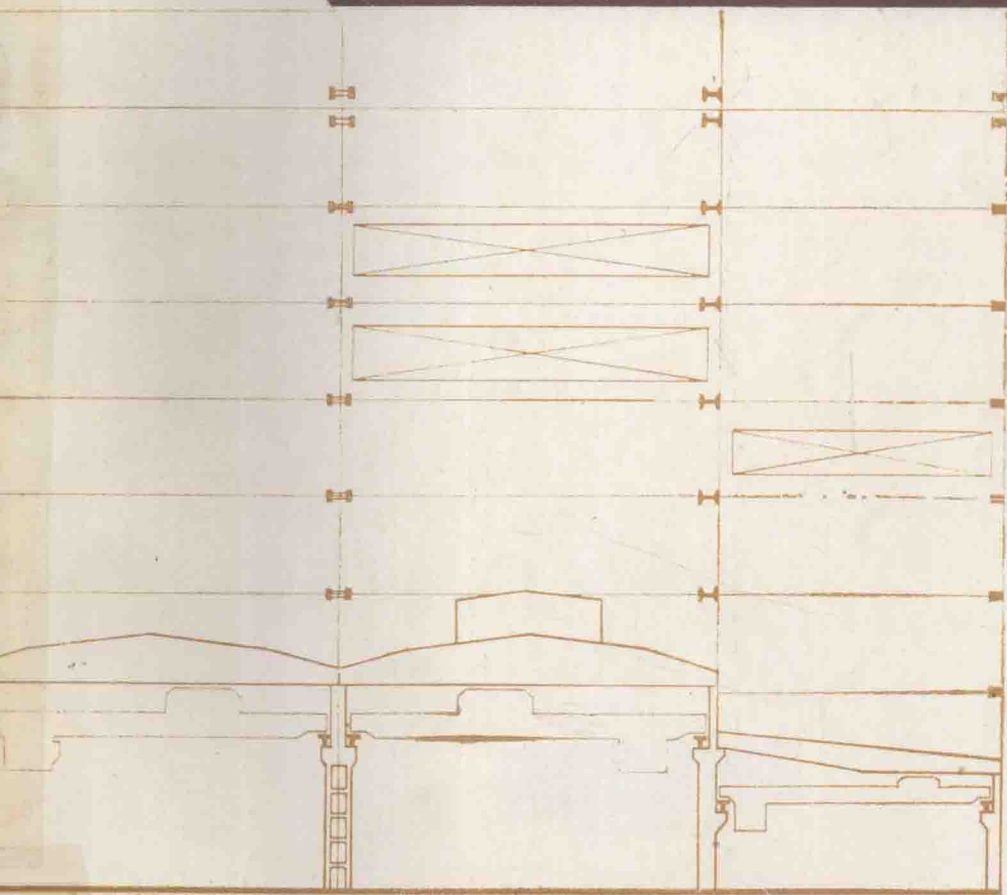


单层厂房排架 简化计算手册



辽宁工业建筑设计院
包头钢铁设计院

单 层 厂 房 排 架

简 化 计 算 手 册

(下 册)



辽宁工业建筑设计院
包头钢铁设计院

一九七六年十二月

内 容 简 介

本书分上下两册。

上册介绍排架柱形常数与载常数的计算公式及其简化计算图表。

下册介绍排架内力的几种简捷精确分析方法，这些方法分为两大类：

第一类方法是采用分配与传播步骤求解排架内力的方法（第二章）。包括：反力分配法、反力集体分配法、反力分向传播法和内力分向传播法。这类方法具有以下特点：

1. 物理概念明确。

2. 计算步骤与人们熟悉的“弯矩分配法”类似，可采用一种机械的步骤在计算简图上或表格中完成，无需建立和解算联立方程式，无需记忆和采用繁复的计算公式，易于掌握，颇省脑力。

3. 这几种方法均系精确解法而非逐次渐近解法，故没有收敛问题。

4. 反力分配法、反力集体分配法及反力分向传播法都可以方便地考虑厂房的空间作用，而且计算步骤与按平面排架计算基本一致，便于实际应用。

第二类方法是采用公式进行计算的方法（第六章）。本书推荐了常用排架的两套计算公式，分别按变位法和力法的原理推导而得。这两套公式与过去一般书籍介绍的公式比较，具有数量少、运算简便和应用范围广泛等特点。

本书除详述了以上两类基本方法外，还专题论述了考虑厂房空间作用（第三章）、跨变排架、温度内力、大面积地面荷载影响以及抽柱排架计算（第四章）等问题。

根据我国地震区分布较广的情况，特别讨论了在地震力作用下的排架计算（第五章），推荐了一套计算常用排架自振频率及振型侧移的简捷计算公式，并介绍了两种计算排架地震内力的方法——地震荷载法和地震侧移法。

本书各章在论述每种计算方法时，均列出了相应的例题来进一步说明这些方法的具体应用步骤。最后，为了便于设计人员实际应用参考，在第七章中叙述了从荷载计算到内力组合的整个排架计算过程，列举了单跨排架、等高多跨排架、不等高多跨排架、斜腹杆双肢柱等高排架和平腹杆双肢柱不等高排架等五种典型的计算实例。

本手册的内容全部是根据我国1974年颁布试行的各种新规范编写的。

由于我们水平所限，会存在一些缺点和错误，欢迎批评指正。

编 者 一九七五年十二月

目 录

第二章 单层厂房排架内力的简捷分析法	1
§ 2—1 排架分析的若干假定	1
§ 2—2 等高排架的简捷分析法——反力分配法	2
§ 2—3 常用不等高排架简捷分析法——反力集体分配法	6
§ 2—4 不等高排架的普遍分析法(一)——反力分向传播法	19
§ 2—5 不等高排架的普遍分析法(二)——内力分向传播法	25
第三章 单层厂房排架考虑空间作用的分析	39
§ 3—1 概 述	39
§ 3—2 空间作用分配系数的确定	40
§ 3—3 反力分配法、反力集体分配法及反力分向传播法在考虑排架空间作用时的应用	42
第四章 单层厂房跨变排架、温度内力、大面积地面荷载影响及抽柱排架的分析	50
§ 4—1 跨变排架分析	50
§ 4—2 排架温度内力分析	59
§ 4—3 大面积地面荷载影响的排架内力分析	65
§ 4—4 抽柱排架分析	66
第五章 单层厂房排架在地震力作用下的计算	80
§ 5—1 单层厂房排架自振频率及振型侧移的计算	80
§ 5—2 单层厂房排架地震力及其产生的内力计算	84
第六章 常用排架内力计算公式	103
§ 6—1 第一套计算公式(以变位法为基础)	103
§ 6—2 第二套计算公式(以力法为基础)	108
第七章 排架计算步骤和例题	115
§ 7—1 排架计算的一般步骤及有关问题	115
§ 7—2 单跨排架计算例题	121
§ 7—3 等高多跨排架计算例题	127
§ 7—4 不等高多跨排架计算例题	139
§ 7—5 斜腹杆双肢柱等高排架计算例题	156
§ 7—6 平腹杆双肢柱不等高排架计算例题	170
附录Ⅱ 几种排架分析方法的理论推导	189
参考文献	203

第二章 单层厂房排架内力的简捷分析法

§ 2—1 排架分析的若干假设

分析排架通常采用下列几项假设:

1. 柱子下端固接于基础顶面, 上端与屋盖横梁铰接。此项假设对于目前广泛采用的装配式钢筋混凝土厂房结构是适合的。但对于钢屋架与钢柱组成的厂房, 由于屋架与柱的连接常常是刚接的, 因此, 这项假设不适用。

2. 横梁在受力后不产生沿横梁轴线(跨度)的伸缩变形。此项假设对于实体的直杆横梁是精确的。因为横梁的伸缩变形与柱子的侧向变形相比较是很小的, 忽略横梁的伸缩变形对排架内力的计算影响很小。但是, 对于曲线和折线形的横梁, 沿跨度方向的伸缩变形影响则是不能忽略的。这种排架我们称之为“跨变排架”, 例如图 2—1a 所示的锯齿形排架, 图 2—1b 所示的连续拱形排架等就是“跨变排架”。

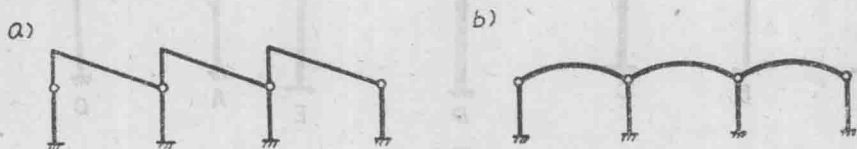


图 2—1

对于具有柔性拉杆的组合屋架(如三铰拱屋架、两铰拱屋架), 在屋盖荷载作用下因下弦拉杆变形而引起的柱子内力很大, 这类排架也应属于跨变排架一类。关于跨变排架的分析, 将在第四章 § 4—1 节中专门介绍。

3. 关于平面排架、空间作用和不动铰支点的假设。过去, 通常将单层厂房按平面排架进行分析。即假设排架在承受荷载后可以在平面内自由变形而不受相邻排架的影响, 亦即不考虑排架的空间作用。此项假设只有在厂房纵向各个排架的刚度相同, 荷载沿厂房纵向均匀分布(如风载、恒载等), 且厂房中部及端部没有阻止排架侧移的横向砖墙时才是正确的。因此, 本手册在一般情况下只对风载及恒载作用才采用平面排架的计算假设。

当排架承受吊车竖向及水平荷载时, 作用在各排架上的荷载将是不均匀的, 其中一个排架承受的吊车荷载最大, 而另外相邻排架承受的吊车荷载较小, 更远的排架则没有吊车荷载作用。此时不受荷载及受荷载小的排架将对受荷载大的排架起帮助作用, 结果将使受荷载大的排架的侧移减小。因此, 在吊车荷载下应该考虑厂房的空间整体作用。

目前, 国内外曾采用过各种不同假设来考虑厂房的空间作用。在实用上可按第三章

介绍的方法，在考虑空间作用分配系数 m 后，仍按平面排架进行分析。因此，本章将首先介绍平面排架的分析方法。

对于两跨及两跨以上的等高厂房，如屋面为整体性较好的大型板方案，吊车起重重量小于或等于30吨，且厂房两端均有山墙时*，根据以往的实践和按空间作用的理论分析表明，在吊车荷载作用下可以近似地将屋盖视为柱子的不动铰支点，即按图2-2所示简图，用第一章所介绍的公式及图表直接计算柱子内力，十分简便。



图 2-2

§ 2-2 等高排架的简捷分析法——反力分配法

所谓等高排架，是指屋顶横梁在同一水平高度上的排架而言，其柱子不一定等高（图2-3a）。对于图2-3b所示的排架，虽然柱顶不在同一高度上，但各跨横梁在柱顶是连续的，其分析方法与等高排架相同，故亦把它归并在等高排架范围之内。

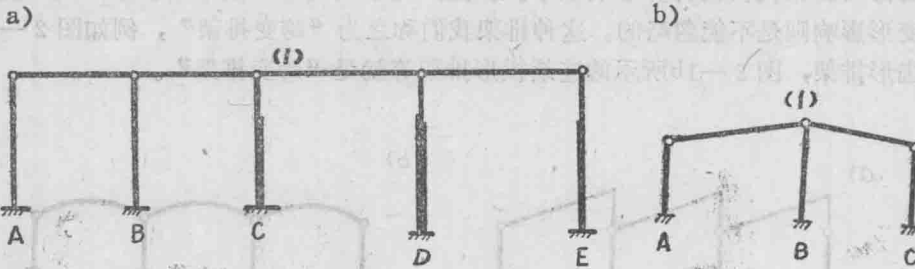


图 2-3

一、代号说明

r_{1A} ——柱A在点(1)的抗剪刚度，其意义为使柱A在支点(1)产生单位侧移 $\Delta_1 = 1$ 时支点(1)产生的水平反力（图2-4），其符号恒为正。

R_{1A} ——柱A在点(1)的不动支点反力（图2-5），其符号以向右为正，向左为负。

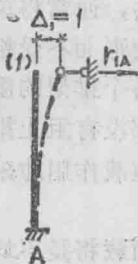


图 2-4

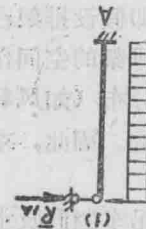


图 2-5

R_{1A} ——屋顶(1)对柱A的实际反力，其符号以向右为正，向左为负。

* 中间有伸缩缝的厂房属于一端有山墙的情况而不属于两端有山墙的情况。

抗剪刚度 r 及不动支点反力 R 可采用上册第一章的计算公式及图表来计算。

下面我们介绍计算柱顶实际反力 R 的计算方法，其理论推导可参见附录 II § 1。

图 2—3a 所示为任一等高多跨排架，其任一柱 A 之屋顶反力 R_{1A} 可用下列公式计算：

$$R_{1A} = \bar{R}_{1A} - \mu_{1A} \sum \bar{R}_1 \quad (2-1)$$

式中 $\sum \bar{R}_1 = \bar{R}_{1A} + \bar{R}_{1B} + \dots + \bar{R}_{1E}$ ，为各柱之不动支点反力 R 的总和。

μ_{1A} 称为柱 A 的反力分配系数或简称分配系数，其值为：

$$\mu_{1A} = \frac{r_{1A}}{\sum r_1} \quad (2-2)$$

这里， $\sum r_1 = r_{1A} + r_{1B} + \dots + r_{1E}$ 为各柱之抗剪刚度 r 的总和。

当排架各柱之几何尺寸均相同时，可不必计算 r 值，此时：

$$\mu_{1A} = \mu_{1B} = \dots = \frac{1}{m} \quad (2-2a)$$

这里 m 为排架的柱子总数。

特别是对于对称单跨排架：

$$\mu_{1A} = \mu_{1B} = \frac{1}{2} \quad (2-2b)$$

二、计算步骤

实际应用 (2-1) 式计算等高排架各柱顶实际反力 R 时，可采用反力分配的方式进行，其步骤与具有一个弹性节点的刚架的弯矩分配法完全相似，全部计算过程可排列在图 2—6 所示的排架简图上而不必列算式。其操作程序如下：

1. 计算各柱之抗剪刚度 r 及不动支点反力 R ，并将 r 写在图中第 (1) 行内；
2. 将各柱 r 相加得 $\sum r_1$ ($\sum r_1$ 不必在图中写出)，然后用 $\sum r_1$ 去除各柱之 r 即得分配系数 μ ，写在第 (2) 行内；
3. 将各柱之不动支点反力 R 写在第 (3) 行内；
4. 将各柱之 R 相加得 $\sum \bar{R}_1$ ($\sum \bar{R}_1$ 不必在图中写出)，再将 $\sum \bar{R}_1$ 乘以各柱之分配系数 μ (反号)，即得各柱之分配反力 $-\mu \sum \bar{R}_1$ ，写在第 (4) 行内；
5. 分别将各柱第 (3) 行之不动支点反力 R 及第 (4) 行之分配反力 $-\mu \sum \bar{R}_1$ 相加，即得各柱顶之实际反力 R ，写在第 (5) 行内。

(1)

(1) 抗剪刚度 r	r_{1A}	r_{1B}	r_{1c}	r_{1D}
(2) 分配系数 $\mu_{1n} = \frac{r_{1n}}{\sum r_{1n}}$	μ_{1A}	μ_{1B}	μ_{1c}	μ_{1D}
(3) 不动支点反力 $\bar{R}$	$\bar{R}_{1A}$	$\bar{R}_{1B}$	$\bar{R}_{1c}$	$\bar{R}_{1D}$
(4) 分配反力 $-\mu_{1n} \sum \bar{R}_1$	$-\mu_{1A} \sum \bar{R}_1$	$-\mu_{1B} \sum \bar{R}_1$	$-\mu_{1c} \sum \bar{R}_1$	$-\mu_{1D} \sum \bar{R}_1$
(5) 柱顶实际反力 $R = (3) + (4)$	R_{1A}	R_{1B}	R_{1c}	R_{1D}
	A	B	C	D

图 2-6

计算结果的正确性，可以由平衡条件 $\sum R_1 = 0$ 来校核。

求得各柱顶反力后，即可将每个柱子单独取出，在外荷载及柱顶反力的共同作用下，如悬臂梁一样，计算柱子各截面的弯矩，详见下列例题。

〔例2-1〕试计算图 2-7 所示的三跨等高排架在风荷载作用下的内力，柱子的几何尺寸及荷载值均已示于图 2-7 中。

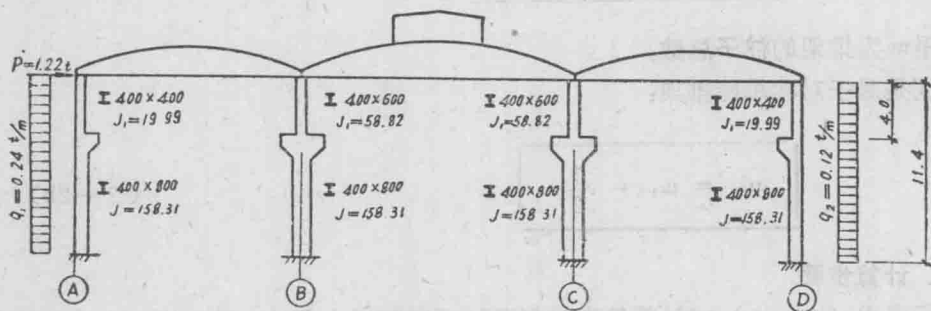


图 2-7

〔解〕：

1. 抗剪刚度 r 的计算：

r 值按上册附录 I 表 4 所列的公式 $r_i = \beta \frac{EJ}{H^3}$ 来计算， β 值由表 4 查得，由于各柱的 $\frac{EJ}{H^3}$ 相同，故可取 r_i 之相对值为 $r_i = \beta$ 。

$$\text{柱 A、D: } C = \frac{J}{J_1} = \frac{158.31}{19.99} = 7.92, \lambda = \frac{H_1}{H} = \frac{4.0}{11.4} = 0.35, \text{查表 4 得: } \beta = 2.32$$

$$\therefore r_{1A} = r_{1D} = 2.32$$

$$\text{柱 B、C: } C = \frac{158.31}{58.82} = 2.69, \lambda = \frac{4.0}{11.4} = 0.35 \text{ 查表 4 得: } \beta = 2.8$$

$$\therefore r_{1B} = r_{1c} = 2.8$$

2. 不动支点反力 $\bar{R}$ 的计算:

柱A (图2—8a): 按 $C=7.92$,

$\lambda=0.35$ 查表7 (上册附录I)

得: $k_q = -0.32$

$$\begin{aligned}\therefore \bar{R}_{1A} &= K_q q H - P = -0.32 \times 0.24 \\ &\times 11.4 - 1.22 = -0.876 - 1.22 \\ &= -2.096t (\leftarrow)\end{aligned}$$

柱D (图2—8b): $k_q = -0.32$ (同柱A)

$$\begin{aligned}\bar{R}_{1D} &= -0.32 \times 0.12 \times 11.4 \\ &= -0.438t (\leftarrow)\end{aligned}$$

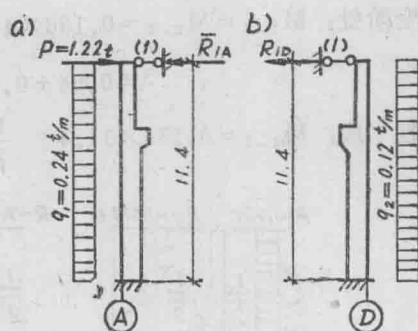


图2—8

(1)

(1) 抗剪劲度 r	2.32	2.80	2.80	2.32
(2) 分配系数 μ	0.2266	0.2734	0.2734	0.2266
(3) 不动支点反力 $\bar{R}$	-2.096			-0.438
(4) 分配反力 $-\mu \Sigma \bar{R}_1$	0.574	0.693	0.693	0.574
(5) 柱顶实际反力 R $= (3) + (4)$	-1.522	0.693	0.693	0.136
	A	B	C	D

图2—9

3. 柱顶实际反力计算:

全部计算均在图2—9中进行。

校核: $\Sigma R_i = -1.522 + 0.693 + 0.693 + 0.136 = 0$, 可知计算无误。

4. 柱弯矩计算: (弯矩符号均以对下部顺时针方向旋转为正)

柱A (图2—10):

$$\begin{aligned}\text{变阶处: } M_{1-1} &= M_{2-2} = (1.22 - 1.522) \times 4.0 + \frac{1}{2} \times 0.24 \times 4^2 \\ &= -1.21 + 1.92 = 0.71tm\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{柱底: } M_{3-3} &= (1.22 - 1.522) \times 11.4 + \frac{1}{2} \times 0.24 \times 11.4^2 \\ &= -3.44 + 15.60 = 12.16tm\end{aligned}$$

柱B (图2—11):

$$\text{变阶处: } M_{1-1} = M_{2-2} = 0.693 \times 4.0 = 2.77tm$$

$$\text{柱底: } M_{3-3} = 0.693 \times 11.4 = 7.90tm$$

柱 D (图 2—12) :

$$\begin{aligned} \text{变阶处: } M_{1-1} = M_{2-2} &= 0.136 \times 4.0 + \frac{1}{2} \times 0.12 \times 4^2 \\ &= 0.54 + 0.96 = 1.50 \text{tm} \end{aligned}$$

$$\text{柱底: } M_{3-3} = 0.136 \times 11.4 + \frac{1}{2} \times 0.12 \times 11.4^2 = 1.55 + 7.80 = 9.35 \text{tm}$$

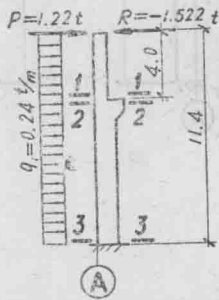


图 2—10

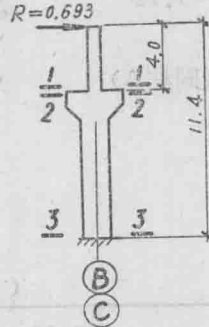


图 2—11

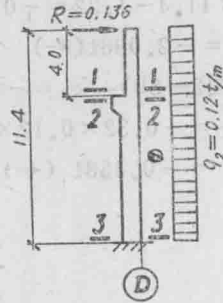


图 2—12

弯矩图绘在图 2—13中

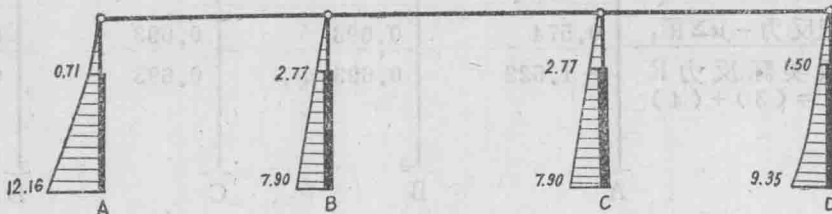


图 2—13

§ 2—3 常用不等高排架的简捷分析法 ——反力集体分配法

在实际工程中所遇到的不等高排架，一般多为具有一个高差 (图 2—17) 或具有两个高差 (图 2—18) 两种类型，下面我们介绍计算这两类排架屋顶反力 R 的简捷方法——反力集体分配法。这里只介绍其实际计算步骤，理论推导详见附录 II 之 § 2。

一、代号说明

若柱子与左右两等高跨相连，或仅与一跨相连 (边柱)，则该柱顶端具有一个弹性支点，可称为单支点柱；若柱子与左右两不等高跨相连，则该柱上具有两个弹性支点，可称之为双支点柱。

对于单支点柱，其抗剪刚度 r 及不动支点反力 $\bar{R}$ 的定义及计算方法同 § 2—2。对于双支点柱，其代号补充如下：

r_{in}, r_{kn} ——分别为双支点柱 n 在 i 点及 k 点的抗剪刚度； (图 2—14a、b)

t_{ik}, t_{ki} ——分别为 i 点至 k 点及 k 点至 i 点的反力传递系数 (图 2—15a、b)；

R_{in} , R_{kn} ——分别为双支点柱 n 在 i 点及 k 点的不动支点反力 (图 2—16), 以向右为正, 向左为负。

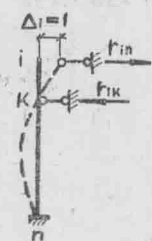
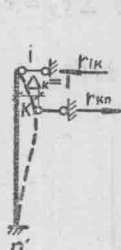
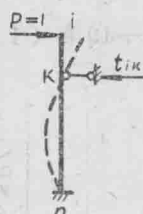


图 2—14



a)



b)

图 2—15

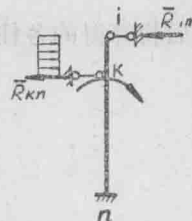


图 2—16

r 、 t 、 $\bar{R}$ 可采用上册第一章的公式及图表来计算。

二、一个高差不等高排架 (图 2—17) 的计算步骤

除柱子抗剪刚度 r 、反力传递系数 t 及不动支点反力 $\bar{R}$ 外, 其余全部计算均可排列在图 2—19 所示的排架简图上。兹将实际操作步骤说明如下:

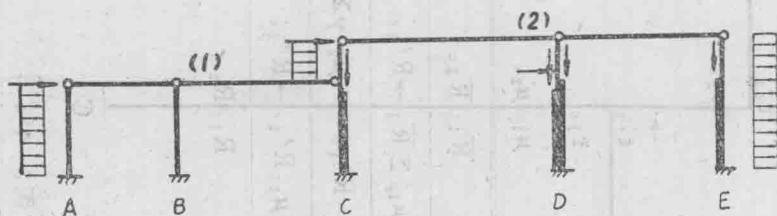


图 2—17

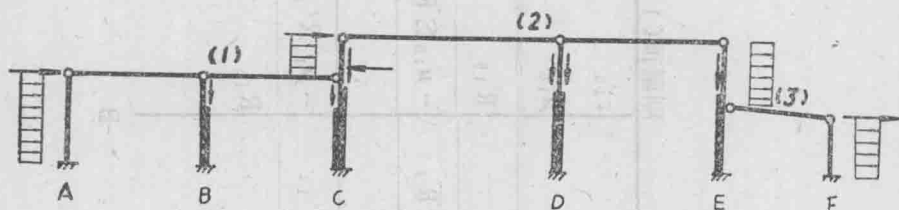


图 2—18

1. 计算各柱的抗剪刚度 r 、双支点柱的反力传递系数 t 以及各柱的不动支点反力 $\bar{R}$ 并将求得的 r 、 t 按图 2—19 所示的位置写在图中。

2. 计算各柱的反力分配系数 μ (可将每个等高部分别视为一个等高排架, 用 § 2—2 的方法计算) 如:

$$\mu_{1A} = \frac{r_{1A}}{\sum r_1}, \dots, \mu_{1c} = \frac{r_{1c}}{\sum r_1}, \text{ 这里 } \sum r_1 = r_{1A} + r_{1B} + r_{1c}$$

$$\mu_{2c} = \frac{r_{2c}}{\sum r_2}, \dots, \mu_{2E} = \frac{r_{2E}}{\sum r_2}, \text{ 这里 } \sum r_2 = r_{2c} + r_{2D} + r_{2E}$$

然后将算得的各柱 μ 值，写在图 2—19 第 (1) 行内。

$[\gamma = \frac{1}{1 - \mu_{1c}\mu_{2c}t_{12}t_{21}}]$		副屋顶 (1)		主屋顶 (2)	
		$t_{21} \leftarrow$	$\rightarrow t_{12}$	$\leftarrow t_{21}$	$\rightarrow t_{12}$
(1) 分配系数 $\frac{r}{\sum r}$		r_{1A}	r_{1B}	r_{1c}	r_{2c}
(2) 不动支点反力 R		μ_{1A}	μ_{1B}	μ_{1c}	μ_{2c}
(3) 在副屋顶 (1) 分配		R_{1A}	R_{1B}	R_{1c}	R_{2c}
(4) 在主屋顶 (2) 集体分配		$-\mu_{1A}\sum R_1$	$-\mu_{1B}\sum R_1$	$-\mu_{1c}\sum R_1 \rightarrow R'_{2c}$	$-\mu_{2c}\gamma\sum R'_2$
(5) 在副屋顶 (1) 分配		$-\mu_{1A}R'_{1c}$	$-\mu_{1B}R'_{1c}$	$R'_{1c} \leftarrow -\mu_{1c}\gamma\sum R'_2$	$-\mu_{2c}\gamma\sum R'_2$
(6) 屋顶实际反力 $R = \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} + \textcircled{5}$		R_{1A}	R_{1B}	R_{1c}	R_{2c}
					R_{2D}
					R_{2E}

图 2—19

3. 指定任一屋顶(例如屋顶2)作为“主屋顶”,其它屋顶则称为“副屋顶”,并用下列公式计算主屋顶的集体分配系数 γ :

$$\gamma = \frac{1}{1 - \mu_{1c} \mu_{2c} t_{12} t_{21}}$$

将 γ 写在图中主屋顶(2)上的方括号〔 〕内。

4. 将第1步求得的各柱不动支点反力写在图中第(2)行内。

5. 在副屋顶(1)分配:首先将屋顶(1)各柱之 $\bar{R}$ 相加得 $\Sigma \bar{R}_1$ ($\Sigma \bar{R}_1$ 不必在图中写出);再将 $\Sigma \bar{R}_1$ 乘以屋顶(1)所连各柱之分配系数(反号)即得屋顶(1)各柱之分配反力 $-\mu \Sigma \bar{R}_1$,写在图中第(3)行内;同时将双支点柱C的分配反力乘以反力传递系数 t_{12} 即得屋顶(1)至(2)的传递反力 R'_{2c} ,即 $R'_{2c} = t_{12} (-\mu_{1c} \Sigma \bar{R}_1)$,写在第(3)行柱C靠屋顶(2)一侧。

6. 在主屋顶(2)集体分配:首先将屋顶(2)各柱的不动支点反力 $\bar{R}$ 及传递反力 R'_{2c} 相加得 $\Sigma R'_2$ (不必在图中写出);再将 $\Sigma R'_2$ 乘以集体分配系数 γ ,并乘以屋顶(2)所连各柱的分配系数 μ (反号),即得屋顶(2)各柱的分配反力 $-\mu \gamma \Sigma R'_2$,写在图中第(4)行内;同时将双支点柱C的分配反力 $-\mu_{2c} \gamma \Sigma R'_2$ 乘以反力传递系数 t_{21} ,即得屋顶(2)至(1)的传递反力 R_{1c}' : $R_{1c}' = t_{21} (-\mu_{2c} \gamma \Sigma R'_2)$,写在第(4)行柱C靠屋顶(1)一侧。

7. 在副屋顶(1)将传递反力 R_{1c}' 分配:即将 R_{1c}' 乘以屋顶(1)各柱之 μ (反号),即得分配反力 $-\mu R_{1c}'$,写在图中第(5)行内;并将双支点柱D的分配反力乘以 t_{12} 传给屋顶(2),即 $R_{2c}'' = t_{12} (-\mu_{1c} R_{1c}')$ 写在第(5)行柱C靠屋顶(2)一侧。

8. 分别将各柱(2)至(5)行的不动支点反力、分配反力及传递反力相加,即得屋顶对各柱的实际反力 R ,写在第(6)行内。

屋顶实际反力 R 计算的正确性,可以由各屋顶反力的平衡条件 $\Sigma R_1 = 0$, $\Sigma R_2 = 0$ 来校核。

应指出,对于有一个高差的不等高排架指定屋顶(1)或(2)作为主屋顶,其集体分配系数值均完全相同。这样,我们就可以根据荷载情况,灵活地采用屋顶(1)或(2)作为主屋顶。例如,当只有屋顶(1)所连柱子在屋顶(1)有不动支点反力时,则可选择屋顶(1)作为主屋顶;又如当只有屋顶(2)所连柱子在屋顶(2)有不动支点反力时,则可选择屋顶(2)作为主屋顶。这样,就可以将图2—19第(3)行副屋顶分配过程省去,使计算进一步简化。

求得屋顶对各柱之实际反力后,即可将每个柱子单独取出按悬臂梁计算柱子各截面的弯矩,详见下面例题。

〔例2—2〕 试分析图2—20所示四跨不等高排架在风荷载作用下的内力,柱子几何尺寸及荷载值均已示于图2—20中。

〔解〕

1. 抗剪刚度 r ,反力传递系数 t 及不动支点反力 $\bar{R}$ 的计算:

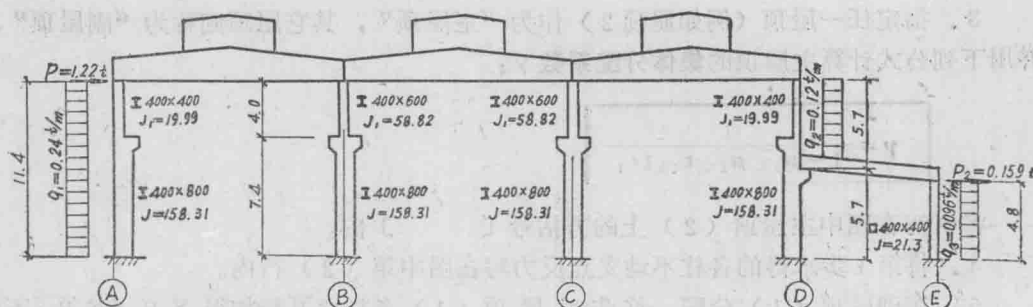


图 2-20

1) 抗剪刚度 r 及反力传递系数 t 的计算 (为计算方便, 一律取 $E = 1$);

$$\text{柱 A: } C = \frac{158.31}{19.99} = 7.92, \quad \lambda = \frac{4.0}{11.4} = 0.35$$

查上册附录 I 表 4 得: $\beta = 2.32$,

$$\therefore r_{1A} = \beta \frac{EJ}{H^3} = 2.32 \times \frac{158.31}{11.4^3} = 0.247$$

$$\text{柱 B, C: } C = \frac{158.31}{58.82} = 2.69, \quad \lambda = \frac{4.0}{11.4} = 0.35$$

查表 4 得: $\beta = 2.8$

$$\therefore r_{1B} = r_{1C} = 2.8 \times \frac{158.31}{11.4^3} = 0.299$$

$$\text{柱 D: } C = 7.92, \quad \lambda = 0.35 \text{ (同柱 A)}, \quad k = \frac{H_k}{H} = \frac{5.7}{11.4} = 0.5, \text{ 查表 8、9、10}$$

得: $t_{12} = -2.50, t_{21} = -0.24, \beta' = 0.173$,

$$\therefore r_{1D} = \frac{EJ}{\beta' H^3} = \frac{158.31}{0.173 \times 11.4^3} = 0.618$$

$$r_{2D} = r_{1D} \frac{t_{12}}{t_{21}} = 0.618 \times \frac{-2.50}{-0.24} = 6.438,$$

柱 E: 按 $C = 1$ 查表 4 得 $\beta = 3.00$

$$r_{2E} = 3 \times \frac{21.3}{4.8^3} = 0.578$$

2) 不动支点反力 R 的计算:

柱 A (图 2-21): $C = 8.0, \lambda = 0.35$, 查表 7 得:

$$K_q = -0.32$$

$$\begin{aligned} \bar{R}_{1A} &= K_q q_1 H - P_1 = -0.32 \times 0.24 \times 11.4 - 1.22 \\ &= -0.876 - 1.22 = -2.096^t \end{aligned}$$

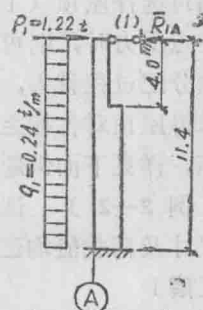


图 2-21

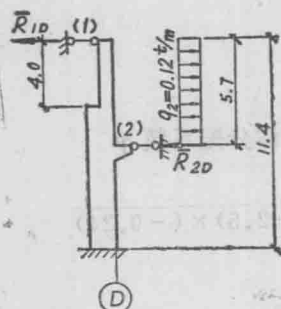


图 2-22

柱D(图 2-22): $C=8.0, \lambda=0.35, k=0.5$ 查表14a、14b得:

$$K_{tq} = -0.166, K_{kq} = -0.459$$

$$\overline{R}_{1D} = -0.166 \times 0.12 \times 11.4 = -0.227t$$

$$\overline{R}_{2D} = -0.459 \times 0.12 \times 11.4 = -0.628t$$

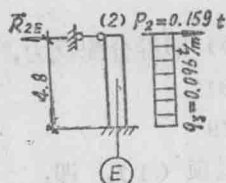


图 2-23

柱E(图 2-23): $C=1$, 查表 7 得: $K_q = -0.375$,

$$\overline{R}_{2E} = -0.375 \times 0.096 \times 4.8 = -0.159$$

$$= -0.173 - 0.159 = -0.332t$$

将求得的 r, t 写在图2-24中。 $[\gamma=1.303]$

	主屋顶 (1) $t_{12} = -2.5$				$t_{21} = -0.24$ (2)	
r_{1n}	0.247	0.299	0.299	0.618	6.438	0.578
(1) 分配系数 μ	0.1687	0.2044	0.2044	0.4225	0.9176	0.0824
(2) 不动支点反力 $\overline{R}$	-2.096			-0.227	-0.628	-0.332
(3) 在副屋顶(2)分配				-0.211	0.881	0.079
(4) 在主屋顶(1)集体分配	0.557	0.675	0.675	1.395	-3.488	
(5) 在副屋顶(2)分配				-0.768	3.201	0.287
(6) 屋顶实际反力 R $= (2) + (3) + (4) + (5)$	-1.539	0.675	0.675	0.189	-0.034	0.034
	A	B	C	D	E	

图 2-24

2. 计算各柱的反力分配系数 μ

$$\mu_{1A} = \frac{0.247}{0.247 + 0.299 + 0.299 + 0.618} = \frac{0.247}{1.463} = 0.1687$$

$$\mu_{1B} = \mu_{1C} = \frac{0.299}{1.463} = 0.2044$$

$$\mu_{1D} = \frac{0.618}{1.463} = 0.4225$$

$$\mu_{2D} = \frac{6.438}{6.438 + 0.578} = \frac{6.438}{7.016} = 0.9176$$

$$\mu_{2E} = \frac{0.578}{7.016} = 0.0824$$

将各柱 μ 值写在图 2—24 中第 (1) 行内。

3. 指定屋顶 (1) 为主屋顶, 并计算主屋顶 (1) 的集体分配系数 γ

$$\gamma = \frac{1}{1 - \mu_{1D}\mu_{2D}t_{12}t_{21}} = \frac{1}{1 - 0.4225 \times 0.9176 \times (-2.5) \times (-0.24)} = 1.303$$

将 γ 写在图 2—24 中屋顶 (1) 上面的方括号 [] 内。

4. 将各柱的不动支点反力 $\bar{R}$ 写在第 (2) 行内。

5. 在副屋顶 (2) 分配:

将屋顶 (2) 各柱之 $\bar{R}$ 相加乘以各柱的分配系数 μ (反号) 即得分配反力, 如:

$$-\mu_{2D}\Sigma\bar{R}_2 = -0.9176 \times (-0.628 - 0.332) = 0.881$$

$$-\mu_{2E}\Sigma\bar{R}_2 = -0.0824 \times (-0.628 - 0.332) = 0.079$$

再将双支点柱 D 的分配反力乘以反力传递系数 t_{21} 传给屋顶 (1), 即:

$$-0.24 \times 0.881 = -0.211$$

以上分配反力及传递反力均写在第 (3) 行内。

6. 在主屋顶 (1) 集体分配:

将屋顶 (1) 各柱之不动支点反力 $\bar{R}$ 及传递反力 R' 相加乘以集体分配系数 γ 再乘以屋顶 (1) 所连各柱的分配系数 μ (反号), 即得各柱的分配反力, 如:

$$-\mu_{1A}\gamma\Sigma R_1' = -0.1687 \times 1.303 \times (-2.096 - 0.227 - 0.211)$$

$$= -0.1687 \times 1.303 \times (-2.534) = 0.557$$

$$-\mu_{1B}\gamma\Sigma R_1' = -\mu_{1C}\gamma\Sigma R_1' = -0.2044 \times 1.303 \times (-2.534) = 0.675,$$

$$-\mu_{1D}\gamma\Sigma R_1' = -0.4225 \times 1.303 \times (-2.534) = 1.395$$

再将双支点柱 D 的分配反力乘以反力传递系数 t_{12} 传给屋顶 (2), 即:

$$-2.5 \times 1.395 = -3.488$$

以上分配反力及传递反力均写在第 (4) 行内。

7. 在副屋顶 (2) 分配:

将柱 D 之传递反力 -3.488 乘以屋顶 (2) 各柱之分配系数 μ (反号) 即得各柱之分配反力, 如:

$$\text{柱 D: } -0.9176 \times (-3.488) = 3.201$$

$$\text{柱 E: } -0.0824 \times (-3.488) = 0.287$$

再将双支点柱 D 之分配反力乘以 t_{21} 传给屋顶 (1), 即: $-0.24 \times 3.201 = -0.768$

以上分配反力及传递反力均写在第 (5) 行内。

8. 分别将各柱第 (2)、(3)、(4)、(5) 行内的不动支点反力、分配反力及传递反力相加, 即得屋顶对各柱的实际反力 R , 如:

$$R_{1A} = -2.096 + 0.557 = -1.539$$

$$R_{1D} = -0.227 - 0.211 + 1.395 - 0.768 = 0.189 \text{ 等等}$$

将柱反力 R 写在第 (6) 行内。

由 $\Sigma R_1 = 0$ 及 $\Sigma R_2 = 0$ 可以校核计算结果的正确性, 例如:

$$\Sigma R_1 = -1.539 + 0.675 + 0.675 + 0.189 = 0$$

$$\Sigma R_2 = -0.034 + 0.034 = 0$$

故计算正确无误。

9. 分别计算柱子各截面的弯矩(按在外荷载及柱反力共同作用下的悬臂梁计算)。

柱 A (图 2—25) :

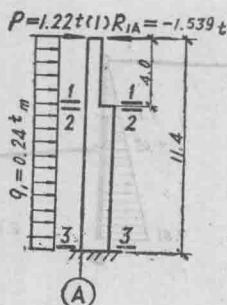


图 2—25

$$\text{变阶处: } M_{1-1} = M_{2-2} = (1.22 - 1.539) \times 4.0 + \frac{1}{2} \times 0.24 \times 4^2 = -1.28 + 1.92 = 0.66 \text{tm}$$

$$\begin{aligned} \text{柱底: } M_{3-3} &= (1.22 - 1.539) \times 11.4 \\ &+ \frac{1}{2} \times 0.24 \times 11.4^2 = -3.63 + 15.60 \\ &= 11.97 \text{tm} \end{aligned}$$

柱 B、C (图 2—26) :

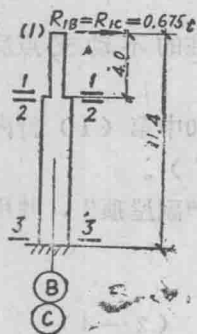


图 2—26

$$\text{变阶处: } M_{1-1} = M_{2-2} = 0.675 \times 4.0 = 2.70 \text{tm}$$

$$\text{柱底: } M_{3-3} = 0.675 \times 11.4 = 7.70 \text{tm}$$

柱 D (图 2—27) :

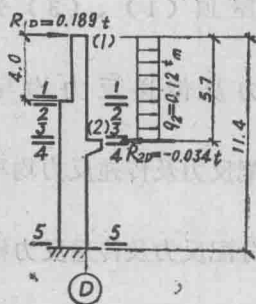


图 2—27

$$\text{变阶处: } M_{1-1} = M_{2-2} = 0.189 \times 4.0 + \frac{1}{2} \times 0.12 \times 4.0^2 = 0.76 + 0.96 = 1.72 \text{tm}$$

$$\begin{aligned} \text{低跨屋顶支点处: } M_{3-3} &= M_{4-4} = 0.189 \times 5.7 + \\ &+ \frac{1}{2} \times 0.12 \times 5.7^2 = 1.08 + 1.95 = 3.03 \text{tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{柱底: } M_{5-5} &= 0.189 \times 11.4 - 0.034 \times 5.7 + 0.12 \\ &\times 5.7 \times (11.4 - \frac{5.7}{2}) = 2.15 - 0.19 \\ &+ 5.85 = 7.81 \text{tm} \end{aligned}$$