

中南某机场塔台结构设计

彭英明

民航中南机场设计研究院有限公司 广东 广州 510405

摘要：中南某机场塔台高60m，采用钢筋混凝土剪力墙结构。根据建筑顶部各层轮廓逐渐扩大的立面效果，结构采用筒体伸出斜撑支承方案。顶部管制层根据建筑平面布置需求，对钢柱方案、砼柱方案进行比选。根据场地不均匀地基的情况，对桩基方案及筏板方案进行比选，并设置了靴墙以增强筒体与基础的连接。

关键词：塔台；筒体；斜支撑；抗倾覆

1 工程概况

中南某机场空管塔台为高耸塔式建筑，地上建筑面积约2000m²，建筑高度60m，地上共11层。塔身由上至下依次布置塔台管制室、设备用房、岗前准备区、休息区、管制备份层。



图1 建筑效果图

塔台标准层为直径9m的圆形筒体，顶部自第八层开始圆形轮廓逐渐扩大，第十层直径扩大至12m。塔台下部首层至七层壁厚为400mm，八至十二层壁厚为350mm。塔台顶部管制室为框架结构。塔台基础采用桩基础。

2 上部总体结构设计

工程结构设计使用年限50年，结构耐久性设计年限为50年，结构安全等级为一级，抗震设防类别为高于乙

级，结构安全系数1.1，基础设计等级为甲级。抗震设防烈度6度，设计基本地震加速度值0.05g，设计地震分组为第一组，建筑场地类别为II类。本工程属于高耸结构，对风荷载较为敏感，根据建设单位需求，适当提高风荷载取值，采用100年重现期基本风压（ $W_0 = 1.05 \text{ kN/m}^2$ ）。建筑场地临近海岸，地面粗糙度取A类，风荷载体型系数取1.0，温度作用取为 ± 25 摄氏度^[1]。

塔台主体采用剪力墙结构，附属连廊采用框架结构，塔台顶部管制层采用框架结构。剪力墙布置为一个圆筒，内部不再设置剪力墙。塔台顶部外轮廓逐渐扩大，结构上如何实现是塔台结构方案设计重点。一般有两种方式，上部外轮廓扩大较小时，可直接采用悬挑梁形式；而轮廓扩大较大时，则一般采用挑梁+斜支撑形式。

单设悬挑梁形式多适用于轮廓外扩尺寸较小时，可由中间梁跨挑出，或直接从筒墙体挑出，但因墙体通常无法满足悬挑梁纵筋锚固长度要求，所以常用做法是在筒体局部加厚为暗柱、或结合建筑平面设置若干垂直短肢墙以满足锚固长度要求^[2]。

对于挑梁+斜撑形式，可分为混凝土形式及钢结构形式。混凝土形式优势为构造简单，缺点是结构自重较大、容易引起竖向刚度不规则、塔台立面轮廓外倾较大时梁拉力较大；另外施工时支模难度较大。采用钢结构形式时，一般混凝土筒体与钢斜撑、钢梁采用铰接形式，钢结构优势是结构自重较小，可采用铰接，钢梁可承受拉力；缺点是节点区构造复杂，钢筋密集、施工质量较难控制^[3]。

本工程上部外轮廓单边最大外挑3m，最终采用混凝土斜撑+挑梁（水平拉梁）的形式。在不影响建筑功能的基础上，沿筒体圆周均匀设置八根斜撑，每根斜撑对应设置一根拉梁与核心筒相连，同时筒体在楼层设置一圈暗梁，模型轴测图详图2。经验算，水平拉梁承受最大拉力约为340kN，根据最大拉力复核水平拉梁配筋。



图2 结构模型轴测图

3 顶层管制室结构设计

塔台顶部的航空管制室是整个建筑最核心的功能空间，通常要求在一侧甚至两侧有尽可能大的无遮挡视野。为达到此要求，因此，对钢框架及混凝土框架方案进行比选论证。

如采用钢框架，则屋面为钢梁及现浇混凝土组合楼板，结构自重较小，同时钢框架位移角限值按1/250控制，柱截面可控制的较小，但柱脚须采用刚接柱脚，构造较为复杂^[4]。一般只能采用外露式刚接柱脚，柱脚锚栓拉应力较大，所需锚固长度较大，柱脚占用下部楼层净高及净宽，对下部楼层影响较大。一般需要将钢柱布置剪力墙位置，如钢柱布置在剪力墙外，则需从剪力墙位置伸出牛腿，保证钢柱传力效果。

如采用钢筋混凝土框架，则混凝土柱截面相对较大。砼柱无法设置在剪力墙上时，则需设置托梁进行转换。通过合理控制砼柱纵筋规格，可控制托梁所需高度。另外托梁只需比砼柱略宽即可满足梁柱节点钢筋布置要求，因此砼柱相比钢柱对下层的净高、净宽影响均更小。

综合考虑结构造价及建筑平面布置优劣，最终选用砼柱方案，此方案可实现最大不遮挡面约160°，但同时带来最大悬挑5.2m的问题。通过增大梁配筋、预起拱挠度等措施，将挠度控制在L/400。此外，要求幕墙设计时留出安全滑动空间，适应层间挠度变形^[5]。

4 基础设计

本工程未设置地下室，基础持力层分布有中风化岩层、强风化岩层、素填土，为不均匀地基。

根据场地土情况，考虑两种方案，方案（一）为桩-筏基础，筏板板底埋深为-3.5m，采用钻孔灌注桩，桩径800mm，单桩竖向抗压承载力特征值 $R_a = 5000\text{kN}$ ，桩底持力层为中风化花岗岩，桩长为5-10m。方案（二）为筏板基础，筏板板底埋深仍为-3.5m，但因基础底原状土层

为部分中风化岩、部分强风化岩及填土，不均匀。需要进行地基处理，考虑将部分强风化岩、填土挖除，挖至中风化岩层后采用C10片石混凝土进行回填，且基础下岩土交界面位置挖成台阶状，避免回填混凝土与中风化岩在交界面滑移^[6]。经过费用、工期、技术可靠性等多方面对比，最终采用方案（一）。

桩基在风荷载、小震、中震、大震等效弹性分析下均未出现受拔状况。因本工程未设置地下室，为提高基础抗倾覆能力，沿筒体辐向均匀布置6片靴墙，便于更好地将水平荷载传递至筏板，靴墙设计可参照外露式钢柱柱脚的加劲肋设计^[7]。

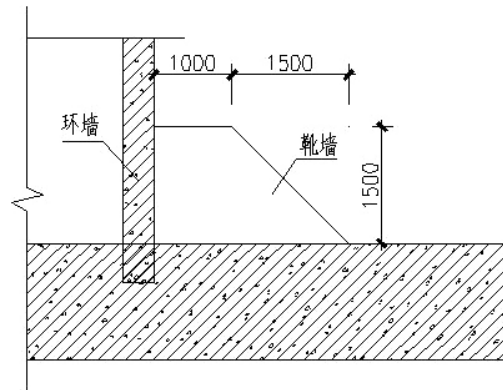


图3 靴墙做法示意图

5 结构整体分析

本工程整体分析以基础顶为嵌固端，结构前6阶振型及周期如表1所示，前3阶振型形状如图4所示。

表1 结构前六阶振型和周期

振型	周期/s	转角/°	平动系数	扭转系数
1	1.4498	161.72	1.00(0.90+0.10)	0.00
2	1.4098	71.57	1.00(0.10+0.90)	0.00
3	0.6729	25.10	0.00(0.00+0.00)	1.00
4	0.4854	173.47	0.74(0.73+0.10)	0.26
5	0.4770	85.50	1.00(0.01+0.99)	0.00
6	0.4271	179.20	0.26(0.26+0.00)	0.74

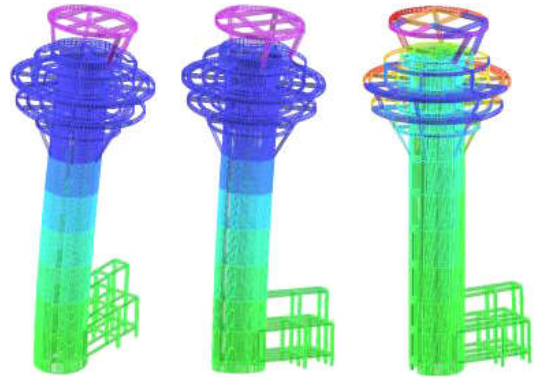


图4 塔台前3阶振型

下部1~11层层间位移角限值按剪力墙结构1/1000控制,顶层层间位移角按混凝土框架结构1/550控制。
本工程临近海岸,风荷载较大,且结构高宽比较

大,根据模型计算结果,风压作用下,底部三层筒体局部出现受拉情况。为抵抗墙肢拉应力,在塔台底部三层筒体局部设置型钢^[8]。

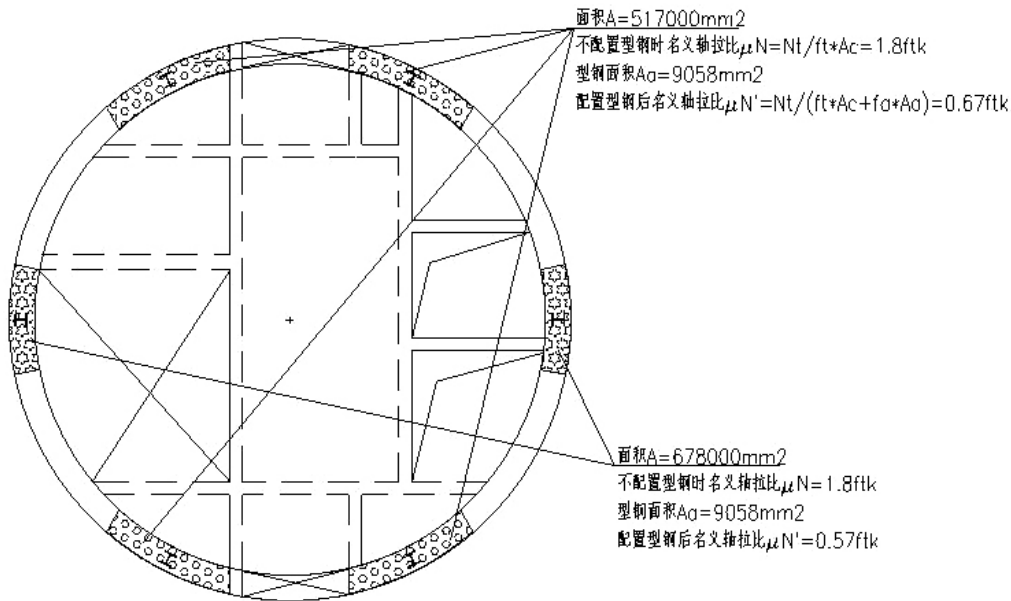


图5 型钢设置计算简图

结束语

本文以中南某机场塔台工程为依托,介绍了塔台的工程概况、塔身结构方案比选、管制层结构方案比选、基础方案比选,可供同类型建筑的结构设计提供参考,对该类结构有以下几点结论:

(1) 塔身结构选型。塔台顶部造型一般逐次扩大,常用的结构处理方式有单独挑梁、筒身伸出斜撑+挑梁两种。需要根据外轮廓扩大的程度、变化角度进行综合比选。

(2) 管制层结构选型。管制层因为建筑布局,结构柱需要尽可能少,采用钢柱时截面较小,但柱脚节点复杂,且对下层净高净宽影响较大。采用砼柱时截面较大,但对下层净高净宽影响相对较小,柱布置更为灵活。

(3) 基础设计,塔台属于高耸结构,抗倾覆设计是重中之重,为将筒体倾覆弯矩传递至基础,可设置扩大地下室或靴墙。

参考文献

- [1]安逸舟.某机场塔台结构设计[J].工程建设与设计,2024(17):23-25.
- [2]徐贵清,程曦.西安咸阳机场新塔台结构设计[C].第二届全国智慧结构学术会议论文集,2016:119-122.
- [3]张晓阳.华东某机场指挥塔台结构设计[J].安徽建筑,2002(1):44-45.
- [4]张旭,杨仲国.机场航管楼工程的结构抗震设计研究[J].四川建筑,2020,40(5)
- [5]李巍,王国强.某航空指挥塔台概念设计及技术措施[J].建筑结构,2013,43(5)
- [6]陈志强,罗甘霖,李剑群,等.青岛机场塔台结构设计[J].建筑结构,2020,50(19):85-92.
- [7]陈焰周,王颢,李霆.武汉天河国际机场新塔台结构设计[J].建筑结构,2020,50(8):30-34.
- [8]张鸿玮.某机场塔台结构设计及分析[J].福建建设科技,2022,3:28-31.