

建筑结构试验

湖 南 大 学
太 原 工 学 院 合 编
福 州 大 学



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

建筑结构试验

湖南大学
太原工学院 合编
福州大学

中国建筑工业出版社

本书除绪论外共分七章。包括静载试验量测仪器、动载试验量测仪器、加载方法及设备、静载试验、动载试验、模型试验、试验数据的统计分析。其中第一章至第五章作为高等学校工业与民用建筑专业本科学学生试用教材，第六章和第七章作为有关专业研究生自修提高之用。

本书可供有关教师和工程技术人员参考。

高等学校试用教材

建筑结构试验

湖南大学 太原工学院 福州大学 合编

*

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: 13¹/₂ 字数: 325 千字

1982年7月第一版 1982年7月第一次印刷

印数: 1—17,900 册 定价: 1.40元

统一书号: 15040·4273

前 言

本书是根据高等学校工业与民用建筑专业教材会议的要求编写的。全书分七章并附有实用的附表和主要参考书，其中第一章至第五章适用于高等学校工业与民用建筑专业，课程时数按45学时安排，包括讲授和实验。第六章、第七章供有关专业研究生自修提高，不属于45学时的范围。

本课程的教学，要特别注意讲授与实验的联系。本书虽按量测仪器、试验设备、试验方法和试验数据处理的次序编写，但在教学过程中，应该根据各校具体情况，对各章节适当取舍调动，配合进行。

本书由湖南大学陈谔、王济川主编，参加编写的有太原工学院董子华、王晋生，福州大学刘洪廷、林茂合。

本书由同济大学姚振纲、张誉主审，承姚、张两同志仔细审阅并提出了许多宝贵的意见。

在完成初稿的过程中，参考并引用了历年来哈尔滨建筑工程学院、同济大学、清华大学等兄弟院校的讲义和资料，得到同济大学、清华大学、西安冶金建筑学院、南京工学院、重庆建筑工程学院、浙江大学、中国建筑科学研究院结构所、冶金建筑科学研究所、四川省建筑科学研究所、军事科研机关以及其他兄弟单位的热情支持并提出宝贵意见，特此表示感谢。

由于我们的水平有限，书中一定存在着不少缺点和错误，希望批评指正。

编 者

1981年4月

目 录

前 言 绪 论

第一章 静载试验量测仪器.....4

- 1-1 概述4
- 1-2 接触式位移计5
- 1-3 杠杆应变仪10
- 1-4 其他常用机械式量测仪器13
- 1-5 检验用仪器16
- 1-6 静态电阻应变测量21
- 1-7 其他电测传感仪器37

第二章 动载试验量测仪器.....40

- 2-1 概述40
- 2-2 拾振器的力学原理41
- 2-3 机械式测振仪器44
- 2-4 磁电式拾振器45
- 2-5 压电式加速度计48
- 2-6 记录仪器50
- 2-7 测振仪器的配套及标定57
- 2-8 动态电阻应变仪59

第三章 结构试验的加载方法及设备62

- 3-1 概述62
- 3-2 重力加载62
- 3-3 液压加载63
- 3-4 机械力加载68
- 3-5 气压加载69
- 3-6 惯性力加载70
- 3-7 电磁加载72
- 3-8 支承和传力设备73

第四章 静载试验80

- 4-1 试验的计划与准备80
- 4-2 加载方案的确定84
- 4-3 观测方案的制定87
- 4-4 一般结构的静载试验91
- 4-5 其它结构的静载试验98
- 4-6 静载试验资料的整理和分析105

第五章 动载试验123

- 5-1 概述123
- 5-2 动载特性的试验测定124
- 5-3 结构动力特性的试验测定128
- 5-4 结构动力反应的试验测定134
- 5-5 结构疲劳试验137
- 5-6 动载试验资料的整理和分析141

第六章 模型试验147

- 6-1 概述147
- 6-2 相似的概念148
- 6-3 方程式分析法150
- 6-4 量纲分析法153
- 6-5 模型材料的选择162
- 6-6 模型试验应注意的问题165

第七章 试验数据的统计分析166

- 7-1 概述166
- 7-2 量测的误差166
- 7-3 试验数据整理的依据168
- 7-4 试验误差的计算173
- 7-5 统计检验181
- 7-6 一元线性回归分析184
- 7-7 回归直线方程效果的检验187
- 7-8 一元非线性回归分析192
- 7-9 多元线性回归分析194

附录:

- 附表1 常用有机粘结剂199
- 附表2 国内外常用应变仪200
- 附表3 矩形及圆形截面应变变量
测方法202
- 附表4 国产磁电式拾振器(速度
型传感器)203
- 附表5 国产加速度计203
- 附表6 国产光线示波器204
- 附表7 国产动圈式振子205
- 附表8 国产磁带记录仪205

附表 9	钢筋混凝土及预应力钢筋 混凝土结构构件基本强度 安全系数	206	混凝土构件抗裂安全系数	207
附表 10	钢筋混凝土及预应力钢筋 混凝土结构构件的附加强 度安全系数	206	附表 13	钢筋混凝土构件最大裂缝 宽度允许值
附表 11	钢结构构件的强度安全系数	207	附表 14	钢筋混凝土及预应力钢筋 混凝土受弯构件的允许挠 度值
附表 12	钢筋混凝土和预应力钢筋		附表 15	钢结构构件的允许变形
			参考资料	
				209

绪 论

建筑结构试验是建筑结构专业的一门基础技术科学。它的任务是通过有计划地对结构物受载后的性能进行观测和对测量参数（如位移、应力、振幅、频率……等）进行分析，达到对结构物的工作性能作出评价，对结构物的承载能力作出正确估计，并为验证和发展结构的计算理论提供可靠的依据。

理论的预言一定要通过实践的检验来证实，而试验是最有效的实践。新的试验技术（包括仪器、设备、方法等）能够向人们揭示新的事实，提出新的问题，导致新的假设和新学说的出现。结构理论和结构试验在建筑结构历史上的相互关系正是这样的。

十七世纪初期伽里略（1564年～1642年）首先研究材料的强度问题，提出许多正确理论，但在1638年出版的著作中，也错误地认为受弯梁的断面应力分布是均匀受拉。过了四十六年，法国物理学家马里奥脱和德国数学家兼哲学家莱布尼兹对这个假设提出了修正，认为应力分布不是均匀的，而是按三角形分布的。后来虎克和伯努里又建立了平面假定。1713年法国人巴朗进一步提出中和层的理论，认为受弯梁断面上的应力分布以中和层为界，一边受拉，另一边受压。由于当时无法验证，巴朗的理论不过只是一个假设而已，受弯梁断面上存在压应力的理论，仍未被人们接受。

1767年法国科学家容格密里首先用简单的试验方法，令人信服地证明了断面上压应力的存在。他在一根简支木梁的跨中，沿上缘受压区开槽，槽的方向与梁轴垂直，槽内塞入硬木垫块。试验证明，这种梁的承载能力丝毫不低于整体的未开槽的木梁。这说明只有上缘受压，才可能有这样的结果。当时，科学家们对容格密里的这个试验给予极高的评价，誉为“路标试验”，因为它总结了人们一百多年来的摸索，象十字路口的路标一样，给人们指出了进一步发展结构强度计算理论的正确方向和方法。

1821年法国科学院院士拿维叶从理论上推导了现在材料力学中受弯构件断面应力分布的计算公式，而用实验方法验证这个公式，则又经过了二十多年后，才由法国科学院另一个院士阿莫列恩完成。人类对这个问题经历了二百多年的不断探索，至此才告一段落。从这段漫长的历程中可以看到，不仅对于验证理论，而且在选择正确的研究方法上，试验技术所起的重要作用。可以这样说：“科学的发展，往往都是以技术（包括试验技术）的突破为转机的”。结构理论的发展与结构试验就是这样紧密地联系在一起。

在实际工作中，根据不同的试验目的，结构试验可分为生产鉴定性试验（简称鉴定性试验）和科学研究性试验（简称科研性试验）两大类。

鉴定性试验以直接服务于生产为目的，以真实结构为对象，通过试验对结构作出技术结论。这类试验经常用来解决下述三个方面的问题：

1. 检验结构的质量，说明工程的可靠性。对于一些比较重要的结构，在建成之后，要求通过试验，鉴定其质量的可靠程度；对于成批生产的预制构件，则在出厂或安装之前，要求按照试验规程抽样试验，以推断成批产品的质量。

2.判断结构的实际承载能力,为改建、扩建工程提供数据。当旧建筑物进行扩建加层,或当生产发展,需要提高车间起重运输能力及楼面承载能力时,往往要求通过试验来确定这些旧建筑物的潜力。这在缺乏有关旧建筑物的资料时,更为必要。

3.处理工程事故,提供技术依据。对于遭受火灾、爆炸、地震而损伤的结构物,或在建造和使用过程中发现有严重缺陷(如质量事故、过度的变形和裂缝等)的结构物,往往要求通过试验,为进行加固提供依据。

鉴定性试验总是在比较成熟的设计理论的基础上进行的,离开了这样的理论指导,鉴定性试验就会成为盲目的试验。

鉴定性试验本身也具有重要的科学价值,大量的鉴定性试验将为结构设计理论积累资料。例如,上海等地曾对机械加工车间及计量室等类型的房屋进行了实测,收集了有关楼盖的固有频率,机床振动及其相互的影响,楼盖振动对精密加工的影响以及振动的传播与衰减等数据,为设计理论积累了宝贵资料。

科研性试验的任务是验证结构设计理论,验证各种科学判断、推理、假设和概念的正确性以及提供设计依据。

随着建筑科学的发展,新材料、新结构、新工艺不断涌现,例如轻质、高强、高效能材料的应用;装配式钢筋混凝土和预应力混凝土结构的应用;薄壳、悬索、网架等大跨度结构和高层建筑的应用;特种结构如用于核电站的耐高温、高压的预应力混凝土压力容器,以及海洋石油开发工作平台等新型结构的出现;大板、升板、大模板、滑模、砌块等施工工艺的发展,都离不开科学试验。新材料的应用,新结构的设计,新工艺的施工,往往需要通过多次的科学试验和工程实践才能使理论不断完善。

为了制定我国自己的设计规范,我们对钢筋混凝土结构、钢结构、木结构、砖石结构等基本构件的力学性能进行了系统的科研性试验,提出了符合我国实际情况的设计理论和计算公式。

对于承受地震力、风力和冲击波等特种荷载的结构,以及其他大型、复杂的结构,常常通过模型试验来分析其受力情况,作为设计的依据,或将模型试验的结果与电子计算机的分析结果进行比较,互相校核。在七十年代新建的上海体育馆和上海文化广场修复工程中,采用了大跨度三向网架钢结构屋盖,曾先后对这两项工程用1:20的模型进行试验。1976年在昆明进行了五层足尺装配式混凝土空心大板房屋抗震模拟试验;1977年在南宁进行了大板与砖混结构四层房屋的对比试验;1979年在上海进行了五层砌块房屋的整体破坏试验;1980年在天津进行了锯齿形框架厂房整体模型的地震模拟试验以及其他如杭州、成都等地的模型试验,都为今后房屋设计的选型与计算提供了有用的依据。

科研性试验必须按照事先周密考虑的计划来进行,试验对象通常是专为试验而设计和制造的。在设计试件和进行试验的时候,应突出研究的主要问题,消除一些对结构实际上有影响的次要因素,使观测数据易于分析、总结。

根据所承受荷载的不同,结构试验可分为静载试验和动载试验;根据观测时间的长短,又可分为长期观测试验和短期观测试验。短期观测的静载试验是最基本的结构试验,对于某些特殊要求的结构物,再辅以动载试验或长期观测试验。

解放后我国十分重视结构试验,在这方面做了许多工作。1953年在长春对25.3米高的酒杯形输电铁塔进行了简单的真型试验,这是解放后第一次规模较大的结构试验。1956年

各大学开始设置结构试验课程，各建筑科学研究机构和高等学校也开始建立结构试验室，同时也开始生产一些测试仪器，全国各地开始对结构构件进行试验。从那时候起，我国便初步拥有一支既掌握一定试验技术又具有一定装备的结构试验专业队伍。1957年完成了武汉长江大桥的鉴定性试验任务。1977年我国制订了“建筑结构测试技术的研究”的八年规划，为使测试技术达到现代化水平提出了具体的奋斗目标。目前全国土建专业的各科研机构、高等学校都已展开对基本构件力学性能的研究；地震力、振动荷载对结构影响的研究；加载设备、电液伺服自动控制加载系统的研究；新的特种结构和新的测试技术的研究，并已取得一定的成果。

解放以来，我国的结构试验虽然有了较快的发展，但离开掌握先进的试验技术还有一定距离，必须更进一步努力来缩短差距。近年来国外结构试验技术水平有很大的提高，建立了现代化的试验室，引用了现代物理学上的新成就和电子技术，从而保证了对各种结构体系和结构性能的深入研究，也有力地促进了新材料、新结构、新工艺的迅速发展。

为适应整体结构的研究，排除现场试验中许多外来因素的干扰，国外建立了大型的结构试验室，有空调设备，能做到恒温恒湿。试验加载设备趋向采用大型结构试验机和电液伺服加载系统，实现整个试验过程自动化，包括加载程序控制，自动数据收集、处理以及自动绘图。

六十年代以来，国外对足尺结构的模拟试验也做了大量工作。对于特大型结构，当必须进行足尺试验时，可将它分解成几个独立部件，然后用专门的加载设备或电液伺服机模拟这些部件的边界约束条件进行加载，使它的受力情况和在整体结构中一样。这种模拟试验解决了特大型结构在室内进行试验时所带来的各种问题。

国外试验技术的发展特点是测试方法的多样化和测试仪器的高精度、小型化和电气化。电测仪器配合传感器之后，可以将机械量转变为电量，并使整个测试过程自动化，既节省了人力，也避免了人为的误差。此外，还可以进一步做到遥控。

电子计算机的应用，使测试技术起了巨大变化。使用电子计算机控制的数据收集器，由控制器编制程序，选择操作方式，用硬件处理数据，如标定改变、非线性修正、越线报警、测点超限转移等等。这一切，把测试技术引进了一个新的自动化时代。

今后我们应着重对结构试验载荷系统进行研究；逐步提高量测精度和测试自动化程度；引用现代物理学上的新成就和其它先进技术来解决应力、位移、裂缝及振动的量测问题；开展结构模型试验理论、方法和结构非破损试验技术的研究，使建筑结构试验技术达到现代化水平，更好地适应和满足建筑结构科学发展的要求。

第一章 静载试验量测仪器

1-1 概 述

结构静力试验需要量测的参数是多种多样的，有：外力(支座反力、推力、外荷等)；变形(挠度、转角、曲率、偏移、相对滑移、几何变形等)；裂缝(开展过程、开裂宽度)以及其他如环境温度、湿度、风力等等。

量测仪表按其基本原理可分为：机械式仪器、电测仪器、光学仪器及复合式仪器。

机械式量测仪器，是利用杠杆、齿轮、螺杆、弹簧、滑轮、指针、刻度盘等，将被测的量加以放大、缩小或变向，最后转换为长度的变化，用指针在刻度盘上表示出来。机械式量测仪器一般包括四个部分：

感受机构——直接感受被测量的变化；

转换机构——把感受机构受到的变化转换为长度的变化；

指示装置——指示被测量的大小，通常用指针在刻度盘上指出；

附属装置——如仪器的附件和防护装置等。

机械式仪器有许多优点：准确度高，对环境适应性强，有一定的灵敏度，使用简单，工作可靠，可重复使用，较经济耐用，其性能在许多方面能满足结构试验的要求。因此，它是目前一般结构试验中常用的量测仪器。

随着电子技术的发展，结构试验越来越多地应用电测仪器。电测仪器能够把结构试验中所要量测的各种参数转变为电阻、电容、电感、电压或电流等电量参数，然后进行量测。这种转变和量测的技术称为“非电量电测技术”。

非电量电测仪器通常由传感元件、放大器及指示记录设备三部分组成。

传感元件也称为传感器、换能器或转换器，它将被测的非电量转变成某种电量。目前传感元件最常用的是电阻应变片，几乎上述所有的力学和物理参数都可以通过它进行量测。其它类型的传感元件还有电感式、电容式、电压式等。

放大器是一个精度高、稳定性好的微信号高倍放大器，它将传感元件所感受的信号放大，以便于测读记录。

指示记录设备常采用笔尖记录形式的 $x-y$ 函数记录器以及数字式记录器，也采用动测中的磁带记录器和光线示波器等。

电测仪器由于有许多独特的优点，例如能快速、准确地量测试件表面或内部各部位的各项数据，可远距离操纵，自调自记，与电子计算机联机应用等，所以有逐步取代机械式量测仪器的趋势。

实际上许多仪器均属复合式的，因为光(包括激光、偏光等)、电、磁、声等常联合使用，而各种仪器又都离不开高质量的机械零件。

量测仪器性能的基本指标有下列几个：

刻度值 A ——仪器指示装置的每一刻度所代表的被测量的值。在整个量测范围内 A 可能为常数，也可能不是常数；

量程 S ——仪器的最大量测范围；

灵敏度 K ——被测量的单位变化引起仪器指示装置的变化值。在量测长度时，灵敏度无单位，可用仪器的放大率 V 来表示，灵敏度与刻度值是互成倒数的；

准确度——仪器指示装置的指示值与被测值的符合程度。仪器的准确度通常用误差来表示；

误差——仪器指示装置的指示值与被测值之差（绝对误差）。

一个仪器的使用性能，应从多方面去衡量。上述的性能之间有时是相互矛盾的，如灵敏度高的量程常较小；准确度高的往往适应性就差。因此，在选用仪器时，应根据试验的目的和要求，综合考虑选择。必须防止盲目地追求使用高灵敏度的仪表。结构试验对量测仪器的基本要求是：量测仪器不应影响结构的工作性能和受力情况；仪器性能需满足试验的具体要求，如合适的灵敏度，足够的准确度和量程；使用方便，工作可靠及经济耐用等。

1-2 接触式位移计

百分表、千分表、挠度计都是接触式位移计。三者的外形相似，构造及工作原理相同，但量测的精度及量程不一样。百分表及千分表的量程较小，前者刻度值为0.01毫米，后者刻度值为0.001毫米。挠度计的量程较大，刻度值常为0.05毫米。

百分表与千分表是建筑结构试验中最基本的机械式量测仪器，常用于量测结构的挠度与变形，还可与其他传感器组合做成测定力、应变、倾角、曲率、扭角等的仪器。

一、接触式位移计的构造及工作原理

图1-1是百分表的外形及构造简图。

测杆7穿过表壳12，当它上下运动时，测杆上的齿条就带动几个齿轮，使长、短针3、1同时按一定比例关系转动，从而表示出测杆相对于表壳的位移值。可见，百分表的工作

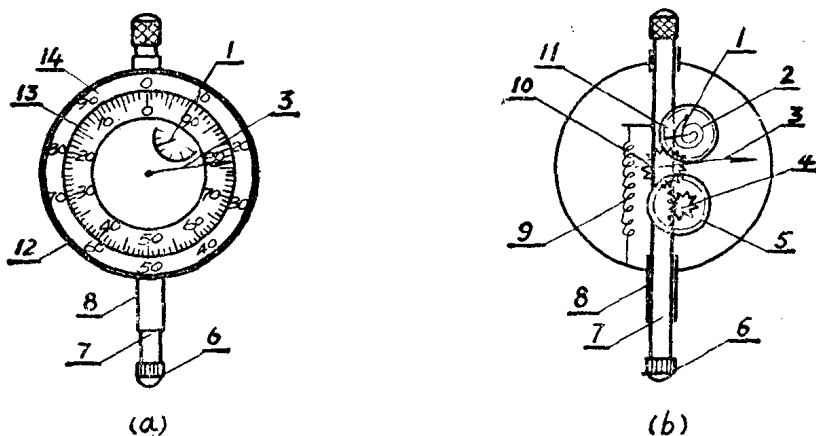


图 1-1 百分表

(a) 外形；(b) 构造简图

1—短针；2—齿轮弹簧；3—长针；4、5、10、11—齿轮；6—顶头；7—测杆；8—轴颈；9—测杆弹簧；12—表壳；13—内刻度盘；14—外刻度盘

原理就是利用齿轮转动机构把测杆的位移值放大，并将测杆的直线往复运动转换成指针的回旋转动，以指示位移数值。

弹簧 9 的作用是使测杆与测点接触良好，能紧随着测点而往复移动。齿轮 11 和弹簧 2，则使齿轮 5 与齿轮 10 始终保持单面接触，使齿轮传动时不致存在齿隙而出现无效行程^①。

千分表比百分表增加了一对放大齿轮或放大杠杆，使灵敏度提高了 10 倍。

由图可知，百分表、千分表这类接触式位移计的最大量程不会超过测杆上的齿条长度。因受仪器外形尺寸和测杆长度的限制，故量程不可能很大。且测杆太长时，在使用过程中容易碰弯而失灵。

百分表、千分表等的度量性能

表 1-1

仪表名称	刻度值 (毫米)	量 程 (毫米)	允许误差 (毫米)
千 分 表	0.001	1	0.001
百 分 表	0.01	5, 10, 30	0.02
挠 度 计	0.05	50	1

常见的百分表及千分表等接触式位移计的度量性能见表 1-1。

百分表与千分表的优点是：使用方便，适应性好，构造简单，价廉，且准确度高，主要缺点是量程小，特别是用于测定较大的变位时，常常不能很好地满足结构试验的要求。

二、用位移计测挠度与变位

用位移计测挠度或某点的位移时，要注意位移的相对性，位移计的定点（表壳）和动点（测杆）必须分别和相对位移的两点连接。

位移计可装在各种表架上（图 1-2），通常用颈箍夹住表的轴颈，也可用其他任何方式将表壳或轴颈固定在某一个定点上。测杆可直接顶住试件测点，也可通过钢丝与测点相连（图 1-3）。

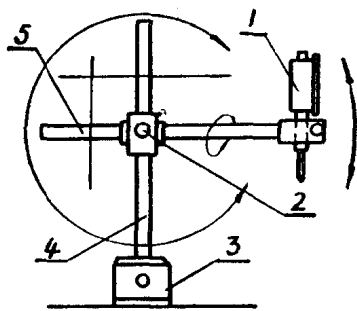


图 1-2 位移计装在表架上
1—位移计；2—弹簧卡具；3—底座；
4—竖杆；5—横杆

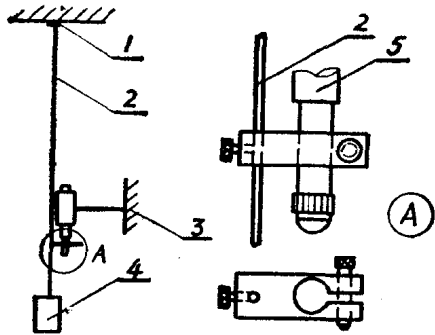


图 1-3 位移计测杆通过钢丝与构件测点相连
1—结构测点；2—细钢丝；3—不动点；4—重物；5—
位移计测杆

应用位移计测量挠度与变位时，应注意下列问题：

1. 作为固定位移计的不动点支架，必须有足够的刚性。采用磁性或万能百分表架时，表架连杆不可挑出太长。因为位移计测杆顶住测点时，有一定的反力压于连杆上，如果连杆或支架的柔性较大，就会在该压力作用下产生变形。这样，当结构变形时，仪表就不动或跳动，反映不出测点的真正位移值。

① 所谓无效行程，即在某一瞬时被测的量虽有改变，但并不引起仪器指针的偏转。

2.位移计测杆应与所量测的位移方向完全一致。测点表面需经一定处理，如在混凝土、木材等表面粘贴小块玻璃片或金属薄片等，以避免结构变形后，由于测点垂直于百分表测杆方向的位移，而使位移计产生误差。这种误差有时会很大。如果上述方式还不足以消除误差，则不应将位移计测杆直接顶住测点，而须采用其他方式。

3.位移计使用前后要仔细检查测杆上下活动是否灵活。由于灰尘侵入或表架颈箍拧得过紧等都会影响测杆上下运动的灵活性。

4.百分表的量程一般为5毫米或10毫米，在量测过程中要经常注意即将发生的位移是否会很大，以致可能造成测杆与测点脱离接触或测杆被顶死，所以要及时观察调整，并将调整后之读数记下，以便累计。

三、用位移计测应变

应变，就是结构上某区段纤维长度的相对变化（ $\varepsilon = \Delta L / L$ ）。应变仪就是用来测定这个长度变化的仪器。

目前常用位移计装配的仪器来量测混凝土和砖石砌体的应变。

常用的位移计测应变的仪器有两种：一种是将夹具直接装在试件上的位移计应变量测装置，其夹具可自制；另一种为手持式应变仪，多由工厂制作。

（一）位移计应变量测装置

用特制的夹具将位移计安装在结构表面测定应变，具有精度高，量程大的特点。当应变值变化范围很大或需用大标距^①测定应变时，采用这种装置是非常合适的。

图1-4为位移计应变量测装置。固定位移计和顶杆的夹具，可用钢、铜或铝合金等制成，按照选定的标距以粘贴或预埋的方式固定在结构需量测应变的部位上。

粘贴是最常用的固定方式。

在混凝土结构上粘贴夹具时，应先将混凝土表面用砂轮打磨，并去除泥灰及污物，再用细砂布略为磨光，用丙酮等擦净，随后用胶粘剂将夹具按选定的标距粘上，待胶粘剂固化后，即可安装位移计进行量测。

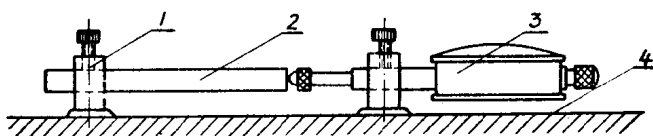


图 1-4 位移计应变量测装置

1—金属夹头；2—顶杆；3—位移计；4—试件

位移计应变量测装置主要用于量测结构构件的轴向应变。常用的量测标距，对混凝土为10~20厘米；对砖石砌体则更大。

对受荷载后会发生曲率变化的构件，不宜用位移计应变量测装置来测定其表面的应变。因为位移计测杆与构件表面之间有一个距离，当构件发生曲率变化时，所测得的应变有时是虚应变，同时顶杆与位移计测杆接触点发生移动。因此，仅当构件截面变形满足平截面假定，且曲率变化很小时，才能从所测得的虚应变值，推算出实际应变。

（二）手持式应变仪

手持式应变仪也是一种用位移计量测应变的仪器，但使用时无须固定安装在结构测点上，而是每次用手持着，临时按在各测点上进行测试，测试后收起，其所测的结果仍能保持数值的连续性。

① 标距为仪器所测区段的原始长度。

由于无须固定，一台仪器可以测多点应变。因此，特别适用于多点量测和长期观察应变，可解决需大量或长期占用仪表的困难。它还可用于布点密集、安装固定仪表有困难的部位。

手持式应变仪的构造见图1-5，仪器示值部分是一个位移计（千分表或百分表）4，位移计表壳固定在一对刚性金属杆3中的一根金属杆的外突部分上，位移计的测杆与另一根金属杆的外突部分接触，两根金属杆之间由二片富有弹性的薄钢片2相连，因而能彼此平行地相对移动。每根金属杆的一端有一个尖锐的插足1，两插足间的距离 L 为仪器的标距。测试前在构件测点部位，按照标距 L 预埋或预贴带有圆形孔穴的小金属块，如图1-6。在钢结构上量测时，可在构件上直接成穴。测读时，将仪器的两个插足插在孔穴中，自位移计上读数，加荷前后二次读数的差值，即为构件在区段 L 内所发生的变形 ΔL ，从而可确定被测的应变值。

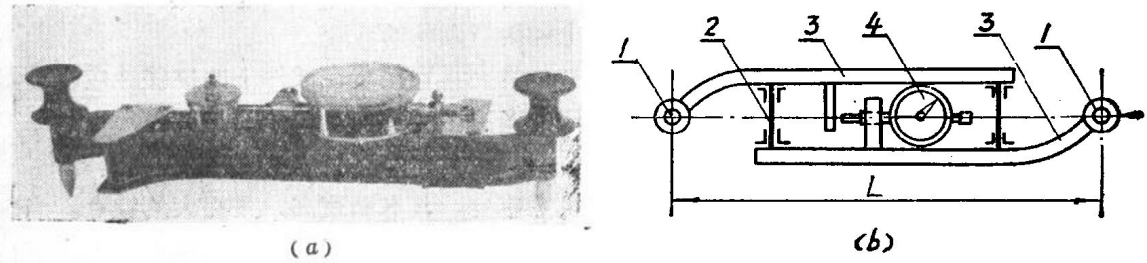


图 1-5 手持式应变仪

(a)外形；(b)工作原理简图

1—插足；2—薄钢片；3—刚性金属杆；4—位移计

手持式应变仪操作简便，但量测的精度会随操作人员和每次操作方式的改变而改变。所以，量测时不宜更换使用者；要使仪器与试件表面垂直；每次对仪器施加的压力要尽量相等；并使仪器插足对应于同一孔穴，以减小量测误差。

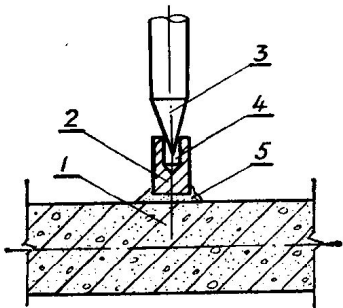


图 1-6 测点粘贴小金属块

1—试件；2—小金属块；3—手持应变仪插足；
4—孔穴；5—粘结剂

常用的几种手持式应变仪度量性能

表 1-2

仪器型号	标距 L	指示仪表 刻度值	量测程度
天 津 YB-25	250 毫米	0.001	4×10^{-6}
		0.01	4×10^{-5}
同 济	200 毫米	0.001	5×10^{-6}
W-1	10 英 寸	0.0001英寸	10×10^{-6}
W-2	2 英 寸	0.0001英寸	50×10^{-6}

为避免由于仪器构造的可能松动和温度变化等原因而影响读数的准确性，每次测读前应先 will 仪器插足插在标准棒的两孔穴内，测记其读数。标准棒是仪器的附件之一，用线膨胀系数极小的合金制成，两端有相距为 L 的孔穴。仪器的 L 值一旦改变，在量测标准棒的标准距离时便显出与原来不同的读数，其差值即为修正值。

当温度变化较大时，为了取得试件因温度变化而产生的变形值，可在制作试件的同时制作一个小试块，试验时放在试件附近，不受力，作为温度补偿块，量测试件应变时同时测定其变化；也可利用试件材料的线胀系数计算出，在计算构件变形时加以修正。

手持式应变仪的标距、精度随着仪器型号而异，目前常用的几种仪器的度量性能见表1-2。

四、用位移计测转角、曲率、扭角、挤压和滑移变形

(一) 转角的测定

利用两个位移计就可以测出结构截面、桁架节点、支座等处的转角，图1-7示测定转角的装置。

结构变形后测得A、B两点的位移为 Δ_1 和 Δ_2 ，则该截面的转角为：

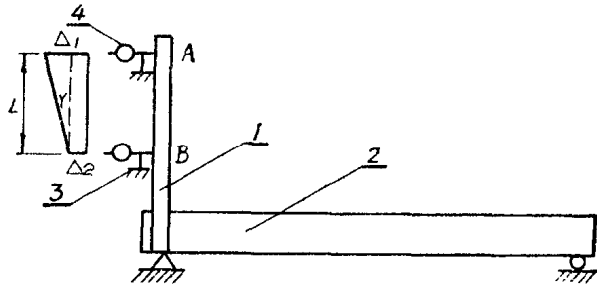


图 1-7 用位移计测定梁支座截面转角

1—刚性杆；2—试件；3—位移计支架；4—位移计

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{L} \quad (1-1)$$

如果采用 $L = 1000$ 毫米，百分表刻度为 0.01 毫米，则可测得转角的最小值为 1×10^{-5} 弧度，所以具有很高的精度。

按照正切函数原理，还可自行设计各种量测倾角的装置。

(二) 曲率的测定

利用位移计求得结构表面上某一点对其邻近两点连线的挠度差，就可近似地算出这一段构件的曲率。图1-8示测定曲率的装置简图。

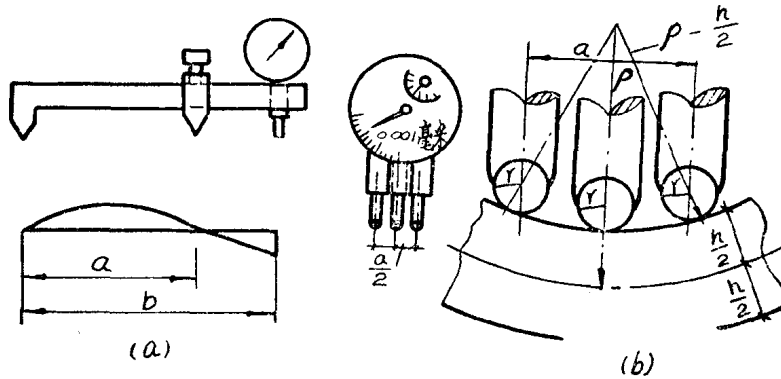


图 1-8 用位移计测曲率的装置

(a) 位移计置于一端；(b) 位移计置于中间

计算曲率时，是假定构件表面曲线近似符合二次抛物线，当位移计在结构变形前后之读数差为 f 时，对于图1-8(a)装置曲率半径为：

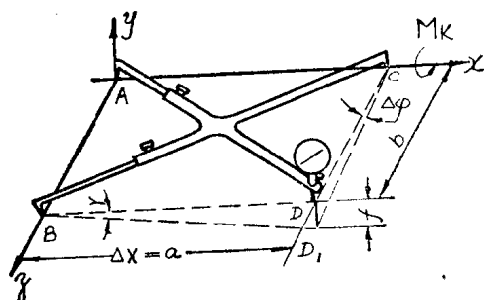
$$\frac{1}{\rho} = \frac{2f}{b(b-a)} \quad (1-2)$$

图1-8(b)常用于测定薄板模型的曲率，其曲率半径为：

$$\frac{1}{\rho} = \frac{8f}{a^2} \quad (1-3)$$

(三) 扭角的测定

图1-9 是利用位移计测定扭角的一种装置简图，它可用来近似地测定空间壳体受到扭转后单位长度上的相对扭角。



从位移计测得的位移增量 f ，可得

$$\frac{f}{b} = \tan \Delta\varphi \approx \Delta\varphi$$

则单位长度上的扭角

$$\theta = \frac{d\varphi}{dx} \approx \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = \frac{f}{ba} \quad (1-4)$$

(四) 挤压、滑移变形的测定

对于木结构的节点常需测定挤压及滑移变形，量测的装置如图1-10，由于构件的应变远小于接触面的变形，所以得出的变形值一般不必扣除量测中所包含的构件小段长度上的应变影响。

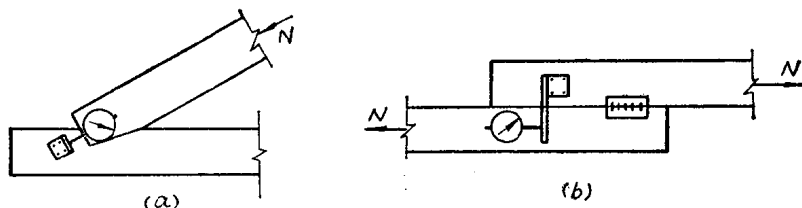


图 1-10 木结构的挤压和滑移变形测定示意图

1-3 杠杆应变仪

一、杠杆应变仪的构造及工作原理

杠杆应变仪也称双杠杆引伸仪，图1-11为其构造简图及工作原理图。仪器由固定刀口及活动刀口与构件接触，以量测二刀口间——仪器标距——构件的变形值。固定刀口 8 用螺丝固定装置在主架 6 上。棱形活动刀口 7 与杠杆长臂 4，以活动刀口之另一刃 b 作为支承点，组成第一组杠杆 $a b c$ ，长臂杠杆 4 顶端之刀口 c 通过 T 形钩 2 与指针座 1 的刀口 d 相连。指针座上装有指针 12，并借轴 f 装在轴承架 14 上，组成第二组杠杆 $f d g$ ，以 f 为其支点。当构件在标距 L 范围内发生 ΔL 变形时，仪器的活动刀口随之移动，该变形经二组杠杆放大，由指针在刻度盘上示出。

根据杠杆原理可知，仪器的放大率 V 为：

$$V = \frac{\Delta Z}{\Delta L} = \frac{H_2 \cdot H_1}{H_1 \cdot H_3} \quad (1-5)$$

式中 ΔZ ——两次读数差。

$$\text{构件应变} \quad \varepsilon = \frac{\Delta Z}{VL} \quad (1-6)$$

国产的杠杆应变仪的放大率 $V \approx 1000 \sim 1200$ 。由于制造上有公差，每一台仪器的放大

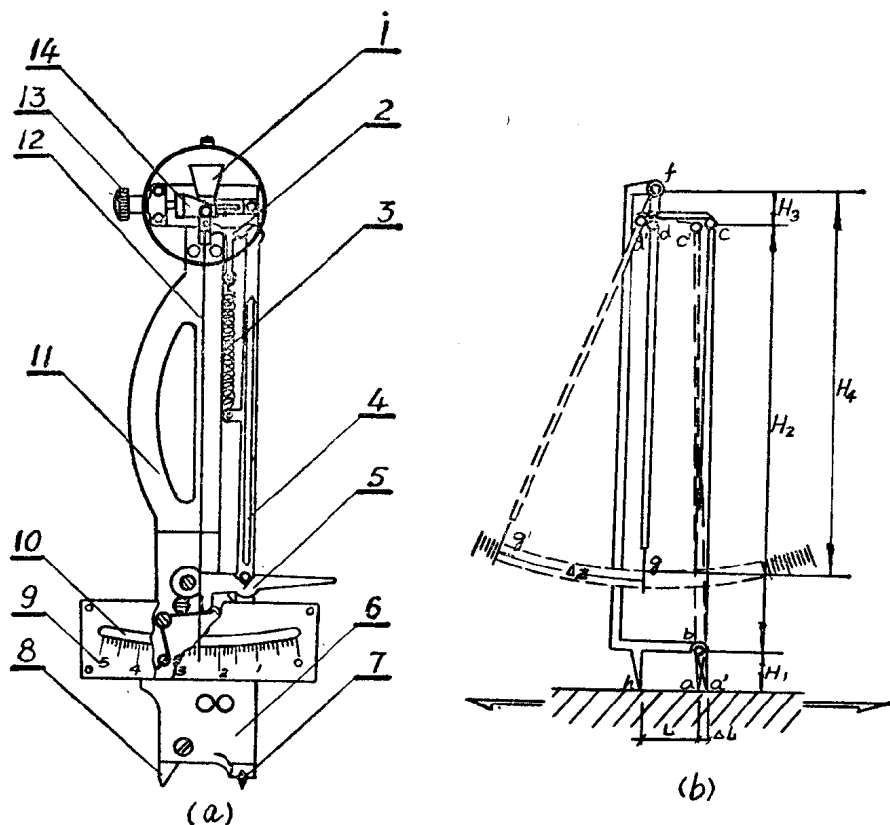


图 1-11 杠杆应变仪

(a) 构造图, (b) 工作原理图

1—指针座, 2—T 形钩, 3—T 形钩拉力弹簧, 4—杠杆, 5—杠杆闸, 6—主架, 7—活动刀口, 8—固定刀口, 9—刻度盘, 10—反光镜, 11—躯架, 12—指针, 13—指针调节螺丝, 14—轴承架

率都要经过专门率定, 因此, 经常不是同一值。国外杠杆应变仪的放大率有 200、300、1000、1200、2000、3000 等若干种。

仪器的标准标距是 20 毫米。但可按实际需要改变固定刀口的位置, 使标距 L 值改变。将固定刀口处的螺丝卸下, 把刀口反向安上, 可将 L 缩小为 10 毫米。在测非均质材料应变时, 也可利用标距放大装置 (图 1-12), 将 L 放大为 50、100、200 以至 1000 毫米。

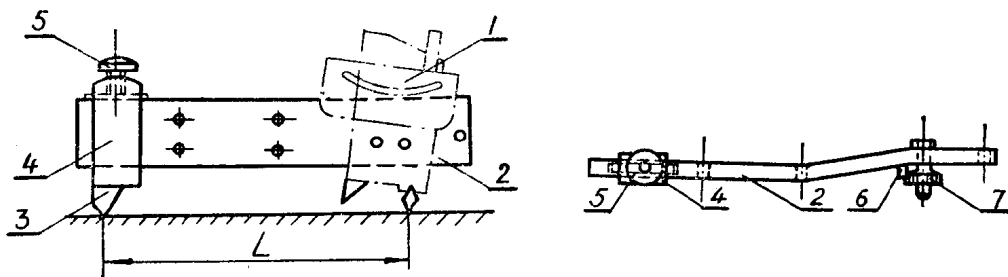


图 1-12 标距放大装置

1—杠杆应变仪, 2—放大装置, 3—滑动块刀口, 4—滑动块, 5—滑动块固定螺丝, 6—梢钉, 7—应变仪固定螺丝