

建筑框架抗震设计实例指南

匡敏玲 编

机械工业出版社

建筑框架抗震设计实例指南

匡敏玲 编

机械工业出版社

目 录

一、概述	1
二、框架平剖面尺寸图	2
三、结构层质点重力荷载代表值简图	4
四、地震作用计算	5
(一)地震作用简介	5
(二)振型分解反应谱法	5
1. 纯框架(无填充墙)的侧移计算	6
2. 迭次代入法计算多振型结构的第一、第二、第三自振频率及 相应振型	10
3. 水平地震作用计算	23
4. 竖向地震作用计算	27
(三)底部剪力法	28
1. 框架柱侧移刚度 D 值计算	29
2. 采用能量法计算基本周期	29
3. 水平地震作用计算	29
4. 水平地震作用计算结果	32
五、框架内力分析	33
(一)概述	33
(二)横向框架	44
1. 框架计算尺寸图	44
2. 荷载作用计算图形	45
3. 横向轴线③框架内力分析	48
(三)纵向框架	60
1. 框架计算尺寸图	60

2. 荷载作用计算图形(标注荷载为标准值).....	60
3. 纵向轴线⑧框架内力分析.....	62
六、荷载标准值作用下的内力图	81
(一)横向框架.....	81
1. 内力图.....	81
2. 横向框架杆件控制截面的内力标准值	102
(二)纵向框架	106
1. 内力图	106
2. 纵向框架杆件控制截面的内力标准值	140
七、框架结构构件内力组合的设计值	156
(一)概述	156
(二)横向框架	157
(三)纵向框架	157
八、框架梁、柱配筋计算	174
(一)横向框架梁配筋计算	174
1. 纵向受力钢筋配筋计算	174
2. 横向钢箍配筋计算	174
3. 横向框架悬臂梁(三层)裂缝宽度验算	177
(二)纵向框架梁配筋计算	177
1. 纵向受力钢筋配筋计算	177
2. 横向钢箍配筋计算	177
(三)③轴线横向框架⑧柱	182
1. 三层柱 $DC-D$ 截面	183
2. 二层柱 $CB-C$ 截面	185
3. 一层柱 $BA-A$ 截面	187
4. 一层柱 $BA-B$ 截面	189
(四)③轴线横向框架⑧柱	191
1. 三层柱 DC	191
2. 二层柱 CB	194

3. 一层柱 BA	194
九、柱的轴压比值 λ_N 的验算	196
十、横向框架节点核芯区截面抗震验算	197
(一)框架节点核芯区组合的剪力设计值(二级抗震等级)	197
1. 三层(顶层)节点 D	197
2. 二层节点 C	197
3. 一层节点 B	199
(二)框架节点受剪的水平截面验算	200
(三)框架节点的受剪承载力验算	200
十一、抗震变形验算	202
(一)计算多遇地震作用标准值产生的层间弹性位移 Δu_e	202
1. 横向框架的层间弹性位移 Δu_e	202
2. 纵向框架的层间弹性位移 Δu_e	202
(二)计算罕遇地震作用标准值下薄弱层层间弹塑性位移 Δu_p ...	202
1. 计算梁端和柱端实际的正截面承载力 M_y^*	203
2. 计算楼层实际受剪承载力 $V_y = \Sigma V_y^*$	204
3. 罕遇地震作用标准值下楼层层间弹性地震剪力 V_{e2}	205
4. 罕遇地震作用标准值下薄弱层层间弹塑性位移 Δu_p	205
十二、框架配筋构造要求和梁、柱节点构造图	207
(一)钢筋接头	207
(二)钢筋的锚固	207
(三)箍筋的构造要求	210
(四)配筋率	211
(五)轴压比限值	212
(六)混凝土保护层	212
参考文献	213

一、概 述

本书编写的设计例题建筑,为一个多功能的三层钢筋混凝土框架结构,二级耐火等级;结构特点:横向为 12m 跨的单跨框架,纵向为 6m 跨的 5 跨框架,双向都有悬臂梁;全部采用整体现浇的钢筋混凝土结构,二级抗震等级。

结构抗震设计按 8 度设防,近震 II 类场地。

混凝土强度等级:板和次梁为 C25;框架梁、柱为 C30。

钢筋等级:主筋采用 II 级变形钢筋;箍筋采用 I 级钢筋。

本例题三层框架按整体结构采用振型分解反应谱法,按《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)、《建筑抗震设计规范》(GBJ11—89)、《建筑结构荷载规范》(GBJ9—87)①等计算水平和竖向地震作用,取横向框架和纵向框架各一榀,进行内力分析、组合、双向配筋、节点验算和变形验算,基本上表达了设计计算一榀框架的全过程。

① 以下《混凝土结构设计规范》简称《混凝土结构规范》、《建筑抗震设计规范》简称《抗震规范》、《建筑结构荷载规范》简称《荷载规范》。

二、框架平剖面尺寸图

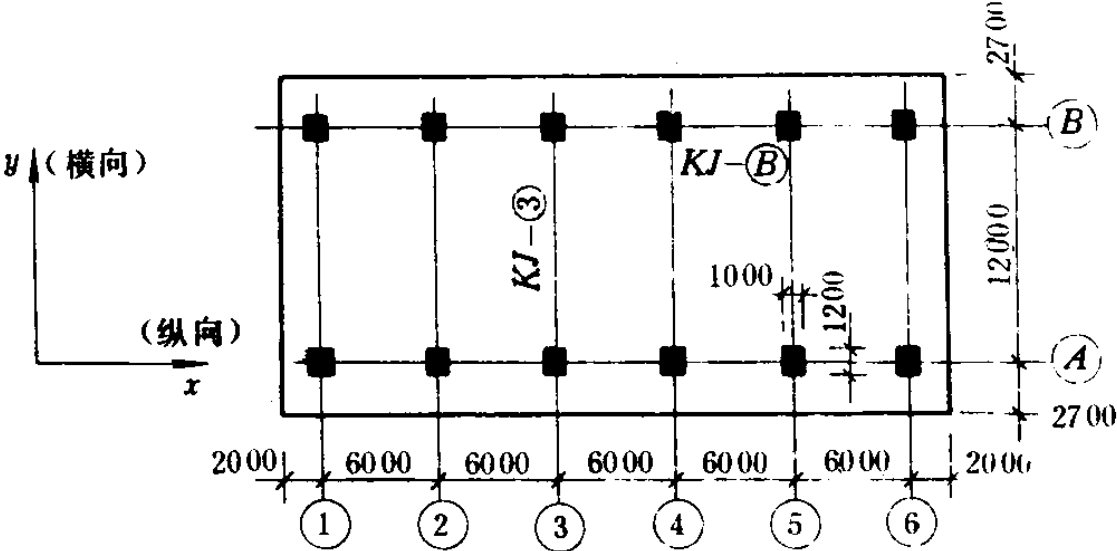


图 2-1 二、三层平面

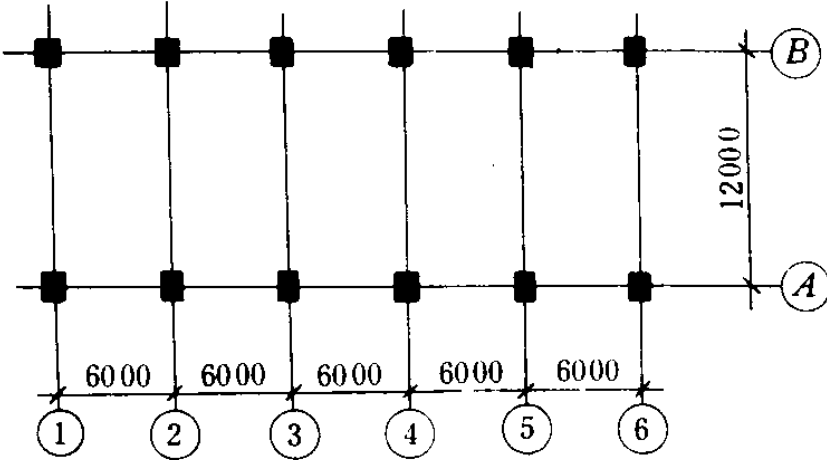


图 2-2 一层平面

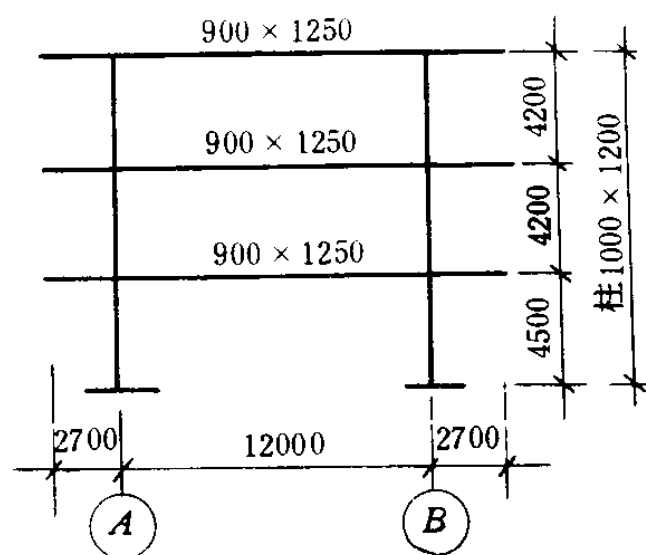


图 2-3 横剖面

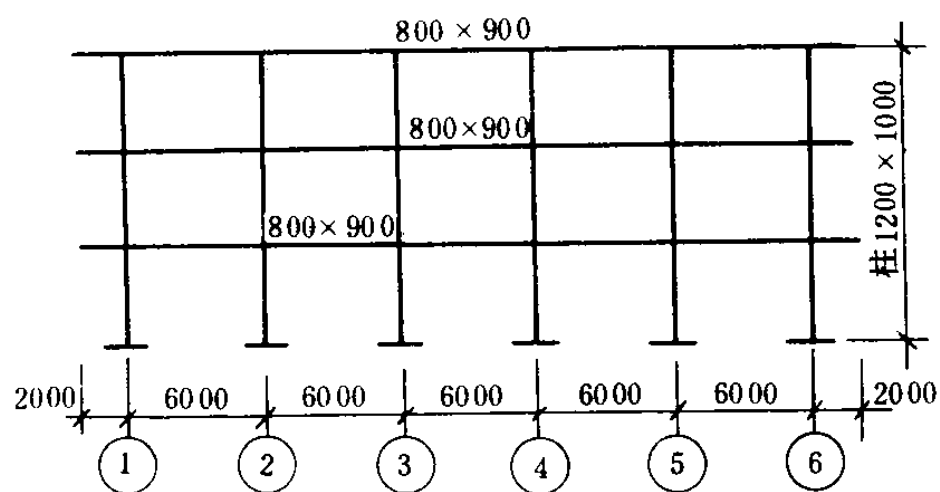


图 2-4 纵剖面

三、结构层质点重力荷载代表值简图

总重力荷载代表值：

$$Q_E = G_k + \sum \psi_{Ei} Q_{ki}$$

式中 G_k ——恒荷载标准值；

Q_{ki} ——活荷载标准值。

屋面活荷载 $q_k = 10\text{kN/m}^2$ ；楼面活荷载 $q_k = 8\text{kN/m}^2$ 。

楼层重力荷载代表值：

$$G_{Ei} = G_{ki} + 0.5Q_{ki}$$

屋面和楼面活荷载组合值系数 ψ_{Ei} 都取 0.5。

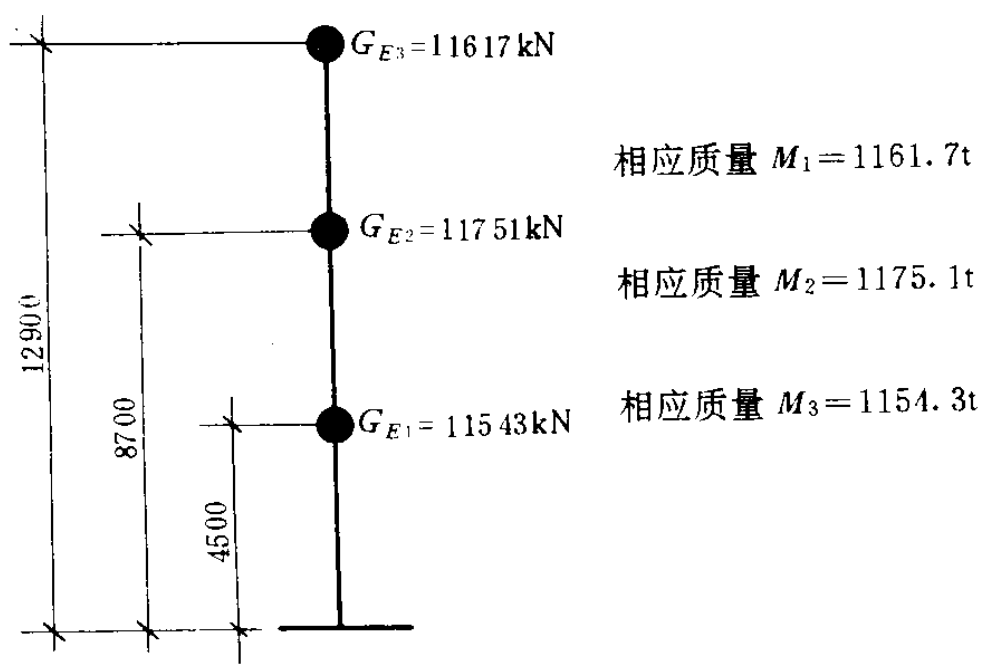


图 3-1 质点图

$$G_E = \sum G_{Ei} = 34911\text{kN} \quad \text{相应总质量 } M = 3491.1\text{t}$$

四、地震作用计算

(一)地震作用简介

地震作用是一种反映地震影响的等效荷载,它与静力荷载不同处,它的大小、方向随时间改变。它与一般荷载不同,一般荷载与结构的动力特性无关,可以独立地确定。例如,屋面的雪载只与当地的气候条件有关;楼面使用荷载只取决于房间的用途等等。地震作用的未知因素较多,不仅取决于地震烈度大小和到震源的距离及震级、地面运动规律,而且与建筑物的动力特性(结构的自振周期、阻尼)有关。所以在设计中应计算建筑物的自振周期。

地震作用的方向分为在两个主轴方向(横向和纵向)的水平方向,竖向的上、下方向和绕铅垂轴的整体扭转方向。

地震作用的一般规律,建筑物自振周期与高度大致有一定的比例关系,从最长的周期开始,依次叫做一次周期(基本周期)、二次周期……,并且依次更加容易振动。所谓一次固有周期,是指假设建筑物顶部水平地向外拉,然后放开,再回到平衡位置,振动一次所需要的时间,这是目前动力分析中要计算地震作用的基本数据。建筑物的一次周期约与建筑物的层数成正比的变长,故建造在坚硬地基上(因为高大,要求地基承载力高)的超高层大楼所受地震力小。

地震作用的计算方法有:底部剪力法、振型分解反应谱法和时程分析法。

(二)振型分解反应谱法

振型分解反应谱法的计算,首先计算结构的自振振型,一般情况下,振型数取 2~3,且不大于质点数;当基本周期 T_1 大于 1.5s 或建筑物高宽比大于 5 时,以及结构沿高度的刚度不均匀时,可适当增加振型数。

按各振型分别计算水平地震作用,再计算各振型水平地震作用下的结构内力,然后将各振型的内力按式 $S=\sqrt{\sum S_j^2}$ 得各振型叠加的内力结果,本例题采用先将各振型水平地震作用叠加,按式 $F_{Ei}=\sqrt{\sum F_{ji}^2}$,再计算在各振型叠加后的水平地震作用下的结构内力。

1. 纯框架(无填充墙)的侧移计算

(1)侧移计算公式(西加洛夫理论的近似公式)设 δ_{ii} 为单位水平力作用于 i 点时,点 i 的水平位移; δ_{ik} 为单位水平力作用于 k 点时,点 i 的水平位移。

$$\begin{aligned} \text{则} \quad \delta_{11} &= \frac{1}{12}(F_1 + R_1) \\ \delta_{12} &= \delta_{21} = \delta_{13} = \delta_{31} = \delta_{1n} = \delta_{n1} = \delta_{11} + \frac{h_1 h_2}{48Z_1 + 4f_1} \\ \delta_{k,k+1} &= \delta_{k+1,k} = \cdots = \delta_{n-1,n} = \delta_{n,n-1} \\ &= \delta_{kk} + \frac{h_k h_{k+1}}{48Z_k} \quad (k=2,3,4,\cdots,n) \\ \delta_{kk} &= \frac{1}{12}(F_k + R_k + \frac{h_k^2}{4Z_k}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{式中} \quad F_k &= \sum_i^k \frac{h_i^2}{f_i} \\ R_1 &= \frac{h_1^2}{4Z_1 + 0.33f_1} \\ R_2 &= \frac{(h_1 + h_2)^2}{4Z_1 + 0.33f_1} \\ R_k &= R_{k-1} + \frac{(h_{k-1} + h_k)^2}{4Z_{k-1}} \end{aligned}$$

上式中 f_r 为第 r 层柱子线刚度的总和。

$$f_r = \sum_r \frac{EI_c}{h_r}$$

对于横向框架柱

$$I_x = \frac{h_x h_y^3}{12}$$

对于纵向框架柱

$$I_y = \frac{h_y h_x^3}{12}$$

式中 I_x, I_y —— 横向(绕 x 轴)、纵向(绕 y 轴)框架柱截面惯性矩;

h_y, h_x —— 与横向、纵向水平力方向一致的柱截面边长;

E —— 混凝土的弹性模量, 框架梁、柱混凝土等级相同;

h_r —— r 层的柱高(按结构分层的柱高);

Z_i —— i 层横梁的线刚度之总和。

对于横向框架梁

$$Z_i = \sum_i \frac{EI_{bx}}{l_y}; \quad I_{bx} = \frac{b_y h_{by}^3}{12}$$

对于纵向框架梁

$$Z_i = \sum_i \frac{EI_{by}}{l_x}; \quad I_{by} = \frac{b_x h_{bx}^3}{12}$$

式中 l_y, l_x —— 横向、纵向框架梁的跨度;

I_{bx}, I_{by} —— 横向(绕 x 轴)、纵向(绕 y 轴)框架梁截面惯性矩。

(2) 计算位移 δ

本结构横向是较大跨度的单跨框架, 不宜考虑楼板对纵向框架梁惯性矩的增大作用, 也有利于强柱弱梁的设计要求。计算如表 4-1~表 4-5。

表 4-1

横 向 框 架							纵 向 框 架					
柱 $h_x h_y$ (m ²)				梁 $b_y h_{by}$ (m ²)			柱 $h_y h_x$ (m ²)				梁 $b_x h_{bx}$ (m ²)	
层高 (m)	I_x	f_r	跨 度 l_y (m)	I_{bx}	Z_i	层高 (m)	I_y	f_r	跨 度 l_x (m)	I_{bx}	Z_i	
	$\frac{h_x h_y^3}{12}$	$\sum_r \frac{EI_y}{h_r}$		$\frac{b_y h_{by}^3}{12}$	$\sum_i \frac{EI_i}{l_{iy}}$		$\frac{h_y h_x^3}{12}$	$\sum_r \frac{EI_x}{h_r}$		$\frac{b_x h_{bx}^3}{12}$	$\sum_r \frac{EI_i}{l_{ix}}$	
h_1 4.5	$\frac{1 \times 1.2^3}{12}$ 0.144	$\frac{12 \times 0.144E}{4.5}$ 0.384E	12	$\frac{0.9 \times 1.25^3}{12}$ 0.14648	$\frac{6 \times 0.14648E}{12}$	h_1 4.5	$\frac{1.2 \times 1}{12}$ 0.1	$\frac{12 \times 0.1E}{4.5}$ 0.26667E	6	$\frac{0.8 \times 0.9^3}{12}$ 0.0486	$\frac{10 \times 0.0486E}{6}$ 0.081E	
h_2 4.2 h_3	$\frac{1 \times 1.2^3}{12}$ 0.144	$\frac{12 \times 0.144E}{4.2}$ 0.4114E	12		0.07324E	h_2 4.2 h_3		$\frac{12 \times 0.1E}{4.2}$ 0.28571E	6	0.0486	0.081E	

表 4-2 横向框架

楼层号	层高 h_i (m)	Z_i (kN · m)	f_r (kN · m)	R_i (m/kN)	F_i (m/kN)	$u_i = \frac{h_i^2}{4Z_i}$ (m/kN)	δ_u (m/kN)
1	$\frac{h_1}{4.5}$	$\frac{Z_1}{0.07324E}$	$\frac{f_1}{0.384E}$	$R_1 = \frac{h_1^2}{4Z_1 + 0.33f_1} = \frac{48.251}{E}$	$F_1 = \frac{h_1^3}{f_1} = \frac{52.734375}{E}$		$\delta_{11} = \frac{1}{12}(F_1 + R_1) = 8.4154479/E$
2	$\frac{h_2}{4.2}$	$\frac{Z_2}{0.07324E}$	$\frac{f_2}{0.4114E}$	$R_2 = \frac{(h_1 + h_2)^2}{4Z_1 + 0.33f_1} = \frac{180.35169}{E}$	$F_2 = F_1 + \frac{h_2^3}{f_2} = \frac{95.612352}{E}$	$\frac{h_2^2}{4Z_2} = \frac{60.213}{E}$	$\delta_{22} = \frac{1}{12}(F_2 + R_2 + u_2) = 28.014753/E$
3	$\frac{h_3}{4.2}$	$\frac{Z_3}{0.07324E}$	$\frac{f_3}{0.4114E}$	$R_3 = R_2 + \frac{(h_2 + h_3)^2}{4Z_2} = \frac{421.20368}{E}$	$F_3 = F_2 + \frac{h_3^3}{f_3} = \frac{138.49032}{E}$	$\frac{h_3^2}{4Z_3} = \frac{60.213}{E}$	$\delta_{33} = \frac{1}{12}(F_3 + R_3 + u_3) = 51.658916/E$

表 4-3

		$\delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{21}, \delta_{31}$	δ_{23}, δ_{32}
	$\delta_{11} + \frac{h_1 h_2}{48Z_1 + 4f_1}$	12.156896/E	
	$\delta_{22} + \frac{h_2 h_3}{48Z_2}$		33.032502/E

表 4-4 纵向框架

楼层号	层高 h_i (m)	Z_i (kN·m)	f_i	R_i (m/kN)	F_i (m/kN)	$u_i = \frac{h_i^2}{4Z_i}$ (m/kN)	δ_{ii} (m/kN)
1	$\frac{h_1}{4.5}$	$\frac{Z_1}{0.081E}$	$\frac{f_1}{0.26667E}$	$R_1 = \frac{h_1^2}{4Z_1 + 0.33f_1} = \frac{49.150488}{E}$	$F_1 = \frac{h_1^2}{f_1} = \frac{75.937518}{E}$		$\delta_{11} = \frac{1}{12}(F_1 + R_1) = 10.424/E$
2	$\frac{h_2}{4.2}$	$\frac{Z_2}{0.081E}$	$\frac{f_2}{0.28571E}$	$R_2 = \frac{(h_1 + h_2)^2}{4Z_1 + 0.33f_1} = \frac{183.71363}{E}$	$F_2 = F_1 + \frac{h_2^2}{f_2} = \frac{137.67844}{E}$	$\frac{h_2^2}{4Z_2} = \frac{54.4444}{E}$	$\delta_{22} = \frac{1}{12}(F_2 + R_2 + u_2) = 31.319709/E$
3	$\frac{h_3}{4.2}$	$\frac{Z_3}{0.081E}$	$\frac{f_3}{0.28571E}$	$R_3 = R_2 + \frac{(h_2 + h_3)^2}{4Z_2} = \frac{401.4914}{E}$	$F_3 = F_2 + \frac{h_3^2}{f_3} = \frac{199.41936}{E}$	$\frac{h_3^2}{4Z_3} = \frac{54.4444}{E}$	$\delta_{33} = \frac{1}{12}(F_3 + R_3 + u_3) = 54.612933/E$

表 4-5

	$\delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{21}, \delta_{31}$	δ_{23}, δ_{32}
$\delta_{11} + \frac{h_1 h_2}{48 Z_1 + 4 f_1}$	13. 908513/E	
$\delta_{22} + \frac{h_2 h_3}{48 Z_2}$		
		35. 856746/E

2. 迭次代入法计算多振型结构的第一、第二、第三自振频率及相应振型

(1) 横向框架(共 6 榀)

第一频率 ω_1 及第一振型的计算

$M_1 \delta_{11}$

$M_1 \delta_{21}$

$M_1 \delta_{31}$

$M_2 \delta_{12}$

$M_2 \delta_{22}$

$M_2 \delta_{32}$

$M_3 \delta_{13}$

$M_3 \delta_{23}$

$M_3 \delta_{33}$

$y_1^{(r)}(1)$

$y_1^{(r)}(2)$

$y_1^{(r)}(3)$

$= \lambda_1$

$y_1^{(r+1)}(1)$

$y_1^{(r+1)}(2)$

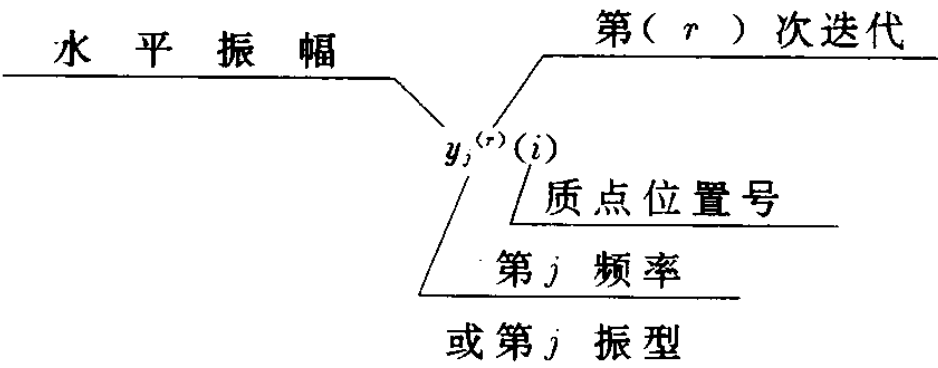
$y_1^{(r+1)}(3)$

$, \quad \lambda = \frac{1}{\omega^2}$

计算数据

表 4-6

$M_1(t)$			$M_2(t)$			$M_3(t)$		
1154. 3			1175. 1			1161. 7		
$\frac{1}{E}$	δ_{11}	8. 4154479	δ_{12}	12. 156896	δ_{13}	12. 156896		
	δ_{21}	12. 156896	δ_{22}	28. 014753	δ_{23}	33. 032502		
	δ_{31}	12. 156896	δ_{32}	33. 032502	δ_{33}	51. 658916		



假设起始值 $y_1^{(0)}(1) : y_1^{(0)}(2) : y_1^{(0)}(3) = 1 : 1 : 1$

$$\frac{10^2}{E} \begin{bmatrix} 97.139515 & 142.85568 & 141.22666 \\ 140.32705 & 329.20136 & 383.73857 \\ 140.32705 & 388.16493 & 600.12162 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \dots \\ U_1 \\ \dots \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} = \frac{10^2}{E} \begin{Bmatrix} 381.22185 \\ 853.26698 \\ 1128.6136 \end{Bmatrix} = \frac{3.8122185}{E} \times 10^4 \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.2382425 \\ 2.9605165 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.2382425 \\ 2.9605165 \end{Bmatrix} = \frac{10^2}{E} \begin{Bmatrix} 834.98902 \\ 2013.2238 \\ 2785.8042 \end{Bmatrix}$$

$$= \frac{8.3498902}{E} \times 10^4 \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4110781 \\ 3.3363363 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4110781 \\ 3.3363363 \end{Bmatrix} = \frac{10^2}{E} \begin{Bmatrix} 912.75534 \\ 2214.3381 \\ 3078.4305 \end{Bmatrix}$$

$$= \frac{9.1275534}{E} \times 10^4 \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.425993 \\ 3.3726787 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.425993 \\ 3.3726787 \end{Bmatrix} = \frac{10^2}{E} \begin{Bmatrix} 920.01854 \\ 2233.1941 \\ 3106.0298 \end{Bmatrix}$$

$$= \frac{9.2001854}{E} \times 10^4 \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4273359 \\ 3.3760513 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4273359 \\ 3.3760513 \end{Bmatrix} = \frac{10^2}{E} \begin{Bmatrix} 920.68668 \\ 2234.9304 \\ 3108.575 \end{Bmatrix}$$

$$= \frac{9.2068668}{E} \times 10^4 \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4274603 \\ 3.3763657 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} U_1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4274603 \\ 3.3763657 \end{Bmatrix} = \frac{10^2}{E} \begin{Bmatrix} 920.74885 \\ 2235.092 \\ 3108.812 \end{Bmatrix}$$

$$= \frac{9.2074885}{E} \times 10^4 \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4274719 \\ 3.3763952 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} U_1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4274719 \\ 3.3763952 \end{Bmatrix} = \frac{10^2}{E} \begin{Bmatrix} 920.75468 \\ 2235.1071 \\ 3108.8342 \end{Bmatrix}$$

$$= \frac{9.2075468}{E} \times 10^4 \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4274729 \\ 3.3763979 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} U_1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4274729 \\ 3.3763979 \end{Bmatrix} = \frac{10^2}{E} \begin{Bmatrix} 920.7552 \\ 2235.1085 \\ 3108.8362 \end{Bmatrix}$$

$$= \frac{9.207552}{E} \times 10^4 \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4274731 \\ 3.3763982 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} U_1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4274731 \\ 3.3763982 \end{Bmatrix} = \frac{10^2}{E} \begin{Bmatrix} 920.75527 \\ 2235.1087 \\ 3108.8365 \end{Bmatrix}$$

$$= \frac{9.2075527}{E} \times 10^4 \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.4274731 \\ 3.3763982 \end{Bmatrix}$$