

P
rinciples for Design of
Steel Structures

高等教育“十三五”规划教材 • 土木工程类

钢结构设计原理

(第2版)

主 编 刘智敏
副主编 姜兰潮 陈爱国
主 审 杨 娜



北京交通大学出版社
<http://www.bjup.com.cn>

高等教育“十三五”规划教材·土木工程类

钢结构设计原理

(第2版)

主 编 刘智敏
副主编 姜兰潮 陈爱国
主 审 杨 娜

北京交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

钢结构设计原理是土木工程专业的一门专业基础课程。本书根据全国高等学校土木工程专业教学指导委员会对土木工程学生的基本要求和审定的教学大纲而编写。全书共分为6章,包括:绪论、钢结构的材料、钢结构的连接、轴心受力构件、受弯构件(梁)、拉弯和压弯构件。各章开头有内容概要、学习重点和难点。每章附有习题,便于教学使用。

本书可以作为高等学校土木工程及相关专业的教学用书,也可以用作继续教育的教材及土建设计和工程专业技术人员学习与参考用书。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计原理/刘智敏主编. —2版. —北京:北京交通大学出版社,2019.2
高等教育“十三五”规划教材·土木工程类
ISBN 978-7-5121-3805-6

I. ①钢… II. ①刘… III. ①钢结构-结构设计-高等学校-教材 IV. ①TU391.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第024603号

钢结构设计原理

GANGJIEGOU SHEJI YUANLI

责任编辑:吴嫦娥

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

北京市海淀区高粱桥斜街44号

邮编:100044

印刷者:三河市华骏印务包装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185 mm×260 mm 印张:20.75 字数:518千字

版 次:2019年2月第2版 2019年2月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-3805-6/TU·181

印 数:1~3 000册 定价:49.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

高等教育“十三五”规划教材·土木工程类

编委会

顾 问：施仲衡

主 任：司银涛

副 主 任：张顶立 陈 庚

委 员：(按姓氏笔画排序)

王连俊 毛 军 白 雁

李清立 杨维国 张鸿儒

陈 岚 朋改非 赵国平

贾 影 夏 禾 黄海明

编委会办公室

主 任：赵晓波

副 主 任：贾慧娟

成 员：(按姓氏笔画排序)

吴嫦娥 郝建英 徐 琤

出版说明

为促进高等教育土木工程类教材体系的建设,满足目前专业人才培养的需要,北京交通大学土木建筑工程学院、远程与继续教育学院和北京交通大学出版社组织以北京交通大学教学的一线教师为主体、联合其他交通院校教师,并在有关单位领导和专家的大力支持下,编写了本套“高等教育‘十三五’规划教材·土木工程类”。

本套教材的编写突出实用性。本着“理论部分通俗易懂,实操部分图文并茂”的原则,侧重实际工作岗位操作技能的培养。为方便读者,本系列教材采用“立体化”教学资源建设方式,配套有教学课件、习题库、自学指导书,并将陆续配备教学光盘。本系列教材可供相关专业的全日制或在职学习的本、专科学生使用,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

本系列教材得到从事土木工程研究的众多专家、学者的帮助和具体指导,在此表示深深的敬意和感谢。

本系列教材包括:《材料力学》《结构力学》《土木工程材料》《水力学》《工程经济学》《工程地质》《隧道工程》《房屋建筑学》《建设项目管理》《混凝土结构设计原理》《钢结构设计原理》《建筑施工技术》《施工组织及概预算》《工程招投标与合同管理》《建设工程监理》《铁路选线》《土力学与路基》《桥梁工程》《地基基础》《结构设计原理》。

希望本套教材的出版对土木工程专业人才的培养,特别是土木工程专业课程的课堂教学有所贡献。

编委会

2019年1月

前 言

新版钢结构规范从2018年7月1日起实施，名称改为《钢结构设计标准》(GB 50017—2017)。新标准的修订是在《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)基础上，内容有大幅增加，从原来的11章修订至18章，除传统钢结构设计内容外，增加了很多新型实用内容。因为内容多，本教材针对此次新版标准仅对教材涉及的相关章节内容进行了修订。每章后面补充了《铁路桥梁钢结构设计规范》(TB 10091—2017)的内容，其内容及教学要求符合《土木工程专业指导性规范》的要求。本书可以作为高等学校土木工程及相关专业的教学用书，也可以用作继续教育的教材及土建设计和工程专业技术人员学习与参考用书。

钢结构设计原理主要讲述钢结构基本构件的受力性能和设计计算方法，是土木工程专业重要的专业基础课。本书内容主要包括钢结构材料的物理力学性能、钢结构的设计方法、钢结构的连接及基本构件(包括：轴心受力构件；受弯构件(梁)；拉弯和压弯构件)的受力性能分析、设计计算。由于本书增加了部分铁路桥梁的设计内容，通过本书的学习，可使学生掌握钢结构的基本理论和基本设计方法，为学习后续专业课程、毕业设计，以及毕业后从事土木工程领域相关工作(包括房建和铁路桥梁方面)打下坚实的基础。

本书在叙述方法上由浅入深，循序渐进，力求对基本概念论述清楚，使读者能较容易地掌握钢结构构件的力学性能及理论分析方法；突出应用，有明确的计算方法和实用设计步骤。书中有一定数量的计算例题，有利于理解和掌握设计原理。为了便于自学，每章均有小结、思考题和习题等内容。

本书由长期担任“钢结构设计原理”课程教学工作的教师共同编写。参加编写的人员有：北京交通大学杨娜，第1章；刘磊，第2章；刘智敏，第3章；姜兰潮，第4章；陈爱国，第5章、6章。全书由刘智敏任主编，姜兰潮、陈爱国任副主编。

杨娜教授对本书进行了审阅，并提出了许多宝贵的意见，陈波和邢信慧老师为本书做了大量工作，在此表示诚挚的谢意。

鉴于作者水平有限，书中难免有错误及不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2019年1月

目 录

第 1 章 绪论	1	计算	113
1.1 钢结构的发展概况	1	习题	115
1.2 钢结构的特点、适用范围及主要形式	7	第 4 章 轴心受力构件	121
1.3 钢结构设计方法	11	4.1 概述	121
1.4 钢结构设计的基本要求	14	4.2 轴心受力构件的强度和刚度	123
1.5 钢结构的发展趋势	15	4.3 轴心受压构件的整体稳定	126
1.6 钢结构的深化设计	16	4.4 轴心受压构件的局部稳定	138
第 2 章 钢结构的材料	17	4.5 轴心受拉构件的设计	141
2.1 钢材的主要力学性能	17	4.6 实腹式轴心受压构件的设计	144
2.2 影响钢材力学性能的因素	22	4.7 格构式轴心受压构件的设计	149
2.3 钢材的两种破坏形式	25	4.8 柱头与柱脚	160
2.4 应力集中对钢材性能的影响	26	4.9 《桥规》的相关计算规定	167
2.5 钢材的疲劳破坏及疲劳计算	28	习题	169
2.6 钢的种类、代号与技术标准	34	第 5 章 受弯构件(梁)	171
2.7 钢材的选用原则	36	5.1 概述	172
2.8 钢材的规格	37	5.2 钢梁的强度和刚度	176
习题	38	5.3 钢梁的整体稳定	182
第 3 章 钢结构的连接	40	5.4 钢梁的局部稳定和腹板加劲肋设计	193
3.1 钢结构的连接方法	40	5.5 型钢梁的设计	202
3.2 钢结构的焊接方法和焊接形式	47	5.6 焊接组合工字形梁的设计	204
3.3 对接焊缝连接的构造和计算	53	5.7 《桥规》中梁的设计方法及规定	213
3.4 角焊缝连接的构造和计算	62	习题	217
3.5 焊接残余应力与焊接残余变形	79	第 6 章 拉弯和压弯构件	219
3.6 普通螺栓连接的构造和计算	85	6.1 概述	219
3.7 高强度螺栓连接的性能和计算	98	6.2 拉弯和压弯构件的设计内容和步骤	220
3.8 钢结构构件及连接设计的折减系数	113	6.3 拉弯和压弯构件的强度和	
3.9 《桥规》关于高强度螺栓的			

刚度·····	221	附录 D 疲劳计算的构件和连接分类 ···	259
6.4 实腹式压弯构件的整体稳定·····	224	附录 E 常用型钢规格及截面特性 ·····	265
6.5 格构式压弯构件的设计·····	234	附录 F 各种截面回转半径的近似值 ···	296
6.6 压弯构件的局部稳定·····	240	附录 G 柱的计算长度系数 ·········	298
6.7 《桥规》中拉弯和压弯构件的 计算方法·····	243	附录 H 型钢螺栓线距表 ·········	310
6.8 压弯构件(框架柱)的计算 长度·····	245	附录 I 基本容许应力(桥规) ·······	313
6.9 框架的梁柱连接·····	248	附录 J 容许应力折减系数(桥规) ·····	315
习题 ·········	249	附录 K 疲劳容许应力幅(桥规) ·····	316
附录 A 钢材和连接的强度设计值 ·····	251	附录 L 组合压杆板束宽度与厚度 之比限值 ·········	317
附录 B 轴心受压构件的稳定系数 ·····	254	附录 M 模拟试题 ·········	319
附录 C 结构或构件的变形容许值 ·····	258	参考文献 ·········	324

第 1 章

绪 论

【本章内容概要】

介绍钢结构特点和应用范围；钢结构设计原理和方法及可靠性的含义，极限状态的分类，荷载标准值与荷载设计值，强度标准值、强度设计值的含义；介绍有关钢结构的设计规范；讲述钢结构发展概况及发展方向。

【本章学习重点与难点】

学习重点：掌握钢结构的特点及应用范围；理解钢结构的设计方法，掌握两种极限状态实用表达式的应用。

学习难点：理解钢结构的设计方法。

1.1 钢结构的发展概况

钢结构是土木工程结构的主要形式之一，广泛应用于各类工程结构中。钢结构的广泛应用源自于钢材的优异性能、制作安装的高度工业化、结构形式的丰富多样化及对复杂结构的良好适应性等特点。特别是 21 世纪以来，随着科学技术的迅猛发展及人们对物质文化生活要求的不断提高，钢结构行业面临着飞速发展的机遇和挑战。新的结构形式、新的设计理念、新的计算分析理论、新的制作安装技术层出不穷，为钢结构的发展提供了前提和保障。

1.1.1 钢结构在我国的发展历史

最早的钢结构由铁结构发展而来。早在公元前 60 年前后，我国就修建了铁链桥。1706 年，桥长 100 m 的四川泸定大渡河铁索桥的建成不仅在我国具有铁制结构的标志性意义，也是世界上具有里程碑意义的铁制结构。改革开放后，我国钢结构的设计、制造和安装水平有了迅速提高，先后建成一批规模较大、技术较为先进的钢结构工程，为我国钢结构的进一步发展奠定了坚实的技术基础。钢材的产量和质量不断提高，为工程建设中大量采用钢结构提供了充分的物质基础。2008 年奥运会和 2010 年世博会在我国的举办，更为钢结构在我国的发展提供了前所未有的历史契机。表 1-1~表 1-3 分别列出了新中国成立以来我国已建成的重要的钢结构桥梁和钢结构建筑。

表 1-1 国内重要的钢结构桥梁

工程名称	结构形式及主要技术指标	建成时间	用途
武汉长江大桥	连续梁桥, 9×128 m	1957	公铁
南京长江大桥	连续梁桥, 9×160 m	1968	公铁
九江长江大桥	系杆拱桥, 主跨 216 m	1992	公铁
上海杨浦大桥	斜拉桥, 跨度 602 m	1993	公路
香港青马大桥	悬索桥, 1 377 m	1997	公铁
江阴长江大桥	悬索桥, 主跨 1 385 m	1999	公路
南京长江第二大桥 (如图 1-1 所示)	斜拉桥, 跨度 628 m, 流线型钢箱梁	2001	公路
宜昌长江公路大桥 (如图 1-2 所示)	悬索桥, 主跨 960 m	2001	公路
上海卢浦大桥	中承式系杆拱桥, 主跨 550 m	2003	公路
润扬长江公路大桥	悬索桥, 主跨 1 490 m	2005	公路
杭州湾跨海大桥	斜拉桥, 主跨 448 m 的双塔双索面钢箱梁	2007	公路
苏通长江公路大桥	斜拉桥, 1 088 m, 钢箱梁	2007	公路
武汉天兴洲长江大桥 (如图 1-3 所示)	斜拉桥, 主跨 504 m	2009	公铁

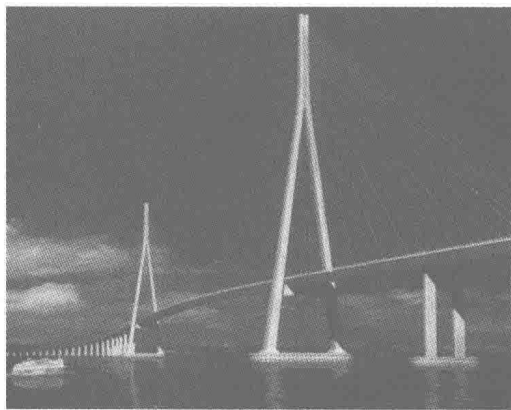


图 1-1 南京长江第二大桥

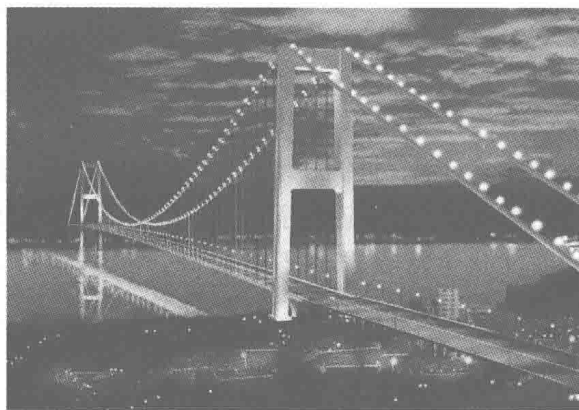


图 1-2 宜昌长江大桥



图 1-3 武汉天兴洲长江大桥

表 1-2 国内经典高层钢结构建筑

工程名称	城市	总建筑面积/ 10^4 m^2	层数	高度/m	建成时间
中环广场	香港	13	78	374	1993
中信广场	广州	29	80	391.1	1997
金贸大厦	上海	28.9	88	420.5	1998
中国银行大厦	香港	12.9	72	368	1998
国际金融中心二期	香港	20	90	415.8	2003
101大厦	台北	19.3	101	508	2004
中央电视台新台址 (如图 1-4 所示)	北京	55	45	230	2008
国贸三期	北京	54	75	330	2008
上海环球金融中心大厦 (如图 1-5 所示)	上海	38.16	101	492	2008

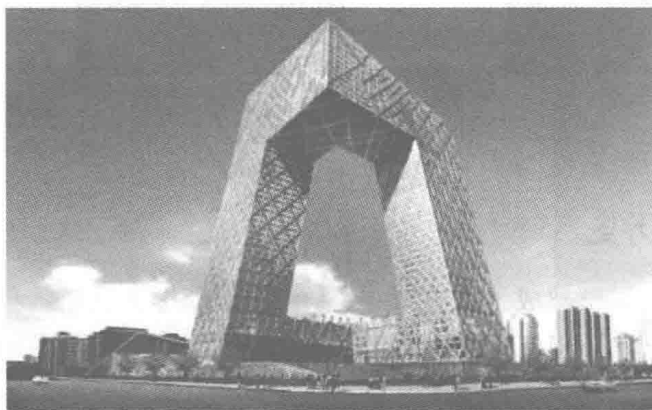


图 1-4 中央电视台新台址



图 1-5 上海环球金融中心大厦

表 1-3 国内经典大跨度钢结构建筑

工程名称	总建筑面积/ 10^4 m^2	结构形式及主要技术指标	建成时间
北京工人体育馆	8	车辐式双层索结构, 直径 94 m	1961
首都四机位机库	3.5	网架, 跨度 153 m	1996
国家大剧院	15	椭球形网壳, 长轴长度为 212.20 m, 短轴长度为 143.64 m	2007
国家体育馆	8.09	双向张弦钢屋架结构, 南北跨度 144 m, 东西跨度 114 m	2007
国家体育场(鸟巢) (如图 1-6 所示)	25.8	格构式门式刚架, 长轴 340 m, 短轴 292 m	2008
北京工业大学羽毛球馆 (如图 1-7 所示)	2.8	弦支穹顶结构, 跨度 93 m	2008

续表

工程名称	总建筑面积/ 10^4 m^2	结构形式及主要技术指标	建成时间
国家游泳中心（水立方）	6.5~8	网架，跨度 177 m	2008
首都 A380 飞机维修机库	7	网架，跨度 350.8 m	2008
首都机场三期	30	网壳，长 950 m，宽 750 m	2008

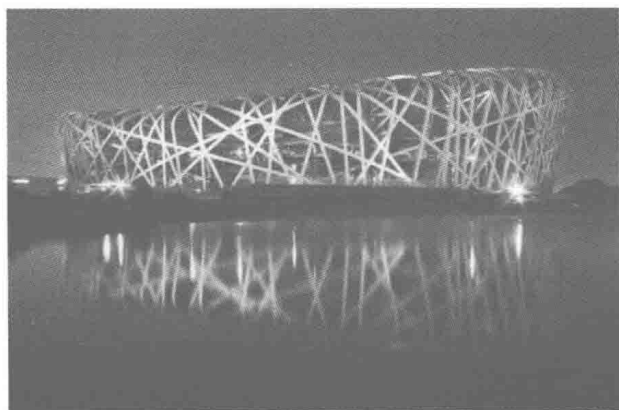


图 1-6 国家体育场（鸟巢）



图 1-7 北京工业大学羽毛球馆

1.1.2 钢结构在国外的发展历史

英国 1779 年在英格兰中部西米德兰兹郡建成了世界第一座铸铁拱桥——雪纹桥，如图 1-8 所示，其跨度为 30.7 m。以此为起点，国外的钢结构开始了快速发展。1890 年英国在爱丁堡城北福兹河上建成了福兹双线铁路桥，主跨达 519 m，是英国人引以为豪的工程杰作，如图 1-9 所示。20 世纪 30 年代，美国进入钢铁产业的迅猛发展时期，钢铁产量和质量提高带动了钢结构突飞猛进的发展，在纽约、芝加哥等城市建设了大量高层钢结构工程。表 1-4~表 1-9 列出了国外经典的钢结构工程概况。

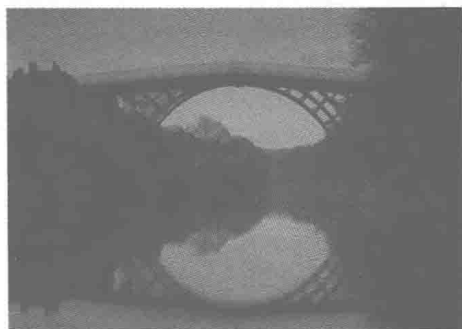


图 1-8 雪纹桥

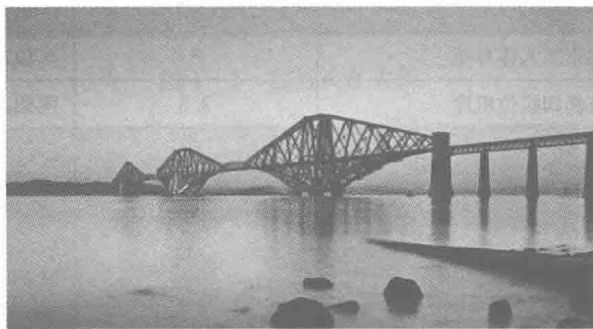


图 1-9 福兹桥

表 1-4 国外经典的桥梁钢结构工程

工程名称	结构形式及主要技术指标	地点	建成时间	用途
不列丹尼桥	锻铁箱形梁桥, (71.9+140+140+71.9) m	英国	1850	铁路
福兹桥	伸臂梁桥, (206+46+519+82+519+46+206) m	英国	1889	铁路
金门大桥	悬索桥, 跨径 1 280 m	美国	1937	公路
青津海峡桥	悬索桥, 主跨 1 780 m	日本	1980	公路
恒伯桥	悬索桥, 主跨 1 410 m	英国	1981	公路
南备赞濑户桥	悬索桥, 主跨 1 100 m	日本	1988	公铁
诺曼底桥	斜拉桥, 856 m	法国	1995	公路
大伯尔特桥	悬索桥, 主跨 1 624 m	丹麦	1996	公路
明石海峡大桥 (如图 1-10 所示)	悬索桥, 主跨 1 991 m	日本	1998	公路
多多罗大桥 (如图 1-11 所示)	钢混组合梁斜拉桥, 跨径 890 m	日本	1999	公路



图 1-10 明石海峡大桥

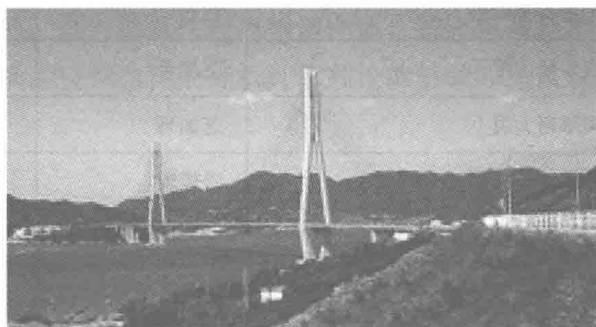


图 1-11 多多罗大桥

表 1-5 国外经典的大跨度钢结构工程

工程名称	城市	结构形式及主要技术指标	建成时间
新奥尔良体育馆	新奥尔良市	双层网壳, 直径 207.3 m	1976
多伦多天空穹顶	多伦多	开合钢结构屋顶, 跨度 208 m	1989
太阳海岸穹顶	圣彼得堡	索穹顶, 直径 210 m	1989
福冈体育馆 (如图 1-12 所示)	福冈	开合钢结构屋顶, 跨度 222 m	1993
日本名古屋穹顶	名古屋	单层球面网壳, 净跨为 1 872 m	1996
乔治亚穹顶	亚特兰大	索穹顶, 241 m×193 m	1996
千年穹顶 (如图 1-13 所示)	伦敦	索穹顶, 直径 320 m	1999
澳大利亚主体育场	悉尼	双曲抛物面网壳, 跨度 220 m	2000



图 1-12 福冈体育馆

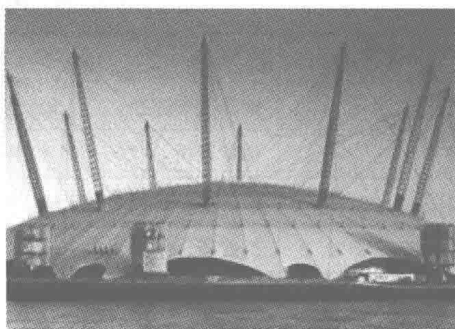


图 1-13 千年穹顶

表 1-6 国外经典的高层钢结构工程

工程名称	城市	层数	高度/m	建成时间
帝国大厦	纽约	102	381	1931
约翰·汉考克大厦	芝加哥	100	344	1969
世界贸易中心	纽约	110	410	1973
西尔斯大厦	芝加哥	108	443	1974
阿摩珂大厦	芝加哥	83	346	1983
佩特纳斯大厦	吉隆坡	88	452	1996
国油双峰塔 (如图 1-14 所示)	吉隆坡	95	452	1997
迪拜塔 (如图 1-15 所示)	迪拜	162	828	2010
国际商务中心	首尔	130	580	在建

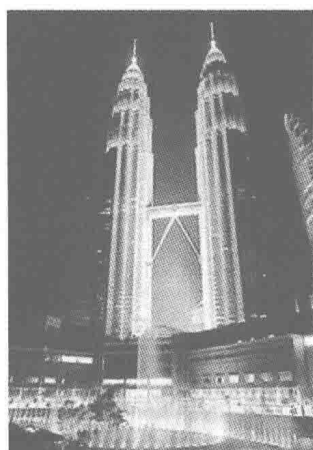


图 1-14 国油双峰塔



图 1-15 迪拜塔

1.2 钢结构的特点、适用范围及主要形式

1.2.1 钢结构的特点

钢结构是用钢板、热轧型钢或冷加工型钢制造而成的。与其他材料的结构相比，钢结构具有如下特点。

1. 轻质高强，承载能力大

与混凝土、木材等其他结构材料相比，钢材的密度虽然较大，但其强度较其他结构材料高得多，从而使钢结构具有较大的承载能力。钢材的强度与密度的比值远大于混凝土和木材。因此，在承受同样荷载（尤其是拉力）时，与混凝土结构和木结构相比，钢结构构件的截面面积较小、自重较轻。

2. 钢材材性好，可靠性高

钢材在冶炼和轧制过程中质量可以得到严格控制，材质波动范围小。钢材质地均匀，各向同性，弹性模量大，具有良好的塑性和韧性，可近似看作理想弹塑性体，符合目前采用结构计算方法的基本概念和假定的条件要求，从而使钢结构的分析计算理论能够较好地反映钢结构的实际工作性能，可靠性高。

3. 工业化程度高

结构钢具有良好的冷、热加工性能，便于在专业化工厂进行生产和机械加工，再运输到现场安装。钢结构工厂制造、现场安装的施工方法既能保证加工和施工精度，又能有效缩短施工周期。同时，钢结构的工业化生产也为降低工程造价、提高经济效益创造了有利条件。

4. 抗震性能好

钢材具有良好的塑性和韧性，钢结构自重轻且结构体系轻盈，受到的地震作用较小，因此在国内外的历次地震中，钢结构均是损坏程度最小的结构。国际上已公认，钢结构是抗震设防区特别是强震区最适宜的结构类型。

5. 气密水密性好

结构钢本身具有优良的气密、水密性，而钢构件之间的连接又可以实现完全封闭。同时，钢结构在其使用周期内不易因温度等作用出现裂缝，具有较好的耐久性。因此，钢结构容易达到工程或工业所需的密闭性要求。

6. 易于锈蚀

铁元素易与氧及其他非金属元素发生氧化反应，致使钢结构在一般自然环境中极易锈蚀，需经常进行防腐养护，维护费用昂贵，这是钢结构的最大弱点。但是，在没有腐蚀性介质的一般建筑结构中，钢构件经过彻底除锈、喷涂防腐涂料后，锈蚀问题并不严重；对于湿度大或有侵蚀性介质环境中的钢结构，可采用耐候钢或不锈钢解决其易于腐蚀的问题。

7. 耐热性好，耐火性差

钢材耐热，但不耐火。当环境温度在 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内时，钢材强度变化很小；当环境温度

超过 300 °C 后, 钢材的强度开始逐渐下降; 当环境温度升至 450 °C~650 °C 时, 钢材强度下降为零。因此, 钢结构适用于环境温度不高于 250 °C 的场合。在有防火要求的建筑中, 钢结构必须用防火材料予以防护。

8. 绿色环保无污染

钢材是一种高强度高效能的材料, 可以 100% 回收再利用, 避免了资源损失, 具有很高的再循环价值, 其边角料也有利用价值; 不需要制模施工, 有助于环保和可持续发展, 具有“绿色”建材的优良属性。与混凝土结构、砖混结构等其他建筑材料相比, 在同样层高净高条件下, 钢结构围护墙体面积小, 可以节约空调所需能源。因此, 发展钢结构对于资源和能源都非常短缺的我国有着重要的意义。

钢结构的上述特点是确定结构的设计方法与合理进行工程应用的重要依据, 应予以特别注意。

1.2.2 钢结构的适用范围

钢结构的特点决定了其适用范围。与特点相对应, 钢结构适用于以下工程结构形式。

1. 承受大荷载、动荷载的结构

钢材强度高, 适于承载重的结构; 钢材又具有良好的韧性和塑性, 其破坏常呈现延性性质。因此, 钢结构适宜在动荷载下工作, 可满足抗震能力要求高的结构需求。

2. 大跨度或高度很大的结构

钢材轻质高强的特性使钢结构在大跨度、高度高的建筑中体现出良好的综合效益。因此, 近年来钢结构在大跨度及高层、高耸结构中得到广泛应用。

3. 拼装式结构或需要移动的结构

钢结构不仅质量轻, 还可以机械化生产, 并采用螺栓或其他便于拆装的方式进行连接, 具有拼装、运输方便的优点, 因此非常适用于拼装式结构或需要移动的结构。临时性建筑、野外作业的生产和生活用房的骨架、过街天桥、管道支架及海洋平台等多采用钢结构。钢筋混凝土结构施工时所用的模板和支架、脚手架等也大量采用钢构件。

4. 对密封性要求高的结构

钢结构具有良好的气密、水密性, 因此冶金、石油、化工企业中大量采用了钢板做成的容器, 其中包括油罐、燃气罐、管道、高炉、脱硫塔及各种船舶结构等。

5. 轻型结构

钢结构质量轻, 不仅在结构跨度大时有利, 屋面活荷载比较小时也有优势。工业厂房多采用钢结构。

6. 其他复杂造型结构

钢材具有良好的可塑性, 焊接、螺栓连接等钢结构连接方法灵活、适用性强。因此, 复杂造型结构经常采用钢结构。

1.2.3 钢结构的主要形式

结合钢结构的特点和适用范围, 钢结构的主要形式如下。

1. 大跨度结构

如大跨度桥梁、大跨度屋盖等结构，其结构体系可为网壳、网架、张弦、悬索、索膜、拱架、框架等。图 1-16 为北京老山自行车馆，采用的是网壳结构形式。

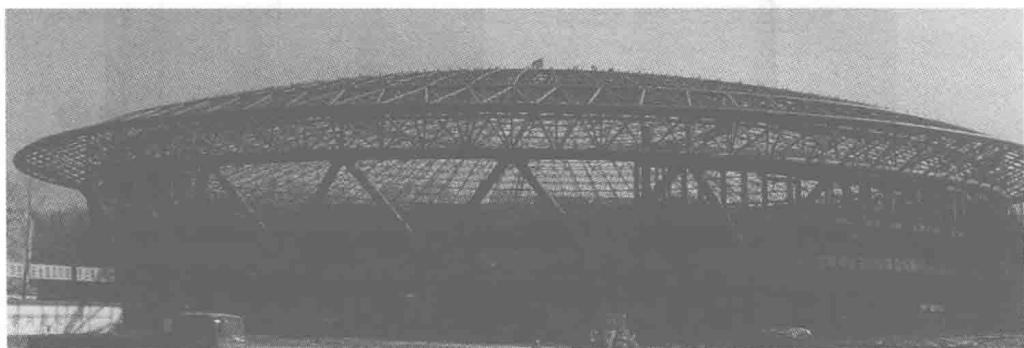


图 1-16 北京老山自行车馆

2. 重型结构

吊车等起重量较大的设备或工作比较繁重的厂房车间多采用钢结构，如冶金厂房与重型机械厂的厂房；起重量较大的起重机械等也多采用钢结构。图 1-17 为上海宝钢冶金车间。

3. 高耸结构

高层建筑结构与塔桅结构通常采用钢结构，如电视塔、微波塔、输电线塔、发射桅杆等。图 1-18 和图 1-19 分别为埃菲尔铁塔和广州新电视塔。

4. 多层与高层结构

多层、高层建筑经常采用钢结构。近年来，钢结构在此领域的发展非常迅速。图 1-20 为钢结构高层建筑（北京银泰中心）。

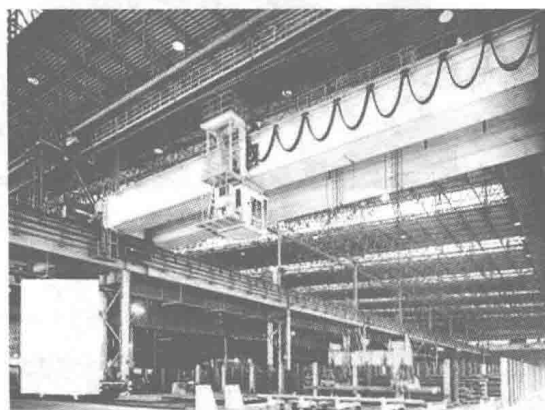


图 1-17 上海宝钢冶金车间



图 1-18 埃菲尔铁塔