AHMT法测甲醛标曲绘制操作中影响线性的因素

常宇钰，姚锐琛

苏州市建设工程质量检测中心有限公司

**摘要：**本文主要探究AHMT法测甲醛标曲绘制操作中影响线性的因素，包括显色剂用量、显色时间、显色温度和振摇操作。通过实验设计和数据分析，我们对这些因素的影响进行了详细的比较和分析。结果表明，严格按照GB/T 16129-1995《居住区大气中甲醛卫生检验标准方法》进行实验，振摇操作是影响AHMT法测甲醛标曲线性好坏的关键，保证振摇操作一致，标曲线性指数基本>0.9995，且重现性好。

**关键词：**AHMT法；甲醛；标曲线性；显色剂用量；显色时间；显色温度；振摇操作

0 引言

甲醛是一种常见的室内空气污染物，主要来自装修材料、家具、地板、涂料等。高浓度的甲醛会对人体健康造成危害，如刺激眼睛、喉咙和鼻腔、引起过敏反应、损害呼吸道和肺功能。进行室内环境验收测甲醛可以及早发现并解决甲醛污染问题，确保室内空气质量达到标准。其中AHMT法作为一种常用的甲醛测定方法，广泛应用于建筑环境中。但由于GB/T 16129-1995[1]的标准较老，标准中对实验操作的条件描述比较宽泛，使得AHMT法测甲醛标曲线性还存在一些问题，如线性指标差、重复性差等，这会使得标曲曲线的斜率和截距产生较大波动，降低测定结果的准确性和可靠性，需要进一步优化和改进。基于此，本文开展了AHMT法测甲醛标曲绘制操作中影响线性的因素实验研究，以期为AHMT法甲醛测定提供重要的参考和指导。

1 实验部分

1.1 试剂和仪器

本研究中所用100mg/L甲醛标准溶液为坛墨质检官网采购；所用显色试剂均为分析纯；所用水为去离子水；所用分光光度计为上海光谱仪器有限公司制造的SP-2000可见分光光度计。

1.2 标准曲线的绘制

本研究中标准曲线的绘制根据GB/T 16129-1995《居住区大气中甲醛卫生检验标准方法》中的规定操作方法进行。在此方法基础上细化和改变实验操作，对显色剂用量、显色时间、显色温度和振摇操作进行优化，分析其对甲醛标曲线性的影响。

2 影响AHMT法标曲线性因素

2.1 显色剂用量的影响

1）AHMT溶液用量的影响

为讨论AHMT溶液用量对甲醛标曲线性的影响，在其他条件不变的情况下，分别加入0.50、0.75、1.00、1.25和1.50mL的0.5%AHMT溶液，按照标曲绘制步骤绘制标曲，结果见表1。

表1 AHMT溶液用量不同对标曲线性的影响

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 标液0 | 标液1 | 标液2 | 标液3 | 标液4 | 标液5 | 标液6 | 相关系数 |
| 标液体积/mL | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | - |
| 甲醛含量/ug | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.6 | 2.4 | 3.2 | - |
| 吸光度(0.50mL ) | 0.039 | 0.082 | 0.132 | 0.187 | 0.332 | 0.452 | 0.531 | 0.9898 |
| 吸光度(0.75mL ) | 0.049 | 0.089 | 0.140 | 0.210 | 0.362 | 0.519 | 0.664 | 0.9995 |
| 吸光度(1.00mL ) | 0.047 | 0.091 | 0.132 | 0.209 | 0.363 | 0.521 | 0.663 | 0.9996 |
| 吸光度(1.25mL ) | 0.048 | 0.091 | 0.142 | 0.211 | 0.362 | 0.522 | 0.665 | 0.9997 |
| 吸光度(1.50mL ) | 0.043 | 0.079 | 0.126 | 0.193 | 0.354 | 0.499 | 0.574 | 0.9896 |

图1 AHMT溶液用量不同对标曲线性的影响

由表1和图1可以看出：AHMT溶液用量在0.75mL~1.25mL范围内数据比较平稳，在此范围内，保持其他条件不变，甲醛标曲的相关系数皆为0.9995以上，标曲重现较好。这说明严格按照GB/T 16129-1995《居住区大气中甲醛卫生检验标准方法》进行实验，AHMT溶液用量不是影响甲醛标曲线性的关键因素。另外，发现当AHMT溶液用量<0.75mL时，甲醛低浓度点标液的吸光度基本保持不变，但高浓度点标液的吸光度较低，这可能是反应不完全导致；当AHMT溶液用量>1.25mL时，甲醛标液的吸光度整体呈现降低趋势，高浓度点标液的下降趋势更加明显。因此，AHMT溶液用量宜保持为1.00mL。

2）氢氧化钾溶液用量的影响

为讨论氢氧化钾溶液用量对甲醛标曲线性的影响，在其他条件不变的情况下，分别加入0.50、0.75、1.00、1.25和1.50mL的5mol/L氢氧化钾溶液，按照标曲绘制步骤绘制标曲，结果见表2。

表2 氢氧化钾溶液用量不同对标曲线性的影响

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 标液0 | 标液1 | 标液2 | 标液3 | 标液4 | 标液5 | 标液6 | 相关系数 |
| 标液体积/mL | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | - |
| 甲醛含量/ug | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.6 | 2.4 | 3.2 | - |
| 吸光度(0.50mL ) | 0.031 | 0.063 | 0.103 | 0.177 | 0.302 | 0.432 | 0.512 | 0.9930 |
| 吸光度(0.75mL ) | 0.036 | 0.071 | 0.112 | 0.189 | 0.338 | 0.493 | 0.660 | 0.9997 |
| 吸光度(1.00mL ) | 0.035 | 0.073 | 0.113 | 0.192 | 0.336 | 0.495 | 0.662 | 0.9995 |
| 吸光度(1.25mL ) | 0.036 | 0.074 | 0.115 | 0.191 | 0.339 | 0.497 | 0.663 | 0.9997 |
| 吸光度(1.50mL ) | 0.032 | 0.067 | 0.106 | 0.187 | 0.324 | 0.475 | 0.577 | 0.9966 |

图2 氢氧化钾溶液用量不同对标曲线性的影响

由表2和图2可以看出：氢氧化钾溶液用量在0.75mL~1.25mL范围内数据比较平稳，在此范围内，保持其他条件不变，甲醛标曲的相关系数皆为0.9995以上。这说明严格按照GB/T 16129-1995《居住区大气中甲醛卫生检验标准方法》进行实验，氢氧化钾溶液用量不是影响甲醛标曲线性的关键因素。另外，发现当氢氧化钾溶液用量<0.75mL时，甲醛低浓度点标液的吸光度基本保持不变，但高浓度点标液的吸光度较低，这可能是反应不完全导致；当氢氧化钾溶液用量>1.25mL时，甲醛标液的吸光度整体呈现降低趋势，高浓度点标液的下降趋势更加明显。因此，氢氧化钾溶液用量宜保持为1.00mL。

3）高碘酸钾溶液用量的影响

为讨论高碘酸钾溶液用量对甲醛标曲线性的影响，在其他条件不变的情况下，分别加入0.10、0.20、0.30、0.50和0.70mL的1.5%高碘酸钾溶液，按照标曲绘制步骤绘制标曲，结果见表3。

表3 高碘酸钾溶液用量不同对标曲线性的影响

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 标液0 | 标液1 | 标液2 | 标液3 | 标液4 | 标液5 | 标液6 | 相关系数 |
| 标液体积/mL | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | - |
| 甲醛含量/ug | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.6 | 2.4 | 3.2 | - |
| 吸光度(0.10mL ) | 0.049 | 0.084 | 0.133 | 0.236 | 0.429 | 0.572 | 0.634 | 0.9756 |
| 吸光度(0.20mL ) | 0.049 | 0.083 | 0.134 | 0.237 | 0.436 | 0.583 | 0.664 | 0.9822 |
| 吸光度(0.30mL ) | 0.049 | 0.085 | 0.133 | 0.235 | 0.421 | 0.593 | 0.781 | 0.9996 |
| 吸光度(0.50mL ) | 0.049 | 0.082 | 0.132 | 0.234 | 0.419 | 0.591 | 0.775 | 0.9995 |
| 吸光度(0.70mL ) | 0.049 | 0.084 | 0.131 | 0.232 | 0.418 | 0.589 | 0.774 | 0.9996 |

图3 高碘酸钾溶液用量不同对标曲线性的影响

由表3和图3可以看出：高碘酸钾溶液用量在0.3mL~0.7mL范围内数据比较平稳，在此范围内，保持其他条件不变，甲醛标曲的相关系数皆为0.9995以上。这说明严格按照GB/T 16129-1995《居住区大气中甲醛卫生检验标准方法》进行实验，高碘酸钾溶液用量不是影响甲醛标曲线性的关键因素。另外，发现当高碘酸钾溶液用量<0.20mL时，甲醛标曲线性不可信，甲醛高浓度点标液的吸光度较低，这可能是反应不完全导致。因此，高碘酸钾溶液用量宜保持为0.3mL。

2.2显色时间的影响

1）第一阶段反应时间的影响

本研究中第一阶段反应时间是指标液中加入1.0 mL5mol/L 氢氧化钾溶液和1.0 mL0.5%AHMT 溶液后的放置时间。为讨论第一阶段反应时间对甲醛标曲线性的影响，在其他条件不变的情况下，分别反应5、10、15、20和25min，按照标曲绘制步骤绘制标曲，结果见表4。

表4 第一阶段反应时间不同对标曲线性的影响

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 标液0 | 标液1 | 标液2 | 标液3 | 标液4 | 标液5 | 标液6 | 相关系数 |
| 标液体积/mL | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | - |
| 甲醛含量/ug | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.6 | 2.4 | 3.2 | - |
| 吸光度(5min) | 0.04 | 0.079 | 0.126 | 0.168 | 0.351 | 0.521 | 0.635 | 0.9953 |
| 吸光度(10min ) | 0.04 | 0.087 | 0.137 | 0.222 | 0.394 | 0.585 | 0.718 | 0.9979 |
| 吸光度(15min ) | 0.041 | 0.087 | 0.137 | 0.223 | 0.392 | 0.586 | 0.753 | 0.9996 |
| 吸光度(20min ) | 0.04 | 0.088 | 0.136 | 0.224 | 0.393 | 0.584 | 0.752 | 0.9997 |
| 吸光度(25min ) | 0.041 | 0.086 | 0.134 | 0.221 | 0.39 | 0.583 | 0.751 | 0.9997 |

图4 第一阶段反应时间不同对标曲线性的影响

由表4和图4可以看出：第一阶段反应时间在15min~25min范围内数据比较平稳，在此范围内，保持其他条件不变，甲醛标曲的相关系数皆为0.9995以上。这说明严格按照GB/T 16129-1995《居住区大气中甲醛卫生检验标准方法》进行实验，第一阶段反应时间不是影响甲醛标曲线性的关键因素。另外，发现当第一阶段反应时间<15min时，甲醛标曲线性相关系数为0.995左右，这可能是反应不完全导致。因此，第一阶段反应时间宜保持为20min。

2）第二阶段反应时间的影响

本研究中第二阶段反应时间是指标液中加入0.3 mL1.5%高碘酸钾溶液后的放置时间。为讨论第二阶段反应时间对甲醛标曲线性的影响，在其他条件不变的情况下，分别反应3、4、5、7和10min，按照标曲绘制步骤绘制标曲，结果见表5。

表5 第二阶段反应时间不同对标曲线性的影响

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 标液0 | 标液1 | 标液2 | 标液3 | 标液4 | 标液5 | 标液6 | 相关系数 |
| 标液体积/mL | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | - |
| 甲醛含量/ug | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.6 | 2.4 | 3.2 | - |
| 吸光度(3min) | 0.058 | 0.102 | 0.137 | 0.224 | 0.394 | 0.539 | 0.707 | 0.9995 |
| 吸光度(4min ) | 0.058 | 0.101 | 0.138 | 0.225 | 0.394 | 0.541 | 0.706 | 0.9996 |
| 吸光度(5min ) | 0.057 | 0.103 | 0.141 | 0.227 | 0.387 | 0.549 | 0.712 | 0.9999 |
| 吸光度(7min ) | 0.057 | 0.103 | 0.138 | 0.227 | 0.396 | 0.547 | 0.708 | 0.9996 |
| 吸光度(10min ) | 0.057 | 0.098 | 0.136 | 0.227 | 0.396 | 0.547 | 0.708 | 0.9995 |

图5 第二阶段反应时间不同对标曲线性的影响

由表5和图5可以看出：第二阶段反应时间在3min~10min范围内数据比较平稳，在此范围内，保持其他条件不变，甲醛标曲的相关系数皆为0.9995以上。这说明严格按照GB/T 16129-1995《居住区大气中甲醛卫生检验标准方法》进行实验，第二阶段反应时间不是影响甲醛标曲线性的关键因素。因此，第二阶段反应时间宜保持为5min。

2.3显色温度的影响

为讨论显色温度对甲醛标曲线性的影响，在其他条件不变的情况下，分别在室温10℃、15℃、20℃、25℃和30℃，按照标曲绘制步骤绘制标曲，结果见表6。

表6 显色温度不同对标曲线性的影响

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 标液0 | 标液1 | 标液2 | 标液3 | 标液4 | 标液5 | 标液6 | 相关系数 |
| 标液体积/mL | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | - |
| 甲醛含量/ug | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.6 | 2.4 | 3.2 | - |
| 吸光度(10℃) | 0.032 | 0.056 | 0.103 | 0.164 | 0.331 | 0.452 | 0.556 | 0.9946 |
| 吸光度(15℃ ) | 0.035 | 0.058 | 0.109 | 0.169 | 0.334 | 0.457 | 0.563 | 0.995 |
| 吸光度(20℃ ) | 0.039 | 0.066 | 0.113 | 0.184 | 0.341 | 0.487 | 0.628 | 0.9995 |
| 吸光度(25℃ ) | 0.038 | 0.072 | 0.113 | 0.189 | 0.341 | 0.487 | 0.632 | 0.9999 |
| 吸光度(30℃ ) | 0.037 | 0.073 | 0.113 | 0.189 | 0.341 | 0.488 | 0.635 | 0.9999 |

图6 显色温度不同对标曲线性的影响

由表6和图6可以看出：显色温度在20℃~30℃范围内数据比较平稳，这和文献结果一致[2]。在此范围内，保持其他条件不变，甲醛标曲的相关系数皆为0.9995以上。同时，发现当显色温度<20℃时，甲醛标液的吸光度偏低，这可能是因为温度较低时甲醛显色不完全导致。因此，最佳显色温度宜为20℃~30℃较好。

2.4振摇操作的影响

1）第一阶段振摇操作的影响

本研究中第一阶段振摇操作是指标液中加入1.0 mL5mol/L 氢氧化钾溶液和1.0 mL0.5%AHMT 溶液后的颠倒操作。为讨论第一阶段振摇操作对甲醛标曲线性的影响，在其他条件不变的情况下，分别颠倒0、1、3、5和10次、颠倒力度保持相同，按照标曲绘制步骤绘制标曲，结果见表7。

表7 第一阶段振摇操作不同对标曲线性的影响

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 标液0 | 标液1 | 标液2 | 标液3 | 标液4 | 标液5 | 标液6 | 相关系数 |
| 标液体积/mL | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | - |
| 甲醛含量/ug | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.6 | 2.4 | 3.2 | - |
| 吸光度(0次) | 0.059 | 0.092 | 0.132 | 0.174 | 0.362 | 0.56 | 0.645 | 0.9889 |
| 吸光度(1次 ) | 0.059 | 0.092 | 0.134 | 0.184 | 0.371 | 0.564 | 0.635 | 0.9872 |
| 吸光度(3次 ) | 0.059 | 0.098 | 0.136 | 0.224 | 0.391 | 0.562 | 0.749 | 0.9995 |
| 吸光度(5次 ) | 0.059 | 0.097 | 0.134 | 0.224 | 0.391 | 0.562 | 0.745 | 0.9996 |
| 吸光度(10次 ) | 0.057 | 0.094 | 0.132 | 0.224 | 0.392 | 0.561 | 0.745 | 0.9997 |

图7 第一阶段振摇操作不同对标曲线性的影响

由表7和图7可以看出：第一阶段振摇操作对甲醛标曲线性影响较大。保持其他条件不变，0次和1次振摇都会导致反应不充分，所得标曲线性较差；振摇>3次能够得到较好的相关系数，但注意在操作中要使振摇的力度保持一致，否则也得不到较好的线性结果。因此，第一阶段振摇操作宜为颠倒3次。

2）第二阶段振摇操作的影响

本研究中第二阶段振摇操作是指标液中加入0.3 mL1.5%高碘酸钾溶液后的充分振摇操作。为讨论第二阶段振摇操作对甲醛标曲线性的影响，在其他条件不变的情况下，分别颠倒0、5、10、20和30次、颠倒力度保持相同，按照标曲绘制步骤绘制标曲，结果见表8。

表8 第二阶段振摇操作不同对标曲线性的影响

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 标液0 | 标液1 | 标液2 | 标液3 | 标液4 | 标液5 | 标液6 | 相关系数 |
| 标液体积/mL | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | - |
| 甲醛含量/ug | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.6 | 2.4 | 3.2 | - |
| 吸光度(0次) | 0.037 | 0.064 | 0.106 | 0.134 | 0.379 | 0.468 | 0.756 | 0.9756 |
| 吸光度(5次 ) | 0.036 | 0.054 | 0.115 | 0.156 | 0.432 | 0.512 | 0.737 | 0.9839 |
| 吸光度10次 ) | 0.037 | 0.074 | 0.121 | 0.186 | 0.389 | 0.483 | 0.734 | 0.9889 |
| 吸光度(20次 ) | 0.036 | 0.081 | 0.127 | 0.223 | 0.411 | 0.593 | 0.779 | 1 |
| 吸光度(30次 ) | 0.037 | 0.082 | 0.121 | 0.209 | 0.412 | 0.582 | 0.776 | 0.9995 |

图8 第二阶段振摇操作不同对标曲线性的影响

由表8和图8可以看出：第二阶段振摇操作对甲醛标曲线性影响较大。保持其他条件不变，0次、5次和10次振摇都会导致反应不充分，所得标曲线性较差；振摇>20次能够得到较好的相关系数，但仍要注意在操作中要使振摇的力度保持一致，否则也得不到较好的线性结果。因此，第二阶段振摇操作宜为颠倒20次。

3 结论

从以上4点影响因素讨论可见，显色剂用量、显色时间和显色温度可以按照GB/T 16129-1995《居住区大气中甲醛卫生检验标准方法》中的规定操作，这些因素能够影响AHMT法测甲醛标曲线性，但按照标准规定方法进行试验其影响可以忽略。而振摇操作是影响AHMT法测甲醛标曲线性的关键因素，为提高标曲线性系数，在实际检测中需要注意振摇频率和力度，尽量保证所有样品管振摇一致，以减低对最终测定结果的影响。

参考文献

1. GB/T 16129-1995《居住区大气中甲醛卫生检验标准方法》
2. 梁亚丽,阿丽莉,马琳,杨珍,孙银生,吴培源.AHMT分光光度法测定室内空气中甲醛的试验条件优化[J].河南科学,2021,39(03):373-378.