

高职高专土建类“十二五”规划教材

Higher Vocational Textbooks on Civil Engineering and Architecture for the 12th Five-Year Plan

钢结构

主编 李殿平 刘卫东

Steel Structure



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

高职高专土建类“十二五”规划教材

钢 结 构

主	编	李殿平	刘卫东
副主	编	武海勇	刘颖
主	审	刘文顺	苏德利



华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 提 要

本书根据高等职业技术教育建筑工程技术专业及相关专业“钢结构”课程教学要求编写而成。全书共分8章,包括:概论,钢结构的材料,钢结构的连接,轴心受力构件,受弯构件,拉弯和压弯构件,屋盖结构及钢结构的制作、安装与防护等内容。本书根据职业教育职业素质的特点,突出教材内容的针对性、实用性,由浅入深,理论联系实际,简明扼要,通俗易懂,并附有大量例题、实例和有关图表可供参考使用。

本书可作为高职高专院校土建类专业教材,也可供从事土建工程的技术人员作为参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构/李殿平,刘卫东主编. —武汉:华中科技大学出版社,2012.7
高职高专土建类“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5609-7839-0

I. ①钢… II. ①李… ②刘… III. ①钢结构-高等职业教育-教材 IV. ①TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 055423 号

钢结构

李殿平 刘卫东 主编

策划编辑:陈 骏

责任编辑:陈 骏

封面设计:陈 静

责任校对:朱 霞

责任监印:张贵君

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉楚海文化传播有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开 本:850mm×1065mm 1/16

印 张:18

字 数:370千字

版 次:2012年7月第1版第1次印刷

定 价:36.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

本书是“高职高专土建类‘十二五’规划教材”之一,按照高等职业教育建筑工程技术专业的“钢结构”课程教学大纲的要求组织编写。

编写过程中,根据高等职业教育的特点和建筑工程专业的人才培养目标,贯彻以“应用”为目的、以“必须、够用”为准则、以“培养能力”为本位的原则来确定教材内容和课程结构,重视教学内容的针对性和实用性,知识体系全面,重点突出,既简明易懂,又论述严谨,方便教师授课和学生学习。

本书较完整、系统地讲述了钢结构构件的基本性能、基本理论和计算方法等基础知识;根据钢结构的发展状况,力求拓宽专业面,扩大知识面,反映先进的技术水平,以适合钢结构发展的需要。

本书共分8章,包括:概论,钢结构的材料,钢结构的连接,轴心受力构件,受弯构件,拉弯和压弯构件,屋盖结构及钢结构的制作、安装与防护等内容。

本书由大连海洋大学职业技术学院李殿平、刘卫东担任主编,沧州职业技术学院武海勇、大连海洋大学职业技术学院刘颖担任副主编。各章编写分工如下:李殿平编写第一章、第三章和附录;刘颖编写第二章和第四章;武海勇编写第五章和第六章;刘卫东编写第七章和第八章;全书由李殿平统稿和定稿。

大连海洋大学职业技术学院刘文顺教授、苏德利教授担任本书主审,他们对本书进行了认真细致的审阅,并提出许多建设性意见,编者谨致谢意。

本书既可作为高等职业教育建筑工程技术专业的教材,亦可作为土建工程技术人员学习、参考的资料。

本书在编写过程中,得到出版社责任编辑和编者所在单位的大力支持,参考和使用了有关文献和资料,在此表示衷心感谢。

限于编者的水平,本书难免存在缺点和错误,敬请读者给予批评指正。

编 者

2012年2月

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 钢结构的组成及特点	(1)
1.2 钢结构的应用范围及发展	(4)
1.3 钢结构的基本设计原理	(9)
【本章小结】	(13)
【复习思考题】	(13)
第 2 章 钢结构的材料	(14)
2.1 钢结构材料的力学性能	(14)
2.2 影响钢材性能的主要因素	(18)
2.3 钢结构的破坏形式	(22)
2.4 常用钢材的种类及选用	(23)
【本章小结】	(25)
【复习思考题】	(26)
第 3 章 钢结构的连接	(27)
3.1 钢结构的连接方法	(27)
3.2 焊接方法和焊缝连接形式	(28)
3.3 角焊缝的构造与计算	(34)
3.4 对接焊缝的构造与计算	(48)
3.5 焊接残余应力和焊接残余变形	(53)
3.6 普通螺栓连接	(54)
3.7 高强度螺栓连接	(64)
【本章小结】	(69)
【复习思考题】	(69)
【习题】	(69)
第 4 章 轴心受力构件	(71)
4.1 轴心受力构件及截面形式	(71)
4.2 轴心受力构件的强度与刚度计算	(72)
4.3 轴心受压构件的稳定计算	(75)
4.4 实腹式轴心受压构件的截面设计	(83)
4.5 格构式轴心受压构件的截面设计	(87)
4.6 柱头、柱脚的构造与设计	(97)
【本章小结】	(105)
【复习思考题】	(106)
【习题】	(106)

第 5 章 受弯构件	(108)
5.1 概述	(108)
5.2 受弯构件的强度和刚度	(109)
5.3 梁的稳定	(115)
5.4 梁腹板的屈曲后强度	(132)
5.5 梁的设计计算	(136)
5.6 腹板加劲肋的布置和设计	(143)
5.7 翼缘与腹板连接焊缝设计	(146)
5.8 梁的拼接与连接	(148)
【本章小结】	(157)
【复习思考题】	(158)
【习题】	(159)
第 6 章 拉弯和压弯构件	(160)
6.1 拉弯和压弯构件的强度和刚度	(160)
6.2 实腹式压弯构件的稳定计算	(164)
6.3 格构式压弯构件的稳定计算	(170)
6.4 压弯构件的柱头和柱脚设计	(174)
【本章小结】	(178)
【复习思考题】	(179)
【习题】	(179)
第 7 章 屋盖结构	(181)
7.1 屋盖结构的组成与形式	(181)
7.2 钢屋盖支撑体系	(182)
7.3 钢屋架的设计计算	(187)
7.4 钢屋架设计实例	(208)
7.5 轻型钢屋架	(218)
【本章小结】	(227)
【复习思考题】	(228)
第 8 章 钢结构的制作、安装与防护	(229)
8.1 钢结构制作	(229)
8.2 钢结构防火	(234)
8.3 钢结构防腐蚀	(236)
8.4 钢结构安装	(243)
8.5 钢结构验收	(245)
【本章小结】	(247)
【复习思考题】	(247)
附录 钢结构设计用表	(248)
参考文献	(282)

第 1 章 概 论

钢结构是由钢板、热轧型钢和冷加工成型的薄壁型钢,通过一定的连接方式而形成的受力整体。钢结构基本构件有拉(压)杆、弯曲梁、压弯柱及桁架等,是建筑结构的主要结构形式。钢结构在结构工程中有着悠久的历史 and 广泛的用途,随着钢产量、品种及性能的不不断提高,钢结构具有广阔的发展前景。

1.1 钢结构的组成及特点

1.1.1 钢结构的组成

随着建筑业的发展,在建筑工程中钢结构的应用越来越广。由于使用功能及结构组成方式不同,钢结构种类繁多,形式各异。钢结构尽管用途、形式各不相同,但它们都是由钢板和型钢经过加工制成各种基本构件,如拉杆(有时还包括钢索)、压杆、梁、柱及桁架等,然后将这些基本构件按一定方式通过焊接和螺栓连接组成结构。

如何按一定方式将基本构件组成能满足各种使用功能要求的钢结构?下面将通过一些示例作简要说明。

1. 平面结构体系

如图 1-1 所示是一个单层房屋钢结构组成的示意图。单层房屋承受重力荷载、水平荷载(风力及吊车制动力等)。图 1-1(a)中屋盖桁架和柱组成一系列的平面承重结构,主要承受重力荷载和横向水平荷载。这些平面承重结构用纵向构件和各种支撑(如图中所示的上弦横向支撑、垂直支撑及柱间支撑等)连成一个空间整体,如图 1-1(b)所示,保证整个结构在空间各个方向都成为一个几何不变体系。除此之外,还可以由实腹的梁和柱组成框架或拱,框架和拱可以做成三铰、二铰或无铰,跨度大的还可用桁架拱。

上述结构均属于平面结构体系。其特点是结构由承重体系及附加构件两部分组成,其中承重体系是一系列相互平行的平面结构,结构平面内的垂直和横向水平荷载由它承担,并在该结构平面内传递到基础。附加构件(纵向构件及支撑)的作用是将各个平面结构连成整体,同时也承受结构平面外的纵向水平力。

2. 空间结构体系

当建筑物的长度和宽度尺寸接近,或平面呈圆形时,如果将各个承重构件自身组成为空间几何不变体系并省去附加构件,受力就更为合理。如图 1-2 所示,平板

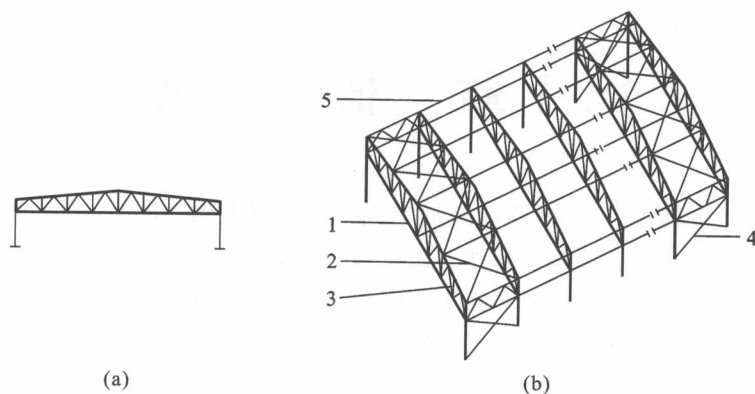


图 1-1 单层房屋钢结构组成示意图

1—屋架；2—上弦横向支撑；3—垂直支撑；4—柱间支撑；5—纵向构件

网架屋盖结构由倒置的四角锥体组成，锥底的四边为网架的上弦杆，锥棱为腹杆，连接各锥顶的杆件为下弦杆。屋架的荷载沿两个方向传到四角的柱上，再传至基础，形成一种空间传力体系，因此这种结构也称为空间结构体系。在这个平板网架中，所有的构件都是主要承重体系的部件，没有附加构件，因此，内力分布合理并能节省钢材。

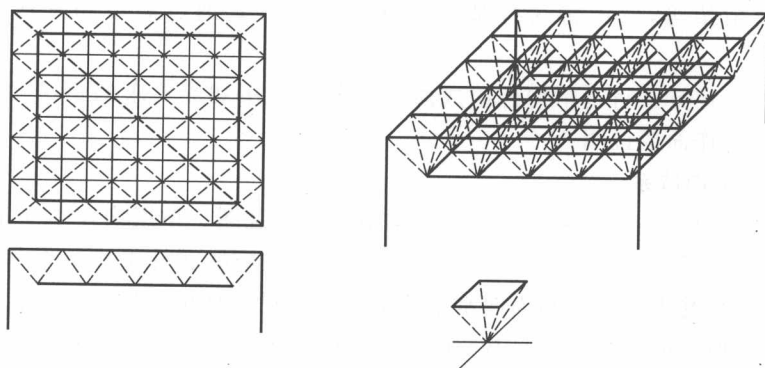


图 1-2 平板网架屋盖结构

——上弦杆；——下弦杆；·····腹杆

3. 多层房屋结构体系

多层钢结构除承受由重力引起的竖向荷载外，更重要的是承受由风或地震引起的水平荷载。提高结构抵抗水平荷载的能力，以及控制水平位移不要过大，是这类房屋组成的主要问题。一般多层钢结构房屋组成的体系主要有：框架体系（即由梁和柱组成的多层多跨框架，如图 1-3 所示），带刚性加强层结构（即在两列柱之间设置斜支撑，形成竖向悬臂桁架，以便承受更大的水平荷载，如图 1-4 所示），筒式结构体系（即沿框架四周用密集排列的柱形成空间钢架式的斜撑与梁、柱组成桁架，这样房屋四周就形成了刚度很大的空间桁架——支撑筒）。

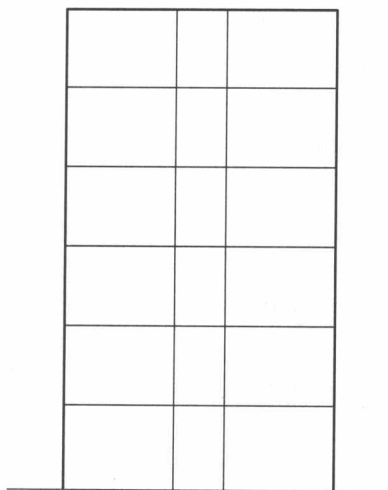


图 1-3 框架结构

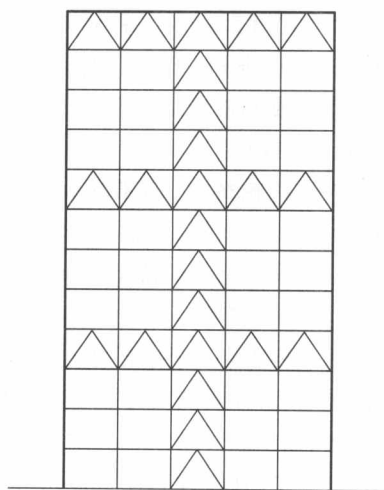


图 1-4 带刚性加强层结构

综上所述,钢结构的组成应满足结构使用功能的要求,结构应形成空间整体(几何不变体系)才能有效而经济地承受荷载,同时还要考虑材料供应条件及施工方便等因素。本节仅对单层及多层房屋的钢结构组成作了一些简单描述,但是其他结构如桥梁、塔架等同样也应遵循这些原则。同时,我们还应看到,随着工程技术不断发展,将会创造和开发出更多的新型结构体系。

1.1.2 钢结构的特点

钢结构与其他类型结构相比,具有如下特点。

1. 强度高、质量轻

钢材的容重虽然比其他任何建筑材料都大,但其强度更高,因此在承载力相同的条件下,钢结构的自重比其他结构要小。以同样跨度承受同样的荷载为例,钢屋架的质量只有钢筋混凝土屋架的 $1/4 \sim 1/3$,冷弯薄壁型钢屋架质量更轻。因此,钢结构能承受更大的荷载,跨越更大的跨度。

2. 塑性和韧性好

钢材具有良好的塑性和韧性,能吸收和消耗很大的能量,对动力荷载的适应性较强,抗震性能好。因此,一般情况下钢材不会因偶然局部超载而突然发生脆性破坏。

3. 材质均匀和力学计算的假定比较符合

钢材在冶炼和轧制过程中,受到严格的质量控制,因而材质比较均匀,质量比较稳定。钢材各向同性,弹性工作范围大,因此它的实际工作情况与一般结构力学计算中采用的材料为匀质各向同性体的假定较为符合,工作可靠性高。

4. 钢结构制作简便,施工方便

钢结构由各种型钢组成,可在专业化的金属结构加工厂中制造,制作简便,精度

较高,然后运至现场,用焊接或螺栓进行拼接和吊装。现场施工采用装配化作业,是工业化生产程度最高的一种结构。同时钢结构也是施工现场工程量最小的一种结构,因而施工周期短,效率高,且便于拆卸、加固和改建。

5. 能制成不渗漏的密闭结构

不论采用焊接、铆接或螺栓连接,钢结构都可以做到密闭不渗漏。

6. 钢结构耐热好,但不耐火

钢材在温度 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内时性能变化不大,但超过 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$,钢材的强度及弹性模量将随温度升高而大大降低,当结构温度达到 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时就完全失去承载能力。另外钢材导热性能好,局部受热(如发生火灾)也会迅速引起整个结构升温,危及结构安全。一般认为,当钢结构表面长期受高温辐射达 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,可能遭受火灾袭击时,就应采取有效的防护措施,如用耐火材料做成隔热层等。

7. 耐久性差

在湿度大、有侵蚀介质的环境中,钢材易于锈蚀,使结构受到损害,影响结构的使用与寿命。因此钢结构必须采取防锈措施,彻底除锈并涂以油漆和镀锌等。此外,还应注意使结构经常处于清洁和干燥的环境中,保持通风良好,及时排除侵蚀性气体和湿气。

1.2 钢结构的应用范围及发展

1.2.1 钢结构的应用范围

钢结构的应用范围不仅取决于钢结构本身的特性,还取决于我国经济社会发展的具体情况。过去由于我国科技水平较低,年钢产量不高,不能满足各项经济建设的需要,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的发展,年产量已超过一亿吨,居世界前列。随着钢结构新结构形式的应用,钢结构的应用得到很大的发展。目前钢结构在我国的合理应用范围如下。

1. 重型厂房结构

设有起重较大的中级和重级工作制桥式起重机的车间,如炼钢车间、轧钢车间、铸钢车间、水压机车间、船体车间、热加工车间等重型厂房的承重骨架和吊车梁,多采用钢结构。

2. 大跨度结构

对于大空间的公共建筑和工业建筑,如飞机制造厂的装配车间、飞机库、体育馆、大会堂、剧场、展览馆等,常采用重量轻、强度高的钢网架、拱架、悬索以及框架等结构体系。如位于北京人民大会堂西侧,西长安街以南的国家大剧院,如图 1-5 所示,总占地面积近 12 万平方米,总建筑面积近 15 万平方米,总投资 26.88 亿元的钢结构工程。该工程外部围护结构为钢结构网壳,呈半椭圆球形,东西长轴 212.2 m,

南北短轴 143.64 m, 总高度 46.285 m。内设歌剧院(2 416 席)、音乐厅(2 017 席)、戏剧院(1 040 席)及公共大厅等。屋面采用钛金属板, 整个网壳外环绕人工湖(35 500 m²), 各种通道及入口均设在水下。

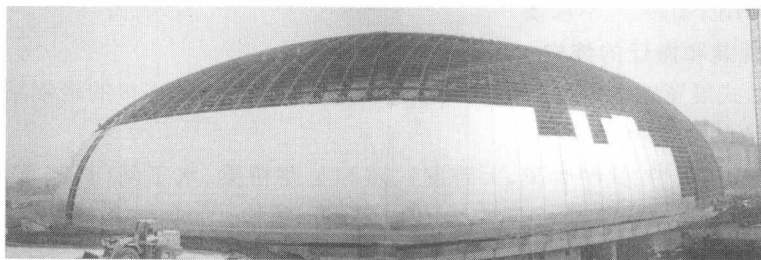


图 1-5 国家大剧院

3. 高层和超高层建筑

高层和超高层建筑多采用钢框架结构体系, 以加快建设速度, 提高抗震性能。位于陆家嘴金融贸易区的上海环球金融中心大厦, 如图 1-6 所示, 建筑总面积 335 420 m², 地下 3 层, 地上 94 层。建成后的高度达 460 m。总用钢量 26 000 t, 钢筋混凝土核心筒, 外框钢骨混凝土及钢柱。

上海金茂大厦是由中国上海对外贸易中心股份有限公司独家投资 5.6 亿美元建设的一座 88 层的超高层大厦, 如图 1-7 所示, 建筑高度 420.5 m, 建筑面积 28.9 万平方米, 于 1998 年 8 月 28 日竣工。总用钢量 14 000 t, 钢筋混凝土核心筒, 外框钢骨混凝土及钢柱。



图 1-6 上海环球金融中心大厦



图 1-7 上海金茂大厦

4. 高耸构筑物

主要是承受风荷载的高耸塔桅钢结构, 如高压输电线塔架、石油化工排气塔架、

电视塔、环境气象监测塔、无线电桅杆等多采用塔桅钢结构。

5. 容器、储罐、管道

大型油库、气罐、囤仓、料斗和大直径煤气管、输油管等多采用板壳钢结构,以保证在压力作用下耐久与不渗漏。

6. 可拆装和搬迁的结构

如流动式展览馆、装配式活动房屋等多采用螺栓和扣件连接的轻钢结构。

7. 其他的构筑物

如高炉、热风炉、锅炉骨架,大跨度铁路和公路桥梁、水工闸门、起重桅杆、运输通廊、管道支架和海洋采油平台等,一般多采用钢结构。

8. 钢与混凝土组合结构

充分利用钢与混凝土各自材料性能的优势,将它们组合成各种构件,可以取得较好的技术经济效益,如钢与混凝土组合梁、钢管混凝土柱等,这类结构在房屋及桥梁建筑中应用很广。

1.2.2 钢结构的发展

我国钢结构应用历史悠久,在古代就有铁链悬桥、铁塔等建筑。20 世纪中期,先后建成许多钢桥、工业厂房、体育馆等。其中著名的如钱塘江大铁桥、武汉长江大桥、南京长江大桥、北京工人体育馆、上海体育馆、北京人民大会堂、上海电视塔以及鞍钢、武钢、包钢等一大批重工业厂房都采用了钢结构。

我国钢结构真正突飞猛进的发展是在 1978 年国家实施以经济建设为中心的政策以后。这一时期我国钢产量从 1978 年年产三千万吨,到 1996 年突破年产亿吨而跃居世界首位,1999 年我国钢产量已达 1.22 亿吨。随着钢产量的增加,我国建筑钢材不仅数量大幅增长,而且品种也大大增加。其中强度为 200~360 MPa 的碳素结构钢和低合金高强度钢已基本满足建筑市场要求,同时还研制开发出能抵抗大气腐蚀的耐候钢以及能抵抗层状撕裂的 Z 向钢;另外 H 型钢、部分 T 型钢、压型钢板均是近年开发投产的新品种,这些都为钢结构的发展提供了物质基础。长期以来由于钢材短缺而以“节约钢材”作为我国的基本国策,现已变为“积极、合理、快速地发展钢结构”的政策。

这一时期,在工业厂房中有代表性的是上海宝山钢铁总厂一、二期工程建设,包括炼钢、热轧、冷轧、无缝钢管厂、自备电厂等厂房,全部采用钢结构,屋面和墙面均采用了压型钢板或铝合金板,总计使用钢结构 30 万吨,钢结构厂房面积 105 万平方米。这在国内是少有的,在国际上也举世瞩目。与此同时各地还建成许多高层及超高层钢结构建筑,如深圳地王大厦,标准层 68 层,楼顶面高 325 m,楼顶塔尖处高 384 m,于 1995 年建成,其总高度当时居亚洲第一,当时世界第四;上海金茂大厦,高达 420 m,1997 年建成时为当时世界第三高楼。

空间大跨度钢结构发展也相当迅速。例如 1990 年北京第十届亚运会的十几

个体育场馆大多采用了网架和网壳结构,有的用了斜拉索体系,并采用压型钢板作屋面。其中最大跨度是 $168\text{ m} \times 72\text{ m}$ 。这些体育场馆结构新颖,具有民族风格,受到了好评。1999年建成的长春体育馆,在国内首次采用大截面方钢管组成网壳屋盖,最大方钢管截面为 $300\text{ mm} \times 300\text{ mm}$,网壳屋脊拱架跨度长向 192 m ,径向拱架跨度短向 146 m ,拱架中心落地矢高 41 m ,建成时是亚洲最大的方钢管轻钢网壳。该结构总体布置合理,用钢量为 80 kg/m^2 ,用钢量及造价较省,技术经济效果好。钢网架建筑在20世纪90年代发展极快,据不完全统计,这期间每年建造的钢网架建筑约100万平方米。当时仅徐州就有网架生产制造厂20多家,有“网架之乡”美称。轻钢建筑发展也很快,至1996年全国已建成轻钢建筑达320万平方米。目前跨度最大的轻钢结构是大连某国家粮仓储备库,其跨度已达到 72 m ,其用钢量为 49.7 kg/m^2 。

上述情况表明,我国建筑工程领域在这一时期已经出现产品结构调整,长期以来由于缺乏钢材而形成的混凝土和砌体结构一统天下的局面已经发生变化。钢结构以其自身的优越性得到广泛的合理的应用,但是和工业发达国家相比,我国还有很大差距。工业发达国家在其建筑业增长时期基本建设用钢量一般占钢材总产量的30%以上,而我国目前建筑用钢量只达到22%~26%,这一差距主要在于我国房屋结构用钢量还比较少。为了让建筑业发展能带动建材、冶金、化工、机械等相关产业发展,促进国民经济增长和结构调整,使建筑业成为名副其实的国民经济支柱产业,今后以较快速度发展钢结构是一个很重要的方面。由此可见钢结构在国民经济中的地位将大大提高。建设部(现住房与城乡建设部)在1997年11月发布了新的《中国建筑技术政策》(1997—2010),具体地提出了发展钢结构的要求,指明了钢结构的发展方向。在这个政策中,有关钢结构的主要内容有以下几个方面。

1. 发展建筑钢材

关于钢结构用钢,要增加345 MPa级高韧、可焊、耐腐蚀新钢种,积极发展H型钢、T型钢、薄壁型钢、闭合型钢和管材。近年来我国先后生产出445 MPa级新钢种和焊接H型钢、T型钢,以后逐渐提供750 MPa级多功能钢板和热轧H型、T型及其他型钢,逐步取代普通工字钢、槽钢、角钢,并建立达到国际标准的轻型薄壁钢材标准系列。现在重点发展热轧H型钢、彩色涂层钢板、桥梁用钢、耐火耐候钢、高强钢丝及钢绞线,优先发展屋面、墙面(包括保温复合板)用的新产品,并结合轻钢结构、组合结构的发展,建立冷弯、压型产品标准系列。

2. 发展钢-混凝土组合结构

钢-混凝土组合结构是充分发挥钢材和混凝土两种材料各自优点的合理组合,不但具有优良的静、动力工作性能,而且能大量节约钢材、降低工程造价和加快施工进度,同时,对环境污染也较小,符合我国建筑结构发展的方向。

自20世纪80年代开始,钢-混凝土组合结构在我国发展十分迅速,已广泛应用于冶金、造船、电力、交通等部门的建筑中,并以迅猛的势头进入了桥梁工程和高层

与超高层建筑中。20 世纪 90 年代,我国采用这种组合结构建成了世界跨度最大的公路拱桥,如广州丫髻沙大桥,桥长 360 m;重庆万州长江大桥,跨度 420 m,前者为钢管混凝土拱桥,后者为劲性钢管混凝土骨架拱桥。全国建成的组合结构拱桥已超过 300 座。在高层建筑方面,建成了全部采用组合结构的超高层建筑——深圳赛格广场大厦,高 291.6 m,属世界最高的钢-混凝土组合结构。全国已建成的采用组合结构的高层建筑也已超过 40 幢。

3. 发展钢结构施工工艺

随着钢结构的发展,钢结构施工工艺也要相应提高:要积极开发钢结构制造和现场施工中的计算机放样、自动切割、计算机打(钻)孔技术;发展药芯焊丝自动保护焊、惰性气体保护焊、埋弧焊、多头焊床等焊接技术;积极采用自动、半自动焊接设备,提高厚板和薄板的焊接技术;积极发展轻钢结构、大跨度空间结构的施工成套技术;大力发展与钢结构相配套的楼盖与轻质围护结构和构件;开发具有我国特色的结构安装技术、新工艺和简易有效的施工机具,采用高强螺栓电动扳手和先进的激光检测装置,提高安装技术水平。

4. 钢结构设计方法的改进

钢结构的设计方法是以概率理论为基础的极限状态设计法。采用该方法可使所计算的结构构件的可靠度达到预期的一致性和可比性,但这个设计方法有待于进一步完善,因为它没有充分考虑到钢材的弹塑性性质及蒙皮效应,且所计算的可靠度只是构件或某一截面的可靠度,而不是整个结构体系的可靠度;也不适用于疲劳强度计算或动力荷载作用下的结构。

5. 钢结构住宅的应用

钢结构住宅具有强度高、自重轻、耐火性及抗震性好、施工速度快和工业化程度高的特点。

多年来,我国住宅建设主要是粗放型生产,住宅建造以现场手工湿作业生产方式为主,不仅生产效率低、建设周期长,而且能耗高,环境卫生差,住宅的质量和性能难以保证,寿命周期难以实现。轻钢结构住宅则很好地解决了上述难题,这一住宅结构形式不仅能够给用户营造更舒适、安全、健康、绿色的使用空间,而且在提高住宅建设质量和产业化方面发挥了重要的、积极的作用。

近年来,国家先后颁布了《钢结构住宅设计规程》及《轻钢结构住宅技术规程》,将进一步推动我国住宅向产业化、集成化发展,从而降低住宅对资源的浪费,尽早实现中央提出的建设节能目标,达到绿色环保型住宅要求,钢结构作为住宅建筑主体结构是历史所趋。

综合上述情况,我国现在已具备了发展钢结构的物质基础和技术基础,同时又有国家政策大力支持,目前钢结构已处于新中国成立以来发展最好的时期,可以预计 21 世纪我国钢结构会得到更快的发展。

1.3 钢结构的基本设计原理

1.3.1 结构设计概述

1. 结构设计的目的

结构设计的目的是使所设计的结构满足各种预定的功能要求。预定的功能主要包括以下几方面。

(1) 安全性。结构能承受正常施工和正常使用时可能出现的各种作用,包括荷载、温度变化、基础不均匀沉降以及地震作用等;在偶然事件发生时及发生后仍能保持必需的整体稳定性,不致倒塌。

(2) 适用性。结构在正常使用时,应具有良好的工作性能,满足预定的使用要求,如不发生影响正常使用的过大变形,振动等。

(3) 耐久性。结构在正常维护下,随时间变化仍能满足预定功能要求,如不发生严重锈蚀而影响结构的使用寿命等。

上述三方面的功能要求可概括称为结构的可靠性。结构的可靠性与结构的经济性是相互矛盾的,科学的设计方法是在结构的可靠与经济之间选择一种合理的平衡,力求以最经济的途径,适当的可靠度达到结构设计的目的。

2. 结构设计的主要内容

结构设计的主要内容包括以下几个方面。

(1) 研究结构的受力体系,确定结构的力学模型和计算简图。

(2) 研究外界对结构的作用及作用效应分析。

“作用”是指使结构产生内力、变形、应变的所有原因。“直接作用”是指引起结构上的荷载,如自重、风荷载、雪荷载及活动荷载;“间接作用”是指引起结构变形和约束变形从而产生内力的其他作用,如地震、基础沉降、温度变化、焊接等。“作用效应”是指结构上作用引起的结构或其构件内力和变形(如弯矩、轴力、剪力、扭矩、挠度、转角等)。因为结构上的作用是不确定的随机变量,所以作用效应一般也是随机变量。

(3) 根据外界作用及结构抗力对结构或构件及其连接等进行强度、稳定和变形验算。

“结构抗力”是指结构或构件承受作用效应的能力(如构件的承载能力、刚度等)。结构抗力是构件材料性能、几何参数及计算模式的函数,由于材料性能的变异性、构件几何特征的不定性和计算模式的不定性,结构或构件抗力也是随机变量。

3. 结构的两种极限状态

(1) 承载能力极限状态。这种极限状态对应于结构或构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形。这里有两个极限准则:一个是最大承载力,另一个是不适

于继续承载的变形。对于钢结构来说,两个极限准则都采用,且第二个准则主要应用于钢结构。

(2)正常使用极限状态。这种极限状态对应于结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。对钢结构来说,主要是控制构件的刚度,避免出现影响正常使用的过大变形或在荷载作用下的较大振动。

1.3.2 钢结构的计算方法

1. 容许应力计算法

钢结构的计算是以极限状态为准则进行的。设荷载效应的标准值为 S , 构件抗力的标准值为 R , 一般情况下, 荷载的标准值即荷载的最大值, 抗力的标准值即抗力的最小值, 则计算式应当写成

$$S \leq R \quad (1-1)$$

由于 S 和 R 都是确定值, 这种计算方法是一种确定性方法。钢结构的容许应力计算法就是在此基础上的一种确定性的方法。将式(1-1)两边各除以构件截面几何特征, 可得其计算表达式为

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (1-2)$$

式中 σ ——荷载标准值作用下的构件应力;

$[\sigma]$ ——容许应力, 等于钢材强度 f_y 除以安全系数 K , K 由工程经验确定。

此方法以安全系数 K 来考虑作用效应和结构抗力的变异, 即可能荷载超过其标准值, 抗力小于其标准的情况。计算简单方便, 缺点是安全系数 K 笼统取为定值。实际上作用效应和结构抗力的变异并不具有比例关系, 取为定值势必带来各种情况与实际隐含的可靠度不一致。

2. 概率极限状态设计法

1) 近似概率极限状态设计法

极限状态设计法比安全系数设计法既先进又合理, 它把有变异性的设计参数采用概率分析引入了结构设计中。

结构或构件的承载力极限状态方程可表达为

$$Z = g(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n) = 0 \quad (1-3)$$

如将各因素概括为两个综合随机变量, 即结构或构件的抗力 R 和各种作用对结构或构件产生的效应 S , 式(1-3)可写成

$$Z = g(R, S) = R - S = 0 \quad (1-4)$$

结构或构件的失效概率可表示为

$$p_f = g(R - S) < 0 \quad (1-5)$$

设 R 和 S 的概率统计值均服从正态分布, 可分别计算出它们的平均值 μ_R, μ_S 和标准差 σ_R, σ_S , 则极限状态函数 $Z = R - S$ 也服从正态分布, 它的平均值和标准差分别为

$$\left. \begin{aligned} \mu_z &= \mu_R - \mu_S \\ \sigma_z^2 &= \sigma_R^2 + \sigma_S^2 \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

如图 1-8 所示,表示极限状态函数 $Z=R-S$ 的正态分布,图中的阴影面积表示 $g(R-S)<0$ 的概率,即失效概率 p_f 需采用积分法求得。由图可见,平均值 μ_z 等于 $\beta\sigma_z$,显然 β 值和失效概率 p_f 存在如下对应关系。

$$p_f = \Phi(-\beta) \quad (1-7)$$

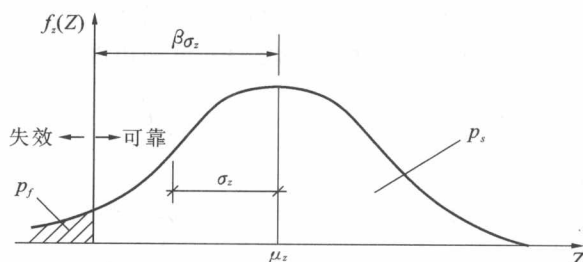


图 1-8 概率密度曲线

这样,只要计算出 β 值就能获得对应的失效概率 p_f (见表 1-1)。 β 称为可靠度指标,由下式计算

$$\beta = \mu_z / \sigma_z = (\mu_R - \mu_S) / \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (1-8)$$

当 R 和 S 的统计值不按正态分布时,结构构件的可靠度指标应以它们的当量正态分布的平均值和标准差代入式(1-8)来计算。

表 1-1 正态分布时 β 与 p_f 的对应值

β	2.5	2.7	3.2	3.7	4.2
p_f	6.21×10^{-3}	3.47×10^{-3}	6.87×10^{-4}	1.08×10^{-4}	1.34×10^{-4}

由于 R 和 S 的实际分布规律相当复杂,我们采用了典型的正态分布,因而算得的 β 和 p_f 值是近似的,故称为近似概率极限状态设计法。在推导 β 公式时,只采用了 R 和 S 的二阶中心矩,同时还做了线性化的近似处理,故此设计法又称“一次二阶矩法”。

概率极限状态设计法将构件的抗力和作用效应的概率分析联系在一起,以安全指标作为度量结构构件安全度的尺度,可以较合理地各类构件的安全度做定量分析比较,已达到等安全度的设计目的。但是这种设计方法比较复杂,较难掌握,因而仍采用人们所熟悉的分项系数设计公式。

2) 承载能力极限状态设计法

承载能力极限状态设计法采用的是分项系数表达式,即

$$S = \gamma_0 (\gamma_G C_G G_K + \gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1K} + \sum_{i=2}^n \varphi_i \gamma_{Qi} C_{Qi} Q_{iK}) \quad (1-9)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数,把结构分成一、二、三 3 个安全等级,分别采用 1.1、1.0 和 0.9;

C_G 、 C_{Q1} 、 C_{Qi} ——永久荷载、第一个可变荷载和第 i 个可变荷载的荷载效应系数;

G_K 、 Q_{1K} 、 Q_{iK} ——永久荷载、第一个可变荷载及第 i 个可变荷载的标准值;