

钢 结 构

西安冶金建筑学院 重庆建筑工程学院 编
哈尔滨建筑工程学院 合肥工业大学



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

钢 结 构

西安冶金建筑学院 重庆建筑工程学院

哈尔滨建筑工程学院 合肥工业大学

编

中国建筑工业出版社

本书着重讲述钢结构的基本理论,包括材料、连接及各种基本构件的设计原理;同时对常用结构如实腹梁和桁架等具体设计方法也作了详细的介绍,并附有较完整的例题。在阐述基本理论的同时,也反映了一些国内外新的研究成果,如脆性断裂、高强螺栓、残余应力、构件的稳定和扭转、屈曲后的强度等。

全书分九章,第一、二、三章分别为概述、材料及连接,第四章轴心受力构件,第五、六章分别为受弯构件的理论及设计,第七章偏心受力构件,第八章桁架,第九章构件的连接。

本书经国家建筑工程总局教育局审批为高等学校工业与民用建筑专业试用教材,也可供一般土建技术人员参考。

高等学校试用教材

钢 结 构

西安冶金建筑学院 重庆建筑工程学院 编
哈尔滨建筑工程学院 合肥工业大学

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 15 插页: 1 字数: 365 千字

1980年12月第一版 1980年12月第一次印刷

印数: 1—41,960册 定价: 1.60 元

统一书号: 15040-3944

前 言

这本试用教材适用于高等院校工业与民用建筑专业，内容按60学时编写。为了适应四个现代化的需要和贯彻少而精的原则，本教材对钢结构基本理论的阐述有所加强，对国内外新的研究成果也有所反映，在脆性断裂、高强螺栓、残余应力、构件的稳定和扭转、屈曲后的强度等方面都比过去的教材增添了新的内容。同时，也编入了有关屋架、吊车梁实际设计的基本知识和比较完整的例题，以便结合习题和课程设计来培养学员解决计算、构造问题的实际能力。虽然没有包括整体结构（如厂房结构）的完整设计，但其中内容与有关课程一起可为学生掌握这种设计提供基础知识。

全书共分九章：前三章是概述、材料和连接，四至七章包括轴心受力、受弯和偏心受力构件，八、九两章分别为桁架设计和构件的连接。受弯构件的理论性内容较多，实际设计也较复杂，所以分成五、六两章论述。构件的相互连接单列一章，目的是通过对一些典型节点的分析，阐述构造设计的原则和具体做法。有关钢结构制造的知识，可以通过参观和实习来解决，教材没有编入这方面的内容。

作为教材，除了课堂讲授的内容外，应该适当安排一些供部分学员进一步学习的内容。这本教材并不要求在课堂上全部讲完，许多章节都有一部分印成小字，教师在授课时可以进行取舍。鉴于各院校教学计划中对学时的安排并不完全相同，学时较少的还可略去一些非小字的内容。例如，第五章梁腹板屈曲后的强度一节，可以只讲主要概念而不涉及具体计算。有些章节的讲授顺序也可以作适当调整。

在编写本书时，有关的先修课程的教材还未编出，因此难免存在重复和脱节之处。希望授课教师在备课时根据具体情况加以考虑。

为了节省篇幅，《钢结构设计规范》（TJ17—74）的表格和某些附录大多未列入本教材内，学生学习时必须查阅规范。

我们对教材的新内容缺少教学实践，又受到水平的限制，书中肯定会存在不少缺点，希望教师 and 同学们把在使用本教材过程中发现的问题告诉我们，以便改进。

参加本教材编写的院校分工是：第一、四、七章由西安冶金建筑学院陈绍蕃、陈骥、李从勤、郭在田执笔，第二、三、九章由哈尔滨建筑工程学院李德滋、朱起、梁志宏执笔，第五、六章由重庆建筑工程学院吴惠弼、魏明钟执笔，第八章由合肥工业大学周惟德执笔。主编由陈绍蕃和吴惠弼担任，主审由浙江大学夏志斌担任。参加审稿的单位有太原工学院、天津大学、同济大学、南京工学院、清华大学、湖南大学、重庆钢铁设计研究院、钢结构设计规范管理组和薄壁型钢结构技术规范管理组。主审和审稿同志对本书提出了宝贵意见，不少单位还提出了书面意见，对提高教材质量帮助很大，我们表示衷心感谢。

编 者

1979.9.

目 录

第一章 概述	1
第一节 钢结构的特点和应用	1
第二节 房屋钢结构的组成	4
第三节 钢结构的计算方法	5
第四节 钢结构的发展	7
第二章 钢结构的材料	10
第一节 钢结构对材料的要求	10
第二节 钢材的主要性能	10
第三节 影响钢材主要性能的因素	13
第四节 复杂应力状态的屈服条件	16
第五节 钢材的疲劳	17
第六节 脆性断裂	21
第七节 钢材的种类、选择和规格	24
第三章 连接	28
第一节 钢结构的焊接方法和焊接结构的特性	28
第二节 焊接连接的型式	30
第三节 贴角焊缝的性能和尺寸限制	32
第四节 贴角焊缝的计算	34
第五节 坡口焊缝	41
第六节 焊接残余应力和焊接变形	42
第七节 合理的焊缝设计	45
第八节 铆钉、螺栓连接及其受剪时的性能	46
第九节 螺栓、铆钉的排列和构造要求	47
第十节 普通螺栓、铆钉受剪的计算	48
第十一节 普通螺栓、铆钉受拉和兼受拉力与剪力时的计算	51
第十二节 高强螺栓	53
习 题	56
第四章 轴心受力构件	58
第一节 轴心受力构件的应用和截面形式	58
第二节 轴心受拉构件的计算	58
第三节 轴心压杆的整体稳定	61
第四节 轴心压杆的局部稳定	71
第五节 实腹轴心压杆的截面设计	75
第六节 薄壁型钢轴心压杆的计算特点	79
第七节 格构式轴心压杆	85

习 题	90
第五章 受弯构件的计算原理	93
第一节 梁的正应力	93
第二节 梁的剪应力分布和剪切中心	94
第三节 梁的扭转	98
第四节 梁的整体稳定	105
第五节 梁腹板的稳定	110
第六节 梁腹板屈曲后的强度	114
习 题	119
第六章 梁的设计	120
第一节 梁的类型	120
第二节 型钢梁	121
一、单向弯曲型钢梁	121
二、双向弯曲型钢梁——檩条	124
第三节 焊接组合梁	128
一、截面选择	128
二、截面验算	130
三、梁截面沿长度的改变	131
四、翼缘焊缝的计算	132
五、腹板的局部稳定和加劲肋的设计	133
六、梁的拼接	139
第四节 吊车梁的设计特点	141
第五节 焊接实腹吊车梁设计例题	144
习 题	151
第七章 偏心受力构件	153
第一节 偏心受力构件的应用和截面形式	153
第二节 偏心受力构件的强度计算	153
第三节 实腹式偏心压杆在弯矩作用平面内的稳定计算	155
第四节 实腹式偏心压杆在弯矩作用平面外的稳定计算	161
第五节 实腹式偏心压杆的局部稳定	165
第六节 实腹式偏心压杆的截面设计	167
第七节 格构式偏心压杆的计算	173
习 题	178
第八章 桁架设计	181
第一节 桁架的应用和型式	181
第二节 屋盖支撑	183
第三节 桁架的杆件设计	185
第四节 桁架的节点设计	190
第五节 轻型钢屋架的设计特点	194
第六节 薄壁型钢屋架的设计特点	198
第七节 普通型钢屋架设计例题	199
第九章 构件的连接	208

第一节	连接设计的原则	208
第二节	次梁与主梁的连接	208
第三节	梁与柱的连接	211
第四节	屋架和柱的刚性连接	215
第五节	厂房阶形柱变截面处各构件间的连接	216
第六节	柱脚	218
习 题		225
附 录	附表 1 普通工字钢	226
	附表 2 普通槽钢	227
	附表 3 等肢角钢	228
	附表 4 不等肢角钢	230
	附表 5 普通螺栓规格	232
	附表 6 锚栓规格	232
	附表 7 角钢上螺栓或铆钉线距表	232
	附表 8 各种截面回转半径的近似值	233
参考资料		234

第一章 概 述

第一节 钢结构的特点和应用

1. 钢结构的特点

钢结构是用钢板、角钢、工字钢、槽钢、钢管和圆钢等热轧钢材或冷加工成型的薄壁型钢制造而成的结构。它和其他材料的结构相比，有如下一些特点：

(1) 材料的强度高，塑性和韧性好

钢材和其他建筑材料诸如混凝土、砖石和木材相比，强度要高得多。因此，特别适用于大跨度或荷载很大的构件和结构。钢材还具有塑性和韧性好。塑性好，结构在一般条件下不会因超载而突然断裂；韧性好，结构对动力荷载的适应性强。另一方面，由于钢材的强度高，做成的构件截面小而壁薄，受压时需要满足稳定的要求，强度有时不能充分发挥。

(2) 材质均匀，和力学计算的假定比较符合

钢材内部组织比较接近于匀质和各向同性体，而且在一定的应力幅度内几乎是完全弹性的。因此，钢结构的实际受力情况和工程力学计算结果比较符合。钢材在冶炼和轧制过程中质量可以严格控制，材质波动的范围较小。

(3) 钢结构制造简便，施工周期短

钢结构所用的材料单纯而且是成材，加工比较简便，并能使用机械操作。因此，大量的钢结构一般在专业化的金属结构厂做成构件，精确度较高。构件在工地拼装，可以采用安设简便的普通螺栓和高强螺栓，有时还可以在地面拼装成较大的单元再行吊装，施工周期较短。小量的钢结构如轻钢屋架，也可以在现场就地制造，随即用简易机具吊装。此外，对已建成的钢结构也比较容易进行改建和加固。用螺栓连接的结构还可根据需要进行拆迁。

(4) 钢结构的重量轻

钢材容重虽比混凝土等建筑材料的容重大，但钢结构却比钢筋混凝土结构轻，原因是钢材的强度与容重之比要比混凝土大得多。同样跨度承受同样荷载时，钢屋架的重量最多不过钢筋混凝土屋架的 $1/3$ 至 $1/4$ ，薄壁型钢屋架甚至接近 $1/10$ ，为吊装提供了方便条件。对于需要远距离运输的结构，如建造在交通不便的山区和边远地区的工程，重量轻也是个重要的有利条件。

(5) 钢材耐腐蚀性差

钢材耐腐蚀的性能比较差，因此，必须对结构注意防护。这使维护费用比钢筋混凝土结构高。不过在没有侵蚀性介质的一般厂房中，构件经过彻底除锈并涂上合格的油漆，锈蚀问题并不严重。

(6) 钢材耐热但不耐火

钢材长期经受 100°C 辐射热时，强度没有多大变化，因此具有一定的耐热性能，但温度达 150°C 以上时，就须用隔热层加以保护（参看第二章）。钢材不能耐火，重要的结构必须注意采取防火措施。

2. 钢结构的应用范围

钢结构的合理应用范围不仅取决于钢结构本身的特性，还取决于国家当时的技术政策，而技术政策则是根据国民经济发展的具体情况制订的。解放以来，我国的钢产量有很大发展，1949年全国钢产量只有十几万吨，1978年已达三千多万吨。但我国社会主义建设规模宏大，用钢量与日俱增。所以，相比之下钢材仍然是比较短缺的。因此，为了早日实现农业、工业、国防和科学技术的现代化，一方面要根据钢结构的特点，充分利用钢材为现代化建设服务，另一方面也要注意节约钢材。凡能采用其他建筑材料合理进行建设的工程，就不要采用钢结构。在决定采用钢结构时要有全局观点，根据国家的政策来考虑，并应遵守国家颁布的各种文件。

当前钢结构的适用范围是：

（1）大跨度结构

结构跨度越大，自重在全荷载中所占比重也就越大，减轻结构自重可以获得明显的经济效果。因此，钢结构强度高而重量轻的优点对于大跨结构特别突出。我国人民大会堂的钢屋架、北京和上海等地体育馆的悬索结构和钢网架，陕西秦始皇墓陶俑陈列馆的三铰钢拱架都是大跨度屋盖的具体例子。大型体育馆屋盖结构的跨度达110米。图1-1为一平板网架结构。在工业建筑中，大跨屋盖结构不断增多，除飞机装配车间（跨度一般在60米以上）外，化肥厂有跨度50~60米的散装仓库，电机工业有跨度约50米、高度约40米的大型试验室。今后随着现代化建设的进展，将不断出现更多的大跨度结构。

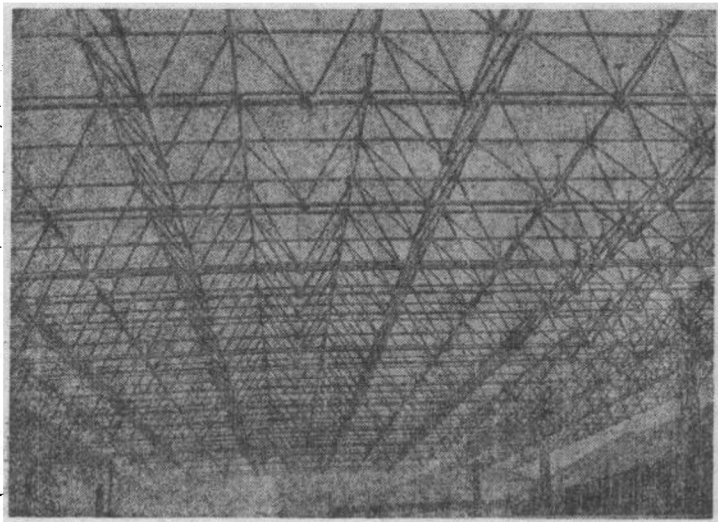


图 1-1 平板网架结构

（2）重型厂房结构

钢铁联合企业和重型机械制造业，有许多车间属于重型厂房。所谓“重”，就是车间里吊车的荷载较重（常在100吨以上，有的达到400吨），或者工作也繁重。这些车间的

主要承重骨架往往全部或部分采用钢结构（图 1-2）。另外，有强烈辐射热的车间，也经常采用钢结构。

（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，即使屋架跨度不很大，也往往用钢制成。对于抗震能力要求高的结构，用钢来制作也是比较适宜的。

（4）可拆卸的结构

需要搬迁的结构，如建筑工地生产和生活用房的骨架、临时性展览馆等，钢结构最为适宜。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。钢筋混凝土结构施工用的模板支架，现在也趋向于用工具式的钢桁架。

（5）高耸结构和高层建筑



图 1-2 厂房钢结构

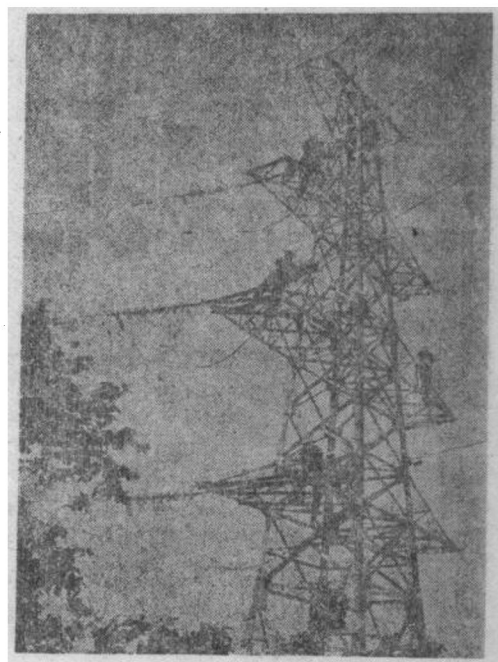


图 1-3 塔架结构

高耸结构包括塔架和桅杆结构，如高压输电线路的塔架（图 1-3）、广播和电视发射用的塔架和桅杆等。广州和上海的电视塔高度为200和205米。1977年建成的北京环境气象塔高325米，是五层拉线的桅杆结构。高层建筑的骨架，也是钢结构应用范围的一个方面，但目前在国内应用不多。

（6）容器和其他构筑物

冶金、石油、化工企业中大量采用钢板做成的容器结构，包括油罐、煤气罐、高炉、热风炉等。此外，经常使用的还有皮带通廊栈桥、管道支架、锅炉支架等其他钢构筑物。

（7）轻型钢结构

钢结构重量轻不仅对大跨结构有利，对使用荷载特别轻的小跨结构也有优越性。因为当使用荷载特别轻时，小跨结构的自重也成为一个重要因素。薄壁型钢屋架在一定条件下

的用钢量可不超过钢筋混凝土屋架的用钢量。

以上指出的是建筑钢结构适用范围的一般情况，具体问题还要结合具体条件分析确定。例如，对吊车梁来说，18米就算作大跨度，经常用钢制成，但钢铁厂中12米吊车梁也常用钢来制作。又如急需早日投产的国家重点工程，就可以适当放宽钢结构的应用范围以争取时间。

在有侵蚀性介质的环境里不宜采用钢结构，因为处于侵蚀介质中的钢结构，要经常维护，必然影响正常使用。如果必须使用时，则应采用耐腐蚀性较强的钢种（如含少量铜元素的钢）和涂上防腐性能较好的油漆。

第二节 房屋钢结构的组成

房屋钢结构通常由两部分构件组成：一部分是承重构件，另一部分是支撑构件。以厂房钢骨架为例（图1-4），屋架、天窗架、柱、吊车梁、托架、墙架柱和制动桁架等都是承重构件，而屋架水平支撑、天窗水平支撑和柱间支撑等都是支撑构件。

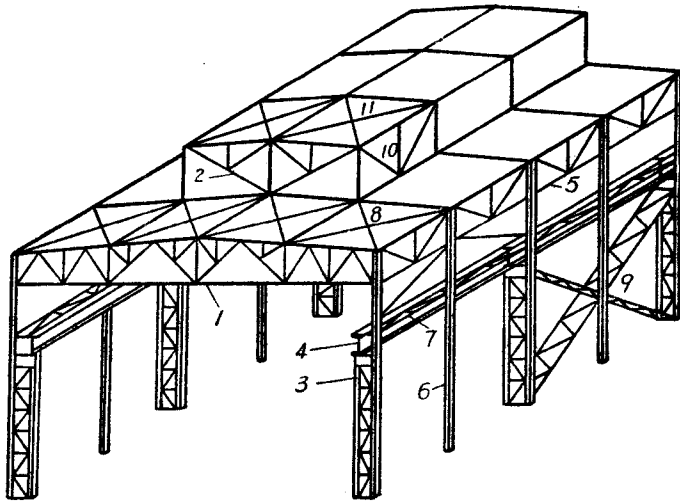


图 1-4 厂房钢骨架

1—屋架；2—天窗架；3—柱；4—吊车梁；5—托架；6—墙架柱；7—制动桁架；8—屋架上弦水平支撑；
9—柱间支撑；10—天窗垂直支撑；11—天窗水平支撑

承重构件是用来组成承重体系，以承受和传递荷载。在厂房骨架中用得最多的是由屋架和柱子组成的平面框架，使作用在屋盖和柱子上的荷载都能通过框架传到地基上。支撑构件除一部分也参与传递水平荷载外，主要用来联系承重构件，使其组成一个比较坚固的空间稳定体系。有时在屋盖结构中把檩条和支撑组合起来成为空间檩条，用以承受屋面荷载。这种使支撑构件参与承重的做法，有利于充分利用材料。

在大跨度建筑中，平面承重结构也可以采用主要由压杆组成的拱形结构（图1-5）。为了获得较有利的空间和达到较好的经济效果，常常在支座处设置较强大的结构来抵抗拱的水平推力。



图 1-5 拱结构

承重结构除采用平面体系外，还可采用空间体系。

为了充分发挥钢材的受力性能，对于主要只受均布恒载的轻屋面大跨度屋盖结构，可以采用由高强拉索组成的悬索结构。悬索结构的形式很多，图 1-6 为北京工人体育馆所采用的圆形双层悬索结构，拉索呈辐射状、两端与内环和外环相固定，形成空间体系。主要承重构件大部分受拉，是节约钢材的有效途径。

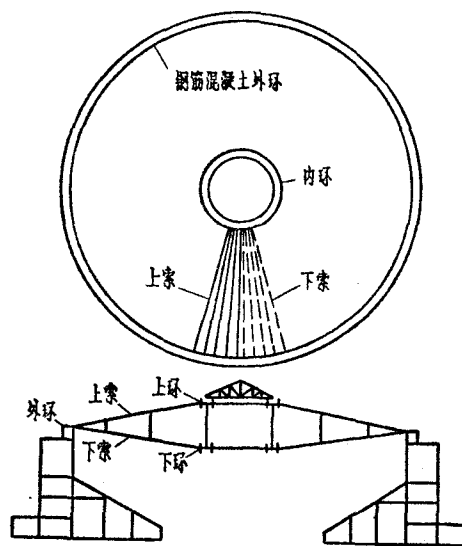


图 1-6 双层悬索屋盖结构

由拉杆和压杆组成的网架结构是目前应用较多的一种空间体系。网架结构的类型也很多，图 1-7a 是双向正交的平板式网架结构。在它的上弦压杆平面内通常需要设置水平支撑。图 1-7b 是四角锥平板式网架结构，由于四角锥本身是一个稳定体系，所以不再需要设置支撑。虽然四角锥网架的构造比较复杂，但它的空间刚度、动力性能以及经济效果都较好。

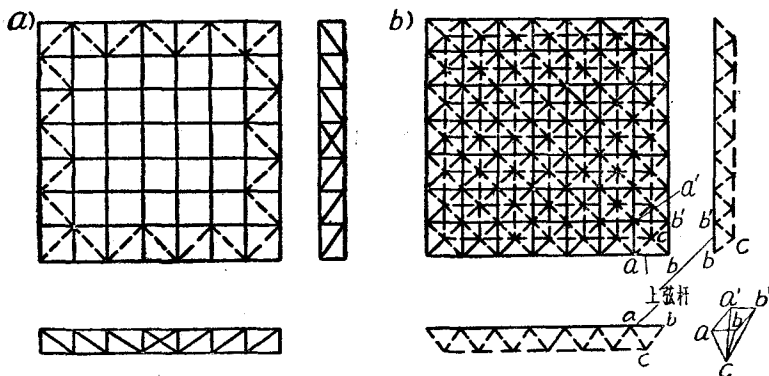


图 1-7 平板式网架结构

a) 双向正交网架；b) 正放四角锥网架

第三节 钢结构的计算方法

1. 钢结构安全度计算原则

进行钢结构计算，目的是使所设计的结构除符合功能要求和传力可靠外，还要尽量节

约钢材,做到技术先进、经济合理、安全适用,确保质量。

结构能否安全工作,涉及许多影响因素,如作用荷载,材料性能和施工质量等,而这些因素一般都是随机变量。为了充分利用材料的潜力,必须对它们进行数理统计和概率分析,使所设计结构的失效概率小到足以保证安全使用的程度。结构失效,首先是指达到承载能力的极限状态,包括强度破坏、丧失稳定和疲劳破坏等。

设构件的承载能力为 R ,荷载对构件产生的效应为 Q ,则构件的失效概率 P_f 可以表示为

$$P_f = P(R - Q < 0) \quad (1-1)$$

但是, $(R - Q)$ 作为一个综合的随机变量,情况很复杂,需要统计资料很多,目前只有采用一些近似的简化以后,才能作出分析;只有个别国家采用了这种计算方法。

另一种方法是对 R 和 Q 的主要因素分别进行数理统计和概率分析,并参照过去的经验确定设计用的计算承载能力 R_s 和计算荷载效应 Q_s ,其条件是使实际承载能力低于 R_s 的概率足够小,实际荷载效应超过 Q_s 的概率也足够小。这时,保证结构安全使用的条件是

$$Q_s \leq R_s \quad (1-2)$$

命 Q_0 和 R_0 分别为荷载效应的标准值(特征值)和构件承载能力的标准值(特征值),则系数

$$K_1 = Q_0 / Q_s \quad \text{和} \quad K_2 = R_0 / R_s \quad (1-3)$$

分别称为荷载系数和材料系数。 K_1 除表征荷载变异外,还包括构件计算与其实际工作之间的差别等因素; K_2 除表征材料强度的变异外,还包括截面尺寸的负公差等因素。

导致结构不能继续使用的第二种极限状态是变形的极限状态,达到这种极限状态时,结构的承载能力还是足够的,但在正常荷载作用下产生的变形已使结构不适于继续使用,其中包括在静力作用下产生过大的变形或在动力作用下产生剧烈的振动等。计算结构在标准荷载作用下的变形,并把它控制在一定限度内,是避免出现第二种极限状态的方法。

2. 我国规范的计算方法

我国《钢结构设计规范》TJ17—74(以后简称TJ17—74)对第一种极限状态的计算以式(1-2)为依据,并采用了容许应力法的表达形式。把式(1-3)代入(1-2)可得

$$Q_0 \leq \frac{R_0}{K_1 K_2}$$

当进行构件的静力强度计算时,上式化为

$$Q_0 \leq \frac{\sigma_s S}{K_1 K_2} = S[\sigma]$$

式中 S ——和受力性质有关的构件截面几何特征,例如计算轴心受拉杆时 S 为净截面积 A_n ,计算受弯构件时 S 为净截面抵抗矩 W_n 。

σ_s ——钢材屈服点的标准值;

$[\sigma]$ ——容许应力,见TJ17—74表3。

对于恒载, K_1 约在1.1至1.2之间;对于活载 K_1 约在1.2至1.3之间。TJ17—74采用了平均值 $K_1 = 1.23$ 。

材料系数 K_2 对不同钢种是有区别的,TJ17—74对3号钢取 $K_2 = 1.143$ ($\sigma_s = 2400$ 公斤/厘米²);对16锰钢取 $K_2 = 1.176$ ($\sigma_s = 3500$ 公斤/厘米²)。

K_1 和 K_2 的乘积称为基本安全系数 K ，其值为：对3号钢， $K=1.23 \times 1.143=1.41$ ；对16锰钢 $K=1.45$ 。

相应的容许应力是：对3号钢， $[\sigma]=\frac{2400}{1.41}=1700$ 公斤/厘米²；对16锰钢， $[\sigma]=2400$ 公斤/厘米²。

厚度小的钢材因成材之前辊轧次数多，晶粒致密，它的强度比厚度大的钢材高。国家标准把钢材按厚度分为三组，当型钢或钢板的厚度较大，属于第二或第三组钢材时，其屈服点都有所降低，所以容许应力也相应降低。具体分级规定见 TJ17-74表2。

考虑到各种构件的荷载条件和施工条件存在差别，为了确保条件不利的构件的安全，需要对其安全系数加以调整。这时，可把容许应力乘以折减系数。例如，对于恒载小于总荷载40%的屋盖结构，实际的荷载系数超过1.23，折减系数取0.95；施工条件较差的高空安装焊缝质量往往不如地面施焊的焊缝，折减系数取0.9等等。

以上所举的安全系数和容许应力值适用于 TJ17-74 规定的工业与民用房屋和一般构筑物的钢结构。对于这个范围以外的结构则应根据具体情况确定，如施工设备的钢结构荷载超过标准值的幅度可能较大，且在使用、拆装过程中可能产生不利于其工作的变形，则需要提高安全系数值。另外，当风荷载作用下恒载起有利作用时，需要考虑计算恒载低于标准值的可能性。

对于薄壁型钢结构，考虑到截面尺寸负公差和构件缺陷对结构承载能力的影响更加明显，《薄壁型钢结构技术规范》TJ18-75(以后简称TJ18-75)规定基本安全系数取1.5，因此，钢材的容许应力都有所降低。

用圆钢、小角钢做成的轻型钢结构和薄壁型钢结构类似，其容许应力也有所降低。

第四节 钢结构的发展

随着农业、工业、国防和科学技术现代化的进展，我国钢产量将不断提高，钢结构的应用也会相应地有很大的发展。为了适应这一形势，钢结构的科学技术水平应该迅速提高。我们需要根据基本建设的方针，做好下列几个方面的工作。

1. 高强度钢材的应用

利用高强度钢材，可以用较少的材料做成功效较高的结构，尤其对跨度大、荷载重的结构最为有利。结构用的高强钢材一般是低合金钢，能保证必要的塑性和韧性。目前我国采用屈服点35公斤/毫米²的16锰低合金钢已较普遍，北京首都体育馆的网架就采用了这种钢材。屈服点40公斤/毫米²的15锰钒和15锰钛以及屈服点45公斤/毫米²的15锰钒氮等钢材也在开始应用。今后随着冶金工业的发展，还将会提供强度更高的钢材。国外在建筑结构中已有采用屈服强度达70~75公斤/毫米²的高强度钢材。如何合理应用这些新的高强度钢材、应用这些钢材时设计基本数据的决定以及不同钢种合用时的有关技术问题（例如用强度较高的钢材作为翼缘，强度较低的钢材作为腹板制成异种钢组合梁）等是今后需要解决的课题。

从连接材料来看，我们已经把45号钢和40硼钢制成的高强螺栓用于建筑结构，获得了良好的效果。40硼钢经热处理后的屈服点不低于99公斤/毫米²，抗拉强度不低于110公斤/

毫米²。今后也还会出现性能更为优越的新钢种。

2. 构件和结构计算的改进

现代计算技术和测试技术的发展,为深入了解构件和结构的实际性能提供了有利条件。计算方法愈能反映实际情况,就愈能合理使用材料,以充分发挥材料的作用而又保证安全。我国72年以来结合设计规范的编制和修订工作,做了大量理论和试验研究。但这仅是开始,还需要不断深入和提高。例如,钢材塑性的充分利用、动力荷载(包括地震作用)的影响、残余应力的影响和板件屈曲后的承载能力等问题都需要进行研究。超静定结构的塑性设计,我国曾在一些厂房的门式刚架中应用,但还不普遍,国外已开始用于多层框架结构。

如何进一步应用概率计算的原理来取得合理的结构安全度,也是改进计算方法的一个方面,已为很多国家所重视,并获得了一些新的进展。

3. 结构的革新

随着材料和连接手段的发展、制造和安装工艺的革新以及电子计算机的应用,钢结构必然会不断出现新的结构形式。用钢很省的大跨度悬索结构,是把高强度钢丝(或钢绞线)引进建筑结构的结果。平面为60×80米椭圆形的浙江人民体育馆,屋盖采用马鞍形悬索结构,耗钢量仅17.3公斤/米²。冷加工成型的薄壁型钢属于建筑结构中的新型构件,近年来全国已有近五十万平方米的建筑面积采用这种薄壁型钢屋盖结构。但目前,在我国这些新型结构的应用还不够广泛,有关的问题,如材料供应等还需要进一步解决。适合于新材料的新结构形式也有待于通过实践不断探索。

网架结构对各种平面形式的建筑物适应性很强,近年来发展很快。首都体育馆、上海体育馆和上海文化广场的平面分别为矩形、圆形和扇形,都采用了平板网架。目前国内已建成的平板网架屋盖结构超过了一百个。这种结构杆件多,超静定次数多,精确计算很复杂,只在采用电子计算机后,才得到迅速推广。网架比悬索结构耗钢量稍多,但后者用料特殊,施工技术也较复杂,所以应用不如前者广泛。网架还适合于规格化,可在工厂中成批生产标准杆件或单元,运到工地装配和安装,大大加快建设速度。把网架等空间体系用于厂房结构,已经开始研究和实践。

预应力钢结构也是把高强钢材引进钢结构的一种新技术,一般采用普通钢材和高强钢材进行恰当地配合,以减少结构的耗钢量。我国从五十年代开始就对预应力钢结构进行理论和试验研究,并在一些工程中试用。预应力技术不仅能够节约钢材,还可以用于加强悬索结构和桅杆结构的刚度并有效地解决钢结构的加固问题。

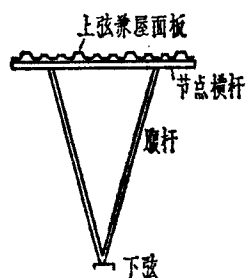


图 1-8 受力面层组合桁架横剖面

从国外的情况看,薄钢板在钢结构中的应用发展很快,值得我们注意。将压轧成型的薄钢板敷以塑料涂层,用作屋面板可以减轻屋盖的荷载,从而减少屋架钢材的消耗。采用薄钢板充当屋面板的同时还可充当屋架的组成部分或代替屋架。例如,用压型钢板作屋架上弦兼屋面(图1-8),薄壁型钢作下弦和腹杆,形成所谓“受力面层组合桁架”(stressed-skin composite trusses);又如用薄钢板做成折板结构,把屋面结构和屋盖主要承重结构完全合为一体。采用这些办法,可以做成跨度较大而耗钢不多的屋盖结构。

4. 最优化原理的应用

电子计算机不仅提供了计算复杂结构的手段,并且可以解决最优设计问题。结构的最优设计包括确定最优的结构形式和确定最优的截面尺寸。我国最近编制的钢吊车梁标准图集,根据耗钢量最小的条件写出目标函数,把强度、稳定、刚度等一系列设计要求作为约束条件,用计算机解得最优的截面尺寸。做出的设计比过去的标准图集节省钢材5~10%。有些结构(如超高压输电线路塔架)的耗钢量涉及因素很多,虽然还不能用计算机直接解出最优方案,但可以进行大量方案比较,从而选出耗钢量很低的方案。

5. 制造业水平的提高

钢结构制造业的机械化水平需要进一步提高。一方面需要改进工艺和革新设备,将手工操作和半机械化的工序逐步改变成机械化工序,将已实行机械化的工序提高为自动化;另一方面,要求构件系列化、标准化,以适应现代化生产。构件的构造设计也必须和生产要求相适应。

对于尺寸很大的焊接构件,消除焊接应力是提高质量的一个重要方面。国内研制成功“电热应力消除器”已在实际工程中应用,以消除壁厚32毫米的大型管道焊接残余应力,收到良好的效果。

6. 钢和混凝土组合构件的应用

钢材受压时必须满足稳定性要求,往往不能充分发挥它的强度的作用,而钢筋混凝土则最宜于承受压力。将钢材和钢筋混凝土并用,使两种材料都充分发挥它的长处,是一种很合理的结构。把钢筋混凝土板用抗剪键和钢梁连成一体(图1-9a),共同工作,由钢筋混凝土板起梁的受压翼缘的作用,可以节约钢材。1969年某钢厂采用了跨长18米的钢和钢筋混凝土组合的联合吊车梁(图1-9b),比全钢吊车梁节约钢材29%。采用钢管混凝土(图1-9c)作柱或柱肢,也是组合构件的一种类型。1959年国内开始试验研究,并逐步应用于厂房柱、构架柱以及地铁工程中,取得了很大的成绩。这种柱的混凝土由于有钢管箍住,强度提高很多。柱子的塑性、抗震性都很好,比钢筋混凝土柱施工简便。

除了以上六个方面外,宽翼缘工字钢和轧制管材(圆管、方管)等型钢的应用,也是值得研究的问题。采用宽翼缘工字钢,可以减少制造过程中的焊接工作量,减少施工工序,加快速度;采用管材作为压杆,用料经济,轧制管比焊接管质量好。

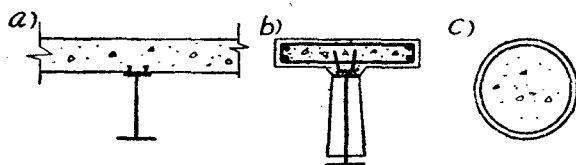


图 1-9 钢和混凝土组合构件

此外,钢结构防腐蚀的研究,对薄壁型钢结构等轻型钢结构有十分重要的意义。1972年以来我国在这方面的研究工作也已取得了不少成绩,生产了防锈性能好、价格便宜的涂料。研究工作还在继续进行。

第二章 钢结构的材料

第一节 钢结构对材料的要求

钢的种类繁多，性能差别很大，适用于钢结构的钢材只是其中的一小部分。用作钢结构的钢材必须符合下列要求：

1. 较高的抗拉强度 σ_b 和屈服点 σ_s 。 σ_b 值高可以减轻结构自重，节约钢材，降低造价； σ_s 值高可以增加结构的安全保障。

2. 较高的塑性、韧性及耐疲劳性能。较高的塑性和韧性使结构在荷载（静载及动载）作用下有足够的应变能力，既可减轻结构脆性破坏的倾向，又能通过较大的塑性变形调整局部高峰应力。较高的耐疲劳性能则使结构具有较好的抵抗重复荷载作用的能力。

3. 良好的工艺性能（包括冷加工、热加工和可焊性能）。良好的工艺性能不但要易于加工成各种形式的结构，而且不致因加工而对结构的强度、塑性、韧性等造成较大的不利影响。

此外，根据结构的具体工作条件，有时还要求钢材具有适应低温、高温和腐蚀性环境的能力。当然，在满足上述要求外，结构用钢还要求价格便宜，以降低造价。

TJ17—74中所推荐的钢种是考虑了上述要求而确定的。当选用其他钢种或新钢种时，要有可靠的依据。

下文中“钢材”一词指的就是钢结构中所用的钢材。

第二节 钢材的主要性能

1. 钢材的破坏形式

钢材有两种性质完全不同的破坏形式，即塑性破坏和脆性破坏。钢结构所用的材料虽然具有较高的塑性和韧性，但在一定的条件下，仍然有脆性破坏的可能性。

塑性破坏是由于变形过大，超过了材料或构件可能的应变能力而产生的。它的主要特征是具有较大的、明显可见的塑性变形，而且仅在材料或构件中的应力达到其抗拉强度 σ_b 后才发生。破坏后的断口呈纤维状，色泽发暗。在塑性破坏前，由于总有较大的塑性变形发生，且变形持续的时间较长，很容易及时发现而采取措施予以补救。因此，实际上建筑钢结构是极少发生塑性破坏的。

脆性破坏的特点是破坏前的塑性变形很小，甚至没有塑性变形，平均应力比较低（低于屈服点），破坏后的断口平直，呈有光泽的晶粒状。因为脆性破坏前没有任何预兆，无法及时察觉予以补救，而且一旦发生还有导致整个结构塌毁的可能，所以比塑性破坏危险得多。在设计、施工和使用钢结构时要特别注意防止这种破坏的可能性，本章第六节中将作较详细的介绍。