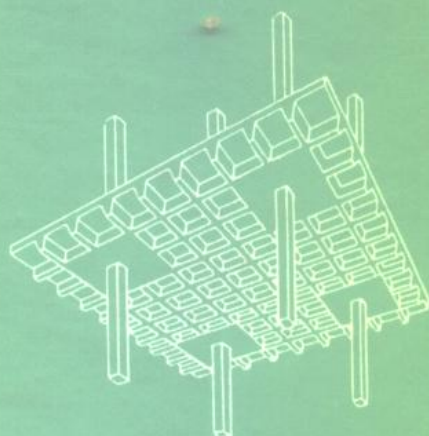
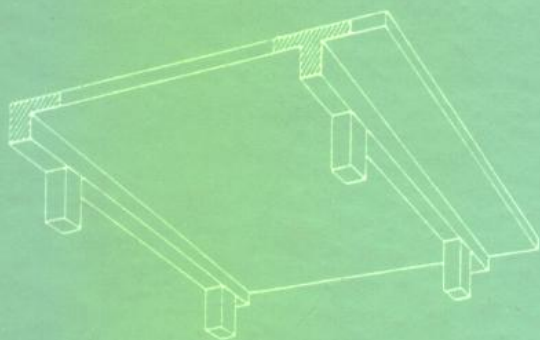


后张预应力 混凝土设计手册

中国建筑科学研究院 陶学康 主编



中国建筑工业出版社

后张预应力混凝土设计手册

中国建筑科学研究院 陶学康 主编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

本手册反映了我国后张预应力混凝土的最新成就,共 18 章。内容包括静定和超静定后张预应力结构的分析和设计、配筋构造要求,以及与施加预应力相关的特殊设计问题;还介绍了后张预应力混凝土新近的典型工程应用实例,并包含设计计算例题和设计参考资料等。

本书可供土建工程的设计、施工、监理、科研人员,以及高等院校土建专业师生阅读和作为参考工具书。

* * *

责任编辑 胡永旭

后张预应力混凝土设计手册

中国建筑科学研究院 陶学康 主编

*

中国建筑工业出版社 出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市顺义县燕华印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:26 字数:666 千字

1996 年 11 月第一版 1996 年 11 月第一次印刷

印数:1—5000 册 定价:40.00 元

ISBN 7-112-02953-8

TU·2254(8069)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

采用预应力混凝土是改善结构使用功能,节约钢材和能源,提高综合经济效益的重要措施。开发和推广预应力混凝土结构技术一直是建设部重点科技攻关项目,目前,“高效钢筋和预应力混凝土技术”是建设部“九五”期间重点推广应用的10项新技术之一。在建设部科技司“八五”科技研究项目中,还向中国建筑科学研究院下达了“后张预应力混凝土成套技术”的课题,该课题要求编写本手册,旨在贯彻国家的技术政策,适应经济建设的迫切需要,帮助广大设计、施工人员熟悉和掌握高效预应力混凝土结构技术,并给设计工作带来方便。在此手册问世之际,全体编写人员对建设部科技司的指导、支持和帮助,谨此表示衷心的感谢。

近十多年来,我国后张预应力混凝土在材料、工艺技术、设计理论和设计方法等方面均取得了重要进展,而无粘结预应力成套技术的开发,不断改进和完善,大大促进了后张预应力混凝土在我国的应用。目前,以采用高强钢丝和钢绞线,高强混凝土为特征的高效预应力混凝土正在我国迅速发展,已在大跨度屋架和屋面梁、大柱网多层厂房、大跨度公共建筑、高层建筑写字楼、高层住宅、储仓、水池、电视塔及桥梁等结构工程中得到了广泛应用。

编写本手册,将力求总结我国在理论和实践方面所取得的经验,并深入浅出,简明易懂,内容上做到理论与实际并重。希望设计施工人员在阅读本手册后,在进行预应力混凝土结构设计与时能获得一些实际帮助。

本手册按《混凝土结构设计规范》GBJ10—89和1993年、1996年局部修订,《混凝土结构工程施工及验收规范》GB50204—92,《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T92—93,《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ85—92以及《建筑抗震设计规范》GBJ11—89和1993年局部修订等相关规范编写,汇集了上述现行规范、规程有关预应力混凝土结构设计的条款和一些设计思想。还吸收了《铁路部分预应力混凝土梁设计及验收规定》TBJ106—91及《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTJ023—85的有关规定内容。此外,收集整理了国内外若干在预应力混凝土结构方面的新技术和科学试验成果;总结反映了我国历年来行之有效并经过实践考验的工程经验,或借鉴列出国外有关规范的规定供参考,从而使上述规范中有关条文得到实施、补充和延伸。有关张拉控制应力等几处,还列入了先张法的有关规定,以供对比用。

本手册第一篇分析和设计中的第一章至第十章、第十二章由陶学康研究员编写,第十一章预应力岩土锚杆系请杨宗放教授编写。本手册第二篇介绍国内已建成若干有代表性预应力混凝土工程的设计和施工经验。有关作者有:陶学康、郑锦明、陆祖欣、王霓、王逸、陈万里、王泰鹏、杨纪平、陈美善、邵康、周旭歧、霍焕德、王玉珍、张芩、余彬、潘振新、杜隆本、吕志涛、陈福泉、侯光瑜、胡庆昌、何明、裘函始、成卓民、倪一清、钱国祯、刘永颐、宋玉锁、谢理、陆馨沫、梁石根、钱志、蔡鲁生、王国栋、金宏、姜洪兴、郑麟、王大龄、汪祖培、张小玲、俞志雄、彭国忠、林波、张国才、张永才、蒋寿时、何沛德、方赛文、项剑锋、丁世伟、林炳南、蒋津、李勇、

黄如卉、彭宝华、庄军生。他们的工作单位将按工程项目出现先后次序在本手册有关章节中列出。谨此对各位专家、教授表示诚挚的谢意,感谢他们撰文介绍这许多宝贵的工程经验,与国内同行分享辛勤劳动的成果。

本手册第一章至第四章由中国建筑科学研究院白生翔研究员审阅,提出了许多宝贵的意见,在此一并表示谢意。本手册编成后由主编陶学康审定。

限于时间和水平,本手册中难免有缺点甚至错误,衷心希望读者提出批评指正,以便今后进一步充实、提高。

目 录

第一篇 分析和设计

第一章 总 论	2
1.1 预应力混凝土的原理及经济性	2
1.2 后张法施加预应力的方法	2
1.3 预应力混凝土的类型	3
1.3.1 预应力度度的定义	3
1.3.2 裂缝控制等级	4
1.4 采用部分预应力的优点	5
1.5 预应力混凝土结构设计	6
第二章 材 料	8
2.1 对预应力筋的要求	8
2.2 预应力筋种类	8
2.3 钢筋的力学指标	10
2.4 钢材的松弛	13
2.5 温度对钢材的影响	14
2.6 钢材的疲劳	15
2.7 防腐问题	16
2.8 对无粘结预应力筋的要求	17
2.9 对混凝土的要求	19
2.10 混凝土的力学性能	19
2.10.1 混凝土强度等级	19
2.10.2 混凝土各项设计指标	20
2.11 混凝土的收缩与徐变变形	21
2.11.1 混凝土的收缩变形	21
2.11.2 混凝土的徐变变形	22
2.12 温度对混凝土的影响	23
第三章 预应力损失、伸长值及应力计算	24
3.1 张拉控制应力及张拉程序	24
3.1.1 张拉控制应力	24
3.1.2 预应力值的允许偏差	24
3.1.3 张拉程序	24
3.2 预应力损失值计算	25
3.3 预应力钢筋的应力计算	32
3.4 预应力产生的混凝土法向应力 σ_{pc} 的计算	32
3.5 预应力钢筋及非预应力钢筋的合力及合力点偏心距的计算	32

3.6	总损失近似估计值	33
3.7	张拉伸长值计算与校核	34
第四章	预应力构件的一般设计	38
4.1	荷载效应组合	38
4.2	强度计算	38
4.2.1	受弯构件	38
4.2.2	矩形截面偏心受压构件	42
4.2.3	轴心受拉构件	44
4.2.4	矩形截面偏心受拉构件	44
4.2.5	局部受压承载力计算	46
4.2.6	疲劳强度验算	47
4.3	抗裂及裂缝宽度验算	49
4.3.1	预应力混凝土构件的正截面抗裂验算	49
4.3.2	预应力混凝土构件的裂缝宽度验算	52
4.3.3	预应力混凝土受弯构件的斜截面抗裂验算	56
4.4	受弯构件挠度验算	57
4.5	施工阶段验算	59
第五章	预应力混凝土梁的设计	61
5.1	概 述	61
5.2	常用截面形式	61
5.3	预应力混凝土截面分析	63
5.3.1	截面的弹性应力分析	63
5.3.2	截面抗弯效率	64
5.3.3	裂缝截面的应力分析	65
5.4	按弹性阶段估算预应力筋	67
5.5	按强度极限状态估算预应力筋	69
5.6	预应力筋的布置	70
5.7	挠度验算	71
5.8	设计步骤	73
5.9	构造	74
5.9.1	预应力筋的布置	74
5.9.2	非预应力筋的布置	75
5.9.3	有关部分预应力混凝土及无粘结预应力混凝土梁的构造要求	75
第六章	超静定预应力结构的设计计算原理	77
6.1	概 述	77
6.2	由后张预应力引起的主弯矩和次弯矩	77
6.2.1	弯矩——面积法	77
6.2.2	线性变换和吻合束	79
6.3	预应力引起的等效荷载	80
6.4	荷载平衡法	82
6.4.1	荷载平衡法的原理	82
6.4.2	荷载平衡法设计步骤	83

6.5 荷载平衡法在超静定结构中的应用	84
6.5.1 应用举例	84
6.5.2 应用中的几个实际问题	85
6.6 由预应力固端约束弯矩求次弯矩	86
6.7 弯矩重分配	89
第七章 后张预应力混凝土框架结构设计	90
7.1 概 述	90
7.1.1 应用简况	90
7.1.2 结构选型	90
7.2 设计原则及设计过程	91
7.2.1 设计原则	91
7.2.2 设计步骤	91
7.2.3 预应力筋用量估算	93
7.3 预应力筋的布置方式	94
7.3.1 框架梁中预应力筋布置	94
7.3.2 框架柱中预应力筋布置	97
7.4 有关束形几何关系的设计资料	98
7.4.1 抛物线相连接的几何关系	98
7.4.2 设计资料	99
7.5 构造设计	100
7.5.1 锚固区构造设计	100
7.5.2 梁柱节点铰接做法	103
7.5.3 开洞预应力混凝土框架梁洞口构造	104
7.6 变形计算	104
7.6.1 概 述	104
7.6.2 框架未出现裂缝时的变形计算	104
7.7 张拉顺序的影响	106
7.7.1 后张预应力框架施工过程	106
7.7.2 张拉顺序的影响	107
7.8 框架扁梁的应用	108
7.9 经济问题	108
第八章 后张无粘结预应力混凝土楼盖设计	109
8.1 概 述	109
8.1.1 无粘结预应力楼板体系	109
8.1.2 设计原则	110
8.2 无梁双向平板受弯设计	111
8.2.1 等代框架法	111
8.2.2 设计用表	113
8.2.3 等代框架的计算机模型	119
8.2.4 无粘结预应力筋的布置方式	119
8.2.5 非预应力钢筋的配置	122
8.2.6 平均预压应力	122
8.2.7 受弯承载力计算	123

8.3 无梁双向平板挠度计算	123
8.3.1 等代框架法用于柱支承双向板的变形计算	123
8.3.2 柱支承双向板挠度简化计算方法	124
8.4 冲切设计计算	124
8.4.1 无粘结筋对抵抗冲切荷载的有利影响	125
8.4.2 无粘结预应力混凝土板受冲切承载力计算	125
8.4.3 型钢剪力架设计方法	127
8.5 构造及施工要求	130
8.5.1 板的锚固区构造	130
8.5.2 其它构造及施工要求	132
8.6 无粘结预应力混凝土周边支承板	133
8.6.1 荷载平衡法的应用	133
8.6.2 条带法	134
8.7 后张预应力混凝土井式梁板结构	140
8.7.1 概 述	140
8.7.2 结构布置	140
8.7.3 设计计算与构造	141
第九章 后张结构的特殊设计和构造	144
9.1 构件端部的配筋构造	144
9.1.1 构件端部的受力特征	144
9.1.2 端部配筋构造	144
9.2 预应力筋改变方向处的特殊设计	146
9.3 后张 T 形梁的有效翼缘宽度	147
9.4 预应力钢筋间距及预留孔道	148
9.5 构件中的纵向非预应力钢筋	151
9.6 避免或减少约束力的构造设计	151
9.6.1 典型的张拉裂缝	151
9.6.2 减少约束力的构造设计	152
9.6.3 孔洞处无粘结筋的布置	155
9.7 扩大伸缩缝间距的可能性	156
9.8 分阶段后张法原理和力学性能	157
9.9 模板工程、拆模和二次支撑	158
9.9.1 模板工程	158
9.9.2 拆模和二次支撑	158
9.10 楼板凿孔与开洞	159
9.11 后张结构的防火	160
9.11.1 钢材和混凝土在高温下的特性	160
9.11.2 预应力混凝土构件的耐火试验结果	160
9.11.3 耐火期的设计	162
9.11.4 对各类防火级别最小尺寸的建议	163
第十章 抗震设计和计算	165
10.1 概 述	165
10.2 预应力混凝土的抗震性能	166

10.2.1 阻尼	166
10.2.2 预应力混凝土的弯矩-曲率滞回曲线	166
10.2.3 无粘结预应力混凝土结构抗震性能的特点	167
10.3 预应力混凝土截面延性的定义和影响因素	168
10.3.1 预应力混凝土截面延性的定义	168
10.3.2 影响预应力混凝土截面延性的因素	169
10.4 强柱弱梁延性抗弯框架的形成	172
10.5 预应力混凝土框架节点抗震设计	174
10.5.1 概述	174
10.5.2 预应力混凝土框架节点受剪承载力计算	174
10.5.3 预应力节点抗震设计	175
10.6 等代框架中楼板计算宽度取值	176
10.7 板柱节点不平衡弯矩的传递	177
10.7.1 板柱节点不平衡弯矩的传递过程	177
10.7.2 破坏截面极惯性矩及计算系数 α_0 计算公式	178
10.8 在地震区应用的其它设计要求	179
第十一章 预应力岩土锚杆	182
11.1 预应力锚杆设计	182
11.1.1 锚杆类型	182
11.1.2 锚杆布置	183
11.1.3 锚杆的承载力	184
11.1.4 锚杆的整体稳定性	185
11.1.5 锚杆防腐设计	187
11.1.6 计算实例	187
11.2 预应力锚杆施工	191
11.2.1 钻孔	191
11.2.2 杆体(预应力筋)的组装与安装	192
11.2.3 注浆	192
11.2.4 张拉与锁定	193
11.2.5 可拆型锚杆	193
11.3 预应力锚杆试验	195
11.3.1 基本试验	195
11.3.2 验收试验	196
11.3.3 锚杆监测	197
第十二章 设计计算例题	198
12.1 24m 后张法预应力混凝土屋架下弦杆的设计计算	198
12.2 21m 跨后张法部分预应力混凝土屋面梁计算	201
12.3 18m 跨预应力混凝土框架梁设计计算	210
12.4 9m×9m 柱网无粘结预应力混凝土双向板设计计算	220

第二篇 工 程 应 用

第十三章 高层建筑	230
------------------------	------------

13.1	高层建筑后张预应力楼盖结构	230
13.2	厦门国际金融大厦预应力混凝土楼面结构设计	241
13.3	上海申鑫大厦无粘结预应力混凝土楼板设计	246
13.4	预应力混凝土桁架在高层建筑转换层中的应用	250
第十四章	低层大跨建筑	254
14.1	无粘结部分预应力混凝土在大跨度井字梁中的应用	254
14.2	闵行工人俱乐部影剧场预应力混凝土三向网格梁屋盖结构工程	261
14.3	多跨连续预应力混凝土门式刚架结构设计施工	265
14.4	预应力混凝土在首都速滑馆工程中的应用	271
第十五章	多层建筑	279
15.1	北京市劳保用品公司大楼无粘结预应力混凝土平板结构工程	279
15.2	32m 大跨度高效预应力混凝土多层框架设计与微振分析	283
15.3	12m×12m 柱网预应力混凝土大平板、框架新结构	287
第十六章	特种结构	293
16.1	珠江水泥厂大型后张预应力混凝土筒仓	293
16.2	无粘结预应力筋在混凝土圆形煤仓中的应用	297
16.3	2500m ³ 预应力混凝土球形水塔	302
16.4	预应力混凝土卵形消化池	308
16.5	混凝土电视塔中预应力技术的应用	314
16.6	核电站安全壳结构设计概要	320
16.7	核电站预应力混凝土安全壳模型试验及分析研究	326
16.8	跨度 140m 飞机修理库门架后张预应力混凝土拉梁的设计	332
16.9	无锡市体育场大跨度预应力悬挑梁设计	339
第十七章	工程加固	343
17.1	钢筋混凝土大梁高效预应力加固法	343
17.2	无粘结预应力加固大型设备基础——将独立基础转化为筏式基础	349
17.3	桦树川水库左岸山体滑坡预应力锚索加固	352
第十八章	桥梁	361
18.1	后张预应力混凝土在公路桥梁上的运用和发展	361
18.2	我国铁路预应力混凝土桥梁的发展	368
附录		379
附录一	钢筋的冷拉特性	379
附录二	钢筋的计算截面面积及公称质量	380
附录三	《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223—1995 摘要	381
附录四	《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224—1995 摘要	385
附录五	《预应力混凝土用金属螺旋管》JG/T 3013—94 摘要	389
附录六	《钢绞线、钢丝束无粘结预应力筋》JG3006—93 摘要	393
附录七	《无粘结预应力筋专用防腐润滑脂》JG3007—93 摘要	397
附录八	预应力混凝土结构设计分析软件 PFA 简介	399
参考文献		402

第一篇 分析和设计

第一章 总 论

1.1 预应力混凝土的原理及经济性^[2,7]

预应力混凝土结构构件一般是通过张拉预应力筋的回弹挤压,使混凝土截面受到某种量值与分布的内压力,以局部或全部抵消使用荷载应力。在被张拉的预应力筋中存在预拉应力。因此,预应力是为改善结构构件的裂缝和变形性能,在使用前预先施加的永久性内应力,且钢材中的拉应力与混凝土中的压应力组成一个自平衡系统。

在预应力混凝土刚出现时,被称为是一种新的与普通钢筋混凝土不同的材料,其可用于制造无拉应力及裂缝的混凝土构件。在使用阶段的不变荷载和活荷载作用下,预应力可用来抵消纵向拉应力。可是,在横向由于剪力、承压和锚固作用亦存在拉应力。当出现横向拉应力时,很少有预应力构件在所有方向均施加预应力,因此在预应力构件中还是有拉应力存在。再说在多数构件中也无需将纵向拉应力限制到零,这样做是不经济的。

将预应力混凝土看成带有某些附加特点的普通钢筋混凝土是很实际的。推动采用预应力混凝土的主要优点是节约材料。预应力钢材的抗拉强度约为普通钢筋的四倍,但一般来说价格则不到普通钢筋的四倍。因此,以每承受 10N 荷载的费用计,预应力钢材是更经济的材料。高强钢材也不能有效地用于普通钢筋混凝土中,因为钢材的大应变会引起过大的裂缝宽度。预张拉钢材可解决这个问题,其通过张拉操作消除过大的应变,允许使用高强钢材而不产生大的裂缝宽度。

预应力不能提高混凝土构件的强度。预应力构件常使用高强混凝土,这些构件承载力的提高得益于高强混凝土,而不是预加应力。

通过消除使用荷载下形成的多数裂缝,预加应力能大为改善混凝土构件的耐久性。

预应力在控制混凝土构件的挠度方面是很有用的。因为它产生与荷载挠度反向的挠度。与同样尺寸的非预应力构件相比,预应力使总挠度显著减小。在普通钢筋混凝土中,裂缝截面的有效惯性矩仅为毛截面的一半,通过控制裂缝,预应力也使混凝土的截面更为有效。这些优点允许设计人员在预应力构件中采用相对大的跨高比。但也常引起挠度问题,其原因是采用了过大的跨高比。

在预应力混凝土中,引起重视的挠度问题可能是过大的反拱或向上的挠度。这出现在使用阶段施加预应力过大的构件中。现行的规范已给设计人员更多的余地,使得不只局限于应力方面的考虑,还应根据挠度情况选择预应力大小。

1.2 后张法施加预应力的方法^[2,43]

根据张拉预应力筋与浇筑混凝土的先后次序,分为先张法和后张法两大类。但其本质差

别却在于对混凝土构件施加预应力的途径,先张法通过预应力筋与混凝土之间的粘结力施加预应力;而后张法则通过锚具施加预应力。先张法主要用于预制构件中,张拉操作需专门台座,一般在预制厂中制作,多用于中小型装配构件;后张法虽可用于预制构件中,但更为普遍地用于现浇结构构件,因为现浇的大型建筑和桥梁不便于运输。在复杂的结构中,如连续构件、曲线形结构、壳体和其它的三维结构,先张法是不适用的,应采用后张法施加预应力。当然,这些结构提出了有趣和复杂的分析设计问题。在超静定预应力结构中,由于存在次弯矩使得预加力的压力线与预应力筋线是不重合的。

在有的结构中,后张法可以与先张法相配合使用。例如在结构中要求采用很多同样大小的构件,则应用先张法对它们在工厂中进行制造是经济的;当将这些构件运到现场安装就位后,还可使用后张法施加预应力将它们联成整体,形成一个结构。

1. 粘结的预应力筋束(图 1-2-1a)

在浇筑混凝土之前,在模板内按所要求的形状,安装好不透水的金属管道或护套,管道要用细铁丝绑扎在梁内非预应力箍筋上,以防意外位移,然后浇筑混凝土,预应力筋可以在浇筑混凝土之前装入金属管道,或在混凝土达到一定强度后穿入管道。在张拉锚固后,在空心管道内一端以高压把水泥浆压入管道内,至压浆持续到另一端出浆为止,管道压浆要求密实。压浆确保预应力筋与管道内壁粘结,可改善构件的抗裂性能,保护预应力筋不被锈蚀。

2. 无粘结的预应力筋束(图 1-2-1b)

如果在管道内不灌浆而以油脂充填,使预应力筋沿全长与管道内壁不粘结在一起,张拉力直接由锚具传到构件混凝土上去,此即为无粘结预应力筋束。无粘结预应力筋采用挤压涂塑工艺制作而成。施工中可在浇筑混凝土之前将无粘结预应力筋像普通非预应力钢筋一样铺设在模板内,当混凝土达到一定的强度后,方可张拉和锚固预应力筋。该技术正在居住建筑、办公楼和停车库结构的楼盖系统中获得日益增多的应用,其具有非常好的建筑功能和经济效益。无粘结预应力筋的张拉操作在板的周边进行。

3. 施加预应力的其他方法

施加预应力的其他方法为,采用膨胀水泥给结构施加预应力,使用扁千斤顶将连续结构或拱架结构的支座顶起或向下紧固,以及电热法张拉钢筋等。

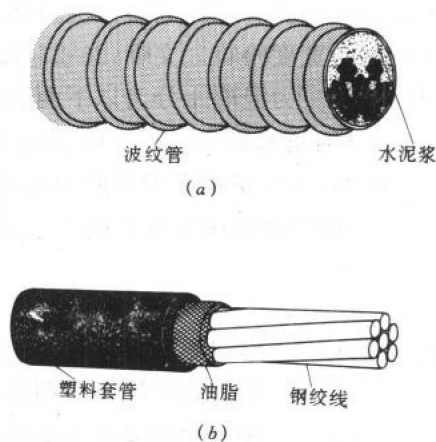


图 1-2-1 粘结和无粘结预应力筋束

- (a) 多根钢绞线有粘结束;
(b) 单根无粘结预应力筋

1.3 预应力混凝土的类型

1.3.1 预应力度度的定义^[5.27,36]

1. 受弯构件预应力度度的表达式

$$\lambda = M_0/M \quad (1-3-1)$$

式中 M_0 ——消压弯矩,即使构件控制截面受拉边缘应力抵消到零时的弯矩,可取为 $M_0 = \sigma_{pc} \cdot W_0$, W_0 为换算截面受拉边缘的弹性抵抗矩;

M ——荷载(不包括预应力)的短期效应组合下控制截面的弯矩,通常用 M_{sc} 表示,如果截面不开裂,则 $M_{sc} = \sigma_{sc} \cdot W_0$ 。

因此,当框架大梁等受弯构件截面不开裂时,式(1-3-1)可改变为下式:

$$\lambda = \sigma_{pc} / \sigma_{sc} \quad (1-3-2)$$

按预应力度划分:

全预应力混凝土 $\lambda \geq 1$

部分预应力混凝土 $1 > \lambda > 0$

钢筋混凝土 $\lambda = 0$

这里部分预应力采用了广义的定义,包括限值预应力与部分预应力两个部分。限值预应力指拉应力没有达到混凝土抗拉强度的设计值;部分预应力指混凝土拉应力没有限制,但应进行裂缝宽度验算。文献[25-27]按照荷载的短期效应组合下正截面混凝土的应力状态,又将部分预应力混凝土分为以下两类:

A类:正截面中混凝土的拉应力不超过规定的限值,如对受弯构件为 $0.5\gamma f_{tk}^{[27]}$;

B类:允许正截面中拉应力超过规定的拉应力限值,但裂缝宽度不超过规定值。

2. 预应力度按强度比的表达式

$$i = \frac{A_p f_{pyk}}{A_p f_{pyk} + A_s f_{yk}} \quad (1-3-3)$$

式中 A_p ——控制截面处预应力筋截面面积;

A_s ——控制截面处普通钢筋截面面积;

f_{yk} ——普通钢筋强度标准值;

f_{pyk} ——预应力钢筋强度标准值(残余变形为0.2%时的条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$)。

1.3.2 裂缝控制等级

《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)对预应力混凝土的抗裂性分为严格要求不出现裂缝、一般要求不出现裂缝和容许出现裂缝三类,裂缝控制等级分别属一级、二级和三级,对前两类的计算方法用应力控制。

1. 对一级严格要求不出现裂缝的构件,不论按荷载的短期效应组合或按荷载长期效应组合计算,其受拉边缘混凝土均不应产生拉应力,即要求:

$$\sigma_{sc} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (1-3-4)$$

2. 对二级一般要求不出现裂缝的构件:

(1) 按荷载的短期效应组合计算时,应符合:

$$\sigma_{sc} - \sigma_{pc} \leq \alpha_{ct} \gamma f_{tk} \quad (1-3-5)$$

(2) 按荷载的长期效应组合计算时,应符合:

$$\sigma_{lc} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (1-3-6)$$

式中 σ_{sc}, σ_{lc} ——荷载的短期效应组合、长期效应组合下抗裂验算边缘的混凝土法向应力;

σ_{pc} ——扣除全部预应力损失后在抗裂验算边缘混凝土的预压应力;

α_{ct} ——混凝土拉应力限制系数,按结构工作条件分别取为0.3或0.5;

γ ——受拉区混凝土塑性影响系数;

f_{tk} ——混凝土的抗拉强度标准值。

该分级方法将预应力度和荷载组合联系起来,使预应力度成了一个随荷载而改变的相对概念。这样,设计人员根据需要,如在正常使用极限状态下,按短期荷载效应组合下设计成为允许产生拉应力,甚至出现一定宽度裂缝的一些结构,在长期荷载效应组合下可转变为全预应力或限值预应力截面的结构。

1.4 采用部分预应力的优点^[7,8]

相同配筋率不同预应力度有粘结适筋梁的弯矩-挠度曲线如图 1-4-1 所示。在荷载的短期组合作用下,受弯构件最大弯矩截面底纤维混凝土拉应力等于零时属于全预应力梁,其弯矩-挠度曲线为图中 1;钢筋混凝土梁的曲线为图中 3;在荷载的短期组合作用下,最大弯矩截面底纤维混凝土拉应力正好等于 γf_{tk} 时限值预应力梁的曲线为图中 2。介于全预应力混凝土与钢筋混凝土两个极端之间的部分即为广义的部分预应力混凝土,包括限值预应力与部分预应力两个部分。在实际设计中,荷载挠度曲线一般都落在 1 和 2 之间,或略低于曲线 2 的范围内。

预应力混凝土构件分类汇总见表 1-4-1。

为实现部分预应力有多种方法,在采用钢绞线或碳素钢丝的构件中,采用高强度预应力筋与非预应力普通钢筋(Ⅱ、Ⅲ级变形钢筋)混合配筋,是当前部分预应力普遍的方法。由于非预应力筋有利于控制裂缝和挠度的发展,故结构延性性能好。

部分预应力结构的优点主要有:

(1) 全预应力设计常由使用荷载下不出现拉应力的条件控制,其受弯承载力安全系数往往偏大,浪费钢材。部分预应力有利于节约预应力筋。

(2) 全预应力结构,特别是在恒载小活荷载大的条件下会发生长期反拱的问题。这是由于预压区混凝土长期处于高压应力状态引起的徐变,使反拱不断增长的缘故。部分预应力结构由于预加力较小,可避免过大的长期反拱问题。

(3) 与钢筋混凝土结构相比,部分预应力混凝土具有适量的预应力,在正常使用状态下,其裂缝经常是闭合的。即使当全部活荷载偶然出现时,构件将出现裂缝,但这些裂缝将随活荷载的移去而闭合或仅有微裂缝。可见裂缝对部分预应力结构的危害性并不象对钢筋混凝土结构那样严重,因为后者的裂缝始终存在且不闭合的。

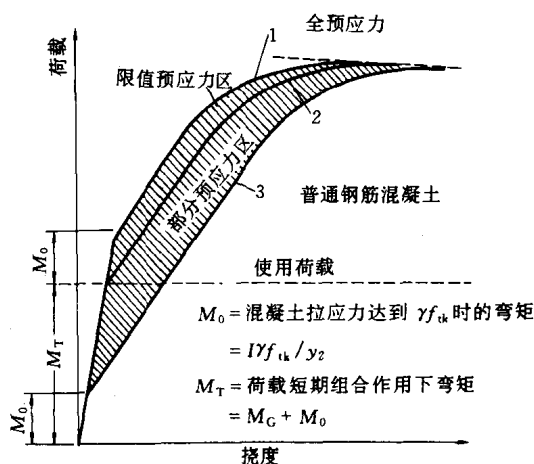


图 1-4-1 不同预应力度同样配筋率有粘结适筋梁的弯矩-挠度曲线

1—在 M_T 作用下最大弯矩截面底纤维拉应力=0 的全预应力梁的曲线;2—在 M_T 作用下最大弯矩截面底纤维拉应力等于 γf_{tk} 的限值预应力梁的曲线;3—系钢筋混凝土梁的弯矩-挠度曲线

预应力混凝土构件分类^[47]

表 1-4-1

分类	预应力度	裂缝控制等级	构件受拉边缘混凝土应力	变形曲线
全预应力混凝土构件	$\lambda \geq 1$	一级——严格要求 不出现裂缝的构件	按荷载的短期效应组合计算时,不出现拉应力,即 $\sigma_{sc} - \sigma_{pc} \leq 0$	图 1-4-1 曲线 1 及以上
部分预应力混凝土构件 (广义)	$1 > \lambda > 0$	二级——一般要求 不出现裂缝的构件	按荷载的长期效应组合计算时,不出现拉应力,即 $\sigma_{lc} - \sigma_{pc} \leq 0$;按荷载的短期效应组合计算时,控制拉应力在一定范围内,即 $\sigma_{sc} - \sigma_{pc} \leq \alpha_{cr} \gamma f_{tk}$	曲线 2 和 1 之间
		三级——允许出现 裂缝的构件	最大裂缝宽度按荷载的短期效应组合并考虑长期效应的影响进行计算,不大于允许值,即 $w_{max} \leq [w]$ [w]——裂缝宽度允许值	曲线 2 和 3 之间
钢筋混凝土构件	$\lambda = 0$			曲线 3

(4) 部分预应力结构由于配置有普通钢筋,在破坏时呈现的延性和能量吸收能力,较全预应力结构好,对结构抗震有利。

(5) 当构件支座不能自由滑动时,全预应力构件的纵向缩短(收缩与徐变),由于受相邻构件的约束而引起的拉应力能造成严重的裂缝。此外,当预压应力过大时会发生沿预应力筋方向的水平裂缝。解决的有效方法是改用部分预应力以降低预压应力。

以上可见,全预应力混凝土结构在加筋混凝土中并不一定是最佳方案,存在的一些缺点主要是由于预应力高强钢材的性能和预加力过大所引起的。采用混合配筋以降低预应力度并用普通钢筋来控制开裂后结构的裂缝与挠度是克服全预应力缺点的有效方法。所以,部分预应力混凝土既具有全预应力混凝土与钢筋混凝土二者的一些主要优点,又基本上排除了两者的主要缺点,现已成为加筋混凝土系列中的主要发展趋势。

1.5 预应力混凝土结构设计

预应力混凝土结构设计师的目的是建造安全、适用、耐久、经济和美观的结构。为达到这些目的,结构工程师必须掌握控制预应力混凝土性能的基本原则。

可以将设计工作分为三个有区别但又相互关联的阶段,即概念设计,分析以及截面设计和结构构造。概念设计在整个设计过程中是最关键和富于创造性的步骤,这时要选择结构类型,规定初步几何尺寸和预应力筋束形,以及确定设计荷载。在满足所要求结构功能的同时,作出一项设计,它将综合反映出利用艺术、经验、施工工艺、直觉知识和创造才能。在多数情况下,工程师主要依据已有的经验,以取得在某特定情况下最经济的设计。

在分析阶段,实际的结构将简化为构件的组合物,并确定在这些构件中荷载的分布方式。通过计算求得整个结构的内力分布规律。在分析阶段,通常作线弹性假定,并采用有效的现代结构分析技术,包括平面框架、空间框架、有限元素法等通用的计算机程序。

在截面设计和结构构造阶段,研究结构构件对计算内力的反应,校核构件的几何尺寸,确定所需预应力筋和普通钢筋的数量,以及确定配筋细节。在该设计阶段,工程师必须考虑