

震后重建的技术与政策文集
(二)

中国建筑技术发展研究中心
一九八九年十二月

目 录

一、40年来破坏性地震后的恢复重建.....	3
(一)1948年阿什哈巴德地震.....	3
(二)1966年塔什干地震.....	3
(三)1971年堪察加地震.....	6
(四)1976年和1984年加济尔地震.....	8
(五)1988年亚美尼亚斯皮塔克地震.....	27
二、震害的调查分析.....	34
三、民用建筑结构体系抗震性能分析.....	56
四、震后恢复重建的组织管理工作.....	59
五、修复重建工程的技术经济评价方法及优化准则.....	85
(一)抗震结构优化的经济评价和危险性平衡原则.....	90
(二)震后建筑物抗震加固的经济评价.....	95
(三)建筑物的抗震性和其震后修复合理性的评价方法.....	98
(四)地震区损失的评价和建筑物加固合理水准的选择方法.....	105
(五)某些地震区建筑物抗震费用合理水准.....	107
参考文献.....	110

前 言

本资料集是为了完成“国际减轻自然灾害十年”科研项目中《地震后应急、恢复和重建的技术与政策》一专题，参阅了文集后所附的37篇参考文献，摘译后综合编写而成。

集中介绍苏联近40年来破坏性地震后恢复重建的经验，内容涉及五次大地震的震害及其恢复重建、工程震害的调查分析、建筑结构体系抗震性能分析、恢复重建的组织管理工作以及建筑物抗震的技术经济评价方法及其优化准则。

限于编者水平及时间，未作深入分析探讨，仅为本课题今后深入总结研究时积累一些背景材料，并及时编译出供工程界人士参考。不当之处希望批评指正。

本资料由孙应铨编译，叶耀先、张幼启审校。

课题研究组

叶耀先 陈寿梁 刘志刚 孙应铨 丁绍祥 张幼启

1989年12月

目 录

一、40年来破坏性地震后的恢复重建.....	3
(一)1948年阿什哈巴德地震.....	3
(二)1966年塔什干地震.....	3
(三)1971年堪察加地震.....	6
(四)1976年和1984年加济尔地震.....	8
(五)1988年亚美尼亚斯皮塔克地震.....	27
二、震害的调查分析.....	34
三、民用建筑结构体系抗震性能分析.....	56
四、震后恢复重建的组织管理工作.....	59
五、修复重建工程的技术经济评价方法及优化准则.....	85
(一)抗震结构优化的经济评价和危险性平衡原则.....	90
(二)震后建筑物抗震加固的经济评价.....	95
(三)建筑物的抗震性和其震后修复合理性的评价方法.....	98
(四)地震区损失的评价和建筑物加固合理水准的选择方法.....	105
(五)某些地震区建筑物抗震费用合理水准.....	107
参考文献.....	110

一、40年来破坏性地震后的恢复重建

在《震后重建的技术与政策文集(一)》中已对苏联近期某些破坏性地震作了介绍，这里补充报导其它有关恢复重建工作。

(一)1948年阿什哈巴德地震 [1]

阿什哈巴德在1948年10月6日当地时间1点12分发生了中亚西亚最大地震，仅5.20秒城市大部分破坏，市内大部分地区达到9度，仅南部和西部为8度以下。

震前该地区工程建设按7—8度考虑，大部分私人居住建筑未采取抗震措施。9度地区被夷为平地，8度地区土坯建筑物也全部破坏，而其它建筑物受严重损坏。

震后第一天，市政府立即领导开始恢复工作，首先解决居住问题，并开始修复铁路和纺织、缫丝厂等主要企业。整列车皮的建筑材料从各地运来。乌兹别克斯坦设计单位提供了居住和文化生活建筑物的定型设计。邻近各加盟共和国也派来施工队伍参加恢复重建工作。

震后道路、上下水、通信、供电、灌溉沟渠、绿化设施等均未遭严重破坏，故在编制总平面时，仍利用原有规划的设施，建筑物要求抗8度烈度，主要建筑高度为2—3层。

经十年恢复重建，完成了几十万平米住宅、几十幢中、小学和技工学校、医院、文化生活设施和办公楼以及一些工业企业。在该时期还建造了50多万平米的沥青、卵石、砾石道路，20万平米街道和人行道地面。在国家贷款下建造了4千多幢私人住宅。

(二)1966年塔什干地震 [36]

在《震后重建技术与政策文集(一)》中已对该次地震作了介绍，这里仅补充报导有关震后恢复重建的一些措施。

1、利用旧址建城，统一规划，消除民族矛盾

塔什干过去是个典型的殖民地城市，旧城市两部分分别称为乌兹别克人城(即老城)和俄罗斯人城(即新城)。两者差别悬殊，对照鲜明。易导致尖锐的民族矛盾和阶级矛盾。

十月革命后虽有过多次数建设规划，均未得到很好改建。六十年代初至地震前又完成了一个新的规划，计划人口120万。规划的指导思想有三条：第一、限

制城市的发展(包括市中心区和四周近郊区)。禁止新建工厂(但食品和建筑业除外),把一些卫生条件不好和对城建不利的工厂、学校和机关迁出市区。第二,在城市外围新建自成体系的大型住宅区(有相应的工业及其他行业)。第三,建立一个以地铁为主的公共交通系统来连接全市各部分。规划规定要拆除个人建筑的平房,把老市中心区(包括老城区和新城区)的人口分散到四周去。全市新建居住区总共可容纳人口125万。

震后的规划把市区和郊区作为一个有机的整体来处理,实现新、老两城区的一体化,主要街道分布都采取了对称的几何图形,构成统一的市中心。

塔市总面积400平方公里,被分为9个建筑规划区,各区有计划人口20—30万。各规划区都有主干街道与市中心、工业区及郊外休息区相通。

各个区将比较均匀地配置就业中心,使城市周围地区不致形成大量高速运输的客流。

2、扩大绿化建设,留有避震空地,并适当疏散中心区人口密度。

塔市的绿化建设不仅是为了环境卫生和市容,而且是防震措施的一个重要方面,全市的绿化水平为平均每人30平米。

市中心区原来的人口密度较高,尤其在乌兹别克人居住区,达到每公顷400—500人(相当于我国天津市和平区的人口密度)。而这里正好就是经常发生地震的震中区,所以要降低建筑密度,提高绿化程度。

3、地铁为交通干线,将半数人口集中在地铁线周围。

塔什干的地铁建设计划包括三条交叉的线路负担全市客运量的35—40%,在其周围宽约一公里的地带将集中全市人口的50%。最长旅程将不超过一小时,平均旅程为40—45分钟。地铁建成后,普通电车路将从市中心移置到城市四周地区及其与中心区之间的中间地带去,从而保证居民上班或到市中心的平均时间在25—30分钟以内。据最近报导,塔市可能再考虑建设一条环行地铁线。

塔市地铁工程的关键,一是抗震,二是防止黄土湿陷。对此均采取了相应的技术措施。

塔市地铁工程的经验证明,在抗9度地震的建设中钢材和水泥的使用量要增加50—60%,劳动消耗量和工程期增加10—30%,预算造价增加10—14%。

4、采取相应的结构措施,继续发展高层建筑。

1966年地震以前在塔市规划的居住面积中,九层楼房占43%,四层楼房占50%,一、二层的住房只占7%。地震后于1968年修订规划时曾将九层楼房的比例下降到10%,平房和二层楼房占5%,而提高了四层楼房的比例占85%。最近宣

布的塔市改建计划中将高层建筑物提高到75%，并开始实行。在“十五”计划期间(1976—1980年)建设的住房中九层住宅楼占30—54%(150—270万平方米)。此外还将兴建一些十二层和十六层的住宅楼以及一些二十层以上的饭店和旅馆等等。

塔市不断发展高层建筑的原因有：1、节约用地，2、提高建筑区的美观程度，3、提高城市服务水平，4、便于采取工业化的建筑技术，5、由于苏联建筑政策的影响要求在城市建设中采取高层和多层建筑。

乌兹别克政府对于塔什干建设也作出了相应的决议与计划。

根据建设计划，塔市为了建造九层大板结构的楼房建立了工业化生产基地，每年可建造86万平米。他们认为仅仅建造这种房屋不是发展高层建筑最合适的途径，更高层(十二层、十六层以上)楼房的建筑不宜采用装配式承重骨架结构。建筑十二层以上楼房最好采用工业化模板的整体浇筑钢筋混凝土结构。这种建筑方法最适宜在中亚使用，它可使建设基地的物质和技术设备的基本投资减少30%，经营费用减少7—10%。

现有的高层建筑物还没有经历过强烈地震的考验，但他们认为地震危险区的高层建筑物基础应建筑在打到结实岩层的混凝土桩基上、并加设整体浇制的钢筋混凝土隔墙(剪力墙)。

5、进行工程地质调查和地震烈度小区划

这是提高建筑物安全程度，节省抗震设防投资的必要措施。塔市曾从1953年到1968年间先后进行了四次工程地质调查，以确定各处地震烈度的增量。各地岩石(土壤)的成分、性质、埋藏深度、地下水位的高低和地形特点等，这种不同的传播地震波的介质，决定了不同的地震影响。通过对塔市的强震资料和工程地质条件的分析确定：如对于一级阶地和二级阶地上砾石分布很厚，地震影响符合一般状况，所以地震烈度增量等于0。半坚硬的第四纪石质黄土和新生的粉砂岩露于地表的地方比较抗震，所以烈度增量为-1。干燥黄土很厚，地下水位又不到5米的地方不耐震，所以烈度增量为+1。最不耐震的是有大面积填土的地段和河渠沉积土厚度超过了3米的地方、充水的黄土母质、地下水位不到5米的填土区和河渠沉积土地段，其烈度增量为+2。

塔什干的地震烈度小区划先后进行过二次，1964年—1965年作的第一次区划只限于市区，1966年地震以后作的第二次区划把范围扩大到了郊区。

为了取得小区划的资料，在全市各级阶地(奇尔奇克河有五级阶地)按各种工程地质条件设置了19个地震自动记录站，以检验各种土壤的地震影响。塔市

的各种土壤介质(疏松细粒黄土和土壤、干燥黄土和湿黄土、干砾石层和湿砾石层、灰泥土等)的弹性和它们对地震波的传播速度各不相同。编制地震烈度小区划图的主要原则是根据黄土层的厚薄和地下水位的高低。黄土层厚的地方烈度高, 所以把黄土层厚5—60米的地段划入9度烈度区, 厚5米以下的划入8度烈度区。黄土层中, 地下水不到6米的地段增加烈度1度, 在浸润的、压实很好的砾石层烈度不提高。把全区划成一平方公里的方格网, 在方格图上画出岩石(土壤)分布, 地下水位高的地段, 标上各钻井的资料根据这些资料划出了塔什干的地震烈度小区划图。

工业爆破的震动效果和地震效果相似, 所以在不经常发生地震的地方, 可以用工业爆破方法取得作地震烈度小区划所需要的资料。

6、削减城市扩展因素, 控制城市人口, 加强周围城镇建设

城市太大了总是不好, 会带来许多麻烦。为了稳定城市人口, 他们准备将增大城市扩展有决定意义的工厂迁出市区, 加强周围城镇建设。

(三)1971年堪察加地震 [1]

彼德罗巴甫洛夫斯克—堪察加在1971年11月25日发生7.3级地震, 震中深度100—125公里, 位于太平洋。该市四分之一地区烈度达8—8.5度, 大部分地区为7度。

城市建设基本上都采取了抗震措施, 其中按标准设计图集464建造的大板建筑物按8度设防, 部分大板建筑在当地地震烈度认为9度后, 按8.5度设防。

带地下室的4—5层大板建筑物, 大部分位于土壤条件差(地下水位高、淤泥、粉质亚砂土等)的地区, 其地震烈度比城市其它地区要高出一度。震后结果表明, 这些建筑物抗震性能良好, 仅在接缝、接头周围及板本身出现裂缝、个别情况下出现贯穿裂缝, 但主要出现在顶部二层的横向墙板和楼板以及勒脚板处(水平缝)。

4—5层大型砌块建筑物建在土壤条件较好的地区(地下水位低、土壤坚实, 其损坏程度还大于大板建筑。主要是砌块间开裂、错位和砌体部分损坏。这说明砌筑砂浆接缝多、强度弱, 用钢筋与埋入件的焊接连接不好, 以及砌块自重、强度低所造成的。

该市还建有许多四层以下矿渣混凝土小砌块承重墙的建筑物, 它们的损坏程度更大, 其原因也在于砌体缝间砂浆灌筑不好, 砖与砂浆间粘结力不足。

震后许多建筑物已不适宜继续使用, 需要抗震加固。

居住和公共建筑物主要采取三种抗震加固方法:

(1)建筑物的承重结构采用型钢预加应力后构成箍紧的圈梁、墙和窗间墙用钢筋网和钢拉杆作竖向配筋外喷射细石砼面层。用此法加固了1—307C图集大型砌块建筑物47幢。

(2)墙和窗间墙一面或双面加配钢丝网外喷射细石砼面层。此法加固了30幢1—307C图集的建筑物和34幢砖石承重墙和混合结构的建筑物。

(3)采用型钢作钢圈梁和钢支柱以及用钢丝网喷射细石砼面层加固结构。加固了18幢结构损坏严重的3—5层砖石承重的建筑物。

第(1)种方法加固8度地区大型砌块建筑的加固费用为原工程造价5—7%，在9度地区为8—15%，个别建筑物达30%；

第(2)种方法加固9度地区大型砌块建筑为7—12%，某些建筑物达17%；用第(2)种方法修缮承重砖墙居住建筑，对于建于8度地区为5%以下，9度地区为9—16%。

用第(2)种方法修复砖石砌体墙的公共建筑，9度及以上地区在15%以内；

用第(3)种方法加固砖石砌体居住建筑，在9度及以上时为15—22%。

用第(3)种方法加固砖石砌体承重结构的公共建筑，在9度以上地区为14—45%。

对于工业建筑中受损坏的各种结构及其节点采用了20多种方法作抗震加固，其费用为原预算造价的6—52%。

修复大板建筑采用下列方法：

当板丧失承载能力时：

(1)板裂缝宽度5毫米以内，采取在板缝内压力灌浆；

(2)板裂缝宽度5毫米以上，板表面加筑钢筋砼外罩；

(3)已损坏的板拆换；

当板之间连结损坏时：

(1)板接头处加筑钢筋砼外罩；

(2)采用预加应力金属骨架。

承重结构修复加固方法的经济分析表明，在堪察加地区采用第(2)种方法最合适，第(3)种方法最昂贵。

(四) 1976年和1984年加济尔地震 [1、5、6]

1、概况

苏联加济尔地区于1976年发生两次地震，第一次在4月8日当地时间8点40分发生8度地震，第二次在5月17日7点58分为9度地震。1984年3月20日1点29分又发生一次地震，加济尔烈度达到8—9度，某些地区大于9度。

1953年以来苏联建筑法规一直未把加济尔列为高地震区，建筑物未采取抗震措施，1976年后才列为8度地震区，按苏联建筑法规地震重现率为3，新建筑物开始按8度设计，个别按9度设计。

1976年4月8日开始地震并不剧烈，促使居民迅速撤离房屋，经15分钟的震动以后使大部分建筑物倒塌，幸而人员已安全离去。木结构房屋抗震性能最好，土坯和普通砖房屋最次，大板建筑居中，其中12%严重损坏，63%中等损坏，25%轻度损坏。

这次震后消除震灾措施大致分为四类：设置帐篷“城市”、修复和加固震后保留的建筑物，以及开展新工程建设。为设置帐篷“城市”耗资二百万卢布，修复加固工作虽已作出决议，却未能完全执行，如28幢大板建筑本可修复，只修复了12幢，而更多地是建设新建筑。浪费了2千万卢布。表1为震后建筑物处理的决议。

表1

1984年3月	建筑物	层数	处理决议
20日当地时间	土坯建筑	1	拆除
1点29分发生	有木骨架土坯	1	拆除
的地震震中	砖砌建筑	1—2	拆除
在加济尔西北	大板建筑	1—4	两层拆除一层修复
约30—40公里处，		4	拆除
20—30公里深。		2	修复28幢，余拆除

加济尔、布哈拉地区(市)以及邻近各共和国均受到不同程度的损坏。

根据[5]文报导，按地震地质资料，这次地震的震级为7.3级。

加济尔地区土壤条件为砂、细砂层，厚0.3—7.5米，下为砂岩、碳酸盐粘土及其胶结物，再下卧层为粉砂层(厚0.7—4米)、细砂和粘土层(厚1—9.6米)。粘土层起地下水滞水作用，其上多余的地表水使土壤的含水量过大，1976年震后新建的建筑物基础埋深为1.6—2.4米，基底处于过饱和含水砂层，这

加重了地震作用对上部结构的破坏程度。

地震发生后的当天即派专机运送帐篷安顿无家可归的蒙难者，共设立2706个帐篷，安顿15264居民。还开去360辆专列(火车车箱)作为供居民用的临时食堂(30个)、商店(26个)、淋浴室(4个)、医疗站等、在“帐篷城市”里设置了75张病床的医院。日就诊人数为100人的门诊部、160、90、75名儿童的五所幼儿园、660—1030学生的三所学校、1100个煤气罐和装置。大部分儿童被疏散到加济尔以外地区。

表2 1984年加济尔震后部分民用建筑物损坏情况

	建筑物	层数	损坏程度	采取的决议
居住建筑	加固后的大板建筑	2	2—3	重新加固
	1976年震前木板建筑	1	2	部分加固，部分拆除
	砖砌结构	2	3	拆除
	现浇陶粒砼建筑	2	2—3	恢复
	振动砖建筑	2	2—3	恢复
	1976年后建成的木板结构	1	2—3	修缮
公共建筑	1568人的框架壁板	2—3	4	恢复
	学校建筑			
	1176人的砖砌学校建筑	2	4	未作决议
	160人幼儿园(砖砌)“ГуиҺа”	2	4—5	拆除
	同上“Маабилуок”	2	2—3	修缮
	公共活动中心(混合结构)	2	2—3	恢复
	办公楼(砖砌)	3	4—5	拆除

注：尚有钢筋砼结构的学校、幼儿园、公共活动中心未统计在内。

2、各类建筑物的调查结果

(1)木板建筑 [8.9] 加济尔在1976年震前和震后都建造了不少这类1—2层住宅和学校、旅馆、食堂等建筑。1976年恢复重建中50%住宅建筑采取这种结构类型。

这类建筑的基础为M100号混凝土条形基础、它伸出地面25—30厘米。承重木骨架、木壁板围护，壁板有木纤维板、内填矿棉的夹心板、公共建筑用石棉水泥板。双坡石棉瓦楞屋面。砖烟囱中有的用50×50角钢和50毫米宽扁钢四周加固。

单层建筑损坏较小，一般仅2—3级损坏程度。窗间墙出现斜裂缝、木骨架

与填充板材间开裂，有大于2厘米贯穿裂缝，楼盖错位(对墙)1.5—2.0厘米，隔墙位移，基础严重损坏，移动12厘米，个别的损坏程度达4级。

两层木板房屋的结构与单层的类似，主要是纵、横向木墙板连接处、楼板间开裂，为1—2级损坏程度。

木板结构的学校建筑中采用 $\phi 10-15$ 钢管作横向刚架，每6米处为木板围护墙、其它旅馆、食堂等公共建筑为木骨架和石棉水泥壁板。这些建筑物中仅在骨架与围护墙体间、烟囱及与其连接处墙体有损坏。若能很好地加固这些部位，其抗震性能还是很好的。

(2) 砖砌建筑 [7、9、10]

砖砌结构是地震破坏最严重的一种建筑物。

1976年震后按定型设计14—52—40C建造了不少二层12和16户居住建筑，其设计烈度为8—9度。

结构是：钢筋砼条形基础、横向砖墙厚38厘米，门窗孔洞处有钢筋砼边框、砖墙上钢筋砼空心楼板处外包现浇钢筋砼圈梁、平屋顶。建筑物为矩形，横墙伸出纵向外墙外，有钢筋砼边柱或边框加固，它形成一凹廊。

所有这类砖墙承重的建筑物都产生了3级损坏程度。主要损坏特征是：装配式楼板之间开裂、窗间墙开裂，外墙砌体脱层、楼梯间处自承重墙出现X形贯穿的裂缝(扩大到15毫米宽)、承重墙X形裂缝宽达20毫米，女儿墙破坏。纵向外墙，特别是窗间墙损坏最为严重，从损坏特征及程度看，主要是缺少纵向外墙，圈梁与楼板之间、圈梁(边框)与过梁框间、隔墙与楼板之间均连接不好，砌体质量低劣，砖与砂浆间粘结强度仅5—6千帕。

所有这类建筑大部分第一层损坏比顶层严重。根据以往震后砖砌建筑损坏的调查结果，认为当砌体间砖与砂浆粘结力越低，产生剪切破坏和建筑物上层损坏的可能性越大，反之，砌体质量越好，出现底层损坏的可能性就越大。但加济尔43幢砖砌住宅建筑中出现的水平与斜裂缝集中在底层，这是由于已作了8度抗震加固，设有各种钢筋砼边框、边柱、圈梁，使砌体提高了一个级别。在其它无抗震措施砖建筑中，低质量的砖墙的损坏还是自上而下发生。因而进一步证实，砖砌建筑损坏的分布情形主要取决于砌体质量及加固措施。

1982年按定型设计214—2—8TCⅡ施工的两层楼幼儿园建筑由两部分组成，中间有通道相连接。承重墙为有抗震措施的厚38厘米粘土砖墙。楼板一端支承在纵向外墙上，一端支承在纵向现浇钢筋砼框架上，框架横梁每隔6米依次支承在钢筋砼内柱上和横墙上(内柱与横墙交替布置，间距各为12米)。

由于缺乏纵向内墙，横墙数量不足，孔洞过大，严重地削弱建筑物的水平刚度。再加之砌体质量太差和抗震措施施工质量也不好，个别门窗孔洞没有钢筋砼边框加固，整个建筑物刚度差。一层窗间墙大部分破坏，实体墙面也有贯穿的裂缝，局部墙体位移。一层纵向内框架柱顶部砼破碎，直径21毫米钢筋压曲外露，砖隔墙全部倒塌，它与墙体间根本没有钢筋拉结。建筑物中另一部分（辅助楼）的承重结构全部破坏。该建筑物方向为西南—东东北，破坏严重与地震作用方向也有关。

另一幢幼儿园建筑建于1976—1977年，平面布置与方向与上述建筑物相同，但结构布置有所区别。横墙布置较密，楼板直接支承在厚38厘米横墙上。部分横墙为七条缝隙的陶土空心砖，部分为普通砖墙。典型损坏为窗间墙出现斜裂缝，纵、横墙均出现贯穿的长裂缝。损坏程度甚小于上述建筑。主要原因是横墙密、砖墙自重轻、砌体质量较好，建筑物横向刚度大。

乳制品商店单层建筑，平面尺寸12×12米。厚38厘米砖墙承重，装配式钢筋砼空心板作屋面板，四周有38×23厘米钢筋砼圈梁。由于墙角没有配筋、抗震圈梁配筋不当（接头未焊接和没有足够的搭接）以及屋面板与圈梁间没有拉结，结果导致承重墙拉脱和屋面板一起倒塌。

加济尔“儿童世界”商店为两层砖混结构，平面尺寸51.2×12.0米。有两道纵墙和九道横向承重墙，两处横向承重墙改为6米跨钢筋砼框架。墙转角和交接处配有钢筋网，孔洞四周有钢筋砼边框加固。

震后发现墙交接处多数破坏，二层窗间墙有X形裂缝，水泥粉刷层脱落，所有装配式和现浇钢筋砼结构（楼板、过梁）与砖砌体间均出现周边外轮裂缝，即它们之间连结完全破坏。九道横墙中也出现对角线方向的贯穿裂缝。隔墙部分毁坏。整个建筑物为3级损坏程度。显然是因地震作用下嵌入砌体内的钢筋砼构件与砌体间的连结破坏，缺乏共同工作的能力，促使砌体超负荷而导致结构的损坏。钢筋砼加强件的混凝土标号太低（ $R=25-30$ ）施工质量差，也是破坏的主要原因之一。

工业生产与辅助建筑中〔13〕有不少采用砖墙承重的混合结构，调查表明，它损坏也十分严重。例如三幢仓库建筑物长达12—18米的纵墙，其上屋盖结构及与之相交接的山墙全部倒塌。残留的墙体有2—3厘米宽的裂缝。

1976年后建造的承重砖墙建筑物未完全遵照抗震措施要求设防，均出现墙体几厘米宽的裂缝，内外墙交接处开裂，钢筋砼楼板过梁位移，以及承重与非

承重墙的局部倒塌。

1976年震后保存下来的砖墙承重结构采取用钢管或钢梁两侧夹固，仅能阻止1976年地震后的倒塌，仍出现了更宽的长裂缝，将墙体分割成单独的块体。采取抗震圈梁和孔洞周边加钢筋砼边框的墙体受震害较轻。

(3)振动砖砌块建筑[8]，部分12户住宅建筑纵横墙采用振动砖砌块，砌块厚40厘米，一层楼高。砌块顶面筑有钢筋砼圈梁。楼板为装配式钢筋砼空心板，它支承在纵墙上、楼板平面处有圈梁箍住。砌块之间由钢筋砼圈梁内伸出的短钢筋与砌块内预埋铁件相焊接，隔墙也采用振动砖砌块。

震后调查发现，砌块有可见的裂缝，内墙砌块上部以及砌块之间个别竖向接缝处粉刷层脱落。大部分砌块没有损坏，只个别有斜向和水平裂缝，宽度达0.3毫米。隔墙全部开裂损坏，个别破坏。整个建筑物损坏程度为2—3级。

同时发现振动砌块本身质量不好，砖缝间砂浆不饱满、有的没有错缝砌筑，以及砌块安装施工质量不佳是导致损坏较严重的原因。它与一般手工砌筑砖建筑比较，振动砖砌块的承重结构损坏程度小。

(4)大板建筑[3、8、12]

1961—1968年加济尔按非地震区设计图集1—464建造了两层大板住宅建筑。1976年4月的地震使80%的大板建筑物达到2级损坏程度(平均为2.26级损坏程度)。1976年5月地震，其平均损坏程度提高到3.68，56%建筑物为4级损坏程度，有四幢建筑物发生楼板倒塌。1976年两次地震后，仅修复12幢，6幢全部及部分拆除，其余的一直处于受损坏状态未予处理。修复方法开始采用加设钢圈梁、拉杆、压力灌浆等压紧拉结方法，后研究改进了加固方法，在板内开凿出凹槽，加配钢筋使相邻板间沿高度设有若干个加筋键，外再喷涂环氧树脂，该法称之为“ Π A法”。在1984年大地震中凡采用“ Π A法”加固的大板建筑物只有2—3级损坏程度，而未修复的楼板倒塌，达5级损坏程度。

布哈拉也建造了一些大板建筑[12]，就结构特征而言可分成三类：

(1)1976年前按定型设计1—464图集施工的2、3、4层建筑，原设计适用于非地震区，后作了局部修改；(2)1976年后按7度地震区定型设计III—146—4C Π 施工的4、5层建筑；(3)按8、9度烈度设计的五层建筑物。共调查了69幢(依次为28、15、26幢)。

无抗震措施的大板建筑在1976年震前，已遭受过3次6—7级地震。1976年震后发现板体有不长的发丝裂缝，个别地方板接缝处出现显示板形的裂缝。板缝间砂浆脱落。1984年震后调查发现损坏加剧。板接缝处裂缝大量出现，有的

嵌缝砂浆完全破碎脱落形成贯穿裂缝，同时内墙板接缝处损坏部位加多，板本身损坏并不加重。28幢建筑物中25幢(89.4%)为1级损坏，3幢(10.6%)为2级损坏程度。

按7度设计的大板建筑与上一类情况有所不同，主要是板本身出现发丝裂缝，沿板竖向与水平方向加固连结键开裂呈现其外形。仅有一处门过梁严重破坏。这证明板的加固连接键在起作用。15幢建筑物全部属于1级损坏程度。

按8、9度设计的大板建筑物除个别水平接缝处出现发丝裂纹外，没有可见裂缝。全部属于0级损坏程度。

以上三类大板建筑物出现的水平与竖向裂缝大部分集中在顶层平面处。

调查结果证明，大板建筑抗震性能良好。

(5) 钢筋砼结构建筑 [8、10、11、13]

住宅建筑中有部分是采用移动式箱形模板的现浇陶粒砼壁板结构，其计算烈度为9度。

基础为现浇钢筋砼条形基础，高30厘米、宽40厘米，上有1.8米高的工厂预制基础块体。承重与自承重墙厚40厘米为现浇陶粒砼。隔墙为砖砌的。钢筋砼装配式空心板外有现浇钢筋砼圈梁。建筑物为矩形，横墙伸出纵向外墙形成凹廊。

震后发现典型的损坏是：装配式楼板拼缝处开裂，有的地方宽到1—2厘米。支承楼板的外墙上有水平裂缝、在过梁支承处和窗间墙内有竖向与斜裂缝，宽度达1厘米。隔墙与外墙间拉开形成宽1厘米以下裂缝。横向承重墙竖向与斜裂缝宽达3毫米。纵横墙交接处也有竖向裂缝。横墙损坏较轻。在陶粒砼质量不好的建筑物中楼板支承处发生剪切破坏。整个建筑物损坏程度也达到2—3级。分析认为主要是缺乏内纵墙以及陶粒砼强度不足。

学校建筑中有的按定型设计1—220CA建造的，为2—3层结合的。平面布置相类似，结构体系为框架壁板，其中大讲堂和体育房跨度12米，采用柱距3米的钢筋砼框架。框架没有明显损坏，围护墙体大量损坏。它与承重结构之间在楼板平面和竖向接缝处均没有很好地连结，有的只用柱内 $\Phi 4$ 钢筋伸出弯入砌体砂浆缝内，因而外墙因拉裂脱落而损坏。部分壁板与框架柱间有四角的焊接点或用大直径钢筋或型钢保证相互连结，并在板柱接缝间灌砂浆，但缺乏柔性。在大讲堂柱顶平面处，砖墙内采取截面为40×40厘米的通长现浇钢筋砼过梁，但它与柱和砌体间均无连结。地震发生后首先刚性连接破坏，接着依次发出壁板、砖砌体和笨重的统长过梁破坏，建筑物丧失刚度。

另一学校建筑的钢筋砼框架结构遭受严重破坏是由于框架横梁节点处灌注的混凝土标号仅为原结构砼标号的1/4—1/5，节点处横向钢筋配置也不足，采用 $\phi 4$ 钢丝间距为150毫米的螺旋配筋，它与 $\phi 24$ 主筋间没有焊接。因而产生了柱子砼的压碎、钢筋压曲，横梁与柱连接节点破坏，出现贯穿裂缝。

调查中注意到垂直于西南向的悬挂墙板大量破坏，是由于地震惯性力作用在板平面外，使板内预埋件拔出脱落。

这些学校建筑损坏十分严重的原因还在于当地土壤条件不好，正好位于厚1米的饱和砂层上，下卧层为密实坚硬土层。原有排水系统于1976年就损坏了未修复，震前又长期下雨，震后地表开裂和出现喷水口（地下水喷泉）。

该地商业中心内有一食品商店为两层四跨现浇钢筋砼框架结构、平面尺寸 22.4×19.2 米，柱截面 38×38 厘米，横梁和纵梁分别为 35×45 和 35×35 厘米，砼200号。独立基础、装配式钢筋砼空心板作为楼盖和屋盖板，平屋顶柔性屋面。外部围护结构为金属骨架玻璃墙，它通过预埋件焊接在框架上。砖隔墙有加固措施。施工质量良好，砼标号符合设计要求。

震后玻璃外墙金属骨架显著弯曲变形，玻璃破碎，砖隔墙顶部到处破坏。现浇框架出现独特的破坏情形：按理框架底层受地震力作用最大，却没有损坏，而在二层楼板平面处许多柱子都发生砼的破碎和纵向钢筋的屈曲。受损部位典型的与设计不符之处是少放了横向钢筋，但底层柱也有相同缺陷。横梁与边柱的许多节点中出现斜角贯穿裂缝，宽达2毫米，个别的横梁与中间柱的节点有破坏。分析认为造成这种原因可能因建筑物刚度中心偏移产生扭转而造成复杂的地震作用，受到变符号弯矩作用所致。另一种分析认为建筑物计算的第二自振周期 $T_2 = 0.22$ 秒，与地震引起的土壤振动周期 $T = 0.2$ 秒较接近，而产生共振。

从柱子出现的塑性铰破坏分析，已丧失承载力，属于4级损坏程度；从节点损坏看为3级损坏程度，但从建筑物整体而言，按[3]建议方法计算，损坏程度 $d_3 = 1.2$ 。这种评定结果与建筑物总的技术状况很吻合。它比砖结构的损坏程度要小一级。

商业中心的三层行政办公楼，中央部分为框架结构，两翼为混合结构。中间走廊，横墙承重，厚1.5砖，间距6米，靠近走廊处有钢筋砼边框加固。主要损坏发生在砖砌体和框架横梁上。上层横向刚性墙损坏很严重，与外墙交接处和窗间墙上均有X形裂缝，二层砖砌体损坏程度较轻，三层很少。框架横梁损坏情形却相反，从二层开始有发丝裂缝，三层有许多贯穿裂缝。

钢筋砼框架结构的工业生产厂房与辅助建筑[13]在1976年震后采取了加

固措施：钢筋砼柱从地坪开始到屋架底用角钢四周夹固，纵向柱列间加设对角线交叉斜支撑，柱顶屋架支座处加边框，外墙震坏后改用陶粒砼悬挂墙板或石棉水泥与铝板作面板的夹心墙板。

1984年震后调查，在钢筋砼排架柱与横梁上未发现新增加的损坏情形，仅在一幢锅炉房内柱间支撑与柱连接处焊缝破坏，有一股支撑拉断。这类建筑物中屋面板之间都出现了裂缝、嵌缝砂浆从缝中脱落，部分建筑物中屋面板本身也有损坏，纵肋保护层脱落和开裂，屋面梁支承处砼破碎。

这类建筑物中唯一的一幢仓库内所有分割小间用的到顶砖隔墙遭严重破坏，屋面板也严重损坏，达到3—4级损坏程度。

(6) 钢结构

加济尔还建有11幢用钢管或型钢制成的钢构架工业厂房。其外墙为陶粒砼悬墙板、铝合金或石棉水泥板作面板的夹心板。某些建筑物中还采用砖砌或陶粒砼大板作间隔墙(柱列间)。屋面为铝面板的复合轻型屋面板。震后调查钢结构本身未见任何损坏，但其连接节点有损坏，如某机修车间钢屋架水平支撑的斜杆拉断，原因是支撑节点板只靠安装焊缝连结，没有螺栓固定。另一锅炉房柱间支撑的焊接接头也因焊接质量(主要是竖向焊缝)不好而破坏。这些建筑物中主要是内部隔断墙(砖隔墙或陶粒砼墙板)的破坏。有的板开裂，缝宽达10毫米，有的发生平面外破坏(主要是板内配筋不足于抵抗平面外较小的荷载)。

(7) 布哈尔地区建筑物

“布”市也受地震波及，遭不同程度的损坏[14、15]。当地所受到地震作用时间比1976年两次地震增加2—3倍。多次反复地受地震作用，各种变形与损伤逐步的积累，使对比分析三次地震震灾几乎失去了可能性。

震后调查146幢公共建筑物，学校建筑67幢、学前建筑57幢、医疗卫生建筑22幢。按结构类型而分有三类：A类为土坯砖、木楼盖，B类30年代建的砖墙木楼盖，B类50—60年代建2—3层砖墙承重钢筋砼楼盖。调查结果见统计表3。