

满约束法在钢筋混凝土框架 优化设计中的应用

王志忠 霍 达

(佳木斯建筑设计院)

(郑州工学院)

提 要

本文用文献[1]提供的满约束(又称满控制)设计法对钢筋混凝土框架进行抗震优化设计,并满足我国现行设计与施工规范。优化过程中,对离散设计变量,加速收敛等都做了相应处理,优化程序简单,实用。

关键词: 最佳化; 钢筋混凝土结构; 框架结构; 满约束

一、满约束设计法

满约束设计法又称满控制法,就是使尽可能多的强度和刚度约束达到临界状态的优化设计方法,一般情况下,满约束设计的结果接近于最轻设计的结果,是一种实用的优化设计方法。

满约束设计与目标函数没有必然的联系,一般认为满约束,就意味着充分利用了材料,目标函数可能达到极值。文献[1]给出了剪切型钢框架满约束设计法,其优化过程如下:

(1) 给出初始设计方案 $I^{(0)}$ 。

(2) 按初始设计方案进行动力分析,求出框架前 R 个振型向量和周期 $T^{(0)}$,楼层最大剪力 $Q_1^{(0)}$ 、楼层最大相对位移 $\delta_i^{(0)}$ 。

(3) 在假定各楼层剪力保持不变的条件下,利用满约束条件:

$$\delta_i = [\delta_j]$$

$$\sigma_i = [\sigma]$$

求出每层的二个刚度,取其中较大者为本层柱截面刚度 $I_i^{(1)}$ 。

(4) 用Rayleigh法求出具有新刚度 $I^{(1)}$ 的框架周期。

式中:

$$T_1^{(1)} = \sqrt{\psi} T_1^{(0)}$$

$$\psi = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \delta_{i1}^{(0)2}}{\sum_{i=1}^n S_i \delta_{i1}^{(1)2}}$$

利用反应谱求得相应的周期 T^* , 令

本文1986年12月5日收到。

$$r = \frac{T_1^*}{T_1^{(1)}}$$

$$\text{将 } l_i^* = \frac{l_i^{(1)}}{r^2}$$

作为新的初始设计方案做下一轮迭代。

本文将满约束设计方法应用于钢筋混凝土框架结构, 并考虑荷载, 地震烈度, 场地土条件的差异进行结构优化设计。

二、钢筋混凝土框架优化设计的数学模型

钢筋混凝土框架结构在地震荷载作用下, 楼板在自身平面内刚度无穷大, 在平面外刚度不予考虑, 结构为剪切型变形。楼板, 框架梁由构造要求或部分优化确定。这样, 钢筋混凝土框架抗震优化主要是对框架柱截面进行优化设计。从我国已建框架结构来看, 柱截面形状基本是正方形的, 北京市建委批准的北京市民用建筑框架体系定型图《梁柱通用构件图集》中, 框架柱截面全为正方形截面。这样从工程实际情况出发, 假设框架柱截面为正方形, 取每层柱截面边长

$$\{b\} = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}^T$$

作为设计变量。优化的目标, 使结构的总造价最低, 目标函数为

$$W = \sum_{i=1}^n c_i l_i b_i^2$$

根据我国现行设计规范和规定, 确定约束条件如下:

$$\begin{aligned} \tau_i &\leq 0.3 R_a & \sigma_i &\leq 0.75 R_a \\ \Delta &\leq [\Delta] & \delta_i &\leq [\delta] \\ b_i &\leq \psi [b] \end{aligned}$$

式中

τ_i —柱剪应力;
 σ_i —柱轴向应力;
 R_a —柱混凝土轴心抗压强度;
 Δ —顶点位移;
 δ_i —楼层相对位移;
 $[\Delta]$ —顶点位移允许值;
 $[\delta]$ —楼层相对位移允许值。

三、优化中几个问题的处理

在钢筋混凝土框架优化设计过程中, 我们考虑以下几个问题:

1. 连续最优解的“模数化”

钢筋混凝土框架优化设计是个离散设计变量的结构优化设计问题, 根据钢筋混凝土结构的一般构造要求, 框架柱断面高度以5厘米为模数, 为了便于计算, 先将离散的设计变量视

为连续变量,找出连续变量的最优解,然后进行模数化。为了不破坏约束条件和保证结构安全,当选出的断面高度,连续解的尾数不足5厘米时,按5厘米进位。

2. 加速收敛的方法

为了加速收敛,克服由于假设楼层剪力不变调优而引起的误差,根据文献[2]的建议,增加一个动力迭代步骤。

在用满约束法调优时,假设层剪力不变,即在原结构内力计算基础上利用满控制条件寻求优化设计方案。由于新旧结构内力不同,有时调优后的优优方案并不是最优方案,为此增加一个迭代步骤。在图1中, A点为初始设计方案,在楼层剪力不变的条件下调优,就是沿通过A点的斜直线AO调优,此时加速度不变,则地震荷载不变。在B点是有条件的使约束满控制,由于B点的结构内力不同于A点的结构内力,因而约束满控制并不是真正的满控制,要进行修正。修正时要满足约束满控制,那么只能沿满约束曲线移动,另一方面要满足《工业与民用建筑结构抗震设计规范》的要求,设计点要在地震反应谱曲线上,则C点为修正点, C点的振动周期。

$$T_i = \sqrt{\beta} T_0^{(1)}$$

$$b_i = \frac{b^{(1)}}{\sqrt{\beta}}$$

作为下一轮迭代的初始设计方案。

3. 迭代的收敛条件

迭代终止的判断准则为

$$|E_1| = \left| \frac{\sigma_i - 0.75R}{0.75R_s} \right| \leq \varepsilon_1$$

$$|E_2| = \left| \frac{\tau_i - 0.3R_s}{0.3R_s} \right| \leq \varepsilon_2$$

$$|E_3| = \left| \frac{\delta_i - [\delta]}{[\delta]} \right| \leq \varepsilon_3$$

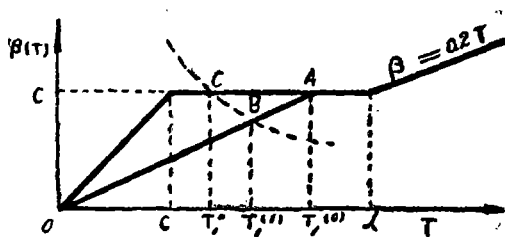


图 1

表 1

层数	原设计方案	优化方案b	模数化方案
1	65×65	62.46	65×65
2	60×60	58.37	60×60
3	60×60	56.48	60×60
4	55×55	54.30	55×55
5	55×55	52.04	55×55
6	55×55	49.97	50×50
7	55×55	47.10	50×50
8	50×50	44.27	45×45
9	50×50	42.53	45×45
10	50×50	41.03	45×45
11	50×50	40.95	45×45

当上述三个条件均满足, 或只满足二个条件而第三式小于零, 或满足一个条件而另二个式子均小于零, 则认为趋于最优设计, 停止迭代。

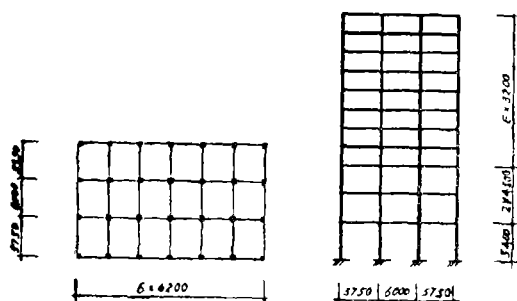


图 2

参 考 文 献

- (1) 王光远、董明耀、郭骅 “多层剪切型框架抗震设计的最优刚度分布” 《地震工程与工程振动》创刊号, 1981年。
 (2) Rosenbluth, E. Asfurs, A Method of Developing Optimum Tolerances, J. Struct. Div. ASCE Vol 102 ST2 Feb. 1976.

APPLICATION OF THE FULLY CONSTRAINED METHOD TO THE OPTIMUM DESIGN OF R.C. FRAME

Wang Zhizhong

Huo Da

(Siamusi Building Institute)

(Zheng zhou Institute of Technology)

Abstraet

In this Paper, the fully constrained method, presented in reference [1], is applied to the optimum aseismic design of reinforced concrete frame and in the meantime the codes for structural design and construction of China are satisfied also. Moreover, the dispersed design variables, convergence speed and etc. are handled correspondingly during the optimization process. Therefore this optimization procedure is very simple and practical.

Key Words:

Optimum design, reinforced concrete structure, frame construction, fully constrained.

四、工程实例

某钢筋混凝土框架结构, 平面、剖面如图2所示。楼层重量 $1.5\text{T}/\text{m}^2$, I类场地, 地震烈度为8度, 原设计尺寸如表1。

用满约束设计法优化设计结果见表1, 与原设计相比节省8.1%。