



21 世纪土木工程实用技术丛书



新型预应力混凝土结构

Xinxing Yuyingli Hunningtu Jiegou

宋玉普 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪土木工程实用技术丛书

新型预应力 混凝土结构

宋玉普 编著



机械工业出版社

本书共分十一章。主要内容为预应力混凝土结构的材料,超静定预应力混凝土结构,预应力混凝土结构的抗震设计,无粘结预应力混凝土结构,缓粘结预应力混凝土结构,横张预应力混凝土结构,预应力 FRP 筋混凝土结构,体外预应力混凝土结构,预应力钢—混凝土组合结构,预应力钢管混凝土组合结构,同时在各章中选取了典型的预应力混凝土结构应用实例,以便读者能通过实例举一反三,从而更好地理解书中所阐述的理论和方法。

本书可供从事预应力混凝土结构设计、施工、科学研究工作者使用,也可供高等学校从事预应力混凝土结构研究的教师、研究生和高年级本科生作为教材或教学参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

新型预应力混凝土结构/宋玉普编著. —北京:机械工业出版社, 2005.11
(21 世纪土木工程实用技术丛书)
ISBN 7-111-17190-X

I. 新… II. 宋… III. 预应力混凝土结构
IV. TU378

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 092211 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: 薛俊高 版式设计: 张世琴 责任校对: 吴美英
封面设计: 张 静 责任印制: 洪汉军
北京京丰印刷厂印刷
2006 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷
890mm×1240mm A5·18.625 印张·550 千字
0 001—4 000 册
定价: 49.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68326294
封面无防伪标均为盗版

《21 世纪土木工程实用技术丛书》

编 委 会

主任委员

赵国藩 大连理工大学 中国工程院院士

编委 (依姓氏笔画排序)

方鄂华 清华大学 教授

王永维 四川建筑科学研究院 教授

王清湘 大连理工大学 教授

冯乃谦 清华大学 教授

石永久 清华大学 教授

江见鲸 清华大学 教授

朱伯龙 同济大学 教授

李 奇 机械工业出版社 副社长

宋玉普 大连理工大学 教授

杜荣军 北京建筑科学技术研究院 高工

沈祖炎 同济大学 教授

金伟良 浙江大学土建学院 教授

郝亚民 清华大学 教授

顾安邦 重庆交通学院 教授

陶学康 中国建筑科学研究院 教授

康岱新 哈尔滨工业大学 教授

聂建国 清华大学 教授

黄承逵 大连理工大学 教授

蒋树屏 重庆交通科技研究院 教授

蔡中民 太原理工大学 教授

前 言

随着我国各项建设事业的飞速发展,预应力混凝土结构的种类越来越多,应用也越来越广泛,急需对工程实践中产生的新型预应力混凝土结构作一总结。本书是作者结合近年来从事混凝土结构设计规范的编写任务和申请得到的国家自然科学基金及教育部博士学科点基金的任务,总结了国内外预应力混凝土结构的发展和应用现状编写而成。全书共分11章。

第1章绪论,介绍了新型预应力混凝土结构的产生和预应力混凝土结构的应用。

第2章预应力混凝土结构的材料,介绍了国内外预应力混凝土结构应用的预应力筋、混凝土、钢材和灌浆材料,还介绍了后张法预应力孔道材料。

第3章超静定预应力混凝土结构,介绍了超静定预应力混凝土结构的弹性分析法、等效荷载法、荷载平衡法和预应力度法及等效荷载联合法;次弯矩计算和弯矩重分布与弯矩调幅。

第4章预应力混凝土结构的抗震设计,介绍了预应力混凝土结构的抗震性能和研究现状;预应力混凝土结构的抗震能力和抗震设计及其试验研究实例。

第5章无粘结预应力混凝土结构,介绍了无粘结预应力混凝土结构的内力计算、预应力损失、预应力筋和混凝土的

应力；无粘结预应力混凝土受弯构件的承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算；无粘结预应力混凝土结构的抗震性能、构造要求；无粘结预应力混凝土平板结构计算实例。

第6章缓粘结预应力混凝土结构，介绍了缓凝材料、缓粘结预应力钢筋；缓粘结预应力混凝土结构的特性、设计计算、施工技术及应用。

第7章横张预应力混凝土结构，介绍了横张预应力混凝土结构的材料、张拉控制应力和预应力损失；持久状况承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算；持久状况和短暂状况构件的应力计算；横张预应力混凝土结构的构造要求、施工技术和试验研究及应用。

第8章预应力FRP筋混凝土结构，介绍了预应力FRP筋的材料和结构性能；FRP筋预应力混凝土结构的承载能力计算和结构的疲劳以及FRP筋的锚固。

第9章体外预应力混凝土结构，介绍了体外预应力混凝土的张拉控制应力和预应力损失；体外预应力梁的受力分析、预应力筋的应力增量和极限应力；体外预应力梁承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算；体外预应力施工、预应力筋线形布置和构造要求；体外预应力法加固的计算步骤和设计实例。

第10章预应力钢—混凝土组合结构，介绍了预应力钢—混凝土组合梁的受力性能、承载力计算、正常使用极限状态验算、稳定计算；抗剪连接件的设计；预应力钢—混凝土组合梁的构造要求及设计算例。

第11章预应力钢管混凝土组合结构，介绍了预应力钢管混凝土轴心受拉构件和柱的设计计算；撑杆式预应力钢管混凝土轴压构件的屈曲分析；预应力矩形钢管混凝土梁的设

计计算；预应力钢管混凝土组合结构受弯构件的设计计算；预应力钢管混凝土结构的构造。

感谢我的导师赵国藩院士对本书的帮助和支持。

由于预应力混凝土结构的发展极其迅速，新的结构、新的理论会不断涌现，书中难免有缺漏；另外，由于编者水平有限，书中也难免有缺点乃至错误，敬请读者批评指正。

宋玉普

2005年7月于大连理工大学

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
参考文献	6
第 2 章 预应力混凝土结构的材料	8
2.1 预应力筋	8
2.2 预应力混凝土	20
2.3 预应力孔道及灌浆材料	23
2.4 预应力钢材	25
参考文献	29
第 3 章 超静定预应力混凝土结构	31
3.1 概述	31
3.2 超静定预应力混凝土结构的弹性分析法	37
3.3 超静定预应力混凝土结构的等效荷载分析法	40
3.4 超静定预应力混凝土结构的荷载平衡法	47
3.5 预应力度法及等效荷载联合法	57
3.6 次弯矩计算	65
3.7 弯矩重分布与弯矩调幅	80
参考文献	88

第4章 预应力混凝土结构的抗震设计	89
4.1 概述	89
4.2 预应力混凝土结构的抗震性能	89
4.3 预应力混凝土结构抗震性能的研究现状	92
4.4 预应力混凝土结构的抗震能力和设计方法	103
4.5 预应力混凝土结构抗震设计	127
4.6 预应力混凝土结构抗震设计和试验研究实例	155
参考文献	183
第5章 无粘结预应力混凝土结构	186
5.1 概述	186
5.2 内力计算	189
5.3 无粘结预应力混凝土结构的预应力损失	195
5.4 无粘结预应力筋的应力和混凝土的应力	202
5.5 无粘结预应力混凝土受弯构件的承载能力 极限状态计算	209
5.6 无粘结预应力混凝土受弯构件的正常使用 极限状态验算	213
5.7 无粘结预应力混凝土结构的抗震性能	223
5.8 无粘结预应力混凝土结构的构造和一般规定	242
5.9 无粘结预应力混凝土平板结构计算实例	253
参考文献	266
第6章 缓粘结预应力混凝土结构	269
6.1 概述	269
6.2 缓凝材料	270
6.3 缓粘结预应力钢筋	275
6.4 缓粘结预应力混凝土结构的特性	278
6.5 缓粘结预应力混凝土结构的设计计算	284
6.6 缓粘结预应力混凝土结构的施工技术	285
6.7 缓粘结预应力混凝土结构的工程应用	288

参考文献	292
第 7 章 横张预应力混凝土结构	293
7.1 概述	293
7.2 材料	295
7.3 张拉控制应力和预应力损失	299
7.4 持久状况承载能力极限状态计算	302
7.5 持久状况正常使用极限状态验算	310
7.6 持久状况和短暂状况构件的应力计算	315
7.7 构造要求	318
7.8 施工技术	326
7.9 横张预应力混凝土梁的试验研究和工程应用	329
参考文献	338
第 8 章 预应力 FRP 筋混凝土结构	339
8.1 概述	339
8.2 预应力 FRP 筋的材料性能和结构性能	351
8.3 FRP 筋预应力混凝土结构的承载力计算	367
8.4 FRP 筋预应力混凝土结构的疲劳	375
8.5 FRP 筋的锚固	382
参考文献	391
第 9 章 体外预应力混凝土结构	393
9.1 概述	393
9.2 张拉控制应力及预应力损失	398
9.3 体外预应力梁的受力分析	401
9.4 预应力筋的应力增量和极限应力	404
9.5 体外预应力梁承载能力极限状态计算	406
9.6 体外预应力梁正常使用极限状态验算	408
9.7 体外预应力施工	409
9.8 体外预应力筋线形布置和构造要求	422

9.9 体外预应力法加固的计算步骤和设计实例	426
参考文献	432
第 10 章 预应力钢—混凝土组合结构	433
10.1 概述	433
10.2 预应力钢—混凝土组合梁的受力性能和影响因素	437
10.3 预应力钢—混凝土组合梁的承载力计算	451
10.4 预应力组合梁的稳定	480
10.5 预应力钢—混凝土组合梁的正常使用 极限状态验算	489
10.6 抗剪连接件的设计	507
10.7 预应力钢—混凝土组合梁的构造要求	515
10.8 预应力钢—混凝土组合梁的设计算例	517
参考文献	532
第 11 章 预应力钢管混凝土组合结构	534
11.1 概述	534
11.2 预应力钢管混凝土轴心受拉构件的设计计算	536
11.3 预应力钢管混凝土柱的设计计算	549
11.4 撑杆式预应力钢管混凝土轴压构件的屈曲分析	556
11.5 预应力矩形钢管混凝土梁的设计计算	570
11.6 预应力钢管混凝土组合结构受弯构件的设计计算	573
11.7 预应力钢管混凝土结构的构造	581
参考文献	582

第 1 章 绪 论

在 21 世纪土木工程实用技术丛书《钢筋混凝土结构》一书中已介绍过静定普通预应力混凝土结构。近二三十年来,预应力混凝土结构的发展和应用远远超过了上述范围。本书将重点介绍这些新发展的预应力混凝土结构和预应力混凝土结构在工程中的实际应用。

预应力混凝土结构按张拉预应力钢筋在浇筑混凝土以前还是以后分为先张法和后张法。由于先张法构件在预制构件厂生产,将尺寸很大的预制构件运输到工地现场,困难大,费用高,且先张法构件安装到结构中形成装配式结构,其抗震性能差,所以目前应用较广泛的预应力混凝土结构为后张法结构。但后张法结构施工中的问题是灌浆。首先为了灌浆需预留孔道,要消耗大量的钢管或波纹管等;如波纹管安装不严格,浇筑混凝土不仔细,会导致预留孔道漏浆,堵塞管道,使穿筋遇到困难;最关键的问题是灌水泥浆不仅费工时,耽误工期,如果灌浆不密实,还会引起钢筋锈蚀,构件断裂。针对这一问题,世界各国的专家研究产生了一系列新型的预应力混凝土结构,如无粘结预应力混凝土结构、缓粘结预应力混凝土结构、横张预应力混凝土结构、体外预应力混凝土结构等。

随着近二三十年大跨度桥梁、高层建筑、海洋结构等的飞速发展,针对大跨度、超重荷载、高腐蚀环境和抗震的实际,产生了一系列新型的预应力混凝土结构和计算理论,如预应力混凝土结构的抗震设计,桥梁、高层建筑中的多跨连续超静定预应力混凝土结构,高层建筑中为承受超重荷载的预应力钢—混凝土组合结构、预应力钢管混凝土组合结构,海洋结构中为提高结构的耐久性采用预应力 FRP 筋混凝土结构等。

除上述新型预应力混凝土结构的研究和应用外,预应力混凝土结构的应用已遍及高层建筑、市政工程、高耸结构、核电站工程、海洋工程、桥梁工程、水电工程等^[1]领域。

在高层建筑方面,美国发展推广的后张法平板结构在新加坡 40 层办公楼中得到了应用。马来西亚预应力建筑高达 76 层,泰国用无粘结预应力平板建造了 35 层、27 层、22 层的商场、办公和贸易用的大楼,印度尼西亚雅加达也采用此结构建造了高层办公贸易大厦。美国芝加哥的一幢 50 层公寓,采用了 7.9m 长、17.8cm 厚的预应力楼板。得克萨斯州的一幢 35 层的公寓建筑采用了预应力楼板。我国西安信息大厦地下 3 层,地上 52 层,总高度 189.4m,7 至 48 层楼板均为无粘结预应力楼板^[2]。海信大厦地下 3 层,地上 25 层,顶层标高 92.9m,梁板均配置无粘结预应力筋。结构在 20 层的 4 根跨度 7.2m 的悬臂梁均采用了有粘结预应力钢筋^[3]。

市政工程方面,德国在博特罗普的废水处理工程中建造了世界最大的蛋形预应力混凝土污泥消化罐,高度 45m,中部直径 28m,顶部厚度 41cm,底部厚度 75cm,容积约 15000m³,罐壁水平、竖向均施加预应力。我国济南污水厂工程中也模仿德国、日本设计了预应力混凝土卵形消化池^[4]。还有阿尔及利亚阿尔及尔新供水工程,采用了三个容量各 2500m³ 的预应力混凝土球形水塔,全部工程由中国建筑总公司驻阿尔及利亚经理部承包,由中国建筑科学研究院结构所负责设计。

在高耸结构方面,加拿大建成了 553m 高的多伦多预应力混凝土电信塔^[5];原苏联莫斯科建成了 533.3m 的预应力混凝土电视塔;我国上海、天津、北京、沈阳均建成了预应力混凝土电视塔。

在核电站方面,美国、前联邦德国、法国等已建造了 100 多座带有预应力混凝土安全壳的核电站。我国引进法国技术建造了大亚湾、恰希玛、秦山、岭澳、田湾核电站^[6]。九·五期间,我国开始自主设计和建造秦山二期和岭澳核电站的 4 座安全壳结构,也均为预应力混凝土结构。

在海洋结构方面,广泛应用预应力混凝土建造采油平台,储油船等,如挪威、加拿大、美国、英国、法国等。最早的混凝土采油平台为 1973 年北海的埃科菲斯克平台。挪威于北海水深 216m 处建造了格尔法克斯(Gullfaksc) C 型采油平台,油罐底部面积 16000m²,总高度 262m,在油罐壁、底板、环梁与裙壁板均水平施加预应力,在管桩

与罐壁中采用竖向预加应力，这是世界上最大的混凝土平台。我国至今尚无混凝土采油平台，但已开展了大量的研究工作^[7]。印尼建造了预应力巨型货船。

在桥梁工程方面，国外最大跨径的简支梁桥阿尔姆桥，跨径为 76m；最大跨径的 T 构是 270m 的巴拉圭来松森大桥；预应力连续梁桥的最大跨径是 92m 的瑞士摩塞尔大桥。英国用悬臂法施工的箱形桥梁跨度最大的达 240m；西班牙建成的预应力桥面梁板斜拉索桥，跨度达 440m。世界上最大跨度的预应力连续刚构是 20 世纪 80 年代建成的澳大利亚的给脱威桥，主跨 260m。在世界 20 多个国家内建造了 200 余座预应力斜拉桥，莱翁哈特教授称斜拉桥的发展是第二次世界大战以来的最新成就。目前世界上的最大跨径预应力斜拉桥是西班牙卢纳巴里奥桥，主跨 440m。

我国预应力简支梁最大跨径的浙江飞云江大桥，最大跨度为 62m 的 T 型桥梁，预应力筋采用高强钢丝，吊重 217t。我国最大跨径的预应力 T 形刚构的重庆长江大桥跨度 174m。这种桥型便于悬臂施工，维护费用少、造价低。兴建完毕的由涪水散花镇至黄石市的黄石长江公路大桥，全桥总长 2580.08m，其中主桥长 1060m ($162.5 + 3 \times 245 + 162.5$)，为 5 跨单箱单室的三向预应力混凝土连续刚构桥，也是国内主跨 (245m) 跨度最大的连续刚构桥。预应力连续梁具有整体性能好、刚度大、抗震力强等优点，因此近 10 余年来我国修建了多座预应力连续梁桥，如哈尔滨松花江桥、包头黄河桥、广东九江大桥、湖北沙洋桥（主跨 111m）、常德沅水桥（主跨 122m）、广东的惠州大桥（主跨 124m）。云南怒江桥也是预应力连续梁，最大主跨为 154m。贵州的剑河桥与花鱼洞桥均为桁架式组合拱桥，主跨 150m，都进入世界同类桥梁跨度的前列。在预应力斜拉桥方面，我国始建于 20 世纪 70 年代的四川云阳桥，跨径 75.84m。现已建成的铜陵长江公路大桥 432m，是亚洲第二大双索面斜拉桥。上海杨浦大桥主跨达 602m，最大跨度居世界第二。汕头海湾大桥主跨为大跨度悬索桥，中孔跨度 452m。还有跨度 270m 的虎门桥连续刚构。这些斜拉桥与悬索桥的建成标志着我国预应力斜拉桥等达到了世界先进水平。此外，随着高等级公路的兴起及城市立交桥的建造，近 10 余年来弯坡斜桥等不规则

桥的增长很快,预应力混凝土弯箱梁等也已建造成功。城市立交桥、高架桥近几年在北京、沈阳、大连、南京、青岛、成都、上海等地也迅速发展起来。

在预应力混凝土铁路桥梁方面,早在 20 世纪 50 年代中期我国即已成功研制了预应力混凝土铁路桥梁,并逐步转入批量生产和实际应用。至今工厂已生产了近两万余孔桥梁的预制预应力混凝土梁,如。先张法生产的 16m 及后张法生产的 24m、32m 预制预应力混凝土梁。目前预制梁的跨度普遍可达到 40m,洛阳黄河桥为 50m。九江长江大桥应用的 40m 预应力箱形梁重达 260t。此外在红水河铁路桥梁中还应用了斜拉桥,主跨为 96m。近年建成的 168m 攀枝花支线连续刚构,南昆铁路的跨度 90m、高 100m 的清水河大桥连续刚构,西盘江大桥 V 形撑连续跨度 90m,都是具有国际水平的铁路桥梁。钱塘江第二大桥是公路与铁路两用,总长分别为 1792.8m 和 2861.4m。铁路引桥采用了 32m 多孔预应力混凝土连续梁,梁体采用三向预应力,其连续长度堪称世界之最。

在水电工程方面^[8],黄河小浪底引水压力洞($\phi 6500\text{mm}$ 、壁厚 500mm),于 1986 年由中国建筑科学研究院与黄河水利委员会设计院首先采用后张法无粘结预应力环段进行试验,并用游动紧缩式环形锚具,仅在一个缺口内施加预应力,并经内部加压的环向受力试验研究首次获得成功,靖江隔河岩水利枢纽 $\phi 9500$,壁厚 750mm 的预应力引水压力洞及小浪底排沙洞、为香港供水的广东东深的输水洞等提供了试验依据,也为小浪底工程应用各种压力洞提供了基础。双圈无粘结筋已在小浪底压力洞中应用成功。预应力渡槽,如 27.3m、37.4m 空腹桁架渡槽,东深供水预应力 U 形渡槽及涵管等,与钢筋混凝土相比可省钢 35.9%,减少混凝土用量 25.3%,减轻自重 26%。北京郊区延庆还使用了新型的预应力斜拉渡槽。输送 3.5 万 V 以下低压电的预应力电杆及 11~22 万 V 高压预应力电杆塔等均得到了广泛应用。50 万 V 超高压预应力杆塔进入试用阶段。大量的预应力电杆及轨枕还利用了螺旋肋高强钢丝或三支钢绞线作为配筋,进一步节约了钢材。预应力混凝土压力管最大直径用到 3.0m;近来 2~4.8m 直径的无粘结预应力压力管也试制成功。

在水电工程中,利用预应力锚束进行加固的应用也很普遍,如用于加固已使用 50 多年的丰满水电站混凝土重力坝(坝顶高 90.5m);在 60 年代用于加固梅山水电站的岩基;70 年代用于双牌水电站岩基的加固;80~90 年代广泛应用于葛州坝、龙洋峡、刘家峡等加固岩基;用于云南漫湾水电站边坡治理等。

在管桩方面,日本采用量很大,其用量占整个基础用桩量的 80%以上,美国、德国、意大利、前苏联以及东南亚地区也已大量发展和生产使用。美国后张预应力管桩,直径为 0.914~2.389m,壁厚 12.7~17.78cm,管段长 4.88m,采用 C70 混凝土。预应力管桩,前苏联最大管径达 5m,管长 6~12m,壁厚为 8~14cm。管桩为方桩混凝土用量的 70%,省钢 30%~50%,价格为钢桩的 1/3。我国 70 年代工厂大批量生产了先张法预应力 $\phi 550$ 和 $\phi 400$ mm 的离心管桩,工地生产不同直径的大直径管桩,最大直径为 3.6m,混凝土 C50 级,近年可达 C70 级,目前管桩年产量超过 20 万 m。在预应力桩方面,我国还应用先张法生产了长达 52m,截面为 600mm $\times$ 600mm 的预应力方桩;应用冷拔低碳钢丝生产了内圆外方桩以及大孔径(直径达 1.2m)的后张预应力钢绞线长桩,并且用于宁波北仑港和连云港等港口工程中。后张预应力桩亦用于上海的高层建筑软土地基中。近年来我国南方还生产应用了 $\phi 300$ ~ $\phi 500$ 预应力高强混凝土管桩(PHC 桩),其混凝土强度为 C80,有效预压应力 ≥ 4.91 MPa。

在预应力混凝土轨枕方面,我国 50 年代中期研制成功后,60 年代开始生产和应用。目前在全国铁路已铺设预应力混凝土轨枕超过了 1 亿根,年平均 400 万根,近年达 600~800 万根以上,共节约了木材超过 1200 万 m³,并改善了轨道运营状况。目前还发展应用了 C60 等级的预应力高强混凝土轨枕,并采用了 $\Phi 5$ ~ $\Phi 7$ 螺旋肋高强钢丝及 3 $\Phi 4$ ($\Phi 8.7$) 3 股钢绞线,进一步改善了其受力特征。

在预应力钢筋和混凝土材料方面,目前国外预应力筋主要应用低松弛的 $\Phi 5$ ~ $\Phi 7$ 钢丝和 $\Phi 12$ ~ $\Phi 15$ 直径的钢绞线(0.5~0.6in),其松弛值约为一般消除应力预应力筋的 25%~35%,还应用有精轧大螺旋粗钢筋。我国在预应力混凝土中,采用高强与中强的钢丝及高低松弛钢绞线以及热处理钢筋和一部分 $\Phi 25$ 和 $\Phi 32$ mm 精轧大螺旋

粗钢筋等。

国外常用的混凝土最高强度可达 90MPa；轻骨料混凝土也在预应力工程中得到应用。我国预制构件混凝土强度可达 80MPa，试制成功的混凝土强度达 120MPa，轻骨料混凝土强度达 40MPa 以上。

在预应力混凝土生产工艺和张拉设备方面亦有不少进展，国内外均有各自的预应力体系和配套机具系列。国外常用单根和多组钢绞线锚具以及钢丝墩头锚具，最大张拉力可达 10000kN。我国在预应力工艺方面亦有不同的方法并具有自己的特点。如后张法长线张拉机械，并有与各类锚夹具配套的相应设备，如切筋器、挤压机、压花机、拉伸机、冷墩机、穿束机、测力器等。在预应力筋束型和锚固方面，发展配套的单根和多根钢绞线预应力体系，如张拉锚固 15mm 钢绞线的锚夹具与前卡式千斤顶，还有斜夹片或直夹片的 XM、QM、OVM、HVM、QHV、QXM 型 1~55 型锚具及其配套千斤顶，如 YC-18、YC-23、YCD 与 YCQ、YCW 型千斤顶等。钢丝墩头锚固体系的张拉设备，最大能力达 5000kN。

在预应力混凝土设计原理方面，近十余年来也发生了巨大的变化，首先统一了预应力混凝土和钢筋混凝土不是两种截然不同材料的看法，并认为介于全预应力和钢筋混凝土之间的结构只有按照预应力度的高低来分类才是合理的；预应力混凝土可分为全预应力、有限（限值）预应力、部分预应力三类。另外随着新型预应力混凝土结构的产生和抗震设计的要求，相应产生了一系列不同于原设计方法的设计理论。这些理论的应用为设计人员采用高新结构，达到经济、合理、安全的设计目的提供了保证。

参 考 文 献

- 1 陈惠玲. 预应力高新结构技术预应力度法. 北京: 中国环境科学出版社, 2001
- 2 徐永基, 王润昌, 鱼水滢等. 陕西省信息大厦超高层结构设计和安全性分析. 建筑结构学报. 2002, 2, 23 (1): 89~95
- 3 荣维生. 海信大厦预应力混凝土结构设计. 建筑科学. 2003, 2, 19 (1): 8~11