

21 世纪高等职业技术教育规划教材
国家示范性高等职业院校规划教材

道路与桥梁工程类

道路工程试验与检测

刘超群 主编 李林军 主审

DAOLU GONGCHENG SHIYAN YU JIANCE



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等职业技术教育规划教材——道路与桥梁工程类

道路工程试验与检测

刘超群 主编
李林军 主审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

道路工程试验与检测 / 刘超群主编. — 成都: 西南交通大学出版社, 2009.12

21 世纪高等职业技术教育规划教材. 道路与桥梁工程类

ISBN 978-7-5643-0501-7

I. ①道… II. ①刘… III. ①道路工程—试验—高等学校: 技术学校—教材②道路工程—检测—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①U41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 214737 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材——道路与桥梁工程类

道路工程试验与检测

刘超群 主编

*

责任编辑 王 旻

特邀编辑 郝 博

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 17.25

字数: 431 千字 印数: 1—3 000 册

2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0501-7

定价: 29.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 道路工程试验检测的目的和意义	1
第二节 道路工程试验检测规程和细则	1
第三节 道路工程试验检测技术现状与发展趋势	6
复习思考题	8
第二章 试验检测数据的分析与处理	9
第一节 测量值的误差	9
第二节 抽样检验	12
第三节 试验检测数据的统计方法	14
第四节 数据的处理方法和表达方法	20
复习思考题	30
第三章 公路工程质量检验评定标准	32
第一节 公路工程质量检验评定方法	32
第二节 路基工程质量检验评定标准	35
第三节 路面工程质量检验评定标准	49
第四节 桥涵工程质量检验评定标准简介	55
第五节 隧道工程质量检验评定标准简介	57
复习思考题	59
第四章 路面基层、底基层材料检测	60
第一节 概 述	60
第二节 氧化钙和氧化镁含量测试方法	62
第三节 水泥或石灰剂量测定方法	68
第四节 无机结合料稳定类材料的含水量试验	74
第五节 无机结合料稳定类材料的击实试验	78
第六节 无机结合料稳定类材料的无侧限抗压强度试验	83
复习思考题	87
第五章 路面面层材料检测	89
第一节 沥青混合料稳定性检测	89

第二节 水泥混凝土强度试验检测方法	104
复习思考题	120
第六章 路基路面现场试验检测	121
第一节 道路路基路面现场测试随机选点方法	121
第二节 现场取样方法	127
第三节 几何尺寸及路面厚度	129
第四节 压实度	137
第五节 平整度	160
第六节 强度和模量	170
第七节 承载能力	188
第八节 路面抗滑性能检测	200
第九节 路面外观检测与渗水性能检测	216
复习思考题	229
第七章 桥梁检测	230
第一节 基底检验	230
第二节 地基承载力检测	231
第三节 钻(挖)孔灌注桩检测	235
第四节 桥梁上部结构检测	241
第五节 桥梁荷载试验	248
复习思考题	252
第八章 隧道检测	253
第一节 隧道施工质量检测	253
第二节 隧道施工监控量测	256
复习思考题	260
第九章 试验检测资料的整理与归档	261
第一节 试验检测管理制度	261
第二节 试验检测资料的整理与归档	263
复习思考题	268
附表	269
参考文献	270

第一章 绪 论

第一节 道路工程试验检测的目的和意义

随着我国交通事业的发展和道路等级的提高，道路建设已进入以提高为主的新阶段，人们对道路运输的服务水平提出了更高的要求。为使道路满足使用的要求，必须在精心设计的基础上，严格按照设计文件和现行施工技术规范的要求认真组织施工，抓好原材料质量控制、施工参数确定、现场施工过程质量控制和分项分部工程交竣工验收四个关键环节，确保道路工程质量。

道路工程试验检测是道路工程施工技术管理中的一个重要组成部分，通过试验检测能充分地利用当地原材料，能迅速推广应用新材料、新技术和新工艺；能用定量的方法科学地评定各种材料和构件的质量；能合理地控制并科学地评定工程质量。因此，工程试验检测工作对于提高工程质量、加快工程进度、降低工程造价、推动道路工程施工技术进步，将起到极为重要的作用。

道路工程试验检测技术是一门正在发展的新兴学科，它融试验检测基本理论和测试操作技能及相关基础知识于一体，是确定工程设计参数、施工质量控制、施工验收评定、养护管理决策的主要手段。随着道路技术等级的提高，高级道路管理部门和施工单位已对加强质量检测与施工质量控制和验收工作予以高度重视。但在许多工程中，仍有部分单位不具备原材料质量试验检测和施工质量控制试验检测的基本条件，有些单位虽然已购置了一定数量的试验检测仪器设备，也建立了试验检测机构并配备了相应的试验检测技术人员，但由于多种原因，使已建成的试验室不能发挥应有的作用。工程实践经验证明：不重视施工检测和施工现场质量控制管理工作而仅靠经验评估，是造成工程出现早期破坏的重要原因之一。因此，作为工程试验检测人员或质量控制管理人员，一方面要不断加强学习，及时掌握先进的试验检测技术和现代信息技术，提高自身的业务素质 and 试验检测水平；另一方面，在整个施工期间应完全领会设计文件，熟悉现行施工技术规范 and 试验检测规程：这样才能做好工程试验检测工作，为道路工程的科研、设计、施工和养护管理提供可靠的决策依据。

第二节 道路工程试验检测规程和细则

试验检测工作是试验检测机构工作中的一个关键环节，试验检测结果的准确性与可靠性将直接影响质检机构的工作质量。为了确保提供的数据准确可靠，要求试验检测人员在试验

检测的全过程中必须严格遵照有关试验检测规程，并力求消除试验检测人为误差，提高试验检测精度。

一、试验检测机构状况

目前，各地从事道路工程试验检测的专业机构大体有以下几种类型：

- (1) 专门从事道路工程检测的专业公司。
- (2) 一些大专院校设立的以教师为主体的试验检测中心或实验室。
- (3) 设计部门成立的试验检测公司。
- (4) 科研机构成立的试验检测部门或公司。
- (5) 一些道路养护部门和施工企业组建的试验检测部门或公司。

二、对试验检测人员的要求

试验检测人员应按各自的岗位分工，认真履行岗位职责，做好本职工作，确保检测工作质量。

1. 对试验检测人员的要求

(1) 试验检测人员应熟悉检测任务，了解被检测对象和所用检测仪器设备的性能。检测人员必须经过考核合格，取得上岗操作证以后，才能上岗操作。

(2) 检测人员应掌握所从事检测项目的有关技术标准，了解本领域国内外测试技术、检测仪器的现状及发展方向，具备制定检测大纲、采用国内外最新技术进行检测工作的能力。

(3) 检测人员应了解误差理论、数据统计方面的知识，能独立进行数据处理工作。

(4) 检测人员应实事求是，忠于职守，作风正派。对检测过程、数据处理工作持严肃的态度，以数据为依据。

2. 对检测人员考核的主要内容

(1) 工程质量检测专业知识。了解所用仪器设备的结构原理、性能及正确使用和维护等知识；掌握所检测工程项目的质量标准和相关技术指标程度；实际操作和数据处理的能力。

(2) 计量的基础知识、计量法常识、国际单位制基本内容和误差理论基本知识。

三、现行国家试验检测规程名称

试验检测机构的依据是设计文件、技术标准及试验检测规程，特殊情况下也可由用户提供检测要求。目前，国家试验检测常用的规程、规范和标准有：

- (1) 公路土工试验规程 (JTJ 051—93)。
- (2) 公路工程沥青及沥青混合料试验规程 (JTJ 052—2000)。
- (3) 公路工程水泥混凝土试验规程 (JTG E30—2005)。
- (4) 公路工程岩石试验规程 (JTG E41—2005)。
- (5) 公路工程水质分析操作规程 (JTJ 056—84)。
- (6) 公路工程无机结合料稳定材料试验规程 (JTJ 057—94)。
- (7) 公路工程集料试验规程 (JTG E42—2005)。
- (8) 公路路基路面现场测试规程 (JTG E60—2008)。
- (9) 公路土工合成材料试验规程 (JTJ/T 060—98)。
- (10) 公路工程技术标准 (JTG B01—2003)。
- (11) 公路工程质量检验评定标准 (JTG F80—2004)。
- (12) 公路水泥混凝土路面施工技术规范 (JTG F30—2003)。
- (13) 公路路基设计规范 (JTG D30—2004)。
- (14) 公路沥青路面设计规范 (JTG 014—97)。
- (15) 公路路基施工技术规范 (JTJ 033—95)。
- (16) 公路路面基层施工技术规范 (JTJ 034—2000)。
- (17) 公路沥青路面施工技术规范 (JTG F40—2004)。
- (18) 公路水泥混凝土路面滑模施工技术规范 (JTJ/T 037.1—2000)。
- (19) 公路工程地质勘察规范 (JTJ 064—98)。
- (20) 公路桥涵设计通用规范 (JTG D60—2004)。

四、试验检测工作细则

每项试验检测方法,应根据现行最新技术标准、操作规程和有关行业工作规范,制定详细实施细则。

1. 制定实施细则的必要性

由于有些标准规定得不全面,且有些质检机构人员有可能是新手,他们虽然已通过本单位的考核,但不一定很熟练;更重要的是质检机构的工作就像工厂生产产品一样,每个步骤都必须按工艺要求进行实施,为此必须制定有关实施细则。

2. 实施细则的内容

- (1) 技术标准、规定要求、检测方法、操作规程等。
- (2) 抽样方法及样本大小。
- (3) 检测项目、被测参数大小及允许变化范围。
- (4) 检测人员组成和检测系统框图。
- (5) 对检测仪器的检查标定项目和结果。
- (6) 对检测仪器和样品或试件的基本要求。

(7) 对环境条件的检查, 即从保证计量检测结果可靠角度出发, 运用允许变化范围的规定。

(8) 在检测过程中发生异常现象的处理办法。

(9) 在检测过程中发生意外事故的处理办法。

(10) 检测结果计算整理分析方法。

3. 实施细则的有关方法

(1) 抽样方法。确定样本大小后, 一般由委托试验检测单位提供编号进行随机抽样。原则上抽样人不得与产品直接见面, 样本应在生产单位已经检测合格的基础上抽取。特殊情况下, 也允许在生产场所已经检测合格的产品中抽取。

抽样前, 不得事先通知被检产品单位; 抽样结束后, 样品应立即封存, 连同出厂检测合格证一同送往试验检测地点。

(2) 样本大小的确定。凡产品技术标准中已规定样本大小的, 按规定标准执行; 凡产品技术标准中未明确规定样本大小的, 按试验检测规程或相应技术标准中规定的方法确定, 也可按百分比抽样, 但抽样基数不得小于样本的 5 倍; 在生产场所抽样时, 当天产量不得小于均衡生产时的基本日均产量; 在使用抽样时, 抽样基数不得小于样本的 2 倍。

(3) 样本的保存。样本确定后, 抽样人应以适当的方式封存, 由样本所在部门以适当的方式运往检测部门。运输方式应以不损坏样本的外观及性能为要求。样品箱、样品桶、样品的包装也应满足上述要求。

(4) 样本登记表的内容。抽样结束后, 由抽样人填写样品登记表, 登记表应包括以下内容: 产品生产单位、产品名称、产品型号、样品中单件产品编号及封样的编号、抽样依据、样本大小、抽样基数、抽样地点、运输方式、抽样日期、抽样人姓名、封样人姓名等。

4. 注意事项

(1) 对于比较重要的检测项目, 若采用专门检测设备, 应通过试验确定其检测数据的重复性。

(2) 对于某些比较简单的试验检测项目, 如果标准规定得很细, 能满足上述要求时, 可不必制定实施细则。

五、试验检测原始记录

检测原始记录是出具检测报告的依据, 是最重要的记录。为了保证出具的检测报告能够复现, 原始记录应包含足够的信息, 记录中数据的有效位数和计量单位应正确无误。并且不允许随意更改, 不许删减。

原始记录应印成一定格式的记录表, 其格式根据检测的要求不同可以有所不同。原始记录表包括: 样品名称、型号、规格; 样品编号、产地; 检测项目、检测编号、检测地点; 温度、湿度; 主要检测仪器名称、型号、编号; 检测原始记录数据、数据处理结果; 检测人、复核人; 试验日期等。

记录表中应包括所要求记录的信息及其他必要信息, 以便在必要时能够判断检测工作在

哪个环节可能出现差错。同时，根据原始记录提供的信息，能在一定准确度内重复所做的检测工作。

原始记录中还应包括参与抽样、样品制备（准备）人员的识别。所有的原始记录应使用钢笔或签字笔填写，一般不得使用铅笔，字迹要清晰，内容填写应完整；所有记录填写均要使用法定计算单位；有效数字的取舍必须按误差理论和数字修约规则，截取所需要的数据；不需要填写的栏目应用“/”占位。

原始记录有错误需更改时，不得随意涂抹，在需要修改位置上画上两条水平线，然后在原数据的右上方写上正确的内容，在修改处加盖更改人的印章。

原始记录经过计算后的结果，即检测结果必须有人校核，校核者必须在本领域有 5 年以上工作经验。校核者必须在试验检测记录和报告中签名。校核者必须认真核对检测数据，校核量不得小于所检测项目的 5%。

硬盘上的原始记录要打印一份用书面形式保存，并有书面签字。

要指定专人负责原始记录的保管，保管期一般不得少于 2 年。每年年底应进行整理，按类别及编号顺序分别装订成册，并集中保存和管理。

六、试验检测数据的处理

1. 试验检测数据整理

试验检测数据的处理是试验检测工作中的一个重要内容。由于试验检测中得到的数值都是近似值，而且在运算过程中还可能运用无理数构成的常数，因此，为了获得准确的试验检测结果，同时也为了节省运算时间，必须按误差理论的规定和数字修约规则截取所需要的数据。此外，误差表达方式反映了对试验检测结果的认识是否正确，也利于用户对试验检测结果的正确理解。

(1) 数据处理时应注意：检测数据异常值的判定方法；区分可剔除异常值与不可剔除异常值；整理后的数据应填入原始记录的相应部分。

(2) 检测数据的有效位数与检测系统的准确度相适应，不足部分用“0”补充，以便测试数据位数相等。

(3) 同一参数检测数据个数少于 3 时，用算术平均法；测试个数大于 3 时，建议采用数理统计方法，计算代表值。

(4) 同一参数异常值的判断，可根据精度采用拉依达法（即 3σ 法）、肖维纳特法和格拉布斯法等方法进行判断。

这里要强调一下对比检测应使用 3 台与原检测仪器准确度相同的仪器对检测项目进行重复性试验。如检测结果与原检测数据相符，则证明此异常值是由产品性能波动造成的；如不相符，则证明此值是因仪器造成的，可以剔除。

2. 试验检测结果判定

在工程质量检验评定中，施工质量的不合格率是大家所关心的问题，由于所抽子样的数据都是随机变量，它们总是存在一定的波动。看到数据有一些变化，或某检测数据低于技术

规定要求,就认为施工质量或产品有问题,这样的判定方法是不慎重的,也是缺乏科学依据的,因此很容易给施工带来损失。试验检测结果的整理和判断必须按照数理统计的方法即第二章所述的方法进行。

第三节 道路工程试验检测技术现状与发展趋势

当今世界范围内对计算机、激光、GPS 卫星定位及雷达等高科技的推广应用,使人类的生存环境与生活质量发生了巨大的变化。道路交通领域内的技术进步在近几十年呈飞跃式发展,尤其是尖端技术对公路行业的不断渗透,改变了人们多年的传统观念,有力地推动了道路工程检测技术的发展。

一、国内外道路工程检测技术现状

目前,在道路较发达的国家和地区,如美国、欧洲和日本,道路工程检测技术发展很快,达到了较高的水平。在路基路面压实度、承载力、平整度、弯沉以及路面病害综合检测等方面均研制了相应的自动化检测设备,有的检测设备还具有较为完善的数据自动处理功能。

相比之下,我国道路检测技术起步较晚,虽然近年来发展较快,但总体水平还比较落后。我国从“七五”计划开始,已陆续开展了一些路面检测技术的研究和产品的研发,基本已覆盖了各种主要的检测技术,形成了一定的基础研究力量;特别是 20 世纪 80 年代中后期从国外引进的各种检测仪器的应用,对先进技术已有一定的了解,为道路工程检测技术的研究开发与推广应用奠定了基础。有关研究部门经过十多年对进口设备技术的消化吸收,为交通运输部在颁布实施的测试规程和检验评定标准中编制相关规定起到了极大的促进作用。一些有能力的科研开发机构借鉴国外先进的制造技术和使用经验,已生产出相同类型的国产设备,自动弯沉仪、平整度测试仪、道路雷达测试仪、摩擦系数测试车等都有国产化产品,其性能和价格成本相对于昂贵的进口仪器具有一定的优势。

我国现行规范中已经引入了一些较为先进且成熟的检测技术,但在工程实际中,由于受各种条件限制,这些新技术的推广和应用并未普及。特别是路基和路面压实度、厚度的测定,仍然依赖破坏性较大的取芯法和灌砂法;而在路面检测方面,贝克曼梁、三米直尺、摆式摩擦仪等仍是主要的检测工具。

我国道路工程检测体系已经建立起来,试验检测人员的队伍在不断扩大,但相对高速发展的道路建设而言,还远远不能适应形势的需要,特别是检测人员仍然比较缺乏。一些新上岗的试验检测人员虽然经过了系统的培训,但缺乏实际工作经验,技术素质有待进一步提高。

总体上看,我国在道路工程检测技术方面相对落后,深入系统地开展道路工程检测技术研究,发展我国自主知识产权的路基路面检测技术,提升我国路基路面检测技术的规范和行

业标准,促进我国路基路面检测技术的发展、应用及实施,对于全面提高我国道路的施工管理和养护水平,具有重要意义。

二、道路工程检测技术的发展趋势

1. 道路工程检测技术发展总体趋势

近 20 年来,国际上道路工程的检测技术发展十分迅速,总体的发展趋势是:由人工检测向自动化检测技术发展;由破损类检测向无破损检测技术发展;由一般技术向高新技术发展。比如,机电一体化技术及高精度传感器被应用于弯沉检测;激光技术被用于路面断面检测;雷达技术被用于路基路面厚度和压实度检测;模式识别与图像处理技术被用于路面病害观测。而传统的手工检测方式已经开始逐步被自动化的检测方式所取代,主要体现在检测测量的方式、检测数据的采集和数据的处理以及检测工作安全性等方面的改善。高性能路基路面检测设备开发和应用所追求的目标是准确、高效及安全。具体来讲,就是以各种电子和机械自动化测量方式代替人工测量,并通过微机及专用软件实现测试数据的自动采集、记录和统计计算分析等功能。这样不仅避免了人为因素对测试结果的干扰,而且可以成倍提高测试速度和采样频率,极大地增强了工作效率和现场安全性。

路基路面工程自动化测试设备主要用来检测路基路面的施工质量和运营使用状况,尤其针对满足高速公路较为严格的技术性能和使用要求,采用高科技自动化测试技术具有测试数据准确、采样频率高、工作效率高、对路面结构无损害、安全性好等优点。

此外,运用计算机网络技术和数据挖掘技术对路基路面检测数据进行处理分析,能改变以往道路工程试验检测数据方面的信息孤岛问题,对有效地检测和监控路基路面的工程质量有着十分重要的意义。

2. 道路检测设备和市场发展趋势

近年来,随着多种尖端技术的发展和运用,各国研制的道路专用路面检测设备也在不断改进,力求更好地满足现代高等级道路对诸多技术性能的要求。综合高速公路实际应用的需要,今后开发研制各类路基路面检测设备时将追求实现以下目标:

(1) 高精度。随着新产品的研发,不断提高各类检测仪器的分辨率和测试精度。另外,在野外各种严酷环境中进行检测作业的条件下,提高设备的工作稳定性,尤其是使各种电子产品能够抵御诸如温度、湿度、振动及空中干扰波的影响,将进一步提高测试结果的准确性。

(2) 实时化。能够对现场采集的大量数据进行实时的分析和统计计算,提高检测评价的时效性。此外,可利用宽带网实现测试数据的远程传送,实现室内工作站与测试现场保持同步监控。

(3) 标准化。建立统一的标准体系,使检测同一指标的不同类型设备的测试结果具有相关可比性。

(4) 智能化。针对检测对象的复杂变化,利用高性能计算机并编制完善的智能处理软件,使操作人员能够更为轻松灵活地运用自动化测试仪器进行工作。

(5) 多功能。应用各类小型化、微型化和集成化的自动控制技术，将各种检测功能汇集在同一个系统中，提高测试效率。目前已出现能够同时测试路面平整度、纹理构造深度、车辙、横纵坡、弯道半径的多功能测试系统，以后有望在此基础上增加路况和雷达探测功能。

综上所述，今后的道路检测对设备以及测试技术人员的要求都会不断提高。因此，道路检测将向专业化服务方向转变。目前，在欧美发达国家就已存在许多专业检测公司长期为道路的管理者提供各种路面检测与评价服务。凭借服务范围广泛开放，技术维护和追踪全面，拥有大量设备和技术人员，这类服务机构正在显现出其在道路检测领域的优势。我国在近年高速公路通车里程急剧增加的情况下，路面检测的发展趋势也将逐步向专业化方向转变。

复习思考题

1. 加强试验检测工作对工程质量控制有何意义？
2. 简述现行试验检测规程的名称和相应内容。
3. 试验检测原始记录包括的内容有哪些？
4. 简述国内外道路工程检测技术的现状和发展趋势。

第二章 试验检测数据的分析与处理

第一节 测量值的误差

一、误差的基本概念

工程质量的评价是以试验数据为依据的，试验检测采集得到的原始数据类多量大，并且有各种各样的误差，有时杂乱无章，甚至还有错误。因此，必须对原始数据进行分析处理，才能得到可靠的试验检测结果。

试验时，即使使用极为精密的仪器，测定后得到的数据也绝不可能与客观情况完全相同。在实际工作中，试验员对某一客观存在的量进行多次测量，例如往返丈量某段距离或重复测量某一水平角等，其多次测量结果总是存在着差异，这说明测量值中含有测量误差。由于人们认识能力的局限、科学技术水平的限制，以及量测数值不能以有限位数表示（如 $1/3$ 就取为 $0.333\ 33$ ， π 取为 $3.141\ 6$ ）等原因，在对某一对象进行试验或量测时，所测得的数值与真实值不会完全相等，这种差异即称为误差。但是随着科学技术的发展，人们认识水平的提高，实践经验的增加，测量的误差数值可以被控制到很小的范围，或者说测量值可更接近于其真值。

真值即真实值，是指在一定条件下被测量对象客观存在的实际值。

二、误差的表示方法

误差根据表示方法的不同，有绝对误差和相对误差两种。

1. 绝对误差

它表示量测的数值与它的真实值的差值，可能为正，也可能为负。但是大多数情况下，真值是无法得知的，因而绝对误差也无法得到。一般只能应用一种更精密的量具或仪器进行测量，所得数值称为实际值，它更接近真值，并用它代替真值计算误差，即：

$$\Delta L = L - L_0 \quad (2.1)$$

式中 ΔL ——绝对误差；

L ——量测值；

L_0 ——实际值。

绝对误差具有以下一些性质：

- (1) 它是有单位的，与测量时采用的单位相同。
- (2) 它能表示测量的数值是偏大还是偏小以及偏离程度。
- (3) 它不能确切地表示出测量所达到的精确程度。

2. 相对误差

相对误差是指绝对误差与被测真值（或实际值）的比值，通常用百分数表示，即：

$$\delta = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

式中 δ ——相对误差；

其他符号含义同前。

相对误差不仅表示量测的绝对误差的大小，而且还能反映出量测时所达到的精度。例如一试验员量测 100 m 跑道时误差为 10 cm，量测 1 000 m 跑道时误差也为 10 cm，如果仅从绝对误差来考虑，则两者相同；如果引用相对误差的概念，则有：

$$\text{前者相对误差为：} \frac{10 \times 10^{-2}}{100} \times 100\% = 0.1\%$$

$$\text{后者相对误差为：} \frac{10 \times 10^{-2}}{1\,000} \times 100\% = 0.01\%$$

很明显，后者的精度高于前者。相对误差具有以下一些性质：

(1) 它是无单位的，通常以百分数表示，而且与测量所采用的单位无关。而绝对误差则不然，测量单位改变，其值亦发生改变。

(2) 它能表示误差的大小和方向，当被测真值（或实测值）相等时，相对误差大者绝对误差亦大。

(3) 它能表示测量的精确程度。当测量所得绝对误差相同时，则测量的量大者精确度就高。

因此，通常都用相对误差来表示测量误差。

【例 2.1】用毫米钢尺测量某水泥路面结构层的厚度为 60 mm，且已知钢尺的最大绝对误差为 0.5 mm，问此结构层的真正厚度是多少？相对误差是多少？

【解】实测值 $L = 60$ mm，绝对误差 $\Delta L = 0.5$ mm，则：

$$\text{真正厚度} \quad L_0 = L + \Delta L = (60 \pm 0.5) \text{ mm}$$

$$\text{相对误差} \quad \delta = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{0.5}{60} \times 100\% = 0.83\%$$

三、误差产生的原因

在任何测量过程中，无论采用多么完善的测量仪器和测量方法，也无无论在测量过程中怎样细心和注意，都不可避免地存在误差。产生误差的原因很多，概括起来有以下几方面：

1. 仪器装置误差

仪器装置误差主要指设备装置的设计、制造、安装、调整与运用引起的误差，如经纬仪的视准轴与横轴不垂直、度盘刻划误差，试验机机视误差，实验室仪器安装不垂直、偏心等。

2. 外界环境误差

外界环境误差指试验时所处的外界环境因素（包括温度、风力、日光、湿度等）达不到试验要求的标准状态所引起的误差，如混凝土养护条件达不到标准的温度、湿度要求，温度变化引起钢尺伸缩等。

3. 试验人员误差、试验方法误差

试验人员误差指试验人员感官的鉴别能力存在局限性，生理上的最小分辨力和固有的习惯引起的误差；试验方法误差指试验人员未按规定的操作方法进行试验所引起的误差。如强度试验时试块放置偏心，加荷时速度过快或过慢等。

试验人员、仪器和外界环境是试验检测工作的必需条件，由于受这些条件的影响，试验中误差是不可能避免的，但是可以对产生的各种误差进行分析处理，从而尽量减小误差。

四、误差的分类

误差就其本身的性质而言，可以分为系统误差、随机（偶然）误差和过失误差三类。

1. 系统误差

在同一条件下，多次重复测试同一量时产生一系列误差，这些误差随某种（或某几种）因素变化而有规律地变化，这种误差称为系统误差。产生系统误差的来源可能是仪器误差、试验人员的心理误差、环境误差（如温度变化的误差等）或理论不妥当引起的误差等。由于系统误差具有规律性，它总是偏离真值一侧，因此即使多次试验也不能消除。系统误差具有下述基本性质：

- (1) 系统误差可能是一个常数，或是某种因素的函数。
- (2) 多次重复量测，系统误差可能重复出现，并且正、负符号不变。
- (3) 量测结果经过修正，接近实际值（真值）。

2. 随机误差（偶然误差）

在相同条件下，多次重复测试同一量时，在尽力修正系统误差后仍然产生不规则的或正或负的误差，这种误差称为随机误差。若只进行一次量测，是无法估计随机误差的大小及正负符号的，但经过多次测量，随机误差的平均值由于正负抵消而趋于零。随机误差具有下述基本性质：

- (1) 它的出现并无确切的规律性，并且是无法预先知道的，大多具有偶然性。
- (2) 随着量测次数的增多，随机误差的平均值趋于零。
- (3) 数量相等、符号相反的随机误差出现的频率大致相等。
- (4) 值小的随机误差比值大的随机误差出现的频率要大些。

3. 过失误差（粗差或差错）

由于人为的因素致使量测的结果明显地而且较大范围地偏离真值，或明显地歪曲试验结果，这种误差称为过失误差，即粗差、差错或错误。如测错、读错、记错、计算错误，或未按测量规程进行量测等。含有过失误差的测量数据是不能采用的，必须利用一定的准则从测得的数据中剔除。

因此在进行误差分析时，只考虑系统误差与随机误差，而过失误差则是测试人员应竭力避免的。

第二节 抽样检验

一、总体与样本

在工程质量检验中，对无限总体中的个体，逐一考察其某个质量特性显然是不可能的；对有限总体，若所含个体数量虽不大，但考察方法往往是破坏性的（如钻芯取样机钻取抗压或抗折强度试验所使用的试件，挖坑灌砂法测定路基压实度等），同样不能采用全数考察。所以，通过抽取总体中的一小部分个体加以检测，以了解和分析总体质量状况，这是工程质量检测的主要方法。因此，除特殊情况外，大多采用抽样检验，这就涉及总体和样本的概念。

在数理统计分析中我们把所要研究的对象的全体称为总体或母体，组成总体的每个单元称为个体。例如，在水泥混凝土拌和工地上需要确定某公司运来的一批水泥质量是否合格，则这批水泥就是总体。总体分为有限总体和无限总体：如果是一批产品，由于其数量有限，所以称其为有限总体；如果是施工中的一道工序，由于工序总是源源不断地生产出产品，有时是一个连续的整体，所以这样的总体称为无限总体。

从总体中抽取一部分个体就是样本（又称子样）。例如，从每一包水泥中取 2 个试样，一批水泥有 100 包，抽查 200 个试样做试验，则 100 包水泥为总体，而这 200 个试样就是样本。而组成样本的每个个体即为样品。如这 200 个试样中的某一个，就是该样本中的一个样品。样本容量是样本中所含样品的数量，通常用 n 来表示，上例中样本容量 $n=200$ 。样本容量的大小直接关系到判断结果的可靠性。一般来说，样本容量愈大，可靠性愈好，但检测所耗费的工作量亦愈大，成本也就愈高。

二、抽样检验

检验可以分为全数检验和抽样检验。全数检验是对待检的全体对象的每个个体都进行检验，然后对其质量状况进行评定。抽样检验是对待检的全体对象中抽取一部分个体进行检验，然后对整体的质量状况进行推断评定。

全数检验的可靠性较好，但耗费人力、物力，工作量大，通常不采用。抽样检验以数理统计学为理论基础，具有科学性和可实施性，大多数情况下，我们都采用抽样检验。在工程