

国家计量技术法规统一宣贯教材

量 块

国家质量技术监督局计量司 审定

倪育才 编著

JJG 146-94

JJG 146-94

JJG 146-94

JJG 146-94

JJG 146-94

JJG 146-94

JJG 146-94

JJG 146-94

JJG 146-94

JJG 146-94

中国计量出版社

国家计量技术法规统一宣贯教材

量 块

国家质量技术监督局计量司 审定

倪育才 编著

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

量块/倪育才编著. —北京: 中国计量出版社, 1998. 6

(国家计量技术法规统一宣贯教材)

ISBN 7-5026-1089-8

I. 量… II. 倪… III. 量块-技术操作规程-中国-教材 IV. TH711.1-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 13896 号

内 容 提 要

本书对国家计量检定规程 JJG 146—94《量块》的修改内容作了详细说明,并重点介绍了按新规范对量块检定的测量不确定度进行评定的方法。同时也介绍了长度基准的历史和现状,量块的量值传递系统及量块的测量方法。

作为国家质量技术监督局计量司组编的宣贯教材之一,本书有较好的实用性及参考价值,可作为各计量部门宣贯、培训的教材,并供从事长度计量的技术人员参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787×1092 毫米 16 开本 印张 10 字数 237 千字

1998 年 6 月第 1 版 1998 年 6 月第 1 次印刷

*

印数 1—5 000 定价: 25.00 元

前 言

量块检定规程 JJG 146—94 已于 1994 年 9 月 12 日由国家质量技术监督局(原国家技术监督局)批准,并于 1995 年 2 月 1 日起实施,用以取代适用于 0.5~100 mm 旧 1 等量块的国家计量检定规程 JJG 146—76《量块》和适用于 0.5~1 000 mm 新 3、4、5、6 等量块的国家计量检定规程 JJG 100—91《量块》。

由于科学技术和计量水平的不断提高,新的测量仪器和量具不断涌现,也随之制订了与此相应的各种检定规程。即使对于同一种量具,也因量程、精度等级及制造材质的差别而制订了不同的检定规程,并且其数量有越来越多之势。因此尽可能将同类的检定规程合并,使新规程能适用于较宽的量程和精度等级,是规程制订工作的一个新的趋势。国家计量检定规程 JJG 146—94《量块》就是在这一背景下制订的。

规程制订工作的另一个新趋势是尽可能不对检定设备、检定工具、检定方法和检定条件作过于详细的规定。作这些详细规定的原意是为了保证达到所规定的测量不确定度,但在目前情况下过于详细的规定已产生了另一种负面的影响,使某种新的测量仪器或测量方法变得不合法。因此新规程对此不作繁琐的具体规定,而是只作一些较为宽松的规定。检定人员可以在这些宽松规定的大原则下,对测量不确定度作具体的分析并进行测量不确定度的分配。也就是说,新规程应能促进而不是限制新的测量仪器或测量方法的发展。对测量环境条件的规定也是如此:旧的量块检定规程对于实验室内的空气温度、量块温度和量块在仪器内的恒温时间等规定得十分详细,检定人员只要照章办事就行。而新规程则要求根据具体情况进行测量不确定度的分配和估算。要达到这一目的必须相应地提高检定人员的素质,要求检定人员能独立进行测量不确定度的分析。新规程实施后,许多检定人员反映在某些问题上新规程无法操作。这说明在现阶段还有许多检定人员无法做到这一点。帮助大家尽可能快地达到这一要求,正是编写本书的主要目的。

新规程的另一特点是与国际接轨。在规程中的大部分规定都与有关的国际文件或国际建议相一致,有些则根据我国的具体国情而作了不大的改动。

新规程实施后,国内同行对此提出了不少宝贵的意见。为此,全国几何量长度计量技术委员会决定对规程作局部修改,而有些尚有争议的问题将留待以后规程修订时解决。规程修改稿已经国家质量技术监督局批准。本书也将介绍这次局部修改的主要内容。

编者感谢在成书过程中经常与王承钢先生进行的有益讨论,并且承蒙同意,本书第一章中的不少内容(目录中带“*”的章节)取自于王承钢、边才长编著的《新量块检定规程学习指南》(内部资料)。

在本书编写过程中,也曾得到萧明耀先生的大力帮助,编者在此一并致谢。

中国计量科学研究院 倪育才

1998 年 4 月 25 日

序

长度单位“米”是国际单位制中最重要的基本单位之一，也是各个基本单位中第一个采用自然基准和第一个用基本物理常数来定义的基本单位。许多物理量单位都与长度单位有关，因此长度单位在计量学中具有十分重要的地位。

长度单位与工业生产关系密切，特别是机械加工、精密仪器和电子工业等领域，均对精密长度计量提出了很高的要求。在各种长度量具中，量块是数量最多，在工业生产中最常用的一种长度量具，在长度的量值传递中起着举足轻重的作用。

计量法规定：“计量检定必须执行计量检定规程”，因此检定规程在检定和量值传递过程中起着重要的作用。“量块检定规程”也不例外，它是准确一致地进行量块量值传递的技术保证。

由于科学技术和计量水平的不断提高，新的测量仪器和测量方法不断涌现，检定规程也必须不断地作相应的改进，以适应新的测量技术。检定规程应该促进而不是阻碍新技术的采用。同时，对各级检定人员也提出了更高的要求，必须不断地学习，否则将无法适应计量技术的发展。

随着国际上对测量不确定度的表述和处理方法的规范化，为与国际接轨，国家质量技术监督局已对测量不确定度的表示方法作了符合国际规范的新规定。因此必须学会运用新方法对量块检定的测量不确定度重新进行评定，以判断其是否符合检定规程的要求。当前对检定人员，特别是对量块检定人员的新要求是必须学会进行测量不确定度的分析。

国家计量技术法规统一宣贯教材《量块》一书的编写，除了对规程的修改作了详细说明以外，重点介绍了如何按新的规范对量块检定的测量不确定度进行评定。这不仅对量块检定人员有所帮助，也可供所有从事计量检定的人员参考，因为测量不确定度评定的基本方法是相同的。

书中同时还介绍了长度基准的历史和现状、量块的量值传递系统、以及量块的测量方法，这些都是从事长度计量的工程技术人员应该了解的。

各种“计量检定规程”以及“宣贯手册”的编写是一项技术性很强的工作。它与计量学前沿研究课题的关系是一种“普及”与“提高”的关系。后者代表了国家的最高计量研究水平，前者则反映出国家的整体计量水平。编写这类文件和材料既要有较高的理论水平，对计量学前沿研究有相当的了解，还要有丰富的从事计量检定的实际经验，同时还必须采用深入浅出的叙述方法，以便使具有中等程度的计量检定人员都能读懂。本书是这方面的一个很好的探索，希望能有更多的高水平计量研究人员来从事这项工作。

国家质量技术监督局副局长、教授

王以铭

1998年4月26日

目 录

第一章 量块检定规程 JJG 146—94 的修改及说明.....	(1)
一、新规程 (JJG 146—94, 1998 年修订版) 的修改说明.....	(1)
1. 对 JJG 146—94 的修改.....	(1)
2. 修改说明.....	(3)
二、新规程与旧规程的主要不同点*.....	(9)
1. 长度测量不确定度的置信概率.....	(9)
2. 分等方式的改变.....	(9)
3. 分级方式的改变.....	(10)
4. 用量块长度变动量代替平面平行性.....	(11)
5. 量块表面粗糙度的表示方法.....	(12)
6. 量块表面硬度.....	(12)
7. 关于压力单位.....	(12)
8. 测量面与侧面之间垂直度的表示	(12)
第二章 量块长度测量不确定度的评定	(13)
一、关于测量不确定度的基本知识.....	(13)
1. 常用名词术语定义.....	(13)
2. 测量不确定度的评定步骤.....	(14)
3. 测量不确定度的评定方法.....	(16)
4. A 类标准不确定度.....	(16)
5. A 类不确定度的自由度.....	(18)
6. B 类标准不确定度.....	(18)
7. B 类不确定度的自由度.....	(19)
8. 合成标准不确定度.....	(20)
9. 扩展不确定度.....	(20)
10. 测量不确定度报告.....	(21)
二、柯氏干涉仪测量不确定度评定.....	(21)
1. 测量不确定度来源分析.....	(21)
2. 标准不确定度估算.....	(24)
3. 合成标准不确定度及其自由度.....	(30)
4. 覆盖因子和扩展不确定度.....	(31)
5. 测量不确定度报告.....	(32)
三、量块比较测量的不确定度评定.....	(33)
1. 测量不确定度来源分析.....	(33)
2. 各分量的标准不确定度估算.....	(34)

3. 合成标准不确定度及其自由度.....	(40)
4. 覆盖因子和扩展不确定度.....	(42)
5. 测量不确定度报告	(42)
6. 关于接触式干涉仪的示值误差.....	(43)
四、同一量块两次测量结果之间的允差.....	(46)
1. 一般情况.....	(46)
2. 柯氏干涉仪两次测量结果之间的允差.....	(47)
3. 立式接触式干涉仪两次测量结果之间的允差.....	(49)
第三章 量块检定中的若干重要问题.....	(52)
一、量块检定和使用时的标准姿态.....	(52)
二、大量块安装时支点的位置.....	(54)
三、气压对量块长度的影响.....	(56)
四、关于空气折射率修正.....	(58)
1. 发表于 1966 年的空气折射率 Edlen 公式.....	(59)
2. 对 1966 年 Edlen 公式的修改.....	(60)
3. 修改后的空气折射率公式.....	(63)
4. 计算结果与测量值的比较.....	(63)
5. 新、旧公式计算结果的比较.....	(63)
五、柯氏干涉仪的氦灯和氢灯空气波长的改值.....	(65)
六、关于量块的长度稳定度.....	(66)
七、量块检定规程中的一些其它问题.....	(67)
1. 关于量块比较仪的分辨率.....	(67)
2. 关于量块比较测量时的温度修正	(68)
3. 关于量块长度的定义.....	(69)
第四章 量块温度和大气参数测量不确定度的控制.....	(71)
一、直接测量时量块温度和大气参数测量不确定度的控制.....	(71)
1. 测量不确定度控制值的确定.....	(72)
2. 直接测量对量块温度及大气参数的各项要求.....	(72)
3. 直接测量时对标准温度 20℃ 偏差的允许值.....	(75)
4. 其它温度控制项目的要求.....	(76)
二、比较测量时量块温度测量不确定度的控制.....	(77)
1. 温度测量不确定度控制值的确定.....	(77)
2. 比较测量对两量块温度平衡的要求.....	(78)
3. 比较测量时对标准温度 20℃ 偏差的允许值	(79)
4. 其它温度控制项目的要求.....	(80)
第五章 量块的干涉测量法.....	(81)
一、干涉测长的基本原理.....	(81)
1. 基本原理.....	(81)
2. 测量方法的分类.....	(82)

二、用小数重合法测量量块.....	(82)
1. 测量装置.....	(82)
2. 小数重合法.....	(82)
3. 测量结果的修正.....	(84)
4. C_3 修正量的实验测定.....	(86)
三、用干涉条纹计数法测量量块.....	(89)
1. 装置特点.....	(89)
2. 空气折射率修正.....	(90)
四、小数重合法对波长不确定度及小数测量不确定度的要求.....	(90)
1. 量块长度预测的不确定度.....	(90)
2. 小数重合法的正确概率.....	(91)
第六章 量块量值的溯源——长度基准和激光	(93)
一、米制前的长度单位和米的起源.....	(93)
1. 历史上形形色色的长度单位.....	(93)
2. 米的起源.....	(93)
二、历史上的三个国际米定义.....	(94)
1. 第一个米定义——国际米原器.....	(94)
2. 第二个米定义—— ^{86}Kr 定义.....	(95)
3. 激光和光速测量.....	(96)
4. 第三个米定义——用真空中的光速定义米.....	(97)
三、新米定义的复现方法.....	(98)
四、国际计量委员会推荐用于复现米定义的辐射表.....	(98)
五、量块量值的溯源.....	(99)
1. 低等级量块的溯源.....	(99)
2. 高等级量块的溯源.....	(99)
3. 各种工作标准稳频激光器及光谱灯波长标准的溯源.....	(99)
4. 米定义的复现.....	(100)
六、我国的长度基准.....	(100)
七、用光速定义米的历史意义.....	(100)
第七章 有关稳频激光的一些基本概念	(102)
一、激光频率稳定度.....	(102)
1. 稳频激光是一种特殊的量具.....	(103)
2. 频率稳定度与取样时间有关.....	(103)
3. 频率稳定度用阿仑 (Allan) 方差表示.....	(104)
4. 频率稳定度与稳频器的性能有关.....	(104)
5. 稳频中的小振幅调制.....	(105)
二、稳频激光器的复现性和波长不确定度.....	(105)
1. 激光波长的复现性.....	(105)
2. 波长不确定度.....	(105)

3. 频率稳定度与波长不确定度的关系	(106)
附录	(107)
附录 A 量块检定规程 JJG 146—94 (1998 年修订版)	(107)
附录 B 氦灯谱线空气波长改值后的理论数表.....	(128)
附录 C 国际计量委员会推荐用于复现米定义的辐射表 (1992)	(132)
附录 D 碘稳定 633、612 和 543 nm 氦氖激光器各 分量的真空波长和频率值	(135)
附录 E 国际标准化组织(ISO)的《量块 国际标准 ISO 3650-1978(E)》摘要.....	(138)
附录 F 国际法制计量组织(OIML)《量块 国际建议 OIML No.30-1980》摘要.....	(141)
附录 G 国际单位制和法定计量单位	(144)
附录 H 中华人民共和国法定计量单位使用方法.....	(149)

第一章 量块检定规程 JJG 146—94 的修改及说明

量块检定规程 JJG 146—94 已于 1994 年 9 月 12 日由国家质量技术监督局批准,并于 1995 年 2 月 1 日起实施,用以取代原先的量块检定规程 JJG 146—76 和 JJG 100—91。后经全国几何量长度计量技术委员会讨论,并经国家质量技术监督局批准,于 1998 年 4 月又对 JJG 146—94 作了局部修改。本章主要介绍本次局部修改的主要内容及其原因,以及新规程与旧规程相比的主要不同点。

一、新规程 (JJG 146—94, 1998 年修订版) 的修改说明

1. 对 JJG146—94 的修改

新量块检定规程 JJG 146—94 的实施,在量块计量领域实现了与国际接轨,并促进了我国量块计量技术的进一步发展。但在三年来的实施过程中,也发现了一些不足之处。其中有些是当时的认识问题,而有些则是由于国际上某些新的测量结果对规程产生的影响。经全国几何量长度计量技术委员会讨论,并经国家质量技术监督局计量司批准,决定对量块检定规程 JJG 146—94 中的若干条款作局部修改。具体修改的条款和内容见表 1-1。

表 1-1

量块检定规程 JJG 146—94 的修改表

序号	条款	段	修 改 为
1	8.2	表 8	删去表中测量不确定度的“±”。
2	12		量块长度检定证书给出的测量结果,应是标准条件下的值。标准条件规定如下: 量块温度 20 ℃ 大气压力 101.325 kPa 注:其中大气压力只在使用真空或可变气压的量块干涉仪,或由于海拔较高致使大气压力过低时才需要考虑。
3	18.2	1	……,使其垂直边靠近量块的一个测量面,用光隙法或塞尺测量出量块测量面与直角尺之间开口部位的间隙 S_{01} 。……
4	23.1	2	00、K (尽可能还有 0) 级和 1 (尽可能还有 2) 等量块的长度,应采用光干涉方法直接测量。这种直接测量,可以采用干涉条纹小数部分重合法,也可以采用干涉条纹计数法。干涉测量所用的光波波长必须能溯源到国际计量委员会推荐用来复现米定义的各种激光或光谱灯辐射的波长上。

序号	条款	段	修 改 为																																
5	23.3.1.1		23.3.1.1 长度测量时, 由于环境状态偏离标准状态所应引入的修正量 C_1 为: $C_1 = (n_0 - n) \times l$ 式中: n_0——标准状态下的空气折射率; n——测量状态下的空气折射率; l——被测量块的标称长度(m)。 当采用公式计算空气折射率时, 若环境状态在标准状态附近, 则上式成为: $C_1 = [K_1(t_a - 20) - K_2(p - 101.325) + K_3(f - 1.333)] \times l \quad (\mu\text{m}) \quad (7)$ 式中: t_a——测量过程中干涉光路通过处的空气温度; p——测量过程中干涉光路通过处的大气压力; f——测量过程中干涉光路通过处大气中水蒸汽的压力(即绝对湿度); K_1、K_2、K_3——标准状态附近的专用计算系数, 其值与所用波长 λ 相关, 可按表 12 选用。																																
6	23.3.1.1	表 12	表 12 <table border="1"> <thead> <tr> <th>波长</th><th colspan="3">系 数</th></tr> <tr> <th>λ</th><th>K_1</th><th>K_2</th><th>K_3</th></tr> <tr> <th>(μm)</th><th>($\mu\text{m}/^\circ\text{C}$)</th><th colspan="2">($\mu\text{m}/\text{kPa}$)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.450</td><td>0.943</td><td>2.722</td><td>0.354</td></tr> <tr> <td>0.500</td><td>0.938</td><td>2.707</td><td>0.357</td></tr> <tr> <td>0.550</td><td>0.934</td><td>2.696</td><td>0.360</td></tr> <tr> <td>0.606</td><td>0.931</td><td>2.687</td><td>0.363</td></tr> <tr> <td>0.633</td><td>0.930</td><td>2.684</td><td>0.363</td></tr> </tbody> </table>	波长	系 数			λ	K_1	K_2	K_3	(μm)	($\mu\text{m}/^\circ\text{C}$)	($\mu\text{m}/\text{kPa}$)		0.450	0.943	2.722	0.354	0.500	0.938	2.707	0.357	0.550	0.934	2.696	0.360	0.606	0.931	2.687	0.363	0.633	0.930	2.684	0.363
波长	系 数																																		
λ	K_1	K_2	K_3																																
(μm)	($\mu\text{m}/^\circ\text{C}$)	($\mu\text{m}/\text{kPa}$)																																	
0.450	0.943	2.722	0.354																																
0.500	0.938	2.707	0.357																																
0.550	0.934	2.696	0.360																																
0.606	0.931	2.687	0.363																																
0.633	0.930	2.684	0.363																																
7	23.3.2.1		23.3.2.1 脉冲当量(在标准状态附近) q 脉冲当量 q 的一般表示式为: $q = \frac{\lambda_v}{2nS}$ 式中: λ_v——所采用激光在真空中的波长; S——激光干涉条纹的细分分数; n——测量状态下的空气折射率。 当激光波长为 633 nm, 并采用公式计算空气折射率时, 脉冲当量 q 的表示式成为: $q = \frac{\lambda_v}{2S} \{1.000\,271\,31 + [-0.930(t_a - 20) + 2.684(p - 101.325) - 0.363(f - 1.333)] \times 10^{-6}\}^{-1} \quad (12)$ 式中: t_a——测量过程中干涉光路通过处的空气温度; p——测量过程中干涉光路通过处的大气压力; f——测量过程中干涉光路通过处大气中水蒸汽的压力(即绝对湿度)。 * * * * 1 mmHg = 0.133 32 kPa * * * *																																

序号	条款	段	修 改 为
8	23.3.3	1	23.3.3 温度、气压和湿度的测量系统 采用干涉条纹小数部分重合或干涉条纹计数方式,以光波波长作标准直接测量量块长度时,除必须备有量块温度(t_g)测量系统外,还必须测定测量环境的空气折射率。可以用空气折射率干涉仪直接测量空气折射率,也可以通过测量大气参数后用公式进行计算。 当采用公式计算法时,干涉仪必须备有干涉光路通过处的空气温度(t_a)、大气压力(p)、和大气中水蒸气分压力(即绝对湿度f)的测量系统。这一系统中各装置各自测量相关参数的不确定度以及量块温度测量不确定度对量块长度测量不确定度影响的总和,应不超过该量块长度测量不确定度极限允许值的50%。

2. 修改说明

(1) 规程第 8.2 条, 表 8

根据测量不确定度的表示规范,在具体表示测量不确定度的大小时,在其数值前一律不加“±”号。

(2) 规程第 12 条

a. 原条款

量块长度检定证书给出测量结果,应是标准条件下的值。标准条件规定如下:

温度 20 °C

大气压力 101.325 kPa

水蒸气压力(湿度) 1.333 kPa

注:其中大气压力和水蒸气压力只在用光波波长直接测量量块长度时才需要考虑。

b. 修改后条款

量块长度检定证书给出的测量结果,应是标准条件下的值。标准条件规定如下:

量块温度 20 °C

大气压力 101.325 kPa

注:其中大气压力只在使用真空或可变气压的量块干涉仪,或由于海拔较高致使大气压力过低时才需要考虑。

c. 修改原因

原条款在量块的标准使用条件中同时规定了温度、大气压力和水蒸汽压力(空气湿度),这是不必要的。量块温度的变化无疑会导致量块长度的变化,因此必须将测量到的量块长度修正到标准温度 20 °C 下的量块长度。但同时规定水蒸汽压力是不必要的。空气湿度的变化会引起空气折射率的变化,从而导致所用光波的空气波长发生变化,因此当采用光干涉方法测量量块长度时,必须对所得到的测量结果进行修正(规程中的 C_1 修正量),这无疑是正确的。但应注意到进行该项修正的原因并非由于空气湿度的变化引起了量块长度的变化,而是由于在计算量块长度时采用了统一的标准状态下的空气折射率而引起的。如果在计算量块长度时,不采用统一的标准状态下的空气折射率 n_0 ,而是采用当时实际测量到的空气折射率数值,这样就不存在 C_1 修正量了。空气折射率变化的本身并不会引起量块长度的变化,也就是说不存

在要给出在标准空气湿度下的量块长度的问题。因此,虽然从表面上看起来进行空气湿度修正后,改变了量块长度,但实际上修正的是光的空气波长,而不是量块长度本身。这在规程中第(12)式,即采用干涉条纹计数方式时的脉冲当量表示式中可以看得很明显。

同样理由,在该条款中似乎也不应该写上对大气压力的规定。因为通常所作的大气压力修正也是由于大气压力的改变导致空气折射率的不同所致,因此修正的也是空气波长,而不是量块长度本身。修改后的该条款仍保留了对大气压力的规定,这并不是由于空气折射率的原因。这里考虑的主要因素是量块在空气中受大气压力的作用,使量块产生压缩形变。这是一种弹性形变,在大气压力改变时,量块长度的变形量也不同,即量块的长度将随大气压力的改变而不同。同一地区的大气压力变化一般不超过 $\pm 2 \text{ kPa}$,对于钢质量块,这一大小的气压变化所引起的量块长度变化量与量块长度的测量不确定度相比,是完全可以忽略的。

但考虑到可能有些干涉仪中的气压是可调节的,或可能在真空状态下测量量块的长度,这时就必须将测量到的量块长度修正到标准大气压下的量块长度。某些海拔较高的高原地区,其气压大大低于标准大气压,也会对量块长度产生可以察觉到的影响。例如,昆明地区的海拔高度约为 1900 m ,当地的大气压力仅为 80 kPa 左右,计算结果表明,对于标称长度为 1000 mm 的量块,从北京地区移至昆明后,其“实际长度”将伸长 $0.047 \mu\text{m}$ 。因此在量块的标准使用条件中保留对大气压力的规定。同时对原条款的注解也作了相应的修改。

(3) 规程第 18.2 条,第 1 段

a. 原条款

……,使其垂直边靠近量块的一个测量面,用光隙法测量出量块测量面与直角尺之间开口部位的间隙 S_{ai} 。……

b. 修改后条款

……,使其垂直边靠近量块的一个测量面,用光隙法或塞尺测量出量块测量面与直角尺之间开口部位的间隙 S_{ai} 。……

c. 修改原因

由于用目视的光隙法只能估计出几微米的间隙,在间隙较大时需用塞尺进行测量,因此将原条款改为“……用光隙法或塞尺……”。

(4) 规程第 23.1 条,第 2 段

a. 原条款

00、K (尽可能还有 0) 级和 1 (尽可能还有 2) 等量块的长度,应采用国际计量委员会推荐的、被定义为基准和副基准辐射线的波长作为标准,以国际米定义为基础的光波干涉的方法直接测量。这种直接测量,可以是干涉条纹小数部分重合的方法,也可以是干涉条纹计数的方法。

b. 修改后条款

00、K (尽可能还有 0) 级和 1 (尽可能还有 2) 等量块的长度,应采用光干涉方法直接测量。这种直接测量,可以采用干涉条纹小数部分重合法,也可以采用干涉条纹计数法。干涉测量所用的光波波长必须能溯源到国际计量委员会推荐用来复现米定义的各种激光或光谱灯辐射的波长上。

c. 修改原因

在 1983 年以前,米的长度是用 ^{86}Kr 原子所发射的橙色谱线的波长来定义的,该谱线即为

基准谱线。同时国际计量委员会还推荐了其它若干条谱线作为副基准谱线。而当前 ^{86}Kr 定义已被废除,改用真空中的光速来定义长度单位“米”。这对在实验室中复现“米”的定义产生了一定的困难。原则上,应该通过测量激光的频率 f ,并由真空中的光速 c 利用关系式 $c = \lambda f$ 来导出激光波长。但由于激光频率测量的难度相当大,至今国际上只有少数几个实验室能对为数不多的几条激光谱线测量其频率。为此,国际计量委员会根据已测得的激光频率值和激光频率的复现性,给出了“推荐的辐射表”,表中所列的各种辐射都可以用来复现米定义。这就是说,表中所列的波长都可以用来作为各种测量中的长度标准。国际计量委员会同时还指出,表中任何一种辐射都可以使用,只是不同的辐射具有不同的波长不确定度,但并未指出哪种波长是基准,哪几种是副基准。我国也只是明确规定了碘稳定 633 nm He-Ne 激光为国家长度基准,并没有规定其它几种为副基准谱线。因此原条款中“定义为基准或副基准辐射线的波长”的说法欠妥。

国际计量委员会在给出“推荐的辐射表”的同时还指出,除了所推荐的几种辐射外,任何其它辐射均可以使用,其条件是该辐射的波长要以所推荐的任何一种辐射作标准进行过测量。这就是说可以使用任何波长是已知并经过检定的激光或光谱灯辐射,而不一定要采用国际计量委员会所推荐的光辐射。

实际上,柯氏干涉仪测量 2 等量块时使用的氪灯或氪灯的谱线,以及国内常用的兰姆凹陷稳频激光器,或其它各种单频或双频激光器,都不在国际计量委员会给出的“推荐的辐射表”之列。鉴于上述原因,修改后的条款只是强调了波长的溯源性,而不规定必须要用哪一类光辐射。

(5) 规程第 23.3.1.1 条

a. 原条款

长度测量时,由于环境状态(在标准状态附近)偏离标准状态所应引入的修正量 C_1 。

$$C_1 = [K_1(t_a - 20) - K_2(p - 101.325) + K_3(f - 1.333)] \times l \quad \mu\text{m} \quad (7)$$

式中: t_a ——测量过程中,干涉光路通过处的空气温度;

p ——测量过程中,干涉光路通过处的大气压力;

f ——测量过程中,干涉光路通过处的大气中水蒸汽压力(即绝对湿度);

l ——被测量块的标称长度(m)。

K_1 、 K_2 、 K_3 ——标准状态附近的专用计算系数,其值与所用波长 λ 相关,可按表 12 选用。

b. 修改后条款

长度测量时,由于环境状态偏离标准状态所应引入的修正量 C_1 为:

$$C_1 = (n_0 - n) \times l$$

式中: n_0 ——标准状态下的空气折射率;

n ——测量状态下的空气折射率;

l ——被测量块的标称长度(m)。

当采用公式计算空气折射率时,若环境状态在标准状态附近,则上式成为:

$$C_1 = [K_1(t_a - 20) - K_2(p - 101.325) + K_3(f - 1.333)] \times l \quad (\mu\text{m}) \quad (7)$$

式中: t_a ——测量过程中,干涉光路通过处的空气温度;

p ——测量过程中,干涉光路通过处的大气压力;

f ——测量过程中,干涉光路通过处大气中水蒸汽的压力(即绝对湿度);

K_1 、 K_2 、 K_3 ——标准状态附近的专用计算系数,其值与所用波长 λ 相关,可按表 12 选用。

c. 修改原因

原条款直接给出的 C_1 修正量表达式,仅适用于通过测量环境空气的气压、温度和湿度诸参数并利用公式来进行空气折射率修正的情况。考虑到有可能采用空气折射率干涉仪直接测量空气折射率,并且这也是高精度大量块干涉仪今后的发展方向,因此在给出表达式(7)之前,先给出一通用的表达式: $C_1 = (n_0 - n) \times l$, 该公式对两种情况均可适用。在此之后再给出适用于公式计算空气折射率的 C_1 修正量表达式,即表达式(7),目前大多数的情况均采用该式进行空气折射率修正。适用于量块干涉仪的空气折射干涉仪国内正在研制中。

(6) 规程第 23.3.1.1 条,表 12

a. 原条款

表 12

λ	系 数		
	K_1	K_2	K_3
(μm)	($\mu\text{m} / ^\circ\text{C}$)	($\mu\text{m} / \text{kPa}$)	
0.450	0.941	2.717	0.412
0.500	0.936	2.701	0.415
0.550	0.932	2.690	0.418
0.606	0.929	2.681	0.420
0.633	0.927	2.677	0.421

b. 修改后条款

表 12

λ	系 数		
	K_1	K_2	K_3
(μm)	($\mu\text{m} / ^\circ\text{C}$)	($\mu\text{m} / \text{kPa}$)	
0.450	0.943	2.722	0.354
0.500	0.938	2.707	0.357
0.550	0.934	2.696	0.360
0.606	0.931	2.687	0.363
0.633	0.930	2.684	0.363

c. 修改原因

原条款采用了 1966 年 Edlen 发表的空气折射率公式,对不同波长的系数 K_1 、 K_2 和 K_3 作了计算,并给出了表 12 中的数值。空气折射率的计算公式实际上是由空气密度值、水蒸气折射率以及大量的空气折射率测量结果而导出的。但在此后二十多年中情况发生了很大的变化,温标于 1968 年和 1990 年两次改值,在 15°C 温度点时,两次改值的量达 0.009°C ,即目前的 15°C 温度点相当于当时的 15.009°C 。在 20°C 时,两者相差 0.012°C 。温度的改变必然导致空气折射数值的变化。通过更准确的测量发表了空气密度和水蒸汽折射率的新数据。由于工业化进程的加快,空气中二氧化碳的含量比过去增加了约 50%。这些原因均使 1966 年的空气折射率公式产生较大的误差。为此,于 1993 年对 1966 年公式进行了修改(修改的详细情况参见本书有关章节)。现按 1993 年公式计算值对表 12 中的数值进行修改。修改后空气湿度系数 K_3 的变化较大。当空气湿度为 1.333 kPa 时,新、旧公式的差异约为 8.8×10^{-8} ,这相当于每米相差 $0.088 \mu\text{m}$ 。若空气湿度增大时,两者的差异将更大。修改前、后的空气折射率计算公式如下:

过去使用的 1966 年公式:

$$(n-1) \times 10^8 = 8342.13 + \frac{2406030}{130 - (\sigma / \mu\text{m}^{-1})^2} + \frac{15997}{38.9 - (\sigma / \mu\text{m}^{-1})^2}$$

$$(n-1)_{tp} = \frac{(p/\text{torr})(n-1)_s}{720.775} \cdot \frac{[1 + (p/\text{torr})(0.817 - 0.0133t/^\circ\text{C}) \cdot 10^{-6}]}{(1 + 0.003661t/^\circ\text{C})}$$

$$n_{tpf} - n_{tp} = -(f/\text{torr}) \cdot [5.7224 - 0.0457(\sigma/\mu\text{m}^{-1})^2] \times 10^{-8}$$

新的 1993 年公式:

$$(n-1)_s \times 10^8 = 8342.54 + \frac{2406147}{130 - (\sigma/\mu\text{m}^{-1})^2} + \frac{15998}{38.9 - (\sigma/\mu\text{m}^{-1})^2}$$

$$(n-1)_{tp} = \frac{(p/\text{Pa})(n-1)_s}{96095.43} \cdot \frac{[1 + 10^{-8}(0.601 - 0.00972t_{90}/^\circ\text{C})p/\text{Pa}]}{(1 + 0.0036610t_{90}/^\circ\text{C})}$$

$$n_{tpf} - n_{tp} = -(f/\text{Pa}) \cdot [3.7345 - 0.0401(\sigma/\mu\text{m}^{-1})^2] \times 10^{-10}$$

式中: n_s ——对应于温度 $t=15^\circ\text{C}$, 气压 $p=101.325\text{ kPa}$ 时干燥标准空气的折射率;

n_{tp} ——对应于温度为 t , 气压为 p 时标准干燥空气的折射率;

n_{tpf} ——对应于温度为 t , 气压为 p , 湿度为 f 时的标准空气折射率;

σ ——所对应光辐射在真空中的波数, 即真空波长 λ 的倒数。

(7) 规程第 23.3.2.1 条

a. 原条款

脉冲当量 (在标准状态附近) q

$$q = \frac{\lambda_v}{2S} \{1.00027123 + [-0.927(t_a - 20) + 2.677(p - 101.325) - 0.421(f - 1.333)] \times 10^{-6}\}^{-1} \quad (12)$$

式中: λ_v ——所采用激光在真空中的波长;

S ——激光干涉条纹的细分数;

t_a ——测量过程中, 干涉光路通过处的空气温度;

p ——测量过程中, 干涉光路通过处的大气压力;

f ——测量过程中, 干涉光路通过处的大气中水蒸汽的压力 (即绝对湿度)。

$$* * * 1\text{mmHg} = 0.13332\text{ kPa} * * *$$

b. 修改后条款

脉冲当量 (在标准状态附近) q

脉冲当量 q 的一般表示式为:

$$q = \frac{\lambda_v}{2nS}$$

式中: λ_v ——所采用激光在真空中的波长;

S ——激光干涉条纹的细分数;

n ——测量状态下的空气折射率。

当激光波长为 633 nm , 并采用公式计算空气折射率时, 脉冲当量 q 的表示式成为:

$$q = \frac{\lambda_v}{2S} \{1.00027131 + [-0.930(t_a - 20) + 2.684(p - 101.325) - 0.363(f - 1.333)] \times 10^{-6}\}^{-1} \quad (12)$$

式中: t_a —— 测量过程中干涉光路通过处的空气温度;

p —— 测量过程中干涉光路通过处的大气压力;

f —— 测量过程中干涉光路通过处大气中水蒸汽的压力 (即绝对湿度)。

$$* * * 1\text{mmHg} = 0.133\ 32\ \text{kPa} * * *$$

c. 修改原因

原条款直接给出了在标准条件附近脉冲当量 q 的表达式(12), 同样, 该公式仅适用于通过测量环境大气的气压、温度和湿度来进行空气折射率修正的情况。考虑到有可能采用空气折射率干涉仪直接测量空气折射率, 因此在给出表达式(12)之前, 先给出一通用的表达式: $q = \frac{\lambda_v}{2nS}$, 该公式可适用于任何情况。此后, 再给出用公式计算空气折射率时的脉冲当量 q 的表达式, 目前大多数的情况均采用此公式进行修正。

式(12)中标准条件下的空气折射率数值也由 1966 年的公式计算值 1.000 271 23 改为 1993 年公式的计算值 1.000 271 31, 同时对系数 K_1 、 K_2 和 K_3 的数值也作了相应的修改。

由于空气折射率与波长有关, 故式(12)仅适用于激光波长为 633 nm 的情况。当采用其它波长进行干涉测量时, 式中标准状态下的空气折射率数值 1.000 271 31 以及各系数 K_1 、 K_2 和 K_3 都要根据 1993 年的公式而作相应的变动。

同时还应注意, 表中系数 K_2 和 K_3 所用的单位是 $\mu\text{m}/\text{kPa}$ 。“中华人民共和国法定计量单位使用方法”中对法定计量单位和词头的使用规则规定, “一般不在组合单位的分子分母中同时采用词头, ……”, 也就是说按规定应将单位 $\mu\text{m}/\text{kPa}$ 改写为 nm/Pa 。但考虑到在量块测量中, 各种修正量习惯上都以 μm 为单位, 因此仍保留使用 $\mu\text{m}/\text{kPa}$ 。

(8) 规程第 23.3.3 条 (第 1 段)

a. 原条款

采用干涉条纹小数部分重合或干涉条纹计数方式, 以光波波长作标准直接测量量块长度时, 干涉仪必须备有: 量块温度(t_g)、干涉光路通过处的空气温度(t_a)、大气压力(p)和大气中水蒸气 (部分) 压力 (即绝对湿度 f) 的测量系统。这一系统中各装置各自测量相关参数的不确定度对量块长度测量不确定度影响的总和, 应不超过该量块长度测量不确定度极限允许值的 50%。

b. 修改后条款

采用干涉条纹小数部分重合或干涉条纹计数方式, 以光波波长作标准直接测量量块长度时, 除必须备有量块温度(t_g)测量系统外, 还必须测定测量环境的空气折射率。可以用空气折射率干涉仪直接测量空气折射率, 也可以通过测量大气参数后用公式进行计算。

当采用公式计算法时, 干涉仪必须备有干涉光路通过处的空气温度(t_a)、大气压力(p)和大气中水蒸气分压力 (即绝对湿度 f) 的测量系统。这一系统中各装置各自测量相关参数的不确定度以及量块温度测量不确定度对量块长度测量不确定度影响的总和, 应不超过该量块长度测量不确定度极限允许值的 50%。

c. 修改原因

由于可以采用空气折射率干涉仪直接测量空气折射率, 此时可不必要测量空气的温度、气压和湿度, 因此原条款中“以光波波长作标准直接测量量块长度时, 干涉仪必须备有: ……”的说法就有些不妥。