高校土木工程专业规划教材

GAOXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

土木工程材料实验

白宪臣 主编

TUMU GONGCHENG CAILIAO SHIYAN

中国建筑工业出版社

高校土木工程专业规划教材

土木工程材料实验

白宪臣　主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目（CIP）数据

土木工程材料实验/白宪臣主编．—北京：中国建筑工业出版社，2009

高校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-10550-2

Ⅰ．土…　Ⅱ．白…　Ⅲ．土木工程-建筑材料-实验-高等学校-教材　Ⅳ．TU5-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 197167 号

全书共十一章，内容包括试验基本知识、钢筋试验、水泥试验、骨料试验、混凝土拌合物试验、混凝土力学性能试验、砂浆试验、沥青试验、砖试验、土的基本物理性能试验和基于 Excel 的试验数据处理，每章都附有复习思考题和试验报告样表。

本书适用于高校土木工程、建筑环境与设备工程等专业，并可供从事土木工程设计、施工、监理、科研等相关人员学习参考。

*　*　*

责任编辑：王　跃　吉万旺

责任设计：董建平

责任校对：刘　钰　陈晶晶

高校土木工程专业规划教材

土木工程材料实验

白宪臣　主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本：787×1092 毫米　1/16　印张：11¾　字数：286 千字

2009 年 3 月第一版　2009 年 3 月第一次印刷

定价：**20.00** 元

ISBN 978-7-112-10550-2

（17475）

前　　言

土木工程材料试验是高校土建类专业重要的实践性教学环节，同时材料试验也是分析研究土木工程材料学的基本方法。为了进一步强化试验教学环节，满足试验课单独设置学分的教学体系改革和拓宽专业口径的教学要求，课程组依据全国土木工程专业指导委员会制定的专业教学大纲，在多年土木工程材料试验教学和研究工作积累的基础上编写本书，在体系和内容安排上力求语言简练、重点突出、内容全面、自成体系。本书作为试验课教材可单独使用，也可与《土木工程材料》理论教材配套使用。

全书共十一章，按照土木工程材料的种类编排章节，由于土木工程材料试验是土建类专业较早开设的专业基础试验课，因此，第 1 章首先对试验任务、测量与误差、数据统计分析方法等试验基本知识作了必要介绍。第 2～10 章，分别就钢筋、水泥、骨料、混凝土拌合物、混凝土力学性能、砂浆、沥青、砖和土工材料等，主要从材料的性能指标、技术标准、试验原理、仪器设备及技术指标要求、试件制备、试验步骤、结果计算与分析等方面的内容进行介绍。第 11 章，利用计算机技术，介绍基于 Excel 的试验数据处理程序。为使参加试验的每个学生对试验教学过程中出现和发现的问题能够深入思考，指导教师能够客观、全面地评价学生的试验成绩，每章都附有复习思考题和试验报告样表。

土木工程材料的种类和试验项目很多，相关的标准、规范和规程也经常在变化之中，作为高校教材，本书尽可能遵照最新的国家标准、规范和规程，其内容不包括土木工程材料试验的全部。不同专业可根据其专业特点和培养目标要求适当取舍试验项目，但重点都应是试验过程的强化和试验方法的掌握。通过试验教学训练，能够使学生对试验原理融汇贯通，对试验结果知其所以然，并能举一反三，着实提高学生独立分析与解决问题的能力，是编写组始终追求的目标。

本书由河南大学白宪臣主编，范孟华、鲍鹏任副主编，参加编写的还有岳建伟、杨国忠、孔德志等课程组成员。在编写过程中，得到了河南省教育厅、河南大学等单位的大力支持，参考了书末所列文献和嘉兴市春秋建设工程检测中心的试验方法指导，在此表示衷心感谢。限于水平，书中疏漏与不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

目　　录

第 1 章　试验基本知识

§1.1　试验任务与试验过程

材料是土木工程的物质基础，并在一定程度上决定建筑与结构的形式以及工程施工方法。新型土木工程材料的研发与应用，将促使工程结构设计方法和施工技术不断变化与革新，同时新颖的建筑与结构形式又不断向工程材料提出更高的性能要求。建筑师总是把精美的建筑艺术与科学合理地选用工程材料融合在一起；结构工程师也只有在很好地了解工程材料的技术性能之后，才能根据工程力学原理准确计算并确定建筑构件的尺寸，从而创造先进的结构形式。

土木工程材料是实践性很强的学科，材料试验是土木工程材料学的重要组成部分，同时也是学习和研究土木工程材料的重要方法。土木工程材料基本理论的建立及其技术性能的开发与应用，都是在科学试验基础上逐步发展和完善起来的，我们也将看到，土木工程材料的科学试验将进一步推动土木工程学科的发展。

一、试验目的

1. 巩固、拓展土木工程材料基础理论知识，丰富、提高专业素质。
2. 掌握常用仪器设备的工作原理和操作技能，培养工程技术和科学研究的基本能力。
3. 了解土木工程材料及其相关试验规范，掌握常用土木工程材料的试验方法。
4. 培养严谨求实的科学态度，提高分析与解决实际问题的能力。

二、试验任务

1. 分析、鉴定土木工程原材料的质量。
2. 检验、检查材料成品及半成品的质量。
3. 验证、探究土木工程材料的技术性质。
4. 统计分析试验资料，独立完成试验报告。

三、试验过程

试验过程是试验者进行试验时的工作程序，土木工程材料的每个试验都应包括以下过程。

1. 试验准备

认真、充分的试验准备工作是保证试验顺利进行并取得满意结果的前提和条件，试验准备工作的内容包括以下两个方面：

（1）理论知识的准备　每个试验都是在相关理论知识指导下进行的，试验前，只有充分了解本试验的理论依据和试验条件，才能有目的、有步骤地进行试验，否则，将会陷入盲目。

（2）仪器设备的准备　试验前应了解所用仪器设备的工作原理、工作条件和操作规程等内容，以便使整个试验过程能够按照预先设计的试验方案顺利、快捷、安全地进行。

2. 取样与试件制备

进行试验要有试验对象，对试验对象的选取称为取样。试验时不可能把全部材料都拿来进行测试，实际上也没有必要，往往是选取其中的一部分。因此，取样要有代表性，使其能够反映整批材料的质量性能，起到“以点代面”的作用。试验取样完成后，对有些试验对象的测试项目可以直接进行试验操作，并进行结果评定。然而在大多数情况下，还必须对试验对象进行试验前处理，制作成符合一定标准的试件，以获得具有可比性的试验结果。

3. 试验操作

试验操作是试验过程的重要环节，在充分做好试验准备工作以后方可进行试验操作。试验过程的每一步操作都应采用标准的试验方法，以使测得的试验结果具有可比性，因为不同的试验方法往往会得出不同的试验结果。试验操作环节是整个试验过程的中心内容，应规范操作，仔细观察，详细记录。

4. 结果分析与评定

试验数据的分析与整理是产生试验成果的最后一个环节，应根据统计分析理论，实事求是地对所测数据进行科学归纳和整理，同时结合相关标准规范，以试验报告的形式给定试验结论，并做出必要的理论解释和原因分析。

§1.2 试验数据统计分析方法

试验中所测得的原始数据并不是最终结果，只有将其统计归纳、分析整理，找出其内在的本质联系，才是试验的目的所在。本节主要介绍试验数据统计分析的基本方法。

一、测量与误差

测量是从客观事物中获取有关信息的认识过程，其目的是在一定条件下获得被测量的真值。尽管被测量的真值客观存在，但由于试验时所进行的测量工作都是依据一定的理论与方法，使用一定的仪器与工具，并在一定条件下由一定的人进行的，而试验理论的近似性、仪器设备灵敏度与分辨能力的局限性以及试验环境的不稳定性等因素的影响，使得被测量的真值很难求得，测量结果和被测量真值之间总会存在或多或少的偏差，由此而产生误差也就必然存在，这种偏差叫做测量值的误差。设测量值为 x，真值为 A，则误差 ε 为：

$$\varepsilon = | x - A | \tag{1-1}$$

测量所得到的一切数据都含有一定量的误差，没有误差的测量结果是不存在的。既然误差一定存在，那么测量的任务即是设法将测量值中的误差减至最小，或在特定的条件下，求出被测量的最近真值，并估计最近真值的可靠度。按照对测量值影响性质的不同，误差可分为系统误差、偶然误差和粗大误差，此三类误差在试验时测得的数据中常混杂在一起出现。

1. 系统误差

在指定测量条件下，多次测量同一量时，若测量误差的绝对值和符号总是保持恒定，测量结果始终朝一个方向偏离或者按某一确定的规律变化，这种测量误差称为系统误差或恒定误差。例如在使用天平称量某一物体的质量时，由于砝码的标准质量不准及空气浮力

影响引起的误差，在多次反复测量时恒定不变，这些误差就属于系统误差。系统误差的产生与下列因素有关：

（1）仪器设备系统本身的问题，如温度计、滴定管的精确度有限，天平砝码不准等。

（2）使用仪器时的环境因素，如温度、湿度、气压的逐时变化等。

（3）测量方法的影响与限制，如试验时对测量方法选择不当，相关作用因素在测量结果表达式中没有得到反映，或者所用公式不够严密以及公式中系数的近似性等，从而产生方法误差。

（4）测量者个人习惯性误差，如有的人在测量读数时眼睛位置总是偏高或偏低，记录某一信号的时间总是滞后等。

由于系统误差是恒差，因此，采用增加测量次数的方法不能消除系统误差。通常可采用多种不同的试验技术或不同的试验方法，以判定有无系统误差存在。在确定系统误差的性质之后，应设法消除或使之减少，从而提高测量的准确度。

2. 偶然误差

偶然误差也叫随机误差。在同一条件下多次测量同一量时，测得值总是有稍许差异并变化不定，且在消除系统误差之后依然如此，这种绝对值和符号经常变化的误差称为偶然误差。偶然误差产生的原因较为复杂，影响的因素很多，难以确定某个因素产生具体影响的程度，因此偶然误差难以找出确切原因并加以排除。试验表明，大量次数测量所得到的一系列数据的偶然误差都遵从一定的统计规律。

（1）绝对值相等的正、负误差出现机会相同，绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的机会多。

（2）误差不会超出一定的范围，偶然误差的算术平均值随着测量次数的无限增加而趋向于零。

试验还表明，在确定的测量条件下，对同一量进行多次测量，用算术平均值作为该量的测量结果，能够比较好地减少偶然误差。

设：某量的 n 次测量值为 x_1，$x_2\cdots\cdots x_n$，其误差依次为 ε_1，ε_2，$\varepsilon_3\cdots\cdots\varepsilon_n$，真值为 A，则：

$$(x_1-A)+(x_2-A)+(x_3-A)+\cdots\cdots+(x_n-A)=\varepsilon_1+\varepsilon_2+\varepsilon_3+\cdots\cdots+\varepsilon_n$$

将上式展开整理得：

$$\frac{1}{n}[(x_1+x_2+x_3+\cdots\cdots+x_n)-nA]=\frac{1}{n}(\varepsilon_1+\varepsilon_2+\varepsilon_3+\cdots\cdots+\varepsilon_n) \qquad (1\text{-}2)$$

此式表示平均值的误差等于各测量值误差的平均。由于测量值的误差有正有负，相加后可抵消一部分，而且 n 越大相消的机会越多。因此，在确定的测量条件下，减小测量偶然误差的办法是增加测量次数。在消除系统误差之后，算术平均值的误差随测量次数的增加而减少，平均值即趋于真值，因此，可取算术平均值作为直接测量的最近真值。

测量次数的增加对提高平均值的可靠性是有利的，但并不是测量次数越多越好。因为增加次数必定延长测量时间，这将给保持稳定的测量条件增加困难，同时延长测量时间也会给观测者带来疲劳，这又可能引起较大的观测误差。另外增加测量次数只能对降低偶然误差有利而与系统误差减小无关，所以实际测量次数不必过多，一般取 4～10 次即可。

3. 粗大误差

凡是在测量时用客观条件不能解释为合理的那些突出的误差称为粗大误差，粗大误差也叫过失误差。粗大误差是观测者在观测、记录和整理数据过程中，由于缺乏经验、粗心大意、时久疲劳等原因引起的。初次进行试验的学生，在试验过程中常常会产生粗大误差，学生应在教师的指导下不断总结经验，提高试验素质，努力避免粗大误差的出现。

误差的产生原因不同，种类各异，其评定标准也有区别。为了评判测量结果的好坏，我们引入测量的精密度、准确度和精确度等概念。精密度、准确度和精确度都是评价测量结果好坏与否的，但各词含义不同，使用时应加以区别。测量的精密度高，是指测量数据比较集中，偶然误差较小，但系统误差的大小不明确。测量的准确度高，是指测量数据的平均值偏离真值较小，测量结果的系统误差较小，但数据分散的情况即偶然误差的大小不明确。测量的精确度高，是指测量数据比较集中在真值附近，即测量的系统误差和偶然误差都比较小，精确度是对测量的偶然误差与系统误差的综合评价。

二、数据统计特征值

1. 算术平均值

算术平均值是最基本的数据统计分析概念，在数据分析中经常用到，用来说明试验时测得一批数据的平均水平和度量这些数据的中间位置。算术平均值用下式表示：

$$\overline{X}=\frac{x_1+x_2+\cdots\cdots+x_n}{n}=\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i}{n} \tag{1-3}$$

式中 $\overline{X}$——算术平均值；

x_1，$x_2\cdots\cdots x_n$——各试验数据值；

n——试验数据个数。

2. 加权平均值

加权平均值表征法也是比较常用的一种方法，它是考虑了测量值与其所占权重因素的评价方法。加权平均值用下式表示：

$$m=\frac{x_1g_1+x_2g_2+\cdots\cdots x_ng_n}{g_1+g_2+\cdots\cdots+g_n}=\frac{\sum_{i=1}^{n}x_ig_i}{\sum_{i=1}^{n}g_i} \tag{1-4}$$

式中 m——加权平均值；

x_1，$x_2\cdots\cdots x_n$——各试验数据值；

g_1，$g_2\cdots\cdots g_n$——各试验数据值的对应权数；

n——试验数据个数。

三、误差计算与数据处理

1. 范围误差（极差）

在实际测量中，正常的合乎道理的误差不是漫无边际，而是具有一定的范围。试验数值中最大值与最小值之差称为范围误差或极差，它表示数据离散的范围，可用来度量数据的离散性。

$$w = x_{max} - x_{min} \tag{1-5}$$

式中 w——范围误差（极差）；

x_{max}——试验数据最大值；

x_{min}——试验数据最小值。

【例】 三块砂浆试件抗压强度测量值分别为 5.21、5.63、5.72MPa，求该测量结果的范围误差。

【解】 因为该组测量值中的最大值和最小值分别为 5.73MPa、5.21MPa，所以测量结果的范围误差为：

$$\begin{aligned} w &= x_{max} - x_{min} \\ &= 5.72 - 5.21 \\ &= 0.51\text{MPa} \end{aligned}$$

2. 算术平均误差

算术平均误差可反映多次测量产生误差的整体平均状况，计算公式为：

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{|\varepsilon_1| + |\varepsilon_2| + \cdots\cdots + |\varepsilon_n|}{n} \\ &= \frac{|x_1 - A| + |x_2 - A| + \cdots\cdots + |x_n - A|}{n} \\ &= \frac{|x_1 - \overline{X}| + |x_2 - \overline{X}| + \cdots\cdots + |x_n - \overline{X}|}{n} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \overline{X}|}{n} \end{aligned} \tag{1-6}$$

式中 δ——算术平均误差；

x_1，x_2……x_n——各试验数据值；

ε_1，ε_2……ε_n——各试验数据测量误差；

A——被测量最近真值；

$\overline{X}$——试验数据值的算术平均值；

n——试验数据个数。

【例】 三块砂浆试块的抗压强度分别为 5.21、5.63、5.72MPa，求算术平均误差。

【解】 因为这组试件的平均抗压强度为 5.52MPa，所以其算术平均误差为：

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{|x_1 - \overline{X}| + |x_2 - \overline{X}| + |x_3 - \overline{X}|}{n} \\ &= \frac{|5.21 - 5.52| + |5.63 - 5.52| + |5.72 - 5.52|}{3} = 0.2\text{MPa} \end{aligned}$$

3. 标准差（均方根差）

在测量结果的评定中，只知道产生误差的平均水平是不够的，还必须了解数据的波动情况及其带来的危险性。标准差（均方根差）则是衡量数据波动性（离散性大小）的指标，计算公式为：

$$\sigma=\sqrt{\frac{\varepsilon_1^2+\varepsilon_2^2+\cdots\cdots+\varepsilon_n^2}{n}}$$

$$=\sqrt{\frac{(x_1-\overline{X})^2+(x_2-\overline{X})^2+\cdots\cdots+(x_n-\overline{X})^2}{n-1}}$$

$$=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{X})^2}{n-1}} \tag{1-7}$$

式中　σ——标准差（均方根差）；

x_1，$x_2\cdots\cdots x_n$——各试验数据值；

ε_1，$\varepsilon_2\cdots\cdots\varepsilon_n$——各试验数据测量误差；

$\overline{X}$——试验数据值的算术平均值；

n——试验数据个数。

【例】　某水泥厂某月生产 10 个编号的 32.5 矿渣水泥，28d 抗压强度分别为 37.3、35.0、38.4、35.8、36.7、37.4、38.1、37.8、36.2、34.8MPa，求其标准差。

【解】　因为 10 个编号水泥的算术平均强度 $\overline{X}$ 和$\Sigma(x_i-\overline{X})^2$ 分别为：

$$\overline{X}=\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i}{n}=\frac{367.5}{10}=36.8$$

$$\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{X})^2=14.47$$

所以，标准差 $\sigma=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{X})^2}{n-1}}=\sqrt{\frac{14.47}{9}}=1.27\text{MPa}$

4. 极差估计法确定标准差

利用极差估计法确定标准差的主要优点是计算方便，但反映实际情况的精确度较差。

（1）当数据不多时（$n\leqslant10$），利用极差法估计标准离差的计算式为：

$$\sigma=\frac{1}{d_n}w \tag{1-8}$$

（2）当数据很多时（$n>10$），先将数据随机分成若干个数量相等的组，然后对每组求极差，并计算极差平均值 $\overline{w}=\frac{\sum_{i=1}^{n}w_i}{m}$，此时标准差的估计值近似用下式计算：

$$\sigma=\frac{1}{d_n}\overline{w} \tag{1-9}$$

式中　σ——标准差的估计值；

d_n——与 n 有关的系数，见表 1-1；

w、$\overline{w}$——极差及各组极差平均值；

m——数据分组的组数；

n——每一组内数据拥有的个数。

极差估计法系数表 **表 1-1**

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_n	—	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078
$1/d_n$	—	0.886	0.591	0.486	0.429	0.395	0.369	0.351	0.337	0.325

5. 变异系数

由于标准差是表征数据绝对波动大小的指标，当被测量的量值较大时，绝对误差一般较大；当被测量的量值较小时，绝对误差一般较小。因此要考虑相对波动的大小，应以标准差与试验数据算术平均值之比的百分率来表示标准差，即变异系数。变异系数计算式为：

$$C_V = \frac{\sigma}{\overline{X}} \times 100\% \tag{1-10}$$

式中 C_V——变异系数；

σ——标准差；

$\overline{X}$——试验数据的算术平均值。

变异系数与标准差相比，具有独特的工程意义，可表达出标准差所表示不出来的数据波动情况。例如，甲、乙两厂均生产 32.5 级矿渣水泥，甲厂某月生产水泥的平均强度为 39.84MPa，标准差为 1.68MPa；同月乙厂生产的水泥平均强度为 36.2MPa，标准差为 1.62MPa，试比较两厂的变异系数。

甲厂的变异系数：$C_{V甲}=\frac{\sigma_甲}{\overline{X}_甲}\times100\%=\frac{1.68}{39.8}\times100\%=4.22\%$

乙厂的变异系数：$C_{V乙}=\frac{\sigma_乙}{\overline{X}_乙}\times100\%=\frac{1.62}{36.2}\times100\%=4.48\%$

根据以上计算，如果单从标准差指标上看，甲厂大于乙厂，说明甲厂生产水泥质量的绝对波动性大于乙厂。但从变异系数指标上看，则乙厂大于甲厂，说明乙厂生产的水泥强度相对波动性要比甲厂大，产品的稳定性较差。

6. 正态分布和概率

为了弄清数据波动更为完整的规律，应找出频数分布情况，画出频数分布直方图。数据波动的规律不同，曲线的形状则不同。当分组较细时，直方图的形状便逐渐趋于一条曲线。在实际数据分析处理中，按正态分布曲线的情况最多，用得也最广。正态分布曲线由概率密度函数给出：

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \tag{1-11}$$

式中 x——试验数据值；

μ——曲线最高点横坐标，正态分布的均值；

σ——正态分布的标准差，其大小表示曲线的“胖瘦”程度，σ 越大，曲线越胖，数据越分散；反之，表示数据越集中，见图 1-1。

当已知均值 μ 和标准差 σ 时，就可以画出正态分布曲线。数据值落入任意区间 (a,b) 的概率 $P(a<x<b)$ 是明确的，其值等于 $X_1=a$，$X_2=b$ 时横坐标和曲线 $\varphi(x)$ 所夹的面积

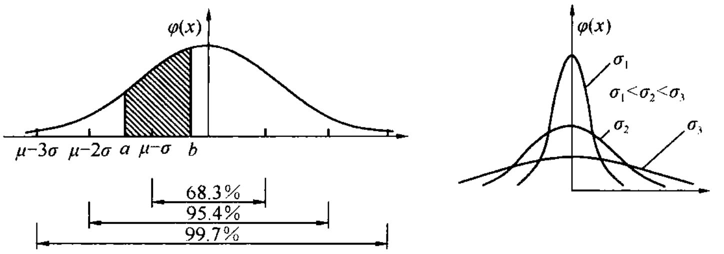

图 1-1 正态分布示意图

（图中阴影面积），可用下式求出：

$$P(a < x < b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_a^b e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}\mathrm{d}x \tag{1-12}$$

落在（$\mu-\sigma$，$\mu+\sigma$）的概率是 68.3%

落在（$\mu-2\sigma$，$\mu+2\sigma$）的概率是 95.4%

落在（$\mu-3\sigma$，$\mu+3\sigma$）的概率是 99.7%

在工程实际中，概率的分布问题经常用到，例如，要了解一批混凝土的强度低于设计要求强度的概率大小，就可用概率分布函数求得。

$$F(x_0) = \int_{-\infty}^{x_0}\varphi(x)\mathrm{d}x = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_{-\infty}^{x_0} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}\mathrm{d}x \tag{1-13}$$

令：$t = \dfrac{x-\mu}{\sigma}$，则：$\varphi(t) = \dfrac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{t^2}{2}}$

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{t} e^{-\frac{t^2}{2}}\mathrm{d}t \tag{1-14}$$

根据上述条件，编制概率计算表（表 1-2、表 1-3），可方便计算。

标准正态分布表 **表 1-2**

t	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7703	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9278	0.9292	0.9306	0.9319

续表

t	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9430	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9648	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9700	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9762	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9874	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986

标准正态分布表 **表 1-3**

t	Φ(t)	t	Φ(t)	t	Φ(t)
3.00～3.01	0.9987	3.15～3.17	0.9992	3.40～3.48	0.9997
3.02～3.05	0.9988	3.18～3.21	0.9993	3.49～3.61	0.9998
3.06～3.08	0.9989	3.22～3.26	0.9994	3.62～3.89	0.9999
3.09～3.11	0.9990	3.27～3.32	0.9995	3.89～∞	1.0000
3.12～3.14	0.9991	3.33～3.39	0.9996		

【例】 如果一批混凝土试件的强度数据分布为正态分布，试件的平均强度为41.9MPa，其标准差为3.56MPa，求强度分别比30MPa、40MPa、50MPa低的概率。

【解】

$$P(X \leqslant 30) = F(30) = \phi\left(\frac{30-41.9}{3.56}\right) = \phi(-3.34)$$
$$= 1-\phi(3.34) = 1-0.9996$$
$$= 0.0004$$

$$P(X \leqslant 40) = F(40) = \phi\left(\frac{40-41.9}{3.56}\right) = \phi(-0.53)$$
$$= 1-\phi(0.53) = 1-0.7019$$
$$= 0.2981$$

$$P(X \leqslant 50) = F(50) = \phi\left(\frac{50-41.9}{3.56}\right) = \phi(2.28) = 0.9887$$

$$\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{t} e^{-\frac{t^2}{2}}\mathrm{d}t \quad (t \geqslant 0)$$

7. 可疑数据的取舍

在一组条件完全相同的重复试验中，当发现有某个过大或过小的可疑数据时，应按数理统计方法给以鉴别并决定取舍，常用的方法有三倍标准差法和格拉布斯法。

(1) 三倍标准差法

三倍标准差法是美国混凝土标准（ACT 214—65）所采用的方法，它的准则是：

$$|x_i - \overline{X}| > 3\sigma \tag{1-15}$$

式中 x_i——任意试验数据值；

$\overline{X}$——试验数据算术平均值；

σ——标准差。

另外规定，当$|x - \overline{X}| > 2\sigma$时，数据保留，但需存疑。如发现试验过程中有可疑的变异时，该数据值应予舍弃。

(2) 格拉布斯法

三倍标准差法虽然比较简单，但须在已知标准差的条件下才能使用。格拉布斯方法则是在不知道标准差情况下对可疑数字的取舍方法，格拉布斯方法使用步骤如下：

①把试验所得数据从小到大依次排列：x_1，x_2，……x_n。

②选定显著性水平 α（一般 α=0.05），并根据 n 及 α，从表 1-4 中求得 T 值。

③计算统计量 T 值：

$$T = \frac{\overline{X} - x_1}{\sigma}（当 x_1 可疑时） \tag{1-16}$$

$$T = \frac{x_n - \overline{X}}{\sigma}（当最大值 x_n 可疑时） \tag{1-17}$$

式中 $\overline{X}$——数据算术平均值；

x——测量值；

n——试件个数；

σ——标准差。

④查表 1-4，得相应于 n 与 α 的 $T(n,\alpha)$值。当计算的统计量 $T \geqslant T(n,\alpha)$时，则假设的可疑数据是对的，应予舍弃；当 $T < T(n,\alpha)$时，则不能舍弃。

n、α 和 T 值的关系表 **表 1-4**

α	当 n 为下列数值时的 T 值							
	3	4	5	6	7	8	9	10
5.0%	1.15	1.46	1.67	1.82	1.94	2.03	2.11	2.18
2.5%	1.15	1.48	1.71	1.89	2.02	2.13	2.21	2.29
1.0%	1.15	1.49	1.75	1.94	2.10	2.22	2.32	2.41

在以上两种方法中，三倍标准差法相对简单，几乎绝大部分数据可不舍弃；格拉布斯方法适用于标准差不掌握的情况，适用面较宽，但使用较复杂。

8. 有效数字与数字修约

对试验测得的数据不但要翔实记录，而且还要进行各种运算，哪些数字是有效数字，需要记录哪些数据，对运算后的数字如何取舍，都应当遵循一定的规则。

一般来讲，仪器设备显示的数字均为有效数字，均应读出并记录，包括最后一位的估计读数。对分度式仪表，读数一般要读到最小分度的十分之一。例如，用一最小分度为毫米的直尺，测得某一试件的长度为 76.2mm，其中“7”和“6”是准确读出来的，最后一