



中国计量出版社

Measurement Assurance Programs

计量保证方案

MAP 编译组

内 容 提 要

本书较全面地介绍了美国标准局正在推行的计量保证方案,包括总的介绍、发展和实施,一些物理量的计量保证方案(或计量保证方案服务)以及检定的测量控制等详细内容。

本书可供各级计量部门的管理、情报、检定人员阅读,也可供大专院校有关专业的师生参考。

计 量 保 证 方 案

MAP 编译组

责任编辑 陈小林

—*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲4号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*

开本 787×1092/32 印张 11 字数 248 千字

1990年4月第1版 1990年4月第1次印刷

印数 1—6 000

ISBN 7-5026-0313-1/TB·259

定价 6.00 元

前 言

保证量值的准确一致是计量工作的根本任务。长期以来,量值传递都是通过对标准器逐级检定的方式实现的,即下级计量室将标准器送往上级计量室与其标准器进行比较,以确定被检标准器的准确度。这种传统做法的着眼点均在于标准器本身,往往忽视了量值传递全过程中其他因素的影响,如实验室的环境条件、所用测量系统中除标准器外的其他计量器具和配套设备的状态、采用的测量方法以及操作者的技术水平与认真程度等。因此,仅仅依赖于标准器的检定结果,并不一定能真正掌握住所传递量值准确程度的完整和真实信息。

随着科学技术和生产的发展,对量值传递过程中所获得准确度的可靠性和可信性的要求不断提高,加之许多被测物理量由常规量程向高、低两端延伸,被测参数由单一参数发展为综合多参数,参数特性由静态发展到动态,由成品检验发展到生产工艺过程的在线测控和现场校准。在这种情况下,传统的量值传递方式的局限性就更加突出,广大计量工作者不得不正视一个新的重大课题:如何能够确保量值传递的准确可靠,并能在传递过程中始终掌握其准确程度的真实信息,以适应科学技术和国民经济发展对计量测试提出的新要求(如对无法送检的大型精密测量系统的现场验收和周期检定)。面对这一挑战,多年来,许多国家相继进行量值传递方案改革的探索。原美国标准局(88年该局更名为“国家标准及技术研究院”)在70年代初就开展了称之为“计量

保证方案”(Measurement Assurance Programs, 缩写为 MAP) 的实验。他们采用传递标准和核查标准全面考核计量室的检定测试系统, 利用数理统计方法对那些参加计量保证方案的计量室的检定质量进行控制, 进而定量地确定检定的总不确定度, 并对其进行分析评定, 因此能及时地发现问题, 反馈信息, 使传递误差尽量减小并确保量值传递的质量。经过多年努力, 他们已经在质量、直流电压、电阻、电容、激光功率和能量、电能、温度、微波功率、透光度和量块等十多个物理量上开展了这项实验工作, 取得了实质性进展和很好的结果, 证明这一方案行之有效。

“计量保证方案”引起了许多国家计量界的极大关注。我国计量工作者对此也给予了足够的重视。原国家计量局在 1987 年将“量值传递改革的研究”作为重大研究课题下达, 经过一年多的准备, 现已开始进入实质性的试验阶段。为使我国广大计量工作者了解和开展这项工作, 我们组织中国计量科学研究院和计量情报研究所的同志, 编译了“计量保证方案”一书。本书包括美国标准局正在推行的计量保证方案的总介绍、发展和实施, 一些物理量的计量保证方案(或计量保证方案服务), 以及检定的测量控制等详细内容。

参加本书编译工作的有: 袁先富、席德熊、徐宝瑾、李利宝、刘少珏、冯新善、李香生、赵灼文等同志。本书由赵灼文同志总校对, 并经王轼铮、席德熊、刘全宝等同志审阅。

本书编译过程中, 得到了中国计量科学研究院许多专家的帮助, 中国计量出版社总编室的同志也给予了极大的支持, 在此谨致谢意。

限于编译者的水平, 本书难免有错误和表达不确切之

处。欢迎广大读者批评指正。

MAP 编者同识

1989年3月

目 录

一、计量保证方案 (MAP)	(1)
----------------------	-------

I 总体介绍

1. 引言	(1)
2. 关于计量保证方案服务 (MAPs) 的 19 个经常遇到的问题	(3)
3. 计量保证方案的原理	(13)
3.1 引言	(13)
3.2 测量可靠性	(13)
3.3 允许的测量误差限	(14)
3.4 与测量相关的参考基准	(15)
3.5 测量过程的特性	(16)
3.6 偏离或系统误差	(21)
3.7 不确定度	(21)
3.8 重复概念和核查标准	(22)
3.9 测量过程控制	(24)
4. 计量保证方案服务与国家基准溯源性的关系	(25)
5. 美国标准局 (NBS) 计量保证方案服务	(28)
5.1 质量 (SP 250 No.1, 1 B)	(28)
5.2 直流电压 (标准电池) (SP 250 No.3.4 B)	(32)
5.3 电阻 (SP 250 No.3.1 B)	(35)
5.4 电容 (SP 250 No.3.3 B)	(37)
5.5 电能 (瓦时计) (SP 250 No.3.7 D)	(39)
5.6 温度 (SP 250 No.7.3 J)	(41)

5.7 激光功率与能量 (SP 250 No.4.4 B)	(44)
5.8 量块	(46)
6. 地区或分组计量保证方案	(49)
7. 计量保证方案的前景	(52)
8. 其他机构在计量保证方案服务工作中的作用	(54)
8.1 美国国家计量标准所会议	(54)
8.2 美国质量管理协会	(55)
8.3 美国试验与材料协会	(55)
8.4 美国国防部的检定协作组	(56)
8.5 测量质量保证技术在工业中的应用	(56)
8.6 计量质量保证技术在联邦机构中的应用	(58)
8.7 计量质量保证技术在州和地方政府中的应用	(58)
参考文献	(61)

II 发展和实施

1. 计量保证方案的发展	(68)
1.1 历史背景	(68)
1.2 引言	(70)
1.3 测量系统的模型	(74)
1.4 检定过程的模型	(76)
1.5 误差分析的模型	(82)
1.6 美国标准局在计量保证方案发展中的作用	(85)
1.7 计量保证方案中参加者的作用	(89)
2. 误差的特性	(93)
2.1 引言	(93)
2.2 过程精密度和随机误差	(94)
2.3 系统误差	(98)
2.4 不确定度	(102)
2.5 报告值的不确定度	(103)

3. 计量保证方案中的核查标准	(107)
3.1 导论	(107)
3.2 用核查标准确定过程参数	(108)
3.3 过程控制中的核查标准	(110)
3.4 美国标准局的量值传递	(113)
3.5 修订过程参数.....	(114)
4. 特定情况下计量保证的实施	(114)
4.1 一个被测对象, 一个参考标准和一个核查标准的 比较过程	(118)
4.2 一个被测对象和两个参考标准的比较过程	(121)
4.3 三个被测对象和两个参考标准的比较测量过程	(129)
4.4 每一测量系列用一个核查标准的质量检定的比较 过程.....	(135)
4.5 电压传递方案中 4 个参考标准和 4 个被测电池的 比较过程.....	(144)
4.6 用标准仪器对被测对象直接读数.....	(168)
4.7 一组被测对象和一组参考标准同时测量	(171)
4.8 一个或多个被测对象与一个或两个参考标准的比 例法.....	(174)
5. 控制图	(177)
5.1 引言	(177)
5.2 单组测量值的控制图	(179)
5.3 平均值或期望值的控制图	(182)
5.4 组内标准偏差的控制图	(182)
5.5 可采用的控制极限	(183)
5.6 有漂移的核查标准的控制图	(184)
5.7 控制图的概要说明和实例	(186)
表 I: 学生 (t) 分布 $t_{\alpha/2}(v)$ 的临界值	(192)
表 I: F 分布 $F_{\alpha}(v_1, v_2)$ 的临界值	(193)
参考文献	(196)
有关计量保证方案的名词术语	(201)

二、量块计量保证方案	(205)
三、电能计量保证方案	(262)
四、射频微波功率 (同轴测辐射热器座) 计量 保证方案	(278)
五、透射比计量保证方案服务	(289)
六、美国州级实验室质量检定的测量控制	(339)

一、计量保证方案(MAP)

I 总体介绍

Brian Belanger

NBS SP 676- I

1. 引言

这是包括两个部分指南的第一部分，这一部分阐明了计量质量保证的概念，叙述了由美国标准局（NBS）开展的计量质量保证的服务，并给出了有关美国标准局计量保证方案（MAP）服务，以及采用计量质量控制程序给用户带来好处的情报资料。指南第二部分阐述实施计量保证方案的统计技术。

区分一项计量保证方案（MAP）和美国标准局计量保证方案服务（MAPs）是有意义的。计量保证方案是由美国标准局以外的参加单位执行的计量质量保证方案，其目的是为了确保实现溯源于国家标准的准确测量。美国标准局计量保证方案服务则是由美国标准局提供，为了帮助参加实验室实施测量质量控制，并把该实验室的测量与国家标准联系起来。

这本出版物（指南第一部分）不包括下面提到的技术领

域中建立和保持计量保证方案所需的详细技术资料。它所提供的参考书目可帮助有兴趣的读者把计量保证方案这种方法用到任何专门技术领域中。有关计量保证的名词术语汇编则可帮助读者理解本书和其他有关计量保证的书刊。

计量保证方案概念还在发展着，美国标准局现在提供的计量保证方案服务项目是彼此独立发展起来的，因此在这些服务项目之间是存在差别的。随着测量质量控制手段的发展，其概念及其应用都可能改变。美国标准局计量保证方案服务在其方法和设计上可能会变得比较统一，新的计量保证方案服务无疑会把现已推行的服务的一些优点考虑进去。因此，对美国标准局来说，从其计量保证方案服务的用户那里获得信息反馈是很重要的。

对物理测量的质量控制（QC）或质量保证（QA）的计量保证方案方法不是唯一的。通晓质量控制和所用统计学原理的人会认可这样的事实，即计量保证方案的大部分（不是全部）做法正是在质量保证领域中大家通晓的办法。其实，在很大程度上可以把计量保证方案理解为很多年以前由 Shewhart 和其他人用于一个测量过程的统计质量控制程序。类似的方法已经用于确保工业化学过程、分析实验室和生物实验室的测量准确度。计量保证方案的最重要特点是它在整个物理测量过程中，关注了它的操作者、环境、方法以及仪器。执行计量保证方案的目的是给出相对于国家标准的测量不确定度并连续地监视该不确定度，以确保测量足够准确并满足应用的需要。

对那些目的在于了解计量保证方案实施要领的人来说，下一节所述内容正是有关计量保证方案服务经常要问到的问题。

2. 关于计量保证方案服务的 19 个经常遇到的问题

(1) 什么是计量保证方案？

计量保证方案是测量过程的质量保证方案，它确定了测量值相对于国家标准或其他给定标准的总不确定度（包括误差的随机和系统分量），并验证其总的总不确定度小到足以满足用户的要求。

(2) 美国标准局计量保证方案服务和美国标准局检定服务的区别是什么？

美国标准局计量保证方案服务着眼于参加实验室所作测量的质量而不注重该实验室的仪器或标准的性能。从概念上讲，参加计量保证方案服务可以被看作是对整个实验室进行检定的一种办法。

在美国标准局检定服务中，用户的设备或标准要送到美国标准局接受检定。当设备或标准返回用户时，用户收到一份美国标准局的测试报告，报告包括该标准的测量值及相对于国家标准的测量不确定度。在测试报告中所给出的美国标准局校准不确定度是美国标准局检定过程的质量的量度，而不是仪器或标准或用户测量系统性能的量度。

正确地使用一个被检定过的标准，有可能使用户实验室得以实现精确测量。但是，如果操作人员熟练程度不够，如果用户实验室的环境条件和美国标准局的环境条件有区别，如果用户所采用的测量步骤不完善或存在（已知或未知）其他问题，那么从原则上讲，在用户实验室实际所作的测量就不可能达到美国标准局曾检定过的标准的不确定度。因此，如果不在美国标准局的测量过程和用户的测量过程之间作某些比较，就不可能对实验室所作测量的实际准确度作出明确

的表述。

计量保证方案服务定量给出了参加实验室测量过程的总不确定度。为了确定这个不确定度，参加实验室必须执行一个测量控制程序。在此程序中，为了估算该实验室测量过程的随机误差，要一个或多个稳定标准作重复测量。

在一个典型的计量保证方案服务中，先由美国标准局对一个或一组稳定的特制标准（称为“传递标准”）的性能进行测量，然后将其送到参加实验室由它们也对其测量。通常，传递标准的量值对参加实验室来讲是未知的。在参加实验室测量后，传递标准返回美国标准局再作测量。美国标准局对其自己的数据和由参加实验室送来的数据进行分析，并开具测试报告给参加实验室，这份报告给出了参加实验室的测量过程与国家标准的偏差以及参加实验室检定过程的总不确定度。

参加实验室的测量过程的总不确定度既反映出了随机误差（是复现性、精密度或实验室内可变性的一个量度），也反映出了系统误差（任何不可修正的偏移或测量过程相对国家标准或其他给定标准的偏离）。

（3）用美国标准局检定服务代替美国标准局计量保证方案服务，也有可能实现高准确度吗？

是的，但经验表明，美国标准局检定服务的某些用户在参加计量保证方案以前，一直没有发现自己长期存在的一些测量问题。当然，可以用美国标准局检定过的标准来评定测量过程与国家认可的参考基准之间的偏离，而且执行本指南第二部分所介绍的严格的测量质量保证程序，但另一种可能也确实存在的，即一个实验室不采用美国标准局计量保证方案服务，也有可能实现高准确度的测量。

有时，参加计量保证方案的实验室会发现其测量准确度

比其原先估计的要好。然而，新参加计量保证方案的实验室往往发现其测量不确定度不象他们想象那么好。但参加计量保证方案后实验室所作测量的精密度或准确度往往能得到改善。因为计量保证方案要求参加者按统一的程序作连续测量，这样，就有可能使参加实验室获得过去所没有的某些能力。如实验室只依赖于美国标准局的检定，则测量方法或环境条件的一些缺点往往就注意不到。

(4) 计量保证方案服务和“巡回”比对有何区别？

标准器的“巡回”比对通常用以揭示系统误差和实验室间测量的不一致性，而计量保证方案比巡回比对揭示的内容更多。为使计量保证方案服务充分发挥其作用，要求参加实验室在两次测量传递标准的时间间隔内，对一个实验室自备核查标准作连续测量，以确保从上一次对美国标准局的传递标准测量以来的测量过程不失控。

(5) 目前美国标准局开展哪几项计量保证方案服务？

美国标准局现在（1984年）在下列领域里开展8项计量保证方案服务：

- 1) 质量；
- 2) 量块（起主导作用的项目）；
- 3) 直流电压（标准电池）；
- 4) 电容；
- 5) 电阻；
- 6) 电能（瓦时计）；
- 7) 温度（电阻测温技术）；
- 8) 激光功率和能量。

其余的计量保证方案服务正在诸如微波功率和分光光度技术等领域里开发，第5章将对此提供更多细节。

(6) 采用计量保证方案服务的费用如何？

美国标准局计量保证方案服务的费用取决于这项服务本身和采用的频繁程度。对参加实验室来讲，每年的实际费用平均要比现在公布的计量保证方案服务费用低，这是由于该实验室不必每年都采用这种服务。另外，也可采取与其他实验室组成小组的计量保证方案形式（在第6章中介绍）以减少费用。美国标准局计量保证方案服务的收费不是固定的，因此要知道当时的收费，最好还是与美国标准局专门出版物250（SP 250）上列出的联络处取得联系。

除了美国标准局的收费，参加一项计量保证方案还要支付购买辅助设备的费用。另外，如果参加实验室在其测量过程中，预先没有制订出质量控制程序，则它们还要支付实验室内部工作人员的附加工时费用。

（7）如果谁采用一项美国标准局计量保证方案服务，除了测量美国标准局送来的传递标准外，还需做什么？

需要指出，在计量保证方案服务中美国标准局不承担检查或管理计量实验室的责任。参加计量保证方案的实验室，为了改进其测量过程所采取的任何步骤都是自愿的。

虽然在执行一项计量保证方案时，由美国标准局检定过的传递标准是不可缺少的，但参加者还必须对自己的核查标准作连续测量，以估计随机误差，而且也要对测量过程是否保持在统计控制状态中作出确认。当然，如果参加实验室有一个测量控制方案可以监视其自身的测量过程参量，那么参加计量保证方案服务也就没有多大意义了。

计量保证方案参加者也要作某些数据分析。

（8）是否必须具备熟练的数理统计知识才能参加计量保证方案？

不是的，这里只要求你是“数理统计的了解者”，也就是对统计技术的原理有一定了解即可。当然，对统计学知识

了解得越多，就越能更好地理解 and 利用得到的结论。对计量保证方案参加者来说，在现有的美国标准局服务中，数理统计计算的量是各不相同的，有的基本上没有，有的则有一个相当的量。一般说来，对参加人员的全部要求只是遵循测量指令，按规定的格式填报数据。相对于参加实验室，由美国标准局所做的数据分析的工作量也是说得过去的。对很多计量保证方案服务来说，数据可以在一个可编程计算器上分析。美国标准局可以提供给参加实验室磁带或很多程序的编排知识（详见第5章）。

具有某些统计知识的人，是能够理解数据分析中由美国标准局所用的大多数计量保证方案方法的；而具有比较丰富统计知识的人，则更能了解所有这些方法的细微区别，也能识别更有效地利用数据的途径。美国标准局工作人员殷切希望每一个参加单位取得成功，而且当参加单位需要对数据分析和所用的一套方法作说明时可随时提供咨询。

(9) 计量保证方案服务能否提供为满足军用规范或管理文件所要求的对国家标准的溯源性？

成功地参加一项计量保证方案，正好提供了对国家标准溯源性的充分证据。计量保证方案服务的用户会收到一份由美国标准局签发的说明及其测量不确定度的测试报告。

美国标准局不需要任何单位的溯源，也没有法定责任去确定某一机构是否具有对国家标准的证据充分的溯源性，这一责任应该落到要求溯源性的机构（例如军工合同管理机构，核管制委员会等）的评审员身上。

对美国标准局的溯源，传统的办法是通过用户把自己拥有的标准送到美国标准局检定来实现的。在引入计量保证方案服务以前，一个机构只要有文件证明其标准已通过检定追溯到美国标准局，就可认为该机构已满足溯源性要求。在引

入计量保证方案服务初期，那些不熟悉这种方案的评审员总是怀疑计量保证方案报告也可作为溯源性的合法依据。他们认为参加计量保证方案机构的标准没有被美国标准局检定过。现在这种怀疑正在消除，评审员们已经开始认识到计量保证方案比起美国标准局的检定是更有效的溯源办法，对此将在第4章中作比较详细的讨论。

(10) 申请计量保证方案服务后，用户将从美国标准局得到什么？

典型地说，用户会从美国标准局收到（通常通过空运）一个或多个传递标准，这些标准在运离美国标准局前已经仔细测量过。参加实验室在接到标准后，按规定的次数对其测量，然后连同测量数据寄回美国标准局。美国标准局再次测量该标准并提出一份测试报告，以说明参加实验室测量结果与美国标准局的偏离及其不确定度。通常，美国标准局提供部分或全部数据分析，还提供有关技术资料以及（或者）口头上的指导，这些指导包括理论上的一些考虑，测量控制技术以及推荐给你的各式各样的测量注意事项。当参加实验室出现问题时，美国标准局也将提供（在适当范围内）咨询以帮助找出和解决这一问题（如果用户还没有采用测量质量控制方法，美国标准局将提供资料以解释在寄出传递标准前是怎样着手执行这一方法的）。

(11) 什么是地区或分组计量保证方案？

在第6章中，详细叙述了这种推广计量保证方案服务的新途径。简单地说，所谓地区或分组计量保证方案是把若干个参加实验室与美国标准局结合成一个小组的计量保证方案。通常，其中要有一个实验室愿意承担“主导”实验室的角色，由它负责与美国标准局联系。由于大家分担了美国标准局传递标准的费用，参加分组计量保证方案的实验室实际