

# 土木工程结构设计中的抗震问题分析

文 / 朱丽佳 杭州钱塘新区建设投资集团有限公司 浙江杭州 311228

**【摘要】**我国是一个地震高发的国家，建筑的抗震设计对于减轻人员与财产损失具有十分重要的意义，我国建筑抗震结构的设计与发展来讲虽然进步很大，但是仍有许多不足之处，主要是建筑抗震规范与我国实际情况存在部分脱节，建筑抗震设计从业人员整体上素质不高，缺乏对高层重要建筑的抗震方案设计能力，在场地与材料选择方面缺少专业能力。针对这些情况，应当从优化建筑结构体系、重视建筑场地选择、建立多道抗震防线等方面加强改进。

**【关键词】**抗震；结构设计；结构体系

**【DOI】**10.12334/j.issn.1002-8536.2022.07.065

## 引言：

地震是对建筑物结构产生严重损坏，带来巨大损失的自然现象。随着全球城市建设的快速发展，城市的土地越来越少，土地价格越来越高，高层建筑的高度越来越高，地震带来的损失也越来越大。1976年唐山大地震造成24万多人死亡，经济损失不可估量；1995年日本阪神大地震造成六千余人死亡，经济损失和重建费用高达2000亿美元以上；2008年我国汶川地震造成约7万人死亡，仅直接经济损失就高达上万亿元人民币。如果建筑的结构设计达不到抗震设防的标准要求，在地震中将带来严重的人员伤亡和财产损失，因此需要高度重视建筑结构抗震问题，确保抗震性能符合规范要求。

## 1、抗震理论的发展状况

### 1.1 世界抗震理论发展过程

建筑工程抗震设计根据人类力学理论和建筑设计理论的发展变化，主要经历了静力弹性分析、反应谱分析和动力分析三个阶段。

(1) 静力理论阶段。在上世纪初提出，这种方法将地震作用简化为静力，取自身重力模拟水平地震作用，该方法较为原始，在地震多发的日本最早应用。1900年，日本学者大森房吉提出了该理论，认为估计地震力时，暂时不考虑其动力学特性，假设结构为刚性，地震的作用在结构或构建的质心处，将地震作用简化为一个常数，并在该理论的基础上提出了“家屋耐震构造论”。这种理论对于木质、底层的日式民用建筑具有一定的适应性，并作为抗震设计的鼻祖，开创了抗震结构计算的先河，在此基础上，日本先后衍生出刚性理论、柔性理论两种抗震理论，在这两种理论基础之上，日

本陆续发展出消震隔震减震理论、能量耗散理论和抗震设计的能量理论等雏形。

(2) 抗震设计反应谱理论阶段。这种理论在静力理论的基础上加以改进，伴随着地震观测和记录数据越来越多，研究的科学性也在逐渐增强，1933年，美国的第一台强震记录仪成功记录到了长滩地震的数据，并在后续数十年的地震观测提供了较多的理论数据支持。

该理论自上世纪五十年代提出，结合了当时建筑力学的最新研究成果，考虑了结构动力特性与地震动特性之间的动力关系，考虑了结构自身特性所引起的共振效应，该方法为现代地震设计理论的基本雏形，并一直沿用至今。

(3) 动力理论阶段。这种方法进一步考虑了动力分析的方法，并把动态应用和动态设计应用到抗震计算中。这种方法的出现主要得益于计算机技术的和试验技术的发展，人类对各类结构在线性和非线性反应过程有了较多的了解，且随着地震记录仪在全球范围内的普及，各种受损结构的地震反应记录大幅度增加。这种理论改变了静力理论、动力理论把地震考虑成一个作用力的计算思路，把地震作用用时间维度来考虑，计算每一个时刻建筑物的反映。比传统的反应谱理论更加贴合实际，对抗震的反映更加有效。目前世界上主要国家都在抗震规范中加以应用。

(4) 结构性态理论。这种理论于上世纪末由美国和日本提出，主要考虑到了不同结构体系面对地震时的响应存在显著区别，不适合一概而论，且这种理论将以往理论中的“抗震”优化为“减灾”，强调对建筑物进行适度吸收地震能量，将人类的生命安全放于首要位置。提出了针对于不同级别地震，建筑物应该具有不同的抗震表现，并始终应当保证人类的生

命安全。世界主要国家的现行抗震理论均吸收了其抗震思想，包括我国的抗震三原则。

### 1.2 中国抗震理论发展情况

我国从上世纪八九十开始进行抗震规范设计，其抗震理念的发展可以划分为两个基本阶段，与全球的抗震理论发展基本保持一致。第一阶段也是基本参照反应谱理论和反应谱方法作为抗震设计的计算方法。第二个阶段是结合动力理论阶段，同时吸收了部分弹塑性时程分析方法进行计算，与国际主流理念和方法基本上保持一致。

2010年开始，我国在结合国内外有益经验的基础之上，正式出台了我国的抗震设计规范，主要有《建筑抗震设计规范》以及《高层建筑混凝土结构技术规程》，实现了抗震规范的明确化和具体化，并沿用至今。

根据我国抗震规范的要求，我国抗震设计规范将抗震目标分为基本目标和性能化目标。基本目标也就是耳熟能详的大震不倒、中震可修、小震不坏。性能化目标是在满足基本目标的基础之上，根据场地、结构、高度等具体工程、经济情况，提出的更为具体、灵活、可实现的目标，适用于有专门规定或者重大复杂的项目。

## 2、我国土木工程结构抗震设计存在的问题

### 2.1 抗震规范体系不完善

一方面，我国虽然已经规定了较为完整的抗震规范体系，但在具体的实施过程中，和各地实际存在一定的脱节情况。特别是我国的抗震体系整体上是对外先进经验的学习，在本土化方面出现了一系列不足。由于地震不像天气预报可以进行精确预测，因此在规范制定方面，缺乏科学的规范指引，导致建筑抗震设计中经常出现一些脱离实际的现象。整体上，我国抗震安全系数还不高，抗震设计的抗震能力较差，抗震级别较低，还比不上发达国家的标准。许多高层、重要建筑普遍请国外的建筑和结构团队进行抗震设计。

另一方面，我国针对不同级别的高层建筑做出了专门的抗震规定。但目前，各开发商在城市土地开发中，过于追求单位面积的土地产出，想尽办法提高建筑高度，以提高经济效益。城市规划部门也在规划城市地块控高时，很少考虑抗震因素，往往以城市景观和经济效益为主，很少将重大突发应急事故纳入考虑因素，导致一些高层建筑在地震时成为重灾区，极大的加重了生命财产损失。

同时，在建筑设计中，我国的建筑规范只对荷载等进行了规定，对于建筑材料耐久性缺乏相关规定，导致时间因素、环境因素等未能纳入抗震规范，为抗震设计的耐久性留下了较大的安全隐患。抗震设计远非一劳永逸，需要不断根据时间因素考虑建筑形变进行适时调整，但目前国内规范尚缺乏相关规定。

### 2.2 设计水平不足

随着当今建筑技术的发展，也随着大城市土地资源的日益紧张，当今的建筑技术标新立异，越建越高，建筑形状也越来越个性化，非几何化，给抗震设计带来了较大困难。过于个性化的建筑给抗震设计带来了巨大的困难。而当今我国

设计院的抗震安全设计水平难以跟上越来越复杂的建筑造型，带来巨大的安全隐患。

一方面我国抗震安全规范标准缺乏弹性。我国是一个幅员辽阔、建筑丰富度十分巨大的国家，但我国全国范围内参照同样的抗震规范，按照“小震不坏，中震可修，大震不倒”的原则进行建筑抗震设计，在具体的建筑设计过程中，设计师普遍会把抗震设计参数化，通过固定的参数对建筑结构进行，每一种类型的地震会量化为规范中统一的统计学参数，导致设计中无法很好的反映抗震的需求。

另一方面是整体的设计水平不高，过于保守的套标准和规范，造成了大量的结构冗余和浪费。如，例如，在我国现阶段的地震研究中，会对地震的降级系数进行统一规定，这样就会给很小的地震赋予固定的统计意义。然而在实际的情况下，建筑结构中变形的检验以及横截面的具体承载能力是要根据实际的情况来进行设计的。在建筑设计中如果只是依靠统一的计算设计，没有深入的考虑到建筑结构的层次以及顺序，很难使建筑抗震结构发挥出重要的意义。<sup>[1]</sup>同时对于不规则建筑、几何造型复杂的建筑，设计院普遍缺乏抗震设计能力，要么带来过多的结构冗余，要么影响结构安全，设计水平和思路均需要提升。

### 2.3 建筑场地与材料选择不合理

一方面，对建筑安全来说，施工场地的选择是影响建筑在地震时安全的重要因素，以下几种土质会对建筑安全产生严重影响：软土、液化土、河流沿岸、回填土等。这些土质由于存在软弱粘性土壤，软硬土层分布不均，往往会使建筑产生崩塌或下陷，发生地震时建筑物结构会瞬间被破坏。特别是现在城市用地条件苛刻，难以对高层、超高层建筑的土层进行选择，在抗震条件较差的土层上建造高层甚至超高层建筑，带来较大的安全风险。

另一方面，我国是地震多发国家，但是在建筑材料的选择和发达国家相比，在理念上依然存在较大差距。钢结构有较高的延展性，能通过形变有效吸收地震的能量，因此在地震多发地区的建筑应当优先采用钢结构，但受限于传统建筑历年和建造成本，是我国很多地震区域的高层建筑仍然以混凝土结构为主。另外，对于建筑高度高于150m的高层，应当有三层支撑框架做支撑。<sup>[2]</sup>而且随着科技的进步及钢铁产能的提高，新型钢质混凝土结构一般质量较轻，且能够在减少钢架结构尺寸的基础上，提高高层建筑的防震能力。

## 3、提高土木工程结构抗震设计的对策

### 3.1 选择合理的建筑结构体系

建筑结构体系对于整个建筑结构至关重要，结构体系选择的科学性和合理性是抗震设计的先决因素，应当严格进行平面、纵向和整体设计。

一是做好抗震平面结构设计。建筑的平面结构设计是建筑设计中一个很重点的设计部分，在设计中具有很高的优先级。一方面要尽量保证建筑结构的对称性，使得建筑的结构质量在整体建筑中均匀布置。另一方面要注重保证建筑结构的均匀性，对于刚度较大的剪力墙和电梯井等结构应当尽量

布置在建筑的中心位置,将抗震墙与抗震结构进行相互结合,减小扭矩对建筑的影响。

二是做好抗震纵向结构设计。纵向结构设计主要关注高度、刚度和结构质量分布。一方面,建筑应当确保刚度与建筑物沿设计的系数接近,避免刚度中断或突变,使各个楼层出现刚度不均,避免建筑发生扭转。另一方面,确保剪力墙布局均匀,确保剪力墙垂直方向的贯通性,中间不可以中断,确保贯通到建筑底部。

三是做好建筑整体设计。一方面,要建筑的平面构型中尽可能选择简洁和规则的形状,如矩形或圆形,此类形状可以极大的提高结构的整体抗震性,在整体设计师,还要尽量避免出现凹凸的构型。另一方面,要尽量让建筑的刚心和质心保持同一位置,合理布置结构构件和非结构构件,使建筑质量尽可能按照合理规则布置。

例如,南昌的绿地紫峰大厦高为268米,该大厦是核心筒结构框架,对该大厦进行抗震设计时,建筑东西里面有内凹设计,它的内凹部分的荷载是由结构柱支撑在跨悬臂转换墙上。该建筑进行抗震设计时就充分的考虑到建筑的功能需求,同时进行该建筑的设计时还进行了反谱计算。<sup>[3]</sup>

### 3.2 重视建筑场地的选择

建筑物所处位置与地质条件是影响建筑抗震安全性能的重要因素,特别是在地震多发地带,要格外注重合理选择建筑场地的选择。

一是要尽量避免对抗震设计造成不良影响的区域,如存在地震带、地壳运动对地面造成过破坏的地段和存在滑坡隐患、地裂隐患的地段。二是要避免选择土质软弱、土地液化和地质元素分布较不均匀的地段,在粘性土质区域和土层分布很不均匀的区域也要尽量避免。三是采取专门措施,增强不良场地上建筑的抗震安全性。如果较差的地质条件不可避免,一定要对建筑进行专门的抗震安全设计,并针对土层特点进行针对性设计。如地段存在滑坡隐患,那么应当进行专门设计保持地基稳定;如土层分布不均匀,应当对地基进行专门的桩基施工手段,增强建筑物上部结构的安全性和抗震性。

### 3.3 设置多道抗震防线

抗震防线能够有效提升建筑的抗震性能,减轻地震对建筑的破坏,一般来说,建筑物应当配备不止一条的抗震防线,特别是应当设置备用防线,确保在建筑在遭受地震影响时不至于倒塌,减少人民的生命损失。在一个良好、科学的抗震结构体系中,应当确保其有不同硬度的结构抗震破坏延展体系,并由结构延展性较好的构建进行连接,如框架-抗震墙体系是由延性框架和抗震墙两个系统组成,双肢或多肢抗震墙体系由若干个单肢墙分系统组成。第一道防线一般应优先选择不负担或少负担重力荷载的竖向支撑或填充墙,或选择的抗震墙、实墙筒体之类的构件作为第一道防线的抗侧力构件。要正确处理结构构件的强弱关系,不可以一味的以高强度构建硬性对抗地震影响,合理配置主要耗能构件(比如连梁、斜撑等),在其屈服后,其它主要刚度构件仍处于弹性变形阶段,有充分的变形吸收地震能量,保证主要构建不发生塑性形变。

对于高层、重要建筑中,第一道防线一般应优先选择不负担或少负担重力荷载的竖向支撑或填充墙,或选择轴压比值较小的抗震墙、实墙筒体之类的构件作为第一道防线的抗侧力构件。同时对于高层、重要建筑而言,结构体系的冗余度设置尤其重要,要确保大量的地震能量能够在冗余度的结构构件上消耗掉,保证主体结构的安全性,且在结构收到损坏后仍易于修复。同时应当设置第二道、第三道抗震防线,在第一道抗震防线被破坏时仍然有多余的冗余度保证建筑不至于彻底损坏。抗震结构体系内应当根据构建的刚度分布,进行科学的冗余度设计,根据结构构建的刚度分布规则设置屈服区,较好的吸收地震能量,满足抗震的“三不”要求。对于建筑高度较高,或在地震多发地域建造时,可以采用剪力墙等多段强框架结构,作为抗震的第一条防线。所以,为了保证墙体的抗震能力足以防止地震的损害,有效减少地震造成的墙体裂痕或者倒塌,就应当科学建立防震结构,多层防线形成合力。而且在地震以后,每一层的剪力墙所承受的承载力应当是设计预期最大剪力墙的两倍,或者要超过地震总剪力值的1/5。<sup>[4]</sup>

### 3.4 优化抗震规范体系

我国的抗震设计规范依然有较大的提升改进空间,在科学性、灵活性方面应当充分吸纳近些年的抗震经验,在全国范围内做到更有效的指导。一是应当加强灵活性,指导地方出台符合各自实际的抗震规范,在满足地震设防烈度的同时,鼓励各地因地制宜,出台更有灵活性更符合地方特色的抗震规范,在抗震规范中充分吸纳近些年各地的抗震经验和全世界范围内的优秀理论研究成果,避免仅以固定的系数进行抗震设计。二是加强对超高层建筑、不规则建筑等新类型建筑的抗震规范研究,目前各类新型建筑层出不穷,其抗震规范缺乏理论研究与支持,国内建筑设计院难以胜任,应当将复杂、不规则建筑的建筑抗震规范尽快纳入研究范围,并在国内推广。

### 结语:

我国作为环太平洋地震带上的国家,历史上发生过多次重大地震灾害,给我国人民带来了深重损失,抗震设计对于建筑来说至关重要。本文对国内抗震情况的理论发展情况进行介绍,并整理了国内抗震设计方面存在的一系列问题,针对这些问题,应当从结构设计、场地选择、设置抗震防线,优化规范体系等方面进行优化,以提升国内的抗震设计水平,减轻地震造成的损失。

### 参考文献:

- [1] 徐云. 建筑结构设计抗震设计探讨[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2017(1):00329-00329.
- [2] 刘振涛. 关于高层建筑抗震设计问题的探讨[J]. 建筑工程技术与设计,2017.
- [3] 包人逸,张晓莹. 建筑设计在建筑抗震设计中的作用探析[J]. 魅力中国,2017,000(051):236.
- [4] 刘振涛. 关于高层建筑抗震设计问题的探讨[J]. 建筑工程技术与设计,2017.