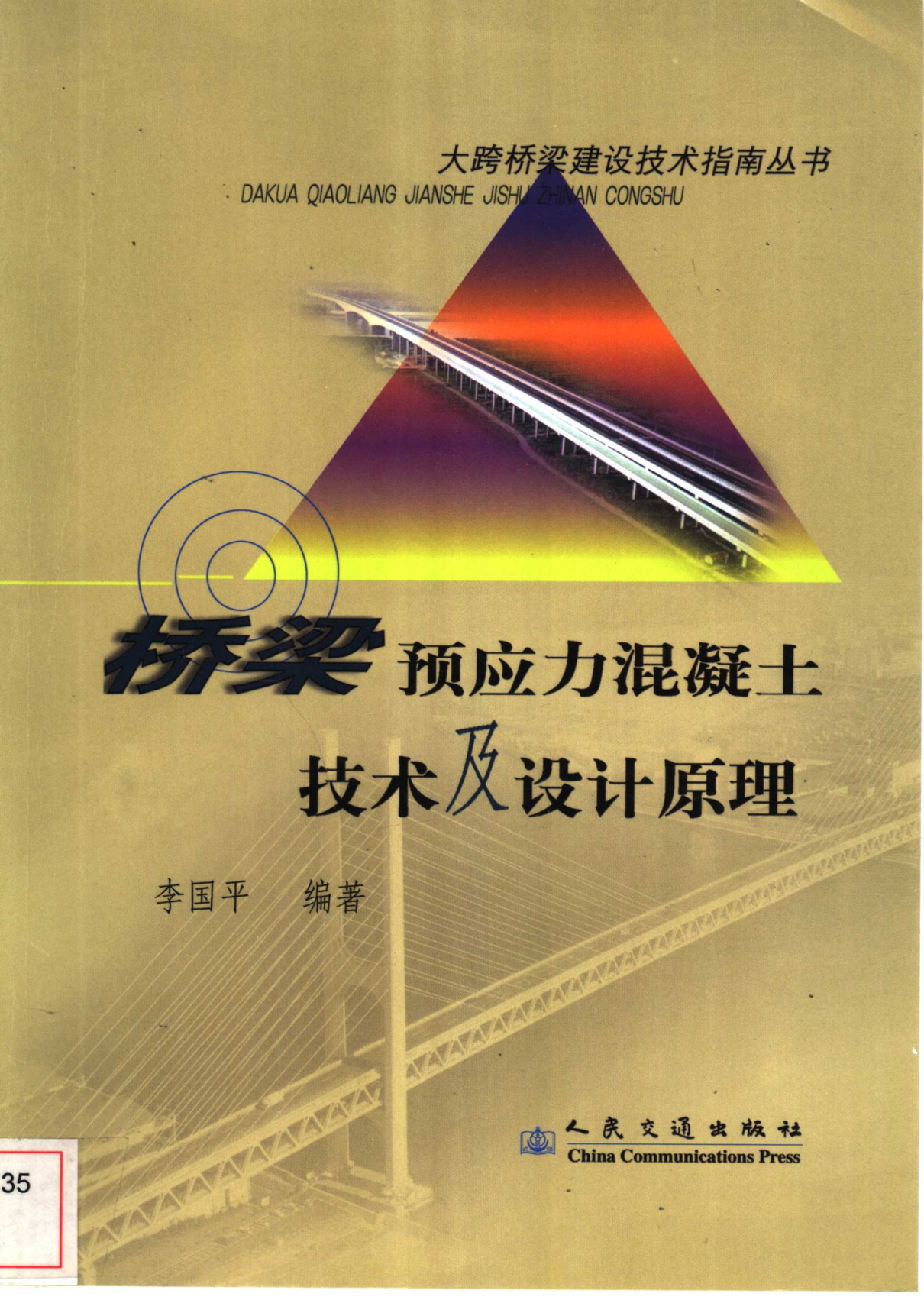


大跨桥梁建设技术指南丛书

· DAKUA QIAOLIANG JIANSHE JISHU ZHINAN CONGSHU



桥梁 预应力混凝土 技术 及 设计原理

李国平 编著



人民交通出版社
China Communications Press

华北水利水电学院图书馆



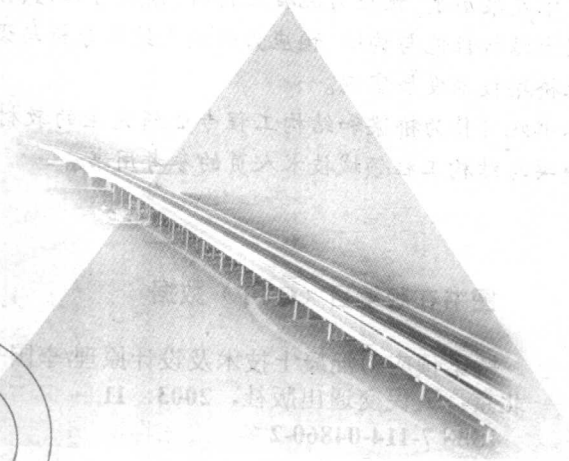
2010387849

U448.35

C164

大跨桥梁建设技术指南丛书

DAKUA QIAOLIANG JIANSHE JISHU ZHINAN CONGSHU



桥梁 预应力混凝土 技术 及 设计原理

李国平 编著



2010387849

人民交通出版社
China Communications Press

1038784

内 容 提 要

本书以桥梁预应力混凝土技术与结构设计原理为主要内容,介绍了预应力技术发展历史、预应力混凝土材料、预应力工艺、预应力锚固体系、预应力混凝土结构性能与构造、预应力混凝土结构分析与设计原理,以及预应力混凝土桥梁技术发展实例。

本书既可作为桥梁和结构工程专业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的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁预应力混凝土技术及设计原理/李国平编著.
北京:人民交通出版社,2003. 11
ISBN 7-114-04860-2

I. 桥… II. 李… III. ①预应力混凝土桥-预应力技术②预应力混凝土桥-设计 IV. U448. 35

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 098946 号

大跨桥梁建设技术指南丛书

桥梁预应力混凝土技术及设计原理

李国平 编著

责任校对:张莹 责任印制:张恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:787×980 1/16 印张:19.5 字数:321 千

2004 年 1 月 第 1 版

2004 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001~3000 册 定价:30.00 元

ISBN 7-114-04860-2



20 世纪下半叶,世界桥梁工程发展中最突出的两大成就,可以认为是斜拉桥的复兴和预应力混凝土技术的广泛应用。预应力混凝土的问世使梁式桥的跨度飞速增长,从 20 世纪 50 年代第一座突破百米跨度的莱茵河沃尔姆斯桥的建成到 20 世纪末,预应力混凝土梁式桥的跨度已超过了 300m。当前全世界的桥梁中,不仅有 70% 以上都采用了预应力混凝土结构,而且预应力技术在悬臂节段拼装施工中的应用完全改变了过去传统的有支架现浇施工方法,创造了许多新的施工方法,大大提高了桥梁施工的工厂化和机械化程度,同时也促进了材料(钢和混凝土)技术的不断进步,使工程质量和耐久性得到了更有力的保证。可以说,预应力混凝土占据了二战后桥梁发展的中心地位。

中国的预应力混凝土技术起步于 20 世纪 50 年代初全面学习苏联的高潮中,1956 年建成了第一座跨度为 23.9m 的预应力混凝土铁路简支梁桥,并初步掌握了高强度钢丝、预应力锚具、管道灌浆、千斤顶张拉等有关的预应力材料、设备和施工工艺,为 20 世纪 60 ~ 70 年代建造主跨 124m 的广西柳州桥,144m 的福州乌龙江桥和 174m 的重庆长江大桥创造了条件。

20 世纪 80 年代初,率先开放的广东省为建造主跨达 180m 的番禺洛溪大桥从国外引进了先进的 VSL 预应力钢绞线锚固体系,为此后我国自行生产钢绞线和发展预应力锚具提供了学习机会。柳州市建筑机械总厂在同济大学和上海建工集团基础公司的合作下,率先自主开发出 OVM 锚具,现已成为国内预应力锚具的主流。2001 年,柳州市建筑机械总厂和同济大学桥梁工程系携手成立了“同济 OVM 预应力研究中心”,旨在通过产学研的结合,促进这一民族品牌的不断进步,以期在中国加入 WTO 的新形势下不断提高我国 OVM 预应力产品的国际竞争力。

李国平教授是同济大学桥梁工程系混凝土桥梁研究室主任,兼任同济 OVM 预应力研究中心主任。他在 20 世纪 80 年代初即开始涉足预应力混凝

土技术,对混凝土徐变和预应力结构性能有很深的研究,以后又长期从事这一领域的许多重要问题的研究工作。本书是他多年学习心得和研究成果的汇总,相信一定能对正在从事预应力混凝土桥梁设计和施工的广大工程技术人员有所裨益,并为他们在进行创新结构的设计和施工方法的创新构思中提供理论武器和分析方法。

改革开放以来,中国桥梁建设无论从建设规模或是建设速度方面都是令世人称羨和惊异的。然而,我们必须承认和发达国家的差距,在预应力混凝土技术领域也要不断学习国际知名品牌的长处和优点,克服自身存在的不足,通过努力创新来实现赶超世界先进技术水平。

进入 21 世纪后,中国正迎来建设跨海大桥的新高潮,我们应当鼓励采用新型预应力材料、新型预应力混凝土结构和新的施工工艺,通过实践取得进步,为国际预应力事业的发展作出中国桥梁工程界的一份贡献。

项海帆

2003 年 7 月



几个世纪以前,预应力的基本原理就已经在日常生活中得到应用。19世纪后期这一原理开始用于混凝土,出现了预应力混凝土。在经历了20世纪迅速发展的过程后,预应力混凝土已成为混凝土结构的关键技术。

现代预应力混凝土桥梁是预应力混凝土发展的象征。自从1937年世界上出现了第一座预应力混凝土桥梁以来,预应力混凝土材料、预应力体系、预应力工艺,以及适合各种结构的施工技术,都在预应力混凝土桥梁发展的过程中得到不断发展、完善。

本书以桥梁预应力混凝土技术与结构设计原理为主要内容,介绍了预应力技术发展历史、预应力混凝土材料、预应力工艺、预应力锚固体系、预应力混凝土结构性能与构造、预应力混凝土结构分析与设计原理,以及预应力混凝土桥梁技术发展实例。

在编写过程中,编者得到了导师项海帆院士的指导与关心,他在百忙之中对全书进行了审阅,并提出了宝贵意见;同济大学兼职教授、中交公路规划设计院原总工程师彭宝华先生,以及我的专业启蒙老师同济大学教授金成棣先生,也对编写工作给予了关心、提出了许多建议。编者借此对三位前辈表示衷心感谢。我的研究生沈殷、陈少珍、孟涛、冷金荣,混凝土桥梁研究室的同事张国泉,同济OVM预应力研究中心的同事关炳良、秦立方,在业余时间为本书绘制了插图,对他们的帮助我也深表谢意。

本书综合了国内外大量文献、资料的成果,也包含了编者本人的认识与体会。由于编者水平和编写时间的原因,书中不免存在一些错误,诚望读者批评指正。

李国平

2003年7月

于同济大学

目 录

第一章 总论	1
1.1 预应力混凝土技术发展概况	1
1.2 预应力混凝土概念及分类	3
1.3 预应力混凝土结构类型与特点	7
1.4 预应力混凝土技术发展趋势	12
参考文献	17
第二章 预应力混凝土材料	19
2.1 混凝土材料	19
2.2 预加应力材料	29
2.3 预应力管道	41
参考文献	43
第三章 预应力工艺、锚固体系及设备	45
3.1 预应力工艺	45
3.2 预应力锚固体系	56
3.3 预应力设备	68
参考文献	71
第四章 预应力混凝土结构性能与构造	73
4.1 体内有粘结预应力混凝土结构性能与构造	73
4.2 体内无粘结预应力混凝土结构性能与构造	88
4.3 体内双预应力混凝土结构性能与构造	95
4.4 体外预应力混凝土结构性能与构造	103
4.5 预弯预应力混凝土结构性能与构造	117
参考文献	124
第五章 预应力混凝土结构弹性分析基本原理	126
5.1 预加力作用原理	126
5.2 预加力等效荷载原理	130
5.3 线性变换与吻合布索原理	140

5.4 弹性应力分析原理	142
参考文献	145
第六章 预应力混凝土结构弹性受力阶段设计原理	146
6.1 预应力损失计算	146
6.2 荷载平衡设计方法	155
6.3 弹性应力设计方法	159
参考文献	183
第七章 预应力混凝土结构极限承载能力设计原理	184
7.1 抗弯极限承载能力设计	184
7.2 抗剪极限承载能力设计	201
参考文献	215
第八章 预应力混凝土结构变形、裂缝等计算原理	217
8.1 结构变形计算	217
8.2 裂缝宽度计算	222
8.3 结构疲劳验算	224
8.4 预应力筋锚固段计算	228
参考文献	241
第九章 预应力混凝土结构分析要点	243
9.1 体内预应力混凝土结构	243
9.2 体外预应力混凝土结构	247
9.3 预弯预应力混凝土结构	250
9.4 结构徐变、收缩内力重分布分析方法	252
参考文献	256
第十章 预应力混凝土桥梁技术发展实例	258
10.1 采用新型结构构造与施工方法的桥梁	259
10.2 采用新型预应力材料的桥梁	283
参考文献	303

·第一章·

总 论**1.1 预应力混凝土技术发展概况**

现代混凝土技术发展的总趋势,是通过不断改进设计、施工方法和采用高强、高性能的轻质材料建造更为经济合理的结构。高强、高性能、轻质材料的发展,对混凝土桥梁结构来说尤为重要。然而,混凝土是一种抗压强度高、抗拉强度低的建筑材料,它的抗拉强度不仅很低,只有抗压强度的 $1/10 \sim 1/15$,而且还很不可靠;它的抗拉变形能力也很小,脆性破坏而无明显预兆。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 $20 \sim 30\text{MPa}$ 左右;如果允许混凝土开裂但将裂缝宽度限制在 $0.2 \sim 0.25\text{mm}$ 以内,则钢筋的拉应力也只能达到约 $150 \sim 250\text{MPa}$ 。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,这就使高强度钢筋无法在钢筋混凝土结构中充分发挥作用,相应地也不可能使高强混凝土的作用发挥出来。因此,当荷载或跨度增加时,钢筋混凝土结构只有靠增加其构件的截面尺寸或增加钢筋用量的方法来控制裂缝和变形。显然,这种做法既不经济又必然增加结构的自重,因而使钢筋混凝土结构的使用范围受到很大限制。

为了使混凝土结构进一步发展,就必须解决混凝土抗拉性能弱这一缺陷。预应力混凝土就是为克服钢筋混凝土的缺点,经人们长期实践而创造出来的一种具有发展潜力的性能优良的材料。预应力混凝土在其发展初始,只是用于在混凝土中产生永久的压应力以改善其抗拉强度。稍后才清楚,预张拉对高强钢材的有效利用也是必要的。钢材是延性较好的材料,用预加应力方法使其在高应力下工作;混凝土在抗拉方面是脆性材料,但在受

到预压应力后不仅性能得到了改善,且抗压能力并未真正受到损害。预应力混凝土能动地将高强混凝土和高强钢材结合在一起,这种能动的结合使两种材料都产生非常好的性能。

预应力是预加应力的简称。这一名字出现的历史虽不长,但预应力的思想是古老的,其基本原理在几世纪以前就已被我们聪明的祖先所运用。木桶是预加压应力抵抗拉应力的一个典型例子。采用藤、竹或铁箍的木桶,箍对桶壁施加了环向压应力,如果环向压应力超过水压力引起的环向拉应力,木桶就不会开裂和漏水。现代预应力混凝土圆形水池与上述套箍木桶的工作原理是相同的,所以套箍木桶实质上是一种预应力木结构。木锯是利用预拉应力抵抗压应力的一个典型的例子。绞紧的线绳对锯条施加了一个拉应力,使其能承受锯木运动中受到的重复变化的拉、压力,从而避免抗弯能力很低的锯条受压失稳、弯折破坏。上述例子中,箍、线绳作为对各自体系施加预应力的预加应力材料,起着抵抗拉、压等各种不利因素的重要作用。

然而,上述原理直到 19 世纪才被应用于混凝土。1886 年美国旧金山的一位叫 P. H. Jackson 的工程师,获得了在人造石和混凝土拱内张紧钢拉杆用作楼板的专利。1888 年前后,德国的 C. E. W. Doebling 独立获得了在楼板受荷前用施加拉力的钢筋来加强混凝土的专利。事实上,当时预应力混凝土的概念,是利用轴向预压应力抵消荷载在混凝土中产生的拉应力。但是,这些早期专利的应用并不成功,因为当初施加在钢筋中的低值预拉应力(124MPa)很快就因混凝土的徐变和收缩而损失掉。

1908 年,美国的 C. R. Steiner 建议,在混凝土徐变和收缩发生一些后再重新张拉钢筋以挽回一些损失。1925 年美国的 R. E. Dill 试验采用螺帽锚固的涂层无粘结高强钢筋,在混凝土结硬后还能再张拉。但因经济原因,这些方法都未得到推广应用。

预加应力材料及预加应力方法是预应力混凝土的关键。现代预应力混凝土的发展应归功于法国的 E. Freyssinet,在对混凝土和钢材性能进行大量研究和总结的基础上,他指出了预应力混凝土必须采用高强钢材和高强混凝土,此论断是预应力混凝土在理论上的关键性突破。1928 年 Freyssinet 开始用高强度钢丝(极限强度 1 725MPa)用于预应力混凝土。但是,只有发明创造出可靠并且经济的预应力筋张拉和锚固方法,预应力混凝土才能得到广泛应用。1934 年德国人 F. Dischinger 的体外无粘结预应力筋技术取得了专利,1937 年此项技术被用于世界上第一座体外无粘结预应力混凝土桥

梁;1938年德国的 E. Hoyer 研究成功了不靠专用锚具传力的利用钢丝与混凝土粘结力、无锚具的先张法工艺,并用于世界上第一座体内有粘结预应力混凝土桥梁,为预应力混凝土构件工厂化生产提供了简单可靠的方法。1939年 Freyssinet 发明了锥形锚,并设计了双作用千斤顶用来张拉钢丝然后将锚塞顶入锚圈以锚固钢丝。1940年,比利时的 G. Magnel 研制出了 Magnel 锚固体系,这种体系一次张拉两根钢丝并用简单的钢楔锚固。这种锚固体系为后张预应力混凝土提供了切实可行的生产工艺,为预应力技术在更大范围发展作出了贡献。

第二次世界大战后,预应力混凝土才真正引起人们的重视。由于钢材的紧缺,预应力混凝土结构大量代替钢结构以修复战争破坏的结构,于是预应力混凝土技术得到了蓬勃发展。1950年成立的国际预应力混凝土协会(FIP)更是极力促进预应力混凝土技术的发展。近30年来,预应力混凝土技术在土建结构的各个领域扮演着重要的角色。

我国的预应力混凝土结构是在20世纪50年代发展起来的。最初试用于预应力钢弦混凝土轨枕,之后预应力混凝土在全国范围内开始推广。预应力混凝土技术在桥梁工程中发展最快,尤其在20世纪70年代后期,我国修建的各类大桥几乎全是预应力混凝土结构。近年来,预应力混凝土技术在桥梁以外的土建结构中也得到了迅速发展,一个发生在我国土建结构领域内的变革已经到来。

1.2 预应力混凝土概念及分类

1.2.1 预应力混凝土概念

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。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”。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。

第一种概念——预加应力能使混凝土在使用状态下成为弹性材料。

经过预压的混凝土,从原先抗拉弱、抗压强的脆性材料,变为一种既能抗压又能抗拉的弹性材料。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。若预应力所产生的压应力将外荷载所产生的拉应力全部抵

消,则在正常使用状态下混凝土没有裂缝甚至不出现拉应力。在这两个力系的作用下,混凝土构件的应力、应变及变形均可按材料力学公式计算,并在需要时采用叠加原理。

第二种概念——预加应力能使高强钢材和混凝土共同工作并发挥两者的潜力。

预应力混凝土是高强钢材和混凝土两种材料的一种协调结合。在混凝土构件中采用高强钢筋,要使高强钢筋的强度充分发挥,必须使其有很大的伸长变形。如果高强钢筋只是简单地浇筑在混凝土体内,那么在使用荷载作用下混凝土势必严重开裂,构件将出现不能允许的宽裂缝和大挠度。预应力混凝土构件中的高强钢筋只有预先张拉,才能使混凝土预压、储备抗拉能力,而高强钢筋的强度才能发挥。因此,预加应力是一种充分利用高强钢材强度、改变混凝土工作状态的有效手段。预应力混凝土可看作钢筋混凝土应用的扩展,但也应明确,预应力混凝土不能超越材料本身的强度极限。

第三种概念——预加应力实现荷载平衡。

预加应力的作用可以认为是对混凝土构件预先施加与使用荷载(外力)方向相反的荷载,用以抵消部分和全部使用荷载效应的一种方法。预应力筋位置的调整可对混凝土构件产生横向力。以采用抛物线形的预应力筋为例(图 1-1),预应力筋对混凝土梁的作用可近似为梁端的集中力 F_p 和方向向上、沿水平方向集度为 q_p 的均布荷载。如果在梁上作用方向向下、集度为 q 的外荷载,那么,两种荷载对梁产生的弯曲效应相互抵消,即梁不发生挠曲也不产生反拱,成为仅受轴力的状态。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教授提出的。

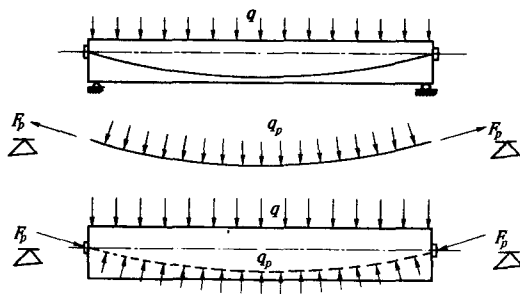


图 1-1 预应力筋对混凝土梁的作用

预应力混凝土三个不同的概念,从不同的角度解释了预应力混凝土的原理。第一种概念是预应力混凝土弹性分析的依据,指出了预应力混凝土的主要工作状态;第二种概念反映了预加应力对发挥高强钢材和混凝土潜力的必要性,也指出了预应力混凝土的强度界限;第三种概念则在揭示预加力和外荷载效应相互关系的同时,也为预应力混凝土结构设计与分析提供了一个简洁的方法。

1.2.2 预应力混凝土分类

以钢材作为配筋并施加预应力的预应力混凝土,与普通钢筋混凝土同属于加筋混凝土的范畴。对加筋混凝土按照其受力性能可分为若干个等级。

1. 国外对加筋混凝土的分类

1970年国际预应力协会(FIP)、欧洲混凝土委员会(CEB)根据预应力程度大小的不同,建议将加筋混凝土分为四个等级:

(1) I级——全预应力

在全部荷载最不利组合作用下,混凝土不出现拉应力。

(2) II级——有限预应力

在全部荷载最不利组合作用下,混凝土允许出现拉应力,但不超过其强度容许值;在长期持续荷载作用下,混凝土不出现拉应力。

(3) III级——部分预应力

在全部荷载最不利组合作用下,混凝土允许出现裂缝,但裂缝的宽度不超过规定值。

(4) IV级——普通钢筋混凝土。

以上分类是以全预应力混凝土与普通钢筋混凝土为两个边界,设计者可以根据对结构功能的要求和结构所处的环境条件,合理选用预应力等级,以求最优的结构设计方案。

2. 中国对加筋混凝土的分类

中国土木工程学会《部分预应力混凝土结构设计建议》(1986年,以下简称《PPC建议》),根据预应力程度的不同,把加筋混凝土分为全预应力、部分预应力和钢筋混凝土三类。其中部分预应力包括国际分类法中II级的有限预应力和III级的部分预应力。对于部分预应力混凝土,我国又将其分为A类和B类。A类指在正常使用极限荷载状态下,构件预压区混凝土正截面的拉应力不超过规定的容许值;B类指在正常使用极限荷载状态下,构件预压区混凝土正截面的拉应力允许超过规定的限值,但裂缝出现时的宽

度不超过容许值。

3. 预应力度的定义及表达方式

不管预应力混凝土分类如何,都与混凝土预应力的程度有关。因此,近年来国际上逐步统一用预应力度进行分类。

(1) 预应力比率及预应力指标

在极限状态下,由预应力筋所提供的抵抗弯矩与由预应力和非预应力筋共同提供的抵抗弯矩的比值,称为预应力比率 *PPR*。这是美国的 A. E. Naaman 教授首先提出的。即:

$$PPR = \frac{(M_u)_p}{(M_u)_{p+s}} \quad (1-1)$$

式中: $(M_u)_p$ ——由预应力筋提供的抵抗弯矩;

$(M_u)_{p+s}$ ——由预应力和非预应力筋共同提供的抵抗弯矩。

根据混凝土构件抗弯强度设计方法,当材料充分发挥其强度时,式(1-1)可表示成如下的形式:

$$PPR = \frac{A_p f_{py} (h_p - \frac{x}{2})}{A_p f_{py} (h_p - \frac{x}{2}) + A_s f_{sy} (h_s - \frac{x}{2})} \quad (1-2)$$

式中: A_p 、 A_s ——分别为预应力和非预应力筋的截面面积;

f_{py} 、 f_{sy} ——分别为预应力和非预应力筋的抗拉强度设计值;

h_p 、 h_s ——分别为预应力和非预应力筋形心至混凝土受压区最外纤维的距离;

x ——混凝土受压区高度。

如果 $h_p = h_s$, 则式(1-2)简化为:

$$PPR = \frac{A_p f_{py}}{A_p f_{py} + A_s f_{sy}} \quad (1-3)$$

高强预应力钢材没有显著的流限平台,瑞士的 Thürliman 建议采用的预应力指标为:

$$i_p = \frac{A_p f_{0.2}}{A_p f_{py} + A_s f_{sy}} \quad (1-4)$$

式中: $f_{0.2}$ ——预应力钢筋取 0.2% 残余应变时的条件屈服强度。

其余符号意义同前。

(2) 预应力度

印度学者 G. S. Ramaswamy 在他的著作中提出了预应力度 (*D. P.*) 的新

概念,他认为 $D.P.$ 应定义为:

$$D.P. = \frac{M_0}{M} \quad (1-5)$$

式中: M_0 ——消压弯矩,使构件控制截面受拉边缘预加应力抵消至零时的弯矩;

M ——使用荷载(不包括预加力)短期组合作用下控制截面的弯矩。

式(1-5)把预应力度和预压受拉区是否出现拉应力或开裂联系了起来,当 M_0/M 大于或等于 1 时,构件不出现拉应力;当 M_0/M 小于 1 时,则构件出现拉应力,甚至可能开裂。

我国的《PPC 建议》将式(1-5)定义为受弯构件的预应力度,用 λ 表示,并将轴向受拉构件的预应力度定义为:

$$\lambda = \frac{N_0}{N} \quad (1-6)$$

式中: N_0 ——消压轴向力,把构件控制截面受拉边缘预应力抵消到零时的轴向力;

N ——使用荷载(不包括预加力)短期组合作用下控制截面的轴向拉力。

预应力的范围可以从全预应力混凝土变化到钢筋混凝土。《PPC 建议》认为:当预应力度 $\lambda \geq 1.0$ 时为全预应力混凝土,当预应力度 $\lambda = 0$ 时为普通钢筋混凝土,预应力度在 $0 < \lambda < 1.0$ 时为部分预应力混凝土。

用应力比表达预应力度,是一种不仅适用于受弯构件同时可推广到偏心受力构件和轴心受力构件的方法,即:

$$K_{p0} = \frac{\sigma_{pc}}{\sigma_t} \quad (1-7)$$

式中: σ_{pc} ——有效预压应力;

σ_t ——使用荷载产生在混凝土中的拉应力。

1.3 预应力混凝土结构类型与特点

1.3.1 预应力混凝土结构类型

预应力混凝土结构,根据其工艺、预应力度、体系及构造特点等可划分为如下几种类型。

1. 按预应力工艺分类

根据混凝土浇筑和对预加应力材料施加应力的先后次序,将施加预应

力方法归结为两种基本情况:在混凝土浇筑前对预加应力材料施加应力的方法,简称为先张(预压或预弯)法;而在混凝土浇筑、养护后对预加应力材料施加应力的方法,则简称为后张(后压)法。

在混凝土浇筑前先对预应力筋施加预应力,然后再进行混凝土浇筑的施工方法,即称为先张法。常用的先张法预应力混凝土构件施工工序如图 1-2 所示。

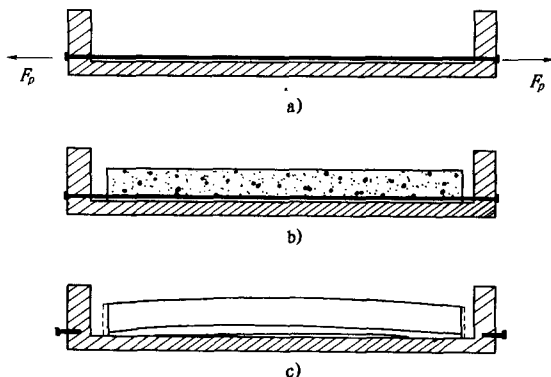


图 1-2 先张预应力工序示意

a)预应力筋张拉、锚固;b)混凝土施工;c)预应力筋放松

后张法是指在完成混凝土浇筑、养护达一定强度后才进行预应力筋张拉的方法,典型的施工工序如图 1-3 所示。

除以上两个最常用的预应力工艺,还有对钢梁施加弯矩后埋入混凝土,利用钢梁的反弹对混凝土施加预应力的预弯预应力工艺;以及对钢管施加预拉应力或预压应力后埋入混凝土,利用钢管的弹性伸长或回缩施加预应力的先张或后压预应力工艺。详见第三章有关内容。

2. 按预应力度分类

根据预应力度和我国预应力混凝土结构的分类法,预应力混凝土结构被分为全预应力、部分预应力两类:

全预应力混凝土结构指沿预应力筋方向正截面,在全部荷载最不利组合作用下,混凝土不出现拉应力。

部分预应力混凝土结构指沿预应力筋方向正截面,在全部荷载最不利组合作用下,混凝土出现拉应力或出现不超出规定宽度的裂缝。我国又将部分预应力混凝土结构分为 A 类和 B 类。A 类指在正常使用极限荷载状

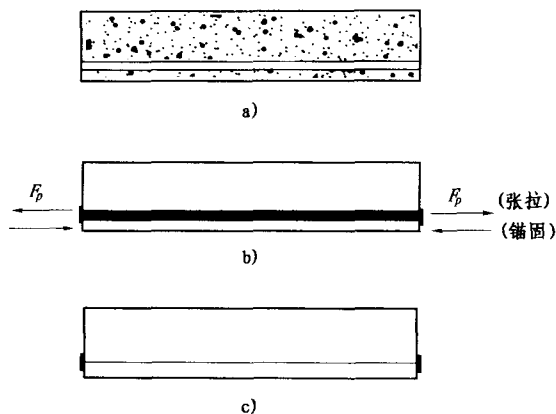


图 1-3 后张预应力工序示意

a)预留孔道混凝土施工;b)穿筋、张拉、锚固;c)孔道压浆粘结成整体

态下,构件预压区的混凝土正截面拉应力不超过规定的容许值;B类指在正常使用极限荷载状态下,构件预压区混凝土正截面的拉应力允许超过规定的限值,但裂缝的宽度不超过容许值。

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、体外预应力、有粘结和无粘结预应力、预拉应力及预弯预应力等几类。

预应力筋布置在混凝土构件体内的称为体内预应力结构。先张预应力结构和预设孔道穿筋的后张预应力结构等均属此类。

体外预应力混凝土结构为预应力筋布置在混凝土构件体外的预应力结构(图 1-4)。混凝土斜拉桥属此类结构的特例。

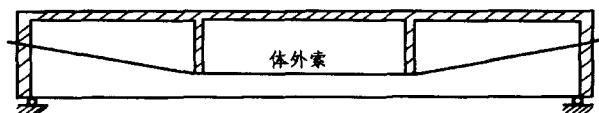


图 1-4 体外预应力混凝土结构示意

有粘结预应力混凝土结构,是指沿预应力筋全长预应力筋周围完全与混凝土粘结、握裹在一起的预应力混凝土结构。先张预应力结构和预设孔道穿筋压浆的后张预应力结构均属此类。