

# 超高层建筑结构设计要点分析及优化实践

程万腾

中冶京诚工程技术有限公司, 中国·北京 100176

**摘要:** 随着全球对可持续发展和环保意识的增强, 超高层建筑的结构设计越来越重视节能减排和环保材料的应用。本研究深入探讨了在超高层建筑设计中实施可持续性设计与环保设计的方法和效果, 特别是如何通过选用高效的结构系统和环保材料来降低建筑的能耗和碳排放。结构设计不仅涉及使用高强度钢材和高性能混凝土来减少材料用量, 还包括利用现代技术如光伏集成系统和绿色屋顶来提高建筑的能源自给能力。研究表明, 这些策略不仅能显著提升建筑的环境绩效, 还能在经济上为建筑业带来可观的长期节约。

**关键词:** 超高层建筑; 结构设计; 可持续性; 环保设计

## Analysis and Optimization Practice of Key Points in Structural Design of Super Tall Buildings

Wanteng Cheng

MCC Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd., Beijing, 100176, China

**Abstract:** With the increasing global awareness of sustainable development and environmental protection, the structural design of super high-rise buildings is increasingly emphasizing energy conservation, emission reduction, and the application of environmentally friendly materials. This study delves into the methods and effects of implementing sustainable and environmentally friendly design in the design of super high-rise buildings, particularly how to reduce building energy consumption and carbon emissions by selecting efficient structural systems and environmentally friendly materials. Structural design not only involves the use of high-strength steel and high-performance concrete to reduce material usage, but also includes the use of modern technologies such as photovoltaic integrated systems and green roofs to enhance the building's energy self-sufficiency. The research results indicate that these strategies can not only significantly improve the environmental performance of buildings, but also bring considerable long-term economic savings to the construction industry.

**Keywords:** super high-rise buildings; structural design; sustainability; environmental design

## 1 引言

技术优化超高层建筑作为现代城市化进程中的显著标志, 不仅塑造了城市的天际线, 而且在经济、社会、环境和技术等多个维度上具有深远的影响。随着全球人口持续向城市集中, 土地资源日益紧张, 超高层建筑以其节省空间的优势, 成为解决城市密度和扩展需求的有效策略。这些摩天大楼不仅提供了大量的居住和商业空间, 而且因其集中性, 有效地减少了城市扩散的压力, 从而有助于控制城市建设对环境的影响。超高层建筑的发展也带来了对其结构设计的高度关注, 这是因为结构安全直接关系到建筑的使用功能和居住者的安全。结构设计不仅需要考虑到建筑物自身的重量和高度, 还必须应对风力、地震等自然因素的挑战。在这种背景下, 结构设计的优化显得尤为重要, 它需要运用先进的技术和材料来确保建筑的稳固与耐用性, 同时也要满足节能、环保等现代建筑的要求。

## 2 全球超高层建筑发展趋势

全球超高层建筑的发展趋势反映了城市化、技术进步和经济动力的综合作用。随着全球人口的增加以及城市人口

的持续集中, 超高层建筑已成为许多城市解决空间限制的有效方式。这类建筑不仅标志着现代工程技术的高峰, 也成为城市天际线的象征, 它们的高度和设计反映了城市的经济实力与文化追求。

从 20 世纪中叶的美国芝加哥和纽约开始, 超高层建筑的概念及实践已向全球扩展。特别是进入 21 世纪, 亚洲国家如中国、阿联酋和马来西亚等国家在超高层建筑的设计与建造方面表现出了显著的活力。例如, 迪拜的哈利法塔和上海的上海中心大厦, 这些都是技术和设计创新的代表, 它们的建设技术包括使用高性能混凝土和高效能玻璃以及先进的风力和地震影响缓解技术。

技术的进步使得建造更高、更复杂的超高层建筑成为可能。现代建筑技术如计算流体力学 (CFD) 模拟、高强度材料和智能建筑系统的应用, 不仅提高了建筑的安全性, 还优化了能效和居住舒适度。此外, 超高层建筑的设计逐渐重视可持续发展, 包括能源效率的优化、绿色建材的使用和整合垂直绿化空间等。然而, 超高层建筑的发展也面临挑战。其中包括经济的可行性、建筑的环境影响以及对城市基础设施的压力。高楼的集中可能加剧城市中心的交通拥堵和社会

服务设施的压力，同时对城市的能源和水资源提出更高的要求。因此，未来超高层建筑的发展趋势将更加强调智能化、绿色化和人本化的设计理念。超限高层建筑工程主要范围参照见表 1。

同时具有下列三项及三项以上不规则的高层建筑工程，

见表 2。

具有下列 2 项或同时具有下表和表 2 中某项不规则的高层建筑工程，见表 3。

具有下列某一项不规则的高层建筑工程，见表 4。

其他高层建筑工程，见表 5。

表 1 房屋高度 ( m ) 超过下列规定的高层建筑工程

结构类型		6 度	7 度 ( 0.1g )	7 度 ( 0.15g )	8 度 ( 0.20g )	8 度 ( 0.30g )	9 度
混凝土结构	框架	60	50	50	40	35	24
	框架—抗震墙	130	120	120	100	80	50
	抗震墙	140	120	120	100	80	60
	部分框支抗震墙	120	100	100	80	50	不应采用
	框架—核心筒	150	130	130	100	90	70
	筒中筒	180	150	150	120	100	80
	板柱—抗震墙	80	70	70	55	40	不应采用
	较多短肢墙	140	100	100	80	60	不应采用
	错层的抗震墙	140	80	80	60	60	不应采用
错层的框架—抗震墙	130	80	80	60	60	不应采用	
混合结构	钢框架 - 钢筋混凝土筒	200	160	160	120	100	70
	型钢 ( 钢管 ) 混凝土框架—钢筋混凝土筒	220	190	190	150	130	70
	钢外筒—钢筋混凝土内筒	260	210	210	160	140	80
	型钢 ( 钢管 ) 混凝土外筒—钢筋混凝土内筒	280	230	230	170	150	90
钢结构	框架	110	110	110	90	70	50
	框架—中心支撑	220	220	200	180	150	120
	框架—偏心支撑 ( 延性墙板 )	240	240	220	200	180	160
	各类筒体和巨型结构	300	300	280	260	240	180

注：平面和竖向均不规则（部分框支结构指框支层以上的楼层不规则），其高度应比表内数值降低至少 10%。

表 2 同时具有下列三项及三项以上不规则的高层建筑工程 ( 不论高度是否大于表 1 )

序	不规则类型	简要涵义	备注
1a	扭转不规则	考虑偶然偏心的扭转位移比大于 1.2	参见 GB 50011—3.4.3
1b	偏心布置	偏心率大于 0.15 或相邻层质心相差大于相应边长 15%	参见 JGJ 99—3.2.2
2a	凹凸不规则	平面凹凸尺寸大于相应边长 30% 等	参见 GB 50011—3.4.3
2b	组合平面	细腰形或角部重叠形	参见 JGJ 3—3.4.3
3	楼板不连续	有效宽度小于 50%，开洞面积大于 30%，错层大于梁高	参见 GB 50011—3.4.3
4a	刚度突变	相邻层刚度变化大于 70% (按高规考虑层高修正时，数值相应调整) 或连续三层变化大于 80%	参见 GB 50011—3.4.3、JGJ 3—3.5.2
4b	尺寸突变	竖向构件收进位置高于结构高度 20% 且收进大于 25%，或外挑大于 10% 和 4，多塔	参见 JGJ 3—3.5.5
5	构件间断	上下墙、柱、支撑不连续，含加强层、连体类	参见 GB 50011—3.4.3
6	承载力突变	相邻层受剪承载力变化大于 80%	参见 GB 50011—3.4.3
7	局部不规则	如局部的穿层柱、斜柱、夹层、个别构件错层或转换，或个别楼层扭转位移比略大于 1.2 等	已计入 1~6 项者除外

注：深凹进平面在凹口设置连梁，当连梁刚度较小不足以协调两侧的变形时，仍视为凹凸不规则，不按楼板不连续的开洞对待；序号 a、b 不重复计算不规则项；局部的不规则，视其位置、数量等对整个结构影响的大小判断是否计入不规则的一项。

表 3 具有下列 2 项或同时具有下表和表 2 中某项不规则的高层建筑工程 ( 不论高度是否大于表 1 )

序	不规则类型	简要涵义	备注
1	扭转偏大	裙房以上的较多楼层考虑偶然偏心的扭转位移比大于 1.4	表二之 1 项不重复计算
2	抗扭刚度弱	扭转周期比大于 0.9，超过 A 级高度的结构扭转周期比大于 0.85	
3	层刚度偏小	本层侧向刚度小于相邻上层的 50%	表二之 4a 项不重复计算
4	塔楼偏置	单塔或多塔与大底盘的质心偏心距大于底盘相应边长 20%	表二之 4b 项不重复计算

表 4 具有下列某一项不规则的高层建筑工程（不论高度是否大于表 1）

不规则类型	简要涵义
高位转换	框支墙体的转换构件位置：7 度超过 5 层，8 度超过 3 层
厚板转换	7~9 度设防的厚板转换结构
复杂连接	各部分层数、刚度、布置不同的错层，连体两端塔楼高度、体型或沿大底盘某个主轴方向的振动周期显著不同的结构
多重复杂	结构同时具有转换层、加强层、错层、连体和多塔等复杂类型的 3 种

注：仅前后错层或左右错层属于表 2 中的一项不规则，多数楼层同时前后、左右错层属于本表的复杂连接。

表 5 其他高层建筑工程

简称	简要涵义
特殊类型高层建筑	抗震规范、高层混凝土结构规程和高层钢结构规程暂未列入的其他高层建筑结构，特殊形式的大型公共建筑及超长悬挑结构，特大跨度的连体结构等
大跨屋盖建筑	空间网格结构或索结构的跨度大于 120m 或悬挑长度大于 40m，钢筋混凝土薄壳跨度大于 60m，整体张拉式膜结构跨度大于 60m，屋盖结构单元的长度大于 300m，屋盖结构形式为常用空间结构形式的多重组合、杂交组合以及屋盖形体特别复杂的大型公共建筑

注：表中大型公共建筑的范围，可参见 GB 50223《建筑工程抗震设防分类标准》。

### 3 超高层建筑设计要点

#### 3.1 结构系统选择

在超高层建筑设计中，结构系统的选择是确保建筑安全、功能和经济性的关键因素之一。框架结构、筒中筒结构以及核心筒结构是常用的三种主要结构系统，各自具有独特的特点和适用性，适应不同的设计需求和环境条件。

框架结构是一种广泛应用于高层建筑的结构形式，特别是在地震活跃区域。它主要由梁、柱、楼板组成，形成一个稳定的承重骨架，能有效承担并分配垂直和水平荷载。框架结构的一个显著优点是具有良好的灵活性和空间适应性，便于布局和内部空间规划。此外，框架结构的施工相对简单，易于采用预制构件，从而缩短施工周期。然而，框架结构的缺点在于随着建筑高度的增加，其对侧向荷载（如风压和地震力）的抵抗能力会降低，因此，超高层建筑常常需要额外的侧向支撑系统。

筒中筒结构是另一种适合超高层建筑设计结构系统，由一个或多个内部核心筒和外围框架组成。内部核心筒通常采用剪力墙系统，提供主要的垂直支撑和梯井、电梯井等服务设施的空间，而外围框架则承担额外的垂直荷载和提供建筑的外围形态。筒中筒结构的主要优点是能有效抵抗侧向荷载，特别是在风荷载和地震荷载较大的区域，能够提供更高的结构稳定性。此外，核心筒的集中布置有利于优化建筑内部的使用空间和功能布局。然而，筒中筒结构的缺点在于其建造成本较高，且核心筒的设计和施工需要更精细的技术支持。

核心筒结构是超高层建筑设计中常用的一种形式，主要由一个中央核心筒和围绕核心筒布置的柱网框架构成。核心筒通常采用剪力墙或筒体结构，能够有效地承担建筑的垂直荷载和大部分水平荷载。这种结构类型特别适用于需要极高建筑稳定性和刚性的场合，如高度超过 300 米的超高层建筑。

核心筒结构的优势在于可以极大地提高建筑的抗扭性能，特别是在面对极端气象条件（如台风或地震）时，能够保证建筑的安全。此外，核心筒中通常集成了垂直交通和各种管线，有助于提高建筑的整体功能性和效率。然而，这种结构的设计和施工复杂度较高，对设计和施工团队提出了更高的技术要求。

#### 3.2 荷载考虑

在超高层建筑设计中，荷载考虑是一个至关重要的环节，因为这些建筑由于其显著的高度和复杂的建筑环境，面临着多种多样的力学作用。主要的荷载类型包括重力荷载、风荷载和地震荷载，这些荷载的合理估计和组合是确保建筑安全的基石。

重力荷载是超高层建筑设计中最基本的考虑因素之一，它包括建筑本身的自重以及建筑中的不动荷载和活荷载。自重主要由建筑材料的质量决定，如钢筋、混凝土、玻璃等，而不动荷载包括墙体、固定设备和其他永久性结构的重量。活荷载则涉及人员、家具、设备等临时性质的重量。这些荷载共同作用于结构的承载系统上，对建筑的稳定性和安全性具有直接影响。设计师必须准确计算并设计足够的承载能力来应对最大预计荷载，确保结构在正常使用和紧急情况下的稳定性。

风荷载在超高层建筑设计中尤为重要，因为这类建筑的高度使其更容易受到风力的影响。风荷载的大小和作用效果取决于建筑的形状、大小、高度以及周围环境的状况。风力可以在建筑表面产生巨大的压力，导致建筑物摇摆或产生振动，严重时甚至可能危及结构安全。因此，现代超高层建筑设计通常需要通过风洞试验和高级计算模型来评估风荷载效应，并据此设计适当的结构加固措施，如使用大质量阻尼器和调整建筑外形以减少风力影响。

地震荷载的考虑则是基于建筑所处地理位置的地震风险。虽然超高层建筑因为其较高的刚度通常不像低矮建筑那

样容易受到地震的破坏,一旦发生大规模地震,后果仍可能非常严重。设计时需评估潜在的地震力,并确保结构能够在地震作用下保持整体的稳定性和安全性。这通常涉及使用特殊的结构系统如隔震层,或是在设计中加入足够的延性,使建筑在地震中能够适当地变形而不至于断裂。对这些荷载的组合分析则是建筑结构设计中的高级阶段,涉及将各种荷载的影响叠加和互相作用的情况进行综合考量。例如,设计师需要考虑在强风和地震同时发生的极端情况下建筑的表现,或是活荷载和风荷载共同作用时的情况。这要求使用复杂的计算模型来模拟不同荷载组合下的建筑反应,确保在任何情况下建筑都不会因超出设计极限而导致结构失败。

### 3.3 材料选择与技术

在超高层建筑的结构设计中,材料的选择和技术的应用起着至关重要的作用,它们不仅影响建筑的安全性和耐用性,还对成本和施工效率有着显著的影响。超高层建筑通常采用的结构材料包括钢材和混凝土,这两种材料因其独特的性能特点而被广泛使用。此外,随着科技的进步,一些新型材料和技术也被逐渐引入到超高层建筑的结构设计中,如高性能混凝土、阻尼器等,这些创新对提升建筑性能和实现可持续建筑目标具有重要作用。

钢材因其高强度和良好的韧性,成为超高层建筑中不可或缺的结构材料。钢结构的高强度使得建筑能够承受更大的载荷和更高的风压,这在超高层建筑中尤为重要。同时,钢材的韧性良好,能有效地吸收和分散在地震等外力作用下产生的能量,提高建筑的抗震性能。此外,钢结构的施工速度快,可以大幅缩短建筑的施工周期,对于急需完成的项目来说,这是一个不容忽视的优势。

混凝土作为另一种主要的结构材料,以其良好的耐火性、成本效益以及在抗压性能上的优势被广泛应用于超高层建筑中。特别是钢筋混凝土,通过在混凝土中加入钢筋来提高其整体的拉伸强度,使得混凝土结构不仅在抗压上表现优异,也能在一定程度上抗拉和抗弯。混凝土的这些性能使其在超高层建筑的核心筒和框架结构中扮演了重要的角色。

随着材料科学的发展,高性能混凝土(High Performance Concrete, HPC)逐渐成为超高层建筑设计的新宠。这种混凝土通过优化配方和制造工艺,不仅具有更高的强度,还拥有更好的耐久性和更低的渗透性,可以有效抵抗腐蚀和冻融循环的影响。高性能混凝土能够支撑更高的结构,同时减轻建筑总体重量,这在超高层建筑设计中是极为重要的,因为它直接关系到建筑的稳定性和安全性。

在超高层建筑中,阻尼器的应用也日益增多,这是一种用来增加建筑结构阻尼的设备,能有效减少由风或地震引起的建筑摆动。阻尼器能够吸收结构振动的能量,减少振幅,从而保护建筑免受破坏性力量的影响。在设计时,通过合理配置阻尼器,可以显著提高超高层建筑的抗风和抗震性能。

## 4 结构设计的关键技术

### 4.1 抗风设计

在超高层建筑设计中,抗风设计是一个至关重要的环节,因为风力可以对建筑的稳定性、安全性以及使用寿命产生显著影响。为了确保设计的科学性和合理性,风洞实验成为评估和优化建筑结构抗风性能的关键技术之一。通过模拟建筑物在实际风环境中的表现,工程师可以准确地分析风力对建筑物的影响,并据此优化建筑设计,确保其在强风条件下的稳定和安全。

风洞实验是通过在缩小比例的模型上模拟风的效果来进行的。在实验中,模型建筑被置于风洞中,通过调节风洞的风速,可以模拟不同风速和风向的环境。这些实验不仅可以测试建筑物外表面的风压分布,还可以评估建筑内部的风环境,以及可能对行人舒适性和安全产生的影响。通过详细的数据收集和分析,工程师能够获得关于建筑物受风影响的详尽信息,这些信息对于指导实际的结构设计具有不可估量的价值。

风洞实验的结果直接影响到建筑的设计决策,如建筑的形状、结构材料的选择以及必要的支撑结构设计等。例如,实验可能显示某种建筑形状在高风压下表现不佳,这会促使设计师修改设计以减少风的影响。此外,风洞测试还可以帮助工程师设计出更为有效的风振控制系统,如调谐质量阻尼器(TMD)或调谐液体阻尼器(TLD),这些系统能够在建筑顶部安装,以减少风引起的振动。图1为安邦财险深圳总部大厦风洞模型照片。

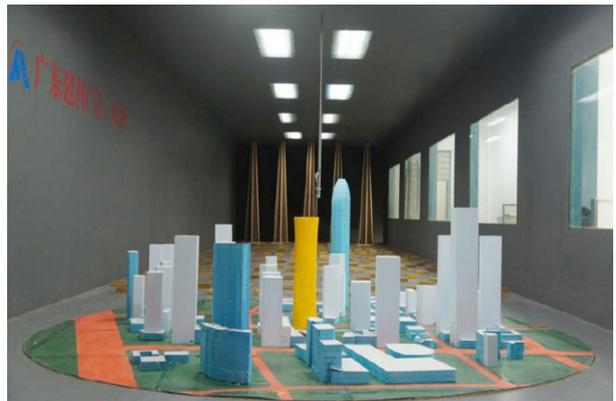


图1 安邦财险深圳总部大厦风洞模型

除了风洞实验之外,抗风优化策略和技术也是确保超高层建筑安全的关键。这些策略包括选择适合的结构系统以提高整体刚性和稳定性,使用高强度的材料以减少材料的变形和疲劳,以及在设计中采用流线型的外观以降低风阻。例如,圆角和倾斜的外观设计可以有效地减少风压,同时改善建筑物的空气动力学性能。此外,智能技术的应用也是现代抗风设计中的一个重要方面。通过集成先进的传感器和实时数据处理系统,建筑可以实时监测到风速和风向的变化,并相应地调整其结构响应。

### 4.2 抗震设计

抗震设计对于超高层建筑来说至关重要，因为这类建筑面临的地震带来的风险较大，且因其高度和结构复杂性增加了设计的挑战。在超高层建筑的抗震设计中，采用的基本原则是确保建筑在地震发生时能保持结构完整性，防止倒

塌，同时尽量减少震动对建筑结构及其使用功能的影响。这需要通过一系列详细的设计方法和技术实现，包括但不限于选用适合的结构系统、合理配置结构材料、应用高效的能量耗散技术和执行精确的动力分析。图 2 为安邦财险深圳总部大厦频谱分析结果。

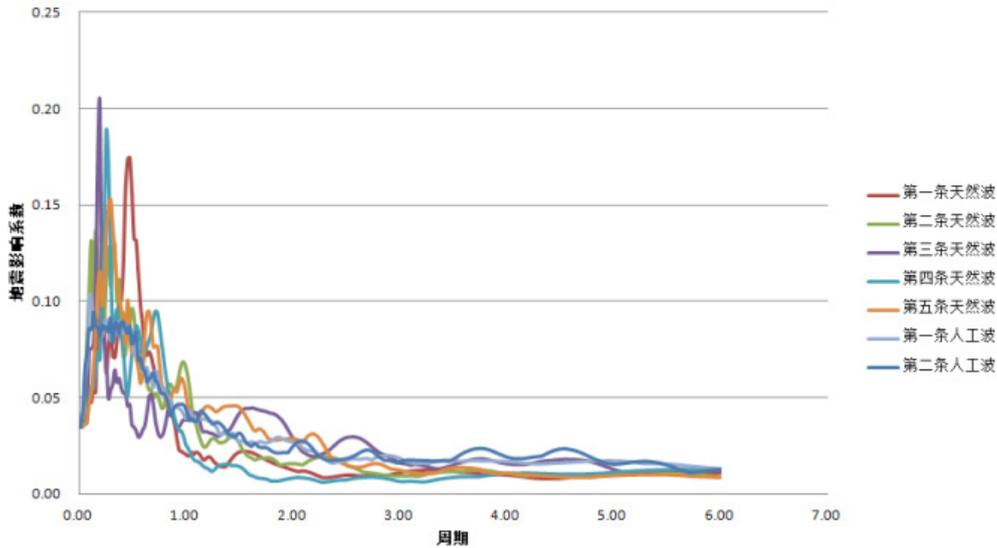


图 2 安邦财险深圳总部大厦频谱分析结果

在超高层建筑中，抗震设计通常涉及多种结构系统的选择，如核心筒结构、框架—核心筒结构或者其他类型的结构体系。这些结构系统各有其独特的抗震特性，设计师需要根据建筑的具体情况和地区的地震活动特征来选择最合适的系统。例如，核心筒结构因其刚度大和扭转半径小，常被用于高层建筑中以抵抗侧向力。此外，地震影响下的结构动力分析是抗震设计的核心部分，这一分析帮助工程师评估建筑结构在地震作用下的响应。动力分析通常采用计算模拟，通过建立建筑的数学模型来预测地震力如何通过建筑结构传播，以及建筑的各个组成部分如何响应这些力。这种分析能够识别结构的潜在薄弱环节，从而使设计师能够采取措施

增强这些区域的抗震能力。

#### 参考文献：

- [1] 田影. 优化技术在房屋建筑设计中的应用实践[J]. 建材与装饰: 上旬, 2016(14): 2.
- [2] 刘海毅. 复杂高层与超高层建筑结构设计要点分析[J]. 建筑工程技术与设计, 2017.
- [3] 王森, 刘冠伟, 许璇, 等. 某复杂体型超高层建筑结构设计要点与分析[J]. 建筑结构, 2023(22): 26-31+46.
- [4] 杨军. 复杂高层与超高层建筑结构设计要点分析[J]. 住宅与房地产, 2017(29): 87.
- [5] 熊星一. 超高层建筑结构设计要点分析[J]. 建设科技, 2017(16): 1.