



21世纪高职高专规划教材

(建筑工程专业)

# 钢结构

第2版

主编 徐占发  
主审 赵文蔚



**21世纪高职高专规划教材**  
(建筑工程专业)

# 钢 结 构

第 2 版

主 编 徐占发  
副主编 王文仲 施 行 张凤红  
参 编 张 皓 王瑞华 杨 军 李士民 许大江 孙 震  
主 审 赵文蔚



机械工业出版社

本书是根据高等职业技术教育建筑工程专业及相关专业《钢结构》课程教学要求和新颁布的《钢结构设计规范》(GB50017—2003)及相关的标准、规范编写的。全书共10章及附录,内容包括绪论,钢结构的材料,钢结构的连接,轴心受力构件,受弯构件,拉弯和压弯构件,钢屋盖结构设计,钢平台结构设计,多、高层建筑钢结构设计、大跨空间钢结构设计,门式刚架设计等内容,并简要介绍了钢与混凝土组合梁等新结构。本书内容简明扼要、浅显实用,便于自学,并附有大量例题、实例和有关图表可供参考使用;每章均附有复习思考题,方便教学。

本书可作为高等职业技术院校、高等学校应用本科与专科、职工大学、业余大学、夜大学、函授大学、成人教育学院等大专层次的土建类专业《钢结构》课程的教材,也可作为广大自学者及工程技术与管理人员自学参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

钢结构/徐占发主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2007.5  
21世纪高职高专规划教材·建筑工程专业  
ISBN 978-7-111-08434-1

I. 钢… II. 徐… III. 钢结构—高等学校:技术学校—教材  
IV. TU391

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第058530号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:边萌 责任校对:李秋荣

封面设计:马精明 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2007年8月第2版·第1次印刷

184mm×260mm·18.5印张·1插页·456千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-08434-1

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)68354423

封面无防伪标均为盗版

## 21 世纪高职高专规划教材 编委会名单

编委会主任 王文斌

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

王建明	王明耀	王胜利	王寅仓	王锡铭
刘义	刘晶磷	刘锡奇	杜建根	李向东
李兴旺	李居参	李麟书	杨国祥	余党军
张建华	茆有柏	秦建华	唐汝元	谈向群
符宁平	蒋国良	薛世山	储克森	

编委会委员 (按姓氏笔画为序,黑体字为常务编委)

王若明	<b>田建敏</b>	成运花	曲昭仲	朱强
刘莹	刘学应	许展	<b>严安云</b>	李连邨
李学锋	李选芒	<b>李超群</b>	杨飒	杨群祥
杨翠明	吴锐	何志祥	何宝文	余元冠
沈国良	张波	<b>张锋</b>	张福臣	陈月波
陈向平	陈江伟	武友德	林钢	周国良
宗序炎	赵建武	恽达明	俞庆生	晏初宏
倪依纯	徐炳亭	<b>徐铮颖</b>	韩学军	崔平
崔景茂	<b>焦斌</b>			

总策划 余茂祚

## 第2版前言

本书第1版出版后，受到广大读者的欢迎，经多次印刷后，应广大读者要求，现予以修订。本次修订时，在保持第1版的基本内容和特色的基础上，根据近年来新颁布的《钢结构设计规范》（GB50017—2003）等技术标准、规程进行了全面的修改、校正，并增补了钢平台结构设计、多高层建筑钢结构设计、大跨空间钢结构设计、门式刚架设计和钢与混凝土组合结构等内容，反映了钢结构的最新进展与成果。

全书由原书7章增至11章，主要增加了各类钢结构设计的内容，编写人员主要有：第1、2章徐占发、张凤红，第3章王文仲，第4章王瑞华、徐占发，第5章杨军，第6章张皓，第7章李士民，第8章许大江，第9章施行，第10、11章徐占发、张凤红，附录孙震等。由徐占发任主编，王文仲、施行、张凤红任副主编。

本书内容充实新颖、注重实用，贴近工程实际，便于自学和应用。可作为高等职业院校应用本科和高职高专、职业大学、成人教育学院等土建类专业大专层次钢结构课程的试用教材，也可作为广大从业人员自学和工作的参考书。

本书编写过程中，参考并引用了已公开发表的文献资料并得到了许多专家朋友的帮助，值此深表谢意。

由于编者水平有限，书中存在的缺点和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

# 第1版前言

本书根据全国高职高专院校建筑工程专业《钢结构》课程教学的要求及我国现行《钢结构规范》(GBJ17—1988)和近年来新颁布的有关标准、多年的教学体会、工程实践经验编写而成。

本书针对学生的学习特点和相关专业工程技术人员的需要,简要叙述了钢结构的原理与设计的基本内容,包括绪论、材料、连接、轴心受力构件、梁、拉弯和左弯构件、钢屋盖设计等章节,对近年来日益广泛用于工程中的钢与混凝土组合梁、高层建筑钢结构等新结构、新技术也作了简要介绍。

本书在编写时力求简明扼要、浅显实用、讲清概念、联系实际、深入浅出、便于自学;并附有大量例题、实例和有关图表供参考使用。

本书主要用作高职高专建筑工程专业教学用书,也可用作高教自考、电大函授、专业培训教材和工程建设技术与管理人员的学习参考书。

本书编写人员主要有:第1、2章徐占发、周兰君;第3章王文仲;第4章王瑞华、徐占发;第5章杨军;第6章张皓;第7章李士民。本书主编徐占发,副主编王文仲,由清华大学赵文蔚教授主审。

本书在编写过程中,参考与引用了已公开发表的《钢结构》及有关文献、资料,为此,谨对所有文献的作者和曾关心与支持本书的同志们深表谢意。

由于编者水平有限,时间仓促,书中存在的缺点和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

# 目 录

第2版前言	
第1版前言	
第1章 绪论	1
1.1 钢结构的特点和应用	1
1.1.1 钢结构的特点	1
1.1.2 钢结构的应用范围	1
1.2 钢结构的类型和组成	2
1.2.1 常用钢结构的类型与组成	2
1.2.2 钢结构的构件与连接	2
1.3 钢结构的设计原理与方法	2
1.3.1 结构的功能要求	2
1.3.2 结构功能的极限状态	2
1.3.3 结构的功能函数	3
1.3.4 结构极限状态方程	3
1.3.5 建筑结构的可靠度	3
1.3.6 实用设计表达式	4
1.3.7 钢结构设计的基本要求	5
1.4 钢结构的设计指标	6
1.4.1 钢结构上的作用	6
1.4.2 钢材强度标准值	10
1.4.3 钢材强度设计值	10
1.4.4 钢结构变形的规定	11
1.5 钢结构建筑的现状和发展	13
1.5.1 钢结构的发展现状	13
1.5.2 钢结构的发展方向	22
复习思考题	22
第2章 钢结构的材料	23
2.1 钢材的主要力学性能	23
2.1.1 钢材在单向均匀拉力作用下的性能	23
2.1.2 钢材的强度	24
2.1.3 钢材的塑性	24
2.1.4 钢材的冷弯性能	25
2.1.5 冲击韧度	25
2.1.6 焊接性能	26
2.2 钢材的疲劳	26
2.2.1 疲劳强度	26
2.2.2 疲劳计算	26
2.3 影响钢材性能的主要因素与钢材防护	28
2.3.1 化学成分的影响	28
2.3.2 冶炼、浇注和轧制过程的影响	29
2.3.3 残余应力的影响	29
2.3.4 应力集中的影响	29
2.3.5 温度影响	29
2.3.6 钢材的冷作硬化和时效硬化	30
2.3.7 钢材的防护	30
2.4 钢材的种类、规格与选用	30
2.4.1 钢材的种类	30
2.4.2 钢材的规格	31
2.4.3 钢材的选用和保证项目	32
复习思考题	36
第3章 钢结构的连接	37
3.1 钢结构的连接方法	37
3.1.1 焊接连接	37
3.1.2 铆钉连接	37
3.1.3 螺栓连接	38
3.2 焊接连接	38
3.2.1 焊接方法和焊接形式	38
3.2.2 焊缝级别和焊缝强度	40
3.2.3 对接焊缝的构造和计算	42
3.2.4 角焊缝的构造和计算	47
3.2.5 焊接残余应力和残余变形	59
3.3 普通螺栓连接	61
3.3.1 普通螺栓连接的构造	61
3.3.2 普通螺栓连接的计算	66
3.4 高强度螺栓连接	74
3.4.1 概述	74
3.4.2 摩擦型高强度螺栓连接的计算	76

3.4.3 承压型高强度螺栓的计算 .....	79	5.3.1 梁的整体稳定计算 .....	114
复习思考题 .....	81	5.3.2 梁的整体稳定系数 $\varphi_b$ .....	115
<b>第4章 轴心受力构件</b> .....	<b>85</b>	5.3.3 保证梁整体稳定性的构造措施 .....	116
<b>4.1 轴心受力构件的强度</b> .....	<b>85</b>	<b>5.4 梁的局部稳定</b> .....	<b>116</b>
<b>4.2 轴心受力构件的刚度</b> .....	<b>85</b>	5.4.1 保证梁局部稳定的措施 .....	117
<b>4.3 实腹式轴心受压构件的整体稳定性</b> .....	<b>87</b>	5.4.2 普通钢板梁仅有横向加劲肋 时间距 $a$ 的简化计算公式 .....	118
4.3.1 轴心受压构件稳定的计算 .....	87	5.4.3 纵向加劲肋至腹板计算高度受压 边缘的距离 $h_1$ 的确定 .....	119
4.3.2 轴心受压构件稳定系数 $\varphi$ .....	88	5.4.4 支承加劲肋的计算 .....	119
<b>4.4 实腹式轴心受压构件的局部稳定计算</b> .....	<b>90</b>	5.4.5 当设有加劲肋时腹板局部稳定 计算 .....	120
4.4.1 板的临界应力 $\sigma_{cr}$ 的计算 .....	90	5.4.6 组合梁腹板考虑屈曲后强度 计算 .....	121
4.4.2 板件宽厚比限值 .....	91	<b>5.5 梁的拼接与连接</b> .....	<b>121</b>
<b>4.5 实腹式轴心受压构件的截面设计</b> .....	<b>92</b>	5.5.1 梁的拼接 .....	121
4.5.1 截面设计原则 .....	92	5.5.2 主次梁的连接 .....	122
4.5.2 截面选择方法 .....	92	5.5.3 梁的支座 .....	123
4.5.3 构造规定 .....	93	<b>5.6 型钢梁的设计</b> .....	<b>124</b>
<b>4.6 格构式轴心受压构件</b> .....	<b>96</b>	5.6.1 单向弯曲型钢梁 .....	124
4.6.1 格构式轴心受压构件的整体 稳定承载能力 .....	96	5.6.2 双向弯曲型钢梁 .....	124
4.6.2 格构式轴心受压构件的分肢 稳定性验算 .....	97	<b>5.7 组合钢梁的设计</b> .....	<b>125</b>
4.6.3 格构式轴心受压构件的缀材 设计 .....	97	5.7.1 工字形组合梁的截面选择 .....	125
4.6.4 格构式轴心受压构件的 设计步骤 .....	99	5.7.2 组合梁的截面验算 .....	127
<b>4.7 柱头和柱脚</b> .....	<b>102</b>	5.7.3 组合梁截面沿长度的改变 .....	128
4.7.1 梁与柱的连接 .....	102	<b>5.8 钢与混凝土组合梁</b> .....	<b>134</b>
4.7.2 柱脚 .....	103	5.8.1 组合梁的类型与构造 .....	134
复习思考题 .....	108	5.8.2 组合梁的特点 .....	135
<b>第5章 受弯构件</b> .....	<b>110</b>	5.8.3 组合梁的设计方法 .....	136
<b>5.1 梁的强度计算</b> .....	<b>110</b>	复习思考题 .....	137
5.1.1 梁的抗弯强度计算 .....	110	<b>第6章 拉弯和压弯构件</b> .....	<b>139</b>
5.1.2 梁的抗剪强度计算 .....	112	<b>6.1 拉弯和压弯构件的类型与         应用</b> .....	139
5.1.3 梁的局部承压强度计算 .....	112	6.1.1 拉弯构件 .....	139
5.1.4 梁的折算应力计算 .....	113	6.1.2 压弯构件 .....	139
<b>5.2 梁的刚度计算</b> .....	<b>113</b>	<b>6.2 拉弯和压弯构件的强度与         刚度</b> .....	140
<b>5.3 梁的整体稳定</b> .....	<b>114</b>	6.2.1 拉弯和压弯构件的强度 .....	140
		6.2.2 拉弯和压弯构件的刚度 .....	141
		<b>6.3 实腹式压弯构件的整体</b>	



稳定 .....	142	7.4.1 屋盖支撑的类型和布置 .....	178
6.3.1 弯矩作用平面内的稳定性 .....	142	7.4.2 支撑的截面选择和连接构造 .....	179
6.3.2 弯矩作用平面外的稳定性 .....	146	7.4.3 檩条、拉条和撑杆 .....	180
<b>6.4 实腹式压弯构件的局部稳定 .....</b>	<b>149</b>	<b>7.5 普通钢屋架设计例题 .....</b>	<b>181</b>
6.4.1 受压翼缘板的局部稳定 .....	149	7.5.1 设计资料 .....	181
6.4.2 腹板的局部稳定 .....	149	7.5.2 支撑布置 .....	182
<b>6.5 压弯构件的计算长度 .....</b>	<b>151</b>	7.5.3 檩条设计 .....	182
6.5.1 在框架平面内柱的计算长度 .....	151	7.5.4 屋架设计 .....	183
6.5.2 在框架平面外柱的计算长度 .....	154	<b>复习思考题 .....</b>	<b>192</b>
<b>6.6 实腹式压弯构件的截面设计 .....</b>	<b>154</b>	<b>第8章 钢平台结构设计 .....</b>	<b>194</b>
6.6.1 截面设计原则 .....	154	<b>8.1 概述 .....</b>	<b>194</b>
6.6.2 实腹式压弯构件截面设计步骤 .....	155	<b>8.2 平台铺板设计 .....</b>	<b>196</b>
<b>6.7 格构式压弯构件 .....</b>	<b>157</b>	<b>8.3 平台梁设计 .....</b>	<b>198</b>
6.7.1 格构式压弯构件的整体稳定性 .....	158	<b>8.4 平台柱和柱间支撑设计 .....</b>	<b>199</b>
6.7.2 格构式压弯构件单肢的稳定性 .....	158	<b>8.5 楼梯与栏杆设计 .....</b>	<b>200</b>
6.7.3 缀材的计算和构造要求 .....	159	<b>复习思考题 .....</b>	<b>201</b>
<b>6.8 压弯构件的柱头和柱脚 .....</b>	<b>161</b>	<b>第9章 多层与高层建筑钢结构设计 .....</b>	<b>203</b>
6.8.1 压弯构件的柱头 .....	161	<b>9.1 概述 .....</b>	<b>203</b>
6.8.2 压弯构件的柱脚 .....	161	9.1.1 多、高层建筑钢结构的特点 .....	203
<b>复习思考题 .....</b>	<b>163</b>	9.1.2 高层建筑钢结构的结构体系 .....	203
<b>第7章 钢屋盖结构设计 .....</b>	<b>165</b>	9.1.3 多、高层建筑钢结构的布置 .....	205
<b>7.1 钢屋架的形式和尺寸 .....</b>	<b>165</b>	<b>9.2 多、高层建筑钢结构的设计方法 .....</b>	<b>208</b>
7.1.1 屋架的形式 .....	166	9.2.1 结构设计的原则规定 .....	208
7.1.2 屋架的主要尺寸 .....	166	9.2.2 多、高层钢结构分析方法 .....	209
<b>7.2 屋架杆件的内力计算 .....</b>	<b>167</b>	9.2.3 多、高层钢框架结构的设计内容和步骤 .....	210
7.2.1 计算假定 .....	167	<b>9.3 构件长细比和板件宽厚比限值 .....</b>	<b>211</b>
7.2.2 节点荷载计算 .....	167	9.3.1 构件长细比限值 .....	211
7.2.3 屋架杆件内力计算方法 .....	168	9.3.2 板件宽厚比限值 .....	212
<b>7.3 屋架杆件的截面设计 .....</b>	<b>169</b>	<b>9.4 构件连接 .....</b>	<b>212</b>
7.3.1 屋架杆件的计算长度 .....	169	9.4.1 连接方式与连接设计的原则 .....	212
7.3.2 屋架杆件的截面形式 .....	169	9.4.2 梁柱连接与梁、柱拼接 .....	213
7.3.3 节点板和垫板 .....	170	9.4.3 中心支撑与梁柱连接 .....	215
7.3.4 屋架杆件的截面选择 .....	171	9.4.4 偏心支撑与梁、柱连接 .....	215
7.3.5 屋架的节点设计 .....	171	9.4.5 侧向支撑 .....	217
7.3.6 钢屋架的施工图 .....	176		
<b>7.4 钢屋架的支撑 .....</b>	<b>177</b>		

9.4.6 刚接柱脚 .....	217	11.2.2 刚架类型及截面形式 .....	241
复习思考题 .....	218	11.2.3 刚架的布置 .....	242
<b>第 10 章 大跨空间钢结构设计</b> .....	<b>219</b>	11.2.4 刚架的荷载及荷载组合 .....	244
<b>10.1 网架结构设计</b> .....	<b>219</b>	11.2.5 刚架的内力组合和内力计算 .....	245
10.1.1 网架结构的类型和特点 .....	219	11.2.6 单层刚架变形计算 .....	245
10.1.2 平板网架 .....	220	11.2.7 刚架梁、柱的截面验算 .....	247
10.1.3 壳形网架 .....	226	<b>11.3 刚架主要节点的构造</b> .....	<b>248</b>
10.1.4 网架形式和主要尺寸 .....	228	11.3.1 梁、柱加腋节点构造 .....	248
10.1.5 网架的杆件与节点 .....	229	11.3.2 直线加腋节点 .....	248
10.1.6 网架的支承方式与支座节点 .....	231	11.3.3 柱脚节点 .....	250
10.1.7 网架结构的内力分析 .....	233	<b>11.4 单层刚架设计例题</b> .....	<b>250</b>
<b>10.2 悬索结构设计</b> .....	<b>235</b>	复习思考题 .....	253
10.2.1 悬索结构的分类 .....	235	附录 .....	255
10.2.2 悬索结构的受力分析 .....	235	附录 A 轴心受压稳定系数 .....	255
10.2.3 钢索的构造 .....	236	附录 B 柱的计算长度系数 .....	257
复习思考题 .....	238	附录 C 各种截面回转半径的 近似值 .....	260
<b>第 11 章 门式刚架设计</b> .....	<b>240</b>	附录 D 型钢表 .....	261
<b>11.1 概述</b> .....	<b>240</b>	附录 E 钢锚栓规格与螺栓有效 面积 .....	273
11.1.1 平面框架的形式 .....	240	附录 F 术语和符号 .....	276
11.1.2 门式刚架的常用形式 .....	241	参考文献 .....	282
<b>11.2 单层门式刚架设计</b> .....	<b>241</b>		
11.2.1 特点及适用范围 .....	241		

# 第1章 绪 论

钢结构是用钢板、型钢等轧成的钢材或通过冷加工成形的薄壁型钢，通过焊接、铆接或螺栓连接等方式制造的结构，它是建筑结构的一种主要形式。其基本构件有拉杆、压杆、梁、柱及桁架等。钢结构在土木工程中有着悠久的历史 and 广泛的应用，并有广阔的发展前景。

## 1.1 钢结构的特点和应用

### 1.1.1 钢结构的特点

钢结构与钢筋混凝土结构、砌体结构和木结构相比有以下特点：

- (1) 钢材的材质均匀，质量稳定，可靠性好；实际受力情况与力学计算结果比较符合。
- (2) 钢材的强度高、塑性和韧性好，抗冲击和抗振动能力强；因而，钢结构自重轻，如普通钢屋架的重量仅为相同跨度和荷载的钢筋混凝土屋架重量的  $1/4 \sim 1/3$ 。
- (3) 工业化程度高，便于运输、安装和拆迁，因而，具有加工精度高，制造周期短，生产效率高和建造速度快的特点。
- (4) 密封性强，耐热性较好，可用于建造压力容器和大直径输送管道。长期经受  $150^{\circ}\text{C}$  以内环境，钢材不会有质的变化。
- (5) 耐腐蚀性和耐火性差。钢材在潮湿和有侵蚀性介质的环境中易锈蚀，应采取除锈、刷漆、镀锌等防锈措施，并需定期检修，故维修费用高。当温度超过  $200^{\circ}\text{C}$  时，材质变软，强度降低，当超过  $150^{\circ}\text{C}$  时钢结构需采用防火和隔热措施。
- (6) 钢材在低温和其他特殊条件下，可能发生脆性断裂。

### 1.1.2 钢结构的应用范围

目前，钢结构常用于大跨、超高、过重、振动、密闭、高耸、空间和轻型的工程结构中，其应用范围大致如下。

- (1) 重型厂房结构。设有起重量较大的中级和重级工作制桥式起重机的车间，如炼钢车间、轧钢车间、铸钢车间、水压机车间、船体车间、热加工车间等重型车间的承重骨架和桥式起重机梁。
- (2) 大跨度结构。要求大空间的公共建筑和工业建筑，多需采用重量轻、强度高的大跨度钢结构，如飞机制造厂的装配车间、飞机库、体育馆、大会堂、剧场、展览馆等，多采用钢网架、拱架、悬索以及框架等结构体系。
- (3) 高层和超高层建筑。多采用钢框架结构体系，以加快建设速度，提高抗震性能。
- (4) 高耸构筑物。主要是承受风荷载的高耸塔桅结构，如高压输电线塔架、石油化工排气塔架、电视塔、环境气象监测塔、无线电桅杆等多采用塔桅钢结构。
- (5) 容器、贮罐、管道。大型油库、气罐、囤仓、料斗和大直径煤气管、输油管等多采用板壳钢结构，以保证在压力作用下耐久与不渗漏。
- (6) 可拆装和搬迁的结构，如流动式展览馆、装配式活动房屋等多用螺栓和扣件连接

的轻钢结构。

(7) 其他构筑物, 如高炉、热风炉、锅炉骨架, 大跨度铁路和公路桥梁、水工闸门、起重桅杆、运输通廊、管道支架和海洋采油平台等, 一般多采用钢结构。

## 1.2 钢结构的类型和组成

### 1.2.1 常用钢结构的类型与组成

常用钢结构的类型与组成如下述:

(1) 梁式结构。梁常用于房屋的屋盖和楼盖以及车间的工作平台, 桥梁与桥式起重机桥架。一般可按主次梁、平行或成对等方式布置梁格。

(2) 桁架式结构。钢屋架结构多用平面桁架组成。桁架仅受节点荷载, 各杆件基本承受轴向拉力和压力, 材料可充分利用。钢网架属于空间桁架, 近年来得到广泛应用。

(3) 框架式结构。框架多用于单层厂房和大跨度房屋结构, 也常用作多层和高层房屋的承重骨架。平面框架应设置侧向支撑体系、系杆和檩条以保证其稳定和刚度。梁、柱刚接的刚架, 其刚度可有明显提高。

(4) 拱式结构。大跨度房屋的承重骨架, 通常用平行放置的实腹式或格构式的拱及支撑系统、系杆和檩条等侧向联系组成。拱可做成无铰拱、两铰拱和三铰拱。拱截面一般承受较大的轴向压力, 而弯矩和剪力较小。

(5) 索式结构。多用于桥梁和大跨屋盖结构。它属于无刚度的轴心受拉构件, 材料利用充分, 受力性能良好。

### 1.2.2 钢结构的构件与连接

钢结构的基本构件有: 受弯构件, 轴向受力构件, 拉弯和压弯构件等。钢结构的连接具有重要地位。连接方式可有焊接、铆接和螺栓连接等。

## 1.3 钢结构的设计原理与方法

钢结构设计的目的是在现有的技术基础上用最少的人力、物力消耗获得能够完成全部功能要求的足够可靠的结构。

### 1.3.1 结构的功能要求

(1) 安全性。结构应能承受在正常施工和正常使用时可能出现的各种作用, 不致破坏; 在偶然事件发生时及发生后, 能保持必要的整体稳定。

(2) 适用性。结构在正常使用时具有良好的工作性能。

(3) 耐久性。结构在正常维护条件下, 能在预定的使用年限内具有足够的耐久性。

安全性、适用性和耐久性统称为结构的可靠性。结构的可靠性与经济性之间存在着矛盾, 科学的设计方法应使结构既经济又可靠。

### 1.3.2 结构功能的极限状态

显然, 结构能够满足某种功能要求, 并能良好地工作时, 称为结构“可靠”或“有效”; 反之, 则称为“不可靠”或“失效”。区分结构工作状态可靠或失效的标志是“极限状态”。结构功能的极限状态可分为两类。

(1) 承载能力极限状态。当结构或构件达到最大承载能力、疲劳破坏或不适于继续承载的变形时, 即为承载能力极限状态。

(2) 正常使用极限状态。当结构或构件达到正常使用或耐久性的某项限值的状态，结构超过该状态时将不能正常工作。

设计中，通常先按承载能力极限状态来设计结构或构件，再按正常使用极限状态来校核。

### 1.3.3 结构的功能函数

如图 1-1a 所示，结构的工作状态可用结构抗力  $R$  和作用效应  $S$  的关系式来描述。这种表达式称为结构的功能函数，以  $Z$  表示如下。

$$Z = R - S = f(S, R) \quad (1-1)$$

式中  $R$ ——结构抗力；

$S$ ——荷载效应。

结构功能函数表达式可用来判别结构的工作状态。

当  $Z > 0$  时，结构处于可靠状态；

当  $Z = 0$  时，结构处于极限状态；

当  $Z < 0$  时，结构处于失效状态。

### 1.3.4 结构极限状态方程

结构处于极限状态时的功能函数表达式， $Z = f(R, S) = 0$  称为结构极限状态方程。

结构设计必须满足结构功能要求，即结构不应超过极限状态，要求满足： $S \leq R$ 。

### 1.3.5 建筑结构的可靠度

1. 结构设计问题的不确定性 结构功能函数表达式中， $S$  和  $R$  均为随机变量，即具有不确定性；显然， $Z = R - S$  也是随机变量。

结构设计计算要求， $R$ 、 $S$ 、 $Z$  应为确定的量值。概率论和数理统计学表明：对这类随机现象的一次观测或试验，其结果是分散的，但是大量的重复观测或试验，则其结果会呈现统计的规律性，反映这种分布主要特征的数学解析式表达的分布曲线为正态分布曲线，如图 1-1b 所示。其主要特征是：中间高，两边低，以平均值为中心，频数或频率大体呈对称分布。

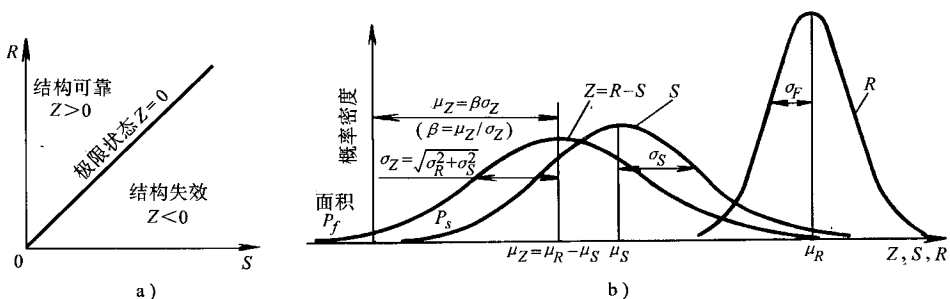


图 1-1 建筑结构设计原理

a) 结构工作状态判别图 b) 结构可靠概率与可靠指标的关系

2. 结构的可靠度 显然，结构的可靠性只能用概率来度量。度量结构可靠性的概率称为结构可靠度，具体定义为：结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的概率，即结构处于可靠状态的概率，称为结构可靠度，一般用  $P_s$  表示，失效概率则用  $P_f$  表示，两者为互补的，即：

$$P_s + P_f = 1, \text{ 或 } P_f = 1 - P_s \quad (1-2)$$

由  $Z$  的正态分布图 1-1b 可知, 失效概率为  $Z < 0$  时分布曲线的尾部面积, 用阴影标出。若  $Z$  值的平均值为  $\mu_z$ , 标准差为  $\sigma_z$ , 则  $\mu_z$  到坐标原点的距离可用  $\sigma_z$  来度量, 即取

$$\mu_z = \beta \sigma_z \quad \text{或} \quad \beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-3)$$

又知,  $\beta$  与  $P_f$  之间存在着对应关系,  $\beta$  同  $P_f$  一样, 可以作为衡量结构可靠性的一个指标,  $\beta$  被称为结构的可靠指标。为避免计算复杂, “建筑结构统一标准” 采用  $\beta$  代替  $P_f$  来度量结构的可靠性。“统一标准” 规定的作为设计依据的可靠指标  $[\beta]$ , 称为目标可靠指标。由于  $S$ 、 $R$  均为随机变量, 一般只能做到绝大多数情况下  $S \leq R$ , 并使失效概率低到人们可以接受的程度, “统一标准” 根据结构构件破坏类型及安全等级规定了  $[\beta]$  取值, 如表 1-1 所示。

建筑结构安全等级是根据建筑结构破坏后果的严重程度划分的, 如表 1-2 所示。

表 1-1 结构构件承载能力极限状态设计时的  $[\beta]$  值

破坏类型 \ 安全等级	一 级		二 级		三 级	
	$\beta$	$P_f$	$\beta$	$P_f$	$\beta$	$P_f$
延性破坏	3.7	$1.08 \times 10^{-4}$	3.2	$6.87 \times 10^{-4}$	2.7	$3.47 \times 10^{-3}$
脆性破坏	4.2	$1.33 \times 10^{-5}$	3.7	$1.08 \times 10^{-4}$	3.2	$6.87 \times 10^{-4}$

表 1-2 建筑结构安全等级

安全等级或设计使用年限	破坏后果	建筑物类型	结构重要性系数 $\gamma_0$
一级或 $\geq 100$ 年	很严重	重要的建筑物	1.1
二级或 = 50 年	严重	一般的建筑物	1.0
三级或 $\leq 5$ 年	不严重	次要的建筑物	0.9

对于正常使用极限状态,  $[\beta]$  应根据结构构件特点和工作经验确定。

在结构构件设计时, 应满足:

$$\beta \geq [\beta] \quad (1-4)$$

该法就是以概率为理论基础, 以各种功能要求的极限状态作为设计依据的概率极限状态设计法。该法基本概念合理, 可以给出结构可靠度的定量概念, 但计算过程复杂, 还不能普遍用于实际工程。所以, “统一标准” 采用以基本变量标准值和分项系数形式表达的极限状态实用设计表达式。

### 1.3.6 实用设计表达式

钢结构有两种设计方法: 容许应力设计法和概率极限状态设计法。

1. 容许应力设计法 容许应力设计法是一种传统的设计方法。其设计准则是, 结构构件按标准荷载计算的应力  $\sigma$  应不超过设计规范规定的容许应力  $[\sigma]$ , 其设计表达式为

$$\sigma = S_k/a_k \leq [\sigma] = f_y/K \quad (1-5)$$

式中  $S_k$ ——各种荷载标准值引起的内力的总和;

$a_k$ ——构件截面几何参数, 包括截面面积、截面系数  $W$  等;

$f_y$ ——钢材屈服强度标准值;

$K$ ——安全系数, 主要根据统计分析和工程经验确定。

容许应力法简单方便,目前有很多国家采用,我国铁路和公路桥梁规范也曾采用此法。建筑钢结构中对一些不能按极限平衡状态或弹塑性理论分析的结构,如结构构件或连接的疲劳强度计算,《钢结构设计规范》规定仍按容许应力法计算。

2. 概率极限状态设计法 《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)规定,钢结构的计算(除疲劳计算外),采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,用分项系数的设计表达式进行计算。

钢结构按承载能力极限状态设计时,采用应力计算表达式:

$$\gamma_0(\sigma_{Gd} + \sigma_{Q1d} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \sigma_{Qid}) \leq f_d \quad (1-6)$$

式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数,对安全等级为一、二、三级或设计使用年限分别为100年及以上、50年、50年及以下的结构构件,分别取为1.1、1.0、0.9,见表1-2所示;

$\sigma_{Gd}$ ——永久荷载设计值在结构构件截面或连接中产生的应力;

$\sigma_{Q1d}$ ——第一个可变荷载的设计值在结构构件的截面或连接中产生的应力;

$\psi_{ci}$ ——第*i*个可变荷载的组合值系数,当风荷载与其他可变荷载组合时可采用0.6;

$\sigma_{Qid}$ ——第*i*个可变荷载设计值在结构构件的截面或连接中产生的应力;

$f_d$ ——结构构件或连接的强度设计值,见表1-8、表1-9及表3-1、表3-10所示。

对于一般排架和框架结构,由于引起结构构件或连接的最大效应的可变荷载很难确定,可采用如下简化计算公式:

$$\gamma_0(\sigma_{Gd} + \psi_c \sum_{i=1}^n \sigma_{Qid}) \leq f \quad (1-7)$$

式中  $\psi_c$ ——组合值系数,当风载和其他活载组合时,取0.85;

其他符号意义同前。

对于正常使用极限状态,结构或构件按荷载的短期效应组合,其设计表达式为

$$v = v_{Gk} + v_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} v_{Qik} \leq [v] \quad (1-8)$$

式中  $v$ ——结构或构件中产生的变形值;

$v_{Gk}$ ——永久荷载标准值在结构或构件中产生的变形值;

$v_{Q1k}$ ——第一个可变荷载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;

$v_{Qik}$ ——第*i*个可变荷载标准值在结构或构件中产生的变形值;

$[v]$ ——结构或构件的容许变形值,按《钢结构设计规范》规定采用或见表1-11及表1-12所示。

### 1.3.7 钢结构设计的基本要求

钢结构设计要执行有关规范规定,应做到技术先进、经济合理、安全实用和确保质量,力求达到建筑与结构的完善统一。因此,在钢结构设计中要注意以下要求。

(1) 采用合理的结构体系。

(2) 尽可能实现模数化、标准化和工厂化制造。

(3) 采用优质钢材。

- (4) 采用先进可靠的连接方法。  
 (5) 采用计算机辅助设计。

钢结构设计应遵循合理的设计程序，确定正确的结构设计方案。结构设计程序大体为：  
 ①调查研究、收集资料；②确定结构方案；③进行结构布置；④进行结构内力分析，确定危险截面的内力；⑤进行各类构件的截面及联接的设计计算；⑥绘制施工图样；⑦施工图概算。

## 1.4 钢结构的设计指标

### 1.4.1 钢结构上的作用

结构上的作用，是指引起结构外加变形、裂缝和内力的原因。直接作用通称荷载；间接作用，如地基变形、混凝土收缩、温度变化和地震等则不能称荷载。

结构上的荷载可分为三大类：永久荷载，又称恒载；可变荷载，又称活载；偶然荷载，又称特殊荷载如龙卷风、爆炸、撞击等。

对荷载的取值，在结构设计时，应根据不同的设计要求采用不同的荷载代表值。

1. 荷载标准值 荷载标准值是指在结构的使用期间，在正常情况下出现的最大值，它是荷载的基本代表值通常要求具有95%的保证率。各类荷载标准值的取值，《荷载规范》规定：

(1) 永久荷载标准值。对于变异性不大的自重可按构件的设计尺寸或单位体积（或面积）的自重平均值取值；对于变异性较大的自重，当对结构不利时，取上限，反之取下限。常用材料的构件的自重见表1-3。或《荷载规范》（GB 50009—2001）附录A。

表 1-3 常用材料和构件自重

名 称	自 重	单 位	备 注
石灰砂浆、混合砂浆	17	kN · m <sup>-3</sup>	
石灰炉渣	10 ~ 12		
石灰锯末	3.4		石灰:锯末 = 1:3 (质量比)
水泥砂浆	20		
素混凝土	22 ~ 24		振捣或不振捣
加气混凝土	5.5 ~ 7.5		单块
钢筋混凝土	24 ~ 25		
膨胀珍珠岩粉料	0.8 ~ 2.5		干、松散，热导率 0.045 ~ 0.065
水泥珍珠岩制品	3.5 ~ 4		强度 0.4 ~ 0.8 MPa
			热导率 0.05 ~ 0.07 W/℃ · m
膨胀蛭石	0.8 ~ 2		热导率 0.045 ~ 0.06 W/℃ · m
沥青蛭石制品	3.5 ~ 4.5		热导率 0.07 ~ 0.09 W/℃ · m
水泥蛭石制品	4 ~ 6		热导率 0.8 ~ 0.12 W/℃ · m
浆砌普通砖	18		
浆砌机砖	19		
灰砂砖	18		砂:白灰 = 92:8
混凝土空心小砌块	11.8		390 × 190 × 190 mm <sup>3</sup>
钢	78.5		
铝合金	28.0		



(续)

名 称	自 重	单 位	备 注	
水泥粉刷墙面	0.36	kN·m <sup>-2</sup>	20mm厚, 水泥粗砂	
水磨石墙面	0.55		25mm厚, 包括打底	
水刷石墙面	0.50		25mm厚, 包括打底	
木屋架	0.07 + 0.007 × 跨度		按屋面水平投影面积计算, 跨度以 m 计	
钢屋架	0.12 + 0.011 × 跨度		无天窗, 包括支撑, 按屋面水平投影面积计算, 跨度以 m 计	
木框玻璃窗	0.2 ~ 0.3		按实际面积计算(下同)	
钢框玻璃窗	0.4 ~ 0.45			
粘土平瓦屋面	0.55			
水泥平瓦屋面	0.5 ~ 0.55			
冷摊瓦屋面	0.5			
油毡防水层	0.35 ~ 0.40			八层作法, 三毡四油上铺小石子
麻刀灰板条顶棚	0.45			吊木在内, 平均灰厚 20mm
砂子灰板条顶棚	0.55			吊木在内, 平均灰厚 25mm
水磨石地面	0.65			10mm 面层, 20mm 水泥砂浆打底

(2) 可变荷载标准值。《荷载规范》给出了各种可变荷载标准值的取值, 可直接查用。楼面均布活荷载标准值及其相关的系数见表 1-4, 屋面均布活荷载标准值及其相关系数见表 1-5。

考虑到作用在楼面上的活荷载不可能同时满布在所有楼面并达到最大值, 故在确定梁、墙、柱和基础的荷载标准值时, 应将楼面活荷载标准值予以折减, 表 1-6 为活荷载标准值的折减系数, 表 1-7 为活荷载按楼层数的折减系数。

(3) 可变荷载准永久值。可变荷载准永久值是指在规定的期限内经常达到或超过的荷载值, 它对结构的影响在性质上仅次于永久荷载, 如室内的家具和固定的设备的荷重等。

表 1-4 民用建筑楼面均布活荷载标准值及其组合值、频遇值和永久值系数

项次	类 别	标准值 (kN/m <sup>2</sup> )	组合值系 数 $\psi_c$	频遇值系 数 $\psi_f$	准永久值 系数 $\psi_q$
1	(1) 住宅、宿舍、旅馆、办公楼、医院、病房、托儿所、幼儿园	2.0	0.7	0.5	0.4
	(2) 教室、试验室、阅览室、会议室、医院门诊室			0.6	0.5
2	食堂、办公楼中的一般资料档案室	2.5	0.7	0.6	0.5
3	(1) 礼堂、医院、影院、有固定座位的看台	3.0	0.7	0.5	0.3
	(2) 公共洗衣房	3.0	0.7	0.6	0.5
4	(1) 商店、展览厅、车站、港口、机场大厅及其旅客等候室	3.5	0.7	0.6	0.5
	(2) 无固定座位的看台	3.5	0.7	0.5	0.3
5	(1) 健身房、演出舞台	4.0	0.7	0.6	0.5
	(2) 舞厅	4.0	0.7	0.6	0.3
6	(1) 书库、档案室、贮藏室	5.0	0.9	0.9	0.8
	(2) 密集柜书库	12.0			
7	通风机房、电梯机房	7.0	0.9	0.9	0.8