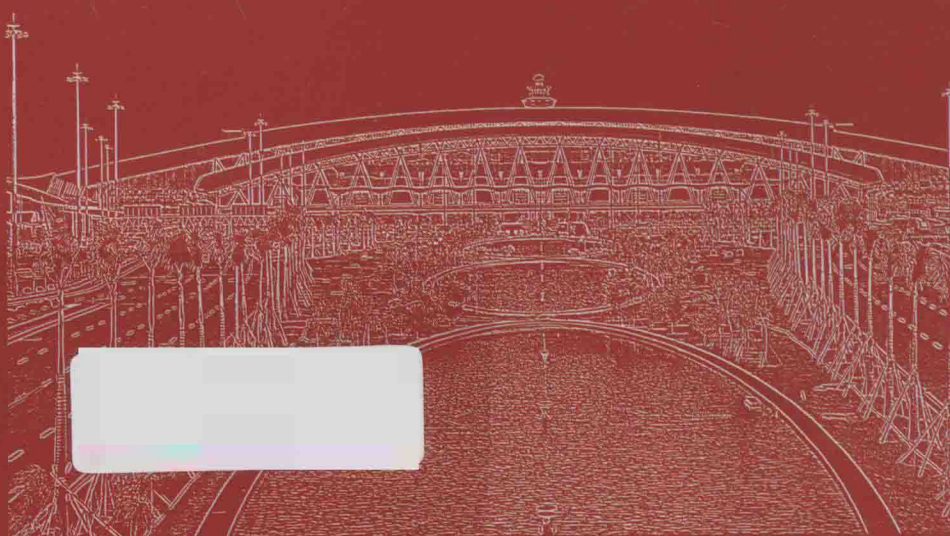
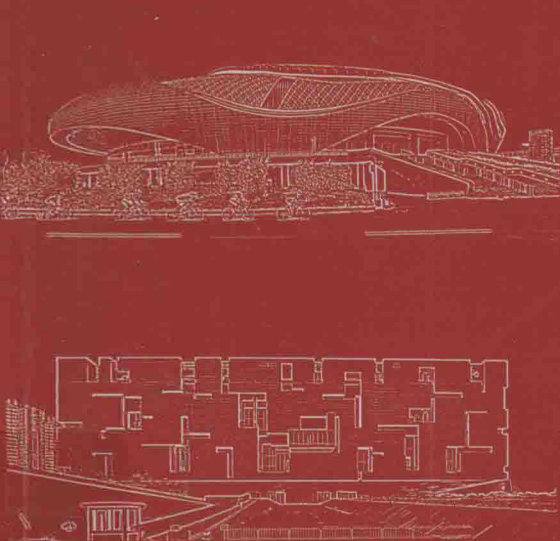




建筑结构设计实例

陈星 罗赤宇 李桢章 梁艳云 主 编
广东省建筑设计研究院 组织编写



中国城市出版社

建筑结构设计实例

陈 星 罗赤字 李桢章 梁艳云 主 编

广东省建筑设计研究院 组织编写

中国城市出版社

·北 京·

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构设计实例/陈星等主编. —北京: 中国城市出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-5074-2921-3

I. ①建… II. ①陈… III. ①建筑结构—结构设计
IV. ①TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 017223 号

本书系广东省建筑设计研究院部分建筑结构优秀设计汇编, 是广东省建筑设计研究院 2000 年以来高层公共建筑结构设计、大跨度公共建筑结构设计、高层居住建筑结构设计及市政交通建筑结构设计的代表作。每个项目内容均介绍工程概况、结构布置、计算方法、抗震构造措施、加强措施、地基基础等, 以图为主, 辅以文字说明, 具有较强的技术性和实用性, 对建筑结构设计、施工、监理及土建专业院校师生有较大参考价值。

* * *

责任编辑: 常 燕 付 娇

建筑结构设计实例

陈 星 罗赤字 李桢章 梁艳云 主 编

广东省建筑设计研究院 组织编写

*

中国城市出版社出版、发行 (北京市西城区广安门南街甲 30 号)

各地新华书店、建筑书店经销

广州恒伟电脑制作有限公司制版

北京振兴源印务有限公司印刷

*

开本: 889 × 1191 毫米 1/16 印张: 35% 字数: 1121 千字

2014 年 3 月第一版 2014 年 3 月第一次印刷

定价: 98.00 元

ISBN 978-7-5074-2921-3

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 100053)

本社网址: <http://www.citypress.cn>

前 言

广东省建筑设计研究院始建于1952年，已经走过了60年的光辉历程，正值建院60周年之际，广东省建筑设计研究院编辑出版《广东省建筑设计研究院建筑结构设计作品汇编（2000~2012）》，本书集中反映了广东省建筑设计研究院2000年以来在建筑结构设计领域的科技创新与研究开发的新成果。

随着我国经济快速发展，越来越多的大型、大跨度公共建筑、超限高层建筑、复杂高层建筑结构如雨后春笋般地拔地而起，有的高层建筑追求新、奇、特的建筑体形，这就给抗震安全和结构设计带来了新的挑战。广东省建筑设计研究院积极开展科研创新，针对不同的复杂结构进行研究，并将研究的创新技术应用于实际工程中，解决了难度较大的结构设计问题，积累了丰富的工程实践经验，涌现出一批优秀建筑结构设计，其中广州白云机场航站楼一期及二期扩建工程、广东省博物馆新馆、广州亚运城综合体育馆、广州2010亚运自行车馆、广州名汇商业大厦、广州名盛广场、正佳广场西塔楼、华润中心（一期）工程等项目均得到同行高水平的评价，为广东省乃至全国建筑结构设计领域的科技进步作出了积极的贡献，给社会带来了较好的影响力。

本书精选出广东省建筑设计研究院部分优秀建筑结构设计汇编成册，分为高层公共建筑篇、大跨度公共建筑篇、高层居住建筑篇及市政交通建筑篇。每个项目的内容均包括工程概况、结构布置、计算方法、构造大样、配筋做法、抗震构造措施、加强措施、地基基础，部分工程介绍了试验研究的主要结果。本书具有较强的技术性和实用性，对提高建筑结构设计水平有指导意义，对于结构设计人员，有较好的参考价值。

目 录

高层公共建筑

广州名盛广场结构设计	2
正佳广场西塔楼结构设计	16
广州琶洲跨国采购中心结构设计	31
华润中心（一期）工程结构设计	43
广州港湾广场结构设计	50
广州市交通信息指挥中心结构设计	58
广东国际大厦裙房改造结构设计	73
广州汽车工业大厦/京穗中心结构设计	86
深圳海运中心结构设计	97
广东全球通大厦（新址）结构设计	107
佛山保利商务中心结构设计	116
粤电信息交流管理中心结构设计	130
广州绿地金融中心结构设计	142
佛山东平广场结构设计	156
中广核大厦结构设计	164
江门海逸酒店结构设计	177
珠江新城 F2—4 地块项目结构设计	184
江门时代广场结构设计	198
云南汇都国际 C 座结构设计	210
珠江新城 D3—2 地块项目结构设计	226
招商局广场结构设计	239
珠海出入境检验检疫局综合实验楼结构设计	251
保定万博广场酒店结构设计	267
北京师范大学主教学楼（北楼）结构设计	274
保利中辰大厦 3 号楼结构设计	282
广州市国家档案馆新馆（一期）工程消能支撑框架结构设计	295
华贸中心商场结构设计	302
株洲市中心医院结构设计	309

大跨度公共建筑

广州白云机场航站楼一期及一期扩建工程结构设计	321
广东省博物馆新馆结构设计	334
广州亚运城综合体育馆结构设计	347
广州 2010 年亚运自行车馆结构设计	360
广州市花都区东风体育馆结构设计	375
佛山岭南明珠体育馆结构设计	387

惠州市金山湖游泳跳水馆结构设计	400
惠州市金山湖体育馆钢屋盖结构设计	408
揭阳潮汕机场航站楼及配套工程结构设计	413
北部湾体育中心——体育场	419
花都区文化艺术中心结构设计	434
广州大学城中心区体育场钢顶盖结构设计	449
汶川县体育馆结构设计	456

高层居住建筑

广州名汇商业大厦结构设计	466
科学城科技人员公寓(首期)结构设计	480
南海颐景园二、三期结构设计	489
佛山依云天汇 A21 地块结构设计	499
广州中海橡园国际结构设计	516

市政交通建筑

广州市珠江新城核心区市政交通项目	527
广州地铁四号线高架轻轨车站结构设计	547

高层公共建筑

广州名盛广场结构设计

建设地点 广州市

设计时间 2001~2006

主要设计人 陈 星 罗赤字 叶群英 林朴强 徐 静 王金锋 向 前 赖鸿立 李滨飞

获奖等级 全国第五届优秀建筑结构设计一等奖/全国优秀工程勘察设计行业奖建筑结构二等奖/
广东省优秀工程勘察设计二等奖

一、工程概况

名盛广场位于广州市北京路，是商业步行街的大型综合性超高层建筑（图 1）。建筑物塔楼为 36 层，地面以上总建筑高度为 168m；裙楼分为 A、B、C 三区，分别为 6 层、10 层及 9 层，5 层地下室埋深为 21m，地下室单层建筑面积近 1 万 m^2 且基本满占建筑物用地，项目总建筑面积为 14 万 m^2 。由于工程属旧城区改造项目，且地理位置、周边环境、场地条件和交通情况均比较复杂，部分建筑需跨越市政道路，分别形成 45m 跨度承托 5 层（图 2）及 27m 跨度承托 8 层的大跨度转换结构；另外，由于八层大宴会厅（图 3）顶层作为空中花园使用，需采用 36m 大跨度桁架屋盖作为结构支承。工程于 2001 年 11 月动工，于 2005 年 6 月裙房土建封顶，并于 2006 年 5 月投入使用，塔楼于 2009 年竣工。本工程建筑剖面见图 4。

本工程按 7 度抗震设计，大型商场区域抗震构造措施按 8 度考虑，场地类型为 II 类。为满足裙楼商场能尽快投入使用的要求，设计上根据工程特点采用了新型的混合结构框架—剪力墙筒体结构体系，地下室与裙楼各楼层采用钢梁与组合楼板的楼盖结构，塔楼采用内置型钢的板柱—核心筒结构。本工程在设计上采用了多项结构新技术，其中采用柱支式地下连续墙技术的 5 层地下室全逆作法设计、新型钢—高强混凝土组合构件的设计应用及大跨度钢—混凝土组合转换结构新技术的应用具有创新性，取得了良好的效果。

针对本工程面对的技术难题，设计上对整体结构及复杂的构件及节点进行了多个计算程序的精心计算及对比，并先后进行了一系列的科研试验和监测检验工作，对大厦的成功建设提供了技术支持，解决了多项结构超限问题。主要科学研究工作如下：

- 1) 大跨度预应力钢—混凝土组合拱架转换结构的试验研究；
- 2) 带约束拉杆异形钢管混凝土柱（墙）及节点试验研究；
- 3) 板柱—核心筒结构型钢混凝土节点试验研究；
- 4) 柱支式地下连续墙地下室逆作法新技术研究；
- 5) 地下室逆作法集成技术研究；
- 6) 地下室全逆作法施工过程基坑变形与大厦变形沉降的动态观测及数值研究；
- 7) 钢管混凝土柱混凝土 C80 高强混凝土高抛加振浇筑法试验。

二、钢—混凝土组合结构新技术的设计及应用

根据项目的特点，本工程结构设计通过理论计算分析和科学试验研究相结合，设计与施工密切配合，在工程中应用了多项钢—混凝土组合结构新技术。

1. 主体结构采用新型的混合结构框架—剪力墙筒体结构体系

本工程在裙楼及地下室采用竖向结构为带约束拉杆异形钢管混凝土柱（墙）组成的核心筒及钢管混凝土柱框架（图 5、图 6），钢管内充填 C70、C80 的高强混凝土，提高了墙柱的承载力及逆作施工支承结构的稳定性，各楼层采用钢梁与组合楼板的楼盖结构。带约束拉杆异形钢管混凝土柱（墙）结构具有钢

结构延性好,配合逆作法施工快捷的特点,同时又具有钢筋混凝土结构刚度大、抗压性能好等优点(图7),使商场部分墙柱面积减少,建筑视线通透。钢梁主要采用热轧或焊接H型钢,主要钢梁截面为H488×300及H582×300,部分大跨度的框架梁采用钢箱梁,梁柱节点连接主要是焊接与高强螺栓连接相结合,楼板采用压型钢板上浇筑混凝土组成钢—混凝土组合楼板。

本工程采用的带约束拉杆异形钢管混凝土柱(墙)技术是由高强混凝土填入异形薄壁钢管(如方形、L形、T形等)内,并在异形薄壁钢管各边按一定间距设置约束拉杆组成的组合结构构件(图8)。其基本原理是借助内填混凝土使钢管的局部屈曲模式发生变化,以及约束拉杆的拉结作用使钢管壁的变形减小,从而增强钢管壁的稳定性和延性;同时,借助钢管和约束拉杆对核心混凝土的套箍(约束)作用,使核心混凝土处于三向受压状态,从而使核心混凝土具有更高的抗压强度和变形能力。

在结构布置方面,考虑到的B区裙楼高度为55m,高层塔楼设置于尺寸为54m×80m的裙楼南侧,结构设计上在裙楼北侧利用楼梯间设置了两个剪力墙筒体,有效地减少了塔楼侧置造成的扭转影响。另外,由于塔楼标准层平面相对较小,后期改为带夹层的酒店式公寓,对建筑净空要求非常高,标准层大部分楼层改为内置型钢的板柱—核心筒结构(图9),顶部楼层为常规的框架—核心筒结构。针对塔楼部分楼层较多采用板柱—核心筒结构的情况,为确保超限结构的抗震性能,除了严格按照规范板柱节点的设计要求进行设计并进行详细的计算分析外,设计上还采用了以下加强措施:①两个核心筒左右对称布置,上下居中,避免了位置偏心;②增加核心筒外墙厚度及提高混凝土强度等级,并按核心筒承担全部结构地震剪力考虑;框架柱网尺寸控制在9m以内;塔楼剪力墙和框架的抗震等级均为一级。③楼盖采用了新型的型钢混凝土板柱节点,根据节点试验及ABAQUS软件对节点进行的弹塑性损伤分析,新型的板柱节点具有较好的抗冲切及抗弯性能。④考虑到平板厚度为250mm,自重较大,在楼板中填充轻质砌块使楼板自重减轻30%。⑤在柱上板带处设置框架暗梁,暗梁宽度取柱宽另加柱两侧各1.5倍板厚,暗梁支座上部穿柱钢筋面积不小于柱上板带钢筋面积的50%,暗梁下部钢筋不少于上部钢筋的1/2暗梁箍筋的配置。柱上板带支座处暗梁的上部钢筋,至少1/4在跨度方向拉通。⑥在外框处拉通板节点的型钢,形成强度较大外圈梁。外挑楼板设置200mm×500mm的封口梁。

为使超高层建筑具有良好的抗侧力刚度和承载力,结合建筑平面和竖向布置,结构设计在塔楼10层位置设置刚性层,在刚度稍弱的Y向共设4榀与中央钢筋混凝土芯筒(图10)相连的立放桁架作为刚臂,外框柱则用宽扁梁纵横闭合拉结。立放桁架的上、下水平杆件分别为上、下楼层的梁,而斜杆则为带约束拉杆方钢管混凝土构件(图11)。刚性层的设置使塔楼结构在地震作用及风荷载作用的层间位移得到了较好的改善。本工程整体计算分析采用SATWE软件,B区主要计算结果如表1。

主要计算结果

表 1

自振周期 (s)	T_1	4.99	T_2	4.32	$T_3 (T_4)$	3.18
	T_4	1.60	T_5	1.56	T_6	1.29
	T_7	0.78	T_8	0.76	T_9	0.50
地震作用下的位移			X 向		Y 向	
			顶点	1/1707	1/1150	
			层间	1/881	1/780	
风荷载作用下的位移			顶点	1/3718	1/1132	
			层间	1/1953	1/804	
地震作用下的基底弯矩 M_0 (kN·m)				1370398	1392247	
地震作用下的基底剪力 Q_0 (kN·m)				18367	18027	
风荷载作用下的基底弯矩 M_w (kN·m)				757706	1397798	

2. 45m 跨度新型预应力钢—混凝土组合自平衡拱架转换结构

由于A区部分建筑需跨越市政道路,形成45m跨度承托4层的大跨度转换结构,设计上将桥梁拱架

结构应用于民用建筑中,利用两个电梯筒及设置加强横墙的双钢管混凝土组合柱作为竖向支承结构,支承结构间设置跨度 45m 的矩形钢管混凝土拱架结构(图 12),并通过下弦拉杆设置预应力来达到转换结构水平力自平衡的效果。由于拱体受力主要为受压,在带约束拉杆的 1175mm×1000mm 矩形钢管内充填高强混凝土既能解决钢构件的稳定问题又能增加构件的抗压强度;钢拱架结构拱脚设在二、三层楼面标高处,以二、三层平面中内设预应力钢绞索的钢箱梁作为拱架的拉杆,其中二层钢箱梁截面为 1175mm×1500mm,三层截面为 1175mm×800mm,均采用厚度小于 30mm 的钢板,梁截面高度均能较好地满足建筑使用要求;各层楼盖结构以 466mm×466mm 方钢管及预应力钢绞线悬索拉吊于拱架上,与拱体和拉杆形成大跨度拱架结构(图 13);由于拱的作用可使大跨度结构成为现实,同时由于各构件组合而成的巨型框架又可成为稳定的结构体系,可承受各种使用荷载及外部作用。

吊杆作为拱架结构的主受力构件,吊杆与拱架的连接节点是悬吊楼层主要传力途径。设计采用计算与模型试验结合,模型试验结果表明,竖向吊杆除底层吊杆出现局部压应变外,其余应变均为拉应变,这表明吊杆起着将各层梁的荷载传递到拱上的作用;另外,由于吊杆对主拱杆件的下翼缘产生的局部应力较大,吊杆节点需要优化。针对模型试验结果,结构设计对吊杆采用了软硬杆结合的办法,466mm×466mm 方钢管内设置了预应力拉索,方钢管可承受压力及弯矩,并方便拱架施工及成型,而预应力钢索作为吊杆破坏的二次防线,并可解决了吊杆对主拱传力不明确的问题并使结构的挠度得到了有效的控制。

由于类似的结构在国内外应用较少,为了确保结构的安全及计算的准确型,计算上先后采用包括 SAP2000、ETABS、MIDAS 及 ANSYS 等程序对结构进行了较深入的分析,并进行了模型结构试验。结合国内的设计规范的参数,与科研单位密切配合,利用现有的计算手段对结构进行较真实的模型分析,使计算结果能真实反映结构实际受力情况。在对包括地震作用、风荷载及施工因素等各种可能出现的工况组合进行详细分析后,针对性地进行结构薄弱部位的构造加强以确保结构安全。计算和试验表明,由于钢管混凝土拱和边柱的主结构刚度很大,对于竖向挠度的控制起到了很好的作用。

3. 27m 跨度部分预应力钢—混凝土组合桁架转换结构

在 C 区和 B 区交界的位置有另外一段市政路的通过,转换结构上需承托上部 8 层荷重。设计上与建筑配合采用传力明确直接的桁架结构体系,在二、三层间利用两层的高度形成整体桁架以支承上部 8 层的荷重(图 14)。

桁架设计充分利用了钢构件受拉性能好及钢—混凝土组合构件抗压性能好的特点,上下弦杆采用钢箱梁,斜杆采用钢管混凝土构件;另外,在桁架受压杆件灌注混凝土,既减低混凝土浇筑难度又增强构件的受力性能。由于桁架一侧支承构件截面限制,设计上利用通风管道井处理为带约束拉杆异形钢管混凝土构件小筒体,除承受大跨度转换构件传递的弯矩外,还加强了整体结构的抗侧力刚度并改善了结构的抗震性能。为了有效地减少结构的挠度及下弦杆较大的拉力,在下弦杆设置四束 $8 \times \phi^{15.2}$ 无粘结预应力钢绞线形成部分预应力钢结构(图 15),经计算及实测,能很好地满足承载力及挠度的要求。对钢结构桁架采用部分张拉体外预应力的方法,可针对部分受力及变形较大的杆件进行,对减少用钢量及构件的挠度有着良好的效果。

4. 36m 跨度超重负荷预应力钢结构立体桁架

由于在 B 区裙楼屋顶需建造空中花园,屋面大跨度结构需负荷空中花园超过 20kN/m^2 的活荷载,常规的 36m 跨度网架远不能满足承载力要求。设计上确定采用部分预应力钢结构桁架作为主体支承结构(图 16),针对受力及变形较大的下弦进行体外预应力的张拉。考虑到常规做法因支座与主体结构采用两端固接,造成支承柱顶弯矩偏大,需要加强构造,且桁架杆件截面亦偏大;为了减少柱顶弯矩并优化桁架构件截面,本工程将使用在桥梁及市政工程上的定向盘式橡胶支座应用在支承结构上,形成桁架一端的可滑动支座(图 17)。为了减少地震作用上过大的位移对塔楼结构产生过大的影响,结构处理在连接部分采用加强构造处理。为方便桁架整体安装,设计与施工密切配合,制定了一系列施工方案,在 50m 高空完成每榀 70 多吨的桁架拼装及平移就位。

5. 钢管混凝土柱—钢梁通用节点

本工程竖向构件为钢管混凝土柱(墙),而梁为热轧或焊接 H 型钢,梁柱节点种类繁多。对于钢管混

混凝土柱,采用带环板的钢牛腿形式的梁柱通用节点(图17),而异形钢管混凝土柱则采用设加劲肋板的梁柱通用节点。首层以上采用钢梁与节点采用高强螺栓与焊接混合连接,地下室部分钢梁与节点采用焊接连接。带上下环板及节点加劲肋的环板节点能较好地将梁端弯矩和剪力传递到钢管柱,不会在钢管壁形成应力集中,又能解决内环板难以解决的混凝土浇筑质量的问题,施工方便且受力性能好;而节点设计形成一个具有良好内力重分布能力的刚性区,节点具有足够的刚度和承载力,框架梁塑性铰出现在节点区以外,达到“强柱、弱梁、节点更强”的要求。

6. 内置型钢的钢筋混凝土板柱节点

本工程属于超B级高层板柱—剪力墙结构,设计时从结构抗震体系及加强措施等多方面着手提高了结构的抗震性能。其中采用了具有良好抗剪、抗弯性能的新型内置型钢板柱节点(图18),节点内由工字钢和槽钢组成了型钢剪力键,设计独特的“柱边型钢方箍”相当于将柱顶支座向外扩移,从而减少了板跨中竖向位移;方箍及其延伸的型钢腹板承受了下面柱的冲切力,上下翼缘板参与了抗弯,型钢上翼缘上面的混凝土因拉裂退出工作时,型钢翼缘板可承受更大的作用力;从整体上起到了抗冲切和整体抗弯的作用;从有限元分析的混凝土受压损伤情况看,柱先于节点处而破坏,达到了强节点的性能目标。

7. 钢—混凝土组合楼盖新技术

结合本工程采用钢结构及逆作法的特点,设计上采用了压型钢板的组合楼盖结构。为解决单向布置次梁导致双向框架梁受力不均的情况,次梁结构布置以十字梁为主,9m×9m板格分为四块跨度为4.5m的双向板,设计上采用波高较小的单向压型钢板支模,组合楼盖总高度为150mm,利用十字梁楼盖体系及合理的双向钢筋配置,ANSYS有限元分析结果表明组合楼盖受力性能类似双向板楼盖,使纵横双向框架梁受荷基本一致,可改善主梁双向刚度不一致的情况。

8. 钢—混凝土组合构件内高强混凝土的浇筑与检测技术

本工程高层塔楼超过150m,为提高竖向构件的承载力,结构设计在带约束拉杆异形钢管混凝土柱(墙)及钢管混凝土柱下部楼层采用了C70、C80高强混凝土。为确保高强混凝土的质量,设计、施工及业主各方密切配合,在混凝土的配合比、高抛加振捣施工工艺及管内混凝土的无损检测等方面通过试配和现场试验及实测的办法进行了研究。对于高强混凝土,采取了如低水灰比、尽量减少水泥用量、掺入超细矿渣细磨粉末、加入高效减水剂、缓凝剂、采用超细石和冰水等措施,为进一步克服高强混凝土的脆性和提高其抗裂能力,掺入了0.08%的聚丙烯纤维。对于钢管混凝土柱混凝土高抛施工质量的控制要求,在施工前采用废钢管进行了高抛混凝土施工试验,并对完成的混凝土进行剖管目测与抽芯结合的检测。通过试验的效果提出了10m高内通过高抛加振捣结合的混凝土浇筑施工方法,并采用预埋管进行超声波检测以对管内混凝土的质量起到控制作用。

三、采用柱支式地下连续墙技术的五层地下室全逆作法施工设计

名盛广场地下室共5层,基坑具有面积大、开挖深的特点,土方量达到18万 m^3 ,同时存在施工场地狭窄、工程地质情况复杂、紧邻密集的民居与学校、工程量大且工期要求紧等因素,基坑的变形及安全控制非常重要。本工程采用优化的地下室全逆作法施工设计,大大缩短了工期,有效减少对周围环境的不利影响,基坑的安全性得到了保证;而钢结构与地下室逆作法配合在地下室结构中成功应用,节省了大量的挡土临时支撑构件,采用的柱支式地下连续墙技术又减少了大量施工困难的入岩段工程量,综合效益良好。本工程采用柱支式地下连续墙技术的五层地下室全逆作法施工设计主要有以下特点:

1. 圆形钢管混凝土柱、带约束拉杆异形钢管混凝土柱(墙)与梁组成地下室全逆作法施工的支撑体系

本工程采用的全方位的逆作法施工,基坑开挖及逆作法施工的全过程,是由地下室四周的永久承重地下连续墙、地下室钢管混凝土柱(含圆形和异形)和楼层梁板结构,组成一个完整的支撑系统(图5),所有支撑都利用结构的受力构件来充当,节省了大量的支护费用。而核心筒采用的带约束拉杆的异形钢管混凝土墙,整体制作和吊装(图19、图20),浇筑完钢管内混凝土后,钢连梁连接完成而直接形成筒体,实现首层以下墙、柱等竖向构件一次性完成施工。核心筒剪力墙配合地下室逆作法的整体化施工具

有创新性,比常规的逆作法施工中核心筒剪力墙的处理更为简单快捷。优化的地下室全逆作法施工使工期缩短一年,地下室结构完成时,十层裙楼商场已完工(图21)。

2. 柱支式地下连续墙逆作法新技术

在传统地下室逆作法技术的基础上结合工程的实际情况,设计上提出围护结构为柱支式地下连续墙的逆作法新技术。柱支式地下连续墙充分考虑连续墙在逆作法施工中起到挡土、挡水、承重的作用,抗渗作用通过进入不透水层的普通墙段(下称浅墙段)来解决,承重作用则通过连续墙下面以一定的间距设置柱支式嵌岩段(下称深墙段),形成新型的地下室连续墙结构形式(图22)。围护结构采用柱支式地下连续墙+喷锚支护组合构件,即土质差的地层上部采用地下连续墙作支护、土质好的地层下部改用喷锚支护,利用刚度巨大的楼面梁板柱作为内支撑,很好地解决了单纯采用地下连续墙作基坑支护造价高的问题。地下连续墙厚度取600mm厚,按多支点支护结构计算,利用首层至地下二层楼盖结构作为刚度巨大的支撑点,浅墙段大约在一13.4m位置终止,连续墙体深度仅是越过透水层,进入硬塑至强风化层或中风化层,其下采用喷锚支护结构组合构件共同挡土挡水侧压和抗滑移(图22)。在逆作法施工继续向下开挖时,到达较好的土(岩)层后,裸露出来的基坑侧壁由于土质较好,而且侧向土体的上下支撑得到保证,基坑壁内的土层内力会形成一种土拱效应,只要结合常规的浅基坑支护技术则可达到下层土体自身稳定的效果。

柱支式地下连续墙分为深段墙和浅段墙,浅墙段用于挡水、挡土,覆盖全部不良土体;深墙段嵌岩,作地下连续墙主体的柱式支承;浅墙段以下的侧壁土体,利用已完成地下室上部结构作上支座,坑底坚硬土(岩)作为下支座,在侧向土压力的作用下,形成土拱效应从而自身稳定;良好的土拱作用以及上部的近似刚体的水平支撑作用的共同存在,设计时可以不考虑土体的滑移破坏和坑底隆土。

为了确保柱支式地下连续墙新技术的可行性,设计同时以实际工程为研究背景,运用二维地层一有限元法、三维地层一有限元法以及三维荷载一结构法的方法,采用大型有限元软件ANSYS、MARC和ABAQUS模拟分析了土体开挖产生的土体内力、变形及其对结构的影响,对柱支式地下连续墙逆作法进行了大量而充分的数值计算分析,对该技术的可行性进行了验证。在此基础上,对实际工程的基坑开挖进行了施工全过程监测,并与有限元分析结果进行对比,保证了有限元仿真分析结果的真实可信性,进一步验证了柱支式地下连续墙逆作法技术的合理性。

3. 结合主体结构特点的逆作法设计

由于逆作法技术的特点,地下室主体结构大部分构件均可作为深基坑支撑构件,设计应在逆作法应用中起主导作用,在影响逆作法工效及成本的关键技术设计中充分结合结构特点选择最优方案(图19)。本工程结构设计遵循以上思路,针对工程采用钢结构的特点,设计上确定了以二层为逆作法基准层向上向下同时施工的方案,突破了传统逆作法先施工首层楼板的思路,立体化的施工可将工期大大缩短。在一次性完成从基础至首层的剪力墙、柱等竖向构件的安装施工后,进行二层钢结构楼盖的施工,然后按地面向上同步施工的方法进行,加快了首层以上主体结构的施工进度以及裙楼施工的形象进度。

在逆作法施工过程中,先施工的结构可对支护结构起到内撑作用,而太大范围的先施工结构又影响开挖及后续部分的施工,为了提高地下室土方开挖的效率及速度,设计配合土方开挖的工程制定了钢结构安装的流程,设定了先施工钢梁作为内撑的合理区域。为使逆作法施工工程中的内撑设置得到保障,使地下连续墙、楼面梁、板以及柱形成为整体结构,利用其侧向刚度,对基坑侧向土压力起到一个较强的水平支撑效果,设计中采用ABAQUS软件对整个地下结构在开挖过程的受力特性进行了三维有限元计算(图23、图24),以分析在施工荷载作用下地下室整体结构所起到的内撑效果。本工程采用全机械化开挖和出土、土方开挖和结构施工组成合理的流水作业,为工期的缩短提供有力的保证。

4. 钢结构在地下室逆作法中的应用

地下室楼板结构采用钢梁与压型钢板相结合的方案,经过构造加强的H型钢梁组合楼板形成强大的平面内刚度,从而形成巨大的内支撑体系;由于采用压型钢板作为永久性模板,实现了免拆模,从而省去楼面支顶及模板拆除等占用的时间,加快了地下室内土方开挖进度及地下室结构的施工进度。

由于地下室底板及四周柱支式地下连续墙为钢筋混凝土结构,与内部钢结构的连接节点构造成为了

设计关键。由于逆作法施工与常规施工方法有较大的区别,施工时是在地下自上而下进行,工作环境与施工条件有很大变化,节点构造必须在工艺上满足现有的工艺手段与施工能力并必须满足抗渗防水要求。因此,在设计过程中加强了与施工的配合,对逆作法施工中墙、柱、梁、板节点等关键技术进行重点优化,主要包括地下室钢梁与连续墙的连接节点大样(图 25)、钢管混凝土柱定位器大样、钢管混凝土柱与钢梁楼板连接构造。在地下室楼面梁、板与地下连续墙连接处,均改为采用混凝土梁、板的形式,避免了钢梁和压型楼板伸入连续墙时切断墙的竖向钢筋,并且可以保证与地下连续墙很好地结合。



图 1 建筑全景



图 2 A、B 区建筑外观



图 3 B 区裙楼顶层大空间完成效果

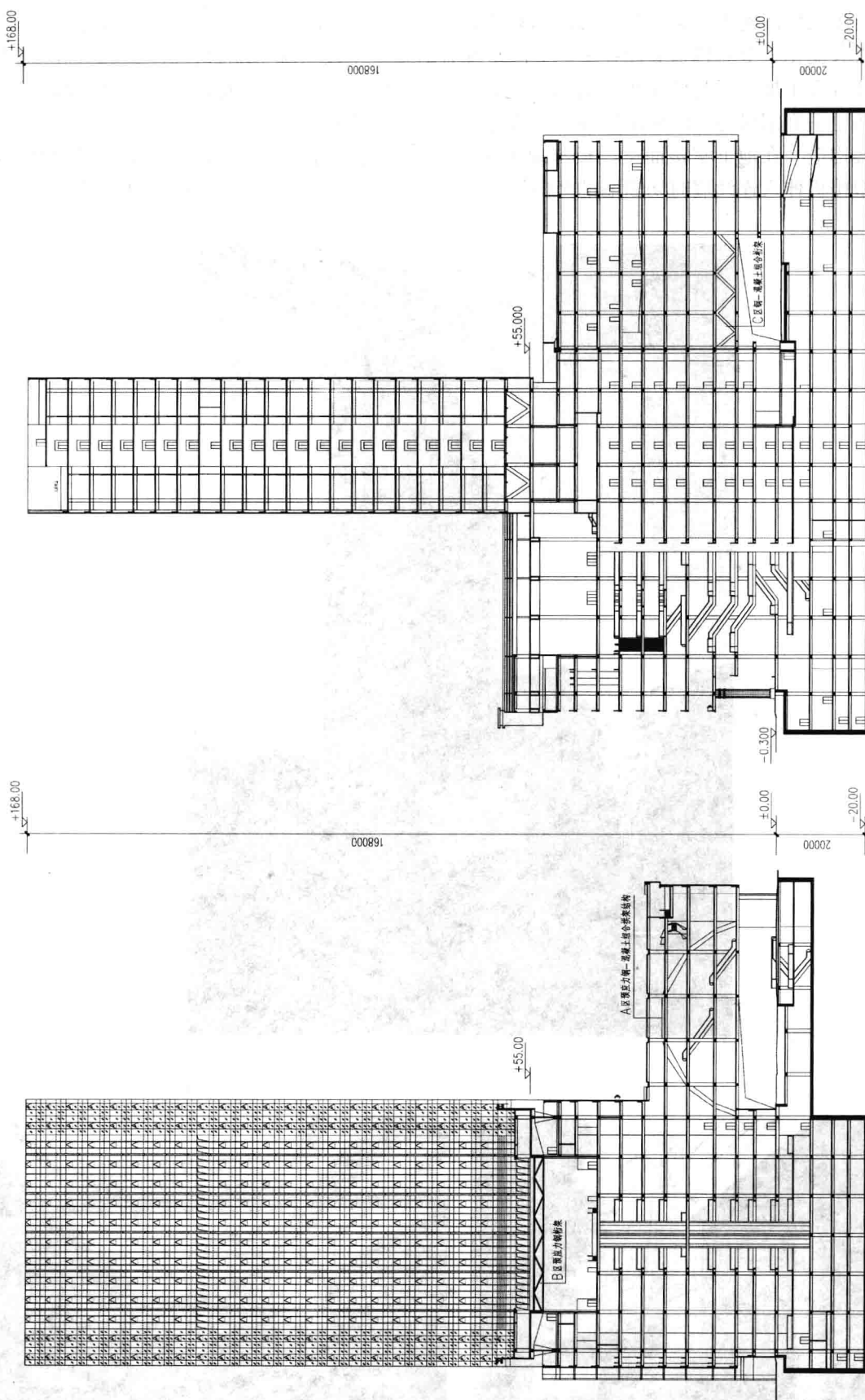


图4 建筑剖面图

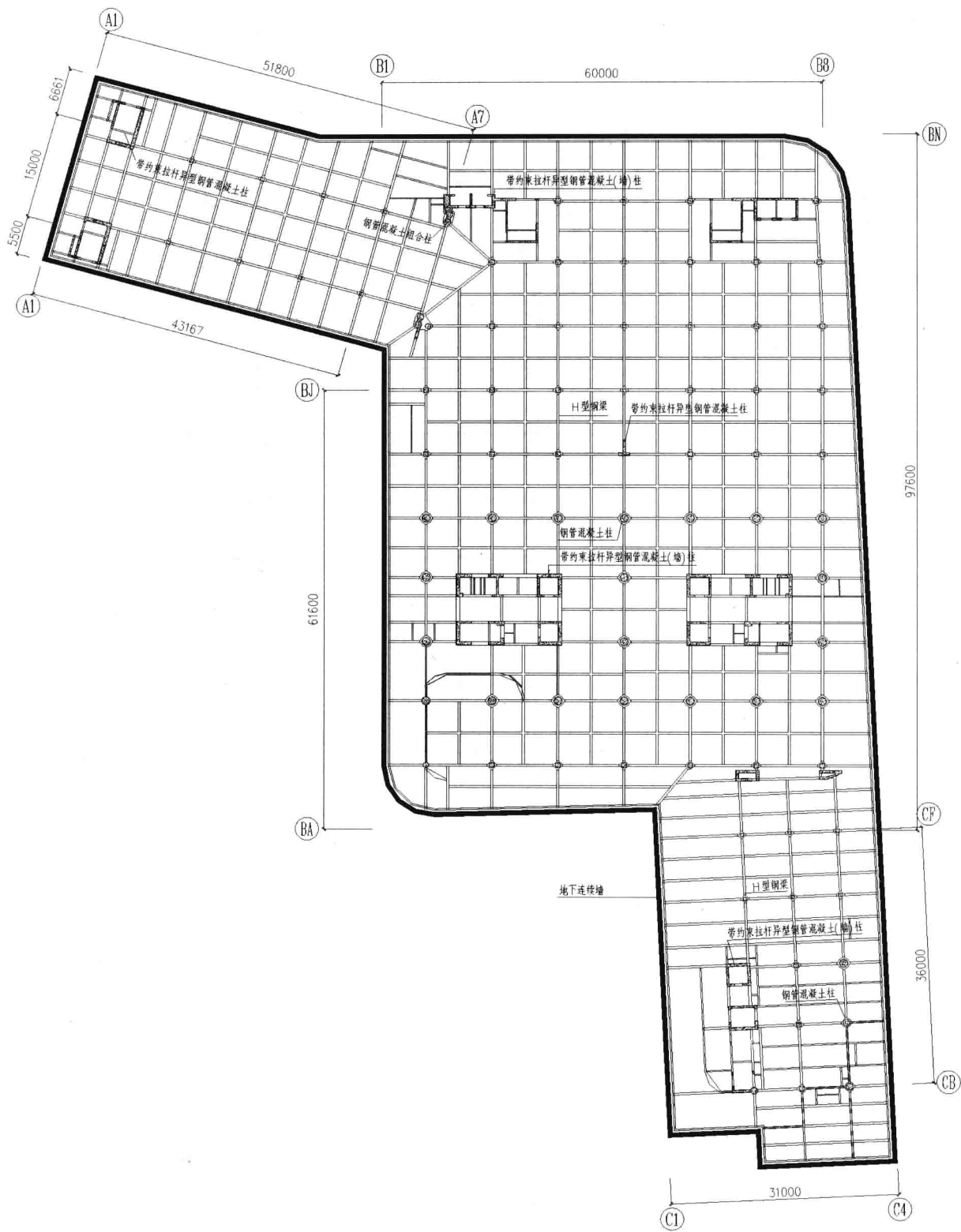


图 5 地下二层平面结构布置图

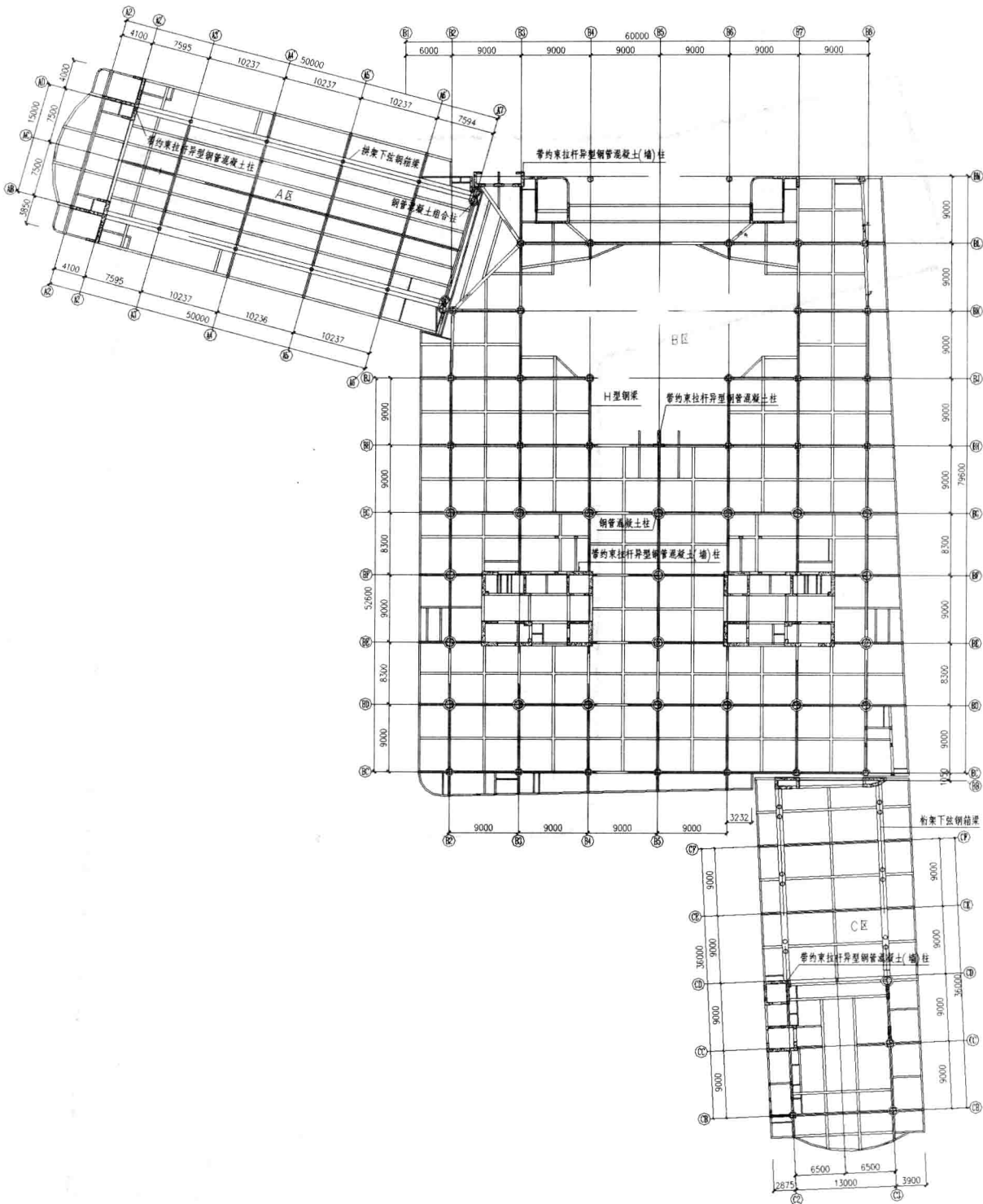


图 6 裙楼二层平面结构布置图

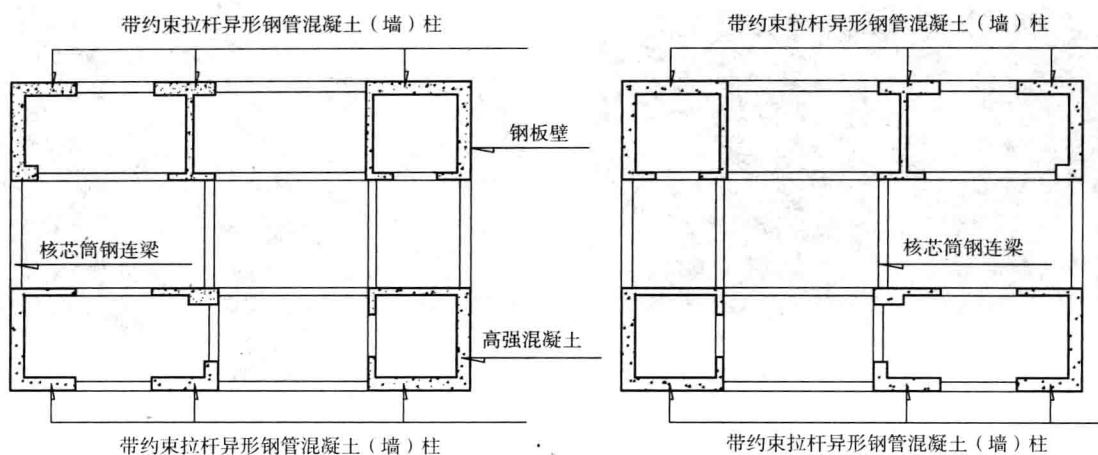


图7 剪力墙核心筒钢结构

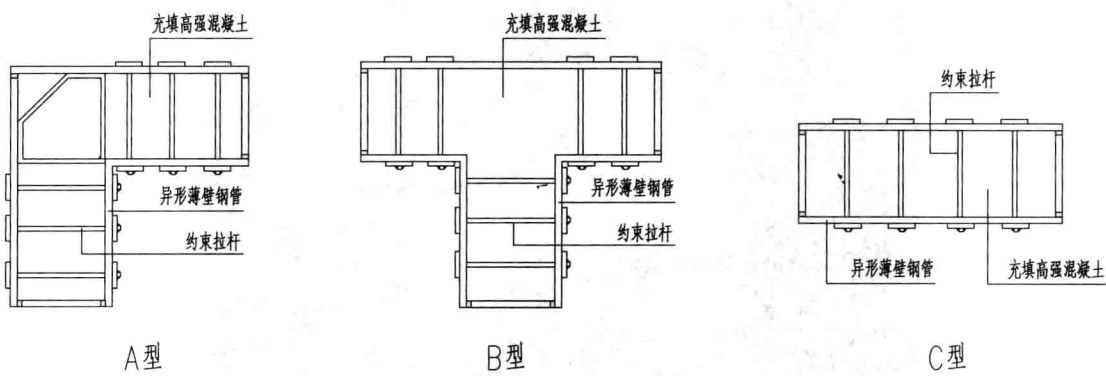


图8 带约束拉杆异形钢管混凝土柱截面示意图

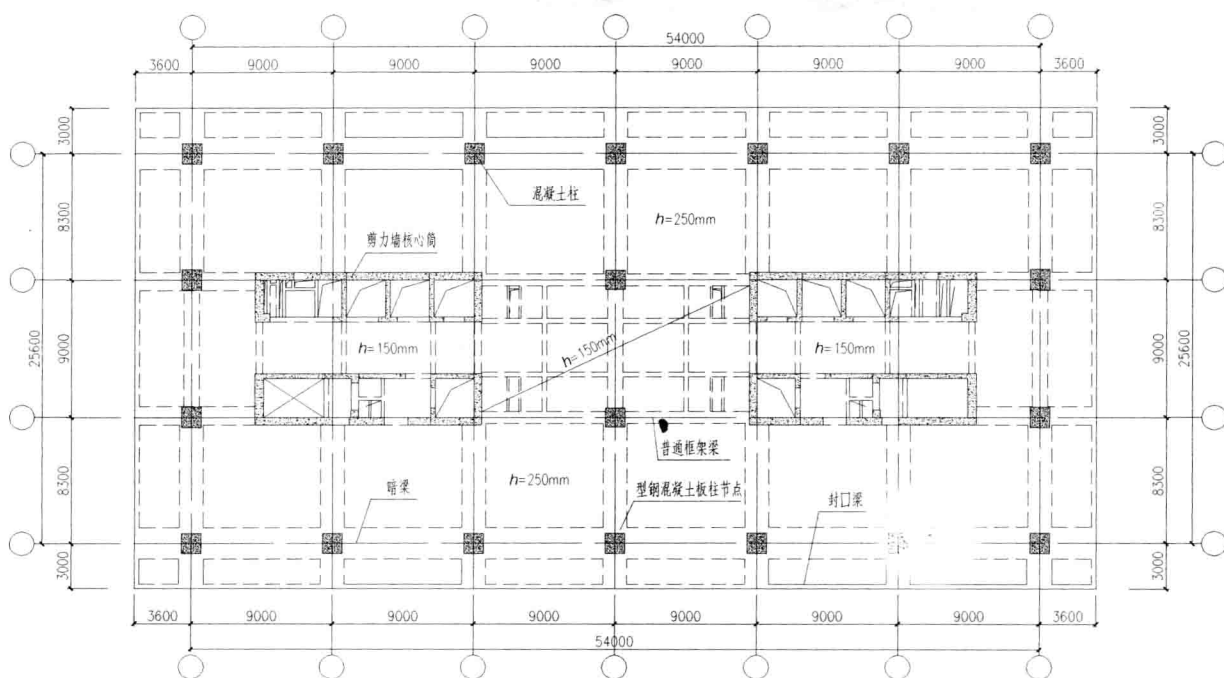


图9 塔楼结构平面布置图