

抗震性能化设计简介（一）

目 录

- 一、抗震性能化设计的概述
 - 1) 何谓抗震性能化设计
 - 2) 抗震性能化设计的目的和内容
 - 3) 结构性能设计分析评估的方法简介
 - 3.1 弹性分析法
 - 3.2 弹塑性分析法
 - 3.3 综合方法
- 二、结构抗震性能控制目标制定的依据
 - 1) 性能目标的定义
 - 2) 地震动水准的确定
 - 2.1 谢礼立的《抗震性能设计通则》划分方法
 - 2.2 《抗震规范》的划分方法
 - 3) 结构抗震性能目标与抗震性能水准的确定
 - 3.1 结构的四个抗震性能目标
 - 3.2 结构的五种抗震性能水准
 - 3.3 五种抗震水准下的结构预期的震后性能状况
- 三、不同抗震性能水准的结构承载力设计与位移控制目标
 - 3.1 五种抗震性能水准的结构承载力设计
 - 3.1.1 结构五种抗震性能概述
 - 3.1.2 五种抗震性能水准的结构承载力设计
 - 3.2 五种抗震性能水准位移控制目标
 - 3.2.1 我国有关规范中对最大层间位移角控制目标参考值规定
 - 3.2.2 美国对相应性能水准结构变位规定
 - 3.2.3 我国《建筑地震破坏等级划分标准》对相应性能水准下变位参考值的规定
- 四、结构抗震性能设计目标的实现（这次不介绍）
 - 1) Push-over 分析方法的基本原理和实现步骤
 - 1.1 基本原理和假定
 - 1.2 具体实现步骤
 - 2) 能力谱法介绍
 - 2.1 能力谱方法的原理
 - 2.2 能力谱方法的实现步骤
 - (1) 能力谱曲线的求得
 - (2) 弹性需求谱曲线的求得
 - (3) 弹塑性需求谱曲线的求得
 - (4) 能力谱的性能分析方法
 - 2.3 实例介绍

一、抗震性能化设计的概述

1) 何谓抗震性能化设计

什么叫抗震性能化设计？到现在为止还没有一个统一的定义。有的论文中把以结构物的变形需求为设计控制依据的设计称为抗震性能化设计；有的先确定经济损失和结构损伤水平作为设计性能目标，再进行设计、验证是否达到目标，这样的设计称为抗震性能化设计；有的认为抗震性能化设计就是多目标的抗震设计 如此等等。这样的定义不能说是严格完整的定义，因为他们仅仅论述了抗震性能化设计的一部分工作。其实，性能化的抗震设计并不是一个全新的概念，它也是一步步的明确和完善起来的。美国加州结构工程师学会(SEAOC)、美国应用技术局(ATC)和美国联邦紧急救援署(FEMA)等组织，最早提出的基于性能(性态)的结构抗震设计的概念是：根据建筑物的重要性、用途或是业主要求来确定其性能目标，提出不同的抗震设防水准并进行结构设计，最后对设计出的结构作出性能评估，看是否能满足性能目标的要求，其目的是使设计的建筑结构在未来地震中具备预期的功能。现在大家比较认同的说法是：“**性能化的抗震设计是指，结构的设计标准由一系列可以取得的结构性能目标来表示。主要针对混凝土结构并且采用基于能力的设计原理**”。它的具体做法是根据不同强度地震作用，得出不同的性能目标。在分析和设计中对结构采用静力弹性，并结合静力弹塑性分析或者动力弹塑性时程分析来得到一系列的性能水平，以验证是否达到设计的各个性能目标。

2) 抗震性能化设计的目的与内容

基于性能抗震设计的目的是“**在结构的整个寿命期内，在设定的条件下，花在抗震上的费用最少**”，即追求建筑物在服役期内的“最佳经济效益—成本比”。这里的“费用”是指增加抗震能力的投资和因地震破坏造成的损失，包括人员伤亡、运营中断、重复修建等；“一定的条件”是指结构的性态目标。

基于性能化的抗震设计实质上是对“多级抗震设防”思想的进一步**细化与深化**，其设计理论基本内容包括：**①地震设防水准的确定、②结构抗震性能目标的确定、③结构抗震性能水平的确定，④结构抗震性能分析评估方法等**四个方面，需解决两个基本问题：一为**地震需求**，即结构在指定强度地震下的响应；二为**结构能力**。结构性能设计的本质就是要求设计的结构每个部件的能力指标，恰当的**大于**相应的地震需求指标，并且使总体费用达到最小。以下我们将对此分别介绍。

3) 结构性能设计分析评估的方法简介

目前的常用方式是，结构整体性能指标采用弹塑性分析法；构件的抗震性能采用弹性分析法。以及综合方法。

3.1 弹性分析法

结构性能设计的弹性分析法，主要有中震（大震）不屈服设计法和中震（大震）弹性设计法。其具体操作如下：

(1) 中震（大震）不屈服设计法：在设计时选择，地震最大影响系数取为中震（大震）；荷载分项系数均取为**1.0**；强柱弱梁、强剪弱弯的调整系数均取为**1.0**；**抗震调整系数取为1.0**；**钢筋和混凝土材料采用标准强度**。

(2) 中震（大震）弹性设计法：在设计时选择，地震最大影响系数取为中震（大震）；强柱弱梁、强剪弱弯的调整系数均取为**1.0**；其余则保留设计要求。可见，不屈服设计已经去掉了所有的安全度、可靠度和经验系数，属于承载力极限设计；**中震弹性设计只取消了经验系数，保留了结构设计的安全度和可靠度，仍属于正规的设计**。目前，这种方法均可以采

用常用软件来准确实现。

3.2 弹塑性分析法

弹塑性分析主要分为静力弹塑性分析和动力弹塑性分析，其分析结果的可信度取决于多种因素，但主要是：前者取决于加载方式，如：倒三角形分布、矩形分布、第一振型分布等；后者取决于选取的地震波和结构恢复力模型的合理性，可以说这种方法目前在工程界应用还不成熟。结合抗震规范的要求，弹塑性分析主要考虑大震的情况，验算结构在大震下的整体性能，如：结构最大弹塑性位移和层间位移角、结构的性能点、抗倒塌验算、楼层屈服系数、薄弱层验算和确定等等。以确定结构在大震下的破坏程度。弹塑性分析同样可以验算中震的情况，因为结构塑性变形是一个渐进的过程。

3.3 综合方法

结构性能设计的综合法一般可应用于结构构件验算，计算步骤如下：(1) 在中震或大震的弹塑性分析的基础上，确定并记录结构构件在中震或大震下的破坏情况；(2) 对结构进行中震或大震下的弹性分析，此时，对已确定在弹塑性中震或大震下破坏的构件、定义杆端铰，甚至可去掉该构件（此时计算简图已相应改变）；(3) 指定构件的性能设计，如极限设计或考虑安全度、可靠度的设计。综合法可得到结构中震或大震下的整体性能和构件工作状态，所以弹塑性分析应用将是这个方法的基础。

二、结构抗震性能控制目标制定的依据

1) 何谓结构抗震性能控制目标

所谓结构抗震性能目标一般定义为“相对于每级地震设防水准的设计所需要的结构性能水准”。这个定义实际上包括了特定的性能水准以及地震设防水准的定义。国内外抗震规范中，一般地震设防水准都是通过重现期或发生概率来划分的。

2) 地震动水准的确定

2.2 谢礼立的《抗震性态设计通则》划分方法

• 我国谢礼立院士主编的《建筑工程抗震性态设计导则》，在综合国内外研究成果的基础上，结合我国的实际情况，根据抗震建筑重要性类别对抗震设防水准做了分类。(见表 1)

表 1 我国《导则》对地震设防水准的划分

地震动水平	抗震建筑重要性分类		
	甲类	乙类	丙类
多遇地震	200年超越概率 63%	100年超越概率 63%	50年超越概率 63%
设防地震	200年超越概率 10%	100年超越概率 10%	50年超越概率 10%
罕遇地震	200年超越概率 5%	100年超越概率 5%	50年超越概率 5%

2.3 《抗震规范》的划分方法

我国《建筑抗震设计规范》对地震设防水准的划分可参见表 2

表 2 我国《抗震规范》的设防水准与地震重现期的划分

设防水准	地震级别	重现期/年	50年超越概率	相对烈度差别
第一水准	多遇地震（小震）	50	63.2%	比基本烈度约低 1.55 度
第二水准	设防地震（中震）	475	10%	等于基本烈度
第三水准	罕遇地震（大震）	1600（7 度）	3%	比基本烈度高 1.0 度低一点
		（8 度）	2--3%	相当基本烈度高 1.0 度
		2400（9 度）	2%	比基本烈度高 1.0 度高一点

对设计使用年限（基准期）超过 50 年的结构，其地震作用需作适当调整，取值需经专门研究提出后，报规定的权限部门批准后采用。其值可参考《建筑工程抗震性态设计通则（试用）》CECS160:2004 附录 A。具体调整系数大体是：设计使用年限 70 年，取 1.15-1.2、100 年取 1.3-1.4。由以上二表比较可知两者定义有所不同，我们现在抗震设计还是以抗震规范为

3) 结构抗震性能水准的确定

3.1 结构的四个抗震性能的控制目标

我国《抗规》第 3.10.3 说明中，将这类结构的预期性能按其破坏情况把控制目标也分为四类。《高规》的表 3.11.1，也有同样规定，详见表 3：

表 3 结构四个抗震性能目标

地震水准	四个性能目标			
	性能 I (A)	性能 II (B)	性能 III (C)	性能 IV (D)
多遇地震 (小震)	1 完好 无损坏	1 完好 无损坏	1 完好 无损坏	1 完好 无损坏
设防烈度地震 (中震)	1 完好 无损坏	2 基本完好 轻微损坏	3 轻微损坏	4 中度损坏
罕遇地震 (大震)	2 基本完好 轻微损坏	3 轻微损坏	4 中度损坏	5 比较严重破坏，

3.2 结构的五种抗震性能水准

① 第 1 抗震水准——完好。

I、小震作用下，全部构件的抗震承载力设计值（拉、压、弯、剪、压弯、拉弯、稳定等）满足弹性设计的要求；层间变形（以弯曲变形为主的结构宜扣除整体弯曲变形）满足规范的位移角限值。结构构件的抗震等级不低于《抗规》、《高规》的有关规定，需要特别加强的构件可适当提高抗震等级，已为特一级的不再提高。

II、中震作用下，构件承载力需满足弹性设计要求，但在构件组合内力计算中不计入风荷载作用效应的组合，地震作用标准值的构件内力（计算中不乘与抗震等级有关的增大系数）。

② 第 2 抗震水准——基本完好，

I、小震作用下，即构件基本保持弹性状态，各种承载力设计值基本满足规范对抗震承载力的要求（效应 S 不含抗震等级调整系数），层间位移可能略微超过弹性变形限值。

II、在中震及大震作用下：I、小震作用下，全部构件的抗震承载力设计值（拉、压、弯、剪、压弯、拉弯、稳定等）满足弹性设计的要求；层间变形（以弯曲变形为主的结构宜扣除整体弯曲变形）满足规范的位移角限值。结构构件的抗震等级不低于《抗规》、《高规》的有关规定，需要特别加强的构件可适当提高抗震等级，已为特一级的不再提高。

II、中震作用下，构件承载力需满足弹性设计要求，但在构件组合内力计算中不计入风荷载作用效应的组合，地震作用标准值的构件内力（(I) 竖向构件及关键构件的抗震承载力满足弹性设计要求。

(II) 框架梁、剪力墙连梁等耗能构件的正截面承载力（抗弯），需满足“屈服承载力设计”要求，即构件材料标准值计算的承载力不小于按重力荷载及地震作用标准值计算的

构件组合内力，作用分项系数及抗震承载力调整系数均取 1。

(III) 耗能构件的受剪承载力宜符合弹性设计要求。

(IV) 层间变形可略超过弹性变形限值。

计算中不乘与抗震等级有关的增大系数。

③ 第 3 抗震水准——轻度破坏

I、小震作用下，同上

II、在中震及大震作用下，结构构件可能出现轻微的塑性变形，但达不到屈服状态，按材料标准值计算的承载力大于作用标准组合的效应，整体结构进入弹塑性状态，结构应进行弹塑性分析。

(I) 竖向构件及关键部位构件的正截面承载力宜满足“屈服承载力设计”要求。计算中可适当考虑结构阻尼比的增加（增加值一般不大于 0.02）。

(II) 受剪承载力宜满足弹性设计要求。

(III) 部分耗能构件进入屈服可考虑剪力墙连梁刚度折减，一般折减系数不小于 0.4。但抗剪承载力宜满足“屈服承载力设计”要求。

(IV) 大震作用下，结构薄弱部位最大层间位移角应满足规范要求。

(V) 细部构造满足中等延性要求。

。

④ 第 4 抗震水准——中度破坏，

I、小震作用下，同上。

II、在中震及大震作用下：结构出现明显的塑性变形，应对整体结构进行弹塑性分析（可通过静力弹塑性方法进行估算）。其中

(I) 关键构件的抗震承载力宜满足“屈服承载力设计”要求。

(II) 部分竖向构件及大部分耗能构件进入屈服阶段，但钢筋混凝土构件的受剪截面及钢—混凝土组合剪力墙的受剪截面应满足“强剪弱弯”的设计理念，确保构件不发生脆性破坏。

(III) 大震作用下，结构薄弱部位的最大层间位移角应满足规范要求。

(IV) 细部构造满足高延性要求。

⑤ 第 5 抗震水准要求——比较严重破坏

I、结构关键的竖向构件出现明显的塑性变形，部分水平构件可能失效需更换，结构经大修加固后可恢复使用，结构应进行弹塑性分析。

II、大震作用下关键构件的抗震承载力宜满足“屈服强度设计”的要求。

III、大震作用下较多的竖向构件进入屈服阶段，但不允许同一楼层的竖向构件全部屈服，并宜控制整体结构的承载力不发生下降。如发生下降也应控制下降幅度不超过 5%。

IV、大震作用下，竖向构件的受剪截面应满足“强剪弱弯”的要求。

V、大震作用下，允许部分耗能构件发生比较严重的破坏。

VI、大震作用下，结构薄弱部位的最大层间位移角应满足规范要求。

3.3 五种抗震性能水准下结构的预期震后性能状况

上述 5 种性能水平的结构，可按表 4 进行宏观判别，各种性能水准的楼板均不应出现受剪破坏。

表 4 五种抗震水准结构的预期震后性能状况

结构抗震性能水准	宏观损坏程度	损坏部位			继续使用的可能性
		关键构件	普通竖向构件	耗能构件	
水准 1	完好无损坏	无损坏	无损坏	无损坏	一般不需要修理即可继续使用
水准 2	基本完好轻微损坏	无损坏	无损坏	轻微损坏	稍加修理即可继续使用
水准 3	轻度损坏	轻微损坏	轻微损坏	轻度损坏、部分中度损坏	一般修理后才可能继续使用
水准 4	中度损坏	轻微损坏	部分构件中度损坏	中度损坏、部分比较严重损坏	修复或加固后才可继续使用
水准 5	比较严重损坏	中度损坏	部分构件比较严重损坏	比较严重损坏	需排险大修

注：1、“普通竖向构件”是指“关键构件”之外的竖向构件；

2、“关键构件”是指该构件的失效可能引起结构的连续破坏或危及生命安全的严重破坏，如：水平转换构件及其支承构件、大跨连体结构的连接体及其支承结构、大悬挑结构的主要悬挑构件、加强层伸臂和周边环带结构中的某些关键构件及其支承结构、长短柱在同一楼层且数量相当时该层各长短柱、细腰型平面很窄的连接楼板、扭转、变形很大部位的竖向（斜向）构件等。

3、“耗能构件”包括框架梁、剪力墙连梁及耗能支撑等。

三、五种抗震性能水准的结构承载力设计与位移控制目标

1) 五种抗震性能水准的结构承载力设计

结构构件承载力（混凝土构件压弯、拉弯、受剪、受弯承载力；钢构件受拉、受压、受弯、稳定承载力等）计算时，地震内力计算和调整地震作用效应组合、材料强度取值及验算方法，按以下要求进行。

1.1 第 1 水准：结构和构件应满足弹性设计要求。

a、小震作用下

抗震承载力应满足：

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} + \gamma_{EV} S_{EVK} + \phi_W \gamma_W S_{WK} \leq R / \gamma_{RE}$$

式中各符号含义见《抗规》5.4.1、5.4.2 条。（其中 R 为构件承载力设计值）

变形验算应符合《抗规》5.5 节的要求。

b、中震作用下

抗震承载力宜符合下式要求，并不计入风荷载效应组合：

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{EKh}^* + \gamma_{EV} S_{EKv}^* \leq R / \gamma_{RE}$$

式中： S_{EKh}^* —水平地震作用标准值的构件内力（不需乘以与抗震等级有关的增大系数）；

S_{EKv}^* ---竖向地震作用标准值的构件内力（不需乘以与抗震等级有关的增大系数）。

c、结构构件抗震等级应满足规范的要求，对需特别加强的构件可适当提高，已为特一级的不再提高。

1.2 第 2 水准：在中震或大震作用下：

a、竖向构件及关键构件的抗震承载力宜符合弹性设计要求，并不计入风荷载效应组合：

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Ehk} S_{Ehk} + \gamma_{EVh} S_{EVh} \leq R / \gamma_{RE}$$

b、耗能构件的受剪承载力宜符合弹性设计要求，其正截面承载力宜符合屈服承载力设

计要求,重力荷载分项系数 γ_G 、水平地震分项系数 γ_{Eh} 及抗震承载力调整系数 γ_{RE} 均取**1.0**,竖向地震作用分项系数 γ_{Eh} 取**0.4**,即:

$$S_{GE} + S_{EKh}^* + 0.4S_{EKv}^* \leq R_K$$

式中: R_K ——构件截面承载力标准值。

1.3 第3水准:

a、整体结构进入弹塑性状态。**应进行弹塑性计算分析**,进一步分析弹塑性层间位移角、构件屈服次序及塑性铰分布、结构的薄弱部位,整体承载力不发生下降等。允许部分框架、剪力墙、连梁等耗能构件进入屈服阶段。

b、在中震和大震作用下:

(a) 竖向构件及关键部位构件的**正截面承载力宜符合屈服承载力设计要求**。即:

$$S_{GE} + 0.4S_{EKh}^* + S_{EKv}^* \leq R_K$$

对水平长悬臂结构和大跨度结构中的**关键构件正截面屈服承载力设计**,需同时满足下列两式的要求:

$$S_{GE} + 0.4S_{EKh}^* + S_{EKv}^* \leq R_K$$

$$S_{GE} + S_{EKh}^* + 0.4S_{EKv}^* \leq R_K$$

为计算方便,可采用弹性方法计算竖向构件及关键部位构件的组合内力(S_{GE} 及 S_{EK}^*),并适当考虑结构阻尼比的增加(中震增加值不大于0.02,大震增加0.03),及剪力墙连梁刚度的折减(中震刚度折减系数不小于0.4,大震不小于0.3)。实际工程可先对底部加强部位和薄弱部位的竖向构件承载力按上述方法计算,再进行弹塑性分析校核全部竖向构件均未屈服。

(b) 竖向构件及关键部位构件的**受剪承载力宜满足弹性要求**。即:

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{EKh}^* + \gamma_{Ev} S_{EKv}^* \leq R / \gamma_{RE}$$

(c) 部分耗能构件进入屈服阶段,但**抗剪承载力宜满足屈服承载力设计要求**。即:

$$S_{GE} + S_{EKh}^* + 0.4S_{EKv}^* \leq R_K$$

(d) 在大震作用下,结构构件可按极限承载力复核,承载力达到极限承载限值后能维持稳定,降低少于5%。极限承载力复核时,应不计入风荷载的地震作用效应标准组合,并按下式计算:

$$S_{GE} + S_{EKh}^* + 0.4S_{EKv}^* \leq R_u$$

式中: R_u ——按材料最小极限强度值计算的承载力;钢材强度的最小极限值 f_u 按高层钢结构技术规程取值,约为钢材屈服的1.35~1.5倍;钢筋强度取钢筋屈服强度 f_u 的1.25倍;混凝土的强度取立方强度的0.88倍。

(e) 在大震作用下,结构薄弱部位的最大层间位移角应满足《抗规》弹塑性层间位移角的要求。

1.4 第4抗震水准:

a、整体结构应进行弹塑性计算分析。

b、在中震和大震作用下:

(a) **关键构件的抗震承载力宜符合屈服承载力设计要求**。即:

$$S_{GE} + S_{EKh}^* + 0.4S_{EKv}^* \leq R_K$$

对水平长悬臂结构和大跨度结构中的**关键构件正截面屈服承载力设计**,需同时满足下列两式的要求:

$$S_{GE} + 0.4S_{EKh}^* + S_{EKv}^* \leq R_K$$

$$S_{GE} + S_{EKh}^* + 0.4S_{EKv}^* \leq R_K$$

(b) 部分竖向构件及大部分耗能构件进入屈服阶段，但为防止构件脆性破坏其受剪截面应满足以下要求：

钢筋混凝土构件应满足

$$V_{GE} + V_{EK}^* \leq 0.15f_{ck}bh_0$$

钢—混凝土组合构件应满足

$$(V_{GE} + V_{EK}^*) - (0.25f_{ak}A_a + 0.5f_{pk}A_p) \leq 0.15f_{ck}bh_0$$

上两式中的 V_{GE} 、 V_{EK}^* 也可按弹性方法计算取值（通常偏安全）

式中： V_{GE} ——重力荷载代表值产生的构件剪力；

V_{EK}^* ——地震作用标准值产生的构件剪力，不需乘与抗震等级有关的系数；

f_{ak} ——剪力墙端部暗柱中型钢的强度标准值；

A_d ——剪力墙端部暗柱中型钢截面面积；

A_{pk} ——剪力墙墙内钢板的强度标准值；

A_p ——剪力墙墙内钢板的横截面面积。

(c) 在大震作用下，结构薄弱部位的最大层间位移角应满足《抗规》弹塑性层间位移角的要求。

1.5 第5抗震水准：

a、整体结构应进行弹塑性计算分析，宜控制整体结构的承载力不发生下降。如发生下降也应控制下降幅度不超过5%。

b、在中震作用下，结构构件可按极限承载力复核，按下式计算

$$S_{GE} + S_{EKh}^* + 0.4S_{EKv}^* \leq R_K$$

c、在大震作用下：

(a) 关键构件的抗震承载力宜符合屈服承载力设计要求。即：

$$S_{GE} + S_{EKh}^* + 0.4S_{EKv}^* \leq R_K$$

(b) 较多的竖向构件进入屈服阶段，但不允许同一楼层的竖向构件全部屈服。

(c) 竖向构件的受剪截面应满足以下要求：

钢筋混凝土构件应满足

$$V_{GE} + V_{EK}^* \leq 0.15f_{ck}bh_0$$

钢—混凝土组合构件应满足

(d) 允许部分耗能构件发生比较严重破坏。

(e) 结构构件可按极限承载力复核，达到极限承载限值后，能维持稳定，降低少于10%，并按下式计算：

$$S_{GE} + S_{EK}^* < R_u$$

(f) 在大震作用下，结构薄弱部位的最大层间位移角应满足《抗规》弹塑性层间位移角的要求。

3.2 五种抗震性能水准的结构最大层间位移角控制目标

反映结构性态水平的性态指标的确定是对结构进行性态设计及评估的关键环节，如何科学合理的采用定性态指标至关重要。目前关于结构性能水平的划分还没有形成统一的认识，有关性态指标的创研究工作主要集中在基于结构位移的指标，和基于结构损伤的指标等。

以下给出了美国和我国的以结构顶点位移划分的性能水准指标。供大家参考(见表6)

3.2.1 我国各规范对最大层间位移角控制目标参考值的规定

表 5 最大层间位移角控制目标参考值

结构类型	完好	轻微 损坏	中等 破坏	不严重 破坏
钢筋混凝土框架	1/550	1/250	1/120	1/50
钢筋混凝土抗震墙、筒中筒	1/1000	1/500	1/250	1/120
钢筋混凝土框架—抗震墙、板柱—抗震墙、框架—核心筒	1/800	1/400	1/200	1/100
多、高层钢结构	1/250	1/120	1/80	1/50

3.2.2 美国规范对结构顶点最大位移限值

表 6 美国各结构性能水准下的顶点位移限值

性能水准	人员安全情况与使用情况	结构破坏情况	顶点位移限值(%)
水准 1	结构功能完整、人员安全.可以立即使用	基本完好	< 0.2
水准 2	经过稍微维修就可使用	轻微破坏	<0.5
水准 3	结构发生破坏.需要大量修复	中等破坏	<1.5
水准 4	结构发生无法修复的破坏.但没有倒塌	严重破坏	<2.5
水准 5	结构倒塌	基本倒塌	> 2.5

3.2.3 我国《建筑地震破坏等级划分标准》对结构相应变形参考值的规定

我国在《建筑地震破坏等级划分标准》(建设部 90 建抗字 377 号)中,对各级地震破坏状况作了较详细的描述,并且对变形参考值作了规定。详见表 7。

表 7 各类房屋的地震破坏分级和损失估计

名称	破坏描述	继续使用的可能性	变形参考值
基本完好 (含完好)	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	一般不需要修理即可继续使用	$< [\Delta u_e]$
轻微损坏	个别承重构件轻微裂缝(对钢结构构件指残余变形),个别非承重构件明显破坏;附属构件有不同程度破坏	不需修理或需稍加修理,仍可继续使用	$1.5 \sim 2[\Delta u_e]$
中等破坏	多数承重构件轻微裂缝(或残余变形),部分明显裂缝(或残余变形);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	$3 \sim 4[\Delta u_e]$
严重破坏	多数承重构件严重破坏或部分倒塌	应排险大修,局部拆除	$< 0.9[\Delta u_p]$
倒塌	多数承重构件倒塌	需拆除	$> [\Delta u_p]$

注: 1、个别指 5%以下,部分指 30%以下,多数指 50%以上;

2、中等破坏变形参考值,大致取规范弹性和弹塑性位移角限值的平均值,轻微损坏取 1/2 平均值。