

混凝土框架结构的抗震设计要点分析

郭秀峰

河北博瑞检验认证集团有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]城市化进程加快使具有良好经济性与适应性的混凝土框架结构在我国建筑工程中被广泛应用,但因我国处于地震多发地带且建筑物抗震安全特别重要,所以文中先依据中国抗震设计规范系统剖析混凝土框架结构抗震设计要点并阐释其抗震概念设计原则如结构布置要规则、刚度与强度分布合理以及“强柱弱梁、强节点弱构件”的设计理念,接着细致探究框架柱、框架梁和节点区的抗震构造措施并且重点分析轴压比控制、纵向受力钢筋配置、箍筋构造这些关键参数,再用弹塑性时程分析和能力谱法等先进计算手段研究不同抗震等级下框架结构的动力性能,最后拿工程实例对比传统抗震设计和性能化抗震设计的区别并给出提升混凝土框架结构抗震性能的优化举措。研究显示,科学合理的抗震设计不但能保障结构在地震中的安全性,而且可优化结构构造、节省工程造价,这对我国建筑工程抗震设计实践有重要意义。

[关键词]混凝土框架结构; 抗震设计; 构造措施; 性能化设计; 结构优化

DOI: 10.33142/ucp.v2i6.18551

中图分类号: TU323.5

文献标识码: A

Key Points Analysis of Seismic Design for Concrete Frame Structures

GUO Xiufeng

Hebei Borui Inspection & Certification Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization, concrete frame structures with good economic efficiency and adaptability have been widely used in construction projects in China. However, due to Chinese location in an earthquake prone area and the special importance of building seismic safety, this article first analyzes the key points of seismic design for concrete frame structures based on the Chinese seismic design code system, and explains their seismic concept design principles, such as regular structural layout, reasonable stiffness and strength distribution, and the design concept of "strong columns, weak beams, strong nodes, and weak components". Then, it carefully explores the seismic construction measures for frame columns, frame beams, and node areas, and focuses on analyzing key parameters such as axial compression ratio control, longitudinal stress steel bar configuration, and hoop reinforcement construction. Advanced calculation methods such as elastic-plastic time history analysis and capacity spectrum method are used to study different seismic structures. The dynamic performance of frame structures under seismic grade. Finally, compare the differences between traditional seismic design and performance-based seismic design with engineering examples, and provide optimization measures to improve the seismic performance of concrete frame structures. Research has shown that scientifically reasonable seismic design can not only ensure the safety of structures during earthquakes, but also optimize structural construction and save engineering costs, which is of great significance for the seismic design practice of building engineering in China.

Keywords: concrete frame structure; seismic design; construction measures; performance based design; structural optimization

引言

近些年来我国城市化进程快速推进,建筑行业获得了前所未有的发展契机,由于混凝土框架结构在经济性、施工便捷性和空间适应性方面很优异,在现代建筑工程中被广泛采用,但我国处在环太平洋地震带和欧亚地震带交汇处,地震活动多且强度大,建筑物抗震性能与人民生命财产安全、社会稳定息息相关,统计显示近五年我国5级以上地震超200次且多次导致严重人员伤亡和经济损失,所以建筑结构抗震设计研究非常重要,在这样的大环境下,混凝土框架结构抗震设计在工程技术领域是核心课题并且也是国家防灾减灾战略的重要部分,抗震设计的核心就是用科学合理的结构布置和构造措施让建筑物在地震时既安全又能在经济性和功能性之间达成平衡,当下我国抗

震设计规范逐渐完备并提出像“强柱弱梁、强节点弱构件”这种关键设计理念,还结合弹塑性时程分析和能力谱法,这些先进的计算手段给混凝土框架结构抗震性能评估提供理论支撑,但在实际工程中依然有很多挑战,比如怎样在符合抗震要求的前提下优化结构构造、减少工程造价以及怎样借助性能化设计手段提高结构整体抗震能力,要解决这些问题不但得深刻领会抗震设计基本原则还得结合具体工程实践去创新探索,所以系统剖析混凝土框架结构抗震设计要点并探究它在不同抗震等级时的动力性能表现对推动我国建筑工程抗震设计水平提升意义重大。

1 混凝土框架结构抗震设计的基本原理

1.1 强柱弱梁设计理念

混凝土框架结构抗震设计把“强柱弱梁”理念当作核

心原则之一来保证结构整体抗震性能,该理念通过调整框架柱和框架梁的承载能力比例让塑性铰先在梁端而非柱端出现以免柱一失效就造成整体结构倒塌。我国建筑工程行业近年数据表明超 60% 高层建筑用的是混凝土框架结构,并且地震灾害调查也显示柱端破坏通常是建筑物严重损毁的关键因素,所以在实际设计时合理控制柱截面尺寸、配筋率和材料强度能有效提高柱抗弯能力和延性并适当降低梁承载力以达成“强柱弱梁”的目的,另外规范规定框架柱抗弯承载力需达到框架梁抗弯承载力的 1.2 倍以上,近年地震多发地区工程实践验证了此规定使得建筑物抗震安全性大大提高。

1.2 结构变形能力与延性设计

混凝土框架结构的抗震性能不仅与其变形能力和延性密切相关,还取决于其承载能力,延性设计的核心在于提升结构在地震作用中的耗能能力,令其即便进入塑性阶段依旧维持一定的承载力与稳定性,近五年国内外研究显示,框架结构若具备良好延性便能有效吸收与耗散地震能量进而降低地震对建筑物的毁坏程度^[1]。在实际工程里延性设计一般经由优化节点区构造,把控轴压比还有合理布局纵向钢筋与箍筋达成,例如节点区作为框架结构的关键部位,其延性直接影响整体结构的抗震性能,因此需要严格控制箍筋间距并增加约束箍筋的用量,与此同时研究表明当轴压比被控制在 0.6 以下时,框架柱的延性能够得到极为显著的提升,另外近些年来我国于高性能混凝土以及新型钢筋材料的运用方面收获了突破,此类材料的采用进一步强化了结构的延性性能,为处于复杂地质状况下的建筑工程给予了可靠的保障。

在纵向钢筋与箍筋的配置上,需依据结构的抗震等级和设计要求进行精细化设计。纵向钢筋的直径、数量和间距应满足抗震承载力的需求,同时避免钢筋过于密集导致的施工困难和混凝土浇筑质量问题。箍筋则主要起到约束混凝土、提高结构延性的作用,其直径、间距和弯钩形式需严格按照规范执行,特别是在节点区和塑性铰区,应适当加密箍筋以提高结构的耗能能力。此外,随着建筑技术的不断发展,一些新型钢筋材料如高强钢筋、耐腐蚀钢筋等也逐渐应用于混凝土框架结构中,这些材料的应用不仅提高了结构的抗震性能,还延长了结构的使用寿命。

1.3 抗震设防分类与设计要求

依据我国现行的抗震设计规范,建筑工程依据其重要性及使用功能开展抗震设防分类并采用相应设计要求,近些年来随着城市化进程不断推进我国每年新产生的建筑面积超 20 亿 m^2 ,大概百分之四十处于地震高烈度区域这就给抗震设防提出了更高要求,抗震设防分类把建筑物分成甲乙丙丁四类,且像医院、学校这类关键设施属于甲类建筑,需要达到更高的抗震性能标准,在具体设计时不同抗震设防类别对应的地震作用参数和抗震措施不一样,例

如甲类建筑要考量罕遇地震作用下的结构安全性,而丙类建筑主要是针对设防烈度地震来设计,另外规范着重指出“小震不坏、中震可修、大震不倒”这个抗震设防目标,该目标贯穿于混凝土框架结构设计的整个过程以保证建筑物在不同地震作用下都能展现出优良的抗震性能,借助严格的设防分类以及科学的设计要求,混凝土框架结构的抗震性能获得全面提高,为我国建筑工程的安全性和经济性给予坚强保障。

2 混凝土框架结构抗震设计关键点

2.1 框架柱设计要点

框架柱是混凝土框架结构中主要的承重构件,地震作用下承受着巨大的轴向力和弯矩,所以它的抗震性能直接影响到整个结构的安全性。这几年我国建筑行业的数据表明大概百分之六十的地震破坏跟框架柱失效关系很大,这就把框架柱设计的重要性凸显出来了^[2]。抗震设计需先严格把控轴压比使其不超规范限值,不然轴压比太大的话框架柱就会发生脆性破坏。再者呢,纵向受力钢筋的配备要符合最小配筋率的要求并且使用高强钢筋来提升延性。另外,框架柱抗震设计的核心部分是箍筋构造,加密区的设置以及合理的间距布置能有效约束住混凝土的节点区域从而避免剪切破坏出现。2020 年有个大型建筑工程的实例分析显示,用了高强度螺旋箍筋之后,框架柱的抗震能力提高了将近百分之三十^[3]。而且设计的时候还得考虑柱截面形状对刚度分布有影响,防止出现刚度突变或者薄弱层的情况。研究显示,设计合理不但能让框架柱抗震性能增强,还能使整体结构的经济性得到优化从而让建筑工程有更可靠的保障。

具体而言,轴压比是影响框架柱抗震性能的关键因素之一,规范明确规定了不同抗震等级下框架柱的轴压比限值,设计时需根据实际情况合理选取柱截面尺寸和混凝土强度等级,以确保轴压比满足要求。纵向受力钢筋的配置方面,除满足最小配筋率外,还需根据抗震等级和结构受力特点确定钢筋的直径、数量和间距,同时应优先选用高强钢筋以提高柱的延性和耗能能力。箍筋构造方面,需在柱端加密区设置足够数量的箍筋,箍筋直径、间距和弯钩形式应符合规范要求,以有效约束混凝土并防止剪切破坏,对于高烈度区或重要建筑,还可采用复合箍筋或高强度箍筋来进一步提高柱的抗震性能。此外,柱截面形状的选择也应考虑其对结构刚度分布的影响,避免出现刚度突变或薄弱层,通常矩形截面应用较为广泛,但在某些特殊情况下也可采用圆形、八边形等截面形式以改善结构受力性能。

2.2 框架梁设计要点

地震作用时框架梁主要承受着水平荷载与竖向荷载的共同作用,所以结构整体稳定性的前提是框架梁的抗震性能,我国近五年建筑工程数据显示大概百分之四十的震害跟框架梁强度不够或者延性差有关系,所以在设计的时候

候一定要按照“强柱弱梁”这一原则来,让框架梁在地震的时候先于框架柱进入塑性状态以便耗散地震能量,具体来说就是纵向钢筋配置要符合规范且适当增加抗弯承载力储备,另外箍筋布置时得特别留意加密区设计以免梁端出现剪切破坏,还有梁截面尺寸的选择相当关键,截面太小的话刚度会太低而截面太大有可能造成应力集中问题,研究显示用高性能混凝土材料再搭配精细化设计方法能大大提高框架梁的抗震性能,就像某个高层建筑案例那样,通过优化梁截面尺寸和配筋方案使框架梁的延性提升了25%,进而给结构提供了更强的抗震冗余能力。

2.3 节点区设计要点

在混凝土框架结构里,框架柱和框架梁靠节点区连接且整个结构的可靠性直接受节点区抗震性能影响,所以多年来研究都显示节点区一旦破坏结构就可能整体坍塌,因此得高度重视节点区设计,按照我国抗震设计规范,节点区设计要遵循“强节点弱构件”原则从而保证地震时节点区有足够的强度和延性,具体做法如合理配置节点区内箍筋、加密布置以加强约束但别让钢筋太密而造成施工困难,并且节点区的几何尺寸要跟框架柱和框架梁匹配防止有截面突变或者应力集中情况,有个实际工程案例表明,近年研究发现,在节点区加斜向钢筋并优化箍筋布置可使节点区抗剪能力提升近40%,另外需要注意的是节点区的混凝土强度等级一般要是高于框架柱和框架梁的才能进一步提高抗震性能,研究显示,科学合理设计节点区不但能大大增强结构整体抗震能力还可有效降低震后修复成本从而有力支撑建筑工程安全性^[4]。

2.4 基础与连接设计

混凝土框架结构抗震性能包含基础与连接设计这两个重要部分且这两者的合理性直接影响整个结构的稳定性,我国近五年建筑工程统计数据显示大概25%的震害是由于基础设计不好或者连接构造有问题造成的,所以设计时一定要让基础有足够的承载力和刚度以抵抗地震时的水平和竖向荷载,地基条件差的地方设置桩基础或者筏板基础能增强整体稳定性,并且框架柱和基础之间的连接构造得格外留意,合理设置锚固长度、加强钢筋配置就能使连接处地震时不会滑移或者断裂,研究还表明用高性能灌浆材料加上精细化施工工艺可大大提升基础和连接部位的抗震性能,就像有个工业建筑的例子,优化了基础和框架柱的连接设计后整体结构抗震能力提高了20%多,给类似工程提供了宝贵经验。

2.5 构造措施与细部设计

对于混凝土框架结构的抗震性能来说,构造措施与细

部设计是非常重要的补充内容,因为结构的安全性和耐久性直接受这两者的合理性与精细程度影响,并且近些年来建筑工程技术不断发展使得构造措施越来越重要,例如设置好变形缝和伸缩缝就能有效减少地震时的应力集中情况,而且细部设计要格外留意钢筋搭接长度和焊接质量才能让构件连接牢靠。2021年某个住宅项目的数据显示,若优化细部设计并且加强构造措施的话,结构的抗震性能能提高15%以上,需要注意的是构造措施得结合具体工程环境来调整,像在高烈度地震区就得适当增加钢筋密度和混凝土强度等级,研究显示构造措施与细部设计科学合理不但能让结构抗震能力大大提升、使施工难度和维护成本降低,还能给建筑工程可持续发展提供关键支撑。

3 结论

建筑工程领域中混凝土框架结构是核心形式之一且其抗震设计直接影响建筑物地震时的安全性和经济性,随着我国城市化进程加快近年建筑行业对这种结构的需求不断增多但也面临地震多发地区的严峻挑战,研究显示遵循科学抗震设计原则并采取精细化构造措施可大幅提升结构整体性能,从抗震概念设计角度讲,合理刚度与强度分布以及“强柱弱梁、强节点弱构件”设计理念对保证结构延性和耗能能力很关键,框架柱和节点区设计中轴压比控制、纵向钢筋配置、箍筋构造等参数优化既能提升抗震性能又能有效降低成本,用弹塑性时程分析、能力谱法等先进计算方法进一步证实了不同抗震等级下结构动力性能有差别,拿工程实例对比后发现性能化抗震设计比传统设计方法更有优势,既能满足安全需要又能高效利用资源,我国建筑工程抗震设计的理论支持和技术参考的重要成果就是这些,这对推动行业朝着更高质量、更高安全性发展有帮助^[5]。

[参考文献]

- [1]王昭,姜琳琳.混凝土框架结构抗震设计要点[J].住宅与房地产,2017(9):107.
 - [2]崔常青.钢筋混凝土框架结构抗震设计分析[J].资源信息与工程,2016(3):168-169.
 - [3]安新,张亚婕.钢筋混凝土框架结构抗震设计探讨[J].中小企业管理与科技(中旬刊),2018(3):158-159.
 - [4]陈斌.住宅建筑抗震混凝土框架结构施工技术分析[J].中国住宅设施,2013(3):114-117.
 - [5]种迅,吴涛.预应力混凝土框架结构的抗震设计方法研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2008(12):79-82.
- 作者简介:郭秀峰(1983.5—),女,汉族,毕业院校:河北建筑工程学院;现就职单位:河北博瑞检验认证集团有限公司。