

# 玻璃幕墙和填充墙对高层隔震钢框架结构动力性能的影响

李超顺

梧州市第一建筑安装工程有限公司

**摘要:** 玻璃幕墙和填充墙是当代建筑构成中不能缺少的两项重要非结构性构件,为降低地震灾害对建筑及其建筑内人们带来的危害,可通过专业分析软件建立带玻璃幕墙钢结构模型、带填充墙钢结构模型,对比常规填充墙与玻璃幕墙在地震作用下的动力性能,研究高层建筑中使用玻璃幕墙和填充墙对其钢框架结构的影响,进而给出在高层个阵钢结构设计中分别考虑柔性填充墙、半刚性填充墙与玻璃幕墙的相关方法。

**关键词:** 防震; 填充墙; 玻璃幕墙; 钢框结构; 动力性能

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.15.040

## 引言

在建筑的常规设计中,因隔墙会缩减结构的周期性,所以不将其算入建筑结构抗震计算之内,通过周期折减系数计算方法,完成建筑玻璃幕墙、填充墙的计算。因玻璃幕墙和填充墙作用于建筑主体之内,当地震发生时,会对其钢框架结构的动力性能造成一定的损坏,从而威胁居住者的人身及财产安全,产生的不良影响对社会发展非常不利。本文采用模型模拟对比的方式,对高层隔震钢架结构中玻璃幕墙和填充墙的结构共振特性、局部构件内力、结构整体反应等进行分析,研究这两种非结构性构件在地震作用下的动力性能,从而提高建筑高层钢架结构的使用性能,提升建筑的整体质量,保障居民安全。

### 一、填充墙对高层隔震钢架结构动力性能的影响

#### (一) 对钢框结构承载力造成的影响

虽然填充墙能够承担的水平承载力不够大,但又真实作用于建筑结构中,填充墙与框架之间形成的作用力可改变建筑整体结构的抗侧力,较为严重时会破坏建筑结构。根据调查整理出的震害信息,结合理论知识与综合模型进行试验分析,发现,在高层隔震钢框结构中使用填充墙结构的建筑,其抗震性能、抗侧压力均强于普通填充墙建筑。通过填充墙与钢结构的联合试验,发现,单独使用框架结构或者填充墙结构的抗侧力之和,比两者联合下建筑整体结构抗侧力的总承载力要低,当建筑墙面没有洞口的情况下,填充墙可帮助钢框结构提升25%以上的抗侧力的总承载力<sup>[1]</sup>。

#### (二) 对钢框结构刚度造成的影响

建筑早期阶段施工阶段,在钢框结构中加入填充墙,可有效提升钢框结构的整体刚度,让钢框结构在水

平方向的荷载作用之下,可减小侧移问题发生的概率,可提高建筑物正常使用期间的使用效果。建筑遇到恶劣自然环境影响时,比如强风天气、强震灾害等,因钢框结构填充墙具有侧移较小、刚度较大的特性,使得建筑中梁柱轴力也会有所降低,在某种程度上来讲,可视填充墙的加入在一定程度上增强了高层隔震钢框结构的抗震性能。

#### (三) 对钢框结构变形能力造成的影响

因钢框结构填充墙具有非常好的变形性能,当结构整体和部件受到承载作用时,其受力和变形都是以缓慢的方式来呈现的。与单独填充墙的脆性相比,钢框结构的填充墙具备明显的延伸性,通过以往建筑案例中单独使用填充墙结构可发现,一旦填充墙受到外界因素的干扰,其结构发生一丁点的变形,都会加速填充墙结构的损害程度,严重情况下,甚至造成毁灭性的损伤。经由大量试验和研究结果表明,将钢框结构与填充墙结合起来使用,填充墙可最大限度的改善钢框结构承压时的变形性能,延伸性增强后的钢框结构加之脆性砌体在遇到开裂问题后,其结构所能承载的位移值和荷载力,比单独砌体结构要好很多。

#### (四) 对钢框结构的约束效应

传统建筑在布置填充墙时,如果布置的不够合理会造成结构出现薄弱层,对建筑整体抗震性不利。填充墙刚度效应在建筑填充墙布置比较少的部位会产生竖向软弱层。目前市面上的建筑在设计时会采取商铺加住宅的方式完善建筑的使用性能,即在一、二层会设置商铺,上层设置住宅,这样的结构设计,会让建筑底层结构发生突变,致使底层形成薄弱层。当地震来临时,建筑底层因填充墙数量比较少,层间剪力最大,致使底层刚度变小,会增加层间弹性变形程度,加之底层结构多用于承担建筑整体结构的倾覆力矩,使得建筑整体结构的抗震性能随之降低。因此,一旦发现建筑的薄弱层,首先需要对薄弱层附近结构的侧移刚度比进行有效的控制,遇到带填充墙钢框结构时,要将填充墙刚度效应充分考虑进去,当薄弱层为建筑底部时,需要将薄弱层周围上下层侧移刚度比控制在1.8范围之内,当薄弱层为建筑其他层时,控制在1.3范围之内。针对已经建设完工的带有填充墙结构的各类房屋建筑,需要使用侧移刚度比对其进行验算,填充墙不满足建筑条件的,需要进一步进行抗震加固,通过在建筑结构薄弱层添加大型钢支撑或者混凝土剪力墙的方式降低填充墙的刚度比,

优化结构内部效应<sup>[2]</sup>。

## 二、玻璃幕墙对高层防震钢架结构动能性的影响

玻璃幕墙作为建筑外围护结构中附属于建筑主框架的一种子框架组合体系，由支撑结构和玻璃面板共同组成，可直接将施加于自身的荷载力，如风荷载、自重、地震荷载等，通过点传授方法将其传送到建筑主体结构中，同时使用伸缩缝处理方式，将主体结构受外在荷载发生变形所产生的新的荷载不计入建筑主体受力之中。因玻璃幕墙具备维护方便、质量轻等特点，以及采光、保温、装饰等功能，使其应用非常广泛。

### (一) 对玻璃幕墙钢框节点的性能损伤

在建筑物钢框结构工程中，其节点连接的形式会影响建筑物的整体结构，如果在钢框架柱连接、端板连接之间选取损伤小、经济性好、承载力高的节点进行连接，在循环荷载的作用之下，尤其是在地震作用之下，其节点性能会遭受强度、刚度减弱的损伤，使得板件之间逐渐裂开，最终造成建筑结构整体的破坏。采取不同节点影响参数、节点形式、节点连接方式、构件节点位置，都会对玻璃幕墙高层防震钢框结构的动力性能造成损伤。

以材料强度为例：（1）当建筑结构在拉伸作用之下，其材料强度会越来越高，随之试件平均屈服度也会加大，但构件的评价极限强度不单由材料强度所决定，还需考虑所选钢材的型号。比如Q390钢材比Q345钢材的极限承载力低0.8%。（2）当建筑结构在循环作用之下，其结构构件的节点性能指标主要参照于滞回圈数和延性系数。当材料强度越大，结构的承载能力机会越大，其滞回曲线中的包络面积越大，结果欧整体的耗能能力也会越大。作用于循环荷载之下，建筑结构构件局部会较早发生屈曲，一旦屈曲后，构件的稳定性会对高强度钢材的性能发挥起到制约作用，致使结构产生一定的损伤<sup>[3]</sup>。

以加载方式为例：（1）不同循环荷载方法之下，对构件产生的损坏程度有所不同。采取拉压对称加载方法时，构件受拉时，其期塑性变形程度同受拉时一致；采取加载一卸载循环方法时，构件节点的性能同拉伸试件非常相似，非常小的压应力不会对改变节点的性能，节点的受压程度才是荷载循环作用中产生节点损坏的关键原因；（3）采取不对称的加载方法，使得受压过程中的结构构件有可能处在弹性阶段，也有可能处在限制塑性变形屈服位移上。（4）采取拉压循环荷载方法，结构构件一侧受拉，另一侧在循环作用之下，裂纹逐渐从循环侧产生并逐渐向受拉侧发展，最后破坏节点。

以构件节点位置为例：（1）采取循环荷载方式，结构整体的宽厚比越小，其构件所能承受住的极限承载能力、极限位移就会越小。（2）采取单向拉伸方法时，结构整体的宽厚比越小，其构件所能承受住的平均

极限强度就会越小。

### (二) SAP2000模型模拟玻璃幕墙效应

在SAP2000模型模拟中，根据不同的模型边界条件，可将点支承玻璃幕墙简化成点支承简支板力学模型，将框支承玻璃幕墙简化成四边支承简支板力学模型，将全玻璃幕墙则简化成对边支承简支板力学模型。并考虑到隐框玻璃幕墙使用结构胶将玻璃板粘贴于幕墙附框之上，有框玻璃幕墙使用螺栓将玻璃板仅仅固定在幕墙附框之上，采取15mm厚度的玻璃板，将幕墙中的玻璃材料当作弹性薄板，采取壳单元类型，玻璃弹性模量取72GPa，容量定为25.6KN/m<sup>3</sup>，泊松比取0.21，线膨胀系数取 $1.0 \times 10^{-5}$ ，玻璃幕墙附框采用50mm、100mm的正方形不锈钢构件分别进行模拟。不锈钢材料弹性模量取135GPa，容量定为78.5KN/m<sup>3</sup>，泊松比取0.3，线膨胀系数取 $1.2 \times 10^{-5}$ 。本次模型分别建立有玻璃幕墙、无玻璃幕墙的两种高层防震钢框结构模型，包括一层地下部分，十四层主体部分。经模型模拟对比实验发现，有玻璃幕墙的高层建筑防震钢框结构，其动力性能中的最大层间剪力比无玻璃幕墙高层建筑结构最大层间剪力要小，其剪力比值为0.96，可证明幕墙结构承担了一部分建筑结构的动力性能。于建筑的第四层、第五层开始，无玻璃幕墙结构建筑的层间剪力开始产生比较大的变化，其层间比值为2.12，有玻璃幕墙结构的建筑，其层间剪力比值为2.02，可证明玻璃幕墙可以承担起到一部分结构动力性能中侧向荷载能力的作用。

设计玻璃幕墙时优先考虑建筑物层间位移，根据实际使用效果来看，相较于在层间位移比较大的柔性结构中安装玻璃幕墙，其安全性能明显低于在层间位移比较小的钢架结构中安装的玻璃幕墙。市面上目前较为安全的玻璃幕墙材料为钢化玻璃，钢化玻璃遭受外界外力破坏后，不同于其他玻璃所产生的较大且尖锐的玻璃碎片，钢化玻璃为小颗粒的钝角碎片，可以最大程度上降低玻璃幕墙在震中的破坏性与危险性。建筑为使用安全考虑，可在玻璃幕墙表面贴上塑性薄膜，此条件下玻璃幕墙如果发生破损，所产生的玻璃碎片就不会随处散落，这样可以也可以进一步减轻其在震中的危险性。

### (三) 玻璃幕墙的效应影响

通过对无玻璃幕墙与有玻璃幕墙的高层防震钢框结构动力性能进行模型分析比较，发现有玻璃幕墙的结构周期低于无玻璃幕墙的结构周期约0.5%，可证玻璃幕墙对建筑结构侧向刚度的动力性能有一定程度的影响。玻璃幕墙对高层防震钢框结构中动力性能的刚度有一定的增强作用，在相同质量基础之上，模型中有玻璃幕墙的要比无玻璃幕墙的自振频率更大。玻璃幕墙具有增强高层防震钢框结构动力性能中的变形能力，研究中带玻璃幕墙模型其层间位移角比无玻璃幕墙模型的要小，尤其是与玻璃幕墙相连的模型部分，其层间位移角的位移减小效果更为显著。此外，玻璃幕墙的使用，还能增强结

构整体动力性能的侧向承载能力，于主体结构方面，带玻璃幕墙模型层间位移情况要小于纯钢架结构模型层间位移的情况，其层间剪力也比纯钢架结构模型的层间剪力要小，尤其是其与玻璃幕墙相连的模型部分，可增强侧向承载力。

### 三、玻璃幕墙和填充墙对高层隔震钢框架结构动力性能的影响

#### (一) 玻璃幕墙和填充墙共同影响高层隔震钢框架结构的动力性能

根据模型变动数据显示，当同时考虑带填充墙与玻璃幕墙模型其第一自振周期为2.771s，同时不考虑这两类模型的第一自振周期为3.134s，两者间相差0.88倍，同时考虑模型结构的第二自振周期为2.412s，未考虑模型结构第二自振周期的为3.212s，相差0.75倍。从两个自振周期数据可以得到这一结论：在高层隔震钢框架结构中带填充墙和玻璃幕墙，两个建筑非结构性构件都会影响结构第一、第二自振周期，进行抗震能力测试时，充分考虑填充墙与玻璃幕墙相结合的效果要比单项考虑效果刚好，证明带填充墙和玻璃幕墙的建筑对其刚结构侧向刚度有较为明显的影响。

在地震作用下，同时考虑带填充墙和玻璃幕墙模型的结构每层最大层间位移角，比未同时考虑两者结构的每层最大层间位移角要小，结构顶层层间位移角约为0.034，第二层的约为0.069。可见建筑楼层越高，随着楼层上升未同时考虑结构层间位移角的比值会发生递减；层高度增加时考虑到带填充墙和玻璃幕墙模型的结构，其层间位移角变化比较小，由此可证，同时考虑到带填充墙和玻璃幕墙模型比未同时考虑两个模型的变形能力要强，证明填充墙和玻璃幕墙对钢框架结构具有增强其变形能力的作用<sup>[4]</sup>。

从上述模型试验分析结果可知，填充墙和玻璃幕墙这两个建筑非结构性构件对高层钢框架结构的动力性能有以下几点较为明显的影响：具有较小结构自振周期的作用，同时考虑到两个模型的结构，其自振周期比未同时考虑两者模型的小0.88倍；增强结构刚度的作用，基于同等质量的前提，同时考虑两个模型结构的自振频率比未同时考虑两个模型结构的自振频率要大，其自振频率更大表明刚度更强；增强结构侧向承载力的作用，就建筑主体结构而言，同时考虑两个模型的其层间位移、层间剪力，都比未同时考虑两个模型的要小。

#### (二) 玻璃幕墙和填充墙对钢框架结构动力性能的影响

通过上述内容分析可知，高层建筑中的填充墙对其结构整体的抗震能力具有一定的影响，虽然填充墙可以增强建筑结构的整体抗侧刚度与承载能力，提高建筑结构的整体变性能能力，但是填充墙与其他变形能力较好的

结构构件不同，因为填充墙使用的多为脆性材料，当遇到地震灾害时，填充墙先于建筑其他结构构件感受到地震威力，是地震破坏建筑结构的第一道防线。填充墙约束效应致使的短梁、短柱等问题，对结构也有明显的不利影响。填充墙结合高层隔震钢框架结构可增强建筑整体结构的刚度，改善建筑的变性能能力，承担建筑结构主体的部分侧向剪力，同时还能增加钢框架结构的侧向承载力等。

高层建筑中的玻璃幕墙在长期荷载作用下，因为焊接开裂、板件屈曲等容易发生节点损伤，进而影响幕墙结构的整体稳定性与使用安全性。可采用高层钢框架玻璃幕墙方式对建筑的整体刚度、强度等进行加强。高层隔震钢框架结构在玻璃幕墙的应用中具有独特的作用，实用价值非常高，玻璃幕墙的构成组件较多，为保证玻璃幕墙在高层隔震钢框架结构中的使用效用，需要设计人员对幕墙的支撑杆、梁、柱等框架进行长度计算，进而保证结构合理性<sup>[5]</sup>。玻璃幕墙结合高层隔震钢框架结构具有增强建筑整体结构侧向承载力的作用，特别是垂直连接玻璃幕墙与高层隔震钢框架结构的部分，增强效果非常非常明显。

#### 结束语

随着我国住宅建筑的不断发展，高层钢框架填充墙和玻璃幕墙的应用范围逐渐扩大，适用于空间大、跨度大、采光顶等建筑结构中，为加强该类建筑的使用安全性与稳定性，降低建筑在地震灾害中的损伤，保证建筑内人员及财产安全。通过模型试验分析带玻璃幕墙、带填充墙的高层钢框架结构的动力性能，对比其与单独玻璃幕墙、填充墙的各项抗震性能，发现，带有钢框架的填充墙和玻璃幕墙具有自振周期小、刚度强、层间位移小、层间剪力小等显著优点。

#### 参考文献

- [1] 李小娟, 史三元, 李慧芳. 填充墙对钢框架结构抗震反应影响分析[J]. 四川建材, 2012, 38(02): 50-51.
- [2] 史三元, 咎歆, 吴超. 填充墙对钢框架结构影响的地震台试验分析[J]. 建筑结构, 2014, 44(23): 71-73+84.
- [3] 覃书豪, 彭定东, 韦明瑞, 等. 填充墙-钢框架结构抗震性能研究综述[J]. 中国水运(下半月), 2021, 21(10): 133-135.
- [4] 陆芳军, 李建恒, 陈旭科. 钢框架在玻璃幕墙中的应用及其损伤诊断[J]. 门窗, 2012(12): 9-12.
- [5] 张永园, 郭成喜, 谢如荣, 等. 某玻璃幕墙空间钢框架计算长度分析[C]//. 钢结构工程研究⑧——中国钢协结构稳定与疲劳分会第12届(ASSF-2010)学术交流暨教学研讨会论文集, 2010: 783-788.