

钢筋混凝土框剪结构设计中的毛估粗算与宏观把握

高亮^{*}, 张俊发, 潘秀珍, 郭宏超

西安理工大学土木建筑工程学院, 陕西 西安 710048

DOI: 10.61369/ETR.2026260027

摘 要 : 土木工程专业本科生毕业设计是衔接理论与实践的关键环节, 框架及框剪结构设计为核心选题。高烈度区学生常因仅按轴压比估算柱截面, 导致设计保守或存隐患, 且缺乏整体把控能力。本文提出基于宏观经验数据与手算模型的估算新方法, 可帮助学生建立结构整体概念, 提升工程思维, 为教学改革提供参考。

关 键 词 : 混凝土结构; 毕业设计; 截面初估; 土木工程教育; 教学改革

New Method for Estimating the Section Size of Reinforced Concrete Frame Column

Zhang Junfa^{*}, Gao Liang, Pan Xiuzhen, Guo Hongchao

(School of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048)

Abstract : Currently, the frame structure and the frame shear structure design are the main topic of the undergraduate graduation design in civil engineering. The design of this two kinds of structure in the area with seismic fortification intensity above 7 degrees, basically belongs to the seismic finalized, and the section size of the vertical component is determined by the allowable inter-story drift index. In view of the frame shear structure, in high-intensity fortification areas, the size of column section estimated according to the axial compression ratio is significantly smaller. So, by using some macro empirical data, such as the weight of the unit building area and the structure of the natural vibration period, and in combination with the theory of textbooks commonly used by hand and mechanical model, the new method for estimating the vertical component cross section size is put forward. The estimation method will help students quickly and macroscopically to grasp and to assess the correctness and regularity of the design, also provides a powerful technical means for the teacher to quickly establish the quality control, and It also provides experience and reference for engineering school civil engineering.

Keywords : concrete structure; graduation design; sectional dimension estimation; civil engineering education; teaching reform

结构设计是“初步假定—力学验算—调整优化”的迭代过程。本科生因缺乏工程经验, 在毕业设计初期难以合理确定构件截面尺寸, 导致反复试算、效率低下, 甚至出现位移超限问题。毕业设计是培养学生结构分析与设计能力的关键载体^{[1]-[8]}, 框架结构和框剪结构是主要选题。在7度及以上抗震设防地区, 结构设计由抗震性能控制, 竖向构件截面由层间位移角限值决定, 而非轴压比, 但现有教材多以轴压比作为柱截面估算依据, 导致高烈度区学生设计普遍存在截面偏小、刚度不足等问题^[9]。

为此, 本文基于宏观经验数据与经典手算力学模型, 提出一套适用于教学场景的框剪结构竖向构件截面快速估算方法, 帮助学生建立“先整体、后构件”的工程思维, 实现对结构方案的宏观把控, 同时为高校毕业设计教学提供标准化、可推广的方法。

一、几个宏观经验数据

(一) 单位建筑面积的重量

《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3-2010)^[10]第5.1.8

款的条文说明中提到:“目前国内钢筋混凝土结构高层建筑由恒载和活载引起单位面积重力, 框架与框架剪力墙结构约为12~14kN/m², 剪力墙和筒体结构约为13~16kN/m², 而其中活载部分约为2~3kN/m², 只占全部重力的15%~20%。”

项目信息:

陕西省教育教学改革项目(23BY050);

教育部产学合作协同育人项目(231104429225124);

西安理工大学教育教学改革研究项目(xzwjy2403)。

通讯作者: 高亮(1984—), 女, 陕西子洲人, 博士, 讲师, 主要从事结构力学、结构设计的教学及工程结构抗风、抗震、冲击防护的科研工作, E-mail: 156820773@qq.com;

张俊发(1961—), 男, 陕西白水人, 博士, 教授, 主要从事结构力学、高层建筑结构设计的教学及工程结构抗震、冲击防护的科研工作, E-mail: zhangjf-4314@163.com。

(二) 结构自振周期

按正常的设计, 大多数工程未经折减的自振周期大约在下列范围^[11]:

基本周期 T_1

框架结构:

$$T_1 = (0.12 - 0.15) n \text{ (s)};$$

框剪、框筒结构:

$$T_1 = (0.08 - 0.12) n \text{ (s)};$$

剪力墙、筒中筒结构:

$$T_1 = (0.04 - 0.05) n \text{ (s)};$$

其中, n 为建筑物的总层数;

二、框架—剪力墙结构柱和剪力墙的截面尺寸的估算

房屋建筑结构的所受的水平地震作用, 可根据按底部剪力法确定的底部剪力, 将其等效折算成倒三角分布的侧向荷载。对质量和刚度沿高度分布比较均匀的框架—剪力墙结构, 倒三角分布侧向荷载作用下, 无量纲的侧向位移为^[12]:

$$\frac{y(\xi)}{f_H} = \frac{120}{11} \frac{1}{\lambda^2} \left[A(\lambda)(\cos h\lambda\xi - 1) + B(\lambda) \left(\xi - \frac{\sin h\lambda\xi}{\lambda} \right) - \frac{\xi^3}{6} \right] \quad (1)$$

式中: y 为侧移;

$$f_H = \frac{11}{120} \frac{qH^4}{E_w I_w} \text{ 为顶点处的侧移};$$

q 为倒三角分布侧向荷载在顶部处的集度;

H 为建筑结构总高度;

$E_w I_w$ 为剪力墙总的抗弯刚度;

$$\lambda = H \sqrt{\frac{C_f}{E_w I_w}} \text{ 为框架—剪力墙结构的刚度特征值};$$

C_f 为框架总的抗推刚度;

$$A(\lambda) = \left(\frac{\sin h\lambda}{2\lambda} - \frac{\sin h\lambda}{\lambda^3} + \frac{1}{\lambda^2} \right) \frac{1}{\cos h\lambda}$$

$$B(\lambda) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\lambda^2}$$

$$\xi = \frac{x}{H} \text{ 为相对高度坐标}.$$

对(1)式求导, 可以得到侧移转角:

$$\frac{1}{f_H} \frac{dy}{d\xi} = \frac{120}{11} \frac{1}{\lambda^2} \left[A(\lambda) \lambda \sin h\lambda\xi + B(\lambda) (1 - \cos h\lambda\xi) - \frac{\xi^2}{2} \right] \quad (2)$$

利用 Matlab, 编制程序, 求出不同 λ 值时的无量纲侧移转角最大值:

$$\left(\frac{1}{f_H} \frac{dy}{d\xi} \right)_{\max} = C(\lambda) \quad (3)$$

及其出现位置 ξ_0 如表1所示。

表1 无量纲侧移转角最大值及其出现位置

λ	$\xi_0(\lambda)$	$C(\lambda)$	λ	$\xi_0(\lambda)$	$C(\lambda)$
1.10	0.7907	0.8813	1.80	0.6329	0.5597
1.20	0.7649	0.8259	1.90	0.6152	0.5263
1.30	0.7399	0.7734	2.00	0.5987	0.4956
1.40	0.7161	0.7241	2.10	0.5834	0.4675

1.50	0.6934	0.6781	2.20	0.5690	0.4416
1.60	0.6720	0.6354	2.30	0.5557	0.4178
1.70	0.6518	0.5960	2.40	0.5432	0.3959

最大层间位移角可取为侧移转角最大值, 设计时最大层间位移角要求应小于等于允许值 $[\theta]$, 即有:

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{\max} \leq [\theta] \quad (4)$$

而:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{d\xi} \frac{d\xi}{dx} = \frac{1}{H} \frac{dy}{d\xi}$$

则有:

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{\max} = \left(\frac{1}{H} \frac{dy}{d\xi} \right)_{\max} = \frac{f_H}{H} C(\lambda) \leq [\theta] \quad (5)$$

据顶点处的侧移和刚度特征值的表达式, 可推出剪力墙总的抗弯刚度和框架总的抗推刚度需满足

$$E_w I_w \geq \frac{11qH^3}{120[\theta]} C(\lambda) \quad (6)$$

$$C_f \geq \frac{11qH\lambda^2}{120[\theta]} C(\lambda) \quad (7)$$

依据以上两式可估算沿高度平均的剪力墙总的抗弯刚度和框架总的抗推刚度, 一般情况下, 可取 $(0.5-0.6)H$ 的值作为平均值, 此高度以下的区段可酌情增大。

高烈度设防地区框剪结构毕业设计通常限定总层数在11-12层内, 框架柱截面尺寸由层间位移角限值决定。可利用经验数据快速估算柱和剪力墙的截面尺寸, 具体步骤如下:

1. 根据框架结构层数 n , 按经验公式 $T_1 = (0.12 - 0.15) n \text{ (s)}$, 确定基本周期;
2. 按照单位面积重力 w , 确定指定结构单元 (同一建筑物, 如设变形缝则分为几个结构单元) 的总的重力荷载代表值:

$$\sum_n G_i = w \sum_n A_{fi}$$

式中, A_{fi} 为指定结构单元第 i 层的建筑面积。

根据结构折算后的基本周期、设防基本地震加速度、地震分组、场地类别, 查取地震影响系数 α_1 ;

计算底部剪力:

$$V_0 = 0.85\alpha_1 \sum_n G_i;$$

取多遇地震下的层间位移角限值 $[\theta] = 1/800$, 按式(6)和(7)计算侧移转角最大值相应高度处剪力墙总的抗弯刚度 $E_w I_w$ 和框架总的抗推刚度 C_f 。

依据剪力墙材料的弹性模量 E_w 推算剪力墙总的截面惯性矩 I_w 。

依据框架柱材料的弹性模量 E_w , 由 C_f 推算框架柱的截面边长 b_c 。

$$b_c = \sqrt[4]{\frac{C_f h^2}{m \alpha E_c}} \quad (8)$$

其中, h 为各楼层的平均层高, m 为每层框架柱的总根数 (不包括剪力墙肢端部的明柱), α 为梁柱刚度比值对框架层间刚度影响的修正系数, 对目前流行的双开间大柱网情况, 建议取 $\alpha = 0.3$ 。

需说明, 低烈度或高层框剪结构, 竖向构件截面可能由轴压

- Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License. | 113