

都江堰市多龄期建筑楼梯间震害研究

林 迟¹, 孙爱伏², 侯 爽^{*2}, 欧进萍^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学 深圳研究生院, 广州 深圳 518055;

2. 大连理工大学 土木水利学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 根据汶川地震中都江堰市建筑震害调查结果,对城市多龄期建筑楼梯间的典型震害进行了统计分析,给出了楼梯间震害的破坏等级划分标准,并按标准对都江堰市楼梯间的典型震害进行分类,在此基础上统计分析该市楼梯间的震害情况,同时从设计规范、施工水平和施工缝留置3个方面对汶川地震中楼梯间震害原因进行了分析.结果表明:都江堰市多层砌体结构建筑楼梯间震害较其他结构类型破坏严重,毁坏比例达7.6%;不同龄期建筑中,2000年后建成并按新抗震规范设计的建筑,楼梯间震害较轻;由施工缝引起的楼梯间震害较为普遍,但正常施工的楼梯间震害较轻.

关键词: 多龄期建筑;楼梯间震害;汶川地震;都江堰市;施工缝

中图分类号: TU312.3 **文献标志码:** A

0 引言

目前我国大中城市大多数位于地震活动区,地震尤其近场强地震直接对城市各类建筑造成巨大威胁.城市多龄期建筑由于设计时采用规范体系不同、环境作用引起的性能衰减程度不同、施工质量不同等,其抗震性能各不相同.对既有城市多龄期建筑进行抗震性能评估和震害预测是城市抗震减灾的基础,已经成为我国社会、经济发展的迫切需求,是制定有效防灾措施、减轻城市灾害首先面临的课题.

楼梯作为重要的逃生通道,其破坏将会延误住户的撤离和救援工作的开展而导致严重的经济和生命损失.但如此重要的非结构构件,却往往是建筑物抗震的薄弱部位.作者参与了国家地震局组织的都江堰市震害普查工作,调研发现,该市各类建筑楼梯间发生破坏的现象较为普遍,这也引起了广大科研工作者对楼梯间震害特点的重视.本文依据汶川地震中都江堰市的建筑震害调查结果,对城市多龄期建筑楼梯间的震害特点进行统计分析.通过阐述城市多龄期建筑楼梯间的震害特点,突出现有建筑楼梯间存在的问题,以期为城

市多龄期建筑的加固改造和地震破坏的灾害预测提供依据.

1 都江堰市多龄期建筑楼梯间震害特征分析

“5·12”汶川地震发生后,震区的各类房屋建筑和工程措施遭受到了严峻的考验.楼梯间是建筑的出入口,也是地震时人群疏通的重要通道.但由于设计、施工以及多龄期建筑性能衰退的影响,震区建筑的楼梯间部分破坏严重,加重了人民生命财产的损失.本文首先给出楼梯间震害的破坏等级划分标准,同时按标准对都江堰市楼梯间的典型震害进行分类,并在此基础上统计分析该市楼梯间的震害结果.

1.1 都江堰市建筑构成情况

都江堰市较为普遍的房屋建筑为多层砌体结构、框架结构和底框结构.其中,框架和底框结构随着年代的推移,建造比例逐渐上升,多建于2000年后;多层砌体结构建造比例相对下降,但20世纪90年代之前建成的多层砌体结构仍占有较大的比例.90年代前建成的建筑,未考虑或未

收稿日期: 2009-03-04; 修回日期: 2009-08-04.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50538020);“九七三”国家重点基础研究发展计划资助项目(2007CB714202).

作者简介: 林 迟(1980-),男,博士生;侯 爽*(1977-),男,博士,讲师,E-mail: hous@dlut.edu.cn;欧进萍(1959-),男,博士,教授,博士生导师,中国工程院院士.

完全考虑抗震要求,震害较为严重,因此多层砌体结构建筑的震害情况应予以关注。

1.2 楼梯间震害破坏等级划分

目前还未有文献涉及建筑楼梯间的破坏等级划分。本文考虑修复的难易程度、是否可使用及直接经济损失大小^[1]等因素的影响,给出建筑楼梯间的地震破坏等级划分标准。多层砌体、框架和底框结构建筑的楼梯间破坏可划分为基本完好、轻微破坏、中等破坏以及毁坏4个等级。

1.2.1 基本完好 楼梯间各构件基本完好,不需修理即可继续使用。90年代后按抗震规范设计并严格施工的建筑楼梯间多数基本完好。

1.2.2 轻微破坏 梯段、梯梁等存在轻微裂缝或个别明显裂缝;楼梯间部分墙体出现轻微裂缝;休息平台出现轻微裂缝等。不需修理或只需稍加修理,仍可正常使用。

都江堰地区按89规范和2001规范设计的建筑楼梯间,部分出现轻微破坏。对框架结构,多表现为梯段、填充墙等出现轻微裂缝(见图1、2);对多层砌体结构,由于相对框架结构刚度较大,多表现为梯梁、楼梯间墙体出现轻微裂缝(见图3、4)。由于现浇板式楼梯的施工缝在施工过程中一般留置在梯梁或梯板长度1/3处,在地震发生时这部分容易产生轻微破坏。



图1 框架结构楼梯间填充墙出现裂缝

Fig.1 Crack in staircase infill wall of frame structure



图2 梯段1/3处出现裂缝

Fig.2 Crack in the 1/3 of stairway flight



图3 梯段与休息平台连接处出现裂缝

Fig.3 Crack in the connection of stairway flight and rest platform



图4 梯梁处轻微破坏

Fig.4 Slight crack in the stairway beam

1.2.3 中等破坏 梯段、梯梁等存在严重裂缝,部分构件钢筋外露、明显弯曲;楼梯间墙体严重开裂,局部倒塌;休息平台开裂,钢筋外露等。楼梯间仍具有一定的通行能力,但需局部拆除、大修。

都江堰地区少数建筑虽按89规范或2001规范设计,但施工时并未严格执行,地震时发生了中等破坏。这类震害在框架结构上较为多见,表现为梯段1/3处严重开裂且钢筋屈曲,梯梁弯曲开裂和填充墙局部倒塌等,如图5~7所示;图8所示为砌体结构的楼梯间承重墙开裂。另外部分90年代之前的建筑,由于设计时未考虑抗震要求,楼梯间也发生了中等破坏。



图5 框架结构楼梯间梯段、梯梁和填充墙破坏

Fig.5 Damage of stairway flight, stairway beam and infill wall of frame structure



图6 梯段1/3处严重开裂

Fig. 6 Serious crack in the 1/3 of stairway flight



图7 梯梁拉断

Fig. 7 Abruption of stairway beam



图8 承重墙出现裂缝

Fig. 8 Crack in bearing wall

1.2.4 毁坏 楼梯间濒于倒毁或已倒毁,梯段折断等;楼梯间不能满足通行要求,需拆除重建。

发生该类震害的建筑大都建于90年代之前,设计时未考虑抗震要求,同时本身结构性能退化也较为严重。对多层砌体结构,由于采用预制构件且楼梯间刚度较大,地震发生时,易发生整体倒塌(见图9);对框架结构,则多为梯板折断或填充墙倒塌,影响通行。

1.3 都江堰市多龄期建筑的楼梯间震害分析

汶川地震发生前,都江堰市的抗震设防烈度为7度^[2],而实际该地区的地震烈度为8~9度。按照上述的楼梯间破坏划分标准,对都江堰市2029栋不同结构类型的多龄期建筑的楼梯间震害进行分类统计。在预测基本烈度为7度地区的多龄期建筑抗震能力时,该统计结果可作为参考依据。

图10为对应于不同结构类型的建筑楼梯间震害破坏比。由图可见,多层砌体结构建筑的楼梯

间震害较为严重,发生毁坏的比例达7.6%;框架结构和底框结构建筑的楼梯间震害较轻,26.7%的多层砌体建筑为90年代前建造,这类建筑未考虑或未完全考虑抗震要求且受性能退化的影响,结构抗震能力较差,因此直接导致了多层砌体结构建筑楼梯间震害较为严重。



图9 多层砌体结构楼梯间倒塌

Fig. 9 Collapse of staircase of the multistory masonry structure

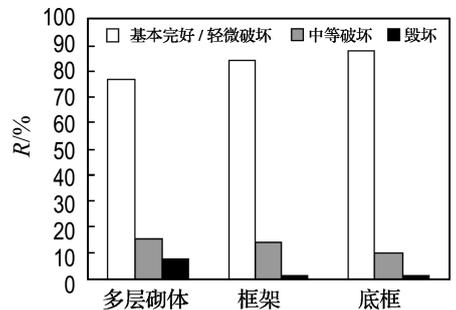


图10 都江堰市不同结构类型建筑楼梯间震害情况

Fig. 10 Seismic damage of staircase of various structure in Dujiangyan City

建筑由于结构类型的不同,抗震能力存在差异;此外不同龄期的同类结构由于设计时依据的规范体系和性能退化程度的不同,抗震能力也存在差异。为此选择都江堰市较为普遍的砌体结构、框架结构和底框结构作为研究对象,对不同建成年代的各类建筑楼梯间的震害情况进行分析对比。90年代前建成的框架和底框结构样本数量较少,因此不对其进行分析。都江堰市不同龄期砌体、框架和底框结构建筑楼梯间的震害对比情况如图11~13所示。由图可见,2000年后建成的各类建筑的楼梯间震害相对较轻;2000年之前建成的砌体结构建筑楼梯间震害较为严重,90年代前

建成的该类建筑楼梯间毁坏的比例 R 达到13.7%; 发生震害的框架与底框结构建筑楼梯间多建于90年代, 以中等破坏为主, 极少量发生毁坏。

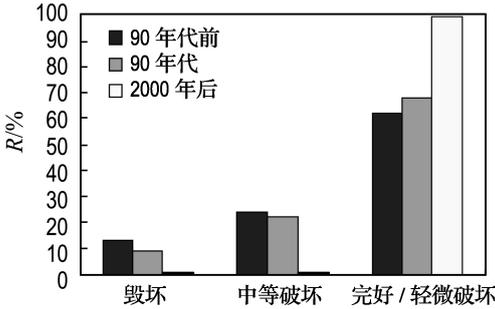


图 11 都江堰市不同龄期砌体结构的建筑楼梯间震害对比

Fig. 11 Comparison of the seismic damage of staircase of masonry structure in different construction time in Dujiangyan City

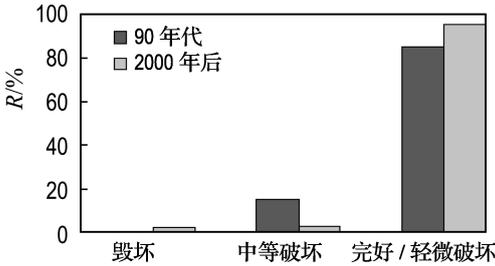


图 12 都江堰市不同龄期框架结构的建筑楼梯间震害对比

Fig. 12 Comparison of the seismic damage of staircase of frame structure in different construction time in Dujiangyan City

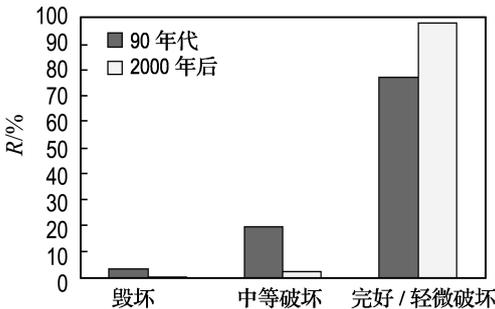


图 13 都江堰市不同龄期底框结构的建筑楼梯间震害对比

Fig. 13 Comparison of the seismic damage of staircase of bottom frame structure in different construction time in Dujiangyan City

2 楼梯间破坏原因分析

楼梯间是各类建筑的出入口,也是地震发生

时人群疏散的唯一通道,是整个建筑最为重要的构件之一.但在本次汶川地震中,楼梯间问题较为突出,引起了广大研究人员和专家的重视.为避免类似情况的发生,同时为震后的建筑抗震加固和修复工作提供参考,本文从设计规范、施工水平和施工缝留置3个方面对汶川地震中楼梯间震害原因进行分析.

2.1 设计规范

截至目前,我国城市建筑抗震设计规范的发展大体可分为3个阶段:早期的是《工业与民用建筑结构荷载规范(试行)》TJ 9—74(简称74规范)及《工业与民用建筑抗震设计规范》TJ 11—78(简称78规范)等;随后通过分析总结唐山地震的经验,对78规范进行修订,发布了《建筑抗震设计规范》GBJ 11—89(简称89规范);2001年后又发布了《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001(简称2001规范).

78规范主要进行结构在地震作用下的构件强度验算,也阐述了部分简单有效的构造措施,但对保证结构延性的抗震设计未作明确规定.89规范和2001规范在这方面做了改进,明确了延性抗震设计的思想,提出了“小震不坏,中震可修,大震不倒”的设防目标,补充了抗震构造措施^[3].对楼梯间,2001规范第7.1.7条、7.3.1条和7.3.8条等都做了相关要求,提高了楼梯间的抗震能力.

随着设计规范的发展,结构整体的抗震性能得到大幅提高.城市多龄期建筑的抗震能力也因此参差不齐,老旧建筑的抗震能力评估与维修加固已越来越重要.

2.2 施工水平

现场调查中发现,部分按新规范设计的建筑楼梯间仍发生了中等破坏,给社会造成了不小的经济损失.分析震害原因,主要是施工时偷工减料,如梯段未配分布筋、梯梁箍筋未加密等.以前人们对楼梯间的抗震能力重视程度不高,对其施工过程的监控力度不够,这次汶川地震中显露出的楼梯间破坏问题也给人们敲响了警钟.

2.3 施工缝留置

现场调查中发现,多数楼梯踏步板在1/3~1/2的部位发生了轻微破坏,少量发生了中等破坏.除了施工水平的影响,该处存在施工缝是造成上述现象的主要原因.

多层民用房屋结构中,多采用现浇板式楼梯.楼梯的施工需与主体结构的施工同步进行,才能保

证主体结构的安全和抗震能力,这就不可避免地在楼梯中留置一定数量的施工缝.目前,现浇楼梯施工缝的留置方法主要有两种^[4]:一是留置在楼梯梁中,距梁顶标高 1/3 处;二是留置在梯板长度 1/3 处.作为薄弱环节,这两处易在地震时发生破坏.调查表明,经严格施工的建筑楼梯间,部分发生了轻微破坏,大部分基本完好,因此按规范设计并严格施工的建筑楼梯间的抗震能力是有保障的.

3 结 论

(1) 都江堰市多层砌体结构建筑楼梯间震害较为严重,中等破坏比例达 15.6%,底框结构和框架结构建筑震害相对较轻.

(2) 按抗震规范设计的建筑,具有较好的抗震能力,楼梯间破坏轻微;90 年代之前设计的建筑,特别是多层砌体结构的建筑,楼梯间破坏较为严重.

(3) 2000 年后建成的各类建筑的楼梯间震害相对较轻;2000 年之前建成的砌体结构建筑楼梯间震害较为严重,90 年代前建成的该类建筑楼梯间毁坏的比例达到 13.7%;发生震害的框架与底框结构建筑楼梯间多建于 90 年代,以中等破坏

为主,极少量发生毁坏.

(4) 施工缝的存在,使结构易在该处产生裂缝,但按规范施工的建筑,楼梯间基本完好或轻微破坏.

为此,提出以下几点建议:

(1) 新建建筑应按新的抗震规范设计,其楼梯间的抗震性能是有保障的;

(2) 楼梯间作为逃生的重要通道,应严格把握其施工质量;

(3) 对不符合抗震鉴定标准的多龄期建筑应尽快进行改造加固,楼梯间尤为重要,以达到地震工作预防为主的目的.

参 考 文 献:

- [1] 王广军. 建筑地震破坏等级的工程划分及应用[J]. 世界地震工程, 1993(2): 33-35
- [2] 中华人民共和国建设部. GB 50011—2001 建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2001
- [3] 王亚勇,戴国莹.《建筑抗震设计规范》疑问解答[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006
- [4] 申东华. 板式楼梯施工缝的留置方法[J]. 建筑工人, 2005(6):45

Study of staircase seismic damage of multi-aged building in Dujiangyan City

LIN Chi¹, SUN Ai-fu², HOU Shuang^{*2}, OU Jin-ping^{1,2}

(1. Shenzhen Graduate School, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, China;

2. School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Based on the field investigation of building seismic damage in Dujiangyan City after Wenchuan earthquake and taking Dujiangyan City as an example, a statistical analysis of the staircase seismic damage of multi-aged building in city is made herein. Division standard of failure grades of the staircase seismic damage is given and typical seismic damages of staircase in Dujiangyan City are classified according to the standard. Statistical analysis of the staircase seismic damage in the city is made on the basis of the above data, and a cause analysis of staircase seismic damage is also made from 3 aspects, which are design code, construction level and the setting of construction joint. The results show that in Dujiangyan City, the staircase seismic damage of the multistory masonry structure is relatively serious, and the proportion of destruction is 7.6%. Compared with the buildings at different ages, the staircase of the building which was constructed after the year 2000 and designed by new seismic code is damaged slightly. The seismic damage of staircase caused by construction joint exists commonly and it is slight if the staircase is constructed normatively.

Key words: multi-aged building; seismic damage of staircase; Wenchuan earthquake; Dujiangyan City; construction joint