

文章编号: 1005—0523(2007)05—0048—06

既有房屋外套结构加层方案选型

高剑平, 刘礼君

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要:既有房屋外套结构加层方案基本分为分离式和整体式两大类. 本文结合工程实例, 系统地归纳总结了这两类加层方式中的若干种有代表性的结构方案, 分析了各方案的优缺点、适用范围和应用中的注意事项, 供工程设计人员在确定加层方案时参考.

关键词:既有房屋, 加层, 增层, 选型

中图分类号: TU318 **文献标识码:** A

0 引言

加层改造是一项对原建筑物进行加固改造、扩充挖潜的综合性活动, 是在原结构基础上进行的新的建筑结构创作, 在满足安全、可靠、经济合理的前提下达到新的功能标准. 加层与新建不同, 它涉及到新旧结构两部分, 影响因素多, 技术难度大, 须妥善处理加层结构的设计和施工问题, 而受力合理、安全可靠的加层结构形式是房屋加层改造成功的关键.

所谓外套结构加层法, 就是在原房屋外面增设新的结构形式, 将原结构“套”或“包”在里面, 所以形象地称之为外套结构. 外套结构的形式很多, 但从是否与原结构共同受力角度来看, 可以划分为分离式和整体式两大类.

其中分离式是指新增结构同原结构彻底分开, 新旧结构各自独立地承担竖向荷载和抵抗侧力. 增层部分完全按新结构设计, 原结构按有关规范标准进行鉴定加固. 分离式加层具有传力路径明确, 计算简图明晰, 对原结构影响较小, 而且增加的结构平面布置灵活, 不受原结构的限制等优点, 因而应用较广. 然而, 在抗震设防区采用分离式外套框架, 最大的缺陷是易形成“头重脚轻”、“上刚下柔”的“高鸡腿”结构, 柔性底层容易形成抗震薄弱环节.

整体式外套结构, 即将新旧结构采用某种构造连接起来, 形成整体来共同抵抗侧力. 旨在充分利用原结构的抗震潜力, 通过连接的作用使新旧结构互相制约, 彼此传递能量, 共同抵抗侧力, 改善结构整体抗震性能. 整体式避免了分离

式出现的“高腿柱”现象, 减小了底层柱的计算长度, 提高了抗侧刚度, 但加层后新旧结构之间作用不明确, 新旧结构交织在一起, 竖向和水平传力路径复杂, 难以形成清晰明确的计算简图. 而且由于缺乏试验数据和震害资料的实证, 无法验证新旧结构的实际受力情况是否和计算模型相符.

在抗震设防区, 加层结构方案的选择除了要考虑抗震安全性能以外, 还与很多其它因素有关, 譬如要考虑既有房屋的地基基础现状, 不同情况, 要选择不同的基础形式, 这对上部结构的选型也有影响. 在加层设计中往往业主提出一些限制条件和要求, 如施工期间原房屋不能停止使用, 住户不搬迁等, 或要求保持原结构的建筑风格, 或者规划部门提出加层后的层数、高度的限制等等, 都可能成为加层结构形式选择的限制条件, 这些要进行技术经济分析后, 综合权衡利弊, 才能确定方案.

下面介绍分离式和整体式加层的若干种典型的结构方案, 其中一些已应用于实际工程中, 有的是设想的结构方案.

1 分离式方案

早在五、六十年代, 人们曾经十分推崇柔性底层结构型式, 认为柔性的底层可延长结构的自振周期, 通过柔性底层的软弹簧作用减小地震能量向上部结构的传递, 以减轻上部结构的震害. 然而这种抗震思想在六、七十年代的历次震害中受到冲击. 1963年的南斯拉夫地震、1972年的美国圣费南多地震和1976年的罗马尼亚地震等震害证实了上述设想:

收稿日期: 2007—05—25

基金项目: 江西省教育/厅科技计划项目, 项目编号[2006]305号.

作者简介: 高剑平(1970—), 吉林四平人, 工学博士, 副教授, 主要从事建筑结构检测、鉴定、加固、改造研究.

虽然上部结构的震害较轻,但对于没有抗震墙、没有填充墙或者底层大空间的框架结构,破坏程度之重远超出了预料之外。1995 年日本的神户地震^[1],被调查的 377 幢底层柔性的钢筋混凝土结构中,17%发生严重损坏或倒塌。对于底层柔性结构来说,由于上部结构的抗侧刚度比底层的大很多,结构的变形集中在底层而上部结构的层间变形很小,从而出现上轻下重的震害现象。如前所述,常见的外套框架结构作为典型的底层柔性结构存在诸多的局限性。外套框架多为单跨框架,抗侧刚度很小。《砖混结构房屋加层规范》CECS:78—96 限制在地震区使用这种纯外套框架结构形式,规定只有添加了足够的抗震墙后才能用于地震区^[2]。理论上,在结构的底部加剪力墙比较合理,这在结构的纵向较易实现,但在横向设置剪力墙,穿过既有结构给施工造成很大的困难,也影响原结构的正常使用,而且对原结构造成一定程度的破坏,所以这种作法在实际工程中采用的并不多。如果横向不加设剪力墙,外框底层柱很高,容易形成“高鸡腿”结构,而试图靠增大柱子截面尺寸来提高结构抗侧刚度的作法收效甚微,并且增加了结构自重,浪费材料。

此外,理论分析和实践中也有在新旧楼层结合部位采用转换层大梁或桁架转换层结构。转换层在新旧结构结合部位引起刚度和质量突变对分离式外套框架整体结构产生的影响以及转换层大梁本身的强度、抗裂度、挠度等问题都值得进一步研究。

鉴于上述原因,一些研究人员和工程设计人员从改善分离式外套结构本身的受力性能入手,提出一些新颖的外套结构形式,以期改善底层柔性的弱点,提高其抗侧刚度和抗震性能。当然,这些结构形式还有待于进一步的试验和理论研究,在实践中不断完善成熟。随着结构工程学科的发展,各种新材料和新型体系的成熟完善,前述的柔性底层的概念可能有被重新挖掘其合理内涵的价值。和提高柔性底层的抗侧刚度对应的是,不加大其抗侧刚度,即不是“硬抗”,而是利用其底层柔性的特点,类似隔震,减少地震能量向上部结构的输入。现代的钢管混凝土、劲性混凝土、高性能纤维材料(如 FRP)包裹混凝土等以其良好的抗压、抗弯强度、延性及耗能能力,有望为传统的柔性底层这一方案注入新的活力。具体地说,底层柔性结构的破坏主要是由于底层变形过大,主要承重构件,即普通的钢筋混凝土柱子,破坏严重,在二阶效应的作用下,失去承载能力而被上部结构的自重压溃,从而导致整体结构的倒塌。矛盾的焦点在于柱子的承重能力和延性不足。因此,将这些具有良好性能的结构构件引入到底层柔性的结构体系中,形成复合或组合结构体系,有望改善这类结构的强度、延性和耗能能力,利用它们的耗能能力保护上部结构构件最少限度地受损,而整体结构至少保证其不倒塌。而这些底层构件在震后可以加固修复,譬如围套钢管或 FRP。据相关研究资料显示^[3~5],震后受损的柱子采用这类方法加固仍可恢复到大致震前的水平,而震后的结构在设计基准期内再次遭受地震(非余震)的概率是极低的,这样至少可以保证结构在设计基准期内仍然能满足安全和使用要求。

值得一提的是,采用分离式外套结构加层方案,由于新、旧结构两部分的质量、刚度、高度的差异,当发生地震时,新旧结构两部分振动的频率、振幅、相位的不同可能导致相互碰撞或挤压,产生附加弯矩和剪力,从而引起房屋破坏甚至倒塌。国内外的震害资料表明,由于防震缝设置宽度不够或设置不当而造成的相邻建筑物的碰撞而导致的结构倒塌占很大比例^[6~7]。因此,为防止新旧结构两部分发生碰撞,应注意新加框架基础与既有结构基础之间留足足够宽的防震缝。

1.1 外套底部纯框架

北京日报社业务楼^[8]采用分离式外套框架加层,外套框架采用劲性钢筋混凝土梁柱体系。一方面劲性钢筋混凝土柱可提高极限抗弯承载力和延性,实现强柱弱梁型框架的延性设计,另一方面可提高底层柱的抗侧刚度。内埋型钢可使柱在大震作用下,即使钢筋和混凝土逐渐退出工作后,仍能承担较大的荷载,抵抗余震的作用,使框架不至于倒塌。当既有房屋宽度较大时,为减小底层框架横梁截面尺寸,可采用预应力或部分预应力大梁,或采用劲性钢筋混凝土梁柱,或将横梁设为桁架、拱等等。

新乡百货大楼(图 1)首次采用了钢筋混凝土柱多层 35m 跨组合网架楼(屋)盖结构方案。组合网架结构充分发挥了钢材和混凝土两种材料的优势,将承重结构和围护功能合二为一。这种外套组合网架楼盖加层比较适合大跨度、大空间的商店、礼堂等建筑,但其节点构造比较复杂,给安装制作带来不利,网架较高也使房屋层高加大。

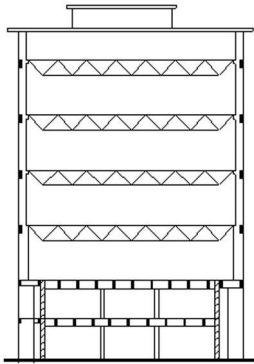


图 1 新乡百货大楼加层

1.2 外套结构为底部框剪、上部框架或框剪或桁架

在旧房两端允许扩建时,可结合扩建部分增设剪力墙或利用增设的电梯井作为抗侧力的筒体。河北省建筑设计研究院办公楼^[9]的加层工程就是采用的这种方案。

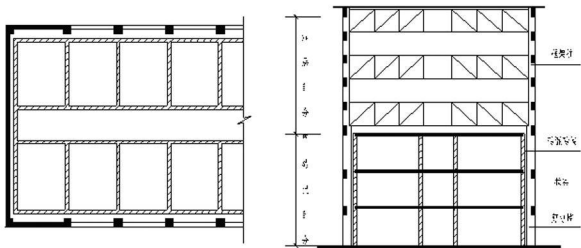


图 2 底部框剪、上部框桁架加层

原纺织部办公楼^[10]加层工程,为解决下柔上刚问题,在原砖混结构局部横墙处采用钢筋混凝土夹板墙加固,夹板墙直通到顶,在上部新加楼层变成钢筋混凝土剪力墙.原楼梯间也采用夹板墙加固,形成直通顶层的筒体.这是一种比较理想的方案,结合既有结构的抗震加固,在房屋中部和楼梯间部位,沿楼梯间的四壁增设钢筋混凝土剪力墙,使其形成不封闭的筒体.这样,不封闭的“准筒体”既是抗震加固的墙体又是改造后结构抗侧力体系的主要组成部分,承担大部分地震剪力,起到对原砖混砌体“卸载”的作用.

1.3 外套框架支撑结构加层^[11]

框架支撑结构作为新加结构的抗侧力体系,其抗侧刚度远大于一般框架,起到的作用类似于框剪结构中的剪力墙,不但布置灵活,施工方便,而且可以解决加层层数增多时出现的抗侧刚度不足的问题和结构上刚下柔问题.

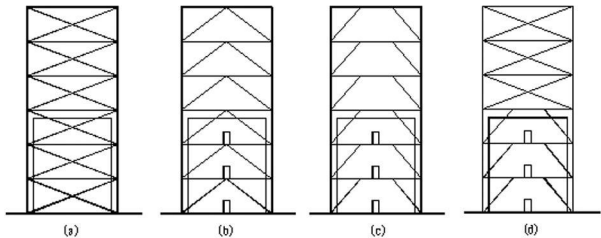


图 3 各种形式的外套支撑框架

框架支撑结构的形式灵活多样,可根据旧房屋的横墙开洞情况选取,如图 3 所示.其合理的布置应满足两个条件:在平面上,合理选择框支结构的数量和布置位置,平面布置可参照框架—剪力墙结构中的剪力墙的布置.由于框支结构的剪切变形比剪力墙的剪切变形大,因此其平面布置间距要比剪力墙适当缩小,而数量宜适当增加;在竖向,合理选择框架支撑结构的结构形式,使加层结构沿竖向的刚度比较均匀,以增强结构的抗震性能.

框架支撑结构根据施工的方便可采用钢斜杆框架支撑结构或混凝土斜杆框架支撑结构.当采用混凝土斜杆时,需注意控制混凝土裂缝宽度.而采用钢斜杆时,注意控制截面尺寸,使其满足稳定的要求.这种比较合理的外套结构形式也可采用在斜杆间设置减震耗能装置,或者斜支撑采用十字形型钢,外套方形钢管,钢管与十字形型钢之间浇注混凝土形成复合式支撑斜杆^[12],效果会更好.此外,也可借鉴多高层钢结构中的框架—偏心支撑结构体系.

1.4 巨型外套框架加层

巨型框架也称为主次框架结构体系,它由若干巨型柱(筒柱、大截面实体柱、边筒柱或组合柱组成)和巨型梁(或桁架)(每隔几个楼层或几十个楼层设置一道,梁高一般为 1~2 个楼层高)组成巨型框架结构.而由普通梁、柱组成的次框架被设置在两道主框架之间,次框架可支承在巨型梁上或吊在巨型梁下(图 4).巨型框架抵抗水平荷载十分有效,巨型框架各层层高基本相同,不存在竖向刚度突变问题,而且可以跨越很大的跨度.这些特点使巨型框架成为增加层数较多的房屋加层工程中一个值得考虑的方案.山西省阳泉市信托

投资公司办公大楼^[13]加层改造工程将四层框架加至十三层就是采用多个预应力梁式转换层的外套巨型框架结构,在不影响原建筑正常使用的前提下,实现了大幅度大跨度加层.值得注意的是这种结构体系由于构件刚度的增大,加剧了温度、收缩和局部压力的影响,节点构造上也可能会出现新的问题.

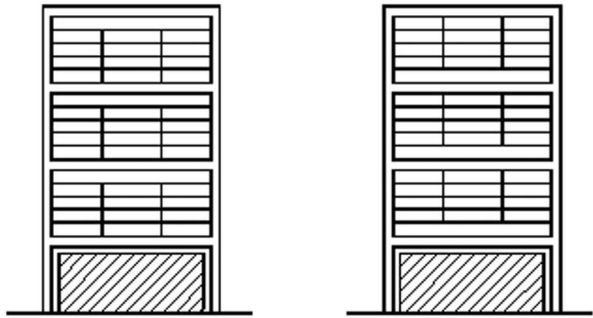


图 4 外套巨型框架加层

1.5 悬吊式外套结构加层

悬吊式结构是在既有建筑的外部或内部重新构筑筒体,将整个结构悬挂在筒体或支架下面,以避免地震的直接冲击,从而大幅度减小建筑物所受的地震惯性力.采用悬吊式外套结构加层,一方面可巧妙地解决在原有建筑物周围空间狭小的情况下增加建筑面积的难题,另一方面可获得良好的抗震性能.采用悬吊式外套结构加层成功的实例有同济大学图书馆加层工程和英国伦敦河岸广场的加层工程,还有美国 Jula Oklahoma 中州大楼的加层改造,其在既有 16 层结构中部从下至上截断一个柱网,全部打通,修筑一个内筒体伸出原结构屋顶来支撑新建层.黑龙江大学生公寓小区综合楼平

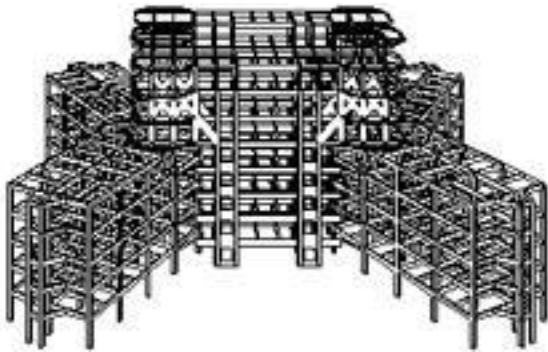


图 5 黑龙江大学生公寓小区综合楼悬挑结构加层

面呈“>—<”形,两个单体建筑在三层有空中连廊连接.原设计为四层框架结构,采用预应力空心楼板,局部为现浇楼板,基础为柱下独立扩展基础.根据使用要求,对现有结构进行两方面的扩建:一方面原四层结构按现有平面增加一层,变为五层结构;另一方面在两个单体建筑之间新建一个八层结构(局部九层),由于两单体建筑之间空间有限,于是在六~八层新建结构向两侧各延伸四个开间、形成轴线距离达 12.9 米的悬挑结构(图 5).

1.6 扩大底层复式框架结构

即外套框架底层采用每边双排柱,且将每边柱子根据需

要设计成若干层(图 6)·通过增加底层柱子数量以及柱子计算长度的减小使底层刚度得到加强·具有类似加强底层刚度作用的方案还有扩大底层加斜支撑结构、扩大底层筒体结构、扩大底层剪力墙结构等^[14]·但是这些方案的外套结构底层“庞大臃肿”,占地很大,建筑造型也不好,受建设场地和业主要求,可能在实践中不好实现·

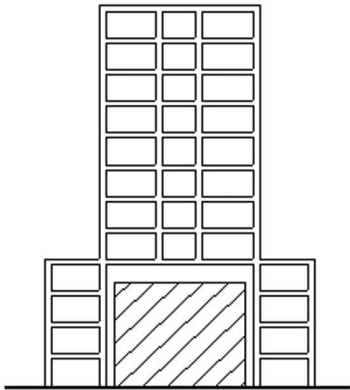


图 6 扩大底层复式框架结构加层

1.7 双臂空腹柱式外套结构^[15]

采用双臂柱和底层用空腹桁架代梁体系(图 7),计算表明,采用双臂柱明显改善了结构的上下刚柔特性,使结构具有较好的变形能力和耗能能力,同时由于超静定次数增加,增加了抗震防线,避免因部分构件破坏而导致整体结构丧失承载能力·

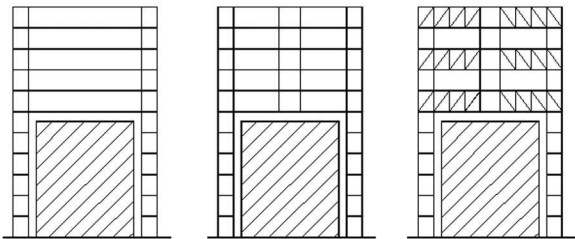


图 7 双臂柱空腹桁架式外套结构加层型式

需要注意的是双臂柱作为整体杆件分析,其抗弯刚度 EI 和抗侧移刚度 EI/l^3 虽然提高很多,但单肢的抗剪刚度 GA 并不高,因此有必要在柱脚及与底层横梁相连的柱顶段局部加密箍筋·双臂柱的外肢,桁架下弦及部分腹杆为拉弯构件·双臂柱的腹杆是强弯弱剪构件,断面不宜太小,腹杆节间间距不宜太大,最好采用斜腹系或薄腹板的实腹系·

2 整体式方案

2.1 钢拉杆连接新旧结构

外套框架柱设置在内外墙交接处,紧贴原砌体结构外墙,沿横向在楼盖下设置通长的钢拉杆与外套框架柱连接,沿纵向设置钢筋混凝土连梁·

2.2 采用水平杆件连接新旧结构^[16]

采用水平铰接杆例如混凝土短梁或短板连接新旧结构,一端刚接一端铰接(图 8、9)·为调整新旧结构沿竖向刚度,

也可通过在既有房屋下部加水平杆件连接而上部采用局部不落地的剪力墙结构(图 8),形成底部外套框架、上部框剪结构短梁连接的整体式结构加层·新旧结构之间水平铰接杆的连接,调整外套框架底层柱的长细比,提高加层结构的刚度;同时在地震作用下,新旧结构保持整体性,共同受力,具有较好的抗震性能和经济性能,比较适合地震区旧房高度较高的加层·

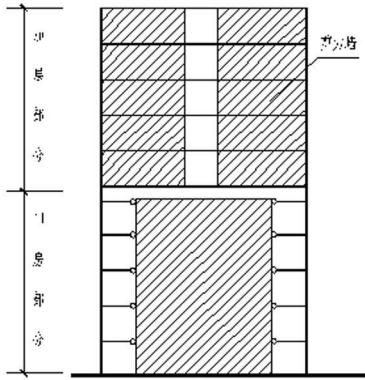


图 8 水平杆件连接新旧结构

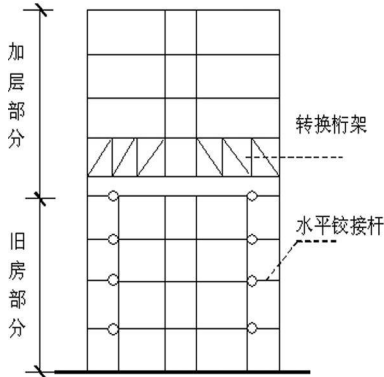


图 9 水平杆件连接新旧结构

2.3 整体式框架剪力墙加层

这种方案是通过增设钢筋混凝土框架和剪力墙,或把部分砖墙加固成为组合抗震墙^[17],组合抗震墙是在原砌体墙(抗震能力不足的墙体)端部和楼层处增设钢筋混凝土柱和钢筋混凝土梁(双梁),形成“暗”框架,同时对原墙体进行混凝土夹板墙加固,使墙片成为钢筋混凝土墙与砖墙组合体·改变既有结构体系,形成由钢筋混凝土框架、剪力墙和砖墙组成的新的结构体系(图 10)·

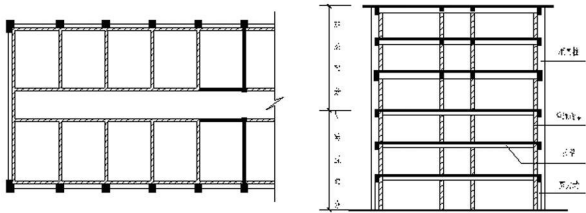


图 10 整体式框架剪力墙加层

2.4 壁箍式外套框架

壁箍式外套框架(图 11、12)是指外套框架柱紧贴外墙,

沿纵向贴外墙在每层楼板高度处设薄腹梁与框架柱相连,形成纵向外框.薄腹梁沿既有结构外墙浇筑并形成封闭式箍

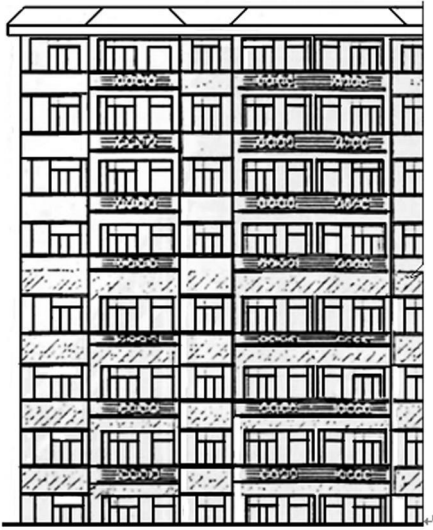


图 11 壁箍式外套框架加层局部立面

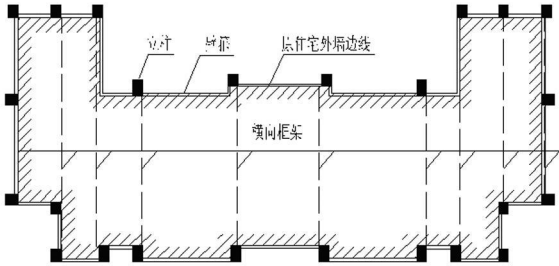


图 12 壁箍式外套框架加层结构布置平面图

梁,梁高为下层窗楣至本层窗台之间的高度.在有横墙处用钢筋混凝土拉梁与旧房屋连成整体,在无横墙而有进深梁处用刚拉杆与旧房连成整体.由于薄腹梁与既有结构外墙的接触面大,仅靠其接触面的摩擦力就可传递原楼层重量的一部分,再通过适当的新旧结构连接构造措施,新旧结构的共同工作作用得到更大的发挥,差异沉降相对较小.由于箍梁的上下与窗楣及窗台线重合,建筑立面的横线条没有增加,消除了“井格”的感觉,上下两段的立面趋于协调,基本消除了加层的痕迹,建筑立面造型得到很大的改观.

2.5 新旧结构间设置减震耗能的被动控制器^[18~21]

对强度的过度依赖和要求既不合理也不经济,所以出现了从“抵抗”地震作用转到“避开”的思想.外套结构加层实际上可看成是由两种不同材料、不同结构形式构成(或同一种材料和结构形式,或同一种材料两种结构形式)的两个“子结构”通过它们之间的连接构造连接在一起的整体(图 13、14).因此可以借鉴多体系水平组合控制的概念^[22],通过在新旧结构的适当位置增设附加的减震耗能装置连接来实现新旧结构的协同减震被动控制.

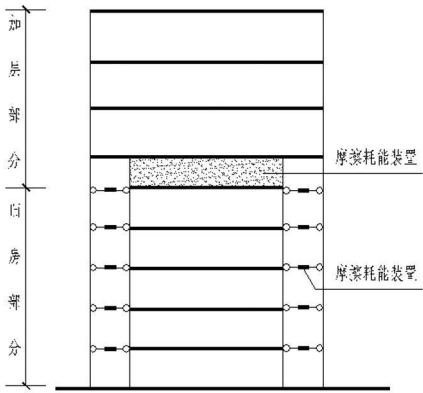


图 13 结构加层中设置摩擦耗能装置^[18]

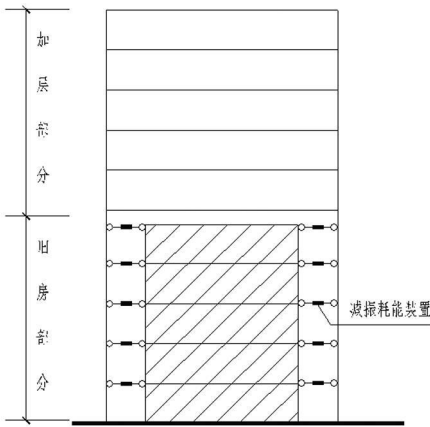


图 14 减震耗能装置连接外套结构加层

3 结语

1) 整体式外套结构的计算模型与加层结构方案以及新旧结构之间的连接构造关系很大,不同的结构方案和连接构造,如何考虑计算模型会有很大差异.

2) 关于外套结构的选型,具体落实到实际工程中需结合结构的特点,具体问题具体分析,灵活地选用或创造性地发展新的外套结构形式,这在一定程度上依赖于结构工程师的经验和对结构体系受力性能的整体把握上.

参考文献:

[1] Hiroshi Fukuyama and Shunsuke Sugano, Japanese Seismic Rehabilitation of Concrete Buildings after the Hyogoken-Nanbu Earthquake, Cement And Concrete Composites, 2000, (22), 59—79.
[2] 砖混结构房屋加层规范 CECS, 78—96, 78—96.
[3] Alper Ili, et al. Behavior of Damaged and Undamaged Concrete Strengthened by Carbon Fiber Composite Sheets, Structural Engineering and Mechanics, 2002(13), 75—90.
[4] Ma, Y.·Xiao, K.·N.·Li, Full-scale Testing of a Parking Structure Column Retrofitted with Carbon Fiber Reinforced Composites,

- Construction and Building Materials, 2000(14), 63—71.
- [5] Nobuyuki Matsumoto, et al. Restoration, Seismic Strengthening and Seismic Design for Railway Viaducts After Hyogoken — Nanbu Earthquake, Cement and Concrete Composites, 2000 (22), 47—57.
- [6] 唐曹明. 解决已有建筑物地震时碰撞问题的几点讨论[J]. 建筑结构学报, 2001, 1, 76—82.
- [7] V.Jeng, W.L.Tzeng. Assessment of Seismic Pounding Hazard for Taipei City. Engineering Structures. 2000(22), 459—471.
- [8] 程懋坤, 等. 北京日报社综合业务楼接层结构设计简介[J]. 建筑结构, 1993, 6, 25—28.
- [9] 王永帧, 等. 砖混房屋套建高层建筑的结构设计[J]. 建筑结构, 1997, 11, 7—9.
- [10] 孙澄潮. 纺织工业部办公大楼加固加层结构设计[J]. 建筑结构, 1993, 6, 10—16.
- [11] 彭锡麟, 曾华卿. 房屋加层抗侧力体系的研究[J]. 建筑结构, 1995, 449—52.
- [12] 赵彤等. 抗震加固方法在国外的若干新发展[J]. 建筑结构, 2001, 3, 26—28.
- [13] 周兴高, 等. 采用外套巨型框架大幅度加层设计[J]. 建筑结构, 2001, 6, 53—55.
- [14] 汪恒在. 旧楼采用外套框架结构加层合理方案的选择[J]. 建筑结构, 1991, 3, 17—24.
- [15] 曾华卿, 等. 钢筋混凝土空腹桁架式框架在房屋加层中的应用研究[J]. 建筑结构, 1993, 6, 19—21.
- [16] 王济川, 卜良桃, 等. 建筑工程结构鉴定、改造与加固[M]. 湖南科学技术出版社, 1999.
- [17] 曹双寅, 周屹. 多层砖混结构抗震加固与加层设计研究及应用[J]. 东南大学学报, 1997(增刊), 81—85.
- [18] Hongnan Li, et al. Study on the Seismic Response Reduction for Floor Increased Structural System With Friction Bedding and Dampers. Proceedings of the China—US Millennium Symposium of Earthquake Engineering. Earthquake Engineering Frontiers in the New Millennium, 2000, 451—462.
- [19] 李德荣, 等. 采用环形减震器外套框架增层结构减震耗能的可行性研究. 全国第三届建筑物鉴定与加固论文集(第三册). 云南·昆明, 1998, 11, 934—938.
- [20] 张仲先, 等. 外套加层协同减震在旧房加层改造中的应用研究[J]. 噪声与振动控制, 2000, 5, 21—25.
- [21] 傅向荣, 龙驭球. 减震耗能外套增层结构的受力分析[J]. 工程力学(增刊), 1999, 410—414.
- [22] 李敏霞, 等. 水平组合结构体系的变刚度控制[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1998, 6, 7—12.

Structural Types of Story—adding Schemes Using Structure—in—structure System for Existing Buildings

GAO Jian-ping, LIU Li-jun

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

Abstract: The story—adding schemes of existing buildings can be classified as separated or incorporated structure—in—structure system. The thesis presents some representative plans of the two kinds of story—adding schemes, analyzing the advantages, and disadvantages and applied range of each plan. Some suggestions on design and construction related problems are proposed to assist designers in choosing appropriate story—adding scheme.

Key words: existing building; story—adding; story—adding; structural type