

土木工程辅导丛书

钢结构

复习与习题

何敏娟 主编

同济大学出版社



钢结构复习与习题

何敏娟 主编



同济大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢结构复习与习题/何敏娟主编. —上海:同济大学出版社, 2002. 10
ISBN 7-5608-2470-6

I. 钢… II. 何… III. 钢结构—高等学校—教学参考资料 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 051297 号

钢结构复习与习题

何敏娟 主编

责任编辑 方 芳

责任校对 徐 栩

封面设计 晓 陆

**出 版
发 行**

同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟市华顺印刷有限公司

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 14

字 数 280000

印 数 1—3000

版 次 2002 年 10 月第一版 2002 年 10 月第一次印刷

书 号 ISBN 7-5608-2470-6/TU·459

定 价 19.80 元

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换

前 言

近十多年来,在我国的土建结构中,钢结构是发展最为迅速的结构类型之一。随着我国钢产量、钢结构设计水平和生产技术的提高,厂房屋盖钢结构不再是钢结构的主要代表,各地不断建起规模巨大、构形别致的钢结构场馆、会所及写字楼等公用建筑。钢结构设计成为未来或现在高校、企业及设计研究院的土木工程师们急于学习和掌握的热点知识。

为了满足各类人员的学习要求,作者编写此书,以期读者通过较短时间的复习和练习,能较好地掌握钢结构的一般基础知识,从而为新型钢结构工程的设计服务。

本书分三大部分。第一部分为复习要点,对钢结构基础知识进行了扼要归纳和提炼,便于读者复习;第二部分为习题,针对各章内容,作者收集和编写了大量选择题、填空题和计算题,以利于读者举一反三,巩固所学基础知识;第三部分为习题参考答案。

习题共分三个等级,题号后注“Ⅰ”者,为较简单的题目;题号后注“Ⅱ”者,题目略有难度。但不论“Ⅰ”、“Ⅱ”,读者无需查阅图表或公式就能熟练完成习题。题号后注“Ⅲ”者,读者需参考和查阅教材或规范的相应图、表或公式才能答题。

本书部分习题选自马人乐、吕志政、刘沈如、虞晓红、岳昌智和胡晓依等老师的供稿。同济大学钢结构教研室多位研究生如陈俊岭博士、尹麟硕士、周争考硕士、张春雷硕士和袁芳硕士等,为本书的文字和插图的输入做了大量的工作。挂一漏万,无法一一致谢。在此书稿完成之际,唯有对大家的帮助致以深深的感谢。

限于作者水平,文中不足之处在所难免,敬请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2002年6月

2A085/03

目 录

前 言

第一部分 复习要点	(1)
第一章 钢结构材料与计算原理	(3)
第一节 钢材的力学性能	(3)
第二节 影响钢材力学性能的因素	(3)
第三节 钢材的破坏	(5)
第四节 钢结构的疲劳强度	(5)
第五节 钢结构计算原则	(5)
第二章 受弯构件	(7)
第一节 受弯构件的计算内容	(7)
第二节 受弯构件的强度	(7)
第三节 受弯构件的整体稳定	(9)
第四节 受弯构件的局部稳定和加劲肋设置	(11)
第三章 轴拉构件	(13)
第四章 轴压构件	(14)
第一节 轴心受压构件的计算内容	(14)
第二节 轴心受压构件的整体稳定	(14)
第三节 实腹式轴心压杆的局部稳定	(16)
第四节 格构式轴压构件的柱肢或缀材计算	(17)
第五节 轴压构件的柱脚	(18)
第五章 拉弯和压弯构件	(19)
第一节 拉弯和压弯构件的破坏特点	(19)
第二节 拉弯和压弯构件的截面强度和刚度	(19)
第三节 实腹式压弯构件的整体稳定	(20)
第四节 实腹式压弯构件的局部稳定	(21)
第五节 格构式压弯构件	(22)
第六节 双向压弯构件	(24)
第六章 焊接连接	(26)
第一节 钢结构焊接连接特性	(26)

第二节	对接焊接的构造和计算	(26)
第三节	角焊缝的构造和计算	(29)
第七章	螺栓连接	(34)
第一节	普通螺栓连接的构造和计算	(34)
第二节	高强度螺栓连接的构造与计算	(38)
第八章	屋盖钢结构	(41)
第一节	屋盖结构的组成和布置	(41)
第二节	屋盖结构的支撑	(41)
第三节	钢檩条	(43)
第四节	普通钢屋架	(43)
第九章	施工与防腐	(46)
第一节	钢结构的制作	(46)
第二节	钢结构的防腐蚀	(47)
第三节	钢结构的安装	(48)
第四节	钢结构的验收	(49)
第二部分	习题	(51)
第一章	钢结构材料与计算原理	(53)
第二章	受弯构件	(64)
第三章	轴拉构件	(80)
第四章	轴压构件	(82)
第五章	拉弯和压弯构件	(95)
第六章	焊接连接	(104)
第七章	螺栓连接	(119)
第八章	屋盖钢结构	(133)
第九章	施工与防腐	(139)
第三部分	习题参考答案	(141)

第一部分

复习要点

第一章 钢结构材料与计算原理

第一节 钢材的力学性能

钢材力学性能主要有：强度、塑性、韧性和冷弯性能等。

（一）强度

钢材的强度决定着材料的承载能力，结构用钢的主要强度指标有屈服点 f_y 和抗拉强度 f_u ，通过标准试件的静力拉伸试验和应力应变图得出。下屈服点 f_y 为设计时钢材可达到的最大应力，称设计强度标准值。抗拉强度 f_u 是钢材破坏前能够承受的最大应力。钢材达到 f_u 时，已产生很大塑性变形而失去使用性能，但钢材的 f_u 值高则可以增加结构的安全保障，故 f_u/f_y 的值可看作钢材强度储备系数。

（二）塑性

钢材的塑性为应力超过屈服点后，试件产生明显的残余塑性变形而不断裂的性质。塑性好坏可用拉伸断裂时的最大相对塑性变形伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。 δ 值和 ψ 值可以通过标准试件的静力拉伸试验得到。

结构或构件在受力时（尤其承受动力荷载时）材料的塑性好坏往往决定了结构是否安全可靠，因此钢材塑性指标比强度指标更为重要。

（三）韧性

钢材的韧性是钢材在塑性变形和断裂的过程中吸收能量的能力，也是表示钢材抵抗冲击荷载的能力，它是强度与塑性的综合表现。

钢结构设计规范对钢材的冲击韧性 a_k 有常温和负温要求的规定。选用钢材时，根据结构的使用情况和要求提出相应温度的冲击韧性指标要求。

（四）冷弯性能

冷弯性能是指钢材在冷加工（常温下加工）产生塑性变形时，对产生裂缝的抵抗能力。冷弯性能的好坏，通过使钢材承受规定弯曲程度的弯曲变形后，检查试件弯曲部分的外面、里面和侧面是否有裂纹、裂断和分层来判断。

第二节 影响钢材力学性能的因素

（一）化学成分

钢的基本元素为铁(Fe)，普通碳素钢中约占 99%。此外，还有常存有益元素碳(C)、硅(Si)和锰(Mn)；常存有害元素有硫(S)、磷(P)、氧(O)、氮(N)等，这些元素的

总含量约为钢的 1%，但对钢材力学性能却有很大影响。

（二）冶金和轧制过程

按炉种的不同，我国结构用钢主要有三种冶炼方法：碱性平炉炼钢法、顶吹氧气转炉炼钢法、碱性侧吹转炉炼钢法。

平炉钢和顶吹转炉钢的力学性能指标较接近，而碱性侧吹转炉钢的冲击韧性、可焊性、时效、冷脆性、抗锈性能等都较差，故这种炼钢法已逐步被淘汰。

按脱氧程度的高低，钢材分为沸腾钢、镇静钢和半镇静钢。

沸腾钢脱氧程度低，氧、氮和一氧化碳气体从钢液中逸出，形成钢液的沸腾。沸腾钢的塑性、韧性、可焊性较差，容易发生时效和变脆，但产量较高、成本较低。半镇静钢脱氧程度较高些，上述性能都略好。而镇静钢的脱氧程度最高，性能最好，但产量较低，成本较高。

（三）时效

随着时间的增长，纯铁体中残留的碳、氧固溶物质逐步析出，形成自由的碳化物或氧化物微粒，约束纯铁体的塑性变形，此为时效。

时效将提高钢材的强度，降低塑性、韧性。时效的过程可从几天到几十年。

（四）冷作硬化

钢结构在冷加工过程中引起的强度提高称为冷作硬化。冷加工包括：剪、冲、辊、压、折、钻、刨、铲、撑、敲等。

（五）温度

一般情况下，温度升高时，钢材的力学性能变化不大。

当温度达 250℃ 左右时，钢材抗拉强度提高，塑性、韧性下降，表面氧化膜呈蓝色，即发生蓝脆现象。

温度超过 300℃ 以后，钢材的屈服点和极限强度显著下降，达到 600℃ 时强度几乎等于零。

温度从常温下降到一定值，钢材的冲击韧性突然急剧下降，试件断口属脆性破坏，这种现象称为冷脆现象。钢材由韧性状态向脆性状态转变的温度叫冷脆转变温度。

（六）应力集中和残余应力

由于钢结构构件中存在的孔洞、槽口、凹角、裂缝、厚度变化、形状变化、内部缺陷等原因，使这些区域产生局部高峰应力，此谓应力集中现象。应力集中越严重，钢材塑性越差。

残余应力为钢材在冶炼、轧制、焊接、冷加工等过程中，由于不均匀的冷却、组织构造的变化而在钢材内部产生的不均匀的应力。残余应力在构件内部自相平衡而与外力无关。残余应力的存在易使钢材发生脆性破坏。

（七）复杂应力状态

钢材在单向应力作用下,当应力达到屈服点 f_y 时,钢材屈服而进入塑性状态。当钢材处于复杂应力作用下(平面应力或立体应力),按能量强度理论(第四强度理论),以折算应力 σ_{eq} 是否大于 f_y 来判断钢材是否由弹性状态转变为塑性状态。

根据 σ_{eq} 的计算公式可知,钢材在多轴应力作用下,当处于同号应力场时,钢材易产生脆性破坏;而当处于异号应力场时,将发生塑性破坏。

第三节 钢材的破坏

(一) 钢材的两种破坏形式

钢材的破坏分塑性破坏和脆性破坏两种。

塑性破坏:加载后,钢材有较大变形,因此,破坏前有预兆,断裂时断口呈纤维状,色泽发暗。

脆性破坏:加载后,钢材无明显变形,因此,破坏前无预兆,断裂时断口平齐,呈有光泽的晶粒状。脆性破坏危险性大。

(二) 影响脆性的因素

化学成分(P、N 导致冷脆,S、O 引起热脆)、冶金缺陷(偏析、非金属夹杂、裂纹、起层)、温度(热脆、低温冷脆)、冷作硬化、时效硬化、应力集中以及同号三向主应力状态等均会增加钢材的脆性。

第四节 钢结构的疲劳强度

在建筑结构中,有些构件承受随时间而变化的循环荷载,如吊车梁和支撑振动设备的平台梁等,对这样的构件需进行疲劳计算。

每次应力循环中的最大拉应力和最小拉应力或压应力(拉应力取正值,压应力取负值)之差为应力幅。所有应力循环中的应力幅保持常量时,称为常幅循环荷载;所有应力循环中的应力幅不为常量时,则称为变幅循环荷载。

钢材在连续常幅循环荷载作用下,当循环次数达某一定值时,钢材发生破坏的现象,称为钢材的疲劳破坏。疲劳破坏属于脆性破坏。

疲劳计算采用容许应力幅法。疲劳强度与构造状况(包括应力集中程度和残余应力)、作用的应力幅及循环荷载重复次数等有关。

第五节 钢结构计算原则

钢结构设计除疲劳计算外,均采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,用分项系数的设计表达式进行计算。

结构的极限状态系指结构或构件能满足设计规定的某一功能要求的临界状态,超过这一状态,结构或构件不再能满足设计要求。

承重结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。承载能力极限状态为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时的极限状态,如结构或构件的强度破坏、丧失稳定等;正常使用极限状态为结构或构件达到正常使用的某项规定限值时的极限状态,如变形、长细比过大等。

计算结构或构件的强度、稳定性以及连接的强度时,应采用荷载设计值(荷载标准值乘以荷载分项系数);计算疲劳和正常使用极限状态的变形时,应采用荷载标准值。

对于直接承受动力荷载的结构:在计算强度和稳定性时,动力荷载设计值应乘动力系数;在计算疲劳和变形时,动力荷载标准值不应乘动力系数。

计算吊车梁或吊车桁架及其制动结构的疲劳时,吊车荷载应按作用在跨间内起重量最大的一台吊车确定。

材料的强度设计值为材料强度标准值除以抗力分项系数。

计算下列情况的结构构件或连接时,强度设计值应乘以相应的折减系数。

1. 单面连接的单角钢

(1) 按轴心受力计算强度和连接时,折减系数取 0.85。

(2) 按轴心受压计算稳定性时,① 对于等边角钢,折减系数取 $0.6 + 0.0015\lambda$,但不大于 1.0;② 对于短边相连的不等边角钢,折减系数为 $0.5 + 0.0025\lambda$,但不大于 1.0;③ 对于长边相连的不等边角钢折减系数为 0.7。上述计算中 λ 为长细比,对中间无连系的单角钢压杆,应按最小回转半径计算,当 $\lambda < 20$ 时,取 $\lambda = 20$ 。

2. 施工条件较差的高空安装焊缝和铆钉连接时,折减系数取 0.9。

3. 沉头和半沉头铆钉连接,折减系数取 0.8。

当几种情况同时存在时,其折减系数应连乘。

第二章 受弯构件

第一节 受弯构件的计算内容

受弯构件设计,分为强度、整体稳定、局部稳定和刚度几个方面。

(一) 强度

梁截面中一般有正应力、剪应力存在,有时还有局部压应力。一般情况下,常以最大边缘应力达到屈服点作为强度极限状态,在一定条件下,允许考虑截面的部分塑性发展。设计时,梁内的正应力、剪应力和局部压应力均不应超过规范规定的相应的强度设计值。如果在梁的某些部位,上述三种应力或其中两种应力都较大时(例如梁的翼缘与腹板的交界处、连续梁的支座处等),还应验算折算应力。此外,组合截面梁尚需计算焊缝连接、铆钉连接或螺栓连接的强度。

(二) 整体稳定

受弯构件在荷载作用下,虽然其正应力还低于钢材的强度,但其变形会突然偏离原来的弯曲变形平面,同时发生侧向弯曲和扭转,这种现象称为受弯构件的整体失稳。

受弯构件产生整体失稳的主要原因,是侧向刚度太小、抗扭刚度太小、侧向支承点的间距太大等,因此,应对受弯构件的整体稳定进行验算,或在构造上保证其整体稳定性。

(三) 局部稳定

受弯构件在荷载作用下,其受压翼缘和腹板受压区出现波状的局部屈曲,这种现象被称作局部失稳。

为了保证受压翼缘不会局部失稳,应使其宽度与厚度之比符合一定的要求。对于腹板,常用加劲肋将其分隔成尺寸较小的区格来提高其抵抗局部屈曲的能力。

(四) 刚度

受弯构件的刚度计算,是保证其在使用过程中不会因挠度太大而不能满足正常使用的要求。

第二节 受弯构件的强度

(一) 正应力强度

绕单轴弯曲时:

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \leq f \quad (2-1)$$

绕双轴弯曲时:

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f \quad (2-2)$$

式中 M_x, M_y ——绕 x 轴和 y 轴的弯矩(对工字形截面,一般 x 轴为强轴, y 轴为弱轴);

W_{nx}, W_{ny} ——对 x 轴和 y 轴的净截面抵抗矩;

γ_x, γ_y ——截面塑性发展系数。

当梁的计算考虑塑性发展时,对截面板件宽厚比限制更严。如工字形截面为保证翼缘局部稳定,要求其外伸肢的宽厚比 $b/t \leq 15\sqrt{235/f_y}$,但考虑塑性发展时,限定为 $b/t \leq 13\sqrt{235/f_y}$ 。如不满足,应取 $\gamma_x = \gamma_y = 1.0$ 。

(二) 剪应力强度

在主平面内受弯的实腹构件,其抗剪强度计算公式:

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leq f_v \quad (2-3)$$

式中 V ——计算截面的剪力;

S ——计算剪应力处以上毛截面对中和轴的面积矩;

I ——毛截面惯性矩;

t_w ——腹板厚度;

f_v ——钢材的抗剪强度设计值。

(三) 局部承压应力强度

当梁上翼缘受到沿腹板平面作用的集中荷载(如吊车轮压、次梁传来的集中力等),且该荷载处又未设置支承加劲肋时,腹板计算高度上边缘的局部承压强度计算公式为:

$$\sigma_c = \frac{\psi F}{t_w l_x} \leq f \quad (2-4)$$

式中 F ——集中荷载,动力荷载需考虑动力系数;

ψ ——集中荷载增大系数,重级工作制吊车梁 $\psi = 1.35$,其他梁, $\psi = 1.0$;

l_x ——集中荷载在腹板计算高度上边缘的假定分布长度,按下式计算:

$$l_x = a + 2h_y \quad (2-5)$$

a ——集中荷载沿梁跨度方向的支承长度,吊车梁可取 50mm;

h_y ——自吊车梁轨顶或其他梁顶面至腹板计算高度上边缘的距离,见图 2-1。

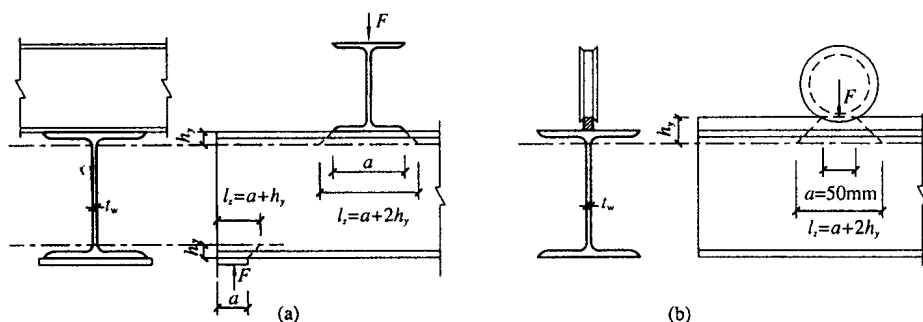


图 2-1 梁的局部压应力

在梁的支座处,当不设置支承加劲肋时,也应按式(2-4)计算腹板计算高度下边缘的局部压应力,但取 $\psi = 1.0$, 支座集中反力的假定分布长度,应按支座具体尺寸确定,见图 2-1(a)。

(四) 折算应力

在钢板组合梁的腹板计算高度边缘处,若同时受有较大的正应力、剪应力和局部压应力,或同时受有较大的正应力和剪应力(如连续梁支座处),其折算应力应按下列式计算:

$$\sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 - \sigma\sigma_c + 3\tau^2} \leq \beta_1 f \quad (2-6)$$

式中 σ, τ, σ_c ——腹板计算高度边缘同一点上同时产生的正应力、剪应力和局部压应力,其中正应力:

$$\sigma = M_{y1} / I_n \quad (2-7)$$

I_n ——梁净截面惯性矩;

y_1 ——所计算点至梁中和轴的距离;

β_1 ——计算折算应力的强度设计值增大系数:当 σ 与 σ_c 异号时, $\beta_1 = 1.2$; 当 σ 与 σ_c 同号或 $\sigma_c = 0$ 时, $\beta_1 = 1.1$; σ 与 σ_c 以拉应力为正,压应力为负。

第三节 受弯构件的整体稳定

(一) 影响梁整体稳定的因素

梁的整体稳定性与临界弯矩有关。临界弯矩越大,梁的整体稳定性越好。根据梁临界弯矩公式的推导,可知下列因素将影响临界弯矩的大小。

1. 梁的侧向抗弯刚度 EI_y 、抗扭刚度 GI_t 和抗翘曲刚度 EI_w 愈大,则临界弯矩愈大。

2. 梁的跨度 l (或侧向支承点的间距) 愈小, 则临界弯矩愈大。

3. 对于非对称截面, 荷载作用位置也会影响临界弯矩的大小。例如, 受压翼缘加强的工字形截面 (或翼缘受压的 T 形截面) 的临界弯矩比受拉翼缘加强的工字形截面 (或翼缘受拉的 T 形截面) 的临界弯矩大。

4. 荷载作用方式的影响。当梁受纯弯曲时, 弯矩图为矩形, 梁中所有截面的弯矩都相等, 此时临界弯矩较小; 当简支梁仅在跨中作用一个横向荷载时, 弯矩图呈一等腰三角形, 仅跨中弯矩值最大, 此时临界弯矩较大; 当简支梁上作用均布荷载时, 临界弯矩介于上述两者之间。

5. 横向荷载在截面上的作用位置对临界弯矩也有影响。对于工字形截面, 当横向荷载作用在受压翼缘时, 易失稳; 当荷载作用在受拉翼缘时, 不易失稳, 所以, 前者的临界弯矩较后者的小。

6. 梁支承对位移的约束程度愈大, 则临界弯矩愈大。

(二) 梁的整体稳定性的计算

1. 构造符合下列情况之一时, 可不计算梁的整体稳定性。

(1) 有铺板密铺在梁的受压翼缘并与其牢固相连。

(2) 工字形截面简支梁受压翼缘的自由长度 l_1 与其宽度 b_1 之比不超过表 2-1 规定的数值。

表 2-1 工字形截面简支梁不需计算整体稳定性的最大 l_1/b_1 值

钢号	跨中无侧向支承点的梁		跨中有侧向支承点的梁, 不论荷载作用于何处
	荷载作用在上翼缘	荷载作用在下翼缘	
Q235 钢(A3)	13	20	16
Q345 钢(16Mn, 16Mnq)	11	17	13
Q390 钢(15MnV, 15MnVq)	10	16	12

注: ① 其他钢号的梁不需计算整体稳定性的最大 l_1/b_1 值, 应取 Q235 的数值乘以 $\sqrt{\frac{235}{f_y}}$ 。

② 梁的支座处, 应采取构造措施以防止梁端截面的扭转。

③ l_1 指梁受压翼缘的自由长度: 对跨中无侧向支承点的梁, l_1 为其跨度; 对跨中有侧向支承点的梁, l_1 为受压翼缘侧向支承点间的距离 (梁的支座处视为有侧向支承)。

(3) 对箱形截面简支梁, 要求: $h/b_0 \leq 6$, 且 $l_1/b_0 \leq 95(235/f_y)$, 各符号意义见图 2-2。

2. 不满足上述条件的梁需验算整体稳定性

(1) 在最大刚度主平面内受弯的梁整体稳定性验算公式:

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_x} \leq f \quad (2-8)$$

式中 M_x ——绕强轴作用的最大弯矩；

W_x ——按受压翼缘确定的梁毛截面抵抗矩；

φ_b ——梁的整体稳定系数。

(2) 在两个主平面内受弯的工字形截面梁的整体稳定验算：

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_x} + \frac{M_y}{\gamma_y W_y} \leq f \quad (2-9)$$

式中 W_x, W_y ——按受压翼缘确定的梁毛截面抵抗矩；

φ_b ——绕强轴弯曲所确定的梁整体稳定系数；

γ_y ——截面塑性发展系数。

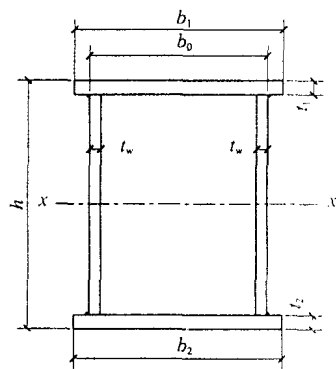


图 2-2 箱形截面梁

第四节 受弯构件的局部稳定和加劲肋设置

受弯构件截面主要由板组成。在设计梁时，从强度、刚度方面考虑，腹板宜高一些、薄一些、翼缘宜宽一些、薄一些。但如设计不当，则在荷载作用下，受压力作用的翼缘、腹板上受压应力和剪应力作用的区域有可能偏离其正常位置而形成波形屈曲——即局部失稳。

(一) 翼缘的局部稳定

为保证翼缘的局部稳定，梁受压翼缘宽厚比应满足下列要求。

1. 工字形截面

$$\frac{b}{t} \leq 15 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (2-10)$$

如果梁计算中考虑部分塑性发展时，要求 $b/t \leq 13 \sqrt{235/f_y}$ 。

式中 b ——受压翼缘自由外伸宽度，对焊接梁，取腹板边至翼缘板边缘的距离；对轧制梁，取内圆弧起点至翼缘板边缘的距离。

t ——受压翼缘厚度。

2. 箱形截面

$$\frac{b}{t} \leq 15 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (2-11)$$