



北京市高等教育精品教材立项项目

# 现代桥梁预应力结构

(第2版)

朱尔玉 刘磊 编 著  
兰巍 李学民 主 审  
董德禄



清华大学出版社·北京交通大学出版社

北京市高等教育精品教材立项项目

# 现代桥梁预应力结构

(第2版)

朱尔玉 刘 磊 兰 巍 李学民 编著  
董德禄 主审

清华大学出版社  
北京交通大学出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

本书主要讲述预应力结构的理论、分析计算方法在桥梁工程中的运用。介绍了预应力技术的发展历史、预应力混凝土桥梁结构材料、桥梁预应力施工工艺、预应力混凝土桥梁结构分析与设计原理、预应力桥梁耐久性研究,以及预应力在混凝土桥梁(连续梁桥、刚构桥、刚构—连续组合梁桥、混凝土拱桥、斜拉桥、悬索桥)中具体的运用。

本书既可作为桥梁和结构工程专业本科生和研究生的教材或教学参考书,也可作为桥梁与结构工程领域技术人员和高等院校教师的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

## 图书在版编目(CIP)数据

现代桥梁预应力结构 / 朱尔玉编著. — 2 版. — 北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2011.11

ISBN 978-7-5121-0784-7

I. ① 现… II. ① 朱… III. ① 预应力混凝土桥-结构设计-高等学校-教材  
IV. ① U448.352.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第225707号

责任编辑:杨正泽 特邀编辑:刘 冀

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:22 字数:630千字

版 次:2008年10月第1版 2012年1月第2版 2012年1月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-0784-7/U·78

印 数:1~3 000册 定价:36.00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。

## 序

预应力混凝土桥的问世使梁式桥梁的跨度飞速增长。在当前全世界的桥梁中，有70%以上都采用了预应力结构。预应力混凝土技术在桥梁中的地位已经非常重要。中国自改革开放以来，工程与技术都有了巨大的发展，在预应力技术上的应用与创新尤其显著，大跨径桥梁与大型结构的设计与建造都已达到了世界先进水平。

作者朱尔玉同志及其领导的团队长期以来从事预应力结构设计理论、预应力技术开发及其工程应用的研究和教学工作，在预应力桥梁结构的优化设计与试验验证、预应力结构的耐久性、轨道交通预应力轨道梁制造控制软件系统、预应力轨道梁标准定型化设计等方面做了很多研究并取得了突出的成绩，在预应力技术方面有很高的学术造诣及实践经验。本书是其多年来对预应力混凝土桥梁研究和教学工作的心得和汇总，也是献给有志于从事桥梁建设事业读者的一份礼物。

这本现代桥梁预应力结构既包括了预应力技术的基本理论、分析计算方法、材料、工艺及设备，还详细论述了预应力技术在桥梁工程中的具体应用。本书在内容的编写上，比以往同类书籍更有所创新与发展。我相信本书不论对学习预应力桥梁的在校学生还是对从事预应力混凝土桥梁的建设者们都非常有用。故愿意进行推荐和作序。

赵国藩

(中国工程院院士)

2012年1月

# 前 言

现代预应力混凝土桥梁是预应力混凝土发展的象征。现代预应力混凝土桥梁结构是充分利用混凝土和预应力钢筋材料各自优点建造的高效结构。与非预应力混凝土桥梁相比，现代预应力混凝土桥梁具有跨越能力大、受力性能好、结构轻巧美观、经济、节材等优点。

在现代桥梁设计和建造中，预应力混凝土桥梁占了绝大多数。对于桥梁方向的学生来说，预应力混凝土桥梁是一门应用性很强的专业课程。学好这门课程为学生以后从事桥梁工程建设打下坚实的专业基础。

本书是在朱尔玉教授多年的教学讲义和科研成果的基础上编写而成的。在本书出版以前，虽然已经有一些介绍预应力混凝土结构方面的著作，但大多是介绍房屋建筑结构方面的，而对预应力桥梁工程方面专门和系统进行介绍的专著很少。本书编著的目的就是想较系统地介绍现代桥梁预应力结构设计理论、分析计算方法和施工技术在桥梁工程中的运用，并密切结合我国现行的公路和铁路桥梁设计规范进行讲解。全书共分14章，第1章到第8章结合我国现行公路和铁路桥梁设计规范详细地介绍了预应力桥梁结构的基本理论、分析计算方法和施工技术。第9章到第14章结合不同的桥梁类型及工程实例重点介绍其预应力方案选则、结构布置、施工方法、相关计算等内容。每章之后编列了思考题和习题，便于读者巩固所学知识和自我检查。

本书在编写过程中，参考和借鉴了近年来国内外预应力相关的教材、文章和规范等，并将主要参考文献附在书末，在此对有关作者和出版社深表感谢。本书引用绝无侵权之意，特此申明。

本书由北京交通大学朱尔玉、刘磊、兰巍与中铁四局集团有限公司李学民共同编写，重庆市轨道交通（集团）有限公司董德禄主审。北京交通大学禹国辉、张永宾、韩广晖参加了思考题和习题的编写和校对工作。编者非常感谢敬爱的导师大连理工大学赵国藩院士为本书作序，非常感谢赵国藩院士在百忙之中对本书的关心。在全书的出版过程中，编者得到了北京交通大学土建学院领导、北京交通大学出版社和清华大学出版社的大力支持和帮助，在此一并致以衷心感谢。

由于编者水平和时间有限，书中难免有缺点和错误，恳请读者指正。

编者

2012年1月于北京交大

# 目 录

<b>第 1 章 桥梁预应力总论</b> .....	1
1.1 预应力基本概念 .....	1
1.1.1 预应力结构的定义 .....	1
1.1.2 预应力结构的特点 .....	4
1.1.3 预应力度 .....	5
1.2 预应力桥梁结构基本形式 .....	7
1.2.1 预应力梁桥 .....	7
1.2.2 预应力刚构桥 .....	8
1.2.3 预应力拱桥 .....	9
1.2.4 预应力斜拉桥 .....	10
1.2.5 预应力悬索桥 .....	11
1.3 预应力混凝土的分类 .....	12
1.3.1 按施工工艺分类 .....	13
1.3.2 按预应力度分类 .....	13
1.3.3 按预应力筋的位置分类 .....	13
1.4 预应力桥梁结构发展历史 .....	14
1.4.1 国外预应力混凝土桥梁的发展 .....	14
1.4.2 国内预应力混凝土桥梁的发展 .....	15
1.4.3 预应力混凝土桥梁的优势 .....	15
1.4.4 大跨预应力混凝土桥梁亟待解决的课题 .....	15
1.5 现代预应力桥梁结构最新进展 .....	16
1.5.1 预应力结构型式与体系 .....	16
1.5.2 预应力结构新材料 .....	16
1.5.3 预应力结构设计理论 .....	17
1.5.4 预应力施工工艺 .....	18
习题 .....	18
<b>第 2 章 预应力桥梁结构材料和产品</b> .....	20
2.1 预应力筋及非预应力筋 .....	20
2.1.1 预应力筋的性能要求 .....	20
2.1.2 预应力筋的种类 .....	21
2.1.3 预应力筋的力学性能 .....	24
2.1.4 非预应力筋 .....	25
2.2 混凝土 .....	26

2.2.1	混凝土的性能要求	26
2.2.2	混凝土的种类	28
2.2.3	混凝土的力学性能	28
2.3	预应力体系配套产品	33
2.3.1	预应力锚固体体系的基本要求	33
2.3.2	预应力锚具的分类	34
2.3.3	常用的锚具	35
2.3.4	桥梁中常用的锚固体体系介绍	38
2.3.5	无粘结预应力筋	40
2.3.6	连接器	40
2.3.7	波纹管	41
2.3.8	预应力机具	43
	习题	44
<b>第3章</b>	<b>桥梁预应力施工工艺</b>	<b>46</b>
3.1	预应力施工工艺种类	46
3.1.1	先张法预应力施工工艺	46
3.1.2	有粘结后张法预应力施工工艺	47
3.1.3	无粘结预应力施工工艺	48
3.1.4	体外预应力施工工艺	49
3.2	预应力施工	49
3.2.1	预应力设备选用及校正	49
3.2.2	工艺流程	49
3.2.3	施工工艺	50
3.2.4	预应力筋张拉	50
3.2.5	预应力筋张拉要求	52
3.3	灌浆工艺	53
3.3.1	灌浆材料	54
3.3.2	压浆设备	54
3.3.3	普通预应力混凝土孔道灌浆工艺	55
3.3.4	真空辅助灌浆工艺	56
	习题	61
<b>第4章</b>	<b>桥梁预应力损失计算、结构性能与构造</b>	<b>62</b>
4.1	预应力张拉控制应力	62
4.2	预应力损失计算	63
4.2.1	总损失估算法(综合估算法)	63
4.2.2	分项计算法	64
4.2.3	精确估算法	73
4.3	有效预应力的计算及减小预应力损失的措施	73
4.3.1	有效预应力的计算	73

4.3.2	减小预应力损失的措施	74
4.3.3	预应力损失算例	75
	习题	79
<b>第5章</b>	<b>预应力混凝土构件承载能力极限状态计算</b>	<b>81</b>
5.1	一般规定	81
5.1.1	基本假定	81
5.1.2	受压区混凝土的等效矩形应力图形	81
5.1.3	相对界限受压区高度 $\xi_b$ 的计算	82
5.1.4	纵向钢筋应力	82
5.1.5	由预应力产生的混凝土法向应力与预应力钢筋的应力计算	83
5.1.6	预应力筋与非预应力筋的合力及合力点的偏心距	83
5.2	受弯构件正截面承载力计算	84
5.2.1	预应力混凝土受弯构件的各阶段受力	84
5.2.2	预应力混凝土受弯截面破坏形态	87
5.2.3	预应力混凝土受弯构件的正截面强度计算	88
5.3	受拉截面计算	90
5.3.1	轴心受拉构件的正截面受拉承载力	90
5.3.2	矩形截面偏心受拉构件的正截面受拉承载力	90
5.3.3	斜截面抗剪承载力计算	91
5.4	受剪截面承载力计算	92
5.4.1	预应力混凝土斜截面破坏形态	92
5.4.2	预应力混凝土斜截面承载力分析	92
5.4.3	预应力混凝土斜截面抗剪承载力计算	95
5.4.4	预应力混凝土斜截面抗弯承载力计算	99
5.5	受扭截面计算	100
5.5.1	预应力对受扭截面的有利作用	100
5.5.2	矩形截面受扭构件承载力的计算	100
5.6	局部承压承载力计算	102
5.6.1	局部承压承载力的计算理论	102
5.6.2	局部承压承载力的计算	103
5.6.3	局部受压构件的构造要求	105
5.7	受冲切承载力计算	108
5.7.1	预应力混凝土抗冲切破坏形态	108
5.7.2	计算公式	108
5.8	疲劳验算	109
5.8.1	概述	109
5.8.2	预应力混凝土构件疲劳验算	111

习题	113
<b>第 6 章 预应力混凝土构件正常使用极限状态验算</b>	<b>115</b>
6.1 裂缝验算	115
6.1.1 预应力混凝土构件中裂缝的出现、分布及特征	115
6.1.2 裂缝宽度限值	117
6.1.3 裂缝宽度验算	120
6.1.4 预应力混凝土结构裂缝控制的名义拉应力法	129
6.2 受弯构件挠度验算	130
6.2.1 计算规定	130
6.2.2 挠度限值	130
6.2.3 受弯构件挠度的计算	131
6.2.4 收缩、徐变对挠度的影响	132
习题	133
<b>第 7 章 预应力桥梁耐久性研究</b>	<b>134</b>
7.1 概述	134
7.1.1 国外研究概况	134
7.1.2 国内研究概况	136
7.2 影响耐久性的主要因素	140
7.2.1 内在因素	140
7.2.2 环境因素	145
7.2.3 受荷状态	145
7.3 提高混凝土桥梁结构耐久性的技术措施	146
7.3.1 结构混凝土耐久性的基本要求	146
7.3.2 加大钢筋的混凝土保护层厚度	148
7.3.3 加强构造配筋,防止和控制混凝土裂缝	149
7.3.4 提高后张法预应力钢筋管道压浆质量的措施	150
7.3.5 提高预应力钢绞线锚固端的封锚措施	150
7.3.6 加强桥面排水和桥面铺装层的防水设计	151
7.4 混凝土结构耐久性设计的内容	152
7.4.1 结构使用环境类别和设计使用年限的确定	152
7.4.2 混凝土结构耐久性设计的内容	153
习题	154
<b>第 8 章 预应力混凝土超静定结构设计</b>	<b>155</b>
8.1 概述	155
8.1.1 超静定预应力混凝土结构的优缺点	155
8.1.2 超静定预应力混凝土结构的常用分析方法	156
8.2 弹性分析	156
8.3 压力线、线性变换与吻合束	158
8.3.1 压力线	158

8.3.2	线性变换	160
8.3.3	吻合束	162
8.4	等效荷载法	163
8.4.1	直线预应力筋的等效荷载	163
8.4.2	折线预应力筋的等效荷载	163
8.4.3	曲线预应力筋的等效荷载	164
8.4.4	广义等效荷载	166
8.5	荷载平衡法	168
8.5.1	荷载平衡法的基本原理	168
8.5.2	荷载平衡法的应用	170
8.5.3	荷载平衡法的设计步骤	172
8.5.4	荷载平衡法应用中的探讨	172
8.5.5	应用举例	174
8.6	约束次内力法	176
8.6.1	基本原理	176
8.6.2	计算方法	178
8.6.3	约束次内力法的优点	179
8.7	超静定结构的内力重分布	179
8.7.1	内力重分布	179
8.7.2	弯矩调幅	180
8.7.3	弯矩重分布中次弯矩的影响	181
	习题	183
<b>第9章</b>	<b>预应力混凝土连续梁桥</b>	<b>185</b>
9.1	概述	185
9.1.1	预应力混凝土连续梁桥的一般特点	185
9.1.2	预应力混凝土连续梁桥的受力特点	186
9.1.3	适用范围	188
9.2	连续梁的横截面设计	188
9.2.1	截面型式	188
9.2.2	横截面设计原则	188
9.2.3	板式截面	189
9.2.4	梁肋式截面	190
9.2.5	箱形截面	192
9.2.6	横隔板(梁)	194
9.3	连续梁的构造特点与配筋原则	195
9.3.1	构造特点	195
9.3.2	预应力混凝土梁桥的配束原则	198
9.3.3	预应力混凝土梁桥的配筋构造	199
9.4	主梁结构内力计算	201

9.4.1	恒载内力计算	201
9.4.2	活载内力计算	205
9.4.3	内力组合	206
9.4.4	内力包络图	207
9.5	配束计算与束界	208
9.5.1	主梁截面双向受弯的配束计算	208
9.5.2	束界	209
9.6	桥面板计算	210
9.6.1	桥面板的分类	210
9.6.2	车轮荷载在板上的分布	212
9.6.3	桥面板的有效工作宽度	213
9.6.4	桥面板内力的计算	217
9.7	挠度计算与预拱度设置	221
9.8	预应力混凝土连续梁桥的工程实例	224
9.8.1	上部结构	225
9.8.2	预应力体系	225
	习题	227
<b>第 10 章</b>	<b>预应力混凝土刚构桥</b>	<b>229</b>
10.1	概述	229
10.2	刚构桥的主要类型及构造特点	229
10.2.1	结构类型	229
10.2.2	构造特点	231
10.3	刚构桥的内力计算	237
10.3.1	刚构桥设计	237
10.3.2	刚构桥附加内力计算	238
10.4	预应力钢筋布置	241
10.5	预应力混凝土刚构桥的工程实例	243
	习题	245
<b>第 11 章</b>	<b>大跨径刚构—连续组合梁桥</b>	<b>246</b>
11.1	概述	246
11.2	大跨径刚构—连续组合梁桥的受力性能	247
11.3	大跨径刚构—连续组合梁桥箱梁剪力滞效应分析	249
11.3.1	剪力滞概念	249
11.3.2	剪力滞效应的计算方法	250
11.4	合拢前静荷载、风荷载及施工荷载作用下的结构安全度分析	252
11.5	大跨径刚构—连续组合梁桥工程实例	252
	习题	254
<b>第 12 章</b>	<b>预应力混凝土拱桥</b>	<b>255</b>
12.1	预应力拱桥的特点、类型和组成	256

12.1.1	特点	256
12.1.2	类型	256
12.1.3	组成	257
12.2	预应力混凝土拱桥的构造	257
12.2.1	总体布置	257
12.2.2	杆件的截面	259
12.2.3	下部结构	264
12.3	预应力混凝土拱桥的计算	266
12.3.1	计算简图、计算方法及主要计算假定	266
12.3.2	营运阶段受力计算	267
12.3.3	施工过程中受力计算	267
12.3.4	预应力混凝土构件应力和强度计算	268
12.3.5	钢筋混凝土构件计算	269
12.3.6	稳定分析	269
12.4	预应力混凝土拱桥的工程实例	269
12.4.1	概况	269
12.4.2	设计	270
	习题	272
<b>第 13 章</b>	<b>预应力混凝土斜拉桥</b>	<b>274</b>
13.1	概述	274
13.2	结构型式的选择	276
13.2.1	双塔三跨式	276
13.2.2	独塔双跨式	277
13.2.3	单跨式	277
13.2.4	多塔多跨式	278
13.2.5	辅助墩和边引跨	279
13.3	斜缆索的构造、锚固和防护	279
13.3.1	拉索的构造	280
13.3.2	拉索的锚固	282
13.3.3	斜索的防护	284
13.3.4	斜拉索的张拉	286
13.4	缆索受力分析	287
13.4.1	刚性支撑连续梁法	288
13.4.2	零位移法	288
13.4.3	倒拆和正装法	289
13.4.4	无应力状态控制法	289
13.4.5	内力平衡法	290
13.4.6	影响矩阵法	291

13.5 斜拉桥的分析方法	293
13.5.1 概述	293
13.5.2 斜拉桥的平面分析	294
13.5.3 斜拉桥的空间分析	298
13.5.4 斜拉桥的非线性分析理论	299
13.5.5 斜拉桥的动力分析特征	301
13.6 预应力在斜拉桥中的运用总结	303
13.6.1 预应力在斜拉桥的主梁中的运用	303
13.6.2 预应力在斜拉桥塔中的运用	304
13.7 预应力混凝土斜拉桥的工程实例	306
13.7.1 工程概况	306
13.7.2 结构设计	307
13.7.3 结构计算	308
习题	309
<b>第14章 预应力混凝土悬索桥</b>	<b>311</b>
14.1 概述	311
14.1.1 悬索桥的发展概况	311
14.1.2 混凝土悬索桥的构造	312
14.2 悬索桥设计和分析理论	313
14.2.1 悬索桥在竖向荷载作用下的分析理论	313
14.2.2 悬索桥在横向荷载作用下的分析理论	317
14.3 悬索桥施工至成桥状态的分析	317
14.3.1 施工控制原则	318
14.3.2 施工控制及计算方法	318
14.4 索塔结构分析	320
14.4.1 桥塔结构	320
14.4.2 缆索结构	323
14.4.3 吊索的结构	326
14.4.4 吊索的设计	326
14.5 预应力混凝土悬索桥的工程实例	327
14.5.1 概述	327
14.5.2 桥塔	327
14.5.3 锚碇	328
14.5.4 缆索	329
14.5.5 加劲梁	330
14.5.6 钢桥面上的桥面铺装	331
习题	331
参考文献	333

# 第 1 章

## 桥梁预应力总论

### 1.1 预应力基本概念

#### 1.1.1 预应力结构的定义

##### 1. 预应力混凝土的定义

由于预应力技术及其应用的不断发展，国际上对预应力混凝土迄今还没有一个统一的定义。著名的预应力混凝土专家林同炎教授认为预应力混凝土的定义为：“预应力混凝土系其中已建立有内应力的混凝土，内应力的分布能抵消给定外部加荷所引起的应力至所预期的程度。”另一个概括性较强，由美国混凝土协会（ACI）给出的广义定义是：“预应力混凝土是根据需要人为引入某一分布与数值的内应力，用以全部或部分抵消外荷载应力的一种加筋混凝土。”我国预应力学者、专家杜拱辰教授从反向荷载出发给出定义，即：“预应力混凝土是根据需要人为地引入某一数值的反向荷载、用以部分或全部抵消使用荷载的一种加筋混凝土。”这样理解比较直观，通俗易懂。例如对承受 45 kN/m 使用荷载的一根混凝土梁，用抛物线后张束预先施加 35 kN/m 方向向上的反向荷载，则这根梁在使用荷载下就只承受 10 kN/m 方向向下的使用荷载了，而梁端的轴向压力，还有利于提高截面的抗裂能力。预加应力可以抵消使用荷载，其优越性是显而易见的。因此，明确提出采用反向荷载的概念对普及和推广预应力混凝土大有益处。

按上述定义，所谓预应力混凝土结构，即结构在承受外荷载以前，预先采用某种人为的方法，在结构内部造成一种应力状态，使结构在使用阶段产生拉应力的区域先受到压应力，这项压应力与使用阶段荷载产生的拉应力会抵消一部分或全部，从而推迟裂缝的出现并且限制裂缝的开展，以提高结构的刚度。例如有一钢筋混凝土轴心受拉构件，承受轴心拉力  $P$ ，截面内产生的拉应力假定为  $2 \text{ N/mm}^2$ （见图 1-1 (b)）。现在采用某种方法，在荷载作用以前，人为地预加一个轴心压力，使构件截面预先获得  $2 \text{ N/mm}^2$  的压应力（见图 1-1 (a)）。这时，当作用轴心拉力  $P$  时，截面内产生的应力全部抵消为零（见图 1-1 (c)）。

再例如有一钢筋混凝土简支梁，在使用荷载  $q$  的作用下，中和轴上面受压，下面受拉，其截面应力分布如图 1-2 (b) 所示。现在采用某种方法，在使用荷载作用以前，在梁的下边缘人为地预加一个压力  $P$ ，使梁下部产生压应力，上部产生拉应力，或者全部产生压应力，

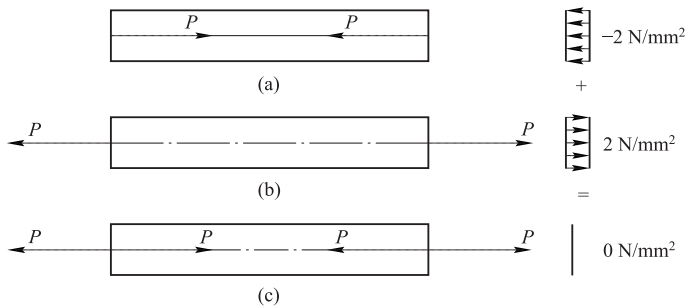


图 1-1 轴心受拉构件在预加应力前后截面应力变化示意图

其截面应力分布大致如图 1-2 (a) 所示。当使用荷载作用在构件上时，截面应力状态为上述两种应力状态之和（见图 1-2 (c)），使用荷载产生的应力被抵消一部分，拉区应力大大减小。这样就改善了构件的应力状态，延缓了裂缝的出现，限制了裂缝的开展，从而提高了构件的刚度，减小了构件的变形。

除了预应力混凝土结构外，我们也可用其他材料来制作预应力结构，例如：

预应力技术+钢结构=预应力钢结构

预应力技术+组合结构=预应力组合结构

预应力技术+砖石结构=预应力砖石结构

预应力技术+木结构=预应力木结构

这就大大扩大了预应力技术在结构工程领域中的应用范围。

用预先加力的方法防止构件开裂的道理，不仅在钢筋混凝土结构中运用，而且在我们日常生活中亦是经常运用的。例如木桶和木盆，为了防止水从缝隙中流出，在存水以前，要用几道箍把桶箍紧，在木片之间预加一个压应力，把木片挤压紧。当存水时，木片之间产生张力（即拉力），这个张力被预加的压力抵消，这样就不至于在木片之间产生缝隙而漏水。再例如搬书时，总是用手挤压着书，给书一个正压力，从而增加书与书之间的摩擦力，在搬运过程中，使中间的书不掉落（见图 1-3）。类似这种情况很多，如图 1-4 和图 1-5 所示。

## 2. 对预应力混凝土的三种理解

对于采用高强钢材作配筋的预应力混凝土，可以用三种不同的概念或三种不同的角度来理解和分析其性状。设计者同时理解这三种概念及其相应的计算方法是十分重要的，只有这样才能更灵活有效地去选择和设计预应力混凝土结构。

### (1) 第一种理解——预加应力使混凝土由脆性材料成为弹性材料

这一概念把预应力混凝土基本看作混凝土经过预压后从原先抗拉弱抗压强的脆性材料变为一种既能抗拉又能抗压的弹性材料。由此混凝土被看作承受两个力系，即内部预应力和外部荷载。外部荷载引起的拉应力被预应力所产生的预压应力所抵消。在正常使用状态下混凝土

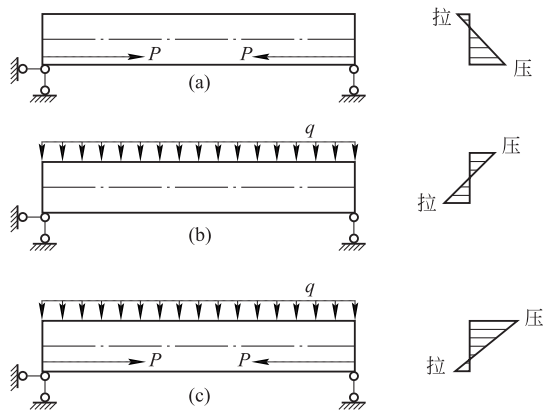


图 1-2 简支梁在预加应力前后截面应力变化示意图

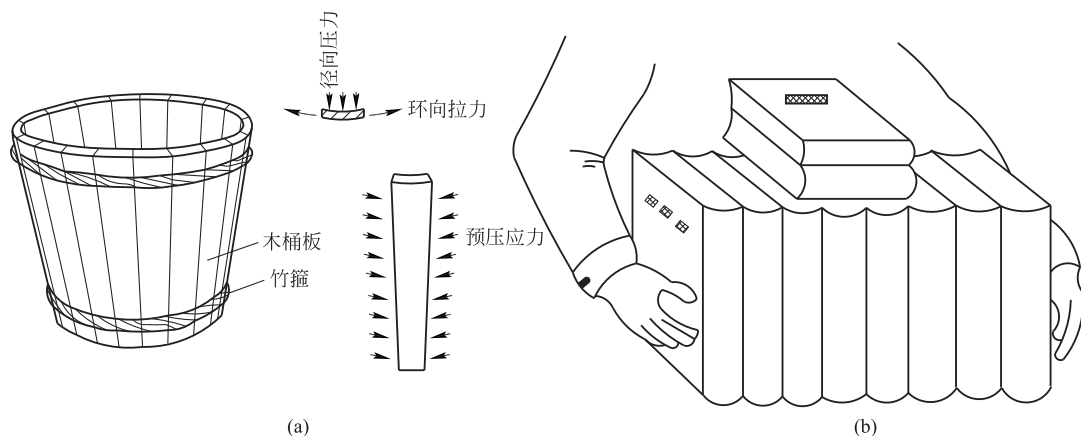


图 1-3 采用预压应力的生活实例

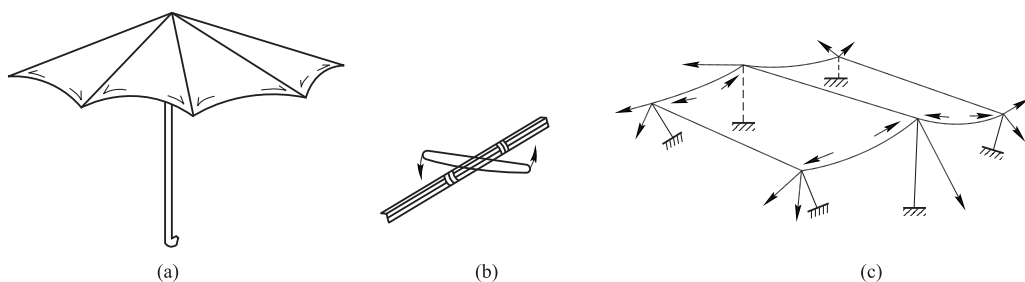


图 1-4 采用预拉应力的生活用具

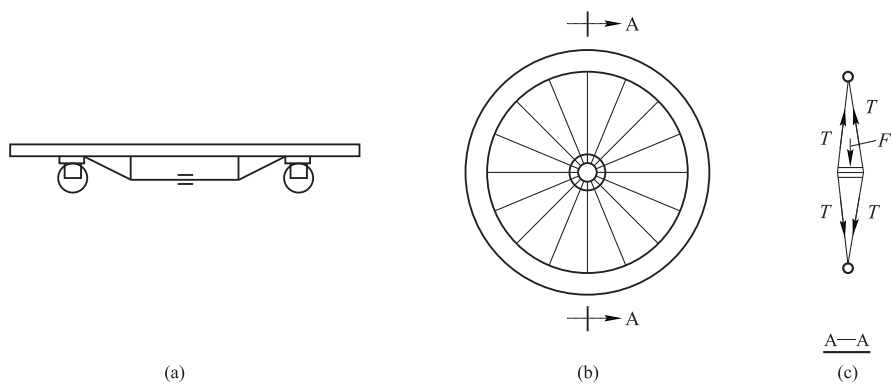


图 1-5 采用预应力技术的现代交通工具

土没有裂缝出现，甚至没有拉应力出现。这是全预应力混凝土结构的情形，在这两个力系作用下所产生的混凝土的应力、应变及挠度均可按弹性材料的计算公式考虑，并在需要时进行叠加。

(2) 第二种理解——预加应力充分发挥了高强钢材的作用，使其与混凝土能共同工作

这种概念是将预应力混凝土看做是高强钢材与混凝土两种材料的一种结合体，它也与钢筋混凝土一样，用钢筋承受拉力、混凝土承受压力以形成一抵抗外力弯矩的力偶。在预应力混凝土结构中采用的是高强钢筋，如果要使高强钢筋的强度被充分利用，必须使其有很大的

伸长变形。但是，如果高强钢筋也像普通钢筋混凝土中的钢筋那样简单地浇注在混凝土体内，那么在工作荷载作用下高强钢筋周围的混凝土势必严重开裂，构件将出现不能容许的宽裂缝和大挠度。因此，用在预应力混凝土中的高强钢筋必须在与混凝土结合之前预先张拉，从这一观点看，预加应力只是一种充分利用高强钢材的有效手段。所以，预应力混凝土又可看成是钢筋混凝土应用的扩展。这一概念清楚地告诉我们：预应力混凝土也不能超越材料本身的强度极限。

### (3) 第三种理解——预加应力平衡了结构外荷载

这种概念把预加应力的作用主要看做是试图平衡构件上的部分或全部的工作荷载。如果外荷载对梁各截面产生的力矩均被预加力所产生的力矩所抵消，那么一个受弯的构件就可以转换成一个轴心受压的构件。如图 1-6 所示的按抛物线形设置预应力筋的简支梁，在预加力  $N$  作用下，梁体可以看成承受向上的均布荷载及轴向力  $N$ 。

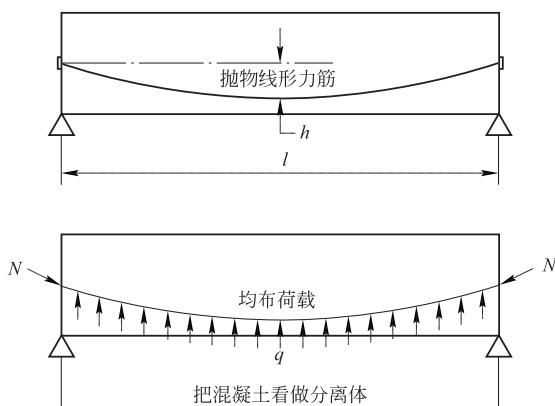


图 1-6 抛物线配筋的简支梁

如果作用在梁上的也是荷载集度为  $q$ 、方向向下的均布荷载，那么，两种效应抵消后梁在工作荷载作用下仅受轴向力  $N$  的作用，梁体既不发生挠曲也不产生反拱。如果外荷载超过预加力所产生的反向荷载效应，则可用荷载差值来计算梁截面增加的应力，这种把预加力看成实现荷载平衡的概念是由林同炎 (T. Y. Lin) 教授提出的。这种方法大大简化了预应力混凝土结构的设计与分析，尤其适用于超静定预应力混凝土梁。

对于同一个预应力混凝土可以有三种不同的概念，它们之间并没有相互的矛盾，仅仅是从不同的角度来解释预应力混凝土的原理。第一种概念正是全预应力混凝土弹性分析的依据；第二种概念则是强度理论，它指出预应力混凝土也不能超越其材料自身强度的界限；第三种概念则为复杂的预应力混凝土结构的设计与分析提供了简捷的方法。

## 1.1.2 预应力结构的特点

混凝土材料是一种抗压强度高抗拉强度低的建筑材料，它的抗拉强度不仅很低（一般只有抗压强度的  $1/15 \sim 1/10$ ），而且还很不可靠；它的抗拉变形能力也很小，这种破坏属于无明显预兆的脆性破坏。钢筋混凝土虽然利用钢筋来帮助混凝土承受拉应力，如果不允许混凝土开裂，则钢筋的拉应力只能达到  $20 \sim 30$  MPa 左右；如果允许混凝土开裂但需将裂缝宽度限制在  $0.2 \sim 0.25$  mm 以内，则钢筋的拉应力也只能达到约  $150 \sim 250$  MPa。由于钢筋混凝土存在两个难以解决的问题：一是在带裂缝工作状态下，裂缝的存在不仅造成了受拉区混凝土材料不能充分利用，而且结构刚度下降，自重比例上升；二是从保证结构耐久性的要求出发，必须限制混凝土裂缝开展的宽度；这就是高强度钢筋无法在钢筋混凝土结构中充分发挥作用的原因。当跨度增加时，钢筋混凝土结构只有靠增加其构件截面尺寸或增加钢筋用量的方法来控制裂缝和变形。这种做法既不经济又增加结构的自重，因而使钢筋混凝土结构的