



2015 执业资格考试丛书

一级注册结构工程师 基础考试复习教程

(下册)

(第11版)

同济大学 编

李国强 陈以一 何敏娟 王 从 主编

2015

中国建筑工业出版社

执业资格考试丛书

一级注册结构工程师基础考试 复 习 教 程

(第 11 版)

(下 册)

同济大学 编

李国强 陈以一 何敏娟 王 从 主编

中国建筑工业出版社

目 录

(上 册)

I 工程科学基础

第一章 数学	1
第一节 空间解析几何	1
第二节 微分学	8
第三节 积分学	26
第四节 无穷级数	44
第五节 微分方程	52
第六节 线性代数	57
第七节 概率与数理统计	71
第八节 自测题	88
第二章 物理学	100
第一节 气体动理论	100
第二节 热力学基础	109
第三节 机械波	120
第四节 波动光学	130
第五节 自测题	147
第三章 化学	155
第一节 化学反应的基本规律	155
第二节 稀溶液的依数性	167
第三节 溶液中的酸碱平衡	170
第四节 多相离子平衡	175
第五节 氧化还原反应与电化学	178
第六节 原子结构和周期律	186
第七节 化学键、分子结构和晶体结构	195
第八节 有机化合物	200
第九节 有机高分子化合物	205
第十节 自测题	210
第四章 理论力学	216
第一节 静力学	216
第二节 运动学	234

第三节	动力学	249
第四节	自测题	273
第五章	材料力学	295
第一节	绪论及基本概念	295
第二节	轴向拉伸与压缩	301
第三节	剪切和挤压	305
第四节	扭转	309
第五节	截面图形的几何性质	313
第六节	弯曲	316
第七节	应力状态理论与强度理论	334
第八节	组合变形	346
第九节	压杆稳定	352
第十节	自测题	360
第六章	流体力学	374
第一节	流体的主要物性与流体静力学	374
第二节	流体动力学基础	385
第三节	流动阻力和能量损失	398
第四节	孔口管嘴管道流动	413
第五节	明渠恒定流	420
第六节	渗流	432
第七节	相似原理和量纲分析	439
第八节	自测题	447

II 现代技术基础

第七章	电气与信息	459
第一节	电磁场基本理论	459
第二节	直流电路	467
第三节	正弦交流电路	477
第四节	一阶动态电路	493
第五节	变压器与电动机	499
第六节	模拟电子技术	510
第七节	数字电子技术	532
第八节	信号与信息	545
第九节	自测题	562
第八章	计算机应用基础	571
第一节	计算机系统	571
第二节	数据在计算机中的表示	583
第三节	操作系统基础	592
第四节	计算机网络	601

第五节 自测题 628

Ⅲ 工程管理基础

第九章 工程经济..... 635

第一节 工程项目投资现金流量识别与估算 635

第二节 含时间因素的货币等值计算 647

第三节 投资方案的评价指标 656

第四节 投资方案的比较和选择 664

第五节 项目融资分析 672

第六节 投资项目的财务分析 679

第七节 资产更新分析 692

第八节 不确定性与风险分析 699

第九节 价值工程 707

第十节 自测题 716

第十章 土木工程材料..... 723

第一节 建筑材料的基本性质 723

第二节 建筑钢材 731

第三节 气硬性无机胶凝材料 746

第四节 水泥 752

第五节 混凝土 766

第六节 沥青 790

第七节 木材 797

第八节 石材和黏土 798

第九节 自测题 800

(下 册)

第十一章 结构力学..... 805

第一节 平面体系的几何组成分析 805

第二节 静定结构的受力分析与特性 809

第三节 结构位移计算 823

第四节 超静定结构受力分析及特性 831

第五节 影响线 844

第六节 结构动力学 854

第七节 自测题 868

第十二章 土力学与地基基础..... 882

第一节 土的物理性质及工程分类 882

第二节 土中应力 895

第三节 地基变形 904

第四节 土的抗剪强度 918

第五节	土压力、地基承载力和边坡稳定分析	927
第六节	岩土工程勘察	944
第七节	浅基础	949
第八节	深基础	960
第九节	地基处理	968
第十节	自测题	975
第十三章	工程测量	983
第一节	测量学基本概念	983
第二节	水准测量	988
第三节	角度测量	993
第四节	距离测量	1002
第五节	测量误差基本知识	1008
第六节	控制测量	1012
第七节	地形图测绘和应用	1020
第八节	地形图应用	1025
第九节	建筑工程测量	1029
第十节	自测题	1039
第十四章	钢筋混凝土结构	1043
第一节	材料性能	1043
第二节	基本计算原则	1049
第三节	承载能力极限状态计算	1054
第四节	正常使用极限状态验算	1083
第五节	预应力混凝土	1088
第六节	构造规定	1102
第七节	梁板结构	1104
第八节	单层厂房	1111
第九节	多层框架房屋	1119
第十节	抗震设计要点	1127
第十一节	自测题	1137
第十五章	钢结构	1146
第一节	钢结构特点	1146
第二节	钢结构材料	1147
第三节	钢结构构件	1156
第四节	钢结构连接	1175
第五节	钢屋盖	1193
第六节	自测题	1206
第十六章	砌体结构	1215
第一节	砌体材料及其基本力学性能	1215
第二节	砌体结构基本设计原则	1223

第三节	砌体结构构件承载力计算	1228
第四节	混合结构房屋设计	1250
第五节	挑梁、过梁、墙梁和圈梁	1268
第六节	砌体结构房屋抗震设计要点	1281
第七节	自测题	1288
第十七章	土木工程施工与管理	1294
第一节	土石方工程	1294
第二节	桩基础工程	1303
第三节	混凝土工程与预应力混凝土工程	1306
第四节	砌体工程	1326
第五节	结构吊装工程	1328
第六节	屋面防水工程	1331
第七节	装饰工程	1333
第八节	项目管理规划	1337
第九节	自测题	1359
第十八章	结构试验	1362
第一节	结构试验设计	1362
第二节	结构试验的加载设备和量测仪器	1369
第三节	结构单调静力加载试验	1382
第四节	结构低周反复加载试验	1390
第五节	结构动力试验	1397
第六节	结构模型试验	1407
第七节	结构试验的非破损检测技术	1414
第八节	自测题	1424
第十九章	职业法规	1428
第一节	建设工程法律法规体系	1428
第二节	技术标准规范体系	1445
第三节	自测题	1454
附录一	勘察设计注册工程师资格考试公共基础考试大纲	1458
附录二	注册结构工程师（房屋结构）执业资格考试专业基础考试大纲	1465
附录三	相关十项法律法规目录（1-10）	1470

第十一章 结 构 力 学

第一节 平面体系的几何组成分析

按照几何学的原理对平面体系发生运动的可能性进行分析的过程，称为体系的几何组成分析。通过对体系进行几何组成分析可以判定体系是几何不变体系还是几何可变体系。一般来说工程结构必须采用几何不变体系，不能采用几何可变体系。

一、几何不变体系和几何可变体系

在不计材料应变的前提下，若体系的形状或体系中各部分的相对位置是不可以改变的，则该体系称为几何不变体系，如图 11-1-1 (a)。

在不计材料应变的前提下，若体系的形状或体系中各部分的相对位置是可以改变的，则该体系称为几何可变体系，如图 11-1-1 (b)。



图 11-1-1

使得体系成为几何可变的原因有：

1. 体系缺乏足够的约束；
2. 体系虽然有足够的约束甚至有多余约束，但约束布置不合理。

因此，对一个体系进行几何组成分析可以从以上两个方面按序进行。“平面体系计算自由度”的概念可以解决以上第 1 个问题，即帮助判断体系是否缺乏足够的约束；“平面几何不变体系的基本组成规则”可以解决以上第 2 个问题，即可以分析体系中约束布置是否合理。

二、平面体系的计算自由度

要了解“计算自由度”的定义，需要先了解刚片、自由度、约束三个概念。

1. 刚片

不会产生变形的刚性平面体称为刚片。刚片涉及的范围是广泛的：在几何组成分析中，因为不计材料本身的微小应变，所以每根杆件都可以看成刚片；由刚结点连接的两根杆件或多根杆件可以看成是一个刚片；地基可以看成一个大刚片。也就是说任何一个内部几何不变的部分均可以看成是一个刚片。

2. 自由度

自由度是指完全确定物体的位置所需要的独立坐标的数目。

在平面内，一个点有 2 个自由度，一个刚片有 3 个自由度。

3. 约束

能减少自由度的装置，称为约束，也称联系。能减少一个自由度的装置，称为一个约束。

约束的种类：

(1) 链杆：一根链杆相当于 1 个约束。

(2) 铰结点：

单铰结点：连接两个刚片的铰称为单铰。一个单铰相当于 2 个约束。

复铰结点：连接两个以上刚片的铰称为复铰。连接 n 个刚片的复铰相当于 $(n-1)$ 个单铰，相当于 $2(n-1)$ 个约束。

(3) 刚结点：

单刚结点：连接两个刚片的刚结点称为单刚结点。一个单刚结点相当于 3 个约束。

复刚结点：连接两个以上刚片的刚结点称为复刚结点。连接 n 个刚片的复刚结点相当于 $(n-1)$ 个单刚结点，相当于 $3(n-1)$ 个约束。

4. 平面体系的计算自由度 W

设一个平面体系由 m 个刚片， R 个单刚结点， h 个单铰结点， r 个支杆组成，则该体系的计算自由度 $W = 3m - (3R + 2h + r)$ 。

若 $W > 0$ ，说明体系缺少维持几何不变的足够约束，体系是几何可变的。

若 $W \leq 0$ ，说明体系要维持几何不变的话约束数刚好够或者有多余约束，但不表明该体系一定是几何不变体系，因为即使约束数够了，若约束布置不合理，则仍有可能几何可变。所以若 $W \leq 0$ 时需要继续分析其约束布置的合理性，从而判断其是几何不变体系还是几何可变体系。平面几何不变体系的基本组成规则可以判断约束布置是否合理。

三、平面几何不变体系的基本组成规则

1. 两刚片规则

两个刚片间用不相交于一点也不相平行的三根链杆相联，体系是几何不变的，且没有多余约束。

或：两个刚片间用一个铰（实铰或虚铰）和一根不通过该铰的链杆相联，体系是几何不变的，且没有多余约束。

2. 三刚片规则

三个刚片用不在一直线上的三个单铰两两相联，体系是几何不变的，且没有多余约束。

3. 二元片规则

由两根不在一条直线上的链杆构造一个新结点的装置称为二元片。

体系上增加或去除二元片不改变体系的几何构造特性。

4. 一元片规则

一个刚片仅由三根链杆（三根链杆不全平行也不交于一点）或由一个铰结点与一根链杆（链杆不通过铰）与外界相联，该刚片称为一元片。

体系上增加或去除一元片不改变体系的几何构造特性。

四、平面体系几何组成分析的步骤

1. 计算 W 的值，判断约束是否足够。

若 $W > 0$ ，体系缺乏足够的约束，体系是几何可变的。

若 $W \leq 0$ ，体系有足够约束，但不一定几何不变，需要进入第 2 步继续分析。

2. 用“平面几何不变体系的基本组成规则”分析体系的几何组成。满足“平面几何不变体系的基本组成规则”的体系是没有多余约束的几何不变体系。

注意： $W \leq 0$ ，是平面体系几何不变的必要条件，平面几何不变体系的基本组成规则是体系几何不变的充分条件。因此几何组成分析时，可以不计算 W 的值，而直接用“平面几何不变体系的基本组成规则”进行几何组成分析。

通过几何组成分析，按照体系的几何构造特性，体系可分为：

1. 无多余联系（约束）的几何不变体系；
2. 有多余联系（约束）的几何不变体系；
3. 几何常变的几何可变体系；
4. 几何瞬变的几何可变体系。

前两种体系属于几何不变体系，后两种体系属于几何可变体系。几何可变体系中，几何常变和几何瞬变的区别在于：几何瞬变体系只能作微小运动，在瞬间位移之后会变成几何不变体系，而几何常变体系则能作非微小运动。

五、基本组成规则的应用技巧

以下三个常用技巧，目的是在进行几何组成分析前将体系去繁就简，使得后继能顺利应用“平面几何不变体系的基本组成规则”对体系进行组成分析。

1. 体系的简化：去一元片；去二元片。
2. 刚片的合成：任何一个几何不变的平面体系都可以看成一个合成的大刚片。
3. 刚片的等效：

如果一个任意形状的刚片仅通过两个铰对外联系，则该刚片可以等效为联结这两个铰的一根链杆。

如果一个任意形状的刚片仅通过三个铰对外联系，则该刚片可以等效为联结这三个铰的三根链杆组成的铰接体系。

六、平面体系几何组成分析示例

【例 1】 试对图 11-1-2(a) 所示体系进行几何组成分析。

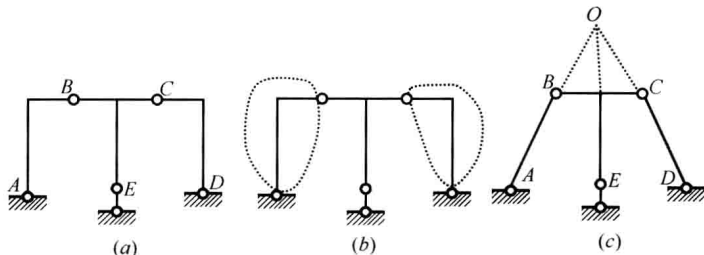


图 11-1-2

【解】 图 (a) 体系中刚片数 $m=3$ ，刚结点数 $R=0$ ，单铰数 $h=2$ ，支杆数 $r=5$ ，所以计算自由度 $W = 3m - (3R + 2h + r) = 0$ ，说明要维持体系几何不变所需的约束数够了，但还需要用平面几何不变体系的组成规则继续分析约束布置是否合理。

体系中左右两个刚片 AB 和 CD 均只有两个铰与外界相联，根据刚片的等效原则，这两个刚片可分别用链杆 AB 和 CD 代替，如图 11-1-2 (c) 所示。

将刚片 BCE 和地基看为两个刚片，这两个刚片通过 AB 、 CD 和支座 E 处的支杆（链杆）三根链杆相联，这三根链杆交于 O 点，根据两刚片规则，该体系为几何可变体系中的瞬变体系。

【例 2】 试对图 11-1-3 所示全铰体系进行几何组成分析。

【解】 将地基看为一元片，去除一元片，只要分析上部体系的几何构造特性即可。根据三刚片规则，铰接三角形 ABC 几何不变，可以看成是一个大刚片，同理铰接三角形 DEF 也可以看成一个大刚片，刚片 ABC 和刚片 DEF 通过链杆 AF 、 BD 、 EC 相联，链杆 AF 、 BD 、 EC 既不全平行也不全交于一点，根据两刚片规则，该体系为没有多余联系的几何不变体系。

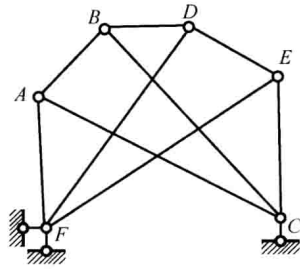


图 11-1-3

【例 3】 试对图 11-1-4 (a) 所示体系进行几何组成分析。

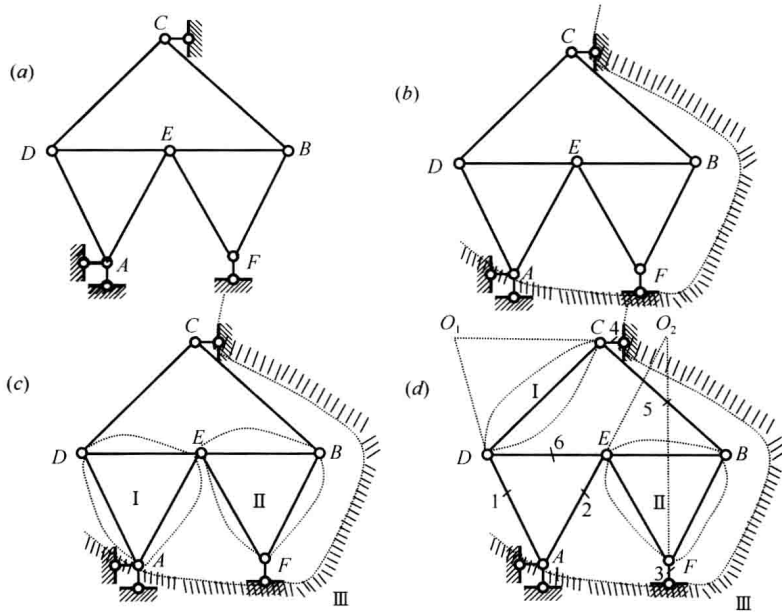


图 11-1-4

【解】 根据二元片规则将固定铰支座 A 的两支杆划入地基刚片中成为扩大的地基，如图 (b)。

本例若按图 11-1-4c 所示的刚片划分，则刚片 II 与基础刚片 III 之间只有一根支座链杆直接联系，不好直接用三刚片规则。

若采用图 11-1-4d 所示的刚片划分，将 DC 、 BEF 和地基看成三刚片，将 1、2、3、4 看成地基上伸出的四根支杆。此时刚片 I、II 之间通过链杆 DE (6) 和 BC (5) 相联，其延长后形成虚铰 B ；I、III 之间通过 AD (1) 杆和 C 支座链杆 4 相联，形成虚铰 O_1 ；II、III 之间通过 AE (2) 杆和 F 支座链杆 3 相联，形成虚铰 O_2 。可见刚片 I、II、III 是由不在一直线上的三个虚铰 B 、 O_1 、 O_2 两两相联，所以体系是几何不变的，并且无多余约束。

由以上例题分析可见,如果体系与地基之间有三根支杆相联,则可以将地基看作一元片去除,只分析剩余部分的几何构造特性即可;如果体系与地基之间有四根支杆相联,则可以考虑用三刚片规则;如果体系与地基之间有四根以上支杆相联,则需要一部分一部分按序利用几何组成规则进行分析。

以上四个组成规则是几何不变体系最基本也是最常用的组成规则,但这些组成规则不能解决所有杆件体系的几何组成分析问题,有关这类体系的几何构造分析可采用其他方法。

七、平面体系几何构造特性与静定性的关系

按照几何构造特性,体系可分为:

1. 无多余联系的几何不变体系;
2. 有多余联系的几何不变体系;
3. 几何常变的几何可变体系;
4. 几何瞬变的几何可变体系。

按照静定性,体系可分为:

1. 静定结构;
2. 超静定结构。

可以证明几何不变体系中,没有多余联系的几何不变体系一定为静定结构,有多余联系的几何不变体系一定为超静定结构。

第二节 静定结构的受力分析与特性

一、静定结构

静定结构是指在任意荷载作用下,全部反力和内力均可以根据静力平衡条件求得的结构。静定结构中,平衡方程的个数和未知力的个数相等。

静定杆件结构一般分为五种:静定梁、静定刚架、静定拱、静定桁架、静定组合结构。

组成静定结构的构件主要有链杆杆件和受弯杆件两种。静定梁、静定刚架由受弯杆件组成,静定桁架由链杆组成,静定组合结构由链杆和受弯杆件两类杆件共同组成。

二、受弯杆件内力与荷载之间的关系

对于受弯杆件来说,横截面上一般有三个内力:沿杆轴线方向的轴力 F_N 、垂直于杆轴线方向的剪力 F_Q 和弯矩 M 。轴力以拉力为正,压力为负;剪力以使微段隔离体顺时针方向转动为正,逆时针方向转动为负;弯矩的正负号不作规定,弯矩图画在受拉侧。

受弯杆件的内力之间以及内力与荷载集度之间存在以下关系。

$$\frac{dF_Q}{dx} = -q_y \quad \frac{dM}{dx} = F_Q \quad \frac{dF_N}{dx} = -q_x$$

可见,剪力图和弯矩图的形状与横向荷载 q_y 有关,轴力图的形状与轴向荷载 q_x 有关。

(1) 在无横向荷载 ($q_y = 0$) 的区段,剪力图为与杆件轴线平行的直线,弯矩图为斜直线,其斜率等于相应杆件的剪力。

(2) 在横向集中荷载作用处,左右截面剪力值有突变,突变值的大小等于该处集中荷

载的值，左右截面弯矩值没有变化。

(3) 在有横向均布荷载 ($q_y = q$) 的区段，剪力图为斜直线，弯矩图为二次抛物线。

(4) 在无轴向荷载 ($q_x = 0$) 的区段，杆件的轴力图与与杆件轴线平行的直线；在有轴向均布荷载的区段，轴力图为斜直线。在轴向集中荷载作用处，左右截面轴力值有突变，突变值的大小等于该处轴向集中荷载的值。

比起受弯杆件，链杆的内力比较简单，链杆只承受轴力没有弯矩和剪力，且同一根链杆的轴力是常数。

三、静定结构的内力计算方法

静定结构受力分析是通过受力结构的整体或某些隔离体作为研究对象，根据静力平衡条件建立平衡方程，由平衡方程求解结构的支座反力和内力。

静定结构受力分析的顺序是：先计算反力，再计算内力。

四、静定梁

静定梁包括单跨静定梁和多跨静定梁。单跨静定梁主要有三种形式：简支梁、伸臂梁和悬臂梁。多跨静定梁是由若干单跨静定梁通过结点相连，并通过支杆与地基相连而形成的静定梁。

1. 单跨静定梁内力图计算方法：

(1) 反力：以结构整体为研究对象，利用平衡条件计算支座反力。

(2) 分段：按荷载分布情况对杆件划分区段。

(3) 定点：利用截面法，根据隔离体的静力平衡条件建立平衡方程，求得各分段点上内力的值。

(4) 联线：在每一区段内按内力图形状将分段点的值联线。

做弯矩图时，没有荷载作用的区段，直接将两端点的值直线相连；有荷载作用的区段，可以用叠加法做弯矩图。

叠加法做弯矩图步骤：用虚线连接两端点的值；以虚线为基线叠加该区段作为简支梁在原荷载作用下的弯矩图。

2. 多跨静定梁内力图计算方法

多跨静定梁中有些杆件直接与地基形成几何不变体系，独立承受荷载，不需要依赖其他杆件的支撑，这些杆件称为基本部分；有些杆件必须依靠基本部分才能维持几何不变，不能独立承受荷载，需要依赖其他杆件的支撑，这些杆件称为附属部分。通常用层叠图来表达基本部分和附属部分的关系。如图 11-2-1 (a) 中梁 ABC 直接与地基连接维持几何不变，无需依赖 CD，故梁 ABC 为基本部分；而梁 CD 需要依赖基本部分梁 ABC 才能维持几何不变，故梁 CD 为附属部分，其层叠图如图 11-2-1 (b) 所示。



图 11-2-1

由层叠图可知，当荷载作用于基本部分时，只在基本部分产生反力和内力；当荷载作

用于附属部分时，不仅附属部分产生反力和内力，基本部分也产生反力和内力。所以，对多跨静定梁进行反力计算时，应按照“先附属部分，再基本部分”的顺序。

多跨静定梁内力计算步骤：

- (1) 通过几何组成分析，区分多跨静定梁的基本部分和附属部分，画出层叠图。
- (2) 按照“先附属部分，后基本部分”的顺序计算各约束反力。
- (3) 基本部分和附属部分分别按单跨静定梁的方法做内力图。

另外，静定结构的内力图也常常可以通过运用力学基本概念，比较快捷地绘制。

【例 1】 试绘制图示多跨静定梁的内力图。

【解】

(1) 方法 1：

通过几何组成分析，梁 ABC 为基本部分，梁 CD 为附属部分，其层叠关系如图 11-2-2b 所示。如图 11-2-2c 所示先对附属部分 CD 建立平衡方程，三个平衡方程求解三个未知反力，得铰 C 处的约束力和 D 支座的竖向反力分别为 $F_{xC}=0$ ， $F_{yC}=9\text{kN}$ ， $F_{yD}=-9\text{kN}$ ，负号说明反力的实际方向与图中所设的方向相反。将 F_{yC} 反向作用于基本部分 ABC ，对基本部分建立平衡方程，三个平衡方程求解三个未知反力，得支座反力 $F_{xA}=0$ ， $F_{yA}=3.6\text{kN}$ ， $F_{yB}=17.4\text{kN}$ 。再按单跨静定梁的内力计算方法分别计算基本部分和附属部分的内力图如图 11-2-2d 和 e 所示。在竖向荷载作用下，水平放置的静定梁轴力图为零。

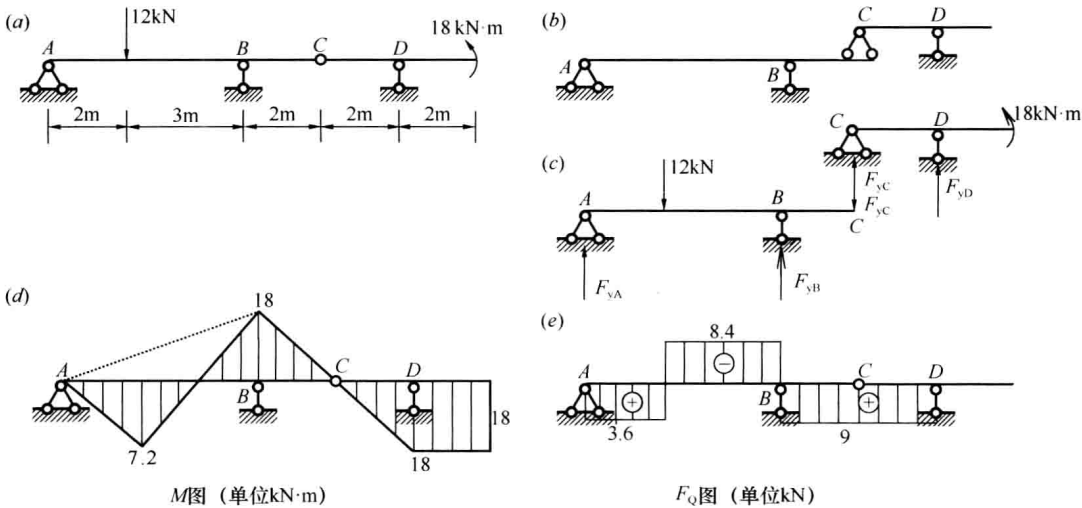


图 11-2-2

(2) 方法 2：

D 支座以右杆件无剪力，弯矩图形应为竖标等于 $18\text{kN} \cdot \text{m}$ 的水平线；铰 C 处弯矩值为零，直线连接 D 、 C 处弯矩得 DC 段的弯矩图，并根据 BD 段无横向荷载作用剪力为常数的特点将 DC 段的弯矩图延长至 B 点处；直线连接 A 、 B 两处弯矩并叠加荷载 12kN 作用下的简支梁弯矩，即得梁全长的弯矩图形。

而剪力图可以由已经作出的弯矩图求得，求出弯矩图中各直线段的斜率即可得剪力图。

方法 1 是求解多跨静定梁的基本方法，也是通用方法。方法 2 是比较快捷的方法，需要在对力学概念很清楚的情况下直接绘出。

五、静定刚架

部分结点或全部结点是刚性连接的结构称为刚架。静定刚架包括简单刚架和复合刚架。简单刚架几何构造比较简单，与单跨静定梁的几何组成情况相似；复合刚架的几何构造比较复杂，与多跨静定梁的几何组成情况相似，由基本部分和附属部分组成。几何组成方式一致的结构，反力计算方法也一致。

1. 简单刚架内力图计算步骤：
 - (1) 根据静力平衡方程求支座反力。
 - (2) 每根杆按单跨静定梁的内力计算方法（分段、定点、连线）做内力图。
2. 复合刚架内力图计算步骤
 - (1) 通过几何组成分析区分基本部分和附属部分，画出层叠图。
 - (2) 按照先附属部分、后基本部分的顺序计算约束反力。
 - (3) 各部分按简单刚架的方法做内力图。

【例 2】 试绘制图 11-2-3 示门式刚架的内力图。

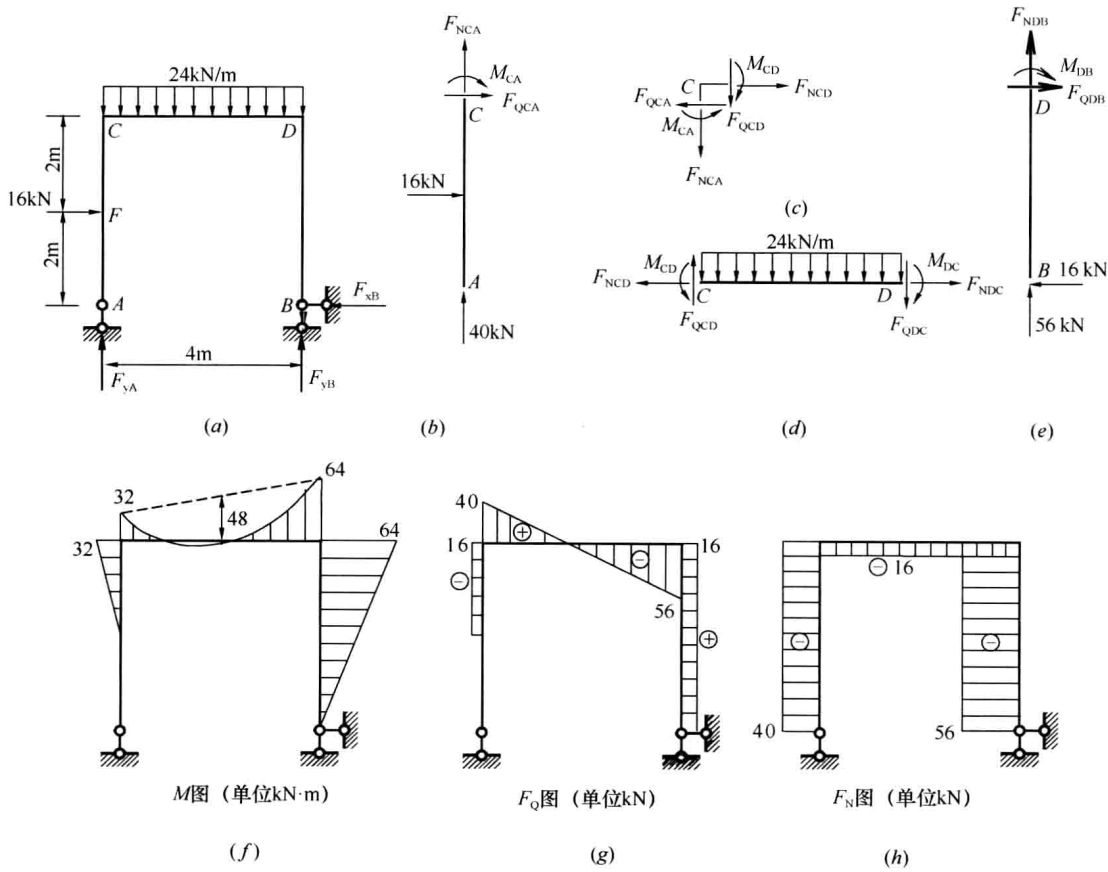


图 11-2-3

【解】 方法 1：

1. 计算反力。根据整体平衡条件, 有

$$\sum F_x = 0, F_{xB} - 16\text{kN} = 0, F_{xB} = 16\text{ kN} (\leftarrow)$$

$$\sum M_B = 0, F_{yA} \times 4\text{m} + 16\text{kN} \times 2\text{m} - 24\text{kN/m} \times 4\text{m} \times 2\text{m} = 0, F_{yA} = 40\text{ kN} (\uparrow)$$

$$\sum M_A = 0, F_{yB} \times 4\text{m} - 16\text{kN} \times 2\text{m} - 24\text{kN/m} \times 4\text{m} \times 2\text{m} = 0, F_{yB} = 56\text{ kN} (\uparrow)$$

2. 计算内力。依次截取刚架的结点或构件作为隔离体如图 11-2-2b 至 e 所示。其中内力符号的右下方有两个下标, 前一个下标表示内力所属的杆端截面, 后一个下标表示同一杆件的另一端。按平衡条件依次求得各杆端截面内力如下。

AC 段的隔离体图 (b 图), 由 $\sum M = 0$ 、 $\sum F_y = 0$ 和 $\sum F_x = 0$ 得:

$$M_{CA} = 16\text{kN} \times 2\text{m} = 32\text{kN} \cdot \text{m} \text{ (左侧受拉)}, F_{QA} = -16\text{kN}, F_{NCA} = -40\text{kN}$$

C 结点的隔离体图 (c 图), 由 $\sum M = 0$ 、 $\sum F_y = 0$ 和 $\sum F_x = 0$ 得:

$$M_{CD} = M_{CA} = 32\text{kN} \cdot \text{m} \text{ (上侧受拉)}, F_{QCD} = F_{NCA} = 40\text{kN}, F_{NCD} = F_{QA} = -16\text{kN}$$

CD 段的隔离体图 (d 图), 由 $\sum M_D = 0$ 、 $\sum F_y = 0$ 和 $\sum F_x = 0$ 得:

$$M_{DC} = 32\text{kN} \cdot \text{m} - 40\text{kN} \times 4\text{m} + 24\text{kN} \times 4\text{m} \times 2\text{m} = 64\text{kN} \cdot \text{m} \text{ (上侧受拉)},$$

$$F_{QDC} = -56\text{kN}, F_{NDC} = -16\text{kN}$$

DB 段的隔离体图 (e 图), 由 $\sum M_D = 0$ 、 $\sum F_y = 0$ 和 $\sum F_x = 0$ 得:

$$M_{DB} = -16\text{kN} \times 4\text{m} = -64\text{kN} \cdot \text{m} \text{ (右侧受拉)}, F_{QDB} = 16\text{kN}, F_{NDB} = -56\text{kN}$$

根据以上各杆端内力值及杆件内力的变化规律做出刚架的内力图, 分别如图 11-2-3f、g、h 所示。

方法 2:

1. 计算反力。根据整体平衡条件, 有

$$\sum F_x = 0, F_{xB} - 16\text{kN} = 0, F_{xB} = 16\text{ kN} (\leftarrow), \text{只需计算水平反力即可。}$$

2. 计算内力。

由截面法分别得到两根柱子的顶端弯矩 $M_{CA} = 16\text{kN} \times 2\text{m} = 32\text{kN} \cdot \text{m}$ (左侧受拉), $M_{DB} = -16\text{kN} \times 4\text{m} = -64\text{kN} \cdot \text{m}$ (右侧受拉), 由此可分别作出两根柱子的弯矩图。横梁的两端弯矩值可分别由刚结点 C 和刚结点 D 的力矩平衡条件得出, $M_{CD} = M_{CA} = 32\text{kN} \cdot \text{m}$ (上侧受拉), $M_{DC} = M_{DB} = -64\text{kN} \cdot \text{m}$ (上侧受拉), 以 M_{CD} 和 M_{DC} 的连线为基线叠加简支梁的弯矩图则得到刚架横梁的弯矩图。

再利用已知的弯矩图做剪力图, 利用已知的剪力图做轴力图。

方法 1 为刚架内力计算的基本方法, 方法 2 为便捷方法。对于简支门式刚架, 一般只需要计算水平支座反力, 就可以直接做出弯矩图。

【例 3】 试绘制图 11-2-4 (a) 所示三铰刚架的内力图。

【解】 方法 1:

1. 计算支座反力。

考虑刚架整体的三个平衡条件, 有

$$\sum M_B = 0, F_{yA} \times 8\text{m} - 30\text{kN} \times 6\text{m} - 30\text{kN} \times 2\text{m} = 0, F_{yA} = 30\text{kN} (\uparrow)$$

$$\sum M_A = 0, F_{yB} \times 8\text{m} - 30\text{kN} \times 6\text{m} - 30\text{kN} \times 2\text{m} = 0, F_{yB} = 30\text{kN} (\uparrow)$$

$$\sum F_x = 0, F_{xA} = F_{xB}$$

考虑左半边刚架为隔离体, 对顶铰 F 取矩,

$$\sum M_F = 0, F_{xA} \times 4\text{m} - 30\text{kN} \times 4\text{m} + 30\text{kN} \times 2\text{m} = 0, F_{xA} = 15\text{kN}$$

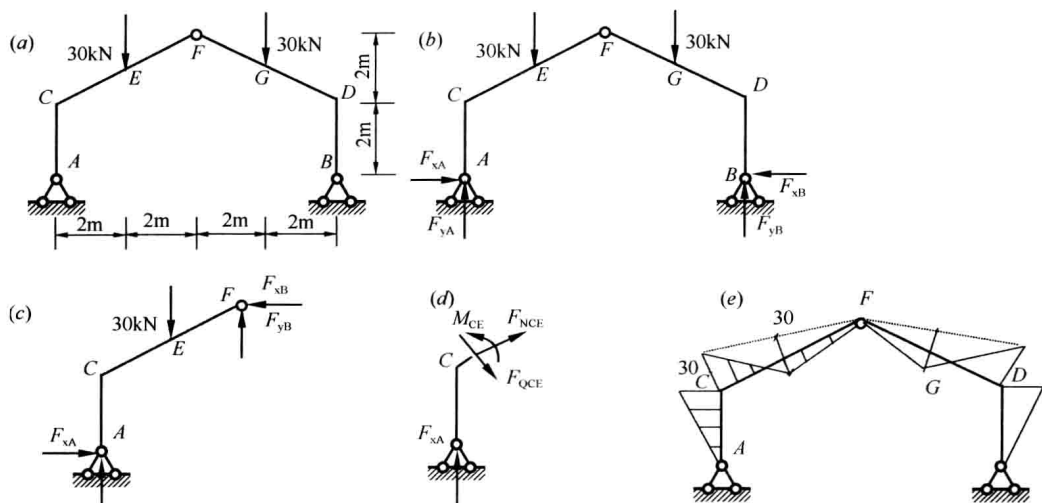


图 11-2-4

$$F_{xB} = F_{xA} = 15\text{kN}$$

2. 内力计算。

各杆端内力均可由截面法求得。对于斜杆的截面内力计算依然可以用截面法，只是投影方程取杆轴线的轴向和切向建立方程比较方便。如要计算 CE 段杆 C 端截面的内力，可取隔离体如图 (d)，由 $\sum M_C = 0$ ， $\sum F_y = 0$ 和 $\sum F_x = 0$ 求得，其中 CE 杆方向为 x 轴，垂直 CD 杆方向为 y 轴。用截面法求出各截面内力后，按照各段荷载分布情况连线即可得到各内力图，其中弯矩图如图 (e) 所示。

方法 2：

1. 计算支座 A 反力。

考虑刚架整体的平衡条件

$$\sum M_B = 0, F_{yA} \times 8\text{m} - 30\text{kN} \times 6\text{m} - 30\text{kN} \times 2\text{m} = 0, F_{yA} = 30\text{kN} (\uparrow)$$

考虑左半边刚架为隔离体，对顶铰 F 取矩， $\sum M_F = 0$ ， $F_{xA} \times 4\text{m} - 30\text{kN} \times 4\text{m} + 30\text{kN} \times 2\text{m} = 0$ ， $F_{xA} = 15\text{kN}$

2. 内力计算。

用截面法计算 CA 杆 C 端截面的弯矩： $M_{CA} = 15\text{kN} \times 2\text{m} = 30\text{kN} \cdot \text{m}$ (左侧受拉)

由刚结点 C 的力矩平衡条件知： $M_{CE} = M_{CA} = 30\text{kN} \cdot \text{m}$ (上侧受拉)

CA 段弯矩图为直线，CF 段弯矩图可由叠加法得出。

因为结构对称且荷载正对称，左半刚架弯矩图做好之后，只要正对称地画到右半刚架即可，如图 (e) 示。

六、三铰拱

由曲杆组成在竖向荷载作用下会产生水平反力的结构称为拱。拱的水平反力称为水平推力，推力的存在使得拱截面上的弯矩值小于相同跨度相同荷载作用下的简支梁，使得拱成为主要是承受轴向压力的结构，因而可采用抗压性能强而又廉价的石材等材料，当然由于水平推力的存在，基础应具有相应的抗力。

1. 三铰拱的内力计算