

内部资料
注意保存

建筑震害分析资料选编

中国建筑工程出版社

内部资料
注意保存

建筑震害分析资料选编

本社编

中国建筑工业出版社

本书选自近年来国内几次强烈地震以后各单位的有关调查报告和科学研究资料，以及最近唐山、丰南地震后对唐山、天津地区有关单层工业厂房震害的两篇调查资料。这些资料对我国南北方城镇、农村、山区的各类建筑在地震烈度为6~11度时上部结构及地基基础的震害情况、破坏原因和抗震能力等方面，作了综合细致的分析，并附有一些典型建筑物的震害分析实例。

本书可供有关地区基建、房修部门的设计、施工和科研人员参考。

建筑震害分析资料选编

本社编

内部发行

*

中国建筑工业出版社出版（北京西郊百万庄）

中国建筑工业出版社发行

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：17¹/₈ 字数：412 千字

1976年12月第一版 1976年12月第一次印刷

印数：1—30,630 册 定价：1.10 元

统一书号：15040·3370

编 辑 说 明

遵照伟大领袖和导师毛主席关于“备战、备荒、为人民”的教导，贯彻执行“在党的一元化领导下，以预防为主，专群结合，土洋结合，依靠广大群众，做好预测预防工作”的方针，切实做好防震抗震工作，对已有的建筑进行抗震加固，对新设计的建筑采取抗震措施具有重要的意义。

为了配合建筑抗震工作的需要，我们根据一些单位对近年来多次强烈地震进行的震害调查和建筑物抗震加固的经验，选编了《建筑抗震加固资料选编》和《建筑震害分析资料选编》，分册编辑出版。

这本《建筑震害分析资料选编》共选入23篇资料。这些资料对我国南北方城镇、农村、山区的各类建筑（居住建筑、工业建筑和公共建筑等），在地震烈度为6~11度时上部结构及地基基础的震害情况、破坏原因和抗震能力等方面，作了综合细致的分析。在建筑结构类型上，包括有：混合结构建筑，砖木结构建筑，石木结构建筑，空斗墙建筑，砖拱建筑，土坯及夯土墙建筑，土、石拱窑建筑，钢筋混凝土柱厂房建筑，单层砖柱（墙）厂房建筑，钢筋混凝土框架结构建筑等。此外，还附有一些典型建筑物的震害分析实例。

在编辑过程中，我们对原稿有关部分作了摘引，基本上保持原稿的面貌，只是对原稿中明显差错作了更正，并在文字上作了加工和整理。由于编辑时间仓促，有些资料未来得及征求有关单位的意见，望予谅解。

选编资料时得到了许多单位的大力支持，在此表示感谢。还需要说明的是，在我们定稿时，还有不少单位陆续寄来资料，由于时间关系，有的资料未及选入。

中国建筑工业出版社编辑部

一九七六年九月

毛 主 席 语 录

阶级斗争是纲，其余都是目。

备战、备荒、为人民。

独立自主、自力更生。

要认真总结经验。

总而言之，我们要有准备。有了准备，就能恰当地应付各种复杂的局面。

目 录

海城地震工业与民用建筑震害分析·····	1
唐山地区单层厂房震害调查和分析·····	40
内蒙古和林地震农居震害调查·····	58
天津地区单层厂房震害分析·····	67
云南永善大关地震房屋的震害分析·····	93
丹江库区农村房屋的抗震分析·····	96
四川炉霍地震建筑物的震害与分析·····	105
江苏溧阳空斗墙震害调查·····	111
云南通海各类房屋的震害分析·····	118
辽南工业建筑震害情况和经验·····	128
多层砖混结构房屋震害调查·····	141
鞍山海城地区建筑物震害分析·····	158
单层砖柱(墙)厂房震害调查分析·····	177
内框架房屋的震害分析及抗震设计问题·····	185
海城地震内框架房屋的震害及初步分析·····	190
峨山县城房屋的震害调查·····	201
工程地质条件与地震的关系·····	212
从近年地震中看饱和砂土的液化问题·····	215
单层厂房抗震能力的调查分析·····	234
砖柱木屋架空模型房屋的抗震试验·····	241
辽南地震工矿区建筑物震害调查实例·····	249
营口市房屋震害调查实例·····	258
云南省东川地区建筑震害分析实例·····	261

海城地震工业与民用建筑震害分析

辽宁工业建筑设计院整理●

1975年2月4日19时36分，辽宁省南部海城、营口一带，发生7.3级强烈地震。为了总结经验，在抗震防震工作中更好地贯彻以预防为主方针，许多单位都组织了建筑震害调查组深入灾区进行调查，了解地震对建筑物的震害情况，考察各类建筑物的抗震性能和破坏规律，总结建筑抗震的经验教训。现按建筑类别，分述如下。

一、城乡单层居住房屋

(一) 震害情况

在海城、营口地区的民间居住房屋和一些公用房屋，不论城镇和乡村大多数都是单层平房。地震后，房屋的损害程度根据各地的烈度及房屋质量有所不同。例如，在9度的海城县，年久失修的旧房多被毁坏。其破坏现象主要为：山墙倒塌和屋面滑坡（图1）。在这里，多数墙体是里生外熟，里面用未经烧结的砖坯和外面用普通粘土砖混合砌成，搭接不好，一晃就散，轻的上部倒塌，重的整片倒掉。墙倒后露出“墙柱”，由几根细小的木柱支撑着上面未倒的屋面。也有少数因山墙柱腐朽折断使屋面随之倾倒的。屋面做法在城镇以瓦屋面为多；在农村用草顶的不少。震后屋面的瓦片和瓦底土从前后斜面上滑下，木椽和柁架则没有倒。街道两侧因屋面滑坡使街中积土达一米左右。草顶屋面因重量较轻又互相拉结，就没有滑坡现象。在城镇和农村都可以看到少数质量好的旧房屋破坏得比较轻，砖砌山墙没有倒塌，屋面瓦片仅少量滑动的。也有少数民房是土墙承重的，震后屋顶和墙全倒，即所谓“扒架”。他山小学是砖墙承重的，因年久失修，砌筑质量又不好，震后墙倒屋塌全部毁坏。新建的砖墙房屋质量比较好的，即使位于极震区，也有基本完好的。如折木公社办公室震后仅屋顶烟囱倒塌，其它部位无损坏。

城乡居住房屋的内隔墙一般都是土坯墙，和外墙没有拉结，和木梁也没有顶

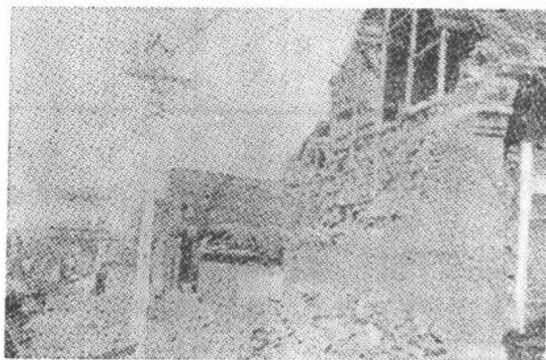


图 1

- 辽宁省建委责成辽宁工业建筑设计院根据该院及辽宁省建筑设计院、辽宁省建筑科学研究所、辽宁省石油化工设计院、鞍钢设计院、鞍山焦耐设计院、沈阳勘察公司、沈阳铝镁设计院和沈阳、旅大、鞍山、营口市建筑设计院等单位的调查资料整理编写。



图 2

紧，在 8、9 度区震后全部倒塌，在 7 度区也有不少倒塌的。有的房屋外表损坏不大而内隔墙则全部倒塌（图 2）。

在 7、8、9 度地区屋顶烟囱大多数倒塌，也有因烟囱倒塌而把屋顶压塌，甚至伤人的。

（二）震 害 分 析

城乡单层居住房屋震害现象应从两方面分析：一是构造形式；二是墙体用料和做法。

这次地震后，破坏虽大，但全部倒塌的不多，说明本地区的居住房屋有一定的抗震能力。这和当地习惯采用的构造形式有关。本地区绝大部分的民房采用木架承重，木架形式分三种（图 3）：一是带中柱的穿斗架；二是柁架，柁架又分为坡顶的和平顶的；三是人字架。前两种节点都用榫头连接，抗震力比较强，即使整个木架大幅度摇晃，只要不脱榫、折榫、柱子不折断，木架就不会倒塌。穿斗架因为带中柱，稳定性比柁架更好些。海城县有些古建筑，如文化馆，是按古代营造法则建造的民族形式，斗拱和翼角齐全，并比较完整，用料也大，震后墙身虽出现交叉裂缝，而屋顶依然完好。我们见到的几个质量较好的居住房屋因为它的木架质量较好，抗震力强，屋面损坏较轻。也有一些老旧房，房高顶重，柱根腐朽，地震时中柱、明柱都折断，致使房屋倒塌。人字式的木架，下弦与柱之间只有一个小榫连接，檩子就搁在斜梁的垫木上。地震时前后左右摇晃，这种木架倒塌的较多。如海城牌楼公社的办公室和盘锦地区二界沟公社的仓库均全部倒塌。因此，在地震区应用这种人字式的木架时，必须在梁柱之间加斜撑，在屋架之间要加剪刀撑。

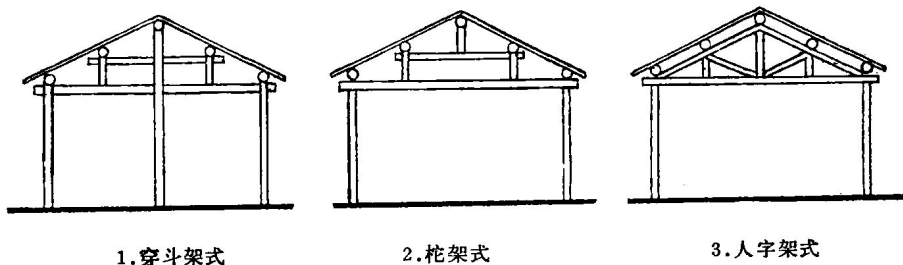


图 3 单层居住房屋的木架形式

在西部地区的城乡居住房屋多数是平顶，做法和坡顶的相似，只是在草泥上不铺瓦，改用抹灰或抹盐碱泥。因为它的山墙比坡顶的低，屋面整体性好，一般震害较轻。

本地区墙体做法是墙中有柱，先立柱后砌墙。在山墙墙体中设有山墙柱，有设三、五根的，也有在每根檩条下设一根的。尽管用料很小，地震时也起到墙倒屋不塌的作用。很明显，这种做法要比把檩条直接搁在土墙上的好，是一种值得保留并进一步改进的作法。

在海城地区还可以看到，有少数砖拱房屋的抗震性也较好，震后房屋基本完好。如海城镇有两栋 1/4 砖砌筒拱和三栋 1/4 砖砌连波拱住宅，由于抗拉结构处理得好，施工质量

也好，屋面整体性强，震后完好没有破坏。

木架以上屋面严重破坏的另一个原因是屋面荷重太大。一般做法是在木架上搁檩子，檩上是椽，椽上铺苇箔或秫秸，再铺4~20厘米厚的草泥，然后铺瓦。这层草泥可起保温作用，但荷重太大。20厘米厚的草泥每平米重达三百多公斤，不仅增加了梁柱负荷，降低了房屋的安全度，而且地震力也随之增加。有的房屋瓦底土厚达二尺，地震破坏非常严重。

今后一定要改用重量轻而保温性能好的材料。如果仍要用草泥时，一定要控制泥层厚度，不要超过4厘米。屋面材料之间联系不好，也是屋面破坏的原因之一。如椽子上的苇箔或秫秸没有很好的绑扎，受震后整片苇箔或秫秸向下滑移。也有因檩子在木架上搭接太少，木架晃动使檩子落下，造成局部屋面塌落的。所以，除脊檩不能搭接必须对接以外，其它檩条保证搭接15厘米就比较好一些。檩与檩、檩与柱之间最好用扒钉钉牢。

地震时高的房屋震动比低的大，破坏性也大。因此，应注意合理地降低房屋的高度。

这个地区另一震害现象是墙倒塌的多。居住房屋所用墙体材料基本上是就地取材。东部山区产石材，当地人民多采用石头墙和砖石混合墙。石头墙还分卵石墙、毛石墙和片石墙。平原地区则多用里坯外砖混合墙、土坯墙或用叉子垛的叉泥墙。

从总的震害情况看，叉泥墙最抗震。如苗官屯生产队的叉泥墙震后墙身仅出现不明显的微细裂缝多道。石墙最不抗震。其它墙的抗震性能多半决定于它的砌筑质量和所用砂浆的好坏。如用菱苦土或水泥砂浆砌的墙就比较好，干插或泥砌的，墙体破坏就很严重。墙包柱的形式对墙体也很不利，地震时木架与墙体同时发生晃动，由于屋顶重量都支在木柱上，木架又不够刚强，木架和墙体的联结又差，因此木架和墙体各自振动，而木架比墙体晃动得厉害，木架和墙体撞击就使墙身破坏。如果是里生外熟的墙，内外两种材料联结不好就很容易分家，使外层向外倒，里层向里倒。山墙比前、后墙高出一个山尖，墙身稳定性较差，所以首先倒塌，前后墙破坏则稍轻些。

居住建筑量大面广，按目前情况看，采用石头墙时，在地震区不能再用于插墙、泥砌墙和卵石墙。砌石墙仍可用，但砌石时一定要用水泥石灰混合砂浆，标号在25号以上。砌筑时还要注意拉结，不能全用碎石块垒墙，要用一部分长度和墙身厚度相同的大石块拉起来。特别在墙角地方要注意纵横墙的联结，墙身开洞不能过大。为了加强房屋的稳定性，要注意横墙间距。一般居住房屋，如一明两暗三间形式的，中间两道隔墙可以用其它材料如土坯等来做。如果是比较长的公用房屋，在适当距离内横墙应用石墙并和外墙整体砌筑。这样不仅可以提高墙体抗震强度，也增加了墙体的稳定性。

叉泥墙的整体性较好，又耐寒，只要精心施工，加抹面，也够美观的。土筑墙的整体性也较好，如果在分层夯实时，层与层之间加些苇筋或碎砖瓦片等，对增强墙身抗震能力是很有利的。

必须采用里生外熟墙时，一定要注意灰缝饱满，内外咬槎。土坯尽可能错缝和卧砌，不要斜铺，外墙做成一顺一丁或二顺一丁。外墙所用灰浆要用水泥石灰混合砂浆。对于面积较小的垛子最好全用砖砌。房屋体形要简单整齐，窗户不宜太大，房屋高度也不要太高。

在烈度较高的地区（如8、9度区），山墙和隔墙的旧式法值得改进。为了防止大震时伤人，可以采用软山墙，即将石墙砌到檐口高度后在上面用秫秸把扎成两层三角形的山头，两面抹泥，并在中间灌保温材料，同时把屋面做成出檐式，内隔墙也可不用土坯墙而

用秫秸抹泥墙代替。对于山墙柱，可把它移到内墙面，避免柱子震动时把墙震裂，且可防止墙往里倒（图4）。为了增加墙和柱的拉结，在柱上加横向的小木条，用钉与柱钉牢，或用茅子或秫秸作加筋材料，使墙和柱同时震动，避免墙体分家。

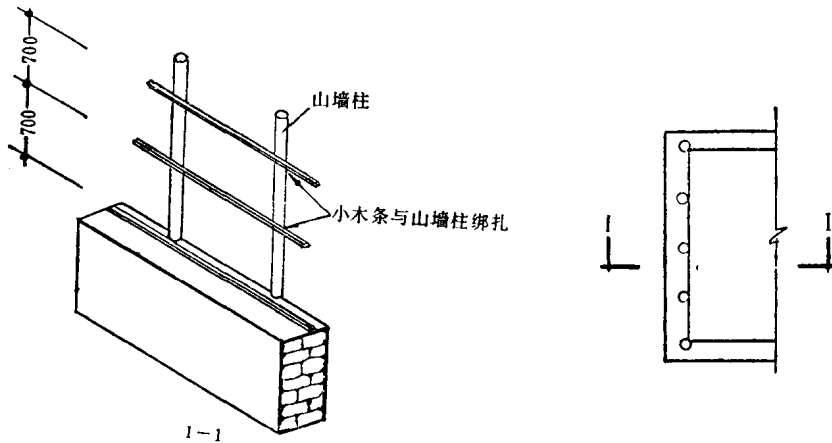


图4 山墙改进示意

地基与基础的处理对提高房屋抗震能力关系很大。这个地区的广大贫下中农在基础处理上有很宝贵的经验。这次地震中，农村房屋除个别因地裂缝直接通过房屋造成房屋基础开裂外，绝大多数房屋都没有因房基出问题而加重震害的。可见原来地基的做法是可取的。它的做法大致有三种：

1. 岩石地基。在长大线以东为低山丘陵，土层一般不厚，下面就是岩石，这是对抗震有利的地基。在岩石上建房只要把硬底整平即可，不需作其它处理，但切勿顺着斜坡采用半填半挖的房基，因为这种地基不成整体，地震时会扩大震害。

2. 撼砂基础。海城地区绝大部分房屋采用撼砂基础。它的做法是将基槽开挖深约一米（约为冻结深度）、宽0.7米，用中砂分层填入槽内，每层厚20厘米，往槽里灌水使砂子密实。撼砂60~80厘米后，上面砌毛石墙。这种做法既防冻又比较结实。过去有人认为这种地基在地震区不宜采用，但这次震后经普遍检查，没有发现房屋有不均匀沉陷或加重震害的现象。

3. 在平原地区既没有石头也没有砂子，一般采用原土夯实（或增加些碎砖）的方法处理。采用这个办法时如认真夯实，对单层房屋来说是可以的，但如果夯得不好，即使在正常情况下，也会发生不均匀沉陷。

二、多层砖石房屋和内框架房屋

地震时本地区的各类建筑物都遭到了不同程度的破坏，其中多层混合结构破坏最重。海城县革委会招待所两翼侧楼全部倒塌是最严重的一例。结全国历次震害调查可见，多层砖石结构比单层砖石厂房和钢筋混凝土结构的震害要严重得多。因为房屋愈高受到的地震力愈大，加之砖石砌体的抗拉、抗剪强度较低，自重大，破坏也愈严重。目前世界上一些资本主义国家如美国、日本等认为砖石房屋是最不抗震的。不过，我国在通海地震中就有砖石房屋经历了10度地震的考验而没有倒塌的例子。这次地震也发现在8、9度区有一

些多层砖房震害较轻或基本完好的。这说明只要采取某些构造措施，并在使用中给予某些限制，仍旧可以在地震区应用。

现根据破坏情况分述如下：

(一) 建筑部件的破坏情况

1. 纵墙

房屋的外纵墙由于开门窗洞削弱了墙体，故破坏比内纵墙厉害。纵墙的裂缝形态基本为窗间墙的交叉裂缝和水平裂缝两类（图5）。

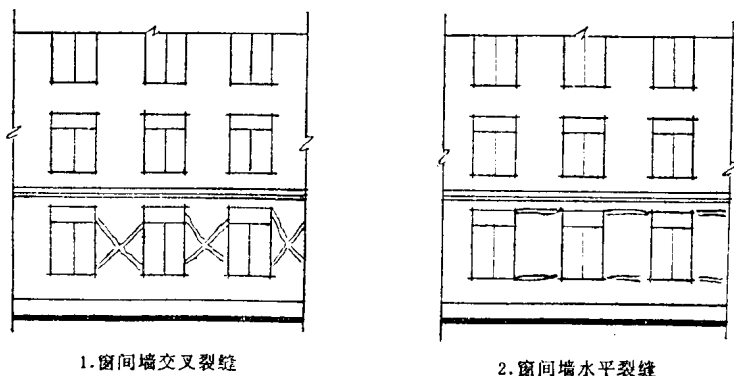


图5 纵墙的主要裂缝形态

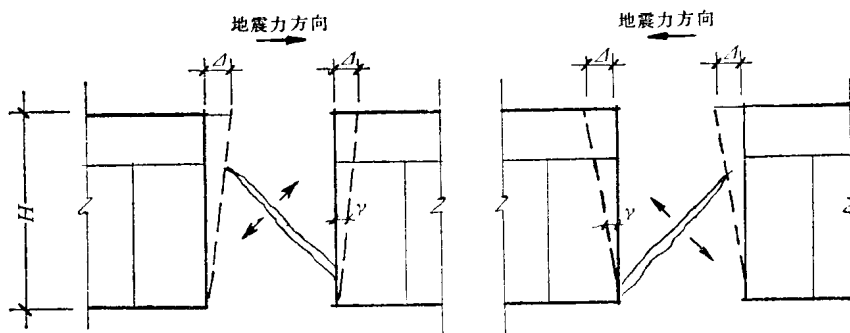


图6 交叉裂缝的形成

交叉裂缝在地震力方向与纵墙方向（平面内）一致时产生。当地震力较大，地震力和垂直荷载引起的主拉应力超过砌体的抗主拉应力强度时，砌体破坏，产生裂缝。图6描述了交叉裂缝的形成。地震力向右时，矩形墙体变成菱形，对角线方向发生伸长，引起墙体在另一方向产生斜裂缝；地震力向左时，则相反。由于地震力是反复作用的，最后导致墙体产生交叉裂缝。根据静力测定，当位移达到 $\Delta \geq \frac{H}{2000}$ 时，墙体将出现裂缝。地震时墙体位移远远超过此值，所以裂缝宽度很大，在9度区最宽裂缝有达20厘米的。

出现交叉裂缝的部位，在多层房屋中，一般在底层外纵墙的窗间墙上比较严重，愈到上层愈轻。在房屋的纵方向，两端又比中间严重，尤其是端部墙比中间窗间墙加宽的情况下，端部破坏情况更为显著。但也有上面比下面重的，可能是上部隔墙比下层少、刚度

差，或上层的砖和砂浆标号不如下层，或下层墙比上层墙厚，或上层某些地方局部荷载比下层大等等，其原因比较复杂。

裂缝严重程度既和烈度有关，也和结构形式及施工质量等因素有关。在9度区纵墙承重的多层砖房上，严重的裂缝达到砖块剪酥、砌体上下错位、即将倒塌的程度。8度地区裂缝严重程度大为减轻，7度区更轻。

当地震力沿纵墙方向作用时，对于较窄的窗间墙也产生水平裂缝，尤其在外纵墙端部墙面上很常见，这是剪切引起的水平裂缝。

当地震力垂直于纵墙方向作用时，常产生窗台、窗间墙的水平裂缝。裂缝常贯通整个区段。一般砌体沿通缝弯曲的抗拉强度较低，裂缝主要发生在灰缝处。裂缝使墙体成为铰接，增加了房屋的摇晃，严重的造成错位和砌体的破裂（图7）。海城镁矿子弟学校二楼窗间墙水平裂缝里外贯通，整个二楼向北倾斜达10度左右，上下位移约70~80厘米，如果不是内横墙（间距8.10米）顶在纵墙上，二楼将倒塌（图8、9）。

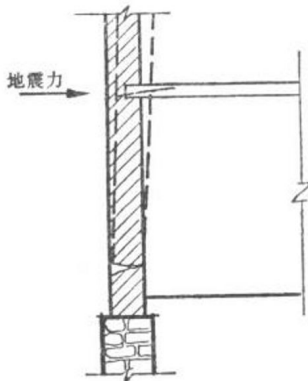


图 7 水平裂缝形式之一



图 8

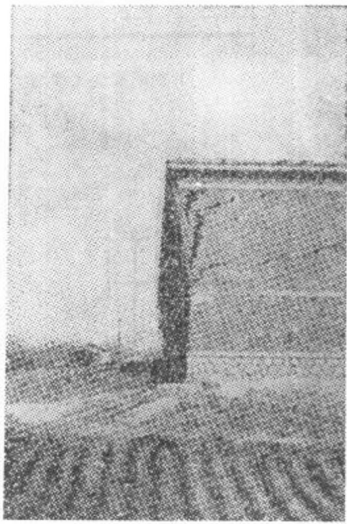


图 9

在顶层空旷的多层砖房中，上述现象更为普遍。这时，由于横墙间距较大，屋盖缺乏足够的刚度，难以将屋盖承受的地震力传递给较远的横墙，使纵墙承受了部分或全部的地震力。比较典型的有：海城陶瓷四厂二层办公楼，顶层空旷，横墙间距69.6米，外纵墙窗台下水平裂缝；海城镁矿家属宿舍，二层空旷，壁柱严重断裂，二层向北倾斜，由于有另一面中间的走道墙顶住，才未倒塌。

除上述两种主要破坏形态外，尚有外纵墙外倾甚至局部倒塌的现象。外纵墙外倾一般由于楼板锚固不当，缺乏圈梁所致，采用木屋盖或木楼盖的，出现这种现象较多。海城某部队宿舍，二层砖木结构，二层楼板处外墙臃肿。楼板与墙的锚固，目前一般不采用锚固件，而依靠摩擦力来保证。木楼盖重量较小，地震时摩擦力小于地震力，遂使木楼盖拔

出，外墙倾斜。

纵墙局部倒塌，一般多发生在顶层，其原因很多。一种是上部空旷的房屋采用梯形屋架，屋架端部未与外墙拉结所致，海城陶瓷三厂卫生瓷车间即为一例（图10）。一种是正在施工的房屋，未做顶层屋面，未灌板缝，又无圈梁，地震时，屋面板或大梁滑脱，造成局部倒塌，大石桥五七干校新建宿舍就是一例。

2. 山墙和横墙

山墙和横墙的破坏形态主要有以下几种：

1）交叉裂缝；2）山墙外闪或山尖倒塌；3）内外墙交接处竖向拉脱、裂缝；4）房屋端部四角的破坏。

交叉裂缝的产生原因与纵墙相同，主要在地震力与墙面平行时产生。一般山墙较内横墙破坏得更厉害些，因为前者的墙面被门窗洞口所削弱。此外，房屋的刚度中心与质量中心不重合，地震时产生附加扭矩使山墙受力增加。海城县人武部山墙的裂缝是一个比较典型例子。

当地震力与山墙墙面垂直时，会产生山墙外闪或山尖倒塌。这多半是在空旷的砖房中，屋盖与山墙锚固不好而产生的（图11）。

内外墙连接不好时，常引起连接处拉脱或产生竖向裂缝。主要原因是地震力垂直于纵墙时，内外墙连接处产生较大的拉力，如内外墙不是咬槎砌筑，遂被拔出。这时候，由于横墙在平面内的刚度大，常使外墙外倾突肚。这种情况，无圈梁房屋比有圈梁房屋严重；砖木房屋比砖混房屋严重。9度区的华子峪新建家属宿舍内外墙交接处上部竖向裂缝宽达20厘米，外墙外倾也极严重。7度区的鞍山市原科协楼三楼内外墙交接处竖向裂缝宽达5厘米，外墙也有外倾。这种震害只要精心按规范施工是可以避免的。

房屋端部四角易遭破坏，形成“V”形裂缝或“V”形倒塌，在9度区尤为常见。海城陶瓷四厂二层办公楼即为一例（图12）。7度区鞍钢第一硫酸盐车间五楼顶层外墙尽端墙角局部倒塌，部分小型屋面板也随之落下。

山墙四角尽端，处在房屋边缘部分，纵横墙相连，比较刚强，吸收的地震力也大。地

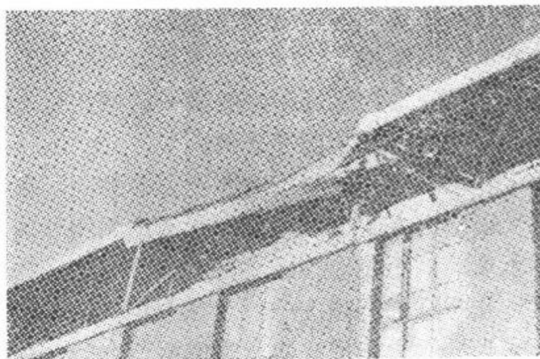


图 10

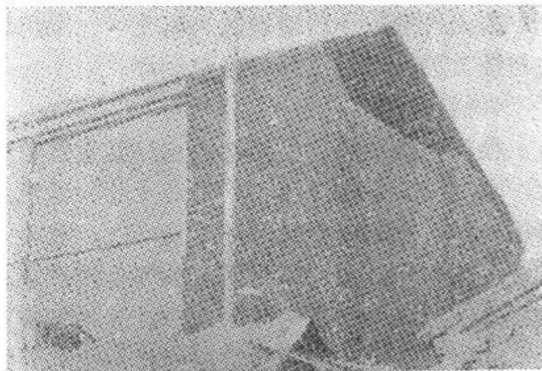


图 11

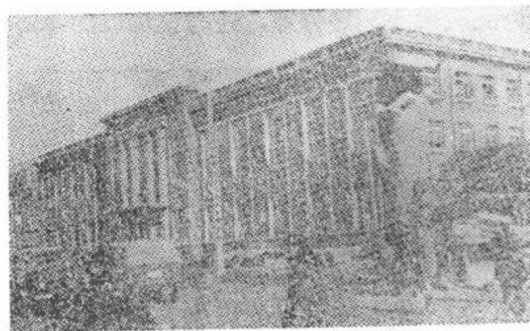


图 12

震力不可能正好与房屋的轴线相一致，一般都和房屋的轴线成某一角度，在房屋的端部四角就要受到平行于纵横墙的两个分力，这两个分力使纵横墙面同时产生交叉裂缝，如破裂严重，墙体随即下落，成一大窟窿。这种现象在9度区极为普遍，砖石砌的墙并有重屋顶的平房，往往也出现这种现象。

3. 非承重墙

非承重墙，厚度为半砖或一砖厚，也有用轻质砌块做的。它的震害主要表现为：倒塌、外闪、拉脱和交叉裂缝。

非承重墙一般与横墙布置方向相同，但缺少拉结，特别是与楼盖间的拉结。因此，当承受出平面方向地震力时，常常倒塌和外闪。当与纵墙拉结不好时，则造成拉脱、倾斜。非承重墙倒塌在地震区屡见不鲜。7度区鞍山商业局二层砖砌隔墙，砌后一个月发生地震，几乎全部倒塌。一般愈在上层，倒塌愈严重。

当地震力作用在非承重墙平面内时，如非承重墙与纵墙拉结得比较好或者砌合得紧密时，墙上常产生交叉裂缝，这说明填充墙也分担了一部分的地震力。

由上可见，今后地震区的填充墙宜采用轻质隔墙，以减少地震力。当采用重隔墙时，宜与楼盖和纵墙拉接好，以免倒塌。

4. 楼梯间墙

楼梯间的横墙和纵墙都较房屋其它部位墙体破坏严重。破坏的主要原因是楼梯间刚度大，刚度与质量的分布不均匀造成的。地震力是按刚度比分配的，楼梯间横墙距离近，与楼板一起，形成一个封闭环（筒形），吸收的地震力大，而砖墙的抗剪强度低。因此，造成分配力与承载力的不平衡，破坏也就严重。另外踏步板嵌入墙身对墙体有所削弱，这也是楼梯间墙破坏严重的原因之一。这种震害在9度区比较明显，8度区次之，7度区更轻。如海城镁矿子弟小学楼梯间横墙比其它横墙震害都重，斜裂缝宽达40~50厘米。

在房屋端部楼梯间顶层休息平台以上的外纵墙，常有显著的破坏和倒塌。这除因楼梯间分配较大的地震力外，还与该墙段的净高为一般楼层高度的1.5倍有关。7度区盘锦化肥厂尿素车间楼梯间的倒塌就是一例。

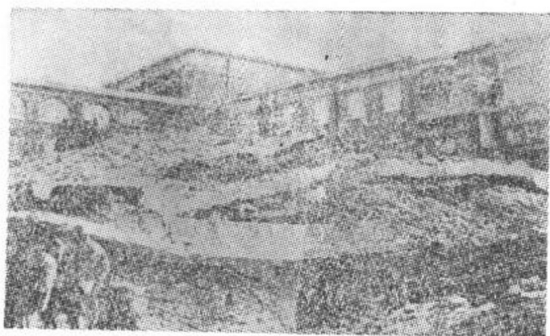


图 13

楼梯间一般设在房屋中部的震害较小，在房屋两侧震害较重。因为地震作用时难免存在扭转作用，离中心愈远，由于扭转产生的附加地震力也就愈大。

平面和立面突出的楼梯间震害就更严重。海城县革委会招待所主楼楼梯间比较典型，破坏也极严重（图13）。

5. 平、立面突出部位墙体

不仅楼梯间平、立面突出部位破坏严重，其它部位也是如此。大石桥站前百货公司平面复杂，震后破坏十分严重。大石桥镁矿矿砂捡选室，平面布置参差不齐，地震时，突出部分的砌体局部倒塌。

平面局部稍有突出的也会增加震害，这种例子也很多。如海城招待所前立面两端突出部分就开裂（图14）。

平面不规则引起的附加扭转，增加了地震力。我们在一些L形的多层砖房上看到，由

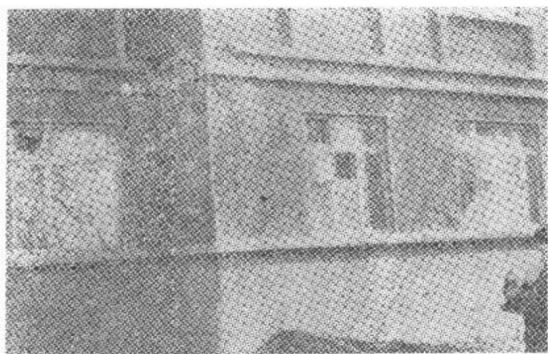


图 14

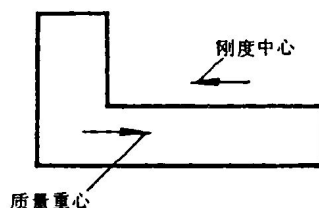


图 15 不规则平面引起的扭转

于质量重心和刚度中心之间较大的距离,出现了剪切和扭转相耦合,加重破坏的现象。如人武部和农机站这两栋二层办公楼,都连接有作为食堂和厨房用的单层平房,底层平面是L形,主楼和平房之间没有留缝。震后,主楼底层横墙的破坏,以远离平房的山墙为最严重,破坏趋势向另一端逐渐减轻,过中部楼梯间后,只有轻微损坏或基本完好。公安局的主楼连有二层空旷砖房,震后,主楼远离空旷房屋的一端,底层横墙严重破坏(裂缝的错位程度比人武部稍轻),靠近空旷房屋这端的横墙,一般中等破坏,山墙基本完好。

即使平面规整,建筑物内部刚度、质量不均匀的也同样会产生扭转,加大地震的动力效应。图16表示墙的刚度与质量中心不符时同样产生扭矩,扭转时离中心愈远的部位附加地震力愈大。

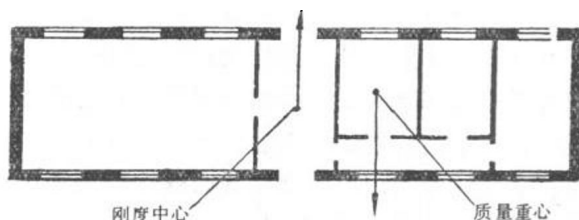


图 16 规则平面引起的扭转

立面上刚度不均匀也会产生附加地震力,特别是刚度突变处。比较明显的是立面突出部分,破坏较其它部位显著。

如汤岗子疗养院第五疗室突出屋面的小房,与下层结构面积相比小很多,地震时,小房墙体完全倒塌;营口市少年宫中央突出部分的破坏就比较严重。当突出部位的体量较下部体量相差过大时,破坏更为显著,这种现象称为鞭梢效应。各国抗震规范在验算突出部位(如小烟囱)的地震荷载时,取一般部位的三倍。

6. 变形缝处墙体

变形缝小,地震时,在变形缝处的墙体发生撞击严重的会致使墙体碎裂。海城县革委会招待所主楼与侧楼间、主楼与餐厅间的砖墙上部都是撞击碎裂的。因此,抗震缝一定要做得宽一点,使缝两边的房屋不致在地震时互相碰撞,房屋愈高缝宽应愈大。

7. 其它部件的破坏

多层砖石房屋的附属物和装饰物如女儿墙、大门脸,在地震时都极易破坏,因为都是突出于立面的部件,承受地震力大,而自身强度低。这些部件在9度区的损坏现象既严重又普遍。这类装饰物一般都在房屋的出入口处,倒塌时容易伤人。今后设计中应尽量避免采用这些部件,图17、18为这种倒塌的几个实例。

门窗过梁,以平拱过梁破坏较重。7度区即出现裂缝、掉砖、脱落等现象。钢筋砖过梁在7、8度区损坏较少,9度区损坏较普遍。钢筋混凝土过梁抗震性好,本身几无破坏,只引起支座处砌体水平裂缝等现象。



图 17

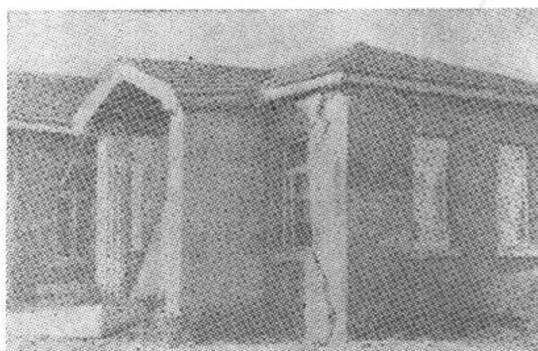


图 18

房屋中的楼板、大梁等构件刚度较大，在水平地震力作用下强度无问题，不会产生震害。在 9 度区对于以恒载为主要荷载的悬臂或长跨的梁，由于垂直的地震力可能引起大梁的超载而产生裂缝，海城县肉食联合加工厂冷库机房中大梁的破坏，主要在于它的一段梁上压有砖墙，地震时，垂直震动产生的地震力增加了梁的负荷所致。这是今后在高烈度地区进行墙梁设计时应予注意的。

这次大地震考验了几种预制挑檐的做法。在 9 度区镁矿子弟学校采用的是自重平衡的预制挑檐，挑檐板挑出板长的 $1/3$ ，其余 $2/3$ 搁在屋面板上，没有锚固筋。尽管该子弟学校遭到严重破坏而挑檐板没有下落的。8 度区的营口 16 中学地震时施工尚未完工，屋面预制板和自重平衡的挑檐板都已安装，但未灌缝和做屋面层，震后破坏虽重，挑檐板亦未下落。7 度区的鞍山，发现带锚固螺栓的挑檐口，震后在螺栓孔处出现裂缝。初步看出，自重平衡的挑檐板在地震区仍可以使用。

挑出的钢筋混凝土雨篷，在 9 度区的平房上曾出现多起翻落的震例，但在多层房屋上除被上部饰物打落者外，很少有破坏的。所以，今后在地震区钢筋混凝土雨篷仍旧可以使用。

屋顶烟囱大多数倒塌，今后在地震区设计时，应首先考虑屋顶烟囱的位置，避开房屋的出入口，以免地震时倒塌伤人，同时，对于出屋顶的烟囱，应加竖向钢筋。

(二) 不同墙体承重方案房屋的破坏情况

砖石房屋的震害，除了决定于地震力（烈度）外，还与墙体承重方案有关。

1. 纵墙承重房屋

纵墙承重房屋由于具有房间布置的灵活性，在设计中应用很多。办公楼、工厂的多层厂房大多采用这种方案。住宅建筑也有采用的。震害调查表明，纵墙承重的房屋不利于抗震，尤其在高烈度区（9 度）。

当水平地震力平行作用于纵墙时，房屋刚度很小，间隔墙的作用很小，地震力全由横墙承担，两端山墙首先破坏，出现交叉裂缝，纵墙出现通长水平裂缝（因横墙距离长，楼盖或屋盖没有足够刚度将全部地震力传递给横墙，使纵墙承受了部分横向地震力）。一般上层破坏较下层严重。水平裂缝一般在灰缝中产生，使房屋成为铰接，减低了房屋刚度，

增加了水平侧移。当侧移过大，超过稳定力矩时，房屋即将倒塌。如9度区海城钢铁厂单身宿舍楼，为二层砖石房屋，预制楼板，仅屋顶有一道圈梁，外墙37厘米，纵向承重，横墙距离25.2米，开间5.6米，隔墙为12厘米砖墙，震后底层破坏严重，窗间墙不仅出现交叉形裂缝，而且窗口上下出现水平裂缝，山墙和内隔墙出现交叉裂缝，有的倒塌。8度区海城滑石矿单身宿舍楼为三层砖混结构，中央突出为四层，系空旷的娱乐室。横墙虽密间距为6.80米，但较弱，仅12砖墙。震后底层严重破坏，二层次之，三层完好，震害为窗间墙普遍产生交叉形裂缝，但未见水平裂缝。

学校建筑均为纵向承重的多层砖石房屋，一般震害比较严重，最突出的例子是海城镁矿子弟学校。这个建筑是二层楼，总长78.8米，横墙间距8.10米，外墙厚37厘米，内墙厚24厘米，楼板及屋面板均为预制空心板，上下两层窗顶各设圈梁一道。地震后，二楼墙体严重破坏，向北倾斜40厘米，侧墙顶、窗台口和一楼圈梁顶有水平通缝，内横墙有严重的交叉形裂缝和局部倒塌，但一楼和屋面部分基本完好。这栋楼之所以比9度区一般纵向承重房屋破坏得更加厉害，因其距震中较近（仅12公里），竖向振动强烈，主震方向近南北，垂直于房屋纵轴方向，且有宽40~50毫米的地裂缝沿纵向穿过房屋，故加重了震害。此外，横墙间距较大，窗户开口较宽，墙面削弱近40%也有关系。

7度区的纵向承重房屋，震后，基本完好，出屋面小烟囱大部分倒塌和酥裂，其它部位有程度不同的裂缝，属轻微破坏。

必须指出，地震作用时房屋的空间作用远较在水平静荷载作用时低。根据《砖石结构设计规范》，不考虑地震仅考虑水平风荷载作用时，一般装配式无檩系统的钢筋混凝土结构横墙间距，在32米以内的，可认为系刚性方案房屋。当考虑地震时，由于空间作用的降低，原来的刚性房屋就不再是刚性的了。地震烈度愈高，空间工作的作用愈差。同样结构形式的房屋，在7度区刚性房屋的横墙间距缩小到20米、8度区16米和9度区仅9米。这也是纵向承重房屋震害比横向承重房屋严重原因之一。

对于顶层空旷的房屋（布置会议室等），虽下层横墙较密，就上层空旷部分看，与纵墙承重方案相同，常因受横向水平地震力而破坏。海城变压器厂绝缘车间全长33米，顶层右侧18米内无横墙（作会议用），将12米大梁搁于37厘米墙上（无砖垛）。地震时，右侧顶层倒塌。

表1为某三层纵墙承重房屋地震力的计算结果。砂浆标号25号，房屋长度33米，内有三道24横墙，房屋宽度12米，计四道纵墙。由表中可见，房屋两个方向的抗震安全系数有较大差别。九度时无论纵向和横向都满足不了抗震安全系数 $2.5 \times 0.8 = 2.0$ 的要求。

总之，纵墙承重房屋由于空间刚度较差，地震力沿纵向作用时，虽然纵墙刚度较大，

三层纵墙承重办公楼的抗震安全系数 表 1

类 别 烈 度	纵墙（地震力纵向作用时）	横墙三道（地震力横向作用时）
9	1.00	0.54
8	2.00	1.03
7	4.00	2.16