

公路工程职业技能岗位培训教材

桥梁预应力工·中级工

江苏省交通厅工程质量监督站组织编写

● 唐学农 张文斌 主编



人民交通出版社
China Communications Press

责任编辑:卢仲贤 郭 策

美术编辑:孙立宁

公路工程职业技能岗位培训教材

公路路基工·初级工	定价:18.00元
公路路基工·中级工	定价:25.00元
公路路基工·高级工	定价:30.00元
公路路面工·初级工	定价:15.00元
公路路面工·中级工	定价:33.00元
公路路面工·高级工	定价:41.00元
桥梁预应力工·初级工	定价:11.00元
桥梁预应力工·中级工	定价:18.00元
桥梁预应力工·高级工	定价:25.00元

ISBN 978-7-114-07460-8



9 787114 074608 >

定 价:18.00元

公路工程职业技能岗位培训教材

Qiaoliang Yuyingligong · Zhongjigong
桥梁预应力工 · 中级工

江苏省交通厅工程质量监督站组织编写

唐学农 张文斌 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是《公路工程职业技能岗位培训教材》之一,该系列培训教材,由江苏省交通厅工程质量监督站组织编写,力求体现交通职业的特点,以岗位技能为目标,理论与实践相结合,具有较强的实用性和可操作性。

本书共分六章,内容包括:概述、预应力混凝土结构的材料、预应力锚固体系、预应力设备、预应力施工工艺及质量控制、预应力施工有关计算。

本书为桥梁预应力工(中级)培训教材,也可供公路工程一线施工技术人员及监理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁预应力工·中级工/唐学农,张文斌主编. —北京:
人民交通出版社,2008.12
公路工程职业技能岗位培训教材
ISBN 978-7-114-07460-8

I. 桥… II. ①唐…②张… III. 预应力混凝土桥—工程
施工—技术培训—教材 IV. U448.355

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 199450 号

书 名: 公路工程职业技能岗位培训教材
桥梁预应力工·中级工
著 作 者: 唐学农 张文斌
责任编辑: 卢仲贤 郭 策
出版发行: 人民交通出版社
地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号
网 址: <http://www.ccpres.com.cn>
销售电话: (010) 59757969, 59757973
总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司
经 销: 各地新华书店
印 刷: 廊坊市长虹印刷有限公司
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 9
字 数: 214 千
版 次: 2008 年 12 月 第 1 版
印 次: 2008 年 12 月 第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-07460-8
印 数: 0001~3500 册
定 价: 18.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《公路工程职业技能岗位培训教材》

编 审 委 员 会

主 任 委 员

杨国忠 孟祥林

编写委员会委员

杨国忠	唐学农	周传林	樊琳娟	李建才
龙兴灿	赵伟强	张文斌	王 磊	耿 巍
胡友好	彭涌涛	芮丽塔		

审定委员会委员

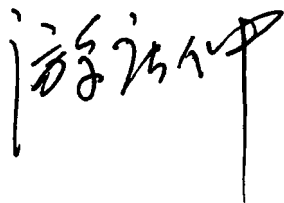
邓学钧	孟少平	刘松玉	符冠华	韩大章
叶见曙	镇亦明	李晋三	刁永宁	薛永森
成 文	陈建胜			

序

江苏交通工程质量水平受到国内外同行普遍称道,这是设计、施工、监理、管理等各方坚持努力的结果。工程是干出来的,业主培育施工队伍的技术能力和专业水平是江苏公路建设的一条基本经验。我认为设计是灵魂,管理是关键,而一线基层施工的从业人员的专业素质是保障工程质量的基础。交通行业贯彻科学发展观,实施节约使用资源,高效利用资源方针,必须把质量第一、精益求精,落实到每个环节、每一位建设者的手中。必须全面提高基层施工技术和管理人员的综合素质,用专业的队伍打造出高质量的工程。

立足于交通建设长远发展,要把公路建设基层从业人员的岗位技能培训作为一项基本任务来抓,通过系统培训、训练,使广大一线技术工人熟练掌握正确运用公路施工相关的技术规范、施工程序、质量要求等内容。省交通厅在广泛调研的基础上组织编写了路基工、路面工、桥梁预应力工三个工种的系列培训教材一套,每个工种分为初、中、高三个等级。这是一套针对性较强的公路工程职业技能岗位培训教材。本套教材充分研究了施工一线的技术特点,注重理论与实践相结合,通俗易懂,简明实用,具有较强的实用性和可操作性,不仅是施工技术人员上岗前的培训教材,也是公路建设监理、管理人员较好的参考书籍。希望通过大家的努力,积极推广使用本套教材,大力提高我省公路建设基层施工与管理的技术水平,对稳步提升工程质量水平起到积极的促进作用。

江苏省交通厅厅长



前 言

为了适应公路建设需要,加快公路施工一线人员的技术业务培养,确保工程建设质量;同时也为了便于基层从事公路工程建设施工和管理人员学习,江苏省交通厅工程质量监督站、南京交通职业技术学院联合组织人员编写了公路工程职业技术工种系列培训教材。本套教材是依据中华人民共和国工人技术等级标准《交通行业工人技术等级标准》,同时参照《筑路、养护工国家职业标准》的要求编写,本系列培训教材力求体现交通职业的特点,以岗位技能为目标,在文字和叙述上力求简明扼要,通俗易懂,书中的插图也尽量做到清晰、美观,便于教学和自学。本系列培训教材包括以下九个分册:《公路路基工·初级工》、《公路路基工·中级工》、《公路路基工·高级工》、《公路路面工·初级工》、《公路路面工·中级工》、《公路路面工·高级工》、《桥梁预应力工·初级工》、《桥梁预应力工·中级工》、《桥梁预应力工·高级工》。

《桥梁预应力工·中级工》由江苏省交通厅工程质量监督站唐学农、南京交通职业技术学院张文斌主编,本书的第一章、第四章、第五章、第六章由唐学农编写,第二章、第三章由张文斌编写。全书由孟少平主审。

编写过程中,尽管我们作了很大努力,但由于各地区差异较大,很难全面收集各单位的新技术、新材料、新工艺、新设备以及相关实用技术。加之编者水平有限,经验不足,时间紧迫,疏漏或错误之处在所难免,敬请读者批评指正,并提供详尽资料,以便修订完善。

编 者

2008. 8. 25

目 录

第一章 概述	1
第一节 我国预应力混凝土技术发展历史回顾	1
第二节 预应力混凝土结构的基本原理	3
第三节 预应力混凝土的特点	5
思考题	5
第二章 预应力混凝土结构的材料	6
第一节 混凝土	6
第二节 预应力筋	8
第三节 灌浆材料	21
第四节 孔道成型材料	21
第五节 预应力材料相关试验方法	26
思考题	32
第三章 预应力锚固体系	33
第一节 概述	33
第二节 预应力粗钢筋锚固体系	35
第三节 预应力钢丝锚固体系	38
第四节 预应力钢绞线张拉锚固体系	46
思考题	62
第四章 预应力设备	63
第一节 预应力用高压油泵	63
第二节 预应力张拉设备	69
第三节 管道成型机具	74
第四节 灌浆设备	77
第五节 穿索机	79
第六节 其他主要设备	81
思考题	82
第五章 预应力施工工艺及质量控制	83
第一节 概述	83
第二节 施工质量控制的一般规定	86
第三节 先张法施工	91
第四节 后张法施工	95
思考题	114
第六章 预应力施工有关计算	115
第一节 预应力筋线坐标的确定	115

第二节 下料长度计算..... 116

第三节 张拉力计算..... 119

第四节 张拉伸长值..... 126

第五节 张拉设备标定与油表值的计算..... 128

第六节 锚固区局部承压验算..... 128

第七节 计算示例..... 129

思考题..... 132

参考文献..... 133

第一章 概述

学习目标

1. 了解预应力技术在我国的发展情况；
2. 掌握预应力的原理；
3. 熟悉预应力的特点；
4. 熟悉预应力原理的三个概念的内容。

第一节 我国预应力混凝土技术发展历史回顾

预应力应用已有很悠久的历史,我国早就利用预应力原理,制造木桶、木盆和车轮。在木桶或木盆干燥时用几道竹箍箍紧,盛水后,木盆膨胀但受到竹箍的约束,接缝被挤紧,木桶或木盆就不会漏水(图 1-1)。简单地说,预应力是结构承受使用荷载之前,预先加载产生应力,用这种方法来改善其使用性能。

但是预应力技术系统的研究开始于 19 世纪,1886 年美国工程师杰克逊(P. H. Jackson)和德国的 C. E. W. Doehring 先后把预应力技术应用于混凝土结构中,但张拉低强度钢筋产生的有效预应力因钢筋的应力松弛、混凝土的收缩及徐变很快就损失掉。后法国的欧仁·弗莱西奈(Eugene Freyssinet)于 1928 年首次将高强钢丝应用于预应力混凝土结构中,使这一技术在第二次世界大战后才得到大量的应用。

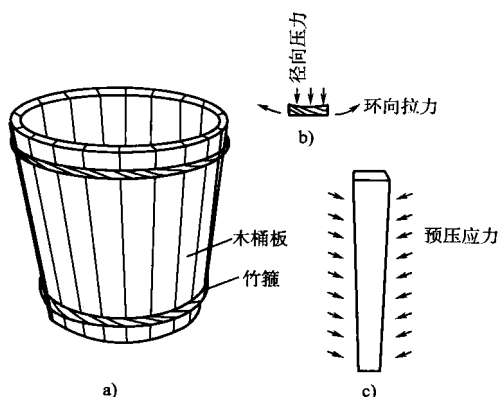


图 1-1 预应力原理在木桶上的应用
a) 木桶; b) 竹箍分离体图; c) 板块分离体图

一、我国桥梁结构中的预应力混凝土发展历史

我国预应力技术发展大致经历了两个阶段:早期阶段从 1955 年到 1978 年改革开放,预应力钢筋以中、低强度钢筋为主;近期阶段从改革开放之后,预应力钢筋以高强钢丝、钢绞线为主。与此相应,预应力混凝土结构设计与制作、结构构件形式和结构应用也有较大差异。早期阶段,房屋结构以装配式为主,在此阶段,开发研制了一整套预制预应力技术,开发了屋面梁、屋架、吊车梁、大型屋面板、空心楼板等结构构件。20 世纪 80 年代初到 90 年代末,高强钢丝、钢绞线的应用,部分预应力设计思想和现浇后张无黏结预应力施工技术的推广,各种预应力张锚体系的研制成功使房屋建筑中现浇混凝土结构的比重越来越大,结构向大跨、高层发

展,出现了IMS板柱建筑体系、现浇后张预应力楼(屋)盖结构、后张预应力混凝土框架结构等。

1955年,铁路部门研制成功我国第一片跨度12m的预应力混凝土铁路桥梁,1956年建成28孔24m跨的新沂河大桥,从而开始了预应力混凝土技术在我国铁路上的应用的篇章。40多年来,经过铁路系统工程技术人员的辛勤努力,预应力混凝土技术不断扩大,技术水平不断提高,制造架设跨度32m以下桥梁三万多孔,桥梁跨度不断突破,大跨径桥梁不断涌现,其中代表性的工程有主跨为168m的攀枝花金沙江铁路连续刚构桥,顶推法施工的跨度80m连续箱梁桥杭州钱塘江二桥,此外在南昆铁路线上新建了一大批各种类型的铁路桥梁。

1957年,公路部门在北京周口店建造第一座预应力混凝土公路试验桥,为单跨20m简支T梁桥;1959年在兰州建成七里河黄河桥,为7孔主跨37.5m悬臂梁桥;后又建成新城黄河桥,桥型为5孔33mT形简支梁和主跨62.4m系杆拱桥,奠定了我国建造预应力混凝土桥的基础。

随着我国交通运输事业的蓬勃发展,50多年来,公路上建造了大量预应力混凝土桥,尤以大跨径桥梁居多数。如我国已建成主跨400m以上斜拉桥近十座,连续刚构桥继黄石大桥250m主跨后,虎门大桥达270m,主跨为世界之冠,这些桥型和其他桥型无论在跨度还是在施工方法上都已接近发达国家的先进水平。

城市立交桥中的预应力混凝土技术主要是20世纪70年代开始起步的,目前仅北京修建的立交桥就已达200座,其中最早的立交桥是1974年建成的复兴门桥,采用先简支后连续方法施工;层次最多最高的是天宁寺立交桥;规模最大的是首都机场高速公路上的四元桥。

二、我国特种工程中的预应力混凝土技术发展现状

预应力混凝土技术在我国各种工程结构领域中均得到广泛应用,其中主要有:水利工程中的边坡加固、建筑物基坑开挖的支护等所采用的土层、岩层预应力锚杆技术,代表工程为云南漫湾水电站左岸岩质高边坡加固和北京京城大厦深基坑支护;有竖向超长预应力混凝土技术的应用,代表性工程有中央电视台和天津、南京、上海等电视台电视塔的预应力混凝土技术;有环形预应力混凝土技术的应用,代表性工程有阿尔及利亚球形水塔,秦山、大亚湾核电站安全壳,柴里煤矿煤仓,各种圆形及蛋形污水处理池,各种输、排水管道;有超重、超高物体提升预应力混凝土技术,代表性工程有北京西客站主站房大跨钢梁提升、上海歌剧院钢屋盖提升、虎门大桥钢箱梁节段提升;63层预应力混凝土楼面的广东国际大厦,214m高的青岛中银大厦,单体预应力混凝土面积最大的首都国际机场新航站楼等。

三、预应力技术的未来

展望未来,预应力技术的发展可归纳为以下几个方面:

1. 应用的范围越来越广,应用规模越来越大。
2. 预应力筋向高强度、低松弛、大直径和耐腐蚀的方向发展。
3. 预应力混凝土向轻质、高强发展。
4. 预应力施工工艺越来越成熟。
5. 预应力的设计、计算理论不断完善。

第二节 预应力混凝土结构的基本原理

一、问题的提出

由于混凝土的抗拉强度很差,抗拉变形能力很小,如同玻璃一样是脆性的,破坏前预兆不明显。因此,在整体工作阶段,钢筋的应力仅为 $20 \sim 30\text{MPa}$ (其值远小于钢筋的屈服强度)。当钢筋应力超过此值时,混凝土将产生裂缝。如图 1-2 所示。

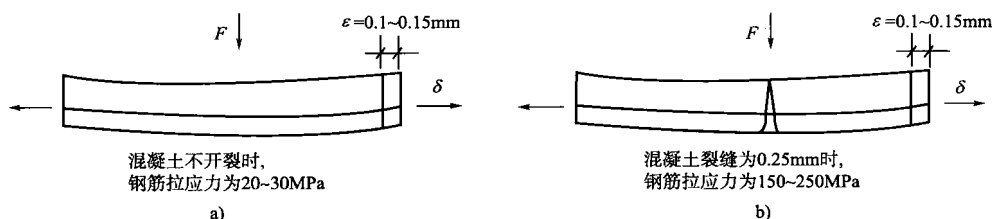


图 1-2 钢筋混凝土工作图

因此钢筋混凝土存在两个无法解决的问题:一是在使用荷载作用下,普通钢筋混凝土结构的受拉区一般均已出现裂缝,导致构件刚度降低,变形增大;二是从保证结构耐久性出发,必须限制裂缝宽度。为了要满足变形和裂缝控制的要求,需增大构件的截面尺寸和用钢量,这将导致自重过大,尤其是对于跨度大、荷载重的结构和对裂缝宽度限制较严的结构,构件将很笨重,既费钢材,又不利于施工。因此,钢筋混凝土结构用于大跨度或承受动力荷载的结构成为不可能或很不经济。

理论上讲,提高材料强度可以提高构件的承载力,例如采用高强混凝土和高强钢筋,从而达到节省材料和减轻构件自重的目的。但在普通钢筋混凝土构件中,提高钢筋强度却难以收到预期的效果。这是因为,对配置高强度钢筋的钢筋混凝土构件而言,承载力可能已不是控制条件,起控制作用的因素可能是裂缝宽度或构件的挠度。当钢筋应力达到 $500 \sim 1\,000\text{MPa}$ 时,裂缝宽度将很大,无法满足使用要求。因而,钢筋混凝土结构中采用高强度钢筋是不能充分发挥其作用的。

提高混凝土强度等级对提高构件的抗裂性能和控制裂缝宽度的作用也极其有限。混凝土抗拉强度及极限拉应变值都很低,其抗拉强度只有抗压强度的 $1/10 \sim 1/18$,极限拉应变仅为 $0.0001 \sim 0.00015$,即每米只能拉长 $0.1 \sim 0.15\text{mm}$,超过后就会出现裂缝。而钢筋达到屈服强度时的应变却要大得多,约为 $0.0005 \sim 0.0015$,如 HPB235 级钢筋就达 1×10^{-3} 。对使用上不允许开裂的构件,受拉钢筋的应力只能用到 $20 \sim 30\text{MPa}$,不能充分利用其强度;对于允许开裂的构件,当受拉钢筋应力达到 250MPa 时,裂缝宽度已达 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 。

为了避免混凝土过早开裂,并有效地利用高强材料,采用预应力混凝土是最有效的方法之一。预应力混凝土结构的基本原理是:在结构承载时将发生拉应力的部位,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。这就可以改善混凝土的受拉性能,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裂缝,原理可参考图 1-3。

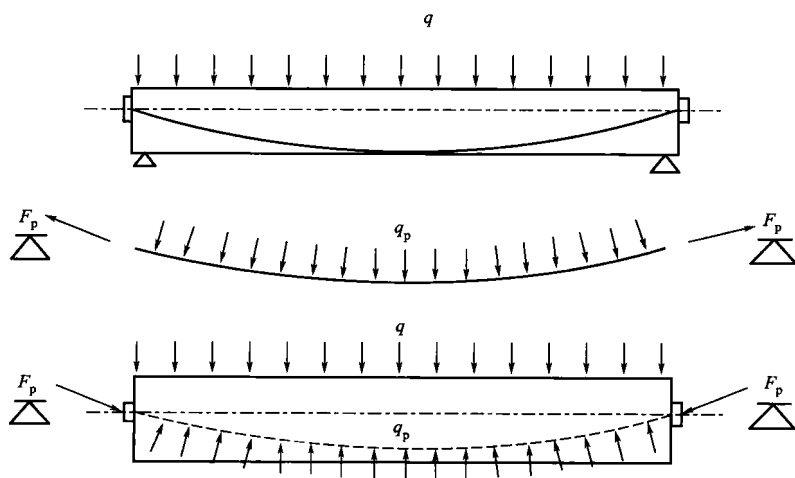


图 1-3 预应力筋对混凝土的作用

二、预应力混凝土原理

预应力原理有三种概念：

第一种概念——预加应力使混凝土可按弹性材料计算。

预应力混凝土基本可看作是把抗拉弱、抗压强的混凝土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分开考虑，并在需要时叠加。

第二种概念——预加应力使高强钢材与混凝土发挥潜力并能共同工作。

这种概念是将预应力混凝土看作是高强钢材与混凝土两种材料的一种结合。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充分被利用，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的钢筋那样简单地浇筑在混凝土体内，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，这一概念清晰地告诉我们：预应力混凝土也不能超越材料本身的强度极限。

第三种概念——预加应力实现荷载平衡。

这种概念把预加应力的作用主要看作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抵消，那么一个受弯的构件就可以转换成一轴心受压的构件。

对于同一个预应力混凝土可以有三个不同的概念，它们之间并没有相互矛盾，仅仅是从不同的角度来解释预应力混凝土的原理。第一种概念是全预应力混凝土的弹性分析的依据；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的设计与分析提供了简捷的方法。

第三节 预应力混凝土的特点

预应力混凝土与普通混凝土相比,在增强结构构件的抗裂性与耐久性、提高结构构件刚度、改善结构疲劳性能及节约工程材料等方面均有明显的优越性。

预应力混凝土结构,克服了普通钢筋混凝土结构的弱点,因而具有下列主要优点:

(1)提高了构件的抗裂度和刚度,增强了结构抗裂性和抗渗性,改善结构的耐久性,提高了结构与构件的刚度,减小结构变形,提高了结构的抗疲劳承载能力。

对构件施加预应力,大大推迟了裂缝的出现,在使用荷载作用下,构件可不出现裂缝,或推迟裂缝出现,因而也提高了构件的刚度,增加了结构的耐久性。

(2)可以节省材料,减少自重,合理利用高强度材料。预应力混凝土由于必须采用高强度材料,因而可以减少钢筋用量和减少构件截面尺寸,节省钢材和混凝土,降低结构物自重,这对于自重所占比例很大的大跨径公路桥梁和城市桥梁来说,有着显著的优越性。一般大跨度或重荷载结构,采用预应力混凝土结构是比较经济合理的。

(3)可以减小梁的主拉应力和竖向剪力,有效地减轻构件的自重和增加结构的稳定性。预应力混凝土梁的曲线钢筋(束),可使梁中支座附近的竖向剪力减小,又由于混凝土截面上预压应力的存在,使荷载作用下的主拉应力也相应减小,有利于减薄梁的腹板厚度,这也是预应力混凝土梁可以减轻自重的原因之一。

(4)结构质量安全可靠。施加预应力时,钢筋(束)与混凝土都经受了一次强度检验,如果构件在钢筋张拉时表现质量良好,那么,在使用时也可以认为是安全可靠的。因此有人称预应力混凝土结构是预先检验过的结构。此外,还可以提高结构的耐疲劳性能。因为具有强大预应力的钢筋,在使用阶段因加荷或卸荷所引起的应力相对变化很小,因而引起疲劳破坏的可能性也小,这对于承受动荷载的桥梁结构来说是很利。预应力也可以作为预制结构的一种拼装手段和结构加固的手段。

预应力混凝土结构也存在着一些缺点:

(1)工艺较复杂。对质量要求高,因而需要配备一支技术较熟练的专业队伍。

(2)需要有一定的专门设备,如张拉机具、灌浆设备等。先张法需要有张拉台座,后张法还要耗用数量较多并要求有一定加工精度的锚具等。

(3)预应力反拱不易控制。它将随混凝土的徐变增加而加大,可能造成桥面不平顺,使得行车不够顺畅。

(4)预应力混凝土结构的开工费用较大,对于跨径小、构件数量少的工程成本大。

思考题

1. 预应力的基本原理。
2. 预应力结构的特点。

第二章 预应力混凝土结构的材料

学习目标

1. 掌握预应力混凝土结构的主要材料；
2. 熟悉预应力结构所用混凝土的性能要求；
3. 了解影响混凝土徐变、收缩、弹性模量等的因素；
4. 掌握预应力筋的种类、对预应力筋的要求；
5. 熟悉预应力筋常规检测项目；
6. 了解体外预应力体系；
7. 掌握水泥浆的技术要求；
8. 掌握孔道成型材料的种类；
9. 熟悉塑料波纹管的性能；
10. 了解各种预应力结构材料的检测方法。

构成预应力混凝土结构的主要材料有：混凝土、预应力钢筋以及灌注预留孔道用的灌浆材料和制作预留孔道用的孔道成型材料等。

第一节 混 凝 土

一、强度要求

用于预应力结构的混凝土，必须采用高强度等级混凝土，而且应与构件所采用的高强度钢材的等级相配合，钢材强度越高，混凝土强度等级也相应要求提高，只有这样才能充分发挥高强钢材的抗拉性能，有效地减小构件截面尺寸，从而减轻构件自重。高强混凝土具有较高的弹性模量，从而具有更小的弹性变形和与强度有关的塑性变形，可以减少预应力损失。特别是对于先张法构件来说更为重要，因为先张法预应力钢筋，一般是靠黏结力来锚固的，而黏结强度是随混凝土强度等级的增高而增加的。同时采用高强混凝土能提高锚固端的受压承载力。见图 2-1。

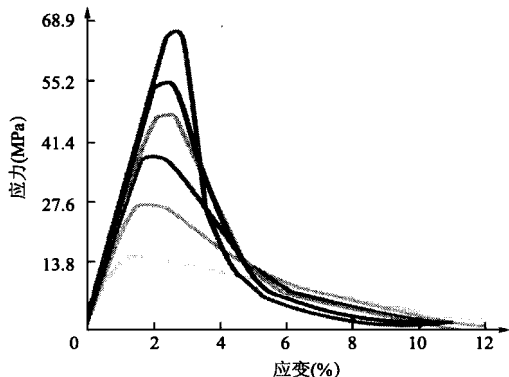


图 2-1 混凝土受压应力-应变曲线

对于预应力混凝土结构中使用的混凝土,还要求能快硬、早强,以便能早早施加预应力,加快施工进度,提高设备和模板等的利用率。

混凝土的强度等级应按立方体抗压强度标准值确定。立方体抗压强度标准值系指按照标准方法制作养护的边长为 150mm 的立方体试件,在 28d 龄期用标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度。

我国《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)中规定预应力混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C30;当采用钢绞线、钢丝、热处理钢筋作预应力筋时,混凝土强度等级不宜低于 C40。

二、收缩、徐变、弹性模量的影响

1. 收缩

混凝土的收缩是指混凝土在不受力的情况下,由于所含水分的蒸发及其他物理化学原因引起的体积缩小,主要与混凝土的品质和构件所处的环境等因素有关。

混凝土收缩与许多因素有关。水泥浆越多,收缩越显著;水泥强度等级越高,收缩越大;砂石质量越差,收缩量越大;混凝土振捣密实,收缩量小;养护好,收缩量小;集料的弹性模量愈低收缩愈大。见图 2-2。

对混凝土产生收缩的原因存在不同的解释。一种理论认为混凝土的收缩由混凝土的凝缩和干缩两部分组成。凝缩是指水泥浆胶体在凝固和硬化过程中产生的收缩;干缩是指混凝土硬化后含水量逐步蒸发而产生的收缩。另一种理论认为是由于毛细管的作用,混凝土内部由骨架和小孔隙组成,水分在孔隙中形成凹形液面而产生表面张力,对孔壁产生垂直压力而引起水泥浆胶体的压缩。这两种理论并不是互相对立的,实际上这两个因素的影响同时存在。

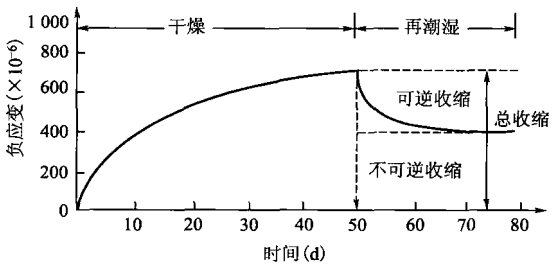


图 2-2 收缩变形

2. 徐变

预应力混凝土构件,除了混凝土在硬结过程中会产生收缩变形外,由于混凝土长期承受着预压应力,因此还将产生徐变变形。混凝土的徐变是指在一持续应力作用下,应变随时间不断增长的现象,是一种依赖于应力状态和时间的非弹性变形。

混凝土中徐变的原因比较复杂,通常认为,当水化水泥浆体受到持续应力作用时,根据施加应力的大小及持续时间,水化硅酸钙将失去大量物理吸附水,浆体将出现徐变应变。除水分移动外还有其他因素对徐变现象起作用。混凝土中应力—应变关系的非线性,特别当应力大于最大荷载的 30% ~ 40% 时,可清楚地看出过渡区微裂缝对徐变的作用。当混凝土徐变并露置于干燥条件下时,由于干燥收缩引起过渡区附加的微裂缝开裂而引起徐变应变的增加。集料发生延迟的弹性变形也是混凝土徐变的另一原因。因为水泥浆体和集料黏合在一起,当荷载转移至集料时,作用于水泥浆体上的应力逐渐减小,而随着集料上荷载的增加,荷载逐渐转变成弹性变形。因此,集料的延缓弹性变形对总徐变起着作用。

影响混凝土徐变的主要因素有荷载集度、持荷时间、混凝土的品质、加载龄期及构件的工作环境等。加载应力越大,徐变量越大;加载时混凝土的龄期越短,混凝土的徐变越大;水灰比大,徐变量大;集料的弹性模量高,混凝土的徐变大;振捣密实、养护好的混凝土徐变量小。混

凝土的徐变在加载初期发展特别快,而后逐渐减慢。见图 2-3。

混凝土的收缩和徐变,使预应力混凝土构件缩短,因而将引起预应力钢筋中的预应力下降,通常称此为预应力损失。显然,混凝土中的预压应力也将因此而减小。混凝土的收缩、徐变值越大这种预应力损失也就越大,这对预应力混凝土结构是很不利的。因此,在预应力混凝土构件的设计、施工中,应尽量设法减少混凝土的收缩和徐变,并应尽量准确地确定混凝土的收缩变形和徐变变形值。

3. 弹性模量

我国《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)中弹性模量的计算公式为:

$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.7}{f_{cu,k}}} \text{ (MPa)}$$

可以看出,混凝土的弹性模量随混凝土强度等级的提高而提高。因为高强度混凝土的密实性好,集料质量高,混凝土在重复荷载作用下的疲劳弹性模量 E'_c 仅为其在一般荷载作用下的弹性模量 E_c 的 40% ~ 50%。

三、混凝土的配制要求与措施

为了获得强度高和收缩、徐变小的混凝土,应尽可能地采用高强度等级水泥,减少水泥用量,降低水灰比,选用优质坚硬的集料。一般可以采用如下措施:

(1) 使用干硬性混凝土,水灰比控制在 0.5 以下,用水量不高于 1.5kg/m^3 ,但可掺加减水剂。

(2) 注意选用水泥的强度等级和品种。一般宜采用高强度等级水泥,最好不低于混凝土设计强度等级的 1.2 倍,水泥品种,以硅酸盐水泥为宜,不得已需要采用矿渣水泥时,则应适当掺加早强剂,以改善其早期强度较低的缺点。火山灰水泥不适于拌制预应力构件的混凝土。因其早期强度过低,收缩率又大。

(3) 注意选用合适的外加剂。一般不允许随意掺加氯盐,因为它不仅使混凝土的收缩率增大,而且已证实它会引起钢筋锈蚀,这对预应力钢筋来说,将造成严重的钢筋腐蚀问题。三乙醇胺(或混合液)有一定的防锈能力,在气温较低时,可使用其复合剂(即由占水泥用量 0.05% 的三乙醇胺、0.5% 的次氯酸钠和 1% 的亚硝酸钠组成)。

(4) 加强振捣与养护。

第二节 预 应 力 筋

一、对预应力筋的要求

由于预应力混凝土自身的要求,预应力钢材需满足下列要求:

(1) 强度高。预应力钢筋必须采用高强度钢材,这已从预应力混凝土结构本身的发展历

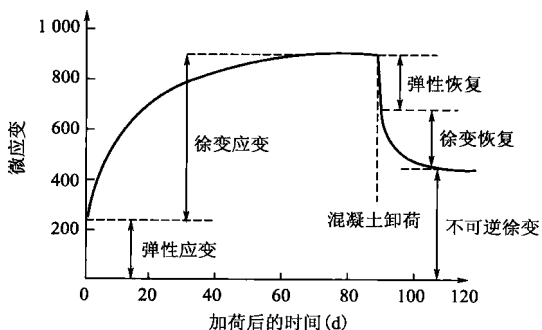


图 2-3 徐变变形