环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统现场校准规范

编制说明

2023 年 XX 月

《环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统现场校准规范》编制说明

一、任务来源

根据国家市场监督管理总局办公厅“市监计量发[2022] 70 号文件《市场监管总局办公厅关于印发 2022 年国家计量技术规范项目制定、修改及宣贯计划的通知》要求，《环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统现场校准规范》制定的项目列入 2022 年计划，归口单位为全国生态环境监管专用计量测试技术委员会。起草单位为中国计量科学研究院、中国环境监测总站、青岛市计量技术研究院。

二、编制规范的目的和意义

$PM_{2.5}$是影响环境空气质量的重要大气污染物，其监测及有效治理是我国环境保护部门和国家政府的目标，目前，全国339个地级城市和重点地区县、乡于2013年起陆续开展$PM_{2.5}$的自动监测工作，其自动监测的数据是评价环境空气质量的重要指标，也是环境治理考核、排名的重要依据。

环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测仪主要采用光散、β射线和振荡天平等原理进行颗粒物测量，实际的应用中是以β射线和光散原理的为主。测量原理决定了此类颗粒物连续自动监测仪在测试过程中，可以实现短时间内对颗粒物浓度的监测，并且可以自动、实时跟踪颗粒物的浓度变化。目前针对此类仪器的实施校准，主要是送至校准实验室，在实验室的环境下进行校准，这样周期检定需要对在线类仪器进行不断的拆卸和安装，在此过程中，可能对原本校准过的装置造成一定的测量偏差；另外实验室的环境和在线仪器的工作环境是存在着本质上的差别的，实验室条件下的校准和仪器的工作测试状态不一定能够代表在线环境下的仪器状态，有必要针对环境颗粒物连续自动监测系统制定现场校准规范。

目前针对颗粒物($PM_{2.5}$)质量浓度连续自动监测仪相关的规范有JJF1659-2017《$PM_{2.5}$质量浓度测量仪校准规范》，与目前待制定的规程规范存在一定的差别。首先是JJF1659校准条件是基于实验室环境下的，不能实现在线仪器的现场校准。

环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测仪在全国范围内应用广泛，在线类的仪器在很大程度上顺应了环境监测仪器的应用发展趋势，采用原位或者是现场校准也是保障此类仪器测量准确性的重要手段，因此制定本技术规范是根据环境空气颗粒物监测

仪器的发展趋势和计量校准发展趋势所提出的，可以从量值源头保障监测数据的准确，指导和规范环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统现场校准的校准工作，保障环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统浓度量值溯源的准确、统一。

三、编制原则和依据

3.1 本规范在制定中遵循以下基本原则：

a）本规范编写格式应符合 JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059-2012《测量不确定度评定与表示》等规范的规定。

b）本规范与国家的节能政策、环境保护政策等相一致；

c）本规范与已颁布实施的相关标准规范进行衔接；

d）本规范规定的技术内容及要求科学、合理，具有适用性和可操作性。

3.2 本规范编写的依据：

在本技术要求编写过程中，参考了 GB/T 31159-2014 《大气气溶胶观测术语》、HJ 653-2021 《环境空气颗粒物（PM_{10} 和 $PM_{2.5}$）连续自动监测系统系统要求及检测方法》和 JJF 1659-2017《$PM_{2.5}$ 质量浓度测量仪校准规范》等有关标准规范与技术规定。目前国内关于环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）质量浓度的相关标准如表 1 所示。

表 1　国内相关标准

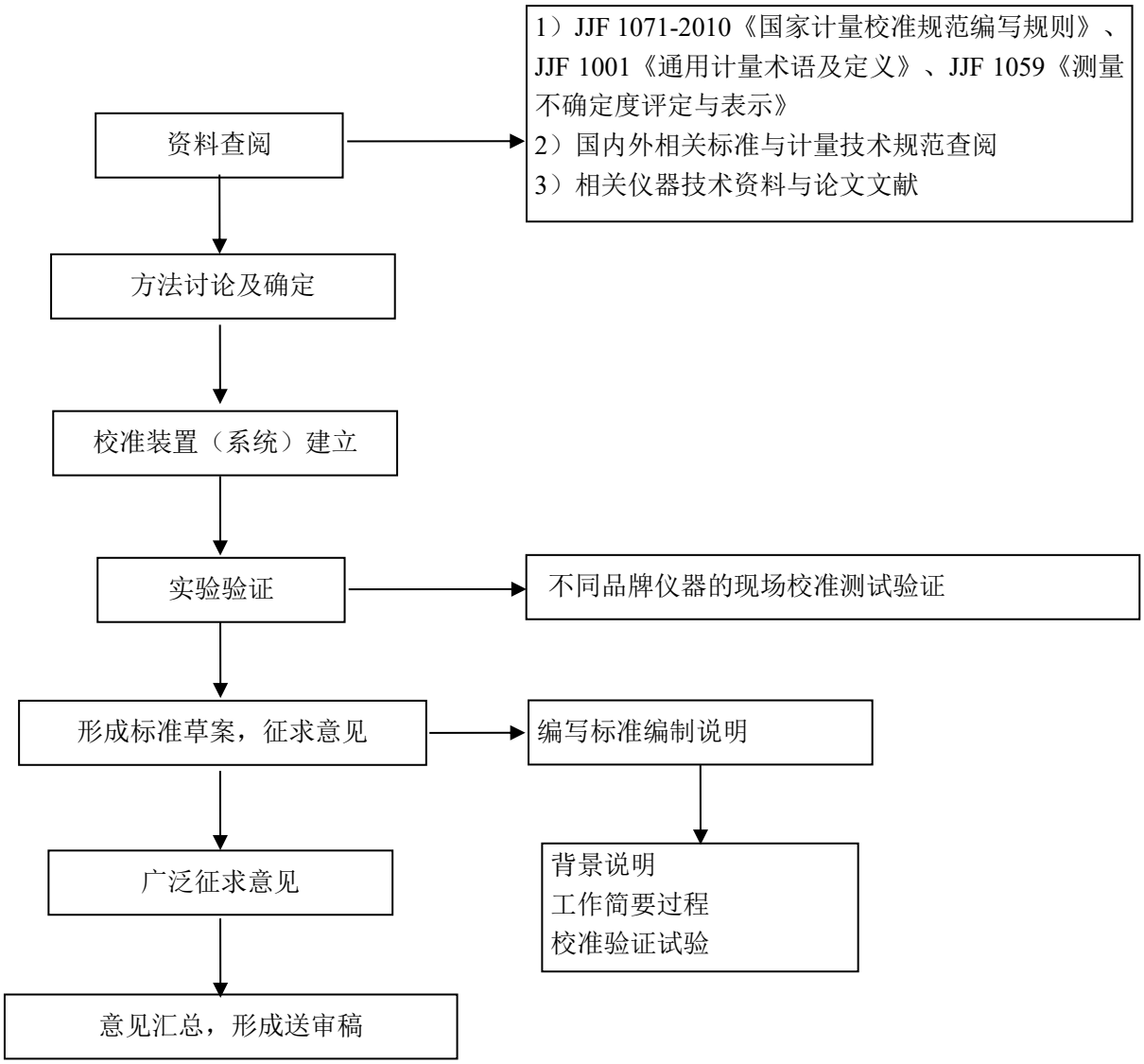
序号	标准名称	技术要求
1	JJF1659-2017 $PM_{2.5}$ 质量浓度测量仪校准规范	流量示值误差:±5% 平均流量偏差:±5% 温度示值误差:±2℃ 湿度示值误差：±2%RH 大气压示值误差:±1kPa 计时误差：±3s 浓度示值误差:±30%
2	HJ653-2021 环境空气颗粒物（PM_{10} 和 $PM_{2.5}$）连续自动监测系统技术要求及检测方法	平均流量偏差±5%设定流量； 流量相对标准偏差≤2%； 平均流量示值误差≤2% 温度测量示值误差:±2 ℃ 湿度测量示值误差:±5% RH 大气压测量示值误差:±1 kPa 计时误差：±10 s

		参比方法比对测试:斜率（k）：1±0.10 当 k≥1 时，-5 μg/m^3≤b≤（55-50×k）μg/m^3； 当 k≤1 时，（45-50×k）μg/m^3≤b≤5 μg/m^3

由上述国内标准规范可以看出，对环境空气颗粒物（PM_{10} 和 $PM_{2.5}$）连续自动监测系统技术要求主要集中在示值误差、采样流量、采样温湿度、大气压测量、采样时间等特性上。

四、工作过程

本规范 2022 年立项，全国生态环境监管计量技术委员会主持，分别在 2022 年 9 月 29 日和 2023 年 5 月 23 日，召开了规范开题论证会和项目调度会。本规范相关主要内容，均经过委员会相关主要专家研讨确定。起草单位本规范按计量技术规范制订的一般工作程序制订。具体流程见下图。



5.1 适用范围

本规范适用于环境质量考核评价的环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统的现场校准。

5.1.1 技术路线

由于环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统一般安装在现场点位，拆卸、送检较为困难。因此，本规范参考国内外相关经验，主要采用携带便携式颗粒物发生器、流量标准装置、温湿度计等工作计量器具至现场开展现场校准的技术路线。

JJF1659 采用标准 ISO 粉尘作为标准物质进入到粉尘发生器，发生的标准粒子的气溶胶经过静电中和等作用进入混匀管，充分混匀后，分流进入到颗粒物($PM_{2.5}$)质量浓度连续自动监测仪和被校颗粒物($PM_{2.5}$)质量浓度连续自动监测仪，实现质量浓度监测仪的校准。标准 ISO 粉尘主要成分为二氧化硅，占比达到 70%，氧化铝、氧化钙、氧化钾等化学组分占比达到 30%左右；ISO 粉尘分布在(0.97~22)um 范围内,5.5um 以上粒径的颗粒物占比 65%，11um 以上粒径的颗粒物占比达到 95.5%。

对环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）主要化学成分进行分析，其关键组分占比从高到低，依次为硝酸盐、硫酸盐、铵盐、碳质元素、地壳物质和其他组分。水溶性离子是大气颗粒物的重要组成部分，在 $PM_{2.5}$ 中的占比可高达 50%以上，部分时间能达到 70%到 80%。使用盐溶液的标准物质发生颗粒物更具有代表性。

基于以上原因，本规范可使用氯化钠溶液等作为标准物质发生单分散颗粒物气体。盐溶液单分散颗粒物发生器由供液系统、供气系统、雾化系统、混匀干燥系统等部分组成，供液系统中的注射泵驱使氯化钠标准溶液以恒定的流速流入到雾化系统，在恒定的超声频率作用下，溶液从超声雾化碰头喷出，形成单分散的均匀的小液滴，在供气系统产生的干燥零空气的驱动下，小液滴进入混匀干燥系统，并促使液滴表面的水份完全挥发，形成稳定且准确浓度的颗粒物气体。颗粒物气体的质量浓度溯源到手工重量法，确定颗粒物气体标准质量浓度值。通过比较颗粒物气体标准质量浓度值与被校颗粒物质量浓度监测仪的浓度示值，最终校准环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统。

5.1.2 方法原理

环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统用于连续自动测量环境空气中的空气动力学直径≤2.5μm 的颗粒物质量浓度的系统。系统根据样品测量原理的不同，分为光散射法、β射线法和振荡天平法等。系统主要由 $PM_{2.5}$ 样品采集单元、样品测量单元、数据处理单元、显示单元及其他辅助设备（包括所需要的机柜或平台、安装固定装置、采

样泵、流量校准适配器、气密性检查适配器和其他质控装置）组成。系统的工作原理为：样品采集单元将环境空气颗粒物进行切割分离并输送到样品测量单元，样品测量单元对$PM_{2.5}$颗粒物样品进行测量，数据处理单元将测量结果进行分析、计算、存储和传输，最后由显示单元输出和显示测量结果，其他辅助设备用于对设备进行质控和辅助测试，保障数据和系统的稳定可靠。

5.1.3 测量范围

本规范适用于连续自动测量环境空气中的空气动力学直径≤2.5μm的颗粒物质量浓度的系统。随着环境空气质量好转，$PM_{2.5}$质量浓度的逐步下降，目前环境空气中颗粒物（$PM_{2.5}$）质量浓度在京津冀区域年均质量浓度值在（30~100）ug/m^{3}范围内，在环境质量较好的区域，年均质量浓度远小于该范围，部分区域质量浓度达到个位数。为贴合我国环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）的实际浓度水平，本规范的校准上限为200μg/m^3，其它测量区间的环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统可参照本规范开展校准和现场校准。

5.2 计量特性

环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统现场校准工作分为户外工作与室内工作，其中流量示值误差、流量重复性与浓度示值误差计量特性的校准工作在室外采样平台进行操作。计时示值误差、温度示值误差、湿度示值误差与大气压示值误差为室内工作。本校准规范根据工作地点不同调整了环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统现场校准顺序，方便现场工作。

查阅相关资料，从不同厂家、不同型号的仪器使用说明书中了解到仪器的主要性能指标见表 2。（此表后期需要更新目前主流国内外相关的仪器品牌、型号等）

表 2 仪器的主要性能指标

生产厂家	型号	技术参数	检测原理	说明书中备注的示值误差
Met One	BAM 1020	浓度：(-15 ~ 10000)μg/m^3	β 射线法	±10%
		流量：16.7L/min	/	±2%
赛默飞世尔	5030i	浓度：(0 ~ 10000)μg/m^3	β 射线法	±2.0ug/m^3＜80ug/m3;±2.0ug/m3＜80ug/m3.(24 小时)
		流量：16.7L/min	/	±2%
安徽蓝盾	LGH-01E	浓度：(0 ~ 1000)μg/m^3	β 射线法	最低检出限＜2.0ug/m^3
		流量：16.7L/min	/	±2%

武汉天虹	TH-2000PM-PM2.5	浓度：(0～1000)μg/m^3	β 射线法	最低检出限＜2.0ug/m^3
		流量：16.7L/min	/	±2%
河北先河	XHPM2000E	浓度：(0～1000)μg/m^3 或 0～10000)μg/m^3	β 射线法	最低检出限＜5.0ug/m^3
		流量：16.7L/min	/	±2%

计量性能要求见表 3。

表 3 环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）连续自动监测系统技术要求

项目	偏差要求
流量示值误差	± 5%
流量重复性	≤2%
浓度示值误差	±15%
计时示值误差	±3s
气路温度示值误差	±2℃
气路湿度示值误差	±4%RH
大气压示值误差	±1kPa

5.2.1 流量示值误差与流量重复性：

JJF1659中关于流量部分一共有4个计量特性，包括流量示值误差、平均流量偏差、流量重复性和流量稳定性。考虑到目前被校准$PM_{2.5}$质量浓度测量仪在送检前一般先进行流量自校准，流量示值与流量设定值（16.67L/min）接近，且据目前实验室校准过的质量浓度监测仪流量数据显示（表4），流量示值误差和平均流量偏差均远远小于JJF 1659校准规范规定，建议删除平均流量偏差计量特性。依据JJF1659校准方法，流量稳定性为1小时三次读数数据，短时间内的流量稳定性与流量重复性相差较小（表4），考虑到现场实际校准的可操作，建议删除流量稳定性。

表 4　$PM_{2.5}$ 质量浓度测量仪送检设备流量数据

设备厂商	设备型号	设备编号	校准日期	流量示值误差	平均流量偏差	流量重复性	流量稳定性
MET ONE	E-BAM	C13776	2022/8/1	0.4%	−0.2%	0.2%	0.5%
MET ONE	E-BAM	C13784	2022/8/1	−0.1%	0.3%	0.1%	0.9%
MET ONE	E-BAM	C13777	2022/8/3	−0.4%	0.5%	0.2%	0.5%
MET ONE	E-BAM	C13779	2022/8/3	0.3%	−0.2%	0.1%	0.4%
MET ONE	E-BAM	C13781	2022/8/5	0.2%	0.1%	0.2%	0.4%
MET ONE	E-BAM	C13785	2022/8/5	−0.2%	0.3%	0.2%	0.4%
MET ONE	E-BAM	C13783	2022/8/8	−0.1%	0.2%	0.2%	0.5%
MET ONE	E-BAM	C13782	2022/8/9	−0.1%	0.2%	0.2%	0.5%
MET ONE	BAM 1022	Y19703	2022/8/23	−0.1%	0.2%	0.0%	0.1%
MET ONE	BAM 1022	Y19366	2022/8/23	0.1%	0.2%	0.0%	0.1%
MET ONE	BAM 1022	Y19372	2022/9/1	0.0%	0.2%	0.0%	0.1%

MET ONE	BAM 1022	Y19367	2022/9/1	−0.1%	0.3%	0.0%	0.1%
MET ONE	BAM 1022	Y19701	2022/10/25	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%
MET ONE	BAM 1022	Y19702	2022/10/26	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%

将流量标准装置与仪器采样口相连，开启系统进行正常采样，待系统显示的流量稳定后，分别读取标准流量值和被校系统流量示值（均为工况）3 次，计算瞬时流量示值误差。使用流量标准装置测量仪器工况流量，重复测量 6 次，计算流量重复性。

11台样机实验数据如表5所示。

表5实验数据显示，实验样机的流量示值误差在-3.6%到4.8%范围内，流量重复性在0.0%到0.7%范围内，根据实验结果并参考JJF 1659《$PM_{2.5}$质量浓度测量仪校准规范》和HJ653-2021 环境空气颗粒物（PM_{10}和$PM_{2.5}$）连续自动监测系统技术要求及检测方法，流量示值误差定为：±5%，流量重复性2%。

表5　$PM_{2.5}$质量浓度连续自动监测系统实验数据

设备厂商	设备型号	设备编号	校准日期	流量示值误差（%）	流量重复性	低浓度示值误差(ug/m^3)	中浓度示值误差(%)	高浓度示值误差(%)	温度示值误差（℃）	湿度示值误差（%RH）	大气压示值误差（kpa）
MET ONE	BAM-1020	BN20859	2023/7/6	-2.9%	0.0%	3.57	4.07%	0.58%	1.0	1.7	0.132
MET ONE	BAM-1020	BN20868	2023/7/6	-3.6%	0.0%	1.80	0.40%	-3.49%	0.5	3.2	0.119
赛默飞世尔	5030i	CM22070839	2023/7/5	2.2%	0.7%	0.3	6.65%	6.31%	1.6	10.1	-0.040
赛默飞世尔	5030i	CM22128038	2023/7/5	4.8%	0.3%	-3.56	5.05%	5.74%	2.9	9.3	0.040
安徽蓝盾	LGH-01E	G22026	2023/7/7	1.9%	0.0%	7.21	8.33%	7.08%	7.8	-10.2	-0.110
安徽蓝盾	LGH-01E	G22033	2023/7/7	1.5%	0.0%	4.97	7.37%	8.23%	9.4	-6.6	-0.410
安徽蓝盾	LGH-01E	G22003	2023/7/9	0.9%	0.0%	2.56	3.22%	2.92%	6.6	-10.5	-0.040
武汉天虹	TH-2000PM-PM2.5	282110259	2023/7/8	0.5%	0.0%	3.60	7.20%	-3.00%	-0.9	0.5	0.990
武汉天虹	TH-2000PM-PM2.5	282203075	2023/7/8	-3.4%	0.2%	3.35	7.80%	6.93%	2.9	0.7	-0.220
河北先河	XHPM2000E	PMF25210709	2023/7/9	-1.5%	0.4%	13.80	25.60	20.30%	--	--	--

5.2.3 浓度示值误差

浓度示值误差计量特性，分为首次校准和后续校准，被校系统安装、调试、试运行后，或维修后，未连接到国家/地方环境监测网前，进行首次校准，校准三个浓度点；被校系统在连接到国家/地方环境监测网时，进行后续校准，校准一个浓度点。

被校系统安装、调试、试运行后，或维修后，未连接到国家/地方环境监测网前，进行首次校准。连接采样管与仪器主机，同时去除被校系统采样雨帽及 PM_{10} 切割器，保留 $PM_{2.5}$ 切割器。使用便携式 $PM_{2.5}$ 颗粒物发生装置分别发生 $PM_{2.5}$ 质量浓度为 50 μg/m^3、100μg/m^3、200μg/m^3 或被测浓度范围 20%、50%、80%的颗粒物气体。产生的颗粒物气体沿采样口通入被校系统，保持校准状态与日常使用状态一致，在每个浓度点分别测量 2 次并记每个浓度点被校系统 $PM_{2.5}$ 质量浓度测量值，按公式计算被校系统在每个浓度点的浓度示值误差。

表5实验数据显示，实验样机在低浓度绝对示值误差最大值为7.21ug/m^3，中高浓度相对示值误差最大值为8.33%，根据实验结果，示值误差定为：≤50μg/m^3 时，±15μg/m^{3,} ＞50μg/m^3 时，±15%。

5.2.4 计时示值误差

在被校仪器正常工作过程中，读取并记录仪器显示的时间为开始时间t_0，同时启动秒表开始计时，当运行 1h 时，分别读取并记录被校仪器显示时间t_1和秒表显示时间t_2。按公式计算计时示值误差。

根据表5实验数据并参考JJF 1659《$PM_{2.5}$质量浓度测量仪校准规范》，计时示值误差定为：±3s。

5.2.5 气路温、湿度示值误差

温度、湿度是直接影响颗粒物监测准确的关键过程参量。环境空气颗粒物（$PM_{2.5}$）质量浓度连续自动监测系统为湿度控制的动态加热，根据相对湿度测量结果决定系统加热强度，当环境湿度值大于 35%RH 或 60%RH 时，系统会启动管道外壁的加热装置去除进入管路中空气的水分，当湿度小于 35%RH 时，系统停止加热。有必要在 JJF1659 的基础上增加气路湿度示值误差计量特性。

断开采样管与系统主机连接，保持待测监测仪正常运行（如采样管配备动态加热系统，则在测试时将动态加热系统关闭），待采样管与室内温度平衡后，将标准温度计的探头插入样气入口 3-5cm 处，待标准温度计读数稳定后分别读取并记录标准温度计温度值 Ts 和被校系统显示温度值 Tm，计算示值误差。

断开采样管与系统主机连接，保持待测监测仪正常运行（如采样管配备动态加热系统，则在测试时将动态加热系统关闭），待采样管与室内温度平衡后，将标准湿度计的探头插入样气入口 3-5cm 处，待标准湿度计读数稳定后分别读取并记录标准湿度计湿度值 H_s 和被校系统显示湿度值 H_m，计算示值误差。

表 5 实验数据显示，实验样机的温度示值误差在（-0.9~2.9）℃范围内，湿度示值误差在（-10.5~10.1）%RH 范围内,部分厂家设备的气路温度、湿度示值误差不满足 HJ653-2021 环境空气颗粒物（PM_{10} 和 $PM_{2.5}$）连续自动监测系统技术要求及检测方法的要求，督促厂家改进产品性能，满足环保要求。

根据实验数据并参考JJF 1659《$PM_{2.5}$质量浓度测量仪校准规范》和HJ653-2021 环境空气颗粒物（PM_{10}和$PM_{2.5}$）连续自动监测系统技术要求及检测方法，温度示值误差定为：±2℃，湿度示值误差±5%RH。

5.2.6 大气压示值误差

将标准气压计置于被校系统气压传感器旁同一高度处，分别读取并记录标准压力值ps和被校仪器显示压力值pm，计算被校仪器大气压示值误差。

根据表5实验数据并参考JJF 1659《$PM_{2.5}$质量浓度测量仪校准规范》和HJ653-2021 环境空气颗粒物（PM_{10}和$PM_{2.5}$）连续自动监测系统技术要求及检测方法，大气压示值误差定为：±1 kPa。

5.3 测量标准及其他设备

5.3.1 气溶胶发生混匀装置

可发生浓度高低可控、混合均匀的颗粒物设备，其浓度发生范围为（10~1000）μg/m³，校准采样口的质量浓度的最大允许误差不超过±7ug/m³（≤50 ug/m³）或±7%(＞50ug/m³)；**颗粒物发生装置可选用盐性颗粒物、粉尘或者其他合适材料的混合物；能够满足（0~20）L/min 的采样流量要求。**

以盐溶液单分散颗粒物发生器为例，使用的标准物质为氯化钠标准物质（纯度99.995%，U_{rel}≤0.005%，k=2）、氯化钠标准溶液（U_{rel}≤0.2%，k=2）或其他适宜的标准物质。发生质量浓度为 50 μg/m³、100 μg /m³、200 μg /m³ 的颗粒物气体，通过滤膜采样称重、重量法标准装置或高精度的质量浓度测量仪，在每个浓度点分别测量 6 次并记录每个浓度点滤膜采样称重、重量法标准装置或高精度的质量浓度测量仪的测量值。其实验数据如表 6 所示。

表 6　盐溶液单分散颗粒物发生器重量法溯源数据

发生浓度	标准浓度	示值误差	重复性
35 ug/m^3	35.2 ug/m^3	0.2 ug/m^3	2.01ug/m^3
50 ug/m^3	49.8 ug/m^3	0.2 ug/m^3	0.66 ug/m^3
100 ug/m^3	101.5 ug/m^3	1.5%	3.52%
200 ug/m^3	201.0 ug/m^3	0.5%	2.32%

表 6 数据显示，盐溶液单分散颗粒物发生器为示值误差不超过±5ug/m^3（≤50 ug/m^3）或±5%(＞50ug/m^3)，**满足要求。盐溶液单分散颗粒物发生器的溯源周期不得超过 1 年，溯源方法应符合附录 A 的规定。**

颗粒物气体通过滤膜采样称重或重量法标准装置，定期溯源到重量法，得到颗粒物气体标准质量浓度值。溯源周期不得超过 1 年。

六、不确定度评价

按照JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和JJF1059《测量不确定度评定与表示》相关要求，编写了附录B校准结果的不确定度评定示例（见校准规范）。