鋼筋混凝土剛構桥設計

刘著名 編著

科学技術出版社

鋼筋混凝土剛構桥設計

刘 著 名 編 著

科 学 技 術 出 版 社

内容提要

簡述剛構桥的优越性及其实用范圍，經济的結構跨度、有系統而簡明地介紹設計所采用的理論，以使解决任何跨数的剛構桥的設計工作。

書中有最常用的三連跨剛構桥設計实例，并有考虑結構各种特性的方法。

此外又介紹初步拟定剛構桥各部尺寸的簡要公式和方法。

鋼筋混凝土剛構桥設計

編著者　　刘著名

*

科学技術出版社出版

（上海建國西路336弄1号）

上海市書刊出版業營業許可証出079号

上海啓智印刷厂印刷　新華書店上海發行所总經售

*

統一書号：15119·515

开本787×1092 耗1/27·印張4 26/27·字数100,000

1957年6月第1版

1957年6月第1次印刷　印数1—2,000

定价：(10) 0.70 元

謝　序

剛構桥是桥梁建筑的一种特殊形式，由于設計和施工都比較复杂，且不宜于工厂化的建造，所以应用不广。但是剛構桥的梁部因竪向荷儎而产生的撓曲力矩較之同样跨度簡支梁桥的撓曲力矩为小，因此其梁部的厚度，也可較簡支梁的厚度为薄。这一特点，对于桥下需要一定的建筑高度，而桥上綫路的高度又受有限制的跨綫桥，就有其特殊的意义。一般用在鉄路跨越公路的剛構桥，往往采用單孔，梁下略呈弧形，可以增加其外形的美观。对于鉄路跨越鉄路的剛構桥，則多采用三孔的形式，不仅节省两端的禦土牆，并可便于瞭望。

鋼筋混凝土剛構桥的設計理論和方法，种类繁多，在一般超靜定結構和鋼筋混凝土結構的書籍中，多有介紹。但專門叙述剛構桥設計的書籍，尤其是叙述多孔剛構桥設計方法的書籍，在国內尚不多見。本書参考了各种書籍，根据現行的鉄路桥涵設計規程，用实例的体裁系統地介紹了一座三孔鋼筋混凝土鉄路跨綫桥的設計方法和步驟。內容詳尽，并尽量采用了查表等簡化計算的办法，实可为鉄路桥梁設計人員一本有用的工具書。

謝仁德

1956.10.6

自　序

随着我国社会主义建設的飞跃前进，鉄路建設事业正在空前发展，而在艰巨的鉄路建設中，桥梁工程却占着相当大的比重。

近几年来，根据我們在实际工作中的体会，系統而詳尽的設計例題，在完成設計任务上起着很大的作用。但对剛構桥的設計，則尙少有詳細的介紹，我們只能从現有的一般技术書籍中得到一些概念。然而，繁重的鉄路运輸业务迫切的要求着龐大的樞紐站場的新建、改建和扩建。因之，在站場中以及其它交通頻繁的城市地区最理想的桥式——剛構桥的詳細設計范例，实有出版的需要。

本書根据現行設計規范，选擇了最常見的情况和式样，以实例計算为主。但为了系統而扼要的說明計算的理論根据，以及便利閱讀主体起見，在第二章中重点地將定点法及撓度法作了簡略的推演和介紹；在实际算例中，为了不墨守一法，以期工作簡捷，亦部分地采用了力矩分配法。但以此法在一般結構理論書籍中，均有詳細的論述，而为一般同志所熟悉，故此处不再重复．

由于在設計工作中，感到 A. Strassner 矩形截面加腋常数表中的角变儀常数，不能与其角变形常数全部相对应，致使应用不便，而在其它書籍中，亦多类有此項缺点，故于附录 II 中 采用了蔡方蔭先生所創，簡洁的 I_0/I 图矩面积法，并利用 A. Strassner 之角变形常数，將其对称直綫加腋部分的儀常数作了补充。

編著本書时，屢蒙蔡方蔭先生悬切指教，特别是在A.Strassner加腋梁常数表的补充計算中。于此，作者除向蔡先生表示虛心学习外，并特致謝意；書成之后，曾就教于刘雪亭、謝仁德两位总工程师，并蒙謝同志賜序，亦一并致謝。同时，对本書的全部抄写、描繪热忱相助的王荣卿同志，尤深銘感。由于作者技术理論水平的限制，底稿虽經詳核，但錯誤之处，仍属难免，深望海內賢达，不吝隨时指正，不胜感幸。

刘著名于北京

1956.5.15

目　录

参考文献

(1)苏联鉄路員工手册，第四册。

(2)吉赫諾夫專家：桥梁标准載重研究，人民鉄道杂志三卷五期及十二期。

(3)蔡方蔭：变截面剛構分析，1954年初版，中国科学图書仪器公司。

(4) K. K. 雅可布遜：鋼筋混凝土桥計算，1954 年初版，人民鉄道出版社。

(5)金宝楨：超靜定結構学，1953 年三版，龙門联合書局。

(6) Cross and Morgan: Continous Frames of Reinforced Concrete。1932年版。

(7)金 濤：超靜定結構解法，金氏自版。

(8)朱士宾：鉄路桥涵設計，1950 年初版，商务印書館。

鉄路測量，1951 年 8 月，6 版修訂本，商务印書館。

一 概 述

剛構桥的主要优点在于它能供給以最小的桥梁建筑高度。同时由于用了輕巧的支架代替了一般桥梁所用的重力式墩台，不仅能供給以較大的凈空及凈孔，而使圬工数量大为减少，且用为鉄路樞紐站內的跨綫桥，并能給以良好的視綫。在一般情况下較同一要求的梁式桥，能节省造价达40～50%。此类桥梁最适宜于无水的旱桥、棧桥及車站內的跨綫桥；在有水流的河槽中，由于支架对抵抗流水、流冰及飄浮物的損坏能力較小，故很少采用。

根据各种具体情况的不同，剛構桥的簡图可分为下列六种，其中尤以單跨者及三跨者为最常見。在有端支柱的三跨剛構中，边跨 l 約为中跨的 0.8 倍，即 $l\approx0.8l_1$，无端支柱者 $l\approx0.7l_1$；在双跨剛構中，一端无支柱者常为有支柱跨的 0.9 倍，$l\approx0.9l_1$。这样，可使竪向荷儎所生的撓曲力矩接近平衡。有时，剛構須要有短的悬臂伸出，其長度不宜超过 $0.2l$，如图 1–b。

剛構的支柱与基础的連接可为鉸接，亦可为剛接。鉸接的优点，在其能使作用于基础的合力通过鉸而作用在中心，如是則可减小基础尺寸，同时，可降低由于溫度变化及混凝土收縮在剛構中所产生的力矩。其缺点为將增大梁中竪向荷儎所引起的撓曲力矩。同时，在支柱与梁联結的地方由制动力所生的力矩亦將增大。剛接恒較鉸接为經济；按照 K. K. 雅可布遜著“鋼筋混凝土桥計算”的叙述，基底除为不可压縮的土壤外，当基础位于中等坚实的土壤，其两边应力的比不大于二倍时，支点亦可認为是剛性連接。必要时，基础亦可支承于基樁上。

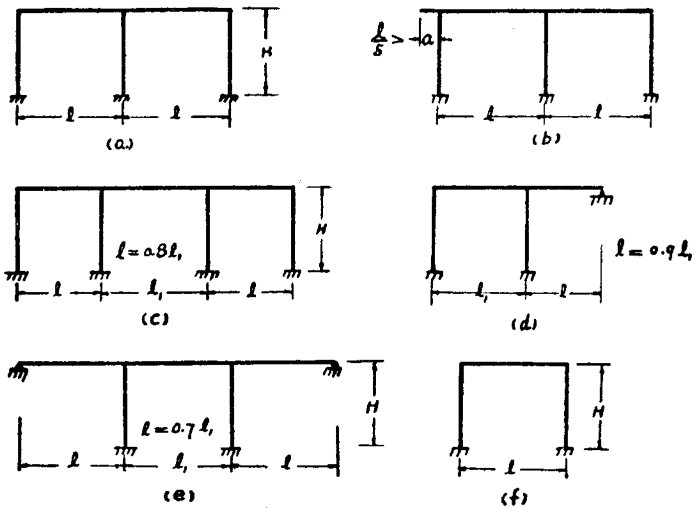

图 1

为避免招致更大的溫度应力及混凝土收縮应力起見，剛構的長度以不超过 40 公尺为宜；在两主剛構之間，沿着支柱，应設置水平横向系杆，其間距約为两主構架間距离的 1.5～2.0 倍。

柱底与基础的連接类型，主要是根据地質的具体情况而加选擇的，再者是根据气溫变化来确定。在不良的土壤中，支座的可能沉陷和惡劣的气溫变化，对柱底剛性連接的剛構表現得比較剧烈，而且危險。因此在可疑的土壤中或气溫变化十分显著的情况下，柱底与基础最好采用鉸接，若將剛構桥与拱桥相比，在桥空較高的情况下，剛構桥不如拱桥稳定，但就建筑材料經济而言，則以剛構桥为佳。

此外，剛構桥具有特别优美的曲綫外形，实非它种式样的桥梁所能相比。因之，此項新穎的建筑，最初多建造于风景地区及公园的連絡道上，其后逐漸发展，应用于公路上，近年来鉄路桥梁亦有采用，如隴海路之鈎桥，即为 4 孔 5 公尺的剛構桥。西安之北关桥为 2 孔 5 公尺的剛構桥；今后在鉄路的建筑上，尤其是特大的樞紐車站內，亦可用作跨綫桥，这样剛構桥的应用必將更加普遍。

二　設計理論

(一)定点法对于变剖面剛構桥的应用

1.角变与角变系数

設一变剖面的簡梁如图 2-a，其左右两端因荷重而生之角变各为 α_L^0 及 α_R^0，此項角变数值与梁的形式及其所受之荷儎情况有关，称为儎常数；若仅在梁之左端或右端施一單位力矩，而不承受任何其他外力，如图 2-c 和 2-d，則因此，梁之两端而生之角变，各

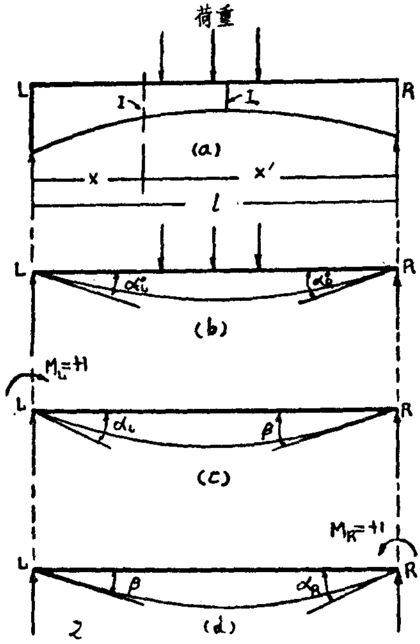

图 2

为 α_L 与 β; 及 α_R 与 β，根据麦克斯韋❶之变位互易定理，其远端之角变必相同，故均为 β。但此三数値与梁之形式有关，而与梁之儎重无关，故称为形常数。

設 I_0—变剖面梁截面最小之慣性模量，

I—变剖面梁任一截面之慣性模量，則此五項常数，可由最小功法求之如下，

$$\alpha_L=\int\frac{x'^2}{EIl^2}dx\cdots\cdots(1)$$

$$\alpha_R=\int\frac{x^2}{EIl^2}dx\cdots\cdots(2)$$

$$\beta=\int\frac{x'x}{EIl^2}dx\cdots\cdots(3)$$

$$\alpha_L^0=\int\frac{Mx'}{EIl}dx\cdots\cdots(4)$$

$$\alpha_R^0=\int\frac{Mx}{EIl}dx\cdots\cdots(5)$$

式中 x、x' 各为截面距梁左右二端之距离。当梁之形狀为对称时，$\alpha_L=\alpha_R=\alpha$；当梁之形式与儎重均为对称时，則 $\alpha_L^0=\alpha_R^0=\alpha^0$，当变剖面梁之两端或一端加深部分为直綫，抛物綫或銳曲綫时，上述五項角变常数之計算可由德人 A. Strassner 之算表求得。

$$\alpha_L=\frac{l}{3EI_0}k_1=\left[\frac{l}{3EI_0}\phi_{\alpha L}\right]\cdots\cdots(6)$$

$$\alpha_R=\frac{l}{3EI_0}k_2=\left[\frac{l}{3EI_0}\phi_{\alpha R}\right]\cdots\cdots(7)$$

$$\beta=\frac{l}{6EI_0}k_3=\left[\frac{l}{6EI_0}\phi_\beta\right]\cdots\cdots(8)$$

$$\alpha_L^0=\frac{l^2k_3}{6EI_0}\left(\frac{Wm_1}{K}\right)=\left[\frac{l^2\phi_\beta}{6EI_0}\left(\frac{W\phi_s}{K}\right)\right]\cdots\cdots(9)$$

$$\alpha_R^0=\frac{l^2k_3}{6EI_0}\left(\frac{Wm_2}{K}\right)=\left[\frac{l^2\phi_\beta}{6EI_0}\left(\frac{W\phi_t}{K}\right)\right]\cdots\cdots(10)$$

❶ Maxwell

式中 k_1、k_2、k_3 及 m_1、m_2 为苏联铁路技术員工手册所用符号。ϕ_{aL}、ϕ_{aR}、ϕ_{β} 及 ϕ_s、ϕ_t 为史氏所用之符号，特書于此对証。

在等截面杆件中，$I=I_0, k_1=k_2=k_3=1$，$[\phi_{aL}=\phi_{aR}=\phi_{\beta}=1]$

则 $$\alpha=\frac{l}{3EI}\cdots\cdots(11)$$

$$\beta=\frac{l}{6EI}\cdots\cdots(12)$$

根据傳递系数及勁度之定义从而可得，杆件左端之傳递系数：

$$C_{ab}=\frac{\beta}{\alpha_R}\cdots\cdots(13)$$

杆件右端之傳递系数：

$$C_{ba}=\frac{\beta}{\alpha_L}\cdots\cdots(14)$$

杆件左端之勁度

$$S_{ab}=\frac{\alpha_R}{\alpha_L\cdot\alpha_R-\beta^2}\cdots\cdots(15)$$

杆件右端之勁度

$$S_{ba}=\frac{\alpha_L}{\alpha_L\cdot\alpha_R-\beta^2}\cdots\cdots(16)$$

$$\therefore\quad S_{ab}\cdot C_{ab}=S_{ba}\cdot C_{ba}\cdots\cdots(17)$$

杆件两端之固定端弯矩可由下式求得，

左端之固定端弯矩 $$M_{ab}=\frac{\alpha_L^0\cdot\alpha_R-\alpha_R^0\cdot\beta}{\alpha_L\cdot\alpha_R-\beta^2}\cdots\cdots(18)$$

右端之固定端弯矩 $$M_{ba}=\frac{\alpha_R^0\cdot\alpha_L-\alpha_L^0\cdot\beta}{\alpha_L\cdot\alpha_R-\beta^2}\cdots\cdots(19)$$

式(9)、(10)中 W 为一个集中荷重之量或为全跨均布荷儎之总量，K 为一常数，于集中荷儎时其值为 1，全跨均布荷儎时，其值为 4，

故于單位集中荷重时：

$$\alpha_L^0=\frac{l^2k_3}{6EI_0}\ (m_1)\cdots\cdots(20)$$

$$\alpha_R^0 = \frac{l^2 k_3}{6EI_0}\ (m_2) \quad \cdots\cdots (21)$$

由(8)得　$k_3 = 6EI_0\beta/l$　　代入(20)及(21)

則　$$\alpha_L^0 = \frac{l^2 m_1}{6EI_0} \times \frac{6EI_0\beta}{l} = l\beta \cdot m_1 \quad \cdots\cdots (22)$$

$$\alpha_R^0 = \frac{l^2 m_2}{6EI_0} \times \frac{6EI_0\beta}{l} = l\beta \cdot m_2 \quad \cdots\cdots (23)$$

須注意者，若梁及其所承受之荷儎均为对称，$\alpha_L^0 = \alpha_R^0 = \alpha^0$，故 $m_1 = m_2$；于对称式的变剖面梁不論其形式如何，若全跨有均布荷儎时，則

$$m_1 = m_2 = 1 \quad [\phi_s = \phi_t = 1]$$

若梁之两端加深过大，如图3，則在梁与柱結合部分，应考慮

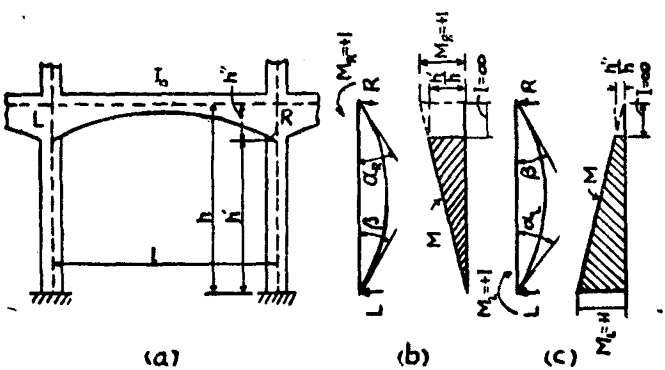

图 3

柱之慣性模量为无穷大的影响即 $I=\infty$，参考文献(4)第156頁規定此段距离为 $f = \frac{d_p}{2} + \frac{V}{3}$，

d_p——梁之高度，

V——加腋高度。

柱之高度須自柱底量至梁軸，若柱之截面不变时，則柱之三个角变形常数，可由式(1)、(2)、(3)分別求得如下：

$$\alpha_L=\frac{h^3-h''^3}{3EIh^2}\cdots\cdots(24)$$

$$\alpha_R=\frac{h'^3}{3EIh^2}\cdots\cdots(25)$$

$$\beta=\frac{h'^2(h+2h'')}{6EIh^2}\cdots\cdots(26)$$

当柱有荷儎时，其儎常数 α_L^0 及 α_R^0 之求法同上；当柱之截面变化时，可参照德人 A. Strassner 原著“Neuere Methoden” Bd. I. 第 86～93 頁之公式求算。

2.基本彈性方程式:

設一变剖面梁承受任何荷儎，且两端受彈性約束，并設其在左端或右端受一單位力矩时，該端之角变为 ε_L 或 ε_R；梁因荷儎，其在两端所生角变为 Θ_L 及 Θ_R，今复假定其支点加于梁端之力矩为 M_L 及 M_R，并假定为正号

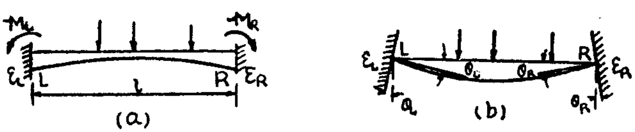

图　4

$$\Theta_L=\alpha_L^0+M_L\alpha_L+M_R\beta\cdots\cdots(27)$$

$$\Theta_R=\alpha_R^0+M_R\alpha_R+M_L\beta\cdots\cdots(28)$$

ε_L 及 ε_R 为 M_L 及 $M_R=1$ 时，梁端加于支点上之总角变

如是，梁端加于支点之 M_L 及 M_R 必与支点加于梁端者相反而为負号，

故　$$\Theta_L=-M_L\varepsilon_L\cdots\cdots(29)$$

$$\Theta_R=-M_R\varepsilon_R\cdots\cdots(30)$$

消去 Θ_L 及 Θ_R

得　$$M_L(\alpha_L+\varepsilon_L)+M_R\beta=-\alpha_L^0\cdots\cdots(31)$$

$$M_R(\alpha_R+\varepsilon_R)+M_L\beta=-\alpha_R^0\cdots\cdots(32)$$

3 單孔梁之定点:

設若梁仅其左端受彈性約束，其右端为簡支，幷施一正力矩 M_R 于右端，则左端必同时有一負力矩 M'_L 产生如图 5-a，但此梁

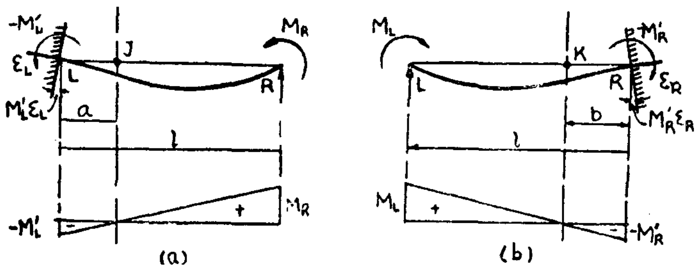

图 5

幷未受任何荷重，是故

$\alpha_L^0=0$　　由式(31)可得

$$-M'_L(\alpha_L+\varepsilon_L)+M_R\beta=0 \quad\cdots\cdots(33)$$

但由图 5-a 之力矩图，可知

$M'_L=M_R\cdot\dfrac{a}{l-a}$，以之代入(33)则得

$$-\frac{a}{l-a}(\alpha_L+\varepsilon_L)+\beta=0 \quad\cdots\cdots(34)$$

$$\therefore \qquad a=\frac{l\beta}{\alpha_L+\beta+\varepsilon_L} \quad\cdots\cdots(35)$$

此式乃示力矩为零之 J 点到梁左端之距离。由此可知其数值与儎重之大小、性質及位置均无关系，故称为左定点。同样，設梁之右端受彈性約束，梁之左端为簡支，幷施以力矩 M_L，则可得梁之右定点 K 至梁右端之距离。

$$b=\frac{l\beta}{\alpha_R+\beta+\varepsilon_R} \quad\cdots\cdots(36)$$

由此可知梁之定点仅与梁之形式及梁之支承情况有关，而与梁之儎重无关。在梁一端为簡支或鉸接时，则簡支或鉸接端之 $\varepsilon=\infty$。因之，接近該端之定点，亦必將与簡支点相重合。即 $a=0$ 或

$b=0$; 在梁之一端为固定时，則該端之 $\varepsilon=0$，故

$$a=\frac{l\beta}{\alpha_L+\beta}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(37)$$

或

$$b=\frac{l\beta}{\alpha_R+\beta}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(38)$$

4.連續梁鄰跨之定点：

設連續梁中之相鄰两跨 AB 及 BC，AB 为連續梁中之第 $n-1$ 跨，BC 系連續梁中的第 n 跨，若以任何力矩 M_C 加于 n 跨之 C 端，則得其力矩图如图 6-b 所示，設若已知 AB 跨之左定点到該跨 A 端之距离，因梁上并未受任何荷重，故 $\alpha_R^0=0$，則由(28)得

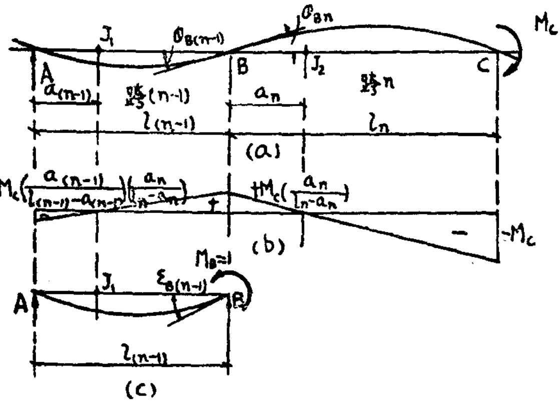

图 6

$$\Theta_{(n-1)B}=M_C\left(\frac{a_n}{l_n-a_n}\right)\alpha_{(n-1)R}-M_C\left(\frac{a_{(n-1)}}{l_n-a_{(n-1)}}\right)$$

$$\left(\frac{a_n}{l_n-a_n}\right)\beta_{(n-1)}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(28')$$

由(27)得 $\Theta_{nB}=M_C\left(\frac{a_n}{l_n-a_n}\right)\alpha_{nL}-M_C\beta_n$

但因梁为連續梁，即 $\Theta_{B(n-1)}=-\Theta_{Bn}$

故得 $$M_C\left(\frac{a_n}{l_n-a_n}\right)\alpha_{R(n-6)}-M_C\left(\frac{a_{(n-1)}}{l_{(n-1)}-a_{(n-1)}}\right)\left(\frac{a_n}{l_n-a_n}\right)\beta_{n-1}$$

$$=-M_C\left(\frac{a_n}{l_n-a_n}\right)\alpha_{nL}+M_C\beta_n$$

$$\therefore\quad an=\frac{\beta_n}{\alpha_{nL}+\beta_n+\alpha_{(n-1)R}-\dfrac{\alpha_{(n-1)}}{l_{(n-1)}-a_{(n-1)}}\beta_{(n-1)}}\cdots\cdots(39')$$

同样可得第$(n-1)$跨之右定点。

$$b_{(n-1)}=\frac{\beta_{(n-1)}}{\alpha_{(n-1)R}+\beta_{(n-1)}+\alpha_{nL}-\dfrac{b_n}{l_n-b_n}\beta_n}$$

若令$M_B=+1$，即$M_C\left(\dfrac{a_n}{l_n-a_n}\right)=1$，

亦即 $M_A=-\dfrac{a_{(n-1)}}{l_{(n-1)}-a_{(n-1)}}$，則$(n-1)$跨右端之角变为

$\varepsilon_{(n-1)B}$，代入式$(28')$，并將$\Theta_{(n-1)B}$代以ε_{nL}

則得 $\varepsilon_{nL}=\alpha_{(n-1)R}-\dfrac{a_{(n-1)}}{l_{(n-1)}-a_{(n-1)}}\beta_{(n-1)}$

代入式$(39')$則得第n跨左定点之通式

$$a_n=\frac{\beta_n}{\alpha_{nL}+\beta_n+\varepsilon_{nL}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(39)$$

由上可知，杆件的左定点必需由結構之左端依次算得。杆件之右定点需由杆件之右端依次求得。結構左边最外側杆件之左定点及其右边最外側杆件之右定点，均可根据該端之控制情况而按式(35)及(36)先行求得。

5.剛構架之定点:

在剛構架中，梁与柱結为一体，当梁受有儎重而有任何角变时，則該結点之柱亦將有同样之角变发生；因之，剛構架之柱須与剛構之梁同样考慮。

图 7-a 示剛構之任何一部分，若以任何力矩加于梁跨 2 之 C 端，則其各部力矩之分配如图 7-b。設梁跨 1 之左定点 J_1 及柱之左定点 J_3 (向左横看而定柱之左右端)均为已知，而欲得梁跨 2 之左定点 J_2；設梁、柱 B 端之力矩 $M_{B1}=M_{B2}=M_{B3}=1$，則杆件 B 端因此而生之角变各为 ε_{B1}，ε_{B2}，ε_{B3}，