《探空仪用臭氧传感器校准规范》编制说明

1. 任务来源

经全国气象专用计量器具计量技术委员会向国家市场监督管理局申报，国家市场监督管理局于2025年通过审定并批准立项，由内蒙古自治区气象数据中心、中国气象局气象探测中心、航天新气象科技有限公司、浙江省大气探测技术保障中心共同编制本规范。《探空仪用臭氧传感器校准规范》（以下简称本规范）归口于全国气象专用计量器具计量技术委员会。

1. 编制本规范的目的和意义

臭氧探空是获取地面至上平流层高度范围内的大气臭氧垂直分布廓线的唯一探测手段，是认识大气动力和热力结构、获取对流层和平流层区域内的臭氧分布及变化趋势、了解对流层和平流层之间的交换特征及认识对流层顶在气候变化与大气化学之间相互作用极其重要的观测基础，是WMO明确要求的臭氧观测业务的重要组成部分。为了保证臭氧探空观测数据的准确可靠，定期开展探空仪用臭氧传感器性能校准工作十分重要。

探空仪臭氧传感器基于双池电化学原理测量地面到35公里高空臭氧分压的气象探空传感器，广泛应用于气象、科研院所、部队等部门。随着全球环境问题的日益突出，臭氧监测的标准化和国际化趋势将更加明显，全球范围内的臭氧监测数据共享和合作更加广泛，对臭氧监测数据的准确性和可靠性需求也更加强烈。为此，迫切需要制定可操作性、适用性和可行性较强的探空仪臭氧传感器校准规范，为探空仪臭氧传感器的校准提供技术依据，确保校准过程的科学性和准确性，以及探空仪臭氧传感器的准确可靠。

1. 编制依据

本规范依据JJF1071―2010《国家计量校准规范编写规则》编写，规范中的通用计量术语符合JJF 1001―2011《通用计量术语及定义》，测量不确定度评定示例依据JJF1059.1―2012《测量不确定度评定与表示》进行，以大量的试验数据为基础，通过广泛调研，本着完整性、统一性、科学性、开放性和实用性为基本原则进行编制。

1. 任务分工

本规范主要起草人包括：郑树芳、赵旭、罗皓文、马修才、陈伟、刘海珍、王建森其分工如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 单位 | 职称 | 分工 |
| 郑树芳 | 内蒙古自治区气象数据中心 | 正高 | 负责规范总体编写，提出规范结构、主要内容，完成初稿、编制说明、征求意见稿的编写工作 |
| 赵旭 | 中国气象局气象探测中心 | 高工 | 负责相关技术指标的试验和分析进行相关试验，修改征求意见稿、编制说明、实验报告、不确定度评定报告，协调工作组成员工作 |
| 罗皓文 | 中国气象局气象探测中心 | 工程师 | 负责相关技术指标的试验和分析进行相关试验，协调工作组成员工作 |
| 马修才 | 内蒙古自治区气象数据中心 | 高工 | 负责相关技术指标的试验、数据处理和分析，不确定度的评定工作 |
| 陈伟 | 航天新气象科技有限公司 | 高工 | 负责相关技术指标的试验、数据处理和分析，不确定度的评定工作 |
| 刘海珍 | 内蒙古自治区气象数据中心 | 工程师 | 参与规范主要内容起草，对规范编写提供技术支持，修改初稿和征求意见稿负，参与规范起草过程中的讨论，对规范结构和内容提出意见 |
| 王建森 | 浙江省大气探测技术保障中心 | 高工 | 负责相关技术指标的试验和分析进行相关试验，协调工作组成员工作 |

1. 主要编制过程

编制的主要工作过程如下：

5.1成立起草组、召开启动部署会、任务分工、制定工作计划

2025年4月，召开了规范编制工作部署会，成立了编写组，明确了编写组人员分工任务，确定了规范编制编写原则和总体思路，制定工作进度计划。

5.2组织调研、研讨咨询、确定技术路线

2025年5月，完成规范编写的前期准备工作，研究学习国内外相关规范、标准、指南等文件，调查国内外技术现状，详细研讨目前气象用温湿度检定箱技术参数，广泛征求各方意见，初步确定本规范具体技术参数、校准方法思路和内容。

5.3技术参数的试验、分析和验证，编写初稿

2025年6月，编写组根据前期调研的情况，针对我国气象行业使用的探空仪用臭氧传感器技术特点，以及计量站长期以来的校准经验，开展了大量针对性的实验、研究和分析，完成了初稿的编写和完善。

5.4完成征求意见稿和不确定度评定内容编写

2025年7月，根据JJF1059.1―2012《测量不确定度评定与表示》原则，对探空仪用臭氧传感器校准规范中不确定度内容进行了分析研究，并编写了相关内容；整理汇总探空仪用臭氧传感器校准规范初稿和不确定度评定文档，分析相关数据；完成征求意见稿、实验报告和编制说明的编写。

5.5完成报审稿

2025年8月，广泛征求意见，按照专家反馈建议，进行修改完善，形成预审稿。

2025年9月 按照预审会的预审意见，对《探空仪用臭氧传感器校准规范》、《不确定度评定报告》、《实验报告》和《征求意见汇总表》等文件进行了统一修改，形成报审稿并报审。

5.6完成报批稿

2025年11月 按照审定会的审定意见，对《探空仪用臭氧传感器校准规范》、《不确定度评定报告》、《实验报告》和《征求意见汇总表》等文件进行了统一修改，形成报批稿并报批。

1. 编制内容的说明

6.1范围

本规范主要针对目前我国气象探空观测所使用的探空仪用臭氧传感器来制定，因此，本规范所适用的臭氧传感器主要技术指标臭氧分压测量范围在（0～30）mPa、分辨力0.01mPa，与我国气象探空观测所使用的探空仪用臭氧传感器完全一致，本规范规定的计量特性、校准条件、校准项目和校准方法，均适用于探空仪用臭氧传感器的臭氧分压示值误差、重复性、臭氧响应时间、温度示值误差、反应池背景电流、气泵取样时间等的校准。

6.2引用文件

列出规范编写过程中使用到的主要引用文件。

6.3术语和定义

给出探空仪用臭氧传感器的相关定义。

6.4概述

探空仪用臭氧传感器（以下简称“臭氧传感器”）是指用于探测地面到30公里范围内臭氧垂直分布信息的气象探空传感器，应用于气象、科研院所、部队等部门。臭氧传感器主要由采样单元、电化学反应池单元、信号测量单元、底座单元、锂电池及防护保温盒等组成。臭氧传感器采用Teflon材质制作阴阳两个反应池，阴极池用0.5%或1%的KI溶液，阳极池则用过饱和KI溶液，根据Komhyr的工作，在阴极池里O3与KI发生化学反应生成的单质I会在阴极溶液中发生还原反应，重新变成碘离子和自由电子，自由电子通过离子电桥转向阳极池，这种阴极和阳极反应池自由电子的迁徙与外界电路形成闭合回路产生电流，自由电子数与臭氧浓度成正比关系，根据电化学理论，按照公式（1）计算在大气高度Z上的大气臭氧分压：

 （1）

式中：

P（Z）——臭氧分压，单位为毫帕（mPa）；

IC（Z）——电化学反应池电流，单位为微安（μA）；

IBG——电化学反应池背景电流，单位为微安（μA），施放前基测测量输入；

TC（Z）——空气样品温度，单位为开尔文（K）；

t100——地面每采集 100mL 空气样品通过电化学反应池时间，单位为秒（s），观测施放前基测测量输入，代表气泵流量；

Ceff（Z）——对t100的修正系数。

然后将测量的臭氧分压数据经数据处理模块后传输至射频芯片；通过接收机以及接收软件，接收测量数据。

6.5计量特性

臭氧传感器采用双池（阴极池和阳极池）电化学原理，将环境空气抽入传感器，通过利用臭氧与碘化钾溶液发生电化学反应产生电信号测量大气中的臭氧浓度（或臭氧分压）。因此，测量臭氧时，需提前确定臭氧响应时间、温度示值误差、反应池背景电流、气泵取样时间等技术参数，这些参数的准确度直接影响臭氧分压的测量结果。所以应校准的计量特性主要包括臭氧分压示值误差、重复性、臭氧响应时间、温度示值误差、反应池背景电流、气泵取样时间等。

6.5.1对于臭氧分压，根据高空大气的特征和高空探测的需求，《电探空仪用臭氧传感器功能规格需求书》中规定，臭氧分压测量范围：（0～30）mPa、分辨力0.01mPa、最大允许误差不超过±4%或±0.30mPa（取其中最大值），而《双池电化学型臭氧探空传感器技术要求》规定，臭氧分压在大于等于6mPa时最大允许误差不超过±5%、小于6mPa时最大允许误差不超过±10%。为提高臭氧分压的测量准确度，确定臭氧分压最大允许误差不超过±0.3mPa（臭氧分压≤7.5mPa时）、±4%（臭氧分压＞7.5mPa时），并通过试验证明，本规范规定的技术指标和校准方法科学合理。

6.5.2对于臭氧分压重复性，《电探空仪用臭氧传感器功能规格需求书》中规定，重复性在气压大于100hPa时不大于0.3mPa、气压小于等于100hPa时不大于0.6mPa，由于实验室常压一般在（500～1060）hPa范围内，所以实验室校准时重复性不大于0.3mPa；而《双池电化学型臭氧探空传感器技术要求》规定重复性不大于5%，为降低臭氧分压校准结果的不确定度，本规范确定重复性不大于2%，并通过试验证明，本规范规定的技术指标和校准方法科学合理。

6.5.3对于温度，臭氧传感器所携带的温度探头，是用于实时探测臭氧气体温度，计算臭氧浓度的。根据高空大气的特征和高空探测的需求，虽然探空仪用臭氧传感器在极宽的气象条件范围内工作，即温度范围：（-90～50）℃，但通过保护措施后，在臭氧探空过程中，臭氧温度范围通常为（0～50）℃；虽然数字式电子探空仪温度最大允许误差不超过±0.2℃，但通过计算，当臭氧传感器所携带温度探头最大允许误差不超过±1.0℃，对臭氧分压的测量结果极小（臭氧分压为10mPa时，有温度引起的误差为0.03mPa），考虑到臭氧传感器所携带温度探头本身的特性，结合探空仪气象行业标准和国军标文件，本规范将温度测量范围确定为（0～50）℃、分辨力0.01℃、最大允许误差不超过±1.0℃。通过试验证明，本规范规定的技术指标和校准方法科学合理。

6.5.4对于反应池背景电流，《电探空仪用臭氧传感器功能规格需求书》中规定，反应池背景电流（向电化学反应池通入零气 15 分钟时测量的电流瞬时值）≤0.1μA，而《双池电化学型臭氧探空传感器技术要求》规定反应池背景电流≤0.2μA，为降低臭氧分压校准结果的不确定度，本规范确定反应池背景电流≤0.1μA，并通过试验证明，本规范规定的技术指标和校准方法科学合理。

6.5.5对于臭氧响应时间，根据高空大气的特征和高空探测的需求，结合探空仪气象行业标准和国军标文件，本规范确定臭氧响应时间：≤40s（探空仪用臭氧传感器臭氧分压从15mPa下降到 5mPa所用的时间）。并通过试验证明，本规范规定的技术指标和校准方法科学合理。

6.5.5对于气泵采样时间，根据《双池电化学型臭氧探空传感器技术要求》的要求，气泵流速最大不超过（200±10):mL/min范围内，由于臭氧传感器在测量臭氧分压之前，需要测量并输入气泵取样时间，即地面每采集 100mL 空气样品通过电化学反应池时间，其单位为秒（s），因此，将“气泵流速最大不超过（200±10):mL/min”经换算改为“气泵采样时间最大不超过（30±1.4)s”。并通过试验证明，本规范规定的技术指标和校准方法科学合理。

6.6校准条件

6.6.1校准环境条件

由于臭氧传感器属于室内校准，考虑到标准器、配套设备和被测仪器的使用性能，对室内校准条件提出了具体要求，参照通用实验室校准条件，校准环境条件确定为温度：20℃～30℃，湿度：≤80%RH；另外，考虑到臭氧分压的测量结果受气温影响较大，为降低由此引入的不确定度，本规范规定在整个校准过程中，环境温度波动应不超过±2℃；由于在臭氧分压与臭氧浓度的换算中，当前气压需参加计算，当前气压的变化也会对臭氧的测量结果产生影响，因此本规范规定在整个校准过程中，环境气压波动应不超过±5 hPa；此外为提高校准结果的质量，被规范规定实验室环境应无影响仪器正常工作的电磁场干扰，且通风良好，无影响校准准确度的干扰气体。

6.6.2校准设备条件

根据JJF1094-2002《测量仪器特性评定》，编写组认为，应通过选择合适的标准器和配套设备，使校准结果可以满足合格性判定的三分之一原则，即$U\_{95}\leq $$\frac{1}{3}MPEV$。其中，$MPEV$为被校准传感器最大允许误差的绝对值。据此制定探空仪用臭氧传感器校准用标准器及配套设备。

根据探空仪用臭氧传感器计量特性，臭氧分压最大允许误差不超过±4%，则$\frac{1}{3}MPEV$=1.33%，即$U\_{95}$<1.33%才能满足校准要求。经试验，采用最大允许误差为（±1%×读数）的臭氧分析仪作为标准器，由臭氧校准仪、数字式气压计、标准物质、气体流量计等配套设备组成校准系统，其$U\_{95}$为2.3%，可以满足校准需求。

根据探空仪用臭氧传感器计量特性，温度最大允许误差为1.0℃，则$\frac{1}{3}MPEV$=0.33℃，即$U\_{95}$<0.33℃才能满足校准要求。经试验，采用最大允许误差不超过±0.1℃的铂电阻温度计为标准器，恒温液槽为配套设备的系统，其$U\_{95}$为0.17℃，可以满足校准需求。

6.7校准项目及方法

探空仪用臭氧传感器采用基于双池电化学原理设计，通过基带射频 SoC 一体化设计导航定位技术，采用 GFSK 无线调频通信方式通过 P 波段频段将采集的数据实时发送至地面接收处理系统。实现地面至高空的臭氧分压、大气温度的高准确度和高空间分辨率测量，提供卫星导航信息和状态信息。

校准项目包括反应池背景电流、气泵取样时间、臭氧响应时间、臭氧分压示值误差、重复性、温度示值误差。应首先将对反应池背景电流、气泵取样时间和臭氧响应时间进行，当这三项校准结果符合要求时，应将反应池背景电流、气泵取样时间和响应时间的校准结果输入臭氧传感器参数设置端，然后进行臭氧分压示值误差、重复性和温度示值误差的校准；当这三项中任意一项校准结果不符合要求时，均判断该臭氧传感器不符合要求，不进行臭氧分压示值误差、重复性和温度示值误差的校准。

6.7.1校准前准备

包括外观检查、标准器及配套设备的安装和标准溶液的加入。

1. 采用目测的方式对臭氧传感器的外观和结构进行外观检查并记录。
2. 提前48小时向待测臭氧探空仪内加入溶液，并使用配件连接电化学反应池接口，提前1 小时开启臭氧分析仪。臭氧分压示值误差校准前，首先要进行气泵取样时间、反应池背景电流和臭氧响应时间的校准。

6.7.2校准点的选择

1. 臭氧分压示值误差校准点的选定参考《JJG 1077—2012 臭氧气体分析仪》，结合探空仪用臭氧传感器特点，一般为5mPa、10mPa、15mPa、20mPa、25mPa，也可根据实际情况选定包含测量范围上限、下限在内均匀分布的3个测量点。臭氧分压按由低到高的顺序进行，各校准点上的臭氧分压偏差应在±1mPa以内。
2. 重复性校准点选定为10mPa，也可根据实际情况选定臭氧分压示值误差校准的其他校准点。
3. 臭氧响应时间校准，分别对臭氧浓度增大和减少两个情况的相应时间进行测试，通常选择校准点为5mPa和15mPa，测试由15mPa降低到5mPa的响应时间。
4. 温度示值误差校准点的选择，由于探空仪在高空探测时，样气的气温范围为：（0～50）℃，因此确定一般选择0℃、10℃、20℃、30℃、40℃、50℃，也可根据实际情况选择校准点，但至少选择包括边界点和中间点在内的至少3各点。
5. 反应池背景电流只是测量一个点，即通零气的电流；气泵取样时间也只是测量一个点，即气泵工作时的空气流速。

6.7.3校准的步骤

1. 气泵取样时间是指探空仪用臭氧传感器采集空气样品通过电化学反应池的速度。臭氧传感器校准前，使用皂膜流量计和秒表，测量气泵取样时间。将臭氧传感器电化学反应池阴极进气端通过阴极进气管与采样单元出气口相连，臭氧传感器电化学反应池阴极出气端与皂膜流量计进气管相连，接通臭氧探空传感器电源，稳定 5min后开始测量。按压皂膜流量计下方红色胶头直至产生的皂泡在玻璃管内随气流上升，皂泡经过皂膜流量计刻度零线时，利用秒表开始计时，皂泡通过 100mL 刻度线时计时结束，此时记录所用时间，计算气泵取样时间。需测量三次计算平均值，并将气泵取样时间输入臭氧传感器。
2. 反应池背景电流校准，将臭氧校准仪和探空仪用臭氧传感器接通，并向传感器通入零气，1min后读取被校准传感器的反应池背景电流值，当反应池背景电流值超出规范要求时，调整臭氧传感器零点，并重新进行反应池背景电流校准，直到反应池背景电流值符合规范要求为止。
3. 臭氧响应时间为臭氧浓度减少的响应时间，通常选择校准点为5mPa和15mPa，测试由15mPa降低到5mPa的响应时间。通入零点气体调整仪器零点后，设置臭氧校准仪臭氧分压为15mPa，通入臭氧标准气体，待被校臭氧传感器示值稳定5min后记录示值，通入零点气体，同时启动秒表，待被校臭氧传感器示值降至臭氧分压变化量的90%的臭氧分压值6mPa时，暂停秒表，记录秒表示值让仪器回到零点，将测量结果作为臭氧传感器响应时间。
4. 臭氧分压示值误差校准。当臭氧分析仪和臭氧校准仪的输出示值为臭氧浓度时，按照公式（1）计算各臭氧分压校准点所对应的臭氧浓度值，并按照臭氧浓度校准点进行校准。臭氧传感器基于电化学原理设计并含有两个反应池，将反应池与臭氧分析仪和臭氧校准仪连接，调节臭氧校准仪，设置臭氧校准仪臭氧分压或臭氧浓度；待示值稳定后保持2min，每间隔10 s记录一次标准值和被校臭氧传感器测量值 ，重复3次。重复上述步骤完成各校准点的校准，并分别计算标准值和被校臭氧传感器的平均值。按公式（2）计算标准器臭氧分压值，按公式（3）计算被校臭氧传感器臭氧分压示值误差。
5. 臭氧分压重复性校准。调节臭氧校准仪，设置臭氧校准仪臭氧分压为10mPa，待示值稳定后每间隔10 s记录一次标准值和被校臭氧传感器测量值，共记录10组数据，按公式（4）计算被校臭氧传感器的重复性。
6. 温度测量误差校准。臭氧传感器的温度测量元件为球状热敏电阻，安装在臭氧传感器盒体内，由于没有完全密封，因此用恒温槽进行校准时，要做好防水及绝缘保护。可采用导热良好且耐低温的塑料软管或玻璃试管，包裹好整个臭氧传感器，探入恒温槽。通过臭氧传感器接口插座输出数据。同时放入标准温度计，应与臭氧传感器感温部分尽可能处于同一水平面。计算机同时录取标准温度值和臭氧传感器温度测量输出值。对不具有串行插座的臭氧传感器产品，则要使用无线方式将数据发送至探空接收机，以采集臭氧传感器输出的温度信号。

根据CIMO指南表述及臭氧传感器实际应用状况，若无特殊要求，臭氧传感器温度传感器通常只做下降趋势的单行程测量。校准点在臭氧传感器测量范围内选不少于3个测试点，可选择常温点和两个边界点。示值读取应记录4组或更多的数据，用于表征示值重复性。示值误差计算是每个测试点都用臭氧传感器的测量结果的平均值减去标准值的平均值。

6.8 校准结果的表达

根据JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》的要求，本规范列出了校准结果的表达，对校准证书应包含的信息加以说明。

6.9 复校时间间隔

由于臭氧传感器是一次性仪器，使用后即报废，为确保臭氧传感器的准确可靠，建议校准有效期为12月。

6.10 附录

本规范附录A给出了校准证书内页参考格式。

附录B为探空仪用臭氧传感器校准原始记录格式示例。

附录C为探空仪用臭氧传感器臭氧分压测量结果的不确定度评定示例。

规范起草小组

2025.7.21