

全国高等院校**土木工程类**应用型系列规划教材

工程力学

李静辉 主编
张少实 主审

 科学出版社
www.sciencep.com

全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材



工 程 力 学

李静辉 主编
张少实 主审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书内容的选取是以教育部工科力学指导小组制定的普通本科中、少学时工程力学的基本要求为依据而编写的,满足土木工程类相关专业和其他工科专业只需要静力学和材料力学内容的教学,适用于授课时数为50~80学时。编写着重体现其实用性和通用性。

本书内容包括工程力学课程综述,静力学的基本概念和物体的受力分析,平面简单力系,平面任意力系、空间力系和重心、材料力学的基本概念,拉伸、压缩与剪切、扭转、弯曲内力,弯曲应力分析与强度计算、梁的位移分析与刚度计算,应力状态分析与强度理论,组合变形,压杆稳定,用变形能法计算弹性位移,构件的疲劳强度计算。每章前有学习要点,每章后有小结,供学生学习时参考。

本书可作为高等学校工科专业的教材,也可供高职高专、成人教育师生以及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学 / 李静辉主编. —北京:科学出版社,2009

(全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材)

ISBN 978-7-03-025131-2

I. 工… II. 李… III. 工程力学-高等学校-教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 133474 号

责任编辑:童安齐 任加林 / 责任校对:赵 燕

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009年8月第一次印刷 印张:21

印数:1—3 000 字数:471 000

定价:32.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026(BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

本书是全国高等院校土木工程类应用型系列规划教材之一,是为了满足土木工程类相关专业工程力学(静力学和材料力学)课程的教学需要而编写的,同时也兼顾了其他工科专业工程力学课程的教学需要。随着高等教育的快速发展,新专业的不断涌现,本书编写时考虑到不同专业对工程力学知识的要求差异较大,授课时数也不相同,为使本书具有一定的通用性,在保证力学知识完整性的情况下尽力合理选择课程内容,供授课时数为50~80学时的专业选用。编写力求做到理论与实用并重,加强基础,重视实践,概念严密,通俗易懂,满足中、少学时的土木工程类相关专业及其他工科专业对工程力学所需的力学知识,为学习相关的专业课程打好力学基础。

参加本书编写工作的有:东北林业大学贾永峰(绪论、第一章、第二章)、王平(第三~五章)、李静辉(第八章、附录)、赵亚哥白(第九、十章)、贾杰(第十三~十五章);北华大学蒙彦宇(第十一、十二章);南阳理工学院张岩(第六、七章)。蒙彦宇、王平还担任副主编。全书由李静辉统稿。

首届国家级教学名师、哈尔滨工业大学张少实教授审阅本书时,提出了许多宝贵的修改意见,在此向他表示深深的谢意。

在本书编写过程中,作者参考了一些理论力学、材料力学和工程力学等方面的教材,在此对这些教材的作者表示衷心地感谢。

限于编者水平,书中难免存在一些不妥之处,诚请读者批评指正。

编 者

2009年5月

主要符号表

符号	量的名称	符号	量的名称
A	面积	M	弯矩
a	间距	$\mathbf{M}$	力偶主矢
b	宽度	M_e	外力偶矩
d	直径、距离、力偶臂	M_f	摩阻力偶矩
D	直径	M_O	对点 O 的力矩矢量, 主矩
e	偏心距	M_x	对 x 轴之矩, 扭矩
E	弹性模量或杨氏模量	M_y	对 y 轴之矩, 弯矩
f_s	静摩擦因数	M_z	对 z 轴之矩, 弯矩
F	力	m	质量, 分布力偶集度
F_{Ax}, F_{Ay}	A 处铰约束力	n	转速
F_N	法向约束力、轴力	n_s	稳定安全因数
F_{cr}	临界载荷	p	内压力
F_R	合力、主矢	P	功率
F_s	牵引力、拉力、剪力	q	分布载荷集度
F_T	张力	R, r	半径
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 轴方向上的分量	r	矢径
G	切变模量	s	路程, 弧长
h	高度	Δ_x	水平位移, 轴向位移
I	惯性矩	$[\Delta]$	许用位移
I_p	极惯性矩	u_d	畸变能密度
I_{yz}	惯性积	v	应变能密度
i	惯性半径	V_e	应变能
k	弹簧刚度系数	W	功, 弯曲截面系数, 重量
l	长度、跨度	W_p	圆截面扭转截面系数

符号	量的名称	符号	量的名称
W_t	非圆截面扭转截面系数	σ_c	压应力
α	倾角,线膨胀系数	σ_m	平均应力
β	角	σ_b	强度极限
θ	梁横截面的转角,单位长度相对扭转角	σ_{bs}	挤压应力
φ	相对扭转角	$[\sigma]$	许用应力
γ	切应变	$[\sigma_t]$	许用拉应力
Δ	变形,位移	$[\sigma_c]$	许用压应力
δ	厚度、位移	σ_{cr}	临界应力
ϵ	线应变	σ_e	弹性极限
ϵ_e	弹性应变	σ_p	比例极限
ϵ_p	塑性应变	$\sigma_{0.2}$	条件屈服应力
ϵ_v	体积应变	σ_s	屈服应力
λ	柔度,长细比	τ	切应力
μ	泊松比,长度系数	$[\tau]$	许用切应力
ρ	密度,曲率半径	w	挠度
σ	正应力	σ_a	应力幅
σ_t	拉应力	r	循环特征

目 录

前言	
主要符号表	xiii
绪论	1
0.1 工程力学的研究对象和任务	1
0.2 工程力学的研究方法	3
0.3 学习工程力学的目的	4
第一章 静力学的基本概念和物体的受力分析	6
1.1 静力学基本概念	6
1.1.1 刚体	6
1.1.2 力	6
1.1.3 平衡	7
1.2 静力学公理	7
1.2.1 公理一：二力平衡原理	8
1.2.2 公理二：力的平行四边形法则	8
1.2.3 公理三：加减平衡力系原理	8
1.2.4 公理四：作用和反作用定律	9
1.2.5 公理五：刚化原理	10
1.3 约束与约束力	10
1.3.1 由柔软的绳索、链条或胶带等构成的约束	11
1.3.2 具有光滑接触表面的约束	11
1.3.3 向心轴承(径向轴承)	11
1.3.4 圆柱铰链和固定铰链支座	12
1.3.5 滚动支座	13
1.3.6 光滑的球铰链	13
1.3.7 止推轴承	14
1.3.8 二力杆	14
1.4 物体的受力分析和受力图	14
小结	17
思考题	18
习题	18
第二章 平面简单力系	21
2.1 平面汇交力系的合成与平衡条件	21
2.1.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	21

2.1.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	24
2.2 平面力对点之矩	27
2.2.1 力对点之矩(力矩)	27
2.2.2 合力矩定理与力矩的解析表达式	28
2.3 平面力偶系	29
2.3.1 力偶	29
2.3.2 力偶矩	29
2.3.3 平面力偶等效定理	30
2.3.4 平面力偶系的合成与平衡条件	30
小结	33
思考题	34
习题	34
第三章 平面任意力系	37
3.1 力的平移定理	37
3.2 平面任意力系向作用面内一点简化	38
3.2.1 平面任意力系向作用面内一点简化	38
3.2.2 平面任意力系简化结果的讨论	40
3.3 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	43
3.3.1 平面任意力系平衡方程的基本形式	43
3.3.2 平面任意力系其他平衡方程形式	43
3.3.3 平面平行力系的平衡条件	44
3.4 物体系的平衡、静定和静不定问题	47
3.4.1 物体系的平衡	47
3.4.2 静定和静不定问题	50
小结	52
思考题	53
习题	53
第四章 空间力系和重心	58
4.1 力在直角坐标轴上的投影	58
4.2 力对轴的矩和力对点的矩	59
4.2.1 力对轴的矩	59
4.2.2 力对点的矩	60
4.2.3 力对点的矩与力对通过该点的轴的矩的关系	61
4.2.4 力偶矩矢	61
4.3 空间任意力系的简化	62
4.3.1 空间任意力系向任一点简化	62
4.3.2 空间任意力系的简化结果分析	63
4.4 空间力系的平衡条件和平衡方程	65

4.5 重心	69
4.5.1 重心的概念	69
4.5.2 重心坐标公式	69
4.5.3 确定物体重心的方法	70
小结	75
思考题	76
习题	76
第五章 材料力学的基本概念	79
5.1 变形固体的基本假设	79
5.1.1 变形固体的基本概念	79
5.1.2 变形固体的假设	79
5.2 外力及其分类、构件的计算简图	80
5.2.1 外力及其分类	80
5.2.2 构件的计算简图	80
5.3 内力、截面法与应力的概念	82
5.3.1 内力的概念	82
5.3.2 截面法	82
5.3.3 举例	82
5.3.4 应力的概念	83
5.4 变形、位移与应变的概念	84
5.4.1 变形的概念	84
5.4.2 位移的概念	84
5.4.3 应变的概念	84
5.5 杆件变形的基本形式	85
小结	87
思考题	88
第六章 拉伸、压缩与剪切	89
6.1 轴向拉伸与压缩的概念	89
6.2 轴向拉压杆的内力	90
6.2.1 轴力	90
6.2.2 轴力图	90
6.3 轴向拉压杆的应力	92
6.3.1 横截面上的应力	92
6.3.2 斜截面上的应力	95
6.4 材料在拉伸和压缩时的力学性能	96
6.4.1 材料在拉伸时的力学性能	97
6.4.2 材料在压缩时的力学性能	100
6.5 轴向拉压杆的变形与胡克定律	101

6.5.1 轴向变形与胡克定律	102
6.5.2 横向变形	102
6.6 应力集中的概念	105
6.7 拉压杆的强度计算	106
6.7.1 失效	106
6.7.2 许用应力	106
6.7.3 强度条件	107
6.8 简单拉压静不定问题	109
6.8.1 静不定问题的概念	109
6.8.2 静不定问题的求解	110
6.8.3 温度应力和装配应力	112
6.9 连接部分的强度计算	114
6.9.1 剪切的实用计算	114
6.9.2 挤压的实用计算	115
小结	117
思考题	118
习题	118
第七章 扭转	122
7.1 扭转的概念	122
7.2 扭转杆件的内力	122
7.2.1 外力偶矩的计算	122
7.2.2 扭矩的计算	123
7.2.3 扭矩图的绘制	123
7.3 薄壁圆筒的扭转	124
7.3.1 切应力互等定理	124
7.3.2 剪切胡克定律	126
7.4 圆轴扭转时的应力和变形	127
7.4.1 实心圆轴的扭转	127
7.4.2 极惯性矩和抗扭截面系数	129
7.4.3 扭转角	130
7.5 受扭圆轴的强度计算和刚度计算	131
7.5.1 强度计算	131
7.5.2 刚度计算	131
7.6 圆轴扭转的静不定问题	133
7.7 矩形截面杆扭转简介	134
7.7.1 矩形截面杆扭转的概念	134
7.7.2 计算公式	135
7.7.3 附系数	136

小结	136
思考题	137
习题	137
第八章 弯曲内力	140
8.1 弯曲的概念与工程实例	140
8.1.1 工程实际中的弯曲问题	140
8.1.2 梁的支座及支座反力	141
8.1.3 静定梁的基本形式	142
8.2 梁的内力及其计算方法	142
8.2.1 梁的内力——剪力和弯矩	142
8.2.2 剪力、弯矩符号规定	143
8.3 剪力图与弯矩图	146
8.4 剪力、弯矩与荷载集度间的微分关系	150
8.4.1 剪力、弯矩与荷载集度间的微分关系	150
8.4.2 剪力图和弯矩图的形状判断	151
8.4.3 利用微分关系绘制内力图的一般步骤	152
8.5 用叠加法作弯矩图	154
8.5.1 叠加法作弯矩图的原理	154
8.5.2 区段叠加法作弯矩图	155
8.6 平面刚架的内力图	158
小结	159
思考题	159
习题	160
第九章 弯曲应力分析与强度计算	163
9.1 对称弯曲正应力	163
9.1.1 试验与假设	163
9.1.2 对称弯曲正应力的一般公式	164
9.1.3 最大弯曲正应力	166
9.2 惯性矩与平行移轴定理	167
9.2.1 简单截面的惯性矩	167
9.2.2 组合截面的惯性矩	168
9.2.3 惯性矩平行移轴定理	169
9.3 梁横截面弯曲切应力的简介	171
9.3.1 矩形截面梁	171
9.3.2 工字形截面梁	174
9.3.3 圆形截面梁	175
9.3.4 薄壁环形截面梁	175
9.4 弯曲强度条件及其应用	176

9.4.1 弯曲正应力强度条件	176
9.4.2 弯曲切应力强度条件	177
9.4.3 举例	177
9.5 提高梁强度的主要措施	180
9.5.1 选择合理截面形状	180
9.5.2 变截面梁与等强度梁	181
9.5.3 改善梁的受力情况	181
小结	183
思考题	183
习题	184
第十章 梁的位移分析与刚度计算	189
10.1 挠度与转角	189
10.1.1 挠曲线的概念	189
10.1.2 挠度与转角的概念及关系	189
10.2 挠曲线的近似微分方程	190
10.3 用积分法计算梁的位移	191
10.4 用叠加法计算梁的位移	195
10.4.1 叠加法	195
10.4.2 逐段分析求和法	195
10.5 梁的刚度条件、提高刚度的主要措施	197
10.5.1 梁的刚度条件	197
10.5.2 提高刚度的主要措施	197
10.6 简单静不定梁	198
10.6.1 静不定梁的概念	198
10.6.2 静不定梁的求解方法	198
小结	199
思考题	200
习题	200
第十一章 应力状态分析与强度理论	204
11.1 一点应力状态的概念	204
11.1.1 应力状态的概念	204
11.1.2 一点应力状态的表示法	204
11.1.3 单元体的取法	205
11.2 平面应力状态分析	206
11.2.1 任意斜截面的应力——平面应力状态分析的解析法	206
11.2.2 应力圆(莫尔应力圆)——平面应力状态分析的图解法	208
11.2.3 极值应力与主应力、主平面	209
11.2.4 应力状态的分类	212

11.3 三向应力状态的最大应力	213
11.3.1 三向应力圆	213
11.3.2 最大应力	214
11.4 广义胡克定律	215
11.4.1 广义胡克定律	215
11.4.2 主应力与主应变关系——主应力与主应变广义胡克定律	217
11.5 强度理论	218
11.5.1 强度理论的概念	218
11.5.2 两大类四种强度理论	218
小结	223
思考题	223
习题	225
第十二章 组合变形	229
12.1 组合变形的概念	229
12.1.1 组合变形工程实例	229
12.1.2 组合变形的叠加原理	229
12.2 斜弯曲	230
12.2.1 斜弯曲的概念	230
12.2.2 斜弯曲的内力与应力	230
12.2.3 斜弯曲的强度问题	231
12.3 拉伸(或压缩)与弯曲的组合变形	232
12.3.1 轴向力与横向力共同作用的拉(压)弯组合变形	232
12.3.2 拉(压)弯组合变形实例	233
12.4 弯曲与扭转的组合	234
12.4.1 弯扭组合变形的第三、四强度理论公式	234
12.4.2 弯扭组合变形实例	236
小结	238
思考题	238
习题	239
第十三章 压杆稳定	241
13.1 压杆稳定的概念	241
13.2 细长压杆的临界力	243
13.2.1 两端铰支细长压杆的临界力	243
13.2.2 不同杆端约束下细长压杆的临界力	245
13.2.3 细长压杆临界力的统一公式	246
13.3 中小柔度杆的临界应力	247
13.3.1 临界应力与柔度	247
13.3.2 欧拉公式的适用范围	247

13.3.3 临界应力与经验公式	248
13.3.4 临界应力总图	249
13.4 压杆稳定性计算及提高稳定性的措施	250
13.4.1 压杆稳定条件	250
13.4.2 压杆的稳定性计算	250
13.4.3 提高压杆稳定性的措施	252
小结	253
思考题	253
习题	253
第十四章 用变形能法计算弹性位移	256
14.1 概述	256
14.2 外力功与弹性变形能的计算	256
14.2.1 外力功	256
14.2.2 杆件弹性变形能的计算	257
14.3 单位荷载法	264
14.3.1 单位荷载法的计算位移公式	264
14.3.2 计算示例	266
14.4 图乘法	268
14.4.1 图乘法的计算位移公式	268
14.4.2 计算示例	271
小结	272
思考题	272
习题	273
第十五章 构件的疲劳强度计算	276
15.1 交变应力与疲劳破坏	276
15.1.1 交变应力的概念	276
15.1.2 疲劳破坏的概念	277
15.1.3 交变应力参数的描述	278
15.2 材料的疲劳极限及其测定方法	279
15.2.1 疲劳极限的概念	279
15.2.2 测定材料疲劳极限的方法	279
15.3 构件的疲劳极限	281
15.3.1 影响疲劳极限的因素	281
15.3.2 构件的疲劳极限	285
15.4 对称循环下构件的强度计算	285
15.5 非对称循环下构件的疲劳强度计算简介	287
15.6 提高构件疲劳强度的措施	289
小结	290

思考题	290
习题	291
附录 A 常用材料的力学性能	293
附录 B 常见截面的几何性质	294
附录 C 梁的挠度与转角	296
附录 D 型钢表	298
部分习题答案	310
参考文献	317

绪 论

0.1 工程力学的研究对象和任务

20 世纪以来,世界科学技术迅猛发展,产生了许多事物,比如航天飞船与火箭(图 0.1)、高层建筑(图 0.2)、桥梁(图 0.3)等结构中,工程力学的知识都起到了非常重要的作用。

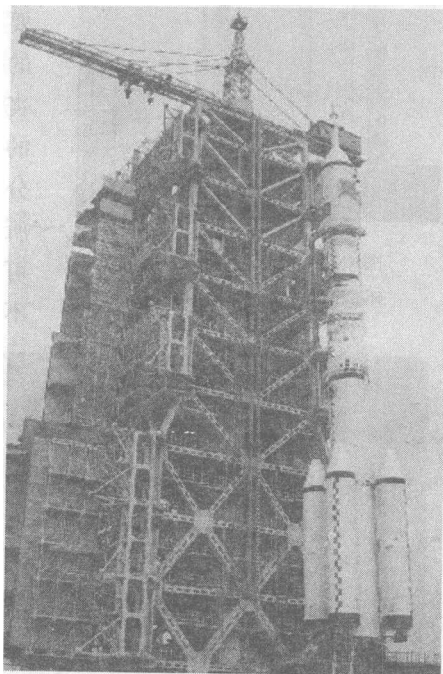
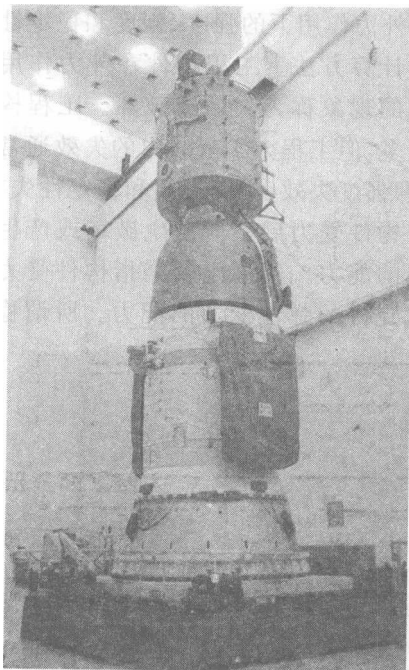


图 0.1 神舟七号和长征二号 F 型火箭

工程力学是一门研究物体机械运动一般规律和构件承载能力的科学。所谓机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化,而构件承载能力则指机械零件和结构部件在工作时安全可靠地承担外载荷的能力。

对于工程力学,其所研究的机械运动主要有两大类:一类是研究物体的运动,研究作用在物体上的力和运动的关系;另一类是研究物体的变形,研究作用在物体上的力与变形之间的关系。工程结构是工程中各种结构的统称,包括机械结构、土木结构、航空航天结构、化工结构等。在土木工程中,承受荷载和传递荷载,起着骨架作用的部分称为结构,如房屋中的梁柱体系、水工建筑物中的闸门和水坝、桥梁和隧洞等,都是工程结构的典型例子。工程结构是由各种构件构成的,设计时要对各构件在静力平衡状态下进行受力分析,

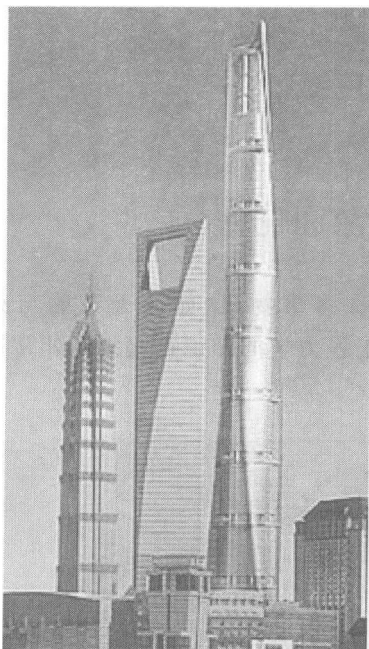


图 0.2 金茂大厦、上海
环球金融中心、上海中心

确定构件的受力情况,研究作用力必须满足的条件,同时当工程结构中的各构件处于运动状态时,对构件还要进行运动和动力分析,这些问题均属于研究物体机械运动所涉及的内容。为保证工程结构安全正常工作,要求各构件不发生断裂或产生过大变形,则必须根据构件的受力情况,为构件选择适当的材料、设计合理的截面形状和尺寸,这些问题则是属于研究构件承载能力方面的内容。

工程力学有其自身的科学系统,本课程包括静力学、材料力学两部分。静力学主要研究力系的简化及物体在力系作用下的平衡规律。材料力学主要研究构件在外力作用下的强度、刚度和稳定性等的基本理论和计算方法。工程构件在外力作用下丧失正常功能的现象称为失效或破坏。工程构件的失效形式很多,但工程力学范畴内的失效通常可分为三大类,即强度失效、刚度失效和稳定性失效。所谓强度是指构件受力后不能发生破坏或产生不可恢复的变形的能力。所谓刚度是指构件受力后不能发生超过允许的弹性变形的能力。所谓稳定

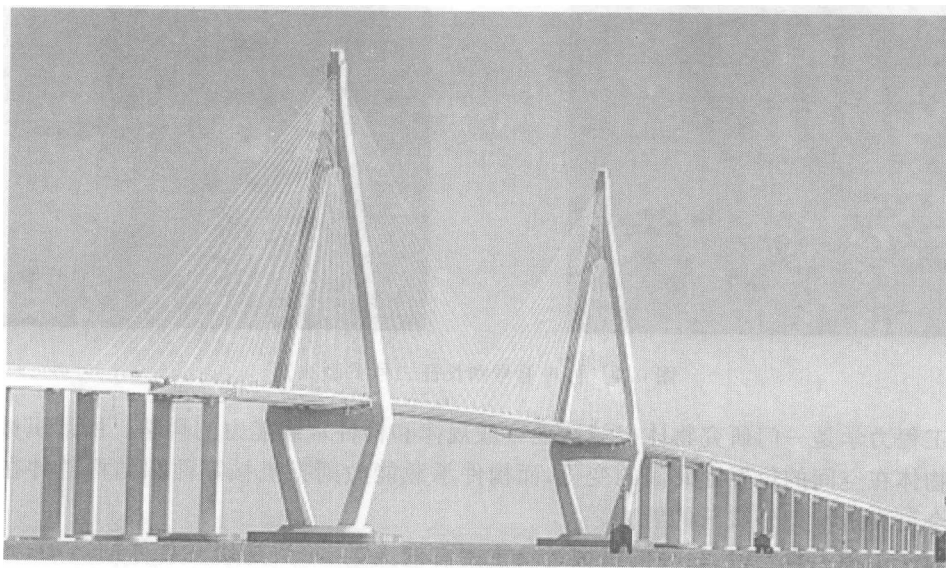


图 0.3 杭州湾跨海大桥

性是指构件在荷载作用下,保持初始平衡形式而不发生突然变形的能力。工程力学的任务就是保证构件在确定的外力作用下能够正常工作而不发生强度失效、刚度失效和稳定性失效的能力,即保证构件具有足够的强度、足够的刚度与足够的稳定性。