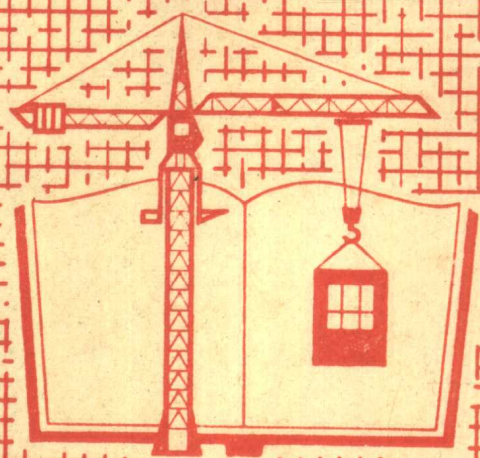


建筑材料机械及设备

武汉建筑材料工业学院

华南工学院 编

辽宁建筑工业学院



高等学校试用教材

中国建筑工业出版社

高等学校试用教材

建筑材料机械及设备

武汉建筑材料工业学院

华 南 工 学 院 编

辽宁建筑工业学院

中国建筑工业出版社

全书共分三篇，第一篇建材机械力学基础，第二篇建材机械，第三篇颗粒流体力学及设备。

本书着重介绍了建材机械专业基础理论及典型机械和设备的设计内容，其次介绍一些建材机械及设备的类型、构造、工作原理和主要工作参数。

本书是为高等工科院校建材机械专业编写的试用教材，也可供建筑材料工业部门的科研设计、生产厂矿的有关技术人员参考。

高等学校试用教材
建筑材料机械及设备

武汉建筑材料工业学院
华南工学院编
辽宁建筑工业学院

*
中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*
开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 38¹/₂ 字数: 931千字

1980年12月第一版 1980年12月第一次印刷

印数: 1—5,220册 定价: 4.00元

统一书号: 15040·3989

前 言

根据1978年4月高等院校建材机械专业教材会议制定的《建筑材料机械及设备》编写大纲,我们编写了这本试用教材。

建筑材料机械及设备这门课程是高等工业院校建材机械专业的重要专业课。学习该课程任务是使学生熟悉建筑材料工业生产中最常用机械和设备的类型、构造、工作原理和主要工作参数,并掌握典型建材机械及设备的基本理论和设计方法,培养整机设计能力。

本书的主要特点是加强专业基础理论及典型机械设备的设计内容,以利于培养学生分析问题和解决问题的能力,适应建材工业现代化发展的需要。

本书内容包括设计建材机械所必需的力学基础,有弹性体的力学基础、机械振动理论基础、高速回转件的动力分析和颗粒流体力学;选择的典型建材机械有回转窑、连续玻璃纤维拉丝机、振动输送机、牵引式连续输送机和粉碎机械;选择的主要设备有流体分级设备、料浆脱水设备、收尘设备和气力输送设备。对这种编写方法,我们还缺乏实践经验,有待于教学实践的检验。

本书由武汉建筑材料工业学院主编,华南工学院、辽宁建筑工业学院参加编写。编写分工是郑金宝第一、四章,朱昆泉第二、六、七章,史新第三、五章,司徒镇威第八章,张庆今第九至十三章,全书由许林发主编。

本书初稿经《建材机械》教材审稿会审查。由华南工学院魏诗榴主审。参加审稿的有建材部水泥局黄有丰、引进办公室吴德茂、唐山水泥机械设计研究所穆津生、新型建材设计研究院何守义、东北工学院闻邦椿、上海化工学院杨伦、武汉建材学院王启宏、辽宁建工学院赵德义、上海建材专科学校丁志华等同志,武汉建材学院王龙甫同志也对该书有关部分提出了书面意见,在此,对他们表示衷心的感谢。

编 者

1980年2月

目 录

第一篇 建材机械力学基础

第一章 弹性体的力学基础	1	二、具有粘性阻尼的自由振动系统	60
第一节 力矩分配法	1	第三节 一个自由度的强迫振动系统	65
一、力矩分配法	1	一、无阻尼强迫振动系统	65
二、回转窑筒体计算实例	7	二、具有粘性阻尼的强迫振动系统	69
第二节 轮带的弯曲强度和刚度	19	三、强迫振动理论的应用	80
一、概述	19	第四节 谐振动的复数表示法	84
二、轮带固定在筒壁上的弯矩	19	第五节 两个自由度振动系统	86
三、轮带活套在垫板上的弯矩	22	一、无阻尼自由振动系统	87
四、轮带的强度和刚度	26	二、强迫振动系统	90
第三节 圆环温度应力	28	第六节 多自由度系统的振动	97
一、概述	28	一、无阻尼自由振动	97
二、圆柱壁中的温度分布规律	29	二、有粘性阻尼的强迫振动	105
三、圆环温度应力	30	第三章 高速回转件的动力分析	108
第四节 接触应力	35	第一节 转轴的临界转速	108
一、概述	35	一、单转子轴的临界转速	108
二、弹性理论平面问题的基本方程式	36	二、双转子轴的临界转速	111
三、平面问题基本方程式的应用	40	三、回转效应(陀螺效应)对转轴	
四、两圆柱体相接触的形变分析	43	临界转速的影响	115
五、两圆柱体相接触的应力分析	46	四、弹性支承的作用	124
六、两圆球体相接触	48	第二节 高速回转零件的应力	127
七、轴线交叉的两圆柱体相接触	49	一、高速回转圆盘的应力和变形	127
第二章 机械振动基础	52	二、高速回转圆环及圆筒的应力及	
第一节 概述	52	变形	132
第二节 一个自由度的自由振动系统	53	参考文献	140
一、无阻尼自由振动系统	53		

第二篇 建 材 机 械

第四章 回转窑	142	第三节 筒体	153
第一节 概述	142	一、筒体径向变形原因及控制措施	153
一、回转窑的作用和地位	142	二、筒体强度计算	159
二、水泥生产方式简介	142	第四节 轮带	164
三、水泥回转窑生产能力计算	148	一、轮带的作用及结构	164
第二节 回转窑机械设计特点	151	二、轮带设计与计算	169
一、回转窑结构组成简介	151	第五节 支承装置	176
二、回转窑机械设计特点	152	一、托轮及其轴承结构	177

二、托轮调整	180
三、托轮及其轴承设计	181
第六节 挡轮装置	184
一、挡轮结构	184
二、挡轮设计	187
三、液压挡轮参数	190
第七节 传动装置	192
一、传动装置的特点	192
二、传动方式	193
三、大齿圈与小齿轮	194
四、传动功率计算	197
第八节 密封装置	201
一、密封装置的作用和特点	201
二、密封装置的结构	202
第五章 连续玻璃纤维拉丝机	206
第一节 概述	206
一、拉丝工艺流程及拉丝机的功能	206
二、影响拉丝作业的主要工艺因素及对设备的要求	207
三、拉丝设备的工艺布置	211
四、拉丝机的结构	212
第二节 机头的结构分析	219
一、结构特点	219
二、机头的振动分析	221
三、机头的强度分析	231
第三节 排线器的工作原理	234
一、缝隙式排线器	234
二、钢丝排线器	235
第四节 自动换筒上丝过程	242
一、气圈吸附法	242
二、机械卷绕法	244
第五节 拉丝机的改进	245
一、大卷装拉丝机	245
二、直接无捻粗纱拉丝机	246
三、分拉拉丝机	247
第六章 振动输送机	248
第一节 概述	248
第二节 振动输送机的工作原理	250
第三节 输送速度的计算及工作参数选择	253
一、输送速度	253
二、工作参数选择	255
第四节 电磁振动给料机	257

一、电磁振动给料机的结构	257
二、电磁振动给料机的动力学参数	260
三、电磁振动给料机的弹性元件	264
四、激振器电磁铁	273
五、电磁振动给料机的调节和使用	274
第五节 振动输送机	276
一、弹性连杆驱动单质体振动输送机	277
二、弹性连杆驱动双质体振动输送机	280
三、偏心块驱动惯性式振动输送机	286
四、非线性振动输送机	289
第六节 振动输送机的弹性元件	296
一、螺旋弹簧和板弹簧	297
二、橡胶弹簧	298
第七节 垂直振动输送机	301
一、垂直振动输送机的结构与工作原理	301
二、垂直振动输送机的动力分析和计算	303
第七章 牵引式连续输送机	308
第一节 牵引式输送机的一般理论	308
一、生产能力	308
二、运行阻力和驱动功率	309
三、牵引构件张力计算方法	315
四、输送机最佳驱动位置的选择	318
第二节 带式输送机	319
一、带式输送机的构造	319
二、带式输送机的主要零部件	320
三、带式输送机主要参数的选择	332
四、带式输送机计算	334
五、其它类型带式输送机	346
第八章 粉碎机械	348
第一节 概述	348
一、粉碎的定义、目的和意义	348
二、粉碎方法	349
三、破碎机械的类型	350
四、粉磨机械的类型	351
五、粉碎理论	353
第二节 颚式破碎机	355
一、颚式破碎机的应用、原理和类型	355
二、颚式破碎机的构造	358

三、颚式破碎机主要参数的确定	366	一、球磨机的应用、原理和类型	397
四、颚式破碎机主要零部件的计算	371	二、球磨机中研磨体运动分析	402
第三节 锤式破碎机	378	三、球磨机主要参数的确定	415
一、锤式破碎机的应用、原理和类型	378	四、球磨机的构造	421
二、锤式破碎机的构造	379	五、球磨机主要零件强度计算	438
三、锤式破碎机主要参数的确定	383	第六节 自磨机和中速磨机	446
第四节 反击式破碎机	389	一、自磨机	446
一、反击式破碎机的应用、原理和类型	389	二、中速磨机	446
二、反击式破碎机的构造	390	第七节 粉碎新技术和发展趋向	449
三、反击式破碎机主要参数的确定	395	一、粉碎新技术	449
第五节 球磨机	397	二、粉碎机械发展趋向	450
		参考文献	451

第三篇 颗粒流体力学及设备

第九章 颗粒流体力学	453	三、散式流态化、聚式流态化及不正常现象	479
第一节 概述	453	四、流化床工作参数的计算	481
第二节 颗粒状物料的基本特性	453	第十章 流体分级设备	491
一、粒径及颗粒组成	454	第一节 空气选粉机	491
二、堆积密度与空隙率	458	一、通过式选粉机	491
三、形状系数、粗糙度系数和比表面积	459	二、离心式选粉机	492
四、颗粒层的平均自由截面积	460	三、旋风式选粉机	497
第三节 颗粒在流体内相对运动时的阻力	460	四、喷射式选粉机	501
一、颗粒在流体中的运动	460	五、喷射涡旋式选粉机	503
二、颗粒在流体内作相对运动时的阻力	462	六、选粉效率与循环负荷	503
第四节 颗粒在静止流体内的沉降	464	第二节 水力分级机	505
一、颗粒在静止流体内的自由沉降	464	第十一章 料浆脱水设备	509
二、颗粒在静止流体内的干扰沉降	468	第一节 厚浆池	509
三、等降颗粒	469	第二节 过滤设备	511
第五节 颗粒在流动着的流体内的运动	470	一、过滤过程	511
一、颗粒在垂直流动的流体内并在重力作用下的运动	470	二、过滤机的类型及构造	511
二、颗粒在水平流动的流体内并在重力作用下的运动	471	三、压滤机的工艺及压紧力计算	517
三、颗粒在旋转流体内的运动	472	第十二章 收尘设备	527
第六节 流体通过颗粒层的流动	473	第一节 概述	527
第七节 固体流态化	477	一、收尘定义及收尘设备分类	527
一、固体流态化过程	477	二、收尘性能	527
二、流化床类似液体的性状	478	第二节 降尘室	529
		第三节 惯性收尘器	530
		第四节 旋风收尘器	531
		一、旋风收尘器的工作原理及性能	531
		二、旋风收尘器的类型	533

三、旋风收尘器的排灰装置	541	五、新型电收尘器	574
四、旋风收尘器的主要工作参数 与选型计算	541	第七节 颗粒层收尘器	577
第五节 袋式收尘器	549	第八节 水膜收尘器	579
一、袋式收尘器的工作原理	549	第十三章 气力输送设备	581
二、滤袋材料	553	第一节 管道式气力输送设备	581
三、清灰方式	554	一、流程及工作原理	581
四、袋式收尘器的类型及构造	555	二、设备类型及构造	582
五、袋式收尘器的选型计算	558	三、气力输送系统的设计计算	589
六、袋式收尘器的性能	561	第二节 空气输送斜槽	600
第六节 电收尘器	562	一、空气输送斜槽的工作原理及 构造	600
一、电收尘器的工作原理及性能	562	二、空气输送斜槽工作参数的确定	601
二、电收尘器的类型及结构	563	三、空气输送斜槽的性能及应用	604
三、电收尘器的主要参数计算	566	参考文献	604
四、电收尘器的使用性能	572	附录 主要常用国际制单位 (SI)	605

第一篇 建材机械力学基础

第一章 弹性体的力学基础

本章主要介绍建材机械中常遇到的一些力学问题的基本理论,如力矩分配法、轮带的强度和刚度、圆环的温度应力和接触应力。

在机械工程中,会碰到不少静不定问题。例如,对于较长的传动轴,为了提高轴的抗弯强度和刚度,常采用增加支座的办法。当一根梁的支座数达三个以上时,它们的约束反力的数目超过了静力平衡条件的个数。因此,单靠静力平衡条件就无法求出约束反力来。这类问题称为外力静不定问题。例如,多支点的连续梁中计算其支点反力的问题,就属这种情况。

在机械工程中,也会遇到另一种情况:杆件的约束反力能够用静力平衡条件求得,但在计算杆件截面内力时,内力未知数的数目却超过了静力平衡条件的个数。这类问题称为内力静不定问题。例如,圆环的强度和刚度、圆环的温度应力,就是这种情况。

解静不定问题的方法是在静力平衡条件之外,必须找到足够的补充条件。约束反力(或内力)的未知数超过静力平衡条件的个数,称为杆件的静不定次数。如三个支点的轴,是个一次静不定问题,只要找到一个补充条件就行了。

通过解决圆柱体接触应力问题,介绍了弹性理论平面问题的基本概念和方法,为进一步学习弹性理论打下一个初步基础。

第一节 力矩分配法

一、力矩分配法

在多支点的连续梁计算中,常用三弯矩方程和力矩分配法两种方法。水泥回转窑的长径比较大,支点数一般是三到九个,它属于这类问题。为了避免解多元一次联立方程组,工程中常常采用收敛速度快、物理概念明确的力矩分配法。

(一) 力矩分配法的基本概念

我们可以通过一个模型先掌握力矩分配法的物理概念。图 1-1 所示,是一个连续梁的模型。连续梁 $ABCD$ 由薄钢片做成, A 、 D 两端铰支, B 、 C 两点为中间支座。用砝码加载荷 P 后,连续梁的实际变形如图 1-1a 中虚线所示。相应于此变形的支座截面弯矩,是我们计算的目标。可以通过一系列的操作达到这个实际变形状态。第一步,在结点 B 和 C 上加一阻止转动的约束(可用螺钉压紧)阻止结点 B 、 C 转动,再加砝码。这时,只有 BC 跨有变形,如图 1-1b 中虚线所示。第二步,去掉结点 C 的转动约束(放松螺钉),这时结点 C 将产生转角,其变形如图 1-1c 中虚线所示。第三步,将结点 C 重新夹紧,然后去掉结

点B的转动约束，其变形如图1-1d中虚线所示。图1-1d与图1-1a比较得知，已接近实际变形。若把第二步和第三步再重复几次，即轮流夹紧结点B并打开结点C，夹紧结点C并打开结点B……，连续梁的变形和内力将很快达到实际状态。

下面采用图1-2a所示的连续梁，引出力矩分配法的基本概念。在力矩分配法中，直接求得各杆的杆端弯矩，其计算步骤如下（单结点分配）：

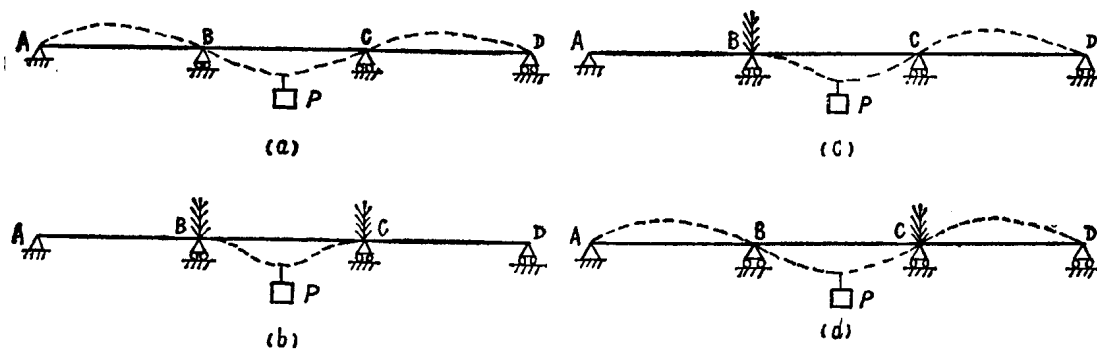


图 1-1 连续梁的模型

1. 先在结点B加上转动约束，阻止结点B的转动，然后再在连续梁上放置载荷，如图1-2b所示。这时连续梁可分为两个单跨梁。AB一跨所起作用，与A端简支而B端固定的单跨梁相同；BC一跨所起作用，与B、C两端均为固定的单跨梁相同，见图1-2c。杆端产生的弯矩 m_{BA} 、 m_{BC} 和 m_{CB} 称为固端弯矩，可按表1-1所示的计算图求出。阻止结点B转动的约束力矩 M_B ，可以通过图1-2c所示的结点B的平衡图式，由平衡条件 $\sum m_B = 0$ 求得。其数值应等于 m_{BA} 和 m_{BC} 的不平衡数，故 M_B 也称为不平衡弯矩。

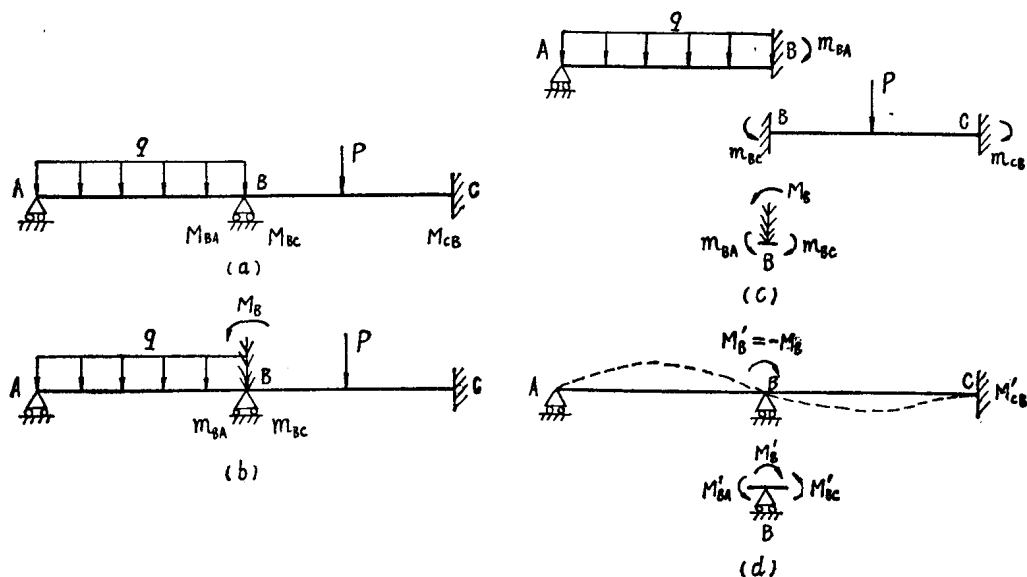


图 1-2 连续梁上放置载荷

2. 连续梁的结点B原来没有转动约束，也没有不平衡弯矩 M_B 存在。因此，图1-2b所

示的解答必须加以修正。为此，应解除结点B的约束。这相当于在结点B上，加上与不平衡弯矩 M_B 数值相等但转向相反的外力矩 M'_B ，即加一个 $M'_B = -M_B$ 。力矩 $-M_B$ 使梁产生的变形，如图1-2d中虚线所示。由于外力矩 M'_B 在结点B的作用，杆端产生的弯矩 M'_{BA} 和 M'_{BO} 称为分配弯矩，远端C产生的弯矩 M'_{CB} ，称为传递弯矩。由结点B的隔离体图（图1-2d）可知，外力矩 M'_B 与分配弯矩 M'_{BA} 和 M'_{BO} 平衡。把图1-2b和图1-2d所示的两种情况叠加起来，就消除了附加的转动约束的作用，得到图1-2a所示的情况。由此可知，只要把图1-2b和图1-2d所示的杆端弯矩叠加起来，就得到要求计算的杆端弯矩，例如， $M_{BO} = m_{BO} + M'_{BO}$ 。

上面所说的计算步骤可简述如下：先在中间结点B上加转动约束（锁住结点），把连续梁分为单跨梁，求出杆端产生的固端弯矩。结点B各杆固端弯矩之和，即为约束弯矩 M_B 。然后去掉转动约束（松开结点），使结点B转动至平衡位置（即相当于在结点B加一 M_B ），求出各杆B端产生的分配弯矩和远端产生的传递弯矩。叠加各杆端所记下的弯矩总和，就是所求的杆端弯矩。

（二）基本术语

为使力矩分配法的计算能顺利进行，下面先解释计算工作中将要遇到的几个基本术语。

我们只讨论等截面杆件。由于运算过程的需要，力矩分配法和材料力学对杆端弯矩的正负号均有各自的规定。应特别注意：在力矩分配法中，杆端弯矩规定以顺时针方向为正；逆时针方向为负。

1. 固端弯矩。当杆AB一端铰支、一端固定或两端均为固定时，在载荷作用下产生的杆端弯矩称为固端弯矩。在任意载荷作用下，固端弯矩都能用变形比较法求出。

为便于运算，给出了一些常用的在外载荷作用下，一端铰支、一端固定或两端固定梁的固端弯矩计算公式，见表1-1。当梁上有几个不等的均布载荷时，可按叠加法进行查表来计算固端弯矩。悬臂段的杆端弯矩（指铰支端）可直接由截面法求得。

2. 转动刚度。图1-3所示等截面杆AB，如在铰支端A作用一力矩时，则A端将相应产生一转角 θ_A 。使杆A端产生单位转角（ $\theta_A = 1$ ）所需的弯矩 M_{AB} ，表示A端抵抗转角的能力，称为杆A端的转动刚度，用 K_{AB} 表示。

当A端铰支，远端固定（图1-3a）时：

$$K_{AB} = \frac{4EJ}{l} = 4i \quad (1-1)$$

当A端铰支，远端也为铰支（图1-3b）时：

$$K_{AB} = \frac{3EJ}{l} = 3i \quad (1-2)$$

式中 $i = \frac{EJ}{l}$ ，称为杆件的线刚度；

E ——材料的弹性模数；

J ——杆件的截面惯性矩。

3. 杆端弯矩的分配系数。下面利用转动刚度的概念来说明分配弯矩的求法。相连于B点的两杆，在结点B处有一外力矩 M'_B 作用时（见图1-4a），结点B将转动一角度 θ_B 。此

固端弯矩计算公式

表 1-1

载荷及支座情况	m_{BA}	m_{AB}
	$\frac{Pa(l^2 - a^2)}{2l^2}$	0
	$\frac{1}{8}ql^2$	0
	$\frac{qabc}{2l^2} \left(l + a - \frac{c^2}{4b} \right)$	0
	$\frac{qa^2}{8} \left(2 - \frac{a^2}{l^2} \right)$	0
	$\frac{Pa^2b}{l^2}$	$-\frac{Pab^2}{l^2}$
	$\frac{1}{12}ql^2$	$-\frac{1}{12}ql^2$
	$\frac{qc}{l^2} \left[a^2b - \frac{c^2}{12}(2a - b) \right]$	$-\frac{qc}{l^2} \left[ab^2 - \frac{c^2}{12}(2b - a) \right]$
	$\frac{qa^2}{12l^2} (6l^2 - 8al + 3a^2)$	$-\frac{qa^3}{12l^2} (4l - 3a)$

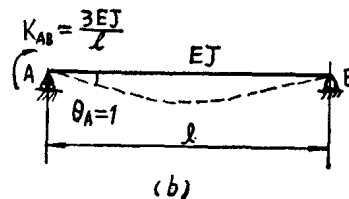
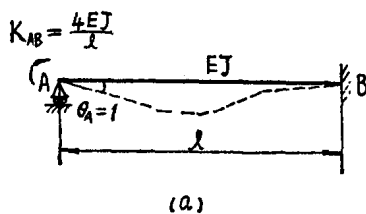


图 1-3 转动刚度

(a) 远端固定; (b) 远端简支

时, B 结点左右截面处将相应产生分配弯矩 M'_{BA} 和 M'_{BO} 。由结点 B 平衡条件 (见图 1-4b) 可知:

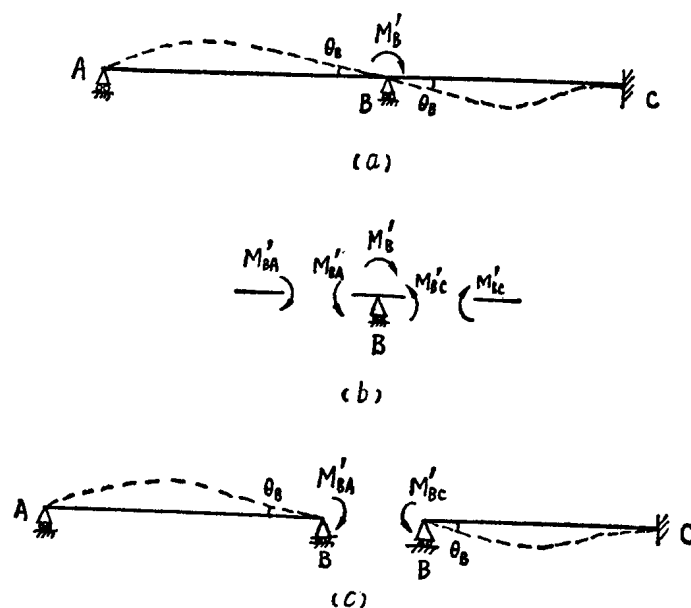


图 1-4 杆端弯矩的分配

$$M'_B = M'_{BA} + M'_{BC} \quad (1-3)$$

由于B点左右转角相等，并根据转动刚度的定义，当B端产生转角 θ_B 时，各杆B端的弯矩（见图1-4c）分别为：

$$\left. \begin{aligned} M'_{BA} &= K_{BA} \theta_B \\ M'_{BC} &= K_{BC} \theta_B \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

式中的转动刚度 K_{BA} 和 K_{BC} ，可根据A、C两端的约束条件分别定出。

由式（1-3）和式（1-4），可得：

$$M'_B = M'_{BA} + M'_{BC} = (K_{BA} + K_{BC}) \theta_B$$

所以，

$$\theta_B = \frac{M'_B}{K_{BA} + K_{BC}}$$

将 θ_B 值代入式（1-4），得：

$$\left. \begin{aligned} M'_{BA} &= \frac{K_{BA}}{K_{BA} + K_{BC}} M'_B = \frac{K_{BA}}{\Sigma K} M'_B \\ M'_{BC} &= \frac{K_{BC}}{K_{BA} + K_{BC}} M'_B = \frac{K_{BC}}{\Sigma K} M'_B \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

由此可知，各杆B端的分配弯矩与各杆B端的转动刚度成正比。式中系数 $K/\Sigma K$ 可以用 μ 表示，称为各杆在B端的弯矩分配系数。即为：

$$\left. \begin{aligned} \mu_{BA} &= \frac{K_{BA}}{\Sigma K} \\ \mu_{BC} &= \frac{K_{BC}}{\Sigma K} \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

杆AB在结点B的弯矩分配系数 μ_{BA} 等于杆AB的转动刚度与交于B点的各杆的转动

刚度之和的比值。

在同一结点B上, 各杆分配系数之间存在下列关系:

$$\mu_{BA} + \mu_{BO} = 1 \quad (1-7)$$

将(1-5)式改写为:

$$\left. \begin{aligned} M'_{BA} &= \mu_{BA} M'_B \\ M'_{BO} &= \mu_{BO} M'_B \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

因而, 外力矩 M'_B 应按各杆的分配系数分配于各杆的B端。

在力矩分配法运算中, 由于在结点B所施加的外力矩 M'_B 等于负的不平衡弯矩即 $-M_B$, 所以分配弯矩在计算时有:

$$\text{分配弯矩} = -M_B \mu \quad (1-9)$$

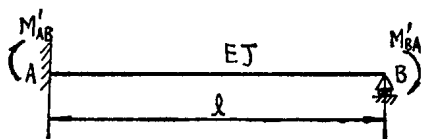


图 1-5 弯矩传递

4. 传递系数。B端铰支、A端固定的梁(图1-5), 如在B点上得到分配弯矩 M'_{BA} , 则在固定端A处将相应产生一传递弯矩 M'_{AB} 。我们把传递弯矩 M'_{AB} 与分配弯矩 M'_{BA} 的比值, 称为传递系数C, 即:

$$M'_{AB} = C_{BA} M'_{BA} \quad (1-10)$$

式中 C_{BA} ——表示由B端向A端的传递系数。传递弯矩等于传递系数乘上分配弯矩, 其正负号与分配弯矩相同。

下面讨论等截面杆件的传递系数。传递系数C随远端的支承情况不同而不同。对远端固定的情况(如图1-6a):

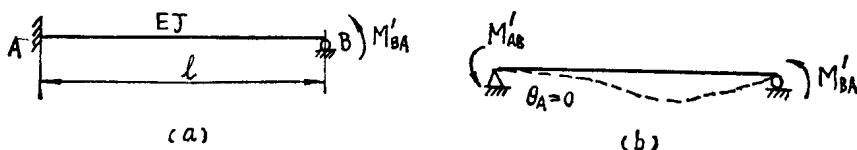


图 1-6 杆件远端固定变形情况

去掉A支座处阻止截面转动的约束, 使静不定梁成为一简支梁。此时, 多余约束反力矩是 M'_{AB} , 变形条件为 $\theta_A = 0$ (见图1-6b), 在此静定基上进行计算。采用变形比较法, 可求得:

$$\theta_A = \frac{M'_{BA} l}{6EJ} - \frac{M'_{AB} l}{3EJ} = 0$$

则,

$$M'_{AB} = \frac{1}{2} M'_{BA}$$



图 1-7 杆件远端铰支变形情况

所以, 此时传递系数

$$C_{BA} = M'_{AB} / M'_{BA} = \frac{1}{2} \quad (1-11)$$

对远端为铰支的情况(如图1-7):

因A端无转动约束, 则: $M'_{AB} = 0$ 。代入式(1-11), 得:

$$C_{BA} = \frac{M'_{AB}}{M'_{BA}} = 0 \quad (1-12)$$

二、回转窑筒体计算实例

下面以回转窑筒体计算为例，来说明多结点力矩分配法的基本运算步骤。根据水泥生产工艺提出的要求，设计一台 $\phi 3.5 \times 145$ 米湿法水泥回转窑，其窑体的外形与结构组成见图1-8。经载荷计算后，将原始载荷图合理地改变为简化载荷图（见图1-9）。由生产工艺人员提供的该窑筒体表面温度的资料，见表1-2。

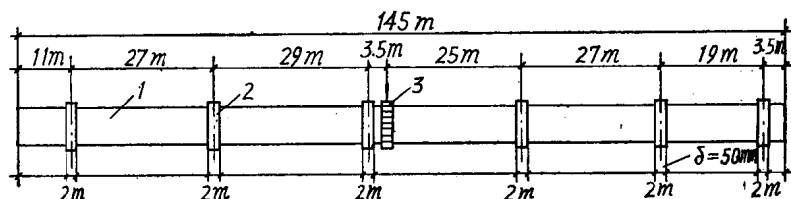


图 1-8 $\phi 3.5 \times 145$ 米湿法水泥回转窑结构简图

1—筒体；2—轮带；3—大齿圈

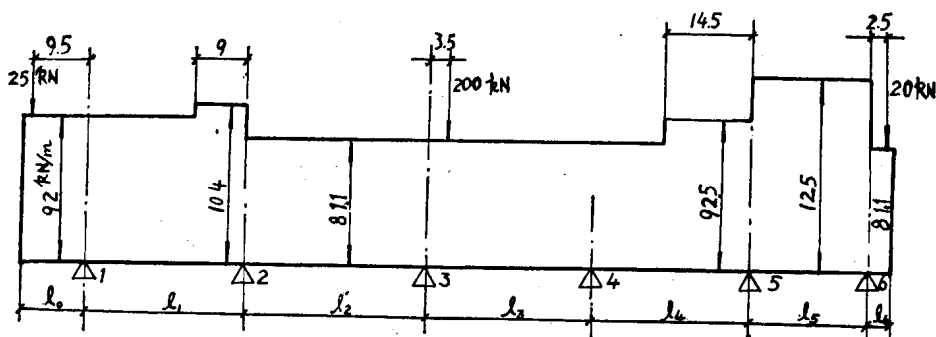


图 1-9 $\phi 3.5 \times 145$ 米湿法水泥回转窑筒体简化载荷图

$\phi 3.5 \times 145$ 米水泥回转窑筒体表面温度测定值

表 1-2

项 目	各 带						
	干 燥 带	预 热 带	高 岭 土 脱 水 带	碳 酸 盐 分 解 带	放 热 反 应 带	烧 成 带	冷 却 带
各带长度(米)	29.5	18.9	15.0	59.6	5	11	6
筒体表面温度(°C)	47~80	125	160	230	280	300	180

筒体计算按下述步骤进行：

(一) 筒体内力计算

水泥回转窑的筒体是多结点的连续梁，但如果每次只放松一个结点，其余均看作固结的，因而每一步均为单结点的分配与传递运算。最后，将各项步骤所得的杆端弯矩叠加，可求出杆端弯矩。

1. 求各结点的分配系数。两端结点1、6为铰支，中间结点2、3、4、5均固定。其计算结果如下：

结点2：

由式(1-1)和式(1-2)，求得转动刚度，为：

$$K_{21} = 3 \frac{EJ}{l_1} = \frac{3}{27} EJ$$

$$K_{23} = 4 \frac{EJ}{l_2} = \frac{4}{29} EJ$$

由式(1-6)和式(1-7), 求得分配系数, 为:

$$\mu_{21} = \frac{K_{21}}{K_{21} + K_{23}} = \frac{\frac{3}{27}}{\frac{3}{27} + \frac{4}{29}} = 0.446$$

$$\mu_{23} = \frac{K_{23}}{K_{21} + K_{23}} = \frac{\frac{4}{29}}{\frac{3}{27} + \frac{4}{29}} = 0.554$$

校核: $\mu_{21} + \mu_{23} = 0.446 + 0.554 = 1$ 。说明计算无误。

按上述方法, 同样可求得:

结点 3:

转动刚度:

$$K_{32} = 4 \frac{EJ}{l_2} = \frac{4}{29} EJ$$

$$K_{34} = 4 \frac{EJ}{l_3} = \frac{4}{28.5} EJ$$

分配系数:

$$\mu_{32} = \frac{K_{32}}{K_{32} + K_{34}} = \frac{\frac{4}{29}}{\frac{4}{29} + \frac{4}{28.5}} = 0.495$$

$$\mu_{34} = \frac{K_{34}}{K_{32} + K_{34}} = \frac{\frac{4}{28.5}}{\frac{4}{29} + \frac{4}{28.5}} = 0.505$$

结点 4:

转动刚度:

$$K_{43} = 4 \frac{EJ}{l_3} = \frac{4}{28.5} EJ$$

$$K_{45} = 4 \frac{EJ}{l_4} = \frac{4}{27} EJ$$

分配系数:

$$\mu_{43} = \frac{K_{43}}{K_{43} + K_{45}} = \frac{\frac{4}{28.5}}{\frac{4}{28.5} + \frac{4}{27}} = 0.485$$

$$\mu_{45} = \frac{K_{45}}{K_{43} + K_{45}} = \frac{\frac{4}{27}}{\frac{4}{28.5} + \frac{4}{27}} = 0.515$$

结点5:

结点5左右两侧的筒体厚度不同,应该分别计算出各自的惯性距 J 。结点5左侧筒体钢板厚度为22毫米,则:

$$J_{22} \approx \frac{\pi}{8} D^3 \delta = \frac{\pi}{8} 3.522^3 \times 0.022 = 0.378 \text{米}^4$$

同理,结点5右侧筒体钢板厚度为25毫米,则:

$$J_{25} \approx \frac{\pi}{8} D^3 \delta = \frac{\pi}{8} 3.525^3 \times 0.025 = 0.43 \text{米}^4$$

转动刚度:

$$K_{54} = 4 \frac{EJ_{22}}{l_4} = \frac{4 \times 0.378}{27} E$$

$$K_{56} = 3 \frac{EJ_{25}}{l_5} = \frac{3 \times 0.43}{19} E$$

分配系数:

$$\mu_{54} = \frac{K_{54}}{K_{54} + K_{56}} = \frac{\frac{4 \times 0.378}{27}}{\frac{4 \times 0.378}{27} + \frac{3 \times 0.43}{19}} = 0.452$$

$$\mu_{56} = \frac{K_{56}}{K_{54} + K_{56}} = \frac{\frac{3 \times 0.43}{19}}{\frac{4 \times 0.378}{27} + \frac{3 \times 0.43}{19}} = 0.548$$

分配系数各写在计算表格的第一行。

2.锁住2、3、4和5结点,求各杆的固端弯矩。其计算结果如下:

应该考虑悬臂梁的作用。悬臂载荷使结点1产生杆端弯矩(图1-10)为:

$$M_1 = -\frac{1}{2} 92 \times 11^2 + 25 \times 9.5 = 5804 \text{ 千牛} \cdot \text{米}$$

悬臂载荷使结点6产生杆端弯矩(图1-11)为:

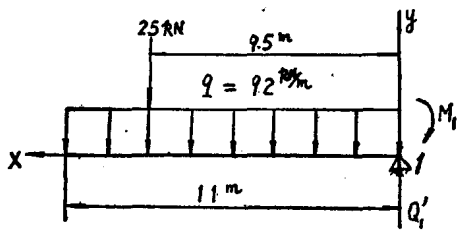


图 1-10 结点1悬臂载荷

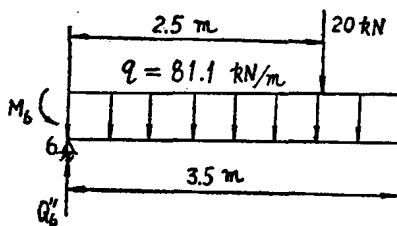


图 1-11 结点6悬臂载荷

$$M_6 = -\frac{1}{2} 81.1 \times 3.5^2 - 20 \times 2.5 = -547 \text{ 千牛} \cdot \text{米}$$

按表1-1计算其他各结点的固端弯矩为:

1~2跨(图1-12): 一端铰支,一端固定。

$$M_{21} = -\frac{1}{8} 92 \times 27^2 + \frac{(104 - 92) \times 9^2 \times (2 \times 27 - 9)^2}{8 \times 27^2} = 8720 \text{ 千牛} \cdot \text{米}$$