

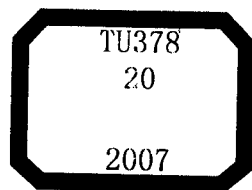
结构设计施工计算实例丛书

预应力混凝土 建筑结构

宋玉普 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



结构与施工计算实例丛书

预应力混凝土建筑结构

宋玉普 编著



机械工业出版社

本书为“结构设计与施工计算实例”丛书之一,书中通过大量的工程实例,对混凝土的各种结构形式进行了分门别类的剖析,以使读者能够通过实例举一反三,从而掌握在实际工作过程中设计与施工的计算方法。本书共分六章,主要内容为:第1章绪论,介绍了预应力混凝土所用材料、计算模型、计算手段、施工手段、施工队伍的发展现状和发展趋势;第2章预应力混凝土楼盖结构体系,包括无粘结预应力混凝土平板和宽扁梁平板楼盖结构体系、预应力混凝土井式楼盖或密肋梁板结构体系和预制预应力混凝土梁(板)叠合楼盖结构体系;第3章预应力混凝土建筑结构体系,包括预应力混凝土框架和框架—剪力墙结构体系、预应力混凝土板柱结构体系和板墙结构体系、预应力混凝土悬挑结构体系;第4章预应力混凝土转换层结构体系,包括预应力混凝土梁式、桁架和厚板转换层结构体系;第5章预应力混凝土折板结构体系,包括预应力混凝土折板结构的简化计算和施工、预应力混凝土雁形板的设计和施工;第6章体外预应力加固技术,主要介绍在加固框架梁、空心板及宽扁梁中的应用。

本书可供土木建筑工程设计、施工及监理人员参考,同时亦可作为高校相关专业师生及科研人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

预应力混凝土建筑结构/宋玉普编著. —北京:机械工业出版社, 2007.5
(结构设计与施工计算实例丛书)

ISBN 978-7-111-21049-8

I. 预… II. 宋… III. 预应力混凝土结构 IV. TU378

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 026846 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:薛俊高 版式设计:冉晓华 责任校对:陈立辉

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

三河市宏达印刷有限公司印刷

2007 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·9.5 印张·351 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-21049-8

定价:29.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)68327259

封面无防伪标均为盗版

前 言

预应力混凝土结构的应用越来越广泛，目前已遍及建筑、桥梁、电视塔、核电站安全壳、混凝土采油平台、坝体中引水洞和排沙洞等的衬砌、闸墩、渡槽、地下洞室、坝体和高边坡加固、水处理和水池、球形水塔和筒仓仓壁，其设计与施工计算日趋复杂。为了使设计和施工人员能够迅速掌握预应力混凝土结构设计和施工的有关知识和成功经验，机械工业出版社组织编写了“结构设计与施工计算实例丛书”，包括《混凝土结构设计与施工细部计算示例》、《预应力混凝土桥梁结构》、《预应力混凝土特种结构》和本书。

在 21 世纪土木工程实用技术丛书的《钢筋混凝土结构》和《新型预应力混凝土结构》中已介绍了静定、超静定预应力混凝土结构和各种新型预应力混凝土结构的基本设计原理和方法。本书在总结大量的设计、施工资料的基础上，按预应力混凝土建筑结构的分类介绍了预应力混凝土建筑结构的设计与施工，给出尽量多的工程实例，这些实例反映了不同的侧重面，尽可能包括不同的设计和施工方法，并且同一工程实例编在同一节中，以使设计、施工人员便于查找。本书共分 6 章。第 1 章绪论，介绍预应力混凝土建筑结构体系及其特点，预应力混凝土建筑结构在材料、计算模型、计算手段、施工方法的现状和发展方向。第 2 章预应力混凝土楼盖结构体系，介绍了无粘结预应力混凝土平板楼盖结构体系；无粘结预应力混凝土宽扁梁平板楼盖结构体系；预应力混凝土井式楼盖或密肋梁板结构体系和预制预应力混凝土梁（板）叠合楼盖结构体系。第 3 章预应力混凝土建筑结构体系，介绍了预应力混凝土框架结构体系；预应力混凝土框架—剪力墙结构体系；预应力混凝土板柱结构体系；预应力混凝土板墙结构体系；预

IV

应力混凝土悬挑结构体系。第4章预应力混凝土转换层结构体系，介绍了预应力混凝土梁式转换层；预应力混凝土桁架转换层；预应力混凝土厚板转换层。第5章预应力混凝土折板结构体系，介绍了预应力混凝土折板结构的发展；预应力混凝土折板结构的简化计算；预应力混凝土折板屋盖的施工；预应力混凝土雁形板的设计和施工。第6章体外预应力加固技术，介绍了体外预应力加固技术在框架梁改造工程中的应用；体外预应力加固现浇空心板及宽扁梁技术。

由于编者水平有限，书中难免有缺点乃至错误，敬请读者批评指正。

宋玉普

2007年元月于大连理工大学

目 录

前言

第 1 章 绪论 1

参考文献 4

第 2 章 预应力混凝土楼盖结构体系 5

2.1 无粘结预应力混凝土平板楼盖结构体系 5

2.1.1 陕西信息大厦超高层结构设计 5

2.1.2 厦门昌林高层公寓楼的结构设计 13

2.1.3 广东国际大厦 63 层无粘结预应力平板楼盖的设计 ... 20

2.1.4 宁波市高层星级酒店无粘结预应力技术的应用 35

2.1.5 广州天河正佳商业广场平板无粘结预应力混凝土施工 39

2.1.6 东翠花园住宅楼无粘结预应力混凝土结构的施工技术 ... 43

2.1.7 有粘结预应力混凝土无梁平板在厂房中的应用实例 45

2.1.8 预应力混凝土空心平板屋面工程实例 49

2.2 无粘结预应力混凝土宽扁梁平板楼盖结构体系 50

2.2.1 北京方庄芳群园无粘结预应力扁梁平板楼盖设计 51

2.2.2 辽宁电视台彩电中心无粘结高效预应力扁梁平板工程设计 55

2.2.3 海口南方大厦无粘结预应力扁梁平板楼盖体系的施工 59

2.2.4 超常预应力扁梁—平板结构的设计与施工实例 63

2.2.5 无粘结预应力混凝土扁梁—平板结构设计实例 66

2.2.6 无粘结预应力扁梁—平板结构现浇楼面施工技术实例 ... 70

2.2.7 天津华联商厦无粘结预应力扁梁框架—剪力墙体系 ... 72

2.2.8 预应力混凝土扁梁—平板楼盖体系在高层结构中的应用实例 75

2.3 预应力混凝土井式楼盖或密肋梁板结构体系 77

2.3.1 27m×27m 无粘结部分预应力混凝土井字梁应用实例 ... 77

2.3.2 重庆金汤大厦工程实例 ... 81

2.3.3	南阳理工学院无粘结预应力井式梁的设计与施工	83	3.1.3	北京汽车摩托车公司装配楼后张有粘结预应力框架设计	154
2.3.4	后张有粘结预应力现浇屋盖井式梁的施工实例	87	3.1.4	无粘结预应力框架梁钢管混凝土柱施工技术	157
2.3.5	北京大元高科食品加工车间预应力混凝土井式梁楼盖的设计与施工	90	3.1.5	预应力混凝土异形柱框架结构的性能及设计	160
2.4	预制预应力混凝土梁(板)叠合楼盖结构体系	96	3.2	预应力混凝土框架—剪力墙结构体系	164
2.4.1	北京西苑饭店预应力薄板叠合楼板的设计	97	3.3	预应力混凝土板柱结构体系	168
2.4.2	金源世界中心大厦预应力薄板叠合楼盖的构造	107	3.3.1	无粘结预应力混凝土板柱结构体系	168
2.4.3	长沙职工技术培训中心大楼预应力混凝土叠合结构体系的设计与施工	113	3.3.2	大跨度预应力混凝土空腹夹层板柱结构体系	193
2.4.4	厦门国际金融大厦预应力混凝土叠合楼面的施工	116	3.4	预应力混凝土板墙结构体系	197
2.4.5	高效预应力叠合结构的设计与施工	121	3.4.1	预应力板墙结构体系的特点	198
2.4.6	预应力混凝土双向密肋夹心(空心)叠合板楼盖	127	3.4.2	中山市高层公寓无粘结预应力混凝土平板墙体系	198
参考文献		130	3.4.3	高层住宅无粘结预应力连续平板板墙结构体系应用实例	200
第3章	预应力混凝土建筑		3.4.4	预制后张叠合整体预应力板墙结构体系	203
	结构体系	132	3.5	预应力混凝土悬挑结构体系	207
3.1	预应力混凝土框架结构体系	132	3.5.1	同济大学图书馆有粘结预应力悬挑结构体系的施工	207
3.1.1	无锡国棉四厂新纺部车间有粘结预应力框架与无粘结大跨次梁结构体系	132	3.5.2	广东国际大厦主楼无粘结预应力悬挑板的施工	214
3.1.2	某多层大跨度预应力框架结构设计、施工、楼盖抗微振及动力测试	140	3.5.3	海信大厦有粘结预应力悬臂梁和无粘结预应力宽扁梁、	

平板体系	223	住宅工程	264
参考文献	228	4.3.4 乾鸿苑大厦	264
第4章 预应力混凝土转换层结构体系	230	4.3.5 宁波浙海大厦二期工程	265
4.1 预应力混凝土梁式转换层	230	4.3.6 预应力混凝土厚板转换层混凝土的施工实例	266
4.1.1 转换梁施加预应力的优点	230	参考文献	267
4.1.2 预应力混凝土转换梁的设计	231	第5章 预应力混凝土折板结构体系	269
4.1.3 预应力混凝土直梁转换层实例	232	5.1 概述	269
4.1.4 预应力混凝土曲梁转换层实例	250	5.2 预应力混凝土折板结构的简化计算	270
4.2 预应力混凝土桁架转换层	254	5.3 预应力混凝土折板屋盖的施工	272
4.2.1 南京水产大厦	255	5.3.1 福建炼油厂预应力混凝土折板屋盖结构的施工	272
4.2.2 山东世界贸易中心会展楼	258	5.3.2 中国科学院中关村北区集中供热厂煤库工程预应力折板的施工	276
4.2.3 浙江省交通规划设计研究院综合办公楼	258	5.3.3 北京房山区体委篮球训练馆	280
4.2.4 长春客车厂技术中心大厦	258	5.3.4 北京北郊某液化石油气灌瓶厂	280
4.2.5 雁城浩洋大厦	258	5.3.5 洛阳炼油厂缓冲池	280
4.2.6 预应力混凝土桁架转换层的设计与施工建议	259	5.4 预应力混凝土雁形板的设计与施工	281
4.3 预应力混凝土厚板转换层	263	5.4.1 概述	281
4.3.1 预应力混凝土厚板转换层的优点	263	5.4.2 预应力混凝土雁形板的设计计算	281
4.3.2 南京市姜子巷小区四期工程	264	5.4.3 雁形板的结构构造	283
4.3.3 保定康乐广场高层		5.4.4 雁形板施工	284
		5.4.5 预应力屋面雁形板工程实例	284

参考文献	291
------------	-----

第 6 章 体外预应力加固技术..... 292

6.1 概述	292
--------------	-----

6.2 体外预应力加固技术在框架 梁改造工程中的应用	292
-------------------------------------	-----

6.2.1 体外预应力加固设计	292
-----------------------	-----

6.2.2 体外预应力索的构造	293
-----------------------	-----

6.2.3 体外预应力加固 的施工	294
----------------------------	-----

6.3 体外预应力加固现浇空心板 及宽扁梁技术

应用实例	294
------------	-----

6.3.1 工程概况	294
------------------	-----

6.3.2 加固方案选取	295
--------------------	-----

6.3.3 预应力叠合板构件加固方案 设计	295
--------------------------------	-----

6.3.4 加固施工	295
------------------	-----

参考文献	296
------------	-----

第 1 章 绪 论

近年来,我国预应力混凝土建筑结构发展很快,结构形式也日趋多样化和复杂化。

首先水平向楼面、层面结构的楼盖结构体系有:无粘结预应力混凝土平板楼盖结构体系、无粘结预应力混凝土宽扁梁平板楼盖结构体系、预应力混凝土井式楼盖或密肋梁板结构体系、预制预应力混凝土梁(板)叠合楼盖结构体系。

整个房屋建筑结构的竖向结构和水平向结构联合的结构体系有预应力混凝土框架结构体系、预应力混凝土框架—剪力墙结构体系、预应力混凝土框架—筒体结构体系、预应力混凝土板柱结构体系、预应力混凝土板墙结构体系。另外,一种特殊的结构体系——预应力混凝土悬臂梁或大悬挑结构体系的应用也很广泛。

在高层建筑中,由于建筑结构下部和上部使用功能的不同,结构的布置和刚度相差较大,所以常在转换部位设置预应力混凝土转换层结构体系。常用的预应力混凝土转换层结构体系有预应力混凝土梁式转换层结构体系(包括直梁和曲梁)、预应力混凝土桁架转换层结构体系、预应力混凝土厚板转换层结构体系。

另外,预应力混凝土折板屋盖结构体系近年来发展也较快,特别是在工业厂房、仓库、石油化工厂、铁路货运站货棚、客运站雨棚等方面应用更为广泛。

在 V 形折板屋盖结构的基础上发展起来的雁形结构体系自 1979 年问世以来也得到了很大的发展,已广泛应用于四川、重庆、湖北、湖南、贵州、广东、江苏等省市的各种类型的屋盖中。

在结构加固技术中,体外预应力的应用已越来越多。在建筑结构中主要用于梁、板的加固。

采用上述结构措施,可使预应力混凝土建筑结构具有如下特点:

(1) 采用预应力平板、扁梁、井式楼盖(密肋板)结构可减少层高,充分利用空间、节约空间,并且可实现大跨度、大开间,减少内柱、内墙,使结构布置灵活,增加使用面积,经济效益突出。

(2) 采用预应力转换层的空腹桁架,拱架结构或传力梁结构,利用空间形成楼层或夹层,以放置各种水、电、空调等管线和有关设备,充分利用空间,并且减少了维护结构,节约能源。

(3) 多层、高层建筑的局部预应力大悬臂或大悬挑结构与周围建筑可衔接,

少占地,向空间赢得了更多的建造面积,并丰富了建筑造型。

(4) 多层、高层建筑的预应力叠合结构,即在工厂或现场生产预应力构件,然后经现浇整体的叠合结构,使其预应力结构成为廉价模板,不仅节约了模板,而且便于工厂的生产,整体性好,并加快了建造工期。

(5) 多层、高层预应力混凝土建筑截面小、自重轻、整幢建筑的重量小,从而减少了地震力作用,增强了结构的抗震性能。

在上述预应力混凝土结构的设计与施工中,材料逐渐向高强轻质方向发展;试验方法逐渐向先进化方向发展;计算模型逐渐向真实结构方向发展;计算手段逐渐向计算机化和有限元化方向发展;施工手段逐渐向机械化方向发展;施工队伍逐渐向专业化方向发展。

在材料方面,预应力混凝土结构已普遍应用 C40 ~ C45 级混凝土, C50、C60 级高性能混凝土在工程中也已有一定的应用,少量工程已设计到 C80 级,并能泵送施工,个别工程已应用 C100 级泵送混凝土。建设部已将推广应用 C50 ~ C80 级混凝土连续列入“八五”、“九五”、“十五”、“十一五”重点推广项目,2002 年出版的《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)已将强度级别拓展到 C80 级^[3]。自密实混凝土的研究与应用发展很快, C60 级和 C100 级自密实混凝土已应用于深圳赛格广场大厦和沈阳远吉大厦等建筑物的钢管混凝土柱中。

在预应力钢筋方面,我国已引进和改进低松弛、高强度预应力钢丝、钢绞线生产线 30 余条,预应力钢绞线和钢丝的年销售量已达 60 万 ~ 70 万 t。高强度低松弛钢筋已成为我国预应力混凝土的主导钢筋,高强度低松弛钢绞线的抗拉强度标准值已达到 1860MPa,消除应力钢丝的抗拉强度标准值已达到 1770MPa。在预应力混凝土结构中的非预应力钢筋主要为 HPB235 级和 HRB335 级热轧钢筋,目前正在大力推广应用 HRB400 级热轧钢筋,并已列入 2002 年出版的《混凝土结构设计规范》中,并明确了为建筑用主导钢筋。在预应力锚具和张拉设备方面,我国已研制出 JM、XM、QM、OVM、HVM 锚具,并形成 200kN 至 1000kN 预应力锚具及配套张拉设备体系。最近研制成功适用于 2000MPa 级钢绞线的夹片式群锚,在性能指标方面已达到了 FIP《后张预应力体系验收建议》的技术要求。其预应力设备的生产水平和产业化水平都有了很大的提高。无粘结预应力成套技术已获得大量推广应用,累计推广使用面积达 5000 万 m² 以上。

但与先进国家相比,我国在预应力混凝土材料方面仍有一定的差距,如先进国家的混凝土强度等级平均水平为 C50 ~ C60 级,预应力混凝土已达 C70 级,个别建筑已使用到 C220 级。欧美国家的 400 ~ 600MPa 级钢筋用量已达到 95% 以上。自密实混凝土在美国、英国、加拿大和日本等国,使用量已达到混凝土总量的

30%~40%。轻质混凝土已达 C60 级,密度为 1600kg/m^3 。有的工程已应用超过 C100 级的轻混凝土,密度为 1865kg/m^3 。目前已配制出密度为 2070kg/m^3 ,抗压强度达 C140 级的超高强轻质混凝土。

目前国外大量研究采用的钢绞线拉索高防腐、防振技术和体外束成套技术在我国的研究生产刚刚起步。国外非金属预应力筋的开发研究方面已做了大量工作,并已获得若干工程应用,我国目前的研究开发工作刚刚起步。另外我国预应力材料、锚具等的质量稳定性需要进一步提高;预应力专用机具设备还存在配套性不齐、耐用性低的不足。

针对上述差距,我国争取到 2020 年,普通混凝土强度提高到 C40~C60 级,平均 C50 级,高强混凝土的强度等级提高到 C60~C100 级。预应力钢筋的强度提高到 2000MPa,江西新余目前已生产出 2000MPa 的钢绞线,非预应力钢筋的强度提高到 400~500MPa,并研制生产强度级别大于 1770MPa,直径为 21.8mm 和 28.6mm 的大直径预应力钢绞线。研制生产新型高抗腐蚀钢绞线,如镀锌—铝钢绞线、预应力不锈钢棒、树脂充填被覆的超耐久性钢绞线,并进一步完善环氧涂层钢绞线的生产工艺,提高产品质量。目前柳州已生产出喷环氧防护层钢绞线和另带 2 层 PE 塑料套管及油脂,共有 4 层防护的无粘结钢绞线。

在计算模型方面,逐渐向真实结构的二维、三维方向发展。以前由于受到计算和试验手段的限制,常把复杂的结构简单化,三维问题简化为二维,甚至一维问题分析。现在由于先进的试验和计算手段的发展,完全可以考虑真实结构模型的分析计算,如复杂边界条件可采用试验模拟和有限元方法计算,特别是先进的试验手段使计算模型中的参数可确定得很准确。如空间曲线预应力钢筋的摩擦损失可通过试验方法准确确定。

在试验方法方面逐渐向先进化方向发展。混凝土的强度评定,除回弹法、拉拔法、钻芯法之外,还应用了超声波法、超声回弹综合法、拉脱法、射钉法等。在应变检测方面,除电阻应变传感器、钢弦式传感器外,新型的光纤应变传感器已开始应用于工程。在检测裂缝发生和发展方面,应用了多声道声波仪、光弹贴片法、云纹法、激光散斑法及采用新型的光纤应变法等。在无损检测技术中应用冲击反射(回波)法,还有探索混凝土内部损伤的雷达仪。在观测混凝土构造方面应用电子显微镜、工业 CT 等。先进的电液伺服静、动单轴和三轴试验机、快速应变记录仪、大型加力架已应用于预应力混凝土结构的试验中。随着科学技术的进步,试验技术还将不断地发展。

在计算手段方面,逐渐向计算机化和有限元化方向发展。预应力混凝土结构分析中某些部位的应力状态,如应力集中,很难用常规的力学手段分析。另外对

于复杂结构的传统分析方法仅为近似的计算结果,许多因素很难考虑,如预应力钢筋与混凝土的摩擦,而采用有限元方法,应用计算机计算可获得很多传统计算方法无法得到的结果,并具有较好的精度。目前 SAP、ADINA、ANSYS 等国际大型软件及国内开发的软件已广泛应用于结构分析中,从而使考虑的结构内力更加真实,配筋更加全面,如出现了三向,甚至四向配置预应力钢筋的结构。

预应力混凝土结构的施工是较复杂的过程,施工手段直接影响到施工进度和施工质量,先进的机械化的施工手段已使我国预应力混凝土结构的施工过程大大缩短,施工质量大幅度提高。商品混凝土从搅拌站搅拌、罐式运输车运输,直到泵送混凝土入仓全部是机械化生产,如果能全面实现自密实混凝土施工,施工进度与质量将还会大幅度提高。在预应力张拉锚具方面,已形成了 200 ~ 10000kN 的预应力锚具及配套张拉设备体系。对后张法预应力混凝土孔道的堵塞可用软轴疏通机疏通。先进的灌浆设备和技术使预应力混凝土结构的质量有了很大的提高。今后应进一步开发和应用新型高抗腐蚀孔道成型和灌浆技术,包括塑料孔道、孔道灌浆专用灌浆材料及真空辅助压浆技术等。实行锚具生产的许可证制度。在高层建筑中开发预制现浇相结合的装配整体式结构,推广应用预应力混凝土结构技术,如预制预应力混凝土梁、板、现浇柱或预制预应力混凝土梁、板、柱与现浇节点相结合的各种装配整体式建筑结构体系。

预应力混凝土施工队伍也逐渐向专业化方向发展,这可显著提高预应力混凝土的施工技术。预应力混凝土施工中的每个环节,均由专人负责,不仅可保证质量,同时也加快了施工速度,特别是预应力灌浆技术复杂,而且是决定预应力混凝土结构质量的关键,如灌浆不密实,会引起钢筋锈蚀,导致预应力混凝土梁断裂。所以专人负责灌浆,严格控制进浆、出浆、封口等环节十分重要。今后应发展大型专业预应力工程公司,使其不仅具有自己的预应力专用产品和配套的质量保证体系,有整套的预应力专业施工技术和现场服务体系,还应具有研究、产品开发和预应力混凝土结构设计与施工的高水平咨询能力。从而树立起我国的国际品牌预应力体系,建立起能参与国际投标竞争的高水平预应力工程公司。

参 考 文 献

- [1] 宋玉普,王清湘.钢筋混凝土结构 [M].北京:机械工业出版社,2004.
- [2] 宋玉普.新型预应力混凝土结构 [M].北京:机械工业出版社,2006.
- [3] 中国建筑科学研究院. GB50010—2002 混凝土结构设计规范 [S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [4] 周光召. 2020 年中国科学技术发展研究. 下册 [M].北京:中国科学技术出版社,2006.

第 2 章 预应力混凝土楼盖结构体系

在建筑工程中,目前应用较多的预应力混凝土楼板和楼盖结构体系主要有:无粘结预应力混凝土平板楼盖结构体系、无粘结预应力混凝土宽扁梁平板楼盖结构体系、预应力混凝土井式楼盖或密肋梁板结构体系、预制预应力混凝土梁(板)叠合楼盖结构体系。

2.1 无粘结预应力混凝土平板楼盖结构体系

本节结合陕西信息大厦超高层结构的设计、厦门昌林高层公寓楼的设计、广东国际大厦的设计和宁波市某四星级酒店的施工、广州天河正佳商业广场的施工、广西贵港肉类加工厂食品加工楼的施工、广州东翠花园的施工等工程实例来说明无粘结预应力混凝土平板楼盖结构体系的设计和施工。

2.1.1 陕西信息大厦超高层结构设计^[1]

2.1.1.1 工程概况

陕西信息大厦位于西安市南郊,是一座 5A 级智能化的现代化科技大厦。大厦总面积为 96800m^2 ,分裙楼与主楼两部分,其中裙楼建筑面积为 21800m^2 ,主楼建筑面积为 75000m^2 。裙楼地下一层,基础埋深标高 -7.1m ,地上四层高 20.4m 。主楼地下三层,基础埋深标高 -17.7m ,地上 52 层,总高度 189.4m ,是陕西省最高的一座超高层建筑。工程设防烈度为 8 度、近震,场地类别Ⅲ类,是国内 8 度地震设防区内最高的组合筒体钢筋混凝土结构,属全国超限高层建筑工程抗震审查的重点项目,经建设部抗震办公室三次组织专家审查对本工程结构方案予以肯定。图 2-1 为主楼标准平面图,图 2-2 为剖面图。

2.1.1.2 结构方案

1. 主楼与裙楼的关系

考虑到主楼与裙楼的基础埋深及地上部分高差悬殊,且结构类型不同;地基与基础的类型不同等因素,本工程主楼与裙楼之间用沉降缝分开。将主楼与裙楼设缝分开,既避免了主裙楼连为一体而引起的结构竖向刚度的突变,也避免了超高主楼对裙楼产生的较大偏心和连为一体后结构受力的复杂性,从而使主楼筒中筒结构的平面布置和竖向布置可尽量满足规则性的要求。

为保证主楼的嵌固作用,主楼与裙房之间在地面以下的缝内用粗砂填实。在

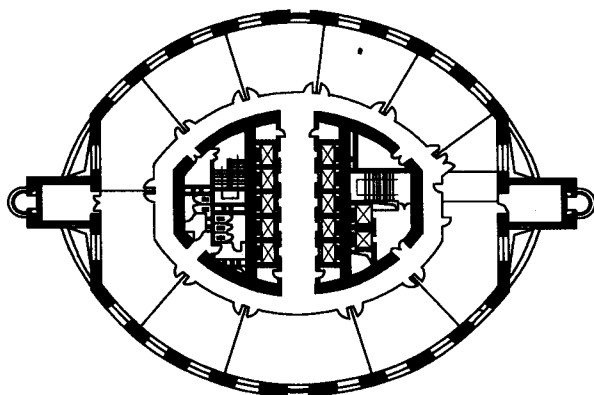


图 2-1 平面图

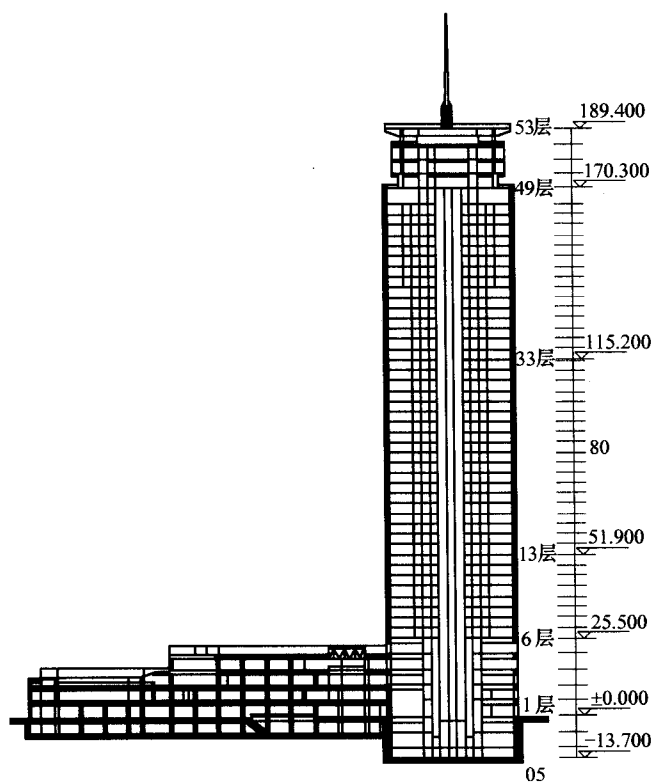


图 2-2 剖面图

施工步骤上,先施工主楼,待主楼封顶,实测主楼沉降基本稳定后,再施工裙楼。根据西安地区的工程经验,本工程主楼采用超长混凝土灌注桩,又作了后压

浆处理，主楼封顶后，施工裙楼是安全的。

2. 结构选型

主楼平面近似椭圆形，沿长轴方向两端布置两角筒，高度 189.4m，属超高层建筑，采用钢筋混凝土组合筒体结构。核心筒、角筒为钢筋混凝土结构，外筒为型钢混凝土结构，其中门厅入口处采用 2 根两层高的钢筋混凝土柱。1~7 层及 11 层、15 层、20 层、25 层、30 层、34 层、49 层均设钢骨混凝土环梁。裙楼属多层建筑，且平面不规则，采用钢筋混凝土框架结构。主楼主要结构构件截面尺寸见表 2-1。

表 2-1 主要结构构件截面尺寸

层数	外筒壁厚 /mm	内筒层厚 /mm	外筒环梁 $b \times h/\text{mm}$	内筒环梁 $b \times h/\text{mm}$	角筒及内筒 墙厚/mm	无粘结预应力 板厚/mm
2	800	900	500×2800 800×2350	900×1150 900×2350	400 ~ 300	
3	800	900	500×2800 800×1250	900×1050 900×2350	400 ~ 300	
4	800	900	800×2500	900×1150 900×2350	400 ~ 300	
5	800	900	500×2050	900×1150 900×2350	400 ~ 300	
6	800	900	500×1500	900×1150 900×2350	400 ~ 300	
7 ~ 10	800	900	500×1500	900×600 900×1150	400 ~ 300	220
11 ~ 20	700	800	500×1500	800×600 800×1150	400 ~ 300	220 (300)
21 ~ 30	600	700	500×1500	700×600 700×1150	400 ~ 300	220
31 ~ 40	500	600	500×1500	600×600 600×1150	400 ~ 300	220 (300)
41 ~ 48	500	500	500×1500	500×600 500×1150	400 ~ 300	220 (250)
49	500	500	500×2170	500×2000 500×2250	400 ~ 300	
50 ~ 52		400		400×2350		

注：括号内数字为层高度变化或楼层荷载较大部位的尺寸，14 层、33 层为避难层，49 层为转换层。

(1) 平面尺寸 外筒长轴尺寸与短轴尺寸之比, 含角筒时为 $55.4/38.8 = 1.43$, 不含角筒时为 $41/38.8 = 1.06$ 。内筒平面长轴尺寸与短轴尺寸之比为 $24.6/18.9 = 1.3$ 。

(2) 主楼高宽比的控制 外筒高宽比为 $189.4/38.8 = 4.88$, 内筒高宽比为 $189.4/18.9 = 10$ 。楼层结构为 3~6 层及 49~52 层采用钢筋混凝土梁、板结构; 为减少层高, 7~48 层采用部分无粘结预应力混凝土板结构。

(3) 材料

1) 混凝土强度等级: ± 0.000 以下墙为 C60; 梁、板、承台板为 C50, 内加高强防水剂。 ± 0.000 以上柱、外筒、内筒及内、外筒平面内的环梁: 1~20 层为 C60; 21~30 层为 C55; 31~40 层为 C50; 41~48 层为 C45; 49 层以上为 C40; ± 0.000 以上楼板及梁, 1~20 层为 C45; 21~49 层为 C40; 50~53 层为 C35。

2) 钢筋: 采用 HRB335 级钢筋及 HPB235 级钢筋; 预应力筋为 $f_{pk} = 1860$ N/mm² 钢绞线。

3) 型钢: Q345。

4) 钢管: 16Mn。

2.1.1.3 结构抗震计算

1. 线弹性分析

根据建设部批准的西安市抗震设防区划, 本工程结构设计地震动参数及场地类别如表 2-2 所示。抗震等级将墙、柱、框架等均列为一级。抗震计算使用以下两个计算程序进行结构计算:

1) TAT——高层三维计算薄壁桩模型;

2) SATWE——高层三维计算墙元模型。

表 2-2 结构抗震计算主要参数

设防 烈度	近震 远震	场地 类别	截面验算参数		变形验算参数	
			$\alpha_{\max}$	T_g/s	$\alpha_{\max}$	T_g/s
8	近	Ⅲ	0.17	0.45	0.8	0.75

用 TAT、SATWE 两种不同模型的程序对主楼进行计算, 考虑耦连与非耦连, 结果未出现超限信息, 其中耦连计算了 27 个振型周期, 见表 2-3。内外筒的剪力和弯矩分配见表 2-4。位移及基底剪力系数见表 2-5。

表 2-3 结构自振周期

程序	T_1/s	T_2/s	T_3/s	T_4/s	T_5/s	$T_6 \sim T_{25}/s$	T_{26}/s	T_{27}/s
TAT	3.2116	2.9795	1.2339	0.8715	0.7745	……	0.0620	0.0609
SATWE	3.5259	3.1624	1.5714	0.9432	0.8661	……	0.0769	0.0697