

21 世纪高等职业技术教育规划教材
高职高专工学结合课程改革教材

道路与桥梁工程类

公路工程检测技术

主编 费月英 任小艳 主审 张洪亮

GONGLU GONGCHENG JIANCE JISHU



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

高职高专工学结合课程改革教材

公路工程检测技术

主 编 费月英 任小艳

主 审 张洪亮

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容提要

本书是高职土木专业的专业课教材。作者结合教学改革实践,根据工程实际生产任务将全书分解为5个教学项目,即试验检测数据的处理及质量等级评定、路基工程技术性能检测及质量评定、路面工程技术性能检测及质量评定、桥梁工程技术性能检测以及隧道工程技术性能检测,主要介绍了工程检测中数据的处理及评定方法以及路基工程、路面工程、桥梁工程和隧道工程施工质量与竣工验收过程中的检测项目及方法。

本书按照我国最新颁布的标准、规范编写,采用了国务院颁布的《中华人民共和国法定计量单位》。

本书既可以作为道路桥梁工程技术工程、工程监理、工程造价专业、高等级公路养护与管理等相关专业的教材,也可作为道桥工程技术人员学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

公路工程检测技术 / 费月英,任小艳主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2011.8

21 世纪高等职业技术教育规划教材. 道路与桥梁工程
类

ISBN 978-7-5643-1299-2

I. ①公… II. ①费… ②任… III. ①道路工程—检
测—高等教育—教材 IV. ①U41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 157300 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材——道路与桥梁工程类

公路工程检测技术

主编 费月英 任小艳

*

责任编辑 王 旻

特邀编辑 杨 勇

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: 14.125

字数: 351 千字

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-1299-2

定价: 26.50 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

前 言

为适应公路工程建设对专业技术人才的需求和突出职业技术学院办学理念,依据教育部对高职高专人才培养目标、培养规格、培养模式及与之相适应的知识、技能、能力和职业素质的要求,根据我国最新颁布的有关规范及相关标准编写了本教材。

公路工程检测技术是高职道路桥梁技术专业及其专业群根据专业培养目标和职业岗位要求而开设的职业能力核心课程,也是专业必修课程。该门课程是一门理论与实践并重的课程,课程教学包括课堂教学、试验检测和施工实习等环节。课堂教学借助幻灯、录像、多媒体课件配合进行效果更好;试验检测可以在试验室或模拟现场边讲边做,增强学生的动手能力;施工实习是贯彻理论与实践相结合的重要环节,应选择施工技术水平及施工管理水平较为先进的工地实习,培养学生实际应用的能力。

本书注意到职业教育的特点,内容以实用、实际、实效为原则,改变了原来的知识结构体系,紧密结合公路工程检测技术要求,以工程实测项目为编排顺序,教学过程采用项目教学法。全书共有 5 个教学项目,即试验检测数据的处理及质量等级评定、路基工程技术性能检测及质量评定、路面工程技术性能检测及质量评定、桥梁工程技术性能检测以及隧道工程技术性能检测,主要介绍了工程检测中数据的处理及评定方法以及路基工程、路面工程、桥梁及隧道工程施工质量和竣工验收过程中的检测项目与方法。

本书不仅适合公路系列专业高职高专、中专类学生作为教材,也适合生产一线试验检测人员作为参考教材,具有较强的实用性和可操作性。

本书由甘肃交通职业技术学院费月英和任小艳主编。具体编写分工如下:项目 1、项目 3 和项目 5 由费月英编写,项目 2、项目 4 和项目 3 工程案例由任小艳编写。全书由费月英统稿,长安大学张洪亮主审。

由于编者水平有限,书中不妥和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 5 月

目 录

项目 1 试验检测数据的处理及质量等级评定	1
任务 1.1 抽样检验基础	1
任务 1.2 试验检测数据的处理	4
任务 1.3 公路工程质量检验评定标准	13
项目 2 路基工程技术性能检测及质量评定	21
任务 2.1 路基路面现场测试随机选点方法	21
任务 2.2 路基几何尺寸检测项目与检测频率	25
任务 2.3 路基强度指标检测	27
任务 2.4 路基平整度检测	37
任务 2.5 现场路基压实度检测	39
项目 3 路面工程技术性能检测及质量评定	54
任务 3.1 无机结合料稳定土的检测	54
任务 3.2 水泥混凝土及水泥砂浆强度检测	67
任务 3.3 沥青混合料检测	76
任务 3.4 路面几何尺寸检测	85
任务 3.5 路面压实度检测	89
任务 3.6 路面平整度检测	96
任务 3.7 路面厚度检测	99
任务 3.8 路面强度指标检测	102
任务 3.9 路面抗滑性能检测	115
任务 3.10 沥青路面渗水系数测定	124
任务 3.11 路面外观检测	126
工程案例	136

项目 4 桥梁工程技术性能检测	167
任务 4.1 地基承载力检测	167
任务 4.2 钻（挖）孔灌注桩检测	175
任务 4.3 桥涵混凝土与预应力混凝土结构试验检测	181
任务 4.4 桥梁支座和伸缩装置检测	198
项目 5 隧道工程技术性能检测	207
任务 5.1 隧道支护施工质量检测	208
任务 5.2 隧道施工监控量测	211
参考文献	218

公路是国民经济的重要命脉，公路运输具有一定的优越性和灵活性，是其他运输方式所不可替代的。公路建设的迅速发展，对于促进国民经济的增长、拉动其他相关产业发展起着非常重要的作用。在公路建设中，质量是工程建设的关键，任何一个环节、任何一个部位出现问题，都会给工程的整体质量带来严重后果，直接影响到公路的使用效益。因此，工程试验检测机构必须对工程项目或产品进行检测，并判断工程质量或产品质量状态。

随着我国交通事业的发展，公路建设已进入以提高为主的新阶段，人们对其提出了更高的要求，如果不实行完善而严格的质量管理、保证和监督体系，难免会在道路或桥梁施工过程中出现质量事故或质量隐患。因此，在现场施工的质量控制中，配备与质量控制和管理相匹配的常规标准试验仪器和采用适宜的检测方法，进行必要的试验检测，对确保工程质量是十分重要的。

工程试验检测工作是道路和桥梁施工技术管理中的一个重要组成部分，也是施工质量控制和竣工验收评定工作中不可缺少的一个主要环节。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，工程质量检测工作对提高工程质量、加快工程进度、降低工程造价、推动道路和桥梁施工技术进步，将起到极为重要的作用。

公路工程检测技术是一门正在发展的新兴科学，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依据。

随着公路技术等级的提高，质量检测、施工质量控制和验收工作引起了各级公路管理部门和施工单位的高度重视。作为工程试验检测人员或质量控制管理人员，在整个施工期间应吃透并领会设计文件，熟悉现行施工技术规范 and 试验检测规程，严格做好道路和桥梁用材料质量、施工控制参数、现场施工过程质量和分部分项工程验收四个关键环节的把关工作。

项目 1 试验检测数据的处理及质量等级评定

【目标】能运用质量数据的修约规则；能计算质量数据的统计特征值；能理解可疑数据的取舍方法和统计方法；能理解公路工程试验检测的目的及意义；能运用公路工程质量检验评定方法对公路工程质量进行评分。

任务 1.1 抽样检验基础

工程质量的评价是以试验检测数据为依据的，试验检测采集得到的原始数据类多量大，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。

一、总体与样本

检验是质量管理工作的主要内容之一，常称质量检验，其主要功能是对产品的合格性进行控制。在工程质量检验中，除重要项目外，大多数采用抽样检验，这就涉及总体与样本的概念。

总体又称母体，是统计分析中所要研究对象的全体，而组成总体的每个单元称为个体。

从总体中抽取一部分个体就是样本（又称子样）。例如，从每一桶沥青中抽取 2 个试样，一批沥青有 100 桶，抽检了 200 个试样做试验，则这 100 桶沥青称为总体，200 个试样就是样本。而组成样本的每一个个体，即为样品。例如上述 200 个试样中的某一个，就是该样本中的一个样品。总体与样本的关系如图 1-1 所示。



图 1-1 总体与样本的关系

检验的基本意义在于：用某种方法检验物品的结果与质量判定标准相比较，判断出各个物品是“优良品”还是“不良品”，或者与产品“批”的判定标准作比较，判断出批是“合格批”还是“不合格批”。从此意义上说，检验分为对“各个产品”的检验和对“批”的检验。这两种检验过程可分别用图 1-2 和图 1-3 表示。



图 1-2 对各个物品的检验过程

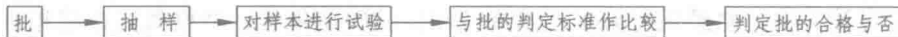


图 1-3 对批进行检验的过程

二、抽样检验的意义

在产品检验中，全数检验的应用场合很少，大多数情况下是采取抽样检验，原因如下：

(1) 由于无破损检验仪器器械的种类少，性能难以稳定，在不采用无破损性检验时，就得采用破坏性检验，而破坏性检验是不可能对全部产品都作检验的。

(2) 当检验对象为连续性物体或粉块混合物时（如油、沥青、水泥等），在一般情况不可能对全体物品的质量特性进行检测试验。

(3) 由于产品批的质量往往有所波动，尤其是在产品量大、金额高、检验项目多的场合，采用全数检验实际上做不到，用无损检验也有可能由于产品不良品率高而带来重大经济损失。此时，抽样检验则十分必要。

(4) 抽样检验由于检验的样本较小，因而可以收集质量信息，提高检验的全面程度和促进产品质量的改善。

三、抽样检验的条件

抽样检验是从某批产品中抽取较少的样本进行检验，根据试验结果来判定全批产品是合

格还是不合格。因此，为使抽样检验对判定质量好坏提供准确的信息，必须注意抽样检验应具备的条件。

1. 要明确批的划分

即要注意使同批产品在原材料、工艺条件、生产时间等方面具备基本相同的条件。例如，抽样检验水泥、沥青等物品的质量特性时，应将相同厂家、相同品种或强度等级的产品作为一个批，而不能将不同生产厂家和不同牌号的水泥或沥青划在一个批内。

2. 必须抽取能代表批的样本

由于抽样检验是以样本检验结果来推断批的好坏，故样本的代表性尤为重要。为使所抽取的样本能成为批的可靠代表，常采用如下方法：

(1) 单纯随机取样。这是一种完全随机化的取样，它适用于对总体缺乏基本了解的场合。“随机”取样不同于“随便”取样。随机取样是利用随机表或随机数骰子等工具进行的取样，它可以保证总体每个单位出现的概率相同。

(2) 分层取样。当批量或工序被分为若干层时，可从所有分层中按一定比例取样。例如有两台拌和机同时拌制原材料相同的同强度等级的混凝土，为了检验生产混凝土的质量特性，采用抽样方法时，应注意对两台拌和机分别取样，这样便于了解不同“层”的产品质量特性，研究各层造成不良品率的原因（见图 1-4），也可将甲、乙样品混合进行试验，以了解混合产品的质量特性。



图 1-4 分层取样示例

(3) 两级取样。当物品堆积在一起构成批量时，由许多货箱堆积在一起，按单纯随机取样相当麻烦。此时，可先将若干箱中进行第一级随机取样，挑出部分箱物品，然后再从已挑选出的箱中对物品进行随机取样（见图 1-5）。



图 1-5 两级取样示意图

(4) 系统取样。当对总体实行单纯随机抽样有困难时，如连续作业时抽样、产品为连续体时的抽样（如测定公路路基的弯沉值）等，可采用一定间隔进行抽取的抽样方法，称为系统抽样或等距抽样。

例如，现要求测定 1 000 m 路基的弯沉值，由于路基是连续体，可采取每 20 m 或 50 m 测

定一点(或两点)的办法做抽样测定。这时可用掷骰子或其他随机方法确定起点位置,如从K0+010开始,然后分别测定K0+030, K0+050, …, 或K0+060, K0+110等位置的弯沉值。

系统抽样还适合流水生产线上的取样,但应注意,当产品质量特性发生变化时,易产生较大偏差。

3. 要明确检验标准

所谓检验标准,是指对于一批产品中不良品的质量判定标准。如路基压实度小于93%的为不合格,二级公路水泥稳定土基层材料现场抽样的7d龄期抗压强度小于2.0 MPa时为强度不合格等。

4. 要有统一的检测试验方法

产品质量判定标准应与统一的检测试验方法所测定结果相对比,如果试验方法不统一,试验结果偏差很大,容易造成各种误判,抽样检验也就失去了其应有的意义。对于公路工程各种产品,大多数情况为现场加工制作,质量检测也大多在现场进行。因此,加强现场检测方法的统一、检测仪器性能的稳定、提高操作人员的技术熟练程度是十分重要的。

【例1】有一批产品,共100箱,每箱200件,从中选择200个样品。试判断下列取样分别属于哪种类型的取样。

- (1) 从整批中,任意抽取200件。
- (2) 从整批中,分别从每箱中任意抽取2件。
- (3) 从整批中,随机抽取10箱,再从10箱中随机抽取200件。
- (4) 从整批中,先分成10组,每组为10箱,然后分别从各组中任意抽取20件。

根据随机取样的概念,上述取样方法分别为单纯随机取样、分层取样、两级取样、系统取样。

习 题

1. 抽样的条件是什么?
2. 常见随机取样的方法有哪些?

任务 1.2 试验检测数据的处理

一、数据的修约规则

(一) 概 述

工程质量控制、评价是以数据为依据的,质量控制中常说的“一切用数据说话”,就是要用数据来反映工序质量状况及判断质量效果。

质量数据的来源,主要是工程建设过程中的各种检验,即材料检验、工序检验、竣工验收检验,也包括使用过程中的必要检验。只有通过对其收集、处理及分析,才能达到对生产施工过程的了解、掌握及控制。没有质量数据,就不可能有现代化的、科学的质量控制。

质量数据就其本身的特性来说,可以分为计量值数据和计数值数据。

1. 计量值数据

计量值数据是可以连续取值的数据,表现形式是连续型的。如长度、厚度、直径、强度、化学成分等质量特征,一般都是可以用检测工具或仪器等测量(或试验)的,类似这些质量特征的测量数据,一般都带有小数,如长度为 1.15 m、1.18 m 等。

在工程质量检验中得出的原始检验数据大部分是计量值数据。

2. 计数值数据

有些反映质量状况的数据是不能用测量器具来度量的。为了反映或描述属于这种类型内容的质量状况,而又必须用数据来表示时,便采用计数的办法,即用 1, 2, 3, … 连续地数出个数或次数,凡属于这样性质的数据即为计数值数据。计数值数据的特点是不连续,并只能出现 0, 1, 2 等非负的整数,不可能有小数。如不合格品数、不合格的构件数、缺陷的点数等。一般来说,以判断定方法得出的数据和以感觉性检验方法得出的数据大多属于计数值数据。

计数值数据有两种表示方法。一种是直接用计数出来的次数、点数来表示(称 P_n 数据);一种是把它们(P_n 数据)与总检查次(点)数相比,用百分数表示(P 数据)。 P 数据在工程检验中是经常使用的,如某分项工程的质量合格率为 90%,即是表示经检查为合格的点(次)数与总检查点(次)数的比值为 90%。但也应注意,不是所有的百分数表示的数据都是计数值数据,因为当分子、分母为计量值数据时,则计算出来的百分数也应是计量值数据。一般地,在用百分数表示数据时,当分子、分母为计量值数据时,分数值为计量值数据;当分子、分母为计数值数据时,分数值为计数值数据。

(二) 术 语

数据获得后,还涉及数据的定位问题,也就是对规定精确程度范围之外的数字如何取舍的问题。

1. 修约间隔

系确定修约保留位数的一种方式。修约间隔的数值一经确定,修约值即应为该数值的整数倍。

例如指定修约间隔为 0.1,修约值即应在 0.1 的整数倍中选取,相当于将数值修约到 1 位小数。

例如指定修约间隔为 100,修约值即应在 100 的整数倍中选取,相当于将数值修约到“百”数位。

2. 有效位数

对没有小数位且以若干个零结尾的数值,从非零数字最左一位向右数得到的位数减去无效零(即仅为定位用的零)的个数;对其他十进位数,从非零数字最左一位向右数而得到的位数,就是有效位数。

例如:35 000,若有 2 个无效零,则为 3 位有效位数,应写为 350×10^2 ;若有 3 个无效零,则为 2 位有效位数,应写为 35×10^3 。

例如:3.2、0.32、0.032、0.003 2 均为 2 位有效位数;0.032 0 为 3 位有效位数。

例如：12.490 为 5 位有效位数；10.00 为 4 位有效位数。

3. 0.5 单位修约（半个单位修约）

指修约间隔为指定数位的 0.5 单位，即修约到指定数位的 0.5 单位。

例如，将 60.28 修约到个数位的 0.5 单位，得 60.5（修约方法见本规则（六）1）。

4. 0.2 单位修约

指修约间隔为指定数位的 0.2 单位，即修约到指定数位的 0.2 单位。

例如，将 832 修约到“百”数位的 0.2 单位，得 840（修约方法见本规则（六）2）。

（三）确定修约位数的表达方式

1. 指定数位

（1）指定修约间隔为 10^{-n} （ n 为正整数），或指明将数值修约到 n 位小数。

（2）指定修约间隔为 1，或指明将数值修约到个数位。

（3）指定修约间隔为 10^n ，或指明将数值修约到 10^n 数位（ n 为正整数），或指明将数值修约到“十”、“百”、“千”……数位。

2. 指定将数值修约成 n 位有效位数

（四）质量数据的修约规则

（1）拟舍弃数字的最左一位数字小于 5 时，则舍去，即保留的各位数字不变。

例如，将 12.149 8 修约只留 1 位小数时，其拟舍去的数字中最左面的第一位数字是 4，则可舍去，得 12.1。

例如，将 12.149 8 修约成 2 位有效位数，其拟舍去的数字中最左面的第一位数字是 1，则可舍去，得 12。

（2）拟舍弃数字的最左一位数字大于 5，或者是 5，而其后跟有并非全部为 0 的数字时，则进一，即保留的末位数字加 1。

例如，将 1 268 修约到“百”数位，得 13×10^2 （特定时可写为 1 300）。

例如，将 1 268 修约成 3 位有效位数，得 127×10 （特定时可写为 1 270）。

例如，将 10.502 修约到个数位，得 11。

注：本示例中，“特定时”的涵义系指修约间隔或有效位数明确时。

（3）拟舍弃数字的最左一位数字为 5，而右面无数字或皆为 0 时，若所保留的末位数字为奇数（1、3、5、7、9）则进一，为偶数（2、4、6、8、0）则舍弃。

例如，修约间隔为 0.1（或 10^{-1} ）

拟修约数值	修约值
-------	-----

1.050	1.0
-------	-----

0.350	0.4
-------	-----

例如，修约间隔为 1 000（或 10^3 ）

拟修约数值	修约值
-------	-----

2 500	2×10^3 （特定时可写为 2 000）
-------	--------------------------------

3 500 4×10^3 (特定时可写为 4 000)

例如，将下列数字修约成 2 位有效位数

拟修约数值	修约值
-------	-----

0.032 5	0.032
---------	-------

32 500	32×10^3 (特定时可写为 32 000)
--------	----------------------------------

(4) 负数修约时，先将它的绝对值按上述 (1) ~ (3) 规定进行修约，然后在修约值前面加上负号。

例如，将下列数字修约到“十”数位

拟修约数值	修约值
-------	-----

-355	-36×10 (特定时可写为-360)
------	------------------------------

-325	-32×10 (特定时可写为-320)
------	------------------------------

例如，将下列数字修约成 2 位有效位数

拟修约数值	修约值
-------	-----

-365	-36×10 (特定时可写为-360)
------	------------------------------

-0.036 5	-0.036
----------	--------

(五) 不许连续修约

(1) 拟修约数字应在确定修约位数后一次修约获得结果，而不得多次按第 (四) 规则连续修约。

例如，修约 15.454 6，修约间隔为 1

正确的做法：

15.454 6 15

不正确的做法：

15.454 6 15.455 15.46 15.5 16

(2) 在具体实施中，有时测试与计算部门先将获得数值按指定的修约位数多 1 位或几位报出，而后由其他部门判定。为避免产生连续修约的错误，应按下述步骤进行。

① 报出数值最右的非零数字为 5 时，应在数值后面加“(+)”或“(-)”或不加符号，以分别表明已进行过舍进或未舍未进。

例如，16.50 (+) 表示实际值大于 16.50，经修约舍弃成为 16.50；16.50 (-) 表示实际值小于 16.50，经修约进一成为 16.50。

② 如果判定报出值需要进行修约，当拟舍弃数字的最左一位数字为 5 而后面无数字或皆为零时，数值后面有 (+) 号者进一，数值后面有 (-) 号者舍去，其他仍按第 (四) 规则进行。

例如，将下列数字修约到个數位后进行判定 (报出值多留 1 位到 1 位小数)。

实测值	报出值	修约值
-----	-----	-----

15.454 6	15.5 (-)	15
----------	----------	----

16.520 3	16.5 (+)	17
----------	----------	----

17.500 0	17.5	18
----------	------	----

-15.454 6	-(15.5 (-))	-15
-----------	-------------	-----

上述数值修约规则（有时称之为“奇升偶舍法”）可归纳为以下几句口诀：四舍六入五考虑，五后非零则进一，五后为零视奇偶，奇升偶舍要注意，修约一次要到位。

该修约法与以往用的“四舍五入”的方法区别在于：用“四舍五入”法对数值进行修约，从很多修约后的数值中得到的均值偏大，用上述修约规则，进舍的状况具有平衡性，进舍误差也具有平衡性，若干数值经过这种修约后，修约值之和变大的可能性与变小的可能性是一样的。

(六) 0.5 单位修约与 0.2 单位修约

必要时，可采用 0.5 单位修约和 0.2 单位修约。

1. 0.5 单位修约

将拟修约数值乘以 2，按指定数位依第（三）规则修约，所得数值再除以 2。

例如，将下列数字修约到“个”数位的 0.5 单位（或修约间隔为 0.5）

拟修约数值	乘 2	2A 修约值	A 修约值
(A)	(2A)	(修约间隔为 1)	(修约间隔为 0.5)
60.25	120.50	120	60.0
60.38	120.76	121	60.5
-60.75	-121.50	-122	-61.0

2. 0.2 单位修约

将拟修约数值乘以 5，按指定数位依第（三）规则修约，所得数值再除以 5。

例如，将下列数字修约到“百”数位的 0.2 单位（或修约间隔为 20）

拟修约数值	乘 5	5A 修约值	A 修约值
(A)	(5A)	(修约间隔为 100)	(修约间隔为 20)
830	4 150	4 200	840
842	4 210	4 200	840
-30	-4 650	-4 600	-920

二、数据统计分析

工程质量数据的统计特征量分为两类：一类表示统计数据的差异性，即工程质量的波动性，主要有极差、标准偏差、变异系数等；另一类是表示统计数据的规律性，主要有算术平均值、中位数、加权平均值等。

1. 算术平均值

算术平均值是表示一组数据集中位置最有用的统计特征量，经常用样本的算术平均值来代表总体的平均水平。样本的算术平均值则用 $\bar{x}$ 表示。如果 n 个样本数据为 $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，那么，样本的算术平均值为：

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{1-1}$$

【例1】某路段沥青混凝土面层抗滑性能检测，摩擦系数的检测值（共10个测点）分别为57、56、59、54、49、53、50、62、57、54（摆值）。求摩擦系数的算术平均值。

解：由式（1-1）可知，摩擦系数的算术平均值为：

$$\bar{F}_B = (57+56+59+54+49+53+50+62+57+54) / 10 = 55.1 \text{ (摆值)}$$

2. 中位数

在一组数据 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 中，按其大小次序排序，以排在正中间的一个数表示总体的平均水平，称之为中位数，或称中值，用 $\tilde{x}$ 表示。 n 为奇数时，正中间的数只有1个； n 为偶数时，正中间的数有2个，取这两个数的平均值作为中位数，即：

$$\tilde{x} = \begin{cases} \frac{x_{\frac{n+1}{2}}}{2} & n \text{ 为奇数} \\ \frac{1}{2} \left(x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1} \right) & n \text{ 为偶数} \end{cases} \quad (1-2)$$

【例2】检测值同例1，求中位数。

解：检测值按大小次序排列为62、59、57、57、56、54、54、53、50、49（摆值），则中位数为：

$$\tilde{F}_B = \frac{F_{B(5)} + F_{B(6)}}{2} = \frac{56 + 54}{2} = 55 \text{ (摆值)}$$

3. 极差

在一组数据中最大值与最小值之差，称为极差，记为 R ：

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (1-3)$$

【例3】例1中的检测数据的极差为：

$$R = F_{B\max} - F_{B\min} = 62 - 49 = 13 \text{ (摆值)}$$

极差没有充分利用数据的信息，但计算十分简单，仅适用于样本容量较小 ($n < 10$) 的情况。

4. 标准偏差

标准偏差有时也称标准离差、标准差或称均方差，它是衡量样本数据波动性（离散程度）的指标。在质量检验中，总体的标准偏差 (σ) 一般不易求得。样本的标准偏差 S 按式（1-4）计算：

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1-4)$$

【例4】仍用例1的数据，求样本标准偏差 S 。

解：样本标准偏差为：

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}} = 3.96 \text{ (摆值)}$$

5. 变异系数

标准偏差是反映样本数据的绝对波动状况，当测量较大的量值时，绝对误差一般较大；

测量较小的量值时，绝对误差一般较小。因此，用相对波动的大小，即变异系数更能反映样本数据的波动性。

变异系数用 C_v 表示，是标准偏差 S 与算术平均值 $\bar{x}$ 的比值，即：

$$C_v(\%) = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1-5)$$

【例 5】若甲路段沥青混凝土面层的摩擦系数算术平均值为 55.2（摆值），标准偏差为 4.13（摆值）；乙路段的摩擦系数算术平均值为 60.8（摆值），标准偏差 4.27（摆值）。则两路段的变异系数为：

$$\text{甲路段} \quad C_v(\%) = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% = 7.48\%$$

$$\text{乙路段} \quad C_v(\%) = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% = 7.02\%$$

从标准偏差看， $S_{\text{甲}} < S_{\text{乙}}$ 。但从变异系数分析， $C_{v\text{甲}} > C_{v\text{乙}}$ ，说明甲路段的摩擦系数相对波动比乙路段的大，面层抗滑稳定性较差。

三、可疑数据的取舍方法

工程质量常会发生波动情况。由于质量的波动，自然会引起质量检测数据的参差不齐，有时还会发现一些明显过大或过小的数据，这些数据为可疑数据。因此，在进行数据分析之前，应用数理统计法判别其真伪，并决定取舍。常用的方法如下所述。

1. 拉依达法

当试验次数较多时，可简单地用 3 倍标准差（3S）作为确定可疑数据取舍的标准。当某一测量数据（ x_i ）与其测量结果的算术平均值（ $\bar{x}$ ）之差大于 3 倍标准偏差时，即：

$$|x_i - \bar{x}| > 3S \quad (1-6)$$

则该测量数据应舍弃。

由于该方法是以 3 倍标准偏差为判别标准，所以亦称 3 倍标准偏差法，简称 3S 法。

判别标准取 3S 的理由是：根据随机变量的正态分布规律，在多次试验中，测量值落在 $\bar{x} - 3S$ 与 $\bar{x} + 3S$ 之间的概率为 99.73%，出现在此范围之外的概率为 0.27%，也就是在近 400 次试验中才能遇到 1 次，这种事件为小概率事件，出现的可能性很小，几乎是不可能。因而在实际试验中，一旦出现，就认为该测量数据是不可靠的，应将其舍弃。

另外，当测量值与平均值之差大于 2 倍标准偏差（即 $|x_i - \bar{x}| > 2S$ ）时，则该测量值应保留，但需存疑。如发现生产（施工）、试验过程中，有可疑的变异时，该测量值则应予舍弃。

【例 6】试验室进行同配比的混凝土强度试验，其试验结果为（ $n=10$ ）：25.8、25.4、31.0、25.5、27.0、24.8、25.0、26.0、24.5、23.0（MPa），试用 3S 法判别其取舍。

解：分析上述 10 个测量数据， $x_{\min}=23.0$ MPa 和 $x_{\max}=31.0$ MPa 最可疑。故应首先判别 $x_{\min}$ 和 $x_{\max}$ 。

经计算： $\bar{x}=25.8$ MPa， $S=2.1$ MPa

$$\text{因 } |x_{\max} - \bar{x}| = |31.0 - 25.8| = 5.2 \text{ MPa} < 3S = 6.3 \text{ MPa}$$

$$|x_{\min} - \bar{x}| = |23.0 - 25.8| = 2.8 \text{ MPa} < 3S = 6.3 \text{ MPa}$$

故上述测量数据均不能舍弃。

拉依达法简单方便，不需查表，但要求范围较宽，当试验检测次数较多或要求不高时可以应用，当试检测次数较少时（如 $n < 10$ ），在一组测量值中即使混有异常值，也无法舍弃。

2. 肖维纳特法

进行 n 次试验，其测量值服从正态分布，以概率 $1/2n$ 设定一判别范围 $(-K_n \cdot S, K_n \cdot S)$ ，当偏差（测量值 x_i 与其算术平均值 $\bar{x}$ 之差）超出该范围时，就意味着该测量值 x_i 是可疑的，应予舍弃。因此，肖维纳特法可疑数据舍弃的标准为：

$$\frac{|x_i - \bar{x}|}{S} \geq K_n \tag{1-7}$$

式中： K_n ——肖维纳特系数，与试验次数 n 有关，如表 1-1 所示。

肖维纳特系数 K_n 表 1-1

n	K_n	n	K_n	n	K_n	n	K_n	n	K_n	n	K_n
3	1.38	8	1.86	13	2.07	18	2.20	23	2.30	50	2.58
4	1.53	9	1.92	14	2.12	19	2.22	24	2.31	75	2.71
5	1.65	10	1.96	15	2.13	20	2.24	25	2.33	100	2.81
6	1.73	11	2.00	16	2.15	21	2.26	30	2.39	200	3.02
7	1.80	12	2.03	17	2.17	22	2.28	40	2.49	500	3.20

【例 7】结果同例 6，试用肖维纳特法进行判别。

解：查表 1-1，当 $n=10$ 时 $K_n=1.96$ 。对于测量值 31.0，则有：

$$\frac{|x_i - \bar{x}|}{S} = 2.48 > K_n = 1.96$$

说明测量数据值 31.0 是异常的，应予舍弃。这一结果与拉依达法的结果是不一致的。

肖维纳特法改善了拉依达法，但从理论上分析，当 $n \rightarrow \infty, K_n \rightarrow \infty$ ，此时所有异常值都无法舍弃。此外，肖维纳特系数与置信水平之间无明确联系，已逐渐被格拉布斯法所代替。

3. 格拉布斯法

格拉布斯法假定测量结果服从正态分布，根据顺序统计量来确定可疑数据的取舍。做 n 次重复试验，测得结果为 $x_1, x_2, \cdots, x_i, \cdots, x_n$ ，而且 x_i 服从正态分布。

为了检验 $x_i (i=1, 2, \cdots, n)$ 中是否有可疑值，可将 x_i 按其值由小到大顺序重新排序，得：

$$x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \cdots \leq x_{(n)}$$

根据顺序统计原则，给出标准化顺序统计量 g ：

$$\begin{cases} \text{当最小值 } x_{(1)} \text{ 可疑时, 则 } g_{(1)} = \frac{\bar{x} - x_{(1)}}{S} \\ \text{当最大值 } x_{(n)} \text{ 可疑时, 则 } g_{(n)} = \frac{x_{(n)} - \bar{x}}{S} \end{cases} \tag{1-8}$$