

钢筋混凝土结构抗震设计思路和理解 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

[https://www.100test.com/kao\\_ti2020/470/2021\\_2022\\_\\_E9\\_92\\_A2\\_E7\\_AD\\_8B\\_E6\\_B7\\_B7\\_E5\\_c67\\_470227.htm](https://www.100test.com/kao_ti2020/470/2021_2022__E9_92_A2_E7_AD_8B_E6_B7_B7_E5_c67_470227.htm) 一.抗震设计思路的简单回顾 建筑结构抗震的发展是随着人们对地震动和结构特性的认识不断深入而逐渐发展起来的，从诞生至今不过百年的历史，大致有以下几个发展阶段：(1) 静力阶段，它最先由日本大森房吉教授通过对当时有限的震害观测和理论认识提出的抗震设计理论,仅仅适用于刚体结构。它没有考虑结构的动力特性和场地差别对建筑结构的影响,不加区分的对所有结构都采用一个统一水平地震力 $V=kW$ ( $k=0.1$ . $W$ 为结构的重量)来考虑地震作用效应的影响。(2) 反应谱阶段，随着真实地震动记录的获取和结构动力学理论的发展，1940年美国Biot教授提出了弹性反应谱的概念，反应谱是单自由弹性体系在获取的众多地震记录的激励下，结构周期与响应之间的关系，包括加速度反应谱，速度反应谱，位移反应谱。它综合考虑了结构的动力特性，至今仍然是各国规范设计地震力取值的基础。地震作用力的计算常常用底部剪力法和振型分解反应谱法，振型分解反应谱法的基本概念是：假定建筑结构是线弹性的多自由度体系，利用振型分解和振型正交性的原理，将求解 $n$ 个自由度弹性体系的地震反应分解为求解 $n$ 个独立的等效单自由度弹性体系的最大地震反应，进而求得对应于每一个振型的作用效应。此时，就可以根据考虑地震作用的方式不同，采用不同的组合方式，对于平面振动的多质点弹性体系，可以用SRSS法，它是基于假定输入地震为平稳随机过程，各振型反应之间相互独立而推导得到的；对于考

考虑平扭耦连的多质点弹性体系，采用CQC法，它与SRSS法的主要区别在于：平面振动时假定各振型相互独立，并且各振型的贡献随着频率的增高而降低；而平扭耦连时各振型频率间距很小，相邻较高振型的频率可能非常接近这就要考虑不同振型间的相关性，还有扭转分量的影响并不一定随着频率增高而降低，有时较高振型的影响可能大于较低振型的影响，相比SRSS时就要考虑更多振型的影响。底部剪力法考虑到结构体系的特殊性对振型分解反应谱法的简化，当建筑物高度不大，以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的结构，结构振动位移反应往往以第一振型为主，而且第一振型接近于直线时，就可以把振型分解法简化为基本的底部剪力法计算公式。这个基本公式计算得到的各质点的水平地震作用可以较好的反映刚度较大的结构，但当结构基本周期较长，场地特征周期较小时，计算所得顶部地震作用偏小，为此，《抗震规范》规定，当结构基本周期大于1.4倍的场地特征周期时，在顶部附加水平地震作用。（3）动力理论阶段，随着对地震动认识 and 理解的不断加深，认识到反应谱的一些不足，如对地震动持时的影响考虑不周，再加上计算机性能的提高，使得动力法逐渐发展起来了，它的本质直接求解动力方程，但是由于地震时地面运动加速度极不规则，对于微分方程无法求出它的闭合解，因此多采用数值积分法。通常的做法是对已记录的地震波进行连续分段处理，每段的数据都看做不变的，然后作用到结构上，通过动力平衡方程来求得此刻的加速度、速度、位移反应，接着与前一段的加速度、速度、位移进行叠加，把叠加的结果作为下一时段的初始数据，依此类推，最终求得结构在所给出低周反复地震

波下的加速度、速度和位移动力反应变化过程。（4）在1994年美国Northridge地震和1995年日本Kobe地震后，美日学者又提出了基于性态的抗震设计方法，基于性态的基本思想，就是使建筑结构在使用期间满足各种使用功能的要求。它与传统基于力的设计方法不同，对结构性能的评判主要是基于位移准则，用不同的位移指标来对结构性能进行不同的控制。但是由于大震下结构的非弹性变形难以准确的估计，使得基于性态的设计方法只能停留在理论上。但提出它的积极意义至少有两点：1. 强调地震工程的系统性和社会性；2. 认识到原有抗震设计规范的部分不合理性。作为基于性能抗震设计的基础，应该对某一具统计意义的特定水平地震作用下的结构位移，速度和加速度进行准确的评估，还应该有一个合理的评估方法和可用的评估工具。正是因为这个目的，提出和发展了Pushover方法和能力谱方法。Pushover方法的基本思路是采用静力加载，假定某一分布形式的侧向荷载作用在结构上，逐渐加载直到达到结构控制点目标位移或结构破坏，从而得到控制点的水平侧移与基底剪力关系曲线，用以评估结构的抗震性能。Pushover方法依赖于侧向力的分布形式和弹塑性反应谱目标位移的确定。

## 二. 钢筋混凝土抗震设计的基本思路

设计力延性准则 在弹性反应谱提出之后，人们发现由此计算所得的结构反应与实际地震时结构的破坏现象有一定的矛盾，主要是按弹性反应谱算得的结构反应加速度为当时习惯性设计地震力的取值大好几倍，而且按照习惯性取定的设计地震力的作用下设计的房屋结构，在地震中结构体系的损伤并不严重。上世纪60年代，Newmark通过对不同周期的初始刚度相同的单自由度体系在多波输入的条件下进行了分析

，提出了等位移原理和等能量原理，并提出了结构延性的概念。其后，又深入地研究了单自由体系的屈服水准与弹性自振周期以及结构最大非弹性动力反应之间的关系，这就是习惯上所说的R- $\mu$ -T效应的理论。通过这些研究，揭示了延性能力和塑性耗能是结构在取用屈服水准不高的情况下，在大震下结构不发生严重破坏和不倒塌的保证。到这里，关于设计地震力取值大小的基本问题就得到了解决，就是抗震时地震力取值的大小不是一个确定的数值，而是和结构延性性能和耗能机制相关的量值。这里需要说明的是，设计地震力取值仅仅解决了一个方面的问题，而对结构延性性能保障方面的措施还必须得以保证，这将在下面一节讨论。目前，世界各国的抗震规范几乎都采用这样一种思路：采用按可能遭遇的地震强弱划分地震分区；根据各地区的历史发生地震的统计结果或对地质构造的历史考察给出具有明确统计含义的设防水准地面运动峰值加速度；再利用加速度反应谱给出不同周期下结构的反应加速度；通过地震力调整系数R得到设计用加速度水准。同时，多数国家都认同这样的观点，设防烈度水准可以取用不同的值，选用越高的设防烈度水准，结构的延性要求也就越低，选用越低的设防烈度水准，结构的延性要求就越高。结构延性保障的先决条件是构件的延性，在采用一系列措施保障构件延性的基础上，再通过有效合理的连接，同时结构体系选择合理，刚度分布合理的条件下就能基本保证结构的延性。下面这种谈谈我国抗震规范的大致思路，现行的中国规范没有采用多种设防烈度水准的取用，而不加区分的统一采用的地震力调整系数 $R=1/0.35$ ；同时，大致根据设防烈度的不同，划分不同的抗震等级，着眼于不同的

设防烈度，采用不同的保证延性的抗震措施。这里很明显就存在一个概念的误解，也就是按照R- $\mu$ -T效应的理论，同样是地震力调整系数 $R=1/0.35$ ，对结构应该给予同样的延性保障措施，而中国规范却采用了不同延性保障措施，随着抗震等级的提高，延性保障能力相应加强。这种做法的有效性正在进行非线性动力反应的验证，大致结果可以这样描述：对于8度0.3g和9度0.4g的区域，由于相应的抗震等级比较高，保障延性的措施也比较强，所以一般比较安全；而对于6度0.05g和7度0.1g的区域，由此所得到的水平地震效应偏小，一般荷载组合是由重力荷载起控制作用，虽然对应的保障延性的措施不是很强，一般也能够保障结构在大震下的非弹性变形的性能；但对7度0.15g和8度0.2g的区域，情况就另人担忧了，因为在荷载组合时，地震作用一般能起到控制作用，而相应保障延性的措施又偏弱，这样就难免存在一定的安全隐患。再来看看其他国家地震力调整系数R的选用，以便有一个直观具体的认识：各国规范规定的地震力调整系数

规范	延性等级	调整系数R
欧洲共同体EC8	DC "L" 低延性	2.5
新西兰NZS3101	弹性反应结构	1.25
美国UBC1997	一般框架	3.5
中国GB50011-2001	DC "L" 低延性	1/0.35
	DC "M" 中延性	2.86
	DC "H" 高延性	5.0
	有限延性结构	3.0
	中等框架	5.5
	特殊框架	8.5

同时需要说明的是：1. 中国、美国、新西兰和欧洲在设防烈度地震上的取值具有相同的统计意义，即以接近或以50年超越概率为10%的地震作为基准地震；2. 新西兰规范引导设计者优先采用“延性结构”，美国规范对高烈度区要求使用“特殊框架”；对中等烈度区，推荐使用“中等框架”，也允许使用“特殊框架”；对较低烈度区，推荐使用“一般框架”，也允许使用“中等框架”和“特殊框架”

；3. 各国在根据反应谱对设计地震力的绝对取值的大小上，有一定的差异。大致说来就是按照我国抗震规范 $R=2.86$ 的前提下进行比较，对短周期和较长周期和其他国家的地震影响系数的取值大致相同，但对中等周期的结构按我国规范取值所得的地震作用偏小。这就直接导致中等周期的结构同国外同类型的结构相比（这个周期范围内，我国 $R=2.86$ 的地震力取值和国外 $R=5$ 的地震力取值大致相当，而延性的保障是在设定的地震力的基础上进行），延性较差。100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 [www.100test.com](http://www.100test.com)