

建筑工程安全性措施探索

张世伟

北京市第三建筑工程有限公司 北京 100000

摘要：建筑工程安全性措施需贯穿设计、施工、运维全周期。设计阶段应强化抗震、抗风等性能，采用BIM技术优化碰撞检测；施工阶段需严控材料质量与工艺，运用物联网传感器实时监测应力、位移等参数；运维阶段建立长期健康监测系统，结合大数据与数字孪生技术预测损伤，同时完善应急预案。通过全生命周期管理、第三方检测及安全责任追溯机制，可有效提升建筑结构安全性，保障生命财产安全。

关键词：建筑工程；安全性措施；影响因素

引言：建筑结构安全是城市建设的基石，关乎人民生命财产与社会稳定。随着高层建筑、大跨度结构及复杂地质条件下工程项目的增多，结构安全面临地震、风灾、材料劣化及人为破坏等多重挑战。传统安全设计方法已难以满足现代工程需求，亟需构建覆盖全生命周期的安全性措施体系。本文从结构安全理论、影响因素分析入手，系统探讨设计优化、材料创新、智能监测及管理机制等关键措施，为提升建筑工程安全性提供参考。

1 建筑工程安全性理论框架

1.1 结构安全的基本概念

(1) 承载能力是建筑结构抵御外力作用的核心能力，指结构在规定荷载（如恒荷载、活荷载、偶然荷载）作用下，不发生断裂、屈服等破坏的最大承载极限，直接决定结构能否满足正常使用需求；稳定性强调结构在荷载作用下维持原有平衡形态的能力，需防止整体失稳（如高层建筑侧移超限、排架柱屈曲）和局部失稳（如构件局部压屈），是避免突发性坍塌的关键；耐久性则聚焦结构长期性能，指在环境因素（腐蚀、冻融、碳化等）作用下，结构保持设计性能的能力，决定结构使用寿命与后期安全稳定性。(2) 安全系数是传统设计中保障安全的经验性指标，通过将结构抗力除以荷载效应得到（如1.2~1.5），用于弥补荷载预估、材料性能波动等不确定性，但存在主观性强、未量化风险的局限；极限状态设计法是现代结构设计的核心方法，将结构工作状态分为承载能力极限状态（对应结构破坏、失稳）和正常使用极限状态（对应过大变形、裂缝），结合荷载与抗力的概率分布，通过可靠度指标（如 $\beta = 3.2$ ）量化安全水平，使设计更科学、贴合实际风险。

1.2 安全性评价方法

(1) 定量分析以数据为支撑，精准量化结构安全状态：有限元模拟借助ANSYS、ABAQUS等软件构建三

维力学模型，模拟复杂荷载（如地震、风荷载）下的应力、应变分布，识别薄弱部位（如梁柱节点、基础）；可靠性理论基于概率统计，将荷载、材料强度等作为随机变量，计算结构达到极限状态的失效概率（如 10^{-5} ），为安全评价提供量化依据，适用于重要建筑（如超高层、大跨度结构）。(2) 定性分析侧重综合判断，灵活应对复杂场景：专家评估依托结构工程师、学者的专业经验，结合结构现状（如老化程度、损伤情况）、使用环境，主观判定安全等级（如A、B、C级），适用于既有建筑初步评估；风险矩阵法通过划分风险概率（高/中/低）与影响程度（严重/一般/轻微），构建矩阵确定风险等级（如极高、高、中、低），快速筛选高风险问题，为后续管控提供方向。

2 建筑工程安全影响因素分析

2.1 内在因素

(1) 设计缺陷会从源头埋下安全隐患：计算模型误差常因简化结构受力状态（如忽略节点刚接与铰接差异）、遗漏复杂荷载传递路径导致，使设计结果与实际受力偏差；荷载取值不当包括低估动态荷载（如吊车冲击荷载）、漏算附加荷载（如屋面积雪堆积荷载），导致结构承载能力储备不足。(2) 材料性能衰退或适配问题直接削弱结构抗力：混凝土劣化表现为碳化导致钢筋锈蚀、碱骨料反应引发内部开裂；钢材疲劳在反复荷载（如桥梁车辆荷载）作用下，易在应力集中部位产生微裂纹并扩展；新型材料适配性问题如新型复合材料与传统构件连接强度不足，易引发界面破坏。(3) 施工质量控制失效会让设计安全难以落地：工艺偏差如混凝土浇筑振捣不密实、钢筋保护层厚度不足；偷工减料常见于减少钢筋用量、使用不合格建材；验收漏洞如未按规定进行荷载试验、隐蔽工程验收流于形式，均会降低结构实际安全水平^[1]。

2.2 外在因素

(1) 自然灾害具有突发性与破坏性:地震通过水平与竖向振动引发结构构件开裂、节点破坏,甚至整体倒塌;风灾中强风产生的风压、风振效应,易导致高层建筑、大跨度结构(如网架)产生过大变形或失稳;洪涝会浸泡基础,软化地基土导致不均匀沉降,同时加速地下结构混凝土腐蚀。(2) 人为破坏多源于不合理使用或恶意行为:违规改造如擅自拆除承重墙、改变结构受力体系;超载使用如商场、仓库长期超出设计荷载堆放重物;爆炸冲击产生的冲击波会瞬间破坏结构构件,引发连锁坍塌。(3) 环境侵蚀呈长期累积效应:腐蚀如工业环境中酸性气体、沿海地区氯离子对钢材、混凝土的侵蚀;冻融循环使混凝土内部水分结冰膨胀,反复作用导致表层剥落、强度下降;生物损害如白蚁蛀蚀木结构、微生物分解混凝土内部胶凝材料,逐步削弱结构性能。

2.3 管理因素

(1) 全生命周期管理缺失导致各阶段衔接断层:设计阶段未考虑后期运维需求,施工阶段未向运维方移交完整技术资料,运维阶段未定期检测评估,易使结构隐患长期潜伏。(2) 安全监管体系不完善降低制度约束效力:部分领域安全标准更新滞后于技术发展,监管过程中存在执法不严、抽检比例不足等问题,难以有效遏制违法违规行为。(3) 应急响应机制低效会加剧事故后果:多数建筑缺乏针对性的结构安全应急预案,事故发生后救援队伍对结构风险判断不足、救援设备适配性差,导致救援滞后,扩大人员伤亡与财产损失。

3 建筑工程安全性措施体系构建

3.1 设计阶段安全控制

(1) 基于性能的设计(PBD)方法应用:突破传统基于规范的设计局限,以结构在不同灾害场景(地震、强风、火灾等)下的预期性能目标为核心,结合结构使用功能、环境条件及风险等级,制定个性化设计方案。例如,针对地震高发区建筑,明确“小震不坏、中震可修、大震不倒”的性能指标,通过非线性分析、动力响应模拟等手段,优化构件截面、材料选型及节点构造,确保结构在极端工况下仍能维持关键功能。(2) 冗余度设计与多道防线理念:通过设置备用承载路径、增强关键构件冗余能力,避免单一构件失效引发整体结构倒塌。例如,在框架结构中增设剪力墙作为第二道抗侧力防线,在梁、柱等关键构件设计中预留额外承载力储备;同时,采用“强柱弱梁、强剪弱弯、强节点弱构件”的设计原则,引导结构在受力极限状态下形成可控的塑性铰,通过局部构件的有序破坏消耗能量,保障整

体结构安全^[2]。(3) BIM技术辅助的碰撞检测与优化:利用BIM技术构建建筑、结构、机电一体化三维模型,在设计阶段开展全方位碰撞检测,提前发现结构构件与管线、设备之间的空间冲突,避免施工阶段因设计漏洞导致的结构修改或安全隐患。同时,借助BIM的参数化设计功能,对结构受力复杂区域(如转换层、大跨度节点)进行力学性能模拟与优化,提升设计精度与结构安全性。

3.2 材料与施工安全保障

(1) 高性能材料研发:针对传统建筑材料易开裂、耐久性差的问题,推广应用自修复混凝土——通过在混凝土中掺入微生物菌剂或胶囊型修复剂,当结构出现微裂缝时,修复剂自动释放并发生化学反应,实现裂缝自主愈合,提升结构耐久性;同时,大力研发纤维增强复合材料(FRP),利用其高强度、轻质、耐腐蚀的特性,替代传统钢材用于桥梁、海洋建筑等特殊场景,降低结构自重与腐蚀风险,延长使用寿命。(2) 智能化施工监测:在施工过程中布设物联网传感器(如应变传感器、位移传感器、温湿度传感器),实时采集混凝土浇筑温度、构件受力变形、基坑沉降等关键数据,通过云端平台进行数据分析与预警,一旦发现数据异常(如混凝土温差过大、构件变形超限),立即触发预警并指导施工调整;同时,利用无人机对高层建筑外立面、大跨度结构施工区域进行巡检,快速识别施工过程中的安全隐患(如脚手架松动、构件安装偏差),提升施工安全管控效率。(3) 装配式建筑节点连接安全控制:针对装配式建筑节点连接易成为安全薄弱环节的问题,制定严格的节点施工标准——采用灌浆套筒、螺栓连接等可靠连接方式,明确灌浆料强度等级、灌浆密实度检测要求;施工前对构件连接面进行平整度检查与清理,施工中通过专用工具控制螺栓拧紧力矩、灌浆压力,施工后采用超声检测、X射线探伤等手段对节点连接质量进行无损检测,确保节点承载力与刚度符合设计要求^[3]。

3.3 结构健康监测与评估

(1) 长期监测系统部署:在已建成的大型公共建筑、桥梁、隧道等重要结构中,部署永久性健康监测系统,通过固定在构件关键部位的应变传感器监测受力状态,通过位移传感器跟踪结构沉降与变形,通过振动传感器采集结构动力响应数据(如固有频率、振型),实现对结构运行状态的24小时实时监控,为结构健康评估提供连续数据支撑。(2) 大数据分析 with 损伤识别算法:整合长期监测系统采集的海量数据,结合结构设计参数、历史荷载记录,利用机器学习、深度学习等算法构

建损伤识别模型——通过对比结构正常状态与异常状态下的动力特性、受力数据差异，自动识别结构潜在损伤（如构件开裂、钢筋锈蚀），并精准定位损伤位置、评估损伤程度，避免人工检测的主观性与局限性。（3）基于数字孪生的结构状态预测：构建与实体结构1:1映射的数字孪生模型，将长期监测数据、环境荷载数据（如温度、风力）输入模型，通过数值模拟预测结构在未来一段时间内的状态变化（如挠度增长、耐久性衰减）。例如，针对桥梁结构，利用数字孪生模型预测不同交通荷载下的结构疲劳寿命，提前制定养护计划，避免结构因疲劳损伤引发突发性安全事故。

3.4 灾害防御与应急措施

（1）隔震与耗能减震技术应用：在地震高发区建筑中推广隔震技术——通过在建筑基础与上部结构之间设置隔震支座（如橡胶隔震支座），减少地震能量向上部结构传递，降低结构地震响应；同时，在结构中设置耗能构件（如黏滞阻尼器、屈曲约束支撑），通过构件的弹塑性变形消耗地震、强风等动荷载能量，减小结构主体受力，提升结构抗灾能力。（2）消防安全设计：严格按照消防规范开展消防安全设计，确保建筑疏散通道畅通——疏散楼梯宽度、疏散距离符合规范要求，通道内设置应急照明、疏散指示标志，且不得堆放杂物或被占用；同时，提升结构构件耐火极限，对钢结构采用防火涂料保护，对混凝土构件优化保护层厚度，确保结构在火灾发生后仍能维持一定时间的承载能力，为人员疏散与火灾救援争取时间^[4]。（3）灾后快速评估与加固技术：灾害（地震、火灾、洪水）发生后，采用快速评估技术（如无人机航拍、便携式检测设备）对结构损伤情况进行初步评估，划分安全、危险、待加固区域，指导人员疏散与救援；对受损但可修复的结构，采用快速加固技术（如粘贴FRP布、增设临时支撑），在保障安全的前提下缩短加固工期，尽快恢复建筑使用功能。

3.5 管理与政策保障

（1）全生命周期安全管理制度：建立覆盖建筑“设计—施工—运维—拆除”全生命周期的安全管理制度，明确各阶段责任主体（设计单位、施工单位、建设单

位、运维单位）的安全职责；在设计阶段要求开展安全风险评估，施工阶段推行质量终身责任制，运维阶段制定定期检测与养护计划，拆除阶段制定专项安全方案，确保各环节安全管理无死角。（2）第三方检测与强制维护机制：引入第三方专业检测机构，对建筑结构设计文件、施工质量、运维状态进行独立检测与评估，检测结果作为结构安全判定的重要依据；同时，建立强制维护机制，对超过设计使用年限、存在安全隐患的建筑，强制要求开展安全评估与维护，对拒不执行的责任主体依法予以处罚，确保结构安全管控的强制性与严肃性。

（3）安全责任追溯与保险体系：建立建筑结构安全责任追溯平台，记录设计、施工、检测、运维等各环节的责任主体、操作流程与质量数据，一旦发生安全事故，通过平台快速追溯责任方；同时，完善建筑工程质量保险制度，推广“工程质量潜在缺陷保险”，由保险公司参与结构安全风险管控，对因质量缺陷引发的安全事故进行赔付，形成“风险共担、利益共享”的安全保障机制。

结束语

建筑结构工程安全性是保障社会稳定与发展的关键。本文通过剖析结构安全理论框架与影响因素，提出从设计冗余、材料创新、智能监测到全生命周期管理等系统性措施。未来，随着BIM、数字孪生及人工智能技术的深度融合，结构安全评估将更精准高效。唯有坚持技术创新与制度完善并重，强化责任追溯与风险管控，才能构建起适应复杂环境的建筑安全防线，为可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]李洋.探究建筑结构设计提高建筑安全性的有效措施[J].全面腐蚀控制,2024,(05):31-33.
- [2]张虎.试论在建筑结构设计如何提高建筑的安全性[J].居舍.2021,(09):91-92.
- [3]赵斌,王亮.建筑结构设计提高建筑安全性的措施探究[J].新材料·新装饰,2023,(11):103-104.
- [4]蔺艳娥.建筑结构工程中的耐久性与安全性设计[J].散装水泥,2022,(07):73-74.