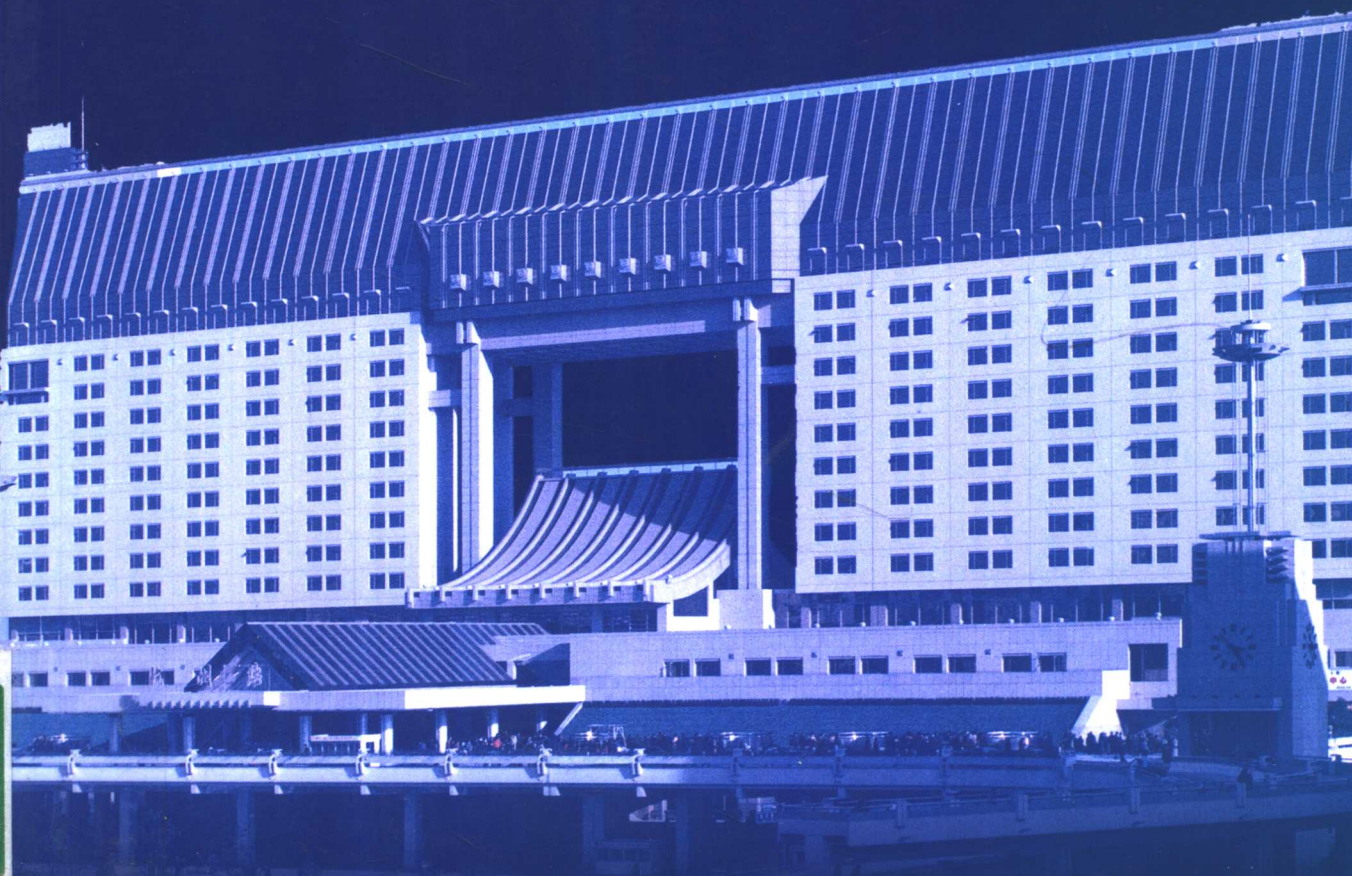


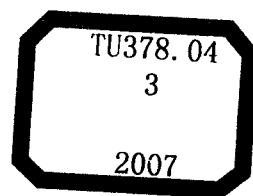
现代予力混凝土 结构设计理论及应用

谢醒悔 韩选江 叶湘菡 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





现代予力混凝土结构 设计理论及应用

谢醒悔 韩选江 叶湘菡 著

机械工业出版社

本书在全面阐述现代预应力混凝土结构设计理论的基础上,引入了予力、予力技术及现代予力混凝土结构的新概念。本书共 12 章,第 1~6 章主要以介绍常规的预应力混凝土结构设计理论方法为主,并适当结合现代予力混凝土结构设计理论方法的相关部分内容,第 7~12 章着重介绍现代予力混凝土结构设计理论方法,并列举了一些计算实例和设计施工实例以方便应用时参考并提高了本书的可读性和实用性。

本书适用于从事土木建筑工程、水利电力工程、矿山厂区工程和城市建设工程的设计、施工、监理与科研的技术人员参考,同时也可作为一本兼具理论与工程实例的图书供土木建筑院校的师生使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代予力混凝土结构设计理论及应用/谢醒悔, 韩选江, 叶湘菡著. —北京: 机械工业出版社, 2006.10
ISBN 7-111-20141-8

I. 现… II. ①谢…②韩…③叶… III. 预应力混凝土结构-结构设计 IV. TU378.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 124942 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 闫云霞

责任编辑: 闫云霞 版式设计: 张世琴 责任校对: 姚培新
关正美

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·16.75 印张·410 千字

定价: 48.00 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

编辑热线电话 (010) 68327259

封面无防伪标均为盗版

序 一

当《现代予力混凝土结构设计理论及应用》一书约 40 万字的初稿放在我的桌上时，未及浏览即产生肃然起敬的心情，与此同时也有十分愧疚之意。

谢醒悔总工程师 20 世纪 50 年代就和我在一起工作。20 世纪 70 年代因众所周知的原因，原单位向全国派送，他被调到山西临汾工作，我则到山西运城工作，相距不过一小时的车程，但在那个特殊的年代、环境里，从事技术创新很难得到支持。当时，我就听说谢总克服一切困难从事预应力技术的研究和应用，亲自实践、亲自指导取得了一定的成就；及至 20 世纪 80 年代到杭州市建筑设计院后得到了更多的发挥他的才能的机会，全身心地投入预应力工程的设计、施工、检测和研究工作，取得了令人兴奋的成果。

由于开拓创新的意识，执着敬业的精神，他从实践中悟出以予力代替预应力的传统概念，这是概念内涵的拓宽和方法的变革。随之 20 多年的设计研究和工程实践提出“予力 (Given-force)”概念和“索梁分载法 (Loading method distribution to Cable-beam)”方法，对予力结构快速发展起到了极大的推动作用，而本书的出版也将为此起到更大的作用。为此，我对谢总、韩选江教授等现代结构研究会的同仁表示由衷的敬意。

令我十分遗憾的是，早在 1999 年原北京工业建筑设计院的结构工程师在北京召开了一次结构专业技术研讨会，该院解体后已分别近 30 年的老同仁欢聚一堂，汇报各自在全国各地的新成就，此后出版了一本《前北京工业建筑设计院结构专业技术研讨会同仁论文汇编》，在汇编中谢总发表了一篇题为《现代予力混凝土结构设计新方法——索梁分载法》一文及“现代结构研究会”的简介，谢总秉性不喜张扬，只发表了文章未作全面介绍。

由于我年迈，思想已渐迟钝，对新鲜事物敏感度大不如前，对谢总的成就当时还没有现在这样的感悟，及至 2004 年，他的予力概念已在工程界引起很大的影响，为此我特请他为我们上海分公司的结构工程师作一场特殊的讲座，每月一次、每次半天，共讲五次，时已年过七旬的谢总奔波于沪杭之间，他深入浅出的讲解和诲人不倦的精神，使年轻同志很受感动，受益匪浅。

正当我希望和他合作进行一些项目的设计时，突然接到他与世长辞的不幸消息，对我和一些与谢总共事多年的同志都难以接受这一残酷事实。这也就是我提到的愧疚。我应该多学习他的开拓创新精神，更应该和他合作以丰富他的实践内容，也为推动此成就作出微薄奉献也于心稍安，遗憾的是我没有做到。

本书的出版不仅是总结谢总及其他同仁合作取得的成就，并且纪念为此辛勤孜孜以求奉献毕生心血的开拓者谢总；更重要的还是为引起工程界同仁及后生更深入地学习、理解这一新概念及其理论方法体系，并为发展此技术作出奉献。

从一个传统概念向另一个新概念的转变是一种十分困难的事，要有理论、工程实践、监测结果、成千上万的工程实例，更重要的还要编成手册，更要争取在短期内编写行业规范或地方设计规程等，这将有助于发展此技术，希望现代结构研究会与工程界对予力技术和予力

结构有研究的同仁继续努力，使予力技术对我国的基本建设作出更大的贡献，相信予力结构将在全国取得更大的发展。

国内外著名工程结构专家、设计大师
孙芳垂 总工程师、监事长
于北京建学建筑与工程设计所有限公司
2006年9月18日

序 二

关于予力、予力技术和予力结构是本书第一作者谢醒悔教授级高级工程师提出的新概念，早在他 1994 年发表的论文及在全国现代结构研究会的学术年会上的报告中多次进行介绍；1995 年开始第二作者韩选江教授即发表并继续发表有关论文，可参见书后参考文献。笔者曾听过谢教授的报告，这一新概念自有其特点，对此也发表了个人看法，刊登在《基建优化》期刊 2005 年第 2 期上。

谢教授几十年如一日，发扬了“生命不息，战斗不止”的拼搏精神，辛勤耕耘在建筑设计岗位上，特别退休后自办实体，继续发挥余热，在预应力大跨结构工程的设计施工中，完成了 200 余项大型工程，作出了极大的成绩和贡献，难能可贵。他提出的现代予力混凝土结构设计理论方法体系，经受了实践的检验，是很成功的，并得到较多的推广应用。

谢教授太辛苦太劳累了，还没有来得及完成他的著作，即匆匆离去。韩选江教授能根据他公开发表的论文和留下的技术资料，执笔完成本书，这是一件好事。他帮助谢教授实现了自己的宏愿。

笔者曾两次参加全国现代结构研究会的年会活动，看到他们坚持的学术民主气氛，配合十分默契，探讨的问题也较深刻，他俩在专业上能相互切磋，从研究方向上又具有互补性，为现代予力结构的发展和推动，起到了十分有益的作用。

《现代予力混凝土结构设计理论及应用》一书，是一本理论和实践结合得较好的著作，从概念理论、设计计算、构造措施、施工方法到检测手段等，对新理论体系作出了全面阐述，同时对常规的预应力混凝土设计理论结合新规范内容进行全面介绍。书的最后即第 12 章中重点介绍了几个大型现代予力混凝土结构工程的设计施工实例，以方便读者参考应用。

因此，本书无论对新从事预应力混凝土结构工作的同志，或是对已经掌握了预应力混凝土结构设计和施工方法原理并已有实践工程经验的老技术人员，均能从中得到启迪。在强调“创新精神”的当代社会，学习新的理论方法更加显得重要。

本书从内容组合和表现形式上都具有其特点和优点，可作为高等院校本科生和研究生的参考文献，也可供从事土木工程结构设计、施工、科研和管理工作的广大工程技术人员学习参考。

国内外著名结构工程专家、教授

丁大钧 于东南大学

2006 年 9 月 18 日

序 三

预应力技术在土木工程中有着显著的优越性。它可以使用高强度材料，减小构件截面，加大结构跨度，加固结构缺陷，降低建筑层高，采用更加合理的受力体系，改革现场施工方法，还能够简化建造的流程。但遗憾的是在我们高等院校的教学中，预应力技术还没有得到应有的重视和加强，原因在于它所用的公式多、符号杂，计算过程繁琐，以致把教师和学生的注意力，相对集中在预应力构件截面的应力计算和复核上。

在实际工程中，预应力技术也尚未得到更为广泛的应用，也是由于它使工程师们的思维局限于怎样符合设计规范的应力计算和施工规程的构造规定上，他们的视线尚未能顾及到预应力技术进行结构体系和施工方法的变革。因而可以认为，我国当前的预应力技术尚未达到“与时俱进”的状态，这对于土木工程的发展来说，无疑是一个较大的损失。

谢醒悔总工程师经过 20 年的钻研、探索和实践，将“预应力技术”拓宽为“予力技术”，将现有的“用构件受预加力后被动的截面应力状态来描述‘预应力’”，延伸为“为达到某种目的主动向结构施加已知可控可调影响力的‘予力’”，并得出一套相应的索梁分载设计计算方法。这对于人们拓宽对传统预应力技术的理解，加深对传统预应力技术的讨论，正确认识予力技术的新概念，以致在土木工程领域里加快发展这类有革新意义的技术，有着十分重要的作用。谢醒悔总工这个创造性的理念和意识，受到我国土木工程界的普遍欢迎。

德国冯·卡门教授曾说过：“科学家发现已有的世界，工程师创造还没有的世界。”美国工程师专业发展委员会（ECPD）也曾经提出：“创造应该是工程师的中心任务（Innovation must be central to the engineer）”。我们应该看到，由于如今世界科技的发展迅猛，经济的竞争剧烈，对工程师挑战的形势严峻，如果说 20 年前人们思想的束缚还是由于技术方面的障碍，那么 20 年后的今天，技术发展的障碍往往来自于人们的思想。换言之，思想的解放，观念的变革，概念的创新，在今天已成为所有其他创新的先导。

要成为一个我国现代社会发展迫切需要的，有创新理念和意志的土木工程师是不容易的。他们必须：

——对力学和材料有深刻的理解，并且能运用它们去解决新出现的工程问题，从中得到丰富的技术知识，扩大自己的视野；

——要不断积累实际经验，使经验变成直觉；还要珍惜每一点新的感觉和认识，及时归纳和总结，不断引导自己迈向更高境界；

——要敢于提出问题和新的见解，有强烈执着的创造欲望，独立自主艰苦奋斗的创造精神，自强不息坚持无悔的意志和勇气。

谢醒悔学长正是具备了这些优秀的品质。他热爱土木工程，对发展工程结构有强烈的责任感。在清华大学毕业后的 50 年实践中，积累了丰富的工程经验；近 20 年来又对“予力技术”和“予力混凝土结构”有着深厚的感情和执着的意志。他的动机、态度、意志和价值观念，都使他自然地成为一个“予力技术”的倡导者。

我衷心希望通过本书的出版，能够推广予力技术，拓宽预应力技术的应用，还能在我们广大土木工程技术人员中，弘扬这种敢于提出新见解和独立自主、艰苦奋斗、自强不息的创新精神。

国内外著名结构工程教授
罗福午 于清华大学土木工程系
2006年9月18日

前 言

本书在全面阐述现代预应力混凝土结构设计理论基础上,引进了予力、予力技术及现代予力混凝土结构新概念。现代予力概念是建立在“为了某种目的而主动给予结构体系和构件施加已知的可控可调的影响力”。予力概念是包括预应力、预应变、预位移和预变形等概念在内的广义影响力。

传统的预应力混凝土概念建立在预应力筋(索)是混凝土构件整体一部分的截面应力计算模型上,难以描述现代整体混凝土结构的复杂受力性状。因此,需要建立新的概念和设计方法来处理现代予力混凝土结构提出的新课题。本书正是在理论和实践两方面解决了这些问题。

本书也是一本现代予力混凝土结构理论和实践并重的图书。为了方便读者熟悉和更深入地理解书中内容,敬请读者在阅读本书之前,首先了解以下内容。

1. 本书酝酿成熟过程

谢醒梅先生 1952 年夏毕业于清华大学土木系。从该年 9 月被分配到重工业部哈尔滨飞机制造厂基建处工作开始,直至 1988 年 3 月从杭州市建筑设计院总工室退休,36 年来谢先生一直从事土木工程设计工作。1986 年他研究成功的“高强钢丝束铸锚体系”获得第二届全国发明大会铜奖,并在 1987 年获得国家专利,1989 年获得浙江省优秀专利奖。

从 1988 年 4 月开始,他创建了浙江省科技咨询中心预应力大跨建筑技术服务部,担任主任兼总工程师;2001 年 4 月又参与组建了杭州天成预应力工程技术有限公司,并被推选担任董事长兼总工程师,直至 2004 年 11 月 25 日与世长辞。这退休后的 16 年,他专门从事预应力工程的设计、施工、检测和研究工作。

可以说谢先生对大跨度预应力工程尤为独钟。他亲手设计、施工和检测的预应力工程遍布大江南北,从东南沿海到雪域高原共达 200 余项。他既是一个理论深邃的设计师,又是一个技艺高超的实干家和孜孜以求的开拓者。他终身奋斗的成果,为本书的酝酿成熟奠定了坚实基础。

特别值得一提的是,他于 1990 年与中国建筑技术研究院的汪达尊教授和《建筑结构学报》的章天恩主编共同组建了全国现代结构研究会。从此,他还把宣传推广现代结构工程技术作为继续发挥余热的己任,积极组织 and 参加学术会议、办班讲课、上门讲学及现场指导活动。

他早就打算要著书立说,为后人留下理论、技艺和经验。他在很多同仁面前表达过这种愿望。他与我和一些同仁商议过编写《现代予力结构设计与施工手册》,而且,多次与我和庄一舟副教授商讨,欲编写《现代予力(广义预应力)结构的理论及应用研究》一书。由于谢总的离去,加之庄一舟出国定居,该书商定章节已无法完成,这是最大的遗憾。

由于谢先生生前留下了 15 篇论文及一些技术资料 and 工程经验总结,加上谢夫人叶湘菡教授级高级建筑师的细心收藏保管,使我能根据谢总的宏愿和他与我多次语重心长地交谈留下的记忆,赶在第十五届全国现代结构工程技术交流会召开前夕,匆忙地完成了本书初稿。

2. 谢醒悔先生的开拓性贡献

谢总对预应力技术的开拓性贡献早已著文在全国现代结构研究会的论文集及《工业建筑》、《施工技术》和《建筑技术开发》等全国期刊中公诸于世。

简而言之,大致有以下几个方面。

(1) 将预应力技术拓宽为予力技术,并全面提出了予力、予力技术和予力结构基本概念。

(2) 从予力混凝土结构设计理论概念出发,创造性地提出“索梁分载法”的现代予力混凝土结构设计新方法。

(3) 从予力混凝土结构锚固施工需要出发,带领课题组同志联合攻关,创造性地研制了铸锚束(ZM)予力结构锚拉体系及第一代测力系统,并完成了与“索梁分载设计法”相配套的予力结构体系施工方法与检测方法。

(4) 从完善予力混凝土结构的设计方法出发,创造性地解决了予力混凝土结构裂缝开展的简化验算方法,并改进了予力混凝土框架结构的抗震设计方法,为予力混凝土结构推广到地震区应用打开了方便之门。

(5) 将予力混凝土结构测力系统与施工监测有机结合起来,创造性地提出了予力混凝土结构的调控设计方法,为完善和扩大予力混凝土结构的应用揭开了新的一页。

(6) 谢先生用毕生的工程设计与施工经历及200余项予力混凝土结构设计施工成果丰富了予力混凝土结构工程实践,为予力技术的工程应用树立起新的里程碑。

3. 现代予力结构技术的理论和实践

《基建优化》期刊2005年第2期开头集中刊登了《现代予力结构技术研究》10篇论文,并在撰写的编者按中写道:

“现代予力混凝土概念是传统预应力混凝土概念的扩展延伸和方法变革。传统预应力概念建立在构件截面校核计算模型上,难以描述现代整体混凝土结构的复杂受力性状。因此,需要建立新的概念和方法来处理现代予力混凝土结构提出的新课题。

谢醒悔教授级高工在近20年的设计研究和工程实践中提出“予力”(Given-force)概念和“索梁分载法”(Loading method distributed to Cable-beam),能妥善处理传统概念不协调的状况,推动予力结构快速向前发展。随即得到了韩选江教授及一些结构专家不约而同的呼应。这些专家都在现代予力技术和现代予力结构体系的设计研究实践中不断积累经验和获取新成果,形成了该专业领域的研究中心。

现代予力结构发展到今天,予力概念几乎渗透到土木工程的各个领域,已成为工程设计和施工的重要组成部分。它是现代结构调控设计的主要手段。一些专家预言,现代予力结构将成为21世纪的工程主旋律,值得作为专业热点问题加以深入讨论。”

“现代予力结构技术研究”是全国现代结构研究会的集体成果,也是全国广大从事现代结构工程技术的专家、教授和工程技术人员的智慧结晶。这也是谢醒悔先生多次在全国现代结构工程技术学术年会上阐明的。因为全国现代结构研究会广泛团结了全国从事现代结构工程技术的专家、教授和工程技术人员,为他们搭建了从事现代结构工程技术理论研究、工程实践和学术交流的技术平台,为他们提供了技术合作和工程应用的技术交流平台,为他们提供了因材施教、互帮互学和教学相长的技术课堂,并为他们广交学术界和工程界的朋友创造了机会。

汪达尊、谢醒梅和章天恩三位老学长是当之无愧的学术旗手，正是他们的高瞻远瞩和真知卓见才建立和组成了浩浩荡荡的现代结构工程技术学术队伍。尤其是谢醒梅老学长，他的学术思想、理论体系和工程实践经验是我们时代难能可贵的精神财富；他还无私地为全国现代结构研究会提供了较多的活动经费。我们应该永远记住他们的名字。

4. 本书的编著目的和编写方法

本书的编著目的有三个。

(1) 我和谢夫人遵循谢先生的殷切期望完成其著书立说的宏愿，将他的学术思想、理论体系和工程实践经验传授给更多的专业同仁。

(2) 谢总与我早就有约，他早就邀请我共同编写《现代予力结构设计与施工手册》(1997年)和《现代予力(广义预应力)结构的理论及应用研究》(2001年)等书，谢总未来得及完成的工作，我应该义不容辞地完成，也是对我们长期的合作共事作一个实实在在的交待。

(3) 对谢先生以毕生精力创造性完成的现代予力混凝土结构设计与施工突出成果，应该总结出来并发扬光大，这是推动专业技术进步的需要，也是推动科技发展的需要，更是向专业同行全面系统介绍谢先生现代予力混凝土结构设计新理论体系方法的迫切需要。

本书全面介绍了现代予力混凝土结构设计理论方法及运用技巧，但为了便于让初学者能全面系统地进行学习，因而，本书对常规传统的预应力混凝土结构设计的基本概念、基本理论、设计计算、构造措施、施工方法和应用实例也结合相应新规范内容作以全面介绍，以便读者进行分析、深入理解和全面掌握。谢先生在新规范颁布前的工程设计计算实例，仍保留其原样不作代换。

为此，本书前6章的内容组织安排上主要以常规的预应力混凝土结构设计理论方法为主，并适当结合现代予力混凝土结构设计理论方法的相关部分内容加以介绍；本书后6章的内容组织则主要是现代予力混凝土结构设计理论方法(包括施工实施)。在第7章中，较全面集中地阐述现代予力混凝土结构设计理论方法的主要内容。在第8~11章中，将两种设计理论方法的内容有意识地进行全面介绍，尤其是计算实例。最后，在第12章中又全面集中细致地介绍几个大型现代予力混凝土结构的设计施工实例。

这样以来，对初学者既能循序渐进地深入学习，摸清了两种设计理论方法的来龙去脉，同时，也能实现跨越式的深入理解和应用。对已熟悉常规预应力混凝土结构设计理论方法的工程技术人员来说，只要他们仔细阅读和深入理解，又能迅速掌握现代予力混凝土结构设计施工的新理论方法，并实现跨越式的灵活应用。

5. 完稿说明及致谢

经过约八个月的时间，本书初稿已完成。我可以告慰谢醒梅老学长，他付出毕生精力为之奋斗的研究成果和工程产品，将以较完整的文字资料记录下来了。

我与谢先生多年交往和合作共事16年，为研制“予力结构技术”经常交流，甚至同室安寝而交心至通宵达旦。他总是以老学长的谦虚大度精神，认真听取我和同仁们的意见，原则问题不含糊，细节表述问题又尊重我们的意见。他总是强调：我们都是行知学者，相互切磋，相互帮助，才能集思广益，共同提高。我从谢学长身上学到了许多东西，对他的学术思想体系有较深入的了解，我受谢夫人重托执笔，更深知这是研究会全体同仁的重托。所以，我义不容辞地接受委托，也认真负责地想把此书写好。

但限于个人的水平,特别是工程经历,我还没有完整地设计和处理过一项大型预应力结构工程,所以编写此书的过程同时也是一个学习的过程。我从1981年研究生毕业后,毕竟深入研究和处理的是建筑物的下部结构和地下工程,对谢总所从事的建筑物上部结构的予力混凝土结构工程,理解和体会还很肤浅,撰稿过程中出现遗漏和错误在所难免,敬请各位读者多多提出批评帮助意见并不吝指正,以便我在第二版中加以认真修改。

本书书稿完成后,首先应感谢谢夫人的精心收藏工作,她不仅精心收藏了谢先生正式发表的论文手稿,而且还精心收藏了谢先生留下批改的一些手稿资料;另外,就是要感谢吴菊芳工程师,她作为谢先生创办的预应力大跨技术服务部和全国现代结构研究会的秘书,保管了谢总的研究资料和设计施工图纸。两位女士的工作为本书的完成,提供了最真实的第一手资料。

应特别感谢的是孙芳垂设计大师、国内外著名结构专家丁大钧教授和清华大学罗福午教授,他们为本书写序,使本书蓬笔生辉,增色不少。

还需特别感谢程泰宁院士、陈忠麟教授级高工、刘传义教授级高工(也是谢先生清华大学的同窗)和庄一舟副教授(赴美博士后)及单一军高工等专家对谢先生本人及本书的支持和帮助。

另外,还应特别感谢林同炎院士、吕志涛院士、杜拱辰教授、薛伟辰教授等知名专家所提供的重要参考文献,以及编制我国钢筋混凝土结构设计相关规范和相应教科书的编写专家所提供的重要文献资料。

最后,还要特别感谢郭万萍、骆圣武、周嵘、余晓青、钟承霞、倪守忠和王洪水等同仁朋友提供的工程照片、设计图纸及施工和检测等技术资料。

在此,还要感谢我的几位研究生——王同华、孙晋川、朱进军、赵翔、朱允伟、王黎明和打印社的徐桂云和刘兵等同志及机械工业出版社的总编、编审、策划、印装和校对等工作人员,没有他们付出的辛勤劳动,本书不可能在短时间内正式出版。

书稿虽然问世了,仍有很多不足之处,也许是对谢先生毕生奋斗的成果仍理解不深,阐述不透,敬请各位专家和同行不吝赐教,使本书再版时能够更加完善。

韩选江(南京工业大学教授)

2006年9月10日

目 录

序一
序二
序三
前言

第1章 预应力混凝土结构设计概述	1
1.1 预应力混凝土概念的发展	1
1.2 预应力混凝土结构原理	2
1.3 预应力混凝土的分类	3
1.4 预应力度	4
1.5 预应力混凝土构件设计原理	6
1.6 预应力结构的新发展	7
第2章 预应力混凝土结构材料	9
2.1 混凝土	9
2.2 预应力筋	12
2.3 非预应力筋	18
2.4 留孔及灌浆材料	18
第3章 预应力混凝土结构计算基本原则	20
3.1 计算要求	20
3.2 张拉控制应力	20
3.3 预应力损失	21
3.4 预应力损失值的组合	26
3.5 预应力钢筋的传递长度和锚固长度	26
第4章 预应力混凝土构件承载能力极限状态计算	28
4.1 一般计算规定	28
4.2 受弯构件承载力计算	31
4.3 受拉构件承载力计算	34
4.4 局部承压承载力验算	39
4.5 受冲切验算与疲劳验算	42
第5章 预应力混凝土构件正常使用极限状态计算	45

5.1 裂缝控制验算	45
5.2 受弯构件挠度验算	50
第6章 超静定预应力混凝土结构设计	53
6.1 概述	53
6.2 预应力主弯矩、次弯矩与综合弯矩	54
6.3 线性变换与吻合束	56
6.4 次弯矩的计算方法	58
6.5 预应力混凝土楼盖设计	65
第7章 现代予力混凝土结构设计理论	69
7.1 现代予力混凝土结构设计新概念	69
7.2 予力混凝土结构的索梁分载设计法	78
7.3 予力混凝土结构裂缝控制验算的简化	91
7.4 予力混凝土结构在地震区的应用	93
7.5 予力混凝土结构应用的铸锚束 (ZM) 体系	96
7.6 予力混凝土结构的调控设计方法	106
第8章 现代予力混凝土连续梁设计	113
8.1 予力混凝土连续梁结构方案	113
8.2 予力混凝土连续梁计算内容	114
8.3 予力混凝土连续梁设计步骤	115
8.4 常规有粘结予力混凝土简支梁设计计算	115
8.5 常规无粘结予力混凝土连续梁设计计算	123
8.6 索梁分载设计法与常规设计法对比	133
第9章 现代予力混凝土框架结构设计	135
9.1 结构选型	135
9.2 设计步骤	135
9.3 予力混凝土框架结构设计内容	137
9.4 予力混凝土框架设计中的几个问题	138
9.5 常规有粘结予力混凝土框架结构设计计算	144
第10章 予力混凝土结构构造	151
10.1 一般构造要求	151
10.2 先张法予力混凝土构件的构造要求	152
10.3 后张法予力混凝土构件的构造要求	153
10.4 予力混凝土梁的构造	155
10.5 无粘结予力混凝土楼盖构造设计	158

10.6 予力混凝土框架结构构造	160
第 11 章 现代予力混凝土结构施工	165
11.1 予力锚夹具与连接器	165
11.2 予力施工张拉设备	174
11.3 予力施工工艺	180
11.4 予力 ZM 铸锚束锚拉体系施工工法	190
第 12 章 现代予力混凝土结构设计实例	195
12.1 杭州新火车站城站广场予力结构设计与施工	195
12.2 杭州国税局大楼予力结构体系施工	215
12.3 杭州恒逸加弹车间予力结构工程	221
12.4 浙金广场无粘结予力超张拉分析与处理	228
12.5 上海国际购物中心新型组合网架予力结构张拉	234
12.6 浙江体训大队篮球、排球练习馆予力结构工程	242
12.7 浙江义乌国际汽车城现浇框架部分予力结构体系	244
参考文献	250

第 1 章 预应力混凝土结构设计概述

1.1 预应力混凝土概念的发展

1.1.1 概念的形成与发展

我国混凝土结构设计规范 (GB 50010—2002) 中预应力仍沿用 20 世纪 50 年代以来的先张法和后张法的概念。将构件钢筋先施加预拉应力,再建立构件钢筋对混凝土产生预压应力,即“由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土制成的结构或构件”,就是预应力混凝土结构或构件。事实上,预应力混凝土结构设计已经超出截面校核的范围,并已提出相应的涵盖其性能的定义、设计概念原则和计算模型。

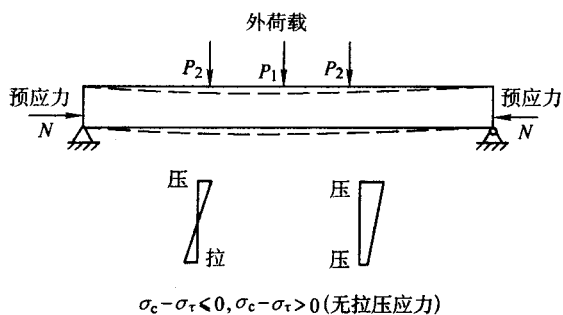


图 1-1 预应力混凝土简支梁的截面应力

以图 1-1 所示的一根简支梁为例,在外荷载 P_1 和 P_2 共同作用下,梁的受拉区作用有偏心力 P 。 P 在梁的下缘纤维会产生压应力 σ_c ,同时,外荷作用也使梁截面下缘产生拉应力 σ_t 。在梁的两端施加预压力 N 后,该梁截面下缘纤维的应力状态将是两者的迭加:可能是较小的拉应力 ($\sigma_c - \sigma_t \leq 0$),也可能全是压应力 ($\sigma_c - \sigma_t > 0$)。由此可见,预应力的作用可部分或全部抵消外荷载产生的拉应力,从而提高结构的抗裂性,延迟裂缝的开展,也会起到减小裂缝宽度的作用。

国际预应力混凝土协会 (FIP) 于 1952 年成立,它是“以发展混凝土,预应力及有关材料与技术”为宗旨的国际组织。1991 年,结构混凝土的定义是用于结构的各种混凝土的总称,包括从简单的素混凝土到复杂混凝土,是与钢材相结合的一个连续结构系列的总称。1998 年 5 月在荷兰召开的十三届 FIP 宣布 CEB 和 FIP 组织合并,成立国际混凝土协会 (FIP)。从此,国际预应力混凝土协会完成了赋予它的历史任务。这意味着预应力作为新技术而扩展到各种结构中。

按照弗氏的理论 (定义),施加预应力是为了改善混凝土的性能,变脆性材料为弹性材料,用预应力束抵消预期承受的拉应力。这种在预期荷载作用下,全截面不得产生拉应力,即不产生开裂混凝土的预应力混凝土——部分预应力混凝土。这是在 1970 年 FIP 第六届会议上才正式被接受的概念。

林同炎对预应力提出以下三个概念:

- 预应力使混凝土“转变成”弹性材料。
- 预应力使高强钢筋和混凝土有效地结合。

——用预应力平衡外荷载。

这就是 20 世纪 60 年代初期对预应力作用效应的应用具有代表性的概括。

美国土木工程协会 (ACI) 对预应力混凝土的定义为:“预应力混凝土是根据需要人为地引入某一数值与分布的内应力,用以部分或全部抵消外荷载应力的一种加筋混凝土”。而我国预应力学者、专家杜拱辰教授从反向荷载概念出发定义,即“预应力混凝土是按照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”。同样,可以定义其他材料制作的结构,如预应力钢结构,预应力砌体结构,从而扩大了预应力技术在结构工程领域中的应用范围。

1.1.2 结构力学观点的转变

早期 (20 世纪 50 年代以前),预应力混凝土结构以构件为主,是静定的简支梁、板等。张拉时,构件支座并不产生约束,既无约束弯矩 (次弯矩),也无约束轴力 (次轴力)。目前规范和教科书所阐述的预应力混凝土结构基本原理和设计计算与普通混凝土结构计算一样。

中期 (20 世纪 70 年代),简单的超静定预应力混凝土结构,如连续梁,只有约束弯矩,而无约束轴力。国内外学者研究颇多,产生许多不同观点与争论。美国 AC 1318—77 规范在承载力计算中,包括了此项次弯矩,在结构设计计算方面有所突破。我国 GB 50010—2002 规范也开始要求计算次应力 (弯矩、剪力、轴力等) 影响。

近期 (20 世纪 80 年代),预应力整体混凝土结构,常是复杂超静定结构体系,预应力是点作用或线作用于结构上,而力的传播是空间的。因此,预应力效应并不全作用在构件轴向的截面中,可能还会传到其他有关联的构件中。规范的截面校核计算公式,难以概括各种关系的实际情况。因此,按规范“精确”计算应力的意义不大。

最近 (20 世纪末以来) 由于预应力概念的发展,设计理论的开拓,从弹性理论分析、塑性理论的实践研究,到预应力主动参与荷载的传递和调整内力,预应力混凝土结构设计进入一个崭新的自由王国的境界。预应力技术已成为现代结构工程调控设计的有力手段,它将是 21 世纪各种结构工程设计的主旋律并将快速得到发展。

1.2 预应力混凝土结构原理

1.2.1 基本原理

预应力混凝土结构的基本原理:对结构承载时会产生拉应力的部位,预先用某种方法对混凝土施加一定的压应力,这样,当结构承载而产生拉应力时,必须先抵消混凝土的这部分预压应力,然后才能随着荷载的增加使混凝土受拉,进而出现裂缝。预应力混凝土可以改善混凝土的抗拉性能,延缓受拉混凝土的开裂或裂缝开展,使结构在使用荷载下不出现裂缝或不产生过大宽度裂缝。

预应力混凝土结构的主要优点是其能够充分利用材料性能,抗裂性好,刚度大,节省材料,自重轻和结构寿命长等;特别是能够节约材料和节省造价。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,而与钢结构相比,则可