

Post-Tensioning Manual

后张预应力混凝土手册



美国后张预应力混凝土学会 著
华东预应力混凝土技术开发中心 译

东南大学出版社

后张预应力混凝土手册

美国后张预应力混凝土学会 著

华东预应力混凝土技术开发中心 译

杨宗放 吕志涛等 校



东南大学出版社

内 容 提 要

本书根据美国后张预应力混凝土学会编著的《后张预应力混凝土手册》第四版(1985年)译出。全书内容包括:后张预应力混凝土应用、后张预应力体系、规程、预应力岩层与土层锚杆的建议、后张预应力结构的分析和设计、构造与施工、后张结构的防火,并附有设计参考资料等。该手册全面反映了美国后张预应力混凝土的最新成就,实用性强,可作为从事预应力混凝土房屋、桥梁、水利等土木工程的设计、施工、科研人员,以及高等院校土建专业师生的参考工具书。

Post-Tensioning Manual

Fourth Edition 1985

By Post-Tensioning Institute, U. S. A

后张预应力混凝土手册

美国后张预应力混凝土学会 著

华东预应力混凝土技术开发中心 译

杨宗放 吕志涛等 校

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号)

东南大学印刷厂印刷

开本850×1168 毫米1/16 印张:18.75 字数453千

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

印数:1—6000册

ISBN7—81023—274—6

TU·17 定价:8.80元

责任编辑:刘柱升

译 者 的 话

预应力是土木工程中得到广泛应用的一项适用技术。发展高效预应力混凝土结构,扩大使用功能,节约钢材是我国基本建设中的一项基本政策。20世纪80年代,我国预应力技术从单个构件发展到预应力结构新阶段,后张预应力混凝土有了迅速的发展。为了进一步推动后张预应力技术的发展,我们在编写出版《现代预应力混凝土工程实践与研究》一书的同时,组织人力翻译出版美国后张预应力混凝土学会(PTI)著的《后张预应力混凝土手册》(Post-Tensioning Manual)。

美国《后张预应力混凝土手册》第一版于1972年问世,并分别于1976、1981年和1985年出了二、三、四版。这本手册内容丰富,实用性强,具有较高的参考价值,在世界各地广为发行传播。本书根据该手册第四版译出,内容包括:后张预应力混凝土在房屋、桥梁和特种结构等工程中的最新应用;主要生产厂商提供的后张预应力体系;预应力钢材、后张有粘结和无粘结预应力规程;预应力岩层锚杆、土层锚杆、树脂锚杆及防腐蚀措施;后张预应力结构的分析、设计、特殊作法和计算例题;后张结构的构造设计与施工方法;后张预应力结构的防火试验与设计;以及后张连续结构的弯矩系数、预应力损失等设计资料。该书在翻译过程中,删去了部分照片图及少数生产厂商的后张预应力体系。

本书各章译者及其单位:

第一章 张寿庠(东南大学);

第二章 裘厚岳(上海市纺织建筑公司)、张寿庠、杨宗放(东南大学);

第三章 梁为祥、杨宗放(东南大学);

第四章 左晓昱(中国建筑技术发展中心);

第五章 张苓、潘祖珉、余雨生、陈寿华等(华东建筑设计院);

第六章 马世良(南京市第三建筑工程公司);

第七章 孟少平(东南大学);

附录 吕志涛、王友权(东南大学)。

全书审校者:杨宗放、吕志涛、张寿庠、陈寿华与孟少平同志。书中插图由梁为祥和刘群等同志绘制。

限于时间和业务水平,书中可能有错误或不妥之处,热忱希望读者批评指正。

华东预应力混凝土技术开发中心

1989.10.

地址:210018 南京 东南大学内

第 四 版 序 言

预应力混凝土的现代发展，归功于法国的欧仁·弗莱西奈(Eugene Freyssinet)。他首先在1928年将高强钢丝用于后张或先张预应力混凝土梁。1939年，弗莱西奈设计出锥形锚具，用于锚固后张预应力构件端部的钢丝。1940年，比利时麦涅尔(Magnel)教授开发了麦涅尔后张体系。后张法的进一步发展，由于第二次世界大战而中断。但是在战后年代里，由于缺乏钢材，促进了预应力混凝土在欧洲遭战争破坏的桥梁修复工程中的应用。

在美国和加拿大，预应力混凝土工业以实用为目的始于20世纪50年代初期。它的早期发展在公路桥梁中以采用工厂预制的预应力构件为主要趋向。但是，值得注意的是，有不少工程中，还是采用了后张预应力混凝土结构。60年代在加利福尼亚州及西部其他诸州，后张预应力混凝土箱形梁桥居于主导地位。与此同时，在房屋建筑的楼盖体系中广泛地采用了无粘结预应力筋；并且在膨胀土上和压缩土上建造的单独住宅和集体住宅中采用了后张预应力基础，以及在各种向后或向下锚固的结构工程中采用了预应力岩层锚杆和土层锚杆，这显示了后张法新的应用方向。20世纪60年代，后张法也开始应用于核反应堆容器。由于这些新的市场需要，以及在工程师、建筑师和业主中更广泛地了解后张法的优点，因此在1965~1985年期间，后张法的应用，增加了百分之四百以上。后张法的用途有了显著增长，其在经济和结构方面的优点包括：降低结构的高度；不透水的、实际上无裂缝的混凝土板；控制结构的挠度；现浇混凝土的美学潜力；以及成本低的大跨度结构等。除了上述优点之外，后张法应用的增长与后张预应力材料厂家能力的发展也是分不开的，因为这些厂家提供了各种服务与材料以满足各式各样工程的需要。负责供应和安装后张预应力材料的公司，有多年成功经验的经历，他们可以为建筑师、工程师和承包商提供帮助。

后张预应力结构体系应用的持续并高速增长，以及在过去四年中新技术的发展和建筑规范的修改，有必要进行本书的第四次修订。本书第三版中所包括的后张法金属配件或体系、规程、以及设计、构造和施工等这次均进行了修订，以反映当前的实践经验。新规程中包括了无粘结构预应力筋，并修订了岩层和土层锚杆的建议。本手册第四次修订本的出版，希望能有助于对后张预应力混凝土提供的各种结构、经济和美学等优点增加了解和有效利用。

目 录

第一章 后张预应力混凝土应用

1.1 概 述	(1)
1.2 低层建筑	(1)
1.2.1 乔治·莫斯科尼展览中心	(1)
1.2.2 罗兹曼住宅楼	(2)
1.2.3 派斯大学图书馆	(2)
1.2.4 布朗与罗特中央广场办公大楼	(3)
1.3 多层建筑	(3)
1.3.1 大陆公园广场大厦	(3)
1.3.2 西北太平洋贝尔办公大楼	(4)
1.3.3 达拉斯市市政中心	(4)
1.3.4 塔瓦中心大楼	(5)
1.4 高层建筑	(5)
1.4.1 沿河大厦	(5)
1.4.2 派克南广场公寓大厦	(6)
1.4.3 加拿大西部广场大厦	(7)
1.4.4 能源中心大厦	(8)
1.4.5 海容广场办公兼住宅大楼	(8)
1.5 停车库结构	(10)
1.5.1 新奥尔良巨型穹顶车库结构	(10)
1.5.2 运输中心停车库结构	(11)
1.5.3 威廉广场西停车库	(11)
1.5.4 哥伦布航空港国际机场停车库结构	(12)
1.5.5 斯波肯国际机场停车库结构	(13)
1.6 后张预制装饰混凝土	(14)
1.6.1 市民银行中心大楼	(14)
1.6.2 西赛地区学院大楼	(15)
1.6.3 国际航空广场大楼	(15)
1.7 看台建筑	(16)
1.7.1 卡盖尔体育场和竞技场的看台	(16)
1.7.2 檀香山公园的看台建筑	(16)
1.8 受拉构件	(17)
1.8.1 后张预应力拉力环	(17)
1.8.2 后张预应力系梁	(17)
1.8.3 闸门的锚固结构	(18)
1.9 预应力岩层与土层锚杆	(18)
1.10 基础、路面和地面板	(20)
1.10.1 板式基础	(20)

1.10.2 梁式条形基础	(20)
1.10.3 膨胀土或压缩土上的后张预应力 混凝土板	(20)
1.10.4 商业与工业建筑的后张预应力 混凝土地板	(21)
1.10.5 公路路面和飞机场跑道	(22)
1.11 桥 梁	(22)
1.11.1 现浇混凝土桥	(22)
1.11.2 分段预制悬臂桥	(23)
1.11.3 分段浇注悬臂桥	(24)
1.11.4 钢索斜拉桥	(26)
1.11.5 高速交通桥	(27)
1.11.6 桥梁的修复和更换	(28)
1.12 蓄水池	(29)
1.12.1 水处理用蓄水池	(29)
1.12.2 西北蓄水池	(30)
1.13 核反应堆容器	(31)
1.14 特种应用	(32)
1.14.1 分阶段后张法	(32)
1.14.2 浮动结构	(33)
1.14.3 凯盖雷奥林匹克马鞍形圆屋顶运动场	(34)

第二章 后张预应力体系

2.1 概 述	(36)
2.1.1 钢丝体系	(36)
2.1.2 钢绞线体系	(36)
2.1.3 钢筋体系	(37)
2.2 体系设计和细部资料	(37)
2.2.1 亚美西西哥公司	(37)
2.2.2 理查森施工公司 CCL 工程部	(39)
2.2.3 CEC 体系公司	(44)
2.2.4 大陆混凝土结构公司	(47)
2.2.5 狄威达格体系国际公司	(50)
2.2.6 金斯塔结构有限公司	(63)
2.2.7 普雷斯康公司	(65)
2.2.8 康马公司史脱莱斯梯克工程部	(74)
2.2.9 VSL 公司	(79)

第三章 规 程

3.1 后张预应力材料的指导性规程 (96)

3.1.1 总 则 (96)

3.1.2 范 围 (96)

3.1.3 定 义 (96)

3.1.4 预应力钢材 (97)

3.1.5 有粘结预应力筋 (97)

3.1.6 无粘结预应力筋 (98)

3.1.7 支承应力 (99)

3.1.8 静载与动载试验 (100)

3.1.9 规程合格性要求 (101)

3.2 无粘结单根钢绞线预应力筋规程 (101)

3.2.1 总 则 (101)

3.2.2 预应力钢材 (102)

3.2.3 锚具和连接器 (103)

3.2.4 套 管 (104)

3.2.5 防腐涂料 (104)

3.2.6 安装要求 (106)

3.2.7 预应力筋张拉 (107)

3.2.8 预应力筋的端头处理 (108)

3.3 后张预应力混凝土灌浆的施工建议 (108)

3.3.1 总 则 (108)

3.3.2 材 料 (109)

3.3.3 孔 道 (110)

3.3.4 设 备 (110)

3.3.5 水泥浆的搅拌 (111)

3.3.6 灌 浆 (111)

3.3.7 温 度 (112)

3.3.8 水泥浆流动性试验方法(流锥法) (112)

3.4 美国材料试验协会 (ASTM) 标准 (114)

3.4.1 ASTM A 421-80标准 (114)

3.4.2 ASTM A 416-80标准 (118)

3.4.3 ASTM A722-75标准(1981年修订) (123)

第四章 预应力岩层与土层锚杆的建议

4.1 范 围 (129)

4.2 定 义 (129)

4.3 岩层锚杆 (130)

4.3.1 描 述 (130)

4.3.2 设 计 (131)

4.3.3 制 作 (132)

4.3.4 钻 孔 (134)

4.3.5 不透水性 (134)

4.3.6 穿束和锚杆灌浆 (134)

4.3.7 锚杆的试验和张拉 (135)

4.3.8 验收标准 (138)

4.3.9 长期监测 (139)

4.3.10 记 录 (139)

4.4 树脂锚杆 (139)

4.4.1 描 述 (139)

4.4.2 树脂性质 (140)

4.4.3 设计标准 (141)

4.4.4 安 装 (141)

4.5 土层锚杆 (142)

4.5.1 描 述 (142)

4.5.2 设计依据 (144)

4.5.3 制 作 (146)

4.5.4 钻孔与安装 (146)

4.5.5 锚杆的试验及张拉 (149)

4.5.6 验收标准 (150)

4.5.7 长期监测 (150)

4.5.8 记 录 (150)

4.5.9 锚杆放松 (150)

4.6 防腐蚀措施 (151)

4.6.1 引 言 (151)

4.6.2 材 料 (151)

4.6.3 保护体系 (152)

4.7 锚杆作业委托书 (154)

第五章 后张预应力结构的分析和设计

5.1 概 述 (155)

5.2 分 析 (155)

5.2.1 由后张预应力引起的主弯矩和次弯矩 (155)

5.2.2 弯矩——面积分析法 (156)

5.2.3 等效荷载分析法 (157)

5.2.4 荷载平衡分析法 (159)

5.2.5 极限强度分析 (161)

5.3 设 计 (161)

5.3.1 构件的初始尺寸 (161)

5.3.2 预应力筋的形式和布置 (161)

5.3.3	预应力损失	(161)
5.3.4	使用荷载设计	(163)
5.3.5	抗弯强度	(164)
5.3.6	抗剪强度	(166)
5.3.7	单向板的抗弯和抗剪	(167)
5.3.8	无梁平板的抗弯和抗剪	(169)
5.4	特殊设计和构造	(177)
5.4.1	锚固区	(177)
5.4.2	体积变化的约束	(178)
5.4.3	配有无粘结预应力筋的梁和单向板的灾害荷载	(180)
5.4.4	后张T形梁的有效翼缘宽度	(181)
5.4.5	分阶段后张法	(182)
5.5	设计实例	(184)
5.5.1	单跨现浇T形梁	(184)
5.5.2	双跨现浇T形梁	(190)
5.5.3	停车库单向板结构	(201)
5.5.4	平板结构公寓	(207)

第六章 构造与施工

6.1	概 述	(220)
6.2	构造设计	(220)
6.2.1	单向板	(221)
6.2.2	梁	(221)
6.2.3	单向小梁	(221)
6.2.4	双向平板	(221)
6.2.5	带柱顶托板的双向板	(226)
6.2.6	双向密肋板(华夫板)	(226)
6.2.7	锚固区的构造设计	(226)
6.2.8	避免或减少约束力的构造设计	(227)
6.3	施 工	(228)
6.3.1	模板工程	(228)
6.3.2	预应力筋放置	(228)
6.3.3	混凝土浇筑	(230)
6.3.4	张拉操作	(230)
6.3.5	检查指南	(231)
6.3.6	灌 浆	(232)
6.3.7	模板拆除和二次支撑	(232)
6.3.8	端部锚具保护	(232)
6.3.9	楼板凿孔与开洞	(232)

第七章 后张结构的防火

7.1	概 述	(234)
7.1.1	目 的	(234)
7.1.2	建筑结构与材料的标准耐火试验 (ASTM E119)	(234)

7.2	混凝土和钢材在高温下的特性	(235)
7.2.1	高温下钢材的强度	(235)
7.2.2	高温下混凝土的强度	(235)
7.3	美国进行的18个试件标准耐火 试验结果	(236)
7.3.1	防火研究所(FPRI)的试验	(236)
7.3.2	保险实验公司(UL)试验	(237)
7.3.3	波特兰水泥协会(PCA)的试验	(237)
7.3.4	国家标准局(NBS)的试验	(237)
7.4	试验数据的分析	(238)
7.4.1	板的数据分析	(238)
7.4.2	梁的数据分析	(240)
7.4.3	保护涂料	(242)
7.5	高温下预应力筋-锚具组装件的 试验结果分析	(242)
7.5.1	预应力筋-锚具组装件的拉伸试验	(242)
7.5.2	保护层对预应力筋及锚具影响的耐火试验	(244)
7.5.3	不同包裹材料对无粘结预应力筋影响的 耐火试验	(245)
7.6	对各类防火级别的最小尺寸的建议	(245)
7.6.1	板	(245)
7.6.2	梁	(246)
7.6.3	锚具的防护	(247)
7.7	合理的设计方法	(247)
7.7.1	简 述	(247)
7.7.2	耐火期的设计	(248)
7.7.3	例 题	(249)
7.8	耐火试验结果汇编	(254)

附录

附录1	后张连续结构的弯矩系数	(264)
附录2	摩擦损失	(282)
附录3	计算锚具回缩影响公式的 推导	(284)
附录4	混凝土材料性能	(286)
附录5	预应力钢材的性能	(287)
附录6	焊接钢丝网的材料性能	(288)
附录7	美国标准钢筋的参数	(289)

计 量 单 位 缩 写 词

in (inch) 英寸

ft (foot, feet) 英尺

yd (yard) 码

lb (pounds) 磅

Kip (Kilopound) 千磅

t (ton) 吨

psi (pounds per square in) 磅/英寸²

K 或 Ksi (Kilopounds per square in) 千磅/英寸²

pst (pounds per square foot) 磅/英尺²

pct (pounds per cube foot) 磅/英尺³

plf (pound per foot) 磅/英尺

ml (mil) 千分之一英寸

hp (horse power) 马力

MW (Megawatt) 兆瓦

A (ampere) 安培

V (Vector) 伏特

rpm (revolution per minute) 转/分

ppm (parts per million) 百万分率

F (degree of Fahrenhelf) 华氏温度

h (hour) 小时

d (day) 天

第一章 后张预应力混凝土应用

1.1 概 述

在本章中，将举一些专门的工程实例，说明由于采用后张法预应力混凝土是有益的，从而得到了广泛的应用。在某些例子中，在描述工程的同时，也涉及一些典型的施工方法及其细节。在各种不同例子中所述及的预应力筋的型式及尺寸，作为有代表性的应用。但是，在许多情况下，也可以采用其他型式和尺寸的预应力筋，而不必拘泥于本章所举例子中的解答。后张预应力筋的三种基本型式，将在第二章中给予简要的论述。

1.2 低层建筑

1.2.1 乔治·莫斯科尼(George Moscone)展览中心

地址：加利福尼亚州 旧金山(San Francisco, California)

这一展览中心，占据了整个街区，它距旧金山市区很近。展览中心大厅净空高37 ft，面积为261 000 ft²，整个大厅没有柱子。所设计的屋盖结构可承受3 ft厚土层或三层轻型框架房屋。大厅长800 ft，宽300 ft，由8对预应力混凝土拱支承，形成一个巨大的无柱地下空间。该展览大厅是世界上同类建筑中的最大者(图 1.1)。

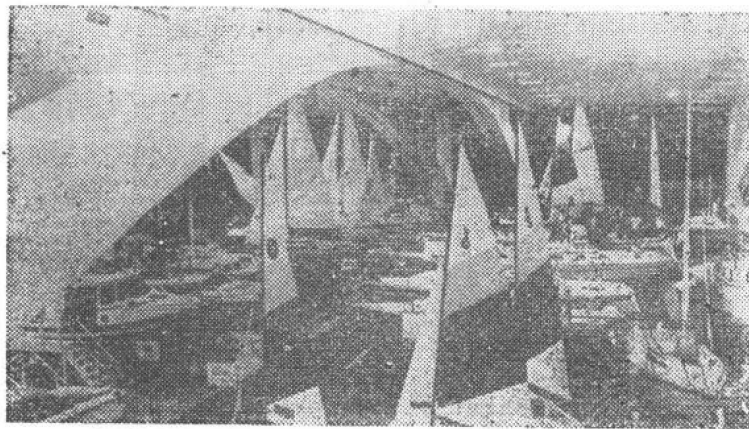


图 1.1 美国加州旧金山市乔治·莫斯科尼展览中心

这些拱的设计和施工的成功，有赖于采用后张预应力拉杆。拉杆的设计有以下三个特色。首先由于拱的推力高达6 000t，地基承受不了，因而采用了多根钢绞线束作拉杆承受此

推力。第二,拉杆使拱脚向内移动 $3\frac{1}{2}$ in,从而使拱顶向上拱起4 in。这一过程是在屋顶加载到400 psf后进行的。当所有恒载和活荷载共达800 psf时,预计拱顶就可恢复到原来设计位置。第三,埋设于6 ft厚的大体积混凝土基础中的钢绞线束是竖向曲线形的(向上突起),从而产生向下力,这有助于平衡由地下水所产生的向上浮力,地下水位高于大厅完工后地坪10 ft。后张预应力同样有利于保证拱脚与地基混凝土层之间水平剪力的传递。为此目的,在拱脚与地基混凝土之间设置了斜向和环形钢绞线束。

1.2.2 罗兹曼(Rothman)住宅楼

地址: 犹他州 艾尔它市(Alta, Utah)

该住宅楼的楼面面积为5900ft²,这可能是第一次在住宅建筑的大面积楼面和屋面施工中采用后张法预应力混凝土结构。如图1.2所示。

选择这一结构体系和建筑体系是基于以下几点要求:

1. 能提供一种适应房屋有着曲线外形的体系。

2. 对于采用大跨度同时又能承受极大的雪荷载这样的特殊设计条件,能提供一种结构体系。

3. 提供一种能抵抗恶劣的山区气候的外装修,并且可由一道斜坡直达屋前空地。

4. 能保证建筑外装修的颜色和风格与其四周场地上凸起的天然岩石的风格协调一致。

5. 提供一种与结构体系直接联系的内装修,而不再需要诸如吊天花等额外的内部装修。

因此,只有采用外露的现浇混凝土体系才有可能满足以上要求。

曾经对采用普通混凝土体系和采用后张法预应力混凝土体系的预算进行了比较,证明该工程采用后张预应力混凝土体系最为经济。其理由是:(1)减少了板的厚度;(2)由于减少了结构自重,因此也就相应地减少了基础的尺寸;(3)由于减少了地震质量,因而也就减少了剪力墙的数量和尺寸;(4)取消了围绕屋顶天窗的额外的加筋和梁;(5)由于后张预应力体系的特点,使得大跨度平板的设计才有可能实现,附带的好处是可以控制外露平板底部的裂缝。

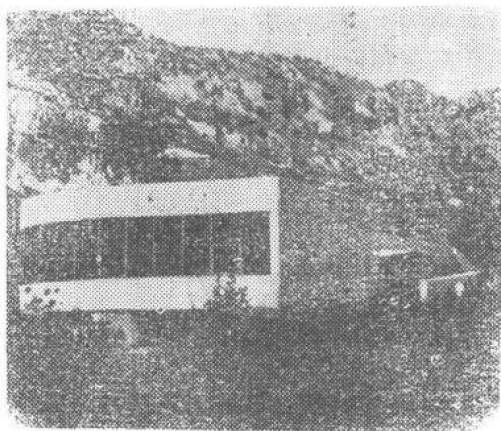


图 1.2 犹他州艾尔它市的罗兹曼住宅楼

1.2.3 派斯(Pace)大学图书馆

地址: 普列桑地维列(Pleasantville)

派斯大学图书馆,原设计和中标的结构为钢框架结构,该设计最低标价为95万美元。后来重新设计,改为后张法预应力混凝土结构。楼面采用后张法预应力平板,屋盖采用后张法预应力梁与单向板,从而将造价降低到70万美元,即降低26%。二楼书库楼面采用 $7\frac{1}{2}$ in厚的后张法预应力平板,带柱帽,设计活荷载为150 psf。阅览室活荷载为60 psf,楼板也为

7- $\frac{1}{2}$ in, 但无柱帽。平板的跨度, 在两个方向均为 22 ft 6 in。屋面板为单向板, 跨度为 22 ft 6 in, 板厚 6 in。支承在 11 in $\times$ 16 in 的梁上, 梁和板均为现浇后张预应力, 屋面坡度为 22°。

1.2.4 布朗与罗特 (Brown and Root) 中央广场办公大楼

地址: 德克萨斯州 豪斯顿市 (Houston, Texas)

豪斯顿市 布朗与罗特 中央广场办公大楼面积为 60 万 ft², 共计三层。它有着独特的外形, 被称为“砂漏式”(译者注: 一种古时的计时器), “蝴蝶结式”或“蝴蝶式”建筑。根据这样的解说, 该建筑是由两个三角形建筑彼此对顶相接并连接在一个正方形的中心建筑所组成。这一蝴蝶结式建筑用铝合金穹顶和有机玻璃天窗分割开, 从一端到另端全长为 500 ft, 因此, 它可解决该建筑全部三层楼主要内通道的采光。内走廊两边采用 6 座跨线栈桥彼此连接, 栈桥同时也是二楼和三楼天井的组成部分。在蝴蝶结式建筑的两端, 设有 6 个圆柱形舱, 装有为整个建筑服务的机械设备与支承设备, 开放的内走廊形成可供 2300 个雇员活动的开敞空间。中心部分的地面, 装有自动扶梯和服务间, 形成门厅并供雇员进出。

结构是从原来的普通钢筋混凝土结构改为后张预应力混凝土结构, 因而节约了混凝土 2 800 yd³, 建筑高度降低 16 in, 并且降低造价 50 万美元。由于该建筑不平常的外形, 使得每个三角形(由该建筑半边对开, 形成四个三角形之一)中每根阁栅和每根梁都不一样, 因此标准化的阁栅、梁和柱的数量极少。这一不平常的、非标准的建筑外形, 要求采用计算机对三个方向的风荷载、重力和温度应力进行全面的分析比较, 以确定设计所需的内力和弯矩。蝴蝶结式建筑的中心部分的设计为一独立的框架结构, 包括跨度为 75 ft、悬挑为 25 ft 预应力重型梁, 框架仅用 8 根柱支承。由于建筑物的外形, 决定了每层楼面的施工划分为五个部分——中心部分和四个三角形。每个三角形分成五个浇灌工段。每个三角形建筑的平均工期为 19 天。起初规定每层楼的施工期为 20 天, 但后来尽管设计方案变更需要额外时间, 但整个结构还是比原计划提前了一周完工。

1.3 多层建筑

1.3.1 大陆 (Continental) 公园广场大厦

地址: 加利福尼亚州 西根图 (El. Segundo, California)

大陆公园广场大厦工程是由一座租用面积约为 52 万 ft² 的六层办公大楼和附近一座能容纳 1770 辆汽车的 9 层汽车库组成。车库还包括设于屋顶上的健身房和网球场, 建筑面积约为 50 万 ft²。总面积接近 110 万 ft² 的楼板全部采用后张法预应力混凝土。由于该大厦外形不规则并采取逐步向后收缩的台阶式设计, 故需要一个柔性的楼面体系来适应每一层都不相同的楼面并能协调一致, 以保持经济和施工速度不受影响。标准的开间尺寸为 32 ft $\times$ 32 ft。由于层高的限制极为严格, 不可能采用其他结构体系。由于房主要每层天花高度为 9 ft, 故设备的配合也很为重要。楼面体系按活荷载 75 psf 及附加恒载 25 psf 进行设计, 为房客提供最大的适应性。标准的阳台和平台的悬臂长度为 12 ft 4 in。厚度为 8- $\frac{1}{2}$ in 的后张法预应力混凝土

土平板楼面体系,可以满足以上所有的设计要求。停车库结构采用后张法预应力梁和楼板体系。整个工程从基础到屋顶的全部混凝土工作,不到15个月即全部完工。

1.3.2 西北太平洋贝尔(Pacific Northwest Bell)办公大楼

地址:华盛顿州 贝尔由(Bellevue, Washington)

西北太平洋贝尔办公大楼的楼面面积为 47.6万 ft^2 。该大楼包括计算机机房、行政办公室和程序工作室以及各种供应部门。该大楼是按三个要求各不相同的部门——即计算机房、办公室和汽车库组合在一座房子里进行设计的。每个部门都有对环境安全和工作模式的不同要求,难点在于如何将这三个不同的部门紧密结合到一座建筑物中。解决这一问题所采取的方法是将行政管理部门跨架于计算机房和停车库之上,形成一奇特的集合建筑。采用线条的强烈对比,以便区分上部的行政管理部门和下部的支承结构,并在下部结构的外墙上涂上彩色。

后张法预应力混凝土大量用于以下三个部位:预制外围剪力墙、大跨度外围窗下墙梁、大跨度楼板阁栅。

主楼剪力墙采用预制构件,在预制场进行水平方向的预应力张拉,而在现场进行竖直方向的预应力张拉,与现浇的混凝土框架相连接,以形成竖直隔墙。墙板采用双向预应力,可以增加墙的抗剪强度。支承于办公塔楼两侧的外围后张预应力墙梁的净跨度为 85ft。跨度为 60ft 的预应力阁栅,也支承在墙梁上。用于下面停车库上的楼板阁栅,与支承在办公塔楼上的预应力阁栅相同,跨度也为 60ft,因而使柱所形成的障碍减为最小。停车库的后张预应力板能满足裂缝的控制值,并可控制净跨度为 60ft 阁栅的挠度。

1.3.3 达拉斯市市政中心

地址:德克萨斯州 达拉斯市(Dallas, Texas)

达拉斯市新的市政大厦,示于图 1.3。曾经被誉为达拉斯市的“勇敢象征”,并被列入

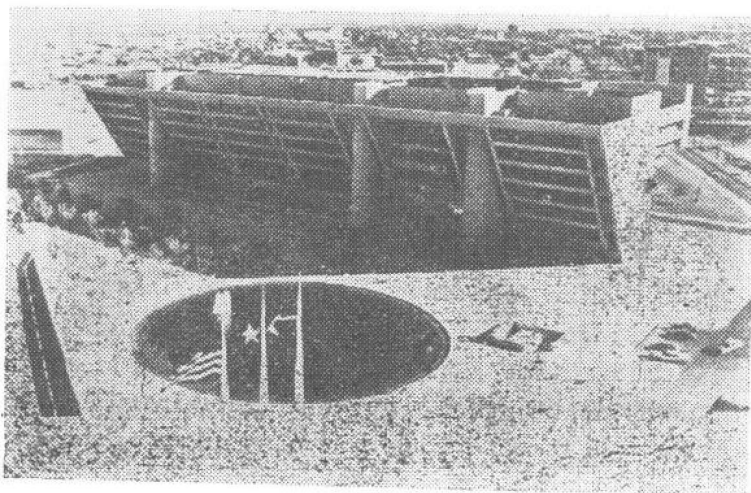


图 1.3 德克萨斯州达拉斯市市政中心

美国新型建筑分册。该结构巨大而雄伟,造型大胆创新,但手法又简洁而细致。这是一个有着旺盛生机、充满活力的大城市的象征和创造。。

该建筑中最令人惊叹的景观则是倾斜坡度为 34° (2:3)的北面大墙,它悬臂伸出于广场之中,象一个巨大雕塑。斜面是利用水平的和竖直的双向后张预应力得到稳定,14座巨大承重墙也采用同一办法处理。为了简化装置和控制造价,同样也是为了保持表面均称的整体形象,埋设在管道中的预应力筋,是在下端和北端组成环状锚固,这样可容许在上端或南端进行张拉。这就避免了通常在建筑物的前面底部进行锚固的做法。竖直方向的预应力,从悬臂的北面增强了结构的抗倾覆力,也允许逐级增加应力,当承重墙段在锚固面张拉后,容许模板从悬伸面处拆除。承重墙的水平后张体系,也可采用同样工艺。

在核心部位面积为77万 ft^2 的办公室楼面体系。同样支于中心墙上。采用将近600根后张预应力T形梁,梁高3ft,梁的间距为4ft 8 in。梁间装有横隔板,横隔板间距为4ft 8 in,组成外露的网格形天花,中间镶装方形灯光固定器。后张预应力T形梁跨度达到65ft 4 in,采后可重复使用10次以上的玻璃纤维模壳成型。

1.3.4 塔瓦中心 (Terracentre) 大楼

地址: 科罗拉多州 丹佛市 (Denver, Colorado)

15层高的塔瓦中心大楼的平面只能选择四方形,以适应窄小的建筑用地(图1.4)。由于该大楼底部采用了逐层收缩的方案,形成金字塔形的效应,并与州府建筑的景观相适应。从州议会大厦望去,使人感觉该建筑巨大。外露混凝土的内表面和外表面具有外露的骨料与板纹相融合的特色。该大楼可供租用的总面积为16万 ft^2 ,各层楼的办公室面积从5300 ft^2 到15000 ft^2 不等。塔瓦中心大楼的楼盖平板采用了后张预应力,这使得采用较长的悬臂以悬挂幕墙以及形成较大的无柱的自由空间成为可能。

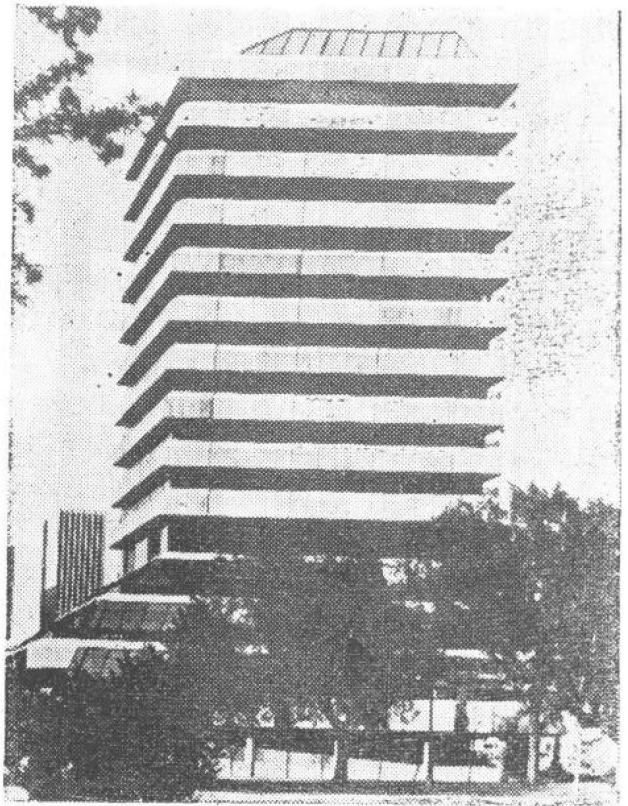


图 1.4 塔瓦中心大楼

1.4 高层建筑

1.4.1 沿河大厦 (Riverplace)

地址: 明尼苏达州 明尼厄坡市 (Minneapolis, Minnesota)

沿河大厦包括一座24层的出租住宅大楼和一座16层豪华公寓,两者都设有4层以上的停

车库,工程总面积为 621 700ft²。

独特的出租住宅大楼的楼盖设计中采用了在一个方向上不规则的柱网。为便于铺设预应力筋,采用一种简单的布置方式,即预应力筋在一个方向仅布置在柱上板带而在另一方向均匀布置。对于跨度在 32ft 以内的楼面,采用厚度为 8in 的后张法预应力混凝土平板。

为取得市区的高空景观和沿河景观的优化方案,塔楼以 45° 倾斜角度自上而下直到车库。为保证车流有规则的进入车库,在车库上面的平台上矗立两根表示终止的大柱,柱子支于高度为 108in 的后张预应力传力梁上。梁分三阶段张拉,以逐步控制反拱和平衡应力。

建筑形式导致了一个非常复杂的向后收缩的台阶体系,在某些情况下甚至在 28ft 开间的跨度中后缩。由于建筑需要限制结构厚度,以防止在这种向后收缩处可能产生的悬臂。因此,在第 1, 2 和 3 层楼面上插入一些中间支柱。为支承这些柱子,基本厚度为 8 in 的后张预应力板需要加厚到 10 in,或者采用预应力扁梁给予加劲。

本工程选用后张预应力结构的主要原因是比较经济地满足建筑要求。从以下几点可以看出,采用这种结构体系可降低成本。

1. 建筑高度——由于采用了后张预应力,使楼板的厚度达到结构上的最薄程度,同时由于整个建筑物的高度下降,从而使得外围的幕墙、剪力墙、柱、内隔间以及设备层、电梯间的高度都相应地有所降低。

2. 施工速度——后张预应力混凝土平板采用飞模施工,并允许在冬季施工,每五天一个循环。

3. 结构造价——由于采用了后张预应力混凝土平板,跨度与板厚之比达到 45 至 48,故所用混凝土量为最小,因而恒载较轻,结果使柱和基础的造价也有所下降。

4. 装修——由于采用后张预应力,平板平整无裂缝,可直接在板底粉刷天花板。

5. 防火性能——无需再加防火保护层。

6. 结构体系的重复使用——整个工程使用了同样的结构体系,使得施工人员的工作得以连续从而提高了工作效率。因此,虽然建筑如此复杂,但是该工程的工期和造价均降到了最低限度。

1.4.2 派克南广场 (Parklane Plaza) 公寓大厦

地址:德克萨斯州 豪斯顿市(Houston, Texas)

该大楼为 35 层,建筑面积为 40 万 ft² (图 1.5),正方形,边长为 105 ft,四角为圆弧。此圆角部分是悬挑出来的,一个方向为 18ft,另一方向则为 12ft。楼面为 8in 厚的后张预应力混凝土平板,从中心筒的剪力墙向外伸展到边柱。由于建筑上的要求,中部柱网尺寸定为 42 ft × 30 ft,柱网按此要求布置。如此大的柱网,加上双向悬挑边角,这几乎是最复杂的平板设计。中心筒所占面积内装置电梯

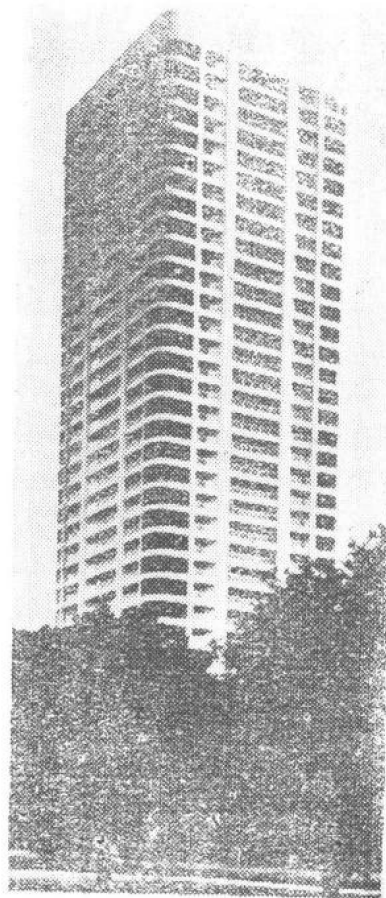


图 1.5 派克南广场公寓大厦

以及其他设备,中心筒面积为 42ft 4in 平方,剪力墙厚18in。

由于建筑上要求采用大跨度,故后张预应力平板对此建筑而言是最为经济的方案。由于采用后张预应力轻混凝土板,柱子与基础也与楼板本身一样,降低了造价。由于采用大开间和悬挑跨度而产生的应力和挠度,设计时必需加以认真的分析和严格的控制。

双向悬挑,导致角区的应力最大。采取的措施是在对角线上加一普通钢筋混凝土板梁,梁的两端支承在挑悬角边的两边柱子上,梁也采用后张预应力,从而控制了悬臂角边的应力,并且非常巧妙的使得后张预应力带分布在建筑物的四周。这一设计非常有效,使得悬臂的跨度在楼面对角线方向减小到 8ft。分布在楼面对角线上面和底部的钢筋穿过板梁,承受悬臂部分的荷载。后张预应力筋分布在楼板的边缘,并延伸到转角处,使板处于受压状态,并形成无裂缝的悬臂板。由于在转角处采用了双向悬挑角边的特殊构造设计,因此,对预制窗间墙的尺寸要求非常精确,各种设备管道系统的尺寸也要求精确,这点非常重要。施工进度为每周一层楼,未考虑天气影响和节假日以及机械设备故障等因素。为保证这些特殊要求的实施,专门做了一个足尺的标准模型,将所有该埋入的预应力筋、钢筋、管道等统统都放进去,这样预先解决了楼面结构施工中所有的矛盾。因此,在35层楼面施工中,每个循环都未发生失误现象,未超过规定的工期,也没有一块预埋件放错位置。

1.4.3 加拿大西部广场大厦 (Western Canadian Place)

地址:加拿大 艾尔贝他 卡盖尔
(Calgary, Alberta, Canada)

加拿大西部广场大厦,见图 1.6,由两座塔楼组成,一座高41层,另一座高31层。两座办公塔楼在四层以下内部连通起来,连通部分包括三层正厅和商店。地下停车场只有两层。总建筑面积为 1 420 000 ft²,框架结构体系与宽翼缘的扁梁和楼盖体系结合,梁的最大跨度达 40ft。楼板厚度在 7 到 8- $\frac{1}{4}$ in 之间,梁的高度为18到21in。开敞的弧形边角,是为了解决后张预应力的要求而专门设计的。

该工程完工以后,根据租用者的要求而提出了修改意见,承租者要求大约在10个楼层范围内加设楼梯间。楼梯间尺寸约为 14ft×14ft。这无须特别支撑很容易从后张预应力楼板中分割出来,甚至可以无需另设支承梁。仅要求设计者在开设楼梯间时要避开梁的位置及不在端跨开设。这点对于原设计并无特别



图 1.6 加拿大西部广场大厦

不可克服的约束。正是由于楼盖采用了后张预应力的缘故,在开设楼梯间问题上,无论是造价也好,设计也好,均没有引起障碍。

在两座塔楼内,共有64个办公机构和设备层,第一层于1981年11月开始灌注混凝土,而最后一层则在1982年11月灌注混凝土。尽管施工期间经过寒冷的冬季,但还能有如此高的施工速度,采用后张预应力是极为重要的因素。整个工程共计用了直径为0.6in的后张预应力钢绞线1 465 000lb。

1.4.4 能源中心(Energy Centre)大厦

地址:路易斯安那州 新奥尔良市(New Orleans, Louisiana)

座落在新奥尔良市区的能源中心大厦,是一座39层塔式高层建筑。该大厦包括7层汽车库和建于车库之上的32层办公楼。该大厦的结构体系为现浇混凝土后张预应力框架,核心部分设有剪力墙。该建筑总面积约为110万 ft^2 。塔楼的建筑面积为816 800 ft^2 ,楼内每一标准层面积为25 525 ft^2 。停车库可容纳近630辆汽车,车库与办公用塔楼之间用一设备夹层将它们分隔开来。能源大厦的设计特点如下:

(1) 该大厦设计要求很大的空间,净跨要达到42ft。天花板高9ft,天花板上面的供暖与通风管道、照明及自动灭火装置等为2ft 3in。这样,楼板到楼板间的高度要保证为12ft 6in。考虑到结构体系的经济性以及满足以上的功能要求,故选择了后张预应力轻混凝土梁板楼盖。

(2) 楼面框架跨度为42ft,采用高度为14in的后张预应力变截面加腋梁和厚度为5in的后张预应力楼板,楼板在两道梁之间的跨度为20ft。

(3) 该大厦外形为独特的平行四边形,要求每层楼上至少要有12间无柱的、凸出窗户的房间,要求楼板向外悬挑10ft,这部分楼板厚8in,承受楼面以及花岗石外贴面的荷载。

(4) 控制悬挑部分的挠度,是经过仔细研究的,采用双向荷载平衡,以防止由于活荷载和长期荷载效应可能产生的潜在危险。

(5) 对收缩和温度的加筋,采用后张预应力筋代替传统的普通钢筋。

(6) 该大厦在顶部几层逐步后收,需要采用跨度为42ft的后张预应力传递梁来支承顶上6层楼的荷载。

(7) 业主要求若干层楼面活荷载按125 psf设计,以便能适应各种住户的要求。虽然这一活荷载设计值大大地超过了当地的荷载规范,但这无需改变楼面框架的几何尺寸。这一因素对于该工程能采用飞模施工是最重要的。

(8) 由于地基土的条件很差,该大厦是建在18in厚的软土地基上,故采用14×14in的预应力混凝土桩。桩的深度分别为203ft和170ft。桩基的设计荷载是根据现场进行荷载试验确定。

1.4.5 海容(Huron)广场办公兼住宅大楼

地址:伊利诺斯州 芝加哥市(Chicago, Illinois)

海容广场办公兼住宅大楼(图1.7)位于芝加哥市区的北面,高56层,附有一座10层楼停车库。该大楼的结构体系为现浇后张预应力混凝土框架结构,框架形成的大楼外表具有外露