

预应力工程实例应用手册

(房屋建筑篇)

中国科学技术咨询服务中心预应力技术专家组
中国科学技术咨询服务中心预应力技术联络网

主编



中国建筑工业出版社

预应力工程实例应用手册

(房屋建筑篇)

中国科学技术咨询服务中心预应力技术专家组
中国科学技术咨询服务中心预应力技术联络网

主编

中国建筑工业出版社

(京)新登字035号

为方便从事房屋建筑设计、施工和研究等工程技术人员了解、掌握和运用各类预应力房屋结构的最新成果及经验，由中国科学技术咨询服务中心预应力技术联络网成员等单位推荐，本书共收入具有代表性的预应力混凝土工程实例58个，其中预应力框架结构工程30个，无粘结预应力平板结构工程11个，整体预应力板柱结构工程13个，以及高塔结构工程4个。这些工程基本上反映了我国当代预应力建筑工程的成就和水平。

本书以图、表为主，对每一项工程仅用3000~4000字的篇幅精炼概括，简明实用，便于了解掌握。本书可供房屋建筑设计人员，施工人员以及科研、教学人员学习参考。

* * *

责任编辑 胡永旭

预应力工程实例应用手册

(房屋建筑篇)

中国科学技术咨询服务中心预应力技术专家组

主编

中国科学技术咨询服务中心预应力技术联络网

*

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: 850×1168毫米 1/32 印张: 11³/4 字数: 315千字

1994年1月第一版 1994年1月第一次印刷

印数: 1—6,100册 定价: 9.35元

ISBN7-112-02190-1/TU·1682

(7210)

《预应力工程实例应用手册》

(房屋建筑篇)编辑委员会

主 任：杜拱辰

副主任：何子健 陆钦赞 毛锡纯 郑道宏

委 员：预应力技术专家组成员 (按姓氏笔画排列)

王 溥 王用中 王建瑶 孙国柱

肖正兴 吴学敏 陈幼璠 陈远椿

林元坤 张 苓 罗 玲 徐戊己

梁逢伍 贾宝禄 程懋堃 黎克强

主 编：谷玉玲 白胜芳

主编单位：中国科学技术咨询服务中心预应力技术专家组
中国科学技术咨询服务中心预应力技术联络网

序

近10年来,我国的高强钢丝和钢绞线产量有了很大发展,随着部分预应力设计思想和无粘结现浇后张施工技术的推广,我国预应力混凝土在房屋建筑领域中的应用,已开始进入一个新的历史阶段。结构构件形式及尺度开始摆脱过去以中、低强钢材为预应力筋的那种跨度小、截面高度大的传统,向跨度大、高度小、纤细轻巧的方向发展。房屋建筑的结构布局、结构体系与建筑造型亦开始摆脱固有传统,向大开间、大柱网、大空间(无内柱)等能充分发挥预应力结构优越性、经济性的方向发展,以适应现代化房屋建筑的需要。为了及时介绍这方面取得的经验、加速高效预应力结构的推广和进一步提高我国预应力房屋建筑结构的科学技术水平,中国科学技术咨询中心预应力技术专家组决定收集有关材料,编写《预应力工程实例应用手册》(房屋建筑篇)一书,公开出版,广为宣传。

考虑到我国近年新建具有高效预应力特点的房屋建筑数量庞大,为使从事设计、施工、研究和教育工作的工程技术人员能用少量时间、很快了解、掌握和运用各类预应力房屋结构的最新成果、经验与科技学识,本书采取以图表为主、文字叙述为辅的编辑方式,对每一工程项目用3000~4000字的篇幅表达其主要特征。至于以高效预应力混凝土为结构材料的房屋建筑的一些主要特点、设计指南、无粘结结构及工艺、整体预应力板柱结构体系(即采用装配式明槽后张工艺的板柱结构体系)等有关共性问题则通过本书第一部分的三篇综合论述予以介绍。

通过中国科技咨询中心预应力技术专家组和中国科技咨询中心预应力技术联络网成员等单位的推荐,本手册共收入具有代表

目 录

综 述

1. 预应力技术与房屋建筑 1
2. 无粘结预应力技术的应用与发展 18
3. 整体预应力板柱结构在中国的实践和发展 26

预应力框架结构

4. 长沙市银星电影院 42
5. 重庆建筑工程学院阶梯教室 50
6. 四川体育运动技术学院篮球练习馆 55
7. 湖南省老干部活动中心屋盖承重结构 63
8. 四川省体育馆 67
9. 北京科技活动中心 73
10. 厦门国际金融大厦 77
11. 上海同济大学图书馆主楼 86
12. 上海农业大厦 93
13. 上海新民晚报大楼 100
14. 重庆沙坪坝建设·工商银行大楼 105
15. 深圳罗湖口岸交通楼 112
16. 成都市人民体育场 117
17. 上海闵行工人俱乐部影剧场 124
18. 四川省体操学校训练房 129
19. 苏州一百商厦 134
20. 太原市艺术中心 138

21. 中国国际航空公司北京市内货运中心·····	145
22. 济南机场航站楼·····	151
23. 深圳桑达大厦多功能厅屋盖·····	159
24. 重庆市府生活区综合楼·····	162
25. 上海色织四厂布机车间·····	166
26. 上海轴瓦厂材料仓库·····	175
27. 合肥苎麻纺织厂主厂房·····	181
28. 江西涤纶厂无梭织机车间·····	188
29. 潍坊第四棉纺织厂喷气织机厂房·····	194
30. 深圳电脑磁头厂厂房·····	200
31. 常州国棉一厂环纺车间·····	204
32. 合肥化妆品厂综合车间·····	209
33. 淮北市纺织二厂苎麻车间·····	217

无粘结预应力平板结构

34. 全国政协汽车库·····	222
35. 北京永安公寓·····	226
36. 国家计委东、西配楼·····	231
37. 北京中医研究院科研楼·····	238
38. 北京琉璃厂厂甸市场二期工程·····	241
39. 北京幸福大厦·····	244
40. 北京饭店贵宾楼·····	249
41. 广州国际大厦主楼·····	253
42. 北京新世纪饭店·····	259
43. 北京怡园宾馆·····	262
44. 北方交通大学图书馆·····	266

整体预应力板柱结构

45. 成都印刷一厂排字车间·····	270
46. 中建一局科研所综合试验楼·····	274

47. 空军司令部大院商业服务楼.....	281
48. 北京市建筑设计院科研楼.....	288
49. 北京工业大学食堂.....	294
50. 预应力六角柱网拼板试验楼.....	299
51. 首都体育馆滑冰馆.....	303
52. 珠峰宾馆.....	307
53. 天津涉县铁厂住宅楼.....	316
54. 密云县商业大楼.....	324
55. 中建一局四公司单身宿舍楼.....	328
56. 沈阳市文化路试验住宅.....	333
57. 西安市科委装配式砖板住宅.....	339

塔 式 结 构

58. 中央电视塔.....	345
59. 天津电视塔.....	352
60. 南京电视塔.....	358
61. 天津港务局微波通讯塔.....	363

综 述

1. 预应力技术与房屋建筑

杜拱辰

我国从50年代中期开始推广预应力混凝土以来，迄今已有三、四十年的历史。在建筑工程领域中，由于受到高强钢材的限制，长期以来主要发展以冷拉钢筋和冷拔低碳钢丝等中、低强钢材为预应力筋的中小型预制构件和运用这些构件组成的装配式楼面和屋面结构。这些构件的经济跨度、截面形状与尺寸和钢筋混凝土的大同小异，可以作简单的代换而不牵连到建筑平面与立面。因此推广这种中小预应力构件主要是结构工程师的事，一般不涉及建筑师。自从发展以高强钢丝与钢绞线为主筋的高效预应力混凝土以来，情况变了，因为用高效预应力混凝土制作的梁和板，其经济跨度比钢筋混凝土的要大50%~100%，显然，构件的代换，以大代小，势必改变建筑平面与立面布置，引起原设计图纸的彻底返工。因此在房屋建筑工程中要采用高效预应力混凝土，从设计一开始就要求结构工程师与建筑师密切配合选用预应力的建筑方案。

作为一种结构材料，和砖石、钢、木与钢筋混凝土等传统材料一样，高效预应力混凝土（以后简称预应力混凝土）亦有它本身独特的建筑形式、结构形式、结构布局、经济跨度、构件截面形状以及合理的应用范围。只有掌握了这些特点与规律性，才有可能充分发挥它的优越性，设计出实用、安全、经济、美观的预应力房屋。

从充分发挥材料强度的规律来看,受拉的效率最高,受压次之,受弯最差;但从传统结构材料的应用来看恰恰相反,受弯用得最多,受压次之,受拉最少。高效预应力混凝土也不同于传统结构材料,非常适用于受拉,以吊杆代替受压的柱子,既能充分发挥其强度,又轻便、经济合理。用作受弯构件,特别是楼面屋面结构的大跨度梁与板也非常经济合理。显然可见,随着吊杆和大跨度梁板的应用以及预应力技术的发展,高效预应力混凝土势必对房屋建筑引起重大的变革,甚至革命性的变化。

和过去采用低强钢材的预应力混凝土相比,高效预应力混凝土对房屋建筑的影响主要表现在构件的截面及预应力配筋形状,结构的平面布置、建筑造型、建筑功能、建筑施工以及预应力后张技术的各种应用等方面。

一、构件截面形状与预应力筋线形

1. 预应力筋的合理线形是曲线或折线

过去我国生产的中小跨先张法受弯构件,一般都采用配置在底面的直线筋。为避免梁(板)顶面产生拉应力或过大的拉应力,多采用顶面附加预应力筋的方法来解决。这种双面配筋的做法,虽浪费钢材,但工艺简单,对自重较轻的中小型构件基本上还是合理的。对跨度较大的构件显然就不合理了。

在预加力 P 单独作用下,如不容许顶面受拉,则预应力筋中心线的位置应不低于下核心点。考虑到在实际生产中,预加力同时产生反拱而使梁承受自重弯矩 M_0 。这一现象,对自重较大的大跨度梁、板,预应力筋的位置尚可进一步向下移动一个距离 e' 以提高预应力的效率和梁的抗弯强度。如 $e' < M_0/P$,截面顶纤维仍不会出现拉应力。由于等截面梁的自重弯矩呈二次抛物线形,可见后张预应力筋理应采用抛物线形或接近的圆弧形曲线。

对先张法生产的大跨度梁,可采用带有一个或几个折点的折线筋来逼近曲线筋,或者用先、后张法相结合,用一部分先张直线筋、一部分后张曲线筋。

对容许出现拉应力或开裂的部分预应力受弯构件，同样也应该选用曲线筋。

2. 构件截面形状的选择

预应力混凝土受弯构件常用的截面形状有：矩形、对称工字形、不对称工字形、T形、倒T形和箱形截面等六种（图1-1）。这些截面形状，各有特点，其适用范围取决于特定的条件和要求。

矩形截面外形简单，模板最省。但上、下核心点之间的距离小，内抵抗力偶的力臂小。受拉区混凝土对抗弯不起作用，所以不象工形截面那样有效。矩形截面适用于实心板和一些短跨先张混凝土梁。

工形截面的混凝土集中在上翼板和下翼板上，上下核心点之间的距离大，内抵抗力偶的力臂也大。在预加应力、工作荷载与极限荷载作用下，下翼板和上翼板均能最有效地提供压力。然而，腹板的厚度必须有足够的抗剪能力，并有足够的尺寸容纳预应力筋和混凝土的正常浇灌。

如简支梁自重弯矩 M_G 和全部工作弯矩 M_T 的比值较大，在施加预应力时为抵抗 M_T 引起的拉力所需储存的预压力有所减少，亦即可减小下翼板，减到最大限度即成 T 形截面。

如 M_G/M_T 比值较小，则受拉区边缘要求有更多的混凝土以储存更多的压应力以抵抗 M_T 引起的拉应力，增大下翼缘的极限即成倒 T 形截面。倒 T 形截面由于压区混凝土面积太小，抗弯极限强度低，作为抗参截面是不经济的。但用作某些组合截面的预制受拉部分是非常经济合理的。

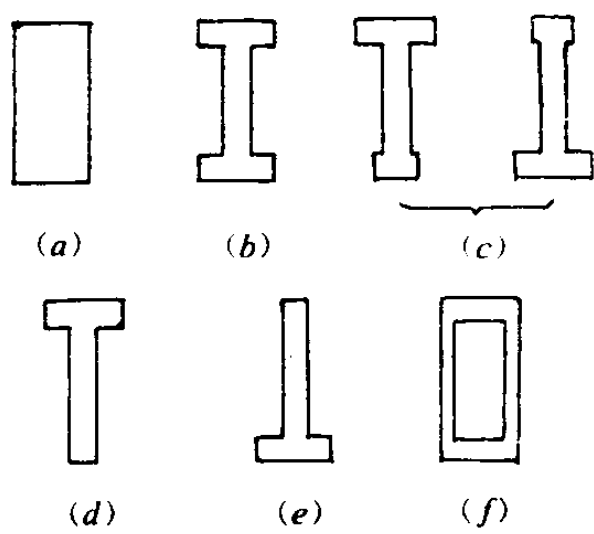


图 1-1 混凝土截面的形状
(a) 矩形； (b) 对称工字形； (c) 不对称工字形； (d) T形； (e) 倒T形；
(f) 箱形

箱形截面和工形截面具有同样截面性质，适用于跨度较大的桥梁。

3. 梁板的跨高比

出于综合经济和美观的考虑，人们总喜欢采用更矮更薄的梁和板。由于预应力结构的挠度，在设计中可以较好地控制，因此就有可能采用更为轻巧纤细的结构，亦即更大的跨度与高度的比值。一般来说，预应力梁板的高度约为同跨度钢筋混凝土的2/3或更小。另一方面也要注意跨高比不能用得过大。构件太薄，则反拱和挠度就会对荷载的变化、预加力大小和位置的变化、材料性能与温度变化的影响相当敏感，对振动的影响也更显著。

从设计出发希望有一套简单的跨高比限值，作为设计指南，从而避免作反拱与挠度的核算，或因反拱、挠度计算值过大而要求返工，改动截面尺寸。根据国内实践经验和国外有关资料，对一般楼面（屋面）结构推荐下列的跨高比限值表（表1-1），作为设计的参考。

预应力混凝土楼（屋）面结构跨高比限值 表 1-1

	简 支 跨		连 续 跨	
	屋面	楼面	屋面	楼面
单向实心板	42	38	46	42
双向实心板（支承于柱）	40	36	44	40
双向密肋（0.9m方格）板	32	28	36	32
框架大梁（间距 6 m 左右）	15~20			
单向肋梁（间距2~3m）	18~28			

表中所列板的跨高比适用于办公、公寓等建筑的楼面、屋面结构，如荷载过重则应作适当的降低。梁的跨高比变化幅度较大，这主要是考虑到荷载轻重和间距大小等因素的原因，应根据这些条件灵活选用。

本表仅作为初步设计的参考，如对结构的反拱、挠度与振动进行了核算，那末也就没有必要去遵守任何比值规定的限制了。

二、结构的平面布置

1. 选用大跨度结构

钢筋混凝土梁板的经济跨度较小，单向板一般为3~4m，多层建筑柱网常采用6×6m。预应力混凝土的经济跨度大约增加50%~100%，单向板一般为6~9m，柱网则增加到9×9m或更大。用这种以大跨度为特征的高效预应力混凝土建造的大开间、大柱网、大空间无内柱建筑与传统的小开间小柱网建筑相比，不仅用料省、施工速度快、而且功能好、使用灵活性大。

采用高效预应力混凝土，就有可能对本来需要布置一排或两排内柱的“柱林”式布置，改变为楼（屋）面直接支承于纵向外墙的无内柱大空间单跨建筑。由于消灭了内柱及其基础所获得的节约，以及由于无内柱障碍而使有效利用面积率的增加（一般为5%~8%），使有效面积的单位造价比小跨度建筑往往更为便宜。上海色织四厂（两跨20m连续梁楼面）和北京永安公寓（7.2m开间的单向平板，板厚1.6cm，跨高比为45）就是两个典型例子。

2. 主、次梁的布置

在框架结构中常采用开间方向小、跨度方向大的不等跨柱网，如6×18m、9×24m等。“大跨用主梁，小跨用次梁”，这是结构布置的传统做法。采用预应力方案时，恰恰相反，小跨作主梁、大跨作次梁更为经济合理。这种布置的楼面结构高度决定于次梁。次梁跨度虽大，但可采用减小间距（如2~3m）的方法以减少负荷，这样梁高就可以做到跨度的1/20、甚至1/25（亦即对9×24m柱网的次梁高度可以降到1.0m~1.2m）。至于主梁，负荷虽大、但跨度小而且梁高大（与次梁相等或略高），不论用预应力还是非预应力混凝土都具有足够的强度。这种布置得到的楼面结构高度是传统方案无法办到的。楼面结构高度小了，起到压缩层高的效果。至于经济问题，经过重庆和安徽等地的工程实践，表明这种布置是非常经济合理的。

3. 竖向构件的布置

当现浇混凝土后张楼盖结构的竖向承重构件（剪力墙、筒、

柱)在预加力方向有较大刚度时,将使预加力产生转移,从而减少楼面结构的轴向压力。同时,剪力墙与柱的约束将阻碍楼面混凝土弹性压缩、收缩和徐变变形的产生和发展,其后果对楼板可能引起裂缝。因此在确定楼盖结构平面布置时,应将剪力墙布置在楼盖结构平面位移的不动点位置附近并采用细长的柱子,以减小对楼面结构的约束作用(图1-2)。

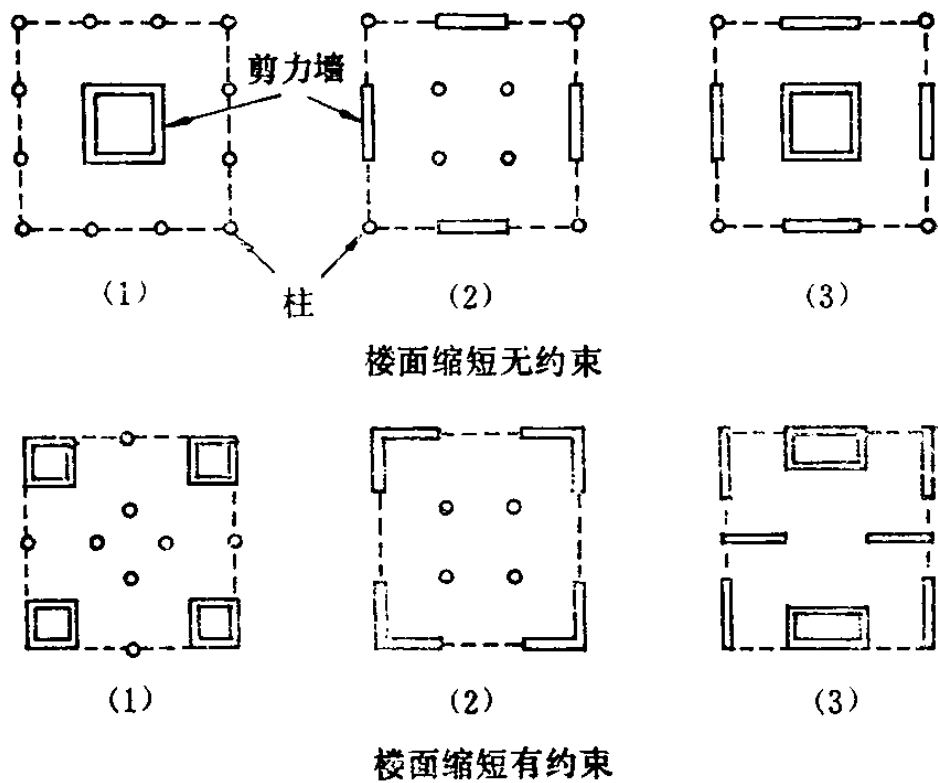


图 1-2

另外一种减少约束作用的做法是采用分块隔离的办法(预留临时施工缝、滞后现浇带),或采用临时滑动支座或临时铰等措施,但施工比较麻烦。

就一般多层或高层建筑而言,仅需考虑第二层楼面相对于地面的缩短,而上面各楼层之间的相对收缩与徐变,其差值一般都比较小,可忽略不计。

4. 伸缩缝

对现浇后张的预应力楼面(梁板式或无梁平板)结构,由于自身具有抵抗温度、收缩应力的能力,因此和钢筋混凝土结构相比,可大大增加伸缩缝距离。即使平面尺寸较大,也可采用分块

浇筑施工或采用微膨胀混凝土等措施而消除伸缩缝。70年代加拿大曾建造过一座采用无粘结平板的19层办公大楼，平面尺寸宽47m，长140m，就没有设置伸缩缝（图1-3）。对长达100m左右而不设伸缩缝的多层和高层建筑，国外已取得较多经验。

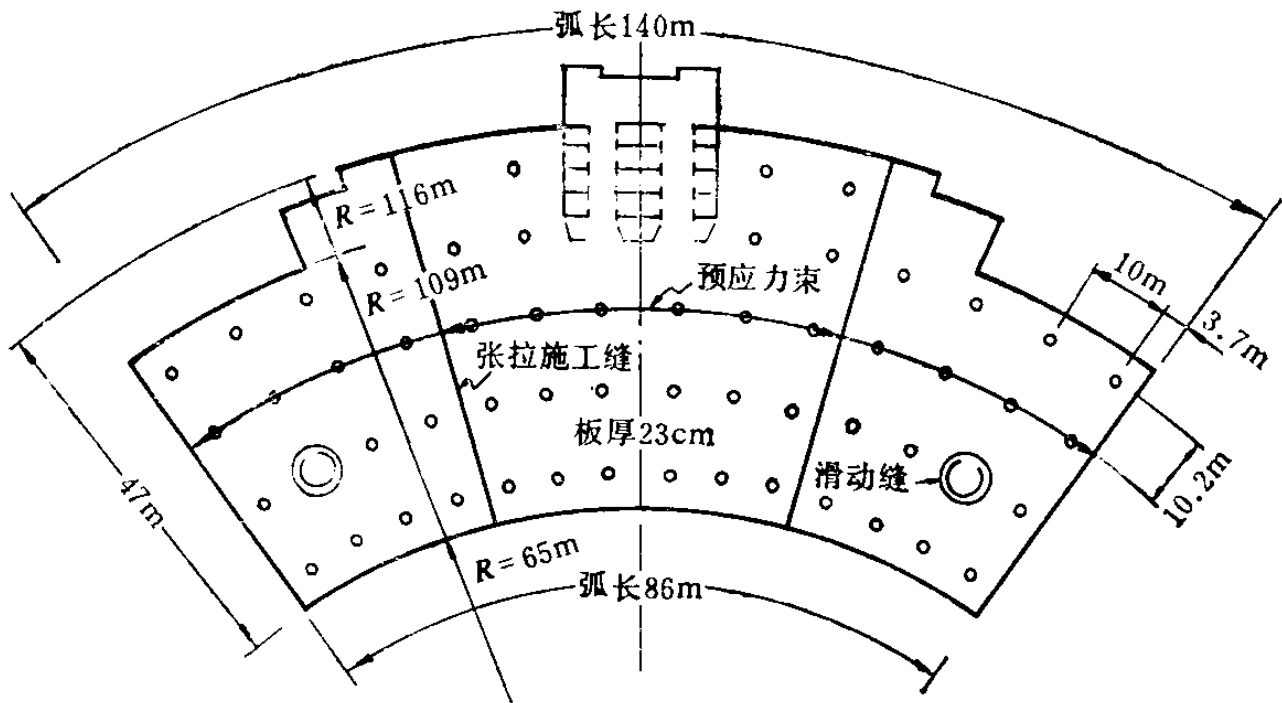


图 1-3

5. 简支梁与连续梁

对采用预制预应力梁的楼盖结构，于安装就位后再用后张束拼成连续梁的做法不仅麻烦而且也很不经济。一个可行的办法是使预制梁于简支状态下承受全部恒载，于支座处用普通钢筋作负弯矩筋，形成连续梁后再承受活荷载。这样就可以尽可能增加正弯矩和减少负弯矩，充分发挥简支梁与连续梁的优点。这种考虑也正好和预制与现浇相结合的半装配式结构的施工程序相适应。这种用预应力筋承受全部恒载（预制与后浇混凝土）与活载产生的正弯矩、用非预应力普通钢筋承受活载产生的负弯矩的所谓“活载连续性”连续梁，性能良好、施工简单、造价也不贵，非常经济合理。

三、预应力技术对建筑造型的影响

预应力混凝土适宜于制作拉杆（吊杆）和大跨度梁板的特

点，为建筑师提供了新的手段与措施来创造新的建筑形式，以满足现代化建筑的需要。

1. 悬臂式建筑

用悬臂梁或板来支承上部结构的高层建筑，由于下部所占的地面空间小，建筑显得轻巧，往往是建筑造型中的需要。当有裙房部分时，可与主体结构分开，更加灵活。

例如：美国纽约州Albany有同样的四座27层办公楼（图1-4），采用厚度为1.83m的后张混凝土悬臂平板，支承上部19层。该楼平面尺寸约 $24 \times 38\text{m}$ 。平板沿纵向从钢筋混凝土筒体挑出12.3m，横向挑出7.3m。平板纵向有146束 $19\phi 12.7$ 钢绞线束，长37.5m。横向有10束钢绞线束和60根 $\phi 35\text{mm}$ 的高强粗钢筋，长11.6~23.8m。

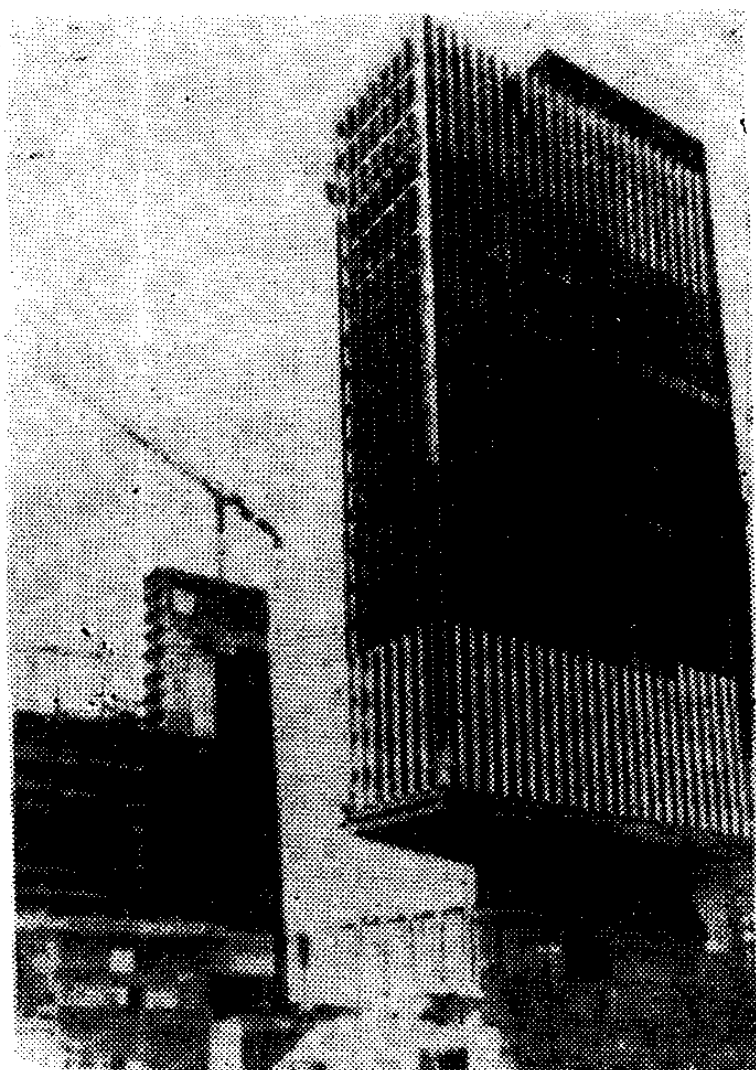


图 1-4

图1-3为日本的一座从A形柱挑出悬臂梁的预应力混凝土三层建筑。

图1-4为用预应力悬臂式平板的27层办公楼。

图1-5为用预应力悬臂梁的一座三层办公楼。

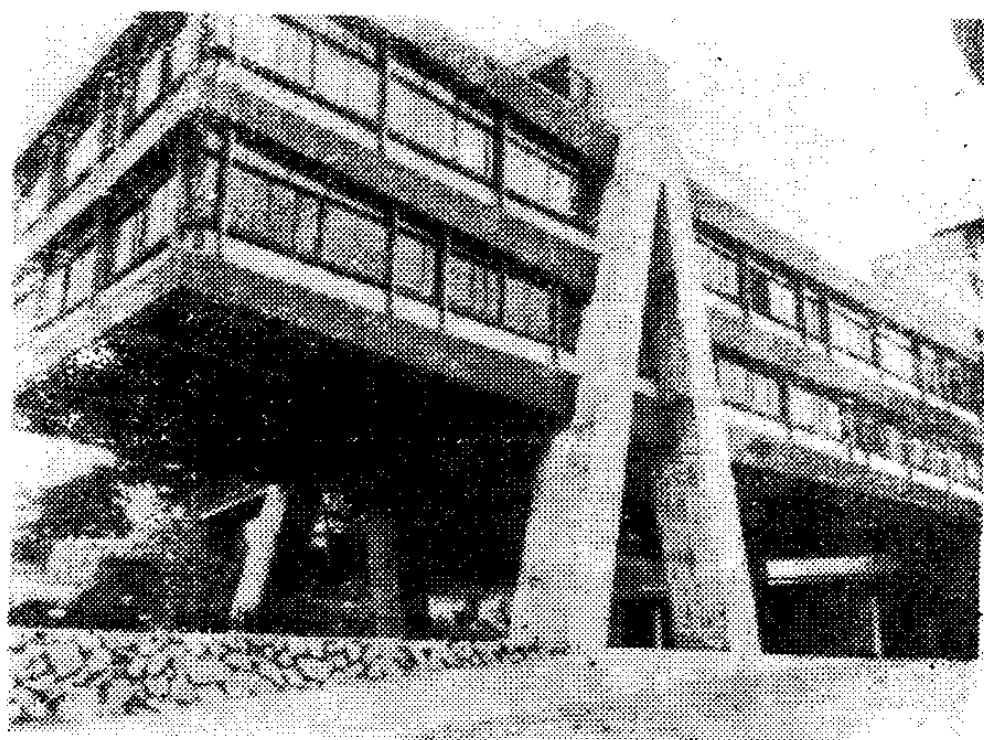


图 1-5

2. 用吊杆的悬挂式建筑

在高层建筑中采用预应力吊杆代替传统的钢筋混凝土柱，是一个降低自重和节约钢材的有效措施。

例如：南非一座高137 m、地面以上31层的银行大楼(图1-6)就采用了预应力吊杆的方案。平面尺寸为33.7 m见方，全部重量支承在14.2 m见方的刚性竖筒上。整个结构沿高度分为3节，每节各有10层楼面，通过8根吊杆悬挂在由刚性筒体墙伸出的8根井式悬臂梁的端点上。梁采用12根 $\phi 12.2\text{mm}$ 钢筋束(极限强度220 t)，每根梁用20束，随吊杆荷载的增加而分批张拉。吊杆由10块长3.5 m、宽53 cm的变厚度空心混凝土块拼成，每层增加一束预应力筋，底层另增加两根通长束，即每根吊杆最终为11束。

3. 外倾式建筑

采用预应力拉杆就可能建造和常规金字塔式(内倾式)建筑