



世纪高等教育土木工程系列规划教材

土木工程提高型 实验教程

杨平 张大中 邵光辉 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

土木工程提高型 实验教程

杨 平 张大中 邵光辉 主编



机械工业出版社

土木工程专业是实践性很强的专业,根据教育部“关于开展高等学校实验教学示范中心建设的要求”,本书系统地介绍了土木工程专业本科生所需开展的各种提高型实验,主要包括四部分:土工与水力学类试验、土木工程材料类试验、土木工程结构类试验、试验数据处理。全书层次分明、重点突出,在每个试验中只对试验报告提出了要求,具体内容和形式可由学生自主发挥,且每章均附有问题与讨论。

本书主要作为普通高等学校土木工程本科专业的提高型实验教学指导书,亦可供其他相关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程提高型实验教程/杨平,张大中,邵光辉主编.
—北京:机械工业出版社,2009.5
(21世纪高等教育土木工程系列规划教材)
ISBN 978-7-111-26794-2

I. 土… II. ①杨…②张…③邵… III. 土木工程-实验-高等学校-教材 IV. TU-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第052454号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:马军平 版式设计:张世琴 责任校对:张莉娟
封面设计:张静 责任印制:乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2009年6月第1版·第1次印刷
169mm×239mm·15.5印张·301千字
标准书号:ISBN 978-7-111-26794-2
定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 88379711
封面无防伪标均为盗版

序

随着 21 世纪国家建设对专业人才的需求,我国工程专门人才培养模式正在向宽口径方向转变,现行的土木工程专业包括建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等 8 个专业的内容。经过几年的教学改革和教学实践,组织编写一套能真正体现专业大融合、大土木的教材的时机已日臻成熟。

迄今为止,我国高等教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名在第 36 位,与我国科技人员总数排名第一的现状形成了极大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员,特别是工程应用型技术人才供给不足。

科学在于探索客观世界中存在的客观规律,它强调分析,强调结论的唯一性。工程是人们综合应用科学理论和技术手段去改造客观世界的客观活动,所以它强调综合,强调实用性,强调方案的优选。这就要求我们对工程应用型人才和科学研究型人才的培养实施不同的方案,采用不同的教学模式,使用不同的教材。

机械工业出版社为适应高素质、强能力的工程应用型人才培养的需要而组织编写了本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,结合大土木的专业建设需要,富有特色、有利于应用型人才的培养。本套系列教材的编写原则是:

- 1) 加强基础,确保后劲。在内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后发展具有较强的后劲。
- 2) 突出特色,强化应用。本套系列教材的内容、结构遵循“知识新、结构新、重应用”的方针。教材内容的要求概括为“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通“大土木”教学内容的基础

上,挑选出最基本的内容、方法及典型应用实例;“新”指在将本学科前沿的新技术、新成果、新应用、新标准、新规范纳入教学内容;“广”指在保证本学科教学基本要求前提下,引入与相邻及交叉学科的有关基础知识;“用”指注重基础理论与工程实践的融会贯通,特别是注重对工程实例的分析能力的培养。

3) 抓住重点,合理配套。以土木工程教育的专业基础课、专业课为重点,做好实践教材的同步建设,做好与之配套的电子课件的建设。

我们相信,本套系列教材的出版,对我国土木工程专业教学质量的提高和应用型人才的培养,必将产生积极作用,为我国经济建设和社会发展作出贡献。

江见鲸

前 言

土木工程专业是实践性很强的专业,根据教育部“关于开展高等学校实验教学示范中心建设的要求”,江苏省制定了高等学校实验教学示范中心建设指南,指南要求实验内容注重基础与前沿、经典与现代的结合,注重与科研、工程和社会实践应用紧密联系,并及时融入科技创新和实验教学改革成果。实验项目的设置包含基本实验、提高型实验(综合性、设计性、探索性等)、研究创新型实验。南京林业大学土木工程实验中心2007年被遴选为江苏省高等学校实验教学示范中心建设点,该示范中心基于提高型、研究创新型实验指导书非常缺乏的情况,根据示范中心建设实践,组织教师编写了本实验教程。本书编写遵循普通高等学校土木工程本科专业培养方案,符合实验教学大纲要求,体现多样性,对实验教学内容进行了拓宽,有广阔的覆盖面和足够的实验项目,并力图考虑学科发展新水平,结合新规范,反映土木工程的成熟和创新性实验教学成果。全书由浅入深,概念清楚,层次分明,重点突出,注重实用性、提高型、研究创新内容,各章还附有问题与讨论。

本书由南京林业大学杨平教授、张大中高级实验师、邵光辉副教授主编,具体编写人员分工如下:绪论由杨平编写,1.1、1.12、1.13由邵光辉编写,1.2由王海波、邵光辉编写,1.3、1.5由王海波编写,1.4由何文龙、杨平编写,1.6由张婷编写,1.7~1.9由赵志峰编写,1.10、1.11由何文龙编写,1.14由张婷、杨平编写,1.15、1.16由杨明明编写,2.1~2.5、2.9~2.11由张高勤编写,2.6~2.8由胡亚风编写,2.12、2.13由魏洋编写、3.1~3.3由郑晓燕编写,3.4~3.7、3.10、3.14、3.16~3.20及第4章由张大中编写,3.8、3.9由周年强编写,3.11~3.13由刘利清编写,3.15由孙敦本编写。

本书得到机械工业出版社和南京林业大学的大力支持,并获江苏省高等学校实验教学示范中心建设经费的资助,在此一并表示感谢。

限于编者的水平,错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

序

前言

绪论..... 1

第1章 土工、水力学类试验..... 7

1.1 三轴压缩试验..... 7

1.2 渗压试验..... 21

1.3 非饱和土直剪试验..... 26

1.4 水泥土无侧限抗压强度试验..... 30

1.5 冻胀融沉试验..... 34

1.6 土体热导率试验..... 37

1.7 土工合成材料拉拔摩擦试验..... 40

1.8 土工膜抗渗试验..... 43

1.9 现场土压力监测试验..... 46

1.10 模型桩低应变完整性检测试验..... 48

1.11 现场抽水试验..... 52

1.12 静止侧压力系数试验..... 55

1.13 应变控制连续加荷固结试验..... 59

1.14 人工冻土单轴抗压强度及蠕变试验..... 64

1.15 管道沿程水头损失试验..... 75

1.16 有压渗流电模拟法试验..... 77

第2章 土木工程材料类试验..... 81

2.1 水泥混凝土立方体抗压强度试验..... 81

2.2 水泥混凝土轴心抗压强度和静力受压弹性模量试验..... 86

2.3 砂浆变形性能试验..... 91

2.4 混凝土的抗冻性能试验..... 95

2.5 混凝土的抗碳化性能试验..... 100

2.6 弯曲梁流变仪测定沥青的低温松弛弹性模量..... 103

2.7 沥青混合料小梁三点加载弯曲试验..... 105

2.8 沥青混凝土小梁三点弯曲疲劳试验..... 108

2.9 沥青混凝土矿质混合料的配合比组成设计..... 111

2.10	沥青混合料最佳沥青用量确定	120
2.11	墙体材料保温隔热性能试验	124
2.12	木材抗压强度测定试验	127
2.13	木材抗拉强度测定试验	131
第3章 土木工程结构类试验		134
3.1	短期荷载下单筋矩形截面梁正截面承载力试验	134
3.2	钢筋混凝土受弯构件斜截面受剪承载力试验	137
3.3	矩形截面对称配筋偏心受压柱正截面承载力试验	140
3.4	钢桁架静载试验	143
3.5	简支梁动态增量的测试	147
3.6	共振法测定钢梁单自由度动力特性	149
3.7	冲击回波检测混凝土厚度及其内部缺陷	152
3.8	超声回弹综合法检测混凝土强度	154
3.9	超声波波速法探测混凝土内部缺陷	157
3.10	信号实时采集与处理虚拟试验	160
3.11	木基结构板材集中静载弯曲试验	164
3.12	木基结构板材均布荷载弯曲试验	166
3.13	木基结构板材冲击荷载弯曲试验	169
3.14	非接触共振法钢筒支梁隔振试验	172
3.15	三层钢框架动力特性测试	175
3.16	外包钢筋混凝土平面框架拟静力试验	179
3.17	索力测试	185
3.18	钢筒支梁动力吸振减振试验	187
3.19	钢筒支梁阻尼减振试验	191
3.20	钢筒支梁变时基锤击法模态测试	195
第4章 试验数据处理		205
4.1	概述	205
4.2	有效数字与计算法则	205
4.3	数据换算	207
4.4	统计分析及误差计算	208
4.5	误差分析	210
4.6	数据的表达方式	216
4.7	试验设计简介	223
4.8	信号处理及分析	228
4.9	问题与讨论	238
参考文献		239

绪 论

1. 土木工程实验教学改革背景

随着科学技术的迅速发展,学科之间相互渗透,工程技术日益系统化、复杂化,当今土木工程中任何创新都必须通过实验手段来证明。在高等教育大发展的今天,竞争日趋激烈,如何培养具有创新能力的高素质土木工程本科应用型、创新性人才,是普通高等院校面临的首要问题。城市化进程一方面对土木工程专业人才需求呈扩大趋势,同时又对人才综合素质提出了更高要求。实验是高校土木工程专业教学计划中的重要组成部分,在人才培养方面可以发挥独特的作用。土木工程实验室是培养学生工程实践能力和创新实践能力的重要基地,加强土木工程实验教学环节,不仅能有效地提高本科教学质量和办学水平,培养高素质、实践型、应用型、创新型人才,而且对土木工程专业本身学科理论的发展有着巨大的促进作用。因此,如何建设好一个与我国经济发展相匹配,能培养学生综合能力、动手能力、创新能力,体现先进实验手段的实验教学平台已成当务之急,刻不容缓。

现代实验教学要以培养学生实践能力、创新能力和提高教学质量为宗旨,以知识传授、能力培养、素质提高和全面协调发展的素质教育理念为指导,牢固树立以人为本的管理理念。通过深化实验教学改革,优化实验教学体系,创新管理运行机制,建成仪器设备先进、资源共享、开放管理的现代化实验教学中心,全面提高实验教学水平,满足新时期实施素质教育和培养创新人才的需要。

土木工程实验教学改革是一系统工程,包括实验教学体系、实验教学内容、实验教学方法和手段、实验教学考试与考核、实验教学研究、实验教材建设、实验室开放、实验教学效果、实验教学队伍、仪器设备配置、环境与设施、管理体制与运行机制等,其中实验教学内容改革是现代实验教学改革的核心内容,其实验内容要注重基础与前沿、经典与现代的结合,注重与科研、工程和社会实践应用紧密联系,并及时融入科技创新和实验教学改革成果。实验项目的设置要求科学合理,包含基本实验、提高型实验(综合性、设计性、应用性等)、研究创新型实验。其中提高、研究创新型实验应在全部实验项目中占有一定比例。有关基本实验各校都编写了实验指导书,能满足其实验教学,但提高型实验和创新型实验的开展是土木工程实验教学改革的重点和难点。

2. 土木工程提高型实验的目的和任务

实验教学是培养土木工程学生掌握基本科学实验方法与技能,提高科学素养、动手能力与创新能力的�主要手段之一,在培养创新型人才中有着不可替代的作用。主要体现在以下几个方面:

1) 巩固、深化学生理论知识。通过实验教学,不仅可以验证在理论教学中学到的理论知识,加深对书本知识的理解,而且还可以补充、深化书本知识,拓宽知识面。

2) 培养土木工程学生工程意识与实践动手能力。在实验教学中,通过开设模拟实际工程的综合性、设计性、研究创新性实验,培养学生的观察能力、创新能力和分析问题与解决问题的能力。

3) 培养工科学生良好的思想品德。实验教学过程,实质上是一个理论与实践相结合的过程。因此,通过实验教学,有利于学生树立马克思主义实践观。通过实验教学,可以教会学生透过现象看本质,树立全面看问题的观点。

4) 培养工科学生的科学素养。所谓科学素养,是指科技工作者应具有的良好基本素质,主要包括实事求是的科学态度、一丝不苟的工作作风、敏锐捕捉异常现象的直觉能力、坚忍不拔的毅力以及为真理而乐于献身的精神等。

5) 培养学生的团队精神。实验不是一人能单独完成的,实验小组成员必须齐心协力、各尽所能共同完成。显然,作为未来的土木工程师,要养成上述科学素养,单靠理论教学是难以实现的,而实验教学对土木工程学生科学素养的形成则有很大的促进作用。实验教学涵盖基本实验、提高型和研究创新型实验三个层次,加强土木工程提高型和研究创新型实验,不仅能有效地提高本科教学质量和办学水平,培养高素质、实践型、应用型、创新型人才,而且对土木工程专业本身学科理论的发展有着巨大的促进作用。

3. 土木工程提高型实验分类

土木工程提高型实验有很多,难以全部列举,根据近年来南京林业大学土木工程的实验教学实践,本书将土木工程提高型实验分为三大类,即土工与水力学类提高型实验、土木工程材料类提高型实验、土木工程结构类提高型实验。其详细分类情况见表1。

表1 土木工程提高性实验分类表

大 类	小 类	实 验 项 目	对应课程	实验评价
土工与水力学类	土工类	三轴压缩试验	土力学	提高型实验
		渗压试验		提高型实验
		非饱和土直剪试验		提高型实验
		冻胀融沉试验		提高型实验
		土体热导率试验		提高型实验
		静止侧压力系数试验		提高型实验
		应变控制连续加荷固结试验		提高型实验
		人工冻土单轴抗压强度及蠕变试验	岩土工程	提高型实验
		水泥土无侧限抗压强度试验		提高型实验
		土工合成材料拉拔摩擦试验		提高型实验
		土工膜抗渗试验		提高型实验
		现场土压力监测试验		提高型实验
		模型桩低应变完整性检测试验	基础工程	提高型实验
	水力学类	管道沿程水头损失试验	水力学	提高型实验
		有压渗流电模拟法试验		提高型实验
土木工程材料类	水泥砂浆材料类	水泥混凝土立方体抗压强度试验	土木工程材料	基本实验
		水泥混凝土轴心抗压强度和静力受压弹性模量试验		提高型实验
		砂浆变形性能试验		提高型实验
	混凝土材料类	混凝土的抗冻性能试验		提高型实验
		混凝土的抗碳化性能试验		提高型实验
	沥青材料类	弯曲梁流变仪测定沥青的低温松弛弹性模量		提高型实验
		沥青混凝土矿质混合料的配合比组成设计		提高型实验
		沥青混凝土最佳沥青用量确定		提高型实验
		沥青混合料小梁三点加载弯曲试验		提高型实验
		沥青混凝土小梁三点弯曲疲劳试验		提高型实验
		墙体材料保温隔热性能试验		提高型实验
	木材和墙体材料类	木材的抗压强度测定试验		提高型实验
		木材的抗拉强度测定试验		提高型实验
		木材的抗拉强度测定试验		提高型实验

(续)

大 类	小 类	实 验 项 目	对应课程	实验评价
土木工程结构类	混凝土结构类	短期荷载下单筋矩形截面梁正截面承载力试验	结构设计原理	提高型实验
		钢筋混凝土受弯构件斜截面受剪承载力试验		提高型实验
		矩形截面对称配筋偏心受压柱正截面承载力试验		提高型实验
		简支梁动态增量的测试		提高型实验
	钢结构类	钢桁架静载试验	结构检测	提高型实验
		钢筒支梁动力吸振减振试验		提高型实验
		钢筒支梁阻尼减振试验		提高型实验
		钢筒支梁变时基锤击法模态测试		提高型实验
		共振法测定钢梁单自由度动力特性		提高型实验
	无损检测类	冲击回波检测混凝土厚度及其内部缺陷		提高型实验
		超声回弹综合法检测构件测区混凝土强度		提高型实验
		超声波法检测混凝土内部缺陷		提高型实验
	信号处理	信号实时采集与处理虚拟试验		提高型实验
	木结构类	木基结构板材集中静载弯曲试验		提高型实验
		木基结构板材均布荷载弯曲试验		提高型实验
		木基结构板材冲击荷载弯曲试验		提高型实验
	动载试验及其他类	非接触共振法钢筒支梁隔振试验		提高型实验
		简支梁动态增量的测试		提高型实验
		三层钢框架动力特性测试		提高型实验
		外包钢筋混凝土平面框架拟静力试验		提高型实验

4. 如何开展土木工程提高型实验教与学

土木工程实验课程具有教学内容多、实践性和技术性强、计划学时往往不多的特点。如何开展土木工程提高型实验教与学，是值得研究的，下面是我们的一些做法和想法，供读者参考：

- 1) 不断优化实验教学体系，努力培养学生的科学作风、实验技能以及综合分析、发现和解决问题的能力。建立适应学科特点，以能力培养为主线，分层次、多模块、完整的实验课程体系，提倡实验教学独立设课。
- 2) 改革实验教学内容。实验教学内容改革重点是将单一的验证性实验向综

合的创造性实验转变,为此应开发贴近工程实际的综合性、设计性实验;引进反映学科前沿及最新发展成果的实验项目,应用先进仪器设备提升和丰富经典验证性实验;引入现代化的虚拟实验手段;构建以综合、设计型实验为主,演示、验证、虚拟实验为辅的多层次的实验教学模式,促进实验教学的全面改革。

3) 加强实验教材和自制实验装置建设,打好能力培养的物质基础。一本适宜的指导书,是完成实验目的的先决条件。所有有实验教学的课程都应有实验教学大纲,可按照现有实验室资源和现状自编教材,包括综合性、设计性实验指导书和常规实验指导书,实验项目对不同专业有不同的选择,分为不同类型的指导书(土木工程专业为A类、其他专业为B类),所有的实验报告应有统一的规范格式,部分实验留有学生自由发挥的发展空间。某些重要的又很耗时的土木工程基础实验如“水泥胶砂强度试验”可制作VCD,使大学生们通过VCD演示能清楚地了解水泥胶砂强度试验全过程,节约常规实验时间,把更多的时间用在开展提高型实验上。重视学生创新能力和实践能力培养,以自制仪器设备带动学生创新实验。自制仪器设备可丰富学生的课内和课外实验,带动学生创新实验的开展,培养学生动手能力和分析问题、解决问题的能力,激发学生潜能,同时也促进自制仪器设备的进一步完善,并为实验室丰富了提高型实验设备。例如,南京林业大学土木工程学院在校生利用自制仪器设备有多人次分别获力学竞赛、省优秀毕业生论文等奖励,其中“土木工程结构静力实验数据采集仪”在第十届全国大学生“挑战杯”竞赛中获二等奖。

4) 改革教学方法,重视以学生自我训练为主的教学模式。采取课内和课外相结合的教学方法,既解决学时少、内容多的矛盾,又能充分地调动学生的学习主动性和积极性。为了使少数学有余力的优秀学生得到更多的实验教学锻炼机会,开发出具有一定前沿性的实验教学项目,如简支梁应变模态试验等。通过实验,使优秀学生进一步开阔眼界、拓宽创新思路。还可为本科生适当安排一些土木工程专业基础仿真、虚拟(多媒体)实验教学。

5) 教学要与工程实践相结合与科研相结合。理论来源于实践,必然还要回到实践中去,指导和服务于实践。科研位于专业技术领域的最前沿,最能反映出专业的发展方向,实验教学与科研相结合,既可丰富实验内容,又能提高实验的先进性。实验教师必须积极参加科研、工程实践,不断提高科研能力与学术水平,才能将新成果和新技术及时、准确、生动地融合在自己的实验教学中。学生在进行相关实验设计时要与工程或与科研相结合,使实验更具实践意义。

6) 建立实验室网站,实验室最大可能地向本科生开放:完善实验室开放制度和管理办法,建立实验室网站,实行学生网上预习、预约实验、实验教师网上审核、批准开放实验,只有经过预习和预约的学生,才能得到批准进入实验室开展相关实验。这样既发挥了学生的积极性又可节约实验教师时间。也可规定各实

验分室面向本科生的开放实验内容,并向学生公布实验室开放运行的具体办法,鼓励学生从事创新、研究型实验,独立自主地完成课程大纲规定以外的实验项目。实验室人员在接受学生实验预约后,做好充分的实验准备,并在实验过程中进行必要的指导。通过实验室开放进行各类教学、科研等提高型实验。

7) 土木工程实验特别是提高型实验涉及到许多理论知识,要求学生首先要在掌握相关课程的基本理论和基本原理后才能更好的开展提高型实验,这些课程主要有土力学、水力学、土木工程材料、基础工程、岩土工程、结构设计原理、木结构、结构检测等。

8) 保持实验教学手段的先进性、现代性和方向性,实验教学平台的建设要与产学研基地的建设相结合。可与国内设备生产厂家、科研基地或施工企业建立联合实验室,为学生开展提高型实验提供更多的设备和手段。

第 1 章

土工、水力学类试验

1.1 三轴压缩试验

三轴压缩试验是根据 Mohr-Coulomb 强度理论,用 3~4 个试样,分别在不同的恒定周围压力下施加轴向压力,进行剪切直至破坏,从而确定土的强度参数。三轴仪依施加轴向压力方式的不同,分为应变控制式和应力控制式两种,其中前者操作简便,应用较为广泛。

1.1.1 试验目的

测定土的抗剪强度与应力、应变参数。

1.1.2 试验设备和仪器

1) 应变控制式三轴仪(图 1-1):由压力室、轴向加压设备、周围压力系统、反压系统、孔隙水压力量测系统、轴向变形和体积变化量测系统组成,如图 1-2 所示。

2) 附属设备:包括击样器、饱和器、切土器、原状土分样器、切土盘、承膜筒和对开圆膜,如图 1-3~图 1-7 所示。

3) 天平:称量 200g,最小分度值 0.01g;称量 1000g,最小分度值 0.1g。

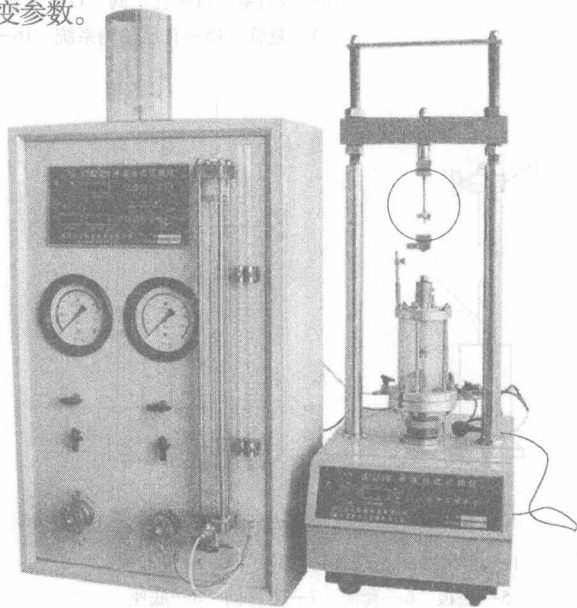


图 1-1 应变控制式三轴仪

4) 橡胶膜: 应具有弹性的乳胶膜, 对直径 39.1mm 和 61.8mm 的试样, 厚度以 0.1~0.2mm 为宜, 对直径 101mm 的试样, 厚度以 0.2~0.3mm 为宜。

5) 透水板: 直径与试样直径相等, 其渗透系数宜大于试样的渗透系数, 使用前在水中煮沸并泡于水中。

6) 其他: 百分表、秒表、切土刀、卡尺等。

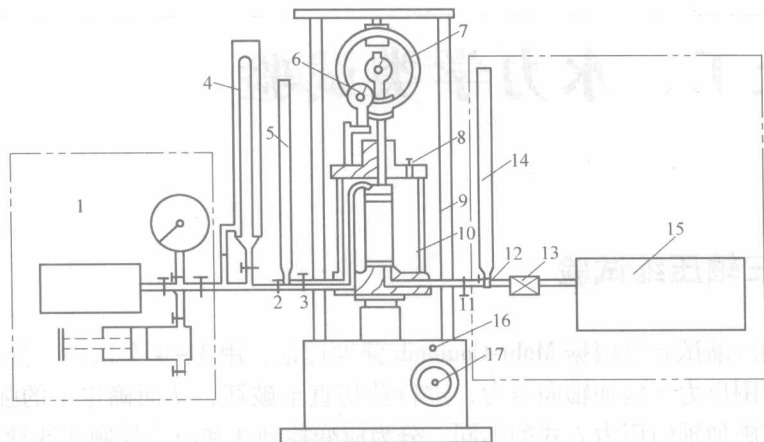


图 1-2 应变控制式三轴仪系统示意图

- 1—周围压力系统 2—周围压力阀 3—排水阀 4—体变管 5—排水管
6—轴向位移表 7—测力计 8—排气孔 9—轴向加压设备
10—压力室 11—孔压阀 12—量管阀 13—孔压传感器
14—量管 15—孔压量测系统 16—离合器 17—手轮

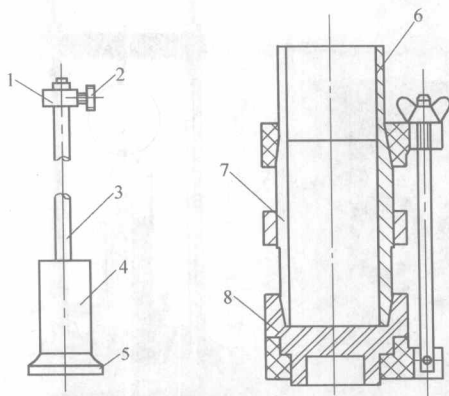


图 1-3 击样器

- 1—套环 2—定位螺钉 3—导杆 4—击锤
5—底座 6—套筒 7—击样筒 8—底座

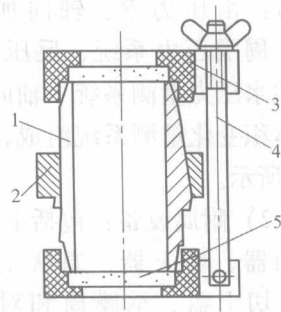


图 1-4 饱和器

- 1—圆模（3片） 2—紧箍 3—夹板
4—拉杆 5—透水板