

517838

DIDAOQIAO JIEGOU SHEJI

551
10034

地边桥结构设计



北方交通大学铁道建筑系隧道教研室编

人民铁道出版社

内 容 简 介

本书介绍铁路地道桥主体框架结构的设计基本原理与具体计算方法，书中以三孔框架式地道桥为例，附有相应的例题，附录中有供具体设计时查用的各种数表。

本书可供地道桥设计技术人员及大专院校桥梁专业师生参考用。

地道桥结构设计

北方交通大学铁道建筑系隧道教研室编

人民铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{2}$ 印张：23.125 字数：756 千
1978年10月第1版 1978年10月第1次印刷
统一书号：15043·6126 定价：2.10元

551
10034

517838

551
10034

517838 目 录

前言	1
第一章 地道桥结构设计概述	1
§ 1—1 结构型式的选择	1
§ 1—2 构件截面的拟定	6
§ 1—3 结构内力分析基本原理	7
§ 1—4 结构内力分析的步骤	30
第二章 设计荷载	33
§ 2—1 恒载	33
§ 2—2 活载	40
§ 2—3 附加力	51
第三章 变截面刚架分析	55
§ 3—1 变截面杆件形常数、载常数	55
§ 3—2 变截面杆件的端弯矩公式	72
§ 3—3 不平衡力矩传播法	75
§ 3—4 有结点线位移的刚架	84
第四章 共同变形理论计算弹性地基梁	94
§ 4—1 概述	94
§ 4—2 基本原理	97
§ 4—3 荷载项和内力、变位的计算	104
§ 4—4 弹性地基梁的纯数表及其应用	114
第五章 在对称荷载作用下框架式地道桥内力计算	123
第六章 在反对称荷载作用下框架式地道桥内力计算	155

92 00

-0.34

10.67

-0.31

10.98

-0.28

11.26

-0.70

11.96

20.1

第七章 影响线及包络图	172
§ 7—1 影响线的绘制	172
§ 7—2 影响线加载	177
§ 7—3 内力组合	185
§ 7—4 包络图	189
参考书目	191
附录 I 矩形截面直线加腋梁的形常数及 载常数	192
一、对称直线加腋梁的形常数及 载常数	192
二、一端直线加腋梁的形常数及 载常数	195
附录 II 弹性地基梁在对称集中力作用时 的内力及变位纯数表	199
附录 III 弹性地基梁在对称力矩作用时的 内力及变位纯数表	304
附录 IV 弹性地基梁在反对称集中力作用 时的内力及变位纯数表	409
附录 V 弹性地基梁在反对称力矩作用时 的内力及变位纯数表	514
附录 VI 弹性地基梁在竖向均布荷载作用 时的内力及变位纯数表	619
附录 VII 铁路中一活载的换算均布活载表	724

前 言

铁路地道桥（又称顶进铁路立交桥）是城市道路穿越铁路的立体交叉工程。近年来，随着城乡社会主义建设事业的发展 and 铁路、公路交通运输量的增长，铁路平交道口势必将大量地改为立体交叉，才能满足铁路高速、安全行车的要求。因此，地道桥的建设发展很快。近十年来，我国已大量建造了各种形式的地道桥，而且，绝大部分是在既有铁路线下，用顶进法将已经筑造好的钢筋混凝土箱形框架顶入路基内的。这种施工方法的最大优点是能够确保铁路畅通，不需间断行车。

顶进铁路路基内的箱形框架，实际上是一座铁路桥，然而它与一般梁式桥相比，箱形框架的顶板相当于梁式桥的梁，但可以减小梁的高度；它的边墙和中墙相当于梁式桥的墩台；它的底板作为基础，承受箱形框架的全部荷载，而成为一个整体的箱形框架桥。

箱形框架桥无论在设计方面或施工方面，都比梁式桥要复杂些。它的优点是能提供最小的建筑高度，以缩短两端引道的长度；有较大的净空宽度，以利公路交通运输；适合地基承载力较小的基地上；外形美观，可以美化城市的市容。

在城乡附近的平原地区，铁路路基多半是高出地面约1~3米，而地道桥框架的总高度一般约在6米左右，因此，公路的引道一般均为路堑式，而以1~3%的坡度与原有道路相衔接。为了排除路堑中的积水，一般设有集水井、泵站等排水设备，只有在地形条件许可时，才可以采用顺坡排水方式。

地道桥顶进法施工的步骤是：

1. 先在铁路的旁侧开辟工作坑，然后在坑内浇筑一块混凝土滑板（参考图1）。滑板要做到平整光滑，并应与工作坑地基牢固锚住。滑板上面要涂敷一层润滑剂并上覆塑料薄膜作为隔离层。

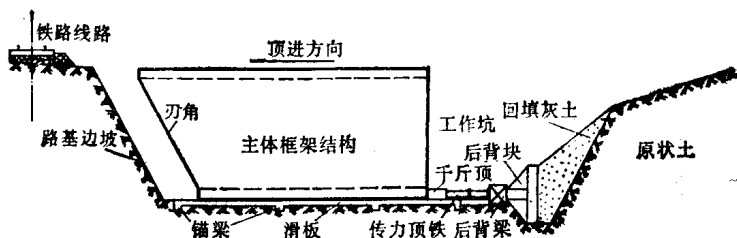


图1 顶进法施工示意图

2. 在滑板上浇筑钢筋混凝土箱形框架。框架前端两侧边墙做成与路基边坡相适应的斜坡，其上并安装钢刃角。

3. 在框架后端附近修筑后背，作为顶进时的支点结构。后背的形式可以因地制宜，多种多样。可以用钢板桩，并在桩后堆土；也可以用预制的钢筋混凝土后背块，在块后填满灰土。

4. 在后背与框架底板之间安设顶进设备（包括千斤顶、顶铁和顶柱、后背梁等）作为顶进的动力。

5. 在桥位地点，加固线路，保证顶进时列车运行的安全。

6. 准备工作就绪后，开动千斤顶的油压系统（包括高压油泵及管路等），稳稳地把箱形框架顶向前方。与顶进的同时，在箱形框架的前端挖土，随挖随顶。

7. 顶进时，要用测量仪器控制方向和高程，并记录下每次顶进时有关进尺，方向偏差，高程降落，油泵压力等数据，以备用作指导施工的资料。

8. 俟框架全部顶进路基并到达设计位置后，恢复线路原状，主体工程即告完成。随后，即可修建引道和排水设备系统，完成全桥工程。

近年来，在顶进方法方面又发展了分段接力顶进法、两端对拉法和分段顶拉法等，施工工艺还在不断改进和发展中。顶进法施工示意图1。

第一章 地道桥结构设计概述

地道桥设计的内容包括有：主体框架结构；刃角及工作平台；工作坑及滑板；后背结构及顶具；线路加固；引道及其挡土结构；桥面人行道及栏杆和排水系统及泵站等。

本书仅就地道桥主体框架结构的设计计算问题 进行介绍。设计的依据是：《铁路工程技术规范第二篇〈桥涵〉》，《公路工程技术标准》，《钢筋混凝土结构设计规范》等。地道桥的主体结构设计内容有：结构形式的选择；杆件截面的拟定；结构承受荷载的计算；结构的内力分析和结构配筋。

§ 1—1 结构型式的选择

目前，我国地道桥主体结构多采用三种型式：单孔、双孔、三孔，如图 1—1。其孔径（净宽度）的大小和净高应与原平交道口的公路交通状况相适应，并应从全局出发，适当考虑远景发展，根据公路的使用任务、性质和交通量综合考虑。其中三孔式地道桥的中孔为快车道，行驶机动车，边孔为慢车道，行驶非机动车和设置人行道。双孔式地道桥是将上、下行分开，但机动车与非机动车须要混行。其孔径的具体尺寸，在一般情况下划分如下*：

单孔——4m, 5.5m, 7m, 8m, 9m, 10m, 12m, 16m,

三孔——4m—7m—4m, 5.5m—9m—5.5m, 6.5m—
9m—6.5m, 8m—12m—8m, 8m—16m—8m,

*选自铁道部第三设计院：框架式铁路地道桥（顶进施工）标准设计意见书。

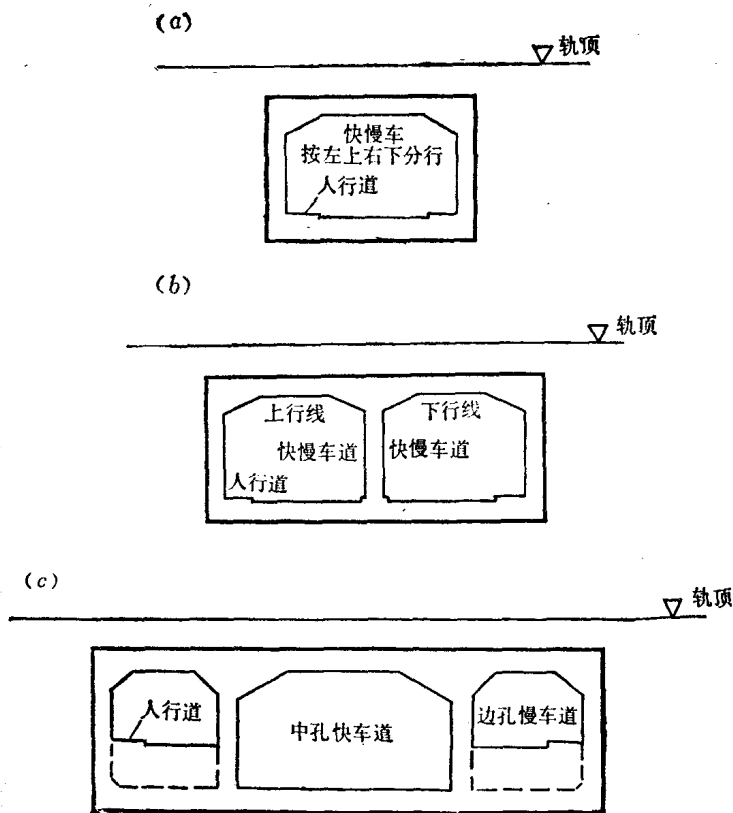


图 1—1 地道桥结构型式

双孔——5.5m—5.5m，8m—8m。

地道桥孔的净高应按《公路工程技术标准》的规定考虑，即机动车通行的桥孔，建成后应保证净高不小于5米。考虑施工误差及公路路面厚度的要求，建筑高度宜按5.3米设计。三孔地道桥的边孔可按非机动车及行人的要求确定其净高，当特殊时期边孔也需通过汽车时，其净高以不少于3.5米为宜。

三孔及双孔地道桥一般宜设计为连续框架结构，整体顶进，有时为了适应顶进机具不足或局部增孔时，也可用三个或两个单孔框架结构分别顶进拼接而成。

§ 1—2 构件截面的拟定

地道桥的型式及孔径大小确定后，需要进一步拟定结构各构件的截面尺寸。因为框架式地道桥是一个超静定结构，在分析它的内力时，必须在假定的构件截面的基础上进行计算。如截面假定得不当，就会产生强度不足或截面过大的现象。假定构件截面的主要因素是：结构物的高度和宽度，荷载状况，钢筋和混凝土的容许应力，主钢筋的保护层和水平间距的规定等。在初步拟定构件截面尺寸时，应参考已建成的同类型结构。这里，仅根据我国已建成的地道桥主体结构的一些尺寸，以类比方式给出，以供初步设计拟定截面时参考。

顶板厚度：跨度在5.0~6.0米时，顶板厚度取0.5~0.6米；跨度在8.0~10.0米时，顶板厚度取0.7~0.8米；跨度在12.0~16.0米时，顶板厚度取0.9~1.2米。

底板厚度：底板厚度可比顶板厚度略大些，一般大0.1~0.2米。

边、中墙厚度：边墙和中墙可选用相同的厚度，一般为顶板厚度的0.7~0.8倍，并要考虑施工时架立钢筋和捣固混凝土的方便。

总之，合理的构件截面尺寸比例，应该使混凝土和钢筋用量同时为最省并便于施工。

框架结构的杆件可做成等截面的，但跨度较大的结构，宜设计成变截面的。当采用梁端局部加厚的变截面杆件（又

叫加腋梁)时,其加腋的高度约为 $0.5B \sim B$ (B 为边墙厚度),斜面与水平线成 $30^\circ \sim 45^\circ$ 的倾角。同时还需要考虑到整个桥跨的建筑造型。

但梁腋对抵抗弯矩来说,它的有效斜度规范中规定最大为 $1:3$ (图 1-2)。

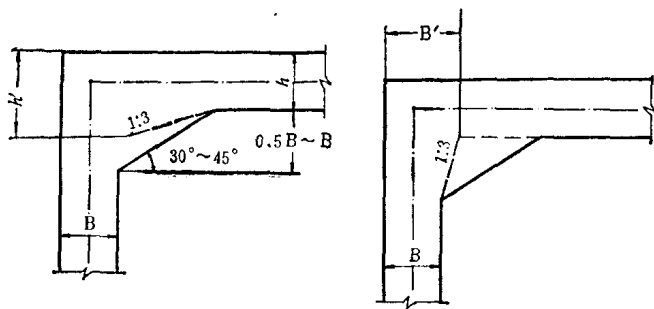


图 1-2

§ 1—3 结构内力分析基本原理

框架式地道桥,可以看做为支承在半无限弹性体(弹性地基)上的空间结构,但为了简化计算,在《铁路工程技术规范》桥涵篇里,规定可截取单位长度($b = 1$ 米)作为平面变形结构来考虑。对于这种结构的计算方法,过去已有不少文献讨论过,但为了更好地适用于计算移动荷载作用的地道桥,这里介绍了另一计算方法,使其计算过程简捷并具有—般性。现以三孔框架式地道桥为例,说明其基本原理。

弹性地基上的框架,在外荷载或其他原因(温度变化、混凝土收缩等)作用下,结构和地基将一起发生变形,而且框架的底板在受力变形过程中,始终和地基保持着紧密的接触,如图 1-3 所示。很显然,因地基变形的影响,它使框

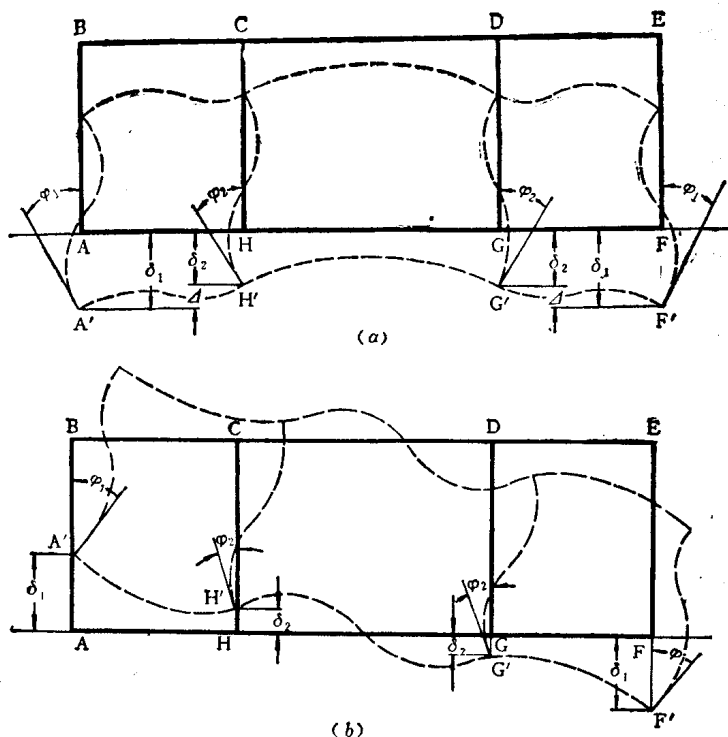


图 1—3 结构变形

(a) —— 对称变形; (b) —— 反对称变形

架的墙脚 A 、 H 、 G 、 F 各点都发生了垂直下沉和转动，它们分别为 δ_A 、 δ_H 、 δ_G 、 δ_F 和 φ_A 、 φ_H 、 φ_G 、 φ_F 。不过从框架式地道桥的形式来看，绝大多数的结构是对称的，故这里一律将结构按对称的来考虑。为了利用结构的这种对称性，简化计算工作，一般是将任意分布的荷载分解为对称的和反对称的，因此，结构的变形也有对称的和反对称的两种情况。

当荷载为对称时，其变形情况如图 1—3a 所示，

$$\delta_F = \delta_A = \delta_1, \quad \delta_G = \delta_H = \delta_2;$$

$$\varphi_F = -\varphi_A = \varphi_1, \quad \varphi_G = -\varphi_H = \varphi_2.$$

当荷载为反对称时，其变形情况如图 1—3b 所示，

$$\delta_F = -\delta_A = \delta_1, \quad \delta_G = -\delta_H = \delta_2;$$

$\varphi_F = \varphi_A = \varphi_1, \quad \varphi_G = \varphi_H = \varphi_2$ (如图 1—3b 所示方向，则 φ_2 应为负值)

计算中规定：转角以顺时针为正，下沉以向下为正。

因此，由于外荷载或其他原因（如温度变化、混凝土收缩等）作用在弹性地基上的框架时所产生的内力，可按下列几种情况分别来考虑，然后再叠加。为了利用结构的对称性，这里仍然将荷载分解为对称的和反对称的两种情况来考虑：

一、假定框架边、中墙的墙脚处固定（即墙脚处没有变位），框架在外荷载或其他原因作用下所产生的内力为 M 、（弯矩）、 N 、（轴力）、 Q 、（剪力）。当外荷载已知时，这种情况下框架的内力就可以求出。

二、假定框架其他墙脚不动，只有 A 、 F 同时下沉 δ_1 时（若为反对称荷载，则 A 为 $-\delta_1$ ），框架产生的内力为 M_{δ_1} 、 N_{δ_1} 、 Q_{δ_1} 。

三、假定框架其他墙脚不动，只有 H 、 G 同时下沉 δ_2 时（若为反对称荷载，则 H 为 $-\delta_2$ ），框架中产生的内力为 M_{δ_2} 、 N_{δ_2} 、 Q_{δ_2} 。

四、假定框架其他墙脚不动，只有 A 转动 $-\varphi_1$ ， F 转动 φ_1 时（若为反对称， A 、 F 都转动 φ_1 ），框架中产生的内力为 M_{φ_1} 、 N_{φ_1} 、 Q_{φ_1} 。

五、假定框架其他墙脚不动，只有 H 转动 $-\varphi_2$ 、 G 转动 φ_2 时（若为反对称荷载， H 、 G 都转动 $-\varphi_2$ ），框架中

产生的内力为 M_{φ_2} 、 N_{φ_2} 、 Q_{φ_2} 。

如若求框架构件某截面 x 处的弯矩 M_x 、剪力 Q_x 和轴力 N_x 时，其值为：

$$\left. \begin{aligned} M_x &= M_{x,q} + M_{x,\delta_1} + M_{x,\delta_2} + M_{x,\varphi_1} + M_{x,\varphi_2} \\ Q_x &= Q_{x,q} + Q_{x,\delta_1} + Q_{x,\delta_2} + Q_{x,\varphi_1} + Q_{x,\varphi_2} \\ N_x &= N_{x,q} + N_{x,\delta_1} + N_{x,\delta_2} + N_{x,\varphi_1} + N_{x,\varphi_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

上式中的后四项都是和框架墙脚的垂直下沉 δ 或转角 φ 有关的。因此必须首先求得墙脚的变位 δ 和 φ 后，上述问题才能最终解决。

关于框架墙脚变位 δ 和 φ 的求法，可以这样来考虑，即把框架在墙脚处切开，上部为一个在墙脚处固结的刚架，下部为一个搁置在弹性地基上的底板。为了使这样的基本结构仍然和原结构的作用一样，则刚架和底板在切开处必须保持静力平衡和变形谐调。所谓静力平衡，就是刚架墙脚处的反力及反力矩和作用在底板上的外力和外力矩必须大小相等而方向相反。所谓变形谐调，就是刚架和底板在墙脚切开处的最终的变形必须保持一致。

因此，当上部固端刚架承受外荷载，或者由于墙脚发生变位时，它们在刚架墙脚处所引起的反力和反力矩，根据静力平衡条件，必须大小相等而方向相反地作用到弹性地基的底板上。而底板在这些外力和外力矩作用下，其 A 、 H 、 G 、 F 各点所产生的总沉陷和总转角（包括荷载和墙脚变位所引起的），根据变形谐调条件，又必须与刚架墙脚 A 、 H 、 G 、 F 处的沉陷和转角相一致。这样一来，就可以建立起一组变形谐调的方程式。解之，即可得到刚架墙脚的变位 δ_1 、 δ_2 、 φ_1 和 φ_2 。

为使上述问题叙述得更加清楚，下面按计算步骤，以承

受某一种对称荷载，如竖向匀布荷载 q 吨/米为例，作进一步的说明，其他种类的荷载就可类推了。

一、图 1—4，假定上部固端刚架只有外荷载 q 作用，计算其内力 M_q 、 N_q 、 Q_q 以及刚架墙脚 A 、 H 、 G 、 F 等处

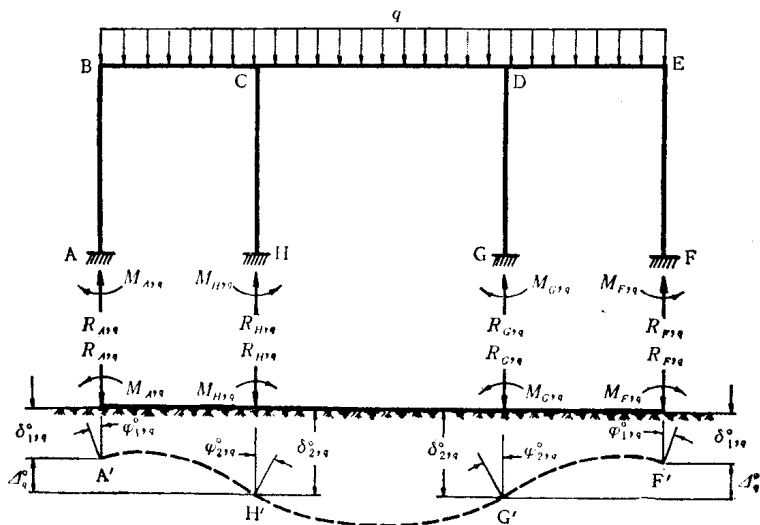


图 1—4

的反力 $R_{F,q} = R_{A,q}$ ， $R_{G,q} = R_{H,q}$ 和反力矩 $M_{A,q} = -M_{F,q}$ ， $M_{G,q} = -M_{H,q}$ 。这里规定刚架的杆端弯矩和反力矩都以顺时针为正；剪力以使杆件发生顺时针转动为正；反力以向上为正。

计算多跨单层固端刚架内力和反力的方法很多，为大家所熟知。我们认为“不均衡力矩传播法”比较适用于多种荷载的重复计算。关于“不均衡力矩传播法”的简单叙述将在

*水平反力产生的底板变形较小，在计算中忽略不计。

第三章中介绍。

在刚架的反力和反力矩求得后，根据静力平衡的条件，它们应该改变方向而值不变地作用到弹性地基的底板相应各点上，就可以求出弹性地基上的底板在这些外力和外力矩作用下的内力 M_q^0 、 Q_q^0 以及 A 、 H 、 G 、 F 各点的沉陷 $\delta_{F,q}^0$ ， $= \delta_{A,q}^0 = \delta_{1,q}^0$ ； $\delta_{G,q}^0 = \delta_{H,q}^0 = \delta_{2,q}^0$ ；和转角 $\varphi_{F,q}^0 = -\varphi_{A,q}^0 = \varphi_{1,q}^0$ ； $\varphi_{H,q}^0 = -\varphi_{G,q}^0 = \varphi_{2,q}^0$ 。这里的上角标“ 0 ”表示为弹性地基上底板中的内力和变位。

在计算底板时规定：作用在底板上的外力向下为正，外力矩顺时针为正，底板各截面的弯矩以下缘受拉为正，沉陷向下为正，转角顺时针为正。

关于弹性地基上底板（即视为弹性地基上的梁或截条）的内力和变位的计算方法，将在第四章中叙述。

二、如图 1—5，假定固定端刚架的其他墙脚都不动，

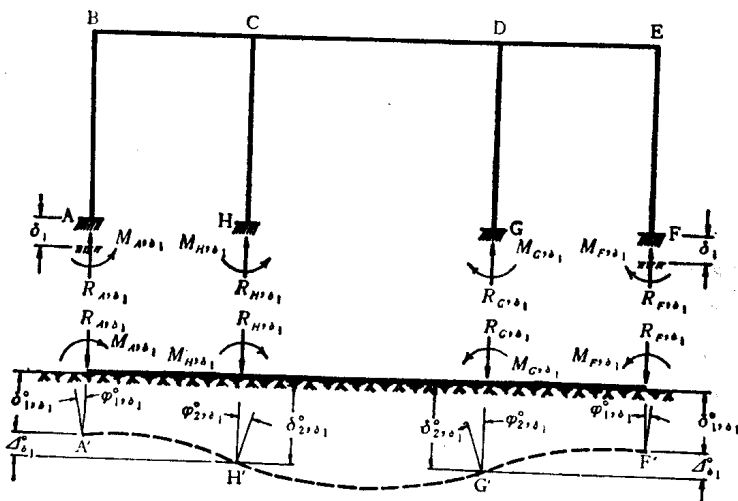


图 1—5

只有墙脚 A 、 F 同时下沉了 δ_1 ，并计算出由此而产生在刚架中的内力： M_{δ_1} 、 N_{δ_1} 、 Q_{δ_1} 以及墙脚 A 、 H 、 G 、 F 各处的反力： $R_{F,\delta_1} = R_{A,\delta_1}$ ； $R_{G,\delta_1} = R_{H,\delta_1}$ ；和反力矩： $M_{F,\delta_1} = -M_{A,\delta_1}$ ； $M_{G,\delta_1} = -M_{H,\delta_1}$ 。

在求得反力后，改变它们的方向而其值不变地又作用到底板 A 、 H 、 G 、 F 各点上并计算由此而产生在底板中的内力： $M_{\delta_1}^\circ$ 、 $Q_{\delta_1}^\circ$ 和 A 、 H 、 G 、 F 各点的沉陷 $\delta_{F,\delta_1}^\circ = \delta_{A,\delta_1}^\circ = \delta_{1,\delta_1}^\circ$ ； $\delta_{G,\delta_1}^\circ = \delta_{H,\delta_1}^\circ = \delta_{2,\delta_1}^\circ$ ；以及转角： $\varphi_{F,\delta_1}^\circ = -\varphi_{A,\delta_1}^\circ = \varphi_{1,\delta_1}^\circ$ ； $\varphi_{H,\delta_1}^\circ = -\varphi_{G,\delta_1}^\circ = \varphi_{2,\delta_1}^\circ$ 。

三、同上，但让刚架的墙脚 H 、 G 同时下沉 δ_2 ，并计算由此而产生在刚架中的内力和反力以及弹性地基上的底板的内力和相应各点的变位，其计算过程同二，如图1—6a所示。

四、五、同上，但分别地假定刚架墙脚 A 、 F 对称地同时转动 φ_1 和墙脚 H 、 G 对称地同时转动 φ_2 ，并计算由此而产生在刚架中的内力和反力以及底板中的内力和相应各点的变位，如图1—6b、c所示。

这里要注意，二、三、四、五步中所计算出的刚架内力和反力以及弹性地基上底板的内力和相应各点的变位都是框架墙脚最终变位 δ_1 、 δ_2 、 φ_1 、 φ_2 的函数。为便于计算，可先计算出刚架墙脚发生单位变位，即 $\overline{\delta_1} = 1$ 、 $\overline{\delta_2} = 1$ 、 $\overline{\varphi_1} = 1$ 、 $\overline{\varphi_2} = 1$ 时的刚架内力和反力（例如： $M_{\overline{\delta_1}}$ 、 $Q_{\overline{\delta_1}}$ 、 $N_{\overline{\delta_1}}$ 和 $R_{F,\overline{\delta_1}}$ 、 $M_{F,\overline{\delta_1}}$ 、 $R_{G,\overline{\delta_1}}$ 、 $M_{G,\overline{\delta_1}}$ 、……等），以及弹性地基上的底板的内力和变位（例如： $M_{\overline{\delta_1}}^\circ$ 、 $Q_{\overline{\delta_1}}^\circ$ 和 $\delta_{1,\overline{\delta_1}}^\circ$ 、 $\varphi_{1,\overline{\delta_1}}^\circ$ 、 $\delta_{2,\overline{\delta_1}}^\circ$ 、 $\varphi_{2,\overline{\delta_1}}^\circ$ 、……等）。然后将它们分别乘上 δ_1 、 δ_2 、 φ_1 、 φ_2 ，即可得出发生真实变位时的内力和变位（例