

钢 结 构

钟 善 桐 编

中央广播电视大学出版社

钢 结 构

钟 善 桐 编

中央广播电视大学出版社

钢 结 构

钟 善 桐 编

*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

北 京 印 刷 一 厂 印 装

*

开本 787×1092 1/16 印张 17.5 插页 1 千字 403

1986年 7 月第 1 版 1986年10月第 1 次印刷

印数 1—45,000

书号 15300·50 定价 2.95 元

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 钢结构在我国的发展概况	(1)
第二节 钢结构的特点和合理应用范围	(3)
第三节 钢结构的设计方法	(7)
第四节 新型钢结构在我国的应用和发展	(11)
第二章 钢结构的材料	(18)
第一节 建筑钢材的两种破坏形式	(18)
第二节 建筑钢材在单轴应力作用下的工作性能	(19)
第三节 建筑钢材在多轴应力作用下的工作性能	(21)
第四节 建筑钢材的动力工作性能	(23)
第五节 各种因素对钢材性能的影响	(28)
第六节 钢材的种类和规格	(32)
第三章 钢结构的连接	(36)
第一节 连接的种类和特点	(36)
第二节 焊缝及其连接的型式	(39)
第三节 角焊缝及其连接的构造和计算	(41)
第四节 对接焊缝及其连接的计算	(53)
第五节 焊接应力和焊接变形	(58)
第六节 螺栓连接的构造和计算	(63)
第七节 高强度螺栓连接的计算	(75)
第八节 连接的疲劳强度计算	(80)
第四章 受拉、受压构件和柱	(84)
第一节 构件种类和截面型式	(84)
第二节 受拉和受压构件的极限状态	(85)
第三节 受拉和受压构件的强度	(88)
第四节 轴心受压构件的整体稳定	(90)
第五节 格构式轴心受压构件的整体稳定	(99)
第六节 实腹式偏心受压构件的整体稳定	(107)
第七节 格构式偏心受压构件的整体稳定	(114)
第八节 实腹式受压构件的局部稳定	(121)
第九节 柱头和柱脚	(129)
第五章 梁	(145)
第一节 梁的种类和截面型式	(145)
第二节 梁的强度计算	(145)

第三节 梁的刚度计算 (149)
 第四节 梁的截面选择 (150)
 第五节 梁的整体稳定 (155)
 第六节 梁的局部稳定 (162)
 第七节 实腹梁的构造 (177)
 第六章 屋盖结构 (185)
 第一节 钢屋盖的应用和组成 (185)
 第二节 屋盖支撑布置 (186)
 第三节 檩条和天窗架 (194)
 第四节 普通钢屋架设计 (202)
 第五节 轻型钢屋架设计 (222)
 第六节 普通钢屋盖设计例 (230)
 附 桁架杆力图解法 (240)
 第七章 钢结构制造 (243)
 第一节 钢结构制造过程 (243)
 第二节 钢结构制造对设计的要求 (249)
 附录 (250)
 附录一 钢材的设计强度 (250)
 附录二 连接的设计强度 (250)
 附录三 轴心受压构件的稳定系数 (252)
 附录四 梁的整体稳定系数 (255)
 附录五 型钢规格 (257)
 附录六 螺栓规格 (272)
 附录七 各种截面回转半径的近似值 (273)

第一章 概 述

第一节 钢结构在我国的发展概况

在钢结构的应用和发展方面,我们的祖先具有光辉的历史。据历史记载,早在公元一世纪五、六十年代,为了同西方国家通商和进行文化与宗教上的往来,在西南地区通向西方的交通要道上,跨越激流深谷,他们就成功地建造了一些铁链桥。世界上建造得最早的一座铁链桥是我国的兰津桥。它建于公元 58~75 年,比欧洲最早的铁链桥要早七十多年。云南的沅江桥(建于四百多年前)、贵州的盘江桥(建于三百年前)以及四川的大渡河桥等,无论在建设规模上还是在建造技术上,在当时都处于世界领先地位。

工农红军长征途中经过的四川泸定大渡河铁链桥建于 1696 年,比英国 1779 年用铸铁建造的第一座 31m 拱桥要早 83 年,比美洲 1801 年建造的 70 英尺(21.34m)跨度的第一座铁索桥早 105 年。泸定桥由九根桥面铁链、四根桥栏铁链构成,横跨大渡河,净长 100 m,桥宽 2.8 m,可同时通行两辆马车,桥下面是奔腾咆哮的激流,两岸是陡峭的山崖,铁链锚定在直径 20 cm,长 4 m 的锚桩上。每根铁链重达 1.5 吨。很难想象,在当时没有现代化起重设备的技术条件下,该桥是如何架成的。

此外,在全国各地还建造了不少铁塔,如荆州的玉泉寺铁塔、济宁的铁塔寺铁塔以及镇江的甘露寺铁塔等,有的一直保持到现在。

但是,我国古代在封建主义的长期压迫和剥削下,生产力停滞不前,因此在漫长的历史过程中,钢结构的发展受到了限制。

十八世纪欧洲工业革命兴起以后,由于钢铁冶炼技术的发展,钢结构在欧美的应用增长很快,不断地出现了采用钢结构的工业和民用建筑物,不但在数量上日渐增多,而且应用范围也不断地扩大。但是,在那时,我们中华民族却一直处在封建主义的压迫之下,特别是 1840 年鸦片战争以后,我国沦为半封建和半殖民地,倍受帝国主义、封建主义和官僚资本主义的压迫和剥削。从那时起,在我们的国土上虽然相继出现了一些钢结构,但这并不是我国工业生产发展的标志,而是帝国主义侵略、剥削和掠夺我国的历史见证。帝国主义者为了掠夺我国丰富的资源,剥削我国广大的劳动人民,从腐朽的满清王朝和蒋介石政府手中取得了各种非法特权,在我国各地建造了一批厂矿企业(如钢铁企业、造船工业、采矿工业)和一些高层建筑物,为了掠夺资源并修建了铁路和公路桥梁。所有这些钢结构建筑物都是帝国主义和殖民主义者侵略我国的罪证。

中国人民在中国共产党的领导下,经过长期的艰苦奋斗,终于在 1949 年推翻了帝国主义、封建主义和官僚资本主义三座大山,成为国家的主人。从此生产力得到解放,各项建设事业都

有了飞跃的发展,钢结构的发展也十分迅速。

第一个五年计划期间,我国很快地出现了自己的冶金工业、重型机器制造工业、汽车制造工业、动力设备制造工业以及一些轻化工业等。在这一伟大的社会主义建设事业中,钢结构的采用起了很大的作用。只在短短的五、六年内我国就建造了大批钢结构厂房和矿场,其中主要的有:恢复和扩建的鞍山钢铁公司、武汉钢铁公司和大连造船厂等,新建的太原重型机器制造厂、富拉尔基重型机器制造厂、长春汽车制造厂、洛阳拖拉机厂、哈尔滨和四川的三大动力厂以及一些飞机制造厂等。这一时期,是我国钢结构的发展时期。

但是,在一个独立自主国家中钢结构的发展还取决于钢产量。解放后,我国的冶金工业虽然有了很大的发展,但钢产量还不高,远不能满足大规模建设的需要。因此,继五十年代大量采用钢结构之后,六、七十年代,钢结构在我国的采用却受到了客观条件的很大限制,只在十分必需采用钢结构的重要建筑物中才能得到应用。1959 年在北京建成的人民大会堂,采用了跨度 60.9 m、高 7 m 的钢屋架和分别挑出 15.5 m 和 16.4 m 的看台钢梁。1961 年建成的北京工人体育馆采用了直径为 94 m 的车辐式悬索屋盖结构,能容纳观众一万五千人。1967 年建成的首都体育馆,屋盖采用了平板网架结构,跨度达 99 m,可容纳观众一万五千人。1965 年在广州建成了第一座高 200 m 的电视塔,截面为八角形,八根立柱各由三根圆钢组成,缀条也采用了圆钢组合截面,用国产 16 锰钢,全部为焊接结构,由于采用了圆钢杆件,减小了风荷载,用钢量不到 600 吨,是世界上同类结构中用钢量较少的。1973 年建成的上海体育馆,屋盖采用了圆形平板网架结构,直径达 110 m。1978 年建成的武汉钢铁公司一米七轧钢厂,采用的钢结构用钢量达 6 万吨。1985 年完成第一期工程的宝山钢铁公司和 1968 年建成的南京长江大桥等也都采用了钢结构。

不少国家由于生产的迅速发展,钢结构也在不断地增多。美国和日本,八十年代修建的工业建筑物中,采用钢结构的占 70% 左右。苏联过去对钢结构的采用限制较严,七十年代后也逐渐放宽限制,近年来每年用于工业建筑中的钢结构达七、八百万吨。在上述钢产量高的发达国家中,钢结构能有这样大的发展,一方面是由于它具有轻质高强、性能好及施工方便迅速等优点,另一方面是由于近年来工业对厂房结构提出了更高的灵活性、适应性的要求。很多企业的生产技术更新周期大大缩短,个别的如电子工业企业等已缩短到 4~5 年,因此要求建造跨度和柱距较大、又易于扩建、拆建的灵活性大的厂房结构,从而迅速地促进了钢结构的大量应用。

随着我国经济建设的迅速发展,我国的钢产量也迅速增长,到 1985 年已增至 4666 万吨,轧制钢材增至 3700 万吨,和 1949 年相比,钢产量增长 294 倍,钢材产量增长 290 倍。采用钢结构虽然投资较高,但施工快,工期短,比采用钢筋混凝土结构可提前竣工投产。因此,钢结构在我国的应用已日渐广泛,它将在我国工业化和现代化建设事业中发挥应有的作用,并将在应用过程中进入新的更高的发展阶段。

第二节 钢结构的特点和合理应用范围

和其他材料的结构一样,钢结构在我国社会主义建设事业中,也有自己的合理应用范围。什么情况下采用钢结构?这主要取决于钢结构本身的特点,当然,也必须考虑到材料供应和施工技术状况等具体条件。

一、钢结构的特点

1. 钢结构重量轻而承载力高

钢材的容重虽比其他建筑材料大,但强度却高得更多。在相同的荷载条件下,采用钢结构时,结构自重常较小。例如,当跨度和荷载相同时,钢屋架的重量只有钢筋混凝土屋架重量的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$,若采用薄壁型钢屋架,则更轻。因此,钢结构能承受更大的荷载,跨越更大的跨度。

2. 钢材更接近于匀质等向体

把钢材分割成细微小块,每小块都将具有大致相同的机械性能,而且在各方向的性能也大致一样。在使用应力阶段,钢材属于理想弹性工作,弹性模量高达 $205 \times 10^3 \text{N/mm}^2$,因而变形很小。这些性能和力学计算中采用的假定符合程度很好,所以钢结构的实际受力情况和力学计算结果最相符合。

3. 钢材的塑性和韧性好

由于钢材的塑性好,钢结构在一般情况下不会因偶然超载或局部超载而突然断裂破坏;钢材的韧性好,使钢结构对动力荷载的适应性较强。钢材的这些性能为钢结构的安全可靠性提供了充分的保证。

4. 钢材具有可焊性

由于钢材具有可焊性,使钢结构的连接大为简化,因此可适应制造各种复杂结构形状的需要。但焊接时产生很高的温度,温度分布很不均匀,结构各部位的冷却速度也不同,因此,不但高温区(焊缝附近)的材料性质有变坏的可能,而且还会产生较高的焊接残余应力,使结构中的应力状态复杂化。

5. 钢结构制造简便,施工方便,具有良好的装配性

钢结构由各种型材组成,又在专业化的金属结构制造厂中制造,制作简便,成品的精确度高。制成的构件在现场拼装,采用螺栓连接,结构又轻,故施工方便,施工周期也短,且便于拆卸、加固或改建。

6. 钢材具有不渗漏的特性,便于做成密闭结构

不论采用焊接、铆钉连接或螺栓连接,钢结构都可以做到密闭不渗漏。因此钢材是制造容器,特别是高压容器的良好材料。

7. 钢材易于锈蚀,应采取防护措施

钢材在湿度大、有侵蚀性介质的环境中,易于锈蚀,使结构受到损害,影响使用寿命。因而钢结构需要经常维护,其维护、油漆费用比其他结构要贵很多。

8. 钢结构耐热性好,但防火性差

钢材耐热但不耐高温,随着温度的升高,强度和弹性模量将降低,而线膨胀系数则增大,见图 1.1 和表 1.1。当周围环境存在辐射热,温度在 150℃以上时,就需采取防护措施。一旦发生火灾,钢结构耐火时间不长,在结构温度达到 500℃以上时,就会瞬时崩溃。为了提高钢结构的耐火等级,常用混凝土或砖把它包裹起来,这样既提高了结构造价,又加大了结构所占空间。1985 年,我国公安部消防科学研究所研制成了 LG 钢结构防火隔热涂料,按 GN 15-82 标准试验,防火涂层厚 15 mm 时,钢梁耐火极限达 1.5 h。增减涂层厚度,可满足钢结构不同耐火极限的要求。这种涂料在高温作用下不产生浓烟,不易破裂脱落,这就大大地提高了钢结构的耐火性能。

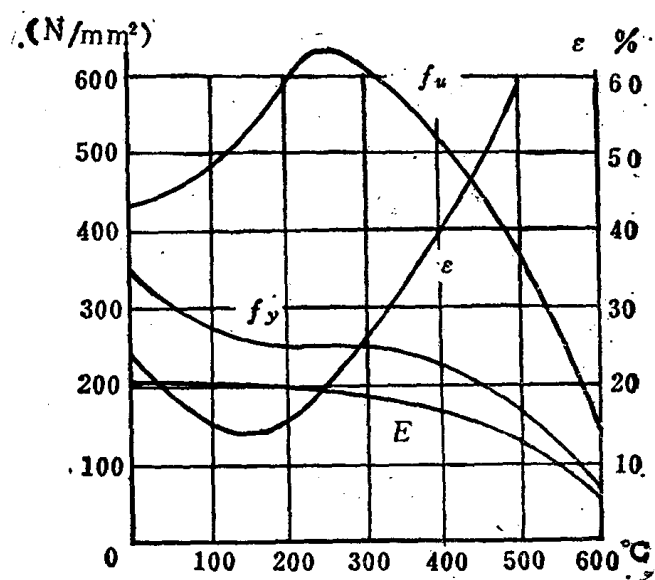


图 1.1 温度对钢材性能的影响

表 1.1 温度对钢材性能的影响

温 度℃		20	100	200	300	400	500	600
屈服点降低%		100	95	82	65	40	10	0
弹性模量 $E \times 10^3 \text{N/mm}$	普 碳 钢	206	195	185	170	160	—	—
	16 Mn 钢	206	200	200	190	185	—	—
线膨胀系数 $\times 10^{-3}$	普 碳 钢	1.18	1.22	1.28	1.34	1.38	—	—
	16 Mn 钢	1.12	1.20	1.26	1.32	1.37	—	—

二、钢结构的合理应用范围

根据上述钢结构的特点,结合我国钢产量还不高,钢材消耗应加以适当控制的具体情况,目前钢结构在我国的合理应用范围如下:

1. 重型工业厂房

在跨度和柱距都比较大，或设有繁重工作制吊车或大吨位吊车，或具有多层（2~3层）吊车的厂房以及某些高温车间（例如炼钢、轧钢和均热炉车间等），可采用钢吊车梁、钢屋架及钢柱等部分钢构件以至全钢结构。

2. 大跨度结构

结构跨度越大时，减轻结构自重越具有明显的经济效果。钢材轻质高强，可跨越最大的跨度，因此，大跨度结构应采用钢结构。近年来我国各地修建的很多体育馆、剧场和大会堂等，就采用了钢网架结构或悬索结构。例如，首都体育馆比赛厅采用了 $99 \times 12.2 \text{ m}$ 的正交斜放平板网架，见图 1.2。1986 年建造的吉林滑冰馆采用了双层悬索屋盖结构，悬索跨度为 59 m ，房屋跨度达 70 m 。此外，工业建筑中的飞机装配车间、飞机库和停车库以及一些大跨度的工业产品散装仓库，如大庆化肥厂仓库的 60 m 三铰拱屋盖等，也都采用了钢结构。图 1.3 所示的某飞机库结构，采用了正交斜放倒四角锥平板网架，平面尺寸 $54 \times 48 \text{ m}$ ，有悬挂吊车设备，网架是三边支承一边开口的。可以预测，随着我国工业化建设的发展，还将出现更多的各种大跨度工业与民用钢结构建筑物。

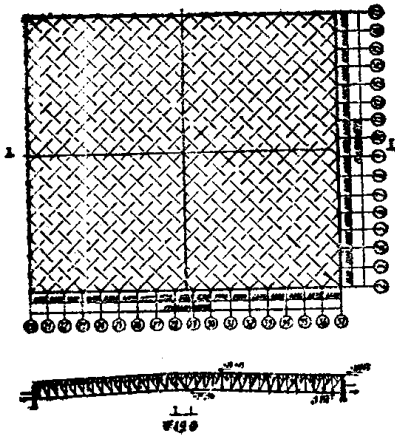


图 1.2 首都体育馆网架

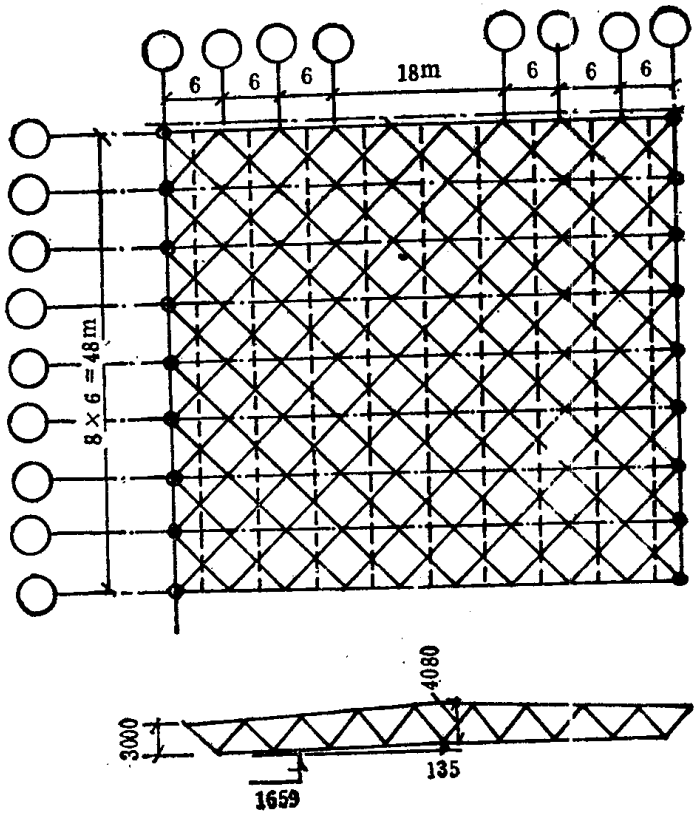


图 1.3 某飞机库网架结构

3. 受动态荷载作用的结构

直接支承起重量较大或跨度较大的桥式吊车的吊车梁，应采用钢结构。此外，拥有较大锻锤或动力设备的厂房以及对抗震性能要求高的结构，通常都采用钢结构。

4. 可拆卸的移动结构

流动式展览馆和活动房屋等,最宜采用钢结构,因钢结构重量轻,便于搬迁,采用螺栓连接时,也便于装配和拆卸。建筑机械则更应采用钢结构。

5. 高耸结构和高层建筑

高耸结构包括高压输电线路塔架、变电构架、广播电视发射塔架或桅杆等。1956年建成的广州电视塔,高200 m,如图1.4所示。1972年建成的上海电视塔,高210 m。1977年建成的北京环境气象桅杆,高达325 m。这些结构主要承受风荷载,采用钢结构除了自重轻、便于组装外,还因构件截面小,减少了风荷载,从而能取得更大的经济效益。

层数在三、四十层以上的高层建筑,也都采用钢结构。

6. 容器和管道

高压气罐和管道,煤气柜和锅炉等都用钢板制成,因钢材强度高,且密闭性好。

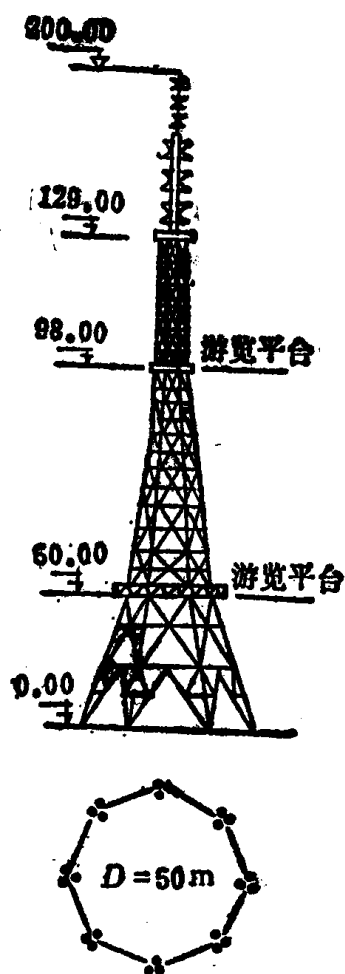


图 1.4 广州电视塔

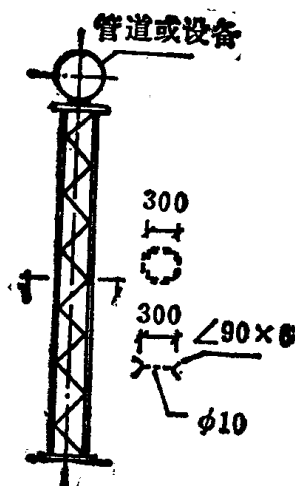


图 1.5 轻型支架

7. 轻型钢结构

荷载特别小的小跨结构以及高度不大的轻型支架(图1.5),常采用轻型钢结构,因为这些结构的自重起重要作用。例如采用轻屋面的轻钢屋盖,耗钢量比普通钢结构省25%~50%,

自重减小 20%~50%；用钢指标和钢筋混凝土结构接近，但结构自重却减轻了 70%~80%。

8. 其他构筑物

运输通廊、栈桥、各种管道支架以及高炉和锅炉构架等通常都采用钢结构。

以上是我国建筑钢结构应用范围的一般情况。在确定采用钢结构时，应从建筑物或构筑物的使用要求和具体条件出发，综合考虑经济效益。考虑方案时，不但要考虑结构方案的经济指标，还应考虑工期长短。采用钢结构常可缩短工期，由此使企业提前投产而带来的经济效益有时可能超出土建投资，这是采用钢结构合理性的一个重要指标。然而，由于我国目前钢产量还不高，钢材供应还较紧张，因此钢结构能缩短工期、提前竣工的优点尚未得到应有的重视。

第三节 钢结构的设计方法

设计钢结构时，必须满足一般的设计准则，即在充分满足使用要求的基础上，做到安全可靠，技术先进，确保质量和经济合理。

众所周知，结构设计中采用的各种数据常和实际情况有出入。例如：各种荷载值和设计采用值不可能完全一致，钢材强度（屈服点）和设计取值也不可能正好相同，甚至构件截面尺寸、长度和材料的容重等也都和设计取值有差异。所有这些区别和差异统称为变异性。因而在设计中采用的数据（如各种荷载和材料强度等）都是随机变量。为了设计的安全可靠、确保质量而又经济合理，必须充分而又合理地考虑这些实际情况与设计条件之间的差别。

过去，钢结构采用安全系数法（或称容许应力法）来进行设计。安全系数就是考虑上述实际情况与设计之间的差异，不论哪种构件，结构的哪部分，都凭经验取一个统一的安全系数。例如轴心受力构件的强度设计应满足下列条件：

$$\sigma = N/A \leq f_y / K = [\sigma] \quad (1.1)$$

公式的意义是：荷载引起构件中的应力不超过容许应力 $[\sigma]$ ，即屈服点 f_y 除以安全系数 K 。安全系数 K 就是考虑到实际情况带来的不安全诸因素。式中 N 是所有荷载引起的构件中的轴心力， A 是构件的截面面积。

这种设计方法虽然简单，计算方便，可以达到安全可靠的要求，但却不可能做到经济合理，技术先进。因为各种荷载的变异性并不相同，各种构件承受的荷载情况也不一定相同，不同构件的几何尺寸的变异也不完全一致，采用统一的安全系数显然不可能获得相同的安全度。有的会过分安全，有个别的可能不够安全。

本世纪五十年代中，开始出现了一种新的设计方法——按照极限状态的设计法。即根据结构或构件能否满足使用要求来确定它们的极限状态。一般地规定有两种极限状态。第一种是结构或构件的承载力极限状态，包括静力强度、动力强度和稳定等的计算。达此极限状态时，结构或构件达到了最大承载能力而发生破坏，或达到了不适于继续承受荷载的巨大变形。第二种是结构或构件的变形极限状态，或称为正常使用极限状态。达此极限状态时，结构或构件虽仍保持承载能力，但在正常荷载作用下产生的变形使结构或构件已不能满足正常使用的

要求,包括静力作用产生的过大变形和动力作用产生的剧烈振动等。各种承重结构都应按照上述两种极限状态进行设计。

极限状态设计法的合理性和先进性在于把各种设计参数(荷载、材料抗力等)作为随机变量,运用概率分析法考虑它们的变异性来确定设计采用值。这种把概率分析引入结构设计的方法显然比容许应力设计法先进,因而近代世界各国大都改用此法,或正在改变中。

设结构或构件的承载力为 R , R 取决于材料的抗力和构件的面积或抵抗矩等几何因素。如前所述,这些参数都是独立的随机变量,应该根据它们各自的统计数值运用概率法来确定它们的设计取值,设计值确定以后,结构或构件的承载力 R 也就确定了。

作用(包括各种荷载以及温度变化和地震等,以下简称荷载)对结构或构件产生的效应,即同时作用于结构或构件的若干种荷载分别引起结构或构件中产生的内力,这些内力的总和称为荷载效应,用 S 来表示。当然,各种荷载也都是独立的随机变量。同理,根据它们各自的统计数值运用概率法来确定它们各自的设计取值,这些荷载设计值选定以后,总荷载效应 S 随即确定。

当 $R > S$ 时,为安全; $R < S$ 时,为不安全;而 $R = S$ 时,是结构或构件的承载力极限状态,这就是极限状态设计法。由于在设计公式中对一些参数运用了概率法分别确定了它们的设计采用值,因而比只采用一个无所不包的统一安全系数 K 的容许应力设计法前进了一大步。我国从五十年代到1986年,钢结构设计规范就采用了这种设计法。

不过,过去采用的极限状态设计法还很不完善,还存在着以下一些欠缺。

第一,运用概率法确定某一随机变量的设计值时,必须拥有它的大量统计数值。上述设计方法中除少数几个参数(例如钢材的抗力,风荷载和雪荷载等)外,很多随机变量都缺乏统计,只是根据以往的设计经验确定了它们的设计值。第二,结构或构件的承载力 R ,只分别考虑了材料抗力和截面几何因素的变异性,这是简单地用材料抗力的变异性代替了结构或构件的变异性。第三,由若干个随机变量组成的结构或构件的承载力 R 和荷载效应 S ,它们是若干随机变量的综合,因此本身也是随机变量。上述设计方法中忽略了这一点,对 R 和 S 没有进一步作概率法处理。因此,过去我们采用的极限状态设计法,虽然把概率法引入了结构设计是一大进步,但却很不完善,只能称之为半概率极限状态设计法,属于半概率半经验的设计方法。

六十年代末,C. A. Cornell等人将极限状态设计法又向前推进了一步。把 R 和 S 作为独立的随机变量,提出了结构或构件的失效概率 P_f 的概念,用公式表示如下:

$$P_f = P(R - S < 0) \quad (1.2)$$

设计过程是进行 R 和 S 的概率运算,得出结构或构件的失效概率 P_f ,确定是否符合要求。我国目前规定3号钢构件的失效概率约为千分之一,对应的安全概率约为千分之九百九十九;低合金钢构件的失效概率约为万分之五,对应的安全概率约为万分之九千九百九十五。

显然,这种极限状态设计法又比前一种设计法前进了一步,基本上解决了前法存在的欠缺二和三,但对欠缺一还是没有完全解决,主要原因仍然是因为还有不少随机变量缺乏统计资料。因此,此法称为近似概率极限状态设计法。目前世界上有不少国家已经或正准备采用这

种设计方法,例如加拿大、美国和我国。

但是,运用公式(1.2)进行概率运算比较复杂,并非一般设计人员所能掌握。因此在上述方法的基础上,仍宜采用分项系数的表达式以供设计应用。我国钢结构设计新规范以近似概率法为基础,按照规定的失效概率的要求,校准了各随机变量的分项系数,提供了用分项系数表达的极限状态设计公式。

$$S = \gamma_0 \left(\gamma_G C_G G_K + \gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{Ci} \gamma_{Qi} C_{Qi} Q_{iK} \right)$$

$$R = f_K \cdot A / \gamma_R = f_d A$$

保证安全的条件: $S \leq R$

得

$$\gamma_0 \left(\gamma_G C_G G_K + \gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{Ci} \gamma_{Qi} C_{Qi} Q_{iK} \right) \leq f_d A \quad (1.3)$$

式中: γ_0 ——结构重要性系数,考虑到结构发生破坏时可能产生的后果的严重性,把结构分成一、二、三级三个安全等级,分别采用 1.1、1.0 和 0.9,工业厂房结构都属二级;

C ——荷载效应系数,即单位荷载引起的结构构件截面或连接中的内力,按一般力学方法确定,角标 G 指永久荷载,角标 $Q1 \sim Qi$ 指各可变荷载;

G_K 和 Q_{iK} ——分别为永久荷载和各可变荷载标准值,见荷载规范;

ψ_{Ci} ——第 i 个可变荷载的组合系数,取 0.6;只有一个可变荷载时,取 1.0;

γ_G ——永久荷载分项系数,一般采用 1.2,当永久荷载效应对结构构件的承载力有利时,宜采用 1.0;

γ_{Q1} 和 γ_{Qi} ——第一个和第 i 个可变荷载分项系数,一般情况可采用 1.4;

γ_R ——抗力分项系数,经概率统计分析:3 号钢和 16 锰钢取 1.087,15 锰钒钢取 1.111;

f_K ——材料强度的标准值,例如 3 号钢第一组为 235 N/mm²,16 锰钢第一组为 345 N/mm²,15 锰钒钢第一组为 410 N/mm²。焊缝系指熔敷金属的强度标准值;

f_d ——结构所用材料和连接的设计强度,例如钢材的抗拉设计强度(f)、抗剪设计强度(f_v)、角焊缝的抗拉、抗压和抗剪设计强度 f_t^w 等,见附录一和二。考虑到一些结构构件和连接工作的特殊条件,有时还应乘以调整系数,例如施工条件较差的高空安装焊缝和铆钉连接,应乘 0.9,单面连接的单个角钢按轴心受力计算强度和连接时,应乘 0.85 等,可参阅设计规范的有关规定;

A ——构件或连接的几何因素,如截面面积和截面抵抗矩等。

上式中 $Q1$ 是引起构件或连接最大荷载效应的可变荷载效应。对于一般排架和框架结构,由于很难区分产生最大效应的可变荷载,可采用以下简化式计算:

$$\gamma_0 \left(\gamma_G C_G G_K + \psi \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} C_{Qi} Q_{iK} \right) \leq f_d A \quad (1.4)$$

式中荷载组合系数 ψ 取 0.85。

上列各分项系数值是由校准法确定的。所谓校准法是使按公式(1.3)或(1.4)计算的结果,

构件或连接的失效概率基本上符合规定值。所谓基本上符合,是因为在不同的荷载组合时,只有采用不同的各分项系数才能符合规定的失效概率 P , 定值,这给设计带来困难。因此,用优选法选定各分项系数值,而使各不同荷载组合计算结构的失效概率 P , 值相差为最小。目前,在校准各分项系数时,因国内资料不全,利用了一些国外资料。今后应多方面积累统计资料,进一步提高我国的设计水平。

为了照顾设计工作者的习惯,将式(1.3)和(1.4)右侧的几何因素 A 移至左侧,可将公式再改写成应力表达式:

$$\gamma_0 \left(\sigma_{Gd} + \sigma_{Q1d} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \sigma_{Qid} \right) \leq f_d \quad (1.5)$$

或

$$\gamma_0 \left(\sigma_{Gd} + \psi \sum_{i=1}^n \sigma_{Qid} \right) \leq f_d \quad (1.6)$$

式中: σ_{Gd} ——永久荷载设计值 G_d 在结构构件的截面或连接中产生的应力, $G_d = \gamma_G G_K$, $\sigma_{Gd} = C_G G_d / A$;

σ_{Q1d} ——第一个可变荷载的设计值 Q_{1d} 在结构构件的截面或连接中产生的应力,该应力大于其他任意第 i 个可变荷载设计值产生的应力, $Q_{1d} = \gamma_{Q1} Q_K$, $\sigma_{Q1d} = C_{Q1} Q_{1d} / A$;

σ_{Qid} ——第 i 个可变荷载设计值 Q_{id} 在结构构件截面或连接中产生的应力, $Q_{id} = \gamma_{Qi} Q_{iK}$, $\sigma_{Qid} = C_{Qi} Q_{id} / A$ 。

当考虑地震荷载的偶然荷载组合时,应按抗震设计规范的规定进行。

关于结构构件或连接的疲劳强度计算,由于疲劳极限状态的概念还不够确切,暂时还沿用容许应力设计法。这种方法将在第二章中介绍。

结构和构件的第二种极限状态是正常使用极限状态。即在正常荷载(标准荷载)作用下产生的变形值 w 不得超过保证结构或构件满足正常使用要求的规定值。按下式计算:

$$w = w_{GK} + w_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} w_{QiK} \leq [w] \quad (1.7)$$

式中: w_{GK} ——永久荷载标准值在结构或构件中产生的变形值;

w_{Q1K} ——第一个可变荷载的标准值在结构或构件中产生的变形值,该值大于其他任意第 i 个可变荷载标准值产生的变形值;

w_{QiK} ——第 i 个可变荷载标准值在结构或构件中产生的变形值;

$[w]$ ——结构或构件的容许变形值,按规范规定采用。

对于很难区分产生最大效应的第一个可变荷载的情况,按下式计算:

$$w = w_{GK} + \psi \sum_{i=1}^n w_{QiK} \leq [w] \quad (1.7a)$$

当只有一个可变荷载的情况时:

$$w = w_{GK} + w_{Q1K} \leq [w] \quad (1.8)$$

有时,只需要保证结构和构件在可变荷载作用下产生的变形能够满足正常使用要求,这

时,上列公式中的 w_{0x} 可不计入。

第四节 新型钢结构在我国的应用和发展

钢结构由于本身具有较为优越的特点,因而是一种比较理想的结构。但因我国钢产量还较低,致使这种结构在我国的应用受到了一定的限制。目前,我国正处在以四个现代化为目标、规模宏伟的社会主义建设新时期,钢产量正在不断提高,钢结构的应用也会有相应的发展。

就近年来的情况看,新型钢结构在我国的应用和发展主要有以下三方面。

一、高效能钢材的应用

在日本和美国,都生产一种H型钢,翼缘宽而厚,如图1.6a所示。可直接用它作为梁和

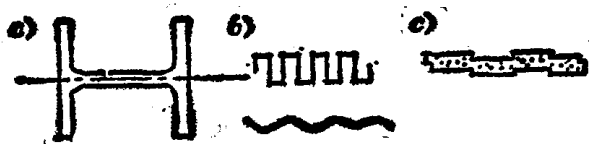


图 1.6 H型钢和压型钢板

柱,也可用两个H型钢组成重型实腹柱,采用高强度螺栓连接,安装方便而迅速,可大大加快施工速度。这类结构在引进的工业厂房中可以大量见到,例如宝山钢铁公司的很多结构都采用这种构件。从耗钢量来看,H型钢比格构式构件费钢,但从缩短工期看,综合经济效益还是较高的,因而有发展前途。在日本,七十年代才开始出现H型钢,但却成为日本钢结构发展的里程碑。到了八十年代,日本在新建的各种工业建筑中,钢结构竟占70%;由此可见,推广H型钢是重要的。我国目前已经有了定点生产厂(邯郸轧钢厂),但还只限于生产焊接H型钢,规格也不多,不能满足需要,还有待进一步发展。

压型钢板也是近年来从西方引进的一种新产品,是由厚度为0.5~1 mm的薄钢板模压而成。在其上浇灌混凝土后,可用做楼盖层,这时,它既是楼板的抗拉筋,又代替了模板(图1.6b)。图1.6c是用两层压型钢板组成的构件,钢板双面镀锌,各厚20~22 μ ,然后再涂四层塑料层,防腐防锈性能极好。两层压型钢板之间充填聚胺脂塑料。自重约100 N/m²。可用做屋面板、楼板、墙板和间隔墙板。我国在上海已有专厂生产,拥有引进的生产线和自制的生产线。

此外,冷弯薄壁型钢的经济性是众所周知的,不过目前产量不多,还不能满足需要。

钢材的耐腐蚀性差,需要油漆防护,这是钢结构的主要弱点,尤其是采用薄壁型材。近年来,国外研究出一种耐腐蚀钢,价格虽比普通钢材高20~40%,但耐腐蚀,不需要油漆。日本和美国都已大量用于沿海工程建设中。今后我国也应开展这方面的研究。

二、大跨度结构和高层结构

钢结构的优点之一是自重轻而强度高,因而特别适用于各类大跨度建筑物和高层建筑物。随着祖国四个现代化建设的发展,各种工业与民用大跨度建筑物以及一些高层建筑物的需求正在不断增长。