

# 厦门市不同时期典型砖混结构校舍抗震能力分析

王晓莉<sup>1,4</sup>, 黄建南<sup>2</sup>, 林静<sup>3</sup>, 袁兴仁<sup>4</sup>

(1. 中国建筑科学研究院厦门科研设计部, 福建 厦门 361009; 2. 厦门市建设与管理局, 福建 厦门 361004;  
3. 厦门市建筑工程检测中心有限公司, 福建 厦门 361004; 4. 厦门大学 建筑与土木工程学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:**通过对厦门市行政区域内公办中、小学校舍建筑抗震性能的摸底普查工作, 进行分类统计, 并初步摸清校舍建筑抗震性能的基本现状及存在的典型问题, 结合鉴定工作对校舍现状进行了分析总结。为后续校舍建筑的抗震性能分析, 找出校舍建筑抗震性能现状与现有规范之间的差距奠定基础; 为有关部门作好校舍建筑防震减灾工作提供参考依据。

**关键词:**校舍建筑; 抗震鉴定; 抗震性能

**中图分类号:** TU24      **文献标识码:** A      **文章编号:** 2095-0985(2011)03-0294-05

厦门市地处长乐—诏安地震断裂带中部, 被国家列入重点抗震设防城市。国务院要求全国在 2009 年至 2012 年对中小学校舍进行加固改造。在厦门市, 1983 年以前设计建造的建筑物基本未进行抗震设防, 1984 年至 1990 年的基本执行 78 版抗震设计规范<sup>[1]</sup>, 1991 年至 2002 年的执行 89 版抗震设计规范<sup>[2]</sup>, 2002 年至 2008 年的执行 2001 版抗震设计规范<sup>[3]</sup>。但是由于《建筑工程抗震设防分类标准》<sup>[4]</sup>提高校舍建筑的抗震设防等级, 使得校舍设计所采用的设防烈度等级由丙类提升到乙类, 乙类建筑应符合本地区抗震设防烈度提高一度的要求。因此, 2008 年以前设计建造的中小学校舍建筑大部分未达到国家现行抗震设防标准的要求, 特别是 2002 年以前设计建造的校舍建筑与国家现行抗震设防要求差距更大。

砖混结构由于选材方便、施工简单、工期短、造价低等特点, 在我国上世纪 80 年代的住宅、小型公用建筑及学校建筑中得到大量应用。由于建筑物新旧时间间隔长, 依据不同时期的建筑抗震设计规范造的建筑物的抗震能力差异较大。多层砖混结构的砖墙是房屋承受竖向荷载的主要构件, 又是承受水平地震作用的唯一构件。一般采用粘土砖和混合砂浆砌筑, 通过内外砖墙的咬砌达到具有一定整体连接性的目的, 砖砌体抗变形能力差, 属脆性材料, 在不大的水平力作用下就会出现沿灰缝的斜向裂缝。在地震作用下, 易发生脆性的剪切破坏, 从而导致房屋的破坏和倒塌<sup>[5]</sup>。

## 1 校舍概况

本文选用厦门市两栋校舍, 分别为按 78 规范(简称砌体 A)、89 规范(简称砌体 B)设计。采用中国建筑科学研究院开发的 PKPM(2008 版)系列软件的砌体模块建模, 建模中考虑构造的影响, 按现行抗震设计规范 7 度(0.15g)地震作用对结构承载力进行复核算。

砌体 A 为厦门市某小学教学楼, 建于 1980 年末, 该建筑物为三层砖混结构, 层高均为 3.3 m, 檐口高度为 9.9 m。建筑物长 42.9 m, 宽 8.0 m, 建筑面积 1060.60 m<sup>2</sup>。主要承重墙体(机制粘土砖)厚度为 240 mm。本工程楼、屋盖为现浇钢筋混凝土梁、板体系, 其基础形式为墙下条形基础。砂浆强度等级为 M1.8~M2.0, 粘土砖强度为 M7.5。原结构抗震设防分类为丙类, 设防烈度为 7 度, 按 78 规范设计, 结构平面布置如图 1。

砌体 B 为厦门市某中学教学楼, 建成于 1992 年 8 月, 该建筑物为四层砖混结构, 层高均为 3.5 m, 出屋面楼梯间层高为 2.1 m, 檐口高度为 14.0 m, 建筑物长 51.0 m, 宽 6.3 m, 总建筑面积 1524.2 m<sup>2</sup>。主要承重墙体的厚度: 一层 B、D 轴为 370 mm, 其他和二层以上均为 240 mm。本工程楼、屋盖均为现浇钢筋混凝土梁、板体系, 基础形式为局部钢筋混凝土柱下独立基础和墙下条形基础, 地基承载力为 200 kPa。原结构抗震设防分类为丙类, 设防烈度为 7 度, 按 89 规范设计, 结构平面布置如图 2。

收稿日期: 2010-06-30

作者简介: 王晓莉(1983-), 女, 福建厦门人, 硕士研究生, 研究方向为防灾减灾 (Email: lily\_jessica\_ong@yahoo.com.cn)

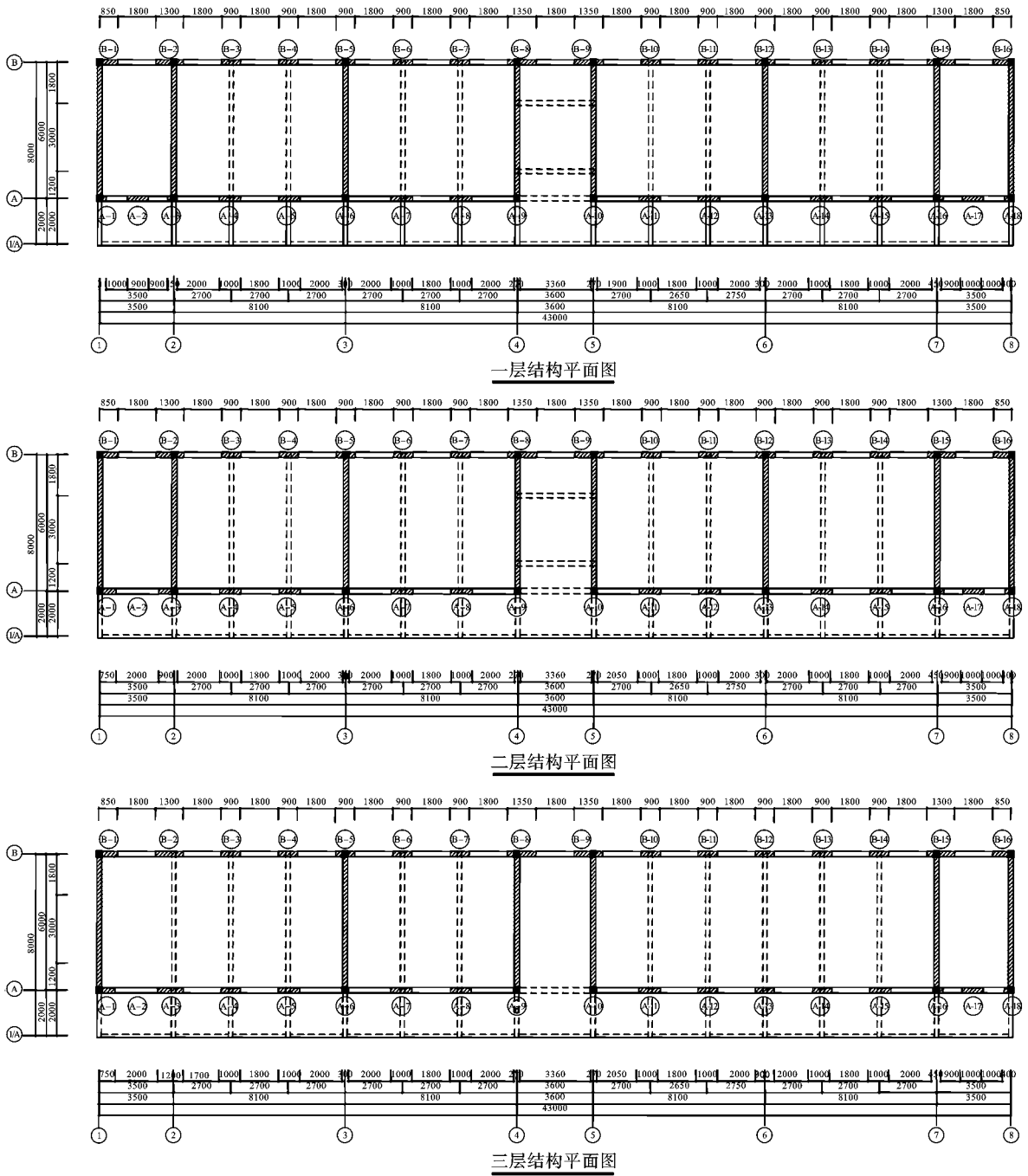


图 1 砌体 A 结构平面布置图

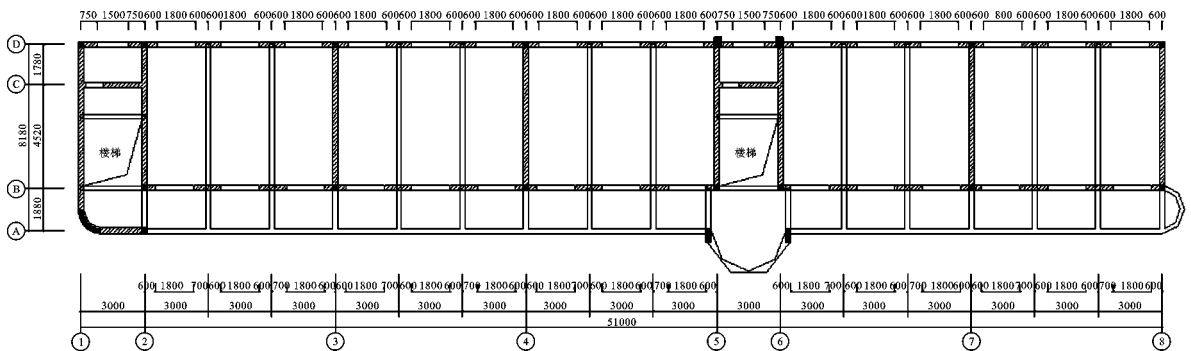


图 2 砌体 B 结构平面布置图

### 2 抗震措施与现行规范的差距

由表1和表2可知,砌体A和B与现行抗震设计规范构造措施差距主要在砂浆强度和墙段最小尺寸。砌体B的材料强度比砌体A高,圈梁构造柱的设置比A更接近现行规范。

表1 砌体A与01抗震规范比较汇总

比较内容	现状	01规范	比较结果
房屋总高	9.9 m	≤18 m	满足
房屋层数	3	≤6	满足
最大层高	3.3 m	≤3.6 m	满足
最大高宽比	1.65	≤2.2	满足
横墙最大间距	8.1 m	≤15 m	满足
建筑布置	规则	规则	满足
砂浆最低强度	M1.5~M2.0	≥M5	不满足
房屋整体性连接	好	平面内闭合	满足
圈梁布置与构造	隔层设置	现浇楼盖可不设圈梁	满足
最小局部尺寸	1000 mm	1200 mm	不满足

表2 砌体B与01抗震规范比较汇总

比较内容	现状	01规范	比较结果
房屋总高	14 m	≤18 m	满足
房屋层数	4	≤6	满足
最大层高	3.5 m	≤3.6 m	满足
最大高宽比	2.06	≤2.2	满足
横墙最大间距	9 m	≤15 m	满足
建筑布置	规则	规则	满足
砂浆最低强度	M2.5	≥M5	不满足
房屋整体性连接	好	平面内闭合	满足
圈梁布置与构造	每层设置	现浇楼盖可不设圈梁	满足
最小局部尺寸	900 mm	1200 mm	满足

进行抗震验算,建模中考虑构造柱的影响,设计基本地震加速度取0.15g。由图3~5可知砌体A抗震验算结果如下:底层横墙抗震承载力不满足,分别在1、2、6、8轴;底层沿A轴线纵墙抗震承载力大部分不满足,B轴线有部分墙段抗震承载力不满足,主要靠建筑角部。底层墙段抗震承载力不满足率达40%,墙段抗力与效应之比最低达0.47。二层纵墙抗震承载力大部分不满足,抗力与效应之比基本在0.73~0.80之间;横向墙体抗震承载力不满足主要在2和6轴,二层墙段抗震承载力不满足率达70.0%。三层墙段抗震承载力基本满足要求。

由图6可知砌体B抗震验算结果如下:一~三层纵向墙体抗震承载力均不能满足抗震规范要求,底层墙段抗震承载力不满足率达50%,墙段抗力与效应之比最低达0.84。一层局部横向墙体抗震承载力满足抗震规范要求,主要为楼梯间四角,其他墙段抗震承载力基本满足要求。

通过对按不同抗震设计规范设计的在役典型砌体房屋的分析,得出以下结论:(1)对于按照78规范设计的房屋,由于当时经济条件所限,对砌体结构所用材料、圈梁构造柱设置、墙体最小尺寸限制要求较低,因而相比现行抗震规范要求,抗震能力较差;(2)按照89规范设计的房屋,进行了抗震设计,但是现行抗震规范加大了地震作用,仍无法满足重点设防类(重点设防类要求:构造措施须提高一度进行抗震设防)的要求,因而相比现行抗震规范要求,抗震能力仍有一定的差距;(3)按照01规范设计的房屋,虽然按基本地震加速度0.15g设计,但构造措施仍按标准设防类设计,也不满足重点设防类的要求。

### 3 抗震承载力验算

采用PKPM软件中的砌体模块对砌体A、B

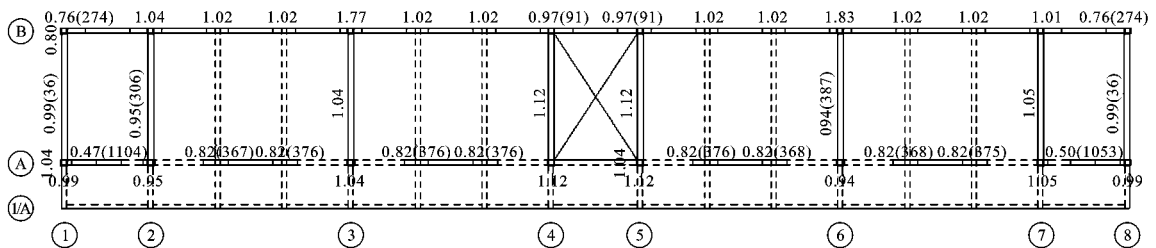


图3 砌体A一层抗震验算(抗力与效应之比)

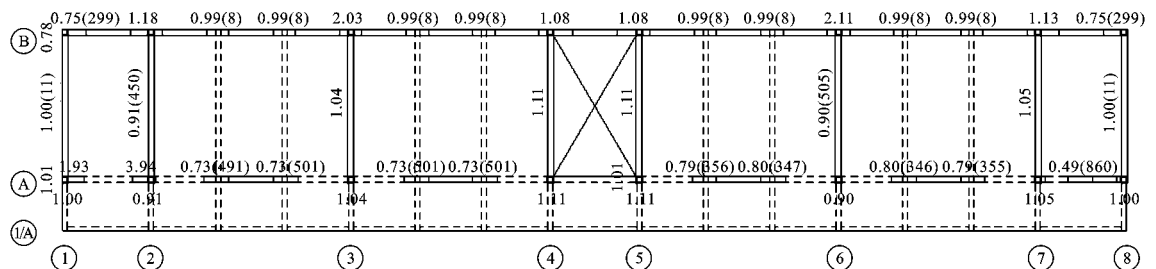


图4 砌体A二层抗震验算(抗力与效应之比)

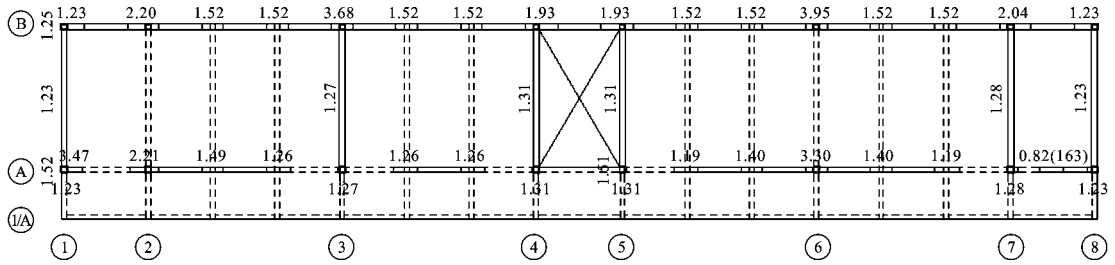
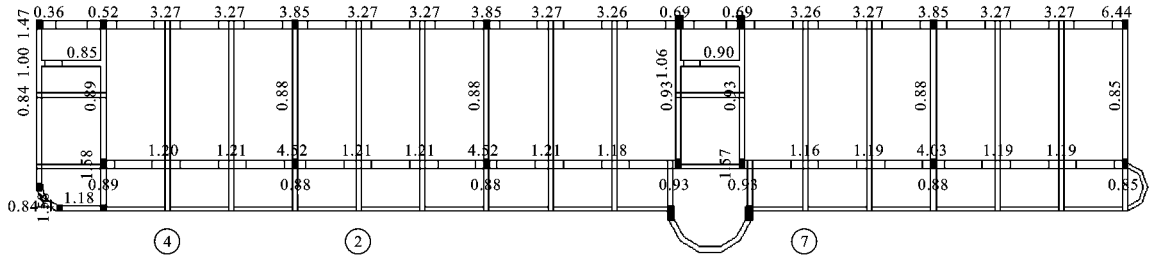
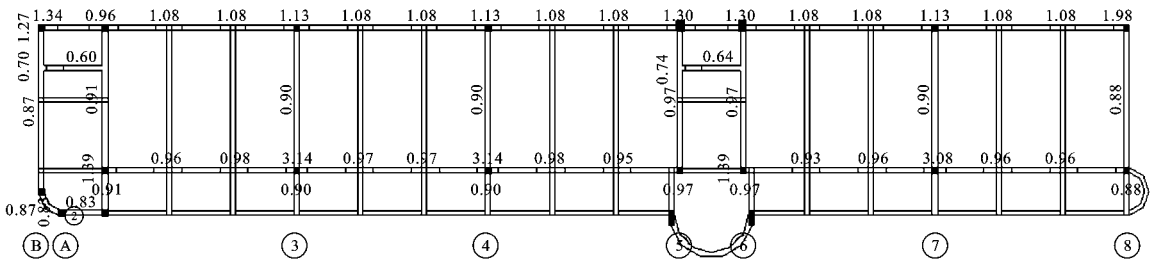


图 5 砌体 A 三层抗震验算(抗力与效应之比)



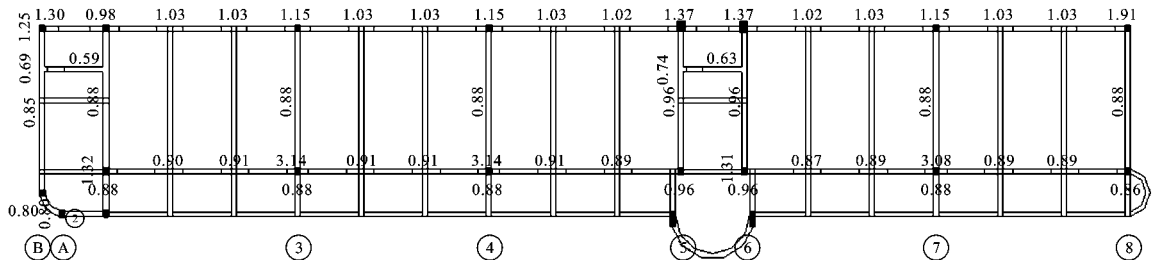
G1=5334.8 F1=228.5 V1=2063.8  $\gamma_{ra}=1.00$  LD=7.5 GD=1.0 M=5.0 MU=10.0  
 1层纵向抗力效应比: 1.41 纵向总抗力RL=2916.37 横向抗力效应比: 0.89 横向总抗力RT=1827.13

1层89规范抗震验算结果(抗力与效应之比, 括号内为配筋面积)



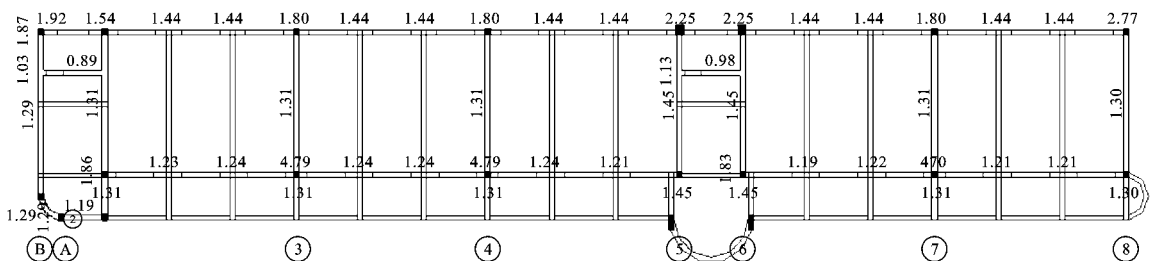
G2=4870.0 F2=400.8 V2=1835.2  $\gamma_{ra}=1.00$  M=5.0 MU=10.0  
 2层纵向抗力效应比: 1.06 纵向总抗力RL=1945.22 横向抗力效应比: 0.91 横向总抗力RT=1671.46

2层89规范抗震验算结果(抗力与效应之比, 括号内为配筋面积)



G3=4870.0 F3=593.0 V3=1434.3  $\gamma_{ra}=1.00$  M=5.0 MU=10.0  
 3层纵向抗力效应比: 1.02 纵向总抗力RL=1470.14 横向抗力效应比: 0.89 横向总抗力RT=1281.88

3层89规范抗震验算结果(抗力与效应之比, 括号内为配筋面积)



G4=4757.3 F4=767.1 V4=841.2  $\gamma_{ra}=1.00$  M=5.0 MU=10.0  
 4层纵向抗力效应比: 1.49 纵向总抗力RL=1253.88 横向抗力效应比: 1.34 横向总抗力RT=1125.95

4层89规范抗震验算结果(抗力与效应之比, 括号内为配筋面积)

图 6 砌体 B 抗震验算(抗力与效应之比)

## 4 厦门市中小学校舍抗震性能方面存在的典型问题

### (1) 结构体系

普查发现全市仍有部分校舍建筑采用砖砌体和框架共同承重的结构体系, 该种结构体系不具备明确的计算简图和地震作用传递路径, 地震时易发生较大的震害。同时极少量底框和内框的教学建筑仍在使用, 个别抗震性能极差的石质结构和整体连接极差的预制板房仍在使用。

### (2) 结构体型、平立面布置

抗震性能良好的建筑应力求结构体型简单、传力明确, 平、立面规则, 平面及竖向刚度分布均匀, 平面质心与重心基本重合。普查发现自上世纪九十年代以来, 由于建筑上过于追求花样, 导致部分体型过于复杂, 如矩形、多边形、圆形几种体型交叉在一起, L形、T形、回字形平面, 底层架空等平、立面不规则建筑在校舍建筑中广为运用。个别校舍建筑甚至出现因抗侧力构件布置的极不合理导致结构质心与刚心明显不重合的现象, 不利于抗震。

### (3) 楼梯间布局及抗震构造措施

楼梯间是建筑物的出入口, 也是灾害逃生通道, 若在大震中楼梯间破坏坍塌, 必然导致人员无法顺利逃生, 造成大量伤亡, 所以楼梯间的布局及抗震构造措施情况是本次抗震性能普查的重点调查项目之一<sup>[6]</sup>。普查发现砌体结构中楼梯间设置在端部及角部的现象较为普遍, 大部分砌体结构楼梯间四角、休息平台梁作用处均未设置构造柱、楼梯间墙体在休息平台或半楼层高度处未设置配筋带。另外个别框架结构的出屋面楼梯间采用砖砌体结构承重, 这种出屋面结构地震时易遭到严重的破坏。

### (4) 非结构构件抗震措施

附着于墙体、屋面、梁、柱结构上的非结构构件, 若与主体结构没有可靠的锚固拉结, 地震时不可避免的掉下, 倒塌伤人或砸坏重要设备。普查发现部分建筑女儿墙超高, 无可靠拉结。

### (5) 主要构件抗震承载力

由于设防类别以及地震设防烈度或分组的调整、或由于构件材料强度不足, 导致结构主要受力构件抗震承载能力不足。对于砖砌体结构, 大部分建筑墙体的承载能力不足, 尤其是纵墙无法满足抗震要求。结构主要构件抗震能力不足。

### (6) 砌体结构整体性能指标

砌体结构房屋层数越多、总高越高则地震时的破坏就越严重。厦门市大部分砌体结构房屋的层数均在1~6层之间、建筑总高在3.3~18.35m之间, 即部分砖砌体结构的教学楼层数、总高度、层高、高宽比、横墙间距等结构整体性能指标超过GB 50023-2009《抗震鉴定标准》规定的限值。

### (7) 砌体抗震构造措施

依据抗震概念设计的要求, 抗震规范对不同结构的抗震构造措施均做了详细规定, 这是在大震的作用下, 保证抗震多道防线, 吸收地震能量, 改变结构整体动力特性, 降低地震力保障“大震不倒”的重要措施。对于砌体结构规范要求设置构造柱和圈梁以提高的抗震能力。普查发现部分砖砌体结构未设置圈梁且楼(屋)面板与墙体无可靠连接, 不满足要求; 大部分砖砌体结构构造柱的设置太少或缺失, 不满足规范要求。

### (8) 砌体结构整体连接

砌体结构若整体连接不满足规范要求, 实质是一幢脆性材料建筑, 对抗震非常不利, 只有各抗震构件有可靠拉结连为整体, 才能提高延性, 构成独特的抗震结构形式, 达到三水准抗震设防的目的。普查部分砌体房屋在纵横墙交接处构造柱未设马牙槎、且未按规范要求设置拉结筋进行有效拉结, 这使得结构整体延性大大降低。

### (9) 砌体结构局部尺寸

由于校舍建筑应满足空间、采光及通风等方面的要求, 因此在砌体结构房屋的纵墙上开设较大的门窗洞口, 从而导致部分窗间墙、外墙尽端至门窗洞边的距离不满足规范最小尺寸的要求的现象普遍存在。这种小墙肢当遭受到地震作用时, 易首先遭到破坏或倒塌, 从而影响到结构整体抗震能力。

## 5 结 语

中小学校舍建筑属于公共建筑, 是人口集中的场所, 其抗震性能备受整个社会的关注。本文通过对厦门市中小学校舍建筑抗震性能的统计分析, 给出了这些建筑抗震性能现状及存在的不足之处, 基本反映了厦门市中小学校校舍抗震性能现状, 为后续学校建筑抗震改造加固方案及实施设计、施工提供参考。

(下转第302页)

Reinforced Concrete and Commentary [S].

[9] AC308 , Acceptance Criteria for Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete Elements [S].

[10] ETAG 001 , Guideline for European Technical Approval of Metal Anchors for Use in Concrete Annex C: Design Methods for Anchorages [S].

### Experimental Study on Seismic Behavior of Post-Installed Anchors in Steel-to-Concrete Connections

XIE Qun<sup>1 2</sup> , WANG Xin<sup>2</sup>

( 1. School of Civil Engineering and Architecture , University of Jinan , Jinan 250022 , China;  
2 . Shandong Provincial Key Lab of Appraisal and Retrofitting in Building Structures , Jinan 250101 , China)

**Abstract:** Four steel-to-concrete connections made with bonded-in reinforcement under reversed cyclic loading have been tested. The results show that steel bars reach yield strength before connection failure and the ultimate capacity is governed by strength of reinforcement following slight concrete cone failure nearby. Both yield load and ultimate capacity of connections increase individually with more embedment depth of bonded-in reinforcement. Seismic characteristics of hysteresis curves , ductility and dissipation are used to draw conclusions that the connections would behave without significant reduction of loading capacity after maximum value and appropriate deformability is beneficial to dissipate earthquake energy. Increased embedment depth and added amount of bonded-in reinforcements are helpful to improve seismic performance of connections.

**Key words:** reversed cyclic loading; post-installed anchors; steel-to-concrete connections; ductility

( 上接第 298 页)

#### 参 考 文 献

[1] TJ 11-78 工业与民用建筑抗震设计规范 [S].

[2] GB J11 - 89 建筑抗震设计规范 [S].

[3] GB 50011 - 2001 建筑抗震设计规范 [S].

[4] GB 50223 - 2008 建筑工程抗震设防分类标准 [S].

[5] 张熙光 ,王骏孙 ,刘惠珊. 建筑抗震鉴定加固手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社 2001.

[6] 赵恩平 杨娜茵 常紫薇 等. 北京中小学校、幼儿园建筑抗震调查研究 [J]. 工程抗震与加固改造 , 2009 31( 5 ) : 124-129.

### Seismic Performance Analysis of Different Periods School Buildings in Xiamen

WANG Xiao-li<sup>1</sup> , HUANG Jian-nan<sup>2</sup> , LIN Jing<sup>3</sup> , YUAN Xing-ren<sup>4</sup>

( 1. Research and Design Department of Xiamen in China Academy of Building Research , Xiamen 361009 , China;  
2. Xiamen Branch of China Academy of Building Research , Xiamen 361004 , China;  
3. Xiamen Construction Engineering Inspection Center Co Ltd , Xiamen 361004 , China;  
4. School of Architecture and Civil Engineering , Xiamen University , Xiamen 361005 , China)

**Abstract:** Through the administrative area of Xiamen Public primary and secondary school buildings to seismic performance of the diagnostic survey and the classification. And preliminary seismic performance of school buildings to find out the basic situation and typical problems , combined with identification of the work situation of the schools were analyzed and summarized. For subsequent analysis of seismic performance of school buildings to find out status of seismic performance of school buildings and the gap between existing norms basis and make school buildings for the relevant departments to provide reference for earthquake disaster reduction.

**Key words:** School buildings; seismic appraisal; seismic performance