

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—20XX

大气电场仪校准规范

Calibration Specification of Atmosphere Electric Field Meter

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局发布

大气电场仪校准规范

Calibration Specification of
Atmosphere Electric Field Meter

JJF XXXX—2019

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 20XX 年 X 月 XX 日批准，并自 20XX 年 XX 月 XX 日起施行。

归口单位：全国气象专用计量器具计量技术委员会

主要起草单位：航天新气象科技有限公司

参加起草单位：中国气象局气象探测中心

本规范委托全国气象专用计量器具计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

秦晓凯（航天新气象科技有限公司）

边泽强（中国气象局气象探测中心）

参加起草人：

韩莹清（航天新气象科技有限公司）

周琦（航天新气象科技有限公司）

崇伟（中国气象局气象探测中心）

目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 大气电场.....	1
3.2 大气电场仪.....	1
3.3 电场发生器.....	1
3.4 标准电场.....	1
3.5 计量单位.....	2
4 概述.....	2
5 计量特性.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	3
6.2 测量标准及其他设备.....	3
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 校准项目.....	3
7.2 校准方法.....	3
8 校准结果.....	5
9 复校时间间隔.....	6
附录 A.....	7
附录 B.....	8
附录 C.....	9

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》中的要求进行编写。

本规范参考 GJB 7359—2011《航天发射大气电环境要求》中相关条款进行编写。

本规范为首次发布。

大气电场仪校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围在 $-100\text{kV/m}\sim 100\text{kV/m}$ 内场磨式（或旋转式）大气电场仪（以下简称大气电场仪）的校准。其他类型的大气电场仪可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

GJB 7359—2011 《航天发射大气电环境要求》

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

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 大气电场 atmospheric electric field

存在于大气中而与带电物质产生电力相互作用的物理场。

注：

1：大气电场用大气电场的强度和方向来描述。

2：地面大气电场用正负来表示，习惯上将晴天大气电场，即方向垂直向下的大气电场规定为正电场，而将方向垂直向上的大气电场定义为负电场。

3.2 大气电场仪 atmospheric electric field meter

测量大气电场强度和方向的仪器。

注：按其测量方式分为多种类型，其中通过由转子旋转引起定子在大氣电场中感应的电荷变化来测量大气电场的称为场磨式（或旋转式）大气电场仪。

3.3 电场发生器 electric field generator

根据两块相互平行且相距一定距离的金属极板产生均匀电场的原理，连接直流电源，建立一个数值已知的恒定的标准电场。

3.4 标准电场 standard electric field

由大气电场仪校准系统产生的电场值被视为标准电场，其值由式（1）得出：

$$E_s = V_s/d \quad (1)$$

式中：

E_s ——标准电场值，V/m；

V_s ——直流高压电源输出电压，V；

d ——电场发生器极板间距，m。

3.5 计量单位 measurement unit

大气电场仪输出单位为伏每米 (V/m)。

4 概述

场磨式（或旋转式）大气电场仪主要由感应探头（传感器）、数据处理单元、通信单元、供电单元及结构部件等组成，其结构示意图如图 1 所示。感应探头包括转子、定子、屏蔽片、电机、信号处理电路等部件，其内部结构示意图如图 2 所示。

旋转式大气电场仪是利用导体在电场中产生感应电荷的原理来测量电场强度和方向的。当探头内的转子（屏蔽片）旋转时，定子交替地暴露在电场中或被转子所遮挡，从而产生交变信号输出，经处理后给出反映到被测电场大小和方向及运行状态的参数。

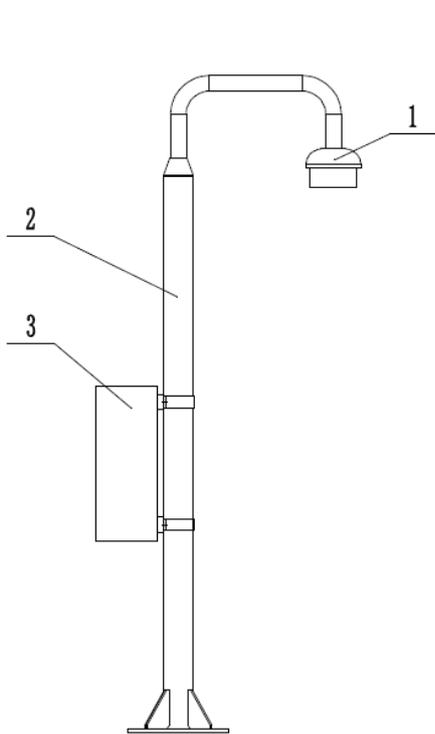


图 1 大气电场仪结构示意图

- 1、感应探头；2、支架；
3、数据处理单元（通信、供电单元）

5 计量特性

5.1 零点偏移

5.2 示值误差

5.3 线性度

6 校准条件

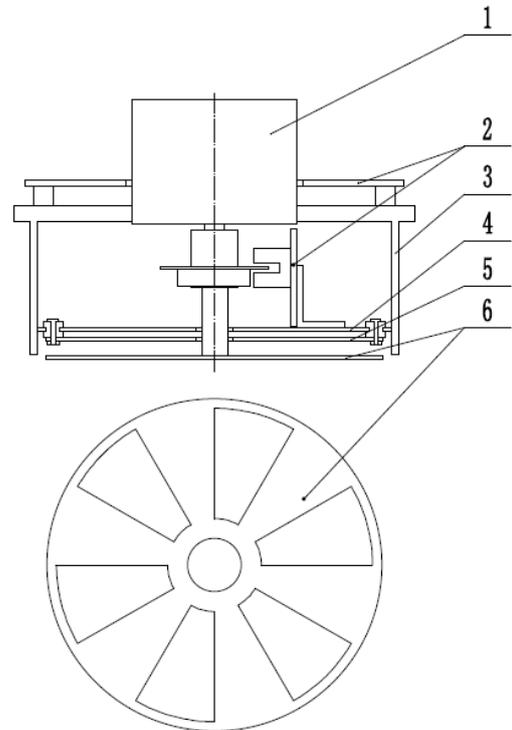


图 2 感应探头内部结构示意图

- 1、电机；2、信号处理电路；3、基座；
4、屏蔽片；5、定子；6、转子

6.1 环境条件

环境温度： $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ；

相对湿度：35%~80%；

电源电压及频率： $(220 \pm 22) \text{V}$ ， $(50 \pm 1) \text{Hz}$ ；

周围无影响测量的强电场和交变磁场。

6.2 测量标准及其他设备

大气电场仪校准装置主要有电场发生器、直流高压电源、直流高压表、接地屏蔽外罩、数据处理计算机等设备组成，原理图如图3所示。

最大允许误差： $\pm 1.2\%$ ；

电场输出范围： $-100\text{kV/m} \sim 100\text{kV/m}$ 。

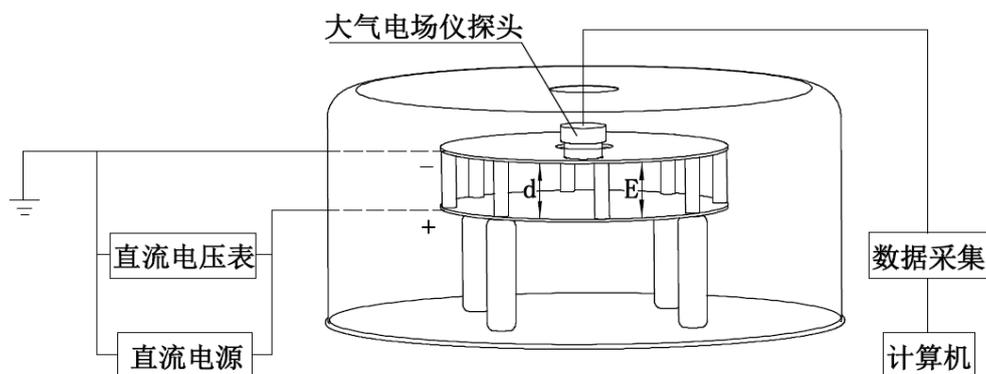


图3 大气电场仪校准装置原理图

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目及对应的校准方法条款见表1。

表1 校准项目表

校准项目	校准方法对应条款
外观及工作正常性检查	检查内容见7.2.1
零点偏移	校准方法见7.2.3
示值误差	校准方法见7.2.4
线性度	校准方法见7.2.5

注：可根据实际应用需要，选择要校准的计量特性项目。

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

大气电场仪探头应完好无损，不应有影响计量性能的锈蚀或损伤。将被校大气电场仪探头通过数据采集器与计算机相连，能够正常通信，并能持续输出电场值。检查结果记入附录A.1中。

7.2.2 校准前准备

如图 3 所示, 将被校准的大气电场仪感应探头固定在上极板中心的开孔处, 如有需要应配置专用夹具, 使得感应探头端面与上极板内表面尽量平齐, 被校探头凸出的高度最大不得超过两极板间距的 1/5。在校准前, 应充分预热, 一般不少于 20min。

7.2.3 零点偏移

电场发生器产生零电场 (0 kV/m), 稳定 3min 后每隔 1s 读取并记录 4 次测量值, 以 4 次测量的算术平均值作为被测仪器测量结果, 将测量和计算结果记入附录 A. 2 中。

7.2.4 示值误差

校准点应覆盖所有的量程 (包含测量范围的上下限), 还应兼顾量程内的均匀性, 同时考虑被校大气电场仪说明书中对校准点的建议, 并可根据实际情况和送校单位的要求选取校准点。

建议在 -100kV/m、-50kV/m、-20 kV/m、-10kV/m、-5kV/m、-0.5kV/m、-0.05kV/m、0.05kV/m、0.5kV/m、5kV/m、10kV/m、20 kV/m、50kV/m、100kV/m 中优先选取。

从最低校准点开始根据校准点调节大气电场仪校准系统输出电场, 在每个测试点上稳定 3 min 后每隔 1s 读取并记录 4 次测量值, 以 4 次测量的算术平均值作为被测仪器测量结果, 并计算测量误差。将测量和计算结果记入附录 A. 3。

7.2.5 线性度

将各校准点的测量值与标准电场值做线性拟合, 采用最小二乘直线作为参考直线, 方程如公式 (2):

$$E = a + bE_s \quad (2)$$

式中:

E ——被校大气电场仪的理论输出值, V/m;

E_s ——标准电场值, V/m。

(3) 式中截距 a 、斜率 b 分别按公式 (3)、(4) 求出:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^m E_{si}^2 \sum_{i=1}^m \bar{E}_i - \sum_{i=1}^m E_{si} \sum_{i=1}^m E_{si} \bar{E}_i}{m \sum_{i=1}^m E_{si}^2 - \left(\sum_{i=1}^m E_{si} \right)^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{m \sum_{i=1}^m E_{si} \bar{E}_i - \sum_{i=1}^m E_{si} \sum_{i=1}^m \bar{E}_i}{m \sum_{i=1}^m E_{si}^2 - \left(\sum_{i=1}^m E_{si} \right)^2} \quad (4)$$

式中：

E_i ——各校准点的被校大气电场仪示值，V/m；

$\overline{E_i}$ ——各校准点 E_i 的平均值，V/m；

E_{si} ——各校准点的标准电场值，V/m；

m ——校准点数。

按公式（5），计算实际电场测量值与校准直线的计算值的差值，即为各校准点的非线性误差。

$$\Delta E_i = E_i - (a + bE_{si}) \quad (5)$$

线性度按公式（7）计算：

$$\zeta = \frac{|\Delta E_{\max}|}{E_{FS}} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

ΔE_{\max} ——最大线性误差；

E_{FS} ——满量程输出值，kV/m。

8 校准结果

校准结果应在校准证书上反映（校准证书内页格式参考附录 B）。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效性的声明；
- 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

建议大气电场仪的复校时间间隔为 1 年。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

校准记录内容

A.1 外观及工作正常性检查_____

A.2 零点偏移

标准电场 (V/m)	测量值 (V/m)				平均值 (V/m)	示值误差 (V/m)
	1	2	3	4		
0						

A.3 电场校准

标准电场 (kV/m)	测量值 (kV/m)				平均值 (kV/m)	示值误差 (kV/m)
	1	2	3	4		

A.4 线性度

参考直线方程_____

线性度:

附录 B

校准证书内页参考格式

B.1 零点偏移

标准值 (V/m)	示值 (V/m)	示值误差 (V/m)

B.2 电场示值误差

标准值 (kV/m)	示值 (kV/m)	示值误差 (kV/m)

B.3 线性度 _____

附录 C

校准不确定评定示例

C.1. 概述

依据大气电场仪校准规范中示值误差的校准方法，将被校大气电场仪放入校准装置的极板中，采用比较法进行校准。选择一台测量范围（-100~100）kV/m、最大允许误差为 $\pm 5\%$ 的大气电场仪，以10kV/m校准点为例进行不确定度分析。

环境条件：温度：20℃ 相对湿度：45%

评定依据：《JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示》

C.2. 测量模型及灵敏系数

C.2.1 测量模型

$$\Delta E = E - E_s$$

式中：

ΔE ——被校大气电场仪的电场示值误差，kV/m；

E ——被校大气电场仪的示值，kV/m；

E_s ——大气电场校准系统的输出标准电场值，kV/m。

C.2.2 灵敏系数

各输入量独立不相关，可得不确定度传播率：

$$u_c^2(\Delta E) = u_1^2(E) + u_2^2(E_s)$$

$$\text{灵敏系数： } c_1 = \frac{\partial \Delta E}{\partial E} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta E}{\partial E_s} = -1$$

C.3. 标准不确定度的评定

C.3.1 输入量 E 的标准不确定度 $u(E)$ 的评定

输入量 E 的标准不确定度的主要来源：

a) 被校大气电场仪的示值重复性引入的标准不确定度 $u_1(E)$ ，采用 A 类方法评定。将被校大气电场仪放入校准装置的极板中，待示值稳定后，重复测量 10 次。以 10kV/m 为例，测量 10 次数据如下表：

表 1 被校大气传感器 10kV/m 的重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 kV/m	9.971	9.971	9.971	9.972	9.972	9.972	9.971	9.971	9.971	9.970

$$\text{单次测量结果的标准差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i - \bar{x}}{n-1}} = 0.0006 \text{ kV/m}$$

实际以测量 4 次的算术平均值作为测量结果:

$$s(\bar{x}) = s/\sqrt{4} = 0.0003 \text{ kV/m}$$

则 $u_1(E) = s(\bar{x}) = 0.0003 \text{ kV/m}$, $u_{\text{rel}} = 0.003\%$ 。

b) 被校大气电场仪的分辨力引入的标准不确定度 $u_2(E)$, 采用 B 类方法评定。大气电场仪在 10kV/m 点的分辨力为 5V/m, 即 $a=0.0025\text{kV/m}$, 服从均匀分布, 则标准不确定度为:

$$u_2(E) = a/k = 0.0025 \text{ kV/m}/\sqrt{3} = 0.0014 \text{ kV/m}$$

考虑到被校大气电场仪的重复性和分辨力存在重复, 在合成标准不确定度时将二者中较小的值舍去, 因此:

$$u(E) = u_2(E) = 0.0014 \text{ kV/m}$$

C.3.2 输入量 E_s 的标准不确定度 $u(E_s)$ 的评定

a) 数据采集测量误差引入的标准不确定度 $u_1(E_s)$, 采用 B 类方法评定。被校大气电场仪是通过数字多用表测量直接电压, 再将电压转换成大气电场值。由于 0~2V 电压对应 (-100~100) kV/m 的电场值, 在此电压范围内, 数字多用表误差约为 $\pm 0.00013\text{V}$, 转换为电场误差对测量的影响可忽略不计, 因此:

$$u_1(E_s) = 0$$

b) 大气电场校准系统输出的标准电场引入的标准不确定度 $u_2(E_s)$, 采用 B 类方法评定。大气电场校准系统的技术指标中给出的最大允许误差为 $\pm 1.2\%$, 在 10kV/m 校准点的最大允许误差为 $\pm 0.12\text{kV/m}$, 服从均匀分布, 则

$$u_2(E_s) = a/k = 0.12 \text{ kV/m}/\sqrt{3} = 0.069 \text{ kV/m}$$

c) 接地屏蔽外罩引入的标准不确定度 $u_3(E_s)$, 采用 B 类方法评定。接地屏蔽外罩为两极板间距的 2.5 倍, 其对被校大气电场仪的影响小于 0.4%, 满足均匀分布。

$$u_3(E_s) = a/k = 0.04\text{kV/m}/\sqrt{3} = 0.023\text{kV/m}$$

d) 放入的被校大气电场仪器探头对标准电场的影响引入的标准不确定度 $u_4(E_s)$ ，采用 B 类方法评定。在对大气电场仪探头校准时，需要使探头端面与极板内表面在同一平面上，以减少探头对极板内标准电场的畸变，由于探头本身的设计和夹具的影响，探头会伸进极板间，但是只要满足伸进的尺寸不大于极板间距的 1/5，此项不确定度分量可以忽略不计。 $u_4(E_s) = 0$

因为，以上分量是相互独立，互不关联的。所以，

$$u(E_s) = \sqrt{u_1^2(E_s) + u_2^2(E_s) + u_3^2(E_s) + u_4^2(E_s)} = 0.072\text{kV/m}$$

C. 4. 合成标准不确定度的评定

大气电场仪的电场示值不确定分量汇总表如表 C.1 所示。

表 C.1 大气电场仪的电场示值不确定分量汇总表

标准不确定度分量		不确定度分量来源	标准不确定度	灵敏系数
$u(E)$	$u_1(E)$	测量重复性	舍去	1
	$u_2(E)$	大气电场仪的分辨力	0.0014 kV/m	
$u(E_s)$	$u_1(E_s)$	数据采集测量误差	0	-1
	$u_2(E_s)$	大气电场仪校准系统的准确度	0.069 kV/m	
	$u_3(E_s)$	接地屏蔽外罩	0.023 kV/m	
	$u_4(E_s)$	探头对标准电场的影响	0	

以上各个分量相互独立，故相对合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u^2(E) + c_2^2 u^2(E_s)} = 0.073\text{kV/m}$$

C. 5. 扩展不确定度的评定

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.073\text{kV/m} = 0.15\text{kV/m}$$

即： $U_{\text{rel}} = (0.15/10)\text{kV/m} \times 100\% = 1.5\%$ ， $k=2$