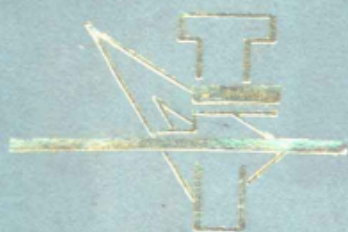


791320

土 结 构 计 算 手 册



重庆钢铁设计院

79-300

土建結構計算手冊

(修訂版)

重慶鋼鐵設計院

土建结构计算手册

(修订版)

重庆钢铁设计院

长春市第五印刷厂印制

开本: 787×1092毫米 1/16

印张: 11.38 字数: 506,800

1977年3月修订版 1978年8月第一次印

印数: 1—15,000册 工本费: 2.30

定价 2.60元

《修订版》说明

为了适应广大设计人员的需要，我院根据建国以来在设计工作中积累的经验，并参考国内外有关资料，曾于1972年编印了《土建结构计算手册》，受到了不少使用单位广大土建人员的重视和支持。当时本手册因印数有限，远远未能满足需要，同时在使用过程中收到一些读者来信，对具体内容提出了一些宝贵意见。为此，我们重新组织人力，进行了较长时间的工作，对本手册进行了修订并补充了新内容。

本手册修订后共分十五章。修订的主要内容有：系统的补充编写各章节不足之处，更正了各别错误之处并增加了较多的计算实例及图表使用说明；增编了第二章中的基础梁、第五章中的一般弯矩分配法、第十章中的挖桩等。

总的说来，本手册以公式为主，相应的文字说明和图表为辅，并列有计算实例和部份构造节点图。尤以其中特殊构造建筑物几章，具有公式简明、易于掌握、便于使用的特点。

限于我们的技术水平，本手册中错误和疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

本手册在印刷、发行过程中，承蒙吉林省冶金设计院大力支援表示感谢！

《土建结构计算手册》编写组

目 录

第一章 结构力学常用原理	1
第一节 应力与应变	1
第二节 叠加原理	1
第三节 能量定理	2
一、功 和 能	2
二、最小势能定理	3
三、第一余能定理	6
四、卡氏第一定理及最小能法	7
五、虚功原理	9
六、小 结	14
第四节 图形相乘法	14
第五节 互等定理	15
第六节 弹性曲线与感应线相似性	16
一、弹性曲线	16
二、弹性曲线与感应线相似性	17
第二章 梁	19
第一节 一般的单跨梁及连续梁	19
一、等截面单跨梁	19
二、等跨且各跨间截面相等的等截面连续梁	19
三、等截面连续梁	19
四、变截面连续梁	19
第二节 钢筋混凝土环梁	32
第三节 钢筋混凝土窄梁	34
第四节 钢筋混凝土深梁	35
第五节 钢筋混凝土基础梁	39
一、弹性地基梁法	39
二、三角形荷载法	43
三、当量弯矩法	44
第三章 板	47
第一节 均布荷载作用下的双向板	47

一、弯矩计算	47
二、剪力计算	48
第二节 三角形荷载作用下的双向钢筋混凝土板	50
一、弯矩计算	50
二、剪力计算	50
第三节 局部荷载作用下的双向板	55
第四章 铰接排架及钢筋混凝土双肢柱	61
第一节 排架分析	61
一、有关排架分析的说明	61
二、排架分析	63
第二节 钢筋混凝土双肢柱	100
一、双肢柱的折算惯性矩	100
二、双肢柱的内力	100
第五章 弯矩分配法	106
第一节 弯矩分配法	106
一、弯矩分配法的基本概念	106
二、端支座为铰接时的简化计算	110
三、结点荷载作用时的计算	112
四、对称结构的简化计算	118
第二节 弯矩一次分配法	124
一、修正刚度 K_M 、修正传递系数 C_M 和修正分配系数 D_M	124
二、分配和传递	125
第六章 连续梁和单层框架感应线	145
第一节 连续梁和无侧移单层框架感应线	145
一、支座弯矩感应线	145
二、支座间各点弯矩感应线	146
三、剪力感应线	147
第二节 侧移影响	155
第七章 桁架	163
第一节 图解静定桁架内力	163
一、平衡力多边形	163
二、图解桁架内力	163
三、特殊情况的处理	164
第二节 桁架内力感应线	166

一、支座反力感应线	166
二、弦杆内力感应线	166
三、斜腹杆内力感应线	167
四、垂直腹杆内力感应线	167
第三节 桁架变形图解法	168
第四节 桁架次应力	170
第五节 桁 梁	172
第八章 迭代法	176
第一节 简式框架	176
一、角变分配系数 μ 及近端角变弯矩 M^{ϕ}	176
二、侧移分配系数 ν 及侧移固端弯矩 M^c	177
三、小 结	179
四、计算步骤	179
五、对称结构的简化计算	180
第二节 复式框架	191
第九章 数理统计简介	196
第一节 频率和概率、总体和样本	196
一、偶然事件及其频率和概率	196
二、总体和样本	196
第二节 统计参数	196
一、简单的算术平均数	196
二、离 散 度	197
第三节 频率计算	197
一、频率与重现期	197
二、保 证 率	198
三、正态曲线	198
第四节 相关分析	199
一、直线相关的回归方程式	200
二、曲线相关变换成直线相关	201
三、简化公式	202
第十章 钢筋混凝土管道支架和管道跨越结构	206
第一节 钢筋混凝土管道支架	206
一、支架分类和选型	206
二、荷 载	207
三、支架计算	209

四、基 础	211
五、构 造	213
第二节 管道跨越结构	220
第十一章 烟 囱	225
第一节 荷 载	225
第二节 钢筋混凝土烟囱计算	226
一、水平截面计算	227
二、垂直截面计算	228
第三节 砖烟囱计算	230
一、水平截面计算	230
二、垂直截面（环箍）计算	230
第四节 烟囱筒身开孔防裂计算	232
一、空气隔热层中气流所受的压力和阻力	232
二、内衬、空气隔热层和筒壁上温度分布	233
三、空气隔热层中空气流速	234
第五节 烟囱基础计算	235
一、地基承载能力验算	235
二、基础倾复稳定性验算	235
三、基础强度计算	235
第六节 烟囱设计和构造	236
一、一般原则	236
二、钢筋混凝土烟囱细部构造	237
三、砖烟囱细部构造	240
第十二章 钢筋混凝土圆池和水塔	257
第一节 静力计算	257
一、结构分解	257
二、计算原则	257
三、壳体的结构特征	258
四、“长壳”与“短壳”	259
五、用“代替球壳”近似计算任意形式的旋转壳	260
六、弯矩分配法	260
七、内力计算	263
第二节 构造措施	263
一、保温和抗冻	263
二、一般构造要求	264
三、清水池的一般构造	265

四、锥底沉淀池的一般构造	266
五、水塔的一般构造	266
第三节 基本构件的计算公式	267
一、球壳	267
二、圆锥壳	270
三、圆环	272
四、圆筒	273
五、圆板	274
第十三章 贮 仓	298
第一节 钢筋混凝土浅仓	298
一、贮料对仓壁的压力	298
二、方形浅仓	299
三、圆形浅仓	301
第二节 钢筋混凝土深仓	305
一、贮料对仓壁的压力	305
二、竖壁内力分析及断面计算	306
三、漏斗斜壁的内力分析及强度计算	307
四、动力系数	307
第三节 方形钢漏斗	312
第四节 构 造	317
第十四章 挡 土 墙	319
第一节 土 压 力	319
一、主动土压力	319
二、被动土压力	323
三、内摩擦角	323
第二节 挡土墙的地基承载能力和挡土墙稳定性核算	324
第三节 挖桩挡土墙	338
一、一般构造处理	338
二、计算方法	338
第四节 挡土墙设计与施工	335
一、增加挡土墙稳定性的措施	335
二、构造要求	337
三、施工注意事项	337
四、重力式挡土墙参考尺寸	337
第十五章 地下涵管	342

第一节 刚性涵管	342
一、圆形涵管	342
二、矩形涵洞	346
三、卵形涵管	347
四、半圆形拱涵	347
第二节 柔性圆管	348

第一章 结构力学常用原理

第一节 应力与应变

当物体受外荷载作用时，产生变形；而在外荷载卸除时，物体恢复到原来状态，没有残存变形，这种物体称为弹性体。其中，凡符合虎克定律的，称为线性弹性体。

1. 线性弹性杆受拉时，它的应力 σ 与应变 ε 的关系（图 1—1）为：

$$\sigma = E \varepsilon$$

式中：E——弹性模量。

线性弹性杆受拉时，由于轴向（x方向）伸长，相应于横向（y和z方向）伴随有收缩应变，即：

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = -\mu \varepsilon_x$$

式中： μ ——波桑比。

2. 线性弹性杆受剪切时，它的剪切应力 τ 与剪切应变 ϕ 的关系（图 1—2）为：

$$\tau = G \phi$$

式中： $\phi = \phi_1 + \phi_2$ ；

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \text{——剪切弹性模量。}$$

3. 线性弹性杆受弯时，它的内力与变形的关系（图 1—3）为：

$$\sigma = E \varepsilon = \frac{M y}{I}$$

$$\frac{M}{E I} = \frac{1}{\rho} = c$$

式中：I——截面惯性矩；

y——计算点距中和轴距离；

c——曲率；

ρ ——曲率半径。

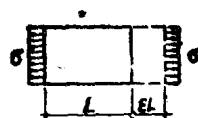


图 1—1

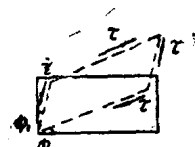


图 1—2

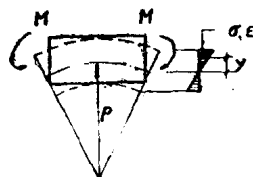


图 1—3

第二节 叠加原理

在结构中，由一组荷载所产生的效果，等于该组内每一荷载所产生的效果的总和，

且与荷载作用次序无关，这就是叠加原理。

叠加原理使结构分析工作简化，同时在许多情况下还是足够精确的。但是，叠加原理必须在满足一定条件时才能应用：

(1) 在应用力的平衡条件计算结构反力和内力时，结构的变形必须比结构本身的尺寸小很多；

(2) 在计算与变形有关的量值时，结构的材料必须符合虎克定律，同时，结构的变形要很小，且不致影响荷载的大小和作用方向。

第三节 能量定理

我们知道，超静定结构只用力的平衡关系不能求解，尚须借用变形协调关系。在简单结构中，这个问题容易解决；在复杂的结构中，几乎全是用能量定理或由能量定理派生出来的定理来解决这个问题。

有限单元法的基础之一就是能量定理。

下面介绍的功、能和能量定理中的力、变形和位移等均为广义的。

一、功 和 能

当外力作用于物体，力的作用点产生位移，则力对物体做了功。功的大小等于力乘力的作用点沿力的作用线上的位移。

由于外力作用，物体产生了变形，则物体得到了势能。因变形而得到的这种特殊的势能称为应变能。

若物体得到的应变能小于外力所做的功，则它们之差称为余能。

下面用图 1—4 所示弹簧代表结构来说明功、应变能、余能及其相互关系。

假如重物 P 压在弹簧上，弹簧反力与弹簧变形的关系如图 1—4 中曲线 OQ 所示。弹簧反力由 R 增加到 $R + dR$ ，而弹簧变形由 Δ 增加到 $\Delta + d\Delta$ ，则在此增加过程中弹簧所得的应变能增量 dU 和余能增量 dC ，如图 1—4 所示，为：

$$dU \approx \left(R + \frac{dR}{2} \right) d\Delta \approx R d\Delta$$

$$dC \approx \left(\Delta + \frac{d\Delta}{2} \right) dR \approx \Delta dR$$

假设弹簧压缩 Δ_1 时反力 $R = P$ ，物体达到平衡状态。由开始到平衡时为止，在此过程中弹簧所得应变能、余能和重力 P 所做的功分别为，

$$\text{应变能 } U = \int_0^1 R d\Delta \quad (1-1)$$

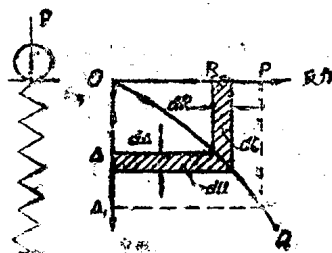


图 1—4

$$\text{余能 } C = \int_0^P \Delta dR \quad (1-2)$$

$$\text{重力 } P \text{ 做的功 } W = P \Delta_1 \quad (1-3)$$

式 (1-1), 应变能, 为图 1-4 中曲线 OQ 下面的面积; 当 OQ 为直线时, $U = \frac{P \Delta_1}{2}$ 。式 (1-2), 余能, 为图中曲线上方的面积; 当 OQ 为直线时, $C = U$ 。

式 (1-3), 重力 P 做的功, 为上述两面积之和。

线性弹性杆, 既有轴向力 F, 又有弯矩 M 和剪力 Q, 如图 1-5 a 所示, 其应变能为:

$$\begin{aligned} U &= \int_s \frac{F \varepsilon}{2} ds + \int_s \frac{M \phi}{2} ds + \int_s \frac{Q \phi}{2} ds \\ &= \int_s \frac{F^2}{2EA} ds + \int_s \frac{M^2}{2EI} ds + \int_s \frac{KQ^2}{2GA} ds \end{aligned}$$

式中: S —— 杆长;

E —— 弹性模量;

G —— 剪切弹性模量;

I —— 截面惯性矩;

A —— 截面面积;

K —— 剪应力不均匀系数; 矩形截面, $K = \frac{6}{5}$;

圆形截面, $K = \frac{10}{9}$; 工字形截面, $K = 1$ (此时 A 仅为腹板的截面面积)。

线性弹性结构, 有几个杆组成, 则几个杆的应变能之和即为整个结构的应变能,

$$U = \sum \int_s \frac{F^2}{2EA} ds + \sum \int_s \frac{M^2}{2EI} ds + \sum \int_s \frac{KQ^2}{2GA} ds \quad (1-4)$$

注意: 式 (1-1) 不限于线性弹性结构; 式 (1-4) 仅限于线性弹性结构。

二、最小势能定理

结构的平衡状态不外乎图 1-6 所示三种: a) 势能为最小值的稳定平衡状态; b) 势能为常数的中和平衡状态; c) 势能为最大值的不稳定平衡状态。

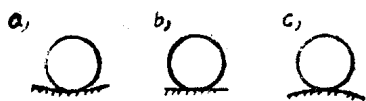


图 1-6

由上可知, 当结构处于平衡状态时, 其总势能或为最小, 或为常数, 或为最大, 故其总势能对变形的一阶导数应等于零。设荷载的势能为 V, 结构的应变能为 U, 总势能为 $V + U$, 则结构处于平衡状

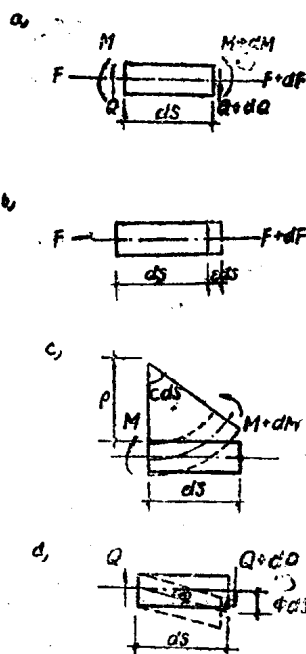


图 1-5

态时，应为：

$$\frac{\partial}{\partial \Delta_1} (V + U) = \frac{\partial}{\partial \Delta_2} (V + U) \dots = 0 \quad (1-5)$$

土建结构不应是势能为最大值的不稳定平衡和势能为常数的中和平衡，应该是稳定平衡，即其势能应是最小值，所以式（1—5）所表示的定理称最小势能定理。

【例 1】

图 1—7 所示各杆弹性模量为 E ，截面面积为 A ，在荷载 P 作用下 AC 杆伸长 Δ ， AB 及 AD 杆伸长 e ，并假定 A 点向下位移 Δ 值很小，变形后杆间夹角仍为 θ 。用最小势能定理求各杆内力。

【解】

按式（1—4），各杆的应变能分别为：

$$U_{AB} = U_{AD} = \frac{e^2 A E}{2 L}$$

$$U_{AC} = \frac{\Delta^2 A E}{2 h}$$

其中， L 同 h 及 e 同 Δ 的关系为：

$$e = \Delta \cos \theta$$

$$h = L \cos \theta$$

所以整个结构的应变能为：

$$U = 2U_{AB} + U_{AC} = \frac{AE(\Delta \cos \theta)^2 \cos \theta}{h} + \frac{AE \Delta^2}{2 h}$$

变形后，荷载下降了 Δ ，荷载 P 的势能 V 应等于变形前的势能 V_0 减去 $P \Delta$ ，

$$V = V_0 - P \Delta$$

根据最小势能定理，当结构受荷后处于平衡状态时，应为：

$$\frac{d}{d \Delta} (U + V) = \frac{2AE \Delta \cos^3 \theta}{h} + \frac{AE \Delta}{h} - P = 0$$

解此方程，得：

$$\Delta = \frac{P h}{AE(1 + 2 \cos^3 \theta)}$$

各杆内力：

$$F_{AC} = \frac{AE \Delta}{h} = \frac{P}{1 + 2 \cos^3 \theta}$$

$$F_{AB} = F_{AD} = \frac{AE e}{L} = \frac{P \cos^3 \theta}{1 + 2 \cos^3 \theta}$$

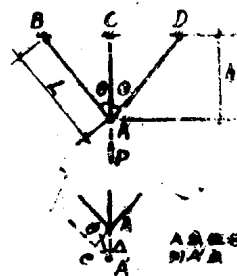


图 1—7

【例 2】

图 1—8 a 所示超静定结构，各杆的 AE 值均相同，用最小势能定理求解各杆内力。

【解】

图 1—8 a 所示荷载与结构均非对称，故不再能如例 1 假设荷载作用点的位移与荷载作用方向相同。

假设点 A 移到 A' ，其变形关系如图 1—8 b 所示，将力 P 分解成 x 方向和 y 方向的分力，则变形后的势能为：

$$V = V_0 - (P \cos \alpha) \Delta_x - (P \sin \alpha) \Delta_y$$

其一阶导数为：

$$\frac{\partial V}{\partial \Delta_x} = -P \cos \alpha$$

$$\frac{\partial V}{\partial \Delta_y} = -P \sin \alpha$$

变形 e 同 Δ_y 与 Δ_x 的关系为：

$$e_m = -\Delta_y \sin \theta_m - \Delta_x \cos \theta_m$$

其一阶导数为：

$$\frac{\partial e_m}{\partial \Delta_x} = -\cos \theta_m$$

$$\frac{\partial e_m}{\partial \Delta_y} = -\sin \theta_m$$

整个结构的应变能为：

$$U = \sum_m \frac{AE e_m^2}{2 L_m}$$

将上列各项代入最小势能定理的公式可得：

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \Delta_x} (U + V) &= \sum_m \frac{AE e_m}{L_m} \frac{\partial e_m}{\partial \Delta_x} + \frac{\partial V}{\partial \Delta_x} \\ &= \sum_m \frac{AE}{L_m} (\Delta_y \sin \theta_m + \Delta_x \cos \theta_m) \cos \theta_m - P \cos \alpha = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \Delta_y} (U + V) &= \sum_m \frac{AE e_m}{L_m} \frac{\partial e_m}{\partial \Delta_y} + \frac{\partial V}{\partial \Delta_y} \\ &= \sum_m \frac{AE}{L_m} (\Delta_y \sin \theta_m + \Delta_x \cos \theta_m) \sin \theta_m - P \sin \alpha = 0 \end{aligned}$$

将上式整理后可得：

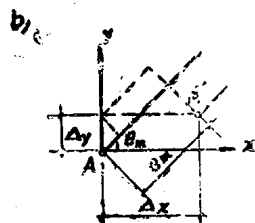
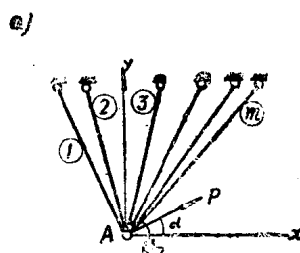


图 1—8

$$\begin{cases} \Delta_x \sum_m \frac{AE}{L_m} \cos^2 \theta_m + \Delta_y \sum_m \frac{AE}{L_m} \sin \theta_m \cos \theta_m = P \cos \alpha \\ \Delta_x \sum_m \frac{AE}{L_m} \sin \theta_m \cos \theta_m + \Delta_y \sum_m \frac{AE}{L_m} \sin^2 \theta_m = P \sin \alpha \end{cases}$$

由上面两个方程联立求解 Δ_x 及 Δ_y ，然后求各杆变形 e ，从而即可同例1求得各杆内力 F 。

从上面两个例题可以看出，最小势能定理用于多余力多而结点位移自由度少的结构较为有优越性。

三、第一余能定理

什么是余能，前面已经介绍过。第一余能定理可以简单地叙述如下：

弹性体系在实际平衡状态下，内力和外力如有微小改变，但仍与已知荷载保持平衡，并且满足体系变形协调条件，则体系的总余能 C 对力 P_i 的一阶导数等于沿力 P 的作用线上的位移 Δ_i ：

$$\Delta_i = \frac{\partial C}{\partial P_i} \quad (1-6)$$

如果整个体系为线性弹性的，则总余能 C 等于总应变能 U ： $C = U$ 。将这个关系代入式 (1-6)，即得式 (1-7)。

【例】

图 1-9 所示桁架各杆长均为 L 。其中压杆 AB 、 BC 及 CD 为承受偏心荷载，其内力 F 与变形 e 为非线性关系：

$$F = \frac{B e}{L} + D e^2$$

式中 B 及 D 为常数。

其余各拉杆的内力 F 与变形 e 均为线性关系：

$$F = \frac{AE e}{L}$$

式中： A —— 杆的截面面积；

E —— 弹性模量。

求荷载 P 作用下的桁架挠度 Δ_B 。

【解】

先求整个结构的余能 C ，然后求出余能 C 对荷载 P 的一阶导数，由式 (1-6) 可知，此一阶导数即为挠度 Δ_B 。

压杆 AB 、 BC 及 CD 皆为：

$$F = \frac{B e}{L} + D e^2 \quad \text{或} \quad e = -\frac{B}{2DL} + \left(\frac{B^2}{4D^2L^2} + \frac{F}{D} \right)^{1/2}$$

其中任一杆（内力为F时）的余能为：

$$C_F = \int_0^F e dF = -\frac{BF}{2DL} + \frac{2D}{3} \left(-\frac{B^2}{4D^2L^2} + \frac{F}{D} \right)^{3/2}$$

将图1—9所示P作用下的杆件内力（ $F = -\frac{P}{\sqrt{3}}$ ）代入上式，得任一杆的余能为：

$$C_1 = \frac{BP}{2DL\sqrt{3}} + \frac{2D}{3} \left(-\frac{B^2}{4D^2L^2} - \frac{P}{D\sqrt{3}} \right)^{3/2}$$

压杆AB、BC及CD三个杆的余能之和为：

$$3C_1 = \frac{\sqrt{3}BP}{2DL} + 2D \left(-\frac{B^2}{4D^2L^2} - \frac{P}{D\sqrt{3}} \right)^{3/2}$$

其余各拉杆皆为：

$$F = \frac{AEe}{L} \quad \text{或} \quad e = \frac{FL}{AE}$$

任一杆（内力为F时）的余能为：

$$C_F = \int_0^F e dF = \frac{F^2 L}{2AE}$$

将图1—9所示P作用下的杆件内力F值代入上式，可得：

杆BE及CE（其内力 $F = \frac{P}{\sqrt{3}}$ ）的余能之和为：

$$2C_2 = \frac{P^2 L}{3AE}$$

杆DE及AE（其内力 $F = \frac{P}{2\sqrt{3}}$ ）的余能之和为：

$$2C_3 = \frac{P^2 L}{12AE}$$

整个结构的总余能为上列各杆的余能之和，为：

$$C = \frac{\sqrt{3}BP}{2DL} + 2D \left(-\frac{B^2}{4D^2L^2} - \frac{P}{D\sqrt{3}} \right)^{3/2} + \frac{5P^2 L}{12AE}$$

将余能C代入式（1—6）可得：

$$\Delta_n = \frac{dC}{dP} = \frac{\sqrt{3}B}{2DL} - \left(\frac{3B^2}{4D^2L^2} - \frac{P\sqrt{3}}{D} \right)^{1/2} + \frac{5PL}{6AE}$$

四、卡氏第一定理及最小能法

卡氏第一定理可以归纳为：如果可以把线性弹性体系的应变能表示成彼此静力无关的外力 P_1 、 P_2 、 P_3 、……的函数，则应变能对任一外力的一阶导数等于相应在该力作用线上的位移。

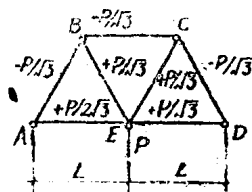


图1—9