

# 石油密度换算时玻璃密度计膨胀系数的应用

张守浩 刘晓冰 司福 李小贤 薛鸿鑫 赵冲 郭武

青岛赛时检验有限公司

摘要：本文通过解析 13 个石油密度检测、换算的标准方法，总结出 GB/SH/ISO 和 ASTM 两套体系对密度换算时玻璃密度计膨胀系数的修正要求以及正确做法。这是同时使用 GB/SH/ISO 标准和 ASTM 标准的实验室中检测人员容易混淆和忽略的问题，也是导致结果出现系统性偏差的原因。

目前，国内检测石油密度的方法主要有 U 形振动管法（即数字密度仪法，以下简称密度仪法）和玻璃石油密度计法（以下简称密度计法）。密度仪法常用的现行标准为 SH/T 0604-2000、ISO 12185:1996、ASTM D4052-18a、ASTM D5002-19；密度计法常用的现行标准为 GB/T 1884-2000、ISO 3675:1998、ASTM D1298-12b（2017）。密度换算标准为 GB/T 1885-1998、ISO 91-2:1991（已作废）、ISO 91:2017、ASTM D1250-19<sup>e1</sup>（引用的石油计量表为 2004 版）。其中 SH/T 0604-2000 等效采用 ISO 12185:1996，GB/T 1884-2000 等效采用 ISO 3675:1998，GB/T 1885-1998 等效采用 ISO 91-2:1991。下文分析将以 GB/SH/ISO 体系、ASTM 体系分别代表上述标准。

## 一、GB/SH/ISO 体系的密度换算要求

SH/T 0604-2000/ISO 12185:1996 第 12.2 节规定：如果要求标准温度下的密度而不是在测定温度下的密度，首先作玻璃密度计膨胀系数修正后（由观察密度乘以该系数的倒数得到修正后密度），再使用 GB/T 1885-1998/ISO 91-1:1991 相应的密度换算表，换算到标准温度下的密度。

GB/T 1884-2000/ISO 3675:1998 第 11.4 节规定：按不同的试验油品，用 GB/T 1885-1998/ISO 91-1:1991 相应的密度换算表把修正后的密度计读数换算到 20℃下标准密度。此处密度计读数的修正只有弯月面修正和校准修正，无玻璃密度计膨胀系数修正。

## 二、ASTM 体系的密度换算要求

ASTM D4052-18a 第 13.2 节和 ASTM D5002-19 第 12.2 节表明，如果将检测温度下得到的密度换算到其他温度下的密度，需采用 ASTM D1250 石油计量表，ASTM D1250 石油计量表未包含玻璃密度计膨胀系数修正（此处指 2004 版的 ASTM D1250 石油计量表）。

ASTM D1298-12b（2017）第 10.4 节表明，1980 版的 ASTM D1250 石油计量表包含了

玻璃密度计膨胀系数修正，2004版的ASTM D1250石油计量表未包含玻璃密度计膨胀系数修正。若采用1980版的ASTM D1250石油计量表换算时，不需要考虑玻璃密度计膨胀系数修正；采用2004版的ASTM D1250石油计量表换算时，要考虑玻璃密度计膨胀系数修正，并由校正后的视密度（用密度计校准证书提供的校正因子校正等）乘以该系数得到玻璃密度计膨胀系数修正后的密度。2004版的ASTM D1250石油计量表为现行可获得版。

### 三、解析

1981年之前，石油密度检测以密度计法为主。密度计的校准是在20℃的标准温度下进行（国外以15℃或60°F为标准温度，本文仅以20℃为例说明），由于玻璃的热膨胀作用，在标准温度之外的温度下观察到的密度计读数就受到了玻璃密度计热膨胀作用的影响。具体来说，在油品温度高于20℃下检测密度，从密度计直接读数，比油品的实际密度要大一些；在油品温度低于20℃下检测密度，从密度计直接读数，比油品的实际密度要小一些。所以，玻璃热膨胀作用对结果的影响需要修正，密度检测方法中称为“玻璃密度计膨胀系数修正”。为了简化密度检测工作，1981年之前的石油密度换算表中都包含了“玻璃密度计膨胀系数修正”。

密度仪法在1981年（密度仪法的标准检测方法ASTM D4052最早在1981年发布）出现并随之开始普及。由于密度仪法与密度计法的检测原理不同、校准方法不同，用密度仪法得到的检测温度下的密度不需要作玻璃密度计膨胀系数修正。因此，ASTM在2004年推出了2004版的ASTM D1250石油计量表，其中的石油密度换算表不再包含“玻璃密度计膨胀系数修正”，而ISO 91-2:1991一直维持到2017年才改版到ISO 91:2017，且继续维持石油密度换算表包含“玻璃密度计膨胀系数修正”。这样，ASTM体系和GB/SH/ISO体系的石油密度换算表在2004年之后就一直存在着是否包含“玻璃密度计膨胀系数修正”的不同。

### 四、示例

1、以密度仪法在50℃检测原油密度为例，50℃密度为0.8500 g/cm<sup>3</sup>，换算成20℃下标准密度。

$$\text{玻璃密度计膨胀系数} = 1 - 0.000023 \times (50 - 20) - 0.00000002 \times (50 - 20)^2 = 0.999292$$

SH/T 0604-2000/ISO 12185:1996 要求乘以玻璃密度计膨胀系数的倒数，即  $0.8500 \times (1 \div 0.999292) = 0.8506 \text{ g/cm}^3$ 。然后再以  $0.8506 \text{ g/cm}^3$  和 50℃查 GB/T 1885-1998 或 ISO 91:2017 表 59A 得到 20℃标准密度为  $0.8713 \text{ g/cm}^3$ 。

ASTM D5002-19 不做密度计膨胀系数修正，直接以  $0.8500 \text{ g/cm}^3$  和 50℃查 ASTM D1250-04 表 59A 得到 20℃标准密度为  $0.8713 \text{ g/cm}^3$ 。

2、以密度计法在 50°C检测润滑油密度为例，50°C密度为 0.9000 g/cm<sup>3</sup>（已作密度计校准修正），换算成 20°C下标准密度。

$$\text{玻璃密度计膨胀系数}=1-0.000023\times(50-20)-0.00000002\times(50-20)^2=0.999292$$

GB/T 1884-2000/ISO 3675:1998 不作玻璃密度计膨胀系数修正，直接以 0.9000 g/cm<sup>3</sup> 和 50°C查 GB/T 1885-1998 或 ISO 91:2017 表 59D 得到 20°C标准密度为 0.9183 g/cm<sup>3</sup>。

ASTM D1298-12b（2017）要求乘以玻璃密度计膨胀系数，即 0.9000×0.999292=0.8994 g/cm<sup>3</sup>。然后再以 0.8994 g/cm<sup>3</sup> 和 50°C查 ASTM D1250-04 表 59D 得到 20°C标准密度为 0.9184 g/cm<sup>3</sup>。

由示例看出，无论密度仪法还是密度计法，若忽视玻璃密度计膨胀系数修正，或采用 GB/SH/ISO 体系检测却查 ASTM 体系的石油计量表（反之亦然），50°C下检测的密度换算到 20°C下标准密度时可能造成约 0.0006 g/cm<sup>3</sup> 的偏差。

## 五、结论和建议

### 1、密度仪法

密度仪法测定的密度结果不需要作玻璃密度计膨胀系数修正。因为 ASTM D1250-04 石油计量表不包含玻璃密度计膨胀系数修正，所以使用 ASTM D1250-04 石油计量表换算标准密度时直接查表即可；但是，GB/T 1885-1998 密度换算表已经包含了玻璃密度计膨胀系数修正，所以使用 GB/T 1885-1998 换算标准密度前就需要再修正回来，即乘以玻璃密度计膨胀系数的倒数，以修正后的密度去查表。

### 2、密度计法

由于只在 20°C 温度下校准了密度计，所以密度计法测定的密度结果需要作玻璃密度计膨胀系数修正。而 GB/T 1885-1998 相应的密度换算表已经包含了玻璃密度计膨胀系数修正，所以使用 GB/T 1885-1998 换算标准密度前无需作玻璃密度计膨胀系数修正；因为 ASTM D1250-04 石油计量表不包含玻璃密度计膨胀系数修正，所以使用 ASTM D1250-04 石油计量表换算标准密度前需要作玻璃密度计膨胀系数修正，即乘以玻璃密度计膨胀系数。

由以上可知，密度仪法检测的结果若直接采用 ASTM D1250-04 石油计量表换算可得到准确结果；密度计法检测的结果若直接采用 GB/T 1885-1998 石油计量表换算可得到准确结果。

## 参考文献

[1] GB/T 1884-2000, 原油和液体石油产品密度实验室测定法（密度计法）[S].

- [2] GB/T 1885-1998, 石油计量表[S].
- [3] SH/T 0604-2000, 原油和石油产品密度测定法（U形振动管法）[S].
- [4] ISO 12185:1996, Crude petroleum and petroleum products — Determination of density -- Oscillating U-tube method [S].
- [5] ISO 3675:1998, Crude petroleum and liquid petroleum products — Laboratory determination of density -- Hydrometer method [S].
- [6] ISO 91-1:1991, Petroleum measurement tables — Part 1: Tables based on a reference temperature of 15 °C and 60 °F [S].
- [7] ISO 91-2:1991, Petroleum measurement tables — Part 2: Tables based on a reference temperature of 20 °C [S].
- [8] ISO 91:2017 Petroleum and related products — Temperature and pressure volume correction factors (petroleum measurement tables) and standard reference conditions [S].
- [9] ASTM D4052-18a, Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter [S].
- [10] ASTM D5002-19, Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Crude Oils by Digital Density Analyzer [S].
- [11] ASTM D1298-12b(2017), Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude petroleum and Liquids petroleum products by Hydrometer method [S].
- [12] ASTM D1250-04, Standard Guide for Use of the Petroleum Measurement Tables [S]
- [13] ASTM D1250 - 19<sup>e1</sup> Standard Guide for the Use of the Joint API and ASTM Adjunct for Temperature and Pressure Volume Correction Factors for Generalized Crude Oils, Refined Products, and Lubricating Oils: API MPMS Chapter 11.1 [S].