

地震区建筑抗震设计方法研究

刘 琨

陕西省西咸新区秦汉新城开发建设集团有限责任公司 陕西 西安 712000

摘要：地震区建筑抗震设计是一项系统性工程，需遵循科学合理的基本原则。地基与基础设计方面，要高度重视地质勘察工作，准确掌握地质条件，以此为基础合理选择基础形式，确保基础与地基协同工作。上部结构设计应强调规则性与延性，避免结构出现薄弱部位。地震作用计算必须精准，为后续设计提供可靠依据。抗震结构体系的选择要结合建筑特点与场地条件，确保结构整体稳定性。

关键词：地震区；建筑；抗震设计方法

引言：在地震灾害不断加剧的当下，如日本九州熊本地震、土耳其东部双主震事件、印度-缅甸边境地震等地震活动均给当地造成重大财产伤亡，如何降低地震灾害给人们带来的各种损失，是当下各国应对的重要战略问题，其中建筑物抗震设计是重中之重。首先地震动参数的不确定性、结构响应的复杂性、震后功能恢复的迫切性，导致抗震设计范式面临严峻挑战。近年来，性能化设计对结构损伤的可控性预设、减震隔震装置的能量耗散机制设计研究、以及全生命周期成本分析设计层出不穷，对安全性与经济性的动态平衡，抗震设计理念正经历范式革新。

1 建筑抗震基本概念

地震作为地球内部能量释放的突发现象，其产生的地震波以弹性波形式传播，对建筑物施加动态作用力，导致结构产生加速度、速度及位移响应。建筑抗震是土木工程领域针对地震灾害提出的一套系统性防护技术，通过科学设计与施工，核心目标使建筑物在地震作用下保持结构安全与功能完整，最大限度减少人员伤亡与财产损失。地震波的传播特性与场地条件密切相关，场地特征周期、建筑物的自振周期与地震波卓越周期的匹配程度，直接影响结构响应的剧烈程度。如下图所示：

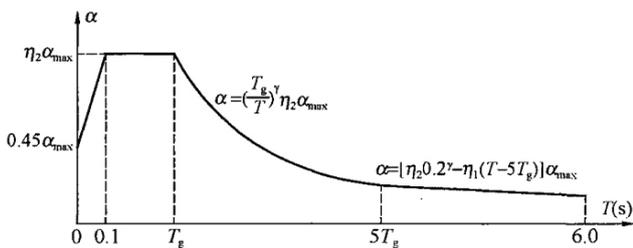


图 5.1.5 地震影响系数曲线

α —地震影响系数； α_{\max} —地震影响系数最大值；

η_1 —直线下降段的下降斜率调整系数； γ —衰减指数；

T_g —特征周期； η_2 —阻尼调整系数； T —结构自振周期

传统抗震设计依赖静力法或反应谱法，（1）规则结

构建筑可将地震作用简化为等效静力荷载，分析结构设计。（2）高层化、大跨化、复杂化建筑，传统方法难以准确模拟结构在地震中的非线性行为，性能化抗震设计理念应运而生，通过设定不同性能目标，采用非线性分析工具（如Pushover分析、增量动力分析）验证结构性能，实现抗震设计的精细化与目标导向性。（3）而如今依靠计算机电算专业分析，新型减震隔震技术成为建筑抗震的新型重要补充，隔震技术通过在基础与上部结构间设置柔性隔震层（如橡胶隔震支座），延长结构自振周期，避开地震波卓越周期，从而降低地震作用；减震技术则利用阻尼器（如黏滞阻尼器、金属屈服阻尼器）增加建筑结构阻尼耗散地震能量，将地震能量转化为热能或其他形式能量耗散，从而达到减小结构响应、保护主体结构的目的^[1]。这些技术的结合应用，显著提升了建筑物的抗震能力，为地震区建筑安全提供了可靠保障。

2 抗震设计基本原则

设计时需确保建筑在遭遇设防烈度地震时，主体结构不发生严重破坏，避免倒塌造成人员伤亡。第一，这要求结构具备足够的承载力、刚度和延性，通过合理选型与布局，实现“小震不坏、中震可修、大震不倒”的目标。第二，强调概念设计从宏观层面把握结构抗震性能。设计师需基于地震作用特性与结构破坏机理，遵循“强柱弱梁”“强剪弱弯”“强结点弱构件”等基本原理，合理分配结构刚度与强度，避免薄弱层或薄弱构件的出现，确保结构整体稳定性。第三，减少不规则设计是抵抗地震破坏的重要手段。建筑平面与竖向布置应尽量规则、对称，避免凹凸、扭转等不规则形态，减少应力集中与地震响应的复杂性。规则结构更易于分析计算，且在地震作用下表现出更好的抗震性能。第四，多道防线原则通过设置延性构件、耗能装置等多重抗震措施，提升结构冗余度^[2]。当地震作用超过第一道防线时，

后续防线可继续发挥作用，避免结构整体失效。这种设计思路显著提高了建筑的安全储备。第五，材料性能原则要求选用高延性、高耗能材料，如高强混凝土、低屈服点钢材等，通过材料自身性能优化结构抗震能力。同时，需严格控制材料质量，确保其力学性能符合设计要求。第六，构造措施原则强调通过设计提升结构抗震延性性能。如加强梁柱节点、墙肢连接等关键部位的构造，采用加密箍筋、增设钢板等措施，提高节点延性与抗剪能力；强化楼盖与屋盖的连续性设计，确保地震作用下结构整体协同工作。

3 地震区建筑抗震设计方法

3.1 地震作用计算

地震作用计算是地震区建筑抗震设计中的核心环节，其准确性直接关系到建筑物的安全性和经济性。地震作用主要包括水平地震作用和竖向地震作用，其中水平地震作用尤为关键。水平地震作用通常采用底部剪力法和反应谱法进行计算。底部剪力法常用于结构简单，层数不高的框架结构。随着社会进步，人们对建筑的审美提出更高的要求，建筑结构形体由简入繁，底部剪力法慢慢不能满足现有结构的结构计算精度，此时反应谱法以其完善的理论和较高的计算精度常用于高层以及复杂结构的地震作用计算，反应谱法基于地震动的频谱特性，将复杂的地震动转化为等效静态力。根据《建筑抗震设计规范》（GB 50011）的现行要求，水平地震作用标准值计算公式如下：

$$F_{Ek} = \alpha \cdot G_{eq}$$

式中： F_{Ek} 为水平地震作用力； α 为地震影响系数，取决于场地条件、地震烈度、结构自振周期等因素； G_{eq} 为建筑物的重力荷载代表值。确定地震影响系数 α ，需要根据场地类别、设计地震分组、结构自振周期，通常，场地类别可以地勘形式确定，设计地震分组从国家地震动参数区划图以及各地区地震部门颁布的相关文件中获取。在计算过程中，还需考虑建筑物的动力特性，地震方向与结构抗侧力构件夹角，单向地震，双向地震等不确定因素的影响。对于复杂结构或重要建筑，可能需要采用时程分析法进行更详细的地震作用计算。时程分析法通过输入特定的地震波，模拟结构在地震过程中的动态响应，从而得到更准确的地震作用力。

表1 采用时程分析的房屋高度范围

烈度、场地类别	房屋高度范围（m）
8度Ⅰ、Ⅱ类场地和7度	> 100
8度Ⅲ、Ⅳ类场地	> 80
9度	> 60

3.2 地基与基础设计

地震区建筑地基与基础设计是抗震体系的核心环节，需综合考虑地质条件、地震作用及建筑功能需求。应通过详细的地质勘察明确场地类别、土层分布及液化可能性，优先选择承载力高、变形小的地基持力层。对于软弱地基或液化土层，需采取加固措施（如强夯、振冲碎石桩等），提升地基整体稳定性，减少地震时的不均匀沉降。基础选型需与上部结构体系匹配，高层建筑宜采用筏板基础、桩基础等整体性强的形式，以分散地震作用并控制差异沉降；低层建筑可采用独立基础或条形基础，但需加强基础间的拉结措施。基础埋深应满足抗倾覆、抗滑移要求，并考虑冻胀、冲刷等环境因素影响。抗震设计中需特别注意基础与上部结构的协同工作，或通过设置基础隔震层或耗能减震装置，可有效降低地震力向上部结构的传递，减少结构损伤。此外，基础设计应预留足够的变形能力，避免因刚度突变引发应力集中，确保地震时基础与地基共同作用，保障建筑整体安全。

3.3 抗震结构体系设计

在地震区，建筑安全关乎生命，抗震结构体系选型设计是保障建筑存亡的关键。设计时，结构体系选型为首要任务，需综合建筑功能、高度、场地及地震烈度等因素。不同建筑适配不同体系，低层公共建筑常用框架结构，其空间灵活，能满足多样需求，为建筑功能发挥提供广阔天地。高层建筑多选框架-核心筒、筒中筒或剪力墙结构，它们剪稳定性强、抗震能力卓越，可有效抵御地震冲击，为高层建筑在地震中坚守提供坚实后盾。建筑内部布局要精心规划，遵循规则对称原则，避免不规则布置，以减少地震作用下的扭转效应与应力集中，降低结构破坏风险。对于不规则建筑，可通过加设加强层、安装阻尼器等提升抗扭性能，设置剪力墙或支撑框架形成双向抗侧力体系，让地震力均匀传递。体系选型需平衡抗震性能与经济性，避免过度设计浪费资源。同时，要考虑施工可行性，确保设计能落地实施。只有这样，才能为地震区建筑安全筑牢防线，让人们在地震来临时多一份安心，守护生命与财产安全。

3.4 上部结构设计

3.4.1 结构体系选型与布局优化

其设计需遵循科学原则，通过以下五个关键点构建高效抗震体系（1）结构整体性强化：结构整体性是抗震设计的基础。需通过加强楼盖、屋盖的连续性设计，确保各抗侧力构件协同工作；设置合理的竖向支撑体系，提升结构竖向刚度与稳定性。（2）抗震防线分层设

计：采用“分层设防”策略，将结构划分为多道抗震防线。第一道防线以延性构件框架梁和连梁为主，吸收地震能量；第二道防线通过框架柱、核心筒等刚性构件维持结构稳定性；第三道防线利用耗能装置（如阻尼器、摩擦摆）进一步耗散地震输入能量，避免结构倒塌。

（3）规则性与对称性控制：平面与竖向布置需遵循规则对称原则，避免结构出现偏心、扭转等不利效应。通过控制平面长宽比、竖向高宽比，减少地震作用下的应力集中；合理设置抗震缝或变形缝，分割不规则区域，降低整体抗震风险。（4）关键节点强化：梁柱节点、墙肢连接等关键部位是抗震薄弱环节。可采用加密箍筋、增设型钢等措施，提升节点承载力与延性。例如，在梁柱节点核心区配置复合箍筋，防止混凝土压碎；在墙肢连接处设置预应力锚杆，增强抗剪能力。（5）材料与构造优化：选用高延性、高耗能材料（如高强混凝土、低屈服点钢材），并优化构造细节。采用带暗柱的剪力墙增强抗剪能力；在框架柱中设置芯柱，提升柱端延性。同时，通过精细化施工控制，确保材料性能充分发挥。

3.4.2 多道防线与冗余度设计

多道防线与冗余度设计是提升上部结构抗震性能的核心策略。通过设置剪力墙、框架、耗能构件等多道防线，形成协同工作机制，框架作为第一道防线，承担主要水平荷载；剪力墙作为第二道防线，在框架破坏后继续提供抗侧刚度；耗能构件作为第三道防线，通过塑性变形吸收地震能量。通过三者协调冗余度设计，需避免因局部破坏引发整体失效，甚至于部分构件失效后仍能维持整体稳定性。设计时综合考虑结构刚度、延性及耗能能力，通过多道防线与冗余度设计，最终实现“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震目标。

3.4.3 构件性能化设计与精细化配筋

构件性能化设计是上部结构抗震的重要环节，需基于“强柱弱梁”“强剪弱弯”等原则，差异化分配构件性能目标。关键构件（如底部加强区剪力墙）应具备高延性与耗能能力，满足采用中高强度混凝土与箍筋加密；精细化配筋需结合构件受力特性，优化钢筋直径、型号、间距及锚固长度，最大程度契合计算结果，避免人为因素（放大计算配筋、不合理的构件尺寸、错误设计概念），导致“强柱弱梁”“强剪弱弯”“强节点弱构件”等基本理念不能实现。增大柱端箍筋加密区范围，增强柱的抗剪能力，避免脆性破坏。设计时需兼顾

施工便利性，采用标准化构件与节点构造，降低施工误差，确保结构整体性。

3.5 抗震结构优化设计

抗震结构优化设计是建筑抗震设计的核心，旨在提升结构抗震性能，确保地震作用下的安全稳定，这一过程需兼顾性能提升与经济性，通过科学设计手段实现最佳平衡。结构体系优化是基础，设计师需依据建筑功能、高度及场地条件，选择框架结构、剪力墙结构或框架-剪力墙结构等合适体系。每种体系均有其抗震优势和适用范围，合理选择能有效分散和承受地震力，为后续优化奠定基础。构件设计优化至关重要，通过精细计算和分析，优化梁、柱、剪力墙等构件的尺寸、配筋和材料选择，确保构件具备足够承载能力和延性，以应对地震时的剧烈变形和能量释放。此举直接关联结构安全，同时影响材料消耗和成本。结构布局优化不可忽视，避免平面和竖向不规则，减少结构扭转效应，能使地震力均匀分布，避免局部应力集中导致的破坏^[3]。合理布局不仅提升抗震性能，还可能简化施工，降低施工难度和成本。减震和隔震技术的应用是优化设计的先进手段，设置阻尼器、隔震支座等装置，可吸收和耗散地震能量，减少结构振动和变形。

结语

未来，地震区建筑抗震设计将迈向传统学科与人工智能深度融合的新阶段。一方面，持续深耕结构力学、材料科学等传统学科，优化结构体系、创新抗震材料，为建筑提供坚实基础。另一方面，积极引入人工智能技术，借助物联网传感器实时监测结构动态，运用大数据与人工智能算法精准分析数据，实现地震风险的提前预警。同时，结合控制论等传统学科理论，利用人工智能优化抗震策略的动态调整。这种融合将推动抗震设计科学化，提升建筑抗震韧性，为地震区安全发展提供有力保障。

参考文献

- [1]翟晶晶.建筑工程结构设计中抗震问题的分析[J].城市建筑,2021(5):116-118.
- [2]闫争科.建筑工程结构设计中抗震问题的分析[J].建筑技术开发,2021(9):19-20.
- [3]温卫平,等.考虑余震影响的RC框架结构抗震设计方法[J].土木工程学报,2021,54(02):43-49.