

JJF

中华人民共和国民用航空部门计量技术规范

JJF(民航) 0098—2020

代替 JJF(民航) 0098—2007

磁粉探伤机

Magnetic Particle Detector

2020-07-20 发布

2020-10-01 实施

中国民用航空局 发布

磁粉探伤机

校准规范

Calibration Specification for

Magnetic Particle Detector

JJF(民航) 0098—2020

代替 JJF(民航) 0098—2007

本规范经中国民用航空局2020年07月20日批准，并自2020年10月01日起施行。

归口单位：中国民用航空局航空器适航审定司

起草单位：北京飞机维修工程有限公司

本规范技术条文由起草单位负责解释。

本规范起草人：

周 博 （北京飞机维修工程有限公司）

姜 威 （北京飞机维修工程有限公司）

丁 政 （北京飞机维修工程有限公司）

陈 成 （北京飞机维修工程有限公司）

于荣浩 （北京飞机维修工程有限公司）

目 录

| | |
|---------------------|--------|
| 引言 | (I) |
| 1 范围 | (1) |
| 2 概述 | (1) |
| 3 计量特性 | (1) |
| 4 校准条件 | (3) |
| 5 校准项目 | (3) |
| 6 校准方法 | (3) |
| 7 校准结果 | (5) |
| 8 复校时间间隔 | (5) |
| 附录 A 校准证书格式 | (6) |
| 附录 B 校准证书内容 | (8) |
| 附录 C 不确定度评定方法 | (9) |
| 附录 D 不确定度评定示例 | (11) |

引 言

本规范参考 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》编制，其主要内容依据《ASTM E1444/E1444M—12》磁粉检测标准方法中质量控制项目相关章节、JB/T 8290—2011《无损检测仪器 磁粉探伤机》、QB 系列磁场快断测试仪操作说明编写。

本规范代替 JJG(民航) 0098—2007《台式磁粉探伤机检定规程》。除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 将台式磁粉探伤机检定规程更改为磁粉探伤机校准规范；
- 引言中使用《ASTM E1444/E1444M—12》替代《ASTM E1444—05》；
- 绝缘电阻中电源线各极对地的绝缘电阻不小于 $5\text{M}\Omega$ 改为 $2\text{M}\Omega$ （见 3.1）；
- 电流/时间校准设备电流 $200\text{ A}\sim 19\ 999\text{ A}$ 改为 $100\text{ A}\sim 19\ 990\text{ A}$ （见 3.2）；
- 允许误差 $\pm 1\%$ 改为 $\pm(1\% \text{的读数} + 2 \text{个字})$ （见 4.2.1）；
- 电流/时间校准设备时间 $0\text{ s}\sim 19.99\text{ s}$ 改为 $0.5\text{ s}\sim 1.0\text{ s}$ ，允许误差 $\pm 1\%$ 改为 $\pm(1\% \text{的读数} + 2 \text{个字})$ （见 4.2.1）；
- 校准方法中“检定点选取原则”进行更正（见 6.3）；
- 增加了 6.7 磁化时间的校准中的方法二（见 6.7.2）；
- 增加了 6.8 磁场快断的检查中的方法二（见 6.8.3）；
- 增加了不确定度评定方法和不确定度评定示例（参见附录 C 和附录 D）。

JJG(民航)0098 历次版本发布情况：JJG(民航) 0098—2007。

磁粉探伤机校准规范

1 范围

本规范适用于民用航空系统使用的磁粉探伤机的校准,不适用于电磁轭探伤机(仪)、旋转磁场探伤机(仪)等磁轭式磁粉探伤机(仪)的校准。

2 概述

2.1 用途

磁粉探伤机通过周向磁化、纵向磁化和复合磁化的方法,检查各种铁磁性材料制成的零件表面和近表面的裂痕等不连续的缺陷。磁粉探伤机广泛应用于管材、棒材、型材、焊接件、机加工件、锻件探伤中,在民用航空维修领域,主要应用于螺栓,螺母,刹车片和起落架等的无损检测。

2.2 组成

磁粉探伤机一般包括以下几个部分:磁化电源系统、工件夹持装置、指示与控制电路、磁粉与磁悬液喷洒装置、照明装置以及退磁装置等。根据其规模和用途,可以采用不同的组合形式。

2.3 工作原理

磁粉探伤机通过磁化电源系统对工件进行磁化,工件缺陷位置漏磁场的吸附作用使磁粉在缺陷处堆积,在合适的光照射条件下,显现出缺陷的位置和形状,达到无损检测的目的。

3 计量特性

3.1 绝缘电阻

电源线路与地之间的绝缘电阻不小于 $2\text{ M}\Omega$ 。

3.2 磁化电流

范围：100 A ~ 19 990 A

最大允许误差：小于 500 A：±50 A

大于 500 A：±10%的读数

3.3 磁化时间

范围：0.5 s ~ 1.0 s

最大允许误差：±0.1 s

3.4 磁场快断

方法一：使用氦泡式磁场快断测试仪：

测试总数：20 次

闪亮次数不少于测试总数的 80%。

方法二：使用 QB 系列磁场快断测试仪：

磁粉探伤机磁化线圈尺寸为 12 ft、16 ft、20 ft、25 ft 时，对应电压峰值读数应大于 8 V、6 V、4 V、3 V。

4 校准条件

4.1 环境条件

环境温度：(20±10) °C；

相对湿度：不大于 85%；

电源电压：380 V±10%或 220 V±10%；50 Hz；

周围应无影响正常工作的机械振动和电磁场干扰。

4.2 测量标准及其他设备

4.2.1 电流和时间校准设备

电流：标准设备的电流范围应覆盖磁粉探伤机电流使用范围。

最大允许误差：±(1%的读数+2 个字)

时间：0.5 s ~ 1.0 s

最大允许误差：±(1%的读数+2 个字)

4.2.2 兆欧表

端电压：500 V 或 1 000 V

最大允许误差：±10%

4.2.3 磁场快断测试仪

氖泡式磁场快断测试仪或QB系列磁场快断测试仪

4.2.4 示波器（可选）

时间：0.5 s ~ 5.0 s

脉冲宽度最大允许误差：±0.6%的读数

4.2.5 分流器（可选）

5 校准项目

校准项目如下：

- a) 通用技术要求检查；
- b) 绝缘电阻的检查；
- c) 纵向磁化电流的校准；
- d) 周向磁化电流的校准；
- e) 磁化时间的校准；
- f) 磁场快断的检查。

6 校准方法

6.1 通用技术要求检查

磁粉探伤机应无影响正常工作的机械损伤，各旋钮开关应操作灵活、接触可靠、定位准确。夹持装置，接线端等不应有松动现象。

被校磁粉探伤机的附件及文件应齐全。

6.2 绝缘电阻的检查

用兆欧表检查电源线各极与地的绝缘电阻，将检查结果填入附录A表A.1中。

6.3 交流和直流磁化电流校准点的选取原则

- 6.3.1 选取的最小电流校准值应为磁粉探伤机最大标称值的10%。
- 6.3.2 选取的最大电流校准值为磁粉探伤机最大标称值的100%。
- 6.3.3 应在上述范围内均匀选取至少5个校准点，含最大、最小电流校准值。也可以按用户使用要求选择校准点。

6.4 磁粉探伤机操作注意事项

- 6.4.1 将磁粉探伤机通电，预热30 min。
- 6.4.2 两次充磁之间至少间隔30 s。当分流器过热时，应等待分流器冷却后再进行测试。
- 6.4.3 当电流超过1 000 A时，充磁时间不能超过1 s。

6.5 纵向磁化电流的校准

- 6.5.1 将电流和时间校准设备的分流器串联接入磁粉探伤机纵向磁化线圈回路中。
- 6.5.2 将磁粉探伤机置于纵向直流充磁方式。
- 6.5.3 按磁化电流校准点的选取原则，将预置电流依次设置为选取的校准点，每一校准点测量三次，每次测量结果均需满足允许误差的要求。
- 6.5.4 按压充磁按钮，使纵向线圈通电，读取电流和时间校准设备以及磁粉探伤机的电流示值，分别计算各自每一校准点三次测量结果的平均值，将电流示值和平均值分别填入附录A表A.2中。
- 6.5.5 将磁粉探伤机置于纵向交流充磁方式，重复6.5.3和6.5.4步骤，将电流示值和平均值分别填入附录A表A.3中。

6.6 周向磁化电流的校准

- 6.6.1 将电流和时间校准设备的分流器串联接入周向磁化回路中。
- 6.6.2 将磁粉探伤机置于周向直流充磁方式。

6.6.3 按磁化电流校准点的选取原则，将预置电流依次设置为选取的校准点，每一校准点测量三次，每次测量结果均需满足允许误差的要求。

6.6.4 按压充磁按钮，使周向回路通电，读取电流和时间校准设备以及磁粉探伤机的电流示值，分别计算各自每一校准点三次测量结果的平均值，将电流示值和平均值分别填入附录A表A.4中。

6.6.5 将磁粉探伤机置于周向交流充磁方式，重复6.6.3和6.6.4步骤，将电流示值和平均值分别填入附录A表A.5中。

6.7 磁化时间的校准

6.7.1 方法一：电流和时间校准设备校准法

6.7.1.1 将电流和时间校准设备的分流器串联接入周向磁化回路中。

6.7.1.2 将磁粉探伤机置于周向充磁方式。

6.7.1.3 依次设置磁化时间为0.5 s、0.6 s、0.7 s、0.8 s、0.9 s和1 s，磁化时间为固定值的磁粉探伤机只校准该固定值点。

6.7.1.4 将预置电流置于500 A，按压充磁按钮，使周向电路通电，每一磁化时间测量三次，读取电流和时间校准设备的时间显示器示值，计算每一磁化时间三次测量结果的平均值，将时间示值和平均值分别填入附录A表A.6中。

6.7.2 方法二：示波器校准法

6.7.2.1 将分流器串联接入周向磁化回路中，并将示波器并联于分流器两端。

6.7.2.2 将磁粉探伤机置于周向充磁方式。

6.7.2.3 依次设置磁化时间为0.5 s、0.6 s、0.7 s、0.8 s、0.9 s和1 s，磁化时间为固定值的磁粉探伤机只校准该固定值点。

6.7.2.4 将预置电流置于500 A，按压充磁按钮，使周向电路通电，每一磁化时间测量三次。

6.7.2.5 设置示波器，使示波器可以稳定显示脉冲波形，读取示波器脉冲宽度，计算每一磁化时间三次测量结果的平均值，将时间示值和平均值分别填入附录A表A.6中。

6.8 磁场快断的检查

若磁粉探伤机无三相全波整流方式，则不需要进行此部分检查。

6.8.1 方法一：氦泡式磁场快断测试仪检查法

6.8.2.1 将氦泡式磁场快断测试仪置于磁粉探伤机纵向磁化线圈工作平面上。

6.8.2.2 设置磁粉探伤机的电流为2 000 A，设置磁化时间为0.5 s。

6.8.2.3 按压充磁按钮20次，观察磁场快断指示灯是否闪亮，将闪亮次数填入附录A表A.7中。

6.8.2 方法二：QB系列磁场快断测试仪检查法

6.8.3.1 将QB系列磁场快断测试仪试棒置于磁场线圈工作平面上。

6.8.3.2 设置磁粉探伤机的输出为15 000安匝，设置磁化时间为0.5 s。

注：安匝为输出电流与线圈匝数的乘积。

6.8.3.3 按压充磁按钮，检查电压峰值读数，将读数填入附录A表A.8中。

7 校准结果

经校准的磁粉探伤机出具校准证书，校准证书记录格式见附录A，校准证书内容见附录B，测量不确定度评定方法见附录C，不确定度评定示例见附录D。

8 复校时间间隔

磁粉探伤机的复校时间间隔一般不超过6个月，必要时可随时校准。

附录 A

校准证书记录格式

计量器具名称 _____ 型 号 规 格 _____
 制 造 厂 _____ 设 备 编 号 _____
 出 厂 编 号 _____ 送 校 单 位 _____
 环 境 温 度 _____ 相 对 湿 度 _____
 校 准 结 果 _____

校 准 员 _____ 核 验 员 _____ 校 准 日 期 _____

外观检查: _____

A.1 绝缘电阻的检查

表 A.1

| 测试点 | 技术指标 | 结果 MΩ |
|-------|--------------------------|-------|
| A 相与地 | $\geq 2 \text{ M}\Omega$ | |
| B 相与地 | | |
| C 相与地 | | |
| 零线与地 | | |

A.2 纵向直流磁化电流的校准

表 A.2

A

| 校准点 | 电流和时间设备示值 | | | | 磁粉探伤机示值 | | | | 误差 | 最大允许误差 |
|-----|-----------|---|---|----|---------|---|---|----|----|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 平均 | 1 | 2 | 3 | 平均 | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

A.3 纵向交流磁化电流的校准

表 A.3

A

| 校准点 | 电流和时间设备示值 | | | | 磁粉探伤机示值 | | | | 误差 | 允差 |
|-----|-----------|---|---|----|---------|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 平均 | 1 | 2 | 3 | 平均 | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

A.4 周向直流磁化电流的校准

表 A.4

A

| 校准点 | 电流和时间设备示值 | | | | 磁粉探伤机示值 | | | | 误差 | 允差 |
|-----|-----------|---|---|----|---------|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 平均 | 1 | 2 | 3 | 平均 | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

A.5 周向交流磁化电流的校准

表 A.5

A

| 校准点 | 电流和时间设备示值 | | | | 磁粉探伤机示值 | | | | 误差 | 允差 |
|-----|-----------|---|---|----|---------|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 平均 | 1 | 2 | 3 | 平均 | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

A.6 磁化时间的校准

表 A.6

S

| 磁化时间 | 电流和时间设备示值 | | | | 误差 | 允差 |
|------|-----------|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 平均 | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

A.7 磁场快断的检查

表 A.7

| 测试总数 | 闪亮次数技术要求 | 实际闪亮次数 |
|------|----------|--------|
| 20 次 | 不少于 16 次 | |

A.8 磁场快断的检查

表 A.8

| 线圈尺寸 | 峰值电压技术要求 | 峰值电压读数实测值 |
|------|----------|-----------|
| ft | V | V |
| 12 | >8 | |
| 16 | >6 | |
| 20 | >4 | |
| 25 | >3 | |

附录 B

校准证书内容

校准证书的内容应排列有序、清晰，一般应包括下列内容：

- a) 标题“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页的标识；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性的应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的说明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

附录 C

不确定度评定方法

C.1 评定依据

参照 JJF1059.1 《测量不确定度评定与表示》进行评定。

C.2 磁粉探伤机不确定度评定种类

对磁粉探伤机的磁化电流和磁化时间进行不确定度评定。

C.3 产生不确定度的来源

不确定度的来源有：

- 在重复性条件下被测量在 n 次观测中的变化；
- 标准装置本身带来的不确定度；
- 测量过程中由环境变化带来的不确定度，如温度、相对湿度、电源电压不稳定等；
- 仪表的分辨力带来的不确定度。

C.4 测量不确定的评定方法

C.4.1 测量不确定度 A 类评定

对磁粉探伤机输出在某一点进行 n 次重复性测量。 n 一般不少于 10。用公式(C.1)（贝塞尔公式）计算试验标准差。

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{C.1})$$

式中： $s(x_i)$ ——实验标准差；

n ——测量次数；

x_i ——第 n 次的测量结果；

\bar{x} —— n 次测量结果的算术平均值。

用公式 (C. 2) 计算测量结果的标准不确定度 $u(\bar{x})$ ：

$$u(\bar{x}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \quad (\text{C. 2})$$

式中： $u(\bar{x})$ —— 标准不确定度；

$s(x_i)$ —— 实验标准差；

n —— 测量次数。

C. 4. 2 测量不确定度 B 类评定

C. 4. 2. 1 标准装置引入的不确定度

若标准器检定或校准证书上出具了不确定度，可直接引用在测量点上的标准不确定度，需注意的是应为合成标准不确定度；若标准器检定或校准证书上未出具不确定度，可引用标准器在此测量点上通过准确度或允差计算得到的不确定度。

C. 4. 2. 2 仪表分辨力引入的不确定度

由于测量仪表既为标准器，所以此项指标无需重复评定。

C. 4. 2. 3 测量过程中环境的变化带来的不确定度

由温度、相对湿度、电源电压不稳定等带来的影响，若环境条件为标准条件，此影响可忽略不计。

C. 4. 3 合成标准不确定度 u_c 的评定

在各输入量彼此独立的条件下，用公式 (C. 3) 计算合成标准不确定度 u_c 。

$$u_c = \sqrt{\sum_{k=1}^n u_k^2} \quad (\text{C. 3})$$

式中： u_c —— 合成标准不确定度；

n —— 标准不确定度来源个数；

u_k ——第 k 个来源的不确定度。

C.5 扩展不确定度 U 的评定

用公式(C.4)计算扩展不确定度 U 。

$$U = k u_c \quad (\text{C.4})$$

式中： k 为包含因子，一般取 2。

附录 D

不确定度评定示例

D.1 磁化电流的不确定度评定

D.1.1 技术指标

标准装置 ATS-20B 的技术指标如下：

| 项目 | 技术指标(1年) |
|-----------|----------|
| 校准点最大允许误差 | ±10 A |

磁粉探伤机的技术指标如下：

| 项目 | 校准点 | 最大允许误差 |
|------|---------|--------|
| 磁化电流 | 1 000 A | ±100 A |

数据记录如下：

| 标称电流 | 标准装置显示值 | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 000 A | 1 012 A | 1 021 A | 1 013 A | 1 022 A | 1 013 A |
| 标称电流 | 标准装置显示值 | | | | |
| 1 000 A | 1 018 A | 1 024 A | 1 014 A | 1 016 A | 1 019 A |

D.1.2 A类标准不确定度评定

用公式 (C.1) 计算试验标准差，得到：

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 4.24 \text{ (A)}$$

用公式 (C.2) 计算测量结果的标准不确定度，得到：

$$u_a = s(x_i) / \sqrt{10} \approx 1.3 \text{ (A)}$$

D.1.3 B类标准不确定度评定

D. 1. 3. 1 标准装置的不确定度

D. 1. 3. 1. 1 按照在 1 年有效期内的指标得到:

$$a_1=10 \text{ A}$$

为均匀分布, $k_1=1.732$, 故:

$$u_b = a_1 / k_1 = 10 / 1.732 = 5.77 \text{ (A)}$$

D. 1. 3. 1. 2 测量过程中由环境变化带来的不确定度, 如温度、相对湿度、电源电压不稳定等。

D. 1. 3. 1. 3 由温度、相对湿度、电源电压不稳定等带来的影响, 因为环境条件为标准条件, 顾此影响可忽略不计。

D. 1. 3. 1. 4 由于测量仪表既为标准器, 因此仪表的分辨力带来的不确定度无需重复评定。

D. 1. 3. 1. 5 不确定度分量一览表如下所示:

| 序号 | 不确定度来源 | 类型 | a_i | 分布 | k_i | u_i |
|----|---------|-----|-------|----|-------|--------|
| 1 | 测量结果重复性 | A 类 | —— | —— | —— | 1.3 A |
| 2 | 标准装置 | B 类 | 10 A | 均匀 | 1.732 | 5.77 A |

D. 1. 4 合成标准不确定度 u_c 的评定

用公式(C. 3)计算合成标准不确定度, 得到:

$$u_c = \sqrt{u_a^2 + \sum_{k=1}^n u_{bk}^2} = \sqrt{u_a^2 + u_b^2} = \sqrt{(1.3)^2 + (5.77)^2} = 5.91 \text{ (A)}$$

D. 1. 5 扩展不确定度 U 的评定

一般情况下, 置信区间为 95%, $k=2$, 得到:

$$U = k u_c = 11.8 \text{ A}$$

D. 1. 6 报告测量结果

在被检磁粉探伤机输出直流 1 000 A 时, 经过 10 次重复测量得到的平均值为 1 017.2 A, 其扩展不确定度为 $U=11.8 \text{ A}(k=2)$, 置信水平为 95%。由于被检

磁粉探伤机测量呈线性，其相对扩展不确定度为 $U_{\text{rel}}=1.2 \times 10^{-2}$ 。

D.2 磁化时间(方法一)的不确定度评定

D.2.1 技术指标

标准装置 ATS-20B 的技术指标如下：

| 项目 | 技术指标(1年) |
|-----------|----------------------|
| 校准点最大允许误差 | $\pm 0.01 \text{ s}$ |

磁粉探伤机的技术指标如下：

| 项目 | 校准点 | 最大允许误差 |
|------|-----|---------------------|
| 磁化电流 | 1 s | $\pm 0.1 \text{ s}$ |

数据记录如下：

| 标称电流 | 标准装置显示值 | | | | |
|------|---------|------|------|------|------|
| 1s | 1.00 | 1.01 | 1.01 | 1.00 | 0.99 |
| 标称电流 | 标准装置显示值 | | | | |
| 1s | 1.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.99 |

D.2.2 A类标准不确定度评定

用公式(C.1)计算试验标准差，得到：

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 7.38 \text{ (ms)}$$

用公式(C.2)计算测量结果的标准不确定度，得到：

$$u_a = s(x_i) / \sqrt{10} \approx 2.3 \text{ (ms)}$$

D.2.3 B类标准不确定度评定

D.2.3.1 标准装置的不确定度

D.2.3.1.1 按照在 1 年有效期内的指标得

$$a_1=0.01 \text{ s}$$

为均匀分布， $k_1=1.732$ ，故：

$$u_b = a_1 / k_1 = 0.01 / 1.732 = 5.77 \text{ (ms)}$$

D.2.3.1.2 测量过程中由环境变化带来的不确定度，如温度、相对湿度、电源电压不稳定等

D.2.3.1.3 由温度、相对湿度、电源电压不稳定等带来的影响，因为环境条件为标准条件，顾此影响可忽略不计。

D.2.3.1.4 由于测量仪表既为标准器，所以仪表的分辨力带来的不确定度无需重复评定。

D.2.3.1.5 不确定度分量一览表如下：

| 序号 | 不确定度来源 | 类型 | a_i | 分布 | k_i | u_i |
|----|---------|-----|-------|----|-------|---------|
| 1 | 测量结果重复性 | A 类 | —— | —— | —— | 2.3 ms |
| 2 | 标准装置 | B 类 | 10 ms | 均匀 | 1.732 | 5.77 ms |

D.2.4 合成标准不确定度 u_c 的计算

用公式(C.3)计算合成标准不确定度，得到：

$$u_c = \sqrt{u_a^2 + \sum_{k=1}^n u_{bk}^2} = \sqrt{u_a^2 + u_b^2} = \sqrt{(2.3)^2 + (5.77)^2} = 6.21 \text{ (ms)}$$

D.2.5 扩展不确定度 U 的评定

一般情况下，置信区间为 95%，我们取 $k=2$

$$U = ku_c = 12.4 \text{ ms}。$$

D.2.6 报告测量结果

所以，在被检磁粉探伤机磁化时间为 1 s 时，指示值为 1.00 s，其扩展不确定度为 $U=12.4 \text{ ms}(k=2)$ ，置信水平为 95%。由于被检磁粉探伤机测量呈线性，其相对扩展不确定度为 $U_{\text{rel}}=1.2 \times 10^{-2}$ 。

D.3 磁化时间（方法二）的不确定度评定

D.3.1 技术指标

标准装置 DS06054A 的技术指标为：

同一通道：±0.0015%读数±0.1%屏幕宽度±20 ps

磁粉探伤机的技术指标如下：

| 项目 | 校准点 | 最大允许误差 |
|------|-----|--------|
| 磁化电流 | 1 s | ±0.1 s |

D.3.2 A类标准不确定度 $u(t_d)$

$u(t_d)$ 采用“示值基准法”在同一点上通过连续测量得到测量列，采用A类方法进行评定。

在校准脉冲参数时间间隔为1 s时，用DSO6054A示波器对其进行10次连续测量，得到如表所示的测量数据：

表 D.1 (s)

| 次数 n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| x_i | 1.002 | 1.001 | 1.000 | 1.002 | 1.001 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.002 | 1.001 |

用公式(C.1)计算试验标准差，得到：

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 8.76 \times 10^{-4} \quad (\text{s})$$

用公式(C.2)计算测量结果的标准不确定度，得到：

$$u(t_d) = s(x_i) / \sqrt{10} \approx 2.8 \times 10^{-4} \quad (\text{s})$$

D.3.2 B类不确定度 $u(t_s)$ 的评定

D.3.2.1 DS06054A 由于测量误差引入的不确定度分量，为手册中给出的技术指

标。示波器设置为 0.1s/div 不确定度分量为：

$$U_{ts} = 1.0009 \times 0.0015\% + 1 \times 0.1\% + 0.00002 = 12.2 (\mu\text{s})$$

D. 3. 2. 2 因为有明确的计算公式，其可靠性较高，查均匀分布在置信概率为 100%时的包含因子 $k = \sqrt{3} = 1.732$

D. 3. 2. 3 测量函数发生器时间间隔引入的不确定度分量为：

$$u_{ts} = \frac{U_{ts}}{\sqrt{3}} = 7.05 (\mu\text{s})$$

D. 3. 4 合成标准不确定度的计算

输入量 t_d 、 t_s 相互间彼此独立。用公式 (C. 3) 计算测量点时间间隔为 8 μs 时的合成标准不确定度 u_c ，得到：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{[u(t_d)]^2 + [u(t_s)]^2} \approx 2.8 \times 10^{-4} (\text{s})$$

D. 3. 5 扩展不确定度的评定

用公式 (C. 4) 计算扩展不确定度 U ，得到：

$$U = 2.8 \times 10^{-4} \times 2 = 5.6 \times 10^{-4} (\text{s}) \quad k=2$$

$$U_{rel} = 5.6 \times 10^{-4} \text{s} / 1\text{s} = 0.056\%$$