

新飞销售大楼结构设计

杨平 万叶青 杨俭

摘要 新飞销售大楼结构设计中有许多技术难点，本文通过几个方面的研究分析，对这些技术难点作了必要的处理。在该工程的建筑结构中还有超出了规范要求的地方，为此采用了一些新的技术措施，从而使得结构体系即满足了建筑造型和使用功能上的要求，也确保了结构的安全可靠。本工程中采用了大跨度次梁预应力楼盖结构，有效地降低梁的截面高度，确保层高和建筑物总高度的要求，此外还采用了超长混凝土结构无缝设计等新技术。该工程的综合技术性能指标非常好。

关键词 次梁预应力，超长结构，结构设计，钢结构，无缝设计

一、概况

本工程为地上八层（局部十二层），地下一层，钢筋混凝土框架结构。基础埋深-6.500米。大楼的总建筑面积为11265平方米。主体部分长度为95.800米，宽度为17.400米。柱距为7.800米，宽度方向为单跨14.100米，外加部分悬挑结构。主体结构为八层，局部十层，主体结构高度30.00米，局部塔楼高度45.00米，其他装饰部分最高点为56.00米。

建筑布局情况和荷载条件：一层为销售大厅，活荷载按 3.0kN/m^2 ；顶层为屋顶花园，只考虑局部布置花盆，活荷载按 4.0kN/m^2 ；其他楼层为办公室和会议室，荷载取值按照荷载规范要求执行。各楼层外维护墙采用200毫米厚加气混凝土砌块，内隔墙为100毫米厚加气混凝土砌块。砌块容重 $\gamma \leq 8\text{kN/m}^3$ 。地面做法：一层地面为花岗岩地面；其余楼层为玻化地板砖楼面。

抗震设防烈度为八度，设计基本地震加速度值为 $0.20g$ （第一组）。场地类别为II类。地基承载力特征值为： $f_{ak}=170\text{kPa}$ 。地下水为-2.800米，基础埋深-6.500米。建筑物为二类建筑，耐火等级为二级，框架结构抗震等级为二级，结构安全等级为二级^[5,6]。

其它自然条件是：50年一遇的基本风压为 $w_0=0.40\text{kN/m}^2$ ，地面粗糙度类别为B类；基本雪压为 $s_0=0.30\text{kN/m}^2$ 。

新飞销售大楼作为企业标志性建筑物，需要体现企业的形象和特征。需要在有限的场地条件下表现设计者的意图和业主的理念。多处屋面设计成飞鹰展翅形态，表现出轻盈舒展的姿势，建筑物的效果图如下所示。由于许多方面条件的限制，为了表现这些建筑特征，在结构设计上有许多难点，对于结构设计来说也

是一个挑战。本文针对这些技术难点的处理作了较为系统的归纳汇总，其中的一些结论和方法可以为结构设计人员，在以后的结构设计中提供借鉴和参考。

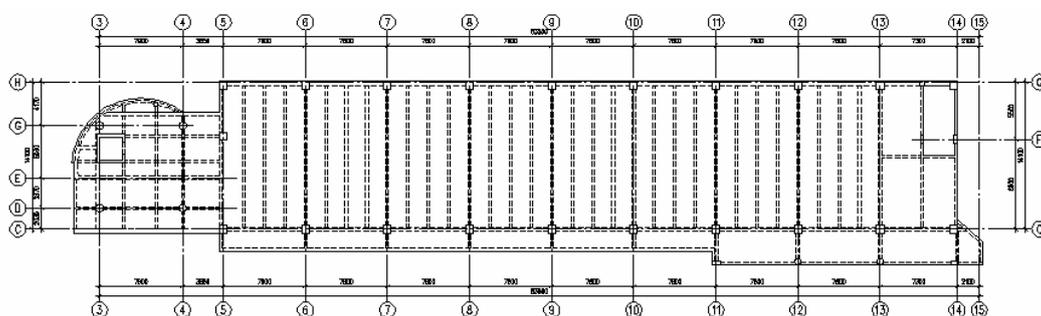


图一 效果图

二、 结构方案

根据建筑物的特点和房屋布局要求，主体结构拟采用框架结构。由于建筑平面大空间布局，以及对高度和层高的要求，横向框架梁的截面高度受到一定的限制，故需要采用预应力钢筋混凝土结构框架梁和次梁。结构平面布置见下图。横向框架梁和次梁均为预应力混凝土结构，这样就可以有效的降低梁的截面高度，以满足建筑层高和总体高度的要求。

由于建筑物主体的纵向长度较长，已超过规范要求，属超长结构为了兼顾建筑造型和功能使用上的需要，结构设计上考虑不设伸缩缝。按照《钢筋混凝土设计规范》的要求，在结构设计和工程施工时，需要做一些必要的处理，以减小温度应力的影响，确保建筑物的正常使用。



图二、结构平面图

该建筑地下一层位地下车库，地基基础设计时，在考虑满足承载力和沉降变

形要求的同时，还需要考虑防水问题。在本设计中采用的是梁筏基础，这样就可以同时满足这些要求。

对于其他装饰性的次要结构构件采用了钢结构处理，即可以满足建筑造型要求，同时也减轻了结构重量。建筑物顶部和周围的一些飞鹰造型采用变截面 H 型钢梁和钢檩条。主体和塔楼连接的通廊采用钢桁架结构外罩蓝色圆筒形玻璃幕墙。

三、整体计算

按照《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3-2002 的规定，本结构属于高层结构。结构计算分别采用了 satwe 和 sap2000 两种软件。计算中的主要参数和基本信息除了前面介绍的有关数据外，在程序中选定的参数还有：

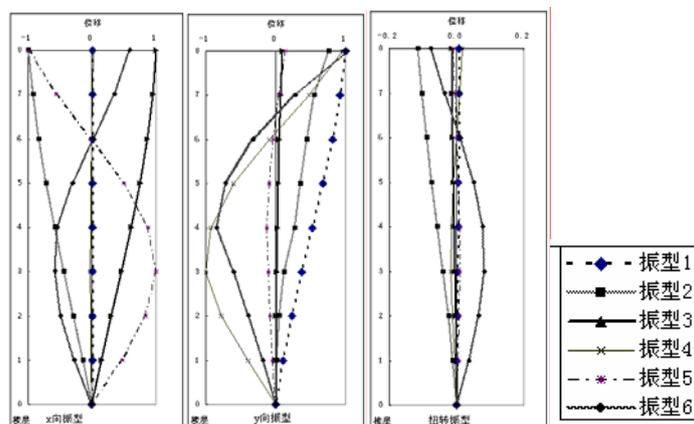
地震作用按 x 和 y 轴两个方向的地震力计算，水平力作用的夹角为： $\alpha = 0.00$ 。振型组合方法选用 CQC 方法，计算振型数为九个，阻尼比为 5%。考虑到建筑物中采用轻质隔墙，且隔墙较少，周期折减系数取 0.85，并在计算中考虑偶然偏心。

风荷载计算时，satwe 程序给出结构基本周期为： $T_1 = 0.52$ （秒）。

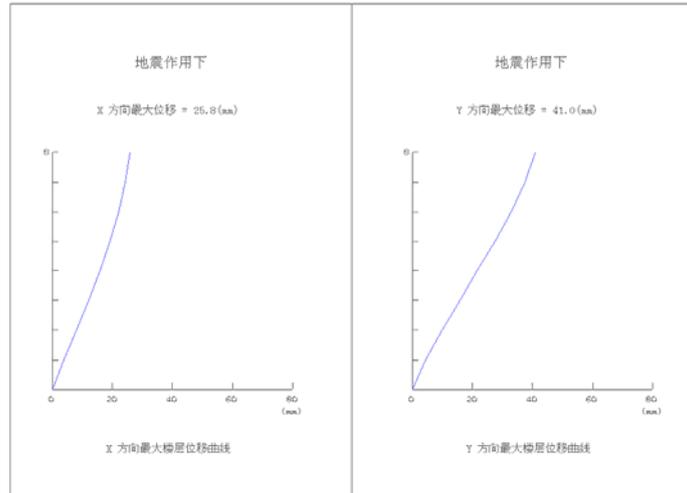
计算结果中显示，结构的刚重比较大，也就是说可以满足高层规程中 $D_1 \geq 20 \Sigma G_j / h_1$ 式的要求。这就表明了结构整体稳定性满足要求，并且可以不考虑结构的重力二阶效应。程序计算的结构振动周期和振型见下面的图表。

表一、结构振动周期(秒)

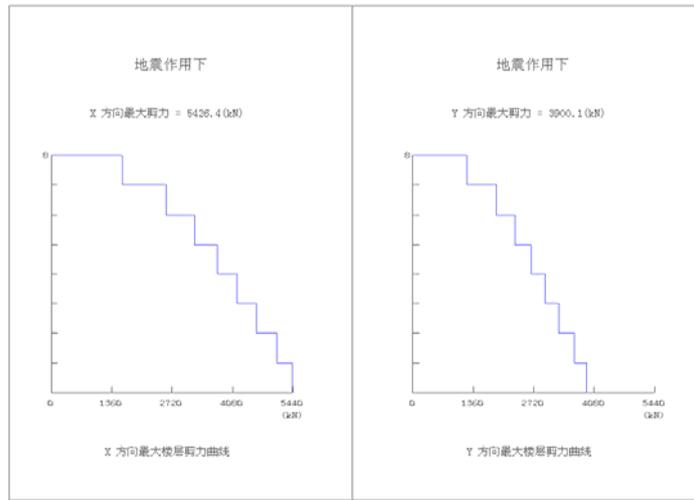
振型号	期周	转角	平动系数(X+Y)	扭转系数
1	1.7656	89.42	0.96(0.00+0.96)	0.04
2	1.2849	3.65	0.89(0.88+0.00)	0.11
3	1.0176	149.69	0.16(0.12+0.04)	0.84



图三、各方向振型图



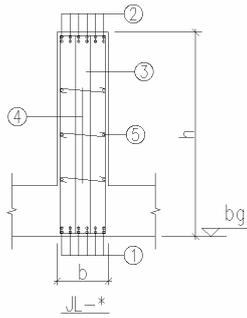
图四、位移图



图五、剪力图

三、 基础设计

建筑物所在场地地基的吃力层为粘性土，即第三土层上。承载力特征值为 $f_{ak}=170\text{kPa}$ 。由于地下水为较高，故基础和地下室要考虑防水要求。在加上结构整体性要求，基础不设变形缝。为了减小不设缝带来的温度变化和混凝土收缩对结构的不利影响。根据规范要求，设计和施工时需要采取必要的措施。基础结构平面图见图六所示。



图七、基础梁结构图

五、预应力梁设计

由于层高和建筑物整体高度的受到限制，结构跨度方向上框架梁和次梁的截面高度受到应当控制在一定范围内。为了减小梁高，可以适当减小次梁布置的间距。有研究表明[1]，对于这样跨度的条件，次梁间距以 1500~2000mm 最为经济合理。在本工程中，次梁间距定为 1950mm，并采用次梁预应力结构，亦即“小跨作主梁，大跨作次梁”的结构方案，从而，使得大跨度方向布置梁的高跨比控制在 1/18 左右，楼板厚度 100mm。结构布置可见图一所示的形式，截面尺寸见下表。

表二、梁数据

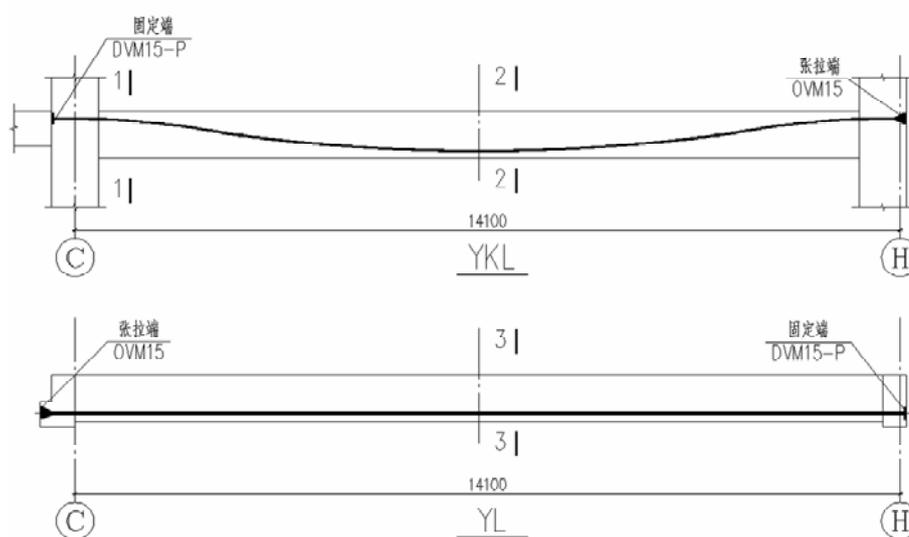
梁名称	梁类型	截面尺寸(mm)	跨度(m)	跨高比
框架梁	预应力框架梁	250x800	14.1	17.6
次梁	预应力次梁	250x750	14.1	18.8
边梁	普通框架梁	400x900	7.8	8.7

对于这样的大跨度预应力次梁楼盖，根据施工和使用条件采用了后张法有粘结预应力。预应力梁的混凝土强度等级为 C40，预应力钢筋为普通松弛高强度钢绞线（ $\phi j15$ ），预应力钢筋强度标准值 $f_{ptk}=1860N/mm^2$ 。预应力钢筋的张拉端锚具为 OVM15 系列锚具，固定端采用 DVM15-P 型锚具。施工张拉顺序为：逐层浇筑，逐层张拉。

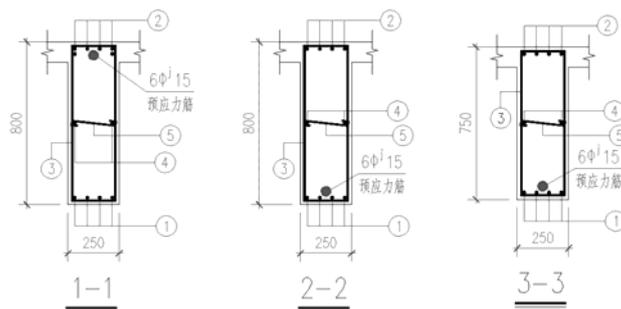
在设计预应力梁时，预应力筋布置需要遵守一些基本原则[3, 4]：

- 1、预应力钢筋的形状和位置应尽可能与弯矩包络图一致起来；
- 2、应确保混凝土梁获得较大的截面抵抗矩；
- 3、尽量减少预应力筋的摩擦损失。

根据这些原则，通常采用的预应力筋形状有：直线型，折线型，双抛物线型，直线加抛物线型等。在结构的跨度方向有既有次梁，也有框架梁。由于梁的弯矩包络图的形状不同，因此在设计预应力筋形状时也有不同的考虑。在本工程中，框架梁（YKL）支座处存在一定的负弯矩，预应力筋就采用了双抛物线型布置，而次梁只有正弯矩，所以只需要在梁底布置一道直线型预应力筋。关于梁的预应力筋布置和截面构造见下图所示。在预应力梁设计时，采用了 pkpm 系列软件中的 prec 预应力设计程序对于应力筋形状作了比较，选取了其中最佳预应力筋的布置方案。



图八、预应力筋布置



图九、预应力梁截面

由结构布置图可以看出，跨度方向的预应力框架梁和预应力次梁间距较小，从施工条件和使用情况来看，这些预应力梁所承受的竖向荷载有时可能比较小，此时预应力梁的次弯矩影响就可能比较大。计算结果表明：次弯矩的作用有时会超过重力荷载效应。所以在结构设计时，预应力框架梁需要考虑次弯矩配筋，预

应力次梁需要控制反拱和反向裂缝等问题。

六、结构超长处理

本工程纵向长度超过规范规定的伸缩缝最大间距要求，属于超长钢筋混凝土结构。这样的结构需要解决温度应力和混凝土收缩等不利影响的问题。通常的设计原则是“抗放兼备，以放为主”。所谓的“放”，就是在施工时设置一些后浇带，在混凝土固化过程中让大部分变形完成，大部分温度应力释放后，再用膨胀混凝土填缝，以抗衡残余收缩应力^[2]。然而采用这样的方法来处理会给结构施工带来很多麻烦，同时也会大大的延长了施工工期，而且对地下结构的防水工程也极为不利。所以在本工程中，采用了游宝坤等人曾在 1993 年提出的超常钢筋混凝土结构无缝设计的方法。

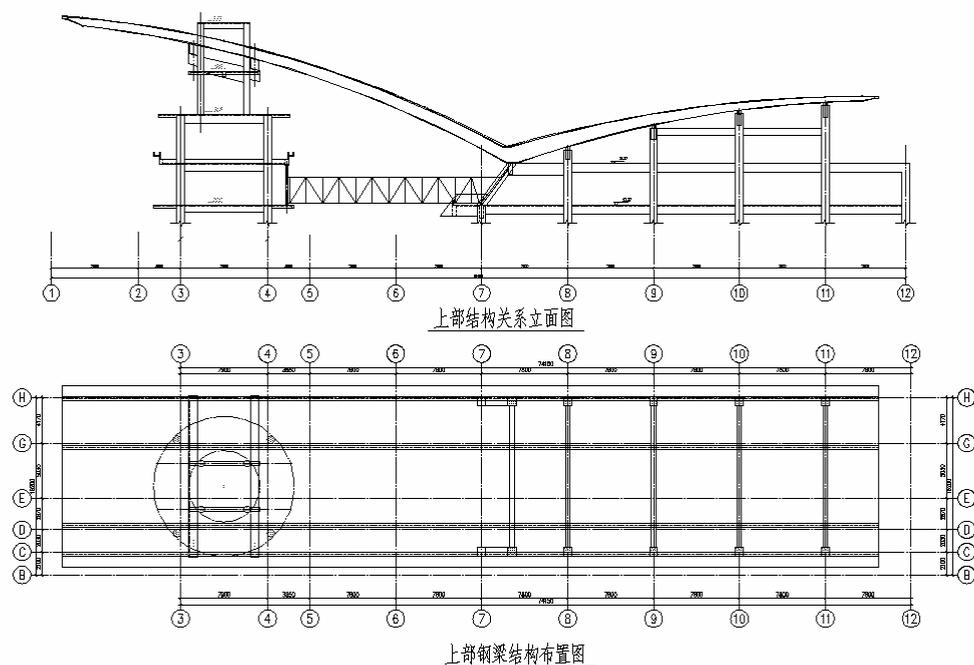
具体做法是：在混凝土中参入适量的膨胀剂（如 10%~12%的 UEA），膨胀率需要控制在 2/10000~3/10000 的范围。同时还要在合适的位置设膨胀加强带，加强带宽度为 2 米。有研究表明这样的无缝设计加强带浇筑的间距以 60 米左右为宜。加强带中需加入 14%~15%的 UEA，膨胀率应控制在 4/10000~6/10000。加强带中的混凝土强度等级应提高半级（即增加 C0.5 等级）。膨胀加强带应在主体结构养护 14 天后浇筑，而规范规定的一般后浇带需要 60 天左右的养护期，因此该方法有效的缩短了施工周期。

在本工程中，结构梁板及基础中采用 UEA 混凝土，参入量为 11%。膨胀加强带设在 8 轴和 9 轴之间，加强带宽度为 2 米，混凝土内参入 15%UEA，养护 14 天后浇筑。本工程在使用了多年后，结构情况非常良好。

七、上部钢结构

建筑屋多处有飞鹰造型，特别是顶部的巨大的飞鹰造型，跨度和悬挑都比较大。这样的结构型式对于抗震和风荷载作用都是非常不利的。为此设计时作了减轻装饰材料重量和镂空透风的处理，鹰翼采用轻型铝合金单层板，局部开洞做成飞鹰标志图案，见图十一所示。结构的平面布置和立面形式见下图所示。空中通廊为钢桁架结构，维护结构为圆形玻璃幕墙。图十二为通廊的实际照片，使用效果和视觉效果都非常良好。为了安全起见，对于大跨度长悬挑部位，钢梁和主体

结构的连接节点都作了相应的加强处理，从而确保了结构体系的安全可靠。



图十、上部造型结构



图十一、开洞的飞鹰图案



图十二、通廊照片

八、结论

- 1、虽然本工程建筑面积不大，建筑物高度不高，但由于受到多方面条件限制，立面形状较为复杂，还有超出规范要求的问题，结构设计具有一定的难度。本工程的结构设计表现出多重技术合成。
- 2、在这项工程中，结构分析运用了多个程序计算，如 satwe，tat 和 sap2000，计算结构基本一致。
- 3、采用大跨度次梁预应力楼盖，有效的降低了跨度方向梁的截面高度，从而在结构上满足了建筑对层高和建筑物总高度的要求，也为建筑提供了较大的使用空间。

- 4、预应力框架梁和预应力次梁在受力状态方面有所不同，设计中针对弯矩分布特征采取了不同的处理方法，取得较好的效果。
- 5、针对结构超长的的问题，结构设计中采取了整体结构无缝设计技术，有效的缩短施工周期，使得建筑造型的更加完美，同时也能确保建筑物的安全和正常时使用。
- 6、屋顶的大型飞鹰造型采用了轻质材料和镂空处理，即可以减轻了地震作用，也有效的削弱了风荷载的影响，使得结构更加安全可靠。

致谢：参加此项目结构设计的人员还有田道芬，袁斌，王铁锋等。

参考文献

- [1]李唐宁，唐祖全，罗建兵，何洪建等；大跨度预应力次梁楼盖结构体系经济分析；建筑结构，1998年，第3期，p3页。
- [2]游宝坤，李光明，王栋明，方瑞良等；超长钢筋混凝土结构 UEA 无缝设计施工；建筑结构，1998年，第6期，p21页
- [3]孙宝俊编著；现代 PRC 结构设计；南京出版社，1995年5月
- [4]陶学康主编；后张预应力混凝土设计手册；中国建筑工业出版社；1996年11月
- [5]高层建筑混凝土结构技术规程 JGJ 3-2002
- [6]建筑抗震设计规范 GB 50011-2001