

框架-抗震墙高层建筑抗震墙的 计算机辅助设计

韦鹏生 王全凤

(土木工程系)

摘要 本文成功地研制了地震作用下框架-抗震墙结构中抗震墙的计算机辅助设计系统 SWCAD, 并指出, 优化设计思想是结构 CAD 系统中不可分割的组成部分, 本文提出一个新的概念, 制图模式及模式填表. 这一概念的提出, 为解决长期以来困扰着 CAD 科研界的计算机制图方法统一化问题提供了一种可能性, 为 CAD 系统中图形数据库的建立和程序的结构化指明了方向.

关键词 CAD, 优化, 制图模式及模式填表, 图形数据库

0 引言

计算机辅助设计(Computer Aided Design, 简称 CAD)技术是随着计算机硬件设备的发明而产生的, 经过近 30 年的发展, 这一门技术目前在发达国家已渗透到社会生活的各个方面, 在各个领域里起着举足轻重的作用; 在国内, 跟发达国家相比, 其差距仍然非常大. CAD 软件在国外售价十分昂贵, 而且其设计标准与国内有相当大的出入, 所以国内有关单位都主张独立自主, 自己开发 CAD 软件.

框架-抗震墙结构是目前我国高层建筑结构中相当常见的结构体系. 对于抗震墙的结构分析、优化和绘图有着相当广泛的针对性. 本文的工作目标是对框架-抗震墙结构中的抗震墙进行优化设计, 最后通过绘图机输出抗震墙的结构施工图.

1 CAD 系统结构框图

任何一个完整的 CAD 系统都应包括如下四个部分: (1)图形通讯系统; (2)数据管理系统; (3)分析程序库; (4)CAD 系统管理软件.

为了实现本文的工作目标, 在图形通讯方面, 本文采用中文 Auto CAD V2.6 作为支撑软

本文 1991-07-15 收到.

件,以 Auto CAD 的丰富的图形处理功能来完成图形的输入/输出及人机对话. 优化设计程序、数据管理程序以及数据库与 Auto CAD 的接口程序、CAD 系统管理程序等均采用 Turbo Pascal V4.0 语言来编写,以 Turbo Pascal 语言的全面而强大的功能来处理工程计算、数据管理等方面的工作.

2 结构优化分析

2.1 问题的提出及数学模型

高层建筑的使用要求,一般是以房屋的最大允许相对侧移来限制的. 结构的刚度越小,侧移越大,反之刚度越大,侧移越小. 同时在地震时,结构的地震反应也与刚度密切相关. 刚度越大,地震作用越大,反之刚度越小,地震作用越小. 显然,减小房屋侧移与减小地震作用是一对矛盾,必定存在一个最优的结构刚度,使得房屋既能满足人们的使用要求又使地震作用最小,从而减少材料的使用量以降低建筑造价. 由此可见,结构的刚度 $\sum EI$ 便是设计变量,地震作用 Q_E 是目标函数. 此问题的数学模型即:求 $\sum EI$, 使得 Q_E 最小,并满足^[1]

$$\text{变形约束条件} \begin{cases} \bar{\Delta}_{\max} \leq [\bar{\Delta}]; \\ \bar{\Delta}'_{\max} \leq [\bar{\Delta}']; \\ \sum EI \geq 0. \end{cases}$$

其中 $\bar{\Delta}_{\max}$ 、 $\bar{\Delta}'_{\max}$ 分别为房屋最大水平与层间相对角变位; $[\bar{\Delta}]$ 、 $[\bar{\Delta}']$ 分别为 $\bar{\Delta}_{\max}$ 和 $\bar{\Delta}'_{\max}$ 的最大允许值. 应力约束条件详见文^[1].

2.2 数学模型的解

框架-抗震墙结构顶部作用单位集中力的位移公式是^[2]

$$y(x) = \frac{H^3}{E_w J_w} \left[\frac{\text{sh} \lambda}{\lambda^3 \text{ch} \lambda} (\text{ch} \lambda \xi - 1) - \frac{\text{sh} \lambda \xi}{\lambda^3} + \frac{\xi}{\lambda^2} \right], \quad (1)$$

其中 H 为结构总高; $E_w J_w$ 为抗震墙的抗弯刚度; λ 为结构刚度特征值; ξ 为相对高度; $\xi = x/H$. 于是当单位集中力作用在第 k 层时,第 i 层 ($i \leq k$) 的侧移为

$$\delta_{ik} = \frac{H_i^3}{E_w J_w} \left[\frac{\text{sh} \lambda_k}{\lambda_k^3 \text{ch} \lambda_k} (\text{ch} \lambda_k \xi_i - 1) - \frac{\text{sh} \lambda_k \xi_i}{\lambda_k^3} + \frac{\xi_i}{\lambda_k^2} \right], \quad (2)$$

其中 H_i 为第 k 层的高度; λ_k 为以第 k 层为顶层时的结构刚度特征值; ξ_i 为以第 k 层为顶层时第 i 层的相对高度. 令 $k=1, 2, \dots, n; i=1, 2, \dots, k$, 并注意到 $[\delta]$ 的对称性,即可得一个完整的柔度矩阵 $[\delta]$. 于是可求得 n 个振动频率和周期

$$\omega_i = \sqrt{\frac{1}{\lambda_i}}, \quad (3)$$

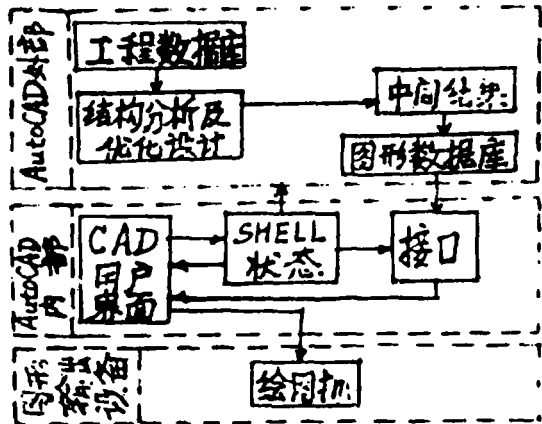


图 1 系统结构框图

$$T_i = 2\pi/\omega_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

其中 λ_i 为 $[\delta][m]$ ($[m]$ 为结构的质量矩阵) 的特征值, λ_i ($i=1, 2, \dots, n$) 所对应的特征向量 $\{X\}$, 即 n 个振型.

然后, 按照如下公式计算地震作用⁽³⁾

$$P_{ij} = \alpha_j \gamma_j x_{ij} W_i, \quad (5)$$

其中 P_{ij} 为第 j 振型作用于第 i 质点的水平地震作用; γ_j 为第 j 振型参与系数; x_{ij} 为结构第 j 振型第 i 质点的相对水平位移; α_j 为相应于第 j 振型的地震影响系数; W_i 为第 i 质点的重量.

求出 P_{ij} 后, 便得各振型的各楼层地震剪力

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^n P_{kj}, \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

以及组合的各楼层地震剪力, 即目标函数

$$Q_{Ei} = \sqrt{\sum_{j=1}^n S_{ij}^2}, \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (7)$$

由组合的各楼层地震剪力反求各楼层地震作用 $\{F\}$, 于是得各楼层位移向量 $\{\Delta\} = [\delta]\{F\}$. 由 $\{\Delta\}$ 不难求得层间位移 $\{\Delta'\}$ 、层间相对角变位移 $\{\Delta''\}$ 和顶层相对角变位 Δ_{\max} , 并以此代入变形约束条件, 以控制设计变量 $E_w J_w$ 的优化搜索.

3 图形数据库的产生和管理

3.1 新概念的提出及其解释

大家知道, 在任何一个必须用图形来协助表达作者思想意图的科学领域中, 制图学是一门很重要的学科. 然而到目前为止, 作者尚未看到有任何一本关于制图的书提及这样一个概念: 对于某一类具有相对稳定性质的制图对象, 其图形总具有一定的表达模式, 图形中所包含的内容均不外乎某几种具有相对稳定结构的实体(包括基本图元、块、形、属性等). 因而有必要提出这样一个新概念, 将制图对象的这种性质定义为制图模式, 再将制图模式抽象为一个表, 于是制图过程便是模式填表.

这样一个新概念对于 CAD 系统的设计是很重要的. 对于计算机, 一切图形和文字都必须通过确定的坐标值去描述, 因而对于给定的制图对象, 图形数据库中是不能出现变量的, 然而在建立图形数据库的程序中又不能使用常量, 而必须使用变量, 因为 CAD 系统不是针对某一给定设计对象进行设计的. 因而制图模式及模式填表概念的提出及其在 CAD 系统中的体现, 将为计算机这位“盲人”规定了一个对于图形的总体印象.

以前, 制图模式及模式填表概念在人们头脑中还只是一种模糊而凌乱的感性认识, 未能成为一个具有明确内涵的概念, 因而在建立图形数据库时, 均未能使数据具有良好的结构. 同时, 程序模块结构也没有一个设计准则, 往往造成一种奇怪的现象: 一方面内存不够用(或很紧张), 一方面内存中又保留着一些无用的信息(包括变量、常量、模块等). 如何提出一个有效的设计准则, 使得图形数据库具有良好的数据结构以及提高程序的运行效率, 亦即如何解决长期以来困扰着 CAD 科研界的制图方法统一化问题呢? 本文以制图模式及模式填表这一新概念

的提出,在这方面作了有益的尝试,并取得良好效果。

3.2 图形数据库的产生

根据 Auto CAD 有关的基本图元及命令的数据输入格式,本文开发了如下六个基本图模块:(1) Procedure line(x_1, y_1, x_2, y_2 ; real; cc; string); (2) Procedure Pline(x_1, y_1, w, x_2, y_2 ; real; cc; string); (3) Procedure circle(x_0, y_0, r ; real; cc; string); (4) Procedure arc(x_1, y_1, w, x_0, y_0, A ; real; cc; string); (5) Procedure Text(cc; string; x_1, y_1, H, A ; real; cc; string); (6) Procedure Dot(x_0, y_0, r ; real; cc; string)。

图形数据库便是图形库处理程序调用这些基本图素模块而产生的。本文在开发图素模块方面改进了《第二届全国建工系统计算机应用学术交流会论文集》中“框架 CAD 图形自动生成原理”一文的作法。该文对图素的每一操作都涉及到图层的操作,而本文按照制图模式及模式填表的概念将图形划分为若干部件,然后将若干图素划归一组,并冠之以集体层名,因而这不仅使图形库处理程序运行效率提高,而且使 Auto CAD 减少了许多不必要的操作。

3.3 图形数据库的管理

本文将图形的每一部件都按照实体性质的不同划分为若干图层,又根据图层功能的某些一致性,将若干图层划为一组,并冠之以十分简明易懂的组名,如 LINE GROUP、TEXT GROUP 等。同时,针对实体描述数据的可能重复项目,采取了以一代二、以二代三的方法,减少图库中数据的冗余度。

本文用 Turbo Pascal V4.0 模拟 dBASE 系统对数据的管理方式,将图形库按图层划分为若干部分,每一部分包括总体描述区和记录区。在记录区,每一记录的前一部分是图素的描述数据,后一部分是图素注释内容,用户可以通过注释内容方便地查出某一图素在图纸上的位置。接口程序对注释部分不予理睬,而跳过去继续处理下一个记录。

4 图形数据库与 Auto CAD 的接口

本文选择 SCR 接口方式。接口程序在图形库中若干总体描述信息的控制下,将记录区的内容逐一“翻译”成 Auto CAD 的 SCR 文件。本文开发了如下 12 个接口模块:(1) Procedure line; (2) Procedure circle; (3) Procedure arc; (4) Procedure pline; (5) Procedure dot; (6) Procedure text; (7) Procedure htext; (8) Procedure dimension; (9) Procedure init; (10) Procedure getblock; (11) Procedure setcolor; (12) Procedure conclude。其中模块(1)~(8)负责对图形库中实体的定位重生进行处理;模块(9)~(12)专为“翻译”实体的附属描述内容以及处理图形重生前后的基本参数而设计。

5 CAD 系统管理

本文采用 DOS 本身对系统进行管理。本 CAD 系统设有一个菜单系统,用户可以通过主菜单和子菜单方便地选择工作项目,由菜单自动生成批命令文件,由批命令文件完成具体工作项目,然后又返回菜单状态提示工作项目。用菜单进行管理,思路清晰,步骤分明,是一种比较好的系统管理方式。

6 设计实例

设计某工程 18 层现浇框架-抗震墙结构,选定框架柱尺寸为 $60 \times 60\text{cm}$, 框架梁尺寸为 $22 \times 60\text{cm}$; 混凝土强度等级用两种: C_{30} 和 C_{20} ; 横向框架间距 4.2m, 共 11 榀, 纵向框架间距 6m, 共 3 榀, 首层层高 5.0m, 其它层层高 3.6m; 结构总高 66.20m. 抗震设防烈度为 8 度, 地基为 III 类场地. 横纵向榀屋顶线荷载均为 26.3kN/m , 其它层均为 39.4kN/m . 风荷载从第一层至第十八层依次取 46、75、130、142、147、151、156、165、166、167、169、174、178、180、183、187、192、194, 单位为 kN ; 恒载取全部, 活载取 50%, 集中在屋盖和楼盖处的重量分别为: 底层为 5500kN , 2—17 层为 4850kN , 顶层为 3500kN .

从各级中间结果可以观察到: 抗震墙的最优截面惯性矩 $I_{op} = 238.23\text{m}^4$, 取四片抗震墙, 每片腹板厚度为 28cm , 实际总惯性矩为 242.07m^4 . 四片抗震墙分别放在轴线 2、5、7、10 上. 抗震墙边框柱配筋为 $12\Phi 25$, 中柱配筋为 $12\Phi 18$, 抗震墙腹板配筋横竖向均为双排 $\Phi 10@220$. 第一至第六层柱梁用 C_{30} 混凝土, 结构其它部位用 C_{20} 混凝土. 在地震情况下, 顶点最大相对角变位为 $1/406$, 最大层间相对角变位为 $1/302$. 第一振型周期为 0.8513s .

参 考 文 献

- [1] 王全凤、施士升, 框架-剪力墙高层建筑结构抗地震荷载剪力墙数量的优化分析, 土木工程学报, 3 (1981).
- [2] 包世华、方鄂华, 高层建筑结构设计, 清华大学出版社, (1985).
- [3] 北京建筑工程学院等, 建筑结构抗震设计, 地震出版社, (1981).
- [4] 胡祖宣等, 微型计算机辅助设计系统, 科学技术文献出版社, (1988).

Computer Aided Design for the Shear Wall in Frame-shear Wall High-Rise Buildings

Wei Pengsheng Wang Quanfeng

(Department of Civil Engineering)

Abstract The authors succeed in developing a software system of computer aided design, SWCAD, for the shear wall member in a frame-shear wall structural system under seismic load; and point out that the thought of optimal design is an inseparable part of structural CAD system. A new concept of drawing mode and mode stuffing is advanced in this paper. The advance of this concept offers a possibility of resolving the unification of computer drawing methods which long standingly perplexed the researchers of CAD; and points the direction for the creation of graphic data base in a CAD system and for the structured programming.

Key words computer aided design, optimization, drawing mode and mode stuffing, graphic data base