

高层建筑结构楼板设计方法探讨

陈天虹¹, 林英舜², 徐 璘¹

(1 浙江科技学院 建筑工程学院,杭州 310023;2 . 浙江耀江建筑设计研究有限公司,杭州 310012)

摘 要: 总结近年来设计实践中碰到的问题,分析楼板在高层建筑结构中的作用、受力特性,细述楼板的“ 计算设计 ”、“ 概念设计 ”和“ 构造措施 ”,以“ 楼板协调各抗侧力构件(结构)共同工作 ”为主线索,提出楼板设计的一些思路:楼板的平面布置要满足规则性要求;楼板的竖向布置要满足均匀性要求;楼板应有一定的配筋和尺度,以形成足够的强度和刚度;薄弱部位楼板,要增加板厚、加强配筋。
关键词: 高层建筑结构;钢筋混凝土楼板;结构设计方法
中图分类号: TU973 .3 文献标识码: A 文章编号: 1671-8798(2008)01-0038-04

Discussion of floor slab design method in high-building structure

CHEN Tian-hong¹, LIN Ying-shun², XU Jin¹

(1 . School of Architecture and Civil Engeering, Zhejiang University of Science and Technology ,Hangzhou 310023, China;
2 . Zhejiang Yaojiang Architecture & Design Research Com Ltd, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Based on the experience gained from recent projects, we analyze mechanical behavior of reinforced concrete floor slab in high-building structure, explain the concept of computation design, conceptual design and construction measurement . Aimed at interaction of anti-lateral force component coordinated by floor slab, we propose some principles: the plane layout of floor slab should be regular; the vertical layout of floor slab should be uniform; the reinforcing steel bar in the slab should be firm enough to ensure strength and rigidity; and to strengthen the weak parts of floor slab, the slab should be thicker and the reinforcing steel should be more .
Key words: high-building structure; reinforced concrete floor slab; structure design method

统计显示:现浇钢筋混凝土结构中楼板的混凝土用量占整个楼盖混凝土用量的 50 % 以上,楼板的钢筋用量约占整个楼盖钢筋用量的 20 % 左右^[1],因此楼板设计的合理与否,直接影响到建筑物土建技术经济指标的高低。本文结合工程设计实践,分析楼板在建筑结构中的作用、受力特性,提出高层建筑

结构中现浇钢筋混凝土楼板设计的一些思路,意在抛砖引玉。

1 楼板的作用与受力特性

楼板和楼面梁一起组成楼盖,作为基本水平分体系,对于建筑结构尤其是需要抗震设防的高层建

收稿日期: 2007-11-15
作者简介: 陈天虹,(1965—),女,浙江诸暨人,高级工程师,一级注册结构工程师,主要从事建筑结构的教学与设计。

筑结构,其作用非常重要,其受力十分复杂。

1.1 满足建筑物在竖向的围护、隔断、使用等功能性需要

楼板是房屋建筑中一个不可缺少的组成部分,作为使用者主要的活动场所,担负着承重、分隔、隔音、隔振、防爆、防火、防热、防冻、防水、防辐射等众多功能。

1.2 承受并传递竖向荷载作用

楼板直接承受楼面(屋面)传来的竖向荷载作用(建筑和结构自重、使用活载、竖向地震作用等),并通过楼面梁(屋面梁)把它传给竖向分体系(柱、墙、支撑等)。

1.3 参与抗侧力结构体系的形成,提高结构的抗侧刚度,承受水平荷载作用

楼盖(屋盖)中,梁的合理布置可与柱子、墙等共同形成抗侧力结构体系(框架结构、结构-剪力墙结构、剪力墙结构等),而板的存在加强了梁的抗弯刚度,提高了结构的抗侧能力。因此《高层建筑混凝土结构技术规程》^[2]明确指出:在结构内力与位移的计算中,现浇楼面中梁的刚度可考虑楼板翼缘的作用予以增大,刚度增大系数可根据翼缘情况取1.3~2.0。工程设计中,对于边框架梁刚度增大系数近似取1.5,对于中框架梁刚度增大系数近似取2.0。

1.4 聚集、传递、分配水平荷载作用

在水平荷载(风载、地震等)作用下,楼板如同水平隔板一样工作,形似水平放置的深梁,能够提供足够的平面内刚度,与楼面梁(屋面梁)一起,支撑和稳定整个竖向分体系,聚集、传递、分配水平荷载作用到各个竖向抗侧力结构上。

1.5 协调各抗侧力构件共同工作

单个竖向抗侧力构件抗扭能力微不足道,通过楼板(楼盖)连成整体的竖向抗侧力结构,可以提供很强的抗扭刚度,使整个结构具有空间协同工作能力。如内外筒结构,楼板是其内筒稳定、不屈曲的重要保证。

1.6 提高结构的安全度

足够强大的楼板,为平面方向突出的子结构提供了安全保证;若局部构件(结构)遭到破坏,楼板可起到拉挽作用,使其破坏部分不会一落到底,减少危害。

2 楼板的结构设计方法

楼板的结构设计方法基于实现楼板的众多功能目标,满足其受力和变形性能要求。

通常在低层及多层建筑中,竖向荷载起控制作用,因此楼板的结构设计方法侧重于“计算设计”;但在高层及超高层建筑中,水平荷载起控制作用,因此楼板的结构设计方法在满足“计算设计”要求的前提下,更侧重于“概念设计”,以满足建筑物对“结构的侧移限值要求、整体的抗倾覆要求、使用的舒适度要求”^[2]。

2.1 楼板的“计算设计”

高层建筑结构楼板的“计算设计”类似于多层建筑,由于建筑使用功能的不同,楼板平面布置总呈现出一定的不规则性,实际工程中的楼板布置常常是若干块单向板和若干块双向板的有机组合。

由于钢筋和混凝土是两种性能完全不同的材料,二者组合后协同工作,材料的不均匀性和弹塑性性能在楼板的受力不同阶段反映明显,因此涉及楼板的“计算设计”则表现为荷载作用效应值的弹性算法与塑性算法共存^[1]。

2.1.1 弹性算法的简化假定与适用范围 单向板只考虑楼板在一个方向的弯曲变形,双向板必须同时考虑楼板在两个方向的弯曲变形,但其简化计算假定相同:

1) 支座可以自由转动,但没有竖向位移;

2) 不考虑薄膜效应对内力的影响,采用弹性薄板理论计算内力。

适用范围:任何形式的楼面板(屋面板)配筋计算。

2.1.2 塑性算法的简化假定与适用范围 《混凝土结构设计规范》^[3]明确指出:对于连续单向板宜采用考虑塑性内力重分布的分析方法进行内力计算,对于连续双向板可采用塑性铰线法或条带法进行内力计算。无论采用何种方法,结构的塑性性能都以形成塑性铰(塑性铰线)为前提,因此简化计算的基本假定是:

1) 满足弹性计算的四个基本假定;

2) 塑性铰(塑性铰线)能承受一个基本不变的弯矩 M_s (M_s 为 $M_y \sim M_u$ 之间某一数值, M_y 为钢筋受拉屈服时所能承受的弯矩, M_u 为混凝土受压压碎时所能承受的弯矩)作用,并在弯矩作用方向能发生一定的转动;

3) 形成破坏机构时,整块板由若干块刚性板和若干个塑性铰(若干条塑性铰线)组成。

适用范围:具有超静定结构性能的连续板配筋计算;对使用阶段不允许出现裂缝或对裂缝展开宽

度有严格要求的结构、直接承受动力荷载或重复荷载作用的结构不适用;结构材料如采用高强度混凝土或高强度钢筋、冷轧带肋钢筋等,则尽可能不考虑或少考虑其塑性性能。

2.1.3 板配筋量的计算方法 钢筋混凝土楼板进行承载能力极限状态计算和正常使用极限状态验算时,荷载作用效应值既可采用弹性算法,也可采用塑性算法^[2],板配筋量可根据钢筋混凝土结构的基本原理计算得到。

实际工程中,一般依据程序进行板配筋量计算,目前常用的是 PKPM 系列程序;进行楼板配筋量计算时的荷载作用效应值,通常采用弹性算法,在 PMCAD 阶段完成^[4]。

2.2 楼板的“概念设计”

楼板与梁一起聚集、传递、分配水平荷载,协调整个结构共同工作,因此楼板应具有足够的强度和刚度,并与竖向分体系之间有可靠的连接。

2.2.1 楼板平面布置要满足规则性要求,尽量使结构的刚度中心与质量中心重合 《高层建筑混凝土结构技术规程》明确指出:对抗震有利的建筑平面形状是简单规则的凸平面,如圆形、正多边形、椭圆形等;对抗风有利的建筑平面形状是简单、规则、对称、长宽比不大的平面。当存在《建筑抗震设计规范》^[5]所述的平面不规则结构,以及在楼板平面内有大洞、凹口、偏置削弱的部位、错层、甚至局部缺失等情形时,楼板平面内刚度将减弱,在凹角附近易产生应力集中,形成“平面薄弱部位”而破坏,因此有必要采取加强措施,提高楼板的整体抗扭能力。

2.2.2 楼板竖向布置要满足均匀性要求,尽量使结构的刚度沿着高度方向连续变化 《高层建筑混凝土结构技术规程》明确指出:对抗震有利的建筑立面应规则、均匀,从上到下外形不变或变化不大,没有过大的外挑和内收;对抗震有利的结构布置应连续、均匀,结构的侧向刚度和承载力上下相同,或下大上小,自下而上逐渐减小。当出现《建筑抗震设计规范》所述的竖向不规则结构形式时,建筑物沿着高度方向就存在刚度和承载力突变(变小)的楼层,易形成“竖向薄弱楼层”而破坏,因此有必要采取加强措施,提高楼板的整体抗剪能力。

众所周知:一根毛竹如果无节,其刚性将大打折扣;如果局部破坏,将势如破竹。因此楼板的存在,对竖向构件将起到很强的加劲作用,楼板平面内的水平刚度、竖向布置的间距等,将直接影响到抗侧力

结构的高宽比、抗侧移刚度值和上下结构层的抗侧移刚度比。

2.2.3 楼板应有一定的配筋和尺度宽度,以形成足够的强度和刚度 楼板长度、宽度和厚度形成了楼板的刚度。楼板的竖向抗弯刚度取决于楼板的厚度;楼板的整体水平抗弯刚度取决于楼盖的长宽比、边缘梁的强弱、楼板的厚度;楼板的局部水平抗弯刚度取决于支承梁之间的中心距离、楼板的厚度。因此楼板尺度的确定,必须兼顾各种情形下刚度的需要,楼板钢筋的配置,必须满足强度的要求。

1) 楼板应有足够的宽度,满足整体水平抗弯刚度需要。平面过于狭长的建筑,在风荷载作用下有可能出现楼板弯曲;在地震作用下,有可能由于地震地面运动的相位差而使结构两端的振动不一致,产生震害,还可能出现楼板平面内的高振型,这种变形在一般的受力分析中还无法计算。因此楼板应有足够的宽度,使它在受压时不屈服、在受拉时不开裂、在受剪时不断裂。《高层建筑混凝土结构技术规程》明确指出:对应不同的抗震设防烈度,建筑物必须有足够的宽度、满足平面长宽比要求,以保证楼板的整体水平抗弯刚度,满足“楼板在其平面内刚度无穷大、在平面外刚度忽略不计”的计算假定,从而简化抗震计算。

2) 楼板应有足够的厚度,满足竖向抗弯刚度需要。楼板直接受到竖向荷载作用,因此必须有足够的厚度,不但能够满足强度要求(抗弯承载力、抗剪承载力),对于跨度较大的板,还应满足刚度要求(跨中挠度限值要求、支座裂缝宽度和跨中裂缝宽度限值要求);在垂直方向实现建筑的隔音、隔振、防渗漏、防火、防辐射、装修等众多功能性要求,同时满足特殊情况下受荷的承载力需要(如人防、堆土、堆载、车载、检修等)和耐久性需要。

需要注意的是:楼板也不能过厚、过重,因为过重的楼板将产生很大的地震作用,引起所在楼层结构质量的突变,因此 7 度及 7 度以上的抗震设防区,不宜采用厚板转换结构。

3) 楼板应有足够的强度,实现各抗侧力构件(结构)协同工作。楼板具有“聚集、传递、分配水平荷载,协调整个结构共同工作”的作用,因此对竖向结构体系复杂、或具有不同水平变形特征的双重结构体系(框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构等)一起使用时,楼板协同各抗侧力构件(结构)共同工作的难度更大,对其强度的要求也更高。

4) 对特殊部位楼层,重点提高楼板的强度和刚度。地下室底板、地面层、屋面层(或收束层)、裙房顶层、结构带刚臂层、转换层等楼层,均存在楼层刚度突变问题,有必要采取加强措施,提高楼板的强度和刚度。

2.3 楼板的“构造措施”

实际工程中楼板钢筋配置时,应采取适当的“构造措施”,以实现“计算设计”和“概念设计”的有效性。

2.3.1 板端支座配筋与计算简图相符 板端部支座如果定义为简支,配筋时必须满足构造要求,以减少对支承梁的约束扭转作用;如果定义为固端,则必须考虑板对支承梁产生的扭转作用效应。

2.3.2 其他部位配筋满足计算要求 一般部位楼板要确保边跨、跨中及第二个支座的配筋量,其余支座如配筋量较大,可以适当考虑超静定结构连续板塑性内力重分布的影响,通常弯矩调幅系数大于等于 0.8。

2.3.3 薄弱部位增加强度和刚度 前述“平面薄弱部位”“楼板”“竖向薄弱楼层”“特殊部位楼层”等,均应局部增加板厚、增设边梁(暗梁)、加大配筋等,以加强楼板的强度(整体抗剪能力和抗扭能力)和刚度^[6]。通常结构的转换层,楼板厚度大于等于 200 mm;对于 50 m 以下的高层建筑,房屋的顶层板厚大于等于 120 mm;作为上部结构的嵌固部位时,地下室顶层板厚宜大于等于 180 mm。

2.3.4 特殊部位加强配筋 综合考虑混凝土收缩、

温差应力、板厚和板筋保护层施工的允许误差等不利因素的影响,适当调整楼板的配筋量。如对容易产生渗漏的房间(厨房、卫生间、露台、屋面等),采用双层双向拉通配筋,间距小于等于 150 mm 等。

3 结 语

通常认为楼板仅仅是承担竖向荷载的结构,但在高层、超高层建筑中,特别是在抗震设防地区、强风压地区,楼板还承担着聚集、传递、分配水平荷载的重任,因此对楼板的设计要求也发生了质的变化:楼板的“计算设计”“概念设计”和“构造措施”必须统一考虑,且以“楼板协调各抗侧力构件(结构)共同工作”的“概念设计”为主线索,展开楼板的“计算设计”和“构造措施”。

参考文献:

- [1] 程文灏,康谷裕,颜德姮,等.混凝土建筑结构设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [2] JGJ 3—2002,高层建筑混凝土结构技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [3] GB 50010—2002,混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [4] PKPM 工程部.高层建筑结构三维分析程序 TAT 用户手册[Z].北京:中国建筑科学研究院,2005.
- [5] GB 50011—2001,建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [6] 陈天虹,林英舜,王鹏翀.超高层建筑中结构概念设计的几个问题[J].建筑技术,2006,37(5):371-373.