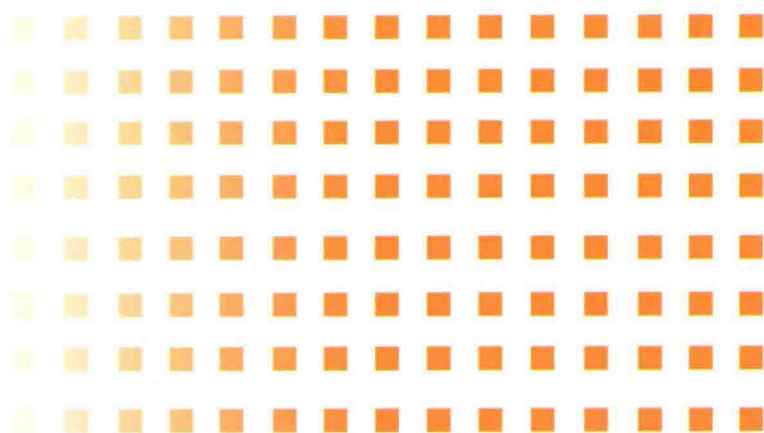


天平 砝码 秤 测量不确定度评定

TIANPING FAMA CHENG
CELIANG BUQUEDINGDU PINGDING

赵亚军 主编



 中国质检出版社

天平 砝码 秤 测量不确定度评定

赵亚军 主编



中国质检出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

天平 砝码 秤测量不确定度评定/赵亚军主编. —北京: 中国质检出版社, 2012
ISBN 978-7-5026-3535-0

I. ①天… II. ①赵… III. ①重量计量仪器—评定 IV. ①TH715.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 007974 号

内 容 提 要

天平、砝码和秤是应用非常广泛的计量仪器。本书依据 JJG 13—1997《模拟指示秤》、JJG 14—1997《非自行指示秤》、JJG 46—2004《扭力天平》、JJG 98—2006《机械天平》、JJG 99—2006《砝码》、JJG 156—2004《架盘天平》、JJG 171—2004《液体相对密度天平》、JJG 539—1997《数字指示秤》、JJG 1036—2008《电子天平》等计量检定规程和 JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》计量技术规范, 详细介绍了广大基层工作者在实际工作中常见的天平、砝码、秤的不确定度分析与评定方法。

本书适合广大相关基层工作者, 特别是一线的计量器具使用、检定、维修和管理人员使用与阅读。同时, 也适用于岗位培训或供相关专业师生阅读。

中国质检出版社出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)

北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010)64275323 发行中心: (010)51780235

读者服务部: (010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 7.75 字数 146 千字

2012 年 3 月第一版 2012 年 3 月第一次印刷

*

定价 28.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010)68510107

编 委 会

主 编 赵亚军

编 委 (以姓氏笔画为序)

丁京安	王 健	王 翔	王 江
王福龙	牛国伟	刘邦明	李学文
柳 萌	赵 茜	赵皓月	姚 弘

编 者 的 话

笔者曾长期在基层从事天平、砝码、秤的检定与维修工作，并著有《天平的使用及维修》、《非自动天平的检定与调修》、《电子天平技术问答》、《天平、砝码、秤检定与维修》、《电子天平的使用与维修 200 问》、《天平、砝码、秤使用与维修大全》和《天平砝码》。由于许多企业和实验室正在陆续开展检定与校准工作，广大基层计量检定和管理人员对于不确定度的评定与分析，特别是对于天平、砝码、秤的不确定度的评定与分析方法的需求尤为迫切。为此，我们依据相关的规程、规范、结合广大企业和实验室实际，编写了这本介绍天平、砝码、秤不确定度评定与分析方法的普及读物。

此书在编写过程中，计量界著名的专家李慎安老师给予了大力支持与帮助，并承担了全书的主审工作，在此表示衷心的感谢。我们希望此书的出版能给广大读者开展检定与校准工作带来帮助，为一线的广大计量检定维修和管理人员提供一本实用参考书，同时也起到抛砖引玉的目的。书中有错误之处敬请来电(010—65486673；手机：13552272633)，欢迎批评指正。

赵亚军

2011 年 5 月 28 日

目 录

第一章 机械天平的示值误差测量不确定度评定	(1)
第一节 TG328A 型机械天平的示值误差测量不确定度评定	(1)
第二节 TG328B 型机械天平的示值误差测量不确定度评定	(3)
第三节 GT2A 型机械天平的示值误差测量不确定度评定	(6)
第四节 DT-100 型机械单盘天平的示值误差测量不确定度评定	(8)
第二章 特种机械天平的示值误差测量不确定度评定	(12)
第一节 扭力天平的示值误差测量不确定度评定	(12)
第二节 架盘天平示值误差测量不确定度评定	(15)
第三节 液体相对密度天平测量不确定度评定	(17)
第三章 电子天平的示值误差测量不确定度评定	(20)
第一节 电子天平 220g 示值误差的测量不确定度	(20)
第二节 电子天平 100g 示值误差测量不确定度	(23)
第三节 电子天平 200g 示值误差测量不确定度	(25)
第四节 电子天平 1000g 示值误差测量不确定度	(28)
第四章 机械秤的示值误差测量不确定度评定	(32)
第一节 AGT-6 型案秤测量不确定度	(32)
第二节 AGT-10 型案秤示值误差的不确定度	(35)
第三节 TGT-300 型台秤测量不确定度	(38)
第四节 TGT-500 型台秤测量不确定度	(41)
第五节 ATZ-8 型度盘秤测量不确定度	(44)
第六节 ATZ-10 型度盘秤测量结果的不确定度	(47)
第五章 电子秤的示值误差测量不确定度评定	(51)
第一节 ACS-3 型电子秤示值误差测量不确定度	(51)
第二节 ACS-6 型电子秤测量不确定度	(54)
第三节 ACS-15 型电子秤测量不确定度	(57)
第四节 ACS-30 型电子秤测量不确定度	(61)
第五节 ACS-100 型电子秤测量不确定度	(64)
第六节 SCS-30 型电子汽车衡测量不确定度	(67)

第七节	SCS-60 型电子汽车衡测量不确定度	(71)
第六章	各等级砝码折算质量的测量不确定度评定	(75)
第一节	M_1 等级砝码折算质量测量不确定度	(75)
第二节	F_2 等级砝码折算质量测量不确定度	(78)
第三节	F_1 等级砝码折算质量测量不确定度	(82)
第四节	E_2 等级砝码折算质量测量不确定度	(86)
第五节	E_1 等级砝码折算质量测量不确定度	(89)
第七章	各等级砝码检定与校准装置的建立及测量不确定度	(94)
第一节	质量测量审核的要求	(94)
第二节	检定与校准 M_1 等级砝码标准装置的建立及测量不确定度 评定	(97)
第三节	检定与校准 F_2 等级砝码标准装置的建立及测量不确定度 评定	(101)
第四节	检定与校准 F_1 等级砝码标准装置的建立及测量不确定度 评定	(105)
第五节	检定与校准 E_2 等级砝码标准装置的建立及测量不确定度 评定	(108)
第六节	检定与校准 E_1 等级砝码标准装置的建立及测量不确定度 评定	(112)

第一章 机械天平的示值误差测量 不确定度评定

第一节 TG328A 型机械天平的示值误差测量 不确定度评定

一、概述

1. 测量依据

JJG 98—2006 《机械天平》

OIML R111 砝码国际建议

JJF 1059—1999 《测量不确定度评定与表示》

2. 环境条件

温度 (18~26)℃, 温度波动不大于 0.5℃/h, 相对湿度不大于 75%。

3. 测量标准

E₂ 等级标准砝码。

4. 测量对象

TG328A 型机械分析天平, 分度值 0.1mg; 最大称量 200g, 用 10mgE₂ 等级标准砝码测量分度值, 其分度值允许误差: 空载+1/-2 分度, 全载±2 分度。

5. 测量过程

依据 JJG 98—2006 《机械天平》计量检定规程的规定, 用 E₂ 等级标准砝码直接测量天平的各项技术指标从而得出相应的示值误差参数。

6. 评定结果的使用

在符合上述条件下的测量结果, 一般可以直接使用不确定度的评定结果。

二、数学模型

$$\Delta m = I - m$$

式中: Δm ——TG328A 型机械分析天平示值误差;

I ——TG328A 型机械分析天平示值;

m ——E₂ 等级标准砝码值。

三、各输入量的标准不确定度的评定

本评定方法以 TG328A 型机械分析天平最大称量 200g 为例，而其他点的示值误差测量结果的不确定度参照此方法进行评定。

1. 天平全载的测量重复性引入的标准不确定度 u_1

天平全载的测量重复性，在重复性条件下连续测 10 次得到测量列，如表 1 所示。

表 1 全秤在重复性条件下连续测量 10 次测量值表

次 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/mg	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.12	0.12	0.08	0.08

平均值：

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i = 0.10\text{mg}$$

单次实验标准差为

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - \overline{\Delta m_c})^2} = 0.03\text{mg}$$

任选两台同型号 TG328A 型机械分析天平，对每台 TG328A 型机械分析天平进行 5 组测量，要求每组测量均在重复性条件下连续测量 10 次，这样就可以得到 10 组测量列。然后，对每组测量列按上述方法进行计算共得到 10 个单次实验标准差，见表 2 所示。

表 2 10 个单次实验标准差表

次 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实验标准差/mg	0.0132	0.0133	0.0131	0.0133	0.0132	0.0133	0.0134	0.0135	0.0133	0.0132

合并样本标准差为

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^2} = 0.03\text{mg}$$

实际工作中除了首次检定或校准是 10 次外，平时检定校准一台 TG328A 型机械分析天平示值重复性误差只有 6 次，则

$$s(\overline{m}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = s/\sqrt{6} = 0.03\text{mg}/2.4\text{mg} = 0.01\text{mg}$$

标准不确定度为： $u_1 = s(\overline{m}) = 0.01\text{mg}$

2. 天平机械挂砝码组和误差所用标准砝码而引入的标准不确定度

依据 JJG 99—2006《砝码》计量检定规程的规定，200gE₂ 等级标准砝码最大允许误差值是±0.3mg，扩展不确定度 U 为最大允许误差绝对值为 0.3mg 的 1/3，包含因子 $k=2$ ，因此其标准不确定度 u_2 为

$$u_2 = \frac{U}{k} = 0.1\text{mg}/2 = 0.05\text{mg}$$

四、合成标准不确定度的评定

1. 标准不确定度汇总表（见表 3）

表 3 标准不确定度汇总表

标准不确定度的分量	不确定度来源	标准不确定度
u_1	天平的测量重复性	0.01mg
u_2	天平全载挂砝码组合误差	0.05mg

2. 合成标准不确定度的计算

以上各分量相互独立，合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.01^2 + 0.05^2} = 0.05\text{mg}$$

五、扩展不确定度的评定

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.05 = 0.10\text{mg} \quad (k=2)$$

六、TG328A 型机械分析天平示值误差测量不确定度报告

TG328A 型机械分析天平在最大称量 200g 时的示值误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U = 0.10\text{mg} \quad (k=2)$$

在使用 TG328A 型机械分析天平时，采用的是精密衡量法而不是直接衡量法，可以不考虑天平横梁不等臂性误差对天平不确定度的贡献。

第二节 TG328B 型机械天平的示值
误差测量不确定度评定

一、概述

1. 测量依据

JJG 98—2006《机械天平》计量检定规程

OIML—R111 砝码国际建议

JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》

2. 环境条件

温度 (18~26)℃，温度波动不大于 0.5℃/h，相对湿度不大于 75%。

3. 测量标准

E₂ 等级标准砝码。

4. 测量对象

TG328B 型机械分析天平，检定标尺分度值 $e=0.1\text{mg}$ ；最大称量 200g。

5. 测量过程

依据 JJG 98—2006 《机械天平》计量检定规程的规定，用 E₂ 等级标准砝码直接测量 TG328B 天平的各项技术指标从而得出相应的示值误差参数。

6. 评定结果的使用

在符合上述条件下的测量结果，一般可以直接使用不确定度的评定结果。

二、数学模型

$$\Delta m = I - m$$

式中： Δm ——TG328B 型机械分析天平示值误差；

I ——TG328B 型机械分析天平示值；

m ——E₂ 等级标准砝码值。

三、各输入量的标准不确定度的评定

本评定方法以 TG328B 型机械分析天平最大称量 200g 为例，而其他点的示值误差测量结果的不确定度参照此方法进行评定。

1. 天平全载的测量重复性引入的标准不确定度 u_1

天平全载的测量重复性，在重复性条件下连续测 10 次得到测量列，如表 4 所示：

表 4 在重复性条件下连续测量 10 次测量值表

次 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/mg	0.20	0.20	0.20	0.20	0.24	0.22	0.22	0.24	0.24	0.24

平均值：

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i = 0.22\text{mg}$$

单次实验标准差为

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - \overline{\Delta m_c})^2} = 0.0189\text{mg}$$

任选两台同型号 TG328B 型机械分析天平，对每台 TG328B 型机械分析天

平进行 5 组测量，要求每组测量均在重复性条件下连续测量 10 次，这样就可以得到 10 组测量列。然后，对每组测量列按上述方法进行计算共得到 10 个单次实验标准差。见表 5 所示：

表 5 10 个单次实验标准差表

次 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实验标准差/mg	0.0180	0.0182	0.0185	0.0186	0.0188	0.0190	0.0187	0.0186	0.0189	0.0190

合并样本标准差为

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^n s_i^2} = 0.01863\text{mg}$$

实际工作中除了首次检定或校准是 10 次外，平时检定校准一台 TG328B 型机械分析天平示值重复性误差只有 6 次，则

$$s(\overline{m}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.01863\text{mg}/2.449 = 0.0076\text{mg}$$

标准不确定度为 $u_1 = s(\overline{m}) = 0.0076\text{mg}$

2. 测量天平灵敏度（分度值）引入的标准不确定度 u_3

测量天平灵敏度所用标准小砝码引入的标准不确定度 u_3 可以采用 B 类方法进行评定。

依据 JJG 99—2006《砝码》计量检定规程的规定，10mgE₂ 等级标准砝码最大允许误差值为±0.008mg，扩展不确定度 U 为最大允许误差值为 0.008mg 的三分之一，包含因子 $k=2$ ，因此，其标准不确定度 u_2 为：

$$u_2 = \frac{U}{k} = 0.0026\text{mg}/2 = 0.0013\text{mg}$$

四、合成标准不确定度的评定

1. 标准不确定度汇总表（见表 6）

表 6 标准不确定度汇总表

标准不确定度的分量	不确定度来源	标准不确定度
u_1	天平的测量重复性	0.0076mg
u_2	天平挂砝码组合误差	0.005mg

2. 合成标准不确定度的计算

以上各分量相互独立，合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.0076^2 + 0.005^2} = 0.009\text{mg}$$

五、扩展不确定度的评定

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.009\text{mg} = 0.02\text{mg} \quad (k=2)$$

六、TG328B 型机械分析天平测量结果的扩展不确定度报告

$$U = 0.02\text{mg} \quad (k=2)$$

在使用天平时,采用精密衡量法,而不是采用直接衡量法,就不考虑天平横梁不等臂性误差对天平不确定度的贡献。

第三节 GT2A 型机械天平的示值误差测量不确定度评定

一、概述

1. 测量依据

JJG 98—2006《机械天平》计量检定规程

OIML R111 砝码国际建议

JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》

2. 环境条件

温度 (18~26)℃, 温度波动不大于 0.5℃/h, 相对湿度不大于 75%。

3. 测量标准

E₂ 等级标准砝码。

4. 测量对象

GT2A 型机械分析天平, 检定标尺分度值 $e=0.1\text{mg}$; 最大称量 200g。

5. 测量过程

依据 JJG 98—2006《机械天平》计量检定规程的规定,用 E₂ 等级标准砝码直接测量天平的各项技术指标从而得出相应的示值误差参数。

6. 评定结果的使用

在符合上述条件下的测量结果,一般可以直接使用不确定度的评定结果。

二、数学模型

$$\Delta m = \bar{I} - m$$

式中: Δm ——GT2A 型机械分析天平示值误差;

$\bar{I}$ ——GT2A 型机械分析天平示值;

m ——E₂ 等级标准砝码值。

三、各输入量的标准不确定度的评定

本评定方法以 GT2A 型机械分析天平最大称量 200g 为例,而其他点的示值

误差测量结果的不确定度参照此方法进行评定。

1. 天平全载的测量重复性引入的标准不确定度 u_1

天平全载的测量重复性，在重复性条件下连续测 10 次得到测量列，如表 7 所示：

表 7 全秤在重复性条件下连续测量 10 次测量值表

次 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/mg	0.20	0.20	0.20	0.21	0.20	0.20	0.21	0.20	0.19	0.19

平均值：

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i = 0.20\text{mg}$$

单次实验标准差为

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_i - \overline{\Delta m_c})^2} = 0.0067\text{mg}$$

任选两台同型号 GT2A 型机械分析天平，对每台 GT2A 型机械分析天平进行 5 组测量，要求每组测量均在重复性条件下连续测量 10 次，这样就可以得到 10 组测量列。然后，对每组测量列按上述方法进行计算共得到 10 个单次实验标准差。见表 8 所示：

表 8 10 个单次实验标准差表

次 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实验标准差/mg	0.0065	0.0069	0.0067	0.0066	0.0067	0.0064	0.0067	0.0068	0.0062	0.0063

合并样本标准差为

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^2} = 0.00658\text{mg}$$

实际工作中除了首次检定或校准是 10 次外，平时检定校准一台 GT2A 型机械分析天平示值重复性误差只有 6 次，则

$$s(\overline{m}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = 0.00658\text{mg}/2.449 = 0.0027\text{mg}$$

标准不确定度为： $u_1 = s(\overline{m}) = 0.0027\text{mg}$

2. 测量

天平机械挂砝码组和误差所用标准砝码而引入的标准不确定度

依据 JJG 99—2006《砝码》计量检定规程的规定，1gE₂ 等级标准砝码最大

允许误差值是±0.03mg，扩展不确定度 U 为最大允许误差绝对值 0.03mg 的三分之一，包含因子 $k=2$ ，因此，其标准不确定度 u_2 为

$$u_2=\frac{U}{k}=0.01\text{mg}/2=0.005\text{mg}$$

四、合成标准不确定度的评定

1. 标准不确定度汇总表（见表 9）

表 9 标准不确定度汇总表

标准不确定度的分量	不确定度来源	标准不确定度
u_1	天平的测量重复性	0.0027mg
u_2	天平机械挂砝码组合误差	0.005mg

2. 合成标准不确定度的计算

以上各分量相互独立，合成标准不确定度为

$$u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2}=\sqrt{0.0027^2+0.005^2}=0.0057\text{mg}$$

五、扩展不确定度的评定

$$U=k\times u_c=2\times 0.0057=0.011\text{mg} \quad (k=2)$$

六、TG328A 型机械分析天平测量结果的扩展不确定度报告

$$U=0.011\text{mg} \quad (k=2)$$

在使用天平时，采用精密衡量法，而不是采用直接衡量法，也就是不拿天平简单的当秤使用，则不应考虑天平横梁不等臂性误差对天平不确定度的贡献。

第四节 DT-100 型机械单盘天平的示值误差
测量不确定度评定

一、概述

1. 测量依据

JJG 98—2006 《机械天平》

JJG 99—2006 《砝码》

JJF 1059—1999 《测量不确定度评定与表示》

2. 环境条件

温度 20.2℃，温度波动不大于 0.5℃/h，相对湿度不大于 75%。

3. 测量标准

E₂ 等级标准砝码。

4. 测量对象

DT-100 型机械单盘分析天平，分度值 0.1mg；最大称量 100g，用 100mgE₂ 等级标准砝码测量分度值。

5. 测量过程

依据 JJG 98—2006《机械天平》计量检定规程的规定，用 E₂ 等级标准砝码直接测量 DT-100 型机械单盘分析天平的各项技术指标从而得出相应的示值误差参数。

6. 评定结果的使用

在符合上述条件下的测量结果，一般可以直接使用不确定度的评定结果。

二、数学模型

$$\Delta m = \bar{I} - m$$

式中：Δm——DT-100 型机械分析天平示值误差；

$\bar{I}$ ——DT-100 型机械分析天平示值；

m——E₂ 等级标准砝码值。

三、各输入量的标准不确定度的评定

本评定方法以 DT-100 型机械分析天平最大称量 100g 为例，而其他点的示值误差测量结果的不确定度参照此方法进行评定。

1. 天平全载的测量重复性引入的标准不确定度 u_1

天平全载的测量重复性，在重复性条件下连续测 10 次得到测量列，如表 10 所示。

表 10 全秤在重复性条件下连续测量 10 次测量值表

次 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值/mg	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.04	0.02	0.02

平均值：

$$\overline{\Delta m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i = 0.014\text{mg}$$

单次实验标准差为

$$s=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^n(m_i-\overline{\Delta m})^2}=0.0135\text{mg}$$

任选两台同型号 DT-100 型机械分析天平，对每台 DT-100 型机械分析天平进行 5 组测量，要求每组测量均在重复性条件下连续测量 10 次，这样就可以得到 10 组测量列。然后，对每组测量列按上述方法进行计算共得到 10 个单次实验标准差。见表 11 所示：

表 11 10 个单次实验标准差表

次 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实验标准差/mg	0.0140	0.0132	0.0135	0.0136	0.0138	0.0140	0.0137	0.0136	0.0139	0.0140

合并样本标准差为

$$s_p=\sqrt{\frac{1}{m}\sum_{i=1}^ns_i^2}=0.01373\text{mg}$$

实际工作中除了首次检定或校准是 10 次外，平时检定校准一台 DT-100 型机械分析天平示值重复性误差只有 6 次，则

$$s(\overline{m})=\frac{s}{\sqrt{n}}=0.01373\text{mg}/2.449=0.0056\text{mg}$$

标准不确定度为 $u_1=s(\overline{m})=0.0056\text{mg}$

2. 测量

单盘天平机械挂砝码组和误差所用标准砝码而引入的标准不确定度

依据 JJG 99—2006《砝码》计量检定规程的规定，100gE₂ 等级标准砝码最大允许误差值是±0.16mg，扩展不确定度 U 为最大允许误差绝对值的 0.16mg 的三分之一，包含因子 k=2 因此其标准不确定度 u₂ 为：

$$u_2=\frac{U}{k}=0.053\text{mg}/2=0.0265\text{mg}$$

四、合成标准不确定度的评定

1. 标准不确定度汇总表（见表 12）

表 12 标准不确定度汇总表

标准不确定度的分量	不确定度来源	标准不确定度
u_1	单盘天平全秤量的测量重复性	0.0056mg
u_2	单盘天平机械挂砝码组和误差	0.0265mg