

土木专业毕业设计中框剪结构抗震计算的改革

张俊发, 王秋杰, 朱轶韵, 李文英

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要:文章强调了手算方法在土木专业毕业设计中的重要性。针对框剪结构的抗震计算提出了改革措施:沿用传统手算方法“先合并后分配”的思路,在计算地震作用效应的环节上,建立了适合于平面刚架静力计算程序的框剪结构分析模型,用其计算各阶振型的地震作用效应,然后由 SRSS 进行组合确定总的地震作用效应。这既保证了传统方法对学生基本功训练的有效性,又改变了以往抗震设计中的主导算法——振型分解反应谱法难以在毕业设计中得到训练等一系列不利局面。

关键词:土木工程;毕业设计;框剪结构;抗震计算

中图分类号: TU398⁺.2-4

文献标志码: A

文章编号: 1005-2909(2007)05-0135-05

毕业设计是实现本科培养目标的重要教学阶段,是衡量教育质量的重要评价内容,是培养学生综合运用所学基础知识和系列专业知识独立解决工程实际问题能力和创新能力的重要环节,所以教育部将毕业设计作为对高等工科院校本科教学评估的核心观察点之一。

框架-剪力墙结构,也称为框剪结构,广泛应用于办公和公用高层建筑以及高层旅馆等建筑。它主要由框架梁柱形成自由灵活的空间,容易满足建筑功能的要求;同时又有一定数量的剪力墙,使得它具有良好的抗震性能,并减少了在水平荷载作用下结构的侧移,避免砌体填充墙在地震中严重破坏和倒塌。所以,在地震区要采用框架结构时,一般优先选用框剪结构。由于钢筋混凝土高层框架-剪力墙结构设计在内容上涵盖了框架和剪力墙两种结构体系,因此各高校土建类专业都以高层框架-剪力墙结构设计作为毕业设计的主要选题^[1]。

一、毕业设计应坚持以手算为主、电算为辅的原则

近 20 年来,随着计算机的软硬件的长足发展和普及,利用基于现代结构分析理论的结构计算和设计软件(如 PKPM 系列软件、ETABS 等),可方便地对很复杂的建筑结构进行较精确的受力分析和结构设计,并生成设计图纸。这些高度智能化的软件对于设计单位提高生产效率和设计质量发挥了巨大的作用,使得整个设计领域的方法、思想和观念都发生了重大的变化。土木专业学生了解和掌握这类软件十分必要,而各院校都基本上为学生开设了建筑结构 CAD 课程。

收稿日期:2007-09-30

作者简介:张俊发(1961-),男,西安理工大学水利水电学院教授,主要从事结构力学、高层建筑结构设计

教师应该给这些软件初学者必要的提醒:不要陶醉于轻轻点几下鼠标就生成一大堆计算结果和漂亮的设计图的喜悦之中。结构分析程序 GTSTRUDL 的开发领导人 L. Z. Emkin 教授曾来我校作报告时指出:结构分析程序是给会做徒手设计的工程师用的。他还撰文提到所有称职的、经验丰富的工程师都意识到:好的计算机程序造就不出称职的结构工程师,而只有称职的工程师才能使用好的计算机程序^[2]。有限元法及其程序泰斗 Wilson 也讲到:“对于一个结构分析程序,当你尚未充分理解其中涉及的理论和近似方法之前,不要去用它。”^[3]”

上述这些讲法主要基于如下的考虑:(1)真正的工程知识是经验、直觉、灵感、领悟力、创造力、想象力和认知能力的巨大综合体,它远远超越了任何计算机程序和程序员对结构工程的理解^[2]。(2)计算机不过是工具而已。计算机虽说功能越来越强,作用愈来愈大,但电脑毕竟不是人脑,本质上还是工具而已。(3)计算机应用软件不负法律责任。纵观国内的相关规范的所有条款,只对软件正确性维护、实用性维护和完善性维护提出要求,而没有软件要负法律责任的条款。但有一点是非常明确的:谁使用,谁负责。国外的大型商业计算和设计软件常附带一个特别说明:此软件仅供参考,应用错误和软件缺陷所带来的后果一概由使用者负责。(4)计算机软件不能代替结构工程师。一个优秀的设计软件固然重要,但更重要的是使用者的理论水平、工程经验和判断能力。

如何获得结构工程的基本概念及应有的判断力,目前最好的途径是通过一些近似的简单手算法去训练。这样有助于深刻理解各类结构的受力、变形机理,以及设计规范的背景知识,从而建立相关的基本概念,并提高初学者概念设计的能力。这一点在我国的注册结构工程师考试中被淋漓尽致地表现出来。因此,手算方法被认为是训练结构工程是不可或缺的内容。

商业计算设计软件对大多数使用者来讲是个黑匣子。在各设计单位的普遍情况是:最年轻的结构设计人员被赋予使用软件的主要任务,他们的经验尚不丰富,基本概念还未完全建立,对计算结构缺乏应有的判断力。因此,对土木专业的毕业设计,必须坚持手算为主、电算为辅的原则。

二、毕业设计中框剪结构计算方法改革

采用手算法是培养学生获得结构工程的基本

概念及应有的判断力等多方面能力十分有效的手段,但用传统手算法对抗震设计规范中的主导计算方法——振型分解反应谱法得不到应有的训练。再者,在8度抗震设防区,采用框架-剪力墙体系的常规高层建筑,最大高度允许达到100m。而在抗震设计中确定地震作用效应时,与传统手算法配套的底部剪力法,仅适用于结构高度小于40m,以剪切变形为主且质量和刚度分布比较均匀的高层建筑。这使得毕业设计的选题处于一个比较尴尬的境地,许多学院无奈地规定:当房屋结构高度超过40m时,不宜作为设计选题。这样一来,设计中框架-剪力墙体系的优越性得不到充分的体现,因此,在保证毕业设计训练要求的前提下,寻求新的方法是十分必要的。

本文对毕业设计中框架剪力墙结构的抗震计算提出了改革,整个计算过程仍沿用传统手算方法中“先合并后分配”的思路。地震作用的确定方法不变;而对确定地震作用效应,则提出结合平面刚架静力计算程序,建立与其相适应的剪力墙-框架协同计算模型,进行地震反应分析。

(一) 振型及其地震作用的确定

在计算各阶自振周期和振型时,完全采用传统手算方法及相应的连续化模型^[4]。

对于 j 阶自振周期,有

$$T_j = \varphi_j H^2 \sqrt{\frac{2}{gEI}} \quad (1)$$

$$w = \frac{\sum G_i}{H} \quad (2)$$

式中: w 为结构沿高度单位长度上的平均重量; H 为结构总高; g 为重力加速度; EI 为综合剪力墙沿高度平均的总抗弯刚度; G_i 为集中于 i 层的重力荷载代表值; φ_j 为 j 阶自振周期系数,可由表1据结构刚度特征值 λ 查出。设计中 λ 的合理取值范围为:不大于2.4,不小于1.15^[5]。

$$\lambda = H \sqrt{\frac{C_f}{EI_w}} \quad (3)$$

式中: C_f 为综合框架沿高度平均的总抗剪刚度。

表1是由笔者计算,并绘制了相应的曲线^[6],订正了40年来被中国多种高层建筑结构设计的教科书、著作广泛引用的一幅图表所存在的问题,已经被包世华、张铜生编著的《高层建筑结构设计和计算》^[7]中所引用。

表1 框架-剪力墙结构的自振周期系数表

λ	φ_1	φ_2	φ_3	λ	φ_1	φ_2	φ_3
1.15	1.4684	0.2734	0.1005	1.80	1.2240	0.2587	0.0986
1.20	1.4483	0.2724	0.1004	1.85	1.2073	0.2575	0.0985
1.25	1.4283	0.2714	0.1003	1.90	1.1909	0.2562	0.0983
1.30	1.4085	0.2704	0.1001	1.95	1.1748	0.2549	0.0981
1.35	1.3889	0.2693	0.1000	2.00	1.1591	0.2536	0.0979
1.40	1.3694	0.2682	0.0999	2.05	1.1437	0.2523	0.0978
1.45	1.3502	0.2671	0.0997	2.10	1.1286	0.2510	0.0976
1.50	1.3313	0.2660	0.0996	2.15	1.1139	0.2496	0.0974
1.55	1.3127	0.2648	0.0994	2.20	1.0995	0.2483	0.0972
1.60	1.2943	0.2636	0.0993	2.25	1.0854	0.2469	0.0970
1.65	1.2762	0.2624	0.0991	2.30	1.0716	0.2456	0.0968
1.70	1.2585	0.2612	0.0990	2.35	1.0581	0.2442	0.0966
1.75	1.2411	0.2600	0.0988	2.40	1.0450	0.2429	0.0964

求得各阶自振周期系数 φ 后,由下列振型函数可确定出各阶振型^[6]:

$$\frac{y(\xi)}{C_1} = \cosh q_1 \xi + \frac{a_{11}}{a_{12}} \sinh q_1 \xi - \cosh q_2 \xi + \frac{q_1 a_{11}}{q_2 a_{12}} \sin q_2 \xi \quad (4)$$

其中

C_1 为任意常数;

$$\xi = x/H \quad (0 \leq x \leq H);$$

$$q_1 = \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{\lambda^4 + 4 \left(\frac{2\pi}{\varphi}\right)^2 + \frac{\lambda^2}{2}}},$$

$$q_2 = \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{\lambda^4 + 4 \left(\frac{2\pi}{\varphi}\right)^2 - \frac{\lambda^2}{2}}};$$

$$a_{11} = (\lambda^2 q_1 - q_1^3) \sinh q_1 + (\lambda^2 q_2 + q_2^3) \sin q_2;$$

$$a_{12} = (\lambda^2 q_1 - q_1^3) \cosh q_1 - (\lambda^2 q_2 + q_2^3) \cos q_2。$$

对 j 阶振型,据 i 层高程由 x_i 由(4)式可确定出相应的振型幅值 X_{ji} 。进而确定结构 j 阶振型 i 层的水平地震作用标准值:

$$F_{ji} = \alpha_j \gamma_j X_{ji} G_i \quad (i = 1, 2, \dots, \Lambda n, j = 1, 2, \dots, \Lambda m) \quad (5)$$

式中 α_j - 相应于 j 阶振型自振周期的地震影响系数; γ_j - j 阶振型的振型参与系数。

(二) 质量参与系数的确定

采用振型分解反应谱法,原则上要求对结构反应有重要贡献的振型都应包含在分析中,规范要求分析中的质量参与系数为 90% 以上。质量参与系数为所参与振型有效重量系数之和。 j 阶振型的有效重量系数为

$$\eta_j = \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_{ji} G_i\right)^2}{\sum_{i=1}^n G_i \sum_{i=1}^n X_{ji}^2 G_i} \quad (6)$$

(三) 地震作用效应的确定

1. 基于平面刚架静力计算程序的计算模型

本文提出对毕业设计中地震作用效应的计算进行改革,建议采用结构力学教科书附带的平面刚架

静力计算程序进行。根据传统手算方法合并结构组合体,建立适合上述程序的计算模型,如图 1 所示。单元全部采用梁单元,单元数是层数的两倍。模型单元数很少,准备数据工作简单。模型分综合剪力墙列和综合框架列两列单元,模拟框架的单元上下两端节点处施加阻止转动的约束,综合剪力墙列节点和同高程处综合框架列节点用刚性铰接链杆相连,实际计算中可通过两节点的主从关系加以实现。

建立计算模型时,对框架-剪力墙体系协同作用机理本质的把握是关键。综合剪力墙列各层单元的抗弯刚度直接取各层手算所得值 EI_w ,综合框架列各层单元的抗弯刚度 EI_f 按所建模型与在该层抗剪刚度相等的原则,由手算所得该层抗剪刚度 C_f 和层高 h_i 确定:

$$EI_{fi} = \frac{C_{fi} h_i^2}{12} \quad (7)$$

采用上述计算模型,可以考虑各层综合剪力墙抗弯刚度的不同、各层综合框架抗剪刚度的不同,不必将地震作用力作倒三角化处理,并且还可考虑高阶振型的影响,取消了传统手算法中一些无奈的假定,能更好地反映实际。

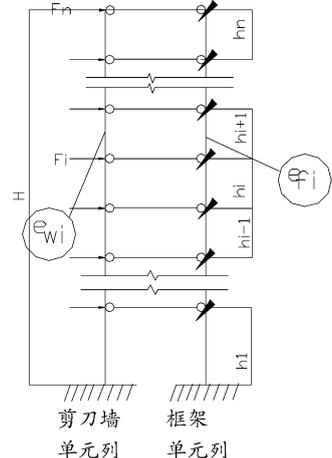


图1 框剪结构的有限元计算模型

平面刚架静力分析程序是结构力学课程中矩阵位移法一章所附带的教学程序,现行的教材均给出了源程序,区区三四百条语句,功能单一,可读性强,极易掌握。对使用者来说,是一个透明的匣子。毕业设计中,在手算思路的大框架下,一些环节采用这类程序,除了能保证传统手算方法的训练目的之外,还可达到以往难于实现的目标,如在抗震设计中具有举足轻重地位的振型分解反应谱法的应用,有助于对设计规范的深入了解,对利用商业设计软件奠定一个良好的基础,并使毕业设计的综合性得到进一步加强。

2. 各阶振型地震作用效应的计算与组合

对阶振型,将按式(5)求得的各层地震作用,施加于图1的模型上,利用平面刚架静力分析程序计算出位移、内力等地震作用效应 S_j 。然后按“平方和再开方”(SRSS法)原则组合确定总的地震作用效应:

$$S_E = \sqrt{\sum_{j=1}^m S_j^2} \quad (8)$$

式中, m 为参与振型数,本文所建模型是一个平面模型,组合时取前3阶即可。

各种地震作用效应的组合,用Excel列表计算非常方便。

3. 内力的分配

综合剪力墙的弯矩 M_w 和剪力 V_w 、综合框架的剪力 V_f 在振型组合后均可得到。然后完全按传统手算方法将它们分配到合并前的各个构件之上。

三、算例

(一)基本数据^[8]

(1)基本尺寸:平面尺寸,长:55.8m,其中共有7个开间,7.8m开间5个,8.4m开间2个。宽:26.4m,其中共有4跨,边跨7.2m,中跨6.0m。结构主体总高度43.6m。

各层层高,1层:6.4m,2层:4.8m,3-11层:3.6m。标准层布置如图2所示。

(2)结构类型:混凝土框架-剪力墙结构。

(3)混凝土强度等级:1-2层,C40;3-11层,C35。

(4)抗震设计参数:设计基本地震加速度值0.20g;抗震设防烈度8度;设计地震分组为第一组;场地类别Ⅲ类;建筑抗震设防类别,丙类。

(二)主要计算结果

对结构沿横向建立计算模型,进行抗震计算。主要计算参数:结构刚度特征值:1.271,参与振型:前三阶,其他如表2。

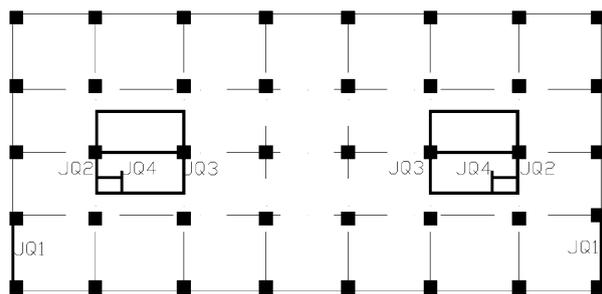


图2 标准层结构布置图

表2 各层重力荷载代表值 G_i 、综合剪力墙抗弯刚度 EI_{wi} 及综合剪力墙抗剪刚度 C_{fi}

楼层号	1	2	3-4	5-10	11
G_i (kN)	26705	22606	19474	21874	26400
EI_{wi} (10^9 kN·m ²)	7.27	5.27	4.52	4.52	4.52
C_{fi} (10^6 kN·m ²)	5.84	3.10	4.11	4.11	4.11

得到的计算结构摘录如下。

(1)自振周期:前3阶依次为0.911s, 0.174s和0.064s,而用STAWE三维模型计算,横向的前3阶相应于整体的第1、4、7阶,对应的自振周期为0.956s, 0.235s和0.112s。两者吻合较好。

(2)前3阶的有效重量系数分别为0.714; 0.107; 0.067。故质量参与系数为88.8%,略小于90%;底部剪力:本文,18649.3kN; STAWE, 20689.25kN。

(3)地震作用下的侧移,如图3所示。可见本文与STAWE结果也较为吻合。

(4)综合剪力墙和综合框架的内力,如图4、图5所示,符合规律。

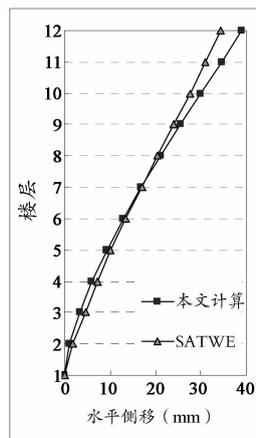


图3 地震作用下的侧移

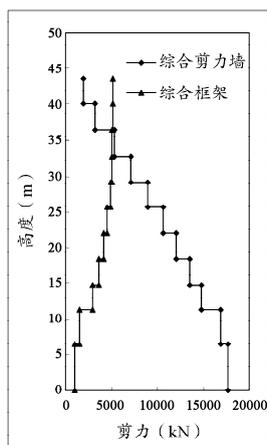


图4 综合剪力墙剪力和综合框架剪力

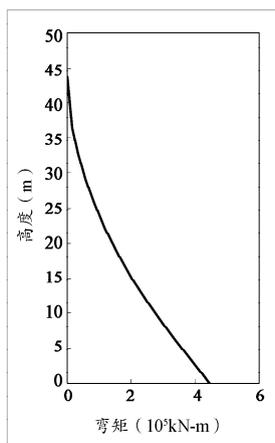


图5 综合剪力墙弯矩

四、结语

笔者针对土木专业毕业设计中框剪结构在水平

地震作用下的计算进行了较系统的探索与实践,提出了沿用传统手算方法中“先合并后分配”的思路,在确定地震作用效应的环节上,应用《结构力学》教科书附带的教学程序——平面刚架静力计算程序,结合 SRSS 振型组合法进行计算工作,使得抗震设计中具有举足轻重地位的振型分解反应谱法在毕业设计中得到应有的训练,有助于对设计规范的深入了解,对利用商业设计软件奠定一个良好的基础,并使毕业设计的综合性得到进一步加强。

参考文献:

- [1] 郭仁俊. 高层建筑结构框架-剪力墙结构设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [2] L. Z. Emkin. 结构工程是对计算机的滥用——一个清楚而现实的危险[J]. 王海兰, 孙树立, 译. 力学与实践, 1999, 21(5): 11-14.
- [3] E. L. Wilson. Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures [M]. California: Computer and Structures, Inc. 2002.
- [4] 包世华. 新编高层建筑结构设计[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [5] 李国胜. 混凝土结构设计禁忌及实例[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [6] 张俊发. 关于框架-剪力墙结构自振周期计算的讨论[J]. 西安理工大学学报, 2007, 23(1).
- [7] 包世华, 张铜生. 高层建筑结构设计和计算(下册)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [8] 王秋杰. 渭南城市信用社商务大厦设计[D]. 西安理工大学土木专业本科毕业设计, 2007.

Reformation and Practice on Seismic Fortification Calculation of Frame-Shearwall Structure in the Graduation Design of Civil Engineering

ZHANG Jun-fa, WANG Qiu-jie, ZHU Yi-yun, LI Wen-ying

(Department of Civil Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The importance of manual calculation is emphasized in the graduation design of civil engineering.

Besides, reformation measures aiming at seismic fortification calculation of frame-shear wall structure is proposed as follows: continuing to use traditional manual calculation of “first combination and then distribution”, the analysis model of frame-shear wall structure, which is fit for the program of plane frame analysis, is established on the proceeding of seismic responses calculation; this can be used to calculate each vibration mode of seismic and then the total seismic effect will be confirmed by association process of SRSS. In conclusion, the validity of basic training to student from traditional means is not only guaranteed, but also that a series of disadvantageous phases exemplified as the difficult practice of major calculation—mode decomposition response spectrum method in the previous seismic design was changed. The effect of this method was all right after the continuous implementation of two graduation design and it worth to be popularized.

Key words: civil engineering; graduation design; frame-shear wall structure; seismic fortification calculation

(编辑 欧阳雪梅)