

公路桥涵设计手册

# 预应力技术及材料设备

Yuyingli Jishu Ji Cailiao Shebei

(第二版)

朱新实 刘效尧 主编



人民交通出版社  
China Communications Press

公路桥涵设计手册

Yuyingli Jishu Ji Cailiao Shebei

**预应力技术及材料设备**

(第二版)

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》分册第二版,全书按照新颁《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)及预应力技术最新进展,对原版予以全面修订,主要包括:预应力技术概况、国外主要预应力张拉锚固体系简介、国内主要预应力张拉锚固体系介绍、预应力材料、预应力混凝土构件设计、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

预应力技术及材料设备/朱新实,刘效尧主编.—北京:人民交通出版社,2004.12  
(公路桥涵设计手册)  
ISBN 7-114-05378-9

I.预... II.①朱...②刘... III.①公路桥-桥涵工程-预应力技术-技术手册②公路桥-桥涵工程-预应力-工程材料-技术手册 IV.U448.14-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第126064号

#### 公路桥涵设计手册

书 名:预应力技术及材料设备(第二版)

著 作 者:朱新实 刘效尧

责任编辑:曲 乐

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.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)85285656,85285838,85285995

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:北京凯通印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:27

字 数:635千

版 次:1998年4月第1版

2005年1月第2版

印 次:2005年1月第2版第1次印刷

书 号:ISBN 7-114-05378-9

印 数:0001—5000册

定 价:52.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

## 再 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;涉及到《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ D62—2004)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 and 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

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <b>第一章 预应力技术概况</b> .....              | 1  |
| <b>第一节 预应力混凝土的基本概念</b> .....          | 1  |
| 一、预应力及预应力混凝土的基本原理 .....               | 1  |
| 二、预应力混凝土结构的优缺点 .....                  | 2  |
| 三、预应力的施加方法 .....                      | 2  |
| <b>第二节 预应力技术的发展</b> .....             | 6  |
| 一、早期预应力技术 .....                       | 6  |
| 二、现代预应力技术 .....                       | 9  |
| 三、我国预应力技术的发展概况 .....                  | 10 |
| <b>第三节 预应力技术的未来</b> .....             | 11 |
| <b>第二章 国外主要预应力张拉锚固体系简介</b> .....      | 13 |
| <b>第一节 法国弗莱西奈(FREYSSINET)体系</b> ..... | 13 |
| 一、概况 .....                            | 13 |
| 二、锚具 .....                            | 14 |
| 三、预应力的施加方法 .....                      | 15 |
| 四、主要特点 .....                          | 15 |
| <b>第二节 瑞士 VSL 体系</b> .....            | 16 |
| 一、概况 .....                            | 16 |
| 二、锚具、连接器 .....                        | 16 |
| 三、PT-PLUS 塑料波纹管和真空辅助压浆工艺 .....        | 31 |
| 四、单根无粘结钢绞线系统 .....                    | 32 |
| 五、体外钢绞线束后张系统 .....                    | 33 |
| 六、钢绞线斜拉索系统 .....                      | 34 |
| 七、岩土锚固系统 .....                        | 37 |
| 八、张拉千斤顶 .....                         | 39 |
| 九、预应力的施加方法 .....                      | 40 |
| 十、主要特点 .....                          | 40 |
| <b>第三节 英国 CCL 体系</b> .....            | 41 |
| 一、概况 .....                            | 41 |
| 二、锚具 .....                            | 42 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 三、预应力的施加方法·····                   | 43 |
| 四、主要特点·····                       | 44 |
| <b>第四节 德国地伟达(DYWIDAG)体系</b> ····· | 47 |
| 一、概况·····                         | 47 |
| 二、锚具、连接器·····                     | 47 |
| 三、预应力的施加方法·····                   | 53 |
| 四、主要特点·····                       | 54 |
| <b>第五节 瑞士的 BBRV 体系</b> ·····      | 54 |
| 一、概况·····                         | 54 |
| 二、锚具、连接器·····                     | 55 |
| 三、预应力的施加方法·····                   | 59 |
| 四、主要特点·····                       | 60 |
| <b>第三章 国内主要预应力张拉锚固体系介绍</b> ·····  | 61 |
| <b>第一节 预应力粗钢筋张拉锚固体系</b> ·····     | 61 |
| 一、概述·····                         | 61 |
| 二、锚具、连接器·····                     | 61 |
| 三、张拉千斤顶·····                      | 63 |
| 四、预应力的施加方法·····                   | 63 |
| 五、主要特点·····                       | 63 |
| 六、注意事项·····                       | 63 |
| <b>第二节 预应力高强精轧螺纹钢张拉锚固体系</b> ····· | 63 |
| 一、概述·····                         | 63 |
| 二、锚具、连接器·····                     | 64 |
| 三、张拉千斤顶·····                      | 64 |
| 四、预应力的施加方法·····                   | 64 |
| 五、主要特点·····                       | 64 |
| 六、注意事项·····                       | 64 |
| <b>第三节 DM 型预应力张拉锚固体系</b> ·····    | 64 |
| 一、概述·····                         | 64 |
| 二、锚具、连接器·····                     | 64 |
| 三、张拉千斤顶·····                      | 67 |
| 四、预应力的施加方法·····                   | 68 |
| 五、主要特点·····                       | 69 |
| 六、注意事项·····                       | 69 |
| <b>第四节 LM 型预应力张拉锚固体系</b> ·····    | 69 |
| 一、概述·····                         | 69 |
| 二、锚具·····                         | 69 |
| 三、张拉千斤顶·····                      | 72 |
| 四、预应力的施加方法·····                   | 72 |
| 五、主要特点·····                       | 72 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 六、注意事项                    | 72  |
| <b>第五节 钢质锥型锚具</b>         | 73  |
| 一、概述                      | 73  |
| 二、锚具                      | 73  |
| 三、张拉千斤顶                   | 74  |
| 四、预应力的施加方法                | 74  |
| 五、主要特点                    | 75  |
| 六、注意事项                    | 75  |
| <b>第六节 XM 型预应力张拉锚固体系</b>  | 75  |
| 一、概述                      | 75  |
| 二、锚具                      | 75  |
| 三、张拉千斤顶                   | 77  |
| 四、预应力的施加方法                | 78  |
| 五、主要特点                    | 79  |
| 六、注意事项                    | 79  |
| <b>第七节 OVM 型预应力张拉锚固体系</b> | 79  |
| 一、概述                      | 79  |
| 二、锚具、连接器                  | 80  |
| 三、张拉千斤顶                   | 92  |
| 四、预应力的施加方法                | 99  |
| 五、主要特点                    | 101 |
| 六、注意事项                    | 101 |
| <b>第八节 HVM 型预应力张拉锚固体系</b> | 104 |
| 一、概述                      | 104 |
| 二、锚具、连接器                  | 104 |
| 三、张拉千斤顶                   | 120 |
| 四、波纹管                     | 124 |
| 五、预应力的施加方法                | 125 |
| 六、主要特点                    | 125 |
| 七、注意事项                    | 125 |
| <b>第九节 YM 型预应力张拉锚固体系</b>  | 126 |
| 一、概述                      | 126 |
| 二、锚具、连接器                  | 127 |
| 三、张拉千斤顶                   | 127 |
| 四、预应力的施加方法                | 128 |
| 五、主要特点                    | 128 |
| 六、注意事项                    | 128 |
| <b>第十节 XYM 型预应力张拉锚固体系</b> | 130 |
| 一、概述                      | 130 |
| 二、锚具、连接器                  | 130 |



|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| 三、张拉千斤顶 .....                        | 136        |
| 四、预应力的施加方法 .....                     | 136        |
| 五、主要特点 .....                         | 136        |
| 六、注意事项 .....                         | 136        |
| <b>第十一节 B&amp;S 型预应力张拉锚固体系 .....</b> | <b>137</b> |
| 一、概述 .....                           | 137        |
| 二、锚具、连接器 .....                       | 137        |
| 三、张拉千斤顶 .....                        | 141        |
| 四、预应力的施加方法 .....                     | 141        |
| 五、主要特点 .....                         | 141        |
| 六、注意事项 .....                         | 141        |
| <b>第十二节 TM 型预应力张拉锚固体系 .....</b>      | <b>142</b> |
| 一、概述 .....                           | 142        |
| 二、锚具、连接器 .....                       | 142        |
| 三、张拉千斤顶 .....                        | 146        |
| 四、预应力的施加方法 .....                     | 146        |
| 五、主要特点 .....                         | 146        |
| 六、注意事项 .....                         | 146        |
| <b>第十三节 STM 型预应力张拉锚固体系 .....</b>     | <b>146</b> |
| 一、概述 .....                           | 146        |
| 二、锚具、连接器 .....                       | 146        |
| 三、张拉千斤顶 .....                        | 148        |
| 四、预应力的施加方法 .....                     | 148        |
| 五、主要特点 .....                         | 149        |
| 六、注意事项 .....                         | 149        |
| <b>第十四节 BUPC 无粘结预应力筋张拉锚固体系 .....</b> | <b>149</b> |
| 一、概述 .....                           | 149        |
| 二、无粘结预应力筋的制作 .....                   | 149        |
| 三、锚具、连接器 .....                       | 150        |
| 四、张拉千斤顶 .....                        | 152        |
| 五、无粘结预应力施工技术要点 .....                 | 152        |
| 六、主要特点 .....                         | 154        |
| 七、注意事项 .....                         | 154        |
| <b>第十五节 JM 型预应力张拉锚固体系 .....</b>      | <b>156</b> |
| 一、概述 .....                           | 156        |
| 二、锚具 .....                           | 156        |
| 三、张拉千斤顶 .....                        | 156        |
| 四、预应力的施加方法 .....                     | 156        |
| 五、主要特点 .....                         | 156        |
| 六、注意事项 .....                         | 157        |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第四章 预应力材料</b> .....       | 158 |
| <b>第一节 混凝土</b> .....         | 158 |
| 一、高强混凝土 .....                | 159 |
| 二、高性能混凝土 .....               | 161 |
| <b>第二节 预应力筋</b> .....        | 166 |
| 一、钢筋 .....                   | 166 |
| 二、钢丝 .....                   | 168 |
| 三、钢绞线 .....                  | 168 |
| <b>第五章 预应力混凝土构件设计</b> .....  | 174 |
| <b>第一节 预应力混凝土结构分类</b> .....  | 174 |
| <b>第二节 预应力混凝土构件设计</b> .....  | 176 |
| 一、预应力混凝土构件设计的基本概念 .....      | 176 |
| 二、预应力筋的张拉控制应力 .....          | 177 |
| 三、钢筋的预应力损失 .....             | 178 |
| 四、预应力的效应计算 .....             | 187 |
| 五、预应力混凝土构件的变形、裂缝及疲劳计算 .....  | 192 |
| 六、锚固区计算 .....                | 202 |
| 七、构造要求 .....                 | 211 |
| 八、预应力混凝土构件的设计方法 .....        | 216 |
| <b>第三节 无粘结预应力混凝土结构</b> ..... | 223 |
| 一、无粘结预应力混凝土的发展概况 .....       | 223 |
| 二、无粘结预应力混凝土的基本概念 .....       | 223 |
| 三、无粘结预应力混凝土的优缺点 .....        | 224 |
| 四、无粘结预应力混凝土受弯构件的受力性能 .....   | 225 |
| 五、无粘结预应力混凝土受弯构件计算 .....      | 230 |
| 六、无粘结预应力混凝土受弯构件设计 .....      | 238 |
| 七、无粘结预应力混凝土的材料与锚固体系 .....    | 243 |
| <b>第四节 体外预应力混凝土结构</b> .....  | 244 |
| 一、体外预应力混凝土结构的发展概况 .....      | 244 |
| 二、体外预应力混凝土结构的概念及应用 .....     | 245 |
| 三、体外预应力混凝土结构的受力性能 .....      | 247 |
| 四、体外预应力混凝土结构的组成 .....        | 250 |
| <b>第五节 施工</b> .....          | 254 |
| 一、预应力钢筋的制作 .....             | 254 |
| 二、混凝土的浇筑 .....               | 256 |
| 三、预应力的施加 .....               | 257 |
| 四、先张法的有关规定 .....             | 259 |
| 五、后张法的有关规定 .....             | 260 |
| 六、后张孔道压浆 .....               | 262 |
| 七、预应力钢筋的一端张拉 .....           | 263 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 八、钢筋回缩产生预应力损失的补偿 .....           | 264 |
| 第六节 计算实例 .....                   | 265 |
| 一、预应力钢筋的张拉控制应力(力)、预应力损失的计算 ..... | 265 |
| 二、预应力钢筋的理论伸长值计算 .....            | 268 |
| 三、局部承压计算 .....                   | 268 |
| 第六章 质量检验与验收标准 .....              | 271 |
| 第一节 预应力筋 .....                   | 271 |
| 第二节 锚具、夹具和连接器 .....              | 273 |
| 第三节 管道 .....                     | 274 |
| 第七章 工程实例 .....                   | 276 |
| 第一节 简支梁 .....                    | 276 |
| 一、交通部标准图《装配式预应力混凝土斜空心板》 .....    | 276 |
| 二、上海市内环线高架路工程 .....              | 277 |
| 三、开封黄河公路大桥 .....                 | 278 |
| 四、卢阿普拉河大桥 .....                  | 278 |
| 五、浙江瑞安飞云江桥 .....                 | 279 |
| 六、灵武铁路黄河特大桥 .....                | 280 |
| 七、通西、京丰槽形梁桥 .....                | 281 |
| 八、长沙环线韶山路预弯预应力混凝土梁立交桥 .....      | 282 |
| 第二节 悬臂梁桥 .....                   | 284 |
| 第三节 T形刚构桥 .....                  | 285 |
| 一、广西柳州大桥 .....                   | 285 |
| 二、四川泸州长江大桥 .....                 | 285 |
| 三、福州洪山大桥 .....                   | 286 |
| 四、洪塘大桥 .....                     | 287 |
| 第四节 连续梁桥 .....                   | 289 |
| 一、广珠公路容奇大桥 .....                 | 289 |
| 二、厦门大桥 .....                     | 291 |
| 三、常德沅水大桥 .....                   | 292 |
| 四、上海市黄浦江奉浦大桥 .....               | 293 |
| 五、云南六库怒江大桥 .....                 | 295 |
| 六、宝申铁路黄河特大桥 .....                | 296 |
| 七、山西平顺县曲线连续箱梁桥 .....             | 297 |
| 八、上海市罗山路桥 .....                  | 299 |
| 第五节 刚构桥 .....                    | 300 |
| 一、山东东明黄河公路大桥 .....               | 300 |
| 二、黄石长江公路大桥 .....                 | 301 |
| 三、江西洪门大桥 .....                   | 303 |
| 第六节 斜拉桥 .....                    | 305 |
| 一、蚌埠淮河公路桥 .....                  | 305 |

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 二、上海杨浦大桥主桥 .....                                                    | 306 |
| 三、铜陵长江公路大桥 .....                                                    | 307 |
| 四、南京长江第二大桥南汊桥 .....                                                 | 308 |
| 五、武汉军山长江公路大桥主桥 .....                                                | 310 |
| <b>第七节 悬索桥</b> .....                                                | 311 |
| 一、汕头海湾大桥 .....                                                      | 311 |
| 二、江阴长江公路大桥主桥 .....                                                  | 312 |
| 三、虎门大桥 .....                                                        | 313 |
| <b>附录</b>                                                           |     |
| 一、国际预应力混凝土协会(FIP)后张预应力体系的验收建议 .....                                 | 315 |
| 二、美国标准(ASTM A421—91)预应力混凝土用无镀层消除应力钢丝 .....                          | 327 |
| 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) .....           | 331 |
| 四、英国标准(BS 5896—1980)预应力混凝土用高强钢丝和钢绞线 .....                           | 337 |
| 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 .....                        | 350 |
| 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 .....                       | 360 |
| 七、中华人民共和国国家标准(GB/T 14370—2000)预应力筋用锚具、夹具和<br>连接器 .....              | 372 |
| 八、中华人民共和国国家标准(GB/T 17101—1997)桥梁缆索用热镀锌钢丝 .....                      | 381 |
| 九、中华人民共和国国家标准(GB 4463—84)预应力混凝土用热处理钢筋 .....                         | 386 |
| 十、中华人民共和国交通行业标准(JT/T 329.1—1997)公路桥梁预应力钢绞线<br>用YM锚具、连接器规格系列 .....   | 390 |
| 十一、中华人民共和国交通行业标准(JT 329.2—1997)公路桥梁预应力<br>钢绞线用锚具、连接器试验方法及检验规则 ..... | 397 |
| 十二、预应力高强精轧螺纹粗钢筋设计施工暂行规定(交通部公路规划<br>设计院) .....                       | 408 |
| <b>参考文献</b> .....                                                   | 418 |

## 预应力技术概况

### 第一节 预应力混凝土的基本概念

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标号混凝土的作用。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。

#### 一、预应力及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。

## 二、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,但也存在某些缺点:

(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。

## 三、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

土设计强度的 70%, 以保证钢筋与混凝土间具有足够的粘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粘结作用, 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, 钢筋靠粘结力自锚, 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, 并使它与混凝土粘结成为整体。

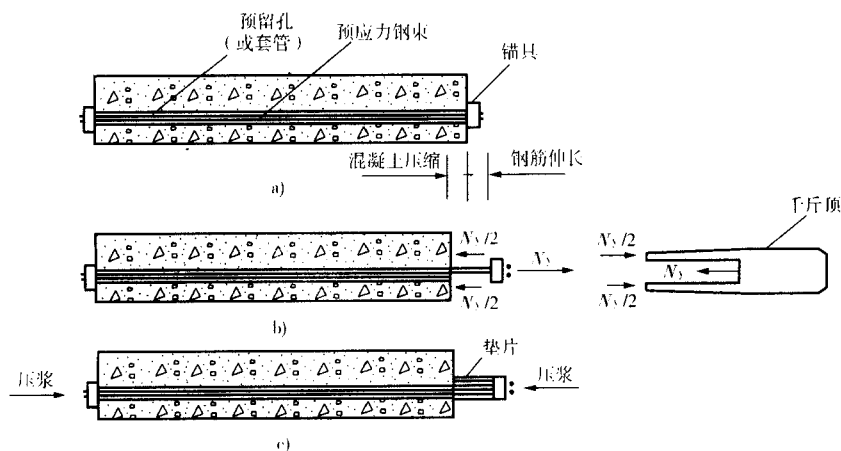


图 1-1-2 后张法工艺流程示意图

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

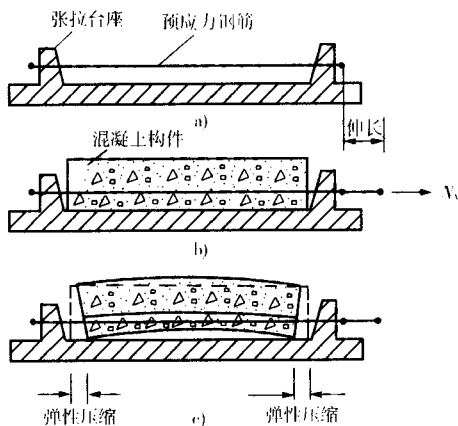


图 1-1-1 先张法工艺流程示意图

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

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:

- (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粘结自锚;
- (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。

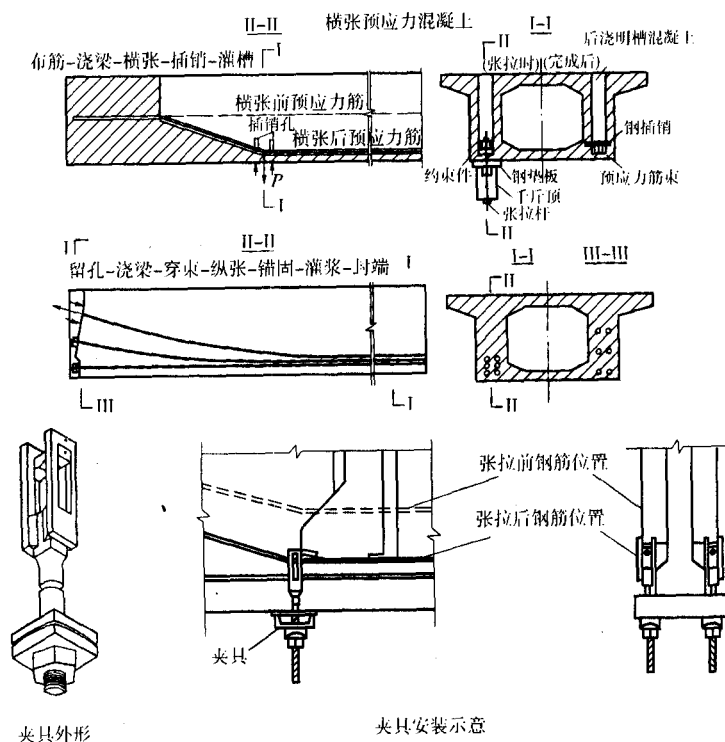


图 1-1-3 横张预应力示意图

#### 4. 电热法

这种方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,耗电量大,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

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粘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。

无论是先张法对预应力钢筋的临时固定,还是后张法对预应力钢筋的永久性锚固,都需要有锚具或夹具。

锚具、夹具是锚固预应力筋并保证预应力混凝土结构正常工作的一种装置。在后张法结

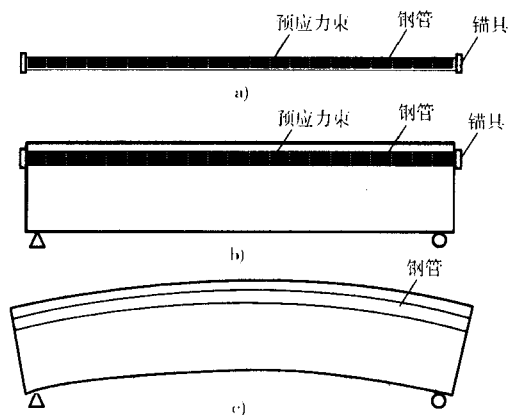


图 1-1-4 预拉预应力示意图

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