

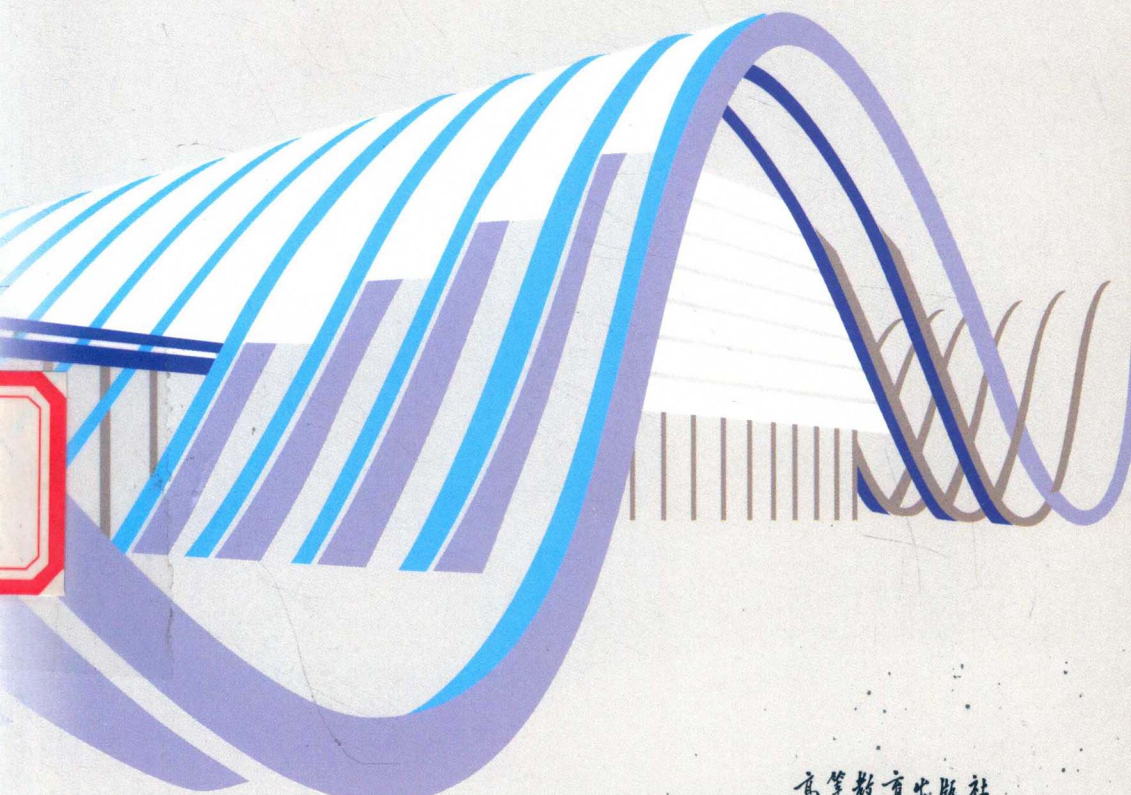


“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

材料力学 II

第6版

© 刘鸿文 主编



高等教育出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

材料力学 II

第6版

刘鸿文 主编

刘鸿文 林建兴 曹曼玲 编著

王惠明 修订

高等教育出版社·北京

内容提要

本教材是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。本教材自1979年第1版出版以来,一直受到广大教师和学生的好评,是高校机械类各专业材料力学课程广泛采用的教材。第2版于1988年获国家优秀教材奖;第3版于1997年获国家科学技术进步二等奖和高等教育国家级教学成果一等奖;第4版于2007年获第七届全国高校出版社优秀畅销书一等奖。本教材第6版在保持原有风格和特色的基础上,对原有内容作了小部分修订,配备了二维码视频链接。

本教材由《材料力学Ⅰ》和《材料力学Ⅱ》组成,共分18章。第Ⅰ册为材料力学课程的基本内容,包括:绪论,拉伸、压缩与剪切,扭转,弯曲内力,弯曲应力,弯曲变形,应力和应变分析、强度理论,组合变形,压杆稳定以及平面图形的几何性质等。第Ⅱ册为材料力学课程较深入的内容,包括:动载荷,交变应力,弯曲的几个补充问题,能量方法,超静定结构,平面曲杆,厚壁圆筒和旋转圆盘,矩阵位移法,杆件的塑性变形等。

本教材可作为高等学校本科机械类各专业材料力学课程的教材。

刘鸿文主编的《材料力学实验》(第4版)可与本教材配套使用。与本教材配套的《材料力学学习指导书》,可供使用本教材的学生复习、做题及教师备课时使用。

图书在版编目(CIP)数据

材料力学.Ⅱ / 刘鸿文主编. —6版. —北京:高等教育出版社,2017.7(2018.3重印)
ISBN 978-7-04-047976-8

I. ①材… II. ①刘… III. ①材料力学—高等学校—教材 IV. ①TB301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 151244 号

策划编辑	黄强	责任编辑	黄强	封面设计	张申申	版式设计	范晓红
插图绘制	杜晓丹	责任校对	刘娟娟	责任印制	毛斯璐		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	高教社(天津)印务有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×960mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	18	版 次	1979年7月第1版
字 数	320千字		2017年7月第6版
购书热线	010-58581118	印 次	2018年3月第3次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	35.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 47976-00

材料力学

(第6版)

刘鸿文

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1248831>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1248831>

第 6 版前言

本教材以前 5 版为基础,保持原来的特色和风格,精选的材料力学内容保持不变,同时为了体现材料力学研究内容的与时俱进,适当增加一些新的知识点和内容。主要变动如下:

1. 增加了一些新受关注的概念,如负泊松比、比强度和比模量等。
2. 增加了名义应力和真实应力、名义应变和真实应变的概念。
3. 增加了各向异性和正交各向异性材料的广义胡克定律。
4. 增加了两种材料理想结合组合梁的纯弯曲应力分析。
5. 增加了卡氏第一定理及其在非线性杆件变形研究中的应用。
6. 增加了有关材料力学知识点、实验设备、测试技术和方法、工程应用等方面的视频二维码链接。

另外,对本教材中采用的相关国家标准做了更新,相关内容也进行了修订。

本教材承北京航空航天大学单辉祖教授审阅。单辉祖教授提出了许多宝贵的意见,为提高第 6 版教材的质量作出了贡献,谨此致谢!

限于修订者的水平,书中可能存在疏漏和不当之处,敬请广大师生和读者批评指正。

修订者
2016 年 10 月

第5版前言

第5版在保持第4版原有风格和特色的基础上,仍由《材料力学(I)》和《材料力学(II)》组成。材料力学课程的基本内容汇集在《材料力学(I)》,加宽、加深的内容汇集在《材料力学(II)》。对于加宽、加深的内容,各校可根据后续课程或专业需要列为必修或选修。

为了更好地适应教学需要,我们参考了教育部高等学校力学教学指导委员会力学基础课程教学指导分委员会最新制订的“材料力学课程教学基本要求(A类)”,研究了不少院校使用本教材的反馈意见,对教材进行了修订。主要有以下几点变化:(1)将“动载荷”和“交变应力”两章从《材料力学(I)》移到《材料力学(II)》;(2)删去了“用奇异函数求弯曲变形”和“有限差分法”两节内容;(3)为帮助学生深入理解基本概念和基本方法,在多数章末增加了思考题,并对习题做了部分修改;(4)对少量内容的叙述和全书文字表述进行了斟酌、修改。

第5版由本书主编刘鸿文教授委托浙江大学陈乃立教授修订,曹曼玲副教授和林建兴教授复核了全部改动后的习题答案。第5版书稿得到了大连理工大学郑芳怀教授认真、细致的审阅,提出了许多宝贵意见,谨致谢意。

恳请批评和指正。

编者

2010年6月

第4版前言

第4版把材料力学课程中的基本内容汇集为《材料力学(Ⅰ)》;把供选修用的加深内容汇集为《材料力学(Ⅱ)》。在要求较高学时宽裕的情况下,除基本内容外,还可选读部分加深内容。如对《材料力学(Ⅰ)》作适当节删,它也可适用于学时较紧、要求略低的课程。

这次改版,除对第3版作了局部改动外,基本上保留了第3版的内容和风格。趁改版的机会,还将以前几版沿用的字符改变为当前规定使用的符号。

这本教材虽已使用多年,并经多次修改,但限于编者的水平,疏漏之处恐仍难免,深望广大教师和读者提出批评指正。

编者

2003年3月

第3版前言

本书第2版出版以来已有九年。这期间国家教育委员会工科力学课程教学指导委员会制订了“材料力学课程教学基本要求”，并经国家教育委员会批准试行。它就是本书这次修订的依据。

出于有利于教学的愿望，本书修订时对内容作了一些调整，例如把弯曲中几个较深入的问题集中到第七章，以便根据情况选讲或节删。为使论述较为完整和严谨，对部分内容作了修改和补充，例如应力和应变的概念、能量方法、静不定结构等。考虑到本书第2版使用较广，修订后仍然保持了原来的体系和风格。鉴于学时偏紧，第3版注意了内容的精简。但为给教学留有余地，总的说教材内容仍略多于课程的基本要求。

受材料力学课程教学指导小组的委托，哈尔滨建筑工程学院干光瑜同志审阅了书稿，提出很多中肯的意见。使用过本书第2版的广大教师也陆续提出过修改建议。对此我们都非常珍视，谨此致谢。借此机会，还向参加过本书第1版编写工作的陈瀚、吴士艳、金志刚、胡逾、胡增强、倪德耀、龚育宁、宁俊、梁广基、徐雅宜、吕荣坤等同志，深表谢意。

参加第3版修订工作的是刘鸿文、林建兴、曹曼玲等同志。仍由刘鸿文担任主编。浙江大学教务处和材料力学教研室给予了支持。张礼明同志担任描图工作。限于编者的水平，修订后的教材恐仍有疏漏和欠妥之处，深望广大教师和读者批评指正。

编者

1991年5月

第2版前言

这本教材的第1版是浙江大学等九院校合编的《材料力学》。现在依据一九八〇年修订的120学时材料力学教学大纲(草案),作了修订。

修订后的教材,从第一章到第十四章和附录I,包括了教学大纲中的基本部分。第十五章到第十八章是四个专题。专题和带有*号的内容,主要是大纲中列入的专题和大纲中本来就标注*号的部分。按照大纲要求,这些都不是必需讲授的内容,教师可以根据实际情况,决定取舍。当前有些院校给材料力学课安排的教学时数,有时不足大纲规定的120学时,这就要求教师在巩固基础,有利教学的原则下,对教学内容注意精选,妥善处理。至于教材的前后次序,更可按各自的教学经验作一些更动。例如能量法一章,就可先讲虚功原理,并以此为基础进行讲授。其他章节的次序同样也可作一些变化,不再一一列举。总之,我们恳切希望,这本教材的第2版能给教学带来一点方便,但不要束缚了教与学的灵活性。

应材料力学教材编审小组的邀请,重庆大学袁懋昶、上海交通大学金忠谋两同志审查了书稿。材料力学教材编审委员蔡强康同志进行了复审。材料力学教材编审小组组长张福范同志也对原稿作了审阅。他们都分别提出了不少修改意见,对本书的及时定稿起了很大作用。此外,使用本书第1版的广大教师,陆续提出过很多修改建议。在本书第1版出版后,国内又继续出版了多种材料力学教材,给了我们很好的借鉴。这些对修订工作都起了有益的作用。谨此一并致谢。

参加这次修订工作的是林建兴、曹曼玲、刘鸿文等三同志,仍由刘鸿文担任主编。浙江大学材料力学教研室和材料力学实验室的很多同志给予了支持。张礼明同志担任了描图工作。

限于编者的水平,修订后的教材恐难免还有疏漏和不妥之处。深望广大教师和读者继续提出批评和指正,使本书今后能不断得到改进。

编者

1982年7月

第1版前言

本书是根据一九七七年十一月教育部委托召开的高等学校工科力学教材会议讨论的机械类多学时材料力学教材编写大纲编写的。参加编写工作的同志有：西安交通大学陈瀚，陕西机械学院吴士艳，西北工业大学金志刚，华中工学院胡逾，南京工学院胡增强，镇江农机学院倪德耀，华东工程学院龚育宁，上海工业大学宁俊，浙江大学林建兴、曹曼玲、刘鸿文。由刘鸿文负责主编。此外，华中工学院梁广基、镇江农业机械学院徐雅宜、浙江大学吕荣坤等同志也参加了部分编写工作。

1978年9月在杭州为本书初稿召开了审稿会议。会议由上海交通大学金忠谋、夏有为，重庆大学袁懋昶、刘相臣等同志主持。参加会议的有哈尔滨工业大学、东北重型机械学院、清华大学、北京航空学院、天津大学、山东工学院、国防科学技术大学、中南矿冶学院等院校的同志。与会同志对初稿进行了认真的讨论，提出不少修改意见，对本书的定稿工作起了很大作用，谨此致谢。

按照机械类多学时材料力学教材编写大纲的要求，本书一至十五章和附录I为基本内容。十六至十八章和其他章节中标有*号的部分为选修内容。即使是基本内容，也不一定要全部讲授，教师可根据实际情况作一些必要的取舍。

编写本书时，我们在运用辩证唯物主义阐述材料力学基本规律，贯彻理论联系实际，反映科学技术的最新发展，删繁就简等方面，作过一些努力。但因时间仓促，并限于编者的政治和业务水平，难免还存在不少缺点和不妥之处，希望使用本书的广大教师和读者提出批评和指正，以利于教材质量的进一步提高。

编者

1979年2月

目 录

第十章 动载荷	1
§ 10.1 概述	1
§ 10.2 动静法的应用	1
* § 10.3 受迫振动的应力计算	6
§ 10.4 杆件受冲击时的应力和变形	12
§ 10.5 冲击韧性	18
习题	20
第十一章 交变应力	27
§ 11.1 交变应力与疲劳失效	27
§ 11.2 交变应力的循环特征、应力幅和平均应力	29
§ 11.3 疲劳极限	31
§ 11.4 影响疲劳极限的因素	32
§ 11.5 对称循环下构件的疲劳强度计算	38
§ 11.6 疲劳极限曲线	40
§ 11.7 不对称循环下构件的疲劳强度计算	42
§ 11.8 弯扭组合交变应力的强度计算	45
§ 11.9 变幅交变应力	48
§ 11.10 提高构件疲劳强度的措施	49
习题	51
第十二章 弯曲的几个补充问题	56
§ 12.1 非对称弯曲	56
§ 12.2 开口薄壁杆件的切应力 弯曲中心	62
§ 12.3 用奇异函数求弯曲变形	67
§ 12.4 理想粘结的两种材料组合梁	71
习题	74
第十三章 能量方法	82
§ 13.1 概述	82

§ 13.2	杆件应变能的计算	82
§ 13.3	应变能的普遍表达式	89
§ 13.4	互等定理	90
§ 13.5	卡氏定理	93
§ 13.6	虚功原理	100
§ 13.7	单位载荷法 莫尔积分	103
§ 13.8	计算莫尔积分的图乘法	112
	习题	116
第十四章	超静定结构	128
§ 14.1	超静定结构概述	128
§ 14.2	用力法解超静定结构	131
§ 14.3	对称及反对称性质的利用	141
§ 14.4	连续梁及三弯矩方程	146
	习题	152
第十五章	平面曲杆	158
§ 15.1	概述	158
§ 15.2	曲杆纯弯曲时的正应力	159
§ 15.3	中性层曲率半径的确定	163
§ 15.4	曲杆的强度计算	170
§ 15.5	曲杆的变形计算	172
	习题	176
第十六章	厚壁圆筒和旋转圆盘	181
§ 16.1	概述	181
§ 16.2	厚壁圆筒	181
§ 16.3	组合厚壁圆筒	186
§ 16.4	等厚旋转圆盘	189
	习题	192
第十七章	矩阵位移法	194
§ 17.1	概述	194
§ 17.2	轴向拉伸(压缩)杆件的刚度方程	195
§ 17.3	受扭杆件的刚度方程	200
§ 17.4	受弯杆件的刚度方程	202
§ 17.5	梁单元的中间载荷	209
§ 17.6	组合变形杆件的刚度方程	214

§ 17.7 受拉(压)杆件的坐标变换	219
§ 17.8 受弯杆件的坐标变换	227
习题	232
第十八章 杆件的塑性变形	237
§ 18.1 概述	237
§ 18.2 金属材料的塑性性质	237
§ 18.3 拉伸和压缩杆系的塑性分析	239
§ 18.4 圆轴的塑性扭转	241
§ 18.5 塑性弯曲和塑性铰	244
§ 18.6 梁的塑性分析	248
§ 18.7 残余应力的概念	252
§ 18.8 厚壁圆筒的塑性变形	253
习题	258
参考文献	262
部分习题答案	263

第十章 动 载 荷

§ 10.1 概 述

以前讨论杆件的变形和应力计算时,认为载荷从零开始平缓地增加,以致在加载过程中,杆件各点的加速度很小,可以不计。载荷加到最终值后将不再变化。此即所谓静载荷。

在实际问题中,有些高速旋转的部件或加速提升的构件等,其质点的加速度是明显的。又如锻压汽锤的锤杆、紧急制动的转轴等,在非常短暂的时间内速度发生急剧的变化。也有些构件因工作条件而引起振动。此外,大量的机械零件又长期在周期性变化的载荷下工作。这些情况都属于动载荷。构件受动载荷作用是非常普遍的。

实验结果表明,只要应力不超过比例极限,胡克定律仍适用于动载荷下应力、应变的计算,弹性模量也与静载下的数值相同。

本章讨论下述三类问题:(1) 构件有匀加速度时的应力计算,(2) 受迫振动,(3) 冲击。至于载荷随时间循环变化的情况,将在第十一章中讨论。

§ 10.2 动静法的应用

构件受动载荷作用的应力和变形计算,有时可用动静法。为了介绍动静法,首先说明惯性力。对加速度为 a 的质点,惯性力等于质点的质量 m 与 a 的乘积,方向则与 a 的方向相反。达朗贝尔原理指出,对作加速运动的质点系,如假想地在每一质点上加上惯性力,则质点系上的原力系与惯性力系组成平衡力系。这样,就可把动力学问题在形式上作为静力学问题来处理,这就是动静法。于是,以前关于应力和变形的计算方法,也可直接用于增加了惯性力的杆件。

例如,图 10.1a 表示以匀加速度 a 向上提升的杆件。若杆件横截面面积为 A ,单位体积的质量(密度)为 ρ ,则杆件每单位长度的质量为 $A\rho$,相应的惯性力为 $A\rho a$,且方向向下。将惯性力加于杆件上,于是作用于杆件上的重力、惯性力

和吊升力 F 组成平衡力系(图 10.1b)。杆件成为在横向力作用下的弯曲问题。均布载荷的集度是

$$q = A\rho g + A\rho a = A\rho g \left(1 + \frac{a}{g}\right)$$

吊升力为

$$F = \frac{1}{2}ql$$

杆件中央横截面上的弯矩为

$$M = F\left(\frac{l}{2} - b\right) - \frac{1}{2}q\left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}A\rho g \left(1 + \frac{a}{g}\right) \left(\frac{l}{4} - b\right)l$$

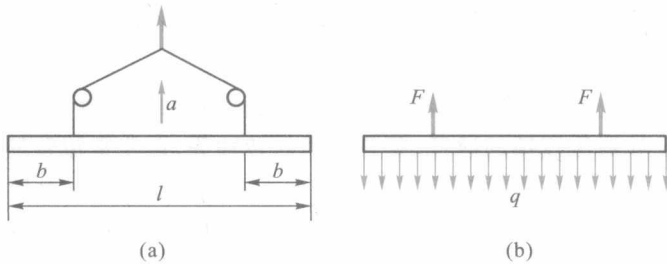


图 10.1

相应的应力(一般称为动应力)为

$$\sigma_d = \frac{M}{W} = \frac{A\rho g}{2W} \left(1 + \frac{a}{g}\right) \left(\frac{l}{4} - b\right)l \quad (a)$$

当加速度 a 等于零时,由上式求得杆件在静载下的应力为

$$\sigma_{st} = \frac{A\rho g}{2W} \left(\frac{l}{4} - b\right)l$$

故动应力 σ_d 可以表示为

$$\sigma_d = \sigma_{st} \left(1 + \frac{a}{g}\right) \quad (b)$$

括号中的因子可称为动荷因数,并记为

$$K_d = 1 + \frac{a}{g} \quad (c)$$

于是式(b)写成

$$\sigma_d = K_d \sigma_{st} \quad (d)$$

这表明动应力等于静应力乘以动荷因数。强度条件可以写成

$$\sigma_d = K_d \sigma_{st} \leq [\sigma] \quad (e)$$

由于在动荷因数 K_d 中已经包含了动载荷的影响,所以 $[\sigma]$ 即为静载下的许用应力。

还可用匀速旋转圆环为例说明动静法的应用。设圆环以匀角速度 ω , 绕通过圆心且垂直于纸面的轴旋转(图 10.2a)。若圆环的厚度 δ 远小直径 D , 便可近似地认为环内各点的向心加速度大小相等, 且都等于 $\frac{D\omega^2}{2}$, 以 A 表示圆环横截面积, ρ 表示单位体积的质量(密度)。于是沿轴线均匀分布的惯性力集度为 $q_d = A\rho a_n = \frac{A\rho D}{2}\omega^2$, 方向则背离圆心, 如图 10.2b 所示。这就与计算薄壁圆筒周向应力 σ'' 的计算简图完全相似(参看 § 7.2)。由半个圆环(图 10.2c)的平衡方程 $\sum F_y = 0$, 得

$$2F_{Nd} = \int_0^\pi q_d \sin \varphi \cdot \frac{D}{2} d\varphi = q_d D$$

$$F_{Nd} = \frac{q_d D}{2} = \frac{A\rho D^2}{4}\omega^2$$

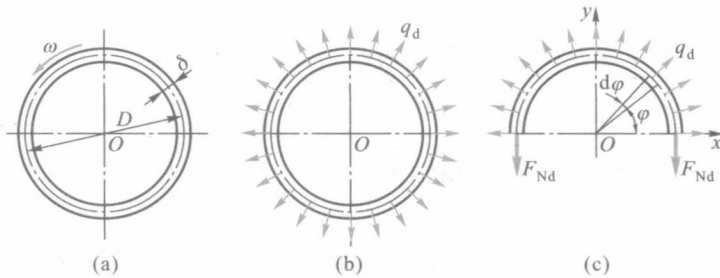


图 10.2

由此求得圆环横截面上的应力为

$$\sigma_d = \frac{F_{Nd}}{A} = \frac{\rho D^2 \omega^2}{4} = \rho v^2 \quad (f)$$

式中, $v = \frac{D\omega}{2}$ 是圆环轴线上的点的线速度。强度条件是

$$\sigma_d = \rho v^2 \leq [\sigma] \quad (g)$$

从式(f)看出, 环内应力与横截面面积 A 无关。要保证强度, 应限制圆环的转速。增加横截面面积 A 无济于事。

例 10.1 在 AB 轴的 B 端有一个质量很大的飞轮(图 10.3)。与飞轮相比,轴的质量可以忽略不计。轴的另一端 A 装有刹车离合器。飞轮的转速为 $n = 100 \text{ r/min}$, 转动惯量为 $I_x = 0.5 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2$ 。轴的直径 $d = 100 \text{ mm}$ 。刹车时使轴在 10 s 内均匀减速至停止转动。求轴内的最大动切应力。

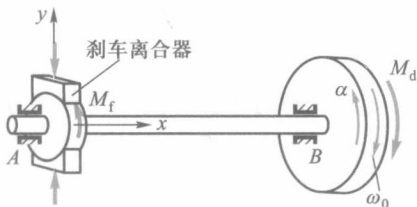


图 10.3

解: 飞轮与轴的转动角速度为

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{10\pi}{3} \text{ rad/s}$$

当飞轮与轴同时作匀减速转动时, 其角加速度为

$$\alpha = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t} = \frac{\left(0 - \frac{10\pi}{3}\right) \text{ rad/s}}{10 \text{ s}} = -\frac{\pi}{3} \text{ rad/s}^2$$

等号右边的负号只是表示 α 与 ω_0 的方向相反(如图 10.3 所示)。按动静法, 在飞轮上加上方向与 α 相反的惯性力偶矩 M_d , 且

$$M_d = -I_x \alpha = -(0.5 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2) \left(-\frac{\pi}{3} \text{ rad/s}^2\right) = \frac{0.5\pi}{3} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

设作用于轴上的摩擦力矩为 M_f , 由平衡方程 $\sum M_x = 0$, 求出

$$M_f = M_d = \frac{0.5\pi}{3} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

AB 轴由于摩擦力矩 M_f 和惯性力偶矩 M_d 引起扭转变形, 横截面上的扭矩为

$$T = M_d = \frac{0.5\pi}{3} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

横截面上的最大扭转切应力为

$$\tau_{\max} = \frac{T}{W_t} = \frac{\frac{0.5\pi}{3} \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}}{\frac{\pi}{16} \times (100 \times 10^{-3} \text{ m})^3} = 2.67 \times 10^6 \text{ Pa} = 2.67 \text{ MPa}$$

例 10.2 汽轮机叶片在工作时通常要发生拉伸、扭转和弯曲的组合变形, 确定其应力和变形是一个相当复杂的问题。这里, 只计算在匀速转动时叶片的拉伸应力和轴向变形。为简单起见, 设叶片可近似地简化为变截面直杆(图 10.4), 且横截面面积沿轴线按线性规律变化。叶根的横截面面积 A_0 为叶顶的横截面面积 A_1 的 2 倍, 即 $A_0 = 2A_1$ 。令叶根和叶顶的半径分别为 R_0 和 R_1 , 转速为 ω , 材