

某医院减震设计

傅建邦

中国二十冶集团有限公司

摘要: 本项目为某省级医院新建综合楼, 钢筋混凝土框架结构, 采用黏滞阻尼墙作为消能减震部件。设计时采用有限元分析软件分别建立非减震结构和减震结构的分析模型, 进行多遇地震下弹性时程分析和罕遇地震下弹塑性时程分析, 结果表明: 小震下结构主体处于弹性阶段, 黏滞阻尼墙可降低楼层间的地震力, 并为结构提供不小于2%的附加阻尼比, 能达到良好的消能减震作用; 大震下部分构件开始进入塑性阶段, 阻尼器的滞回曲线线条饱满, 分布均匀, 可以较好的发挥减震作用。减震结构中非阻尼器周边的构件配筋率降低, 兼具安全性的同时又具有良好经济性。

关键词: 框架结构; 墙式黏滞消能器; 时程分析; 消能减震设计

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.20.098

引言

地震高烈度区的建筑, 由于地震作用大, 为满足承载力及变形要求, 结构设计中往往出现“肥梁胖柱”, 且构件配筋较高。土建造价提高自不必说, 梁柱尺寸过大会影响建筑功能, 配筋过多会造成施工困难, 甚至会影响混凝土浇筑质量进而导致安全隐患。抗震设计实践中, 在结构体系中某些部位附加耗能装置, 由耗能装置的相对变形或相对速度提供附加阻尼和附加刚度, 改变结构的动力特性, 减小输入结构的地震能量, 达到预期设防要求, 是当前常用的一种手段。

笔者设计的某医院, 采用黏滞阻尼墙作为消能减震部件, 结构总阻尼比和刚度提高至预定值, 传统方法抗震设计遇到的问题均得到了较好解决。

一、工程概况

项目位于海南省海口市, 是某省级医院新建综合楼, 为抗震重点设防建筑。当地抗震设防烈度8度, 基本地震加速度0.3g, 地震分组第二组, 场地类别为II

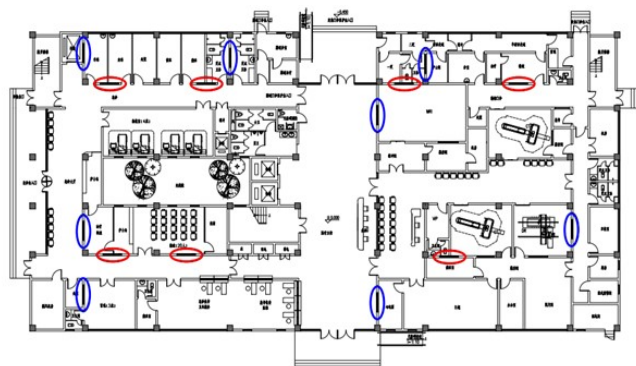


图1.1 一层减震器平面布置图

类。为四层混凝土框架结构, 1~3层层高为4.5m, 4层层高5.4m。根据当地主管部门要求需采用减隔震技术。经综合分析, 选用黏滞阻尼墙减震技术。本项目共使用消能器42套, 一二层布置数量最多, 三四层依次递减, 一、二层X方向7个, Y方向8个, 三层X、Y方向各4个, 四层X、Y方向各2个, 见图1.1及图3.2。

二、减震目标及设计内容

(一) 减震目标

在多遇地震作用下, 结构完全保持弹性, 且非结构构件无明显损坏。在罕遇地震作用下, 其减震系统仍能正常发挥功能: (1) 减震器及与之相连的悬臂墙大震下应保持弹性, 以大震下构件的弹性内力进行截面设计和稳定性验算, 材料强度采用设计值; (2) 周围框架及节点, 以大震下构件的弹性内力进行配筋, 材料强度采用极限值; 与之相邻的框架梁柱根据“强柱弱梁”原则进行设计; 并验算节点。

(二) 设计内容

- (1) 对非减震结构进行反应谱分析;
- (2) 确定目标附加阻尼比, 确定消能减震器参数、数量、安装位置及安装型式;
- (3) 对非减震结构和减震结构分别进行小震下的弹性时程分析, 复核附加阻尼比;
- (4) 对减震结构进行大震下的弹塑性时程分析, 复核其性能要求;
- (5) 按考虑了附加阻尼比的总阻尼比对非减震结构按反应谱法进行分析设计;
- (6) 根据减震结构大震下的弹塑性时程分析结果, 复核并完成与减震器相连的悬臂墙和其他构件设计。

(三) 黏滞阻尼墙参数

黏滞阻尼墙原理如式(1)所示:

$$F=Cv^\alpha \quad (1)$$

式中, 阻尼系数C为46 kN/(mm/s)^α, 阻尼指数^α为0.35, 最大速度V为464mm/s, 最大阻尼力F为400kN, 最大位移为50mm。

三、分析模型

(一) 模型概况

设计采用有限元分析软件建立非减震结构模型和减震结构模型并开展计算分析。

非减震结构模型三维视图如图3.1所示。其在不考虑附加阻尼比的情况下, 满足建筑抗震设计规范规定的小震作用下弹性层间位移角限值和大震作用下的弹塑性层间位移角限值。

减震模型采用damper连接单元模拟悬臂式黏滞阻尼墙, 其结构模型的三维视图如图3.2所示。

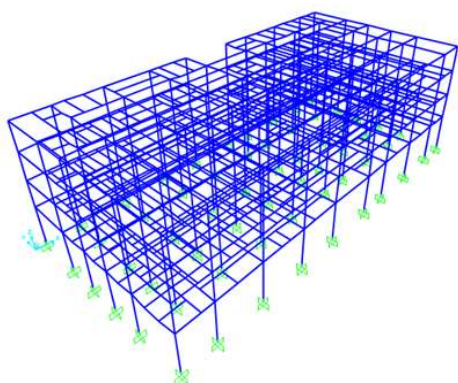


图3.1 非减震模型三维视图

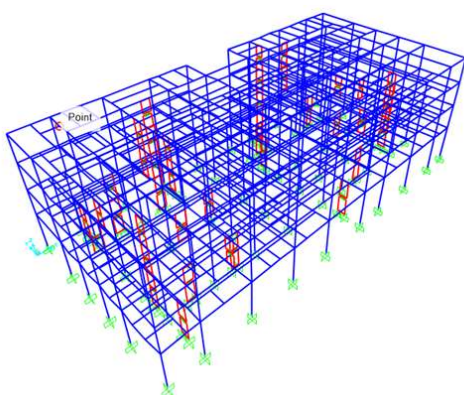


图3.2 减震模型三维视图

(二) 地震波的选取

根据《建筑抗震设计规范》5.1.2条，选取6条强震记录和2条人工模拟加速度时程曲线，如图3.3所示。

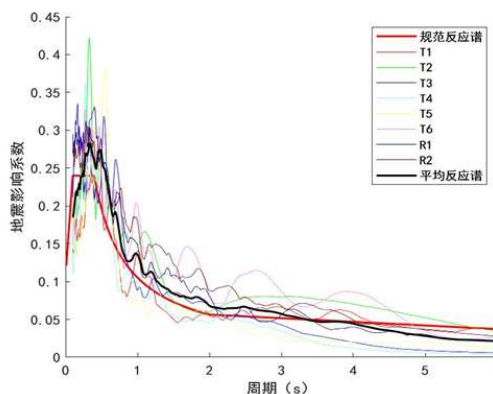


图3.3 时程反应谱与规范反应谱曲线

四、频遇地震下弹性时程分析

频遇地震下结构层间剪力和层间位移角对比如表4.1所示。采用减震措施后结构X方向基底剪力减小了22.3%，Y方向基底剪力减小了26.2%；X方向层间最大位移角减小了22.3%，Y方向层间最大位移角减小了26.1%。可见，减震阻尼器的设置可以有效减少结构的层间剪力和层间位移角，起到良好的减震作用。

频遇地震下减震结构和总阻尼比为7%（考虑2%的附加阻尼比）的非减震结构动力时程分析结果对比见表4.2。非减震结构阻尼比取7%的分析结果中，层间最大剪力和位移角均略大于减震结构的相应值。可见，附加阻尼比取2%是合适的，略偏安全的。

根据计算结果，按建筑结构抗震设计规范12.3.4条估算得到黏滞阻尼墙附加给结构的有效阻尼比结果如表4.3所示，也表明附加阻尼比取2%是合适的。

确定了附加阻尼比，即可按照总阻尼比为7%采用YJK对非减震结构进行计算分析设计，具体从略。

表4.1 小震下非减震结构与减震结构分析结果对比

层数	层间最大剪力 (kN)				层间位移角			
	非减震结构		减震结构		非减震结构		减震结构	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
4	4538	4713	3804	3775	1/1101	1/1078	1/1314	1/1346
3	10665	11156	9117	9093	1/796	1/782	1/931	1/959
2	15024	15679	12714	12710	1/665	1/675	1/786	1/833
1	18337	19198	14250	14176	1/613	1/603	1/789	1/816

表4.2 小震下非减震结构7%阻尼比与减震结构5%阻尼比分析结果对比

层数	层间最大剪力 (kN)				层间位移角			
	非减震7%阻尼比		减震5%阻尼比		非减震7%阻尼比		减震5%阻尼比	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
4	3880	3938	3804	3775	1/1194	1/1314	1/1260	1/1346
3	9154	9482	9117	9093	1/862	1/931	1/882	1/959
2	13264	13653	12714	12710	1/723	1/786	1/744	1/833
1	16232	16795	14250	14176	1/669	1/789	1/675	1/816

结构弹塑性时程分析用Damper连接单元模拟黏滞阻尼墙，框架柱、梁均定义塑性铰。分析采用小变形假定，不考虑结构的几何非线性，考虑材料非线性。运动

微分方程的求解时，选择Hilber-Hughes-Taylor逐步积分法， γ 取0.5， β 取0.25， α 取0。取前述8条地震波进行分析，结果取其作用下的平均值。按规范对地震波

表4.3 八条地震波附加阻尼比计算结果

X方向结构附加阻尼比计算								
地震波	T1	T2	T3	T4	T5	T6	R1	R2
结构总应变能 (kN·mm)	114345	116981	124499	91460	168067	115708	144173	127075
阻尼墙总耗能 (kN·mm)	48601	54426	54656	43722	63867	51807	60443	56498
附加阻尼比	3.39%	3.71%	3.50%	3.82%	3.03%	3.57%	3.35%	3.55%
平均值	3.49%							
Y方向结构附加阻尼比计算								
地震波	T1	T2	T3	T4	T5	T6	R1	R2
结构总应变能 (kN·mm)	107491	104527	113393	93046	183146	107916	138257	116334
阻尼墙总耗能 (kN·mm)	52325	55716	57390	48615	75928	55261	64849	59472
附加阻尼比	3.89%	4.26%	4.04%	4.17%	3.31%	4.09%	3.74%	4.08%
平均值	3.95%							

进行调幅，调幅后的峰值加速度值为 400cm/s^2 。分析结构在不同单向地震作用输入下的弹塑性动力性能，得出相应结果，如位移、塑性铰分布等。弹塑性分析层间位移角对比结果如表5.1所示。

大震下X方向最不利位移角：非减震结构为1/117，减震结构为1/159，减震结构与非减震结构位移角比值为0.73；大震下Y方向最不利位移角：减震结构为1/113，非减震结构为1/161，减震结构与非减震结构位移角比值为0.70。设置减震器以后，抗震性能显著提高，结构弹塑性层间位移角满足1/100的限值要求。

表5.1 罕遇地震下非减震结构与减震结构层间位移角对比

层数	非减震结构		减震结构	
	X	Y	X	Y
4	1/469	1/467	1/475	1/471
3	1/353	1/349	1/367	1/361
2	1/173	1/198	1/202	1/219
1	1/117	1/113	1/159	1/161

六、罕遇地震作用下典型滞回曲线

在罕遇地震下，在X方向和Y方向布置的黏滞阻尼墙的滞回耗能曲线分别如图6.1和图6.2所示。滞回曲线可表达阻尼器在水平地震作用下的变形特征和能量消散过程，滞回曲线线条饱满，分布均匀，说明阻尼器能很好的吸收地震力，较好的发挥减震作用。

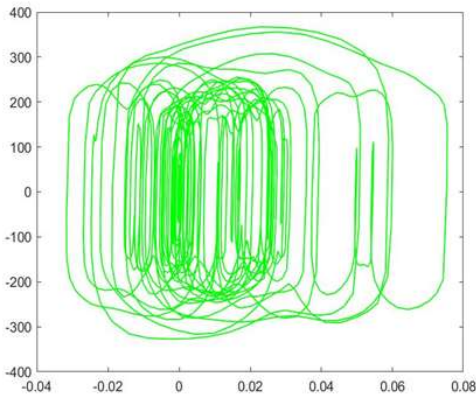


图6.1 罕遇地震X向阻尼墙滞回曲线

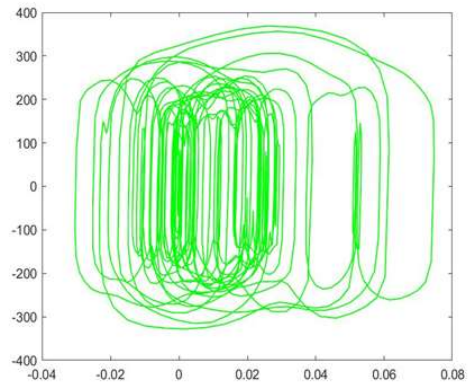


图6.2 罕遇地震Y向小震阻尼墙滞回曲线

七、结论

1. 小震作用下主体结构处于弹性阶段，黏滞阻尼墙能提供不小于2%的阻尼比；
2. 大震作用下构件开始进入塑性，框架梁先出现塑性铰，柱子后出现塑性铰，符合强柱弱梁的设计策略。
3. 黏滞阻尼墙耗散地震能量，提升了结构的抗震性能。

参考文献

[1] GB50011-2010. 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
 [2] GB50223-2008. 建筑抗震设防分类标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
 [3] GB55002-2021. 建筑与市政工程抗震通用规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021.
 [4] JGJ297-2013. 建筑消能减震技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
 [5] DG/TJ 08-2326-2020 J 15292-2020. 建筑消能减震及隔震技术标准[S]. 上海: 同济大学出版社, 2020.
 [6] GB50010-2010. 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

作者简介: 傅建邦(1983-), 汉族, 男, 河南南阳人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 结构设计及设计管理。