

# 超限高层结构抗震性能化设计方法探讨

洪伟鲜 董佳竹

杭州市建筑设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310000

**[摘要]** 高层建筑在提高土地资源利用率方面有突出的作用,但其建设规模大,质量要求高,可因外部作用而发生局部失稳乃至坍塌等事故,因此如何有效提高建筑的抗震性能是值得重点探讨的内容。为保障高层建筑的安全使用,亟需加强对抗震设计方法的探索,明确对抗震效果造成影响的关键因素,确定适用于高层建筑的抗震设计方法,制定抗震方案并落实到位,切实提高高层建筑的抗震性能。

**[关键词]** 超限高层结构; 抗震性能; 设计方法

DOI: 10.33142/ec.v6i2.7747

中图分类号: TU973.3

文献标识码: A

## Discussion on Performance-based Seismic Design Method of Transfinite High-rise Structure

HONG Weixian, DONG Jiazhu

Hangzhou Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

**Abstract:** High-rise buildings play a prominent role in improving the utilization rate of land resources, but their construction scale is large, the quality requirements are high, and accidents such as local instability and even collapse can occur due to external effects. Therefore, how to effectively improve the seismic performance of buildings is a content worthy of focus. In order to ensure the safe use of high-rise buildings, it is urgent to strengthen the exploration of seismic design methods, clarify the key factors affecting the seismic effect, determine the seismic design methods applicable to high-rise buildings, formulate and implement the seismic plan, and effectively improve the seismic performance of high-rise buildings.

**Keywords:** transfinite high-rise structure; seismic performance; design method

### 1 影响超限高层建筑抗震效果的关键因素

#### 1.1 材料性能和施工的影响

材料性能对建筑结构抗震效果有显著的影响,在同等地震条件下,若选用的建材质量越高,则相应的抗震性能越好,对地震作用力的抵御能力增强,否则将由于材料质量低下而加大失稳、坍塌的可能。即便部分材料在日常使用中无异常状况,但受到地震或是其他外部作用时,将发生事故,因此合理选择材料尤为关键。建筑建设中可以考虑楼板、隔断等相关构件的应用,具体材料包含空心砖、加气混凝土板等,此类材料具有轻质化、抗震性能突出的特点,有利于提升建筑结构的抗震效果。在日常施工中,必须加强对各环节的质量控制,确保建设成型的建筑结构能够满足抗震要求。

#### 1.2 结构设计的影响

抗震是建筑结构设计中的重点内容,必须采取科学可行的抗震措施,达到小震不坏、大震不倒的效果。若建筑物的平面布置较为复杂,在质心和刚心不一致的条件下,结构对地震作用的抵御能力有限,易因地震作用而受损。因此,需要合理优化建筑的结构平面布置,确保质心和刚心保持重合,此时建筑结构的抗震性能将有所提升。超出屋面建筑部分的高度必须得到有效的控制,以减小地震对其造成的不良影响。还有部分建筑的平面布置不规则,在抗震设计中需要着重考虑距离建筑结构刚心远端的抗震

墙以及各类与抗震有关的重要结构,对其进行深化设计,保证形式、受力等方面的合理性<sup>[1]</sup>。

#### 1.3 建设现场地质条件的影响

建筑物出现破坏的诱因较多,例如岩石断层、山体崩塌导致地表运动,进而迫使建筑出现不同程度的破坏现象;此外,建筑还有可能受到水灾、海啸等次生灾害的影响。为尽可能减小受外部因素的影响,需要在设计阶段做好现场勘探工作,评估是否存在对建筑造成不利影响的因素以及各项因素的具体影响程度,尽可能避开不利地段,从而在源头上规避不良影响。

### 2 建筑性能化抗震设计方法

#### 2.1 Pushover 分析方法

Pushover 分析方法主要是从建筑本身拥有的抗震性能角度,来进行建筑结构设计的一种方法。该分析方法在实际的应用中,主要是利用模型模拟出建筑物结构在受到地震水平惯性力作用下所产生的侧向力的方式,对建筑物结构从发生开裂到最终的倒塌破坏整个过程中的内力、承载力等作用力的变化情况进行分析,从而判断建筑物结构设计中的薄弱环节。这种分析方法能够对建筑物的整体结构抗震性能进行分析,但往往需要与其他分析方法结合起来,才能够满足建筑物结构能够在地震作用下发生位移的这一前提条件。

## 2.2 能力谱方法

将 Pushover 分析方法与反应谱结合起来,能够在得到建筑物结构的基底剪力-顶点位移关系曲线之后,将曲线转化为以等价单自由度体系为主要原理的能力谱。在得到能力谱之后,需要在模拟地震作用的情况下,对建筑物结构整体进行再次的 Pushover 分析,得到建筑物结构所产生的弹塑性反应变化情况,从而对建筑物结构的抗震性能是否符合标准进行判断。能力谱方法能够基于建筑物结构的弹塑性来分析抗震性能<sup>[2]</sup>。

## 2.3 位移影响系数法

位移影响系数法主要是基于建筑物结构的单自由度体系,对建筑物结构的抗震性能进行分析的一种方法。这种分析方法在实际的应用过程中,主要能够基于建筑物结构在地震作用下产生的位移反应中的各项系数变化情况,对建筑结构总体的抗震水准进行评估。但由于这种分析方法更依赖于理想的实验室操作环境,且分析结果的计算精度也会受到技术的限制,因而往往难以呈现出建筑物各种主要构件在地震作用下的损坏情况,仍需要对该方法进行进一步的优化和调整。

# 3 超限高层建筑结构抗震性能化设计

## 3.1 科学选择场地

超限高层混凝土建筑抗震结构设计期间,要重视场地的选择,规避地震会造成较大危害的场地,确保地基基础符合相关标准,防止出现基础震害。建筑选址同时也要规避变电站、电厂等区域,要最大限度地降低对建筑产生的危害与影响。地基是提升建筑抗震能力的关键所在,要求可以选择半岩石、岩石结构的地基土,避免在地基为松软的粘性土层建设。通过场地的合理选择,能从基础上减小地震对高层建筑产生的危害与影响,保证地震时建筑物结构的安全与稳定<sup>[3]</sup>。

## 3.2 结构选型与布置

结构选型与布置应遵循抗震概念设计基本原则,结合建筑功能、结构高度、抗震设防烈度等情况选定结构体系,根据体系特点,采用能保证结构整体性及协同工作性的楼盖体系。在此基础上,结合具体工程情况,确定嵌固层位置、基础类型、主要构件尺寸及材料强度、关键节点及细部构造、是否需要设置加强层以及加强层的数量和形式。

## 3.3 结构抗震性能化设计目标

性能化设计目标是指在一组指定地震动作用下的结构抗震性能水准,抗震性能化设计的本质就是显式地设定并验证不同地震作用下的性能目标。合理的性能化设计目标可以体现不同构件、细部在结构体系中的重要程度,以此进行设计将使结构具有良好的屈服机制、破坏模式和耗能能力。抗震性能化设计与常规设计最大的不同之处在于性能化设计目标的个性化、量化和细化。常规设计采用的“三水准两阶段”设计方法也是一种广义的“性能化设计”

”,但是“小震不坏、中震可修、大震不倒”的三水准目标仅给出了结构层面的宏观性能目标要求,过于笼统、粗糙,缺乏全面定量的验证,也就无法适应复杂、多样化的结构设计需求。因此,选择合理的性能化设计目标对于抗震性能化设计至关重要<sup>[4]</sup>。

对于结构抗震性能化设计目标的确定,首先应充分考虑结构的特殊性,结合场地类别、建筑功能、结构类型、工程造价、震后损伤及修复难易程度等因素综合选定结构的宏观性能目标。在此基础上应划分构件类型,明确结构中的关键构件、耗能构件与普通构件,再结合具体工程情况有针对性地分别对结构构件、非结构构件、附属及机电设备提出细化、量化的性能水准要求。

## 3.4 合理选择抗震结构并予以优化

对于高度在 150m 以上的高层建筑,通常采用框-筒、筒中筒、框架-支撑结构。结合我国的工业发展状况,钢材生产规模较大,钢结构的加工水平正逐步提高,因此在条件允许时宜优先考虑钢材的应用,例如设计钢管混凝土结构,通过此类结构的应用,减小柱断面尺寸,提升结构的抗震性能。此外,不宜采取以硬性为主的抗震模式,相比之下更具可行性的是以柔性为主的抗震模式,通过此方式减弱地震时释放的冲击力。

## 3.5 联合构建多道抗震防线

高层建筑的抗震设计需要集多项措施于一体,即建立起多道防线,全面提升建筑对地震的抵抗能力,即便第一道防线遭到攻击,其他各道防线也依然可以有效阻挡地震作用力,减小地震对建筑造成的不良影响。在高层建筑多道防线的设计中,可考虑框架剪力墙等具有较强抗震性能的结构,以便建立高层建筑的第一道防线。与此同时,剪力墙还是重要的抗侧力构件,因此需要保证剪力墙在承受能力、数量等方面均具有合理性。考虑剪力墙开裂后重新分配的地震作用,按框架和墙两部分结构开展抗震设计工作,充分发挥出各自在分配地震剪力方面的作用,避免外力集中作用于某处;在剪力墙结构的设计中,可以考虑连梁的应用,以此来增强剪力墙的抗震性能。

## 3.6 消能减震设计

消能减震设计是指在建筑结构中设置消能器,通过消能器的相对变形和相对速度提供附加阻尼,以消耗输入结构的地震能量,达到预期防震减震要求。在抗震设计过程中,设计人员需要利用科学技术来充分发挥建筑结构消能减震的作用。比如,设计人员可根据先进的科学技术和设计原理,将橡胶原料用于建筑的基地和底座建设等方面。如此一来,当地震发生时,建筑就可以利用橡胶的弹性来减轻震动,并有效抵抗地震力对建筑结构造成的冲击,进而提高建筑的抗震能力。

## 3.7 控制扭转效应

超限高层混凝土建筑在受到地震影响时,主要由三种

作用力产生危害,分别为水平作用力、竖向作用力和扭转作用力。高层混凝土建筑在地震过程中,作用力相对比较复杂,在分析建筑损害时,难以判断与计算实际破坏力。设计人员要在抗震结构设计过程中,要重视扭转效应所带来的破坏力,并对此进行有效控制。在地震作用下会让高层建筑产生偶然偏心问题,所以楼层中竖向构件的层间或者最大水平位移进行合理确定,当建筑高度为 A 级与 B 级时,楼层的竖向构件的最大的水平位移与层间位移,通常为平均值的 120%和 150%、120%和 140%;当建筑高度为 A 级与 B 级时,扭转结构第一自振周期与平动结构第一自振周期的比要小于 0.85;在建筑外围尽可能布置抗侧力结构,提升结构的刚度;高层结构的平面不能过于狭长。在高层混凝土建筑抗震结构设计中,要严格要求抗震结构的位移,对最大与最小位移结构的刚度进行测定,确保整体位移保持一致,并分析整体抗震性能,及时发现问题并进行处理<sup>[5]</sup>。

### 3.8 受力分析

超限高层混凝土建筑结构受力分析十分关键,要求能做好受力分析,以保证符合抗震要求。构造筋配置时,要求纵向的配筋率控制在 5%以内;不允许柱的纵筋与拉近、箍筋等焊接在一起;纵向钢筋之间需保持一定间距,要求距离<350mm,近距离>50mm;箍筋位于柱中附近,采用封闭式处理,且要求箍筋直径>6mm。混凝土框架结构的设计,必须确保各项指标符合要求。通过受力分析,要能明确结构参数,为抗震结构设计提供可靠参考。

## 4 提高高层建筑结构抗震性能的有效措施

### 4.1 增设抗震防线

设计人员需要采用弹性良好的结构部件将建筑的连接点包裹起来,同时增设多条抗震防线。一般情况下,当地震发生时,施工场地会受到影响。大多数普通建筑在经历一次较大的地震后,其稳定性就会大幅降低。如果建筑结构失去弹性,就无法抵抗余震。因此,增设抗震防线是为了在地震灾害来临后,通过保护建筑结构的组成部件来提高建筑抵抗余震的能力。

### 4.2 检查建筑结构的抗震功能是否正常

由于建筑的地理位置存在差异,因此在地震灾害发生时,其受到的损害程度也不尽相同。这就要求设计单位及时地将设计方案递交专业验收人员,由其全面检查结构抗震功能是否正常。在此期间,专业验收人员应发挥专业技能,严格执行相关国家规范与标准。同时,专业验收人员还要利用专业科技与检测设备来排查风险,从而增强高层建筑结构抗震性能,为居民的居住安全提供保障。

### 4.3 利用辅助部件来保证建筑结构的抗震性能

在高层建筑结构抗震设计过程中,设计人员必须了解各建筑结构特点,合理利用辅助部件来保证建筑结构在受到破坏时仍具备抗震能力。除主要部件外,其他的辅助零

部件同样能够发挥抗震作用,它们能够保证建筑结构抗震性能的持续性、稳定性。因此,在具体工作中,设计人员应分析各结构部件的抗震性能系数。另外,设计人员还要对建筑结构抗震设计方案中的各种零部件进行检测。其间,设计人员要重点检测辅助部件是否能够保证高层建筑结构的抗震性能。当在检测过程中发现问题时,设计人员需要及时调整辅助部件的应用方案,从而进一步保证居民的居住安全。

### 4.4 将抗震结构设计作为重点内容

为保证整个高层建筑工程的顺利开展,设计人员需要结合施工环境与项目需求,选择出最合适的抗震结构,并将抗震结构设计作为工作重点,全面降低安全问题发生的概率。首先,做好选址工作是抗震结构设计工作顺利开展的基础。其次,设计人员应在保证建筑结构不变的前提下,尽量减轻建筑的自重,并注重强化建筑结构的薄弱部分,这是保证建筑安全性的关键。因为一旦发生地震,建筑所受到的损害程度通常与自身的重量成正比,也就是说,建筑自重越大,其所受到的损害就越大。所以,适当减轻建筑自重可以有效增强建筑的抗震性能,有利于保证建筑的稳定性,减少因地震而造成的生命财产损失。

## 5 实际工程所引发的思考

### 5.1 工程概况

工程韵达大楼位于浙江省杭州市桐庐县,场地所在区域抗震设防烈度为 6 度,设计基本地震加速度值为 0.05g,设计地震分组为第一组,场地总体类别为 II 类,场地特征周期为 0.35s。本工程由一座 45 层超高层和局部 4 层裙房组成整体,1~4 层为中点设防类建筑,5~45 层为标准设防类建筑。超高层地下室为地下 2 层。超高层地上 45 层,地下 2 层,首层层高 5.8m,2~4 层层高 5.4m,以上办公标准层为 4.2m,酒店标准层为 3.9m,LOFT 办公标准层为 4.750m,中间设置两个避难层,主楼屋面标高 198.850m。主体结构形式采用钢框架-钢筋混凝土核心筒结构,地下室顶板作为嵌固层。主楼典型标准层结构平面图见图 1 所示。结构的主要抗侧力构件为钢筋混凝土剪力墙核心筒,底层剪力墙最大厚度为 900mm,墙厚变化与混凝土强度等级错层交替变化,上部墙体最小厚度为 500mm;结构底部的钢框架柱采用型钢混凝土柱,截面变化为 900x900 到 600x600,壁厚变化为 45mm 到 20mm。楼面体系采用钢梁+钢筋桁架楼承板结构,以无支撑板跨为依据分别采用 110mm,140mm 等板厚。根据规范,超高层 1~4 层,钢框架抗震等级一级,混凝土核心筒剪力墙抗震等级为一级;超高层 5 层~顶层,钢框架抗震等级二级,混凝土核心筒剪力墙抗震等级为二级。超高层总高度 198.850m,属于超 A 级高度,结构的最大扭转位移比大于 1.2,属于不规则超限高层。据《高规》5.1.13 条该超高层结构在多遇地震作用下内力分析时,应该补充弹性时程

分析;同时还应采用静力弹塑性分析方法,考察结构在大震作用下的抗震性能。

## 5.2 思考

本工程在建设现场地质条件、材料性能、施工的影响、合理选择抗震结构、性能化抗震设计方法等这些关键环节中都实现得很好。但本项目中尽量减轻建筑的自重方面善可以优化,《高规》7.2.3中指出“高层剪力墙结构的竖向和水平分布钢筋不应单排配置。剪力墙截面厚度不大于400mm时,可采用双排配筋;大于400mm、但不大于700mm时,宜采用三排配筋;大于700mm时,宜采用四排配筋。”原设计中900厚剪力墙采用了4排钢筋,800~500厚剪力墙采用了3排钢筋,若采用900~800厚采用3排钢筋、700以下厚采用2排钢筋,这样在满足受力分析的条件下可以大大减少整栋建筑的自重,从而减轻建筑的地震危害。并且如果未来类似项目在高烈度区,也可以尝试消能减震设计,在建筑结构中设置消能器,充分发挥建筑结构消能减震的作用。

## 6 结语

抗震性能是高层建筑结构设计中强调的一种基本性能要求。基于超限高层混凝土建筑工程的实际情况,选择合适的抗震性能分析方法来进行抗震结构的设计,不仅能

够对高层混凝土工程的结构体系进行优化,还能够在保证建筑抗震性能达到相应标准的同时,提高建筑整体的经济效益。作为现代建筑行业发展的主要建筑类型,超限高层混凝土建筑的抗震设计需要以选择合适的性能分析方法来进行结构设计,才能够促进建筑行业的有效发展。

## [参考文献]

- [1]王斌斌.高层建筑结构抗震设计优化措施[J].工程设计与设计,2022(7):26-28.
- [2]王成磊.高层建筑结构抗震设计方法及结构体系创新研究[J].工程设计与设计,2022(4):13-16.
- [3]马永佳.现代建筑结构抗震设计及加固处理研究[J].产业与科技论坛,2021,20(22):52-53.
- [4]王清泓.高层建筑结构抗震设计存在的问题及其对策研究[J].中国建筑金属结构,2021(10):66-67.
- [5]李子懿,肖从真,李建辉,等.复杂高层建筑结构抗震设计方法研究现状与展望[J].建筑科学,2019,35(9):120-125.

作者简介:洪伟鲜(1986.8-),女,吉林建筑大学,土木工程,杭州市建筑设计研究院有限公司,主任工程师,高级职称。