

交通部水运工程试验检测技术培训教材

Shuiyun Gongcheng Shiyanjiance Gailun

# 水运工程试验检测概论

陈一梅 主编

人民交通出版社

交通部水运工程试验检测概论培训教材  
水运工程试验检测概论  
陈一梅 主编

版式设计:周 园 责任校对:张 捷 责任印制:  
人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张: 插页: 字数: 千

2000 年 7 月 第 1 版

2000 年 7 月第 1 版 第 1 次印刷 总第 1 次印刷

印数:0001 - 3000 册 定价: 元

ISBN 7-114- -

## 内 容 提 要

本书主要阐述试验检测的规范性管理和试验检测与质量管理中的数据处理方法。全书共分六章,前四章内容包括试验检测的基本要求、仪器设备管理、质量检测项目与标准、试验检测程序。后二章内容包括概率统计方法在试验检测和质量管理中的应用、误差分析、计量基础。

本书适于作为试验检测人员培训教材,也可作为大、专院校相关专业学生的试用教材和供广大科技工作者参考。

# 前 言

我国水运事业发展迅速,水运基本建设任务繁重。试验检测技术人员对工程检测、质量控制起着关键作用,提高检测技术人员业务素质,规范试验管理是确保水运工程质量的重要环节之一。为了适应我国水运基本建设及其管理的需要,培训水运工程质量试验检测技术人员,交通部质监总站组织南京交通高等专科学校教师和有关单位专家编写了水运工程试验检测技术培训教材。1997年7月在江苏省交通厅召开了“交通部水运工程试验检测技术培训教材编写大纲审查会”,会议审查并通过了这套教材的编写大纲。本书按照大纲要求组织编写,并在1998年8月试用讲义基础上经过数轮培训试用后修改而成。在修改前搜集了各使用单位的意见,以期出版时,本书在内容上能少而精,深度和广度上能适应广大试验、检测人员要求,既有理论性又有可操作性。

《水运工程试验检测概论》主要讲述试验检测的规范性管理,包括试验检测的基本要求,试验室的运作,试验检测程序,质量管理和试验检测中数据处理等方面的基本概念和方法。本书第一章、第三章由天津港湾工程质量检测中心吴岳清高级工程师编写,第二、四、五、六章由南京交通高等专科学校陈一梅副教授编写。南京交通高等专科学校周福田副教授对本教材的编写提供了大量帮助,并对全书进行了认真的校对,大连理工大学胡立万教授和天津港湾质量检测中心黄孝衡高级工程师认真审阅了原稿和修改稿,提出了宝贵意见和建议,对保证本教材的质量起了重要作用,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中多有错误和不足之处,请读者批评。

编 者

2000年3月2日

# 编写说明

建筑工程的质量问题是关系到国家人民生命财产安危的千年大计。在改革开放和市场经济条件下,建筑市场必须严格按规定的法制轨道办事,严把质量关特别重要。根据一切用数据说话的原则,对建筑用原材料、构件、配件及建筑物本身进行科学的试验和检测,是证明建筑物质量状况优劣的最具权威的依据。无论是建设单位、施工单位,还是质量监督部门都必须注重试验和检测工作。

交通运输事业是国民经济的一个重要组成部分,它在生产、流通和消费诸环节中起着极其重要的作用。水运具有量大、价廉、安全的优势,在大宗货物的运输方面,特别是在洲际外贸运输方面更是一枝独秀。因此,水运是现代交通的重要组成部分。

水运工程多在海上和河流中施工,施工时需要的船机设备较多,条件艰苦,季节性强,影响因素复杂,一旦造成质量事故后损失巨大,而返工、返修、善后处理又很困难。所以作为建设单位、施工单位、监理单位和上级主管部门都把质量控制放在十分重要的地位。重庆市綦江县彩虹桥倒塌的事件在建筑行业引起了极大的震撼。加强质量管理和监督,防止不合格建筑产品交付使用,科学地做好各种试验检测是必不可少的基本工作。

水运工程的试验检测工作融专业知识和操作方法于一体,具有较强的理论性和实践性。为了大面积地提高试验检测人员和管理人员的技能和素质,交通部工程建设质量监督总站计划对有关从业人员进行全面培训,主要对象是中专(高中)以上学历,从事试验检测和管理工作的人员。为了使培训工作顺利地进行,特成立了水运工程试验检测技术培训教材编委会,由交通部当时的工程建设质量监督总站站长苏秉坤任教材编委会主任,并委托原南京交通高等专科学校组织编写全套培训教材,具体由港航系(现东南大学交通学院港航系)实施。1997年7月在江苏省交通厅召开了由中港一航局、二航局、三航局、四航局港湾工程试验检测中心、河海大学、重庆交通学院、长沙交通学院等单位的有关专家教授参加的教材编写大纲审查会,并通过了教材编写大纲。1998年三、四月份,根据教材编写大纲,各门课程的讲义都陆续编写完成并使用。现在出版的这套教材是在多期培训班试用的讲义基础,两次请有关专家评审,并吸收了培训班举办单位和广大学员的意见进行了增删修改而成的。

根据交通部建设工程质量监督总站的意见,现先出版《土工试验及地基承载力检测》、《混凝土及构件试验检测》、《水运工程试验检测概论》、《原材料质量检测》等四本。

1. 《土工试验及地基承载力检测》,包括土工基础知识,常规土工试验,常用地基处理方法,地基承载力的原位测试。由周福田、朱志铎、经绯、顾春光编写,周福田任主编。秦皇岛港湾工程质量检测中心赵敏成、南京水利科学研究院盛树馨审阅了本书。

2. 《混凝土及构件试验检测》,上篇混凝土及构件试验检测包括了水泥混凝土拌和物的和易性、硬化混凝土的强度及耐久性、砂浆技术性质、预应力钢绞线锚夹具等的常规试验检测;下篇为混凝土非破损检测技术。全书由宣国良、谢耀峰任主编。天津港湾工程质量检测中心吴岳清、武汉港湾工程质量检测中心吴继光、大连理工大学王清湘审阅了上篇,天津港

湾工程质量检测中心龚景齐、刘亚平审阅了下篇。

3 《水运工程试验检测概论》,包括试验检测的规范性管理,试验检测的基本要求,实验室的运作,试验检测程序,质量管理和试验检测中数据处理等方面的基本概念和方法。由陈一梅、吴岳清编写,陈一梅任主编。天津港湾工程质量检测中心黄孝衡、武汉港湾工程质量检测中心王颖异、大连理工大学胡立万审阅了全书。

4 《原材料质量检测》,对各种原材料(包括水泥、混凝土的粗细骨料、钢筋、钢丝、钢绞线、其它钢材、混凝土外加剂及掺合料混凝土拌合用水、石料、土工合成材料及修补材料)的试验检测工作作了详细的说明,由蔡宁生、黄孝衡编写,蔡宁生任主编。上海港湾工程设计研究院陈慧英、南京水利科学研究院方翥、广州港湾工程质量检测中心周庆华审阅了全书。

这套教材的编写、出版得到了交通部工程建设质量监督总站、原南京交通高等专科学校港航系、成教部、教务处和人民交通出版社的大力支持。东南大学交通学院港航系周福田对教材的编写、出版做了大量的组织工作,并对全套教材进行统稿。承江苏省交通厅质量监督站解先荣高级工程师审阅了这套教材,提出了不少宝贵意见,在此表示十分感谢。本书不足之处在所难免,恳望读者指正。

2000 年 4 月

# 目 录

第一章 绪论.....	(1)
第一节 水运工程发展概况及质量检测的意义.....	(1)
第二节 水运工程质量体系、试验检测机构及管理 .....	(5)
第三节 质量检测的相关学科与检测人员素质 .....	(10)
第四节 质量管理与质量保证标准简介 .....	(12)
第二章 试验检测的仪器及设备 .....	(17)
第一节 仪器设备的分类及基本要求 .....	(17)
第二节 仪器设备的使用和维护 .....	(19)
第三节 仪器设备的检定和检验 .....	(23)
第四节 仪器设备的管理 .....	(27)
第三章 质量检测项目和标准 .....	(30)
第一节 原材料质量检验 .....	(30)
第二节 混凝土及构件的检测 .....	(34)
第三节 地基及基础工程的检测 .....	(36)
第四节 钢结构工程质量检测 .....	(37)
第五节 水运工程其它项目的试验检测 .....	(38)
第四章 试验检测过程 .....	(39)
第一节 检测程序 .....	(39)
第二节 检测工作质量控制 .....	(39)
第三节 现场检测质量控制 .....	(44)
第四节 原始记录及数据处理 .....	(45)
第五节 检测报告 .....	(47)
第五章 试验检测中的概率统计与回归分析 .....	(49)
第一节 概率统计基础 .....	(49)
第二节 常用的数理统计工具 .....	(58)
第三节 抽样检验与评定 .....	(70)
第四节 回归分析 .....	(83)
第六章 计量基础和误差理论 .....	(94)
第一节 法定计量单位 .....	(94)
第二节 误差概念.....	(105)
第三节 误差分析.....	(109)
第四节 误差分布.....	(114)
第五节 粗差剔除.....	(116)
附录 正交试验设计.....	(121)

第一节 正交试验设计的基本原理和特点..... (121)

第二节 正交试验的方案设计..... (124)

第三节 正交试验成果分析..... (126)

第四节 正交试验重复取样的成果分析..... (131)

参考文献..... (142)



# 第一章 绪 论

## 第一节 水运工程发展概况及质量检测的意义

### 一、水运工程概况

水运是现代交通运输系统中一个十分重要的子系统,它在国民经济和社会发展以及对外开放中占有先行的重要地位。搞好水运工程建设,发展水运事业,对我国的现代化建设,具有极其重要的意义。

新中国成立之前,我国水运事业处于十分落后的状态。建国 40 多年来,我国水运工程建设取得了辉煌的成就,尤其是 1973 年 2 月,周恩来总理提出了“三年改变港口面貌”的号召,使我国的港口、航道建设进入了一个新时期。在 1973 年至 1975 年的 3 年大建港时期,国家对港口建设的投资超过了建国后 20 年投资的总和,3 年中,投资开工建设的深水泊位共 53 个。党的十一届三中全会以来,贯彻了党的改革开放方针,水运工程建设进入了一个全新的蓬勃发展的新时期,取得了前所未有的成就,引进外资和先进技术,使我国沿海主要港口在大型化、机械化和专业化方面步入了世界先进水平,水运基础设施在规模、种类、设备和技术水平等方面得到了全面的发展,改变了建国初期极为落后的面貌。到 1995 年底,我国已拥有深水泊位 410 余个,总吞吐能力超过 7 亿吨,内河千吨级以上航道达 5600 余公里。到 2000 年底,深水泊位将达 650 个,港口吞吐能力将达到 12.5 亿吨,内河千吨级以上航道将达 8000 公里。

在水运工程建设迅速发展的同时,许多新技术、新工艺、新结构、新材料得到了广泛的推广和应用,取得了丰硕的成果。真空预压加固软土地基技术先后成功地应用于天津塘沽新港、济南遥墙机场、汕头港、珠海电厂等多项工程,加固面积近达 300 万平方米,在加固面积和加固效果方面处于世界领先水平。大直径预应力钢筋混凝土管桩研制成功和推广应用,对港口建设是一次重大的技术突破。深层水泥拌和法(CDM)在天津塘沽新港和烟台港得到了成功的应用,为在软基上建设重力式码头开辟了新的途径。水下爆炸处理软基技术在连云港应用成功,取得明显的经济效益,水下爆炸排淤填石法属国内首创,达到了国际先进水平。格型钢板桩结构在黄埔港得到了首次应用。此外,混凝土新型外加剂 TH 高效多功能减水剂研制成功,并已推广应用于实际工程中,其减水效果及掺外加剂混凝土的性能达到国际先进水平。

随着水运工程建设的飞速发展,以及改革开放的不断深入,水运工程试验检测工作也得到了相应的加强和发展,质量试验检测不仅是工程施工企业进行工程质量自控的重要手段,而且已成为工程质量监督和工程监理的重要内容和技术手段。试验检测技术有了很大的发

展,动力试桩技术已在水运工程桩基质量检测中较普遍地得到了成功的应用。混凝土无破损检测技术、水工模型试验技术、定位测量技术等都有了较大的发展。

## 二、工程质量的含义

水运工程是为了满足预定功能而建造起来的一种综合性建筑工程,有自己特定的质量要求。工程质量不仅关系到企业的生存和发展,而且关系到国家和人民生命财产的安全,关系到工农业生产和我国的四化事业。

工程质量好坏,是衡量一个企业的技术水平、管理水平的主要标志,提高经济效益,最根本的是提高质量,降低消耗。所以,“质量第一”、“预防为主”是我国在工程建设方面的一贯方针。

水运工程的特点是点多线长、面广量大、投资多、周期长、水上施工影响因素复杂、条件艰苦、时间性强。一个港口或一条航道的兴建与开通,其土石方工程量高达数十万至千万方,工程投资巨大,技术复杂,如果设计或施工失误,造成材料浪费或因工程质量不合格造成返工,将造成直接和间接的经济损失。如因工程质量存在隐患,投产后影响使用寿命或造成事故,其后果不堪设想,不但造成严重的经济损失,严重的还可能殃及国家和人民的生命财产安全和造成不良政治影响。因此,必须在港口和航道工程建设中加强管理,确保工程质量,这对于加速水运事业的发展具有十分重要的意义。

## 三、质量试验检测的基本概念

### 1. 检验和试验

这是在试验检测的实际工作中最经常用到的两个术语,在不同的应用领域,它们会有不完全相同的定义。根据 GB/ T6583—1994 下的定义,检验是“对实体的一个或多个特性进行的诸如测量、检查、试验或度量并将结果与规定要求进行比较以确定每项特性合格情况所进行的活动”。这里所指的实体,联系水运工程的实际,可以是工程所用的原材料(如水泥、钢筋、砂、石、外加剂等等)、各种构件(如梁、板、桩等等)、分项、分部和单位工程等。试验是对产品一种或多种性能进行功能实验。可见,试验和检验是既有联系又有区别的两个概念。后者对所检验产品的特性要有明确的规定要求,如在技术标准、规范或经批准的设计文件中有具体规定。另外,要将试验结果与规定要求进行分析比较,作出是否合格的结论。例如, JTJ268—96《水运工程混凝土施工规范》中规定拌制混凝土用的砂,它的总含泥量应不超过重量的 3.0% (当有抗冻要求时),北方有抗冻要求的某工程混凝土使用的一批砂,经试验,它的总含泥量为 2.8%,符合规范规定不超过 3.0% 的要求,结论为该批砂的总含泥量为合格。这属于对混凝土用砂总含泥量(砂的一个特性)的检验。再如,在混凝土拌制过程中,为了控制混凝土的质量,对混凝土的用水量要进行调整,其中很主要的一项,就是要对砂的含水量经常进行试验(测定)。砂的含水量(也是砂的一个特性)要求是多少,在标准中并没有规定,不需要对砂的含水量作出是否合格的结论,它只作为调整混凝土拌制用水量的依据,因此,它显然不是检验,而是属于试验。这是从工程质量试验检测的角度出发,而检验的概念不仅局限在通过试验对工程质量作出是否合格的判断,还包括通过检查、度量等其它途径对工程的质量作出是否合格的判断。

按定义检验包括以下四项内容:

- (1)确定工件及批的质量判定标准;
- (2)用某种方法对工件进行检查;
- (3)将检查结果同标准进行比较;
- (4)作出判断。

## 2 检验分类

工程质量的检验方法,可根据不同的检验方式分为以下几类:

- (1)按检验手段分类:有外观检查、尺寸和几何形状检查、性能试验分析检查;
- (2)按工艺、过程分类:有工序检查、验收检查等;
- (3)按检查后使用分类:有破坏性检验和非破坏性检验;
- (4)按产品受检率分类:有 100 % 检验和抽样检验。

## 3 自检和抽检(复检)

根据 GB/ T6583—1994 对自检下的定义为:“ 由工作的完成者依据规定的规则对该工作进行的检验 ”。水运工程质量的试验检测,除了企业进行自检外,根据规定还要进行各种性质的抽检(复检)。一是对工程中使用的属于定型产品的原材料,如水泥、钢筋等,除生产企业应进行自检,出具合格证和有关的试验检验结果外,使用前施工企业或监理单位要对它进行复检;二是在对工程质量实施监理和监督过程中,监理或监督单位对工程质量进行抽检。一般情况,抽(复)检的试验检测规则(如试验检测项目、抽样的数量等)和自检的试验检测规则是有区别的。例如,钢筋混凝土用的热轧带肋钢筋,在 GB1499—91《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》标准中规定,工厂应对每一验收批钢筋取样进行化学成份和力学性能、工艺性能的检验;而钢筋在水运工程中应用前,根据 JTJ268—96《水运工程混凝土施工规范》的规定,应进行力学性能、工艺性能检验。而对化学成份的检验,是在钢筋加工过程中,若发现脆断、焊接性能不良或力学性能显著不正常现象时才进行。两者的检验规则是有区别的。另外,自检是由供方(施工企业或生产企业)或委托有资质的检测单位进行的,而抽检(复检)是由需方或第三方(如监理、监督单位或有资质的检测机构)进行的。

## 四、质量试验检测的意义及特点

试验检测是水运工程质量保证体系中一个重要的因素,如果离开试验检测,就谈不上工程质量,因此,搞好试验检测工作,对确保工程质量具有非常重要的意义。

### 1. 试验检测是控制工程质量的重要技术保证

在施工过程中,要进行过程检验和试验,其目的是避免不合格品的产出和流转到下一过程,同时可以及时纠正,避免造成更多的损失。通过施工过程的检验和试验,使工程质量受到控制,离开过程检验和试验,施工过程往往得不到控制,因此,它是控制工程质量的重要技术保证。例如,在浇注混凝土过程中,要对混凝土拌和物的坍落度等特性进行试验,检验其是否符合规定要求,经检验符合规定要求后才允许浇注成型,如不合格,应及时采取诸如调整混凝土组成材料等措施,直到符合规定要求。否则,成型硬化后的混凝土质量难以保证。

### 2 试验检测的结果,是对工程质量进行评定、验收的主要证据

对工程质量进行评定、验收,离不开试验检测的数据和结果,试验检测的数据和结果,是工程质量评定和验收的主要证据。如果对工程质量评定、验收发生分歧,产生纠纷时,经计

量认证合格的具有公证资格的检测机构所出具的试验检测结果,根据我国计量法的规定,在解决纠纷中具有法律效力。

### 3 试验检测是工程质量监督和监理的重要技术手段

目前,交通部在工程质量管理中推行了“政府监督、社会监理、施工企业自控”的体系。试验检测不仅是施工企业对质量进行自控的主要手段,而且也是工程质量监督和监理的主要内容和技术手段。监理工程师除对工程使用的原材料、施工过程的试验检测数据和结果进行确认和核验外,还可以旁站施工单位的试验过程,抽查施工单位试验检测的准确性。质量监督和监理单位应配备一定的试验设备,建立试验室,还可以委托具有相应资质的试验检测机构,对工程质量进行抽检。

### 4 试验检测结果,是质量改进的科学依据

应用数理统计的方法,对试验检测数据进行统计分析,可以科学的了解工程的质量水平,存在的问题和如何进一步加以改进。例如,某混凝土预制场(厂)的混凝土生产质量水平,可根据统计周期内混凝土试件强度的试验资料,统计计算出混凝土强度的标准差、试件强度不低于要求强度等级百分率等,来衡量该场(厂)混凝土生产的质量水平是属于优良、一般或差,从而提出质量改进的措施。可见,试验检测结果,是分析和改进质量不可缺少的科学依据。

试验检测还具有以下特点:

1. 科学性,一切用数据说话。试验检测要依靠科学的准确的试验检测数据来分析、评定工程质量,离开科学的准确的试验检测数据就没有发言权。如果试验检测的数据不能保证一致性、完整性,不能确保准确性,对工程质量包括施工过程的质量控制就可能作出错判、误判,给工程质量造成严重的后果。因此,如何保证试验检测数据的科学性、准确性,也就成为试验检测机构和人员的根本任务。为此目的,对试验检测的仪器设备、试验检测的环境、试验操作人员、操作技术、试验检测管理工作制度等等各个方面提出了相应的要求,作出了规定。

2 公正性。如前所述,试验检测的结果,是工程质量评定验收的主要证据。既是证据,必然应是客观的,要具有公正性。如果试验检测丧失公正性,也就完全失去了试验检测本身的意义。在对业主、施工单位、质量监督、工程监理等不同单位来说,试验检测结果应是公正、客观的,不应受某种利益的驱动或干扰,丧失公正性。为了确保试验检测的公正性,除了保证试验检测数据的科学性、准确性外,还要求从事试验检测的机构和人员具有相对的独立性,即使是施工企业本身的试验检测机构和人员,也要求具有相对的独立性,通常要求由专职的试验检测人员进行试验检测,企业的某些自检,也可以由施工人员或兼职人员来完成,但要经过必要的培训和经过授权。另外,要赋予试验检测机构和人员出具试验数据和结果等的一些权力,免受来自某些方面不良影响的干扰。对试验检测机构和人员,应明确制定确保公正性的纪律和制度。

3 试验检测以法律、标准为依据。试验检测工作应严格以下列文件为依据:

- (1)国家有关的政策、法律和法规;
- (2)国家、交通部及有关部门、省、市(自治区)颁发的技术规范、规程、标准;
- (3)经上级主管部门批准的工程设计文件;
- (4)试验检测的委托单(书)或合同。

有时在实际工作中,会遇到没有国家、行业、地方颁发的技术规范、标准、规程可作依据,或者技术规程、试验方法规定的内容不够详尽,满足不了要求时,可由试验检测单位提出试验检测实施细则(或方案),经有关各方同意,必要时可邀请有关专家评审通过,作为试验检测的依据。

4 试验检测本身是特殊过程。试验检测随着工程的进展,自始至终贯穿了整个过程,首先要对工程采用的原材料、预制构件等进行试验检测,在施工过程中要进行过程试验检测,工程完工即进行最终试验检测。由于工程的试验检测结果,往往难以复演,又难以用另一种方法验证是否正确,所以,工程质量试验检测本身是“特殊过程”。试验检测所用的原材料、仪器设备、人员、环境、试验操作技术、试验记录、试验检测报告等均要进行控制,以确保试验检测结果的准确性。

## 第二节 水运工程质量体系、试验检测机构及管理

### 一、质量 体 系

GB/ T6583—ISO8402《质量管理和质量保证——术语》1994 年版,对质量体系给出了如下的定义:即质量体系为实施质量管理所需的组织结构、程序、过程和资源。

注:

1. 质量体系的内容应以满足质量目标的需要为准。
2. 一个组织的质量体系主要是为满足该组织内部管理的需要而设计的。它比特定顾客的要求要广泛。顾客仅仅评价质量体系中的有关部分。

3. 为了合同或强制性评价的目的,可要求对已确定的质量体系要素的实施进行证实。

对上述定义的要点,可作如下解释:

1. 质量体系是为了实施质量管理而建立和运行的,一个组织的质量体系是包含在该组织质量管理范畴之内的。也可以说,质量管理需通过质量体系来运作,即建立质量体系并使之有效运行是质量管理的主要任务。

2. 质量体系的基本组成有四个部分,即组织结构、程序、过程和资源。搞清楚这四个部分的含意,才能正确理解质量体系。

(1)组织结构是一个组织为行使其职能按某种方式建立的职责、权限及其相互关系,通常以组织结构图予以规定。各岗位的职责和权限应有书面规定。

(2)程序。是为进行某项活动所规定的途径。程序可以形成文件,形成文件的程序通常称为“书面程序”或“文件化程序”。书面或文件化程序的内容,通常包括活动的目的和范围;做什么和谁来做,何时、何地 and 如何做;应使用什么材料、设备和文件;如何对活动进行检测和记录。

(3)过程。将输入转化为输出的一组彼此相关的资源和活动。

(4)资源可包括人员、原材料、资金、设施、设备、技术和方法。

3. 一个组织的质量体系只有一个。质量体系的建立和健全必须结合组织的具体情况和内外环境来考虑。一个组织所建立的质量体系主要应是满足本组织管理的需要,它比顾客的要求要广泛,顾客仅仅评价质量体系中与顾客有关的部分,而不是质量体系的全部。这

里将质量管理体系、质量保证体系的说法统一称之为质量体系。

从上述质量体系的定义及解释可以看出,一般情况,每个组织客观上存在着组织结构、程序、过程和资源,实际上已有了一个质量体系,但不一定符合 ISO 有关质量体系标准的要求,期望能够按 ISO9000 族标准来建立和健全质量体系,使之更为完善、科学和有效,也可以更好的与国际接轨。

## 二、全面质量管理

### 1. 全面质量管理的涵义

美国通用电气公司质量经理菲根堡姆(A·V·Feigenbaum)于 1961 年发表的《全面质量管理》一书中,最早提出了:“全面质量管理(TQC)是为了能够在最经济的水平上并考虑到充分满足用户需求的条件下进行市场研究、设计、生产和服务,把企业各部门的研制质量、维持质量和提高质量的活动构成一体的有效体系”。随后,日本、美国、欧洲等许多国家传播了这一思想,我国于 70 年代末 80 年代初开始推行全面质量管理。通过各国的实践,更加丰富和发展了全面质量管理的思想。而对全面质量管理概念的描述,不同国家或区域之间各不相同。ISO8402—1994《质量管理和质量保证——术语》对全面质量管理作了如下的定义:

一个组织以质量为中心,以全员参与为基础,目的在于通过让顾客满意和本组织所有成员及社会受益而达到长期成功的管理途径。

注:

(1)“全员”指该组织结构中所有部门和所有层次的人员。

(2)最高管理者强有力和持续的领导以及该组织内所有成员的教育和培训是这种管理途径取得成功所必不可少的。

(3)在全面质量管理中,质量这个概念和全部管理目标的管理有关。

(4)“社会受益”意味着在需要时满足“社会要求”。

(5)有时把“全面质量管理”(TQM)或它的部分称为“全面质量”、“公司范围内的质量管理(CWQC)”、“TQC”等。

从以上定义及注解中可以看出:

(1)全面质量管理是对一个组织进行管理的途径,对一个企业来说,就是企业管理的一种途径,除了这种途径之外,企业管理还可以有其他的途径。

(2)全面质量管理是一种管理理论和方法,是一种管理思想。全面质量管理的思想,是以全面质量为中心,全员参与为基础,目的是追求组织的持久成功,即使顾客、本组织成员和社会持续满意和受益。

(3)实行全面质量管理能够获得成功的关键,一是要有最高管理者强有力和持续的领导,二是要开展全员教育和培训,教育的重点是敬业精神、主人翁责任感、强烈的质量意识,培训的重点是岗位所需的知识和技能。

### 2 全面质量管理的基本观点

#### (1)“为用户服务”的观点

企业生产产品的最终目的,是要以最经济的办法,最大限度地满足广大人民不断增长的物质需要。因此可以说,产品最终是为用户服务的,用户满意与否,是衡量产品质量的根本标准。建筑施工中,应该认识到接收和使用产品(建筑物)的单位和个人,都是用户。在企业

内部,接收上道工序的产品(设计)进行生产(施工)的下道工序,就是上道工序的用户,“为用户服务”和“下道工序就是用户”是全面质量管理的一个基本观点。这个观点落实到施工企业,就是用高质量的建筑产品为国家现代化建设和提高人民物质文化生活服务。

### (2)以预防为主观点

在全部施工过程中,每个分部分项工程的质量随时都受到操作者、施工工艺、原材料、施工机具、施工环境等的影响。只要其中某个因素发生异常,工程质量就会随之波动,从而出现不同程度的质量问题。过去一般是在工程竣工或达到检查条件后,才进行质量检查,确定工程质量是否合格。这种检查,习惯称之为事后把关。以预防为主,实行质量控制是全面质量管理的一个重要观点。要实现这一观点,必须应用科学手段,对各道工序进行质量控制,使产品质量始终处于管理状态之中,从而及时发现问题,把质量事故消灭在萌芽状态。例如在混凝土工程中,随着工程的进展进行抽样检查,将检查测试结果随时记录在控制图表上,就可以使操作人员和管理人员随时掌握产品的质量动态,采取相应对策,及时消除隐患。运用数理统计方法对工程质量进行的各种预测、预报,可以达到预防的目的。

### (3)用数据说话的观点

全面质量管理区别于传统质量管理的重要一点,就是它依靠数据及广泛地运用了数学理论和统计方法。科学的质量管理,必须依据准确无误的数据资料,才能作出正确的判断,进而采取正确的措施。例如,我们从施工过程中取得数据后,经过加工、分析、处理找出规律,再结合专业技术和实际情况,对存在问题作出正确判断,然后才能采取正确的措施。可见正确的管理,来源于正确的数据。因此,科学的质量管理必须用数据说话。在企业管理及工程质量管理中,一定要克服过去那种“凭经验”、“拍脑袋”等不科学的管理方法。要认真搜集和积累数据,并保证数据的真实性,否则,假的数据比没有数据会更有害。

### (4)一切按 PDCA 循环办事的观点

管理从广义上来说,就是 P(计划)、D(实施)、C(检查)、A(处理)循环的工作工序。推进全面质量管理就是让整个企业的工作都按 PDCA 循环来进行。每个科室、工段或班组,直到每个人的工作也要根据企业的总要求,具体制订自己的 PDCA 工作循环,以此来推动整个企业的工作不断向前发展,使大小 PDCA 工作循环都能转动起来。

## 三、试验检测机构及管理

从事水运工程质量试验检测的机构大致上有以下几类:

一是承担企事业单位的试验检测任务,即自检性质的试验检测任务;

二是工程质量监理单位和质量监督部门所属的试验室(站),主要承担监理和监督过程中的试验检测任务,即进行监理检测和监督检测;

上述两类试验检测机构,其中具有相当资质的,经政府主管部门批准的,可承担外单位的试验检测任务。

三是面向全国水运工程或省、市、自治区范围的部属或地方交通厅(局)所属的试验检测中心(站),是全行业或省、市、自治区水运工程行业较高层次的试验检测机构。

以上几种类别的试验检测机构,从结构层次上形成了水运工程质量试验检测的网络。

不论是那种类型的试验检测机构,由于试验检测工作是工程质量管理工作中的一项重要内容,它对控制工程质量,提高工程质量具有十分重要的意义。为使试验检测数据和结果

具有科学性、准确性和公正性,必须加强对试验检测机构资质、人员等等各方面的管理。

### 1. 资质条件与注册管理

从事水运工程质量试验检测的机构,不论是那类的均应具有相应的资质,才能开展试验检测工作。交通部基建管理司于1996年3月25日曾以基质监字(1996)54号文发出了《关于加强水运工程试验检测管理工作的通知》,通知中指出:“各工程建设单位、质监部门、监理单位以及施工企业必须委托具有相应水运工程试验检测资质的机构承担试验检测任务”。接着,又于1997年2月28日以基质监(1997)47号文,发布了《水运工程试验检测机构资质管理暂行办法》,其中第九条规定:“各级试验检测机构须按照批准的等级及……相应的业务范围开展试验检测工作”。上述文件的规定,一是对试验检测机构而言,必须具有相应的经批准的资质,才能开展试验检测业务;另一是对委托方的要求,必须要委托具有相应水运工程试验检测资质的机构进行试验检测工作。

水运工程试验检测机构的资质,根据该机构在以下四个方面的具体条件,分为甲、乙、丙三个等级:

- (1)资历和人员配备;
- (2)仪器设备配备;
- (3)工作制度;
- (4)检测能力与业务范围。

水运工程试验检测机构的资质,应由试验检测机构提出资质申请,交通部直属企事业单位,双重领导港务局所属试验机构,可直接向部申请水运工程试验检测机构资质等级,由部负责考核审批;交通系统其他各单位、非交通系统单位所属试验检测机构,应首先向当地交通(水运)工程质量监督部门提出申请,由各省级交通(水运)工程质量监督部门进行初审汇总,甲级资质报部审批;乙级、丙级由交通厅审批,并报部备案。试验检测机构资质等级经审批后,发给《水运工程试验检测机构资质等级证书》。

对水运工程试验检测机构的资质实行动态管理。试验检测机构须于每年12月底报送年检报告,由原资质审批部门核准其资质;经核查达不到原资质等级标准的,按实际达到的标准重新定级,并重新核定业务范围。

### 2 试验检测机构任务及业务范围

从总体来说,试验检测机构的主要任务有下列几项,但具体到某一个等级、某一层次的试验检测机构,不一定都能承担这些任务:

- (1)接受委托,承担水运工程及工程用原材料、构件、产品、设备质量等试验检测工作;
- (2)接受委托,对水运工程结构安全、建筑功能进行检验分析;
- (3)接受委托,参与水运工程质量事故调查,提供检测报告;
- (4)接受委托,对水运工程新结构、新工艺、新技术、新产品进行跟踪检测;
- (5)参与承担水运工程试验检测方法、工程技术标准的编制、修订工作;
- (6)协助有关部门组织水运工程试验检测技术培训工作;
- (7)接受委托,承担其他行业建筑工程试验检测任务;
- (8)向上级主管部门提供有关水运工程试验检测信息。

根据试验检测机构的任务和具体条件,确定与资质等级相适应的业务范围。一个试验



检测机构的某项试验检测项目能否成立,要由是否配备了从数量和技术性能上均能满足开展该试验检测所需要的试验仪器设备,以及数量和素质上均能胜任该试验检测项目的人员和适宜开展该项试验检测的环境和与之相适应的软件(如技术标准、规范、试验方法、规章制度)等条件所决定的。不具备条件的试验检测项目不能列入业务范围。试验检测机构的业务范围应由政府主管部门考核批准。

### 3 专业试验室

不同类别和等级的水运工程试验检测机构,均应建立与其业务范围相适应的各种专业试验室,如混凝土试验室、结构试验室、岩土试验室等等。专业试验室是水运工程试验检测机构必须具备的条件,建设好试验室极其重要。试验室应配备在数量和技术性能上均符合开展所有试验检测项目要求的仪器设备。试验室在布置仪器设备时,应考虑仪器设备的使用类别、试验检测流程以及操作安全方便等各项因素。试验室应有一定面积,以满足仪器设备的安装、维修和使用操作的需要。试验室的环境,包括采光、温度、湿度、噪声、振动、电源、电磁干扰、通排风(气、水)等均应满足试验检测和安全防护的要求。有些精密仪器,像高精度分析天平,不能与化学分析仪器放在一起。仪器设备应用仪器罩遮盖,做好防尘、防潮工作。试验室应由专人负责,建立试验室管理制度,经常保持干净、清洁。与试验检测有关的规范、标准、各种表格、资料、工具等,应排列有序,随时可取,与试验检测无关的杂物,不得在试验室内堆放。试验室的环境状态,如温度、湿度等,根据不同的要求,应有记录。根据试验室的具体情况、配备合适的防火设施。对剧毒品,易燃、易爆物品,应制定制度、加强管理。

### 4 管理制度

试验检测机构应根据机构的具体情况,建立和健全各项必要的、行之有效的管理制度并坚持执行,以保证试验检测工作正常有序的进行,使试验检测机构的各类人员在各自的岗位上同心协力、各负其责,使各项工作都有章可循,共同把试验检测工作做好。试验检测机构的管理制度一般应包括下列各项制度:

- (1)各类人员岗位责任制;
- (2)样品的抽取及管理制度;
- (3)原始记录的填写、保管制度;
- (4)仪器设备管理制度;
- (5)检测报告的整理、审批制度;
- (6)人员培训、考核制度;
- (7)检测工作管理制度;
- (8)试验室管理制度;
- (9)检测事故分析报告制度;
- (10)保密制度;
- (11)安全制度;
- (12)内部工作文件(包括质量管理手册、操作规程等)的制订、颁发、修改制度;
- (13)质量管理手册执行情况的检查制度;
- (14)质量申诉的收集和处理制度;
- (15)档案管理制度。

## 第三节 质量检测的相关学科与检测人员素质

### 一、质量检测的相关学科

试验检测技术是一门综合性的应用科学技术,水运工程质量试验检测是为水运工程建设服务的,它的检测对象是水运工程。它与港口建筑工程学、航道建筑工程学有着密不可分的联系。围绕港、航工程的许多基础理论学科和工程专业学科例如工程数学、工程力学、海洋动力学、工程结构、工程材料、地基与基础、工程测量等等与水运工程的试验检测有关。另外,概率论与数理统计、计量学基础与误差理论等都是与试验检测密切相关的学科。

### 二、检测人员

水运工程试验检测人员包括试验检测机构负责人、检测工程师、试验检测员和试验工。试验检测是一个特殊过程,为确保试验检测结果的准确性、科学性和公正性,使试验检测的质量满足要求,对从事试验检测工作的人员要有严格的要求。

#### 1. 人员素质

(1)试验检测人员在技术业务上一般应达到以下要求:

掌握所用仪器设备的结构原理、技术性能、使用及维护技术;

掌握与试验检测项目有关的标准、规范和试验方法;

掌握试验检测项目的实际试验操作和数据处理技术;

掌握计量学基础与该理论的基本知识;

掌握与试验检测项目有关的水运工程基本理论;

了解所从事试验检测专业的国内外先进水平和发展趋势。

(2)试验检测人员在工作作风、品质上要求做到:

忠于职守,努力完成试验检测任务;

严格遵守各项规章制度,严格按照规范、标准、试验方法、操作规程进行试验检测工作;

坚持科学的态度、实事求是,不能随意修改检测数据,更不准臆造数据,保证试验检测数据和试验检测结果的客观真实性和公正性;

坚持文明试验检测,保持试验室和试验现场的整洁;

保守秘密,对用户提供的技术资料有为用户保密的义务;对检测数据或结果,未经领导批准,不得随意扩散;

清正廉洁,不接受用户请客、送礼,在试验检测工作中不受经济利益引诱及上级行政和外界的不良干扰。

试验检测机构针对上述要求,制订相应的试验检测人员纪律,要求试验检测人员认真遵守。

#### 2 人员配备

不同资质等级和类别的水运工程试验检测机构,要求在素质和数量上配备与之相适应的试验检测人员。甲级试验检测机构配备试验检测人员 15 名以上,其中高级职称者不少于

2 人,中级职称者不少于 4 人,技术负责人应具高级职称,熟悉试验检测业务,且具有 5 年以上负责试验检测业务的经历;乙级配备试验检测人员 8 名以上,其中具有中初级职称者不少于 4 名,技术负责人应具有中级以上职称,熟悉试验检测业务,且有 3 年以上负责试验检测业务的经历;丙级配备试验检测人员 5 名以上,技术负责人应具有中级以上职称,熟悉试验检测业务,且具有 2 年以上负责试验检测业务的经历。部属的试验检测中心在人员配备上应有更高的要求。

### 3 检测人员的资质

试验检测人员应进行专门培训,并经考核合格,发给上岗证,才可独立进行试验检测工作。凡需聘请其他单位人员参加检测时,应考核其技术能力,检查其有无操作该项仪器设备的上岗证。实习试验检测人员,应在有证人员的指导下进行试验操作,在未经考核合格、发给上岗证前,不得独立进行试验检测工作。

交通部 1997 年 12 月发布交基发〔1997〕803 号“关于印发《水运工程试验检测暂行规定》的通知”及《公路、水运工程试验检测人员资质管理暂行办法》对水运工程试验检测人员资质及管理提出了具体的要求。

#### (1) 申报条件

申请试验检测工程师资格者,应具备:

热爱祖国,拥护社会主义制度、遵纪守法、遵守试验检测工作职业道德。

身体健康,能胜任室内和现场试验检测工作,年龄男性 60 岁以下,女性 55 岁以下。

取得与申报专业相应的《交通部工程试验检测业务培训结业证书》或《交通部工程试验检测资格考试合格证书》。

取得中级或相当于中级以上专业技术任职资格。

有两年以上该专业的试验检测工作经历。

申请试验检测员资格者,也应具备检测工程师资格的第 1 和第 2 项。此外还应具备:

取得与申报专业相应的部质监总站组织或认可的培训结业证书或《交通部工程试验检测资格考试合格证书》。

取得初级专业技术任职资格,有两年以上该专业的试验检测工作经历;或具有高中以上文化程度,有三年以上的试验检测经历。

#### (2) 资质管理

获得水运工程试验检测人员资格者若要增加或减少其试验检测专业,须填写《公路、水运工程试验检测人员资格变更申请表》上报审批。

取得试验检测人员资格满 3 年者,必须按时申请复查,过期不复查者,按无资格处理,证书自动失效。

复查的主要内容包括:

是否符合相应的试验检测人员资质条件要求;

能否胜任试验检测的实际工作;

能否遵守试验检测人员职业道德,有无违法违纪行为;

试验检测工作实效。

获得试验检测人员资格证书者,不得将证书损毁、涂改、转借、出让。无资质或超越业务范围从事试验检测工作的将根据情节、给予一定的处罚。

## 第四节 质量管理与质量保证标准简介

### 一、GB/T(9000 - ISO9000 族)标准简介

ISO9000 族的定义是：“由 ISO/TC176 委员会制定的所有国际标准”。

国际标准化组织(ISO)，根据英国标准学会(BSI)的建议，于 1979 年批准成立了质量管理与质量保证技术委员会(TC176)，专门负责制定质量管理与质量保证标准，经过几年的努力，于 1987 年正式颁布了 ISO9000 系列标准(9000、9001、9002、9003、9004)，很快在全世界传播，已被近 80 个国家和地区采用。我国于 1989 年开始等效采用，于 1992 年等同采用了 ISO9000 族国际标准，发布为 GB/T19000 系列国家标准。

对 ISO9000 族标准和构成，可分为以下五类作简要介绍。

#### 1. 术语标准

GB 6583—ISO8402《质量管理与质量保证——术语》，为了明确在质量管理领域中所使用的质量术语的含意，使其标准化，本标准阐明了质量管理领域 67 个质量术语的含意。该标准对 1987 年版作了修改补充，于 1994 年正式颁布实施。

#### 2 质量管理与质量保证标准选用或实施指南

这类标准共有四个分标准：

(1)ISO9000—1 1994《质量管理与质量保证标准第 1 部分：选择和使用指南》。本标准阐明了与质量有关的基本概念以及互相之间联系和区别，为 ISO9000 族质量管理与质量保证标准的选择和使用提供指南。

(2)ISO9000—2 1993《质量管理与质量保证标准第 2 部分：ISO9001、ISO9002、ISO9003 通用实施指南》。本标准是对三个质量保证模式标准的实施所作的解释，为用户实施和应用 ISO9001、ISO9002 和 ISO9003 三个标准提供指南，以便对标准的要求具有一致、准确和清楚的理解。

(3)ISO9000—3 1991《质量管理与质量保证标准第 3 部分：ISO9001 在软件开发、供应和维护中的使用指南》。本标准中的软件仅指计算机软件。本标准的目的是为承担软件开发、供应和维护的组织使用 ISO9001 提供指南，为生产出满足需方要求的软件而建议采取的控制手段和方法。

(4)ISO9000—4 1993《质量管理与质量保证标准第 4 部分：可信性大纲管理指南》。本标准适用于在使用和维修阶段可信性特别主要的产品，例如通讯和信息服务等。

#### 3 质量保证模式标准

有三个标准分别提供了三种不同的模式，代表了第二方或第三方在具体情况下对供方质量体系的要求，供方必须满足并应予以证实。

(1)ISO9001 1994《质量体系设计、开发、生产、安装和服务的质量保证模式》。当需要证实供方的设计和提供合格产品的能力时，使用该标准，它规定了对质量体系的要求。

(2)ISO9002 1994《质量体系生产、安装和服务的质量保证模式》。当需要证实供方提供合格产品的能力时，使用该标准。它规定了对质量体系的要求。

(3)ISO9003 1994《质量体系最终检验和试验的质量保证模式》。当仅要求供方保证最

终检验和试验产品合格时,使用该标准。

#### 4 质量管理标准

这一类有以下四个标准,这些标准的目的都是用于指导组织进行质量管理和建立质量体系的。

(1)ISO9004—1 1994《质量管理和质量体系要素第1部分:指南》。本标准全面阐述了产品寿命周期内所有阶段和活动有关的质量体系要素,以帮助组织选择和使用适合其需要的要素。

(2)ISO9004—2 1993《质量管理和质量体系要素第2部分:服务指南》。本标准是对ISO9004—1在服务类产品方面的补充指南,供提供服务或具有服务成分的产品的组织参照使用。

(3)ISO9004—3 1993《质量管理和质量体系要素第3部分:流程性材料指南》。本标准是对ISO9004—1在流程性材料类产品方面的补充指南。

(4)ISO9004—4《质量管理和质量体系要素:第4部分质量改进指南》。本标准阐述了质量改进的基本概念和原理、管理指南和方法(工具和技术)。

#### 5 支持性技术标准

这些标准的编号从10000到10020,是对质量管理和质量保证中的某一专题的实施方法提供指南。有的已正式公布,有的正在制订中。

(1)ISO10011—1 1993《质量体系审核指南第1部分:审核》。本标准为验证质量体系要素的存在和实施,以及验证体系达到规定质量目标的能力提供指南。

(2)ISO10011—2 1993《质量体系审核指南第2部分:质量体系审核员的评定准则》。本准则为审核员在所需要的教育、培训、经验、人员素质和管理能力方面提供指南。

(3)ISO10011—3 1993《质量体系审核指南第3部分:审核工作管理》。任何从事质量体系审核工作的组织,均应具备对整个审核过程进行全面管理的能力,本标准为此提供了基本的指导。

(4)ISO10012—1《测量设备的质量保证要求第1部分:测量设备的计量确认体系》。本标准规定了供方为保证测量满足预定准确度的质量保证要求,他比ISO9001、9002、9003中规定的要求更加详细;此外,还给出了实施这些要求的指南。

从上述介绍可以看出,质量管理和质量保证模式这两类标准是ISO9000族的核心。如果没有这两类标准,ISO9000的各分部标准将失去存在的价值,ISO10000系列中的许多标准也将失去依托。

## 二、质量体系要素 GB/T19004 - 1994(ISO9004—1 1994)

标准列出了产品寿命期内所有阶段及其活动有关的质量体系要素,以帮助需建立质量体系的组织选择和使用其合适的要素。标准提供了可供选用的17个基本要素,现将它们分为三个部分列出。

### 1. 总体性要素

(1)管理职责;

(2)质量体系要素;

(3)质量体系的财务考虑。

## 2 过程要素

- (1)营销质量;
- (2)规范和设计质量;
- (3)采购质量;
- (4)过程质量;
- (5)过程控制;
- (6)产品验证;
- (7)检验、测量和试验设备的控制;
- (8)不合格品的控制;
- (9)纠正措施;
- (10)生产后的活动。

## 3 基础性要素

- (1)质量记录;
- (2)人员;
- (3)产品安全性;
- (4)统计方法的应用。

# 三、质量体系的建立和运行

## 1. 建立质量体系的要求

(1)强调系统优化。质量体系是一个体系,研究体系的方法是系统工程。系统工程的核心是整体优化。一个组织在建立、保持和改进质量体系的各个过程中,包括质量体系文件的编制,协调各要素,各部门质量活动之间的接口,都必须树立总体优化的思想。

(2)强调预防为主。就是将质量管理的重点从管理结果向管理因素转移。不是等出现不合格才去采取措施,而是使质量问题消灭在形成过程中。

(3)强调满足顾客的需求。满足顾客及其它受益者对产品的需求是建立质量体系的核心。所建质量体系是否有效,首先应体现在该组织所生产的产品质量上。

(4)强调过程概念。

(5)强调质量与效益的统一。

## 2 质量体系建立的步骤

建立、完善质量体系一般要经历以下四个阶段,每个阶段又可分为若干具体步骤。

### (1)质量体系的策划与设计

该阶段主要是做好各项准备工作,主要包括以下几个方面:

教育培训,统一认识。质量体系建立和完善的过程,是始于教育,终于教育的过程,也是提高认识和统一认识的过程,教育培训要分层次,循序渐进地进行。

第一层次为决策层,包括党、政、技术领导。

第二层次为管理层。

第三层次为执行层。

对各层次人员的教育培训要求不同,内容应有所侧重。

组织落实,拟定计划。可以成立以最高管理者(厂长、总经理)为组长的领导小组,负

责总体规划、制订质量方针目标、进行质量职能的分解等;组织由各职能部门领导和有关人员参加的工作班子。组织落实后,制订工作计划。

确定质量方针,制定质量目标。

现状调查和分析,目的是为了合理地选择体系要素,调查分析内容包括:

- a 体系情况分析,即分析本组织的质量体系情况。
- b 产品特点分析,分析产品的技术密集程度、使用对象、产品安全特性等。
- c 组织结构分析,机构设置是否适应质量体系需要。应建立与质量体系相适应的组织结构并确立各机构间隶属关系、联系方法。
- d 生产设备和检测设备能否适应质量体系的有关要求。
- e 技术、管理和操作人员的组成、结构、水平状况的分析。
- f 管理基础工作情况分析。

调整组织结构,配备资源。

(2)质量体系文件的编制

编制质量体系文件,是一个组织实行 ISO9000 族标准,建立并保持其质量体系有效运行的主要基础工作;也是为达到所要求的产品质量,评价质量体系,进行质量改进,以及改进的保持所必不可少的依据。

ISO10013《质量手册编制指南》附录 A 给出了典型的质量体系文件层次如下图。

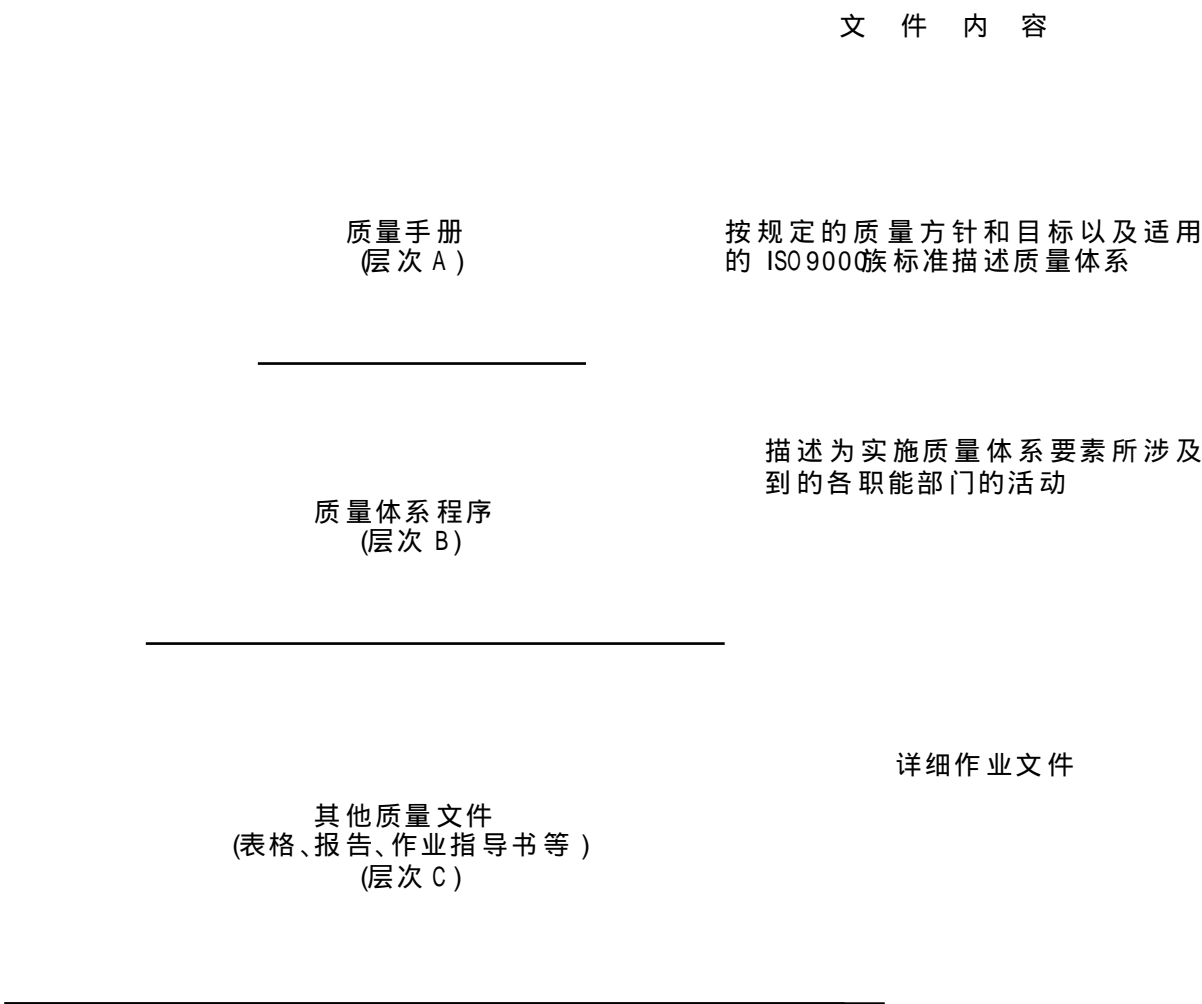


图 1-1 典型的质量体系文件层次图

除上图所示的质量手册、质量体系程序、详细作业文件,一般还包含质量计划和质量记

录。

由于质量体系文件是由多种层次和多种文件构成,在编制时应满足以下要求:

质量体系文件的系统性。体系文件应反映一个组织质量体系的系统特性;应对产品质量形成全过程影响产品质量的技术、管理和人员等因素的控制作出规定。体系文件的各个层次网、文件与文件之间应做到层次清楚、接口明确、结构合理、协调有序,要素或内容选择剪裁恰当。

质量体系文件的法规性。体系文件是一个组织实施质量管理和质量保证活动的行为准则。体系文件应在总体上遵循 ISO9000 族标准要求,以及国家和上级的有关法规的要求。对组织内部,质量体系文件是必须执行的法规文件。

质量体系文件的价值。编制质量体系文件是一个过程,这个过程是一个动态的高增值的转换活动,质量体系文件将随着质量体系的不断改进而完善,而这种动态的“增值”作用对质量体系的影响也将越来越显著。

质量体系文件的见证性。体系文件可作为客观证据(适用性证据和有效性证据)向顾客、向第三方证实本组织质量体系的运行情况。

质量体系文件的适宜性。质量体系文件应根据产品特点,组织规模,质量活动的具体性质采取不同形式。在任何情况下,都应寻求体系文件的详略程度与人员的素质、技能和培训等因素相适宜,以使体系文件保持一个合理水平,从而便于有效贯彻。

### (3) 质量体系试运行

质量体系文件编制完成后,将进入试运行阶段,通过试运行,考验质量体系文件的有效性和协调性,并对暴露出的问题,采取改进措施和纠正措施,以达到进一步完善质量体系文件的目的。在试运行过程中,要有针对性的宣传贯彻质量体系文件,使全体职工提高认识,了解如何去贯彻质量体系文件,对在实践中出现的问题和改进意见及时反馈,并针对问题及时进行研究、改进,并要加强信息管理,所有与质量活动有关的人员都应按体系文件要求,做好质量信息的收集、分析、传递、反馈、处理和归档等工作。

### (4) 质量体系的审核与评审

由于审核的目的和审核人员的立场不同,质量体系审核可分为内部质量体系审核和外部质量体系审核。外部审核又可分为需方对供方质量体系的审核(第二方审核)和第三方认证或审核机构对供方的质量体系审核。这里指的是内部质量体系审核(第一方审核),内部质量体系审核在质量体系运行中要长期进行,把它作为一种自我改进的机制,使质量体系持续地保持其有效性,并能不断改进,不断完善,尤其在质量体系建立初期和试运行阶段,做好质量体系的内部审核就更为重要。

在初始阶段,质量体系审核的重点,主要是验证和确认体系文件的适用性和有效性;通常将符合性与适用性结合起来进行。从审核的方式来说,要有计划、有步骤、正规化进行,也就是说审核工作本身也要求正规化,有程序可以遵循,做到“系统性”。审核人员应由经过培训、考核合格的内部审核员担任,也可以请外单位的审核员参加,在进行质量体系审核时,审核人员应由与被审对象无直接责任关系的人员担任,保持审核工作的“独立性”。

在内部审核的基础上,由最高管理者组织一次体系评审。



## 第二章 试验检测的仪器及设备

### 第一节 仪器设备的分类及基本要求

#### 一、仪器设备的分类

检测用的仪器设备一般可分为两大类。

##### 1. 计量器具

计量器具是指可单独地或与辅助设备一起,用以直接或间接确定被测对象量值的装置或器具。

计量器具的特点是: 定量测量; 目的是为了确定被测对象的量值; 本身是一种技术装置。

计量器具一般可分为实物量具、计量仪器仪表、计量装置及标准物质。按其在检定系统中的位置可分为计量基准、计量标准、工作计量器具。

##### (1) 工作计量器具可分为以下三类

###### 国家依法管理的计量器具

在《中华人民共和国依法管理的计量器具目录》中列出长度、热学、力学、电磁学、无线电、时间频率、声学、光学、电离辐射、物理化学、标准物质十一大类百种计量器具的名称。对这些计量器具的制造、修理、销售、使用等,必须遵守有关的计量法规,所以叫做“依法管理”的计量器具。

###### 强制检定的工作计量器具

在《中华人民共和国强制检定的工作计量器具目录》中共列了 55 种工作计量器具的名称。这些计量器具涉及到贸易结算、安全防护、医疗卫生和环境监测方面,因此国家对其实行强制检定管理。

###### 专用计量器具

在《中华人民共和国依法管理的计量器具目录》中第十二大类是专用计量器具,专用计量器具的名称由国务院有关部门的计量机构拟定。

水运工程专用计量器具是指主要在水运工程中使用或使用较多,并在量值传递及计量管理方面具有特殊性的计量器具。水运工程专用计量器具是国家依法管理的计量器具的一部分。

水运工程中用到的计量器具有:沥青针入度计、沥青延度计、沥青粘度计、沥青软化点检测仪、沥青混合物马歇尔试验仪、稳定土强度检测仪、土壤液限、塑限联合检测仪、石夹土无侧限抗压强度检测仪、标准筛、环刀、三轴仪、三维固结仪、标准贯入仪、混凝土回弹仪、钢筋

混凝土保护层厚度测定仪、钢筋锈蚀度仪、非金属超声波检测仪、土基密实度与含水量检测仪、测深仪、土方产量仪、吃水装载仪、路面摩擦系数检测仪、路面构造深度检测仪等。

## (2) 标准物质

标准物质也是一种计量标准器具。它是指具有一种或多种准确确定的特性值,用以校准计量器具,评价测量方法或给材料赋值,并附有经批准的鉴定机构发给证书的物质或材料。常用的标准物质有钢铁成份分析标准物质,建材成份分析标准物质等。例如用于水泥标准筛检验的水泥细度和比表面积标准粉,此外还有标准样板、标准照片、聚乙烯标准块等。使用标准物质时,必须使用国家颁发了许可证的标准物质。使用时要按说明书(合格证)上规定的使用期限使用。

## 2 试验设备

试验设备是指在质量检测中除计量器具以外,所需使用的影响对工程质量作出判断的所有设备。

水运工程中常用的设备有:万能试验机,压力机,水泥软练设备,混凝土、砂浆试验设备,混凝土非破损检验设备,化学分析设备,防水材料(含沥青材料)试验设备,混凝土、砂浆养护室,土工试验设备,桩基测试器设备,海岸动力模型试验设备等。

## 二、基 本 要 求

### 1. 检测用计量器具的基本要求

#### (1) 检测用的计量器具必须具有许可证

企业经计量部门考核合格后,取得了《制造计量器具许可证》才能够生产计量器具。取得制造计量器具许可证的标志是 C M C。购买和使用计量器具要注意有无 C M C 标志,如果是计量器具新产品,则还要注意是否有 C P A 标志。

#### (2) 不得使用私自制造的计量器具

凡制造本单位未生产过的计量器具新产品,属于全国范围内从未试制生产过的,必须对其样机的设计和计量性能进行全面审查考核,简称为定型鉴定。定型鉴定后发给证书,并批准使用国家统一规定的标志 C P A,简称为型式批准。如果在全国已经定型了,而只在本单位未生产过,则只对其样机进行性能试验,简称为样机试验。计量法规定,企业、事业单位未履行上述手续,不得制造计量器具新产品。

#### (3) 计量器具应由法定计量部门定期进行检定或自行校验。

(4) 在无法进行检定或校准的情况下,允许进行比对,即在规定的条件下,对相同准确度等级的同种计量基准标准或工作计量器具之间的量值进行比较。参加比对的仪器至少三台,而且必须是相同准确度。

#### (5) 标准物质的保存环境应使其不变质,不降低其使用性能。

### 2 检测用的仪器设备应达到以下最基本的要求

#### (1) 检测用的仪器设备,应与检测项目相适应,技术性能符合有关标准、规范的要求。

(2) 仪器设备应保持完好,并建立必要的技术档案(包括仪器设备的检定、使用、维修记录及使用说明书)。

#### (3) 应有必要的操作规程,并由专门人员保管和操作。

#### (4) 对贵重仪器设备必须指派经验和业务能力较强、熟悉该仪器设备的专门人员使用。

(5) 试验设备应定期进行检验。

(6) 仪器设备在检定、检验的基础上, 实行标志管理。

(7) 仪器设备的使用环境应满足说明书的要求, 有温度、湿度要求的, 应确保温度、湿度方面的要求。

## 第二节 仪器设备的使用和维护

### 一、仪器设备的使用

#### 1. 使用前的准备

首先要通过认真阅读仪器设备的使用说明书, 以及与该仪器设备有关的标准、规范。对某些重要的仪器设备还可经参阅有关的书刊资料, 以便了解和掌握仪器设备的基本结构、原理、主要用途、技术性能、操作要点、安全保护装置、维护要点等。复杂、重要的仪器设备, 操作人员还应进行专业培训、考核, 使其达到上述要求。做好使用前准备, 是为后续工作打基础, 打好这个基础, 可以避免由于操作人员自以为是, 不进行技术准备、盲目蛮干而造成许多不良的后果, 甚至造成人员伤亡和机损事故。

#### 2 零点调整

一般来讲, 凡需要通过某种显示装置读出测试结果的仪器, 都要进行零点调整, 这里也包括初始值的调整。零点调整不正确会产生系统误差, 影响试验结果。根据不同类型的仪器分为以下几种情况。

##### (1) 机械仪器的零点调整

一些以指针、刻度盘、标尺等部件显示力、质量、长度等物理量的仪器要进行零点调整, 例如压力试验机、万能试验机、电动抗折试验机、天平、磅秤等。调整零点时要注意各仪器调零时所要求的不同条件, 如安装位置、角度及环境条件等。

##### (2) 机械仪器原初始位置调整

初始位置和零点的差异在于初始位置不一定是零。某些仪器的试验结果是以最终值和初始值之差来表示的。这就需要初始位置的调整。例如坍落度仪、维勃仪等。调整时注意事项和零点调整时相似, 同时还要记录初始值。

##### (3) 电气电子仪器的零点调整

电气电子仪器的零点调整可分两种情况, 第一种是仪表的机械零点调整。常见的动圈式指针仪表, 其指针的机械零点需要调整。一般在仪表正面外壳上有一调节螺钉, 轻轻旋动螺钉即可调零。通常在仪器未通电前就进行机械零点的调整。第二种是电位零点的调整。如酸度计、分光光度计等, 调零时只要调节仪器面板上零位旋钮即可。还有的仪器有满刻度调整, 只要调节仪器面板上满刻度旋钮即可。

和机械仪器一样, 电气电子仪器也有初始值的调整问题。

#### 3 量程设置

为了适应不同特性的试件, 仪器常常有不同的量程。量程的设置和调整是试验过程中经常要进行的。量程的设置应满足标准规范以及仪器技术条件的要求, 同时兼顾试验方便。有非线性段的仪器, 应避免在非线性段使用。量程设置可分机械量程和电气电子量程两种。

### (1)机械量程设置

常见的机械量程设置主要用于力学及质量试验仪器,如压力试验机、万能试验机、天平、磅秤等。一般以更换不同的测力弹簧、测力摆砣、砝码来设置不同量程。

### (2)电气电子量程设置

由于试验仪器常以电信号进行控制,并且最后试验结果又常以某种电信号显示,所以电气电子量程设置较普遍,其中又以电接点开关形式最常见。电接点开关由动触点、静触点组成,由开关的接通和断开来控制仪器的量程。例如抗渗仪的电接点压力表等。调整和设置量程时只要按试验要求调整指针或旋钮到相应位置即可。

## 4 过程控制

调整了仪器的零点和量程后,进行试验。试验仪器不论是全自动带微机控制,还是半自动和手动的,试验过程中操作人员起着十分关键的作用,一定要集中注意力,按操作规程进行操作,并随时观察过程中发生的变化。

下面就用回弹仪检测混凝土强度的试验来说明过程控制。

将弹击杆顶住混凝土的表面,轻压仪器,松开按钮,弹击杆徐徐伸出。使仪器对混凝土表面缓慢均匀施压,待弹击锤脱钩冲击弹击杆后即回弹,带动指针向后移动并停留在某一位置上,即为回弹值。继续顶住混凝土表面并在读取和记录回弹值后,逐渐对仪器减压,使弹击杆自仪器内伸出,重复进行上述操作,即可测得被测构件或结构的回弹值。

在进行上述操作过程中,应注意以下二点:

- (1)回弹仪的轴线应始终与结构或构件测试面保持垂直;
- (2)缓慢均匀地将回弹仪垂直施压在测试面,在弹击重锤脱钩前不得施加冲力。

## 5 过程结束

试验过程结束时,有一些必要的操作容易被忽视,常常给以后的试验造成麻烦,甚至使仪器损坏。因此,必须注意以下几点:

- (1)试验结束时要恢复仪器设备的初始状态,即试验前的状态,包括关闭电源、水源、气源;
- (2)卸掉荷载,如气压、水压、油压;
- (3)关闭送油阀、送水阀、送气阀;电气电子仪器设备的转换开关、旋钮、按键开关均恢复初始状态;
- (4)清理仪器和设备,易锈部件涂防锈油。

这些操作,除了为以后的试验做好准备以外,还有以下的作用:

- (1)使仪器设备的机械结构处在松弛状态,避免其在长期荷载下疲劳。
- (2)避免在下次试验时仪器设备突然进入某个中间试验状态。如压力机送油阀没有关闭,当再次试验时,一按动起动按钮就会突然开始加荷,造成试验失败。
- (3)防止有人误操作。当切断电、水、气以后,仪器设备就无法启动,可有效防止非操作人员随意摆弄仪器设备,造成不必要的损坏。

另外,如果在试验过程中突然遇到停电、停水、停气而造成非正常结束试验时,更要注意恢复初始状态,防止发生意外。

还有一部分仪器设备,仅仅恢复初始状态还不够,还有一些特殊工作要做。如酸度计的参比电极和甘汞电极在试验后应浸泡在蒸馏水中,否则电极将会损坏。又如钻芯机钻取芯

样,每次工作结束后,应及时卸下钻头、胀卡等零部件,仔细擦去污物水迹,并应在齿条、导轨等处涂油防锈。类似这些特殊的要求,一定要按照使用说明书的要求去做。

## 二、仪器设备的维护

仪器设备的使用和维护是相辅相成的。有些仪器设备需要经常维护和修理。精心维护是为了顺利使用,而正确的使用又会使维护工作量大大减少,有利于提高试验工作效率,延长仪器设备寿命。根据仪器设备的不同特点,分机械维护和电气电子维护两部分。

### 1. 机械维护

#### (1) 清洁

水运工程检测用的许多仪器设备,整天和水泥、砂、石以及泥土打交道,试验过程中残留在仪器设备上的水泥、混凝土如不及时清理掉,硬化以后非常难以处理。使用后要及时清扫干净,擦净后在易锈部分涂一层机油防锈,尤其在螺纹和接触工作表面等处更要清理干净。

清洗工作必须认真细致地进行。各个机件间的配合不适当,或使用过程中造成的变形或损坏,都必须在清洗工作中发现及处理。

清洗工作前,必须做好一切准备工作,所有必须应用的工具、特殊工具、材料和放置机件的木箱、木架,以及需要使用的水、电及安全防火设备等都必须布置齐全。此外,清洗人员要熟悉设备图纸和说明书,要弄清楚设备的性能和所需润滑油的种类、数量及加油位置。

清洗时要详细检查仪器设备是否完好无损,然后进行清洗。如果在清洗中发现内部有损坏时,应作记录,并报告有关技术负责人。清洗时,应使用合理的方法,保护仪器设备不受损伤,并使清洁后的仪器设备十分清洁,以保证仪器设备正常使用时达到规范要求的精度。

#### (2) 润滑

润滑是机械设备的常规维护,主要目的是减少摩擦阻力,延长机件寿命,常用在各种轴承和有相对运动的接触表面等处。在需要润滑的地方常有加油孔、加油嘴、加油杯等,有些设备还有齿轮箱,这些都要定期加油。还有一些相对运动的接触表面如压力机丝杠和上压球座等处也要经常加油润滑。

给机械设备润滑的基本要求如下:

设备内外各部位必须清洗干净后,才能进行加油润滑;

加油前各种油料必须经过化验,经确定符合规定要求后,方可使用;

加入设备内的油必须过滤,所加油量应达到规定油标位置;

所有润滑部分及油孔应加满润滑油;

液压系统的油料,必须特别注意清洁,并不得使用再生油液。

另外,要特别注意的是,有一些机械是靠摩擦传递力矩或转矩的,如有些搅拌机上料机构的摩擦离合器就绝对不能加油。

#### (3) 更换或补充工作介质

有部分仪器设备要定期更换工作介质,如压力机、万能试验机要定期更换液压油。一定要按技术说明书的要求进行更换。

#### (4) 紧固和密封

机械设备大量使用螺栓联接、锁紧和定位,因此,在经常活动和振动的部位难免有松动现象,应经常检查、发现松动及时拧紧。另外,很多密封不良的毛病也和密封部件没有压紧

有关。如各种阀门、管道接头、轴封、油箱、泵等等。这些部件也要经常检查,发现渗漏及时拧紧松动的密封件。

#### (5)调整间隙

有一些设备要求保持一定的工作间隙,如胶砂搅拌机、净浆搅拌机等。因使用磨损的机件变形而引起间隙的变化,需要及时加以调整。

### 2 电气、电子设备维护

电气、电子设备维护包括各种开关、接触器、断路器、传感器、控制仪表、指示灯、绝缘、联接件等等的维护,在使用过程中出现故障时,应由持有电气操作证的工作人员进行维护,其它人员不要擅自乱动。下面介绍自动开关和接触器的维护。

#### (1)自动开关的维护

使用新开关前应将电磁铁工作面的防锈油脂抹净,以免增加电磁机构动作的阻力。

工作一定次数后(约  $1/4$  机械寿命),转动机构部分应加润滑油(小容量塑壳型不需要)。

每经过一段时间(例如定期检修时),应清除自动开关上的灰尘,以保证良好的绝缘。

灭弧室在分断短路电流后或较长时期使用后,应清除其内壁和栅片上的金属颗粒和黑烟。长期未使用的灭弧室(如配件),在使用前应先烘一次,以保证良好的绝缘。

自动开关的触点在使用一定次数后,如发现毛刺、颗粒等,应当予以修整,以保证良好的接触。当触点被磨损至原来厚度的  $1/3$  时,应考虑更换触点。

定期检查各脱扣器的电流整定值和延时,以及动作情况。

#### (2)接触器的维护

定期检查接触器的零件,要求可动部分灵活,紧固件无松动。已损坏的零件应及时修理或更换。

保持触点表面的清洁,不允许粘有油污。当触点表面因电弧烧蚀而附有金属小珠粒时,应及时去掉。触点若已磨损,应及时调整,消除过大的超程;若触点厚度只剩下  $1/3$  时,应及时更换。银和银合金触点表面因电弧作用而生成黑色氧化膜时,不必锉去,因为这种氧化膜的接触电阻很低,不会造成接触不良,锉掉反而缩短了触点寿命。

接触器不允许在去掉灭弧罩的情况下使用,因为这样很可能发生短路事故。用陶土制成的灭弧罩易碎,拆装时应小心,避免碰撞造成损坏。

若接触器已不能修复,应予更换。更换前应检查接触器的铭牌和线圈标牌上标出的参数。换上去的接触器的有关数据应符合技术要求;用于分合接触器的可动部分,看看是否灵活,并将铁心上的防锈油擦干净,以免油污粘滞造成接触器不能释放。有些接触器还需要检查和调整触点的开距、超程、压力等,使各个触点的动作同步。

### 3 常用仪器设备维护举例

#### (1)超声仪应按下列规定进行维护

如仪器在较长时间内停用、每月应通电一次,每次不少于 1 小时。

仪器需要存放在通风、阴凉、干燥处,若长期不用应定期开机驱潮,尤其是在南方霉雨季节。此外无论是存放或是在工作,均需防尘和防潮。

在搬运过程中须防止碰撞和剧烈振动。

换能器应避免摔损和撞击,工作完毕应擦拭干净单独存放。换能器的耦合面应避免

磨损。

### (2)回弹仪的维护

仪器每次使用完毕后,应及时进行维护。先把仪器外壳和伸出机壳的弹击杆及前端球面擦拭清洁,然后将弹击杆压入仪器内,待弹击后用按钮锁住机芯,装入套筒,置于干燥阴凉处。

仪器有下列情况之一时,应将仪器拆开维护:

弹击超过 2000 次;

仪器发生故障或零件损坏时;

率定试验不合要求。

回弹仪拆开维护,应按下列步骤进行:

使弹击锤脱钩,取出机芯。然后卸下弹击杆、中心杆(连同导向法兰)、缓冲压簧、刻度记、指针轴和指针;

用清洗剂清洗机芯的中心导杆、弹击拉簧、拉簧座、弹击杆及其内孔和冲击面、指针滑块及其内孔、指针片、指针轴、刻度尺、卡环及仪器外壳的内壁的指针导槽。清洗完毕后,组装仪器做率定试验。

回弹仪的拆开维护,应注意下列事项:

经过清洗的零件,除中心导杆需涂上微量的轻油外,其他零部件均不得涂油;

应保持弹击拉簧前端钩拉簧座的原孔位;

不得旋转尾盖上已定位紧固的调零螺丝;

不得自制或更换零部件。

## 第三节 仪器设备的检定和检验

### 一、计量器具的检定

所谓检定是指为确定计量器具的计量特性,确定其是否符合法定要求所进行的全部工作。

根据《中华人民共和国计量法》的规定,对企事业单位使用的最高计量标准器具,以及用于贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测方面的列入强制检定目录的工作计量器具,实行强制检定。强制检定的计量器具,应由县级以上人民政府计量行政部门指定的法定计量检定机构或授权的计量检定机构进行定点、定期检定。

强制检定的计量器具以外的其他依法管理的计量标准和工作计量器具,即非强制检定的计量器具,可由使用单位自己依法进行定期检定,或者本单位不能检定的,送有权对社会开展量值传递工作的其他计量检定机构进行检定。本单位对非强制检定的计量标准器,应具有检定系统表中所规定等级的合格的计量标准器,取得相应项目的检定员证件的人员和合适的环境条件,方可自行对相应的计量器具进行检定。

结合水运工程质量检测机构的具体情况,目前除有部分有条件进行自检外,大部分应送法定的计量检定机构进行定期检定。下面列出进行检定的各类计量器具。

#### 1. 长度计量器具

长度计量器具包括测长仪、读数显微镜、水准标尺、卡尺、千分表、百分表、百分表核定器、测角仪、直角尺、塞尺、水平仪、测距仪、测厚仪等等。

## 2 热学计量器具

热学计量器具包括热电偶、温度计、温度自动控制仪、测温电桥、高温毫伏计等。

## 3 力学计量器具

力学计量器具包括砝码、天平、秤、量器、容重器、密度计、压力计、压力传感器、硬度计、测力机、力传感器、冲击试验机、弯曲试验机、拉力试验机、压力试验机、疲劳试验机、万能材料试验机、抗折试验机、应变仪、引伸计、振动台、测振仪、振动传感器、无损检测仪等等。

## 4 电磁学计量器具

电磁学计量器具包括欧姆表、毫欧表、兆欧表、电流表、毫安表、电压表、万用表等。

## 5 无线电计量器具

无线电计量器具包括示波器等。

## 6 时间频率计量器具

时间频率计量器具包括秒表、秒表检定仪、电子计时器等。

## 7 物理化学计量器具

物理化学计量器具包括电导仪、酸度计、分光光度计、湿度计、粘度计等等。

## 8 专用计量器具

由国务院有关部门计量机构拟定,报国务院计量行政部门审核后发布。

计量器具的检定,必须按计量检定规程进行。计量检定规程有国家的,以及由国务院有关主管部门和省、自治区、直辖市人民政府计量行政部门分别制定的部门计量检定规程和地方计量检定规程。但在实际中,往往有些检测仪器无检定规程可循对这类检测仪器,单位可以自行校验,自校仪器必须有相应的计量标准器和校验方法,由从事该项目有检测经验的技术人员进行,校验的环境条件也要符合仪器工作的要求。有相当数量的仪器是属于这种情况,如钢筋保护层测厚仪、非金属超声波检测仪、测定混凝土凝结时间用的贯入阻力仪(测力部分属强检)、混凝土空气含量测定仪(压力表等属强检)等等。这些仪器可以进行自校,如非金属超声波测仪,可以采用《CECS21:90 超声法检测混凝土缺陷技术规程》中附录 - 《用超声仪测量空气声速进行自身校验》的方法,进行自校。没有校验方法的应制订校验方法进行校验。

在对仪器设备进行校验时,往往会遇到一些仪器设备,即无检定规程,又没有计量标准器可供校验,例如单桩垂直承载力静载荷试验装置,就整套装置而言,没有计量标准器可供校验,但它可以通过对基本参数的校验来进行。单桩静载荷试验的基本参数有两个,一是位移,一般采用千分表、位移传感器或游标卡尺等进行计量;二是力,一般应用油压千斤顶施加压力,采用压力表或压力传感器等进行计量。对单桩静载荷试验装置的校验,可以通过对千分表(或位移传感器、游标尺等)、压力表(或压力传感器等)的检定来实施。另外,对油压千斤顶(包括高压油泵、压力表)还应用检定合格的测力计或压力机等进行率定,给压力表的示值赋予力的量值。

## 二、计量器具示值的校准

校准是指在规定条件下,为确定计量器具示值误差的一组操作。



校准主要是确定计量器具的示值误差,以便调整仪器或对示值加以修正,校准结果也可以给任何标尺上的标记赋值、校准也可用以确定其它计量特征。

校准与检定有所不同,其区别为:

1 检定是对计量器具的计量特性进行全面的评定,而校准主要是确定其示值误差。

2 检定要对该计量器具作出合格与否的结论,具有法制性,而校准并不判断计量器具的合格与否,无法制性。

3 检定应发检定证书或检定结果通知书,而校准发校准证书或校准报告。

校准有时也可用校准因数或校准曲线等形式表示校准结果。

目前我国还没有正式建立校准试验室,对计量器具开展校准。

### 三、仪器设备的检验

检测仪器设备应根据其出厂技术条件,制定相应的检验方法进行检验,检验人员应是从事该项工作多年,有实际经验的技术人员,检验环境应符合要求。用于测定土壤含水量烘干用的烘箱、混凝土抗冻性试验的冻融设备、混凝土超声检测中用的超声仪、回弹法检测混凝土强度用的回弹仪等等,均需要进行检验。下面列举几例加以说明。

#### 1 冻融设备的检验

根据 JTJ270《水运工程混凝土试验规程》的规定,对其有如下要求:

(1)当试件入箱前,冷箱冷液温度应能降到  $-20 \sim -23$  ;

(2)冷箱内装满试件后,试件中心温度应能在  $1.0 \sim 1.5\text{h}$  内降到  $-15$  。

(3)冷热箱内各部位的温度不得超过  $3.3$  。

应制订检验方法,对冻融设备中使用的测温仪表、压缩机上装置的压力表(属于安全防护)等进行检定。

#### 2 回弹仪的检验

目前国内外生产的中型回弹仪,不能保证出厂时为标准状态,因此即使是新的有出厂合格证的仪器,也需要送校验单位校验。由于弹击拉簧、弹簧座、弹击杆、中心导杆等主要零件经过更换或弹击拉簧前端不在拉簧座孔或调零螺丝松动或回弹仪遭受撞击或其它损坏等,都会使回弹仪偏离标准状态,因此应将回弹仪送检定单位进行检定,并作必要的更换的校正。此外,在正常情况下,当仪器超过检定有效期或累计弹击次数超过规定(如 6000 次),也应送检验单位按国家计量检定规程《混凝土回弹仪》(JGJ817 - 93)进行检验。

检验合格的仪器应符合下列标准状态:

(1)水平弹击时,弹击锤脱钩的瞬间,仪器的标称动能应为  $2.2\text{J}$ ,此时在钢砧上的率定值应为  $80 \pm 2$ ;

(2)弹击拉簧的工作长度应为  $61.5\text{mm}$ ,弹击锤的冲击长度(拉簧的拉伸长度)应为  $75\text{mm}$ ,弹击锤在刻度尺上的“100”处脱钩,此时弹击锤与弹击杆碰撞的瞬间,弹击拉簧应处于自由状态,弹击锤起跳点应在相应于刻尺上推算的“0”处;

(3)指针块上的指示线至指针端部的水平距离为  $20\text{mm}$ ,指针块在指针轴全长上的摩擦力为  $0.5 \sim 0.8\text{N}$ ;

(4)弹击杆前端的曲率半径为  $25\text{mm}$ ,后端的冲面为平面;

(5)操作轻便、脱钩灵活。

### 3 超声仪的检验

超声仪的各项技术指标应在出厂前以专门仪器设备进行检测。超声仪器检验时应满足下列要求:

- (1)缓慢调节延时旋钮,数字显示满足十进位递变的要求;
- (2)调节聚焦、辉度和扫描延时旋钮,扫描基线清晰稳定;
- (3)换能器与标准棒耦合良好,衰减器及发射电压正常;
- (4)超声波在空气中传播的计算声速与实测声速值相比,相差不大于  $\pm 0.5\%$ 。

作为使用者,对超声仪性能可进行如下检验。

#### (1)仪器声时显示准确性检验

通过测量空气声速的方法来检验仪器声时显示值的准确性。具体步骤如下:

取常用平面换能器一对,接于超声仪上,开机,预热。将两换能器置于海绵垫上相互左右对准,或将一只换能器悬挂起来,与另一只固定不动的换能器上下对准。改变二者间距  $d$  (如  $100\text{ mm}$ 、 $200\text{ mm}$ 、 $300\text{ mm}$ ...),准确测量两相对面距离(精度至  $0.5\%$ ),同时将接收信号放大,以手动游标或自动关门方式测量各测距下相应的声时读数。再测量此时空气温度(精确至  $0.2$  )。

以换能器间距  $d$  为纵坐标,声时  $t$  为横坐标,绘制  $d - t$  相关直线,按下式计算直线斜率,也即空气声速  $v_a$ 。

$$v_a = \frac{(d_i - \bar{d})(t_i - \bar{t})}{(t_i - \bar{t})}$$

式中:  $v_a$ —— 实测空气声速,  $\text{m/s}$ ;

$d_i$ —— 每次测量时换能器间距,  $\text{cm}$ ;

$\bar{d}$ —— 各次测量时换能器间距的平均值,  $\text{cm}$ ;

$t_i$ —— 每次实测声时值,  $\mu\text{s}$

$\bar{t}$ —— 各次实测声时值的平均值,  $\mu\text{s}$ ;

空气声速的准确值  $v_n$

$$v_n = 331.45 \sqrt{1 + t/273.16}$$

式中:  $t$ —— 空气温度( )。

实测值与准确值之间的相对误差为:

$$= \frac{v_n - v_a}{v_n} \times 100\%$$

若  $0.5\%$ , 则仪器声时示值正常。

#### (2)扫延范围检查

缓慢调节扫描延迟旋钮,声时显示值也应相应渐变,以此检查显示系统是否顺序递变而无间隔跃变。当扫描延迟旋钮顺时针旋到头而标记游标又处于示波屏最左边,此时的声时显示值应大致为该仪器的总扫延时间(相差一发射门控宽度)。

#### (3)衰减器示值检验

将换能器对准标准棒,调节增益旋钮,使接收波形达到示波屏满刻度,量读振幅值  $A_1$ ,然后按下衰减器某键,再量读波形振幅  $A_2$ 。根据下表检查波形振幅减小的倍率  $A_2/A_1$  是否与所按下的键的衰减显示值(dB) 相对应。

分贝值与声压比的关系 表 2-1

分 贝	声压(或电流、电压)比 $P/P_0$		分 贝	声压(或电流、电压)比 $P/P_0$	
	分贝为负值(衰减)	分贝为正值(增益)		分贝为负值(衰减)	分贝为正值(增益)
0.0	1.01	1.00	15	0.18	5.62
0.5	0.95	1.06	20	$1.0 \times 10^{-1}$	$1.0 \times 10$
1.0	0.89	1.12	40	$1.0 \times 10^{-2}$	$1.0 \times 10^2$
2.0	0.79	1.26	50	$0.316 \times 10^{-2}$	$3.16 \times 10^2$
3.0	0.71	1.41	60	$1.0 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^3$
5.0	0.56	1.78	80	$1.0 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^4$
8.0	0.40	2.51	100	$1.0 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^5$
10	0.32	3.16	120	$1.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^6$

(4)其他检查

调节仪器各功能键,一方面是检查其是否具有该旋钮所应具有的功能,另一方面是检查仪器工作时是否正常稳定。

检查数字显示电路,当数字显示电路出现故障,将使整个声时读数失误,因此,在试验之前应定时对数字及十进位显示作逐步检查,检查内容包括数字 0、1、2.....9 顺序显示是否正常。

第四节 仪器设备的管理

一、标 志 管 理

仪器设备经过检定、检验以后,根据其结果,分别贴上国家技术监督局计量司认证办公室统一制订的标志。标志分合格、准用、停用三种,其应用范围如下。

1. 合格证(绿色)

- 计量检定(包括自检)合格者;
- 设备不必检定,经检查其功能正常者(如计算机、打印机);
- 设备无法检定,经过对比或鉴定适用者。

2 准用证(黄色)

- 多功能检测设备,某些功能已丧失,但检测工作所用功能正常,且经校准合格者;
- 测试设备某一量程精度不合格,但检验工作所用量程合格者;
- 降级使用者。

3 停用证(红色)

检验仪器设备损坏者；  
检测仪器设备性能无法确定者；  
检测仪器设备超过检定周期者。

## 二、管理制度

为了保证仪器设备的完好,以利于顺利开展检测工作,建立一套完善的管理制度非常重要。通常仪器设备的管理采用两种管理形式——专管共用和专管专用。不论采用哪种形式,仪器设备的管理应注意以下方面。

- 1 计量标准器具的保存环境应满足其说明书的要求,应保持其技术状态处于最佳状态。每次使用应作记录。
- 2 计量标准器的使用操作人员必须考核合格并取得操作证书。
- 3 计量标准器具的计量检定工作,维护保养工作,应派专人负责。
- 4 精密、贵重、大型仪器、设备的位置不得随意变动,如确需变动,要征得同意,重新安装后,要对其安装位置、安装环境、安装方式进行检查,并重新检定。
- 5 要制定仪器设备检定制度,以确保其功能正常、性能完好、精度满足检测要求。
- 6 检测仪器设备的借出后归还,应检查其功能是否正常,附件是否齐备,并办理交接手续。
- 7 检测仪器设备需要维修时,应将维修情况填入设备档案。维修后的仪器设备应重新计量检定。
- 8 当检测仪器设备的技术性能降低或功能丧失、损坏时,应办理降级使用或报废手续。降级使用情况应记入档案。
- 9 修理后的仪器、设备都应重新计量检定(不管其是否在原计量周期之内),计量工作原则上不应由原修理人员担任。
- 10 计量器具、检测仪器、设备到货后,应组织验收;验收步骤和程序为外观验收——察看、点箱开箱检查、核对;质量验收——安装就位,调试,性能测试,无误后交试验人员接收。
- 11 对进口或国产精密、大型和昂贵仪器、设备验收,全过程做详尽记录,验收负责人签字并附在验收报告书后。
- 12 验收合格,应填写设备卡片建帐。
- 13 属下列情况之一时,检测仪器、设备应办报废处理,不得再使用。
  - (1)经修理后,技术性能仍达不到应有水平并难以降级使用;
  - (2)因故损坏,即使能修复,但经济上花费太多如超过成本 50 % 以上;
  - (3)使用年限长,本身性能差,功能低,不能达到规范和规程要求的或可能危及操作安全的;
  - (4)使用时间不长,但属于落后工艺产品,不能满足规范和规程要求的;属于耗能高,使用不经济的;按国家规定应予以淘汰和停止使用的。
- 14 仪器、设备的保管人应参加新购进设备的验收、安装、调试、填写并保管仪器、设备档案,填写并保管仪器、设备使用记录。
- 15 仪器、设备保管人应负责所保管设备的用、管、养、修鉴一体化,要求做到“四懂三

会 ”——懂构造、原理、性能、用途和会操作、保养及排除故障。坚持“ 十字作业法 ”——清洁、润滑、紧固、调整和防腐。不用时,应罩上防护罩。长期不用的电子仪器,每隔三个月应通电一次,每次通电不得少于半小时。

16. 技术负责人除对所有仪器、设备按周期督促进行计量检定外,还应对仪器、设备进行不定期抽查,以确保其功能正常、性能完好,精度满足检测工作要求。

## 第三章 质量检测项目和标准

水运工程质量试验检测的项目,主要应根据标准、规范和工程设计的要求以及工程施工的具体情况确定。试验检测项目应在试验检测任务委托书(单)或合同书中具体规定。本章所列的试验检测项目主要来源于标准、规范的规定。

标准、规范是试验检测的主要技术依据,根据《中华人民共和国标准化法》的规定,标准、规范按其适用范围,有国家标准、行业标准和地方标准之分;按其性质分强制性标准和推荐性标准两类。强制性国家标准的代号为“GB”,推荐性国家标准的代号为“GB/T”;行业标准代号由国务院标准化行政主管部门规定,如交通部基本建设的强制性行业标准代号为JTJ,推荐性行业标准代号为JTJ/T;地方标准的代号为“DB”加上省、自治区、直辖市行政区代码前两位数再加斜线,即“DB××/”组成强制性地方标准代号,“DB××/T”为推荐性地方标准代号。对没有国家标准而又需要在全国某个行业范围内统一的技术要求,可制定行业标准,在公布国家标准后,该项行业标准即行废止。对没有国家标准和行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的要求,可制定地方标准,在公布国家标准或行业标准之后,该项地方标准即行废止。在实际运用标准、规范时,除了遵照上述规定以外,还要注意标准、规范的适用时间,有否被新公布的标准、规范所代替,在实际应用时,应运用现时适用的有效标准或规范。

企业生产的产品没有国家标准、行业标准和地方标准的,应当制定企业标准,作为组织生产的依据。已有国家标准或者行业标准、地方标准的,国家鼓励企业制定严于国家标准或行业标准、地方标准的企业标准,在企业内部适用。企业产品标准须按规定报当地政府或国务院有关部门备案。

### 第一节 原材料质量检验

用于水运工程的原材料,一般有水泥、砂、碎石、卵石、各种石料、外加剂、掺合料、水、钢材、木材、沥青、砖、涂料、塑料制品及橡胶制品等等。其中很多是属定型产品,可根据国家或行业、地方的标准及相应的检验方法,通过检验,作出产品或产品的某些技术要求是否合格的结论。下面列出一些主要原材料的检验项目及相应的标准。

#### 一、水 泥

水运工程中常采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥等五种水泥。

检验项目有:不溶物、氧化镁、三氧化硫、烧失量、细度、凝结时间、安定性、强度、碱。

碱含量按  $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$  计算值来表示,若使用活性集料,用户要求提供低碱水泥

时,水泥中碱含量不得大于 0.60 % 或由供需双方商定。

相应的标准有:

GB175 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥

GB1344 矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥

GB176 水泥化学分析方法

GB177 水泥胶砂强度检验方法

GB750 水泥压蒸安全性试验方法

GB1345 水泥细度检验方法

GB1346 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法

GB12573 水泥取样方法

水泥生产厂应按照上述标准进行检验,出具合格证。在水运工程中应用时,除检查合格证外,还应根据 JTJ268《水运工程混凝土施工规范》的规定进行复验。

## 二、混凝土用砂

不论哪种情况,对砂的颗粒级配,粘土、淤泥、微细粉末总含量、轻物质含量、泥块、海砂的含盐量等均应进行检验。另外,对水溶性硫酸盐及硫化物含量( $SO_3$ )、有机质含量、坚固性、云母含量等视具体情况和要求决定是否进行检验。相应的标准有:

JTJ268 水运工程混凝土施工规范

JTJ270 水运工程混凝土试验规程

JGJ52 普通混凝土用砂质量标准及检验方法

## 三、混凝土用碎石或卵石

检验项目有:岩石抗压强度、压碎指标值、软弱颗粒含量、山皮水锈颗粒含量、针片状颗粒含量、粘土、淤泥及微细粉末含量、颗粒表观密度、水溶性硫酸盐及硫化物含量( $SO_3$ )、有机物含量、颗粒级配、坚固性、含泥量、蛋白石及其他无定形二氧化硅。在具体工程检验时,根据规范的规定确定检验项目。JTJ268《水运工程混凝土施工规范》规定,海水环境中严禁采用活性粗、细骨料,淡水环境工程中所用粗、细骨料,经检验若具有活性时,应使用碱含量小于 0.6 % 的水泥,JTJ269《水运工程混凝土质量控制标准》还规定,每立方米混凝土的总含碱量应不大于 3.0kg。在混凝土拌制过程中,应对粗、细骨料的含水量在现场进行试验,以准确的控制混凝土拌和用水量。相应的标准有:

JTJ268 水运工程混凝土施工规范;

JTJ270 水运工程混凝土试验规程;

JTJ53 普通混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法。

## 四、混凝土外加剂

外加剂的种类很多,发展很快,目前世界上外加剂已超过 400 多种,我国按其主要功能分为四类:

(1)改善混凝土拌和物流变性能的外加剂,包括各种减水剂、引气剂或泵送剂等;

(2)调节混凝土凝结时间、硬化性能的外加剂,包括缓凝剂、早强剂和速凝剂等;

(3)改善混凝土耐久性的外加剂,包括引气剂、防水剂和阻锈剂等;

(4)改善混凝土其它性能的外加剂,包括加气剂、膨胀剂、防冻剂、着色剂、防水剂和泵送剂等。

对外加剂的检验,一是对外加剂的匀质性进行检验,二是对掺外加剂混凝土(砂浆)性能的检验。

外加剂匀质性的检验项目,除含固量或含水量、密度、氯离子含量、水泥净浆流动度外,有的外加剂还要检验细度,泡沫度。

掺外加剂混凝土性能的检验项目,有减水率、泌水率比、压力泌水率比、含气量、凝结时间之差、抗压强度比、收缩率比、相对耐久性指标、钢筋锈蚀、坍落度增加值、坍落度保留值等。

应用的标准有:

JTJ268 水运工程混凝土施工规范;

GB8076 混凝土外加剂;

GB8077 混凝土外加剂匀质性试验方法;

JC473 混凝土泵送剂;

JC474 砂浆、混凝土防水剂;

JC475 混凝土防冻剂;

JC476 混凝土膨胀剂;

JC477 喷射混凝土用速凝剂。

## 五、混凝土拌和用水

检验项目有:PH值、不溶物、可溶物、氯化物( $\text{Cl}^-$ )、硫酸盐( $\text{SO}_4^{2-}$ )、硫化物( $\text{S}^{2-}$ )、水泥初凝及终凝时间差、砂浆抗压强度比、混凝土抗压强度比。应用的标准有:

JGJ63 混凝土拌和用水标准;

JTJ268 水运工程混凝土施工规范;

JTJ269 水运工程混凝土质量控制标准;

JTJ270 水运工程混凝土试验规程。

## 六、用于水泥和混凝土中的粉煤灰

包括用于水泥生产中作活性混合材料的粉煤灰,以及用于拌制混凝土和砂浆时作掺合料的粉煤灰成品。两者的检验项目有所不同。用作掺合料的检验项目有:细度、烧失量、需水量比、三氧化硫含量、含水量,并根据这五项指标将粉煤灰分为三个等级;用作混合材料的检验项目有:烧失量、三氧化硫含量、含水量、28天抗压强度比,并根据这四项指标将粉煤灰分为两个等级。应用的标准有:

GTB1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰

JTJ T273 港口工程粉煤灰混凝土技术规程

## 七、烧结普通砖

检验项目有:抗压强度、抗折强度、抗冻性能、泛霜、石灰爆裂、吸水率、外观质量。应用



的标准有:

GB5101 烧结普通砖

GB2542/ T 砌墙砖试验方法

## 八、混凝土用钢材

包括钢筋、盘条、钢丝和钢绞线。检验项目包括力学性能和化学成分。力学性能中的屈服点、抗拉强度、伸长率三项是所有钢筋、钢丝和钢绞线均要检验。另外,预应力用钢丝还要进行反复弯曲和松弛检验;预应力用钢绞线和预应力用热处理钢筋;钢筋混凝土用热轧光圆钢筋和热轧带肋钢筋、余热处理钢筋、盘条要进行冷弯检验;较高质量热轧带肋钢筋要进行冷弯和反复弯曲或仅进行冷弯检验;冷轧带肋钢筋要进行冷弯和松弛检验。化学成份中,碳、硅、锰、磷、硫五个元素是所有混凝土用钢材中均要检验的,有部分品种的钢筋还要检验其它元素如:钒、铌、钛、铬等。

以上是指产品出厂检验,检验合格后应有出厂合格证,在水运工程中使用,应进行复验,复验的项目为:屈服点、抗拉强度、伸长率、冷弯。如复验不合格或发现脆断、焊接性能不良,或政府部门另有规定的,尚应进行化学成份分析。进口钢筋应按原国家建委(80)建发施字 82 号《进口热轧变形钢筋应用若干规定》的要求,进行化学成份的检验。

钢材在现场使用时,还要进行焊接接头的检验,其项目有:外观、拉伸、抗剪、弯曲。

应用的标准有:

GB13013 钢筋混凝土用热轧光圆钢筋

GB1499 钢筋混凝土用热轧带肋钢筋

GB13014 钢筋混凝土用余热处理钢筋

GB701 低碳钢热轧圆盘条

GB13788 冷轧带肋钢筋

GB5223 预应力混凝土用钢丝

GB5224 预应力混凝土用钢绞线

GB4463 预应力混凝土用热处理钢筋

JGJ18 钢筋焊接及验收规程

GB228 金属拉伸试验方法

GB232 金属弯曲试验方法

GB5029 钢筋平面反向弯曲试验方法

GB238 金属线材反复弯曲试验方法

GB235 金属反复弯曲试验方法

GB223 钢铁及合金化学分析方法

JGJ27 钢筋焊接接头试验方法

## 九、结构用钢材

一般采用碳素结构钢和低合金结构钢。检验项目:化学成分除碳、硅、锰、磷、硫 5 个元素外,根据不同牌号钢材的要求,检验钛、钒、铌、铜、稀土、氮、铬、镍、铝、砷等中的某些元素。力学性能应进行屈服点、抗拉强度、伸长率、冲击、冷弯等项检验。相应的标准有:

GB700 碳素结构钢  
GB1591 低合金结构钢  
GB2106 金属夏比( 型缺口)冲击试验方法  
GB4159 金属低温夏比冲击试验方法

## 十、沥 青

沥青主要可分为石油沥青和煤沥青两大类。在工程中,主要用石油沥青配制沥青砂、沥青混凝土和沥青防水材料。石油沥青的检验项目有:针入度、延度、软化点、溶解度、蒸发后针入度比、闪点、蒸发损失。

应用的标准有:

GB494 建筑石油沥青  
SY1661 道路石油沥青  
SY1665 普通石油沥青  
JTJ052 公路工程沥青及沥青混合料试验规程

## 十一、塑料排水板

用于地基加固的塑料排水板,应对外形尺寸、纵向通水量、滤膜渗透系数、滤膜等效孔径、复合体抗拉强度(干态)、滤膜抗拉强度(干、湿态)等进行检验。应用的标准有:

JTJ T256 塑料排水板施工规程  
JTJ T257 塑料排水板质量检验规程

# 第二节 混凝土及构件的检测

## 一、混凝土拌和物

其中在集中搅拌站(厂)经计量、拌制后出售,并采用运输车,在规定时间内运至使用地点的混凝土拌和物称为预拌混凝土。混凝土拌和物根据不同要求,对下列项目中的某些或全部项目进行检验:稠度(坍落度)、坍落度损失、含氯离子含量、凝结时间、密度、泌水率。相应的标准有:

JTJ270 水运工程混凝土试验规程  
GB14902 预拌混凝土  
GBJ80 普通混凝土拌和物性能试验方法  
JTJ269 水运工程混凝土质量控制标准

## 二、水 泥 砂 浆

砌筑用的水泥砂浆,其测试项目有:稠度、密度、氯离子含量、泌水性、抗压强度、抗渗性等。相应的标准有:

JTJ270 水运工程混凝土试验规程

### 三、抗压强度

这是所有混凝土构件或结构物均需进行检验的项目,应根据标准立方体抗压强度试件的试验结果来评定。当对混凝土试件强度的代表性有怀疑时或需检测构件(结构物)的混凝土结构强度时,可采用非破损检验方法,如回弹法、超声——回弹综合法或从构件、结构物中钻取芯样等,对构件、结构物中的混凝土强度进行推定,其结果可作为处理问题的依据。相应的标准有:

JTJ270 水运工程混凝土试验规程

JTJ268 水运工程混凝土施工规范

### 四、其 它

根据工程的具体要求,进行混凝土抗冻性、抗渗性、抗折强度、抗拉强度、干缩率、气泡参数、裂缝、缺陷、匀质性等有关项目的检测。

对混凝土构件的检测,除外观质量和尺寸、混凝土的强度等有关性能外,根据工程构件的具体要求,进行承载力、挠度、抗裂等有关结构性能的检验,以及钢筋位置和保护层厚度、裂缝宽度等的检测。应用的标准除本节一项中已列外,尚有:

JTJ268 水运工程混凝土施工规范

GBJ107 混凝土强度检验评定标准

GBJ82 普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法

JGJ T23 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程

GBJ321 预制混凝土构件质量检验评定标准

CECS03 钻芯法检测混凝土强度技术规程

CECS02 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程

CECS21 超声法检测混凝土缺陷技术规程

JTJ270 水运工程混凝土试验规程

### 五、预应力混凝土用锚具、夹具和连接器的检验

型式检验项目有:外观,硬度,静载试验,辅助性试验(指锚具和夹具的内缩量试验、锚口摩阻损失试验、张拉锚固工艺试验),疲劳试验(I类锚具及用于后张法的连接器),周期荷载试验(I、II类锚具及用于后张法的连接器)。出厂检验及进场检验项目为:外观、硬度、静载试验。

应用的标准有:

JTJ268 水运工程混凝土施工规范

GB/T14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器

GB50204 混凝土结构工程施工及验收规范

JGJ85 预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程

GB/T230 金属洛氏硬度试验方法

JTJ221 港口工程质量检验评定标准

## 第三节 地基及基础工程的检测

### 一、土的工程性质室内和现场测试

测试项目有:含水量、密度、颗粒分析、界限含水量、最大干密度与最优含水量、渗透系数、压缩系数、固结系数、先期固结压力、抗剪强度、无侧限抗压强度、十字板抗剪强度、标准贯入、动力触探、水泥系拌和土强度。应用的标准有:

GBJ123 土工试验方法标准

SDS01 土工试验规程

GBJ7 建筑地基基础设计规范

JTJ240 港口工程地质勘察规范

CECS04:88 静力触探技术规程

### 二、基 础 桩

钢筋混凝土打入桩、钢管桩以及钢筋混凝土就地灌注桩的质量检测,除对制桩所用的混凝土及原材料和制作钢桩所用钢材的质量按规定进行检测外,还应对沉(成)桩质量和单桩承载力进行检测。

灌注桩成孔质量的检测项目有孔位、孔径、孔深、垂直度、孔底沉渣厚度等。桩身质量包括桩身混凝土的质量及强度、桩身的完整性(断桩、裂缝、夹层、扩颈、缩颈等缺陷)、桩长等。检测方法可采用可靠的动测法,对于大直径桩还可采用钻取芯样、预埋管超声检测法等。打入(静压)桩沉桩质量检测项目有贯入度、桩尖标高、桩位、桩身垂直度、桩身完整性(断桩、裂缝、卷口等缺陷)等。检测方法应采用可靠的动测法。

单桩承载力的检测,应根据工程重要性、地质条件、设计要求及工程施工情况,采用单桩静载荷试验或可靠的动力试验。有的工程要求进行单桩竖向抗拔静载试验和单桩水平静载试验,以确立单桩抗拔极限承载力和单桩水平承载力。

目前从事桩基动测的单位、人员以及采用的仪器设备类别均较多,应从中选择可靠的动测方法,首先应选用较成熟的仪器设备(如PDA高应变打桩分析系统、FEI打桩分析系统、PIT桩身完整性测试仪等),另外,对检测单位的资质、业绩、人员素质均应认真考察,否则,难以确保检测结果的可靠性。

应用的标准有:

JTJ254 港口工程桩基规范

JGJ94 建筑桩基技术规范

JGJ4 工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程

JGJ T93 基桩低应变动力检测规程

JGJ106 基桩高应变动力检测规程

### 三、地基加固效果的检验

地基加固的方法很多,在水运工程中采用的有预压法、振冲法、强夯法、灌浆法、深层搅

拌法等等,不论采用何种加固方法,一般均需进行加固效果的检验。检验项目应根据具体采用的加固方法、设计要求确定。加固后的效果,根据具体工程的要求,可分别通过承载力、地面及土体分层沉降、地表及土体内部水平位移、孔隙水压力及消散、水位、强度、标准贯入、土压力等的现场原位测试以及钻取土样进行土的物理力学性能等有关项目的室内试验,对测试结果进行综合、对比分析,检验诸如承载力、固结度、土的强度、加固深度等等有关项目是否满足工程设计的要求。应用的标准有:

- JTJ250 港口工程地基规范
- GBJ7 建筑地基基础设计规范
- JGJ79 建筑地基处理技术规范

## 第四节 钢结构工程质量检测

### 一、焊缝检验

检验项目有外观、内部缺陷(超声波检验和 X 射线检验)。根据规范或设计的要求,对焊接接头进行抗拉强度、冷弯、冲击等力学性能和工艺性能的检验。相应的标准有:

- GB3323 钢焊接接头射线照相及底片等级分类法
- GB3176 民用船舶钢焊缝射线照相评级标准
- GB3177 民用船舶钢焊缝射线照相和超声波检查规则
- GB3178 民用船舶焊缝超声波探伤评级标准
- GB50205 钢结构工程施工及验收规范
- GBJ17 钢结构设计规范
- JTJ283 港口工程钢结构设计规范
- GB2650 焊接接头冲击试验法
- GB2651 焊接接头拉伸试验法
- GB2652 焊接(及堆焊)金属拉伸试验法
- GB2653 焊接接头弯曲及压扁试验法

### 二、防腐涂层及喷涂金属层

涂层的检验项目有:外观、表面处理、涂层干膜厚度、厚膜涂层针孔。为了保证涂层干膜厚度符合设计要求,应及时测定湿膜厚度。喷涂金属层的检验项目有:外观、表面处理、厚度、与钢结构结合性能等。相应的标准有:

- JTJ230 海港工程钢结构防腐技术规定
- GB1764 漆膜厚度测定法

### 三、阴极保护

有外加电源和牺牲阳极两种阴极保护系统。用于牺牲阳极保护系统的牺牲阳极,普通采用铝系合金或锌系合金的牺牲阳极,牺牲阳极的检验项目包括化学成分、电流频率、工作电位、开路电位、溶解性能、尺寸、质量、阳极体与铁芯间的接触电阻等。阴极保护的效果,不

论是外加电流或牺牲阳极的方法,均应检验被保护钢结构表面的电位。相应的标准有:

JTJ230 海港工程钢结构防腐蚀技术规定

GB4948 铝—锌—铟系合金牺牲阳极

GB4949 铝—锌—铟系合金牺牲阳极化学分析方法

GB4950 锌—铝—镉合金牺牲阳极

## 第五节 水运工程其它项目的试验检测

为检验分析水运工程的结构安全、建筑功能、新结构及新技术的应用、为工程设计、施工方法的优选分析等等提供科学依据,有时需通过工程结构物的现场原位测试或模型试验,测定结构物承受的外力(如土压力、水压力、波压力以及各种动静荷载等)、结构物产生的各种内力(如拉应力、压应力、剪应力、温度应力等)、结构变形(如水平位移、垂直位移、扭转、倾斜、裂缝等)以及结构的振动(如振动频率、振型、振幅、阻尼等)等等。应根据检测目的要求和工程的具体情况,确定测试项目。由于结构物的现场原位测试和模型试验(如波长模型试验、结构物模型试验等),工程情况和测试技术均较复杂,一般应针对测试项目,制订具体的实施方案(包括测试内容、仪器设备、测试方法、数据处理等等),作为测试的依据。

水运工程是综合性的工程,除在第一至四节中叙述外,其余的一些工程,如地面工程、轨道安装工程、附属设施工程、港区的工民建工程、供电照明安装工程等,可根据 JTJ221《港口工程质量检验评定标准》和有关国家标准规范或设计要求进行检测。

# 第四章 试验检测过程

## 第一节 检测程序

从检测任务的接受,直至检测报告的发送、归档,整个检测工作的程序,一般如图 4-1 所示。

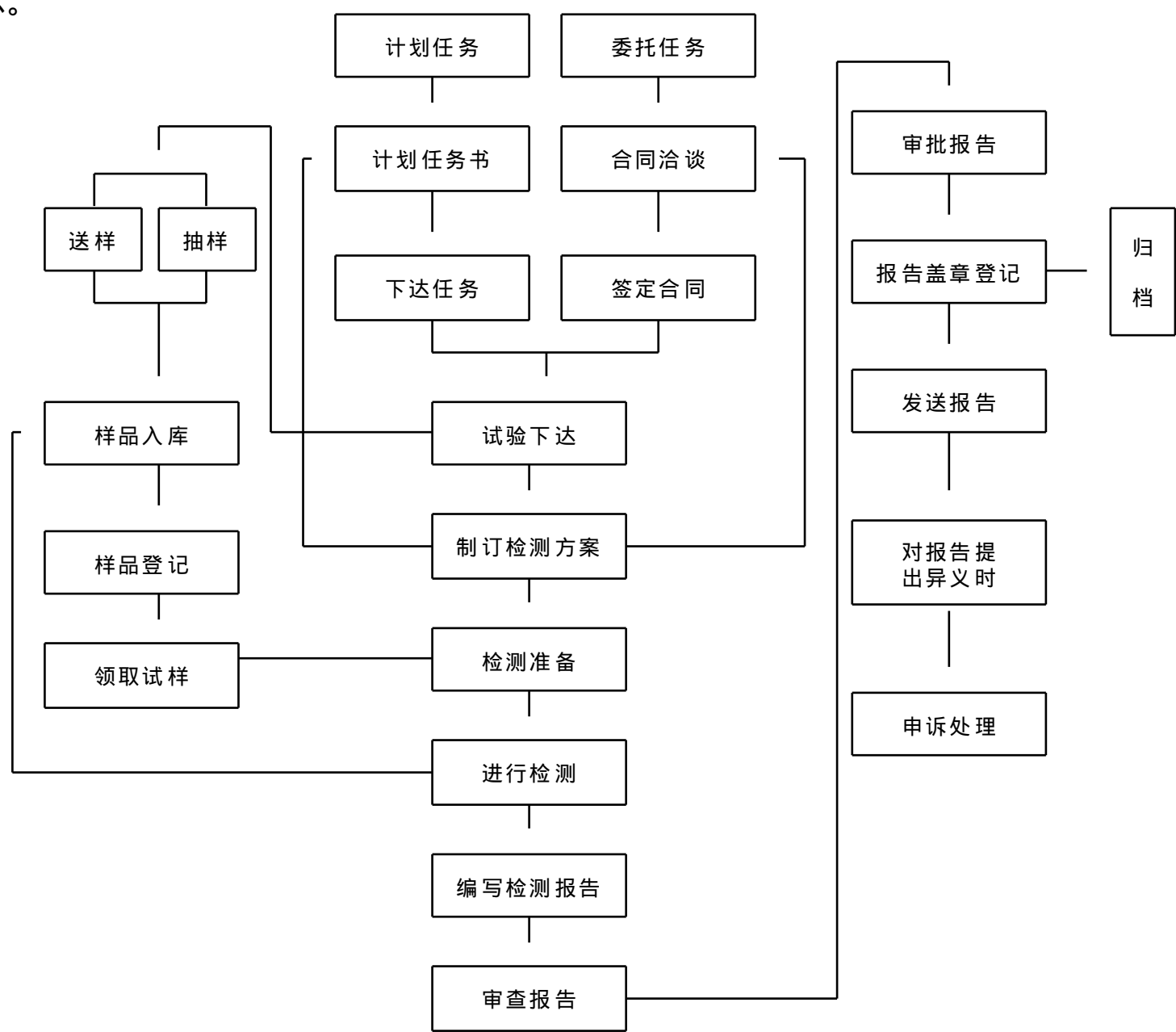


图 4-1 检测程序框图

## 第二节 检测工作质量控制

为了确保检测质量,为用户提供公证的检测结果,必须做好检测全过程的质量控制,并使检测结果不受行政的、经济的和其他方面利益的干扰。因此,应建立一套科学的质量保证

体系。一般来说,检测工作质量保证体系由三个方面组成:(1)检测过程质量保证;(2)仪器与检测环境保证;(3)质量事故处理。

一、检测过程质量保证

检测过程质量控制框图如图 4-2。

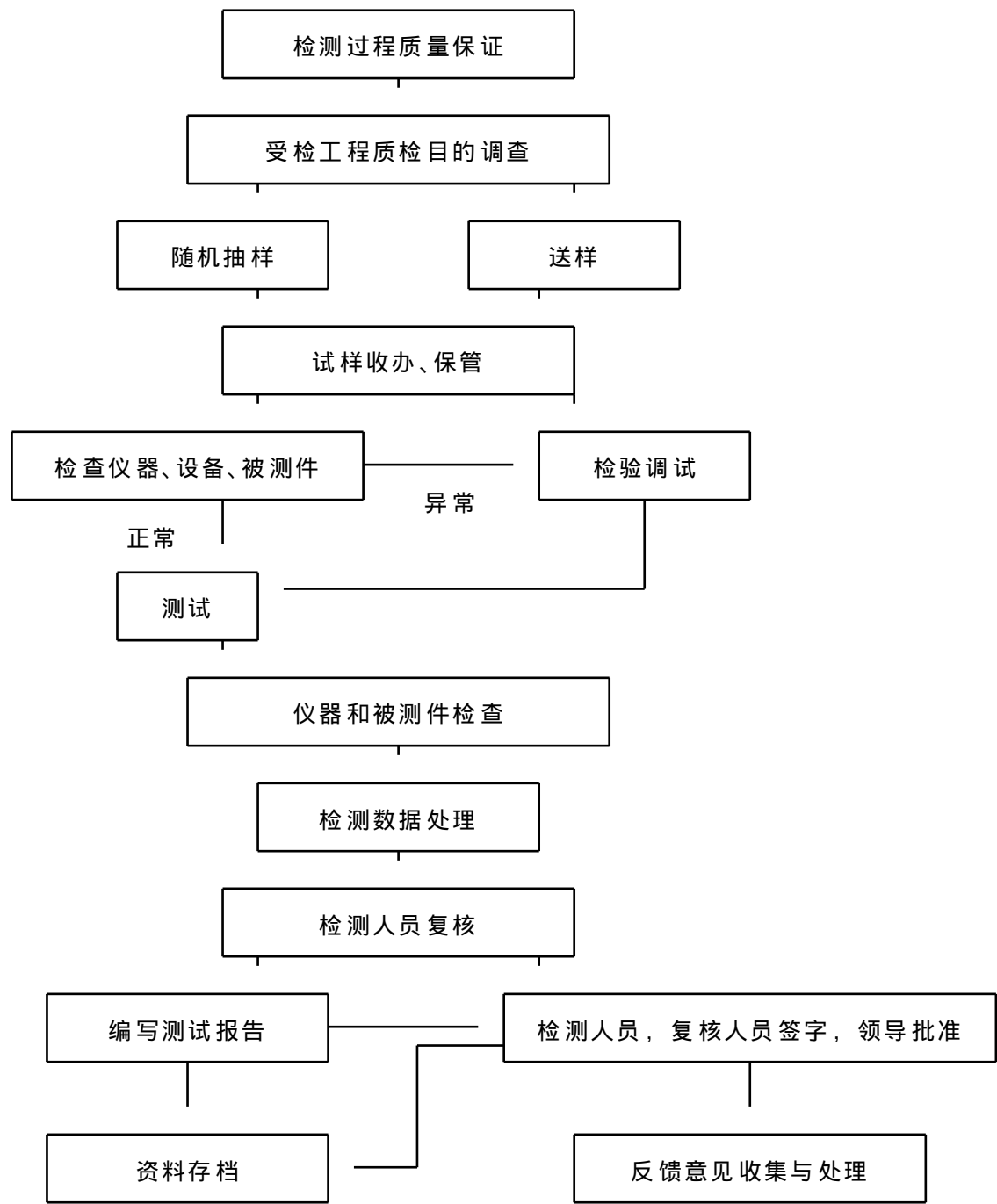


图 4-2 检测过程质量控制

为了达到质量要求,应从下面几方面加强控制。

1. 样品的抽取与管理

(1)样品的抽取

样品是母体的代表,样品质量直接反映母体的特性,抽取样品是工程质量检测的第一关,也是极其重要的一关。凡要求对整体工程、分项工程进行质量判断的检验项目,在接受委托检测任务时,应明确是由委托单位送样还是由检测单位取样,按交通部交基发〔(1997)〕803 号文中第十三条规定,应采取货证取样方式取样。

抽样方法是由检测人员赴现场进行随机抽样,特殊情况下可几方商议抽样。抽样人员不能少于 2 人,一人取样,一人核对。取样者和校对者要对样品质量负责。抽样人员还应负



责样品的运输和验收,填写取样表格。

抽取样品时,样品的数量、尺寸的确定应根据相应的标准、规范执行;当样品技术标准中没有规定样品数量、尺寸的,由委托单位自定或参考有关标准确定,或由主管方、生产方、质监方共同商议确定。

样品确定后,抽样人员应以规定的方式封存,并登记编号,注明工程名称、地点和日期。由样品所在部门以适当的方式运往检验部门。运输方式应不损坏样品的外观及性质。样品箱、样品桶、样品的包装也应满足这一要求。

## (2)样品的管理

检测单位应设样品室,由专人保管样品,并制订样品保管制度,从接收样品、登记编号、发送给有关检测人员到样品存放处理都应有明确的规定,并不得发生样品变质、损坏或丢失现象。

样品入库应由检测组负责人或专门人员检查,确认样品完好后办理交接手续,并对样品进行编号,送样品室由专人妥善保管。入库样品上应有明显的标志,确保不同单位生产的同类产品不致混淆,确保未检样品与已检样品不致混杂。样品保管的环境条件应符合该样品所需的保管要求,不致使样品变质、损坏、丧失或降低其功能。

检测部门凭“样品领取单”向样品保管员领取样品并登记。检测部门应妥善存放试验样品,保证样品不受损坏。有时间限制的样品应督促检测人员在有效期内进行检测,原状试样的工程性质在保存期内应不受扰动。

检测完毕后需要保存的样品在立即交保管人员登记,放入样品室保管;过期样品由保管人员负责处理,其他人员不得自行处理。

## 2 检测前的检查

检测工作必须根据规范、标准的要求进行,与检测项目相应的规范、标准必须配备齐全。检测人员应熟悉并掌握规范、标准规定的有关内容。对规范、标准规定内容不够详细或对某些检测项目在检测前还应编制检测方案或实施细则,作为检测的依据。

检测人员应对样品进行检查,确认其外观质量及工作状态,并在原始记录上记录、签字。发现不符合规定的样品应及时提出,暂停检测或重新取样。

检测人员应对检测环境条件进行检查(如温度、湿度、照度、振动、电源等),在原始记录上记录检查情况并签字。当发现环境条件不符合要求,对试验质量有影响时,应及时采取措施或暂停试验。

检测人员应对被测件的安装方式、位置、连接方式进行检查,并记录检查情况。

当进行不可重复的试验前,应有被检产品供样单位的代表对检测方法、检测仪器、检测条件进行检查,确认无误并签字认可后,才能开始试验,对此类检测不接受复测申诉。

## 3 检测过程的检查

检测工作应严格按产品技术标准中规定的检测方法或检测实施细则进行。

检测人员应经考核合格,持有检测上岗证。进行物理力学性能测试时,参加检测的人员短时间的一般不少于2人,长时间的要定点巡检和定时记录。

检测过程中出现首次测量超差、首次测量被测件损坏、重复检测数据散布太大、与预估数据差异较大等情况之一时,应停止检测工作并对被测件、检测仪器、设备的工作状态及安装状态,检测环境条件进行详细检查,并经质量保证负责人确认后,才允许开始检测。发生

的问题应记录备查。

因外界干扰(如停电、停水、停气等)而中断试验,凡影响试验质量的,试验工作必须重新开始,并将情况记录备查。否则要事先采取应急措施,以保证检测质量不受影响。

凡因检测仪器设备发生故障或损坏而中断试验者,可用相同等级的满足试验工作要求的代用仪器设备,重新进行检测;无代用仪器设备者,必须将损坏的仪器设备修复,经重新检定或检验合格后,才能开始试验。

凡因检测工作的失误或样品本身的原因造成在检测工作中样品损坏,无法得出完整的试验数据者,所有试验数据作废,重新取样进行第二次检测,检测报告以第二次检测数据为准。不允许将两次检测的数据拼凑检验报告。

检测过程中如发生检测仪器设备损坏事故、被测件毁坏事故及人身伤亡事故,应保持现场,并及时上报待妥善处理后再进行检测。

检测过程中出现的边缘数据,应重复测量三次。检测过程中数据传输应采用复诵法,也就是说,除数据设有自动记录者外,应由检测人员读数,记录人员复诵记录,以防止在数据传输过程中发生差错。

4 检测结束后的检查

检测结束后应对检测数据进行复核,确属无误,才允许对被测件作检测后的处理。同时,还应对检测的仪器设备的技术状态、被测件的状态、环境条件进行检查、确认在检测过程中有无不正常情况。并作好记录。

二、仪器与检测环境保证

仪器与检测环境是影响检测结果的重要因素之一,应列为重点控制内容,其质量保证框图见图 4-3。

1. 检测工作环境

检测实验室环境应符合所测参数的技术规范要求,并应满足下列要求:

- (1)温度、湿度等,应满足试验规程规范要求。
- (2)试验室噪音应 70dB(震动、击实试验室除外)。
- (3)供电系统应满足试验要求。

2 对仪器、设备的要求

为保证检测结果的可靠对检测仪器设备有如下要求:

- (1)有非线性段的仪器应避免在非线性段使用。
- (2)仪器设备的灵敏度应满足下式要求:

$$i < (1/10) T$$

式中: i —— 灵敏度;

T —— 被测参数允许误差。

- (3)测量仪器的准确度应与被测参数的允许误差相适应。计量仪器的检定误差:

$$U < [(1/3) \sim (1/10)] T$$

式中: U —— 检定误差。

此外,要加强仪器设备的管理,保证仪器设备完好。

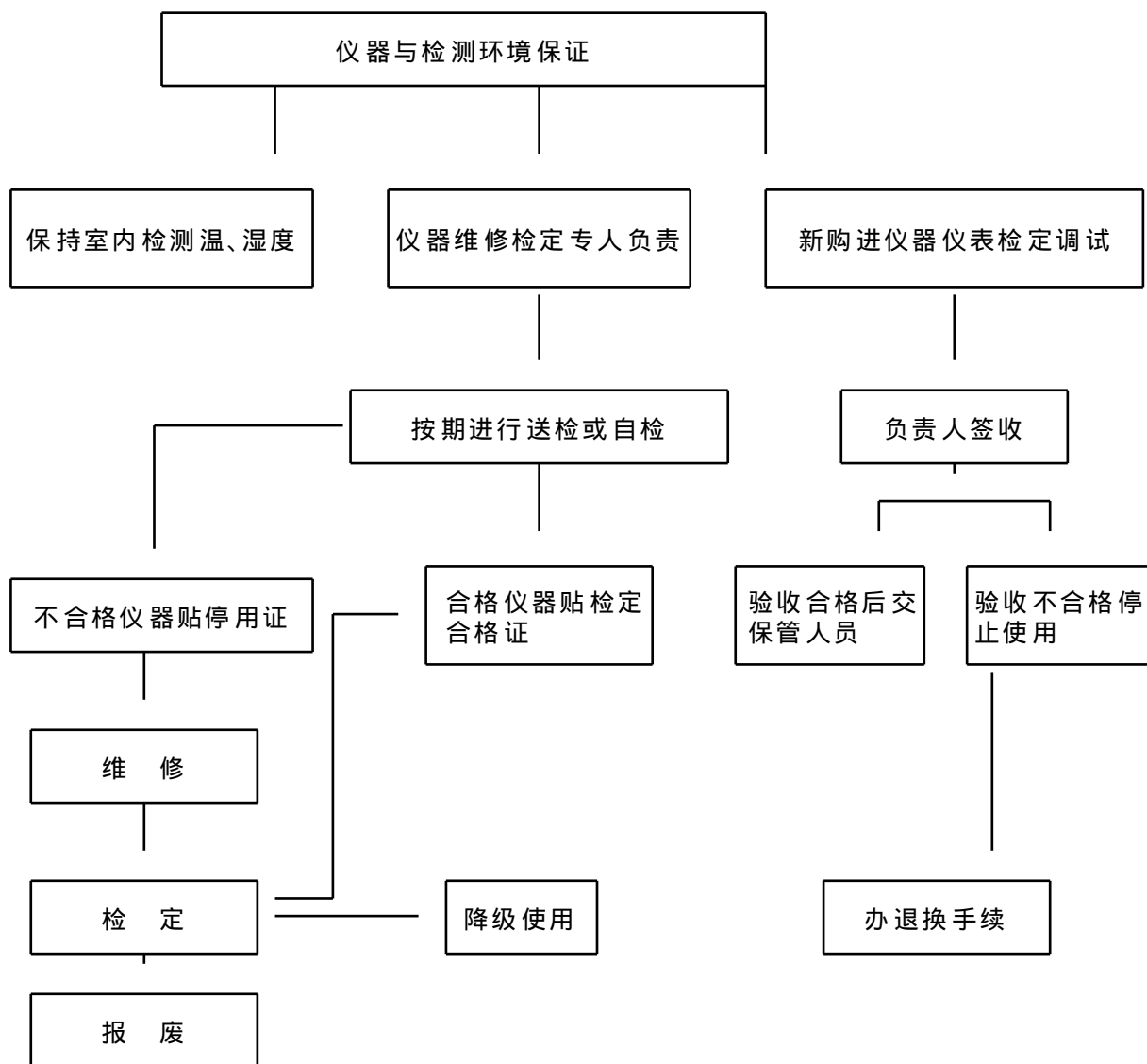


图 4-3 仪器与检测环境保证框图

### 三、质量事故处理

质量事故处理是做好检测质量控制必不可少的环节。图 4-4 为质量事故处理体系。

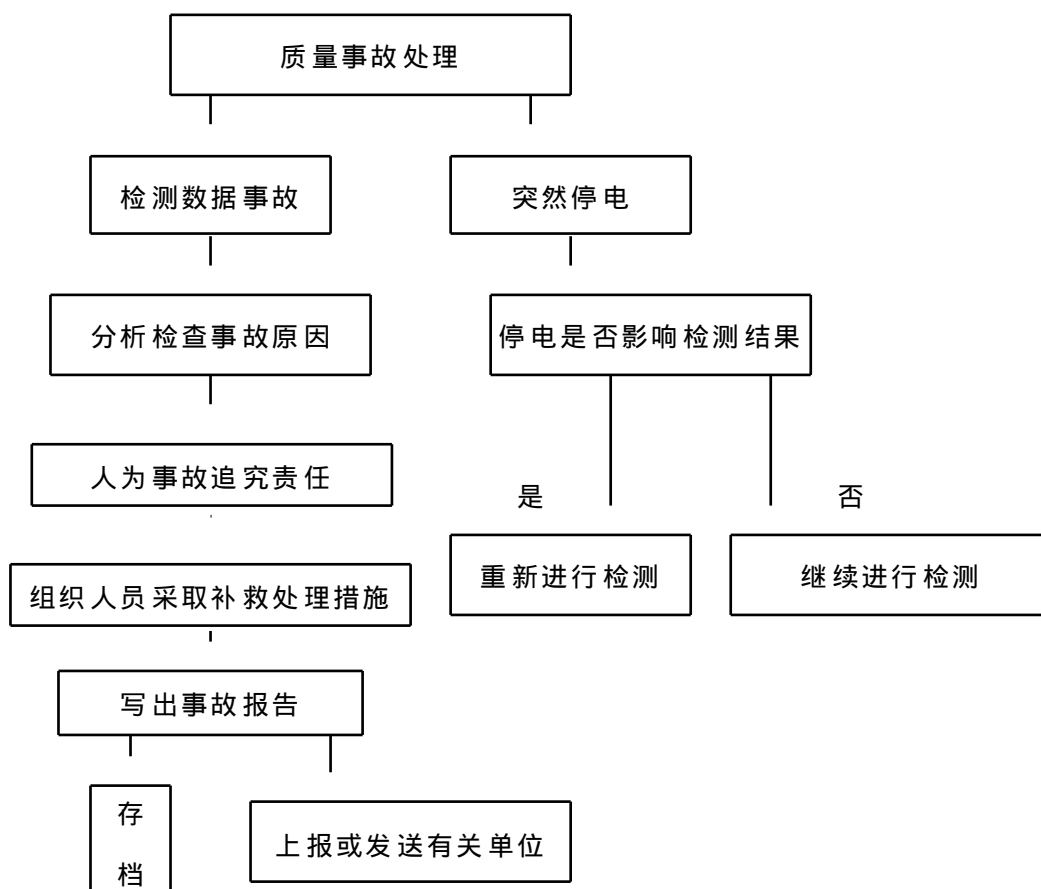


图 4-4 质量事故处理体系

### 第三节 现场检测质量控制

水运工程质量检测,除了在试验室内进行诸如原材料的一些测试外,有相当一部分检测工作,要在工程现场或施工现场进行。现场检测一般情况都较复杂,往往涉及对某项工程或构件的评价,事关重大,而且现场检测与室内检测,既有许多共同之处,也有其特殊性。

接受现场检测项目后,应由检测项目负责人根据合同要求认真编写检测实施方案,经质量负责人审核,技术负责人审批执行。

检测实施方案一般包括如下内容:

- (1)技术标准;
- (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)检测仪器、设备的名称、型号、量程、准确度、分辨力;
- (5)检测系统框图;
- (6)计量检测前后,对被测样品、计量检测仪器的检查项目;
- (7)对测量用仪器及工件的安装要求;
- (8)检测结果分析。

现场检测所用的仪器设备,在运往现场前,应由检测人员先在室内对仪器设备的状态进行认真检查,在各方面满足规定的要求后,才可运往现场使用。仪器设备在装卸及运输过程中,应根据仪器设备的不同要求,做好防震、防潮等措施,并正确选择运送工具,贵重的仪器设备应由专人押送或随身携带。仪器设备在现场安装后,应对仪器设备的状态进行全面检查高度调试,经检查确认正常后,方可进行检测。

检测人员应对现场的温度、湿度、噪声、震动、电源、电磁干扰、天气变化等情况进行考察,并判定对检测仪器设备检测数据有无影响,如有影响应采取措拖,排除环境的干扰,以确保检测数据的可靠。现场检测应选派有现场检测经验,具有较高技术水平的检测人员担任检测项目负责人。凡需聘请其他单位人员参加检测时,应考核其技术能力,检查其有无操作该项仪器设备的操作证。

现场检测工作质量控制也应执行第二节中的质量控制规定。

在建设工程的现场检测时,对破坏性的非复现测试,不允许出现粗大误差,宜采取对同一数据测二次方法,避免人为错误。

对建筑物(或构件)进行现场检测时,应根据相应的规范、标准或检测方案选好测点,并详细做好记录或绘好图。现场检测必要时应将检测情况拍照,或将主要过程录像,作为原始资料保存。现场检测时,当环境条件和仪器、设备影响原始数据的正确采集时,应停止检测,待环境条件、仪器设备正常后方可进行。

现场检测应认真做好检测人员的人身安全及仪器设备的安全工作,进入施工现场必须戴安全帽,水上检测必须穿救生衣,高空检测必须系安全带,并根据现场情况,做好相应的防护措施,以确保人身安全和仪器设备的安全。

应采取措施,确保被测样品在现场检测过程中不致损坏、调换或混淆。要做好检测数据、检测结果的保密工作。没有经过按规定的程序进行校核、整理、分析、批准的检测数据和

结果不准向外界扩散、泄露。

## 第四节 原始记录及数据处理

### 一、原始记录

原始记录是检测结果的如实记载(它包括数据、情况、图表及照片等),是评定工程质量的第一手资料和依据,也是一种证据。因此,不允许随意更改和删除原始记录。一般情况下也不允许外单位查阅原始记录。

原始记录可根据检测内容制订各自的统一的表格,其内容应包括:项目名称,试样测件,试验编号,检测内容,地点,检测的主要参数,试验数据,使用的仪器、设备名称和编号,检测前后仪器的状态,检测前后环境条件,检测前后样品的状态,检测人员,校核人员,检测日期等。

原始记录应用墨水笔填写,不得用铅笔或圆珠笔填写。内容要填写完整,应有检测人员和校核人员的签名。原始记录的填写要及时、如实,不能事前填写或事后“回忆”填写,决不允许“制造”数据。原始记录如需更改,更改率应小于5%,作废数据应划两条水平线,将正确数据填在上方,并加盖更改人印章。

原始记录的数据要进行可靠性分析,如有异议,应立即检查、核实或重检。现场检测至少要有两人参加,记录原始数据,互相核对,发现数据异常,立即查找分析原因,如问题得不到解决,应暂停检测,并报告质量负责人。

原始记录应由检测人员和校对人员签字,并且检测负责人保管,任何人无权更改,在检测报告发出的同时,将原始记录与报告同时归档保管,保存期不少于2年。

### 二、数据处理

应根据检测项目相应的标准、规范所规定的方法,对检测数值作统计分析,进行数据处理。根据检测项目(或参数)精确度的要求,正确确定检测数据的有效位数,按照数值修约规则对数值进行取、舍。如混凝土的抗压强度,规定其结果保留0.1MPa,即小数点后的第一位数应按数值修约的规则进行取、舍。整理后的数据应填入原始记录表的相应部位,并要采用法定计量单位。当确定某一数据为异常值后,先作技术上综合分析,确属检测仪器或检测工作原因时,可采用对比试验法重新加以更正或剔除。对数据进行处理有利于充分利用数据信息,以便在一定条件下得到最佳结果;有利于合理选择试验仪器、条件、方法来得到预期结果。

#### 1. 数据的有效位数

工程实验数据有两种,一种数是它们的每一位数都是确定的,例如2, ,e等,其有效位可认为是无限的。另一种数是用来表示测量值的,其末位往往由估计而来,具有一定误差或不确定性。在计量工作中,由于测量总含有误差,因此表示计量结果的数据的位数不宜太多也不宜太少,太多容易使人误认为测量精度很高,太少则会损失精度。

正常测量时,一般能估计到测量仪器最小刻度的1/10,故记录数据时,允许末一位数字是由估计得到的。例如,用最小刻度为毫米的尺量某长度24.51cm,其第4位1是估计的,

有效数字为 4 位。若写成 24. 510cm, 则错了, 因为这时有效位数是 5 位了。又例如, 水银温度计正停在 14 上时, 应记为 14.0 , 意即此时温度可能是 13.9 , 也可能是 14.1 , 也可能 14 , 若记为 14 , 意味着可能 13 , 也可能 15 。对于“ 0 ”, 在 20. 05 、1060H<sub>2</sub>O 柱中所有 0 均是有效数字; 但在 0. 0015m 中, 前 3 个 0 均非有效数字, 它的实际意义是 1.50mm, 三位有效数字; 在 15 × 10<sup>2</sup>kg 中有效数字为 2 位, 而在 1500kg 中, 有效数字为 4 位, 因此, 记录书写时要正确书写下有效数字的位数。

如果计量结果 L 的极限误差是某一位上的半个单位, 该位到 L 的左起第一个非零数字一共有 n 位, 则 L 就有 n 位有效数字, 或者说 L 的有效位数为 n。

例 1: 对房间长度的测量结果是 5.244 ± 0. 005m, 则这一测量结果有 3 位有效数字, 即 5.24m。

例 2: 对活塞面积测量结果是 0. 05014 ± 0. 00005cm<sup>2</sup>, 则有效位数是 3 位, 即 0. 0501cm<sup>2</sup>。

例 3: 对某一段公路长度测量的结果是 183000m 极限误差为 50m, 则有效位数为 4 位, 即 183.0km。

书写测量结果一定要去掉有效数字后的无效数字(运算过程可以多保留一至二位), 否则易引起误解。上述公路长度, 若写成 183000m, 则表示测量误差为 0.5m; 若写成 183km, 则表示测量极限误差为 0.5km, 即 500m, 这两种书写方法都不正确。对于极限误差为 50m, 正确的写法应为 180.0km 或 1.830 × 10<sup>5</sup>m。

在计量工作中, 若检定结果不带误差时, 则检定结果数字一般宜写为有效数字。然而, 由于计量工作须保证量值的准确一致和正确使用, 我们一般要求检定结果带上误差, 即说明该结果的误差大小。

带误差的计量结果一般误差保留一个数字, 而测量结果最后一位取至该保留误差数字同一量级。例如某活塞压力计有效面积极限误差  $\Delta A = 0. 000005\text{cm}^2$ , 检定的有效面积为 0.050145cm<sup>2</sup>, 则检定结果写为 0.050145 ± 0.000005cm<sup>2</sup>, 因为误差取了一个数字, 所以活塞的有效面积取至与极限误差相同的 0.000001 位。

在重要的测量结果中, 结果或误差或两者均可比上面所说的多取 1 ~ 2 位。

2 数字修约规则

当实验结果由于计算或其它原因位数较多时, 应采用下面的方法进行数字修约进行凑整。

(1) 记录测量值时, 要确定有效数字位数, 只允许末位为估计数字。

(2) 四舍五入、奇收偶弃法则。有效数字确定为 N 位, 则 N + 1 位后的数字大于 0.5 时, 末位进 1; 若舍去部分的数值小于所保留的末位的 0.5 时, 则末位不变; 若舍去部分的数值等于 0.5 时, 则使末位凑成偶数, 末位为奇数(1, 3, 5, 7) 进 1, 为偶数(0, 2, 4, 6, 8) 时舍去。

例如将下面左边的数修约成右边的数, 修约到小数点后第三位:

3.14159	3.142
2.71729	2.717
4.51050	4.510
5.6235	5.624
6.378501	6.379

7.691499

7.691

采用奇收偶弃的目的,不仅使末位成偶数便于计算,更主要的是使舍入误差为随机误差,而不造成系统误差,即使

$$\sum_{i=1}^n \text{舍入误差} = 0 \quad (n \text{ 为数据总数})$$

(3) 不允许连续修约。例如:若要求将 15.4546 修约成二位,正确的修约方式是 15.4546 15; 15.4546 15.455 15.46 15.5 16 的修约方式不正确。

(4) 界限数值不得修约。例如  $X \pm \frac{A}{B}$  表示  $(X - B) \sim (X + A)$  范围内均允许;小于  $(X - B)$ , 大于  $(X + A)$  均为不合格。具体来说,若界限数值为 16.5 ~ 17.5 mm, 出现 17.51 mm 时, 应判为超差不合格。但若出现 17.509 mm, 应视为 17.5 mm, 判为合格。

### 3 计算过程中计量数字位数的选择

(1) 加减运算中,有效数字以小数点位数最少的为准。在运算量大的计算中,为使误差不迅速积累,可多取一位有效数字。例如,  $60.4 + 2.02 + 0.222 + 0.0467$ , 应以 60.4 为准。其余各数均凑成小数点后 2 位相加。

$$60.4 + 2.02 + 0.22 + 0.0467 = 60.4 + 2.02 + 0.22 + 0.05 = 62.69$$

(2) 乘除计算中,有效数字以最少有效数字位数为准,其余各数均凑成比该因子多一个数字,而与小数点位置无关,计算结果应保留的位数与原来数字中有效数字最少的那个相同或多一位。例如:  $603.21 \times 0.32 \div 4.011$ , 应以 0.32 为准,其余各数均凑成三位有效数字。

$$603.21 \times 0.32 \div 4.011 = 603 \times 0.32 \div 4.01 = 48.1$$

又例如: 150.6 mm, 151.12 mm, 150.623 mm 相乘,其中有效数字最少的是四位,所以演算时应保留五位,按下式相乘,得

$$150.6 \times 151.12 \times 150.62 = 3427911.177 (\text{mm}^3)$$

计算结果保留四位有效数字,应取  $3.428 \times 10^6 \text{ mm}^3$  或  $3428 \text{ cm}^3$ 。

(3) 平均值计算。若有 4 个或多于 4 个数取平均,则平均数的有效位数可增加 1 位。

(4) 常数、e、2 等的有效数字位数,需要几位就取几位。

(5) 将数平方或开方后,结果可比原数多保留一位或相同。

(6) 同时需作几种运算时,对需要作中间计算的数字所保留的位数,应比单一运算时应保留的位数多一位。

(7) 如果用计算器或计算机,则运算过程中不需要凑整,但是运算结果必须按数据处理的原则正确书写。

## 第五节 检测报告

检测报告是检测的最终成果,是整个检测工作质量优劣的集中反映,因此,必须保证其内在的和外观的质量,严格履行审核、审批手续。

### 一、检测报告的格式

检测报告采用统一的封面格式。检测报告应由检测人员按规定的格式填写完整,不允许随意更改,不准用铅笔或圆珠笔填写。填写时要求文字简洁、字迹清楚、数据准确、结论正确、签名齐全。全部检测数据均应用法定计量单位。

## 二、检测报告的内容

检测报告的内容可根据具体的检测项目内容和要求进行编写,一般应包括以下各项:

1. 产品检验机构的名称;
2. 检验报告的总顺序号,每页编号和总页数;
3. 被测产品名称、规格、单位、取样日期、编号等;
4. 检验报告题目;
5. 样品描述,接收样本日期、试验日期等;
6. 检测工作依据产品的标准、规范、技术条件等;
7. 检测用主要仪器、设备;
8. 检验结论性意见;
9. 各类人员审签;
10. 申诉期及印制份数等。

## 三、检验报告的审批

检测报告由检测项目负责人核对,核对内容包括报告的内在质量和外观质量,核对中发现错误,应由原填写人重新填写,核对人不得自行更改,经核对后的报告由技术负责人签署意见、审批签发,加盖检测单位的公章,并注明印刷份数。技术负责人在审批报告前,也可以根据不同情况,请专业检测室(组)的负责人或有关专家对报告进行审查。各级人员检测、审核、批准、签发的检验报告,必须由本人签字,不得复印、代签。在特殊情况下(如出差不在岗)发出的正式报告可以用仿宋字代签,但存档稿必须本人亲笔签认以示负责。

## 四、检验报告的发送和更改

检测报告经审批、盖公章后,登记发送。报告发送的单位、份数应根据合同条款或与用户的约定发送,不得随意扩大发送范围。严禁将检验(测)报告发往无关单位和个人。未经批准不得随意复印或多加份数。

当发现已发送的检测报告有错误或补充内容时,应由检测项目负责人写出书面报告,说明原报告的问题及修改或补充内容意见,按原报告的审查程序办理。重新发一份报告代替原报告,注明所代替的检验报告的编号,并将原检验报告如数收回。收回的检验报告应办理登记手续,新老对应归档。

当用户对检测执行报告有异议时,可在有效期内提出,检测单位应对提出的异议按申诉处理制度规定的程序进行处理。



# 第五章 试验检测中的概率统计与回归分析

## 第一节 概率统计基础

### 一、随机事件、频率和概率

#### 1. 随机事件

概率论的研究对象是随机现象的规律性,这种现象在一次试验中它可能发生也可能不发生,因此要研究它的规律性就必须做大量试验,在多次试验中就显示出随机现象的某种规律性——统计规律性。试验可以在相同的条件下重复地进行,每次试验的可能结果不止一个,并在事先能明确所有出现的结果,但在试验之前不能确定哪一个结果会出现,满足这些条件的试验被称为随机试验。

在随机试验中,对一次试验可能出现也可能不出现,而在多次重复试验中却具有某种规律性的事情,我们称它为该随机试验的随机事件,简称事件。随机事件是概率论的研究对象,常以  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、……表示。

对于在每次试验中都发生的事件,称为必然事件,而在每次试验中都不发生的事件,称之为不可能事件,分别用  $U$  和  $V$  表示。

例 5-1 在投掷一颗匀称骰子的试验中,考察朝上一面的点数,可能的结果可以是:

- $A_1 = \{\text{朝上的一面为 1 点}\},$   
 $A_2 = \{\text{朝上的一面为 2 点}\},$   
.....  
.....  
 $A_6 = \{\text{朝上的一面为 6 点}\},$
- $C = \{\text{朝上的一面为奇数}\},$   
 $D = \{\text{朝上的一面为偶数}\},$   
或  
 $E = \{\text{朝上一面的点数为 3 或 5}\}$   
 $F = \{\text{朝上一面的点数为 2 或 4 或 6}\}$   
 $G = \{\text{朝上一面的点数大于 1 且小于 5}\}。$

显然上面列举的种种可能结果都是随机事件。它们的共同特点是在给定条件下,可能发生,也可能不发生。

下面再研究一下上述试验中的两种特殊结果。

- (1)“朝上一面的点数小于 7”,这样的结果就是必然事件,在试验中一定会发生。
- (2)“朝上一面的点数等于 7”在题设条件下是不会发生的,这样的结果为不可能事件。

必然事件、不可能事件同属确定性范畴,都不是随机事件。为了便于讨论,通常把它们作为随机事件的极端情形予以统一处理。

#### 2 频率与概率

在介绍频率之前,首先让我们看一看什么是频数。将质量特性数据当作一个随机变量,用  $x$  表示,这批数据就是变量  $x$  的一个变异数列。 $x_i$  表示任一变数, $x_i$  在数列中出现的次数,就称为频数。

在  $n$  次试验中,事件  $A$  出现  $n_A$  次,则称值  $n_A/n$  为事件  $A$  在这次试验中出现的频率,记以  $f_n(A)$ ,即

$$f_n(A) = n_A/n$$

$n_A$  就是频数。

实践证明,当试验次数逐渐增大时,频率  $f_n(A)$  在某一定值  $P$  附近摆动。这一性质称为频率的稳定性。摆动中心  $P$  值的大小就是衡量事件  $A$  出现可能性大小的量。

由于频率的稳定性,因此可把频率的摆动中心  $P$  作为事件  $A$  的概率  $P(A)$  的值。这种方法定义的概率称为统计概率。

根据事件  $A$  发生的不同情况,其概率的性质如下:

(1)由于频率总是介于 0 和 1 之间,故随机事件  $A$  的概率也总是介于 0 与 1 之间:

$$0 < P(A) < 1$$

(2)必然事件的概率  $P(U) = 1$

(3)不可能事件的概率  $P(V) = 0$

(4)若事件  $A$  发生,事件  $B$  一定不发生,反之,事件  $B$  发生,事件  $A$  一定不发生,即  $A$ 、 $B$  两事件不同时发生,称  $A$  与  $B$  不相容,亦称为互斥事件。对于互斥事件  $A$  与  $B$ ,它们和的概率等于  $A$ 、 $B$  两事件概率的和。即

$$P(A + B) = P(A) + P(B) \tag{5-1}$$

例 5-2 某批混凝土预制件蜂窝麻面的概率为 0.45%,空洞和露筋的概率为 1.5%,其它为合格品,求不合格品概率。

解:设蜂窝麻面概率为  $P(A)$ ;空洞和露筋概率为  $P(B)$ ,蜂窝麻面与空洞和露筋是互斥事件,于是有:

$$P(A + B) = P(A) + P(B) = 0.45\% + 1.5\% = 1.95\%$$

(5)若事件  $A$  的发生不影响  $B$  的发生,则称事件  $A$  与  $B$  互相独立。

对于两个独立事件  $A$  与  $B$  之和的概率(同时发生的概率),等于  $A$ 、 $B$  单独发生的概率之积。即:

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B) \tag{5-2}$$

例 5-3 设有 10 件同类产品,其中不合格品 3 件,从这 10 件产品中连抽两次,每次抽 1 件,抽后放回,两次都是不合格品的概率。

解:以  $A$  代表第一次抽得的不合格品,以  $B$  代第二次抽得的不合格品。

$$P(A) = \frac{3}{10}$$

由于第一次抽后放回,第二次抽样时与第一次情况一样。

$$P(B) = \frac{3}{10}$$

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B) = \frac{3}{10} \times \frac{3}{10} = \frac{9}{100}$$

(6)如果某一事件的概率接近零,则这个事件在大量重复试验中出现的频率很小,这种事件称为“小概率事件”。“小概率事件”在一次试验中发生的可能性很小,所以通常认为,在一次试验中“小概率事件”几乎是不会发生的。

## 二、随机变量及其分布

### 1. 随机变量

定义:在随机试验的各种可能结果的全体中,如果每一个可能的试验结果,都有一个实数和这一试验结果相对应,则称这个实数为随机变量,记为  $X$ 。

例如:有一批混凝土预制块共 1000 件,其中有 10 件是不合格品,从中任意取 2 件,结果有  $X$  件不合格品。

显然,  $X$  是不能预先知道的,要等试验完成后才能知道,但是  $X$  的取值必定是 0 件,1 件,2 件,这三个结果中的一个。这里

$X = 0$ , 没有不合格品  
 $X = 1$ , 有一件不合格品  
 $X = 2$ , 有二件不合格品

而且  $X$  取值 0, 1 或 2 也有确定的概率。象  $X$  这种能表示随机现象各种结果的变量就是随机变量。

按照随机变量所取数值的分布情况不同,可分为离散型随机变量和连续型随机变量。如果随机变量  $X$  取值  $x_1, x_2, \dots$  可一一地列举出来,则称为离散型随机变量。如果  $X$  的取值是连续的,则称为连续型随机变量。

### 2 随机变量的分布

下面讨论几种具有代表性的随机变量的分布形式。

#### (1) 正态分布

正态分布在概率论和数理统计中起着非常重要的作用。大量经验表示,许多随机变量(测量值、误差)的分布服从正态分布,此外,还有很大一类近似服从正态分布。

正态分布函数为:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot dt \quad (5-3)$$

其中  $\mu$  和  $(\sigma > 0)$  是常数。因正态分布含有二个参数  $\mu$  和  $\sigma$ , 所以通常记为  $N(\mu, \sigma^2)$ 。从(5-3)式可得密度函数

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (-\infty < x < +\infty) \quad (5-4)$$

式(5-4)所表示的分布,称为正态分布。

式中:  $f(x)$ ——概率密度函数(简称密度函数),

$\pi$ ——圆周率, 3.14159...,

$e$ ——自然对数的底, 2.71828...,

$\mu$ ——总体平均值,

$\sigma$ ——总体标准差。

正态分布函数  $F(x)$  的图形见图 5-2, 分布密度函数  $f(x)$  的图形见图 5-1。

从图 5-1 和图 5-2 以及简单计算可知,  $f(x)$  和  $F(x)$  有下列性质:

$f(x)$  和  $F(x)$  处处大于零, 且具有各阶连续的导数。

$f(x)$  在  $(-\infty, \mu)$  中严格上升, 在  $x = \mu$  处达到最大值  $1/(\sigma\sqrt{2\pi})$ , 且其大小只取决于标准差  $\sigma$ 。标准差越大, 观测值落在  $\mu$  附近的概率越小, 意味着测定精度差, 观测值也越分散;

标准差越小,观测值落在  $\mu$  附近的概率越大,表示观测的精度好,观测值越集中;在  $(\mu, +\infty)$  严格下降;在  $x = \mu$  处有极值点;横坐标轴是它在  $x \rightarrow \pm\infty$  时的渐近线。

图 5 -1 正态分布密度函数曲线

图 5-2 正态分布的累积分布函数

$$\begin{aligned} f(x) \text{ 关于 } x = \mu \text{ 对称,即 } f(\mu + x) &= f(\mu - x) 。 \\ F(\mu - x) &= 1 - F(\mu + x) 。 \\ \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx &= 1 \end{aligned}$$

当  $\mu = 0, \sigma = 1$  时,称为标准正态分布,记为  $N(0, 1)$  其分布函数用  $F(x)$  表示,密度函数用  $f(x)$  表示,即有

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \tag{5-5}$$

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt \tag{5-6}$$

$f(x)$ 和  $F(x)$ 已制成表格,参见附表 1。标准正态分布表的左起竖向第一行为  $x$  值的前两位数,横向第一行为  $x$  值的后一位数,表中值为小于某一  $x$  值的曲线与  $x$  轴之间图形的面积。

一般地,若随机变量  $X$  服从正态分布  $N(\mu, \sigma^2)$ ,用(5-3)式表示的分布函数可通过变量替换,将  $F(x)$  化为如(5-5)式的标准形式,然后查附表 1,就可求得  $F(x)$  的值。具体的方法是:

$$\text{令 } t = \frac{(x - \mu)}{\sigma} \text{ 得 } dt = \frac{1}{\sigma} dx$$

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{(x-\mu)}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = F\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \tag{5-7}$$

于是

$$\begin{aligned} P(x_1 < X < x_2) &= F(x_2) - F(x_1) \\ &= F\left(\frac{x_2 - \mu}{\sigma}\right) - F\left(\frac{x_1 - \mu}{\sigma}\right) \end{aligned} \tag{5-8}$$

下面举例说明正态分布概率的计算。

例 5 -4 设  $Z$  服从  $Z \sim N(\mu, \sigma^2)$ ,求  $P(\mu - \sigma < Z < \mu + \sigma)$ ,  $P(\mu - 2\sigma < Z < \mu + 2\sigma)$ , 以及  $P(\mu - 3\sigma < Z < \mu + 3\sigma)$ 。

解: 作变换, 设

$$u = \frac{Z - \mu}{\sigma}$$

此时相应于  $Z_1 = \mu - \sigma$  和  $Z_2 = \mu + \sigma$  的  $u$  值为

$$u_1 = \frac{(\mu - \sigma) - \mu}{\sigma} = -1$$

$$z = \frac{(u + ) - u}{\sigma} = 1$$

则 服从  $N(0, 1)$  的标准正态分布, 即  $(u - \sigma, u + \sigma)$  的起止点变为  $(-1, 1)$ 。于是有

$$\begin{aligned} P(u - \sigma < Z < u + \sigma) &= P(-1 < z < 1) \\ &= \Phi(1) - \Phi(-1) \\ &= 2\Phi(1) - 1 \\ &= 2 \times 0.8413 = 0.6826 \end{aligned}$$

同理:

$$\begin{aligned} P(u - 2\sigma < Z < u + 2\sigma) &= P(-2 < z < 2) \\ &= 2\Phi(2) - 1 \\ &= 0.9544 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(u - 3\sigma < Z < u + 3\sigma) &= P(-3 < z < 3) \\ &= 2\Phi(3) - 1 \\ &= 0.9973 \end{aligned}$$

上例说明, 任何服从正态分布的随机变量, 68.3% 的取值与平均值  $u$  的距离小于  $\sigma$ ; 95.4% 的取值与平均值  $u$  的距离小于  $2\sigma$ ; 99.7% 的取值与平均值  $u$  的距离小于  $3\sigma$ 。另外也说明, 随机变量 取值与平均值  $u$  的距离超过  $3\sigma$  的可能性仅有 0.3%, 几乎是不可能的。

## (2) 均匀分布

在区间  $(a, b)$  上均匀分布的连续随机变量  $x$ , 其概率密度函数为

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & (a \leq x \leq b) \\ 0 & x < a \text{ 或 } x > b \end{cases} \quad (5-9)$$

取常数为  $1/(b-a)$  的意思是使整个分布密度曲线下的面积为 1。

它的分布函数  $F(x)$  就是  $f(x)$  的积分:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(y) dy = \begin{cases} 0, & \text{当 } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{cases} \quad (5-10)$$

均匀分布的图形见图 5-3。

## (3) 二项分布

如果在相同条件下作  $n$  次重复独立试验, 出现事件  $A$  的概率为  $P$ ; 出现非  $A$  事件的概率为  $q = 1 - P$ ; 在  $n$  次试验中事件  $A$  出现的次数  $k$  是一个随机变量, 它服从二项分布:

$$\begin{aligned} P(k) &= C_n^k P^k (1-P)^{(n-k)} \\ (k &= 0, 1, 2, \dots) \end{aligned} \quad (5-11)$$

(5-11) 式中  $C_n^k$  表示从  $n$  中抽取  $k$  个的不同组合。

图 5-3 均匀分布

$$C_n^k = \frac{n!}{k! (n-k)!}$$

产品质量检验中,由于一批产品中有合格品和不合格品,若从这批产品中连续抽  $n$  件,每次抽取时都是从这批产品中任意抽取的,又设每次抽取都是独立的(当每次抽的样品在下一次抽取前放回原批产品中),则  $n$  件中恰好有  $k$  件为合格品的概率服从二项分布。当随机抽取容量为  $n$  的样本时,  $n$  中不合格品个数为  $X$  的概率为  $P_X$ :

$$P_X = \frac{n!}{X!(n-X)!} P^X (1-P)^{n-X} \tag{5-12}$$

式中  $X!$  为  $X(X-1)(X-2)\dots2\times1$ 。上式在批量  $n$  无限大时才成立,但当  $n$  充分大时也可认为服从二项分布。

例 5-5 有一批混凝土预制件,已知每 6 件中有 1 件不合格品,若从该批产品中任取 5 件,问 0,1,2,3,4,或 5 件是不合格品的概率各是多少?

解:可按二项分布解之,其中  $n=6, k=0,1,2,\dots,5$ 。已知不合格品出现的概率为  $1/6$ ;不合格品不出现的概率为  $5/6$ 。

由公式(5-11)可得

$$P(X=0) = C_5^0 \cdot \left(\frac{1}{6}\right)^0 \cdot \left(\frac{5}{6}\right)^{(5-0)} = 0.402$$

$$\begin{aligned} \text{同理 } P(X=1) &= 0.402, & P(X=2) &= 0.161 \\ P(X=3) &= 0.032, & P(X=4) &= 0.003 \\ P(X=5) &= 0.0006 \end{aligned}$$

(4)泊松分布

在二项分布中,  $X$  可取  $0,1,2,\dots,n$ 。若出现事件  $A$  的概率  $P$  不是常数,而是  $P = \lambda/n$ ,其中  $\lambda$  为大于零的常数,则随机变量  $X$  的分布规律为:

$$P(X=K) = \frac{\lambda^K \cdot e^{-\lambda}}{K!} \quad (K=0,1,2,\dots) \tag{5-13}$$

其中  $\lambda > 0$  是常数,  $e=2.71828\dots$  是自然对数的底,则称  $X$  服从参数  $\lambda$  的泊松分布。

在实用时,只要  $n \geq 10, P \leq 0.1$ ,即可令  $\lambda = nP$ ,于是二项分布可近似为泊松分布。泊松分布的数值有表可查见附表 2。

例 5-6 在一大批混凝土预制块中,不合格品占 0.005,从中抽 800 块。问在抽取的预制块中,不合格品恰巧被抽中 10 块的概率是多少?

解:因为  $n=800$  很大,  $P=0.005$  很小,  $nP=800 \times 0.005=4$

$$\text{所以 } P(X=10) = \frac{4^{10} \cdot e^{-4}}{10!} = 0.005292$$

(5)超几何分布

设有一批产品  $N$  件,不合格品  $M$  件,合格品  $N-M$  件,现从中任取  $n$  件,  $n \leq N-M$ ,则取出  $n$  件产品中不合格品数  $x$  的分布服从超几何分布。

$$P_{X=k} = \frac{C_M^k \cdot C_{N-M}^{n-k}}{C_N^n} \tag{5-14}$$

当  $N$  很大,不合格品率  $P = \frac{M}{N}$  一定时,超几何分布近似于二项分布。

三、统计基础

1. 总体、个体与样本

在数理统计中,我们把研究对象的全体称为总体;而把组成总体的每个单元称为个体,不论是总体还是个体,均是指研究对象的某一个指标。

任何一个总体,都可以用一个随机变量来代表它。例如就一批钢筋的强度这个总体来说,具有各种强度值的钢筋的比例数是按一定规律分布的,即任抽一根钢筋其强度为某种可能值是有一定概率的。也就是说整批钢筋强度是一个随机变量。因此,以后凡是提到总体就是指一个随机变量,提到随机变量就是指一个总体,说总体的概率分布就是指随机变量的概率分布。为方便起见,以后常用大写字母  $X, Y, Z$  等表示总体。

从一个总体  $X$  中,随机地抽取  $n$  个个体  $X_1, X_2, \dots, X_n$  (例如在总体 10000 根钢筋中抽取 50 根),这样取得的  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  称为总体  $X$  的一个样本,样本中个体的数目  $n$  称为样本容量。由于每个  $X_i (i=1, 2, \dots, n)$  是从总体  $X$  中随机取出的,它的所有可能取值就在总体可能取值范围中随机取得,所以每个  $X_i$  都是一个随机变量,而样本  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  则是一个  $n$  维随机变量。一次抽取的结果是  $n$  个具体的数据  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$ ,称为样本  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  的一个观察值,简称样本值。两次不同抽取得到的样本值(两个样本的  $n$  个数据)一般是不相同的。

## 2. 样本的数字特征

若  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  是一组子样,则样本均值的期望与方差可按下述方法计算。

### (1) 样本均值

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (5-15)$$

样本均值的数学期望就是总体的数学期望。

### (2) 样本方差

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (5-16)$$

且  $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ , 即样本均值的方差  $S^2$  不等于总体的方差  $\sigma^2$ , 而是其  $1/n$  倍。

### (3) 极差

极差是样本中最大值与最小值之差。

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (5-17)$$

它也可反映数据的离散程度。

### (4) 标准差

当  $n$  较大, 称有偏标准差, 用  $S_1$  表示

$$S_1 = \left[ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right] / n \quad (5-18)$$

当  $n$  较小时, 称无偏标准差, 用  $S_2$  表示

$$S_2 = \left[ \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right] / (n - 1) \quad (5-19)$$

## 3. 参数估计

所谓参数估计, 就是根据样本的一些指标来估计总体的数字特征(如总体均值  $\mu$ , 总体方差  $\sigma^2$ )。用来作为估计依据的样本指标(如样本平均值  $\bar{X}$  和样本方差  $S^2$ ) 被称为估计量。被估计的总体特征数称之为总体参数。

估计量是一个随机变量, 有许多可能数值, 而抽出一个具体样本只能得到这个估计量的一

个可能值,因此不能期望它一定等于所估计的总体参数,也就是说,我们所要选择的估计量应该以被估计的总体参数为其平均值。如果一个估计量的数学期望恰好等于被估计的总体参数,那么这个估计量就叫做无偏估计量。样本平均值就是总体均值的一个无偏估计量。

虽然用样本平均值作为估计量是一致无偏估计量。但是样本平均值与总体均值相差多大?或者说当求得样本的均值  $\bar{X}$ ,总体的均值  $\mu$  究竟在距离  $\bar{X}$  的一个什么范围之内?这就是下面要研究的区间估计问题。

根据估计量(样本指标)的分布规律,按照一定要求,先确定出两个数值  $U_1$  和  $U_2$ ,使总体指标  $U$  包括在区间 $[ U_1, U_2]$ 内的概率

$$P( U_1 \leq U \leq U_2 ) = 1 - \alpha \tag{5-20}$$

叫做区间估计。区间 $[ U_1, U_2]$ 叫做置信区间, $1 - \alpha$  叫做置信系数(置信概率),  $\alpha$  叫做置信度。

(1)平均值的双边置信区间

总体方差( $\sigma^2$ )已知,总体均值  $\mu$  的置信区间为:

$$\bar{X} \pm Z_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{5-21}$$

总体方差未知,总体均值  $\mu$  的置信区间为(见图 5-4(a)):

$$\bar{X} \pm t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \tag{5-22}$$

置信区间并不是必须对称,也可以是一个不对称区间。实际工作中,有时需要的是平均值大于某一界限或小于某一界限的概率,或在规定概率下,平均值不小于或不大于某个值的界限。即单边置信区间的估计问题。

(2)平均值的单边置信区间

已知总体方差  $\sigma^2$ ,总体均值的单边置信区间为(见图 5-4(b)):

$$\text{单侧下限: } \mu > \bar{X} - Z_{1-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{5-23}$$

$$\text{单侧上限: } \mu < \bar{X} + Z_{1-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{5-24}$$

公式(5-27)表示的置信区间是 $[ \bar{X} - Z_{1-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, +\infty )$ ;公式(5-28)表示的置信区间是 $( -\infty, \bar{X} + Z_{1-\alpha} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} ]$ 。

总体方差未知,总体均值的置信区间为 (见图 5-4(c)):

$$\text{单侧下限: } \mu > \bar{X} - t_{1-\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}} \tag{5-25}$$

$$\text{单侧上限: } \mu < \bar{X} + t_{1-\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}} \tag{5-26}$$

图 5-4 平均值的置信区间



侧为上置信界限。上

述计算式中,  $n$  为样本容量,  $\alpha$  为置信度表示区间估计的不可靠概率, 如  $\alpha = 0.01$ , 是说估计量在置信区间内平均 100 次有 1 次会产生错误。  $Z_{1-\alpha}$  或  $Z_{1-\alpha/2}$  的值决定于  $\alpha$ , 可由  $(1-\alpha)$  和  $(1-\alpha/2)$  查标准正态分布表(附表 1)查得; 为了计算方便, 已将不同  $n$  时的  $Z_{1-\alpha/2}/\sqrt{n}$  值列在附表 3 中。

$t$  和  $t_{\alpha/2}$  是与  $n$  和  $\alpha$  有关的系数, 可由  $t$  分布表(附表 4)查得。附表 4 中  $f$  为自由度, 这里  $f = n - 1$ 。

例 5-7 某段石灰粉煤灰砂砾基层, 在施工过程中共检查压实度 14 点。压实度的平均值  $k = 95.2\%$ , 标准差  $S = 2.1\%$ 。求置信度  $\alpha = 0.05$  时的置信区间。

解: 置信概率  $1 - \alpha = 95\%$

依题意, 本例属于方差未知情况。

双边置信区间:

以  $f = n - 1 = 13$  查附表 4( $t$  分布表)得  $t_{0.025} = 2.160$

$$t_{0.025} \frac{S}{\sqrt{n}} = 2.160 \times 2.1\% = 4.53\%$$

因此  $95.2\% - 4.53\% < \mu < 95.2\% + 4.53\%$   
 $90.67\% < \mu < 99.73\%$

单边置信区间:

以  $f = n - 1 = 13$  查附表 4 得  $t_{0.05} = 1.771$

$$t_{0.05} \frac{S}{\sqrt{n}} = 1.771 \times 2.1\% = 3.72\%$$

因此  $\mu < 95.2\% + 3.72\%$   
 $\mu < 98.92\%$

以及  $\mu > 95.2\% - 3.72\%$   
 $\mu > 91.48\%$

两者所得结果很近。

究竟采用双边置信区间还是单边置信区间, 应由具体问题的特征值的控制要求来确定。

例 5-8 某混凝土搅拌站生产供应 C20 的商品混凝土。长期实践知道混凝土抗压强度服从正态分布。某月上旬随机抽取 10 个样本, 并测得其抗压强度为(以 MPa)为单位:

26.0 25.3 24.1 24.8 30.1 21.6 20.7 23.4 15.4 24.4

问: (1) 如从长期统计资料知道该站的混凝土强度标准差较稳定地控制在  $\sigma = 3.0$  MPa, 求置信度  $\alpha = 0.10$  时的置信区间。

(2) 如无长期统计资料, 总体方差未知, 求置信度  $\alpha = 0.10$  时的置信区间。

解: (1)  $\bar{X} = \frac{1}{10} \times (26.0 + 25.3 + 24.1 + 24.8 + 30.1 + 21.6 + 20.7 + 23.4 + 15.4 + 24.4) = 23.6$  MPa

总体方差已知, 双边置信区间, 因为  $\alpha = 0.10$  查附表 3 得:

$$Z_{0.95}/\sqrt{n} = 1.645/\sqrt{10} = 0.52$$
$$Z_{0.95} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 1.645 \times 3.0/\sqrt{10} = 1.56$$

因此上月产品的总体平均强度的置信区间为

$$23.6 - 1.56 < \mu < 23.6 + 1.56$$

即： $22.0 < \mu < 25.2$   
(2) 方差未知,按(5-20)计算 S:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} = 3.8 \text{ MPa}$$

双边置信区间:以  $f = n - 1 = 9$  查附表 4 得  $t_{0.05} = 1.833$

$$t_{0.05} \frac{S}{\sqrt{n}} = 0.580 \times 3.8 = 2.2$$

因此上旬产品的总体平均强度的置信区间为:

$$23.6 - 2.2 < \mu < 23.6 + 2.2$$

即  $21.4 < \mu < 25.8$

比较本例(1)和(2)的结果可以看出:在相同的显著水平下,对总体平均强度的区间估计,当 已知时较窄;当 未知,用 S 作估计时较宽。

## 第二节 常用的数理统计工具

### 一、调 查 表

在进行统计工作时,首先要收集数据,收集来的数据要规范化、表格化。统计分析用的调查表,是利用统计表对数据进行整理和初步分析原因的一种工具。

采用调查表收集数据,首先要明确其目的是什么?调查表的格式可针对不同的需要而设定。在设计调查表时,应注意便于记录,把文字记录尽可能列入表中。常用的格式有:

- 1 不合格项目分类统计的调查表。如混凝土施工可按配比、拌和、运输、浇筑、振捣逐一统计;也可统计不合格的频率及百分比,并可分析产生不合格的原因。
- 2 工序质量特性分布统计分析调查表。如对填方工程施工的碾压参数分别给予统计分析,找出产生问题的主要原因。
- 3 调查缺陷位置的统计分析调查表。表 5-1 为调查表的一个例子。

道路工程基层填筑质量调查表 表 5-1

编号	调查项目	允许误差	检查 10 点处的结果							不合格 点数
			1	2	3	4	5	6	7	
1	压实度( % )	> 97	97.5	98.1	93.5	97.1	99.1	98.5	97.4	1
2	平整度( mm )	< 10	8	3	5	6	8	11	9	1
3	厚度( cm )	27 ~ 33	29	32	31	30	33	29	32	0
4	强度( MPa )	> 2.5	2.6	2.7	2.9	3.0	2.4	3.2	3.1	1

### 二、分 层 法

分层法是将所收集的数据按照数据来源、性质、使用目的和要求,分门别类地加以归纳分析,然后再用其它统计方法将分类后的数据加工成图表。

分层法是数据分析的一项基础工作。分层的好坏直接影响后期的分析结果。当分层分得不好时,就会使数据的规律性被掩盖,甚至造成假象。例如,作直方图分层不好时,就会出现双

峰型和平顶型;排列图分层不好时,矩形高度差不多,无法分清因素的主次;散点图分层不好时,就不能判断出相关关系。如图 5-5 所示,从总体上看,好象不存在相关关系,但如果将 A、B 两因素区别开来,则 A 因素与 Y 呈正相关趋势, B 因素则出现负相关关系。因此,分层是分析处理质量问题成败的关键。在分析工程质量时,常按下述方法进行分类。

1. 按工程组成部分分类  
可分为疏浚工程、整治工程、渠化工程、排水工程、通信导航工程,其他人工构筑物工程、附属设施安装工程等。

2 按施工检查项目分类  
这种分类可在按组成部分分类的基础上细分。  
(1)在疏浚工程中,有设计通航水域内的水深、宽度、超欠挖等;  
(2)在渠化通航建筑物工程中,有基础开挖、墙后回填、混凝土工程或砖石砌筑、钢结构及金属构件制作安装工程等;  
(3)在港口工程中,有基槽开挖、码头建筑、起重运输设备安装、陆域回填、港区道路、仓库堆场等。

3 按施工时间分类  
港、航工程施工属野外作业,施工质量常受季节和时间的影 响,因此,做好施工记录,载明各种施工项目的不同施工时间,对分析质量问题很重要。故施工记录应注明项目、工序的施工年、月、日、昼夜等,以便分别进行统计,从累计资料中找出质量的规律。

4 按施工时期或施工班组分类  
港航工程施工常以工程项目配置施工队伍或以班、组承建某一工程项目。在进行统计分析时,可按不同的施工工艺和操作方法分类,或按工人的技术等级、性别、年龄分类,或按料场、材质分类,或按检测手段、质量事故分类。

图 5-5 分层法示意图

三、因 果 图

因果图又称“特性要因图”,也有人根据其图形形如鱼骨状或树枝状,称其为“鱼骨图”或“树枝图”。这是一种逐步深入研究和讨论质量问题的图示方法。它把对质量问题(即观测结果)有影响的一些重要因素加以分析和分类,依照这些原因的大小次序在同一张图上分别用主干、大枝和小枝图形表示出来,即为因果图。有了因果图就可以对因果作出明确而系统的整理,从而可一目了然地系统地观察出产生质量问题的原因,有利于研究解决的办法。

在进行因果分析过程中,对那些认为比较重要的因素,要用特殊记号标注说明,然后根据查找出来的问题,从大到小,通过研究,绘制对策表。针对查找出的影响质量的因素,制定对策,落实解决的办法。现以混凝土强度不足为例,用因果图表示出来,如图 5-6 所示。

四、排 列 图

排列图也称巴雷特图,简称巴氏图。巴氏图是找出影响质量的主要因素的一种有效工具。巴氏图由两个纵坐标,一个横坐标,几个矩形和一条曲线组成。左边的纵坐标表示频数,即表示各种影响质量因素发生或出现的次数;右边的纵坐标表示频率,亦即各因素占诸因素的比率(以百分比表示)。横坐标表示影响质量的各种因素,按其影响程度的大小从左到右依次排列。

图 5-6 某工程混凝土质量不合格的因果分析图

每个影响因素都用一个矩形表示,矩形的高度表示影响程度的大小。再根据各种影响因素的频率作累计频率曲线,这条曲线称为巴雷特曲线。通常将各影响因素累计频率分为三个区:

- A 区:累计频率在 0 % ~ 80 % 范围,此区域内因素为主要因素;
- B 区:累计频率在 80 % ~ 90 % 范围,此区域内因素为一般因素;
- C 区:累计频率在 90 % ~ 100 % 范围,此区域内因素为次要因素。

质量工作应重视抓 A 类主要因素,以提高产品质量。

下面举例说明:

例 5 -9 某砌砖工程,根据《建筑安装工程质量检验评定标准》规定的有关检查项目进行检查测试,现已把收集的数据按不合格数据的大小顺序排列于下表。试绘制排列图并分析主要因素。

解:(1)将调查的数据进行分类并计算频数、频率和累计频率,如表 5 -2。

(2)作出按大小排列的直方图和巴氏曲线。

(3)观测排列图。从图 5 -7 中可以看出,门窗洞口不合格频数约占总数的 55.4 % 。要提高砌砖工程的合格率,要着重抓门窗洞口的合格率,其次是抓墙垂直度的合格率。

不合格项目调查汇总表					表 5 -2
项 次	实 测 项 目	允 许 误 差 m m	不 合 格 频 数	频 率 %	累 积 频 率 %
1	门窗洞口	+ 10 - 5	36	55.38	55.38
2	墙面垂直	5	20	30.77	86.15
	墙面平整	5	7	10.77	96.92
	十皮砖厚度	8	2	3.08	100
合 计			65	100	

五、直 方 图

直方图是通过对数据的加工处理,从而分析和掌握质量数据的分布和估算工序不合格品

率的一种方法。直方图有频数直方图和频率直方图两种,其中以频数直方图使用较多。样本数据频数直方图,是指将样本观测值  $X_1, X_2, \dots, X_n$  进行适当的分组,然后计算每一组中数据的个数(频数)。以样本取值范围为横坐标,以频数为纵坐标,将按样本序列划分的组及其频数的柱状图连续画在图中而得。

1. 直方图的作图方法

作直方图有三大步骤:作频数(或频率)分布表,画直方图,进行有关计算。下面以实例说明直方图的作图方法和有关的计算。

图 5-7 砌砖工程不合格项目排列图

例 5-10 某沥青混凝土拌和场,连续拌和 100 天,每天抽取一次油石比,将其记录列于表 5-3,设计油石比 6.0%,施工允许偏差  $\pm 0.5\%$ ,作频数分布直方图,并计算有关特性值。

表 5-3

顺 序	油 石 比 数 据 ( % )										
1	6.12	6.35	5.84	5.90	5.95	6.14	6.05	6.03	5.81	5.86	
2	5.78	6.22	5.94	5.80	5.90	5.86	5.99	6.16	6.18	5.79	
3	5.67	5.64	5.88	5.71	5.82	5.94	5.91	5.84	5.68	5.91	
4	6.03	6.00	5.95	5.96	5.88	5.74	6.06	5.81	5.76	5.82	
5	5.89	5.88	5.64	6.00	6.12	6.07	6.25	5.74	6.16	5.66	
6	5.58	5.73	5.81	5.57	5.93	5.96	6.04	6.09	6.01	6.04	
7	6.11	5.82	6.26	5.54	6.26	6.01	5.98	5.85	6.06	6.01	
8	5.86	5.88	5.97	5.99	5.84	6.03	5.91	5.95	5.82	5.88	
9	5.85	6.32	5.92	5.98	5.90	5.94	6.00	6.20	6.14	6.07	
10	6.08	5.86	5.96	5.53	6.24	6.19	6.21	6.43	6.05	5.97	

解: (1) 收集数据。一般应不少于 50 ~ 100 个数据,本例为 100 个。

(2) 分析和整理数据。找全体数据中的最大值和最小值。本例

最大值

$X_{\max} = 6.43$

最小值

$X_{\min} = 5.53$

极差

$R = X_{\max} - X_{\min} = 0.9$

(3) 确定组数和组距。分组通常按组距相等原则进行。组数 k 和组距 h 与极差有一定的关系。其表达式为:  $h = R / (k - 1)$

由于通常所取的数据总是有限的,且具有随机性,所以组数 k 的大小会影响频数图的分布,应合理选择 k 值,以便所作出的直方图尽量符合总体特性分布形状。根据经验 k 值的变化范围如表 5-4:

组 数 表 k

表 5-4

数 据 个 数	50 以 内	50 ~ 100	100 ~ 250	250 以上
分 组 数	5 ~ 7	6 ~ 11	7 ~ 15	10 ~ 30

本例取  $k = 11$ , 组距  $h = 0.9 / 10 = 0.09$ 。

(4)确定组界。为避免数据恰好落在组界上,组界值的数据要比原数据的精度高一位。计算第一组的上、下限时,以整批数据中的最小值  $X_{min}$  为第一组的组中值,上、下界限值分别为:

第一组下限:  $X_{min} - h/2 = 5.485$

第一组上限:  $X_{min} + h/2 = 5.575$

第二组的下限等于第一组的上限,第二组的上限则等于第二组的下限加上组距  $h$  值,同时它又是第三组的下限,余此类推,见频数分布表 5-5。

(5)编制频数分布统计表(表 5-5)。

频数分布统计表				表 5-5			
序 号	分 组 区 间	频 数	频 率	序 号	分 组 区 间	频 数	频 率
1	5.485 ~ 5.575	3	0.03	7	6.025 ~ 6.115	14	0.14
2	5.575 ~ 5.665	4	0.04	8	6.115 ~ 6.205	9	0.09
3	5.665 ~ 5.755	6	0.06	9	6.205 ~ 6.295	6	0.06
4	5.755 ~ 5.845	14	0.14	10	6.295 ~ 6.385	2	0.02
5	5.845 ~ 5.935	21	0.21	11	6.385 ~ 6.475	1	0.01
6	5.935 ~ 6.026	20	0.20	合计		1.0	

(6)画频数分布直方图,如图 5-8 所示。显然在直方图中,如果产品数量不断增加,分组越来越细,直方图就转化为一条光滑的曲线,这在数理统计上叫做频率曲线。

2 判断质量分布状态

作完频数直方图后,可以从图形判断工程质量是否正常。直方图从分布类型上可以分为正常型和异常型。正常型,中间高,两边低,左右对称,呈正态分布。异常型直方图有以下几种类型:

(1)孤岛型 直方图两边出现孤立的小岛,如图 5-9 所示。在工序中有异常原因,如材料发生变化,测试有误差等,就会造成上述的分布,应查明原因,采取措施。

(2)双峰型 直方图中出现两个峰,见图 5-10。这主要是数据来自两个不同分布的总体,此时应加以分层。

(3)折齿型 直方图出现凹凸不平的形状,如图 5-11 所示。这主要是数据分组太多,测试仪器误差过大等造成,此时应重新收集和整理数据。

(4)陡壁型 直方图向一边倾斜,如图 5-12 所示。这是由收集数据不正常所至。

(5)偏态型 当受上、下限的限制时,多发生偏态型。下限受限制时,多发生左偏,上限受限制时,多发生右偏,如图 5-13 所示。

(6)平顶型 直方图没有突出的顶峰,呈平顶型,如图 5-14 所示。这可能是数据来源于多个不同分布的总体;也可能是质量特性在某区间中均匀变化。

图 5-8 频数分布直方图

图 5-9 孤岛型

图 5-10 双峰型

图 5-11 锯齿型

图 5-12 陡壁型

图 5-13 偏态型

3 考察工序能力

考察工序能力指数,可了解工序能力是否满足要求,可以正确决定工程产品质量指标的公差界限,可以实事求是地反映工序实际的加工能力,用数据反映操作者努力程度,有利于提高工程质量。

工序能力指数是指工序处于稳定状态下的实际生产合格产品的能力,是公差标准范围(或施工允许偏差)与该工序施工精度的比值。在一般情况下(即公差中心与分布中心重合时),用字母  $C_p$  表示:

图 5-14 平顶型

$$C_p = T / 6 S$$

(5-27)

式中：S——标准差。

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

T——公差标准范围。

本例  $S = 0.180\%$  , 公差标准范围  $5.6\% \sim 6.5\%$  ,即  $T_L = 5.5\%$  ,  $T_u = 6.5\%$   $T = T_u - T_L = 1.0\%$

$$C_p = 1 / (6 \times 0.180) = 0.926$$

1

按表 5-6, 本例工序能力不够,应进行改进。

表 5-6

$C_p$ 值	工 序 能 力 判 断
$C_p > 1.33$	工序能力满足要求,但 $C_p$ 值越是大于 1.33,说明工序能力还有潜力
$C_p = 1.33$	理想状态
$1 < C_p < 1.33$	较理想状态,但 $C_p$ 值接近或等于 1 时,则有可能出现不合格,应加强管理
$0.67 \leq C_p < 1$	工序能力不够,应采取改进作业方法或进行全数检查等措施



$C_p < 0.67$	工序能力非常不足
--------------	----------

当分布中心偏离标准公差中心时(图 5 -15 所示)  $C_p$  值须进行修正。

$$C_p = K C_p$$

$$K = 1 - \frac{|M - \bar{X}|}{T/2} \tag{5-28}$$

式中：K ——修正系数；

M ——标准公差范围的中心值， $M = \frac{T}{2} + T_L$ ，本例  $M = (0.5 + 5.5) \% = 6.0 \%$ ；

$\bar{X}$  ——实际标准质量分布范围的中心值；

本例分布中心与公差中心有绝对偏移量， $C_p$  应修正。

$$C_p = K C_p = 0.83 < 1$$

更说明本例施工工序能力不足。

#### 4 估算可能出现的次品率

首先明确工程标准质量要求(包括标准的计量单位和上下界限值)；根据平均值  $\bar{X}$  和标准偏差 S；计算不合格率 P。

图 5-15 分布中心与公差中心偏离

$$P = P_u + P_L \tag{5-29}$$

式中： $P_u$  ——超出上限(上界限  $T_u$ )的不合格率；

$P_L$  ——超出下限(下界限  $T_L$ )的不合格率。

$P_u$  及  $P_L$  由相应系数  $K_u$  及  $K_L$  在正态分布概率系数表(附表)查得。 $K_u$  和  $K_L$  分别用下式求得：

$$K_u = |T_u - \bar{X}| / S$$

$$K_L = |T_L - \bar{X}| / S \tag{5-30}$$

例5-11 对例 5-9 中的数据,确定标准质量要求的油石比为 6.00 % ,允许上下波动 0.5 % ,求不合格率。

解：  $\bar{X} = 5.948 \% , \quad S = 0.18 \%$

$$T_u = 6.50 \% \qquad T_L = 5.50 \%$$

$$K_u = |T_u - \bar{X}| / S = |6.50 - 5.948| / 0.180 = 3.07$$

$$K_L = |T_L - \bar{X}| / S = |5.50 - 5.948| / 0.18 = 2.49$$

查正态分布表，当  $K_L = 2.49$  时  $P_L = 1 - (2.49) = 0.0064$   
 $K_u = 3.07$  时  $P_u = 1 - (3.07) = 0.0011$

$P = 0.0011 + 0.0064 = 0.0075$ ，即 0.75 %。  
 也就是可以认为全部合格。

### 六、控 制 图

控制图又叫管理图,是一种动态控制方法,它可以用于辨别某过程由于异常原因引起的变

化及由于偶然原因引起的变化。

控制图是建立在数理统计学的基础上,其种类很多,可用于测试的计量和计数的指标中,以便判断过程的稳定性,确定何时需要调整,使过程保持相应的状态。下面主要介绍平均值与极差控制图( $\bar{X}-R$  控制图)。

1. 控制图的基本原理

只要产品总体分布始终不变,则生产过程基本处于稳定状态。要了解总体分布状态可抽取总体中的部分样品进行测试,以试样性质来代表总体性质,并根据有关理论来判断总体的状态。如果总体的分布服从正态分布,根据概率中心极限定理,当试样大小足够大时(每组试样  $n > 2 \sim 3$ ),其平均值趋于正态分布。由此,可通过调查试样平均值的分布来判断总体的分布。同理,如果总体的分布服从正态分布,以  $R$  表示总体中抽取每组数据大小为  $n$  的试样的极差,根据极差分布的理论可知,当试样足够大时(每组试样  $n > 2 \sim 3$ ),极差  $R$  的分布也趋于正态分布。产品特征值  $x$  落在区间  $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$  范围内的概率为 99.7%。将正态分布图旋转 90°,画成的图为质量分布控制图。

由正态分布知,质量特征值落在区间  $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$  范围之外的概率为 0.0027;落在区间  $(\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma)$  范围之外的概率为 0.0455。显然,这两种情况都是小概率事件。而小概率事件在一次试验中,是几乎不可能发生的。如果在生产过程中出现了小概率事件,表明一般不应出现的事件出现了,我们就有理由怀疑生产过程不正常,从而需要采取必要的措施。

2 控制图的作法

图 5-16 控制图原理示意图

根据抽样数据的来源可分为两种情况考虑:一是如果生产条件与过去基本相同,且生产又相当稳定,则可遵照已往经验数据来确定中心线和上、下控制界限;二是如无可靠的经验数据,可以在近期生产过程中抽取试样,测定质量特征数据,再按如下步骤进行。

(1)选取数据。对能与今后生产工序状态基本一致的生产过程(如原材料、工艺方法、取样方法、所用设备等均应相同或接近),抽取试样测定质量特征数据,从中选取一定数量的数据,一般为 50 ~ 100 个。

(2)数据分组。分组时应注意对从技术上可认为是大致相同的条件下所收集的特征数据应分在同一组内,同一组中不应包括不同性质的数据。这样是为了保证组内仅存在偶然因素的影响,否则,会使组与组之间的散差加大,不能反映数据的本来面目。

分组数目为 20 ~ 25 组,每组 2 ~ 6 个数据为宜,即  $n = 2 \sim 6$ 。

(3)填写数据表。计算每组的平均值  $\bar{X}_{(i)}$  和极差,以及试样的平均值  $\bar{X}$  和试样平均极差  $R$ 。

数据表中一般应记录工程项目、施工单位、质量特性、计量单位、标准界限或允许误差、取样时间、部位及个数、施工设备等。填写数据时,应尽可能把数据来源记载清楚,这对分析研究控制图,寻找非偶然因素的异常原因是十分重要的原始资料。

(4)计算控制界限

$\bar{X}$  控制图的中心线和上下控制界限线,按 3  $\sigma$  方式可得如下算式:

中线

$CL = \bar{X}$

上线

$UCL = \bar{X} + A_2 R$

下线

$LCL = \bar{X} - A_2 R$

(5-31)

式中：  $A_2$  可查表 5-6。

R 控制图的中心线和上下控制界限线,按 3 方式有如下算式：

中线

$CL = \bar{R}$

上线

$UCL = D_4 R$

下线

$LCL = D_3 R$

(5-32)

式中：  $D_4$ 、 $D_3$  为随样本大小而变的系数,可由表 5-7 查得,当  $n \leq 6$  时,  $D_3$  值小于零,但 R 不可能为负,这时 LCL 不存在,故表中对  $n \leq 6$  时的  $D_3$  值未列出。

系数  $A_2$ 、 $D_4$ 、 $D_3$ 表 表 5-7

样本大小 n	$A_2$	$D_4$	$D_3$	样本大小 n	$A_2$	$D_4$	$D_3$
2	1.86	3.27	—	7	0.42	1.92	0.08
3	1.02	2.57	—	8	0.37	1.86	0.14
4	0.73	2.28	—	9	0.34	1.82	0.18
5	0.58	2.11	—	10	0.31	1.78	0.22
6	0.48	2.00	—				

(5)作控制图和描点。在坐标纸上按适当比例分格,以实线画中心线 CL,以虚线画上、下控制线 UCL 和 LCL。然后按每组数据的  $X_i$  和  $R_i$  打点描图,一般的点子用“·”标记,用细线逐点相连。如果某点落在控制线外,可用“0”注明。

3 控制图的应用

控制图可用来判断生产过程是否正常,是否处于稳定状态。其判别标准可归纳为两条：

- (1)控制图上的点子不超过控制界限；
- (2)控制图上的点子的排列没有缺陷。

具体使用以上原则时可按下述条件判断生产状态。

(1)生产过程稳定状态的条件

- 连续 25 点以上处于控制界限内；
- 连续 35 点只有一个点超出了控制界限；
- 连续 100 点中只有两个点超出控制界限；

其中,恰好落在控制界限线上的点,应视为超出界限。

(2)生产过程不稳定状态。

点子分布不符合以上 3 个条件的生产过程,视为非稳定状态。此外,尽管点子都分布在控制界限以内,排列出现某种异常现象时,应考虑生产过程为“异常”。

(3)异常现象

点子连续地偏于中线一边,即所谓的“链”。

连续 5 点偏于中线之上或之下,应注意工序的发展状况;连续 6 点偏于中线之上或之下,应开始进行原因调查;连续 7 点偏于中线之上或之下,属异常之例,要进行处理,以上情况如图 5-17 所示。

多次同侧。

连续 11 点中有 10 点在同一侧;连续 14 点中至少有 12 点在同一侧;连续 17 点中至少有 14 点在同一侧;连续 20 点中至少有 16 点出现在同一侧;这些均属于不正常之例。如图 5-18 所示。

图 5-17 链

7 个点连续上升或连续下降时,属异常情况,应判定生产工序有异常因素,需要立即采取措施。如图 5-19 所示。

周期性变动。点的排列显现出周期性时,即使点子均在控制界限内,也要认定生产工序有异常因素。如图 5-20 所示。

接近。当连续 3 点中有 2 点或连续 4 点中有 3 点接

图 5-18 多次同侧

图 5-19 连续上升(下降)趋势

图 5-20 周期性变动

近控制界限线,或点子集中在中心线部分,称为接近,也是一种异常现象,如图 5-21 所示。

图 5-21 接近中心线和控制界限

为了对生产中的工序质量进行控制,需要事先设计一个标准的控制图,以便及时将取得

的数据在控制图上打点。据此对控制图进行分析,判断质量状态,及时对异常因素采取措施。

标准控制图绘制步骤如下:

在生产过程较稳定时,先抽取 25 个(组)以上的样本;

按公式求出上下控制界限;

画控制图,并按数据顺序在控制图上打点;

如果遇有个别点恰在或超出控制界限,则应将该点剔除,然后重新计算控制界限,重新绘制控制图和打点,直到所有点均落在上下控制界限之内为止。

在使用标准控制图时,生产条件必须与该标准控制图取得数据的条件相同,否则所得结果不正确。

4 应用举例

例 5-12 某预制混凝土构件厂生产混凝土板所用的混凝土标号为 C30 号。每天抽样制作 3 组试件作为一批,现将测得的混凝土标准养护 28 天强度数据列于表 5-8,试绘制其  $\bar{X}$  - R 管理图。

解: (1)按表 5-8 中所给数据,计算混凝土强度每一批的样本均值。其结果列在表 5-8 中。本例第一批样本均值为

混凝土强度数据表					表 5-8	
月、日	批号 i	测定值的组平均值			批平均值 $\bar{X}_{(i)}$	批内极差 $R_{(i)}$
		$X_1$	$X_2$	$X_3$		
5 月 3 日	1	34. 5	36. 5	38. 7	36. 6	4. 2
4	2	38. 5	41. 9	43. 5	41. 3	5. 0
5	3	38. 9	39. 6	43. 7	40. 7	4. 8
6	4	36. 5	37. 5	38. 4	37. 5	1. 9
7	5	35. 6	37. 7	47. 7	40. 3	12. 1
8	6	36. 6	38. 7	39. 8	38. 4	3. 2
9	7	39. 0	39. 2	43. 7	40. 6	4. 7
10	8	33. 6	37. 8	40. 1	37. 2	6. 5
11	9	32. 7	37. 2	41. 4	37. 1	8. 7
12	10	36. 0	37. 2	41. 7	38. 3	5. 7
13	11	36. 5	40. 5	40. 8	39. 3	4. 3
14	12	42. 9	43. 8	46. 8	44. 5	3. 9
15	13	35. 4	36. 9	39. 3	37. 2	3. 9
16	14	39. 9	39. 9	44. 3	41. 4	4. 4
17	15	40. 8	42. 3	42. 3	41. 8	1. 5
18	16	42. 0	43. 8	44. 1	43. 3	2. 1
19	17	40. 2	41. 9	42. 9	41. 7	2. 7
20	18	35. 3	38. 1	40. 2	37. 9	4. 9
21	19	38. 4	38. 7	41. 7	39. 6	3. 3
22	20	42. 6	43. 5	48. 6	44. 9	6. 0
23	21	37. 8	39. 4	43. 5	40. 2	5. 7
24	22	36. 9	38. 4	42. 8	39. 4	5. 9
总计					879. 2	105. 4

平均					$\bar{X} = 40.0$	$\bar{R} = 4.8$
----	--	--	--	--	------------------	-----------------

$$\bar{X} = \frac{1}{3} \times (34.5 + 36.6 + 38.7) = 36.6 \text{ N/ mm}^2$$

(2)计算每一批强度的极差,并列于表 5 -8 中。

(3)确定控制界限

根据  $n = 3$  (此处  $n$  为每批的个数),查表得  $A_2 = 1.02$ ,  $D_4 = 2.57$ ,  $D_3$  无数字,表明  $R$  控制图无下控制界线。

于是  $\bar{X}$  管理目的界限:

中心线

$$CL = \bar{X} = \frac{1}{K_{i=1}^{22}} X_{(i)} = 40.0 \text{ N/ mm}^2$$

上控制线

$$UCL = \bar{X} + A_2 R$$

$$= 40.0 + 1.02 \times 4.8 = 44.9 \text{ N/ mm}^2$$

下控制线

$$LCL = 40.0 - 1.02 \times 4.8 = 35.1 \text{ N/ mm}^2$$

$R$  管理图的控制线:

$$CL = \bar{R} = \frac{1}{K_{i=1}^{22}} R_{(i)} = 4.8 \text{ N/ mm}^2$$

上控制线

$$UCL = D_4 \bar{R} = 2.57 \times 4.8 = 12.3 \text{ N/ mm}^2$$

(4)准备适当的方格纸,横坐标标记批的序号(日期),纵坐标标记  $\bar{X}_{(i)}$  及  $R_{(i)}$ 。在  $\bar{X} - \bar{R}$  控制图上画出  $\bar{X} - \bar{R}$  控制图的上、下控制线。

(5)把求得的  $\bar{X}_{(i)}$  和  $R_{(i)}$  点在准备好的  $\bar{X} - \bar{R}$  控制图上,观察这批数据,看这若干数据有没有落在上、下控制线之外。如有落在外的,重新选取准备数据,本例的数据点都落在上、下控制线内,故本例数据可用。

(6)以所得结果做正式的  $\bar{X} - R$  控制图。如图 5-22 所示。

图 5 -22 混凝土强度的  $\bar{X} - \bar{R}$  控制图

有了  $\bar{X} - \bar{R}$  控制图之后,以后可以每隔一定时间抽取 3 个混凝土块测其强度,得到样本均

值与极差的观测值,分别标在两张控制图上。如果它们都落在上、下控制界限之间,表示生产正常;否则,就表示不正常,应立即停止生产找原因。另外,如果在某张控制图上出现“异常现象”,例如有相邻七个点都偏于中线一侧(虽然它们都在上、下控制界限之间),那么也可能是由于不正常而造成的,即非随机的因素在起作用,这是因为,如果生产正常,那么出现这种情形的概率仅有  $\frac{1}{2^7} = 0.008$ ,即这是一个小概率事件,由“小概率事件在一次试验中不应该发生”的原理推测,七个点偏向中线一侧不是正常现象。

另外,从常理上考虑似乎极差不需要下控制界限,因为极差小表示产品质量稳定。但是,这种稳定可能是由于原料太好引起的,这对厂方未必有利;也可能是测量仪器不灵敏或检验人员工作不认真引起的,这都需要及时找原因。

应该指出,控制图要因时因地有所变动。当采用了某种新工艺时,原控制图就不应再用;当采用不同的机器生产混凝土时也不能用相同的控制图。

### 第三节 抽样检验与评定

#### 一、抽样检验的基本概念

抽样检验是从批中抽取一部分样品进行检验,根据对样品的试验结果,对批作出合格或不合格的判定。这里“批”是指一个检验批,即指需要检验的一组单位产品。需要检验的一批产品中所包含的单位产品总数,称为“批量”。从批中抽出检验的这部分单位产品叫做“样本”。“样本”中所包含的单位产品个数叫做“样本容量”。

这种检验过程可用图 5-23 表示。



图 5-23 抽样检验的过程

#### 1. 抽样检验的意义

在产品检验中,对每一个产品都做试验的全数检验应用场合很少,有些情况下甚至不可能。大多数情况下是采用抽样检验。其原因在于:

- (1)破坏性检验不可能对全部产品都做检验。
- (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),在一般情况下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波动,当检验量太大,耗费人力、物力过大,这时也不可能全部进行检验,此时抽样检验则十分必要。

此外,抽样检验能科学地反映一批产品的质量情况,因而可以收集质量信息,提高检验的全面程度,促进产品质量的改善。

#### 2 抽样的误差和偏倚

以样本指标推断总体指标,用样本统计量估计总体参数,不可避免会出现各种误差。抽样是否可靠是指抽样的偶然误差和偏倚是否在规定的范围内。

抽样的偶然误差是否很小与负责测定的人员是否具备熟练技术、是否认真仔细地进行测试以及测试中是否有差错等情况有关。偏倚是否很小则是与测定和抽样的实施基准是否正

确、使用的机械和仪器是否合格等情况有关。

抽样误差产生的原因有两个。其一是“偶然性”，如运送到现场的预拌混凝土有时是误送的另一种配合比的混凝土，也有时混凝土中的组成材料发生了分离现象，这些偶然性使总体中包含着质量特殊的部分，这样可能导致抽样误差。为了避免出现上述误差，需要将样本定得大一些。抽样误差产生的另一种原因是抽样方法本身带有倾向性，即对具有特殊性质的部分多取的倾向，称之为抽样的偏倚。如用于成型的混凝土每天从最先拌和好的一盘中取时，就会将具有特殊质量的混凝土多取的倾向。

抽样偏倚的原因蕴含于抽样方法本身之中，因而用这种方法无论取多少样本，也不会减小样本和总体之间的差异。避免抽样的偏倚对于统计性的质量管理极其重要。

图 5-24 中是总体分布和样本分布的形式，两种分布的差别由抽样方法所造成。图 5-24 (c) 中所示是抽样方法恰当、抽样没有偏倚、样本足够大、样本分布能正确地代表总体分布的情况。在图 5-24 (b) 中，虽然不能说明抽样方法有错误，但是样本不够大，因而不能认为样本的分布正确地反映出总体的分布。图 5-24 (a) 表明抽样方法有偏倚，从总体中过多地采取了含有特殊性质的部分。

图 5-24 抽样误差和偏倚

a) 抽样的偏倚大，具有特定性质的因素出现在样本中，样本足够大；b) 样本不够大，抽样的误差偶然增大，使样本增大时，有可能成为 a) 的状态，也有可能成为 c) 的状态；c) 在总体分布和样本分布中，几乎没有差别

由上可见，在样本的测定值中除了试验和测定方法的误差和偏倚外，还有抽样本身引起的误差和偏倚。然而，总体本来的参数我们并不知道，因此样本的测定结果究竟为图 5-24 (c) 或图 5-24 (a) 是不知道的。只有采取措施，才能设法避免图中所示的错误。

3 抽样检验时应注意的问题

(1) 验收批的划分

构成一个批的所有单位产品应当尽可能整齐，即一批产品中不同部分的不合格率只能随机的波动，不能有较大的本质差别。因此，一个批应由在其相同的条件下，并且在大约相同的时期内制造的同形式、同等级、同种类、同尺寸以及同成分的单位产品构成。例如，一个验收批的混凝土应由强度等级相同、龄期相同以及生产工艺条件和配合比基本相同的混凝土组成。也就是说，一个检验批需考虑下列诸因素：不能混合来源不同或由不同批的原料所生产的单位产品；不能混合从不同生产线或用不同方法生产的单位产品；不同班次生产的单位产品不宜相混；不同形状、不同式样、不同时期生产的单位产品不宜相混。如 JTJ268 - 96 规定：同一验收批的混凝土应由强度等级相同，配合比和生产工艺基本相同的混凝土组成。对现浇混凝土结构构件，宜按分项工程划分验收批；对预制混凝土构件，宜按月划分验收批。

批量的确定应综合考虑。批量划小，单位产品少，从批中抽检的单位产品比例数相对增大，总的检验工作量大。当批量过小样本容量也相应减小，对总体质量判断容易失误。批量过大，所取样本的代表性难于保证，一旦拒收，影响较大。例如，混凝土每一验收批的批量，应根



据工程实际情况、混凝土量、计划采用的检验评定方法及取样频率等综合确定。采用标准差已知的统计方法评定混凝土强度时,GBJ107 标准规定由连续三组试件组成一个验收批。如按每 100 立方米混凝土取一组试样计,则该验收批的最大批量为 300 立方米混凝土。采用标准差未知的统计方法时,GBJ107 规定由不少于 10 组试件组成一个验收批;JTJ269 - 96 规定验收批内混凝土不少于 5 组组成一个验收批。如按每 100 立方米混凝土取一组试样计,则该验收批最小批量分别为 1000、500 立方米混凝土。

(2) 样本的采取

随机抽样

从原则上说,样本应从批量中随机抽取,以保证所取样本对产品总体质量的代表性,以便尽力避免图 5-24(a)所示的偏倚错误。所谓随机抽样是指以相同的概率进行抽样,即对于第  $i$  天施工的混凝土或第  $j$  天施工的混凝土,其抽样概率相同;对同一天早上、下午所生产的混凝土抽样概率也相同。各盘混凝土之间,并不存在抽样概率的差别。

随机抽样并非对各部分以相同的比例抽样,只不过是抽样的可能性相同。随机抽样所需样本的大小(即样本容量)与作为抽样对象批的性质有关。当质量经常发生变化时,增加抽样次数;质量管理进行得好,工程质量稳定,可以减少抽样次数。样本容量宜结合批量确定,同时样本容量应符合采取的检验评定方法及取样频率的规定,以维持检验结果有必要的置信度,使试件组数既符合检验评定方法要求,而验收批量又不致过大。

分层取样

如上所述,从总体中随机抽样是避免样本产生偏倚的有效方法,但在实际工程中,完全做到随机抽样会遇到许多困难,就是做到了,也因样本容量太大,很不经济。

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随机抽样。这种方法对分层施工的工程较为合适。

两级取样

当物品堆积在一起构成批量时,由于许多货箱堆积一起,按随机取样相当麻烦。此时,可将总体分成几个部分,从中进行第一级随机取样,挑出部分箱物品,然后再从已挑选的箱中对物品进行二级随机取样,见图 5-25。

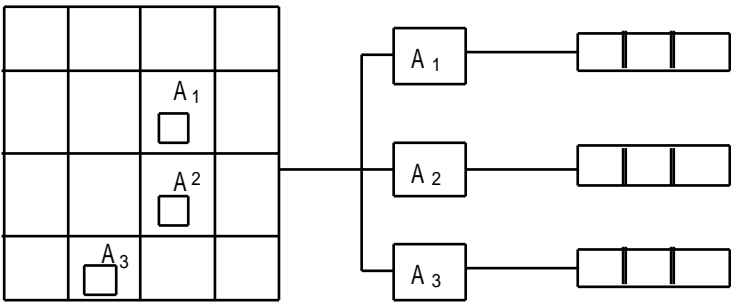


图 5-25 二级取样示意图

系统取样

当对总体实行随机抽样有困难时,如连续作业时取样、产品为连续体时取样,可采用一定间隔进行抽取的抽样方法称为系统抽样。

例如: 现要求测定港区 1000 m 路基的下沉值,由于路基是连续体,可采取每 20 米或 50 米测定一点(或二点)的办法,作抽样测定。

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会产生较大偏差。

然而抽取样本的个数依抽检方案而定。一次抽样方案,无论是计数的还是计量的,都只需

抽取一个样本,两次抽检方案则可抽取两个样本,多次抽检方案一般可以抽取 3~10 个样本。

(3)明确检验标准

所谓检验标准,是指对于一批产品中不合格品的质量判定标准。在计数抽检中,将混凝土分为合格、不合格。混凝土的抗压强度大于设计基准强度或指定强度时,判为合格,达不到该值时,则判为不合格。进行计量抽检时,从批中抽取样本测定样本的质量特性,以其平均值、标准差、不合格率作为判定项目,按规定的标准进行判定,符合要求的判为合格,否则为不合格。

(4)统一检测试验方法

产品质量判定标准应与统一的检测试验方法测定结果相比照,如果试验方法不统一,试验结果偏差很大,则容易造成各种误判。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水平是十分重要的。

4. 检验评定

要进行抽样检验评定首先应了解检验规则。检验规则就是选定一个或几个由样本试验数据求得的统计量,与相应的验收界限值按一定的规则进行比较,以评定该批产品质量是否合格。所选的样本统计量称为样本的验收函数。相应的评定合格与否的界限值称为验收界限。

验收函数可以是各种形式的样本统计量,由样本均值、最小值、标准差按一定形式组成。

验收界限通常是用一个规定的可以描述产品质量水平限度的特征值来表示。

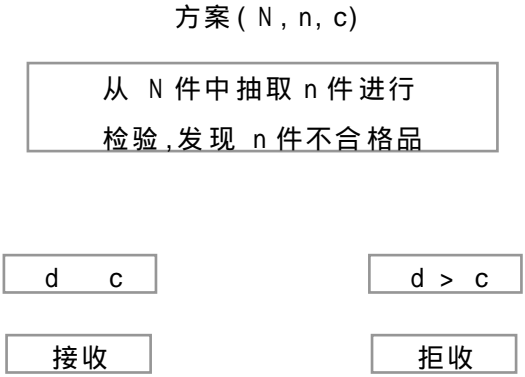
检验评定就是按照检验规则,对抽样结果进行分析评价。下面结合具体抽检方式进行讨论。

二、计数一次抽样检验

1. 基本思想

计数一次抽样方案是进行一次产品质量抽样检验后,就作出对某批产品的接收或不接收决定的抽样检验方案,其代号为( N, n, c),简写为( n/ c)。对批量为 N 的一批产品,规定所检验的样本中允许有不合格数为 c,从 N 中随机抽取 n 件,检测出样本中的不合格数为 d,如果 d ≤ c,则认为该批产品合格,可以接收;如果 d > c,则认为该批产品不合格,就拒绝接收。

抽样方案:



2 接收概率

某一批产品以某一界限为界的总体不合格率为 p,则合格率 q = 1 - p。现从这批产品中随机抽取 n 个试样,抽到不合格品个数 d ≤ c,按规定就判该批产品合格,予以接收。由于 d 可以为 0, 1, 2, ..., c, 也就是说,样本中不合格品数 d 在 0 到 c 范围内是允许的,这样其接收的概率 L( p)为:

$$L( p) = p_0 + p_1 + p_2 + \dots + p_c = \sum_{i=0}^c p_i \tag{5-33}$$

式中: p<sub>0</sub>——样本中不合格品数为 0 的抽取概率, p<sub>1</sub>, p<sub>2</sub>..... 依此类推; 现设有一批批量为 N 的产品,其不合格品数为 D,批的不合格率 Pc = D/ N,那么,从 N 件中随机抽取 n 件,出现

不合格品数恰好是  $d$  的概率:

(1)服从超几何分布

$$p(d) = \frac{C_{N-D}^{n-d} C_D^d}{C_N^n} \tag{5-34}$$

(2)当  $N$  很大,  $n/N$  较小时 ( $n/N < 0.10$ ), 可用二项分布

$$p(d) = C_n^d p^d q^{n-d} \tag{5-35}$$

(3)当样本  $n$  较大, 并且有  $n/N > 10$  和  $p < 0.10$  时, 可用泊松分布

$$p(d) = \frac{n^d}{d!} e^{-np} \tag{5-36}$$

其中  $np = np$ , 利用上述三种概率分布, 就有下面的接收概率计算公式:

(1)用超几何分布公式:

$$L(p) = \sum_{d=0}^c \frac{C_D^d \cdot C_{N-D}^{n-d}}{C_N^n} \tag{5-37}$$

(2)用二项分布公式:

$$L(p) = \sum_{d=0}^c C_n^d p^d q^{n-d} \tag{5-38}$$

(3)用泊松分布公式:

$$L(p) = \sum_{d=0}^c \left( \frac{n^d}{d!} e^{-np} \right) \tag{5-39}$$

计数一次抽检方案用于结构材料的强度检验, 如用于混凝土强度检验评定时, 最常见的形式是  $X_{min} = X_L$ , 即样本特征值的最小值不得小于规定的界限值  $X_L$ , 小于规定界限值为不合格品, 这就是  $(n/c)$  抽检方案。

例 5-13 在 1000 件为一批的产品中有 50 件不合格 (即批不合格率为 5%), 采用  $(n = 100, c = 4)$  的抽样方式, 求合格概率。

解: 由题意,  $n = 100, c = 4, p = 5\%$

$$L(p) = \sum_{d=0}^4 P(d)$$

(1)按超几何分布:

$$P(d) = \frac{C_{N-D}^{n-d} C_D^d}{C_N^n}$$

$$\begin{aligned} P_{=0} &= 0.005 & P_{=1} &= 0.026 & P_{=2} &= 0.075 \\ P_{=3} &= 0.138 & P_{=4} &= 0.184 \\ L(p) &= 0.428 \end{aligned}$$

(2)按二项分布计算:

$$\begin{aligned} P_0 &= (1 - p)^{n-0} = (1 - 0.05)^{100} = 0.006 \\ P_1 &= np(1 - p)^{n-1} = 0.031 \\ P_2 &= P_1 \times \frac{n-d}{d+1} \times \frac{p}{1-p} = 0.031 \times \frac{100-1}{1+1} \times \frac{0.05}{1-0.05} = 0.081 \\ P_3 &= 0.139 & P_4 &= 0.177 \\ L(p) &= \sum_{d=0}^4 P(d) = 0.434 \end{aligned}$$

(3)按泊松分布计算:

$$P_0 = e^{-np} = 0.0067$$

$$\begin{aligned}
 P_1 &= P_0 \frac{np}{1} = 0.0335 \\
 P_2 &= P_1 \frac{np}{2} = 0.0837 \\
 P_3 &= 0.1397 \qquad P_4 = 0.1746 \\
 L(p) &= \sum_{d=0}^4 P(d) = 0.438
 \end{aligned}$$

上例可见,当满足各自使用条件时,按三种概率分布计算的合格概率的误差很小。

### 3. 抽样特性曲线

抽检特性曲线,也称 OC 曲线。它表示在某一抽样方案下,以接收概率为纵坐标,以质量水平为横坐标,计算在若干给定的不同质量水平时相应的若干接收概率所绘得的曲线。它是评价和比较抽样方案的直观而有效的形式。下面举例说明 OC 曲线作图过程和 OC 曲线的使用。

例 5-14 某厂检验产品质量,在抽样方案为(1000,30,1)下进行抽样检验,试画出该抽样方案的 OC 曲线。

解: 由  $N = 1000$ ,  $n = 30$ ,  $c = 1$

当  $p = 0.01$ ,  $\lambda = np = 30 \times 0.01 = 0.3$

$$L(0.01) = \sum_{d=0}^1 \frac{(0.3)^d}{d!} e^{-0.3}$$

当  $p = 0.02$  时,  $\lambda = 0.6$ ,  $L(0.02) = 0.8781$ ;表 5-9 给出各计算结果。

方案(1000,30,1)的各接收概率表							表 5-9
批的不合格品率 p	0.01	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
接收概率 L(p)	0.963	0.878	0.663	0.463	0.308	0.199	0.126

将表 5-9 中各点绘入坐标系,得到一条 OC 曲线(如图 5-26 所示)。

为了比较和分析各种抽样方案,以及了解 OC 曲线的变化规律,下面给出几种抽样方案的 OC 曲线图。

在抽样方案中,当批量 N 和允许不合格品数 c 不变,而样本容量 n 变化时, OC 曲线变化规律如图 5-27 所示:

从图 5-27 可以看出,当 N 和 c 不变,样本容量 n 变化时,曲线将随 n 变大而向左移,并趋于陡峭,这说明样本容量 n 越大,相应的接收概率 L(p) 越小,抽样方案越严。

在抽样方案中,当批量 N 和样本容量 n 不变,而允许不合格品数 c 变化时, OC 曲线的变化如图 5-28 所示:

从图 5-28 中可见,当 N 和 n 不变,允许不合格品数 c 变化时,曲线随 c 变大而向右移,并趋于平缓。这说明允许不合格品数 c 越大,相应的接收概率 L(p) 也越大,抽样方案就越松。

图 5-26 OC 曲线

图 5-27

图 5-28

#### 4. 两种错误

设有一批产品,批量  $N = 200$ ,不合格率  $p = 0.5\%$ ,即在 200 件产品中只有一件不合格品,若抽验方案  $(200, 10, 0)$  随机抽取 10 件检验,可能恰好把仅有的一件不合格品抽到,即  $d = 1$ ,于是  $d > c (c = 0)$ ,这批产品被判为不合格而拒收。但其余 190 件中再无不合格品,这种把本应接收的合格产品批错判为不合格批的错误为第一种错误,这对生产方不利,也称生产方风险。犯这种错误的概率通常用“ $\alpha$ ”表示。

$$1 - L(p) = 1 - \sum_{d=0}^c p_j \quad (p = p_0) \quad (5-40)$$

式中:  $p_0$ ——相应于  $\alpha$  的批不合格品率。

当一批交验品的不合格率达到  $p_0$  时,作为优质批应以  $1 - \alpha$  的概率接收。一般事先规定  $\alpha = 5\%$  或  $1\%$ ,也就是达到  $p_0$  的交验批,应有  $95\%$  或  $99\%$  的概率被接收。

第二种错误,把质量不合格的产品错判为合格。如果交验批实际不合格率为  $20\%$ ,虽然质量很差,但按规定抽样方式检验,计算的合格概率为  $L(p) = 0.107$ 。当作 100 次检验时,仍有可能 10 次将被判为合格批而接收,这就是第二种错判,这对使用方不利,称做使用风险。这种错判概率用“ $\beta$ ”表示。

$$L(p) = \sum_{d=0}^c p_j \quad (p = p_1) \quad (5-41)$$

式中:  $p_1$ ——相应于  $\beta$  的不合格品率,也称为“批允许不合格品率”。

我们要求当不合格率达  $p_1$  时,应以  $1 - \beta$  的概率拒收。一般预先规定  $\beta = 10\%$ ,  $5\%$  或  $1\%$ ,也就是要求达到  $p_1$  的交验批应以  $90\%$ ,  $95\%$  或  $99\%$  的概率拒收。

由于产品抽样检验中,难免犯第一种或第二种错误,通常要求在  $p = p_0$  时犯第一种错误的概率不大于  $\alpha$ ,而对  $p = p_1$  时,要求犯第二种错误的概率不大于  $\beta$ 。

为了控制这两种风险,抽样检查方案  $(N, n, c)$  就必须根据既定的  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $p_0$ 、 $p_1$ ,利用已有的函数去求解联立方程(5-40)和(5-41)式,来决定  $n$  和  $c$  的值。

例如圆钢硬度的检查。设圆钢硬度大于 207 公斤/平方毫米,为合格。规定  $p_0 = 0.01$ ,  $p_1 = 0.08$ ,  $\alpha = 0.05$ ,  $\beta = 0.10$ ,求满足要求的一次抽检方案。

以简单的计数标准型抽查方案说明计算方法。表 5-10 供实际使用。

(1) 计算  $p_1/p_0 = 0.08/0.01 = 8$ 。接近表 5-10 中  $p_1/p_0$  列中的  $6.50\%$ ,故  $c = 2$ 。

(2) 在  $c = 2$  所在的行查得  $np_0 = 0.818$ 。

(3) 由  $np_0 = 0.818$  计算得  $n = 82$

当  $n$  的计算数值包含小数部分时,取  $n$  为超过此计算值的最小整数。

(4)  $c = 2$  所在行的  $np_1 = 5.322$ ,  $n = 67$

这样得到两个 n 值,若取方案(82/ 2),则第一种错判概率能满足 = 0.05 的要求。第二种错判概率比 0.10 略低一点。若取方案(67/ 2)则第一种错判概率比 0.05 略低一点,但第二种错判概率能满足 = 0.10 的规定。为了保证质量,采用(82/ 2)方案是适宜的。

标准型抽查方案便查表 表 5 -10

c	np <sub>0</sub>	np <sub>1</sub>	p <sub>1</sub> / p <sub>0</sub>	c	np <sub>0</sub>	np <sub>1</sub>	p <sub>1</sub> / p <sub>0</sub>
0	0.051	2.303	44.890	16	10.831	22.452	2.073
1	0.355	3.890	10.946	17	11.633	23.606	2.029
2	0.818	5.322	6.509	18	12.442	24.756	1.990
3	1.366	6.681	4.890	19	13.254	25.902	1.954
4	1.970	7.994	4.057	20	14.072	27.045	1.922
5	2.613	9.275	3.549	21	14.894	28.184	1.892
6	3.286	10.532	3.206	22	15.719	29.320	1.865
7	3.981	11.771	2.957	23	16.548	30.453	1.840
8	4.695	12.995	2.768	24	17.382	31.584	1.817
9	5.426	14.206	2.618	25	18.218	32.711	1.795
10	6.169	15.407	2.497	30	22.444	38.315	1.707
11	6.924	16.598	2.397	35	26.731	43.872	1.611
12	7.690	17.782	2.312	40	31.066	49.390	1.590
13	8.464	18.598	2.240	45	35.440	54.878	1.548
14	9.246	20.128	2.177	50	39.849	60.339	1.515
15	10.035	21.292	2.122				

三、计量一次抽检方案

由于产品的质量可以用一个连续的特征量 X 来衡量,这种衡量产品质量的方法称为计量的方法。此时,产品的计量抽样检验就与计数抽样检验有所不同。

所谓计量一次抽样检验方案,就是从一批产品中随机地取几个单位产品,用样本的特征值(常以样本均值与标准差)构成统计量,并与验收界限值  $X_L$  比较,当样本统计量大于或等于  $X_L$  时,判这批产品合格,予以接收;当样本统计量小于  $X_L$  时,判这批产品不合格,予以拒收。

计量抽样方案基于质量特征值服从正态分布。利用总体为正态分布  $N(\mu, \sigma^2)$ , 样本平均值  $\bar{X}$ 也服从正态分布  $N(\bar{X}, \frac{\sigma^2}{n})$ 这一重要规律。

计量抽样方案可分为两类:一类为批的标准差 为已知;一类为批的标准差 未知。下面分别给予介绍。

1. 标准差已知的一次抽样方案

以批的平均值作为质量标准,是计量抽样方案的一种重要类型。通常采用标准型,即规定:当质量特性平均值  $\bar{X}_n$  达到  $m_0$  时,为优质批,予以接收;而质量特性平均值等于、低于  $m_1$

时,为劣质批,予以拒收。

例如,用混凝土强度作为质量特性时,  $m_0$  为合格批的平均值下限;  $m_1$  为不合格批的平均值上限。由于用样本平均值  $\bar{X}_n$  推断总体均值  $\mu$ , 可能出现两种错误:即第一种错判概率  $\alpha$  和第二种错判概率  $\beta$ 。于是,就要求满足  $m_0$ ,  $\alpha$ ,  $m_1$ ,  $\beta$  四个数值条件下制定抽样方案。

(1)单侧下限控制原理

规定批平均值  $\bar{X}_n$  等于或大于  $m_0$  时为优质批,规定下控制界限  $m_1$ ,即平均值等于或小于  $m_1$  时为劣质批。并规定两类错判概率  $\alpha$  和  $\beta$ 。如图 5-29 所示。

图 5-29 下限值图

由于正态分布具有对称性,于是可得:

$$\begin{aligned} \bar{X} &\geq m_0 - G_0 \text{ 时判为合格,予以接收 (对优质 } \mu = m_0) \\ \bar{X} &< m_1 + K \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ 时判为不合格,予以拒收 (对劣质 } \mu = m_1)。 \end{aligned}$$

样本大小  $n$  为:

$$n = \left( \frac{K_1 + K_2}{m_0 - m_1} \right)^2 \cdot \sigma^2 \tag{5-42}$$

式中:  $G_0 = \frac{K}{n}$

因  $\alpha$  已知,  $m_0$ ,  $m_1$  是规定的,当  $\alpha$  和  $\beta$  确定后,可由正态分布表查得  $K_1$ ,  $K_2$  的大小。如  $\alpha = 0.05$ ,  $K_1 = 1.645$ ,  $\beta = 0.10$ ,  $K_2 = 1.282$ 。

(2)单侧上限控制

单侧上限与单侧下限的原理一样,  $G$ 、 $n$  的计算公式也相同。其判别式为

$$\bar{X} > m_0 + G_0 \tag{5-43}$$

则该批不合格,予以拒收,

若  $\bar{X} \leq m_0 + G_0$  则该批合格,予以接收。

标准差已知方案的特点是:

适用于长期生产、原材料及生产管理水平比较稳定的生产单位,总体标准差  $\sigma$  可根据本单位以往一定时期的生产资料比较准确地求得,并预计近期生产仍将大致稳定在此水平上。此方案的检验效果随  $n$  增大而改善。

就抽检理论而言,此方案的 OC 曲线是各种一次抽检方案中最好的一种。即  $n$  相同时,检验效果好;检验效果相同时,需要的  $n$  较少。但因受上述适用条件的限制,不能在各种情况下普遍采用。

在实际应用时,如预期为常数的总体标准差不能保持稳定,而且实际标准差过于偏大,仍用预期为常数的标准差来检验,就会有较大的漏判;反之,如实际标准差过于偏小,就会有较大的错判。显然,两者都是不符合原则要求的。所以实际应用时,除在严格控制预期为常数的总体标准差  $\sigma$  保持稳定外,往往辅以最小值方案,以加严对实际标准差过大的控制。

2. 标准差未知的方案

标准差未知是指:产品总体标准差因缺乏以往长期生产统计资料不能较准确地求得,而只能用样本标准差  $S$  来估计。同时,标准差未知的方案,其样本大小  $n$  比标准差已知的方案大。根据从交验批中随机抽取  $n$  件,测特性值,计算其平均值及标准差,对于单侧下限,可根据下述规定作出判定。

$$\bar{X} - kS \geq X_L \tag{5-44}$$

$k$  为合格判定系数,是一常数。由于样本标准差本身是个随机变量,根据概率论和数理统计理论,随机变量  $\bar{X}$  服从正态分布  $N(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$ ,当  $n$  较大时,其样本均值与另一随机变量之差  $(\bar{X} - kS)$  也服从正

图 5-30 正态分布图

态分布  $N(\mu - k\sigma, \frac{\sigma^2}{n} + \frac{k^2\sigma^2}{2(n-1)})$ ,如图 5-30 所示。

由于规定  $\bar{X} - kS \geq X_L$ ,判此批产品合格,予以接收,所以接收概率  $L(P)$  即为:

$$L(p) = P(\bar{X} - kS \geq X_L) \tag{5-45}$$

标准差未知方案的特点是:

- (1)充分利用了样本数据的信息,对未能积累统计资料或生产条件难以控制稳定的生产单位,适用性较好。
- (2)检验效果也随  $n$  的增大而改善( $k$  不变,  $n$  增大时,  $\sigma$ 、 $\sigma^2$  均减小),也可以通过调整  $k$  值与  $n$  的关系,更好地协调生产方与使用方的利益。
- (3)在样本容量相同的条件下,其检验效果不如标准差已知方案好,要获得相同的检验效果,  $n$  要增至  $1 + \frac{k^2}{2}$  倍。所以通常样本容量不宜太少。
- (4)为防止可能出现局部质量系统下降或离散程度过大,常辅以最小值方案,以严加控制。

四、抽样检验实例

以混凝土强度验收标准为例。

1. 标准差已知的抽检方案

GBJ107 标准规定:当混凝土的生产条件在较长时间内能保持一致,且同一品种的强度变异保持稳定时,应由连续的三组试件组成一个验收批,其强度应同时满足下列要求:

$$m_{fcu} \geq f_{cu,k} + 0.7 \sigma \tag{5-46-1}$$

$$f_{cu,min} \geq f_{cu,k} - 0.7 \sigma \tag{5-46-2}$$

当混凝土强度等级不高于 C20 时,强度的最小值尚应满足下式要求:

$$f_{cu,min} \geq 0.85 f_{cu,k} \tag{5-47}$$

当混凝土强度等级高于 C20 时,强度的最小值尚应满足下式要求

$$f_{cu,min} \geq 0.90 f_{cu,k} \tag{5-48}$$

式中:  $m_{fcu}$ —— 同一验收批混凝土强度的平均值( $N/mm^2$ );  
 $f_{cu,min}$ —— 同一验收批混凝土立方体抗压强度的最小值( $N/mm^2$ );



$\sigma_0$ ——验收批的混凝土立方体抗压强度的标准差 (N/ mm<sup>2</sup>), 其值应根据前一个检验批内(跨越时间不得超过三个月)同一品种混凝土试件的强度数据, 按下列公式确定:

$$\sigma_0 = \frac{0.59}{\sqrt{m}} \sum_{i=1}^m f_{cu,i}$$

(5-49)

式中:  $f_{cu,i}$ ——第  $i$  批试件立方体抗压强度中最大值与最小值之差;  
 $m$ ——用以确定验收批混凝土立方体抗压强度标准差的数据总批数, 其值不少于 15。

例 5-15 某预制混凝土构件厂生产构件用 C30 级混凝土, 前一统计期 17 批 (51 组) 同类混凝土强度的批极差 ( $f_{cu,i}$ ) 列于表 5-11。按表列值计算标准差  $\sigma_0$ , 并据以按标准差已知的检验方法对表所列项目各批混凝土强度进行合格评定。

混凝土强度的批极差值 $f_{cu,i}$ (N/ mm <sup>2</sup> )									表 5-11
批 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f_{cu,i}$	2.5	6.0	3.0	4.7	6.0	7.0	5.5	10.0	4.8
批 号	10	11	12	13	14	15	16	17	
$f_{cu,i}$	2.0	5.0	8.0	5.0	4.5	12.0	7.0	6.0	

解: (1) 按式 (5-55) 计算验收批标准差  $\sigma_0$

$$\sigma_0 = \frac{0.59}{\sqrt{m}} \sum_{i=1}^m f_{cu,i}$$

(5-50)

$$= \frac{0.59}{\sqrt{17}} (2.5 + 6.0 + 3.0 + \dots + 7.0 + 6.0)$$

$$= 0.59 \times 5.8 = 3.42 \text{ (N/ mm<sup>2</sup>)}$$

(2) 计算批平均值及最小值的验收界限 [ $m_{fcu}$ ] 及 [ $f_{cu,min}$ ]:

$$[m_{fcu}] = f_{cu,k} + 0.7 \sigma_0 = 30 + 0.7 \times 3.42$$

$$= 32.4 \text{ (N/ mm<sup>2</sup>)}$$

$$[f_{cu,min}] = f_{cu,k} - 0.7 \sigma_0 = 30 - 0.7 \times 3.42 = 27.6 \text{ (N/ mm<sup>2</sup>)}$$

$$[f_{cu,min}] = 0.9 f_{cu,k} = 0.9 \times 30 = 27.0 \text{ (N/ mm<sup>2</sup>)}$$

取这两个值中较大值作为最小值验收界限, 即 [ $f_{cu,min}$ ] = 27.6N/ mm<sup>2</sup>

(3) 对表 5-11 所列各批逐批进行合格评定, 评定结果见表 5-12 中第六行。表 5-12 中有 \* 者为该批不合格数据。

混凝土试件强度及评定结果									表 5-12
批 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f_{cu,i}$ ( N/ mm <sup>2</sup> )	37.6	38.8	38.3	28.9	38.3	34.2	37.2	37.3	26.5 *
	33.4	34.8	38.9	35.2	33.1	29.5	27.4 *	40.1	37.2
	37.9	33.9	35.0	32.2	36.7	40.1	38.3	30.0	32.0
批平均值 $m_{fcu}$	36.3	35.8	37.4	32.1 *	36.0	34.6	34.3	35.8	31.9
	合格	合格	合格	不合格	合格	合格	不合格	合格	不合格

2 标准差未知的抽检方案

GBJ107 标准规定: 当混凝土的生产条件在较长时间内不能保持一致, 且混凝土强度变异性不能保持稳定时, 或在前一个检验期内同一品种混凝土没有足够的数据用以确定验收批混

凝土立方米抗压强度的标准差时,应由不少于 10 组的试件组成一个验收批,其强度应同时满足下列公式的要求:

$$m_{fcu} - 1 s_{fcu} \geq 0.9 f_{cu,k} \tag{5-51-1}$$

$$f_{cu,min} \geq 0.8 f_{cu,k} \tag{5-51-2}$$

式中:  $m_{fcu}$ ——同一验收批混凝土强度的平均值,其值根据本验收批混凝土的各组试件强度代  
表值求得 ( $N/mm^2$ );

。当  $s_{fcu}$  计算值小于  $0.06 f_{cu,k}$  时,应取  $s_{fcu} = 0.06 f_{cu,k}$ 。

$$s_{fcu} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - n m_{fcu}^2}{n - 1}} \tag{5-52}$$

式中:  $f_{cu,i}$ ——第  $i$  组混凝土试件的立方米抗压强度值;  
 $n$ ——一个验收批混凝土试件的组数。

混凝土强度的合格判定系数			表 5-13
试件组数	10 ~ 14	15 ~ 24	25
1	1.70	1.65	1.6
2	0.90	0.85	

式(5-55-1) 及(5-55-2)两个不等式的左边部分为验收函数,右边部分为验收界限。在实际应用时,常将( $- 1 s_{fcu}$ )部分移到不等式右边,移项后的右边成为( $0.9 f_{cu,k} + 1 s_{fcu}$ ),而以此作为验收批的强度平均值的验收界限。

标准规定,当标准差  $s_{fcu}$  的计算值小于  $0.06 f_{cu,k}$  时,取  $s_{fcu} = 0.06 f_{cu,k}$ 。其所以要这样规定,取其不小于某一下限值,是为了使经检验合格的批平均强度  $m_{fcu}$  最小是接近或大于混凝土立方体抗压强度标准值  $f_{cu,k}$ 。

《水运工程混凝土质量控制标准》JTJ269 - 96 规定:当验收批内混凝土试件组数  $n$  不少于 5 组时,混凝土强度的统计数据,应同时满足下列公式的要求:

$$m_{fcu} - s_{fcu} \geq f_{cu,k} \tag{5-53-1}$$

$$f_{cu,min} \geq f_{cu,k} - C_0 \tag{5-53-2}$$

抽检以标准差未知方案(5-57-1)式为主,辅以最小值方案(5-57-2)。  
式中:  $f_{cu,k}$ ——验收批混凝土抗压强度标准值 ( $N/mm^2$ );

$\sigma_0$ ——港工混凝土抗压强度标准差的平均水平 ( $N/mm^2$ ),按表 5-14 选取;

$m_{fcu}$ —— $n$  组混凝土抗压强度的平均值 ( $N/mm^2$ );

$s_{fcu}$ —— $n$  组混凝土抗压强度的标准差 ( $N/mm^2$ );

$f_{cu,min}$ —— $n$  组混凝土抗压强度中的最小值 ( $N/mm^2$ );

$C_0$ ——验收系数,按表 5-15 选定。

n 组混凝土抗压强度的标准差  $s_{f_{cu}}$  应按 (5-52) 式计算, 但其值不得低于  $\sigma_0 - 2.0 (N/mm^2)$ , 这是为了防止偶然出现  $s_{f_{cu}}$  统计值过小的情况。

混凝土抗压强度标准差的平均水平 ( $\sigma_0$ ) 表 5-14

强度等级	< C20	C20 ~ C40	> C40
$\sigma_0 (N/mm^2)$	3.5	4.5	5.5

验收系数 c 表 5-15

n	59	10 ~ 19	20
c	0.7	0.9	1.0

例 5-16 某施工现场集中搅拌生产 C30 级混凝土, 留取试件 27 组, 其标准养护 28 d 抗压强度列于下表。试评定这批混凝土合格与否。

混凝土强度数据 ( $N/mm^2$ )

组 序 号 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
强度 $f_{cu,i}$	33.8	40.3	39.7	29.5	31.6	32.4	32.1	31.8	30.1
组序号 i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
强度 $f_{cu,i}$	37.9	36.7	30.4	32.0	29.5	30.4	31.2	34.2	36.7
组序号 i	19	20	21	22	23	24	25	26	27
强度 $f_{cu,i}$	41.9	36.9	31.4	30.7	31.4	30.5	30.7	30.9	32.1

解：因无同类混凝土前期统计资料, 故采用标准差未知的统计方法进行评定。

(1)按国标 GBJ107 规定验收：

求验收批的平均值和标准差：

$$\begin{aligned} m_{f_{cu}} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{cu,i} \\ &= 1/27(33.8 + 40.3 + \dots + 30.9 + 32.1) \\ &= 33.2 N/mm^2 \\ s_{f_{cu}} &= \frac{33.8^2 + \dots + 32.1^2 - 27 \times 33.2^2}{27 - 1} = 3.55 N/mm^2 \end{aligned}$$

计算平均值及最小值验收界限  $[m_{f_{cu}}]$  及  $[f_{cu,min}]$ ：

选定合格判定系数：

根据组数 27, 查表 5-13 得  $\alpha_1 = 1.6 (n = 27 > 25)$ ,  $\alpha_2 = 0.85 (n = 27 > 15)$

$$[m_{f_{cu}}] = 0.9 f_{cu,k} + \alpha_1 s_{f_{cu}} = 0.9 \times 30 + 1.6 \times 3.55 = 32.7 N/mm^2$$

$$[f_{cu,min}] = \alpha_2 f_{cu,k} = 0.85 \times 30 = 25.5 N/mm^2$$

检验结果的评定：

$$m_{f_{cu}} = 33.2 > [m_{f_{cu}}] = 32.7 N/mm^2$$

$$f_{cu,min} = 29.5 > [f_{cu,min}] = 25.5 N/mm^2$$

平均值及最小值均满足评定标准的要求, 该批混凝土判为合格, 亦即这批混凝土的强度达到 C30 级的强度质量要求。

(2)按 JTJ269-96 《水运工程混凝土质量控制标准》进行计算：

$$m_{f_{cu}} = 33.2 N/mm^2, \quad s_{f_{cu}} = 3.55 N/mm^2, \quad f_{cu,k} = 30 N/mm^2$$

按式(5-53-1):  $m_{fcu} - s_{fcu} = f_{cu,k}$  验收

$$33.2 - 3.55 = 29.65 > 30$$

按式(5-53-2):  $f_{cu,min} = f_{cu,k} - c_0$

本例  $n = 20$ , 查表 5-15,  $c = 1.0$

因为混凝土强度等级为 C30, 查表 5-14 得  $c_0 = 4.5 \text{ N/mm}^2$

$$f_{cu,k} - c_0 = 30 - 1.0 \times 4.5 = 25.5$$

$$f_{cu,min} = 29.5 > 25.5 \quad \text{满足 (5-53-2) 要求}$$

按 JTJ269 - 96 规定(5-53-1)式为主, (5-53-2)为辅, 仅当两式均满足要求时才判合格, 故按 JTJ269 - 96 规定此验收批应判为不合格。

注: 从上例可见不同用途的混凝土应该用不同的规范, 在实际工作中应严格按工程的要求选用相应的规范, 否则将影响工程质量。

## 第四节 回归分析

### 一、回归分析的基本概念

变量与变量之间的关系大致可分为两类。一类是确定性的, 例如正方形的面积等于边长的平方, 等速直线运动的距离等于速度乘以时间, 这类关系称为函数关系。另一类变量间的关系则是不确定性的。一个变量为非随机变量, 另一类变量为随机变量, 如控制水灰比在某一相对确定的数值为非随机变量, 而混凝土强度由于受多种因素影响, 其值往往在一定的范围内波动, 而成为随机变量。此外还有两个变量均是随机变量, 如混凝土试块快速测定标号与 28 天标准养护标号有一定的关系, 但 28 天标号或快速测定标号很难控制在某一确定数值上, 两者都是随机变量。像这类至少有一个是随机变量的变量间关系系统称为相关关系, 寻找其相互关系系统称为相关分析, 或回归分析。

相关关系虽然不是确定性的, 但在大量的观察下, 往往呈现出一定的规律性。若将有相关关系的两个变量的对应观察值点绘在直角坐标上, 就得出点的散布图, 这样的图称为观察值的散点图。从散点图上一般可看出变量关系的统计规律性, 例如图 5-31(a) 及图 5-31(b) 分别是变量  $X$  与  $Y$  及  $T$  与  $S$  的观察值的散点图, 可以看出图 5-31(a) 的散点大致地围绕一条直线散布, 而图 5-31(b) 的散点则大致地围绕一条抛物线散布, 这就是变量间统计规律性的一种表现。

图 5-31

图 5-31 中的直线或曲线的函数表达式  $Y = f(x)$  或  $S = g(t)$  就能够作为观察结果的一种近似描述。这就是说变量间的相关关系尽管不是函数关系, 仍然可以借助于相应的函数表达它们的规律性, 这样的函数称为回归函数。如果回归函数是一个线性函数, 则称变量间是线性相关的, 如果是非线性函数, 就是非线性相关。研究两个变量间的相关关系称之为二元回归分析, 研究多个变量间的相关关系称为多元回归分析。

综上, 回归分析是分析和处理变量之间相互关系的一种数理统计方法, 它能帮助我们确定

几个特定的变量之间是否存在相关关系,找出它们之间合适的相关关系表达式,即经验公式,以及如何利用所得到的经验公式去达到预测、控制等目的。本节着重讨论一元线性回归分析。

二、一元线性回归分析

1. 一元线性回归的数学模型

一元线性回归是确定应变量  $y$  与自变量  $x$  之间的定量关系,其数学模型为:

$$y = \mu + \beta x + \epsilon \tag{5-54}$$

式(5-54)被称为  $y$  关于  $x$  的回归直线方程。式中  $\mu$  和  $\beta$  是待定系数,被称为回归系数,误差  $\epsilon$  可视为服从正态分布  $N(0, \sigma^2)$  的随机变量,表示除  $x$  以外其他随机因素对  $y$  的影响的总和。假定  $x$  是可准确测量取值的一般变量,  $y$  则是服从正态分布  $N(\mu + \beta x, \sigma^2)$  的随机变量。

设有满足上述数学模型的两个变量  $x, y$ , 通过实验得到  $n$  组观测值:

$$x_1, x_2, \dots, x_n$$

$$y_1, y_2, \dots, y_n$$

则有

$$y_k = \mu + \beta x_k + \epsilon_k \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

2. 回归系数的最小二乘法估计

回归方程的两个回归系数  $\mu$  和  $\beta$ , 一般总是未知的, 需要根据  $y$  与  $x$  的观测值来确定。设以  $y = a + bx$  作为  $y = \mu + \beta x$  的估计直线,  $a, b$  分别为  $\mu, \beta$  的估计值。为使  $a, b$  选择得最好, 显然应使估计直线与观测值拟合得最好。利用最小二乘法原则, 使观测点离估计直线纵坐标的偏差平方和最小。

$$\text{即 } \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 \text{ 为最小。}$$

欲使上式为极小值, 只须分别对上式  $a, b$  求一阶偏导数, 并使其等于零。于是可得:

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \tag{5-55}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{5-56}$$

$y = a + bx$  即为估计的回归直线, 此直线必定通过  $(\bar{x}, \bar{y})$ , 为简便计算, 令

$$L_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \tag{5-57}$$

$$L_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \tag{5-58}$$

故  $b$  值的计算公式可简写为

$$b = L_{xy} / L_{xx} \tag{5-59}$$

这里  $L_{xx}$  称之为  $X$  的偏差平方和,  $L_{xy}$  称之为  $x$  与  $y$  偏差乘积之和。

3. 相关系数与线性关系的显著性检验

回归直线方程求得以后, 还须解决一个问题:  $x$  与  $y$  是否有线性关系? 即一次项系数  $\beta$  是否为零。若无线性关系,  $\beta = 0$ ; 反之,  $\beta \neq 0$ 。这就需要进行检验。在这里仅介绍相关系数检验法。

相关系数  $r$  的表达式为:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$
$$r = L_{xy} / \sqrt{L_{xx} L_{yy}}$$

(5-60)

式中:  $L_{yy}$ —— $y$  偏差平方和。

$$L_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 / n$$

(5-61)

相关系数  $r$  具有以下性质:

(1)  $r$  由样本值计算出来, 是总体相关系数的估计值,  $|r| \leq 1$ 。

(2) 当  $x$  与  $y$  完全无线性关系时,  $|r| = 0$ , 如图 5-32c, d 所示;

(3) 当所有的点落在一条直线上时,  $x$  与  $y$  完全为线性关系,  $|r| = 1$ , 如图 5-32a, f 所示;

(4) 当  $x$  与  $y$  线性相关程度介于中间状态时,  $0 < |r| < 1$ , 参见图 5-32b, e。

综上所述,  $r$  是一个可以用来衡量  $x$  与  $y$  线性相关程度的量。当  $|r|$  接近 1 时, 可

图 5-32

以认为  $x$  与  $y$  是线性相关, 但接近 1 的程度如何才能作出判断呢? 对于给定的置信度 (通常取 0.05 或 0.01) 和自由度  $f = n - 2$ , 可在相关系数临界表(见表 5-16)中查出临界值  $r_0$ , 比较  $|r|$  与  $r_0$ , 作出判断。

相关系数临界表

表 5-16

<div><div><div><math>r_0</math></div><div><math>f</math></div></div></div> <div><div><div><math>r_0</math></div><div><math>f</math></div></div></div> <div><div><div><math>r_0</math></div><div><math>f</math></div></div></div>	0.05	0.01	<div><div><div><math>r_0</math></div><div><math>f</math></div></div></div> <div><div><div><math>r_0</math></div><div><math>f</math></div></div></div> <div><div><div><math>r_0</math></div><div><math>f</math></div></div></div>	0.05	0.01	<div><div><div><math>r_0</math></div><div><math>f</math></div></div></div> <div><div><div><math>r_0</math></div><div><math>f</math></div></div></div> <div><div><div><math>r_0</math></div><div><math>f</math></div></div></div>	0.05	0.01
1	0.997	1.000	15	0.482	0.606	29	0.355	0.456
2	0.950	0.990	16	0.468	0.590	30	0.349	0.449
3	0.878	0.959	17	0.456	0.575	35	0.325	0.418
4	0.811	0.917	18	0.444	0.561	40	0.304	0.393
5	0.754	0.874	19	0.433	0.549	45	0.288	0.372
6	0.707	0.834	20	0.423	0.537	50	0.273	0.354
7	0.666	0.798	21	0.413	0.526	60	0.250	0.325
8	0.632	0.765	22	0.404	0.515	70	0.232	0.302
9	0.602	0.735	23	0.396	0.505	80	0.217	0.283
10	0.576	0.708	24	0.388	0.496	90	0.205	0.267
11	0.553	0.684	25	0.381	0.487	100	0.195	0.254
12	0.532	0.661	26	0.374	0.478	150	0.159	0.208
13	0.514	0.641	27	0.367	0.470	200	0.138	0.181
14	0.497	0.623	28	0.361	0.463	300	0.113	0.148

当  $|r| > r_0$  时, 就可以认为  $x$  与  $y$  之间存在线性相关关系,  $|r| > r_{0.05}$  认为此关系是显著

的;  $|r| > r_{0.01}$ , 认为此关系是高度显著的; 当  $|r| = r_0$  时, 则认为  $y$  和  $x$  之间不存在线性相关关系, 在这种情况下, 配回归直线就没有什么意义。

相关系数显著只说明在  $x$  和  $y$  之间可以用直线方程来表示它们的相关关系, 它并不说明相关程度的优次。在实际使用回归方程时, 显然  $r$  仅达到最小值是不够的。使用仅达到最低要求的回归方程来预报  $y$  的值, 往往会产生较大的误差。因此, 为了实用目的, 除上述显著性检验的最低要求外, 还需要根据  $|r|$  值的大小, 确定相关程度的优次。实际工作中,  $|r|$  至少应有多大的值, 所得回归方程才能应用, 是随问题的性质和要求高低而变的。对于试验点的个数大于 10, 相关程度可参见下面的指标:

一级	相关性很好	$ r  > 0.95$
二级	相关性好	$ r  = 0.9 \sim 0.95$
三级	相关性一般	$ r  = 0.8 \sim 0.9$
四级	相关性不满意	$ r  < 0.80$

4 对回归直线的分析

由相关系数可看出线性相关的程度。但是, 由于  $x$  与  $y$  并不完全相关, 对自变量  $x$  的一个观测值, 由回归方程求出应变量  $y$  的对应值 ( $\hat{y}$ ), 一般不等于实际观测值  $y_i$ , 两者存在一定的误差 (又称残差), 即

$$e_i = y_i - \hat{y} \tag{5-62}$$

其剩余平方和

$$S^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 \tag{5-63}$$

误差的均方差为

(剩余标准差)

$$S_K = \frac{S^2}{n - 2} \tag{5-64}$$

上式还可以表示为

$$S_K = \frac{L_{yy} - L_{xy} b}{n - 2} \tag{5-65}$$

或

$$S_K = \frac{(1 - r^2) L_{yy}}{n - 2} \tag{5-66}$$

$S_K$  的大小表示当  $x$  值为一定值时,  $y$  的分布离散情况, 即配线精度。

5. 预测与控制

所谓预测, 就是要在一定的置信度下, 寻找一个范围, 使得对于给定的  $x$  值, 按回归方程计算得的  $y$  值以  $(1 - \alpha) \times 100\%$  的概率落在此范围内。

经假设检验被判为线性相关关系显著的回归直线  $y = a + bx$ , 可以用来进行应变量  $y$  值的预报。

对于给定的  $x_0$ ,  $y_0$  是真实值  $y_0$  的估计值。由于

$$y_0 = a + bx_0$$

$$y_0 = \hat{a} + \hat{b}x_0 + \epsilon_0$$

$\hat{a}$ ,  $\hat{b}$  是样本估计量, 是随机变量, 再加上  $\epsilon_0$  的作用, 所以用  $\hat{y}_0$  来估计  $y_0$  总是有误差的。可以证明

$$T = \frac{y_0 - \bar{y}_0}{S_K \sqrt{1 + 1/n + (x_0 - \bar{x})^2 / L_{xx}}} \tag{5-67}$$

服从自由度  $f = n - 2$  的学生  $T$  分布。当  $n$  较大, 且较接近  $\bar{x}$  时, 因  $n$  较大时, 学生  $T$  分布接近于标准正态分布, 可从标准正态分布表中查得  $t_{/2}$ , 则  $y_0$  的置信区间简化为  $y_0 - t_{/2} S_K$ ,  $y_0 + t_{/2} S_K$ 。如在平面上作两条与回归直线平行的直线

$$y_1 = (a + bx) - t_{/2} S_K$$
$$y_2 = (a + bx) + t_{/2} S_K$$

则可以预料, 全部可能出现的  $y$  值中, 大约有  $(1 - ) \times 100\%$  的概率是落在这两条直线所夹的范围内。如图 5-33 所示。

图 5-33 利用回归方程作预报的置信区间

对于指定的  $x_0$ , 可以根据回归方程预报  $y_0$  的区间, 剩余标准差  $S_K$  则反映了预报的精度。  $S_K$  愈小,  $y_0$  的置信区间愈窄, 预报就愈准确。

所谓控制问题, 实际上是预报的反问题。即若要求按回归方程计算得的  $y$  值处于一定范围内, 如  $y_1 < y < y_2$  那么应考虑把自变量  $x$  控制在何处。也就是说, 要寻找这样两个  $x_1$  和  $x_2$ , 使得预报值  $y$  的波动上限不大于  $y_2$ , 同时其波动下限不小于  $y_1$ 。

对于给定置信度  $\alpha = 0.05$ , 当  $n$  充分大时,  $f \rightarrow \infty$ , 查附表 4 得  $t_{/2} = t_{0.05/2} = 1.96$ 。为方便起见, 用 2 近似代替 1.96。于是  $y$  值以  $(1 - \alpha) = 95\%$  的概率落在  $(a + bx_1 - 2 S_K, a + bx_2 + 2 S_K)$  的区间内。以此相应,  $x$  值的控制区间可以从图 5-33 中虚线所示的对应关系确定。

令：

$$y_1 = a - 2 S_K + bx_1$$
$$y_2 = a + 2 S_K + bx_2$$

解出  $x_1$  和  $x_2$ , 当  $b > 0$  时, 控制区间为  $(x_1, x_2)$ ;  $b < 0$  时, 控制区间为  $(x_2, x_1)$ 。但必须注意, 只有  $y_2 - y_1 > 4 S_K$  时, 所求控制区间才有意义。

6. 应用举例

例 5-17 混凝土 28 天抗压强度 (  $R_{28}$  ) 与水灰比 (  $W/C$  ) 之间的相关关系近似为直线。现有 8 组试验实测数据如表 5-17 所示。

实测数据表

表 5-17

序 号 $i$	1	2	3	4	5	6	7	8
水 灰 比 $W/C$	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
强 度 ( $MPa$ )	36.3	35.3	28.2	24.0	23.0	20.6	18.4	15.0



- 求：(1) 建立 R28 ~ C/ W 的回归直线方程；  
 (2) 判断是否存在显著的线性相关；  
 (3) 试预报 W/ C = 0.60 时，混凝土抗压强度的置信区间。

解：(1) 首先将原始实测数据及初步整理结果列于表 5 -18。

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{n} \sum x_i = 1.813 \\ \bar{y} &= \frac{1}{n} \sum y_i = 25.1 \\ \frac{1}{n} \sum x_i^2 &= 26.307 & \frac{1}{n} \sum y_i^2 &= 5040.1 \\ \frac{1}{n} \sum x_i y_i &= 364.13 \\ L_{xx} &= \sum x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2 = 27.457 - 26.307 = 1.15 \\ L_{yy} &= \sum y_i^2 - \frac{1}{n} (\sum y_i)^2 = 5452.2 - 5040.1 = 412.1 \\ L_{xy} &= \sum x_i y_i - \frac{1}{n} \sum x_i \sum y_i = 385.53 - 264.13 = 21.4 \end{aligned}$$

回归直线方程

$$b = L_{xy} / L_{xx} = 21.4 / 1.150 = 18.6$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 25.1 - 18.6 \times 1.813 = - 8.6$$

$$R28 = 18.6 (C/ W) - 8.6$$

表 5 -18

序 号	水灰比 W/ C	灰水比 C/ W	抗压强度 M Pa	$x_i^2$	$y_i^2$	$x_i y_i$
1	0. 40	2. 500	36. 3	6. 250	1318	90. 75
2	0. 45	2. 222	35. 3	4. 937	1246	78. 44
3	0. 50	2. 000	28. 2	4. 000	795. 2	56. 40
4	0. 55	1. 818	24. 0	3. 306	576	43. 63
5	0. 60	1. 667	23. 0	2. 779	529	38. 34
6	0. 65	1. 538	20. 6	2. 366	424. 4	31. 68
7	0. 70	1. 429	18. 4	2. 042	338. 6	26. 29
8	0. 75	1. 333	15. 0	1. 777	225	20. 00
		14. 507	200. 8	27. 457	5452. 2	385. 53
平均		$\bar{x} = 1.813$	$\bar{y} = 25.1$			

(2) 相关系数检验

$$r = \frac{L_{xy}}{L_{xx}L_{yy}} = \frac{21.4}{1.150 \times 412.1} = 0.983$$

查相关系数临界值表，f = 8 - 2 = 6，r<sub>0.05</sub> = 0. 707，r<sub>0.01</sub> = 0. 834。 r = 0. 983 > r<sub>0.01</sub> = 0. 834，可以认为混凝土抗压强度 ( R28) 与灰水比 ( C/ W ) 之间存在高度显著的线性相关关系，而且是正相关，回归直线方程是有意义的。

(3) 
$$S_K = \frac{L_{yy}(1 - r^2)}{n - 2} = \frac{412.1 \times (1 - 0.982^2)}{8 - 2} = 1.52 \text{ M Pa}, \text{取 } \alpha = 0.05, \text{查标准正态分布表,得 } t_{/2} = 1.96, \text{置信区间的长度为 } t_{/2} S_K = 1.96 \times 1.52 = 3.0 \text{ M Pa}.$$

当指定 W/ C = 0.60, 即 C/ W = 1.667, 按已求得的回归直线方程可以算得 R28 = 18.6 × 1.667 - 8.6 = 22.4 M Pa, 其置信区间为 [22.4 - 3.0, 22.4 + 3.0], 即 [19.4, 25.4]。可以有

95 % 的可靠性预报:当  $C/W = 0.60$  时,混凝土 28 天抗压强度在 19.4 ~ 25.4 MPa 之间。

三、一元非线性回归

在实际问题中,有时两个变量之间的内在关系并不是线性关系,这时选择恰当类型的曲线比配直线更符合实际情况。要把一个非线性回归问题转化为线性回归,首先应确定  $x$  与  $y$  之间内在关系的函数类型,通常需要根据专业知识和经验以及实验数据,从散点图分布形状及特点与函数图形相比较,选择合适的函数类型,再对变量作适当变换,使其转化成线性回归问题。

1. 常见的非线性关系

(1) 双曲线

$$y = \frac{x}{a + bx} \tag{5-68}$$

曲线如图 5-34 所示。

等式两边同时取倒数

$$\frac{1}{y} = a + \frac{b}{x} \tag{5-69}$$

其图形在  $(1/x, 1/y)$  坐标上呈直线。令  $y = 1/y, x = 1/x$ , 则有  $y = a + bx$ , 可按一元线性回归处理。

(2) 幂函数

$$y = cx^b \tag{5-70}$$

相应曲线如图 5-35 所示。

图 5-34  $y = x/(a + bx)$  函数

图 5-35 幂函数

等式两边同时取对数  $\log y = \log c + b \log x$ , 令  $y = \log y, x = \log x, a = \log c$ , 则有  $y = a + bx$

上式可按一元线性回归处理。

例如混凝土抗拉强度  $R_{拉}$  与抗压强度  $R_{压}$  的相关关系可近似表达成

$$R_{拉} = C R_{压}^b$$

可通过取对数的方式转换成一元线性回归。

(3) 指数函数

$$y = ce^{bx} \tag{5-71}$$

曲线形式如图 5-36 所示。

等式两边取自然对数  $\ln y = \ln c + bx$ , 令  $y = \ln y, a = \ln c$ , 则有  $y = a + bx$ , 可按一元线性回归处理。

(4) 对数曲线

$$y = a + b \log x \tag{5-72}$$

曲线形式如图 5-37 所示。

令  $x = \log x$ , 则有  $y = a + bx$ , 可按一元线性回归处理。

例如混凝土拌和物当坍落度保持一定时, 每立方米混凝土的用水量  $W$  与石子最大粒径  $D$  之间的相关关系近似为

$$W = a + b \log D$$

图 5-36 指数函数

图 5-37 对数函数

可以转成一元线性回归。

(5)其它类型

$$y = ae^{b/x} \quad (5-73)$$

该曲线图形如图 5-38 所示。

对上式两边取自然对数

$$\ln y = \ln a + b/x$$

令  $y = \ln y$ ,  $a = \ln a$ ,  $x = 1/x$ , 则有

$$y = a + bx$$

可按线性回归处理。

$$y = \frac{1}{a + be^{-x}} \quad (5-74)$$

其曲线形式如图 5-39 所示。

图 5-38  $y = ae^{b/x}$  曲线

变换上式成为

$$1/y = a + be^{-x}$$

再进行对数变换  $\ln(1/y - a) = \ln b - x$

令  $y = \ln(1/y - a)$ ,  $b = \ln b$  则

$$y = b - x$$

可按线性回归处理。

## 2. 非线性回归分析应注意的问题

将非线性回归转化成线性回归处理时,如果相关系数  $r$  的绝对值很小或接近于零,只能说  $x$  与  $y$  的线性关系不密切,却不能说它们的关系不密切,因为它们的非线性关系可能是密切的。因此非线性问题回归分析的回归效果检验,不能用变换成直线后的线性相关系数  $r$  来判断曲线拟合的效果,应该直接按根据原始观测值  $y_i$  与回归曲线上相应估计点  $\hat{y}_i$  来计算剩余平方和和相关指标  $R^2$ 。

相关指标  $R^2$  的表达式为:

$$R^2 = 1 - \frac{S^2}{L_{yy}} = \frac{(y_i - \bar{y})^2}{(y_i - \bar{y})^2} \quad (5-75)$$

$R^2$  (或  $R$ ) 愈大(愈接近 1),表示曲线的拟合效果愈好。

相应的剩余标准差  $S_K$  也应按此原则计算。

$$S_k = \frac{(y_i - y_i)^2}{n - 2}$$

(5-76)

一般最好选用几种不同的函数类型,分别转换成线性回归,最后再按观测点  $y_i$  与曲线上的相应估计点  $y_i$  来计算  $R^2$  或  $S_K$  以进行比较,以  $S_K$  小,或  $R^2$  大者为优。

若  $n$  对数据  $(x_i, y_i)$  中某个  $x$  与其他数据相比,突出得太大或太小,经检验后,可予以剔除,切不可将直线任意延长。

3. 实例分析

混凝土龄期与强度发展关系回归计算。水泥为矿渣硅酸盐 425 号,未掺外加剂,水灰比 0.55,以 28 天龄期混凝土强度为基准,其它龄期强度值为混凝土强度龄期发展系数,养护温度为  $20 \pm 3$  ,重复试验 11 次,其平均值列于表 5-19,散点图及回归曲线如图 5-40 所示。

图 5-40 混凝土龄期与强度发展散点图及回归曲线

表 5-19

龄 期 (d)	7	28	60	90	130	365
强度发展系数	0.54	1.00	1.19	1.30	1.38	1.48

解：(1) 求回归方程

由散点图观测  $x$  与  $y$  可配以双曲线  $1/y = a + b/x$ , 令  $y = 1/y, x = 1/x$ , 则  $y = a + bx$ , 这样就将双曲线转化为确定常数  $a、b$  的一元线性回归问题。为此,将原数据各取倒数并进行回归计算,计算结果列于表 5-20。

混凝土龄期与强度发展系数回归计算

表 5-20

x	y	x	y	$x^2$	$y^2$	$x y$
7	0.54	0.1429	1.8518	0.0204	3.4292	0.2646
28	1.00	0.0357	1.0000	0.0013	1.0000	0.0357
60	1.19	0.0167	0.3403	0.0003	0.7061	0.01403
90	1.30	0.0111	0.7692	0.0001	0.5917	0.00854
130	1.38	0.0056	0.7246	0.00003	0.5250	0.00406
365	1.46	0.0027	0.6849	0.000007	0.4691	0.00138
总和		0.2147	5.8708	0.022137	6.7211	0.3273

$$x = 0.2147$$

$$y = 5.8708$$

$$n = 6$$

$$\bar{x} = 0.03578$$

$$\bar{y} = 0.97848$$

$$\bar{x y} = 0.3278$$

$$x^2 = 0.022137$$

$$y^2 = 6.7211$$

$$(\bar{x})(\bar{y}) = 1.260461$$

$$(\bar{x})^2 = 0.046096$$

$$(\bar{y})^2 = 34.466298$$

$$Lx x = x^2 - (\bar{x})^2 / n = 0.022137 - 0.046096 / 6 = 0.0145$$

$L_{yy} = \sum y^2 - (\sum y)^2 / n = 6.7211 - 34.6629^2 / 6 = 0.9767$

$L_{xy} = \sum xy - (\sum x)(\sum y) / n = 0.1178$

于是有

$b = L_{xy} / L_{xx} = 0.1178 / 0.0145 = 8.124$

$a = \bar{y} - b\bar{x} = 0.97848 - 8.124 \times 0.03578 = 0.688$

回归方程为：

$y = 0.688 + 8.124x$

即

$1/y = 0.688 + 8.124x$

(2)相关指标计算

混凝土龄期与强度发展系数回归曲线偏差平方和计算列于表 5 -21。

混凝土龄期与强度发展系数回归曲线偏差平方和计算 表 5 -21

x	y	y <sup>2</sup>	y	= y - y	<sup>2</sup>
7	0.54	0.2916	0.54	0	0.0000
28	1.00	1.0000	1.02	- 0.02	0.0004
60	1.19	1.4161	1.21	- 0.02	0.0004
90	1.30	1.6900	1.29	0.01	0.0001
180	1.38	1.9044	1.37	0.01	0.0001
365	1.46	2.1316	1.42	0.04	0.0016
	6.87	8.4337	6.85		0.0026

根据表 5 -21 计算结果，得

$S^2 = \sum^2 = 0.0026$

$f = n - 2 = 6 - 2 = 4$

$S_k = S^2 / (n - 2) = 0.00255$

取置信度 = 0.05,自由度 f = 4,查附表 4 得  $t_{/2} = 2.776$

则  $t_{/2} S_k = 0.0708$

即在 5 % 置信度下,回归曲线方程  $1/y = 0.688 + 8.124x$  的误差不超过 ± 0.071 。相关指标  $R^2 = 1 - S^2 / L_{yy}$

$$L_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 / n$$
$$= 8.4337 - 6.87^2 / 6 = 0.5676$$

$R^2 = 1 - 0.0026 / 0.5676 = 0.995$ ， $R^2$  接近于 1,表明曲线适配较好。

由图 5 -40 提供的直观形象,参考 5 -34 至 5 -39 所列举的曲线,如果选用

对数曲线  $y = a + b\ln x$

幂函数曲线  $y = cx^b$

指数曲线  $y = \alpha e^{b/x}$

中某一条去拟合,原则上也是可以的。对于不同类型的拟合曲线,可通过剩余标准差  $S_k$  的计算,比较几者的  $S_k$  或  $R^2$ ,以选择最佳回归曲线,通常以较小的  $S_k$  为较优。

#### 四、回归分析在生产实际中应用应注意的问题

1. 若相关系数  $r$  的绝对值很小或接近于零, 只能说  $x$  与  $y$  的线性关系不密切, 但不能说它们的关系不密切, 因为它们的非线性关系可能是密切的。

2. 切不可将直线任意延长。

3. 若  $n$  对数据  $(x_i, y_i)$  中某个  $x$  与其它数据相比, 突出得太大或太小, 经检验后证明不可靠后, 可予以剔除。

4. 从两个变量的一批数据算出的相关系数的大小, 与两个变量是否互为因果, 是完全不同的两回事。

## 第六章 计量基础和误差理论

### 第一节 法定计量单位

#### 一、法定计量单位

##### 1. 法定计量单位的概念

计量单位是用以度量同类量大小的一个标准量。例如,1 米是度量长度、高度、宽度、厚度、波长等量大小的标准量,“米”就是这些量的计量单位。

法定计量单位是政府以法令形式明确规定要在全中国采用的计量单位。

在我国,解放前的计量制度相当混乱,市制、英制、公制和许多旧杂制同时并用,单位制之间的换算困难。解放后,我国政府十分重视统一计量单位的工作。

1959 年 6 月 25 日,国务院发布命令,确定以公制(米制)为我国的基本计量单位制,要求在全国范围内推广米制,限制英制,废除杂制。1977 年 5 月 27 日,国务院颁布的《中华人民共和国计量管理条例》又规定:“我国的基本计量制度是米制(即公制),逐步采用国际单位制”。1981 年 7 月 14 日,经国务院批准,中国国际单位制推行委员会公布了《中华人民共和国计量单位制名称与方案》。

但是,上述命令和条例规定对有些计量制度只是进行改革和限制,仍允许使用。这样一来,在我国推行米制,向国际单位制过渡中形成了米制、市制、英制和国际单位制四种计量单位制局面,不利于国民经济的发展,应该在采用先进的国际单位制的基础上,进一步统一我国的计量单位。因此,国务院于 1984 年 2 月 27 日发布《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》,规定 1990 年底以前要完成向国家法定计量单位的过渡。

目前,我国法定计量单位是以国际单位制单位为基础,根据我国的具体情况,适当地增加了一些其它单位而构成的。

我国的法定计量单位包括以下六个内容:

- (1)国际单位制的基本单位;
- (2)国际单位制的辅助单位;
- (3)国际单位制中具有专门名称的导出单位;
- (4)国家选定的非国际单位制单位;
- (5)由以上单位构成的组合形式的单位;
- (6)由词头和以单位所构成的十进倍数和分数单位。

##### 2 国际单位制构成

我国法定计量单位采用国际单位制,而国际单位制是在米制基础上发展起来的单位制,是目前世界上一种十分通用的先进计量单位制。

国际单位制是在 1960 年国际计量大会通过的。规定以拉丁字母“SI”作为国际单位制的



简称。

国际单位制的构成如下：

SI 基本单位有 7 个，它们都有严格的定义，具体见表 6-1。

国际计量大会把表示平面角的单位以及表示立体角的单位另列为一类，称为辅助单位。

SI 辅助单位有 2 个，它们是没有量纲的纯几何量单位，见表 6-2。

SI 导出单位是由基本单位以相乘、相除的形式构成的单位。

表 6-1 中的七个基本单位和表 6-2 中的二个辅助单位可以构成不同科学技术领域中所需的全部单位。

例如：用米(m)，千克(kg)、秒(s)可以构成力学、声学领域中所需的全部单位；

用米(m)，千克(kg)、秒(s)、安培(A)可构成电学、磁学领域的全部单位；

用米(m)，千克(kg)、秒(s)、开尔文(K)可构成热力学领域的全部单位；

用米(m)，秒(s)、坎德拉(cd)可构成光学领域的全部单位；

用米(m)，千克(kg)、秒(s)、开尔文(K)、摩尔可以构成分子物理学、物理化学领域的全部单位。

国际单位制的基本单位			表 6-1
量 的 名 称	单 位 名 称	单 位 符 号	
长度	米	m	
质量	千克( 公斤)	kg	
时间	秒	s	
电流	安〔培〕	A	
热力学温度	开〔尔文〕	K	
物质的量	摩〔尔〕	mol	
发光强度	坎〔德拉〕	cd	

国际单位制辅助单位			表 6-2
量 的 名 称	单 位 名 称	单 位 符 号	
平面角	弧度	rad	
立体角	球 面度	sr	

SI 导出单位有很多，对任何一个导出量，都有一个 SI 导出单位。因此在有关国际单位制的文件中只能给出具有专门名称的导出单位和其他单位的示例。

SI 导出单位可以分为如下的四类：

(1) 用 SI 基本单位表示的 SI 导出单位

用 SI 基本单位表示的 SI 导出单位的示例见表 6-3：

(2) 具有专门名称的 SI 导出单位(表 6-4)

用 SI 基本单位表示的 SI 导出单位示例

表 6-3

量	SI 单 位	
	名 称	符 号
面 积	平 方 米	m <sup>2</sup>
体 积	立 方 米	m <sup>3</sup>
速 度	米 每 秒	m/ s
密 度	千克每立方米	kg m <sup>3</sup>
比 体 积	立方米每千克	m <sup>3</sup> / kg

国际单位制中具有专门名称的导出单位

表 6-4

量 的 名 称	单 位 名 称	单 位 符 号	其它表示式例
频 率	赫〔兹〕	Hz	S <sup>-1</sup>
力; 重 力	牛〔顿〕	N	kg· m/ s <sup>2</sup>
压力; 压强; 应力	帕〔斯卡〕	Pa	N m <sup>2</sup>
能量; 功; 热	焦〔耳〕	J	N· m
功率; 辐射通量	瓦〔特〕	W	J s
电 荷 量	库〔仑〕	C	A· s
电位; 电压; 电动势	伏〔特〕	V	W/ A
电 容	法〔拉〕	F	C/ V
电 阻	欧〔姆〕		V/ A
电 导	西〔门子〕	S	A/ V
磁 通 量	韦〔伯〕	W b	V· s
磁通量密度, 磁感应强度	特〔斯拉〕	T	W b/ m <sup>2</sup>
电 感	亨〔利〕	H	W b/ A
摄 氏 温 度	摄氏度		
光 通 量	流〔明〕	lm	cd· sr
光 照 度	勒〔克斯〕	lx	lm/ m <sup>2</sup>
放 射 性 活 度	贝可〔勒尔〕	Bq	S <sup>-1</sup>
吸 收 剂 量	戈〔瑞〕	Gy	J kg
剂 量 当 量	希〔沃特〕	Sv	J kg

SI 导出单位很多,但是到目前为止具有专门名称的导出单位只有 19 个。对这些导出单位给予专门名称有以下两方面原因。

由于一些导出单位使用十分普遍,用 SI 基本单位来表示时,读与写又都十分麻烦。名称是米千克每二次方秒,符号为 m·kg·s<sup>-2</sup>,读与写都是一长串,很不方便。因此,对于这类经常普遍使用的导出单位,由国际计量大会通过,定出专门名称和符号,如力的单位叫做“ 牛顿 ”,

符号为“ N ”。

有些不同物理量具有相同的量纲,它们用 SI 基本单位构成的单位表示式是相同的,不指定专门名称就很难区分。

(3)用组合名称表示的 SI 导出单位

这类 SI 导出单位,没有设名称,也没有专门符号,而是用组合单位来表示的。这样的表示法不仅可使单位含意清楚,而且大大简化了单位名称及符号。例如,力矩的单位由牛顿和基本单位米合成。

(4) 用 SI 辅助单位表示的 SI 导出单位

如角速度,弧度每秒,符号为 rad/ s 等。

3 词头

词头又称词冠、前缀。它是西方文字中的一种构词成分,用于加在另外一个词前面,同那个词一起构成一个新词。词头都有确定的含义,但本身不是一个词,不能单独使用。国际单位制中规定了 16 个词头,用于与单位构成倍数和分数单位,国际上称为 SI 词头,并规定了它们的符号。表 6-5 为用于构成十进倍数和分数单位的词头。

表 6-5

所 表 示 的 因 数	词 头 名 称	词 头 符 号
$10^{13}$	艾〔可萨〕	E
$10^{15}$	拍〔它〕	P
$10^{12}$	太〔拉〕	T
$10^9$	吉〔咖〕	G
$10^6$	兆	M
$10^3$	千	k
$10^2$	百	h
$10^1$	十	da
$10^{-1}$	分	d
$10^{-2}$	厘	c
$10^{-3}$	毫	m
$10^{-6}$	微	$\mu$
$10^{-9}$	纳〔诺〕	n
$10^{-12}$	皮〔可〕	p
$10^{-15}$	飞〔母托〕	f
$10^{-18}$	阿〔托〕	a

4 国家选定的非国际单位制单位

凡不属于七个基本单位、两个导出单位和十九个具有专门名称的导出单位的其它单位,以

及以上这些单位中不是用词头构成而是另外给予了名称的十进倍数和分数单位,都应认为是非国际单位。例如质量单位千克的倍数单位兆克、吉克等,是由词头构成的,兆克、吉克是国际单位制的单位。然而等于一兆克的吨,就是非国际单位制单位。国家选定的非国际制单位见表 6-6。

国家选定的非国际单位制单位

表 6-6

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时 间	分 〔小〕时 天〔日〕	min h d	1 min = 60 s 1 h = 60 min = 3600 s 1 d = 24 h = 86400 s
平 面 角	〔角〕秒 〔角〕分 度	( <sup>″</sup> ) ( <sup>′</sup> ) ( <sup>°</sup> )	1 <sup>″</sup> = ( / 648000) rad ( 为圆周率) 1 <sup>′</sup> = 60 <sup>″</sup> = ( / 10800) rad 1 <sup>°</sup> = 60 <sup>′</sup> = ( / 180) rad
旋转速度	转 每 分	r/ min	1 r/ min = (1/ 60)s <sup>-1</sup>
长 度	海 里	n mile	1 n mile = 1852 m (只用于航行)
速 度	节	kn	1 kn = 1 n mile/ h = (1852/ 3600) m/ s (只用于航行)
质 量	吨 原子质量单位	t u	1 t = 10 <sup>3</sup> kg 1 u = 1.6605655 × 10 <sup>-27</sup> kg
体 积	升	L, (l)	1 L = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
能	电子伏	eV	1 eV = 1.6021892 × 10 <sup>-19</sup> J
级 差	分贝	dB	
线 密 度	特〔克斯〕	tex	1 tex = 1 g/ km

(1) 时间单位——分(min)、小时(h)、天(d)

时间的 SI 单位是秒(s), 只有秒及其十进倍数和分数单位是不够的。这是因为, 除秒以外, 人们在日常生活中习惯使用其他的时间单位, 如分、小时、天、周、月、年等。这些单位都不是国际单位制单位, 如果废除就很不方便, 如一天工作 8 小时就要说成一天工作 28800 秒, 而且天和年是以地球的自转周期为基准制定的, 如果废除要带来很多麻烦。因此国家选定分、小时、天为非国际单位制的法定计量单位, 还规定周、月、年为一般常用时间单位。

(2) 质量单位——吨(t)

吨的定义为: 吨等于 1 兆克的质量, 符号为 t。

1t = 1 M g = 10<sup>3</sup> kg

根据国际单位制规定, 倍数单位只能在 SI 单位之前加 SI 词头构成。而这个质量单位违

反了这一规定,出现了新的单位名称。因此,尽管 1 吨等于 1 兆克,但只有兆克(Mg)才是质量的 SI 单位千克(kg)的倍数单位,因此吨不是国际单位,也列为国家选定的非国际单位制单位。

### (3) 体积单位 - 升(L)

升的定义为:升等于 1 立方分米的体积。

注意,不能把升称为“公升”、“立升”等。

### 5 组合形式的单位、十进倍数和分数单位

凡是由两个或两个以上的单位以相乘或相除或既有乘又有除构成的单位称为组合形式的单位,简称组合单位。凡是由一个单位与数学符号或数字指数构成的单位,也是组合单位。例如:立方米,  $\text{m}^3$ ; 米每秒,  $\text{m/s}$ ; 每米,  $\text{m}^{-1}$ 。

在国际单位制中,单位都是十进或千进的。一切倍数和分数单位,无一例外地只能由词头加在主单位之前构成,而不应另给予专门名称。例如,立方米的分数单位可以是立方分米而不应称为升,虽然法定单位中包括升,但它不是国际单位制单位。

凡这样构成的十进倍数和分数单位也都是法定计量单位。例如,除主单位米外,厘米,毫米,微米,千米也都是法定计量单位。又如千瓦小时,因为“瓦”是国际单位制中的主单位,“千”是词头,而“小时”是法定计量单位,所以由它们构成的单位也是法定计量单位。

## 二、法定计量单位的使用

法定计量单位的使用方法共有 37 条规定。这些规定,学起来很繁琐,记起来也费劲。首先要搞清几个概念,在使用时不致混淆,如量的符号,单位名称,单位符号,中文符号等。

量的符号不是法定计量单位的内容,量的符号也不是唯一的,在不同的专业领域,同一个符号可以代表不同的量。量的符号一律用斜体。用表示物理量的符号作为下角标时,符号用斜体。其他下标用正体。如果量的符号组合为乘积,可用下列形式之一表示:  $ab$ ,  $a \cdot b$ ,  $a \times b$ 。

如果一个量被另一个量除,可用下列形式之一:  $\frac{a}{b}$ ,  $a/b$  或  $a \cdot b^{-1}$ 。字母符号与其前面的数字之间,相乘不用“ $\times$ ”,如  $48yz^{3x}$ ; 字母符号与其后面的数字相乘须用“ $\times$ ”如  $3UI \times 10^{-3}$ 。

中文符号是所规定的单位名称的简称,没有简称的用其全称。如:米、秒的中文符号为:米、秒;牛顿、法拉、帕斯卡的中文符号为:牛、法、帕。相乘构成的组合单位的中文符号为单位间加居中圆点,如:牛·米;瓦·时。相除构成的组合单位的中文符号有二种形式:千克/米<sup>3</sup>和千克·米<sup>-3</sup>;即用斜线表示相除或写成负指数幂的相乘形式。

单位符号用于公式、数据表、曲线图、刻度盘和产品铭牌等需要简单明了表示的地方,也可用于叙述性文字中,单位符号要采用国际符号,而不能用其他的符号。所有的单位符号,都应该用正体。除了来源于人名的单位,其符号的第一个字母必须大写外,其余单位符号都用小写字母。如:A(安培),m(米),s(秒),Wb(韦伯)。单位符号应置于表示一个量的整个数值之后,并与它前面的数值之间留半个阿拉伯数字的间隙。当组合单位是两个或两个以上的单位相乘构成时,可以表示为下列形式之一:  $N \cdot m$  或  $Nm$ 。当组合单位是由一个单位,除以另一单位时,可表示为下列形式之一:  $\frac{m}{s}$ ,  $m/s$  或  $ms^{-1}$ 。无论在何种情况下,都不得在同一行内多于一条的斜线(/),在复杂情况下,应使用负数幂。单位名称只用于叙述性文字中。

### 1. 常用的法定计量单位的使用要点

#### (1) 长度的法定计量单位

长度的法定计量单位是米(m)和海里(n mile)及其倍数、分数单位。米的常用倍数、分数

单位是:千米 km、厘米 cm、毫米 mm、微米  $\mu\text{m}$ 、纳米 nm、皮米 pm。

长度单位应淘汰的单位是公尺、公分、公厘、公丝、米厘、丝米、忽米、毫微米、里。

(2) 质量的法定计量单位

质量的法定单位是: 千克(公斤)及其克的倍数、分数单位; 吨及其倍数单位; 原子质量单位 u。

克(g)常用的倍数、分数、单位是:兆克 Mg;克 g;毫克 mg;微克  $\mu\text{m}$ 。而百克 hg、十克 dag、分克 dg、厘克 cg 这四个单位不用。

吨的国际符号是 t,不能写成 T,用于计量质量的量。吨可以用词头构成倍数单位。如兆吨(Mt)、千吨(kt)、百吨(ht)。最常用的是和数词“万”、“亿”等连用,如万吨;亿吨。

质量单位加词头时不允许在 kg(千克)的前面加词头,例如: mkg, kkg, Mkg。词头要加在 g(克)的前面,例如: mg, Mg。

应淘汰的质量单位主要是:(市制中的)担、斤、两、分、钱。此外还有:公吨、公两、公钱、磅、盎司(常衡、药衡、金衡)及用于微粒子质量的单位:道尔登。

(3) 力的法定单位

力、重力单位——牛顿

力的法定单位是牛顿(N)及它的倍数、分数单位。常用的有:兆牛 MN( $10^9\text{N}$ )、千牛 kN( $10^3\text{N}$ )、毫牛 mN( $10^{-3}\text{N}$ )、微牛  $\mu\text{N}$ ( $10^{-6}\text{N}$ )。

单位“牛顿”是由千克、米、秒三个基本单位构成的导出单位。“牛顿”是 1 千克质量的物体获得  $1\text{m/s}^2$  的加速度的力,  $1\text{N} = 1\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$ 。

力的单位是一个常用的重要单位。在我国,过去常用的单位是工程单位制,它与牛顿差别很大。在工程单位制中,力的单位是基本单位(而国际单位制中,力的单位是具有专门名称的导出单位),称为千克力,其定义为:千克力等于质量为 1kg 的物体在 45°海平面上所受的重力,符号为 kgf。在 45°海平面,重力加速度为  $9.80665\text{m/s}^2$ (这个重力加速度值,在国际上定为标准重力加速度)。根据牛顿第二定律的物理方程式  $F = ma$ ,质量为 1kg 的物体获得  $9.80665\text{m/s}^2$  的加速度时,物体所受到的作用力为

$$F = 1\text{kg} \times 9.80665\text{m/s}^2 = 9.80665\text{N}$$

这就是说,工程单位的 1kgf 相当于国际单位制的 9.80665 N。

即  $1\text{kgf} = 9.80665\text{N}$  或  $1\text{N} = 0.1019716\text{kgf}$

对于一般工程技术,即三位有效数字就可满足要求,那么  $1\text{kgf} = 9.81\text{N}$  或  $1\text{N} = 0.102\text{kgf}$ 。

以前我国使用的测力机、材料试验机 etc 测力仪器均采用千克力(kgf)或吨力(tf)作为计量单位,但在法定计量单位中,力值的单位是牛顿(N)及其倍数单位千牛顿(kN)、兆牛顿(MN)等。因此,这些测力仪器要加以改制。

将力的单位由千克力改为牛顿,其根据是上述的换算关系:  $1\text{kgf} = 9.80665\text{N}$ 。按此关系,当要将原 30tf 万能试验机改为牛顿值试验机时,其测量范围应改为:

$$30000 \times 9.80665\text{N} = 294.1995 \times 10^3\text{N}$$

为了使数值为整数,取 300kN,即把 30tf 试验机改制为 300kN 试验机。由于  $1\text{N} = 0.1019716\text{kgf}$ ,故  $300\text{kN} = 300000 \times 0.1019716\text{kgf} = 30.59148 \times 10^3\text{kgf}$

可见,将 30tf 万能试验机改成为 300kN 试验机后,相当于其测量范围比原来增加了 2%,即超载 2% ( $(30.6 - 30)/30 = 2\%$ )。

由于任何材料试验机都应有 2 % 的超载工作能力,因此,超载 2 % 不会影响机器本身的强度。

压强、应力单位——帕斯卡(帕)

压强、应力的法定计量单位相同,它们是帕(Pa)及其倍数、分数单位,同时还包括由力、面积的法定单位相除而构成的组合单位。常用的帕的倍数单位有:吉帕(GPa)( $10^9$  Pa);兆帕(MPa)( $10^6$  Pa);千帕(kPa)( $10^3$  Pa);百帕(hPa)( $10^2$  Pa);毫帕(mPa)( $10^{-3}$  Pa);微帕( $\mu$ Pa)( $10^{-6}$  Pa)。常用的组合单位有:牛顿每平方米( $\text{N}/\text{cm}^2$ );牛顿每平方毫米( $\text{N}/\text{mm}^2$ )等。

帕斯卡是 1 平方米面积上均匀地垂直作用 1 牛顿力所形成的压强。 $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ 。目前,压强和应力在各个学科和各行各业中采用不同单位,计有 20 余种。今后均应统一用帕斯卡(Pa)为单位。

工程大气压,即公斤力每平方厘米( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )。这是普遍应用,但应废除的单位。

因为  $1\text{kgf} = 9.80665\text{N}$ ,  $1\text{cm}^2 = 1(10^{-2}\text{m})^2 = 10^{-4}\text{m}^2$

所以  $1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 9.80665\text{N}/10^{-4}\text{m}^2 = 9.80665 \times 10^4\text{N}/\text{m}^2$  (或 Pa)

$1\text{Pa} = 1.019716 \times 10^{-5}\text{kgf}/\text{cm}^2$

标准大气压是 0 时在标准重力加速度为  $9.80665\text{m}/\text{s}^2$  处,密度为  $13.5951\text{g}/\text{cm}^3$ 、高度为 760 mm 水银柱所产生的压强。标准大气压又称为大气压或物理大气压。

因为  $760\text{mm} = 76\text{cm}$

标准大气压  $1\text{atm} = 13.5951 \times 76\text{g}/\text{cm}^2$   
 $= 1033.23\text{g}/\text{cm}^2 = 1.03323\text{kgf}/\text{cm}^2$   
 $= 1.03323 \times 9.80665 \times 10^4\text{Pa}$   
 $= 1.01325 \times 10^5\text{Pa}$

即  $1\text{atm} = 1.01325 \times 10^5\text{Pa}$

$1\text{Pa} = 9.86923 \times 10^{-6}\text{atm}$

2 避免常犯的错误

(1) 词头使用时应注意

当词头所表示的因数小于  $10^6$  时,一律用小写体,大于或等于  $10^6$  时用大写体。

词头不是数词,仅用于构成十进倍数单位和分数单位,而不能作数词用。应注意避免与汉字数词混淆,必要时使用圆括号。如体积尽量避免写为“2 千米<sup>3</sup>”,如写成 2 千米<sup>3</sup>,只能认为是“2(千米)<sup>3</sup>”;如表示“二立方千米”,可写成为“2(千米)<sup>3</sup>”,此处“千”为词头;如表示“二千立方米”,可写为“2 千(米)<sup>3</sup>”,此处“千”为数词。

倍数单位或分数单位的乘方形式的指数,属于包括倍数和分数在内的整个单位。单位前加了词头后,即形成一个新的单位,无论它的名称是否是符号,使用时应作为一个整体而不可分割。因此,其乘方形式的指数是这个新单位的指数,而不是原单位的指数。如: $1\text{km}^2 = 1(10^3\text{m})^2 = 10^6\text{m}^2$ ,而不是  $1000\text{m}^2$ ;其读法应为 1 平方千米,而不能读为 1 千平方米。

词头不能重叠使用和单独使用; $\text{mm}$ (毫微米)应改为  $\text{nm}$ (纳米); $\mu\text{F}$ (微微法)应改为  $\text{pF}$ (皮法);15 微米不能写成  $15\mu$ 。三千千瓦可用,前面千是数词,后面千是词头,不属词头重叠。

亿( $10^8$ )、万( $10^4$ )等是我国习惯用的数词,仍可使用,但不是词头。

法定单位中非 10 进的单位如:[角]度( $^\circ$ )、[角]分( $'$ )、[角]秒( $''$ )、分(min)、小时(h)、天(d)以及摄氏度( $^\circ\text{C}$ )均不得使用 SI 词头构成倍数、分数单位。

数值的有效位数不能因使用词头而发生变化。数值的有效位数常用来表示数值的不确定度。如果有效位数有了变化,就意味着数值的不确定度发生了变化,这是在使用词头时要注意的。例如,1000 m 有 4 位有效位数,而 1 km 不能写为 1000 m 而应写为  $1 \times 10^3$  m,1000 m 不能写为 1 km,而应写成 1.000 km。

(2) 书写组合单位时应注意:

当单位符号同时是词头符号时,应将它置于右侧,相乘时最好不用指数形式。如:功的单位 N m 不得写成 m N,以免误为“毫牛”;速度单位 m/s 不得写成  $\text{ms}^{-1}$ ,以免误为“每毫秒”。

相除构成的单位书写时分子分母应在同一水平线上,字母应为正体字。

无论分母中有几个单位,斜线不得多于 1 条,必要时要加圆括号。如表示城市每人每月用水量应为升/(人·月),不应为升/人/月或升/人月。

组合单位的名称读法的原则:

从左往右,乘号不读音。如 N·m 读作“牛顿米”或“牛米”,t·km 读作“吨千米”或“吨公里”。

按单位先后次序:先分子后分母,除号读“每”字。无论分母中有几个单位,“每”字只出现一次。如:m/s 读作“米每秒”,不读“秒米”或“每秒米”;W/(m·K) 读作“瓦特每米开尔文”或“瓦每米开”,不要读作“瓦每米每开”或“每米每开瓦”。

幂指数,除表示面积读单位前面用“平方”,表示体积读单位前面用“立方”外,其余都用“...次方”。如: $\text{m}^2$  读作“平方米”(面积); $\text{m}^3$  读作“立方米”(体积); $\text{m}^4$  读作“四次方米”。 $\text{m/s}^2$  读作“米每二次方秒”(加速度)。

分子为 1 的单位用“每”字开头。如  $\text{s}^{-1}$  读作“每秒”, $\text{m}^{-1}$  读作“每米”, $\text{H}^{-1}$  读作“每亨”。

(3) 使用单位时应注意:

单位名称或符号必须作为一个整体使用而不能拆开。例如:摄氏温度单位“摄氏度”表示的量值应写成“20 摄氏度”或“20 °C”,不应写成并读成“摄氏 20 度”。

单位名称和符号应置于整个数值之后。例如: $5572 \pm 5$  m 不得写成“ $5572 \text{ m} \pm 5 \text{ m}$ ”;1.5 m 不得写成“1 m 5”。

十进制的单位一般在一个量值中只应使用一个单位。例如:1.75 m 不应写成“1 m 75 cm”。

(4) 法定计量单位常见使用差错表(表 6-7)。

法定计量单位常见使用差错表				表 6-7
序号	内 容	误	正	错 误 原 因
1	质量单位符号	T	t	不是用人的名字单位用小写字母
2	长度单位符号	M	m	同 上
3	词 头	K	k	千以下词头用小写
4	长度单位符号	m μm	nm	词头不能连用
5	长度单位名称	海 里	海 里	
6	非面积单位	平方米	二次方米	“平方”只能用于面积
7	非体积单位	立方米	三次方米	“立方”只能用于体积



8	体 积 单 位	公 升 , 立 升	升 , 毫 升	
9	重 力 加 速 度	9.8 米 每 秒 每 秒	9.8 米 每 二 次 方 秒	”每 ”字 只 用 一 次
10	力 矩 中 文 符 号	牛 米	牛 · 米	居 中 要 加 圆 点

续上表

序号	内 容	误	正	错 误 原 因
11	力矩单位符号	nN	N·m 或 Nm	应将 m 放在后面,避免与毫牛混淆
12	计算式	F = ma = 9.8 牛顿力	F = ma = 9.8 牛顿 或 9.8 N	在算式中不允许用量的名称
13	电能单位	kW·小时	kW·h	符号和名称不能混用
14	文字叙述	每 kg 鱼价 5 元	每公斤鱼价 5 元	国际符号不能代文字使用
15	文字表述	5kg—7kg	5—7kg	
16	误差表述	642 mm ± 5 mm	642 ± 5 mm	
17	级差	db	dB	“贝”来源人名应大写
18	温度	度	或摄氏度	
19	压强	牛顿/米 <sup>2</sup> 牛顿/平方米	N/m <sup>2</sup> 牛/米 <sup>2</sup>	作为符号只能用“牛”
20	时间符号(年) 小时 10 小时 28 分 30 秒	y, yr hr 10h 28' 30"	a h 10h 28min 30s	

(5) 遇到生僻的单位时,要查阅手册或向专家请教,不可想当然。

三、工程中常用的法定计量单位

工程中常用的法定计量单位见表 6-8。

表 6-8

序号	量 的 名 称	单 位 名 称	单位符号	中文符号
1	长度	米	m	米
2	长度	千米	km	千米
3	长度	厘米	cm	厘米
4	长度	毫米	mm	毫米
5	长度	海里	n mile	海里
6	面积	平方米	m <sup>2</sup>	平方米
7	体积,容积	立方米	m <sup>3</sup>	立方米
8	体积,容积	升,立方分米	L, dm <sup>3</sup>	升,立方分米
9	体积,容积	毫升	ml	毫升
10	质量	千克	kg	千克

续上表

序号	量 的 名 称	单 位 名 称	单 位 符 号	中 文 符 号
11	质量	吨	t	吨
12	力,重力	牛(顿)	N	牛
13	力,重力	千牛(顿)	kN	千牛
14	压强,应力	帕(斯卡)	Pa	帕
15	压强,应力	兆帕(斯卡)	MPa	兆帕
16	速度	米每秒	m/s	米/秒
17	速度	千米每(小)时	km/h	千米/时
18	速度	节	kn	节
19	加速度	米每二次方秒	m/s <sup>2</sup>	米/秒 <sup>2</sup>
20	角速度	弧度每秒	rad/s	弧度/秒
21	转速	转每秒	r/min	转/分
22	时间	秒,分,时	s, min, h	秒,分,时
23	时间	天(日),年	d, a	天(日),年
24	角度	弧度	rad	弧度
25	角度	度	(°)	度
26	角度	(角)分	( )	分
27	角度	(角)秒	( ")	秒
28	温度	开(尔文)	K	开
29	温度	摄氏度		
30	力距	牛(顿)米	N·m(N·m)	牛·米
31	电流	安(培)	A	安
32	电压	伏(特)	V	伏
33	电阻	欧(姆)		欧
34	电容	法(拉)	F	法
35	电导	西(门子)	S	西
36	频率	赫(兹)	Hz	赫
37	功,能,热	焦(耳)	J	焦
38	功率	瓦(特),伏安	W, VA	瓦,伏安

续上表

序号	量 的 名 称	单 位 名 称	单 位 符 号	中 文 符 号
39	粘度	帕斯卡秒	Pa·s	帕·秒
40	密度	克每立方厘米	g cm <sup>3</sup>	克/厘米 <sup>3</sup>
41	密度	吨每立方米	t m <sup>3</sup>	吨/米 <sup>3</sup>
42	发光强度	坎(德拉)	cd	坎
43	物质的量	摩(尔)	mol	摩
44	光照度	勒(克斯)	lx	勒
45	级差	分贝	dB	分贝
46	词头	兆,千,百,十	M , k, h, da	兆,千,百,十
47	词头	分,厘,毫,微	d, c, m, μ	分,厘,毫,微

第二节 误差概念

在进行任何一次测量时,所用的测量设备,所采取的测量方法,对测量环境和条件的控制及人的观察认识能力都受到当前的科学技术水平和人的生理条件所制约,都不可能做到完全正确,因而必然使测量结果受到歪曲,表现为测量结果与被测量真值之间存在一定差值,即测量误差,这就是说误差存在是必然的和普遍的。由此可见,误差是不能完全消除,只能减小和削弱,所以我们要对误差进行研究。

一、误差的含义

对一个物理量测量后,测量结果与该物理量真实大小之间的差异,叫做误差。

= X - X<sub>0</sub> (6-1)

式中： —— 测量误差；  
X—— 测量值；  
X<sub>0</sub>—— 真值。

例如三角形测量其三个角,三角之和的真实值应为 180°,若测得为 180°00'03",则测量误差为 180°00'03" - 180° = 3"。

误差与真实值之比称为相对误差,因测量值与真实值接近,故也可以把误差与测量值之比作为相对误差,即

实际相对误差 =  $\frac{\text{测量误差}}{X_0} \times (100\%)$  (6-2)

标称相对误差 =  $\frac{\text{测量误差}}{\bar{X}} \times (100\%)$  (6-3)

额定相对误差 =  $\frac{\text{测量误差}}{X_{\text{max}}} \times (100\%)$  (6-4)

其中,  $X_{max}$  为满量程值。

在工程中,采用最大额定相对误差作为测量传感器的精度等级,即

$$\text{最大额定相对误差} = \frac{\delta_{max}}{X_{max}} \times 100\%$$

其中,  $\delta_{max}$  为全量程范围内的最大测量误差。

例 6-1 某差压传感器测量范围为 0 ~ 0.2 MPa, 量程范围内最大绝对误差为 0.0004 MPa, 问该传感器的精度等级是多少?

解:  $\delta_{max} = 0.0004$

$$X_{max} = 0.2 - 0 = 0.2$$

$$\text{最大额定相对误差} = \frac{0.0004}{0.2} \times 100\% = 0.2\%$$

故该传感器精度等级为 0.2 级。

对仪器仪表的误差,经常出现下面的名词定义。

仪器仪表示值误差 = 指示值 - 计量检定值

$$\text{仪器仪表示值相对误差} = \frac{\text{仪器仪表示值误差}}{\text{指示值}} \tag{6-5}$$

$$\text{仪器仪表示值引用误差} = \frac{\text{仪器仪表示值误差}}{\text{仪器仪表最大指示值}} \tag{6-6}$$

例如某材料试验机量限为 1000kg, 在 500kg 下百分表读出的指示值为 1.795, 但换上测力计在 500kg 下的计量检定值为 1.791, 则求得

$$\text{相对误差} = \frac{1.795 - 1.791}{1.795} = 0.22\%$$

$$\text{引用误差} = \frac{1.795 - 1.791}{2 \times 1.795} = 0.11\%$$

仪器仪表精度等级用最大示值误差与最大指示值的百分数表示。

例如检定 2.5 级电压表, 量程 100V, 检定中发现最大示值误差在 50V 处为 2V, 故该表精度 2.5 级是合格的, 检定的最大引用误差 =  $2/100 = 2\%$ 。

显然, 最大引用误差与最大额定相对误差意义是相同的。

## 二、误差的来源

在测量过程中,引起测量误差的因素众多,但在分析和计算测量误差时,不可也不必逐一对所有误差因素进行分析计算,而是着重分析计算引起误差的主要因素。通常情况下,产生误差的主要原因有以下几个方面:

### 1. 设备误差

(1) 这种误差按其来源又可分为:

标准器误差:提供标准量值的器具称为标准器,如氪 - 86 灯管、标准量块、标准电池、标准电阻、铯原子钟等。来自标准器的误差称为标准器误差。

仪表误差:用来直接或间接将被测的量和测量单位比较的设备,称为仪表,如天平、温度计、秒表、检流计等。来自仪表的误差称为仪表误差。

附件误差:为测量创造一些必要条件,或者使测量方便地进行的各种辅助物均属测量附件,如电测中转换开关及移动接触点、电源、热源、连接导线等。来自附件的误差称为附件误差。

(2) 按其表现形式可分为:

机构误差:如等臂天平不等臂、线纹尺分划质量不好、量块的不平行性、螺旋测微仪有空行程、由于零件联接间隙所致隙动产生的误差。这种误差大部分是由于制造工艺所引起的。

调整误差:仪表、量具等没有调整到理想状态(如不垂直、不水平、偏心与定向不准)引起的误差。

量值误差:测量量值不准(如指示仪表测量误差,各种膨胀系数测定误差)、量值随时间变化的不稳定性(如激光波长的长期稳定性和短期稳定性,尺长的时效,电阻的老化,晶体频率的长期漂移)、量值的不均匀(如硬度块上位置不同则硬度不同)等引起的误差。

## 2 环境误差

这是由于各环境因素与要求的标准状态不一致及其在空间上的梯度与其随时间的变化,引起测量设备的量值变化、机构失灵、相互位置改变等引起的误差。这些因素为温度、湿度、气压(引起空气各部分的扰动)、振动(大地微震、外界条件及测量人员引起的振动)、照明(引起的视差)、加速度、电磁场、野外工作时的风效应、阳光照射、透明度、空气含灰等。

## 3 人员误差

测量者生理上的最小分辨力、感觉器官的生理变化、反应速度和固有习惯等引起的误差。如记录某一信号时,测量员有滞后和超前的趋向,对准标志读数时,对准始终偏左或偏右,偏上或偏下。

## 4 方法误差

这是由研究方法引起的误差。如经验公式函数类型选择的近似性;在推导测量结果表达式中没有反映,而在测量过程中实际起作用的一些因素引起的误差(如电测量中的绝缘漏电、引线电阻的压降、平衡线路中的灵敏阀等);对已考验方法进行了不小心简化,操作和实验不合理等引起的误差都是方法误差。

在一些计量工作中,测量对象本身的偶然变化有时也应作为误差因素考虑。总之,在计算测量结果的精度时,对上述四个方面的误差来源,必须进行全面分析,力求不漏,不重复,特别要注意大误差因素。

# 三、误差的种类

测量误差的来源是多方面的,但就其产生的原因和性质而言,常把误差分为随机误差(或称偶然误差)、系统误差、粗差(或称过失误差)。

## 1. 系统误差

系统误差服从某一确定的规律。在一定的条件下进行一系列观测后,如果观测误差的数值和符号总保持不变,或在条件改变时,按某一确定规律变化,这种带有系统性和方向性的误差叫作系统误差。它引起平均值对真值的偏离。它决定测量结果的准确度。

系统误差主要由仪器校准误差、实验条件、个人误差等因素引起,可分为两大类:

### (1) 定值系统误差:

在整个测量过程中,误差大小和方向始终不变。如定值量具的偏差、计量器具的零位误差等。

### (2) 变值系统误差:

在整个测量过程中,误差大小和方向按确定的规律变化。

通常又将变值系统误差分为:

线性系统误差:随时间或测量值的变化,线性递增或递减的系统误差。

周期性系统误差:随着测量值或时间的变化而呈周期变化的系统误差。

例如仪器度盘安装偏心,仪表指针回转中心与仪表刻度中心有偏心都会引起周期性系统误差。

复杂规律变化的系统误差:随着测量值或时间的变化而呈较复杂规律变化的系统误差。

系统误差有的可以通过查明原因或找出其变化规律,在测量结果中予以修正。例如回弹仪检测时有角度和测试面修正;超声波检测仪当在混凝土浇注的顶面与底面测试时,测区声波速度应进行修正等。

## 2 粗大误差

明显超出确定条件下预期的误差。粗大误差往往是由于人工疏忽或环境的干扰造成的,所以也称疏失误差或粗差。这类误差很难估计。带有这类误差的测量结果是不符合事实的,应舍弃不用。例如,反读游标卡尺值、记录错误值、仪表损坏后指示值等。要注意的是对可疑值须仔细分析,确定为粗差后才能剔除,谨防由于某种原因剔除合理的数据。可依基本法则剔除含粗差的数据,最好几种法则同时使用,都符合后才剔除。若被剔除的数据百分比较大,应怀疑数据的误差分布不是正态分布,而是某种非正态分布。

## 3 随机误差

在实际情况相同的条件下,多次测量同一量时,绝对值和符号以不可预定方式变化的误差,称之为随机误差。随机误差是判断误差、环境条件的变化干扰等许多因素共同影响的结果。

随机误差就个体而言是不确定的,没有一定的规律性,但从多次重复测量的总体看服从一定的统计规律,因此可以用统计方法估计。一般,随机误差服从正态分布,反映测量值自身的离散程度,它具有对称性,故其平均值的误差随测量次数增加而逐渐趋于零。这样,通过多次测量,取测量值的平均值,便可减少随机误差,作为真值的最佳估计值。此外,在一定的试验条件下,随机误差的绝对值不会超出一定的限度。据此,可以确定在每一试验过程中允许的误差范围。

随机误差常由测量仪器、测量方法和环境等因素造成。如仪器的电源电压不稳,刻度线不一致,读数中的视差、度量曲线中线条宽度、温湿度的影响、磁场的干扰等,都会给测量结果带来随机误差。

随机误差与系统误差虽是两类不同性质的误差,但它们都是误差,都有确定的界限,都存在于一切实验中,虽可削弱、减少,但无法彻底消除。它们之间的划分是辩证的。有些系统误差的出现带有随机性,往往可按随机误差处理;有些系统误差很小的场合,总误差可按纯随机误差处理。同样,有些随机误差随人们认识深化,归为系统误差。在随机误差很小、系统误差很大的情况下,总误差可按系统误差处理。若系统误差与随机误差都不可忽略时,应用两类误差合成的方法处理。

# 四、测量误差对测量结果的影响

以上我们从误差的性质出发,谈论了误差的分类与来源。我们知道了误差有三类,即随机误差、系统误差和粗差。由于误差的性质不同,因而它们对测量结果的影响也不同,下面分别讨论它们对测量结果的影响。

## 1. 随机误差对测量结果的影响

一般地说,随机误差只有在仪器设备的灵敏度比较高,或分辨率足够高,并且只有对某一被测量值进行多次测量或多次比较时才能发现。随机误差的存在,只影响测量结果的精密程度,而对其它无大的影响。所谓精密度,是表示多次测量同一量值时,各测量值之间的离散程度。它主要反映随机误差对测量结果的影响程度,一般用标准差( )表示。若随机误差小,重复性就高,分布密度集中,其精密度高, 值小。

2 系统误差对测量结果的影响

系统误差一般是一项固定的误差。假如在某项测量中存在某项系统误差,而我们又未能及时发现,这个测量结果就是不正确的。因此,系统误差的存在,直接影响测量结果的准确程度,也就是说,测量结果的正确与否,很大程度上取决于该次测量的系统误差的大小。因此,我们用准确度表示测量结果中系统误差大小的程度。精确度反映综合误差大小的程度,只有随机误差和系统误差都很小时,精确度才高。

3 粗差对测量结果的影响

对于粗差,由于它明显地歪曲了测量结果 ,因此,含有粗差的测量结果应从测量列中剔除。

关于精密度、准确度和精确度之间的关系,如我们射击打靶,可能会出现如图 6-1 所示情况:

(1)射击点在靶心附近(图 6-1(a)),对这种情况,我们说它的准确度高,精密度低。原因是射击较准,但分布很散,所以精密度差。

(2)射击点离靶心较远,但都密集在一处(图 6-1(b))。这种情况我们说它精密度高,准确度差。原因是虽未射击在靶心但较集中。

(3) 射击点在靶心很近的某一处(图 6-1(c))。这种情况我们说它精密度和准确度都比较高。原因是大部分都落在靶心,而且分布比较集中,所以是既准确,又精密,即精确度高。

图 6-1 精密度、正确度和精确度图解

### 第三节 误差分析

#### 一、偶然误差

##### 1. 测量值的重要数字特征

###### (1) 算术平均值

若在同一条件下,对某物理量作独立的多次测量,其结果为  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 。

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \tag{6-7}$$

其实这就是测量结果的算术平均值(也简称为平均值)。当试验或测量的次数无限增大时,  $\bar{X}$  就趋向于它的真值  $X_0$ 。例如,在同一条件下,用同一个钢卷尺 测量房间的长度,得到一组数据:5.23 m,5.24 m,5.24 m,5.25 m,5.26 m,用上述公式(6.7)可求得该测量列的平均值  $\bar{X} = 5.244 \text{ m}$ 。

我们实测得到的数据带有各种各样的误差,如仪器的误差,测量方法误差,人为误差和环



境误差,即系统误差加随机误差。这些误差有正有负,因此,求均值后,正负误差消去了一部分,从而反映了检测数据的真实面貌。

(2) 均方根平均值

均方根平均值对数的大小跳动反映较为灵敏,计算公式如下:

$$\bar{X}_S = \frac{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2}{n} = \frac{X_i^2}{n} \tag{6-8}$$

(3) 加权平均值

在等精度测量中是以算术平均值作为最终测量结果。在不等精度测量中是以加权算术平均值作为最终测量结果。

若不等精度测量值为  $X_1, X_2, \dots, X_m$

其权为  $P_1, P_2, \dots, P_n$

则加权算术平均值由下式求得:

$$\bar{X}_P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i X_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \tag{6-9}$$

由于测量结果的权与其精度是一致的,所以测量结果的权  $P$  与其标准差的平方成反比(标准差 将在下面给予介绍),即:  $P \propto \frac{1}{\sigma^2}$ 。且通过不同测量结果的权之比等于其标准差平方的倒数之比来确定权的数值。即:

$$P_1 : P_2 : \dots : P_n = \frac{1}{\sigma_1^2} : \frac{1}{\sigma_2^2} : \dots : \frac{1}{\sigma_n^2}$$

例 6-1 对一钢卷尺的长度用三种不同的方法进行测量,其结果为:

$$L_1 = 2000.45 \text{ m m} \qquad \sigma_1 = 0.05 \text{ m m}$$

$$L_2 = 2000.15 \text{ m m} \qquad \sigma_2 = 0.20 \text{ m m}$$

$$L_3 = 2000.60 \text{ m m} \qquad \sigma_3 = 0.10 \text{ m m}$$

求各测量结果的权和该测量列的加权算术平均值。

解: 
$$P_1 : P_2 : P_3 = \frac{1}{\sigma_1^2} : \frac{1}{\sigma_2^2} : \frac{1}{\sigma_3^2}$$
$$= \frac{1}{0.05^2} : \frac{1}{0.20^2} : \frac{1}{0.10^2} = 16 : 1 : 4$$

因此  $P_1 = 16, P_2 = 1, P_3 = 4$

$$\bar{X}_P = \frac{16 \times 2000.45 + 1 \times 2000.15 + 4 \times 2000.60}{16 + 1 + 4} = 2000.46$$

2 误差计算

(1) 标准误差

标准误差也称均方根误差、标准离差、均方差,简称标准差,用符号  $\sigma$  表示。

标准差(标准误差)不是具体的误差值,它是众多随机误差的统计平均值,表征了随机误差的平均大小。

当一组观测值或试验结果的平均值给出一个简单的代表性数值时,单用它描述该组结果是不合适的,因为它没有指出组内单个观测值与平均值间可能的差别范围,或没有指出该组试验结果的精度。标准差是各个观测值与它们平均值的偏差和试验精度的最满意的量度。确定在某一观测或试验条件下的标准差后,在相同条件下所进行的任何单一观测或试验,认为具

有相同的标准差。观测或试验愈精确,所得结果的标准差愈小。

标准差的计算:

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} \tag{6-10}$$

当观测次数较少时

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \tag{6-11}$$

(2) 平均值的标准差

算术平均值的标准差

算术平均值的标准差是随机变量的又一重要的数字特征。算术平均值的标准差也称做算术平均值的标准误差,计算公式为

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{6-12}$$

也就是说,算术平均值的标准差是观测总体或观测值标准差的  $1/\sqrt{n}$ 。由上式可以看出,观测试验数量越多,  $n$  越大,平均值的标准差越小,见图 6-2。但当  $n$  超过某一数值后,其影响就小了。

上例中  $\sigma = 0.005\text{ m}$ 。和  $\bar{\sigma}$  的区别在于:

是单次测量的标准差,  $\bar{\sigma}$  是算术平均值的标准差。在上述测量房间的例子中,如果以其中某一测量值作为结果,那么标准差取  $\sigma$ ,其值为  $0.012\text{ m}$ ;如果以五次测量的平均值作为结果,那么其标准差就取  $\bar{\sigma}$ ,其值为  $0.005\text{ m}$ 。测量次数越多,则标准差就越小。

加权平均值的标准差

以  $\sigma_P$  表示加权算术平均值的标准差。若不等精度测量值分别为  $X_1, X_2, \dots, X_n$ ;其权为  $P_1, P_2, \dots, P_n$

图 6-2  $n$  与标准误差的关系

则

$$\sigma_P = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{P_i^2}{(n-1) P_i}}}{\sqrt{P_i}} \tag{6-13}$$

其中  $\delta_i = X_i - \bar{X}_P$

(3) 范围误差

范围误差也叫极差,表示数据离差的范围,也可以用来度量数据的离散性。极差是数据中最大值和最小值之差。例如三个混凝土试块抗压强度为  $32.5\text{ MPa}, 37.6\text{ MPa}, 30.3\text{ MPa}$ ,那么这组试块的极差或范围误差为:

$$37.6 - 30.3 = 7.3\text{ MPa}$$

(4) 偏差系数

偏差系数是标准差与算术平均值的比值,常用  $C_v$  表示。用偏差系数表示试验结果的精

度比较确切和全面,使人一目了然。例如,用烘干法测定土的含水量时,得到含水量的平均值为 20%,标准差为 1%;同时用湿度密度仪测定该土的含水量时,得到含水量的平均值为 15%,标准差也是 1%。如单纯从标准差来评论这两种方法,就会得出这两种试验方法的精度相同的结论。但实际上,烘干法测得的含水量的偏差系数  $C_v = \frac{1}{20} = 0.05$ ,而湿度密度仪测得的含水量的偏差系数  $C_v = \frac{1}{15} = 0.067$ 。很显然,用烘干法测量含水量的精度较高。

## 二、系统误差

系统误差不象随机误差那样服从统计规律,因而不具有抵偿性,重复测量不能使其减小,用概率统计的方法处理测量数据了不一定能发现它的存在,加之它在数值上往往远大于随机误差,故对测量结果的影响更大。要有效地提高测量精度,必须查清测量过程中存在的系统误差,并采取措施减小或消除其影响。

### 1. 系统误差的发现

#### (1) 实验对比法

实验对比法适用于定值系统误差。要判断某种测量条件下是否存在定值系统误差,可以在高一级精度的条件下再重复进行一组测量,并将这组测量结果(算术平均值)作为约定真值。若两组测量结果差异显著,则可断定该测量条件下有定值系统误差。

计量工作中对使用仪器仪表进行定期检定就是这个道理,检定时,用被检仪器仪表和标准仪器仪表分别对同一被测量对象进行测量,然后进行比对,若两者示值不同,则说明被检仪器仪表存在定值系统误差。同样,若检查测量值中是否有测量者人为因素带来的定值系统误差,可以请测试水平高的另一位测量者测量后进行比较。

#### (2) 剩余误差观察法

剩余误差观察法是发现变值系统误差的基本方法。将剩余误差依测量的先后次序排列起来,然后通过列表或作图来观察剩余误差的变化规律,以此来判断系统误差的变化规律,如图 6-3 所示。

图 6-3

### 2 系统误差的消除

对于系统误差,一经发现就应设法消除。首先应从产生误差的根源上消除系统误差,如要正确调整仪器,严格进行定期检定和修理等。由于系统误差种类繁多并有确定规律,要消除它应针对误差的不同特点采取相应的措施。下面简单介绍几种典型的消除系统误差方法。

#### (1) 消除定值系统误差

替代法:这种方法是在测量装置上对被测量对象进行测量后,不改变测量装置的状态,再用一个标准量(其值已知)代替被测量对象再次进行测量,并使两次测量的示值相同,从而以标

准量的量值确定被测量的量值,即可消除测量装置本身固有的系统原因对测量结果的影响。

例如在等臂天平上称量。由于制造不当,此天平的两臂长分别为  $l_1$  与  $l_2$ ,且  $l_1 \neq l_2$ 。此时将被测质量  $X$  与中间质量  $Q$  平衡,则  $X = (l_2/l_1) Q$ ,取下被测重量  $X$ ,换上标准砝码使其与  $Q$  平衡,若标准砝码重量为  $P$ ,则  $P = (l_2/l_1) Q$ ,于是  $X = P$ ,这样就可消除因天平臂长不等带来的系统误差。

交换法:这种方法是通过对被测量和标准量交换产生系统误差的测量条件,来消除系统误差。仍以等臂天平称量为例。先将被测质量  $X$  放在左边,标准砝码  $P$  放在右边,并使天平平衡,则  $X = (l_2/l_1) P$ 。再将  $X$  与  $P$  交换位置,由于  $l_2 \neq l_1$ ,故天平重新平衡后,左边的标准砝码重量将改变为  $P'$  ( $P' = P + \Delta P$ ),于是有  $P' = (l_2/l_1) X$ 。将两式相除,得  $X = PP'$ ,即可消除  $l_2 \neq l_1$  带来的系统误差。

(2) 消除线性系统误差的方法

对称法是消除线性系统误差的有效方法。当系统误差按线性规律变化,按时间顺序系统误差分别为  $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ 、 $l_4$ 、 $l_5$  时,可选定某一时刻为中点,于是,与此时刻对称的任何两个时刻系统误差的平均值等于中点时刻的系统误差值,即

$$\frac{l_1 + l_5}{2} = \frac{l_2 + l_4}{2} = l_3 \tag{6-14}$$

利用这个特点,可将测量对称安排,取对称两点的两读数的平均值作为一个测量值,即可消除线性系统误差。

(3) 消除周期性系统误差的方法

半周期法是消除周期性系统误差的最常用方法。对周期性误差,可以相隔半个周期进行一次测量,两次读数的平均值即可消除周期性误差。

如当  $t_1 = t$  时,  $l_1 = e \sin t$   
当  $t_2 = t + \pi$  时,  $l_2 = e \sin(t + \pi) = -e \sin t = -l_1$   
两次读数取平均,则有

$$\frac{l_1 + l_2}{2} = \frac{l_1 - l_1}{2} = 0$$

三、测量不确定度的评定

在测量中由于各种误差的存在,各误差的综合作用使被测量值不能肯定的程度称之为不确定度。也就是说不确定度实际上是指误差可能出现的范围,它包含两个方面的内容:范围和可能性。

在工程测量中,因为真值不可知,误差的具体准确数值不可能得到。然而可依据统计方法评定其不确定度。

前面给出了单次测量的标准差  $\sigma$  和算术平均值的标准差  $\bar{\sigma}$  也就是给出了真值所处的量值范围。那么,其可能性到底多大呢?可能程度的大小通常用置信概率  $P_u$  给出:

$$P_u(|X - \mu| \leq a) = P_a$$

即误差落在  $[-a, a]$  范围内的概率。这里  $a$  为不确定度(也称误差限)。若  $a = K \cdot \bar{\sigma}$ ,则  $K$  为置信因数(也称置信系数),  $\bar{\sigma}$  为标准误差。

置信概率  $P_a$  与置信因数  $K$  的对应关系如下:

$$K = 1, \quad P_a = 68 \% ; \quad K = 2, \quad P_a = 95 \% ; \quad K = 3, \quad P_a = 99.73 \%$$

就丈量房间的例子来说:如果置信因数  $K$  取 1, 则误差限  $a = \pm 1 \times 0.005 = \pm 0.005 \text{ m}$ , 测量结果为  $L = 5.244 \pm 0.005 \text{ m} = 5.24 \sim 5.25 \text{ m}$ , 不能复盖全部测量数据, 因为此时置信概率只能 68.3%; 如果置信因数  $K$  取 2, 误差限为  $\pm 0.01 \text{ m}$ , 测量结果为  $L = 5.244 \pm 0.01 \text{ m} = 5.23 \sim 5.25 \text{ m}$ , 比  $K = 1$  多复盖一个 5.23 m, 但 5.26 m 仍不能复盖, 此时置信概率为 95.4%; 如果置信因数  $K = 3$ , 误差限为  $\pm 0.015 \text{ m}$ , 测量结果为  $L = 5.244 \pm 0.015 \text{ m} = 5.23 \sim 5.26 \text{ m}$ , 所有测量数据都能被复盖, 此时置信概率为 99.7%。

## 第四节 误差分布

### 一、正态分布

实践与理论证明, 大量的测量误差均服从正态分布, 服从此分布的随机误差具有如下特点。

- (1) 单峰性: 绝对值小的误差出现的概率比绝对值大的误差出现的概率大;
- (2) 对称性: 绝对值相等的正误差与负误差出现的概率相等;
- (3) 有界性: 在一定测量条件下, 误差的绝对值实际上不超过一定界限;
- (4) 抵偿性: 同条件下对同一量值进行测量, 各误差  $\delta_i$  的算术平均值随测量次数增多而趋于 0, 即:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i = 0$$

误差的抵偿性主要由对称性得来。在测量中, 常常对同一个量进行多次独立测量, 目的就是希望通过多次测量来抵消部分随机误差的影响, 以提高测量的精密度。

服从正态分布的随机误差的分布密度函数为:

$$f(\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} \tag{6-15}$$

它的数学期望, 即  $n \rightarrow \infty$  时  $\delta_i$  的平均值

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta f(\delta) d\delta = 0 \tag{6-16}$$

它的方差(均方根误差的平方)为  $\sigma^2$

对服从正态分布的误差, 误差界于  $[-\sigma, +\sigma]$  的概率为 0.6827; 而误差界于  $[-2\sigma, +2\sigma]$ ,  $[-3\sigma, +3\sigma]$  的概率分别为 0.9545 和 0.9973, 如图 6-4 所示。由于误差超出  $[-3\sigma, +3\sigma]$  的概率为  $1 - 0.9973 = 0.27\%$ , 这是一个很小的概率。也就是说测量 1000 次, 1000 个误差中只可能有 2.7 个误差超出  $\pm 3\sigma$ , 这说明出现误差绝对值大于  $\pm 3\sigma$  的误差的可能性是极小的, 可以不予考虑。一般人们都取  $3\sigma$  为随机误差的极限误差(即误差实际不应超过的界限)。

### 二、均匀分布

测量值在  $(a, b)$  各处出现概率相等, 则它服从均匀分布。其概率密度函数为

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & (a < x < b) \\ 0 & (\text{其它}) \end{cases} \tag{6-17}$$

服从均匀分布的误差如: 数值计算中舍入引起的凑整误差; 电子计数器末位  $\pm 1$  量化误

差。

例 6-1 安培计是以相隔 0.1 A 刻度的。读数时,选取最靠近的那个刻度,允许误差为 0.02 A,求超出允许误差的概率。

解: 测量值 x 为随机变量,在 0 ~ 0.1 A 之间取值为等可能,故 x 在区间上服从均匀分布,由上式得  $f(x) = \frac{1}{b - a} = 10$ 。若超过允许误差 0.02 A,测量值必落在 (0.02, 0.08) 区间内,故

$$\begin{aligned} p(0.02 \leq x \leq 0.08) &= \int_{0.02}^{0.08} f(x) dx \\ &= \int_{0.02}^{0.08} 10 dx = 0.6 = 60\% \end{aligned}$$

图 6-4 误差的正态分布

超出允许误差的概率为 60 % 。

三、常见误差分布的标准差与不确定度

表 6-9 列出了常见误差分布的标准差和不确定度,其中,  $a = k$  为不确定度,  $(-a, a)$  为置信区间, k 为置信系数,  $\Delta$  为误差。

表 6-9

类 型	误差概率密度曲线		置 信 概 率	置 信 系 数
正 态			0.9973 0.9545 0.6827	3 2 1
均 匀		$a/ 3$	1 0.99 0.95	3 0.99 3 0.95 3
三 角		$a/ 6$	1 0.99 0.95	6 0.9 6 0.77 6
反三角		$a/ 2$	1 0.99 0.95	2 1.414 1.140
直 角		$2 a/ 3$	1 0.99 0.95	4.5 0.99 4.5 0.95 4.5
椭 圆		$a/ 2$	1  0.95	2 0.99 × 2 0.95 × 2

续上表

类 型	误差概率密度曲线		置信概率	置信系数
双三角		$a/2$	1	2
			0.99	$0.95 \times 2$
			0.95	$0.95 \times 2$

第五节 粗 差 剔 除

前面已谈到,任何观测试验结果都带有误差,具有离散性。凡用测量客观条件不能解释为合理的那些突出的误差就是粗大误差(简称粗差)。粗差的数值都比较大,明显地歪曲测量结果,因此一定要剔除粗差。

产生粗大误差的原因是多方面的,但可归为主观原因和客观原因两大方面:测量人员的主观原因主要是由于测量者工作责任感不强,工作过于疲劳或缺乏经验操作不当,或在测量时不小心,不耐心,不仔细等,从而造成了错误的读数和错误的记录。客观外界条件的原因主要是测量条件意外地改变,引起仪器示值或被测对象的显著改变。

为了防止与消除粗差,必须注意下面几点:

- (1)加强测试人员的工作责任心,以科学态度对待测试工作;
- (2)保证测试条件的稳定,避免在外界条件发生激烈变化情况下进行测试;
- (3)采取校验制度,由另一个人对测试、读数和记录进行校验;
- (4)根据误差理论发现和剔除粗大误差。

测试进行后,要判断一个数是否为粗差要特别慎重,应根据充分的实验知识和下面介绍的粗差剔除标准作为剔除依据。

一、3 准则(莱因达准则)

若对某一量进行  $n$  次测量( $n > 10$ ),在测量列中凡剩余误差绝对值大于  $3\sigma$  的测量值,即  $|v_i| > 3\sigma$ ,可以认为它所对应的测量值含有粗大误差,应予剔除。在实际应用时,当数据  $n < 10$  时,不能应用此准则。

二、肖维勒准则

对某一量进行  $n$  次重复测量,若某一测量值  $Y_i$  的剩余误差  $v_i$  的绝对值大于  $f_n\sigma$  时,即  $|v_i| > f_n\sigma$  时,则  $Y_i$  含有粗大误差,应予剔除。 $f_n$  是测量次数  $n$  的函数,可由表 6-10 查出。

表 6-10

n	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$f_n$	1.73	1.86	1.96	2.04	2.10	2.16	2.20	2.24	2.28	2.31	2.34	2.37
n	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100
$f_n$	2.39	2.45	2.50	2.54	2.58	2.61	2.64	2.67	2.69	2.74	2.77	2.81

肖维勒准则是在频率趋近于概率的前提下建立的,故  $n = 5$  时的“弃真”概率高达 20.78%。当  $n < 185$  时,它比 3 $\sigma$  准则要严,当  $n > 185$  时它比 3 $\sigma$  准则宽,但  $n \rightarrow \infty$  时,它又无法

使用了。

三、格拉布斯准则

将多次独立测量值  $X_i$  按序排队, 格拉布斯导出  $g = \frac{X_n - \bar{X}}{\sigma}$  的分布, 取显著性水平为  $\alpha$  (即把不是可疑的数据错判为可疑数据而被剔除的概率), 可得:

$$P \left( \frac{X_n - \bar{X}}{\sigma} \geq g_0(n, \alpha) \right) = \alpha \tag{6-18}$$

式中, 函数  $g_0(n, \alpha)$  已制成表 6-11。若某次测量值  $X_i$  满足

$$|X_i - \bar{X}| > g_0 \cdot \sigma \tag{6-19}$$

则应剔除  $X_i$ , 否则予以保留。  
由于格拉布斯准则有严格的概率含义, 一般都推荐使用。

格拉布准则  $g_0(n, \alpha)$  数值表 表 6-11

n			n			n		
	0. 01	0. 05		0. 01	0. 05		0. 01	0. 05
3	1. 15	1. 15	12	2. 55	2. 28	21	2. 91	2. 58
4	1. 49	1. 46	13	2. 61	2. 33	22	2. 94	2. 60
5	1. 75	1. 67	14	2. 66	2. 37	23	2. 96	2. 62
6	1. 94	1. 82	15	2. 70	2. 41	24	2. 99	2. 64
7	2. 10	1. 94	16	2. 75	2. 44	25	3. 01	2. 66
8	2. 22	2. 03	17	2. 78	2. 48	30	3. 10	2. 74
9	2. 32	2. 11	18	2. 82	2. 50	35	3. 18	2. 81
10	2. 41	2. 18	19	2. 85	2. 53	40	3. 24	2. 87
11	2. 48	2. 23	20	2. 88	2. 56	50	3. 34	2. 96

四、迪克松 (Dixon) 准则

当观测值数量多时, 计算  $\bar{X}$  较费时间。本准则利用极差比的方法, 可得到简捷而严密的结果。

判断方法如下:

1. 将  $n$  个样本观测值按其大小, 依次排列如下:

$$X_{(1)} \quad X_{(2)} \quad \dots \quad X_{(n)}$$

其中  $X_{(i)}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 表示按值大小将样本观测值重新排列后, 处于第  $i$  位置的样本值。

- 2 对于不同的样本容量, 从表 6-12 中查出相应的统计量  $Q_{ij}$  的表达式。  
3 由给定的检验水平  $\alpha$ , 从表 6-13 中查出临界值  $Q_{ij}$ 。  
4 由样本观测值计算  $Q_{ij}$ , 如果

$$Q_{ij} > Q_{ij}$$

则判断  $X_{(n)}$  (或  $X_{(1)}$ ) 是可疑数据, 应剔除。



统计量 $Q_{ij}$ 表			表 6 -12	
n 范围	检 验 $X_{(1)}$	检 验 $X_{(n)}$		
3    n    7	$Q_{10} = \frac{X_{(2)} - X_{(1)}}{X_{(n)} - X_{(1)}}$	$\frac{X_{(n)} - X_{(n-1)}}{X_{(n)} - X_{(1)}}$		
8    n    10	$Q_{11} = \frac{X_{(2)} - X_{(1)}}{X_{(n-1)} - X_{(1)}}$	$\frac{X_{(n)} - X_{(n-1)}}{X_{(n)} - X_{(2)}}$		
11   n    13	$Q_{21} = \frac{X_{(3)} - X_{(1)}}{X_{(n-1)} - X_{(1)}}$	$\frac{X_{(n)} - X_{(n-2)}}{X_{(n)} - X_{(2)}}$		
14   n    25	$Q_{22} = \frac{X_{(3)} - X_{(1)}}{X_{(n-2)} - X_{(1)}}$	$\frac{X_{(n)} - X_{(n-2)}}{X_{(n)} - X_{(3)}}$		

临界值 $Q_{ij}$ 表				表 6 -13			
统计量	n	= 0.05	= 0.01	统计量	n	= 0.05	= 0.01
$r_{10}$	3	0.94	0.988	$r_{22}$	14	0.546	0.641
	4	0.765	0.889		15	0.525	0.616
	5	0.642	0.780		16	0.507	0.695
	6	0.560	0.690		17	0.490	0.577
	7	0.507	0.637		18	0.475	0.561
$r_{11}$	8	0.554	0.683		19	0.462	0.547
	9	0.512	0.635		20	0.450	0.535
	10	0.477	0.597		21	0.440	0.524
$r_{21}$	11	0.576	0.679		22	0.430	0.514
	12	0.546	0.642		23	0.421	0.505
	13	0.521	0.615		24	0.413	0.497
					25	0.406	0.487
							0.489

五、实 例 分 析

例 6-2    对某恒温室温度测量 15 次,得下表所列数据,试分别用莱因达准则和肖维勒准则判断该 15 个测量值中是否有粗大误差,并给予剔除。

1. 莱因达准则列表 6 -14 计算如下：

表 6 -14					
序号 $i$	测量值 $T_i( \quad )$	剔 除 粗 差 前		剔 除 粗 差 后	
		$i = T_i - \bar{T}$ (    ) $\times 10^{-3}$	$i^2$ (    ) $\times 10^{-6}$	$i = T_i - \bar{T}$ (    ) $\times 10^{-3}$	$i^2$ (    ) $\times 10^{-6}$
1	20.42	16	256	- 9	81
2	20.43	26	676	19	361
3	20.40	- 4	16	- 11	121
4	20.43	26	676	19	361
5	20.42	16	256	1	81
6	20.43	26	676	19	361

序号 i	测量值 Ti( )	剔除粗差前		剔除粗差后	
		$\bar{v}_i = T_i - \bar{T}$ ( ) $\times 10^{-3}$	$\bar{v}_i^2$ ( ) $\times 10^{-6}$	$\bar{v}_i = T_i - \bar{T}$ ( ) $\times 10^{-3}$	$\bar{v}_i^2$ ( ) $\times 10^{-6}$
7	20.39	- 14	196	- 21	441
8	20.30	- 104	10816	—	—
9	20.40	- 4	16	- 11	121
10	20.43	26	676	19	361
11	20.42	16	256	9	81
12	20.41	6	36	- 1	1
13	20.39	- 14	196	- 21	441
14	20.39	- 14	196	- 21	441
15	20.40	- 4	16	- 11	121
$\bar{T} = 20.404$				$\bar{T} = 20.411$	

上表解题步骤是：

(1) 求剩余误差  $\bar{v}_i = T_i - \bar{T}$

(2) 求剩余误差的平方和  $\sum \bar{v}_i^2 = 14960 \times 10^{-6}$

(3) 求单次测量的标准差  $\sigma$  及  $3\sigma$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum \bar{v}_i^2}}{n - 1} = 3.3 \times 10^{-2} ( )$$
$$3\sigma = 9.9 \times 10^{-2}$$

(4)找粗差

只有序号为 8 的测次误差  $|\bar{v}_8| = 104 \times 10^{-3} > 3\sigma$  ,应予剔除。

(5) 剔除后再查剩余的 14 个测量值是否还含有粗差。

$$\bar{T} = 20.411 ( ) ; \quad \sum \bar{v}_i^2 = 3374 \times 10^{-6}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{3374 \times 10^{-6}}}{14 - 1} = 1.6 \times 10^{-2} ( )$$

$$3\sigma = 4.8 \times 10^{-2} ( )$$

所有  $|\bar{v}_i| < 3\sigma$  ,所以不再含有粗大误差。

2 利用肖维勒准则判断如下：

(1)由  $n = 15$  查表得  $f_n = 2.13$

(2)求得  $\sigma = 3.3 \times 10^{-2} ( )$

(3)  $f_n \cdot \sigma = 2.13 \times 3.3 \times 10^{-2} = 7.03 \times 10^{-2} ( )$

(4)  $|\bar{v}_8| = 10.4 \times 10^{-2} > f_n \sigma$

剔除所对应的测量值  $T_8$ 。

(5)再计算余下的 14 个测量值是否还含有粗大误差。

查表  $n = 14$   $f_n = 2.0$  ,  $\sigma = 1.6 \times 10^{-2}$

$$f_n \sigma = 3.4 \times 10^{-2} ( )$$

所有  $|\bar{v}_i| < f_n \sigma$  ,不再含有粗大误差。

例 6-3 细粒式沥青混凝土中的矿粉含量(%)的测定结果为: 9.43, 8.70, 8.40, 7.65, 10.04, 12.03, 9.52, 6.95, 9.80, 7.04, 6.80, 6.30, 7.05, 5.36。试判断这些数据中是否混有可疑数据。

解: (1)按迪克松准则, 将这些值按序排列: 5.36, 6.30, 6.80, 6.95, 7.04, 7.05, 7.65, 8.40, 8.70, 9.43, 9.52, 9.80, 10.04, 12.03。

$n = 14$ , 应选用  $Q_{22}$  式计算:

检验  $X_{(1)}$ :  $Q_{22} = \frac{6.80 - 5.36}{9.80 - 5.36} = 0.324$

检验  $X_{(14)}$ :  $Q_{22} = \frac{12.03 - 9.80}{12.03 - 6.80} = 0.426$

选  $Q_{22}$  的较大值 0.426, 检验  $X_{(14)}$ 。对于给定检验水平  $\alpha = 0.05$ , 则  $Q_{22} = 0.546$ 。

$Q_{22} < Q_{22}$

因此最大值 12.03 无需舍弃。

(2)肖维勒准则

$\bar{X} = 8.22$ ,  $s = 1.80$

$n = 14$  查表 6 - 11  $f_n = 2.10$

$f_n \cdot s = 2.10 \times 1.8 = 3.78$

$|12.03 - 8.22| = 3.81 > f_n \cdot s$

因此, 12.03 这个值应该舍弃。

(3)格拉布斯准则

$\bar{X} = 8.22$ ,  $s = 1.8$

对于给定检验水平  $\alpha = 0.05$ , 查表 6 - 12 得  $g_0(0.005, 14) = 2.37$

$|12.03 - 8.22| = 3.8 < g_0(0.005, 14) \cdot s = 4.266$

因此最大值 12.03 无需舍弃。

(4)3 准则

$\bar{X} = 8.22$ ,  $s = 1.8$

$3s = 1.8 \times 3 = 5.4$

$|12.03 - 8.22| = 3.8 < 3s = 5.4$

因此最大值 12.03 无需舍弃。

在此可见, 当  $n < 185$  时, 肖维勒准则要求较其它的要严。应用上述四种判断准则时应注意以下几点:

(1)剔除可疑数据时, 首先应对样本观测值中的最小值和最大值进行判断, 因为这两个值极有可能是可疑数据;

(2)可疑数据每次只能剔除一个, 然后按剩下的样本观测值重新计算, 再做第二次判断, 如此逐个地剔除, 直到所有剩下的值不再是可疑数据为止。不允许一次同时剔除多个样本观测值。

(3)采用不同准则对可疑数据进行判断时, 可能会出现不同结论(例 6 - 3), 此时要对所选用准则的适用范围, 给定的检验水平的合理性, 以及产生可疑数据原因等作进一步分析。

# 附录 正交试验设计

由于客观事物受许多方面的因素影响,为了摸索其规律性,往往需要进行试验来增加对客观事物的认识。凡是要做试验,就存在着如何安排试验和如何分析试验结果的问题,这就是做试验的方法问题。“正交试验设计”是利用数学上的正交特性,通过使用“正交表”来安排多因素多水平试验,并分析试验结果的一整套方法。利用正交试验设计可以用尽可能少的试验工作量,来获得较理想的效果。

## 第一节 正交试验设计的基本原理和特点

### 一、基本概念

为了便于叙述,下面介绍一下有关的术语和符号。以后我们通常把试验需要考察的结果称为指标,如产品的性能、质量、成本、产量等均可作为衡量试验效果的指标。把在试验中要考察的对试验指标可能有影响的因素简称为因素。把每个因素在试验中要比较的具体条件称为水平。为了书写方便,我们引入了一些符号,通常用大写字母 A、B、C、D 等代表因素,用在字母右下方的足标 1、2、... 等表示因素的不同水平,如  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$  ...。我们把试验中需要考虑多个因素,而每个因素又有多个水平有待考察的试验问题称为多因素试验问题。

在选定了因素、水平之后,很自然地要考虑试验怎样进行,这首先要选一张合适的正交表来安排试验方案。为此,这里要介绍一下正交表。附录表 1 是一张正交表,记为  $L_4(2^3)$ 。

L <sub>4</sub> (2 <sup>3</sup> ) 正交表				附录表 1
列 号	1	2	3	
试 验 号				
1	1	1	1	
2	1	2	2	
3	2	1	2	
4	2	2	1	

记号  $L_4(2^3)$  的含意是:“L”代表正交表,L 下角的数字“4”表示有 4 横行(以后简称为行),用这张表安排试验方案要做四次试验;括号内的指数“3”表示有 3 纵列(以后简称列),在这张表中最多可以安排的因素个数是 3 个;括号内的数“2”表示因素有两种水平 1 与 2,称之为 1 水平与 2 水平。

表  $L_4(2^3)$  称为正交表是因为它具有以下两个性质:

- 1. 每一列中,不同的数字出现的次数相等,这里不同的数字只有两个——1 和 2,它们各出现 2 次。

2 任意两列中将同一横行的两个数字看成有序数对 (即左边的数放在前, 右边的数放在后, 按这一次序排出的数对) 时, 每种数对出现的次数相等。这里有序数对共四种:  $(1, 1), (1, 2), (2, 1), (2, 2)$ , 它们各出现一次。

常见的正交表有:  $L_4(2^3), L_8(2^7), L_{16}(2^{15}), L_{32}(2^{31}), \dots; L_9(3^4), L_{27}(3^{13}), \dots; L_{16}(4^5), \dots; L_{25}(5^6)$ , 等。具体表格见本书附表 5。

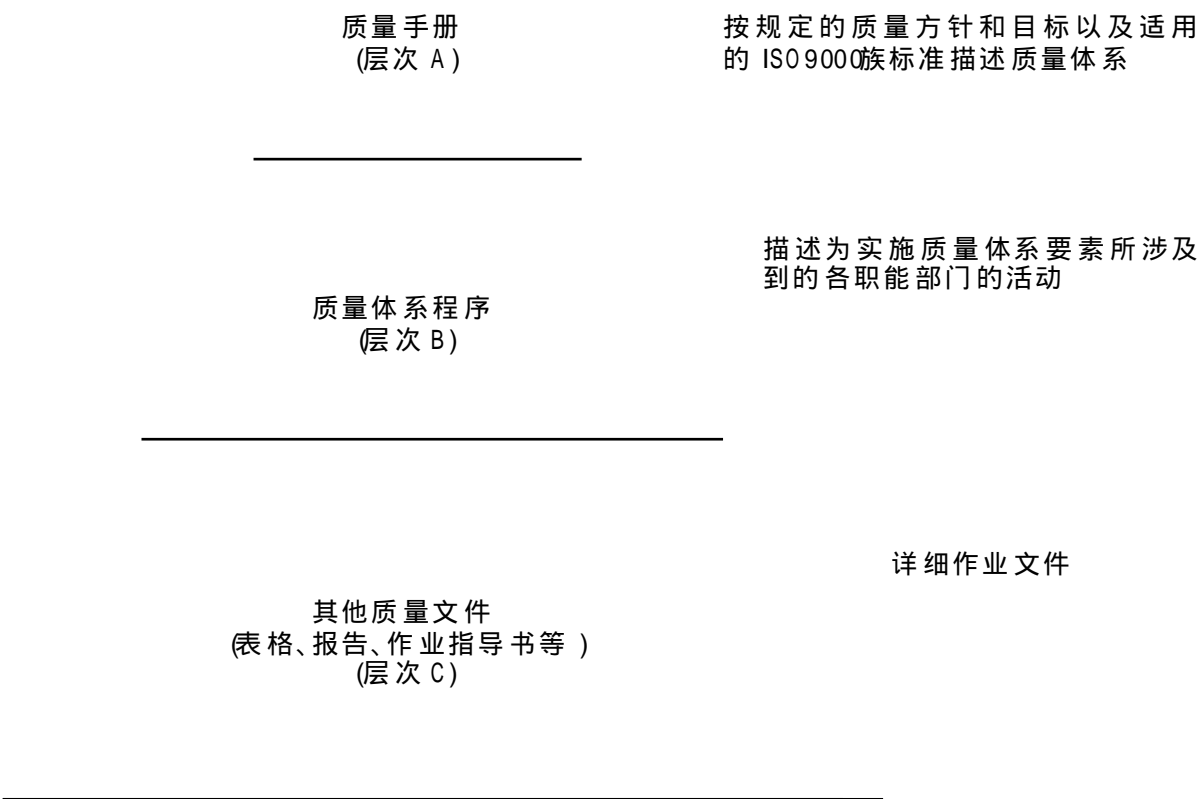
## 二、基本原理和特点

为了讨论正交试验设计的原理, 我们先从多因素全面试验谈起。如以  $2^3$  型全面试验为例, 即因素为 A、B、C 各取二水平的全面试验, 共需进行  $2^3 = 8$  次全面试验。用表格表示, 如附录表 2。

		2 <sup>3</sup> 型全面试验			附录表 2
水 平 试验号	因 素	A	B	C	
1		1	1	1	
2		1	1	2	
3		1	2	1	
4		1	2	2	
5		2	1	1	
6		2	1	2	
7		2	2	1	
8		2	2	2	

附录图 1 中六面体的 8 个顶点, 可以形象地表明  $2^3$  型全面试验。

附录图 1



但是,若因素数和水平数都很多,全面试验的次数势必迅速增加。例如三因素三水平的全面试验次数为  $3^3 = 27$  次;四因素三水平的全面试验次数为  $3^4 = 81$  次;十因素三水平的全面试验次数为  $3^{10} = 59049$  次。因此,全面试验常常是做不到的。问题是能否做少量的试验,既能在因素的变化范围内铺开,而又能保持全面试验的某些特点。正交试验法就是这样的一种试验方法:对全面试验来说只实施了一部分,但对于其中任何两个因素来说都是带有等重复的全面试验。附录图 1 中标有试验号的四个“ ”就是按照上面说的方法挑选出来的四个试验。如就  $A_1, A_2, B_1, B_2$  来说,四个“ ”试验号中有  $A_1 B_1, A_1 B_2, A_2 B_1, A_2 B_2$ ;就  $A_1, A_2, C_1, C_2$  来说,四个“ ”试验号中也有  $A_1 C_1, A_1 C_2, A_2 C_1, A_2 C_2$ ;就  $B_1, B_2, C_1, C_2$  来说,四个“ ”试验号中也有  $B_1 C_1, B_1 C_2, B_2 C_1, B_2 C_2$ 。由此可见, A 因素的各个水平都在试验中重复了二次,且在 A 的某一水平下, B 的二个水平, C 的二个水平都变到了,这对 B 因素、C 因素也是如此。这样,试验条件处于完全相似的状态,就具备了可比性。这四个“ ”试验号中针对任何两个因素都是全面试验。但对 A、B、C 三个因素来说,都是在 8 个全面试验点上,只做了 4 个试验,仅仅是全面试验的一半。

由于正交试验设计要求任何两个因素都是全面试验,所以试验点在任何两个因素的变化范围内的分布必定是均衡分布的。这种均衡分布特性可直观地从图 7-1 中看出。图 7-1 中三个坐标轴代表三个因素,坐标轴上的点代表因素的水平,立方体内 8 个“ · ”点代表按全面试验的 8 个试验点,立方体内“ ”代表按  $L_4(2^3)$  正交表安排的 4 个试验条件。在立方体的每个面上都恰有两个试验点,而立方体的每一条线上也恰有一个点,四个试验点均衡地分布在整个立方体内。每个试验都有很强的代表性,能够比较全面地反映整个选优区的大致情况。这样试验中的最好点,虽然不一定是全面试验中的最好点,但也往往是相当好的点。特别是,如果其

中只有一两个因素起主要作用,而试验前又不确切知道是哪一两个因素起主要作用,用正交试验法能保证主要因素的各种可能搭配都不会漏掉。

[实例 1] 考察水泥组成、水泥温度、拌和物初始温度和水灰比对混凝土抗压强度的影响。比较全面试验和按正交试验设计进行试验的结果。因素水平表的安排如附录表 3。

因素水平表				附录表 3
因 素 水 平	水泥组成 A	水泥温度 K( ) B	拌和物温度 K( ) C	水灰比 D
1	甲	344(70 )	299. 6(26 6 )	0. 40
2	乙	355(82 )	308. 0(35 0 )	0. 47
3	丙	366(93 )	316. 4(43 4 )	0. 54

解： 本试验是四个因素三水平问题。全面试验应进行  $3^4 = 81$  次试验,其试验结果列于附录表 4。

附录表 4 的 81 个强度数据中,强度在 70. 0 MPa 以上的,其组合条件分别为:  $A_1 B_1 C_1 D_1$ 、 $A_1 B_2 C_2 D_1$ 、 $A_3 B_3 C_1 D_1$ 、 $A_3 B_1 C_2 D_1$ 、 $A_3 B_1 C_2 D_1$ 。

按正交试验设计,选用  $L_9(3^4)$  正交表安排试验,所挑选的 9 次试验,其强度数据在附录表 4 中有“ ”示出。就已做的 9 次试验来看,较好的组合是  $A_1 B_1 C_1 D_1$  和  $A_3 B_1 C_2 D_2$  所得结论与全面做 81 次试验所得结论是基本相同的。

抗压强度试验结果 ( MPa)								附录表 4		
D  B  C      A		D <sub>1</sub>			D <sub>2</sub>			D <sub>3</sub>		
		B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
C <sub>1</sub>	A <sub>1</sub>	70. 0	68. 3	68. 5	56. 1	56. 8	61. 7	48. 3	45. 4	49. 0
	A <sub>2</sub>	64. 7	63. 0	62. 4	52. 7	54. 0	53. 9	40. 6	44. 1	43. 2
	A <sub>3</sub>	69. 7	68. 9	70. 4	58. 8	58. 8	59. 5	51. 9	50. 1	51. 1
C <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	65. 6	70. 2	62. 1	58. 4	59. 8	58. 1	44. 4	59. 8	47. 5
	A <sub>2</sub>	66. 2	69. 8	58. 7	56. 2	53. 8	49. 6	42. 0	46. 0	41. 1
	A <sub>3</sub>	70. 5	68. 1	70. 5	60. 7	58. 6	62. 7	50. 7	49. 6	52. 9
C <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	69. 3	68. 1	61. 1	58. 7	61. 5	56. 1	47. 9	50. 6	48. 2
	A <sub>2</sub>	64. 0	62. 1	60. 4	54. 2	51. 6	52. 0	42. 1	40. 8	44. 1
	A <sub>3</sub>	64. 1	63. 3	68. 4	52. 4	59. 4	62. 0	49. 7	50. 8	51. 1

## 第二节 正交试验的方案设计

### 一、方案设计的基本步骤

第一步:明确试验目的,确定试验指标。

试验以前应根据实际情况,确定这次试验主要解决哪一个或哪几个问题。针对这一个问题

题或这几个问题确定相应的试验指标。在正交试验设计中,衡量试验效果的好坏必须用定量指标。当遇到试验指标只能用肉眼观察来定性,不能定量时,则应把观察结果打出分数或定出等级,用数量来表示,就可与定量指标同样分析了。

第二步:挑因素,选水平。

试验指标确定后,就可着手分析影响这个指标的各因素。这一步很重要,也是关键的一步,一定要根据具体情况,排除那些对指标影响不大,或者已经掌握得较好的因素。挑选那些对指标影响较大,但又没有把握的因素来进行考察。各个因素取几个水平也要看试验要求和试验次数允许而定。根据专业知识挑选好因素和水平后,应列成因素水平表。

第三步:选用正交表。

正交表的规模应与所选定的因素和水平数相匹配。如为二水平的试验,则用二水平的正交表,如为三水平的试验则用三水平的正交表,.....然后再根据因素个数来考虑用含几列的正交表。

选用哪张正交表,一般根据因素和水平个数的多少,以及试验工作量的大小而定。例如,每个因素都是二水平,当有 3 个因素时,一般用  $L_4(2^3)$ ,当然也可用  $L_3(2^7)$ ,但试验工作量大。若为一个三因素三水平的试验研究,最适宜的正交表应选  $L_9(3^4)$ 。

第四步:表头设计。

具体做法很方便,把要考察的各因素分别放在选好的正交表的表头各列上。对于一个三因素三水平试验,只要把 A、B、C 三个因素分别填在  $L_9(3^4)$  表中的 1、2、3 列的上方就行了,这叫做排表头。一般说来,一列只排一个因素,不要排两个,就是说不要“混杂”。表头一旦排定,试验方案也就由正交表完全确定了。附录表 5 给出了三因素三水平的一种排法。

附录表 5

列 号 试 验 号	A	B	C	
	1	2	3	
1	1	1	1	
2	1	2	2	
3	1	3	3	
4	2	1	2	
5	2	2	3	
6	2	3	1	
7	3	1	3	
8	3	2	1	
9	3	3	2	

第五步:列出试验方案。

把附录表 5 中各列的数字“ 1 ”、“ 2 ”、“ 3 ”分别看作所填因素在各号试验中的水平,就可以写出这个方案所要做的九次试验的具体条件了。例如,第一号就是第一号试验, A 因素行号的数字为“ 1 ”,就是说 A 因素应取“ 1 ”水平  $A_1$ 。其它因素表中第一行也为“ 1 ”,就是说其余因素也应取“ 1 ”,水平  $B_1 C_1$ 。所以第一号试验的条件就是  $A_1 B_1 C_1$ 。同样,可以写出其余各号试验条件。

1.     $A_1 B_1 C_1$
2.     $A_1 B_2 C_2$
3.     $A_1 B_3 C_3$



- 4      $A_2 B_1 C_2$      5.      $A_2 B_2 C_3$      6      $A_2 B_3 C_1$
7.      $A_3 B_1 C_3$      8.      $A_3 B_2 C_1$      9      $A_3 B_3 C_2$

按上述规定试验条件进行试验完毕后,将各试验对应的试验指标值填入表的最右边空栏,供以后分析用。

二、实例分析

[例 2] 为研究钢纤维的纤维参数对水泥砂浆抗折强度的影响,钢纤维长度取 20,30,40 mm,钢纤维体积掺量取 1.5%,2.0%,3.0% 制成薄板型小梁,标准养护后,按同龄期测抗折强度。希望通过试验分清影响抗折强度的因素主次和最佳组合条件。

[解]: 本例的试验指标是水泥砂浆的抗折强度,因素有钢纤维长度和钢纤维体积掺量两项,水平数为 3,所以是一个两因素三水平问题。

1. 列因素水平表,见附录表 6。

因素水平表			附录表 6
水 平	因 素	钢纤维长度 (mm)	钢纤维掺量 (%)
		A	B
1		20	1.5
2		30	2.0
3		40	3.0

2 选定正交表  $L_9(3^4)$  作表头设计,并列出试验方案,,见附录表 7。

表头设计及试验方案					附录表 7
列 号	1	2	3	4	抗折强度 (MPa)
因 素	纤维长度 (A)	纤维掺量 (B)	(C)	(D)	
	(mm)	(%)			
试 验 号					
1	20( A <sub>1</sub> )	1.5( B <sub>1</sub> )	( C <sub>1</sub> )	( D <sub>1</sub> )	
2	20( A <sub>1</sub> )	2.0( B <sub>2</sub> )	( C <sub>2</sub> )	( D <sub>2</sub> )	
3	20( A <sub>1</sub> )	3.0( B <sub>3</sub> )	( C <sub>3</sub> )	( D <sub>3</sub> )	
4	30( A <sub>2</sub> )	1.5( B <sub>1</sub> )	( C <sub>2</sub> )	( D <sub>3</sub> )	
5	30( A <sub>2</sub> )	2.0( B <sub>2</sub> )	( C <sub>3</sub> )	( D <sub>1</sub> )	
6	30( A <sub>2</sub> )	3.0( B <sub>3</sub> )	( C <sub>1</sub> )	( D <sub>2</sub> )	
7	40( A <sub>3</sub> )	1.5( B <sub>1</sub> )	( C <sub>3</sub> )	( D <sub>2</sub> )	
8	40( A <sub>3</sub> )	2.0( B <sub>2</sub> )	( C <sub>1</sub> )	( D <sub>3</sub> )	
9	40( A <sub>3</sub> )	3.0( B <sub>3</sub> )	( C <sub>2</sub> )	( D <sub>1</sub> )	

第三节 正交试验成果分析

一、极差分析法

数据整理的基本规则。

在正交表中以行数为 i,列数为 j,分别对各列按下式计算出  $K_i$ ,  $\overline{K_i}$  和极差 R。

$K_i$ (第 j 列) = 第 j 列中数字“ i ”所对应的试验指标之和。

$$\overline{K_i}(\text{第 } j \text{ 列}) = \frac{K_i(\text{第 } j \text{ 列})}{\text{第 } j \text{ 列中“ } i \text{ ”的重复次数}}$$

极差 R(第 j 列) = 第 j 列各个  $\overline{K}$  中,最大值与最小值之差。为简化计算,可先将试验指标值减去一常数,再按上述规则计算,所得极差是相同的。

同一列的  $K_i$  之和,等于全部试验指标的总和,可作为计算校核用。

比较各列的极差,极差大表示在这个水平变化范围内造成的差别大,是影响试验指标的主要因素,极差小的则是次要因素。用因素的诸水平作横坐标,用平均试验指标  $\overline{K_i}$  作纵坐标,辅以作图方法,还可以更直观地分析试验成果。

空列的极差代表试验误差,当空列占有两列或两列以上时,对于等水平且无交互作用的正交试验,可以将所有空列的极差合并求其平均值,作为试验误差更精确的估计。为了提高试验误差估计精度,还可将极差小于空列的其他因素列也视作空列,即认为微小极差属试验误差范畴。

[例 3] 对例 2 作极差分析。计算结果列于附录表 8。

表中第 1 列[ A 因素]下的  $K_1$ ,为对应于  $A_1$  的 3 个抗折强度之和,即:

$$K_1(\text{第 } 1 \text{ 列}) = (-2.72) + (-2.78) + 1.27 = -4.23$$

$$\overline{K_1}(\text{第 } 1 \text{ 列}) = -4.32 / 3 = -1.41$$

表中第 2 列( B 因素)下的  $K_1$ ,为对应于  $B_1$  的 3 个抗折强度之和,即:

$$K_1(\text{第 } 2 \text{ 列}) = (-2.72) + 1.32 + 6.11 = 4.71$$

$$\overline{K_1}(\text{第 } 2 \text{ 列}) = 4.71 / 3 = 1.57$$

表中第 3 列(误差)下的  $K_3$ ,为对应于  $C_3$  的 3 个抗折强度之和,即:

极 差 分 配 表

附录表 8

列号	1	2	3	4	抗 折 强 度 ( M Pa)	
因 素	长 度 ( A )	体 积 ( B )	( C )	( D ) $X_i$	$x_i$	$y_i = x_i - 10$
试 验 号						
1	20( $A_1$ )	1.5( $B_1$ )	( $C_1$ )	( $D_1$ )	7.28	-2.72
2	20( $A_1$ )	2.0( $B_2$ )	( $C_2$ )	( $D_2$ )	7.22	-2.78
3	20( $A_1$ )	3.0( $B_3$ )	( $C_3$ )	( $D_3$ )	11.27	1.27
4	30( $A_2$ )	1.5( $B_1$ )	( $C_2$ )	( $D_3$ )	11.32	1.32
5	30( $A_2$ )	2.0( $B_2$ )	( $C_3$ )	( $D_1$ )	16.17	6.17
6	30( $A_2$ )	3.0( $B_3$ )	( $C_1$ )	( $D_2$ )	18.97	8.97
7	40( $A_3$ )	1.5( $B_1$ )	( $C_3$ )	( $D_2$ )	16.11	6.11
8	40( $A_3$ )	2.0( $B_2$ )	( $C_1$ )	( $D_3$ )	17.72	7.72
9	40( $A_3$ )	3.0( $B_3$ )	( $C_2$ )	( $D_1$ )	20.40	10.40

$K_1$	-4 23	4 71	13 97	13 85	$y_i = 36.46$
$K_2$	16 46	11 11	8 94	12 30	
$K_3$	24 23	20 64	13 55	10 31	
$\overline{K_1}$	-1. 41	1. 57	4. 66	4. 62	
$\overline{K_2}$	5. 49	3. 70	2. 98	4. 10	
$\overline{K_3}$	8. 08	6. 88	4. 52	3. 44	
R	9. 49	5. 31	1. 68	1. 18	

$$K_3(\text{第3列}) = 1.27 + 6.17 + 6.11 = 13.55$$

$$\overline{K_3}(\text{第3列}) = 13.55 / 3 = 4.52$$

表中第4列(误差)下的  $K_1$ , 为对于  $D_1$  的3个抗折强度之和, 即:

$$K_1(\text{第4列}) = -2.72 + 6.17 + 10.4 = 13.85$$

$$\overline{K_1}(\text{第4列}) = 13.85 / 3 = 4.62$$

余此类推, 在计算完各列的  $K_i$  和  $\overline{K_i}$  之后, 还要把每一列的极差算出来。

第一列( A 因素)       $R = 8.08 - (-1.41) = 9.49$

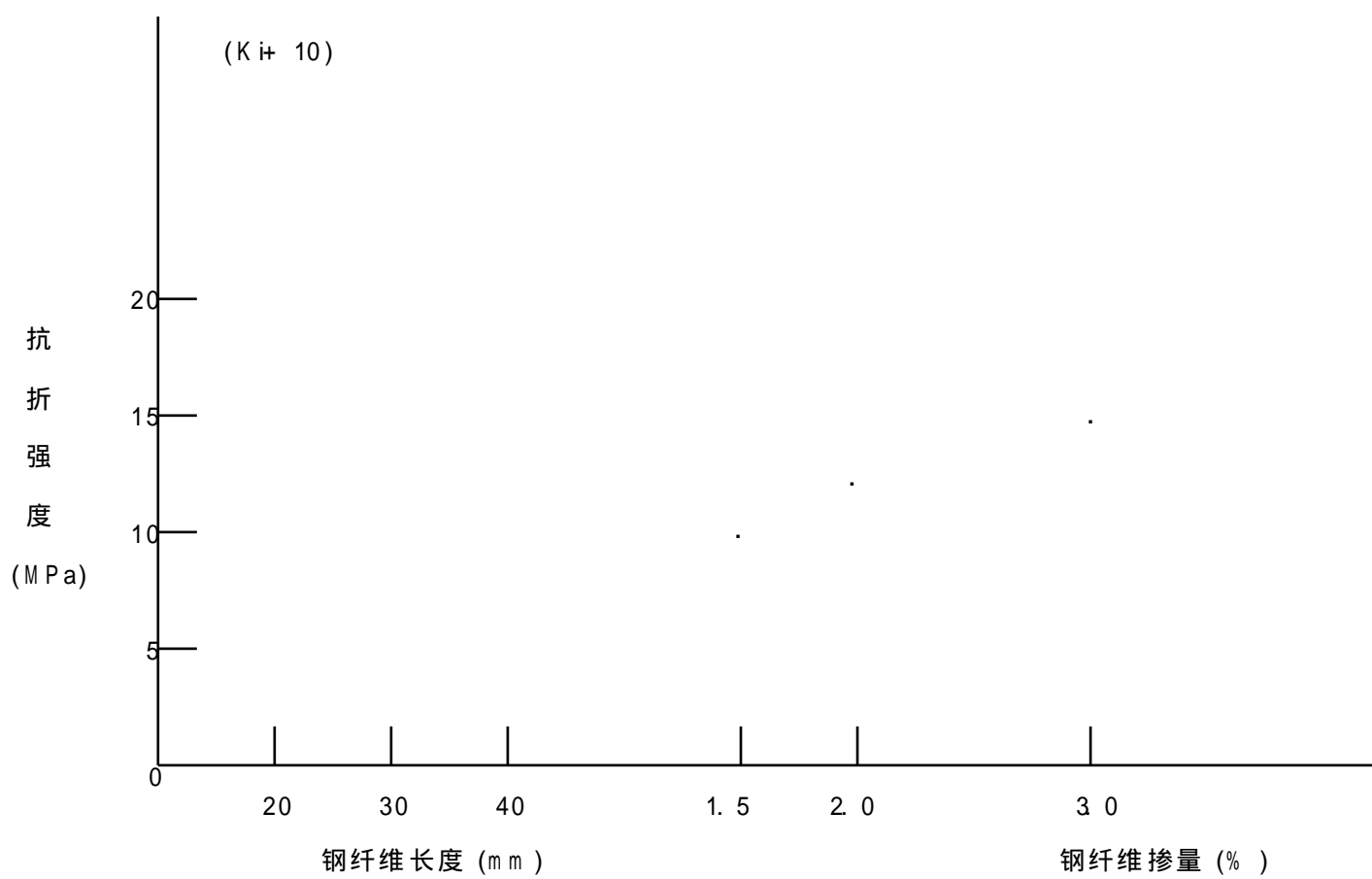
第二列( B 因素)       $R = 6.88 - 1.57 = 5.31$

第三列(误差项 C)     $R = 4.66 - 2.98 = 1.68$

第四列(误差项 D)     $R = 4.62 - 3.44 = 1.18$

本例误差项的平均极差为  $(1.68 + 1.18) / 2 = 1.43$ 。按极差大小排列的因素主次顺序为：  
A    B。最佳组合条件为  $A_3 B_3$ , 即正交试验表中的试验号 9, 钢纤维长度 40mm, 掺量 3.0% 时, 可以获得最高的抗折强度。实际应用时, 正交试验得出的最佳组合, 还应结合专业知识作综合分析, 以期获得最好的技术经济效果。本例中考虑到掺量一定下纤维长度的增大, 既无需提高成本, 又能在适当范围内改善拌和工艺。因此, 为满足一定抗折强度的要求, 应优先选用结构物断面和拌和工艺允许的尽可能长一些的纤维。

将  $\overline{K_i}$  与抗折强度绘成附录图 2, 可以更形象地看出各因素不同水平对试验指标的影响。



附录图 2 不同水平下的抗折强度 (  $K_i + 10$  )

从附录图 2 可以直观地看出, 当各因素选取的水平变动时指标的波动情况。显然, 本例因素 A 的图形波动最大, 因素 B 的图形波动小。

二、方差分析法

1. 基本概念

为了便于今后的讨论, 现在对下面要涉及的几个概念作一些介绍。

(1) 偏差平方和(变动平方和, 离差平方和)

偏差平方和是一组数中各个数与它们的算术平均值之差的平方和, 以  $S$  表示。

设有  $n$  个数  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ , 用  $\overline{Y}$  表示它们的算术平均值, 即:

$$\overline{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

$Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  与  $\overline{Y}$  之差的平方和即偏差平方和, 用数学式子表示为

$$S = \sum_{i=1}^n (Y_i - \overline{Y})^2$$

偏差平方和反映了一组数据的分散和集中程度。  $S$  大说明  $(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  这组数分散;  $S$  小说明它们集中, 这可用下例 来加以说明。

例如有两组数  $(1, 2, 3)$  和  $(0, 2, 4)$ , 容易看到数组  $(0, 2, 4)$  比数组  $(1, 2, 3)$  分散。反映在偏差平方和上, 一个较大, 而另一个则较小。

在正交试验成果的方差分析中, 常将偏差平方和称之为变动平方和(或离差平方和), 其右下角注分别表示总的, 各因素的、误差项或空列的变动平方和。它们的计算公式为:

$$S_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n (Y_i - \overline{Y})^2 = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - CT$$

$$S_{\text{因}} = r \sum_{i=1}^m (\overline{K_i} - \overline{Y})^2 = \frac{\sum_{i=1}^m K_i^2}{r} - CT$$

$$S_{\text{误}} = S_{\text{总}} - (S_{\text{因}}) = S_{\text{空}}$$

式中: CT——修正项  $CT = (\sum_{i=1}^n Y_i)^2 / n$

$Y_i$ ——各次试验结果

$\overline{Y}$ ——试验结果的平均值。

$n$ ——试验号,  $n = r \cdot m$

$m$ ——水平数;

$r$ ——水平重复数;

$\overline{K_i}$ ——同条件数据平均值。

## (2) 平均变动平方和与自由度

为了合理地比较两组个数不同的数据的分散和集中程度,应采用平均变动平方和,或称平均偏差平方和,或称方差。将  $n$  个数的偏差平方和(变动平方和)  $S = \sum_{i=1}^n (Y_i - \overline{Y})^2$  除以  $S$  中平方项的个数减 1,即除以  $n - 1$ ,就得到平均变动平方和,即方差“ $V$ ”,  $V = \frac{S}{n - 1}$ ,其中  $n - 1$  是  $S$  的自由度,记为“ $f$ ”。

在正交试验成果的方差分析中,自由度  $f$  的右下脚注分别表示总的、各因素的、误差项或空列的自由度。

$$f_{\text{总}} = \text{试验数据总数} - 1$$

$$f_{\text{因}} = \text{各因素水平数} - 1$$

$$f_{\text{误}} = f_{\text{空}} = \text{空列的水平数} - 1$$

$$f_{\text{误}} = f_{\text{总}} - f_{\text{因}}$$

平均变动平方和(或称方差)“ $V$ ”的脚注表示各因素、误差的平均变动。

$$V_{\text{因}} = S_{\text{因}} / f_{\text{因}}$$

$$V_{\text{误}} = S_{\text{误}} / f_{\text{误}}$$

## (3) F 比

因素水平的改变引起的平均变动与误差的平均变动的比值称为 F 比,即  $F_{\text{因}} = \frac{V_{\text{因}}}{V_{\text{误}}} =$

$$\frac{S_{\text{因}} / f_{\text{因}}}{S_{\text{误}} / f_{\text{误}}}$$

## (4) F 分布表及其查法

为了判断  $F_{\text{因}}$  大小的意义,即  $F_{\text{因}}$  多大时可以认为试验结果的差异主要是由因素水平的改变所引起的,小到多少,可以认为试验结果的差异主要是由试验误差所引起的,这就需要一个标准,据以衡量  $F_{\text{因}}$ ,这个标准就是根据统计数学原理编制的 F 分布表。F 分布表列出了各种自由度情况下 F 的临界值。在 F 分布表(见附表 6)上横行  $n_1: 1, 2, 3, 4, \dots$  代表  $F_{\text{因}}$  中分子的自由度,竖行  $n_2: 1, 2, 3, 4, \dots$  代表  $F_{\text{因}}$  中分母的自由度,表中的数值即各种自由度情况下 F

比的临界值。

(5) 置信度

在判断 F 比时(例如判断 A 因素的水平改变对试验结果有否显著影响),置信度 是指我们对作出的判断大概有 1— 的把握。若 = 5 % ,那就是指当  $F_A > F_{0.05}(f_A, f_{\text{误}})$  时,我们大概有 95 % 的把握判断因素 A 的水平改变对试验结果有显著影响。

(6) 显著性检验

设因素 A 的 F 比为  $F_A$ 。

当  $F_A > F_{0.01}(n_1, n_2)$  时,说明该因素水平的改变,对试验结果有高度显著的影响,记作 \* \* \*。

当  $F_{0.01}(n_1, n_2) > F_A > F_{0.05}(n_1, n_2)$  时,说明该因素水平的改变,对试验结果有显著的影响,记作 \* \*。

当  $F_{0.05}(n_1, n_2) > F_A > F_{0.10}(n_1, n_2)$  时,说明该因素水平的改变,对试验结果有一定的影响,记作 \*。

为了提高显著性检验的灵敏度,当空列有两列或两列以上时,应合并计算误差变动平方和,相应的自由度也应合并。当某一因素项的 V 比  $V_{\text{误}}$  还小,可以把该因素的变动平方和也看作是误差变动平方和,与误差项合并,并改称为  $S_{\text{误}}^*$ 。相应的自由度也应合并,然后再用  $V_{\text{误}}^*$  去检验其他因素的显著性,具体方法是:

$$\begin{aligned} S_{\text{误}}^* &= S_{\text{误}} + S_Z \\ f_{\text{误}}^* &= f_{\text{误}} + f_Z \\ V_{\text{误}}^* &= S_{\text{误}}^* / f_{\text{误}}^* \end{aligned}$$

2 实例分析

[例 4] 对 2 的实例作方差分析

(1)变动平方和 S 的计算

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^9 Y_i &= 36.46 \\ CT &= \left( \sum_{i=1}^9 Y_i \right)^2 / n = 36.46^2 / 9 = 147.70 \\ \sum_{i=1}^9 Y_i^2 &= 342.10 \\ S_{\text{总}} &= 342.10 - 147.70 = 194.40 \\ S_A &= \frac{(-4.23)^2 + (16.46)^2 + (24.23)^2}{3} - 147.70 = 144.27 \\ S_B &= \frac{(4.71)^2 + (11.11)^2 + (20.64)^2}{3} - 147.70 = 42.84 \\ S_C &= \frac{(13.97)^2 + (8.94)^2 + (13.55)^2}{3} - 147.70 = 5.19 \\ S_D &= \frac{(13.85)^2 + (12.30)^2 + (10.31)^2}{3} - 147.70 = 2.10 \\ S_{\text{空}} &= S_C + S_D = 5.19 + 2.10 = 7.29 \\ S_{\text{误}} &= S_{\text{总}} - (S_A + S_B) = 7.29 \end{aligned}$$

误差项的变动平方和既可以用空列计算,也可以从总变动平方和中减去诸因素变动平方和的

办法来求得,两者的结果是相同的,可以用来校核计算。

(2) 自由度 f 的计算

$f_{总} = 9 - 1 = 8,$   $f_A = f_B = 3 - 1 = 2$

$f_{误} = f_{空} = 2 \times (3 - 1) = 4$

$f_{误} = f_{总} - (f_A + f_B) = 8 - (2 + 2) = 4$

误差项的自由度可有空列计算,也可用从总自由度中减去诸因素的自由度的办法来求得,两者结果也是相同的,可用于校核计算。

(3) 方差分析

方差分析结果列于附录表 9 表中

$F_A = 72.14 / 1.82 = 39.64$

$F_B = 21.42 / 1.82 = 11.77$

方差分析表						附录表 9
来 源	变动平方和 S	自 由 度 f	方 差 V	F	显著性	临 界 值
A	144.27	2	72.14	39.64	* * *	$F_{0.05}(2, 4) = 6.94$
B	42.84	2	21.42	11.77	* *	$F_{0.01}(2, 4) = 18.0$
误	7.29	4	1.82			

方差分析结果表明:钢纤维长度对抗折强度的影响是高度显著性,钢纤维掺量的影响是显著的,其结论与极差分析一致。两者的差别在于:极差分析法演算简便;而方差分析法可以从同样的试验数据中提取更多的信息,知道分析的精度和得出结论的可信程度。

第四节 正交试验重复取样的成果分析

为了提高试验分析的可靠性,在条件允许时,常常做重复试验或者重复取样。

重复试验是指把用正交试验安排的每一个试验条件都重复做几次试验。重复取样是指在每次试验中同时取几个试样。

不论是重复试验,还是重复取样,都是为了在同一试验条件下获得多个数据,以便较为客观地反映该试验条件的优劣。

采用重复取样,对极差分析的结果影响不大。但在方差分析中将增大自由度,特别是误差项的自由度,从而使检验的灵敏度大大提高。

一、重复取样时方差分析的基本规则

1. 变动平方和的计算:

$$S_{总} = \sum_{i=1}^N (Y_i - \overline{Y})^2 = \sum_{i=1}^N (Y_i)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^N Y_i)^2}{N} = \sum_{i=1}^N Y_i^2 - CT$$

$$S_{\text{因}} = r l \sum_{i=1}^m (K_i - \bar{Y})^2 = \frac{\sum_{i=1}^m K_i^2}{r l} - C T$$

式中:  $C T$ ——修正项,  $C T = \frac{(\sum_{i=1}^N Y_i)^2}{N}$

$N$ ——数据总数,且有  $N = n l$

$n$ ——试验号,且有  $n = m r$

$l$ ——取样重复数;

$m$ ——水平数;

$r$ ——水平重复数。

## 2 自由度计算

$$f_{\text{总}} = N - 1$$

$$f_{\text{因}} = m - 1$$

$$f_{\text{误}} = f_{\text{总}} - f_{\text{因}}$$

## 3 试验误差计算

重复取样的试验总误差包括两部分。一部分是试验误差,是整个试验过程误差的反映,通常称为  $S_{\text{误}1}$ ,可以通过空列来计算。另一部分是取样误差,是同一试验条件下材料不均匀性和各个试样测试误差的反映,通常称为  $S_{\text{误}2}$ ,用单个试样与本组平均值的差求平方和再累加。

$$S_{\text{误}1} = S_{\text{空}} = \frac{\sum_{i=1}^m K_i^2}{r l} - C T$$

$$f_{\text{误}1} = f_{\text{空}} = m - 1$$

$$S_{\text{误}2} = (\text{各条件下数据} - \text{同条件数据平均值})^2 \text{之和}$$

$$\begin{aligned} f_{\text{误}2} &= \text{试验号} \times (\text{重复试验次数} - 1) \\ &= n \times (l - 1) \end{aligned}$$

总误差:

$$S_{\text{空}} = S_{\text{误}1} + S_{\text{误}2}$$

$$f_{\text{误}} = f_{\text{误}1} + f_{\text{误}2}$$

但在误差归并前,还需进行一次  $F$  检验。

$$F = \frac{S_{\text{误}1} / f_{\text{误}1}}{S_{\text{误}2} / f_{\text{误}2}}$$

当  $F < F_{0.05}(f_{\text{误}1}, f_{\text{误}2})$  时,可以认为两部分误差大体相当的,可以相加,如出现  $F > F_{0.05}(f_{\text{误}1}, f_{\text{误}2})$ ,说明  $S_{\text{误}1}$  中除含有试验误差的影响外,还含有其它因素的影响,需进一步查明原因,两部分误差不能相加。

## 一、实例分析

[例 5] 某单位因工程需要拟研制一种高强度耐冲击的水泥混凝土。在高强水泥混凝土的基础上,采用掺钢纤维进行聚合物浸渍处理两项措施,分别有掺与不掺,浸与不浸两个水平。相同试验条件下重复取三个试样,检测其抗压强度。试进行正交试验设计和成果分析。



解： 1. 本例是一个两因素两水平问题,采用  $L_4(2^3)$  正交表安排试验。成果的初步整理和极差分析见附录表 10。

用极差分析时,首先分别计算各号试验条件下的数据平均值,然后将各个平均值当作各号试验条件下的单一的数据,进行极差分析。当各号试验条件重复的次数都一样多,那么,也可以分别取各号试验条件下的数据的和,进行极差分析。本例既可以用合计值,也可以用平均值。但要注意:当用合计值演算时,由于合计值中包括三次重复取样的数据,所以实际水平重复数为  $2 \times 3 = 6$ ;当用平均值时,水平重复数为 2。空列为试验误差。从极差分析可见:因素的主次顺序为聚合物浸渍处理 掺钢纤维。最优组合  $A_2 B_2$ 。

试验成果和极差分析 附录表 10

列 号	1	2	3	抗压强度 $Y_i = R_i - 60(\text{MPa})$				
因 素	钢 纤维	浸 渍	(C)	1	2	3	合 计	平 均
试验号	(A)	(B)						
1	不 掺 ( $A_1$ )	不 浸 ( $B_1$ )	( $C_1$ )	8. 0	6. 2	7. 1	21. 3	7. 1
2	不 掺 ( $A_1$ )	浸 ( $B_2$ )	( $C_2$ )	35. 0	26. 4	31. 3	92. 7	30. 9
3	掺 ( $A_2$ )	不 浸 ( $B_1$ )	( $C_2$ )	14. 2	12. 6	11. 4	38. 2	12. 73
4	掺 ( $A_2$ )	浸 ( $B_2$ )	( $C_1$ )	49. 6	47. 8	38. 7	136. 1	45. 37
$K_1$	114. 0	59. 5	157. 4	$Y_i = 288. 3$				
$K_2$	174. 3	228. 8	130. 9					
$\overline{K_1}$	19. 0	9. 92	26. 23					
$\overline{K_2}$	29. 05	38. 13	21. 82					
R	10. 05	28. 21	4. 41					

2 方差分析法

因素变动平方和必须用合计值进行演算,按题意有  $N = 12, n = 4, l = 3, m = 2, r = 2$

$Y_i = 288. 3$                        $CT = \frac{(288. 3)^2}{12} = 6926. 41$

$Y_i^2 = 9787. 55$

$S_{总} = Y_i^2 - CT = 9787. 55 - 6926. 41 = 2861. 14$

$S_A = \frac{(114. 0)^2 + (174. 3)^2}{2 \times 3} - 6926. 41 = 303. 01$

$S_B = \frac{(59. 5)^2 + (228. 8)^2}{2 \times 3} - 6926. 41 = 2388. 55$

$S_{误1} = S_{空} = \frac{(157. 4)^2 + (130. 9)^2}{2 \times 3} - 6926. 41 = 58. 52$

$S_{误2} = [(0. 9)^2 + (-0. 9)^2 + 0^2] + [(4. 1)^2 + (-4. 5)^2 + 0. 4^2] + [(1. 47)^2 + (-0. 13)^2 + (-1. 33)^2] + [(4. 23)^2 + (2. 43)^2 + -6. 67^2] = 111. 07$

校核计算

$S_{总} = S_A + S_B + S_{误1} + S_{误2} = 303. 01 + 2388. 54 + 58. 52 + 111. 07 = 2861. 14$

与原计算的  $S_{总}$  相同,说明计算无误。

$$f_{\text{总}} = 12 - 1 = 11, \qquad f_A = f_B = 2 - 1 = 1$$

$$f_{\text{误}1} = f_{\text{空}} = 2 - 1 = 1$$

$$f_{\text{误}2} = (l - 1) n = (3 - 1) \times 4 = 8$$

$$f_{\text{总}} = f_A + f_B + f_{\text{误}1} + f_{\text{误}2} = 11$$

与原计算的  $f_{\text{总}}$  相同,说明计算无误。

$$F = \frac{58.52/1}{111.07/8} = 4.22$$

$F_{0.05}(1,8) = 5.32 > 4.22$ ,两误差可相加。

$$S_{\text{误}} = S_{\text{误}1} + S_{\text{误}2} = 58.52 + 111.07 = 169.59$$

$$f_{\text{误}} = f_{\text{误}1} + f_{\text{误}2} = 1 + 8 = 9$$

方差分析结果见附录表 11。

方 差 分 析						附录表 11
来 源	变 动 平 方 和 S	自 由 度 f	方 差 V	F	显 著 性	临 界 值
A	303.01	1	303.01	16.08	* *	$F_{0.05}(1,9) = 5.12$
B	2388.54	1	2388.54	126.78	* * *	$F_{0.01}(1,9) = 10.56$
误	169.59	9	18.84			

可以认为掺钢纤维与进行聚合物浸渍处理都对混凝土抗压强度有高度显著的影响,最优组合条件为  $A_2 B_2$ 。与极差分析法得出的结论基本一致。

附表 -1 标准正态分布

$$\Phi(z_i) = \int_{-\infty}^{z_i} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz$$

Z <sub>i</sub>	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	0.6484	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	0.7704	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	0.888	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	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9192	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	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	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	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	0.9828	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	0.9875	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	0.9956	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	0.9970	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
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

Z <sub>i</sub>	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576
( Z <sub>i</sub> )	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
Z <sub>i</sub>	3.090	3.291	3.719	3.891	
( Z <sub>i</sub> )	0.999	0.9995	0.9999	0.99995	

附表 -2 泊 松 分 布

$$P_{(K=m)} = \frac{e^{-m} m^K}{K!}$$

m	( nP)					
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0	0.905	0.891	0.741	0.670	0.607	0.638
1	0.995	0.982	0.963	0.938	0.910	0.736
2	1.000	0.999	0.996	0.992	0.986	0.920
3		1.000	1.000	0.999	0.998	0.981
4				1.000	1.000	0.996
5						0.999
6						1.000
7						
8						
9						
m	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
0	0.223	0.135	0.050	0.018	0.007	0.002
1	0.558	0.406	0.199	0.092	0.040	0.017
2	0.809	0.677	0.423	0.238	0.125	0.062
3	0.934	0.857	0.647	0.433	0.265	0.151
4	0.981	0.947	0.815	0.629	0.440	0.285
5	0.996	0.983	0.916	0.785	0.616	0.440
6	0.999	0.995	0.966	0.889	0.762	0.606
7	1.000	0.990	0.988	0.949	0.867	0.744
8		1.000	0.996	0.979	0.932	0.847
9			0.999	0.992	0.968	0.916
10			1.000	0.997	0.986	0.957
11				0.999	0.995	0.980
12				1.000	0.998	0.991
13					0.999	0.996
14					1.000	0.998

附表 -3      $Z_1 - /$      n的比值

n	$\frac{Z_{0.975}}{n}$	$\frac{Z_{0.995}}{n}$	$\frac{Z_{0.95}}{n}$	$\frac{Z_{0.99}}{n}$
1	1.960	2.576	1.645	2.326
2	1.386	1.821	1.163	1.645
3	1.132	1.487	0.950	1.343
4	0.980	1.288	0.822	1.163
5	0.877	1.152	0.736	1.040
6	0.800	1.052	0.672	0.950
7	0.741	0.974	0.622	0.879
8	0.693	0.911	0.582	0.822
9	0.653	0.859	0.548	0.775
10	0.620	0.815	0.520	0.735
11	0.591	0.777	0.496	0.701
12	0.566	0.744	0.475	0.671
13	0.544	0.714	0.456	0.645
14	0.524	0.688	0.440	0.622
15	0.506	0.665	0.425	0.601
16	0.490	0.644	0.522	0.582
17	0.475	0.625	0.399	0.564
18	0.462	0.607	0.388	0.548
19	0.450	0.591	0.377	0.534
20	0.438	0.576	0.368	0.520
21	0.428	0.562	0.359	0.508
22	0.418	0.549	0.351	0.496
23	0.409	0.537	0.343	0.485
24	0.400	0.526	0.336	0.475
25	0.392	0.515	0.329	0.465
26	0.384	0.505	0.323	0.456
27	0.377	0.496	0.317	0.448
28	0.370	0.487	0.311	0.440
29	0.364	0.478	0.305	0.432
30	0.358	0.470	0.300	0.425
31	0.352	0.463	0.295	0.418
41	0.306	0.402	0.257	0.363
51	0.274	0.361	0.230	0.326
61	0.251	0.330	0.211	0.298
71	0.233	0.306	0.195	0.276
81	0.218	0.286	0.183	0.258
91	0.205	0.270	0.172	0.244
101	0.195	0.256	0.164	0.231
201	0.138	0.182	0.116	0.164
501	0.088	0.115	0.073	0.104
	0	0	0	0

附表 -4 t 的定性限值(单边)

自由度 f	置 信 度				
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	2.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.105
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
31	1.310	1.696	2.040	2.453	2.744
32	1.309	1.694	2.037	2.449	2.739
33	1.308	1.692	2.035	2.445	2.733
34	1.307	1.691	2.032	2.441	2.728
35	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724
36	1.306	1.688	2.028	2.434	2.720
37	1.305	1.687	2.026	2.431	2.715
38	1.304	1.686	2.024	2.429	2.712
39	1.304	1.685	2.023	2.426	2.708
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	1.289	1.658	1.986	2.358	2.617
	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

### 附表 -5 常用正交表

## 一、二水平表

1.  $L_4(2^3)$

列号 试验号	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

2.  $L_8(2^7)$

列 号 试 验 号							
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

3.  $L_{12}(2^{11})$

列号 试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

## 二、三水平表

1. $L_9(3^4)$		续附表			
列 号	试 验 号	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1
2	2	1	2	2	2
3	3	1	3	3	3
4	4	2	1	2	3
5	5	2	2	3	1
6	6	2	3	1	2
7	7	3	1	3	2
8	8	3	2	1	3
9	9	3	3	2	1

2. $L_{18}(3^7)$								
列 号	试 验 号	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	2	2	2	2	2	2
3	3	1	3	3	3	3	3	3
4	4	2	1	1	2	2	3	3
5	5	2	2	2	3	3	1	1
6	6	2	3	3	1	1	2	2
7	7	3	1	2	1	3	2	3
8	8	3	2	3	2	1	3	1
9	9	3	3	1	3	2	1	2
10	10	1	1	3	3	2	2	1
11	11	1	2	1	1	3	3	2
12	12	1	3	2	2	1	1	3
13	13	2	1	2	3	1	3	2
14	14	2	2	3	1	2	1	3
15	15	2	3	1	2	3	2	1
16	16	3	1	3	2	3	1	2
17	17	3	2	1	3	1	2	3
18	18	3	3	2	1	2	3	1

三、四水平表

1. $L_{16}(4^5)$						
列 号	试 验 号	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	2	2	2	2
3	3	1	3	3	3	3
4	4	1	4	4	4	4
5	5	2	1	2	3	4
6	6	2	2	1	4	3
7	7	2	3	4	1	2
8	8	2	4	3	2	1
9	9	3	1	3	4	2
10	10	3	2	4	3	1
11	11	3	3	1	2	4
12	12	3	4	2	1	3
13	13	4	1	4	2	3
14	14	4	2	3	1	4
15	15	4	3	2	4	1
16	16	4	4	1	3	2



附表 -6 F 分 布 表

$P( F > F a ) = a$

(表中数字为 Fa 值)

$a = 0.05$

<div><div><div><div><div></div><div>v<sub>1</sub></div></div><div><div>v<sub>2</sub></div><div></div></div></div></div></div>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	60	
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.3	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	252.2	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.38	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.48	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.78	8.74	8.70	8.66	8.57	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.38	6.25	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.68	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.88	4.62	4.58	4.43	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.74	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.30	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.01	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.28	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.79	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.62	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.49	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.38	2.50
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.30	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.55	2.60	2.53	2.46	2.39	2.22	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.70	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.16	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.11	2.01
17	4.46	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.06	1.95
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.02	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	1.98	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	1.95	1.88
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	1.92	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	1.89	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	1.86	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.84	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	3.01	1.82	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.74	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.64	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.53	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.20	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.43	1.25
	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.57	1.57	1.32	1.00

## 参 考 文 献

1. 陈炳叔,王世芳.质量管理学.上海:上海科学技术文献出版社,1993
2. 滕素珍.数理统计.大连:大连理工大学出版社,1996
3. 何泗南,周福田.水运工程质量控制.北京:国防工业出版社,1995
4. 黄良文,吴国培.应用抽样方法.北京:中国统计出版社,1991
5. 汪荣鑫.数理统计.西安:西安交通大学出版社,1986
6. 王福保.概率论及数理统计.上海:同济大学出版社,1988
7. 国家建筑工程质量监督检测中心.混凝土无损检测技术.北京:中国建材工业出版社,1996
8. 窦宜,陶秀珍.水利工程质量管理与检测.南京:河海大学出版社,1995
9. 俞忠厚.实验设计与数据分析.哈尔滨:哈尔滨船舶工程学院出版社,1991
10. 卢瑞珍.混凝土试验设计与质量管理.上海:上海交通大学出版社,1986
11. 李福利.测量数据处理.北京:机械工业出版社,1988
12. 沙庆林.观测试验资料的数学加工法.北京:人民交通出版社,1988
13. 费业泰.误差理论与数据处理.北京:机械工业出版社,1982
14. 于善奇.抽样检验与质量控制.北京:北京大学出版社,1991
15. 鲁绍曾.现代计量学概论.北京:中国计量出版社,1987
16. 王立吉.计量学基础.北京:中国计量出版社,1988
17. 章渭基等.质量控制.北京:科学出版社,1988
18. 薛为民.正交多项式回归及应用.北京:化学工业出版社,1988
19. 数学手册编写组.数学手册.北京:高等教育出版社,1999
20. 水运工程混凝土施工规范(JTJ 268 - 96)
21. 水运工程混凝土试验规程(JTJ 270 - 98)
22. 港口工程质量检验评定标准(JTJ 221 - 98)
23. 量和单位(GB3100 - 3102 - 93)
24. 数值修约规则(GB8170 - 87)
25. 极限数值的表示方法和判定方法(GB1205 - 89)
26. 产品质量检验机构计量认证技术考核规范(JJG1021 - 90)
27. 测量误差及数据处理(JJG1027 - 91)