



普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材



钢 结 构 设 计

主编 刘 伟 牛秀艳 云 迪
主审 刘殿忠



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材

钢结构设计

主 编 刘 伟 牛秀艳 云 迪
主 审 刘殿忠



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计/刘伟,牛秀艳,云迪主编. —武汉:武汉大学出版社,2017.8

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材

ISBN 978-7-307-19381-9

I. 钢… II. ①刘… ②牛… ③云… III. 钢结构—结构设计—高等学校—教材
IV. TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 134283 号

责任编辑:方竞男 路亚妮

责任校对:杨赛君

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:虎彩印艺股份有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:21.25 字数:582 千字

版次:2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-19381-9 定价:49.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材 编审委员会

(按姓氏笔画排名)

主任委员:刘殿忠

副主任委员:张 利 孟宪强 金菊顺 郑 毅 秦 力

崔文一 韩玉民

委 员:马光述 王 睿 王文华 王显利 王晓天

牛秀艳 白立华 吕文胜 仲玉侠 刘 伟

刘卫星 李 利 李栋国 杨艳敏 邱国林

宋 敏 张自荣 邵晓双 范国庆 庞 平

赵元勤 侯景鹏 钱 坤 高 兵 郭靳时

程志辉 蒙彦宇 廖明军

总责任编辑:曲生伟

秘 书 长:蔡 巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导模式转变为建设性、发现性的学习,从被动学习转变为主动学习,由教师传播知识到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,逐步配备基本数字教学资源,主要包括:

文本:课程重难点、思考题与习题参考答案、知识拓展等。

图片:课程教学外观图、原理图、设计图等。

视频:课程讲述对象展示视频、模拟动画,课程实验视频,工程实例视频等。

音频:课程讲述对象解说音频、录音材料等。

数字资源获取方法:

- ① 打开微信,点击“扫一扫”。
- ② 将扫描框对准书中所附的二维码。
- ③ 扫描完毕,即可查看文件。

更多数字教学资源共享、图书购买及读者互动敬请关注“开动土木传媒”微信公众号!



前 言

钢结构建筑具有强度高,质量轻,施工速度快,抗震性能好以及工业化程度高等特点,是一种优良的建筑结构。改革开放以来,我国经济建设快速发展,钢产量由 1987 年的 3000 余万吨迅猛提高到目前的 11 亿多吨,中国已经成为世界上钢产量最大的国家。相应地,国家在土木建筑行业的用钢政策已经出现了根本性的调整,着重强调大力研发高性能建筑钢材和发展钢结构建筑,因此钢结构建筑得到了飞速发展。特别是近 20 年,随着加工制造水平的提高,计算手段的进步,网架结构、轻型门式刚架结构、多高层钢结构等钢结构建筑在现代生活的各个领域得到了广泛应用。同时,管桁结构等新型钢结构形式也不断出现。钢结构建筑的发展日新月异,规模更大,技术更新快,应用更广泛,呈现出数百年来未曾出现过的繁荣景象。在此背景下,土木建筑行业除需要大量的钢结构建筑的研究、设计人员外,也亟须大量的熟悉钢结构的材料性能、受力特点和加工制作要求的钢结构建筑的制作、施工人员。

编者通过多年的教学和实践,逐渐体会到本科院校钢结构课程的教学应该围绕钢结构的基本理论和基本理论在工程实践中的应用这两个环节开展。因此,本书的编写目的是,让学生在学完“钢结构基本原理”课程并初步掌握了钢结构的基本理论后,能通过本课程的学习和练习,初步掌握房屋钢结构的各种类型、各类钢结构的设计方法和计算公式以及各类钢结构的设计中如何遵循设计规范的规定,保证所设计的房屋钢结构既安全又经济,满足使用要求。通过本课程的学习,学生除对几种典型的房屋钢结构的性能有进一步的认知并大体掌握其基本设计方法外,还应领会结构设计的一般要求、设计规范相关规定的依据以及尚存在的问题等关键内容,初步达到工作时遇到新的结构形式和问题时,能根据所学内容融会贯通,正确处理,避免在今后的工作中出现严重的技术经济不合理的现象,甚至造成工程质量事故。

本书由吉林建筑大学刘伟、牛秀艳、云迪担任主编,安徽农业大学吴照学担任参编。具体编写分工为:第 1 章由牛秀艳编写,第 2 章由云迪编写,第 3、5 章及附录由刘伟编写,第 4 章由吴照学编写。

本书可作为土木工程专业(建筑工程方向)和其他相近专业本科学生学习房屋钢结构设计课程的教材,也可作为相关教学人员、研究人员和设计人员的参考书籍。

吉林建筑大学刘殿忠教授担任本书主审,并提出许多宝贵的意见和建议;研究生张雄、余征威、侯永平、姜昊等人先后参与了例题计算、图形绘制、文字输入等工作;在编写过程中,参考并引用了有关人员的文献及资料,在此一并致谢。

由于编者水平及经验有限,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评、指正。

编 者

2017 年 5 月

目 录

1 钢平台设计	1
1.1 概述/1	
1.2 平台铺板设计/3	
1.3 平台梁设计/6	
1.4 平台柱设计/21	
1.5 构件连接设计/29	
1.6 铰接柱脚设计/34	
习题/38	
2 单层厂房钢结构设计	40
2.1 概述/40	
2.2 柱网和变形缝的布置/42	
2.3 横向平面框架/44	
2.4 屋盖结构布置及设计/50	
2.5 柱及柱间支撑/102	
2.6 吊车梁设计/108	
2.7 墙架结构设计/117	
2.8 单层厂房钢结构抗震设计/120	
2.9 单层钢结构厂房屋盖设计实例/131	
习题/137	
3 门式刚架轻型房屋结构设计与安装	139
3.1 概述/139	
3.2 门式刚架轻型房屋结构设计的基本规定/141	
3.3 结构形式和结构布置/144	
3.4 刚架设计/146	
3.5 刚架节点设计/159	
3.6 檩条设计/164	
3.7 墙梁设计/170	
3.8 支撑构件设计/172	
3.9 屋面板和墙板设计/173	
3.10 门式刚架结构的安装要点/175	
习题/178	

4 多、高层房屋钢结构设计

179

- 4.1 多、高层钢结构的结构体系/179
- 4.2 多层钢结构的分析与计算/190
- 4.3 钢-混凝土组合板及组合梁/195
- 4.4 多、高层钢结构的连接/208
- 4.5 多层钢结构设计实例/217
- 4.6 高层钢结构的分析和计算/246
- 4.7 高层建筑钢结构的构件设计和连接设计/257
- 习题/264

5 网架结构与安装

265

- 5.1 网架结构的特点和形式/265
- 5.2 网架结构的计算/276
- 5.3 网架结构的杆件和节点设计/286
- 5.4 网架结构的安装要点/300
- 习题/303

附录

304

- 附录 1 钢材的强度设计值/304
- 附录 2 焊缝的强度设计值/305
- 附录 3 螺栓连接的强度设计值/306
- 附录 4 结构或构件的变形容许值/307
- 附录 5 轴心受压构件的稳定系数/309
- 附录 6 截面塑性发展系数/312
- 附录 7 型钢表/314
- 附录 8 各种截面回转半径的近似值/328
- 附录 9 钢结构设计相关参数表/329

参考文献

330



数字资源目录



1 钢平台设计

内容提要

本章的主要内容为工业建筑中常见的钢平台结构的基本概念、应用场合、结构布置、平台铺板的设计、平台梁的设计、平台柱的设计以及平台的节点构造和节点设计。

能力要求

通过本章内容的学习,学生应了解钢平台结构的应用场合,理解钢平台结构的基本组成,掌握钢平台结构的构件设计、节点构造和节点设计,能够完成一般钢平台结构的设计。

1.1 概 述

钢平台结构(图 1-1)在石油、化工、冶金、电力等部门的工业厂房及构筑物中占有一定的比重,特别是制药工厂主要生产车间的大型操作平台,如全部钢平台结构的提炼、转化工段车间。如今钢平台结构的设计比重已越来越大,因此钢平台结构的设计,不仅应满足工艺生产的要求,还应注意在平台布置、选材、制造、安装等方面的结构合理性。

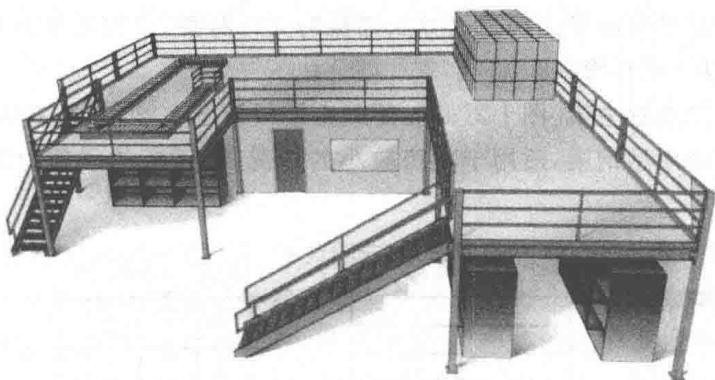


图 1-1 钢平台结构

钢平台结构多为整体组装,无须现场焊接,通常承载能力为 $300\sim 1000\text{kg}/\text{m}^2$,立柱选择承载能力强、用钢量少的圆管;主次梁根据承载需要选择目前在钢结构工程中最经济合理的 H 型钢、C 型钢冷弯成型梁;楼面板选取冷弯成型花纹钢板或镂空板,采用扣板式结构,与主次梁刚性固定,结构整体性强,可以根据实际需要选择不同的楼面板,以满足消防或防灰尘、防小件坠落等要求。楼面下方可根据需要配置照明系统。货物输送可选择液压升降平台、货梯或叉车。



5 分钟
看完本章



钢平台动画

现代钢结构平台结构形式多样,功能齐全,其最大的特点是全组装式结构,设计灵活,可根据不同的现场情况设计并制造符合场地要求、使用功能要求及满足物流要求的钢结构平台。

1.1.1 钢平台结构的布置

钢平台结构主要由铺板、主次梁、柱、柱间支撑,以及楼梯、栏杆等组成,按使用要求可分为室内和室外平台,承受静力荷载和动力荷载平台,生产辅助平台,以及中、重型操作平台等。平台结构一般采用梁柱体系,普通操作平台由于承受荷载小,不承载设备,常由主梁、小梁(铺板梁)及铺板组成。钢平台梁主要采用热轧普通型钢,当跨度较大时,也可采用型钢或焊接工字形组合梁,并用三脚架、支撑托或直接支撑在厂房及其他结构上,也可设置独立的支柱。

重型操作钢平台由于荷载大,操作频繁,钢平台面积大,并且有各种类型振动荷载直接作用于钢平台上,其结构通常由独立的柱网、主梁、次梁、小梁及铺板组成。钢平台结构有独立的支撑体系,侧向与厂房结构框架柱相连,以保证钢平台结构的整体性。重型平台的梁板,当条件许可时,宜采用由钢筋混凝土现浇楼板与钢梁相结合的组合楼板结构,以节约钢材并增强刚度。

钢平台结构的布置应注意下列几点。

(1)满足工艺生产操作要求,保证通行及操作安全。一般通行净空高度不应小于1.8m,平台四周一般均应设置防护栏杆,栏杆高度一般为1m。当平台高度大于2m时,还应在防护栏杆下设置高度为100~150mm的踢脚板。平台应设置供上下通行的梯子,梯子的宽度不宜小于0.6m。

(2)确定平台结构的平面尺寸、标高、梁格及柱网布置时除满足使用要求外,梁、柱的布置还应考虑平台上的设备荷载和其他较大的集中荷载的位置以及大直径工业管道的吊挂等。

(3)平台结构的布置,应力求结构体系简单,稳定可靠,梁格布置合理,受力明确,传力简单;构件种类少,制作安装方便。

(4)尽量利用厂房结构及其他支承条件(如管道、设备、构筑物等)直接支承平台结构,同时保证平台的侧向稳定。但在抗震设防地区,刚度或受荷载较大的平台,宜与厂房结构分离布置,并设置自身完整的支承体系。

(5)布置梁格时,应充分考虑平台的平面构造尺寸及铺板的允许跨距,合理布置梁格,做到安全经济,施工方便。梁格布置有以下三种形式:

①单向梁格。仅在横向方向布置主梁[图1-2(a)],荷载由楼板传至主梁,并经主梁传至墙壁或柱等承重结构上。单向梁格多采用型钢梁,适用于梁跨较小的情况,由于板的承载力不大,因此梁布置较密,耗钢量较大。

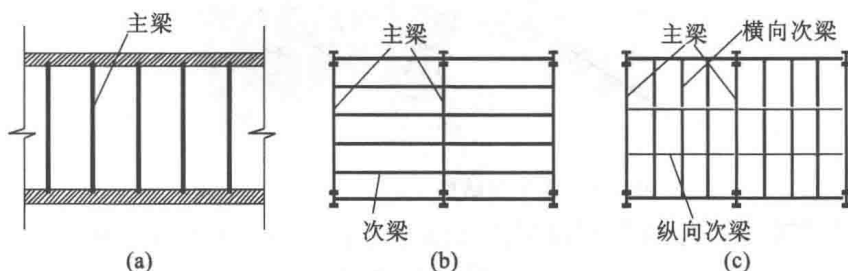


图 1-2 梁格布置形式

(a)单向梁格;(b)双向梁格;(c)复式梁格

②双向梁格。如图1-2(b)所示,荷载由楼板传至次梁,次梁再将荷载传至主梁,主梁支承在柱或墙等承重结构上。这是一种常用的梁格布置方式。

③复式梁格。如图 1-2(c)所示的复式梁格中,主梁间同时加设纵向次梁和横向次梁。荷载由楼板传至横向次梁,再由横向次梁传至纵向次梁,经纵向次梁传给主梁。荷载传递路径长,构造复杂,通常只用在主梁跨度较大、荷载较重的情况下。

1.1.2 钢平台结构柱与柱间支撑

钢平台结构由柱及柱间支撑支承,钢平台柱一般宜设计成等截面柱。其常用的有热轧普通型钢、用板加强翼缘的工字钢或钢管的实腹式柱形式。必要时,也可设计成用两个槽钢组成的组合式柱形式。

钢平台柱一般按轴心受压构件设计,柱的长细比不宜大于 150。柱上下两端一般均设计为铰接,对于承受较大荷载的平台柱,应设计成上端为铰接,下端为刚接。柱脚底板的厚度按柱基础对底板的反压力所产生的弯矩计算确定,但不得小于柱肢的最小厚度及 10mm,有明显腐蚀的车间应适当加厚。

为保证独立平台结构的侧向稳定,一般需设置柱间支撑,并尽量布置在柱列中部。最常用的支撑形式为交叉形[图 1-3(a)、(b)],当净空有限制时可设计成门形支撑[图 1-3(c)]或连续隅撑[图 1-3(d)],隅撑设置高度(即隅撑与柱的交点至柱顶的距离)不宜大于柱高的 $1/3$ 。必要时,亦可设计为梁、柱刚接的刚架体系[图 1-3(e)]。

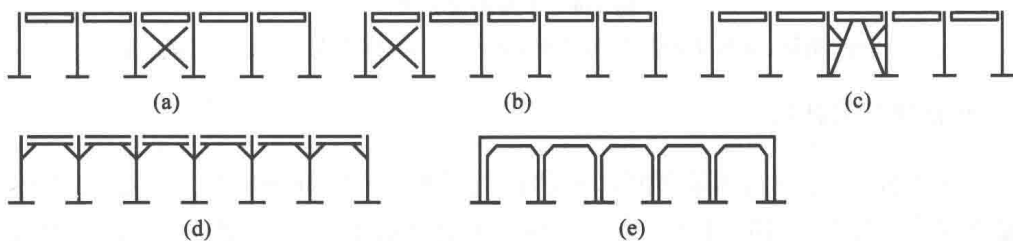


图 1-3 平台柱支撑

(a),(b)交叉形支撑;(c)门形支撑;(d)连续隅撑;(e)梁、柱刚接体系

1.2 平台铺板设计

1.2.1 平台铺板构造

平台铺板按工艺生产要求可分为固定的及可拆卸的,按构造一般可分为板式(钢筋混凝土板、花纹钢板、平钢板、平钢板加工冲泡或电焊花纹等)、算条式(由圆钢或板条焊成或工厂制成的钢格板)及钢网格板(工厂制造的钢网板、压焊钢格栅板)等。各种钢铺板可参见图 1-4。

走行平台和操作平台宜采用花纹钢板,当无法找到合适的材料时,也可用采取防滑措施后的平钢板(表面电焊花纹或加工冲泡)代替。室外平台以及考虑减少积灰的平台通常采用算条式铺板或钢网格板等。重型操作平台常采用普通平钢板上加防护层,有条件时宜采用现浇钢筋混凝土板和钢梁组成的组合结构,以节约钢材,且具有良好的使用性能。室外平台采用平钢板时,应在板面上设泄水孔。

平台钢铺板的跨度(一般取板的净跨) l_0 不宜大于 $(120 \sim 150)t$ (t 为板厚),板的挠度不宜大于 $l_0/150$ 。

当要求平台铺板面层有较大的水平刚度时,可采用密肋铺板,也可以在铺板下的梁间设置水平支撑。

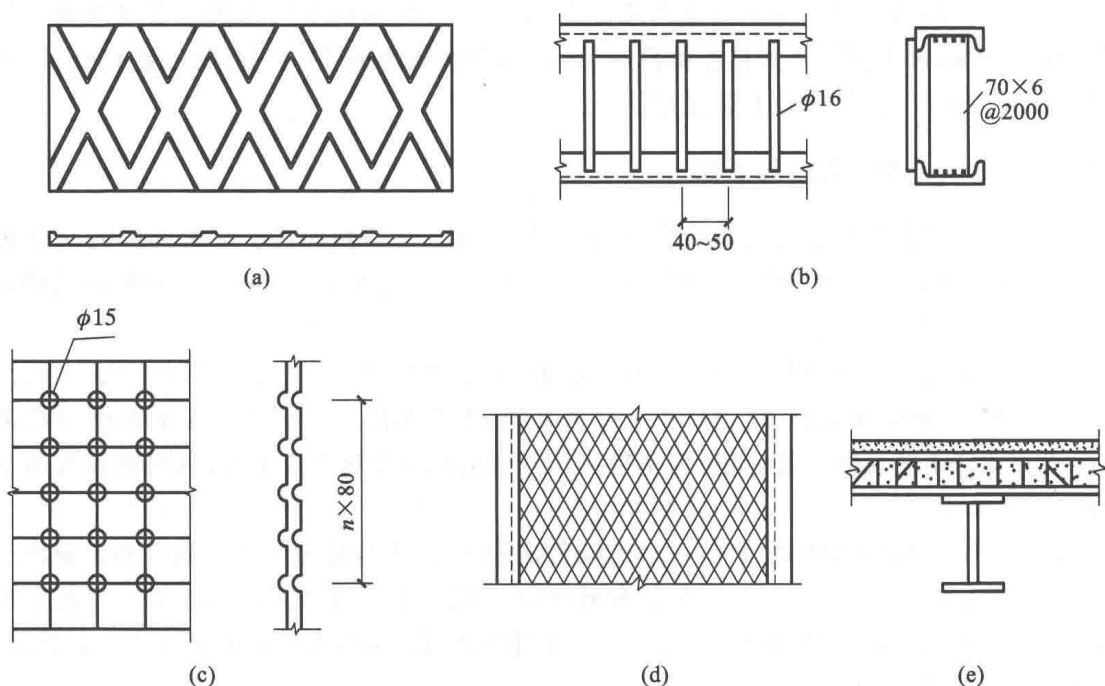


图 1-4 平台铺板形式

(a) 花纹钢板; (b) 算条式铺板; (c) 平钢板冲泡; (d) 钢网格板铺板; (e) 组合梁结构

1.2.2 平台铺板的计算

平台采用钢铺板时,可分为无肋铺板和有肋铺板两种。有肋铺板的加劲肋可采用角钢或扁钢,扁钢截面宽度宜为跨度的 $1/15 \sim 1/12$,厚度不应小于宽度的 $1/15$ 。角钢加劲肋应将肢尖与平台板焊接。无肋铺板按构造设加劲肋,其间距可取铺板短跨的 $2 \sim 2.5$ 倍。

平台铺板与梁(或其他构件)的连接一般均采用焊接。在重型操作平台中,宜用连续焊缝,其他平台中可采用断续焊缝。加劲肋与铺板的连接焊缝及铺板与梁的连接焊缝可采用间断焊缝,其净距当铺板计入梁或加劲肋的计算截面时不应大于 $15t$,其他情况不应大于 $30t$ (t 为较薄焊件的厚度)。

(1) 无肋铺板计算。

当四边支承铺板长短边长之比 $b/a > 2$ 时,按单向受弯板计算。短边为板跨度。铺板最大弯矩为:

$$M_{\max} = \alpha q a^2 \quad (1-1)$$

式中 $M_{\max}$ ——铺板单位长度最大弯矩设计值, $(\text{kN} \cdot \text{m})/\text{m}$;

q ——单位宽度板上均布荷载设计值;

α ——均布荷载作用下四边支承板弯矩系数。

铺板的强度满足:

$$\sigma = \frac{6M}{t^2} \leq f \quad (1-2)$$

式中 q_k ——单位宽度板上均布荷载标准值;

β ——均布荷载作用下四边支承板挠度系数。

铺板在荷载作用下产生挠度,板的计算挠度应满足不应大于相关规范规定的限值 $[\nu]$ 或工程

使用提出的特定要求。一般情况下,挠度限值为 $l_0/150$ (l_0 为跨度)。

铺板的挠度应满足:

$$\nu = \beta \frac{q_k a^4}{Et^3} \leq [\nu] \quad (1-3)$$

式中 t ——钢铺板厚度,一般不小于 6mm;

f ——铺板钢材强度设计值。

弯矩系数 α 和挠度系数 β 按以下方法确定:当板为单跨或双跨时, $\alpha = 0.125, \beta = 0.140$; 当板为三跨以上时, $\alpha = 0.1, \beta = 0.11$ 。

当四边支承铺板长短边长之比 $b/a \leq 2$ 时,可按四边简支板计算铺板的挠度和强度。铺板跨内最大弯矩按式(1-1)计算。铺板的强度应满足式(1-2)的要求。铺板的挠度按式(1-3)计算。弯矩系数 α 和挠度系数 β 可按表 1-1 查取。

表 1-1

四边简支板的弯矩系数 α 、挠度系数 β

b/a	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	>2.0
α	0.048	0.055	0.063	0.069	0.075	0.081	0.086	0.091	0.095	0.099	0.102	0.125
β	0.0433	0.0530	0.0616	0.0697	0.0770	0.0843	0.0906	0.0964	0.1017	0.1064	0.1106	0.14

(2) 有肋铺板计算。

有肋铺板的计算可分为肋间平板计算和板肋计算,肋间平板可按无肋铺板计算,板肋计算应按两端简支梁计算其强度和挠度并考虑铺板的作用。

加劲肋作为钢铺板的边界支撑小梁,保证铺板有一定刚度,其间距一般为板厚的 100~150 倍,加劲肋的允许挠度值不应大于 $l/250$ (l 为肋板的计算跨度)。均布荷载作用下的加劲肋可按简支梁计算,梁截面如图 1-5 所示。考虑加劲肋每侧各 $15t$ 宽的钢铺板共同工作,铺板可以阻止加劲肋受压平面变形,不再计算整体稳定。



图 1-5 加劲肋计算截面

加劲肋的强度按下式计算:

抗弯强度

$$\sigma = \frac{M}{\gamma_x W_{nx}} \leq f \quad (1-4)$$

抗剪强度

$$\tau = \frac{VS}{It} \leq f_v \quad (1-5)$$

加劲肋的挠度按下式计算:

$$\nu = \frac{5q_k l^4}{384EI_x} \leq [\nu] \quad (1-6)$$

式中 M ——加劲肋弯矩设计值。

W_{nx} ——加劲肋净截面的截面模量。

f ——加劲肋钢材强度设计值。

γ_x ——截面塑性发展系数,对 T 形截面,上边缘取 1.05,下边缘取 1.2;
对丁字形截面,上、下边缘均取 1.05。

V ——加劲肋支座处剪力设计值。

S ——加劲肋支座处截面的面积矩。

I ——加劲肋支座处截面的惯性矩。

t ——加劲肋支座处截面的宽度。

f_v ——加劲肋钢材抗剪强度设计值。

l ——加劲肋跨度。

I_x ——加劲肋截面对 x 轴的惯性矩。

1.3 平台梁设计



型钢图

平台梁宜尽量采用轧制截面,如普通工字钢、槽钢或 H 型钢[图 1-6(a)~(c)]。当轧制型钢截面尺寸不满足要求时,宜采用焊接工字形截面[图 1-6(d)、(e)];当需要有较大的抗扭刚度时,可采用焊接箱形截面[图 1-6(f)]。

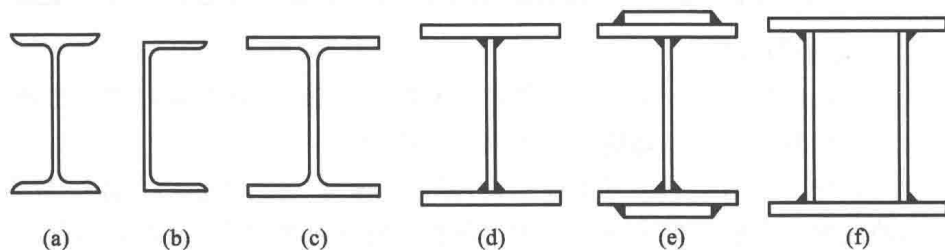


图 1-6 平台梁截面形式

(a)热轧工字钢;(b)热轧槽钢;(c)H 型钢;(d)焊接工字钢;
(e)加强翼缘的工字钢;(f)焊接箱形截面

1.3.1 型钢梁设计

型钢梁中应用最多的是普通工字钢和 H 型钢。型钢梁设计一般应满足承载力、整体稳定和刚度要求。一般情况下,型钢厚度较大,不需验算抗剪强度。当梁上有集中荷载作用且荷载作用处梁的腹板未设置加劲肋时,还需验算腹板边缘的局部压应力。型钢梁腹板和翼缘的宽厚比都不太大,局部稳定通常可以保证,不需验算。型钢梁可按以下方法设计。

(1)计算梁的内力。

根据已知梁的荷载设计值计算梁的最大弯矩 M_x 和剪力 V 。

(2)计算梁需要的净截面抵抗矩 W_{nx} 。

$$W_{nx} = \frac{M_x}{\gamma_x f} \quad (1-7)$$

式中, γ_x 可取 1.05,根据 W_{nx} 查型钢表,选用合适的工字钢型号。

(3)校核。

计入型钢自重,根据所选型钢截面进行强度计算、变形验算及整体稳定计算。

【例 1-1】某工作平台的布置如图 1-7 所示,平台板为预制钢筋混凝土板,焊接于次梁,已知平台永久荷载标准值 $q_{Gk} = 5\text{kN/m}^2$,可变荷载标准值 $q_{Qk} = 12\text{kN/m}^2$ (为静力荷载),钢材为 Q235B。试选择普通热轧工字钢,设计此工作平台次梁的截面。

【解】次梁计算简图和内力图见图 1-8。

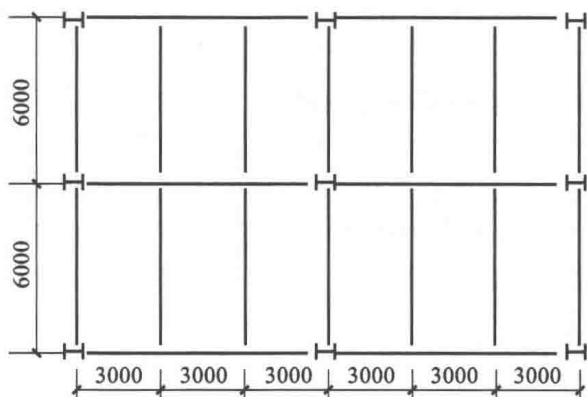


图 1-7 例 1-1 图

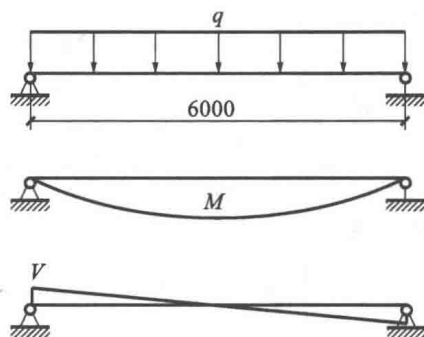


图 1-8 次梁计算简图和内力图

(1) 荷载及内力。

恒荷载标准值:

$$g_k = 5 \times 3 = 15(\text{kN/m})$$

活荷载标准值:

$$p_k = 12 \times 3 = 36(\text{kN/m})$$

全部荷载标准值:

$$q_k = (q_{Gk} + q_{Qk}) \cdot a = (5 + 12) \times 3 = 51(\text{kN/m})$$

荷载设计值:

$$q = (1.2q_{Gk} + 1.3q_{Qk}) \cdot a = (1.2 \times 5 + 1.3 \times 12) \times 3 = 64.8(\text{kN/m})$$

最大弯矩标准值:

$$M_{xk} = \frac{1}{8} q_k l^2 = \frac{1}{8} \times 51 \times 6^2 = 229.5(\text{kN} \cdot \text{m})$$

最大弯矩设计值:

$$M_x = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} \times 64.8 \times 6^2 = 291.6(\text{kN} \cdot \text{m})$$

最大剪力设计值:

$$V = \frac{1}{2} q l = \frac{1}{2} \times 64.8 \times 6 = 194.4(\text{kN})$$

(2) 试选截面。

① 梁截面选择热轧工字钢。

截面由抗弯强度确定,需要的截面模量为:

$$W_x = \frac{M_x}{\gamma_x f} = \frac{1.02 \times 291.6 \times 10^6}{1.05 \times 215} \times 10^{-3} = 1317.5(\text{cm}^3)$$

次梁截面采用热轧普通工字钢,按需要选热轧普通工字钢为 I 45a,截面特性为: $W_x = 1432.9\text{cm}^3$, $I_x = 32241\text{cm}^4$, $S_x = 836.4\text{cm}^3$, $t_w = 11.5\text{mm}$, $t = 18.0\text{mm}$, $A = 102\text{cm}^2$ 。

梁自重标准值: $g'_k = 80.4 \times 9.8 = 0.79(\text{kN/m})$ 。

设计值: $g = 1.2 \times 0.79 = 0.95 (\text{kN/m})$ 。

a. 截面验算(计入次梁自重)。

弯矩设计值:

$$M_x = 291.6 + \frac{1}{8} \times 1.2 \times 0.789 \times 6^2 = 295.9 (\text{kN} \cdot \text{m})$$

剪力设计值:

$$V = 194.4 + \frac{1}{2} \times 1.2 \times 0.789 \times 6 = 197.2 (\text{kN})$$

抗弯强度:

$$\sigma = \frac{M_x}{\gamma_x W_x} = \frac{295.9 \times 10^6}{1.05 \times 1432.9 \times 10^3} = 196.7 (\text{N/mm}^2) < f = 205 \text{N/mm}^2$$

抗剪强度:

$$\tau = \frac{VS_x}{I_x t_w} = \frac{197.2 \times 10^3 \times 836.4 \times 10^3}{32241 \times 10^4 \times 11.5} = 44.5 (\text{N/mm}^2) < f_v = 125 \text{N/mm}^2$$

可见剪应力比较小。

b. 挠度验算。

全部荷载作用下挠度验算:

$$\frac{v_T}{l} = \frac{5p_k l^3}{384EI_x} = \frac{5 \times (51 + 0.79) \times 6000^3}{384 \times 2.06 \times 10^5 \times 32241 \times 10^4} = \frac{1}{456} < \frac{[v_T]}{l} = \frac{1}{250} \quad (\text{满足要求})$$

可变荷载作用下挠度验算:

$$\frac{v_Q}{l} = \frac{5q_k l^3}{384EI_x} = \frac{5 \times 36 \times 6000^3}{384 \times 2.06 \times 10^5 \times 32241 \times 10^4} = \frac{1}{656} < \frac{[v_Q]}{l} = \frac{1}{300} \quad (\text{满足要求})$$

因预制钢筋混凝土板焊接于次梁上,故整体稳定可以保证,不必验算。

②梁截面选择窄翼缘 H 型钢 HN450×200×9×14,截面几何特性为: $W_x = 1500 \text{cm}^3$, $I_x = 33700 \text{cm}^4$, $A = 97.41 \text{cm}^2$,自重 $g_k = 76.5 \times 9.8 = 0.75 (\text{kN/m})$ 。则弯矩设计值:

$$M = 291.6 + \frac{1}{8} \times 1.2 \times 0.75 \times 6^2 = 295.65 (\text{kN} \cdot \text{m})$$

抗弯强度验算:

$$\sigma = \frac{M}{\gamma_x W_{nx}} = \frac{295.65 \times 10^6}{1.05 \times 1500 \times 10^3} = 187.7 (\text{N/mm}^2) < f = 215 \text{N/mm}^2$$

挠度验算:

$$\frac{v_T}{l} = \frac{5p_k l^3}{384EI_x} = \frac{5 \times (51 + 0.75) \times 6000^3}{384 \times 2.06 \times 10^5 \times 33700 \times 10^4} = \frac{1}{477} < \begin{cases} [v_T]/l = 1/250 \\ [v_Q]/l = 1/300 \end{cases}$$

挠度满足要求。

通过以上计算可知,窄翼缘 H 型钢比热轧工字钢面积小,用钢量小;其承载力比热轧工字钢更有利,抗挠曲能力更强。所以应首选窄翼缘 H 型钢。

1.3.2 组合梁设计

当梁的内力较大,采用热轧型钢梁不能满足要求时,就需采用组合截面梁。组合截面梁多采用焊接工字形截面。焊接工字形截面梁设计与型钢梁设计不同,型钢梁设计只要确定型钢型号即可,而组合梁设计则需要确定腹板的高度及厚度、翼缘的宽度及厚度等尺寸。组合梁的设计原则是:既

要保证梁的承载力、刚度、稳定性等要求,又要使钢材用量经济合理,具体计算步骤如下。

1. 截面尺寸确定

焊接组合梁一般常用两块翼缘板和一块腹板焊接成双轴对称工字形截面(图 1-9),需要根据已知设计条件,选择经济合理的翼缘板和腹板尺寸。

(1) 截面高度。

确定组合梁的截面高度应考虑建筑高度、刚度条件和经济高度等因素。

建筑高度是指梁的底面到铺板顶面之间的高度,它往往由生产工艺和使用要求确定。梁的高度不能使净空超过建筑设计或工艺设备需要的净空允许限值,依此条件确定的梁截面高度实际上是梁截面可能的最大高度 $h_{\max}$ 。

刚度条件是梁的允许挠度所要求的梁高,其决定了梁的最小高度 $h_{\min}$ 。以均布荷载作用下的简支梁为例,其挠度最大值为:

$$v_{\max} = \frac{5q_k l^4}{384EI_x} = \frac{5l^2}{48EI_x} \cdot \frac{q_k l^2}{8} = \frac{5M_k l^2}{48EI_x} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_k l^2}{EW_x(h/2)} = \frac{5\sigma_k l^2}{24Eh} \leq [\nu]$$

则应满足:

$$\frac{v_{\max}}{l} = \frac{5\sigma_k l}{24Eh} \leq \frac{[\nu]}{l} \quad (1-8)$$

式中 q_k ——均布荷载标准值;

M_k ——荷载标准值计算的梁上弯矩最大值;

I_x ——梁截面惯性矩;

σ_k ——荷载标准值计算的最大弯曲正应力,初选截面时,可用 f/γ_L 代替, γ_L 为荷载分项系数,可取 1.3~1.4。

由式(1-8)可以得到梁的最小高度:

$$h_{\min} \geq \frac{5\sigma_k l}{24E} \cdot \frac{l}{[\nu]} \quad (1-9)$$

一般来说,梁的高度大,腹板用钢量增多,而梁翼缘板用钢量相对减少;梁的高度小,则情况相反。最经济的截面高度应使梁的总用钢量最小。梁的经济高度是指满足强度、刚度、整体稳定和局部稳定的梁用钢量最少的高度。梁的经济高度(cm)可按如下经验公式确定:

$$h_e = 7 \sqrt[3]{W_x} - 30 \quad (1-10)$$

实际采用的梁高应满足 $h_{\min} \leq h \approx h_e \leq h_{\max}$, 并且通常取 50mm 的倍数。

(2) 腹板厚度。

腹板厚度应满足抗剪强度要求。抗剪需要的厚度可根据梁端最大剪力按下式计算:

$$t_w \geq \frac{\alpha V_{\max}}{h_w f_v} \quad (1-11)$$

式中 $V_{\max}$ ——梁截面最大剪力设计值。

f_v ——梁腹板钢材抗剪承载力设计值。

α ——系数,当梁端翼缘截面无削弱时, α 宜取 1.2;当梁端翼缘截面有削弱时, α 宜取 1.5。

由式(1-11)计算所得的 t_w 往往偏小,考虑腹板局部稳定和构造等因素,腹板厚度常用下面的经验公式估算:

$$t_w = \frac{\sqrt{h_w}}{11} \quad (1-12)$$

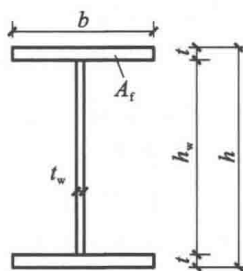


图 1-9 焊接工字形截面