

# 石墙承重房屋抗震构造措施的一些建议

刘 木 忠

(土木工程系)

## 提 要

抗震构造措施来源于地震区的工程实践。本文通过唐山、昭通、泉州等地震区,对石墙承重房屋的震害调查、总结、说明那些构造措施能避免建筑物过早损坏,防止倒塌。从而取得实际的依据,并通过分析归纳,提出一些抗震构造措施以作设计参考之用。

## 一、前 言

石砌体房屋,就其类型有料石砌体,毛石砌体。石砌体又可分为浆砌体和干砌体(不用砂浆,仅用石块垒叠)二种。

料石砌体就其加工程度的不同,分为细料石砌体、粗料石砌体、毛料石砌体等三种。

**细料石** 经过细加工,外形规则,表面凹凸深度不大于 0.2cm;截面宽度,高度不小于 20cm,且不小于长度的 1/3。

**粗料石** 规格尺寸同上,但表面凹凸深度不大于 2cm。

**毛料石(即块石)** 外形大致方正,一般不加工或仅稍加修整,高度不小于 20cm。

**乱毛石** 形状不规则,高度不小于 15cm,一般指由打眼放炮采得的石料<sup>[1]</sup>。

根据福建省闽南地区施工方法上的习惯,一般粗料石砌体采用有垫片和无垫片的施工方法。

对于石墙承重房屋抗震性能方面的研究,目前国内外有关这方面的资料甚少。由于石砌体受到开采,加工困难的限制,故其使用不如砖砌体那样广泛。因此,其震害的调查资料相对而言也是较少。

本文通过中国科学院工程力学研究所对唐山地震和云南省昭通地震中有关石墙承重房屋的震害调查的原始资料,以及福建泉州在公元 1604 年 12 月 29 日发生的地震的震害记载,进行分析研究,提出石墙承重房屋抗震构造措施的建议,以供设计参考。

## 二、震害调查及其分析

1976 年 7 月 28 日凌晨 3 时 42 分,河北省唐山市发生了 7.8 级强烈地震,震源深度约 15

公里,宏观震中在市内,极震区烈度为11度。地震波及到整个唐山地区和北京、天津两市,使广大震区人民的生命财产遭受到很大的损失,尤其是在唐山市区,多层砖房、石房大量倒塌,造成了灾难性的后果。28日晚18时45分,又在滦县野鸡坨发生了7.1级的强余震,使个别地区震害加剧,等震线图见图1所示。

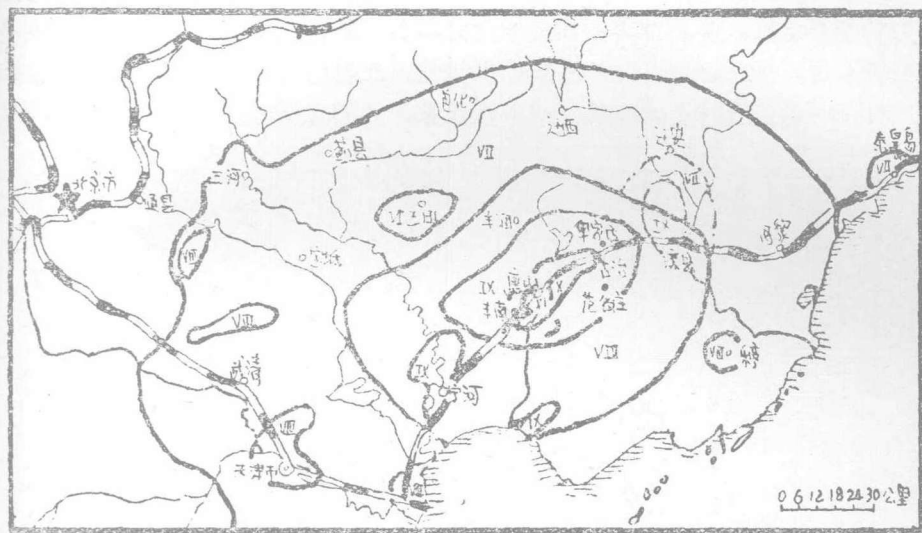


图1 唐山地震等震线图

唐山市由京山铁路线分为南北两大区,陡河由北向南流经市区东部。该市地区地形平坦,为河流冲积土层<sup>[2]</sup>。

唐山地区(包括滦县、昌黎、秦皇岛)在震前共有多层石墙房屋342栋,其中70%为石混结构,其余为底层石墙其它层为砖墙,或者外墙为石墙,内墙为砖墙;层数大部分为2层,少数为3~4层;楼(屋)盖型式大部分装配式钢筋混凝土或现浇钢筋混凝土楼(屋)盖,少数为木楼(屋)盖;墙体类型大部分为浆砌毛料石墙,少数为浆砌料石墙。

震害调查表明。唐山地区多层石房倒塌181栋,占整个地区的倒塌率53%,其中10、11度区(唐山路北区;路南区及唐山东矿区的陡河区、马家沟、开平镇、古冶、荆各庄等)的倒塌率75%;在9度区(唐山东矿区的林西矿、唐家庄矿、赵各庄、吕家坨、范各庄等地)倒塌率只有18%,大部分属于中等破坏;在8度区(滦县)大部分属于基本完好,而无倒塌;在7度区(昌黎、秦皇岛)82%属于完好而无倒塌。

从震害调查资料中发现在10度区有5栋属于基本完好,其中路北区的二炼单身宿舍(二层楼)纵墙承重,现浇钢筋混凝土楼(屋)盖,底层为料石墙,二层为75号砖墙、25号砂浆,设有二道钢筋混凝土圈梁;再如古冶矿有三栋家属住宅(二层楼)外墙为石墙,内墙为砖墙、现浇钢筋混凝土屋盖,预制空心板楼盖,并设有二道圈梁,均属于基本完好。这说明圈梁在抗震方面起了很大的作用。但是,如果施工质量差,砂浆标号低即使在低烈度区也会遭到严重破坏。如位于7度区昌黎县城关中学办公楼(二层楼)轻质内墙,外墙为石墙到顶,木楼盖,木屋架陶瓦屋面,白灰砂浆仅有2~4号,震后全部外墙酥裂。

1974年5月11日云南省昭通发生一次7.1级地震,震中烈度为9度,这次地震以振动频率高,竖向振动强烈为其地震动的特点。在这次地震中,横墙承重的刚性多层石房破坏严重,纵墙承重的空旷石房震害较轻。如大关县的木杆处于8~9度之间,普遍采用毛石和泥浆砌筑的石墙承重房屋,多数为二层,个别有三层的,木楼盖、木屋盖、瓦屋面。木杆学校,粮管所营业楼,卫生院,银行和邮电局等,都是横墙或纵墙承重的二层石房,震后均因承重石墙在产生剪切破坏之后,酥碎散落,丧失承受竖向荷载的能力而致落顶。相反,纵墙或墙、柱承重的空旷石房,均未倒塌,如:三层的供销社,二层的商业门市部和单层的粮库,仅有山墙裂缝,抹灰掉落,瓦片下滑和檐瓦掉落等现象,如图2所示<sup>[1]</sup>。产生这种震害现象主要

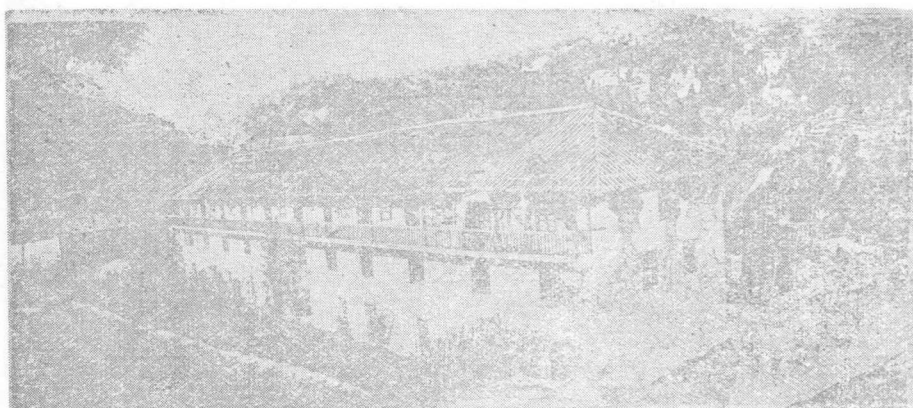


图2 木杆公社供销为瓦顶、石块墙壁的三层楼,在第一、二层楼之间和第二、三层楼之间的石墙上夹有一层与墙同宽的木板,因此除有掉瓦、泥皮脱落、三层楼木栏杆出现拔榫向外倒(照片左面)和少数玻璃窗的玻璃震破以外,基本完整。

在坚硬地基上的刚性结构,地震反应一般较柔性结构要大。在基岩上的刚性多层石房可能因自振周期与地震动周期比较接近而使地震反应有所增加之故。

福建省泉州地区1604年12月29日发生一次8级的强烈地震,震中在泉州东北方向海里,东径119.5度,北纬25度。泉州城内外为8度区。震后大部分房屋倒塌。但是,泉州古塔高达40多米<sup>[3]</sup>和清净寺的大门高达20米,宽4.5米均用细料石砌筑至今犹存。这说明细料石砌体的抗震性能较好,特别是当用高标号砂浆砌筑(如25号以上)在7~8度地震区,只有少数损坏<sup>[4]</sup>。

多层石房从震害的破坏机理来看,基本上与多层砖房相同,主要反应在下列部位:纵横墙体及其联结处;山墙以及房屋的其它附属物。

墙体的破坏主要表现为墙面出现水平裂缝,斜裂缝,交叉裂缝和竖向裂缝<sup>[5]</sup>,从唐山地震的震害调查发现:多层石房的墙体破坏主要表现为墙面出现斜裂缝和交叉裂缝。一般斜裂缝出现在窗台下,例如滦县百货公司(二层楼)一、二层的窗台下均出现斜裂。而交叉裂缝大部分出现在窗间墙,如滦县农机厂宿舍楼(二层楼)的窗间墙都有出现交叉裂缝。

墙角的破坏在多层石房中也是比较常见的,由于墙角位于房屋的端端,房屋对它的约束作用相对较弱,而地震对房屋的扭转作用,在墙角处的受力比较复杂,容易产生应力集中现象。例如云南省昭通地震时,木杆公社供销社的三层楼房的墙角破坏(见图2所示)。

楼梯间的破坏,主要也是墙体的破坏。由于楼梯间墙体没有一般房间的楼盖与其形成空间结构,墙体沿高度方向缺乏强劲的支撑,因此它的破坏比其它部位的墙体严重。如滦县农机厂宿舍楼(二层楼)震后出现楼梯间墙体外闪的现象。

昌黎县化肥厂的办公楼(二层楼),楼(屋)盖为预制空心板,外墙 40cm 厚石墙,内墙为砖墙、25号砂浆砌筑,震后属于完好,但在内外墙交接处个别出现斜裂缝。这说明在纵横墙联结处由于受到两个方向地震力作用,受力比较复杂,容易产生应力集中现象

石混结构房屋的破坏一般两端比中间严重,山墙作为横向抗震墙之一,若按刚度分配则山墙将分配到与中间横墙相同的震力,但山墙仅一侧有墙体与之拉结,比中间横墙的整体性差;而山墙承受的垂直荷载又比中间横墙的小,对抗剪不利。此外,地震对房屋的扭转使山墙承受附加剪力,亦往往加重山墙的震害。例如位于 9 度地震区的开滦大学有二栋石墙承重的宿舍楼(二层),现浇钢筋混凝土屋盖,预制槽形板楼盖,设有一道圈梁。震后这栋房屋的端部均有局部倒塌。又如位于 10 度地震区的荆各庄矿 7 号宿舍楼(四层)现浇钢筋混凝土屋盖,预制空心板楼盖,设有二道圈梁,一层为料石墙,二层以上为 75 号砖墙,震后山墙局部外闪现象。

此外,施工质量的好坏直接影响石房的抗震能力。例如位于 9 度地震区的赵各庄共有 33 栋石墙楼房(均为二层),其中有 8 栋石墙房是预制空心板楼(屋)盖,由公社施工队施工,由于砂浆标号很低,施工质量差,震后造成全部倒塌。而其它的石楼房仅遭受到中等破坏或严重破坏。

### 三、抗震构造措施

抗震构造措施是为了弥补计算的不足,特别在目前抗震计算是采用一确定荷载代替地震对房屋的作用,这不能完全反应地震的实际情况,而需要通过抗震构造措施来加以保证。

抗震构造措施来源于地震区的工程实践。地震后的实地调查,总结,说明那些构造措施能避免建筑物过早损坏,防止倒塌,从而取得实际的依据,并通过分析归纳,总结出规律性的东西作为设计的依据。

从震害调查表明,多层石房的破坏机理基本上与多层砖房相同。因此,其构造措施大部分可参照多层砖房的做法。

#### 1、结构选型和布置

纵横墙的布置应尽量均匀对称,沿平面应尽量对齐,沿立面应上下贯通。避免在平立面上有突然变化和不规则形状。

同一楼层应尽量设计成同一标高。有特殊要求时,错层高度不宜过大(如不大于 1 米),否则应考虑用防震缝分割成独立单元。

应优先选用横墙或纵横墙共同承重方案。窗间墙应力求等宽均匀布置。当选用纵墙承重方案时,应按现行抗震规范表 3 要求设置必要的抗震横墙<sup>[6·7]</sup>。

楼梯间不宜设置在端开间和房屋的转角处,否则应在构造上予以加强,如增设楼梯间休息平台标高处的圈梁等。应注意保障顶层楼梯间墙的稳定性的。

## 2、房屋高度及层数限制

多层石房的抗震能力,除与横墙间距,石头及砂浆的标号,结构的整体联结,施工质量等因素有关外,还与房屋的高度及层数有直接关系。

根据唐山及昭通地震区的宏观调查资料表明:大部分多层石房为二层,少数为三、四层;在不同烈度区的震害也不相同,位于高烈度区大部分石房倒塌,而位于8、9度区震害一般表现为上层较重,下层较轻。例如位于9度地震区的赵各庄矿一栋家属招待所(二层楼)及二栋女宿舍楼(二层),震后上层严重破坏(已拆除),底层加固后继续使用。出现这种震害现象笔者认为可能由于高振型影响而引起的。

考虑到多层石房国内外的震害资料较少,同时对多层石房抗震能力的试验研究资料甚少,为了安全起见笔者认为对多层石房的高度及层数限制应比多层砖房严格些。多层石房的高度及层数不宜超过表1规定。

表1 多层石房的高度(米)及层数限值

设计烈度 高度及层数 墙体类别	7		8		9	
	高 度	层 数	高 度	层 数	高 度	层 数
细 料 石 砌 体	16	5	13	4	10	3
粗 料 石 砌 体 (无垫片)	13	4	10	3	7	2
粗料石及毛料石砌体 (有垫片)	10	3	7	2	—	—

注:1.房屋的高度指室外地面到檐口的高度。

2.房屋的层高不宜超过4米。

3.石墙厚度不宜小于24cm,石头标号不宜低于200号,砂浆标号不宜低于25号。

4.表中“—”表示该类结构不宜采用。

表中尚未考虑加设钢筋混凝土构造柱之后,房屋的高度及层数是否提高的问题,主要是目前尚无这方面的试验研究资料。根据震害调查,例如位于7度地震区的昌黎县城关中学办公楼(二层),轻质内墙,外墙为石墙到顶,木楼盖,木屋架陶瓦屋面。由于白灰砂浆标号仅有2~4号,震后外墙全部酥裂。因此,建议在地震区禁止采用干砌石墙。

## 3、设置防震缝

设置防震缝的目的在于避免或减少地震时房屋相邻各部分因振动不协调而引起的破坏现象。

防震缝的设置问题,由于这方面的震害资料甚少,建议按多层砖房的要求设置。

当设计烈度为8度和9度並遇有下列情况之一时,宜设置防震缝将房屋分成若干体形简单,结构刚度均匀的独立单元。

房屋立面高差在6米以上;

房屋有错层,且楼板高差较大;

各部分结构刚度截然不同。

防震缝应沿房屋的全高设置,其两侧应布置墙,基础可不设防震缝。

防震缝的宽度应根据房屋高度和设计烈度的不同,一般取5~7cm。



沉降缝及伸缩缝还应符合防震缝的要求。

#### 4、加强房屋的整体性

石结构房屋抗震性能差的原因之一是房屋的整体性差。为了加强房屋的整体性,应加强纵横墙间的连接,楼(屋)盖与墙体间的连接,楼(屋)盖之间的连接。

##### (1) 加强墙体间的连接

加强纵横墙间的连接是保证石结构房屋整体刚度的重要措施之一。实际震害表明,由于内外墙或纵横墙体缺乏可靠连接,致使内外墙体拉开,严重的外墙甩出塌落。这种情况往往发生在内墙为砖墙外墙为石墙的情况。而大多数情况则为山墙与纵墙缺乏可靠连接,致使山墙拉开或外闪,严重者使山墙倒塌。因此,当设计烈度为7度时的高大房间以及设计烈度为

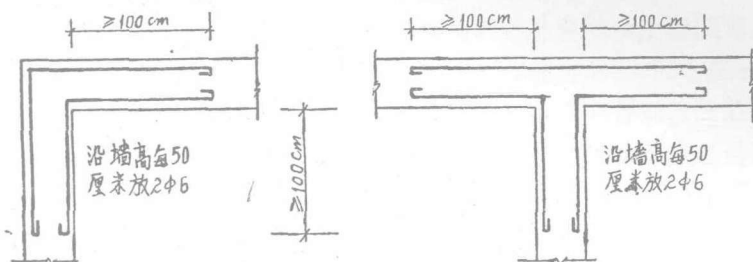


图 3

8度和9度(不论房间大小)时的房屋外墙转角处及内墙为砖墙外墙为石墙的内外墙交接处,或者当设计烈度8度和9度时,房屋内外墙均为石墙的内外墙交接处,均应沿墙高每50cm在灰缝内配置2φ6钢筋,每边伸入墙内不少于1米,如图3所示。

后砌的非承重隔墙在与承重墙或柱交接时,在交接处沿墙高每50cm预留2φ6钢筋以便与后砌非承重隔墙拉结。当设计烈度为8度和9度时,长度大于5.1米的后砌非承重隔墙的墙板宜与楼板或梁拉结。

此外,为了加强山墙及墙角处的抗震性能,高度在窗口上下截面处墙转角拉结钢筋宜伸过第一开间的横墙,并沿山墙拉通。

当设计烈度为8度和9度时,宜在顶层内纵墙与尽端山墙交接处砌筑踏步式墙垛,以加强山墙的拉结与稳定。

##### (2) 加强楼(屋)盖的整体性与刚度

为加强装配式楼(屋)盖的整体性与刚度,预制板端部宜留有锚固钢筋,以便与其它构件拉结,如图4所示。为了保证板缝的浇灌质量,板缝不宜小于4cm;房屋端部大房间的楼板、以及设计烈度为8度或9度时,房屋的屋盖(当圈梁设在板底)应加强钢筋混凝土预制板相互间及板与梁、墙及圈梁的拉结。

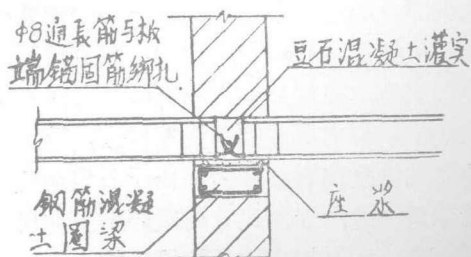


图 4

福建闽南地区,常采用石板楼(屋)盖

时,建议在每隔一条石板缝间设置 1 $\phi$ 6 通长钢筋以防石板脆性破坏。

### (3) 加强楼(屋)盖与石墙的连接

楼(屋)盖与石墙的连接是加强房屋空间作用的重要措施。为防止楼板搁置长度不足,导致地震时楼板与墙体拉开,甚至楼板塌落,规定了楼板搁置在墙、梁上的支承长度。

现浇钢筋混凝土板伸进纵、横墙内的长度均不应小于 18cm,且不小于墙厚减 12cm,

对钢筋混凝土预制板应座浆,而不应干摆,以增强粘结。当圈梁未设在板的同一标高时,板端搁进外墙的长度不应小于 12cm,且不小于墙厚减 12cm。否则,应增加板与外墙的锚拉措施。板在内墙上的搁置长度不应小于 10cm,在梁上不应小于 8cm;当板的跨度大于 4.8 米并与外墙平行时,楼盖和屋盖预制板紧靠外墙的侧边应与墙或圈梁拉结,如图 5 所示。

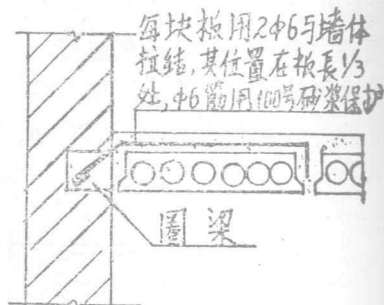


图 5

楼(屋)盖的钢筋混凝土梁或屋架必须与墙或柱锚固,或与圈梁联成整体。

### 5、圈梁对房屋抗震的重要作用

实践表明,圈梁在房屋建筑中可以发挥多方面的作用,如增强纵横墙体的联结,增强房屋的整体性;箍住楼(屋)盖,增强其整体刚性;减小墙的自由长度,增强墙体的稳定性;提高墙体的抗剪能力;约束墙面裂缝的开展及抵抗由于地震或其它原因引起的地基不均沉降对房屋的破坏作用等。

圈梁应交圈闭合设置。内外墙圈梁不在同一标高时应可靠搭接,整体浇筑。圈梁宜设于楼板同一标高处,或紧靠楼板设置,且宜采用现浇钢筋混凝土圈梁。圈梁的截面高度应不小于 12cm。有关圈梁的设置规定,可按工业与民用建筑抗震设计规范 TJ11—78 第 32 条的规定采用。

### 6、关于房屋局部尺寸的限制

房屋局部尺寸的影响,有时仅是造成局部破坏而不妨碍结构的整体安全。但是,对于某些重要的局部破坏,也能牵动全局,造成整栋结构的破坏甚至倒塌。

窗间墙的均匀布置是十分重要的,在平行于窗间墙的地震水平力作用下,地震力按构件刚度比分配。当在同一列墙的窗间墙不等宽时,较宽窗间墙由于分担较多地震剪力而易于首先破坏,随之逐个破坏而导致整个结构的倒塌,无疑这对抗震是很不利的。

从唐山地震调查中看到,较窄窗间墙的破坏往往容易造成上部构件的塌落,危及整个房屋的安全。而宽度较大的窗间墙虽然在强烈地震的作用下,也遭损坏甚至出现缝宽达数厘米的破坏,但由于窗间墙宽度较大,裂后仍有一定的承载能力而未倒塌。因此,规定宽度较大的窗间墙是很有必要的。由于石墙房屋的破坏机理与砖墙房屋的破坏机理基本相同。建议石墙承重房屋的局部尺寸的限制按工业民用建筑抗震设计规范 TJ11—18 的表 5 采用。

### 7、加强楼梯间的抗震性能

楼梯间墙体的震害比其它墙体严重,而地震时楼梯间又是疏散人员和进行抗震救灾工作

的交通要道,因此必须加强楼梯间的抗震性能。

为了加强楼梯间墙体的整体性,在一定程度上限制墙体裂缝的延伸和扩展,除在平面布局上不宜将楼梯间设在第一开间外,还要求在设计烈度为 9 度时的顶层楼梯间横墙及外墙沿高度每隔 50cm 设 2 $\phi$ 6 钢筋拉通,其它各层可在休息平台或楼层半高处的墙上设一道配有 2 $\phi$ 10 钢筋的 6 厘米厚的砂浆带。砂浆标号不应低于 50 号。

设计烈度为 8 度和 9 度时,楼梯间及门厅内墙阳角处大梁支承长度不应小于 50cm,且应与圈梁联结。

装配式楼梯段应与平台板的梁有可靠联结,不应采用悬挑式楼梯踏步及有竖肋插入墙体的预制楼梯踏步,亦不应采用无筋砖砌栏板。

### 8、重视施工质量

施工质量直接影响房屋的抗震能力。震害调查表明,砂浆强度、灰缝饱满程度,纵横墙体间及其它构件间的联结质量,都明显地影响房屋的抗震能力。这是因为砂浆强度、灰缝饱满程度直接影响砌体的抗剪、抗拉强度,而纵横墙体间及其它构件间的可靠联结是保证房屋整体性的重要措施,因而直接影响房屋的抗震能力。对于有垫片的石砌体,根据闽南地区的施工方法是先把垫片垫好然后灌浆,笔者认为这种施工方法灰缝是不能饱满的,会直接影响石砌体的抗剪能力。因此,建议应先座浆然后再加垫片。

## 四、结 语

上述对石墙承重房屋抗震构造提出八个方面的措施,有的已经过震害考验,有的是参照多层砖房的抗震构造措施。由于石砌体的物理、力学性能及其动力特性尚未做试验研究。因此,这些构造措施有待于今后进一步改进,以臻完善。

本文有关石墙承重房屋的震害原始资料系中国科学院工程力学研究所提供,借此表示感谢。石墙承重房屋的震害资料系由王一岗同志整理。

## 参 考 文 献

- [1] 《砖石结构设计手册》编写组,砖石结构设计手册,中国建筑工业出版社,(1975)。
- [2] 杨玉成、杨柳、高云学等,多层砖房的地震破坏和抗裂抗倒设计,地震出版社,(1981)。
- [3] 刘木忠,泉州古塔抗震性能的探讨,华侨大学学报,(1982)。
- [4] 《地震工程概论》编写组,地震工程概论,科学出版社,(1977)
- [5] 北京建筑工程学院、南京工学院合编,建筑结构抗震设计,地震出版社,(1981)。
- [6] 工业与民用建筑抗震设计规范 TJ11—78,中国建筑工业出版社,(1979)。
- [7] 中国建筑科学研究院工程抗震研究所,工业与民用建筑抗震设计手册,(1981)。