

高等院校土木工程专业教材

钢结构

夏志斌 姚 谏 编著



浙江大学出版社

高等院校土木工程专业教材

钢 结 构

夏志斌 姚 谏 编著



浙江大学出版社

内 容 简 介

本书根据全国高等院校《钢结构》课程教学研讨会所讨论的教学大纲和基本要求并结合作者长期在浙江大学从事该课程的教学经验编写而成,主要用作土木工程专业(即工业与民用建筑专业)大学本科《钢结构》课程的教材,经过一定删节,也可用作大学专科的教材。全书共分10章,包括:绪论、钢结构的材料及其性能、钢结构的设计方法、钢结构的焊缝连接、钢结构的螺栓连接、轴心受力构件、受弯构件(梁)、拉弯构件和压弯构件、桁架及屋盖、疲劳计算和吊车梁设计等。书末有附录,列出设计和计算需用表格39张,供查用。书中还列举了较多的计算和设计例题,可供学习有关基本理论和设计时阅读、参考。章末附有习题供练习。采用现行国家标准《钢结构设计规范》GBJ17—88。全书除介绍设计规范有关规定外,更注重钢结构基本理论和计算原理的介绍,理论和实际并重。本书还可供有关工程技术人员参考、阅读。

2396/11

钢 结 构

夏志斌 姚 谏 编著

责任编辑 涂 红

* * *

浙江大学出版社出版

(杭州玉古路20号 邮政编码310027)

浙江大学出版社电脑排版中心排版

浙江大学华家池印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

* * *

787×1092 16开 33印张 842千字

1996年5月第1版 2000年3月第3次印刷

印数:2501—3500

ISBN 7-308-01769-9/TU·033 定价:34.00元

前 言

《钢结构》是高等院校土木工程专业(以前称工业与民用建筑专业)教学计划中的一门主要专业课,是学生学习建筑钢结构的性能、计算和设计的一门工程技术型课程。课程中不但涉及各先修课程,特别是力学系统的课程,如《理论力学》、《材料力学》、《结构力学》和《弹性力学》等的基本原理、基本方法和基础知识在工程结构设计中的具体应用,而且还必须与如《钢筋混凝土结构》等其它专业课程共同担负对学生有关结构工程设计能力的基本训练。

本书主要依据《钢结构课程教学大纲和基本要求》^①和作者在浙江大学长期从事该课程的教学工作经验而编写。书中重点是介绍钢结构的连接和三大基本构件(轴心受力构件、受弯构件和压弯构件)的工作性能、计算原理、计算和设计方法及构造要求等,从而使学生能掌握一般钢结构设计的步骤和方法。书中还介绍了钢结构的特点和应用范围、钢结构材料的主要性能及其影响因素等,使学生能合理地选用钢结构和根据所设计结构的具体要求正确选用不同牌号的钢材。采用以概率理论为基础的极限状态设计方法是当前进行结构设计的主要趋势。我国有关结构设计的国家标准中已作出规定予以采用。对这种设计方法的理论研究属专门学科“可靠度理论”的研究范围,《钢结构》课程中不可能作详尽的介绍。本书中对我国目前采用的一次二阶矩近似概率极限状态设计方法仅作了简单的介绍。鉴于专业教学计划中课程的安排,《钢筋混凝土结构》的学习常早于《钢结构》,极限状态设计方法在《钢筋混凝土结构》课程中已早作介绍。因而对这部分的内容如何讲授,可由教师根据班级的具体情况确定。

钢结构由于钢材强度大,构件截面相对单薄,因而结构及其构件的稳定性就显得特别重要。工程历史上由于稳定性不足而造成钢结构破坏的事故应引以为戒。钢结构的三大基本构件中除轴心受拉构件外,主要的受力构件都有稳定性问题。对稳定性的计算是钢结构设计中的重点内容,应予以极大的注意。钢结构的构造问题是长期工程实践得到的经验,不一定都从理论计算得出,学习《钢结构》时对此也应给予必要的注意。

工程结构设计离不开设计规范。我国设计规范是由政府有关部门以国家标准颁布施行的,结构设计人员必须遵照执行。钢结构的现行设计规范是“国家标准 GBJ17—88^[22]”,对该规范内容的介绍是本书中的重要内容。但必须考虑到,设计规范不可能对工程设计中出现的各种情况都作出明确的规定,因而具体应用设计规范时就离不开设计人员根据具体情况作出判断和选择。对连接和基本构件的工作性能、计算原理的介绍是本书的另一基本的重要内容,也就是学习《钢结构》课程时不能仅局限于熟悉现行设计规范的具体规定,而且要了解这些规定所根据的基本理论和背景材料,对此须予以必要的重视。

对同一计算内容,各国设计规范中常有不同的规定。本书主要介绍我国自己的规定和习用的计算方法,但在某些问题上也择要介绍了国外一些主要国家规范的规定和习用计算方法。这不仅是改革开放所必需(国内常有涉及国外设计的一些工程和要进行一些为国外工程的设计),更重要的是可以相互比较,拓宽思路,把知识学得更“活”。

^① 此大纲经全国高等院校《钢结构》课程教学研讨会第二次会议(1992年10月)讨论通过,并由清华大学土木工程系工程结构教研组于1993年整理编写而成。

本书中有大量的计算和设计例题。通过例题可以总结书中所叙述的有关内容及其应用,因而例题是教材特别是工程技术型课程教材中必不可少的内容。例题一般不应在课堂上讲授,应由学生自学。为方便自学,本书对例题作了较详尽的说明。由于本课程有一课程设计,通常为钢屋架的设计,为了使学生独立进行课程设计,书中对钢屋架有意不给出完整的设计例题。

本书除用作大学本科土木工程专业的教材外,也可作为大学专科的教材。当用作后者时,许多内容可以适当精简。即使用于前者时,根据学生的情况,有些内容也可省略。书中用小字排印的一些材料主要供对学习要求较高的学生学习使用,即使对用大号字排版的内容,具体讲授时也可根据具体情况取舍。我们认为,除一些基本内容必须共同学习外,对不同学生可有不同的要求。

随着我国国民经济建设的不断发展,由于钢结构具有特有的优点,预期今后钢结构的应用在我国将不断增多。本书也可作为工程设计技术人员的参考书。

书中第1、2、3、6、7章由夏志斌编写,其余各章由姚谏编写,并相互进行校阅。最后由夏志斌总校。

本书的完成和出版,得到了浙江大学建筑工程学院有关领导的鼓励和支持,特此致谢。国家标准《钢结构设计规范》管理组北京钢铁设计研究总院黄友明高级工程师和该院土建室李云高级工程师、重庆钢铁设计研究院赵熙元高级工程师等为我们提供了必要的参考资料,对他们和对本书引用的参考资料的作者们都致以衷心的感谢。书中大部分插图均由浙江大学张礼明同志描绘,我们在此也表示衷心的感谢。

夏志斌 姚 谏

1995年9月于浙江大学建筑工程学院

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 钢结构的特点和应用	1
1.2 钢结构的组成	3
1.3 钢结构设计和设计规范	6
1.4 钢结构课程的内容和要求	8
第 2 章 钢结构的材料及其性能	9
2.1 钢结构所用钢材的力学性能	9
2.2 影响钢材性能的主要因素.....	13
2.3 复杂应力状态下钢材的屈服条件.....	19
2.4 钢材的脆性断裂(冷脆).....	21
2.5 钢材的层状撕裂.....	23
2.6 钢种、钢号及钢材的选用	24
2.7 型钢及钢板.....	26
2.8 国外常用的钢结构钢材品种.....	29
第 3 章 钢结构的设计方法	32
3.1 我国钢结构设计方法中的基本规定.....	32
3.2 定值设计法与概率设计法.....	36
3.3 一次二阶矩近似概率设计法.....	38
3.4 国外钢结构设计规范中采用的设计方法.....	40
第 4 章 钢结构的焊缝连接	43
4.1 钢结构的连接方法.....	43
4.2 钢结构中所使用的焊接方法简介.....	43
4.3 焊接结构的特性和焊缝连接.....	47
4.4 焊缝代号(或焊缝符号).....	54
4.5 对接焊缝的计算和构造.....	58
4.6 直角角焊缝的受力性能.....	65
4.7 直角角焊缝的强度计算.....	66
4.8 角焊缝的尺寸限制和构造要求.....	70
4.9 直角角焊缝连接的计算.....	74
4.10 斜角角焊缝连接的计算	94
4.11 不焊透的对接焊缝连接的计算	94
4.12 焊接残余应力和残余变形	98
4.13 国外设计规范中的某些规定.....	103
习题.....	105
第 5 章 钢结构的螺栓连接	108

5.1	概述	108
5.2	螺栓的排列	111
5.3	普通螺栓连接的工作性能	115
5.4	普通螺栓连接的计算	116
5.5	摩擦型高强度螺栓连接的计算	140
5.6	承压型高强度螺栓连接的计算	150
5.7	国外设计规范对螺栓连接计算的某些规定	152
	习题	153
第6章	轴心受力构件	156
6.1	概述	156
6.2	轴心受拉构件的受力性能和计算	158
6.3	轴心受压构件的受力性能	164
6.4	理想轴心受压构件的整体稳定性	166
6.5	初弯曲和初偏心对轴心受压构件弹性稳定的影响	173
6.6	残余应力对轴心受压构件稳定的影响	175
6.7	实际轴心受压构件的整体稳定性计算	182
6.8	轴心受压构件的局部稳定性	186
6.9	实腹式轴心受压构件的截面设计	194
6.10	轴心受压构件合适长细比的范围	203
6.11	格构式轴心受压构件的计算	206
6.12	柱头的构造与计算	223
6.13	轴心受压柱柱脚的构造与计算	224
	习题	235
第7章	受弯构件(梁)	237
7.1	受弯构件的应用及类型	237
7.2	受弯构件的计算内容	239
7.3	受弯构件的强度	239
7.4	梁的扭转	246
7.5	梁的整体稳定性	251
7.6	我国设计规范 GBJ17—88 中关于钢梁整体稳定性验算的一些规定	258
7.7	型钢梁的截面设计	279
7.8	实腹式檩条的设计	282
7.9	钢板梁的截面设计	290
7.10	板梁截面沿跨度方向的改变	296
7.11	板梁的翼缘板与腹板的连接	302
7.12	板梁的局部稳定性	304
7.13	梁腹板加劲肋的设计	315
7.14	梁的拼接	330
7.15	次梁与主梁的连接	336
	习题	341

第 8 章 拉弯构件和压弯构件	344
8.1 概述	344
8.2 拉弯构件和压弯构件的强度计算	345
8.3 实腹式单向压弯构件在弯矩作用平面内的稳定计算	347
8.4 实腹式单向压弯构件在弯矩作用平面外的稳定计算	357
8.5 实腹式双向压弯构件的稳定计算	359
8.6 实腹式压弯构件的局部稳定计算	359
8.7 实腹式压弯构件的截面设计	362
8.8 格构式压弯构件的稳定计算	366
8.9 格构式压弯构件的截面设计	368
8.10 压弯构件和框架柱的计算长度.....	371
8.11 多层框架柱的拼接.....	378
8.12 框架中梁和柱的连接.....	380
8.13 框架柱的柱脚设计.....	389
习题.....	394
第 9 章 桁架及屋盖	397
9.1 桁架的外形、主要尺寸和腹杆体系.....	397
9.2 屋盖的组成及主要平面尺寸	400
9.3 屋架的支撑系统	402
9.4 屋盖设计的内容和屋架的内力计算	407
9.5 桁架杆件的截面形式和节点板厚度	413
9.6 桁架杆件的计算长度和容许长细比	417
9.7 桁架杆件的截面设计	420
9.8 桁架的节点设计和角钢间的填板	429
9.9 支撑系统与屋架的连接节点	438
9.10 轻型钢结构设计特点.....	441
9.11 屋架的施工详图.....	442
第 10 章 疲劳计算和吊车梁设计	449
10.1 关于疲劳计算的基本概念.....	449
10.2 常幅疲劳计算及容许应力幅.....	451
10.3 变幅疲劳的计算.....	454
10.4 设计规范 GBJ17—88 中关于疲劳计算的其它规定	455
10.5 吊车梁的设计要点.....	458
附录 1 规范 GBJ17—88 中有关表格摘录	473
附表 1.1 3 号钢钢材分组尺寸(mm).....	473
附表 1.2 钢材的强度设计值(N/mm ²)	473
附表 1.3 按《碳素结构钢》(GB700—88)中规定算出的 Q235 钢的强度设计值	474
附表 1.4 焊缝的强度设计值(N/mm ²)	474
附表 1.5 螺栓连接的强度设计值(N/mm ²)	475
附表 1.6 钢材和钢铸件的物理性能指标	475

附表 1.7	受弯构件的容许挠度	476
附表 1.8	工字形截面简支梁不需计算整体稳定性的最大 l_1/b_1 值	476
附表 1.9	工字形截面简支梁的整体稳定等效弯矩系数 β_b	477
附表 1.10	双轴对称工字形等截面悬臂梁的整体稳定等效弯矩系数 β_b	478
附表 1.11	钢梁的整体稳定系数 φ'_b	478
附表 1.12	轧制普通工字钢简支梁的 φ_b	479
附表 1.13	求钢梁腹板横向加劲肋间距的系数 η	479
附表 1.14	求简支吊车梁腹板横向加劲肋间距的参数 k_1 和 k_2	480
附表 1.15	求简支吊车梁腹板横向加劲肋间距的参数 k_3 和 k_4	480
附表 1.16	薄板局部稳定临界应力公式中的参数 C_1 和 C_2	481
附表 1.17	验算薄板局部稳定中需用的 σ_c/σ 界限值	481
附表 1.18	轴心受压构件的截面分类	481
附表 1.19	截面塑性发展系数 γ_x 和 γ_y	482
附表 1.20	桁架弦杆和单系腹杆的计算长度 l_0	483
附表 1.21	受压构件的容许长细比	483
附表 1.22	受拉构件的容许长细比	484
附表 1.23	塑性设计时板件的最大宽厚比	484
附表 1.24	Q235 钢(3 号钢) a 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	485
附表 1.25	Q235 钢(3 号钢) b 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	486
附表 1.26	Q235 钢(3 号钢) c 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	487
附表 1.27	16Mn 钢、16Mnq 钢 a 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	488
附表 1.28	16Mn 钢、16Mnq 钢 b 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	489
附表 1.29	16Mn 钢、16Mnq 钢 c 类截面轴心受压构件的稳定系数 φ	490
附表 1.30	无侧移框架柱的计算长度系数 μ	491
附表 1.31	有侧移框架柱的计算长度系数 μ	492
附表 1.32	螺栓的有效面积	493
附表 1.33	疲劳计算的构件和连接分类	494
附录 2	型钢规格及截面特性	497
附表 2.1	热轧等边角钢的规格及截面特性(按 GB9787—88 计算)	497
附表 2.2	热轧不等边角钢的规格及截面特性(按 GB9788—88 计算)	502
附表 2.3	两个热轧不等边角钢的组合截面特性(按 GB9788—88 计算)	506
附表 2.4	热轧普通工字钢的规格及截面特性(按 GB706—88 计算)	510
附表 2.5	热轧普通槽钢的规格及截面特性(按 GB707—88 计算)	512
附表 2.6	几种常用截面的回转半径近似值	514
主要参考资料		515

第 1 章 绪 论

1.1 钢结构的特点和应用

用工字钢、槽钢、角钢等型钢和钢板组成的承重构件或承重结构统称为钢结构,如钢梁、钢屋架、钢框架、钢塔架等都是最常见的钢结构。

与当前应用最为广泛的钢筋混凝土结构相比,钢结构具有如下一些主要特点:

1. 重量轻。钢材的比重虽是钢筋混凝土的 3 倍多,但其抗压强度却较钢筋混凝土大近 20 倍(其抗拉强度较钢筋混凝土则大得更多)。因此在相同承载力下,以钢构件的截面为小,重量为轻。例如,在跨度和荷载相同的条件下,钢屋架的重量约为钢筋混凝土屋架的 $1/3 \sim 1/4$ 。由此带来的优点是:便于构件的运输和吊装,基础和地基处理的费用与工程量也可大大减少。

2. 钢材质地均匀,各向同性。钢材的这个性质符合结构计算时通常所作的假定,因而钢结构的计算结果与实际情况最为相符,计算可靠;钢材的弹性模量较大,结构在荷载作用下的变形就较小;钢材有良好的塑性性能,破坏前一般都会产生显著的变形,事故有预告,可及时防患;钢材还具有良好的韧性,对承受动力荷载适应性强。

3. 施工质量好,且工期短。钢结构一般都在专业工厂由机械化生产制造,而后运至工地现场安装。以北京市的长富宫高层建筑钢框架为例,可作说明。该建筑为 28 层的钢框架,采用工字梁和箱形柱,全高 94m,框架钢材总重为 4350t,有 3 万多个高强度螺栓现场连接,构件由北京建筑机械厂制作,由北京机械化施工公司安装。1987 年 6 月 1 日开始安装,1988 年 3 月 19 日全部安装完毕,安装工期共 10 个半月。这样短的施工期,钢筋混凝土结构是较难做到的。

4. 密闭性好,适用于制造高压容器、气柜、管道和大型油罐等。

5. 用螺栓连接的钢结构,可装拆,适用于移动性结构如塔式起重机、钻井塔架等。

6. 由于钢材强度大,构件截面小,厚度薄。因而在压力作用下带来了 构件甚至整个结构的稳定问题。在设计中考虑如何防止失稳,是钢结构设计的一个重要特点。

7. 钢材的耐腐蚀性较差,在有腐蚀性环境中使用的钢结构,使用期间需定期保养(如定期油漆等),因而其维护费用大于钢筋混凝土结构。我国虽已研究出耐大气腐蚀钢,但价格较贵,短期内不可能在建筑结构中大量使用。

8. 钢结构有一定的耐热性,但不防火。钢材的熔点虽在 $1400 \sim 1500^{\circ}\text{C}$ 之间,但当其温度到达 $450 \sim 650^{\circ}\text{C}$ 时,强度下降极快,在 600°C 时已不能承重,只有在 200°C 以下时钢材的性质无甚变化。因此钢结构当表面长期受辐射热 $\geq 150^{\circ}\text{C}$ 或在短期间内可能受到火焰作用时,应采取有效的防护措施。

上述前面五点,确定了钢结构的合理应用范围;后面三点提出了应用钢结构时的注意点,应设法防止。

此外,还必须一提的是,建国以来我国的钢产量虽然已大幅度增加,1994 年的钢产量已达

9153 × 10⁴t, 然而钢材是农业、交通、能源和国防等多方面均迫切需要的材料, 现在每年仍有缺口, 需进口一部分钢材方能满足我国国民经济建设的需要。因此, 在建筑结构方面, 仅当采用钢筋混凝土结构为不合理或不可能时, 方可考虑采用钢结构。一般情况下, 只在下列几方面应用钢结构:

(一) 跨度大、高度高或荷载重的结构

这方面的结构主要有:

1. 重型工业厂房结构。今以大型冶金企业上海宝山钢铁公司的厂房作说明^①。宝钢现已投产的一、二期工程中包括自备电厂、炼钢、连铸厂、初轧厂、热轧带钢厂、冷轧带钢厂和无缝钢管厂等厂房共用了 14.8 × 10⁴t 钢结构, 这在国内外钢铁工业建设中都是有代表性的。在宝钢厂房结构方面, 由于工程大都建在软弱地基上、要求采用较轻的上部结构, 更由于工艺上自动化程度很高和大型设备的运用, 厂房的跨度和柱距都较大, 跨度一般为 33 ~ 42m, 基本柱距大多是 24m, 最大为 48m。其炼钢、连铸厂的单层厂房的高度均在 50m 左右, 车间内安装有重级工作制、起重能力为 440t 的桥式起重机。这样的重型厂房, 就非采用全钢结构不可。此外又如在机械制造业中的重型水压机车间和锻压车间等, 也由于动力荷载的影响较大, 常需采用钢结构。

2. 大跨度结构。由于受弯构件在均布荷载下的弯矩 M 与其跨度 l 的平方成正比(即 $M \propto l^2$), 当跨度增大到一定程度时, 为了减轻结构的自重, 也就需采用自重较轻的钢结构。大型体育馆、飞机库等一些大跨度结构的屋盖, 目前最常用的是空间钢网架结构, 例如 1975 年建成、位于上海市徐家汇的上海体育馆的屋盖就是跨度为 110m 的钢网架, 广州白云机场的机库为 80m × 80m 的折线型钢网架。钢网架除用于上述大跨度的公共建筑和机库外, 近来在工业厂房的大跨度车间内也已开始得到应用, 例如长春第一汽车制造厂高尔夫轿车总装厂房和天津无缝钢管厂的加工车间等的屋盖均是^②。1979 年建成的陕西临潼秦俑展览厅, 其屋盖采用格构式箱形三铰钢拱, 跨度 72m, 全长 204m, 是目前我国已建成的最大钢平面拱结构建筑。

3. 高层房屋钢结构。高层房屋钢结构过去在国内较少建造, 30 年代初期建于上海市的国际饭店 24 层采用钢结构只是极少数的建筑。改革开放以来, 北京、上海和深圳等地已先后建成共 10 余幢高层建筑, 均采用了钢结构, 总面积达 70 × 10⁴m²。其中建于 1990 年的北京京广大厦主楼, 地面以上 53 层, 地面以下 3 层, 高度为 208m, 主楼地面以上建筑面积约 10 × 10⁴m²^③, 是目前国内已建成的最高的高层建筑。又如建于 1991 年的北京京城大厦主楼, 地面以上 52 层, 地面以下 4 层, 从地面到屋顶高达 183m, 建筑面积约为 10 × 10⁴m²^④。此外, 主楼钢结构安装工程目前已竣工的深圳地王商业大厦, 标准层 68 层, 楼顶面高 325m, 塔尖处高 384m, 按已建成的高层建筑排列, 它的总高度居亚洲第一, 世界第四。该大厦占地 24530m², 总建筑面积 26.97 × 10⁴m²。据统计, 世界上已建成的最高 90 幢高层建筑中^⑤, 采用钢结构的有 51 幢, 采用钢 - 钢筋混凝土混合结构的有 25 幢, 采用钢筋混凝土结构的有 14 幢; 其中 80 层以上(含 80 层)的共 6 幢, 全是钢结构。

4. 高耸结构。塔桅、电视塔和烟囱等高耸结构, 高度愈大, 则所受风荷载和地震作用的影响

① 陆兆琦. 从宝钢工程看钢结构在工业建设中的应用前景. 钢结构, 1990, 2: 13 ~ 21.

② 刘鹤年, 刘万忠. 中国钢结构工业发展综述. 钢结构, 1993, 2: 2 ~ 4.

③ 陈志鹏, 王宗纲, 宝志雯. 京广中心大厦钢结构动力特性的测试与分析. 钢结构, 1992, 2: 55 ~ 60.

④ 沈希明, 陈才奎等五人. 京城大厦高层钢结构设计. 钢结构, 1987, 1: 64 ~ 68.

⑤ 胡世德据 1990 年 11 月第四届国际高层建筑会议资料节译: 目前世界上最高的 90 幢高层建筑. 钢结构, 1992, 3: 68 ~ 69.

也愈大。此外,若采用钢筋混凝土结构,则结构自重的影响将显著加大,尤其是当建造在软土地基上时,地基处理的费用将明显增加。因而,高耸结构当到达一定高度时,也以采用钢结构为有利。上海宝山钢铁公司一期工程中,在烧结厂曾建造了一座高 200m、由钢管结构塔架扶持的钢烟囱,为了简化软土地基的处理就是考虑因素之一。建于 1977 年的北京环境气象塔为由钢管组成的三边形格构式桅杆,高 325m,为目前国内最高的构筑物。

(二) 因运输条件不利,或施工期要求尽量缩短,或施工现场场地受到限制等原因而不宜采用钢筋混凝土结构时,常改用钢结构。今以原我国第二汽车制造厂的建筑为例来说明。该厂 1969 年开始建厂,1972 年基本建成,建于湖北省十堰市,当时十堰尚未建市,为一偏僻山区,铁路未通,交通不便,为了解决建筑材料及构件运输的困难,20 多万平方米的厂房屋盖都采用了较轻的冷弯薄壁型钢结构。又如电力工业中的高压输电塔,由于线路长、高度大及上述原因,也多采用钢结构。

(三) 密闭性要求较高的板壳结构,如高压容器、煤气柜、贮油罐、高炉和高压输水管等也都需采用钢结构。我国在这方面也已拥有一支经验丰富的设计队伍和施工安装力量。据 1989 年的新闻报导,我国已能建造安装容积为 $15 \times 10^4 \text{m}^3$ 的湿式煤气柜和 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 的干式煤气柜,容量为 $3200 \sim 4000 \text{m}^3$ 的大型高炉^①等板壳钢结构。

(四) 需经常装拆和移动的各类起重运输设备和钻探设备如塔式起重机和采油井架等。

此外,如交通运输业中的大跨桥梁结构、水工结构中的闸门,各种工业设备的支架如锅炉支架等也都需采用钢结构。

综上所述,可见钢结构在房屋建筑方面和其它各行各业都有广泛的应用,因而“钢结构”必然是高等学校土木工程专业必修的专业课之一。其在该专业教学计划中的地位,也将随着我国经济建设的发展而愈趋重要。

1.2 钢结构的组成

除板壳结构外,大部分钢结构均为杆系结构,即由一系列一维的杆件所组成的平面或空间结构。钢结构的类型极多,因而其组成也不同。本节将通过图 1.1 所示有桥式吊车的单层工业厂房钢结构来简要说明钢结构的组成,使读者对具体的钢结构有一初步的了解。

一个具体的钢结构,首先应满足建成后的使用要求,同时应安全地承受结构所承受的各种荷载,并把所受荷载以明确的传递路线传给结构的基础,最后传至支承基础的地基。钢结构的组成就应考虑上述因素。

厂房钢结构需要承受竖向荷载、横向荷载和纵向荷载三种方向的荷载。竖向荷载一般情况下包括结构的自重、屋面均布活荷载或雪荷载,对有吊车的厂房,还应包括作用在吊车梁上的吊车竖向轮压。屋面上的恒荷载和活荷载通过支承屋面的纵向构件——檩条传给屋架(图 1.1 中为了图面清晰,檩条未全部画出),图 1.1 所示厂房的框架柱间距是屋架间距的两倍,因而由檩条传给中间屋架 2 的竖向荷载则通过托架 6 直接传给框架柱 3。吊车竖向轮压则通过纵向构件——吊车梁 4 传给框架柱 3。横向荷载一般包括横向风荷载和吊车的横向水平制动力,这些荷载分别通过沿厂房纵向的墙架梁(图 1.1 中未画出)和吊车的制动桁架 5 传给厂房的框架柱

^① 1989 年 9 月 2 日上海:文汇报。

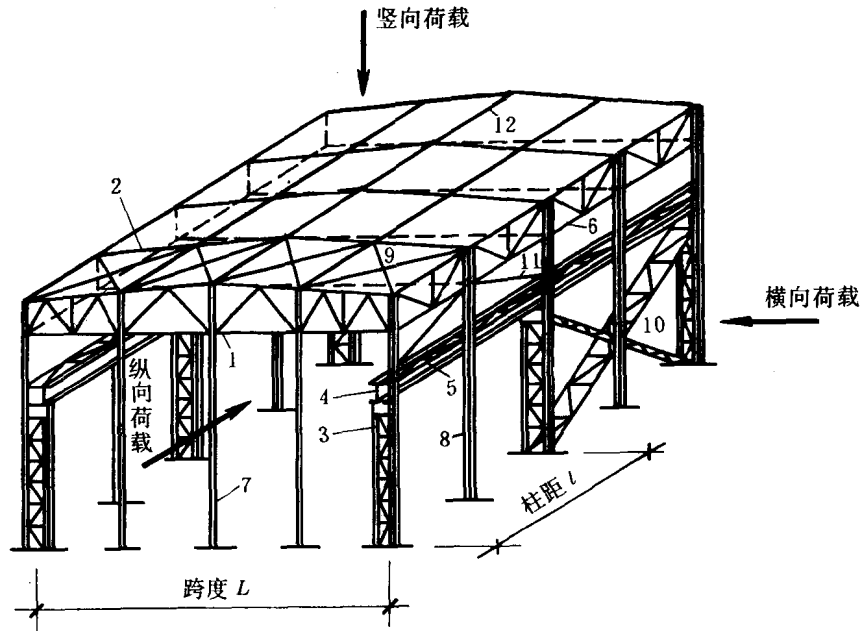


图 1.1 厂房框架结构示意图

1—屋架;2—中间屋架;3—框架柱;4—吊车梁;5—制动桁架;6—托架(此处兼作屋架端部的垂直支撑);
7—山墙柱;8—墙架柱;9—屋架上弦水平支撑;10—下部柱间支撑;11—上部柱间支撑;12—兼作系杆的檩条
(为了图的清晰,图上未示出的有:屋面一般檩条、纵墙上的墙架梁和山墙上的墙架梁等)

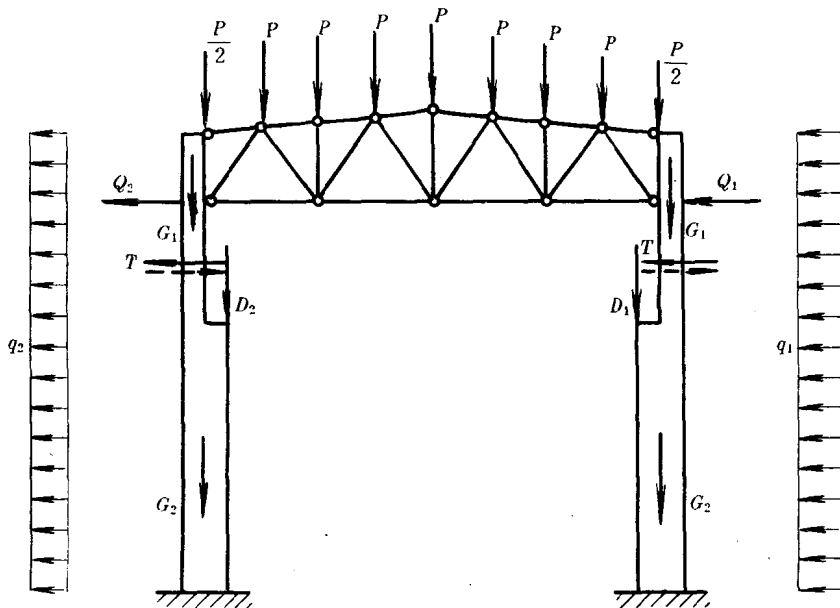


图 1.2 厂房横向框架所受的荷载

3. 框架柱 3 与屋架 1 构成一较强的横向框架,这是厂房的主要承重结构,其所受荷载如图 1.2

所示。图中 P 为由檩条传来的屋面节点荷载； D_1 和 D_2 为吊车梁自重及吊车的最大和最小竖向轮压，作用在阶形框架柱的上、下部柱变截面处； G_1 为上部柱自重和由托架传来的屋面荷载； G_2 为下部柱自重； q_1 和 q_2 各为向风面和背风面的横向风压力和风吸力； Q_1 和 Q_2 为作用在墙架柱上的风力通过屋架上弦纵向水平支撑传给横向框架的集中力； T 为吊车横向水平制动力，作用在吊车梁轨顶标高处，左右两个方向均可能发生。通过横向框架，把厂房的竖向荷载和横向荷载传给了基础。

厂房的纵向荷载一般包括作用在山墙上的纵向风荷载和吊车的纵向水平制动力，其值较竖向荷载和横向荷载为小。纵向风荷载的一部分通过山墙柱直接传给基础，另一部分则由山墙柱上端传给屋架的横向水平支撑而后经屋架两端的垂直支撑或托架传给上部柱间支撑，与吊车纵向水平制动力一起经由吊车梁和下部柱间支撑最后传给基础。图 1.3 表示了纵向荷载的传力路线，图 1.3(a) 为山墙柱的荷载图，其上端反力 W 由屋架上弦平面横向支撑提供； W 反向后作为屋架上弦平面横向支撑的节点荷载而产生反力 R 如图 1.3(b) 所示； R 反向后为厂房纵向框架的荷载如图 1.3(c) 所示。 R 与吊车纵向水平力 T_1 一起经吊车梁和下部柱间支撑传给基础。

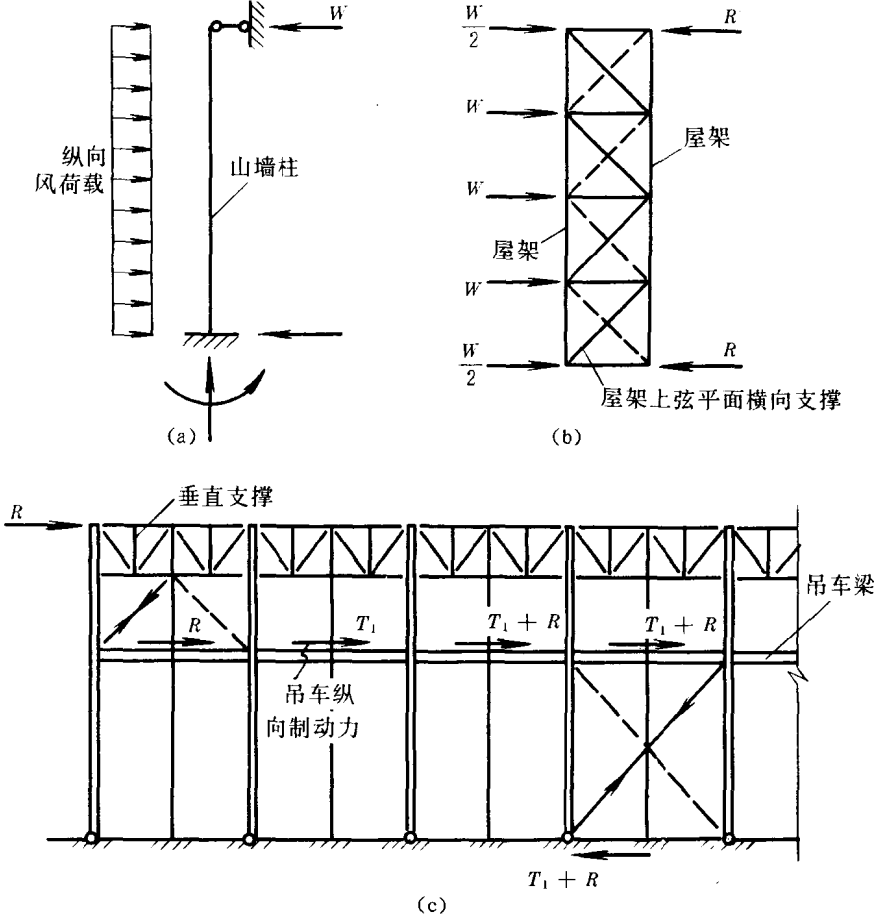


图 1.3 厂房纵向荷载传力路线

综上所述,图 1.1 所示单层厂房钢结构实际上由三部分所组成:1. 厂房的横向框架,是一个二维结构;2. 纵向构件,如檩条、吊车梁等,各为一维构件;3. 支撑系统。三者共同组成一个三维的空间厂房钢结构。其中的支撑系统也参加荷载的传递,更重要的是它保证了厂房的空间工作,提高了结构的整体刚度和稳定性,因而与其它两个组成部分一样,是必不可少的。

上面所述的三个组成部分,又可看作是由三种基本构件所组成:

1. 轴心受力构件(拉或压),如支撑系统中的构件、屋架中的构件等;
2. 受弯构件,如吊车梁、檩条等;
3. 压弯构件(包括拉弯构件),如厂房的框架柱等。

图 1.1 不过是为了说明有关钢结构组成的一个例子。其它如高层、多层框架,塔架,网架等都有其各自的组成部分,但各组成部分的基本构件主要的则仍是上述三种。本书将在以后各章中对这三种基本构件的性能与设计方法作详细的介绍。对屋盖结构的组成则在第 9 章中作进一步的叙述。

1.3 钢结构设计和设计规范

(一) 结构设计是在建筑物的方案设计之后进行的。方案设计中根据建筑物的使用要求和具体条件等确定了建筑物的形状、平面尺寸、层次、高度、建筑面积、室内交通运输设备(如车间内的吊车、民用房屋中的楼梯和电梯等设备)、采光和通风措施以及选用的结构型式等。在确定了选用钢结构后,结构设计主要包括下列内容:

1. 根据建筑物的使用要求、具体条件和方案设计中已确定的内容,进行结构选型和结构布置,做到技术先进、经济合理、安全适用和确保质量。

以图 1.1 所示单层工业厂房中的屋架为例,在选型时要根据采用的屋面材料确定屋架上弦的坡度;根据车间的跨度和净空要求选用屋架的形式如图 1.1 所示的下弦为平直的梯形屋架,或选用下弦为折线形的平行弦屋架(如图 1.4 所示);根据屋面材料布置檩条后确定屋架的节间划分和腹杆布置;根据横向框架的刚度要求,确定屋架与柱是铰接还是刚接等。其它如对阶形柱的上、下部柱截面形式,对吊车梁和制动梁的形式等也应在选型时作出初步确定。

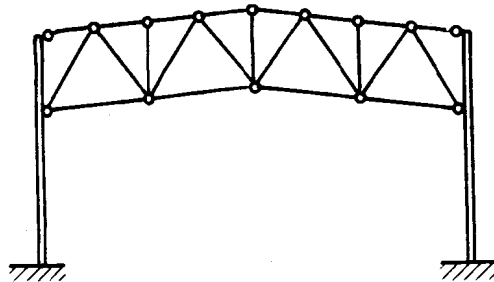


图 1.4 下弦为折线形与柱刚接的屋架

在结构布置时,特别要注意平面图上的柱网布置。车间的跨度及长度在方案设计时已经根据使用要求确定,但纵向柱距究竟多大则是需在结构布置时确定的。柱距也就是吊车梁、檩条等纵向构件的跨度。柱距加大,这些纵向构件的截面就将相应加大,但在一定的车间长度下,所

需横向框架数就可减少,因而柱及柱基础的数目就可减少。这里就涉及到一个总的造价问题。此外,如还应考虑工字钢、槽钢或角钢等型钢的交货定尺长度,使纵向构件的钢材损耗为最小等。

在结构布置中,对支撑系统的布置又是另一个重要问题。支撑布置不当,可造成浪费或影响整个车间的质量(如刚度不足等)。

总之,结构选型和布置是一个影响整个结构设计是否经济合理的问题,需运用材料力学、结构力学和钢结构等基础知识以及过去积累的设计经验,才能作出一个好的决定,必要时对重要结构还需进行比较方案设计或优化选择。

2. 确定选用的钢材牌号(参阅第2章)。

3. 建立结构的计算简图,确定其所受的各类荷载。荷载的取值及组合应根据国家标准《建筑结构荷载规范》GBJ9-87^[21]①及建设单位的具体要求确定。

4. 按不同荷载分别进行结构内力分析,进行内力组合,确定各构件在最不利组合下产生的最大内力。

5. 进行各构件的截面设计。

6. 进行构件相互间的连接设计。

7. 绘制施工详图,编制材料表。

(二)《钢结构设计规范》GBJ17—88^[22]是我国进行房屋建筑和一般构筑物钢结构设计必须遵循的现行国家标准,是由国内有关设计、科研、制造、施工单位和高等院校对1974年批准的《钢结构设计规范》TJ17—74共同修订而成,由冶金工业部北京钢铁设计研究总院主编,经建设部批准于1989年7月1日开始实施。与此同时,原规范TJ17—74于1991年1月1日废止。

为了保证国家技术经济政策的贯彻执行,在钢结构设计中做到前面已提到的“技术先进、经济合理、安全适用、确保质量”,设计规范中对钢结构的设计原则、采用的钢材要求、各种设计指标、三大基本构件的计算内容和要求、连接计算方法、构造要求以及疲劳计算等都作了明确的规定,供设计人员遵照执行。但必须指出的是:因钢结构类型繁多,设计规范中的有关规定只能是原则的和共同适用的,对某些特殊情况不可能面面俱到。因而为了正确使用设计规范,设计人员首先应对其规定的背景材料和各种构件及连接的工作性能等有所了解。本书以后各章的内容主要是介绍钢结构设计的基本原理和基本方法,继而才是介绍规范中的有关规定,就是为此目的。

与设计规范GBJ17—88并存适用于房屋建筑的还有一册《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GBJ18—87^[26],是关于冷弯薄壁型钢结构的,本书因限于篇幅不以此为主要内容,但有时也将顺便涉及。

《钢结构工程施工及验收规范》GB50205^[24]是有关钢结构的另一册国家标准。设计钢结构时须考虑到易于制造和方便安装,因而对施工验收规范的内容,设计人员也必须熟悉。

各个国家都有自己的设计规范。例如,有关房屋建筑钢结构设计方面的规范在美国是由美国钢结构学会(简称AISC)制订的,在日本由日本建筑学会制订,而在英国则由英国标准学会(简称BSI)制订。附带一提,国际标准化组织(ISO)第167技术委员会第1分委员会也制订了钢结构的设计规范草案,名为《钢结构-材料与设计》^[37]。我国为第167委员会的会员国,多次参加了该规范草案每年一度的讨论会,其中1986年的讨论会是在北京举行的。但应指出的是,

① [21]是书末所附主要参考资料21,以后均同。

ISO 的设计规范草案并不要求代替各会员国自己的设计规范,只是供各会员国参考而已。

此外,如对桥梁、输电塔架和土工结构等钢结构,我国有关部委还制订了各专门的设计规范或设计规程供使用。此处不多作说明。

1.4 钢结构课程的内容和要求

钢结构是土木工程专业学生必修的一门专业课。限于教学时数,它的基本内容主要包括:

1. 钢结构的特点和应用范围。
2. 结构钢材的基本性能及影响性能的主要因素,钢材发生脆性破坏的原因及预防措施,钢材牌号的正确选用。
3. 钢结构的设计原则,我国选用的概率设计法及其优点,与容许应力设计法的比较。
4. 钢结构中采用的各种连接方法及其计算规定。
5. 钢结构各类基本构件的截面形式、破坏特征、工作性能、构造要求及计算方法等。
6. 钢结构各构件间的连接构造及计算,包括柱头、柱脚、梁与梁的连接、梁与柱的连接等。
7. 钢结构的疲劳计算。
8. 钢屋架的设计。

通过上述内容的学习,要求了解钢结构的设计原理,能正确选用钢材,掌握三大基本构件及连接的工作性能和设计方法。学习时应先懂得各种构件和连接的破坏方式和工作性能,然后掌握设计规范规定的计算方法。通过一典型但又较简单的结构——钢屋架的设计,掌握钢结构的一般设计步骤和设计方法,熟悉钢结构中荷载的传递路线,学习结构选型、结构布置、荷载的计算、构件及连接的计算和构造等,最后画出屋架的设计图或施工详图。

钢结构由于构件截面单薄,构件的稳定性常控制所选截面的尺寸,因此学习时对构件稳定性的物理概念、屈曲变形特征、计算原理及提高构件和结构稳定性的措施等应予特别注意。