

Application of Energy Dissipation Technology in Irregular Buildings in High Intensity Area

Haifang Ding

Handan Design Engineering China Coal Co. Ltd., Handan Hebei
Email: 63396761@qq.com

Received: Nov. 20th, 2019; accepted: Dec. 12th, 2019; published: Dec. 19th, 2019

Abstract

Because of the irregular structural plane and Vertical Arrangement, the design index of a training base project in a high intensity area is difficult to reach. The dynamic characteristics of the two principal axes are quite different, and the additional damping ratio of the structure is increased by the arrangement of viscous dampers, which dissipates seismic energy. The Angle of displacement between floors of the building can meet the requirements of the code. Buckling-restrained braces and viscous dampers also have good energy dissipation capacity during moderate and large earthquakes, which can protect the main structure, improve the safety of the building structure during large earthquakes, reduce the total quality of the structure and reduce the cost of the foundation. It meets the needs of the building.

Keywords

High Intensity Area, Buckling Restrained Brace, Viscous Damper, Plane Irregularity

消能减震技术在高烈度地区不规则建筑中的应用

丁海方

中煤邯郸设计工程有限责任公司, 河北 邯郸
Email: 63396761@qq.com

收稿日期: 2019年11月20日; 录用日期: 2019年12月12日; 发布日期: 2019年12月19日

摘要

某高烈度地区实训基地项目由于建筑方案原因, 结构平面和竖向布置不规则, 设计指标要求难以达到。

通过布置屈曲约束支撑体系改善两个主轴方向的动力特性相差较大问题,通过布置粘滞阻尼器增加结构附加阻尼比,耗散地震能量,使得建筑物的层间位移角满足规范要求。屈曲约束支撑以及粘滞阻尼器在中震、大震时也具有良好的耗能能力,有限保护了主体结构,提高了建筑结构在大震时的安全性,降低了结构总质量,减少了基础造价,满足了建筑使用功能。

关键词

高烈度地区, 屈曲约束支撑, 粘滞阻尼器, 平面不规则

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. 工程概况

1.1. 基本信息

某实训基地项目 1 号楼,工程所在地区,抗震设防烈度为 8 度,场地类别为 II 类,地震动峰值加速度为 0.20 g,设计地震分组为第二组,特征周期为 0.45 s。总建筑高度 15.6 m,首层层高为 5.0 m,其余层层高为 4.5 m。建筑功能首层为展览厅、办事大厅,第二、三层为培训教室、多功能厅,其中多功能厅为两层通高,屋面为上人屋面,布置为室外露天影院。

1.2. 主要结构特点及难点

该项目平面不规则,长度方向与宽度方向相差很大。主出入口部位以及首层的展厅以及二层的多功能厅均存在跃层柱,框架柱计算长度较大。多功能厅的楼盖及屋盖跨度大,竖向构件不连续。每层的楼盖均开设了大量洞口,开洞面积占到了整个楼盖面积的 20%以上。整个结构竖向布置和平面布置均不规则。

2. 结构选型

由于建筑方案布置的原因初步计算表明在地震作用下,两个主轴方向的周期相差较多,第二周期为扭转周期,且首层及 2 层的层间位移角较大,超过规范限值。各层根据建筑功能要求很多关键部位无法布置抗侧刚度大的剪力墙。整个结构竖向构件不连续,多处的跃层柱存在。基于以上原因本项目采用常规的钢筋混凝土结构难以满足抗震需要。通过分析研究认为本工程需要着力解决两个问题:

- 1) 由于长宽比较大引起的扭转效应较大[1]。
- 2) 层间位移角较大不满足规范要求[1]。

为解决上述问题拟采用消能减震技术的框架结构。屈曲约束支撑是一种无论受压还是受拉都能全截面屈服的轴向受力构件,较之传统的支撑构件,它具有更稳定的力学行为(英文简称 BRB,以下均使用简称)小震下提供刚度[2],大震下通过轴向变形耗散地震能量。本工程的结构自有周期处于规范反应谱的曲线下降段,布置位移形的 BRB 支撑可以提高结构刚度,改善两个主轴方向的动力特性,避免扭转周期出现在第二周期。粘滞阻尼器则是利用粘滞流体和阻尼器结构部件的相互作用产生阻尼力原理设计、制作的一种速度相关型结构消能减振装置[2]。当工程结构在荷载作用下发生振动时,使得安装在结构中的粘滞阻尼器的活塞与缸体之间发生相对运动,由于活塞前后的压力差使粘滞流体从阻尼通道中通过,从而产生阻尼力耗散外界输入结构的振动能量,达到减轻结构振动的目的。

通过在结构中布置 BRB 支撑+粘滞阻尼器组合体系，刚柔结合，可以充分发挥二者的优点，可以较好的解决普通钢筋混凝土框架结构遇到的问题。

3. BRB、阻尼器布置及计算分析

3.1. 选择 BRB 类型

根据试算结果本工程 BRB 支撑主要作用是小震下提高抗扭刚度减少扭转效应，同时要提高结构抗侧刚度，中、大震时 BRB 进入屈服耗能状态，保护主体结构，提高结构抗震安全性[3]。

3.2. 粘滞阻尼器布置及参数

粘滞阻尼器布置时应在结构两个主轴方向均要布置，数量要通过试算和确定好的减震目标之间不断迭代计算直至满足减震目标。粘滞阻尼器技术参数及 BRB 支撑技术参数分别见表 1、表 2，阻尼器及支撑布置见图 1。

Table 1. Technical parameters for viscous dampers

表 1. 粘滞阻尼器技术参数

序号	名称	数值
1	阻尼系数	100
2	阻尼指数	0.4
3	阻尼方程	$F = CV^n$

Table 2. BRB support technical parameters

表 2. BRB 支撑技术参数

BRB 类型	F (kN)	U_{Ymm}	屈服后刚度比	布置层数	方向	根数
1	1500	15	0.05	3	Y	8

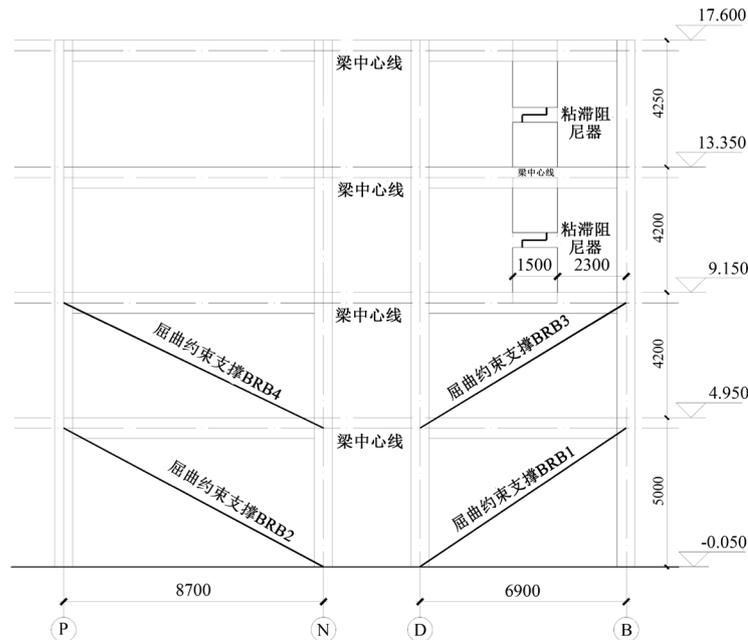


Figure 1. Locations of typical floor dampers and BRB
图 1. 典型楼层阻尼器及 BRB 布置位置

3.3. 减震框架计算结果及分析

3.3.1. 附加阻尼比 7% 的计算结果

经过多次试算，初步确定的减震目标为当结构总阻尼比为 7% 时，各项计算指标比较合理，层间位移角满足规范要求且阻尼器及 BRB 支撑布置的数量也较为均匀，各结构构件断面在合理范围内，经济性比较好。主要计算结果见表 3、表 4、表 5。

Table 3. Cycles

表 3. 周期

振型号	周期	类型	总侧振成分
1	0.8630	X	0.96
2	0.8279	Y	0.97
3	0.8193	T	0

Table 4. Interlayer displacement angle (X)

表 4. 层间位移角(X)

层号	最大位移	层间位移
6	22.11	1/1982
5	21.00	1/1642
4	18.61	1/1030
3	14.63	1/765
2	9.53	1/648
1	1.84	1/1629

Table 5. Interlayer displacement angle (Y)

表 5. 层间位移角(Y)

层号	最大位移	层间位移
6	21.58	1/1796
5	19.56	1/1575
4	17.34	1/1143
3	13.83	1/838
2	9.45	1/669
1	1.98	1/1511

3.3.2. 多遇地震下的附加阻尼比计算

小震附加阻尼比计算采用弹性时程分析方法。根据《建筑抗震设计规范》第 4.3.5 条选取 1 条人工模拟的加速度时程曲线和 2 条实际地震记录的加速度时程曲线进行分析。

根据《建筑抗震设计规范》5.1.2 条及条文说明选取地震波，时程曲线平均地震影响系数曲线与振型分解反应谱法所用的地震影响系数曲线相比在对应结构主振型的周期点上相差不大于 20%。

限于篇幅仅给出了 RH2TG040 的计算结果。

结合《建筑抗震设计规范》和所选地震波，参数如下：主作用地震波峰值加速度设为 70 cm/s^2 ，次方向峰值加速度为 59.5 cm/s^2 。

查看 RH2TG040 (人工波) Y 向时程为主时粘滞阻尼器的工作状态，图 2 为每层典型粘滞阻尼器的滞回曲线。

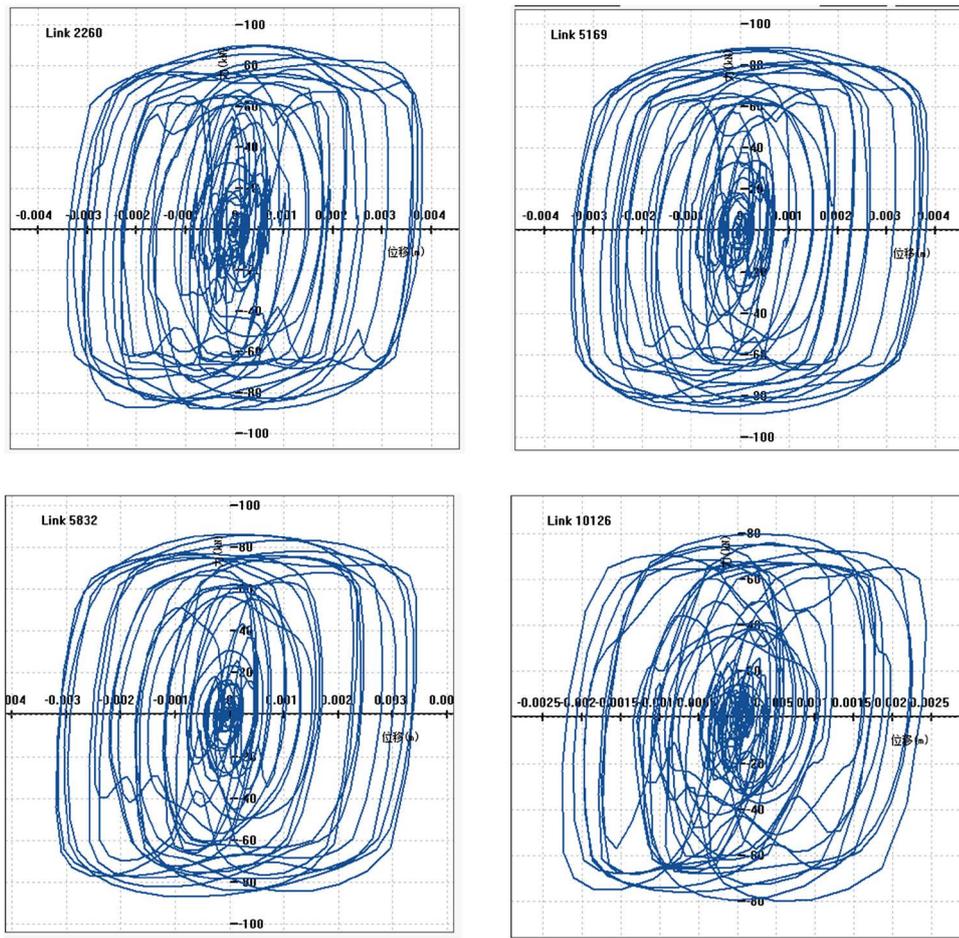
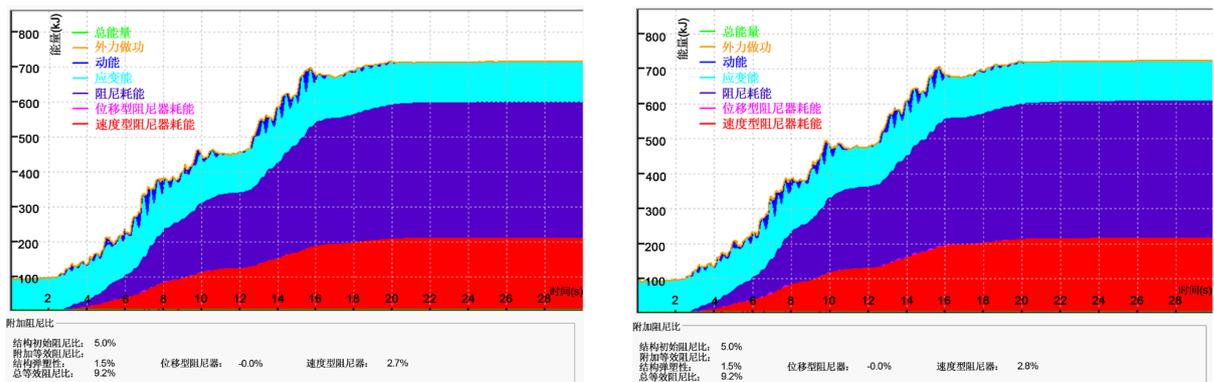


Figure 2. Hysteretic curves of viscous dampers of each layer
图 2. 各层粘滞阻尼器滞回曲线

由各层粘滞阻尼器滞回曲线图可以发现，粘滞阻尼器在小震时程工况下工作状态正常，滞回曲线饱满，消耗了输入结构的地震能。

根据所选择地震波进行小震时程分析，地震波能量图计算结果如下图 3。



注：“人工波能量曲线-x”中“x”表示x为主作用方向。

Figure 3. Time-history two-direction energy curve of small earthquake
图 3. 小震时程两方向能量曲线

根据能量图可以计算结构的附加阻尼比，弹性阻尼比已知且恒定为 5%，附加阻尼比与耗能成正比，阻尼比计算公式如下：

$$\text{阻尼器附加阻尼比} = (\text{阻尼器耗能} / \text{初始弹性阻尼耗能}) \times 5\%$$

各地震波作用下结构附加阻尼比如下表 6。

Table 6. Additional damping ratio of structures subjected to various seismic waves

表 6. 各地震波作用下结构附加阻尼比

地震波	作用方向	结构初始阻尼比(%)	粘滞阻尼器附加阻尼比(%)
人工波	X	5	2.7%
	Y	5	2.8%

由表 6 可以发现，小震情况下粘滞阻尼器耗能消耗地震能量产生的附加阻尼比均大于 2.0%，满足最初设计目标总阻尼比 7% 的设想。布置的阻尼器可以满足附加阻尼比的要求。

3.3.3. 大震下的计算结果及分析

根据《建筑消能减震技术规程》的要求布置有 BRB 支撑及阻尼器的结构需要进行大震下的结构计算以验证消能部件是否符合预期的减震目标[3]。结合《建筑抗震设计规范》和所选地震波，大震设计参数如下：主作用地震波峰值加速度设为 400 cm/s^2 ，次方向峰值加速度为 340 cm/s^2 。

以 RH2TG040 (人工波) 为例，查看 Y 向时程为主时 BRB、粘滞阻尼器的工作状态，下图 4 为每层典型 BRB 和粘滞阻尼器的滞回曲线。

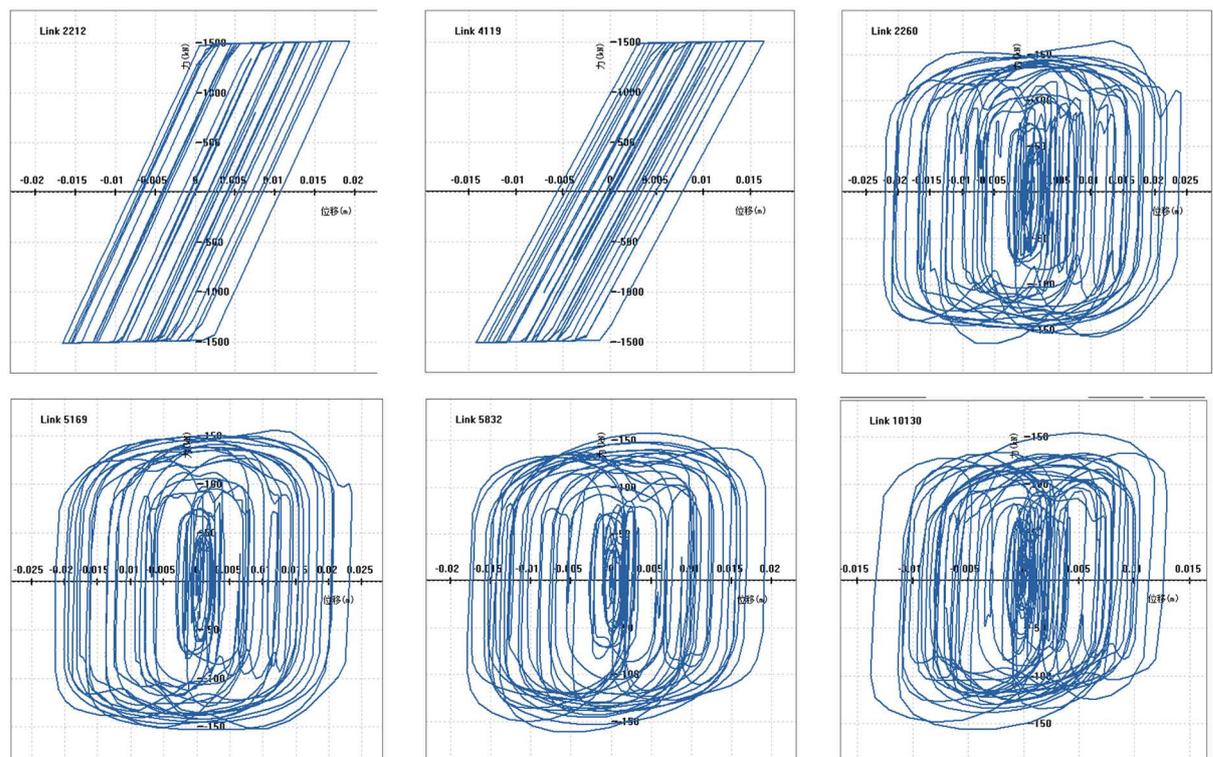


Figure 4. BRB, hysteretic curve of viscous dampers

图 4. BRB、粘滞阻尼器大震滞回曲线

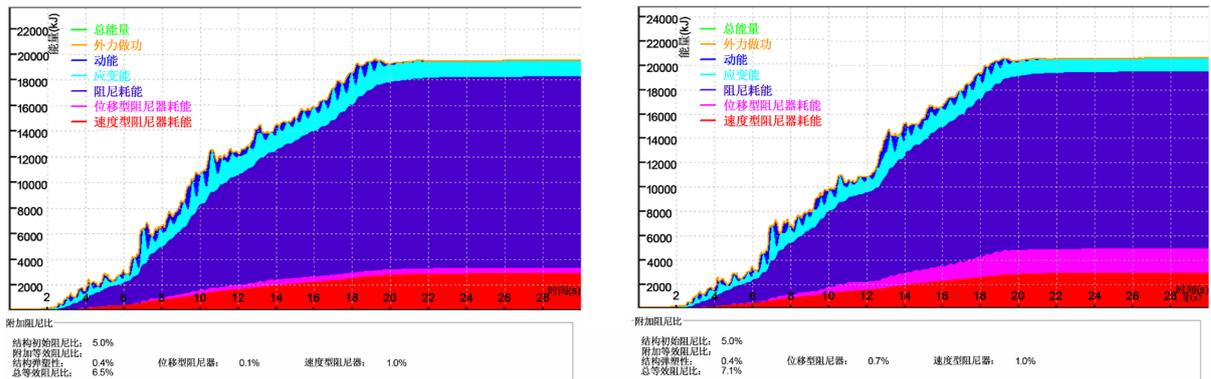


Figure 5. Energy curves of large earthquakes in two directions of artificial waves
 图 5. 人工波两方向大震能量曲线

由图 4 可以发现，BRB、粘滞阻尼器在大震时程工况下工作状态正常，滞回曲线饱满。充分发挥了减震装置的耗能作用，有效消耗地震能量。

由上面图 5 的能量曲线可以发现，大震时程工况下，BRB、粘滞阻尼器消耗地震能量相对小震较大，结构构件弹塑性耗能产生的附加阻尼比增加较大。该工况下 BRB、粘滞阻尼器耗能功能得到充分发挥，有效保护了结构主体构件。

由图 6 可以发现，大震时程工况下，大部分构件为轻度或轻微损坏，少数构件中度损坏，减震装置的布置确实起到了保险丝的作用，有效保护了主体构件。

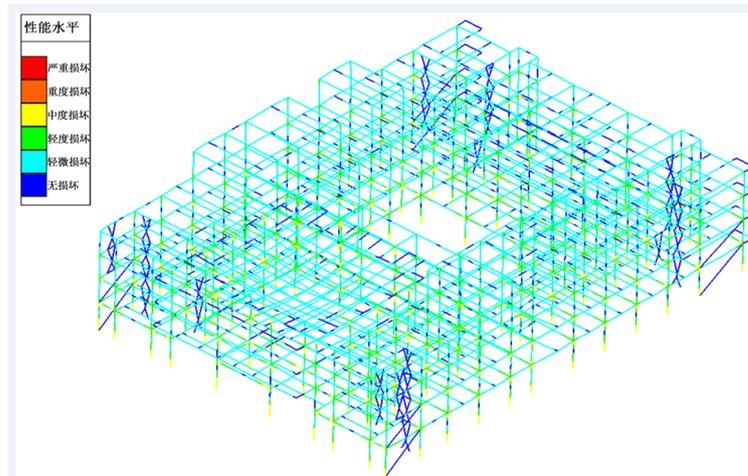


Figure 6. Structural damage diagram under time-history condition of large earthquake
 图 6. 大震时程工况下结构损伤图

4. 结语

- 1) 多遇地震下，BRB+粘滞阻尼器组合体系可以有效改善结构两方向的动力特性。
- 2) 罕遇地震下，BRB+粘滞阻尼器组合体系有效保护了主体结构。
- 3) BRB+粘滞阻尼器组合体系可以解决高烈度地区普通钢筋混凝土结构难以克服的抗震难题。

参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

- [2] 潘鹏. 建筑结构消能减震设计与案例[M]. 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 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.