

# 常用减震单元局部坐标轴在 YJK 软件中的正确设置

黄志勇

## 一、前言

随着人民安全意识的增强与生活水平的提高,位于高烈度地区的消能减震项目或隔震项目越来越多,其中减震结构是在结构中某些部位设置消能器,通过该装置产生摩擦或弹塑性(或粘弹性)滞回变形来耗散地震输入结构的能量,以减小主体结构的地震反应,从而避免结构在遭遇大地震时不发生破坏或倒塌。本文就此介绍一下减震结构在 YJK 软件中建模过程中的一些注意事项。

## 二、阻尼器的分类

阻尼器是以提供运动的阻力,耗减运动能量的装置,消能减震结构体系按照所采用的减震装置不同,可以分为“速度相关型消能器”、“位移相关型消能器”以及“其它类型”。

1. 速度相关型阻尼器:主要的工作原理是利用材料的阻尼特性来耗散地震能量(其耗能能力与阻尼器两端的相对速度大小相关)。由粘滞材料和粘弹性材料制成。常用的速度相关型阻尼器包括:粘滞阻尼器、粘弹性阻尼器、以及油阻尼器。

2. 位移相关型阻尼器:主要工作原理是利用装置的滞回变形或构件的摩擦做功来耗散地震能量(其耗能能力与阻尼器两端的相对位移大小相关)。由塑性变形性能好的金属材料或耐摩擦原件制成。常用的速度相关型阻尼器包括金属屈服型阻尼器(如软钢阻尼器、铅阻尼器、屈曲约束支撑 BRB、),摩擦阻尼器等。

3. 其它类型阻尼器:主要有调谐质量阻尼器(TMD)、调谐液体阻尼器(TLD)等。

## 三、常用的几种减震单元在 YJK 软件中模拟注意事项

### 1. 粘滞阻尼器

粘滞阻尼器是一种速度型阻尼器,其通过阻尼器中的粘性介质(硅油)与阻尼器结构部件相互作用来耗散地震能量。主要用于结构振动(包括风、地震、移动荷载和动力设备等引起的结构振动)的能量吸收与耗散。适用于各种地震烈度区的建筑结构、设备基础等工程。其构造如图 3.1.1 所示。

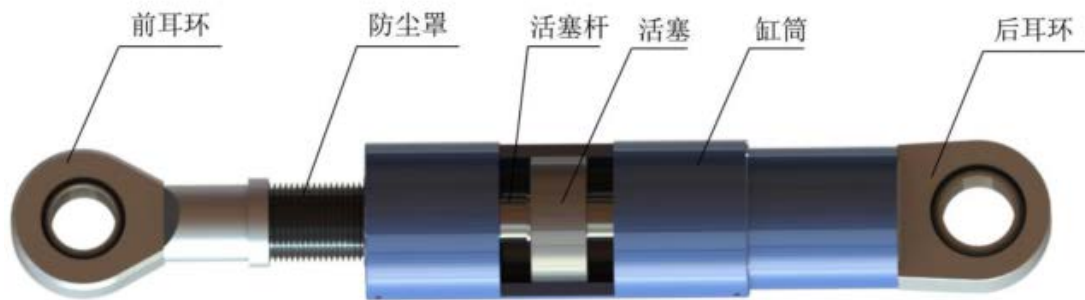


图 3.1.1 粘滞阻尼器构造

在 YJK 软件中通过麦克斯韦模型(Maxwell)模拟粘滞阻尼器的力学模型。Maxwell 由两部分组成,即线性弹簧和阻尼器组成,阻尼器单元与弹簧单元串联,如图 3.1.2 所示。粘滞阻尼器力学的数学表达式通常采用下式表达:

$$F = Cv^\alpha$$

式中:

- $F$ ：消能器活塞在速度 $v$ 时的阻尼力（kN）；
- $C$ ：消能器的阻尼系数（ $\text{kN}/(\text{mm}\cdot\text{s})^\alpha$ ）；
- $v$ ：消能器活塞相对于缸体的运动速度（mm/s）；
- $\alpha$ ：消能器的速度指数。

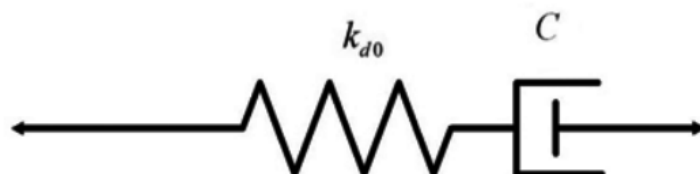


图 3.1.2 Maxwell 模型

YJK 软件中定义粘滞阻尼器参数如图 3.1.3 所示。其中阻尼器方向软件设置规则：当采用斜撑方式建模时，局部坐标系采用斜撑的局部坐标系表达，具体为： $U1$  为斜撑起点至终点方向；在杆件垂直布置时， $U2$  为整体坐标系  $Y$  轴方向，其他情况  $U2$  位于  $U1$  与整体坐标系  $Z$  轴形成的平面内，并与  $U1$  垂直。 $U3$  根据右手螺旋法则确定。在 YJK 软件中的定义如 3.1.4 图所示。

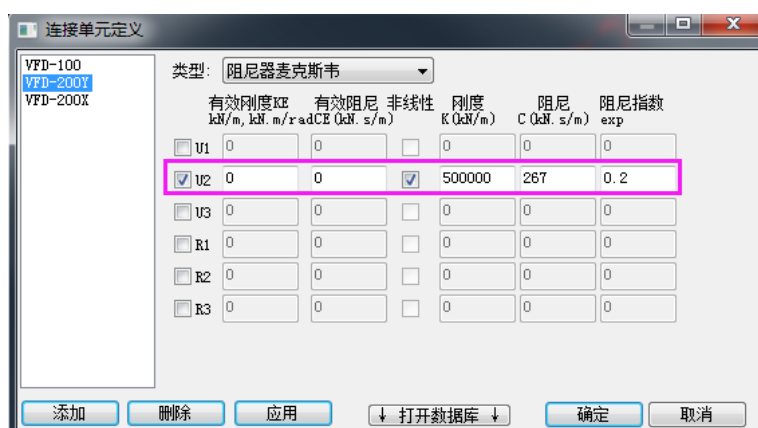


图 3.1.3 粘滞阻尼器参数定义

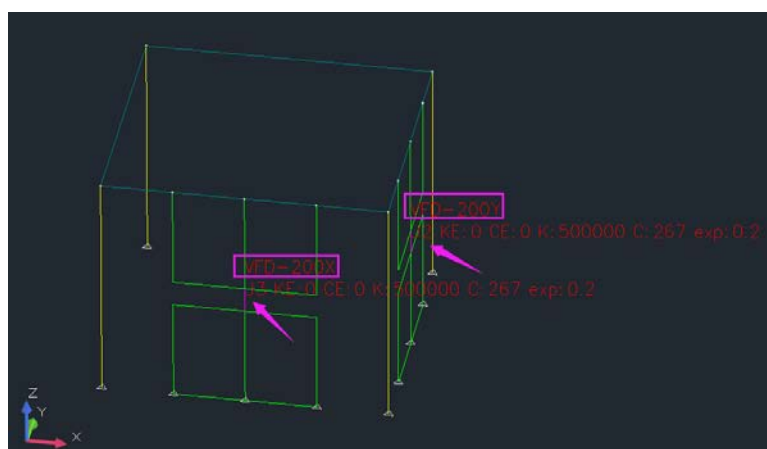


图 3.1.4 粘滞阻尼器连接属性设置

## 2. 屈曲约束支撑

屈曲约束支撑又称防屈曲支撑或 BRB (Buckling restrained brace), 是一种位移相关型阻尼器。屈曲约束支撑一般由 3 部分构成, 即核心单元、约束单元及滑动机制单元 (如图 3.2.1 所示), 其中核心单元即芯材, 又称为主受力单元, 是构件中主要的受力元件, 由特定强度的钢板制成。常见的截面形式为十字形、T 形、双 T 形和一字形等, 分别适用于不同的刚度要求和耗能需求。约束单元又称侧向支撑单元, 负责提供约束机制, 以防止核心单元受轴压时发生整体或局部屈曲。比较常见的约束形式为钢管填充混凝土或纯钢型结构约束。滑动机制单元又称为脱层单元, 是在核心单元与约束单元间提供滑动的界面, 使支撑在受拉和受压时尽可能有相似的力学性能, 避免核心单元因受压膨胀后与约束单元间产生摩擦力而造成轴压力的大量增加, 这种滑动单元一般是由一些无粘结材料制作而成的。



图 3.2.1a 屈曲约束支撑实物图

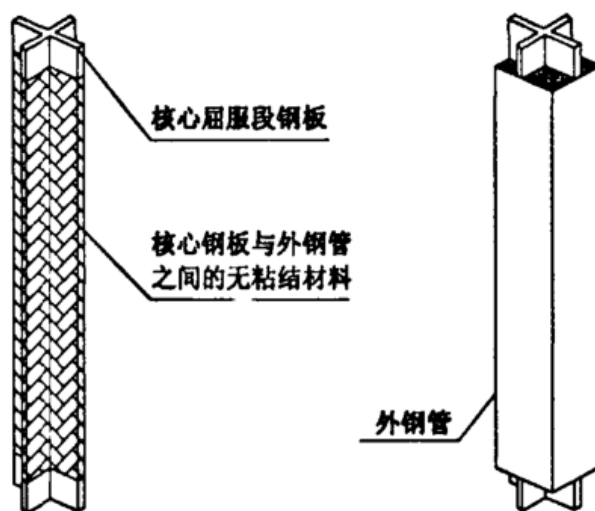


图 3.2.1b 屈曲约束支撑构成原理



图 3.2.1c 屈曲约束支撑常见的芯材截面形式

由于防屈曲约束支撑设计时仅需要考虑轴心力的作用，故在 YJK 软件中定义其参数只需要选择轴向(U1)方向的属性进行填写即可，如下图 3.2.2 所示。

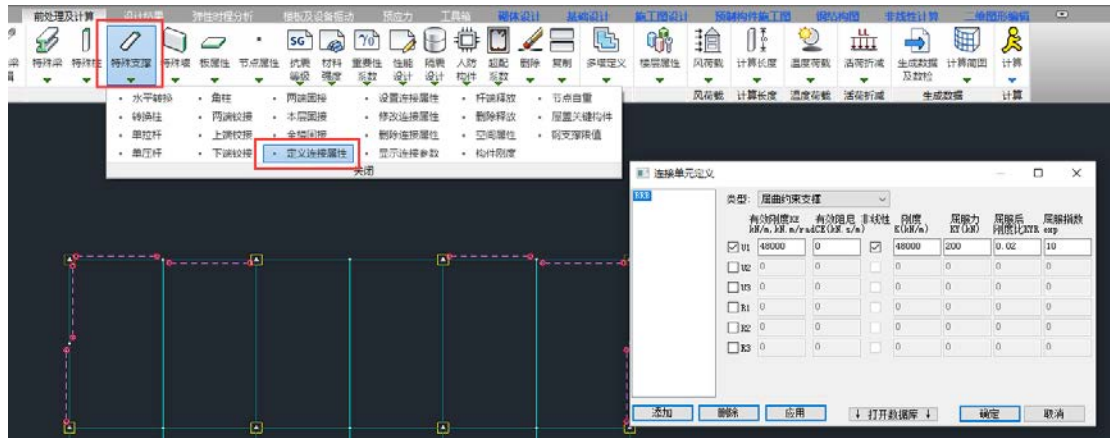


图 3.2.2 BRB 屈曲约束支撑参数定义

### 3. 金属软钢阻尼器

金属软钢阻尼器是一种位移相关型阻尼器，主要的耗能原理是通过阻尼器两端的相对位移来耗散输入的地震能量。一般项目中应用最多的是剪切型软钢阻尼器和弯曲型软钢阻尼器。其构造主要由中间的腹板以及两侧（或上下）的翼缘组成（如图 3.3.1）。由于其具有较高的强度、刚度和优越的耗能能力，并且滞回曲线形状比较饱满，性能比较稳定，应用范围相对比较广。

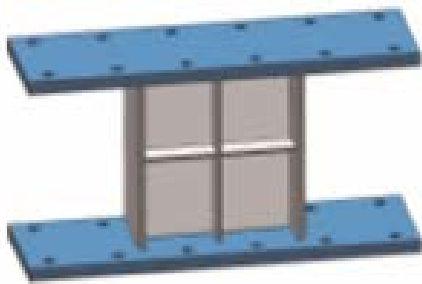


图 3.3.1a 剪切型软钢阻尼器

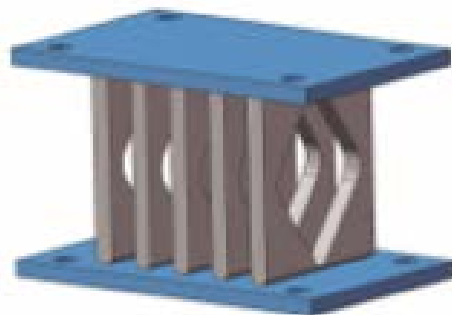


图 3.3.1b 弯曲型软钢阻尼器

在 YJK 软件中可以通过 Wen 单元模拟软钢消能器，其非线性力与变形的关系式如下：

$$f = \text{ratio} k d + (1 - \text{ratio}) \text{yield} z$$

其中：

K：初始弹性刚度；

yield：屈服力；

ratio：为指定的屈服后刚度与初始弹性刚度（k）的比值；

Z：为一个内部滞后变量，按下式计算：

$$\dot{z} = \frac{k}{\text{yield}} \begin{cases} \dot{d} (1 - |z|^{\text{exp}}) & \text{if } \dot{d} z > 0 \\ \dot{d} & \text{otherwise} \end{cases}$$

exp: 屈服指数, 屈服指数越大, 屈服斜率越陡, 如图 3.3.2。

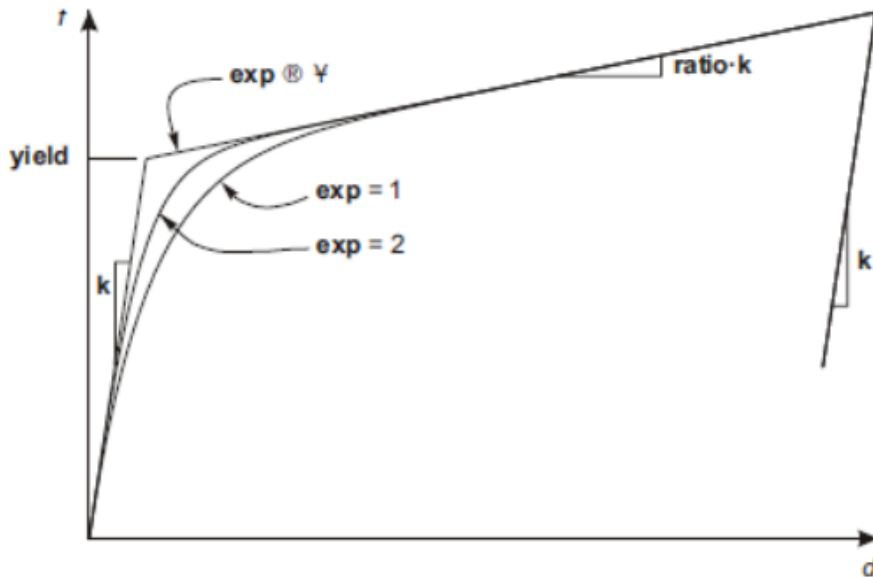


图 3.3.2 Wen 单元塑性属性参数的定义

YJK 软件中定义 Wen 单元参数如图 3.3.3 所示。其中阻尼器方向设置规则为：对于竖向墙板式建模的阻尼器（图 3.3.4），U2 对应整体坐标轴 Y 轴，U3 对应整体坐标轴 X 轴，对于按斜杆建模的连梁阻尼器（图 3.3.5），剪切方向均沿整体坐标系 Z 轴，对应阻尼器单元的局部坐标系 U2 向。

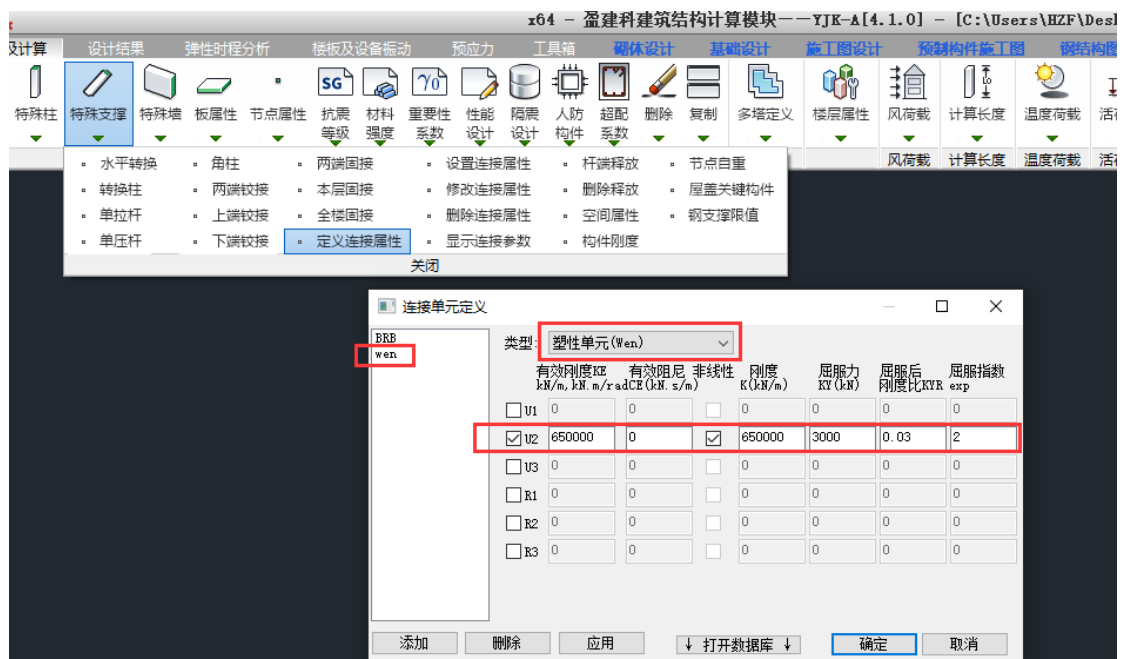


图 3.3.3 Wen 单元阻尼器参数定义

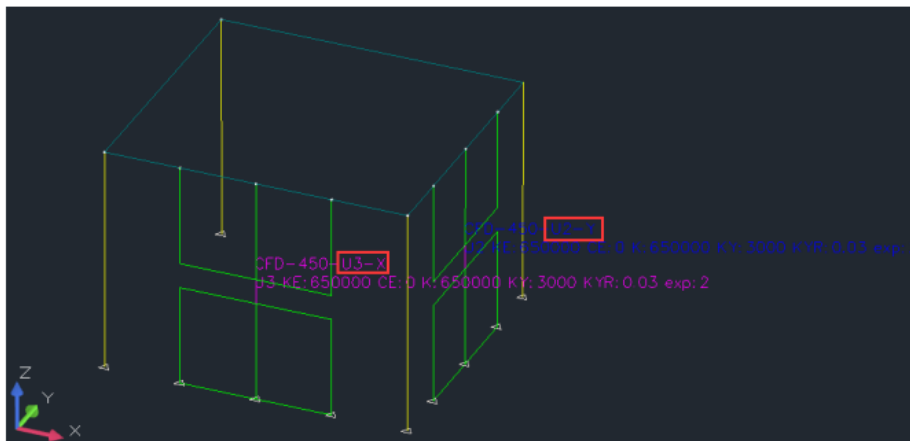
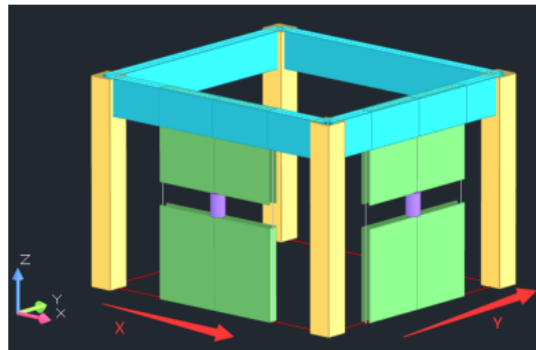


图 3.3.4 墙板式阻尼器在 YJK 软件中属性赋予

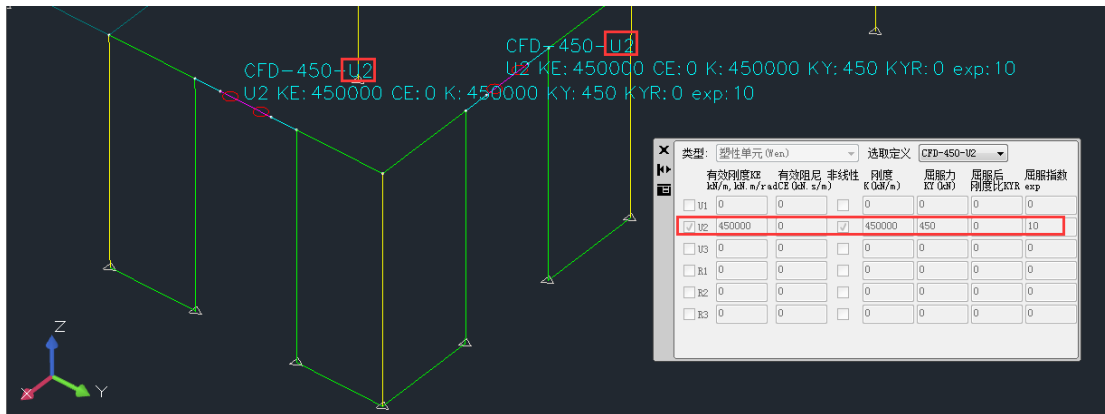
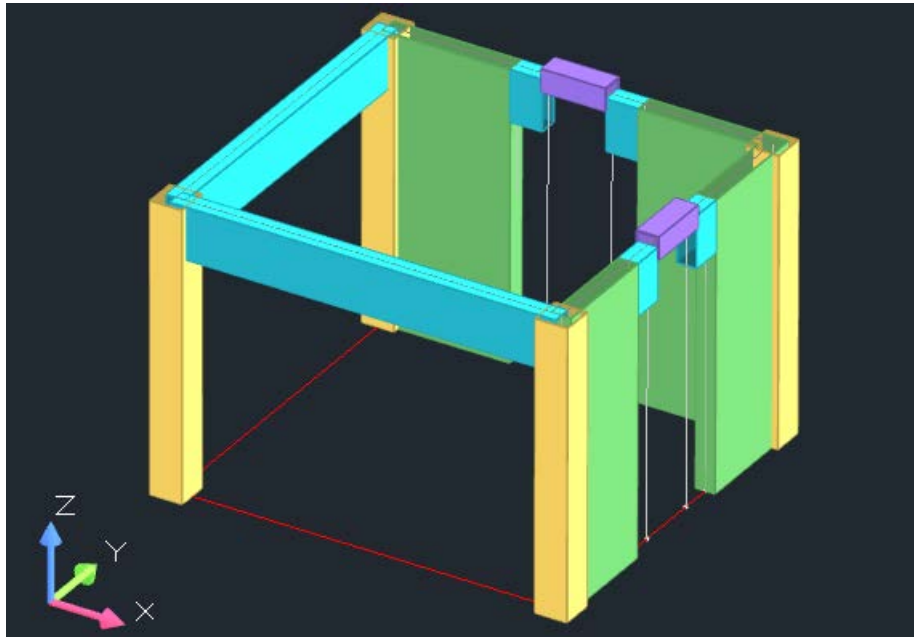


图 3.3.5 连梁阻尼器在 YJK 软件中属性赋予

#### 四、总结

阻尼器参数定义时，所选的方向应与阻尼器的耗能方向一致。方向定义错误直接影响阻尼器的耗能，设计时应引起注意。对于墙板式连接的阻尼器，不论是速度型的粘滞阻尼器还是位移型的软钢阻尼器，阻尼器定义方向一致，U2 对应整体坐标轴 Y 轴，U3 对应整体坐标轴 X 轴；对于连梁金属剪切型阻尼器，剪切方向均沿整体坐标系 Z 轴，对应阻尼器单元的局部坐标系 U2 向；对于 BRB 屈曲约束支撑，只需要定义单元局部坐标轴 U1 方向的属性即可。