

中华人民共和国工业和信息化部

电子计量技术规范

**JJF**(电子) 0037─2022

飞机雷电冲击电流试验仪校准规范

Calibration Specification for Aircraft Lightning Impulse Current Tester

（报批稿）

××××-××-××发布 ××××-××-××实施

**中华人民共和国工业和信息化部** 发 布

**JJF(电子) ××××**─**×××**

飞机雷电冲击电流试验仪校准规范

Calibration Specification for Aircraft Lightning Impulse Current Tester

归 口 单 位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：工业和信息化部电子第五研究所

参加起草单位：广州赛宝计量检测中心服务有限公司

苏州泰思特电子科技有限公司

西安爱邦电磁技术有限责任公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

谭艳清 （工业和信息化部电子第五研究所）

曾宪金 （工业和信息化部电子第五研究所）

方 霓 （工业和信息化部电子第五研究所）

参加起草人：

张 成 （广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

惠晓晖 （苏州泰思特电子科技有限公司）

刘 凯 （西安爱邦电磁技术有限责任公司）

目 录

[引 言 II](#_Toc99806075)

[1 范围 1](#_Toc99806076)

[2 引用文件 1](#_Toc99806077)

[3. 术语和计量单位 1](#_Toc99806078)

[4 概述 3](#_Toc99806079)

[5 计量特性 4](#_Toc99806080)

[5.1 电流分量A 4](#_Toc99806081)

[5.2 电流分量Ah 4](#_Toc99806082)

[5.3 电流分量A/5 4](#_Toc99806083)

[5.4 电流分量B 4](#_Toc99806084)

[5.5 电流分量C 4](#_Toc99806085)

[5.6 电流分量C\* 4](#_Toc99806086)

[5.7 电流分量D 4](#_Toc99806087)

[6 校准条件 5](#_Toc99806088)

[6.1 环境条件 5](#_Toc99806089)

[6.2 测量标准及其他设备 5](#_Toc99806090)

[7 校准项目和校准方法 5](#_Toc99806091)

[7.1 校准项目 5](#_Toc99806092)

[7.2 校准方法 6](#_Toc99806093)

[8 校准结果表达 10](#_Toc99806094)

[9 复校时间间隔 11](#_Toc99806095)

[附录A 12](#_Toc99806096)

[附录B 15](#_Toc99806097)

[附录C 18](#_Toc99806098)

# 引 言

本规范依据JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量名词术语》和JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

飞机雷电冲击电流试验仪校准规范

# 1 范围

本规范适用于新制造、使用中及修理后的飞机雷电直接效应测试系统中雷电冲击电流试验仪的校准。

# 2 引用文件

GB/T 16927.4-2014 《高电压和大电流试验技术 第4部分：试验电流和测量系统的定义和要求》

GJB1389A-2005《系统电磁兼容性要求》

GJB 2639-1996 《军用飞机雷电防护》

GJB 3567-1999 《军用飞机雷电防护鉴定试验方法》

HB 6129-1987 《飞机雷电防护要求及试验方法》

HB 6167.25-2014《民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第25部分：雷电直接效应试验》

JJF(浙)1110-2015 《冲击电流试验仪校准规范》

RTCA DO-160G 《机载设备环境条件和实验方法（Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment）》

注：凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

# 3. 术语和计量单位

3.1 雷电冲击波lightning shock wave

自然界大气中带不同静电的云层击穿空气放电时所产生的瞬态电压或瞬态电流波形。雷电冲击电流波形参数通常包含电流峰值、上升时间、持续时间、电荷传递量、作用积分。

3.1.1 上升时间 rising time

波形的上升时间*T*1被定义为10%峰值电流上升到90%峰值电流所需要的时间。

3.1.2持续时间 duration

波形的持续时间*T2*被定义为从波形起始点到波形幅值（振荡衰减曲线为峰值）下降到它的起始峰值1%的时间。

3.1.3 电荷传递量 charge transfer

当波形表示电流时，电流量*i*(t)在持续时间*T*上的积分，即为电荷传递量*Q*，其单位为A.s或C。

电荷传递量可用式（1）表达。它等于波形下面所包围的面积，如图3所示。

(1)

3.1.4 作用积分 action integral

当波形表示电流时，其作用积分是电流传递能量的能力的度量，为电流量*i*(t)的平方在持续时间*T*上的积分，单位为A2.s。如式（2）所示：

(2)

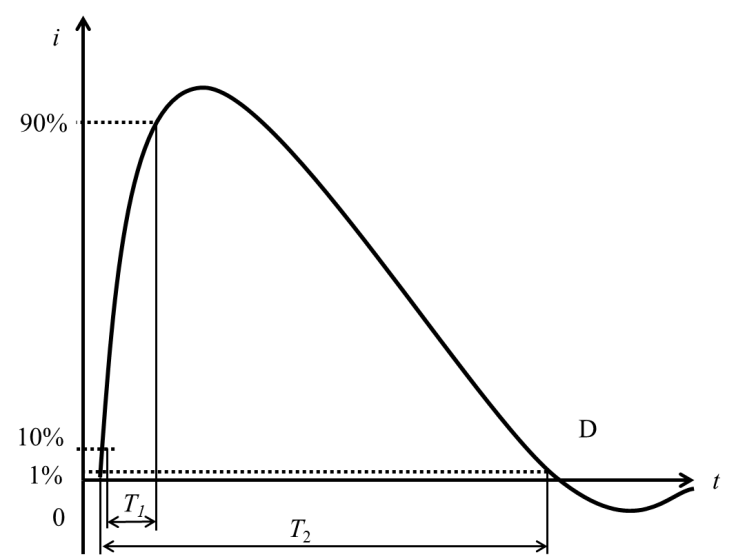


图1 指数型雷电冲击波形及参数

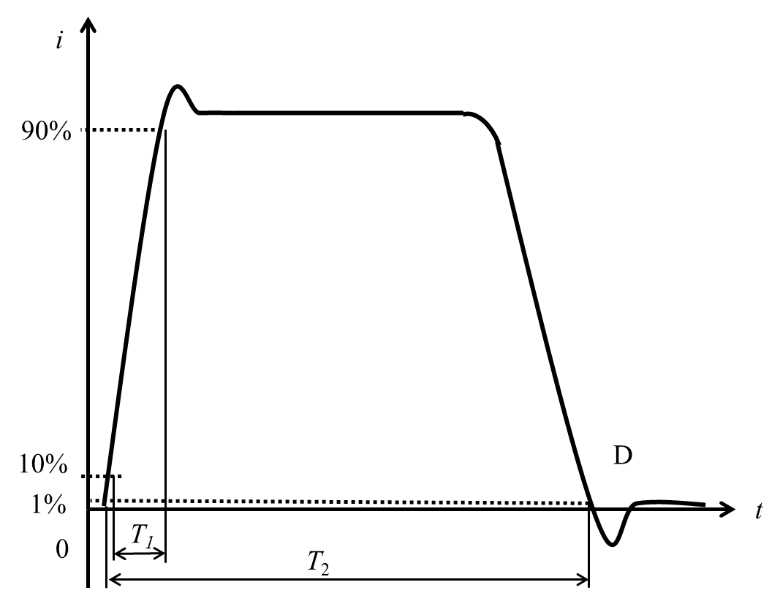


图2 矩形雷电冲击波形及参数

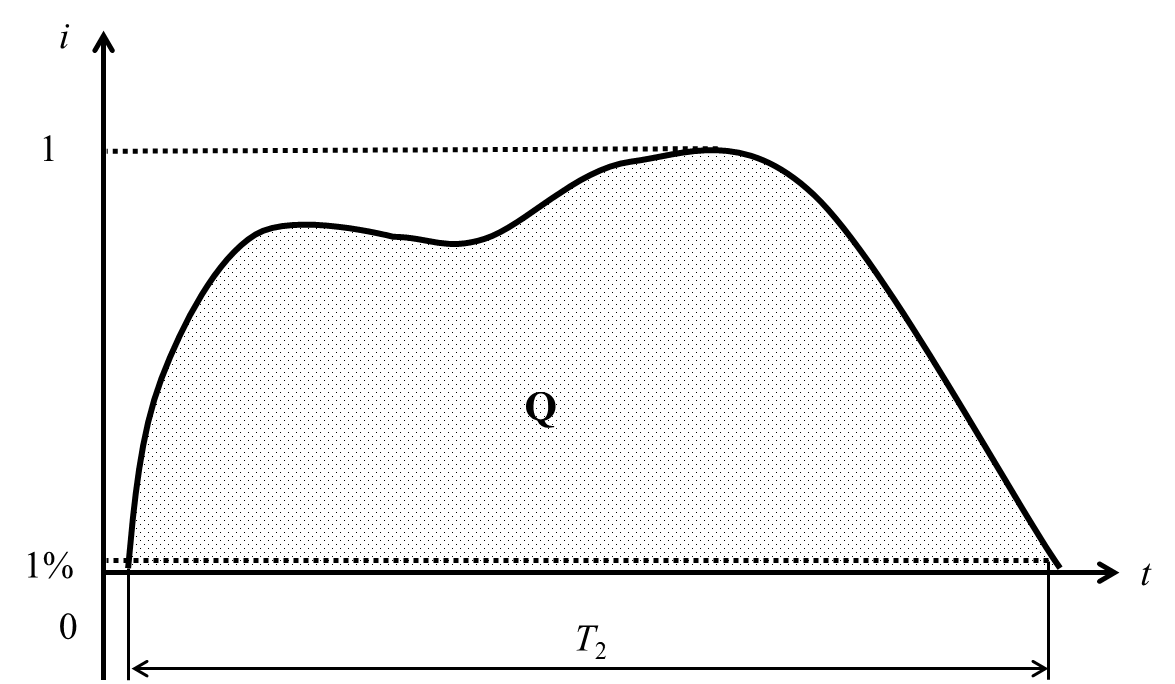


图3 电流波形的电荷传递量

# 4 概述

飞机雷电直接效应冲击电流试验是飞机系统电磁兼容性（强电磁环境）试验的关键测试项目，近年来在飞机的设计、试验、生产等环节发挥着不可替代的作用。飞机雷电冲击电流试验仪是用于飞机雷电直接效应冲击电流试验的关键设备。

飞机雷电直接效应冲击电流分量共4个，分别为电流分量A-初始高峰电流、电流分量B-中间电流、电流分量C-持续电流、电流分量D-重复放电电流，如图4所示。根据试验部位和试验等级，还可以增加电流分量Ah-过渡区域电流、电流分量A/5-电弧引入电流，电流分量C\*-扫掠附着区域上短暂持续电流。

根据鉴定试验的要求，这些电流分量可单独使用，也可以两个或多个分量组合使用。

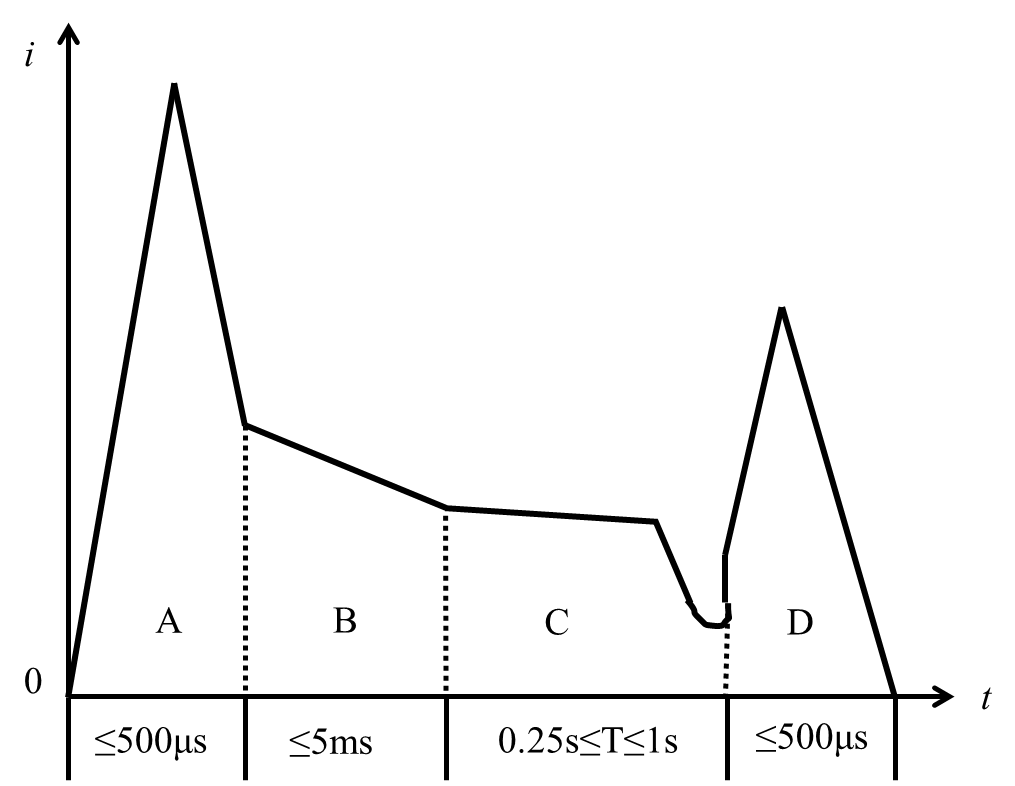


图4 雷电冲击电流示意图

# 5 计量特性

## 5.1 电流分量A

冲击电流峰值：200kA，最大允许误差：±10%。

上升时间：≤50µs。

持续时间：*T*≤500μs。

作用积分：2×106 A2·s ，最大允许误差：±20%。

## 5.2 电流分量Ah

冲击电流峰值：150kA，最大允许误差：±10%。

上升时间：≤50µs。

持续时间：*T*≤500μs。

作用积分：0.8×106 A2·s ，最大允许误差：±20%。

## 5.3 电流分量A/5

冲击电流峰值：40kA，最大允许误差：±10%。

上升时间：≤50µs。

持续时间：*T*≤500μs。

作用积分：0.08×106 A2·s ，最大允许误差：±20%。

## 5.4 电流分量B

平均电流幅值：2 kA，最大允许误差：±20%。

持续时间：5ms，最大允许误差：±10%。

电荷传递量：10C，最大允许误差：±10%。

## 5.5 电流分量C

平均电流幅值：200A ~ 800A。

持续时间：0.25s≤*T*≤1s。

电荷传递量：200C，最大允许误差：±20%。

## 5.6 电流分量C\*

平均电流幅值：≥400A。

持续时间：45ms，最大允许误差：±20%。

电荷传递量：18C，最大允许误差：±20%，

## 5.7 电流分量D

冲击电流峰值：100 kA，最大允许误差：±10%。

上升时间：≤25µs。

持续时间：*T*≤500μs。

作用积分：0.25×106A2·s，最大允许误差：±20%。

# 6 校准条件

## 6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(15-25)℃。

6.1.2 相对湿度：≤85%。

6.1.3 环境压力：(84-107) kPa。

6.1.4 电源电压及频率：(220±22)V，(50±1)Hz；或(380±38)V，(50±1)Hz。

6.1.5 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.1.6 实验室须接地良好，接地电阻≤0.5Ω。

## 6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 数字示波器

频带宽度：≥100 MHz；

幅值测量最大允许误差：±2%；

时基最大允许误差：±2×10-5；

具备波形积分运算功能。

6.2.2 电流探头

脉冲电流峰值：≥200 kA；

带宽：≥1 MHz；

电压/电流转换比率最大允许误差：±1%。

# 7 校准项目和校准方法

## 7.1 校准项目

校准项目见表1。

表1 校准项目一览表

| 序号 | 校准项目 | 校准方法条款 |
| --- | --- | --- |
|  | 外观及工作正常性检查 | 7.2.1 |
|  | 电流波形A | 7.2.2 |
|  | 电流波形Ah | 7.2.3 |
|  | 电流波形A/5 | 7.2.4 |
|  | 电流波形B | 7.2.5 |
|  | 电流波形C | 7.2.6 |
|  | 电流波形C\* | 7.2.7 |
|  | 电流波形D | 7.2.8 |

## 7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

飞机雷电冲击电流试验仪外观应无缺陷，且无影响正常工作及正确读数的机械损伤；有专用的接地端钮并良好接地。外壳上应标明名称、生产厂家、型号、编号等信息。通电预热后试验仪各功能应正常。开关、旋钮、按键插座应通断分明，旋转灵活平滑、换位准确、连接牢固。

7.2.2 电流分量A校准

飞机雷电冲击电流试验仪

电流探头

数字示波器

图5 冲击电流峰值校准示意图

7.2.2.1 电流分量A的校准连接如图5所示。

7.2. 2.2 试验仪及示波器开机预热半小时以上。

7.2.2.3将示波器调节至合适的幅值、时间档和触发模式，打开示波器波形积分运算功能。

7.2.2.4 设置示波器的电流补偿倍数和电流探头的转换比率相同。

7.2.2.5 设置飞机雷电冲击电流试验仪输出极性，调节至需校准点，启动测试。

7.2.2.6将示波器捕捉到的电流波形存储，并将冲击电流峰值、上升时间和持续时间记录在附录A表A.2中。

7.2.2.7 冲击电流峰值的相对误差按公式（3）计算，并记录在附录A表A.2中。

（3）

式中：Δ—冲击电流峰值的相对误差；

—冲击电流峰值的指示值，kA；

—冲击电流峰值的实际值，kA。

7.2.2.8 作用积分通过式（2）计算得到，并记录在附录A表A.2中。

7.2.2.9 作用积分的相对误差按公式（4）计算，并记录在附录A表A.2中。

（4）

式中：Δ—冲击电流峰值的相对误差；

—冲击电流峰值的指示值，A2.s；

—冲击电流峰值的实际值，A2.s。

7.2.2.10 调节飞机雷电冲击电流试验仪的极性和输出电流，按照7.2.2.3~7.2.2.9步骤中的方法校准下一点，并将测量结果记录在附录A表A.2中。

7.2.2.11 校准完毕，将飞机雷电冲击电流试验仪输出调节到零，关闭设备或执行后续校准项目。

7.2.3 电流分量Ah校准

7.2.3.1 电流分量Ah的校准连接如图5所示。

7.2.3.2 试验仪及示波器开机预热半小时以上。

7.2.3.3将示波器调节至合适的幅值、时间档和触发模式，打开示波器波形积分运算功能。

7.2.3.4 设置示波器的电流补偿倍数和电流探头的转换比率相同。

7.2.3.5 设置飞机雷电冲击电流试验仪输出极性，调节至需校准点，启动测试。

7.2.3.6将示波器捕捉到的电流波形存储，并将冲击电流峰值、上升时间和持续时间记录在附录A表A.3中。

7.2.3.7 冲击电流峰值的相对误差按公式（3）计算得到，作用积分通过式（2）计算得到，作用积分的相对误差按公式（4）计算得到，并记录在附录A表A.3中。

7.2.3.8 调节飞机雷电冲击电流试验仪的极性和输出电流，按照7.2.3.3~7.2.3.7步骤中的方法校准下一点，并将测量结果记录在附录A表A.3中。

7.2.3.9 校准完毕，将飞机雷电冲击电流试验仪输出调节到零，关闭设备或执行后续校准项目。

7.2.4 电流分量A/5校准

7.2.4.1 电流分量A/5的校准连接如图5所示。

7.2.4.2 试验仪及示波器开机预热半小时以上。

7.2.4.3将示波器调节至合适的幅值、时间档和触发模式，打开示波器波形积分运算功能。

7.2.4.4 设置示波器的电流补偿倍数和电流探头的转换比率相同。

7.2.4.5 设置飞机雷电冲击电流试验仪输出极性，调节至需校准点，启动测试。

7.2.4.6 将示波器捕捉到的电流波形存储，并将冲击电流峰值、上升时间和持续时间记录在附录A表A.4中。

7.2.4.7 冲击电流峰值的相对误差按公式（3）计算得到，作用积分通过式（2）计算得到，作用积分的相对误差按公式（4）计算得到，并记录在附录A表A.4中。

7.2.4.8 调节飞机雷电冲击电流试验仪的极性和输出电流，按照7.2.4.3~7.2.4.7步骤中的方法校准下一点，并将测量结果记录在附录A表A.4中。

7.2.4.9 校准完毕，将飞机雷电冲击电流试验仪输出调节到零，关闭设备或执行后续校准项目。

7.2.5 电流分量B校准

7.2.5.1 电流分量B的校准连接如图5所示。

7.2.5.2试验仪及示波器开机预热半小时以上。

7.2.5.3将示波器调节至合适的幅值、时间档和触发模式，打开示波器波形积分运算功能。

7.2.5.4设置示波器的电流补偿倍数和电流探头的转换比率相同。

7.2.5.5 设置飞机雷电冲击电流试验仪输出极性，调节至需校准点，启动测试。

7.2.5.6 将示波器捕捉到的电流波形存储，将电荷传递量、持续时间记录在附录A表A.5中。

7.2.5.7 电荷传递量的相对误差按公式（5）计算，并记录在附录A表A.5中。

（5）

式中：Δ—冲击电流峰值的相对误差；

—冲击电流峰值的指示值，C；

—冲击电流峰值的实际值，C。

7.2.5.8 平均电流幅值通过式（6）计算，并记录在附录A表A.5中。

（6）

式中：—平均电流幅值，kA；

—电荷传递量，C；

—电流持续时间，ms。

7.2.5.9 调节飞机雷电冲击电流试验仪的极性和输出电流，按照7.2.5.3~7.2.5.8步骤中的方法校准下一点，并将测量结果记录在附录A表A.5中。

7.2.5.10 校准完毕，将飞机雷电冲击电流试验仪输出调节到零，关闭设备或执行后续校准项目。

7.2.6 电流分量C校准

7.2.6.1 电流分量C的校准连接如图5所示。

7.2.6.2试验仪及示波器开机预热半小时以上。

7.2.6.3将示波器调节至合适的幅值、时间档和触发模式，打开示波器波形积分运算功能。

7.2.6.4设置示波器的电流补偿倍数和电流探头的转换比率相同。

7.2.6.5 设置飞机雷电冲击电流试验仪输出极性，调节至需校准点，启动测试。

7.2.6.6将示波器捕捉到的电流波形存储，将电荷传递量、持续时间记录在附录A表A.6中。

7.2.6.7电荷传递量的相对误差按公式（5）计算得到，平均电流幅值通过式（6）计算得到，并记录在附录A表A.6中。

7.2.6.8调节飞机雷电冲击电流试验仪的极性和输出电流，按照7.2.6.3~7.2.6.7步骤中的方法校准下一点，并将测量结果记录在附录A表A.6中。

7.2.6.9 校准完毕，将飞机雷电冲击电流试验仪输出调节到零，关闭设备或执行后续校准项目。

7.2.7 电流分量C\*校准

7.2.7.1 电流分量C\*的校准连接如图5所示。

7.2.7.2试验仪及示波器开机预热半小时以上。

7.2.7.3将示波器调节至合适的幅值、时间档和触发模式，打开示波器波形积分运算功能。

7.2.7.4设置示波器的电流补偿倍数和电流探头的转换比率相同。

7.2.7.5 设置飞机雷电冲击电流试验仪输出极性，调节至需校准点，启动测试。

7.2.7.6将示波器捕捉到的电流波形存储，将电荷传递量、持续时间记录在附录A表A.7中。

7.2.7.7电荷传递量的相对误差按公式（5）计算得到，平均电流幅值通过式（6）计算得到，并记录在附录A表A.7中。

7.2.7.8调节飞机雷电冲击电流试验仪的极性和输出电流，按照7.2.7.3~7.2.7.7步骤中的方法校准下一点，并将测量结果记录在附录A表A.7中。

7.2.7.9 校准完毕，将飞机雷电冲击电流试验仪输出调节到零，关闭设备或执行后续校准项目。

7.2.8 电流分量D校准

7.2.8.1 电流分量D的校准连接如图5所示。

7.2.8.2试验仪及示波器开机预热半小时以上。

7.2.8.3将示波器调节至合适的幅值、时间档和触发模式，打开示波器波形积分运算功能。

7.2.8.4设置示波器的电流补偿倍数和电流探头的转换比率相同。

7.2.8.5 设置飞机雷电冲击电流试验仪输出极性，调节至需校准点，启动测试。

7.2.8.6 将示波器捕捉到的电流波形存储，并将冲击电流峰值、上升时间和持续时间记录在附录A表A.8中。

7.2.8.7 冲击电流峰值的相对误差按公式（3）计算得到，作用积分通过式（2）计算得到，作用积分的相对误差按公式（4）计算得到，并记录在附录A表A.8中。

7.2.8.8 调节飞机雷电冲击电流试验仪的极性和输出电流，按照7.2.8.3~7.2.8.7步骤中的方法校准下一点，并将测量结果记录在附录A表A.8中。

7.2.8.9 校准完毕，将飞机雷电冲击电流试验仪输出调节到零，关闭设备。

# 8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

a) 标题：“校准证书”；

b) 实验室名称和地址；

c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；

d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；

e) 客户的名称和地址；

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和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；

i) 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)对校准规范的偏离的说明；

n) 校准证书签发人的签名；

o) 校准结果仅对被校对象有效的说明；

p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

# 9 复校时间间隔

飞机雷电冲击电流试验仪复校时间间隔一般不超过12个月。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

# 附录A

原始记录格式

送校单位： 证书编号：

仪器名称： 仪器型号：

仪器编号： 制造厂商：

环境温度： ℃ 环境湿度： %RH

校准依据：

A.1 外观及工作正常性检查

表A.1 外观及工作正常性检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 外观检查 |  |
| 工作正常性检查 |  |

A.2 电流分量A

表A.2 电流分量A

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/kA | 极性 | 冲击电流峰值 | | | 上升时间 | | 持续时间 | | 作用积分 | | |
| 测量值  /kA | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值/ A2·s | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） |
| 200 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| -200 | - |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | | ±10% | | | ≤50μs | | ≤500μs | | 2×106 A2·s ±20% | | |

A.3 电流分量Ah

表A.3 电流分量Ah

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/kA | 极性 | 冲击电流峰值 | | | 上升时间 | | 持续时间 | | 作用积分 | | |
| 测量值  /kA | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值/ A2·s | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） |
| 150 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| -150 | - |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | | ±10% | | | ≤50μs | | ≤500μs | | 0.8×106 A2·s ±20% | | |

A.4 电流分量A/5

表A.4 电流分量A/5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/kA | 极性 | 冲击电流峰值 | | | 上升时间 | | 持续时间 | | 作用积分 | | |
| 测量值  /kA | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值/ A2·s | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） |
| 40 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| -40 | - |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | | ±10% | | | ≤50μs | | ≤500μs | | 0.08×106 A2·s ±20% | | |

A.5 电流分量B

表A.5 电流分量B

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/C | 极性 | 电荷传递量 | | | 平均电流幅值 | | | 持续时间 | |
| 测量值/C | 相对  误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值/kA | 相对  误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值/ms | 不确定度（*k*=2） |
| 10 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |  |
| -10 | - |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | ﹢ | ±10% | | | 2kA±20% | | | 5ms±10% | |
| - | ±10% | | | -2kA±20% | | | 5ms±10% | |

A.6 电流分量C

表A.6 电流分量C

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/C | 极性 | 电荷传递量 | | | 平均电流幅值 | | 持续时间 | |
| 测量值/C | 相对  误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值/A | 不确定度（*k*=2） | 测量值/s | 不确定度（*k*=2） |
| 200 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |
| -200 | - |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | ﹢ | ±20% | | | （200~800）A | | （0.25 ~ 1）s | |
| - | ±20% | | | （-200~ -800）A | | （0.25 ~ 1）s | |

A.7 电流分量C\*

表A.7 电流分量C\*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/C | 极性 | 电荷传递量 | | | 平均电流幅值 | | 持续时间 | |
| 测量值/C | 相对  误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值/A | 不确定度（*k*=2） | 测量值/ms | 不确定度（*k*=2） |
| 18 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |
| -18 | - |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | ﹢ | ±20% | | | ≥400A | | 45ms±20% | |
| - | ±20% | | | ≤ -400A | | 45ms±20% | |

A.8 电流分量D

表A.8 电流分量D

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/kA | 极性 | 冲击电流峰值 | | | 上升时间 | | 持续时间 | | 作用积分 | | |
| 测量值  /kA | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值/ A2·s | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） |
| 100 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| -100 | - |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | | ±10% | | | ≤25μs | | ≤500μs | | 0.25×106 A2·s ±20% | | |

# 附录B

校准证书内页格式

送校单位： 证书编号：

仪器名称： 仪器型号：

仪器编号： 制造厂商：

环境温度： ℃ 环境湿度： %RH

校准依据：

B.1 外观及工作正常性检查

表B.1 外观及工作正常性检查

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 检查结果 |
| 外观检查 |  |
| 工作正常性检查 |  |

B.2 电流分量A

表B.2 电流分量A

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/kA | 极性 | 冲击电流峰值 | | | 上升时间 | | 持续时间 | | 作用积分 | | |
| 测量值  /kA | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值/ A2·s | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） |
| 200 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| -200 | - |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | | ±10% | | | ≤50μs | | ≤500μs | | 2×106 A2·s ±20% | | |

B.3 电流分量Ah

表B.3 电流分量Ah

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/kA | 极性 | 冲击电流峰值 | | | 上升时间 | | 持续时间 | | 作用积分 | | |
| 测量值  /kA | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值/ A2·s | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） |
| 150 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| -150 | - |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | | ±10% | | | ≤50μs | | ≤500μs | | 0.8×106 A2·s ±20% | | |

B.4 电流分量A/5

表B.4 电流分量A/5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/kA | 极性 | 冲击电流峰值 | | | 上升时间 | | 持续时间 | | 作用积分 | | |
| 测量值  /kA | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值/ A2·s | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） |
| 40 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| -40 | - |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | | ±10% | | | ≤50μs | | ≤500μs | | 0.08×106 A2·s ±20% | | |

B.5 电流分量B

表B.5 电流分量B

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/C | 极性 | 电荷传递量 | | | 平均电流幅值 | | | 持续时间 | |
| 测量值/C | 相对  误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值/kA | 相对  误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值/ms | 不确定度（*k*=2） |
| 10 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |  |
| -10 | - |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | ﹢ | ±10% | | | 2kA±20% | | | 5ms±10% | |
| - | ±10% | | | -2kA±20% | | | 5ms±10% | |

B.6 电流分量C

表B.6 电流分量C

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/C | 极性 | 电荷传递量 | | | 平均电流幅值 | | 持续时间 | |
| 测量值/C | 相对  误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值/A | 不确定度（*k*=2） | 测量值/s | 不确定度（*k*=2） |
| 200 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |
| -200 | - |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | ﹢ | ±20% | | | （200~800）A | | （0.25 ~ 1）s | |
| - | ±20% | | | （-200~ -800）A | | （0.25 ~ 1）s | |

B.7 电流分量C\*

表B.7 电流分量C\*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/C | 极性 | 电荷传递量 | | | 平均电流幅值 | | 持续时间 | |
| 测量值/C | 相对  误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值/A | 不确定度（*k*=2） | 测量值/ms | 不确定度（*k*=2） |
| 18 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |
| -18 | - |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | ﹢ | ±20% | | | ≥400A | | 45ms±20% | |
| - | ±20% | | | ≤ -400A | | 45ms±20% | |

B.8 电流分量D

表B.8 电流分量D

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标称值/kA | 极性 | 冲击电流峰值 | | | 上升时间 | | 持续时间 | | 作用积分 | | |
| 测量值  /kA | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值  /µs | 不确定度（*k*=2） | 测量值/ A2·s | 相对误差 | 不确定度（*k*=2） |
| 100 | ﹢ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| -100 | - |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 最大允许误差 | | ±10% | | | ≤25μs | | ≤500μs | | 0.25×106 A2·s ±20% | | |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

# 附录C

测量不确定度评定示例

**C.1** 冲击电流峰值测量结果不确定度评定

C.1.1 测量方法

采用电流探头及示波器，以电流分量D正极性100kA校准点为例，对冲击电流峰值进行校准。

C.1.2 测量模型

(C.1)

式中：*I*—冲击电流峰值，A；

—示波器读数值，V；

—电流探头电压/电流转换比率，V/A。

C.1.3 不确定度来源

1. 由示波器示值分辨力引入的不确定度分量*u*1；
2. 由示波器电压测量准确度引入的不确定度分量*u*2；
3. 电流探头电压/电流转换比率最大允许误差引入的不确定度分量*u*3；
4. 由测量重复性引入的不确定度分量*u*4。

C.1.4 标准不确定度评定

C.1.4.1 由示波器示值分辨力引入的不确定度分量*u*1

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，选用的示波器调至20kA/Div，测量分辨力为0.4kA，半区间a=0.2kA，为均匀分布，置信因子为，则标准不确定度分量为：

对峰值电压100kA进行测量，则相对标准不确定度分量：

C.1.4.2 由示波器电压测量准确度引入的不确定度分量*u*2

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，选用的示波器最大允许误差为±2%，为均匀分布，置信因子为，则标准不确定度分量为：

C.1.4.3 电流探头电压/电流转换比率最大允许误差引入的不确定度分量*u*3

电流探头电压/电流转换比率最大允许误差为±1%，为均匀分布，置信因子为，则标准不确定度分量为：

C.1.4.4 由测量重复性引入的不确定度分量*u*4

用A类标准不确定度评定。用示波器对被校试验仪的冲击电流峰值进行独立重复性测量10次，重复性试验数据见表C.1：

表C.1　冲击电流峰值测量重复性试验数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/kA | 102.83 | 102.67 | 103.00 | 102.50 | 102.33 | 102.33 | 102.67 | 102.67 | 102.33 | 103.00 |
| /kA | 102.63 | | | | | | | | | |
| 标准差 | 0.258 | | | | | | | | | |
| / | 0.25% | | | | | | | | | |

由于测量重复性包含了人员读数时因分辨力引入的误差，因此由示值分辨力引入的不确定度分量和测量重复性引入的不确定度分量取大者。

C.1.5 合成标准不确定度

冲击电流峰值的测量不确定度汇总于表C.2中。

表C.2　冲击电流峰值测量不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定分量来源 | 评定方法 | 分布 | *k* | 标准不确定度 |
| *u*2 | 示波器测量准确度 | B类 | 均匀 |  | 1.2% |
| *u*3 | 电流探头电压/电流转换比率 | B类 | 均匀 |  | 0.58% |
| *u*4 | 测量重复性 | A类 | 正态 | / | 0.25% |

各测量不确定度分量按不相关考虑，则合成标准不确定度*u*c为：

C.1.6 扩展不确定度

取包含因子*k* =2，则扩展不确定度为：

，*k* =2。

**C.2** 持续时间测量结果不确定度的评定

C.2.1 测量方法

采用电流传感器和示波器，以电流分量D正极性100kA校准点持续时间35μs为例，对冲击电流持续时间进行校准。

C.2.2 测量模型

(C.2)

式中：*T*—电流持续时间，μs；

—示波器读数值，μs；

—示波器准确度的影响量，μs；

C.2.3 不确定度来源

1. 由示波器时间测量准确度引入的不确定度分量*u*1；
2. 由示波器示值分辨力引入的不确定度分量*u*2；
3. 由电流探头带宽引入的不确定度分量*u*3；
4. 由测量重复性引入的不确定度分量*u*4；

C.2.4 标准不确定度评定

C.2.4.1 由示波器时间测量准确度引入的不确定度分量*u*1

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，选用的示波器时间测量最大允许误差为±2×10-5，为均匀分布，置信因子为，则标准不确定度分量为：

C.2.4.2 由示波器示值分辨力引入的不确定度分量*u*2

用B类标准不确定度评定。选用的示波器时间调至10μs/Div，对应分辨力为0.05μs，半区间a=0.025μs，为均匀分布，置信因子，则标准不确定度分量为：

μs

C.2.4.3 由电流探头带宽引入的不确定度分量*u*3

用B类标准不确定度评定。根据技术指标可知，选用的电流探头带宽为1MHz，上升沿约为0.4μs，为均匀分布，置信因子，则标准不确定度分量为：

μs

C.2.4.4 由测量重复性引入的不确定度分量*u*4

用A类标准不确定度评定。用示波器对被校试验仪的持续时间进行独立重复性测量10次，重复性试验数据见表C.3：

表C.3　持续时间测量重复性试验数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值/μs | 34.38 | 35.10 | 34.92 | 34.81 | 34.62 | 34.67 | 35.05 | 34.60 | 34.70 | 34.65 |
| /μs | 34.75 | | | | | | | | | |
| 标准差 | 0.66 | | | | | | | | | |
|  | 1.90% | | | | | | | | | |

由于测量重复性包含了人员读数时因分辨力引入的误差，因此由示值分辨力引入的不确定度分量和测量重复性引入的不确定度分量取大者。

C.2.5 合成标准不确定度

持续时间的测量不确定度汇总于表C.4中。

表C.4　持续时间测量不确定度分量一览表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 不确定度分量 | 不确定分量来源 | 评定方法 | 分布 | *k* | 相对标准不确定度 |
| *u*1 | 示波器时间测量准确度 | B类 | 均匀 |  |  |
| *u*3 | 电流探头带宽 | B类 | 均匀 |  |  |
| *u*4 | 测量重复性 | A类 | 正态 | / | 1.9% |

各测量不确定度分量按不相关考虑，则合成标准不确定度*u*c为：

C.2.6 扩展不确定度

取包含因子*k* =2，则扩展不确定度为：

，*k* =2。

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_