

新型交错桁架结构体系的反应谱分析

苗广威, 冉红东

(西安建筑科技大学, 陕西 西安 710055)

摘要: 混合式交错桁架结构不宜用于高烈度地区, 为了提高其抗震性能, 采用 ETABS 分别对普通混合式和不同耗能段位置的新型交错桁架结构等 4 个算例进行弹性反应谱分析, 提出了一种新型交错桁架结构。分析结果表明: 新型交错桁架结构比混合式交错桁架结构有更好的抗震性能; 耗能段设置在桁架上弦比下弦更为合理。

关键词: 混合式交错桁架结构; 抗震性能; 新型交错桁架结构; 弹性反应谱分析; 耗能段

中图分类号: TU323.4

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)06—0048—05

Response Spectrum Analysis of New Staggered Truss Structure

MIAO Guang-wei, RAN Hong-dong

(Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China)

Abstract: A composite staggered truss structure is not suitable to be used in highly seismic region. In order to improve its seismic behavior, four examples including the common composite staggered truss structure and new staggered truss structures with the energy dissipation segment in different positions are analyzed by the elastic response spectrum analysis with ETABS, then, an improved staggered truss structure is brought up here. The results indicate that the seismic behavior of the new staggered truss structure is better than that of the composite staggered truss structure; The structure with the energy dissipation segment in the top chord is more reasonable than that in the bottom chord.

Keywords: composite staggered truss structure; seismic behavior; new staggered truss structure; elastic response spectrum analysis; energy dissipation segment

0 引言

交错桁架结构体系具有经济、高效的优点, 是一种符合我国建筑结构发展方向的新型结构形式^[1]。常用于交错桁架结构体系的桁架形式有混合式和空腹式。已有研究表明^[2-5], 混合式桁架能够提供较大的侧向刚度, 提高结构体系的承载能力, 有利于建筑空间的灵活布置, 但是混合式结构体系的延性性能差, 结构体系在水平荷载作用下的破坏呈脆性的特征, 不宜用于高烈度地区。

偏心支撑钢结构是近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 度及其以上抗震设防的高层钢结构房屋^[6]。

为了结合上述二者各自的优点, 本文将偏心支撑的结构形式用于混合式交错桁架结构体系, 形成

一种新型交错桁架结构体系。通过耗能段吸收和耗散地震能量, 从而在很大程度上提高混合式交错桁架结构体系的抗震能力。

1 确定设计反应谱曲线

我国抗震设计用的加速度反应谱称为地震影响系数曲线。《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)^[7]5.1.4 中指出建筑结构的抗震影响系数应根据烈度、场地类别、设计地震分组和结构自振周期以及阻尼比确定。水平地震影响系数最大值按照文献^[7]中表 3-2 采用。特征周期应根据场地类别和设计地震分组按文献^[7]中表 3-3 采用。《建筑抗震设计规范》8.2.2 中规定多遇地震下的计算: 高度不大于 50 m 时, 可取 0.04; 高度大于 50 m 时且小于 200 m 时, 可取 0.03; 高度不小于 200 m 时, 宜取 0.02。

综上所述,得到的数值如下:水平地震影响系数最大值为 0.16;场地特征周期为 0.35;阻尼比为 0.03。

2 算例设计

采用的算例总高度 55 m,共 18 层,首层层高 4 m,其他层高 3 m,建筑主体长 24 m,宽 17.6 m,交错桁架结构平面图和立面图如图 1 所示,桁架中杆件尺寸如图 2 所示(图中标注单位为 mm)。研究表明^[8-9],每层腹杆塑性铰的发展顺序是从中间向两

边,说明中间腹杆承受的轴力较大,因此将耗能段设置在桁架的空腹节间两侧,如图 2 所示。桁架腹杆与弦杆铰接;弦杆与弦杆刚接;柱与弦杆铰接;柱与基础铰接。楼板厚度为 120 mm,混凝土强度等级为 C30。主体结构选用 Q345B 钢材。恒载标准值 3.0 kN/m²,活载标准值 2.0 kN/m²,基本风压 0.35 kN/m²,雪载标准值 0.25 kN/m²,地面粗糙度为 B 类。结构抗震设防烈度为 8 度,设计地震加速度为 0.2 g,场地类别为 II 类,设计地震分组为第一组。

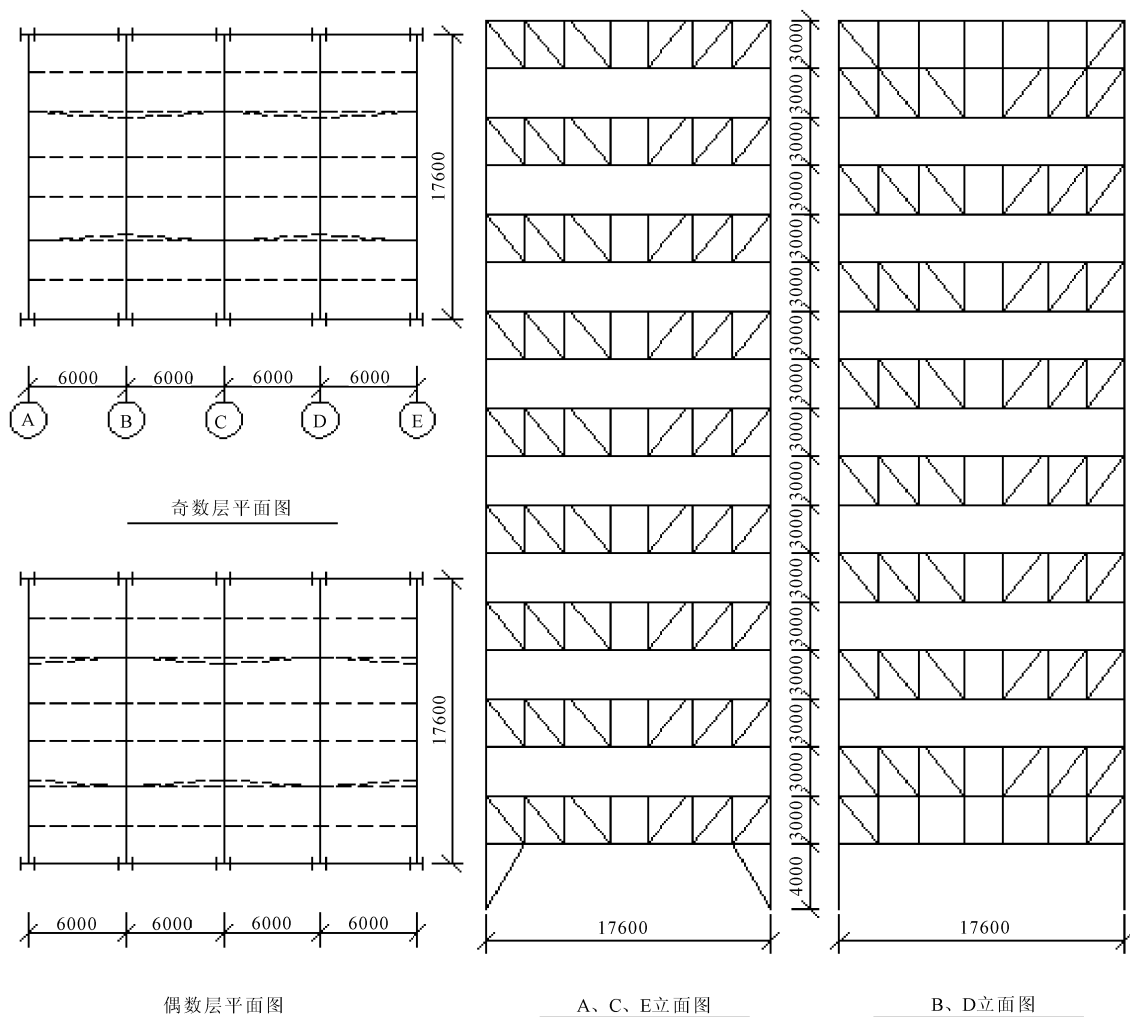


图 1 交错桁架结构平面图和立面图

为了考察新型交错桁架结构体系的抗震性能及对耗能段位置的探讨,本文选取 4 个算例(如表 1 所示),对其进行弹性反应谱分析。

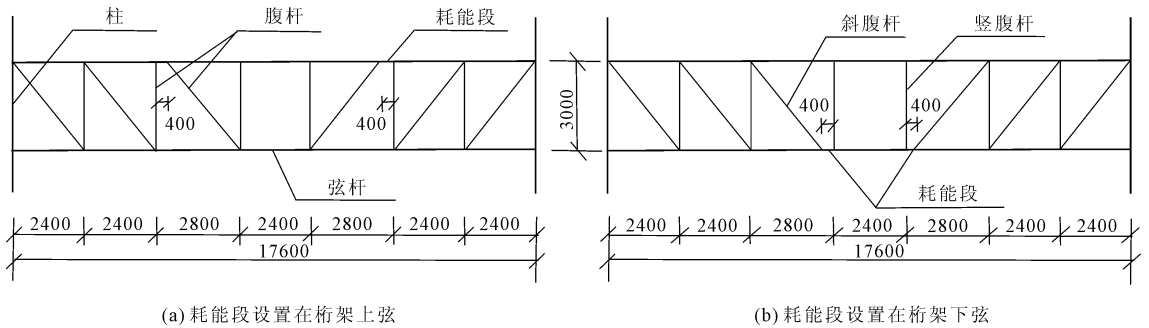
截面类型 I 中杆件截面尺寸由 ETABS 软件根据美国规范 AISC-LRFD99 进行设计,根据 ETABS 自动选择截面功能选出各杆件的截面尺寸(表 2);截面类型 II 中杆件截面尺寸是在截面类型 I 的基础上

运用《高层民用建筑钢结构技术规范》^[10]中式 6.5.2 ~ 6.5.9 对腹杆进行加强,加强后截面尺寸见表 2。

3 结果及分析

3.1 层间位移和层间位移角对比

《建筑抗震设计规范》^[7]5.5.1 中规定的多高层钢结构的弹性层间位移角限值为 1/250。



(a) 耗能段设置在桁架上弦

(b) 耗能段设置在桁架下弦

图 2 耗能段的位置设置

表 1 算例对比表

算例	结构形式	耗能段位置	耗能段长度	截面类型
1	普通	—	—	II
2	新型	上弦	400mm	II
3	新型	下弦	400mm	II
4	普通	—	—	I

注:(1)表中“普通”表示普通混合式交错桁架结构,“新型”表示新型交错桁架结构;(2)表中耗能段长度 400 mm 的选取按照《钢结构设计》^[9]中建议,耗能段长度可取杆件净长度的 0.1~0.15 倍。

表 2 各杆件截面尺寸对比表 单位:mm

构件类型	层号	截面类型 I	截面类型 II
柱	1-3	HW400×400×30×50	—
	4-6	HW400×400×25×40	—
	7-9	HW400×400×20×35	—
	10-12	HW400×400×13×21	—
	13-15	HW350×350×10×16	—
	16-18	HW250×250×9×14	—
腹杆 (A、E 立面)	1	TUBO200×200×12.5	TUBO220×220×25
	2-18	TUBO120×120×8	TUBO160×160×10
腹杆 (B、C、 D 立面)	1	TUBO220×220×14.5	TUBO220×220×30
	2-10	TUBO140×140×10	TUBO160×160×16
	11-18	TUBO120×120×8	TUBO160×160×10
弦杆	1-18	HMI50×100×6×9	—
耗能段 连梁	1-18	HMI50×100×6×9	—
撑杆	1-18	YB-LWH250×125×5×8	—
	1	TUBO160×160×10	—
	2-18	TUBO140×140×7.1	—

图 3 分别绘出了相应的水平位移和层间位移角包络图。比较各层水平位移图和层间位移角包络图可得:(1)在弹性反应谱分析时,算例 2 的水平层间位移比算例 1 稍大。经过层间位移角包络图对比可得,算例 2 六层以下的层间位移角比算例 1 大,而七层以上的层间位移角基本一致。说明在弹性反应谱的作用下,由于耗能段的存在,交错桁架结构底部六层的层间位移增大,使结构相对变柔。(2)算例 3 的

层间位移和层间位移角比算例 1 和算例 2 均大很多,甚至比算例 4 都要大。这说明耗能段设置在桁架下弦时,结构的层间位移明显加大,结构的刚度比未经加强的普通混合式交错桁架结构(算例 4)还要小。分析原因为,空腹节间内没有斜腹杆,依靠弦杆传递侧向荷载,因此空腹节间是较薄弱部位,如图 4 所示,耗能段设置在桁架下弦时,在弹性反应谱作用下,耗能段的变形与空腹节间弦杆的变形相一致,这样相当于增加了空腹节间的节间长度,相关研究^[8]表明,加大空腹节间的节间长度使结构柔性增加。(3)算例 1 的水平层间位移和层间位移角比算例 4 大很多,说明适当加强腹杆截面可以加强普通混合式交错桁架结构的抗侧刚度。(4)各算例层间位移角均在限值以下,满足规范要求;(5)层间位移角包络图出现折线形状,经分析,主要与模型有关,因为本文所选取的模型中相同的立面有立面 A、C、E 和立面 B、D,即在相邻的两层中,桁架主要承担抗侧力的斜腹杆的数量之比为 3:2,这就意味着抗侧刚度之比为 3:2。经计算,相邻两层的层间位移比均在 1.4~2.0 之间,基本满足 3:2 的关系。

3.2 内力对比

表 3 给出了算例 2 和算例 3 在最不利荷载组合 (COMB38) 作用下,2 层耗能段的内力。由表 3 可以得出以下结论:(1)剪力值 V 最大值,两算例基本一致;(2)杆端轴力 P 和杆端弯矩 M 最大值,算例 3 比算例 2 大很多。

表 3 不同算例耗能段内力表

算例	楼层	Load	P/kN	V/kN	$M/(kN\cdot m)$
2	2	COMB38 MAX	4.21	38.34	10.106
	2	COMB38 MIN	-0.99	-0.81	-3.356
3	2	COMB38 MAX	23.31	37.23	13.246
	2	COMB38 MIN	13.39	-3.55	-17.533

注: P 为杆端轴力, V 为垂直向下剪力, M 为杆端弯矩。

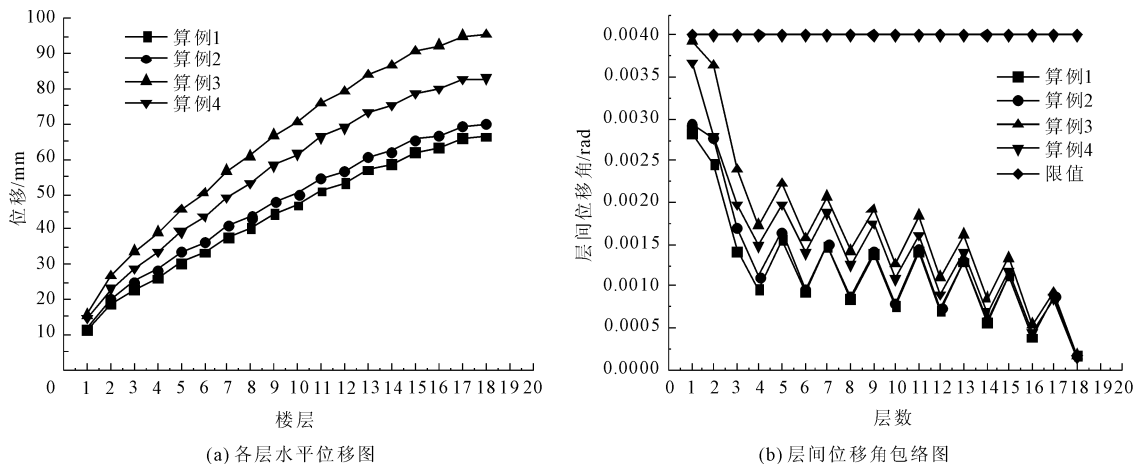


图 3 反应谱分析下的各层水平位移和层间位移角包络图

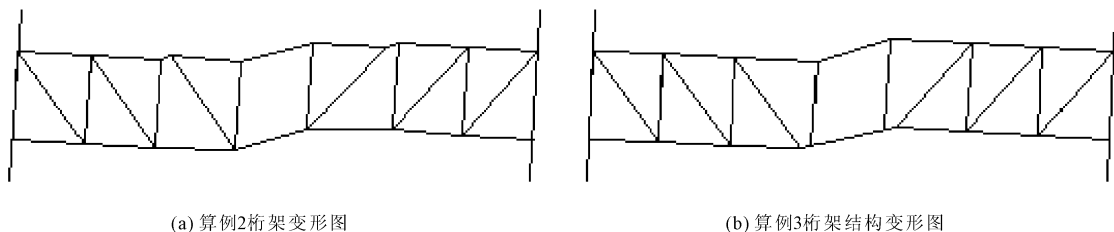


图 4 不同算例的桁架变形图

表 4 给出了算例 2、算例 3 和算例 4 在最不利荷载组合 (COMB38) 作用下,中间 C 立面 1 层和 2 层空腹节间腹杆的内力值。由表 4 可以得出以下结论: (1)三个算例空腹节间的上下弦杆所受轴力相差较小; (2)对比上弦杆件的剪力 V 和弯矩 M ,算例 2 比算例 4 大,增加幅度为 20% 左右,算例 3 比算例 4 大,增加幅度为 50% 左右; (3)对比下弦杆的剪力 V 和弯矩 M ,算例 2 比算例 4 稍大小,算例 3 比算例 4 小很多。分析以上结论可得,对比普通混合式交错桁架结构 (此处指算例 4),耗能段设置在桁架上弦时,空腹节间弦杆的受力相差不大;耗能段设置在桁架下弦时,空腹节间上弦杆所受剪力 V 和弯矩 M 较大,比耗能段设置在桁架上弦更容易达到塑性,而下弦杆所受剪力和弯矩很小,即此时下弦杆的受力以轴力为主,剪力由竖腹杆传递到桁架上弦,这也解释了图 4(b) 中耗能段与空腹节间弦杆变形相一致的现象。

3.3 振型周期对比

规范规定,结构平面布置应减少扭转的影响; B 级高度高层建筑,结构扭转为主的第一自振周期与平动为主的第一自振周期之比不应大于 0.85^[10]。

表 5 给出了不同算例第一、二、三振型的自振周期。

表 4 不同算例空腹节间弦杆内力表

算例	弦杆位置	Load	P/kN	V/kN	$M/(kN \cdot m)$
2	上弦	COMB38 MAX	-15.93	13.70	13.960
	上弦	COMB38 MIN	-15.93	-18.83	-22.468
	下弦	COMB38 MAX	11.76	10.20	14.294
	下弦	COMB38 MIN	11.76	-14.45	-15.284
3	上弦	COMB38 MAX	-15.63	17.00	17.164
	上弦	COMB38 MIN	-15.63	-23.49	-28.190
	下弦	COMB38 MAX	10.46	3.56	11.156
	下弦	COMB38 MIN	10.46	-5.32	-5.512
4	上弦	COMB38 MAX	-14.95	11.09	13.185
	上弦	COMB38 MIN	-14.95	-15.53	-16.626
	下弦	COMB38 MAX	11.39	11.3	14.568
	下弦	COMB38 MIN	11.39	-15.88	-18.043

表 5 不同算例的周期对比表

振型	自振周期/s			
	算例 1	算例 2	算例 3	算例 4
第一振型	2.43	2.38	2.38	2.36
第二振型	1.97	1.85	2.24	1.81
第三振型	1.49	1.44	1.71	1.43
三/一	0.61	0.61	0.72	0.61

注:三/一表示第三振型对应的自振周期与第一振型对应的自振周期之比。

表 5 显示四个算例的第一振型均为沿着纵向的

平动,第二振型均为沿着横向的平动,第三振型均为扭转。由算例 1 和算例 4 对比可得,对于普通混合式交错桁架来说,适当加强普通混合式交错桁架结构的腹杆,主要振型所对应的周期基本不变。由算例 2、3、4 对比得,耗能段设置在桁架下弦时,新型交错桁架接结构扭转的影响有所增加。

4 结 论

本文通过 ETABS 软件弹性时程分析对新型交错桁架结构体系的抗震性能进行了研究,并对耗能段的位置进行了探讨。得到结论如下:

(1)虽然耗能段设置桁架上弦和下弦都能使新型交错桁架结构比普通交错桁架变柔,抗震性能增强,并且两新型结构中的相同楼层耗能段所受剪力大小基本一致,但是耗能段设置在下弦时,耗能段的变形相当于增加了空腹节间的长度,结构的层间位移增加很多,并且空腹节间上弦杆受力较大,较容易屈曲,整体结构的扭转影响较大。因此建议将耗能段设置在桁架上弦。

(2)耗能段设置在桁架上弦时,新型交错桁架结构底部六层的水平层间位移比普通交错桁架结构大,使结构相对变柔。

参考文献:

- [1] 周绪红,莫 涛,蔡益燕,等.新型交错桁架结构体系的应用[J].钢结构,2000,15(2):16-19.
- [2] Cohen M P. Design solution utilizing the staggered - steel truss system[J].Engineering Journal AISC, 1986,23(3):97-106.
- [3] 刘红梁,刘志雄,陆钦年.交错桁架体系结构性能分析[J].哈尔滨工业大学学报,2004,36(9):1173-1176.
- [4] 莫 涛,周绪红,刘永健,等.交错桁架结构体系的受力性能分析[J].建筑结构学报,2000,21(6):49-54.
- [5] 冉红东.钢交错桁架结构体系在循环荷载作用下的破坏机理和抗震设计对策[D].西安建筑科技大学,2008:197-199.
- [6] 顾 强.钢结构滞回性能及抗震设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2009:389-340.
- [7] 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,2010:32-33.
- [8] 周秀月.钢结构交错桁架结构体系的合理结构布置探讨与 Push-over 分析[D].西安:西安建筑科技大学,2005.
- [9] 苑 辉.钢结构设计[M].北京:中国计划出版社,2006:422-426.
- [10] 中国建筑研究院.JGJ99 - 98.高层民用建筑钢结构技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,1998:42-45.