汶川地震中预制装配整体结构的震害调查分析

张 瀑,鲁兆红,淡 浩
(四川省建筑科学研究院,四川 成都 610081)

摘 要:我国在20世纪80年代作为产业政策曾大力开展了预制装配式整体结构的研究与推广,四川地区在绵竹有大量的管框架结构应用实例。了解该类结构在地震中的表现,分析实际震损情况,是总结以往建筑设计、施工经验的重要途径,是进一步推动建筑工业化的重要环节。本文重点调查了绵竹地区管框架建筑的震害情况,发现所调查的建筑虽然设防水平较低、抗震构造措施较弱,但均经受了罕遇地震的考验,从震害的情况得到了一些有益的结论,对今后应重点开展的研究工作提出了建议。

关键词:管框架;预制装配;地震;损伤
中图分类号:TU312.3 **文献标识码**:A **文章编号**:1008-1933(2010)03-129-05

The survey analysis of prefabricated structure in Wenchuan earthquake

ZHANG Pu, LU Zhaohong, DAN Hao
(Sichuan Institute of Building Research, Chengdu 610081, China)

Abstract: The prefabricated structure was energetically developed as industrial policy in 1980 s in our country and there is lots of application examples of pipe frame in Mianzhu in Sichuan, so it is the important way to sum up previous experience in design and construction, and the important link to future promote the building industrialization, that know its feature in earthquake and analysis actual condition. This paper major survey the earthquake damage of pipe frame in Mianzhu, find that the structure of lower defence level and the weaker aseismic structural measures was not destroyed in earthquake , get some useful conclusion from the earthquake damage information, and provide suggestions for further study in future.

Key words: pipe frame; prefabricated structure; earthquake; damage

1 概 述

我国从20世纪70年代开始,为了实现建筑工业化的目标,有计划地开展了各种预制装配结构体系的研究与开发,并在全国推广应用。四川地区在20世纪70,80年代作为国家建设的重点区域,同样在预制装配结构的研究、开发和应用方面做了大量的工作,其中管框架结构、预应力板柱体系(南斯拉夫体系)、多功能框架体系(捷克体系)是主要的3种结构体系。上述3种装配整体式结构体系的应用主要集中在成都和绵竹地区,其中预应力板柱体系和多功能框架体系在成都应用,管框架结构则主要集中在绵竹,在成都、德阳等地也有应用。从所调查的项目看,3种装配式结构体系在地震中均有较好的表现,未发生垮塌等严重破坏。

调查研究这些预制装配结构体系在汶川地震中的表现,有利于补充完善过去在预制装配结构所开展的结构抗震研究工作,促进建筑工业化更好地发展。

本文以高烈度区管框架结构体系震损调查为主,对今后预制装配结构的研究提出了建议。

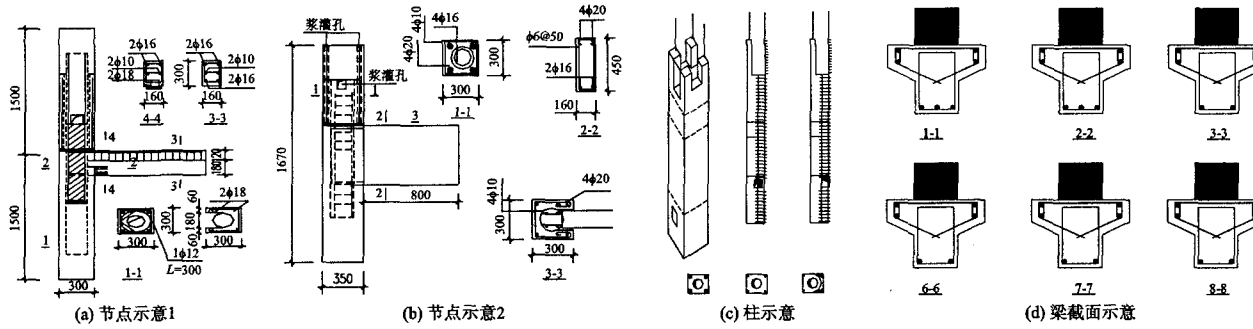
2 管框架结构在高烈度区的应用概况

在重灾区应用的管框架结构主要是多层建筑,受当时构件制作、安装作业中吊装能力的限制,结合建筑功能的需要,该类建筑物的开间尺寸大多为3.3~4 m,进深尺寸为4~6.5 m,结构构件通常采用内圆外方形管柱、十字形(花篮)梁,楼板基本上采用预制空心楼板;梁柱节点为现浇,十字形梁通常采用二次叠合梁,与预制板上的混凝土面层一起浇筑;楼梯通常采用预制梯梁加预制梯板;预制柱主筋接长通常采用浆锚方式连接,即预制下柱预留钢筋插入预制上柱下端预留孔中进行浆锚,与上柱钢筋属于搭接连接方式;梁柱节点区内的箍筋考虑到工艺实施的问题未形成封闭,而通过在柱上端留孔中

收稿日期:2009-10-28
作者简介:张 瀑(1963-),男,四川武胜人,教授级高级工程师,研究方向:建筑结构。
E-mail: zp@scjky.cn

增加螺旋箍并现浇混凝土填充予以增强。

管框架结构一般在横向上采用框架梁，纵向连接则采用现浇梁、叠合层等代梁、板间设置配筋现浇带等方式进行连接。



(a) 节点示意1 (b) 节点示意2 (c) 柱示意 (d) 梁截面示意

图1 构件及节点基本做法示意

Fig. 1 Schematic diagram for the method of member and joint

3 所调查管框架结构基本情况

针对管框架结构地震损伤的调查主要集中在绵竹市，所调查建筑的功能主要为住宅和办公楼，所调查建筑的基本情况见表1。

表1 管框架体系主要结构性损伤

Table 1 Main structure damage in the pipe frame

编号	用途	地点	层数/高度/m	基本柱网	设计烈度/实际烈度	主要结构性损伤
1	住宅	汉旺	6/18.9	3.3 m×4.5 m	7/10	个别柱柱顶混凝土保护层剥离
2	住宅	汉旺	6/18.9	同上	7/10	同上
3	住宅	汉旺	6/18.9	同上	7/10	同上
4	宿舍	汉旺	6/18	3.6 m×5.1 m	7/10	底层局部柱顶混凝土破坏
5	住宅	绵竹	5/16.2	3.3 m×4.5 m	7/8	1层少量柱窗台标高处及柱顶开裂
6	住宅	绵竹	4/12	同上	7/8	同上
7	住宅	绵竹	7/22.2	4.0 m×4.5 m	7/8	1层个别柱顶混凝土保护层剥离
8	办公楼	绵竹	5/19.5	4.0 m×6.3 m	7/8	一侧柱顶混凝土破坏
9	办公楼	绵竹	(5+6)/	4.7 m×5.1 m	7/8	塔楼底部破坏，主楼完好
10	办公楼	绵竹	4/12	不详	7/8	未取得震害调查资料
11	仓库	绵竹	4/15	4.0 m×5.0 m	7/8	个别柱顶及梁端开裂
12	办公楼	绵竹	6/21.9	4.0 m×4.5 m	7/8	无
13	仓库	绵竹	4/16.2	3.8 m×4.5 m	7/8	个别柱端保护层剥离
14	办公楼	德阳	8/26.2	3.9 m×5.6 m	6/7	无
15	办公楼	德阳	4/13.8	6.0 m×5.9 m	6/7	无

表中9号建筑主楼为5层，其上塔楼为6层，塔楼上部设置有广播电视发射钢塔；10号建筑未能取得有关震害的资料，但建筑已经过修复投入使用。

调查时，各建筑物的基本现状见图2。

4 管框架结构地震损伤及分析

所调查管框架结构的地震损伤主要表现在节点区混凝土破坏、柱钢筋局部屈曲、填充墙开裂、隔墙倒塌、附属部件倒塌等；管框架结构中的楼梯间各构件未发现明显破坏，楼板未发现明显损伤，有个别梁构件在端部出现开裂，柱构件仅有个别情况出现水平裂缝。

4.1 结构性损伤

4.1.1 填充墙造成短柱

项目6为4层住宅，其在1轴和5轴山墙上开有窗洞，地震中1轴和5轴的底层柱在窗台标高处及柱顶出现水平裂缝。项目6的基本情况见图3，项目5的损伤情况与项目6类似。

原因分析：填充墙上开窗使相邻柱形成短柱，而柱及节点箍筋并未增加，导致柱在窗台标高处及柱顶出现破坏。

项目8为5层办公楼，其临街面底层为商铺，背立面底层大开窗的填充墙，见图4。在地震中，背立面底层所有柱柱顶均出现混凝土剥离，个别节点箍筋拉断、主筋屈曲。

原因分析：正立面无填充墙，仅个别柱底有破坏；背立面由于大面积开窗使填充墙形成矮墙，造成相邻柱形成短柱，导致背立面所有柱柱顶破坏。

4.1.2 由于结构竖向突变造成受力集中使局部楼层出现破坏

项目9主楼为5层框架，中心部位屋面以上设6层框架式塔楼，塔楼顶部设钢结构发射桅杆。主

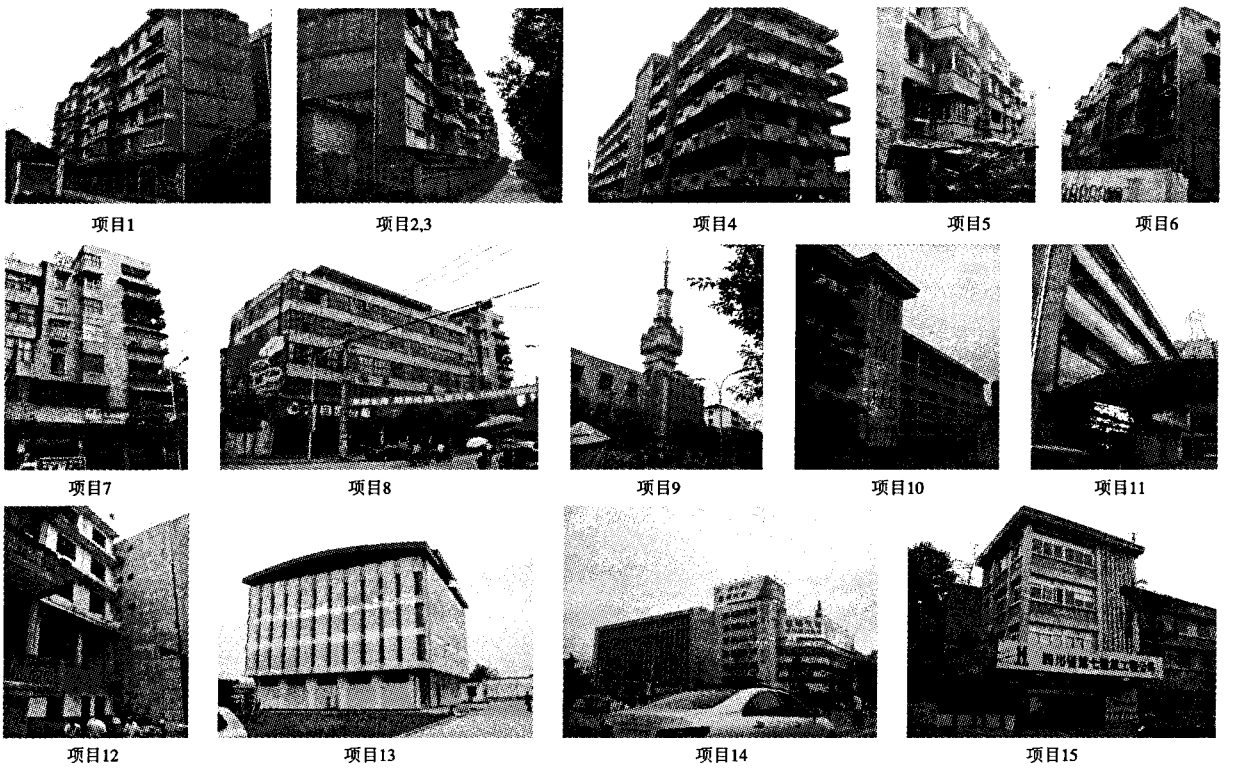


图2　各项目调查时基本状况

Fig. 2　Schematic diagram for the projects at surveyed

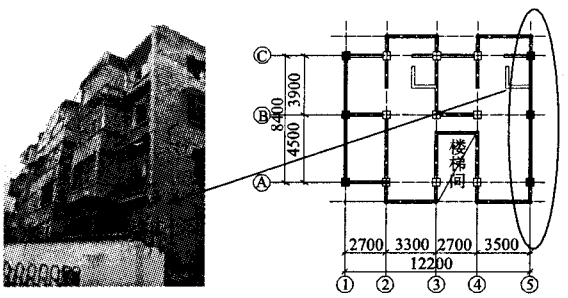


图3　项目6平面简图

Fig. 3　Plan diagram of the 6th project

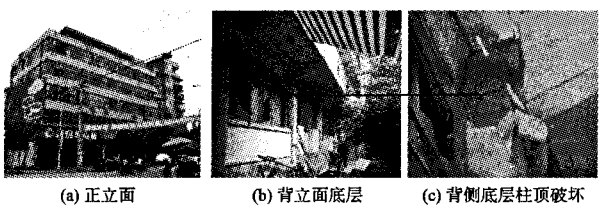


图4　项目8柱顶破坏

Fig. 4　Schematic diagram for the damage on top of a column in the 8th project

楼部分的结构主体未发现明显损伤,局部有填充墙及门洞附近出现开裂现象;塔楼部分在塔楼与主楼交接处个别柱顶、梁端出现开裂现象,局部有混凝土压碎,见图5。

原因分析:地震作用超出设计允许范围,在受力最薄弱的塔楼与主楼交接处出现柱端混凝土破坏。

4.1.3　建筑功能布置造成抗震薄弱环节

项目4为宿舍,在14~17轴间设置卫生间,楼

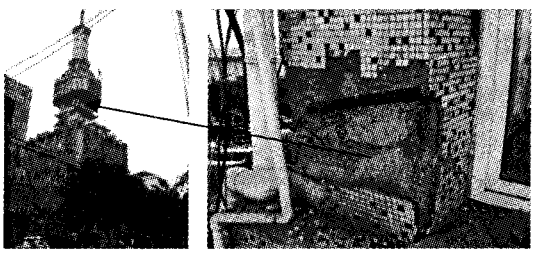


图5　项目9主楼、塔楼交接处破坏

Fig. 5　Schematic diagram for the damage of the junction between main building and tower in the 9th project

梯间设置于结构中部。建筑物在地震中的破坏主要集中在1层14~17轴间的节点破坏,节点破坏表现为混凝土剥离、主筋屈曲。平面简图见图6。

原因分析:由于建筑功能的变化,该建筑在出现破坏的一端填充墙体布置明显削弱,形成了建筑物的抗震薄弱环节。

4.1.4　节　点

在所调查的管框架建筑中,无论何种原因,在地震中出现的最主要破坏形式是节点区混凝土保护层压碎、钢筋屈曲,节点破坏的主要情况见图7。

原因分析:按当时规范设计的总体节点配箍率偏低,加之柱主筋在节点区存在约束不足的现象,因此,节点区易出现混凝土保护层压碎、钢筋屈曲等现象。

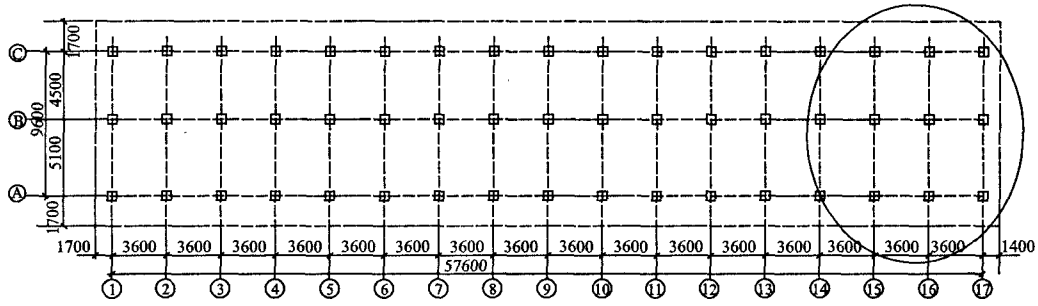
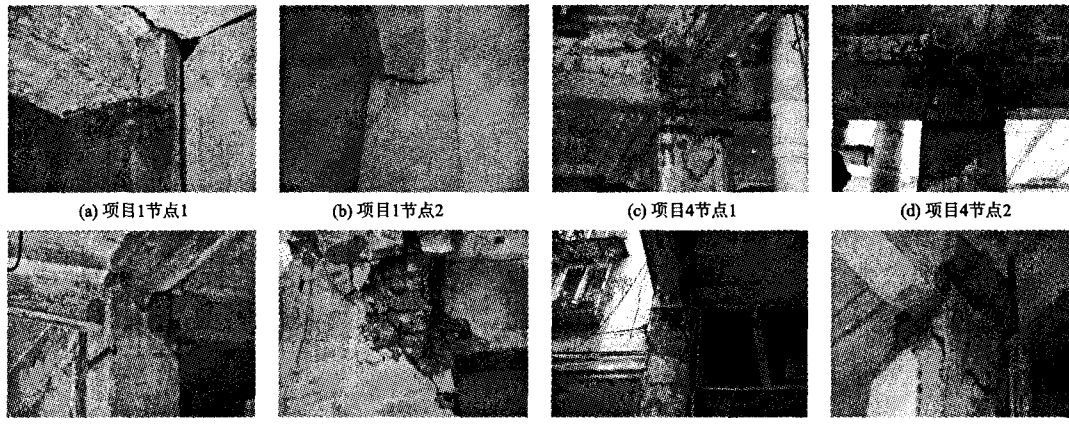


图6 项目4平面简图

Fig. 6 Plan diagram of the 4th project



(a) 项目1节点1 (b) 项目1节点2 (c) 项目4节点1 (d) 项目4节点2

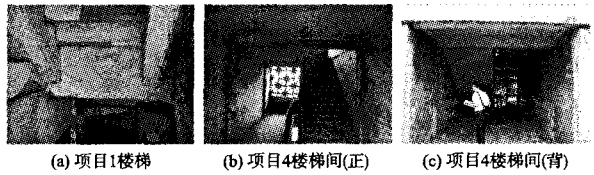
(e) 项目4节点3 (f) 项目4节点4 (g) 项目8节点1 (h) 项目8节点2

图7 节点损伤

Fig. 7 Damage in joint

4.2 楼梯间损伤

在所调查的管框架建筑中，未发现楼梯斜梁及楼梯板出现破坏现象；楼梯平台梁在支座附近局部有混凝土开裂现象，但未出现沿楼梯斜梁方向剪切破坏的现象；楼梯间周边柱亦未出现破坏的现象，楼梯间周边墙体也未出现倒塌，见图8。



(a) 项目1楼梯 (b) 项目4楼梯间(正) (c) 项目4楼梯间(背)

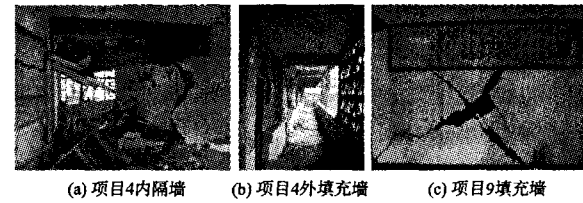
图8 楼梯间损伤

Fig. 8 Damage in stairwell

原因分析：梯板、楼梯斜梁及楼梯平台梁之间的连接均为铰接，在地震作用下，构件之间允许有一定的位移量，加之地震作用的主方向与楼梯间呈垂直方向，因此，楼梯间在地震中的破坏较轻。

4.3 非承重墙破坏

在所调查的管框架建筑中，非承重墙的破坏较严重。在建筑中，隔墙出现较大范围的倒塌，其中以1，2层更为严重；在框架间镶砌的填充墙其破坏程度较普通框架严重，破坏程度上轻下重。项目4内隔墙倒塌严重，外走道侧填充墙损伤较轻，见图9。



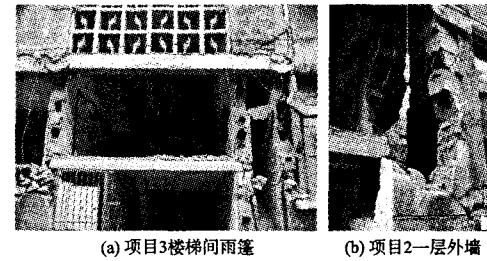
(a) 项目4内隔墙 (b) 项目4外填充墙 (c) 项目9填充墙

图9 非承重墙损伤

Fig. 9 Damage of non-load-bearing wall

4.4 附属部件损伤

在所调查的管框架建筑中，存在附属部件未作设计，在地震中出现倒塌，如楼梯间雨篷等，见图10。



(a) 项目3楼梯间雨篷 (b) 项目2一层外墙

图10 附属部件损伤

Fig. 10 Damage of sub parts

原因分析:设计时对建筑附属部件未作设计,附属部件与结构无任何有效连接。

5 结　语

对地震灾区实际建筑的调查分析,是总结以往建筑设计、施工经验的重要途径。通过对地震灾区装配整体式管框架受损情况的调查分析,可以发现所调查的建筑虽然设防水平较低、抗震构造措施较弱,但均经受了罕遇地震的考验。

从震害的情况可以得到一些有益的结论:

(1)装配整体式管框架结构的地震损伤程度与普通框架结构相比,没有明显的差别;造成该类结构损伤的主要原因仍然是地震作用远超过设计水准、对填充墙作用认识不足等;

(2)建筑物抗震整体概念设计同样直接影响了装配整体式管框架建筑的抗震性能;

(3)装配整体式管框架结构的节点是其抗震中的薄弱环节,尤其是箍筋的不封闭,需要总结克服;

(4)装配整体式管框架结构的楼梯间在地震中破坏较小,值得借鉴;

(5)装配整体式管框架结构较好的施工质量,在一定程度上弥补了设计标准较低的不足。

由于预制整体建筑施工质量易控制,现场作业文明,施工对周边环境影响小,建设速度快,建筑施工能耗低等优点,预制整体建筑必然会在我国的建筑市场中占有一席之地。为了进一步适应发展的需要,应当在以下几方面开展研究工作:

(1)柱主筋的接续方法,需要尽快制订满足全截面钢筋100%接续的技术标准;

(2)由于建筑功能对大空间的需要,应研究柱的配筋方式,以适应预制建筑的需要;

(3)节点配箍既应满足约束混凝土的要求,也应满足施工连接的需要。

本文的调查工作得到了张孝培、何林、陈述清等同事及绵竹质检站的大力支持,特此致谢。

(上接第121页)

将表3的N与表2的地基承载力对应列于表4,再将文献[6]标贯与承载力的参考关系也列入表4。

表4　标贯试验与静载荷试验确定地基承载力的对比

Table 4　Comparison between the base bearing pressure by SPT and that by static load test

场地编号	桩体			桩间土		
	标贯锤击数N	静载荷试验承载力/kPa	按文献[6]得到的承载力值/kPa	标贯锤击数N	静载荷试验承载力/kPa	按文献[6]得到的承载力值/kPa
①号场地	15.9	250	184.2	11.9	250	145.1
②号场地	7.4	243	103.6	6.4	223	89.6
③号场地	7.1	250	99.4	4.0	250	56
④号场地	8.9	250	124.6	8.3	250	116.2
⑤号场地	5.4	250	75.6	4.8	250	67.2
⑥号场地	11.0	250	148	7.0	250	98

从表4可以看出,文献[6]的参考值与陕西榆林地区地基的试验值相差甚远,说明各地区不同地质条件的标贯与承载力关系差异较大。

5 结　论

(1)通过实际工程的现场试验得到该地区的砂土地基承载力与标准贯入锤击数的对应关系,可为区域的地质勘察、地基处理等工程提供定量的参考数据。

(2)从工程试验结果与已有的标准贯入锤击数和承载力关系的对比可知,标准贯入试验虽然是确定地基土工程特性的重要指标,但该指标随地区、土质不同,变异非常大。给出全国通用的统一指标不现实,因此,地区经验的收集和积累是值得重视的问题。

(3)当利用标准贯入试验确定砂土工程特性时,应与其他原位试验结果综合分析且参考地区经验数据,具有重要意义。

参 考 文 献:

[1]　高大钊,姜安龙,张少钦.确定地基承载力方法若干问题的讨论[J].工程勘探,2004,(3).

[2]　袁　钟,李思源,申伯熙.标准贯入试验的应用及贯入击数的影响因素[J].港工技术,2002,(4):50-52.

[3]　GB 5007-2002 建筑地基基础设计规范[S].

[4]　JGJ 79-2002 建筑地基处理技术规范[S].

[5]　GB50021-2001 岩土工程勘察规范[S].

[6]　GBJ 7-89 建筑地基基础设计规范[S].