**可调谐半导体激光吸收光谱法一氧化碳、二氧化碳分析仪校准规范**

**试验验证报告**

**校准规范起草组**

**2025年6月**

**《可调谐半导体激光吸收光谱法一氧化碳、二氧化碳分析仪校准规范》试验验证报告**

1. **试验目的**

选取采用可调谐半导体激光吸收光谱法的一氧化碳、二氧化碳分析仪作为试验对象，按校准规范中规定的主要项目进行试验，验证该检定规程条款的正确性和可行性。

1. **试验方法**

按照校准规范的要求和方法进行试验。

1. **试验时间**

2025年5月

1. **试验地点**

杭州市质量计量科学研究院、杭州泽天春来科技股份有限公司、浙江科正电子信息产品检验有限公司、浙江工业大学。

1. **试验人员**

张冬（杭州市质量计量科学研究院）

刘立富（杭州泽天春来科技股份有限公司）

于志伟（杭州泽天春来科技股份有限公司）

刘凡新（浙江工业大学）

王钟伟（杭州泽天春来科技股份有限公司）

1. **试验过程**

6.1 环境条件

环境温度：24.3℃；湿度：55 RH%

6.2 测量所用标准装置及辅助试验设备

标准装置及辅助设备的主要技术参数如表1所示：

表1 标准装置及辅助设备的主要技术参数

| **序号** | **计量器具及配套设备名称** | **型号** | **主要技术参数** | **制造商名称** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 气体标准物质 | 高纯氮 | 浓度：≥99.999%；标物号：GBW(E)062439；不确定度：0.001% | 杭州贝斯特气体有限公司 |
| 2 | 气体标准物质 | 高纯氮 | 浓度：≥99.999%；标物号：GBW(E)061072；不确定度：0.0004% | 杭州新世纪混合气体有限公司 |
| 3 | 气体标准物质 | 氮气中一氧化碳 | 浓度：0.501%；标物号：GBW(E)084407；不确定度：1% | 杭州贝斯特气体有限公司 |
| 4 | 气体标准物质 | 氮气中一氧化碳 | 浓度：1.01%；标物号：GBW(E)084407；不确定度：1% | 杭州贝斯特气体有限公司 |
| 5 | 气体标准物质 | 氮气中一氧化碳 | 浓度：50.0%；标物号：GBW(E)080052 ；不确定度：1% | 北京氦普北分气体工业有限公司 |
| 6 | 气体标准物质 | 氮气中二氧化碳 | 浓度：20.0%；标物号：GBW(E)084409 ；不确定度：1% | 杭州贝斯特气体有限公司 |
| 7 | 气体标准物质 | 氮气中二氧化碳 | 浓度：30.1%；标物号：GBW(E)084409 ；不确定度：1% | 杭州贝斯特气体有限公司 |
| 8 | 气体标准物质 | 氮气中二氧化碳 | 浓度：50.0%；标物号：GBW(E)080051 ；不确定度：1% | 北京氦普北分气体工业有限公司 |
| 9 | 质量流量计 | CS200 | 校准证书编号：LX0812176635-001 | Sevenstar |
| 10 | 质量流量计 | G300-5L-1 | 校准证书编号：LX0812176149-001 | 天津吉斯特仪器仪表有限公司 |
| 11 | 气体质量流量计 | CS200 | 校准证书编号：DAFDIAX009330044 | Sevenstar |
| 12 | 电子秒表 | SJ9-2 Ⅱ | 检定证书编号：25000945735 | 上海手表五厂 |
| 13 | 激光湿度测量仪 | LGT-520 | 校准证书编号：EB23S-EQ100020  ；示值误差：不超过±1%FS | 杭州泽天春来科技股份有限公司 |

6.3 试验项目

试验项目如下表2。

表2 验证试验项目

|  |  |
| --- | --- |
| **序号** | **试验项目** |
| 1 | 示值误差 |
| 2 | 重复性 |
| 3 | 响应时间 |
| 4 | 零点漂移 |
| 5 | 量程漂移 |
| 6 | 水分干扰误差 |

6.4 试验仪器

本次试验共选择4个制造商厂家6种规格的可调谐半导体激光吸收光谱法的一氧化碳、二氧化碳分析仪，如表3所示，选择的仪器按照校准规范中涉及的项目全部进行测试。6种规格仪器在结构方式上包括了隔爆型原位对穿式（LGT-100）、正压型原位对穿式（LENSEP-L800）、单端反射式（GXL-2010）、盘装式（LGT-680）、在位式（GA-5000GI）和隔爆取样式（PGA-5000），产品种类覆盖全面。

表3 试验仪器

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **仪器型号** | **制造商名称** | **测量组分及量程** |
| 1 | LGT-100 | 杭州泽天春来科技股份有限公司 | CO：0-50%；CO2：0-50% |
| 2 | GA-5000GI | 杭州泽天春来科技股份有限公司 | CO：0-3000 μmol/mol；CO2：0-30% |
| 3 | GXL-2010 | [北京北分麦哈克分析仪器有限公司](https://www.baidu.com/link?url=Rq38gee7InsnKg82s0Nw2b3VICFzeL4Hjh7QOqsV6kP1fcMEV5L9QcLGZBaqfMkn&wd=&eqid=e1cf31d4000d85ab000000056819cf34" \t "https://www.baidu.com/_blank) | CO：0-50%；CO2：0-50% |
| 4 | LGT-680 | 杭州泽天春来科技股份有限公司 | CO：0-5000 μmol/mol；CO2：0-50% |
| 5 | PGA-5000 | 杭州因诺维新科技有限公司 | CO：0-1%；CO2：0-20% |
| 6 | LENSEP-L800 | 西安凌仕环保科技有限公司 | CO：0-30%；CO2：0-20% |

6.5 试验数据

详细试验数据见附录。

1. **试验结论**

本次试验共选择6种规格的可调谐半导体激光吸收光谱法的一氧化碳、二氧化碳分析仪，试验结果表明6台仪器的6项计量特性具有可操作性，满足该校准规范要求。

通过试验，验证了可调谐半导体激光吸收光谱法的一氧化碳、二氧化碳分析仪通用技术条件相应条款制定是可靠的、准确的。

**附录1：试验数据一**

1. 样机信息及试验条件

样品名称：激光气体分析仪；

测量组分及量程：CO：0-50%；CO2：0-50%；

型号：LGT-100；编号：JDGA00134；出厂日期：2025.01；

生产单位：杭州泽天春来科技股份有限公司

环境条件：温度：23.8℃；相对湿度50%；

试验日期：2025年5月17日；

试验人员：张冬、刘立富、王钟伟；

试验地点：杭州泽天春来科技股份有限公司研发实验室。

1. 示值误差

仪器零点稳定后，分别通入浓度约为满量程20%、50%、80%的标准气体，记录仪器稳定示值。相同浓度点重复测量3次，取算术平均值作为各点示值。测试结果如下：

表4 示值误差测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | 示值误差/%FS | 测试结果 |
| 1 | 2 | 3 | 平均值/% |
| CO | 10 | 10.06 | 10.04 | 10.07 | 10.06 | 0.11 | 满足要求 |
| 25 | 25.05 | 25.09 | 25.07 | 25.07 | 0.14 |
| 40 | 39.96 | 39.95 | 39.96 | 39.96 | -0.09 |
| CO2 | 10 | 10.05 | 10.04 | 10.02 | 10.04 | 0.07 | 满足要求 |
| 25 | 24.98 | 25.00 | 24.97 | 24.98 | -0.03 |
| 40 | 39.90 | 39.93 | 39.94 | 39.92 | -0.15 |

1. 重复性

仪器零点稳定后，首先通入浓度约为满量程50%的标准气体，记录仪器稳定示值，然后通入零点气。待仪器稳定后，再通入上述浓度的标准气体，上述步骤重复6次。重复性以单次测量的相对标准偏差来表示，测试结果如下：

表5 重复性测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | | 重复性  /% | 测试结果 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| CO | 25 | 25.03 | 25.04 | 25.05 | 25.09 | 25.07 | 25.07 | 0.09 | 满足要求 |
| CO2 | 25 | 25.02 | 24.93 | 25.04 | 24.93 | 25.01 | 25.00 | 0.19 | 满足要求 |

1. 响应时间

仪器零点稳定后，通入浓度约为满量程50%的标准气体，记录仪器稳定值。然后通入零点气体，让仪器示值回到零点。再通入上述标准气体，同时启动秒表，待仪器示值达到上述稳定值的90%时，停止秒表，记下秒表显示的时间。重复上述步骤3次，取算术平均值作为仪器的响应时间。

表6 响应时间测试结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | | | | 平均值/s |
| 1 | | 2 | 3 |
| CO | 10 | 11 | 10 | 10.33 |
| CO2 | 9 | 10 | 10 | 9.67 |

1. 漂移

仪器的漂移包括零点漂移和量程漂移。仪器零点稳定后，通入零点气体，记录仪器稳定示值，然后通入浓度为满量程80%的气体标准物质，记录仪器稳定示值。让仪器连续运行8h，每间隔2 h重复上述步骤一次，同时记录仪器零点稳定示值和量程稳定示值。

表7 零点漂移测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | 零点漂移  /%FS |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.02 |
| CO2 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |

表8 量程漂移测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | 量程漂移  /%FS |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CO | 40 | 39.96 | 39.99 | 40.02 | 39.97 | 40.00 | 0.10 |
| CO2 | 40 | 39.90 | 39.87 | 39.93 | 39.98 | 39.95 | 0.14 |

1. 水分干扰误差

通入零点气，待仪器稳定后，记录仪器显示值C。然后将零点气先经过水蒸气发生器再通人分析器内，记录读数Ci。重复上述步骤3次(i=1，2，3)。按标准文本式(5)计算水蒸气干扰误差，取绝对值最大的作为仪器的水蒸气干扰误差。

表9 水分干扰测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 通入标准气体后仪器示值  *C*0/% | 通入加湿标气后仪器示值 *C*i/% | | | 水分干扰误差  /%FS |
| 1 | 2 | 3 |
| CO | 0 | 0.00 | 0.03 | 0.05 | 0.13 | 0.26 |
| CO2 | 0 | 0.00 | 0.03 | 0.04 | 0.08 | 0.16 |

1. 备注及说明

无。

**附录2：试验数据二**

1. 样机信息及试验条件

样品名称：高精度激光气体分析系统；

测量组分及量程：CO：0-3000 μmol/mol；CO2：0-30%；

型号：GA-5000GI；编号：J25K00015；出厂日期：2025.01；

生产单位：杭州泽天春来科技股份有限公司

环境条件：温度：24.1℃；相对湿度50.5%；

试验日期：2025年5月12日；

试验人员：刘立富、于志伟、王钟伟；

试验地点：杭州泽天春来科技股份有限公司研发实验室。

1. 示值误差

仪器零点稳定后，分别通入浓度约为满量程20%、50%、80%的标准气体，记录仪器稳定示值。相同浓度点重复测量3次，取算术平均值作为各点示值。测试结果如下：

表10 示值误差测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | 示值误差/%FS | 测试结果 |
| 1 | 2 | 3 | 平均值/% |
| CO | 0.06 | 0.0597 | 0.0589 | 0.0594 | 0.0593 | -0.22 | 满足要求 |
| 0.15 | 0.1490 | 0.1494 | 0.1492 | 0.1492 | -0.27 |
| 0.24 | 0.2405 | 0.2409 | 0.2401 | 0.2405 | 0.17 |
| CO2 | 6 | 6.02 | 6.03 | 6.00 | 6.02 | 0.06 | 满足要求 |
| 15 | 14.97 | 14.99 | 15.01 | 14.99 | -0.03 |
| 24 | 23.94 | 23.95 | 23.94 | 23.93 | -0.19 |

1. 重复性

仪器零点稳定后，首先通入浓度约为满量程50%的标准气体，记录仪器稳定示值，然后通入零点气。待仪器稳定后，再通入上述浓度的标准气体，上述步骤重复6次。重复性以单次测量的相对标准偏差来表示，测试结果如下：

表11 重复性测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | | 重复性  /% | 测试结果 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| CO | 0.15 | 0.1491 | 0.1499 | 0.1503 | 0.1492 | 0.1501 | 0.1495 | 0.33 | 满足要求 |
| CO2 | 15 | 14.99 | 15.05 | 15.01 | 14.97 | 14.95 | 15.03 | 0.25 | 满足要求 |

1. 响应时间

仪器零点稳定后，通入浓度约为满量程50%的标准气体，记录仪器稳定值。然后通入零点气体，让仪器示值回到零点。再通入上述标准气体，同时启动秒表，待仪器示值达到上述稳定值的90%时，停止秒表，记下秒表显示的时间。重复上述步骤3次，取算术平均值作为仪器的响应时间。

表12 响应时间测试结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | | | | 平均值/s |
| 1 | | 2 | 3 |
| CO | 21 | 20 | 21 | 20.67 |
| CO2 | 22 | 21 | 21 | 21.33 |

1. 漂移

仪器的漂移包括零点漂移和量程漂移。仪器零点稳定后，通入零点气体，记录仪器稳定示值，然后通入浓度为满量程80%的气体标准物质，记录仪器稳定示值。让仪器连续运行8h，每间隔2 h重复上述步骤一次，同时记录仪器零点稳定示值和量程稳定示值。

表13 零点漂移测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | 零点漂移  /%FS |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CO | 0.00 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0002 | 0.17 |
| CO2 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 |

表14 量程漂移测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | 量程漂移  /%FS |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CO | 0.24 | 0.2394 | 0.2399 | 0.2401 | 0.2396 | 0.2399 | 0.10 |
| CO2 | 24 | 24.01 | 24.03 | 23.97 | 23.99 | 23.94 | -0.27 |

1. 水分干扰误差

通入零点气，待仪器稳定后，记录仪器显示值C0然后将零点气先经过水蒸气发生器再通人分析器内，记录读数Ci。重复上述步骤3次(i=1，2，3)。按式(5)计算水蒸气干扰误差，取绝对值最大的作为仪器的水蒸气干扰误差。

表15 水分干扰测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 通入标准气体后仪器示值  *C*0/% | 通入加湿标气后仪器示值 *C*i/% | | | 水分干扰误差  /%FS |
| 1 | 2 | 3 |
| CO | 0 | 0.00 | 0.0009 | 0.0005 | 0.0008 | 0.30 |
| CO2 | 0 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.08 | 0.27 |

1. 备注及说明

无。

**附录3：试验数据三**

1. 样机信息及试验条件

样品名称：激光气体分析仪；

测量组分及量程：CO：0-50%；CO2：0-50%；

型号：GXL-2010；编号：GXJG00052；出厂日期：2025.03；

生产单位：北京北分麦哈克分析仪器有限公司

环境条件：温度：23.9℃；相对湿度50.3%；

试验日期：2025年5月19日；

试验人员：刘立富、王钟伟；

试验地点：杭州泽天春来科技股份有限公司研发实验室。

1. 示值误差

仪器零点稳定后，分别通入浓度约为满量程20%、50%、80%的标准气体，记录仪器稳定示值。相同浓度点重复测量3次，取算术平均值作为各点示值。测试结果如下：

表16 示值误差测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | 示值误差/%FS | 测试结果 |
| 1 | 2 | 3 | 平均值/% |
| CO | 10 | 10.05 | 10.04 | 10.07 | 10.05 | 0.11 | 满足要求 |
| 25 | 25.07 | 25.10 | 25.06 | 25.08 | 0.15 |
| 40 | 40.04 | 40.01 | 40.02 | 40.05 | 0.11 |
| CO2 | 10 | 9.97 | 9.92 | 9.93 | 9.94 | -0.12 | 满足要求 |
| 25 | 24.90 | 24.93 | 24.91 | 24.91 | -0.17 |
| 40 | 39.96 | 39.91 | 39.94 | 39.94 | -0.13 |

1. 重复性

仪器零点稳定后，首先通入浓度约为满量程50%的标准气体，记录仪器稳定示值，然后通入零点气。待仪器稳定后，再通入上述浓度的标准气体，上述步骤重复6次。重复性以单次测量的相对标准偏差来表示，测试结果如下：

表17 重复性测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | | 重复性  /% | 测试结果 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| CO | 25 | 25.01 | 25.10 | 25.03 | 25.02 | 25.07 | 25.04 | 0.14 | 满足要求 |
| CO2 | 25 | 24.91 | 24.99 | 24.90 | 24.92 | 24.98 | 24.93 | 0.15 | 满足要求 |

1. 响应时间

仪器零点稳定后，通入浓度约为满量程50%的标准气体，记录仪器稳定值。然后通入零点气体，让仪器示值回到零点。再通入上述标准气体，同时启动秒表，待仪器示值达到上述稳定值的90%时，停止秒表，记下秒表显示的时间。重复上述步骤3次，取算术平均值作为仪器的响应时间。

表18 响应时间测试结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | | | | 平均值/s |
| 1 | | 2 | 3 |
| CO | 18 | 18 | 18 | 18 |
| CO2 | 18 | 18 | 18 | 18 |

1. 漂移

仪器的漂移包括零点漂移和量程漂移。仪器零点稳定后，通入零点气体，记录仪器稳定示值，然后通入浓度为满量程80%的气体标准物质，记录仪器稳定示值。让仪器连续运行8h，每间隔2 h重复上述步骤一次，同时记录仪器零点稳定示值和量程稳定示值。

表19 零点漂移测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | 零点漂移  /%FS |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CO | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| CO2 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |

表20 量程漂移测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | 量程漂移  /%FS |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CO | 40 | 40.01 | 40.03 | 40.07 | 40.02 | 40.00 | 0.10 |
| CO2 | 40 | 39.92 | 39.99 | 39.94 | 39.96 | 39.95 | 0.12 |

1. 水分干扰误差

通入零点气，待仪器稳定后，记录仪器显示值C0然后将零点气先经过水蒸气发生器再通人分析器内，记录读数Ci。重复上述步骤3次(i=1，2，3)。按式(5)计算水蒸气干扰误差，取绝对值最大的作为仪器的水蒸气干扰误差。

表21 水分干扰测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 通入标准气体后仪器示值  *C*0/% | 通入加湿标气后仪器示值 *C*i/% | | | 水分干扰误差  /%FS |
| 1 | 2 | 3 |
| CO | 0 | 0.00 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.12 |
| CO2 | 0 | 0.00 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.08 |

1. 备注及说明

无。

**附录4：试验数据四**

1. 样机信息及试验条件

样品名称：激光气体分析仪；

测量组分及量程：CO：0-5000 μmol/mol；CO2：0-50%；

型号：LGT-680；编号：JDGG00129；出厂日期：2025.03；

生产单位：杭州泽天春来科技股份有限公司

环境条件：温度：24.2℃；相对湿度50.5%；

试验日期：2025年4月24日；

试验人员：张冬、王钟伟、张伟、王东兴；

试验地点：浙江科正电子信息产品检验有限公司实验室、杭州泽天春来科技股份有限公司研发实验室。

1. 示值误差

仪器零点稳定后，分别通入浓度约为满量程20%、50%、80%的标准气体，记录仪器稳定示值。相同浓度点重复测量3次，取算术平均值作为各点示值。测试结果如下：

表22 示值误差测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | 示值误差/%FS | 测试结果 |
| 1 | 2 | 3 | 平均值/% |
| CO | 0.1 | 0.0985 | 0.0987 | 0.0988 | 0.0987 | -0.27 | 满足要求 |
| 0.25 | 0.2490 | 0.2501 | 0.2487 | 0.2493 | -0.15 |
| 0.4 | 0.3997 | 0.4009 | 0.4012 | 0.4006 | 0.12 |
| CO2 | 10 | 9.73 | 9.82 | 9.77 | 9.77 | -0.45 | 满足要求 |
| 25 | 24.82 | 24.91 | 24.88 | 24.87 | -0.26 |
| 40 | 39.92 | 39.93 | 39.87 | 39.91 | -0.19 |

1. 重复性

仪器零点稳定后，首先通入浓度约为满量程50%的标准气体，记录仪器稳定示值，然后通入零点气。待仪器稳定后，再通入上述浓度的标准气体，上述步骤重复6次。重复性以单次测量的相对标准偏差来表示，测试结果如下：

表23 重复性测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | | 重复性  /% | 测试结果 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| CO | 0.25 | 0.2501 | 0.2497 | 0.2499 | 0.2502 | 0.2496 | 0.2502 | 0.10 | 满足要求 |
| CO2 | 25 | 24.92 | 24.99 | 24.93 | 24.95 | 24.97 | 24.98 | 0.11 | 满足要求 |

1. 响应时间

仪器零点稳定后，通入浓度约为满量程50%的标准气体，记录仪器稳定值。然后通入零点气体，让仪器示值回到零点。再通入上述标准气体，同时启动秒表，待仪器示值达到上述稳定值的90%时，停止秒表，记下秒表显示的时间。重复上述步骤3次，取算术平均值作为仪器的响应时间。

表24 响应时间测试结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | | | | 平均值/s |
| 1 | | 2 | 3 |
| CO | 26 | 26 | 25 | 25.67 |
| CO2 | 12 | 11 | 12 | 11.67 |

1. 漂移

仪器的漂移包括零点漂移和量程漂移。仪器零点稳定后，通入零点气体，记录仪器稳定示值，然后通入浓度为满量程80%的气体标准物质，记录仪器稳定示值。让仪器连续运行8h，每间隔2 h重复上述步骤一次，同时记录仪器零点稳定示值和量程稳定示值。

表25 零点漂移测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | 零点漂移  /%FS |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CO | 0.00 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0002 | 0.0001 | 0.08 |
| CO2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |

表26 量程漂移测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | 量程漂移  /%FS |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CO | 0.4 | 0.4001 | 0.3999 | 0.4002 | 0.4005 | 0.3998 | -0.10 |
| CO2 | 40 | 39.98 | 39.95 | 39.94 | 39.97 | 40.01 | -0.10 |

1. 水分干扰误差

通入零点气，待仪器稳定后，记录仪器显示值C0然后将零点气先经过水蒸气发生器再通人分析器内，记录读数Ci。重复上述步骤3次(i=1，2，3)。按式(5)计算水蒸气干扰误差，取绝对值最大的作为仪器的水蒸气干扰误差。

表27 水分干扰测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 通入标准气体后仪器示值  *C*0/% | 通入加湿标气后仪器示值 *C*i/% | | | 水分干扰误差  /%FS |
| 1 | 2 | 3 |
| CO | 0 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0003 | 0.0002 | 0.10 |
| CO2 | 0 | 0.00 | 0.04 | 0.01 | 0.09 | 0.18 |

1. 备注及说明

无。

**附录5：试验数据五**

1. 样机信息及试验条件

样品名称：过程气体分析仪；

测量组分及量程：CO：0-1%；CO2：0-20%；

型号：PGA-5000；编号：JDZM40003；出厂日期：2025.04；

生产单位：杭州泽天春来科技股份有限公司

环境条件：温度：24.0℃；相对湿度50.3%；

试验日期：2025年5月26日；

试验人员：刘立富、刘凡新；

试验地点：杭州泽天春来科技股份有限公司研发实验室。

1. 示值误差

仪器零点稳定后，分别通入浓度约为满量程20%、50%、80%的标准气体，记录仪器稳定示值。相同浓度点重复测量3次，取算术平均值作为各点示值。测试结果如下：

表28 示值误差测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | 示值误差/%FS | 测试结果 |
| 1 | 2 | 3 | 平均值/% |
| CO | 0.2 | 0.1993 | 0.1997 | 0.1992 | 0.1994 | -0.12 | 满足要求 |
| 0.5 | 0.5009 | 0.4997 | 0.5003 | 0.5003 | 0.06 |
| 0.8 | 0.8007 | 0.8011 | 0.8003 | 0.8007 | 0.14 |
| CO2 | 4 | 4.04 | 4.06 | 4.01 | 4.04 | 0.07 | 满足要求 |
| 10 | 10.09 | 10.01 | 10.03 | 10.04 | 0.09 |
| 16 | 16.03 | 16.06 | 16.05 | 16.05 | 0.09 |

1. 重复性

仪器零点稳定后，首先通入浓度约为满量程50%的标准气体，记录仪器稳定示值，然后通入零点气。待仪器稳定后，再通入上述浓度的标准气体，上述步骤重复6次。重复性以单次测量的相对标准偏差来表示，测试结果如下：

表29 重复性测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | | 重复性  /% | 测试结果 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| CO | 0.5 | 0.5010 | 0.5003 | 0.5001 | 0.4999 | 0.5004 | 0.5009 | 0.09 | 满足要求 |
| CO2 | 10 | 10.03 | 10.04 | 10.02 | 10.05 | 10.01 | 10.03 | 0.14 | 满足要求 |

1. 响应时间

仪器零点稳定后，通入浓度约为满量程50%的标准气体，记录仪器稳定值。然后通入零点气体，让仪器示值回到零点。再通入上述标准气体，同时启动秒表，待仪器示值达到上述稳定值的90%时，停止秒表，记下秒表显示的时间。重复上述步骤3次，取算术平均值作为仪器的响应时间。

表30 响应时间测试结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | | | | 平均值/s |
| 1 | | 2 | 3 |
| CO | 18 | 18 | 18 | 18 |
| CO2 | 17 | 17 | 17 | 17 |

1. 漂移

仪器的漂移包括零点漂移和量程漂移。仪器零点稳定后，通入零点气体，记录仪器稳定示值，然后通入浓度为满量程80%的气体标准物质，记录仪器稳定示值。让仪器连续运行8h，每间隔2 h重复上述步骤一次，同时记录仪器零点稳定示值和量程稳定示值。

表31 零点漂移测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | 零点漂移  /%FS |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CO | 0.00 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0003 | 0.03 |
| CO2 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.05 |

表32 量程漂移测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | 量程漂移  /%FS |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CO | 0.8 | 0.8005 | 0.8009 | 0.8010 | 0.8004 | 0.8001 | -0.07 |
| CO2 | 16 | 16.03 | 16.07 | 16.04 | 16.05 | 16.07 | 0.20 |

1. 水分干扰误差

通入零点气，待仪器稳定后，记录仪器显示值C0然后将零点气先经过水蒸气发生器再通人分析器内，记录读数Ci。重复上述步骤3次(i=1，2，3)。按式(5)计算水蒸气干扰误差，取绝对值最大的作为仪器的水蒸气干扰误差。

表33 水分干扰测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 通入标准气体后仪器示值  *C*0/% | 通入加湿标气后仪器示值 *C*i/% | | | 水分干扰误差  /%FS |
| 1 | 2 | 3 |
| CO | 0 | 0.0000 | 0.007 | 0.002 | 0.004 | 0.70 |
| CO2 | 0 | 0.00 | 0.05 | 0.03 | 0.04 | 0.25 |

1. 备注及说明

无。

**附录6：试验数据六**

1. 样机信息及试验条件

样品名称：激光气体分析仪；

测量组分及量程：CO：0-30%；CO2：0-20%；

型号：LENSEP-L800；编号：LSJG00034；出厂日期：2025.02；

生产单位：西安凌仕环保科技有限公司

环境条件：温度：23.8℃；相对湿度50.1%；

试验日期：2025年6月5日；

试验人员：刘立富、刘凡新、王钟伟；

试验地点：浙江工大大学实验室。

1. 示值误差

仪器零点稳定后，分别通入浓度约为满量程20%、50%、80%的标准气体，记录仪器稳定示值。相同浓度点重复测量3次，取算术平均值作为各点示值。测试结果如下：

表34 示值误差测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | 示值误差/%FS | 测试结果 |
| 1 | 2 | 3 | 平均值/% |
| CO | 6 | 6.04 | 6.05 | 6.03 | 6.04 | 0.13 | 满足要求 |
| 15 | 14.97 | 14.88 | 14.93 | 14.93 | -0.24 |
| 24 | 24.05 | 24.03 | 23.98 | 24.02 | 0.07 |
| CO2 | 4 | 4.06 | 4.02 | 4.07 | 4.05 | 0.10 | 满足要求 |
| 10 | 10.08 | 10.03 | 10.01 | 10.04 | 0.08 |
| 16 | 15.96 | 15.90 | 15.97 | 15.94 | -0.11 |

1. 重复性

仪器零点稳定后，首先通入浓度约为满量程50%的标准气体，记录仪器稳定示值，然后通入零点气。待仪器稳定后，再通入上述浓度的标准气体，上述步骤重复6次。重复性以单次测量的相对标准偏差来表示，测试结果如下：

表35 重复性测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | | 重复性  /% | 测试结果 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| CO | 15 | 14.97 | 14.99 | 14.95 | 15.01 | 14.91 | 14.98 | 0.23 | 满足要求 |
| CO2 | 10 | 10.03 | 10.04 | 10.02 | 10.05 | 10.09 | 10.03 | 0.25 | 满足要求 |

1. 响应时间

仪器零点稳定后，通入浓度约为满量程50%的标准气体，记录仪器稳定值。然后通入零点气体，让仪器示值回到零点。再通入上述标准气体，同时启动秒表，待仪器示值达到上述稳定值的90%时，停止秒表，记下秒表显示的时间。重复上述步骤3次，取算术平均值作为仪器的响应时间。

表36 响应时间测试结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测量次数 | | | | 平均值/s |
| 1 | | 2 | 3 |
| CO | 9 | 9 | 9 | 9 |
| CO2 | 9 | 9 | 9 | 9 |

1. 漂移

仪器的漂移包括零点漂移和量程漂移。仪器零点稳定后，通入零点气体，记录仪器稳定示值，然后通入浓度为满量程80%的气体标准物质，记录仪器稳定示值。让仪器连续运行8h，每间隔2 h重复上述步骤一次，同时记录仪器零点稳定示值和量程稳定示值。

表37 零点漂移测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | 零点漂移  /%FS |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CO | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.03 |
| CO2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.05 |

表38 量程漂移测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 仪器示值/% | | | | | 量程漂移  /%FS |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| CO | 24 | 24.03 | 24.09 | 24.07 | 24.08 | 24.05 | 0.17 |
| CO2 | 16 | 16.00 | 16.05 | 16.09 | 16.04 | 16.02 | 0.40 |

1. 水分干扰误差

通入零点气，待仪器稳定后，记录仪器显示值C0然后将零点气先经过水蒸气发生器再通人分析器内，记录读数Ci。重复上述步骤3次(i=1，2，3)。按式(5)计算水蒸气干扰误差，取绝对值最大的作为仪器的水蒸气干扰误差。

表39 水分干扰测试结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准气体浓度/% | | 通入标准气体后仪器示值  *C*0/% | 通入加湿标气后仪器示值 *C*i/% | | | 水分干扰误差  /%FS |
| 1 | 2 | 3 |
| CO | 0 | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.13 |
| CO2 | 0 | 0.00 | 0.03 | 0.08 | 0.05 | 0.40 |

1. 备注及说明

无。