

钢筋混凝土框架—剪力墙结构剪力墙设计研究

Research on Shear Walls Design of Reinforced Concrete Frame—shear Wall Structure

杨燕艳 中国建筑科学研究院 100013

摘要: 在框架—剪力墙结构设计中, 最重要的是结合建筑使用要求, 确定剪力墙的数量和布置方式, 了解剪力墙数量和位置的不同对整个结构的影响, 为今后的设计工作提供了参考。

关键词: 框架; 剪力墙

Abstract: In a design of frame-shear wall structure, it is preliminary that the quality and location of shear wall are decided. Through the research of the influences of quality and location of shear wall in the whole structure, and it provide later work with the possibility of referring.

Keyword: frame; shear-wall

一、前言

随着工业化、城市化的日益发展和建筑技术的发展, 高层建筑由于其节约用地和节省投资等方面的优势而越来越成为建筑形式的首选。根据抗侧力体系的不同, 高层建筑结构体系又可分为框架结构、剪力墙结构、框架—剪力墙结构、筒中筒结构和多筒结构体系。与多层建筑结构不同的是, 高层建筑中水平荷载(包括风荷载, 地震作用等)取代竖向荷载而成为结构受力的控制因素, 而且由于侧向位移与建筑高度四次方的函数关系, 需要将侧向位移控制在一定的范围内以满足正常的使用和安全耐久。因此, 高层建筑设计过程中的结构选型, 主要是选择合适的抗侧力结构体系。在我国, 筒中筒和多筒结构体系是从 20 世纪 70 年代开始研究, 并陆续建成一批高层建筑, 目前还在进一步研究和实践中。框架结构建筑布置灵活, 空间分隔容易, 使用灵活。但在水平力作用下一般以剪切变形为主, 层间位移较大。剪力墙结构与框架结构相反, 它的抗侧刚度较大, 在水平力作用下侧向变形较小, 但由于剪力墙间距要求使得建筑平面布置不够灵活, 而且由于结构自重较大, 地震作用也较大。框架—剪力墙结构体系综合二者的优点, 取长补短, 在合理设计下, 既能满足建筑空间要求, 又易于满足结构要求。因此, 无论地震区还是非地震区, 框架—剪力墙结构都有优势, 在我国得到广泛的应用。

具体来讲, 框架—剪力墙结构中, 由于剪力墙刚度大, 剪力墙将承担大部分水平力, 是侧力的主体, 整个结构的侧向刚度大大提高。框架则承担竖向荷载, 提供了较大的使用空间, 同时也承担少部分水平力。框架本身在水平荷载作用下呈剪切形变形, 剪力墙则呈弯曲形变形。当两者通过楼板协同工作, 共同抵抗水平荷载时, 变形必须协调, 侧向变形将呈弯剪形。其上下各层层间变形趋于均匀, 并减小了顶点侧移。同时, 框架各层层间剪力趋于均匀, 各层梁柱截面尺寸和配筋也趋于均匀。由于上述受力变形特点, 框架—剪力墙结构比框架结构的刚度和承载能力都大大提高了, 在地震作用下层间变形减小, 因而也就减小了非结构构件的损坏。

二、框架—剪力墙计算方法

框架—剪力墙的计算方法可采用基于连续化思想的解析解, 即框架—剪力墙体系在水平荷载作用下, 由框架和剪力墙共同承受外荷。简单地讲, 框架和剪力墙通过刚性链杆也就是刚性楼盖的作用连在一起。将链杆切断后, 在楼层标高高处, 剪力墙与框架间有相互作用的集中力 P_n 。为了方便计算, 可以将集中力 P_n 简化为连续

的分布力 P_f 。与此对应, 原来只是在每一楼层标高处剪力墙与框架变形相同的变形连续条件也简化为沿整个建筑高度范围内剪力墙与框架变形相同的变形连续条件。对普通梁, 荷载 $P(x)$ 与位移 y 之间有如下关系

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = p(x)$$

对剪力墙而言, 可视为下端固定, 上端自由, 承受外荷载与框架弹性反力的一个 Winkler 弹性地基梁来说。此时, 它除承受分布荷载 $p(x)$ 外, 还承受分布反力 P_f , 因此位移与荷载 $P(x)$, 反力 P_f 之间有如下微分关系:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = p(x) - P_f$$

通过解微分方程求出剪力墙, 也就是框架的位移曲线 $y(x)$, 然后利用下面的微分关系求出剪力墙的内力和荷载:

$$\text{弯矩: } EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M$$

$$\text{剪力: } EI \frac{d^3 y}{dx^3} = V$$

$$\text{均布荷载: } EI \frac{d^4 y}{dx^4} = p$$

对框架来说, 可由位移曲线 $y(x)$ 求出框架所受的剪力和荷载即,

$$\text{剪力: } V_f = C_f \theta = C_f \frac{dy}{dx}$$

$$\text{荷载: } \frac{dV_f}{dx} = C_f \frac{d^2 y}{dx^2} = -P_f$$

式中, C_f ——为框架的剪切刚度, 可由反弯点法或 D 值法求得。若考虑柱轴向变形, 可用下列规范中的等效公式求得。

$$C_{Fv} = \frac{\delta_m}{\delta_m + \delta_n}$$

三、剪力墙数量

框架—剪力墙结构中一个非常重要的问题就是剪力墙的设置问题, 包括设置位置和数量, 剪力墙设置数量的多少, 是关系到框架—剪力墙结构体系能经济、合理, 并体现体系优越性的关键环节。剪力墙少了, 结构不安全, 剪力墙多了, 又不经济。所以需要合理确定剪力墙的最佳数量。

首先, 按照规范要求, 在一个独立的结构单元内, 剪力墙的设置数量应符合下列要求和原则:

(1) 为能充分发挥框架—剪力墙体系的结构特性, 剪力墙在结构底部所承担的地震弯矩

值应不少于总地震弯矩值的 50%。否则, 应按框架体系对待。

(2) 沿结构单元的两个主轴方向, 按《抗震规范》地震力计算出结构弹性阶段层间位移角, 对于一般高楼和具有高级装修标准的高层建筑, 应分别不大于 1/650 和 1/800。同时还应满足《高层规程》中规定的按弹性方法计算的结构顶点位移与总高度之比, 对于一般高楼和具有高级装修标准的高层建筑, 应分别不大于 1/700 和 1/850。

(3) 结构的重力荷载效应和地震效应组合后, 剪力墙边框柱的配筋不至于由拉力控制, 也就是说, 剪力墙受拉区的边柱, 按拉力计算出的竖向钢筋量, 应该小于按受压状态计算出的钢筋量。

(4) 剪力墙布置不宜过分集中, 每道剪力墙承受的的水平力不宜超过总水平力的 40%。

其次, 剪力墙数量的设置还应考虑抗震设防烈度、近场远场的影响、场地土、结构侧移限值等方面的因素:

四、剪力墙位置

除去剪力墙的设置数量, 还需要正确确定剪力墙的设置位置。一般情况下, 对于矩形、L 形、T 形、口形平面, 剪力墙应沿纵横两个方向布置。对于圆形和弧形平面, 应沿径向和环向布置。每个方向剪力墙的布置原则上应尽量做到分散、均匀、周边、对称。

(1) 分散。剪力墙的布置应考虑地震力分散作用于刚度大致相等的多片剪力墙上。因为如果地震力集中作用到一两片刚度很大的剪力墙上, 会造成墙体内力很大, 截面设计困难, 且主要受力剪力墙一旦破坏后, 其余较弱剪力墙和框架很难额外负担起该剪力墙传来的很大地震力, 以致出现破坏。

(2) 均匀。同方向的各片剪力墙应比较均匀地布置在建筑平面的各个区段, 而不是集中于某一区段内, 以防止因楼盖过大的水平变形导致地震力在各福框架间的不均匀分配。

(3) 周边。剪力墙尽可能沿结构平面的周边布置, 以获得结构抗力的最大水平力臂, 充分提高整个结构的抗扭转能力。

(4) 对称。剪力墙应尽量做到对称布置, 如果在平面上难于做到对称布置时, 可通过调整剪力墙的长度和厚度, 使结构的抗推刚度中心尽量与质量中心相接近, 缩小偏心距, 以减弱地震时结构的扭转振动。

(5) 在一个独立结构单元内, 同一方向的各片剪力墙不宜是单肢墙, 应多设置一些双肢墙或多肢墙, 以避免同方向所有剪力墙同时在底

(下转第 126 页)

浅谈建筑消防给水

彭华伟 邢军 河南省南阳市消防支队防火监督处

摘要: 本文就《建规》《高规》中经常碰到的问题进行探讨, 提出了消防给水方面存在的一些问题及解决对策。

关键词: 民用建筑; 消防给水设施; 消火栓; 高位水箱

引言: 在众多建筑中, 民用建筑最接近我们的生活, 但也经常出现一些问题, 所以民用建筑的防火、灭火等设施对我们来说息息相关, 也就使民用建筑的消防研究显得尤为重要。由于民用建筑的范围广泛, 没有严格的界限, 所以出现的问题也多种多样, 在此, 就这些问题以及解决方法和大家探讨一下。

首先, 介绍一下民用建筑的范畴。民用建筑为建筑物分类的一种, 是按建筑物使用性质来分。规范中没有具体的规定, 属建筑常识, 一般包括公共建筑、住宅建筑……主要是用于区分工业、军用等其它建筑设施。再介绍一下消防给水的范畴, 从广义上来讲, 是指用于消防目的的给水或供水设施。从水池、水泵、管网到喷头、水枪等, 这是一般意义上的理解。狭义上讲, 要与配水设施分开, 只是指市政消防给水系统、市政消火栓、加压泵及其泵房等。在这里我们探讨的是广义的消防给水设施和民用建筑之间的关系。

一、利用市政消火栓作为室外消火栓的问题

现行建规第 8.3.2 条第 4 点规定: “……在市政消火栓保护半径 150m 以内, 如消防用水量不超过 15L/s, 可不设室外消火栓。”

当城市消防管网较完善时, 应最大限度地利用市政消防给水, 建议作如下考虑: 对某些布置室外管网较困难的多层建筑, 在市政消火栓 150m 的保护半径内, 若市政管网为环状, 室外消防用水量不超过所有保护半径内的市政消火栓给水量, 且有一消火栓距消防接合器的距离为 15m~40m, 可不设室外消火栓。

对许多城市, 临街建筑及其它位于城市中心的建筑, 室外区域较为狭小, 甚至与周边建筑浑然一体, 没有单独的室外区域, 而某室外消防用水量又超过 15L/s。由于相邻的多座城市建筑往往由不同的业主, 在不同的时间进行报审, 设计施工, 若各建筑在建设时都必须设完备的

室外消防给水系统, 则不仅在布置室外管道, 从市政管网上引入水源及设置消防水池方面会遇到许多困难, 而且在多数情况下也无此必要。

二、关于室内消火栓的设置场所

《建筑设计防火规范》第 8.4.1 条第 5 点规定: 超过 5 层或体积超过 10000 立方米的教学楼等其它民用建筑 (应设置室内消防给水)。第 8.4.2 条第 2 点规定: 室内设有生产、生活给水管道, 室外消防用水取自储水池且建筑体积不超过 5000 立方米的建筑物 (可不设室内消防给水)。

根据以上两条, 存在既不符合 8.4.1 条第 5 点, 又不满足 8.4.2 条第 2 点的建筑物, 如 3 层面积为 9000 立方米的办公楼、教学楼、旅馆等建筑, 既不在需设置室内消火栓的条文内, 又不设可不设室内消火栓的条文内, 建设在以后规范修订时加以完善、明确。

三、关于高位水箱的设置

《建筑设计防火规范》和《高层民用建筑设计防火规范》中规定: 消防给水设置临时高压给水系统时, 须设置消防水箱和消防水池。但多层民用建筑和高层民用建筑在消防给水的设计指导思想上有着本质的区别: 多层民用建筑的室内消火栓给水系统只要求用来扑救初期 10m 内的火灾, 10m 以后则由城市消防队来扑救; 而高层民用建筑的室内消火栓给水系统要求在整个火灾过程中均能充分地发挥作用, 即立足于自救。因此, 多层和高层建筑在消防给水系统设计时应当有一定的区别。

临时高压消防给水系统中, 水箱或气压水罐是必不可少。常用的方式是设置重力自流的高位消防水箱。在多层建筑中, 规范中仅要求在建物的最高部位设置重力自流的消防水箱, 对消防水箱的设置高度并未作出规定。因此, 只要水箱设置在建筑物的最高处, 且满足了消防贮水量的规定, 应该说就满足了规范。但在实际应用时, 宜尽可能地在水箱设置到较高的位置, 以最大限度地提高开启安装在消防水箱水管

上的止回阀的静水压力。当水箱安装高度确实无法满足止回阀的开启压力时, 应将止回阀下移安装。在高层建筑中, 规范对屋顶消防水箱的设置除规定了应贮存的水量外, 还对设置高度予以了规定: 当建筑高度不超过 100m 时, 最不利点消火栓静水压力不应低于 0.07MPa; 当建筑高度超过 100m 时, 最不利点消火栓静水压力不应低于 0.15MPa。当水箱设置不能满足上述水压要求时, 应增设增压设施。也就是说, 在高层建筑中, 屋顶消防水箱的设置不仅仅是满足一个水量要求, 还要满足最不利消火栓的静水压力, 这是高层建筑和多层建筑屋顶水箱设置的本质区别。

四、关于消火栓间距问题

消防栓间距或者消火栓的位置, 笔者认为主要依据应是《高层民用建筑设计防火规范》的 7.4.6.1 条: “……消火栓间距应保证同层任何部位有两个消火栓的水枪充实水柱同时到达”。而 7.4.6.3 条“消火栓的间距应由计算确定, 且高层建筑不应大于 30m, 裙房不应大于 50m”恐怕不确切。近年来高层建筑裙房与主楼大都连通, 多为营业用房, 如商场, 此时消防栓间距取 50m 绝对不可以。即使按《建筑设计防火规范》第 8.6.2 条“室内消火栓的布置应保证有两支水枪的充实水柱同时到达室内任何部位”的要求, 消火栓间距取 50m 也是不行的。而只有在“建筑高度小于或等于 24m 时, 且体积小于或等于 5000m³ 的库房, 可采用 1 支水枪的充实水柱到达室内任何部位”的情况下, 才允许消火栓间距不大于 50m。确实, 高层民用建筑设计防火规范》关于裙房消火栓间距值不如《建筑设计防火规范》要求高, 是不合适的。另外, 《高层民用建筑设计防火规范》中的“不应大于 30m”也欠妥、欠严密。笔者认为应改为“当采用单阀单出口消火栓时, 间距不应大于 30m, 采用双阀双出口消火栓时, 间距不应大于 50m”为妥, 当然还是要以计算为准。

(上接第 118 页)

部屈服而形成不稳定的侧移机构。

在每一独立结构单元的纵向和横向, 均沿沿两条以上的且相距较远的轴线设置剪力墙, 使结构具有尽可能大的抗扭扭能力。一般情况下, 剪力墙宜布置在竖向荷载较大处, 平面形状变化处或楼层水平刚度突变处、楼梯间。但是, 纵向剪力墙不宜设置在独立结构单元的两端, 以免纵向框架梁和楼板因受到变形约束的区段过长而产生较大的收缩和温度应力。

五、剪力墙设置合理性的检验

当然, 水平位移满足《建筑高层规程》的要求, 是合理设计的基本条件之一, 但不是充分条件。即是说, 合理的设计, 水平位移应满足限值, 但水平位移取值满足, 不一定是合理的设计, 还要考虑周期、地震力大小等综合条件。

这是因为, 抗震设计时, 地震力大小与刚度直接相关。抗侧刚度小, 结构位移并不见得很合理, 由于地震力也小, 所以位移也有可能在限值范围内, 此时并不能认为结构设计合理。所以, 在满足规范条件下, 还应综合考虑其他因素。

首先, 通过结构自振周期的计算验证剪力墙的设置。对于比较正常的设计, 不考虑折减的计算自振周期, 框架—剪力墙结构, $T_1 = (0.06 - 0.12)n$, 第二和第三振型的周期近似为 $T_2 = (1/3 - 1/5)T_1$, $T_3 = (1/5 - 1/7)T_1$ 。

其次, 可通过计算结构的底部剪力来验证剪力墙的设置。根据目前许多工程的结果, 截面尺寸小, 结构布置都比较正常的设计, 将各层位移连成侧移曲线, 应具有反 S 形曲线, 且接近直线。在刚度较均匀的情况下, 位移曲线应连续光滑, 无突然凹凸变化和折点。

经过上述验证, 基本上认为剪力墙的数量

和设置位置是合理的。

六、结论

通过上述几部分的讨论可知, 在确定框架—剪力墙结构中剪力墙的位置时, 根据前述原则提出集中比较合理的布置数量及布置方式。在分析的基础上必须进行试验。当其满足规范中侧移的要求、地震周期及侧移曲线三个方面时, 我们可以认为剪力墙的设置是合理的。

参考文献:

- [1] 彭伟, 高层建筑结构设计原理[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994: 67-13
- [2] 刘大海, 杨树刚, 高层建筑结构设计原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996: 13-35