

● 胡维俊 主编

结构力学 解题指导 及题解



河海大学出版社

结构力学解题指导及题解

胡维俊 主编

河海大学出版社

内 容 提 要

本书是根据原华东水利学院结构力学教研组编《结构力学》(上册,水利出版社,1981;下册,水电出版社,1983)各章末所附的习题为主整理编写的。

全书共15章,包括:几何组成分析、静定结构内力计算、虚功原理和结构位移计算、力法、位移法、力矩分配法、超静定拱、弹性支座连续梁、影响线、能量原理、矩阵位移法、基础梁、结构的动力计算、稳定计算和极限荷载等。其中大部分属课程教学基本要求内容,一部分属专题或选修内容。

本书内容丰富,题目较多,指导及解答较详细,有些题还用多种方法求解对比,便于读者理解。

本书可作为高等学校本科或专科土建、水利、道桥、工程力学等专业的教学用书;也可供其它专业师生、报考研究生者、自学考试者和工程技术人员参考。

责任编辑 朱宪卿

特约编辑 王国仪

责任校对 刘润生

封面设计 温克信

结构力学解题指导及题解

胡维俊 主编

出版发行: 河海大学出版社

(南京西康路1号, 邮政编码: 210098)

经 销: 江苏省新华书店

印 刷: 河海大学印刷厂

(南京西康路1号 邮政编码: 210098)

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 17 字数 424 千

1995年12月第1版 1996年3月第1次印刷

印数 1—5000 册

ISBN7-5630-0741-5

O·51

定价: 17.00 元

河海版图书若有印刷装订错误, 可向承印厂调换

前 言

本书是以原华东水利学院结构力学教研组编《结构力学》(上册, 水利出版社 1981 年出版; 下册, 水电出版社 1983 年出版) 各章末所附的习题为主整理编写的。

全书共 15 章, 包括: 几何组成分析、静定结构内力计算、虚功原理和结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法、超静定拱、弹性支座连续梁、影响线、能量原理、矩阵位移法、基础梁、结构的动力计算、稳定计算和极限荷载等。其中大部分属课程教学基本要求内容, 一部分属专题或选修内容。

本书第 1~9 章是以 1983 年教研室编油印讲义《结构力学例题、习题集及题解》为主编写的, 并做了校订。补上了第 10~15 章的内容。各章均加上了理论提要。

本书内容丰富, 题目较多, 指导及解答较详尽, 有些题还用多种方法求解对比, 便于读者理解。

本书参加编写的有: 高而坤 (第 2、7、9、12、13 等章及第 6 章的一部分)、潘正初 (第 3、4、8、11 等章)、真宏暄 (第 1、5 章)、张思俊 (第 6 章的大部分)、李宏 (第 10 章)、杨海霞 (第 14 章)、孙文俊 (第 15 章)。

全书由河海大学结构力学教研室胡维俊修改定稿 (包括编写 1~13 章的理论提要)。

本书审稿人有: 杨仲侯、于德顺 (主审全书)、张宗尧、王炳华 (审编第 1~9 章)、孙文俊 (审第 1~9 章)、吕泰仁 (审第 1~9、15 章)。李宏参加了第 1~9、11、13、14 等章的校订工作。上述同志及教研室其他同志提出了许多很好的意见, 特此表示衷心的感谢。

本书可作为高等院校本科或专科土建、水利、道桥、工程力学等专业的教学用书, 也可供其它专业师生、报考研究生者、自学考试者和工程技术人员参考。

编 者

1994. 9.

目 录

第一章 平面体系的几何组成分析	(1)
第二章 静定结构的内力计算	(7)
第三章 虚功原理和结构的位移计算	(32)
第四章 力法	(49)
第五章 位移法	(67)
第六章 力矩分配法	(93)
第七章 超静定拱	(114)
第八章 弹性支座连续梁	(129)
第九章 影响线	(143)
第十章 能量原理	(167)
第十一章 矩阵位移法	(181)
第十二章 基础梁	(201)
第十三章 结构的动力计算	(209)
第十四章 结构的稳定计算	(239)
第十五章 结构的极限荷载	(257)

第一章 平面体系的几何组成分析

【理论提要】

一、平面体系的计算自由度

(一)一般体系

$$N_F = 3m - 2h - r, \quad (1-1)$$

式中 m ——刚片数;

h ——内部单铰数;

r ——支座连杆数。

内部可变量

$$N_V = 3m - 2h - 3. \quad (1-2)$$

(二)铰结体系

$$N_F = 2j - b - r, \quad (1-3)$$

式中 j ——铰结点数;

b ——内部连杆数;

r ——支座连杆数。

内部可变量

$$N_V = 2j - b - 3. \quad (1-4)$$

(三)平面体系几何不变的必要条件

$$N_F \leq 0, \quad (1-5)$$

$$N_V \leq 0. \quad (1-6)$$

二、平面体系的基本组成法则

(一)两刚片法则 两刚片用不完全相交不完全平行的三根连杆连接而成的体系,是内部几何不变且无多余约束的体系。如果三根连杆完全相交或完全平行(可视为交于无穷远点),则为瞬变体系。

(二)三刚片法则 三刚片两两之间用二根连杆(或一个单铰)相连,且六根连杆形成的三个单铰不共线的体系,是内部几何不变且无多余约束的体系。若三个单铰共线,则为瞬变体系。

(三)二元体法则 在任意体系上增加或去掉一个二元体(用二根不共线的连杆组成一个新结点),不改变原体系的几何组成。

三、分析要点

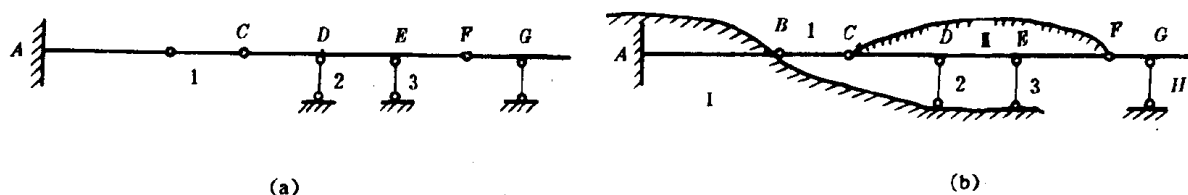
体系几何组成分析的关键在于如何选择刚片、连杆和约束。用不少于三个铰与相邻部分连接的几何不变部分,可选为刚片。两个铰与相邻部分连接的几何不变部分(直杆和折杆等),视组成分析需要可选为连杆或刚片。分析时,一般先将符合基本法则的部分选为刚片,

然后扩大刚片,最后若可归结为两个刚片,则按两刚片法则分析,若可归结为三个刚片,则按三刚片法则分析。

在用三刚片法则分析时,如果三个单铰中有一个虚铰位置在无穷远,而另外两个为定点,则有两种情况:①两定点的单铰的连线与无穷远点的方向不同,结论为几何不变;②两定点的单铰的连线与无穷远点方向相同,结论为几何瞬变。如果三个单铰中有两个虚铰位置在无穷远,另一个为定点,则也有两种情况:①两个无穷远不同向,不论定点在何处,结论为几何不变;②两个无穷远同向,不论定点在何处,结论为几何瞬变。如果三个单铰均为虚铰,且位置都在无穷远,则为瞬变体系。因为根据射影几何学可以证明,一个平面上不同方向的所有无穷远点的集合是一条直线,故此为三铰共线的瞬变体系。

【题 解】

1-1~1-6 对图示体系进行几何组成分析。



题 1-1 图

解 1-1 1. 计算自由度 N_F 此为一般体系,刚片数 $m=4$,单铰数 $h=3$,支座连杆数 $r=6$,

$$N_F = 3 \times 4 - 2 \times 3 - 6 = 0,$$

满足几何不变的必要条件。

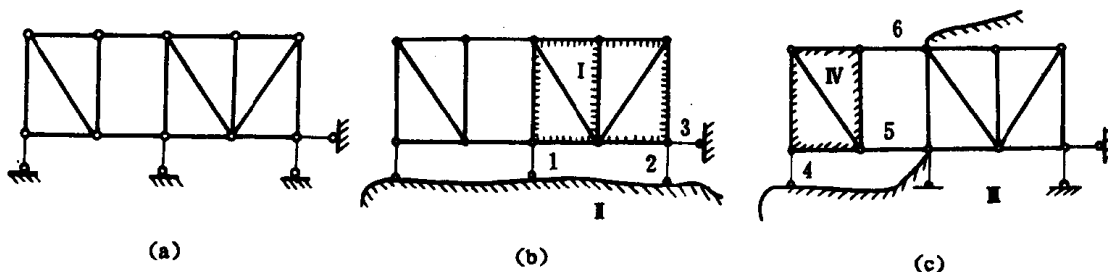
2. 几何组成分析(题 1-1 图(b)) 梁 AB 与地基固结,为几何不变,合起来可看作刚片 I,梁 $CDEF$ 看作刚片 II,两者由连杆 1、2、3 连接,满足两刚片法则,几何不变。 FG 和 GH 部分可视为二元体,在几何不变体系上增加一个二元体,仍不变。

3. 结论 该体系为几何不变又无多余约束的体系。

解 1-2 1. N_F 此为铰结体系。结点数 $j=10$,内部连杆数 $b=16$,支座连杆数 $r=4$,

$$N_F = 2 \times 10 - 16 - 4 = 0,$$

满足几何不变的必要条件。



题 1-2 图

2. 几何组成分析(题 1-2 图(b)、(c)) 右部 4 个三角形,几何不变,可视为刚片 I。地基为刚片 II。两者由连杆 1、2、3 连接,符合两刚片法则,为几何不变,并组成扩大的刚片 III。左

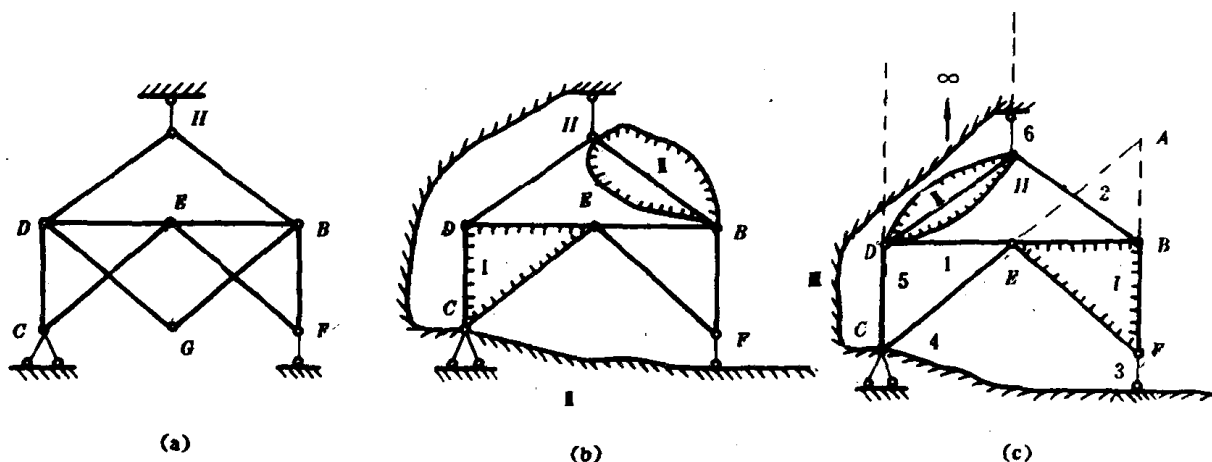
部两个三角形可视为刚片Ⅳ,Ⅲ、Ⅳ之间由连杆4、5、6连接,符合两刚片法则,为几何不变。

3. 结论 该体系为几何不变又无多余约束。

解 1-3 1. N_F 此为铰结体系, $j=7, b=10, r=4, N_F=2 \times 7 - 10 - 4 = 0$, 满足几何不变的必要条件。

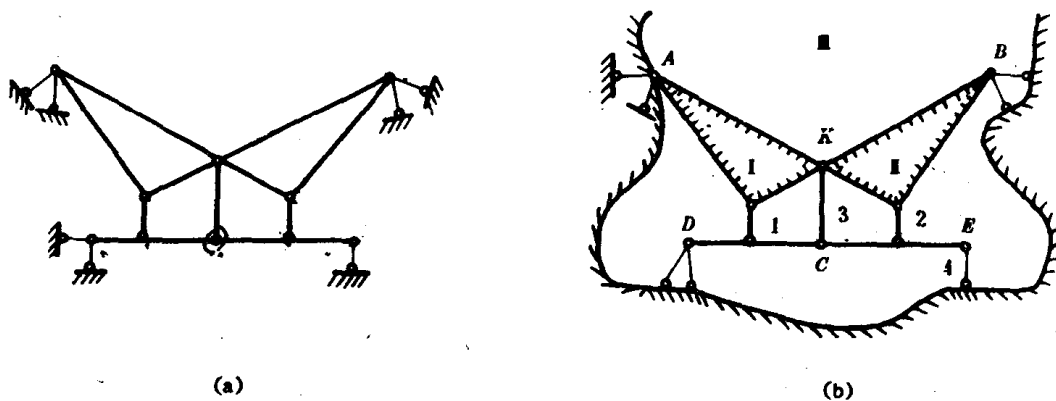
2. 几何组成分析 首先去掉二元体 $DG、BG$, (题 1-3 图(b)), 如果取 $CDE、EBF$ 及地基为三刚片, 或取 $CD、BEF$ 及地基为三刚片, 或取 $CDE、HB$ 及地基为三刚片, 分析均不成功, 因为它们都不符合三刚片法则的组成要求。现取刚片Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ如题 1-3 图(c), 则刚片Ⅰ、Ⅱ由连杆1、2联系, 虚铰在 B ; Ⅰ、Ⅲ刚片由连杆3、4联系, 虚铰在 A ; 刚片Ⅱ、Ⅲ由连杆5、6联系, 虚铰在无穷远处。三个虚铰位于同一方向。

3. 结论 三虚铰位于同一方向, 即共线, 故该体系是几何瞬变体系。



题 1-3 图

解 1-4 1. N_F 此为一般体系, $m=11, h=14, r=7$,
 $N_F = 3 \times 11 - 2 \times 14 - 7 = -2$.



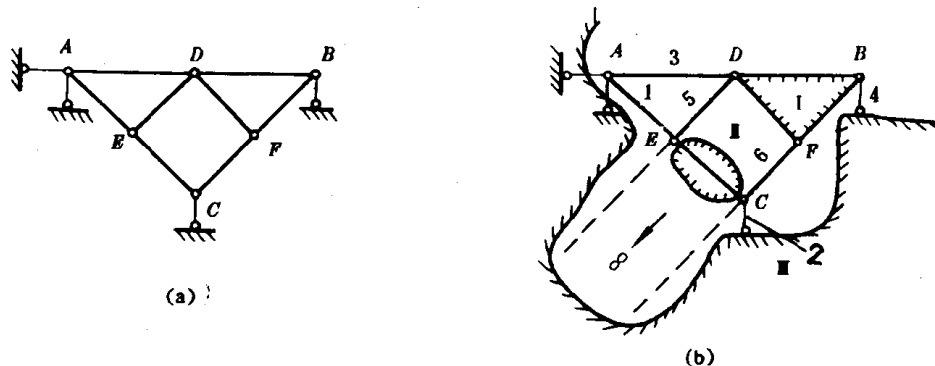
题 1-4 图

2. 几何组成分析 刚片Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ两两之间用不在一直线上的 $K、A、B$ 三个单铰连接, (题 1-4 图(b)), 该部分为几何不变, 可看作一大刚片。将 DC 和 CE 也视作刚片。三刚片两两之间分别由铰 $D、C$ 及杆 2、3 所组成的虚铰(竖向 ∞)相连, 故为几何不变体系。连杆 1、4 是多余约束。

3. 结论 该体系为几何不变且有两个多余约束的体系。I、II 与地基 III 按三铰形式连接,是基本部分,DC、CE 为附属部分。

解 1-5 1. N_F 此为铰结体系, $j=6, b=8, r=4$,

$$N_F = 2 \times 6 - 8 - 4 = 0.$$

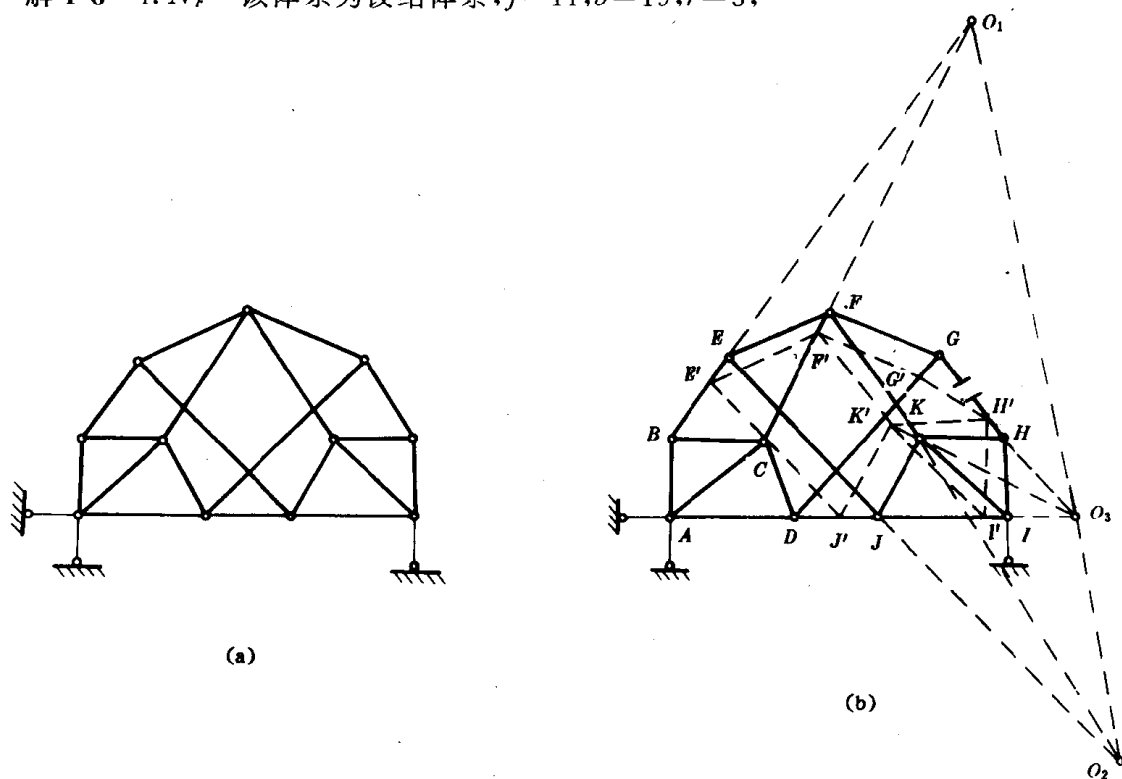


题 1-5 图

2. 几何组成分析 如取 $\triangle AED$ 、 DFB 及地基为三刚片,或取 $\triangle AED$ 、杆 CF 及地基为三刚片,分析皆不成功。现取题 1-5 图(b)所示的三刚片,刚片 I、II 之间由连杆 5、6 连接,形成的虚铰在 ∞ ,刚片 I、III 由连杆 3、4 连接,虚铰在 B 处。刚片 II、III 由连杆 1、2 连接,虚铰在 C 处。可见,三个虚铰在同一方向,即三铰共线。

3. 结论 该体系为几何瞬变体系。

解 1-6 1. N_F 该体系为铰结体系, $j=11, b=19, r=3$,



题 1-6 图

$$N_F = 2 \times 11 - 19 - 3 = 0.$$

2. 几何组成分析 本题用基本法则难以分析, 现用无速度图法分析(题 1-6 图(b)).

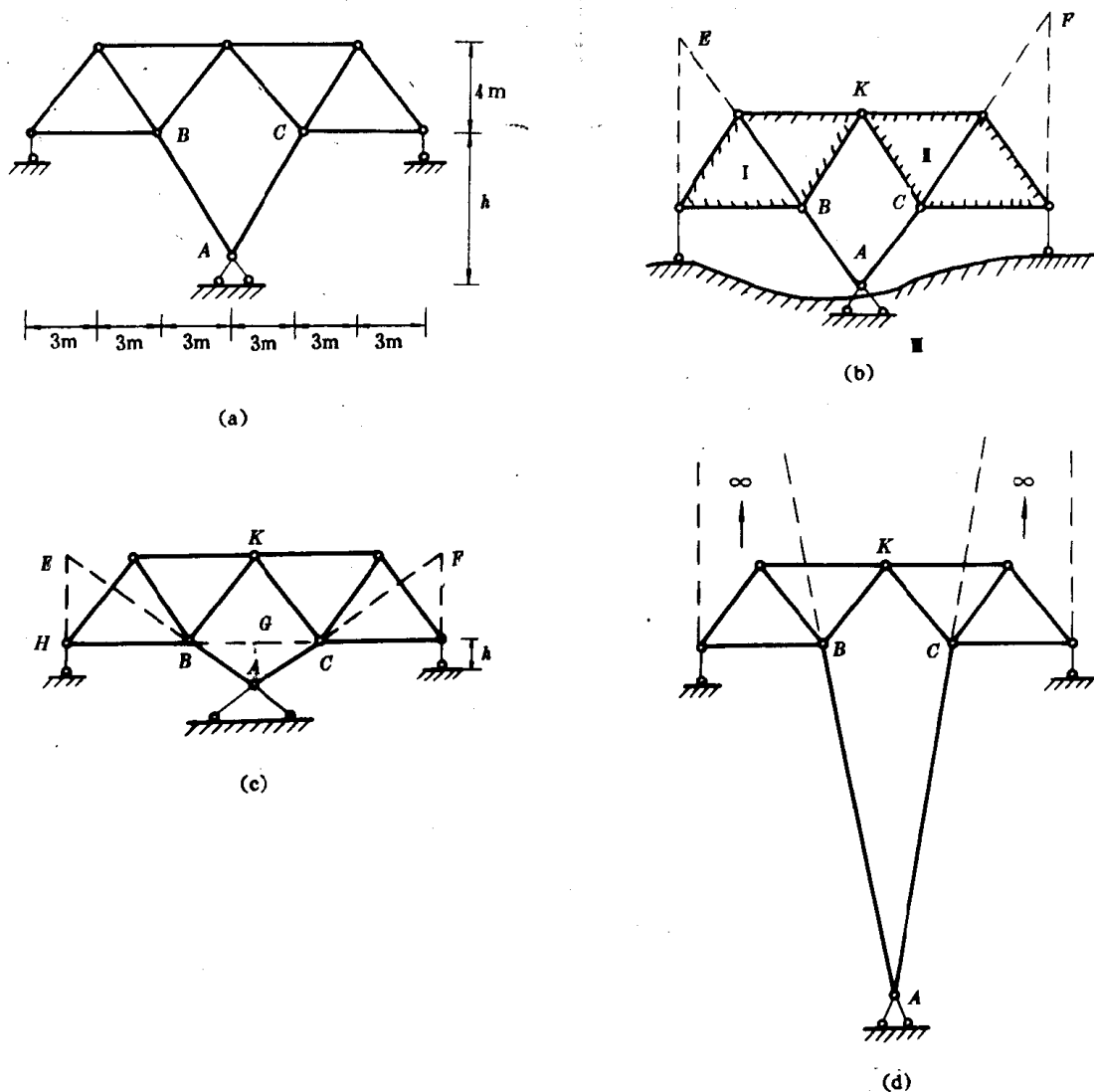
(1) 去掉三个支座连杆及杆 GH , 使体系内部具有一个自由度。

(2) 以 $ABCD$ 为不动基础, 则各部分速度瞬心为: 杆 BE 的瞬心在点 B ; CF 的在点 C ; DG 的在点 D ; DJ 的在点 D ; EF 的在 BE 、 CF 的延长线的交点 O_1 ; 刚片 $KHIJ$ 的在 D 、 J (D 为杆 DJ 的绝对瞬心, J 为杆 DJ 与 $KHIJ$ 的相对瞬心) 的连线与 O_1 、 O_2 (O_1 为杆 EF 的绝对瞬心, O_2 为杆 EF 与 $KHIJ$ 的相对瞬心) 的连线的交点 O_3 。

(3) 给点 E 以表影 E' , 然后由上述的各杆速度瞬心求得各点的表影为 F' 、 G' 、 H' 、 K' 、 J' 等, 连接各表影点即得无速度图如题 1-6 图(b) 所示。

4. 结论 由图可见, $G'H'$ 不平行于 GH , 故为内部几何不变又无多余约束。再与地基简支(附合两刚片法则), 所以整个体系为几何不变又无多余约束。

1-7 图示体系, 设变动等长杆 AB 和 AC 的长度, 使铰 A 在竖直线上移动, 而其余结点位置不变。若要此体系保持几何不变, 则 h 不能等于哪些数值?



题 1-7 图

解 如题 1-7 图(b)所示,刚片 I、II 由实铰 K 连接,刚片 II、III 由两根连杆联系形成虚铰 F ,刚片 I 与 III 由两根连杆联系形成虚铰 E 。要使体系保持几何不变,必须 E 、 F 、 K 三铰不共线。

在题 1-7 图(c)中, E 、 F 、 K 三铰共线。这时,由几何关系:

$$AG/EH = BG/BH,$$

即 $h = AG = (BG/BH) \times EH = (3/6) \times 4 = 2\text{m}$ 。

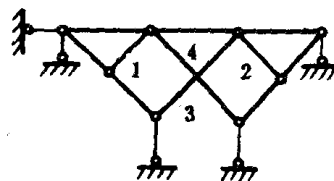
在题 1-7 图(d)中,当 AB 与 AC 趋近于平行,两虚铰在无穷远处。这时相当于三铰共线,即 $h = \infty$ 。

结论:要使体系保持几何不变, h 不能等于 2m 和 ∞ 。

1-8 试分析图示体系的几何组成。

解 本题为铰结体系,由式(1-3)得,计算自由度为零。但用基本法则难以进行几何组成分析,现改用零载法分析。

在体系上没有荷载作用,可得杆 1、2 为零杆,然后可得杆 3、4 及其它所有杆均为零杆。即该体系满足所有平衡条件的唯一确定解为零解,所以该体系为几何不变又无多余约束。



题 1-8 图

第二章 静定结构的内力计算

【理论提要】

本章主要讨论静定结构的一般概念和内力计算。在荷载等因素作用下,支座反力和内力均可由静力平衡条件唯一确定的结构称为静定结构。静定结构的几何组成特征是几何不变且无多余约束;静定结构的静力特征是平衡方程中未知力系数行列式的值 $D \neq 0$ 。静定结构在荷载等因素作用下,支座反力和内力均可由静力平衡条件求得确定的、有限的、唯一的解答,称为静定结构的解答唯一性。

计算时,对于较复杂的结构,为了避免求解联立方程组,常采用下述步骤:根据几何组成分析,分清基本部分和附属部分;沿着组成相反的次序,先附属后基本部分,逐步截取脱离体,考虑平衡条件,求约束力和内力。内力计算中要注意下列问题。

一、脱离体

对于不同的结构,从其中截取的脱离体可以是一个或几个结点,一杆段或若干杆段。脱离体与周围的联系应全部割断,而且以相应的约束力代替。被切断的不同性质的杆件其横截面上的内力是不同的。

在多跨静定梁中,脱离体是一杆段,截面上通常有剪力和弯矩。

在刚架和拱中,脱离体是一段直杆或折杆或曲杆,截面上有弯矩、剪力和轴力。

在桁架中,脱离体是一个结点(结点法)或一组结点(截面法),各杆截面上只有轴力。

在混合结构中,受弯杆截面上有弯矩、剪力和轴力,连杆截面上只有轴力。一般先计算连杆轴力,再计算受弯杆内力。

作各脱离体的示力图时,各力不能遗漏。通常规定轴力以拉为正;剪力以绕杆段有顺时针转动的趋势为正;弯矩方向可任意假设,但弯矩图画在受拉一边。一般未知力可先设为正向,由此求得为正表示与原设方向相同,为负则与原设方向相反。

二、截取脱离体的次序

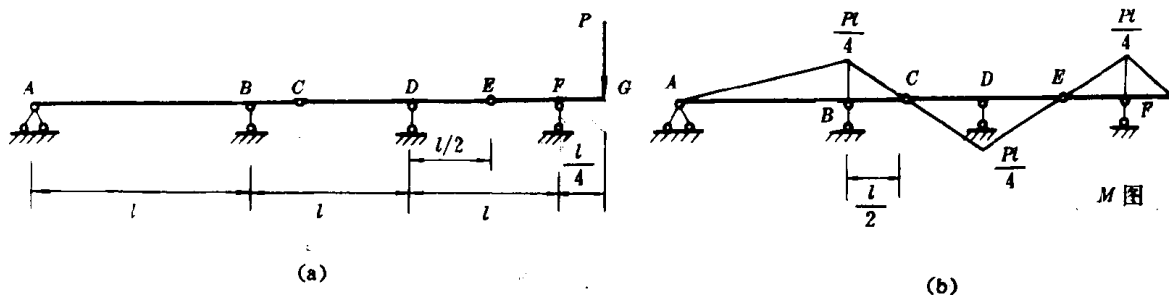
合理地选择脱离体的次序,可使每个平衡方程只包含一个未知力,从而避免求解联立方程组。合理的次序应与组成次序相反,先附属部分后基本部分。计算时注意各部分的形式(悬臂式、简支式、三铰式)、对称性的利用、零杆的判别等可使计算得以简化。在内力计算中利用静定结构的特性,还可使计算进一步简化。

【题解】

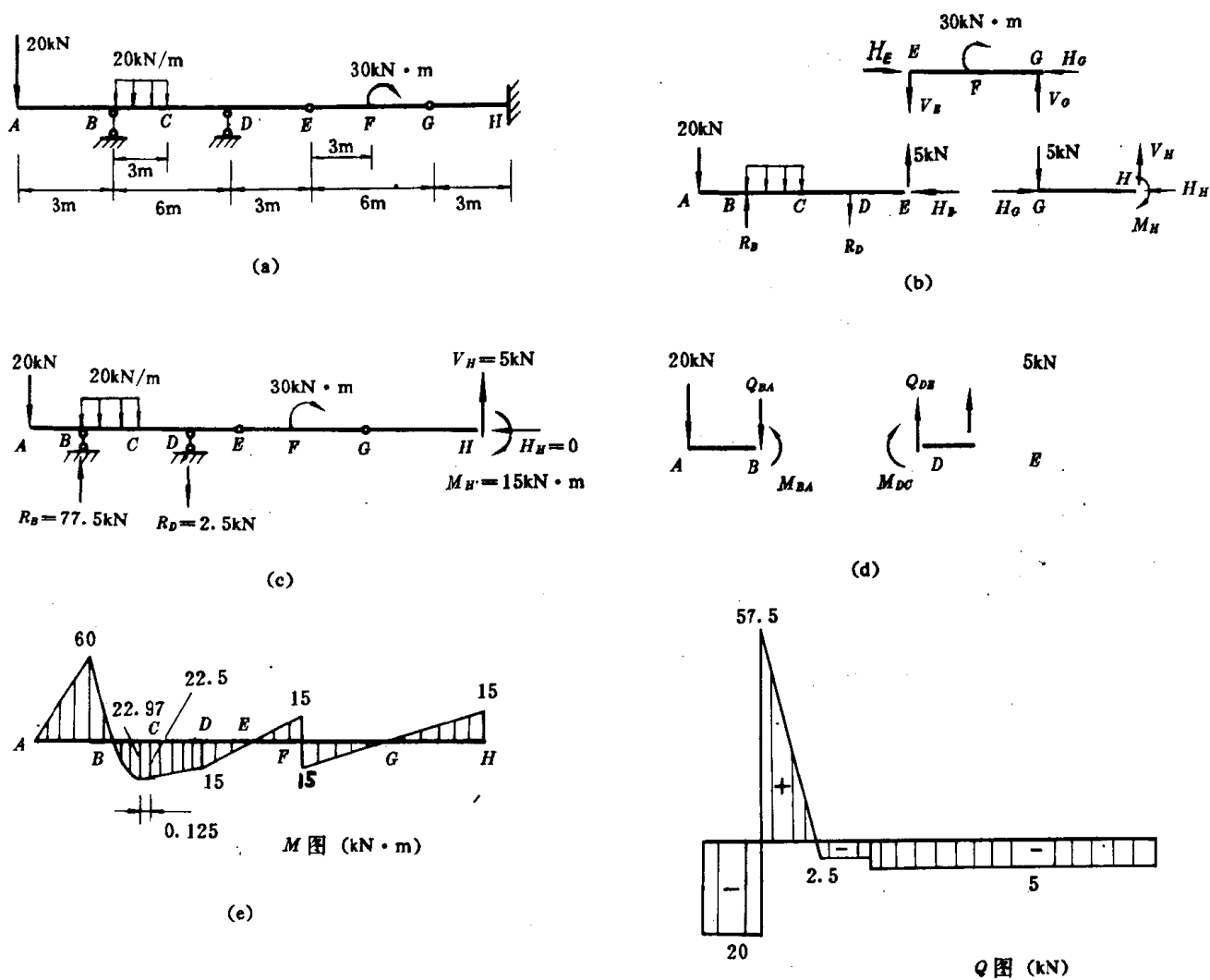
2-1 调整图示多跨静定梁铰 C 的位置,使所有中间支座弯矩的绝对值相等。

解 先作出 M 图(题 2-1 图(b)),其中 BCD 段和 DEF 段均为无转折的直线。要使 $M_B = M_D$, 可据比例关系定出铰 C 位置的 BC 值为 $l/2$ 。

2-2 计算图示多跨静定梁的支座反力,并作 M 、 Q 图。



题 2-1 图



题 2-2 图

解 本题 ABCDE 与 GH 为基本部分, EFG 为附属部分。

1. 反力 如题 2-2 图(b), 取 EFG 为脱离体, 得

$$V_E = V_G = 5\text{kN}.$$

取 $ABCDE$ 为脱离体,得

$$\sum M_B = 0, \quad R_D = 2.5\text{kN}; \quad \sum Y = 0, \quad R_B = 77.5\text{kN}.$$

取 GH 为脱离体,得

$$\sum M_H = 0, \quad M_H = 15\text{kN} \cdot \text{m}; \quad \sum Y = 0, \quad V_H = 5\text{kN}.$$

由梁的整体平衡条件,得 $\sum X = 0, H_H = 0$, 如题 2-2 图(c)所示。

2. M 图(单位 $\text{kN} \cdot \text{m}$) 取 A, B, C, D, E, G, H 为控制截面, $M_A = M_E = M_G = 0, M_H = 5 \times 3 = 15$ (上拉), 如题 2-2 图(b)所示。

取杆段 AB (题 2-2 图(d)), $M_{BA} = M_{BC} = 60$ (上拉); 取杆段 ABC , 得 $M_{CB} = M_{CD} = -20 \times 6 + 77.5 \times 3 - 20 \times 3 \times 1.5 = 22.5$ (下拉)。

取杆段 DE (题 2-2 图(d)), $M_{DE} = M_{DC} = 5 \times 3 = 15$ (下拉)。

用叠加法作 M 图, 如题 2-2 图(e)所示。

3. Q 图(单位: kN) 由 M 图, 取各杆段考虑平衡, 可求得各杆杆端剪力。

$$Q_{AB} = Q_{BA} = -20, \quad Q_{BC} = 77.5 - 20 = 57.5;$$

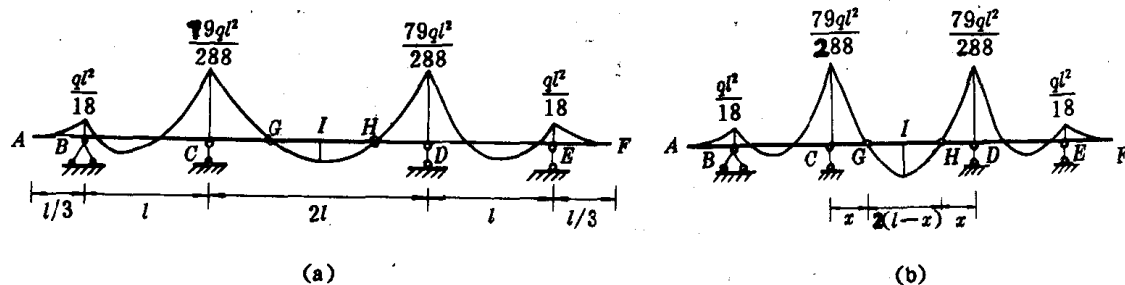
$$Q_{CB} = 77.5 - 20 - 20 \times 3 = -2.5;$$

$$Q_{CD} = -2.5, \quad Q_{DC} = -2.5, \quad Q_{DE} = Q_{ED} = -5.$$

取杆段 EG , 可得 $Q_{EG} = -V_E = -5, Q_{GE} = V_G = -5$ 。

求出各杆端剪力后可据 M, Q, q 之间的微分关系, 作 Q 图, 如题 2-2 图(f)所示。

2-3 图示结构受均布荷载作用, 原按连续梁设计, M 图如题 2-3 图(a), 现要求在原来弯矩保持不变的条件下改为静定梁, 求两个中间铰的位置。



题 2-3 图

解 1. 改为静定梁后的 M° , 在 CD 跨中 $M=0$ 处 G, H 加铰(题 2-3 图(b)), 并设 G, H 离支座 C, D 各为 x , 则 GH 长为 $2(l-x)$, 其跨中弯矩为

$$M^\circ_1 = q[2(l-x)]^2/8.$$

2. 原梁的 M_1 原连续梁 CD 跨中弯矩可根据叠加法得

$$M_1 = q(2l)^2/8 - 79ql^2/288 = 65ql^2/288.$$

3. 求铰的位置 根据题意, 有

$$M^\circ_1 = M_1,$$

即

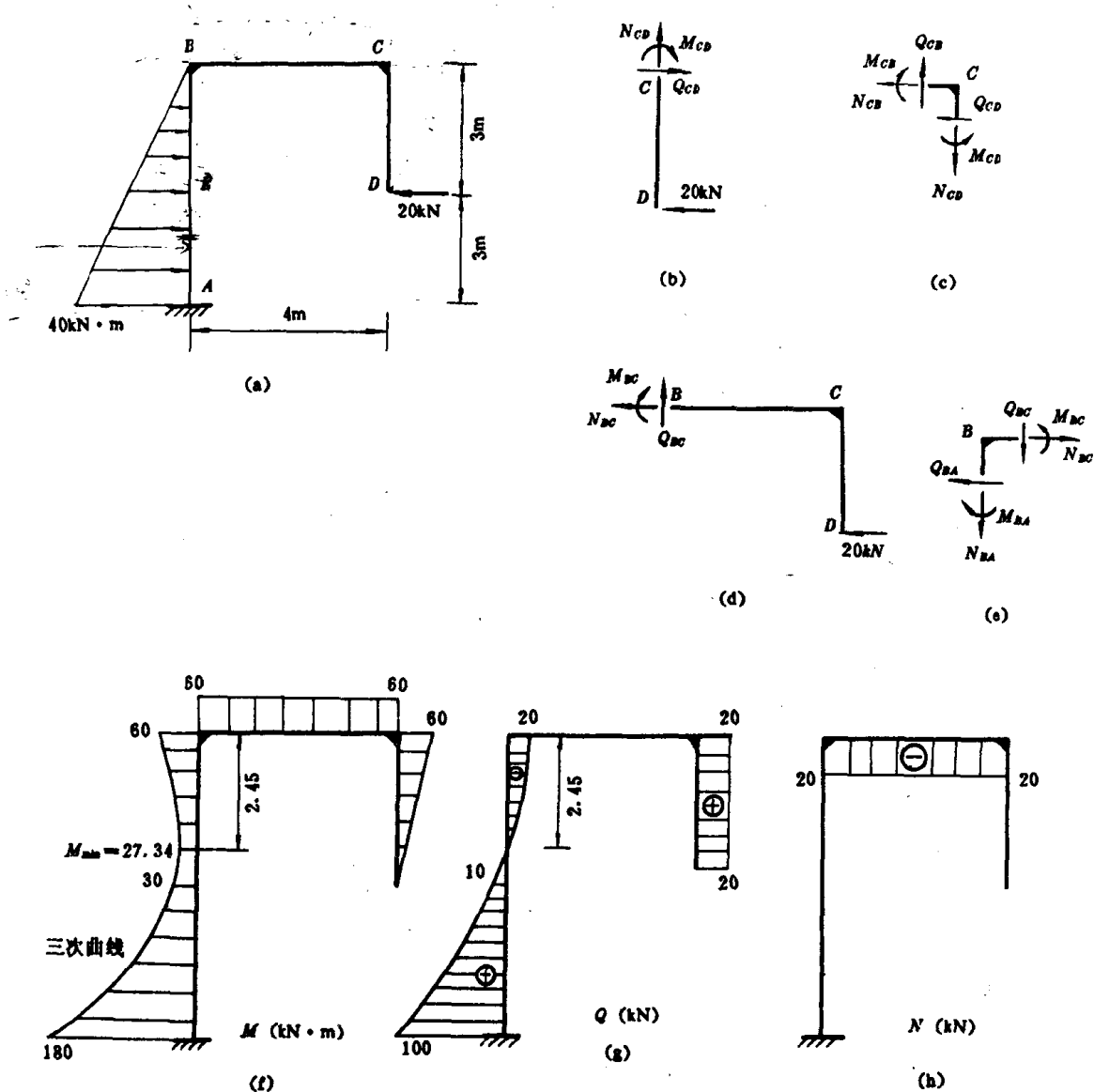
$$q[2(l-x)]^2/8 = 65ql^2/288,$$

解之得

$$x = (1 - \sqrt{65}/12)l = 0.328l.$$

即两铰应设在离 C 、 D 分别为 $0.328l$ 处。这时已改为静定梁, 其中 CD 跨弯矩不变。由于 M_C 、 M_D 仍为原值, 所以 AC 、 DF 中弯矩也不变, 即全梁弯矩不变。

2-4 求作图示结构的内力图。



题 2-4 图

解 本题为悬臂刚架, 无需先求支座反力。选 A 、 B 、 C 、 D 为控制截面, 计算内力 (单位: kN、m 制)。先取 CD 为脱离体, 见题 2-4 图 (b)。则 $M_{DC}=0$, $Q_{DC}=20$, $N_{DC}=0$; $M_{CD}=-60$, $Q_{CD}=2$, $N_{CD}=0$ 。

取 C 点为脱离体, 见题 2-4 图 (c), 则

$$M_{CB} = M_{CD} = -60, \quad Q_{CB} = N_{CD} = 0, \quad N_{CB} = -Q_{CD} = -20.$$

取 BCD 为脱离体, 见题 2-4 图 (d), 则

$$M_{BC} = -60, \quad Q_{BC} = 0, \quad N_{BC} = -20.$$

取结点 B 为脱离体, 见题 2-4 图 (e), 则

$$M_{BA} = M_{BC} = -60, \quad Q_{BA} = N_{BC} = -20, \quad N_{BA} = Q_{BC} = 0.$$

取整体为脱离体(题 2-4 图(a)), 则

$$M_{AB} = -0.5 \times 40 \times 6 \times 2 + 20 \times 3 = -180,$$

$$Q_{AB} = 40 \times 6 \times 0.5 - 20 = 100, \quad N_{AB} = 0.$$

用叠加法作 M 图, 根据杆端剪力作 Q 图, 由控制截面轴力作 N 图如题 2-4 图(f)~(h) 所示。

2-5 求作图示结构的内力图。

解 1. 支座反力(单位: kN) 此为简支刚架, 应先求反力。由整体平衡, 得 $H_A = 100, V_A = 66.67, R_B = -66.67$ 。

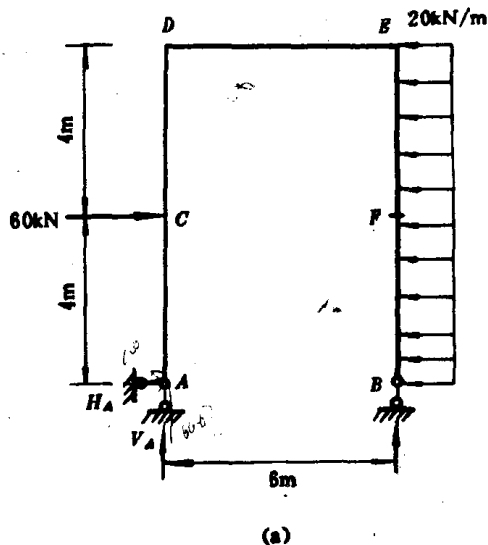
2. 内力(单位: kN、m 制) 选 A, D, E, B 为控制截面, 分别计算内力。

取 AD 为脱离体(题 2-5 图(b)), 得 $M_{AD} = 0, Q_{AD} = -100, N_{AD} = -66.67; M_{DA} = 1040, Q_{DA} = -160, N_{DA} = -66.67$ 。

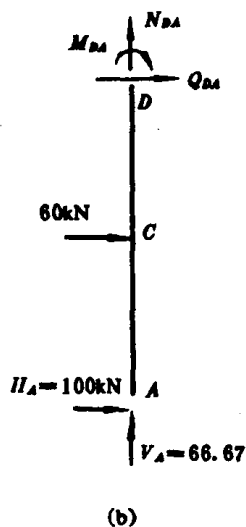
取结点 D 为脱离体, (题 2-5 图(c)), 得 $M_{DE} = M_{DA}, Q_{DE} = -N_{DA} = 66.67, N_{DE} = Q_{DA} = -160$ 。

取 BE 为脱离体(题 2-5 图(d)), 得 $M_{EB} = -640, Q_{EB} = 160, N_{EB} = 66.67$ 。

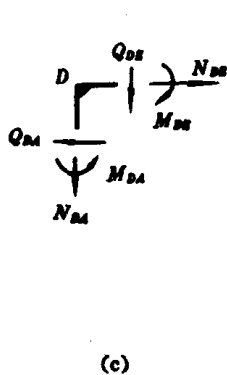
取结点 E 为脱离体(题 2-5 图(e)), 得 $M_{ED} = -M_{EB} = 640, Q_{ED} = N_{EB} = 66.67, N_{ED} = -Q_{EB} =$



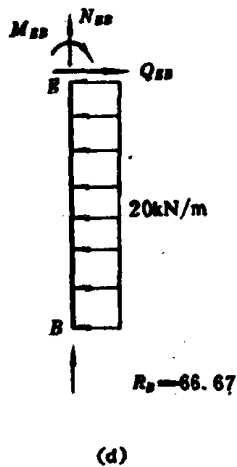
题 2-5 图(a)



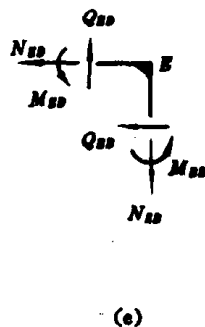
(b)



(c)



(d)



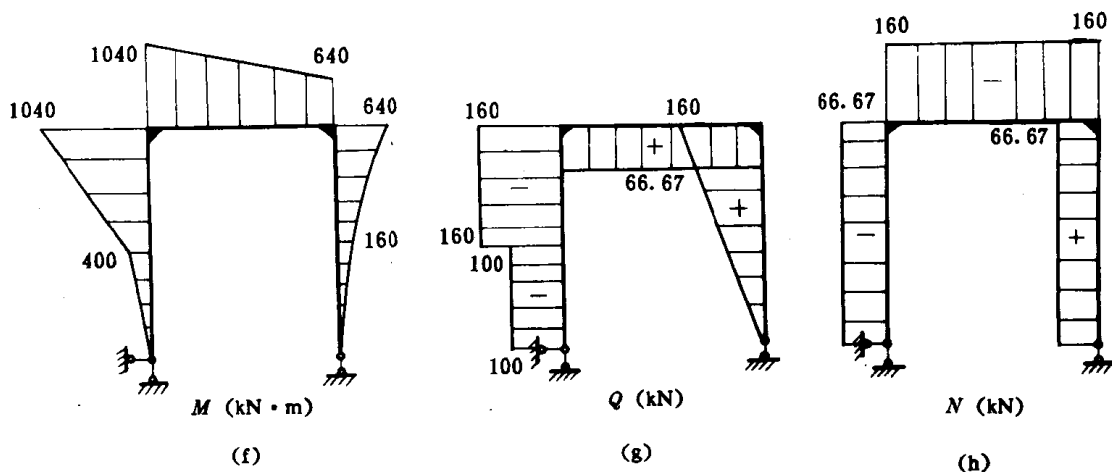
(e)

题 2-5(b)~(e)

-160.

分别作出 M, Q, N 图, 如题 2-5 图(f)~(h) 所示。

2-6 求作图示结构的内力图。



题 2-5 图(f)~(h)

解 1. 支座反力 此为三铰刚架, 应先求反力。根据对称性, 得

$$V_A = V_B = 0.5 \times 15 \times 6 + 50 = 95 \text{ kN}.$$

取半刚架 AFC, 由平衡条件:

$$\sum M_C = 0,$$

$$H_A = H_B = (95 \times 3 - 50 \times 2.5 - 15 \times 4.5) / 9 = 10.3 \text{ kN},$$

$$V_C = 0, H_C = H_A = 10.3 \text{ kN}(\leftarrow).$$

2. 内力(单位: kN、m 制) 取 A、D、F、C 为控制截面, 按杆 AD、结点 D、杆 DF、结点 F 的次序, 得:

$$M_A = 0, M_{DA} = 10.3 \times 6 = 61.8,$$

$$M_{DF} = 10.3 \times 6 - 50 \times 0.5 = 36.7,$$

$$M_{FD} = 10.3 \times 9 - 50 \times 0.5 = 67.5,$$

$$Q_{AD} = -10.3, Q_{DA} = Q_{FA} = Q_{AD},$$

$$Q_{FC} = 95 - 50 = 45, N_{FC} = Q_{FA} = 10.3.$$

右半刚架内力可按对称性求出, M、Q、N 图如题 2-6 图(b)~(d)所示。

2-7 求作图示结构的内力图。

解 1. 支座反力 本题为组合刚架, HCDI 为基本部分, GAB 和 EFJ 为附属部分。反力计算次序为先附属后基本部分。

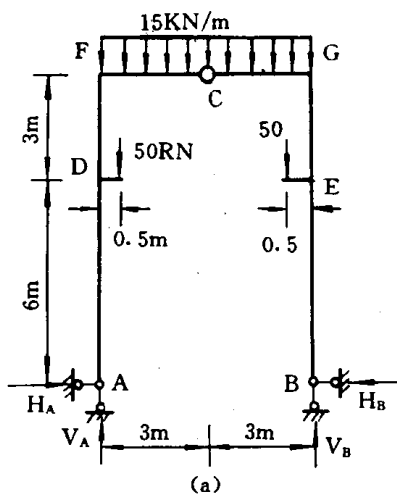
取 GAB: $\sum M_B = 0, R_G = 40 \text{ kN}(\uparrow).$

取 EFJ: $\sum M_E = 0, R_I = 80 \text{ kN}(\uparrow).$

由整体平衡条件得

$$H_H = -80 \text{ kN}(\leftarrow), V_H = 93.3 \text{ kN}(\downarrow), R_I = 133.3 \text{ kN}(\uparrow).$$

2. 内力(单位: kN、m 制)



题 2-6 图(a)