
8 框架的稳定计算与设计	(138)
8.1 框架的失稳形式	(138)
8.2 用中性平衡法确定框架的临界荷载	(139)
8.3 用转角位移方程计算框架临界荷载	(144)
8.4 确定框架柱临界荷载的实用方法	(147)
8.5 轻钢结构刚架的设计与计算	(149)
8.6 刚架设计例题	(156)
9 轻钢结构的防腐蚀	(170)
9.1 概述	(170)
9.2 轻钢结构的防锈蚀	(170)
附录	(174)
附录一 材料性能	(174)
附录二 计算系数	(179)
附录三 截面特性	(188)
附录四 侵蚀作用分类和涂料配套	(201)
附录五 施工详图示例	(203)
参考文献	(208)

1 概 述

1.1 轻钢结构的特点及材料

1.1.1 结构特点

轻钢结构是目前较广泛应用的一种建筑结构,随着生产的发展和科学技术的进步,将在越来越多的建筑工程中采用。轻钢结构与其它形式的建筑结构比较,具有结构自重轻、材质均匀、应力计算准确可靠,加工制作简单、工业化程度高、运输安装方便、易取材、用料省等优点。轻钢结构不仅被广泛应用于建筑业,还被大量用于农机制造业、交通运输业、汽车制造业、造船业、电力工业和轻工业等部门。

轻钢结构是指用薄钢板经模压或冷弯而制成的薄壁型钢结构,其截面形状和尺寸可按合理方案设计。薄壁型钢的壁厚一般为 $0.6\sim 8\text{mm}$,习惯上把壁厚不超过 6mm 的冷弯型钢称作冷弯薄壁型钢。

由于冷弯薄壁型钢的成型方式灵活,因此,可以根据需要生产各式截面形状的产品。据不完全统计,目前各国生产的冷弯型钢的规格品种已达11000多种,有各种形式的压型钢板、不同尺寸的闭口方管、矩形管、圆管、槽钢、卷边槽钢、角钢、Z形钢、卷边Z形钢以及各种组合型钢和特殊形状的专用型钢,截面如图1-1所示。我国目前能生产400多种不同规格尺寸的冷弯型钢,常用的截面形式及规格列于本书附录。

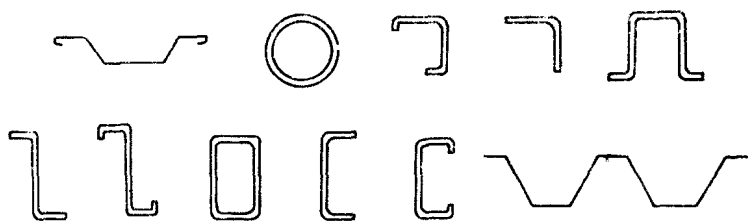


图 1-1 冷弯薄壁型钢截面图

统计资料表明,同样面积的冷弯型钢与热轧型钢相比,其回转半径可增大50%以上,其惯性矩及面积矩可增大50%~180%。故冷弯型钢的受力性能较好,承载能力较高,整体刚度较大,可以节约材料,取得较好的经济效益。例如,用冷弯型钢制作车厢,比用热轧型钢可节约钢材约35%;用于制作汽车大梁,则可节省钢材25%~30%,减少费用25%~42%;用于农机制造业、运输业,可节约钢材15%~60%,降低费用12%~28%;用于建筑业可节约钢材30%~60%左右,经济效益是十分明显的。

1.1.2 结构材料

用于建筑业的冷弯型钢的钢种,一般为冷轧或热轧普通碳素钢、优质碳素结构钢和低合金钢,以及热浸镀锌结构钢等。目前我国采用最多的是符合《普通碳素结构钢技术条件》(GB700—79)规定的3号钢和符合《低合金结构钢技术条件》(GB1591—89)规定的16Mn钢。这是因为这两种钢材在我国有多年的生产和使用经验,材质稳定,性能可靠,价格较廉,力学性能较好,适合建筑结构的要求。除此之外,还有15锰钒(15MnV)、15锰钛(15MnTi)、09锰(09Mn)、16锰铜(16MnCu)等。这些钢种各有所长,且多具有较好的耐蚀性能,但由于产量较少,实践经验尚嫌不足,故还没得到广泛应用。但是,开发质优价廉、资源丰富、耐蚀性能强、材料强度高的冷弯型钢专用钢种,对于促进冷弯型钢业的发展将是十分有意义的。

用于轻钢结构的母材,除了应保证钢材的抗拉强度(f_u)、伸长率(δ)、屈服强度(f_y)和硫、磷的极限含量满足要求外,尚应保证其冷弯试验合格。对于焊接结构,尚应控制碳的极限含量。

抗拉强度(f_u)是钢材破坏前所能承受的最大应力。虽然在达到这个应力时,钢材已由于产生很大的塑性变形而失去使用性能,但是抗拉强度高则可增加结构的安全保障,抗拉强度 f_u 和屈服强度 f_y 之比可以看作是钢材强度储备多少的一个系数。

伸长率(δ)是衡量钢材塑性性能的一个指标,也是衡量钢材承受巨量变形抗断裂能力的指标,因此,结构用钢材除需有较高的强度外,还要求有足够大的伸长率。

屈服强度(f_y)是确定设计强度的重要指标,普通碳素钢和低合金钢受力达到屈服强度后,应变急剧增大,材料表现出一时失去抵抗荷载的能力,一般认为此时钢材已耗尽承载能力,因此设计上将屈服强度除以材料的抗力分项系数(大于1.0的值)作为材料的设计强度(f)。

硫和磷是极为有害的杂质。硫与铁的化合物为硫化铁(FeS),散发在纯铁体晶粒的间层中。含硫量增大时会降低钢材的塑性、冲击韧性、疲劳强度和抗锈蚀性等。高温(800~1200℃)时,例如在焊、铆及热加工时,硫化铁即熔化而使钢材变脆(热脆)和发生裂缝。因此,应严格控制其极限含量。

钢材的力学性能主要取决于其含碳量,它直接影响钢材的强度、塑性、韧性和可焊性等。随着含碳量的增加,钢材的屈服点和抗拉强度提高,但塑性和韧性特别是低温冲击韧性下降。同时钢材的耐腐蚀性能、疲劳强度和冷弯性能也都明显下降,并将恶化钢材的可焊性和增加低温脆断的危险性。因此,对于焊接结构和处于低温区域的结构来说,控制碳的极限含量是至关重要的。

冷弯性能是衡量钢材塑性、可焊性等的一个综合指标,对于冷弯型钢来说更具有直接影响,基于轻钢结构中构件多为冷加工成型,必须保证冷弯试验合格,才能保证冷弯型钢产品的质量。

国内目前采用的Q235钢和16Mn钢的机械性能和化学成分要求列于本书附录一附表1-1。

钢材选用的原则应该是,既能使结构安全可靠地满足使用要求,又要尽最大可能节约钢材,降低造价。不同的使用条件,应当有不同的质量要求,在一般结构中当然不宜轻易

地选用优质钢材，而在重要的结构中更不能盲目地选用质量很差的钢材。就钢材的力学性能指标来说，屈服点、抗拉强度、伸长率、冷弯性能等各项指标，是从各个不同的方面来衡量钢材质量的指标。显然，没有必要在各种不同的使用条件下，都要完全符合这些质量指标。所以在设计时，应根据结构的特点，选用适宜的钢材。例如，当结构构件截面尺寸由强度控制时，采用 16Mn 钢较为适宜，因 16Mn 钢的设计强度比 Q235 钢高出约 50% 左右，故此时采用 16Mn 钢可比用 Q235 钢节约钢材 15%~25% 左右；但当构件截面由稳定性或变形控制时，采用 16Mn 钢有时并不一定有利，在某些情况下采用 Q235 钢也许更为经济。因此，为了节约材料，可以在同一结构的不同构件中采用不同钢号的钢材。

1.2 轻钢结构的连接

1.2.1 连接型式

轻钢结构大多采用焊接或螺栓连接。

1.2.1.1 焊接

焊接连接是轻钢结构中使用最普遍的一种连接型式。它的优点是，不削弱截面、构造简单和施工方便。由于冷弯薄壁型钢构件较薄，建筑工程中一般采用细焊条的手工电弧焊。近年来，由于二氧化碳气体保护焊的成本低、生产效率高、操作简单、抗裂性能好、抗锈能力强，可进行全方位焊接，而且热量集中、热影响区窄、焊接变形小、焊缝质量好，特别是细丝气体保护焊，易于解决薄板烧穿的问题，对于冷弯薄壁型钢结构尤为适合，其应用日趋广泛。

电阻点焊是国外冷弯薄壁型钢结构中使用较为普遍的一种连接方式。与电弧焊不同，电阻点焊利用金属电阻率在高温时增大的特性，在焊件连接处降低电压，通过强电流，以电阻热作为热源来引燃电弧，并利用电弧热把焊件加热到接近（或达到）熔化状态后施加外力将焊件连接起来。这种方法使用设备简单、操作方便、效率高、成本低、质量好，尤其是焊接变形较任何一种弧焊方法为小，热影响区很小，工艺参数稳定，容易实现工艺过程的机械化和自动化，用于冷弯薄壁型钢结构的连接很有发展前途，目前正逐步推广用于冷弯型钢构件的缀合及组合连接。

1.2.1.2 螺栓连接

在轻钢结构中螺栓连接主要用于结构的安装连接和需拆装的情况。螺栓连接拆装容易，操作简便，但普通螺栓连接传递剪力时由于剪切变形较大，故抗剪性能差。一般在受力较大的情况下采用普通螺栓加安装焊缝的连接方法。高强螺栓连接是近十几年发展起来的较好连接方式，它采用强度较高的钢材制作，安装时通过特制的扳手，以较大的扭矩上紧螺帽，使螺杆产生很大的预拉力，把被连接部件夹紧，使部件间产生强大的摩擦力，以达到传递外力的目的。它的优点是施工简单，对构件削弱较小，耐疲劳，可拆换，无应力集中现象，刚性好，承载力大。轻钢结构中多采用小直径摩擦型高强度螺栓连接。

1.2.2 连接材料

1.2.2.1 焊接连接材料

冷弯薄壁型钢结构所用焊接材料,应与焊件母材相适应。手工焊接用的焊条,应符合我国现行碳素钢或低合金高强度钢焊条标准(GB5117—85)、(GB5118—85)的规定。各型号的焊条药皮类型和焊接电流列于附录一附表1-2,各型号的焊条熔敷金属的化学成分和机械性能列于附录一附表1-3。在选择焊条型号时应考虑焊条熔敷金属的强度需与主体金属强度相适应。对Q235钢焊件应采用E43型焊条;对16Mn钢的焊件,采用E50型焊条;对15MnV钢的焊件,则用E55型焊条。当不同强度的钢材连接时,则应根据焊缝种类区别对待:对于角焊缝,通常应选择与高强度钢材相适应的焊条,以减少角焊缝的尺寸,改善焊接条件;对于对接焊缝,一般宜采用与低强度钢材相适应的焊条,这样不但仍可获得与焊件等强度的连接,而且还可以改善连接的塑性和韧性。如果选用与高强度钢材相适应的焊条,则连接的强度得不到提高,反而会引起出现横向裂缝等不良后果。

二氧化碳气体保护焊所使用的二氧化碳气体应有较高的纯度,通常要求其中的 $\text{CO}_2 > 99\%$, $\text{O}_2 < 0.1\%$, $\text{H}_2\text{O} < 1 \sim 2\text{g/m}^3$,若气体纯度偏低,应作提纯处理。此外,为了保证焊缝与主体金属等强,防止产生气孔,应采用含有Mn、Si等高脱氧元素的合金钢焊丝,目前国内一般采用现行《焊接用钢丝》(GB1300—77)中规定的H08Mn2SiA焊丝来焊接低碳钢(如3号钢)和高强度低合金钢(如16Mn钢),也可采用H10MnSi、H08MnSi和H08MnSiA等牌号的焊丝。焊接用钢丝的化学成分见附录一附表1-4。

1.2.2.2 螺栓连接材料

普通螺栓的材料一般采用Q235钢。由于轻钢结构连接件的厚度较薄,故通常采用全螺纹螺栓来连接,以保证连接质量,减少材料耗量。

小直径高强度螺栓则应符合现行《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈型式尺寸与技术条件》或《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副型式尺寸与技术条件》的规定,螺杆一般用20MnTiB钢制作,螺母和垫圈则用45号钢制作。附录一附表1-5中列出了高强度螺栓的强度等级和采用的钢号。

1.5 基本设计规定

1.3.1 设计原则

结构计算的目的是保证结构或构件在使用荷载作用下能安全可靠地工作,既要满足使用要求,又要符合经济要求。也就是说,结构的可靠性和经济性这两方面要处理恰当。随着工程技术的发展,概率论在建筑结构中的应用日益广泛。不但结构试验可以借助于概率论,数理统计对试验结果进行科学的统计分析,而且建筑结构的可靠度概率设计理论已经日趋成熟。

现行《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GBJ18—87)采用以概率论为基础的一次二阶矩极限状态设计法,虽然已经是一种概率设计法,但由于在分析中忽略或简化了基本变量随时间变化的关系,确定基本变量分布时有相当程度的近似性,为了简化计算,将一些复杂关系进

行线性处理,因此现行设计规范还只能算是一种近似的概率设计法。完全的、真正的概率设计法,还有待今后继续深入和完善。

按照概率设计的观点,荷载和材料性能都是随时间而变动的随机函数。结构可靠度也是时间的函数(在规定时间内),因此需要明确“设计基准使用期”,例如确定风荷载的计算值时,我国建筑结构的设计基准使用期为50年,结构基准期只说明在这个时间内有关结构可靠度的分析结果有效,超过这一期限后,并不是结构已经完全不能使用,而是结构失效概率将逐渐增大。

现行冷弯薄壁型钢结构设计规范,是以概率论为基础的极限状态设计方法,用分项系数的表达式进行计算。结构可靠度用可靠指标度量,结构可靠指标并不在计算式中出现,已在分项系数中考虑。

各种承重结构均应按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

承载能力极限状态对应于结构或构件达到最大承载能力或达到不适于继续承载的变形的极限状态。

正常使用极限状态对应于结构或构件达到正常使用的某项规定极限值的极限状态。

设计冷弯薄壁型钢结构时,应根据结构破坏可能产生的后果的严重程度,采用不同的安全等级。

一般工业与民用建筑冷弯薄壁型钢结构的安全等级可取为二级,特殊建筑冷弯薄壁型钢结构的安全等级可根据具体情况另行确定。

按承载能力极限状态设计冷弯薄壁型钢结构,应考虑荷载效应的偶然组合,采用荷载设计值和设计强度进行计算。荷载设计值等于荷载标准值乘以荷载分项系数;设计强度等于材料强度标准值除以抗力分项系数。按荷载效应基本组合进行强度和稳定性设计时,采用下列极限状态设计表达式:

$$\gamma_0 \left(\sigma_{Gd} + \sigma_{Q1d} + \psi_c \sum_{i=2}^n \sigma_{Qi d} \right) \leq f \quad (1-1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,对安全等级为一级、二级、三级的结构构件分别取1.1、1.0、0.9;

σ_{Gd} ——永久荷载的设计值 Gd 在结构构件截面或连接中产生的应力,而 $Gd = \gamma_G G_k$;

γ_G ——永久荷载分项系数,一般采用1.2,当永久荷载效应对结构构件的承载能力有利时应采用1.0。轻钢结构的刚架、屋架和檩条,应考虑由于风吸力作用影响,此时永久荷载分项系数应取1.0;

G_k ——永久荷载的标准值;

σ_{Q1d} ——第一个可变荷载的设计值 Q_{1d} 在结构构件截面或连接中产生的应力(该应力大于其它任意第 i 个可变荷载设计值产生的应力),而 $Q_{1d} = \gamma_{Q1} Q_{1k}$;

$\sigma_{Qi d}$ ——其它第 i 个可变荷载设计值 Q_{id} 在结构构件截面或连接中产生的应力,而 $Q_{id} = \gamma_{Qi} Q_{ik}$;

γ_{Q1} 、 γ_{Qi} ——第一和第 i 个可变荷载的分项系数,一般情况下可采用1.4;

Q_{1k} 、 Q_{ik} ——第一和第 i 个可变荷载的标准值;

ψ_c ——可变荷载的组合值系数;一般情况下,当有风荷载参与组合时,取0.6;当没有

风荷载参与组合时,取 1.0;

f ——结构构件和连接的强度设计值; $f=f_k/\gamma_R$;

γ_R ——抗力分项系数;

f_k ——材料(焊缝系指熔敷金属)强度的标准值。

对于一般刚架、排架及框架结构,可采用以下简化的设计公式:

$$\gamma_0 \left(\sigma_{Gd} + \psi \sum_{i=1}^n \sigma_{Qid} \right) \leq f \quad (1-2)$$

式中 ψ ——荷载组合系数,当参与组合的可变荷载有两个或两个以上时取 0.85;其它情况取 1.0。

对于正常使用的极限状态,结构或构件应按荷载的短期效应组合,用下式进行计算:

$$\omega = \omega_{Gk} + \omega_{Q1k} + \psi_c \sum_{i=2}^n \omega_{Qik} \leq [\omega] \quad (1-3)$$

式中 ω ——结构或构件中产生的变形值;

ω_{Gk} ——永久荷载的标准值在结构或结构构件中产生的变形值;

ω_{Q1k} ——第一个可变荷载的标准值在结构或结构构件中产生的变形值(该值大于其它任意第 i 个可变荷载标准值产生的变形值);

ω_{Qik} ——第 i 个可变荷载标准值在结构或结构构件中产生的变形值;

$[\omega]$ ——结构或结构构件的容许变形值。

计算结构构件的强度或稳定性以及连接的强度时,应采用荷载的设计值(荷载标准值乘以荷载分项系数),计算变形时,应采用荷载的标准值。

1.3.2 设计强度

1.3.2.1 钢材的设计强度应按表 1-1 采用。

表 1-1 钢材的设计强度(N/mm²)

强度种类	符 号	钢 材 的 钢 号	
		Q235 钢	16 锰 钢
抗拉、抗压和抗弯	f	205	300
抗 剪	f_v	120	175
端承压(磨平顶紧)	f_{ce}	310	425

对于厚度不小于 2.5mm 的 Q235 镇静钢,钢材的抗拉、抗压和抗剪设计强度可按上表中 Q235 钢栏的数值提高 5%。这是因为根据钢材强度试验数据的统计分析,厚度不小于 2.5mm 的 Q235 镇静钢板材的屈服点平均值一般要比 Q235 沸腾钢高出 20~30MPa,变异性也较小,为了充分发挥其特点,故将其强度适当提高。

此外,在计算截面面积全部有效的受拉、受压或受弯构件的强度时,按本节 1.3.2.4 考虑冷弯效应所引起的强度提高,这也是冷弯型轻钢结构与普通钢结构的区别之一。

1.3.2.2 焊缝的设计强度

焊缝的设计强度应按表 1-2 采用,并应考虑表 1-4 中的折减系数。

表 1-2 焊缝的设计强度 (N/mm²)

焊缝种类	强度种类	符 号	构 件 的 钢 号	
			Q235 钢	16 锰 钢
对接焊缝	抗 压	f_c^w	205	300
	抗 拉	f_t^w	175	255
	抗 剪	f_v^w	120	175
角 焊 缝	抗压、抗拉、抗剪	f_j^w	140	195

Q235 钢与 16 锰钢采用对接焊接时,焊缝设计强度应按上表 Q235 钢栏的数值采用。

1.3.2.3 普通粗制螺栓连接的设计强度

普通粗制螺栓连接的设计强度应按表 1-3 采用。

表 1-3 普通粗制螺栓连接的设计强度 (N/mm²)

强度种类	符 号	螺栓的钢号	构 件 的 钢 号	
		Q235 钢	Q235 钢	16 锰 钢
抗 拉	f_t^b	165	—	—
抗 剪	f_v^b	125	—	—
承 压	f_c^b	—	290	420

1.3.2.4 冷弯效应

冷弯型钢系由钢板或带钢经冷加工成型的,由于冷作硬化的影响,其屈服强度将有不同程度的提高。为了充分发挥冷弯型钢的这种特性,在计算受拉、受压和受弯构件的强度时,若构件截面全部有效,可按公式(1-4)算出考虑冷弯效应的设计强度 f' 值来代替表 1-1 中相应栏内的数值:

$$f' = \left[1 + \frac{\eta(12\gamma - 10)t}{l} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\theta_i}{2\pi} \right] \cdot f \quad (1-4)$$

式中 η ——成型方式系数,按下列规定采用:冷弯高频焊(圆变)方,矩形管 1.7,圆管及其它冷弯型钢 1.0;

γ ——钢材抗拉强度(f_u)与屈服点(f_y)的比值,通常对于 Q235 钢取 $\gamma=1.58$,对于 16 锰钢取 $\gamma=1.48$;

l ——型钢截面中心线的长度,可取型钢截面积与其厚度的比值,亦可按下式计算:

$$l = l' + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \theta_i (2r_i + t) \quad (1-5)$$

式中 l' ——型钢平板部分宽度之和;

r_i ——型钢截面上第 i 个棱角内表面的弯曲半径;

n ——型钢截面所含棱角的数目;

θ_i ——型钢截面上第 i 个棱角所对应的圆周角,以弧度为单位。

γ_i, θ_i 等均如图 1-2 所示(代斜线的为棱角部分,余为平板部分)。

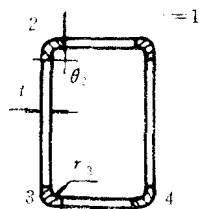


图 1-2 冷弯型钢截面图

1.3.3 折减系数

考虑到结构的受力情况,连接方法和工作条件的不同,在某些情况下,为了保证结构的安全可靠和正常工作,对于上述表 1-1、1-2 和 1-3 所规定的设计强度,应按表 1-4 所列乘以相应的折减系数;若表中所列几种情况同时存在,则其折减系数应连乘。

表 1-4 折 减 系 数

项 次	所 考 虑 的 情 况	折减系数
1	在屋架、刚架横梁中采用焊接方管(指用两槽钢对焊而成的方管之类)的受压弦杆及支架斜杆)	0.95
2	单面连接的单角钢杆件: (1) 按轴心受力计算强度和连接 (2) 按轴心受压计算稳定性 (式中: λ ——对中间无联系的单角钢压杆,按最小回转半径计算的长细比)	0.85 0.6+0.0014 λ
3	无垫板的单面对接焊缝	0.85
4	施工条件较差的高空安装焊缝	0.90
5	两构件的连接采用搭接或间填有垫板的连接以及单盖板的不对称连接	0.90

1.3.4 构件的容许长细比

1) 受压构件的长细比不宜超过表 1-5 中的数值。

表 1-5 受压构件的容许长细比

项 次	构 件 类 别	容许长细比
1	主要构件(如主要承重柱、刚架柱、桁架和格构式刚架的弦杆及支座压杆等)	150
2	其他构件和支撑	200

2) 受拉构件的长细比不宜超过表 1-6 中的数值。

表 1-6 受拉构件的容许长细比

项 次	构 件 类 别	容许长细比
1	一般受拉构件	350
2	在风载与恒载组合作用下受压的受拉构件	250
3	在吊车荷载作用下受压的受拉构件	200

注:张紧的圆钢拉条的长细比不受此限。

1.3.5 构件受压板件的最大宽厚比

1) 构件中的受压板件,其宽厚比不宜超过表 1-7 中的规定。

表 1-7 受压板件的宽厚比限值

项 次	板件两纵边的支承条件	钢 号	
		Q235 钢	16 锰 钢
1	一边支承、一边自由	45	35
2	一边支承、一边卷边	60	50
3	两边支承	250	200

2) 圆管截面构件的外径(d)与壁厚(t)之比 $\left(\frac{d}{t}\right)$ 不应大于 $100 \cdot \left(\frac{235}{f_y}\right)$,即对于 Q235 钢: $\frac{d}{t} \leq 100$;对于 16 锰钢: $\frac{d}{t} \leq 68$ 。

1.3.6 钢材的物理性能

钢材的物理性能,可按表 1-8 采用。

表 1-8 钢材的物理性能

弹性模量 E (MPa)	剪切模量 G (MPa)	线膨胀系数 α (10/C)	密 度 ρ (kg/m ³)
2.06×10^5	0.79×10^5	1.2×10^5	7850

1.4 基本构件计算

1.4.1 轴心受力构件的计算

轴心受力构件应分别按表 1-9 所列公式计算强度和稳定性。

表 1-9 轴心受力构件的计算公式

项 次	构件类别	计算内容	计 算 公 式
1	轴心受拉	强 度	$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq f$ (1-6)
2	轴心受压	强 度	$\sigma = \frac{N}{A_{efn}} \leq f$ (1-7)
		稳 定 性	$\sigma = \frac{N}{\varphi A_{ef}} \leq f$ (1-8)

表内式中 σ ——正应力;

N ——轴心力,以压力为正,拉力为负;

A_n ——净截面面积;

f ——钢材的设计强度;

A_{ef} ——有效截面面积;

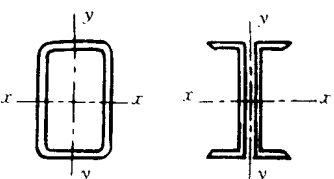
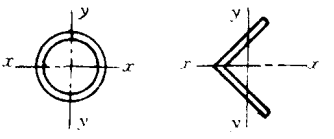
A_{efn} ——有效净截面面积；

φ ——轴压杆件的稳定系数，根据构件的最大长细比，按附表 2-1 或附表 2-2 采用。

1) 闭口截面、双轴对称的开口截面和不卷边的等边单角钢的轴心受压构件的长细比应取按表 1-10 中所列公式算得的较大值。

表 1-10

长细比计算公式

截 面 形 式	计 算 公 式
	$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x} \quad (1-9)$
	$\lambda_y = \frac{l_{oy}}{i_y} \quad (1-10)$

表内式中 λ_x, λ_y ——构件对截面主轴 x 和 y 的长细比；

l_{ox}, l_{oy} ——构件在垂直于截面主轴 x 和 y 平面内的计算长度；

i_x, i_y ——构件毛截面对主轴 x 和 y 的回转半径。

2) 求单轴对称开口截面(不卷边的等边单角钢除外)轴心受压构件的稳定系数时，其长细比应取公式(1-11)和公式(1-9)中的较大值：

$$\lambda_c = \lambda_x \sqrt{\frac{S^2 + i_0^2}{2S^2} + \sqrt{\left(\frac{S^2 + i_0^2}{2S^2} - \frac{i_0^2 - \alpha e_0^2}{S^2}\right)}} \quad (1-11)$$

$$S^2 = \frac{\lambda_x^2}{A} \left(\frac{\beta I_w}{l_w^2} + 0.039 I_t \right) \quad (1-12)$$

$$i_0^2 = e_0^2 + i_x^2 + i_y^2 \quad (1-13)$$

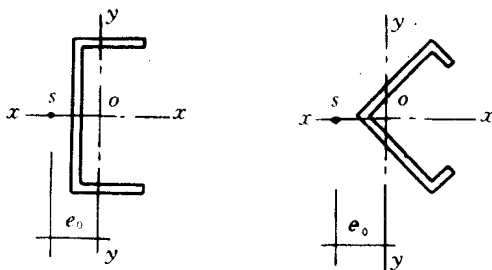


图 1-3 单轴对称开口截面

式中 λ_w ——弯扭屈曲的换算长细比；

α, β ——约束系数，应按表 1-11 采用；

I_w ——毛截面的扇性惯性矩；

l_w ——扭转屈曲的计算长度，无缀板时取 $l_w = l_{ox}$ ，有缀板时 l_w 取缀板中心线最大间距；

I_t ——毛截面抗扭惯性矩；

e_0 ——毛截面弯心在对称轴上的坐标。

表 1-11

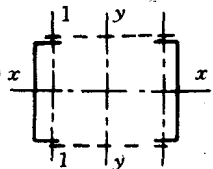
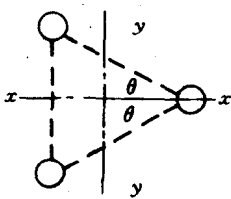
开口截面轴心受压和压弯构件的约束系数

项次	构件两端的支承情况	无缀板		有缀板	
		α	β	α	β
1	两端铰接,端部截面可以自由翘曲	1.00	1.00	—	—
2	两端嵌固,端部截面的翘曲完全受到约束	1.00	1.00	0.80	1.00
3	两端铰接,端部截面的翘曲完全受到约束	0.72	4.00	0.80	1.00

3) 格构式轴压构件的长细比应按表 1-12 规定取值。

表 1-12

格构式构件的换算长细比

项次	构件截面形式	缀材类别	对 x, y 轴的换算长细比
1		缀板	$\lambda_{ox} = \lambda_x$ $\lambda_{oy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$ (1-14)
		缀条	$\lambda_{ox} = \lambda_x$ $\lambda_{oy} = \sqrt{\lambda_y^2 + 27 \frac{A}{A_1}}$ (1-15)
2		缀条	$\lambda_{ox} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{42A}{A_1(1.5 - \cos^2\theta)}}$ (1-16) $\lambda_{oy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{42A}{A_1 \cos^2\theta}}$ (1-17)

表内式中 λ_y ——整个构件对虚轴 y 的长细比;

λ_1 ——单肢对其自身平行于腹板的主轴 1-1 轴的长细比,其计算长度取缀板间净距;

A ——所有单肢毛截面面积之和;

A_1 ——构件横截面所截各斜缀条毛截面面积之和。

缀板连接的格构式受压构件,其单肢长细比 λ_1 不应大于 40,且不应大于构件最大长细比 λ_{max} 的 0.5 倍(当 $\lambda_{max} < 50$ 时,取 $\lambda_{max} = 50$),此时可不计算单肢的强度和稳定性。

格构式轴心受压构件的剪力应按下式计算:

$$V = \frac{Af}{85} \sqrt{\frac{f_y}{235}} \quad (1-18)$$

式中 V ——剪力;

A ——构件所有单肢毛截面面积之和;