

Design Process and Precautions of Frame Shear Structure

Licheng Zhang

China Academy of Building Research, Beijing, 100013, China

Abstract

According to the *Regulations on Seismic Management of Construction Projects*, a community health service center in Beijing should meet the normal usage needs under medium earthquake protection and adopt seismic isolation technology. To meet the requirements, this project adopts the structural form of frame shear walls. By reasonably setting up VFD damping walls, the structure meets the displacement angle requirements under moderate earthquakes. Relevant experience in the design process is summarized for reference in similar cases in the future.

Keywords

shock absorption design; VFD wall type damper; frame shear wall structure; fortification seismic design

框剪结构减震设计流程及注意事项

张立成

中国建筑科学研究院有限公司, 中国·北京 100013

摘要

北京某社区卫生服务中心, 根据《建设工程抗震管理条例》应满足中震设防下正常使用需求, 并应采用减隔震技术。为满足要求, 本工程采用框架剪力墙的结构形式, 通过合理设置VFD阻尼墙的方式, 使结构满足中震下位移角要求, 总结设计过程中的相关经验, 供后续相似案例进行参考。

关键词

减震设计; VFD墙式阻尼器; 框架剪力墙结构; 设防地震设计

1 工程概况

本工程为某社区卫生服务中心项目, 建设地点位于中国北京市昌平区史各庄街道, 结构形式为钢筋混凝土框架剪力墙结构, 地上五层, 地下两层, 其中地下二层为人防救护站, 结构高度为 22.40m。

本工程设计条件, 基本风压: 0.45kN/m^2 ; 抗震设防烈度: 8度 ($0.2g$); 设计地震分组: 第二组; 场地类别: III类。本工程属于重点设防类, 根据《建筑抗震设计规范》要求, 框架抗震等级为二级, 剪力墙抗震等级为一级, 根据《建设工程抗震管理条例》规定, 本工程应采取减隔震措施, 并应满足设防地震下正常使用要求。

本工程参考《基于保持建筑正常使用功能的抗震技术导则》的报批稿, 主体结构采用盈建科 V5.2.0 版本计算。设防地震下, 水平地震影响系数: 0.45 ; 周期折减系数: 1.0 ; 附加阻尼: 0.6% 。其中, 设防地震下位移角限值: $1/400$; 罕遇地震下位移角限值: $1/150$ 。

2 建模分析流程

2.1 工程难点

本工程在方案试算阶段采用了框架结构, 由于本工程项目的特点, 房间内不能布置 BRB 支撑, 减震方案采用 VFD 墙式阻尼器, 在设防地震作用下, 附加阻尼比按 5% 预估, 为满足位移角限值的要求, 框架柱截面需采用 $1.3\text{m} \times 1.3\text{m}$, 影响了建筑房间的使用功能。故调整结构体系为框架剪力墙结构, 附加阻尼比按 2% 进行试算, 框柱尺寸 $0.8\text{m} \times 0.8\text{m}$ 即可满足位移角限值要求, 最终按框剪结构进行初步设计工作。

对于北京地区重点设防类项目, 层数在五层左右时, 选用框架结构并布置 BRB 支撑系统是比较合理的方案, 因该方案既可满足刚度要求, 又可附加阻尼, 可有效降低构件尺寸及配筋。本工程南北两侧长度方向均有悬挑结构, 设置 BRB 支撑后, 悬挑位置房间功能遭到破坏, BRB 减震方案被建筑专业否决。最终选用的是 VFD 墙式阻尼器减震方案, 该方案的特点是布置灵活, 可与隔墙位置配合, 可以避免对建筑功能造成干扰。

根据建筑房间功能布置, 本工程合理调整 VFD 墙式阻尼器位置。VFD 墙式阻尼器的下段墙用普通墙模拟, 上

【作者简介】张立成 (1985-), 男, 中国北京人, 硕士, 工程师, 从事建筑结构设计研究。

段墙用斜墙模拟，中间预留 0.5m 间隙，采用支撑斜杆模拟 VFD 阻尼器的非线性连接特性。阻尼器参数在前处理中特殊构件定义参数中设置，通过定义支撑单元局部方向的非线性刚度进行模拟实现。因采用了非线性单元，计算分析中的 CQC 方法已不再适合，计算方法需选择减震模块中的实际阵型分解反应谱法中的能量法（抗规方式），并按中震导则法进行设计。斜杆模拟的减震单元有效刚度和有效阻尼采用线性弹性时程分析模块计算。

弹性时程分析中，工况组合按直接积分法计算，阵型叠加法计算结果相对误差较大，如需得到符合实际的结果需增加阵型数量，而直接积分法无此条件限制。根据抗震规范要求，选择两条实际记录的地震波和一条人工波之后，算得的附加阻尼比为 0.5% 左右，与预想差距较大。经多次调整阻尼力及阻尼器布置位置后，仍无法满足预想 2% 的要求。主要原因有两个：其一，VFD 墙式阻尼器与框架梁相连，而并非像 BRB 支撑一样直接与框架柱相连，其减震效果较差；其二，框剪结构中的剪力墙的侧向刚度较大，在地震工况下，吸收了大部分的地震力，而设置在框架结构部分中的 VFD 阻尼墙，耗能相对较小，故算得的附加阻尼较小。综上，墙式阻尼器的减震效果较差，需降低附加阻尼比的预设值，并按实际减震效果重新计算。

2.2 结构方案确定

本工程采用框剪结构体系，附加阻尼比经多次试算后，最终定在了 0.6%。复制有控模型后，将阻尼器相关构件删除，并将其墙的等效荷载布置于梁上，修改结构的阻尼比为 5.6%，按 CQC 方法进行结构的构件设计，该模型定义为无控模型。设计时仍需注意，参数设置页中应勾选减震设计中的中震导则法，其内力将根据中震导则中的系数进行相关调整；前处理选项中，应在减隔震选单下，将与阻尼器相关联的梁柱定义为关键构件，即保证子结构中震弹性要求，如图 1 所示。

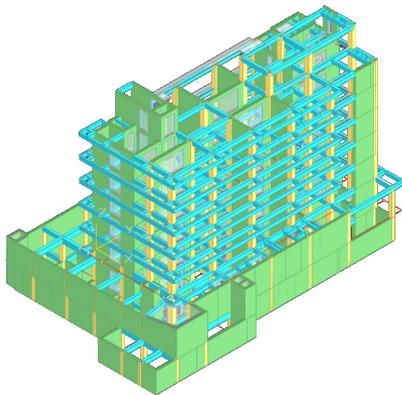


图 1 结构模型

2.3 罕遇地震复核验算

选用有控模型进行罕遇地震计算，罕遇地震弹塑性计算参数选取时注意，配筋数据源可选用按设计结果实配钢

筋，如在施工图设计中某段墙、柱等抗震构件有加强时，可选择施工图模块当前配筋，计算前应先进入施工图模块，生成相关配筋信息数据源。

计算完成后，进入后处理模块，查看的主要内容有：构件损伤因子、构件滞回曲线、结构能量曲线、地震时正常使用验算。还应查看在罕遇地震下，包含减震单元的子结构抗剪及抗弯验算。施工图配筋时需对比设防地震下的计算结果，对子结构配筋取包络值。

本工程罕遇地震弹塑性分析的主要验算结果如图 2~ 图 4 所示。

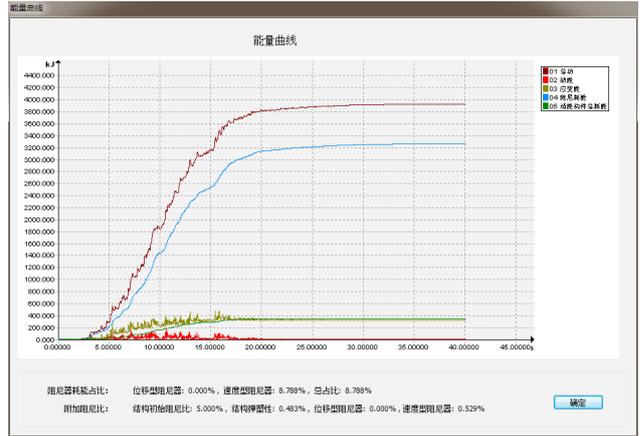


图 2 能量曲线

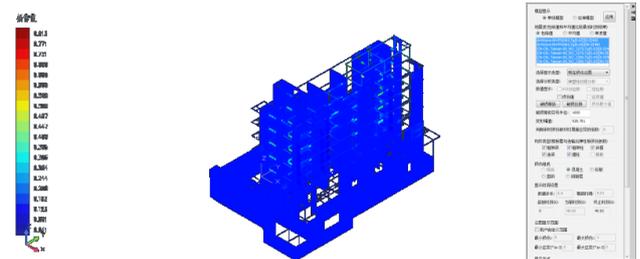


图 3 混凝土受压损伤云图

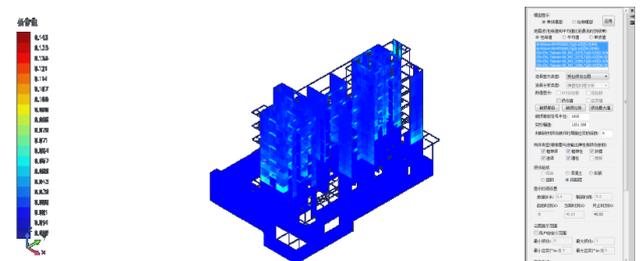


图 4 钢筋受拉损伤云图

本工程罕遇地震下楼层最大位移角（包络值）为 1/345，发生在出屋面的机房层，其余各层位移角均满足规范要求。

3 设计结果分析

结构反复试算过程中发现，因地震力较大，剪力墙截

面较常规框剪结构增大很多，其中最大墙厚为 0.60m，同时框架柱截面尺寸较小，为 0.80×0.80m，满足了建筑房间使用要求。阻尼器在隔墙位置布置，避免破坏房间功能，在 X、Y 方向按均匀、分散、对称的原则布置，取得了一定的减震效果，设防地震下主要计算结果如表 1 所示。

表 1 设防地震下主要计算结果

指标项	汇总信息	
最小刚度比	X 向	1.00 > [1.0] (8 层 1 塔)
	Y 向	1.00 > [1.0] (8 层 1 塔)
楼层受剪承载力	X 向	0.96 > [0.80] (2 层 1 塔)
	Y 向	1.00 > [0.80] (8 层 1 塔)
结构自振周期 (s)	X	0.3536
	Y	0.4377
	T	0.3317
最大位移角 (地震)	X 向	1/948 < [1/800] (6 层 1 塔)
	Y 向	1/654 > [1/800] (5 层 1 塔)
最大位移比	X 向	1.22 < [1.50] (6 层 1 塔)
	Y 向	1.05 < [1.50] (3 层 1 塔)

建模中发现，因地震力较大，存在多处截面超筋，为减少用钢量，结构墙、柱及梁纵筋采用 HRB500 级钢筋；因规范对箍筋抗剪强度上限设置了限制，故剪力墙水平筋，柱及梁箍筋、板钢筋采用 HRB400 级钢筋，一定程度上优化了钢筋量。结构的首层地震力较大，剪力墙截面尺寸由抗剪截面控制，故设置的较厚，二层及二层以上水平地震剪力减小，截面尺寸也相应优化。楼层的最大位移角因墙厚较厚算得的结果也相对较小，为 1/654，满足导则中 1/300 的要求，即中震正常使用需求。

结构的最大位移比为 1.22，说明抗扭刚度相对较好，扭转最大部位发生在角部框架柱位置，扭转周期与平动第一周期之比 $T_t/T_1=0.758$ ，也相对较好。

本工程通过与建筑专业的密切配合，采取有效合理的

结构技术方案及减震方案，使得本工程既满足了建筑的使用功能和建筑效果需求，又达到了设防地震正常使用要求和减震的目标，取得了相对满意的结果。

4 总结及结论

本工程在设计过程中遇到的问题具有一定的代表性，值得作为后续工程的借鉴：

①对于框剪结构，墙式阻尼器的减震效果较弱，宜根据建筑方案，在多跨合理布置，通过试算，选出最优的布置方案，试算时可布置于跨中位置，因跨内相对位置对减震效果影响较小，布置跨的位置和数量是影响附加阻尼比的决定因素。

②高烈度地区，层数较高的建筑，不适合做框架结构减震，位移角不容易满足，如必须采用框架结构，需减小柱跨，加大柱截面，在外圈四周设置 BRB 屈曲约束支撑。

③设置 BRB 支撑的框架结构，建筑方案阶段端部不宜有悬挑房间，因 BRB 布置对房间功能布局影响较大，结构专业需提前在方案阶段介入，避免各专业后续返工。

④对框剪结构减震，布置时一方面要考虑剪力墙布置，另一方面也需兼顾阻尼器布置，应留有足够柱跨数量，使结构有调整空间。

⑤本工程对结构而言相对比较复杂，含有减震设计、框剪结构设计（一级剪力墙）、装配式设计及地下室人防设计，方案初期应与业主沟通相关问题，应对设计内容、设计周期予以充分考虑，避免设计时限预留不足等问题发生。

参考文献

- [1] GB 50011-2010 建筑抗震设计规范(2016年版)[S].
- [2] 国务院.建筑工程抗震管理条例[Z].
- [3] 基于保持建筑正常使用功能的抗震技术导则(报批稿)[Z].2022.
- [4] 北京盈建科软件股份有限公司.盈建科减震结构设计应用手册 [Z].2022.