

震损建筑修复加固的 设计与施工

王广军 编著

地震出版社

前 言

我国是多地震国家,自本世纪以来的80多年内,共发生破坏性地震2600余次,其中6级以上的破坏性地震500余次,平均每年5.4次。宏观震害经验表明,地震造成人员伤亡和经济损失的主要原因是房屋建筑的倒塌和工程设施、设备的破坏。世界上130次伤亡巨大的地震,其中95%以上的人员伤亡是由于不抗震的建筑物倒塌造成的。这说明,建筑的设防是十分必要的。然而,由于历史的原因,许多建筑在设计时并没有考虑设防,故地震发生时往往遭到损伤、破坏或倒塌。值得指出的是,这部分房屋在震后仍有相当一部分虽然遭到破损,并丧失一部分承载能力,但仍然可以通过采用一些方法加以修复加固,而达到继续使用的目的,这样不但能较快地使人民安居乐业,而且也可节约相当一部分资金。我国自1962年河源地震后,对多层砖房进行修复加固以来,已逐渐积累了许多资料,但直到日前尚未有专门的修复加固技术规定,近年来中国建筑科学研究院已开始着手编制《震损建筑修复加固技术标准》,本书系在此基础上对有关问题加以总结和介绍。

本书第一章主要介绍建筑地震破坏现象及其原因、建筑地震破坏等级评估的原则、震后修复加固水准的考虑、修复加固可能性原则、修复加固的基本要求及修复加固的效果等问题。第二章介绍修复加固方法及其工艺,这些方法通常可分为两大类,一类是恢复其抗震能力的方法,另一类是增强、提高抗震能力的方法。第三——九章主要介绍多层砖房、多层钢筋混凝土框架房屋、底层框架和多层内框架砖房、单层砖厂房、单层钢筋混凝土柱厂房、民房、独立砖烟囱等建筑的震害现象、地震破坏等级划分评估、修复加固对策、修复加固设计及修复加固工程实例。第十章介绍目前在震后修复加固施工中较为常采用的工具和机械。第十一章介绍典型工程修复加固方案及其实例,包括多层砖房、多层框架砖房屋、多层钢筋混凝土房屋、单层砖柱厂房、单层钢筋混凝土柱厂房、钢筋混凝土烟囱等结构类型。

本书编著过程中,曾参阅和引用了正在编制的《震损建筑修复加固技术标准》、《京津地区工业与民用建筑抗震加固施工操作要点及质量要求》、《抗震加固典型工程及施工机具》等文献和资料。在此谨向对本书的编辑、审校和插图整理等做了大量工作的蒋佑君、王庆修、张辉、王桂枝、王丽荣、袁冰、贾红、徐刚等同志表示衷心的感谢。限于时间及编著者的水平,书中错误和不当之处在所难免,衷心希望专家和读者批评指正。

王广军

(京)新登字095号

内 容 提 要

本书较为系统地介绍我国目前常见建筑的地震破坏现象、破坏等级评估的方法和尺度、破损后的修复加固设计和施工方法以及一些震损建筑的修复加固工程实例,并详细介绍震损建筑修复加固水准的考虑、修复加固可能性的原则、修复加固的经济指标和效果等问题,目的是为震后恢复重建阶段进行震损建筑修复加固时,有可供立即参阅使用的资料。

本书可供建筑设计人员、房管部门的管理和技术人员、施工单位的技术人员以及大专院校师生参考。

震损建筑修复加固的设计与施工

王广军 编著

地震出版社出版

北京民族学院南路9号

通县向阳印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

•

787×1092 1/16 20印张 485千字

1994年5月第一版 1994年5月第一次印刷

印数0001-3000

ISBN 7-5028-1044-7/TU·96

(1437) 定价: 21.00元

目 录

第一章 绪论

1.1 建筑的地震破坏及其原因	(1)
1.2 建筑地震破坏等级评估原则	(5)
1.3 震后修复加固水准考虑	(9)
1.4 修复加固可能性原则	(10)
1.5 修复加固基本要求	(11)
1.6 震损建筑修复加固验算考虑	(13)
1.7 修复加固的美观问题	(17)
1.8 地基基础的震后加固	(19)
1.9 震后加固经济指标	(21)
1.10 震后修复加固效果	(22)

第二章 修复加固方法及其工艺

2.1 概述	(25)
2.2 压力灌浆修复法	(26)
2.3 化学灌浆法	(28)
2.4 面层加固砖墙体法	(33)
2.5 扁钢网箍加固法	(35)
2.6 喷射混凝土法	(37)
2.7 外加圈梁法	(40)
2.8 加设拉杆(梁)法	(42)
2.9 外加钢筋混凝土柱法	(45)
2.10 梁、柱的外包加固法	(47)
2.11 粘贴钢板加固法	(49)
2.12 增设抗震墙法	(51)
2.13 增设钢支撑法	(54)
2.14 拆砌法	(55)
2.15 增设件与原构件的连结方法	(57)
2.16 新旧混凝土结合措施	(64)

第三章 多层砖房的修复加固

3.1 概述	(65)
3.2 震害现象	(66)
3.3 地震破坏等级划分评估	(68)
3.4 修复加固对策	(72)
3.5 墙体的修复加固	(72)

3.6	楼、屋盖等的修复加固	(82)
3.7	修复加固工程实例	(85)
第四章 多层钢筋混凝土框架房屋的修复加固		
4.1	概述	(94)
4.2	震害现象	(96)
4.3	地震破坏等级划分评估	(97)
4.4	修复加固对策	(102)
4.5	框架的修复加固	(103)
4.6	填充墙等的修复加固	(105)
4.7	修复加固工程实例	(106)
第五章 底层框架和多层内框架砖房的修复加固		
5.1	概述	(111)
5.2	震害现象	(112)
5.3	地震破坏等级划分评估	(113)
5.4	修复加固对策	(120)
5.5	承重体系的修复加固	(120)
5.6	修复加固工程实例	(121)
第六章 单层砖厂房的修复加固		
6.1	概述	(125)
6.2	震害现象	(126)
6.3	地震破坏等级划分评估	(127)
6.4	修复加固对策	(131)
6.5	砖柱的修复加固	(132)
6.6	墙体等的修复加固	(135)
6.7	修复加固工程实例	(137)
第七章 单层钢筋混凝土柱厂房的修复加固		
7.1	概述	(141)
7.2	震害现象	(142)
7.3	地震破坏等级划分评估	(144)
7.4	修复加固对策	(154)
7.5	屋盖的修复加固	(154)
7.6	钢筋混凝土柱的修复加固	(161)
7.7	墙体的修复加固	(170)
7.8	修复加固工程实例	(176)
第八章 民房的修复加固		
8.1	概述	(181)
8.2	震害现象	(182)
8.3	地震破坏等级划分评估	(182)
8.4	修复加固	(182)

8.5 修复加固工程实例	(197)
第九章 独立砖烟囱的修复加固	
9.1 概述	(200)
9.2 震害现象	(200)
9.3 地震破坏等级评估	(201)
9.4 修复加固对策	(204)
9.5 筒体的修复加固	(204)
9.6 修复加固工程实例	(207)
第十章 修复加固施工用具和机械	
10.1 概述	(209)
10.2 钻孔机具	(210)
10.3 YJ-1型多用喷浆机	(212)
10.4 模板	(213)
10.5 顶拉、拉伸器具	(217)
10.6 射锚器具	(220)
10.7 脚手、脚手架	(227)
10.8 升降吊篮	(231)
10.9 升高作业机械	(236)
第十一章 典型工程修复加固实例	
11.1 概述	(240)
11.2 辽宁海城县招待所	(241)
11.3 北京505工程二街坊住宅楼	(249)
11.4 北京市新华书店新营业楼	(255)
11.5 天津第三棉纺厂一、二纺场楼	(260)
11.6 陡河电站除氧煤仓间楼	(267)
11.7 天津手表厂生产楼	(274)
11.8 北京王府井百货大楼	(279)
11.9 陡河电站化学水处理车间	(282)
11.10 天津工程机械厂辅助车间	(283)
11.11 天津新港船厂船体车间	(292)
11.12 海城镁矿下房身机电修车间	(298)
11.13 唐山市展览馆北馆	(301)
11.14 陡河电站主厂房烟囱	(305)
参考文献	(311)

第一章 绪 论

1.1 建筑的地震破坏及其原因

国内外的地震震害经验表明,造成人员伤亡和财产损失的主要因素是建筑物破坏或倒塌,因此减轻地震灾害造成恶果的主要途径之一就是想办法在地震发生时使建筑不破坏或破坏很轻微,而做到这一点往往要涉及到建筑破坏的原因和过程。

地震按其成因通常可分为四种类型:构造地震、火山地震、水库地震和陷落地震。其中,构造地震所造成的危害最大。

地壳岩层在构造变动过程中处于复杂的地应力作用状态下,随着能量积蓄,地应力的作用逐渐加强,构造变动也随之加剧。当地应力的作用超过岩层的强度极限而发生突然的断裂和猛烈的错动时就会引起振动,并以弹性波的形式传到地面(通常将这种波动称为地震波),使地面产生振动。

当地面运动不强或地基比较坚实时,通常地表面不出现破坏;而当地面运动强烈或地基不坚实时,地表层或下垫层将可能出现永久变形,即产生失效现象。

建筑物在强烈地震下的破坏、倒塌机理和过程,是一个十分复杂的综合问题,目前对它还没有充分认识。但总的看来,这种现象可分为二类,一种是由于地基失效所产生的;另一种是建筑本身因振动而产生的。

一、地基失效所产生建筑的破坏现象

1. 淤泥土震陷

强度较低的淤泥地基,地震时由于震陷而造成建筑物灾害。天津望海楼住宅群有16栋三层、10栋四层建筑,筏片基础,埋深0.6m,地基容许承载力为 $3\sim 4\text{t/m}^2$,实际采用 5.7t/m^2 ,1974年建成。三层住宅,唐山地震后总沉降量为 $25.3\sim 325\text{mm}$,其中震前震后沉降差为 $141\sim 203\text{mm}$;震前倾斜为 $(1\sim 3)\%$,震后为 $(3\sim 6)\%$ 。四层住宅震后总沉降量为 $288\sim 852\text{mm}$,其中震前震后沉降差为 $146\sim 325\text{mm}$;震前倾斜 $(0.7\sim 19.8)\%$,震后倾斜为 $(0.7\sim 45.1)\%$ 。

2. 饱和土液化沉降

饱和土地震时产生液化,地下的砂、粉土和水一起喷冒出地面,造成地基沉陷,并由此造成建筑物破坏。

1964年日本新潟地震时,新潟市1630幢钢筋混凝土房屋中,有310幢倾斜或下沉,其中110幢受到不同程度的结构破坏。

1975年海城地震前,田庄台辽河大桥正在施工,该桥全长880余m、22孔。桥台及引桥桩长 $21\sim 23.5\text{m}$,河滩桩基长 38m ,河道桩长 50m 。震后发现,水源一侧河岸出现4条顺河向的长大裂缝,桥后台填土开裂与桥台脱离,地面出现喷水冒砂。对桥墩变位观测表明,绝大部分桥墩向河心方向倾斜,斜率为 $0.7\%\sim 13\%$ 。墩身下沉 $10\sim 920\text{mm}$,两端桥台间距缩短 2.51m 。各墩向河心方向变位 $0.20\sim 4.36\text{m}$ 。此外,营口市造纸厂俱乐部由于砂土液化和地裂缝,上部结构严重破坏。营口市楼俱乐部剧场,地面鼓起破裂,喷砂堆滞剧场许多座席,

墙身出现严重的裂缝。盘锦第二百货商店楼，两角下沉，外墙开裂。

1976年河北唐山地震时，天津市第二工人疗养院和铁路职工疗养院楼，由于地裂和砂土液化造成房屋开裂(最大裂缝处人可通过)、沉陷、错动和局部倒塌。

3. 地裂缝

地裂缝按其性质可分为两类，一类是构造性裂缝，它不受地形地貌的影响，系地震断裂在地表的反映。另一类为非构造性裂缝，受地形地貌土质条件的限制，多沿河流岸边、陡坡边缘、沟坑四周和埋藏的古河道分布，规模较大，宽度有大至2~3m的，长度在二三百米之间，往往还与喷水冒砂伴生。

(1) 典型的构造性裂缝如下：

①1972年尼加拉瓜6.2级地震时，十三层中央银行大楼因跨越断层，遭受严重破坏，基础发生严重位移但未倒塌。

②1976年危地马拉地震时，断裂通过一学校足球场，其最大破裂宽度为3.5m，呈雁行排列，球场东边的白线左旋错位0.89m。断裂上的房屋倒塌。

③1967年炉霍6.9级地震时，断裂通过的雄鸡岭村有14户房屋倒塌。

④1975年辽宁海城7.3级地震时，营口县医院(大石桥)主楼和住院部被两组构造地裂交切，房屋破坏相当严重。

⑤1966年河北邢台7.2级地震时，井陘县贾王庙村破碎带上的房屋50%倒塌。

(2) 典型的非构造性裂缝如下：

①1975年辽宁海城地震时，田庄台造纸厂仓库恰处于平行辽河河岸边地裂缝通过地带，建筑从基础到屋顶开裂并向河道方向倾斜。

②1969年渤海6.9级地震时，垦利县下镇粮食仓库，因地裂缝顺其纵轴近于中部通过(地裂缝最宽120mm)，致使两侧山墙及中间横墙出现自下而上、下宽上窄的通顶裂缝，建筑被分成两部分。

③1976年河北唐山7.8级地震时，天津体育馆中学，地裂长达60余m，地面呈张扭性锯齿状开裂，裂缝宽达40mm，有喷砂冒水3处，喷砂量达4m³。地裂通过之处楼体开裂，并且错动30mm，3层楼板开裂。

④1976年河北唐山7.8级地震时，天津毛条厂一带有一组800m长的地裂区段，东侧下沉300mm，并向东滑移30~50mm。有的地段3~5条地裂近于平行分布，地裂破坏带宽达30mm左右。沿地裂两侧大量喷水冒砂，建筑物遭到严重破坏，721教学楼完全倒塌。

4. 地塌陷

因地震震动而出现的陷落坑对建筑的危害较大。例如：

营口县化肥厂一仓库，震后地坪出现一个陷落坑，造成建筑物出现较重的破坏。

1976年唐山7.8级地震时，唐山铁道学院地表因地下采煤而下陷，建筑物因此下沉而破坏。

1983年山西大同煤矿窑沟口发生一次2.7级古塘煤矿陷落地震，陷落塌方468万m³，地表裂缝34条，最宽裂缝达0.532m，位于其上的建筑遭到严重破坏或倒塌。

5. 崩滑

崩滑系指地震引起的斜坡失稳现象，包括滑坡、崩塌、泥石流、岩石散落等。其中滑坡、崩塌较常见，所造成的危害也较大。例如：

- (1) 1970年通海7.8级地震时,极震区大小滑坡30余处,仅马家大冲就发生26万 m^3 滑体,东移12m,南移200m,使河坎村16户房屋滑移百余米并倒塌。
- (2) 1973年炉霍7.9级地震时,非岩质陡坡上的炉霍老街,房屋全部倒塌。
- (3) 1976年龙陵7.4级地震时,9度区镇安公社大坝水电站旁由卵、砾石构成的50°山坡受震崩塌。崩塌体破坏了输水管道、电站厂房,掩埋了电站及其住房。
- (4) 1975年海城7.3级地震时,英落公社老刀山产生山崩,从山顶滑落大小石块数百块,最大的4.3m $\times$ 3.2m $\times$ 2.7m,重达80余t,石块着地后又弹起,串出30m左右,砸平看守果园的独立房屋。

二、地面振动产生的建筑破坏现象

地震波引起的地面振动,使建筑产生振动,进而产生破坏或倒塌。

建筑在地震时的破坏或倒塌主要由三种因素产生:①结构丧失整体性;②结构截面承载力不足;③结构变形过大。当然,结构的全面倒塌又往往是整体性丧失和主要承重结构破坏共同引起的。

宏观震害现象表明,有些结构构件的尺寸并不小,且足够抵抗地震作用,但地震中仍出现倒塌或严重破坏现象。如1975年海城地震时,位于8度区内的营口市多层楼房纵墙大面积塌落;1976年唐山地震时,单层钢筋混凝土厂房天窗架和大型屋面板塌落,就是明证。造成这种现象的原因往往是由于构件间联结不牢、支撑系统不完善。

宏观震害现象还表明,构件强度不足的结构,在地震中常常遭到破坏或倒塌。对于一般砖结构,大部分以剪切破坏为主,如柱根水平裂缝或错动,墙体出现单斜或交叉裂缝等等。钢筋混凝土结构的震害多发生在柱端节点附近,表现为混凝土酥裂、钢筋屈服、箍筋崩断,或者由于厂房柱子强度不足而折断等;此外短柱的剪切破坏也可能导致整个建筑倒塌。

近年来的震害经验表明,实际结构由于由多种材料、多种结构形式的构件组成,因此存在着强度相对薄弱的楼层或部位。地震时由于这些构件、部位的塑性变形能力及变形要求差异很大,以至于在薄弱部位出现破坏并导致倒塌。1976年唐山地震时,8度区塘沽天津碱厂十三层蒸汽塔框架(高52m),沿高度楼层强度极不均匀,造成第6层和第11层塑性变形集中,导致第6层以上部分倒塌。天津第二毛纺厂南楼在7月28日地震时,2层损坏严重,柱顶、底酥裂,主筋外露,箍筋弯钩拉长。震后进行局部加固,造成底层为薄弱层,11月15日宁河地震时,整幢楼房全部倒塌。

值得指出的是,结构系统的倒塌往往以局部的破坏或倒塌开始,逐渐导致全面倒塌。单层厂房中屋面板的散落,砸坏支撑、拉开屋架,至使大面积屋盖倒塌。此外,外墙与内墙拉结能力不足而闪塌以致造成整幢砖房的倒塌也是常见的震害现象。

还应指出的是,有些建筑的地震破坏或倒塌尚与场地的地震效应有关。如土层的覆盖层厚度效应、不同层状土效应、共振效应、地震破坏的进行性、建筑与地基的相互作用效应、减震效应等,都对结构的破坏或倒塌有影响。

1. 土层的覆盖层厚度效应

上层的覆盖厚度对建筑的破坏有着明显的影响,例如,1967年委内瑞拉地震时,加拉加斯高层建筑的破坏有着非常明显的地区性,主要集中在市区内冲积层最厚的地方。在覆盖层为中等厚度的一般地基上,中等高度的一般房屋的破坏比高层建筑严重,而在基岩上各类房

屋的破坏普遍较轻。

1976年唐山地震时，位于10度区内的唐山陶瓷厂、唐山钢铁公司、唐山电厂一带，由于地处大城山山脚附近，基岩埋藏浅，震害相对其附近一二百米处建筑轻1~2度。

2. 不同层状土效应

不同层状土组成的地基，其震害程度有明显的不同。1970年通海地震时，10度区内的王家庙、观音寺、张家营三村，均位于曲江河漫滩一级阶地上，地形平坦，三村相距很近。钻孔查明3.6~7.5m以下的地层基本一致，但上部土层却明显不同。王家庙位于洪积扇前缘，地表为洪积型亚粘土夹碎石，观音寺和张家营地基土同属漫滩相沉积，但观音寺表层填土以下为厚1m的亚粘土，张家营表层填土以下为软弱淤泥质亚粘土。震害现象表明，王家庙震害较轻，张家营破坏较重，三村差异很大。1975年海城地震时，海城县于官屯村两个地点的震害程度差别很大，震害指数分别为0.20和0.96。钻孔和剪切波速测定结果表明，两个地点的层状土构成有明显的不同。1976年唐山地震时，位于市区北部和东部的陡河两岸出现一条高烈度区内的低烈度带。在陡河两岸300~400m宽的范围内，多层砖房一般裂而不倒。钻孔结果表明，离地表3~5m处存在淤泥质粘土层。

3. 共振效应

通常认为，位于厚冲积层上高层建筑物破坏较重的主要原因是由于共振。例如，1970年3月土耳其格迪兹地震中，布尔萨的非亚特-托法斯汽车厂的现代化钢筋混凝土结构（基本自振周期1.25s）倒塌。该地距震中约136km，烈度为5度。厂内的单层钢筋混凝土建筑位于覆盖层厚度大于140m的冲积层上，强震提供的最大加速度仅为0.04g。同一厂内建在同一土壤上的相邻建筑物，不管具有较短的周期（ $T=0.25s$ ，如二层服务楼）或具有较长的周期（ $T=2.5s$ ，如钢装配线车间），实际上都没有破坏。

1975年辽宁海城地震时，位于沈阳市附近的红阳煤矿（距震中约110km，烈度5度）二号井，其地下第四纪层厚约113km。地震时，红阳二井地面建筑物凡高大者，例如全高为55.21m的主井井塔的绞车大厅，41.7m高的副井井塔，40m高的砖烟囱以及一些比较空旷、刚度较小的建筑物，如高29.3m的装车仓，高16.7m的内框架结构锅炉房，砖混结构变电所、机修厂等都受到不同程度的震害。

1976年唐山地震中，位于6度区内的北京市一些中高层建筑，例如新北京饭店、民航大楼、民族文化宫等都遭到一定的破坏，而相邻的位于同一地基土上的其它建筑物却没有破坏。

4. 地震破坏的进行性

已有的强震观测资料表明，建筑对地震反应并不是单脉冲型的，而是往复振动的过程，因此在较大的地震作用下，有可能产生诸如裂缝或接头损坏等局部破坏，建筑物的结构松弛导致刚度下降，因而固有周期增长。由于建筑物的周期增长，当地震持续进行时，其动力反应也将发生变化。通常将这种效应称为地震破坏的进行性。

1976年7月28日唐山7.8级地震时，天津市运动鞋厂制鞋车间仅首层外墙的窗台位置有水平裂缝；1976年11月15日宁河6.9级地震时，首层外墙在窗台位置的水平裂缝贯通整个山墙，其中一侧山墙在门、窗洞口处出现斜裂缝。

三、不同类型房屋的倒塌过程

宏观震害现象表明，不同类型房屋的地震倒塌过程是不一样的，有时甚至差别很大，

1. 多层砖房

多层砖房破坏或倒塌过程有两种类型：①坡屋顶房屋，先是屋盖破坏，然后导致建筑倒塌；②平屋顶房屋，其墙体先丧失承载能力，然后造成房屋倒塌。

2. 多层钢筋混凝土框架房屋

多层钢筋混凝土框架房屋的倒塌主要是柱子的破坏，然后造成梁、板塌落。而有填充墙框架，其破坏始自填充墙，然后柱子才出现破坏。

3. 底层框架砖房

底层框架砖房，主要是底层的抗震墙先破坏，随之柱子开始破坏，进而底层倒塌，最终导致整个建筑倒塌。

4. 多层内框架砖房

多层内框架砖房先是墙体破坏，当其严重破坏或丧失承载能力时，柱子开始破坏，因此其倒塌多表现为伞状形。内框架全部倒平的情况很少。

5. 单层砖厂房

单层砖柱厂房先是砖柱、墙体破坏，进而导致整个厂房倒塌。

6. 单层钢筋混凝土柱厂房

单层钢筋混凝土柱厂房的倒塌多由于纵向抗震能力低，天窗架或屋盖坍塌而导致厂房倒塌，也有因柱本身的破坏而造成厂房倒塌的。

7. 砖烟囱

砖烟囱的倒塌多因筒体的破坏而产生。

1.2 建筑地震破坏等级评估原则

一、等级划分的基本考虑

目前已有许多用于震后建筑破坏程度评估和震害预测时对可能遭到地震的建筑破坏程度预估的等级划分方法，但缺乏统一的尺度。已有的一些划分考虑大致分属于如下三种表述形式：

- (1) 以建筑(或构件)破坏程度评估等级；
- (2) 以建筑(或构件)破坏程度加上破坏修复难易程度评估等级；
- (3) 以构件破坏程度确定其破坏等级加上破坏修复难易程度评估等级。

这些划分方法，由于考虑的角度不同，在应用时，可产生一定的差距。

近年来，要求建筑地震破坏等级的划分能适应抗震救灾重建家园的三个阶段，即①抢救阶段；②抓紧恢复生活、生产和工作阶段；③重建家园阶段。因此，需要提供一个适用于上述各阶段应用的统一标准。

我国破坏性地震区域较广，各地区所建的房屋结构类型较多，差异很大。因此，建筑地震破坏等级的划分标准，应尽可能提供国内各地震区已有的各种结构类型。但事实上，由于已有的一些结构类型(如抗震墙结构、筒中筒结构、劲性钢筋混凝土结构、单层钢结构厂房、钢筋混凝土烟囱等)目前尚缺乏足够的宏观震害资料，因此有关等级划分的尺度较难提供。就目前地震工程研究的水准来看，只能提供量大面广，且震害经验较为丰富的一些结构类型，

如多层砖房、钢筋混凝土框架房屋、底层框架和多层内框架砖房、单层钢筋混凝土柱和砖柱(垛)厂房、单层空旷房屋、民房、砖烟囱等。

正如1.1节所述,不同类型结构在地震时的破坏特征是不一样的,甚至同一类型结构的震害也可能有较明显的不同。因此,按不同结构类型给出各破坏等级划分的具体尺度是必要的。

单个建筑可认为是由承重构件(如屋盖、梁、柱、墙等)、非承重构件(如围护墙、隔墙、填充墙)和附属构件(如出屋顶小烟囱、附墙烟囱、女儿墙、挑檐、门脸、阳台等)组成。从建筑使用的角度看,没有地震时,结构是以承受竖向荷载为主的体系,因此主要以承重构件来确保使用安全,而非承重构件和附属构件破坏时,对整个建筑的使用安全虽有一定的影响,但程度并不严重。地震时,非承重构件和附属构件的破坏和塌落,虽然也能造成人民生命、财产的损失,但就整体来说,承重构件的损坏将直接影响房屋的安全,甚至可能引起整幢房屋的倒塌,因此其所造成的损失是主要的。所以,在评估地震所造成的破坏等级时,应首先着眼于承重构件的破坏程度,在此基础上考虑非承重构件,最后看附属构件的破坏程度;即承重构件为主,非承重构件次之,附属构件为辅。

以往我国震后建筑破坏程度的评估,由于没有一定的统一尺度,往往将某幢建筑局部的倒塌或严重破坏评定为倒塌,结果既为救灾物质的合理调拨以及保险赔偿估计造成困难,也给震后的修复造成不必要的经济损失。例如,一幢有几百根檩条的坡屋顶房屋,如果震后只有几根檩条塌落并产生一些破坏,就定此幢建筑为倒塌,显然是不恰当的。又如一幢多层砖房,震后只有部分墙角塌落,若评定为倒塌,则无论从修复的角度或经济的角度来说,都是不妥的。这表明,对不同破坏等级的评估,引入一定的数量概念是必要的。当然这种数量就目前的科学技术水准来说,也不可能定得很准,可采用模糊词语来表示。

一次破坏性地震发生后,特别是主震发生并有余震时,人们往往对建筑物产生心理上的恐惧,以至于大多数数人宁肯去住地震棚也不肯进入建筑之内,由此产生一些不必要的伤亡。例如,1976年辽宁海城地震时,天寒地冻,由于地震棚无御寒措施,造成较多人员伤亡。因此,主震后为了安顿人民的生活和尽快恢复生产秩序,非常重要的一点就是尽快判别建筑是否可继续使用这一重要问题。众所周知,解放后所发生的地震震害经验表明,绝大多数情况下,凡主震后基本完好或轻微损坏的建筑,极少有在余震时倒塌和严重破坏的。这表明,建筑地震破坏等级的划分尚应考虑震后的使用情况。

有鉴于此,建筑地震破坏的等级划分可基于如下考虑:

- (1) 对同类建筑,应按不同的结构特点划分地震破坏等级;
- (2) 确定建筑地震破坏程度时,应以承重构件的破坏程度为主;
- (3) 建筑地震破坏程度的判别,应引入相应的数量概念;
- (4) 建筑地震破坏等级划分,应以建筑直接遭受的地震破坏为依据。震前已由其它原因造成的破坏,在评定地震破坏等级时不应考虑;
- (5) 建筑地震破坏等级的划分,应考虑修复的难易程度,是否可使用及直接经济损失的大小。

二、等级划分中的几个问题

1. 分级问题

目前已有的地震破坏等级划分有四级、五级、六级之分(表1.2.1)。

表1.2.1 已有等级划分概况

等级数	适用的建筑类别	等 级 划 分					
		一	二	三	四	五	六
4	民房	基本完好	损坏	破坏	倒塌		
	多层内框架砖房	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏		
5	钢筋混凝土框架房屋	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌	
	单层空厂房屋	基本完好	损坏	破坏	严重破坏	倒塌	
6	单层钢筋混凝土柱厂房	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	部分倒塌	倒塌
	多层砖房	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌	倒平
	民房	基本完好	轻微破坏	损坏	破坏	严重破坏	倒塌

两种4级分类,在描述上不尽相同,其中差异最大的是第四级,两者有的用“倒塌”描述,有的用“严重破坏”描述。6级划分中,五、六级差异较大:五级有的用“部分倒塌”,有的用“倒塌”或“严重破坏”;第六级有的用“倒塌”,有的用“倒平”。值得指出的是,就目前的情况看,对“倒塌”、“部分倒塌”或“倒平”,各自的理解不尽相同。有的认为倒了一片墙或坠落了一部分屋面板,则为倒塌或部分倒塌;也有的认为结构全部倒平才算倒塌或倒平;当然也有的认为上述定义都很不确切,而建议采用“毁坏”一词。总之,各定义之间的差异很大,这表明采用6个等级划分时,尽管第五、六等级的区分细了,但由此产生了对“倒塌”概念解释的差异。就目前大多数提出者的习惯来看,通常都采用5级划分,即基本完好(含完好,一级)、轻微损坏(二级)、中等破坏(三级)、严重破坏(四级)和倒塌(五级)。这种考虑的技术依据较好确定,也易于为非专业人员掌握。

2. 建筑破坏描述的考虑

鉴于不同地震,甚至于同一地震的同等烈度区内,同种类型建筑的破坏现象差异很大,因此在同一地震破坏等级划分中要想将建筑的所有破坏现象都加以表述是很困难的。较为传统的处理方法是用笼统的术语加以描述。已有的一些划分,对建筑破坏的描述大都采用以下几种考虑:

- (1) 只用主体结构的破坏程度描述;
- (2) 用主体结构加上非主体结构破坏程度描述;
- (3) 用主要承重结构加上非承重结构破坏程度描述;
- (4) 直接用构件(如梁、柱、填充墙等)破坏程度描述;
- (5) 用泛指受力构件或承重结构破坏程度描述。

以上几种情况中,(1)、(5)以主体结构(受力构件或承重构件)为描述对象,因此叙述较为简洁,使用较为方便,不足之处是建筑的破坏还包括有非主要构件(非承力构件或非承重构件)。(2)、(3)考虑了主体结构和非主体结构,较为全面。(4)则显得太繁杂,应用时较为不方便。

3. 破坏程度的描述

建筑破坏程度的描述大都采用模糊用语。这一方面表明,现有的水准还达不到给出明确数量化的程度,同时也在于地震所产生的破坏相当复杂,很难用确切词语表述。存在的问题

是,各提出者对同一破坏程度有多种描述词语。

- 完好程度:完好,基本完好、表层脱落
- 轻微程度:轻微破坏、轻度滑瓦、局部掉瓦、损坏轻微、局部掉落、局部裂缝,一般破坏
- 中等程度:明显破坏、局部掉角、损伤、明显震害、略有弯曲、屋面板错动、变形明显、局部开裂
- 严重程度:严重破坏、破坏严重、倾斜、墙壁皸裂、十分危险、折断、严重变形、歪闪、砌体松散、钢筋外露、明显滑移、错位、酥碎、弯曲失稳、可见大变位的痕迹、歪斜、脱榫、严重滑瓦
- 倒塌程度:严重倒塌、倒塌、墙板塌落、一塌到底、局部塌落、倒塌、坠落、崩塌、落架、倒平、彻底倒塌

对裂缝描述用词有:

轻微裂缝、轻微裂纹、细裂缝、细小裂缝、可见裂缝、肉眼可见裂缝、较大裂缝、构造裂缝、水平通缝、显著裂缝、裂开大缝、贯通裂缝、不贯通裂缝、开裂、严重开裂、断裂、劈裂、严重劈裂。

总之,因用语不同,在使用时所掌握的尺度也就有很大的不同。这表明,采用统一的用语是必要的。

4.数量用词

已有的一些等级划分中所采用的数量词有:偶有、个别、少数、略有、少量、有的、可能有、均未、基本上、局部、较多、部分、各类、多道、许多、大片、大面积、大部分、大多数、全部。

这些量词都是模糊词语,应用时尺度较难确切把握,尤其是非专业人员往往因量词掌握不准而对破坏程度的评估差异很大。因此,对于不同尺度的评估,引入数量概念是必要的。虽然这样的量词,就目前的水准不可能定得太准,但通常可采用如下考虑:

个别:5%以下

部分:30%以下

多数:超过50%

三、建筑地震破坏等级划分的原则

依据上述,各类房屋可按下列原则确定各自的等级尺度:

(1)基本完好:承重构件完好,个别非承重构件轻微损坏;附属构件有不同程度破坏,一般不需修理即可继续使用。

(2)轻微损坏:个别承重构件轻微裂缝,个别非承重构件明显破坏;附属构件有不同程度破坏。不需修理或稍加修理,仍可继续使用。

(3)中等破坏:多数承重构件轻微裂缝,部分明显裂缝;个别非承重构件严重破坏。需一般修理,采取安全措施后可适当使用。

(4)严重破坏:多数承重构件严重破坏或部分倒塌。应采取排险措施;需大修、局部拆除。

(5)倒塌:多数承重构件倒塌。需拆除。

上述考虑中,承重构件系指承受竖向荷载的构件。非承重构件系指隔墙、填充墙、围护墙等。附属构件系指屋面小烟囱、女儿墙及其它装饰构件。

1.3 震后修复加固水准考虑

建筑震后修复加固除了对原有建筑损坏部件的全部修复外,还包含使结构经加固后达到期望的抗震能力的目的。为此,其加固水准是否仍遵守《工业与民用建筑抗震鉴定标准(TJ 23-77)》或《建筑抗震鉴定与加固设计规程》(正待报批)的有关规定,这是震后修复加固时首先需要解决的问题。但目前还没有正式的法规或文件加以规定。

众所周知,某一地区建筑的地震影响可能有如下三种情况:

(1) 遭遇到低于基本烈度的地震影响。如唐山大地震时,北京市为6度影响区,其基本烈度为8度;

(2) 遭遇到相当于基本烈度的地震影响。如唐山大地震时,天津市为8度区,其基本烈度为8度;又如四川自贡1985年4.8级地震时,自贡市为7度影响区(有部分地区为6度),其基本烈度为7度;

(3) 遭遇比基本烈度高的地震影响。如唐山大地震时,唐山市为11度或10度影响区,而其基本烈度为6度;海城地震时,海城县为9度影响区,但其基本烈度为6度。

对于上述三种情况,如果统一采用遭遇地震烈度进行震后加固,显然是不合理的。这表现在,若对唐山市、海城县分别以11度、10度或9度进行加固考虑,不但在技术上难度较大,而且在经济上也是浪费的。况且一个地区已发生高烈度(如8度或8度以上)地震后,在建筑物继续使用期间(按50年考虑)再发生同等烈度或更高烈度的地震,其可能性极小。若对北京市以6度进行震后加固,则因其基本烈度为8度,建筑物在继续使用期间仍有可能遭遇到比6度更高的地震影响,所以按遭遇烈度进行震后加固显然也是不妥的。这表明,震后建筑加固的水准,应在考虑当地遭遇烈度和基本烈度基础上,结合经济、技术水准加以确定。唐山大地震后,唐山市建筑震后加固大多按8度考虑,而不是11度或10度;海城县的建筑按8度进行震后加固,而不是9度,就是明证。

有鉴如此,修复加固烈度可参照下述加以考虑:

(1) 震前设防烈度为8度的地震影响区或非抗震设防区,若发生6度地震影响时,可按6度采用;若发生7度、8度地震影响时,可按7度采用;若发生9度或更高烈度地震影响时,可按8度采用;

(2) 震前设防为7度的地震影响区,若发生6~8度地震影响时,可按7度采用;若发生9度或更高烈度地震影响时,可按8度采用;

(3) 震前设防烈度为8度、9度的地震影响区,可按8度采用。

值得指出的是,震后的修复加固不考虑设防是不行的,在这方面我国已有教训。1979年7月9日,江苏省溧阳县发生6.0级地震,41人死亡,654人重伤,2035人轻伤,倒塌房屋6803间,严重破坏近5万间。

1974年4月22日,在这次地震影响区内曾发生过M5.5级地震。震后重建中,绝大多数遭震损房屋仅做表面修补,没有考虑设防要求。

后一次地震的重建从1979年9月开始,到1982年7月结束,历时近三年,重建和救灾共用

去资金13655.1万元(表1.3.1)。如果1974年地震后能及时对震损的8万多间房屋,分别采取拆除和加固措施,而不是简单地原样修复,那末1979年地震决不会造成那么大的损失。

表1.3.1 重建和救灾资金来源及支出情况

项 目			项 目		
		金额(百万元)			金额(百万元)
资金来源	国 家	19,490	资金支出	重建房屋	111,870
	江 苏 省	16,650		修理房屋	21,370
	自 筹	100,411		救 援	3,311
	总 计	136,551		总 计	136,551

1.4 修复加固可能性原则

地震发生后,建筑物因其抗震能力的差异而遭到不同程度的破坏。从尽快恢复人民生活、生产或经济的角度来看,在遭到破坏、损坏的房屋中有相当一部分可通过修复加固而继续使用。那些房屋可修复,那些房屋可修复加固,那些房屋不需修复加固就可使用,是震后急需解决的问题之一。由于修复加固可能性的原则受到政治、经济及技术等因素的约束,故对不同类的建筑,应区别加以考虑。

一、一般工业与民用建筑

这类房屋修复加固可能性的原则为:

对于“基本完好”等级的建筑,不经修复就可继续使用。如在今后使用期间仍有可能发生高于遭遇地震烈度影响时,则应进行修复加固。

对于“轻微损坏”等级的建筑,不需修复或稍加修复,就可继续使用。如在今后使用期间仍有可能发生高于遭遇地震烈度影响时,则应进行修复加固。

对于“中等破坏”等级的建筑,按原状修复,并适当加固,维持使用。如在今后使用期间仍有可能发生高于遭遇地震烈度影响时,则应按要求的水准进行加固:拆改(包括削减层数),按维持使用水准进行加固:局部修复后做临建使用。

对于“严重破坏”等级的建筑,无修复价值的应拆除,保留可利用部分,经修复后做临建使用。

对于“倒塌”等级的建筑,震后应由城市规划建设部门安排重建或改建。

在对这类建筑进行加固时,其水准考虑要适当,震后既不能草率修复就加以使用,也不能采用过高的水准进行加固。按常规,对这类建筑可采用提高抗震强度、增强整体性措施进行加固。

二、古建筑

对文物古迹的修复加固,与一般建筑物有较大的不同,经修复和加固后不能破坏原有建

筑的形式和特点。修复加固时应注意:

(1) 选材上应尽可能采用原材料,在不得已条件下,可在保持原风貌特点情况下,采用替代建筑材料。

(2) 在手法上采用少破坏外表,多在内部考虑的方法。

(3) 以修复为主,提高抗震能力为辅。在修复上尽可能做到“整旧如旧”。在不破坏原有建筑特点、风格、外貌的情况下,提高其抗震能力。

三、特别重要或具有纪念意义的建筑

对这类建筑不论其破坏程度如何,均应修复加固,尤其是有重要纪念意义的建筑物,应尽可能地照原样修复加固。其修复可按下列程序进行:

(1) 收集建筑物的原始资料,收集工程地质及地震地质资料,收集工程设计资料,工程施工记录以及建筑物使用期间是否发生过人为的拆改或使用不合理造成建筑物的损坏等情况。

(2) 对建筑物进行震害详细调查并进行原因分析。

最近,中国建筑科学院工程抗震研究所又提出按地震影响烈度,修复加固烈度和建筑地震破坏等级来确定是否修复加固的方案(如表1.4.1),在实际应用上可加以采用。

表1.4.1 震后修复加固考虑

		6度				7度	
		一级	二级	三级	四级	一级	二级
设防区	6度	A	B	C	D	A	B
	7度	A	D	D	D	A	B
	8度	A	D	D	D	A	D
	9度	A	D	D	D	A	D
非设防区		A	B	C	D	A	B

注: A——不应修复; B——应修复; C——应以修复为主,局部加固为辅; D——应修复、加固。

1.5 修复加固基本要求

震损建筑的修复加固应符合以下基本要求:

(1) 震损建筑的修复加固设计,应进行截面抗震验算。按照《统一标准》的原则,这种验算可采用与《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》相同的形式。此外,尚应符合有关的抗震构造要求。

鉴于修复加固烈度为6度时的大多数建筑,其地震作用在修复加固设计时基本上不起控制作用,故可不作截面抗震验算。但Ⅳ类场地上较高的高层建筑,由于6度的地震作用值可能大于同一建筑在7度Ⅱ类场地时的作用值,故仍需进行截面验算。