

专题报告之二

济宁市
既有建（构）筑物群体抗震性能
评估报告

山东建大建筑规划设计研究院
2019 年 3 月

引 言

在近年来发生的多次地震中，许多按照现行标准设计建造的房屋仍出现严重的破坏现象甚至倒塌，造成了巨大人员伤亡和经济损失，这表明我国现行地震设防标准仍存在一些明显的不足。为保障人民的生命财产安全，在集中近期强震活动与地震活动性预测及震级判定统计理论等研究成果的基础上，颁布实施了新版(第五代)《中国地震东参数区划图》，因此大量的既有建筑将存在抗震设防能力不足的现象，而且还可能比较严重。因此，对于既有建筑开展系统的普查统计，评估其抗震性能，并对不满足抗震要求的建筑及时采取抗震加固是十分有必要的。

本报告中既有建（构）筑物包括实际工程广泛应用的砌体结构和钢筋混凝土结构两种结构形式。按照年代的不同，选取了 **47** 座砌体结构和 **53** 座钢筋混凝土结构作为抽样样品。通过其易损性矩阵和总体易损性矩阵从不同的维度进行建（构）筑物群体抗震性能评估。通过抽样抗震验算，对于不满足抗震设防要求的房屋，建议及时进行检测鉴定，采取抗震加固措施。

目 录

- 1 砌体房屋震害预测.....1
 - 1.1震害预测和评定方法.....1
 - 1. 1. 1 砌体房屋震害预测的预测方法 1
 - 1.1.2 砌体结构易损性评定方法 1
 - 1.2震害评定和预测结果.....2
 - 1.2.1 易损性评定结果 2
 - 1.2.2 震害预测结果 3
- 2 钢筋混凝土房屋震害预测.....5
 - 2.1震害预测方法.....5
 - 2. 1. 1 钢筋混凝土房屋震害预测的预测方法 5
 - 2.1.2 钢筋混凝土房屋易损性评定方法 5
 - 2.2震害预测结果.....6
 - 2.2.1 易损性评定结果 6
 - 2.2.2 震害预测结果 7

1 砌体房屋震害预测

1.1 震害预测和评定方法

1.1.1 砌体房屋震害预测的预测方法

本项研究中对砌体房屋的震害预测，将震害程度分为五个等级：基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和倒塌。为了便于统计分析，采用数量化指标震害指数表示建筑物震害程度。表 1.1 给出了震害等级的定义和描述。

表 1.1 砌体房屋震害等级

震害等级	宏观现象	震害指数
基本完好	部分构件为Ⅴ级破坏，个别构件有Ⅳ级破坏现象	<0.1
轻微破坏	部分构件为Ⅳ级破坏，个别构件有Ⅲ级破坏现象	$0.1\sim0.3$
中等破坏	部分构件为Ⅲ级破坏，个别构件有Ⅱ级破坏现象，经修复仍可恢复原设计的功能。	$0.3\sim0.55$
严重破坏	部分构件为Ⅱ级破坏，个别构件有Ⅰ级破坏现象，难于修复。	$0.55\sim0.85$
倒塌	大部分构件为表 1.2 中的Ⅰ级和Ⅱ级破坏，结构已濒于倒毁或已倒毁。	>0.85

表 1.1 中构件的破坏等级参见表 1.2。

表 1.2 构件的破坏等级

破坏等级	钢筋混凝土构件	砖墙	砖柱	屋面系统
Ⅰ	大部分梁、柱混凝土酥碎，钢筋严重弯曲，产生较大变位或已折断，已无修复可能，失去了设计时的预定功能。	出现多道裂缝，墙体近于酥散状态或已倒塌。	受压区砖块酥碎脱落，砖柱断裂或倒塌。	屋面板滑动或坠落，支撑系统弯曲失稳，屋架坠落或倾斜。
Ⅱ	大部分梁、柱内层有明显裂缝，破坏处表层脱落，钢筋外露并弯曲，难以修复。	出现多道显著裂缝，墙体严重倾斜，局部倒塌。	受压区砖块酥碎脱落，砖柱有多道裂缝或已断裂。	屋面板错动，屋架倾斜，支撑系统有明显可见变形。
Ⅲ	破坏处表面有明显裂缝，	墙体有明显裂	砖柱有水平通	屋面板松动，支

破坏等级	钢筋混凝土构件	砖墙	砖柱	屋面系统
	钢筋外露，局部钢筋弯曲，可以修复。	缝，局部倾斜。	缝。	撑系统有可见变形。
Ⅳ	部分梁、柱有可见裂缝，局部钢筋外露，对承载能力和使用无明显影响。	墙体有可见裂缝。	砖柱有可见裂缝。	屋面板有可见裂缝或松动。
Ⅴ	个别梁、柱表面有可见裂缝，可继续正常使用。	局部墙体有可见裂缝。	个别砖柱有可见裂缝。	个别屋面板有可见裂缝或松动。

1.1.2 砌体结构易损性评定方法

砌体房屋主要由墙体承担地震作用，墙体破坏的主要形式主要是剪切破坏。墙体的抗剪强度是砌体房屋抗震能力的主要指标，墙体的抗剪强度取决于墙的厚度和砂浆的强度等级。通过反复的试验和计算分析，在大量震害资料验证的基础上，尹之潜提出了一种简单有效的易损性评定方法。

设楼层单位面积上平均折算抗剪强度为：

$$A_i = k_i p_i \frac{\sum F_{ij}}{2S_i}$$

(1-1)

式中， k_i 为第*i*层的折算系数， p_i 为第*i*层的楼层墙体的抗剪强度(kg/cm²)， F_{ij} 为*i*层、第*j*片墙体的断面面积（cm²）， S_i 为第*i*层的楼层建筑面积(m²)。其中：

$$k_s = \frac{2n+1}{3 \cdot \sum_{i=s}^n i}$$

(1-2)

由大量砌体结构试验和震害资料，统计得到楼层单位面积的折算平均抗剪强度 A_i 与震害指数 D 的经验关系。

$$D = (2.032 - 0.007 \cdot A_i)(1 + \sum c), \text{地震烈度 } 6 \text{ 度}$$

$$D = (1.977 - 0.006 \cdot A_i)(1 + \sum c), \text{地震烈度 } 7 \text{ 度}$$

$$D = (1.975 - 0.005 \cdot A_i)(1 + \sum c), \text{地震烈度 } 8 \text{ 度}$$

式中， $\sum c$ 是为了反映所采用的抗震设计规范设防要求的差别和房屋现状差异而设定的修正系数，具体数值见表 1.3。

表 1.3 砌体房屋震害指数的修正系数

条件	修正系数 α_i	
	满足	不满足
1. 墙间距符合抗震规范要求	0	0.10
2. 刚性楼板、刚性屋面	0	0.15
3. 结构无明显质量问题	0	0.20
4. 平面和立面规整	0	0.10
5. 符合规范 TJ11-74 要求	-0.20	0
6. 符合规范 TJ11-78 要求	-0.30	0
7. 符合规范 GBJ11-89 或规程 DBJ08-9-92	-0.35	0

为了更好地描述施工质量和房屋现状，本项工作实际计算中，上表中的第 3 项细化为 5 小项，包括：墙体有明显歪斜及严重腐蚀、压碎；承重墙及纵横墙交接处有明显裂缝；门窗洞口有明显开裂、变形；外墙尽端门窗洞口有贯通裂缝；地基有明显的不均匀沉陷。

1.2 震害评定和预测结果

1.2.1 易损性评定结果

根据该易损性评定方法，济宁市砌体房屋（抽查）的易损性评定结果如表 1.4 所示。

表 1.4 砌体房屋（抽查）易损性评定结果

砌体房屋 编号	建设年代 (年)	建筑面积 (m^2)	地震烈度 (度)		
			VI	VII	VIII
QT1	1987	2615.70	基本完好	基本完好	基本完好
QT2	1988	3264.38	轻微破坏	中等破坏	中等破坏
QT3	1988	842.44	轻微破坏	轻微破坏	中等破坏
QT4	1988	2044.80	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
QT5	1988	1847.88	轻微破坏	中等破坏	严重破坏

砌体房屋 编号	建设年代 (年)	建筑面积 (m^2)	地震烈度 (度)		
			VI	VII	VIII
QT6	1988	982.16	基本完好	基本完好	基本完好
QT7	1988	2156.76	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
QT8	1988	727.92	轻微破坏	轻微破坏	中等破坏
QT9	1988	1718.56	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
QT10	1988	1090.2	基本完好	轻微破坏	中等破坏
QT11	1989	4018.78	基本完好	轻微破坏	中等破坏
QT12	1989	2474.20	基本完好	基本完好	轻微破坏
QT13	1989	3970.50	中等破坏	中等破坏	严重破坏
QT14	1989	2024.03	中等破坏	中等破坏	严重破坏
QT15	1990	2045.15	轻微破坏	轻微破坏	中等破坏
QT16	1990	1434.99	基本完好	轻微破坏	中等破坏
QT17	1990	1006.09	基本完好	轻微破坏	中等破坏
QT18	1991	1335.72	轻微破坏	中等破坏	中等破坏
QT19	1991	1220.00	中等破坏	中等破坏	严重破坏
QT20	1991	1051.44	轻微破坏	中等破坏	中等破坏
QT21	1991	964.13	轻微破坏	轻微破坏	中等破坏
QT22	1991	12090	轻微破坏	中等破坏	中等破坏
QT23	1992	800.00	基本完好	基本完好	轻微破坏
QT24	1992	1896	轻微破坏	轻微破坏	中等破坏
QT25	1992	2359.08	中等破坏	中等破坏	严重破坏
QT26	1992	1749.30	中等破坏	中等破坏	严重破坏
QT27	1993	1907.00	基本完好	基本完好	轻微破坏
QT28	1993	2153.09	基本完好	轻微破坏	中等破坏
QT29	1993	1215.00	基本完好	轻微破坏	中等破坏
QT30	1993	4937.32	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
QT31	1993	2773.30	轻微破坏	中等破坏	严重破坏
QT32	1994	1940.1	基本完好	轻微破坏	中等破坏
QT33	1995	2474.00	基本完好	轻微破坏	中等破坏
QT34	1995	3416.30	轻微破坏	中等破坏	中等破坏

砌体房屋 编号	建设年代 (年)	建筑面积 (m ²)	地震烈度(度)		
			VI	VII	VIII
QT35	1995	611.73	基本完好	基本完好	轻微破坏
QT36	1995	1995.05	轻微破坏	轻微破坏	中等破坏
QT37	1996	2750.00	基本完好	基本完好	轻微破坏
QT38	1996	1036.00	轻微破坏	轻微破坏	中等破坏
QT39	1997	727.10	基本完好	轻微破坏	中等破坏
QT40	1997	972.00	轻微破坏	中等破坏	中等破坏
QT41	1997	438.00	基本完好	基本完好	基本完好
QT42	1997	997.00	基本完好	基本完好	基本完好
QT43	1997	400.00	基本完好	轻微破坏	中等破坏
QT44	1998	2394.89	轻微破坏	轻微破坏	中等破坏
QT45	1998	1025.00	基本完好	轻微破坏	中等破坏
QT46	1999	2062.00	轻微破坏	中等破坏	中等破坏
QT47	1999	513.00	基本完好	基本完好	基本完好

1.2.2 震害预测结果

由上述砌体房屋易损性评定结果，可以得到该类建筑物的易损性矩阵（见表 1.5），及不同建造年代在地震烈度分别为Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ度时的震害情况分布图（如图 1.1 所示）。

表 1.5 砌体房屋易损性矩阵

建造年代	抗震设防烈度	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
1990 年以前	Ⅵ	38%	42%	20%	0%	0%
	Ⅶ	20%	22%	57%	0%	0%
	Ⅷ	12%	8%	33%	46%	0%
1990 年（含）以后	Ⅵ	32%	60%	8%	0%	0%
	Ⅶ	12%	35%	53%	0%	0%
	Ⅷ	3%	9%	67%	20%	0%

《建筑抗震设计规范》*GB50011-2010*（2016 年版）附录 A 中规定济宁市建筑工程抗震设计时可采用的抗震设防烈度为 6 度。根据表 1.5 所示的易损性矩阵，可以预测，1990 年以前建造的砌体房屋，当地震烈度为Ⅵ度时，约 80%的房屋处于良好的结构安全状态，约 20%的房屋处于中等破坏状态；当地震烈度为Ⅶ度时，约 42%的房屋仍处于良好的结构安全状态，处于中等破坏状态的房屋比例增加到 57%；当地震烈度为Ⅷ度时，仅 20%的房屋处于良好的安全状态，处于中等破坏状态的房屋比例为 33%，约半数房屋处于严重破坏的状态。1990 年以后建造的砌体房屋，情况有所改善，当地震烈度为Ⅵ度时，房屋处于中等破坏的比例由 20%下降到 8%，没有房屋处于严重破坏倒塌；当地震烈度为Ⅶ度时，约 47%的房屋处于良好的结构安全状态，约 53%的房屋处于中等破坏，没有房屋倒塌，满足“大震不倒”的抗震设防要求；当地震烈度为Ⅷ度时，严重破坏的房屋比例由 46%下降到 20%，且没有房屋倒塌。

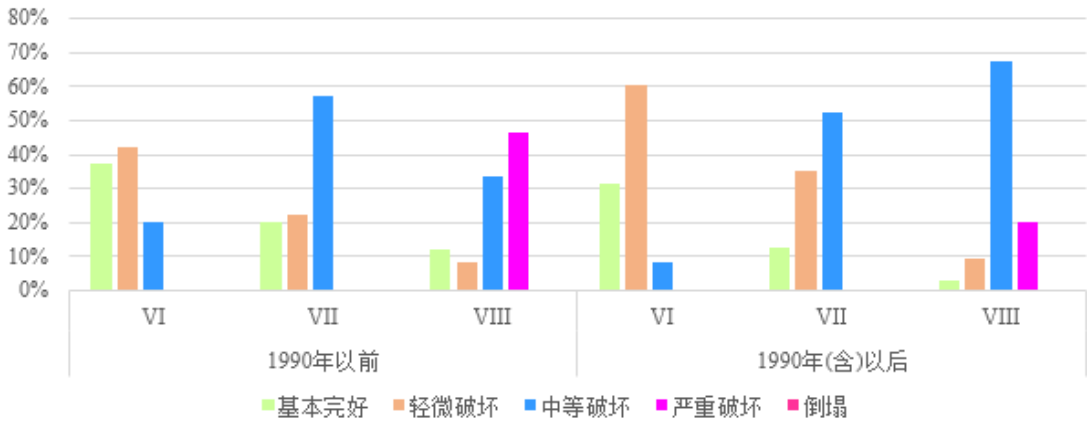


图 1.1 不同建设年代砌体房屋震害情况

根据表 1.5，可以得到砌体房屋总体易损性矩阵（见表 1.6）及地震烈度分别为Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ度时的震害情况分布图（如图 1.2 所示）。

根据表 1.6 所示的总体易损性矩阵，可以预测，当地震烈度为Ⅵ时，约 88%的房屋处于良好的结构安全状态，约 12%的房屋处于中等破坏状态；当地震烈度为Ⅶ度时，处于良好结构安全状态的房屋比例下降至 46%，处于中等破坏状态的房屋比例增加到 54%；当地震烈度为Ⅷ度时，约 57%的房屋处于中等破坏状态，处于严重破坏状态的房屋比例为 28%。

表 1.6 砌体房屋总体易损性矩阵

抗震设防烈度	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
Ⅵ	33%	55%	12%	0%	0%
Ⅶ	15%	31%	54%	0%	0%
Ⅷ	6%	9%	57%	28%	0%

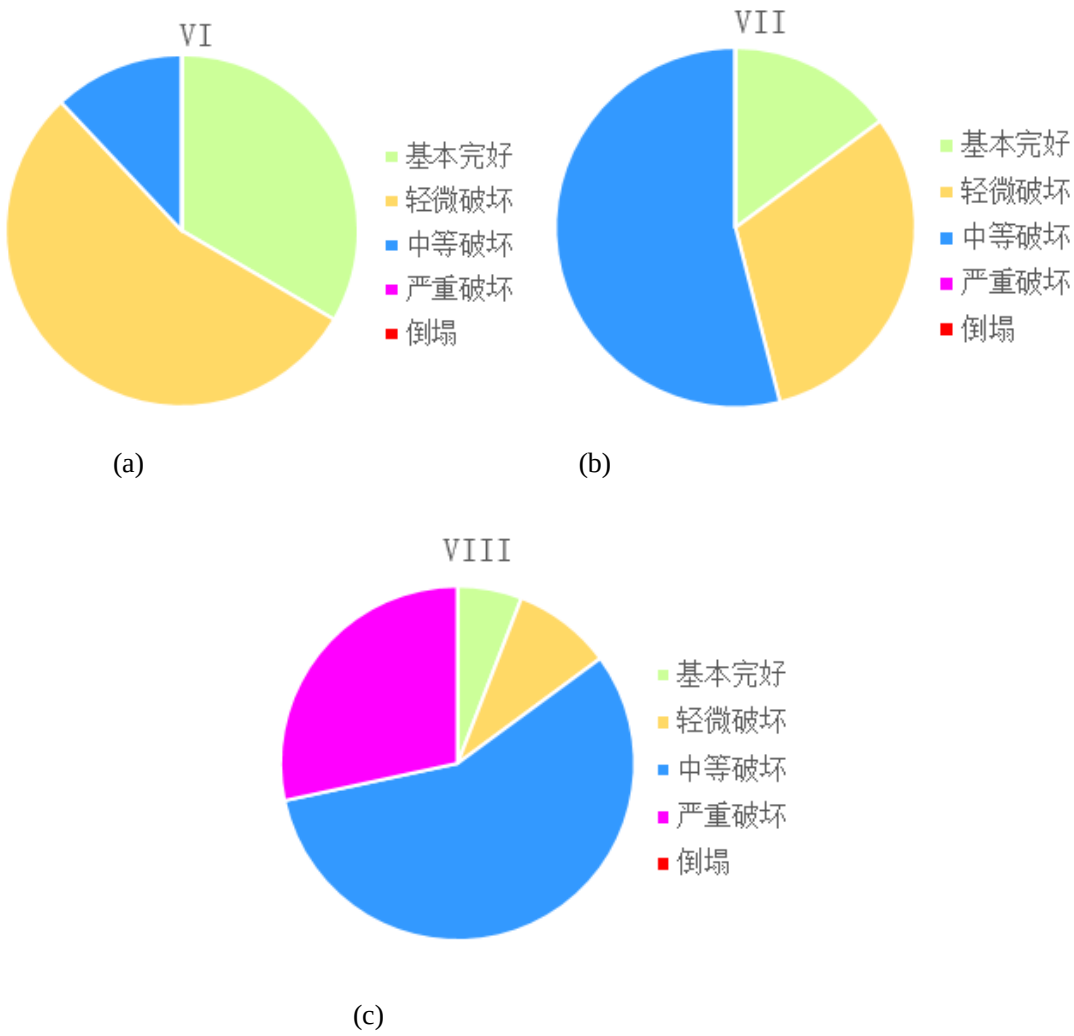


图 1.2 砌体房屋在抗震烈度为Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ度时的震害情况

通过对砌体房屋的抽样抗震验算，对于不满足抗震设防要求的房屋，尤其是 1990 年以前建造的房屋，建议及时进行检测鉴定，采取抗震加固措施。

2 钢筋混凝土房屋震害预测

钢筋混凝土结构由于在建筑功能和结构性能等方面的许多优点而成为现阶段使用最广泛的房屋结构类型。历史上各次大地震中钢筋混凝土房屋由于设计、施工等方面存在的问题而产生了种种震害，导致房屋的破坏和人民生命财产的损失。

2.1 震害预测方法

2.1.1 钢筋混凝土房屋震害预测的预测方法

本项研究中钢筋混凝土房屋包括框架结构和框剪结构两种结构形式。对钢筋混凝土房屋的震害预测，将震害程度分为五个等级：基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和倒塌。为了便于统计分析，采用数量化指标震害指数表示建筑物震害程度。表 2.1 给出了震害等级的定义和描述。

表 2.1 钢筋混凝土房屋震害等级

震害等级	宏观现象	震害指数	
		框架	框剪
基本完好	结构构件完好，或个别有Ⅳ级破坏；非结构构件多数处于完好状态，建筑物不经修复可继续使用。	-10	-10
轻微破坏	结构构件部分发生Ⅳ级破坏，或个别有Ⅲ级破坏；非结构构件多数处于Ⅳ级破坏中。建筑物稍加修理，可继续使用。	1	1
中等破坏	部分结构构件发生Ⅲ级以上破坏，非结构构件部分或多数处于Ⅲ级破坏中。建筑物需要一般修理。	3	1.5
严重破坏	多数结构构件出现Ⅲ级以上破坏，结构修复困难。	6	3
倒塌	多数结构构件出现Ⅱ级破坏，且底层出现Ⅰ级破坏，结构倒塌或已无修复可能。	10	5

表 2.1 中构件的破坏等级参见表 2.2。

表 2.2 构件的破坏等级

破坏等级	钢筋砼柱、梁	钢筋砼墙	填充墙	楼板
I	砼酥碎，钢筋严重弯曲，且产生较大变位或折断	剪力达到最大值，墙体剪断，变位较大	砌体破碎已不完整，或倒塌	楼板滑动或坠落

破坏等级	钢筋砼柱、梁	钢筋砼墙	填充墙	楼板
II	砼有明显裂缝，钢筋外露且弯曲较大	墙体对角裂缝显著	砌体破碎显著	楼板错动
III	砼有较明显裂缝，钢筋屈服，略有弯曲	墙体开始形成对角裂缝	墙面开裂较普遍，沿对角线裂缝基本贯通	楼板松动
IV	砼有轻微裂缝，尚能满足使用要求	墙体发生初裂情况	填充墙与结构构件间出现周边裂缝，墙面初裂	楼板松动，楼板间有可见裂缝

2.1.2 钢筋混凝土房屋易损性评定方法

钢筋混凝土房屋主要由钢筋混凝土柱和钢筋混凝土墙体承担地震作用。本项目采用的评定方法是尹之潜提出的“震害与地震损失的估计方法”（《地震工程与工程振动》10 卷 1 期），该方法在海口、泉州等城市的震害预测中均采用过，是我国广泛应用的钢筋混凝土房屋易损性评定方法。本项目评定过程中，对相应参数做了更切合济宁市现状的调整。

可以用下列公式计算钢筋混凝土框架和框架剪力墙结构的层间屈服剪力，

$$Q_{yi} = 0.15F_cA_{wi} \tag{2-1}$$

式中， F_c 为混凝土抗压强度的设计值， A_{wi} 为第*i*层平行于地震作用方向的框架或剪力墙总断面积。

一般情况下，结构第一振型的地震荷载影响最大，为简化计算，只考虑第一振型的地震荷载。根据目前的设计经验，民用钢筋混凝土结构每层楼的单位面积重量（含结构自重和 50%的活荷载）为 1000 kg 左右，即 1000 kg/m²。

基底地震剪力 Q_0 可按下式计算

$$Q_0 = \alpha \times 0.85 \cdot \sum_{i=1}^n G_i \tag{2-2}$$

式中， α 为地震影响系数，可根据相应的地震烈度、场地类别和建筑物抗震设计规范确定， G_i 为第*i*层的重力荷载代表值，按下式计算

$$G_i = 10 \times A_i \tag{2-3}$$

式中， A_i 为第*i*层的建筑面积。

每层的水平地震作用可按下式计算

$$F_i = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} Q_0$$

(2-4)

楼层剪力为

$$Q_i = F_i + Q_i$$

(2-5)

根据 Q_i 和楼层屈服剪力 Q_{yi} 的数值，可以计算出楼层剪力屈服系数

$$q_i = \frac{Q_{yi}}{Q_i}$$

(2-6)

楼层剪力屈服系数 q_i 沿高度非均匀分布，最大延伸率发生在 q_i 最小的楼层。进而可以得出用

第 i 层地震反应的平均延伸率表达的震害指数

$$\overline{D_i} = \frac{1}{\sqrt{q_i}} e^{2.6(1.0 - q_i)}$$

(2-7)

考虑结构的体形及施工质量，还要对震害指数作进一步修正：

$$D_i = \overline{D_i} \cdot (1.0 + \sum_{k=1}^5 C_k)$$

(2-8)

式中， D_i 为结构第 i 层的震害指数， C_k 为修正系数，可按表 2.3 确定：

表 2.3 钢筋混凝土框架和框架剪力墙房屋震害指数的修正系数

条件	修正系数 C_k	
	满足	不满足
1. 现浇钢筋混凝土结构沿高度断面无变化	0	0.20
2. 平面对称	0	0.20
3. 施工质量良好	0	0.20
4. 符合规范 <i>TJ11-74</i> 要求	-0.20	0
5. 符合规范 <i>TJ11-78</i> 要求	-0.25	0
6. 符合规范 <i>GBJ11-89</i> 或规程 <i>DBJ08-9-92</i>	-0.27	0

为了更好地描述施工质量和房屋现状，本项工作实际计算中，上表的第 3 项进一步细化为 3 小项，包括：梁柱及其节点有明显的开裂、剥落和露筋；填充墙有明显的开裂与框架脱开；主体构件有明显变形、歪斜，基础不均匀沉降。

2.2 震害预测结果

2.2.1 易损性评定结果

根据该易损性评定方法，济宁市钢筋混凝土房屋（抽查）的易损性评定结果如表 2.4 所示。

表 2.4 钢筋混凝土房屋（抽查）易损性评定结果

钢筋混凝土房屋编号	建设年代（年）	建筑面积（m ² ）	地震烈度（度）		
			VI	VII	VIII
HN1	1986	4177.25	基本完好	轻微破坏	中等破坏
HN2	1989	2298.76	基本完好	轻微破坏	中等破坏
HN3	1989	815.61	基本完好	基本完好	中等破坏
HN4	1990	6402.2	基本完好	中等破坏	严重破坏
HN5	1990	1643.04	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN6	1990	5500	基本完好	轻微破坏	中等破坏
HN7	1991	1500	基本完好	轻微破坏	中等破坏
HN8	1991	2235.84	基本完好	轻微破坏	中等破坏
HN9	1992	2023.92	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN10	1992	3512.16	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN11	1993	10476.76	基本完好	基本完好	中等破坏
HN12	1993	3751.86	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN13	1993	2223.54	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN14	1994	2388.9	基本完好	轻微破坏	中等破坏
HN15	1994	7692.96	基本完好	基本完好	中等破坏
HN16	1995	5834.4	基本完好	基本完好	基本完好
HN17	1995	2384	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN18	1995	5368.8	基本完好	轻微破坏	中等破坏
HN19	1996	4114.386	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN20	1997	1097.1	轻微破坏	中等破坏	严重破坏

钢筋混凝土房屋编号	建设年代（年）	建筑面积（m ² ）	地震烈度（度）		
			VI	VII	VIII
HN21	1997	2535	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN22	1997	2128.26	基本完好	基本完好	中等破坏
HN23	1998	5062.4	基本完好	基本完好	中等破坏
HN24	1998	1556.1	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN25	1998	347.7	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN26	2000	776.58	基本完好	基本完好	基本完好
HN27	2002	2820.48	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN28	2004	9437.82	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN29	2007	138.41	基本完好	基本完好	基本完好
HN30	2007	4938.66	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN31	2007	6164.51	基本完好	基本完好	基本完好
HN32	2008	11030.4	基本完好	轻微破坏	中等破坏
HN33	2008	22921.6	基本完好	基本完好	基本完好
HN34	2009	2910.6	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN35	2009	8970.05	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN36	2009	15873	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN37	2010	19560	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN38	2010	12643.99	基本完好	轻微破坏	中等破坏
HN39	2010	5896	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN40	2010	3801.1	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN41	2010	874.7	基本完好	基本完好	基本完好
HN42	2010	1965.6	基本完好	基本完好	基本完好
HN43	2010	34925	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN44	2011	1848.22	基本完好	基本完好	基本完好
HN45	2012	1398.6	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN46	2012	15067.78	基本完好	基本完好	中等破坏
HN47	2013	1396.44	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN48	2013	1857.72	基本完好	基本完好	基本完好
HN49	2013	12642.3	基本完好	轻微破坏	中等破坏
HN50	2013	1816.47	基本完好	基本完好	中等破坏

钢筋混凝土房屋编号	建设年代（年）	建筑面积（m ² ）	地震烈度（度）		
			VI	VII	VIII
HN51	2014	3829.59	基本完好	基本完好	轻微破坏
HN52	2014	4526.4	基本完好	基本完好	基本完好
HN53	2015	8108.52	基本完好	基本完好	轻微破坏

2.2.2 震害预测结果

由上述钢筋混凝土房屋易损性评定结果，可以得到该类建筑物的易损性矩阵（见表 2.5），及不同建造年代在地震烈度分别为Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ度时的震害情况分布图（如图 2.1 所示）。

从表 2.5 所示的易损性矩阵可以看出，2000 年以后建造的钢筋混凝土房屋抗震性能整体上要优于 2000 年以前建造的房屋。

表 2.5 钢筋混凝土房屋易损性矩阵

建造年代	震害等级	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
2000 年（含）以前	Ⅵ	99%	1%	0%	0%	0%
	Ⅶ	65%	27%	9%	0%	0%
	Ⅷ	8%	27%	57%	9%	0%
2000 年以后	Ⅵ	100%	0%	0%	0%	0%
	Ⅶ	83%	17%	0%	0%	0%
	Ⅷ	19%	57%	24%	0%	0%

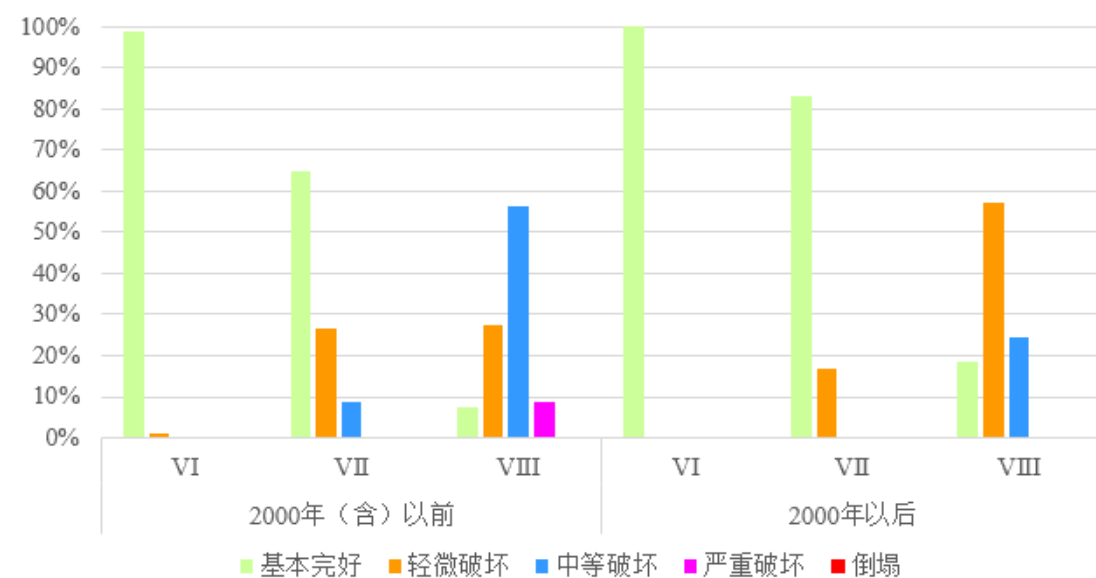


图 2.1 不同建设年代钢筋混凝土房屋震害情况

根据表 2.5 可以预测，对于 2000 年以前的房屋，当地震烈度为Ⅵ度时，全部房屋处于良好的结构安全状态；当地震烈度为Ⅶ度时，约 9%的房屋处于中等破坏状态；当地震烈度为Ⅷ度时，中等破坏状态房屋占比增加到 57%，约 9%的房屋处于严重破坏状态，没有房屋倒塌。对于 2000 年以后的钢筋混凝土房屋，当地震烈度为Ⅵ度时，全部房屋均处于良好的结构安全状态；当地震烈度为Ⅶ度时，约 17%处于轻微破坏状态；当地震烈度为Ⅷ度时，约 24%的房屋处于中等破坏状态。

表 2.6 济宁市钢筋混凝土房屋总体易损性矩阵

震害等级	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
Ⅵ	100%	0%	0%	0%	0%
Ⅶ	78%	20%	2%	0%	0%
Ⅷ	15%	48%	34%	3%	0%

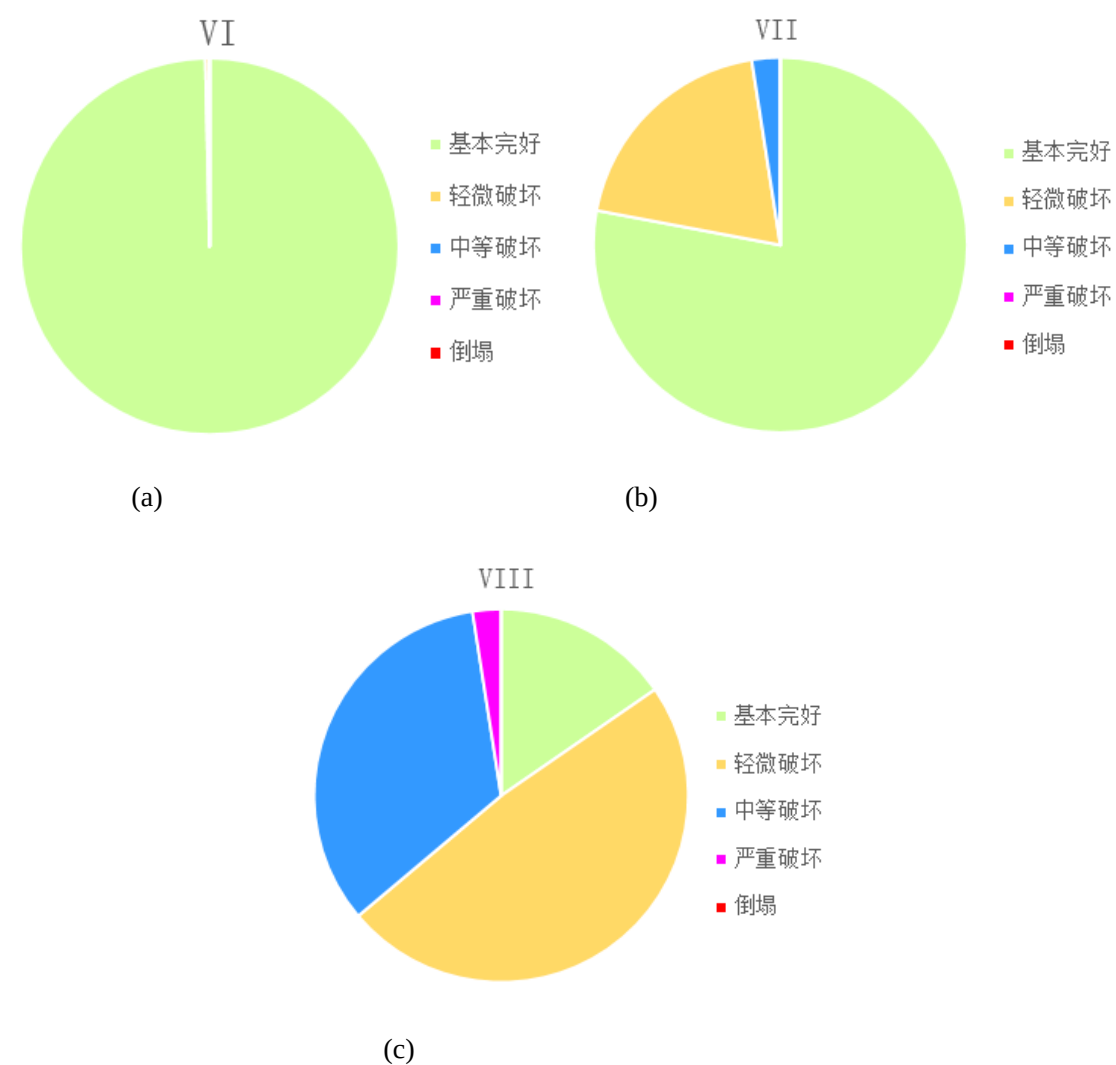


图 2.2 钢筋混凝土结构在地震烈度为Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ度时的震害情况

对比表 1.5 砌体房屋易损性矩阵和表 2.5 钢筋混凝土房屋易损性矩阵，可以看出，相同建造年代的钢筋混凝土房屋的抗震性能整体上较砌体结构要好。

根据表 2.5，可以得到钢筋混凝土房屋总体易损性矩阵（见表 2.6）及地震烈度分别为Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ度时的震害情况分布图（如图 2.2 所示）。

根据表 2.6 所示的总体易损性矩阵，可以预测，当地震烈度为Ⅵ度时，基本上所有的房屋均处于良好的结构安全状态；当地震烈度为Ⅶ度时，处于中等破坏状态的房屋比例为 2%；当地震烈度为Ⅷ度时，处于中等破坏状态的房屋比例增加至 34%，约 3%的房屋仍处于严重破坏状态。

通过对钢筋混凝土房屋的抽样抗震验算，对于不满足抗震设防要求的房屋，建议及时进行检测鉴定，采取抗震加固措施。