

# 隔震橡胶支座拉压刚度 在软件模拟单元的研究

宋显明 资道铭 叶明坤 张玲

(柳州东方工程橡胶制品有限公司 广西柳州 545005)

**摘要:**隔震橡胶支座受拉是隔震结构的隔震层设计的非常重要的控制参数,本文通过etabs2013分析软件中Isolator1单元和Gap单元并联来模拟隔震橡胶支座,更真实反映隔震橡胶支座的竖向力学性能。本研究通过某一实际工程模型运算,根据支座拉压刚度分配Isolator1单元刚度和Gap单元刚度,分析数据显示新模型的隔震结构Isolator1单元拉应力明显减小,而其他水平性能指标不变。结果表明,该工程并联连接单元验算方法可以应用到隔震结构时程分析中。为实际工程分析提供了一定价值的参考。

**关键词:**隔震支座 Isolator1单元 Gap单元 并联 拉压刚度

## 1 引言

目前,国内在隔震结构分析软件计算中,隔震橡胶支座的模拟采用Isolator1单元<sup>[1]</sup>。在隔震支座没有拉应力和提高时,在隔震单元的轴向保持线弹性特征,基本满足现有计算需求。

但是大量的研究和试验表明,隔震支座的抗拉刚度只有抗压刚度的1/5—1/10<sup>[2]</sup>。采用目前Isolator1单元模型计算时,增大了隔震支座的抗拉刚度,并且放大了隔震支座的拉应力,不利于隔震结构的发展。而我国《建筑结构抗震设计规范》GB50011-2010对隔震支座拉应力进行了严格的限制<sup>[3]</sup>。所以采用目前Isolator1单元模型不能真实反映隔震支座拉压刚度不同这一非线性属性。

## 2 隔震橡胶支座的连接单元模型

### 2.1 Isolator1单元<sup>[4]</sup>

Isolator1单元两个水平剪切方向(U2、U3方向)用户可独立的指定线性或非线性的行为。其中普通橡胶支座采用线性刚度;而铅芯支座,由于考虑其非线性,所以两个水平剪切具有耦合的非线性属性<sup>[4]</sup>。

Isolator1单元的U1向(图1中的1方向)保持线弹性特征,在进行模拟分析时,只需要定义该方向的有效刚度和有效阻尼,有效刚度在整个分析过程中保持不变,即隔震支座的拉、压刚度相同。

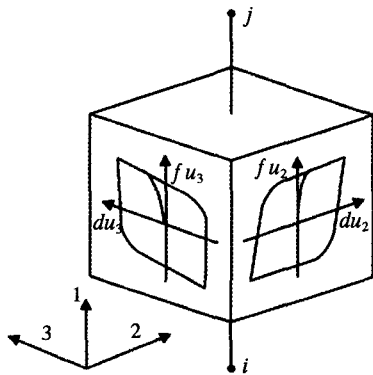


图1 滞回隔震器单元图

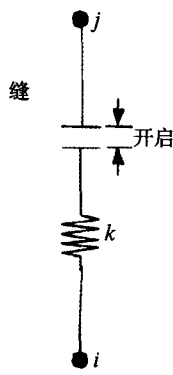


图2 缝单元

### 2.2 Gap单元<sup>[4]</sup>

缝为只能承受压力的非线性连接单元,即只有轴向特性(有压缩刚度,没有拉伸刚度),水平两个剪切方向的刚度为零,如图2所示,该单元的力和变形关系如下:

$$f = k(dk - open) \quad (d - open < 0)$$

$$f = 0 \quad (d - open \geq 0)$$

其中,  $k$ 是弹簧刚度。 $dk$ 为弹簧的内部变形,  $open$ 为缝隙的宽度(应为正直。)当压缩变形 $dk$ 增加到大于缝隙宽度时,弹簧开始起作用。

### 2.3 Isolator1单元与Gap单元并联作用<sup>[5]</sup>

将Isolator1单元与Gap单元两个单元并联使用,共同模拟隔震橡胶支座单元。

Isolator1单元竖向刚度为 $\eta_1 K_1$ (系数 $\eta_1$ 取1/5—1/10),水平两个方向的剪切刚度不变,即为 $K_2 = K_3$ 。

Gap单元竖向刚度为 $(1-\eta_1)K_1$ ，水平两个方向刚度为零。

隔震橡胶支座处于压缩状态时，隔震橡胶支座的竖向刚度由Isolator1单元与Gap单元共同承担，为 $\eta_1 K_1 + (1-\eta_1)K_1 = K_1$ ；水平两个方向的刚度为 $K_2 + 0 = K_3 + 0 = K_2 = K_3$ ；即为Isolator1单元水平两个方向剪切刚度。

隔震橡胶支座处于拉伸状态时，隔震橡胶支座竖向刚度由Isolator1单元单独模拟，为 $\eta_1 K_1$ ，水平刚度与压缩状态是相同，还是 $K_2 = K_3$ 。

### 3 隔震结构时程分析

#### 3.1 工程概况

本工程为西昌邛海某一五星级酒店主楼。地面以上房屋高度为18.600m，采用钢筋混凝土框架结构，设计基本地震加速度为9度（0.4g），拟采用基础隔震结构进行设计。

#### 3.2 时程分析

结构的地震反应时程分析根据规范要求取3条地震波，分别为User1波、User2波和一条人工波，取包络值后进行计算。

根据支座布置基本原则，本项目确定采用有效直径为800mm、900mm的橡胶隔震支座（其中JZY为无铅芯型建筑隔震橡胶支座，JZY1Q为铅芯型建筑隔震橡胶支座），支座平面如图3所示。

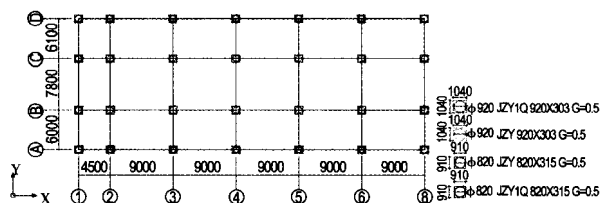


图3 支座平面

由于工程处于高烈度地震区，且上部结构X向周边布置支撑，所以增大了下部周边支座出现拉力的可能，现采用etabs2013分析软件将周边出现拉力隔震橡胶支座采用Isolator1单元与Gap单元并联共同模拟。隔震橡胶支座类型竖向刚度如表1。

表1 铅芯支座竖向刚度

支座规格	竖向刚度(kN/mm)	Isolator1(kN/mm)	Gap(kN/mm)
JZY1Q820	3586	358	3228
JZY1Q920	4322	432	3890

根据《抗规》12.2.4条规定：隔震橡胶支座在罕遇地震的水平和竖向地震同时作用下，拉应力不应大于1.0MPa。经软件时程分析，人工波对结构反应最为强烈，所以提取罕遇地震人工波时程，隔震橡胶支座拉应力在荷载组合下各个支座承受的最大拉应力如表2

表2 罕遇地震作用下支座拉压应力

Isolator1单元编号	拉压应力	Isolator1单元编号	拉压应力
K1	645	K15	-3899
K2	198	K16	-2736
K3	401	K17	-2388
K4	310	K18	-4430
K5	-1753	K19	-4281
K6	-3814	K20	-2728
K7	-3825	K21	70
K8	-2111	K22	-1773
K9	-2460	K23	-1460
K10	-4090	K24	-56
K11	-4056	K25	342
K12	-2860	K26	429
K13	-2356	K27	260
K14	-4012	K28	633

通过表2可知出现拉力的支座为1轴交A-D轴4个周边有效直径为900mm铅芯支座、6轴交A轴1个有效直径为800mm铅芯支座及7轴交A-D轴4个周边有效直径为900mm铅芯支座。采用Isolator1单元与Gap单元并联作用共同模拟支座，由于作用力是根据单元刚度分配，并联作用的Isolator1单元拉伸刚度为 $\eta_1 K_1$ ，所以其承受的拉力明显减小。由表2数据拉应力/隔震支座有效面积得出Isolator1单元应力都小于1.0MPa，满足《抗规2010》要求。且该模拟方法没有改变U2、U3方向特征参数，说明不改变隔震橡胶支座的剪应力以及上部的结构加速。本文对隔震支座力学性能的模拟是准确的，该方法可以应用在实际工程隔震结构的时程分析中。

### 4 结论

(1) 将Isolator1单元和Gap单元并联，能更准确地模拟隔震橡胶支座拉、压刚度不同的特性，并且不改变隔震橡胶支座的水平刚度，Gap单元只受压力作用。

(2) 通过某一实际工程模型, 采用 etabs2013 软件中两种不同单元并联连接共同作用进行时程分析; 在罕遇地震作用下, Isolator1 单元在荷载组下拉应力的明显减小, 而 U2、U3 方向特征参数没有改变, 说明隔震橡胶支座的剪应力以及上部的结构加速不改变。本文对隔震橡胶支座力学性能的模拟是准确的, 该方法可以应用在实际工程隔震结构的时程分析中。

(上接第20页)

#### 4 工程应用

2013年12月初右幅桥梁开始进行正式顶推施工。顶推初始, 该装置就发挥其优越性, 在1小时内, 长128m桥梁推进2.35m。12月8日, 顺利顶推49m, 到达7号临时墩, 成功跨越铁路, 完成了此项目中最关键的施工。12月18日右幅128m桥梁顶推到位。2014年1月5日开始正式顶推左幅桥梁, 1月11日顺利将128m桥梁顶推到位。整个工程本装置的平均顶推速度达到2.5m/h, 达到了施工设计的顶推速度要求。下面图41、图42和图43是昆明跨铁路桥顶推现场施工照片。

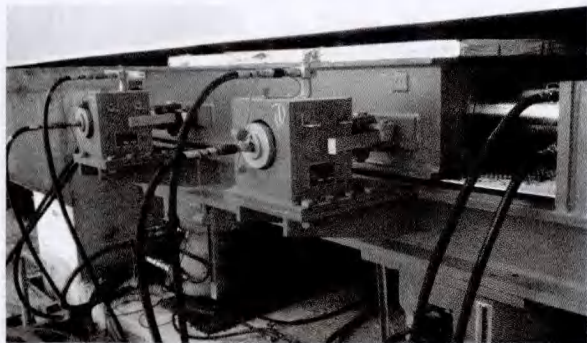


图41 施工中的步履式顶推装置



图42 顶推中的桥梁

- #### 参考文献
- [1] 周福霖. 结构减震控制[M]. 北京: 科学出版社, 1997
  - [2] 刘文光. 橡胶隔震支座力学性能及隔震结构地震反应分析研究[D]. 北京工业大学博士学位论文, 2003
  - [3] GB50011-2010, 建筑抗震设计规范[S]. 中国建筑工业出版社, 2010
  - [4] 北京金土木软件技术有限公司. ETABS中文版使用指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004
  - [5] 吴任鹏. 考虑橡胶支座拉压刚度不同取值对隔震效果的影响研究[J]. 工程抗震与加固改造, 2008, 30(5): 24-28.



图43 顶推到位的右幅桥梁

#### 5 结论

在整个顶推过程中, 由于滑动面不在桥梁底部, 在滑箱与滑道之间, 这样就改善了桥梁及桥墩结构的受力, 对桥梁和桥墩几乎没有损伤, 本步履式顶推装置体积小重量轻, 整套装置重量在10吨左右, 采用电液比例控制, 实现同步控制, 及配有过载保护模块, 提高了装置的安全可靠性。由于主体结构采用模块化设计, 对于不同的桥型及线型变化的顶推施工只需很小改动就能满足要求, 提高了本装置的适应性。

本顶推施工的桥梁底存在多段预拱度曲线、变厚度底板和支点不断变化的情况, 如何落梁和顶推施工也是关键问题。我公司经过大量的模拟计算提供了落梁和顶推施工方案, 使得昆明步履顶推施工能够顺利完成, 不仅获得业主单位的肯定和专家的好评, 同时也标志着欧维姆公司的步履式顶推装置从研发阶段, 迈向了实际工程应用创造经济效益的阶段。

#### 参考文献

- [1] 上官兴等. 连续梁桥顶推技术的新探索[C]. 湖南公路学会论文集, 1995.
- [2] 张军辉. 大吨位连续桥梁跨多条铁路线顶推施工技术[J]. 铁道建筑, 2006(8):14-17.
- [3] 中华人民共和国建设部. GB 50017-2003, 钢结构设计规范[S]. 中国计划出版社, 2003.