

钢结构界著名学者

陈绍蕃教授

领衔撰写

现代钢结构设计师手册

(上册)

西北电力设计院 组编
西安建筑科技大学

陈绍蕃 主编 陈传铨 顾强 副主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

现代钢结构设计师手册

(上册)

西北电力设计院 组编
西安建筑科技大学

陈绍蕃 主编 陈传铮 顾强 副主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本手册共有三篇：基础篇、设计篇、资料篇。本手册分上下册出版，上册为基础篇及相关的资料篇内容，下册为设计篇及相关的资料篇内容。

基础篇共有 10 章，介绍现代钢结构设计的背景知识，主要包括：钢结构材料、可靠度和极限状态、薄壁杆件内力计算、稳定问题、抗疲劳和抗脆断设计理论、框架和拱的计算、钢构件计算、钢结构连接和节点、钢结构抗震性能、设计中的结构试验。

设计篇共有 11 章，介绍各类结构设计特点和方法。内容覆盖除桥梁以外的常用钢结构，如围护结构和平面屋架、轻型刚架结构、重型厂房结构、多层房屋结构、钢与混凝土组合结构等，并有计算机辅助设计的内容。各章均附有设计算例。

资料篇提供和设计有关的数据、表格、计算公式等，除我国标准外还收入了国外资料供参考。

本手册由西安建筑科技大学有深厚理论水平的教授和西北电力设计院有丰富实践经验的高级工程师联合编写，范围全面，内容适应当前钢结构的发展形势，可以满足广大设计人员的需要。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代钢结构设计师手册. 上/陈绍蕃主编; 西北电力设计院, 西安建筑科技大学组编. —北京: 中国电力出版社, 2005

ISBN 7-5083-3422-1

I. 现... II. ①陈... ②西... ③西... III. 钢结构—结构设计—手册 IV. TU391.04-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 064302 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 1 月第一版 2006 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 33.5 印张 803 千字

印数 0001—3000 册 定价 66.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)



陈绍蕃 浙江海盐人,1919年2月出生,1943年毕业于重庆中央大学获硕士学位。西安建筑科技大学教授,我国首批博士生导师,曾任中国土木工程学会理事、中国钢结构协会常

务理事、钢结构稳定与疲劳协会副理事长、中国建筑金属结构协会专家组成员、全国钢结构标准技术委员会顾问委员、中国工程建设标准化协会轻型钢结构委员会顾问委员、中国金属学会荣誉会员、全国人大代表、中国民主同盟中央委员。

主要研究方向为钢结构基本性能 and 设计原理,是我国三代《钢结构设计规范》的主要起草人之一,是我国第一部《高层民用建筑钢结构技术规程》和《门式刚架轻型房屋钢结构设计规程》的主要编制人之一,还参与国际标准《钢结构材料与设计》的编制工作。编写教材《钢结构》(建设部优秀教材一等奖)、《钢结构设计原理》(国家“九五”重点教材、教育部推荐研究生教学用书),出版专著《钢结构稳定设计指南》。担任国际钢结构稳定性专著《金属结构稳定——世界观点》中国地区协调人。

多次获省部级和国家级科技进步奖,先后荣获“冶金工业部劳动模范”、“全国教育系统劳动模范”称号,享受国务院政府特殊津贴。

《现代钢结构设计师手册》

编 纂 委 员 会

主任：张文斌 雷克昌 陈绍蕃

委员：陈传铮 顾 强 杨万涛 赵春莲 马 驰 张满平

主编：陈绍蕃

副主编：陈传铮 顾 强

编写人员（上册）：

绪论、第一章、第二章	陈绍蕃
第三章	郝际平
第四章	惠 颖 郝际平
第五章	郭成喜 郝际平
第六章	郭成喜 惠 颖
第七章	惠 颖 陈绍蕃
第八章、第九章	顾 强
第十章	郭成喜
资料篇（上）	陈绍蕃

序

GB 50017—2003《钢结构设计规范》现已发布实施。为了更好地理解应用新规范,西北电力设计院与西安建筑科技大学联合编著《现代钢结构设计师手册》,为广大从事钢结构设计的专业工作者提供方便。本手册由我国著名的钢结构专家陈绍蕃教授担任主编,他是我国钢结构设计的开拓者,是一位在钢结构领域享有很高知名度的学者,其理论研究和学术水平得到国际学术界和组织的认可,在国内钢结构学术领域尤其在钢结构设计规范方面做出了巨大贡献。1974年由我国自行编制出版的第一部《钢结构设计规范》(TJ17—74),就凝聚了他不少心血。此后的20多年间,该规范历经两次修订,于1988年修订为国家标准GBJ17—88,到2003年再次修订为国家标准GB50017—2003,他每次都是该规范修订的主要参与者,为规范提出了许多开创性的修订意见。由他担任主编的这本手册,将会对国家标准GB50017—2003的深入理解和应用起到积极的推动作用。

本手册的内容包括基础篇、设计篇及资料篇。基础篇主要由西安建筑科技大学具有深厚理论及学术水平的教授编著,主要提供现代钢结构设计的背景知识,使设计师掌握钢结构在各种工况下的性能和达到极限状态的原理,从而建立清晰的设计概念。设计篇及资料篇主要由西北电力设计院具有丰富实践经验的教授级高级工程师、高级工程师编著,主要介绍各类结构设计特点和方法,内容覆盖除桥梁以外的常用钢结构和设计有关的数据、表格、计算公式等。这种分工方式,充分发挥了各自特长,优势互补,是一个良好的合作团队。

设计工作者需要具备的业务技术素质,除了工程经验以外,极为重要的是设计概念清晰,对设计对象的性能有明确的了解,而这种了解需要一定的理论知识。当今时代,设计规范越来越多地吸收新的理论研究成果,设计人员对这些成果有一定深度的了解,在工作中就不会盲目套用规范和生搬硬套前人的经验。况且设计规范往往滞后于学科发展的步伐,有的设计理论已经相当成熟,却未被规范所吸收。掌握这些理论,有助于设计人员在工作中发挥创新性。为此,这本手册编入相当篇幅的钢结构设计基础知识。

当前我国钢材产量已突破两亿吨,钢结构限制使用的条件不复存在,非重型钢结构日益普遍。为适应这一形势,这本手册拓展了范围,既包括重型建筑结构,也包括轻型建筑结构和塔桅结构。

在世界经济一体化加速的背景下,国际合作与交流日益广泛,国外设计机构已进入中国市场,国内企业实施“走出去”战略,承包的国外工程也越来越多。在这种情况下,本手册适当地介绍一些国际上钢结构设计的规定以供参考。

总之,本手册的编写原则和特点是适应当前钢结构发展的形势,以满足广大设计工作者的需要。

预祝《现代钢结构设计师手册》的成功出版,为我国钢结构设计事业发展做出新的贡献。

西北电力设计院 院长



2004年11月22日

前言

1. 本手册的编写原则和特点

长期以来钢结构工程设计主要依靠设计规范和工程经验,而设计规范除遵循经典的材料力学和结构力学外,很大一部分内容也以实践经验(包括科学实验)为依据。因此设计手册除了罗列设计规范的规定外,主要介绍典型结构的型式和布置方案、构件和连接的计算、构造的处理和比较完整的算例,并辅以便利设计工作的数据表格。对于设计经验不甚丰富的设计工作者来说,手册是经过整理和精炼的工程经验,有很大的参考价值。

这本手册编入相当篇幅的钢结构设计基本知识。其中,除了关于钢材的知识外,主要是和钢结构设计密切相关的力学计算理论,而这些理论在大学本科阶段未能包括,如薄壁构件内力分析,板件、杆件和结构的稳定理论,以及抗疲劳和脆断设计的理论基础等。这是本手册特点之一。

建国初期由于我国钢材产量低,钢结构的应用受到限制,只限于用在其他材料不能合理代替的结构,最典型的是重型厂房和大跨度桥梁。因此,我国较早出版的钢结构设计手册,内容均以重型厂房为惟一的或是主要的对象。当前我国钢材产量已突破两亿吨,钢结构限制使用的条件不复存在,非重型钢结构日益普遍。为适应这一形势,这本手册拓宽了范围,既包括重型建筑结构,也包括轻型建筑结构和塔桅结构。冷弯型钢是适合于结构轻型化的高效材料,在本手册中把它放在和热轧型钢及焊接构件同等的地位。但是,为了避免篇幅过于庞大,没有把钢桥结构包括在内。

当今世界经济趋于一体化,我国在改革开放以后和国外经济交流日益广泛。现在不仅国内已经建成一些国外设计的结构,我国承包国外的工程也愈来愈多。在这一情况下,本手册适当地反映一些国际上钢结构设计的规定。如国际标准 ISO/DIS 10721 对疲劳计算中的构造细部分类比我国规范详尽,又如剪切滞后计算我国规范还未包括,都列入以供参考。国外常用的钢材牌号也列入资料篇供参考。此外,有些尚未纳入规范的比较成熟的新方法,对有吸收价值者也做了一些介绍。

复杂结构的分析和设计,在采用手算的时代是一项烦琐而费时的事,现在正在由电算代替。基于这一情况,我们不把复杂框架的手算公式做详细介绍。另一方面,列入《计算机辅助设计》一章以适应新形势。

根据以上考虑,我们把手册的名称冠以“现代”二字。同时,鉴于手册包括设计工作者需要的基础知识,而不仅是设计中直接用到的资料,用“设计师手册”比“设计手册”似更确切。

2. 本手册内容简介

本手册分为三篇——基础篇、设计篇和资料篇。

基础篇分为十章。它的任务主要是提供现代钢结构设计的背景知识。这些知识有益于设计师掌握钢结构在各种工况下的性能和达到极限状态的原理,从而树立清晰的设计概

念。在第一章中,除介绍结构钢的品种、选用和验收外,还对影响钢材各方面性能的因素做较细致的分析,并适当联系金属学的基本知识。可靠度的研究近年来进展很快,在第二章中不仅介绍其基本概念,还反映了国际标准《结构可靠性总原则》1996版本的新内容和《建筑结构设计可靠度统一标准》的修订情况。第三至第六章分别论述薄壁构件内力计算、稳定问题、抗疲劳和抗脆断设计的理论基础、框架和拱的计算。无论是冷弯、热轧和焊接钢构件都属于薄壁构件,内力计算有其不同于实体构件的特点。在钢结构中稳定问题可以说是无所不在。设计钢结构不仅需要构件和板件屈曲的知识,还应了解屈曲的相关性和屈曲后强度的利用。疲劳寿命的计算已由单纯依靠实验进入用断裂力学分析。脆性断裂也需这门学科来解释。用柱稳定计算代替框架稳定分析,很难反映结构的真实承载能力,因此有必要考察框架整体稳定和弹塑性极限承载力,以及其实用计算方法。半刚性连接的框架和框架的空间工作也在第六章论述。第七、八两章主要介绍设计规范对构件(包括冷弯型钢)、连接和节点计算的规定。与此同时,也论述节点的刚度和变形能力。第九章论述钢结构抗震性能和有关的设计要求,包括构件、框架和节点。第十章论述设计中的结构试验,内容包括模型相似理论、试验数据处理和如何由试验结果引出抗力设计值,为设计创新提供资料。

设计篇分为十一章,提供各类结构设计特点和方法。内容覆盖除桥梁以外的常用钢结构,包括设计算例。第十一章综合论述围护结构和平面屋架。配合屋面结构轻型化,介绍了檩条在风吸力下的设计。用剖分T型钢代替双角钢充任桁架弦杆可以省工省料,方管(矩形管)桁架有很多优点。这两种结构型式在这一章中都有反映。采用变截面构件,并把边柱以外的柱子做成摇摆柱的轻型门式刚架结构,是第十二章的主要内容。这一章还论述门式刚架的塑性设计。第十三章重型厂房结构只阐述结构方案和主要构件的设计,不涉及平台、扶梯等次要构件,以免篇幅过大。吊车梁从厂房结构中分出来,列为第十四章,以便于结合论述抗疲劳设计的一般原则和构造措施。多层和高层房屋结构既有共同之处,又有不同特点,写成两章(第十五、十六章)需要适当分工。现在把楼盖设计和蜂窝梁放在多层一章,内力和位移计算则放在高层一章。半刚性连接适合于多层房屋,列入第十五章,支撑和剪力墙则在第十六章。第十七章大跨度房屋结构涉及多种结构型式,分别论述其特点,包括结构布置、结构分析、构件设计和节点构造。塔桅结构和房屋结构有很大不同,首先表现在所承受的荷载上。因此,第十八章列入结构的荷载。输电塔和电视塔功能上的差别造成结构上的差别,分为两节论述。钢与混凝土组合结构应用日益广泛,为此单独列为第十九章,除组合楼盖在第十五章论述外,本章包括组合梁、柱的设计和节点连接的设计。定期检查是保证结构长期使用的必要条件,加固设计和修复设计有许多不同于设计新结构的特点,这三方面的内容组成第二十章。第二十一章论述计算机辅助设计,包括建立计算模型和衡量计算结果等。

资料篇提供和设计有关的数据、表格、计算公式等资料,可分为以下几个方面:①钢材标准、热轧及冷弯型钢规格和截面特性、螺栓和锚栓规格。在H型钢和剖分T型钢规格表中增加了抗扭惯性矩。②钢材和连接的设计指标。③构件计算需用的资料,包括压杆稳定系数、框架和拱计算长度系数、双力矩计算公式、扇形惯性矩计算公式。④焊接代号和对焊焊缝坡口尺寸。⑤疲劳设计资料。⑥典型节点连接构造。⑦制作、安装允许偏差。

除我国资料外,钢材品种和疲劳计算等内容均吸收了国外资料。

另外,中国华电工程集团有限公司、喜利得(中国)有限公司、马鞍山钢铁股份有限公司对本书的编写和出版工作给予了大力的支持,在此一并感谢!

目

录

序
前言

基础篇——钢结构设计基础知识

绪论	3
1. 钢结构的特点及其应用	3
2. 钢结构设计的一般原则	4
3. 设计钢结构需要考虑的因素	10
4. 成为优秀的设计师	15
参考文献	16
第一章 钢结构的材料	17
1. 结构钢材的品种	17
2. 结构钢材的性能	32
3. 影响钢材性能的因素	38
4. 钢材的选用	48
5. 钢材的验收	55
参考文献	59
第二章 钢结构的可靠度和极限状态	60
1. 概率极限状态法的原理	60
2. 随机变量的概率分布和统计参数	63
3. 目标可靠指标	70
4. 可靠度设计计算表达式	73
5. 承载能力极限状态	76
6. 正常使用极限状态	81
7. 现存结构的可靠度评定	85
8. 保障可靠性的措施	88
参考文献	89
第三章 薄壁杆件的内力计算	91
1. 概述	91
2. 薄壁杆件的弯曲	92
3. 自由扭转的正应力和剪应力	101
4. 开口薄壁杆件的约束扭转	107
5. 闭口薄壁杆件的约束扭转	122

参考文献	127
第四章 钢结构的稳定问题	128
1. 稳定不同于强度的特点	128
2. 稳定的分类和屈曲后的行径	130
3. 扭转在屈曲中的作用	132
4. 变截面杆和变轴力杆的稳定	135
5. 构件失稳的相关性	143
6. 板件屈曲和屈曲后强度	156
7. 板件的相关屈曲	178
8. 增强杆件稳定性的支撑	181
参考文献	195
第五章 抗脆断和抗疲劳设计的理论基础	197
1. 钢结构脆性破坏及其原因	197
2. 脆断和疲劳研究的断裂力学方法	199
3. 影响疲劳破损的因素	203
4. 防止脆性断裂	208
5. 疲劳设计准则	211
6. 改善结构疲劳性能的措施	220
7. 低周疲劳	223
参考文献	225
第六章 框架和拱的计算	226
1. 框架分析的一般说明	226
2. 框架内力分析的近似方法	230
3. 变截面框架内力分析方法	233
4. 框架的稳定性和极限承载能力	235
5. 半刚性框架	243
6. 框架的空间工作效应	252
7. 拱的内力和稳定计算	254
参考文献	267
第七章 钢构件的计算	269
1. 轴心受力构件	269
2. 受弯构件	283
3. 拉弯和压弯构件	300
4. 构件中的板件计算	312
参考文献	330
第八章 钢结构的连接和节点	331
1. 概述	331
2. 焊接连接	331
3. 普通螺栓和铆钉连接	359
4. 高强度螺栓连接	371
5. 节点构造及设计原则	379
参考文献	396

第九章 钢结构的抗震性能	397
1. 概述	397
2. 受压板件的局部屈曲	397
3. 梁	400
4. 压弯构件	404
5. 支撑构件	409
6. 连接	412
7. 框架	418
第十章 设计工作中的结构试验	423
1. 模型和荷载设计	423
2. 与设计相关的结构试验	425
3. 抗力设计值的统计评估	427
参考文献	429

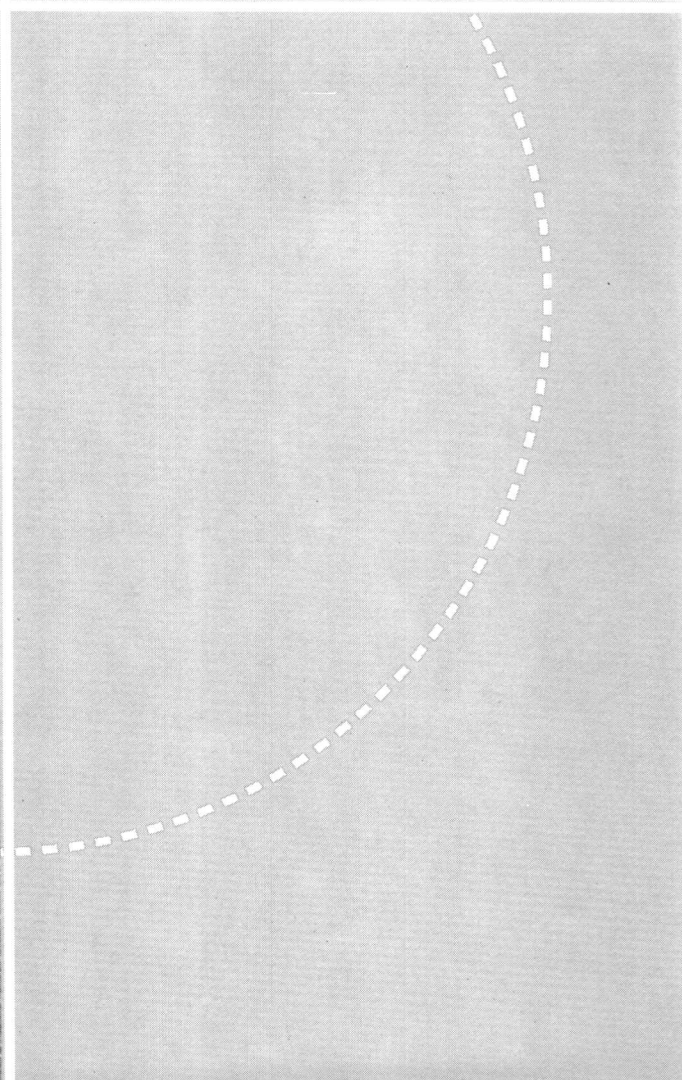
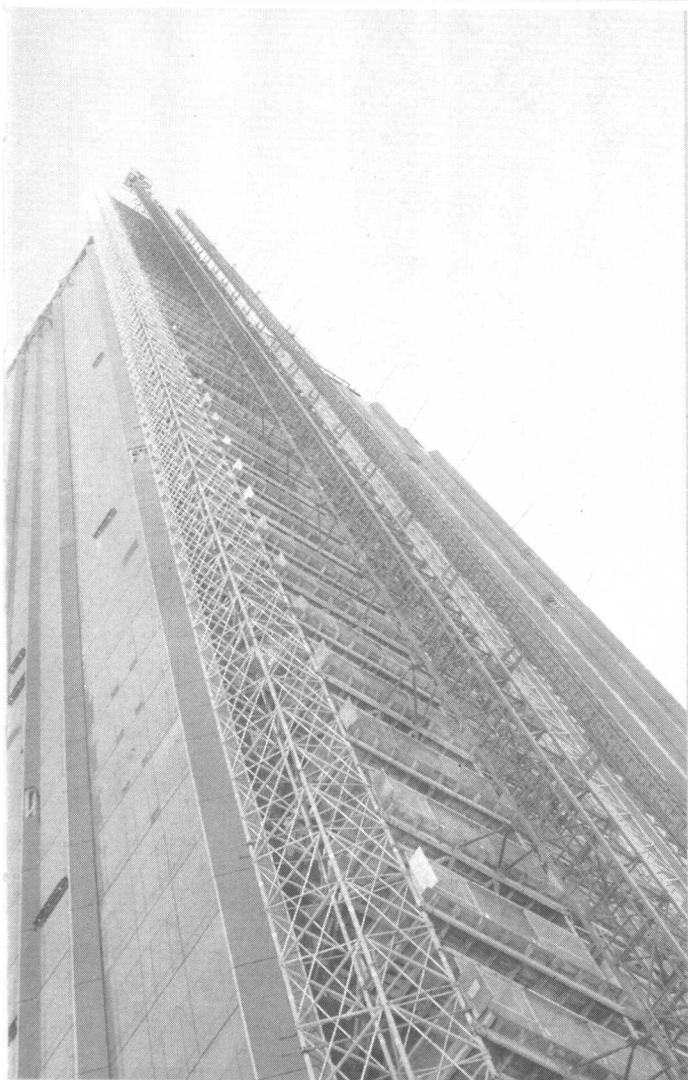
资料篇 (上)

Z1 钢结构材料	433
Z1.1 钢材的行业标准和企业标准	433
Z1.2 国外钢材标准	435
Z1.3 热轧型钢规格	452
Z1.4 冶标规定的焊接 H 型钢	465
Z1.5 冷弯型钢截面特性	470
Z1.6 常用结构钢材 CO ₂ 气体保护焊实芯焊丝的选配	479
Z1.7 螺栓和锚栓规格	480
Z2 钢材和连接的设计指标	481
Z2.1 GB50017 规范的规定	481
Z2.2 GB50018 规范的规定	483
Z3 构件计算的资料	486
Z3.1 热轧及焊接轴心受压构件的稳定系数	486
Z3.2 冷弯型钢轴心受压构件的稳定系数	489
Z3.3 GB50017 框架柱的计算长度系数	490
Z3.4 GB50018 刚架柱的计算长度系数	498
Z3.5 纯压拱平面内稳定计算长度系数	498
Z3.6 冷弯型钢截面特性的近似计算公式	499
Z3.7 简支梁的双力矩 B 的计算公式	503
Z3.8 单轴对称截面的剪心和扇性惯性矩	504
Z4 焊接代号和坡口尺寸	506
Z4.1 各种焊接方法及接头坡口形状尺寸的代号和标记	506
Z4.2 全焊透和半焊透焊缝坡口形状和尺寸	507
Z5 疲劳计算	517

现代钢结构设计师手册

基础篇

钢结构设计基础知识



绪 论

1. 钢结构的特点及其应用

1.1 钢结构的一般特性

钢结构成为现代土木建筑工程中主要承重体系之一，是它所具有的一系列优良特性决定的。从技术角度看，钢结构具有如下特点：

(1) 高强轻质。钢材的强度远远高于混凝土、砖石和木材。建造跨度很大或高度很大或荷载很重的结构时，钢结构是惟一的选择。在多层房屋中用钢结构，由于强度大而柱截面积小，带来很好的经济效益。所谓轻质是相对于强度而言的，可用下列指标来衡量：

$$c = \rho / R \quad (0-1)$$

式中 c ——轻质指标；

ρ ——材料密度；

R ——材料抗力。

低碳钢的轻质指标为 $3.6 \times 10^{-4}/\text{m}$ ，C30 号混凝土为 $1.85 \times 10^{-3}/\text{m}$ ，前者仅为后者的 1/5。轻质指标越小，则做成跨越结构时结构自重和有效荷载相比越小，材料效能发挥越大。

结构质量轻，对运输和安装都十分有利。以同样的跨度承受同样的荷载，钢屋架的质量最多不过是钢筋混凝土屋架的 1/3 ~ 1/4。冷弯薄壁型钢屋架甚至可达 1/10，接近钢筋混凝土屋架的用钢量。在高层建筑中每平方米面积钢结构的重量为钢筋混凝土结构的 1/1.3 ~ 1/1.8，既减轻地基的负担又减小地震反应。轻钢屋架配合轻质屋面板，对抗震十分有利。

轻质也有其不利的一面。轻质的屋盖结构对可变荷载的变动比较敏感。冶金和化工企业的房屋若屋盖积灰过多而不及时清扫，会使屋架超载甚至塌落。前苏联不止一次出现过这类事故。位于沿海地区的房屋，如果对飓风作用下的风吸力估计不足，则屋面系统有被掀起的危险。

(2) 延性和韧性好。建筑结构用的钢材具有极好的延性，这是保证结构不致坍塌的优良性能。建筑结构钢材还具有良好的韧性，对动力荷载适应性强。在地震作用下正确设计的钢结构能充分吸收能量而安然无恙。

(3) 工期短而精度高。钢结构在工厂做成构件再运至工地安装。现代化的金属结构厂都配置有自动化生产线，加工迅速而精度高。构件运至工地后采用机械吊装，施工期限很短，且不要求较大的场地面积。精度高有利于墙板、屋面板和门窗等部件的迅速安装。

(4) 易于拆迁改造和加固。临时性的钢结构可以采用螺栓连接，易于拆除和转运到新址重新安装。对已建成的钢结构进行改造或加固，要比钢筋混凝土结构方便得多。

(5) 耐火性差。钢材在温度升至 150°C 以上时，力学性能开始下降，表现为弹性模量、比例极限和屈服点不同程度地降低。温度升至 600°C 时钢材变成完全塑性，丧失抵抗

外力的大部分能力。火灾温度可以远远超过 600°C ，而钢结构升温快，所以耐火性差。需要对它采用必要的防火措施，如喷涂防火材料或包以保护层。耐火钢的问世正在逐渐改变这种局面。

(6) 耐腐蚀性低。钢材容易生锈，钢构件必须涂漆以防锈蚀，增加了维护费用。这是比钢筋混凝土不利的一个方面。采用端部封闭的方管、圆管构件，可以减少涂漆面积，降低维修费用。如果在有侵蚀性介质的环境中使用钢结构，应采用不易腐蚀的耐候钢。它的价格高于普通结构钢。

1.2 钢结构的应用

在设计中选用钢结构还是钢筋混凝土或其他结构，取决于技术和经济两方面因素，需要根据具体条件分析确定。从技术上来说，基于上述特点，跨度很大的桥梁和屋盖结构，高度很大的塔桅结构和超高层建筑，荷载很重的重型厂房结构，以及需要转移的临时性结构都非钢结构莫属。此外，在服役中经常移动的如起重机结构，也需要借助钢材的轻质高强特性。在社会主义市场经济条件下，需要在设计中树立全面的经济观点。在地基条件差的场地，即使多层房屋高度不是很大，钢结构因其质轻而降低基础工程造价，可能仍为首选。在地价高昂的区域，钢结构以其占用面积小而显示其优越性。同样的有效使用面积，钢筋混凝土结构由于构件尺寸大，占地面积要大一些。工期短，资金及早得到回报，也是有利于选用钢结构的重要因素。施工时需要场地面积大小，也是是否使用钢结构的一个条件。此外，现代化的建筑物中各类服务设施包括供电、供水、集中空调和信息化智能化设备，所需管线很多。钢结构易于和这些设施配合，使之少占用空间，如钢蜂窝梁在容纳管线通过方面就充分显示其优越性。

建国初期我国钢产量低得可怜。虽然 20 世纪 50 年代以来钢铁工业发展迅速，但由于建设规模庞大，钢材在很长时期属于短缺产品，使钢结构的应用受到很大限制。改革开放 20 余年后情况已经完全不同，钢产量已突破 2 亿 t 并跃居世界首位。新的建筑技术政策已由限制使用转变为“积极、合理、较快速地发展钢结构”。钢结构的实际应用领域已有不小的扩展。上海金沙江大酒店地上 14 层地下 2 层，采用了全钢结构。大量轻型门式钢框架结构如雨后春笋般出现在沿海各地。虽然由于长年积习的影响，一些设计人员或许更愿意沿用熟悉的钢筋混凝土结构，但随着时代发展，钢结构的推广应用必将日益兴盛。

2. 钢结构设计的一般原则

设计钢结构首先应该符合国家的技术经济政策，做到技术先进、经济合理、安全适用和确保质量。

2.1 技术先进

科学技术总是不断向前发展，钢结构也不例外。回顾建国以来半个世纪，铆接已经被焊接和高强螺栓连接所代替，冷弯型钢和高强钢材的应用为结构的轻型化开辟了途径，原来主要凭借经验来确定的构件如支撑有了基于理论的计算方法，以概率为基础的极限状态法使结构设计更好地反映真实的可靠度。科学技术的进步比较充分地体现在国家的设计规范不断地修订更新，然而规范难免在某一些问题上滞后于科学技术的发展。当有充分根据时，并不排除在设计中采用规范没有包括的新技术。当前世界经济日渐趋于一体化，如果我们故步自封，设计水平停滞不前，就会在结构工程领域缺乏竞争力。经常了解国内外钢

结构技术发展的情况,探索应用新技术的可能性,是钢结构设计师的责任。在把新技术用于设计时,应该确认所依据的资料充分而且翔实。配合新型结构的出现,应该进行模型或真形试验,以检验结构的实际性能是否和理论计算相符合,设计中有无未考虑到的因素。设计工作中的试验将在第十章中论述。

2.2 经济合理

拿出既保证安全又造价较低的设计方案,是在投标竞争中获胜的条件。从钢结构来说,降低造价有以下一些途径。

2.2.1 选择适宜的结构方案

适宜的方案是实现经济合理的重要手段。空间结构体系一般比平面体系更有效地利用材料。以屋盖结构为例,平面屋架需要由纵向构件和斜撑连成整体。这些次要构件或是不参与承重,或是只承受不大的风力和支撑力,截面积经常得不到充分利用。作为空间结构的网架,其纵、横构件和斜杆都参与承重体系,钢材的利用更为充分。同时,满足刚度要求的网架高度也比单向传力的平面桁架低,从而可以减少建筑物的墙体和采暖空间。

对一种杆件赋予多种功能是节约材料的好办法。在高大的厂房中柱子的间距很大,而屋架的间距只有柱距的几分之一。通常的做法是在相邻两柱之间设置托架以支承中间屋架。宝钢无缝钢管厂有一列柱距达到 48m。设计中在跨长 48m 的箱形吊车梁上立起短柱来支承高跨的中间屋架,低跨屋架则与箱形吊车梁侧面相接(如图 0-1 所示)^[0.1]。省去托架可获得不小的经济利益。

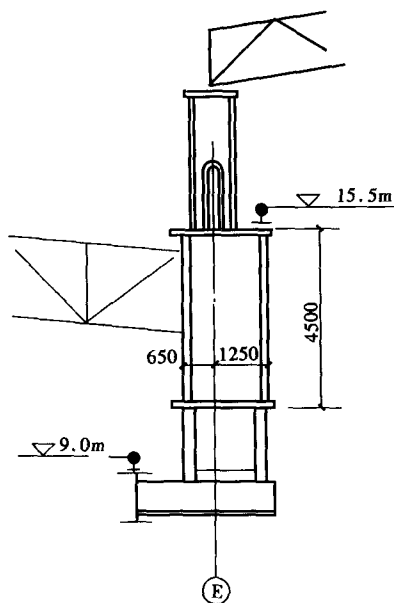


图 0-1 兼任托架的吊车梁 (单位: mm)

在确定结构型式之后,构件布置还有很大灵活余地。材料的集中使用有可能获得节约效果。高大的厂房框架柱距宜放大一些,不仅吊装时构件数目少,耗钢量还有可能降低。宝山钢铁公司处在软弱地基区,厂房采用 18m 或 24m 为基本柱距,而不是 6m 或 12m。随着柱数减少,基础工程的费用相应减少。

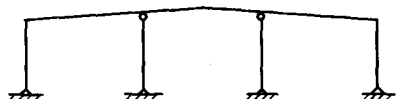


图 0-2 多跨门式框架

单层多跨门式框架经常把中柱做成上下两端铰接,只有两侧柱与梁刚性连接(如图 0-2 所示)。这样,承担侧力和提供侧向刚度的任务都集中在两侧柱上。它们的高度较小,除轴压力外还承受弯矩,截面积较大,因而长细比较小,钢材的作用发挥得比较充分。同理,多层房屋由梁柱组成刚架来抵抗侧力时,只需一部分梁和柱刚性连接,其余则做成铰接,既节约材料又简化结构构造,便利安装。

材料的集中使用还体现在构件的大型化上。图 0-3 给出美国堪萨斯市一座体育馆主要承重结构的简图。这里采用了三座相距 46.65m 的格构式空间框架作为基本承重体系。

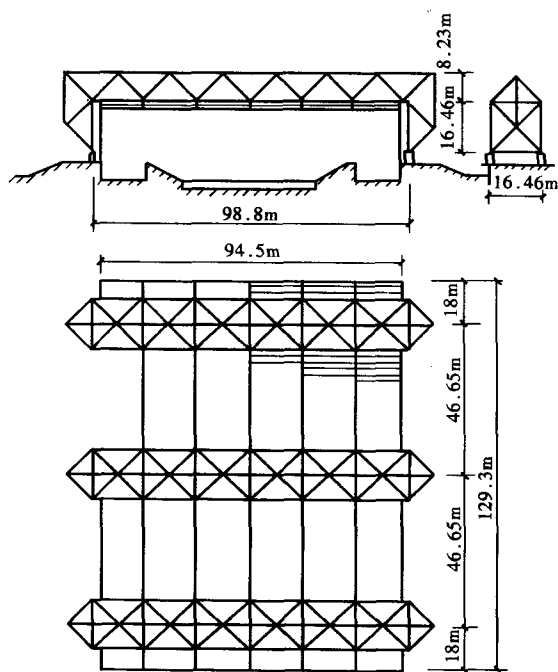


图 0-3 空间框架体系

2.2.2 充分发挥材料潜力

钢材用作受拉构件，最能充分发挥它的潜力，因为拉杆的全部截面都可受力到钢材的强度设计值。压杆的截面积由稳定性控制，强度设计值需乘上稳定系数加以折减。长细比越大，材料潜力利用的程度越低。受弯构件如果以边缘屈服为承载极限，截面上相当一部分材料处于低应力状态，不能充分发挥作用。如果允许发展塑性，静定梁以截面形成塑性铰为限，超静定梁以出现多个塑性铰后形成机构为限，则材料才能充分利用。在钢结构设计中多用拉杆少用压杆，是节约材料的一个有效途径。悬挂体系充分体现这一概念。图0-4给出香港一幢47层银行大楼的结构（地下部分未示出）。两个巨大的主柱和每隔几层设置的桁架一起形成巨大的框架。各层楼板都悬挂在桁架的下弦节点^[0.2]。整个建筑有四榀巨型框架，间距16.2m。桁架的高度相当于一般层高的2倍。结构的主要承重体系只有为数不多的柱子。荷载集中作用于这些柱，它们的长细比就不会很大。悬索结构利用强度很高的钢索作为受拉构件，用于大跨度结构的承重体系十分有利，将在第十七章论述。

充分发挥受弯构件中钢材的潜力，首先注意不使整体失稳控制设计，然后或是采用塑性设计或是把腹板设计得很薄并利用其屈曲后强度。这两方面分别在第十二章和第四章论

框架自身形成几何不变体系，不需要支撑来扶持。在框架间吊挂纵向桁架、檩条和屋面。框架属于外露结构，不占用建筑物的空间^[0.2]。大型化的构件，难免要用较厚的钢材，需要设计者关注材质和保证焊接质量的措施。

材料是否集中为好，需要具体分析。多层房屋的外柱，和高大的厂房相反，排列密些可能更为适宜。民用房屋的楼层不高，外柱密排（间距1.5~3.0m），可直接连接墙板，无需在柱间设置墙架柱或窗柱。外柱截面深度小，还可节省建筑物的有效面积。什么情况下采用多大柱距合适，在经验不足时宜通过方案比较做出选择。

减少作用在结构上的荷载，是节省材料的又一措施。大跨度房屋可以采用轻型屋面材料。承受较大风荷载的结构则着眼于风载体型系数来选定型式。

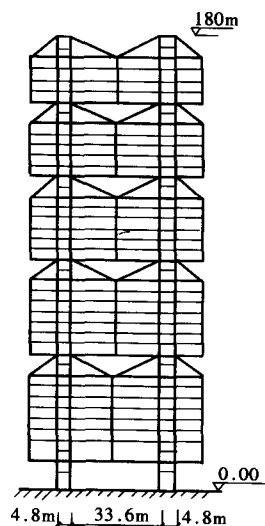


图 0-4 悬挂体系