

JIANYAN JISHU SHOUC

检验技术手册

第二分册

冷加工检验

李在田 主编

国防工业出版社

检验技术手册

第二分册 冷加工检验

李在田 主编

国防工业出版社

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

检验技术手册 第二分册:冷加工检验/李在田主编.
-北京:国防工业出版社,1994
ISBN 7-118-01266-1

I. 检…

II. 李…

III. ①冷加工-检验-技术手册②检验-冷加工-技术手册
IV. TG806-62

检验技术手册
第二分册 冷加工检验
李在田 主编

*
国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)
(邮政编码 100044)

新华书店经售
北京市王史山胶印厂印刷

*
开本 787×1092 1/16 印张 21 $\frac{3}{4}$ 496 千字
1994 年 10 月第 1 版 1994 年 10 月北京第 1 次印刷 印数:1 7700 册

ISBN 7-118-01266-1/T·10 定价:21.90 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《检验技术手册》编辑委员会名单

主 任 王 炯
委 员 李在田 孙守魁 王喜力 马菊鹤
王玉璞 曾宪铮 郝家奎 章建洪
厉育成

主 编 李在田
副 主 编 曾宪铮 孙四凯
责 任 编 辑 杜豪年
第二分册执笔人 曾宪铮 (第七、八、九、十、十一、十三章)
罗利乾、罗治军 (第十二章)

134 32/54

编 者 的 话

1978年,我们编写出版了《航空工业检验员手册》。多年来,在实际应用中,该手册深受航空工业系统检验人员的欢迎。由于近年来我国工业技术发展很快,许多质量标准已更新换代,检验手段更趋先进,原手册已不能满足需要,为此,我们重新编写了这本《检验技术手册》。

本手册共七篇四十一章,用五个分册出版。

第一分册 检验常用资料(互换性基础标准通用量具、计量检定、法定单位);

第二分册 冷加工检验(光滑工件尺寸、形位公差、表面粗糙度、角度、锥度、螺纹、齿轮花键、平台测量);

第三分册 特种工艺检验(铸造、锻造、焊接表面处理、粉末冶金、涂覆);

第四分册 外购器材检验,无损检验;

第五分册 钣金、铆接、装配、试验、橡胶和塑料制品,有机玻璃和复合材料制品,胶接,绝缘处理检验。

本手册是检验人员的工具书,具有知识性、实用性、严谨性的特点。各章内容有基本知识、检验标准、检验方法、常见缺陷分析,其中许多资料系多年经验积累,所列标准均为现行最新的国家标准或行业标准。既有航空工业高科技、复杂的检验技术资料,也有非航空方面的通用资料,可供航空产品和一般机电产品检验工作参考使用。但对检验技术标准有特殊要求者,仍应按产品型号的专用规范检验。

本手册由航空航天工业部质量司组织编写,参加编写的单位有南方动力机械公司、沈阳飞机制造公司、西安飞机工业公司、成都飞机工业公司、哈尔滨飞机制造公司、黎明发动机制造公司、东安发动机制造公司、黎阳发动机制造公司、成都发动机制造公司、金城机械厂、曙光电机厂、庆安公司、红原锻铸厂、秦岭电气公司、中南传动机械厂、安吉铸造厂。

本手册各章稿件初审后,由李在田、曾宪铮、孙四凯、高荣贵、袁梅林、王巨温同志负责全书稿件的审定。在编写过程中,有关单位领导和同志做了大量组织与协助工作,232厂徐建华同志做了全书图稿的描绘工作。301所和航空质协为编写和审稿工作提供了许多支持,部质量司冉拓、张进明等同志做了大量组织协调工作,使本书在较短时间内得以完成,在此一并表示感谢。

由于编写时间较短,内容涉及面广,编者水平所限,可能存在错漏之处,恳请读者批评指正。

前 言

质量是企业的生命,质量检验是整个质量保证工作中极重要的一环,在当代工业发展史上,质量检验具有十分显著的地位。进入 90 年代以来,随着科学技术的发展,产品更新的日益加快,新设计、新工艺、新材料、新设备的不断涌现,检验技术与标准也在相应地发展和更新。而且,由于 ISO9000 系列国际标准的贯彻实施,国际、国内对产品质量责任制度日趋严格的要求,产品实物质量对国内外市场激烈竞争所起的巨大作用,都使质量检验工作的重要性和改善、提高检验技术的迫切性更加突出起来。

在 1978 年编写出版《航空工业检验员手册》的基础上,由航空航天部质量司重新编写出版《检验技术手册》是质量检验工作的一项重要基础建设,也是继承发展检验技术,总结推广国内外有益经验,使检验工作走向标准化、程序化的一个重要措施。本书尽量考虑了科研生产第一线广大检验人员的实际需要,为他们提供一本适用的指导资料和教材,从而不断地提高检验技术水平,改善人员素质,确保产品质量。本书也可供设计、工艺人员参考使用。

参加本书编写工作的编委会成员、主编、副主编及有关编写人员本着周密严谨的科学态度,高度负责的工作作风,进行了大量的资料收集、分析、校核、全书经过多次审稿、校稿,力求内容准确实用,文字简明流畅,一切为读者着想,为读者服务。

由于本书涉及范围相当广泛,而编写人员的知识,技术水平均难免存在各自的局限性,因此很难避免存在一些缺点或错误,敬请读者及时批评指正。

航空航天部质量司司长

王 炯

一九九三年三月十五日

建社四十周年献礼图书

目 录

第二篇 冷加工检验

第七章 光滑工件尺寸检验	(1)
7.1 尺寸检验基础	(1)
7.1.1 检验与测量的基本概念	(1)
7.1.2 测量误差及其处理	(3)
7.1.3 测量的不确定度	(10)
7.2 光滑工件尺寸检验原则(摘自 GB3177-82)	(10)
7.2.1 测量条件	(10)
7.2.2 检验原则	(14)
7.2.3 安全裕度和验收极限	(15)
7.2.4 计量器具选择原则	(18)
7.3 光滑极限量规及其使用(摘自 GB1957-81)	(18)
7.3.1 量规种类及适用范围	(18)
7.3.2 量规公差	(19)
7.3.3 量规结构型式	(19)
7.3.4 量规的使用	(22)
7.4 尺寸链计算方法(摘自 GB5847-86)	(23)
7.4.1 尺寸链基本术语	(23)
7.4.2 尺寸链形式	(24)
7.4.3 尺寸链计算类型及公式	(26)
7.4.4 尺寸链计算举例	(35)
第八章 形位公差检测	(41)
8.1 形位公差的识读	(41)
8.1.1 公差代号的识读	(41)
8.1.2 被测要素的识读	(43)
8.1.3 基准要素的识读	(45)
8.1.4 公差数值的识读	(48)
8.1.5 附加要求和有关符号的识读	(50)
8.1.6 简化标注的识读	(53)
8.1.7 图样上标注识读举例	(54)
8.2 公差原则	(61)
8.2.1 基本概念	(61)
8.2.2 独立原则	(65)
8.2.3 相关原则	(67)

8.2.4 几点说明	(70)
8.3 检测规定	(72)
8.3.1 检测原则	(72)
8.3.2 检测方案	(73)
8.3.3 检测方案举例	(73)
第九章 表面粗糙度检验	(92)
9.1 概述	(92)
9.1.1 表面粗糙度的含义	(92)
9.1.2 加工方法对表面粗糙度的影响	(93)
9.1.3 表面粗糙度对零件功能的影响	(96)
9.2 表面粗糙度术语定义和评定参数	(97)
9.2.1 术语定义	(97)
9.2.2 评定参数	(97)
9.3 图样中标注的表面粗糙度代号的识读	(100)
9.3.1 代号及有关要求的识读	(100)
9.3.2 识读示例	(103)
9.4 新旧标准对照	(104)
9.4.1 代(符)号对照	(104)
9.4.2 等级(参数值)对照	(104)
9.5 表面粗糙度的检测	(109)
9.5.1 比较判别法	(110)
9.5.2 双管(光切)显微镜测量法	(111)
9.5.3 干涉显微镜测量法	(114)
9.5.4 电动轮廓仪测量法	(119)
9.5.5 印模测量法	(121)
9.5.6 激光测量法	(122)
第十章 角度和锥度的检测	(124)
10.1 角度和锥度系列	(124)
10.1.1 概述	(124)
10.1.2 棱体的角度与斜度系列(摘自 GB4096-83)	(125)
10.1.3 锥度与锥角系列(摘自 GB157-89)	(128)
10.2 角度和锥度测量方法分类	(130)
10.3 锥度和角度的直接测量	(131)
10.3.1 万能角度尺测量	(131)
10.3.2 水平仪测量	(132)
10.3.3 分度台和分度头测量	(136)
10.3.4 光学测角仪测量	(137)
10.3.5 显微镜和投影仪测量	(137)
10.3.6 光隙法	(138)
10.3.7 着色法(圆锥量规法)	(142)
10.4 锥度和角度的间接测量	(143)
10.4.1 正弦规测量	(143)
10.4.2 正切法	(148)

10.4.3	圆球圆柱法	(148)
10.4.4	计量仪器测量	(151)
第十一章	螺纹的检测	(152)
11.1	概述	(152)
11.1.1	螺纹种类和用途	(152)
11.1.2	普通螺纹公差结构特点	(153)
11.1.3	普通螺纹的标记	(155)
11.1.4	螺纹中径合格性判断原则	(156)
11.1.5	镀层螺纹问题	(157)
11.2	圆柱外螺纹的检验	(157)
11.2.1	综合检验	(157)
11.2.2	单项测量	(159)
11.3	圆柱内螺纹的检验	(177)
11.3.1	综合检验	(177)
11.3.2	单项测量	(177)
11.4	锥螺纹和锥管螺纹的检验	(183)
11.4.1	综合检验	(183)
11.4.2	单项测量	(184)
11.5	锯齿形螺纹的检验	(189)
第十二章	齿轮和花键的检测	(191)
12.1	圆柱齿轮检测	(191)
12.1.1	概述	(191)
12.1.2	双面啮合检验	(200)
12.1.3	单面啮合检验	(204)
12.1.4	整体误差检验	(206)
12.1.5	单项测量	(209)
12.1.6	齿轮副误差的检测	(246)
12.2	圆锥齿轮检测	(249)
12.2.1	概述	(249)
12.2.2	齿坯的检验	(256)
12.2.3	轮齿误差的检测	(257)
12.2.4	接触斑点的检验	(261)
12.3	圆柱蜗杆、蜗轮传动的检测	(269)
12.3.1	概述	(269)
12.3.2	单项测量	(279)
12.3.3	综合检测	(289)
12.4	花键的检验	(291)
12.4.1	渐开线花键的检验	(291)
12.4.2	三角花键的检验	(291)
12.4.3	矩形花键的检验	(292)
12.5	齿轮加工常见缺陷分析	(292)
第十三章	平台测量	(296)

13.1	平台测量的特点	(296)
13.2	平台测量常用的工具及设备	(297)
13.2.1	平板	(297)
13.2.2	V形架(摘自 GB4972-85)	(301)
13.2.3	方箱	(304)
13.2.4	表座	(304)
13.2.5	高度游标卡尺(摘自 GB8126-87)	(307)
13.2.6	量块架	(309)
13.2.7	定高计(高程规)	(309)
13.2.8	垂直表架	(309)
13.2.9	刀口形直尺(摘自 GB6091-85)	(309)
13.2.10	量块(摘自 GB6093-85)	(311)
13.2.11	正弦规	(314)
13.2.12	水平仪	(314)
13.3	平台测量项目和操作注意事项	(315)
13.3.1	平台测量项目	(315)
13.3.2	平台测量操作注意事项	(315)
13.4	两点、三点法测量圆度误差	(317)
13.4.1	术语定义	(317)
13.4.2	测量方法的代号	(319)
13.4.3	测量方法	(319)
13.4.4	两点、三点法测量圆度误差应用示例	(321)
13.5	圆弧半径的测量	(323)
13.5.1	极限量规法	(323)
13.5.2	着色法	(324)
13.5.3	圆柱测量法	(324)
13.5.4	V形铁法	(324)
13.5.5	型板法	(325)
13.6	内凹孔径的测量	(326)
13.6.1	双球法	(326)
13.6.2	三球法	(326)
13.6.3	四球法	(326)
13.6.4	圆柱量块法	(327)
13.7	单型面交点尺寸的测量	(327)
13.8	平台测量实例	(332)
	参考文献	(334)

第二篇 冷加工检验

第七章 光滑工件尺寸检验

7.1 尺寸检验基础

7.1.1 检验与测量的基本概念

一、检验与测量

1. 检验

对产品的一种或多种特性进行测量、检查、试验、计量,并将这些特性与规定的要求进行比较以确定其符合性的活动,叫做检验。

从上述定义可知,检验包括三个过程:一是测量(或检查、试验、计量),二是比较;三是判断。

尺寸检验的对象是产品特性中的尺寸。对一个或多个尺寸进行测量、检查、试验、计量,并将该尺寸的测得结果与规定值进行比较以确定其符合性的活动,就叫尺寸检验。

2. 测量

为确定被测对象的量值而进行的实验过程,叫做测量。

尺寸测量的对象是产品特性中的尺寸。要确定某一尺寸的量值大小,一般要有计量单位。计量单位是用以确定被测尺寸量值大小时人为约定的一个参考量(标准量),它是有明确定义和名称并命其数值为1的一个固定的量。例如国际单位制中,长度的基本单位是“米”(m),常用单位是“毫米”(mm)和“微米”(μm)。米的定义是:米是光在真空中1/299 792 458 秒的时间间隔内所经路径的长度。而“毫米”(mm)是“米”的千分之一,即 $1\text{mm}=10^{-3}\text{m}$;“微米”(μm)是“米”的百万分之一,即 $1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$ 。

进行具体测量时,仅有计量单位的概念还不够,还必须用物质形式来体现。例如长度基本单位“米”(m)用于一般测量工作时,可使用五种激光的真空波长和两类同位素光谱灯的真空波长的任一种来复现,并按计量传递系统以线纹尺、量块等作为工作计量标准。

实现尺寸测量的基本手段是必须有计量器具或测量装置系统,并使用一定的测量方法。由于任何计量器具或测量方法都存在一定误差,故不能测出被测尺寸的真值。因此,存在测量结果是否可靠,即测量精确度在什么范围内的问题。

如上所述,任一测量过程必须包括:测量对象、计量单位、测量方法和测量精确度等四个要素,它们是构成测量的几个方面。

二、测量的分类

测量是在一定的测量条件下,按一定的测量原理,使用一定的计量器具或测量装置系统而由人工或机器来完成的。测量条件、测量原理、计量器具或测量装置系统的总和称为测量方法。

为了分析测量方法,在实际测量中常按不同特征进行分类。

1. 直接测量和间接测量

直接测量——无需对被测的量与其它实测的量进行函数关系的辅助计算,而直接得到被测量值的测量。例如,用千分尺,游标卡尺直接测出工件的尺寸。

间接测量——直接测量的量与被测的量之间有已知函数关系从而得到该被测量值的测量。例如,在测量大尺寸圆柱形工件直径 D 时,可先直接量出其圆周长度 L ,然后根据其函数关系式 $D = L/\pi$ 计算求得工件直径,就是间接测量。

但是,对于计量器具的示值,包含通过图表或表格以和被测的量值相对应的情形,其被测量值仍被看作是直接测量。

2. 绝对测量和比较(相对)测量

绝对测量——由计量器具的示值直接得到被测量绝对值的一种测量。例如用千分尺测量轴径、厚度等。

比较测量——由计量器具读数装置上得到的示值仅为被测量相对于标准件的偏差值的一种测量。例如,在比较仪上测量轴径,先用标准件或量块将比较仪的指针调零,然后进行测量,比较仪上得到的读数不是工件轴径的绝对值,而是相对于标准件或量块的偏差值。

比较测量由于采用了标准件,故对测量过程中的温度,测力压陷变形等因素引起的测量误差可以得到补偿,对测量条件的要求不如绝对测量那样严格。比较测量的测量精度主要取决于标准件。标准件应具有与被测工件相同的材质和几何形状,实际测量时常常用量块组来代替标准件。

3. 接触测量和非接触测量

接触测量——测量时计量器具的触头与被测工件表面直接接触,有机械作用力存在,称为接触测量。例如用外径千分尺测量轴径等。

非接触测量——测量的计量器具与被测工件表面无直接的机械接触,即无机械作用的测力存在,称为非接触测量。例如用气动量仪测量孔径等。

非接触测量特别适用于表面较软的工件或较小的孔、复杂轮廓等。

4. 单项测量和综合测量

单项测量——分别对工件上每个参数进行独立测量的一种测量方法。例如,分别对螺纹单一中径、螺距、螺纹半角以及大、小径进行测量,各得到单项结果等。

综合测量——将影响互换性的有关参数综合测得合格与否的结论,或将有关参数折合为一个主参数或综合误差进行测量的一种测量方法。

测量方法的分类甚多,角度不同,说法不一样。用千分尺或游标卡尺测量轴径,其测量方法既是直接测量,又是绝对测量和接触测量。

7.1.2 测量误差及其处理

一、测量误差的定义及表示方法

1. 测量误差的定义

测量结果与被测量的真值之间的差,叫测量误差。可用下式表示:

$$\text{测量误差} = \text{测得值} - \text{真值}$$

测量结果是由测量所得到的被测量值。一般可从计量器具直接反映或经过必要的计算而得出,必要时取多次测得值的算术平均值,或对系统误差作必要的修正。

2. 测量误差的表示方法

测量误差可以用绝对误差表示,也可以用相对误差表示。

绝对误差 —— 从数据处理的角度,测量结果和被测量的真值之间的差,即测量误差,也称为绝对误差。用下式表示:

$$\text{绝对误差}(\delta) = \text{测量结果}(l) - \text{真值}(L)$$

绝对误差可以是正值,也可以是负值,其符号取决于被测量的测量结果是大于还是小于其真值。

注意:要区分二个术语“绝对误差”和“误差的绝对值”,后者是不考虑正负号的误差值,其所以叫“绝对”仅仅对正负号而言。

所谓真值是在观测的瞬时条件下,质量特性的确切数值(客观存在值)。它是一个理想概念,一般是未知的,因此,绝对误差也无法确知。在某些情况下,为了使用上的需要,可采用相对高一级精度的标准量值、被测量的实际值或已修正过的算术平均值来代替真值,称为约定真值。

相对误差 —— 绝对误差与被测量的真值之比,叫相对误差。用下式表示:

$$\begin{aligned}\text{相对误差}(\epsilon) &= \text{绝对误差}(\delta) / \text{真值}(L) \\ &\approx \text{绝对误差}(\delta) / \text{测量结果}(l)\end{aligned}$$

对于相同的被测量,可用绝对误差评定其测量精度的高低,但对于不同的被测量,用绝对误差难以评定它们的测量精度的高低,在这种情况下,采用相对误差就较为合适。

例如,用两种方法测量轴径 $L_1 = \phi 100\text{mm}$ 时,其测量误差分别为 $\delta_1 = \pm 9\mu\text{m}$, $\delta_2 = \pm 8\mu\text{m}$, 试问哪一种方法的测量精度高?显然,根据绝对误差的大小,可知后一种方法的测量精度要高些。如果再用第三种方法测量 $L_3 = \phi 70\text{mm}$ 的另一根轴径,其测量误差为 $\delta_3 = \pm 7\mu\text{m}$, 试问这三种方法哪一种方法的测量精度最高?此时,再用绝对误差进行评定,会认为第三种方法的测量精度最高。但这是不正确的。此时要用相对误差来评定。

第一种方法的相对误差为:

$$\epsilon_1 = \frac{\delta_1}{L_1} = \pm \frac{9\mu\text{m}}{100\text{mm}} = \pm \frac{9}{10000} = \pm 0.009\%$$

第二种方法的相对误差为:

$$\epsilon_2 = \frac{\delta_2}{L_1} = \pm \frac{8\mu\text{m}}{100\text{mm}} = \pm \frac{8}{10000} = \pm 0.008\%$$

第三种方法的相对误差为:

$$\epsilon_3 = \frac{\delta_3}{L_3} = \pm \frac{7\mu\text{m}}{70\text{mm}} = \pm \frac{7}{7000} = \pm 0.010\%$$

可见,相比之下,第三种方法的测量精度最低,第二种方法的测量精度最高。

二、测量误差的来源

在测量过程中,产生误差的来源可归纳为四个方面:

1. 计量器具误差

计量器具误差是指计量器具本身所具有的误差。它与被测工件以及外部测量条件无关。

计量器具误差综合反映了计量器具(包括调整标准器在内)在设计、制造和装调等方面的缺陷所引起的误差。例如,设计时违反阿贝原则(被测线应与测量线重合或在其延长线上的原则),采用简化机构所产生的设计误差;线纹尺刻度误差,度盘安装偏心以及计量器具调校后的残留误差等。

2. 环境误差

测量过程中,由于温度、湿度、气压、振动、照明等环境条件与要求的标准状态不一致或变动而引起计量器具和被测量本身变化所造成的误差,叫环境误差。其中,温度误差是重要的因素之一。

3. 人员误差

由于测量者主观意识造成的误差,叫人员误差。例如,测量者在测量过程中由于观测或读数不正确造成的观测误差或读数误差;由于偏离正确观察方向(如不垂直于刻度表面)进行读数或瞄准时所引起的视差;以及感官缺陷或生理变化和精神状态不佳等原因引起的误差等,均属人员误差。

4. 方法误差

测量方法不完善,例如采用近似的测量方法,或测量所依据的理论本身不完善所造成的误差,叫方法误差。例如用弓高弦长法测量大圆的直径;用钢卷尺测量大轴的周长 L ,并根据公式 $D = L/\pi$ 来计算出大轴的直径时,由于 π 取值的精确度不同,将会引起一个相应的测量误差。

三、测量误差的分类

根据测量误差的性质和特点,可将其分为系统误差、随机误差和粗大误差三大类。

1. 系统误差

在偏离测量规定条件时或由于测量方法所引入的因素,按某确定规律所引起的误差,叫系统误差。例如,采用标准件(或量块)作比较测量时,由于标准件(或量块)不准确,测得值中存在一个绝对值和符号保持不变的系统误差。又如,由比较仪的指针与度盘偏心所引起的误差,也属系统误差。

系统误差决定了测量结果偏离被测量真值的程度,其值愈小,测量结果愈正确,即测量结果的正确度由系统误差来表征。

2. 随机误差(也称偶然误差)

在实际测量条件下,多次测量同一量值时,误差的绝对值和符号以不可预定的方式变化着的误差,叫随机误差。

随机误差是由许多暂未掌握或不易掌握的独立微小因素综合作用的结果而造成的。例如,在测量过程中温度的微小波动、地面振动、机构间隙、连接件的弹性变形以及摩擦力的变化等。随机误差不能用实验的方法加以修正,但可以借助于概率统计的方法减小它对

测量结果的影响。由于随机误差的存在,致使系列观测值彼此不同而产生一定的分散性。随机误差愈小,系列观测值彼此更加接近而密集,因此,随机误差决定了测量结果的精密度。

3. 粗大误差

超出在规定条件下预期的误差,叫粗大误差。

引起粗大误差的原因如:错误读取示值;使用有缺陷的计量器具;计量器具使用不正确;测量条件的瞬时刻变、冲击等,破坏了计量器具的调零状态或引起工件尺寸剧变;观测者的粗枝大叶,对错标志,读错示值、记错示值,操作不当等原因引起的误差。这种误差是在规定条件下不应发生的误差,必须查明原因,予以纠正,舍去含有这种误差的测得值,并重新进行测量。

四、随机误差的性质与评定

1. 随机误差的分布规律及其性质

随机误差是由于许多暂时未掌握或不易掌握的独立微小因素综合作用结果所造成的,它们对测量结果的综合影响,时大、时小、可正、可负,就个体而言难于控制,但就总体来说,却有统计规律可循。经大量实际统计表明,随机误差出现的基本形态是遵循正态分布规律的。

符合正态分布的随机误差具有下列四个基本性质:

- ① 误差的对称性:即绝对值相等的正误差和负误差出现的概率相等;
- ② 误差的单峰性:即绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的概率大;
- ③ 误差的有界性:在一定测量条件下,绝对值很大的随机误差出现的概率趋近于零,即随机误差的绝对值有一定的实际极限;
- ④ 误差的抵偿性:当测量次数足够多时,系列等精度测量值的各随机误差的代数和(或算术平均值)趋于零。

测量次数足够多,一般是指超过 200 次时,上述性质已很明显了。

2. 算术平均值

一个量的 n 个测得值的代数和除以 n 而得的商,叫该量的算术平均值。

$$\bar{x} = \frac{l_1 + l_2 + \cdots + l_n}{n}$$

式中 $\bar{x}$ ——算术平均值;

$l_1, l_2, \cdots, l_n$ ——各次测量结果(测得值);

n ——测量次数。

如果可能对某一被测量进行无穷多次的等精度测量,则全部测得值的算术平均值就是该被测量的真值。算术平均值给我们指出了如何从一组等精度测得值中求取最佳(或最可靠)值的方法,即为了减小随机误差的影响,获得最佳或最可靠的值,应取一组等精度测得值的算术平均值作为最后的测量结果。

算术平均值具有以下两个重要性质:

- ① 系列等精度测量值的残余误差的代数和等于零,即

$$\nu_1 + \nu_2 + \cdots + \nu_n = 0$$

或写作：
$$\sum_{i=1}^n \nu_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

残余误差(简称残差)是测量列中的一个测得值 l_i 和该列的算术平均值 $\bar{x}$ 之间的差, 即

$$\nu_i = l_i - \bar{x} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中 ν_i ——测得值 l_i 的残余误差;

l_i ——第 i 个测得值;

$\bar{x}$ ——算术平均值。

⑥系列等精度测量值的残余误差的平方和为最小, 即

$$\nu_1^2 + \nu_2^2 + \dots + \nu_n^2 = \text{最小}$$

或写作：
$$\sum_{i=1}^n \nu_i^2 = \text{最小} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

算术平均值的这一性质为建立最小二乘法原理奠定了理论基础。

3. 测量的标准偏差

测量除了要求得被测的量的最佳测量结果外, 还必须对测量结果的可靠性进行估计。测量结果的可靠性是以其所含误差的大小来表示的。在排除系统误差和粗大误差后, 测量结果的可靠性就仅由随机误差所决定。

在车间现场, 一般只进行一次测量, 并将其测得值作为测量结果, 因此需要解决单次测量所得结果的可靠性的评定指标问题。

在某些情况下, 例如在计量室里, 为了获得更可靠的测量结果, 常常以多次等精度测得值的算术平均值作为测量结果, 因此需要解决算术平均值的可靠性评定指标问题。

(1) 测量列中单次测量的标准偏差(也称均方根误差) σ

由于随机误差的存在, 使系列等精度测量值中每个测得值彼此不同, 而围绕其算术平均值有一定的分散, 它说明了在一定测量条件下单次测得值的不可靠性。这个不可靠性不能以系列测量中某一个不肯定的随机误差为依据, 而应从系列等精度测量值的大量随机误差中找出能代表该系列等精度测量值可靠程度的表征尺度。在长度计量中, 通常用单次测量的标准偏差 σ 来评定系列测量中单次测量值的不可靠性。

测量列中单次测量的标准偏差(也称均方根误差) σ 是表征同一被测量值的 n 次测量所得结果的分散性的参数。并按下列计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}}$$

式中 n ——测量次数(应充分大);

d_i ——测得值与被测的量的真值之差, 即 $l_i - L = d_i$;

符号 $\sum$ 表示对所有 $d_i^2 (i = 1, 2, \dots, n)$ 求和。

在实际测量中, 被测的量的真值 L 通常是未知的, 故不能按上式求得标准偏差 σ 。因此, 标准偏差在有限次测量情况下, 常用残余误差 ν_i 代替 d_i , 并按下式计算标准偏差的估计值: