

双肢柱空腹桁架分离式外套结构加层方案分析

高剑平 李明

(华东交通大学 土木建筑学院 江西 南昌 330013)

摘要: 针对普通分离式外套框架加层结构存在底层柔性、抗侧刚度突变和底层大跨度等问题,提出双肢柱空腹桁架外套加层结构形式。应用有限元程序 SAP2000,对若干种双肢柱空腹桁架结构形式进行了反应谱分析和静力分析,分别考察了双肢柱腹杆形式和数量对抗侧刚度的影响,以及空腹桁架杆件布置方式和数量对抗侧刚度、弯矩、剪力、跨中挠度等的影响。分析结果表明:斜腹杆系双肢柱空腹桁架结构可有效提高底层抗侧刚度,竖向抗侧刚度较均匀,而且各层弯矩峰值显著减少并趋于均匀,是房屋加层中值得考虑的一种方案。

关键词: 加层; 外套结构; 双肢柱; 空腹桁架; 抗侧刚度

中图分类号: TU375.4

文献标识码: A

随着经济的发展,城市建筑用地日益紧缺,通过加层向旧房要面积,既节约用地又有显著的经济效益和社会效益^[1]。在众多的加层结构形式中,分离式外套加层结构具有传力路径明确,对原结构影响小,结构平面布置灵活等优点,因而应用广泛。然而,普通的分离式外套框架作为典型的底层柔性结构,具有如下受力特征^[2]:(1) 底层层高大、抗侧刚度低,形成“头重脚轻”、“上刚下柔”的“高跷式”(stilt-like)结构,抗侧刚度突变,底层是抗震薄弱环节;(2) 底层跨度大,一般跨越10~20 m,底层大梁截面尺寸大,易形成强梁弱柱,不利于抗震。鉴于以上缺点,从改善外套加层结构竖向抗侧刚度突变和水平大跨度出发,本文提出双肢柱空腹桁架外套加层结构形式。研究表明^[3],斜腹杆双肢柱抗侧刚度大,类似于桁架。空腹桁架是指一类没有斜腹杆的桁架结构,自重较轻、传力明确、结构合理,具有较大的刚度,可以实现较大跨度的跨越。与实心梁相比,空腹桁架主要以弦杆轴力平衡弯矩,故杆件比实心梁大大降低,杆件受力比较均匀^[4]。为了研究这种结构形式应用于房屋加层的可行性,采用有限元程序 SAP2000,对比分析了若干种双肢柱空腹桁架分离式外套加层结构的抗侧刚度和静力性能,为加层方

案的选定提供依据。

1 加层模型概况

采用文献[5]中的加层工程实例,拟加层房屋为3层内廊式砖混结构,层高3.0 m,开间3.3 m,进深10.4 m,走廊宽3.0 m。图2(a)为原设计采用的外套框架加层方案,首层梁截面600×1200 mm,框架柱400×800 mm,填充墙等效为线荷载18 kN/m,楼面活荷载2.0 kN/m²。

为了考察双肢柱腹杆形式和数量对抗侧刚度的影响,采用图2中的方案(d),二层和三层布置不变,变化腹杆形式和数量,各方案的各层抗侧刚度如图1所示。6根平腹杆的比3根平腹杆的底层抗侧刚度增加了24%左右,而6根斜腹杆的比3根平腹杆的增加了52%左右。显然,双肢柱腹杆形式和数量都对底层的抗侧刚度有明显影响,但对第二层和第三层抗侧刚度影响很小,可以忽略不计。下面的加层方案中,仅考虑斜腹杆为6根的情况,变化空腹桁架转换层杆件的布置形式和数量,考察其对抗侧刚度的影响。加层方案如图2(b)~(e)所示,杆件尺寸不变,尺寸选定原则根据文献[6],即适当减少下弦杆

收稿日期: 2008-05-06

基金项目: 江西省自然科学基金项目(2007GZC0841);江西省教育厅科学技术研究项目(No. [2006]305)

作者简介: 高剑平(1970-),男,工学博士,副教授,主要从事建筑结构鉴定、加固、改造研究。

截面高度增大上弦杆截面高度,可以降低下弦杆弯矩值,较大幅度地将上部传来的轴力分配到其他腹杆上去.具体尺寸为:上弦杆 300×500 mm,下弦杆 300×400 mm,竖腹杆 300×300 mm,双肢柱和上柱 600×400 mm, C50 混凝土,双肢柱的斜腹杆 400×300 mm,另外沿双肢柱纵向在标高 3.6 m 和 7.2 m 处用两道 300×550 mm 的连系梁相连.其中方案(e)在第二层的边节间加斜杆,斜杆截面 300×300 mm,其余同上.

楼板采用 shell 单元模拟,既有平面内刚度又有平面外的刚度,这样可保证上下弦杆有轴力计算结果.梁、柱等采用杆单元模拟^[7].

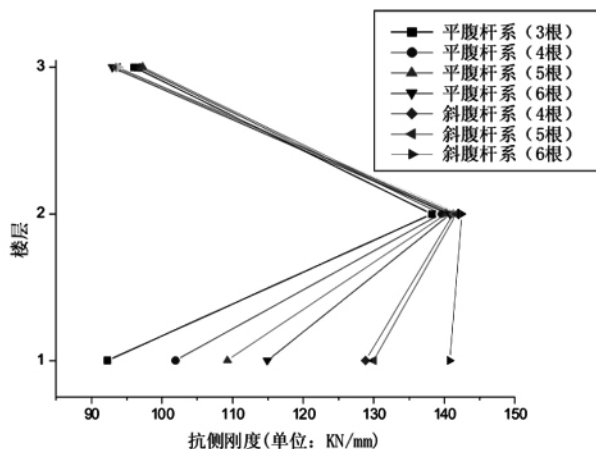
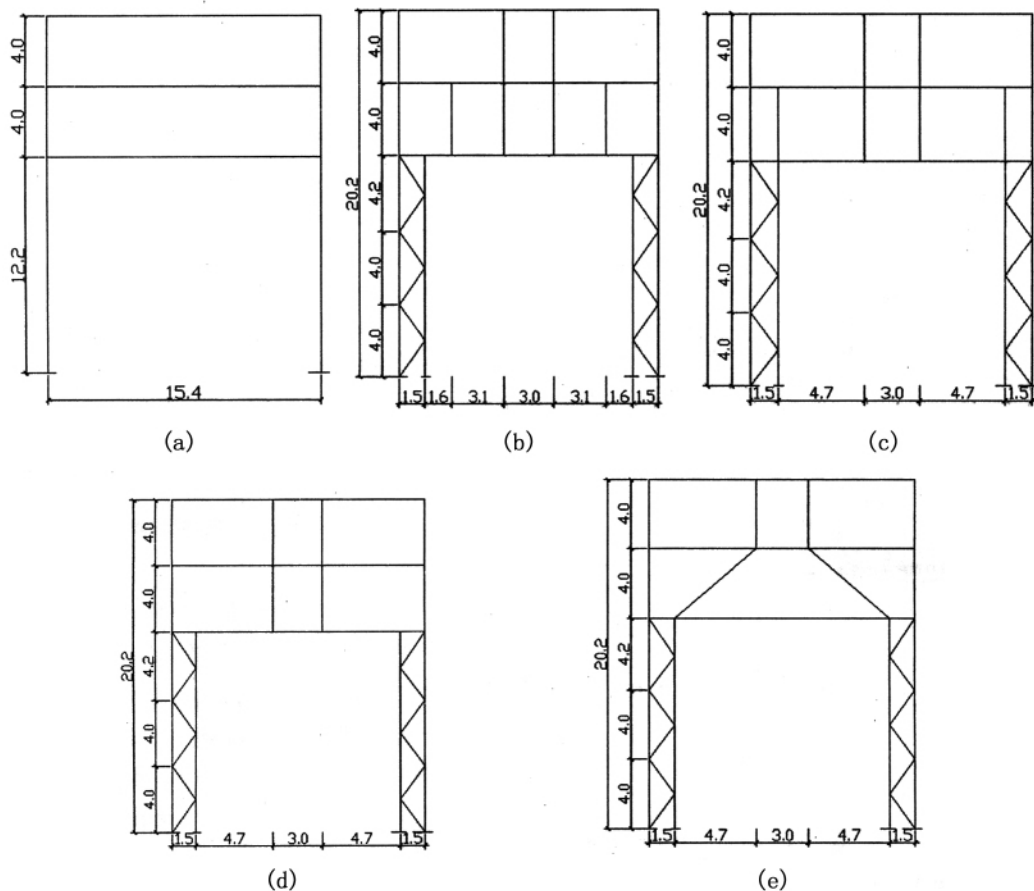


图1 双肢柱腹杆形式和数量对抗侧刚度的影响



(a) 外套框架; (b) 斜腹杆系双肢柱等节间空腹桁架; (c) 斜腹杆系双肢柱不等节间空腹桁架; (d) 斜腹杆系双肢柱不等节间叠层空腹桁架; (e) 斜腹杆系双肢柱混合空腹桁架; (单位: m)

图2 分离式外套架层结构方案

2 抗侧刚度对比分析

采用反应谱分析,设防烈度 7 度,设计地震分组

第一组,Ⅱ类场地.设计基本加速度 $0.15g$,最大地震影响系数 $\alpha_{\max} = 0.12$,阻尼比 0.05 ,特征周期 $T_g = 0.4$,由于填充墙数量较少,不考虑周期折减.定义广义抗侧刚度 = 层间剪力/层间位移^[8],各方案的

抗侧刚度如表 1 和图 3 所示.

表 1 分离式外套加层结构方案抗侧刚度汇总(kN/mm)

方案 楼层	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
一	15.32	152.66	144.66	145.45	188.3
二	215.1	166.86	154.83	141.84	827.845
三	253.06	95.5	92.71	89.21	147.4

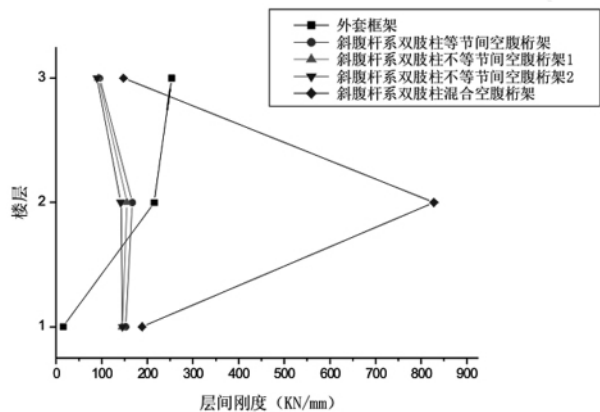


图 3 分离式外套加层结构层间抗侧刚度对比

从表 1 和图 3 可以看出,分离式外套框架的底层刚度很弱,而斜腹杆双肢柱混合空腹桁架(方案 e),

第二层存在显著的刚度突变,说明腹杆布置形式对转换层抗侧刚度有显著影响,显然这两种方案不合理.在其它条件相同的前提下,斜腹杆系双肢柱方案的底层抗侧刚度比普通分离式外套框架的提高了 9 倍左右.对于不设置斜杆的空腹桁架转换层,只改变竖腹杆的布置而截面尺寸不变,转换层刚度有所改变,但改变不显著,对抗侧刚度的影响很小,这为合理地布置转换层杆件以提供开敞的使用空间提供了依据.

以上结果表明:采用斜腹杆系双肢柱空腹桁架控制底层柔性和层间位移是有效的.

3 受力性能对比分析

在上节抗侧刚度对比分析的基础上,分析抗侧刚度分布较均匀的三种方案(b)、(c)、(d)在水平和竖向荷载作用下的弯矩和剪力,并与方案(a)对比.反应谱作用下内力图显示的是两方向地震效应绝对值的最大值,包含反应谱工况的荷载组合显示的是两个方向地震力和其它荷载工况组合之后的数值,在图形上显示的是两套数值^[6],分别见图 4 和图 5.

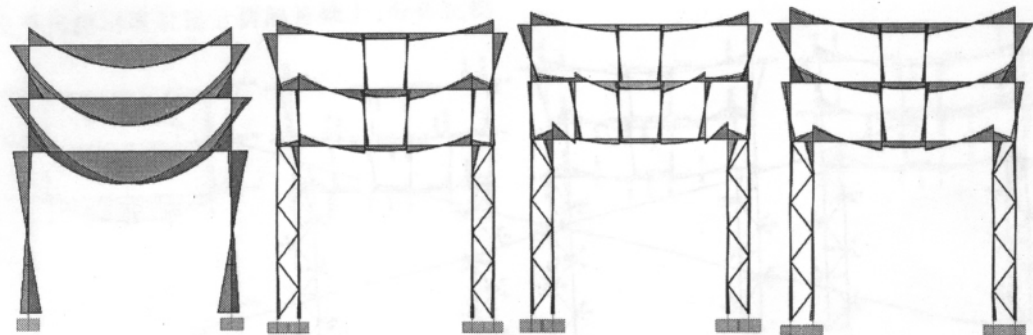


图 4 四种加层方案的弯矩包络图

表 2 四种加层结构各层跨中弯矩包络值对比(kN · M)

方案	底层	第二层	顶层
方案(a)	980.32	824.01	683.25
方案(b)	85.60	172.38	97.00
与方案(a)相比减少百分比	91.27%	79.08%	85.8%
方案(c)	109.44	172.49	107.80
与方案(a)相比减少百分比	88.84%	79.07%	84.22%
方案(d)	142.92	138.10	144.94
与方案(a)相比减少百分比	85.42%	83.24%	78.79%

从图 4 和表 2 可以看出,对比方案(b)和方案(c),各层的跨中弯矩包络值减小幅度接近,其中底部跨中弯矩减小了 90% 左右,第二层减小了 79% 左右,顶层的包络值减小了 85% 左右,进一步说明在竖向腹杆间距改变不大情况下,其布置对结构竖向承载性能影响较小.对方案(d),因转换层竖向杆件数量减少,顶层和第二层仅有两根竖腹杆,跨中弯矩较为接近,在 140 kN · M 左右,底层包络值减小 85.42%,第二层减小 83.24%,顶层减小 78.79%.相比前两种方案,方案(d)在各层跨中弯矩包络值减小幅度与它们相差不大,但减少了竖向布置的腹

杆,有利于形成大空间,且减少了施工难度和工作量,为此方案的优点。

因增加竖腹杆,后三种方案相对普通外套结构,弯矩变得较为均匀,有效减小了最大弯矩值和上下楼层梁截面高度,增加了建筑使用空间。在内肢柱和下弦杆的结点处弯矩相对较大,是抗震设计的薄弱环节,此外,通过弯矩包络图发现,因采用了空腹桁架转换层,有效减小了第二层框架柱柱端弯矩值,这也是空腹桁架转换层的优点。但在顶层边柱端弯矩较大,应引起设计者注意。

方案(a)、(b)、(c)、(d)的底层跨中最大挠度分别为10.68 mm、22.30 mm、25.05 mm和31.40 mm,均满足规范规定的 $f/300=41.33$ mm。

对比剪力包络图,四种方案剪力由中间向两边逐渐增大,后三种方案弦杆的剪力值明显小于方案(a)。双肢柱结构形式在内肢柱和下弦杆结点处受力复杂,设计中需采取加强措施。同样,采取空腹桁架转换层后,明显的减小了边柱的剪力。为减小边柱

弯矩和剪力,采用空腹桁架转换层结构是一种有效的方法^[9]。

4 结论与建议

采用斜腹杆系双肢柱空腹桁架外套加层结构是可行的,不但可以实现底层柔性的控制和跨越大跨度,而且增加了结构的赘余度,提高结构的抗震安全性。

(1) 双肢柱腹杆形式和数量对底层抗侧刚度均有明显影响。在腹杆数量相同的情况下,斜腹杆双肢柱比平腹杆的更能提高底层抗侧刚度。

(2) 对于空腹桁架转换层,腹杆布置形式对转换层抗侧刚度有显著影响;对于不设置斜杆的空腹桁架转换层,只改变竖腹杆的布置而截面尺寸不变,对转换层抗侧刚度和各层跨中弯矩影响不大。因此,在其它受力性能相差不大的条件下,可以优先采用方案(d),有利于形成宽敞的大空间布局。

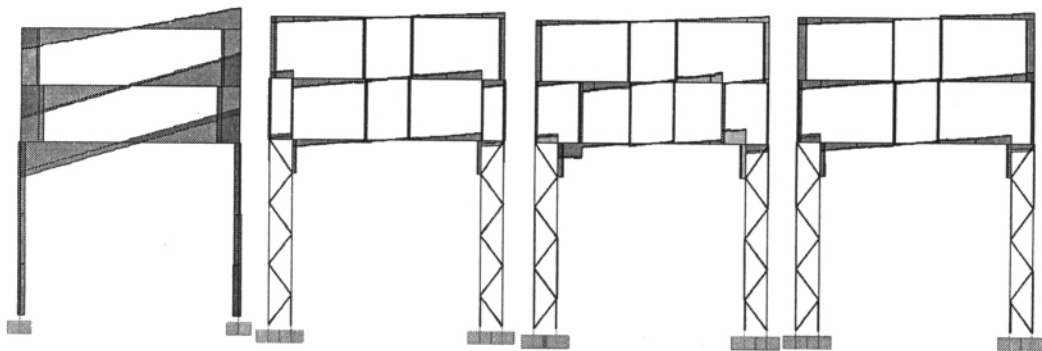


图5 四种加层方案的剪力包络图

(3) 加层设计中,可考虑采用斜腹杆钢管混凝土或钢筋混凝土双肢柱,可进一步提高底层刚度和抗震性能;对于跨端腹杆和弦杆中剪力较大的现象,可考虑采用型钢来提高构件的抗剪能力。

(4) 杆件节点受力复杂,节点设计要体现“强节点”的设计原则。特别是水平杆件的支座处和支座算起的第一根腹杆与水平弦杆连接的节点,其承受的弯矩和剪力通常都很大,设计中应重点考虑这些部位的承载能力。

参考文献:

- [1] 高剑平. 国内外既有房屋加层改造发展概况[J]. 华东交通大学学报, 2006, 23(2): 1-4.
- [2] 高剑平, 刘礼君. 既有房屋外套结构加层方案选型[J]. 华东交通大学, 2007, 24(5): 48-53.

- [3] 徐经策. 钢筋混凝土平腹杆双肢柱弹性-弹塑性计算及其应用[J]. 电气工厂设计, 1993, 77(6): 29-33.
- [4] 何浙浙, 鲁昂, 黄尚荣. 竖向荷载作用下单层空腹桁架内力的简化计算[J]. 建筑技术开发, 2001, 28(10): 13-15.
- [5] 卜良桃, 陈大川. 建筑结构加固改造设计与施工(续)[M]. 湖南: 湖南大学出版社, 2004. 127-129.
- [6] 沈为民. 钢筋混凝土连续空腹桁架结构转换层的内力分析[J]. 福州大学学报, 1999, 27(3): 50-53.
- [7] SAP2000 中文版使用指南[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007. 46-332.
- [8] 徐建. 建筑结构设计常见及疑难问题解析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007. 63-70.
- [9] 唐兴荣. 特殊和复杂高层建筑结构设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006. 149-159.

A Comparative Study on the Separate Adding – storey Plans of Double – limb Column with Vierendeel Truss System

GAO Jian – ping ,LI Ming

(School of Civil Engineering and Architecture ,East China Jiaotong University ,Nanchang 330013 ,China)

Abstract: The proposed double – limb column with vierendeel truss system is expected to overcome the drawbacks of ordinary separate jacket frame including softness of the first storey ,abrupt change in lateral stiffness and large span of the first storey. Response spectrum analysis and static analysis have been carried out with the program SAP2000 to study the effect of web member form and its numbers on the lateral stiffness ,and the effect of layout form of vierendeel truss rods and its numbers on the lateral stiffness ,bending moment ,shear force ,and mid – span deflection. The results have shown that ,double – limb column with inclined web member and vierendeel truss system can increase effectively the lateral stiffness of the first storey. Moreover ,the peak bending moment of each storey decreases significantly and becomes uniform. This structural system is a valuable plan in adding storey project.

Key words: adding – storey; jacket structure; double – limb column; vierendeel truss; lateral stiffness

(责任编辑: 王全金)

简讯 1:

我校校长雷晓燕教授在俄罗斯访问讲学

2008 年 6 月 20 – 27 日 ,我校校长雷晓燕教授赴俄罗斯伊尔库茨克国立交通大学做为期一周的访问讲学 ,就进一步加强两校合作与俄方进行了探讨 ,并与俄方校长 Andrey Khomenko 签署了两校合作备忘录. 双方在完善目前本科生交换项目的基础上 ,今后将扩大教师和研究生层次的互访; 将进一步推进学术交流 ,特别是增进车辆动力学和铁路环境与噪声两大领域的合作. 此外 ,由中俄两校牵头组织的首届“现代铁路创新与发展”国际学术研讨会将于 2008 年 10 月在我校举行 ,而第二届研讨会将于 2010 年在俄罗斯伊尔库茨克国立交通大学举行.

访问期间 ,雷晓燕教授用英语为俄罗斯伊尔库茨克国立交通大学教师们作了两场精彩的学术报告 ,介绍当前铁路环境与噪声领域的前沿动态和新思路、新方法.

(来源: 国际学院)