

## 多层框架结构抗震构造措施与规范应用研究

郭栋鑫

河北中科建研工程设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要] 多层框架结构广泛应用于民用建筑及中小型工业建筑中, 具有施工便捷、布置灵活等特点。但是多层框架结构存在抗侧刚度偏低的缺陷, 在地震作用的影响下, 柱端与梁端产生塑性破坏。鉴于此, 为了保障该结构的抗震性能, 及时采取有效的抗震构造措施尤为关键。文章系统研究多层框架结构的核心抗震构造措施, 对当前的规范应用中所存在的共性问题进行了深入的探讨分析, 在此基础上提出一系列的优化路径, 避免地震作用下结构发生脆性破坏, 以供参考。

[关键词] 多层框架结构; 抗震构造措施; 规范应用; 构件设计; 节点构造

DOI: 10.33142/sca.v9i1.18947

中图分类号: TU378

文献标识码: A

### Research on Seismic Construction Measures and Code Application of Multi-layer Frame Structures

GUO Dongxin

Hebei Zhongke Jianyan Engineering Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** multi-layer frame structures are widely used in civil buildings and small and medium-sized industrial buildings, with the characteristics of convenient construction and flexible layout. However, the multi-layer frame structure has the defect of low lateral stiffness, and under the influence of earthquakes, plastic failure occurs at the column and beam ends. In view of this, it is particularly crucial to take timely and effective seismic structural measures to ensure the seismic performance of the structure. The article systematically studies the core seismic structural measures of multi-layer frame structures, and deeply explores and analyzes the common problems in the current application of standards. Based on this, a series of optimization paths are proposed to avoid brittle failure of structures under earthquake action for reference.

**Keywords:** multi-layer framework structure; seismic structural measures; standardized application; component design; node construction

#### 引言

地震灾害频发对建筑结构的抗震安全性提出了严苛要求, 多层框架结构抗震性能对社会的公共利益以及人民的生命安全有着直接的影响。多层框架结构广泛应用于建筑工程之中, 其具有层数较少、荷载相对较轻等特点, 但是这种结构也存在一些不足, 即侧移能力较弱, 在中强地震的作用下, 结构容易产生较大的侧向位移, 容易出现节点剪切破坏, 梁端开裂等破坏现象, 严重时甚至会导致整个结构发生坍塌, 给人们的生命安全带来严重的威胁。抗震构造措施通过合理的构件截面选型、钢筋配置等方式, 是提升结构抗震延性与耗能能力, 避免发生脆性破坏的关键。现行抗震规范明确了多层框架结构的抗震设防目标、对抗震构造措施进行了详细的规定, 规范的科学应用是将抗震构造措施有效地融入到多层框架结构设计和施工中的前提。目前, 关于框架结构抗震性能的研究多聚焦于高层框架或具体工程案例, 多层框架结构抗震构造措施和规范应用与高层框架结构存在差异, 缺乏针对多层框架结构抗震构造措施与规范应用的系统性研究。基于此, 本文系统梳理多层框架结构的核心抗震构造措施, 明确规范的要求和应用方法, 探讨规范应用中的优化策略, 为多层框架结构抗震设计提供改进和完善抗震规范应用的建议

和措施。

#### 1 多层框架结构核心抗震构造措施研究

##### 1.1 框架梁抗震构造措施

框架梁抗震构造的核心是提升梁端延性, 避免梁端发生脆性剪切破坏, 确保梁端钢筋的耗能性能, 框架梁的截面尺寸直接影响其抗剪承载力与延性, 截面宽度不宜小于200mm, 避免因宽度不足引起剪切破坏的情况, 截面高宽比不宜大于4, 确保梁的整体受力性能; 净跨与截面高度之比不宜小于4, 避免梁的刚度过大、延性不足, 确保梁端能够形成合理的塑性铰。扁梁的楼、屋盖应采用现浇形式, 梁中线宜与柱中线重合, 且扁梁应双向布置, 其截面尺寸需满足以下公式要求:

$$b_b \leq 2b_c \quad (3-1)$$

$$b_b \leq b_c + h_b \quad (3-2)$$

$$h_b \leq 16d \quad (3-3)$$

式中:  $b_c$  为柱截面宽度, 圆形截面取柱直径的0.8倍;  $b_b$ 、 $h_b$  分别为梁截面宽度和高度;  $d$  为柱纵筋直径。

框架梁的钢筋配置是提升其抗震延性与耗能能力的关键, 梁端计入受压钢筋的混凝土受压区高度和有效高度之比, 一级抗震 $\leq 0.25$ , 二、三级 $\leq 0.35$ 。梁端截面的底面和顶面纵向钢筋配筋量的比值, 除按计算确定外, 一级

$\geq 0.5$ , 二、三级 $\geq 0.3$ , 避免单侧钢筋过度屈服。梁端纵向受拉钢筋的配筋率不宜大于 2.5%, 避免梁端发生脆性破坏。沿梁全长顶面、底面的配筋, 一、二级 $\geq 2\phi 14$  且 $\geq$ 梁两端较大配筋面积 1/4, 三、四级 $\geq 2\phi 12$ 。一、二、三级框架梁内贯通中柱的每根纵向钢筋直径, 对框架结构 $\leq$ 柱该方向截面尺寸/20 或圆形柱弦长/20, 确保混凝土浇筑质量。梁端箍筋加密区的长度、箍筋最大间距和最小直径需按表 1 采用, 当梁端纵向受拉钢筋配筋率大于 2% 时, 表中箍筋最小直径数值应增大 2mm。

表 1 梁端箍筋加密区的长度、箍筋最大间距和最小直径

抗震等级	加密区长度 (采用较大值) (mm)	箍筋最大间距 (采用较小值) (mm)	箍筋最小直径 (mm)
一级	$2h_b$ , 500	$h_b/4$ , 6d, 100	10
二级	$1.5h_b$ , 500	$h_b/4$ , 8d, 100	8
三级	$1.5h_b$ , 500	$h_b/4$ , 8d, 150	8
四级	$1.5h_b$ , 500	$h_b/4$ , 8d, 150	6

注: (1) d 为纵向钢筋直径;  $h_b$  为梁截面高度; (2) 箍筋直径大于 12mm、数量不少于 4 肢且肢距不大于 150mm 时, 一、二级的最大间距应允许适当放宽, 但不得大于 150mm。

### 1.2 框架柱抗震构造措施

框架柱抗震性能对结构的整体稳定性有着直接的影响, 截面的宽度和高度, 四级或不超过 2 层时不宜小于 300mm, 一、二、三级或超过 2 层时不宜小于 400mm; 圆柱的直径, 四级或不超过 2 层时不宜小于 350mm, 一、二、三级或超过 2 层时不宜小于 450mm, 避免截面过小导致承载力不足。剪跨比宜大于 2, 剪跨比不大于 2 的柱, 轴压比限值应降低 0.05, 剪跨比小于 1.5 的柱, 轴压比限值应专门研究并采取特殊构造措施。截面长边与短边的边长比不宜大于 3, 确保柱的整体受力性能。轴压比是影响框架柱延性的关键指标, 取无地震作用组合的轴力设计值计算, 多层框架结构柱的轴压比不宜超过表 2 的规定, 建造于 IV 类场地且较高的高层建筑, 柱轴压比限值应适当减小。

表 2 多层框架结构柱的轴压比

结构类型	一级	二级	三级	四级
框架结构	0.65	0.75	0.85	0.9
框架-抗震墙等其他结构	0.75	0.85	0.90	0.95

框架柱的钢筋配置柱纵向钢筋的最小总配筋率应按表 3 采用。

表 3 柱纵向钢筋的最小总配筋率

类别	一级	二级	三级	四级
中柱和边柱	0.9 (1.0)	0.7 (0.8)	0.6 (0.7)	0.5 (0.6)
角柱、框支柱	1.1	0.9	0.8	0.7

注: 括号内数值为建造于 IV 类场地且较高的高层建筑的最小总配筋率。

柱纵向钢筋的最大配筋率不宜超 5%, 纵向钢筋直径

$\geq 12$ mm, 间距 100-200mm。角柱、框支柱的纵向钢筋配筋率应比中柱、边柱提高 0.1%~0.2%。柱箍筋应采用封闭式箍筋, 端部 135° 弯钩, 平直段 $\geq 10$  倍直径。一级抗震柱箍筋直径 $\geq 10$ mm、间距 $\leq 100$ mm; 二级直径 $\geq 8$ mm、间距 $\leq 150$ mm; 三、四级直径 $\geq 6$ mm、间距 $\leq 200$ mm。柱端箍筋加密区的长度一级 $\geq 1.5$  倍柱高且 $\geq 500$ mm, 二、三级 $\geq 1.2$  倍柱高且 $\geq 400$ mm, 四级 $\geq 1.0$  倍柱高且 $\geq 300$ mm; 间距一级 $\leq 100$ mm, 二、三级 $\leq 150$ mm, 四级 $\leq 200$ mm。对于轴压比 $> 0.7$  的框架柱, 箍筋的肢距不应大于 200mm, 且应采用复合箍筋。对于剪跨比不大于 2 的框架柱, 箍筋应全高加密, 间距不应大于 100mm, 避免发生剪切破坏。

### 1.3 框架节点抗震构造措施

框架节点是多层框架结构传力的核心, 框架节点核心区的截面尺寸应与梁、柱截面尺寸相匹配。根据规范要求, 节点核心区的截面高度不应小于柱截面高度, 截面宽度不应小于柱截面宽度。当梁截面宽度大于柱截面宽度时, 应根据实际情况采用加宽柱截面等措施, 避免梁端剪力过大导致节点破坏。节点核心区的混凝土强度等级不应低于梁、柱的混凝土强度等级, 且不应低于 C30, 避免节点混凝土先于梁、柱混凝土破坏。一级箍筋直径 $\geq 10$ mm、间距 $\leq 100$ mm; 二、三级直径 $\geq 8$ mm、间距 $\leq 150$ mm; 四级直径 $\geq 6$ mm、间距 $\leq 200$ mm。节点核心区的箍筋应采用封闭式复合箍筋, 肢距不应大于 200mm, 且不应大于箍筋直径的 20 倍, 确保箍筋对核心区混凝土的约束效果。对于多跨梁交汇的节点, 箍筋应贯穿节点核心区, 当节点核心区剪力较大时, 可增设附加箍筋。此外, 为确保节点传力可靠, 一级抗震等级不应小于 35 倍钢筋直径, 二、三级不应小于 30 倍钢筋直径, 四级不应小于 25 倍钢筋直径。柱纵向钢筋的搭接避开节点核心区的箍筋加密区, 一至四级抗震等级, 搭接长度分别不小于 1.4、1.2、1.0 倍非抗震搭接长度, 且搭接处箍筋间距 $\leq 100$ mm。

### 1.4 多层框架结构整体布置抗震构造措施

合理的多层框架结构整体布置可减少扭转效应, 提升结构的整体抗侧能力, 结合规范要求。多层框架结构的平面布置应均匀对称, 质量分布与刚度分布应均匀, 避免采用不规则平面。平面长宽比不宜大于 4, 当长宽比大于 4 时, 应在结构中部增设抗侧构件。多层框架结构的竖向布置应均匀连续, 刚度与承载力应自上而下逐渐减小, 避免出现刚度突变、承载力突变, 防止地震作用下结构产生应力集中。多层框架结构的抗侧刚度较弱, 当设防烈度较高 (8 度及以上) 或结构高度较大时增设抗震墙、支撑等抗侧构件, 采用钢支撑或混凝土支撑, 布置在结构的薄弱部位, 增强结构的抗侧刚度。多层框架结构的填充墙应采用轻质隔墙, 填充墙与框架柱、梁的连接采用拉结钢筋, 应避免布置在框架柱的薄弱部位。

## 2 多层框架结构抗震规范应用要点与常见问题分析

### 2.1 规范应用核心要点

梁、柱构件的设计需结合抗震等级与轴压比要求,合理选择截面尺寸与钢筋配置。在设计过程中,应避免出现“超筋梁”“少筋梁”“短柱”等问题。同时,梁、柱的混凝土强度等级与钢筋强度等级的选用,需符合规范要求,混凝土强度等级不宜低于 C30,钢筋强度等级宜采用 HRB400 级,避免采用低强度钢筋与混凝土,确保构件的承载力与延性。节点设计需严格遵循“强节点弱构件”的原则,确保节点的抗剪承载力高于梁、柱的抗剪承载力,节点核心区的箍筋配置不应低于柱端箍筋加密区的要求,梁、柱纵向钢筋在节点核心区的锚固与搭接需符合规范要求。此外,节点设计还需考虑梁、柱截面尺寸的匹配性,当梁截面宽度大于柱截面宽度时,需采取加宽柱截面、设置加劲肋等措施,避免应力集中。多层框架结构的整体布置需严格遵循规范中关于平面布置、竖向布置的要求,在平面布置中,尽量采用矩形平面,在竖向布置中,应确保刚度与承载力的连续变化。当结构平面或竖向布置不规则时,需按照规范要求进行抗震验算,采取针对性的优化措施。防震缝宽不应小于 50mm,避免因碰撞导致结构破坏。

### 2.2 规范应用中常见问题分析

目前在多层框架结构抗震设计与施工过程中存在诸多共性问题,部分设计人员在设计过程中,未严格按照规范要求划分抗震等级,忽视设防类别、场地类别对於抗震等级的影响,导致构件的构造措施不符合规范要求,不仅结构的抗震性能不满足规范要求,而且增加工程投资,造成资源浪费。梁端箍筋加密区长度不足、箍筋直径过小,柱轴压比超过规范限值等是多层框架结构抗震设计中最常见的问题。在设计过程中,未做好规范之间的衔接工作,导致钢筋锚固、搭接等设计内容不符合相关规范要求。此外,部分设计人员忽视规范中关于整体布置的要求,导致结构平面、竖向布置不规则。

## 3 多层框架结构抗震规范应用优化策略

### 3.1 强化设计环节规范应用管理

设计人员需明确结构的设防类别、场地类别与房屋高度,严格按照《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)相关规定,准确划分抗震等级。同时,设计人员应加强对规范条文的学习与理解,严格按照规范要求,落实梁、柱、节点等构件的抗震构造措施。严格控制梁的截面尺寸,合理配置梁端纵向钢筋,控制配筋率与底面、顶面纵向钢筋配筋量的比值。按照规范要求配置梁端箍筋加密区,控制箍筋直径、间距与肢距,锚固不足时采取机械锚固、弯钩锚固等措施。轴压比超过规范限值时,采取增设箍筋、附加芯柱等措施。合理配置柱纵向钢筋,严格按照规范要求配置柱端箍筋加密区,剪跨比不大于 2 的柱采用全高加密箍筋。严格遵循“强节点弱构件”的原则,确保节

点核心区的抗剪承载力高于梁、柱的抗剪承载力。优化多层框架结构的整体布置,平面布置应尽量采用矩形平面,若采用不规则平面,应增设抗侧构件、调整截面尺寸。设计人员做好规范之间的衔接工作,在构件设计、锚固搭接等环节,结合各项规范的要求,避免规范衔接不当导致的设计缺陷。

### 3.2 加强施工环节规范落实力度

施工单位组织施工人员学习现行抗震规范与设计图纸,明确抗震构造措施的具体要求,提高施工人员的规范意识与操作水平。加强对混凝土、钢筋等原材料的质量控制。在梁、柱、节点施工过程中,严格按照设计图纸与规范要求,控制截面尺寸、钢筋配置、箍筋加密区等参数。梁端、柱端箍筋加密区的箍筋间距、直径、肢距应严格按照设计要求施工,节点核心区的箍筋应贯穿节点,不得中断。填充墙的砌筑采用轻质隔墙材料,填充墙与框架柱、梁的拉结钢筋应按设计要求布置,间距、锚固长度应符合规范要求,确保填充墙与框架结构连接可靠。

### 3.3 完善验收环节规范核查机制

验收单位应熟悉现行抗震规范与设计图纸,重点核查梁、柱、节点的截面尺寸、箍筋加密区、锚固搭接等关键环节,核查结构整体布置是否符合设计与规范要求,箍筋直径、间距、肢距是否符合规范要求等,确保验收工作有章可循。对于验收过程中发现的抗震构造措施不满足规范要求的问题,应建立整改机制,责令施工单位限期整改,整改完成后重新组织验收,确保多层框架结构的抗震性能满足规范要求。

## 4 结论

多层框架结构抗震构造设计的过程中通过合理的构件截面选型、钢筋配置、节点处理及整体布置,并多层框架结构抗震规范应用中存在问题,从设计、施工、验收三个环节提出的规范应用优化策略,有助于提升结构的抗剪能力与整体稳定性,避免地震作用下结构发生脆性破坏。

### [参考文献]

- [1]中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构设计规范(2015年版):(GB 50010—2010)[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [2]中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑工程抗震设防分类标准:GB 50223—2008[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [3]魏世龙,韩建平,张瑞,等.地震动谱匹配对多层 RC 框架结构地震易损性分析结果的影响[J].结构工程师,2023,39(4):74-83.
- [4]刘艳军,李光耀.多层建筑装备结构设计中框架结构的问题分析与处理方法研究[J].中国设备工程,2022(16):233-235.

作者简介:郭栋鑫(2000.1—),毕业院校:华北电力大学科技学院,所学专业:土木工程,当前就职单位:河北中科建研工程设计有限公司。