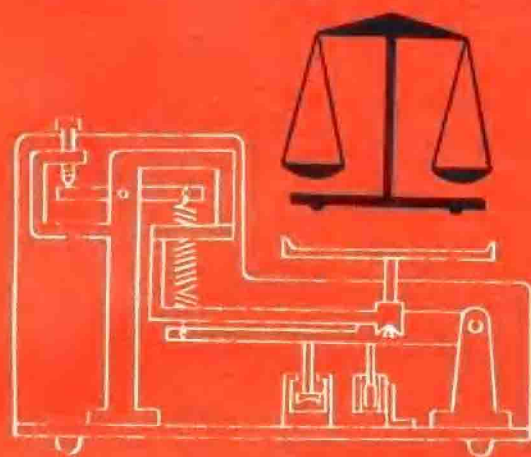




质量精密测量手册

〔日〕 山本健太郎

中国计量出版社

质量精密测量手册

〔日〕 山本健太郎

梁振和 郎庆荣 译

郑鸿飞 校

中国计量出版社

内 容 提 要

本书分为三篇。一、仪器篇：介绍质量测量的预备知识、各种天平、电子秤、扭力秤等；二、技术基础篇：质量标准、质量精密测量技术和误差；三、技术应用篇：各种性质的测量如密度、比重、磁化率……，化学分析中的质量测量方法，公害计量中的质量测量。附录中有质量测量的检查流程图、空气密度等。

可供计量部门、工交企业、财贸、医药卫生、国防科研等单位与质量计量技术有关的工作人员、高等院校、中等专业学校师生参考。

質量の精密測定マニュアル

〔日〕 山本健太郎

日本規格協会 1981.12

质量精密测量手册

〔日〕 山本健太郎

梁振和 郎庆荣 译

郑鸿飞 校

责任编辑 陈艳春

—*

中国计量出版社出版

北京和平门内大街7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 11.625 字数 261 千字

1988 年 5 月第 1 版 1988 年 6 月第 1 次印刷

印数 1—10 000

ISBN 7-5026-0051-5/TB·48

定价 3.30 元

质量精密测量手册编辑委员会名单

(以五十音为序)

调查主任 干事 委员	山本 健太郎	(明治大学工学部)
	山林 好夫	(工业技术院计量研究所)
	矢野 宏	(工业技术院计量研究所)
	飯塚 幸三	(工业技术院计量研究所)
	池田 進	(工业技术院计量研究所)
	内川 惠三郎	(工业技术院计量研究所)
	河原 纪男	((株)岛津制作所)
	木村 荣作	((财)食品药品安全中心)
	长 利雄	((株)长计量器研究所)
	寺田 卓二	((株)长计量器研究所)
	西口 謙	(新光电子(株))
	福地 俊典	((财)化学品检查协会)
	穗積 啟一郎	(京都药科大学)
	松沼 恒男	(西貝尔(シィベル)机械(株))
	飯島 弘淳	((财)化学药品检查协会)
	三島 秀雄	((有)西嶋制作所)

前 言

1972年，在精密机械学会设立了“天平精度调查分科会”，当时，曾试图把刚刚研究出来的一般测量仪器的性能估价法应用于天平。这时，代之等臂天平，已经广泛地把直读天平用于质量的精密测量，所以讨论也主要集中在直读式微量天平上面。但当时，公开发表的有关直读天平的技术资料还寥寥无几，因此没有取得预期的效果。结论是：要提高质量测量精度，必须分别对质量标准（砝码）、测量仪器（天平）以及测量方法进行充分的研究。

另一方面，还组织了以前京都大学三井哲夫教授为首的微小质量恳谈会，从分析化学的角度对于超过计量法规定精度的质量标准的提供以及天平精度的提高，提出了强烈要求。

与这些委员会活动的同时，标准研究联络会议（工业技术院）的质量分科会，联系标准供给的跟踪能力讨论了质量标准。在这次会议上，也从分析化学的角度对于微小质量的精密测量提出了强烈要求。

根据这些问题，（财）日本产业技术振兴协会所属的跟踪能力调查委员会和质量分科会，讨论了包括大质量在内的质量标准跟踪能力的体系配备问题。

结论确认，对于质量标准的跟踪能力来说，质量标准（砝码）、测量仪器和测量方法等三者是质量标准的三大支柱。然而，问题在于，把这三根支柱联系起来的测量技术，还不具备完整的体系。显而易见，其原因是：站在标准制定立场的标准技术人员、测量仪器生产厂家以及用户三者之间

缺乏有机的联系，而且现行计量法所确立的体系主要以保证安全交易为目的，所以在某种程度上不利于从科技立场出发制定的标准的使用。

要解决这些问题，必须重新估价计量法的法定体系。业已确定，在重新估价法定体系之前，对于质量的精密测量，应把这三根支柱联系起来的技术说明书，即质量精密测量手册的编写作为第一步。还得出结论：作为第二步，应以质量测量工业标准为目标，而工业标准是以该测量手册为基础的。

基于这一立场编写的手册，其特点是：上述三者，亦即需要质量精密测量的化学分析有关方面、天平制造厂家和质量标准研究人员通力协作的结果。但是，我们不能认为，这三者的合作总是协调一致的。所以，最好也把质量精密测量方面的问题原原本本地提供给各位读者，希望他们在不同的立场上阅读之后，在解决遗留的问题时予以合作。此外，不同的作者都详尽地叙述了各自的立场；因此可以认为，对于今后的质量精密测量将是大有裨益的。

据认为，质量测量的精度今后将越来越高，但现在不一定真正进行这样的高精度测量。看来仍有必要重新回到质量精密测量的基础上来。就这一点来说，最好在熟悉本书开头“质量测量的预备知识”之后，根据读者需要有选择地加以阅读。

在本书出版的过程中，得到了（财）日本规格协会顾问東秀彦先生、该会出版課沢田位先生的大力协助，在此深表谢意。

1981年10月

山本 健太郎

精机学会天平精度调查 分科会名单

(以五十音为序)

(1972~1975) () 内为当时所在单位

调查主任	山本 健太郎	(计量研究所)
干事	矢野 宏	(计量研究所)
委员	明間 利雄	(久保田铁工 (株))
	飯塚 幸三	(计量研究所)
	池田 進	(计量研究所)
	井上 真一	(大和制衡 (株))
	伊野部 和男	(東京衡机 (株))
	今井 秀孝	(计量研究所)
	木村 榮作	((財) 食品药品安全中心)
	小林 好夫	(计量研究所)
	鈴木 茂	(东芝电气 (株))
	立入 宗光	((株) 长计量器制作所)
	长利 雄	((株) 长计量器制作所)
	寺岡 武治	((株) 寺岡精工所)
	西口 謙	((株) 新光电子)
	西本 康	(東京工业大学)
	蓮沼 宏	(東京理科大学)
	三島 秀雄	((株) 島津制作所)
	吉田 彰二	((株) 伊势丹)
	吉本 勇	(東京工业大学)

国际标准研究联络会议

质量分科会委员名单

(1973~1977年) () 内为当时所在单位

分科会长	三井 哲夫	(京都大学)
	山本 健太郎	(明治大学)
干 事	矢野 宏	(计量研究所)
干事助理	小林 好夫	(计量研究所)
委 员	東 秀彦	((财) 日本规格协会)
	长 利雄	((株) 长计量器制作所)
	木村 荣作	((财) 食品药品安全中心)
	小泉 袈裟勝	((社) 日本计量机器工业联合会)
	桜井 好正	(计量研究所)
	奈良 治郎	(计量研究所)
	三島 秀雄	((株) 岛津制作所)
	鈴木 和夫	(東京都计量检定所)
	高橋 憲昭	(川铁计量器 (株))
	多賀 谷宏	((财) 日本产业技术振兴协会)
	中川 彰	(工业技术院)
	高橋 正美	(工业技术院)
	中沢 尚次	(日本钢管 (株))
	昇 和美	((社) 计量管理协会)
	蓮治 宏	(東京理科大学)
	福地 俊典	((财) 化学品检查协会)
	増尾 竜一	(大阪工业大学)

三木 太平
装輪 善藏
渡辺 修一

(東京农业大学)

(计量教習所)

(通商产业省计量课)

目 录

1. 仪 器 篇

1.1 质量测量的预备知识	(1)
1.1.1 前言	(1)
1.1.2 砝码	(2)
1.1.3 天平 (秤)	(4)
1.1.4 被测物	(6)
1.1.5 测量方法	(6)
1.1.6 测量环境	(7)
1.1.7 小结	(8)
1.2 天平	(8)
1.2.1 天平的历史	(8)
1.2.2 有关性能的术语	(12)
1.2.3 天平的分类	(17)
1.2.4 天平类型的选择	(20)
1.3 直读天平	(23)
1.3.1 吊盘式直读天平	(23)
1.3.2 托盘式直读天平	(44)
1.3.3 检验、调整、维护	(53)
1.4 电秤	(65)
1.4.1 原理、结构、名称	(65)
1.4.2 操作	(74)
1.4.3 检验、调整、维护	(78)
1.5 扭矩天平	(87)
1.5.1 原理	(87)

1.5.2 结构和部件的名称	(91)
1.5.3 操作	(97)
1.5.4 检验、调整	(101)
1.5.5 维护	(105)
1.5.6 使用时的注意事项	(106)
1.6 等臂天平	(107)
1.6.1 原理、结构、名称	(107)
1.6.2 操作和测量	(114)
1.6.3 检验、调整和维护	(121)
1.6.4 使用时的注意事项	(123)

2. 技术篇(1): 基础

2.1 质量标准	(124)
2.1.1 质量标准	(124)
2.1.2 质量标准的设定和标准砝码的校正	(127)
2.1.3 实用标准 (实用砝码)	(135)
2.1.4 砝码组的校正	(140)
2.2 质量精密测量技术	(148)
2.2.1 硬件和软件误差	(148)
2.2.2 直读天平的校正	(148)
2.2.3 精密测量	(158)
2.3 质量测量的误差	(174)
2.3.1 质量测量的误差因素	(174)
2.3.2 质量测量中各种误差的影响及其防止措施	(176)
2.4 天平性能的估价	(221)
2.4.1 直读天平的性能	(221)
2.4.2 用户对天平性能的评价	(223)
2.4.3 用户对天平测量误差和校正的评价	(227)
2.4.4 直读天平的误差估价	(232)
2.4.5 校正和测量	(243)
2.4.6 从经济角度对性能的评价	(258)

3. 技术篇(2): 应用

3.1 各种性质的测量	(261)
3.1.1 密度、比重	(261)
3.1.2 含水量	(262)
3.1.3 表面张力	(262)
3.1.4 热重量法	(263)
3.1.5 磁化率	(263)
3.1.6 计数	(264)
3.1.7 体积	(264)
3.1.8 面积	(264)
3.1.9 厚度	(264)
3.1.10 力、转矩、力矩	(264)
3.1.11 动物的发育和饲料	(265)
3.1.12 重量检查	(265)
3.1.13 高大物体和长物体的测量	(265)
3.2 化学分析中的质量测量方法	(266)
3.2.1 测量对象和分析精度	(266)
3.2.2 取样	(272)
3.2.3 容器、量具的测量方法	(284)
3.2.4 仪器分析和测量	(296)
3.2.5 化学分析的测量环境	(297)
3.3 公害计量中的质量测量	(300)
3.3.1 公害计量和质量测量	(300)
3.3.2 用质量比混合法配制标准大气	(301)
3.3.3 公害分析中的质量测量	(306)
3.4 天平异常的原因和措施	(309)
3.4.1 天平、砝码的异常	(309)
3.4.2 环境引起的异常	(309)
3.4.3 使用方法引起的异常	(314)

附 录

附录1 质量测量的检查流程图	(318)
附录2 附表	(325)
附表2.1 空气密度表	(326)
附表2.2 (5, 2, 1, Σ) 系列砝码的校正表	(333)
附表2.3 表F的使用方法	(336)
附表2.4 SN 比基本关系式	(343)
参考文献	(354)

1. 仪 器 篇

1.1 质量测量的预备知识

1.1.1 前 言

“质量”是物体固有的量，质量 m 在重力加速度为 g 的地球上所受到的重力 $F = m \cdot g$ 。因此，通过所受重力的比较，即测量被测物对标准千克原器质量的相对值，就可求出质量，相对值正确与否决定着质量测量的精度。

国际千克原器所含的质量，通过分发给公制条约各成员国的千克原器，在各个国家体现出来。为此，分发给各国的千克原器，先要用国际千克原器，以 $2\mu\text{g}$ 的精度加以校准，到目前为止，已经进行了两次定期检查。上一次（1950年）定期检查的校准精度为 $1\mu\text{g}$ 。因此，若用以各国的千克原器校准过的标准砝码，或以标准砝码检查过的砝码进行质量测量，则可间接地求出相应于所用砝码精度的与“国际千克原器”质量相对的数值，而且无论使用哪一个国家的砝码，都能得到相同的结果。

国际千克原器的质量与被测物质量的相对比较法，如果统称为质量测量，那么它大体上可分为两种。一种是天平一类仪器对砝码和被测物直接进行比较；另一种是根据用砝码校准过的秤的标度间接地求出被测物的质量。若将两种方法的精度加以比较，则可看出前一种方法优于后者，这是因为前一种方法的质量标准是用砝码表示的。

因此，质量测量的正确性主要地取决于下列因素：

- ①测量所用砝码的精度；
- ②天平的精度，或者秤的标度的校准精度；
- ③测量方法的合理性和测量技巧；
- ④被测物的状态；

⑤对测量环境影响的校正；而测量结果的总误差是各种因素所引起的误差的代数和。

所以，测量时，必须弄清各种因素对测量结果的影响。例如，由于被测物不稳定或密度(体积)不详而不能精确地作浮力校正时，对其它因素无论采取多么充分的措施，也不能指望测量精度高于浮力校正所产生的不精确度。由于被测物的状态欠佳，因此，使用不产生误差的高精度砝码和天平的想法至少是不经济的，甚致可以说对于提高精度是徒劳无益的。

为了确实弄清测量中的各种误差因素，为了使测量方法和测量程序(即测量方案)更为合理，必须充分注意影响测量精度的各种因素所引起的误差之间的平衡。因此，为了制定旨在进一步提高测量效果的方案，应对上述各因素重新加以认识。

1.1.2 砝 码

一般质量测量用的砝码有一级砝码和二级砝码，其表面分别注有①和②两种标记，以示区别。这些砝码，在根据计

量法进行检定时，法定项目

(a) 种类、(b)材料和结构、
(c)质量允差等，都应符合标准，然后标上检定印记(图1.1)。这些砝码的质量允差(超过名义值和低于名义值的幅度，通常称之为允许误差，在计量法中称之为质量允差)



图 1.1 检定印记
(一边之长为 1.2、1.8 或
3.6 mm 的正方形)

如表 1.1 所示，并且可以把它当作表示精度的量。符合公差要求与否的检定，在下列条件下进行：

密度为 $6.5\sim 9.5\text{ g/cm}^3$ 的砝码材料，都取为 8.0 g/cm^3 。对于铝和铝合金取为 2.7 g/cm^3 ，空气取为 0.0012 g/cm^3 。

表1.1 砝 码 的 检 定 公 差

种 类	一级砝码	二级砝码	种 类	一级砝码	二级砝码
标 识	①	②	标 识	①	②
名义质量	质量允差 mg		名义质量	质量允差 mg	
20 kg	300	3,200	2 g	0.5	5
10 kg	200	1,600	1 g	0.5	5
5 kg	120	800	500 mg	0.5	3
2 kg	70	400	200 mg	0.3	1.5
1 kg	40	200	100 mg	0.2	1
500 g	20	100	50 mg	0.1	0.7
200 g	10	50	20 mg	0.05	0.5
100 g	5	30	10 mg	0.05	0.5
50 g	2	30	5 mg	0.05	—
20 g	1	20	2 mg	0.05	—
10 g	1	20	1 mg	0.05	—
5 g	1	10			

对于这些砝码的精度保证期（检定的有效期）没有作出特殊的规定。因此一般认为，在这种条件下，要减小现行的允差是极其困难的。其理由可举例加以说明，检定 100 g 的砝码时，所作的空气浮力校正为体积 12.5 cm^3 ($100\text{ g} + 8.0\text{ g/cm}^3$) 乘以空气密度 0.0012 g/cm^3 ，等于 15 mg。但是，由于一年四季内气温、湿度和气压的变化，空气密度之差约为 10%。因此，若假定检定时和质量测量时的空气密

度差为 10%，则浮力差就会引起 1.5 mg 的误差。此外，若再考虑把密度一律定为 8.0 g/cm^3 而造成的影响，以及材料的老化、砝码的污染、磨损等因素，则可认为这些误差将进一步增大。

在直读天平的情况下，对于内装砝码可以说和普通砝码一样。但是比较起来也有些不同之处，多数内装砝码都呈环形（故名圈码），其表面积远比普通砝码要大，污染以及表面吸附气体的影响也比普通砝码为大。又因内装砝码在互相靠近的状态下排列在内装砝码吊架上，所以相互间有干扰影响。例如，内装砝码若发生磁化，则将引起预想不到的误差。因此，即使是 200 g 直读天平的读数范围为 0.1 mg，只要在测量时使用内装砝码，就必须考虑相当大的误差。

在砝码需要高精度时，必须采取相应的措施。这种情况下的检查包括：国家级的比较检查（计量法中规定的检查，其精度和 1 级标准砝码相同）、计量研究所进行的委托试验、化学制品检查协会进行的检查，等等。另一方面，对于砝码异常的发现、砝码间相对值的校验等，例如，在 2.7 节“质量标准”中列举的，也可以试行自检。因为这不仅可以检验高精度砝码，而同时又可以检验天平的性能，值得一做。不过，检验结果，若发现异常，则要重新检验砝码。

1.1.3 天平（秤）

所谓天平，通常指的是在中央有支点、两端有力点的一次杠杆的两力点上挂有称盘的秤。计量法将测量质量的器具和仪器总称为质量计，它由秤、砝码或秤砣组成。秤有天平（手动天平、直读天平）、吊秤（吊车用）、盘秤（托盘式天平、盘式弹簧秤等）、台秤（如体重计）之分。砝码有 1 级和 2 级两种。秤砣有不定量秤砣和定量秤砣之分，前者与杠杆比任意的秤组合使用，而后者与杠杆比一定的秤组合使