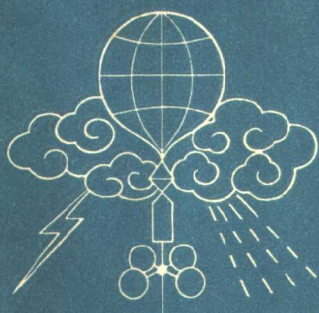


# 气象学实验工作指南

卡楚林著



# 气象学实验工作指南

卡楚林 著

袁文德 译

农业出版社

## 內 容 提 要

本书是主要在气象学教学实验室中完成的各种实验工作的实用手册。一部分实验工作是在野外条件下完成的。

在本书中耐論了各种气象測定方法和气象仪器，有最简单的和普通习用的，也有新型的、罕見的和迄今只在个别实验室中应用的。

本书的讀者对象是高等学校和中等学校学生、研究生、訓練班學員，也可供研究或运用气象測定方法的专家們参考。

Л. Г. Качурин  
РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНЫМ  
РАБОТАМ ПО МЕТЕОРОЛОГИИ

Гидрометеорологическое издательство

Ленинград -1955

根据苏联水文气象出版社 1955 年列宁格勒俄文版本譯出

### 气象学实验工作指南

〔苏〕卡楚林 著

袁文德 譯

农 业 出 版 社 出 版

北京老鐵門一號

(北京市書刊出版業營業許可証出字第 106 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

农业出版社印刷厂印刷装订

統一書号 13144.140

1963 年 6 月北京制型

开本 850×1168 毫米

1963 年 7 月初版

三十二分之一

1963 年 7 月北京第一次印刷

字数 345 千字

印張 十四又八分之五

印数 1—2,100 册

定价 (9) 一元八角

## 序 言

現代气象学實驗室,是一种專門性的物理實驗室,学生在普通物理学實驗室中的作业,是气象学實驗工作的准备阶段。学生开始在气象学實驗室工作时,应当具备气象学中所应用的主要物理仪器的操作技能。

气象学實驗工作的目的,是巩固和补充在課堂讲授中所获得的和在气象学与气象測定教科书中所叙述的气象測定方法的知識。必須指出,如果說在普通气象学的教学实习时,学生主要是注意于測定的結果、大气中发生的各种現象的相互联系和相互制約,那末,在完成气象測定的實驗工作时,則主要注意力应当放在測定方法本身的物理实质上。

本书中某些實驗的內容,稍有超出了高等学校教学大綱的內容。这些實驗,可以利用来作为进行学年設計和毕业設計以及学生科学小組活动的基础。

本书是在列宁格勒水文气象学院气象学實驗室的工作經驗的基础上編写的,并且和它的設備相适应。不过,絕大部分的實驗也可以在其他的實驗室中进行。

列宁格勒水文气象学院的實驗室,是莫斯科水文气象学院實驗室的进一步发展,后者是根据功勛科学家 B. Ф. 邦茨科夫斯基教授的倡議在 1937 年建立的。在战后时期这个實驗室的发展中,参加工作的有: H. A. 彼得洛夫副教授, Л. Г. 卡楚林副教授, 研究員 B. И. 波諾瑪列夫, 助教 A. И. 涅依瑪克, 實驗室管理員 Д. С. 馬尔科夫, 實驗室管理員 K. A. 庫茲涅佐夫, 實驗室管理員 B. Д.

斯图鑑尼科娃, 实验室管理員 B. M. 烏沙科夫。参加布置实验工作的还有列宁格勒水文气象学院的下列学生: Ю. П. 捷普洛夫, Л. Г. 瓦列也夫, З. А. 叶芙斯齐格涅耶娃, А. И. 迦伏留申科, Б. Я. 托尔斯安勃洛夫, П. М. 穆申科, А. Л. 捷尔盖茨, В. Д. 基舍列夫。

本书是由下列著者分章编写: 緒論和第九章——В. Д. 特列奇雅可夫副教授和 Л. Г. 卡楚林副教授, 第一章至第三章、第五章至第八章、第十二章、第十三章——Л. Г. 卡楚林副教授, 第四章——Л. Г. 卡楚林副教授 (§ 1, 3, 4) 和 Н. А. 彼得洛夫副教授 (§ 2), 第七章——Л. Г. 卡楚林副教授 (§ 1) 和 В. А. 戈列茨钦科副教授 (§ 2), 第十章——研究員 В. А. 迦伏里洛夫, 第十一章——研究員 И. М. 伊米尼特夫。

著者們对敖德薩水文气象学院物理学教研室和气象学教研室、以 С. О. 瑪卡洛夫海軍上将命名的航海工程学院气象学教研室的全体工作人員, 以及对其他所有参加本书原稿討論者, 表示感謝。

# 目 录

## 序言

|          |   |
|----------|---|
| 緒論 ..... | 1 |
|----------|---|

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第一章 气象仪器和装置的钟机 ..... | 14 |
|----------------------|----|

|                         |    |
|-------------------------|----|
| § 1 有自由式擒纵机构的摆輪钟机 ..... | 14 |
|-------------------------|----|

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 实验一 研究自配仪器钟机的构造 ..... | 23 |
|-----------------------|----|

|                |    |
|----------------|----|
| § 2 电动钟机 ..... | 26 |
|----------------|----|

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第二章 微弱电流和迅速变化电流的測定 ..... | 29 |
|--------------------------|----|

|                  |    |
|------------------|----|
| § 1 磁电式电流表 ..... | 29 |
|------------------|----|

|                      |    |
|----------------------|----|
| 实验二 研究磁电式指针电流表 ..... | 36 |
|----------------------|----|

|                      |    |
|----------------------|----|
| 实验三 研究磁电式鏡式电流表 ..... | 43 |
|----------------------|----|

|                    |    |
|--------------------|----|
| § 2 磁电式电流比率表 ..... | 44 |
|--------------------|----|

|                    |    |
|--------------------|----|
| 实验四 研究磁电式比率表 ..... | 48 |
|--------------------|----|

|               |    |
|---------------|----|
| § 3 示波器 ..... | 50 |
|---------------|----|

|                   |    |
|-------------------|----|
| 实验五 研究电子示波器 ..... | 58 |
|-------------------|----|

|                 |    |
|-----------------|----|
| 第三章 溫度的測定 ..... | 65 |
|-----------------|----|

|                   |    |
|-------------------|----|
| § 1 玻璃液体溫度表 ..... | 65 |
|-------------------|----|

|                        |    |
|------------------------|----|
| 实验六 溫度表零上溫度的刻度檢定 ..... | 67 |
|------------------------|----|

|                    |    |
|--------------------|----|
| 实验七 溫度表零点的檢定 ..... | 69 |
|--------------------|----|

|                 |    |
|-----------------|----|
| § 2 变形溫度表 ..... | 71 |
|-----------------|----|

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 实验八 热变双金属片灵敏度的实验測定 ..... | 73 |
|--------------------------|----|

|                      |    |
|----------------------|----|
| 实验九 双金属片溫度計的調整 ..... | 74 |
|----------------------|----|

|                  |    |
|------------------|----|
| § 3 热电偶溫度表 ..... | 78 |
|------------------|----|

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 实验十 附指针电流表的热电偶的制造和分度 ..... | 83 |
|----------------------------|----|

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 实验十一 附鏡式电流表的热电偶的制造和分度 ..... | 84 |
|-----------------------------|----|

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 实验十二 附指针电流表的热电堆的分度 .....                  | 84  |
| 实验十三 补偿式热电偶温度表的装配和分度 .....                | 85  |
| § 4 金属电阻温度表 .....                         | 87  |
| 实验十四 平衡电桥电阻温度表的装配和分度 .....                | 94  |
| 实验十五 自动平衡电桥电阻温度表的装配 .....                 | 96  |
| 实验十六 附电流表的不平衡电桥电阻温度表的装配和分度 .....          | 96  |
| 实验十七 示差电阻温度表的装配和分度 .....                  | 97  |
| 实验十八 附比率表的不平衡电桥电阻温度表的装配和分度 .....          | 98  |
| § 5 半导体电阻温度表 .....                        | 99  |
| 实验十九 测定热敏电阻半导体的伏特安培特性曲线 .....             | 101 |
| 实验二十 研究热敏电阻半导体的电阻与温度之间的关系 .....           | 101 |
| 实验二十一 不平衡电桥半导体电阻温度表的分度 .....              | 102 |
| § 6 温度表的热惯性 .....                         | 104 |
| 实验二十二 研究在温度为常数的媒质中温度表的热惯性 .....           | 108 |
| 实验二十三 研究在媒质温度单调变化条件下的温度表的热惯性 .....        | 111 |
| 实验二十四 研究温度表处于周期变化的媒质温度下的热惯性 .....         | 111 |
| 第四章 空气湿度的测定 .....                         | 114 |
| § 1 测定空气湿度的称量法 .....                      | 114 |
| 实验二十五 研究测定空气湿度的称量法 .....                  | 116 |
| § 2 用露点法测定湿度 .....                        | 117 |
| 实验二十六 实验室用凝结湿度表与通风干湿表的比较观测 .....          | 121 |
| 实验二十七 利用凝结湿度表测定湿度 .....                   | 122 |
| § 3 测定湿度的干湿表法 .....                       | 124 |
| 实验二十八 在静止空气中和在各种速度的气流中测定台站干湿表<br>常数 ..... | 125 |
| 实验二十九 研究通风干湿表的干湿表常数与风速的关系 .....           | 127 |
| § 4 毛发湿度表 .....                           | 128 |
| 实验三十 毛发湿度表的清洗和调整 .....                    | 129 |
| 实验三十一 研究台站用毛发湿度计 .....                    | 132 |
| 实验三十二 装配和调整具有磁电式指示器的遙测毛发湿度表 .....         | 135 |
| 第五章 大气压力的测定 .....                         | 139 |
| § 1 水银气压表 .....                           | 139 |

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| 实验三十三 气压表的仪器訂正值的測定 .....                             | 152 |
| § 2 变形气压表 .....                                      | 154 |
| 实验三十四 研究气压空盒的弹性特点 .....                              | 157 |
| 实验三十五 气压計溫度补偿的調整 .....                               | 159 |
| 实验三十六 台站用气压計灵敏度的調整 .....                             | 163 |
| 实验三十七 台站用空盒气压表的檢定 .....                              | 167 |
| 实验三十八 研究高灵敏度的变形气压計 .....                             | 172 |
| 第六章 气流的測定 .....                                      | 177 |
| § 1 风洞 .....                                         | 177 |
| § 2 測定风速的压力表法(压管风速表) .....                           | 180 |
| 实验三十九 确定双联皮托管(或波朗特管)的分度系数 .....                      | 186 |
| 实验四十 确定双联皮托管(或波朗特管)的讀数对管子与气流速度矢量之<br>間的夹角的关系曲綫 ..... | 187 |
| § 3 迴轉式风速表 .....                                     | 189 |
| 实验四十一 在风洞中进行迴轉式风速表的分度 .....                          | 189 |
| 实验四十二 測定稳定气流的速度与迴轉器角速度的关系曲綫 .....                    | 195 |
| 实验四十三 研究风速表迴轉器的慣性 .....                              | 197 |
| § 4 热电式风速表 .....                                     | 200 |
| 实验四十四 热电偶风速表的装配和分度 .....                             | 200 |
| 实验四十五 热电阻风速表的分度 .....                                | 203 |
| 实验四十六 利用乱流測定器測定气流结构特性和乱流系数 .....                     | 206 |
| § 5 风向的測定 .....                                      | 212 |
| 实验四十七 接触式风向測定器的装配 .....                              | 216 |
| 实验四十八 附交流式随动装置的风向測定器的装配 .....                        | 216 |
| 实验四十九 附环形电位器的风向測定器的装配 .....                          | 217 |
| § 6 风向风速表和风向风速計 .....                                | 217 |
| 实验五十 附灯光风向指示器的风向风速表的装配 .....                         | 217 |
| 实验五十一 АРМЭ-1型风向风速表的装配 .....                          | 219 |
| 实验五十二 台站用电接式风向风速計的装配 .....                           | 222 |
| 第七章 遙測气象站 .....                                      | 227 |
| § 1 ДМС-Н-49型遙測气象站 .....                             | 228 |
| 实验五十三 ДМС-Н-49型遙測气象站的装配和調整 .....                     | 228 |

|                                                        |            |
|--------------------------------------------------------|------------|
| § 2 遙控气象站 .....                                        | 234        |
| 实验五十四 研究時間脉冲遙控測量方法 .....                               | 241        |
| 实验五十五 研究頻率脉冲遙控測量方法 .....                               | 249        |
| 实验五十六 研究計数脉冲遙控測量方法 .....                               | 254        |
| 实验五十七 研究电碼脉冲遙控測量方法 .....                               | 259        |
| <b>第八章 輻射能的測定 .....</b>                                | <b>266</b> |
| § 1 太阳直接輻射的測定 .....                                    | 266        |
| 实验五十八 双金属片直接輻射表的研究 .....                               | 280        |
| 实验五十九 热电直接輻射表的研究 .....                                 | 287        |
| § 2 散射与太阳总輻射的測定 .....                                  | 291        |
| 实验六十 确定天空輻射表換算因子对光綫入射角的关系 .....                        | 295        |
| § 3 輻射平衡的測定 .....                                      | 298        |
| 实验六十一 測定热电式輻射平衡表換算因子对气流速度的关系曲綫 .....                   | 303        |
| 实验六十二 示差輻射平衡表感应圆盘輻射平衡的測定 .....                         | 306        |
| <b>第九章 大气降水与蒸发的測定 .....</b>                            | <b>309</b> |
| § 1 大气降水的測定 .....                                      | 309        |
| 实验六十三 特立奇耶可夫降水測定器的檢定 .....                             | 309        |
| 实验六十四 积雪密度和积雪层中儲水量的測定 .....                            | 312        |
| 实验六十五 台站用雨量計的調整 .....                                  | 314        |
| § 2 蒸发的測定 .....                                        | 319        |
| 实验六十六 用热量式舒列金蒸发皿測定蒸发速度 .....                           | 319        |
| 实验六十七 根据盐水中盐分浓度的变化測定盐水的蒸发量 .....                       | 323        |
| <b>第十章 能見度的測定 .....</b>                                | <b>326</b> |
| § 1 在白昼目标物的能見度的測定 .....                                | 326        |
| 实验六十八 白昼用沙朗諾夫視程器按国际九級制測定气象能見度 .....                    | 330        |
| 实验六十九 白昼用 ИВ-ГГО 仪器(苏联地球物理現象总台能見度測定器)<br>測定气象能見度 ..... | 333        |
| § 2 在夜間測定气象能見度和灯光能見度 .....                             | 337        |
| 实验七十 在夜間用 ИВ-ГГО 仪器測定 $S_M$ .....                      | 340        |
| § 3 視觉对比灵敏度阈与目标物亮度对比的測定 .....                          | 346        |
| 实验七十一 用 ИВ-ГГО 仪器測定視觉对比灵敏度阈及目标物亮度对比 .....              | 347        |
| <b>第十一章 大气电諸要素的測定 .....</b>                            | <b>351</b> |

|                                              |            |
|----------------------------------------------|------------|
| § 1 静电表的分度, 电容和絕緣电阻的測定 .....                 | 351        |
| § 2 电場强度的測定 .....                            | 360        |
| 实验七十二 用直接法和間接法測定电場强度 .....                   | 368        |
| 实验七十三 測定集电器的弛豫時間 .....                       | 370        |
| 实验七十四 測定还原系数和导体对电場等位綫的失真影响 .....             | 371        |
| 实验七十五 用动态法測定电場强度 .....                       | 373        |
| § 3 离子譜的測定 .....                             | 376        |
| 实验七十六 离子譜的測定 .....                           | 379        |
| § 4 大气电导率的測定 .....                           | 382        |
| 实验七十七 測定大气的电导率 .....                         | 383        |
| § 5 质点电荷的測定 .....                            | 385        |
| 实验七十八 用直接法測定质点的电荷 .....                      | 386        |
| 实验七十九 用感应法測定质点的电荷 .....                      | 388        |
| § 6 体电荷的測定 .....                             | 390        |
| 实验八十 用 B. H. 阿巴連斯基棉花过滤器法測定体电荷 .....          | 390        |
| § 7 电流的測定 .....                              | 392        |
| 实验八十一 測定平行板电容器內的电流 .....                     | 393        |
| <b>第十二章 下垫面热量平衡分量的綜合測定 .....</b>             | <b>395</b> |
| 实验八十二 輻射通量的測定 .....                          | 396        |
| 实验八十三 风速垂直分布的測定 .....                        | 397        |
| 实验八十四 空气温度与湿度垂直分布的測定 .....                   | 398        |
| 实验八十五 乱流系数, 乱流热通量、水汽扩散通量和动量传递通量<br>的計算 ..... | 400        |
| 实验八十六 土壤中的温度垂直分布和通过地面的热通量的測定 .....           | 401        |
| <b>第十三章 水的物态变化的觀測 .....</b>                  | <b>407</b> |
| § 1 水汽的凝結 .....                              | 407        |
| 实验八十七 在凝結核上雾的形成 .....                        | 410        |
| 实验八十八 水汽的自生凝結 .....                          | 412        |
| § 2 过冷却水的結晶 .....                            | 416        |
| 实验八十九 过冷却水滴固有凝結時間的測定 .....                   | 417        |
| 实验九十 測定过冷却水滴中冰晶晶芽形成的温度 .....                 | 419        |
| § 3 水滴的蒸发 .....                              | 421        |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 实验九十一 水滴蒸发速度的测定 ..... | 421 |
|-----------------------|-----|

## 附录

|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| 1. 常用物理常数和某些度量单位之间的相互关系 .....                                  | 425 |
| 2. 数值较小的压强由水银柱高毫米数换算为毫巴数值表 .....                               | 426 |
| 3. 数学上常用数值与公式表 .....                                           | 427 |
| 4. 饱和水汽压(毫巴) .....                                             | 430 |
| 5. 在各种温度下的水和冰在与水汽处于临界状态时的密度、汽化潜<br>热及表面能 .....                 | 431 |
| 6. 某些导体在与化学上纯净的铂组成热电偶时的热电动势<br>(T.Э.Д.С.)、它们的温度系数和其他物理性能 ..... | 432 |
| 7. 各种金属导线每米的电阻数值(欧姆) .....                                     | 434 |
| 8. 绝缘材料的电阻数值和绝缘强度 .....                                        | 435 |
| 9. 电测仪器的惯用符号 .....                                             | 436 |
| 10. 非电量电测中应用的某些度量和仪器的主要技术数据一<br>覽表 .....                       | 438 |
| 11. 电池、电池组和蓄电池的主要数据 .....                                      | 445 |
| 12. 熔断保险器 .....                                                | 448 |
| 13. 正弦、正切数值表 .....                                             | 449 |
| 14. 度数与弧度换算表(度数换算为弧度) .....                                    | 451 |
| 15. 度数与弧度换算表(弧度换算为度数) .....                                    | 453 |
| 16. 10 到 100 的自然对数表 .....                                      | 454 |
| 17. 希腊字母表 .....                                                | 456 |

“由观测建立理論，通过  
理論改正观测，是探求真理  
的最好方式。”

米·瓦·罗蒙諾索夫

## 緒 論

气象測定的目的，是在确定地球表面和大气中所发生的物理过程与物理現象的客观規律性。

我們关于事物和現象的知識，随着科学的发展而不断深入、不断精确和不断完善起来。但是，无论研究的方法如何完善，在一切研究工作的进行中总会有一定的誤差，誤差的大小在很大程度上决定于研究对象的特点和对它了解的程度。

可以指出，大气現象有两个基本特点，它們在气象研究的一切方法中都有一定的影响。

首先，大气始終是在发生乱流的，因此，气象学上所測定的量，大多随時間和空間发生很大的变化。第二，大气現象是由按其数值可以較量的許多因素相互作用而产生的，这样，通常就使得大气現象复杂化，使得在研究过程中对大气現象的分析复杂化。

現在假定我們所要研究的是某个地理位置上貼地层大气的溫度。

由于空气溫度在几秒钟內經常变化于十分之几度的范围内，有时也变化于几度的范围内，因而空气溫度的概念就具有很大的相对性。此外，由于上述現象，在測定时就必須使用有一定慣性的溫度表，从而使測定方法和測定結果的整理方法大大复杂起

来。

太阳辐射强度、下垫面的特性、大气乱流的程度以及其他许多难于分析出来的因素对温度表温度和大气温度的影响，都是不相同的，在测定时，为了使温度表的温度接近于大气温度，就不得不采取一些措施，以减小温度表的辐射差額，消除温度表附近的凝結現象，不得不在温度表附近造成人工通风等等。这一切，都使测定方法复杂起来，并且，在减小主要的测定誤差时，往往又会产生新的派生的誤差来源，虽然其数值較小，但是要充分考虑或完全消除这些新的誤差，通常会引起极大的困难。

在研究过程中，尤其是在进行实验工作时，对某些所得結果的可靠程度究竟如何，必須始終有一个明确的概念，这是极端重要的。不能容許在测定的实际精确度、仪器讀数的精确度与测定結果整理的精确度之間存在很大的差异，必須使上述各种精确度互相取得一致。

### 关于测定誤差

测定的精确度，也就是测定結果接近于所測的量之真值的程度，用誤差来表征。

誤差分为絕對誤差与相对誤差。絕對誤差是指某量的真值与其测定結果之間的差数，而相对誤差是指某量的絕對誤差对其真值的比值。相对誤差常用百分数来表示。

一切测定結果之所以只表现为近似值的原因，可以分为三类。与这三类的原因相对应的测定誤差也可分为三类：

1. 系統誤差 主要是由仪器和测定方法的不完善、仪器調整和检定的不准确所引起的。这照例表现在次要因素对測量結果的单向影响上。

关于系統誤差，可以举出如下例子：(1)由于气温变化对各种型式的风速表讀数的影响，引起系統誤差的出現，誤差的符号及数

值与风速表的构造有关,也与使用仪器的方法有关;(2)水銀气压表內水銀量的减少,引起讀数偏低,相反,水銀量的增加引起讀数偏高;(3)实际的溫度表都有慣性,因此溫度表溫度的变化总是落后于媒质溫度的变化。

系統誤差一經查明,就可以在某种程度上加以消除,或者在整理測定結果时估算出来。通过改善仪器或者改善使用仪器的方法,将工作仪器与标准仪器經常比較,精确研究仪器与方法,就可达到上述要求。这样,就可以确定在一定精确度范围内的誤差数值,然后,或者对測定結果进行相应的訂正,或者估算出測定結果可能的最大系統誤差(往往做到这点就够了)。

例如,为了减小感应风速表和热电式风速表的溫度影响誤差,可在仪器綫路中接入一个溫度补偿器。溫度誤差的其余部分,可用溫度訂正值来加以訂正。溫度訂正值可用在各种溫度下进行风速表的分度或者用数学分析的方法来求出。为了得出溫度表的系統誤差,可在一种或者数种溫度下將它們与校准溫度表互相比較。

2. 偶然誤差 由于在仪器安装和仪器讀数时不可避免的不够准确,可能发生这种誤差。此外,由于所測各种量的迅速变化而产生的誤差,也属于偶然誤差的范围。这些誤差不能充分精确地算出。

例如,在风洞中对感应风速表进行分度时,在固定的气流速度下作风速表的一系列肉眼讀数以后,我們就会发现:各次讀数并不互相吻合,而变化于某一平均值上下。这种現象不仅同我們在讀数时眼睛相对于仪器的位置每次都稍有变动有关。在最好的风洞中甚至也会发生气流的乱流脉动,风洞与风速表的震动,风洞的通风器工作状况的不稳定,所測的电流的起伏現象,这是因为风速表感应部分不是理想的对称圓的結果,又由于其他許多原因,造成一种結果,即在似乎固定不变的气流速度下,风速表的指針总是不断变动的。

偶然誤差可以应用确定誤差数值与其或然率之間关系的高斯定律。誤差出現的或然率与誤差的符号无关，是偶然誤差的一个重要特性。換句話說，如果仪器讀数的次数充分多，則絕對值相等的正号与負号的偶然誤差出現的頻率是相同的。

正因为如此，我們在作多次的仪器讀数并把平均值作为所測的量的最后数值时，就可以在一定程度上消除偶然誤差的失真影响。

應該指出，在許多場合下，系統誤差与偶然誤差的界限实际上很难加以区别。在改善測定方法的过程中，我們經常发现，在被称为偶然誤差的那些誤差中，有許多誤差的或然率与它們的符号有关，甚至在作次数很多的讀数时，这些誤差的平均值也显著的不等于零，因此，就不能列入偶然誤差的范围内。

例如，在上述的感应风速表分度的例子中，我們利用热电风速表来研究风洞中的气流場，就可以发现，乱流强度的变化引起标准风速表与所測試风速表讀数之間的系統偏差的出現。这說明气流的乱流不仅引起偶然誤差的出現，甚至还引起系統誤差的出現。

3. 疏失誤差(錯誤) 这是由于工作人員的不够仔細所引起的，通常会导致显著錯誤的結果。

在发现錯誤时，在測定次数不多的情形下，照例应重新进行全部的測定。对次数很多的測定，有可以发现偶然錯誤的方法(参看本章末参考文献)。

### 測定受到偶然誤差的失真影响的量时 所采用的精确度指标

正如上面已指出的，对受到偶然誤差的失真影响的量，要作最精确的測定时，必須重复測定多次，并以平均值作为測定的最后結果。若所有各次測定都是在同一些条件下进行的，則所測的量的

算术平均值,就是它的最或然值。

为了估算在这种条件下的测定精确度,可应用各种精确度指标,最常用的有下列几种:所作一系列测定的平均误差、均方差和或然误差。

由多次读数的算术平均所得最后结果的精确度,不必指出个别测定的误差,而需要最后测定结果的误差,通常是结果的均方差。有时则取一系列测定的平均误差作为最后结果的误差。

下面将给出计算上述各种精确度指标的公式。公式的导出和详细分析,可以在本书“绪论”后面的参考文献中找到。

如果用同一种方式,对量  $x$  连续测定  $n$  次,并且假定系统误差和错误已经消除,则可依据下列公式算出算术平均值,作为测定的最后结果:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (1)$$

一系列测定的平均误差由下式所决定:

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\bar{x} - x_i|. \quad (2)$$

一系列测定的均方差由下式所决定:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}. \quad (3)$$

一系列测定的或然误差由下式所决定:

$$r = \frac{2}{3} \sigma = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}. \quad (4)$$

一次测定结果的均方差  $\sigma^*$  与一系列测定的均方差  $\sigma$  的关系,由下式确定:

$$\sigma^* = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (5)$$

因此,

$$\sigma^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (6)$$

估算到偶然均方差測定結果可用下式来表示:

$$x = \bar{x} \pm \sigma^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (7)$$

如果采取一系列測定的平均誤差来表征結果的精确度,則

$$x = \bar{x} \pm \eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\bar{x} - x_i|. \quad (8)$$

容易看出,若对于方程式 (1) 中所有的  $x_i$ , 系統誤差都是相同的, 那末从量  $\bar{x}$  中去掉系統誤差, 也就消除了包含在每一个  $x$  中的系統誤差。至于  $\eta, \sigma, r, \sigma^*$  的計算, 在这种情形下就完全不需要計算測定的系統誤差, 因为无論量  $\bar{x}$  或者量  $x_i$  中的系統誤差, 都是同样地变化的,  $\bar{x}$  和  $x_i$  只是作为两者的差数的形式包含在方程式 (2) — (6) 中的。

严格地說, 上述的計算誤差的公式, 只能应用于次数很多的連續測定中。可是, 在实际上, 它們在次数不多的測定中也被采用。

### 計算測定結果和估算其精确度的实例

我們假設, 在利用水銀气压表測定气压时, 进行了 8 次讀数。考虑到气压表的系統誤差的仪器訂正值为一 0.08 毫米, 其精确度 0.01 毫米。現在要求确定与大气压力相平衡的水銀柱高度的最或然值, 并估計結果的誤差。

显然, 气压表各次讀数的不同, 可說是由于瞄准气压表时視綫不准确而产生的偶然誤差的失真影响。因此, 为确定水銀柱高度的最或然值, 應該运