

偏心支撑钢框架耗能机构及抗震设计建议

沈晓明

(苏州市吴中区建筑工程施工图审查中心, 苏州 215128)

[摘要] 偏心支撑结构弹性阶段刚度大, 塑性阶段耗能能力强, 是适用于高烈度震区的一种有效的抗侧力结构体系。首先介绍了偏心支撑耗能梁段内力分布特点和偏心支撑耗能机构, 根据偏心支撑结构在地震荷载作用下耗能梁段进入塑性的破坏特点, 提出了耗能梁段采用曲壳单元和其余构件采用梁单元的非线性有限元模型来分析偏心支撑钢框架在循环荷载作用下耗能的性能和破坏机理。通过有限元模拟计算分析, 得到了偏心支撑钢框架抗震对策。

[关键词] 偏心支撑; 耗能梁段; 壳单元; 梁单元

中图分类号: TU352.11 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2015)S2-0475-03

Eccentrically braced steel frames energy-dissipation mechanisms and seismic design recommendation

Shen Xiaoming

(Wuzhong Construction Drawing Inspection Center of Suzhou, Suzhou 215128, China)

Abstract: Eccentrically braced steel frame is a lateral load-resisting system which applies high intensity area and can provide the high elastic stiffness that meets higher steel building drift requirement. An introduction of forces in links and energy dissipation mechanisms of eccentrically braced steel frames was provided. In that eccentrically braced steel frames will collapse after the link beams go into plastic deformation under earthquake load. A new analytical model which includes shell element apply to link beams with large deformation and plastic deformation and beams element apply to other parts of structure was presented for analyzing eccentrically braced steel frames energy-dissipation behavior and collapse mechanism. The seismic design recommendations of eccentrically brace were presented.

Keywords: eccentrically braced steel frame; energy-dissipation links; shell element; beam element

0 引言

偏心支撑钢框架^[1-3]是近些年来提出的新型结构形式, 由于其固有的优良抗震性能, 偏心支撑主要应用于8度及以上抗震设防的高层钢结构房屋。偏心支撑结构最初应用于结构抗风设计, 通过试验研究发现偏心支撑结构具有优良的耗能性能, 并开始应用于抗震设计中。在支撑框架中对支撑斜杆与梁进行偏心连接的意图是要构成耗能梁段。偏心支撑结构体系具有中心支撑的特点, 能够提供较高的强度和刚度, 满足规范要求的层间位移及侧移, 在罕遇地震作用下, 一方面通过耗能梁段的非弹性变形进行耗能, 另一方面使耗能梁段的剪切屈服在先, 从而保护支撑斜杆不屈曲或屈曲在后。合理的耗能梁段长度及节点构造能够使耗能梁段在正常使用阶段或小震情况下保持在弹性范围, 而在强震作用下, 通过耗能梁段的非弹性变形耗能, 使偏心支撑结构体系象框架结构体系一样表现出很好的延性和耗能能力。在偏心支撑结构体系中, 耗能梁段就象电路中的保险丝一样, 通过塑性变形, 有效地限制了支撑中的轴向力, 使支撑不屈曲, 在强震作用下发挥其作用。偏心支撑框架的典型形式如图1所示。

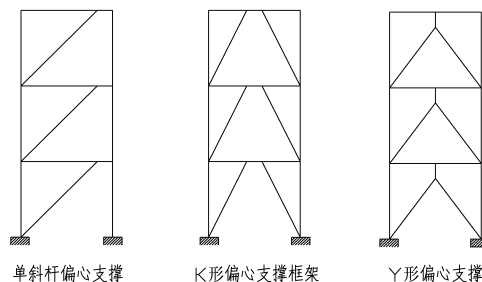


图1 典型偏心支撑形式

1 耗能机构

1.1 耗能梁段内力^[4-6]

图2定性地给出了两种偏心支撑结构在水平荷载作用下框架梁的内力分布。

图3定性地给出了Y形偏心支撑结构在水平荷载作用下的内力分布。由图中可见, 耗能梁段承受很高的剪力和弯矩, 但轴力不大。如果耗能梁段较短, 随着结构水平荷载的增加, 耗能梁段主要因剪切屈服形成塑性铰。如耗能梁段较长, 耗能梁段主要由端部弯曲屈服形成塑性铰。

作者简介: 沈晓明, 硕士, 一级注册结构工程师, Email: 761730785@qq.com。

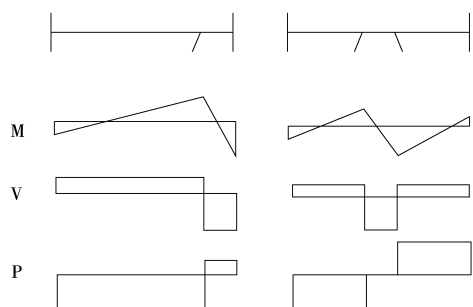


图2 典型耗能梁段水平荷载作用下的内力分布

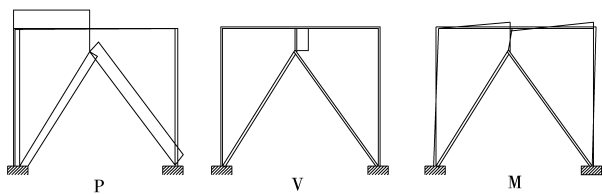


图3 Y形偏心支撑内力分布

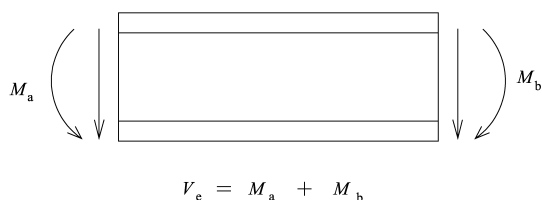


图4 耗能梁段的静力平衡

将图2中的耗能梁段从整体结构中分离出来,如图4所示。假定材料为理想弹塑性,也不考虑 $M-V$ 的相关作用,当耗能梁段塑性得到充分发展时,图中的 $M_a = M_b = M$ 。由图2可得 $V_c = 2M$,则 $e = 2M_p/V_p$,这是理论上剪切屈服型耗能梁段与弯曲屈服型耗能梁段的分界限。 M_p 为耗能梁段的全截面塑性弯矩, V_p 为耗能梁段全截面屈服剪力。试验证明耗能梁段的应变强化是不能忽略的。实际工程中,剪切耗能梁段的长度可取:

$$e \leq 1.6M_p/V_p \quad (1)$$

1.2 耗能机构^[46]

分析偏心支撑结构体系的耗能破坏机构时,可以估计偏心支撑耗能梁段的转动能力。在这个分析过程中假设耗能梁段为刚塑性。图5中显示了纯框架结构与偏心支撑结构形成破坏机构的形式。在每种工况下, θ 都代表整个框架的侧移角。对于纯框架结构,梁端塑性铰的转动能力也由 θ 表示。偏心支撑结构耗能梁段的转动能力远大于 θ ,由几何图形可得:

$$\gamma = \frac{L}{e} \theta \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{h}{e} \theta \quad (3)$$

耗能梁段的转动能力尤其是比较短的耗能梁段的转动能力可由参数 γ 表示,图5中画栅线部分的梁

段表示剪切屈服形成剪切铰。偏心支撑结构的侧移 θ 以及耗能梁段的转动能力 γ 由几何形状及合理的破坏机构决定。式(2)对应图5(b),(c),式(3)对应图5(d)。

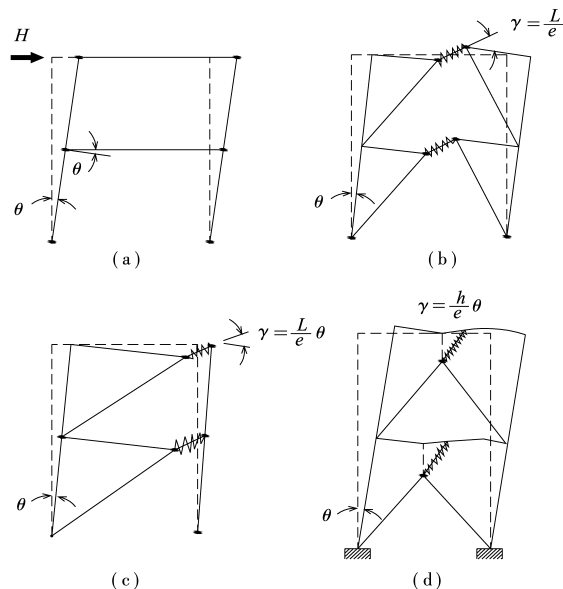


图5 耗能破坏机构

2 非线性有限元分析模型

本文应用 ANSYS 有限元分析软件,对偏心支撑钢框架结构进行滞回性能分析。偏心支撑钢框架在罕遇地震作用下主要是耗能梁段腹板进入塑性后通过非弹性变形进行耗能,因此为了能较准确地模拟偏心支撑钢框架结构的耗能情况和破坏机理,采用梁单元和壳单元相结合的模式,即结构构件中的梁、柱、支撑主要用梁单元(Beam188),耗能梁段、部分与耗能梁段相连的框架梁、柱和支撑采用壳单元(Shell181)。在进行有限分析时,尝试采用了一种相对简便的方法来处理梁单元和壳单元的连接,即在梁单元与壳单元连接处,通过刚性梁对连接处的壳进行约束。刚性梁和普通梁单元均选用 Beam188 单元,壳单元选用 Shell181 单元,两种单元的节点自由度均为6个,可以通过公用节点直接连接,连接点处不需要再特别处理,如图6所示。刚性梁为细长且无质量的无限刚杆,截面取圆形截面,直径30mm,弹性模量 $2.06 \times 10^{15} \text{ N/m}^2$,是普通钢材的一万倍,泊松比与普通钢材一样取0.3。

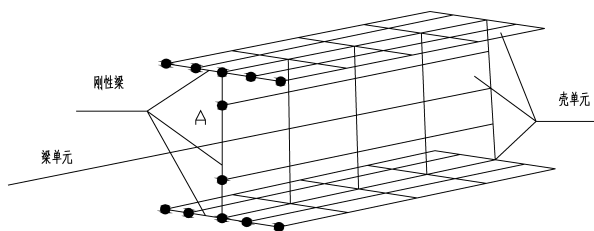


图6 两种单元的连接示意图

3 抗震设计建议

根据有限元模拟的结果,提出以下抗震设计建议:

(1)设计合理的偏心支撑钢框架耗能性能良好,是高烈度地区首选的抗震耗能结构形式之一。偏心支撑钢框架由耗能梁段、梁、柱和支撑组成,为了确保偏心支撑在地震时具有良好的滞回性能,偏心支撑的设计原则是:支撑斜杆、梁、柱等杆件的弹性承载力均应大于耗能梁段的屈服承载力。

(2)耗能梁段长度的选取:对于支撑与梁采用铰接构造的单斜杆偏心支撑钢框架以及对于支撑与梁采用刚接构造的K形、Y形偏心支撑钢框架,耗能梁段净长度在1.0~1.3倍的 M_p/V_p 范围内耗能性能较好。耗能梁段长度的选取还与结构中梁、柱截面大小有关,梁、柱截面大,耗能梁段的长度要适当加长,反之,结构耗能梁段的长度要适当减小。

(3)耗能梁段的截面尺寸应根据偏心支撑抗侧力所需的最小腹板受剪面积以及相应的可能最大截面高度来确定,并使腹板高厚比和翼缘宽厚比符合《高层建筑钢结构设计规程》的要求。

(4)为使耗能梁段在循环荷载作用下具有良好的滞回性能,需要采取合适的构造加强对耗能梁段腹板的约束:耗能梁段与支撑连接处,应在梁腹板两侧配置加劲肋;耗能梁段腹板的中间加劲肋需按梁段的长度区别对待,较短时为剪切屈服型,加劲肋间距小一些;较长时为弯曲屈服型,需距端部1.5倍的翼缘宽度处配置加劲肋;中等长度时需同时满足剪切屈服型和弯曲屈服型的要求。

(5)结构高跨比的选取:对于单斜杆偏心支撑钢框架,高跨比在0.6~0.8范围内比较合适;对于K形偏心支撑钢框架,高跨比在0.45~0.75范围内比较合适;对于Y形偏心支撑钢框架,高跨比在0.3~0.7范围内比较合适。

(6)支撑与梁之间的连接构造:对于单斜杆偏心支撑钢框架,连接构造选择铰接对结构耗能比较有利,这时支撑的截面可以设计的小一些。对于K形、Y形偏心支撑钢框架,连接构造选择刚接对结构耗能比较有利,这时支撑的刚度要设计的大一些,支撑的弯曲刚度大约是与之相连梁弯曲刚度的0.9~1.1倍比较合理。

参 考 文 献

- [1] EGOR PPOPOV, MICHAEL D ENGELHARDT. Seismic eccentrically braced frames [J]. J. Construct. Steel Research, 1988, 10:321-354.
- [2] EGOR PPOPOV. Recent research on eccentrically braced frames [J]. Eng. Struct., 1983, 5:3-9.
- [3] MURAT DICLELI, ANSHU MENTA. Efficient energy dissipating steel-braced frame to resist seismic loads [J]. Journal of Structural Engineering, 2007, 133(7).
- [4] PAUL W RICHARDS, CHIAMING UANG. Effect of flange width-thickness ratio on eccentrically braced frames link cyclic rotation capacity [J]. Journal of Structural Engineering, 2005, 131(10).
- [5] 申林, 蔡益燕, 郁银泉. 偏心支撑钢框架设计方法 [J]. 建筑结构, 2002, 32(2): 13-16.
- [6] 陈富生, 邱国桦, 范重. 高层建筑钢结构设计 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.