

中国矿业大学新世纪教材建设工程资助教材

结构设计原理

Fundamentals of Structure Design

夏军武 贾福萍 龙帮云 李富民 丁北斗 常鸿飞 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

结构设计原理

夏军武 贾福萍 龙帮云 编著
李富民 丁北斗 常鸿飞

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书主要讲述钢结构基本构件和混凝土结构基本构件的理论计算和设计方法,包括四编共十六章内容。第一编为概述,包括绪论和工程结构材料的物理力学性能;第二编为钢结构设计原理,包括钢结构的连接、轴心受力构件、受弯构件、拉弯和压弯构件的计算;第三编为钢筋混凝土结构设计原理,包括受弯构件正截面和斜截面、受扭构件、轴心受力构件及偏心受力构件的承载力计算和构件正常使用极限状态验算;第四编为应用实例,包括楼盖设计概述、钢筋混凝土楼盖设计、钢平台结构设计和楼梯结构设计。《结构设计原理》是根据我国《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)以及《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)等现行国家规范而编写的。

本书为高等学校土木工程专业本科教材,也可作为土木工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

结构设计原理/夏军武等编著. —徐州:中国矿业大学出版社,2009.8

ISBN 978-7-5646-0389-2

I. 结… II. 夏… III. 建筑结构—结构设计 IV. TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 120289 号

书 名 结构设计原理

编 著 夏军武 贾福萍 龙帮云 李富民 丁北斗 常鸿飞

责任编辑 杨传良

责任校对 何晓惠 张海平 王美柱

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

排 版 徐州中矿大印发科技有限公司排版中心

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 34 字数 848 千字

版次印次 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定 价 48.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

为满足社会对人才的需求,拓宽专业口径,使学生具有宽广的知识面,培养能在较多领域从事工作的人才,教育部专业指导委员会对本科专业进行了较大的调整。现在土木工程专业包括了原有的许多相关专业,如工业与民用建筑专业、交通土建专业、矿井建设专业等,分别成为一级学科土木工程专业下设的专业方向。虽然这些专业方向涉及的内容各有侧重点,但具有一个共同的基础平台,《结构设计原理》是土木工程及工程管理专业的基础平台课程之一。

本教材立足于钢结构和钢筋混凝土结构设计的基本理论和概念,突出结构构件的基本受力性能 and 设计原理,同时还满足课程设计的需要。编写中遵循了我国《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)以及《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)等现行国家规范,同时注重提高学生的独立思考能力和应用能力。全书包括四编共十六章内容,第一编概述,介绍工程结构组成与材料性能;第二编为钢结构设计原理,介绍钢结构的连接、轴心受力、受弯、拉弯及压弯构件的设计原理;第三编为钢筋混凝土结构设计原理,介绍钢筋混凝土受弯、受扭、轴心受力及偏心受力构件的承载力计算,以及钢筋混凝土构件正常使用极限状态的验算;第四编为应用实例,介绍钢筋混凝土楼盖设计、钢平台结构设计及楼梯结构设计。

本教材由中国矿业大学“结构设计原理”课程教学组集体编著,其中第一章、第二章、第三章、第六章由夏军武和常鸿飞编著;第四章、第五章由丁北斗编著;第七章、第八章、第九章、第十章由贾福萍编著;第十一章、第十二章由李富民编著;第十三章、第十四章、第十五章、第十六章由龙帮云编著。全书由夏军武教授主持并统稿。

在本教材编著过程中,参考并引用了一些公开出版、发表的文献,谨向这些作者表示衷心的感谢!

由于内容较多及作者水平所限,书中难免存在疏漏和错误之处,敬请读者批评指正。

作 者

2009年6月

目 录

第一编 概 述

第一章 绪论	3
第一节 工程结构的组成和分类	3
第二节 钢结构	5
第三节 混凝土结构	9
第四节 结构设计基本原则	11
第五节 本课程的特点和学习方法	13
思考与练习	14
第二章 工程结构材料的物理力学性能	15
第一节 结构钢材的物理力学性能	15
第二节 钢筋混凝土的物理力学性能	29
思考与练习	44

第二编 钢结构设计原理

第三章 钢结构的连接	49
第一节 钢结构的连接概述	49
第二节 对接焊缝的构造和计算	56
第三节 角焊缝的构造和计算	59
第四节 焊接残余应力和焊接变形	75
第五节 普通螺栓连接的构造和计算	80
第六节 高强度螺栓连接的构造和计算	92
思考与练习	100
第四章 轴心受力构件	106
第一节 轴心受力构件的强度和刚度	106
第二节 实腹式轴心受压构件的整体稳定	107
第三节 格构式轴心受压构件的整体稳定	116
第四节 实际轴心受压构件的整体稳定计算	120
第五节 轴心受压构件的局部稳定	133
思考与练习	139
第五章 受弯构件	142
第一节 概述	142
第二节 构件受弯时的截面强度和刚度	143

第三节 梁的整体稳定·····	147
第四节 梁的局部稳定和腹板加劲肋设计·····	158
第五节 钢梁的设计·····	168
思考与练习·····	176
第六章 拉弯和压弯构件·····	180
第一节 概述·····	180
第二节 拉弯和压弯构件的强度和刚度·····	182
第三节 实腹式压弯构件的整体稳定·····	185
第四节 实腹式压弯构件的局部稳定·····	194
第五节 实腹式压弯构件的设计·····	198
第六节 格构式压弯构件的设计·····	209
第七节 压弯构件的计算长度·····	218
第八节 偏心受压柱柱脚设计·····	222
思考与练习·····	226
第三编 钢筋混凝土结构设计原理	
第七章 受弯构件正截面承载力计算·····	233
第一节 概述·····	233
第二节 受弯构件正截面承载力试验研究·····	233
第三节 受弯构件正截面承载力计算·····	237
第四节 构造要求·····	264
思考与练习·····	266
第八章 受弯构件斜截面承载力计算·····	271
第一节 概述·····	271
第二节 受弯构件斜截面承载力计算·····	277
第三节 构造要求·····	288
思考与练习·····	295
第九章 受扭构件承载力计算·····	298
第一节 概述·····	298
第二节 受扭构件试验研究·····	299
第三节 开裂扭矩的计算·····	301
第四节 纯受扭构件的受扭承载力·····	303
第五节 弯剪扭构件的承载力计算·····	307
第六节 受扭构件计算公式的适用条件及构造要求·····	308
思考与练习·····	312
第十章 轴心受力构件承载力计算·····	314
第一节 概述·····	314
第二节 轴心受拉构件承载力计算·····	314
第三节 轴心受压构件承载力计算·····	316

思考与练习	322
第十一章 偏心受力构件承载力计算	325
第一节 概述	325
第二节 偏心受压构件承载力计算	325
第三节 偏心受拉构件承载力计算	352
第四节 双筋构件正截面适筋设计中 x 的取值讨论	356
第五节 偏心受力构件的构造要求	358
思考与练习	359
第十二章 钢筋混凝土构件正常使用极限状态验算	362
第一节 概述	362
第二节 裂缝控制验算	362
第三节 受弯构件的挠度验算	372
思考与练习	377

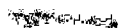
第四编 应用实例

第十三章 楼盖设计概述	383
第一节 楼盖结构分类	383
第二节 楼盖结构功能	384
第三节 楼盖设计流程	385
第四节 楼盖结构布置	386
第五节 板的结构分析	391
思考与练习	405
第十四章 钢筋混凝土楼盖设计	406
第一节 单向板肋梁楼盖设计	406
第二节 双向板肋梁楼盖设计	430
第三节 无梁楼盖设计	445
第四节 井式楼盖设计	447
思考与练习	448
第十五章 钢平台结构设计	449
第一节 平台结构组成及布置	449
第二节 平台铺板设计	452
第三节 平台梁	454
第四节 平台柱与柱间支撑	456
第五节 钢平台的连接构造	458
第六节 设计实例	460
思考与练习	474
第十六章 楼梯结构设计	475
第一节 楼梯结构设计概述	475
第二节 现浇板式楼梯的计算与构造	476

第三节 现浇梁式楼梯的计算与构造.....	479
第四节 设计实例.....	482
思考与练习.....	486
附 录.....	487
参考文献.....	535

第一编

概述



第一章 绪 论

本章提要 本章介绍一般工程结构的组成和分类。通过本章学习,应掌握钢结构和混凝土结构的一般概念和特点,了解钢结构和混凝土结构在国内外的应用和发展概况,掌握结构设计基本原则以及结构设计原理课程的特点和学习方法。

第一节 工程结构的组成和分类

一、工程结构的组成

工程结构的基本构件有板、梁、柱、墙、杆、拱、索和基础等,如图 1-1 所示。板为房屋、桥梁等建筑物提供直接承受活荷载和永久荷载的平面,并将这些荷载传递到梁或墙等支承构件上。板的主要内力是弯矩和剪力,是受弯构件。梁是板的支承构件,承受板传来的荷载并将其传递到柱、墙或主梁上,它的主要内力是弯矩和剪力,有时也承担扭矩,属受弯构件。柱和墙的作用是支承楼面体系(梁、板),其主要内力是轴向压力、弯矩和剪力等,是受压构件。杆的用途很多,如组成屋架或其他空间构件的弦杆、结构的支撑杆等,其内力主要是轴向拉力或压力,是轴向受力构件。拱是工程结构特别是地下结构中的一种主要受力构件,是受压构件,拱可以通过调整拱的形体来改变构件的内力。索是悬挂构件或结构体系的主要传力单元,一端固定在被悬挂的构件上,另一端固定于其他结构体系上,索主要承受拉力,是受拉

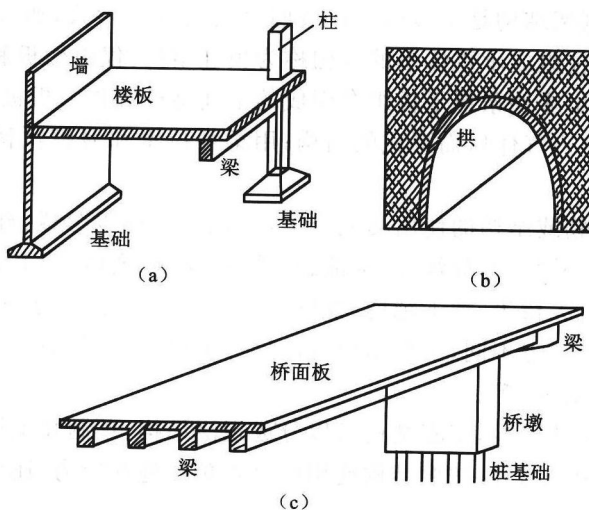


图 1-1 工程结构的组成
(a) 房屋建筑; (b) 隧道; (c) 桥梁

构件。基础是将柱及墙等传来的上部结构荷载传递给地基的下部结构。

二、工程结构的分类

结构的种类很多,有多种分类方法。一般可以按照结构所用的材料,或结构受力体系、使用功能、外形特点以及施工方法等进行分类。各种结构有其一定的适用范围,应根据结构功能、材料性能、不同结构形式的特点和使用要求以及施工和环境条件等合理选用。

按照所采用的材料分类,工程结构的类型主要有混凝土结构、钢结构、砌体结构和木结构等。混凝土结构包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、纤维筋混凝土结构和其他各种形式的加筋混凝土结构。砌体结构包括砖石砌体结构、砌块砌体结构。这些结构材料可以在同一结构体系中混合使用,形成混合结构,如屋盖和楼盖采用混凝土结构,墙体采用砌体,基础采用砖石砌体或钢筋混凝土,就形成了砖混结构。这些结构材料也可以在同一构件中混合使用,形成组合构件,如屋架上弦采用钢筋混凝土,下弦采用钢拉杆,就形成了钢—混凝土组合屋架,又如在钢筋混凝土柱中配置型钢则形成了钢—混凝土组合柱。

按照结构的受力体系分类,工程结构的类型主要有框架结构、剪力墙结构、筒体结构、塔式结构、桅式结构、悬索结构、悬吊结构、壳体结构、网架结构、板柱结构、墙板结构、折板结构、充气结构、膜结构等。框架结构的主要竖向受力体系由梁和柱组成;剪力墙结构的主要竖向受力体系由钢筋混凝土墙组成;筒体结构是在高层建筑中,利用电梯井、楼梯间或管道井等四周封闭的墙形成内筒,也可以利用外墙或密排的柱作为外筒,或两者共用形成筒中筒结构,框架、剪力墙和筒体也可以组合形成框架剪力墙结构、框架筒体结构等结构体系;塔式结构是下端固定、上端自由的高耸构筑物;桅式结构是由一根下端为铰接或刚接的竖立细长桅杆和若干层纤绳所组成的构筑物;悬索结构的承重部分由柔性拉索及其边缘构件组成,索可以采用钢丝束、钢丝绳、钢绞线、圆钢、纤维复合材料以及其他受拉性能良好的线材;楼面荷载通过吊索或吊杆传递到固定在筒体或柱子上的水平悬吊梁或桁架上,并通过筒体或柱子传递到基础的结构体系称为悬吊结构;壳体结构是由曲面形板与边缘构件(梁、拱或桁架等)组成的空间结构;网架结构是由多根杆件按照一定的网格形式,通过节点连结而形成的空间结构;仅由楼板和柱组成承重体系的结构称为板柱结构;仅由楼板和墙组成承重体系的结构则称为墙板结构;由多块条形平板组合而成的空间结构统称为折板结构;充气结构是用薄膜材料制成的构件充入气体后而形成的结构;用柔性拉索和薄膜材料及边缘构件组成的结构称为膜结构。

按照建筑物、构筑物或结构的使用功能分类,工程结构可以分成:建筑结构,如住宅、公共建筑、工业建筑等;特种结构,如烟囱、水池、水塔、筒仓、贮藏罐、挡土墙等;桥梁结构,如公路铁路桥、立交桥、人行天桥等;地下结构,如隧道、涵洞、人防工事、地下建筑等。

按照建筑物的外形特点不同,工程结构可以分为单层结构、多层结构、高层结构、大跨结构和高耸结构(如电视塔等)等。

按照结构的施工方法不同,工程结构可以分成现浇结构、预制装配结构和预制与现浇相结合的装配整体式结构。另外,按照结构使用前是否预先施加应力,还可分为预应力结构和非预应力结构等。

第二节 钢 结 构

一、钢结构的特点

钢结构和其他材料的结构相比有如下特点:

① 建筑钢材强度高,塑性韧性好。

钢结构强度高,适用于建造跨度大、高度高、承载重的结构。但由于强度高,一般构件截面小而壁薄,在受压时容易为稳定和刚度要求所限制,强度难以得到充分的利用。

钢结构塑性好,结构在一般条件下不会因超载而突然断裂,只增大变形,故易于被发现。能将局部高峰应力重分配,使应力变化趋于平缓。

钢结构韧性好,适宜在动力荷载下工作,因此在地震区采用钢结构较为有利。

② 钢结构的重量轻。

钢材密度大,强度高,做成的结构却比较轻。

结构的轻质性可以用材料的质量密度和强度的比值来衡量,比值越小,结构越轻。

以同样跨度承受同样的荷载,钢屋架的重量最多不过为钢筋混凝土屋架的 $1/4 \sim 1/3$,冷弯薄壁型钢屋架甚至接近 $1/10$ 。

重量轻,可减轻基础的负荷,降低地基、基础部分的造价,同时还方便运输和吊装。

③ 材质均匀与力学计算的假定比较符合。

钢材由于冶炼和轧制过程的科学控制,其组织比较均匀,接近各向同性,为理想的弹塑性体,其弹性模量和韧性模量皆较大,因此,钢结构实际受力情况和工程力学计算结果比较符合,在计算中采用的经验公式不多,从而计算上的不确定性较小,计算结果比较可靠。

④ 钢结构制作简便,施工工期短。

钢结构构件一般是在工厂加工制作,施工机械化,准确度和精密度皆较高。钢结构所有材料皆已轧制成各种型材,加工简易而迅速。钢构件较轻,连接简单,安装方便,施工周期短。小量钢结构和轻型钢结构可在现场制作,易于吊装。钢结构由于连接特性好,易于加固、改建和拆迁。

⑤ 钢结构密闭性较好。

钢结构的钢材和连接(如焊接)的水密性和气密性较好,适宜于做要求密闭的板壳结构,如高压容器、油库、气柜、管道等。

⑥ 钢结构耐腐蚀性差。

钢材容易锈蚀,对钢结构必须注意防护,特别是薄壁构件更要注意,因此,处于较强腐蚀性介质内的建筑物不宜采用钢结构。钢结构在涂油漆以前应彻底除锈,油漆质量和涂层厚度均应符合要求。在设计中应避免结构受潮、漏雨,构造上应尽量避免存在难于检查、维修的死角。

⑦ 钢材耐热但不耐火。

钢材受热,当温度在 200°C 以内时,其主要性能(屈服点和弹性模量)下降不多;温度超过 200°C 后,材质变化较大,不仅强度总趋势逐步降低,还有蓝脆和徐变现象;达 600°C 时,钢材进入塑性状态已不能承载。

因此,设计规定钢材表面温度超过 150°C 后即需加隔热防护;对有防火要求者,更需按

相应规定采取隔热防护措施。

⑧ 钢结构在低温和其他条件下,可能发生脆性断裂。

二、钢结构的应用

钢结构的合理应用范围不仅取决于钢结构本身的特性,还取决于国民经济发展的具体情况。过去由于我国钢产量不能满足国民经济各部门的需要,钢结构的应用受到一定的限制。近年来我国钢产量有了很大发展,加之钢结构结构形式的改进,钢结构的应用得到了很大的发展。目前钢结构应用范围大致如下(图 1-2 至图 1-10)。

(1) 大跨结构

结构跨度越大,自重占在荷载中所占的比例就越大,减轻结构的自重会带来明显的经济效益。钢材强度高和结构自重轻的优势正好适用于大跨结构,因此钢结构在大跨空间结构和大跨桥梁结构中得到了广泛的应用。所采用的结构形式有空间桁架、网架、网壳、悬索(包括斜拉体系)、张弦梁、实腹或格构式拱架和框架等。



图 1-2 哈尔滨会展中心屋盖(跨度为 230 m)

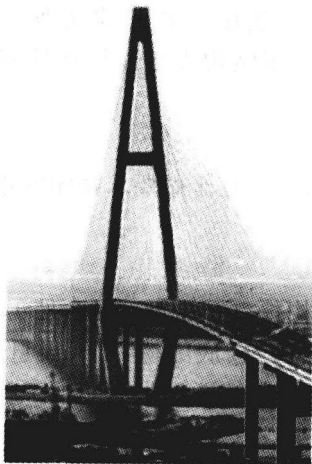


图 1-3 独塔斜拉桥——海河大桥



图 1-4 轻钢工业厂房门式刚架

(2) 工业厂房

有起重量较大吊车或者工作较繁重的车间的主要承重骨架多采用钢结构。另外,有强

烈辐射热的车间,也经常采用钢结构。结构形式多为由钢屋架和变截面柱组成的排架结构,也有采用网架做屋盖的结构形式。

近年来,随着压型钢板等轻型屋面材料的采用,轻钢结构工业厂房得到了迅速的发展。其结构形式主要为实腹式变截面门式刚架。

(3) 受动力荷载影响的结构

由于钢材具有良好的韧性,设有较大锻锤或产生动力作用的其他设备的厂房,即使屋架跨度不大,也往往采用钢结构。对于抗震能力要求高的结构,采用钢结构也是比较适宜的。

(4) 多层和高层建筑

由于钢结构的综合效益指标优良,近年来在多、高层民用建筑中也得到了广泛的应用。其结构形式主要有多层框架、框架—支撑结构、框筒、悬挂、巨型框架等。

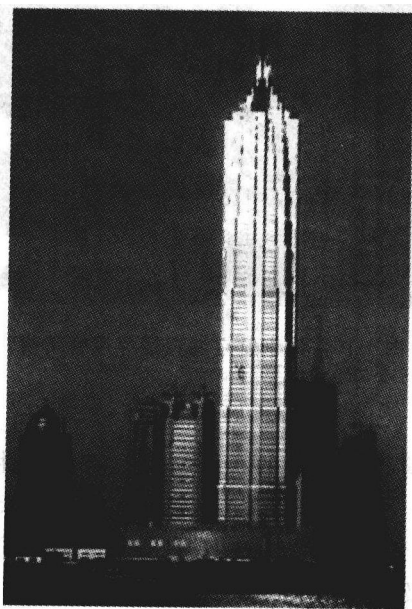


图 1-5 上海金茂大厦

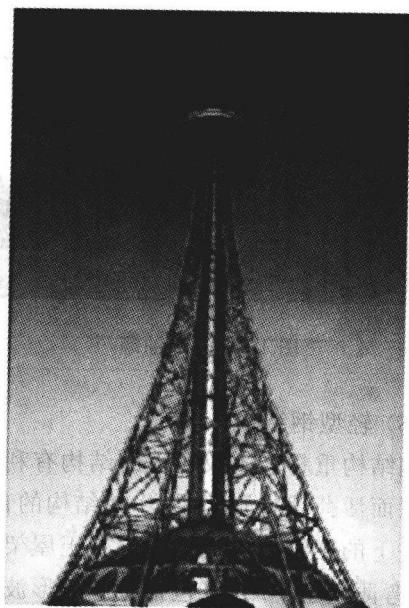


图 1-6 黑龙江电视塔(336 m)

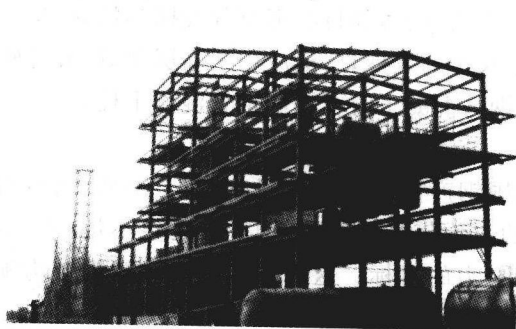


图 1-7 多层钢结构工业厂房

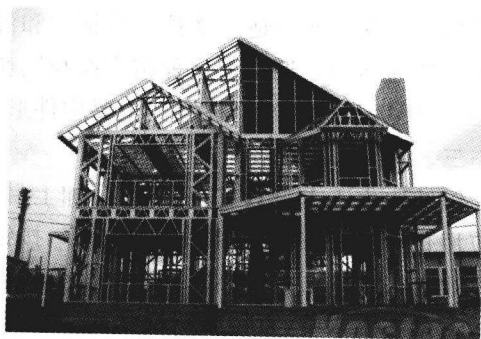


图 1-8 轻钢结构住宅

(5) 高耸结构

高耸结构包括塔架和桅杆结构,如高压输电线路的塔架,广播、通信和电视发射用的塔

架,桅杆和火箭(卫星)发射塔架等。

(6) 可拆卸的结构

钢结构不仅重量轻,还可以用螺栓或其他便于拆装的手段来连接,因此非常适用于需要搬迁的结构,如建筑工地、油田和需野外作业的生产和生活用房的骨架等。钢筋混凝土结构施工用的模板和支架,以及建筑施工用的脚手架等也大量采用钢材制作。

(7) 容器和其他构筑物

冶金、石油、化工企业中大量使用钢板做成的容器,包括油罐、煤气罐、高炉、热风炉等。此外,经常使用的还有胶带通廊栈桥、管道支架、锅炉支架等其他钢构筑物,海上采油平台也大都采用钢结构。

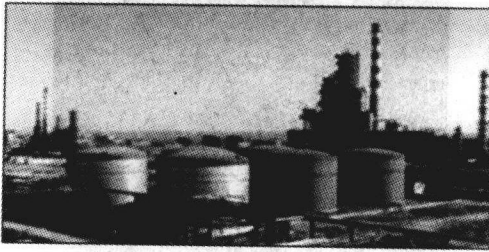


图 1-9 立式油罐

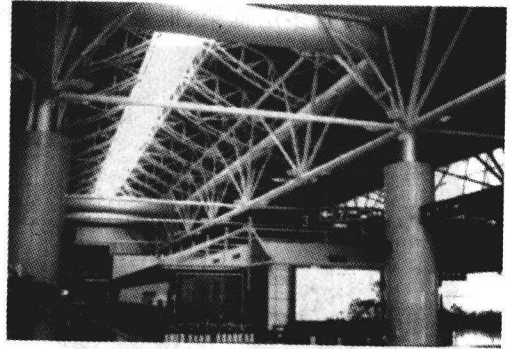


图 1-10 南京航空港直接焊接管结构

(8) 轻型钢结构

钢结构重量轻不仅对大跨结构有利,对屋面活荷载特别轻的小跨结构也有优越性。因为当屋面活荷载特别轻时,小跨结构的自重也成为一个重要因素。冷弯薄壁型钢屋架在一定条件下的用钢量可比钢筋混凝土屋架的用钢量还少。轻钢结构形式有实腹变截面门式刚架、冷弯薄壁型钢结构(包括金属拱形波纹屋盖)以及钢管结构等。

(9) 钢和混凝土的组合结构

钢构件和板件受压时必须满足稳定性要求,往往不能充分发挥其强度高的作用,而混凝土则最宜于受压而不适于受拉。将钢材和混凝土并用,使两种材料都充分发挥其长处,是一种很合理的结构。近年来这种结构在我国获得了长足的发展,广泛应用于高层建筑、大跨桥梁、工业厂房和地铁站台柱等。主要构件形式有钢与混凝土组合梁和钢管混凝土柱等。

三、钢结构的发展方向

钢结构由于本身具有很多优点,加上目前我国钢产量已大大提高,近二十年来,钢结构的应用日渐广泛。但是,我国人口众多,按钢材的人均年产量计算,钢产量还很不足,因此,建筑业在采用钢结构时,节约钢材仍然是要长期努力的目标。这就要求不断提高钢结构领域的科学技术水平,重视新型钢结构的应用和推广。

根据近年来钢结构发展的状况,提出以下四个方面的发展方向:

(1) 高效能钢材的发展和应用

高效能钢材的含义包括两个方面。其一是研制出强度较高而性能又好的钢材。目前,我国大量采用的钢材是 Q235 和 Q345 钢。Q390 和 Q420 钢材在钢结构的应用尚有待进一

步研究。其二是采用各种有效措施,提高钢材的有效承载力,更好地发挥钢材的使用效果,从而节约钢材,如采用冷弯薄壁型钢和热轧 H 型钢提高截面有效承载力等。

(2) 钢结构设计方法的改进

概率极限状态设计方法还有待发展。目前还属于近似概率设计法。因为现在计算的可靠度还只是构件或某一截面的可靠度,而不是结构体系的可靠度;现在的设计方法也不适用于疲劳计算的反复荷载或动力荷载作用下的结构;结构的优化设计问题也需要进一步深入研究。

(3) 结构形式的革新

网架结构和悬索结构以及二者结合的索网和网壳结构近年来得到很大发展和应用,钢和混凝土组合结构的应用也日益推广,但结构形式的革新仍有待进一步发展。

(4) 钢结构的加工制造

钢结构的制造工业机械化水平还需要进一步提高。从设计着手,结合制造工艺,促进产品的定型化、标准化、系列化,以达到批量生产,降低造价的目的。

第三节 混凝土结构

一、混凝土结构的类型

混凝土结构是以混凝土为主要材料的结构。包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、型钢混凝土结构、钢管混凝土结构等结构形式。

素混凝土是指不配任何钢材的混凝土结构,一般常用于路面和非承重结构。钢筋混凝土结构由钢筋和混凝土组成,按照结构构件的型式和受力特点,主要在受拉部位和受压部位配置一定型式和数量的钢筋。预应力混凝土是在结构或构件中配置预应力钢筋并施加预应力的混凝土结构。钢管混凝土是指在钢管内浇筑混凝土而成的结构。型钢混凝土又称钢骨混凝土,把型钢或用钢板焊接成钢骨架作为配筋的混凝土结构。

二、钢筋混凝土结构的特点和优缺点

钢筋混凝土结构由一系列受力类型不同的构件组成。钢筋混凝土构件有受弯构件、受拉构件、受压构件和受扭构件等。

钢筋与混凝土材料有不同的物理、力学性能。钢筋抗拉和抗压性能均好,混凝土的抗压性能强但抗拉性能较弱。将这两种性能不同的材料结合在一起共同工作,使其发挥各自抗拉、抗压强度的特长,将会使构件具有较高的承载能力和较好的经济效益。两种不同性能的材料能够结合在一起共同工作的基础主要基于以下两点。

① 钢筋和混凝土两种材料的线膨胀系数相近。钢材为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$ 。当温度变化时,两种材料不会因产生较大的相对变形而使两种材料之间的黏结应力受到破坏。

② 钢筋混凝土结构中钢筋和混凝土之间存在黏结力,由于黏结力的存在使二者结为整体,在荷载的作用下能共同工作,协调变形。

钢筋混凝土结构除了比素混凝土结构具有更高的承载力和更好的受力性能以外,与其他结构相比具有如下较明显的优点。

① 合理用材。钢筋混凝土结构合理利用了钢筋和混凝土两种不同材料的受力性能,使