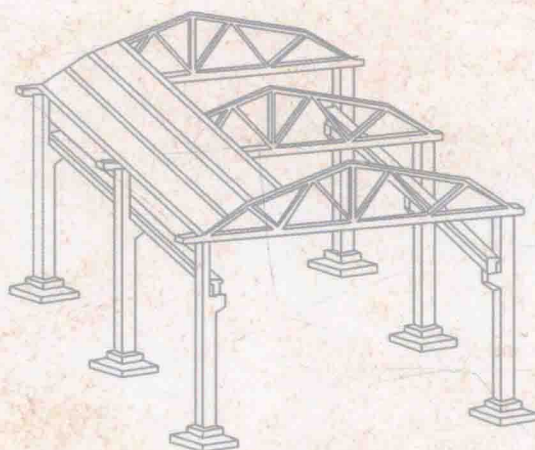
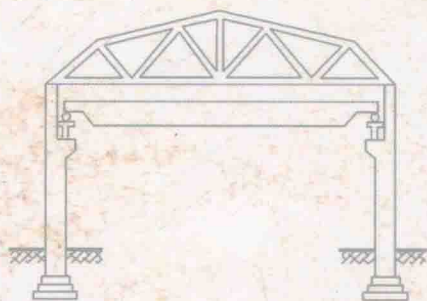
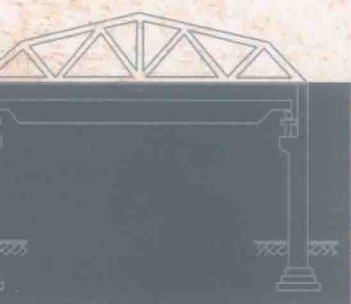


结构力学 (下册)

STRUCTURAL MECHANICS

(学科基础课适用)

毕继红 王 晖 编著



普通高等教育土木工程学科精品规划教材(学科基础课适用)

结构力学

STRUCTURAL MECHANICS

(下册)

毕继红 王 晖 编著



内 容 提 要

本书是“普通高等教育土木工程学科精品规划教材”之一,按照全国高等学校土木工程学科专业指导委员会编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》中所规定的内容编写而成。

本书分上、下两册,共十二章。上册包括绪论,平面体系的几何组成分析,静定梁、静定平面刚架和三铰拱的受力分析,静定平面桁架和静定组合结构的受力分析,静定结构的位移计算,力法,位移法,力矩分配法,共八章。下册包括影响线的做法及应用,结构的动力计算,梁和刚架的极限荷载,结构的稳定计算,共四章。

本书可作为土木工程、水利等专业本科生“结构力学”课程的教材,也可供土建、水利工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构力学.下册/毕继红,王晖编著. —天津:
天津大学出版社,2016.1

普通高等教育土木工程学科精品规划教材:学科基
础课适用

ISBN 978-7-5618-5507-2

I. ①结… II. ①毕…②王… III. ①结构力学—高
等学校—教材 IV. ①O342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 321333 号

出版发行 天津大学出版社

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)

电 话 发行部:022-27403647

网 址 publish.tju.edu.cn

印 刷 昌黎太阳红彩色印刷有限责任公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 185mm × 260mm

印 张 11

字 数 275 千

版 次 2016 年 2 月第 1 版

印 次 2016 年 2 月第 1 次

印 数 1—3 000

定 价 30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

普通高等教育土木工程学科精品规划教材

编审委员会

- 主任:顾晓鲁 天津大学教授
- 委员:戴自强 天津大学教授
- 董石麟 浙江大学教授
- 郭传镇 天津大学教授
- 康谷贻 天津大学教授
- 李爱群 东南大学教授
- 李国强 同济大学教授
- 李增福 天津大学教授
- 刘惠兰 天津大学教授
- 刘锡良 天津大学教授
- 刘昭培 天津大学教授
- 石永久 清华大学教授
- 沈世钊 哈尔滨工业大学教授
- 沈祖炎 同济大学教授
- 谢礼立 中国地震局工程力学研究所研究员

普通高等教育土木工程学科精品规划教材

编写委员会

主 任:姜忻良

委 员:(按姓氏音序排列)

毕继红	陈志华	丁红岩	丁 阳	谷 岩	韩 明
韩庆华	韩 旭	亢景付	雷华阳	李砚波	李志国
李忠献	梁建文	刘 畅	刘 杰	陆培毅	田 力
王成博	王成华	王 晖	王铁成	王秀芬	谢 剑
熊春宝	闫凤英	阎春霞	杨建江	尹 越	远 方
张彩虹	张晋元	郑 刚	朱 涵	朱劲松	

总序

随着我国高等教育的发展,全国土木工程教育状况有了很大的发展和变化,教学规模不断扩大,对适应社会的多样化人才的需求越来越紧迫。因此,必须按照新的形势在教育思想、教学观念、教学内容、教学计划、教学方法及教学手段等方面进行一系列的改革,而按照改革的要求编写新的教材就显得十分必要。

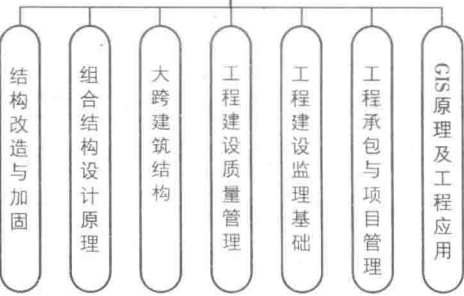
高等学校土木工程学科专业指导委员会编制了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》(以下简称《规范》),《规范》对规范性和多样性、拓宽专业口径、核心知识等提出了明确的要求。本丛书编写委员会根据当前土木工程教育的形势和《规范》的要求,结合天津大学土木工程学科已有的办学经验和特色,对土木工程本科生教材建设进行了研讨,并组织编写了“普通高等教育土木工程学科精品规划教材”。为保证教材的编写质量,我们组织成立了教材编审委员会,在全国范围内聘请了一批学术造诣深的专家作教材主审,同时成立了教材编写委员会,组成了系列教材编写团队,由长期给本科生授课的具有丰富教学经验和工程实践经验的老师完成教材的编写工作。在此基础上,统一编写思路,力求做到内容连续、完整、新颖,避免内容重复交叉和真空缺失。

“普通高等教育土木工程学科精品规划教材”将陆续出版。我们相信,本系列教材的出版将对我国土木工程学科本科生教育的发展与教学质量的提高以及土木工程人才的培养产生积极的作用,为我国的教育事业和经济建设作出贡献。

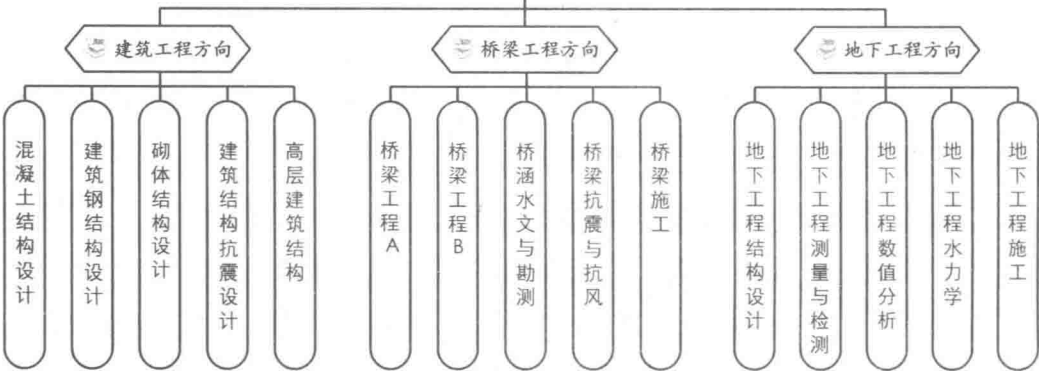
丛书编写委员会

土木工程学科本科生教育课程体系

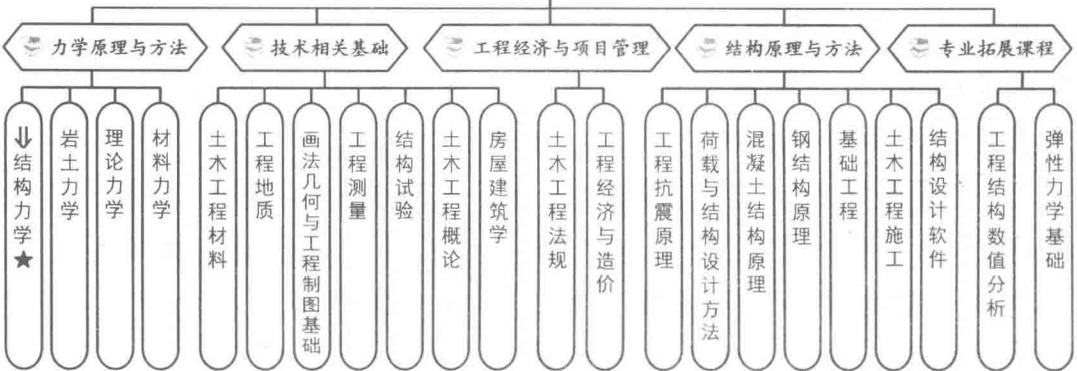
专业任选课程



课群方向课程



学科基础课程



前言

本书按照全国高等学校土木工程学科专业指导委员会编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》中所规定的内容编写,参考学时 128,适用于四年制土木工程、水利工程等专业。本书是天津大学土木工程专业考研指定参考教材。

本书分上、下两册,共十二章。上册是基本部分,主要包括绪论,平面体系的几何组成分析,静定梁、静定平面刚架和三铰拱的受力分析,静定平面桁架和静定组合结构的受力分析,静定结构的位移计算,力法,位移法,力矩分配法,共八章。下册是专题部分,主要包括影响线的做法及应用,结构的动力计算,梁和刚架的极限荷载,结构的稳定计算,共四章。

本书的编写主要参考了原天津大学土木系“结构力学”课程所使用的教材——刘昭培、张韫美教授编写的《结构力学》教材。根据实际课时的安排,将原教材上册第九章“结构在移动荷载下的计算”移至下册,并更名为“影响线的做法及应用”。另由于下册所涉及的结构矩阵分析内容已另外开课并被编写在其他教材中,故本书删去了这部分内容。结合编者多年对原教材的教学,本书对原教材各章节的内容做了不同程度的修改和补充。

本书上、下册由毕继红、王晖编著。毕继红负责第 1,6,9,10,11,12 章内容的编写,王晖负责第 2,3,4,5,7,8 章内容的编写。研究生全肖言、黄丽、韩文元、郭越洋等参加了本书绘图、校核等工作。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,敬请使用本教材的教师及读者批评、指正。

编 者

2016 年 1 月

目 录

第9章 影响线的做法及应用	(1)
9.1 影响线的概念	(1)
9.2 用静力法作静定梁的影响线	(1)
9.3 间接荷载作用下的影响线	(8)
9.4 用机动法作静定梁的影响线	(10)
9.5 桁架影响线	(14)
9.6 用影响线求固定荷载作用下某个量值	(17)
9.7 用影响线判定最不利荷载位置	(19)
9.8 用影响线求简支梁的绝对最大弯矩	(26)
9.9 简支梁的内力包络图	(28)
9.10 用机动法确定超静定梁影响线的轮廓	(30)
第10章 结构的动力计算	(35)
10.1 概述	(35)
10.2 动力自由度及阻尼力	(37)
10.3 单自由度体系的运动方程	(40)
10.4 单自由度体系的自由振动	(45)
10.5 单自由度体系在简谐荷载作用下的强迫振动	(51)
10.6 单自由度体系在任意荷载作用下的强迫振动	(61)
10.7 多自由度体系的自由振动	(66)
10.8 多自由度体系主振型的正交性	(85)
10.9 多自由度体系在简谐荷载作用下的强迫振动	(88)
10.10 多自由度体系在任意荷载作用下的强迫振动	(93)
10.11 考虑阻尼时多自由度体系的强迫振动	(100)
10.12 能量法求解自由振动	(105)
第11章 梁和刚架的极限荷载	(117)
11.1 概述	(117)
11.2 极限弯矩、塑性铰及破坏机构	(119)
11.3 三个定理	(124)
11.4 单跨梁的极限荷载	(126)
11.5 多跨梁的极限荷载	(131)
11.6 简单刚架的极限荷载	(135)

第 12 章 结构的稳定计算 (140)

12.1 稳定的概念及分类 (140)

12.2 静力准则及静力法 (142)

12.3 初参数法 (151)

12.4 能量原理与能量法 (156)

参考文献 (164)

第9章 影响线的做法及应用

在建筑结构及桥梁的设计中,影响线起着重要的作用。本章首先讨论结构的影响线的做法,然后再研究影响线的应用。影响线的理论适用于承受均布荷载或一系列集中荷载的结构,特别适用于楼板梁、桁架结构及桥梁。可应用影响线理论求解在移动荷载作用下结构中的最大弯矩及最大剪力。

9.1 影响线的概念

前几章讨论的是在固定荷载作用下的结构计算问题。固定荷载是指作用在结构上的荷载大小、方向及作用位置不变。而有些工程结构,如楼板梁、吊车梁、桁架桥等,除了受到固定荷载外,还受到移动荷载作用。所谓移动荷载,是指荷载的大小和方向不变,但是作用位置改变。如一组汽车在桥上移动时,汽车轮对桥的作用力就可看成是一系列集中荷载在桥上移动,此类荷载就是移动荷载。再如当一台履带式起重机在桥上通过时,相当于一段长度、集度不变而作用位置改变的均布荷载在桥上移动。因此,移动荷载可以是一系列集中荷载或者是一段分布荷载。

当荷载在结构上移动时,结构的任一截面弯矩、剪力及支座反力等量值会随着荷载的移动而改变。进行结构设计时,需要知道这些量值的最大值。因此,研究这些量值的变化规律是非常重要的。为此,先研究单个集中力在结构上移动时各量值的变化情况,再根据叠加原理求出一系列集中荷载或者是一段分布荷载移动时相应量值的变化规律,由此得出量值的最大值。

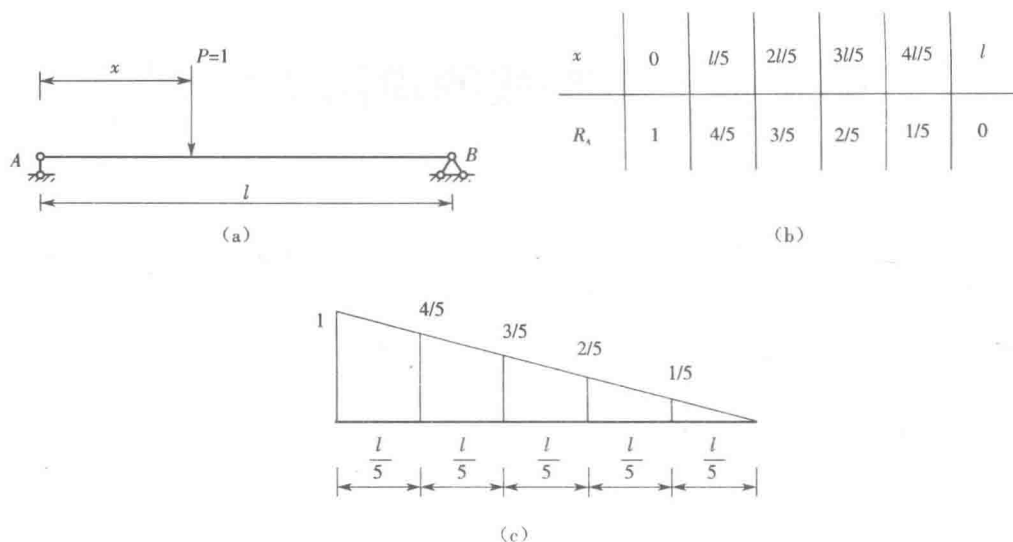
表示单位荷载移动时结构的支座反力、截面弯矩或剪力等量值的变化规律的图形叫做此量值的影响线。作出影响线后就可利用它求出在一组移动荷载作用下此量值的最大值和最不利的荷载位置。下面举例说明影响线的概念。

图9-1(a)所示是一简支梁,设单位力 $P=1$ 在梁上移动,现讨论支座反力 R_A 的变化规律。取 A 点为坐标原点,用 x 表示单位力的位置,显然 R_A 的大小与 x 有关。 R_A 与 x 的关系如图9-1(b)所示。将 R_A 随 x 的变化规律用图形表示出来即如图9-1(c)所示,此图形就是支座反力 R_A 的影响线。

从图9-1(c)可看出,随着 x 的增加, R_A 线性减小。当 $x=0$ 时, $R_A=1$,当 $x=l$ 时, $R_A=0$,显然 $x=0$ 是最不利的荷载位置。 R_A 的影响线体现了 R_A 的变化规律。

9.2 用静力法作静定梁的影响线

静定梁的影响线有两种做法:静力法和机动法。用静力法作某量值影响线的思路是:通过静力平衡方程得出该量值随荷载位置的变化规律,然后作出其影响线。具体的步骤如下:

图 9-1 简支梁的 R_A 影响线

- (1) 取定坐标轴, 用变量 x 标记单位力的位置;
- (2) 用静力平衡方程求出此量值, 即得出所求量值与 x 的关系式, 此关系式即为该量值的影响线方程;

(3) 根据影响线方程作出影响线。

下面举例说明如何用静力法作影响线。

如图 9-2(a) 所示, 用静力法作简支梁 AB 的支座反力、弯矩及剪力的影响线。取 A 为坐标原点, 用 x 标记单位力的作用位置。

1. 支座反力影响线

1) R_A 的影响线

根据力矩平衡方程 $\sum M_B = 0$, 有

$$R_A \cdot l - P(l - x) = 0$$

得

$$R_A = \frac{l - x}{l}$$

上式即为 R_A 的影响线方程。从方程可以看出, R_A 是 x 的一次函数, 这说明 R_A 的影响线是一条直线。因此, 只要已知两点的竖标值就可以定出 R_A 的影响线。有:

当 $x = 0$ 时, $R_A = 1$;

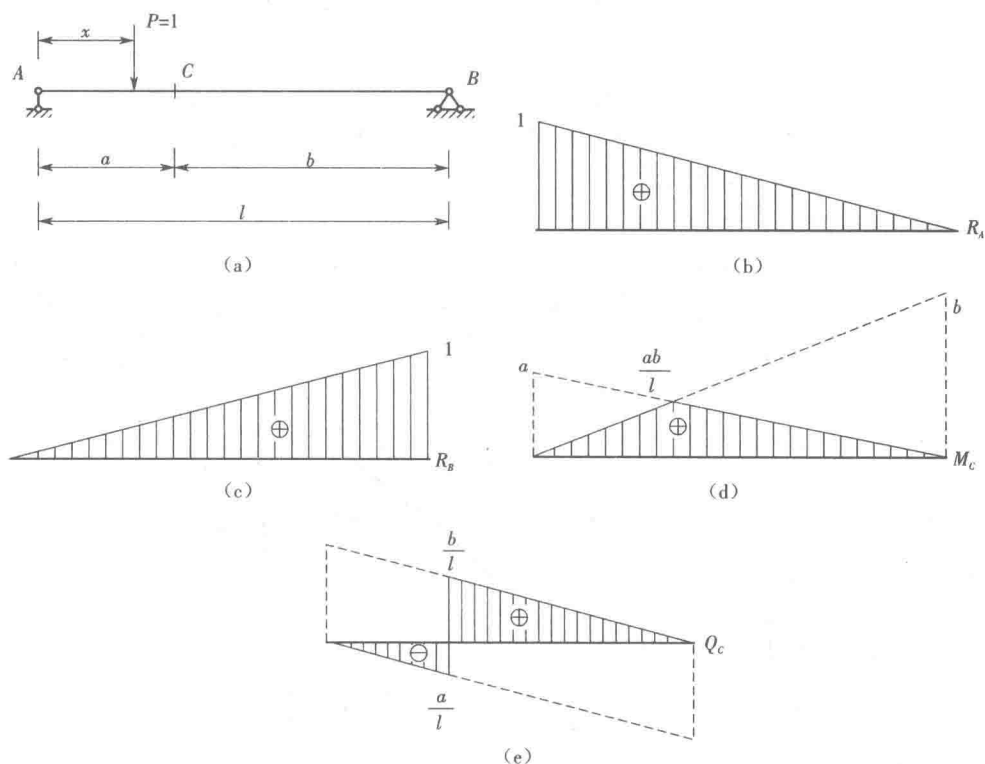
当 $x = l$ 时, $R_A = 0$ 。

在水平基线上标出 A 、 B 两点对应的竖标顶点, 并用直线相连, 即得 R_A 的影响线, 如图 9-2(b) 所示。

2) R_B 的影响线

根据力矩平衡方程 $\sum M_A = 0$, 有

$$R_B \cdot l - P \cdot x = 0$$

图9-2 简支梁AB的 R_A 、 R_B 、 M_C 、 Q_C 影响线

得

$$R_B = \frac{x}{l}$$

上式即为 R_B 的影响线方程。从方程可以看出, R_B 也是 x 的一次函数,这说明 R_B 的影响线也是一条直线。根据此影响线方程可绘出 R_B 的影响线,如图9-2(c)所示。

规定正值画在水平基线的上边,负值画在水平基线的下边。因为单位力是无量纲量,所以支座反力的竖标也为无量纲量。

2. 弯矩影响线

C截面位置如图9-2(a)所示,作出C截面弯矩 M_C 的影响线。

首先需要列出 M_C 的影响线方程。与支座反力的影响线方程不同的是, M_C 的影响线方程是分段表示的,即

$$\begin{cases} M_C = R_B \cdot b = \frac{xb}{l} & (x \leq a) \\ M_C = R_A \cdot a = \frac{(l-x)a}{l} & (a < x \leq l) \end{cases}$$

由上述方程可以看出, M_C 的影响线是由两段直线组成的,即是一条折线,折线的顶点对应的位置在 $x=a$ 处,竖标值为 $\frac{ab}{l}$,如图9-2(d)所示。由此可知,当单位力在梁上移动时, M_C 的最不利荷载位置为 $x=a$ 处,最大值为 $\frac{ab}{l}$ 。

从上述影响线方程可以看出,左直线段($x \leq a$)是由 R_B 的影响线竖标放大 b 倍得到的,而右直线段($a < x \leq l$)是由 R_A 的影响线竖标放大 a 倍得到的。因此,可用另一种方法绘出 M_C 的影响线。具体做法是:首先绘出 R_B 的影响线,并将右端点竖标值放大 b 倍,取其 $x \leq a$ 段;再绘出 R_A 的影响线,并将左端点竖标值放大 a 倍,取其 $a < x \leq l$ 段。

这种作影响线的方法是利用已知量值(R_A, R_B)的影响线来求未知量值(M_C)的影响线。弯矩影响线的竖标是长度的量纲。

3. 剪力影响线

与弯矩影响线类似, C 截面剪力 Q_C 的影响线方程也是分段表示的,即

$$\begin{cases} Q_C = -R_B = -\frac{x}{l} & (x \leq a) \\ Q_C = R_A = \frac{l-x}{l} & (a < x \leq l) \end{cases}$$

根据上述方程绘出 Q_C 影响线,如图 9-2(e) 所示。从图中可看出, Q_C 的影响线是由两段平行的直线段组成的,且 C 点的左、右竖标值相差 1,即当单位力从 C 点左边移到右边时, Q_C 发生了突变,突变值是 1。

也可以用已知量值(R_A, R_B)的影响线来求未知量值(Q_C)的影响线。从影响线方程可以看出,左直线段($x \leq a$)方程是 $-R_B$ 的影响线方程,而右直线段($a < x \leq l$)方程是 R_A 的影响线方程。具体做法是:首先绘出 $-R_B$ 的影响线,即设右端点竖标值为 -1 ,取其 $x \leq a$ 段;再绘出 R_A 的影响线,取其 $a < x \leq l$ 段。由此可得 Q_C 的影响线。

剪力的影响线竖标是无量纲量。

【例 9-1】 伸臂梁 AB 如图 9-3(a) 所示,试作出支座反力 R_A, R_B 及 M_C, Q_C, M_D, Q_D 的影响线。

【解】 (1) 支座反力 R_A, R_B 的影响线

以 A 为坐标原点,用 x 标记单位力的位置,由 $\sum M_B = 0$,得 R_A 的影响线方程为

$$R_A = \frac{l-x}{l}$$

绘出 R_A 的影响线如图 9-3(b) 所示。

由 $\sum M_A = 0$,得 R_B 的影响线方程为

$$R_B = \frac{x}{l}$$

绘出 R_B 的影响线如图 9-3(c) 所示。

可以看出此伸臂梁的支座反力 R_A, R_B 影响线方程与前述简支梁的支座反力影响线方程一样,其影响线相当于将简支梁的支座反力影响线两边外伸而得到的。

(2) M_C 影响线

单位力作用于 C 点左边与右边的弯矩影响线方程是不同的,即

$$\begin{cases} M_C = R_B \cdot b = \frac{x}{l}b & (x \leq a) \\ M_C = R_A \cdot a = \frac{l-x}{l}a & (a < x \leq l) \end{cases}$$

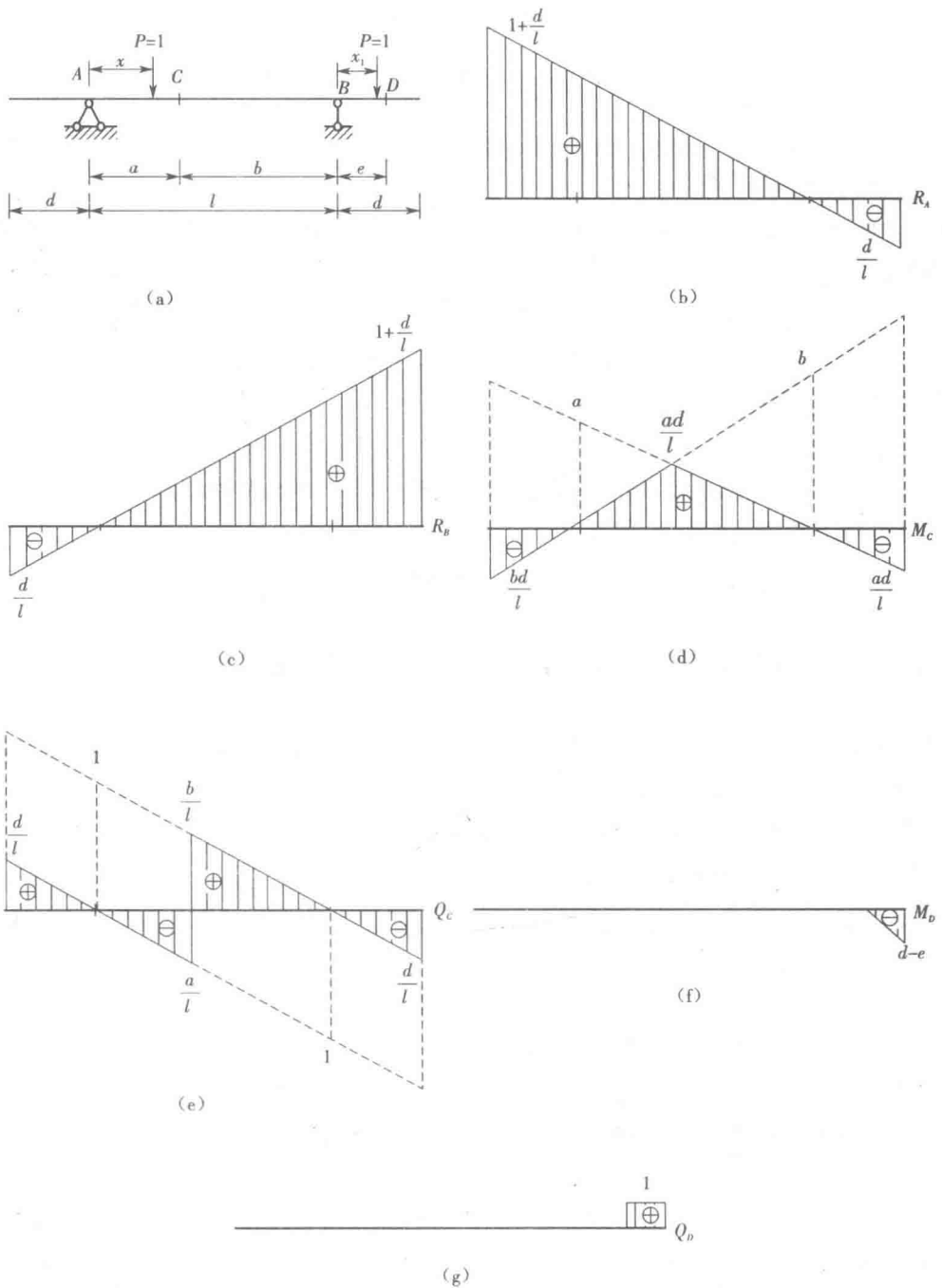


图9-3 例9-1图

其影响线方程与简支梁的一致, 绘出的影响线如图9-3(d)所示。

(3) Q_C 影响线

单位力作用于 C 点左边与右边的 Q_C 影响线方程也是不同的, 即

$$\begin{cases} Q_C = -R_B = -\frac{x}{l} & (x \leq a) \\ Q_C = R_A = \frac{l-x}{l} & (a < x \leq l) \end{cases}$$

其影响线方程与简支梁的一致,绘出的影响线如图 9-3(e)所示。

(4) M_D 影响线

为方便起见,以 B 点为坐标原点,用 x_1 表示单位力的位置。单位力作用于 D 点左侧与右侧的 M_D 影响线方程是不同的,即

$$\begin{cases} M_D = 0 & (x_1 \leq e) \\ M_D = e - x_1 & (e < x_1 \leq d) \end{cases}$$

绘出 M_D 的影响线如图 9-3(f)所示。

(5) Q_D 影响线

仍以 B 点为坐标原点,用 x_1 表示单位力的位置。同样,单位力作用于 D 点左侧与右侧的 Q_D 影响线方程也是不同的,即

$$\begin{cases} Q_D = 0 & (x_1 \leq e) \\ Q_D = 1 & (e < x_1 \leq d) \end{cases}$$

绘出 Q_D 的影响线如图 9-3(g)所示。可看出 Q_D 影响线是两条平行线,且在 D 点竖标值发生突变,突变值是 1。

【例 9-2】 图 9-4(a)所示是一斜伸臂梁,试作出竖向荷载作用下的支座反力及截面 C 的弯矩、剪力和轴力的影响线。

【解】 取 A 点为坐标原点,用 x 表示单位力的位置。

(1) 支座反力 R_B 影响线

根据平衡方程 $\sum M_A = 0$,得 R_B 的影响线方程为

$$R_B = \frac{x}{l/\cos \alpha} = \frac{x}{l} \cos \alpha$$

绘出的 R_B 影响线如图 9-4(b)所示。

(2) R_{Ay} 影响线

由整体平衡条件 $\sum Y = 0$,得 R_{Ay} 的影响线方程为

$$R_{Ay} = 1 - R_{By} = 1 - \frac{x}{l} \cos^2 \alpha$$

绘出的 R_{Ay} 影响线如图 9-4(c)所示。

(3) R_{Ax} 影响线

由整体平衡条件 $\sum X = 0$,得 R_{Ax} 的影响线方程为

$$R_{Ax} = R_{Bx} = \frac{x}{l} \cos \alpha \sin \alpha$$

绘出的 R_{Ax} 影响线如图 9-4(d)所示。

(4) M_C 影响线

M_C 影响线方程需分段表示:

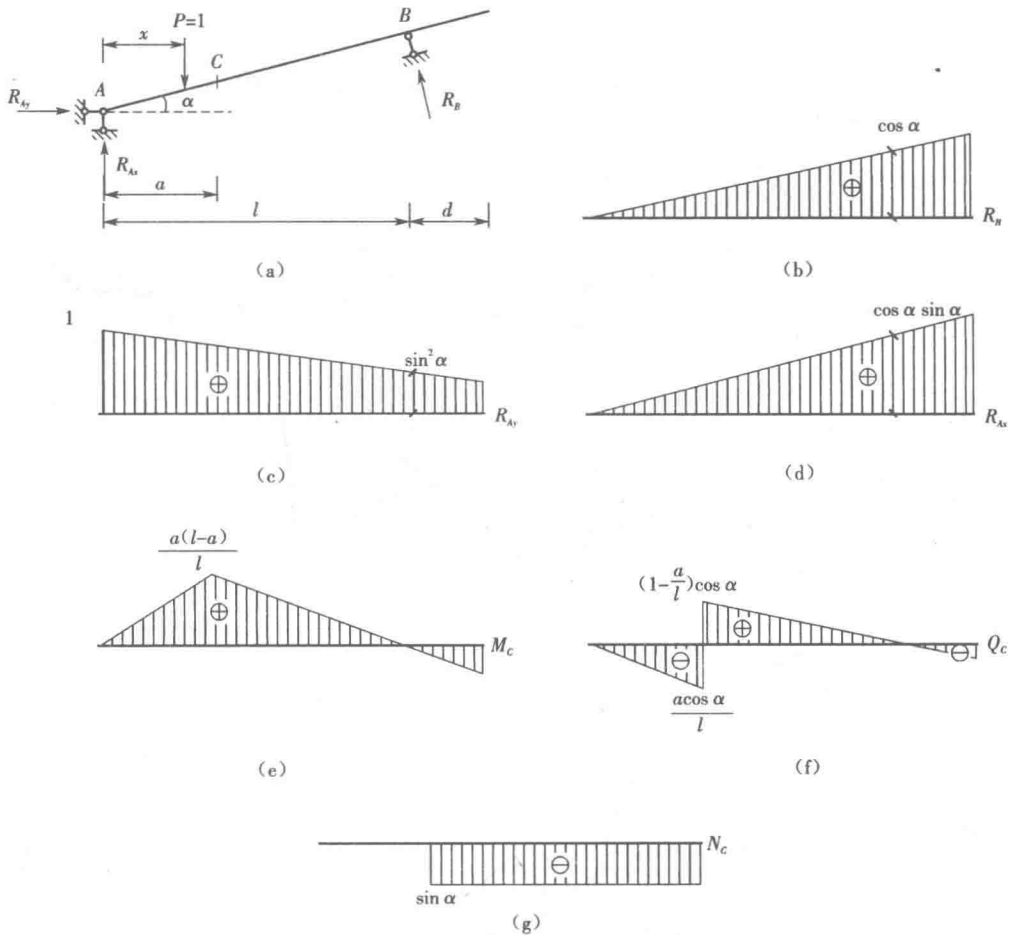


图 9-4 例 9-2 图

$$\begin{cases} M_C = R_B \frac{l-a}{\cos \alpha} = \frac{x}{l} (l-a) & (x \leq a) \\ M_C = R_{Ay} \cdot a - R_{Ax} \cdot a \cdot \tan \alpha = \left(1 - \frac{x}{l} \cos^2 \alpha\right) a - \frac{x \cdot a}{l} \sin^2 \alpha = \frac{a}{l} (l-x) & (a < x \leq l) \end{cases}$$

绘出的 M_C 影响线如图 9-4(e) 所示。

(5) Q_C 影响线

同样, Q_C 影响线方程也需分段表示:

$$\begin{cases} Q_C = -R_B = -\frac{x}{l} \cos \alpha & (x \leq a) \\ Q_C = \left(1 - \frac{x}{l}\right) \cos \alpha & (a < x \leq l) \end{cases}$$

绘出的 Q_C 影响线如图 9-4(f) 所示。

(6) N_C 影响线

同样, N_C 影响线方程也需分段表示: