

一等标准密度计量值国内比对工作总结

一、目的

在我国的密度量值传递系统中，一等标准密度计是密度量值溯源的主要环节，它是由国家基准密度计直接进行量值传递的。一等标准密度计承担着二等标准密度计、二等石油密度计、二等乳汁计、糖量计和波美计等量值传递工作，其应用量大面广。开展一等标准密度计量值国内比对是为了发现我国密度计量专业在一等标准密度计量值传递中存在的问题，分析问题产生的主要原因，寻求问题解决的方法，从而确保在全国范围内密度量值的准确、一致。

由于在实施《标准玻璃浮计》及《工作玻璃浮计》检定规程的过程中，对规程的理解和执行存在着较大的争议。因此国家质检总局委托全国质量密度计量技术委员会在 2004 年至 2005 年组织开展这次范围较大的一等标准密度计量值国内比对。此项工作得到了上级主管部门、主导实验室所在单位、各参比单位领导的高度重视和大力支持。从财力、物力、人力等方面为这次比对工作创造了良好的空间。主导实验室为完成此项工作做了充分的准备，认真拟写比对计划、比对方案，精心准备和测试传递标准，并逐一作了认真的计算及不确定度评定，各参比单位在繁忙的工作中认真对待这次比对工作。所有参加比对的人员为次付出了辛勤的劳动，在大家的共同努力下，圆满地完成了这次比对任务。

本次比对的目的是为了了解密度量值传递的现状，包括设备情况、参比实验室环境条件及检定人员的技术水平，加强对《标准玻璃浮计》及《工作玻璃浮计》检定规程的理解和执行力度。分析来自上级标准、操作程序、实验环境、人员素质、检定用液和数据处理方法等诸多因素对密度量值传递准确性的影响。希望通过此次比对不仅可以检验我国密度量值的准确、一致性，还可以进行技术交流，对检定方法、数据处理、不确定度评定等专业问题进行深入探讨，达到共同

提高的目的。

二、参加比对的实验室

此次比对的主导实验室是中国计量科学研究院容量密度室。中国计量科学研究院是国家最高计量机构，建有液体密度基准装置，具有高精度密度量值测量的能力，负责全国一等标准密度计的量值传递工作。该院是《标准玻璃浮计》及《工作玻璃浮计》检定规程的主要起草单位，对比对程序、方法和数据处理等十分熟悉，不论是设备、环境、还是人员、管理水平及技术上都具备主导实验室的能力。

参加比对的有北京、上海、四川、广东、山西、甘肃、江苏、湖北、河北、广西、河南、新疆、内蒙、黑龙江吉林、辽宁、浙江、天津、山东、陕西、江西、湖南等各大区及主要省市计量检定部门的 22 个实验室。建有考核合格的一等标准密度计标准装置，在国内密度计量值传递方面具有较高的能力。整个比对参加人数为 70 人，他们认真、积极、努力地工作，按时递交了比对报告。

三、 比对用仪器设备及范围的选取

为了更好地进行比对，此次采用了有代表性的六支一等标准密度计作为传递标准，其范围分别是：

(740~760) kg/m³; (770~790) kg/m³

检定用液:石油产品混合液。

(890~910) kg/m³; (920~940) kg/m³

检定用液:酒精水溶液。

(1240~1260) kg/m³; (1270~1290) kg/m³

检定用液:硫酸氢乙酯或硫酸水溶液(如使用硫酸氢乙酯需将毛细常数

修正至硫酸水溶液)。

四、比对路线及时间安排

比对工作分两组同时进行。具体时间及线路如下：

1、一组：

序号	时间	参比单位
1	6月15日~7月1日	中国计量科学研究院
2	7月1日~7月15日	北京市计量科学研究院
3	7月16日~7月31日	黑龙江省计量检定测试院
4	8月1日~8月15日	吉林省计量测试技术研究所
5	8月16日~8月31日	辽宁省计量科学研究院
6	9月1日~9月15日	天津石化电仪中心
7	9月16日~9月31日	河北省计量测试研究所
8	10月1日~10月20日	山东省计量科学研究院
9	10月20日~11月5日	河南省计量测试研究所
10	11月5日~11月20日	陕西省计量测试研究所
11	11月20日~12月5日	山西省计量测试研究所
12	12月5日~12月20日	内蒙古自治区 计量测试技术研究院
13	12月20日~1月31日	中国计量科学研究院

2、二组:

序号	时间	参比单位
1	6月15日~7月1日	中国计量科学研究院
2	7月1日~7月15日	江苏省计量测试技术研究所
3	7月16日~7月31日	上海市计量测试技术研究院
4	8月1日~8月15日	浙江省质量技术监督 检测研究院
5	8月16日~8月31日	江西六三五四所
6	9月1日~9月15日	广东省计量科学研究所
7	9月16日~9月31日	广西省计量科学研究所
8	10月1日~10月20日	湖南株洲 南方动力机械公司计量站
9	10月20日~11月5日	湖北省计量测试技术研究院
10	11月5日~11月20日	中国测试技术研究院
11	11月20日~12月5日	甘肃省计量检定所
12	12月5日~12月20日	新疆自治区计量测试研究院
13	12月20日~1月31日	中国计量科学研究院

比对全程时间: 2004年6月15日~2005年1月31日

注: 以上比对时间含传送传递标准时间。

12月20日~1月31日为比对数据的统计分析及比对报告的完成时间。

五、 测量方法

采用一等标准密度计与传递标准直接比较的方法。每一密度点至少测试 5 次，当任意两次修正值之差大于 0.2 个分度时，应再进行一次测试，直到任意两次修正值之差不大于 0.2 个分度，否则须清洗密度计和传递标准，重新比对。

操作程序及结果处理应根据《标准玻璃浮计检定规程》的要求进行。

六、 比对结果

总体来讲，这次比对的一致性非常好，反应了目前国内密度量值的传递是准确可靠的。下面图 1~图 18 给出了各密度点的密度比对不确定度，各数据点的带宽为该点测量的标准不确定度。数据点离坐标轴越近表明该参比实验室与参考值的一致性越好。

图 1
740 kg/m³

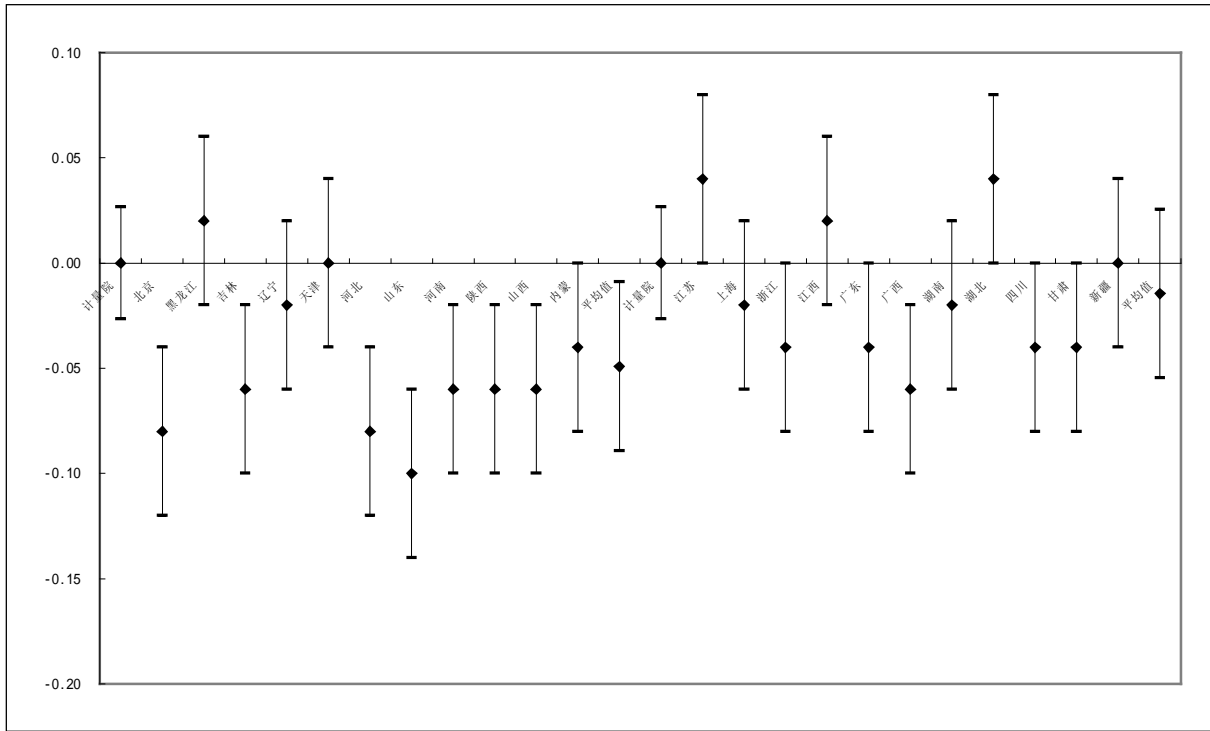


图 2
750 kg/m³

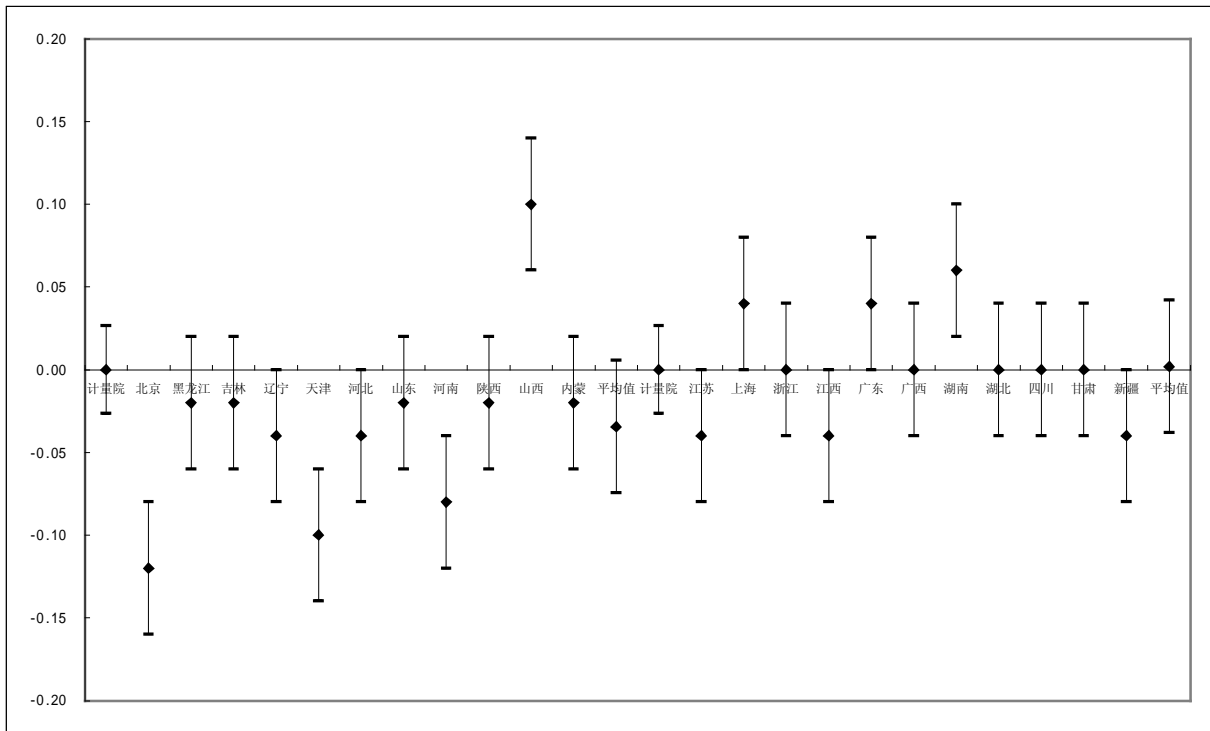


图 3
760 kg/m³

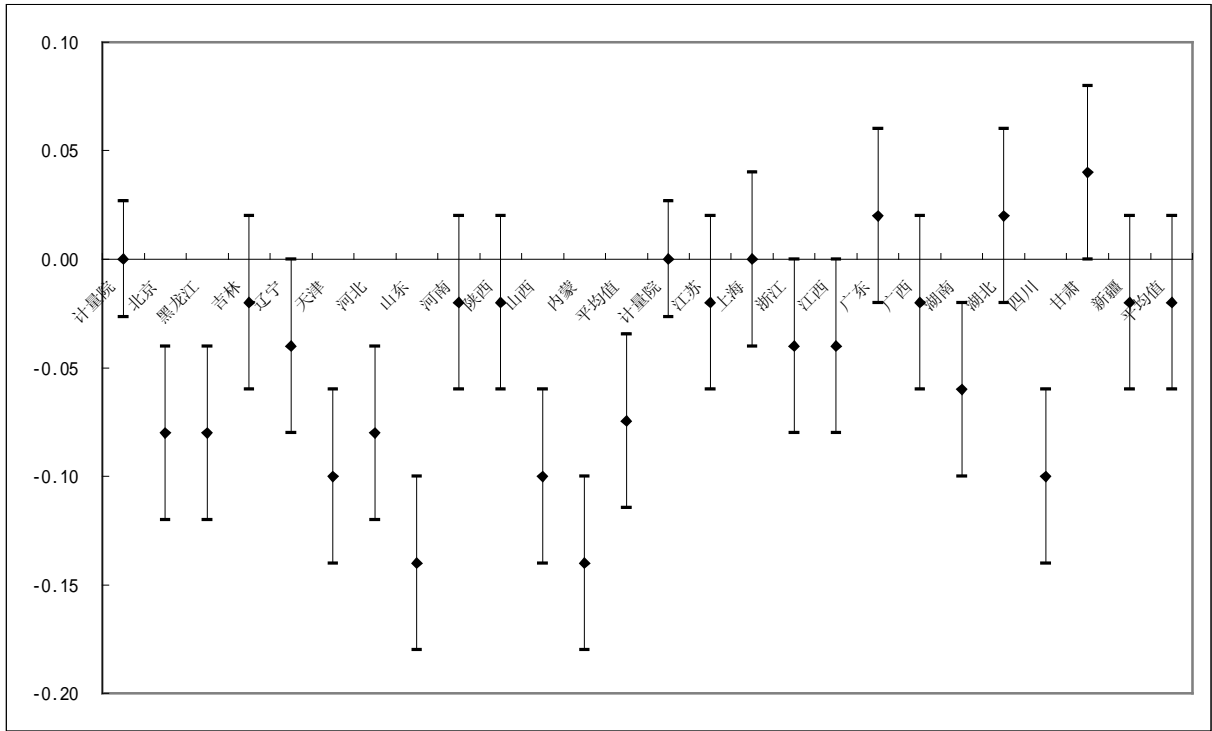


图 4
770 kg/m³

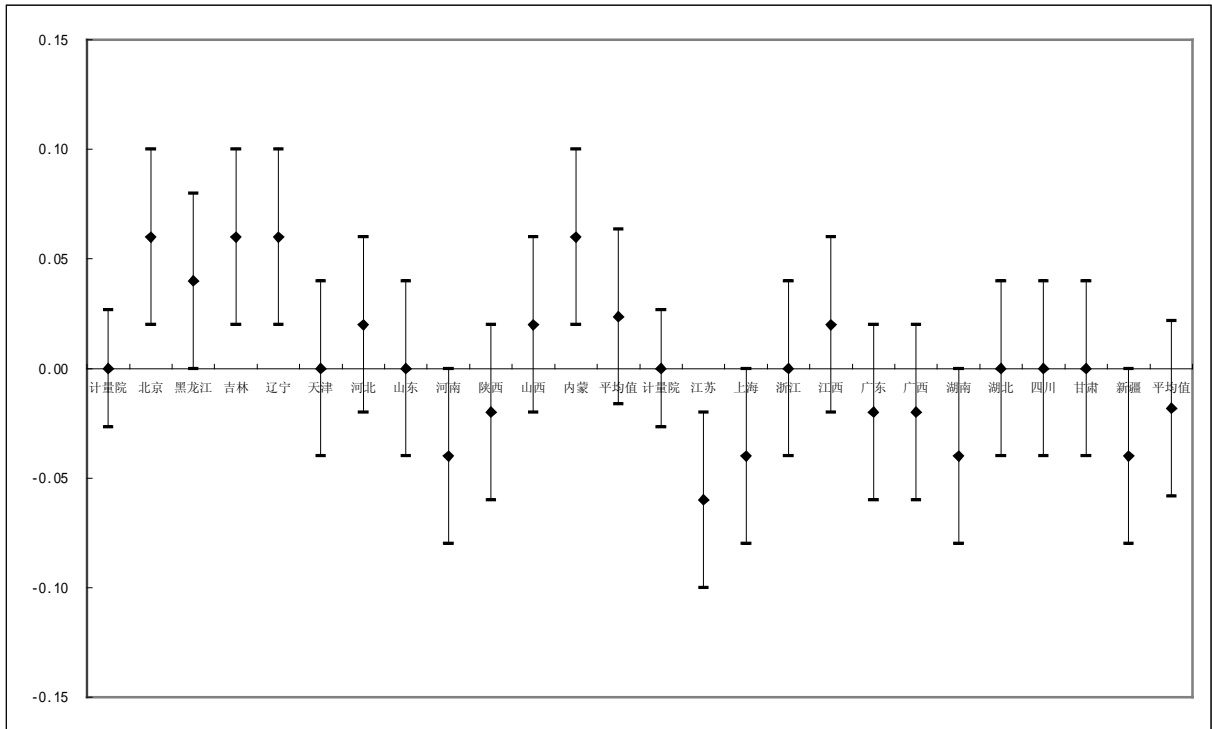


图 5
780 kg/m³

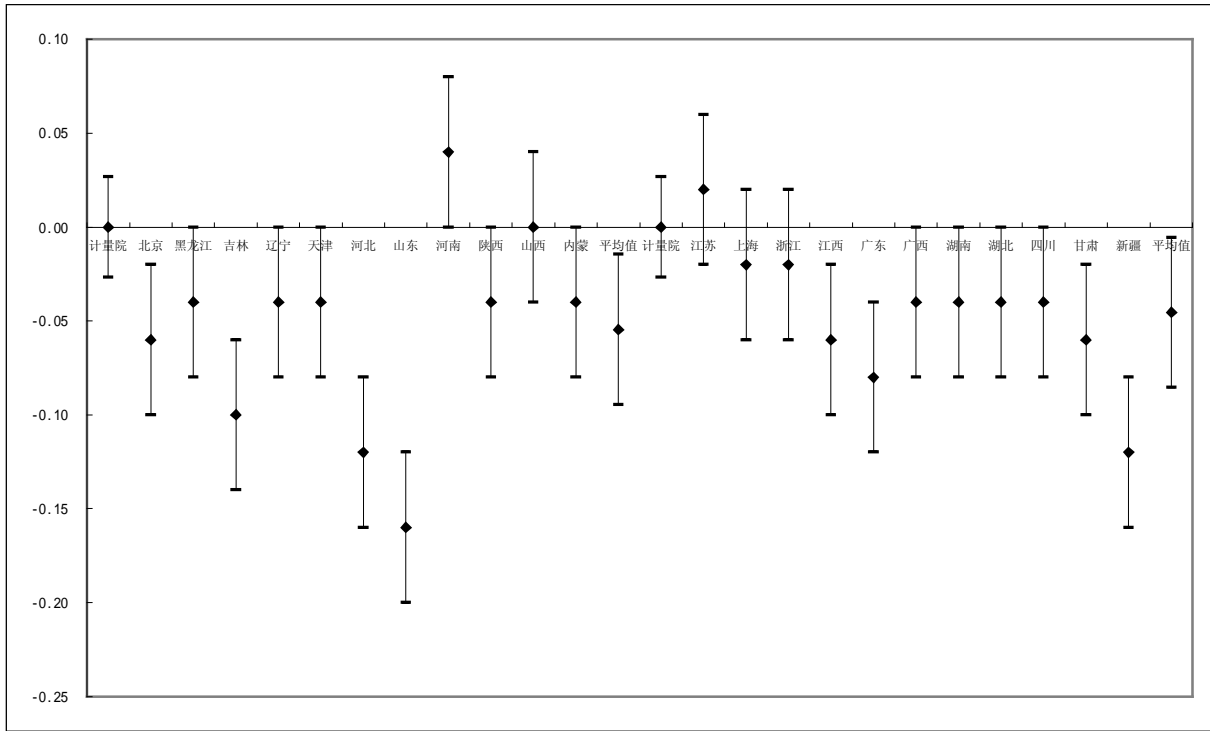


图 6
790 kg/m³

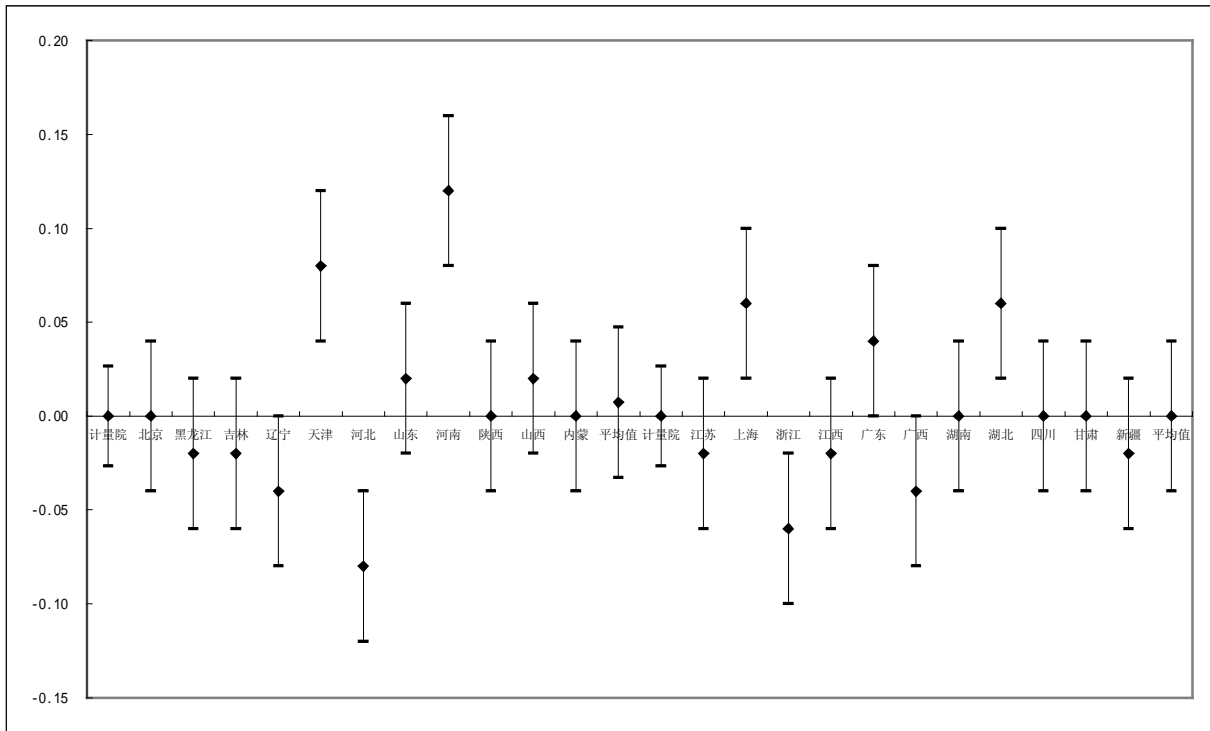


图 7
890 kg/m³

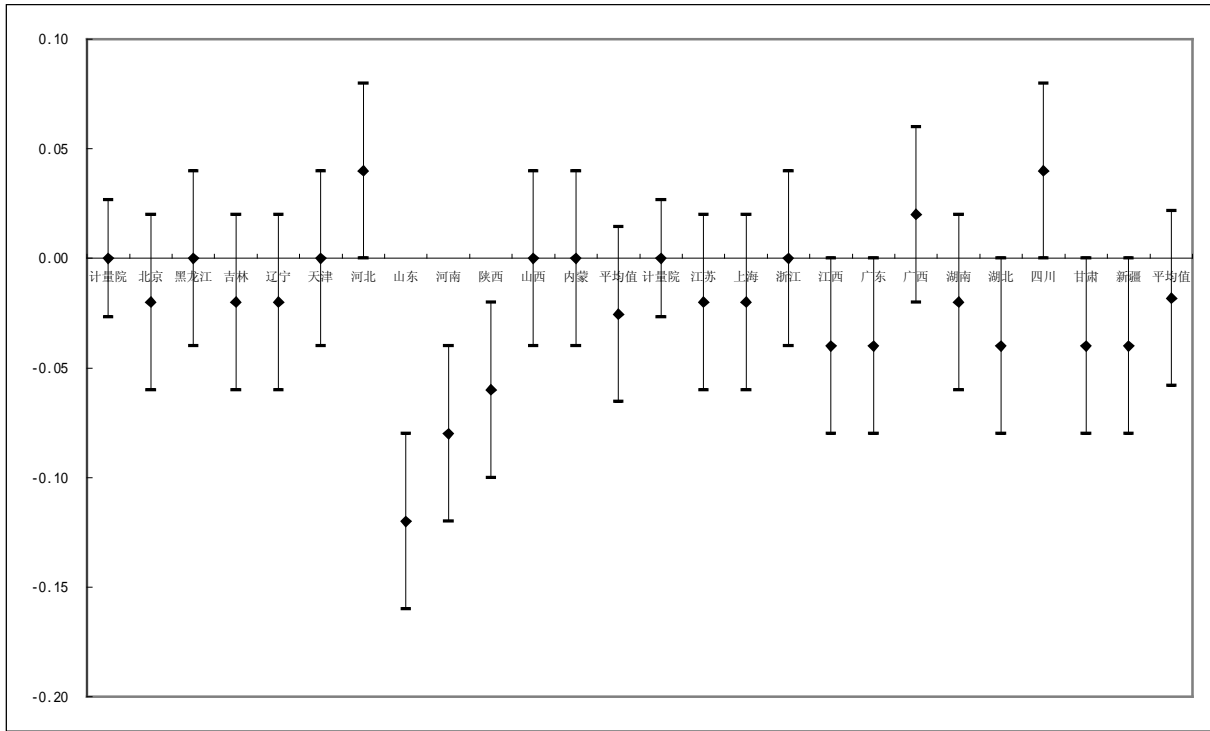


图 8
900 kg/m³

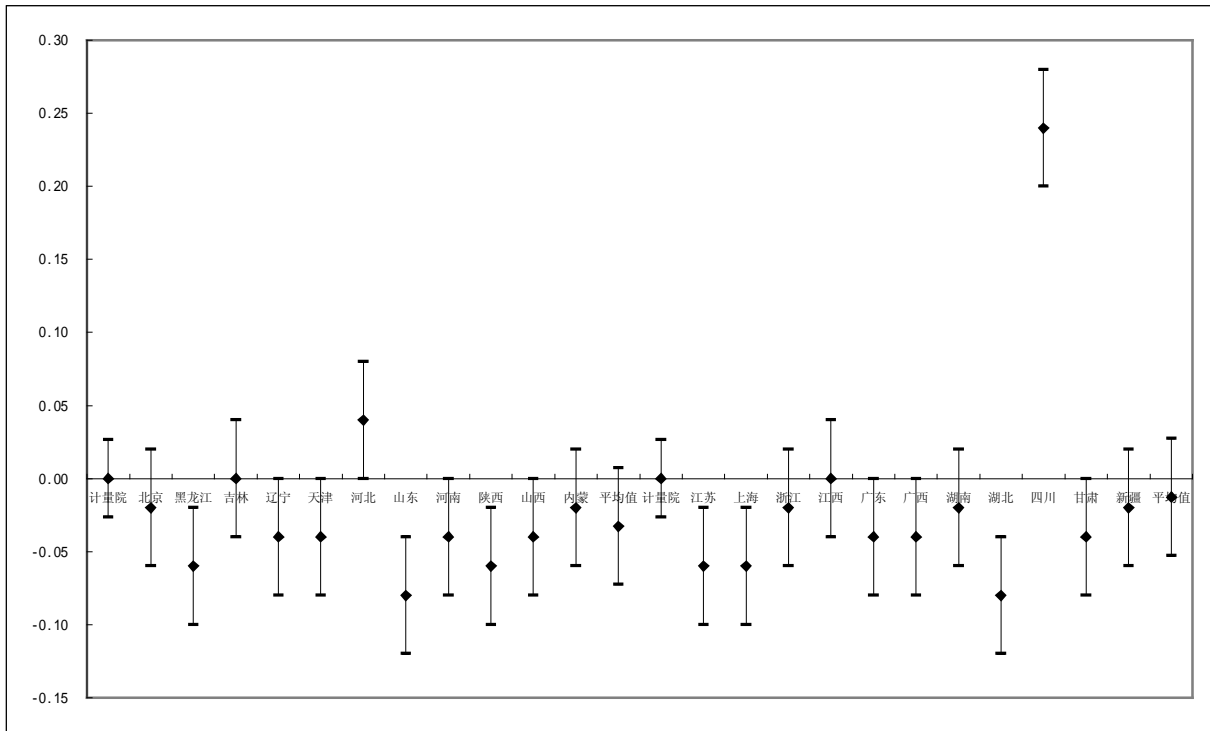


图 9
910 kg/m³

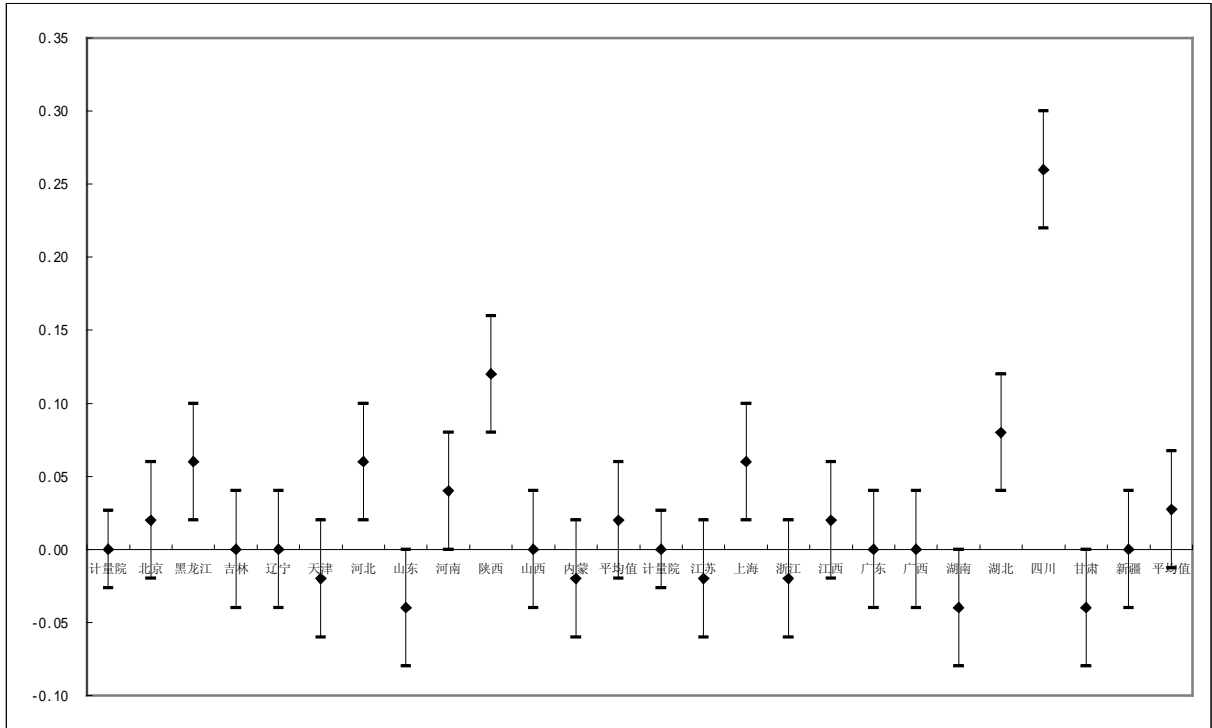


图 10
920 kg/m³

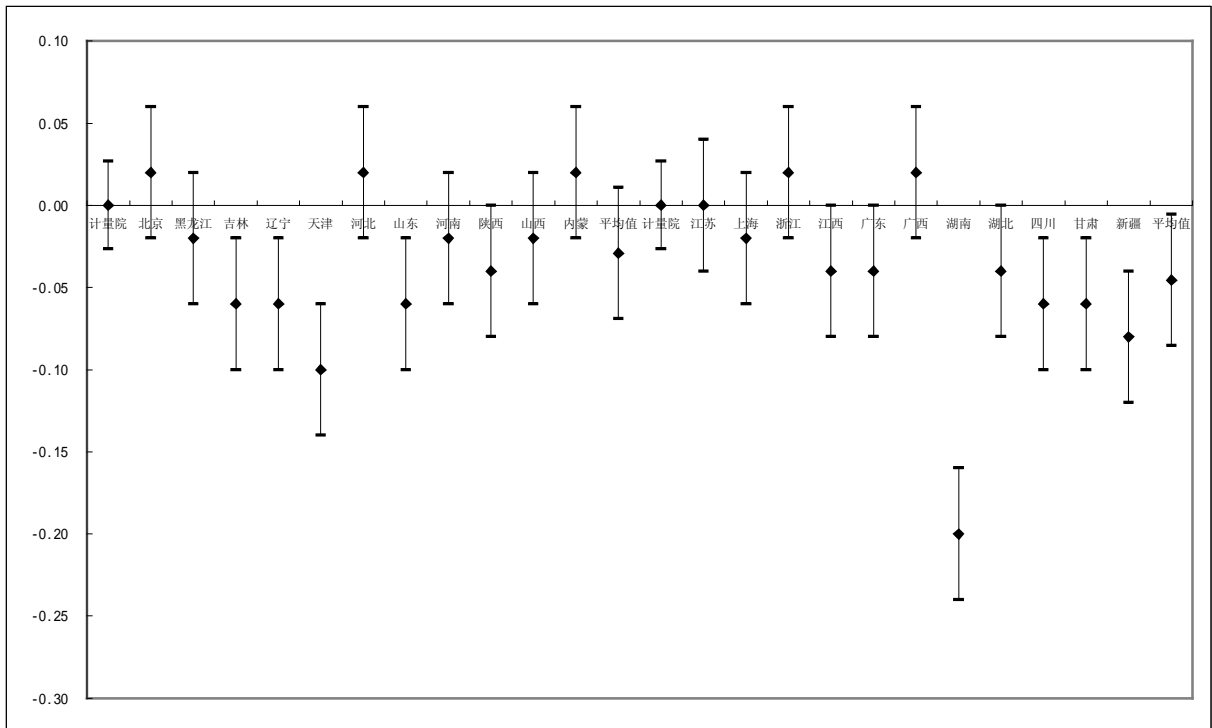


图 11
930 kg/m³

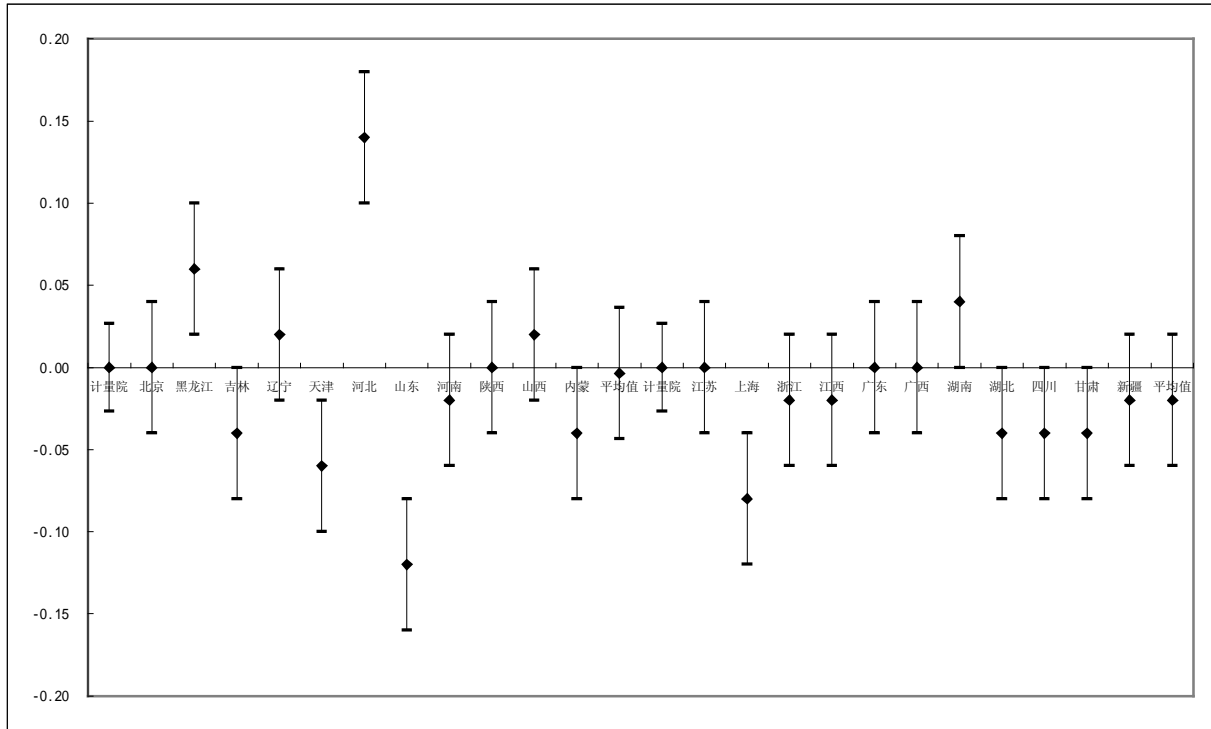


图 12
940 kg/m³

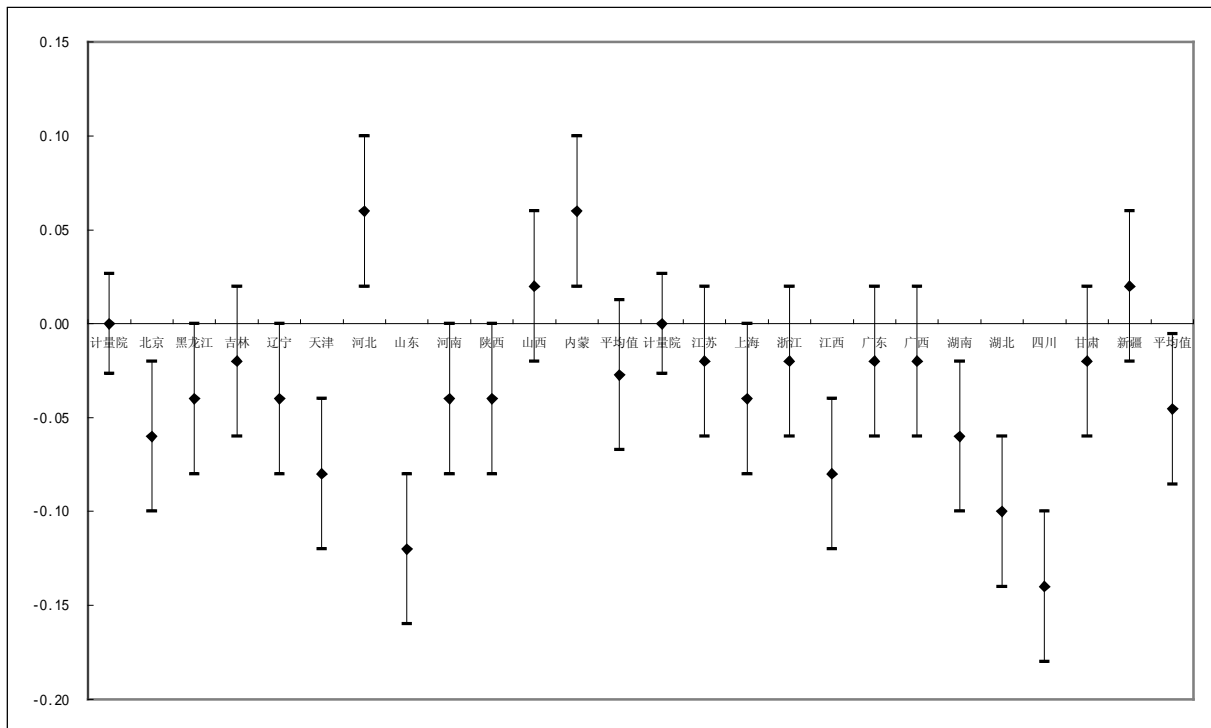


图 13
1240 kg/m³

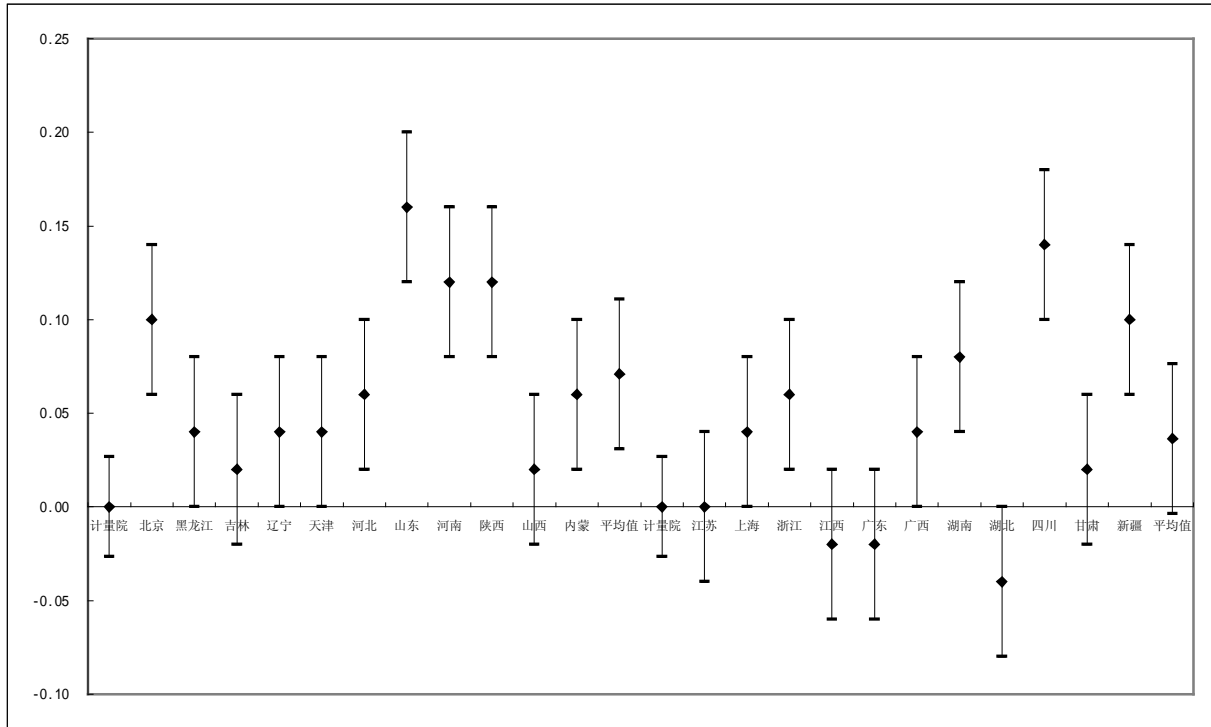


图 14
1250 kg/m³

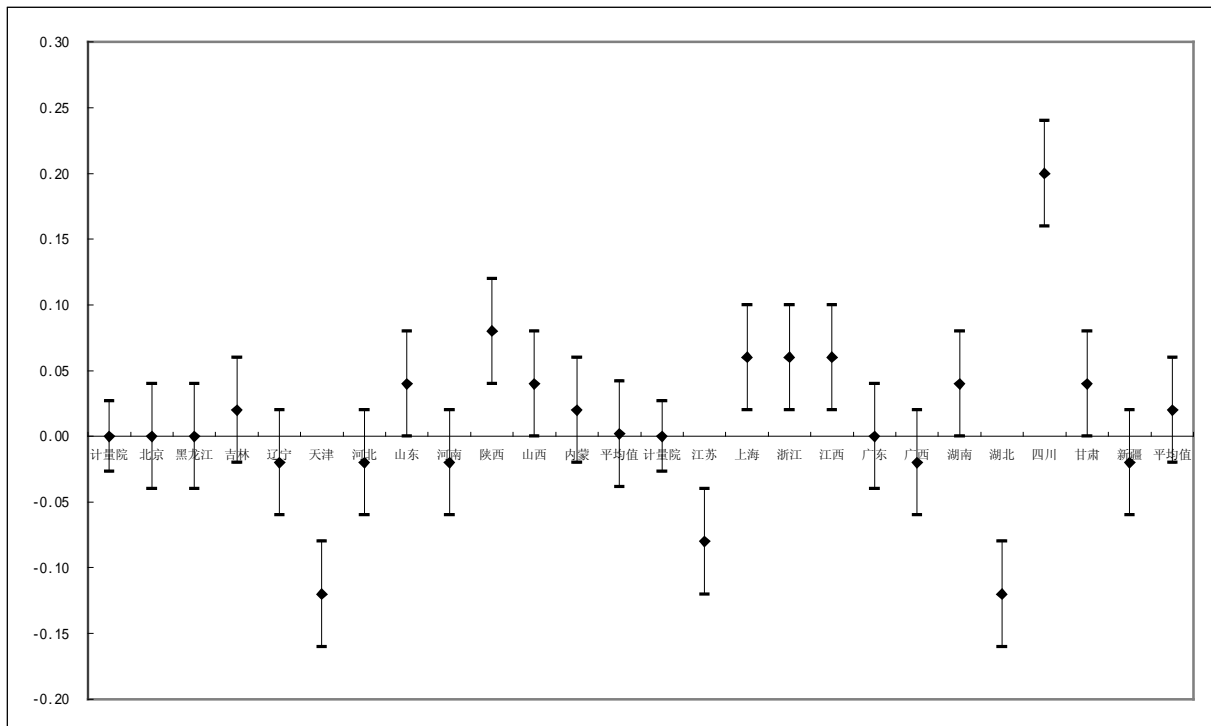


图 15
1260 kg/m³

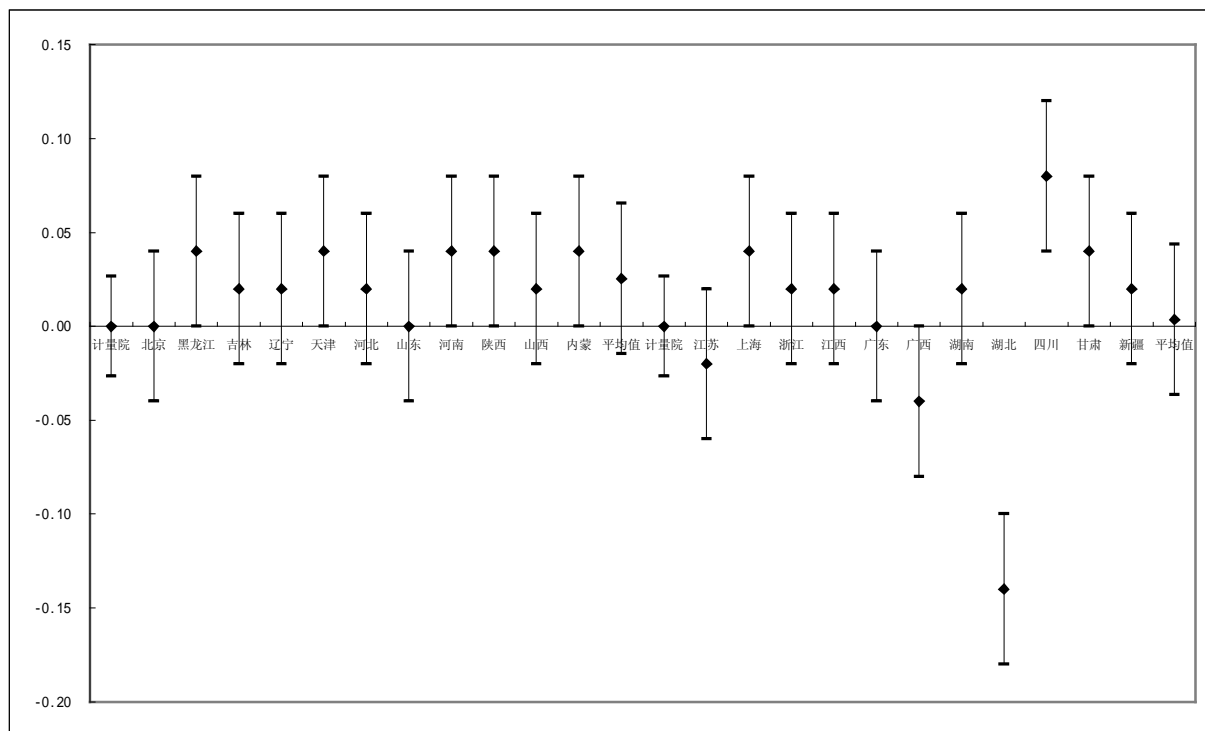


图 16
1270 kg/m³

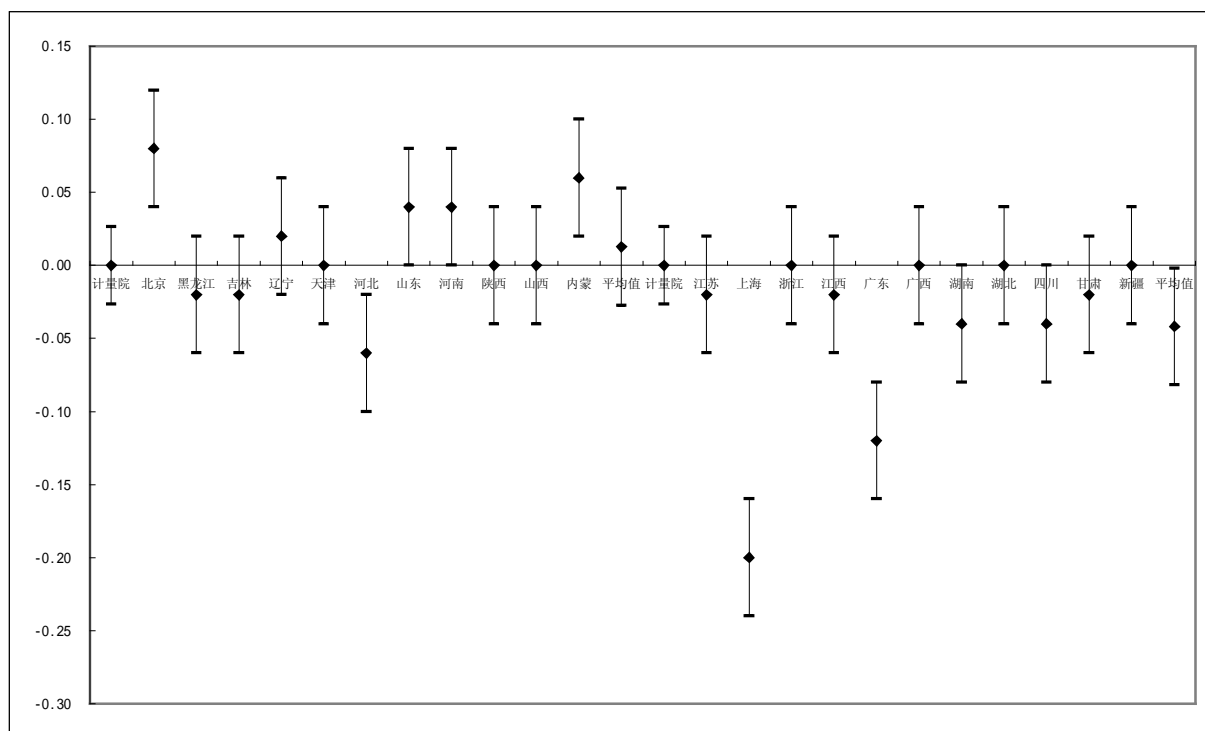


图 17

1280 kg/m³

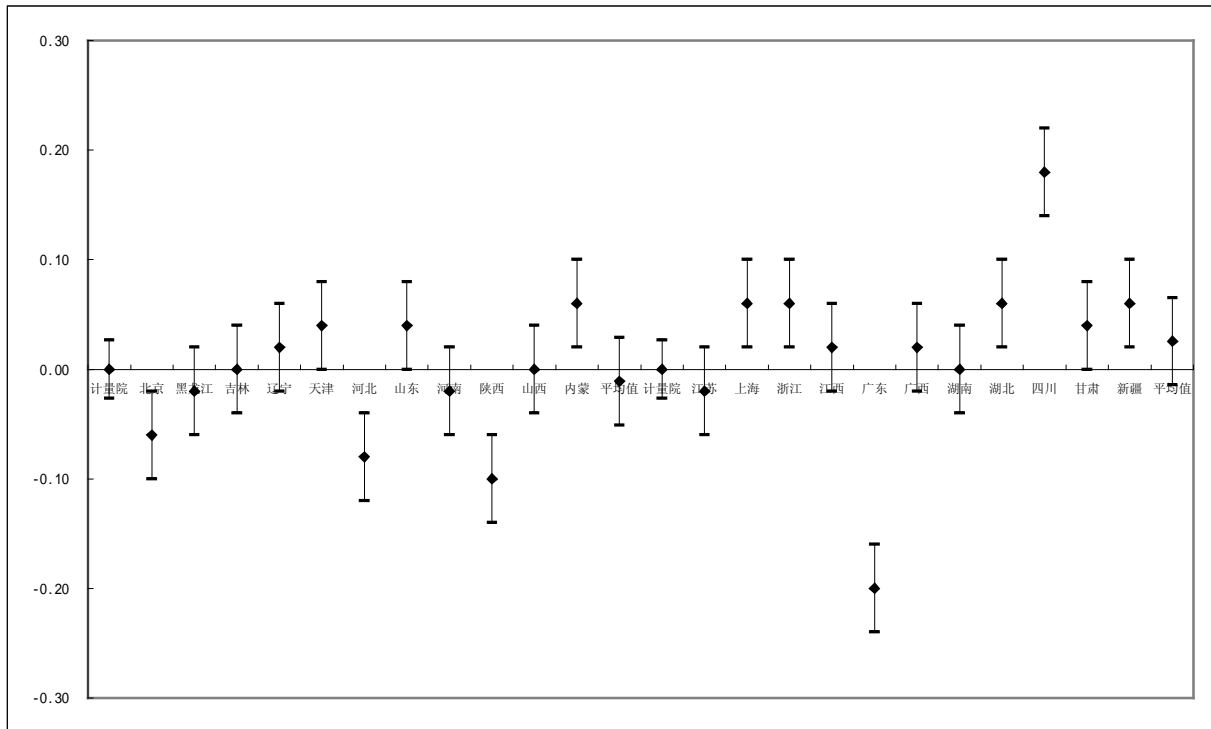
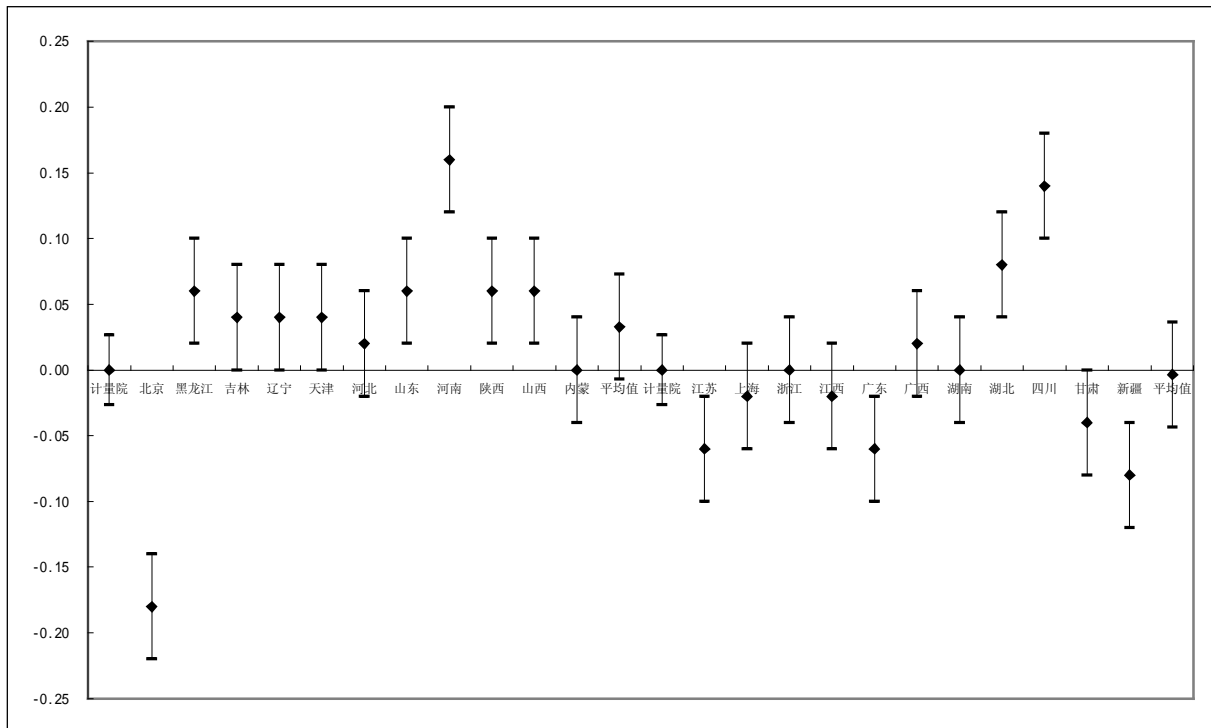


图 18

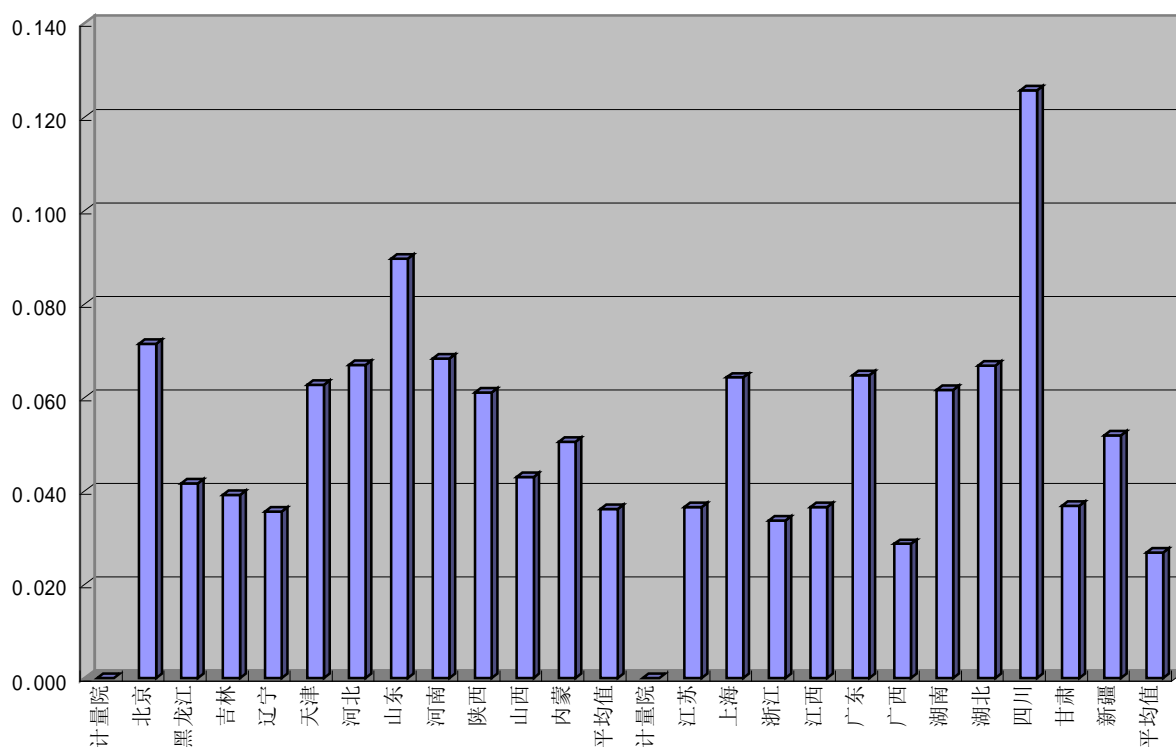
1290 kg/m³



综合评价：

图 1~18 可见，除个别参比单位的个别点外，绝大多数的比对点与参考值的差值都小于 $0.08\text{kg}/\text{m}^3$ ，这正好是一等密度计的扩展不确定度。可见各参比单位的比对结果与参考值的一致性是非常好的。为了对各参比单位进行综合评价，现用将所有比对点与相应的参考值之差、平方、求和、取平均、开方的方法对各参比单位进行综合评价。图 19 是综合评价结果。

图 19



七、 上报文件

上交报告内容包括：

- 1、一等标准密度计量值国内比对工作总结
- 2、传递标准的接受、测试及交接记录的原件；
- 3、比对用一等标准密度计的基本参数；
- 4、参比实验室使用的参考标准、仪器设备、环境条件及相关说明；
- 5、比对原始数据记录及必要的图表；

6、比对结果汇总及总体评价（各参比实验室测量数据结果见附件 1.1、1.2）。

八、结果的评价与不确定度分析：

各参比单位在某一参比点的平均值的计算（其中主导实验室不参与平均值的计算）：

$$\bar{\Delta r}_j = \frac{\sum_{i=2}^{12} \Delta r_{i,j}}{n-1} \quad \text{kg/m}^3$$

其中：

$\bar{\Delta r}_j$ ——所有参比单位在某一参比点的平均值；

$\Delta r_{i,j}$ ——各参比单位在每一参比点的测量结果， i 为参比单位（ $i=2, \dots, 12$ ）， j 为参加计算的参比点（ $j=1, 2, \dots, 18$ ）；

n ——参比单位参比点总数（ $n=12$ ）。

参比单位各参比点 $\Delta r_{i,j}$ 与主导实验室各参比点 $\Delta r_{1,j}$ 的差值 $\Delta_{\Delta r_{i,j}}$ 为：

$$\Delta_{\Delta r_{i,j}} = \Delta r_{i,j} - \Delta r_{1,j}$$

$\Delta r_{1,j}$ ——主导实验室在各参比点的测量值；

参比单位所有参比点 $\Delta r_{i,j}$ 的测量结果，其综合评价用测量标准偏差 $S_{\Delta r}$ 值表示，表达式为：

$$S_{\Delta r_i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\Delta r_{i,j} - \Delta r_{1,j})^2}{n}}$$

我们将各实验室的测试数据作了详细的统计，并画出了统计表。通过统计表便可看出各实验室的比对情况。

各参比实验室各点数据统计见附件 1。

$|\Delta_{\Delta r}| \leq 0.08$ (kg/m³) 的为满意，否则为不满意。

密度计量值国内比对测量不确定度评定见附件 2。

九、比对过程中发现的问题及原因分析

从递交的比对报告上看，参加比对的实验室对此项工作非常重视，也非常认真，大多数比对结果感到满意。但是，从个别报告中我们也发现了一些问题，这些问题主要出现在人员的操作。

- (1) 读取数据的方式不正确。出现了二分之一分度值、三分之一分度值、四分之一分度值、五分之一分度值……等不正确的读数方式，不符合规程的要求，并导致结果的不正确；
- (2) 酒精水溶液段密度计个别修正值超出不确定度范围。造成这个问题的原因除了检定员读错数的因素外，也可能是由于检定员搅拌液体时，液体中产生的气泡并附着在密度计浮体上，从而改变了液体对密度计的浮力大小所致；
- (3) 硫酸氢乙酯（硫酸水溶液）段密度计个别修正值超出不确定度范围。造成这个问题的原因除检定员读错数的可能性外，也还会因密度计上端粘有重液体从而改变了液体对密度计的浮力大小所致。另外，硫酸水溶液还可因为液体不干净使表面张力太大，从而影响了测量结果；
- (4) 毛细常数修正系数不正确，至使结果错误。我们仔细分析原因后发现，大家在计算上没有问题，干管直径测量上问题不大，有个别实验室在称量上出现了近 20 克的误差，导致结果不正确；
- (5) 对石油产品混合液段密度计进行测量时 5 次测量数据完全一致，这种情况一般是不可能的。因为这段的液体挥发性极强，液体的分布不一定十分均匀，因此不可能每次读取的数据都一样。

附件 1.1：一组比对结果

单位：kg/m³

器号	序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	修正值	计量院	北京	黑龙江	吉林	辽宁	天津	河北	山东	河南	陕西	山西	内蒙	平均值
	标称值													
342	740	0.12	0.04	0.14	0.06	0.10	0.12	0.04	0.02	0.06	0.06	0.06	0.08	0.08
	750	0.08	-0.04	0.06	0.06	0.04	-0.02	0.04	0.06	0.00	0.06	0.18	0.06	0.04
	760	0.12	0.04	0.04	0.10	0.08	0.02	0.04	-0.02	0.10	0.10	0.02	-0.02	0.04
215	770	-0.16	-0.10	-0.12	-0.10	-0.10	-0.16	-0.14	-0.16	-0.20	-0.18	-0.14	-0.10	-0.14
	780	0.02	-0.04	-0.02	-0.08	-0.02	-0.02	-0.10	-0.14	0.06	-0.02	0.02	-0.02	-0.04
	790	-0.06	-0.06	-0.08	-0.08	-0.10	0.02	-0.14	-0.04	0.06	-0.06	-0.04	-0.06	-0.06
711	890	0.00	-0.02	0.00	-0.02	-0.02	0.00	0.04	-0.12	-0.08	-0.06	0.00	0.00	-0.02
	900	0.08	0.06	0.02	0.08	0.04	0.04	0.12	0.00	0.04	0.02	0.04	0.06	0.04
	910	0.00	0.02	0.06	0.00	0.00	-0.02	0.06	-0.04	0.04	0.12	0.00	-0.02	0.02
231	920	0.14	0.16	0.12	0.08	0.08	0.04	0.16	0.08	0.12	0.10	0.12	0.16	0.12
	930	0.06	0.06	0.12	0.02	0.08	0.00	0.20	-0.06	0.04	0.06	0.08	0.02	0.06
	940	0.00	-0.06	-0.04	-0.02	-0.04	-0.08	0.06	-0.12	-0.04	-0.04	0.02	0.06	-0.02
32	1240	-0.06	0.04	-0.02	-0.04	-0.02	-0.02	0.00	0.10	0.06	0.06	-0.04	0.00	0.02
	1250	0.06	0.06	0.06	0.08	0.04	-0.06	0.04	0.10	0.04	0.14	0.10	0.08	0.06
	1260	0.10	0.10	0.14	0.12	0.12	0.14	0.12	0.10	0.14	0.14	0.12	0.14	0.12
579	1270	0.12	0.20	0.10	0.10	0.14	0.12	0.06	0.16	0.16	0.12	0.12	0.18	0.14
	1280	0.10	0.04	0.08	0.10	0.12	0.14	0.02	0.14	0.08	0.00	0.10	0.16	0.00
	1290	0.10	-0.08	0.16	0.14	0.14	0.14	0.12	0.16	0.26	0.16	0.16	0.10	0.14

注：（1240~1290）kg/m³修正值为硫酸水溶液中的修正值

附件 1.2：二组比对结果

单位：kg/m³

器号	序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	修正值	计量院	江苏	上海	浙江	江西	广东	广西	湖南	湖北	四川	甘肃	新疆	平均值
	标称值													
150	740	0.14	0.18	0.12	0.10	0.16	0.10	0.08	0.12	0.18	0.10	0.10	0.14	0.12
	750	0.10	0.06	0.14	0.10	0.06	0.14	0.10	0.16	0.10	0.10	0.10	0.06	0.10
	760	0.08	0.06	0.08	0.04	0.04	0.10	0.06	0.02	0.10	-0.02	0.12	0.06	0.06
363	770	-0.14	-0.20	-0.18	-0.14	-0.12	-0.16	-0.16	-0.18	-0.14	-0.14	-0.14	-0.18	-0.16
	780	0.02	0.04	0.00	0.00	-0.04	-0.06	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.04	-0.10	-0.02
	790	-0.14	-0.16	-0.08	-0.20	-0.16	-0.10	-0.18	-0.14	-0.08	-0.14	-0.14	-0.16	-0.14
625	890	-0.02	-0.04	-0.04	-0.02	-0.06	-0.06	-0.04	-0.04	-0.06	0.02	-0.06	-0.06	-0.04
	900	0.12	0.06	0.06	0.10	0.12	0.08	0.08	0.10	0.04	0.36	0.08	0.10	0.10
	910	0.00	-0.02	0.06	-0.02	0.02	0.00	0.00	-0.04	0.08	0.26	-0.04	0.00	0.02
210	920	0.08	0.08	0.06	0.10	0.04	0.04	0.10	-0.12	0.04	0.02	0.02	0.00	0.04
	930	-0.04	-0.04	-0.12	-0.06	-0.06	-0.04	-0.04	0.00	-0.08	-0.08	-0.08	-0.06	-0.06
	940	-0.02	-0.04	-0.06	-0.04	-0.10	-0.04	-0.04	-0.08	-0.12	-0.16	-0.04	0.00	-0.06
266	1240	-0.16	-0.16	-0.12	-0.10	-0.18	-0.18	-0.12	-0.08	-0.20	-0.02	-0.14	-0.06	-0.12
	1250	-0.08	-0.16	-0.02	-0.02	-0.02	-0.08	-0.10	-0.04	-0.20	0.12	-0.04	-0.10	-0.06
	1260	-0.06	-0.08	-0.02	-0.04	-0.04	-0.06	-0.10	-0.04	-0.20	0.02	-0.02	-0.04	-0.06
654	1270	0.20	0.18	0.00	0.20	0.18	0.16	0.20	0.16	0.20	0.16	0.18	0.20	0.16
	1280	0.04	0.02	0.10	0.10	0.06	-0.02	0.06	0.04	0.10	0.22	0.08	0.10	0.08
	1290	0.02	-0.04	0.00	0.02	0.00	0.04	0.04	0.02	0.10	0.16	-0.02	-0.06	0.02

附件 2:

密度计量值国内比对测量不确定度评定

(中国计量科学研究院)

一、 测量过程:

基准密度计与一等标准密度计同时浸入规定的液体中, 直接比较它们的示值 I , 经过一定的修

正而获得一等标准密度计的修正值 Δr 。

二、 数学模型:

$$\Delta r = \Delta r_{\text{基}} + (I_{\text{基}} - I_{\text{标}}) + \Delta r_k$$

$\Delta r_{\text{基}}$ —— 基准密度计修正值;

$(I_{\text{基}} - I_{\text{标}})$ —— 基准密度计示值 $I_{\text{基}}$ 与一等标准密度计示值 $I_{\text{标}}$ 之差, 可用 I_d 表

示;

Δr_k —— 一等标准密度计毛细常数修正值。

则上式可写为:

$$\Delta r = \Delta r_{\text{基}} + I_d + \Delta r_k$$

三、 不确定度来源:

(1) 密度计引入的不确定度 $u_1(\text{基})$:

由证书可获得基准密度计的扩展不确定度 U 为 0.4 个分度值 ($k=3$), 不确定度 $u_1(\text{基})$ 为:

$$u_1(\text{基}) = \frac{U}{k} = \frac{0.4 \times \text{分度值}}{k}$$

基准密度计的不确定度 kg/m^3

测量范围	分度值	$u_1(\text{基})$
740~780	0.1	0.013
790~940	0.05	0.007
1240~1290	0.1	0.013

(2) 量重复性引入的不确定度 $u_1(\text{标})$:

当测量次数在 4~9 次时, 可采用极差法对一等标准密度计测量重复性进行分析。假设重复测量 8 次, 按照 JJG86-2001 规定, 两次结果之差不超过 0.2 个分度, 则不确定度 $u_1(\text{标})$ 为:

$$u_1(\text{标}) = \frac{0.2 \times \text{分度值}}{2.85}$$

测量重复性引入的不确定度 kg/m^3

测量范围	分度值	$u_1(\text{标})$
740~1290	0.2	0.014

(3) 一等标准密度计读数误差引入的不确定度 $u_2(\text{标})$ ：

检定时是用目力估读数值，实验表明每支浮计的估读误差不超过 0.1 个分度值，其不确定度符合三角分布。

$$u_2(\text{标}) = \frac{0.1 \times \text{分度值}}{\sqrt{6}}$$

一等标准密度计读数误差引入的不确定度 kg/m^3

测量范围	分度值	$u_2(\text{标})$
740~1290	0.2	0.008

(4) 表面张力对一等标准密度计引入的不确定度 $u_3(\text{标})$ ：

实验表明，这项不确定度对示值的影响为 0.1 个分度值，符合三角分布。

$$u_3(\text{标}) = \frac{0.1 \times \text{分度值}}{\sqrt{6}}$$

表面张力对一等标准密度计示值引入的不确定度 kg/m^3

测量范围	分度值	$u_3(\text{标})$
740~1290	0.2	0.008

(5) 一等标准密度计倾斜引入的不确定度 $u_4(\text{标})$ ：

JJG86-2001 中规定，一等标准密度计的倾斜不得大于 0.1 个分度值，其不确定度符合三角分布。

$$u_4(\text{标}) = \frac{0.1 \times \text{分度值}}{\sqrt{6}}$$

一等标准密度计倾斜引入的不确定度 kg/m^3

测量范围	分度值	$u_4(\text{标})$
740~1290	0.2	0.008

(6) 温度对一等标准密度计示值引入的不确定度 $u_5(\text{标})$ ：

JJG86-2001 中规定，室温与液温之差不得大于 0.2℃，且玻璃体膨胀系数因材料原因存在 $2 \times 10^{-6} \text{℃}^{-1}$ 的不确定度，因而对浮计示值的不确定度为：

$$u_5(\text{标}) = r \times \Delta t \times 2 \times 10^{-6}$$

r ——检定时检定液的密度；

Δt ——检定液温度与室温之差，JJG86-2001 规定为 2℃；

$2 \times 10^{-6} \text{℃}^{-1}$ ——浮计玻璃体膨胀系数 $25 \times 10^{-6} \text{℃}^{-1}$ 的不确定度；

温度对一等标准密度计示值引入的不确定度 kg/m^3

测量范围	分度值	$u_5(\text{标})$
740~780	0.2	0.003
790~940	0.2	0.004
1240~1290	0.2	0.006

(7) 一等标准密度计数据修约引入的不确定度 $u_6(\text{标})$ ：

JJG86-2001 中规定, 检定结果要求修约到分度值的 1/10, 该不确定度符合均匀分布。

$$u_6(\text{标}) = \frac{0.1 \times \text{分度值}}{2 \times \sqrt{3}}$$

一等标准密度计数据修约引入的不确定度		kg/m ³
测量范围	分度值	u ₆ (标)
740~1290	0.2	0.006

(8) 一等标准密度计毛细常数修正引入的不确定度 u₇(标):

$$u_7(\text{标}) = \sqrt{c_1^2 u(\Delta a)^2 + c_2^2 u(D)^2 + c_3^2 u(r)^2 + c_4^2 u(m)^2}$$

a、与毛细常数差有关的不确定度 u(Δa):

经验估计毛细常数 a 以均匀分布, 区间为 ±0.008mm², 则有:

$$u(a) = \frac{0.08}{\sqrt{3}} = 0.046 \text{ mm}^2$$

毛细常数差 Δa 的不确定度 u(Δa) 为:

$$u(\Delta r) = \sqrt{0.046^2 + 0.046^2} = 0.065 \text{ mm}^2$$

b、与液体密度有关的不确定度 u(ρ):

JJG86-2001 中规定, 液体密度 ρ 准确到 0.01g/cm³, 在 ±2 个分度范围内符合均匀分布。

$$u(r) = \frac{2 \times \text{分度值}}{\sqrt{3}} \text{ g/cm}^3$$

与密度有关的不确定度		kg/m ³
测量范围	分度值	u(ρ)
740~1290	0.2	0.000231

c、与干管直径测量有关的不确定度 u(D):

JJG86-2001 中规定, D 的测量准确到 0.05mm, 千分尺的不确定度忽略不计, 则可认为在 ±0.05mm 范围内符合均匀分布。

$$u(D) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ mm}$$

d、与浮计质量有关的不确定度 u(m):

JJG86-2001 中规定, 浮计质量 m 要求准确到 100mg, 我们认为它在 ±100mg 内符合均匀分布。

$$u(m) = \frac{100}{\sqrt{3}} = 57.74 \text{ mg}$$

e、c₁ u(Δa)、c₂ u(ρ)、c₃ u(D)、c₄ u(m) 的计算:

$$c_1 = \frac{\rho \times D \times r^2}{m}$$

$$c_2 = \frac{2 \times \Delta a \times p \times D \times r}{m}$$

$$c_3 = \frac{\Delta a \times p \times r^2}{m}$$

$$c_4 = \frac{-\Delta a \times p \times D \times r^2}{m^2}$$

1000 ~ 1500kg/m³ 时： 取 D=4.216mm , Δa=-4.50mm² , ρ =1.000g/cm³ , m=104520mg

$$c_1 u(\Delta a) = 0.008 \text{ kg/m}^3$$

$$c_2 u(r) = 0.000 \text{ kg/m}^3$$

$$c_3 u(D) = -0.004 \text{ kg/m}^3$$

$$c_4 u(m) = 0.000 \text{ kg/m}^3$$

1500 ~ 1830kg/m³ 时： 取 D=4.540mm , Δa=-0.28mm² , ρ =1.830g/cm³ , m=161470mg

$$c_1 u(\Delta a) = 0.019 \text{ kg/m}^3$$

$$c_2 u(r) = 0.000 \text{ kg/m}^3$$

$$c_3 u(D) = -0.001 \text{ kg/m}^3$$

$$c_4 u(m) = 0.000 \text{ kg/m}^3$$

一等标准密度计毛细常数修正引入的不确定度 kg/m³

测量范围	u ₇ (标)
1240~1290	0.009

四、 合成不确定度 u_c 为：

$$u_c(\text{标}) = \sqrt{u_1(\text{基})^2 + u_1(\text{标})^2 + u_2(\text{标})^2 + u_3(\text{标})^2 + u_4(\text{标})^2 + u_5(\text{标})^2 + u_6(\text{标})^2 + u_7(\text{标})^2}$$

五、 扩展不确定度 U 为：

$$U = k \times u_c(\text{标})$$

一等标准密度计不确定度表 kg/m³

测量范围	u ₁ (基)	u ₁ (标)	u ₂ (标)	u ₃ (标)	u ₄ (标)	u ₅ (标)	u ₆ (标)	u ₇ (标)	u _c	U (k=3)
740~780	0.013	0.014	0.008	0.008	0.008	0.003	0.006	/	0.025	0.074
790~940	0.007	0.014	0.008	0.008	0.008	0.004	0.006	/	0.022	0.066
1240~ 1290	0.013	0.014	0.008	0.008	0.008	0.006	0.006	0.009	0.024	0.073

以上不确定度相当于 0.4 个分度值。