

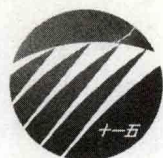


普通高等教育“十一五”部委级规划教材(本科)

化工/食工原理实验

■ 顾正荣 涂国云 主编

 中国纺织出版社



普通高等教育“十一五”部委级规划教材(本科)

化工 / 食工原理实验

顾正荣 涂国云 主编



中国纺织出版社

内 容 提 要

本书是与“化工原理”、“食品工程原理”理论课配套使用的实验教材。全书分单元操作实验及处理工程问题的实验方法、实验误差分析和数据处理、测量仪表和测量方法、单元操作实验的计算机仿真、单元操作实验、演示实验六部分。本书内容的编排着眼于使学生了解和掌握化工原理实验、食品工程原理实验的基本内容和研究方法,着重培养学生的工程观点和分析解决工程问题的能力。

本书可作为本科、专科的化工原理、食工原理实验教材,亦可供从事化工、生物工程、食品工程、环境工程、轻化工程专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工/食工原理实验/顾正荣,涂国云主编. —北京:中国纺织出版社,2010.9

普通高等教育“十一五”部委级规划教材. 本科

ISBN 978-7-5064-6764-3

I. ①化… II. ①顾… ②涂… III. ①化工原理—实验—高等学校—教材 ②食品化学—理论—实验—高等学校—教材

IV. ①TQ02-33 ②TS201.2-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 163431 号

策划编辑:秦丹红 责任编辑:安茂华 特约编辑:秦 伟
责任校对:俞坚沁 责任设计:李 然 责任印制:周文雁

中国纺织出版社出版发行

地址:北京东直门南大街6号 邮政编码:100027

邮购电话:010-64168110 传真:010-64168231

<http://www.c-textilep.com>

E-mail:faxing@c-textilep.com

中国纺织出版社印刷厂印刷 三河市永成装订厂装订

各地新华书店经销

2010年9月第1版第1次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:11.25

字数:250千字 定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

全面推进素质教育,着力培养基础扎实、知识面宽、能力强、素质高的人才,已成为当今本科教育的主题。教材建设作为教学的重要组成部分,如何适应新形势下我国教学改革要求,与时俱进,编写出高质量的教材,在人才培养中发挥作用,成为院校和出版人共同努力的目标。2005年1月,教育部颁发了教高[2005]1号文件“教育部关于印发《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》”(以下简称《意见》),明确指出我国本科教学工作要着眼于国家现代化建设和人的全面发展需要,着力提高大学生的学习能力、实践能力和创新能力。《意见》提出要推进课程改革,不断优化学科专业结构,加强新设置专业建设和管理,把拓宽专业口径与灵活设置专业方向有机结合。要继续推进课程体系、教学内容、教学方法和手段的改革,构建新的课程结构,加大选修课程开设比例,积极推进弹性学习制度建设。要切实改变课堂讲授所占学时过多的状况,为学生提供更多的自主学习的时间和空间。大力加强实践教学,切实提高大学生的实践能力。区别不同学科对实践教学的要求,合理制定实践教学方案,完善实践教学体系。《意见》强调要加强教材建设,大力锤炼精品教材,并把精品教材作为教材选用的主要目标。对发展迅速和应用性强的课程,要不断更新教材内容,积极开发新教材,并使高质量的新版教材成为教材选用的主体。

随着《意见》出台,教育部组织制定了普通高等教育“十一五”国家级教材规划,并于2006年8月10日正式下发了教材规划,确定了9716种“十一五”国家级教材规划选题,我社共有103种教材被纳入国家级教材规划。在此基础上,中国纺织服装教育学会与我社共同组织各院校制定出“十一五”部委级教材规划。为在“十一五”期间切实做好国家级及部委级本科教材的出版工作,我社主动进行了教材创新型模式的深入策划,力求使教材出版与教学改革和课程建设发展相适应,充分体现教材的适用性、科学性、系统性和新颖性,使教材内容具有以下三个特点:

(1)围绕一个核心——育人目标。根据教育规律和课程设置特点,从提高学生分析问题、解决问题的能力入手,教材附有课程设置指导,并于章后附有复习指导及形式多样的思考题等,提高教材的可读性,增加学生学习兴趣和自学能力,提升学生科技素养和人文素养。

(2)突出一个环节——实践环节。教材出版突出应用性学科的特点,注重理论与生产实践的结合,有针对性地设置教材内容,增加实践、实验内容。

(3)实现一个立体——多媒体教材资源包。充分利用现代教育技术手段,将授

课知识点制作成教学课件,以直观的形式、丰富的表达充分展现教学内容。

教材出版是教育发展中的重要组成部分,为出版高质量的教材,出版社严格甄选作者,组织专家评审,并对出版全过程进行过程跟踪,及时了解教材编写进度、编写质量,力求做到作者权威,编辑专业,审读严格,精品出版。我们愿与院校一起,共同探讨、完善教材出版,不断推出精品教材,以适应我国高等教育的发展要求。

中国纺织出版社
教材出版中心

“化工原理”和“食工原理”都是以单元操作为背景的课程,“化工原理实验”和“食工原理实验”是对应理论课开设的实践性环节的课程。单元操作实验属于工程实验范畴,具有鲜明的工程特点和特殊性,要求学生理论联系实际通过实验来验证一些结论和结果,观察相关单元操作的过程和现象,掌握单元操作实验的设计方法、操作技能和仪器仪表的使用能力,从而培养学生理论联系实际的能力和工程观点,使学生在结束基础课程转入相关专业的学习时,在思维方法上对处理复杂的工程实际过程具有较好的分析问题和解决问题的能力。

单元操作种类很多,本教材介绍了直管流动阻力与局部阻力的测定、离心泵特性曲线的测定、板框压滤机过滤常数的测定、换热器对流传热系数的测定、精馏塔的操作与板效率的测定、填料吸收塔吸收系数的测定、干燥速率曲线的测定、液—液萃取、蒸发器传热系数的测定、膜分离、浸取(固—液萃取)共 11 个典型的单元操作实验,为了增加学生的感性认识,还介绍了雷诺实验、柏努利方程、旋风分离器、热边界层、板式塔流体力学性能共 5 个演示实验。根据化工、生物工程、制药、食品、环境、轻化工程不同专业的需要,可选择相应的单元操作以适合所开设的“化工原理”或“食工原理”理论课的需要。

本书第四章介绍的单元操作实验的计算机仿真的内容,与江南大学化学化工实验教学示范中心主页上的化工原理实验模拟仿真软件配套,学生通过计算机上的仿真实验,能对实验教学的内容和过程进行全面和反复的了解和练习。形象逼真的实验原理和内容展示,能充分调动学生学习的积极性,很好地辅助实验教学,提高实验教学的效果和质量。

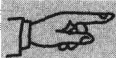
本书由顾正荣、涂国云主编,江南大学化工原理和食工原理的全体教师参与了讨论和部分内容的编写。其中前言,绪论,第四章,第五章中的实验 11,第六章中的演示实验 1 以及附录由顾正荣执笔;第一章由陆杰执笔;第二章由许林妹执笔;第三章、第五章中的实验 5、实验 6、实验 10 以及第六章中的演示实验 5 由涂国云执笔;第五章中的实验 1 和实验 2 以及第六章中的演示实验 2 和演示实验 3 由蒋建中执笔;第五章中的实验 3 和实验 4 由魏慧贤执笔;第五章中的实验 7~实验 9 以及第六章中的演示实验 4 由陈美玲执笔。顾正荣对全书进行了统稿和修改,并呈冯磊教授审阅。

本教材之成书,源自江南大学使用多年的《化工原理/食工原理实验》讲义,得益于江南大学化工原理和食工原理前辈教师数十年实验教学之积淀,也借鉴了国

内各兄弟院校同类教材的经验;在成书的过程中,还得到了江南大学教务处和化学与材料工程学院的专题立项资助,在此一并表示感谢。

本书的出版,会聚了集体的努力。在编写过程中,力求融入自己的实验教学心得,写出自己的风格。但是,由于编者学识水平有限,书中难免有不少疏漏欠缺之处,恳请专家、读者不吝赐教,以助修正。

编 者
2010 年 3 月



课程设置指导

课程名称 化工原理实验 食工原理实验

适用专业 可作为工科院校化学工程、化工工艺、生物工程、食品工程、食品科学、环境工程、环境科学、制药工程、轻化工程等专业化工原理实验或食工原理实验的教材,也可供工科院校的其他专业参考使用。

总学时 48 学时

课程性质 化工原理实验、食工原理实验是以化工单元操作过程原理和设备为主要内容、以处理工程问题的实验研究方法为特色的实践性课程,是化工原理、食工原理课程教学中的一个重要的环节,对培养学生综合应用理论知识、培养实验动手能力、树立工程观点具有重要意义。

课程目的 化工原理实验、食工原理实验的主要目的是使学生了解和掌握化工原理实验、食工原理实验的基本内容和研究方法,培养学生的工程能力。通过本课程的学习,使学生进一步巩固和加强对化工原理、食工原理单元操作理论的认识和理解,培养学生实验动手能力、分析和解决工程问题的能力,培养学生实事求是、严肃认真的工作态度和团结协作的工作作风。

课程教学基本要求 通过化工原理实验、食工原理实验课程的学习,应使学生在下列几个方面的能力上得到较好的培养和锻炼:

(1) 掌握处理工程问题的实验研究方法(量纲分析法、数学模型法等),掌握如何规划实验,检验模型的有效性和模型参数测定的方法。

(2) 验证有关单元操作的理论,巩固和加强对单元操作理论的认识和理解。

(3) 培养分析和解决工程问题的综合能力,掌握单元操作过程和设备的操作及分析能力;正确采集和处理实验数据的能力;撰写实验报告的能力。

1. 实验教学:共 11 个单元操作实验和 5 个演示实验,其中 5 个单元操作实验和演示实验是选做实验(教学环节学时分配表中带*的实验),各学校可按专业设置选设不同的实验课时。实验学时为 24~48 学时。

2. 作业:每次实验后写出实验报告,要求写出实验目的、实验原理、实



课程设置指导

验装置简图、实验步骤,根据所学理论知识对所得实验数据进行处理和分析,对结果有较为全面的讨论。

教学环节学时分配表

实 验	讲 授 内 容	学时分配
实验 1	直管流动阻力与局部阻力的测定	4
实验 2	离心泵特性曲线的测定	4
实验 3	板框压滤机过滤常数的测定	4
实验 4	换热器对流传热系数的测定	4
实验 5	精馏塔的操作与板效率的测定	4
实验 6	填料吸收塔吸收系数的测定	4
实验 7*	干燥速率曲线的测定	4
实验 8*	液—液萃取	4
实验 9*	蒸发器传热系数的测定	4
实验 10*	膜分离	4
实验 11*	浸取(固—液萃取)	4
演示实验*	演示实验 1 ~ 演示实验 5	4
合 计		48

本书第四章介绍的计算机仿真实验采用网络平台展示,使用十分方便。学生可以在相关实验进行之前,先利用这个网络平台,进行计算机仿真操作。通过计算机仿真,预先对实验教学的内容和过程很好地进行了解,这对提高实验教学的质量有很大帮助。

绪论	1
一、单元操作实验的内容和特点	1
二、实验的基本要求	2
思考题	4
 第一章 单元操作实验及处理工程问题的实验方法	5
第一节 直接实验法	5
一、直接实验法的实验过程	5
二、直接实验法的局限性	6
第二节 量纲分析法	7
一、基本概念	7
二、量纲一致性原则	8
三、 π 定理	9
四、量纲分析法的步骤与举例	10
五、相似定理	13
六、应用量纲分析法的注意事项	14
第三节 数学模型法	15
一、机理模型与经验模型	15
二、建立数学模型的一般步骤	15
三、数学模型法的应用举例	16
四、数学模型法和量纲分析法的比较	19
第四节 其他实验方法	19
一、过程变量分离法	19
二、过程分解与合成法	20
三、冷模实验法	20
思考题	21
 第二章 实验误差分析和数据处理	22
第一节 实验的误差	22
一、真值与平均值	22

二、误差的分类	23
三、精密度、正确度、准确度和精确度	24
四、误差的表示方法	25
五、测量仪器的精度	27
六、误差的基本性质和数据选择	29
第二节 实验数据的测量和误差估算	31
一、实验数据的测量	31
二、误差估算	33
第三节 实验数据的整理与处理方法	39
一、实验数据的整理	39
二、实验数据的处理	43
思考题	43
 第三章 测量仪表和测量方法	45
第一节 流体压强的测量	45
一、液柱式压差计	45
二、弹性式压差计	47
三、电气式压差计	48
四、流体压强测量中的技术要点	49
第二节 流体流量的测量	52
一、节流式流量计	52
二、转子流量计	53
三、涡轮流量计	54
四、体积式流量计	55
五、流量计的校正	57
第三节 温度的测量	58
一、接触式温度计	59
二、非接触式温度计	62
三、各类温度计的比较、选用与安装	63
第四节 功率的测量	66
一、电动机—天平式测功器	66
二、应变电阻式转矩仪	66
三、功率表测功法	66
第五节 组成分析方法	68
一、化学法	68
二、物理法	69

思考题	73
第四章 单元操作实验的计算机仿真	74
仿真实验 1 直管流动阻力与局部阻力的测定	75
仿真实验 2 离心泵特性曲线的测定	78
仿真实验 3 板框压滤机过滤常数的测定	80
仿真实验 4 换热器对流传热系数的测定	84
仿真实验 5 精馏塔的操作与板效率的测定	87
仿真实验 6 填料吸收塔吸收系数的测定	91
仿真实验 7 干燥速率曲线的测定	95
仿真实验 8 液—液萃取	99
仿真实验 9 蒸发器传热系数的测定	101
第五章 单元操作实验	105
实验 1 直管流动阻力与局部阻力的测定	105
实验 2 离心泵特性曲线的测定	109
实验 3 板框压滤机过滤常数的测定	112
实验 4 换热器对流传热系数的测定	117
实验 5 精馏塔的操作与板效率的测定	122
实验 6 填料吸收塔吸收系数的测定	126
实验 7 干燥速率曲线的测定	132
实验 8 液—液萃取	137
实验 9 蒸发器传热系数的测定	142
实验 10 膜分离	144
实验 11 浸取(固—液萃取)	148
第六章 演示实验	152
演示实验 1 雷诺实验	152
演示实验 2 柏努利方程	153
演示实验 3 旋风分离器	155
演示实验 4 热边界层	157
演示实验 5 板式塔流体力学性能	159
参考文献	162

附录	163
一、水的物理性质	163
二、饱和水蒸气(以压强为准)	164
三、干空气的物理性质	165
四、标准大气压下乙醇—水平衡数据	166
五、标准大气压下乙醇—水的体积分数、质量分数与相对密度换算表	167

绪 论

一、单元操作实验的内容和特点

“化工原理”是以单元操作为内容,以传递过程和研究的方法论为主线组成的课程。“食品工程原理”(简称“食工原理”)保持了“化工原理”的基本框架,同时结合食品工业的特点,对食品工业中应用较为广泛的一些单元操作作了更为详细的介绍。因此,“化工原理”和“食工原理”都是以单元操作为背景的课程。“化工原理实验”和“食工原理实验”是对应理论课开设的实践性环节的课程,就内容而言,是更为具体的单元操作实验,是研究和解决工程问题方法论的具体体现和实践样本,实验过程中要掌握单元操作实验规划和设计的方法,掌握单元过程的操作和设备特性与过程特性参数的测定,掌握仪器仪表的使用。

1. 规划和设计工程实验的方法

单元操作实验属于工程实验范畴,具有鲜明的工程特点和特殊性。工程实验与物理、化学等基础学科的实验明显不同,它研究的对象是生产中物理加工过程按其操作原理的共性归纳成的若干单元操作,同一种单元操作可以在各种不同的产品生产加工过程的某个工段中出现,因此涉及的物料千变万化,使用的设备尺寸大小不同。例如,流体输送在生产过程中可以是输送水、输送空气、输送硫酸、输送糖液等;根据输送任务的不同,管道可以很粗也可能较细;根据输送距离的远近,管道可以很长也可能较短。其他各个单元操作也是同样的情况,会涉及各种物料和不同尺寸的设备。面对如此复杂的变化因素,必须建立科学的实验研究的方法论,以使实验能抓住影响过程的主要因素,使实验结果在几何尺寸上能“由小见大”,在物料品种上能“由此及彼”。对这一问题,单元操作实验这门课程在一定程度上进行了解决,本书第一章对处理工程问题的实验方法作了详细介绍。单元操作实验这门课程,不仅要求学生掌握各个单元的操作过程,同时要对相关单元操作科学的实验规划和设计方法有足够的认识和理解,使学生在结束基础课程转入相关专业的学习时,在思维方法上对处理复杂的工程实际过程具有较好的分析问题和解决问题的能力,在今后的科研和工作中可以借鉴和创新。

2. 典型单元过程的操作和设备特性与过程特性参数的测定

实际生产过程往往由很多单元过程和设备组成,各单元操作具有相对的独立性和由流体流动、输送、传热、传质各有关单元操作适当组合形成的完整性,掌握典型单元过程的操作和设备特性与过程特性参数的测定,以适合不同层次、不同专业要求的教学对象。

原全国化工原理教学指导委员会在“高等学校工科本科‘化工原理’课程教学基本要求”中提出:化工原理实验内容在直管摩擦系数和局部阻力系数的测定、离心泵的操作与性能的测定、过滤常数的测定、导热系数的测定、传热实验、蒸发实验、精馏塔性能实验、吸收系数的测定、干

燥速度曲线的测定、萃取实验及板式塔流体力学性能实验中至少选做6~7个。“食工原理”课程对实验也有类似的要求。

本教材共编写了11个典型的单元操作实验,即直管流动阻力与局部阻力的测定、离心泵特性曲线的测定、板框压滤机过滤常数的测定、换热器对流传热系数的测定、精馏塔的操作与板效率的测定、填料吸收塔吸收系数的测定、干燥速率曲线的测定、液—液萃取实验、蒸发器传热系数的测定、膜分离实验、浸取(固—液萃取)。还编写了雷诺实验(流动形态)、流体机械能守恒与转化实验(柏努利方程)、旋风分离器、热边界层、板式塔流体力学性能5个演示实验。针对不同层次、不同专业要求的教学对象,可对实验教学内容灵活地进行组合和调整,以适合所开设的“化工原理”或“食工原理”理论课程教学的要求。

单元操作实验课程通过实验教学应使学生得到单元操作实验技能的基本训练,掌握典型单元过程的操作和设备特性与过程特性参数的测定技能,巩固和加深对理论课教学内容的理解,能够理论联系实际,树立工程观点,把握某些工程因素对操作过程的影响,掌握仪器仪表的使用。

二、实验的基本要求

通过单元操作实验课程的学习,学生应具备一定的分析解决工程问题的实验研究能力,这些能力包括:影响实际过程重要因素的分析和判断能力;规划实验和实验方案的设计能力;正确选择和使用有关设备和测量仪表的能力;观察分析实验现象正确进行实验操作的能力;分析处理实验原始数据进行归纳总结获得正确结论的能力;简洁正确地表达实验内容和结果、撰写实验报告的能力。这些能力的培养和提高,能为将来独立地开展科学研究实验或解决工程问题、进行过程开发打下坚实的基础。为了切实有效地培养和提高实验研究能力,必须认真做好实验前的预习、实验过程中的操作与实验数据的读取及记录、实验结束后的分析总结、撰写实验报告等各个步骤的工作。

1. 实验前的预习工作

- (1) 阅读实验教材的相关内容,弄清实验的目的与要求。
- (2) 根据本次实验的具体任务,研究实验的理论根据和具体的实验方法,分析需要测量哪些数据,并且估计实验数据可能的变化规律。
- (3) 通过仿真实验,了解实验流程,对实验过程进行练习,进一步理解实验的目的、原理和实验方法。
- (4) 到现场观看具体的设备流程、主要设备的构造、仪表种类和安装位置,了解它们的启动、使用方法和使用的注意事项。
- (5) 根据实验要求和现场勘察,最后拟定实验方案,确定实验操作程序。

2. 组织好实验小组的分工合作

单元操作实验一般都是以几个人为小组合作进行的,因此实验开始前必须做好组织工作,应做到既有分工,又有合作,既能保证实验质量,又能得到全面训练。每个实验小组要有一个组长负责协调,与组员一起讨论实验方案,让每个组员明确自己的职责(包括观察现象进行操作、

读取数据、记录数据等),在实验的适当时候可以进行轮换,使每个人在各个环节都可以得到锻炼。

3. 认真测取实验数据,做好记录

在实验过程中,应认真观察和分析实验现象,严肃认真地记录原始实验数据,培养严肃认真的科学研究态度。

(1)实验前必须拟好实验数据记录表格,在表格中应记下物理量的名称和单位。不能一边做实验一边随便拿纸记录,以保证数据完整,条理清楚不遗漏。

(2)凡是影响实验结果以及数据处理过程中要用到的数据都必须测取,不能遗漏。它包括大气条件、设备有关尺寸和物料性质等。但并不是所有数据都要直接测取,凡可以根据某一数据导出或从手册中查出的其他数据,就不必直接测定,例如水的密度、黏度等物理性质,只要测定水的温度就可以了。

(3)实验时一定要在操作条件稳定后才开始读取数据,操作条件改变后,要等待稳定后才能读取数据,这是因为操作条件的改变破坏了原来的稳定状态,重新建立稳态需要一定的时间,有的实验甚至要花较长的时间才能稳定,而测量仪表通常又有滞后的现象。实验操作时,必须密切注意仪表指示值的变动,随时调节,务必使整个操作过程都在规定条件下进行,尽量减少实验操作条件和规定操作条件之间的差距。实验操作时要坚守岗位,不得擅自离开。实验过程中还应注意观察过程现象,特别是发现某些不正常现象时应及时查找产生不正常现象的原因,及时排除。

(4)每个数据记录后,应该立即复核,以免发生读错或记错数字等错误。

(5)数据记录必须真实地反映仪表的精确度。一般记录至仪表上最小分度以下一位数,而记录数据中末位都是估读的数。例如温度计的最小分度为 1°C ,如果当时温度读数为 24.6°C ,就不能记为 25°C ,如果刚好是 25°C ,则应记为 25.0°C 不能记为 25°C ,这里是一个精确度问题,如记录 25°C ,它表示当时温度可能是 24°C 也可能是 26°C ,或者说它的误差是 $\pm 1^{\circ}\text{C}$,而 25.0°C 则表示温度是介于 $24.9 \sim 25.1^{\circ}\text{C}$ 之间,它的误差是 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$,当然 24.6°C 不能记为 24.58°C ,因为超出了所用温度计的精确度。

(6)记录数据要以仪表当时的实际读数为准,例如仪表设定空气的控制温度为 100°C ,而读数时实际空气温度为 99.5°C ,就应该记录 99.5°C 。如果被控制的温度稳定不变,则每次记录数据时也应照常记录,不得空下不记。

(7)实验中如果出现不正常情况,数据有明显误差时,应在备注中加以说明。

4. 撰写实验报告

单元操作实验课程设置的每个实验都要求实验者在实验完成后必须提交一份规范的实验报告。实验报告必须写得简单明白,数据完整,交代清楚,结论明确,有讨论,有分析,得出的公式或图表要标明适用条件。实验报告应包括下述基本内容:

(1)报告的题目(实验内容)。

(2)撰写报告人及同实验小组人员的姓名。

(3)实验目的。

(4)实验原理。

(5)实验装置及流程图。

(6)实验方法和主要步骤。

(7)实验数据(包括实验原始数据以及与实验结果有关的全部数据)。

(8)实验数据处理及计算示例。要以一系列数据的计算过程作为计算示例在报告中说明数据是怎么处理的,计算示例要把引用公式、数据代入等计算步骤表达清楚,同一实验小组的每个人要以不同列的数据作出计算示例。

(9)实验结果。要明确给出本次实验的结论,以作图、列表或经验关联式表示均可,并且注明有关条件。

(10)分析讨论。实验中发现问题应作讨论,对实验方法、实验设备有何改进建议也可在报告中写明。

在教学过程中,可将实验报告分为两部分来撰写,前面部分为预习报告,包括上述实验报告(1)~(7)项内容,其中第(7)项内容只要求列出数据表格。实验预习报告在实验操作前交给指导老师审阅,获得通过后方能参加实验。在实验结束后完成实验报告的后面部分,并在规定时间内交指导老师批阅。

思考题

1. 进行实验前,应做好哪些准备工作?
2. 测定和记录实验数据时,应注意哪些问题?
3. 撰写实验报告时,应包括哪些基本内容?