

# 不规则高层建筑设计要点分析

郑增坤<sup>[1]</sup> 蔡观锋<sup>[2]</sup>

(1. 杭州华正建筑设计院有限公司, 浙江 杭州 310000;  
2. 浙江省建筑设计研究院, 浙江 杭州 310000)

**摘要** 高层建筑外观与功能要求高, 因此建筑设计出现不规则结构, 对结构设计要求严格, 设计难度大, 对建筑结构设计的意义重大。本文主要分析不规则高层建筑设计要点, 以具体工程案例为主, 了解不规则结构设计情况, 优化结构与计算, 讨论抗震性能设计与建筑安全问题。

**关键词** 不规则高层建筑 结构设计 抗震性能

中图分类号: TU972

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)05-0106-03

城市现代化发展中, 高层建筑成为重要工程方式, 能够有效提升土地利用率。但是, 建筑高度持续增加, 功能复杂, 结构造型新颖度强, 开始出现较多不规则结构。相比于规则建筑, 不规则高层建筑遭受地震影响后, 会出现明显结构破坏问题, 所以对建筑设计提出严格要求。

## 1 高层建筑不规则结构的定义

不规则结构, 是人们对建筑外形与功能的全新追求, 不仅可以达到建筑功能要求, 也可以满足视觉审美要求, 但是不规则结构对结构工程师的挑战要求高。由于不规则结构刚心与质心不重合, 受到地震影响后, 会出现明显扭转与变形问题<sup>[1]</sup>。按照高层建筑混凝土结构要求, 对不规则结构进行以下分类:

第一, 平面不规则: 涉及凹凸、扭转不规则, 楼板不连续等问题。扭转不规则, 要求在水平力作用下, 楼层最大弹性水平位移, 明显高于两端弹性水平位移均值 1.2 倍。凹凸不规则结构, 要求平面凹凸进尺寸大于投影尺寸 30%。楼板不规则, 表现为楼板尺寸、平面刚度急速变化。其一, 平面质量偏心: 高层建筑层数多, 荷载大, 所以平面质量偏心, 会影响结构稳固性。平面不规则结构设计中, 由于结构构件设计所致平面质量偏心, 若不注重处理质量偏心问题, 将无法满足规范要求, 还会影响结构施工与建筑安全。针对该类问题, 应用增加边榫结构方式, 降低偏心对结构抗震性能、稳固性的影响。按照相关要求, 当建筑物与地震方向垂直时, 以投影长度 5% 为质量偏心计算, 减少质量偏心的不良影响。其二, 平面刚度偏心: 建筑平面刚度, 涉及平面内刚度、外刚度。其中, 内刚度和荷载方向相同, 外刚度垂直于荷载方向。平面

刚度偏心, 是建筑结构构件设计时, 模型差异大所致。刚度偏心, 也会受到构件荷载不均衡、施工环境影响。当平面刚度偏心较小时, 处理难度不大, 并且不会影响建筑结构稳定性。由于建筑无法避免平面刚度偏心问题, 所以必须优化结构设计, 减少平面刚度偏心量。其三, 平面强度偏心: 平面应力与应变, 源于空间简化概念。平面应力, 是所有应力处于平面内; 平面应变, 是所有应变处于平面内。通常情况下, 平面质量偏心、刚度偏心属于常见偏心问题, 但是技术人员不太关注强度偏心的不良影响。在工程实践中, 配制混凝土、钢筋、钢构件的稳定性不足, 致使结构设计强度、实际强度的差异大。构件截面位置出现强度偏心, 技术人员无法控制该类问题, 因此需要采取措施进行优化。

第二, 竖向不规则: 涉及竖向抗侧力、竖向刚度不规则, 楼层承载力突变。竖向刚度不规则, 是该层侧向刚度不满足上层 70%, 或者没有达到其他楼层侧向刚度 80%。除过顶层、出屋面小建筑外, 局部收进水平向尺寸, 大于下一层 25%。竖向抗侧力不连续, 是竖向抗侧力利用水平转换构件, 逐渐向下传输结构。楼层承载力突变, 是抗侧力构建层间, 受到剪承载力不满足上层 80%。不规则建筑设计, 具备特殊性要求, 必须满足规范要求、造型与功能要求, 同时要规范外计算分析, 消除常规限制, 建设优质、可靠项目<sup>[2-3]</sup>。

## 2 高层建筑不规则结构的标准

针对不规则高层建筑来说, 整体设计复杂度大。在规划设计中, 不合理处理整体结构, 就会影响高层建筑结构稳定性, 从而影响建筑施工与运营寿命。高层建筑设计领域法律的出台, 提升了不规则高层建筑

结构设计要求。按照高层建筑抗震规范与要求,不规则高层建筑结构划分为一般类、特殊类、严重类。一般类不规则,满足相关标准要求,遵循规范要求加强设计质量。特殊类,经过专家论证处理后,综合考量项目结构设计,遵循抗震要求、结构设计要求,落实各项加强措施。严重类不规则,是不满足规范标准,必须进行整改与调整的设计。所以在不规则高层建筑结构设计期间,应当规避严重不规则问题,保证结构不规则度满足规范要求。

### 3 高层建筑不规则结构设计要点

不规则高层建筑结构设计,应当按照不规则类型与方法实施,采取科学措施予以处理。不规则高层建筑结构设计中,可以采取以下措施:

#### 3.1 减小结构相对偏心距

针对高层建筑来说,减小相对偏心距,可以降低建筑结构逆转效应。减少偏心距方法,涉及调整不规则平面布局、减小楼层位移比、调整结构抗侧力构件。建筑偏心距,通常与扭转效应呈现线性关系,可采取科学措施降低偏心距,控制结构扭转效应,加强建筑结构稳固性。注重调整结构不规则布局,做好科学化计算,选择最佳平面布局方案,科学控制相对偏心距。注重调整对抗侧力构件,确保建筑整体结构刚度分布均衡,加强建筑结构质量。

#### 3.2 调整结构抗侧、抗扭刚度

按照相关学者研究可知,建筑结构扭转效应、结构周期比,具备线性关系。按照此种特性,能够调整结构抗侧刚度、抗扭刚度比,降低结构扭转效应。为了实现该类的目的,应用加强、加厚剪力墙方式,也可以在建筑结构边上方拉设梁。

#### 3.3 加强抗扭构件抗剪力

在不规则高层建筑中,抗震性能是通过审核的重点。为了优化不规则高层建筑结构设计,必须加强建筑抗震性能。为了加强建筑抗震性能,不能只调整结构布设。地震波所致建筑破坏不规则,不同时期地震波形式不同,地震波对建筑不规则性作用力,会增加建筑构件剪力,当建筑构件问题较多时,则会破坏建筑性能。

#### 3.4 防震缝设计

防震缝,可以使建筑结构成为独立结构单元,有助于加强建筑结构稳固性。高层建筑设计中,防震缝所发挥出的作用效果显著。高层建筑防震缝,按照不同建筑结构设计,利用防震缝设计,可以减少地震对

结构的不良影响。在地震灾害中,因地震波所致邻近基础结构破坏,则防震缝可以控制破坏力传输,形成沉降缝,防止建筑坍塌<sup>[4]</sup>。

## 4 不规则高层建筑结构设计实践

### 4.1 工程概况

某地区综合体建筑,由塔楼与裙楼组成。塔楼地上国有45层,建筑高度为207.4m,包括大厅、办公用房、配套用房、客房、餐厅等。塔楼不设缝,与裙楼地下室为一体建筑,地下建筑共为3层。该建筑为典型的不规则结构建筑,因此需要做好详细规划与设计。

### 4.2 结构设计参数

在此次工程项目中,设计基准期、使用年限为50年,结构设计参数如表1所示:

表1 结构设计参数

项目	设计参数
结构安全等级	1级
框架抗震等级	1级
剪力墙抗震等级	特1级
场地类型	Ⅲ类
地基基础、桩基设计等级	甲级
抗震设防类别	乙类
特征周期	0.5s
抗震设防烈度	7度
风压	1.1倍

### 4.3 结构不规则情况

该工程项目结构高度为B级,包含一般不规则项2项:

第一,塔楼二层、三层弹性水平位移,超过楼层两端弹性水平位移值1.2倍,楼层偏心率大于0.15。结构首层楼板有效宽度,不满足总宽度50%,开洞面积大于总面积30%。所以,存在两项满足平面不规则标准。

第二,塔楼31层高度突变,侧向刚度比不满足标准要求,所以有1项不满足竖向不规则要求。

### 4.4 结构性能目标

深入分析场地条件、抗震设防因素,项目将结构性能目标设置为C~D。其中,C级性能目标:建筑结构在中震、大震影响下,可以满足3级、4级抗震要求;D级性能目标,等级要求最低,建筑结构在中震、大震影响下,可以满足4级、5级抗震要求,结构损坏严重,但是不会出现倒塌、危害生命等问题。针对多遇地震,

层间位移角限值为1/615。核心筒底部、框架柱、连梁、框架梁均为弹性。设防地震,核心筒底部、框架柱为抗剪弹性,连梁为可弯曲屈服,框架梁为部分可弯曲屈服。针对罕见地震,层间位移角限值为1/100,核心筒底部、框架柱满足抗剪截面控制要求,连梁为允许弯曲损坏,框架梁为可弯曲屈服。

#### 4.5 结构方案设计

此次工程项目为框架-核心筒结构体系,形成双重抗侧力结构。

##### 4.5.1 调整扭转位移比

工程塔楼和裙楼,不设置防震缝。裙楼偏置塔楼一侧,底部楼层扭转位移比大于1.4,通过常规方式调整偏心距,不能减小扭转位移比。通过相关分析可知,工程竖向体型收进,塔楼标准层、裙楼部分位置的地震作用、结构刚度差异大。按照相关分析可知,假设扭转位移比与刚度、荷载、裙楼刚度、地震力因素相关,只调整楼层结构构件刚度,不会影响结构总质量、质量分布,也不会影响整体结构周期。建筑结构设计时,扭转位移比分为无偏心、正偶然偏心、负偶然偏心。以四层为例,计算表示正偶然偏心>无偏心>负偶然偏心,因此正偶然偏心工况不佳,通过增加裙楼刚度,能够减小正偶然偏心。工程经过调整后,可以确保扭转位移比小于1.4。

##### 4.5.2 结构布置

在工程项目中,塔楼、核心筒平面为长方形,结构高宽比为14.9、6.4,构件布置如下:框架柱:应用型钢混凝土柱,建筑20-21层为过渡层,内柱以构造含钢率为主;钢筋混凝土柱;柱体截面则由(1700×1700)mm逐渐过渡到(800×800)mm;底部柱轴压比小于0.7;混凝土强度为C60与C40。框架梁:底部边框架梁高度为1000mm,其余位置高度为800mm,内框架梁高度为700mm~800mm,次梁高度为600mm。核心筒剪力墙:底层至屋顶层,外墙厚度为400mm~850mm,内墙厚度为250mm~600mm,剪力墙轴压比小于0.5,混凝土强度等级为C40。楼板:地下室顶板厚度为175mm,其他楼板厚度为110mm。一层与二层楼板大开洞,局部厚度为140mm。

##### 4.5.3 基础设计

按照工程概况,塔楼、裙楼设计为天然基础、墙柱下桩筏基础、抗拔桩,分析沉降差异。裙楼、塔楼、地库间,设置沉降后浇带<sup>[5]</sup>。

#### 4.6 计算整体结构

此次工程项目应用标准化计算软件,分析小震灾

害下,振型分解反应谱,两种计算方法的结果相同。按照分析结果显示,最小层刚度比,遵循标准规范控制,出现侧向刚度超限问题。应用YJK标准软件分析小震弹性时程,按照结果显示,在时程波影响下,楼层剪力平均值为39-45层,明显大于CQC计算结果。应用CQC计算方法时,部分楼层地震力放大系数为1.1-1.3。结构首层楼板大开洞,分析专项受力性能,判断中震作用下,首层楼板正应力区域,小于C35混凝土轴心拉拔强度标准值,个别应力集中点、具备核心筒区域,楼板应力比较大,需要应用科学加强措施,优化楼板配筋与厚度。I区首层楼板厚度130mm,II区首层楼板厚度150mm,III区首层楼板厚度150mm,双层双向配筋,I区附加单层配筋率大于0.28%,II区附加单层配筋率大于0.55%,III区附加单层配筋率大于0.55%。

#### 4.7 结构抗震性能设计

工程项目应用等效线性方法,对显示墙体、框架柱抗震性能目标予以验算,使用SAUSAGE软件,分析大震动力弹塑性时程,结果显示,建筑工程在大地震灾害下,可以实现不倒塌目标。

## 5 结语

综上所述,城市化发展期间,为了满足特定功能、特定造型需求,建筑结构出现水平不规则、竖向不规则情况。不规则高层建筑造型特殊,存在抗震不利条件,必须规范结构布置与计算分析,采取科学化加强措施,确保结构使用可靠性与安全性,确保建筑抗震性能满足标准。

## 参考文献:

- [1] 岳彬彬.基于ABAQUS计算优化下沭阳闸除险加固结构方案设计参数分析研究[J].水利科技与经济,2021,27(10):63-67.
- [2] 徐泽远.偏心支撑对竖向不规则结构的抗扭转性能影响研究[J].江苏建筑,2019,15(04):46-48.
- [3] 陶光慧,谢晨希.黔中水利枢纽一期工程新增低位放空设施金属结构方案设计[J].水利科学与寒区工程,2021,04(05):121-123.
- [4] 赵青羽,安伟东,等.探究全玻璃纤维复材自由曲面外立面建筑的结构设计[J].工程建设与设计,2021,23(18):11-12,27.
- [5] 石若利,李其伦.“工字型”平面不规则钢结构的弹塑性时程分析研究[J].华南地震,2021,41(02):142-148.