

浅谈依据《基于保持建筑正常使用功能的 抗震技术导则》的消能减震设计新思路

天下无震 人间皆安

震安科技股份有限公司——设计部

华东南区域设计主管：罗马 联系电话：19525853494

目录
CONTENTS

- 1 中震正常使用的消能减震结构
- 2 减震设计要点与新思路
- 3 消能子结构大震等效预设计思路
- 4 基于《导则》的新减震设计法算例分享



PART 01

第一部分 中震正常使用的消能减震结构

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -F_{eq}$$

$$E_k + E_d + E_p = E_{eq}$$

动能

阻尼耗能（多
种形式）

势能

地震输入能量

可以“作文章”

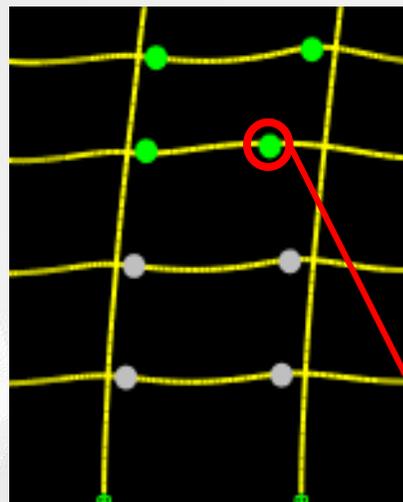
传统抗震结构

设计目标：小震不坏，中震可修，大震不倒。

1、**小震不坏**：弹性承载力设计，通过抗震等级调整来为结构附加冗余度，同时实现强剪弱弯，强柱弱梁的设计原则，校核结构变形指标；

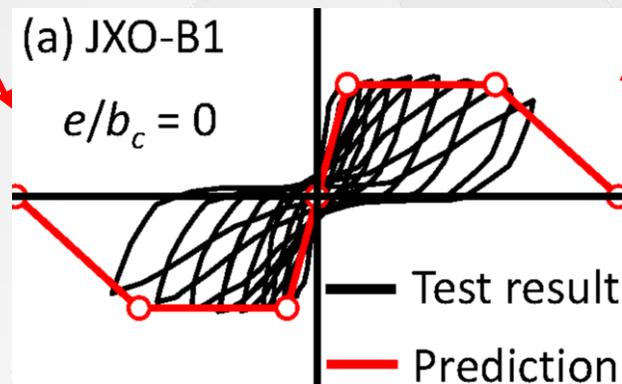
2、**中震可修**：经过小震设计后的结构，默认中震下是满足“中震可修”要求的；

3、**大震不倒**：经过小震设计的结构，默认大震下是满足“大震不倒”要求的，同时辅以大震弹塑性时程分析来校核结构变形指标和损伤情况。



强度设计，留有一定冗余

大震塑性铰耗能

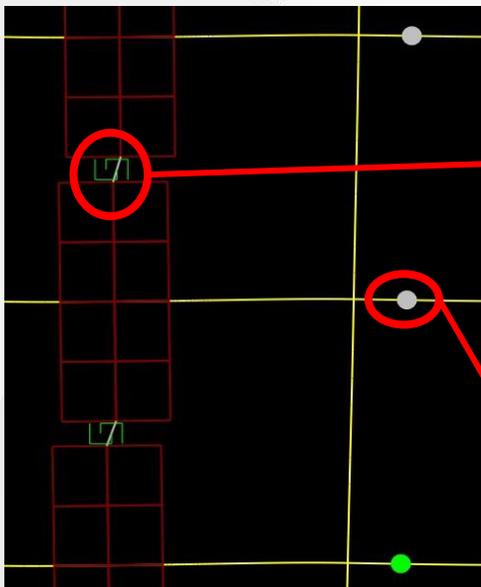
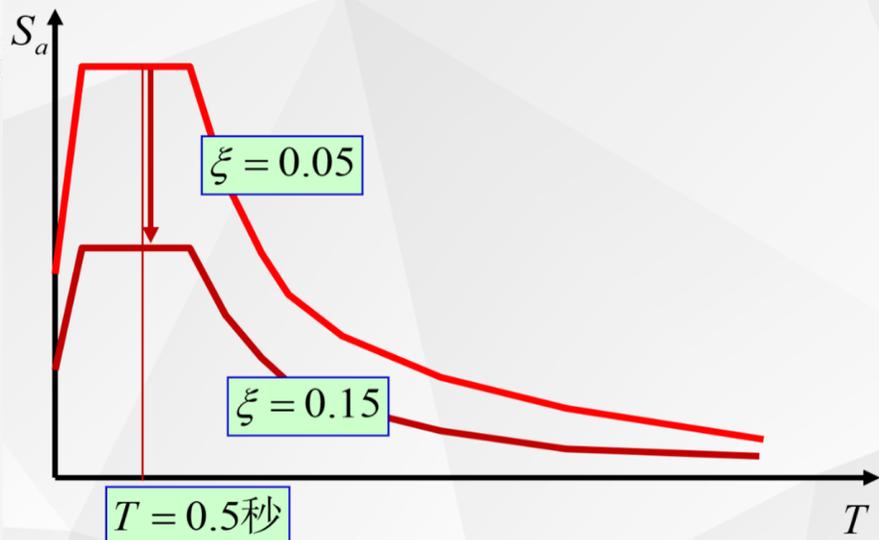


真实产生的塑性铰示例

硬扛！

消能减震结构

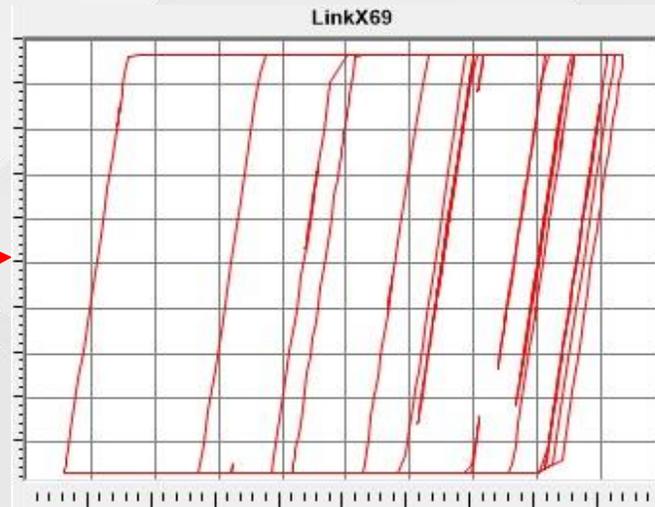
设计目标：在传统抗震结构设计基础上通过增加消能减震装置，来为主体结构附加阻尼和刚度（位移或复合型消能器）。其中附加的阻尼可以为主体结构分担一部分地震输入能的耗散需求，而附加的刚度则能减小结构的变形量。



阻尼器耗能，削弱地震力

吸星大法！

阻尼器耗能

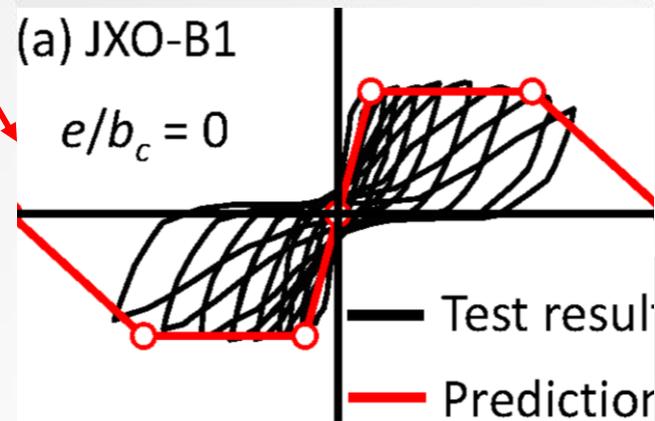


+

大震塑性铰耗能

(a) JXO-B1

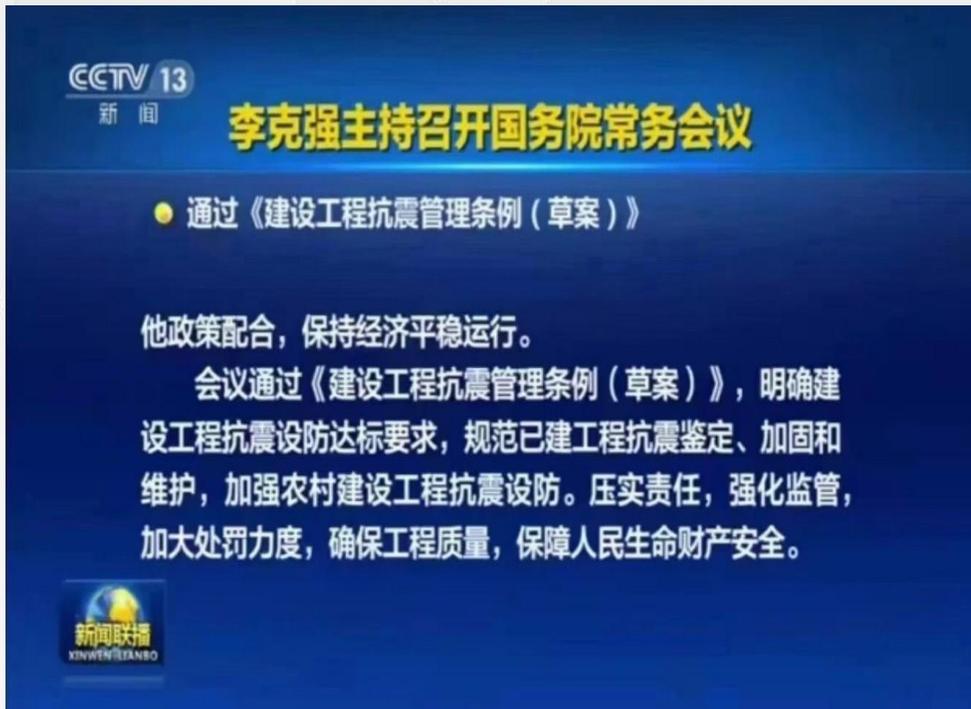
$e/b_c = 0$



— Test result

— Predictor

《建设工程抗震管理条例》



《条例》第十六条——

- 建筑工程根据使用功能以及在抗震救灾中的作用等因素，分为特殊设防类、重点设防类、标准设防类和适度设防类。学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑，应当按照不低于重点设防类的要求采取抗震设防措施。
- 位于**高烈度设防地区、地震重点监视防御区**的新建学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等建筑应当按照国家有关规定采用**隔震减震**等技术，保证发生本区域**设防地震**时能够满足**正常使用要求**。
- 国家鼓励在除前款规定以外的建设工程中采用隔震减震等技术，提高抗震性能。

中华人民共和国国务院令

第744号

《建设工程抗震管理条例》已经2021年5月12日国务院第135次常务会议通过，现予公布，自2021年9月1日起施行。

总理 李克强

2021年7月19日

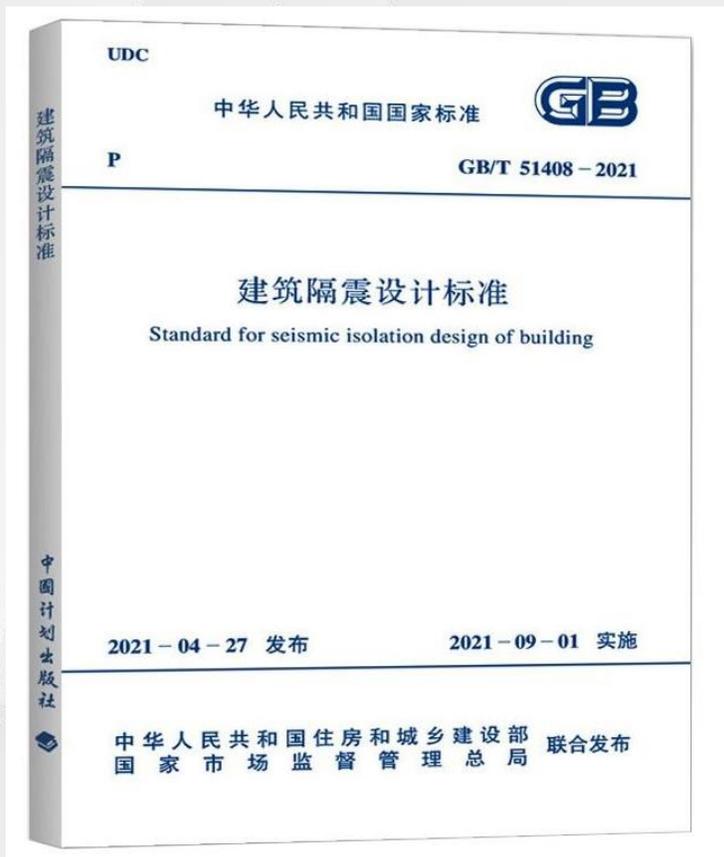
建设工程抗震管理条例

《条例》第二十一条——

- 位于**高烈度设防地区、地震重点监视防御区**的学校、幼儿园、医院、养老机构、儿童福利机构、应急指挥中心、应急避难场所、广播电视等已经建成的建筑进行**抗震加固**时应当经充分论证后采用**隔震减震**等技术保证其抗震性能符合抗震设防强制性标准。

设计依据

《建筑隔震设计标准》



先见之明：中震设计

1.0.3 除特殊规定外，隔震建筑的基本设防目标是：当遭受相当于本地区基本烈度的设防地震时，主体结构基本不受损坏或无需修理即可继续使用；当遭受罕遇地震时，结构可能发生损坏，经修复后可继续使用；特殊设防类建筑遭受极罕遇地震时，不致倒塌或发生危及生命的严重破坏。

1.0.4 隔震建筑的结构构件、非结构构件和附属设备的使用功能有专门要求时，除应符合基本设防目标外，尚应符合结构构件、非结构构件和附属设备的抗震性能标准的规定。

符合《条例》精神



位于高烈度设防地区、地震重点监视防御区的新建学校、幼儿园、医院、养老机构、应急指挥中心、应急避难场所等公共建筑应当采用隔震减震技术，保证发生本区域设防地震时不丧失建筑功能。

是我国乃至世界上第一部专门指导隔震设计的国家级标准，于隔震设计的规范化、标准化有着“里程碑”式的意义。

细化了中震设计的地方标准

北京市地方标准 **DB**

编号: DB11/ xxxx-20xx
备案号:

建筑工程减隔震技术规程

Technical specification for energy dissipation and seismic isolation
in buildings engineering

(征求意见稿)

20xx-xx-xx 发布
北京市规划和自然资源委员会
北京市市场监督管理局

20xx-xx-xx 实施
联合发布

北京地标 (报批阶段)

云南省工程建设地方标准

建筑消能减震应用技术规程

Technical Specification for Application of
Building Seismic Energy Dissipation

DBJ 53/T-125-2021

主编单位: 昆明理工大学
震安科技股份有限公司
云南省设计院集团有限公司
批准单位: 云南省住房和城乡建设厅
施行日期: 2022年01月01日

云南出版集团
云南科技出版社
2022 昆明

云南地标 (2021)

前 言

根据河北省住房和城乡建设厅《2021年度省工程建设标准和标准设计第一批制(修)订计划》(冀建节科函〔2021〕31号)的要求,由中土大地国际建筑设计有限公司会同有关单位编制而成。

本标准共分7章和4个附录,主要技术内容包括:1.总则;2.术语和符号;3.基本规定;4.消能器的技术性能;5.地震作用和作用效应计算;6.消能减震结构设计;7.消能部件的施工、质量验收和维护。

本标准由中土大地国际建筑设计有限公司负责具体内容的解释,由河北省绿色建筑推广与建设工程标准编制中心负责管理。

标准执行过程中如有意见和建议,请寄送至中土大地国际建筑设计有限公司(地址:石家庄市市长安区体育北大街石纺路中土国际22层,邮编:050046,电话:0311-66708116,邮箱:ztzlb2019@163.com),以便修订时参考。

本标准编制单位、参编单位、主要起草人和审查人员名单:
主 编 单 位: 中土大地国际建筑设计有限公司

河北铭嘉工程设计有限公司
河北震安减隔震技术有限公司

参 编 单 位: 河北建筑设计研究院有限责任公司
北方工程设计研究院有限公司
河北新天际建筑设计有限公司
河北加壹建筑设计有限公司

河北地标 (2021)

陕西省工程建设标准

建筑结构隔震技术规程

Technical specification for seismic isolation of
building structure

DB 61/T 5020-2022

主编部门: 陕西省住房和城乡建设厅
批准部门: 陕西省住房和城乡建设厅
陕西省市场监督管理局
实施日期: 2022年04月10日

中国建材工业出版社
2022 北京

陕西地标 (2022)

《基于保持建筑正常使用功能的抗震技术导则（送审稿）》

基于保持建筑正常使用功能的 抗震技术导则

Guideline for seismic technology to maintain functionality of buildings in earthquakes
(送审稿)

前言

为进一步贯彻落实《建设工程抗震管理条例》，提高建设工程抗震防灾能力，降低地震灾害风险，保障人民生命财产安全，更好地鼓励和支持建设工程抗震新技术的研究、开发和应用，在总结国内外建设工程相关科研和实践经验的基础上，组织编制本导则。

本导则共分7章，主要内容包括：总则、术语与符号、基本规定、地震作用和结构抗震验算、建筑非结构构件、建筑附属机电设备和仪器设备、维护与监测。

本导则由住房和城乡建设部标准定额研究所组织编制，清华大学负责技术解释。

主编单位：清华大学

广州大学

3.1 性能目标

3.1.1 地震时正常使用建筑应保证当遭受相当于本地区抗震设防烈度的地震时，无需修理可继续使用；当遭受罕遇地震时，经简单或适度修理可继续使用。

3.1.2 地震时正常使用建筑分为I类建筑和II类建筑，其分类应按照表3.1.2进行。

表 3.1.2 地震时正常使用建筑分类

建筑类型	建筑
I类	应急指挥中心；医院主要建筑；应急避难场所建筑；广播电视建筑
II类	学校建筑；幼儿园建筑；医院附属用房；养老机构建筑；儿童福利机构建筑

表 3.1.3-1 I类建筑正常使用的性能目标

构件类型	设防地震	罕遇地震
结构构件	完好或基本完好	轻微或轻度损坏
减震部件	正常工作	正常工作
隔震部件	正常工作	正常工作
建筑非结构构件	基本完好	轻度损坏
建筑附属机电设备	正常工作	轻度损坏
仪器设备	正常工作	轻度损坏
继续使用的要求	无需修理可继续使用	简单修理可继续使用

表 3.1.3-2 II类建筑正常使用的性能目标

构件类型	设防地震	罕遇地震
结构构件	基本完好或轻微损坏	轻度或中度损坏
减震部件	正常工作	正常工作
隔震部件	正常工作	正常工作
建筑非结构构件	基本完好	中度损坏
建筑附属机电设备	正常工作	中度损坏
仪器设备	正常工作	中度损坏
继续使用的要求	无需修理可继续使用	适度修理可继续使用

◆ 《导则》关键内容：

- 地震时正常使用建筑应基于**设防地震**进行**承载力设计**，**抗震措施**应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011和《建筑隔震设计标准》GB/T 51408相应设防烈度的规定。（条文解释：地震时正常使用建筑的抗震措施应取现行国家相关标准规定的**较严格措施**，但**不重复叠加**。）
- **中、低烈度区的地震作用**（包括水平地震影响系数和时程峰值加速度）需**乘以1.2~1.4的超烈度调整系数进行放大**（考虑到我国目前为止的多次大地震均爆发于低烈度设防区，有必要在抗震设计中适当提高地震作用来进行设计和验算）
- 地震时正常使用建筑的应进行**设防地震**和**罕遇地震**作用下的**结构变形**和**楼面水平加速度**验算，其中，楼面水平加速度应采用**时程分析法**进行计算。（条文解释：地震时正常使用建筑的最大楼面水平加速度可取结构**各层质心处楼面绝对水平加速度**响应时程的最大值）
- **消能子结构抗震构造措施**应按**高于本地区抗震设防烈度1度**的要求加强；但抗震设防烈度为9度时应采用比9度更高的要求。

1. 中震正常使用设计——承载力篇：

三阶段包络设计法

小震弹性设计

+

中震性能化设计

+

大震子结构极限承载力设计

《抗规》体系下的经典纯弹性承载力设计+抗震措施调整

取较严者，不重复叠加 = 包络配筋结果

《导则》指导下的中震性能化设计

- 关键构件（弯、剪基本弹性）：

$$S = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Eh} + \gamma_{Ev} S_{Ev} \leq R / \gamma_{RE}$$

- 普通竖向+重要水平构件（剪基本弹性，弯不屈）：

$$S_{GE} + S_{Ehk} + 0.4S_{Evk} \leq R_k$$

$$S_{GE} + 0.4S_{Ehk} + S_{Evk} \leq R_k$$

- 普通水平构件（剪不屈，弯可超强）：

$$S_{GE} + 0.4S_{Ehk} + S_{Evk} \leq R_k^*$$

《抗通规》5.1.11-2条：“与消能部件相连的梁、柱等结构构件尚应采用罕遇地震下的标准效应组合进行极限承载力验算”。

$$S_d = S_{GE} + \psi_e S_{Ek} + \psi_w S_{wk}$$

2. 中震正常使用设计——变形篇：

小震弹性
反应谱法

+

中震弹塑性
时程法

+

大震弹塑性
时程法

三阶段位移角校核

《抗规》弹性位移角限值

《导则》表4.3.1-1（弹塑性时程分析法）

建筑类别	I类建筑	II类建筑
钢筋混凝土框架	1/400	1/300
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/500	1/400
钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层结构	1/600	1/500
多、高层钢结构	1/250	1/200

《导则》表4.3.1-2（弹塑性时程分析法）

建筑类别	I类建筑	II类建筑
钢筋混凝土框架	1/150	1/100
底部框架砌体房屋中的框架-抗震墙、钢筋混凝土框架-抗震墙、框架-核心筒结构	1/200	1/150
钢筋混凝土抗震墙、板-柱抗震墙、筒中筒、钢筋混凝土框支层结构	1/250	1/200
多、高层钢结构	1/100	1/80

2. 中震正常使用设计——加速度篇：

中震弹塑性
时程法



《导则》表4.3.1-1（弹塑性时程分析法）

建筑分类	I 类建筑	II 类建筑
楼面质心加速度 (g)	0.25	0.45

+

大震弹塑性
时程法



《导则》表4.3.1-2（弹塑性时程分析法）

建筑分类	I 类建筑	II 类建筑
楼面质心加速度 (g)	0.45	-

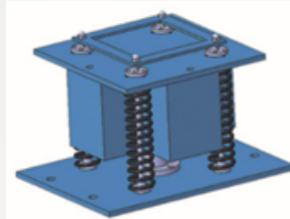
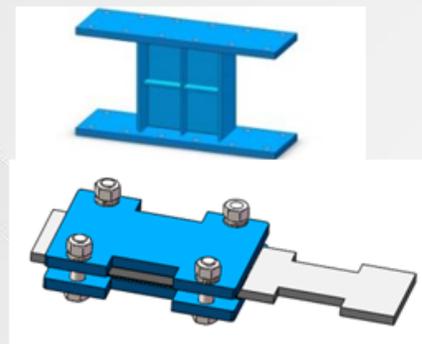
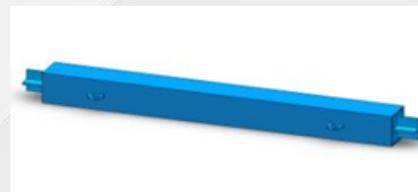
两阶段加速度校核

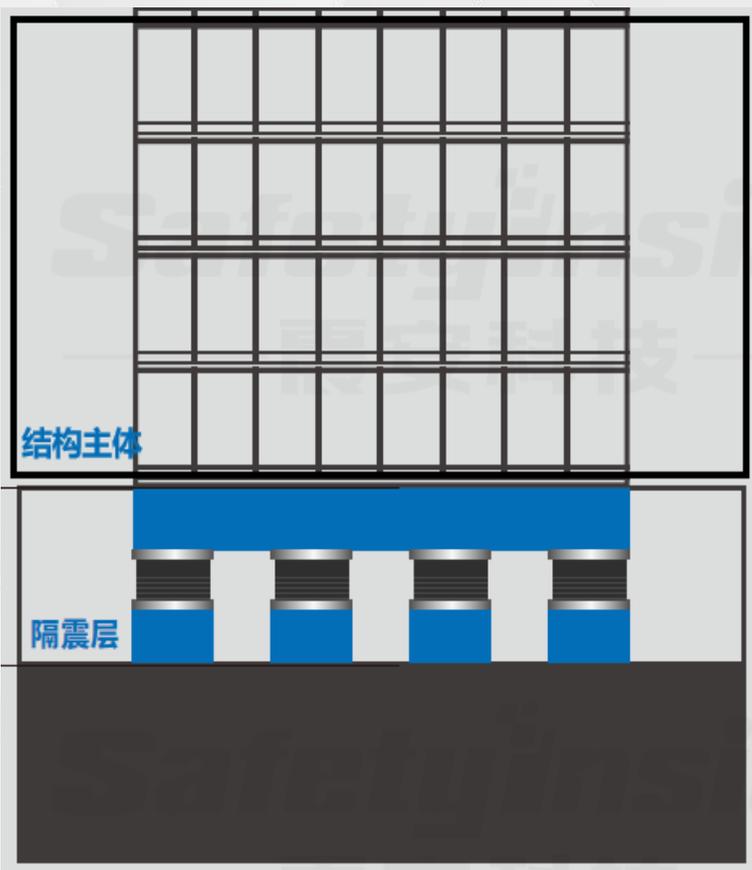


PART 02

第二部分 减震设计要点与新思路

减震系列产品

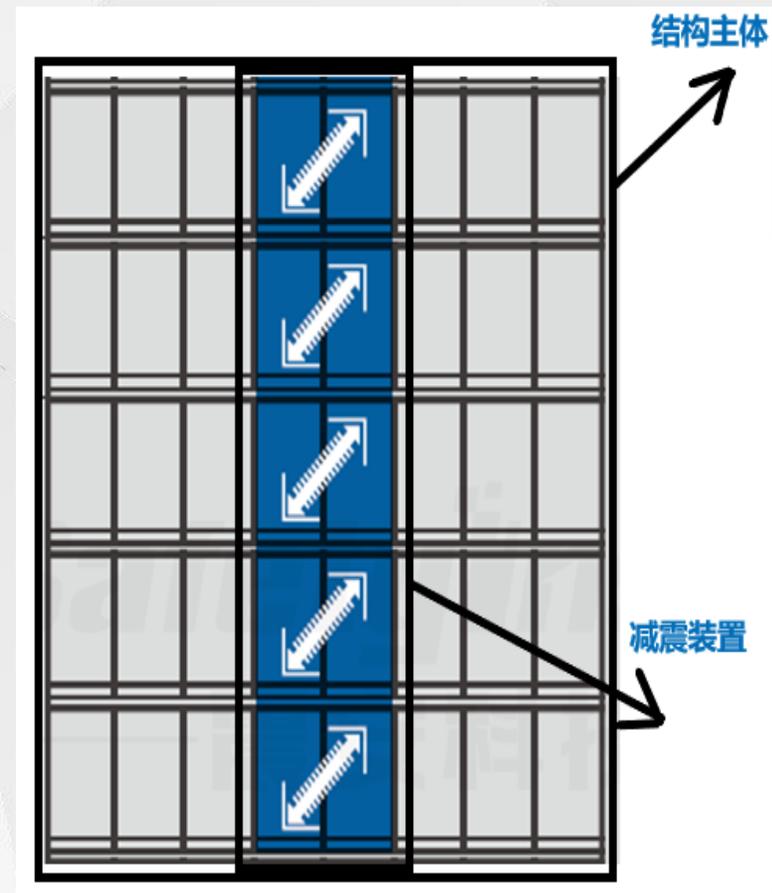




隔震结构

整体分析设计法:

真正地将减、隔震装置当做结构构件并赋予其性能目标，进行承载力、变形、稳定性验算，并将减、隔震装置的刚度、阻尼、出力等贡献实实在在地融入到整一结构体系中进行分析和设计。



消能减震结构

- ◆ 在此特别感谢云南省专家钟阳老师在本人步入建筑减隔震设计行业初期给我的“把减隔震构件当作结构构件进行设计”理念的启发，也很荣幸能在从业过程中见证该理念一步步转变为现实。

复振型分解反应谱法 (CCQC) + 消能器本构自动迭代

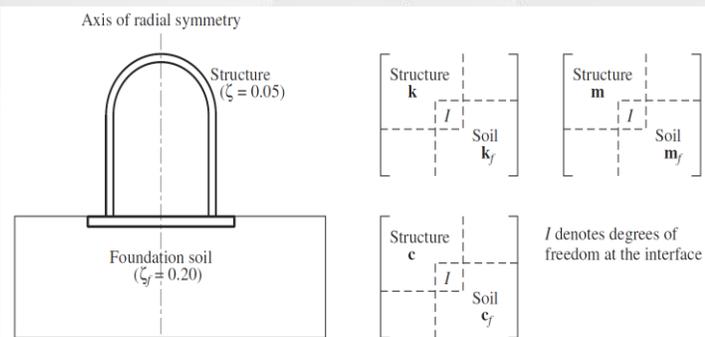


Figure 11.5.1 Assembly of subsystem matrices.

第 23 卷第 2 期 Vol.23 No.2 工程力学
2006 年 2 月 Feb. 2006 ENGINEERING MECHANICS 10
文章编号: 1000-4750(2006)02-0010-08

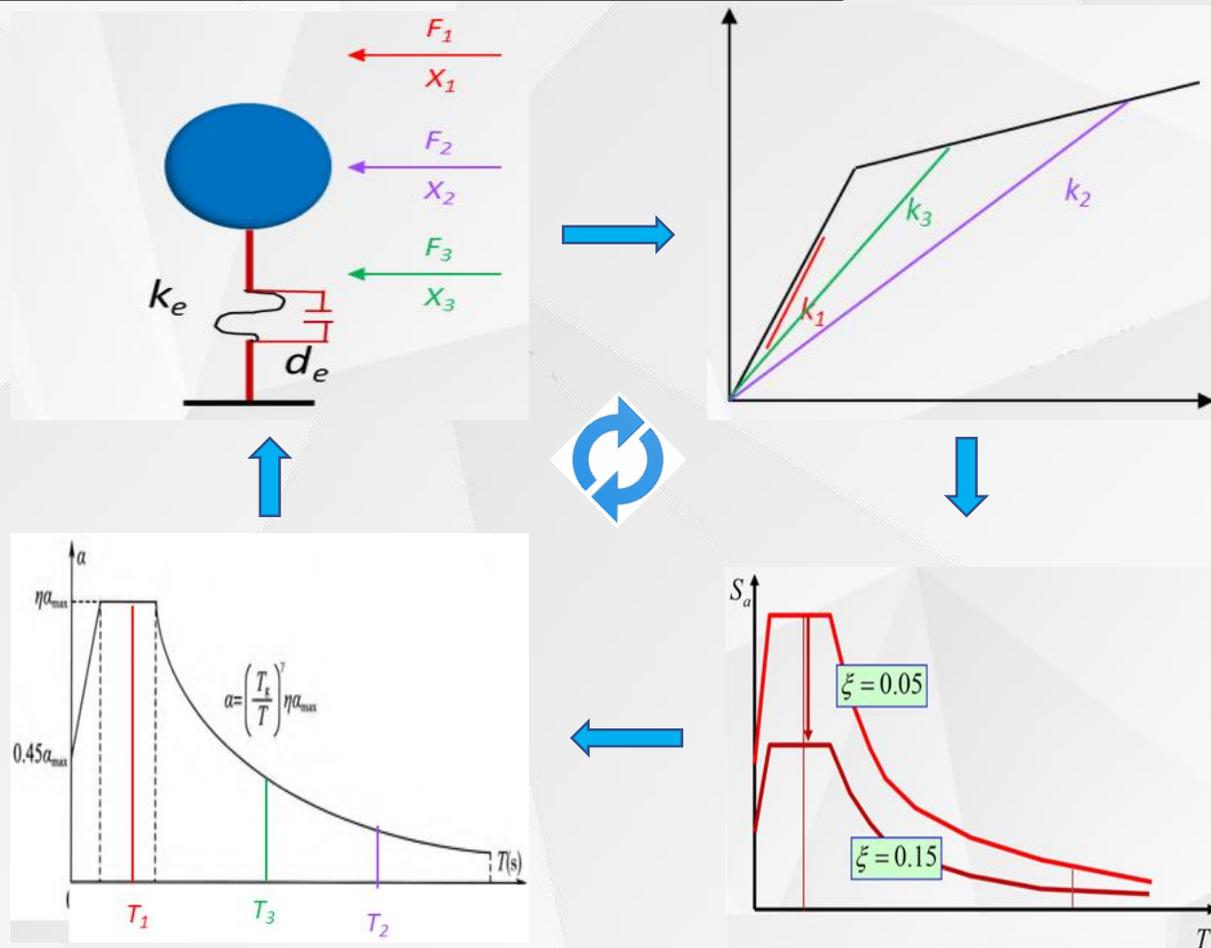
非比例阻尼线性体系基于规范反应谱的 CCQC 法

周锡元, *俞瑞芳

(北京工业大学工程抗震与结构诊治北京市重点实验室, 北京 100022)

摘要: 根据平稳随机过程理论和抗震设计反应谱, 对具有非比例阻尼特性的线性体系, 给出了实数形式的复振型反应谱叠加法和复振型完全平方组合(CCQC)计算公式。式中除了包含一般 CQC 方法中振型间的位移相关系数以外, 还包含了新的速度相关系数和位移-速度相关系数。公式推导按照与一般 CQC 法同样的原理和假定, 形式也同样简洁、明了, 易于工程设计人员掌握和使用。用实例分析对比了基于设计反应谱的 CCQC 法、CSRSS 法及强迫解耦法, 并以人工地震波作为地震输入, 用逐步积分法对计算结果进行了验证。结果表明: 提出的 CCQC 法比 CSRSS 法具有更好的精度。实例分析还表明, 对于一般的强非比例阻尼结构, 抗震设计规范中采用的强迫解耦方法也具有较好的精度。

带有减、隔震单元的结构体系带有典型的非比例型附加阻尼矩阵, 强制解耦带来误差不可控。为了更准确的计算非比例型附加阻尼的影响, 采用复振型分解反应谱算法进行计算。



多次迭代计算至预估的消能器等效线性刚度和阻尼与反应谱计算出的消能器实际响应对应的割线刚度和阻尼在预期的误差范围内, 则迭代收敛。



PART 03

第三部分 消能子结构大震等效预设计思路

更高的构件承载力性能目标决定了大震下更少的塑性变形

I 类结构性能目标

构件类型	设防地震	罕遇地震
结构构件	完好或基本完好	轻微或轻度损坏
减震部件	正常工作	正常工作
隔震部件	正常工作	正常工作
建筑非结构构件	基本完好	轻度损坏
建筑附属机电设备	正常工作	轻度损坏
仪器设备	正常工作	轻度损坏
继续使用的要求	无需修理可继续使用	简单修理可继续使用

II 类结构性能目标

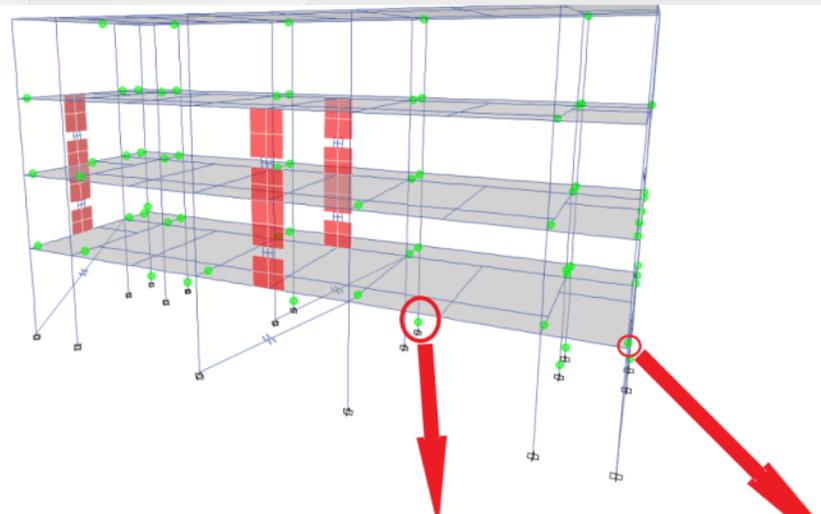
构件类型	设防地震	罕遇地震
结构构件	基本完好或轻微损坏	轻度或中度损坏
减震部件	正常工作	正常工作
隔震部件	正常工作	正常工作
建筑非结构构件	基本完好	中度损坏
建筑附属机电设备	正常工作	中度损坏
仪器设备	正常工作	中度损坏
继续使用的要求	无需修理可继续使用	适度修理可继续使用

【导则解析】构件宏观性能状态上的完好，即构件保持弹性状态；基本完好，即构件基本保持弹性状态；轻微损坏，即构件可能出现轻微的塑性变形，但不影响正常使用；轻度损坏，即构件达到屈服状态，但不出现明显的塑性变形；中度损坏，即构件出现明显的塑性变形，但控制在适度修理可继续使用的范围；正常工作，即减震、隔震部件、附属机电设备、仪器设备正常运行，发挥设计预期的作用或功能。

消能子结构大震等效预设计



更少的塑性变形说明了反应谱分析法更好的代表性

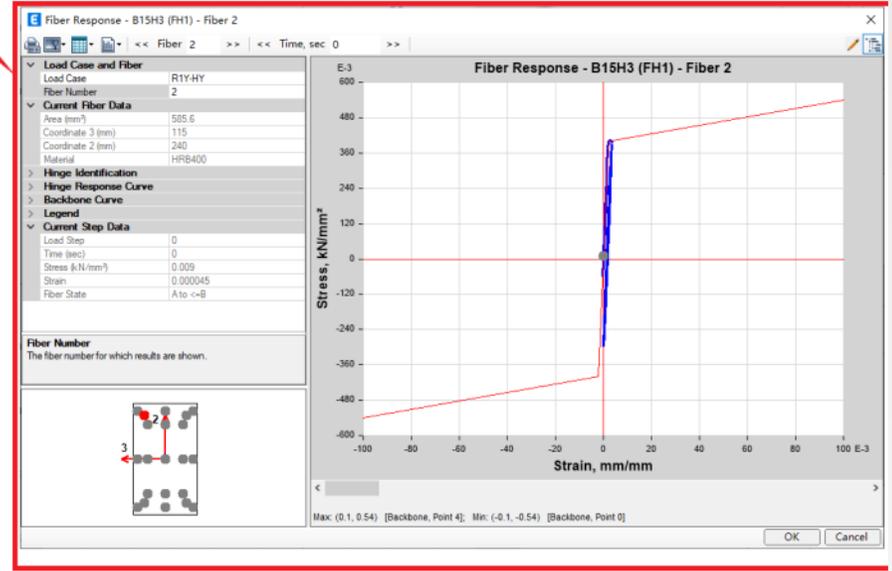
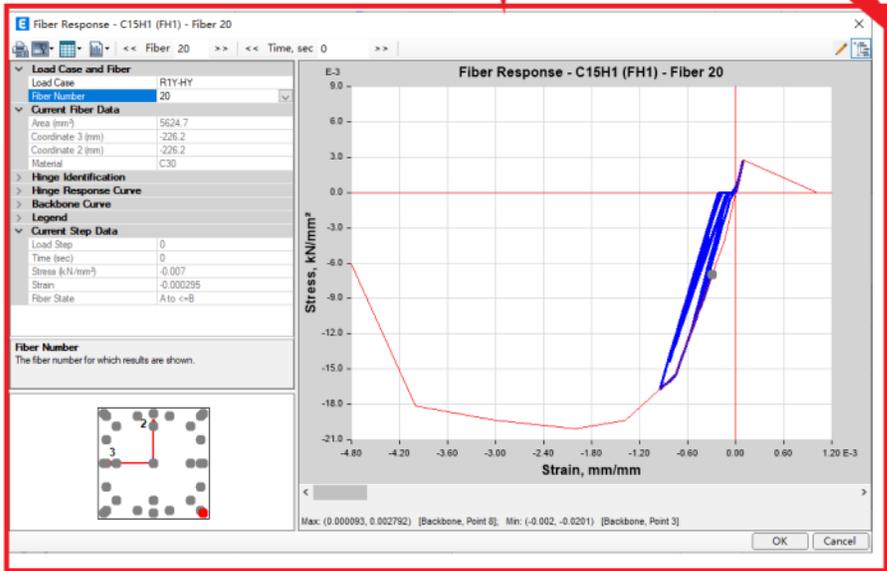


模态阶数	等效弹性自振周期(s) / 主要模态自由度 / 较弹性周期偏差比率		
	全楼弹性	X向人工波大震末态	Y向人工波大震末态
1	0.638 / UY / 0%	0.643 / UY / 0.7%	0.656 / UY / 2.8%
2	0.568 / UX / 0%	0.578 / UX / 1.8%	0.576 / UX / 1.4%
3	0.491 / RZ / 0%	0.494 / RZ / 0.6%	0.506 / RZ / 3.0%

大震损伤前/后等效自振周期对比

大震损伤前/后等效弹性反应谱法层剪力对比

楼层号	大震反应谱层剪力 (kN) / 较弹性剪力偏差比率					
	全楼弹性		X向人工波大震末态		Y向人工波大震末态	
	X	Y	X	Y	X	Y
4	1680 / 0%	1652 / 0%	1653 / -1.6%	-	-	1617 / -2.1%
3	3134 / 0%	2997 / 0%	3085 / -1.6%	-	-	2922 / -2.5%
2	4173 / 0%	3937 / 0%	4103 / -1.7%	-	-	3828 / -2.8%
1	4763 / 0%	4475 / 0%	4684 / -1.7%	-	-	4350 / -2.8%



大震等效预设计 = CCQC + 自动迭代阻尼器等效刚度 + 预估大震弹塑性折减系数

建立大震极限承载力设计子模型，并指定子结构部分与主模型的包络关系

减震参数设置中勾选“复振型+自动迭代”，附加阻尼比保持5%

大震反应谱特征周期加0.05s，影响系数改为：设防烈度对应的罕遇地震影响系数×预估大震弹塑性折减系数，以此计算子结构部分大震极限承载力配筋，记录下大震折减反应谱计算的基底剪力 $V_{谱}$

通过“预估大震弹塑性折减系数”来集中体现反应谱分析中未能准确考虑的大震下弹塑性损伤刚度折减（少量）、塑性铰附加阻尼耗能、阻尼器附加阻尼耗能。据经验，对于混凝土框架、框剪、纯剪结构，预估大震弹塑性折减系数分别可取0.75~0.8、0.8~0.85、0.85~0.9

配筋包络后的整体模型用于有限元大震弹塑性验算，算后提取大震弹塑性时程基底剪力 $V_{时}$

$V_{时}/V_{谱} \leq 1$

说明先前预估的大震弹塑性折减系数是保守的，子结构满足极限承载力要求

$V_{时}/V_{谱}$ 过大，或结构损伤超过性能目标

将YJK大震子模型中折减后的影响系数直接乘上 $V_{时}/V_{谱}$ 进行放大后配筋后重新进行弹塑性时程校核

$V_{时}/V_{谱} \geq 1$

$V_{时}/V_{谱}$ 较接近1且子结构损伤满足性能目标

将YJK大震子模型中折减后的影响系数直接乘上 $V_{时}/V_{谱}$ 进行放大，无需再进行弹塑性时程校核

◆使用前提

(1) 结构需要以《导则》为设计依据，且以满足“中震下正常使用”为性能目标展开减震设计。

(2) 结构主要以水平剪切变形为主，因为规范反应谱分析只可涵盖UX、UY、RZ三个自由度，无法对RX、RY、UZ自由度进行直接求解，故难以体现整一结构的纯弯行为。

★ 如遇以上情况(2)，可采用YJK结构设计软件中的快速非线性时程分析的功能，跑一条与大震反应谱谱拟合度高的人工波来包络大震谱等效预设计的层剪力进行设计。



PART 04

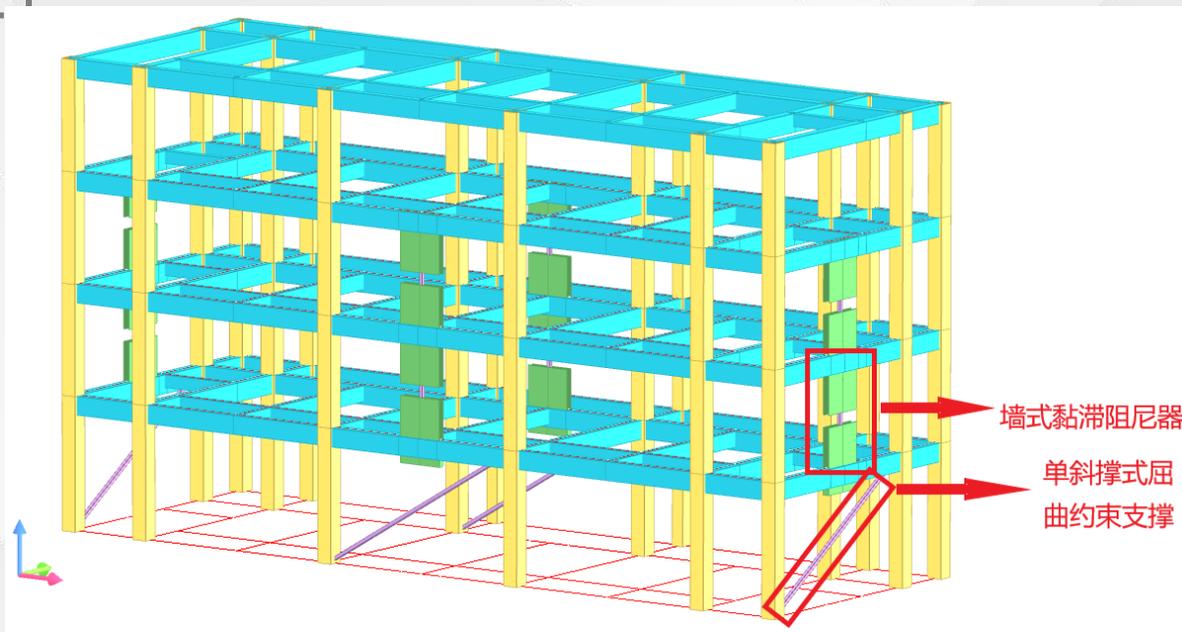
第四部分 基于《导则》的新减震设计法算例分享

减震结构整体建模

三阶段包络设计

弹塑性时程校核

绘制斜杠和悬臂墙构件



本项目为四川省某地震重点监视防御区学校类建筑，抗震设防烈度为7度，设计基本地震加速度峰值为0.10g，设计地震分组第三组，II类场地，场地特征周期0.45s。采用混凝土框架结构形式，楼层数为4层，建筑结构高度15.15m，建筑面积约4000m²，框架抗震等级为二级，结构周期折减系数为0.7，属重点设防类建筑。

建筑类别属于《抗震条例》规定的地震重点监视防御区内的学校，需采用减隔震技术，并满足中震下正常使用要求。综合考虑结构特征、设防烈度、设计目标等因素，决定采用BRB+VFD混合减震技术，并以《导则》为依据进行结构设计和校核工作。结构主要设计工作基于YJK结构设计软件内置的减震整体分析设计模块进行，同时基于相关规范中“采用不少于2种软件进行计算”的建议，弹塑性分析部分采用第三方结构有限元软件ETABS进行。

构件和阻尼器设计

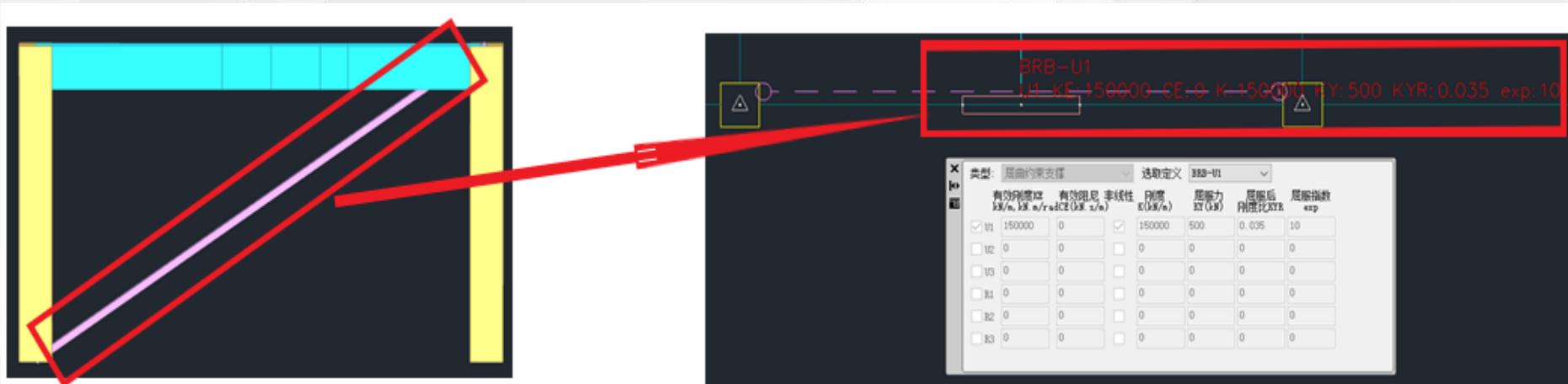


减震结构整体建模

三阶段包络设计

弹塑性时程校核

为斜杠指定阻尼器属性



减震结构整体建模

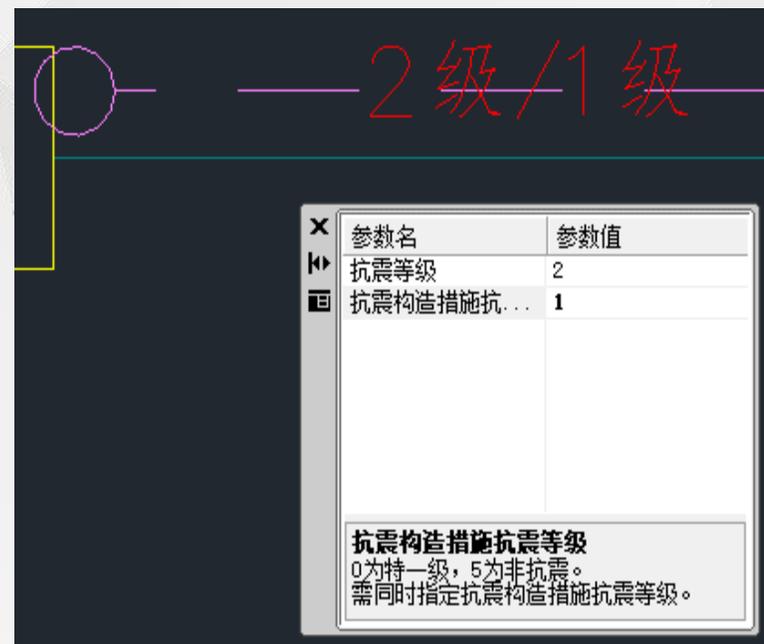
三阶段包络设计

弹塑性时程校核

小震抗震措施



非子结构部分，按照规范规定设置抗震内力调整和构造等级



子结构部分，按照《导则》第4.5.8条，按照场地设防烈度提高1度来确定其抗震构造措施

构件和阻尼器设计



减震结构整体建模

三阶段包络设计

弹塑性时程校核

YJK软件减隔震模块计算参数设置

YJKCAD-参数输入-地震信息 > 隔震减震

地震信息 > 隔震减震

隔震 减震

隔震

隔震层数: 0

隔震层层号:

隔震结构设计方法: 分部设计

调整后水平向减震系数(β/ψ): 1

计算中震非隔震模型

减震

减震结构设计方法: 抗规小震法

云南减震规程: 小震 α_{Max} 0.04

第一类抗震设防目标

减隔震

最大附加阻尼比: 0.25

附加阻尼比折减系数: 1

考虑钢筋超强系数

反应谱计算方法

实振型分解反应谱法

复振型分解反应谱法

减震隔震附加阻尼比算法: 强制解耦

减隔震元件有效刚度和有效阻尼

采用输入的等效线性属性

迭代确定

自动采用弹性时程计算结果

包络设计

大震计算模型: 不屈服 弹性

大震地震影响系数最大值: 0.5

周期折减系数: 1 特征周期: 0.5

不屈服

结构阻尼比(%)

全楼统一: 5

按材料区分

型钢砼: 5 钢: 2 混凝土: 5

连梁刚度折减系数: 0.6

中梁刚度放大系数: 1

考虑双向地震作用

弹性

结构阻尼比(%)

全楼统一: 5

按材料区分

型钢砼: 5 钢: 2 混凝土: 5

连梁刚度折减系数: 0.6

中梁刚度放大系数: 1

考虑双向地震作用

导入 导出 恢复默认 高级选项 确定 取消

构件和阻尼器设计



减震结构整体建模

三阶段包络设计

弹塑性时程校核

地震信息 > 性能包络设计

按照抗规方法进行性能包络设计

中震设计信息

中震计算模型

不屈服

弹性

中震地震影响系数最大值

0.23

周期折减系数

0.85

不屈服

结构阻尼比(%)

全楼统一

5

按材料区分

钢

2

型钢砼

5

混凝土

5

弹性

结构阻尼比(%)

全楼统一

5

按材料区分

钢

2

型钢砼

5

混凝土

5

连梁刚度折减系数

1

连梁刚度折减系数

1

中梁刚度放大系数

1.5

中梁刚度放大系数

1.5

考虑双向地震作用

考虑双向地震作用

中震性能包络子模型计算参数

中震构件承载力性能目标

普通梁

中震: 不屈服/不屈服 | 大震: 不考虑/不考虑

普通柱

中震: 不屈服/弹性 | 大震: 不考虑/不考虑

子结构柱

中震: 弹性/弹性 | 大震: 不屈服/不屈服

子结构梁

中震: 不屈服/弹性 | 大震: 不屈服/不屈服

非子结构部分，根据构件重要性来划分关键构件（弯剪弹性），普通竖向/重要水平构件（弯不屈剪弹性），普通水平构件（弯剪不屈），并依照《导则》4.2节规定进行截面抗震设计和验算

子结构部分，结合《导则》第3.1.3条以及《建筑消能建筑技术规程》第6.4.2条规定，消能子结构中梁、柱、墙构件宜按重要构件设计（梁为重要水平构件，柱为关键构件）

构件和阻尼器设计



减震结构整体建模

三阶段包络设计

弹塑性时程校核

大震子结构极限承载力等效预设计

大震谱影响系数 = 规范大震谱影响系数 × 预估大震弹塑性折减系数
= 0.5 × 0.8 = 0.4

大震设计信息

大震计算模型 不屈服 弹性

大震地震影响系数最大值 周期折减系数 特征周期

不屈服

结构阻尼比(%)

全楼统一 按材料区分

型钢砼 混凝土

连梁刚度折减系数 中梁刚度放大系数

考虑双向地震作用

弹性

结构阻尼比(%)

全楼统一 按材料区分

型钢砼 混凝土

连梁刚度折减系数 中梁刚度放大系数

考虑双向地震作用

大震计算模型不屈服:

大震计算模型不屈服时, 软件按照《抗震规范》作为设计依据, 均不考虑地震效应和风效应的组合, 不考虑与抗震等级有关的内力调整系数, 荷载效应采用标准组合, 材料强度取极限值。

大震性能包络子模型计算参数

普通梁

中震: 不屈服/不屈服 大震: 不考虑/不考虑

普通柱

中震: 不屈服/弹性 大震: 不考虑/不考虑

子结构柱

中震: 弹性/弹性 大震: 不屈服/不屈服

子结构梁

中震: 不屈服/弹性 大震: 不屈服/不屈服

非子结构部分, 不包络大震子模型配筋结果

子结构部分, 根据《抗通规》5.1.11-2条规定, 与消能部件相连的梁、柱等结构构件尚应采用罕遇地震下的标准效应组合进行极限承载力验算, YJK大震性能下的“不屈服”对应大震标准组合与材料极限强度

构件和阻尼器设计

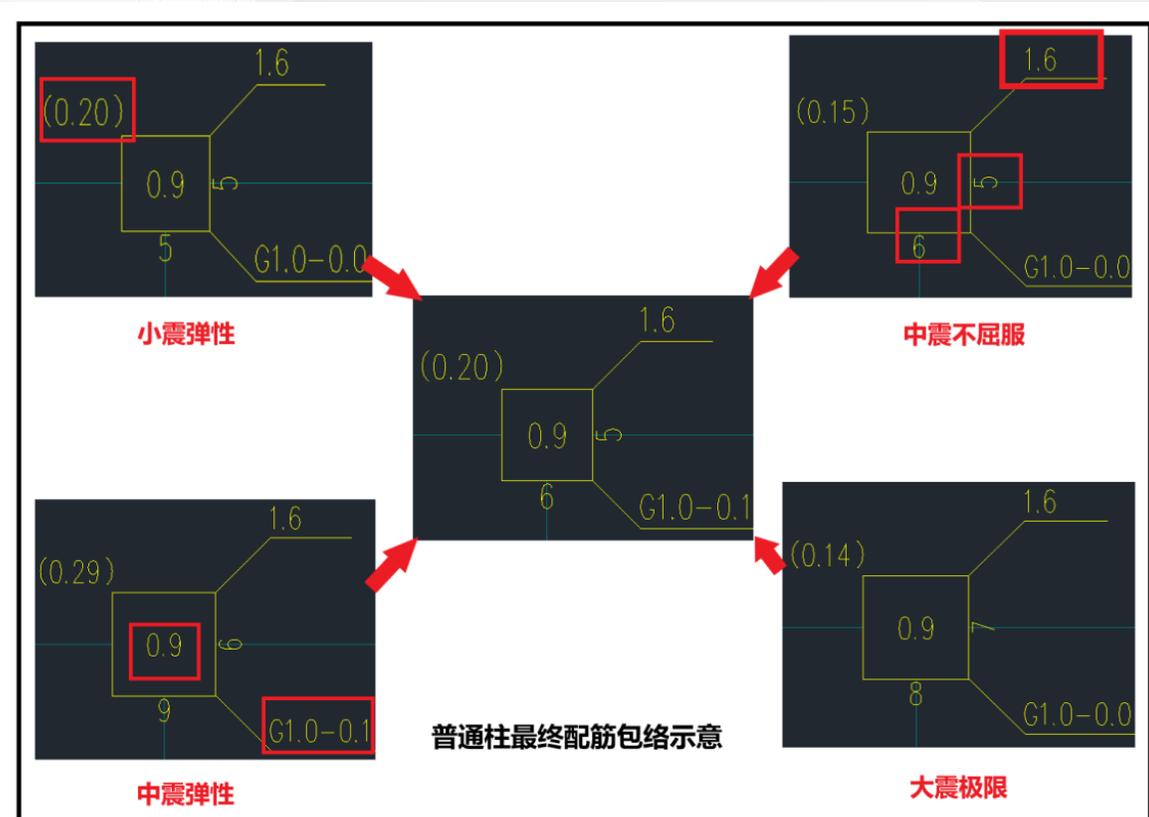
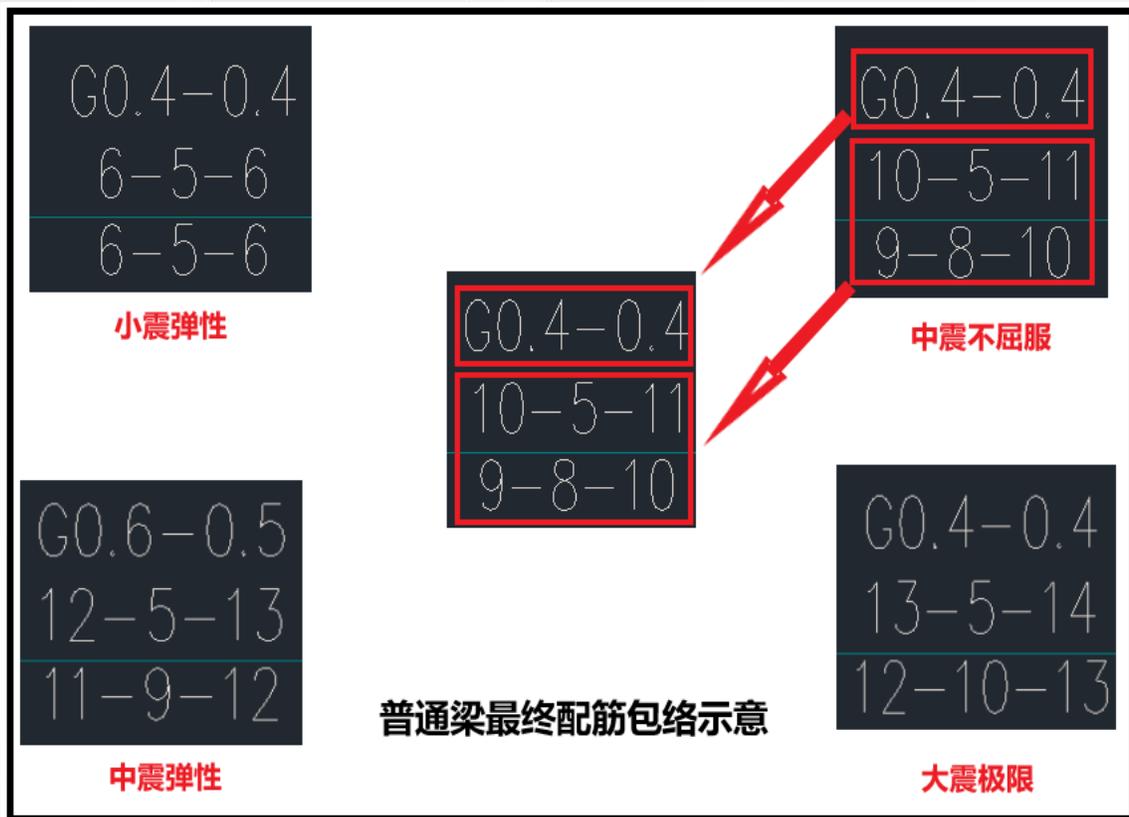


减震结构整体建模

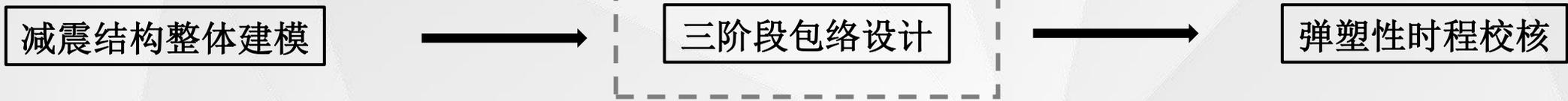
三阶段包络设计

弹塑性时程校核

非子结构构件配筋结果



构件和阻尼器设计



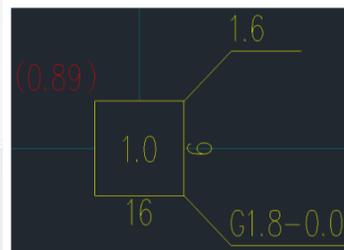
子结构构件配筋结果

G0.5-0.5
11-8-10
10-8-10 (DPL)
VT4.2-0.1

小震弹性

G0.6-0.6
14-8-10
10-8-10 (DPL)
VT4.8-0.2

中震不屈服



G0.8-0.8
16-8-10
10-8-10 (DPL)
VT6.1-0.3

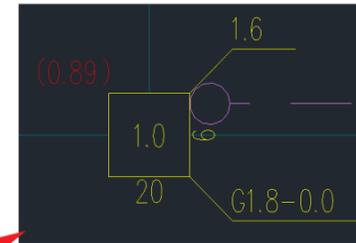
子结构梁最终配筋包络

G0.6-0.6
18-8-10
10-8-10 (DPL)
VT4.8-0.2

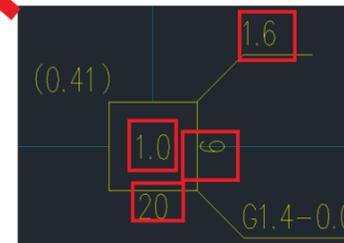
中震弹性

G0.8-0.8
16-8-10
10-8-10 (DPL)
VT6.1-0.3

大震极限



子结构柱最终配筋包络



减震结构整体建模

三阶段包络设计

弹塑性时程校核

阻尼器各阶段等效线性刚度和等效线性阻尼



阻尼器减震指标

附加阻尼比

方向	各向附加阻尼比 (%)		
	(CCQC自动迭代与人工时程FNA结果包络取小)		
	小震	中震	大震
X	9.25	4.09	人为固定为0
Y	10.12	4.36	

弹塑性时程校核



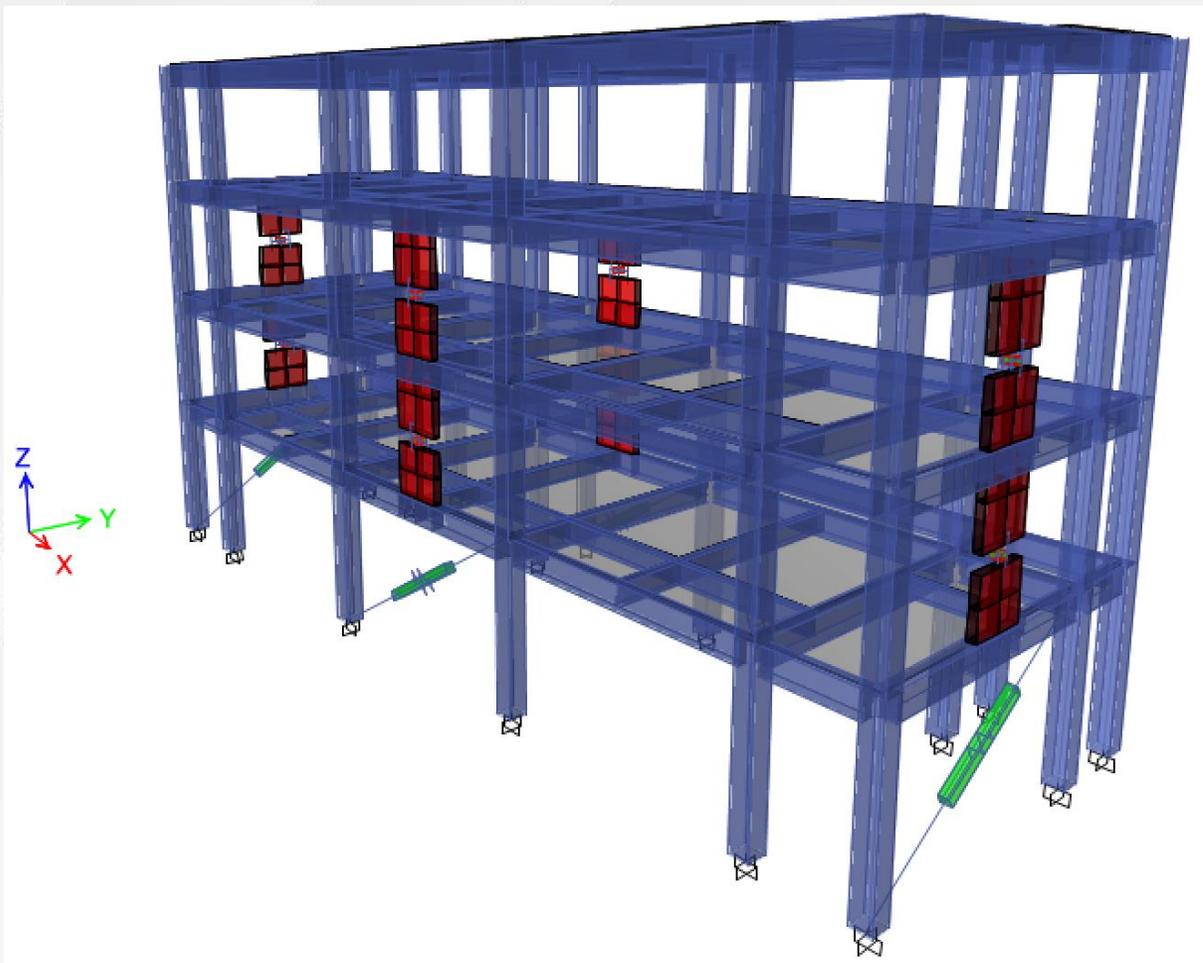
减震结构整体建模



三阶段包络设计



弹塑性时程校核



楼层号	中震弹塑性时程楼面质心绝对加速度 (g) (三条波取包络最不利)	
	X向波	Y向波
4	0.31	0.28
3	0.22	0.18
2	0.16	0.16
1	0.13	0.16

楼层号	中震弹塑性时程位移角 (rad) (三条波取包络最不利)	
	X向波	Y向波
4	1/750	1/655
3	1/458	1/483
2	1/372	1/406
1	1/623	1/761

楼层号	大震弹塑性时程位移角 (rad) (三条波取包络最不利)	
	X向波	Y向波
4	1/537	1/358
3	1/288	1/230
2	1/199	1/232
1	1/284	1/330

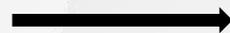
中震弹塑性时程下包络最不利的弹塑性位移角、楼面质心加速度满足《导则》规定的II类建筑1/300、0.45g的规定。

大震弹塑性时程下包络最不利的弹塑性层间位移角满足《导则》规定的II类建筑1/100规定，II类建筑无大震下楼面质心加速度验算要求。

减震结构整体建模

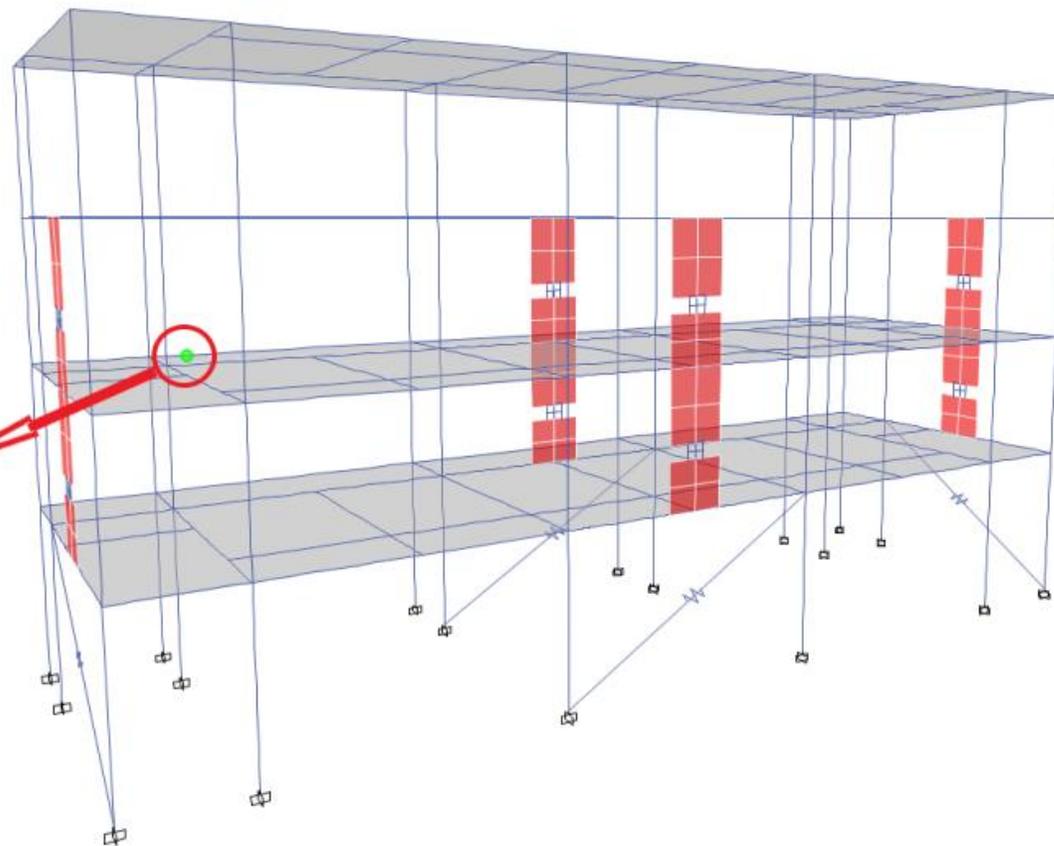
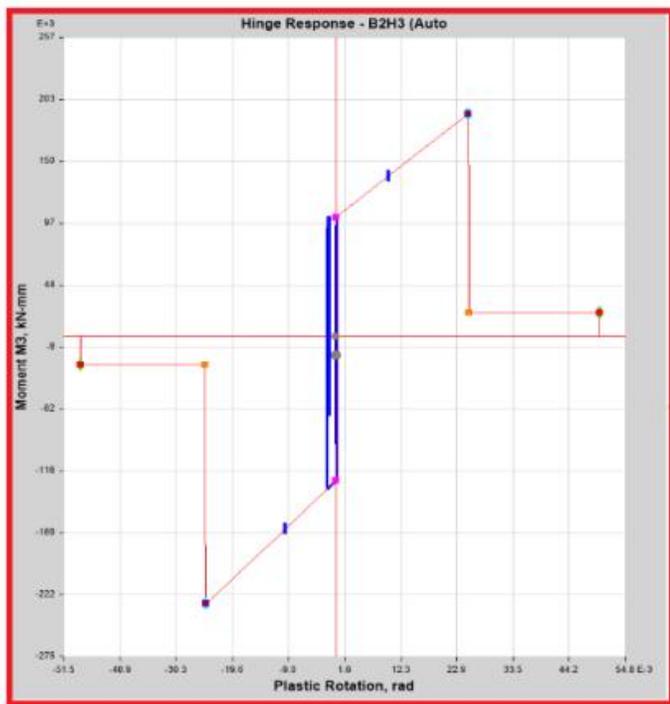


三阶段包络设计



弹塑性时程校核

中震全楼



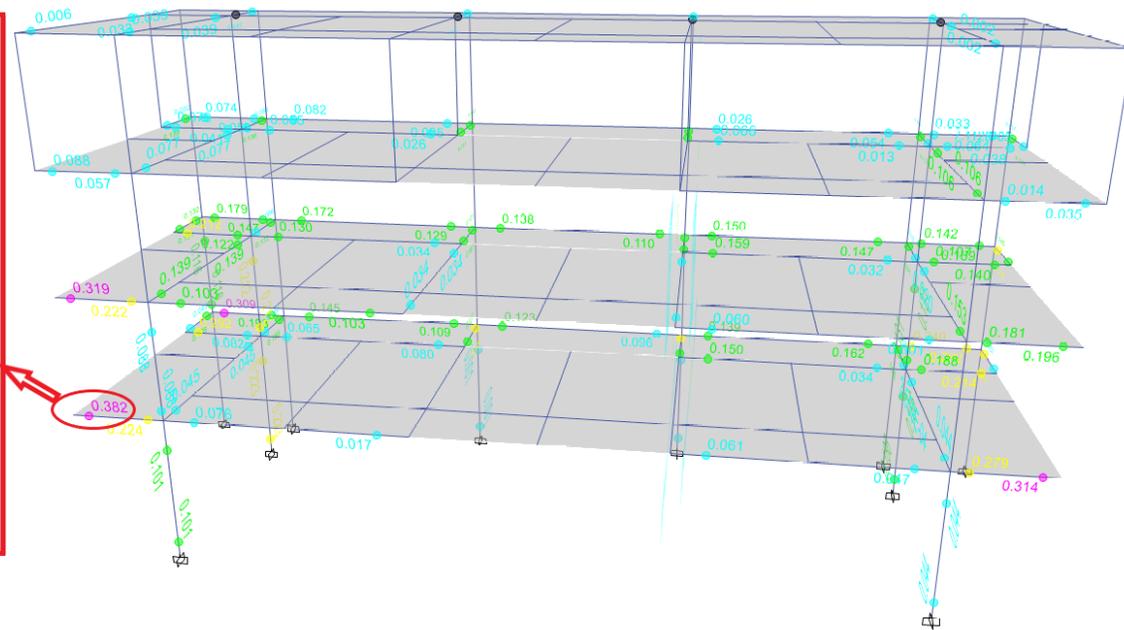
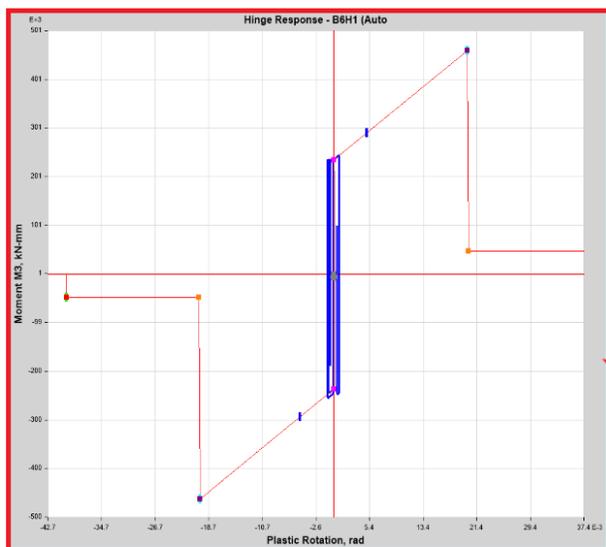
中震最不利地震波工况下，全楼框架单元仅有一个梁单元出现了屈服，根据《导则》对“轻微损坏”宏观表征的定性描述：“可能出现轻微的塑性变形，但不影响正常使用”，从梁铰M3- θ 滞回图来看，转角仅轻微超过屈服点，依此可得：结构满足《导则》对II类建筑中震下的构件承载力性能要求“基本完好或轻微损坏”。

减震结构整体建模

三阶段包络设计

弹塑性时程校核

大震非子结构



大震弹塑性时程工况下，全楼框架梁、柱均出现不同程度的塑性铰发展，以上为ETABS软件输出的构件性能校核图（基于“美标快速居住IO铰转角归一化”后的多工况包络最不利能力-需求比），总体来看，梁塑性发展较柱要更明显，基本满足强柱弱梁的设计原则。此外，根据《导则》对“轻度损坏”宏观表征的定性描述：“构件达到屈服状态，但不出现明显的塑性变形”，以及对“中度损坏”的描述：“构件出现明显的塑性变形，但控制在适度且可修理的范围内”，以弹塑性能力-需求比来定位最不利框架梁单元，并输出其在最不利工况下的梁铰M3- θ 滞回图，不难看出该塑性铰转角仅略微超过屈服点，基于IO态转角的能力-需求比为0.382，综合美标ASCE41-17对构件性能状态的描述及上述《导则》的构件性能描述，可得：**结构满足《导则》对II类建筑大震下的构件承载力性能要求“轻度或中度损坏（介于二者之间，更接近轻度损坏状态）”。**

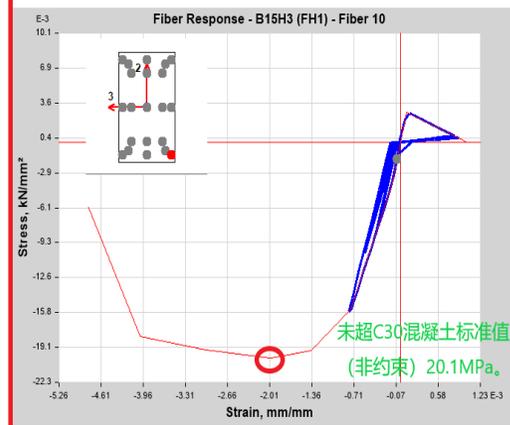
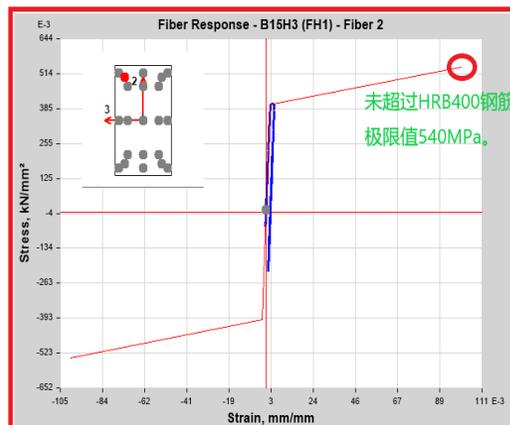
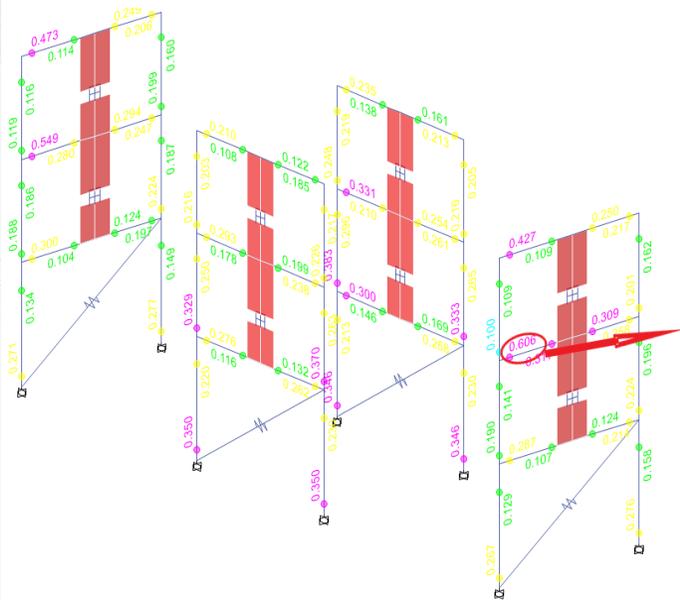
结构塑性损伤评估

减震结构整体建模

三阶段包络设计

弹塑性时程校核

大震子结构



计算方法	大震基底剪力 (kN)	
	X向	Y向
大震等效预设计 (CCQC+自动迭代)	3373	2950
弹塑性时程直接积分 (多波包络)	2950	2725

上表给出了前期在YJK软件中进行的基于CCQC+自动迭代的大震等效预设计下的基底剪力，与后续进行的弹塑性直接积分结果进行的对比，结果显示用于大震等效预设计的各向基底剪力均大于弹塑性时程包络结果 ($V_{时}/V_{谱} \leq 1$)，故前期的大震等效设计结果是保守安全的。

为了更准确地反应消能子结构的塑性发展情况，子结构部分的框架梁和柱均使用纤维截面进行定义，同时考虑到悬臂墙布置的上下连续性，将悬臂墙考虑为梁端支座进行梁铰指定。左图为子结构部分大震下的构件性能校核情况，以单纤维材料塑性延展能力-需求比显示，总体子结构梁部分满足强柱弱梁的设计原则，同样满足《导则》对II类结构规定的大震“轻度或中度损坏”的要求。

特别地，为了从子结构构件实际弹塑性发展来判断其是否满足《抗通规》规定的“罕遇地震下极限承载力要求”，选取如图所标注的一损伤最严重的框架单元，提取其截面最不利钢筋、混凝土纤维束在最不利时程工况下的应力-应变滞回曲线，分别与各材料对应的极限强度进行对比，结果显示混凝土和钢筋纤维束均未超过对应材料极限强度，故前期对子结构的“大震等效预设计”结果是合理的。

谢谢！

——天下无震 人间皆安——

震安科技股份有限公司——设计部

华东南区域设计主管：罗马 联系电话：19525853494