

高等学校交流讲义

建筑結構試驗

哈爾濱建筑工程學院工程結構教研室編



中國工業出版社

本书根据现行的教学大纲编写成，作为高等院校“建筑结构与施工”专业“建筑结构试验”课程的交流讲义。

全书分三篇：第一篇“量测仪器和试验设备”，介绍各种仪器设备的原理、构造、性能和使用技术。第二篇“建筑结构试验”，介绍建筑结构试验的基本原则、方法和实践经验。为适应实际需要，内容着重于钢筋混凝土预制构件的鉴定试验，并以实例说明。第三篇“结构试验的准确度”，简要地介绍了量测误差及试验结果的整理和统计分析方法。

本书也可供有关工程技术人员在从事结构试验时参考。

建筑结构试验

哈尔滨建筑工程学院工程结构教研室编

*

中国工业出版社建筑图书编辑室编辑（北京佟麟阁路丙10号）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092 $\frac{1}{16}$ ·印张15·字数350,000

1961年7月北京第一版·1962年6月北京第三次印刷

印数3,384—4,993·定价（10-6）1.80元

*

统一书号：K15165·708（建工-55）

高等学校交流讲义

建筑結構試驗

哈爾濱建筑工程學院工程結構教研室編



中國工業出版社

本书根据现行的教学大纲编写成，作为高等院校“建筑结构与施工”专业“建筑结构试验”课程的交流讲义。

全书分三篇：第一篇“量测仪器和试验设备”，介绍各种仪器设备的原理、构造、性能和使用技术。第二篇“建筑结构试验”，介绍建筑结构试验的基本原则、方法和实践经验。为适应实际需要，内容着重于钢筋混凝土预制构件的鉴定试验，并以实例说明。第三篇“结构试验的准确度”，简要地介绍了量测误差及试验结果的整理和统计分析方法。

本书也可供有关工程技术人员在从事结构试验时参考。

建筑结构试验

哈尔滨建筑工程学院工程结构教研室编

*

中国工业出版社建筑图书编辑室编辑（北京佟麟阁路丙10号）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092 $\frac{1}{16}$ ·印张15·字数350,000

1961年7月北京第一版·1962年6月北京第三次印刷

印数3,384—4,993·定价（10-6）1.80元

*

统一书号：K15165·708（建工-55）

目 录

前 言	5
緒 論	6

第一篇 量測仪器和試驗設備

第一章 仪器概論	11
第一节 概述	11
第二节 仪器度量性能的基本指标	12
第三节 测量的方法	12
第四节 建筑結構試驗对仪器的要求	13
第五节 仪器的率定	13
第六节 仪器的誤差和消除誤差的基本方法	14
第二章 机械式量測仪器	15
第七节 概述	15
第八节 位移計	15
第九节 測力計	21
第十节 应变計	24
第十一节 傾角計	31
第十二节 曲度計及扭角計	32
第十三节 阿依斯托夫型仪器	34
第十四节 測振仪器的基本原理	36
第十五节 頻率計	41
第十六节 振幅計	43
第十七节 振動記錄仪	46
第三章 电測仪器	50
第十八节 概述	50
第十九节 电阻应变仪	51
第二十节 差动电阻式遙測仪	71
第二十一节 振弦应变仪	74
第二十二节 压电式測振仪	79
第二十三节 感应式測振仪	81
第二十四节 其他电測仪器	82
第四章 檢驗建筑結構质量的仪器	84
第二十五节 概述	84
第二十六节 檢驗結構质量的简单器械	84
第二十七节 声頻探測仪器	89
第二十八节 超声探測仪器	91

第二十九节 輻射探測仪器	95
第三十节 磁力探測仪器	97

第五章 建筑結構試驗

的載荷系統及設備

第三十一节 概述	99
第三十二节 重力載荷系統及其設備	100
第三十三节 液压載荷系統及其設備	102
第三十四节 慣性力載荷系統及其設備	109
第三十五节 机械力載荷系統及其設備	111
第三十六节 其它載荷系統及其設備	112

第二篇 建筑結構試驗

第六章 靜載荷試驗

第三十七节 概述	114
第三十八节 試驗的計劃与准备	115
第三十九节 基本試驗方案的确定	121
第四十节 載荷設計	123
第四十一节 觀測設計	132
第四十二节 試驗的进行及其安全技术	136
第四十三节 平面結構的試驗	137
第四十四节 板壳結構的試驗	143
第四十五节 其他类型結構的試驗	148
第四十六节 建筑物的整体觀測和試驗	151
第四十七节 結構的模型試驗原理	157
第四十八节 靜載試驗的資料整理和成果分析	163
第四十九节 靜載試驗的技术結論和試驗报告	169

第七章 动載荷試驗

第五十节 概述	174
第五十一节 动荷載动力特性的試驗測定	175
第五十二节 結構动力特性的試驗測定	177
第五十三节 結構强迫振動的試驗測定	183
第五十四节 动載試驗成果的分析和总结	187

第三篇 結構試驗的准确度

第八章 基本概念

第五十五节	关于准确度的基本知識	189
第五十六节	近似值及其运算	190
第五十七节	概率論的基本概念	193
第五十八节	几种理論概率分布	199
第九章	量測誤差理論	202
第五十九节	关于量測誤差的基本知識	202
第六十节	单次量測的誤差	204
第六十一节	多次重复量測的誤差	206
第六十二节	次数不多的重复量測的誤差	211
第六十三节	量測結果的准确度	212
第十章	实验曲线和經驗公式	213
第六十四节	試驗結果的表达	213
第六十五节	实验曲线和經驗公式 的形式选择	214
第六十六节	确定經驗公式系数的方法	215

第六十七节	校核經驗公式的 准确度的方法	217
-------	-------------------	-----

第十一章 試驗結果的統計分析217

第六十八节	統計分析的基本概念	217
第六十九节	試驗数据的統計整理	220
第七十节	关于抽样和統計推断 的基本知識	221
第七十一节	变異性标志的数量表征 及其可靠程度	222
第七十二节	根据可靠程度选择 試件数量	225
第七十三节	联系的相关分析	228

附 录		236
------------	--	-----

参考书籍		242
-------------	--	-----

前 言

本书根据现行的“结构檢驗”教学大纲编写而成，适用于高等院校“建筑结构设计与施工”专业。

书中编入了一些上述教学大纲未包括的内容。这些内容主要供学生课外参考和自修提高，目的在于帮助学生更深入地掌握课程的基本内容。第三篇主要供有关教师开设专题讲座时参考，这些讲座一般是选修性质的，需要在教学计划外另行安排时间。

学习完了本书的内容，学生应该能够掌握关于建筑结构的现代的試驗研究方法，能够在工作中创造性地选择和运用这些方法。

全书除緒論外，共分成三篇十一章，并附有实用的附录和主要参考书目。

課程时数按36学时安排，其中包括大課讲授和小課实验。对于本課程的教和学，要特别注意讲授与实验的联系，大課与小課的配合。为了便于各校根据具体試驗設備条件組織教学过程，在本书体系上把量測仪器和試驗設備单独列为第一篇，而把試驗方法列为第二篇。第一篇的大部分内容适宜于結合实物和实验用小課方式进行教学；第二篇則在大課上讲授。因此，在教学过程中，两篇的内容应该互相配合，同时进行，而不应该前后截然分成两段。

实践证明，組織学生参加生产实习、科学研究和技术革新活动能帮助学生掌握本門課程的内容。因此，密切結合上述活动，使本課程的教学深入到这些环节中去，是一种有效的教学方法。

本书初稿主要由我室李德庆、潘景龙、金英俊三同志执笔编写。此外，钟善桐同志编写了模型試驗一节。书的插图，由馬希圣、金成鶴、刘偉光三同志繪制。

本书初稿承同济大学姚振綱同志仔細审閱，提出了許多宝贵的意見，特此致以謝意。

由于編著者教学水平和实践經驗均有限，加上时间仓促，錯誤和遺漏之处在所难免，希讀者指正。

哈尔滨建筑工程学院工程結構教研室

1961年5月

緒 論

試驗是一種具體的實踐，它在自然科學研究中起着重大作用。

自然科學是研究自然規律的科學，它的基本和檢驗標準是人類在生產中和生活中對自然現象的觀察和試驗。

試驗所得的結果要比從觀察得來的更確切些，所以它是一種有效的實踐方法。

“一切經過試驗”，是黨中央和毛澤東同志一貫提倡的、行之有效的重要的工作方法。

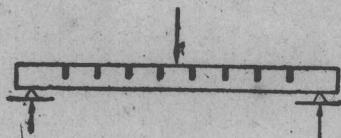
只有經過試驗，人們才能認識事物的規律性；只有進一步再試驗，人們才能檢驗和深化已有的認識；也只有一次又一次不斷地試驗，人們才能逐步掌握事物的規律。因此，試驗絕不是權宜之計，絕不是臨時措施，而是工作的全部過程中經常需要採取的方法。

在建築技術的發展史中，試驗方法的作用和貢獻具體而有力地說明了上述觀點的正確性。毛澤東同志指出：“許多自然科學理論之所以被稱為真理，不但在於自然科學家們創立這些學說的時候，而且在於為爾後的科學實踐所証實的時候。”^① 建築結構理論和建築結構試驗在歷史上的相互關係就正是這樣的。

十七世紀初伽里略首先研究了材料的強度問題，在提出許多正確的理論看法同時，他認為受彎梁的斷面應力分布是均勻受拉。過了四十多年，法國物理學家馬里奧脫和德國數學家兼哲學家萊布尼茲對此提出修正，認為應力分布不是均勻的，而是三角形的。然後虎克和伯努里又建立了平面假定，但應力分布問題却仍未被人們正確知道。直到1713年，法國的巴朗才提出受彎斷面上不僅產生拉應力，而且還有壓應力，中間有中和層。

理論在不斷完善，知識在不斷深化，但是由於測定纖維變形的儀器從那時起要再過大約150年才產生，所以巴朗的解答也還僅僅是一個有待實踐驗證的假設。

1767年，法國科學家容格密里在沒有量測儀器的情況下，首先用試驗方法令人信服地証明了斷面上壓應力的存在。他在一根木梁跨中部分開槽，塞入硬木墊塊，然後按下圖的方式進行受彎試驗。



容格密里的木梁試驗圖

① “毛澤東選集”第一卷，人民出版社1952年版，第281頁。

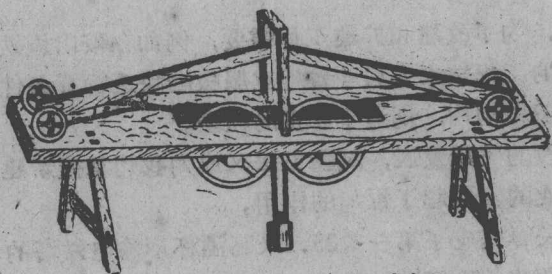
試驗結果證明，這種梁的承載能力絲毫不低於整體的未開槽的木梁。顯然，只有受壓才可能這樣。

當時的科學家給容格密里的成就以極高的評價，把上述試驗叫做“路標試驗”。正是這個試驗，一個簡單而粗糙的定性試驗，總結了人們一百幾十年的探索和研究，象十字路口的路標一樣給人們指出了進一步發展結構強度計算理論的正確道路和方向。

1821年，法國科學院院士拿維葉從理論上證明了現在材料力學上的受彎公式；而用試驗方法證實這個公式，則又經過二十多年才由法國科學院另一院士 A·莫列恩完成。正是到了這個時候，人們才開始掌握了必要的定量試驗所需的儀器和設備。

對於每一種建築技術中的真正的成就，對於每一種使人們更接近真理的結構設計理論，我們都可以用類似的歷史過程和事實加以說明。

簡單的拱形結構支座水平推力的計算公式，是俄國學者庫里賓在十八世紀七十年代利用下圖的裝置進行試驗後得出的。



庫里賓求三鉸拱推力的試驗裝置

當俄國工程師儒拉夫斯基在十九世紀上半期正確地解決了浩氏木屋架的設計計算理論，得出桁架腹杆的內力愈靠近支座愈大的結論時，許多科學家卻根據梁在受彎時的內力分布概念懷疑他弄錯了。面對這種看來有根據的懷疑，儒拉夫斯基克服了條件上的困難，用機智的試驗捍衛了科學的理論。

儒拉夫斯基做了一個浩氏桁架模型，並將其全部拉杆用同樣粗細和同樣松緊程度的鋼弦來代替。模型受荷載作用後，彈撥這些鋼弦，就可以聽到，愈靠近支座的鋼弦音調越高。

儒拉夫斯基是一個歷史上有成就的工程實踐家，是一系列有名的工程構築物的設計者和建造者。他在談到工程問題時寫道：“不經過試驗驗證的計算，常常墮入空想”。

可以說，各種建築結構設計理論，都是建立在試驗研究的基礎上的。人們應用試驗方法來系統地研究建築結構的實際工作，大致是從上世紀末本世紀初開始的。結構試驗這門學科的奠基也就在這個時候。

從那時候到現在的幾十年中，人們把建築技術的發展速度提高到一種前輩科學家不能想象的程度。在這中間，試驗方法的被採用和試驗技術的不斷改進起了重大的作用。

蘇聯科學家在這方面的成就是突出的，因為，他們的國家早從1917年就成為了共產黨領導下的社會主義國家。大規模的社會主義建設和正在進行着的宏偉的共產主義建設，為建築科學技術的發展，提供了最優越的條件；以辯證唯物主義世界觀為指導的理論與實踐相結合的方法，則是勞動人民及其知識分子的最銳利的科學武器。

和其它实验科学一样，在苏联，结构试验技术受到极大的重视。1918~1931年间，苏联交通科学研究院进行过大规模的钢桥试验研究工作，既解决了桥梁设计的动力计算方法，又科学地拟定了有关的试验研究方法，形成了一个在苏联影响极其深远的实验学派。

从1930年起，苏联中央工业建筑研究院开始对钢筋混凝土结构进行系统的试验研究，仅经过将近十年的工作，即获得了整套的钢筋混凝土结构试验研究的经验和巨大的技术成就，并由此制订了薄壳的设计计算规程和按破坏阶段计算钢筋混凝土结构的规范。

苏联在大规模的国民经济建设中曾进行过大量现场结构试验。科学机关、高等院校、工程单位出色地应用试验方法解决各种工程问题，同时也使试验技术得到飞快的发展。结构试验的经验和资料日益丰富，理论和原则就日益深刻和完整，试验的仪器和方法日益完善和精确，专门著作日益增多，技术水平不断提高。

结构试验，在我国解放前几乎是空白的。解放后十一年来，不仅从无到有，有了很大发展，取得了一定的成就，基本上扭转了落后局面，并且密切结合生产，为生产服务起到一定作用。

在经济恢复阶段，为了改建和扩建工程需要，例如在鞍山钢铁公司的扩建和黄河铁桥的加固工程中，我国的工程技术人员就曾经克服极端缺乏物资条件的困难，想出各种办法试验鉴定各种类型的旧结构物，创造了可贵的经验。

随着国家经济建设的飞跃发展，试验方法又成为我们掌握新建筑技术，学习新技术的基本方法，对建筑事业的发展起了巨大的作用。

1953年，我国在长春完成了第一次25.3米高酒杯形输电铁塔的真型试验；到现在，全国做过的更高、更复杂的各种杆塔结构试验已经不胜一一列举了。

1955年，曾经应用电阻应变仪来进行工业房屋盖结构的静载试验和动载试验；而现在，全国各地许多建筑企业和有关单位都已经有了国产的电阻应变仪了。我国年轻的仪器制造业不仅为结构试验工作者提供了各种仪器，而且正在开始生产出结合我国实际需要的有自己特色的仪器了。

在第一个五年计划期间，我国就开始应用装配式钢筋混凝土结构，并相继地建立了许多构件预制场和预制工厂。在采用和发展这种新的结构的过程中，在每一个研究和生产的环节中，结构试验都起着很大的作用。

1956年，全国各建筑科学研究机关和高等院校开始建立现代化的大型结构试验室，在大学中开始设置专门的结构试验课程。这时候，我国已经有了一支拥有必要设备，掌握一定技术的结构试验的专业工作队伍了。在上述经验和条件的基础上，结构试验的规模进一步扩大，技术水平迅速提高。

1956年开始推广预应力钢筋混凝土后，发展非常迅速，使钢筋混凝土结构的应用范围日益广泛，从而节省了大量的钢材，并加快了建设速度。这与党领导各个研究机关、生产企业和设计单位进行的大量结构试验是分不开的。仅以拱形屋架为例，全国各地做过的试验就不下百次。

1957年，举世闻名的武汉长江大桥即经受了最严格最科学的结构试验。到现在，全国不知已有多少交通运输建筑物、水工建筑物和特种结构物经过这样严格的正规试验鉴定，认为具有优良的质量后投入使用。

试验应力分析是研究新结构的基本理论和设计计算方法的最主要的途径和方法，全国

各地都在經常进行。

和其它实验科学一样，在我国，结构试验技术也受到应有的重视，并得到很快的发展。

“一切经过试验”已经成为每个建筑工作者所采取的工作方法，而且是在今后全部工作过程中永远采取的方法。

我国社会主义建设规模正一天比一天扩大，为了实现党的社会主义建设总路线，多快好省地完成建设工程，建筑工程人员负担着光荣而重大的任务。目前，我国的建筑科学技术水平还和实际要求有一定的距离，必须迅速提高，以满足建设需要，并赶上和超过最先进的水平。上述这一切都要求有关工程技术人员应该掌握关于建筑结构试验的知识和技巧，具备这方面的实际工作能力。

为此，必须在掌握基础理论知识和其它专业技术知识的基础上学习下列三方面的内容：

1. 建筑结构试验中所用的仪器和设备的原理、性能和使用方法；
2. 建筑结构试验的实践经验、基本原则和方法；
3. 收集、整理、计算和运用试验成果的原理和方法。

上述三方面，就组成了“建筑结构试验”课程的基本内容。总起来说：本课程所研究的就是对各种建筑结构进行试验的技术和方法。

在实际工作中，建筑结构试验可分成两大类：即生产鉴定性的试验和科学研究性的试验。

生产鉴定性试验具有直接的生产目的，以具体结构物作为对象，经过试验鉴定对具体结构作出技术结论。这一类试验常用来解决下述几方面问题：

1. 检验结构质量，说明工程的可靠性；
2. 判断具体结构的实际承载能力，为改建扩建工程提供资料，从而有效地利用旧结构；
3. 处理工程事故，通过试验鉴定提供技术根据。

在大多数情况下，鉴定性试验是一种个体试验，只解决个别结构的问题。在现代的构件生产企业中，则根据科学的抽样试验原则，通过少量的试件试验可以推断成批产品的质量。当然，鉴定性试验总是在一定的、往往还是成熟的设计计算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实践。反过来，鉴定性试验也具有重大的理论意义和科学价值。正是大规模的天天在作的生产鉴定性试验，为建筑结构的理论提供了最主要的实践基础，对理论进行了最严格最可靠的实践检验。

科学研究性试验的直接目的是检验结构设计计算理论，验证各种科学判断、推理、假设和概念的正确性。

研究性试验往往按照一个事先周密布置的计划系统地进行，试验对象和数量都要根据具体研究目的的需要而定。试验可能在真实结构上进行，也可能在结构模型上进行，甚至用各种相似比拟的方法间接验证理论。通过这些系统的试验，科学工作者要揭露具有一定普遍意义的规律，指导今后的生产实践。

最基本的建筑结构试验是静载荷试验，因为大部分建筑结构在实际使用过程中只承受极微弱的动力荷载作用。但是对于某些结构物，如工业厂房中的吊车梁，某些特殊的工业

車間（鍛壓、動力站）主體結構，多層工業房屋的樓板，動力設備的基礎等，却經常承受強烈的動荷載作用。某些特種結構（輸電杆塔、民用樓板等）在特殊的事實情況下，也承受撞擊動荷作用，對於這些結構物，除了基本的靜載荷試驗外，就必須作補充的動力性能測定或動載試驗。

今天，建築結構檢驗已經成為一門內容豐富和獨立的專門學科了。

在工具方面，除了各種精密的、耐用的、歷史悠久的機械式量測儀器以外，近二、三十年來近代物理學和電子學的飛躍發展，為實驗科學提供了一系列新型的儀器。利用這些儀器，結構試驗工作者正在有效地研究一系列過去無法窺視的自然秘密，如結構的非彈性階段工作，重大結構物的長期觀測，建築結構的動力現象，惡劣環境下的結構性質變化，結構內部質量的檢驗與控制，建築結構的微观世界的秘密等。這些研究必然會使人們更有效地利用材料的全部潛力，把建築科學提高到一个新的水平。此外，上述的研究和構件生產工藝相聯系，就能夠解決建築業工廠生產的自動技術問題，把勞動生產率提高到新的水平。

結構試驗的基本理論，在豐富的實踐經驗的基礎上也已經形成了。對於各種類型的建築結構，無論是哪種性質的試驗，我們都可以利用前人的經驗，用科學的方法加以完成，並且有足夠可靠的依據來處理和運用這些試驗成果，指導進一步的實踐。

必須強調指出，我國的全體建設工作者在近十年中，特別是近三年的連續大躍進中，在結構試驗方面，進行了大量的創造性的工作，積累了豐富的實踐經驗，並正不斷的總結提高。可以確切預期，在我國先進的社會制度下，在黨的領導下，在三面紅旗的光輝照耀下，我國的結構試驗科學技術水平將會越來越快地提高與發展，更好地為經濟建設服務，而經過不太長的時間，必將趕上世界的先進水平。

第一篇 量測儀器和試驗設備

第一章 儀器概論

第一节 概 述

試驗离不开量測，特別是定量試驗，而絕大多數試驗又正是定量試驗。建築結構試驗也是这样。

可以說，量測儀器和量測方法很大程度上決定了試驗的準確度和深度。因此，學習量測儀器和測量方法的知識不僅是必要的，而且是重要的。只有掌握了這方面的知識，我們才能卓有成效地進行試驗。

建築結構試驗的測定項目是多種多樣的，以一根簡支曲梁試驗為例（圖1-1），需要測定的項目就有：

（1）在靜荷載作用下：作用力的大小（支座反力、推力、外荷等），杆件的內力（彎矩、軸向力、剪力、扭矩等），斷面上的應力分布，各種變形（撓度、偏移、相對滑移、支座轉角等），以及開裂等局部損壞現象。

（2）在動荷載作用下：動荷載的大小、頻率和變化規律，杆件動內力，截面動應力的分布，強迫振動情況（動位移、振動頻率、相角、加速度等）。

（3）外界條件的測定：如環境的溫度、濕度和風力等。

為了測定上述各種項目，在建築結構試驗中應用了各種各樣的儀器。儀器的分類方法很多，對於儀器的使用者來說，下列幾種是有意義的：

（1）按基本原理分：有機械式儀器，光學儀器，聲測儀器，電測儀器和複合式儀器；

（2）按儀器和結構的關係來分：有附着式，接觸式，手持式和遙測式（又有張綫、光綫、電綫、声波、电磁波等遙測連系方式）；

（3）按儀器的用途來分：有測力計，位移計（包括滑移計、撓度計、振幅計等），應變計和傾角計等；

（4）按測定結果的提供方式來分：有直讀式和自記式；

（5）按測定的方法分：有平衡式和不平衡式。

本書將按照儀器的基本原理和用途分類來講述它們的原理、性能和使用技術要點。

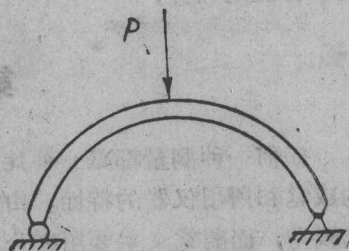


圖 1-1 簡支曲梁

第二节 仪器度量性能的基本指标

仪器用来度量，代表仪器度量性能的基本指标主要有以下几个：

(1) 刻度值 A ——即仪器指示装置每一刻度所代表的被测量的数值。显然，刻度值的因次应该是〔被测量的单位/格〕。在整个测量范围内刻度值可能是常数，也可能不是常数。

(2) 量程 S ——即仪器的最大测量范围。

(3) 灵敏度 K ——即被测量的单位变化引起仪器指示装置指针的偏转距离，它的因次是〔格数或长度/被测量单位〕。可见灵敏度和刻度值是互成倒数的。在测量长度时，灵敏度无单位，可称为仪器的放大倍数或放大率，用 V 来表示。

(4) 准确度——仪器指示装置的指示值与被测值的符合程度。

(5) 误差——仪器指示装置的指示值和被测值之差，称为仪器的绝对误差。可见仪器的误差正和仪器的准确度相反。

仪器的度量性能可以用上述五个指标来衡量，但这不是绝对的。所谓仪器的好坏主要决定于是否正确地应用仪器。例如用感量十万分之一克的天平去称量重一克的重物，天平的准确度和灵敏度都很高，度量时却极不方便，对使用者并不好。只有在使用得当时，指标很良好的仪器，才能显示其优点。也只有在同样的使用要求下，才可以比较两种仪器度量性能的优劣。

第三节 测量的方法

任何一种测量都是一种比较，而且是两个同类量的比较，而这种比较则基于工作人员的感觉和所用仪器的特性。由于人类感觉器官的客观能力，在观测量度方面，人类主要依靠视觉，而视觉又主要用来分辨长度的变化。因此，大部分仪器的测量结果都反映为它们指示部分的长度变化。

例如，在建筑结构的试验中，常常要测定作用力的大小，由于感觉器官不能直接去观测力的大小，就需要用测力计这种仪器将力变化为仪器中某一部分对另一部分的相对位移，即变为一种长度的变化。变换的原理是虎克定律，即：

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1-1)$$

$$\text{所以} \quad P = F \cdot E \cdot \frac{\Delta l}{l} = C \cdot \frac{\Delta l}{l} \quad (1-2)$$

式中 E ——仪器感受外力的部件材料的弹性模量；

F ——该部件的断面积；

C ——该部件的刚度。

就是这样仪器把力 P 变换成为可见的 Δl 。

建筑结构试验中的绝大部分量测仪器，最后都把被测的物理量变化为一种长度的变化，使各种量的测定都变成长度测定。测量的基本方法可分成下面三种：

(1) 零位测量法：测定过程中使被测量的量和标准量对指示装置的效应经常保持相

等，在指示装置指零时求出被测的物理量。

例如在一般的双盘天平中，砝碼就是标准量，用来和重物作比較。当指針指零时，砝碼的重量就是重物的重量。这种方法一般又叫做平衡法。显然这种方法的准确度取决于标准量的准确度和指标装置在零位附近的灵敏度。这种方法的准确度可以达到很高，缺点是条件要求严格，操作需要一定的时间，使用受到一定的限制。所以主要用于精确测量和实验室内观测用。

(2) 偏位测定法：根据被测的量和标准量对比較装置的效应差所引起的指示装置偏位来进行测定。例如用单盘天平称重量。这种方法一般又叫做不平衡法，它比較粗糙，但是操作简单，所以被广泛地应用。

(3) 符合测定法：使被测的量和标准量交替对比較装置起作用，当两者产生的效应相等时求出被测量。此方法介于上面两种方法之间而接近零位法，多用于实验室内做精密测定。

建筑结构試驗中使用的仪器，大部分按偏位测定法工作，也有一部分按零位测定法工作，符合测定法则很少被采用。

第四节 建筑结构試驗对仪器的要求

建筑结构試驗对量测仪器的要求是多种多样的。綜合地說，有下列几个方面：

(1) 量测仪器不应该影响結構的工作。这就要求量测仪器自重輕，尺寸小，最好不是附着式的。

(2) 量测仪器的度量性能能满足試驗的具体要求。例如灵敏度要合适，准确度要够而且要稳定，量程要合适。

(3) 使用方便，工作可靠。这就要求安装簡便牢固，观测清楚方便，原理簡單，构造簡單，适应性好。

(4) 經濟耐久。这就要求結構簡單，成本低廉，維修容易，具有良好的防护装置而不易损坏，可以多次复用。

(5) 量测仪器应该尽可能有多种用途。例如既可測靜变形，又可測动变形；既可以測单点，又可以測多点；既可以測位移，又可以測应变等。

(6) 量测仪器在使用时应该是安全的。一方面仪器安全，不易损坏；另一方面对使用者更是要安全，沒有危險性。

应该指出，对于每种仪器，不可能同时满足上述各項要求。而且，上述各項要求，往往是互相矛盾的。灵敏度高，往往构造复杂；准确度高，往往适应性差。这就要求在选择仪器时，必須全面地具体分析。

第五节 仪器的率定

率定就是用实验方法确定仪器的刻度值及仪器的誤差。

除了新出产的仪器出厂时要經過率定以外，正在使用的仪器也必須定期进行率定。这是由于仪器經长期使用，其零件总有不同程度的磨損；經過檢修以后，零件的位置又会

变动，难免引起刻度值的改变。有一些仪器的灵敏度则本身随使用条件而改变，更需要随时进行率定。为了保证量测的准确度，仪器的率定是一件十分重要的工作。仪器的率定方法基本上有三种：

(1) 在专门的率定设备上进行。率定设备能产生一个已知数值的变化，拿来和被率定仪器的示值相比较，就能求出其刻度值。这种方法准确度高，常用于仪器出厂时的率定。率定设备的准确度当然要比量测仪器高。

(2) 在没有专门的率定设备时，可以用和同级的所谓“标准”仪器相比较的方法来进行率定。所谓“标准”仪器，其准确度并不比量测仪器高，但是不常使用，因而仪器的度量性能能保持不变，它的准确度是已知的。显然，这种方法的准确度取决于“标准”仪器的准确度，比上一种方法要差一些。但是本法不需要特殊的设备，所以常被应用。

(3) 还可以利用标准试件来进行率定。应用本法时，把标准试件放在试验机上加荷，使标准试件产生已知的变化，根据这个变化就可以求出安装在标准试件上的被率定的仪器的刻度值。本法的准确度不高，但因它更简单，而且很容易做到，所以被广泛的采用。

为了使用方便，对于需要随时率定的仪器，通常是采用专门的率定装置，而且直接装在该仪器的内部。

第六节 仪器的误差和消除误差的基本方法

量测误差可区分为系统误差，偶然误差和大误差三种（详见本书第三篇）。仪器本身的误差是系统误差的主要构成部分，通常叫做基本误差。产生基本误差的原因主要是由于仪器在工艺上或设计上的缺点，例如，零件尺寸、安装位置和刻度分划不准，以及由于使用日久的磨损和零件变质影响等。

用线性关系去近似地代替非线性关系也会产生系统误差。

由于外界条件影响（温度、湿度、压力和电磁场等），使用和安装不当等原因所造成的误差则叫做附加误差。

按误差出现的规律，仪器的系统误差可以区分为定值的及变值的两种。变值误差又可分成累进误差、周期误差、按复杂规律变化的误差三种。

在整个量测过程中，误差的大小和符号都保持不变的，称为定值误差。例如仪器的刻度不准就是这一种。

在测量过程中，随时间递增或递减的误差，称为累进误差。例如惠斯顿桥路连续工作时，蓄电池的电压下降所造成的误差。

周期性地改变数值及符号的误差，称为周期误差。齿轮的偏心常引起这一种误差。

按复杂规律变化的误差，如把惠斯顿桥路的输出近似地看做线性时的误差。这种误差的变化规律可用复杂的公式或经验曲线来表示。

消除仪器的系统误差的基本方法是预先求出误差，然后给测量结果以适当的改正，或者根本消除误差产生的根源。

为了预先确定误差并且加以适当改正，主要是应该对仪器作定期的率定，用各种方法（计算或实测）测定各种外界因素对仪器的影响，决定各种改正公式，以及绘制改正表格

或曲綫等。

要消除誤差的根源，就要具体分析原因，采取具体措施，防止各种影响。

为了消除系統誤差，还可以用特殊的測量方法，例如用补偿的方法来消除溫度影响。对于定值誤差，可以采用符合測量法来消除，也可以用正負誤差相互补偿法来消除。

正确地选择仪器，也能减少誤差。如充分地利用仪器的量程，就可以大大的减少相对誤差，提高量測結果的准确度。

第二章 机械式量測仪器

第七节 概 述

机械式量測仪器已有一百多年的历史，由于現代精密机械的发展，机械式量測仪器已达到了很高的精密程度。近二三十年来，机械式仪器有被新型电測仪器所取代的趋势，但它仍是目前实践中最基本的常用的量測工具。可以断言，机械式仪器不会完全失去其实用价值。事实上，任何新型的量測仪器，都离不开高质量的机械零件，机械式量測仪器經常是各种新型仪器不可缺少的一部分。

机械式量測仪器的特点是准确度高，对环境的适应能力强，有一定的灵敏度，使用簡單，工作可靠，經濟耐久，而且可以重复使用，其性能在許多方面能满足建筑結構試驗的要求。它的主要缺点則是灵敏度不很高，放大能力有限，在某些場合下显得稍为笨重不便。

机械式量測仪器本身是由各种机械零件組合而成，主要零件有杠杆、齿輪、軸、螺絲、彈簧、指針和度盘等。

整个仪器一般包括四部分：

首先是感受机构，它直接感受被測量的变化。

其次是变换机构，用来把感受机构感受到的变化变成长度变化，并且加以放大或縮小，以及改变方向等。

再次是指示装置，用来指示被測量的大小。通常有指針、度盘等。

最后是附屬装置，如防护罩等。

建筑結構試驗中使用的机械式量測仪器是多种多样的，下面各节按照其用途分別叙述这些仪器的原理、构造、用途和使用方法，以及它們的誤差与消除誤差的方法等。

第八节 位 移 計

位移計是建筑結構試驗中最基本的仪器。常用机械式位移計有接触式和張綫式两种。

一、接触式位移計

接触式位移計随它的刻度值不同而有不同的名称。刻度值为0.01毫米的称百分表，刻