



高校经典教材同步辅导
配套高教社 龙驭球等主编

九章丛书

结构力学 II

——专题教程

龙驭球 第2版

辅导及习题全解

主编 / 郭维林 韩朝

编写 / 九章系列课题组

◆ 知识点窍 ◆ 逻辑推理 ◆ 习题全解
◆ 全真考题 ◆ 名师执笔 ◆ 题型归类

人民日报出版社

新版

高校经典教材同步辅导

结构力学 II

(第2版)

专题教程——辅导及习题全解

内 容 简 介

本书是为了配合由高等教育出版社出版的《结构力学ⅠⅡ——专题教程》(第2版)教材而编写的辅导用书。全书由知识要点概述、知识点归纳、典型例题分析、考研题点评及习题详解等部分组成,旨在帮助读者掌握课程内容的重点、难点,提高分析问题,解决问题能力。

本书可作土木科高等院校学生学习《结构力学Ⅲ——专题教程》课程的辅导教材,也可作为报考硕士研究生人员复习的辅导教材,同时可供教师备课命题作参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

高校经典教材同步辅导·结构力学/郭维林、韩朝主编—北京:人民日报出版社, 2005.11

ISBN:978-7-80208-299-1

I. 高… II ①郭… ②韩… III. 高校—教学参考资料 IV. 634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 122491 号

高校经典教材同步辅导·结构力学Ⅱ

责任编辑:文 一

封面设计:王聘茶

出版发行:人民日报出版社(北京金台西路2号/邮编:100733)

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京顺天意印刷有限公司

开 本:880×1230 1/32

印 张:5.25

字 数:156千字

版 次:2005年11月第1版

2008年2月第2版

印 次:2008年2月第1次印刷

印 数:3000

书 号:ISBN 978-7-80208-299-1

定 价:9.80(全五册·128.00元)

①邮购本书请与本社发行科联系.电话:010-65024516

②本书如出现印装质量问题请寄回印刷厂调换

前言

《结构力学》是土木专业的重要学科之一。为了能帮助学生更好的学好这门课程,使读者能够更好的理解基本概念,掌握基本知识学会解题思维方法与解题技巧。我们编写了这本辅导书本书是配套高等教育出版社出版的,由龙驭球、包世华主编的《结构力学 I II——专题教程》(第 2 版)的辅导书。

全书共分 17 章,由 I II 两部分组成。卷 I 是基础,其中包括:绪论、结构的几何构造分析、静定结构的受力分析、影响线、虚功原理与结构位移计算、力法、位移法、渐进法及其他算法简述、矩阵位移法和结构动力计算基础十章内容。卷 II 可比喻成“开花”,即灵活应用。他由静定结构总论、超静定结构总论、能量原理、结构动力计算绪论、结构的稳定计算、结构的极限荷载、结构力学与方法论七章内容组成。具有很强的理论性和实践性,煅炼学生的思维方式,使其能够分析问题,解决问题。

每章内容包括**知识要点**、**知识点归纳**、**典型例题分析**、**历年考研真题解析**及**课后习题详解**五个部分。本书在典型例题与习题详解中,通过“**知识点窍**”、提纲挈领地抓住了题目核心知识,让学生清楚地了解出题者的意图;运用“**逻辑推理**”引导不生思维,以培养学生科学的思维方法和思维技巧;**解题过程**清晰,步骤完整、数据准确、附图齐全,作图精确。

本书是在校本科生物学《结构力学》课程的辅导教材,也是考研人员复习备考的参考书,同时可供教师备课命题作重要参考资料。

由于编者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2008 年 2 月

目 录

第十一章 静定结构总论	(1)
知识点归纳	(1)
课后习题全解	(6)
第十二章 超静定结构总论	(19)
知识点归纳	(19)
典型例题与解题技巧	(21)
历年考研真题评析	(24)
课后习题全解	(26)
第十三章 能量原理	(58)
知识点归纳	(58)
典型例题与解题技巧	(60)
历年考研真题评析	(61)
课后习题全解	(63)
第十四章 结构动力计算续论	(79)
知识点归纳	(79)
典型例题与解题技巧	(81)
课后习题全解	(82)
第十五章 结构的稳定计算	(102)
知识点归纳	(102)
典型例题与解题技巧	(104)
历年考研真题评析	(107)
课后习题全解	(109)
第十六章 结构的极限荷载	(134)
知识点归纳	(134)
典型例题与解题技巧	(136)

历年考研真题评析	(138)
课后习题全解	(141)
第十七章 结构力学与方法论	(152)
知识点归纳	(152)
考研考试指导	(154)
考研考点归纳	(154)
清华大学 2007 年考研试题	(154)
参考答案	(156)



第十一章

静定结构总论

本章知识要点概述

1. 理解静力计算过程中隔离体方法及截取的优先顺序。总结隔离体平衡在各类静定结构中应用的特点。
2. 掌握用零载法判定 $W = 0$ 体系几何。不变性了解空间体系的几何构造分析。
3. 掌握用虚功原理求静定结构内力的方法。会用单位位移法求解简单静定结构的约束力。
4. 了解简支得包络图和绝对最大变矩的概念, 以及其计算方法。了解静定结构的一般性质总结各类静定结构的受力特点。

知识点归纳

一、几何构造分析与受力分析之间的对偶关系

表 11-1 自由度 W , 平衡方程 S , 未力数 m 及系数行列式 D 之间的关系

几何特性	静力的特性	
$W > 0$ 几何可变	$S > m$	单质方程, 无解
$W < 0$ 且几何不变, 有多余约束	$S < m$	方程组有无穷多解
$W < 0$ 且几何可变, 有多余约束	$S < m$	一般荷载下, 方程组无解 特殊荷载下方程组有无穷多解。
$W = 0, D \neq 0$, 几何不变, 无多余约束	$S = m$	方程有唯一确定解
$W = 0, D = 0$, 可变(或瞬变), 有多余约束	$S = m$	一般荷载下, 方程组无解 特殊荷载下方程组有无穷多解。

二、零载法

1. 零载法

对于 $W = 0$ 的体系,如果是几何不变的,则在荷载为零的情况下,它的全部内力都为零;反之,如果是几何可变的,则在荷载为零的情况下,它的某些内力不为零。

2. 从虚功原理角度看零载法

自内力状态能(否)存在是体系有(无)多余约束的标志。

三、空间杆件体系的几何构造分析

1. 空间几何不变体系的组成规律

(1) 空间中一点与一刚体用三根链杆相连,且三链杆不在同一条平面内,则组成几何不变的整体,且无多余约束。

(2) 一刚体与另一刚体用六根链杆相连,如链杆中有三根交于一点,而不在同一平面内,当六根链杆不交于同一直线时,组成几何不变的整体,且无多余约束。

(3) 一刚体与另一刚体用六根链杆相联,如链杆中有三根位于同一平面内而不交于一点,当六根杆不交于同一直线时,则组成几何不变的整体,且无多余约束。

2. 空间链接体系的计算自由度 W

$$W = 3j - b$$

j 为体系结点的总数, b 为链杆与支杆总数。

四、静定空间刚架

1. 内力计算

采用截面法。由于一个物体在空间有六个自由度,故可对所取隔离体建立六个平衡方程,由此求出截面六个内力分量: F_N 、 F_{Q1} 、 F_{Q2} 、 M_1 、 M_2 、 M_3 。

2. 位移计算

$$\Delta = \sum \int \frac{\bar{M}_y M_{yP}}{EI_y} ds + \sum \int \frac{\bar{M}_z M_{zP}}{EI_z} ds + \sum \int \frac{\bar{M}_t M_{tP}}{GI_t} ds$$

五、静定空间桁架

1. 空间桁架几何构造

计算自由度 $W = 3j - b$, $W > 0$, 则体系可变;若体系几何不变,且无多余约束的空间桁架,则必有 $W = 0$ 。

2. 结点法和截面法

结点法是截取结点为隔离体,利用每个结点所受的空间汇交力系的三个平衡条件,求各杆的轴力。其平衡条件为

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum F_z = 0$$

3. 分解成平面桁架法

六、悬索结构

1. 悬索结构的特点

悬索结构是由一系列受拉的索作为主要承重构件,按一定规律组成各种不同形式的体系,并悬挂在相应的支承上的结构。分为单层索系,双层索系,鞍形索网、斜拉式屋盖,索梁体系等。

2. 单根悬索的计算方法

基本假设

- (1) 索为理想柔性,即不能受压,不能受弯,只能受拉。
- (2) 索在使用阶段时应力和应变符合胡克定律。

基本平衡微分方程为

$$\left. \begin{aligned} \frac{dF_H}{dx} + q_x &= 0 \\ \frac{d}{dx} \left(F_H \frac{dy}{dx} \right) + q_y &= 0 \end{aligned} \right\}$$

七、静定结构的一般性质

1. 静定结构无自内力:温度改变、支座移动和制造误差等因素在静定结构中不引起内力。

2. 静定结构的局部平衡特性:在荷载作用下,如仅由静定结构的某个局部就可以与荷载保持平衡,则其余部分内力为零。

3. 静定结构的荷载等效的特性:当静定结构的内部几何不变,局部只的荷载作静为等数(合力相等)的变换时,其余部分内力不变。

4. 静定结构的构造变换特性:当静定结构的内部几何不变,局部作等数构造变换时,其余部分内力不变。

八、各种结构形式的受力特点

1. 静定结构五种典型结构形式:梁,刚架,桁架,组合结构和拱。在静定多跨梁和伸臂梁中,利用杆端的负弯矩可以减小跨中的正弯矩。

2. 按有无推力分类:无推力结构、有推力结构铰刚架、三铰刚架拱式桁架及有推力组合结构等,在有推力结构中,利用水平推力的作用可以减少弯矩峰值。

3. 在桁架中,利用杆件的链接和合理布置及荷载的结点传递方式,可使桁架中的各杆处于无弯矩状态。

九、简支梁的包络图和绝对最大弯矩

连接各截面内力最大值的曲线称为内力包络图。

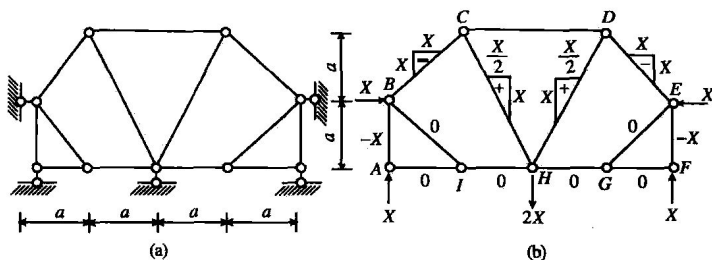
弯矩的包络图中最高的竖距称为绝对最大弯矩。

十、位移影响线

设有一方向不变的单位力 $F_P = 1$ 在结构上移动, 结构上拟求位移 Δ_K 的影响系数 δ_{KP} 亦随之变化。表示 δ_{KP} 变化规律的图线称为位移影响线。

例 1

试用零载法检验图(a) 所示体系是否几何不变。



例 11-1 图

【知识点窍】 用零载法判定 $W = 0$ 体系的几何不变性时采用初参数法的应用。

【解】 计算自由度 $W = 2j - b = 2 \times 9 - 18 = 0$ 可采用零载法分析。

在零载状态下, 设支座 A 竖反力 $F_{yA} = X(\uparrow)$, X 为任意值, 由平衡条件得 $F_{yF} = X(\uparrow)$, $F_{yH} = 2X(\downarrow)$ 。轴力 $F_{NAB} = F_{NED} = -X$, 找出六根零杆。如图(b) 所示, 逐次由结点 B、E、C、D 的平衡条件求得支座 B、E 水平反力及各杆轴力(斜杆以分量表示), 最后由结点 H 平衡条件得

$$\sum F_x = 0 \quad \frac{X}{2} - \frac{X}{2} = 0$$

$$\text{即 } X \cdot 0 = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad 2X - 2X = 0$$

$$\text{即 } X \cdot 0 = 0$$

当 X 为任意值时, 均满足上式。可见, 反力、内力除零解外, 存在无穷多组非零解均满足平衡条件, 因此该体系几何可变。

讨论: 对本题所示复杂体系, 进行几何构造分析相当困难, 须连续运用约束等效变换, 而用零载法分析比较容易。

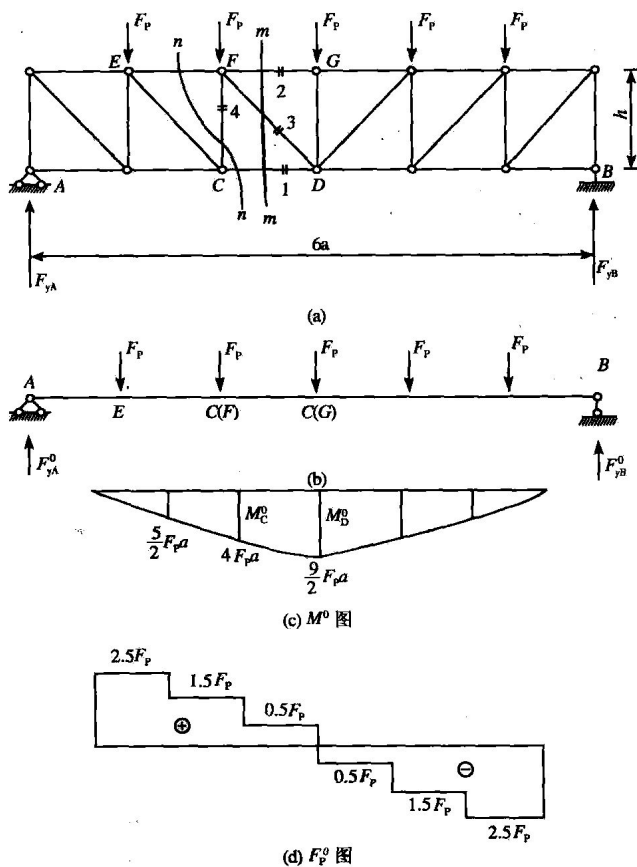
例 2

试对图(a) 所示梁式桁架和图(b) 所示同跨同荷载的简支梁(代梁) 进行比较。推算桁架弦杆 1、2, 斜杆 3, 竖杆 4 的轴力与代梁相应截面弯矩、剪力的关系。

【知识点窍】 平衡梁式桁架计算轴力时, 可借助简支代梁的弯矩、剪力。桁架未知轴力均设为拉力。

【解】 (1) 求支座反力和代梁反力。

桁架支座反力 F_{yA} 与代梁反力 F_{yA}^0 相等, 即由平衡条件 $\sum M_B = 0$, $\sum M_A = 0$ 分别得 $F_{yA} = F_{yA}^0 = 2.5F_P(\uparrow)$ $F_{yB} = F_{yB}^0 = 2.5F_P(\uparrow)$



例 11-2 图

(2) 作简支代梁的弯矩 M^0 图和剪力 F_Q^0 图,如图(c)、(d)所示。

(3) 求桁架弦杆轴力。

作 $m-m$ 截面,如图(a)所示,由其左边隔离体列平衡方程 $\sum M_F = 0$,得

$$F_{N1} \cdot h = F_{yA} \times 2a - F_P \times a = M_C^0$$

$$F_{N1} = \frac{M_C^0}{h}$$

由 $\sum M_D = 0$,得

$$F_{N2} \cdot h = -F_{yA} \times 3a + F_P \times 2a + F_P \times a = -M_D^0$$

$$F_{N2} = -\frac{M_D^0}{h}$$

(4) 求桁架斜杆轴力 F_{N3} 。

由 $m-m$ 截面左侧隔离体投影平衡方程 $\sum F_y = 0$,得

$$F_{y3} = F_{yA} - F_P - F_P = F_{QCD}^0$$

F_{QCD}^0 为代梁 CD 段截面剪力, 根据比例关系可由 F_{y3} 算出轴力 F_{N3} 。

(5) 求竖杆轴力 F_{N4} 。

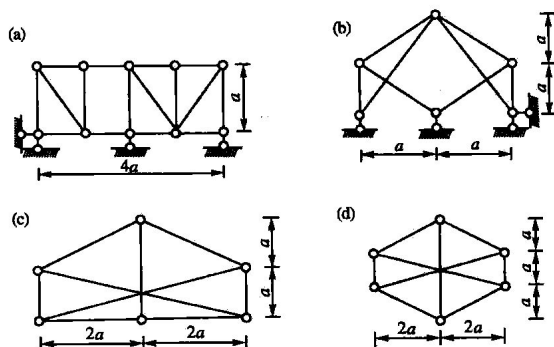
作 $n-n$ 截面, 如图(a)所示, 由其左部隔离体列平衡方程 $\sum F_y = 0$, 得

$$F_{N4} = -F_{yA} + F_P = -F_{QEF}^0$$

F_{QEF}^0 为代梁 EF (即 EC) 段的截面剪力, 取负号是因轴力 F_{N4} 设为拉力时与代梁剪力方向相反 (对左部截面为逆时针)。

后习题全解

11-1 试用零载法检验图所示体系是否几何不变。



题 11-1 图

【知识点窍】 用零载法判定 $W = 0$ 体系的几何不变性时初参数 F_X 设定为零。

【解】 (a) 荷载为零, 即支反力为零, 则按照二元体逐渐去除的方法, 以及零杆的判断原则, 可知所有桁架杆件内力都为零。如图解 11-3(a) 所示, 所以体系几何不变。

(b) 荷载为零, 即支反力为零, 去除二元体, 可知桁架各杆都为零杆。如图解 11-3(b) 所示, 所以体系几何不变。

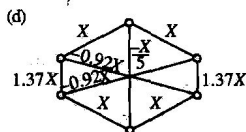
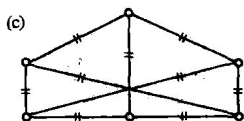
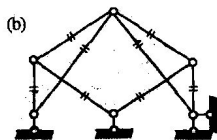
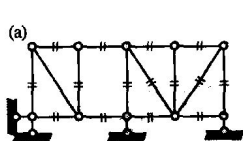
(c) 按照零杆判断原则, 可知, 所有桁架杆件全为零杆。如图解 11-3(c) 所示, 故体系几何不变。

(d) 按照通路法, 假设其中一杆内力为 X , 运用结点法可求出各杆内力。如图(d)所示, 可以验证是平衡的, 所以体系可能会有自建内力, 即 X 可能不为零, 所以体系几何可变。

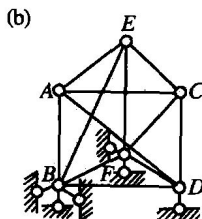
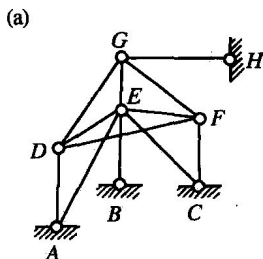
11-2 试分析图示空间体系的几何构造。

【知识点窍】 两个刚体之间联结方式的规律以及自由度的计算。

【解】 (a) 四面体 GDEF 为一刚体, 通过 DA、EA、EB、EC、FC、GH 六链杆与基础相连, 且 EA、EB、EC 三链杆支于一点, 并六链杆不交于同一直线上, 则体系几何



解 11-3 图



题 11-2 图

不变,且无多余约束

(b) 体系为无多余约束的几何不变体系。

自由度计算。

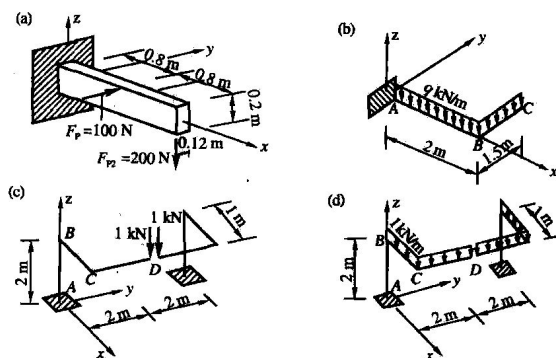
结构由 6 个结点,12 根杆与 6 根支杆组成,把结点视为自由点,杆作为约束,体系自由度为 $W = 3 \times 6 - 12 - 6 = 0$

结构组成。

B 点被三杆固定在基础上,由杆 BF 和两支杆,固定 F 点,再由杆 BD、杆 FD 和支杆固定 D 点,这部分为无多余约束的几何不变体系。刚体 AEC 由六根链杆与几何不变部分相连,由杆 AB 和 DA 固定的 A 点只能绕 BD 轴作圆周运动。同理,正点只能绕 BF 轴作圆周运动, C 点只能绕 FD 轴作圆周运动。要使这三个运动瞬时成为可能,有两种可能。其一,这三个圆的切线相互平行,即三个圆运动平行,刚体有同一方向运动的可能。显然,这种情况不可能。其二,三圆周的三条切线有转动中心,这时刚体存在一个转轴,使得这三点都保持原有切线方向运动。显然,平面 ACE 为点 A、点 E 和点 C 三点作圆周运动的切线所在的公共面。过这三点作切线的垂线,若这三条垂线交于同一点,则过这点作平面 ACE 的垂线,这垂线为刚体的瞬时转动轴。结构为瞬变体系,而三角形 AEC 的三边就是这三条垂线。显然不交于一点,于是结构不可能成为瞬变系统。

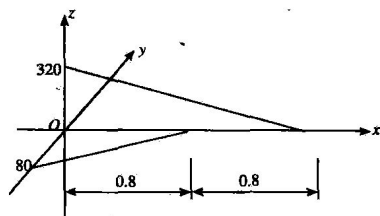
11-3 试作图示梁和刚架在空间受力状态下的内力图。

【知识点窍】 静定刚架(悬臂刚架、简支刚架、三铰刚架)的内力计算。

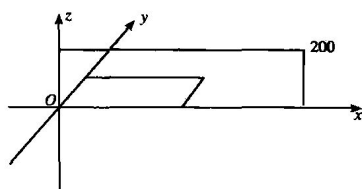


题 11-3 图

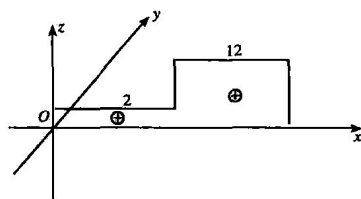
【解】 (a) $M_{xA} = 200 \times 1.6 = 320 \text{ N} \cdot \text{m}$



M 图 (单位: $\text{N} \cdot \text{m}$)



F_Q 图 (单位: N)



M_1 图 (单位: $\text{N} \cdot \text{m}$)

图解 11-5

$$M_{yA} = 100 \times 0.8 - 80 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$F_{QyAc} = 200 \text{ N}$$

$$M_{tBC} = 200 \times 0.06 = 12 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{AB} = 12 - 100 \times 0.1 = 2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$F_{Q_{AB}} = -100 \text{ N}$$

内力图如图解 11-5(a) 所示。

$$(b) M_{BC} = \frac{1}{2} q \times 1.5^2 = 1.125q \text{ kN} \cdot \text{m}$$

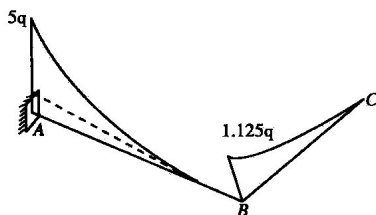
$$M_{AB} = \frac{1}{2} q \times 2^2 + 1.5 \times q \times 2 = 5q \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{QB} = 1.5q \text{ kN}$$

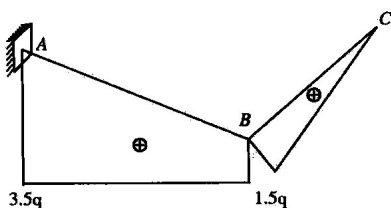
$$F_{QA} = 1.5q + 2q = 3.5q \text{ kN}$$

$$M_{AB} = -\frac{1}{2} \times q \times 1.5^2 = -1.125q \text{ kN} \cdot \text{m}$$

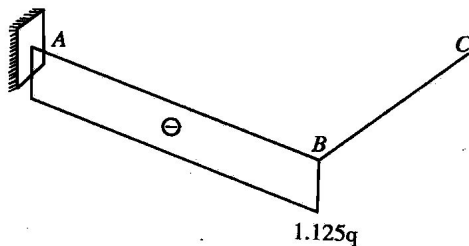
内力图如图解 11-5(c) 所示。



M 图 (单位: $\text{kN} \cdot \text{m}$)



F_Q 图 (单位: kN)



M_t 图 (单位: $\text{kN} \cdot \text{m}$)

图解 11-5

(c) 取左半部分进行分析。

$$M_{CD} = 1 \times 2 = 2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{BC} = 1 \times 1 = 1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{BA} = \sqrt{1^2 + 2^2} \times 1 = 2.236 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{BC} = 2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

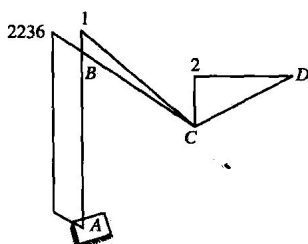
$$M_{QBC} = F_{QCD} = 1 \text{ kN}$$

$$F_{NAB} = 1 \text{ kN}$$

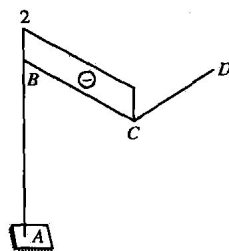
内力图如图解 11-5(c) 所示。

因右半部分与左半部分对称,过程从略。

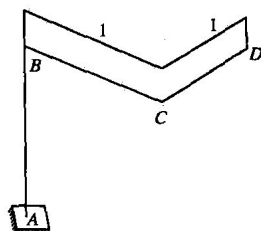
(d) 因结构对称,取左半部分进行分析。



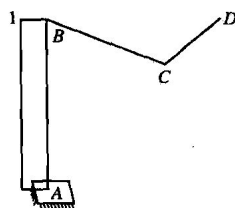
M 图 (单位: $\text{kN} \cdot \text{m}$)



M_1 图 (单位: $\text{kN} \cdot \text{m}$)



F_Q 图 (单位: kN)



F_Q 图 (单位: kN)

图解 11-5(c)

$$M_{CD} = \frac{1}{2} \times 1 \times 2^2 = 2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{BC} = \frac{1}{2} \times 1 \times 1^2 + 1 \times 2 \times 1 = 2.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{AB} = \sqrt{2.5^2 + 2^2} = 3.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

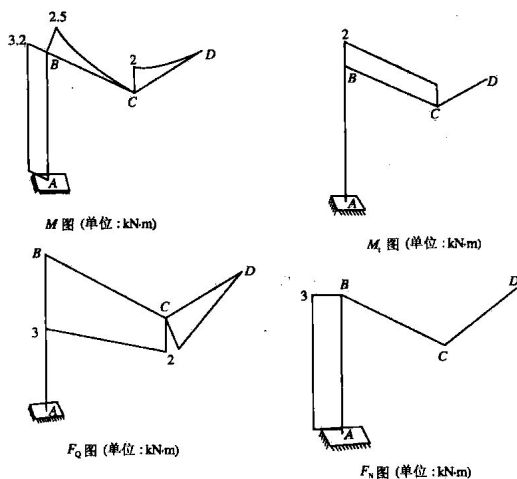
$$M_{BC} = 2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$F_{QCD} = 1 \times 2 = 2 \text{ kN}$$

$$F_{QBC} = 1 \times 2 + 1 \times 1 = 3 \text{ kN}$$

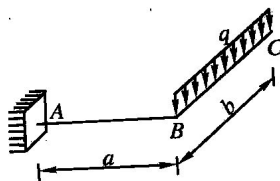
$$F_{NAB} = 1 \times (2 + 1) = 3 \text{ kN}$$

内力图如图解 11-5(d) 所示。



图解 11-5(d)

11-4 图示一水平面内刚架, $\angle ABC = 90^\circ$, 承受竖向均布荷载 q 。试求 C 点竖向位移。已知 $q = 20 \text{ N/cm}$, $a = 0.6 \text{ m}$, $b = 0.4 \text{ m}$, 各杆均为直径 $d = 3 \text{ cm}$ 的圆钢, $E = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$, $G = 0.8 \times 10^5 \text{ MPa}$ 。



题 11-4 图

【知识点窍】 根据截面法求出弯矩和扭矩, 利用虚移计算公式即可求得。

【解】 实际荷载作用下的弯矩 M_P 图和扭矩 M_t 图, 如图解 11-6(b) 和(d) 所示。
 c 点虚设竖向单位力作用下弯矩 $\bar{M}$ 图和扭矩 $\bar{M}_t$ 图, 如图解 11-6(c) 和(e) 所示:
 弯矩引起变形的位移为

$$\Delta_1 = \sum \int \frac{\bar{M} M_P}{EI} ds = \frac{q}{EI} \left(\frac{1}{3} a^3 b + \frac{1}{8} b^4 \right)$$

扭转引起的位移为

$$\Delta_2 = \sum \int \frac{\bar{M}_t + M_{tP}}{GI_t} ds = \frac{q}{GI_t} \left(\frac{1}{2} b^3 a \right)$$

直径 $d = 3 \text{ cm}$ 的圆钢

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = 3.976 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$