



# 抗震设计中结构的极限状态与性能目标

李应斌<sup>1</sup>, 林艺勇<sup>1</sup>, 刘 洋<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学 陕西 西安 710055; 2. 中国航天建筑设计研究院 北京 100071)

**摘要** 详细讨论了抗震设计理论中结构的三种极限状态,论述了结构的基本性能水准与结构的性能目标。

**关键词** 结构; 抗震设计; 极限状态; 性能目标; 性能水准

**中图分类号** TU352.1<sup>+</sup>1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-0844(2004)01-0024-04

## 0 前言

传统结构抗震设计理论将结构的极限状态分为承载力极限状态和正常使用极限状态两类,这种划分方法是从结构的受力和变形角度出发的。近年来,基于结构性能的抗震设计理论(PBSD)受到世界各国学者的广泛关注,并有可能成为21世纪世界建筑抗震设计的大潮流。基于性能的结构抗震设计理论充分考虑结构破坏带来的经济损失,将结构的极限状态分为三类,并要求从结构的性能目标和性能水准出发进行抗震设计。

## 1 三种极限状态

结构的受力极限状态分为:抗震正常使用极限状态(serviceability limit state),破坏控制极限状态(damage control limit state)和生命安全极限状态(又称防倒塌极限状态或幸存极限状态)(survival limit state)<sup>[1,2]</sup>。

抗震正常使用极限状态要求地震后不产生影响结构正常使用的变形,结构不需任何修理可以正常使用。这一极限状态的设计限值由结构功能和居住要求确定,通常由变形和振动大小估计,同时应保证机械设备、内部物品和家具的使用功能。这一极限状态的验算可由最大变形和残余变形来检验。另外也有研究认为,在使用状态下结构的反应一般都有很小,也可由结构的抗力来验算。例如钢筋混凝土结构构件不应达到屈服,结构构件和梁柱节点在常遇地震作用下也不应产生剪切裂缝。

破坏控制极限状态要求地震过程中控制结构的破坏程度,地震后结构需要进行不同程度的修理才可以正常使用。这一极限状态包括结构整体破坏、楼层破坏、结构构件破坏、非结构构件及其连接破坏、机械设备和家具破坏以及基础的不均匀沉降。结构整体和结构构件的破坏可由其承载力、变形能力或累积滞回耗能及相应的要求来评价。家具和机械设备的破坏可由结构和结构构件的反应来验算。这一极限状态的设计限值可由结构工程师在业主选择可接受抗震设防水准后来确定。业主在选择可接受的抗震设防水准准确性时,可以考虑下列因素:(1)初始造价;(2)建筑物的重要性、功能和估计使用年限;(3)结构及其构件的破坏水准;(4)修复的技术难度和建筑功能恢复的社会困难及其有关费用;(5)修复花费的时间及这一期间的相关经济损失;(6)验算中考虑的荷载和作用(出现的频率)水准。可以看出,对不同的建筑物需要采用不同的限制,不可能对所有的建筑物采用相同的限值。

生命安全极限状态要求结构的破坏不致威胁到人的生命安全。确定这一极限状态的设计限值时,应

考虑对人的生命可能带来的危险,如(1)建筑物的倒塌(2)机械设备、管线和家具等的倾倒、掉落和移动(3)非结构构件的破坏,如紧急出口的门口和楼梯(4)土壤的液化和滑坡。紧急出口和逃逸路线应避免非结构构件的倾倒和碎片的掉落。建筑规范应给出最低的限值要求。设计限值可按以下工程指标定义(1)弹性结构的最大抗力(2)在最大抗力下结构的弹塑性变形(3)结构倒塌前由延性构件所耗散的累积滞回能量(4)由于与结构的连接破坏非结构构件掉落。必须正确的估计弱塑性结构中关键构件的延性能力。结构构件的破坏可以从它们的承载力、变形能力或累积滞回耗能能力等及相应的要求来评价。

2 结构基本性能水准

如上所述,结构的抗震性能除考虑安全因素外,还应包括对损失和功能的要求。因此,结构的抗震性能分为三个基本的性能水准:使用性、破坏控制 and 安全性。使用性是在建筑物遭遇偶遇地震作用时,保证建筑物的使用功能和良好的居住环境,即要保证建筑物的功能完好,这是建筑所应具备的基本要求。破坏控制要求建筑物在遭遇偶遇地震作用时,建筑物及其内部物品出现的损伤和破坏和相应的经济损失要控制在可接受的范围内,即要保证结构的性能连续,经修复后结构可以继续使用。安全性是建筑物在遭受罕遇地震时,要求保证建筑物内外人员的安全。文献[3]认为,衡量使用性、破坏控制和安全性的典型指标分别为加速度、剪力、塑性变形和耗电量能。评价的总原则是结构的反应值  $R$  小于或等于临界值  $L$ ,即

$$R \leqslant L$$

(1)

综合结构的极限状态以及基本性能水准,可以评价结构的基本性能要求,如表 1 所示<sup>[3]</sup>。

表 1 结构基本性能要求

基本性能	使用性 (功能、居住)	破坏控制 (保全财产)	安全性 (人身安全)
极限状态	正常使用极限	破坏控制极限	生命安全极限
主体结构	变形、振动和不影响正常使用	设定损失范围	发生的破坏不致危及生命
设备、内部物品	变形、振动影响正常使用	设定损失范围	倒塌、脱落、移动不致危及生命
建筑、水电、机械、非结构系统	变形、振动影响正常使用	设定损失范围	建筑非结构构件的脱落、飞散及水电、机械的倒塌、严重破坏、脱落、移动不致危及生命
地基	变形及承载力的降低不影响正常通行和使用	设定承载力与变形的范围	不出现直接危及生命安全的大规模坍塌、滑坡、变形

某一特定建筑物上述的三个主要性能水准层次可能有多种不同程度的组合,需依据环境的不同及业主要求不同而异,其中的某项性能可能在一定情况下有突出的需求而成为主要矛盾。例如,普通的砖混结构对安全性的要求可能是最突出的,博物馆对损失控制要求很高,现代化高层商用办公楼对损失和功能都要控制。但是可以明确的是安全性不足以控制使用性和破坏控制,使用性也不是规范规定的“不倒”可以满足的,还要控制变形和振动,破坏控制对于结构和固定、非固定的非结构部分除力和变形控制外,还需用速度和加速度来控制,以免构件、物品冲撞、掉落、翻转而造成破坏。另外由于地震作用的反复性和持续性,延性不同的结构反应也不同,因此,理论上讲还要考虑地震动持时这一因素的影响。

我国的抗震设防要求强调概念设计,以“三个水准”作为抗震设防目标:一般情况下,当结构遭受低于本地区设防烈度的多遇地震影响时,一般不损坏或不需修理仍可以继续使用,结构处于正常使用状态,这一设防水准准确性的依据就是结构的正常使用极限状态;当遭受本地区设防烈度的地震影响时,结构可能损坏,经一般修理或不需修理仍可以继续使用,这一设防水准的临界值对应于上表中的结构破坏控制极限状态;当遭受高于本地区设防烈度的罕遇地震影响时,结构不致倒塌或发生危及生命的严重破坏,即结构的破坏程度不能超出生命安全极限状态。可见,结构受力的三种极限状态划分方法与规范的“三个水准”抗震设防目标相对应,比传统的两极限状态(正常使用极限状态和承载力极限状态)划分方法更合理,更实

用。

### 3 结构性能目标

很显然,较重要建筑物的性能标准要高于非重要建筑物的相应值,因此可以根据建筑物的重要性不同对某些建筑特划分必要的、统一的标准作为基本目标,即基本性能目标。结构性能目标是针对每一设防地震等级而期望达到的建筑物抗震性能等级,是与建筑物的使用功能、重要性程度相联系的。抗震性能目标的选择是非常重要的,因为它为今后整个设计、建造过程设定了必须遵循的标准。

结构抗震性能目标的建立需要综合考虑场地特征、结构的功能与重要性、投资与效益、震后损失与恢复重建、潜在的历史或文化价值、社会效益与业主承受能力等诸多因素。结构的抗震性能目标可以是多重的。性能目标需由业主与设计师共同商讨而定。

结构的抗震性能目标可以分为三类:特别设防目标、重要设防目标和基本设防目标。

特别设防目标指对有特别安全要求的建筑物、设施设定的最低设防标准。一般是内存大量危险物质、一旦泄露将导致相当严重后果的建筑物、设施,如放置酒清、炸药、放射性核原料等的建筑物。这类设防目标大致相当于现行规范规定的甲类建筑的抗震设防标准。

重要设防目标是指一般重要建筑物,即对地震后结构的使用功能要求较高的建筑及设施,如医院、公安、消防、通讯、急救中心等,危险设施,即内含大量危险物质,但泄露的后果将局限在整个建筑物内的设施。重要设防目标就是对这类建筑物以及设施的设防的最低标准。这类设防目标大致相当于现行规范定义的乙类建筑的抗震设防标准。

基本设防目标是指除特别设防目标和重要设防目标以外的建筑物的一般建筑物的最低设防要求。大致相当于现行抗震设计规范定义的丙、丁类建筑的抗震设防要求。

表 2 是结构设防目标与相应地震等级时结构的最低要求,表中的设防地震等级按文献[3]选用。

上面给出的抗震设防目标应该是最最低的标准,业主可能要求在某一等级或几级设防地震等级作用下造成的经济损失减少,因此,性能目标不应是固定的,抗震性能目标可以采用比给出的设防目标更高的设防标准,这一标准可以定义为强化设防目标。

表 2 结构设防目标的最低要求

地震设防等级	特别设防目标	重要设防目标	基本设防目标
常遇地震	结构完好	结构完好	结构完好
偶遇地震	结构完好	结构完好	可以正常使用
罕遇地震	结构完好	可以正常使用	满足安全要求
稀有地震	可以正常使用	满足安全要求	防止倒塌

### 4 结论

(1) 结构的极限状态的确定不仅要考虑结构的承载力、变形,还要考虑控制结构的破坏程度,以免地震时带来过大的经济损失。

(2) 不仅要考虑主体结构的破坏引起的经济损失,随着城市化程度的提高,非主体结构的破坏应该引起越来越多的重视。对结构进行分析与设计是,要考虑非主体结构的构件的性能。

(3) 结构受力的三种级限状态划分方法与规范的“三个水准”抗震设防目标相对应,比传统的两极限状态(正常使用极限状态和承开车力极限状态)划分方法更合理,更实用。

(4) 可以将结构的抗震性能目标分为特别设防目标、重要设防目标和基本设防目标三个等级,不同的抗震性能目标与结构的重要性程度相关。结构抗震性能目标的确定应由设计师和业主共同商讨确定。

### 参考文献

[1] 小谷俊介.日本基于性能结构抗震设计方法的发展[J].建筑结构,2000,30(6):3-9.  
[2] Vitelmo V bertero. Performance-based Seismic Engineering (Conventional VS. Innovative Approaches)[CD]. 12WCEE 2074.  
[3] Structural Engineering Association of California——Vision 2000 Committee. Performance Based Seismic Engineering of Buildings[R]. 1995.

## LIMIT STATES AND TARGET PERFORMANCES OF STRUCTURES IN ASEISMIC DESIGN

LI Ying-bin<sup>1</sup>, LIN Yi-yong<sup>1</sup>, LIU Yang<sup>2</sup>

( 1. Xi 'an University of Architecture & Technology , Xi 'an 710055 ;

2. China Academy of Aerospace Building Design and Research , Beijing 100071 )

**Abstract** : Three limit states of structures in earthquake resistance design are described in detail , and the basic performance levels and target performances of structures are also presented.

**Key words** : Structure ; Earthquake resistance design ; Limit state ; Target performance ; Performance level

\*\*\*\*\*  
( 上接 23 页 )

## STUDY AND APPLICATION ON THE BOUNDARY ELEMENT METHOD IN THE APPARENT RESISTIVITY FOR EARTHQUAKE PREDICTION

MA Qin-zhong<sup>1</sup>, QIAN Jia-dong<sup>2</sup>

( 1. Seismological Bureau of Shanghai , CSB , Shanghai 200062 , China ;

2. Center for Analysis and Prediction , CSB , Beijing 100036 , China )

**Abstract** : There were a lot of difficulties in two dimensions and three dimensions numerical simulation of electric field of a point source which contains inhomogeneous body in a layered medium based on the apparent resistivity and electrical prospecting in the past days. Now using the numerical solution of the boundary element method the problems can be solved simply and easily. In this paper , the theoretical study on the boundary element method using in model of 2-D and 3-D inhomogeneous body in a layered medium and the application in the earthquake prediction based on the apparent resistivity are comprehensively recounted and analyzed. The method will be a solid base for the apparent resistivity using in the research of earthquake prediction.

**Key words** : Telluric current method ; Boundary element method ; Inhomogeneous medium ; Earthquake prediction