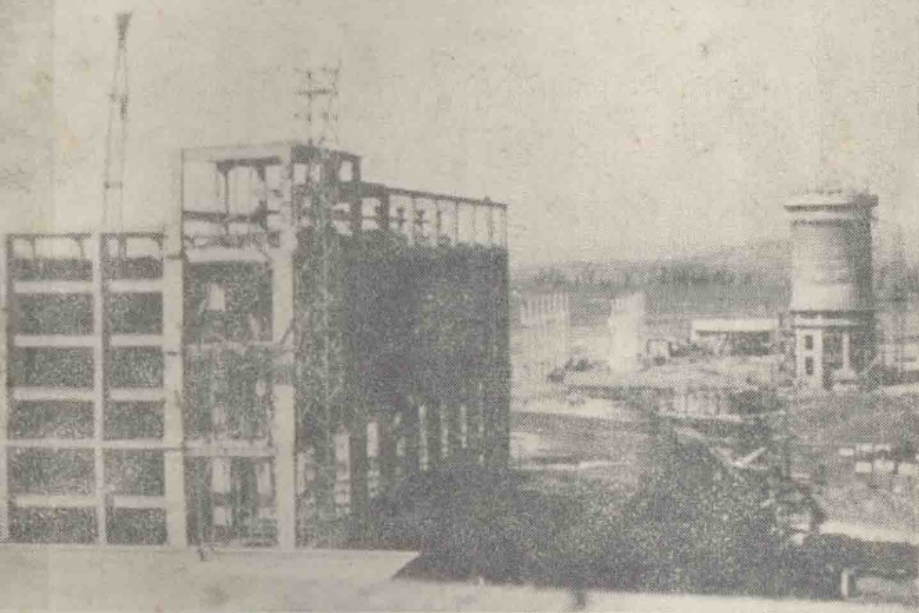


側移剛架分析法



云南设计

3

云南省设计院革命委员会

基建组

我们一定要高举毛主席 树立的大庆红旗。

华主席四月二十日给大庆油田的亲笔题词

我们相信，在本世纪内全面实现四个现代化、建成社会主义强国的宏伟目标，一定能够达到。我国社会主义制度在经济发展方面对于资本主义制度的优越性，一定能够更加光辉灿烂地显示出来。

华主席在全国工业学大庆会议上的讲话

前 言

本文在学习总结现有刚架分析法的基础上对侧移刚架的分析法提出了一些建议与补充。全文分十章。

第一至第三章，除将各类刚架分析方法的基本公式加以沟通外，提出了形变系数法，为求刚架变形提出了简便有效的新法，也为加速迭代法的收敛提供了有利条件。并结合实例与各种分析方法作了对比。

第四、第五章讨论代替悬臂法。把 C.V. 柯劳塞克的经验系数法上升为理论公式，使该法的适用范围扩大，并且演算过程大为简化。

第六章在考虑形变协调的基础上，提出了几个新的近似分析法。计算精度较现有的近似分析法有所提高。

第七、第八、第九章，对复式刚架、变截面刚架、梯形刚架（平梁斜柱刚架）的分析方法提出了一些新的建议，并补充了相应的代替悬臂法。

第十章结合我国现行抗震设计规范精神讨论了平面刚架地震荷载的估算方法。

为了压缩篇幅，有关书刊中业已介绍的方法，尽量避免重复。但为了使本文提出的建议与原来方法保持连续清晰的概念，对某些方法扼要作了介绍。提出的建议，除理论推导外，一般均演算实例，加以验证，并尽量采用其它书刊中的已有例题，以资对比。

笔者水平有限，谬误之处，幸希指正，帮助提高。本文承张以文工程师帮助审校，特此致谢。

刘 岳 东 1976.3.16.

侧移刚架分析法

目 录

第一章	名词统一与基本公式	(1)
§ 1—1	主要名词与符号的说明	(1)
§ 1—2	杆端弯矩公式	(2)
§ 1—3	侧移刚架分析法的几个基本公式	(3)
第二章	齐进迭代法与巴林特法、卡尼法	(7)
§ 2—1	巴林特法的实质	(7)
§ 2—2	巴林特法与卡尼法比较	(8)
§ 2—3	齐进迭代法与求角比	(11)
第三章	形变系数法与无剪力分配法、形变分配法	(14)
§ 3—1	形变系数法的基本原理	(14)
§ 3—2	形变系数法的计算步骤	(17)
§ 3—3	无剪力分配法与形变系数法比较	(22)
§ 3—4	形变分配法与形变系数法比较	(24)
§ 3—5	滑动端弯矩	(28)
§ 3—6	对称性的利用	(30)
§ 3—7	结论	(34)
第四章	代替悬臂法(上)	(35)
§ 4—1	代替悬臂法的概念	(35)
§ 4—2	代替悬臂法的基本公式	(36)
§ 4—3	柯氏确定楼层系数 A_r 的方法	(38)
§ 4—4	对柯氏代替悬臂法原有公式的改进与补充	(40)
§ 4—5	楼层系数 A_r 的效用	(42)
§ 4—6	选择楼层系数 A_r 值的图表说明与建议	(44)

§ 4—7	选择楼层系数 A_r 与角比 α_r 的图表	(45)
(一)	单跨单层刚架在结点水平荷载作用下的计算数据	(45)
(二)	一跨至四跨对称刚架 A_r 与 α_r 的图表	(47)
§ 4—8	利用图表计算的实例	(51)
第五章	代替悬臂法(下)	(60)
§ 5—1	代替悬臂节点刚度的估算	(60)
§ 5—2	用角比求代替悬臂节点刚度的实例	(64)
(一)	根据实际荷载用齐进迭代法求角比	(64)
(二)	根据刚架杆件刚度求角比	(66)
(三)	根据假定荷载用齐进迭代法求角比	(71)
§ 5—3	结论	(79)
第六章	近似分析法	(80)
§ 6—1	前言	(80)
§ 6—2	简约分析法	(80)
§ 6—3	角变弯矩分配法	(81)
§ 6—4	层间剪力平衡法	(88)
§ 6—5	对武滕清法的讨论	(93)
(一)	武滕清法的原理	(94)
(二)	武滕清法基本公式与计算步骤	(96)
(三)	武滕清法各项公式的物理概念	(97)
§ 6—6	剪力分配新法	(98)
(一)	采用钳制刚度代替原来的横梁刚度	(98)
(二)	修改梁柱刚度比的公式,以改善刚性系数 α 的适应性能	(101)
(三)	影响计算精度的一些问题及处理意见	(103)
§ 6—7	对剪力分配新法的评论	(110)
§ 6—8	剪力分配法在几种特殊情况下的应用	(110)
(一)	剪力分配层的确定	(111)
(二)	填充墙与刚架组合的组合刚度	(111)
(三)	变截面柱的侧移刚度	(112)
(四)	楼面开孔的处理	(112)
第七章	复式刚架分析	(113)
§ 7—1	复式刚架分类	(113)
§ 7—2	(A)式刚架分析法	(114)
(一)	迭代法	(114)
(二)	近似分析法——层间剪力平衡法	(121)

(三)	代替臂悬法	(122)
§ 7—3	(B)式刚架分析法——组合式刚架分析法	(128)
§ 7—4	(C)式刚架分析法	(130)
第八章	变截面刚架分析	(135)
§ 8—1	前言	(135)
§ 8—2	基本数据的计算	(135)
(一)	杆端固定情况下的抗弯刚度, 弯矩传递系数与固定端弯矩	(135)
(二)	杆端可以侧移但不能转动情况下的滑动端刚度, 弯矩传递 系数与滑动端弯矩	(137)
(三)	用代替悬臂法计算二阶柱的形常数与载常数举例	(138)
§ 8—3	用形变系数法分析变截面梁、柱对称双柱刚架	(144)
§ 8—4	代替刚架法	(149)
§ 8—5	变截面刚架的迭代法	(154)
(一)	基本公式与说明	(154)
(二)	计算实例	(155)
§ 8—6	变截面刚架的代替悬臂法	(159)
(一)	变截面柱刚架的代替悬臂法举例(暂不考虑梁刚度影响)	(159)
(二)	代替悬臂与实际刚架的关系	(160)
(三)	变截面刚架代替悬臂的节点刚度(当考虑梁刚度影响时)	(163)
(四)	变截面梁刚架分析法举例	(166)
第九章	梯形刚架分析	(173)
§ 9—1	前言	(173)
§ 9—2	具有斜杆刚架结点位移的特点	(173)
§ 9—3	刚度对称梯形刚架分析法——调整分配法的改进	(176)
(一)	调整分配法的基本概念与公式	(176)
(二)	分配过程的改进	(184)
§ 9—4	几种特殊情况的处理	(184)
(一)	沿纵轴对称空腹桁架, 中节间的刚度调整	(184)
(二)	用铰支承的悬臂空腹桁架	(186)
(三)	空腹桁架端点或梯形塔架顶点两根弦杆相交于一点	(188)
§ 9—5	一般梯形刚架分析法——迭代法	(190)
§ 9—6	梯形刚架杆件的轴向力与剪力	(195)
第十章	平面刚架地震荷载的估算	(196)
§ 10—1	前言	(196)
§ 10—2	多层刚架的侧移计算法	(197)

(一)	按西加洛夫法计算	(198)
(二)	按辅助刚架法计算	(200)
(三)	按代替悬臂法计算	(200)
(四)	按迭代法计算	(201)
(五)	几种计算方法的讨论	(201)
§ 10—3	平面刚架地震荷载估算举例	(201)
(一)	简式刚架	(201)
(二)	复式刚架	(207)
(三)	设备构架	(214)
	主要参考资料	(215)

第一章 名词统一与基本公式

§ 1—1 主要名词与符号的说明

本文将讨论各种刚架分析方法，而各方法的提出者常采用了不同的名词或术语，为了文字叙述与公式表达的统一，特就其中主要名词与符号说明如下：

形变：刚架变形包括结点的旋转与位移（侧移、下沉），结点旋转的角度我们称之为转角，以代替一般称呼的角变或形变，以符号 φ 表示。结点位移与杆长（柱高、梁跨）之比，我们称之为倾角，以符号 μ 表示。转角与倾角统称为角变或形变。 φ 和 μ 一般是相对值。转角和倾角与杆件刚度的乘积分别称为转角弯矩与倾角弯矩，以符号 M'_{is} 和 M''_{is} 表示，脚标 i 表示杆件的近端， s 表示杆件的远端。一般称呼的角变位移方程也相应地改称转角倾角方程。

刚度：刚度通常的含义为杆端旋转单位角时所需的弯矩，即所谓抗弯刚度，它与杆件的 EI 成正比，与杆长成反比。根据杆件远端的支承情况有几种不同含义的刚度：

杆件远端固定时；我们称之为固定端刚度，这是刚架分析中迁得最多的，所以一般即简称刚度，对于等截面杆件以 ξ 表示，其值为 $\frac{4EI}{L}$ ，但也常以 $\frac{EI}{L}$ 表示其相对值。

杆件远端铰接时；我们称之为铰支端刚度，对于等截面杆件其值为 $\frac{3EI}{4L}$ ，但也常以 $\frac{3}{4} \frac{EI}{L}$ 表示其相对值。

杆件远端可以移动但不能转动时，我们称之为滑动端刚度，对于等截面杆件，其值为 $\frac{EI}{L}$ ，当刚架分析中同时出现固定端刚度与滑动端刚度时，则前者必须用 $\frac{4EI}{L}$ ，后者用 $\frac{EI}{L}$ ；或前者用 $\frac{EI}{L}$ ，后者用 $\frac{1}{4} \frac{EI}{L}$ 。

对于变截面杆件因近端抗弯刚度与远端抗弯刚度不同，其固定端刚度用符号 S_{is} 与 S_{si} 表示，其滑动端刚度用符号 S'_{is} 与 S'_{si} 表示，实际上 $S'_{is} = S'_{si}$ 。其铰支端刚度分别按公式 $S_{is}(1 - C_{is} C_{si})$ 与 $S_{si}(1 - C_{is} C_{si})$ 计算。

当刚架分析中同时出现各种不同含义的刚度时，在叙述中一般先加说明，而不依赖于过于繁杂的符号来区别。

表示杆件或刚架产生单位位移时所需的水平力，称为抗剪刚度或侧移刚度，我们将以位移倒数 $\frac{1}{\Delta}$ 表示，而不规定特殊符号。

因工程计算中，一般只需刚度（各种含义的刚度）的相对值，所以表示刚度量值时，经常略去 E 值或令 $E = 1$ 。

弯矩：这里只提出与固定端弯矩相对应的一个名词——滑动端弯矩，即杆端可以移动但不能转动时的弯矩，以符号 M_{is}^* 表示，它将在第三章再加讨论，而对应的固定端弯矩表示为 M_{is}^F 。

有些名词仅在某一分析方法中出现，如不与上述主要名词混淆、冲突，一般沿用原名，必要时另加说明。

§ 1—2 杆端弯矩公式

杆端弯矩与形变的关系，按迭加原理以转角倾角方程表达如下：图（1—1）

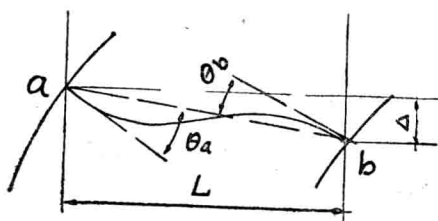


图 1—1

$$M_{ab} = S_{ab} [\theta_a + C_{ab} \theta_b - (1 + C_{ab}) \frac{\Delta}{L}] - M_{ab}^F \quad (1-1)$$

$$M_{ba} = S_{ba} [\theta_b + C_{ba} \theta_a - (1 + C_{ba}) \frac{\Delta}{L}] + M_{ba}^F \quad (1-2)$$

式中 M_{ab} M_{ba} ——杆端弯矩

S_{ab} S_{ba} ——抗弯刚度

θ_a θ_b ——结点转角（绝对值）

Δ ——杆件两端相对位移，

$\frac{\Delta}{L}$ 为倾角的绝对值

C_{ab} C_{ba} ——杆件 a 端向 b 端或 b 端向 a 端的弯矩传递系数。

M_{ab}^F M_{ba}^F ——杆件 a b 两端的固端弯矩。

转角、倾角和弯矩以顺时针方向旋转者为正，位移以产生正向倾角者为正。

对于等截面杆件，当远端为固定端时，

$$S_{ab} = S_{ba} = 4E \frac{I}{L} = 4E\xi \quad \text{此处令 } \frac{I}{L} = \xi$$

$$C_{ab} = C_{ba} = \frac{1}{2}, \quad \text{远端固定时的弯矩传递系数。}$$

将以上数值代入则 (1-1) (1-2) 可改写为：

$$M_{ab} = 2E\xi (2\theta_a + \theta_b) - 6E\xi \frac{\Delta}{L} - M_{ab}^F \quad (1-1a)$$

$$M_{ba} = 2E\xi (2\theta_b + \theta_a) - 6E\xi \frac{\Delta}{L} + M_{ba}^F \quad (1-2a)$$

刚架分析的最终目的，一般只求杆端弯矩，并无计算角变绝对值的必要，我们可令：

$$\varphi_a = 2E\theta_a; \quad \varphi_b = 2E\theta_b; \quad \mu_{ab} = -6E\frac{\Delta}{L}$$

则综合 (1-1a) (1-2a) 两式可写为通式：

$$M_{is} = \xi_{is} (2\varphi_i + \varphi_s) + \xi_{is} \mu_{is} + M_{is}^F \quad (1-3)$$

(1-3) 式即 C.V. 柯劳塞克所著《形变分配法》一书中表示杆端弯矩的基本公式。

如果将刚度与角变的乘积用转角弯矩和倾角弯矩表示，即得卡尼法或巴林特法表示杆端弯矩的公式：

$$M_{is} = 2M'_{is} + M'_{si} + M''_{is} + \bar{M}_{is} \quad (1-4)$$

式中 $\bar{M}_{is}$ 为卡尼法表示杆件固端弯矩于 M_{is}^F 的符号

对于等截面杆件，当远端可以移动但不能转动时，将 (1-1) (1-2) 式中的符号给以不同的含义，即：

S_{ab} 与 S_{ba} 以滑动端刚度 $E\xi$ 代替

并令 $C_{ab} = C_{ba} = -1$ ，远端可以移动但不能转动时的弯矩传递系数，又将固定端弯矩 M_{is}^F 改为滑动端弯矩 M_{is}^S (等截面刚架的 $M_{is}^S = M_{is}^S = M_r^S$)，

$$\text{则得 } M_{is} = E\xi (\theta_i - \theta_s) + M_{is}^S \quad (1-5)$$

这就是无剪力分配法中表示杆端弯矩的公式，这里没有把 $E\theta_i$ 、 $E\theta_s$ 以 φ_i 、 φ_s 表示，因为还牵涉到计量单位的换算问题，留待第三章进一步说明，较为清楚。

§ 1-3 侧移刚架分析法的几个基本公式

设有一两层刚架如图 (1-2) 所示，在水平结点荷载作用下，第一层产生了倾角 μ_1 ，第二层的倾角为 μ_2 ，由式 (1-3) 可写出杆端弯矩方程

$$M_{is} = \xi_{is} (2\varphi_i + \varphi_s + \mu_r), \quad \text{式中 } \mu_r \text{ 表示第 } r \text{ 层的倾角即 (1-3) 式中的 } \mu_{is}。$$

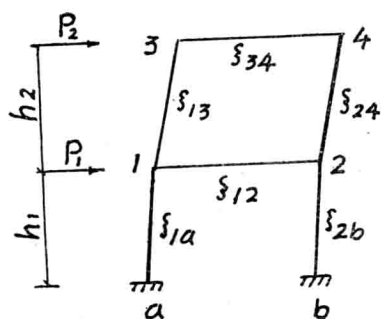


图 1—2

结点 1 各杆的杆端弯矩为

$$\left. \begin{aligned} M_{1a} &= \xi_{1a} (2\varphi_1 + \mu_1) \\ M_{12} &= \xi_{12} (2\varphi_1 + \varphi_2) \\ M_{13} &= \xi_{13} (2\varphi_1 + \varphi_3 + \mu_2) \end{aligned} \right\} (a)$$

根据结点弯矩平衡条件得：

$$2(\xi_{1a} + \xi_{12} + \xi_{13}) \varphi_1 + \xi_{12} \varphi_2 + \xi_{13} \varphi_3 + \xi_{1a} \mu_1 + \xi_{13} \mu_2 = 0 \quad (b)$$

令 $2(\xi_{1a} + \xi_{12} + \xi_{13}) = \rho_1$ 称为结点刚度，则 (b) 式可改写为：

$$\rho_1 \varphi_1 + \xi_{12} \varphi_2 + \xi_{13} \varphi_3 + \xi_{1a} \mu_1 + \xi_{13} \mu_2 = 0 \quad (c)$$

同样可写出结点 3 的弯矩平衡方程：

$$\rho_3 \varphi_3 + \xi_{13} \varphi_1 + \xi_{34} \varphi_4 + \xi_{13} \mu_2 = 0 \quad (d)$$

(c) (d) 的一般式可写为

$$\rho_i \varphi_i + \sum (\xi \cdot \varphi_s) + \sum (\xi \cdot \mu_r) = 0, \quad (1-6)$$

如以角变弯矩表示，由 (b) 式可知，(1-6) 式可写为

$$2 \sum_i M'_{is} + \sum_i (M'_{si} + M''_{is}) = 0$$

$$\text{或 } \sum_i M'_{is} = -\frac{1}{2} \sum_i (M'_{si} + M''_{is})$$

式中 $\sum_i M'_{is}$ 为结点 i 各杆 i 端转角弯矩之和，根据各杆刚度之比可求得：

$$\begin{aligned} M'_{is} &= -\frac{1}{2} \frac{\xi_{is}}{\sum_i \xi_{is}} \sum_i (M'_{si} + M''_{is}) \\ &= \mu_{is} \sum_i (M'_{si} + M''_{is}) \end{aligned} \quad (1-7)$$

如果汇集于 i 点的杆件中有若干杆件有固端弯矩，其和为 $\bar{M}_i$ ，则 (1-7) 式当改写为

$$M'_{is} = \mu_{is} \sum_i (\bar{M}_i + M'_{si} + M''_{is}), \quad (1-8)$$

公式 (1-7) 或 (1-8) 为卡尼法求转角弯矩的基本公式。

式中 $\mu_{is} = -\frac{1}{2} \frac{\xi_{is}}{\sum_i \xi_{is}}$ 称为转角弯矩分配系数

取图 (1-2) 刚架的二层楼面以上为脱离体如图 (1-3)，根据层间弯矩平衡条件：

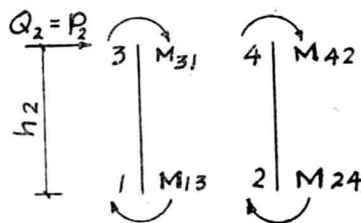


图 1-3

$$M_{13} + M_{31} + M_{24} + M_{42} + Q_2 h_2 = 0$$

而 $M_{13} = \xi_{13} (2\varphi_1 + \varphi_3 + \mu_2)$

$$M_{31} = \xi_{13} (2\varphi_3 + \varphi_1 + \mu_2)$$

$$M_{24} = \xi_{24} (2\varphi_2 + \varphi_4 + \mu_2)$$

$$M_{42} = \xi_{24} (2\varphi_4 + \varphi_2 + \mu_2)$$

代入得：

$$3 \xi_{13} (\varphi_1 + \varphi_3) + 3 \xi_{24} (\varphi_2 + \varphi_4) + 2 \xi_{13} \mu_2 + 2 \xi_{24} \mu_2 + Q_2 h_2 = 0$$

其一般式为

$$\sum_r (\xi_{is} \cdot \varphi_i) + \sum_r (\xi_{is} \cdot \varphi_s) + \frac{2}{3} \sum_r (\xi_{is}) \mu_r + \frac{1}{3} Q_r h_r = 0 \quad (e)$$

令 $\frac{1}{3} Q_r h_r = S_r$ 称为楼层弯矩， Q_r 为 r 层的总剪力， h_r 为层高，由 (e) 可得：

$$\mu_r = -\frac{3}{2} \left(\frac{S_r}{\sum_r (\xi_{is})} + \frac{\sum_r (\xi_{is} \varphi_i)}{\sum_r (\xi_{is})} + \frac{\sum_r (\xi_{is} \varphi_s)}{\sum_r (\xi_{is})} \right) \quad (1-9)$$

式 (1-9) 为代替悬臂法求 μ_r 的重要公式。

如果将 (e) 式表为角变弯矩, 则有:

$$\sum_r (M'_{is} + M'_{st}) + \frac{2}{3} \sum_r M''_{is} + S_r = 0$$

$$\text{或 } \sum_r M''_{is} = -\frac{3}{2} [S_r + \sum_r (M'_{is} + M'_{st})] \quad (f)$$

根据 r 层各柱刚度之比, 可求得:

$$\begin{aligned} M_{is}'' &= -\frac{3}{2} \frac{\xi_{is}}{\sum_r \xi_{is}} [S_r + \sum_r (M'_{is} + M'_{st})] \\ &= V_{is} [S_r + \sum_r (M'_{is} + M'_{st})] \end{aligned} \quad (1-10)$$

公式 (1-10) 为卡尼法求倾角弯矩的基本公式。

式中 $V_{is} = -\frac{3}{2} \frac{\xi_{is}}{\sum_r \xi_{is}}$ 称为倾角弯矩分配系数

卡尼法中的分配系数 μ_{is} 和 V_{is} 均取负号 (巴林特法称为传递系数, 也取负号), 但我们在今后计算中将改取正号, 而在分配过程中如同一般弯矩分配法一样自动反号。这样书写简便, 与弯矩分配法的传统习惯一致, 不易有错, 且一般系数取正值, 似更合理。

以上计算公式, 有关著作中均已详加论证。此处略予提及, 使各种刚架分析方法的基本公式相互沟通, 以便引用。

第二章 齐进迭代法与巴林特法、卡尼法

§ 2—1 巴林特法的实质

北京有色冶金设计院所编《刚架计算汇编》介绍了巴林特法。该法自有一套公式推导与演算程序，然观其实质，与卡尼法无异。

如果将公式 (1—10) 写为

$$M''_{is} = V_{is} [S_r + \sum_r (M'_{is(n)} + M'_{si(n)})] \quad (1-10a)$$

式中，在转角弯矩符号上加了脚标 (n)，表示经过 n 轮迭代后已经基本接近精确值时的转角弯矩，由此算得的 M''_{is} 当然也就接近精确值了。可以设想 $M'_{is(n)}$ (或 $M'_{si(n)}$) 是由第一次的 $M'_{is(1)}$ 每经过一次迭代就增加某一增量而逐步接近 $M'_{is(n)}$ 的。并可推断各该增量将渐趋减小以至于零，故 (1—10a) 可表为：

$$\begin{aligned} M''_{is} &= V_{is} [S_r + \sum_r (M'_{is(n)} + M'_{si(n)})] \\ &= V_{is} S_r + V_{is} \sum_r [(M'_{is1} + M'_{is2} + \cdots + M'_{isn}) + (M'_{si1} + M'_{si2} + \cdots + M'_{sin})] \\ &= V_{is} S_r + V_{is} \sum_r (M'_{is1} + M'_{si1}) + V_{is} \sum_r (M'_{is2} + M'_{si2}) + \cdots + V_{is} \sum_r (M'_{isn} + \\ &\quad M'_{sin}) \end{aligned} \quad (2-1)$$

即将 $\sum_r (M'_{is(n)} + M'_{si(n)})$ 的总量(终值)分解为若干分量，每一分量如 $(M'_{is1} + M'_{si1})$ 即巴林特法所谓剪力矩增量。但本式将剪力矩初值 S_r 及各增量已经乘上 V_{is} 作了分配。

同理，将公式（1—7）（或（1—8）式）分解为：

$$\begin{aligned}
 M'_{is} &= \mu_{is} \sum_i (M'_{si(n-1)} + M''_{is(n)}) \\
 &= \mu_{is} \sum_i (M'_{si1} + M'_{si2} + \cdots + M'_{si(n-1)}) + \mu_{is} \sum_i (M''_{is1} + M''_{is2} + \cdots + M''_{isn}) \\
 &= \mu_{is} \sum_i (M''_{is1}) + \mu_{is} \sum_i (M'_{si1} + M''_{is2}) + \cdots + \mu_{is} \sum_i (M'_{si(n-1)} + M''_{isn}) \quad (2-2)
 \end{aligned}$$

即将 $\sum_i (M'_{si(n-1)} + M''_{is(n)})$ 的总量也分解为若干分量，每一分量即巴林特法所谓弯矩增量。但本式已将各增量乘上 μ_{is} 作了分配。这里 $M'_{si(n-1)}$ 的分量比 $M''_{is(n)}$ 的分量少一个，因为（2—2）式的第一增量中不包括远端转角弯矩。同时以后各增量中是把第 r 次转角弯矩与 $r+1$ 次倾角弯矩相加，然后进行分配。

这样，从基本原理上说明了巴林特法与卡尼法实质上完全一致。

另外，卡尼法中的分配系数 μ_{is} 与 V_{is} ，在巴林特法中称为传递系数，这对计算结果没有影响，根据人们的现有习惯，我们仍将称为分配系数。

§ 2—2 巴林特法与卡尼法比较

（1）巴林特法与卡尼法既然基本原理相同，在收敛速度上也不会有多少差别。

（2）两法适用范围相同。

（3）两法的演算格式可以相同，目前卡尼法的演算格式人们比较熟悉。

（4）演算程序，《汇编》中已将巴林特法作了详细介绍，简要言之，巴林特法将前一轮算得的弯矩（或剪力矩）增量乘上各自的传递系数传至杆件远端，各结点（或各层）将所有传来弯矩加总得新一轮结点弯矩增量，这样就构成一轮迭代。将各轮迭代所得增量与初始弯矩相加即得结点弯矩（或层间剪力矩）终值，然后按各杆刚度比进行分配，分配弯矩、传来弯矩与杆件固端弯矩之和即最后所求的杆端弯矩。

卡尼法每次将有关各杆的远端弯矩（包括转角弯矩与倾角弯矩）相加，就等于巴林特法将传来弯矩加总。在结点的分配（或层间各柱分配）一方面代替了巴林特法的最终分配，同时又提供了下一轮的向远端传递的弯矩，由此可见，卡尼法的演算步骤比巴林特法精简。

（5）巴林特法每次迭代结果得一新的增量，卡尼法将增量与前轮结果相加得一新的近似值。一般前后两轮近似值符号改变的机会较少，而前后两次增量改变符号的机会较多，所以，后者比较不易由于符号经常改变而引起错乱。

（6）巴林特法与卡尼法另一不同之处：巴林特法求第 $r+1$ 次弯矩增量时，全部采用有关各点第 r 次的弯矩增量和 $r+1$ 次的剪力矩增量进行计算，而卡尼法部分采用 r 次的远端近似转角弯矩（未分配点），而另一部分采用 $r+1$ 次的远端近似转角弯矩（已分配点），并与 $r+1$ 次倾角弯矩相加以求近端 $r+1$ 次的转角弯矩，由于这一差别，两种方法在计算过程中所得相应的中间值一般不会一致。

为了使两种方法进行比较，现演实例如下，演算格式均照卡尼法，这样更便于对比。

例题 2—1，分别用巴林特法和卡尼法分析图（2—1）所示刚架，求出转角弯矩和倾角弯矩。

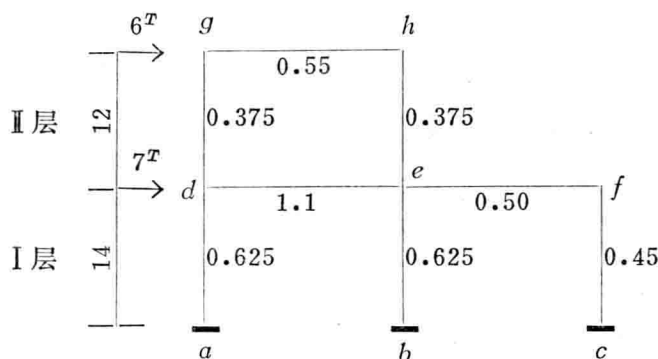


图 2—1

用巴林特法计算过程如图（2—2）

- (1) 在式（2—1）中，令转角弯矩为零，将剪力矩初值进行分配，如：

$$\text{I 层 } ad \text{ 杆的 } M''_{ad1} = (-1) \times 0.552 \times 60.6 = -33.5$$

$$\text{II 层 } dg \text{ 杆的 } M''_{dg1} = (-1) \times 0.75 \times 24 = -18$$

（计算中，当然无需列式，分配过程中自动反号）

- (2) 上面求得的 M''_{ad1} 等作为（2—2）式中 M''_{is1} ，暂令 M'_{is1} 、 M'_{is2} 等为零，算得第一次转角弯矩增量。如：

$$d \text{ 点的 } dg \text{ 杆, } M'_{dg1} = \mu_{is} \sum_i M''_{is1} = (-1) \times 0.089 \times (-33.5 - 18) = 4.582$$

$$g \text{ 点的 } dg \text{ 杆, } M'_{gd1} = (-1) \times 0.202 \times (-18) = 3.64$$

- (3) 已知 dg 杆的 $M'_{dg1} = 4.582$ ， $M'_{gd1} = 3.64$ 等后代入（2—1），此时 V_{is} 、 S_r 已经计算过了，不再考虑， M'_{is2} 、 M'_{is2} 等尚未算出，暂令为零，于是得第二次倾角弯矩增量：如：

$$\text{I 层 } ad \text{ 杆, } M''_{ad2} = (-1) \times 0.552 \times (7.674 + 6.18 + 5.688) = -10.79$$

$$\text{II 层 } dg \text{ 杆, } M''_{dg2} = (-1) \times 0.75 \times (3.64 + 4.582 + 3.64 + 3.7) = -11.67$$

- (4) 现在有了第一次转角弯矩增量 M'_{is1} 如 4.582、3.64……等，并且本结点的近端转角弯矩增量 M'_{is1} 即相邻结点的远端转角弯矩增量 M'_{si1} ，同时有了第二次倾角弯矩增量 M''_{is2} 如：-10.79、-11.67……等代入（2—2）式（此时 M'_{is2} 及 M''_{is3} 等暂令为零），得第二次转角弯矩增量，如：

$$\begin{aligned} d \text{ 点的 } dg \text{ 杆, } M'_{dg2} &= \mu_{is} \sum_i (M'_{si1} + M''_{is2}) \\ &= (-1) \times 0.089 \times [(+3.64 + 10.92) + (-11.67 - 10.79)] = 0.704 \end{aligned}$$

注意: 计算 M'_{is2} 时, 必须采用有关的 M'_{si1} , 不要误用某些结点已经算出的 M'_{si2} 。

[illegible]