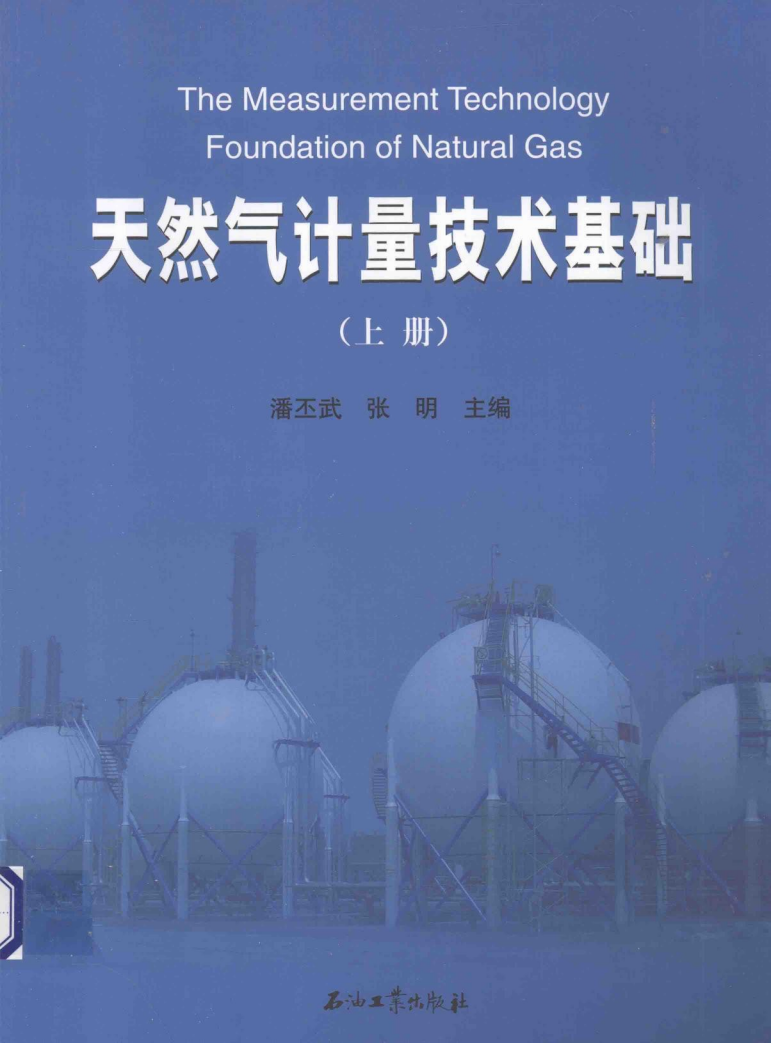


The Measurement Technology
Foundation of Natural Gas

天然气计量技术基础

(上册)

潘丕武 张 明 主编

The background of the cover is a photograph of several large, white, spherical industrial storage tanks, likely for natural gas, situated in an industrial facility. The tanks are supported by metal structures and have various pipes and ladders attached to them. The image is slightly faded and has a blue tint, matching the overall color scheme of the cover.

石油工业出版社

天然气计量技术基础

(上册)

潘丕武 张 明 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了天然气计量技术基础、计量器具及其相配套的计量标准装置,以及与流量计量交接贸易有关的天然气气质分析、计量管理等方面知识。本书是目前国内同类书籍中内容最全面、系统和使用性较强的专业书籍。

本书可作为油气田、长输管道、城镇燃气系统从事天然气计量操作人员的技术培训教材,也可供从事这方面工作的行政、技术管理人员学习参考,还可作为石油院校油气储运等相关专业师生的课外阅读资料。

图书在版编目(CIP)数据

天然气计量技术基础:全2册/潘丕武,张明主编.
北京:石油工业出版社,2013.5
ISBN 978-7-5021-9548-9

I.天…
II.①潘…②张…
III.天然气计量
IV.TE863.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 062328 号

出版发行:石油工业出版社
(北京安定门外安华里2区1号 100011)
网 址:www.petropub.com.cn
发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店
印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2013年5月第1版 2013年5月第1次印刷
889×1194毫米 开本:1/16 印张:66.25
字数:1958千字

定价:220.00元(上、下册)
(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)
版权所有,翻印必究

《天然气计量技术基础》

编 委 会

主 任：吴 奇

常务副主任：高庭宇 黄黎明 王小平 刘 瑛 茹 军 全 恺 李自林

副 主 任：穆 剑 王富才 王鹏飞 刘锦章 高 军 王大勇 李 锺

王文才 董红军 安 焱 李毅强 牛化昶 宋文平 王一丁

委 员：张 明 常宏岗 王红霞 张 栋 王树才 徐文国 石云山

潘丕武 罗 勤 成晓一 牛树伟 李 伟 潘 峰 薛国民

张忠洋 蒋云胜 潘 博 郑开银 汤 青

《天然气计量技术基础》

编写组

主 编：潘丕武 张 明

常务副主编：罗 勤 成晓一

副 主 编：牛树伟 常宏岗 李 伟 潘 峰 薛国民 张忠洋 蒋云胜

成 员：陈 龙 李朝侠 刘 翀 周志歧 张姪娜 曾文平 涂振权

许文晓 迟永杰 缪明富 陈 勇 姜 波 徐洪敏 王长友

杨其国 贾荣鹏 张洪利 王宁宁 刘雁鹏 侯广文 马为民

王立伟 王世永 史 丽 姚 琳 刘景峰 孙吉敏 刘 翱

曲 莹 李代军 马 军 李晓宇 王 龙

《天然气计量技术基础》

审定委员会

主 任：郑 琦

常务副主任：陈赓良 邹永胜 方井涛 国明昌 蔡柏松 乔国春 陈湘球

副 主 任：左 戈 徐茂庆 焦学锋 郑承震 王振声 王长彬 刘玉文

李学军 刘明亮 尤成宏 蒋传云 曲升华 袁平凡 王 彪

委 员：张福元 张贵喜 罗志立 宋建河 张火箭 李树东 刘晓峰

唐 蒙 李保中 田文举 甘丛笑 蔡浩晖 吴德贵 余岩亭

吴良英 江崇军 余艳阳 蔡念章

前 言

随着世界经济快速发展和人口急剧增加,能源消费也随之不断增长。越来越多的温室气体和各种有害物质的排放,对人类赖以生存的地球环境造成极大的危害。中国作为世界第二大经济体,拥有 13 亿人口,正向现代化目标前进的大国,也同样面临经济增长所带来的环境恶化问题的挑战。在这种严峻形势下,清洁而高热值的天然气能源备受世人瞩目与重视。大力开发、利用天然气资源,已经成为世界各国改善环境和维持可持续发展的最佳选择。

我国在加大开发国内天然气资源力度的同时,大力拓展、充分利用世界天然气资源市场,从陆路、海路等渠道,引进天然气,以满足国内日益增长的需求。与之相配套,大规模天然气长输管道建设和城镇燃气管网、输配设施建设也如火如荼地开展起来,从而促进和带动了天然气消费市场的扩大。

作为优质、清洁能源的天然气,其价格水平也随世界石油市场价格的不攀升而波动、上涨。在期盼、欢迎使用天然气的同时,也开始关注天然气的计量问题。准确、公平的天然气计量是维护产、运、销、用多方企业合法权益的唯一手段和措施。必须高度重视天然气计量工作已成为天然气供需双方不言而喻的共识,其核心就是经济效益与企业的利益。

然而,天然气计量是远比石油及液体石油产品计量更为复杂的一门综合性技术,所涉及的知识面广泛,有些领域还比较深奥。具体包括:天然气储运工艺(尤其是液化天然气、压缩天然气)、机械电子设备、流量计量仪表及气体流量计量标准装置、控制仪器仪表、流量计算机及远程通信技术、气质分析及检测技术、天然气防火防爆防毒安全知识等。

综上所述,欲成长为一名合格的、名副其实的天然气计量工作者,并非易事。唯一的途径是学习与实践。目前影响广大天然气计量人员技术水平的进步与操作能力提高的主要因素有四方面:

其一,天然气计量技术知识不仅是面宽、内容多,而且还采用许多当代非常前沿的科学技术,如计算机远程通信、计算机技术等。

其二,具体从事天然气计量工作人员的工作岗位内容非常有限,也就是说具有相对的狭窄性。

其三,目前世界上天然气计量技术发展非常快,新计量器具不断推出,新的计量标准不断被制定,老标准不断被修订与更新。

其四,目前国内图书市场上缺乏可供大家选用的、内容较全面系统和针对性强的天然气计量技术方面的书籍,使广大计量人员继续学习、深造的愿望受到影响。

为了减小天然气计量技术知识的广博性与工作岗位内容的狭窄性的矛盾,满足大家学习、研究、探讨天然气计量技术知识的需求,以适应新形势下的工作需要,编者在中国石油勘探与生产分公司、天然气与管道分公司等有关部门领导建议和鼓励下,重新开始了编写本书的工作。这次编写本书,主要立足三点:

(1) 书的内容力求全面、系统和实用,并且有一定的前瞻性。

(2) 力争满足所有天然气计量工作者的实际需求,通过阅读此书,受到启发,能应用于自己的工作实践。

(3) 通过此书,全面了解国内外天然气计量技术发展的最新动态及标准化工作进展的状况。

本书在立项与筹划过程中,许多单位积极参与,并给予大力支持配合与鼓励。

本书主编单位有:

中国石油管道（销售）公司；中国石油西南油气田公司天然气研究院；中国石油西气东输管道公司；中国石油大庆油田工程有限公司计量测试所；中国石油天然气管道局东北石油管道公司；中国石化天然气川气东送管道分公司；中国石化天然气榆济管道分公司。

本书副主编单位有：中国石油东南亚管道有限公司；中新智研（北京）科技服务有限公司；中国石油西南管道分公司；中国石油管道（销售）公司沈阳调度中心。

本书的参编单位有：中国石油抚顺润滑油厂质量安全环保部；中国石油大连石化公司；中国石油抚顺石化公司；大庆油田有限责任公司质量节能部；浙江省天然气开发有限公司生产技术部；中国石油西气东输公司所属华中输气分公司、中国石油管道（销售）公司所属秦皇岛输油分公司、锦州输油分公司、大连输油分公司。

在上述各单位的鼎力支持、配合及编者们的共同努力下，使得本书历时两年半（2010.10—2013.3）得以顺利成稿。这期间，尤其是大庆油田工程有限公司计量测试所、西南油气田公司天然气研究院在技术上给予全方位的配合与支持。编者在此向上述所有单位表示感谢。

在本书的编写过程中，中国石油天然气管道局东北石油管道公司、中国石油管道（销售）公司沈阳调度中心两单位，给予编写工作提供诸多便利条件，如书稿复印、办公场地、通信、出行等，使得本书编写工作进展顺利，为此书的按时出版做出了贡献。

早在2005年前后，中国石油勘探与生产分公司有关部门就曾建议开展这项工作。为此编者曾列出此书提纲及目录，并完成少数书稿。后来由于编者掌控的资料有限及其他工作的干扰，使该项工作搁浅。

事过多年，我国天然气工业的发展势头及速度远远超出人们的想象。短短的几年间，天然气长输管道里程已由当年的两万多千米猛增至五万多千米，国内天然气产量、进口量及消费量均大幅度增长。在这大好形势下，编写此书的必要性及紧迫性又提到议事日程上来。

作为主编，我们深知自身理论基础的浅薄、实践经验的不足、知识面的局限性，将必然会给这项工作带来一定难度。尽管面临一系列困难，但在上级部门领导的鼓励及诸多参编单位的支持与配合下，使编者信心倍增，鼓起勇气，担当起此项任务。

饮水思源，本书得以完成编写和按时出版，作为主编内心非常感激原中国石油天然气总公司“油气计量仲裁委”和石油工业标准化技术委员会。因为这两个机构为我们提供了了解、学习、掌握天然气计量技术方面专业知识的机会与平台，扩展了视野、提高了能力，为本书的编辑工作打下了基础，使得石油计量战线上的“老兵”，得到充实提高，进而能继续谱写出今日的“新传”。

在此向原中国石油天然气总公司“油气计量仲裁委”和石油工业标准化技术委员会及下属“油气计量与测试委员会”表示衷心感谢！

本书共四篇计22章，其中第二章中“天然气在国民经济发展中的重要地位和主要用途”、“天然气及其物理化学、热力学性质”、“天然气安全知识”和第二十二章中“天然气贸易”由大连石化公司潘峰编写；第六章“超声流量计测量天然气流量”由抚顺石化公司张忠洋、刘景峰编写；第十二章“标准孔板流量计测量天然气流量”由大庆油田工程有限公司计量测试所成晓一编写；第十三章“湿天然气计量”由大庆油田有限责任公司质量节能部薛国民编写；第十四章中“流量计算机”由中国石油抚顺润滑油厂蒋云胜编写；第十八章“天然气的气质要求”、第十九章“天然气气质分析与测试”及第二十章“天然气能量计量及其标准”主要由中国石油西南油气田公司天然气研究院黄黎明、陈廉良、罗勤、常宏岗等人编写。此外唐蒙、张福元、张娅娜、迟永杰、缪明富等人在某些领域专项研究总结的成果与经验也被收录本书中，对丰富本书的内容发挥了重要作用。

本书主编对上述内容做了局部或少量的增补、删减（不当之处请予以指正）。本书其余章节由主

编、副主编及其他成员共同编写，不在此一一陈述。

在此着重提及的是，在天然气气质分析及检测技术和能量测量方面，中国石油西南油气田公司天然气研究院，多年来一直紧跟着国际标准化组织（ISO）的步伐，潜心钻研、不断探索、大胆实践，为我国在这一领域接近或达到世界先进水平作出突出贡献。在此向他们表示敬意与感谢。

总之，本书的出版，是一个兄弟单位大协作的硕果，是一首大团结的颂歌。

我们也深知，由于编者水平能力的局限性，该书难免存在这样那样的问题或不足，甚至错误，诚请广大同仁予以指正。

如果本书能为我国天然气计量技术水平的进步与提高发挥一点作用，能得到广大天然气计量工作者的认可，那么将是对编者辛勤劳动的肯定与褒奖，其内心一定会感到十分欣慰！

最后赠送广大读者一首小诗，以示敬意。

不惜歌者苦，但喜知音在；
情系计量事，携手创未来。

潘丕武 张 明
2012年初春于沈阳

目 录

上 册

第一篇 基本知识

第一章 计量基本知识	3
第一节 通用计量名词术语及定义	3
第二节 流量计量名词术语及定义	8
第三节 计量单位制	15
第四节 测量误差与测量不确定度	22
第二章 天然气基本知识	44
第一节 天然气在国民经济发展中的重要地位和主要用途	44
第二节 天然气及其物理化学、热力学性质	61
第三节 天然气安全知识	101

第二篇 天然气流量测量

第三章 天然气流量测量概述	131
第一节 流量测量的意义及特点	131
第二节 天然气流量测量方法及流量计	133
第三节 天然气流量测量系统	140
第四节 天然气计量标准化及发展状况	144
第五节 天然气计量的发展趋势	172
第四章 容积式流量计测量天然气流量	175
第一节 概 述	175
第二节 气体腰轮流量计	183
第三节 膜式燃气表	202
第四节 智能 IC 卡膜式燃气表	220
第五节 湿式气体流量计	230
第五章 气体涡轮流量计测量天然气流量	236
第一节 概 述	236
第二节 涡轮流量计工作原理、结构特点及其分类	240
第三节 气体涡轮流量计技术要求	245
第四节 涡轮流量计选用原则、安装要求及运行维护	252
第五节 流量计算方法及测量不确定度估算	259
第六章 超声流量计测量天然气流量	265
第一节 概述	265

第二节	超声流量计工作原理及结构特点	269
第三节	超声流量计计量性能及通用技术要求	277
第四节	超声流量计安装使用注意事项	278
第五节	流量计算方法及测量不确定度估算	284
第六节	影响超声流量计准确性的因素及分析	288
第七节	罗斯蒙特 (Instromet) 气体超声波流量计系统介绍	301
第七章	气体旋进旋涡流量计测量天然气流量	311
第一节	概述	311
第二节	旋进旋涡流量计工作原理、结构特点及分类	314
第三节	旋进旋涡流量计技术要求	319
第四节	旋进旋涡流量计安装、选型、使用与维护	321
第五节	流量计算及测量不确定度估算	325
第八章	涡街流量计测量天然气流量	328
第一节	概述	328
第二节	涡街流量计工作原理、结构及分类	331
第三节	涡街流量计技术要求	339
第四节	涡街流量计安装要求、选用原则及使用方法	342
第九章	科里奥利质量流量计测量天然气流量	351
第一节	概述	351
第二节	科里奥利质量流量计工作原理与结构特点	359
第三节	科里奥利质量流量计技术要求	367
第四节	科里奥利质量流量计安装、调试、投用、选择、使用与维护	372
第五节	天然气流量计算及测量不确定度估算	384
第十章	均速管流量计测量天然气流量	389
第一节	概述	389
第二节	均速管流量计工作原理及结构特点	391
第三节	差压式均速管流量计安装与使用	398
第四节	差压式均速管流量计流量计算产生误差因素分析	407
第十一章	临界流文丘里喷嘴测量天然气流量	411
第一节	概述	411
第二节	文丘里喷嘴测量原理与结构特点	419
第三节	文丘里喷嘴计量性能及技术要求	424
第四节	文丘里喷嘴安装要求及使用规则	425
第十二章	标准孔板流量计测量天然气流量	440
第一节	概述	440
第二节	孔板流量计的流量公式	440
第三节	标准孔板流量计的选择	446
第四节	孔板流量计安装要求	454
第五节	参数测量及信号引线	460
第六节	天然气质量流量测量不确定度	462

第十三章	湿天然气计量	472
第一节	湿天然气的定义.....	472
第二节	单相流量计测量湿天然气.....	473
第三节	湿气流量计.....	476
第四节	多相流量计.....	477
第五节	湿天然气计量测试实验装置.....	481
第六节	湿天然气计量国际标准研究进展.....	484
第十四章	流量计量辅助仪表及设备	486
第一节	差压计和差压变送器.....	486
第二节	流量计算机.....	503
第三节	整流器.....	536
第四节	相关仪器设备的测量不确定度.....	546

下 册

第三篇 天然气流量计量标准装置及流量计检定

第十五章	天然气流量计量标准装置	563
第一节	概述.....	563
第二节	钟罩式气体流量标准装置.....	571
第三节	p.V.T.t 法气体流量标准装置.....	585
第四节	质量—时间法 (简称 m-t 法) 气体流量标准装置.....	600
第五节	皂膜式气体流量标准装置.....	608
第十六章	天然气次级流量标准装置	617
第一节	标准表法气体流量标准装置.....	618
第二节	音速喷嘴气体流量标准装置.....	621
第三节	容积式标准表法气体计量标准装置.....	636
第四节	涡轮式标准表法气体计量标准装置.....	640
第五节	涡街流量计为标准表的气体流量标准装置.....	643
第六节	标准体积管流量标准装置.....	645
第十七章	气体流量计的检定	667
第一节	容积式气体流量计的检定.....	667
第二节	涡轮流量计的检定.....	672
第三节	膜式燃气表的检定.....	689
第四节	涡街流量计的检定.....	695
第五节	超声流量计的检定.....	717
第六节	临界流文丘里喷嘴的检定.....	740
第七节	气体质量流量计的检定.....	746

第四篇 天然气气质分析、管理及贸易

第十八章 天然气的气质要求	763
第一节 国内外天然气类别及其气质要求.....	764
第二节 国内外天然气气质标准的比较与分析.....	795
第三节 俄罗斯商品天然气气质分析及测试方法标准.....	798
第四节 天然气气质管理.....	806
第五节 管输天然气气质数据管理系统.....	826
第六节 加臭剂及应用.....	850
第十九章 天然气气质分析与测试	861
第一节 天然气取样导则.....	864
第二节 天然气中总硫含量的测定.....	873
第三节 天然气中硫化氢含量的测定.....	882
第四节 天然气的烃类组成分析.....	902
第二十章 天然气能量计量及其标准	935
第一节 国内外天然气能量计量现状.....	935
第二节 GB/T 22723—2008《天然气能量的测量》简介.....	940
第二十一章 天然气物性参数计算与测定	959
第一节 密度和相对密度的计算与测定.....	959
第二节 发热量和沃泊指数的计算与测定.....	971
第三节 天然气中水含量的分析.....	979
第二十二章 天然气计量管理及贸易	985
第一节 天然气计量管理.....	985
第二节 天然气贸易.....	993
附录 单位换算	1024
参考文献	1031
参考标准规范	1033
主要编审人员简介	1034

第一篇 基 本 知 识

第一章 计量基本知识

第一节 通用计量名词术语及定义

不论从事哪方面的计量工作，计量专业技术名词术语都是必须掌握的基本知识和重要工具。因此，了解、学习和掌握计量名词术语是从事计量工作的基本功。

正因为计量名词术语的重要性，国家先后颁布了一系列这方面的标准、规范，以法律的形式加以明确。涉及天然气计量名词术语的主要标准、规范如下：

- (1) GB/T 17611—1998《封闭管道中流体流量的测量术语和符号》；
- (2) GB/T 22133—2008《流体流量测量 流量性能表述方法》。
- (3) JB/T 10564—2006《流量测量仪表基本参数》；
- (4) JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》；
- (5) JJF 1004—2004《流量计量名词术语及定义》；
- (6) JJF 1009—2006《容量计量术语及定义》；
- (7) JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》；
- (8) JJG 1027—1991《测量误差及数据处理》（已作废）；

此外还有两个辅助规范：

- (1) JJF 1007—2007《温度计量名词术语及定义》；
- (2) JJF 1008—2008《压力计量名词术语及定义》。

由于计量名词术语涉及内容太多，故本书依据天然气计量工作实际情况，有侧重地进行整理和摘录，以便于学习与掌握。

一、量和单位

(1) 【可测量的】*量：现象、物体或物质可定性区别和定量确定的属性。

注：①术语“量”可指一般意义的量或特定量。一般意义的量如长度、时间、质量、温度、电阻、物质的量浓度；特定量如某根棒的长度、某根导线的电阻、某份酒样中的乙醇的浓度。

②可相互比较并按大小排序的量称为同种量。若干同种量合在一起可称为同类量，如热、功、能、厚度、周长、波长。

(2) 量值：一般由一个数乘以测量单位所表示的特定量的大小，例如 5.34m，15kg，10s，-40℃。

(3) 【量的】真值：与给定的特定量的定义一致的值。

注：①量的真值只有通过完善的测量才有可能获得。

②真值按基本性是不确定的。

③与给定的特定量定义一致的值不一定只有一个。

(4) 【量的】约定真值：对于给定目的具有适当不确定度的、赋予特定量的值，有时该值是约定采用的。

注：①约定真值有时称为指定值、最佳估计值、约定值或参考值。

*【】中的字一般可以省略。



②常用某量的多次测量结果来确定约定真值。

(5) 【计量】单位：为定量表示同种量的大小而约定的定义和采用的特定量。

注：①计量单位具有约定地赋予的名称和符号。

②同量纲量（不一定是同种量）的单位可有相同的名称或符号。

二、测量和计量

(1) 测量：以确定量值为目的一组操作。

注：①操作可以是自动地进行的。

②测量有时也称计量。

(2) 计量：实现单位统一、量值准确可靠的活动。

(3) 测量原理：测量的科学基础。

例：①应用于玻璃浮计测量液体密度的阿基米德定律。

②应用温度计量的热电效应。

(4) 测量方法：进行测量时所用的，按类别叙述的一组操作逻辑次序。

(5) 测量程序：进行特定测量时所用的，根据给定的测量方法具体叙述的一组操作。

(6) 被测量：作为测量对象的特定量。

例：原油在 101.325kPa，20℃下的体积量。

(7) 影响量：不是被测量但对测量结果有影响的量。

例：①标准体积管房间内的室内温度。

②流量计所在管线因应力未消除而产生的震动。

(8) 测量信号：表示被测量并与该量有函数关系的量。

例：①压力传感器输出的电信号。

②流量计脉冲发讯器发出的脉冲信号。

(9) 测量结果：由测量所得到的赋予被测量的值。

注：①在给出测量结果时，应说明它是示值、未修正测量结果或已修正测量结果，还应表明它是否为几个值的平均。

②在测量结果的完整表述中应包括测量不确定度，必要时还应说明有关影响量的取值范围。

(10) 测量准确度：测量结果与被测量真值之间的一致程度。

注：①不要用术语精密度代替准确度。

②准确度是一个定性的概念。

(11) 【测量结果的】重复性：在相同的测量条件下，对同一被测量进行连续多次测量所得结果之间的一致性。

注：①这些条件称为重复性条件。

②重复性条件包括：相同的测量程序、相同的观测者、在相同的条件下使用相同的测量仪器、相同的地点、在短时间内重复测量。

③重复性可以用测量结果的分散性定量地表示。

(12) 【测量的结果】复现性：在改变了的测量条件下，同一被测量的测量结果之间的一致性。

注：①在给出复现性时，应有效地说明改变条件的详细情况。

②改变条件可包括：测量原理、测量方法、观测者、测量仪器、参考测量标准、地点、使用条件、时间。

③复现性可用测量结果的分散性定量地表示。

三、测量误差

(1) 【测量】误差：测量结果减去被测量的真值。

注：①由于真值不能确定，实际用的是约定真值。

②此术语有时称为测量的绝对误差。

(2) 相对误差：测量误差除以被测量的真值。

注：由于真值不能确定，实际上用的是约定真值。

(3) 随机误差：测量结果与在重复性条件下，对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值之差。

注：①随机误差等于误差减去系统误差。

②因为测量只能进行有限次数，故可能确定的只是随机误差的估计价值。

(4) 系统误差：在重复性条件下，对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值与被测量的真值之差。

(5) 偏差：一个值减去其参考值（或标准值）。

注：尤其在统计学中，参考（比）值经常是系列测量值的算术平均值。

(6) 实验标准偏差 s ：对同一被测量值做 n 次测量，表征测量结果分散性的量 s 可按式（1-1）算出（该公式称为贝赛尔公式）：

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

式中 x_i ——第 i 次测量结果；

$\bar{x}$ ——所考虑的 n 次测量结果的算术平均值。

(7) 平均值 $\bar{x}$ ：量 x 的几个读数的算术平均值。平均值 $\bar{x}$ 按式（1-2）计算：

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

(8) 平均值的实验标准偏差 $s(\bar{x})$ ：相对于全部总体均值的算术平均值 $\bar{x}$ 的标准偏差的估计，用式（1-3）表示：

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \quad (1-3)$$

(9) 测量的权：表示某一量的测量值和该量的另一测量值比较时的置信度的一个数。

(10) 算术加权平均值 $\bar{x}_w$ ：每个值与它的测量的权的乘积之和除以测量的权的和，用式（1-4）表示：

$$\bar{x}_w = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1-4)$$

(11) 疏忽误差：使测量值无效的误差。通常这些误差起因于诸如记录的一个或多个有效数字不正确或仪表的误动作，亦称粗大误差。

(12) 修正值：用代数方法与未修正测量结果相加，以补偿其系统误差的值。

(13) 修正因子：为补偿系统误差而与未修正测量结果相乘的数字因子。