

按国家标准《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)编写

GANGJIEGOUSHEJI

钢结构设计 ——方法与例题

夏志斌 姚 谏 编著

中国建筑工业出版社
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

钢 结 构 设 计

——方法与例题

按国家标准《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)编写

夏志斌 姚 谏 编著

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计——方法与例题/夏志斌,姚谏编著. —北京:中国建筑工业出版社, 2005

ISBN 7-112-07702-8

I. 钢… II. ①夏…②姚… III. 钢结构—结构设计 IV. TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 098961 号

钢 结 构 设 计

——方法与例题

按国家标准《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)编写

夏志斌 姚 谏 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 23 $\frac{3}{4}$ 字数: 580 千字

2005 年 9 月第一版 2005 年 9 月第一次印刷

印数: 1—5000 册 定价: **39.00 元**

ISBN 7-112-07702-8

(13656)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书通过钢结构设计例题说明国家标准《钢结构设计规范》中各项规定的正确使用。本书是在原《钢结构设计例题集》一书的基础上修改编写的。已按现行规范 GB 50017—2003 作了全面修订和增补。全书共 14 章，除连接和钢结构三大基本构件的计算和设计外，还包含了一些结构的算例，如屋架设计、吊车梁设计和钢与混凝土组合梁设计等。选题有针对性，联系工程实际。对每个例题的解答都作了详细说明，并注明引用的规范条文。对设计结果常加以评点和小结，以引起注意，力求设计目的明确，条理清楚，易于阅读。

本书主要供建筑钢结构的设计、制造和施工等技术人员阅读，也可供土建高等院校师生参考。

* * *

责任编辑：赵梦梅

责任设计：赵 力

责任校对：李志瑛 王金珠

前 言

国家标准《钢结构设计规范》GB 50017(简称新版)已于2003年发行并实施。旨在说明该规范GBJ 17—88版的原《钢结构设计例题集》(以下简称“原书”)因此必须随之进行修订和增补以应读者需要。修订和增补后该书更名为《钢结构设计—方法与例题》。

新版规范GB 50017—2003与GBJ 17—88版相比,主要作了如下的重要修订和增补:

1. 钢材牌号已改为推荐使用国家标准《碳素结构钢》GB/T 700中的Q235钢和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591中的Q345钢、Q390钢和Q420钢,而且规定了更高的质量要求。

2. 在受弯构件的计算中,主要修改了组合梁腹板的局部稳定验算方法和验算条件。

计算腹板区格在弯曲应力、剪应力和局部承压应力单独作用下的临界应力时,改变了原规范中假定钢板为理想无限弹性体的假定,采用以“通用高厚比”为参数、腹板区格分别处于弹性工作阶段、非弹性工作阶段和屈服工作阶段的三阶段临界应力表达式。

对承受静力荷载和间接承受动力荷载的工字形截面组合梁的腹板,容许其局部失稳,采用考虑腹板屈曲后强度的验算方法进行设计,从而达到可选用较大高厚比的腹板而不需设置纵向加劲肋和加大横向加劲肋间距而获得经济的目的。

在重级工作制吊车梁的设计中,规定了考虑吊车梁摆动而引起的横向水平力,以代替原规范中规定的对吊车横向水平荷载乘以增大系数的方法。

在对吊车梁的挠度验算中,规定按跨间内荷载效应最大的一台吊车进行计算,同时调整了规定的挠度容许值。

3. 在轴心受压构件的计算中,增添了适用于厚板($t \geq 40\text{mm}$)组成的构件的稳定计算用的 d 曲线;规定单轴对称截面绕其对称轴的稳定计算中,应采用考虑弯扭效应的换算长细比以代替弯曲失稳的长细比;修正了轴心受压构件截面分类表,使之主要取决于不同截面形状因而残余应力对稳定承载力的影响随之而异这一因素;增添了板件厚度 $t \geq 40\text{mm}$ 时的截面分类。

修改了用于减小轴心受压构件自由长度的支撑中支撑力的计算公式,包括柱间有一道支撑、多道支撑和被撑构件为多根柱组成的柱列时等多种情况。

4. 在压弯构件的计算中,对稳定验算公式中的等效弯矩系数取值作了个别调整,对式中的欧拉荷载 N_E 考虑了平均抗力分项系数1.1。

把单层和多层框架区分为无支撑纯框架、强支撑框架和弱支撑框架等三类。对其中的无支撑纯框架,建议采用二阶弹性分析计算内力,并列出了可供采用的二阶弹性分析近似方法,规定了分析时应考虑由于实际缺陷影响而引起的假想水平力公式;此时,稳定计算时构件的计算长度取其几何长度。对强支撑框架柱按无侧移框架查表求其计算长度,对弱支撑框架柱则直接给出了求轴心受压稳定系数 φ 的公式。为此,规范中规定了判别为强支撑框架时其支撑所需的侧倾刚度。

规范中还修正了T形截面的轴心受压构件和弯矩使腹板自由边受拉的压弯构件腹板高厚比限值的公式,较原规范的规定值有所放宽,但更为合理。

5. 疲劳计算中,规定直接承受动力荷载重复作用的钢结构构件及其连接当应力循环次数 $n \geq 5 \times 10^4$ 次(原规范为 $n \geq 10 \times 10^4$ 次)时,应进行疲劳计算(修改的主要原因是考虑到某些应力集中较严重的构件或连接当 $n \geq 10 \times 10^4$ 次时才进行疲劳计算,可能导致疲劳破坏)。

对吊车梁的疲劳计算则可仍循过去一直沿用的设计习惯,按规范第6.2.3条对承受重级工作制吊车及承受起重量 $Q \geq 50t$ 的中级工作制吊车的吊车梁进行。

6. 在焊缝连接中,首次提出了确定焊缝质量等级的原则和具体规定,供设计人员使用。修改了焊缝计算长度的规定和斜角角焊缝计算厚度的计算公式。

对螺栓连接,区分为无预拉力要求的普通螺栓连接和有明确预拉力值的高强度螺栓连接。对普通螺栓连接又区分性能等级为4.6级和4.8级的C级螺栓(粗制螺栓)与性能等级为5.6级和8.8级的A、B级螺栓(精制螺栓)。对高强度螺栓则区分为摩擦型连接和承压型连接两类,其表面处理要求不同,计算方法也各异;规定高强度螺栓承压型连接的计算方法完全与普通螺栓连接相同。

此外,新增了框架结构中梁柱为刚性连接时的节点域计算和构造要求,新增了节点处板件的强度和稳定计算。修订了梁支座中的弧形支座和辊轴支座的计算公式。

7. 在钢结构的构造要求方面,主要新增了大跨度($l \geq 60m$)屋盖结构的构造要求和提高寒冷地区钢结构抗脆断能力的要求两节。

8. 在塑性设计方面,取消了原规范中应对钢材和连接的强度设计值乘以折减系数0.9的过于保守的规定。

9. 在钢管结构一章中,对圆管节点,增加了TT形和KK形空间节点承载力的计算公式,修正了原规范中某些形状平面节点承载力的计算公式,扩大了计算公式适用的尺寸参数的范围;新增了方管(含矩形管)平面节点承载能力和节点焊缝的计算公式。

10. 在钢与混凝土组合梁一章中,增加了混凝土翼板的类型,包括混凝土叠合板和压型钢板混凝土组合板等;新增了负弯矩区段组合梁的抗弯强度计算,使该章内容不仅适用于简支梁,也适用于连续梁。此外还增加了部分抗剪连接组合梁在正弯矩区段和负弯矩区段的抗弯承载能力的计算。

在挠度计算中,引进了考虑混凝土板与钢梁间滑移影响的刚度折算,使挠度计算更符合实际。部分修订了抗剪连接件的强度计算公式和构造要求。

原书是当年《钢结构设计规范》GBJ 17—88出版后,由于规范内容较其前一版(TJ 17—74)有较大的变动和增加,为了宣传该新版规范并推广使用,作者应出版社之约而特意编写的,意图通过例题说明规范的正确使用。编写时确定读者对象是广大建筑钢结构设计、制造和施工的技术人员,同时也可供高校建筑学专业本科和专科的师生参考。为此,编写时特别注意下列几点:(1)例题的选用要联系实际,是工程设计中经常会遇到的;(2)每章和每个例题都要有明确的目的,每章之首扼要介绍该章的设计内容及要求,每个例题都说明计算步骤和方法;(3)例题解答中应注明引用的规范条文和公式编号,便于对照阅读、熟悉规范;(4)补充一些规范中未明确规定、但工程设计中却又经常遇到的问题的解决方法,以扩大知识。这些在原书中确定的编写要求,在本次的修订和增补中仍

力求贯彻。

最后，对修订和增补中的内容作一些具体的说明：

(1) 对原书中例题仅作少量变动，但其解答已完全按照新版规范 GB 50017 的规定作了修改。对规范的新规定则增加了一些例题。由于规范新增内容——框架的二阶弹性分析，完全属于结构力学的范围，本书中未列入有关二阶弹性分析的例题。

(2) 目前工程设计已大量运用软件进行电算，但作为工程技术人员不能仅满足于使用电算。本书中的详细解答当有助于工程技术人员对钢结构计算规定的理解。

(3) 把钢管结构的节点设计专列一章，新增方管(矩形管)结构节点的计算例题。

(4) 由于门式刚架目前工程中均采用变截面构件，且大多按照中国工程建设标准协会标准《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》进行设计，因此本书已把第一版中关于门式刚架设计的两章删去。

(5) 插图中的焊缝代号已按国家标准《建筑结构制图标准》GB/T 50105 绘制。

(6) 钢材的国家标准对碳素结构钢的牌号表示方法中按脱氧方式区分为镇静钢和沸腾钢等，但目前由于钢材冶炼轧制技术的进步，大钢厂主要采用连续铸锭法生产，钢材必然是镇静钢，因此例题中所选钢材牌号已很少定为沸腾钢。

全书修订和增补工作由姚谏进行，最后由夏志斌审阅。

曾为原书书稿认真校阅和提出宝贵意见的原重庆钢铁设计研究院赵熙元教授级高级工程师，在参加了《钢结构设计规范》GB 50017—2003 版定稿工作后不久，不幸病逝。他三十年如一日，积极参与历版规范的编写和修订，作出了贡献，特在此对他表示沉痛悼念。

对浙江大学建筑工程学院硕士研究生朱晓旭、叶谦、袁霓绯、曾春燕、樊烽和杨晓通为本书电脑打字和绘图也表示衷心谢意。

**作者于求是园
2005年7月**

原《钢结构设计例题集》前言

20世纪80年代后期以来,我国的结构设计规范相继进行了修订,且修订后的新版内容变动都很大。为了介绍和推广使用新修订的《钢结构设计规范》(GBJ 17—88),已出版有《钢结构设计规范应用讲评》一书(由重庆建筑工程学院魏明钟教授编著,中国建筑工业出版社出版),书中详细介绍了新规范的背景材料、理论根据和试验依据等。本书的编写是为了同一目的,但是采用例题的形式来说明规范条文的正确使用,关于公式的来源及规定的依据等在本书中则不作介绍。

新规范(GBJ 17—88)与原规范(TJ 17—74)相比,主要的修改包括:采用了以概率理论为基础的极限状态设计方法以代替过去使用的容许应力法;对三大基本构件的计算作了很大的改进,如受弯构件的强度计算中考虑了截面上局部发展塑性变形,对梁的整体稳定系数改进了计算公式,轴心受压构件的稳定系数采用 a 、 b 、 c 三条曲线,压弯构件的稳定计算改用了两项公式,增加了多层框架柱的计算长度系数的计算方法等;对连接计算的规定作了较多的补充,如直角角焊缝的计算增加了考虑受力方向不同的计算公式,增加了斜角角焊缝和不焊透的对接焊缝计算方法,增加了承压型高强度螺栓连接的计算等;疲劳计算中采用了验算应力幅的计算表达式;对构造要求也调整和充实了内容,如增加了双层翼缘板板梁的构造要求等;此外,还新增了塑性设计、钢管结构和钢与混凝土组合梁等三章。

本书的编写目的既是拟通过例题来说明新修订规范中各种规定的正确使用,因此全书章节的安排基本上与规范相适应。全书共分15章,其内容包含了从连接到基本构件的计算,也包含了几个大型构件和结构的算例,如钢屋架、山形门式刚架、钢与混凝土组合梁等。希望所选例题能对规范中的新内容均有所涉及。

书中在每章的开始,首先简要介绍计算内容和要求,然后用例题说明计算步骤和方法,力求做到计算目的性明确,条理清楚,内容易读。例题与工程计算书有一定区别,为了便于读者阅读,例题中都有一些文字说明,而在计算书上则完全无此必要。例题中常注明所引用规范条文或公式的编号,使读者可对照阅读规范的规定。还有一些问题在规范中未明确规定,而工程设计中却又经常遇到,在例题中也注意了尽可能参照其他资料作出必要的说明。例如对简支工字钢梁的整体稳定系数 φ_b ,规范中只规定了集中荷载或均布荷载单独作用时 φ_b 的求法,例题中则对同时承受均布荷载和集中荷载时 φ_b 的求法作了介绍。又如轴心受压构件的设计常需初步假定构件的长细比而后选用截面尺寸,例题中则对合适长细比的选定作了介绍。又如对多层框架柱的计算长度系数 μ 值,例题中介绍了规范中未列出的非典型条件下 μ 值的近似求法等。

在设计规范(GBJ 17—88)经批准和颁布施行后,我国的钢材国家标准已作了修改。碳素结构钢的国家标准已由原来的《普通碳素结构钢技术条件》(GB 700—79)修改为《碳素结构钢》(GB 700—88),前者已于1991年10月1日起废止。新老碳素结构钢的标

准有很大差别。例如老标准的 3 号钢已不复存在，而代之以 Q235 钢，并分 A、B、C、D 四个质量等级。例题中凡采用碳素结构钢时，均已改用 Q235 钢。在钢结构设计规范对有关 Q235 钢的强度设计值未作出规定前，书中附表 1.3 列出了按 (GBJ 17—88) 中规定屈服点算出的 Q235 钢的强度设计值供参考及本书例题中使用。

关于焊缝代号，《建筑结构制图标准》(GBJ 105—87) 中有明确规定，但国家技术监督局已于 1988 年 12 月批准了新的国家标准《焊缝符号表示法》(GB 324—88)，并于 1989 年 7 月 1 日实施。本书插图中的焊缝符号已尽量改用新国家标准的有关规定。新标准焊缝符号表示法中的一个重要改动是焊缝指引线除箭头线外，其基准线由两条平行的直线组成，一条是实线，另一条是虚线，基准线的虚线可以画在实线的上侧或下侧。如果接头的焊缝在箭头侧，则表示焊缝的基本符号应标在基准线的实线侧；如果在非箭头侧，则基本符号应标在虚线侧。对双面焊缝，则可不画基准线的虚线。为了便于读者阅读，在此作简要的说明。

本书第 1 章、第 3 至 7 章和第 10、11 章由姚谏编写，其余各章由夏志斌编写。

本书主要供在工业与民用建筑专业从事钢结构设计、制造与施工的工程技术人员阅读，也可供该专业的大专院校师生参考阅读。

作者衷心感谢重庆钢铁设计研究院赵熙元高级工程师对本书书稿的认真审阅和提出的许多宝贵意见，使本书内容更臻完善。作者也衷心感谢中国建筑工业出版社责任编辑赵梦梅同志给予作者的大力帮助。

夏志斌 姚 谏
浙江大学，杭州
1993 年 9 月

目 录

第 1 章 连接计算	1
1.1 对接焊缝的计算	1
1.2 直角角焊缝的计算	2
1.3 斜角角焊缝的计算	14
1.4 部分焊透的对接焊缝的计算	16
1.5 普通螺栓连接的计算	18
1.6 高强度螺栓摩擦型连接的计算	25
1.7 高强度螺栓承压型连接的计算	29
第 2 章 构件的连接设计	31
2.1 构件的拼接设计	31
2.2 钢牛腿的计算	39
2.3 梁与梁的连接计算	44
2.4 梁与柱的连接计算	47
2.5 柱脚锚栓的计算	50
2.6 梁的支座计算	58
第 3 章 轴心受拉构件和拉弯构件的计算	60
3.1 常用轴心受拉构件的计算	60
3.2 单面连接的单角钢轴心受拉构件的计算	66
3.3 节点采用高强度螺栓摩擦型连接的轴心受拉构件的计算	66
3.4 拉弯构件的计算	68
第 4 章 轴心受压构件的计算和设计	70
4.1 概述	70
4.2 实腹式轴心受压构件的计算和设计	70
4.3 轴心受压构件合适长细比的假定	77
4.4 屋盖桁架轴心受压杆件的设计	80
4.5 双肢格构式轴心受压构件的设计	85
4.6 四肢格构式轴心受压构件的设计	94
第 5 章 受弯构件(梁)的计算和设计	97
5.1 梁的强度计算	97
5.2 梁的整体稳定计算	100
5.3 悬挂式单轨吊车梁的设计	108
5.4 实腹式普通型钢檩条的设计	110
5.5 简支卷边 Z 形钢檩条的设计	116

第 6 章 钢板梁的设计	119
6.1 [例题 6.1] 焊接工字形简支梁的设计资料	119
6.2 [例题 6.1] 钢板梁截面的初选	119
6.3 [例题 6.1] 钢板梁截面的验算	121
6.4 [例题 6.1] 钢板梁翼缘截面的改变	122
6.5 [例题 6.1] 钢板梁腹板局部稳定性的验算	126
6.6 [例题 6.1] 钢板梁腹板中间加劲肋的设计	130
6.7 [例题 6.1] 钢板梁支承加劲肋的设计	131
6.8 [例题 6.1] 钢板梁的翼缘焊缝	133
6.9 [例题 6.2] 双层翼缘板焊接工字形板梁的设计资料	134
6.10 [例题 6.2] 板梁截面的验算	134
6.11 [例题 6.2] 板梁截面外层翼缘板的截断点位置	136
6.12 [例题 6.2] 板梁翼缘焊缝的计算	137
6.13 [例题 6.2] 板梁腹板局部稳定性的验算	138
6.14 等截面焊接工字形板梁考虑腹板屈曲后强度的计算	138
第 7 章 压弯构件的设计和计算	146
7.1 概述	146
7.2 实腹式单向压弯构件的设计和计算	147
7.3 实腹式双向压弯构件的计算	164
7.4 格构式压弯构件的设计和计算	167
第 8 章 疲劳计算	185
8.1 计算规定	185
8.2 计算例题	186
第 9 章 支撑系统的计算	192
9.1 屋架横向支撑的计算	192
9.2 屋架垂直支撑的计算	197
9.3 框架结构柱间支撑的计算	199
第 10 章 吊车梁设计	207
10.1 吊车梁的荷载	207
10.2 简支吊车梁的设计内容和步骤	208
10.3 [例题 10.1] 12m 简支吊车梁的设计	209
10.4 [例题 10.2] 24m 简支吊车梁的设计	222
第 11 章 普通钢屋架设计	240
11.1 概述	240
11.2 [例题 11.1] 24m 焊接三角形钢屋架的设计资料	240
11.3 屋架杆件几何尺寸的计算	241
11.4 屋盖支撑布置	242
11.5 荷载计算	243
11.6 屋架杆件的内力计算	245

11.7	屋架杆件截面设计	246
11.8	屋架节点设计	254
第 12 章	等截面框架柱的计算长度	265
12.1	概述	265
12.2	无侧移框架柱与有侧移框架柱的计算长度系数	266
12.3	不设支撑的单层框架柱的计算长度	268
12.4	不设支撑的多层框架柱的计算长度	274
12.5	有支撑框架柱的计算长度	279
12.6	框架柱沿房屋长度方向(框架平面外)的计算长度	282
第 13 章	钢管结构的节点设计	284
13.1	概述	284
13.2	直接焊接圆钢管的节点设计	284
13.3	直接焊接方管或矩形管的节点设计	288
第 14 章	钢与混凝土组合梁设计	298
14.1	概述	298
14.2	[例题 14.1] 的设计资料	298
14.3	中间次梁设计	299
14.4	主梁设计	307
14.5	次梁与主梁的连接	316
14.6	[例题 14.2] 施工阶段钢梁下不设临时支承点的组合梁设计	316
附录 1	规范 GB 50017—2003 中有关表格摘录	325
附表 1.1	钢材的强度设计值	325
附表 1.2	焊缝的强度设计值	325
附表 1.3	螺栓连接的强度设计值	326
附表 1.4	钢材和钢铸件的物理性能指标	327
附表 1.5	螺栓或铆钉的最大、最小容许距离	327
附表 1.6	螺栓的有效面积	327
附表 1.7	摩擦面的抗滑移系数 μ	328
附表 1.8	一个高强度螺栓的设计预拉力值	328
附表 1.9	轴心受压构件的截面分类(板厚 $t < 40\text{mm}$)	328
附表 1.10	轴心受压构件的截面分类(板厚 $t \geq 40\text{mm}$)	329
附表 1.11	桁架弦杆和单系腹杆的计算长度 l_0	330
附表 1.12	受压构件的容许长细比	330
附表 1.13	受拉构件的容许长细比	330
附表 1.14	截面塑性发展系数 γ_x 、 γ_y	331
附表 1.15	H 型钢或等截面工字形简支梁不需计算整体稳定性的最大 l_1/b_1 值	332
附表 1.16	H 型钢和等截面工字形简支梁的整体稳定等效临界弯矩系数 β_b	332
附表 1.17	受弯构件挠度容许值	333
附表 1.18	计算疲劳容许应力幅的参数 C 和 β	333

附表 1.19	循环次数 n 为 2×10^6 次时的容许应力幅	333
附表 1.20	吊车梁(吊车桁架)欠载效应的等效系数 α_f	333
附表 1.21	疲劳计算时构件和连接分类	334
附表 1.22	无侧移框架柱的计算长度系数 μ	337
附表 1.23	有侧移框架柱的计算长度系数 μ	338
附表 1.24	矩形管节点几何参数的适用范围	338
附表 1.25	轧制普通工字钢简支梁的整体稳定系数 φ_b	339
附表 1.26	a 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	340
附表 1.27	b 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	340
附表 1.28	c 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	341
附表 1.29	d 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	342
附表 1.30	附表 1.29 注中公式的系数 α_1 、 α_2 、 α_3	343
附录 2	型钢规格及截面特性	344
附表 2.1	热轧等边角钢的规格及截面特性	344
附表 2.2	热轧不等边角钢的规格及截面特性	348
附表 2.3	两个热轧不等边角钢的组合截面特性	351
附表 2.4	热轧普通工字钢的规格及截面特性	354
附表 2.5	热轧普通槽钢的规格及截面特性	356
附表 2.6	热轧无缝钢管的规格及截面特性(部分摘录)	358
附表 2.7	宽、中、窄翼缘 H 型钢截面尺寸和截面特性	360
附表 2.8	剖分 T 型钢截面尺寸和截面特性	362
附表 2.9	卷边 Z 型钢的规格和截面特性	364
附表 2.10	几种常用截面的回转半径近似值	365
主要参考文献	366

第 1 章 连 接 计 算

本章内容包括对接焊缝、角焊缝、普通螺栓和高强度螺栓等连接的计算。连接计算不仅包括求解所需焊缝的尺寸，所需螺栓的数目，还应包括焊缝或螺栓的布置，特别是要注意对它们的构造要求，如是否满足角焊缝最小尺寸和最大尺寸要求，是否满足螺栓的最小和最大中心距和边距要求等。简单的连接如只承受轴心力的连接，可直接求出所需的焊缝尺寸或螺栓数目而后进行布置和排列。受力较复杂的连接，则常需先假定连接的尺寸、数量和布置，然后进行强度验算；不满足要求时，需修正以前的假定重新计算。

1.1 对接焊缝的计算

对接焊缝主要用于对接连接和 T 形连接中。焊缝质量级别较高的一级和二级对接焊缝^①，强度设计值与钢材的相同，焊缝有效截面也常与构件截面相同(焊接时无法采用引弧板的情况除外)，因而所连接的构件如已满足强度要求，则焊缝的强度就不必再行计算。对质量为三级的焊缝，其抗拉和抗弯曲受拉的强度设计值按规范规定等于相应钢材强度设计值的 85%，因而需进行计算。对接焊缝的计算主要是指这种情况下的连接。此外，对施工条件较差的高空安装焊缝，设计规范规定其强度设计值尚应乘以折减系数 0.9(见规范第 3.4.2 条)，也应属需计算之列。对接焊缝在外力作用下的计算公式与构件截面的计算公式相同。

【例题 1.1】 某简支钢梁，跨度 $l=12\text{m}$ ，截面如图 1.1 所示，钢材为 Q235-B 钢，抗弯强度设计值 $f=215\text{N/mm}^2$ ，承受均布静力荷载设计值^② $q=69\text{kN/m}$ 。设梁有足够的侧向支承，不会使梁侧扭屈曲，因而截面由抗弯强度控制。今因钢板长度不够，拟对其腹板在跨度方向离支座为 x 处设置工厂焊接的对接焊缝(图 1.1a)，焊缝质量等级为三级，手工焊，E43 型焊条。试根据焊缝的强度，求该拼接焊缝的位置 x 。

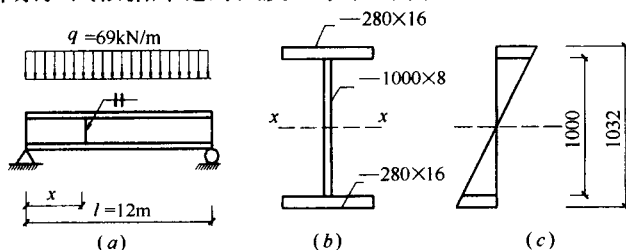


图 1.1 例题 1.1 图

(a) 简支梁；(b) 截面尺寸；(c) 弯曲正应力图

① 焊缝质量级别的检验标准见《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)。
② 荷载设计值为永久荷载和可变荷载标准值各乘以它们的荷载分项系数后之和。以后不再加注。

【解】 一 截面几何特性(图 1.1b)

对接焊缝的有效截面与腹板相同,因而焊缝所在的截面几何特性不变,与母材相同。

$$\text{惯性矩 } I_x = \frac{1}{12}(28 \times 103.2^3 - 27.2 \times 100^3) = 297911 \text{ cm}^4$$

$$\text{截面模量 } W_x = \frac{I_x}{h/2} = \frac{297911}{103.2/2} = 5773 \text{ cm}^3$$

$$\text{翼缘板对梁中和轴的面积静矩 } S_x = 28 \times 1.6 \times 50.8 = 2276 \text{ cm}^3$$

二、腹板对接焊缝处梁能承受的弯曲应力

x 处截面上的弯曲应力图如图 1.1c 示。已知 E43 型焊条、手工焊的三级对接焊缝抗弯曲受拉强度设计值 $f_t^w = 185 \text{ N/mm}^2$ (附表 1.2)。按对接焊缝的抗弯强度要求,该处梁截面所能承受的边缘纤维弯曲拉应力为

$$\sigma_{\max} = 185 \times \frac{1032}{1000} = 190.9 \text{ N/mm}^2$$

三、由焊缝处梁截面能承受的 σ_{\max} 求 x

该处梁截面上的最大拉应力应满足下式的要求:

$$\frac{M_x}{W_x} \leq \sigma_{\max}$$

$$\text{即 } M_x \leq \sigma_{\max} W_x = 190.9 \times 5773 \times 10^3 \times 10^{-6} = 1102 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{由 } M_x = \frac{1}{2}qlx - \frac{1}{2}qx^2 = \frac{1}{2} \times 69 \times 12x - \frac{1}{2} \times 69x^2 = 1102$$

$$\text{得 } 34.5x^2 - 414x + 1102 = 0$$

$$\text{解得 } x = \frac{414 - \sqrt{414^2 - 4 \times 34.5 \times 1102}}{2 \times 34.5} = 3.986 \text{ m} \approx 4.0 \text{ m}$$

按焊缝的抗拉强度,腹板的拼接焊缝必须位于离梁支座小于或等于 4.0m 处。

【讨论】 1. 腹板对接焊缝下端同时承受弯曲拉应力 σ 和剪应力 τ , 理应按下式验算该处的折算应力:

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1.1f_t^w \quad (a)$$

$$\text{今 弯曲应力 } \sigma = f_t^w = 185 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{剪力 } V = \frac{1}{2}ql - qx = \frac{1}{2} \times 69 \times 12 - 69 \times 4 = 138 \text{ kN}$$

$$\text{剪应力 } \tau = \frac{VS_x}{I_x t_w} = \frac{(138 \times 10^3)(2276 \times 10^3)}{(297911 \times 10^4) \times 8} = 13.2 \text{ N/mm}^2$$

代入(a)式,得

$$\sqrt{185^2 + 3 \times 13.2^2} = 186.4 < 1.1 \times 185 = 203.5 \text{ N/mm}^2, \text{ 可}$$

以上计算说明在本例题及类似本例题的情况中,焊缝的折算应力常不是控制条件,可不计算。

2. 若腹板的对接焊缝质量等级改为二级,则 $f_t^w = 215 \text{ N/mm}^2$, 与钢板强度设计值 f 相同,此时的工厂拼接焊缝位置就不受限制, x 可为 0~12m 之间的任意值。

1.2 直角角焊缝的计算

设计规范 GB 50017—2003 第 7.1.3 条对直角角焊缝的计算作了如下规定:

在 σ_f 和 τ_f 共同作用处，焊缝强度的计算公式为

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{\beta_f}\right)^2 + \tau_f^2} \leq f_f^w \quad (1.1)$$

在 σ_f 和 τ_f 单独作用下，由式(1.1)可分别得在通过焊缝形心的外力作用下的计算公式为

$$\sigma_f \leq \beta_f f_f^w \quad (1.2)$$

和

$$\tau_f \leq f_f^w \quad (1.3)$$

式中：对承受静力荷载和间接承受动力荷载的结构，取 $\beta_f = 1.22$ ；对直接承受动力荷载的结构，取 $\beta_f = 1.0$ 。

角焊缝的计算长度 l_w ，对每条焊缝取实际长度减去焊脚尺寸 h_f 的 2 倍。

要注意：在外力作用下， σ_f 和 τ_f 都是按角焊缝的有效截面 $h_e l_w$ 计算， σ_f 是垂直于焊缝长度方向的应力， τ_f 则是沿焊缝长度方向的应力。 τ_f 必然是角焊缝有效截面上的剪应力，而 σ_f 则不是角焊缝有效截面上的正应力，因为 σ_f 只是垂直于角焊缝的焊脚，而不是垂直于有效截面。

【例题 1.2】 图 1.2 所示为承受轴力的角钢构件的节点角焊缝连接。构件重心至角钢背的距离 $e_1 = 38.2\text{mm}$ 。钢材为 Q235-B 钢，手工焊，E43 型焊条。构件承受由静力荷载产生的轴心拉力设计值 $N = 1100\text{kN}$ 。三面围焊。试设计此焊缝连接。

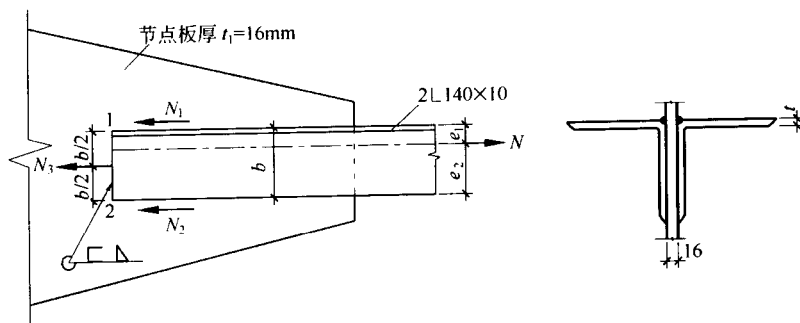


图 1.2 例题 1.2 图

【解】 为使构件重心线通过焊缝的形心，应按下列步骤求解。

一、角焊缝的焊脚尺寸 h_f

最大 $h_f \leq t - (1 \sim 2)\text{mm} = 10 - 2 = 8\text{mm}$ (角钢趾部与端部)

最小 $h_f \geq 1.5\sqrt{t_{\max}} = 1.5\sqrt{16} = 6\text{mm}$

采用 $h_f = 8\text{mm}$ ，满足上述要求 (见规范第 8.2.7 条)。

二、构件端部正面角焊缝所能承受的力

角焊缝强度设计值为 $f_f^w = 160\text{N/mm}^2$ (附表 1.2)

$$N_3 = 0.7h_f \sum l_{w3} \beta_f f_f^w = 0.7 \times 8 \times (2 \times 140) \times 1.22 \times 160 \times 10^{-3} = 306\text{kN}$$

三、角钢背部侧面角焊缝长度

对点 2 求力矩，由 $\sum M_2 = 0$ 得

$$N_1 b + N_3 \frac{b}{2} = N e_2$$

$$\begin{aligned}
 N_1 &= N \frac{e_2}{b} - \frac{N_3}{2} \\
 &= 1100 \times \left(\frac{140 - 38.2}{140} \right) - \frac{306}{2} = 1100 \times 0.727 - 153 = 646.7 \text{ kN}
 \end{aligned} \quad (a)$$

所需角钢背部侧面角焊缝的计算长度

$$l_{w1} = \frac{N_1}{\sum 0.7 h_f f_f^w} = \frac{646.7 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 8 \times 160} = 361 \text{ mm}$$

$l_{w1} < 60h_f = 60 \times 8 = 480 \text{ mm}$, $l_{w1} > 8h_f = 8 \times 8 = 64 \text{ mm}$, 满足构造要求。

实际长度 $l_1 = l_{w1} + h_f = 361 + 8 = 369 \text{ mm}$, 用 370 mm。

四、角钢趾部侧面角焊缝长度

对点 1 求力矩, 由 $\sum M_1 = 0$, 得

$$\begin{aligned}
 N_2 &= N \frac{e_1}{b} - \frac{N_3}{2} \\
 &= 1100 \times \frac{38.2}{140} - \frac{306}{2} = 1100 \times 0.273 - 153 = 147.3 \text{ kN}
 \end{aligned} \quad (b)$$

(或 $N_2 = N - N_1 - N_3 = 1100 - 646.7 - 306 = 147.3 \text{ kN}$)。

所需角钢趾部侧面角焊缝的计算长度

$$l_{w2} = \frac{N_2}{\sum 0.7 h_f f_f^w} = \frac{147.3 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 8 \times 160} = 82.2 \text{ mm}$$

$l_{w2} < 60h_f = 480 \text{ mm}$, $l_{w2} > 8h_f = 64 \text{ mm}$, 满足构造要求。

实际长度 $l_2 = l_{w2} + h_f = 82.2 + 8 = 90.2 \text{ mm}$, 用 90 mm (或 100 mm)。

【说明】 1. 由于三面围焊必须连续施焊, 因而两条侧面角焊缝的实际长度各为其计算长度另加 $h_f = 8 \text{ mm}$ 。

2. 在三面围焊中, 由于连续施焊, 因此三面的焊缝采用了同一焊缝尺寸 $h_f = 8 \text{ mm}$ 。在采用两面侧焊中, 沿角钢背和角钢趾的两条焊缝可以采用不同的焊脚尺寸 h_{f1} 和 h_{f2} 。此时沿角钢背的 h_{f1} 应满足 $h_{f1} \leq 1.2t = 1.2 \times 10 = 12 \text{ mm}$ (规范第 8.2.7 条)。

3. 上述算式 (b) 和 (a) 中的 e_1/b 和 e_2/b , 在实际设计中对应等边角钢常近似采用 0.3 和 0.7。

4. 当用两面侧焊时, 上述公式 (b) 和 (a) 仍然适用, 只需令式中的 $N_3 = 0$ 即可。

5. 当构件为单角钢时, 根据规范第 3.4.2 条规定, 单面连接角焊缝的强度设计值应乘以折减系数 0.85, 即 $f_f^w = 0.85 \times 160 = 136 \text{ N/mm}^2$, 其余计算均相同。

【例题 1.3】 图 1.3 所示为一由双槽钢组成的箱形柱上的钢牛腿, 由两块各厚 22 mm 的钢板组成, 钢材为 Q235-B 钢。牛腿承受静力荷载设计值 $V = 300 \text{ kN}$ 。每块牛腿钢板由四条角焊缝与槽钢相焊接, 尺寸如图所示, 手工焊, E43 型焊条。求应采用的焊脚尺寸 h_f 。

【解】 一、每块钢板上角焊缝有效截面的几何特性 ($h_e = 0.7h_f$ 为角焊缝的有效厚度)

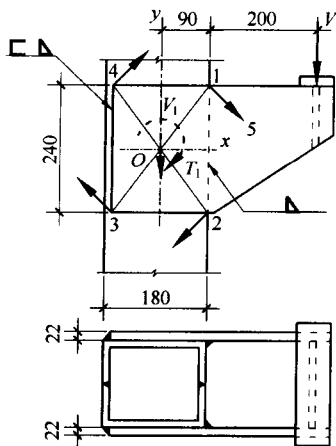


图 1.3 例题 1.3 图