

高等院校 土木工程专业教材

GAODENGYUANXIAO

TUMUGONGCHENGZHUANYEJIAOCAI

钢结构

G A N G J I E G O U

主编 周俐俐 王汝恒 副主编 姚勇 郭铁惠 雷劲松

中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

知识产权出版社

www.cnipr.com



高等院校 土木工程专业教材 钢结构

主 编 周俐俐 王汝恒

副主编 姚 勇 郭铁惠 雷劲松

中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn



知识产权出版社

www.cnipr.com



内容提要

本书共分9章,内容包括绪论、钢结构的材料、钢结构的设计方法、钢结构的连接、轴心受力构件、受弯构件、拉弯与压弯构件、钢桁架与屋盖结构以及PKPM系列软件——STS设计钢桁架。书中各章列举较多的计算实例,每章附有题型丰富的思考题和习题。

本书按国家现行标准《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)编写,除介绍设计规范的有关规定外,更着重介绍了钢结构的基本概念和基本理论,理论和实践并重。书中着重增加一章,即PKPM系列软件——STS设计钢桁架,帮助学生可以快速掌握钢桁架的电算步骤。

本书可作为高等院校本科土木工程专业、网络教育本科土木工程专业以及建筑工程专业学生“钢结构”课程的教材,经过适当的取舍,也可作为网络教育专科、高等专科学校、高等职业技术学院房屋建筑工程专业学生的教材,还可供函授本(专)科、中专学生及工程结构设计人员等不同层次的读者参考阅读。

选题策划:阳 淼 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip.sina.com; z_baolin@263.net

责任编辑:阳 淼 张宝林

文字编辑:张 冰

图书在版编目(CIP)数据

钢结构/周俐俐,王汝恒主编. —北京:中国水利水电出版社:知识产权出版社,2009

高等院校土木工程专业教材

ISBN 978-7-5084-6795-5

I. 钢… II. ①周…②王… III. 钢结构-高等学校-教材 IV. TU391

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第150581号

高等院校土木工程专业教材

钢结构

主 编 周俐俐 王汝恒

副主编 姚 勇 郭铁惠 雷劲松

中国水利水电出版社 出版发行 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座;电话:010-68367658)
知识产权出版社 (北京市海淀区马甸南村1号;电话:010-82005070)

北京科水图书销售中心零售(电话:010-88383994、63202643)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售

中国水利水电出版社微机排版中心排版

北京市地矿印刷厂印刷

184mm×260mm 16开本 31.5印张 747千字

2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

印数:0001—4000册

定价:60.00元

版权所有·侵权必究

如有印装质量问题,可由中国水利水电出版社营销中心调换

(邮政编码100038,电子邮件:sales@waterpub.com.cn)

前 言

“钢结构”课程是一门综合性很强的专业课程。它涉及材料力学、结构力学、土木工程材料、机械学、结构设计理论、结构构件设计以及土木工程施工等方面的知识。有关钢材的国家标准及钢结构设计规范不断更新,本书就是根据国家现行标准《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001, 2006 年版)编写的。本书共分 9 章,主要内容包括绪论、钢结构的材料、钢结构的设计方法、钢结构的连接、轴心受力构件、受弯构件、拉弯与压弯构件、钢桁架与屋盖结构以及 PKPM 系列软件——STS 设计钢桁架等。

PKPM 系列程序是中国建筑科学研究院开发的土木建筑结构设计软件,其内容非常丰富,目前全国大部分建筑设计院都选用该系列程序进行建筑结构设计。本书特增加一章,即 PKPM 系列软件——STS 设计钢桁架,希望能够引导学生快速掌握钢桁架的电算步骤,掌握最基本的设计知识,一出校门就能尽快地胜任实际工作,然后再在实践中逐步提高。

本书内容丰富、翔实,编写体系简明扼要、重点突出,实用性强。除介绍了现行设计规范的有关规定外,本书更着重介绍了钢结构的基本概念和基本理论,理论与实践并重。每章列举了大量的计算例题和详细的图表,条理清晰,方便教学;每章还都安排有题型丰富的思考题和习题,可供读者学习和参考。

全书由周俐俐、王汝恒任主编,姚勇、郭铁惠、雷劲松任副主编。本书各章内容的编写具体分工如下:第 1 章,陈爽、姚勇;第 2 章,翁艳;第 3 章,陈爽;第 4 章,吴传文、姚勇;第 5 章,王亚莉、王汝恒;第 6 章,周俐俐、郭铁惠;第 7 章,戴烽韬、雷劲松;第 8 章,郭仕群;第 9 章,周俐俐、雷劲松;附录,陈爽。

本书可作为高等院校本科土木工程专业、网络教育本科土木工程专业以及建筑工程专业学生“钢结构”课程的教材;经过适当的取舍,也可作为网络教育专科、高等专科学校、高等职业技术学院房屋建筑工程专业学生的教材,还可供函授本(专)科、中专学生及工程结构设计人员等不同层次的读者参考阅读。

在编写本书的过程中，参考了大量的文献资料。在此，谨向这些文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，恳请读者惠予指正。

如选作教材，需要课件资料，可联系 E-mail: zhoulili@swust.edu.cn

编者

2009年6月

于西南科技大学大花园

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 钢结构的特点和应用	1
1.2 钢结构的发展	4
1.3 钢结构的结构形式	9
1.4 “钢结构”课程的内容、特点和学习方法	18
本章小结	19
思考题	19
习题	19
第 2 章 钢结构的材料	21
2.1 钢结构对钢材性能的要求	21
2.2 钢材的破坏形式	22
2.3 建筑钢材的主要性能	22
2.4 影响钢材性能的主要因素	28
2.5 钢材的疲劳	33
2.6 复杂应力作用下钢材的屈服条件	39
2.7 钢的种类和钢材的规格	40
本章小结	49
思考题	49
习题	50
第 3 章 钢结构的设计方法	52
3.1 概述	52
3.2 容许应力设计法	55
3.3 概率设计法	56
3.4 概率极限状态设计法	59
本章小结	63
思考题	63
习题	64
第 4 章 钢结构的连接	66
4.1 钢结构的连接方法	66
4.2 焊接连接基本知识	68

4.3 对接焊缝的构造与计算	79
4.4 角焊缝的构造与计算	86
4.5 焊接残余应力和焊接残余变形	109
4.6 螺栓连接的构造	116
4.7 普通螺栓连接的工作性能和计算	121
4.8 高强度螺栓连接的工作性能和计算	137
本章小结	147
思考题	149
习题	149
第5章 轴心受力构件	154
5.1 概述	154
5.2 轴心受力构件的强度和刚度	157
5.3 轴心受压构件的整体稳定	162
5.4 轴心受压构件的局部稳定	179
5.5 实腹式轴心受压构件的截面设计	184
5.6 格构式轴心受压构件的截面设计	190
5.7 轴心受压柱柱头的构造与计算	204
5.8 轴心受压柱柱脚的构造与计算	207
本章小结	213
思考题	215
习题	215
第6章 受弯构件	219
6.1 受弯构件的类型和应用	219
6.2 梁的强度和刚度	225
6.3 单向受弯梁的整体稳定	232
6.4 梁的局部稳定和腹板加劲肋设计	242
6.5 型钢梁的设计	260
6.6 组合梁的设计	271
6.7 梁腹板考虑屈曲后强度的设计	280
6.8 梁的拼接	282
6.9 次梁与主梁的连接	284
本章小结	292
思考题	293
习题	293
第7章 拉弯与压弯构件	297
7.1 概述	297
7.2 拉弯构件和压弯构件的强度和刚度	299
7.3 实腹式单向压弯构件的整体稳定	302

7.4 实腹式双向压弯、拉弯构件的强度和刚度	311
7.5 实腹式双向压弯构件的整体稳定	312
7.6 实腹式压弯构件的局部稳定	312
7.7 压弯构件的计算长度	315
7.8 实腹式压弯构件的截面设计	321
7.9 格构式压弯构件的截面设计	329
7.10 框架中梁与柱的连接	336
7.11 框架柱柱脚的构造与计算	339
本章小结	346
思考题	347
习题	348
第8章 钢桁架与屋盖结构	351
8.1 钢桁架与屋盖结构的组成及应用	351
8.2 屋盖支撑	359
8.3 钢屋架的设计	371
8.4 普通钢屋架的设计实例	399
本章小结	417
思考题	417
习题	418
第9章 PKPM 系列软件——STS 设计钢桁架	420
9.1 工程条件	420
9.2 平面建模	420
9.3 设计分析	430
9.4 绘制桁架施工图	433
本章小结	442
思考题	442
附录 钢结构设计资料	443
附录1 钢材的强度设计值	443
附录2 焊缝的强度设计值	443
附录3 螺栓连接的强度设计值	444
附录4 结构构件和连接的强度设计值折减系数	445
附录5 螺栓的有效截面积	445
附录6 螺栓、锚栓及栓钉规格	446
附录7 钢材和钢铸件的物理性能指标	450
附录8 疲劳计算的构件和连接分类	450
附录9 受弯构件挠度容许值	453
附录10 梁的整体稳定系数	454
附录11 柱的计算长度系数	457

附录 12	轴心受压构件的稳定系数	461
附录 13	热轧等边角钢和两个热轧等边角钢组合截面的截面特性	464
附录 14	热轧不等边角钢截面特性表 (按 GB 9788—88 计算)	468
附录 15	两个热轧不等边角钢组合截面特性表 (按 GB 9788—88 计算)	471
附录 16	热轧普通工字钢规格及截面特性 (按 GB 706—88 计算)	474
附录 17	热轧普通槽钢的规格及截面特性 (按 GB 707—88 计算)	475
附录 18	宽、中、窄翼缘 H 型钢的规格及截面特性 (按 GB/T 11263—1998 计算)	477
附录 19	剖分 T 型钢的规格及截面特性 (按 GB/T 11263—1998 计算)	481
附录 20	卷边 Z 形冷弯薄壁型钢的规格及截面特性	484
附表 21	冷弯薄壁卷边槽钢的规格及截面特性	485
附录 22	几种常用截面的回转半径近似值	487
附录 23	截面塑性发展系数 γ_x 、 γ_y	488
附录 24	碳钢焊条的型号及用途	489
附录 25	用于建筑钢结构的低合金钢焊条的型号及用途	490
参考文献		492

第1章 绪 论

本章要点

本章主要介绍钢结构的特点、钢结构的应用、钢结构的发展和钢结构的主要结构形式以及“钢结构”课程的内容、特点和学习方法。

通过本章学习,使学生掌握钢结构的特点及应用范围,了解钢结构的发展,了解钢结构的主要结构形式,掌握“钢结构”课程的学习方法。

1.1 钢结构的特点和应用

1.1.1 钢结构的特点

钢结构是土木工程的主要结构形式之一,以钢结构为主体的建筑是现代空间结构发展的主流,钢结构建筑与钢筋混凝土结构、砌体结构和木结构建筑相比具有一定的差异。钢结构建筑通常由型钢、钢管和钢板等制成的钢梁、钢柱和钢桁架等构件组成,有的还用钢绞线、钢丝绳(束)组成,采用焊缝、螺栓或铆钉连接。

与其他材料的结构相比,钢结构具有以下一些特点。

1. 材质均匀,力学性能好

钢材由钢厂生产,在冶炼和轧制过程中质量可以得到严格控制,材质波动的范围小,内部组织比较均匀,接近各向同性,而且在一定的应力幅度内几乎是完全弹性的,可视为理想的弹-塑性体材料。因此,钢结构的实际受力情况与工程力学的计算结果比较符合,从而,计算的不确定性较小,计算结果比较可靠。

2. 轻质高强,承载能力大

钢与混凝土和木材相比,虽然密度较大,但其强度较混凝土和木材要高得多,所以做成的结构质量比较轻。结构的轻质性可以用材料的密度与强度的比值 α 来衡量, α 越小,结构相对越轻。例如,钢材: $\alpha=(1.7\sim 3.7)\times 10^{-4}/\text{m}$;木材: $\alpha=5.4\times 10^{-4}/\text{m}$;钢筋混凝土: $\alpha=18\times 10^{-4}/\text{m}$ 。因此,在同样受力的情况下,钢结构与钢筋混凝土结构和木结构相比,构件较小,重量较轻。

在同样受力的情况下,由于钢结构的构件较小,而承载能力更大,因而可达到其他建筑材料难以达到的跨越能力,特别适用于建造跨度大、高度高和承载重的结构。

由于钢材的强度高,在同样的荷载条件下,钢结构构件截面小,截面组成部分的厚度也小,受压时需要满足稳定的要求。因此,稳定问题在钢结构设计中是一个十分突出的问题。只要构件及其局部有受压的可能,在设计中就应考虑如何防止失稳。有时局部的失稳还未达到构件承载能力的极限,则可以不加防止,并对屈曲后强度加以利用。

3. 塑性、韧性好

塑性和韧性是概念上完全不同的两个物理量。塑性是指结构或构件承受静力荷载时,材料吸收变形能的能力。塑性好,说明结构在一般情况下不会由于偶然超载而突然断裂,给人以安全保证。韧性是指结构或构件承受动力荷载时,材料吸收能量的多少。韧性好,说明材料具有良好的动力工作性能。然而,钢材的韧性并不是一成不变的,材质、板厚、受力状态和温度等都会对它有所影响。钢结构在低温和某些条件下,可能发生脆性断裂以及厚板的层状撕裂等,这些都应引起设计者的特别注意。

4. 密闭性好

钢材本身组织致密,具有良好的气密性和水密性,因而密不漏水 and 密不漏气的常压或高压容器结构和大直径管道等可用钢结构实现。

5. 制作简便,施工速度快

钢结构所用材料皆可由专业化的金属结构厂轧制成各种型材,加工制作简便,准确度和精密度都较高。因为钢结构的构件较轻,制成的构件可运到现场拼装,因此,可以采用安装简便的普通螺栓和高强度螺栓,有时还可以在地面拼装和焊接成较大的单元再行吊装,以缩短施工周期。小量的钢结构和轻钢屋架,也可以在现场就地制造,随即用简便机具吊装。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以根据需要进行拆迁。由此可见,钢结构的安装方便、灵活,且不受气候影响,工期短,生产效率高,为降低造价、发挥投资的经济效益创造了条件。

6. 耐热性好,耐火性差

钢材在表面温度不超过 200°C 时,其性能变化很小;但温度达到 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 以后,其强度和弹性模量显著下降;当温度为 400°C 时,钢材的屈服强度将降至室温下强度的 $1/2$;当温度达到 600°C 时,钢材基本损失全部强度和刚度。因此,钢结构的耐热性好,但耐火性差。

在温度不高于 200°C 的场合,如热车间,钢结构能发挥良好的耐热性;但当结构表面长期受辐射热达 150°C 时,应采用隔热板加以防护。

火灾是对钢结构建筑的最大危害,一旦发生火灾,未加防护的钢结构一般只能维持 20 分钟左右。从已发生的钢结构建筑火灾案例可以发现两类现象:一类现象是防火保护的钢结构在火灾中没有达到规定的耐火时间而破坏;另一类现象是防火保护的钢结构在火灾中超过了预期的耐火时间而没有破坏。建筑的构造防火问题一般在钢筋混凝土结构上较易解决,而在钢结构建筑上则需考虑更多的因素。因此,重要的结构或有特殊防火要求的建筑,必须注意采取防火措施,例如,在钢结构外面包混凝土、耐火砖或其他防火材料,或在构件表面喷涂防火涂料等。目前已经开始生产具有一定耐火性能的钢材,这是解决钢结构防火问题的一个方向。

7. 耐锈性差,耐腐蚀性差

钢材在潮湿环境中,特别是在处于有腐蚀性介质的环境中容易锈蚀。因此,新建造的钢结构应定期涂刷涂料加以保护,尤其是暴露在大气中的结构(如桥梁),更应特别注意防护。这就使钢结构的维护费用比钢筋混凝土结构的要高。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刷合格的油漆,锈蚀问题并不严重。目前,

国内外正在发展各种高性能的涂料和不易锈蚀的耐候钢, 钢结构耐锈蚀性差的问题有望得到解决。

钢结构由于自重轻和结构体系相对较柔, 所以受到的地震作用较小, 而且钢材又具有较高的抗拉和抗压强度以及较好的塑性和韧性, 因此, 钢结构已被公认为是抗震设防地区特别是强震区的最合适结构。采用钢结构后, 结构造价会略有增加, 往往影响业主的选择。实际上, 上部结构造价占工程总投资的比例是很小的, 所以, 采用钢结构与采用钢筋混凝土结构的结构费用差价占工程总投资的比例就更小。以高层建筑为例, 前者约为10%, 后者则不到2%。显然, 结构造价单一因素不应作为决定采用何种材料的主要依据。如果综合考虑各种因素, 尤其是工期优势, 钢结构将日益受到重视。

1.1.2 钢结构的应用

钢结构的应用范围不仅取决于钢结构本身的特性, 还受到国民经济发展情况的制约。从新中国成立到20世纪90年代中期, 钢结构的应用经历了一个“节约钢材”阶段, 即在土建工程中钢结构只用在钢筋混凝土不能代替的地方, 原因是钢材短缺; 新中国成立以来, 虽然大力发展钢铁工业, 但我国社会主义现代化建设规模宏大, 用钢量与日俱增, 钢产量却一直不能满足社会主义建设宏大规模的要求, 供需相比之下钢材仍然是比较短缺的; 直至1996年, 我国钢产量达到1亿t, 这种短缺的局面才得到了根本改变, 建设部编制了《1996~2020年建筑技术发展政策》, 提出了“合理使用钢材, 发展钢结构、开发钢结构制造与安装施工新技术”的政策。此后, 钢结构在土建工程中的应用日益扩展。例如, 发展钢结构住宅在建筑节能方面具有明显的优势, 能够提高住宅质量和人们的居住水准, 尤其是使用材料的环保性, 给社会带来了良好的综合效益。此外, 在现代化的建筑物中, 各类服务设施包括供电、供水、中央空调以及信息化、智能化设备, 需用管线很多, 钢结构易于与这些设施配合, 使之少占用空间。因此, 对多层建筑采用钢结构也逐渐成为一种趋势。

当前, 钢结构的适用范围大致如下。

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, 钢结构轻质高强的优点对于大跨结构特别突出, 典型的如我国人民大会堂的钢屋架、某些大城市体育馆的悬索结构和钢网架、飞机装配车间以及铁路、公路桥梁等。在工业建筑中, 大跨屋盖结构已不断增多, 今后随着现代化建设的进展, 将会不断出现更多的大跨度结构。

2. 重型工业厂房结构

在跨度、柱距较大, 有大吨位吊车的重型工业厂房以及某些高温车间, 可以部分采用钢结构(如钢屋架、钢吊车梁)或全部采用钢结构, 例如冶金厂的平炉车间、重型机器厂的铸钢车间、造船厂的船台车间等。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”, 就是车间里吊车的起重质量大(100t以上)或运行非常频繁, 这类车间的主要承重骨架往往全部或部分采用钢结构。例如, 新建的宝山钢铁公司, 主要厂房都是钢结构的。

3. 受动力荷载影响的结构

因为钢材具有良好的韧性,那些承受较大振动荷载、产生动力作用的厂房、装置内主管线带管架或荷载、变位均较大的特殊构架等,宜采用钢结构。此外,由于钢结构具有良好的延性,在地震作用下通过结构的较大变形可以有效地减小地震作用,因此,对于抗震能力要求高的结构,也是比较适宜采用钢结构的。

4. 高层建筑和高耸结构

当房屋层数多且高度大时,采用其他材料的结构,会给设计和施工增加困难。因此,高层建筑的骨架宜采用钢结构。近年来,钢结构在高层建筑领域已逐步得到发展,具有代表性的建筑如上海金茂大厦,其地上 88 层、地下 3 层,高达 365m。

高耸结构包括塔架和桅杆结构,如高压电线路的塔架、广播和电视发射用的塔架、桅杆等,宜采用钢结构。例如,上海的东方明珠电视塔高达 468m;1977 年建成的北京环境气象塔高达 325m,是五层拉线的桅杆结构。

5. 可拆卸的移动结构

需要搬迁或者拆卸的结构,或需要扩建和增加设备的架构,采用钢结构最为适宜,如建筑工地生产和生活用房的骨架、临时性展览馆以及救灾临时住房等。这是因为钢结构不仅质量轻,还可以用螺栓或其他便于拆装的手段来连接,施工方便。钢筋混凝土结构施工用的模板支架以及桥式起重机、塔式起重机和龙门式起重机等起重运行机械等,现在也趋向于使用工具式的钢桁架。

6. 容器和其他构筑物

用钢板焊成的容器具有密封和耐高压的特点,冶金、石油和化工企业大量采用钢板制作容器,包括油罐、煤气罐、热风炉、高炉等。此外,钢结构还广泛用于皮带通廊栈桥、管道支架、钻井和采油塔架以及海上采油平台等其他构筑物。

7. 轻型钢结构

当荷载较小时,使用质量轻的小跨结构就体现出了优越性,这时采用钢结构较为合理。这类结构多用圆钢、小角钢或冷弯薄壁型钢制作。冷弯薄壁型钢屋架在一定条件下的用钢量可以不超过钢筋混凝土屋架的用钢量。轻型门式刚架因其轻便和安装迅速,近 20 年来发展得如火如荼。

1.2 钢结构的发展

钢材是国民经济建设和国防建设中的重要材料。钢结构由于具有强度高、自重轻、可靠性强、密闭性好、工业化程度高、施工速度快等优点,一直是人们喜爱采用的一种结构,近百年来得到了快速的发展。随着我国经济建设的迅速发展和钢产量的不断提高,以及生产工艺的不断革新,钢结构也相应保持并扩大了其应用领域。21 世纪,在建筑用钢量比例上,钢结构与钢筋混凝土结构将分别出现增长与递减的趋势,且钢结构将主宰大跨度、重载荷、超高层及可移动结构物领域,并向中、小跨度延伸。钢结构的市场越来越广泛,我国钢结构的应用及发展应在合理地使用材料的基础上,不断创新合理的结构形式,更新设计理论和计算方法,充分发挥钢结构自身的优点,不断扩大其应用领域。

1.2.1 高效钢材的应用

钢材的质量和品种,直接影响钢结构的应用与发展。近年来,世界各产钢国竞相发展高效钢材。高效钢材是相对于普通钢材的统称,是指在一定环境和工作条件下,适用性好、社会综合经济效益高的钢材。与普通钢材相比,其优势主要表现为几何尺寸合理、性能更好、适用性广泛、节约金属、经久耐用、易于维护、使用方便。高效钢材包含的品种为低合金钢材、热强化钢材、经济截面钢材、表面处理钢材、冷加工钢材、金属制品等。

1. 低合金钢材

用低合金钢代替普通碳素钢,利用添加少量合金元素提高钢材的强度和改善其他一些性能,从而达到降低钢材用量和延长钢材使用寿命等目的,以取得良好的经济效益。各产钢国一般都结合其富有的合金资源大力开发低合金钢,我国亦是将开发低合金钢列为发展高效钢材中的重点,并已形成含锰、钒、钛、铌和稀土元素的低合金钢系列,且近几年发展速度较快。通常所说的低合金钢材包括高强度结构钢、耐腐蚀钢、耐腐蚀钢轨、高强度建筑钢筋等。

耐候钢(耐腐蚀钢),是低合金钢中需大力发展的钢种之一,由于耐候钢暴露在大气条件下时,表面可逐渐形成一层非常致密且附着力很强的稳定锈层,从而阻止外界腐蚀性介质的侵入,减缓金属继续腐蚀的速度。因此,耐候钢可大量节约涂漆和维护费用。近年来,一些国家的铁路车辆、桥梁和房屋建筑已较普遍地采用低合金耐候钢,经济效果显著。

2. 热强化钢材

热强化钢材系指经控制轧制、控制冷却和热处理的各类钢材,包括控制轧制钢材、控制冷却钢材、强化热处理钢材等。由于经热强化后,钢材的内部组织经过调整,其强度、韧性等均有显著提高,例如钢轨经热强化后,寿命可较一般的钢延长12倍。但我国的热强化钢材的品种及数量还很有限,尚需进一步的研制和发展。控制轧制法的利用目前也比较普遍,通过控轧、控冷,钢材强度大约可提高一个等级,韧性也有所改善,能显著节约钢材。

3. 经济截面钢材

经济截面钢材包括H型钢、T型钢、异形型钢、周期断面型钢、钢管及冷弯型钢、压型钢板等。由于截面形状合理,在用钢量相等的情况下,其截面惯性矩可比一般截面型钢的大,且使用方便,能高效地发挥钢材的作用,节约金属和降低钢结构制造费用。

热轧H型钢是经工字钢优化改进而来的经济断面形式,因其平行翼缘比工字钢宽,而其腹板又相对较薄,在工字形截面钢构件中,抗弯作用主要由翼缘承担,因此H型钢宽翼缘加上相应的薄腹板,其力学性能明显地优于工字钢。20世纪的五六十年代,发达国家已广泛应用H型钢。在材料用料相同的情况下,H型钢的实际承载能力比传统的普通工字钢大,而且对于梁、柱、桩,可根据其受力特性,选择工厂生产的不同类型的H型钢,以适应结构特点;节约钢材。

在我国,冷弯薄壁型钢结构的具体应用也有很多成功的工程实践经验,自20世纪60年代以来,已建造了约50万 m^2 ,并成功地用于跨度达30m的屋盖结构。

压型钢板在我国目前多用于建筑物的组合楼盖和围护结构(屋面和墙面)。组合楼盖

是将压型钢板置于梁上,并在其上浇灌混凝土。此时,压型钢板可以代替拉筋承受拉力,并与混凝土良好的受压性能结合,各尽所能,效果显著。

围护结构采用的压型钢板主要有彩色涂层钢板、镀锌钢板和铝合金板,它们可直接用作非保温的屋面板或墙板。例如,彩色压型钢板复合墙板具有质量轻、保温性好、色彩鲜艳、立面美观、施工速度快等优点,由于所使用的压型钢板已敷有各种防腐耐蚀涂层,因而还具有耐久性能好和抗腐蚀性能好的优点。彩色压型钢板复合墙板不仅适用于工业建筑物的外墙挂板,而且在许多民用建筑和公共建筑中也被广泛采用。由于压型钢板自重比传统的钢筋混凝土板轻得多,且制造、安装简便,外形美观,因此近年来在我国已得到较多应用。

4. 表面处理钢材

表面处理钢材是指经镀层、涂层、复合等表面处理的钢材。由于钢材表面经处理后,防腐性能得到改善,可使钢材的寿命延长 25 倍,是节约钢材的有效途径。表面处理钢材主要包括镀保护金属(锌、铝或锌铝合金)的镀层钢材(如镀锌钢板等)和涂有机物(油漆和塑料)的涂层钢材(如彩色涂层钢板)等,可适应各产业部门对耐蚀性、涂装性、焊接性和美观性等各种不同的要求,从而使之在汽车、电机和建材等方面的应用不断扩大。用覆层钢板制造冷弯型钢和压型钢板等经济截面,配套用于轻型钢结构或作围护结构用材,可降低维护费用,经济效果更为显著。

5. 冷加工钢材

冷加工钢材是指经冷轧、冷拔和冷挤压的钢材。由于产生冷加工硬化,故其强度大为提高,且表面光洁,尺寸精确,不仅可用于特殊用途,也可代替热轧钢材。冷加工钢材通常包括冷轧薄钢板(带)、冷轧(拔)无缝管、冷轧硅钢片、冷拉冷轧型钢材。例如,用得最多的冷轧薄钢板,由于强度较高,使用厚度相对较薄,一般可节约钢材约 30%,而生产费用仅增加约 10%,因此主要产钢国家都在努力发展。

6. 金属制品

金属制品一般是指各类钢丝、预应力高强度钢丝及钢绞线、线接触钢丝绳、异型股钢丝绳以及镀层与复合层钢丝(钢丝绳)等。由于经冷拔的钢丝及其制品(如钢绞线、钢丝绳等)有极高的抗拉强度,因此它与普通线材相比,可极大地节约钢材。钢丝、钢绞线除用于预应力混凝土结构外,钢绞线亦是钢结构中的悬索屋顶结构和悬索桥梁的主要用材。悬索结构是能最充分有效地发挥钢材性能特点的新型钢结构,也是节约钢材的有效途径。

综上所述,由于高效钢材具有良好的性能、截面形状合理等特点,因此可以大大节约钢材并延长其使用寿命。实践证明,高效钢材在使用中一般可以节约金属 15% 左右,有的品种节约金属更多,国外低合金钢的使用平均可以节约金属 30%。因此,大力发展高效钢材生产,是增加社会效益、缓和钢材紧缺矛盾的重要措施。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)和《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)[以下简称为《钢规》(GB 50017—2003)]优先推广高效钢材。例如,HRB400 级钢筋不仅强度高,而且黏结性能好,2000 年,经建设部与原国家冶金局协调后,我国钢厂已能生产且已生产出包括细直径在内的各种直径的 HRB400 级钢筋。因此,现行规范不仅在纵向受力钢筋上推广使用这种钢筋,而且在箍筋上也推广使用这种钢筋,这样可以明显降低钢筋用量。即使在分布

钢筋上推广使用这种钢筋,与光面的 HPB235 级钢筋相比,也可以有效地减小混凝土裂缝宽度。

1.2.2 设计方法的改进

1. 概率极限状态设计方法有待发展和完善

结构设计规范是实践和智慧的结晶,代表着一个国家结构设计理论发展的水平。作为标准,它不是一成不变的,而是随着科学技术的不断发展和对客观世界的新认识,在继承旧规范合理部分的同时,不断吸收新的研究成果,逐步修订和完善。工程结构设计经历了传统的容许应力法、概率设计法、极限状态设计法等阶段后,目前已进入以概率理论为基础的极限状态设计方法阶段。

概率极限状态设计方法本身也是由简单到复杂,还需进行不断完善。目前,我国以概率理论为基础的极限状态设计方法中,很多数据的研究分析及理论阐述尚需进一步的发展和完善,因为它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,同时也不适用于疲劳计算的反复荷载作用下的结构。对于板件屈曲后的强度、压弯构件的弯扭屈曲、空间结构的稳定问题、钢材的断裂理论问题等,都是今后有待发展的理论研究课题。

2. 组合结构、预应力结构、高层结构和钢管结构等的研究和发展

规范只对钢管结构及组合梁规定了一般的设计原则,很多设计问题还需逐步提高,以适应推广使用的要求。高层钢结构、预应力钢结构的优点还有待总结。

3. 计算机辅助设计的开发

国外采用计算机进行计算在设计工作中已越来越占据主要地位,结构设计上考虑优化理论的应用与计算机辅助设计及绘图都得到了很大的发展,所有概略的比较和计算都已用小型计算机进行,国外比较通用的钢结构设计计算软件有 XSTEEL、ANSYS 等。我国也相继开发了一系列比较好的软件,如中国建筑科学研究院的 PKPM 系列软件中 STS 模块,同济大学研究的 3D3S 软件、MTS 等。软件的开发离不开程序的开发,钢网架、轻钢结构的设计程序比较成熟,但是高层钢结构设计程序有待进一步研究。在高层钢结构设计,中弹塑性动力时程分析仍是难点。此外,钢结构住宅的通用程序也有待开发。

1.2.3 新型结构的采用

1. 轻型钢结构

2001 年,经国家经贸委批准,将“轻型钢结构住宅建筑通用体系的开发和应用”作为我国建筑业用钢的突破点,正式列入国家级重点技术创新项目。轻型钢结构的材料规格小,杆件细而薄,而且材料的调直、下料、弯曲成型、加工拼装以及构件的翻身搬运容易,不需要大型的专用设备,因此特别适合在中、小型工厂加工制造。轻型钢结构能使同样数量的钢材发挥出更大的作用,减轻结构自重,降低耗钢指标,降低工程造价。轻型钢结构主要用于不承受大载荷的承重建筑。例如,采用轻型 H 型钢(焊接或轧制,变截面或等截面)做成门式刚架支承;采用 C 形、Z 形冷弯薄壁型钢作檩条和墙梁;采用压型钢板或轻质夹芯板作屋面、墙面围护结构;采用高强度螺栓、普通螺栓及自攻螺丝等连接件和密封材料组装起来的低层和多层预制装配式钢结构房屋体系。

2. 空间结构

近年来,结构新材料的应用进一步推动了大跨度空间钢结构的发展,网架、网壳、钢管桁架结构等空间结构获得了广泛应用。20世纪60年代,网架在我国开始获得应用;到80~90年代,大、中、小跨度的网架几乎已遍及各地。以1990年北京亚运会为例,兴建的场馆中有7个采用了网架、网壳结构。在此期间,机械、汽车、化工和轻工等行业先后兴建了许多大面积工业厂房,也大量采用了多种形式的大跨度空间钢结构。尤其是近年来,大型公共建筑大多采用了钢管杆件直接会交的钢管桁架结构,它们外形丰富,结构轻巧,传力简捷,制作、安装方便,经济效果好,是当前应用较多的一种结构体系。这标志着我国房屋建筑由传统的平面结构体系向空间结构体系迈进了一大步。今后,除了配合开发高效钢材,挖掘潜力,改进平板网架的设计外,还应开发更加节约钢材的悬索结构。

3. 预应力钢结构

预应力技术不局限于混凝土结构,而且广泛应用于钢结构中。由于采用预应力钢结构,随着科学技术的飞速发展,一方面,工程建设要求扩大钢结构的应用;另一方面,又应该尽量节约钢材。缓解和解决这种矛盾的主要途径是:不断研究和改进现有的钢结构形式和设计理论,并创造新型的钢结构形式(包括组合或复合结构)。除节约钢材、减轻自重外,还应扩大其应用的范围,创造新型的独特建筑风格。在此过程中,预应力技术必不可少,应用预应力钢结构技术的基本思想是:采用人为的方法在结构或构件最大受力截面部位,引入与荷载效应相反的预应力,以提高结构承载能力(延伸了材料的强度幅度),改善结构受力状态(调整内力峰值),增大刚度(施加初始位移,扩大结构允许位移范围),达到节约材料、降低造价的目的。此外,预应力还具有提高结构稳定性、抗震性,改善结构疲劳强度,改进材料低温脆断、抗蚀等各种特性的作用。现在国外的发展趋势是:无论平面结构还是空间结构或塔桅结构,均广泛施加预应力,以达到减轻结构自重、节约钢材以及对结构的刚度加以改善的目的。我国在20世纪末期已研制、开发、采用各种形式的预应力空间钢结构建筑约80栋,充分显示出这类结构的众多特点和优势,具有强大的生命力,是空间结构发展的一种新趋向。在21世纪,预应力空间钢结构将会更加发挥其固有的特色和活力,拥有更为广阔的应用和发展。

4. 组合结构

随着材料、工艺和有限元分析技术的发展,新型钢-混凝土组合结构层出不穷。概括地讲,组合结构可分为以下两大类:一类是结构中采用了组合构件(由两种以上的材料通过黏结力、机械咬合力或连接件结合为整体共同受力的构件,从截面来看是两种异性材料的结合);另一类是由两种以上不同材料的构件组合为一种新的结构体系,并共同承担外荷载。前者主要有波形钢板箱梁、混凝土板和钢管桁架组成的空腹式箱梁、钢-混凝土组合梁、混合梁等;而后者则主要有梁拱组合结构、部分斜拉桥等。

组合结构利用钢与混凝土组合起来共同受力,并充分发挥各自的优点,有效地节约了钢材和模板,降低了造价。例如,组合结构中的劲性钢筋混凝土柱就是一种具有开发价值的结构形式。它是用钢构件作骨架再外包钢筋混凝土,这种组合结构柱在高层房屋建筑中使用时可有效地节约钢材,其强度、稳定性和抗震性能均较好。此外,还可弥补全钢结构用钢量过多和全混凝土结构截面过大的缺点,同时,其钢骨架在施工时可先作为承重骨