

钢结构设计

计算与实例



人民交通出版社

China Communications Press



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书以现行规范《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)为基础,结合作者实践经验总结编写而成。主要包括:受弯构件的计算,轴心受力构件和拉弯、压弯构件的计算,疲劳计算,连接计算,构件的连接设计,围护结构计算,屋架结构、支撑系统的计算,吊车梁设计,门式刚架、钢-混凝土组合结构等。第十二章为实际工程算例,方便读者借鉴、参考。

本书可供钢结构设计和监理人员使用,也可供建筑学专业大专院校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计计算与实例 / 本书编委会编. —北京:人民交通出版社,2008.9

ISBN 978-7-114-07027-3

I. 钢… II. 本… III. ①钢结构—结构设计②钢结构—结构计算 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 029963 号

书 名: 钢结构设计计算与实例

著 作 者: 本书编委会

责任编辑: 邵 江

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 26.75

字 数: 660 千

版 次: 2008 年 9 月第 1 版

印 次: 2008 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07027-3

定 价: 55.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

钢结构设计计算与实例

编 委 会

主 编:苑 辉

副主编:孙高磊 刘 锦

编 委:白 鸽 卜永军 陈海霞 杜翠霞
韩国栋 吉斌武 刘雪芹 刘 争
卢月林 彭 顺 秦付良 田雪梅
文丽华 武志华 杨静林 岳永铭
张 谦 赵 娟

前言

现在市场上的结构设计书大致可分两种,一种是结构设计教科书,侧重讲清道理;一种是设计参考书,侧重传授方法。很少有既讲道理又介绍方法和经验解决实际问题的书。设计人员设计时往往需要花费很多时间查找图书资料,广大学生在课程设计、毕业设计时也苦于如何将学到的专业知识转化为实际应用。一本既符合规范规定又有实际设计例题并收录有常用参考资料的手册是他们真正渴求的,而且随着近年来各种年新版建筑结构设计标准规范的修订和颁布实施,新形势对广大的设计人员和土木工程专业学生提出了新的更高的要求。正是出于这种思考,我们编写一套面向广大设计人员和土木工程专业学生的设计实例丛书——《结构设计计算与实例》。

《结构设计计算与实例》丛书紧扣现行建筑结构设计标准规范,重点突出了新的标准规范的设计要求,通过一系列计算例题和设计实例来促进新规范的理解应用。同时通过设计实例具体化一些规范的规定和要求,并根据实例整理出设计中常用的一些数据资料以便查阅。最近几年电算的运用已经很普遍,但是设计方案是由设计人员来选定,计算结果也需要设计人员来判断和取舍,也有超过电算适用范围的工程。因此对于基本概念的了解和基本规范规定的熟悉就显得特别重要。为此,本书特别强调基本构件的计算和规范规定的理解,并在实例中分析,力求步骤清晰,促进基本技能的训练。

本系列丛书内容新而全,涉及内容广泛,编撰体例新颖,并且具有实用、可操作性强、可随查随用等特点。相信本丛书的出版,将会成为广大设计人员必备的参考书,也是土木工程专业学生课程设计的好的指导书。

本系列丛书共有以下分册:

1. 《钢结构设计计算与实例》
2. 《混凝土结构设计计算与实例》
3. 《地基基础设计计算与实例》
4. 《建筑抗震设计计算与实例》
5. 《轻型钢结构设计计算与实例》

《钢结构设计计算与实例》根据现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2002)编写,主要内容包括:受弯构件、轴心受力构件、拉弯构件、压弯构件的计算,疲劳计算,连接计算和连接构件的设计,屋盖结构和屋面结构设计计算,支撑系统的计算,吊车梁设计,门式刚架设计,钢与混凝土组合梁设计,钢管结构设计等。书中还从工程概况、设计依据入手详细介绍了单层框架钢结构厂房设计步骤,同时列出了钢结构工程设计中常用的数据资料,是一本实用性很强的资料集。

《混凝土结构设计计算与实例》根据混凝土结构设计的特点,紧扣《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)系统性地介绍了混凝土结构受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭、受冲切及局部受压构件等的计算,板、梁、柱、墙的设计计算,根据实际工程分别列出了预应力混凝土结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结

构、底部大空间剪力墙结构、筒体结构、板柱-剪力墙结构、单层钢筋混凝土柱厂房的设计以及设计常用的数据资料等。全书内容全面丰富,理论联系实际,实用性强。

《地基基础设计计算与实例》依据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)、《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—99)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)等规范以及根据地基基础设计实际工程的特点,详细介绍了土的物理性质指标、地基中应力的计算、建筑地基中基础沉降的计算、土的抗剪强度及地基稳定计算、土坡稳定和土压力计算等,根据实际工程全面系统地列举了浅基础设计、无筋扩展式基础设计、钢筋混凝土扩展式基础设计、柱下钢筋混凝土条形基础设计、十字交叉钢筋混凝土条形基础设计、筏形基础设计、箱形基础设计、桩基础设计、重力式挡土墙设计、锚定板挡土墙设计、基坑设计、地下连续墙设计、沉井设计等以及设计常用的数据资料。全书理论联系实际,内容丰富,实用性及可操作性强。

《建筑抗震设计计算与实例》根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)以及实际工程中抗震设计的内容,主要介绍了地震作用和结构抗震验算、多层砖房抗震设计、多层混凝土小砌块房屋抗震设计、配筋混凝土小型空心砌块抗震墙房屋设计、钢筋混凝土框架结构抗震设计、钢筋混凝土抗震墙结构房屋设计、钢筋混凝土框架-抗震墙结构房屋设计、底部大空间抗震墙结构房屋设计、钢筋混凝土筒体结构房屋抗震设计、板柱-抗震墙结构房屋设计、预应力混凝土结构抗震设计、单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计、多层和高层钢结构房屋抗震设计、钢结构工业厂房抗震设计等以及设计常用的数据资料。本书知识全面、简明实用,注重理论联系实际,具有很强的实用性和可操作性。

《轻型钢结构设计计算与实例》主要根据《钢结构设计规范》(GB 50017—2002)、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018—2002)、《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(CECS102:2002),按近年来轻型结构的新发展及工程设计成果,考虑建设、设计和施工的要求,将各方面的经验资料总结编写而成。主要包括:轻型钢结构各构件的计算、轻型钢结构的连接计算与设计、压型钢板的计算与设计、檩条与墙梁的计算与设计、屋架的计算与设计、刚架的计算与设计,还列举了单层轻型钢结构厂房的设计以及设计常用的数据资料。全书注重理论联系实际以及现代与传统方法的结合,在保证系统全面的同时,力求体现实用性和可操作性。

本套丛书主要有如下的特点和优越性:

1. 采用最新标准。丛书是最新建筑结构设计规范和实例设计相结合的书藉。

2. 快速实用。即帮助读者在短时间内掌握设计的主要方法并向读者提供一些简明实用的设计数据及相关资料。在书的前一部分介绍结构设计的基本知识以及基本算例;在书的后一部分详细列举了实际工程中经常采用的设计的实例,促进读者在实例中更好地理解规范和掌握设计方法。这种帮助读者快速学快速查,快速设计快速解决问题的轻松学习过程正是本套丛书的特色所在。此外,在书的最后还附有常用的数据资料供读者参考。

3. 内容全面。丛书从设计施工各个方面,参考大量的文献资料 and 实践经验编制而成,基本上能满足设计施工人员的要求。

本套丛书由一批具有丰富建筑工程设计工作经验的专家学者及高校教育工作者编写,在编写过程中还得到了部分专家的指导和帮助,在此深表谢意。限于编者的水平,同时建筑工程设计涉及面广,技术复杂,书中错误及疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

本书编委会

目 录

第一章 受弯构件的计算	(1)
第一节 强度计算	(1)
一、正应力计算	(1)
二、剪应力计算	(1)
三、局部压应力计算	(1)
四、折算应力计算	(2)
【例 1-1】 简支梁截面强度的计算	(2)
【例 1-2】 工字形梁强度验算	(4)
第二节 整体稳定性计算	(6)
【例 1-3】 梁的整体稳定性和强度计算	(7)
【例 1-4】 梁截面设计及稳定性验算	(9)
第三节 局部稳定性计算	(9)
一、不考虑腹板屈曲后强度的受弯构件设计	(9)
二、考虑腹板屈曲后强度的受弯构件设计	(14)
【例 1-5】 主梁设计	(15)
第二章 轴心受力构件和拉弯、压弯构件的计算	(20)
第一节 轴心受力构件的强度和稳定计算	(20)
一、实腹式轴心受力构件	(20)
二、格构式轴心受力构件	(22)
【例 2-1】 拉杆截面选择	(24)
【例 2-2】 设计某轴心受压构件的截面尺寸	(24)
【例 2-3】 双肢缀条柱设计	(29)
第二节 拉弯构件和压弯构件	(32)
一、实腹式拉弯和压弯受力构件	(32)
二、格构式拉弯和压弯受力构件	(33)
【例 2-4】 拉弯构件受力计算	(34)

【例 2-5】 压弯构件整体稳定性计算(弯矩作用平面内)	(35)
【例 2-6】 实腹式压弯构件整体稳定	(36)
【例 2-7】 压弯格构式缀条柱设计	(37)
第三节 构件的计算长度和容许长细比	(39)
【例 2-8】 构件计算长度	(42)
第四节 受压构件的局部稳定	(43)
一、轴心受压构件局部稳定	(43)
二、压弯构件局部稳定	(43)
【例 2-9】 受压构件的局部稳定计算	(44)
第三章 疲劳计算	(47)
第一节 疲劳计算规定	(47)
【例 3-1】 疲劳验算(一)	(47)
【例 3-2】 疲劳验算(二)	(48)
第二节 吊车梁和吊车桁架疲劳计算	(49)
【例 3-3】 吊车梁疲劳验算	(49)
第四章 连接计算	(53)
第一节 焊缝连接的计算	(53)
一、焊缝的质量等级	(53)
二、对接焊缝的计算	(53)
三、直角角焊缝连接的计算	(54)
四、斜角角焊缝的计算	(55)
五、不焊透的对接焊缝	(55)
【例 4-1】 焊缝位置计算	(56)
【例 4-2】 两块钢板的连接采取全熔透对接焊缝(例图 4-3)	(57)
【例 4-3】 拼接对接焊缝设计	(58)
【例 4-4】 两根焊接工字钢的连接采取全熔透对接焊缝设计	(59)
【例 4-5】 拼接板尺寸设计	(60)
【例 4-6】 板件的焊接拼接连接设计	(61)
【例 4-7】 悬伸支承托座(牛腿)与柱的焊接连接设计	(62)
【例 4-8】 悬伸支承托板与柱的焊接连接设计	(63)

第二节 普通螺栓、锚栓、铆钉连接	(64)
一、受剪连接	(64)
二、受拉连接	(64)
三、拉剪联合作用下的连接	(64)
【例 4-9】 钢板的单面拼接	(65)
【例 4-10】 双盖板拼接	(66)
第三节 高强度螺栓连接	(67)
一、高强度螺栓摩擦型连接	(67)
二、高强度螺栓承压型连接	(68)
【例 4-11】 高强度螺栓连接设计	(68)
【例 4-12】 钢板用高强度螺栓摩擦型连接的设计	(69)
第四节 螺栓群的计算	(70)
一、螺栓群轴心受剪	(70)
二、螺栓群偏心受剪	(70)
三、高强度螺栓群受拉	(70)
四、螺栓群承受拉力、弯矩和剪力的共同作用	(71)
【例 4-13】 螺栓安全验算	(72)
【例 4-14】 螺栓数目计算	(73)
第五章 构件的连接设计	(75)
第一节 组合工字梁翼缘连接	(75)
【例 5-1】 翼缘焊缝计算	(75)
第二节 梁与柱的刚性连接	(76)
【例 5-2】 梁柱刚性连接设计	(78)
第三节 节点处板件的计算	(82)
第四节 梁的支座计算	(84)
【例 5-3】 弧形支座设计	(85)
第六章 围护结构计算	(87)
第一节 檩条	(87)
一、实腹式檩条	(87)
二、平面桁架式檩条	(89)

三、空间桁架式檩条	(90)
四、空腹式檩条	(91)
【例 6-1】 空腹式檩条	(93)
【例 6-2】 冷弯薄壁卷边槽钢檩条	(99)
【例 6-3】 冷弯薄壁卷边槽钢檩条(风吸力控制)	(103)
第二节 压型钢板	(105)
【例 6-4】 屋面压型钢板计算	(107)
第三节 墙梁	(113)
【例 6-5】 墙梁设计	(113)
第七章 屋架结构	(118)
第一节 屋架	(118)
一、角钢和 T 形钢屋架	(118)
二、钢管屋架	(122)
【例 7-1】 24m 角钢(含上下弦 T 形钢)屋架	(129)
【例 7-2】 15m 三角形薄壁圆管屋架	(146)
【例 7-3】 18m 三铰拱屋架	(153)
第二节 天窗架	(164)
【例 7-4】 三铰拱式天窗架	(166)
【例 7-5】 三支点式天窗架	(171)
第三节 托架和托梁	(175)
一、托架	(176)
二、托梁	(176)
【例 7-6】 双壁式托架计算	(177)
第八章 支撑系统的计算	(184)
第一节 柱的设计	(184)
一、柱的设计计算长度	(184)
二、柱的截面设计	(187)
三、缀条(板)设计	(190)
【例 8-1】 实腹式阶形柱的计算	(191)

第二节 柱间支撑	(202)
一、柱间支撑内力计算	(202)
二、柱间支撑杆件的截面计算	(204)
三、厂房纵向刚度计算	(205)
四、柱纵向温度应力计算	(206)
【例 8-2】 支撑计算	(208)
【例 8-3】 屋架端部竖向支撑	(212)
第九章 吊车梁设计	(215)
第一节 焊接工字形吊车梁设计	(215)
一、吊车梁设计的基本要求	(215)
二、实腹式焊接吊车梁设计	(218)
【例 9-1】 6m 工字形吊车梁	(223)
【例 9-2】 7.5m 焊接工字形吊车梁	(232)
第二节 焊接箱形吊车梁	(239)
【例 9-3】 箱形吊车梁计算	(241)
第十章 门式刚架	(255)
第一节 门式刚架设计一般规定	(255)
第二节 门式刚架设计	(256)
【例 10-1】 单跨双坡门式刚架设计	(264)
第十一章 钢-混凝土组合结构	(272)
第一节 钢-混凝土组合楼盖	(272)
一、组合梁设计要求	(272)
二、组合梁设计计算	(274)
三、组合楼盖设计	(284)
【例 11-1】 钢-混凝土组合楼盖设计	(289)
第二节 钢管混凝土柱结构	(302)
一、圆形钢管混凝土柱	(302)
二、矩形钢管混凝土柱	(306)
【例 11-2】 格构式钢管混凝土柱计算	(310)

第十二章 框架钢结构厂房设计	(317)
第一节 工程概况	(317)
第二节 设计依据及计算基本条件	(318)
一、所依据的国家规范	(318)
二、计算基本条件	(318)
第三节 荷载及构件系统	(318)
一、荷载值标准	(318)
二、厂房结构构件系统	(319)
第四节 檩条设计	(319)
第五节 刚架计算	(320)
一、刚架布置图	(320)
二、刚架构件计算长度系数	(320)
三、刚架计算	(321)
四、荷载计算	(322)
五、连续梁配筋	(348)
第六节 连接计算	(353)
一、螺栓计算	(353)
二、柱脚连接	(357)
第十三章 常用数据表	(364)
参考文献	(414)

第一章 受弯构件的计算

第一节 强度计算

一、正应力计算

在主平面内受弯的实腹构件(考虑腹板屈曲后强度),其抗弯强度应按下列规定计算:

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f \quad (1-1)$$

式中 M_x, M_y ——同一截面处绕 x 轴和 y 轴的弯矩(对工字形截面: x 轴为强轴, y 轴为弱轴);

W_{nx}, W_{ny} ——对 x 轴和 y 轴的净截面模量;

γ_x, γ_y ——截面塑性发展系数;对工字形截面, $\gamma_x = 1.05, \gamma_y = 1.20$;对箱形截面, $\gamma_x = \gamma_y = 1.05$;对圆管截面, $\gamma_x = \gamma_y = 1.15$;对 T 形截面的无翼缘一侧, $\gamma_x = 1.20$;对需要计算疲劳的梁,宜取 $\gamma_x = \gamma_y = 1.0$;详见表 13-9;

f ——钢材的抗弯强度设计值,见表 13-1。

当梁受压翼缘的自由外伸宽度与其厚度之比大于 $13 \sqrt{235/f_y}$ 而不超过 $15 \sqrt{235/f_y}$ 时,应取 $\gamma_x = 1.0$ 。 f_y 为钢材牌号所指屈服点:对 Q235 钢, $f_y = 235\text{N/mm}^2$; Q345 钢, $f_y = 345\text{N/mm}^2$; Q390 钢, $f_y = 390\text{N/mm}^2$ 等。

二、剪应力计算

在主平面内受弯的实腹构件(不考虑腹板屈曲后强度),其抗剪强度应按下列公式计算:

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leq f_v \quad (1-2)$$

式中 V ——计算截面沿腹板平面作用的剪力;

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,见表 13-1。

三、局部压应力计算

当梁上翼缘受有沿腹板平面作用的集中荷载,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应按下列公式计算:

$$\sigma_c = \frac{\psi F}{t_w l_z} \leq f \quad (1-3)$$

式中 F ——集中荷载,对动力荷载应考虑动力系数;

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

l_z ——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:

$$l_z = a + 5h_y + 2h_R \quad (1-4)$$

- a ——集中荷载沿梁跨度方向的支承长度,对钢轨上的轮压可取 50mm;
 h_y ——自梁顶面至腹板计算高度上边缘的距离;
 h_R ——轨道的高度,对梁顶无轨道的梁 $h_R=0$;
 f ——钢材的抗压强度设计值。

在梁的支座处,当不设置支承加劲肋时,也应按式(1-3)计算腹板计算高度下边缘的局部压应力,但 ψ 取 1.0。支座集中反力的假定分布长度,应根据支座具体尺寸参照式(1-4)计算。

腹板计算高度(h_0):对轧制型钢梁,为腹板与上、下翼缘相连处两内弧起点的距离[图 1-1a)];对焊接组合梁,取为腹板高度[图 1-1b)];对铆接或高强度螺栓连接的组合梁,取为上、下翼缘与腹板连接的铆钉线间最近距离[图 1-1c)]。

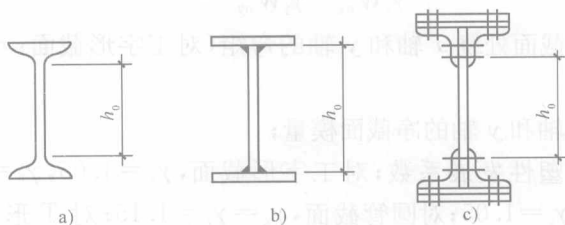


图 1-1 腹板的计算高度 h_0

四. 折算应力计算

在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(如连续梁中部支座处或梁的翼缘截面改变处等)时,其折算应力应按下列式计算:

$$\sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 - \sigma\sigma_c + 3\tau^2} \leq \beta_1 f \quad (1-5)$$

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, τ 和 σ_c 应按式(1-2)和式(1-3)计算; σ 和 σ_c 以拉应力为正值,压应力为负值; σ 应按下列式计算:

$$\sigma = \frac{M}{I_n} y_1 \quad (1-6)$$

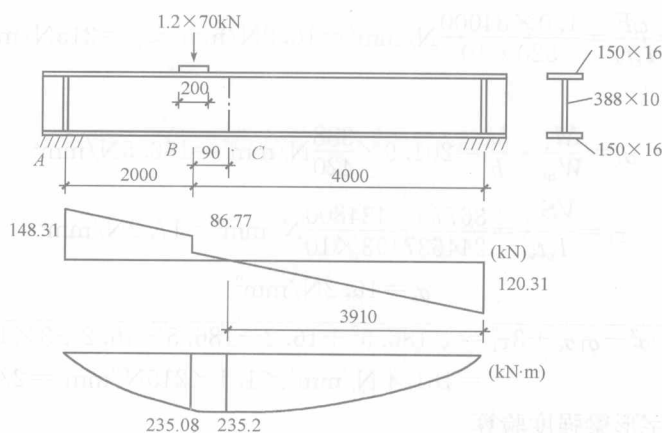
I_n ——梁净截面惯性矩;

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,取 $\beta_1=1.2$;当 σ 与 σ_c 同号或 $\sigma_c=0$ 时,取 $\beta_1=1.1$ 。

【例 1-1】 简支梁截面强度的计算

有一梁跨为 6m 的简支梁,焊接组合截面 $150 \times 420 \times 10 \times 16$ (例图 1-1)。梁上作用均布恒载 16.8kN/m (未含梁自重),均布活载 7kN/m。距一端 2m 处尚有恒载 70kN,支撑长度 0.2m,荷载作用面距钢梁顶面 12cm。此外,梁两端的支撑长度各 0.1m。钢材抗拉设计强度为 215N/mm²,抗剪设计强度为 125N/mm²。在工程设计时,荷载系数对恒载取 1.2,对活载取 1.4。试设计钢梁截面的强度。



例图 1-1 梁上剪力与弯矩分布

解: (1) 计算截面模量。

$$A = (150 \times 16 \times 2 + 388 \times 10) \text{ mm}^2 = 8680 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{1}{12} \times (150 \times 420^3 - 140 \times 388^3) \text{ mm}^4 = 244637493 \text{ mm}^4$$

$$W_{nr} = 1164940 \text{ mm}^3$$

$$S_{x_1} = 150 \times 16 \times \frac{420 - 16}{2} \text{ mm}^3 = 484800 \text{ mm}^3$$

$$S_{x_2} = \left[484800 + \frac{10 \times \left(\frac{388}{2} \right)^2}{2} \right] \text{ mm}^3 = 672980 \text{ mm}^3$$

(2) 计算荷载与内力。

自重

$$g_k = 0.679 \text{ kN/m}$$

均布荷载(设计值)

$$q = [1.2 \times (16.8 + 0.679) + 1.4 \times 7] \text{ kN/m} = 30.77 \text{ kN/m}$$

集中荷载(设计值)

$$F = 1.2 \times 70 \text{ kN} = 84 \text{ kN}$$

(3) 验算截面强度。

1) 弯曲正应力

$$f = 215 \text{ N/mm}^2$$

$$M_x = 235.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\frac{M_x}{W_{nr}} = \frac{235.2 \times 10^6}{1164940} \text{ N/mm}^2 = 201 \text{ N/mm}^2 < f = 215 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nr}} = \frac{235.2 \times 10^6}{1.05 \times 1164940} \text{ N/mm}^2 = 192 \text{ N/mm}^2 < f = 215 \text{ N/mm}^2$$

2) 剪应力

$$V = 148.31 \text{ kN}$$

$$\tau_{\max} = \frac{148.310 \times 672980}{244637493 \times 10} \text{ N/mm}^2 = 40.8 \text{ N/mm}^2 < f_v = 125 \text{ N/mm}^2$$

3) 局部承压应力

A 处设置了加劲肋, 可不计算局部承压应力。

B 处截面

$$l_z = a + 5h_y + 2h_R = (200 + 5 \times 16 + 2 \times 120) \text{ mm} = 520 \text{ mm}$$

$$\sigma_c = \frac{\varphi F}{l_z t_w} = \frac{1.0 \times 84000}{520 \times 10} \text{ N/mm}^2 = 16.2 \text{ N/mm}^2 < f = 215 \text{ N/mm}^2$$

4) 折算应力

$$\sigma_1 = \frac{M_x}{W_{nr}} \cdot \frac{h_0}{h} = 201.9 \times \frac{388}{420} \text{ N/mm}^2 = 186.5 \text{ N/mm}^2$$

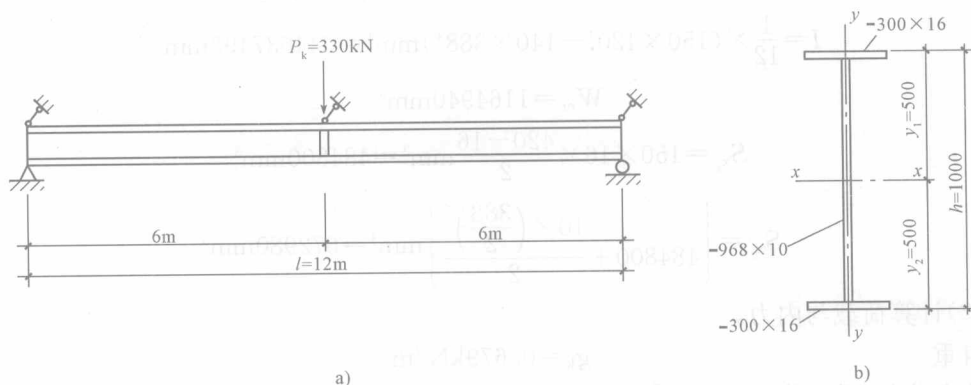
$$\tau_1 = \frac{VS_{x1}}{I_x t_w} = \frac{86770 \times 484800}{244637493 \times 10} \text{ N/mm}^2 = 17.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 16.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{所以有: } \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_c^2 - \sigma_1 \sigma_c + 3\tau_1^2} = \sqrt{186.5^2 + 16.2^2 - 186.5 \times 16.2 + 3 \times 17.2^2} \text{ N/mm}^2 \\ = 181.4 \text{ N/mm}^2 < 1.1 \times 215 \text{ N/mm}^2 = 236.5 \text{ N/mm}^2$$

【例 1-2】 工字形梁强度验算

某焊接工字形等截面简支楼盖梁, 截面尺寸如例图 1-2 所示, 无削弱。在跨度中点和两端都设有侧向支承, 材料为 Q345-B 级钢。集中荷载标准值 $P_k = 280 \text{ kN}$, 为间接动力荷载, 其中永久荷载效应和可变荷载效应各占一半, 作用在梁的顶面, 其沿梁跨度方向的支承长度为 130 mm 。试计算该梁的强度和刚度是否满足要求?



例图 1-2 焊接工字形截面简图

a) 工字形截面简支梁; b) 截面尺寸

解: Q345 钢强度设计值: $f = 310 \text{ N/mm}^2$, $f_v = 180 \text{ N/mm}^2$

楼盖主梁的挠度容许值: $[v] = \frac{l}{400} = \frac{12 \times 10^3}{400} \text{ mm} = 30 \text{ mm}$

(1) 截面几何特性计算。

面积 $A = (30 \times 1.6 \times 2 + 96.8 \times 1) \text{ cm}^2 = 192.8 \text{ cm}^2$

中和轴位置[例图 1-2b)]:

$$y_1 = y_2 = 50 \text{ cm}$$

对强轴 x 轴的惯性矩

$$I_x = \frac{1}{12} \times (30 \times 100^3 - 29 \times 96.8^3) \text{ cm}^4 = 307989 \text{ cm}^4$$

式中略去不计翼缘板对其自身形心轴的惯性矩。

对受压纤维的截面模量 $W_{1x} = \frac{I_x}{y_1} = \frac{307989}{50} \text{ cm}^3 = 6160 \text{ cm}^3$

对受拉纤维的截面模量 $W_{2x} = \frac{I_x}{y_2} = \frac{307989}{50} \text{cm}^3 = 6160 \text{cm}^3$

受压翼缘板对 x 轴的面积矩 $S_{1x} = 30 \times 1.6 \times \left(50 - \frac{1.6}{2}\right) \text{cm}^3 = 2361.6 \text{cm}^3$

受拉翼缘板对 x 轴的面积矩 $S_{2x} = 30 \times 1.6 \times \left(50 - \frac{1.6}{2}\right) \text{cm}^3 = 2361.6 \text{cm}^3$

x 轴以上(或以下)截面对 x 轴的面积矩

$$S_x = \left[2361.6 + (50 - 1.6)^2 \times 1.0 \times \frac{1}{2} \right] \text{cm}^3 = 3533 \text{cm}^3$$

(2) 荷载计算。

梁自重标准值

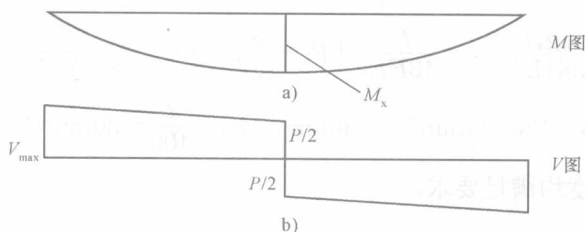
$$g_k = 1.2 A \rho = 1.2 \times 192.8 \times 10^{-4} \times 7850 \times 9.8 \times 10^{-3} \text{kN/m} = 1.78 \text{kN/m}$$

式中 1.2 为考虑腹板加劲肋等附加构造用钢材使梁自重增大的系数。

梁自重设计值 $g = 1.2 g_k = 1.2 \times 1.78 \text{kN/m} = 2.14 \text{kN/m}$

集中荷载设计值 $P = (1.2 \times 0.5 + 1.4 \times 0.5) P_k = 1.3 \times 280 \text{kN} = 364 \text{kN}$

(3) 梁的内力计算(例图 1-3)。



例图 1-3 梁的受力图

a) 弯矩图; b) 剪力图

弯矩设计值

$$M_x = \frac{1}{4} Pl + \frac{1}{8} gl^2 = \left(\frac{1}{4} \times 364 \times 12 + \frac{1}{8} \times 2.14 \times 12^2 \right) \text{kN} \cdot \text{m} = 1130.52 \text{kN} \cdot \text{m}$$

剪力设计值

$$V_{\max} = \frac{1}{2} P + \frac{1}{2} gl = \left(\frac{1}{2} \times 364 + \frac{1}{2} \times 2.14 \times 12 \right) \text{kN} = 194.84 \text{kN}$$

跨度中点截面处剪力设计值

$$V = \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} \times 364 \text{kN} = 182 \text{kN}$$

(4) 截面强度计算。

1) 抗弯强度——验算跨中截面受拉边缘纤维处

按表 13-9 取截面塑性发展系数 $\gamma_x = 1.05$ 。

因截面无削弱, $W_{nx} = W_x$

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} = \frac{1130.52 \times 10^6}{1.05 \times 6160 \times 10^3} \text{N/mm}^2 = 174.8 \text{N/mm}^2 < f = 310 \text{N/mm}^2, \text{满足要求。}$$

2) 梁支座截面处的抗剪强度

$$\tau_{\max} = \frac{V_{\max} S_x}{I_x t_w} = \frac{194.84 \times 10^3 \times 3533 \times 10^3}{307989 \times 10^4 \times 10} \text{N/mm}^2 = 22.35 \text{N/mm}^2 < f_v = 180 \text{N/mm}^2, \text{满}$$