

21世纪高等院校教材

空间数据的误差处理

魏克让 江晓世 编著



科学出版社
www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

空间数据的误差处理

魏克让 江聪世 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是供高等院校信息工程、遥感、航测等专业使用的专业基础课教材。全书共分七章,内容重点在于介绍测绘类空间数据误差分析和处理的基本理论和方法,并根据信息工程、遥感、航测专业学习的需要,阐述了诸如地理空间信息基础、多元统计分析以及空间数据质量控制与抽检等内容。为便于掌握和加深理解课程内容,各章之后均附有思考题与习题。

本书可供高等院校信息工程、遥感、航测专业的师生阅读,也可供相关专业的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

空间数据的误差处理/魏克让,江聪世编著. —北京:科学出版社,2003
(21世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-011587-2

I. 空… II. ①魏…②江… III. 空间测量-误差数据处理-高等学校-教材 IV. P236

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 049261 号

策划编辑:朱海燕 杨 红/文案编辑:孙克玮/责任校对:钟 洋
责任印制:安春生/封面设计:高海英

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

涿海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2003年8月第一次印刷 印张:15 1/2

印数:1~3 000 字数:292 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

前 言

本书是在《观测数据处理》讲义的基础上经多次修改编著的。原稿完成于1991年10月,并投入使用,曾得到李德仁院士的关心与大力支持,在后续的使用过程中于1995年、1999年又先后做了两次修改;根据最新制定的教学计划,本次修改对部分内容又做了增、删。

本书是作为专业基础课教材使用的,立足于为后续的专业课程打好有关数据处理方面的基础。正如在本书第一章引论中所述,随着科学技术和生产手段的飞速发展,数据处理的一些基本方法已为许多学科、专业,许多科研及生产部门广泛地应用。地理信息系统(GIS)是一门集多学科为一体的新兴的边缘科学,在众多领域的开发与建设中发挥着越来越重要的作用,而GIS原理和方法不断充实与发展的过程,是离不开数据处理的有关基础知识的。

本书是从观测分类以及误差产生的内在与外界原因谈起,逐渐深入并展开,在以基本的误差理论和参数估计为重点的基础上,综述了地理空间信息基础的有关内容。同时,还增补了空间数据质量控制与抽样检验等内容。

顾及到信息工程、遥感、航测等专业的特点以及高层学习的需要,作者还选写了多元统计分析的基本内容,这将有助于基于高等统计理论的图像解译、聚类与判别分析等,也是本教材的一个特点。

全书共分七章。第一、二两章主要介绍的是误差的基本理论,讨论的是如何根据观测数据求定某些量在一定的统计意义下的估值以及如何衡量观测值的精度和估值精度的问题。其中,阐述观测值函数精度与观测值精度之间关系的广义传播律,其应用范围极广。

第三章是从较抽象的数学模型推导入手,分别对常用的几种数据处理的原理具体化,给出实用公式和计算方法。

第四章介绍了对正则方程的求解以及对某些特殊观测问题的处理方法,其中的序贯观测与估计是近代估计理论在误差处理方面的一个成功应用。

第五章是地理空间信息基础的有关内容。对地理空间系统的建立、GIS数据质量分析、数据内插、地图投影的基本概念以及空间各种坐标的转换做了必要的介绍。

第六章介绍的是多元统计分析方面的知识,适用于多种专业的需求,是当前专业学习的需要,同时也为进一步深造打下扎实的数学基础。

第七章是以质量控制与数字地图产品的质量检验为主要内容的。“规范”性的文字叙述较多,旨在建立“质量”是GIS生存和发展的保障这一理念。

全书内容是按约60教学学时安排的。根据专业特点,可有所侧重。为叙述力求简单、注重实用,略去了个别复杂证明。

阅读与学习本书内容时,读者若具有“线性代数”与“数理统计”方面的知识将会收到事半功倍的效果。

本教材中引用了许多著作作为参考文献,在此,谨向作者表示衷心感谢。在写作过程中也曾得到有关同仁的支持与帮助,在此表示谢意。

由于水平所限,不当和错误之处在所难免,诚请读者批评、指正。

作 者

2002年岁末于武汉

目 录

前言

第一章 引论	1
第一节 观测概述	1
一、观测数据处理的意义	1
二、观测的分类	2
第二节 误差及其特性	6
第三节 精度估计的标准	9
一、方差和中误差	10
二、平均误差	11
三、极限误差	11
四、相对误差	12
第四节 协方差传播律	13
一、协方差	13
二、线性函数的方差——协方差	15
三、非线性函数的情况	19
第五节 误差合成	24
思考题与习题	27
第二章 基本观测问题的处理	30
第一节 算术均值及其精度	30
第二节 等精度观测数据的精度估计	33
第三节 权及加权均值与其精度	35
第四节 协因数及协因数传播律	39
一、协因数与协方差阵	39
二、协因数传播律	42
第五节 非等精度观测数据的精度估计	45
思考题与习题	51
第三章 参数估计的基本理论	53
第一节 观测数据处理常用的数学模型	53
第二节 条件观测处理	56
一、原理	56
二、条件个数与条件方程	61

第三节 附有未知数的条件观测处理	65
一、原理	65
二、附有未知数的坐标条件方程	67
第四节 间接观测处理	71
一、原理	71
二、间接观测的处理步骤	74
三、精度评定	77
第五节 附有条件的间接观测处理	79
一、原理	79
二、示例	80
第六节 数字化数据的基本平差模型	82
一、直角与直线模型	82
二、平行线模型	84
三、距离模型	85
四、面积模型	86
五、圆曲线条件	87
六、道路曲线的误差方程	88
第七节 数字化数据的分级平差概念	93
一、数字化数据的分级平差原则	93
二、分级平差的条件方程与求解	94
第八节 误差方程式在平面网中的特点	95
一、角度误差方程式的特点	96
二、边长误差方程式的特点	97
思考题与习题	99
第四章 法方程组的解算与其他观测问题	103
第一节 法方程组的解算	103
一、高斯约化法	103
二、迭代法	107
第二节 序贯观测与估计	109
第三节 亏秩问题的处理	113
一、原理	114
二、算例	118
第四节 误差椭圆	121
一、任意方向上的点位误差	121
二、位差的极值与其位置	122
三、以极值 E 、 F 表示的任意角度 ϕ 的 r 方向上的位差	124
四、误差曲线与误差椭圆的特性	124

五、相对误差椭圆	125
第五节 置信椭圆	130
思考题与习题	134
第五章 地理空间信息基础	138
第一节 地理空间坐标系的建立	138
一、地球空间模型描述	138
二、地理空间坐标系	139
第二节 空间数据质量	140
一、空间数据质量的概念	141
二、空间数据的误差类型	142
三、对地图数字化数据误差的分析	143
第三节 空间数据的内插	144
一、双线性多项式(双曲面)内插	144
二、双三次多项式(三次曲面)内插	146
三、移动拟合法内插	149
第四节 地图投影的基本概念	152
一、投影与变形	153
二、高斯投影	153
三、投影面与投影带的选择	156
第五节 空间坐标转换	158
一、坐标系统概述	158
二、空间坐标转换	159
三、应用最小二乘准则进行平面之间的坐标换算	164
思考题与习题	167
第六章 多元统计分析	169
第一节 多元总体与样本	169
一、多元总体	169
二、多元样本	172
第二节 距离的概念	176
第三节 主分量分析	179
一、主分量概念的数学提法	179
二、 R 与 Q 分析	181
第四节 聚类分析	184
一、最小距离法(成批修改法)	184
二、爬山法	186
第五节 多元线性回归	190
一、数学模型与估计	190

二、应用例	193
第六节 多元统计检验	195
一、两总体均值向量的假设检验	195
二、协方差矩阵的假设检验	199
第七节 判别分析	205
一、距离判别	205
二、Bayes 判别	207
思考题与习题	209
第七章 空间数据质量控制与抽样检验	211
第一节 质量管理与控制的一般概念	211
一、关于质量的几个概念	211
二、质量管理发展的三个阶段	212
第二节 统计过程控制与控制图	213
一、过程控制与控制图的基本格式	213
二、计量控制	214
三、计件(计数)控制	217
四、计点控制	217
第三节 抽样检验与标准	218
一、抽样检验的基本概念	218
二、抽样检验方案	219
三、抽样检验标准概述	221
第四节 GIS 数据的质量特征	224
一、空间数据的质量特性	224
二、属性数据的质量特性	225
三、空间数据之间的关系	225
四、数据编辑处理过程中的质量特性	226
第五节 数字地图产品的质量检验	227
一、检验程序	227
二、空间数据的检验	228
三、属性数据的检验	229
四、空间数据之间关系正确性的检验	229
五、缺陷分类	229
六、质量评定	231
思考题与习题	232
附表一 $L(p, v)$ 分布表	233
附表二 $M(p, v_0, k)$ 分布表	234
附表三 一次抽样方案检查表	236
主要参考文献	238

第一章 引 论

第一节 观测概述

一、观测数据处理的意义

观测数据处理方法的研究也同其他学科一样,是根据生产和科学研究实践中对观测数据分析、处理的需要而产生的。

随着科学技术和生产手段的飞速发展,尤其是电子计算机的广泛普及使用,观测数据处理方法的研究也在不断地深入进行。目前,它已成为现代统计数学的一个重要组成部分;数据处理的一些基本方法已为许多学科、专业,许多科研及生产部门广泛地应用。

在生产和科学研究中,人们经常对各种类型的物理量进行观测,而获得大量的观测数据。这仅仅是感性材料,为了对观测结果形成认识上的深化并反映事物内部的规律性,从观测结果中引出科学的结论,必须运用数学方法按照一定的准则对获取的观测数据进行分析、处理,得到可用数学方式表述的某种规律。

为进行具有中国特色的社会主义建设和国防建设,需要规模巨大的人造卫星、大地、海洋测量、航空摄影测量以及经久不断的工程测量工作。这些测量工作都是借助专门的设备与仪器,直接或间接地对所研究的对象进行观测而获得大量的有关数据。通过一系列的数据处理过程,从而确定出地球形状和大小、固体潮变化,海洋定位以及表示地表与大陆架起伏的各种比例尺地形图;也为工程勘察、设计、施工、运营各阶段提供科学依据。

遥感技术是在不直接与被研究对象接触的情况下,利用专门的装置收集被研究物体、地区或现象的数据,通过分析、处理提取和应用有关物体、地区或现象的信息的一种技术。实际上,获取信息的过程就是观测;对所获遥感信息进行辐射校正、几何改正、数据变换、影像增强、数据识别与分类等过程就是数据处理。

21 世纪初,我国已逐渐全面实行土地有偿使用,大量的界址点测量,宗地权属的确定以及土地资源的现状调查与开发前景等工作,都要通过各种观测手段获取大量数据并经过必要的数据处理后,才可为有关的决策部门提供法律和政策上的科学依据。

在通信与控制领域内,分析、处理受噪声污染的信号观测结果以及自动系统的设计问题,也十分重视数据处理的各种估计理论。为此,国内外出版了大量相关

专著。

机械工人在完成某一工件制作过程中,要及时对加工中的工件进行测量,校核加工的质量,以保证工件尺寸及其公差达到设计要求。

对一批产品的抽样检查,统计检验产品的某项技术指标是否符合要求,也可从中分析出生产质量的稳定情况,或考验技术革新中某种新产品的实际效果。

科学实验的过程,也是组织实验项目、观测以及对实验结果分析、处理的过程。

例如,特定的风洞实验,不仅可以对初步设计的飞机机翼进行一系列空气动力学的实验,也可对各种建筑模型、大坝模型等进行实验,测定与分析它们的受力情况,从而进一步修改设计直至定型。实际上,这是一系列空气动力的力学测量与数据处理工作。

长期观测的气象资料是分析、研究天气和气候变化规律的基础,也是农林、水利、建筑等部门在进行生产、规划、设计时所必须参考的。只有根据多年来的观测数据,经过分析、处理才能揭示某一地区气候变化的规律性,同时也为制定这一地区今后气候参数的变化模式提供依据。

在人类步入 21 世纪的今天,地理信息系统(GIS)这门集多学科为一体的新兴的边缘学科,在测绘、地质矿产、农林水利、气象、海洋、环境监测、城市规划、土地管理、区域开发与国防建设等领域发挥越来越重要的作用。而对 GIS 原理和方法不断充实与发展的过程中,是离不开数据处理这一方法的。

还可以列举出大量的来自生产和科学实验中的测量及其数据处理的问题。可以说,观测及其结果的精度分析和数据处理这方面的问题,在生产和科学研究的各个方面随时可以遇到。

二、观测的分类

由于观测所采取的方式不同,可分为直接观测和间接观测。

为了测定某一物理量,例如角度和距离,空气的湿度,气流的压力等,我们可以直接用经纬仪、钢尺或测距仪、湿度计、气压表等测取所要观测的量,这是最简单的测量问题,称为直接观测。就是说,这时被观测的量可以直接与其单位尺度进行比较。

有些观测则不然,如为了观测某一建筑物的高度,可以在某个测站上用经纬仪观测该建筑物的垂直角 β ,并量取从测站到建筑物的距离 S ,由几何关系

$$h = S \cdot \tan \beta \quad (1.1)$$

来确定建筑物的高度 h 。在这个例子中,被观测的量 h 是由直接观测量 β 和 S 通过确定的函数关系求得的。这样,高度 h 的测量就称作间接观测。

间接观测在测量实践中是非常普遍的。应该说,绝大多数的测量问题都是通

过间接观测解决的。

在平面控制测量中,为了确定 B 点相对于 A 点的位置,可以先观测出两点间的距离 S_{AB} 与两点间边长所处的方位 α_{AB} , 如图 1.1 所示。由几何关系可求出 B 点的相对坐标, 有

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{AB} &= S_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB} \\ \Delta Y_{AB} &= S_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB} \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

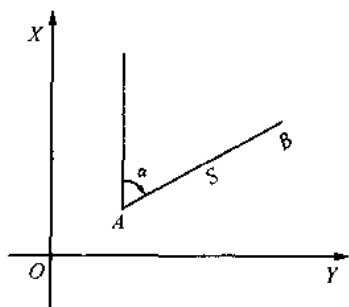


图 1.1

当由两个已知点 A 、 B 求待定点 P 的平面位置时(图 1.2), 可分别在 A 点与 B 点上直接观测角 β_1 与 β_2 , 按式(1.3)

$$\left. \begin{aligned} x_P &= \frac{x_1 \cot \beta_2 + x_2 \cot \beta_1 - y_1 + y_2}{\cot \beta_1 + \cot \beta_2} \\ y_P &= \frac{y_1 \cot \beta_2 + y_2 \cot \beta_1 + x_1 - x_2}{\cot \beta_1 + \cot \beta_2} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$



图 1.2

计算。其中 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 分别为 A 点与 B 点的已知坐标值。

上述这些都是间接观测的例子。实际上, 间接观测量是直接观测量的某种函数。

如果被观测的物理量在测量过程中按状态来区分, 观测又可分为静态观测和

动态观测。所谓静态观测是指在测量过程中被观测的量是不变的；而动态观测是指在测量过程中被观测的量是变化的。

前面所举的几个例子中，某一建筑物的高度，B 点相对于 A 点的平面位置以及根据两个已知点及直接观测角求待定点的平面位置等，这些被观测的物理量在测量过程中都是不变的，因而也都是静态观测。

再看下面这个例子。当用一台具有漫反射功能的测距仪在岸边观测海上临时抛锚的轮船时，根据观测数据可以确定测站到船体的距离。显然，这样的测量是属于静态观测。然而，如果是用这种仪器跟踪观测行驶在海上的轮船，这时，被观测的量——测站到船体的距离则是变化的，这就属于动态观测。由于测距仪具有直接测距的能力，因而这两者又都是直接观测。

当采用太阳高度法或北极星时角法使用经纬仪进行天文方位角观测时，由于地球除公转外还在不停地自转，那么，测站到太阳（或北极星）的方向与测站到某一点方向之间的夹角则是变化的，这也属于动态观测。虽然经纬仪具有直接测角能力，但被观测量——天文方位角却不能直接获得，因而，这又是动态观测中的间接观测。

尽管可以将测量问题根据其反映矛盾的特殊性分为直接观测和间接观测、静态观测和动态观测，然而，它们又都蕴含着普遍性的问题，即需要解决观测结果的期望值及其精度评定这样一些数据处理问题。

在上面的例子中，测距仪瞄准抛锚船体，测得一组观测数据 D_i ($i = 1, 2, \dots, n$)，这样的测量实际上是对距离这个物理量进行的多次重复观测。按着一般的认识，对这组观测数据 D_i 取算术均值

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \quad (1.4)$$

式中： n 为观测次数； $\bar{D}$ 也就是测站到船体距离的期望值，或称估计值、最或然值等。这类问题在后续章节详细讨论。

对于跟踪观测行驶着的船体这种情况，被观测量的性质就不同了。由于船体到测站的距离在不断变化，这时仍然取一段观测数据的算术均值 $\bar{D}$ 就没有多大实际意义了，充其量不过是船体距测站在观测时间 t_1 到 t_2 之间平均距离的一个估计量，且是在轮船行驶轨迹近于直线的条件下才有这个意义，一般情况下，连上述解释都不成立。因此，不能简单地取用算术均值的方法处理。

由于航行过程中每个观测点反映的只是航行过程中在特定时间的某一个状态， n 个观测点 (t_i, D_i) ($i = 1, 2, \dots, n$) 反映的是某一段航行轨迹，人们关心的是对这一段航行轨迹的整体认识，而不是对某一个特定观测点的认识。如果能利用最小二乘原理进行曲线拟合来代替静态观测中的取算术均值，那么首先假定距离随时间的变化是线性的。这样，就可以用一条直线来拟合这组观测数据。设该直

线方程为

$$\hat{D}(t) = a + bt \quad (1.5)$$

如图 1.3 所示, 这里欲选择的 a 和 b , 应该使直线到各观测点 (t_i, D_i) 的离差的平方和 Q 为最小, 即

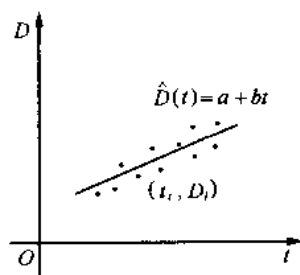


图 1.3

$$Q = \sum_{i=1}^n [\hat{D}(t_i) - D_i]^2 = Q_{\min} \quad (1.6)$$

若令

$$\hat{D}(t_i) - D_i = v_i \quad (1.7)$$

(1.6)式又可写成

$$Q = \sum_{i=1}^n v_i^2 = [vv] = Q_{\min} \quad (1.8)$$

式中: $[\quad]$ 称高斯取和符号。

根据求自由极值的方法可知, 使 Q 达到最小的必要条件是

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \frac{\partial Q}{\partial b} = 0 \quad (1.9)$$

由于在 Q 的表达式中各项均非负, 因此, Q 对 a 与 b 的二阶偏导数必大于 0, 也就是说, Q 必定有一个非负的最小值。

由于

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial a} &= 2 \sum (a + bt_1 - D_i) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial b} &= 2 \sum (a + bt_1 - D_i)t_i = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

解此方程,并令

$$\left. \begin{aligned} \bar{t} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \\ \bar{D} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \\ S_1 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i t_i \\ S_2 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^2 \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

则

$$\left. \begin{aligned} a &= \bar{D} - b\bar{t} \\ b &= \frac{S_1 - \bar{D}\bar{t}}{S_2 - \bar{t}^2} \end{aligned} \right\} \quad (1.12)$$

这样,利用一组观测数据 (t_i, D_i) ($i=1, 2, \dots, n$)就可确定出线性方程(1.5)式中的两个参数 a 与 b 。有关最小二乘法的详细讨论,将在第三章给出。

第二节 误差及其特性

生产与科学研究的实践使人们认识到,任何一种观测都不可避免地要产生误差。也就是说,当对某物理量进行多次观测时,无论仪器有多么精密,观测是何等仔细,各次的观测结果之间总是存在着差异。例如,当对某段距离进行往返丈量时,两次观测的结果并不相同;在大地测量中,三角形是构成平面控制网的基本图形,而观测到的三内角之和一般并不等于理论上应有的 180° 。也正是由于观测必然带有误差这个共同的特点,这就决定了观测数据的处理不同于一般的数学问题。如上面提到的三角形测量中,从几何上讲,一个平面三角形只要观测其中的任意两个内角就完全可以决定其形状,然而,从观测这个特点上讲,就应该观测全部内角,使观测增加可靠性,然后再根据一定的准则经过合理地分配误差再决定出三角形的最终形状。这是各种专业的测量问题所特有的、区别于一般数学问题的特点。

产生误差的原因,大体有如下三个方面:

- 一是测量仪器不准确,存在误差;
- 二是观测者的感觉器官鉴别不准确;
- 三是观测时所处外界条件的影响。

概括地讲,前两个是观测误差产生的内在原因,后一个是外界原因。

全部测量工作的中心,不外采用种种办法尽可能地消除或减少误差对观测结果的影响,提高和合理地分配观测与期望值的精度。因此,可以形象地讲,观测及其数据处理的过程也就是减小误差的过程。

为了掌握误差出现的规律及其对观测结果准确性的影响,应按误差的性质进行分类以便采取不同的方法加以处理。

随机误差 在一定的观测条件下进行了一系列的观测,如果观测误差其数值大小和符号都是不定的,不存在任何确定的规律性,它只具有统计性的规律,那么这种误差称为随机误差。

随机误差的产生取决于测量进行中一系列随机性因素的影响。所谓随机性因素是指观测者或实验者不能加以严格控制的因素。

自然界是永不休止的变化与发展着的客观世界,一切事物包括“一定的观测条件”在内,它始终是在某种范围内变化着。尽管从表面看“观测条件相同”,但实际上观测的外界条件,如湿度、温度、空气振动等的瞬间变化,使得每次观测都要受到这些外界条件的随机扰动而带来随机误差。用无线电或雷达设备进行测量时,电磁波的随机干扰,光学测量中的照准误差等,都是产生随机误差的来源。至于观测人员,也要时刻受到自身健康状况、情绪高低以及外界的干扰,使其在各时间段工作成效不完全一致。可见,随机误差在观测过程中是不可避免的。

偶然误差 在一定的观测条件下进行的一系列观测,如果观测的误差是随机误差,且误差的算术均值随观测次数的增加而趋于零,则称这种误差为偶然误差。可见,偶然误差是均值为零的随机误差。

任何一个观测量,客观上总是存在着一个能代表其真正大小的数值,这一数值就称为观测量的真值。若记某一观测量的真值为 L ,观测值为 $l_i (i = 1, 2, \dots, n)$,则观测值与其真值之间的差数为

$$\Delta_i = l_i - L \quad (1.13)$$

式中: Δ_i 称为观测值的真误差。

根据概率与数理统计的观点,这里的真误差仅仅是指偶然误差,因此有

$$\left. \begin{aligned} E(l) &= L \\ E(\Delta) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

也就是说,观测值的数学期望就是真值;真误差或称偶然误差的均值为零。

通过对偶然误差长期的大量研究,可以用概率的术语概括出偶然误差的几个

特性:

- 1) 在一定的观测条件下, 误差的绝对值有一定的限值, 即

$$P(|\Delta| > \Delta_{\text{限}}) = 0$$

- 2) 绝对值较小的误差比绝对值较大的误差出现的概率大, 即

$$P(|\Delta|_{\text{小}}) > P(|\Delta|_{\text{大}})$$

- 3) 绝对值相等的正负误差出现的概率相同, 即

$$P(|\Delta_+|) = P(|\Delta_-|)$$

- 4) 偶然误差的数学期望(均值)为零, 即

$$E(\Delta) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0$$

对于一系列的观测而言, 不论其观测条件如何, 也不论是对同一个物理量还是对不同的物理量进行观测, 只要是在相同的条件下观测的, 则产生的一组偶然误差必然都具有上述 4 个特性。

系统误差 在一定的观测条件下进行了一系列观测, 如果观测的误差其数值大小和符号或保持为常数, 或按照一定的规律变化, 例如它是某些参数(温度或时间等)的函数, 这种带有系统性和方向性的误差称为系统误差。

系统误差的产生一般也与测量仪器本身, 观测者本身及观测时的外界条件等因素有关。

例如仪器没有调整好零位, 观测结果出现偏高或偏低的情况, 这是仪器系统误差中最常见的一类, 一般称零位误差。

仪器制造不够完善, 或工作前未经检验校正, 或校正后的剩余偏差等都会给观测带来系统误差。

大气折光、重力异常、电磁波干扰等也是产生系统误差的重要因素。

其次, 观测者的习惯性视差也是产生系统误差的原因。

在测量工作的整个过程中, 除了上述误差以外, 还可能发生错误。错误的发生多数是由于工作中的粗心大意造成的。错误的存在破坏了观测结果的可靠性, 致使返工造成浪费, 工作中应竭力避免。因此, 错误一般不按观测误差计。

最后指出, 在一个具体的观测问题中, 偶然误差和系统误差经常是同时发生