

# 菱形内天井高层建筑设计分析

黄春明

阳江市阳东区建筑设计院

**摘要：**菱形内天井结构是一种剪力墙框架结构体系，呈菱形状，在设计中应注重楼梯中的各类性能要求，如楼板温度、支柱承重、抗震性能等，应在考虑经济性的同时确保结构的安全性与可靠性。基于此本文以阳东县文化广电新闻出版局的图书馆菱形内天井结构为例，探讨了菱形内天井高层建筑设计，分析了该建筑结构的设计技术及相关性能要求，希望为有关部门提供参考。

**关键词：**建筑结构；菱形内天井；结构设计；性能指标

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.13.086

## 引言

随着我国建筑行业的不断发展，很多高层建筑都融入了新的设计施工技术，满足着人民群众日益增加的安全性、美观性、功能性需求，高层建筑的菱形内天井设计是一种平面不规则结构，应结合建筑的结构、外观及使用性等方面的需求，对其中的关键部位进行分析，确保设计的科学性与经济性，确保各类指标均可满足楼体需求，提升楼体建筑结构的稳定性。

## 一、工程概况

2011年9月阳东区文化广电新闻出版局的图书馆结构采用了菱形内高天井结构，该建筑建设于广东省阳江市阳东区，是一项具有商业办公、图书馆、收发室等功能的多层综合楼，在天井结构中，该项目采用了菱形结构，平面尺寸约为59米\*43米，为一项框架剪力墙结构，且与各个平面楼层与楼板并不连续，局部呈现不规则项，属于超限多层建筑，预计使用年限为50年，具有二级以上的结构安全等级，使用中还应满足丙类抗震性能，且多楼层区域还将会面临 $0.70\text{KN}/\text{m}^2$ 的风压，应确保整体结构的稳定性。菱形内天井结构不同于传统的结构设计，设计方面较为新颖，改变了传统建筑的风格，为建筑提供了更为良好的室内环境，但同时也由于结构方面的不规则为建筑的安全性与稳定性带来了一定的挑战，为此施工人员应遵循各类建筑规范及相关技术规范，提升楼体安全性<sup>[1]</sup>。

## 二、菱形内天井高层建筑结构体系

### （一）竖向结构

该工程每层房间宽度应保持在3.6米，且近山墙处的宽度应在4.5米，各个墙柱结构的设计也不应对房间的分隔造成影响，并保证地下室的停车位使用，因此也导致整体墙柱结构在设计上较为局限，剪力墙应被布置在竖向交通部位，为满足竖向结构刚度需求，则应在电梯井、楼梯间等部位增设剪力墙。结构框架上呈现为内外两侧，内天井框架结构柱应偏向外天井，确保每层走廊的宽度要求，而在楼体转角位置则只应设置一个框架柱进行连接，整体的楼体结构设计为满足建设需求，还可以通过设置金字塔型下宽上窄的结构柱确保变截面结构的稳定性，同时也可以发挥天井结构的采光功能，较小的天井更有利于现代建筑中的室内自然采光，既可以满足现代化建筑的设计策略，又可以满足楼体整体性能指标。

### （二）平面结构

该建筑中天井的平面结构形状较为特殊，呈现菱形结构，而楼体内的电梯井、楼梯间等结构则处于菱形结构的左右角，建筑中外侧墙面相互合围，形成了中部大开洞的天井结构，同时菱形的对称轴部位的开洞比例达到了44%，其中柱网结构的尺寸约为7米\*10米，柱间距离较大，特别是在楼体结构中的空中花园结构还设置了结构板，但大多数楼层的中间细腰部位仅设置了宽度为2米的连接廊道，楼体两侧也仅仅依靠空中花园结构与廊道相互连接，稳定性较差，形成了薄弱区域<sup>[2]</sup>。

## 三、菱形内天井高层建筑设计技术

### （一）楼板温度应力分析技术

建筑结构中楼板发挥着抗水平应力作用，应在承受楼体荷载时，将水平应力传输向竖向抗侧力构件，一直楼层变形，通过完整的抗侧力体系维护结构的稳定性。该项工程中最长横向平面为68米，而我国建筑规范要求剪力墙结构不应大于50米，为此应将左右连接构件断开，但为了避免断面后的V字形结构存在的扭转不规则的情况，同时考虑到楼体两侧的薄弱部位，则不应设立结构缝。该项工程中的楼板还会承受一定的温度应力，根据跨度需求，楼板厚度为110毫米，电梯间楼板厚度为120毫米，空中花园的混凝土板厚度为150毫米，同时考虑到混凝土受到温度因素的伸缩量会引发结构性开裂，对结构安全性造成影响。楼板的温度应力还跟约束

有关,很多高层建筑处于温度较低情况时,底部嵌固端的约束会将温度应力传导向底层结构,造成应力大于混凝土抗拉强度的情况,导致楼板出现开裂情况,为此还应对钢筋进行附加设置。

### (二) 楼板震动应力分析技术

考虑到楼体中存在薄弱部位,可通过PKPM软件对楼体震动应力进行分析,高层建筑一般会出现1米以上的顶点位移,会导致楼体结构出现倾角,同时各个节点还会在位移作用下偏离原本位置,容易出现分析误差,同时还受到温度作用对结构刚度造成影响。楼体楼板的应力与平面结构形变有关,平面结构的形变程度则会随着楼体高度的增加而提高,为此在震动应力的影响下楼板的性能损失主要集中在角部与支座部位,可通过对温度计震动影响下的承受较高应力的区域,如空中花园、楼梯间等部位采用双向配筋,并将最小配筋率控制在0.25%,各个空中花园及廊道连接部位则应提高楼板厚度,将原本的120mm提升到150mm,同时为了降低温度应力与震动应力的影响,还应通过收缩膨胀水泥设置后浇带,提升结构稳定性。

### (三) 楼体跃层柱屈曲分析技术

该项目在2层、3层取消了楼板设计,其跃层柱高度为9米,而跃层柱在设计中由于构建长度较长,部分楼层楼板不会受到约束,为此应考虑到结构的形变情况对跃层柱进行屈曲分析。跃层柱可通过midas软件建立结构模型,得到跃层柱的屈曲模态及负载临界值,跃层柱的截面尺寸为700毫米\*1350毫米,轴应力为16311kn,可通过欧拉公式计算出跃层柱的长度系数:

$$L_a = \mu l = \sqrt{\frac{\pi^2 E I}{P_a}}$$

其中 $L_a$ 为长度; $\mu$ 为长度系数; $l$ 为墙柱高度; $E$ 为弹性模量; $I$ 为界面惯性; $P_a$ 为模型中的负载临界值。计算后跃层柱的长度系数为0.76,低于我国建筑要求中的1.25,同时跃层柱的负载临界值高于震动应力下跃层柱的轴力,为此震动作用下不会出现失稳情况,可满足结构的稳定性需求<sup>[3]</sup>。

### (四) 楼体梁柱偏心分析技术

菱形内天井的周边框架柱应采用外偏斜的设计方式,形成偏心柱结构,而在柱体与梁体的中心线不能重合时,则应考虑到偏心情况对结构节点构件的影响,将偏心距控制在275毫米内,同时考虑到立面结构不可进行加腋处理,为此应对这种不重合情况进行分析。节点

的上下端受到的弯矩应力与测量扭矩应保持平衡,为此考虑到楼体竖向荷载,应将节点上下端的弯矩控制在176KN·m与485KN·m内,且节点上下端的和与梁部弯矩不相等,为此还应考虑到节点在保持平衡的状态下受到的扭矩的影响。设计中梁端弯矩约为260KN·m,为此在节点部位,节点上下端的弯矩应为320KN·m,同时应将施工误差控制在3%以内,并利用有限元分析软件对节点设计进行进一步补充,确保梁体节点应力分布均衡,避免偏心破坏情况。

### (五) 内天井的防火设计技术

建筑结构中天井顶部与大气环境相通,有一定的室外属性,同时高层办公建筑在防火方面有一定的难度,为此该建筑应科学设置防火设施,保障使用人员的安全。该建筑中的走廊呈现回字形,长度超过20米,为此也应设置排烟设施,考虑到内天井并不受外部风向及自然条件的影响,同时每层也建设了排烟窗,为此也具备一定的通风条件。为提升防火效果,菱形内天井建筑中应设置挡烟垂壁,可在办公楼层中部区域设置挡烟垂壁,将内部空间分成若干个防烟分区,挡烟垂壁应使用不可燃材料制作,且厚度应超过500mm,同时考虑到层高限制,垂壁的高度应设置在1000mm。

建筑汇中还应设立可开启的外窗,我国高层建筑施工规范有明确要求,排烟窗应设置在建筑的上方,且应保证开启的便利性,同时考虑到火灾发生时容易产生烟气与热气,密度低于空气,会随着火势扩散而上升,为此排烟窗就应设置在建筑结构的上方,可帮助将蔓延到廊道的烟气排除室外。另外还应设置内部分隔间,设置中应与电梯井、楼梯间等部位保持一定的距离,避免出现烟尘扩散的情况,隔墙的耐火极限应超过0.75h不燃烧体,可在发生火情时将其控制在房间内,降低其扩散性,全面确保建筑的整体安全,为内部使用人员提供保障。

## 四、菱形内天井高层建筑结构性能要求

### (一) 菱形内天井性能目标

由于该项工程存在超限情况,为确保工程的经济性与稳定性,应在底部加强剪力墙结构与框架柱在受到外力影响下的不屈要求,可通过加强电梯井、楼梯间的剪力墙水平,提高竖向分布筋配筋率,从而提高该结构部位的抗剪性能及延展性能,提升稳定性。同时在震动应力下,应提升连梁部位的抗剪弹性,确保在较高层级的地震影响下的稳定性,满足截面限制条件。另外由于该项工程存在薄弱部位,如空中花园等,在发生地震时

容易出现高负载区域,为此还应提高局部楼板的厚度,并采用双向配筋的方式连接细腰部位,强化边框配筋,且整体应加强加密,增强结构细腰部位的抗性与刚度,同时还应考虑在建筑结构发生火灾时的情况,应确保发生火灾时可通过打开火源附近的天窗并自然排烟,并确保人员可以顺利进行疏散,一般在发生火情时,应在疏散过程中,通过打开菱形天井排烟窗,利用自然补风的方式将热气与烟气排出,避免对人员安全造成更大的影响,同时可通过加强钢筋结构与配筋工艺,提升内部结构的安全性及稳定性,引导人员向空中花园等区域流动,而是满足火灾期间人员疏散的需要。

### (二) 建筑抗震性能分析

工程可通过pkpm软件对震动弹性进行分析,确保楼体各类指标满足性能要求,且对于复杂结构的设计中,还应分析偶然偏心与震动应力。软件显示,楼体结构呈现为平面振型与扭转振型,为确保楼体在地震荷载及风力荷载等影响下保持稳定性,为此应确保结构横向的地震抗性以及纵向的风力抗性。而对于拥有偏心柱结构的2层、3层部位,由于并未设计楼板结构,梁体与主体存在中心线不重合的情况,为此该结构的刚度相对较为薄弱,但在模型分析中,该结构的剪应承载力满足我国高层规定中的限制值,并未出现薄弱结构,为此具有一定的稳定性,但最小剪重比也应高于85%,对于不达到规定的楼层应通过放大地震力分析,确保楼层最小剪力满足要求。

### (三) 地震反应谱分析

反应谱可对地震进行分析,可选用普通反应谱,可选用三组地震波进行测试,一般为1组人工地震波与2组天然地震波结合的情况进行分析,且在软件分析中,主次方向的有效振波应具有一定的延迟性,同时考虑到中震不屈服的情况,地震波的差距比应控制在1:0.85。

YJK软件测算的弹性时程中,1组人工地震波的横向基底剪力为5737.2KN,竖向基底剪力为4690.5KN,而两组天然地震波的横向基底剪力为3436KN与3212KN,竖向基底剪力为3567KN与3391KN,为此通过反应谱与弹性时程的分析可知,每一条地震时程曲线的底部结构剪力均大于分解反应谱法的65%,两种振动波结合的情况下,底部结构的剪力高于振型分解反应谱的80%,为此该工程满足我国相关规范,为此可对相应的楼层放大地震测试数值,确保各个楼层满足安全性需求。

### (四) 动力弹塑性分析

楼体的动力弹塑性分析可通过sausage软件进行分析,该软件可通过对结构的弹性动力时程进行计算,并对抗震性能进行评价,一般可运用于对罕遇地震作用下的结构反应进行计算,并为结构在面临罕遇地震的抗震性能中作出评价。分析中应选用双线性硬化钢材模型,由于包辛格效应,循环中不会产生刚度退化的情况,为此可采用弹塑性损伤混凝土模型,以及纤维束梁柱模型,模拟出建筑结构中梁体、主体、桁架及斜支撑构件等结构的剪应力以及在模拟震动中的承受力。

分析中可选取1组人工振动波、2组天然振动波结合的情况对结构在遇到地震情况时进行分析,每一组振动波应控制在2个非线性时程中。sausage软件与yjk软件的测试结果误差为2.12%。计算周期相同,为此在弹塑性分析中,为此在工程中,剪力墙应集中设置在电梯井、楼体间等部位,确保受压损伤满足性能要求,并作为结构在地震作用下的第一道防线,保持耗能作用,降低楼体损伤情况。而底部结构的区域柱在发生损坏时,则应控制在轻微状态内,特别是大开洞天井周边的混凝土应形成塑性铰,提高梁结构的抗震性能,确保结构的安全性与稳定性<sup>[4]</sup>。

### 结语

总而言之,建筑中的菱形内高天井结构在设计中很容易受到温度、震动等方面的影响,为建筑结构的稳定性造成影响,为此应通过合理的分析方式,对楼梯的性能进行全方位的分析,并通过相关措施提升楼梯对外力因素的抗性,可采用框架剪力墙结构控制楼体各部位结构,加强抗震效果,并对薄弱部位进行配筋,提升结构的安全性。

### 参考文献

- [1] 刘以婷,张凤良,胡登先.某菱形内天井高层建筑设计[J].建筑结构,2021,51(21):30-35+63.
- [2] 陈哲.在建超高层建筑火灾烟气蔓延规律与人员疏散研究[D].西安建筑科技大学,2020.
- [3] 徐子健.寒冷地区大进深高层公寓绿色建筑通风组织设计研究[D].沈阳建筑大学,2020.
- [4] 张露.超高层住宅楼内天井自然排烟特性的数值模拟研究[D].中国科学技术大学,2018.
- [5] 刘雅培.装配式技术下传统土木结构民居的空间改造与设计研究——以赣南天井民居为例[J].艺术研究,2021,(05):89-91.