

“十一五”国家重点图书出版规划项目

公路桥涵设计手册

PRESTRESSING TECHNIQUES,  
MATERIALS AND EQUIPMENT

# 预应力技术 及材料设备

(第三版)

朱新实 刘效尧 主编



人民交通出版社  
China Communications Press

“一五”国家重点图书出版规划项目

公路桥涵设计手册

# 预应力技术及材料设备

Prestressing Techniques, Materials and Equipment

(第三版)

朱新实 刘效尧 主编

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书为《公路桥涵设计手册》之《预应力技术及材料设备》分册第三版,全书按照现行规范及预应力技术最新进展,对第二版予以全面修订,主要包括:预应力技术概况、预应力张拉锚固体系、预应力材料、预应力体系的设计与施工、质量检验与验收标准、工程实例及附录等内容。

本书主要供桥梁预应力设计及施工人员使用,亦可供其他工程技术人员及土木工程专业桥梁方向师生参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

公路桥涵设计手册. 预应力技术及材料设备 / 朱新实, 刘效尧主编. --3 版. --北京: 人民交通出版社, 2012. 9

ISBN 978-7-114- 09944- 1

I. ①公… II. ①朱… ②刘… III. ①公路桥-桥涵工程-设计-技术手册②公路桥-桥涵工程-预应力技术-技术手册 IV. ①U448. 142. 5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 162900 号

“十一五”国家重点图书出版规划项目

公路桥涵设计手册

书 名: 预应力技术及材料设备(第三版)

著 作 者: 朱新实 刘效尧

责任编辑: 曲 乐 王文华

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: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 28.5

字 数: 688 千

版 次: 1998 年 4 月第 1 版 2005 年 1 月第 2 版 2012 年 9 月第 3 版

印 次: 2012 年 9 月第 3 版 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09944-1

定 价: 62.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

# 《公路桥涵设计手册》编审委员会

## 编写委员会

主任委员：凤懋润

副主任委员：刘士林 刘效尧 杨高中 张喜刚

郑皆连 顾安邦 谢邦珠 廖朝华

委员：马 磊 王仁贵 王吉双 庄卫林

向中富 刘红明 朱新实 沈鸿雁

孟凡超 姜友生 高冬光 徐 岳

徐国平 焦永顺 韩 敏 鲍卫刚

詹建辉

## 审定委员会

万珊珊 刘新生 李守善 张继尧 苏善根

杨耀铨 周世忠 郑明珠 郑皆连 顾安邦

彭宝华

（以上名单按姓氏笔画排序）

## 《公路桥涵设计手册》主要编写单位

中交公路规划设计院有限公司

中交第二公路勘察设计研究院有限公司

湖北省交通规划设计院

四川省交通厅公路规划勘察设计研究院

河北省交通规划设计院

安徽省交通规划设计研究院

浙江省交通规划设计研究院

中交路桥技术有限公司

安徽省公路管理局

长安大学

同济大学

重庆交通大学

西南交通大学

厦门高格桥梁景观设计研究中心

华杰工程咨询有限公司

# 出版说明

改革开放以来,随着我国经济建设的快速发展,公路交通作为经济发展的“先行官”得到政府的高度重视,公路桥梁建设事业更是发展迅猛,成绩斐然。20 世纪 90 年代初,为了及时总结公路桥梁设计经验,指导桥梁设计工作,在原交通部公路局的领导与支持下,人民交通出版社组织我国桥梁界专家学者,编写出版了我国第一套《公路桥涵设计手册》,包括《基本资料》、《墩台与基础》、《拱桥》、《梁桥》、《涵洞》、《桥位设计》、《桥梁附属构造与支座》七个分册。该系列手册全面系统地总结了我国几十年来积累的公路桥梁设计经验,对于推进桥梁设计理论与技术的发展起到了重要的作用。

1998 年亚洲金融危机之后,国家加大对公路交通建设的投入,高速公路“五纵七横”规划全面实施,公路桥梁建设进入了前所未有的黄金时期。在此期间,我国桥梁工作者不断探索,勇于创新,自主设计,建成了一大批跨越大江大河甚至跨越海湾的、具有世界先进水平的大型桥梁,特别是东海大桥、杭州湾跨海大桥、苏通大桥、西堠门大桥等特大桥梁的修建,更是具有里程碑的意义。青岛海湾大桥、港珠澳大桥等一批世界级桥梁正在建设,我国的桥梁发展进入了一个新时代。截至 2009 年底,我国公路桥梁总数已达到 62.19 万座,计 2 700 余万延米,其中,跨径 600m 以上的斜拉桥 11 座,跨径 1 000m 以上的悬索桥 12 座(在建 5 座),拥有多项桥梁跨径的世界纪录。

大量的工程实践与关键技术攻关,使得我国桥梁建造技术与管理水平有了质的飞跃,我国桥梁建设水平已步入世界先进行列,正在由桥梁大国走向桥梁强国。在众多特大型桥梁的建设过程中,设计理念不断更新,新工艺、新技术、新材料、新设备得到推广应用,建造关键技术取得重大突破。无论是设计、施工与工程管理都积累了一大批宝贵的经验,代表了我国桥梁领域日益提高的科技水平与自主创新能力,凝聚着建桥人的智慧。认真而系统地总结,使其形成技术积累,形成我们国家桥梁建造具有自主知识产权的核心技术,更好地指导日后蓬勃开展的桥梁建设实践,其意义重大。为此,自 2005 年起,在凤懋润总工、郑皆连院士的倡议下,人民交通出版社决定在原有的《公路桥涵设计手册》基础上修订编写新版《公路桥涵设计手册》。编写该系列手册的目的就是要全面系统地总结我国公路桥涵设计经验,充分反映当前我国桥梁设计的技术水平,吸收国外桥梁设计的最新理念与技术,力求具有一定的前瞻性,使之成为桥梁设计工作者案头不可或缺的实用工

具书。

新版《公路桥涵设计手册》共 10 册,分别是《桥梁总体设计》、《桥位设计》、《墩台与基础》、《梁桥》、《拱桥》、《斜拉桥》、《悬索桥》、《桥梁附属构造物》、《预应力技术及材料设备》、《涵洞》,字数总计在 1 000 万左右。该手册自 2005 年开始编写,历时 5 年,中交公路规划设计院有限公司、中交第二公路勘察设计研究院有限公司、湖北省交通规划设计院、四川省交通厅公路规划勘察设计研究院、安徽省交通规划设计研究院、河北省交通规划设计院等多家交通行业一流设计单位和长安大学等高等院校担任各分册的主编单位,总体上代表了我国桥梁设计的最高水平。谢邦珠、刘效尧、孟凡超、廖朝华、顾安邦、高冬光等一批桥梁大师、专家为本书的出版尽心尽力、精益求精,确保了本手册的编审质量,也为《公路桥涵设计手册》编写成我国桥梁领域最高水平的权威之作提供了重要保证。

对于桥梁设计者来说,通过学习和利用手册中的新方法、新技术和结构方面的创新,通过对典型设计案例的学习,能提高设计质量与效率,优化设计,降低成本,从而为业主和国家带来巨大的社会效益。对于那些刚刚走上设计岗位的年轻工程师,此手册更是指导其开展设计工作的良师益友。

在未来相当长的一段时期内,随着国家高速公路网规划、农村公路网规划的实施及西部大开发战略的进一步实施,公路建设仍将快速发展,而《公路桥涵设计手册》的及时修订再版,无疑将对今后我国的桥梁建设提供有力的技术支持。

本手册在编写过程中,得到了交通运输部领导及各个参编、参审单位领导的大力支持,在此一并表示诚挚的谢意!

《公路桥涵设计手册》编审委员会

2011 年 3 月

## 第三版前言

《预应力技术及材料设备》是《公路桥涵设计手册》的一个分册,于1998年由人民交通出版社出版第一版,2005年出版第二版。书中对预应力技术资料收集全面、评述客观,实用性强,对公路桥梁预应力技术的发展起到了推动作用,得到了设计、施工和监理等工程技术人员的认可及欢迎,也为预应力新产品推广应用起到了积极的作用。

由于近年来交通基础设施建设的迅猛发展,国内的预应力技术也得到了很大的提高,原书中收集的国内外预应力体系,有的已很少使用;同时,由于《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)已修订为《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)。因此,本书再次修订重印,由原编者在第二版的基础上编撰了第三版。新版根据一些设计和研究机构、相关生产厂家和用户的意见,补充了预应力新技术、新工艺、新材料、新设备;对涉及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》和《公路桥涵施工技术规范》的内容,一律按照现行规范的相关条文进行了修改,并有选择地删除了一些使用频率较低的产品。

同时提醒读者,本书中介绍的一些预应力新技术、新工艺、新材料、新设备,在第一次应用之前,应做认真细致的调查研究,以掌握其实质和精髓,因地制宜。由于新技术发展迅速,随着时间的推移,书中所搜集的技术资料也在不断地更新和演化。希望读者能将以上两方面的动态反馈给编者,以满足其他读者的咨询。

本书第一版由安徽省公路管理局刘效尧和朱新实主编;第二版、第三版均由安徽省公路管理局朱新实、安徽省交通运输厅刘效尧主编,并由朱新实执笔。在编写过程中除参考书末所列的文献资料外,还引用了一些预应力材料设备生产厂家提供的或公开发布的资料,特别是合肥威胜利工程有限公司及柳州欧维姆机械股份公司给予了很大的帮助,在此一并表示谢意。

由于编者水平和收集的资料有限,书中难免有遗漏和错误,请读者予以指正,以便下次再版时补充修订。

编 者

2012年3月

## 第二版前言

《预应力技术及材料设备》是《公路桥涵设计手册》的一个分册,于1998年由人民交通出版社出版。书中介绍了国内外一些常用的预应力体系及相应的预应力材料和预应力设备;预应力体系的设计、施工和验收;预应力工程实例;预应力体系和材料的标准。该书把预应力方面一些零散的边缘性技术和资料汇集成册,并加以客观的评述,实用性很强。该书不设定倾向性,得到设计、施工和监理人员的欢迎,有些观点得到技术标准或设计规范的认可,相关生产厂家也关注该书的出版。

近几年来,随着公路建设的突飞猛进,预应力技术也在发展和演变之中。使用了近20年的《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)被(JTG D62—2004)取代;《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—89)也被(JTJ 041—2000)取代。因此,本书不宜再重印。在原出版社的支持下,收集了一些设计和研究机构、相关生产厂家和用户的意见,由原编者在第一版的基础上编撰了第二版。增加了一些新技术、新工艺、新材料、新设备;补充了新的工程实例;以新标准替换了旧标准;涉及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 041—2000)和《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)的内容,一律按照相关条文处理。在第二版中也删除了一些编者认为可以删除的内容。同时提醒读者,本书中介绍的一些新技术、新工艺、新材料、新设备部分直接引用生产厂家提供的资料,在第一次应用之前,应做认真细致的研究,以掌握其实质和精髓。

本书第一版由安徽省公路管理局刘效尧和朱新实主编;第二版改由安徽省公路管理局朱新实、安徽省交通厅刘效尧主编,并由朱新实执笔。在编写过程中除参考书末所列的资料外,还引用了一些预应力材料设备生产厂家提供的或公开发布的资料,在此一并表示谢意。

由于编者水平和收集的资料有限,书中难免有遗漏和错误,请读者予以指正,以便下次再版时补充修订。

编 者

2004年10月

# 第一版前言

《预应力技术及材料设备》是《公路桥涵设计手册》的一个分册,在本册中介绍了国内外常见的一些预应力张拉锚固体系及其设计参数;汇集了《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)中有关预应力部分的内容及其使用方法,还介绍了近十年来预应力技术的新进展;在附录部分罗列了国内外的一些预应力技术标准,供预应力设计人员参考。

本分册由安徽省公路管理局刘效尧、朱新实主编,由王建瑶主审。在编写过程中除参考了书末所列的资料外,还引用了一些预应力锚夹具及预应力筋生产厂家的技术资料和出版物中的论述,在此一并表示谢意。

由于编者水平所限和可能收集到的资料有限,书中难免有遗漏和错误,请使用者给予批评指正,以便再版时补充和修订。

编 者

1997年2月

# 目 录

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第一章 预应力技术概况             | 1   |
| 第一节 预应力混凝土的基本概念         | 1   |
| 第二节 预应力技术的发展            | 6   |
| 第三节 预应力技术的未来            | 11  |
| 第二章 预应力张拉锚固体系           | 13  |
| 第一节 预应力粗钢筋张拉锚固体系        | 13  |
| 第二节 预应力高强精轧螺纹钢张拉锚固体系    | 15  |
| 第三节 DM 型预应力张拉锚固体系       | 17  |
| 第四节 LM 型预应力张拉锚固体系       | 22  |
| 第五节 钢质锥形锚具              | 26  |
| 第六节 XM 型预应力张拉锚固体系       | 28  |
| 第七节 OVM 型预应力张拉锚固体系      | 32  |
| 第八节 VSL 预应力张拉锚固体系       | 114 |
| 第九节 YM 型预应力张拉锚固体系       | 147 |
| 第十节 XYM 型预应力张拉锚固体系      | 150 |
| 第十一节 B&S 型预应力张拉锚固体系     | 156 |
| 第十二节 TM 型预应力张拉锚固体系      | 161 |
| 第十三节 BUPC 无黏结预应力筋张拉锚固体系 | 166 |
| 第十四节 JM 型预应力张拉锚固体系      | 173 |
| 第三章 预应力材料               | 175 |
| 第一节 混凝土                 | 175 |
| 第二节 预应力筋                | 182 |
| 第四章 预应力体系的设计与施工         | 190 |
| 第一节 预应力混凝土结构分类          | 190 |
| 第二节 预应力混凝土构件设计          | 192 |
| 第三节 无黏结预应力混凝土结构         | 239 |
| 第四节 体外预应力混凝土结构          | 261 |
| 第五节 施工                  | 270 |
| 第六节 计算实例                | 282 |
| 第五章 质量检验与验收标准           | 288 |
| 第一节 预应力筋                | 288 |
| 第二节 锚具、夹具和连接器           | 289 |
| 第三节 管道                  | 290 |

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| 第四节 无黏结预应力和体外预应力·····                                       | 291 |
| 第五节 预应力张拉及防护·····                                           | 291 |
| 第六章 工程实例·····                                               | 293 |
| 第一节 简支梁·····                                                | 293 |
| 第二节 悬臂梁桥·····                                               | 302 |
| 第三节 T形刚构桥·····                                              | 303 |
| 第四节 连续梁桥·····                                               | 308 |
| 第五节 刚构桥·····                                                | 319 |
| 第六节 斜拉桥·····                                                | 324 |
| 第七节 悬索桥·····                                                | 330 |
| 附 录                                                         |     |
| 一、国际预应力混凝土协会(FIP)后张预应力体系的验收建议 ·····                         | 334 |
| 二、美国标准(ASTM A421—1991)预应力混凝土用无镀层消除应力钢丝 ·····                | 346 |
| 三、美国标准(ASTM A416—2003)预应力混凝土用无涂层七丝钢绞线标准<br>技术条件(摘要) ·····   | 350 |
| 四、英国标准(BS 5896—1980)预应力混凝土用高强钢丝和钢绞线 ·····                   | 355 |
| 五、中华人民共和国国家标准(GB/T 5223—2002)预应力混凝土用钢丝 ·····                | 368 |
| 六、中华人民共和国国家标准(GB/T 5224—2003)预应力混凝土用钢绞线 ·····               | 378 |
| 七、中华人民共和国国家标准(GB/T 14370—2007)预应力筋用锚具、夹具<br>和连接器·····       | 390 |
| 八、中华人民共和国国家标准(GB/T 17101—2008)桥梁缆索用热镀锌钢丝 ·····              | 401 |
| 九、中华人民共和国国家标准(GB/T 5223.3—2005)预应力混凝土用钢棒 ·····              | 407 |
| 十、中华人民共和国交通行业标准(JT/T 329—2010)公路桥梁预应力钢绞线<br>用锚具、夹具和连接器····· | 418 |
| 参考文献·····                                                   | 443 |

# 第一章 预应力技术概况

## 第一节 预应力混凝土的基本概念

### 一、概述

由于混凝土具有抗拉强度低、抗压强度高的特点,因此,在钢筋混凝土构件中,通常是用钢筋来代替混凝土承受拉力的。但是,又由于混凝土的极限拉应变也很小,与钢筋相差较大,如果要求钢筋混凝土构件在使用时不开裂,则钢筋的拉应力只能达到较低的水平,再伸长就要出现裂缝。即使允许开裂,当裂缝宽度限制在规范允许的范围内时,钢筋拉应力也不能充分发挥。

由于混凝土抗拉性能很差,使钢筋混凝土存在两个方面的问题。一是需要带裂缝工作,裂缝的存在,不仅使构件刚度下降很多,而且不能应用于不允许开裂的结构中;二是从保证结构耐久性出发,必须限制裂缝开展宽度,这就使高强度钢筋无法在钢筋混凝土结构中充分发挥其作用,相应地也不可能充分发挥高强度等级混凝土的作用。因此,当需要结构承受较大荷载的时候,就只有靠增加钢筋混凝土构件的截面尺寸或增加钢筋用量的方法来控制构件的裂缝和变形。这样做必然使构件的自重增加,既不经济,也不美观。特别是随着跨径的增大,自重的比例也增大,因而使钢筋混凝土结构的使用范围受到很大限制。为了使钢筋混凝土结构能得到进一步的发展,就必须解决混凝土抗拉性能差的这一缺陷,于是预应力混凝土结构应运而生。通常预应力筋仅布置在混凝土结构的受拉区,代替混凝土承受拉力。随着预应力技术的不断发展,也出现了一些预应力筋布置在混凝土结构的受压区,代替混凝土承受压力的结构。

### 二、预应力混凝土的基本原理

预应力是指在构件(或结构)中预先施加应力。预应力技术包括结构的设计计算、预应力的施加与锚固、预应力材料等方面。

所谓预应力混凝土,就是在结构承受荷载之前,预先人为地在混凝土或钢筋混凝土中引入内部应力,且其值和分布能将使用荷载(或作用)产生的应力抵消到一个合适的程度。也就是说,通过人为的按照一定的应力大小和分布规律,预先对混凝土或钢筋混凝土构件施加压应力(或拉应力),使之建立一种人为的应力状态,以便抵消使用荷载(或作用)下产生的拉应力(或压应力),从而使混凝土构件在使用荷载(或作用)下不致开裂,或推迟开裂,或者减小裂缝开展

的宽度。这种预先给混凝土引入内部应力的结构,就称为预应力混凝土结构。

### 三、预应力混凝土结构的优缺点

预应力混凝土结构解决了钢筋混凝土结构存在的问题,克服了普通钢筋混凝土结构的弱点,因此其具有下列主要优点。

(1)提高了构件的抗裂度和刚度。构件施加预应力后,大大推迟了裂缝的出现,在使用荷载(或作用)下,构件可不出现裂缝,或使裂缝推迟出现并加以限制,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。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,从而降低结构物自重。这对于自重所占比例较大的大跨径公路桥梁来说,采用预应力混凝土有着显著的优越性。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,也是比较合理的。

(3)可以减小梁的竖向剪力和主拉应力。如在预应力混凝土梁中配置曲线预应力钢筋(束),可使梁中支座附近的竖向剪力减小,而混凝土结构截面上预压应力的存在,又可使荷载(或作用)下的主拉应力也相应减小,因此可以相应地减薄梁的腹板厚度,这也是预应力混凝土梁可以减轻自重的原因之一。

(4)结构安全、质量可靠。施加预应力时,钢筋与混凝土都经受了一次强度检验。如果钢筋张拉时质量良好,那么,在使用时一般在安全上是不会存在大的问题的。

此外,还可以提高结构的耐劳性能,因为具有强大预应力的钢筋,使混凝土在使用阶段因加荷或卸荷所引起的应力变化幅度变小,因而抗疲劳破坏的性能就好。这对于承受动荷载的桥梁结构来说也是很有利的。

预应力混凝土结构虽然有许多优点,但也存在下列一些缺点。

(1)施工工艺较复杂,对质量要求也高,因而需要技术较熟练的专业队伍进行施工。

(2)需要专门设备、机具及材料等。如先张法需要有张拉台座,后张法需要耗用数量较多的锚具等。

(3)预应力反拱不易控制。它将随混凝土的徐变增加而加大,可能影响结构的长期正常使用。

(4)后张法预应力混凝土结构的管道压浆不易密实,容易引起预应力钢筋的锈蚀,在一定程度上影响结构的抗疲劳性及耐久性。

(5)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,成本较高。

因此,必须合理地进行设计、认真地组织施工,预应力混凝土结构才能充分发挥其优越性。

### 四、预应力的施加方法

预应力的施加方法按张拉钢筋与浇筑混凝土的先后次序分为两种,即先张法和后张法。按张拉钢筋的方法划分,除最常用的机械张拉钢筋方法外,还有横张法、电热法、自张法等。此外,还有预拉预应力和预弯预应力混凝土及结构。

#### 1. 先张法

即先张拉钢筋,后浇筑构件混凝土的方法。如图 1-1-1 所示,先在台座上,按设计规定的

拉力张拉钢筋，并用锚具临时固定，再浇筑构件混凝土，待混凝土达到一定强度（一般不低于混凝土设计强度的 70%，以保证钢筋与混凝土间具有足够的黏结力和避免徐变值过大）后，放松钢筋，让钢筋的回缩力通过钢筋与混凝土间的黏结作用，传递给混凝土，使混凝土获得预压应力。

先张法所用的预应力钢筋，一般可用高强钢丝、钢绞线和冷拉钢筋等，以获得较好的自锚性能。用先张法生产预应力混凝土构件，除千斤顶等设备外，一般都需要有用来张拉和临时固定钢筋的台座。台座因要承受预应力钢筋的巨大回缩力，设计时应保证它具有足够的强度、刚度和稳定性。先张法施工工序简单，钢筋靠黏结力自锚，不必耗费特制的锚具，临时固定所使用的锚固装置，都可以重复使用，一般采用夹具。

因此，在大批量生产时先张法构件比较经济，质量也比较稳定。

考虑到起重、运输的方便和避免采用尺寸过大的台座，先张法一般适于生产直线配筋的中小型构件。大型构件因需要采用曲线配筋，这将使先张法施工设备和工艺复杂化。

2. 后张法

是指先浇筑构件混凝土，经养护达到一定强度后，再在构件上张拉钢筋的方法。如图1-1-2所示，先浇筑构件混凝土，并在混凝土构件中预留孔道，待混凝土达到一定强度后，将钢筋穿入预留孔内，以混凝土构件本身作为支承件，张拉钢筋，使混凝土构件也同时被压缩。待张拉到设计拉力后，用特制的锚具将钢筋锚固于混凝土构件上，使混凝土获得并保持其预压应力。最后，在预留孔内压注水泥浆，以保护预应力钢筋不致锈蚀，并使它与混凝土黏结成为整体。

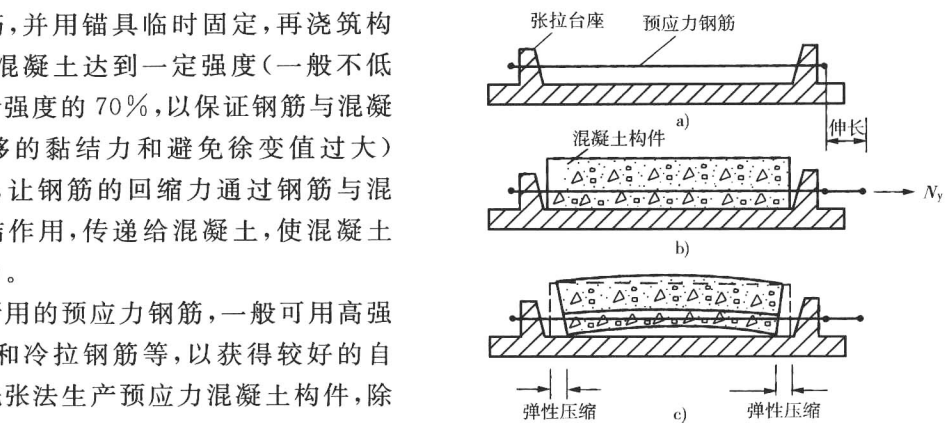


图 1-1-1 先张法工艺流程示意图

a) 钢筋就位，准备张拉；b) 张拉钢筋，并临时固定；浇筑构件混凝土，并养护结硬；c) 放松钢筋，形成预应力混凝土构件

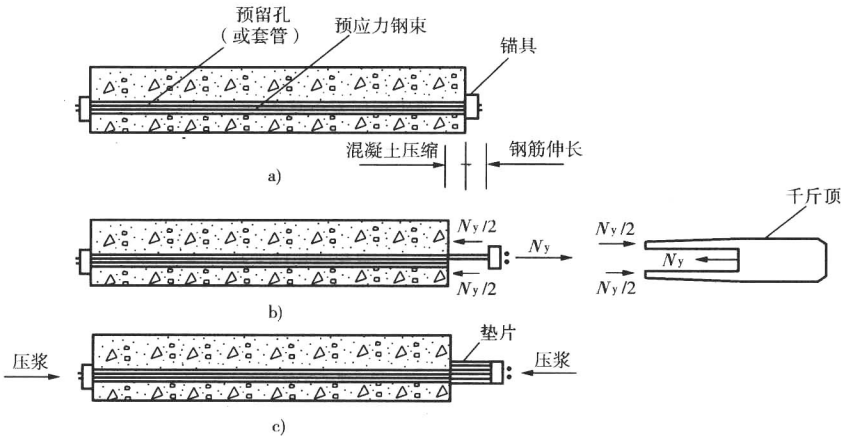


图 1-1-2 后张法工艺流程示意图

a) 浇筑构件混凝土，预留孔道，穿入钢筋；b) 以混凝土构件为支承件，用千斤顶张拉钢筋；c) 用锚具将钢筋锚固，并在预留孔道内压注水泥浆

3. 横张法

横张法又叫侧张法,与后张法预应力混凝土构件的施工方法基本相同,如图 1-1-3 所示。不同之处在于预应力的施加方法,主要有以下几方面。

- (1)改后张法混凝土构件中预留孔道为预留明槽。
- (2)钢筋预先放入预留明槽内,并将两端的一定长度预应力钢筋埋入混凝土内,改锚具锚固为混凝土黏结自锚。
- (3)改纵向张拉预应力筋为横向张拉。
- (4)预应力筋张拉完成后,在预留明槽内浇筑混凝土代替孔道压浆。

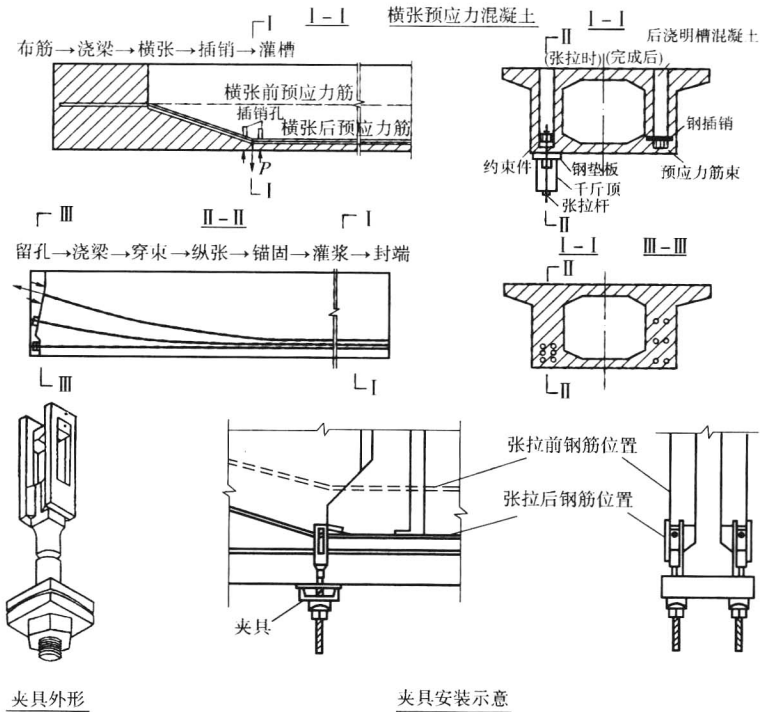


图 1-1-3 横张预应力示意图

4. 电热法

电热法就是根据物体的热胀冷缩原理,在预应力钢筋上通过强大的电流,短时间内将它加热,使钢筋随着温度的升高而成正比例伸长。当钢筋伸长到一定长度后,切断电源,并立即锚固。电源切断后,温度逐渐下降,钢筋也随着慢慢回缩。由于钢筋的两端已经锚紧,不能回缩,于是在钢筋中产生了拉应力,钢筋的回缩力通过锚具压紧构件的两端,使混凝土产生了压应力。

电热张拉可用于后张,也可用于先张。但是,长线台座上的预应力钢筋因长度较长,散热快,耗电量,不能采用电热张拉法。

电热张拉一般用于老标准的冷拉Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级以及冷拉 5 号钢的预应力钢筋。对于预应力钢筋束、钢丝束和钢绞线,电热张拉还缺乏成熟的经验,目前应用也少。

### 5. 自张法

自张法是利用自应力混凝土在养护过程中产生的体积膨胀,把事先放在混凝土中的钢筋张紧,钢筋受到预拉,而混凝土本身同时受到了预压,从而完成预加应力的目的。这种不借助外力,而用混凝土自身的膨胀能来张拉钢筋以达到预应力目的的混凝土称为自应力混凝土。这种施加预应力的方法叫“自张法”。同时,就张拉时间而言,钢筋的张拉是与混凝土的硬结同时发生、同时完成,所以又可称为“同张法”。此法在生产自应力混凝土压力管方面比较常用。

组成自应力混凝土的自应力水泥是由石膏、矾土水泥和硅酸盐水泥配制而成。这些成分,由于它们在水化作用时对自应力混凝土起着各自不同的作用,因此又可分为膨胀组分和强度组分两部分。膨胀组分包含石膏和矾土水泥,硅酸盐水泥则是强度组分。

影响自应力混凝土膨胀和强度的因素,除自应力水泥的成分和细度外,还有很多,如养护条件、水灰比、自应力水泥用量、集料尺寸和形状、构件尺寸以及成型条件等。

自张法与前面预加应力的方法相比,具有独特的优点,但也有不足之处,主要是目前的自应力混凝土产生的预应力值比较低。同时由于影响建立自应力的因素较多,使产品的自应力值不够稳定,直接影响了产品质量。

### 6. 预拉预应力

预拉预应力混凝土结构,与常用的预压预应力混凝土结构的原理相同,但作用正好相反,施工方法类似于先张法。如图 1-1-4 所示,首先采用预应力筋按设计规定的拉力对预应力高强钢管施加预压应力,并用锚具临时固定,然后将高强钢管放在结构的受压区并临时固定,然后再浇筑混凝土,待混凝土达到一定强度后,放松钢筋,使钢管的伸长力通过钢管与混凝土间的黏结作用传递给混凝土,使混凝土获得预拉应力。这种预应力方式如与通常的预压预应力方式相结合,将形成混凝土受拉区预压、受压区预拉的双向预应力体系,从而提高了构件的抗弯能力,构件的截面尺寸、自重荷载将可能减小。

预拉预应力所用的预应力材料,除钢管外也可用其他型钢或粗钢筋等。

### 7. 预弯预应力

预弯预应力混凝土结构,是指在加荷预弯的劲性钢梁上浇筑混凝土,待混凝土与钢梁结合为整体并达到设计强度后卸载,利用钢梁反弹而对混凝土施加预应力的预应力混凝土结构,如图 1-1-5 所示。

图 1-1-6 为预弯预应力在桥梁加固上的应用,对于简支结构的梁(板),在跨中预先施加一定的力,使跨中的恒载弯矩接近于零,然后粘贴碳纤维或钢板,待混凝土与碳纤维或钢板结合为整体并达到设计强度后卸载,利用混凝土梁的反弹达到施加体外预应力的目的。

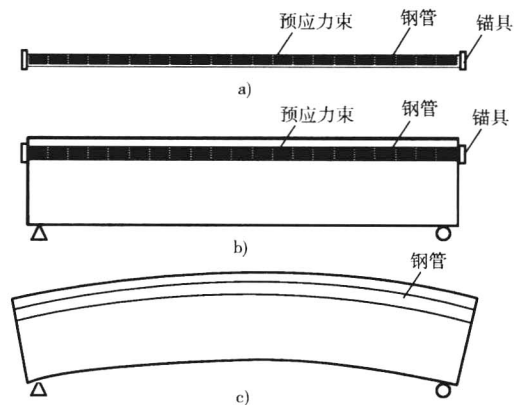


图 1-1-4 预拉预应力示意图

a)对预应力高强钢管施加预压应力;b)将高强钢管放在结构的受压区并临时固定,浇筑构件混凝土并养护结硬;c)放松预应力钢筋,形成预应力混凝土构件