

钢结构 施工技术与管理

GANGJIEGOU

Shigong Jishu Yu Guanli

徐培臻 王东升 朱亚光 主编

山东省建造师人才培养战略研究成果丛书

钢结构施工技术与管理

徐培臻 王东升 朱亚光 主编

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书依据《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)和《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)编写。全书共分14章,主要内容包括钢结构的材料、钢结构的可能破坏形式、钢零件及钢部件加工工程,钢结构的连接和节点构造、组合结构、钢结构加工制作、钢结构安装常用机具设备、钢结构安装施工、网架结构工程安装、压型金属板工程、特种钢结构安装、钢结构维护维修、钢结构涂装工程施工等。

本书适用于建造师继续教育,也可供相关专业人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构施工技术与管理 / 徐培臻, 王东升, 朱亚光

主编. —徐州: 中国矿业大学出版社, 2013. 11

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2127 - 8

I. ①钢… II. ①徐…②王…③朱… III. ①钢结构—工程施工—施工技术②钢结构—工程施工—施工管理
IV. ①TU758.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第266369号

书 名 钢结构施工技术与管理

主 编 徐培臻 王东升 朱亚光

责任编辑 吴学兵

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 日照报业印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 22 字数 549 千字

版次印次 2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷

定 价 58.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

山东省建造师人才培养战略研究成果丛书

编审委员会

(建筑工程专业委员会)

主 任： 万利国

副主任： 宋瑞乾 岳宝德

主 审： 毕可敏 王华杰

委 员： (按姓氏笔画排序)

刁伟明 于文海 于军亭 王东升 王华杰

毕可敏 李 军 李 健 张尚杰 陈 文

周学军 徐友全 徐启峰 黄丽丽 梁泽庆

董林玉

《钢结构施工技术与管理》编委会

主 编： 徐培臻 王东升 朱亚光

序

我国在 20 世纪 90 年代初着手研究建立注册建造师制度。1997 年颁布的《中华人民共和国建筑法》规定:“从事建筑活动的专业技术人员,应当依法取得相应的执业资格证书,并在执业证书许可的范围内从事建筑活动”。2002 年,原人事部、建设部颁布《建造师执业资格制度暂行规定》,正式推出建造师执业资格制度。从建造师执业资格制度启动伊始,我省各级建设行政主管部门积极贯彻落实建造师执业资格制度,加强建造师考试、注册管理、继续教育等各项工作的宣传和管理力度,扎实推进了我省建设执业资格制度的发展。10 多年来,我省取得建造师执业资格的人员突破 15 万人,有力地促进了建筑业人才队伍的建设,对全省建设事业的健康发展发挥出越来越重要的作用。

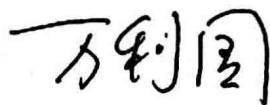
建造师执业资格制度是适应我国社会主义市场经济发展、加快工程建设领域改革开放步伐的一项重大举措。这项制度的建立,有利于发挥执业人员的技术支撑作用,降低资源和能源消耗、保护环境、控制工程建设投资成本;有利于规范我国建筑市场秩序,创造执业人员有序竞争的环境,规范执业人员的行为;有利于强化执业人员法律责任,增强执业人员责任心,确保工程质量和安全生产;有利于加强建筑业用工监管,防止拖欠农民工工资,促进社会和谐稳定;有利于加快我国建筑企业“走出去”步伐,提升我国建筑业国际竞争力。建造师应进一步解放思想,更新观念,牢固树立效益优先、创新创造、集约发展的理念,主动适应新形势要求,坚持与时俱进,及时更新知识,不断提高专业技能,严格遵守法律法规和建造师管理规章制度,全面推进建造师执业资格制度的健康发展。

注册建造师是工程项目施工管理的主要负责人,对工程项目自开工准备至竣工验收实施全过程组织管理。注册建造师的基本素质、管理水平及其行为是否规范,对整个工程项目的质量、进度、安全生产、投资控制和遵章守法起着关键作用。在我国全面建设小康社会的这一重要历史时期,注册建造师承担的责任和任务繁重而又艰巨,注册建造师要有一种历史的责任感,坚持“百年大计,

质量第一”和“安全第一,预防为主”的原则,用现代项目管理理论指导和组织实施项目管理。

为进一步加强注册建造师队伍建设,增强建造师服务建设事业的能力和水平,省建设厅执业资格注册中心组织山东建筑大学、山东交通学院、山东大学水利水电学院、中国海洋大学培训中心等单位,并邀请一批施工企业的优秀管理人员和建造师共同开展了山东省建造师人才培养战略研究工作,并组织编写了五个专题的一系列研究专著,作为建造师学习的教材和参考书目。希望全体建造师不断加强学习,全面提升熟练运用各种新技术、新工艺、新材料的能力,奋发进取,努力把我省建设事业提高到一个新水平,为把我省全面建成小康社会做出更大贡献。

山东省住房和城乡建设厅



2013年10月25日

前 言

近年来,建筑钢结构得到了前所未有的快速发展和大量应用,为满足广大工程技术人员钢结构学习的需要,我们组织编写了本书。本书根据高职高专院校土建类专业的教学要求,依据现行《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)和《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)编写。全书共分14章,主要包括绪论、钢结构的材料、钢结构的可能破坏形式、钢零件及钢部件加工工程、钢结构的连接和节点构造、组合结构、钢结构加工制作、钢结构安装常用机具设备、钢结构安装施工、网架结构工程安装、压型金属板工程、特种钢结构安装、钢结构维护维修、钢结构涂装工程施工。

本书从钢结构施工和管理的角度来编写,对钢结构工程施工过程中质量验收进行了论述。可作为高职高专院校土建施工类各专业教材,也可作为高校、岗位培训和相关专业人员的参考书。

本书在组织编写过程中,始终得到了山东省住房和城乡建设厅、山东省建筑工程管理局、中国海洋大学、山东建筑大学等部门的大力支持,得到了工程界专家的支持和帮助,参考了大量文献,在此谨表谢意。

限于编者水平,错误和不足之处在所难免,欢迎广大读者对本书使用过程中发现的错误、疏漏和不妥之处给予批评指正,不胜感激。

编 者

2013年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 钢结构的特点及应用	1
1.2 钢结构发展的历史、现状和趋势.....	3
1.3 钢结构的设计方法	9
1.4 钢结构的组成原理.....	17
第 2 章 钢结构的材料	19
2.1 对钢结构用材的要求.....	19
2.2 钢材的主要性能.....	19
2.3 影响钢材性能的因素.....	24
2.4 钢材的种类、规格和选用	28
2.5 材料质量要求.....	32
第 3 章 钢结构的可能破坏形式	39
3.1 钢材的延性破坏和脆性破坏.....	39
3.2 复杂应力状态下钢材的破坏形式.....	40
3.3 钢材的整体失稳破坏.....	41
3.4 钢材的局部失稳破坏.....	43
3.5 疲劳破坏和损伤累积破坏.....	44
3.6 结构的塑性破坏及应(内)力重分布.....	47
3.7 结构的脆性断裂破坏.....	48
3.8 防止钢结构各种破坏的思路.....	48
3.9 典型事故实例分析.....	48
第 4 章 钢零件及钢部件加工工程	53
4.1 质量要求.....	53
4.2 钢材的选用.....	55
4.3 钢材的代用.....	58
4.4 放样和下料.....	61
4.5 矫正和成型.....	67

4.6	结构对接·····	70
4.7	零、部件加工质量与保护·····	79
4.8	工程质量控制与检查·····	86
第5章	钢结构的连接和节点构造·····	96
5.1	钢结构对连接的要求及连接方法·····	96
5.2	焊接连接的特性·····	98
5.3	对接焊缝的构造和计算·····	103
5.4	角焊缝的构造和计算·····	107
5.5	焊接应力和焊接变形·····	114
5.6	螺栓和铆钉连接的排列和构造要求·····	119
5.7	构件拼接·····	124
5.8	节点构造对构件承载力的影响·····	135
第6章	组合结构·····	136
6.1	钢-混凝土组合结构·····	136
6.2	组合结构材料的力学性能·····	136
6.3	钢-混凝土组合楼盖结构·····	137
6.4	型钢混凝土组合结构·····	140
6.5	钢管混凝土组合结构·····	143
第7章	钢结构加工制作·····	149
7.1	钢结构设计图与施工详图·····	149
7.2	钢结构制作前的生产准备·····	154
7.3	钢构件的拼装·····	160
7.4	钢构件成品检验、管理和包装·····	165
第8章	钢结构安装常用机具设备·····	169
8.1	塔式起重机·····	169
8.2	履带式起重机·····	172
8.3	汽车式起重机·····	175
8.4	轮胎式起重机·····	179
8.5	其他起重设备·····	180
8.6	索具设备·····	182
8.7	机器设备的使用管理·····	185
第9章	钢结构安装施工·····	187
9.1	钢结构安装准备·····	187
9.2	钢结构安装施工·····	191

9.3	钢结构安装质量控制及质量通病防治	212
9.4	钢结构安装工程安全技术	224
第 10 章	网架结构工程安装	227
10.1	网架结构节点构造	227
10.2	网架结构拼装	228
10.3	网架结构的安装施工	233
第 11 章	压型金属板工程	265
11.1	压型金属板材料质量要求	265
11.2	压型金属板的选用	268
11.3	压型金属板的制作	269
11.4	压型金属板的安装	270
11.5	压型金属板工程的质量控制	275
第 12 章	特种钢结构安装	277
12.1	钢塔桅结构安装	277
12.2	膜结构安装	283
12.3	轻型钢结构安装	286
第 13 章	钢结构维护维修	293
13.1	钢结构的腐蚀特性	293
13.2	钢桥的防腐措施	295
13.3	防腐蚀涂料及涂装技术	296
13.4	钢结构的维修保养	301
第 14 章	钢结构涂装工程施工	308
14.1	建筑工程质量验收的划分	308
14.2	建筑工程质量验收	313
14.3	钢结构工程施工质量验收	323
附录 1		327
附录 2		338

第1章 绪 论

1.1 钢结构的特点及应用

1.1.1 钢结构的特点

钢结构是用钢板、热轧型钢或冷加工成型的薄壁型钢制造而成的。和其他材料的结构相比,钢结构有如下一些特点:

(1) 钢材的抗拉、抗压、抗剪强度相对来说较高,钢结构构件结构断面小、自重轻。钢与混凝土、木材相比,虽然密度较大,但其强度较混凝土和木材要高很多,其密度与强度的比值一般比混凝土和木材小,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,构件小,重量较轻。一般情况下,高层钢筋混凝土建筑物的自重 $1.5\sim 2.0\text{ t/m}^2$,高层建筑钢结构自重 1 t/m^2 以下,甚至有的办公楼只有 $0.5\sim 0.6\text{ t/m}^2$ 。

(2) 材料的韧性和塑性好,抗震性能好。塑性好,结构在一般条件下不会因超载而突然断裂,能将局部高峰应力重分配,使应力变化趋于平缓;韧性好,结构对动力荷载的适应性强。良好的吸能能力和延性还使钢结构具有优越的抗震性能。此外,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。

(3) 钢结构制作简单,施工周期短。钢结构所用的材料单纯而且是成材,加工简便,机械化施工,准确度和精密度较高。大量的钢结构一般在专业化的金属结构厂做成构件,构件在工地拼装,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。采用钢结构可为施工提供较大的空间和较宽敞的施工作业面。钢结构工程施工过程中柱子的吊装、钢框架的安装、钢筋混凝土核心筒的浇筑、组合楼盖的施工等,可以实行立体交叉作业。有时在上部安装柱和框架的时候,下部可以进行内部装修、装饰工程,以缩短施工周期。由于钢结构连接的特性,比较容易进行改建和加固,还可以根据需要进行拆迁。

(4) 钢材更接近于匀质和各向同性体。钢材的内部组织比较均匀,非常接近匀质和各向同性体,在一定的应力幅度内几乎是完全弹性的。这些性能和力学计算中的假定比较符合,所以钢结构的计算结果较符合实际的受力情况,给结构的安全可靠性提供了充分的保证。

(5) 钢结构的密闭性好。焊接的钢结构可以做到完全密闭,实现良好的气密性和水密性。在一些气罐、油罐和高压容器中得到广泛应用。

(6) 钢结构质量轻,占有面积小。钢材的密度虽比混凝土等建筑材料大,但钢结构却比钢筋混凝土结构轻,主要是由于钢材的强度与密度之比要比混凝土大得多。以同样的跨度承受同样的荷载,钢屋架的质量最多不过混凝土屋架的 $1/4\sim 1/3$,冷弯薄壁型钢屋架甚至

接近 1/10,使吊装更加方便快捷。钢结构占有面积小,实际上是增加了使用面积。高层建筑钢结构的结构占有面积只有同类钢筋混凝土建筑面积的 28%。采用刚接连接可以增加使用面积 4%~8%。这实际上是增加了建筑物的使用价值,增加了经济效益。

(7) 钢结构的耐热性好,但防火性能差。钢材耐热,在长期经受 100℃ 辐射热时,强度没有多大变化。但是随着温度的继续升高,钢结构强度会显著降低。因此,当周围存在着辐射热,温度在 150℃ 以上时,就应采取遮挡措施。如果一旦发生火灾,结构温度达到 500℃ 以上时,就可能全部瞬时崩溃。为了提高钢结构的耐火等级,重要的结构必须采取防火措施。通常采用在钢结构外面包混凝土或其他防火材料,或在构件表面喷涂防火材料等。目前已经开始生产具有一定耐火性能的钢材,是解决问题的一个方向。

(8) 钢材易于锈蚀,应采取防护措施。钢材在潮湿环境中,特别是处于有腐蚀介质的环境中容易锈蚀,必须刷涂料或镀锌,而且在使用期间还应定期维护,维护费用较高。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。

1.1.2 钢结构应用范围

根据钢结构本身的特性,从技术角度看,钢结构的合理应用范围包括以下几个方面:

(1) 大跨结构

结构跨度越大,自重 in 荷载中所占的比例就越大,减轻结构的自重会带来明显的经济效益。钢材强度高而结构重量轻的优势正好适合于大跨结构,因此钢结构在大跨空间结构中得到了广泛的应用。所采用的结构形式有空间桁架、网架、网壳、悬索(包括斜拉体系)、张弦梁、实腹或格构式拱架和框架等。我国人民大会堂的钢屋架、各地体育馆的悬索结构、钢网架和网壳,陕西秦始皇墓陶俑陈列馆的三铰拱架都是大跨度屋盖的具体例子。

(2) 工业厂房

吊车起重量较大或者其工作较繁重的车间的主要承重骨架多采用钢结构。另外,有强烈辐射热的车间,也经常采用钢结构。如冶金厂房的平炉、转炉车间,混铁炉车间,初轧车间;重型机械厂的铸钢车间、水压机车间、锻压车间等。结构形式多为由钢屋架和阶形柱组成的门式刚架或排架,也有采用网架做屋盖的结构形式

(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,其骨架直接承受的动力尽管不大,但间接的振动却极为强烈,可采用钢结构。对于抗震能力要求高的结构,采用钢结构也是比较适宜的。

(4) 多层和高层建筑

由于钢结构的综合效益指标优良,近年来在多、高层民用建筑中也得到了广泛的应用。其结构形式主要有:多层框架、框架—支撑结构、框筒、悬挂、巨型框架等。

(5) 高耸结构

高耸结构包括塔架和桅杆结构,如高压输电线路的塔架,广播、通信和电视发射用的塔架和桅杆,火箭(卫星)发射塔架等。

(6) 可拆卸的结构

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,因此非常适用于需要

搬迁的结构,如建筑工地、油田和需野外作业的生产和生活用活动房屋骨架等。钢筋混凝土结构施工用的模板和支架,以及建筑施工用的脚手架等也大量采用钢材制作。

(7) 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,海上采油平台也大都采用钢结构。

(8) 轻型钢结构

钢结构重量轻不仅对大跨结构有利,对屋面活荷载特别轻的小跨结构也有优越性。因为当屋面活荷载特别轻时,小跨结构的自重也成为一个重要因素。冷弯薄壁型钢屋架在一定条件下的用钢量可比钢筋混凝土屋架的用钢量还少。轻钢结构的结构形式有实腹变截面门式刚架、冷弯薄壁型钢结构(包括金属拱形波纹屋盖)以及钢管结构等。

从全面经济观点看,钢结构还具有更多的优越性。在地基条件差的场地,多层房屋即使高度不是很大,钢结构也因其质轻而显现出它的优越性。工期短,投资及早得到回报,是有利于选用钢结构的又一重要因素。钢结构易于和建筑物中各类服务设施包括供电、供水、中央空调和信息化、智能化设备配合,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。

1.2 钢结构发展的历史、现状和趋势

1.2.1 钢结构的发展历史

中国的钢结构产业在最近几年得到了长足发展,钢结构在国民经济建设的应用范围越来越广。钢结构工程是我国建筑行业中发展最为迅速的新行业,是绿色环保产品,是推动传统建筑业向高新技术发展的重要力量。钢结构的发展在我国主要分为四个阶段:初盛阶段(20世纪50年代至60年代)、低潮阶段(20世纪60年代中后期至70年代)、发展时期(20世纪80年代至90年代)和强盛阶段(2000年至今)。

1.2.1.1 初盛阶段(20世纪50年代至60年代)

1949年新中国刚成立,百废待兴,当时钢产量很低,每年仅135万吨(现已达5亿吨以上)。钢结构建设只有依靠苏联经济及技术援助,当时苏联援建156项重型工业工厂,包括冶金、重型机械、飞机汽车等工业,如鞍山钢铁厂、武汉钢铁厂、大连造船厂、哈尔滨飞机制造厂等。与此同时还在北京、沈阳、华东、华南、中南、西南、西北等地成立6大工业设计院,在北京、武汉、鞍山、重庆、包头、上海成立了6个钢铁设计院,先后成立了22个冶金建设部门及制造安装公司等。短短几年建设了不少钢结构工业厂房(钢柱、钢屋架、吊车梁),培养一大批设计、制造、安装方面的人才,为今后发展打下了坚实基础。当时,民用建筑钢结构工程不多,值得提出的有:1954年北京体育馆(57 m跨两铰落地拱)、1954年重庆人民礼堂(40.6 m肋环形钢穹顶)、1956年天津体育馆(50 m柱面联方钢网壳)、1959年北京人民大会堂万人礼堂(60.9 m大钢桁架)等。

1.2.1.2 低潮阶段(20世纪60年代中后期至70年代)

这个时期国家各部门钢材需求量增大了,但钢产量仍然不多,每年也只有2 000万吨,

国家提出节约钢材的政策,当时有人片面理解为不用钢结构,于是钢结构工程数量少了。在“文化大革命”时期更是一切都停了下来。通过广大工程技术人员的积极努力,才把使用多年的 1955 年版《钢结构规范》修订为 1974 年版《钢结构规范》。同时,也建造了一些大型的钢结构工程,当然和当前相比数量少多了。在提倡节约钢材的同时,国家又提出取消肥梁、胖柱、深基础的方针,于是出现了一批冷弯薄壁型钢的工程:如上海、韶关、桂林、十堰等地建造了数十万平方米的厂房、仓库等。由于节约钢材政策,平板网架工程得到了推广应用,特别是焊接空心球节点研究成功,全国各地中小跨度的焊接球节点平板网架比比皆是,与此同时,螺栓球节点网架也推广起来了。

1.2.1.3 发展阶段(20 世纪 80 年代至 90 年代)

这 20 年应当是钢结构发展的兴盛时间,由于钢结构具备了一些独特优点,已成为建设工程中的主要结构,特别是钢产量持续上升,在 1997 年达到了 1 亿吨,给我们发展钢结构创造了有利条件。1998 年我国已能生产轧制 H 型钢,为钢结构提供了新的钢型系列。

1.2.1.4 强盛时期(2000 年至今)

近 10 年的钢结构工程发展之快、范围之广,是空前的,我国也已堪称世界钢结构大国。2006 年钢产量 4 亿吨,居世界首位,这也为发展钢结构工程创造了有利条件。传统的空间结构如网架、网壳等继续得到大力推广,新型空间结构开始得到广泛的应用,如张弦梁、张弦桁架、弦支穹顶等。上海浦东机场、哈尔滨会展中心、上海会展中心、广东会展中心等都采用超过 100 m 的张弦桁架,这在世界上也极少见。当时广东白云机场和三个落叶状的广东体育馆都是采用了当时先进的空间结构。特别是几个运动场馆、博览场馆等更加大了采用空间结构的力度,如 2008 年北京奥运会新建的场馆,2009 年山东济南全运会场馆,2010 年上海世博会及广州亚运会场馆,2011 年深圳大运会场馆。值得提出的是,2008 年奥运会北京新建的 12 个场馆,它代表我国钢结构的技术水平。

1.2.2 钢结构的研究现状

随着人类社会在经济和科学技术方面的不断发展和进步,在钢结构领域也取得了不少新的进展。

1.2.2.1 结构用钢的新发展

国内外在高性能钢材的应用方面取得不少新进展,其中包括高强度高性能钢、低屈服点钢和耐火钢的开发和应用等。

我国新修订的《钢结构设计规范》中增列了性能优良的 Q420 钢,该钢材(15MnVN)已成功地应用在九江长江大桥的建设中。另外我国冶金部门制订了行业标准《高层建筑结构用钢板》(YB4104),该钢板是专门供高层建筑和其他重要建(构)筑物用来生产厚板焊接截面构件的。其性能与日本建筑结构用钢材相近,而且质量上还有所改进。我国有些企业正在试生产屈服点达到 100 N/mm^2 的低屈服点钢材,相当于日本的 LY100 钢,可用于抗震结构的耗能部件。有的企业正在开发耐火钢,该钢即使加热到 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 也能保持常温 $2/3$ 以上的强度。

日本在 1994 年制定了新的建筑结构专用钢材规格《建筑结构用轧制钢材(JISG 3136): SN 标准》。该种钢材的质量等级已不再按夏比冲击试验分类,而是按使用部位、提示有关需要分类。如 SN400A(相当于我国的 Q235A)只能使用在次要构件处于弹性范围的、原则

上非焊接的构件或部位;SN400B及SN490B(接近于我国Q345强度等级)是能保证塑性变形和焊接性能的钢材,使用在抗震结构构件和部位中;SN400C及SN490C具有非常好的抗层状撕裂性能,主要使用在如箱型柱的外部板材等需要板厚方向性能(Z向性能)的构件和部位中。SN B、C类钢材均对屈服点的上限值做出了规定,以防构件需塑性变形耗能的部位不能进入塑性屈服;并对碳当量及磷、硫的上限予以严格限制。SN C类钢材对硫的含量提出了更严格的限制,并规定生产厂家有义务进行超声探伤试验,以确保板厚方向的性能。目前日本国内建筑用厚钢板的70%为SN钢材。日本已开发出LY225钢、LY100钢等低屈服点钢和耐火钢(FR钢)。美国和欧洲等国家也在高强、度高性能钢材的研制和应用等方面做出了不少贡献。如美国生产的经调质处理的合金钢板A514,其屈服点高达690 N/mm²,并可用于焊接生产。

相对来说,我国钢材的种类和质量均不及工业发达国家的。如何研制开发新型高效钢材是摆在我国冶金战线科技工作者面前的一项重要任务。

1.2.2.2 新型结构体系的应用和发展

近年来,在全国各地修建了大量的大跨空间结构,网架和网壳结构形式已在全国普及,张弦桁架、悬挂结构也有很多应用实例;直接焊接钢管结构、变截面轻钢门式刚架、金属拱型波纹屋盖等轻钢结构也已遍地开花;钢结构的高层建筑也在不少城市拔地而起;适合我国国情的钢—混凝土组合结构和混合结构也有了广泛应用;目前好多地方都在建造索膜结构的罩棚和建筑项目。可以毫不夸张地说,我国已成了各种钢结构体系的展览馆和试验场。

各种不同的结构体系各有所长,但生命力较强的结构体系均具有如下特点:

(1) 必须是几何不可变的(除悬索、薄膜等张拉结构)空间整体,在各类作用的效应之下能保持稳定性、必要的承载力和刚度;

(2) 应使结构材料的强度得到充分的利用,使自重趋于最低;

(3) 能利用材料的长处,避免其短处;

(4) 能使结构空间和建筑空间互相协调、统一;

(5) 能适合本国情况,制作、安装简便,综合效益好。

目前我国正在进行大规模的基本建设,包括许多大型复杂的钢结构工程,选择先进合理的结构体系,既能满足建筑艺术的需要,又能做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量。目前有一种为追求建筑造型新奇、怪异,而不惜浪费钢材采用最笨重的结构形式的倾向是值得警惕的。

1.2.2.3 设计方法的新发展

目前我国采用的概率极限状态设计法的特点是用根据各种不定性分析所得到的失效概率(或可靠指标)去度量结构的可靠性,并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。但是该方法还有待发展,因为用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,该方法也不适用于构件或连接的疲劳验算。

目前大多数国家(当然包括我国)采用计算长度法计算钢结构的稳定问题。该方法的步骤是:采用一阶分析求解结构内力,按各种荷载组合求出各杆件的最不利内力,按第一类弹性稳定问题建立结构达临界状态时的特征方程,确定各压杆的计算长度;将各杆件隔离出来,按单独的压弯构件进行稳定承载力验算,验算中考虑了弹塑性、残余应力和几何缺陷等的影响。该方法的重大特点是采用计算长度系数来考虑结构体系对被隔离出来的构件的影

响,计算比较简单,对比较规则的结构也可给出较好的结果。

《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)在 5.3.3 条中列入了有支撑框架柱计算长度系数的有关条款,并给出了强、弱支撑框架的概念。认为弱支撑不足以阻止框架的侧移,其框架压杆的稳定系数可利用规范中查得的相应于有、无侧移框架柱的稳定系数经插值得求。该法计算比较简单,概念也较清楚,完善了有支撑框架的稳定计算方法。

计算长度法存在以下缺陷(以框架结构为例):① 不考虑节间荷载的影响,按理想框架分析失稳求特征值的方法求解稳定问题,得不到失稳时框架的准确位移,无法精确考虑二阶效应的影响;② 不能考虑结构体系中内力的塑性重分布,因此对大型结构体系常常给出保守的设计,使结构体系的可靠度高于构件的可靠度;③ 不能精确地考虑结构体系与它的构件之间的相互影响,无法在给定荷载下预测结构体系的破坏模式;④ 需要花费大量时间进行各构件的承载力验算,包括计算长度的计算;⑤ 不便于基于计算机的分析和设计。

要克服上述问题,必须开展以整个框架结构体系为对象的二阶非线性分析,即所谓高等分析和设计。此时,可求得在特定荷载作用下框架体系的极限承载力和失效模态,而无需对各个构件进行验算。目前欧洲钢结构试行规范(EN1993)和澳大利亚钢结构标准都列有二阶非线性分析或高等分析的条款。我国新规范列入了无支撑纯框架可采用二阶弹性分析的条款。上述的方法主要是用来计算内力的,然后还要验算构件的承载力,只是计算长度或取构件的实际长度,或者按无侧移框架确定计算长度。

应当指出,同时考虑几何非线性和材料非线性的全过程分析(高等分析)给出的结构承载能力,将同时满足整个体系和它的组成构件的强度和稳定性的要求,可完全抛弃计算长度 and 单个构件验算的概念,对结构进行直接的分析和设计。但目前仅平面框架的高等分析和设计法研究比较成熟,空间框架的高等分析距实用还有很大的一段距离有待跨越。

高等分析和设计方法的缺陷是:① 由于考虑了非线性的影响,对荷载的不同组合都需要单独进行分析,叠加原理不再适用;② 高等分析依赖于精确的计算模型,如果初选截面不合理,将耗费较多的时间调整截面;③ 构件的局部稳定和平面空间稳定必须确保,目前的高等分析还不包括这些方面的验算内容;④ 该法是基于计算机的设计方法,无法进行手算,因此计算程序的优劣将直接影响设计效率。

高等分析和设计是一个正在发展和完善的新设计方法,而且是一种较精确的方法,我们可以用其来评价计算长度法的精度和问题,提出有关计算长度法的改进建议。可以预期,在近期内这两种方法将并存,并获得共同的发展。今后,随着计算机技术的发展,高等分析和设计法将逐渐成为主要的设计方法。对于这一点,我们必须有清醒的认识,应加紧开展相应的研究,以便在下一次钢结构规范修订时能达到国际相同的水平。

1.2.3 日本高强度钢材的应用

日本是一个多地震国家,在钢材的使用上一方面开发高强度钢材,也希望在地震时钢材通过塑性变形吸收一部分地震能量。因此,从 20 世纪 60 年代,高强度钢迅速发展,除了强度外,还要有良好的抗震性能——塑性变形能力、抗裂性能和焊接性能等等,例如使用 500 MPa,600 MPa 级高强度钢。

为了满足低屈强比和可焊性,日本一些钢铁公司在钢材生产中调整了化学成分,利用计算机严格控制轧制过程中的温度和冷却时的速度,生产了被称为 TMCP 的高强度低屈强度

建筑用钢(见表 1-1)。该钢与先前的 JIS 规格钢材相比,有明显的差别,它对屈强比、碳当量和焊接裂缝致敏性作了新的限制性规定。表 1-2 列出了日本各大钢铁公司生产 TMCP 钢板的共同保证值。

表 1-1 日本各大钢铁公司生产的 TMCP 钢板

设计标准强度 f_c	330MPa	360MPa
相当 JIS 规格	SM490B	SM520B
新日本制铁	BG-HT325	BT-HT355
NKK	HIBUIL3250L	HIBUIL3550L
川崎制铁	MAC325	HAC355
住友金属	T-DAC325	T-DAC355
神户制钢所	KCLA325	KCLA325

表 1-2 建筑用 TMCP 钢板规格成分保证值

f_c	板厚	f_t	δ	化学成分/%					
MPa	mm	MPa	%	C	Si	Mn	P,S	C_{eq}	P_{cn}
325	≤ 50	490	21	0.18	0.55	1.60	0.035	≤ 0.38	≤ 0.24
	≥ 50	610	23	0.20				≤ 0.40	≤ 0.26
355	≤ 50	520	19	0.2	0.55	1.60	0.035	≤ 0.40	≤ 0.26
	≥ 50	640	21					≤ 0.42	≤ 0.267

近几十年来,日本开始研究和使用极限抗拉强度为 800 MPa 的钢材,而且已经开始研究应用 1 000 MPa 钢材。特别是,他们更着重于采用高强度钢材钢结构来减轻和避免地震对结构造成的破坏。日本的第一幢采用高强度钢材的建筑是位于横滨的 Landmark Tower 大厦,是 I 形截面柱采用了 600 MPa 钢材。日本东京的两幢高层建筑 JR East Japan 总部大厦和 NTV Tower 也采用了高强度钢材。现在,日本的设计公司正在研究采用高强度钢材,改变结构的自振频率,以减小结构在地震作用下的破坏。如图 1-1 所示。

我国钢材的强度值如今也随着规范的更迭逐步提高,高强度的起始值也在提高,例如《低合金高强度结构钢》规范,上次修改时用 GB/T 1591—88,强度标准中分为 Q295、Q345、Q420、Q460,质量级别为 A、B、C、D、E。而此次于 2009 年 10 月 1 日实施的 GB/T 1591—2008,做了以下调整的修改:

- (1) 扩大了标准的适用范围,增加了 Q500、Q550、Q620、Q690 强度级别,取消了 Q295 强度级别。
- (2) 修改了化学成分的规定,加重了对磷硫等有害元素的控制。
- (3) 增加了钢材碳当量及裂纹敏感系数的计算公式及规定。
- (4) 修改了钢材的交货状态,取消了调质钢的规定。
- (5) 修改了钢材力学性能值及厚度组距的规定,明确了屈服强度为下屈服强度。
- (6) 提高了冲击吸收能量值。
- (7) 增加了厚度方向性能方面的要求。