

高层建筑剪力墙结构的特点及优化设计

赵迪

中冶华天工程技术有限公司, 江苏 南京 210019

[摘要] 剪力墙结构是高层建筑的常见主流结构, 其设计方案的合理与否与建筑结构的建设成本、安全性和抗震性能都密切相关。文章主要介绍高层建筑剪力墙结构的特点和设计原则, 并在合理布置的基础上提出实际和有效的优化措施, 方便众多的结构设计人员参考。

[关键词] 高层建筑; 剪力墙; 结构设计; 优化措施

DOI: 10.33142/sca.v5i4.6665

中图分类号: TU2

文献标识码: A

Characteristics and Optimal Design of Shear Wall Structure in High-rise Buildings

ZHAO Di

MCC Huatian Nanjing Engineering & Technology Corporation, Nanjing, Jiangsu, 210019, China

Abstract: Shear wall structure is a common mainstream structure of high-rise buildings. The rationality of its design scheme is closely related to the construction cost, safety and seismic performance of building structures. This paper mainly introduces the characteristics and design principles of shear wall structure of high-rise buildings, and puts forward practical and effective optimization measures on the basis of reasonable layout, which is convenient for many structural designers.

Keywords: high-rise building; shear wall; structural design; optimization measures

21 世纪以来, 伴随着经济的迅猛发展, 对高层建筑的发展提出了更严格的要求。高层建筑不仅体现了一个国家或城市的经济、文化发展趋势, 也代表了建筑发展的科技水平。而剪力墙结构作为高层建筑中的经济性指标最高的主流结构体系之一, 具有墙体布置灵活、刚度大, 整体抗震性能好、用钢量较省的优势, 有利于控制高层建筑的建设成本。因此, 在确保结构安全的前提下, 结构设计师考虑高层建筑剪力墙结构的设计特点, 在设计过程中如何采取合理的技术措施对剪力墙结构进行优化设计, 充分发挥材料的力学性能, 保证建设成本的经济合理和整体结构的安全可行具有非常重要的意义。

1 高层建筑剪力墙结构特点

剪力墙结构是由一定数量的纵、横墙体和楼盖所共同承担荷载的一类结构, 由剪力墙来承担各类恒、活、风和地震力等荷载引起的竖向和水平力, 代替框架结构中的梁柱, 以便与一般承受垂直载荷的墙体相区别, 是高层建筑结构形式中目前使用最为普遍的。钢混剪力墙可承担较大竖向、水平荷载, 尤其抗侧刚度大, 空间整体性好, 变形小, 既承重又围护。从目前高层建筑中大范围实际使用的情况来看, 在小震下剪力墙本身具有足够的强度、刚度和弹性, 在面对大震的情况下, 先通过连梁吸收大量的地震能量, 然后通过塑性铰作用通过协调的变形传递弯矩和剪力, 把地震危害降到最低。同时剪力墙结构房间内梁、柱棱角没有凸出墙面, 外表更为美观, 方便室内布置和灵活使用, 同时承重墙和隔墙合二为一, 更为经济合理。

2 高层建筑剪力墙设计原则

高层建筑剪力墙的设计方案是否合理与否与建筑结构的建设成本、安全性和抗震性能都密切相关。根据地震烈度 7 度以下建筑的抗震数据分析, 高层建筑的含钢量指标中, 剪力墙钢筋占 50%~65%。很明显, 高层建筑的建设成本主要由剪力墙决定。所以无论是从安全还是经济角度出发, 一定要根据建筑的实际情况合理设计剪力墙结构, 严格遵循与之相应的设计原则和相关规范, 充分发挥其建筑结构的坚固性, 保障结构模型的计算能够满足各类规范要求, 给人们提供安全的学习、商务办公和居住环境。剪力墙的设计原则如下所示:

(1) 剪力墙结构应沿高层建筑的水平主轴方向, 设计成双向抗侧刚度接近的双向抗侧力体系, 刚度中心与质心相重合, 这样可以降低建筑的扭转效应, 增强其建筑物的抗震性。应尽量将剪力墙在 X、Y 主轴通过框架梁或连梁贯通、协同工作, 形成整体有效的抗风、抗震结构体系。因此, 在实际的设计中应尽量使剪力墙及其上面的门窗、洞口拉伸相互对齐, 避免独立墙肢或半框墙肢出现, 使整个受力更加明确, 方便后续计算。

(2) 剪力墙数量宜少不宜多, 更不宜太密。尽量选择在承受荷载有利的分隔位置设置剪力墙, 采用大开间布置方式, 间距宜控制在 6~8m, 合理控制墙长, 这样不仅可以减少剪力墙的数量, 充分发挥剪力墙的抗侧移性能。如剪力墙数量太多, 不仅会造成经济上的浪费, 而且随着剪力墙的增多, 结构侧向刚度过大, 不仅会减小结构自振

周期,放大地震力的破坏作用,而且使结构自重加大,施工工程量也会相应增多^[1]。有资料表明,大开间布置剪力墙,可以提高空间灵活性,使每平方米混凝土消耗量降低两到三成,同时边缘构件、暗柱的数量减少,配筋面积也相应降低 10%左右。剪力墙的布置还应使结构整体抗侧刚度尽量达到最优刚度为原则。结构楼层间位移比接近千分之一时,结构刚度为最佳。

(3) 剪力墙的布置尽量按照“均匀、对称、分散、周边”四个原则。

①剪力墙宜沿平面均匀对称的布置,避免错位布置,墙体偏心会导致各墙体无法协同承受水平力。相邻墙长也不宜相差过大^[2],短肢墙也不宜布置过多,单片墙的刚度宜接近,单肢墙或多肢墙墙肢长度尽量不要超过 8 米。如墙长过长,可以设置洞口和连梁,形成双肢或多肢墙,防止应力集中而引发结构安全问题。同时应控制各墙肢的轴压比接近规定的轴压比限值,这样不仅可以避免轴压比过小,无法充分发挥钢混结构的强度;也避免竖向应力及应变不均匀,从而使结构局部发生塑性变形,导致结构安全出现问题^[3]。

②剪力墙宜分散设置在结构外围,强化周边,减弱中部。大量工程经验表明,可适当加强建筑外围剪力墙,充分利用外圈的连梁来提高整体刚度,在结构的中间尤其是电梯井部位,减少剪力墙的设置,对结构的周期比和移位比进行严格监控,尽量使结构平面形心、质心和刚度中心“三心”重合,有效增强主体结构的抗扭刚度,提高抗倾覆能力和外墙的防水性。

(4) 剪力墙结构应尽量多采用 T、L 型墙布置,尽量不设计或少采用复杂的一字墙及异形墙。T 及 L 型墙,因设置了起有效约束作用的翼墙,不仅能提高结构的抗侧刚度,且能确保墙肢的稳定性和满足框架梁钢筋端部的锚固长度要求。因水平地震力作用下一字墙易发生平面外稳定性破坏;异形墙形状复杂会导致边缘构件的数量增加,为了保证高层建筑结构的安全与经济性,应尽量少采用或不使用这两种墙肢。试验表明:与一字形墙肢(无翼墙)相比,带翼墙的墙肢(有效翼墙、长翼墙等)不仅明显改善了结构稳定性,而且提高约 40%的极限承载力,因此宜优先采用有翼墙的墙肢。

(5) 剪力墙应自下而上沿标高均匀变化,连续布置。在竖直方向,为防止出现突变使应力集中,底部剪力墙数量不宜太多。同时为了避免高层建筑结构抗侧刚度的大小改变,可随高度变化在合理范围内减小墙肢数量、减薄墙体厚度或降低混凝土强度等级,进而使墙体的抗侧刚度随高度的变化也逐渐变小。当剪力墙沿结构标高不连续,上下无法全部贯通时,剪力墙结构的刚度突然变化的楼层应按规范转换层的要求加强构造措施,保证相邻楼层抗剪刚度不会出现相差 30%以上。

(6) 高层建筑平面形状不规则,凹凸不平时,角部和凸出附近布置剪力墙较为合适。楼层因楼梯间、电梯间、天井等不得不连续开洞时,可在洞口设置与附近抗侧力结构相结合的剪力墙,并尽量不在柱网以外的中间部分孤立的布置剪力墙。高层建筑物不宜同时在沉降缝、防震缝、伸缩缝左右两边设置剪力墙。过长建筑物为了减少收缩和沉降,可间隔适当距离设置后浇带。在纵向两端集中布置剪力墙,易增强混凝土硬化带来的收缩应力影响。

3 高层建筑剪力墙结构优化措施

对高层建筑剪力墙结构优化的主要目的是为了在保证房屋安全的前提下,增强经济效益、减少材料消耗和建设成本的同时把地震危害降到最低。因此设计中可以结合实际情况,通过以下几个方面来达到对高层建筑剪力墙结构的优化。

3.1 保证合理的经济成本

(1) 实际工程设计过程中,高层建筑剪力墙结构尽量采取合理、简单、规则的布局,避免出现结构刚度和荷载、应力分布不均匀的状况,降低施工困难度,从而减少不必要的成本浪费。具体布置规则可详见本文第二章节。当然,实际建设中也会往往出现特殊情况导致建筑平面不规则,例如平面长度太长,长宽比因现场限制超出规范相应限值时,这时候对剪力墙布局就需要更加注意,防止出现多项超过规范条款中规定的“不宜”或“不应”的限制条件,或某项超过“不宜”限制条件较多,导致要进行抗震设防超限审查。不规则、不规范的剪力墙结构设计如需专项审查,不仅会出现建设成本和质量检测成本大幅提高,也会显著增加建筑后续的优化和修理成本。就算后续尽量采取的优化措施也很难弥补成本浪费的损失。因此,对高层建筑设计而言,剪力墙平面布置是否合理、规则、安全是能否进行结构优化设计的重要前提。

(2) 为了节省建材成本,建筑高宽比应尽量与规范最大高宽比限值接近。大量工程实践表明,高宽比与钢筋、混凝土等材料的总体用量基本呈线型增长的关系,建筑高宽比对整体结构工程的造价成本有关键性的作用,也是影响高层建筑整体受力和侧向位移的重要原因。若高宽比小于规范规定的最大高宽比并逐渐接近时,结构每平方米钢材消耗量增长速度较为缓慢。因此,应当尽量控制结构的高宽比对建筑成本进行优化。

(3) 采用高强度混凝土、钢筋等材料,可以降低自重导致的地震作用,节约项目造价。采用高强混凝土和高强钢筋不仅可以减小结构梁、柱、墙、板及基础的尺寸,还能减少计算得出的相应配筋量和混凝土的用量,综合考虑钢筋、混凝土的数量多少和高强材料的单价,节约了工程材料成本和降低造价,提高结构安全及质量。不受力的分隔墙则可采用例如加气混凝土砌块、轻质墙板等轻质墙体,也能一定程度上降低建设成本。

3.2 结构计算模型的优化调整

(1) 首先,对荷载要尽量进行精确计算,如有大量的门窗洞口,可以扣除掉不必要的墙体荷载,减少成本投入。计算完成后要严格按照标准进行配筋,不可以盲目扩大,保证建筑质量安全。

(2) 其次,可以通过软件分析计算后的结果来跟规范限值的对比,判断剪力墙布置合理与否。如通过调整楼层的最小剪力系数,确保结构具有足够的抗侧刚度前提下,尽量少布置剪力墙,使楼层最小剪力系数接近不超出规范限值。这样不仅可以尽量减小结构的自重,降低地震作用效应,还可以降低工程建设成本。严格控制剪力墙结构底部同上部刚度的比值,合理调整剪力墙结构满足规范的抗震要求。在实际建模中,可能会发现某层一方向层间位移计算结果超出规范限值,若为了满足要求,盲目增加该方向的抗剪刚度,虽然能解决超限的问题,但是增加了经济成本。若剪重比已经较大,则可以降低相应侧的结构刚度,减小地震效应,解决层间位移超限的问题,在保证安全的前提下达到更为经济的效果。另外当遇见结构层间位移无法满足规范限值但极为接近的问题时,采取以下这三种措施来解决问题:前处理时选择扣除与梁墙重叠部分的楼板自重;填充墙数量较少时,取0.95的周期折减系数较为合适;若层间位移角比规范限值较为富余,可以考虑调整梁位置和降低梁截面的高度,将梁端部连接处由刚接改为铰接梁,减小梁的刚度,以上三种方法分析计算时可降低不必要的材料浪费。

(3) 采用各种更为精确和先进的有限元三维模型优化技术分析计算——以BIM技术为例。随着现代科技不断发展,利用BIM建立更符合实际的三维模型,与以前传统的二维模型相比,BIM具有更为先进准确的三维模拟和分析能力,能更直观、立体的展示结构计算分析和对比优化后的各项数据结果。尤其面对一些实际情况复杂的高层剪力墙结构,BIM技术能够充分模拟建筑结构各方面的实际工程数据和可能发生的问题,为设计师的模型合理分析、调整和结构优化改进提供参考,提高计算的准确性和效率,并能让人更为直观的感受工程结构合理设计及优化后的效果,节约成本保证安全,并保障工程项目的顺利推进。

3.3 构造措施及配筋优化

(1) 墙配筋优化:尽量控制剪力墙的配筋大部分为构造配筋,可以采用控制墙长的取值和剪力墙布置的合理来调整各墙肢轴压比。剪力墙构造配筋,其节点区主筋、箍筋、墙水平向分布钢筋面积都可按最小配筋率来构造配筋。但是如果当墙肢端部离建筑洞口边距离较小时,剪力墙应尽量加长墙肢到洞口边,可以不用设置填充墙和墙肢之间

的拉结筋,取消洞口两侧填充墙,可减小工艺难度和减少劳动力、材料消耗。同时,对较短墙肢配筋时应取消水平及竖向墙体分布筋,按照边缘构件进行全截面设计。组合墙肢计算时可将翼缘的有利作用考虑进去,计算出更为经济的配筋结果,避免钢筋浪费。通常能节约钢筋用量大概到15%~40%,使钢筋利用率更高^[4]。墙肢厚度>300mm可无需定义为短肢剪力墙,按照一般剪力墙或框架柱的构造要求配筋执行。

(2) 梁、板配筋优化:①因地震影响,高层剪力墙结构楼层连梁及框架梁剪力、弯矩及配筋因结构高度的变化较大,绘制施工图的时候如果适当归并楼层数,调整梁配筋数量,就能达到节约钢筋用量的目的。②各层平面梁布置时,应保证梁传力途径简单明确,避免出现多次次梁、内力多次传递的情况。③剪力墙结构中框架梁上部钢筋可全跨通长设置,不再单独设置架立筋,减小钢筋搭接的长度和梁的施工难度。同时,相邻两跨梁共用剪力墙作为支座时,剪力墙顺梁方向长度小于两侧梁顶部纵筋的锚固长度之和时,梁顶纵筋应合并为一根,并直径宜相同。

4 结语

伴随着经济和科学技术的迅猛发展,高层建筑剪力墙重要性日益突出。因此,结合项目的实际情况,本文探讨了结构设计人员从设计之初如何根据剪力墙结构特点和布置原则确立优秀合理的设计方案,并在其基础上通过各种措施对结构进行优化调整,从而做到增强建筑结构的安全性能和提高项目的经济指标,满足业主限额设计和行业发展的需求,为广大结构设计人员在面对高层建筑剪力墙结构设计优化提供借鉴和参考。

[参考文献]

- [1]高立人,方鄂华,钱稼茹.高层建筑结构概念设计[M].北京:中国计划出版社,2005.
 - [2]杨现东.高层建筑剪力墙结构优化设计研究[J].四川建材,2016,42(2):47-48.
 - [3]朱炳寅.建筑结构设计问答及分析[M].北京:建筑工业出版社,2013.
 - [4]中国建筑科学研究院.PKPM多高层结构计算软件应用指南[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.
 - [5]陆波.高层剪力墙住宅结构优化设计原则及措施[J].工程技术研究,2019(10):19-20.
 - [6]伊永忠,魏伟.高层剪力墙住宅结构成本优化措施及应用[J].山东建筑大学学报,2017(3):2-5.
- 作者简介:赵迪(1986.6-)女,毕业院校:河海大学;所学专业:工程力学,当前就职单位:中冶华天工程技术有限公司,职务:设计师。