

## 基于温度修正模型的柴油凝点快速检测方法

万顺宽<sup>1,2</sup>, 吕波<sup>1</sup>, 张洪明<sup>1\*</sup>, 何梁<sup>1</sup>, 符佳<sup>1</sup>, 计华健<sup>3</sup>, 王福地<sup>1</sup>, 宾斌<sup>1</sup>, 李义超<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所, 安徽合肥 230031

2. 中国科学技术大学, 安徽合肥 230026

3. 南华大学核科学与技术学院, 湖南衡阳 421001

**摘要** 便携式近红外光谱仪现场快速检测是近红外光谱分析领域的一个重要的发展趋势。为了实现快速检测, 便携式近红外光谱仪一般不配备温控装置, 因此环境温度的变化会带来较大的测量误差。如何降低环境温度对检测结果带来的误差, 是便携式近红外光谱仪在现场快速检测领域大规模推广所需要解决的一个重要问题。柴油的凝点值是评价柴油品质和适用范围的一个重要指标, 对柴油凝点进行快速检测有重要的经济意义。通过便携式光谱仪采集了50种具有不同凝点的柴油样品在近红外波段(950~1650 nm)的吸收光谱, 研究了环境温度变化下的基于近红外光谱分析的柴油凝点快速检测方法。此光谱仪为基于数字微镜设计的便携式光谱仪, 针对现场快检而研发, 未配备温控样品池。在环境温度 $T_0=25\text{ }^\circ\text{C}$ 时基于偏最小二乘法建立了柴油凝点的预测模型, 并分别将不同环境温度( $T_E=-10, 0, 10, 20, 30, 40$ 和 $50\text{ }^\circ\text{C}$ )条件下测量的近红外光谱带入上述凝点预测模型, 分析预测偏差随环境温度相对参考值变化( $T_E-T_0$ )的依赖关系。通过一次函数对预测误差随环境温度的变化关系进行拟合, 发现凝点预测偏差的平均值随环境温度的变化关系为 $\Delta c=-0.0198(T_E-T_0)$ 。将环境温度的修正因子带入 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下预测模型, 建立了针对环境温度变化的温度修正模型。在温度修正以后,  $10\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下预测凝点的均方根误差由原来的14.6降为8.8, 相关系数由原来的0.4提升为0.7。研究表明, 本温度修正模型可以有效降低环境温度对预测结果带来的误差。基于此温度修正模型, 可以显著降低近红外光谱分析建模过程的工作量, 在某一特定温度条件下建立预测模型后将此温度修正项带入模型即可用于在其他环境温度条件下进行柴油凝点值的预测, 而不需要在其他多个温度条件下分别建立预测模型, 可显著提高建模效率和便携式近红外光谱快速检测的温度适应性。

**关键词** 便携式近红外光谱仪; 温度修正; 偏最小二乘法; 柴油凝点

**中图分类号:** O433.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2021)10-3111-06

### 引言

近红外(near infrared, NIR)光谱分析技术<sup>[1-3]</sup>具有方便、快速、高效、结果准确, 不破坏样品, 不消耗化学试剂和不污染环境等优点, 受到越来越多的关注。便携式NIR光谱仪无法配备温控模块, 环境温度的差异会对样品的吸收或反射光谱产生较大影响, 因此必须要建立包含环境温度修正项的预测模型, 以降低环境温度的差异造成检测结果的误差。目前, 国内外已经开展了一些关于近红外光谱的温度修正研究。孙彦华等利用自主研发的手持式近红外光谱仪采集玉米

样品的近红外光谱, 研究样品温度变化对模型预测结果的影响, 可以实现样品的快速无损检测<sup>[4]</sup>。Thamasopinkul等基于近红外光谱仪(Spectra-StarTM 2500, Unity Scientific, Milford, MA, USA)利用标准正态变量变换的拟最小二乘回归建立了三种恒温(25, 35和45 $^\circ\text{C}$ )校正模型, 并建立了具有温度补偿的校正模型模拟了蜂蜜的近红外光谱受样品温度变化的影响<sup>[5]</sup>。

上述研究是针对不同种类的含水分样品开展了温度修正模型研究, 而特种柴油中的水含量可以忽略, 目前环境温度差异对无水柴油的检测结果的影响尚不明确, 阻碍了利用近红外分析方法对特种柴油进行现场快检应用的发展<sup>[6]</sup>。柴油

收稿日期: 2020-10-09, 修订日期: 2021-02-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFE0301303), 国家自然科学基金项目(11805231), 中国科学院合肥大科学中心协同创新培育基金项目(2019HSC-CIP005), 安徽省杰出青年科学基金项目(1908085J01), 安徽省重点研究与开发计划项目(202104a06020021)资助

作者简介: 万顺宽, 1995年生, 中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所硕士研究生 e-mail: shunkuan.wan@ipp.ac.cn

\* 通讯作者 e-mail: hmzhang@ipp.ac.cn

的凝点是柴油的重要指标之一,对贮存,运输和使用都有重要影响。柴油的凝点与其结构组成有着密切关系,链烃结构对柴油的凝点贡献起着决定性作用,近红外光谱在分析 C—H 结构方面有着独特的优势<sup>[7]</sup>。因此基于便携式近红外光谱仪对无水的特种柴油开展温度修正模型的研究,通过引入温度修正项,得到了修正后的预测模型,结果表明该模型可以有效降低环境温度对预测结果的影响。

## 1 温度修正模型建模方法

首先在室温  $T_0 = 25\text{ }^\circ\text{C}$  条件下测量了特种柴油样品的光谱,并采用偏最小二乘(PLS)<sup>[8-10]</sup>建立了该柴油的凝点预测模型<sup>[11]</sup>

$$c = b_0 + b_1 A_1 + b_2 A_2 + \dots + b_n A_n \quad (1)$$

式(1)中,  $A_1 - A_n$  是样品各个波长处的吸光度,  $b_0 - b_n$  为不同波长处光强的权重系数,  $c$  为样品的理化指标,在本研究中  $c$  为柴油样品的凝点值。

在各环境温度条件下( $-10, 0, 10, 20, 30, 40$  和  $50\text{ }^\circ\text{C}$ )测量了样品的吸收光谱,再将这些温度条件下的光谱数据带入  $25\text{ }^\circ\text{C}$  条件下的预测模型,以分析环境温度( $T_E$ )差异对预测结果带来的影响

$$\Delta c(T_E) = c(T_E - T_0) - c_0 \quad (2)$$

其中,  $c(T_E)$  为利用  $T_E$  环境温度下测量光谱数据得到凝点预测值,  $c_0$  为采用国标方法(GB/T510)得到的柴油凝点标准值。

利用偏最小二乘法将每个环境温度下预测结果与标准值之间的差异对环境温度  $T_E$  进行一次函数拟合,得到

$$\Delta c = f_1(T_E - T_0) \quad (3)$$

其中,  $f_1$  为环境温度  $T_E$  变化对预测结果产生的修正项系数,以修正环境温度差异带来的测量误差,  $T_0$  为  $25\text{ }^\circ\text{C}$ 。

最后得到了带有温度修正项的预测模型

$$c_m = b_0 + b_1 A_1 + b_2 A_2 + \dots + b_n A_n + f_1(T_E - T_0) \quad (4)$$

式(4)中,  $c_m$  修正模型得到的柴油样品凝点修正值。

## 2 实验部分

### 2.1 吸收光谱实验测量

采用辽宁方圆国家标准样品油有限公司提供的特种无水柴油样品,样品凝点值分别为  $-54.0, -48.0, -44.0, -36.0, -33.0, -28.0, -24.0, -16.0, -12.0, -8.0$  和  $-3.0\text{ }^\circ\text{C}$  共计 50 种柴油,每个凝点值同时包括数个其他指标不同的样品。所有样品的凝点均采用国标方法 GB/T510 进行测定。

使用基于德州仪器(Texas Instruments Inc)DMD 芯片的透射式近红外光谱仪<sup>[12]</sup>,扫描模式可通过控制界面设置,为列扫描模式,波长数据点设置为 228 个,通过 6 次扫描取平均值。

实验步骤:(1)将恒温箱调整至  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ,等待 30 min 后,把按照 1—50 编号的比色皿(光程 10 mm)依次放入光谱仪样品池,待温度恒定后进行空比色皿的参考光谱采集;然后将

柴油样品按照 1—50 进行标号,并依次装入对应编号的石英比色皿中,将盛有柴油样品的比色皿依次放入光谱仪样品池,在箱内温度恒定后依次进行数据采集。考虑此款光谱仪在  $900 \sim 950$  和  $1\ 650 \sim 1\ 700\text{ nm}$  波长范围内的测量误差较大,本实验仅采用  $950 \sim 1\ 650\text{ nm}$  波长范围内的光谱数据如图 1(a),采集到的波长点数由原来的 228 减少到 197。(2)将恒温箱温度分别设定为  $-10, 0, 10, 20, 30, 40$  和  $50\text{ }^\circ\text{C}$ ,然后依次重复上面的测量步骤,即可得到不同温度条件下柴油样品的吸收光谱数据。

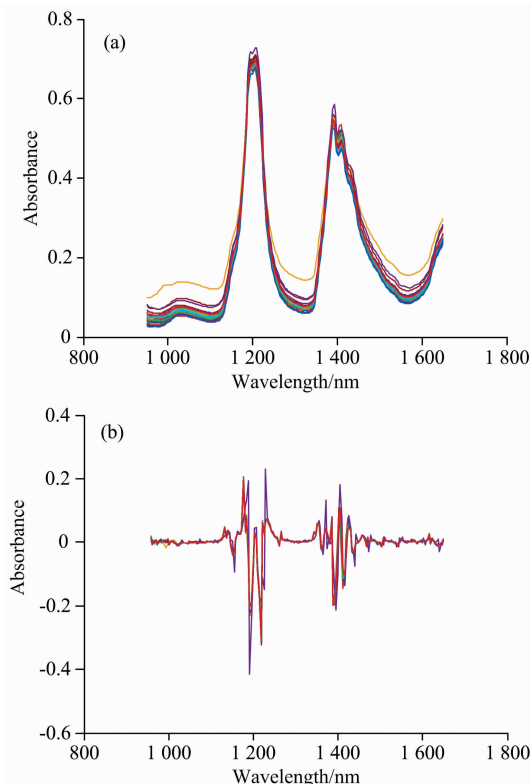


图 1 温度环境为  $25\text{ }^\circ\text{C}$  条件下柴油样品的(a)原始吸收光谱和(b)预处理后的吸收光谱数据

Fig. 1 Absorbance spectra of (a) original and (b) pre-treated diesel samples at  $25\text{ }^\circ\text{C}$  temperature environment

### 2.2 柴油凝点预测模型建立

利用在  $25\text{ }^\circ\text{C}$  条件下测量的吸收光谱数据建立了柴油凝点的预测模型。首先对原始数据进行预处理<sup>[13]</sup>,预处理方法包含了归一化,标准正态化和差分二阶求导,以降低噪声对最终结果的干扰。预处理后的光谱数据如图 1(b)所示,由图中可以看出柴油在  $950 \sim 1\ 650\text{ nm}$  波长范围内有两组主要的吸收谱带,即  $1\ 100 \sim 1\ 260\text{ nm}$  范围内的二级倍频吸收以及  $1\ 300 \sim 1\ 500\text{ nm}$  范围内的合频吸收。对各级倍频或合频,主要有三种基团的典型吸收,即芳环中 C—H、甲基 C—H、和亚甲基 C—H 吸收。因为此柴油样品为无水柴油,谱线中无水吸收峰。

根据马氏距离法<sup>[14]</sup>,计算出 50 种样本的马氏距离,剔除马氏距离较大的点,为了避免对查找出的异常样本产生误判,将实际并非异常那个点的样本判定为异常点,需要对查

找到的样本可以进行二次检验，最后剔除了异常点 4 个，将剩下 46 个样品的光谱数据分成校正集和独立验证集两个数据集，校正集与独立验证集分别包含 37 个和 9 个样品的光谱数据，其中 9 个独立验证集分别随机选择 9 个凝点不同的样品数据。利用偏最小二乘法基于校正集数据建立凝点值的预测模型，并将独立验证集数据代入模型，以计算独立验证集的残差 RMSEP，可以计算出 RMSEP 随模型维度的变化关系<sup>[15]</sup>，如图 2(a)所示，在  $p=9$  条件下 ( $p$  为 PLS 的主因子数)，RMSEP 取得最小值 0.1003。因此，在本模型中选择维度  $p=9$  来建立预测模型。模型预测值与凝点国标测量值间的关系如图 2(b)所示。

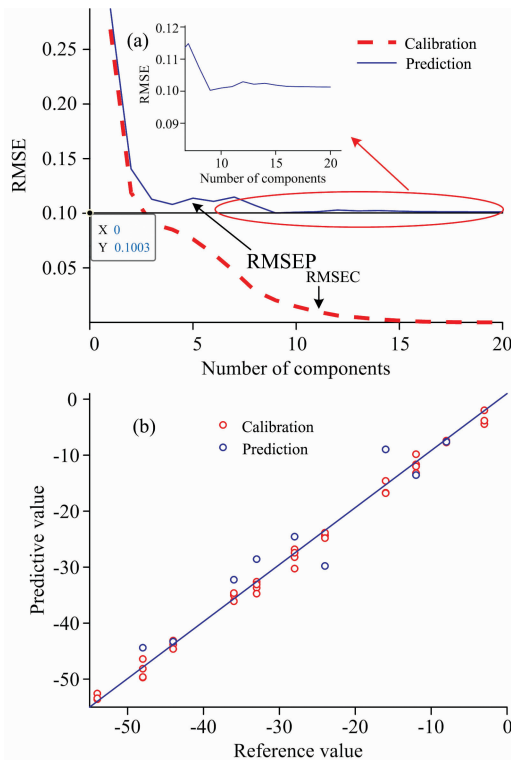


图 2 (a) 校正集残差 (RMSEC) 和检验集残差 (RMSEP) 随 PLS 维数的变化关系; (b) 环境温度为 25 °C 条件下柴油样品凝点值的预测曲线

Fig. 2 (a) Relationship between residuals errors of calibration set (RMSEC) and prediction set (RMSEP) and factor numbers; (b) Prediction results of condensation point under the environment temperature of 25 °C

依次将另外 7 个环境温度条件下测量到的光谱数据在相同的马氏距离异常点剔除法和预处理之后代入上述模型进行凝点值预测。图 3(a)给出了  $\Delta c$  随环境温度  $T_E$  的变化关系。可以发现预测偏差  $\Delta c$  随  $T_E$  的上升而有明显的线性上升趋势。根据式(3)，利用最小二乘法对图中数据进行拟合，可以得到凝点值预测偏差  $\Delta c$  随  $T_E - T_0$  的一次拟合系数  $f_1 = -0.0198$ 。再根据式(4)即可得到基于温度修正模型的预测值

$$c_m = 3.5218 + 3.4055A_1 - 6.1244A_2 + \dots - 12.7871A_{197} - 0.0198(T_E - 25) \quad (6)$$

其中  $T_E$  为环境温度;  $c_m$  为修正模型得到的柴油样品凝点修正值。

图 3(b)给出了基于温度修正模型的凝点值预测偏差，可以发现由环境温度变化趋势产生的整体上升趋势得到消除，显著降低了环境温度变化对预测结果产生的影响。

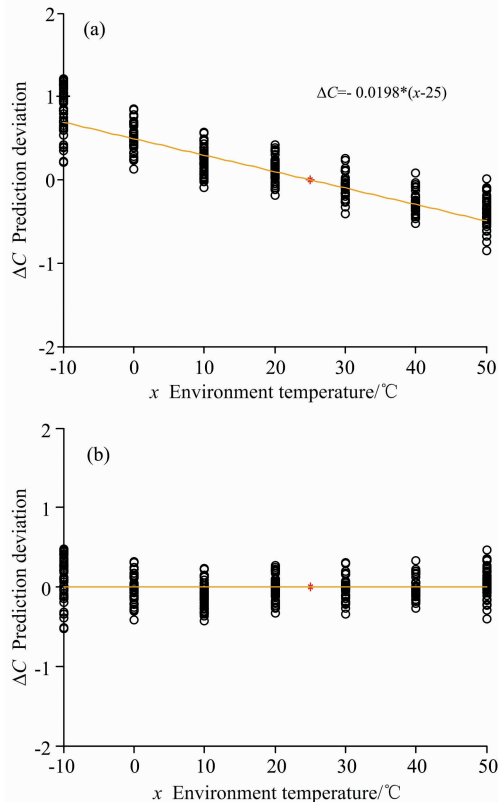


图 3 基于 (a) 无温度修正模型和 (b) 温度修正模型的凝点预测值偏差对比

Fig. 3 Comparison of values of prediction deviation of condensation point based on (a) temperatures-free compensation model and (b) temperatures-compensation model

根据前面温度修正做马氏距离法剔除异常点时，10 °C 下所用的 46 个样本，分别给出了环境温度为 10 °C 条件下温度修正前后的凝点值预测模型的预测值与国标法测量值之间的关系如图 4(a)和(b)，可以明显观测到温度修正后的样品凝点值更向国标法所测量得凝点值收敛，说明温度修正后的凝点值更精确，预测值偏差得到明显改善。

为了证明温度修正后的效果，在所有样品中随机抽出一个样本，凝点为 -54.0 °C，此样品在不同温度下的温度修正前后的变化关系如图 5 所示，可以看出在经过温度修正后，样品的预测凝点值受温度影响的效果明显减少。数据测量时已经将空比色皿和光谱仪的温飘作为参考光扣除了，光谱仪的影响可以排除。近红外模型的好坏可以由两个参数相关系数和残差来证明，检验集的相关系数越大，残差越小，模型越好。表 1 给出了多个环境温度条件下的预测集残差 RMSEP 与相关系数  $r$  在密度修正前后的数值对比，在经过温度修正后预测集相关系数相对增大，预测集残差相对减小，由

此证明温度修正方法对温度引起的预测偏差起到了消除作用。 $r$ 数值相对偏小的原因可能是由于在实验时开关恒温箱

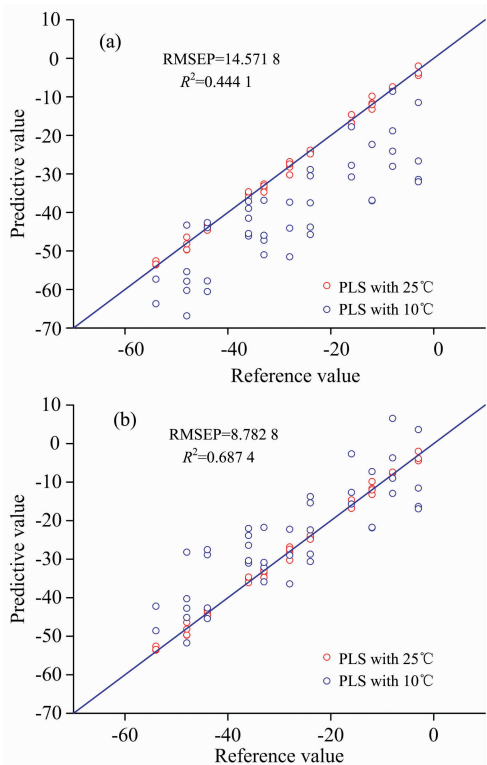


图 4 基于 (a) 无温度修正模型和 (b) 温度修正模型对环境温度为  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下柴油凝点的预测值对比

Fig. 4 Comparison of values of condensation point of diesel based on (a) temperatures-free compensation model and (b) temperatures-compensation model at ambient temperature of  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$

箱门更换样品过程中箱内温度急剧变化导致比色皿表面起雾引入的一些误差。总体结果显示出了此温度修正方法对温度引起的预测偏差的消除作用。

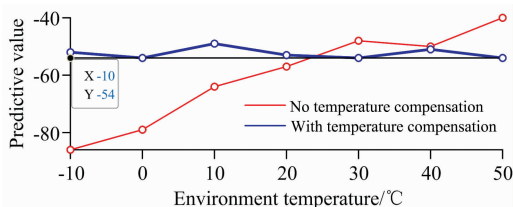


图 5 不同温度下凝点值为  $-54.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的样品在温度修正前后的对比

Fig. 5 Comparison of  $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$  samples at different temperatures before and after temperature correction

### 3 结论

利用基于 DMD 的便携近红外光谱仪采集了不同环境温度条件下的柴油油品样品在近红外波段的吸收光谱,研究了样品温度变化对模型预测结果的影响。通过分析发现样品吸光度光谱与温度之间存在线性关系,在环境温度高于建立模型的环境温度时,模型的预测偏差高于实际值。利用这一关系提出了温度修正模型,并通过试验结果证明该温度修正方法可以对光谱进行修正,利用修正后的光谱代入已建立好的模型预测结果有了很大的改善。最后使用  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  下 46 个样本对温度修正理论进行了检验,均方根误差分别为  $\sim 14.6$  和  $\sim 8.8$ 。本研究显示基于此温度修正模型,可以显著降低建模过程的工作量,在  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  条件下建立预测模型后将此温度修正项带入模型即可用于在其他环境温度条件下进行柴油凝点值预测,而不需要在其他多个温度条件下分别建立预测模型。此方法显著提高了建模效率和便携式近红外光谱快速检测的温度适应性。

表 1 温度修正前后模型的相关系数  $r$  和检验集残差 RMSEP

Table 1 The correlation coefficients  $r$  and residual error of prediction set (RMSEP) before and after temperature modification

		No temperature compensation						
Environment temperature/		-10	0	10	20	30	40	50
$r$		0.010 5	0.181 4	0.444 1	0.666 8	0.734 2	0.370 3	0.230 4
RMSEP		44.622 8	27.368 1	14.571 8	9.949 4	8.380 4	15.407 9	21.889 9
		With temperature compensation						
Environment temperature/		-10	0	10	20	30	40	50
$r$		0.077 9	0.689 4	0.687 4	0.786 4	0.753 5	0.734 4	0.556 4
RMSEP		15.799 5	8.647 9	8.782 8	7.323 7	7.966 0	7.106 2	10.694 8

### References

- [1] CHU Xiao-li, CHEN Pu, LI Jing-yan, et al(褚小立, 陈 瀑, 李敬岩, 等). Journal of Instrumental Analysis(分析测试学报), 2020, 39(10): 1181.
- [2] CHU Xiao-li, YUAN Hong-fu, LU Wan-zhen, et al(褚小立, 袁洪福, 陆婉珍, 等). Analytical Instrumentation(分析仪器), 2006, (2): 1.
- [3] CHU Xiao-li, WANG Yan-bin, LU Wan-zhen, et al(褚小立, 王艳斌, 陆婉珍, 等). Analytical Instrumentation(分析仪器), 2007, (4): 1.
- [4] SUN Yan-hua, FAN Yong-tao(孙彦华, 范永涛). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2020, 40(6): 1690.

- [ 5 ] Thamasopinkul, Ritthiruangdej, Kasemsumran, et al. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 2017, 25(1): 36.
- [ 6 ] GENG Rui(耿 锐). Chemical Engineering Design Communications(化工设计通讯), 2020, 46(9): 34.
- [ 7 ] FENG Xin-lu, SHI Yong-gang(冯新泸, 史永刚). Near-Infrared Spectroscopy and Its Application in the Analysis of Petroleum Products (近红外光谱及其在石油产品分析中的应用). Beijing: China Petrochemical Press(北京: 中国石化出版社), 2002. 201.
- [ 8 ] HONG Yong-sheng, YU Lei, ZHU Ya-xing, et al(洪永胜, 于 雷, 朱亚星, 等). Scientia Agricultura Sinica(中国农业科学), 2017, 50(19): 3766.
- [ 9 ] WANG Tao, ZHANG Lu-da, LAO Cai-lian, et al(王 韬, 张录达, 劳彩莲, 等). Journal of China Agricultural University(中国农业大学学报), 2004, 9(6): 76.
- [10] LIANG Hui, LI Li-jie, JIN Shao-hua, et al(梁 惠, 李丽洁, 金韶华, 等). Chinese Journal of Energetic Materials(含能材料), 2018, 26(5): 441.
- [11] NI Li-jun, ZHANG Li-guo(倪力军, 张立国). Basic Chemometrics and Its Applications(基础化学计量学及其应用). Shanghai: East China University of Science and Technology Press(上海: 华东理工大学出版社), 2011. 20.
- [12] WANG Wei-jing, ZHANG Fu-min, FENG Wei, et al(王惟婧, 张福民, 冯 维, 等). Acta Optica Sinica(光学学报), 2017, 37(12): 153.
- [13] GAO Jia-ming, SHE Chong-chong, CHEN Jun, et al(高嘉明, 余冲冲, 陈 军, 等). Acta Armamentarii(兵工学报), 2020, 41(5): 1034.
- [14] CHEN Bin, ZOU Xian-yong, ZHU Wen-jing, et al(陈 斌, 邹贤勇, 朱文静, 等). Journal of Jiangsu University · Natural Science Edition(江苏大学学报 · 自然科学版), 2008, (4): 277.
- [15] DU Yi-ping, PAN Tie-ying, ZHANG Yu-lan, et al(杜一平, 潘铁英, 张玉兰, 等). Chemometrics Applications(化学计量学应用). Beijing: Chemical Industry Press(北京: 化学工业出版社), 2008. 163.

## Quick Measurement Method of Condensation Point of Diesel Based on Temperature-Compensation Model

WAN Shun-kuan<sup>1, 2</sup>, LÜ Bo<sup>1</sup>, ZHANG Hong-ming<sup>1\*</sup>, HE Liang<sup>1</sup>, FU Jia<sup>1</sup>, JI Hua-jian<sup>3</sup>, WANG Fu-di<sup>1</sup>, BIN Bin<sup>1</sup>, LI Yi-chao<sup>1, 2</sup>

1. Institute of Plasma Physics, Hefei Institutes of Physical Science, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China
2. University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China
3. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, China

**Abstract** Portable near-infrared (NIR) spectrometer for quick on-site measurement is an important trend in the study field of NIR spectroscopy. However, in order to achieve quick measurement, a portable NIR spectrometer is generally not equipped with temperature-controlled device. Therefore, the change in ambient temperature will bring a relatively large measurement error to the predicted results. Reducing the error caused by the changes in ambient temperature is an important problem that has to be solved before the large-scale application of portable near-infrared spectrometer in the field of quick on-site measurement. The condensation points of diesel is an important parameter to evaluate diesel quality and temperature range for diesel application. Development of the on-site quick measurement of condensation point can effectively reduce the cost of traditional measurement. In the present study, the NIR spectra are collected by a portable spectrometer in the wavelength range of 950~1 650 nm for 50 kinds of diesel samples with different condensation points. The effect of changes in ambient temperature on the quantitative analysis results is studied using one new type of NIR spectrometer. This type of spectrometer is a portable spectrometer designed based on a digital micromirror device(DMD), which is developed for quick on-site measurement without temperature-controlled device sample cell. Firstly, the predicting model is developed for condensation point under the condition of ambient temperature at  $T_0 = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , using based on the partial least square method. Then, the spectra measured under other ambient temperatures ( $T_E = -10, 0, 10, 20, 30, 40$  and  $50\text{ }^\circ\text{C}$ ) are introduced into this model to predict the condensation point, and the relationship between prediction error and changes in ambient temperature ( $T_E - T_0$ ) is studied. The linear function fitted the relationship between prediction error and ambient temperature. It is found that the average value of condensation point prediction error is  $\Delta c = -0.0198(T_E - T_0)$ . The compensation factor of environmental temperature is brought into the prediction model developed under  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , and a temperature compensation model for the change in ambient temperature is established to predict the condensation point of diesel with NIR spectra collected under other conditions ambient temperature. The root means square error (RMSE) of condensation point prediction at  $10\text{ }^\circ\text{C}$  is improved from 14.6 to 8.8, and the coefficient of determination increased

from 0.4 to 0.7. The study shows that the temperature compensation model can effectively reduce the error caused by ambient temperature. This method can improve the time cost for developing the model and extend the temperature range in applying a portable NIR spectrometer.

**Keywords** Portable near infrared spectrometer; Temperature compensation model; Partial least square method; Condensation point of diesel

(Received Oct. 9, 2020; accepted Feb. 25, 2021)

\* Corresponding author

---

## 《光谱学与光谱分析》对来稿英文摘要的要求

来稿英文摘要不符合下列要求者，本刊要求作者重写，这可能要推迟论文发表的时间。

1. 请用符合语法的英文，要求言简意明、确切地论述文章的主要内容，**突出创新之处**。
2. 应拥有与论文同等量的主要信息，包括四个要素，即研究目的、方法、结果、结论。其中后两个要素最重要。有时一个句子即可包含前两个要素，例如“用某种改进的 ICP-AES 测量了鱼池水样的痕量铅”。但有些情况下，英文摘要可包括研究工作的主要对象和范围，以及具有情报价值的其他重要信息。在结果部分最好有定量数据，如检测限、相对标准偏差等；结论部分最好指出方法或结果的优点和意义。
3. 句型力求简单，尽量采用被动式，建议经专业英语翻译机构润色，与中文摘要相对应。用 A4 复印纸单面打印。
4. 摘要不应有引言中出现的内容，换言之，摘要中必须写进的内容应尽量避免在引言中出现。摘要也不要对论文内容作解释和评论，不得简单重复题名中已有的信息；不用非公知公用的符号和术语；不用引文，除非该论文证实或否定了他人已发表的论文。缩略语、略称、代号，除相邻专业的读者也能清楚地理解外，在首次出现时必须加以说明，例如用括号写出全称。