

蓝金辉 陈先中 编著
赵家贵 审

冶金计量

Yejin Jiliang



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

冶金计量/蓝金辉, 陈先中编著. —北京: 中国计量出版社, 2006. 11
ISBN 7-5026-2552-6

I. 冶… II. 蓝… III. 冶金工业—计量—基本知识 IV. TB9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 130737 号

内 容 提 要

本书除简明介绍了计量基本知识以外, 还简要介绍了采矿、炼铁、炼钢、连铸和轧钢等冶金生产过程及所需计量检测项目。同时还较详细介绍了主要参数的计量检测及仪表、测量方法与提高测量质量的应用技术。另外, 还对计量检测新技术也做了介绍。

本书读者对象主要是冶金行业的计量检测人员、科技工作者、工程技术人员和相应的管理人员。也可作为从事工业自动化专业及相关专业师生参考书。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010) 64275360

[http: // www. zgjl. com. cn](http://www.zgjl.com.cn)

北京市媛明印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm × 1092 mm 16 开本 印张 16.5 字数 393 千字

2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷

*

印数 1—2 000 定价: 40.00 元

序

计量是人类认识周围世界的工具。计量与国民经济建设和科学技术的各个领域息息相关，无论工农业生产、国防建设、科学实践和国内外贸易，乃至人们的日常生活，都处处离不开计量，冶金行业更是如此。

冶金行业是耗能大户，能源消耗、成本核算需要计量；实现生产过程监控和生产过程自动化，需要对大量的参数进行检测；对生产的产品，需要检测；对生产环境，为了实现环保，对污染物和污染源需要进行监测。总之，加强计量工作是强化企业降低成本、提高产品质量的需要，是提高生产自动化和企业技术水平的需要，是落实科学发展观和建设节约型企业的需要。

普及计量知识，提高计量工作水平，推动和促进行业、企业进步是学会工作的责任。北京金属学会自动化与计算机分会组织北京科技大学的教授、博士编写了这本“冶金计量”。希望它的出版能对本行业的技术人员和管理人员有所帮助。

在此，向大力支持学会工作的中国计量出版社和本书作者致以衷心的感谢。

北京金属学会

2006年7月

前 言

计量就是衡量待测量的大小，它包括了检测、测量、测试、检定、检验等具体操作。计量是人类认识物质世界的工具，计量与国民经济建设和科学技术的各个领域息息相关，它已成为国民经济的重要技术基础。现代社会离不开数据和信息，计量技术所提供的最终产品就是数据或用数据表达的一种信息。工业生产中的全面质量管理、成本核算、能源消耗、自动化水平的提升等等，都是以计量检测为基础的。冶金行业是耗能大户，其生产环境和具有的工艺特点使计量工作显得非常重要。为促进冶金行业的计量工作，我们编写了这本《冶金计量》奉献给读者。

本书的内容有计量的基本知识，包括：计量的定义、单位制、计量器具和计量管理；冶金生产过程（包括采矿、炼铁、炼钢、连铸、轧钢、制氧等）中的计量检测项目；参数的计量检测及仪表，冶金参数的计量检测方法及仪表的使用方法；测量方法与提高测量质量的应用技术；计量检测新技术，包括网络化技术、多传感器技术和软测量技术。

本书为冶金行业计量检测人员、工程技术人员、管理工作者和大专院校师生编写。在内容的选择上兼顾了广度和深度，理论性和实用性，同时还介绍了新技术的应用。

本书参加各章撰写的有：第一章计量基础由迟健男博士撰写；第二章冶金生产过程中的计量检测项目由陈先中博士、蓝金辉博士、张朝晖教授和侯庆文博士撰写；第三章参数的计量检测及仪表由陈先中博士和蓝金辉博士撰写；第四章测量方法与提高测量质量的应用技术由蓝金辉博士、赵家贵教授撰写；第五章计量检测新技术由张朝晖教授、蓝金辉博士和陈先中博士撰写。

在本书的编写过程得到了北京金属学会、北京科技大学有关领导的大力支持，北京科技大学赵家贵教授从本书的编写到审稿给予了极大的帮助，在此一并表示感谢！

由于我们的水平和经验有限，书中有不妥之处望读者批评指正。

编 者

2006 年 7 月

目 录

第一章 计量基础	(1)
1 计量	(1)
1.1 计量概述	(1)
1.2 计量的特点、作用与意义	(3)
2 量和单位制	(6)
2.1 量与量值	(6)
2.2 单位和单位制	(7)
2.3 基本单位的实现	(8)
2.4 国际单位制 (SI) 与我国法定计量单位	(14)
3 计量器具及特性	(21)
3.1 计量器具及分类	(21)
3.2 计量器具的主要特性	(23)
3.3 计量器具的结构和组成	(24)
4 量值传递与溯源	(28)
4.1 量值传递与溯源简介	(28)
4.2 计量检定	(31)
4.3 比对	(37)
5 测量误差与不确定度	(38)
5.1 测量误差与不确定度的概念	(38)
5.2 测量不确定度的评定	(42)
6 计量管理	(46)
6.1 现代计量管理的特点	(46)
6.2 计量管理的基本原理和管理方式	(46)
6.3 计量管理体系和计量法规体系	(48)
6.4 计量管理概述	(51)
第二章 冶金生产过程中的计量检测项目	(59)
1 选矿	(60)
1.1 选矿工艺及其设备	(60)
1.2 选矿检测点分布与检测	(62)
2 炼铁	(64)
2.1 炼铁工艺及其设备	(64)
2.2 炼铁检测点分布与检测	(67)
2.3 设备诊断检测	(78)

3	炼钢	(80)
3.1	炼钢工艺设备及检测点分布	(80)
3.2	连铸工艺设备及检测点分布	(85)
4	轧钢	(89)
4.1	加热炉及其检测	(90)
4.2	轧钢及其检测	(92)
4.3	辅助设备	(97)
5	制氧	(98)
5.1	深冷法制氧	(98)
5.2	变压吸附制氧系统	(99)
5.3	检测点的测量方法	(102)
第三章 参数的计量检测及仪表		(104)
1	矿浆的测量分析	(104)
1.1	矿浆成分检测	(104)
1.2	矿浆粒度检测	(109)
2	烧结混合料水分检测	(120)
2.1	中子水分仪的特点及使用方法	(121)
2.2	红外线水分仪的特点及使用方法	(123)
3	烧结矿氧化亚铁检测	(126)
4	高炉炉气成分检测	(131)
4.1	工业气相色谱仪的特点及使用方法	(132)
4.2	红外分析仪加热导分析仪的特点及使用方法	(137)
4.3	激光在线气体分析系统	(141)
4.4	过程质谱仪的特点及使用方法	(142)
4.5	红外线分光式高温气体过程分析仪	(144)
5	高炉煤粉质量流量检测	(144)
5.1	差压法煤粉流量计使用方法	(145)
5.2	噪声电容法煤粉流量检测	(147)
5.3	γ 射线煤粉流量检测	(150)
5.4	相关式煤粉流量检测	(151)
6	转炉炉气成分检测	(153)
6.1	顺磁氧气检测	(154)
6.2	氧化锆测氧仪使用方法	(155)
6.3	飞行时间质谱仪使用方法	(157)
7	结晶器液面检测	(159)
7.1	结晶器钢水液位检测方法及装置	(160)
7.2	涡流式钢水液位检测	(161)
8	铸坯表面温度测量	(163)
8.1	红外双色测温仪使用方法	(163)
8.2	主要技术参数	(165)

8.3	红外测温仪的使用	(165)
9	轧制力测量	(166)
9.1	电阻应变式测力系统	(166)
9.2	轧制力测量方法	(168)
10	厚度测量	(170)
10.1	X 射线测厚仪的特点及使用方法	(170)
10.2	γ 射线测厚仪的特点及使用方法	(172)
10.3	超声波测厚仪的特点及使用方法	(173)
10.4	激光测厚仪的特点及使用方法	(174)
10.5	接触式测厚仪的特点及使用方法	(177)
11	宽度仪	(178)
11.1	在线带钢测宽仪的特点及使用方法	(178)
11.2	热轧带钢测宽仪的特点及使用方法	(180)
11.3	热轧带钢 CCD 测宽仪光学信号的提取	(181)
12	线径测量	(181)
12.1	光电非接触式测径仪的特点及使用方法	(181)
12.2	激光测径仪的特点及使用方法	(183)
13	管壁厚度测量	(184)
13.1	火花——超声法的结构	(184)
13.2	光纤多普勒测振仪的特点及使用方法	(185)
13.3	温度补偿系统	(185)
13.4	CCD 线阵测外径定位系统	(186)
13.5	超声波在线管壁厚度测量应用问题	(186)
第四章	测量方法与提高测量质量的应用技术	(190)
1	测量方法	(190)
1.1	测量方法分类	(190)
1.2	直接测量法	(192)
1.3	间接测量法	(195)
1.4	组合测量法	(196)
2	提高测量质量的应用技术	(197)
2.1	测量过程的合理设计	(197)
2.2	测量方法的选择与误差分配	(197)
2.3	获取信息(号)方式的选择	(201)
2.4	计量器具(仪表、传感器)的选择	(202)
2.5	操作方法和计算方法的选择	(203)
2.6	测量数据与误差处理	(204)
2.7	智能仪器仪表中提高测量精度的措施	(213)
第五章	计量检测新技术	(218)
1	基于网络的能源计量系统	(218)
1.1	系统主体结构	(218)

1.2	基于网络的设备连接	(221)
1.3	系统集成软件	(223)
1.4	能源计量系统的特点	(225)
2	多传感器技术在测量中的应用	(226)
2.1	多传感器技术概述	(226)
2.2	多传感器技术原理	(227)
3	软测量技术	(232)
3.1	软测量技术的概念	(233)
3.2	软测量技术的实现方法	(233)
3.3	软测量技术的应用与发展	(246)
参考文献		(251)

第一章 计量基础

1 计量

1.1 计量概述

1.1.1 计量与计量学

计量根据国家计量技术规范 JJF 1001—1998 被定义为“实现单位统一，量值准确可靠的活动。”可以广义地认为计量是对量的定性分析和定量确认过程。为了达到这个过程的要求，需要进行科学研究和测量技术的研究，建立基准和保证测量结果具有溯源性和技术条件，制定法律、法规和技术规范，开展行政监督管理等。狭义的计量是指测量中的一种特定形式，它是以法定的计量基准、标准为基础，依据计量法规和法定的计量检定系统，进行量值传递来保证测量准确的性。为此要求建立统一单位制，复现出测量基准标准器具，并以这种基准、标准来检定计量器具，保证被测量值的准确可靠。计量学按照国际计量局、国际电工委员会、国际标准化组织及国际法制计量组织制定的《国际通用计量学基本名词》，被定义为“有关计量的知识领域”。原国家质量技术监督局计量司编辑的《通用计量名词及定义》中，计量学被定义为“有关测量知识领域的一门学科”。计量学主要研究测量、保证测量统一和准确。它涉及测量的整个知识领域，包括测量理论和实践的各个方面，而不论其准确度如何以及它在什么科学技术领域内进行。

计量学的主要研究内容包括：计量的单位，计量基准、标准的建立、复制、保持及量值传递，计量原理、方法及计量不确定度，计量器具的计量特性，计量人员进行计量的能力，计量的法制和管理等。此外，基本物理常数、标准物质及其材料特性的准确测定等也是计量学研究的内容。

计量的领域，在相当长的历史时期内，主要是各种物理量的计量测试。随着科技的进步、经济和社会的发展，计量已突破了传统的物理量的范畴，扩展到化学量以及工程量的计量测试。近年来，计量的发展更加迅速，以至囊括了生理量和心理量等的计量测试。因此，可以说，一切可测量的计量测试，皆属于计量的范围。计量所涉及的科学领域，已从自然科学扩展到社会科学。当前，比较成熟和普遍开展的计量科技领域有：几何量、力学、热工、电磁、无线电、时间频率、声学、光学、标准物质和电离辐射计量等，即所谓“十大计量”：

- ① 几何量计量：角度、端度、线纹、平直度、粗糙度等。
- ② 力学计量：质量、容量、密度、力值、重力、硬度等。
- ③ 热工计量：温度、压力、真空、流量等。

- ④ 电磁计量：电流、电阻、电压、电容、电感、功率、磁场、磁通等。
- ⑤ 电子计量：噪声、功率、调制、电压、电流、失真、衰减、阻抗、场强等。
- ⑥ 时间频率计量：时间、频率、波长、振幅、阻尼系数等。
- ⑦ 声学计量：声压、声速、声功率、声强等。
- ⑧ 光学计量：光度、光辐射、激光、成像光学、色度等。
- ⑨ 化学计量：标准物质、酸碱度、气体分析、黏度、燃烧热等。
- ⑩ 电离辐射计量：放射性核素、XY 射线及电子束、中子等。

另外，随着现代科技的发展，一些新的计量领域，如生物工程、环保工程、宇航工程、通讯等的计量测试，也正在逐渐形成。

1.1.2 计量学分类

根据任务的性质，计量学可分为法制计量学、普通计量学、应用计量学、技术计量学、质量计量学和理论计量学。

法制计量学：是研究以立法形式或颁布法制性文件，规定计量单位、计量方法和计量不确定度的计量学。如许多国家为了保证公平交易和人民健康、安全，对商业贸易、医药卫生、环境保护、生产安全等方面的计量器具，采取立法的形式实行强制管理，经常进行监督检查和定期检定，以保证计量器具的准确度。

普通计量学：是研究计量学中带有共同性质问题的部分，如单位制的结构和计量单位的换算问题，计量的误差问题以及计量器具的计量学特性问题等。

应用计量学：是研究计量学在特定领域中应用的部分，如天文计量、工业计量、气象计量、海洋计量、医疗计量、石油计量、能源计量、电能计量、化工计量等。

技术计量学：是涉及工艺过程中测试检验的计量学，常常指几何量计量。

质量计量学：是有关质量检验问题的计量学，如原料、材料、样品器件和整机设备的质量检验，前者统称材料试验，后者属于例行试验范畴。

理论计量学：是关于计量理论问题的计量学，如关于量和计量单位的理论、计量误差理论、计量信息论等。

当前国际上趋向于把计量学分为科学计量、工程计量和法制计量三类，分别概括计量学的基础、应用和社会事业三方面的内容。

科学计量：科学计量是指基础性、探索性、先行性的计量科学研究，用最新的科学技术成果精确地定义和实现计量单位，并为科技创新和高科技的发展提供可靠的测量技术基础。包括计量单位与单位制的研究，计量基准与标准的研制，物理常数与精密测量技术的研究，量值溯源与量值传递系统的研究，量值对比方法与测量不确定度的研究。定义单位和建立计量单位体系是科学计量的核心内容。科学计量属于精确科学，通常是国家计量研究机构的主要任务。

工程计量：工程计量也称工业计量，是指各种工程、工业生产、交通运输、能源信息等行业中的应用计量。例如：能源和原材料的物流和消耗计量测试，生产工艺流程的监控，产品（工程）质量与性能测试等。随着产品（工程）技术含量的提高和社会需求的不断增长，工程计量为保证其国内、国际市场的竞争力，为贸易全球化所必需的一致性和互换性，消除贸易壁垒将发挥越来越重要的作用。

随着一系列高新技术的出现，特别是微电子技术的广泛应用，促使若干物理量和化学量的测量从单参数向多参数，从静态量向动态量发展；计量测试技术和工艺加工控制技术相结合，加速了在线测量和自动控制的综合应用；同位素、激光、超导、计算机、传感器等新技术，在现代化工业生产和工程测量技术中得到广泛应用；以电信号和频率信号为主要输出的模拟信号和数字信号的变换处理技术、数据自动采集和转换技术、温度自动补偿技术、自校准和自诊断技术、网络分析技术、频谱分析技术、电磁兼容、SQUID 器件、光纤传输、纳米技术的应用。品种齐全的化学分析标准物质和量限向两端扩展的工程量标准的建立，大大加快了工程计量和测试技术的现代化。工程计量测试能力是发展生产力的重要因素，标志着国家的科学技术现代化水平和实力。

法制计量：国际法制计量组织（OIML）把“法制计量”界定为：“由公众权力机构或按其要求制定并实行一整套法定的、技术的及行政管理的程序，其目的是用法规或合同的方式来规定并保证与社会管理、贸易、健康、安全、环境等，有关测量工作的质量和可靠性。”法制计量的主要内容有二：其一，国家政府机关通过制定、实施计量法律、法规、规章，对一部分计量单位、测量方法、测量（计量）器具、测量（计量）数据和测量实验室实行法定监督管理；其二，使用计量器具的单位，依据法规或合同规定，保证与贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监测、资源控制、社会管理等有关测（计）量结果的公正性和可靠性，以取得用户的信任。随着科学技术的发展和社会的进步，法制计量的范围将进一步扩大。

综上所述，科学计量是计量学的基础部分，包括基础理论和基础设施，它既为工程计量提供测量技术手段，又为法制计量提供技术保障；工程计量是计量学应用于生产建设中的部分；法制计量是计量学在社会经济生活应用中受到法定管理的方面，它并不是计量学中科学计量、工程计量并列的第三个组成部分，而是与这两者交叉重叠。

国际法制计量组织则根据计量学的应用领域，分为工业计量学、商业计量学、天文计量学、医用计量学等。

1.2 计量的特点、作用与意义

1.2.1 计量的特点

概括起来，计量应具有准确性、一致性、溯源性和法制性等基本特点。

(1) 准确性

准确性是计量的基本特点，它表征的是计量结果与被计量量的真值的接近程度。计量不仅应该明确给出被计量量的值，而且还应该给出该量值的误差范围（不确定度），即准确性；在任何时间、地点，利用任何方法器具以及任何人进行的同类测量结果是可比较的才能体现计量的作用和价值。否则，计量结果便不具备充分的社会实用价值。

(2) 一致性

计量单位的统一，是量值准确的重要前提。无论在何时、何地，采用何种方法、器具，

以及何人进行计量，只要符合有关计量的要求条件，计量结果就应该在给定的不确定度范围内一致，即测量结果应该是可重复、可再现、可比较的。否则，计量就失去了其社会意义。计量的一致性，不仅适合于国内，也同样适合于国际。

(3) 溯源性

在实际计量工作中，由于目的和条件不同，对计量结果的要求也各不相同。但是，为了使计量结果准确一致，所有的量值都必须由相同的基准（或标准）传递而来。也就是说，任何一个计量结果，都能通过一条具有规定不确定度的连续的比较链与原始的标准器具联系起来，这就是溯源性。“溯源性”是“准确性”和“一致性”的技术归宗。任何准确、一致都是相对的，是与当时的科技水平和人们的认识能力密切相关的。“溯源”可以使计量科技与人们的认识相对统一，从而使计量的“准确”与“一致”得到基本保证。就一国而论，所有的量值都应该能溯源到国家基准（或标准）；就国际上而论，则应该溯源到国际基准（或标准）或相应的约定标准。

(4) 法制性

计量本身的社会性就要求有一定的法制保障。也就是说，量值的准确，不仅依赖于科学技术手段，而且还要有相应的法律和行政管理。特别是那些对国计民生有明显影响的计量，更必须有法律保障。否则，量值的准确性、一致性和溯源性就不能实现，计量作用也无法发挥。

1.2.2 计量的作用与意义

随着科技的进步，生产的发展，计量的作用和意义已日益明显。下面是计量与不同领域的联系以及其不同的作用及意义。

(1) 计量与科学技术

任何科学技术都是为了探讨、分析、研究、掌握和利用事物的客观规律；而所有事物的基础都是“量”。为了准确地获得量值，只有通过计量。各种定律、定理都是经过实际验证才得以确立或被承认的。计量正是所有验证的技术基础与重要手段。

科学技术的发展，为计量的发展创造了重要的前提，同时也对计量提出了更高的要求，而计量学的成就又促进了科技的发展。历史上三次大的技术革命都充分地依靠了计量，同时也促进了计量的发展。没有计量，就没有科学。计量测试技术在科技发展中表现出了周期更长的需求牵引和不间断发展要求，计量测试技术与仪器科学的突破性发展都离不开对自然界中所存在的特有的规律性的探索，也离不开整体科技、加工业发展水平的提高所提供的知识背景和加工工艺背景的进步。

(2) 计量与工农业生产

计量对工业生产的作用和意义是很明显的，它是科学生产的技术基础。从原材料的筛选到定额投料，从工艺流程监控到产品的质量检验，都离不开计量。

在许多工程设计中，由于测量准确度和可靠性所限，允许有一定的测量误差，不仅提高

了成本，而且还可能影响产品质量。例如，一辆载重汽车由 9000 多个零部件组成，由上百个工厂生产，如果没有一定的计量保证，就无法装配成功。石油是重要的能源之一，从勘探到开采，从储运到精炼，都存在着一系列计量问题。例如，我国原油年产量若达 1 亿吨，当测量误差为 0.1%，每年就可能损失原油 10 万吨。而实际上原油输送的流量计量误差一般大于 0.3%。因此，每年造成的损失高达 30 万吨。

现代化的农业生产也同样必须有计量作保证。其中涉及到土壤中盐分、水分、有机质，以及氮、磷、钾的含量和温度等。在盐水选种、温汤或药剂浸种、适温催芽和离心脱水等过程中，也都要有一定的计量保证。在田间管理上，也离不开计量，如常常要对植物光合作用的照度等进行计量等。

(3) 计量与国防

计量对国防，特别是尖端技术的重要性尤为突出。国防尖端系统庞大复杂，涉及的科学技术领域广、技术难度高，有求计量的参数多、准确度高、量程大、频带宽。比如，通过同步卫星用无线电信号作为空间与地面的联络手段，就必须有大功率的发射机和高灵敏度的接收机。因而必须对大功率、低噪声温度、大衰减和小电压等主要参数进行计量测试。这不但要研究测试方法和设备，而且要建立相应的计量标准。

对国防高新技术系统来说，工作环境比较特殊，往往要在现场进行有效的计量测试，难度较大。例如，飞行器在运输、发射、运行、回收等过程中，要经历一系列诸如振动、冲击、高温、高湿度、强辐射等恶劣环境。当弹头进入大气层时，要经受几千摄氏度以上的超高温；提高接收机灵敏度的关键部件要在液氮的超低温下工作；发动机的推力可达几十兆牛；而姿态控制发动机的推力则只有几厘牛等。这些对计量都有特殊要求，必须进行动态压力、动态温度、脉动流量、振动、冲击、超高温、超低温、大推力、小推力等一系列计量测试。

总之，在国防建设中，计量测试是极其重要的技术基础，具有明显的技术保障作用，不仅可以节约资金，争取时间，而且还能为指战员的判断和决策提供可靠的依据。

(4) 计量与人民生活

计量与人民生活密切相关，人的一切活动都与计量有关。

商品生产和交换的全过程都包含着计量的作用，日常买卖中的计量器具，家用电能表、煤气表和水表的使用都关系到人们的切身利益。各种交通工具的时刻是否准确也会影响我们的正常活动。水和空气等环境因素对人的影响越来越受到人们的关注。因此，对水、空气和噪声等环境信息的计量监测已成为现代文明的重要组成部分。在医疗卫生方面，计量测试的作用愈来愈明显，现代医学对疾病的预防、诊断和治疗，都离不开计量测试。比如：测量体温、血压、做心电图、脑电图、做 CT 和磁共振以及各种化验等都离不开计量测试的科学检测。随着现代科技的发展，计量测试水平的不断提高，一些新的医用计量测试器具不断出现。而尖端的医学科研也要求高水平的计量检测设备的研发。

(5) 计量与贸易

外贸中需要计量的事例很多，计量不准确，不但会给国家造成巨大的经济损失，同时也有损于国家尊严。

总之，计量是科学进步和生产发展的重要技术基础。任何学科、任何部门、任何行业及任何活动都直接或间接地、有意无意地涉及计量领域的知识。计量已成为现代社会的重要组成部分。

2 量和单位制

2.1 量与量值

2.1.1 量

“量”的定义为：“现象、物体或物质可定性区别与定量确定的属性”，一方面量的具体意义是指大小、轻重、长短等概念；另一方面量的广义含义是指现象、物体和物质的定义区别，即可以把量区别为长度、质量、时间、温度、硬度、电流和电阻等量。一般来说，量又可称为可测量的量。

计量学所研究的绝大多数量是物理量。凡是物理量都是可以测量的量，但是也有少数可以测量的量并不是物理量，如硬度、表面粗糙度、感光度等，它们是约定可计量的量。这类量的定义和量值与测量方法有关，但相互之间不存在确定的换算关系。计量学中还有一些量具有两重含义，例如，时间可以是时刻的概念，也可以是时间间隔的概念。

量总是由数值和计量单位的乘积表示，用没有计量单位的纯数值表示量的大小是没有意义的。量的大小不随所用计量单位而变，可变的只是单位和数值，这是各种单位相互换算的基础，也是量的基本特性。量可用数学公式表示，具有可进行数学运算的特性。

2.1.2 量的种类

根据量在计量学中所处的地位和作用，有不同的分类方法。

(1) 基本量和导出量

基本量是“在给定量制中约定地认为在函数关系上是彼此独立的量”；例如在国际单位制中，规定长度、质量、时间、热力学温度、电流、物质的量和发光强度为基本量。导出量是“在给定量制中由基本量的函数所定义的量”。例如在国际单位制所考虑的量中，速度是导出量，定义为长度除以时间。基本量和相应导出量的特定组合构成整个科学领域或某个专业领域的“量制”。

(2) 被测量和影响量

被测量是“作为测量对象的特定量”。影响量“不是被测量但对测量结果有影响的量”。

影响量来源于环境条件和计量器具本身，如环境温度、气压、湿度、地磁场、重力场、震荡、环境噪声、电源电压、电源频率及计量器具的安装位置和本身的结构变化等。因此，在测量时必须考虑这类因素的影响。

避免和减小影响量的方法大体上有两种：一种是尽量消除影响源，另一种是在影响存在的情况下采取相应的处理方法减小影响量的影响。

(3) 有源量与无源量

有些测量对象具有一定的能量，如温度、力、照度等，观察者无须为测量中的信号提供外加能源，这类量称为有源量。在进行精密计量时，应力求使从测量对象获取的能量不导致测量对象原有状态的变化。

有些测量对象本身没有能量，如长度、角度等空间位置及硬度等材料特性，为了能够对这些对象进行测量，必须从外界获取能量，这类量称为无源量。

2.1.3 量制

量制是指“彼此间存在确定关系的一组量”。即在特定科学领域中的基本量和相应导出量的特定组合。一个量制可以有不同的单位制。

2.1.4 量值

“一般由一个数乘以测量单位所表示的特定量的大小称为量值”，即量由数值和单位两部分组成，但其所选用的单位大小要合适。

对于同一个量，用的单位不同，其表示的数值也不同，且不完全统一。关于“量值统一”，比较确切的用语应该是量值准确、一致。它可以理解为：单位量值的传递中，所用的各级标准计量器具以及由它们检定或校准的计量器具的量值，都可以溯源到国家计量基准，它们的量值在规定误差范围内保持一致。

为了实现量值一致，必须用法律形式或行政命令办法通过国家法定计量单位，统一全国计量单位制度；建立复现计量单位的国家计量基准和传递所需的各级计量标准，还要制定相应的计量检定系统和检定规程等技术法规，以确定被认可的被检项目、设备、方法和环境条件等。同时计量人员也必须经过严格的培训和考核，以能正确完成计量过程。

2.1.5 量纲

“以给定量制中基本量的幂的乘积表示某量的表达式”称为量纲。由于导出量的量纲形式表示为基本量量纲之积，故也常称为“积量纲”。在给定量制中，其表达式内基本量的指数为零的量称为“无量纲量”。任何量的表达式，其等号两边必须具有相同的量纲式，这一规则称为“量纲法则”。应用这一法则可以检查物理公式的正确性。

2.2 单位和单位制

2.2.1 单位

计量单位是“为定量表示同种量的大小而约定地定义和采用的特定量”。它有两个含义：首先，它明确表示计量单位是数值等于1的特定量，在计量过程中起已知其值的比较标准之用；其次，单位是用来定量表示具有相同量纲的量，可以用来比较同量纲量的大小。

同一个量可以用不同的单位表示，得到不同的数值，单位与数值适成反比。任何量与所选用的计量单位无关，单纯的数值不能表达量的属性。在多种单位制并存的情况下，同一个

量的两种计量单位之比 k 称为“单位换算系数”。

计量单位的定义，特别是基本单位的定义，并不是一成不变的，它随着科学技术的发展而重新定义，体现现代计量学的成就和水平。

2.2.2 基本单位和导出单位

基本单位是“给定量制中基本量的测量单位”。在给定的单位制中，约定地认为基本量是彼此独立的，但与其相对应的基本单位并不都是彼此独立的。

导出单位是“在给定量制中导出量的计量单位”。在单位制中，导出单位可以用基本单位和比例因数表示，而且对有些导出单位，为了表示方便，给以专门的名称和符号。对“由比例因数为 1 的基本单位幂的乘积表示的导出计量单位”称为“一贯单位”。“全部导出单位均为一贯单位的计量单位制”称为“一贯单位制”。

2.2.3 倍数单位和分数单位

根据不同的计量领域和被计量的对象，需要选用大小适当的计量单位。从同一种量的许多单位中选用某个单位为基础，并赋予其独立的定义，这个计量单位称为“主单位”。“按约定的比率，由给定单位构成的一个更大的计量单位”称为“倍数单位”。“按约定比率，由给定单位构成的更小的计量单位”称为“分数”单位。设立倍数单位和分数单位的目的是为了使用方便，因为一个主单位不可能适应各种需求。

2.2.4 单位制

“为给定量制按给定规则确定的一组基本单位和导出单位”所组成的单位体系，称为单位制。

2.3 基本单位的实现

基本单位是通过计量标准来定义、实现、保持或复现的，基准是在特定领域内具有最高计量特性的计量标准。随着科学技术的进步，实现基本单位米、千克、秒、安培、开尔文、摩尔、坎德拉的基准相继利用宏观量子效应来建立，这些基准被称为自然基准。自然基准的不确定度小，并且可以在不同国家中以同样的准确度来建立。

2.3.1 米

米是国际单位制中表示长度的基本单位，它的符号是 m 。

米的定义：米是光在真空中于 $1/299\,792\,458\,s$ 时间间隔内所经路径的长度。

1889 年第一届国际计量大会上通过的米定义：国际计量局保存的铂铱米尺上所刻两条中间刻线的轴线在 $0\,^{\circ}C$ 时的距离。这根尺子保存在一标准大气压下，放在对称地置于同一水平面上并相距 $571\,mm$ 的两个直径至少为 $1\,cm$ 的圆柱上。这个米定义的不确定度为 1×10^{-7} 。

1960 年的第十一届国际计量大会上通过了以氪-86 原子辐射的橙黄谱线波长来复现米的新定义。这是第一个量子基准。

1983 年召开的第十七届国际计量大会上通过了由激光频率和光速给定值所确定的激光

波长来复现米。根据国际计量委员会的推荐，米的实现方法有时间法、频率法和辐射波长法三种，它们都建立在真空中光速为确定值的基础上。1983 年国际计量委员会推荐了五种激光辐射和两种同位素单色光辐射的真空波长值和频率值，2001 年扩展到 13 种，用它们中的任一种辐射波长就可以复现米。其中，以 633 nm 碘稳定的氦氖激光器使用最为普遍，世界各国普遍将这类激光器作为复现米定义的实用长度基准。其原因是这类装置便于搬运和相互比对，也易于通过拍频测量，将其频率值传递到 633 nm 的稳频氦氖激光器，而后者目前在工业和精密测量中已得到相当广泛的使用。国际计量局平均每年要与约 10 个国家或地区的同类装置进行国际比对，以保证这类装置的频率稳定度和频率复现性达到规定的不确定度以内。图 1-1 示出了我国研制的作为长度基准使用的 633 nm 碘稳定的氦氖激光器，其频率复现性达到了国际计量局要求的 2.5×10^{-11} 。

新米定义并未规定必须用某种辐射、某一装置或某个效应来具体复现，它是一种原则性的定义，在复现上具有很大的灵活性，允许在发展中采用各种新型的辐射、各种新的测频方法来丰富其覆盖的辐射波段，不断降低测量的不确定度。新定义具有开放性、广泛性和统一性。

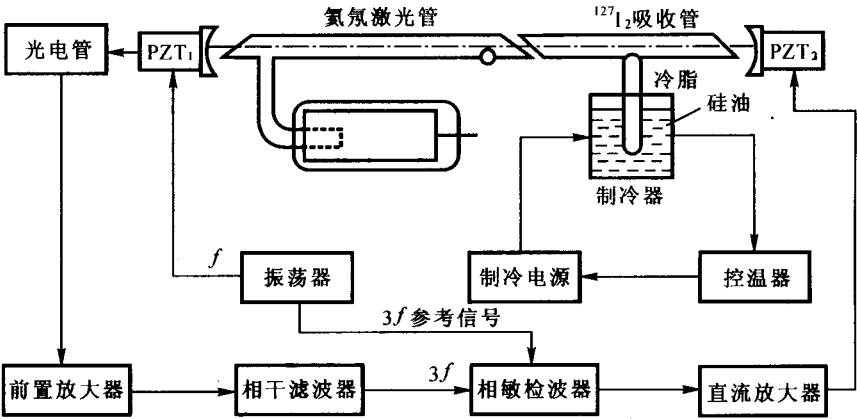


图 1-1 633 nm 碘稳定的氦氖激光器

2.3.2 千克

千克是国际单位制中表示质量的基本单位，它的符号是 kg。

千克的定义：千克是质量单位，等于国际千克原器的质量。

千克的实现用“国际千克原器”。“国际千克原器”保存在国际计量局。千克的复现通过千克原器和原器天平实现。千克原器是质量的基准，原器天平是基准的比较装置。

国际千克原器是用铂铱合金制造的，它的性能稳定且不易磨损，原器表面经过精细抛光，从而减少凹处吸附和凸处磨损所导致的量值增减。同时考虑到加工和调准的困难，选取最小面积的圆柱体。该国际千克原器于 1889 年被第一届国际计量大会承认，并在 1901 年第三届国际计量大会上被正式定义。

千克原器放在多层玻璃罩中，使用前用水蒸气和酒精清洗。清洗和使用时都用专门工具，并按规定程序操作。原器天平被装在密封容器内，通过操纵机构对其进行远距离操作。采用真空原器天平可以达到更高精度，因为它可以消除比对中由于空气浮力所带来的影响。