

结构工程师：抗震设计方法综述 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

[https://www.100test.com/kao\\_ti2020/471/2021\\_2022\\_\\_E7\\_BB\\_93\\_E6\\_9E\\_84\\_E5\\_B7\\_A5\\_E7\\_c67\\_471692.htm](https://www.100test.com/kao_ti2020/471/2021_2022__E7_BB_93_E6_9E_84_E5_B7_A5_E7_c67_471692.htm) 抗震设计方法一：基于承载力设计方法 基于承载力设计方法又可分为静力法和反应谱法。静力法产生于二十世纪初期，是最早的结构抗震设计方法。上世纪初前后日本浓尾、美国旧金山和意大利Messina的几次大地震中，人们注意到地震产生的水平惯性力对结构的破坏作用，提出把地震作用看成作用在建筑物上的一个总水平力，该水平力取为建筑物总重量乘以一个地震系数。意大利都灵大学应用力学教授M.Panetti建议，1层建筑物取设计地震水平力为上部重量的1/10，2层和3层取上部重量的1/12。这是最早的将水平地震力定量化的建筑抗震设计方法。日本关东大地震后，1924年日本都市建筑规范"首次增设的抗震设计规定，取地震系数为0.1。1927年美国UBC规范第一版也采用静力法，地震系数也是取0.1。用现在的结构抗震知识来考察，静力法没有考虑结构的动力效应，即认为结构在地震作用下，随地基作整体水平刚体移动，其运动加速度等于地面运动加速度，由此产生的水平惯性力，即建筑物重量与地震系数的乘积，并沿建筑高度均匀分布。考虑到不同地区地震强度的差别，设计中取用的地面运动加速度按不同地震烈度分区给出。根据结构动力学的观点，地震作用下结构的动力效应，即结构上质点的地震反应加速度不同于地面运动加速度，而是与结构自振周期和阻尼比有关。采用动力学的方法可以求得不同周期单自由度弹性体系质点的加速度反应。以地震加速度反应为竖坐标，以体系的自振周期为横

坐标，所得到的关系曲线称为地震加速度反应谱，以此来计算地震作用引起的结构上的水平惯性力更为合理，这即是反应谱法。对于多自由度体系，可以采用振型分解组合方法来确定地震作用。反应谱法的发展与地震地面运动的记录直接相关。1923年，美国研制出第一台强震地震地面运动记录仪，并在随后的几十年间成功地记录到许多强震记录，其中包括1940年的El Centro和1952年的Taft等多条著名的强震地面运动记录。1943年M.A.Biot发表了以实际地震纪录求得的加速度反应谱。二十世纪50到70年代，以美国的G. W. Housner、N. M. Newmark和R. W. Clough为代表的一批学者在此基础上又进行了大量的研究工作。对结构动力学和地震工程学的发展作出了重要贡献，奠定了现代反应谱抗震设计理论的基础。然而，静力法和早期的反应谱法都是以惯性力的形式来反映地震作用，并按弹性方法来计算结构地震作用效应。当遭遇超过设计烈度的地震作用，结构进入弹塑性状态，这种方法显然无法应用。同时，在由静力法向反应谱法过渡的过程中，人们发现短周期结构加速度谱值比静力法中的地震系数大1倍以上。这使得地震工程师无法解释以前按静力法设计的建筑物如何能够经受得住强烈地震作用。

抗震设计方法二：基于承载力和构造保证延性设计方法 为解决由静力法向反应谱法的过渡问题，以美国UBC规范为代表，通过地震力降低系数 $R$ 将反应谱法得到的加速度反应值 $a_m$ 降低到与静力法水平地震相当的设计地震加速度 $a_d$ ， $a_d = a_m / R$ 地震力降低系数 $R$ 对延性较差的结构取值较小，对延性较好的结构取值较高。尽管最初利用地震力降低系数 $R$ 将加速度反应降下来只是经验性的，但人们已经意识到应根据结构的延性性质不同来取不同

的地震力降低系数。这是考虑结构延性对结构抗震能力贡献的最早形式。然而对延性重要性的认识却经历了一个长期的过程。在确定和研究地震力降低系数 $R$ 的过程中，G. W. Housner和N. M. Newmark分别从两个角度提出了各自的看法。G. W. Housner认为考虑地震力降低系数 $R$ 的原因有：每一次地震中可能包括若干次大小不等的较大反应，较小的反应可能出现多次，而较大的地震反应可能只出现一次。此外，某些地震峰值反应的时间可能很短，震害表明这种脉冲式地震作用带来的震害相对较小。基于这一观点，形成了现在考虑地震重现期的抗震设防目标。随着研究的深入，N. M. Newmark认识到结构的非弹性变形能力可使结构在较小的屈服承载力的情况下经受更大的地震作用。由于结构进入非弹性状态即意味着结构的损伤和遭受一定程度的破坏，基于这一观点，形成了现在的基于损伤的抗震设计方法，并促使人们对结构的非弹性地震反应的研究。而进一步采用能量观点对此进行研究的结果，则形成现在的基于能量的抗震设计方法。然而由于结构非弹性地震反应分析的困难，因此只能根据震害经验采取必要的构造措施来保证结构自身的非弹性变形能力，以适应和满足结构非弹性地震反应的需求。而结构的抗震设计方法仍采用小震下按弹性反应谱计算的地震力来确定结构的承载力。与考虑地震重现期的抗震设防目标相结合，采用反应谱的基于承载力和构造保证延性的设计方法成为目前各国抗震设计规范的主要方法。应该说这种设计方法是在对结构非弹性地震反应尚无法准确预知情况下的一种以承载力设计为主方法。

抗震设计方法三：基于损伤和能量的设计方法 在超过设防地震作用下，虽然非弹性变形对结构抗

震和防止结构倒塌有着重要作用，但结构自身将因此产生一定程度的损伤。而当非弹性变形超过结构自身非弹性变形能力时，则会导致结构的倒塌。因此，对结构在地震作用下非弹性变形以及由此引起的结构损伤就成为结构抗震研究的一个重要方面，并由此形成基于结构损伤的抗震设计方法。在该设计方法中，人们试图引入反映结构损伤程度的某种指标来作为设计指标。许多研究者根据地震作用下结构损伤机理的理解，提出了多种不同的结构损伤指标计算模型[3,4]。这些研究加深了人们对结构抗震机理的认识深度，尤其是将能量耗散能力引入损伤指标的计算。但由于涉及结构损伤机理较为复杂，如需要确定结构非弹性变形以及累积滞回耗能等指标，同时结构达到破坏极限状态时的阈值与结构自身设计参数关系的也有许多问题未得到很好的解决。从能量观点来看，结构能否抵御地震作用而不产生破坏，主要在于结构能否以某种形式耗散地震输入到结构中的能量。地震作用对体系输入的能量由弹性变形能 $E_E$ 、塑性变形能 $E_P$ 和滞回耗能 $E_H$ 三部分组成。地震结束后，质点的速度为0，体系弹性变形恢复，故动能 $E_K$ 和弹性应变能 $E_E$ 等于零，地震对体系的输入能量 $E_{EQ}$ 最终由体系的阻尼、体系的塑性变形和滞回耗能所耗散。因此，从能量观点来看，只要结构的阻尼耗能与体系的塑性变形耗能和滞回耗能能力大于地震输入能量，结构即可有效抵抗地震作用，不产生倒塌。由此形成了基于能量平衡的极限设计方法。基于能量平衡概念来理解结构的抗震原理简洁明了，但将其作为实用抗震设计方法仍有许多问题尚待解决，如地震输入能量谱、体系耗能能力、阻尼耗能和塑性滞回耗能的分配，以及塑性滞回耗能体系内的分布规律。尽

管基于损伤和能量的抗震设计方法在理论上有其合理之处，但直接采用损伤和能量作为设计指标不易为一般工程设计人员所采用，因此一直未得到实际应用。但关于损伤和基于能量概念的研究对实用抗震设计方法中保证结构抗震能力提供了理论依据和重要的指导作用。最近，作者基于能量概念提出了结构非弹性变形的计算方法，为将能量概念引入结构抗震设计方法中作了有益的尝试。

#### 抗震设计方法四：能力设计方法

二十世纪70年代后期，新西兰的T.Paulay和R.Park提出了保证钢筋混凝土结构具有足够弹塑性变形能力的力设计方法。该方法是基于对非弹性性能对结构抗震能力贡献的理解和超静定结构在地震作用下实现具有延性破坏机制的控制思想提出的，可有效保证和达到结构抗震设防目标，同时又使设计做到经济合理。力设计方法的核心是：

- (1) 引导框架结构或框架-剪力墙（核心筒）结构在地震作用下形成梁铰机构，即控制塑性变形能力大的梁端先于柱出现塑性铰，即所谓“强柱弱梁”；
- (2) 避免构件（梁、柱、墙）剪力较大的部位在梁端达到塑性变形能力极限之前发生非延性破坏，即控制脆性破坏形式的发生，即所谓“强剪弱弯”；
- (3) 通过各类构造措施保证将出现较大塑性变形的部位确实具有所需要的非弹性变形能力。

到二十世纪80年代，各国规范均在不同程度上采用了力设计方法的思路。力设计方法的关键在于将控制概念引入结构抗震设计，有目的的引导结构破坏机制，避免不合理的破坏形态。该方法不仅使得结构抗震性能和能力更易于掌握，同时也使得抗震设计变得更为简便明确，即后来在抗震概念设计中提出的主动抗震设计思想。

#### 抗震设计方法五：基于性能/位移设计方法

应该说通过多年的研究和实

践，人们基本掌握了结构抗震设计方法，并到达原来所预定的抗震设防目标。然而九十年代发生在一些发达国家现代化大城市的地震，人员伤亡虽然很少，一些设备和装修投资很高的建筑物虽然并没有倒塌，但因结构损伤过大，所造成的经济损失却十分巨大。如1994年1月美国西海岸洛杉矶地区的地震，震级仅为6.7级，死亡57人，而由于建筑物损坏造成1.5万人无家可归，经济损失达170亿美元。1995年1月日本阪神地震，7.2级，死亡6430人（大多是旧建筑物倒塌造成），但经济却高达960亿美元。因此在现代化充分发展的今天，研究人员意识到再单纯强调结构在地震下不严重破坏和不倒塌，已不是一种完善的抗震思想，不能适应现代工程结构抗震需求。在这样的背景下，美、日学者提出了基于性能

（Performance Based Design, PBD）的抗震设计思想。基于性能设计的基本思想就是使所设计的工程结构在使用期间满足各种预定的性能目标要求，而具体性能要求可根据建筑物和结构的重要性确定。应该说，基于性能抗震设计是比传统单一抗震设防目标推广了的新理念，或者说是它给了设计人员一定“自主选择”抗震设防标准的空间。然而问题是对结构性能状态的具体描述和计算、以及设计标准目前尚未明确，因此可以说基于性能抗震设计目前仅停留概念阶段。对于结构工程师来说，可明确描述结构性能状态的物理量主要有：力、位移（刚度）、速度、加速度、能量和损伤。基于性能设计要求能够给出结构在不同强度地震作用下，这些结构性能指标的反应值（需求值），以及结构自身的能力值，尤其当结构进入非弹性阶段时。由于用力（承载力）作为单独的指标难以全面描述结构的非弹性性能及破损状态，而用能量和

损伤指标又难以实际应用，因此目前基于性能抗震设计方法的研究主要用位移指标对结构的抗震性能进行控制，称为基于位移抗震设计方法（Displacement Based Design, DBD）。无论是基于性能还是基于位移，抗震设计的难点仍然是结构进入非弹性阶段后结构性态的分析。这一点与以往抗震设计方法一样，只是基于性能/位移抗震设计理念的提出，使研究人员更加注重对结构非弹性地震反应分析和计算的研究。在基于位移抗震设计方法研究中，值得推荐的是能力谱法。该方法由Freeman于1975年提出。近几年研究人员对能力谱曲线以及需求谱曲线的确定方法做了进一步的改进，使得该方法成为各国推进基于位移设计方法的一种主要方法。结构的能力曲线是由结构的等效单自由度体系的力-位移关系曲线转化为加速度-位移关系曲线来表示。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)