

多层框架结构风荷载作用分析

韩春源

(南京市建设委员会,江苏 南京 210024)

摘要 对于多层框架结构,包含风荷载作用效应的内力组合并不一定起控制作用。利用 PKPM 软件,对 168 种不同条件的框架结构进行了计算,分析了风荷载作用效应对内力组合的影响。结果表明,7 度设防地震区一般多层框架结构,都可以不用考虑风荷载作用效应;非地震区多层框架结构,当风作用影响系数不大于 1.05 时可以不考虑风荷载作用效应,当风作用影响系数大于 1.05 时应考虑风荷载作用效应。

关键词 框架结构;风荷载;内力组合

中图分类号 :TU323.5 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-764X(2007)S2-0151-04

对于多层框架结构,由于层数不是很多,总高度不大,风荷载作用效应的影响有限。因此,在设计中,包含风荷载的内力组合就不一定起控制作用。关于风荷载在多层框架内力组合中的作用,未见有相关的文献给予专门的研究。本文主要研究的是多层框架结构在何种情况下可以不用考虑风荷载作用效应,在何种情况下风荷载作用效应不容忽视。问题研究清楚了,在实际的设计中就可以简化计算,提高效率。

1 计算假定

- a. 结构外形、质量和刚度沿高度均匀分布。
- b. 根据民用建筑采光等级表,窗地面积比采用 1/6 进行计算。窗户布置在外墙上,门布置在中跨两边墙体上。
- c. 当需考虑风振影响时,对于结构基本自振周期,采用经验公式 $T = 0.25 + 0.53 \times 10^{-3} \frac{H^2}{\sqrt[3]{B}}$,其中 H 取基础顶面至屋面轴线间距离。基础顶面至室外地面距离取 0.5 m,室内外高差取 0.6 m。

文献 [1] 规定:对脉动影响系数,当结构迎风面宽度较大时,应考虑宽度方向风压空间相关性的情况。若外形、质量沿高度比较均匀,脉动影响系数可根据总高度 H 及其与迎风面宽度 B 的比值进行确定。对于 $T \leq 0.25$ s 的结构和高度小于 30 m 或高宽比小于 1.5 的房屋,原则上也应考虑风振影响,但经计算表

明,这类结构的风振一般不大,此时往往按构造要求进行设计。结构已有足够的刚度,因而一般不考虑风振影响也不至于影响结构的抗风安全性^[1]。因此,本文中框架结构高度小于 30 m 时不考虑风振影响,高度大于 30 m 时,脉动影响系数偏安全地取 0.49。

2 计算模型

本文选取 3~9 层的多层框架结构进行分析。结构平面为矩形,横向为 3 跨对称布置。中跨选定为 2.4 m,柱距取值范围为 3.6~5.1 m,跨度取值范围为 6.0~7.5 m,初步分析时,柱距为 3.6 m,跨度为 6.0 m,高度取值范围为 3.0~4.5 m,活荷载取值范围为 2~5 kPa。通过各种参数的变化,得到不同的工况。

框架结构的内力应用中国建筑科学研究院研发的 PKPM 软件进行计算,内力组合及分析则用 C 语言编程来实现。计算风荷载时,地面粗糙度类别选 C 类,即有密集建筑群的城市市区。风荷载简化为作用在楼层处的集中水平荷载,计算高度范围取室外地面到屋面。初步分析时,基本风压选定为 0.4 kPa。计算地震作用效应时,本文选定计算振型个数为 3,地震烈度为 7,场地土类别为 2,计算周期折减系数为 0.65,近震,采用振型分解法。

关于最不利截面及其内力,本文进行如下选择:对于边跨梁,选择梁两端 $+M_{\max}$ 、 $-M_{\min}$ 及梁外端 $V_{\max}$ 。由于风荷载以及地震引起的剪力在梁跨内大

作者简介:韩春源(1966—),男,江苏南京人,高级工程师,硕士,从事建筑工程管理工作。E-mail:hcycy.21@163.com

小不变,恒载和活荷载引起的梁两端剪力相近,因此梁内端 $V_{\max}$ 不再进行分析。对于中跨梁,由于对称,所选择的组合是梁一端的 $+M_{\max}$, $-M_{\min}$ 和 $V_{\max}$ 。对于梁跨中截面弯矩,由于风荷载效应和地震效应相对恒载及活荷载效应很小,对弯矩的影响很小,因此,梁跨中截面不进行分析。对于柱端截面,仅进行 $|M|_{\max}$ 的分析。

非地震区多层框架结构的内力组合为,组合 C1 $1.2S_{Gk} + 1.4S_{Qk}$;组合 C2 $1.2S_{Gk} + 1.4S_{Wk}$;组合 C3 $1.2S_{Gk} + 1.2(S_{Qk} + S_{Wk})$ 。地震区多层框架结构的内力组合为,组合 EC1 $1.2(S_{Gk} + S_{Qk}/2) + 1.3S_{Ehk}$;组合 EC2 $1.2(S_{Gk} + S_{Qk}/2) + 1.3S_{Ehk} + 0.28S_{Wk}$ 。

3 计算结果及分析

3.1 风荷载作用效应分析

a. 风荷载作用效应随层高的变化情况。从图 1 可以看出,风荷载作用效应与层高的关系的线性特征明显,而且随着层数的减少,线性关系越明显。分析表明,其他梁、柱各项(梁左端弯矩 LM ,右端弯矩 RM ,剪力 V ;柱上端弯矩 UM ,下端弯矩 DM ,剪力 V)的风荷载作用效应与层高之间也有相同的关系和变化规律。

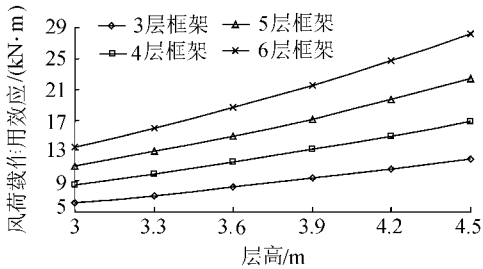


图 1 底层边柱 DM 项风荷载作用效应与层高的关系

b. 风荷载作用效应随层数的变化情况。如图 2 所示,风荷载作用效应与层数呈线性关系,而且层高越高、斜率越大,然而差别不大。分析表明,这一规律具有普遍性,即其他梁、柱各项的风荷载作用效应与层数的关系都为线性的,而且层高越大,风荷载作用效应的增大速度越快。

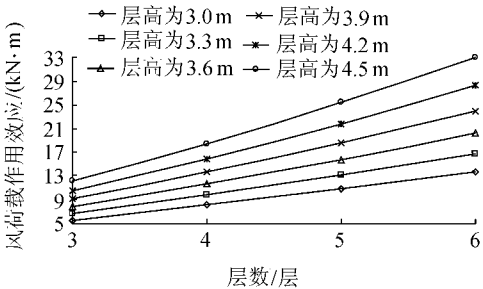


图 2 底层边跨梁 LM 项风荷载作用效应与层数的关系

3.2 非地震区多层框架结构分析

多层框架结构的内力组合 C1、C2 和 C3 中,C2 和 C3 有风荷载作用效应参与组合,且 C3/C2 都大于 1。本文定义风作用影响系数为有风荷载作用效应参与的内力组合的最大值(C3)与无风荷载作用效应参与的内力组合(C1)的比值。这里要研究的是风作用影响系数的大小以及随着条件的变化而变化的情况,为工程简化计算提供依据。

3.2.1 风作用影响系数与层高和活荷载的关系分析

对于多层框架结构柱,在此以 6 层框架结构第 2 层中柱 DM 项为例(图 3、图 4)加以分析。

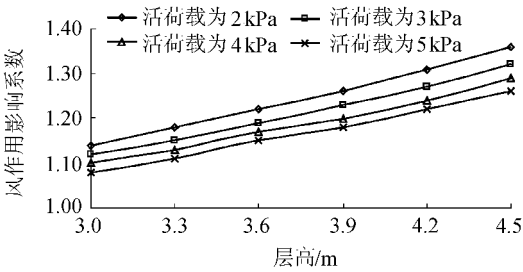


图 3 6 层框架结构第 2 层中柱 DM 项风作用影响系数与层高的关系

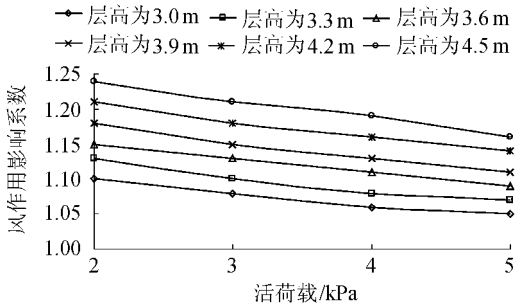


图 4 6 层框架结构第 2 层边柱 UM 项风作用影响系数与活荷载的关系

从图表分析可以得出以下结论：

- a. 底层柱各项的风作用影响系数相对其他层的要大得多。风荷载作用下,剪力从顶层到底层不断增大,底层柱柱端弯矩为各层中最大;竖向荷载作用下,底层柱的柱端弯矩相对其他层柱的要小得多。因此底层柱各项的内力组合 C3,风荷载作用效应所占的比例就要比其他层大,也就是说,风荷载作用效应与竖向荷载作用效应的比值较大。
- b. 风作用影响系数与层高呈线性关系。
- c. 层高一定时,活荷载越大,风作用影响系数越小。
- d. 活荷载增大时,斜率只是略有减小,变化不明显。
- e. 风作用影响系数与层高呈线性关系,且活荷载变化时,斜率变化不明显,4 条曲线之间的变化比较均匀(见图 3)。由此可知,风作用影响系数与活

荷载不会像与层高那样有比较明显的线性关系。为了直观地反映风作用影响系数与活荷载的关系及其变化规律,特给出第2层边柱 UM 项风作用影响系数与活荷载的关系,见图4。显然,风作用影响系数与活荷载的关系有了比较明显的曲线特征。

分析表明,其他情况下,除顶层柱外,柱 DM 和 UM 项的风作用影响系数与层高普遍呈线性关系,与活荷载的关系虽有曲线特征,但也近似于线性。顶层柱的风作用影响系数都接近于1,变化不大,因此以上规律不适用。

对于多层框架结构梁,在此只以个别图(图5)为例加以说明。

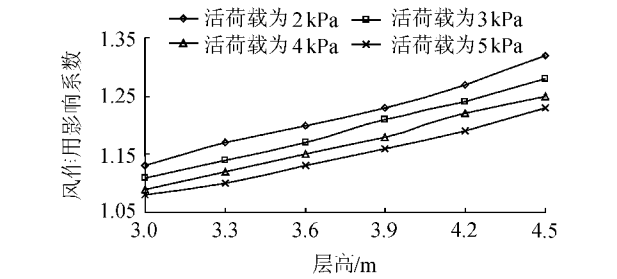


图5 6层框架结构底层边跨梁 LM 项风作用影响系数与层高的关系

从图表分析中可以得出几个结论:

a. 边跨梁 LM 项、 RM 项以及中跨梁的 M 项和 V 项风作用影响系数与层高存在着比较明显的线形关系。

b. 第1、第2层边跨梁 V 项风作用影响系数与层高的关系图中,有些图形看起来有所波动。由于活荷载一定的情况下,风作用影响系数随着层高的变化而变化,但变化的数量级很小(少数情况下为0)。总体而言,边跨梁 V 项风作用影响系数与层高也为线性关系。

c. 对于边跨梁各项以及中跨梁的 M 项,当活荷载变化时,斜率变化不大,情况与柱差不多;而对于中跨梁 V 项,斜率的变化就比较明显。因此,风作用影响系数与活荷载不一定呈线形关系,从其关系图中能够直观地看出其曲线特征,如图6所示。

其他情况下,除顶层梁外,其他边跨梁各项以及中跨梁 M 项的风作用影响系数与层高和活荷载均呈线性关系,而中跨梁 V 项的风作用影响系数与层高呈线性关系,与活荷载则不然。

3.2.2 风作用影响系数随层数的变化情况

在此以活荷载为2 kPa时的部分项为例进行分析。分析柱的图表可得:

- a. 风作用影响系数与层数都为线性关系。
- b. 随着层高的增大,斜率有所增大,曲线之间变化比较均匀,因此,风作用影响系数与层高应为线

性关系。取底层边柱 DM 项加以证实,如图7所示。

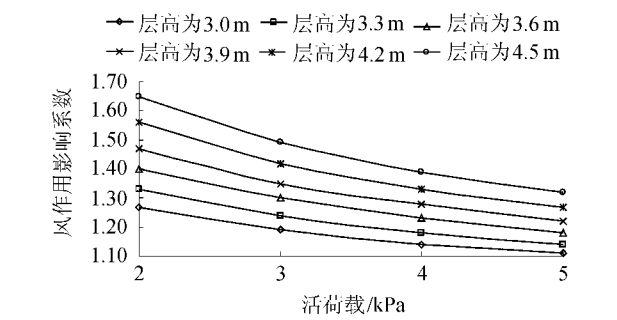


图6 6层框架结构第2层中跨梁 V 项风作用影响系数与活荷载的关系

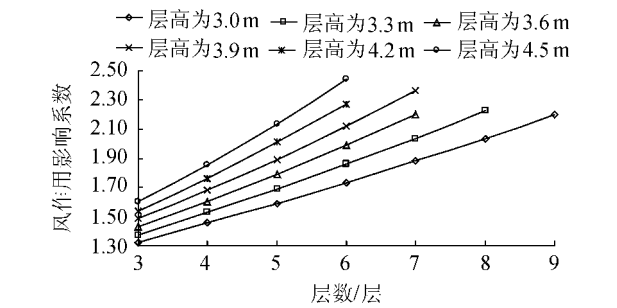


图7 底层边柱 DM 项风作用影响系数与层数的关系

分析梁的图表可得:

a. 边跨梁 LM 项、 RM 项以及中跨梁各项的风作用影响系数与层数呈线性关系,随着层高的增大,斜率有所增大,6条曲线之间变化均匀。这与柱的变化规律是一致的,因此,风作用影响系数与层高也是线性关系。

b. 层高一定时,风作用影响系数随着层数变化而均匀变化。底层边跨梁 V 项的风作用影响系数都比较小,即使差值很小,也会使得关系图产生很明显的波动。因此,尽管关系图有些波动,但其内在的线性关系还是存在的,如图8所示。

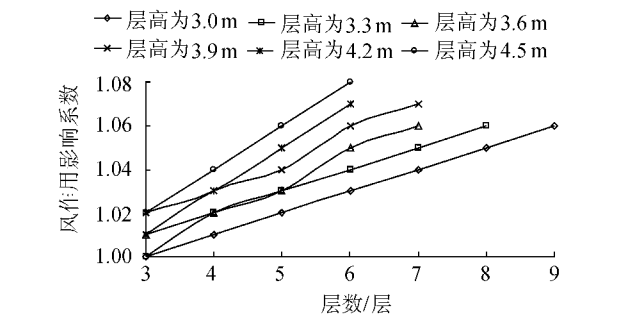


图8 第1层边跨梁 V 项风作用影响系数与层数的关系

以上梁、柱各项风作用影响系数与层数的线性关系以及变化规律具有普遍性,适用于其他情况下的梁和柱(顶层除外)。

3.2.3 风荷载作用效应的处理建议

在工程问题中,如工作应力 σ 略高于 $[\sigma]$,但不超过 $[\sigma]$ 的5%,一般还是允许的。当风作用影响系

数不大于 1.05 时 ,可以不用考虑风荷载作用效应 ,而直接用 C1 进行结构或构件的设计 ;当风作用影响系数大于 1.05 时 ,虽然需要考虑风荷载作用效应 ,但可以不用计算 ,只需求出组合 C1 ,乘以风作用影响系数后就可以直接用于结构或构件的设计。由于篇幅有限 ,在此仅以 6 层框架第 4 层边柱 DM 项为例 ,给出其风作用影响系数 ,如表 1 所示。

表 1 6 层框架第 4 层边柱 DM 项风作用影响系数

活荷载/ kPa	不同层高的风作用影响系数					
	$h=3.0\text{m}$	$h=3.3\text{m}$	$h=3.6\text{m}$	$h=3.9\text{m}$	$h=4.2\text{m}$	$h=4.5\text{m}$
2	—	—	1.06	1.08	1.10	1.12
3	—	—	—	1.06	1.08	1.10
4	—	—	—	—	1.06	1.08
5	—	—	—	—	—	1.07

注 : h 表示层高 ;—表示风作用影响系数不大于 1.05 的情况。

3.3 地震区框架结构分析

有地震作用效应参与组合时 ,对于风荷载组合值系数 ,文献 [2] 指出 :一般结构取 0.0 ,风荷载起控制作用的高层建筑应采用 0.2 ;从文献 [3] 中表 5.6.4 还可以看出 ,60 m 以下的建筑物可以不用考虑风荷载作用效应。本算例中 ,多层框架结构的高度都不大于 60 m ,如果取风荷载组合值系数为 0.0 ,对内力组合的影响如何 ,本文对此进行了分析。经计算 ,EC2/EC1 绝大多数都小于 1.05 ,只有个别情况下达到最大值 1.05。因此风荷载作用效应对于有地震作用效应参与的内力组合影响很小 ,风荷载组合值系数可以取 0.0。比较有地震作用效应参与的组合 EC1 与无地震作用效应参与的组合 C1 ,C2 ,

C3 后可以很清楚地看出 ,绝大多数情况下组合 EC1 起控制作用 ,其他情况下组合 C1 起控制作用。因此 ,对于 7 度设防地震区一般多层框架结构 ,可以不用考虑风荷载作用效应。

4 结 论

a. 对于框架结构柱 ,除顶层外 ,风作用影响系数与层高和活荷载均呈线性关系。对于框架结构梁 ,除顶层外 ,其他边跨梁各项以及中跨梁弯矩项的风作用影响系数与层高和活荷载均为线性关系 ;中跨梁剪力项的风作用影响系数与层高呈线性关系 ,而与活荷载为非线性关系。

b. 除顶层外 ,其他层梁、柱各项的风作用影响系数与层数的关系是线性的。

c. 7 度设防地震区一般多层框架结构(如本文算例) ,都可以不用考虑风荷载作用效应。

d. 非地震区多层框架结构 ,当风作用影响系数不大于 1.05 时可以不考虑风荷载作用效应 ,当风作用影响系数大于 1.05 时可以根据计算得出的风作用影响系数 ,把不考虑风荷载作用时所得出的内力组合最不利值乘以风荷载影响系数即为设计值。

参考文献 :

[1] GB50009—2001 建筑结构荷载规范[S].
[2] GB50011—2001 建筑抗震设计规范[S].
[3] JGJ3—2002 高层建筑混凝土结构技术规程[S].
(收稿日期 2007-05-22 编辑 高建群)

· 简讯 ·

“水利土木工程中的灾变力学与数值模拟”和“计算流体力学”专题研讨会将在北京召开

2007 年正逢中国力学学会成立 50 周年 ,为了回顾中国力学学会 50 年的发展历程 ,弘扬力学科学 ,展望新世纪力学的发展 ,中国力学学会定于 2007 年 8 月 20~22 日在北京举办“庆祝中国力学学会成立 50 周年大会暨中国力学学会学术大会(CCTAM 2007)”大会。大会将采取主会场、分会场和专题研讨会相结合的学术交流形式。

力学是联系理论与应用的桥梁 ,我国是一个多灾害的国家 ,大量的水利和土木工程面临灾害的威胁 ,在灾变因素作用下工程结构的破坏与安全是人们十分关心的问题 ,为了展示这方面的研究成果 ,在本次大会上由河海大学工程力学系和江苏省力学学会联合主办“水利土木工程中的灾变力学与数值模拟”专题研讨会。研讨会主题是 :研讨各种灾变因素 ,如地震、暴雨、洪水、滑坡、泥石流、爆炸、内部缺陷、管理不善等对土木水利工程的作用机制和数值模拟方法 ,以及工程结构在灾变因素作用下发生破坏的机理、过程和分析方法。

计算流体力学是流体力学研究的重要手段 ,正在日益发挥重要作用。河海大学流体力学研究所和江苏省力学学会联合主办“计算流体力学”专题研讨会。研讨会主题是 :对我国计算流体力学领域多年来取得的理论与重大工程应用成果进行回顾和展望 ,交流本专业及相关领域当前的学术研究热点与工程应用状况 ,并对未来的计算流体力学发展趋势与重大工程应用领域进行展望。此次会议将对从事计算流体力学及相关学科研究的科研工作者提供一个学术交流平台 ,促进科研工作者间的学术交流和

(本刊编辑部供稿)