

某超高层建筑结构体系和关键设计研究

林海, 李赞恒, 江民, 林奉军, 汪洋, 穆继昌, 甄圣威, 何子轩
(奥雅纳工程顾问, 深圳 518048)

[摘要] 超高层总部塔楼建筑总高度为400m, 采用密柱框架-核心筒结构体系, 不设结构加强层, 与传统的超高层框架-核心筒结构二道防线抗震设计不同, 对本工程采用内外结构整体共同协调作用的抗震理念进行体系论证和设计, 并针对结构设计中抗震设计的主要关键部分, 如剪力墙的拉剪设计、梁柱偏心节点、核心筒斜墙收进等进行了深入的设计研究, 从而确保整体结构设计的安全可靠和经济合理。

[关键词] 密柱框架-核心筒; 剪力墙拉剪; 梁柱偏心节点; 核心筒斜墙收进; 共同作用

中图分类号: TU318 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2014)24-0031-06

Research on structural system and key issues design of a super-tall building

Lin Hai, Richard Lee, Kang Man, Lin Fengjun, Wang Yang, Mu Jichang, Zhen Shengwei, He Zixuan
(Arup, Shenzhen 518048, China)

Abstract: As a 400 meter high building, the structural system of this headquarter building is close column frame and core wall system without strengthened stories. Different from dual-defenses seismic design of traditional super-tall frame and core wall system, this structural system induced seismic concept of integrated work for external and internal structures to analyze and design. Key parts in seismic design were deeply studied, such as tension and shear design of shear wall, beam-column eccentric connection and setback of inclined shear walls, which ensured the safety and economy of the building.

Keywords: close column frame and core wall system; tension and shear of shear wall; beam-column eccentric connection; setback of inclined shear walls of core; integrated work

1 工程概况

本项目位于深圳南山区的后海, 坐落于深圳湾西侧、后海商业中心区东侧、深圳湾体育中心南侧、带状海滩公园北侧, 占地面积约为38 000m², 总建筑面积约为465 000m²。其中, 总部大楼建筑总高度为400m, 地上66层, 地下3层, 建成后将成为整个项目发展区内最高的办公建筑, 塔楼的外形呈现春笋造型, 也从根本上引导了结构体系设计方向。建筑效果图见图1。

总部塔楼在地面以上未与其他裙楼联系, 但由于下沉广场的分布, 嵌固层在地下1层, 结构分析设计主要参数为: 设计基准期为50年, 结构安全等级一级, 为重点设防类; 抗震设防烈度为7度(0.1g), 地震分组为第一组, 场地类别为Ⅲ类; 基本风压为0.75kPa(50年一遇), 风响应由风



图1 建筑效果图

洞试验确定。另外, 核心筒剪力墙的抗震等级从嵌固层下一层往上采用特一级, 外框柱的抗震等级从嵌固层下一层至地面为特一级, 地面以上为钢结构, 抗震等级主要为二级。基础采用直径65m整体承台和2.5~4.5m大直径人工挖孔桩^[1]。

2 结构体系

2.1 结构选型

结构选型经历了两个主要阶段。概念设计阶段, 建筑方案本身尚处于外形研究和比选之中, 图2为早期结构工程师配合建筑外形所开展的风工程初步研究。

风工程研究比选了14个不同的建筑外形, 最终在结合建筑、结构、幕墙及业主等各方考量后, 确认采用圆形(春笋)造型进行设计。

对春笋造型的结构体系进行了多方案综合比较, 研究结果表明, 若采用巨型结构设计, 则抗侧力体系有效、核心筒墙厚较小等, 但存在相应的竖向力的传力效率低、构件尺寸大、需要结构加强层、与建筑外形的协调程度不好、相应的施工周期长和造价较高等问题; 而采用常规的疏柱框架设计, 则也存在需要结构加强层、外框架无法与建筑纤细的竖向造

作者简介: 林海, 硕士, 一级注册结构工程师, Email: hai.lin@arup.com。

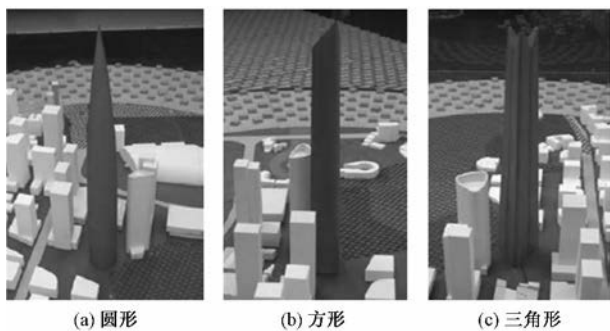


图2 建筑外形风工程初步研究

型匹配、结构造价较高的问题。最终选用密柱框架-核心筒的结构体系。

2.2 密柱框架-核心筒结构体系

本项目主体结构高度为 331.5m, 结构体系中的外部密柱框架和内部混凝土核心筒通过楼面结构协调而共同作用, 结构体系示意图 3。

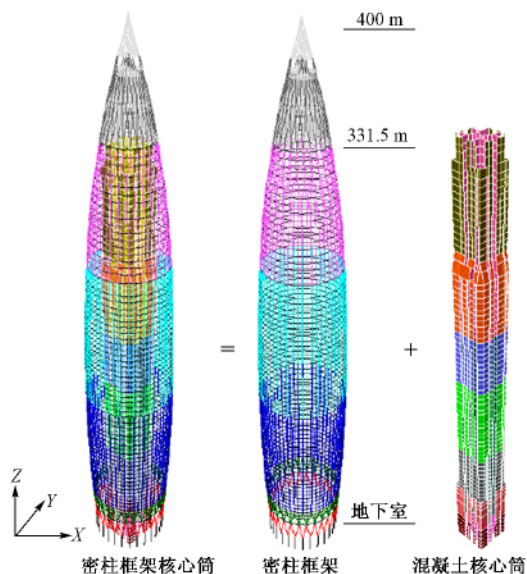


图3 结构体系示意

竖向传力为通过水平梁将荷载传递到核心筒墙体和外框柱上, 再向下传递到基础; 水平抗力则由核心筒承担大部分的侧向剪力和抗倾覆力矩; 密柱框架在保证柱尺寸满足建筑及幕墙设计要求的情况下可承担相应的侧向剪力及抗倾覆力矩。

核心筒在首层的最大墙厚为 1 350mm, 在高区最大墙厚为 400mm, 混凝土强度等级为 C50 ~ C60, 局部楼层和墙肢根据设计需要配置型钢。从下至上除常规的墙肢收进外, 结构布局经历了“大方形→切角→小方形”的变化, 关键的核心筒局部变化三维图如图 4 所示。

密柱框架从下至上变化形式较为丰富, 外框架立面如图 5 所示, 高 67m 的钢结构锥顶如图 6 所示。

其中办公区的外框柱采用梯形箱柱, 梯形的最大轮廓尺寸约为 $400 \times 635 \sim 400 \times 480$, 钢材强度等级为 Q390GJC/Q345GJC。

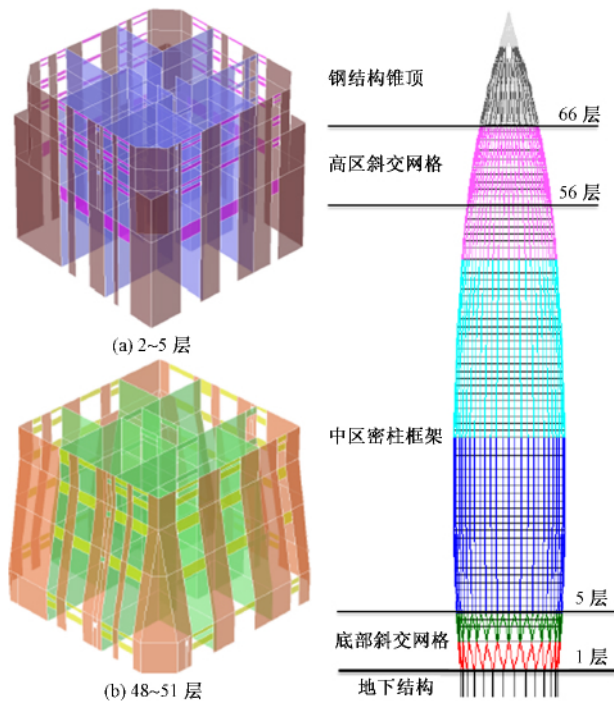


图4 关键核心筒局部变化三维图

图5 外框架立面

本项目塔楼采用钢梁放射状布置的组合楼板体系, 既可以减轻塔楼的整体重量, 又便于施工, 与钢框筒的连接较好, 楼板的设计和构造考虑面内受力和传力的设计要求。典型楼层结构布置的 BIM 模型如图 7 所示。

3 风洞试验及结构分析

3.1 风洞试验

由于各风洞实验室使用不同的试验仪器及分析方法, 为确保总部塔楼结构设计安全可靠、经济合理及保证风洞试验结果的合理性及安全性, 本项目分

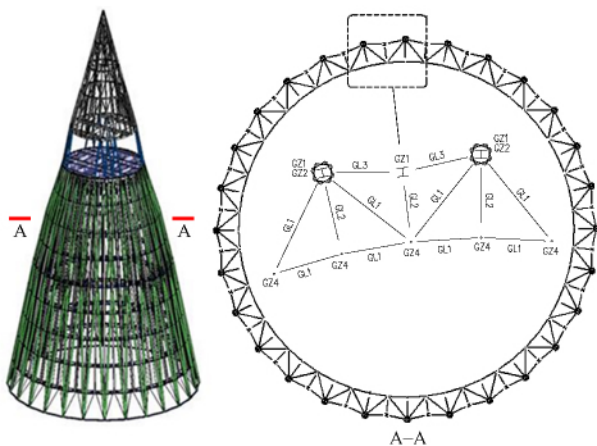


图6 钢结构锥顶

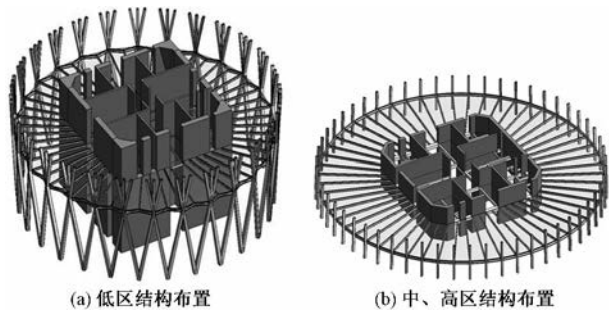


图 7 典型楼层结构布置的 BIM 模型

别在 RWDI 和华南理工大学风洞实验室进行了独立试验。

RWDI 风洞试验在 10 年回归期、1.5% 阻尼比情况下建筑顶部风振加速度为 0.24m/s^2 (考虑台风) 和 0.09m/s^2 (不考虑台风); 华南理工大学的风洞试验表明, 顶部最大风振加速度为 0.19m/s^2 (考虑台风), 也可以满足《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)^[2] (简称高规) 的风振舒适度要求。

3.2 结构分析

本项目采用了 ETABS 9.7.4 与 MIDAS/Gen 8.0 两个不同结构软件进行了整体计算分析复核, 各项主要指标基本一致。

塔楼的等效重量约为 13.5kN/m^2 , 其中结构自重占 70%, 另外由于外框架结构较轻, 核心筒占结构自重的 60% 左右。

塔楼基本周期为 6.62s, 小震作用下, 结构最小剪重比为 1.1%, 剪重比曲线见图 8。略不满足 1.2% 的限值, 需通过内力调整进行构件设计。结构最大层间位移角和最大位移见表 1, 最大层间位移角曲线见图 9, 由图可见, 结构的最大层间位移角可以满足高规的要求。

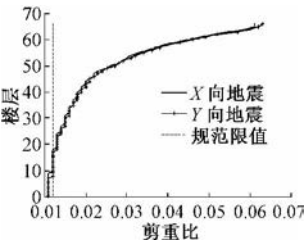


图 8 剪重比曲线

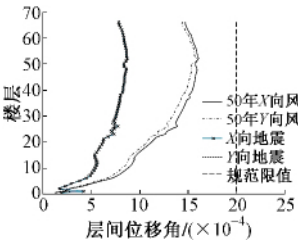


图 9 最大层间位移角曲线

小震作用下, 密柱框架在结构底部和顶部可分担超过 10% 的地震剪力, 在中部分担的剪力比较少, 但分担比例平均超过 7%, 且分担剪力比例最小 (不低于 4%), 如图 10 所示。密柱框架的结构设计按照高规, 以不满足最大楼层分担 10% 地震剪力的要求进行保守设计, 保证外框架的设计地震力; 同时

结构最大层间位移角和最大位移

表 1

	方向	X 向	Y 向
	最大层间位移角(所在楼层)	1/1 145(52 层)	1/1 135(52 层)
小震	最大位移/mm	231	228
50 年风荷载	最大层间位移角(所在楼层)	1/621(52 层)	1/628(52 层)
	最大位移/mm	437	423

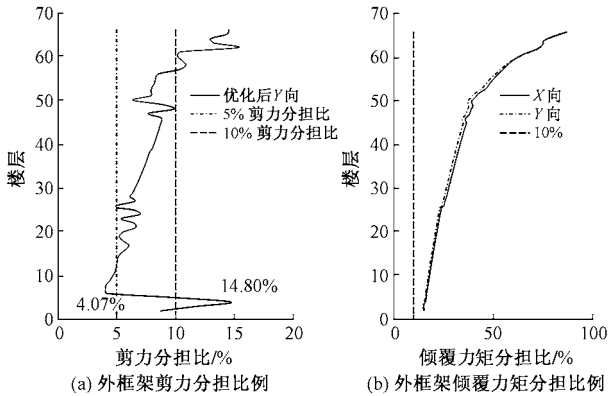


图 10 小震作用下外框架内力分担比例

为了保证核心筒的安全, 构件验算时将核心筒地震作用下的剪力放大 1.1 倍进行设计。

除了上述计算指标外, 弹性分析成果还包括楼层刚度比、刚重比、位移比、构件和楼板受力情况分析以及应变能阻尼比方法的研究等, 不再一一赘述。

结构弹性分析表明: 1) 塔楼的层间位移角、刚重比、剪重比计算结果证明塔楼的抗侧刚度适宜, 可以满足设计要求; 2) 由周期比和位移比计算结果可知, 塔楼的扭转刚度很好; 3) 根据结构受力的特点及其余各项分析, 说明塔楼在竖向及侧向力作用下内力分布明晰, 符合力学原理和结构设计概念。

后续构件设计及抗震加强措施, 也反映了结构分析对于结构在竖向和水平荷载作用下的表现和特征。

4 结构抗震设计关键问题

4.1 结构体系论证

从结构的弹性分析结果可见, 外框架的剪力分担比例比传统的框架-核心筒超高层结构低, 特别是密柱框架低区的局部楼层仅分担 4% 的地震剪力, 这是由于在配合建筑方案的过程中要求外框架为小截面的钢结构柱, 因此外框架抗剪刚度有限。在本项目的设计和抗震超限审查过程中, 主要从以下方面进行设计和论证, 并得到了抗震审查专家的认可。

4.1.1 外框架“尽其所能”的设计

由于建筑方案本身的要求, 结构需配合建筑和幕墙的造型进行一体化设计, 而不是分离开独自考虑, 这个前提限制了结构外框柱的尺寸不能太大。因此, 外框架的“尽其所能”主要表现为: 1) 配合建

筑和幕墙对柱的尺寸要求; 2) 外框柱的承载力尽量充分利用; 3) 外框梁、柱的抗侧刚度尽量利用。由于一般外框架结构的用钢量占总用钢量的大部分, 因此外框架“尽其所能”的设计可大大改善结构的经济性。

4.1.2 外框架剪力和倾覆力矩分担变化控制

根据框剪结构抗震设计多道设防的基本理念^[3]: 首先, 预期大震作用下, 核心筒的连梁需要作为第一道防线耗能, 从而减小整体的地震力; 其次, 在整体地震力减小的前提下, 外框架承担的地震力不能随之下降, 合理的抗震设计可使外框架承担地震力水平与大震弹性计算结果基本相等甚至有所提升; 最后, 通过连梁及外框架的协助, 核心筒剪力墙的受力得到大幅度的降低, 从而真正地保护核心筒。大震作用下外框架内力分担见图 11。

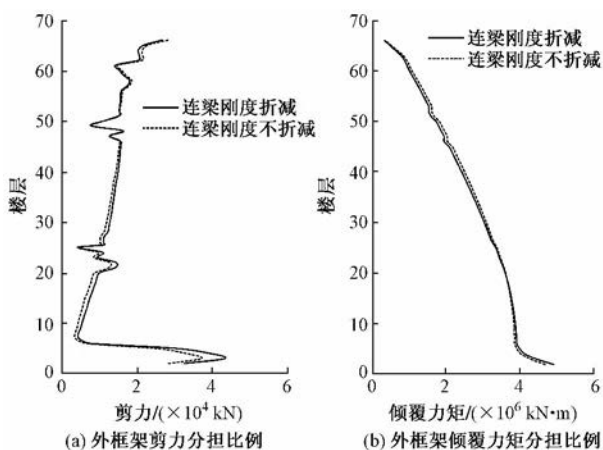


图 11 大震作用下外框架内力分担比例

4.1.3 外框架及核心筒抗震性能设计

虽然本项目外框架的弹性剪力分担比例可以满足高规 9.1.11 条的规定, 即外框架楼层剪力分担比例最大值不小于 10%, 但实际的构件设计还是按照不能满足该条规定进行外框架和核心筒的加强, 同时从抗震性能设计上也有所考虑: 1) 本工程整体结构的抗震性能目标定为高于性能 C 的水平; 2) 结合结构的特点和设计理念, 核心筒作为主要的抗侧向力构件, 有能力承担所有的侧向力, 因此抗震性能水准高于 C 级对关键构件的要求; 3) 与传统将外框梁作为耗能构件设计的理念不同, 本项目充分利用钢结构后期良好的延性能力, 将外框钢梁的性能目标适当提高至关键构件, 目的是确保外框架作为一个整体能在大震下分担必要的剪力和倾覆力矩, 同时加强对小截面外框柱的约束。

4.1.4 大震弹塑性分析确认结构抗震性能

采用 LS-DYNA 软件, 第三方团队采用 ABAQUS

软件进行独立的大震弹塑性分析, 以对结构的抗震性能进行分析和确认, 分析结果表明: 在大震作用下, 整体结构最大层间位移角小于 1/100, 可以满足大震不倒的基本要求; 主要外框架大部分构件并未屈服, 性能水准均能得到满足, 外框架在大震作用下整体完好; 核心筒连梁充分进入塑性, 起到耗能的作用, 同时满足性能目标; 剪力墙混凝土压应变及分布钢筋的拉应变水平都较低。

4.1.5 结构抗倒塌分析论证安全性和破坏过程

大震弹塑性分析表明, 整体结构在预定大震作用下可以实现抗震性能目标, 但按照抗震审查专家的意见, 补充了风荷载和地震作用两种不同侧向力分布模式下的推覆分析, 以分析结构可能的破坏过程和潜在的薄弱部位, 进一步论证结构的安全性和结构体系的可靠性。

分析结果表明: 在两种不同的侧向力作用下, 结构的损伤均从连梁开始, 严重的破坏均从核心筒受压墙肢的压屈开始, 从而导致结构的倒塌, 并且受压墙肢被压坏时, 外框基本完好。

根据弯曲型结构的受力特征, 从最终的倾覆力矩看, 本项目塔楼具有很大的安全度, 可以实现超过 7 度 (0.15g) 大震不倒的设计。

4.2 梁柱偏心设计

由于业主以及建筑师对室内使用空间的要求较高, 办公室内部需要做到无柱的建筑效果, 因此为了配合建筑效果的实现, 本项目的梁柱节点采用完全偏心的节点连接形式, 即外环梁与外框钢柱连接时, 外环梁位于钢柱的内侧 (图 12)。

梁柱完全偏心节点在国外非抗震地区的多层建筑中已有应用, 但是在国内抗震区的超高层建筑上尚属首次采用。该偏心节点与常规对心梁柱

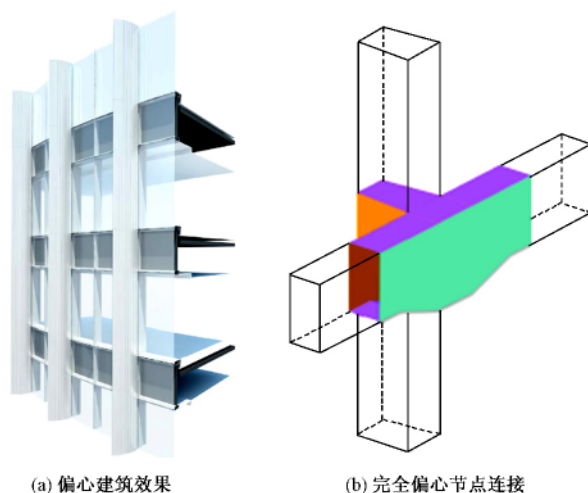


图 12 典型的梁柱全偏心节点

节点相比,环梁偏出外框钢柱的范围内节点的连接构造需要针对此特殊的建筑条件进行设计。整个节点的设计,需要采用系统化的理念,除了理论的分析 and 设计外,后续将开展节点性能的试验以进一步论证。

本项目所采用的主要设计理念: 1) 偏心节点导致节点区应力分布不均匀,节点构造设计应在传力概念的基础上,确保各板件之间的连续性、连接的可靠性以及施工的可行性。满足抗震承载力设计要求的典型偏心节点的构造如图 13 所示; 2) 由于梁偏心布置,梁对柱的约束条件与常规对心梁柱节点有所不同,需要研究偏心节点对柱的整体和局部稳定性进行分析和确认; 3) 由于塔楼全楼节点均采用此偏心节点,而偏心节点与常规对心节点相比,节点刚度有所削弱,故在塔楼的整体分析时,需要考虑节点刚度对塔楼整体指标的影响^[7]。

具体的设计思路是: 1) 通过整体的模型分析得到每个自由度节点刚度对结构主要分析指标的敏感性曲线,然后通过节点有限元分析确认节点刚度的大致位置,从而评估节点刚度的影响^[7],环梁方向节点刚度敏感性分析见图 14。

本项目的偏心节点试验已于 2014 年 8 月份在清华大学实验室完成,并进行了专家论证,试验结果表明本次节点试验满足结构设计要求,承载力、延性和刚度达到预期目标。

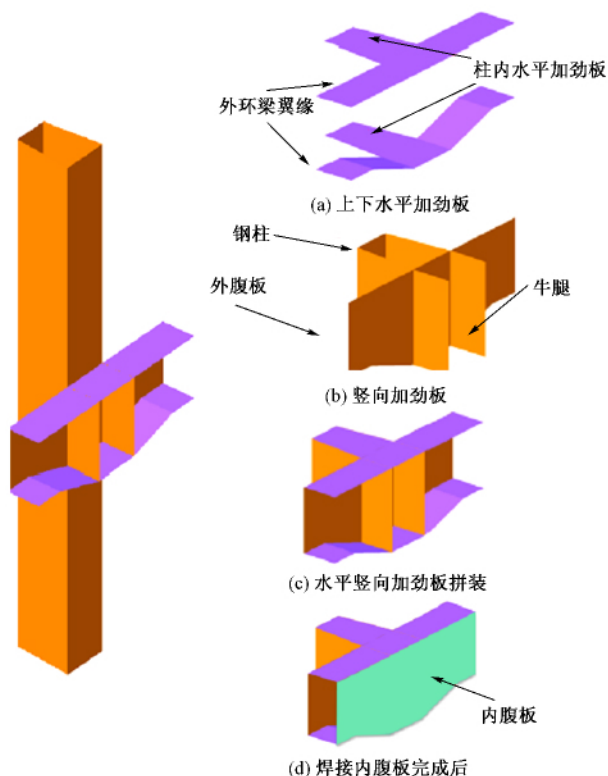


图 13 典型偏心节点的构造

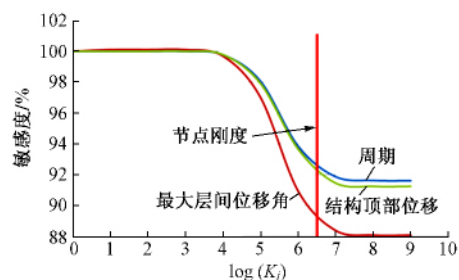


图 14 环梁方向节点刚度敏感性分析

4.3 核心筒斜墙过渡设计

由于本项目特殊,核心筒需要在 48 ~ 51 层收进,考虑到上部结构的重量已经比较小,结构设计采用了四面斜墙过渡的解决方案,为此开展了详细的专题设计和研究,以确保结构设计的安全性。

4.3.1 斜墙区传力机制研究

斜墙区的水平荷载传力机制与常规的设计差别并不大,主要是竖向荷载传递时的水平分量如何设计。经分析,竖向力水平分量的传力机制如图 15 所示,由图可见,竖向力水平分量大部分通过核心筒的内部自平衡传递,而小部分(不到 10%)通过楼板传递至外框架,这是由于本项目外框架的抗侧刚度不大,以及外框架本身的环境约束能力有限所致。

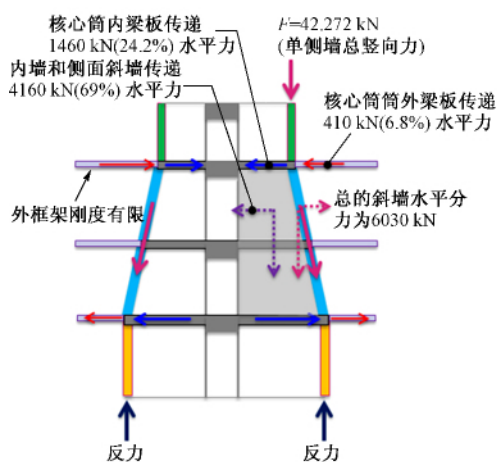


图 15 竖向力水平分量的传力机制

4.3.2 斜墙区构件承载力设计

对于斜墙区的构件,分别从非抗震、小震、中震以及大震各阶段进行详细的应力分析和设计,确保传力途径上主要构件的承载力安全性。

4.3.3 斜墙区构件刚度设计

对于以钢筋混凝土构件为主的结构设计,除了保证构件传力的承载力安全性,尚应进一步分析构件在受拉情况下的刚度退化对局部区域原定传力机制的影响,从而确保结构内力重分布的程度是安全可控的。对于该区域而言,分析表明,最需要特别设

计的为连梁的轴向刚度,为此根据重分布内力可控的原则,对于受拉开裂的构件,如连梁、关键水平梁,以及剪力墙与楼板相连的环向区域等进行了内置钢板的加强设计。

4.4 超高层建筑剪力墙拉剪分析与设计

超高层建筑在受到较大水平荷载作用时,整体主要呈弯曲型的变形和受力,当水平荷载足够大时,结构的竖向荷载就有可能抵消不了因倾覆力矩产生的拉力,从而令柱或者墙体受拉。对于钢筋混凝土构件而言,受拉会产生两个方面的问题:1) 局部构件刚度的退化可能导致过大的内力重分布,如果内力重分布无法被合理地估算,那么会影响设计的安全性;2) 剪力墙等构件在全截面受拉时,除了斜截面受剪承载力需要设计,全截面开裂有可能影响剪力墙的剪切承载力。

4.4.1 剪力墙拉剪非线性分析

本项目采用 LS-DYNA 软件进行结构的非线性分析,其中剪力墙单元采用精细壳元模型,混凝土本构则直接采用二维混凝土本构(Darwin-Pecknold 模型),该材料本构采用转动裂缝模型,设定合适的剪切传递系数^[4]。图 16 为联肢墙的测试模型,其中一个墙肢为弹性,另一个为弹塑性,两墙肢通过刚臂连接,分析水平荷载作用下墙肢内的剪力随剪切刚度的变化而变化的情况,联肢墙剪力重分布过程见图 17。

由测试案例的分析结果可见,在弹性阶段,两个墙肢的剪力相等,但是随着弹塑墙肢进入塑性程度的加深,即开裂后,它所能分担的剪力缓缓下降,减少的剪力以及增加的外力均转移至弹性墙肢上,可

见 LS-DYNA 软件对于剪力墙拉剪的模拟与力学概念是一致的。

对于本项目的塔楼而言,由于处于 7 度区,核心筒的开裂情况并不严重,且在大震弹塑性分析过程中,采用敏感性分析的理念,通过研究钢筋、型钢等对剪力墙弥散裂缝模型剪力传递系数的影响,论证了结构本身的抗震性能是可以保证的,并且拉剪墙肢开裂的内力重分布效应得到了充分地考虑。

4.4.2 拉剪剪力墙设计问题

根据文献[5],钢筋混凝土构件受拉弯作用时,拉力对构件的抗剪承载力有影响,且对于大偏拉构件,高规的计算公式已经考虑拉力的影响,对于小偏拉构件,试验和理论分析表明,由轴拉力引起的斜截面抗剪强度降低值不会超过纯弯构件混凝土抗剪承载力的 70%,现有偏心受拉构件的抗剪承载力机制和计算是可行的,但是需要特别指出的是,设计公式适用于裂缝宽度不太大的情况。

对于小偏拉水平开裂通缝的抗剪滑移验算,通常可以采用两种方法考虑:1) 水平滑移的剪切由剪力墙内置的钢板或部分剪力由 X 形交叉钢筋承担;2) 考虑型钢和纵向钢筋的作用,包括暗栓作用^[6]。这两种方式都可以实现水平截面的抗滑移设计,但尚应考虑钢材和钢筋的纵向应力水平的影响。

另外,剪力墙为小偏拉构件时,控制合理的拉应力水平确保纵筋不被拉断,以及采用适合剪力墙拉剪内力重分布的分析方法是有必要的。

4.4.3 中震标准组合下墙肢拉应力

本项目塔楼所有墙肢在小震和 50 年风荷载作用下截面无平均拉应力,在中震标准的组合下,墙肢仅底部和顶部少量具有拉力,且平均拉应力水平小于混凝土受拉开裂应力 f_{tk} ,本项目塔楼的核心筒拉应力水平较低。

5 结语

本项目由于建筑方案本身的特点和要求,对结构设计提出了很高的挑战,结构设计和技术研究也与常规超高层建筑对于抗震不规则的设计要求不同,为此创新性地采用了内外结构整体共同协调作用的抗震理念进行结构体系设计,同时用系统性结构设计的方法进行抗震关键点的专题设计和论证。

由于篇幅有限,不能对结构设计中其余的技术重难点如地基和基础设计、大型空间斜交节点设计、塔冠结构方案和设计、外框钢结构的整体和局部稳定性分析、楼板应力分析、施工方案模拟、结构分析和构件设计及抗震措施等展开详细介绍。

(下转第 100 页)

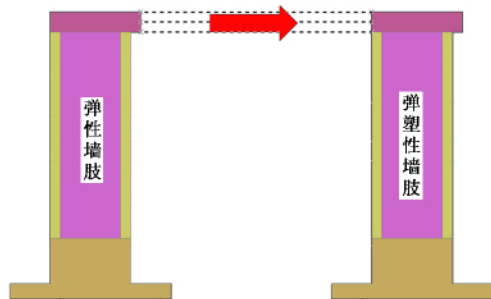


图 16 联肢墙的测试模型

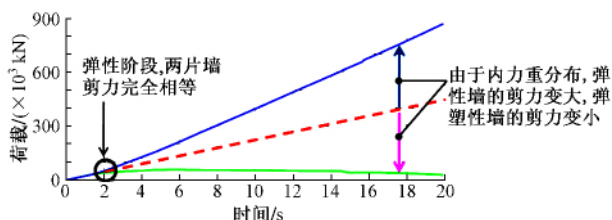


图 17 联肢墙剪力重分布过程

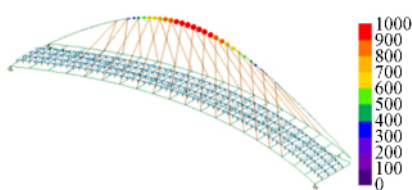


图 28 结构的第 1 屈曲模式/mm

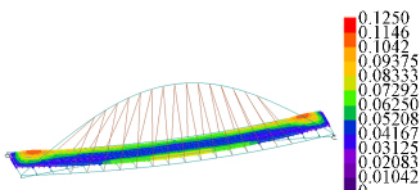


图 29 桥面竖向振动加速度分布图/(m/s²)

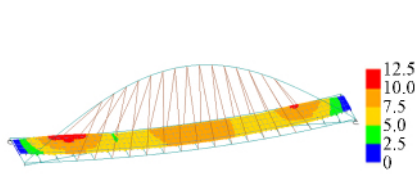


图 30 桥面振动响应因子分布图

响应因子 R 的限值

表 1

功能	响应因子 R 的限值
对振动要求非常敏感的办公室	4
普通办公室	8
零售、流通区等	8
购物中心	12
内部连桥	30

例是计算可能发生的最大加速度,并基于这些数据来计算响应因子。楼面振动采用 GSA 软件进行分析。主要楼面振动分析参数取值如下:楼面质量取 100% 恒荷载 + 10% 活荷载,阻尼比取 1%;行人质量取 76kg,行人每步距离取 0.75m,总共分析 15 个模态,以使最高频率达到 15Hz 以上,从而能够较为准确地反映高阶模态。采用全桥面单点激励的方式,基于步行频率在 1~2.8Hz 之间,分析计算响应最大值所在位置及对应的竖向最大加速度和响应因子。

通过分析,竖向振动最大加速度为 0.125m/s^2 ,如图 29 所示,最大响应因子 R 为 12.5,如图 30 所示,满足人行舒适度要求。

4 结论

(1) 合理的防震缝设置是考虑结构、建筑专业及业主分期建设、运营的综合性选择。

(2) 不同柱网间转换给不同功能的区域提供了合理空间。

(3) 三维参数化设计在方案初期大大提高了结

构专业的工作效率,同时给建筑、幕墙、机电、给排水专业提供了优化方向。

(4) 裙房中的钢拱桥设计自振频率低于 3Hz,进一步分析了人行荷载下的竖向加速度,结果满足人行舒适度要求。

参 考 文 献

- [1] 国贸中心项目 5 号商业楼结构抗震专项审查报告[R]. 深圳: 奥雅纳工程顾问(上海)公司深圳分公司, 2013.
- [2] GB 50011—2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [3] JGJ 3—2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [4] CJJ 69—95 城市人行天桥与人行地道技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
- [5] 陈亮亮, 裘新谷. 人行桥振动舒适性评价方法及标准研究现状[J]. 桥梁建设, 2010(1): 75-78.
- [6] ISO 2631-2: 2003 Mechanical vibration and shock - evaluation of human exposure to whole-body vibration, part 2: vibration in buildings (1Hz to 80Hz) [S]. Switzerland, 2003.
- [7] BS 6472-1: 2008 Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings, part 1: vibration sources other than blasting [S]. London, 2008.
- [8] 部塔楼超限审查报告[R]. 深圳, 2012.
- [9] JGJ 3—2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [10] GB 50011—2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [11] Keyword user's manual volume I & II [M]. California: Livermore Software Technology Corporation, 2012.
- [12] 抗剪强度专题研究组. 钢筋混凝土偏心受压和偏心受拉构件的抗剪强度[J]. 建筑结构学报, 1982, 3(5): 1-10.
- [13] SJG 18—2009 预制装配整体式钢筋混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [14] 周蓓蕾, 穆继昌, 江民, 等. 某总部塔楼梁柱偏心钢节点研究[J]. 建筑结构, 2014, 44(24): 116-121.

参 考 文 献

[1] 奥雅纳工程顾问. 华润深圳湾综合发展项目-华润总

(上接第 36 页)

考虑到本项目建筑体型的特殊性以及设计要求与幕墙专业的无缝衔接,从一开始就采用基于 BIM 理念的三维参数化模型技术,直至完成各阶段的大量结构模型、优化设计以及和幕墙的深化配合。

经过业主、设计和顾问团队的共同努力以及抗震审查专家的建议和指导,本项目已于 2013 年 12 月通过了全国和广东省专家的正式审查,结构的经济性和合理性得到了业主和各方认可,目前本项目已进入施工阶段。