

多层建筑高效预应力结构 研究与实践

陈惠玲 编著
叶福保 姚伟忠 审

北 京 科 学 技 术 出 版 社

多层建筑高效预应力结构 研究与实践

陈惠玲 编著
叶福保 姚伟忠 审

北 京 科 学 技 术 出 版 社

(京) 新登字 207 号

内 容 提 要

本书介绍多层建筑重载、大跨、大开间及少内柱或无内柱现代结构应用的有粘结与无粘结部分预应力和有限预应力框架等数种结构体系, 以及配套新技术和性能研究新成果。书中还介绍了有、无粘结高效预应力钢筋混凝土结构简明、快速设计的应力比“预应力度法”(即应力定量平衡荷载法)与多种“等效荷载次弯矩计算法”, 书中并附有新规定的背景资料、新近工程应用实例与算例。此外, 还介绍了多层预应力结构抗震的预应力剪力墙等几种抗侧力结构体系与性能, 以及有粘结与无粘结预应力的先张法和后张法实用技术工艺等。

书中还针对预制预应力板类构件的更新换代与发展, 介绍了采用“中强、高强预应力配筋板”的设计、施工和应用。本书介绍的结构体系及计算理论与方法, 适用于城乡各类大跨度、大空间的工程建设与特种结构的设计计算与施工。

读者对象: 建筑、土木工程的设计、施工、科研等技术人员、大专院校有关专业师生。

多层建筑高效预应力结构研究与实践

陈惠玲 编著

叶福保 姚伟忠 审

*

北京科学技术出版社出版

(北京西直门南大街 16 号)

邮政编码: 100035

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

中国人民大学出版社印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 17 印张 414 千字

1992 年 6 月第一版 1992 年 7 月第一次印刷

印数 1—5000 册

ISBN7-5304-1056-3 / T · 219 定价: 10.70 元

前 言

近三十余年来,国内外的建筑土木工程实践充分证实了预应力钢筋混凝土结构能够节约钢材、木材、水泥,延长使用寿命,并具有耐火、耐高压、耐腐蚀、抗疲劳与抗震等优点,是当代工程建设中一种重要的结构材料,也是土建工程的一种高新结构技术。

近十余年来,预应力混凝土的应用范围、推广数量、材料品种与生产工艺、计算理论等都有了许多新进展。特别是在预应力混凝土结构的设计原理上,改变了过去传统的概念,认为在全预应力和钢筋混凝土之间,可以通过中间预应力度度的有限(限值)预应力和部分预应力将两者连系起来,这便形成加筋混凝土族的连续系列预应力混凝土结构。目前具有的一定代表性的高效预应力钢筋混凝土结构正是当今预应力混凝土应用发展的趋势。它的特点是采用中强与高强度材料,根据结构性能与要求选用的材性以及所处的环境条件,按“预应力度法”进行设计的系列预应力混凝土结构。该类结构具有抗静力或抗动力性能优良、经济指标好、结构使用用途多、适应范围广、功能强、工艺布置灵活、承受重载等优点。采用这类结构后,可使建筑物内部减少中柱或无内柱,免除走进这里如入森林的感觉,形成大跨度、大通间与大开间的结构。同时也使结构的每层高度比钢筋混凝土结构减少 30~50cm,致使建筑总高度减少,围护结构减少,便于建筑向空中发展,犹如多出了地皮以建造更多的建筑层次,节约了建设用地。

此类结构采用高强度钢材,每吨可代替 3~4 吨普通钢材使用;采用中强度钢材,每吨可代替 1.5~2 吨普通钢材使用,进而节约大量钢材与能源。

此外,高效预应力结构的结构尺寸小,还具有自重轻等优点。在结构造型上,还可与悬挑结构结合所在区域的布局与环境绿化,内外空间等组合以达到功能与技术、建筑与环境等综合艺术效果。

本书介绍了多层建筑中高效预应力钢筋混凝土重载、大跨、大开间等有粘结与无粘结部分预应力和有限预应力框架、带有夹层的框架、预制现浇框架、框架和长次梁或大跨板现浇整体结构、板柱框架、网格梁板结构、双拱架结构和折板等七种预应力结构体系,以及配套新技术和性能研究新成果。书中还介绍了有、无粘结高效预应力钢筋混凝土结构简明、快速设计的应力比“预应力度法”。即通过结构使用状态下所需的预应力度、应力大小以对应当量荷载确定预应力筋、满足性能验算的方法,对于超静定结构也就是一种应力定量的平衡荷载法。此种方法兼有预应力度、应力、名义拉应力、拉应力限制系数、抗裂系数、荷载平衡法等优点,沟通了各种预应力度度的计算、新规范与旧规范的预应力结构设计方法之间以及设计与检验之间的联系。对于超静定的部分预应力框架、连续梁、网络梁、板,等结构,便于确定出预应力筋所承担的那部分等效荷载。并可按各种“等效荷载次弯矩计算法”计算,这些成果和计算理论与方法经过建设部科技司组织鉴定,达到了国际先进水平,其中应力比“预应力度法”及“次弯矩计算方法”等居国际领先地位。此外,还介绍了多层预应力结构抗震的预应力剪力墙等几种新型抗侧力结构体系与性能,以及有粘结无粘结预应力的后张法和先张法实用新技术与工艺等。

书中还针对预制预应力板类构件的更新换代与应用发展,介绍了采用“中强、高强预

目 录

第一章 高效预应力钢筋混凝土结构体系研究与工程应用

1. 多层工业建筑的高效预应力钢筋混凝土结构体系研究选型与实践	1
2. 多层工业建筑带有夹层的预制整体预应力框架结构体系工程实践	31
3. 框架—大跨高效预应力板现浇整体结构体系	39
4. 无粘结部分预应力混凝土大跨框架结构工程实践	41
5. 无粘结部分预应力现浇后张多层多跨框架—预制板结构体系	43
6. 30m跨预应力混凝土屋盖体系	47
7. 无锡国棉四厂新纺部车间双向预应力多层框架结构工程实践	52
8. 多层多跨部分预应力混凝土框架设计与实践	60
9. 杭州开关厂中频加热机车间多层预应力混凝土框架设计实践	66
10. 预应力多层仓库设计	69
11. 无粘结预应力升板多层工业建筑	73
12. “双拱架”结构体系多层工业建筑	77
13. 多层工业建筑的预制整体预应力板柱体系	80
14. 预应力双U形组合框架横梁和预应力多孔板叠合板框架结构体系	82
15. 火力发电厂多层工业建筑预应力混凝土结构的应用实践	86

第二章 现代高效预应力钢筋混凝土结构的设计与计算

1. 应力比“预应力度法”的结构设计应用	89
2. 有技术夹层的框架部分预应力结构预应力度法及新规范计算	99
3. 按预应力度法及等效荷载计算多层多跨部分预应力混凝土框架	115
4. 多层部分预应力混凝土框架次弯矩计算的综合等效荷载法	124
5. 多层预应力混凝土框架的有限元计算方法	129
6. 大跨预应力空心板的反拱计算	135
7. 多层预应力整体框架空腔柱节点抗震性能分析	140

第三章 预应力混凝土结构的若干性能研究

1. 高效预应力大跨空心板试验应用研究	145
2. 冷拔25MnSi中强钢丝迭合连续板的试验研究	151
3. 大跨预应力空心板36次性能试验结果的综合分析	155
4. 部分预应力框架性能试验研究	161
5. 预应力芯棒与普通钢筋配筋的大偏心受压外包角钢柱性能研究	167
6. 预应力混凝土剪力墙抗剪承载能力试验研究	174
7. 预制整体带边框剪力墙在反复水平力作用下的强度和延性	181
8. 低周反复荷载下折曲撑框架的抗震耗能性能试验研究	185
9. 预应力板柱与梁柱体系摩擦节点的受力特性与安全性	190
10. 预应力重载大悬臂结构性能研究	197

第四章	多层建筑预应力混凝土结构先张法与后张法预应力工艺	
1.	大跨高效预应力空心板先张法生产工艺要点	204
2.	25MnSi低合金钢中强钢丝的冷拔与构件先张法生产工艺	208
3.	多层建筑后张预应力结构的实用预应力体系	212
4.	现浇后张有粘结部分预应力混凝土框架的施工工艺	220
5.	Φ65mm波纹管质量检验	223
6.	现浇后张部分预应力框架的摩擦与锚具变形损失	227
7.	无粘结部分预应力混凝土框架结构的施工技术	235
第五章	中强、高强预应力筋配筋结构性能与工程应用	
1.	800、1000MPa预应力中强钢丝及高强度少支钢绞线的性能 及在多孔板中的应用实践	239
2.	冷拔Ⅲ级25MnSi 800N / mm ² 中强钢丝的性能与应用	246
3.	1000N / mm ² 中强钢丝预应力多孔板在山东多层工业建筑中的应用实践 ...	257
4.	高强少支钢绞线高孔板的应用性能与实践	262
5.	框架—大跨高效预应力空心板体系在深圳皇岗口岸 旅检大楼中的工程应用	264

第一章 高效预应力钢筋混凝土结构 体系研究与工程应用

多层工业建筑的高效预应力钢筋混凝土 结构体系研究选型与实践

一、概 述

90年代,我国将大力推广应用高效预应力钢筋混凝土结构。“多层工业厂房预应力结构体系及相应性能研究”项目在调查研究的基础上,进一步组织国内有关设计与施工等单位共同研究协作,建造了一批多品种、多用途的新型高效预应力结构体系的多层大跨多跨建筑,供选型应用,以满足科学技术的飞跃发展与工艺设备的进步以及轻工、电子、纺织、光学、仪表、食品、石油、化工、水泥、机械和仓库等企业建设、工厂改造和生产工艺更新的要求。特别是扩大改革开放以来,一些开放城市,为了吸收外资兴办工业。把过去分散建工厂的做法改为集中建造工业小区和工业大楼,然后按单元楼层或整幢出售给工厂,这种建造做法,具有多用途与灵活性,能适应不同行业生产的需要。

我们研究选型建造的高效预应力钢筋混凝土结构体系,具有如下的共同基本特点:

(一) 多层建筑向空间发展,以形成空地皮、节约用地、节约能源、改善市容、有利于企业管理。

(二) 建造多层建筑结合用途与工艺要求,注意适宜扩大开间、扩大跨度、扩大柱网,使结构减少内柱或取消内柱,增加了使用面积,而且便于布置灵活,适应工艺流程改变,从而提高工业厂房有效使用期限,适应现代化生产发展的需要。

(三) 作为生产场所的多层工业建筑,除具备生产功能之外,其结构形式也可用于或兼做公共或民用建筑,还与公共、民用建筑一样具有精神功能,即其造型设计与通过厂区的总体布局、环境绿化、厂房的内外空间组合以达到功能与技术以及与环境艺术的综合效果。

(四) 多层厂房设计中,注意选用新结构、新理论、新技术,因地制宜的采用新型高效高强度的材料,或中强的新品种材料以进一步节约钢材和木材。

(五) 多层厂房的设计选型,结合用途与使用要求及施工条件,可充分利用空间的设计,如采用空腹桁架或拱架,并利用桁架与拱架的结构空间形成楼层或夹层以放置各种水、电、空、暖等管线和有关设备与辅助用房,以实现充分利用空间面积。

(六) 多层厂房考虑结构承重与功能结合,如结合纺织厂设计,将风道梁结构设计成二片组合箱形,并利用组合箱形空间兼做通风功能,这既减少了构件数量,又降低了结构高度。

(七) 在多层厂房采用的大跨框架横梁上、有的还设有孔洞或开孔以供设管线或管线支架等用途。

(八) 有的多层建筑尽量利用预制现浇的迭合结构、其结构既兼作受力与模板,还节约了现浇混凝土时的大量木模支撑的木材与钢材,并方便了预制与工厂化生产,达到了结

构整体要求，对有工期要求的建筑，还减少了现场湿作业，加快了建造工期。

(九) 多层建筑的高效预应力结构设计，采用了新的理论与方法，如采用预应力度法、等效荷载、平衡荷载法等进行有粘结与无粘结预应力筋的有限预应力与部分预应力混凝土结构设计，其计算简单方便，概念明确、设计思想灵活。

二、多层工业建筑的高效预应力结构若干体系

多层工业建筑随不同类型的工业产品与工艺的特点，迫切需要具有重载、大跨和大空间的结构，通过各单位的共同协作，对多层预应力结构因地制宜的研究选型与实践的预应力结构体系有如下几种。

(一) 现浇后张有粘结与无粘结部分预应力混凝土框架—楼板（预制或现浇）整体结构体系。

(二) 带有夹层的预应力桁架与楼板预制整体的框架结构体系

(三) 钢筋混凝土框架—预制长跨预应力构件现浇整体结构体系

(四) 预应力板柱结构体系

(五) 无粘结部分预应力井式楼盖的框架结构体系

(六) 多层工业建筑双拱架结构体系

(七) 多层工业建筑 V 形折板结构体系

现分别作一简要介绍

(一) 现浇后张有粘结与无粘结部分预应力混凝土框架—楼板（预制或现浇）整体结构体系。

该结构体系是在部分预应力混凝土大跨框架上，安放预制构件经现浇混凝土形成的迭合整体结构，或上面是现浇混凝土的整体结构。该结构体系的特点是结构中无内柱或少内柱，形成大跨度、大空间，可提供房屋大通间的空中地皮，结构高度小、用途灵活、布置方便，适用性强，工期短、湿作业少，可随着荷载的大小用于不同工业建筑，还可用于公共建筑、民用建筑等。

框架内的配筋系用高效的高强钢丝，钢绞线($\Phi 5$ 、 $\Phi 7$ 钢丝或普通松弛及低松弛钢绞线)与螺纹钢筋混合配筋，其预应力筋可采用粘结预应力筋或无粘结预应力筋，框架横梁的做法上还有预制现浇与宽扁矮横梁的做法，框架横梁端部的高度有加腋和不加腋两种。

关于框架横梁上搁置的楼板，除预制预应力空心板外，亦有多种型式的板，如槽形板、双 T 板，或者次梁上（预应力或非预应力次梁）放置预应力平板经现浇成整体的迭合板，还有采用现浇钢筋混凝土楼板和现浇无粘结预应力楼板等。

楼面承受的活荷载：较多为 $3 \sim 20 \text{ kN/m}^2$ ；结构抗震设防烈度为 $6^\circ \sim 8^\circ$ 。

框架结构跨度有单跨和多跨，目前工程应用最多跨度为 5 跨的连续跨结构。单跨的跨度为 $12 \sim 30 \text{ m}$ ，双向预应力结构（框架或另一方向为预应力次梁）的跨度为 $9 \sim 24 \text{ m}$ 。

结构层数为 $2 \sim 12$ 层，常用较多的工程为 $2 \sim 7$ 层，目前最高的有限预应力框架结构层次为 12 层，即安徽的某水泥厂工业建筑，其结构高度达 76.5 m ，每一层楼面受有 5 kN/m^2 及集中荷载 5400 kN 。

在有粘结部分预应力混凝土框架—楼板整体结构体系中，我们曾先后协作研究、推广及各地建造的工程有 12 m 跨度、柱距为 6 m 、三、四层的工业建筑，如北京的燕山石化苯

酚车间采用的预制梁现浇柱后张预应力框架—迭合板结构、空六所机房的部分预应力框架—预制空心板现浇整体结构、还有类同做法的杭州医疗器械总厂综合仓库、上海商储公司机械车间等，其单跨的平面、剖面示意图 1。南京 3503 厂某车间柱距为 4m，为较早应用研究的部分预应力框架—楼板结构之一（图 2）。此后，杭州开关厂、浙江中华联合公司仓库等的框架跨度为 18m，还有其它框架单跨为 15~30m（图 3）。2~4 连跨的跨度为 12~25m，如济南机床一厂数控车间为 2 跨 18m，江西涤纶厂无梭织车间为双跨 21 加 25m，预应力筋采用低松弛钢绞线配筋（图 4），北京起重机运输机器厂仓库为 $3 \times 12\text{m}$ 见图 5，还有化工部桂林橡胶工业设计研究院设计的 3 层厂房，重庆中南橡胶厂炼胶胶管车间。该工程建筑面积 9383m^2 ，一~三层高各为 7.5m、5.4m、4m，跨度为 $2 \times 12\text{m}$ ，（图 6）。重庆轮胎总厂全钢丝子午胎车间也是该院设计的三层综合性厂房，包括炼胶、成型、硫化、成品检查、包装等工艺，建筑面积 23297m^2 ，一至三层的层高分别为 4m、6m、7.5m，跨度分别为 $4 \times 12\text{m}$ 及 $2 \times 24\text{m}$ （图 7）。其预应力布置见图 8。此外，合肥印染厂、纺织一厂、精毛纺织厂等为 3 层 2×14 、 2×22 、 $3 \times 19.2\text{m}$ 跨度的部分预应力框架结构见图 9。江苏、安徽、上海与无锡的双向预应力结构的跨度为 9~24m，无锡工程的平立剖面见图 10。

近年来各地设计建造的单跨及双跨以上的部分预应力框架—楼板结构体系的工程见表 1、表 2。

该体系除多层工业建筑应用外，还在北京、天津、江苏、浙江、安徽、湖北、四川、广西等地的体育建筑、火车站建筑、商场、仓库、艺术大厦、达仁堂制药厂、人民检察院等的有粘结、部分预应力框架结构—楼板整体结构也均得到了应用。目前本体系设计应用的工程近 80 万 m^2 。

关于无粘结部分预应力混凝土框架结构，我们通过研究协作，已在北京、湖北等地设计工程采用 6.2 余万 m^2 ，详见表 3，如我院设计的我国首次成功的应用在北京的某电影制片厂的二层建筑的无粘结部分预应力大跨框架，建筑面积为 4500m^2 ，框架上受有 6 个集中荷载；湖北的工业建筑为 2—5 层 2 跨 18m 的厂房结构是无粘结部分预应力框架—预制空心板现浇整体结构（图 11），关于无粘结部分预应力矮梁框架结构也用于仓库工程之中，该建筑为六层，面积 10500m^2 ，楼层高度 $2 \times 4.4 + 4 \times 3.5\text{m}$ 柱距为 6.3 与 7.5m，跨度为 10.5m，并有悬臂 2.5、3.5m。楼板高 120~150mm。其平面与预应力筋布置见图 12。

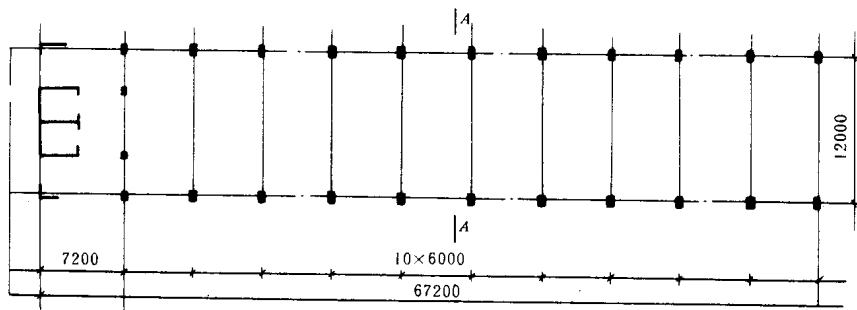
双向无粘结预应力框架已在安徽应用，最大连续跨为 5 跨，建筑面积 16100m^2 ，近来广州的三层车库中也设计采用了双向无粘结预应力框架及无粘结预应力板结构，框架跨度为 7.25~19.5m，建筑面积共 11852m^2 。

关于部分预应力混凝土框架的施工制作方法目前有四种：

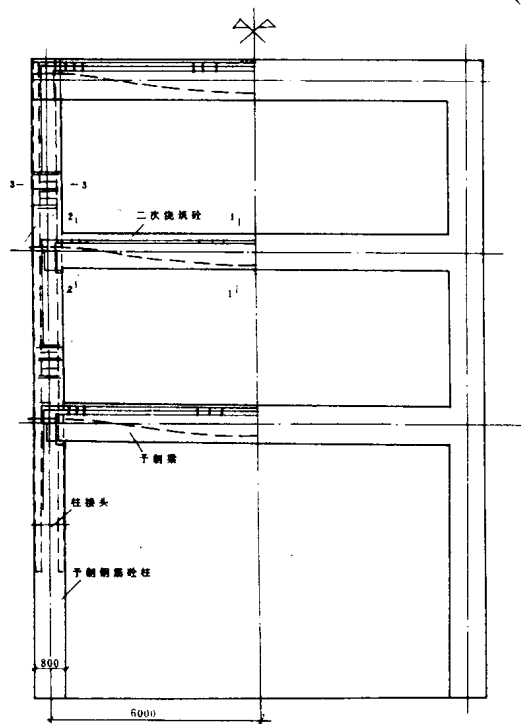
1. 现场浇捣混凝土柱与梁（包括可先预制钢筋混凝土梁并留孔再浇梁柱），安放预制板，之后张拉预应力筋，做面层迭合混凝土形成整体。

2. 框架梁、柱、次梁、楼板以及悬臂等全部是现场浇捣混凝土，等达到一定强度后，进行后张预应力，江苏工贸中心的框架即是这种做法（图 13）。如是双向预应力现浇结构，则另一向次梁或框架也进行预加应力。

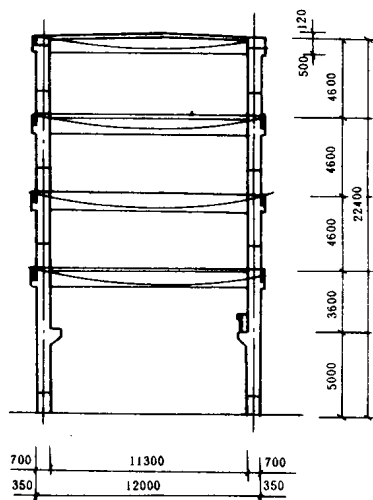
3. 在工程现场就地迭层生产制作成 H 型的钢筋混凝土构件，通过预留孔道进行后张预应力，再吊装 H 型横梁拼装成整体框架（图 14）。



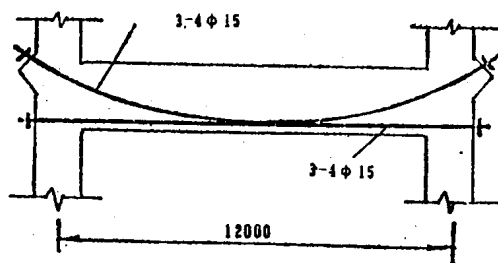
(a)平面



(b)北京燕山石化苯酚车间



(c)杭州医疗器械厂综合仓库



(d)12层框架预应力筋布置

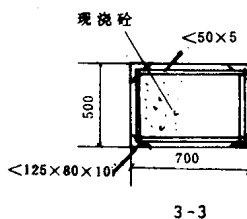
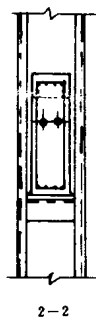
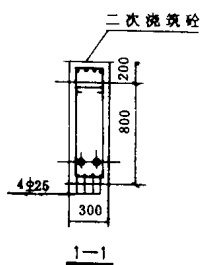


图 1 12m 部分预应力框架

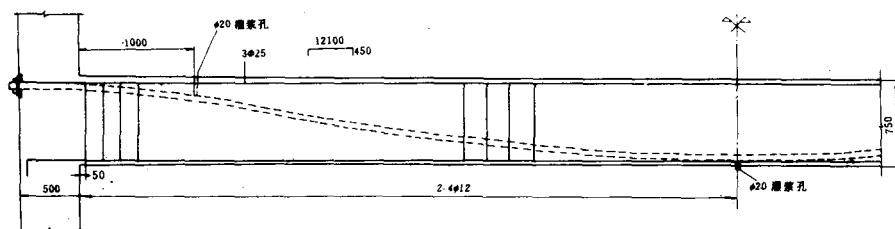


图 1(续) (c) 空六所部分预应力框架预应力筋布置

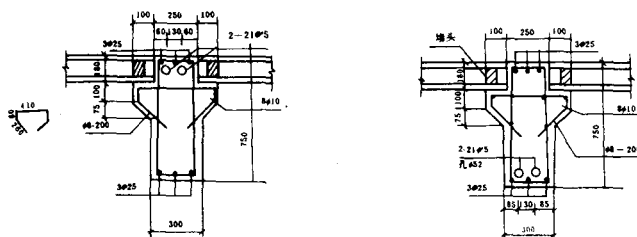


图 1(续) (f) 空六所部分预应力框架压-多孔板体系截面

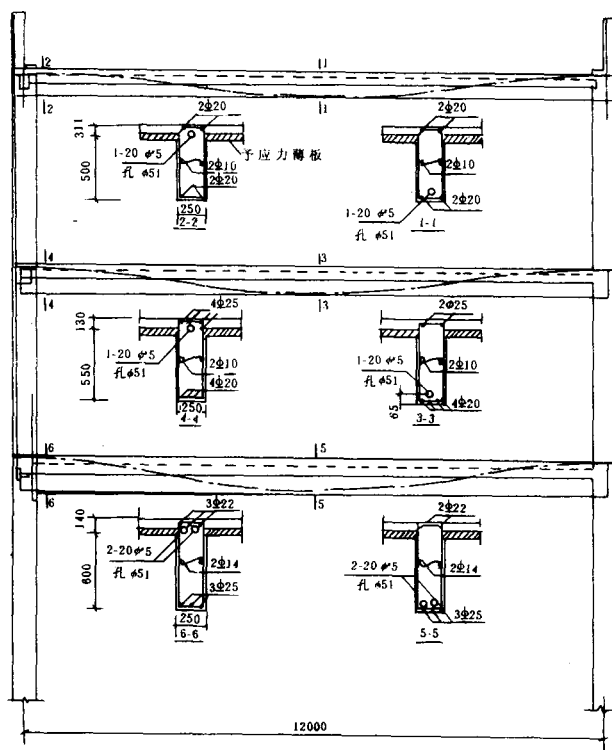
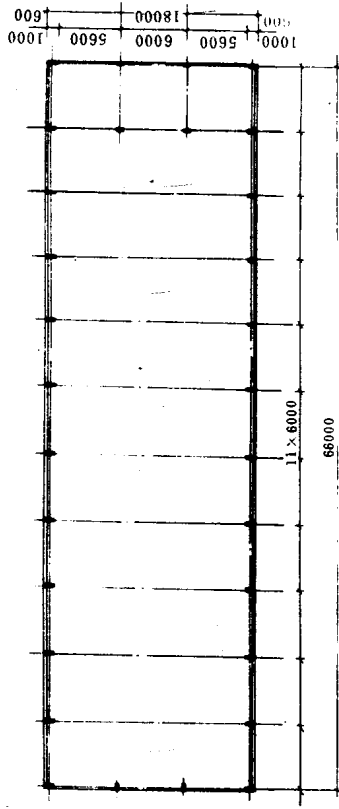
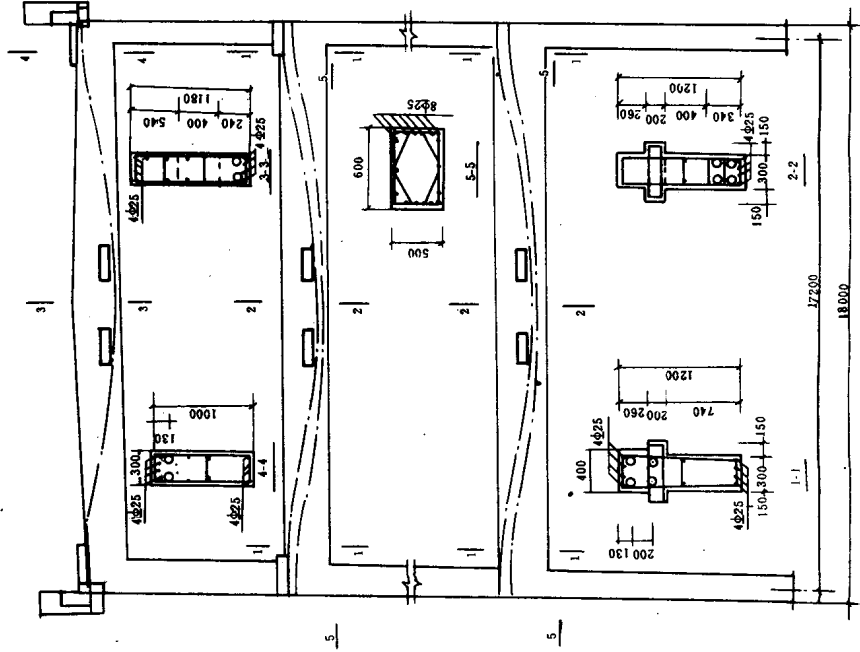


图 2 南京 3503 厂部分预应力框架

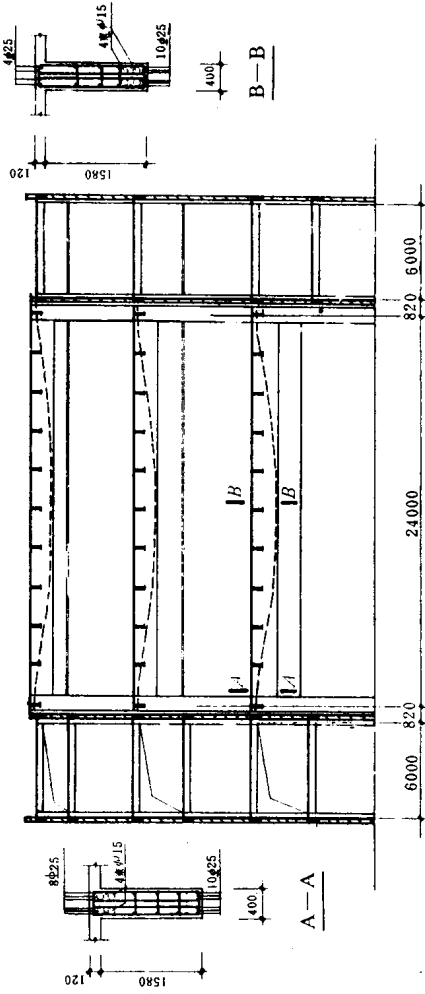
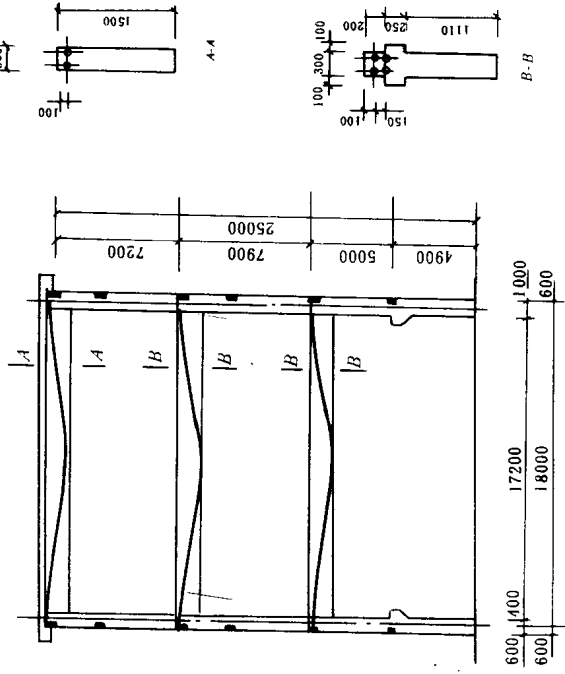
(a) 平面



(c) 18m 车间剖面

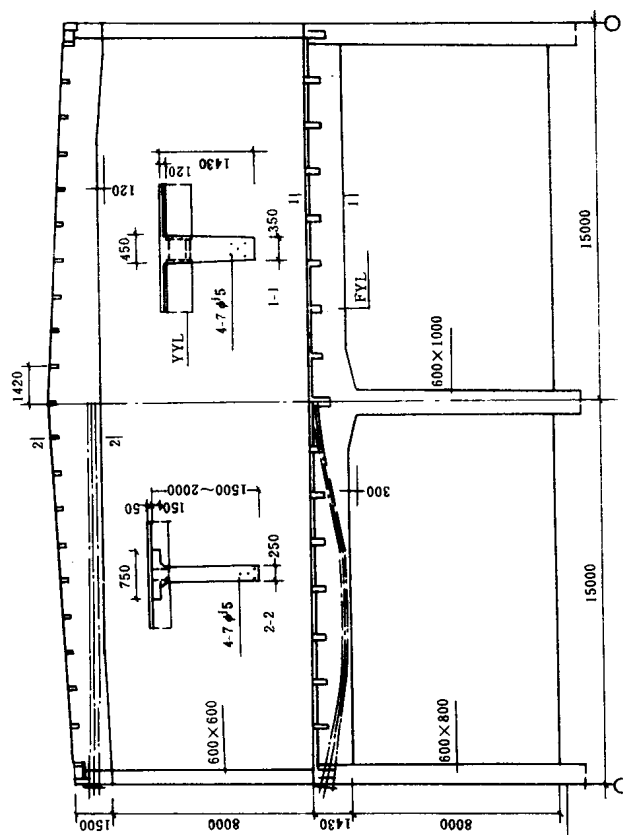
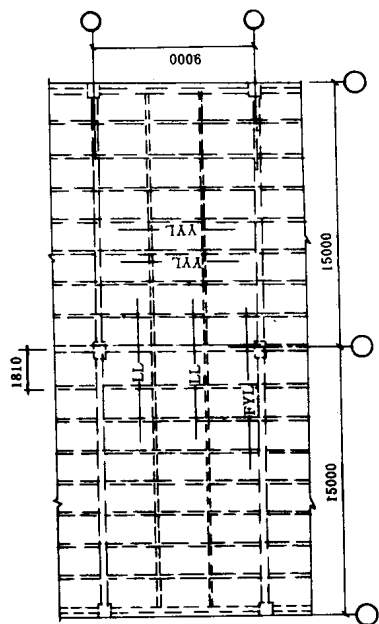


(b) 18m 仓库剖面

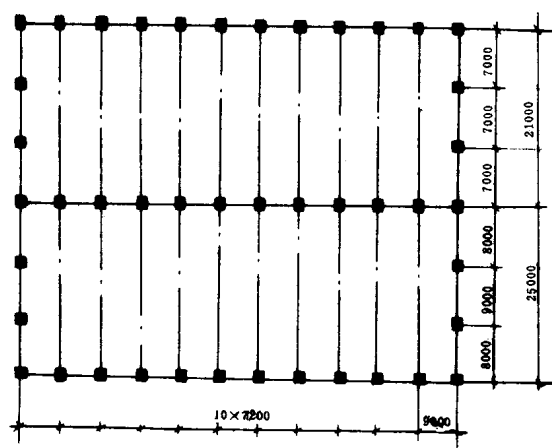


(d) 24m 纱整理车间剖面

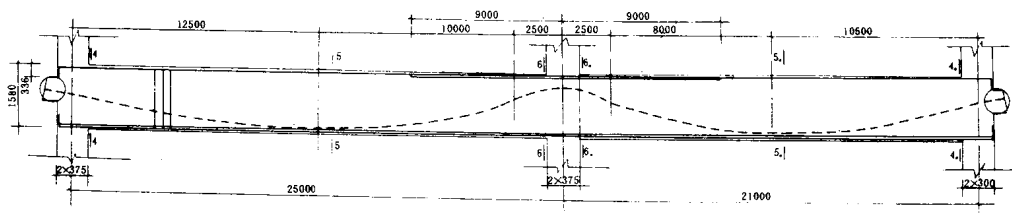
图 3 18~24m 部分预应力框架—多孔板截面



(e) 30m 屋盖
图 3 (续)



(a)两跨平面



(b)预应力筋布置

图 4 江西涤纶厂多跨车间

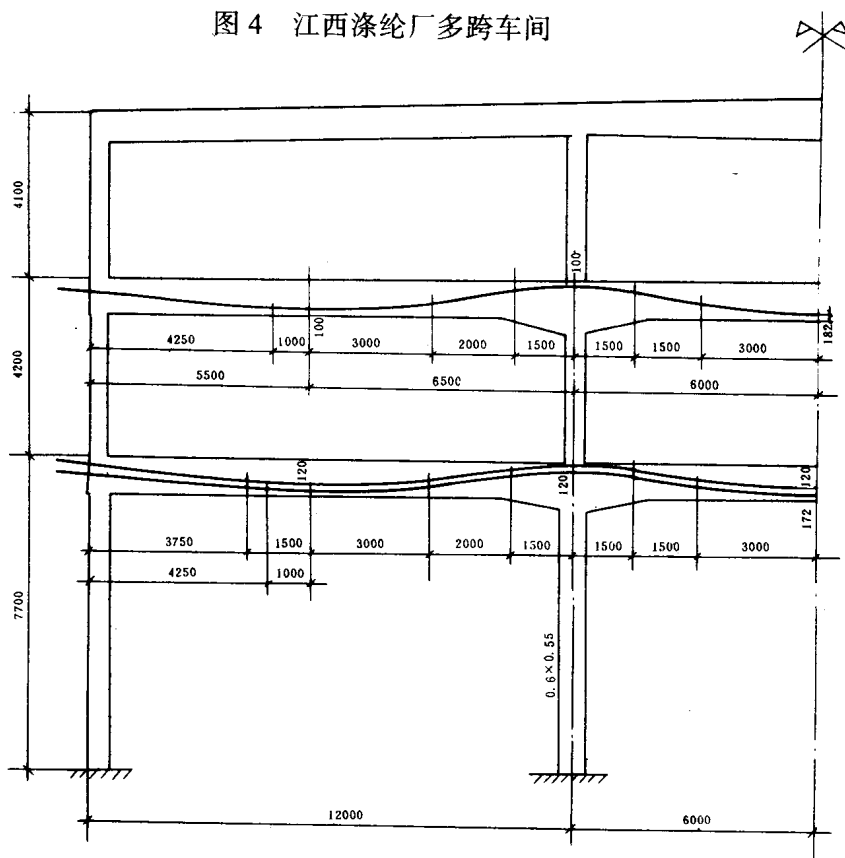


图 5 3 跨仓库

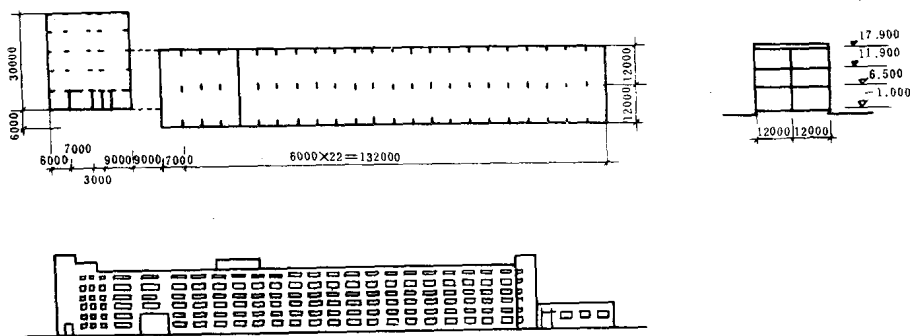


图 6 重庆中南橡胶厂部分预应力框架

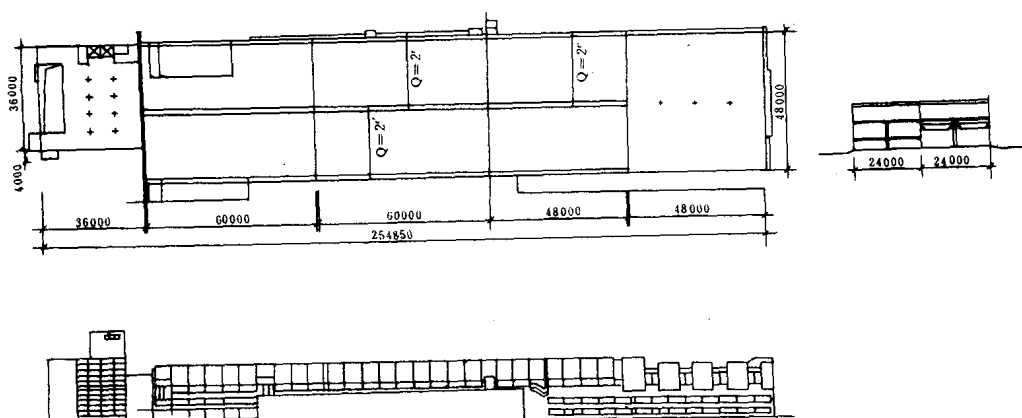


图 7 重庆轮胎总厂部分预应力框架

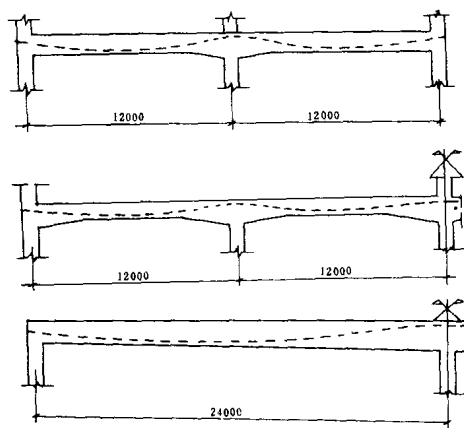


图 8 预应力筋布置

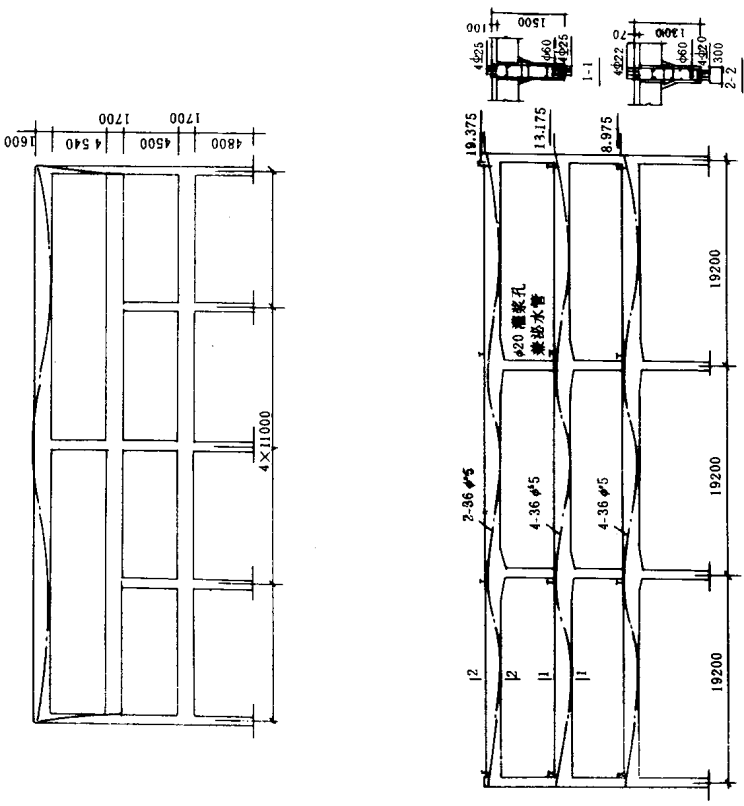
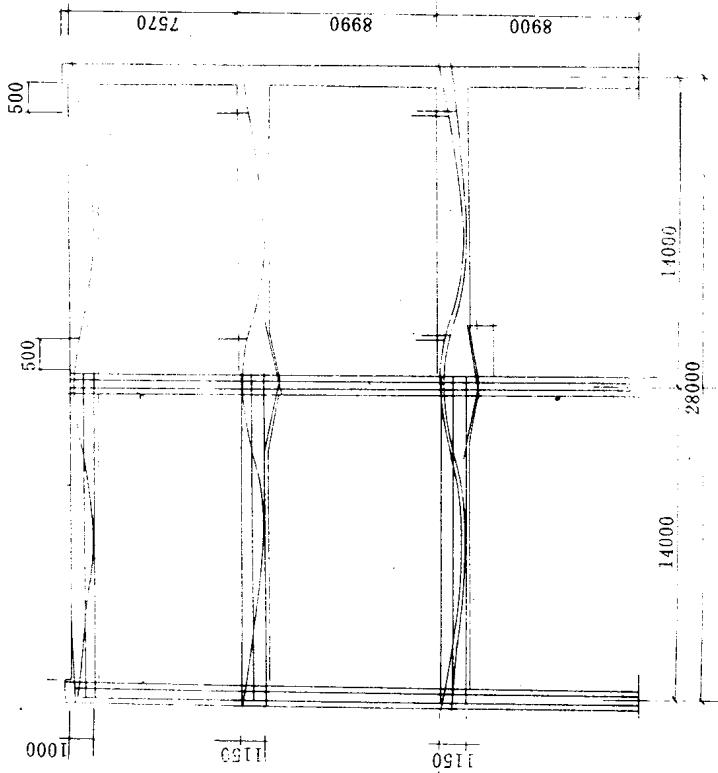
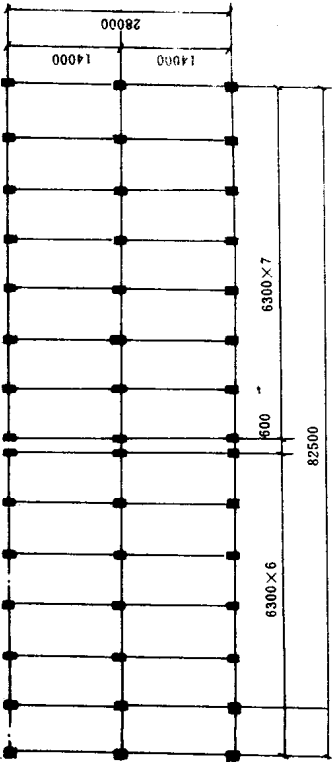
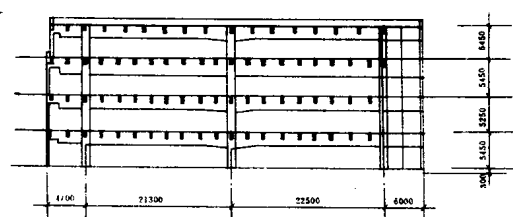
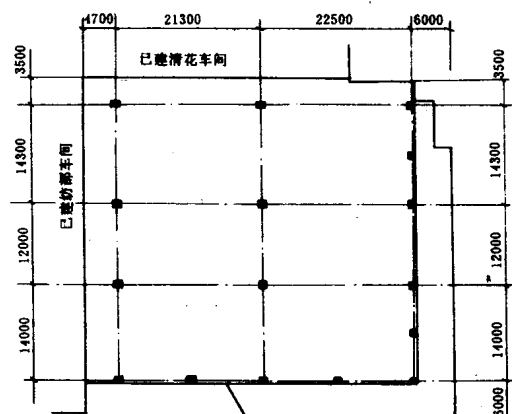


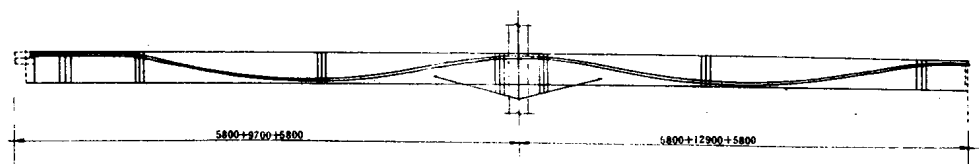
图 9 多跨预应力筋布置



(a)剖面

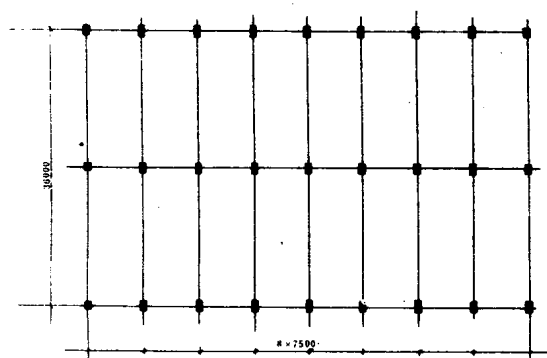


(b)平面

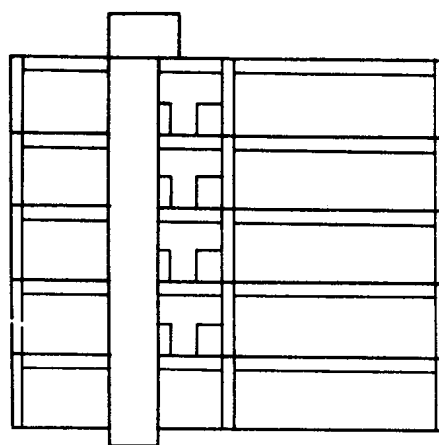


(c)框架预应力筋布置

图 10 双向预应力(大悬臂)厂房



(a)平面



(b)五层剖面

图 11 无粘结部分预应力框架-多孔板结构