



21世纪技术与工程著作系列·土木工程

Prestressed Composite Structures of
Steel and Concrete

预应力钢与混凝土 组合结构

王连广 著



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪技术与工程著作系列·土木工程



预应力钢与混凝土 组合结构

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了预应力结构概念、分类、特点、预应力损失估算及无粘结预应力筋内力增量计算方法等;研究内容包括预应力 FRP 筋钢与混凝土组合梁、预应力 CFRP 布加固钢与混凝土组合梁、预应力冷弯 U 型钢与混凝土组合梁、预应力压型钢板与混凝土组合板、预应力钢板夹心混凝土组合板、预应力外包钢混凝土受弯构件、预应力钢筋混凝土受弯(偏心受压)构件、预弯预应力钢筋混凝土复合梁、预应力钢管混凝土受拉(受弯、偏心受压)构件的设计计算方法及预应力钢筋混凝土徐变效应分析等。

本书可供从事土木工程专业的科技人员、设计人员参考,也可以作为土木工程专业的研究生和高年级本科生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

预应力钢与混凝土组合结构/王连广著. —北京:科学出版社,2009
ISBN 978-7-03-025106-0

I. 预… II. 王… III. ①预应力结构—钢结构②预应力混凝土结构
IV. TU394 TU378

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 130401 号

责任编辑:陈 迅 / 责任校对:柏连海

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 8 月第一次印刷 印张:24 1/4

印数:1—2 000 字数:467 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154(BA08)

版权所有,侵权必究

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

前 言

预应力技术在土木工程中应用已走过了 80 多年的历程,由有粘结全预应力混凝土结构发展到有粘结部分预应力混凝土结构、无粘结预应力混凝土结构、体外预应力混凝土结构及预应力钢结构,从而使土木工程领域出现了日新月异的结构体系。预应力结构具有跨越能力大、受力性能好、耐久性优越及经济效益显著等优点。钢与混凝土组合结构是一门相对年轻的学科,它的突出优点是能够充分利用钢材所具有的优越抗拉性能和混凝土所具有的优越抗压性能。钢与混凝土组合结构正以其承载力高、自重轻、节约材料、截面尺寸小、抗震性能好等突出优点迎合着建筑业发展。理论分析与实践证明,将预应力技术应用到钢与混凝土组合结构中,会进一步发挥钢与混凝土的各自优势,使高强材料得到利用。在钢与混凝土组合结构中施加预应力,可以减小或抵消结构在外荷载作用下的应力水平,改善结构受力状态,提高结构刚度,增强结构耐久性等。目前,国内外许多学者对预应力混凝土结构、预应力钢结构及钢与混凝土组合结构等做了大量研究工作,取得了令人瞩目的研究成果。然而,对预应力钢与混凝土组合结构的研究相对较少,为此,作者将近几年完成的预应力钢与混凝土组合结构的部分研究成果做一总结,汇成此书。

本书除介绍作者的研究工作外,还介绍了国内外其他学者的部分研究成果,目的是使读者对该研究领域有一个更全面的了解。全书共 11 章。第 1 章绪论,介绍了预应力结构分类、预应力材料、预应力锚固体、预应力损失估算方法等,并以无粘结预应力钢筋混凝土梁为例,介绍无粘结预应力筋内力增量的计算方法;第 2 章预应力 FRP 筋钢与混凝土组合梁,主要介绍预应力 FRP 筋的特点、施加预应力方法,建立了按直(折)线布置预应力 FRP 筋的钢与混凝土组合梁的弹性受力分析模型,给出了完全(部分)交互作用下的组合梁弹性(极限)抗弯承载力计算公式,专题研究了利用弹性理论建立组合梁界面相对滑移、截面轴向力及滑移影响下的组合梁变形计算公式;第 3 章预应力 CFRP 布加固钢与混凝土组合梁,主要介绍利用预应力 CFRP 布加固钢与混凝土组合梁的方法,给出施加预应力阶段的 CFRP 布与型钢界面粘结力的计算公式,建立了预应力 CFRP 布加固钢与混凝土组合梁的弹性受力分析模型,给出了完全(部分)交互作用下的组合梁弹性(极限)抗弯承载力计算公式,专题研究了利用弹性理论建立组合梁界面相对滑移、截面轴向力及变形计算公式;第 4 章预应力冷弯 U 型钢与混凝土组合梁,主要介绍冷弯型钢与混凝土组合截面形式和施加预应力方法,建立了无(有)粘结预应力 U 型钢与混凝土组合梁的弹性受力分析模型,给出了组合梁极限抗弯承载力计算公式,专题研究了利

用弹性理论建立组合梁界面相对滑移计算公式,利用弹性理论和变分理论建立组合截面轴向力计算公式,利用附加变形法、弹性理论和变分理论建立组合梁变形计算公式,介绍连续组合梁的施加预应力方法,并给出其抗裂和抗弯承载力计算公式;第5章预应力压型钢板与混凝土组合板,主要介绍压型钢板与混凝土组合板施加预应力方法,建立了无(有)粘结直线布置和无粘结曲线布置预应力筋的压型钢板与混凝土组合板的弹性受力分析模型,给出了组合板弹性抗弯(极限抗弯、抗剪、抗冲切)承载力、变形及连续组合板的抗裂(弯)承载力计算公式;第6章预应力钢板夹心混凝土组合板,主要介绍钢板夹心混凝土组合板的施加预应力方法,建立了无(有)粘结直线布置和无粘结曲线布置预应力筋的钢板夹心混凝土组合板的弹性受力分析模型,给出了夹心组合板的抗弯承载力计算公式,专题研究了利用弹性理论建立上(下)部钢板与混凝土界面滑移计算公式,利用弹性理论和变分理论建立截面轴向力计算公式,利用附加变形法和变分理论建立组合板变形计算公式;第7章预应力外包钢混凝土结构,主要介绍外包钢混凝土受弯构件的施加预应力方法,建立了预应力外包钢混凝土受弯构件的弹性受力分析模型,给出了其抗裂(抗弯、抗剪)承载力、抗弯刚度及变形等计算公式;第8章预应力钢骨混凝土结构,主要介绍实(空)腹式钢骨混凝土受弯构件的施加预应力方法,建立了无(有)粘结实(空)腹式钢骨混凝土受弯构件的弹性受力分析模型,给出了实(空)腹式T(矩)形截面钢骨混凝土受弯构件的抗弯承载力计算公式,同时提出了利用横向张拉法对钢骨混凝土梁施加预应力的方法,并给出其承载力计算公式,给出实(空)腹式钢骨混凝土受弯构件的抗剪承载力、变形及偏心受压构件承载力计算公式;第9章预弯预应力钢骨混凝土复合梁,主要介绍预弯预应力钢骨混凝土复合梁施加预应力方法,建立了不同受力阶段的弹性受力分析模型,给出复合梁的抗裂(抗弯、抗剪)承载力及变形等计算公式;第10章预应力钢骨混凝土徐变效应,专题研究了预应力钢骨混凝土受弯构件的徐变效应分析理论,开发计算程序,并对预应力实(空)腹式钢骨混凝土受弯构件的截面内力和变形等进行徐变效应分析;第11章预应力钢管混凝土结构,介绍预应力钢管混凝土受拉构件、受弯构件及偏心受压构件的施加预应力方法,建立预应力圆(方)形钢管混凝土受拉(受弯、偏压)构件不同受力阶段的弹性受力分析模型,并给出相应构件的极限承载力计算公式等。

预应力钢与混凝土组合结构是继预应力混凝土结构、预应力钢结构及钢与混凝土组合结构后发展起来的一种新型预应力结构,很多问题尚处于研究之中,为此,在材料利用、预应力锚固体系、预应力损失估算等方面尚需延用预应力混凝土结构和预应力钢结构等方面有关规定;在构造方面,考虑到预应力钢与混凝土组合结构同普通钢与混凝土组合结构在很多方面表现出类似或者一致,而一些具体问题尚需要做专题研究,因此,本书未对预应力钢与混凝土组合结构的构造方面的知识进行介绍。

本书内容是作者课题组共同完成的研究成果,在此,对参与本课题研究工作的博士研究生刘莉、慕光波、秦国鹏、哈娜、霍君华、张新财、于建军、王德选,硕士研究生杨佳、杨巍、王玉通、吴迪、倪允杨、刘闯、吕月、翟林美、杨倩、刘艳艳、张新颖、张斌、秦毅、温海涛、李平等表示感谢,感谢他们对本书做出的重要贡献。

本书在写作过程中引用了国内外同行的研究成果,在此向相关作者表示衷心的感谢!

最后,衷心感谢曾支持与关心我的专家、同行与朋友。

由于预应力钢与混凝土组合结构是一种新的结构,很多问题正处在研究之中,目前尚没有相关规范、规程可遵循,又难寻类似书籍,加之作者水平有限,难免有差错和不妥之处,敬请读者批评指正!

王连广

2009年3月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 预应力结构分类与特点	1
1.1.1 预应力混凝土结构	1
1.1.2 预应力钢结构	4
1.1.3 预应力钢与混凝土组合结构	4
1.2 预应力材料	4
1.2.1 混凝土材料	4
1.2.2 预应力筋	6
1.2.3 非预应力筋	8
1.2.4 型钢	8
1.3 预应力锚固体体系与锚具	9
1.3.1 锚固体体系	9
1.3.2 锚具要求	10
1.3.3 锚具种类	11
1.4 预应力损失估算	14
1.4.1 张拉控制应力	14
1.4.2 预应力损失估算	14
1.5 无粘结预应力筋内力增量计算	18
1.5.1 应变协调法	18
1.5.2 能量法	21
1.5.3 粘结折减系数法	26
第 2 章 预应力 FRP 筋钢与混凝土组合梁	28
2.1 FRP 筋的基本性能与特点	28
2.2 施加预应力方法	30
2.3 初步设计	34
2.4 弹性受力分析	35
2.4.1 直线布置	35
2.4.2 折线布置	37
2.5 弹性抗弯承载力	40

2.5.1	预应力简支组合梁	40
2.5.2	预应力加固简支组合梁	45
2.6	抗弯承载力	47
2.7	界面相对滑移计算	49
2.7.1	基本方程	49
2.7.2	计算公式	52
2.7.3	简化计算公式	54
2.8	变形计算	55
2.8.1	基本方程	55
2.8.2	计算公式	57
2.8.3	简化计算公式	60
2.9	轴向力计算	60
2.9.1	基本方程	61
2.9.2	计算公式	62
第3章	预应力 CFRP 布加固钢与混凝土组合梁	65
3.1	预应力 CFRP 布(板)加固方法	65
3.2	预应力阶段 CFRP 布与钢梁的界面粘结力	70
3.3	弹性受力分析	73
3.3.1	预应力 CFRP 布简支组合梁	73
3.3.2	预应力 CFRP 布加固简支组合梁	77
3.4	抗弯承载力	79
3.5	界面滑移计算	81
3.5.1	基本方程	82
3.5.2	计算公式	84
3.6	变形计算	86
3.6.1	附加变形法	86
3.6.2	弹性理论法	89
3.7	轴向力计算	91
3.7.1	基本方程	91
3.7.2	计算公式	92
第4章	预应力冷弯 U 型钢与混凝土组合梁	94
4.1	组合梁截面形式	94
4.1.1	冷弯型钢	94
4.1.2	组合梁截面	95
4.2	施加预应力方法	97

4.3 简支组合梁弹性受力分析	99
4.3.1 无粘结预应力	100
4.3.2 有粘结预应力	104
4.4 抗弯承载力	107
4.4.1 无粘结预应力	107
4.4.2 有粘结预应力	109
4.5 界面滑移计算	111
4.6 轴向力计算	112
4.6.1 弹性理论计算公式	113
4.6.2 变分理论计算公式	114
4.7 变形计算	118
4.7.1 附加变形法	118
4.7.2 弹性理论计算公式	120
4.7.3 变分理论计算公式	123
4.8 连续组合梁	125
4.8.1 预应力筋布置	125
4.8.2 抗裂承载力	126
4.8.3 极限抗弯承载力	129
第5章 预应力压型钢板与混凝土组合板	132
5.1 组合板类型	132
5.2 施加预应力方法	134
5.3 弹性受力分析	136
5.3.1 无粘结直线布置	136
5.3.2 有粘结直线布置	140
5.3.3 无粘结曲线布置	142
5.4 抗弯承载力	145
5.5 变形计算	148
5.6 抗剪承载力	150
5.7 抗冲切计算	151
5.8 预应力连续组合板	152
5.8.1 施加预应力方法	152
5.8.2 抗裂承载力	153
5.8.3 抗弯承载力	155
第6章 预应力钢板夹心混凝土组合板	158
6.1 组合板截面形式	158

6.2	施加预应力方法	159
6.3	弹性受力分析	161
6.3.1	无粘结直线布置	161
6.3.2	有粘结直线布置	164
6.3.3	无粘结曲线布置	167
6.4	抗弯承载力	170
6.5	界面滑移计算	172
6.5.1	基本方程	172
6.5.2	计算公式	175
6.5.3	算例分析	177
6.6	轴向力计算	178
6.6.1	弹性理论计算公式	179
6.6.2	变分理论计算公式	182
6.6.3	算例分析	186
6.7	变形计算	187
6.7.1	附加变形法计算公式	188
6.7.2	变分理论计算公式	190
6.7.3	算例分析	191
第7章	预应力外包钢混凝土结构	193
7.1	施加预应力方法与布筋方式	193
7.1.1	施加预应力方法	194
7.1.2	预应力筋布置方式	195
7.2	弹性受力分析	197
7.2.1	无粘结预应力	197
7.2.2	有粘结预应力	201
7.3	抗裂承载力	203
7.4	抗弯承载力	204
7.4.1	矩形截面	205
7.4.2	T型截面	207
7.5	抗剪承载力	207
7.6	裂缝宽度	210
7.7	抗弯刚度	211
7.8	变形计算	211
第8章	预应力钢骨混凝土结构	213
8.1	受弯构件施加预应力方法	213

8.1.1 有粘结预应力	214
8.1.2 无粘结预应力	214
8.1.3 布置钢筋方式	215
8.2 受弯构件弹性受力分析	218
8.2.1 无粘结实腹式	218
8.2.2 无粘结空腹式	223
8.2.3 有粘结实腹式	227
8.2.4 有粘结空腹式	229
8.3 T形截面受弯构件抗裂承载力	231
8.3.1 实腹式构件	231
8.3.2 空腹式构件	234
8.4 受弯构件抗弯承载力	236
8.4.1 实腹式T形截面	237
8.4.2 空腹式T型截面	239
8.4.3 实腹式矩形截面	240
8.4.4 空腹式矩形截面	242
8.5 横张预应力钢骨混凝土梁	243
8.5.1 施加预应力方法	243
8.5.2 弹性受力分析	245
8.5.3 抗弯承载力	247
8.6 受弯构件抗剪承载力	249
8.6.1 实腹式构件	249
8.6.2 空腹式构件	251
8.7 受弯构件变形计算	253
8.7.1 实腹式构件	253
8.7.2 空腹式构件	254
8.8 受弯构件抗裂验算	255
8.8.1 实腹式构件	255
8.8.2 空腹式构件	256
8.9 偏心受压构件	257
8.9.1 受力分析	258
8.9.2 大偏心受压构件抗裂承载力	259
8.9.3 极限承载力计算	261
第9章 预弯预应力钢骨混凝土复合梁	266
9.1 预应力施加方法	266

9.1.1 后浇筑混凝土预弯复合梁	266
9.1.2 先浇筑混凝土预弯复合梁	268
9.2 预弯复合梁的截面类型	270
9.3 弹性受力分析	271
9.4 抗裂承载力	282
9.5 抗弯承载力	284
9.6 抗剪承载力	285
9.7 裂缝宽度计算	288
9.8 变形计算	289
第 10 章 预应力钢骨混凝土梁徐变效应	294
10.1 混凝土徐变效应理论	294
10.1.1 徐变理论	294
10.1.2 计算方法	298
10.2 实腹式钢骨混凝土梁	299
10.2.1 短期荷载作用	300
10.2.2 长期荷载作用	303
10.2.3 算例分析	308
10.3 空腹式钢骨混凝土梁	311
10.3.1 短期荷载作用	311
10.3.2 长期荷载作用	312
10.3.3 算例分析	315
第 11 章 预应力钢管混凝土结构	319
11.1 轴心受拉构件	319
11.1.1 施加预应力方法	320
11.1.2 弹性受力分析	321
11.1.3 承载力计算	334
11.2 受弯构件	335
11.2.1 施加预应力方法	335
11.2.2 弹性阶段紧箍力分析	336
11.2.3 弹性阶段受力分析	340
11.3 抗弯承载力	355
11.3.1 矩形钢管混凝土	355
11.3.2 圆形钢管混凝土	356
11.3.3 T 型截面钢管混凝土	357
11.4 偏心受压构件	360

11.4.1 受力分析	361
11.4.2 大偏心受压构件	361
11.4.3 小偏心受压构件	363
参考文献	365

第1章 绪 论

目前,对预应力结构的定义很多,最常用的定义为:在结构或构件承受外荷载作用之前,预先对其在外荷载作用下的受拉构件或构件受拉区施加压应力,以改善结构或构件使用性能的结构称之为预应力结构。经过数十年的研究与应用,预应力技术取得了很大进展,在房屋建筑、桥梁、水利、海洋、能源、电力及通讯工程中得到了广泛应用,节约了大量的材料与投资,特别是在桥梁结构与大跨度房屋结构中的应用更是日新月异。目前,世界各国都在大力发展预应力结构,可以说预应力结构作为一种先进的结构形式,其应用的范围和数量是衡量一个国家建筑技术水平的重要指标之一。预应力结构已经从传统的有粘结全预应力混凝土结构发展到有粘结部分预应力混凝土结构、无粘结预应力混凝土结构、体外预应力结构、预应力钢结构和预应力钢与混凝土组合结构。部分预应力混凝土结构克服了全预应力混凝土结构预压应力过高的缺点。无粘结体内预应力混凝土结构,消除了后张预应力筋管道的压浆,降低了预应力筋在管道内的摩阻损失,已在平板结构、框架结构及路面结构中得到应用。体外预应力结构不仅可作为一种加固措施,而且成为新设计桥梁等结构可选择和实施的方案。预应力钢结构在外荷载和预应力共同作用下的应力被限制在特定范围内,扩大了钢材的弹性范围,更加充分地利用高强钢材,发挥钢材特性。预应力钢与混凝土组合结构可以更进一步发挥混凝土的优越抗压性能和钢材的优越抗拉性能。预应力钢与混凝土组合结构是继预应力混凝土结构和预应力钢结构之后发展起来的一种新型预应力结构,为此,在材料使用、预应力锚固体系及预应力损失计算等方面同预应力混凝土结构和预应力钢结构在很多方面表现类似或者一致。本章对预应力混凝土结构、预应力钢结构相关知识做简单回顾,同时,以预应力实腹式钢骨混凝土受弯构件为例,介绍预应力钢与混凝土组合结构中预应力筋内力增量的计算方法。

1.1 预应力结构分类与特点

1.1.1 预应力混凝土结构

1. 预应力混凝土结构分类

(1) 按预应力工艺分类

先张法:采用永久或临时台座张拉预应力筋,在模板内浇筑混凝土,待混凝土

达到设计强度和龄期后,释放预应力筋中的应力,在预应力筋回缩的过程中利用预应力筋与混凝土之间的粘结力,对混凝土施加预应力。

后张法:后张法是先浇筑混凝土,并预留孔道,待混凝土结硬并其强度达到设计值后,穿入预应力筋,以构件本身作为支撑张拉预应力筋,然后用特制的锚具将预应力筋锚固形成永久预加力,最后在预留孔内压注水泥砂浆防锈,并使预应力筋与混凝土结成整体。

(2) 按预应力度分类

根据预应力程度不同,预应力混凝土结构可以分为全预应力混凝土结构和部分预应力混凝土结构。

全预应力混凝土结构:全预应力混凝土结构是指在全部荷载最不利组合下,截面混凝土不允许出现拉应力,混凝土不受拉,当然就不会出现裂缝。这种在全部使用荷载下必须保持全截面受压的设计,通常称为全预应力设计,“零应力”或“无拉应力”则为全预应力混凝土的设计基本准则。全预应力混凝土虽有抗裂性能好、刚度大、节省钢材等优点,但是在预应力结构的应用中也发现一些严重的缺点。例如,构件反拱过大、裂缝、结构延性差及对抗震不利等。全预应力混凝土结构最难处理的一个问题是反拱长期不断发展。

部分预应力混凝土结构:部分预应力混凝土结构是指在全部荷载最不利组合下,构件截面混凝土允许出现裂缝,但裂缝宽度不超过规定允许值。在正常使用荷载下,允许截面的一部分处于受拉状态,甚至出现裂缝,此时需要用一些非预应力筋来加强,所以,通常部分预应力混凝土结构是预应力比较低,且有中等强度非预应力筋的配筋混凝土结构。

(3) 按预应力体系分类

根据预应力体系的特点,预应力混凝土结构可分为:体内预应力混凝土结构、体外预应力混凝土结构、有粘结预应力混凝土结构及无粘结预应力混凝土结构等。

体内预应力混凝土结构:体内预应力混凝土结构是指预应力筋布置在混凝土内部的预应力混凝土结构,如先张预应力混凝土结构和后张预应力混凝土结构等。

体外预应力混凝土结构:体外预应力混凝土结构是指预应力筋布置在混凝土结构构件体外的预应力混凝土结构。

有粘结预应力混凝土结构:有粘结预应力混凝土结构是指预应力筋沿全长与混凝土粘结、握裹在一起的预应力混凝土结构,如,先张预应力混凝土结构和后张预应力混凝土结构等。

无粘结预应力混凝土结构:无粘结预应力混凝土结构,一般是指采用无粘结预应力筋,按后张法制作的预应力混凝土结构。预应力筋采用专门的工艺生产,其表面涂有一层专用防腐润滑油脂、外包一层塑料防腐材料(如聚乙烯或聚丙烯)。施工时同非预应力筋一样按设计要求进行铺放、绑扎,然后浇筑混凝土。当混凝土强

度达到一定要求后,再对预应力筋进行张拉、锚固。由于预应力筋受力时在塑料套管内变形,不与外围混凝土直接接触,二者之间当然不存在粘结应力,故工程中将其称为无粘结预应力混凝土结构。

2. 预应力混凝土结构特点

预应力混凝土与普通混凝土结构相比,主要特点:

1) 改善和提高了结构或构件的受力性能。由于预应力的作用,克服了混凝土抗拉能力低的弱点,可以根据构件的受力特点和使用条件,控制裂缝的出现及裂缝开展的宽度,从而能提高构件的刚度。

2) 充分利用高强度钢材。在普通钢筋混凝土中,由于裂缝宽度和挠度的限制,高强钢材的强度得不到充分利用。而在预应力混凝土结构中,通过对高强钢材预先施加较高的拉应力,可以使高强钢材在结构破坏前能够达到其屈服强度或名义屈服强度。

3) 减轻构件自重。在预应力混凝土结构中使用高强度材料后,可以减小构件的截面尺寸,节省钢材和混凝土,并且由于预应力混凝土结构腹板可以做的较薄,从而减轻自重。

4) 抗剪承载力高。由于预压应力阻止或延缓了混凝土斜裂缝出现与发展,增加构件截面剪压区面积,从而提高了构件的抗剪能力。

5) 抗疲劳强度高。预应力可以有效降低钢筋的应力循环幅度,增加疲劳寿命,并且预应力混凝土结构不出现裂缝或裂缝宽度较小,有利于结构承受动荷载。

6) 具有良好的经济效益。预应力混凝土结构比普通钢筋混凝土结构节省20%~40%的混凝土和30%~60%的纵筋钢材。

7) 结构或构件的耐久性好。预应力能有效地控制混凝土的开裂或裂缝开展宽度,避免或减少有害介质对钢筋的侵蚀,延长结构或构件的使用年限。另一方面,混凝土强度越高,耐久性就越好。

8) 抗震性能好。在同等条件下,由于预应力结构自重减轻,它受到的地震荷载作用就小,为此,其抗震能力比普通钢筋混凝土结构抗震能力高。

9) 适合建造各类大型、大跨、重荷载及高耸建筑工程。在楼盖与屋盖结构中,使用预应力技术,可以增加结构的跨度,降低层高,增加使用面积;采用预应力斜拉结构或预应力悬挂结构,可解决大跨度桥梁建造中存在的跨度愈大、自重愈大、变形愈大的技术难题;在高耸结构中,使用预应力技术,可减少变形,有利于抗震、抗风等。

10) 预应力混凝土结构所用材料单价较高。因为预应力混凝土结构采用材料均为高强钢筋和高强混凝土,为此,材料单价相对较高。

1.1.2 预应力钢结构

预应力钢结构是指在钢结构或钢构件上施加中心力或偏心力,使其在外荷载和预应力共同作用下的应力限制在特定范围内。对钢结构施加预应力可以通过拉索法、支座位移法、弹性变形法、冷作硬化法等来实现。预应力钢结构形式主要有预应力轴心受拉构件、预应力实腹钢梁、预应力钢桁架、预应力网架、预应力网壳、预应力膜结构及预应力索结构等。预应力钢结构与非预应力钢结构相比,主要特点有:

1) 施加预应力扩大了结构的弹性范围,调整了结构中内力分布,减小了结构的变形。

2) 使用预应力技术可以有效地利用高强钢材,减轻结构自重,可以节约钢材10%~30%,降低总造价10%~20%。

3) 增强了结构的疲劳抗力。预应力降低结构最大拉应力,使低韧性钢材脆断的可能性减小,且通过降低有效应力幅值来增强结构的疲劳使用寿命。

4) 使用体外预应力体系,可以减小预应力摩擦损失,可以重复张拉与维护更换已损坏的预应力筋。

5) 锚固构造要求较高,防腐与防火要求比较严格。

6) 减小构件截面高度。对于大跨度、承受重荷载的结构,预应力可以有效地提高结构的跨高比限值。

7) 结构构造、施工工艺及设计计算相对复杂。

1.1.3 预应力钢与混凝土组合结构

预应力钢与混凝土组合结构是继预应力混凝土结构和预应力钢结构之后发展起来的一种新型预应力结构,它是分别在钢与混凝土组合结构构件中的型钢和混凝土内,或者同时在型钢与混凝土内施加预应力的结构。预应力钢与混凝土组合结构主要有预应力钢与混凝土组合梁、预应力钢板与混凝土组合板、预应力钢骨混凝土结构、预应力外包钢混凝土结构和预应力钢管混凝土结构等。预应力钢与混凝土组合结构除具有预应力钢结构和预应力混凝土结构的优点外,会更进一步发挥钢材所具有的优越抗拉性能和混凝土所具有的优越抗压性能。

1.2 预应力材料

1.2.1 混凝土材料

1. 混凝土的特点

混凝土一般采用水泥为胶结材料,预应力混凝土应具有强度高(包括早期强