

超限建筑结构的抗震性能化设计要点

单洁琪

同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司

摘要:本文关注到超限建筑结构的抗震性能设计过程,首先分析了超限建筑结构的抗震设计特征,包括控制建筑侧移、设计主体结构等等;随后,分析了抗震性能设计中常用的方法,包括明确性能目标、选择设计工具等等;最后,说明了抗震性能设计的手段,比如基础结构设计、节点连梁设计等等。通过上述分析,为超限建筑结构的抗震性能设计提供部分建议。

关键词:超限建筑结构;抗震性能化;设计

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.20.102

引言:超限建筑结构复杂,受地震影响更大,增强超限建筑结构的抗震性能势在必行。若要保证超限建筑结构安全可靠,需要基于性能进行建筑结构的抗震设计,探索相关的抗震设计方法很有必要。

一、超限建筑结构抗震设计特征分析

1. 控制建筑侧移。地震发生时,建筑会形成水平剪切力,进而出现侧移现象。而且,建筑在地震时的侧移长度与建筑高度成正比。建筑结构抗震设计阶段,要有效控制侧移。

2. 控制水平荷载。地震会诱发建筑水平荷载情况,增大建筑倾斜的概率。与此同时,建筑构件的垂直侧也会形成轴向力,轴向力大小与建筑标高的平方值成正相关关系。如果建筑构件标高越高,意味着水平荷载也就越明显。而且,建筑结构的质量与强度条件,也会影响地震带来的负荷和风荷载效应。

3. 延展性设计。建筑结构的刚度与高度成反比,位置越高,变形的概率也就更大。可见,高层建筑结构的变形能力要求较高,由此保证建筑结构在塑性变形中的绝对安全。为了实现此目标,需要着力优化建筑结构构件。

4. 主体结构设计。建筑结构对质量有显著影响。若在保证建筑安全稳定,则关注建筑与地基结构的匹配度。如果建筑地基土层的承载力不同,则要适当提升建筑基础结构的刚度,保证建筑结构的承载力^[1]。下部框架结构的应用性价比优势明显,但是刚度分布均匀度不足,间接增大了形变的概率,进而优化建筑结构开裂现象。建筑结构设计阶段,需要综合考虑建筑的上下高度,保证建筑结构的抗震设计效果。

5. 抗震防线设计。对于“框架-剪力墙”结构的建筑,需要增设抗震防线,有效抵御地震以及余震的冲击。建筑结构抗震设计过程中,需要加固抗震防线,提升建筑结构内部环境的合理度,还能保证抗侧力结构的弹性,有效遏制地震发生时的建筑结构位移现象。建筑抗震设计阶段,还要考虑到构件抗侧移值与其他构件强度之间的关系。如果抗侧移值过高,则会降低其他构件

的强度。这就意味着在抗震设计中,需要提升各个构件的抗侧移能力,进而维持构件平衡并提升建筑抗震性能^[2]。

6. 抗震计算方法的应用。在测算建筑主体承载力的过程中,需要评估建筑物在明显地震过程中的动态状况,在此基础上进行实时性的预测,具体包括了建筑各个层面之间的位置变动状况,以及延性位移的情况。随后,根据这些信息,分析建筑物截面的变化特征,由此确定建筑抗震涉及的具体要求,同时指定建筑施工中的相关要求。在设计施工足够稳妥的前提下,最大限度降低建筑物遭受地震破坏的概率,保证建筑物主框架完好。

二、超限建筑结构抗震性能化设计方法分析

1. 明确性能目标。建筑结构抗震设计隶属于结构工程,有助于提升建筑结构的抗震性能。在明确抗震设计性能目标时,需要考虑地震发生时的安全性能要求,由此夯实抗震设计的基础。此阶段要综合考虑建筑的应用领域、地理位置以及预期的强度。通常情况下,将性能目标划分为三个层次,分别对应不同级别地震情景下的响应需求。关于“安全性能目标”,对应较高级别的地震场景^[3]。一旦发生高级别地震,建筑结构要保持完好,不会出现失稳的情况。换言之,地震发生之后,建筑可以作为避难场所,为人员撤离争取有利的空间条件。关于“限制性能目标”,对应一般级别的地震场景。当地震发生时,建筑结构不会发生根本性的破坏,最多出现轻微的破坏。而且,地震后,能够快速修复此类损伤,最大限度避免经济损失。关于“操作性能目标”,通常对应小地震。地震发生时,建筑能够正常应用。建筑结构一般会出现轻微损伤,但是不会伤及根本。在设定抗震性能目标时,还要考虑建筑的应用方向,比如住宅、医疗建筑等等。同时要考虑地震的风险与强度,此时通常使用地震的烈度与加速度指标,建筑抗震设计团队综合考虑上述因素后,需要确定性能目标,作为抗震设计的重要依据,保证建筑结构的安全性。

2. 性能评估工具的选择。建筑抗震设计过程中,性能评估是不可或缺的环节。经过性能评估,能够掌握各类地震状态下的建筑结构抗震性能。在性能评估阶段,需要考虑容限位移、能力谱、可靠度等指标,并注意评估工具的选择。关于容限位移的评估,关注到结构的位移。获取地震发生时的结构位移数据后,与容限位移对比分析,确定是否满足目标。此阶段一般采用非线性时间历史分析工具^[4]。基于能力谱进行性能评估时,需要关注结构的响应谱。在与预定的目标谱对比分析后,掌握各种地震强度下的结构抗震性能。在综合考虑不同地震强度水平的过程中,可以采用基于能力谱的评估方

式。如果建筑结构参数不确定,可以采用可靠度评估法。根据反馈的概率分析结果,分析地震发生状态下的结构抗震性能。相比于能力谱评估方式,这种方式的精细度更高,但是计算的要求也更高。在性能评估阶段,需要借助专业工具,模拟结构的抗震响应情况,进而评价结构的抗震性能。目前常用的软件工具包括ETABS、SAP2000等等。

3. 结构动力响应分析。地震带来的荷载效应应具有瞬时性,并带来建筑振动效应,进而破坏建筑结构。若要准确评价建筑物在地震中的具体表现,需要模拟地震作用过程,分析建筑物结构在该状态下的结构动力响应效果,由此确定建筑结构的振动特性、振动幅值以及变形模态。在结构动力响应分析阶段,首先要掌握地震波的频谱、幅值和时程等参数,由此明确地震波特性^[5]。通过地震谱、历史地震资料等内容,能够掌握上述信息。随后,生成建筑物模型。此时借助有限元分析方法,细分建筑物结构,形成离散的梁、柱等等。随后向模型施加地震波,计算获得建筑结构的位移、速度、加速度等指标,掌握结构动态响应情况。关于建筑物结构在无外部激励状态下的固有振动频率,与自由振动频率和模态分析的结果有关。借助模态分析机制,能够得知不同模态下的振型与振动频率情况。在向建筑结构模型施加地震后,通过求解动力方程,能够从时间角度掌握建筑结构的振动响应情况,为分析地震状态下的建筑物结构形变提供依据。

例如在分析某钢拱结构的抗震性能时,根据图1(a),得知建筑钢拱与下弦连接的节点以及两层钢拱梁柱的连接节点状况。此时,利用有限元分析工具,能够得知节点位置处的型钢等效应力最大值。图1(b)展示了有限元的分析结果。该最大值出现在钢拱与钢柱连接处的一小部分。而节点位置处的钢拱、钢梁的等效应力较小,大部分型钢不会发生屈服。由于部分位置可能出现应力集中的现象,需要适当提升钢拱与钢柱连接位置的厚度。

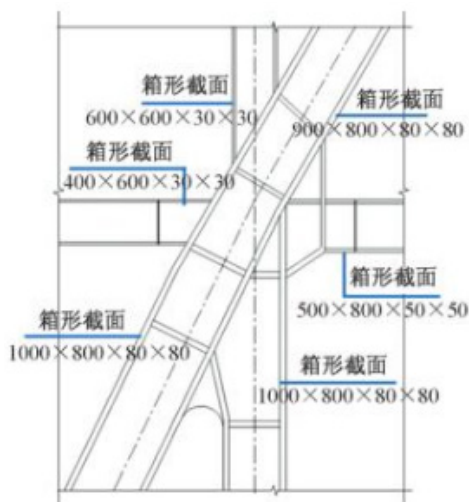


图1(a) 节点构造

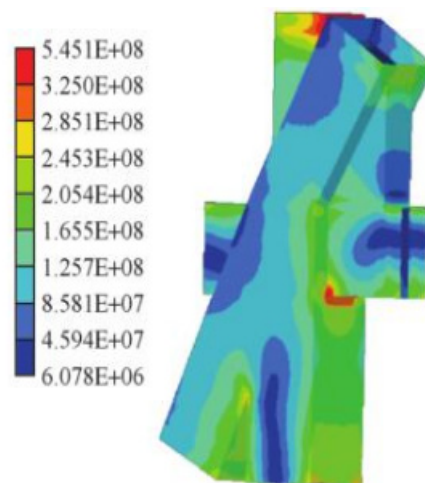


图1(b) 应力云图 /MPa

需要注意的是,建筑结构材料在高级别地震的影响下,有可能发生非线性响应,常表现为混凝土裂缝以及钢结构的屈服现象。借助非线性时程分析,能够应对的材料非线性形变现象,以及结构的非线性变化。在非线性时程分析过程中,第一要选择材料模型,进而准确描述材料的非线性行为。例如描述混凝土的应力、应变关系时,就要使用材料模型。确定材料模型后,需要利用结构几何非线性,明确形变与荷载的联系。下一步,则是模拟建筑结构在地震场景下的响应能力,此时一般采用数值方法。借助非线性时程分析,还能掌握材料损伤情况以及建筑结构的破坏情况,为预测结构提供有效依据^[6]。另外,超高层建筑结构组件较多,一旦地震发生,这些组件的损伤与响应也不一样,根本原因在于结构几何形状、材质以连接的机制有差异。比如发生地震时,柱结构出现剪切破坏、弯曲等现象,进而影响柱结构的强度并增大形变概率。同时,梁结构会出现弯曲与裂缝,自身承载力也会降低。墙体结构的剪力效应被破坏,同时出现弯曲破坏、压力破坏的现象。无论墙体、梁或者柱发生损坏,都会降低建筑结构稳定性。另外,地震对连接建筑结构的螺栓和焊缝也有影响,导致结构构件的相对偏移现象,也会降低建筑稳定性。

三、超限建筑结构抗震性能化设计探索

1. 基础结构设计。在建筑结构抗震设计进程中,需要综合考虑建筑结构的性质以及建筑的高度,在勘察建筑施工现场的基础上,分析勘察获取的数据,将桩基础结构应用在主楼基础结构中。同时,要明确结构持力层的材质。比如,将风化板岩作为结构持力层,在计算持力层的承载力之后,判断桩能否满足承载力的要求。如果不符合要求,那么将中风化板岩应用在持力层中。在商业建筑设计中,地下建筑结构空间较大,因此要使用框架结构。如果建筑上部采用剪力墙结构,那么需要设置转换层,如图2所示。同时,结合竖向构件的传力特征,在转换层中使用框架梁。对于转换层和下部层次的构件,以及连接各层次的构件,采用特一级的抗震设计方案。



图2 转换层平面布置图

2. 节点连梁设计。节点与连梁是超限建筑结构抗震设计的关键因素。其中，节点承载了连接构件的职责，实现了力的传递与分配效果。连梁能够为建筑结构材料提供横向支持，即便发生地震，同样能够保证结构稳定。在设计结构的节点与连梁时，需要综合考虑多项因素。首先，要保证节点连梁的刚度，增强建筑结构抵御地震变形的能力。同时，要考虑强度因素。由于节点连梁承受较大的地震荷载，建筑设计中要选择合适的材料，而且交叉截面尺寸要合理，从而保证节点连梁的荷载承受性能。鉴于地震发生时的能量传递效应，存在一定的能量耗散。如果节点连梁能够吸收耗散的能量，就能缓解其他构件的受力压力，由此强化抗震性能。比如在抗震设计中，借助专用耗能材料，或者添加可塑性的变形区域，就能收集耗散能量并提升抗震性能。选材在节点连梁设计中至关重要，若能保证混凝土和钢结构的强度，则能增强节点连梁的耐用性。针对地震发生时的节点连梁应力集中效应，可以降低刚性悬挑长度，由此增强建筑结构抗震性能。另外，节点连梁的刚性、能耗特性和连接方式也有关，因此要合理选择紧固连接、焊接等方式。

3. 结构冗余设计与韧性设计。建筑结构抗震设计时，可以采取冗余性的设计方案。冗余设计顾名思义，就是将多余的构件和路径加入到结构中。一旦地震引发部分构件损坏，冗余构件也能承载荷载，保证建筑结构稳定。关于建筑结构的韧性设计，关注到地震时的结构变形能力以及抵御损伤的能力。采用冗余度设计方案，能够保证结构的承载能力和稳定状态。采用韧性设计方案时，还要考虑到材料、构造等多方面的因素，并做好

抗震连接的工作，进而提升结构的抗震性能。

4. 耗能机制与隔震系统。地震发生时，借助变形与能量吸收效应，最大限度降低地震带来的影响。关于隔震系统，最根本的作用在于隔开建筑结构与地面。将隔震装置安装在建筑结构的下部，让隔震装置吸收地震产生的能量，降低建筑结构的冲击效应。在超限建筑结构设计进程中，可以使用阻尼器、基础隔震等多种手段，提升建筑结构抗震性能。

结束语：超限建筑结构抗震设计任务复杂，关系到建筑结构能够长久稳定应用。针对建筑结构进行性能化的抗震设计，能够保证建筑结构的性能。未来，还要继续加强该领域的实践，进一步优化超限建筑结构并增强抗震性能。

参考文献

- [1] 林巍, 郑晓清, 徐铨彪, 等. 超限高层建筑抗震性能化设计若干问题探讨[J]. 建筑结构, 2023, 53(20): 72-77+39.
- [2] 胡道航. 某特别不规则高层建筑设计与分析[J]. 建筑结构, 2022, 52(23): 92-99.
- [3] 肖从真, 李建辉, 孙超, 等. 超限高层结构抗震性能化设计方法探讨[J]. 建筑结构, 2022, 52(21): 8-13.
- [4] 殷霞. 高层建筑抗震性能化设计重难点及处理方法的探析[J]. 中国建筑装饰装修, 2022, (10): 107-109.
- [5] 张权城. 高层建筑超限抗震设计及结构专项研究[J]. 城市住宅, 2020, 27(11): 163-166.
- [6] 高苏. 浅析高层建筑抗震性能化设计要点[J]. 四川水泥, 2020, (08): 325-326.