

微型机结构计算机软件系统

之七

# 箱型基础计算

曹骏一 编

北京科技协作中心

计算机软件部

一九九二年五月

## 前 言

随着我国经济建设事业的迅速发展，城市内高层建筑日渐增多，箱形基础是高层建筑理想基础形式之一，已被广泛用于高层建筑基础。某些层数虽不高的建筑及某些设备基础，由于荷载大或功能上的需要，也采用箱形基础。

程序中采用了多种基础模型及地基模型，这是考虑了箱基在不同地基上解题的需要。箱形基础下地基土，系一自然历史产物，由于地质成因，地质年代，埋藏条件，颗粒结构及成份，有无受到人类历史活动的搅动等等复杂因素之影响，其力学性能的变异性是相当大的。另一方面，箱形基础又受到上层建筑的平面形式，空间刚度及其分布；荷载及其分布等等因素影响，使其有不同的受力特性，故不可能用单一的基础和地基力学模型去解决所有箱形基础的结构设计问题。程序中列入了多种模型，可为用户提供多种手段解决箱形基础结构设计问题。用户在对自已所设计的箱形基础，所处的地质条件及上层建筑两个方面做出分析之后，选定适当的地基及基础模型。

在考题过程中，总后营房部设计院张维琪工程师，北京建筑设计院陈国美工程师提供了考题，仅在此致谢。

本程序自八六年编制完成后，已在上百家设计单位得到应用，经受了实践的考验，取得了实效，受到社会好评。

本程序按新的结构设计规范作了相应修改，涉及的规范有：

建筑结构设计通用符号，计量单位和基本术语（GBJ 83-85）；

建筑结构荷载规范（GBJ 9-87）；

混凝土结构设计规范（GBJ 10-89）；

建筑抗震设计规范（GBJ 11-89）；

由于《高层建筑箱形基础设计与施工规程》尚未修订，故属原规程中，新规范未明确的内容，程序暂不修改，待颁布新的规程后，再作第二次修改。

请使用本程序的单位，将应用程序过程中所发现的问题和意见，随时反馈给我们，以便不断改进。

联系地址：北京永外洋桥12号7室（邮政编码：100077）

电话：7212277-075

## (一) 功能

本程序可用于天然地基上箱形基础结构计算, 包括: 复核箱基下地基土强度; 沉降及整体倾斜计算; 按《规程》方法, 刚性底板假设, 弹性地基梁有限元解确定地基反力; 箱基内力计算; 复核箱基板、墙强度; 箱基洞口强度复核及配筋等。

地基土采用了有限压缩层分层总和法模型。用复合模型可处理箱下带摩擦桩基础。

本程序还可兼用于筏式基础及条形基础结构计算。

## (二) 基本理论

程序编制依据:

建筑地基基础设计规范 (GBJ 7-89) 以下简称“规范”;

混凝土结构设计规范 (GBJ 10-89);

建筑结构荷载规范 (GBJ 9-87);

高层建筑箱形基础设计与施工规程 (JGJ-6-80), 以下简称“规程”。

### 1. 复核地基强度

求箱基下土平均应力:

$$P = \frac{N}{F} \dots\dots\dots (1.1)$$

求箱基下各节点处压力:

$$P_i = \frac{N}{F} + \frac{M_{x0}}{I_{x0}} \cdot Y_i + \frac{M_{y0}}{I_{y0}} \cdot X_i \dots\dots\dots (1.2)$$

从中找出  $P_{max}$  及  $P_{min}$

$P$ 、 $P_{max}$  及  $P_{min}$  应符合下列要求

非地震区:

$$P \leq f \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

$$P_{\max} \leq 1.2 f \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

$$P_{\min} \geq 0 \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

地震区:

$$P \leq f_{SE} \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

$$P_{\max} \leq 1.2 f_{SE} \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

以上各式中符号:

$N$  —— 作用于箱基上垂直力总和, 包括箱基自重, 单位  $KN$ ;

$F$  —— 箱基底面积, 单位  $M^2$

$M_{x_0}$  —— 作用于箱基上各节点外力对平行于  $X$  坐标轴的箱基底板形心轴  $X_0$  的力矩, 单位  $KN-M$ ;

$I_{x_0}$  —— 箱基底板对  $X_0$  轴的惯性矩, 单位  $M$ ;

$Y_i$  —— 节点  $i$  至  $X_0$  轴的垂直距离, 单位  $M$ ;

$M_{y_0}$  —— 作用于箱基上各节点外力对平行于  $Y$  坐标轴的箱基底板形心轴  $Y_0$  的力矩, 单位  $KN-M$ ;

$I_{y_0}$  —— 箱基底板对  $Y_0$  轴的惯性矩, 单位  $M$ ;

$X_i$  —— 节点  $i$  至  $Y_0$  轴的垂直距离, 单位  $M$ ;

$f$  —— 地基承载力设计值;

$f_{SE}$  —— 调整后的地基土抗震承载力设计值, 按建筑抗震设计规范 (3.2.2) 式确定。

## 2. 箱基下基底反力及箱基内力计算

### 1). 《规程》方法:

- a) 按《规程》附录二基底反力系数确定箱基底部反力;
- b) 按《规程》附录三方法确定墙截面剪力;
- c) 按《规程》附录四举例方法确定箱基整体弯矩。

### 2). 刚性底板法:

将箱基底板视作弹性地基上的刚性板, 照此模型, 可立出箱基与地基的变形协调方程:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & a_{ii} & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_i \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \vdots \\ \Delta_i \\ \vdots \\ \Delta_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 - X_0 & Y_1 - Y_0 & 1 \\ X_2 - X_0 & Y_2 - Y_0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_i - X_0 & Y_i - Y_0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_n - X_0 & Y_n - Y_0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \theta_{y0} \\ \vdots \\ \theta_{x0} \\ \delta_0 \end{bmatrix} \quad \cdots (2.1)$$

即：

$$\{A\} \cdot \{P\} + \{\Delta\} = \{\delta\} \quad \cdots \cdots \cdots (2.2)$$

- 式中：
- $a_{ij}$ ——第  $j$  块网格上作用单位均布荷载时对  $i$  块网格中点所产生的沉降值；
  - $P_i$ ——第  $i$  块网格上的均布接触反力；
  - $\Delta_i$ ——邻近建筑对  $i$  块网格中点产生的沉降；
  - $X_i, Y_i$ ——第  $i$  块网格中点的座标；
  - $X_0, Y_0$ ——箱基底板形心座标；
  - $\theta_{y0}$ ——绕通过形心平行于  $Y$  座标轴的轴线的转角；
  - $\theta_{x0}$ ——绕通过形心平行于  $X$  座标轴的轴线的转角；
  - $\delta_0$ ——底板形心处垂直位移值。
- 墙截面剪力及整体弯矩计算同《规程》方法。

### 3) 弹性地基梁有限元解

此法的实质是将箱形基础近似地看作梁单元的组合物，箱基的上、下板及隔墙分别成为梁的上、下翼缘及腹板，认为这些梁只在节点处联系。

#### a) 形成地基梁单元刚度矩阵。

地基梁按交叉梁系确定单元刚度矩阵，每个节点取三个位移未知量。图 3. 1 是按右手坐标系确定的梁单元坐标系。XYZ 系结构整体坐标系，X'Y'Z' 系梁单元局部坐标系。X'Y' 平面同 XY 在同一平面，X' 轴同 X 轴夹角为  $\gamma$ 。图中所示系力的正方向。此时梁单元在局部坐标系下节点内力同节点位移之间有如下关系：

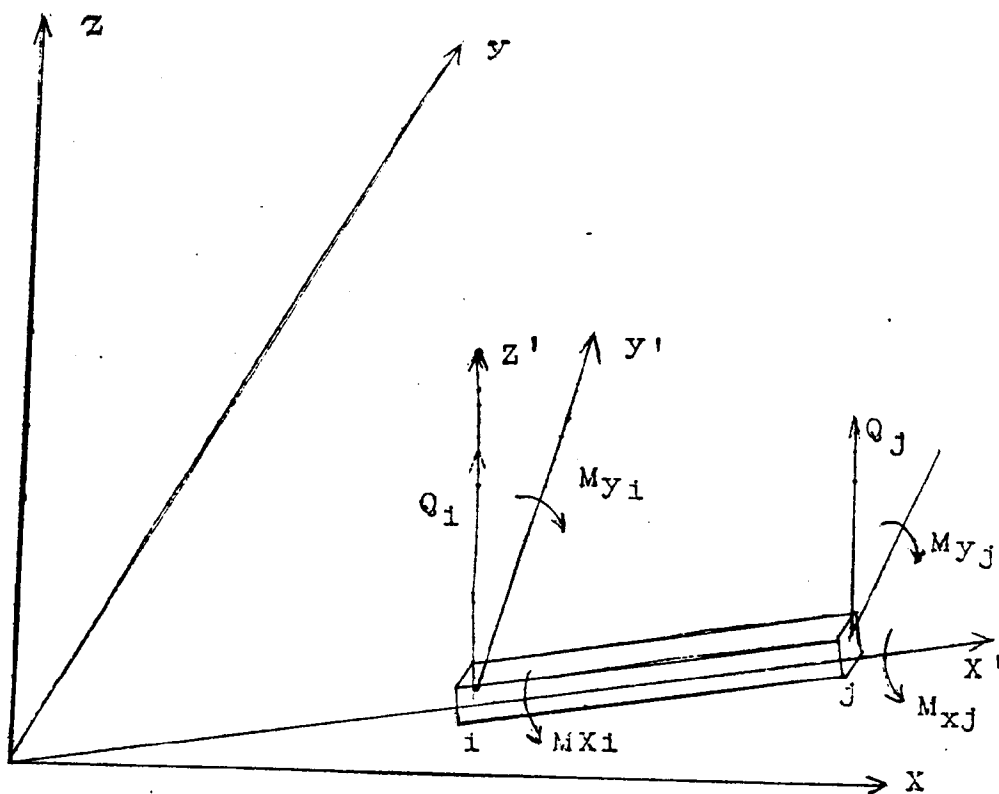


图 3.1

$$\begin{bmatrix} M_{xi} \\ M_{yi} \\ Q_i \\ M_{xj} \\ M_{yj} \\ Q_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & 0 & -\alpha & 0 & 0 \\ 0 & \beta/\gamma & -1/\gamma & 0 & \delta/\gamma & 1/\gamma \\ 0 & -1/\gamma & 2/(\gamma L) & 0 & -1/\gamma & -2/(\gamma L) \\ -\alpha & 0 & 0 & \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \delta/\gamma & -1/\gamma & 0 & \beta/\gamma & 1/\gamma \\ 0 & 1/\gamma & -2/(\gamma L) & 0 & 1/\gamma & 2/(\gamma L) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \\ \omega_i \\ \theta_{xj} \\ \theta_{yj} \\ \omega_j \end{bmatrix} \quad \dots\dots (3.1)$$

简写成

$$F = \bar{K} \cdot \delta$$

上式中

$$\alpha = \frac{G \cdot J_p}{L}$$

$$\beta = \frac{2}{3}L + \frac{2EJ}{L \cdot GA}$$

$$\gamma = \frac{L^3}{6EJ} + \frac{2}{GA}$$

$$\delta = \frac{L}{3} - \frac{2EJ}{L \cdot G \cdot A}$$

E —— 杆模量:

G —— 杆剪切模量:

J —— 杆惯性矩:

$J_p$  —— 杆极惯性矩:

L —— 杆件长度:

A —— 抗剪面积:

#### b) 形成地基梁总刚度矩阵

将每根地基梁在局部坐标系下的刚度转换成结构整体坐标系下的刚度, 并按位移号序列迭加到总刚相应位置就形成了总刚度矩阵。

$$K = T^T \cdot \bar{K} \cdot T \dots\dots\dots (3.2)$$

坐标变换矩阵:

$$T = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots\dots (3.3)$$

$K$ ——结构坐标系下单刚。

$\bar{K}$ ——局部坐标系下单刚。

这时整个基础梁系的变形方程为：

$$KK \cdot \delta = F \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

式中：

$KK$ —— $3n \times 3n$ 总刚度矩阵， $n$ 是节点数；

$\delta$ —— $(\theta_{x1}, \theta_{y1}, \omega_1, \dots\dots\dots, \theta_{xn}, \theta_{yn}, \omega_n)^T$

$F$ —— $(M_{x1}, M_{y1}, P_1 - \bar{P}_1, \dots\dots\dots, M_{yn}, P_n - \bar{P}_n)^T$

$P_1 \sim P_n$  —— 作用于节点的集中荷载。

$\bar{P}_1 \sim \bar{P}_n$  —— 作用于节点的地基反力。

对方程组作变换，将 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ 置于方程组下方，就可将基础梁系的变形方程写成如下分块形式：

$$\begin{pmatrix} KK\theta\theta & | & KK\theta\omega \\ \hline KK\omega\theta & | & KK\omega\omega \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M \\ P - \bar{P} \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

这时位移向量成为：

$(\theta_{x1}, \theta_{y1}, \dots\dots\dots, \theta_{xn}, \theta_{yn}, \omega_1, \dots\dots\dots, \omega_n)^T$

这时荷载向量成为

$(M_{x1}, M_{y1}, \dots\dots\dots, M_{xn}, M_{yn}, P_1 - \bar{P}_1, \dots\dots\dots, P_n - \bar{P}_n)^T$

### C) 形成地基刚度矩阵

地基刚度矩阵系由地基柔度矩阵求逆得到，故只要形成了地基柔度矩阵，地基刚度矩阵就可迎刃而解。

地基分析采用复合地基模型，见图(3.2)。

这种地基模型的出发点是：在一定深度范围内用单独弹簧假设(地基应力不扩散)，

而在其下则用分层总和法假设（应力开始扩散）。当不考虑弹簧时，就成了分层总和法模型。

复合地基模型的柔度矩阵形式是：

$$R = \begin{bmatrix} a_{11} + \overline{a_{11}} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} + \overline{a_{22}} & \dots & : \\ : & \dots & \dots & : \\ : & & a_{ii} + \overline{a_{ii}} & a_{ij} \\ : & & : & : \\ : & & : & : \\ : & & : & : \\ : & \dots & a_{ji} & : \\ : & & & : \\ a_{n1} & \dots & \dots & a_{nn} + \overline{a_{nn}} \end{bmatrix} \quad \dots (3.6)$$

式中：

$\overline{a_{ii}}$ ——按单独弹簧假设，在  $i$  节点作用单位荷载时，在  $i$  点沉降，当不考虑弹簧时， $\overline{a_{ii}} = 0$ 。

$a_{ij}$ ——按分层总和法，在应力开始扩散深度处，在  $j$  节点作用单位荷载时，在  $i$  点沉降。

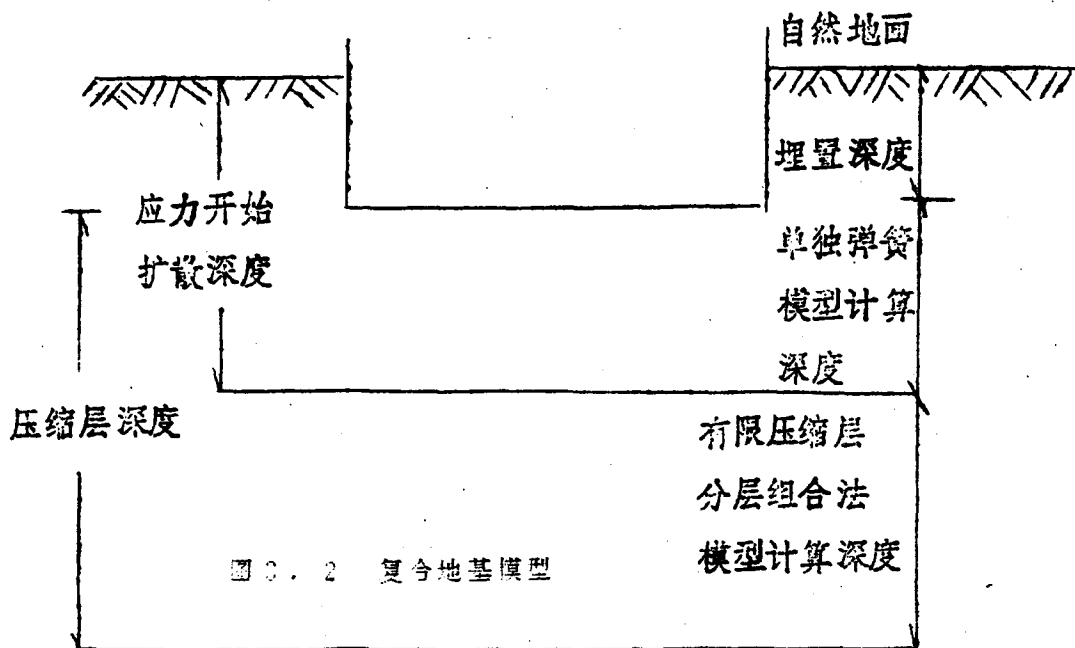


图 3.2 复合地基模型

据此可列出地基的沉降方程:

$$R A^{-1} (\bar{P} - P_0) + \Delta = \bar{W} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

式中:

$$A = \begin{bmatrix} A_1 & & & & & \\ & A_2 & & & & \\ & & \ddots & & & \\ & & & A_i & & \\ & & & & \ddots & \\ & 0 & & & & A_n \end{bmatrix}$$

- $A_i$  节点  $i$  的加荷面;
- $\bar{P}$  各点反力组成的  $n$  维向量;
- $P_0$  各点原生土重组成的  $n$  维向量。当计算压力为总压力时, 不扣原生土重, 这时  $P_0 = 0$ ;
- $\bar{W}$  为附加压力或总压力在各点造成的沉降值所组成的  $n$  维向量;
- $\Delta$  所有外荷块 (当前计算基础之外的邻近建筑物基础) 对各点造成的沉降值所组成的  $n$  维向量;

#### d) 建立基础与地基变形协调方程

按变形协调条件, (3.5) 式中  $w$  应等于 (3.7) 式中  $\bar{W}$ , 即基础与地基应紧密贴合, 不脱空。

将 (3.7) 式改写成

$$\bar{P} = A R^{-1} (\bar{W} - \Delta) + P_0 \quad \dots\dots\dots (3.8)$$

由 (3.5) 式得到

$$K K_{wq} \cdot \theta + K K_{ww} \cdot W = P - \bar{P} \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

将 (3.8) 式代入 (3.9), 并由  $W = \bar{W}$  可得

$$K K_{\theta} \cdot \theta + (K K_{\theta\theta} + A R^{-1}) \cdot W = P - P_0 + A R^{-1} \cdot \Delta$$

..... (3. 1 0)

这时就得到了基础与地基的变形协调方程:

$$\begin{bmatrix} K K_{\theta} & K K_{\theta\theta} \\ \hline K K_{\theta\theta} & K K_{\theta\theta} + A \cdot R^{-1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta \\ W \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} M \\ P - P_0 + A R^{-1} \cdot \Delta \end{Bmatrix}$$

..... (3. 1 1)

## (二) 程序结构及特点

### 1. 程序段及标识符说明

#### 1) 程序段说明

本程序共40个子程序段, 现将主要程序段的功能叙述如下:

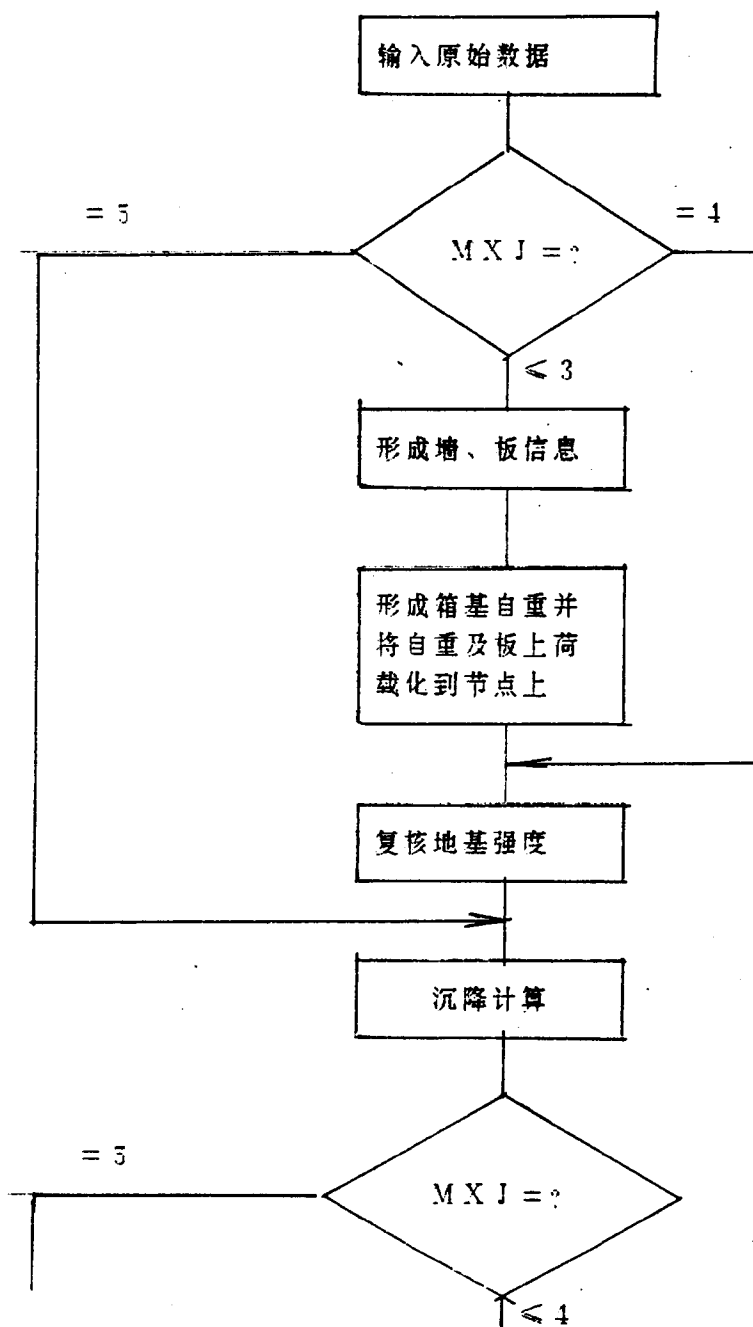
- |    |           |                   |
|----|-----------|-------------------|
| a) | Y B D     | 主干子程序段            |
| b) | Y B D 1   | 完成除有限元计算之外的各种计算   |
| c) | Y B D 2   | 对箱基按有限元计算         |
| d) | Q B H     | 对箱基墙编号            |
| e) | Q G H     | 去除虚墙后对墙重新编号       |
| f) | Q Q H Z   | 将板、墙上荷载及箱基自重化到节点上 |
| g) | F X D J   | 复核地基强度            |
| h) | Q G F     | 求加荷面              |
| i) | Q S N J   | 计算基础自由沉降          |
| j) | F X Q I N | 计算箱基整体沉降及倾斜       |
| k) | Q A N     | 形成总刚对角元素指示向量      |
| l) | Q K E     | 形成单刚              |
| m) | F G J     | 总刚三角化             |
| n) | G H D     | 回代过程              |
| o) | F X B     | 复核箱基板抗剪、抗冲切强度     |
| p) | F X Q D   | 复核箱基上洞口抗剪、抗弯强度    |
| q) | L P J     | 梁配筋               |

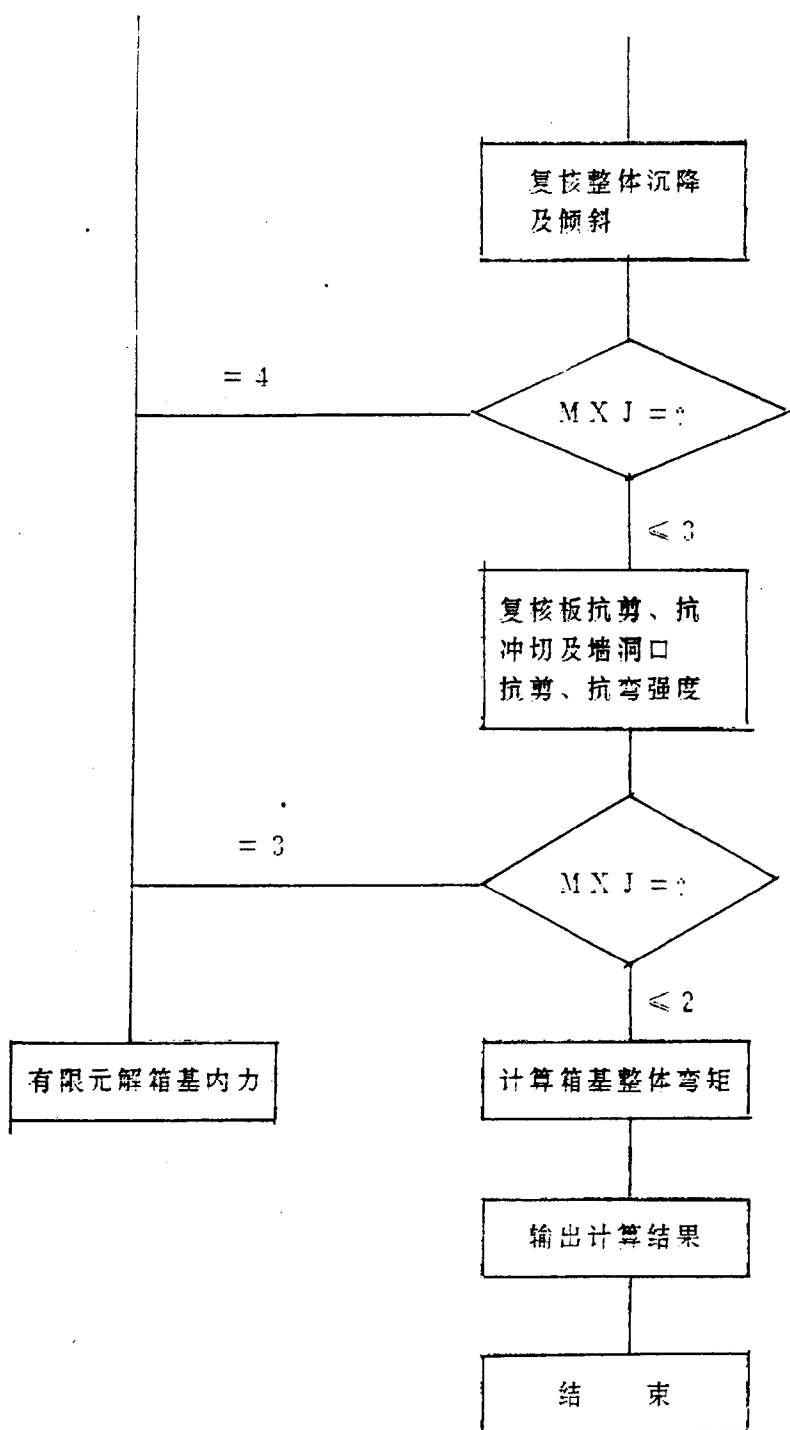
## 2) 标识符说明

这里将使用说明部分涉及不到的主要标识符叙述如下:

- |                 |                         |
|-----------------|-------------------------|
| a) DXY (NX, NY) | 节点信息数组                  |
| b) REE (7)      | 混凝土模量数组                 |
| c) RAL (3, 5)   | 混凝土轴心抗压、抗拉、弯曲抗压强度<br>数组 |
| d) DJ (16, 5)   | 《规程》地基系数数组              |
| e) R (NJK, NJK) | 地基柔度降, 求逆后为地基刚度降        |
| f) PI (NJK)     | 外荷块上荷载引起各节点沉降           |

## 2. 程序框图





### 3. 程序特点

(1) 程序提供了多种地基基础计算模型, 既包括了《高层建筑箱形基础设计与施工规程》中所提供的方法, 也包括了规程之外的理论较为严密, 又在实践中已广为应用的方法。故程序既忠实于《规程》, 又对《规程》不能解决的一些设计问题, 给出了适当的解决办法。多种模型使设计者能按照设计对象的具体条件选择较合理的计算模型。

(2) 除必要的原始数据之外, 大量数据都由程序自己生成, 故使用方便:

(3) 程序具有查错功能, 可查出用户大部分数错:

(4) 除可用于箱基, 筏基计算外, 也可兼作条基计算:

### 4. 程序内定说明

(1) 结构重要性系数取1.0

(2) 结构自重的分项系数取1.2, 动载分项系数程序未加考虑, 由用户在输入荷载中自行考虑。

(3) 钢筋取热轧II级钢, 钢筋抗拉设计强度  $f_y = 310 \text{ N/mm}^2$ , 弹性模量  $E = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。

#### (四) 使用说明

程序为便于计算结果的保存及查询, 编写了打印上机单位, 操作者、算题日期的语句, 最多可打20个字符。

当机器在DOS操作系统启动下出现提示符后, 有二种启动程序的方法。

其一是: 键入程序名: BASIS, 荧屏上显示询问信息“UNITS?”, 若使用打印机, 则键入PRN, 所有的输入、输出数据将在打印机上打印出来; 若不使用打印机, 则键入CON, 将仅在屏幕上显示输入、输出数据, 可以通过“屏幕打印”有选择地打印出计算结果; 若回答文件名, 则计算结果输到该磁盘文件上存储起来。接着, 屏幕上显示出“INPUT UNIT”, 此时要键入上机单位名并击回车键(上机单位名用汉语拼音或英文缩写由上机者自己确定, 也可直接回车)。屏幕上接着显示出“INPUT OPERATOR”, 此时要键入操作者姓名(或直接回车)。当荧屏上显示出“INPUT DATE”时, 要键入上机的年、月、日(或直接回车)。

接着, 荧屏又显示: “ENTER FILE NAME”, 这时用户可键入自己记在磁盘上的数据文件名, 程序就去磁盘上读数。

建立数据文件的方法同建立一个新的程序文件相仿, 只是在进入行编辑(EDLIN)之后, 在每一行语句号后键入数据就是了。数据个数及先后次序必须按说明书要求

填写，数据多了，次序不对，都会出错。每批输入数据之后，以END结束，以便于数据校核。当一批数据在一行中键不完时，可继续键入下一行，即一批数据可占若干行。

程序执行中间，屏幕提示DRAWING：问你是否立即去绘草图，若回答Y，则程序立即停止执行，回到DOS。你再启动绘草图程序（J9.exe），即可形成.DWG形式的图形文件，再进入AUTO CAD软件显示图形。若回答N，则程序执行完才退出。

其二是：通过菜单引导程序执行。当键入BOX后屏幕出现菜单：

### B A S I S 菜单

1. 建立数据文件
2. 进行结构计算
3. 形成计算简图
4. 退出

请选择

可按菜单顺序引导程序执行。

#### 1. 计算草图：

程序要求将房屋长向同直角坐标系的X轴平行，短向同Y轴平行。对每道墙，要定出轴线位置，凡房屋轴线同X轴平行者称横轴线，同Y轴平行者称纵轴线。

纵、横轴线的交点，可形成节点。这就是说，节点必须在纵、横轴线交点上，但纵、横轴线交点，不一定是节点。程序将按照“DD数组”所给信息来确定哪些交点是节点，哪些交点不是节点。在同一轴线上二个相邻节点之间，形成一道墙。按这样原则形成的墙会同实际墙体有出入，通过输入墙厚信息之后，程序自动将虚墙（即按二相邻节点形成一墙的原则，形成的实际并不存在的墙）除掉，使同真实墙体一致。由四壁围拢的墙形成一间房，程序认为每间房是一块整板。

墙轴线编号，横轴线由下往上编，纵轴线由左往右编，节点、平行于纵轴线的墙、房间编号都是从下到上、从左到右的次序编号；平行横轴线的墙以从左到右、从下到上的次序编号。房间编号也就是板编号。

