

# 0.6MPa 一等活塞式压力计标准装置 全国比对总结报告

全国压力计量技术委员会

2007 年 11 月

# 目 录

- 一. 概述
- 二. 比对方法和内容
  - 2.1 比对方法
  - 2.2 比对用传递标准信息
  - 2.3 比对要求
  - 2.4 比对路线和时间安排
  - 2.5 比对进程
- 三. 比对结果
  - 3.1 标准器信息
  - 3.2 工作介质、砝码尺寸和重力加速度
  - 3.3 比对数据
  - 3.4 按比对细则的要求进行  $E_n$  值评价
  - 3.5 按比对细则的要求进行活塞有效面积差值的评定
  - 3.6 按规程出具的检定证书部分信息汇总
- 四. 比对结果的分析
  - 4.1  $E_n$  值和活塞有效面积的差值的分析
  - 4.2 对上交的比对资料分析
  - 4.3 对工作介质、砝码尺寸参数的分析
  - 4.4 对按规程出具的检定证书部分信息的分析
- 五. 比对中存在的问题
- 六. 关注及研究方向
- 附件 传递标准的不确定度评定
- 鸣谢
- 参考文献

## 一、概述

为了了解全国省级法定计量技术机构压力标准装置的技术状况和考核检定人员的技术能力，确保各省级法定计量技术机构压力实验室的检定综合能力达到良好的水平，从而更好地开展量值传递和溯源，实现全国压力量值的准确一致。国家质量监督检验检疫总局计量司决定于 2006 年至 2007 年组织一次 0.6MPa 一等活塞式压力计标准装置全国比对，由全国压力计量技术委员会组织实施，主导实验室为上海市计量测试技术研究院，参加比对实验室为省级法定计量技术机构压力实验室。本次比对压力范围为（0.04~0.6）MPa，比对实验室压力标准器为一等标准活塞式压力计，准确度等级:0.02 级。为此，制定了实施细则，以便参加比对工作的各计量检定机构的同志在比对工作中共同遵守。

## 二、比对方法和内容

本次比对历时近 2 年，从 2006 年初开始，主导实验室开始酝酿比对方案，2006 年 7 月，比对方案初稿基本形成，确定了传递标准的量程，而后与制造商联系加工符合比对要求的传递标准。2007 年 1 月召开比对会议，会上所有比对实验室都派人员参加了会议，讨论通过了比对实施细则。比对试验工作从 2007 年 4 月开始，7 月结束，主导实验室在 8 月完成比对总结报告。

### 2.1 比对方法

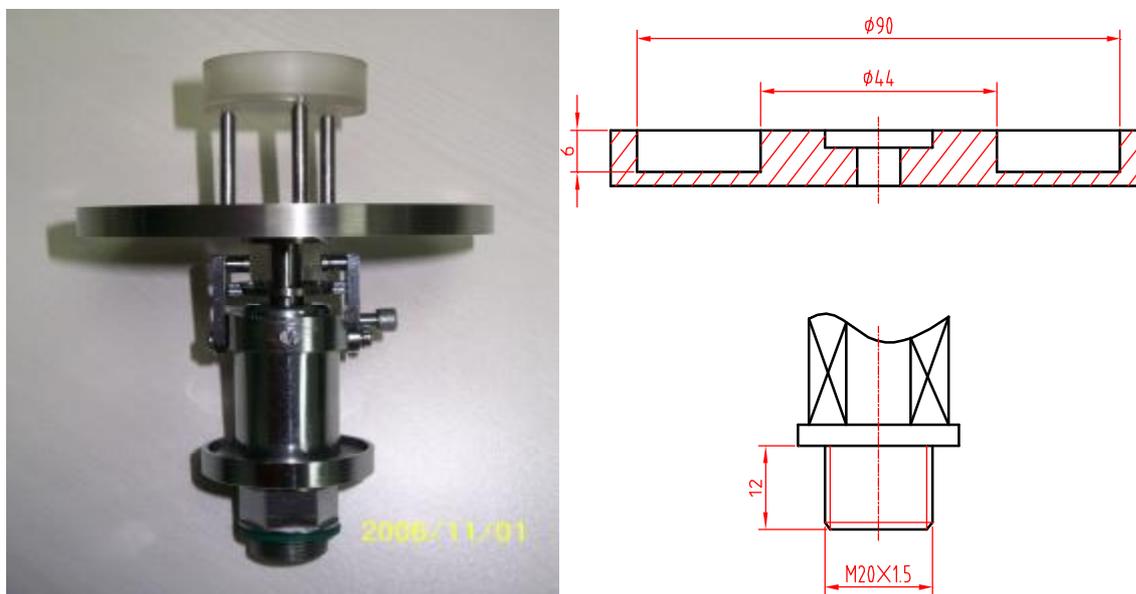
本次参加比对的单位为全国各省级及以上法定计量技术机构共 28 家。因参加单位较多，故本次比对采用星形和花瓣形结合，将 28 家参加实验室分成 3 组，每组一台传递标准，同时进行传递，传递 5 家实验室后回主导实验室，全部传递完后再回主导实验室。

本次比对依据的检定规程为 JJG59-1990《二、三等标准活塞式压力计》国家检定规程。

## 2.2 比对用传递标准信息

本次比对的 3 台传递标准由太行仪表厂提供，在 2006 年 9 月完成第一台传递标准，2006 年 12 月又提供 2 台新生产的传递标准。天津实验工厂提供的二台传递标准作为备用。

传递标准的尺寸和参数：



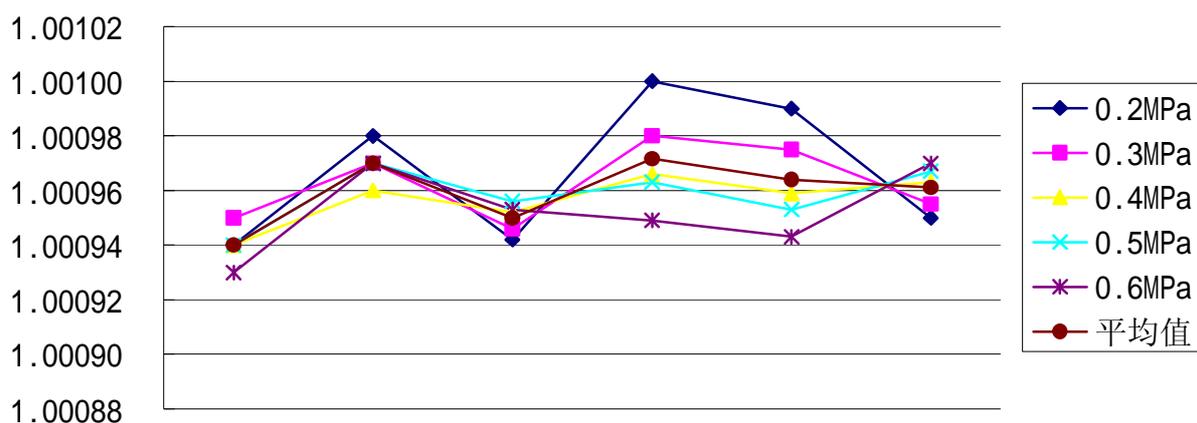
名称	活塞式压力计	测量范围	(0.04~0.6)MPa
工作介质	变压器油与煤油混合油（参照规程）	出厂编号	0603、0604、406
标称面积	1cm <sup>2</sup>	弹性模量 E	113.8GPa
泊松比 μ	0.32	线膨胀系数 α	1.9×10 <sup>-5</sup> °C <sup>-1</sup>

注：活塞筒与活塞材料一致

主导实验室分别在 2006 年 12 月~2007 年 3 月之间用工作基准对传递标准进行了 4 组测量。在比对过程中,2007 年 5 月 14 日到 2007 年 5 月 19 日对 3 台传递标准进行复测, 比对结束后,2007 年 7 月 3 日到 2007 年 7 月 15 日主导实验室再次对传递标准进行了复测。共测得 6 组数据如下：

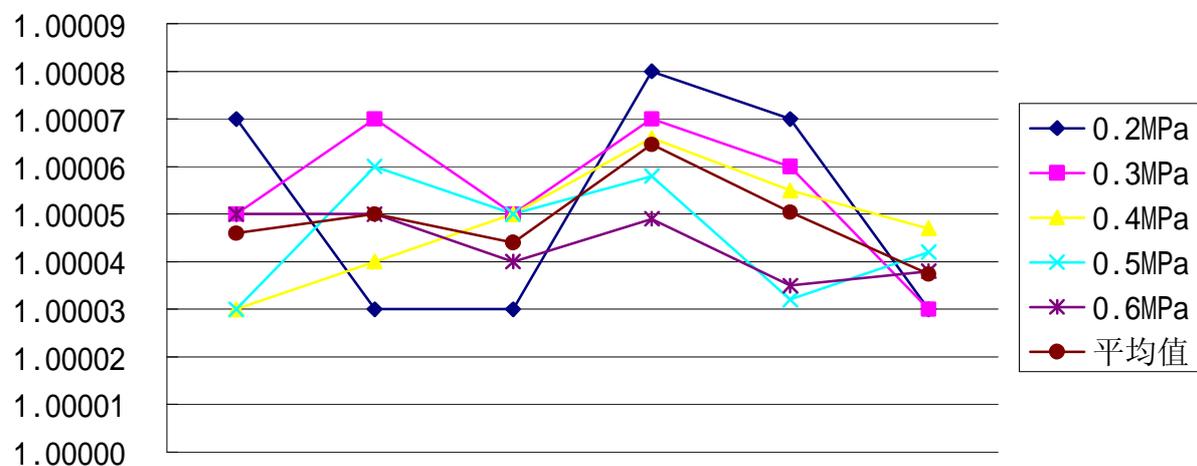
0603	0.2MPa	0.3MPa	0.4MPa	0.5MPa	0.6MPa	平均值
2006.12	1.00094 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00094 cm <sup>2</sup>	1.00094 cm <sup>2</sup>	1.00093 cm <sup>2</sup>	1.00094 cm <sup>2</sup>
2007.1	1.00098 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>
2007.2	1.00094 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>
2007.3	1.00100 cm <sup>2</sup>	1.00098 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>
2007.5	1.00099 cm <sup>2</sup>	1.00098 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00094 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>
2007.7	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>
平均值	1.00097 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>

0603有效面积参考值汇总图

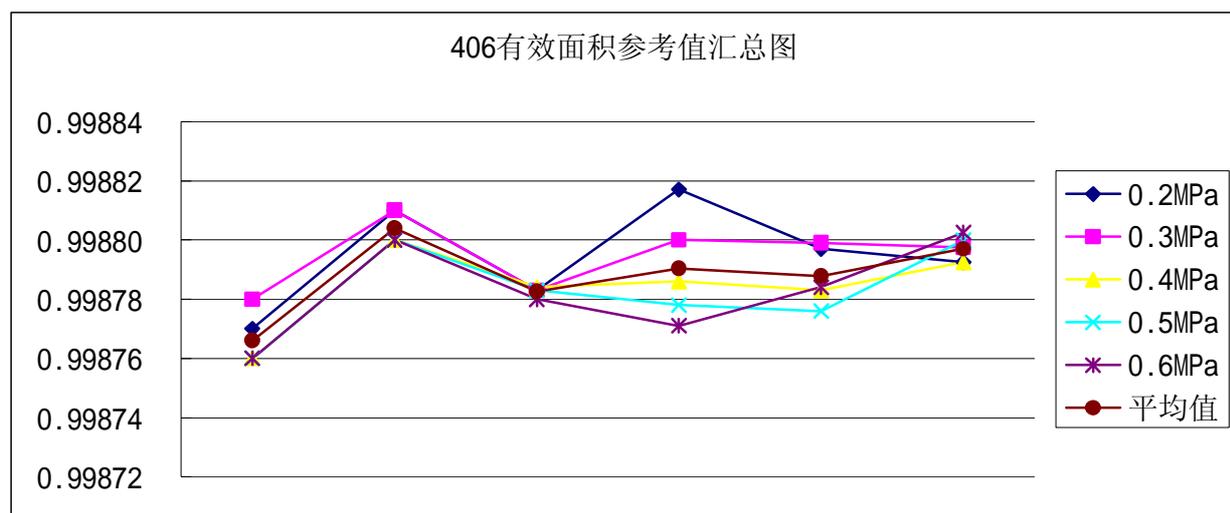


0604	0.2MPa	0.3MPa	0.4MPa	0.5MPa	0.6MPa	平均值
2006.12	1.00007 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>
2007.1	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00007 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>	1.00006 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>
2007.2	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>
2007.3	1.00008 cm <sup>2</sup>	1.00007 cm <sup>2</sup>	1.00007 cm <sup>2</sup>	1.00006 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00006 cm <sup>2</sup>
2007.5	1.00007 cm <sup>2</sup>	1.00006 cm <sup>2</sup>	1.00006 cm <sup>2</sup>	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>
2007.7	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>
平均值	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00006 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>

0604有效面积参考值汇总图



406	0.2MPa	0.3MPa	0.4MPa	0.5MPa	0.6MPa	平均值
2006.12	0.99877 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99876 cm <sup>2</sup>	0.99876 cm <sup>2</sup>	0.99876 cm <sup>2</sup>	0.99877 cm <sup>2</sup>
2007.1	0.99881 cm <sup>2</sup>	0.99881 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>
2007.2	0.99878 cm <sup>2</sup>					
2007.3	0.99882 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99879 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99877 cm <sup>2</sup>	0.99879 cm <sup>2</sup>
2007.5	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99879 cm <sup>2</sup>
2007.7	0.99879 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99879 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>
平均值	0.99879 cm <sup>2</sup>	0.99879 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99879 cm <sup>2</sup>



以主导实验室六组数据的平均值为传递标准的参考值,参考值的不确定度评定见附件。

### 2.3 比对要求

本次比对是针对传递标准的活塞有效面积进行比对,比对用标准器为各参加实验室的一等标准活塞式压力计,比对所用到的标准砝码、小砝码、水平仪、百分表(千分表)、秒表、工作介质和活塞底座等由参加实验室准备。主导实验室提供传递标准和传递标准的尺寸图及部分参数。参加实验室按比对细则的要求进行活塞有效面积的3组测量,每组测量包括0.2MPa、0.3MPa、0.4MPa、0.5MPa和0.6MPa共5个试验点的正反行程的有效面积。并要求对每个试验点进行不确定度的计算。还要求提供标准器的信息和参数,并递交一份按JJG59-1990《二、三等标准活塞式压力计》国家检定规程要求出具的检定证书和工作介质的证书。每个参加实验室应按比对实施细则中规定的时间要求完成

比对工作，并应在比对结束 2 周内递交所有资料。

## 2.4 比对路线和时间安排

比对细则中的时间安排和分组情况如下：

第一组：

1. 浙江省计量科学研究所:2007.04.02~2007.04.08
2. 福建省计量科学技术研究所:2007.04.09~2007.04.15
3. 江西省计量测试研究院:2007.04.16~2007.04.22
4. 湖南省计量检测研究院:2007.04.23~2007.04.29
5. 广东省计量科学研究所:2007.04.30~2007.05.14
6. 贵州省计量测试院:2007.05.21~2007.05.27
7. 中国测试技术研究院:2007.05.28~2007.06.03
8. 云南省计量测试技术研究院:2007.06.04~2007.06.10
9. 广西壮族自治区计量检测研究院:2007.06.11~2007.06.17

第二组：

10. 江苏省计量测试技术研究所:2007.04.02~2007.04.08
11. 安徽省计量测试研究所:2007.04.09~2007.04.15
12. 河北省计量科学研究所:2007.04.16~2007.04.22
13. 山东省计量科学研究所:2007.04.23~2007.04.29
14. 天津市计量监督检测科学研究所:2007.04.30~2007.05.14
15. 内蒙古自治区计量测试研究院:2007.05.21~2007.05.27
16. 北京市计量科学研究所:2007.05.28~2007.06.03
17. 辽宁省计量科学研究所:2007.06.04~2007.06.10

18. 吉林省计量科学研究院:2007.06.11~2007.06.17

19. 黑龙江省计量检定测试院:2007.06.18~2007.06.24

第三组:

20. 陕西省计量科学研究院:2007.04.02~2007.04.08

21. 重庆市计量质量检测研究院:2007.04.09~2007.04.15

22. 湖北省计量测试技术研究院:2007.04.16~2007.04.22

23. 河南省计量科学研究院:2007.04.23~2007.04.29

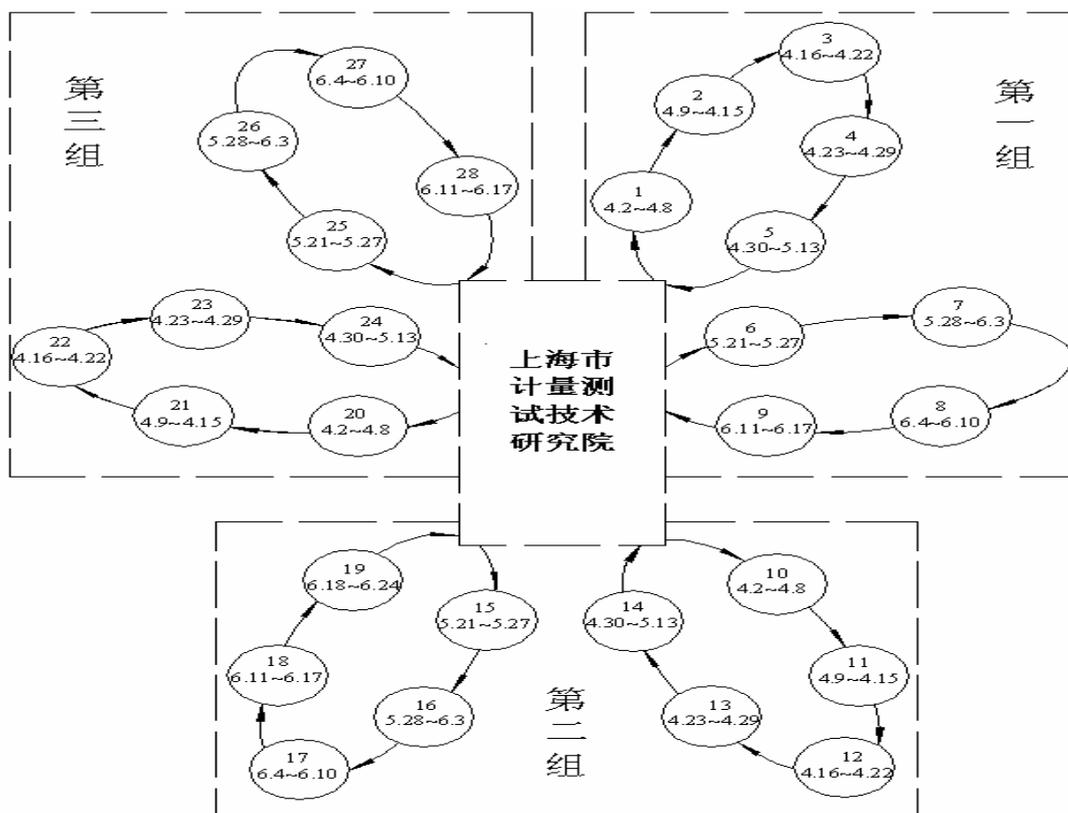
24. 山西省计量监督检定测试所:2007.04.30~2007.05.14

25. 新疆自治区计量测试研究院:2007.05.21~2007.05.27

26. 甘肃省计量研究院:2007.05.28~2007.06.03

27. 宁夏自治区计量测试院:2007.06.04~2007.06.10

28. 青海省计量检定测试所:2007.06.11~2007.06.17



在比对过程中传递标准回主导实验室后，主导实验室将原来第二组的传递标准换至第一组，第三组的传递标准换至第二组，第一组的传递标准换至第三组，故实际按传递标准的分组情况如下：

第一组	第二组	第三组
传递标准器号：0603	传递标准器号：0604	传递标准器号：406
1 浙江	10 江苏	20 陕西
2 福建	11 安徽	21 重庆
3 江西	12 河北	22 湖北
4 湖南	13 山东	23 河南
5 广东	14 天津	24 山西
25 新疆	6 贵州	15 内蒙
26 甘肃	7 成都	16 北京
27 宁夏	8 云南	17 辽宁
28 青海	9 广西	18 吉林
/	/	19 黑龙江

## 2.5 比对进程

本次比对严格按照比对实施细则的规定时间进行，所有参加实验室都按规定时间节点完成了比对试验，没有发生超时现象，也没发生传递标准的损坏现象。但是比对试验结束后，有部分单位比对结果的上报工作有所延误，致使主导实验室无法及时计算比对结果。

## 三、 比对结果

主导实验室对上报的资料进行了整理，对各参加实验室的标准器信息、参数信息和比对数据汇总如下：

## 3.1 标准器信息：

第1组	有效面积 (cm <sup>2</sup> )	生产厂家	编号	检定单位	检定日期	证书编号
浙江	0.99851	西安仪表厂	91.10.400	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心	2006.03.10	200603-2-401074
福建	0.99953	天津市计量所工厂	81	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心	2006.03.10	200603-2-401330
江西	0.99948	天津市计量局试验工厂	90	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心	2006.04.13	200603-2-402066
湖南	0.99972	天津市计量局实验工厂	7444	湖北省计量测试技术研究院 中南国家计量测试中心	2006.10.31	力字第 06420077 号
广东	1.00034	天津计量实验工厂	8339	广东省计量科学研究所 华南国家计量测试中心	2007.04.04	RYJ20070800
新疆	0.9993	天津	8733	西北国家计量测试中心	2005.10.25	RG50051081J
甘肃	1.00105	天津市技术监督局实验 工厂	7970	中国计量科学研究院	2007.04.16	RGpv2007-0346
宁夏	1.00020	天津	534	西北国家计量测试中心	2005.10.17	RG50051076J
青海	0.99971	天津计量管理所实验厂	8129	西北国家计量测试中心	2007.04.12	RG50071033J

第2组	有效面积 (cm <sup>2</sup> )	生产厂家	编号	检定单位	检定日期	证书编号
江苏	1.00062	上海自动化仪表四厂	3222	江苏省计量科学研究所	2007.01.10	H2007-1123721
安徽	0.99949	太原航空仪表有限公司	N205	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心	2006.07.26	200603-2-404288
河北	1.00060	天津市技术监督局实验 工厂	7110	北京市计量检测科学研究院	2007.04.09	B707J-A0073
山东	1.00015	江苏常州礼河试验仪器 厂	9201	山东省计量科学研究所	2006.03.21	F05-20060471
天津	0.99908	天津市质量技术监督局 实验厂	106	天津市计量技术研究所	2006.03.13	YLhs 字第 106005 号
贵州	1.00019	天津计量仪器厂	8391	中国测试技术研究院	2005.08.25	压力字第 20051219 号
成都	1.00081	天津计量仪器厂	136	中国测试技术研究院	2006.07.08	压力字第 20060184 号
云南	1.00101	天津计量仪器厂	9886	中国测试技术研究院	2006.09.12	压力字第 20060234 号
广西	0.99895	天津计量局实验工厂	87221	湖北省计量测试技术研究院 中南国家计量测试中心	2006.10.18	力字第 06420067 号

第3组	有效面积 (cm <sup>2</sup> )	生产厂家	编号	检定单位	检定日期	证书编号
陕西	0.99880	天津	72	陕西省计量科学研究所	2006.07.31	RG50061061J
重庆	0.99995	天津计量仪器厂	513	中国测试技术研究院	2006.03.14	压力字第 20060044 号
湖北	1.00001	天津市计量局实验工厂	8747	湖北省计量测试技术研究院 中南国家计量测试中心	2006.05.13	力字第 06420030 号
河南	1.00068	/	105	上海市计量测试技术研究院 华东国家计量测试中心	2007.02.01	2007E21-20-000199
山西	1.00038	太行仪表厂	004	中国计量科学研究所	2006.12.12	RGpv2006-1424
内蒙	1.00110	太行仪表厂	N039	中国计量科学研究所	2006.09.15	RGpv2006-1064
北京	1.00053	天津市技术监督局实验 工厂	101	北京市计量检测科学研究院	2006.07.04	C606J-A0122
辽宁	1.00066	天津市计量管理局实验 工厂	112	辽宁省计量科学研究所 东北国家计量测试中心	2006.04.05	辽计 06040503208 号
吉林	0.99868	吉林省计量仪器实验所	7981	中国计量科学研究所	2007.03.14	RGpv2007-0212
黑龙江	1.00186	天津市计量局实验工厂	7434	东北国家计量测试中心	2006.10.13	辽计 06101303220 号

## 3.2 工作介质、砝码尺寸和重力加速度:

第一组	运动粘度 (20℃时) [mm <sup>2</sup> /s]	砝码外径尺寸 (mm)	当地重力加速度 g[m/s <sup>2</sup> ]
浙江	9.440	128	9.79361
福建	11.68	140	9.7904
江西	11	130	9.7920
湖南	9.0323	131	9.7915
广东	9.338	130	9.7883
新疆	11.10	130	9.8015
甘肃	11.56	130	9.7926
宁夏	10.1	130	9.7961
青海	11.56	128	9.7911

第二组	运动粘度 (20℃时) [mm <sup>2</sup> /s]	砝码外径尺寸 (mm)	当地重力加速度 g[m/s <sup>2</sup> ]
江苏	9.2	140	9.79494
安徽	10.578	130	9.7947
河北	11.76	130	9.7997
山东	10.26	130	9.79878
天津	11.87	130	9.8011
贵州	11.50	128.8	9.7868
成都	10.48	130	9.7913
云南	11.0	130	9.7836
广西	10.81	130	9.7877

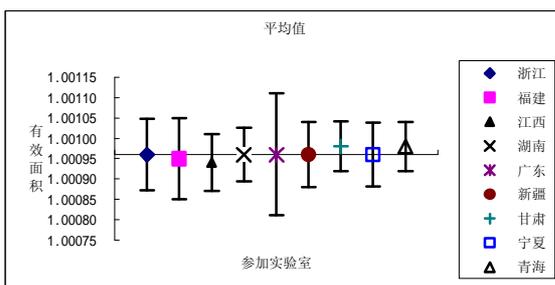
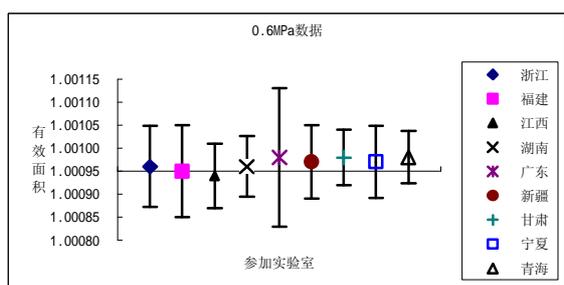
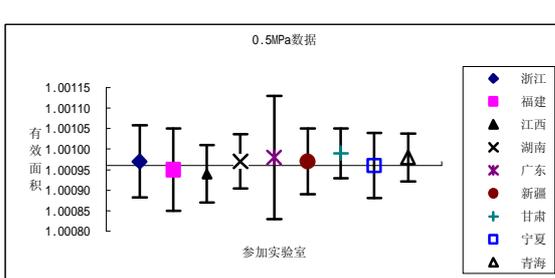
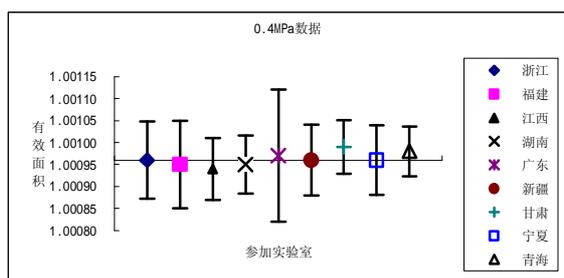
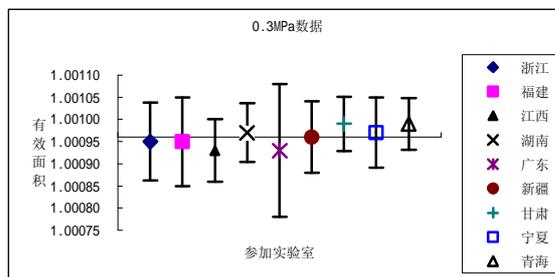
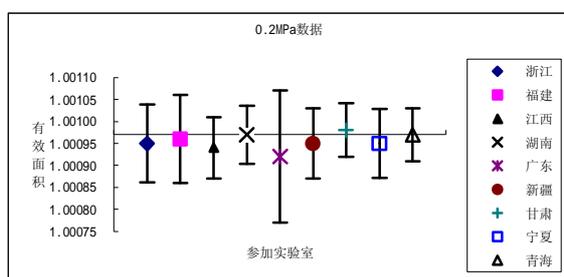
第三组	运动粘度 (20℃时) [mm <sup>2</sup> /s]	砝码外径尺寸 (mm)	当地重力加速度 g[m/s <sup>2</sup> ]
陕西	10.7	130	9.7944
重庆	9.824 电子文档值 10.2	130 电子文档值 150	9.79136325
湖北	9.509	128	9.7936
河南	10.126	130	9.79663
山西	10.4	129.49	9.7970
内蒙	10.06	130	9.7986
北京	10.29	130	9.8015
辽宁	9.510	130	9.8035
吉林	10.24	128	9.8048
黑龙江	9.28	133	9.8066

注“电子文档值”是指该实验室通过 E-mail 提供的相关数据。

## 3.3 比对数据汇总和汇总图：

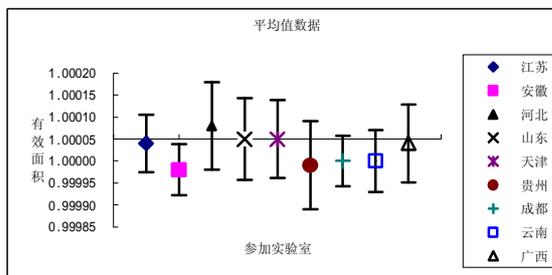
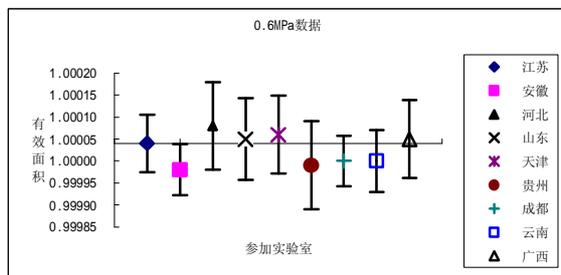
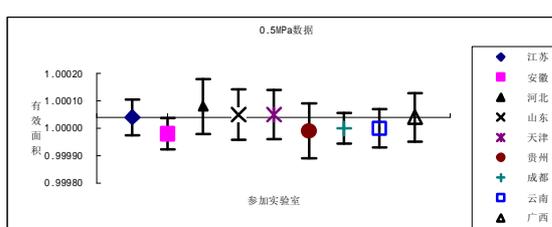
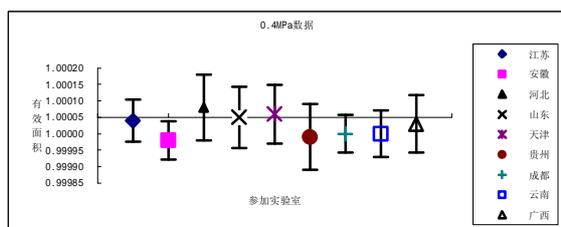
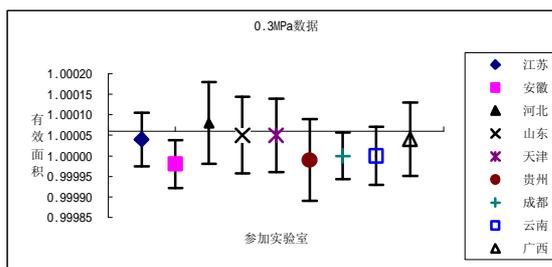
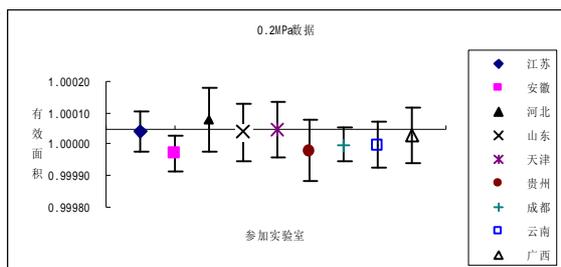
## 第一组：传递标准器号：0603

实验室	0.2MPa		0.3MPa		0.4MPa		0.5MPa		0.6MPa		平均值	
	有效面积 (cm <sup>2</sup> )	测量不确定度 (k=1)										
浙江	1.00095	8.8×10 <sup>-5</sup>	1.00095	8.8×10 <sup>-5</sup>	1.00096	8.8×10 <sup>-5</sup>	1.00097	8.8×10 <sup>-5</sup>	1.00096	8.8×10 <sup>-5</sup>	1.00096	8.8×10 <sup>-5</sup>
福建	1.00096	1×10 <sup>-4</sup>	1.00095	1×10 <sup>-4</sup>								
江西	1.00094	7×10 <sup>-5</sup>	1.00093	7×10 <sup>-5</sup>	1.00094	7×10 <sup>-5</sup>						
湖南	1.00097	6.6×10 <sup>-5</sup>	1.00097	6.6×10 <sup>-5</sup>	1.00095	6.6×10 <sup>-5</sup>	1.00097	6.6×10 <sup>-5</sup>	1.00096	6.6×10 <sup>-5</sup>	1.00096	6.6×10 <sup>-5</sup>
广东	1.00092	1.5×10 <sup>-4</sup>	1.00093	1.5×10 <sup>-4</sup>	1.00097	1.5×10 <sup>-4</sup>	1.00098	1.5×10 <sup>-4</sup>	1.00098	1.5×10 <sup>-4</sup>	1.00096	1.5×10 <sup>-4</sup>
新疆	1.00095	8×10 <sup>-5</sup>	1.00096	8×10 <sup>-5</sup>	1.00096	8×10 <sup>-5</sup>	1.00097	8×10 <sup>-5</sup>	1.00097	8×10 <sup>-5</sup>	1.00096	8×10 <sup>-5</sup>
甘肃	1.00098	6.1×10 <sup>-5</sup>	1.00099	6.0×10 <sup>-5</sup>	1.00099	6.0×10 <sup>-5</sup>	1.00099	6.0×10 <sup>-5</sup>	1.00098	6.0×10 <sup>-5</sup>	1.00098	6.1×10 <sup>-5</sup>
宁夏	1.00095	7.9×10 <sup>-5</sup>	1.00097	7.9×10 <sup>-5</sup>	1.00096	7.9×10 <sup>-5</sup>	1.00096	7.9×10 <sup>-5</sup>	1.00097	7.9×10 <sup>-5</sup>	1.00096	7.9×10 <sup>-5</sup>
青海	1.00097	6.0×10 <sup>-5</sup>	1.00099	5.8×10 <sup>-5</sup>	1.00098	5.7×10 <sup>-5</sup>	1.00098	5.8×10 <sup>-5</sup>	1.00098	5.7×10 <sup>-5</sup>	1.00098	6.0×10 <sup>-5</sup>
参考值	1.00097	3.5×10 <sup>-5</sup>	1.00096	2.7×10 <sup>-5</sup>	1.00096	2.2×10 <sup>-5</sup>	1.00096	2.3×10 <sup>-5</sup>	1.00095	2.6×10 <sup>-5</sup>	1.00096	3.5×10 <sup>-5</sup>



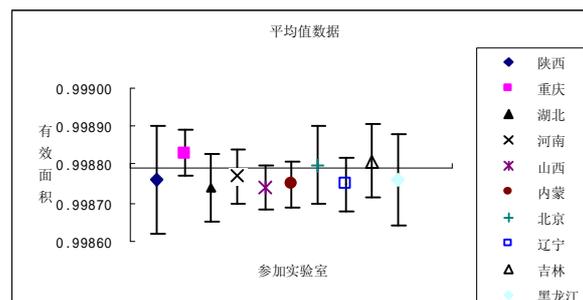
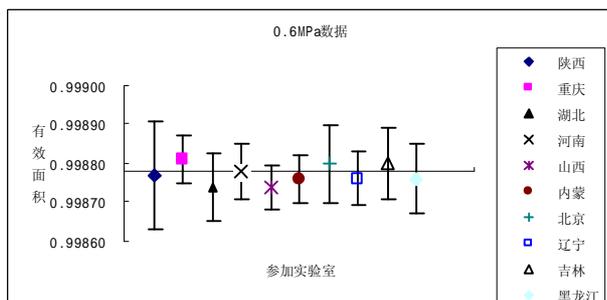
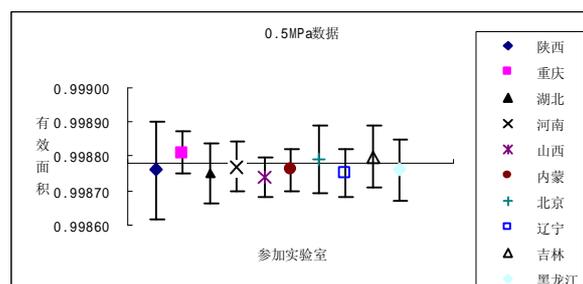
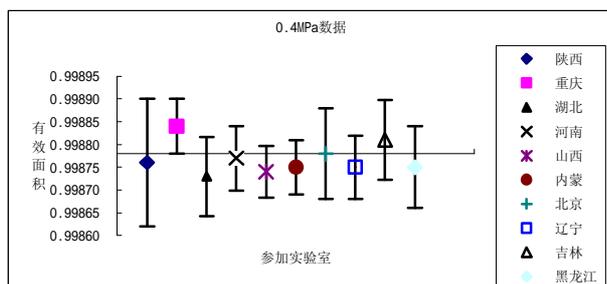
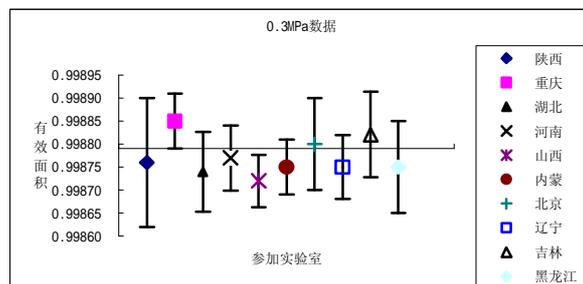
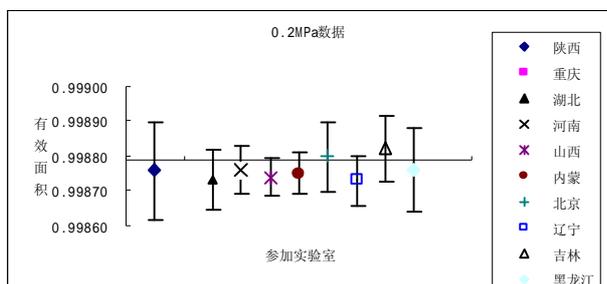
第二组：传递标准器号：0604

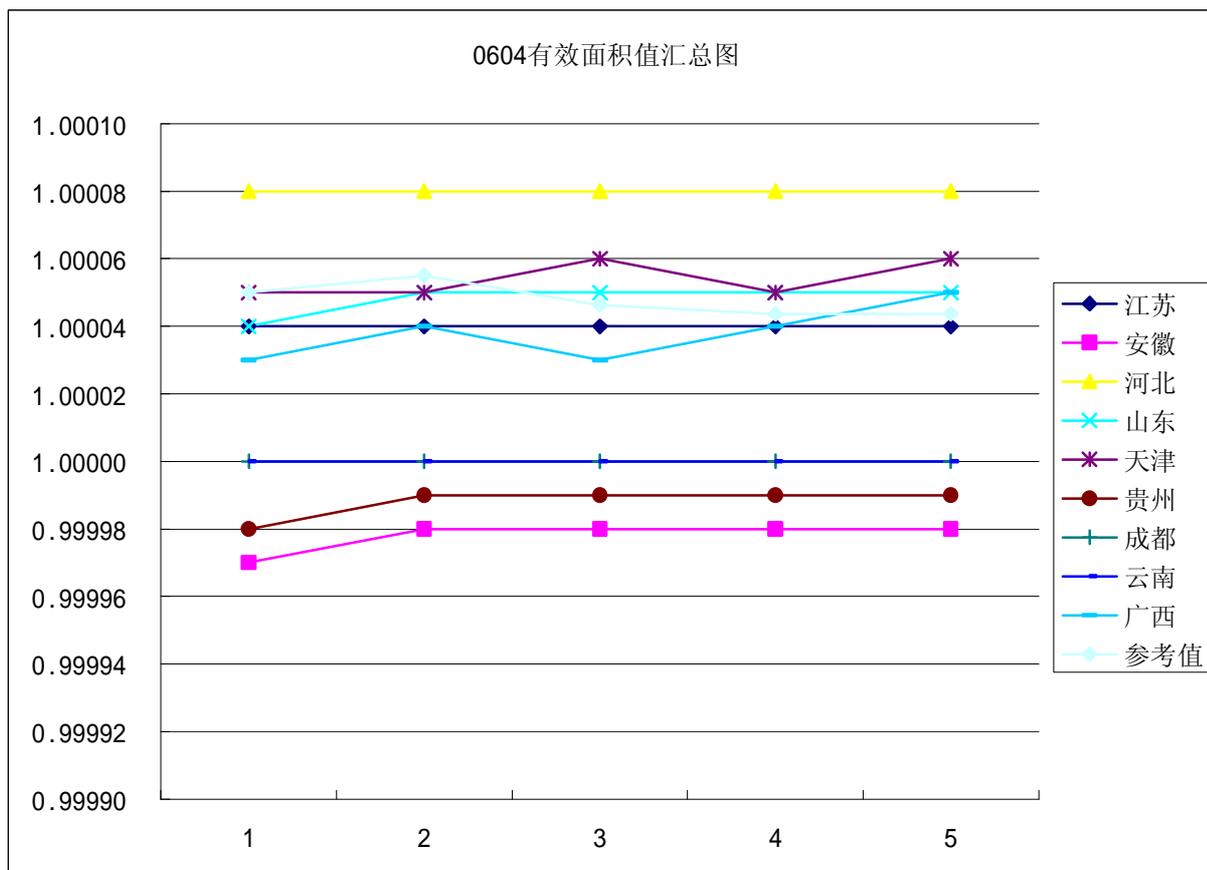
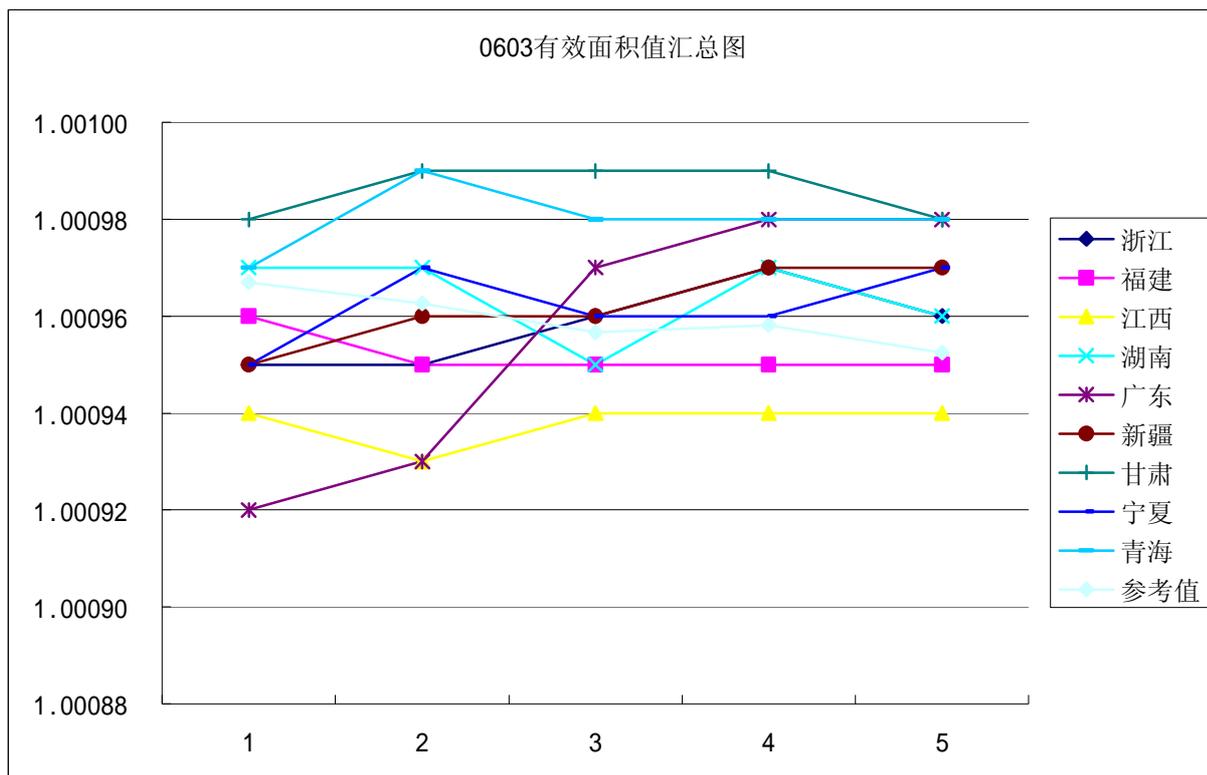
实验室	0.2MPa		0.3MPa		0.4MPa		0.5MPa		0.6MPa		平均值	
	有效面积 (cm <sup>2</sup> )	测量不确定度 (k=1)										
江苏	1.00004	6.5×10 <sup>-5</sup>										
安徽	0.99997	5.8×10 <sup>-5</sup>	0.99998	5.8×10 <sup>-5</sup>								
河北	1.00008	1×10 <sup>-4</sup>										
山东	1.00004	9.3×10 <sup>-5</sup>	1.00005	9.3×10 <sup>-5</sup>								
天津	1.00005	8.9×10 <sup>-5</sup>	1.00005	8.9×10 <sup>-5</sup>	1.00006	8.9×10 <sup>-5</sup>	1.00005	8.9×10 <sup>-5</sup>	1.00006	8.9×10 <sup>-5</sup>	1.00005	8.9×10 <sup>-5</sup>
贵州	0.99998	1.0×10 <sup>-4</sup>	0.99999	1.0×10 <sup>-4</sup>								
成都	1.00000	5.7×10 <sup>-5</sup>										
云南	1.00000	7.1×10 <sup>-5</sup>										
广西	1.00003	8.9×10 <sup>-5</sup>	1.00004	8.9×10 <sup>-5</sup>	1.00003	8.8×10 <sup>-5</sup>	1.00004	8.8×10 <sup>-5</sup>	1.00005	8.8×10 <sup>-5</sup>	1.00004	8.9×10 <sup>-5</sup>
参考值	1.00005	3.3×10 <sup>-5</sup>	1.00006	2.7×10 <sup>-5</sup>	1.00005	2.4×10 <sup>-5</sup>	1.00004	2.4×10 <sup>-5</sup>	1.00004	2.1×10 <sup>-5</sup>	1.00005	3.3×10 <sup>-5</sup>

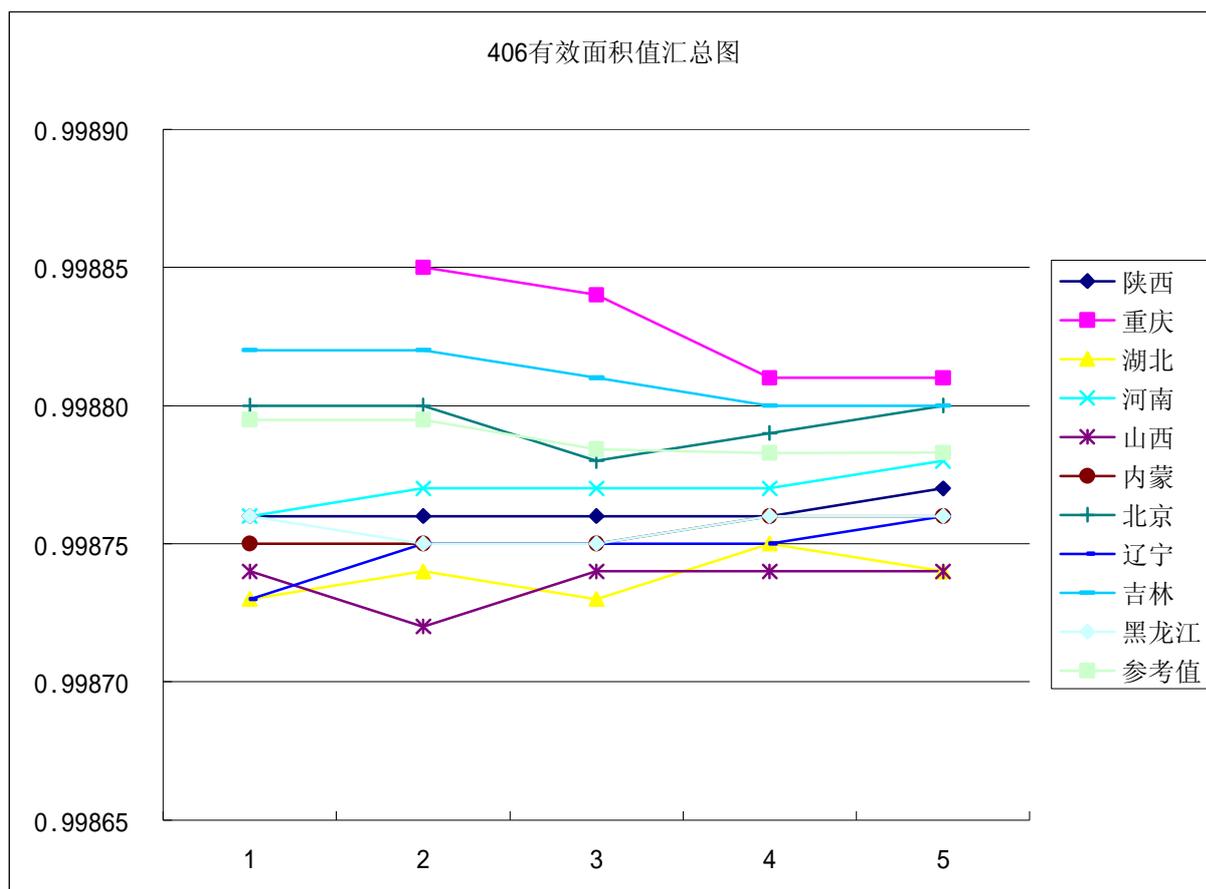


第三组：传递标准器号：406

实验室	0.2MPa		0.3MPa		0.4MPa		0.5MPa		0.6MPa		平均值	
	有效面积 (cm <sup>2</sup> )	测量不确定度 (k=1)										
陕西	0.99876	1.4×10 <sup>-4</sup>	0.99877	1.4×10 <sup>-4</sup>	0.99876	1.4×10 <sup>-4</sup>						
重庆	/	/	0.99885	6×10 <sup>-5</sup>	0.99884	6×10 <sup>-5</sup>	0.99881	6×10 <sup>-5</sup>	0.99881	6×10 <sup>-5</sup>	0.99883	6×10 <sup>-5</sup>
湖北	0.99873	8.7×10 <sup>-5</sup>	0.99874	8.7×10 <sup>-5</sup>	0.99873	8.7×10 <sup>-5</sup>	0.99874	8.7×10 <sup>-5</sup>	0.99874	8.7×10 <sup>-5</sup>	0.99874	8.7×10 <sup>-5</sup>
河南	0.99876	7.1×10 <sup>-5</sup>	0.99877	7.1×10 <sup>-5</sup>	0.99877	7.1×10 <sup>-5</sup>	0.99877	7.1×10 <sup>-5</sup>	0.99878	7.1×10 <sup>-5</sup>	0.99877	7.1×10 <sup>-5</sup>
山西	0.99874	5.7×10 <sup>-5</sup>	0.99872	5.7×10 <sup>-5</sup>	0.99874	5.7×10 <sup>-5</sup>						
内蒙	0.99875	6×10 <sup>-5</sup>	0.99875	6×10 <sup>-5</sup>	0.99875	6×10 <sup>-5</sup>	0.99876	6×10 <sup>-5</sup>	0.99876	6×10 <sup>-5</sup>	0.99875	6×10 <sup>-5</sup>
北京	0.99880	1×10 <sup>-4</sup>	0.99880	1×10 <sup>-4</sup>	0.99878	1×10 <sup>-4</sup>	0.99879	1×10 <sup>-4</sup>	0.99880	1×10 <sup>-4</sup>	0.99880	1×10 <sup>-4</sup>
辽宁	0.99873	7×10 <sup>-5</sup>	0.99875	7×10 <sup>-5</sup>	0.99875	7×10 <sup>-5</sup>	0.99875	7×10 <sup>-5</sup>	0.99876	7×10 <sup>-5</sup>	0.99875	7×10 <sup>-5</sup>
吉林	0.99882	9.4×10 <sup>-5</sup>	0.99882	9.3×10 <sup>-5</sup>	0.99881	8.8×10 <sup>-5</sup>	0.99880	9.0×10 <sup>-5</sup>	0.99880	9.0×10 <sup>-5</sup>	0.99881	9.4×10 <sup>-5</sup>
黑龙江	0.99876	1.2×10 <sup>-4</sup>	0.99875	1.0×10 <sup>-4</sup>	0.99875	0.9×10 <sup>-4</sup>	0.99876	0.9×10 <sup>-4</sup>	0.99876	0.9×10 <sup>-4</sup>	0.99876	1.0×10 <sup>-4</sup>
参考值	0.99879	2.9×10 <sup>-5</sup>	0.99879	2.5×10 <sup>-5</sup>	0.99878	2.4×10 <sup>-5</sup>	0.99878	2.5×10 <sup>-5</sup>	0.99878	2.6×10 <sup>-5</sup>	0.99879	2.9×10 <sup>-5</sup>







### 3.4 按比对实施细则的要求进行 $E_n$ 值评价:

比对结果用  $E_n$  数作为判断依据

$$E_n = \frac{\overline{x_{lab}} - \overline{x_{ref}}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

其中:  $\overline{x_{lab}}$  —参加实验室测量值的平均值

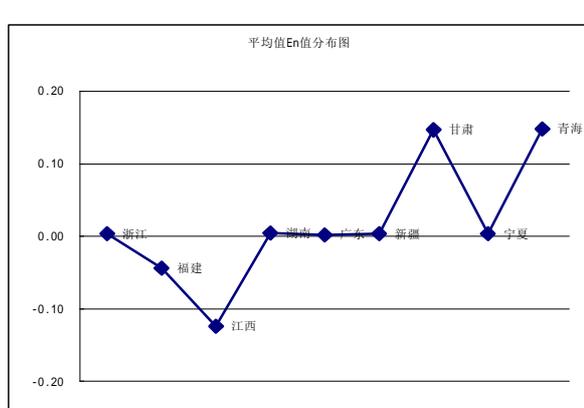
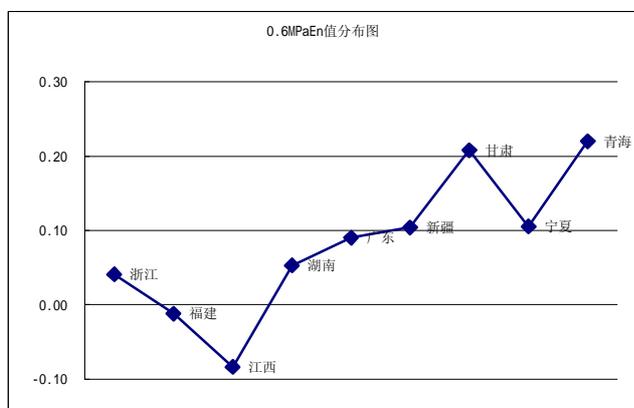
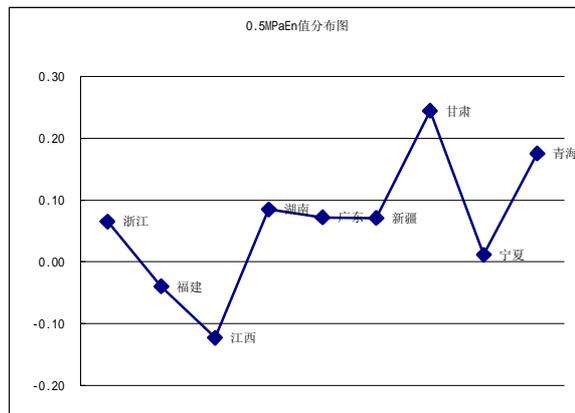
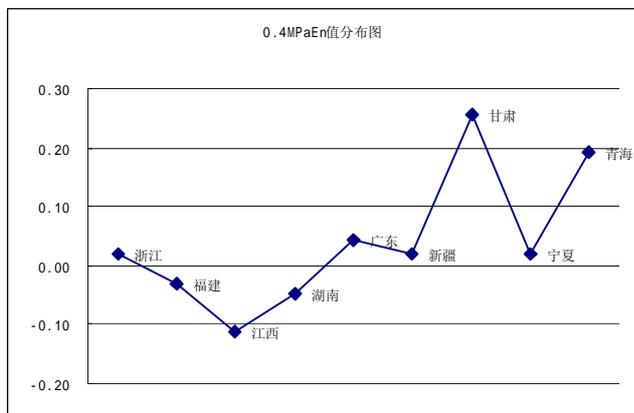
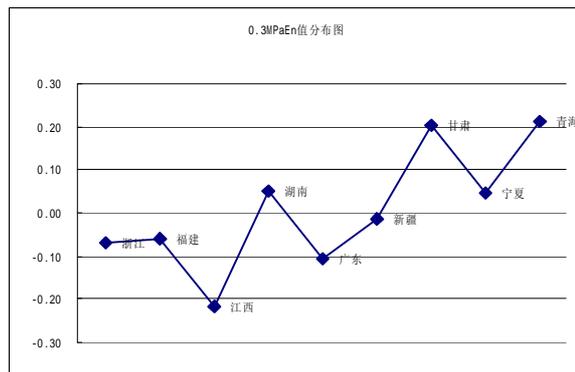
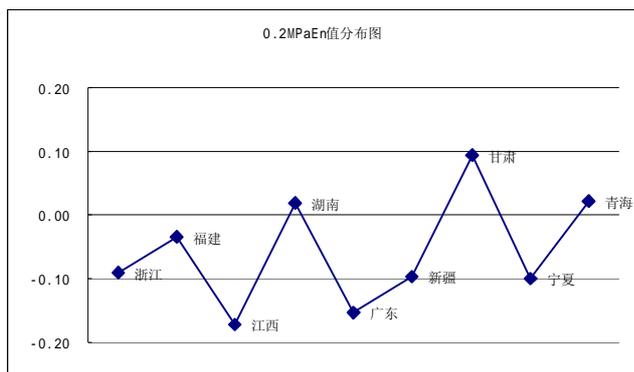
$\overline{x_{ref}}$  —主导实验室测量值的平均值

$U_{lab}$  —参加实验室测量值的扩展不确定度(k=2)

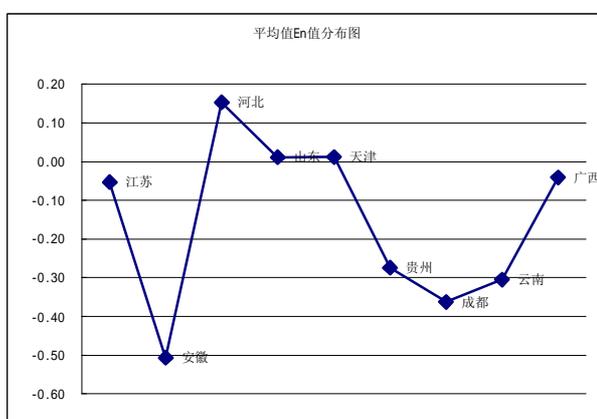
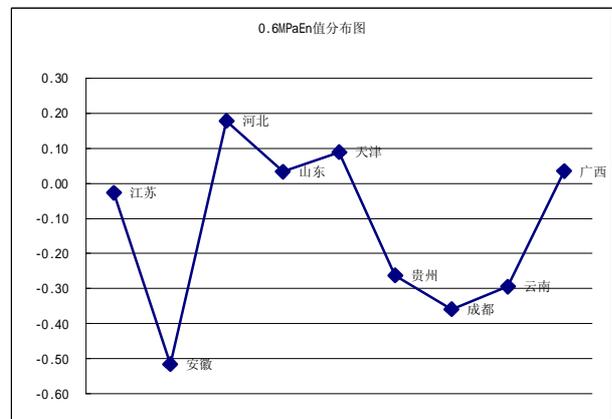
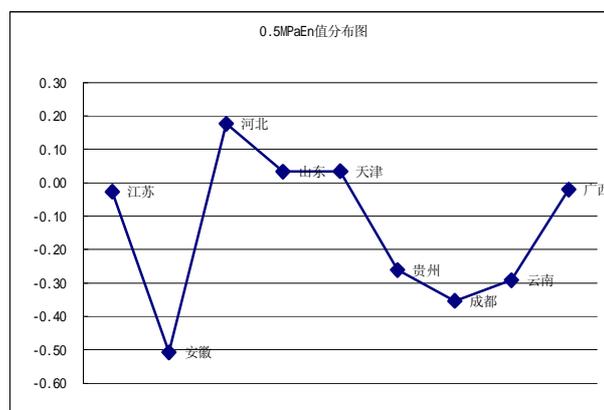
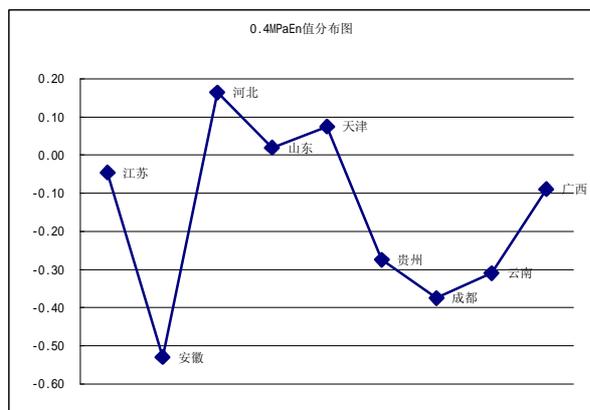
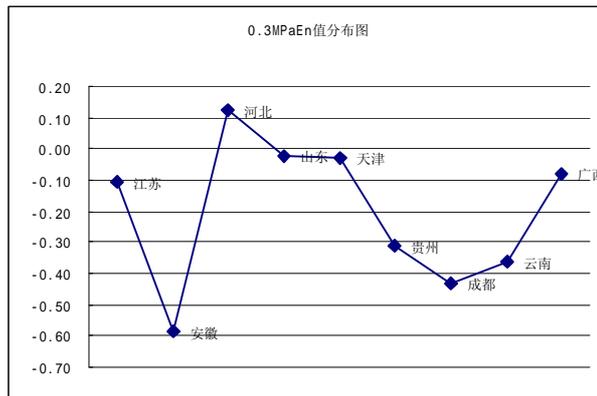
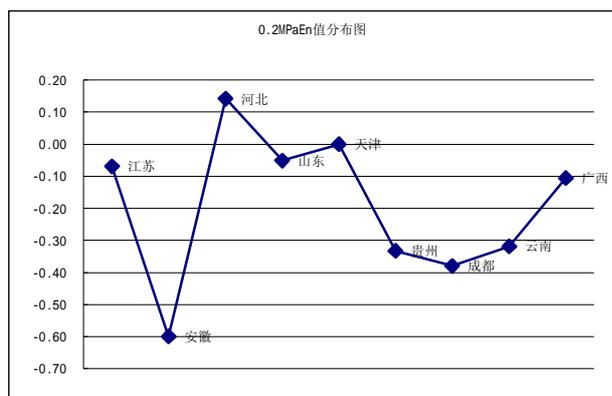
$U_{ref}$  —主导实验室测量值的扩展不确定度(k=2)

能力评价:  $|E_n| \leq 1$  为比对满意,  $|E_n| > 1$  为比对不满意。

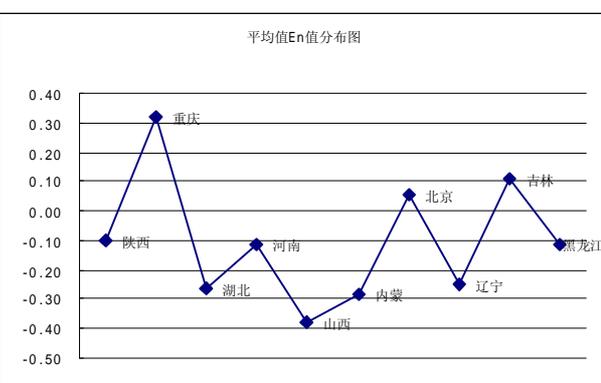
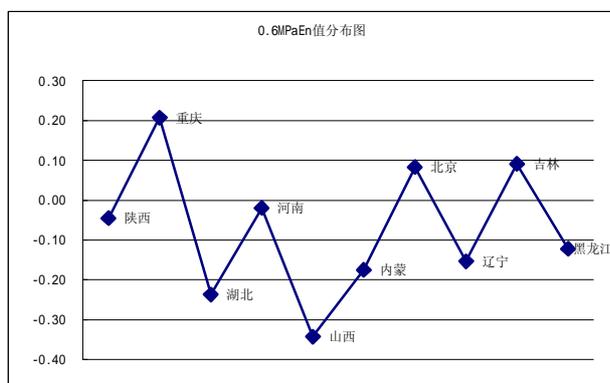
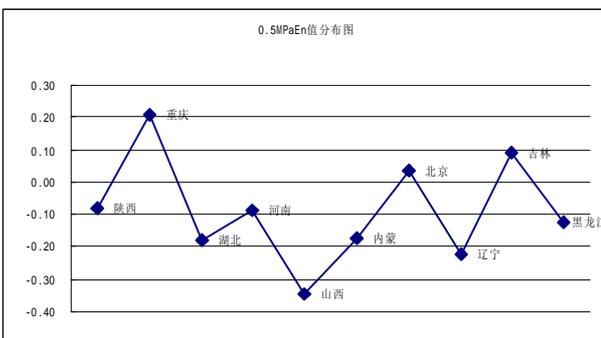
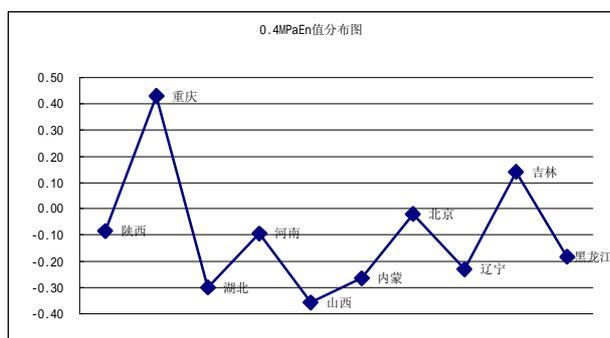
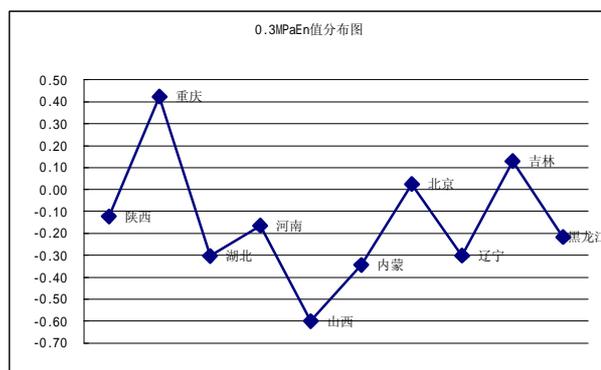
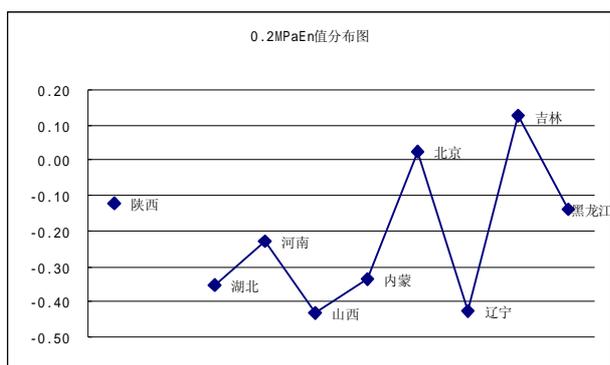
传递标准器号: 0603	$E_n$ 值 (0.2MPa)	$E_n$ 值 (0.3MPa)	$E_n$ 值 (0.4MPa)	$E_n$ 值 (0.4MPa)	$E_n$ 值 (0.6MPa)	$E_n$ 值 (平均值)
浙江	-0.09	-0.07	0.02	0.07	0.04	0.00
福建	-0.03	-0.06	-0.03	-0.04	-0.01	-0.04
江西	-0.17	-0.22	-0.11	-0.12	-0.08	-0.12
湖南	0.02	0.05	-0.05	0.08	0.05	0.00
广东	-0.15	-0.11	0.04	0.07	0.09	0.00
新疆	-0.10	-0.02	0.02	0.07	0.10	0.00
甘肃	0.09	0.21	0.26	0.24	0.21	0.15
宁夏	-0.10	0.04	0.02	0.01	0.11	0.00
青海	0.02	0.21	0.19	0.17	0.22	0.15



传递标准器号: 0604	$E_n$ 值 (0.2MPa)	$E_n$ 值 (0.3MPa)	$E_n$ 值 (0.4MPa)	$E_n$ 值 (0.4MPa)	$E_n$ 值 (0.6MPa)	$E_n$ 值 (平均值)
江苏	-0.07	-0.11	-0.05	-0.03	-0.03	-0.05
安徽	-0.60	-0.58	-0.53	-0.51	-0.52	-0.51
河北	0.14	0.12	0.16	0.18	0.18	0.15
山东	-0.05	-0.03	0.02	0.03	0.03	0.01
天津	0.00	-0.03	0.07	0.03	0.09	0.01
贵州	-0.33	-0.31	-0.27	-0.26	-0.26	-0.27
成都	-0.38	-0.43	-0.38	-0.35	-0.36	-0.36
云南	-0.32	-0.36	-0.31	-0.29	-0.29	-0.30
广西	-0.11	-0.08	-0.09	-0.02	0.03	-0.04



传递标准器号: 406	$E_n$ 值 (0.2MPa)	$E_n$ 值 (0.3MPa)	$E_n$ 值 (0.4MPa)	$E_n$ 值 (0.4MPa)	$E_n$ 值 (0.6MPa)	$E_n$ 值 (平均值)
陕西	-0.12	-0.12	-0.09	-0.08	-0.05	-0.10
重庆	/	0.42	0.43	0.21	0.21	0.32
湖北	-0.35	-0.30	-0.30	-0.18	-0.24	-0.26
河南	-0.23	-0.17	-0.09	-0.08	-0.02	-0.12
山西	-0.43	-0.60	-0.36	-0.34	-0.34	-0.38
内蒙	-0.34	-0.34	-0.26	-0.18	-0.18	-0.29
北京	0.02	0.02	-0.02	0.03	0.08	0.06
辽宁	-0.43	-0.30	-0.23	-0.22	-0.15	-0.25
吉林	0.13	0.13	0.14	0.09	0.09	0.11
黑龙江	-0.14	-0.22	-0.18	-0.12	-0.12	-0.11

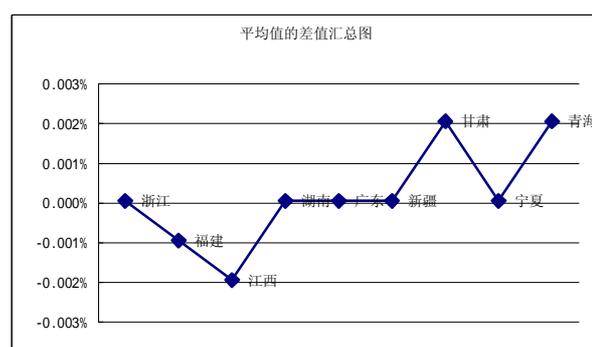
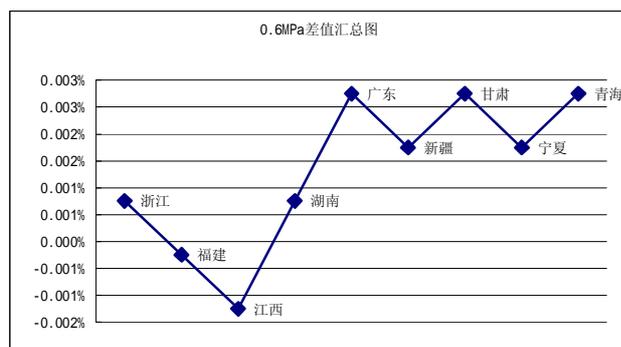
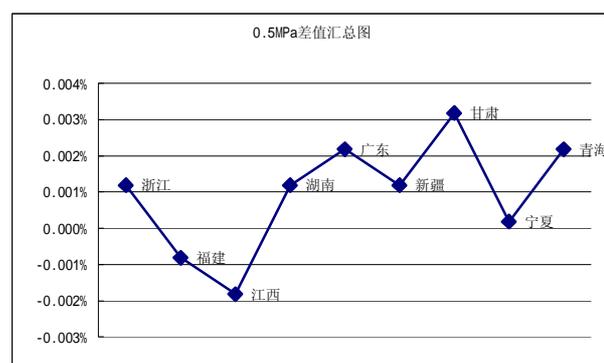
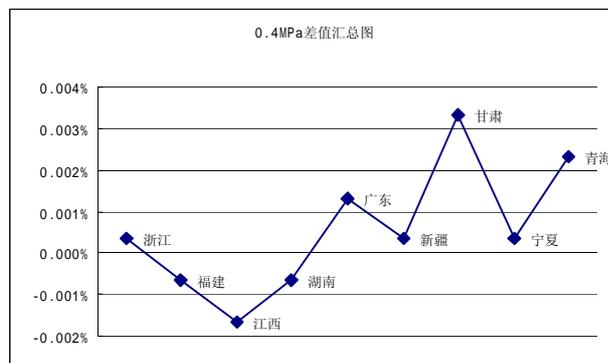
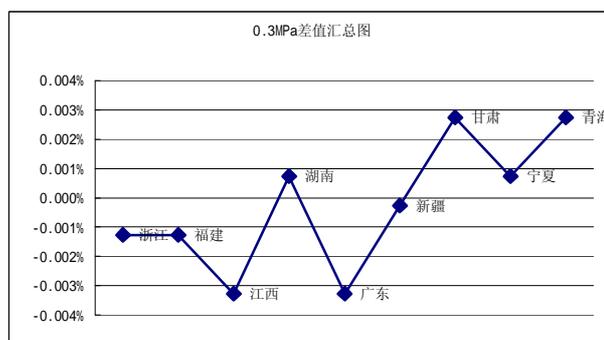
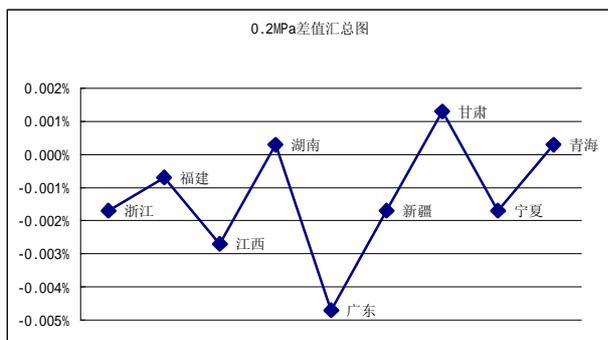


## 3.5 按比对实施细则的要求进行活塞有效面积差值的评定:

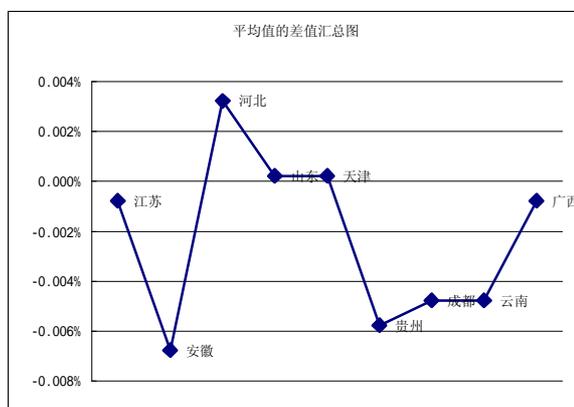
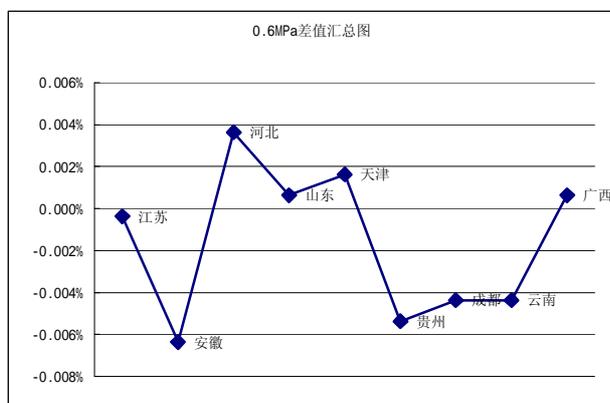
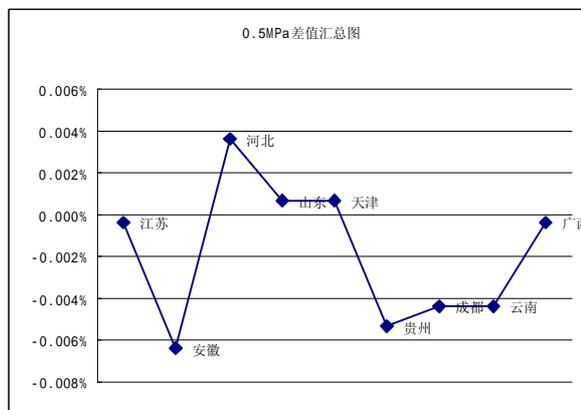
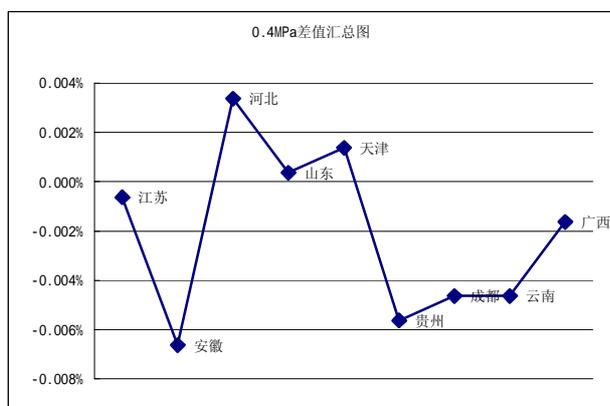
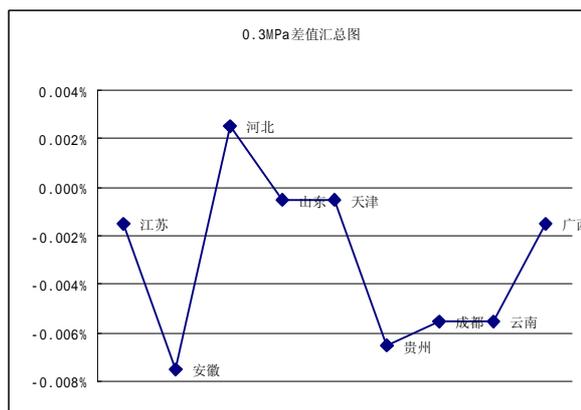
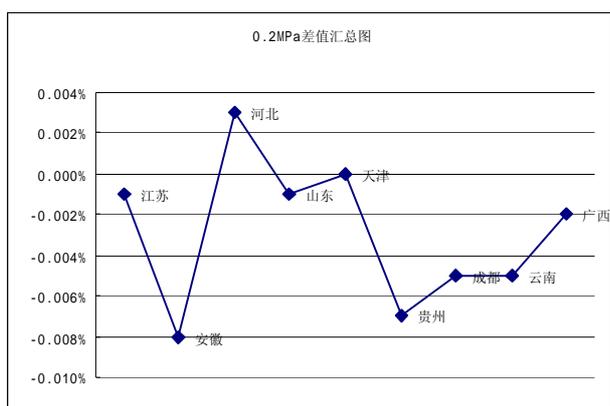
活塞有效面积的差值的评定： $d = (\overline{x_{lab}} - \overline{x_{ref}}) \times 100\%$ ；

$|d| \leq 0.01\%$ ，结果为满意。

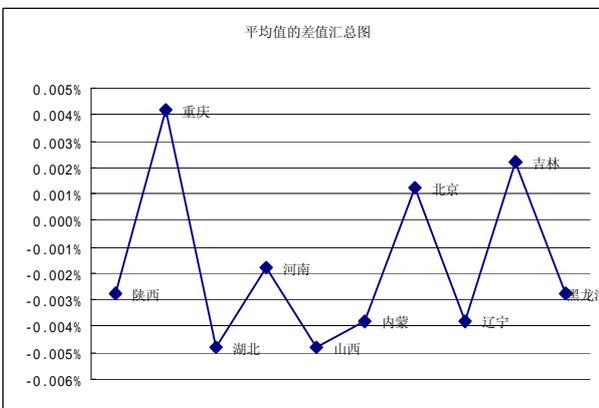
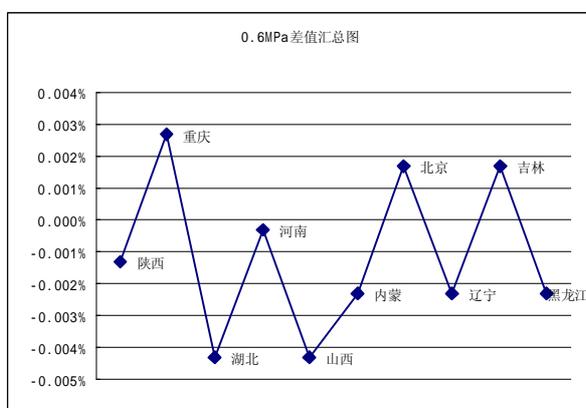
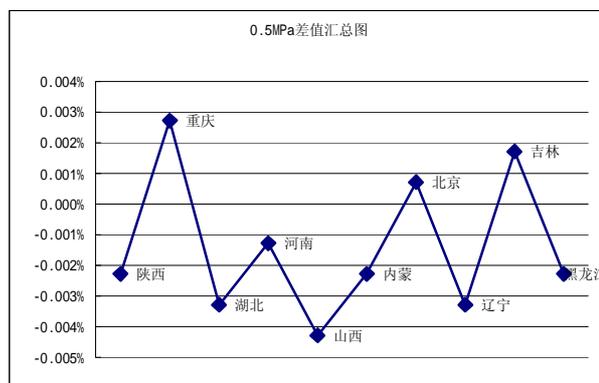
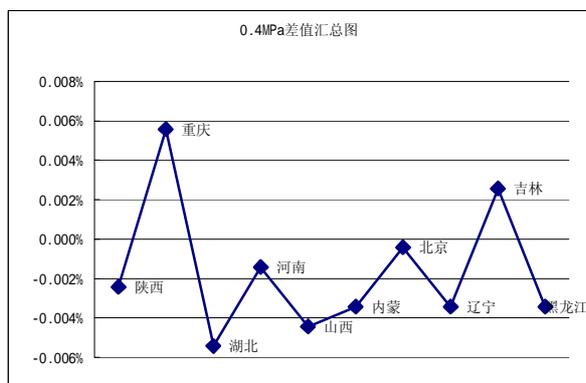
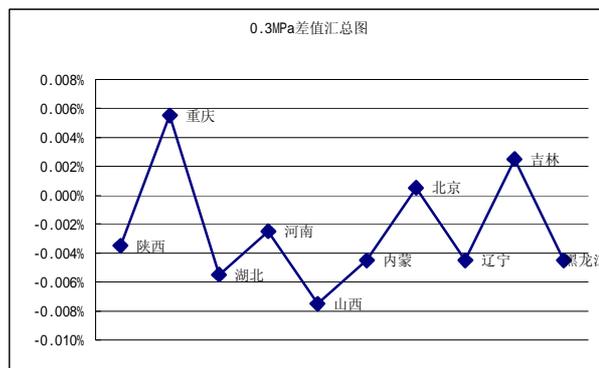
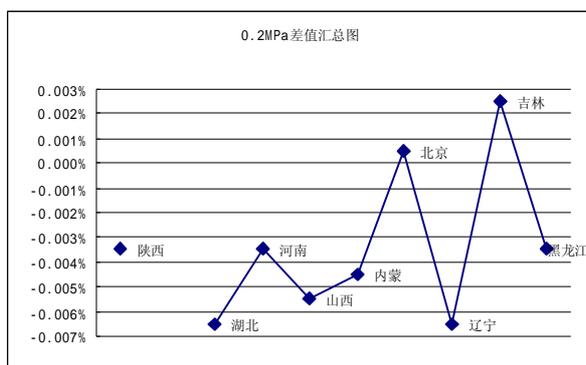
传递标准器号：0603	0.2MPa	0.3MPa	0.4MPa	0.5MPa	0.6MPa	平均值
浙江	-0.002%	-0.001%	0.000%	0.001%	0.001%	0.000%
福建	-0.001%	-0.001%	-0.001%	-0.001%	0.000%	-0.001%
江西	-0.003%	-0.003%	-0.002%	-0.002%	-0.001%	-0.002%
湖南	0.000%	0.001%	-0.001%	0.001%	0.001%	0.000%
广东	-0.005%	-0.003%	0.001%	0.002%	0.003%	0.000%
新疆	-0.002%	0.000%	0.000%	0.001%	0.002%	0.000%
甘肃	0.001%	0.003%	0.003%	0.003%	0.003%	0.002%
宁夏	-0.002%	0.001%	0.000%	0.000%	0.002%	0.000%
青海	0.000%	0.003%	0.002%	0.002%	0.003%	0.002%



传递标准器号: 0604	0.2MPa	0.3MPa	0.4MPa	0.5MPa	0.6MPa	平均值
江苏	-0.001%	-0.001%	-0.001%	0.000%	0.000%	-0.001%
安徽	-0.008%	-0.007%	-0.007%	-0.006%	-0.006%	-0.007%
河北	0.003%	0.003%	0.003%	0.004%	0.004%	0.003%
山东	-0.001%	0.000%	0.000%	0.001%	0.001%	0.000%
天津	0.000%	0.000%	0.001%	0.001%	0.002%	0.000%
贵州	-0.007%	-0.006%	-0.006%	-0.005%	-0.005%	-0.006%
成都	-0.005%	-0.005%	-0.005%	-0.004%	-0.004%	-0.005%
云南	-0.005%	-0.005%	-0.005%	-0.004%	-0.004%	-0.005%
广西	-0.002%	-0.001%	-0.002%	0.000%	0.001%	-0.001%



传递标准器号: 406	0.2MPa	0.3MPa	0.4MPa	0.5MPa	0.6MPa	平均值
陕西	-0.003%	-0.003%	-0.002%	-0.002%	-0.001%	-0.003%
重庆	/	0.006%	0.006%	0.003%	0.003%	0.004%
湖北	-0.006%	-0.005%	-0.005%	-0.003%	-0.004%	-0.005%
河南	-0.003%	-0.002%	-0.001%	-0.001%	0.000%	-0.002%
山西	-0.005%	-0.007%	-0.004%	-0.004%	-0.004%	-0.005%
内蒙	-0.004%	-0.004%	-0.003%	-0.002%	-0.002%	-0.004%
北京	0.001%	0.001%	0.000%	0.001%	0.002%	0.001%
辽宁	-0.006%	-0.004%	-0.003%	-0.003%	-0.002%	-0.004%
吉林	0.003%	0.003%	0.003%	0.002%	0.002%	0.002%
黑龙江	-0.003%	-0.004%	-0.003%	-0.002%	-0.002%	-0.003%



### 3.6 按规程出具的检定证书部分信息汇总:

## 第一组

0603	有效面积 (cm <sup>2</sup> )	连接零件质量(g)	专用砝码质量 (g)	下降速度 (mm/min)	延续时间 (min s)	温度 (°C)	灵敏度 (g)	重力加速度 (m/s <sup>2</sup> )	证书编号
浙江	1.00096	0.408882	0.102220 0.511103	0.13	5min 0s	19.5	0.05	9.79361	RG-200704 0366
福建	1.00095	0.40902±0.00008	0.10225±0.00002 0.51127±0.00010	0.20	4min18s	19.6	0.2	9.7904	(MLY)B1/0 7-02900
江西	1.0008	0.4089	/	0.12	7min45s	19.5	0.06	9.7920	RG0793209 00
湖南	1.0010	0.40879±0.00008	0.10224±0.00002 0.5112±0.0001	0.12	7min46s	21	0.1	9.7915	TY 字第 2007-0970 号
广东	1.00096 5	0.40911±0.00008	0.10228±0.00002 0.5114±0.0001	0.08	4min23s	20±2	0.02	9.7883	RYJ200715 66
新疆	1.00096	0.40856±0.00008	0.10214±0.00002 1.02139±0.00020	0.20	4min10s	20.0	0.1	9.8015	TP 字 07903001 号
甘肃	1.0010	/	/	0.37	4min10s	21	0.05	兰州地区 9.7926	力压字第 200700901 0号
宁夏	1.00096	0.4088±0.00008	0.10219±0.00002 0.51097±0.0001	0.16	5min52s	21.2	0.04	9.7961	检力字第 (07)61000 1号
青海	1.00098	0.40900±0.00008	0.10225±0.00002 1.0225±0.0001	0.27	9min8s	19.4	0.02	9.7911	/

## 第二组

0604	有效面积 (cm <sup>2</sup> )	连接零件质量(g)	专用砝码质量 (g)	下降速度 (mm/min)	延续时间 (min s)	温度 (°C)	灵敏度 (g)	重力加速度 (m/s <sup>2</sup> )	证书编号
江苏	1.00004	0.40846±0.00008	0.10211±0.00002 0.51057±0.00010	0.14	5min43s	19.0	0.02	9.7949	H2007-200 70405
安徽	1.0000	0.40845±0.00008	0.10211±0.00002 0.51056±0.00010 1.0211±0.0002	0.32	8min33s	20.7	0.01	9.7947	RG2007-1- 050008
河北	1.0001	0.40828±0.00008	0.10207±0.00002 0.5103±0.0001	0.55	6min53s	20.5	0.04	9.7997	CY07-0001
山东	1.0000	0.40828±0.00008	0.10207±0.00002 0.51035±0.00010	0.36	6min5s	19.8	0.05	9.79878	F05-20070 767
天津	1.0001	0.40820±0.00008	0.10205±0.00002 0.5103±0.0001	0.22	6min24s	20.8	0.05	9.8011	证书 YLhs07106 9号
贵州	1.0000	0.40877±0.00008	0.10219±0.00002 0.5110±0.0001	0.25	8min32s	21	0.06	9.7868	/
成都	1.0000	0.40859±0.00008	0.10215±0.00002 0.51074±0.00010	0.25	5min51s	20	0.02	9.7913	检定字第 200706001 073号
云南	1.00000	0.40891±0.00008	0.102228±0.00002 0.51114±0.0001	0.38	9min40s	21.1	0.02	9.7836	RG 证字 08-031030 号
广西	1.0000	0.4±0.00008	/	0.18	3min42s	22	0.04	9.7877	热压字第 070305499 号

## 第三组

406	有效面积 (cm <sup>2</sup> )	连接零件质量(g)	专用砝码质量 (g)	下降速度 (mm/min)	延续时间 (min s)	温度 (°C)	灵敏度 (g)	重力加速度 (m/s <sup>2</sup> )	证书编号
陕西	0.99875	0.40795±0.00008	0.10202±0.00002 0.50994±0.0001	0.09	3min57s	20.3	0.02	9.7944	RG5007206 7J
重庆	0.9988	0.40810±0.00008	0.10202±0.00002 0.51012±0.0001	0.04	3min57s	20.4	0.1	9.79136	FV11 字第 200707000 1号
湖北	0.9987	0.40796±0.00008	0.10199±0.00002 0.50995±0.0001	0.07	6min26s	21.2	0.02	9.7936	力字第 07420020 号
河南	0.9988	0.40786±0.00008	0.10197±0.00002 0.5098±0.0001	0.05	4min9s	20.1	0.02	9.79663	热字 20070415- 032
山西	0.99874	0.40783±0.00008	0.10195±0.00002 0.50979±0.0001	0.07	5min12s	20.0	0.05	9.7970	JDYL20071 074
内蒙	0.9988	0.40777±0.00008	0.10194±0.00002 0.5097±0.0001	0.12	7min09s	19.8	0.02	9.7986	热压字第 2007H0040 号
北京	0.9988	0.40767±0.00008	0.10195±0.00002 0.50959±0.0001	/	/	20.2	0.02	9.8015	B707J-A01 33
辽宁	0.99875	0.40757±0.00008	0.10189±0.00002 0.50946±0.0001	0.06	7min24s	20.8	0.03	9.8035	070607032 12
吉林	0.99879	0.407533±0.00008	0.101883±0.00002 0.50942±0.0001	0.02	5min41s	20.2	0.02	9.8048	100550700
黑龙江	0.99876	0.41443±0.00008	0.10186±0.00002 0.50931±0.0001	0.056	6min2s	20.6	0.05	9.8066	05455-07- 0

## 四、 比对结果的分析

4.1 E<sub>n</sub>值和活塞有效面积的差值的分析

从汇总数据来看,除重庆院在检定过程中将 0.2MPa 作为起始平衡点,以致该检定点数据缺失外,所有参加实验室的各检定点的 E<sub>n</sub> 值结果都为满意,活塞有效面积的差值都符合比对细则的要求。

## 4.2 对上交的比对资料分析

主导实验室对各家上报的比对资料进行了仔细的汇总和分析,存在的主要问题有以下三点:

第一点,大部分实验室的标准器有效面积都符合检定规程的要求,但新疆院所用标准器上级部门检定证书给出的有效面积只有 4 位有效数字,不符合检

定规程的要求；北京院上报的标准器有效面积为  $1.00053\text{cm}^2$ ，而比对所用的数据为  $1.00052\text{cm}^2$ 。

第二点,本次比对要求各家上报每一检定点的六次数据和每点的合成不确定度,从上报的数据来看,各实验室每一检定点的六次数据都相当完整,但有江苏、山西、陕西、重庆、广东 5 家实验室的合成不确定度没有按每一点计算。

第三点:从不确定度评定来看,存在着不少问题:

- a) 不确定度分量和传播系数在数学模型中不明确,例如:垂直引起的不确定度分量应该在被检活塞所加砝码质量上体现,而不是体现在标准活塞有效面积和标准活塞上所加的砝码质量。
- b) 对 A 类不确定度评定中,应该直接引用比对试验时各点的 6 次测量数据来评定,而有 12 家实验室重复性数据引用不恰当或没有明确的出处。
- c) 本次各家评定的合成不确定度在  $5.7 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-4}$  之间,说明各家对不确定度评定有不同的理解。

#### 4.3 对工作介质、砝码尺寸参数的分析

参加实验室都上报了所用工作介质的证书和砝码的外径尺寸,工作介质的运动粘度从  $9.0323 \text{ mm}^2/\text{s} \sim 11.87 \text{ mm}^2/\text{s}$ ,符合规程  $9 \text{ mm}^2/\text{s} \sim 12 \text{ mm}^2/\text{s}$  的要求。(重庆院上报资料中证书的数据为  $9.824 \text{ mm}^2/\text{s}$  与发送的电子文档中和上报的资料的数据  $10.2 \text{ mm}^2/\text{s}$  不一致,经确认数值为  $9.824 \text{ mm}^2/\text{s}$ )

使用的砝码尺寸从  $128\text{mm} \sim 140\text{mm}$ ;而规程中的要求为不大于  $140\text{mm}$ ,只有二家实验室的砝码外径  $140\text{mm}$ ,其余都在  $130\text{mm}$  左右。(重庆院上报资料中的数据为  $130\text{mm}$  与发送的电子文档中的数据  $150\text{mm}$  不一致,经确认数值为  $130\text{mm}$ )

#### 4.4 对按规程出具的检定证书部分信息的分析

#### 4.4.1 连接零件和砝码质量的计算

比对细则中要求每家实验室按规程要求出具一份检定证书，内容应该齐全完整。汇总表格中可以看出甘肃院给出了使用地区，没有给出当地重力加速度值和计算连接零件和专用砝码的质量，江西院和广西院只给出连接零件质量，没有给出砝码质量。

#### 4.4.2 下降速度

传递标准器号	参加实验室数据	主导实验室数据
0603	0.08mm/min~0.37mm/min	0.20mm/min~0.25mm/min
0604	0.14mm/min~0.55mm/min	0.16mm/min~0.19mm/min
406	0.04mm/min~0.12mm/min	0.04mm/min~0.06mm/min

注：北京院没有给出数据

从以上数据可以看出各家检定的数据最多相差 4 倍，其原因主要是对规程中方法的理解不一致和操作的规范性。主导实验室数据为 6 次测量数据的最大值与最小值。

#### 4.4.3 延续时间

传递标准器号	参加实验室数据	主导实验室数据
0603	4min10s~9min8s	4min09s~4min22s
0604	3min42s~9min40s	3min25s~3min42s
406	3min57s~7min24s	3min05s~3min29s

注：北京院没有给出数据

从以上数据可以看出各家检定的数据相差近 3 倍，其原因主要是对规程中方法的理解不一致和操作的规范性。主导实验室数据为 6 次测量数据的最大值与最小值。

#### 4.4.4 灵敏阈

传递标准器号	参加实验室数据	主导实验室数据
0603	0.02g~0.2g	0.01g~0.02g
0604	0.01g~0.06g	0.01g~0.02g
406	0.02g~0.1g	0.01g~0.02g

其中福建院给出的灵敏阈数据为0.2g,超出了规程规定的0.12g,但检定证书的结论为合格。主导实验室数据为每次试验记录的值。从以上数据中可以看出大部分实验室是直接加放小于规程要求的一定数量的小砝码,破坏平衡时就记录了该值,未能测出破坏平衡的最小值。

#### 4.4.5 环境温度

各家实验室的环境温度在19℃~22℃之间,符合规程要求。

#### 4.4.6 重力加速度

从递交的证书上的数据可以看出,浙江院、山东院、重庆院、河南院4家实验室给出5位有效数字的值。重庆院在上报标准器信息的文件中给出了8位有效数字的值,江苏院在上报标准器信息的文件中给出了5位有效数字的值。其余给出4位有效数字的值。4位有效数字的值应该是规程给出的值,5位以上有效数字的值没有给出依据。

#### 4.4.7 有效面积

从上报的有效面积数据中,有14家给出的是4位有效数字的值,13家给出的是5位有效数字的值,1家给出了6位有效数字的值。4位有效数字的值可以满足规程的要求,5位和6位有效数字的值意义不大。

#### 4.4.9 砝码和连接零件的计算质量

大部分实验室按规程要求给出了砝码和连接零件的计算质量。江西院给出了连接零件的计算质量,没有给出砝码的计算质量;广西院给出的是连接零件

的整数质量，没有给出计算质量，甘肃院连接零件的计算质量和砝码的计算质量都没给出；浙江院没有给出计算质量的允许误差范围。以上这几家都不符合规程的要求。

## 五、 比对中存在的问题

本次比对从进程上说比较顺利，在比对过程中没有发生传递标准损坏、延误时间等情况。上交的比对资料比较齐全。在整个比对工作过程中，各参加实验室做了大量细致的工作，尽职尽责地完成了比对。从比对结果来看， $E_n$ 值和有效面积差值都为满意，这表明了大部分实验室的标准装置是正常的、可靠的，同时也表明了全国范围内压力量值的一致性。但比对还是暴露了一些问题：

1. 人员方面：部分实验室比对结果的上报工作有所延误，致使主导实验室无法及时计算比对结果；比对中有个别实验室没有按照比对细则进行试验，致使比对数据不全；比对中有个别实验室引用标准器数据出错；对延续时间、下降速度、灵敏阈等技术指标的检定存在方法上的问题，对规程中的方法没有完全执行或是没有完全理解规程的要求；部分实验室出具的检定证书内容不全，不符合规程的要求。
2. 装置情况：各实验室的装置应该都处于完好状态，但因购置年代较长，都没有能力对活塞温度进行测量。
3. 活塞参数：活塞的线膨胀系数、形变系数、泊松比、弹性模量、重力加速度等没有可靠的来源。

## 六、 关注及研究方向

此次比对以及比对过程发现的问题使我们进一步认识到比对的重要性及必要性。通过这次比对，我们感到应进一步加强各省计量院所特别是各大区计

量院所的相互联系；建立起良好的技术交流机制，定期地进行技术人员的业务培训及交流；加强对标准装置工作状况的管理和监控。比对虽然已经结束，但比对中暴露的问题和一些情况还是值得大家去关注和研究的具体内容如下：

1. 人员素质：对检定规程的理解和实施存在较大差异，造成延续时间、下降速度、灵敏阈的检定数据相差较大。建议结合新规程的宣贯，使有关技术人员正确理解规程和不确定度评定方法，更好的开展检定工作。
2. 对活塞的认识：结合新规程的实施和各实验室压力标准器的改造，技术人员应该关心活塞压力计工作介质、砝码材质、检定方法等变化及一些重要参数的确定。
  - (1) 从国内外的参考资料中，我们应该认识到活塞的温度与环境温度不是一致的。目前，国内生产的活塞系统能测量活塞温度的极少，如何测量活塞温度，活塞温度变化带来有效面积的变化有多少，带来的不确定度影响有多少等问题值得大家通过实验得出结论。
  - (2) 活塞系统热膨胀系数的认识比较混乱，活塞系统的热膨胀系数取决于活塞系统的材料，本次比对的活塞均为碳钢材料的活塞系统，理论上应该是基本相同的，但实际情况却有差别。如何得到正确的热膨胀系数和生产厂家提供的资料有密切关系，或通过对此系数进行实验方法的研究以及进一步的实验进行验证。
  - (3) 重力加速度在压力量值传递中是一个重要参数，目前大部分实验室是通过规程中给出的值进行计算，4 位有效数字的重力加速度值带来的不确定度大约在 0.001%左右，而 0.005 级的活塞压力计配套砝码的允许误差也只有 0.001%。有些实验室用 5 位有效数字的重力加速度值应该考虑该值的可靠性有多少。在此建议所有省级以上的实验室请有资质的相关机构进行实地测量，给出一个能满足压力量值需要的重力加速度值。

附件

## 传递标准活塞式压力计活塞有效面积测量结果的不确定度评定

### 1. 概述

依据检定规程 JJG59—1990《二、三等标准活塞式压力计》。

活塞压力计有效面积的检定，是根据液压静力平衡原理，当两个活塞在工作位置时保持平衡，此时作用在活塞下端面向上的力与砝码的重力相平衡，两活塞产生的压力相等。即  $P_{\text{传递标准}} = P_{\text{工作基准}}$ ； $m_{\text{传递标准}}/A_{\text{传递标准}} = m_{\text{工作基准}}/A_{\text{工作基准}}$ 。当工作基准活塞压力计活塞有效面积已知，加在两活塞上的砝码质量  $m_{\text{传递标准}}$ 、 $m_{\text{工作基准}}$  已知，就能求出传递标准的活塞有效面积。

本次传递标准的测量范围：(0.04~0.6) MPa；活塞有效面积的名义值为  $1\text{cm}^2$ 。检定的环境温度为：(20±2) °C，相对湿度为 80%以下。

### 2. 工作基准活塞式压力计和传递标准活塞式压力计的参数

名称	活塞式压力计	测量范围	(0.04~0.6) MPa
工作介质	变压器油与煤油混合油（参照规程）	出厂编号	0603、0604、406
标称面积	$1\text{cm}^2$	弹性模量 E	113.8GPa
泊松比 $\mu$	0.32	线膨胀系数 $\alpha$	$1.9 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$

### 3. 评定模型

由以上原理可以得出以下公式 (1)

$$A_c = A_g \frac{m_c}{m_g} \dots\dots\dots (1)$$

考虑到温度、重复性、鉴别力、压力形变等因素的影响，可以将上式变化为：

$$A_c = A_g \times \frac{m_c}{m_g} \times (1 + \Phi_i + \Lambda_i) + d_d + d_r \dots\dots\dots (2)$$

因本次比对的活塞测量范围为 (0.04~0.6) MPa, 压力形变相当小, 所以忽略压

力形变带来的影响,故上式简化为:

$$A_c = A_g \times \frac{m_c}{m_g} \times (1 + \Phi_i) + d_d + d_r \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{其中: } \Phi_i = a \cdot (t_g - t_c) \dots\dots\dots (4)$$

式中:  $\Phi_i$ —— 温度修正系数;

$d_d$ —— 鉴别力修正系数

$d_r$ —— 测量重复性修正系数

$A_c$ ——传递标准的活塞有效面积 单位:  $\text{cm}^2$

$A_g$ ——工作基准的活塞有效面积 单位:  $\text{cm}^2$

$m_c$ ——加在传递标准上的砝码质量 单位:  $\text{kg}$

$m_g$ ——加在工作基准上的砝码质量 单位:  $\text{kg}$

$\alpha$ ——为工作基准活塞和传递标准活塞热膨胀系数,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$

$t_g, t_c$ ——分别为工作基准活塞和传递标准活塞温度,  $^{\circ}\text{C}$

#### 4. 不确定度分量的评定

##### 4.1 输入量 $A_g$ 引入的标准不确定度 $u(A_g)$ 的评定:

由检定规程及检定证书知,工作基准活塞压力计活塞有效面积的最大允许误差为 $\pm 0.002\%$ ,  $\alpha = 0.002\%$ ,  $k=3$ ;

$$\text{所以 } u(A_g) = \frac{\alpha \times A_g}{k} = 6.7 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$$

$$\text{灵敏系数: } c_1 = \frac{m_c}{m_g} (1 + \Phi_i) = 1$$

##### 4.2 $m_c$ 引入的标准不确定度 $u(m_c)$

质量不确定度包括专用砝码允许误差引入的不确定度和活塞不垂直引起砝码偏斜引入的不确定度。

##### 4.2.1 专用砝码最大允许误差引入的标准不确定度 $u(m_{c1})$

工作基准活塞压力计配套砝码的最大允许误差为 0.002%，服从均匀分布。

所加砝码名义质量为 1kg，故

$$u(m_{c1}) = \frac{1 \times 0.002\%}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

#### 4.2.2 活塞垂直度引入的标准不确定度 $u(m_{c2})$

活塞压力计轴线的最大偏差为 2'，属于投影分布， $k=10/3$

$$u(m_{c2}) = \frac{(1 - \cos \alpha) \cdot m_c}{k} = 5.1 \times 10^{-8} \text{ kg}$$

#### 4.2.3 $m_c$ 引入的标准不确定度的合成

由于以上两项各不相关，故

$$u(m_c) = \sqrt{u^2(m_{c1}) + u^2(m_{c2})} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

$$\text{灵敏系数: } c_2 = \frac{A_g \times (1 + \Phi_i)}{m_g} = 1 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$$

#### 4.3 $m_g$ 引入的标准不确定度 $u(m_g)$

此项只考虑专用砝码最大允许误差引入的标准不确定度。

工作基准活塞压力计配套砝码的最大允许误差为 0.002%，服从均匀分布。

所加砝码名义质量为 1kg，故

$$u(m_g) = \frac{1 \times 0.002\%}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

$$\text{灵敏系数: } c_3 = \frac{m_c A_g (1 + \Phi_i)}{-m_g^2} = -1 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$$

#### 4.4 温度修正系数 $\varphi_i$ 引入的标准不确定度 $u(\varphi_i)$

##### 4.4.1 热膨胀系数 $\alpha$ 引入的不确定度 $u(\alpha)$

估计热膨胀系数  $\alpha$  的偏差范围在  $(1.9 \pm 0.2) \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ，服从均匀分布，其标

准不确定度为：

$$u(a_s) = \frac{0.2 \times 10^{-5}}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{灵敏系数: } c_4 = (t_g - t_c) = 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(估计测量过程中两活塞的最大温度偏差为 0.2℃)

#### 4.4.2 活塞温度 $t_g$ 和 $t_c$ 引入的不确定度 $u(t_g)$ 和 $u(t_c)$

估计活塞温度与实际温度的偏差不超过 0.3℃，按均匀分布考虑，

$$u(t_s) = \frac{0.3}{\sqrt{3}} = 0.17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{灵敏系数: } c_5 = \alpha = 1.9 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}, c_6 = -\alpha = -1.9 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

#### 4.4.3 $\Phi_i$ 引入的标准不确定度的合成

$$u_c(\Phi_i) = \sqrt{c_4^2 \cdot u^2(a) + c_5^2 \cdot u^2(t_g) + c_6^2 \cdot u^2(t_c)} = 6.5 \times 10^{-6}$$

$$\text{灵敏系数: } c_7 = A_g \times \frac{m_c}{m_g} = 1 \text{ cm}^2$$

#### 4.5 活塞鉴别力引入的不确定度 $u(d_d)$

因为工作基准活塞压力计的鉴别力优于传递标准活塞，所以此项仅考虑传递标准活塞的鉴别力引入的不确定度。

传递标准活塞压力计在所加砝码质量 1kg 时鉴别力为 0.02g，所产生的相

$$\text{对不确定度是 } u_r(d_d) = \frac{0.02 \times 10^{-3} / 1}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-5}$$

$$\text{折算为绝对值 } u(d_d) = u_r(d_d) \cdot A_g = 1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$$

$$\text{灵敏系数: } c_8 = 1$$

#### 4.6 由多次测量的重复性引入的不确定度 $u(d_r)$ ， $\delta_r$ 采用 A 类方法评定。

$$\text{实验标准差: } S(A) = \frac{R}{C} = \frac{0.00006}{2.53} = 2.4 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$$

当  $n=6$  时,极差系数  $C$  取 2.53

$$\text{得标准不确定度 } u(d_r) = S(A) = 2.4 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$$

灵敏系数:  $c_9=1$

## 5 输入量标准不确定度的合成

$$u_c(A_c) = \sqrt{c_1^2 \cdot u^2(A_g) + c_2^2 \cdot u_c^2(m_c) + c_3^2 \cdot u^2(m_g) + c_7^2 \cdot u_c^2(\Phi_i) + c_8^2 \cdot u^2(d_d) + c_9^2 \cdot u^2(d_r)}$$

$$= 3.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$$

表 4: 标准不确定度一览表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)$	$c_i$	$ c_i  \times u(x_i)$	
$u(A_g)$	工作基准活塞有效面积	$6.7 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$	1	/	$6.7 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$
$u(m_c)$	传递标准砝码	$1.2 \times 10^{-5} \text{ kg}$	$1 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	/	$1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$
$u(m_{c1})$	砝码允差	$1.2 \times 10^{-5} \text{ kg}$	/	/	/
$u(m_{c2})$	垂直度	$5.1 \times 10^{-8} \text{ kg}$	/	/	/
$u(m_g)$	工作基准砝码	$1.2 \times 10^{-5} \text{ kg}$	$-1 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$	/	$1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$
$u(m_g)$	砝码允差	$1.2 \times 10^{-5} \text{ kg}$	/	/	/
$U(\phi_i)$	温度修正系数	$6.5 \times 10^{-6}$	$1 \text{ cm}^2$	/	$6.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$
$U(\alpha)$	热膨胀系数	$1.2 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	$0.2 \text{ }^\circ\text{C}$	$2.4 \times 10^{-7}$	/
$U(t_g)$	工作基准活塞温度	$0.17 \text{ }^\circ\text{C}$	$1.9 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	$3.2 \times 10^{-6}$	/
$U(t_c)$	传递标准活塞温度	$0.17 \text{ }^\circ\text{C}$	$-1.9 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	$-3.2 \times 10^{-6}$	/
$u(d_d)$	活塞灵敏限	$1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$	1	/	$1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$
$u(d_r)$	测量重复性	$2.4 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$	1	/	$2.4 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$

## 6 活塞有效面积的合成不确定度:

0.2MPa 时, 活塞有效面积的合成不确定度:  $U_c = 3.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$

## 7 其余各点的不确定度计算如下:

### 7.1 专用砝码最大允许误差引入的标准不确定度 $u(m_{c1})$

作用压力	砝码名义质量	$u(m_{c1})$
0.2MPa	1kg	$1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$
0.3MPa	2kg	$2.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$
0.4MPa	3kg	$3.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$
0.5MPa	4kg	$4.6 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$
0.6MPa	5kg	$5.8 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$

### 7.2 活塞垂直度引入的标准不确定度 $u(m_{c2})$

作用压力	砝码名义质量	$u(m_{c2})$
0.2MPa	1kg	$5.1 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$
0.3MPa	2kg	$1.0 \times 10^{-7} \text{ cm}^2$
0.4MPa	3kg	$1.5 \times 10^{-7} \text{ cm}^2$
0.5MPa	4kg	$2.0 \times 10^{-7} \text{ cm}^2$
0.6MPa	5kg	$2.5 \times 10^{-7} \text{ cm}^2$

### 7.3 $m_c$ 引入的标准不确定度的合成

作用压力	$u(m_c)$	灵敏系数 $C_2$
0.2MPa	$1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$	$1 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
0.3MPa	$2.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$	$0.5 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
0.4MPa	$3.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$	$0.33 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
0.5MPa	$4.6 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$	$0.25 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
0.6MPa	$5.8 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$	$0.2 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$

### 7.4 $m_g$ 引入的标准不确定度 $u(m_g)$

作用压力	$u(m_g)$	灵敏系数 $C_3$
0.2MPa	$1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$	$1 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
0.3MPa	$2.3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$	$0.5 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
0.4MPa	$3.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$	$0.33 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
0.5MPa	$4.6 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$	$0.25 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
0.6MPa	$5.8 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$	$0.2 \text{ cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$

### 7.5 活塞鉴别力引入的不确定度 $u(\delta_d)$

作用压力	鉴别力	$u(\delta_d)$
0.2MPa	0.02g	$1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$
0.3MPa	0.02g	$1.2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$
0.4MPa	0.01g	$5.8 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$
0.5MPa	0.01g	$5.8 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$
0.6MPa	0.01g	$5.8 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$

7.6 活塞有效面积的测量重复性包括 0.2MPa、0.3MPa、0.4MPa、0.5MPa、0.6MPa 五个检定点的测量数据和根据极差法计算的实验标准差  $S(A)$  如下表:

## 传递标准器号 0603:

检定次数	0.2MPa	0.3MPa	0.4MPa	0.5MPa	0.6MPa
1	1.00094 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00094 cm <sup>2</sup>	1.00094 cm <sup>2</sup>	1.00093 cm <sup>2</sup>
2	1.00098 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>
3	1.00094 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>
4	1.00100 cm <sup>2</sup>	1.00098 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>
5	1.00099 cm <sup>2</sup>	1.00098 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00094 cm <sup>2</sup>
6	1.00095 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>	1.00097 cm <sup>2</sup>
平均值	1.00097 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00096 cm <sup>2</sup>	1.00095 cm <sup>2</sup>
S(A)	2.4×10 <sup>-5</sup>	1.2×10 <sup>-5</sup>	1.2×10 <sup>-5</sup>	1.2×10 <sup>-5</sup>	1.6×10 <sup>-5</sup>

## 传递标准器号 0604:

检定次数	0.2MPa	0.3MPa	0.4MPa	0.5MPa	0.6MPa
1	1.00007 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>
2	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00007 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>	1.00006 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>
3	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>
4	1.00008 cm <sup>2</sup>	1.00007 cm <sup>2</sup>	1.00007 cm <sup>2</sup>	1.00006 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>
5	1.00007 cm <sup>2</sup>	1.00006 cm <sup>2</sup>	1.00006 cm <sup>2</sup>	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>
6	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00003 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>
平均值	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00006 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00005 cm <sup>2</sup>	1.00004 cm <sup>2</sup>
S(A)	2.0×10 <sup>-5</sup>	1.6×10 <sup>-5</sup>	1.6×10 <sup>-5</sup>	1.2×10 <sup>-5</sup>	0.4×10 <sup>-5</sup>

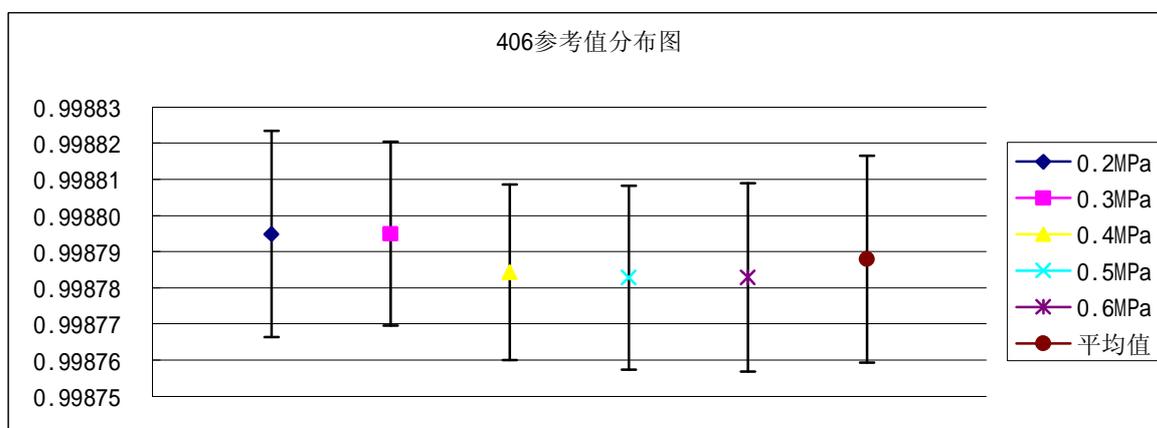
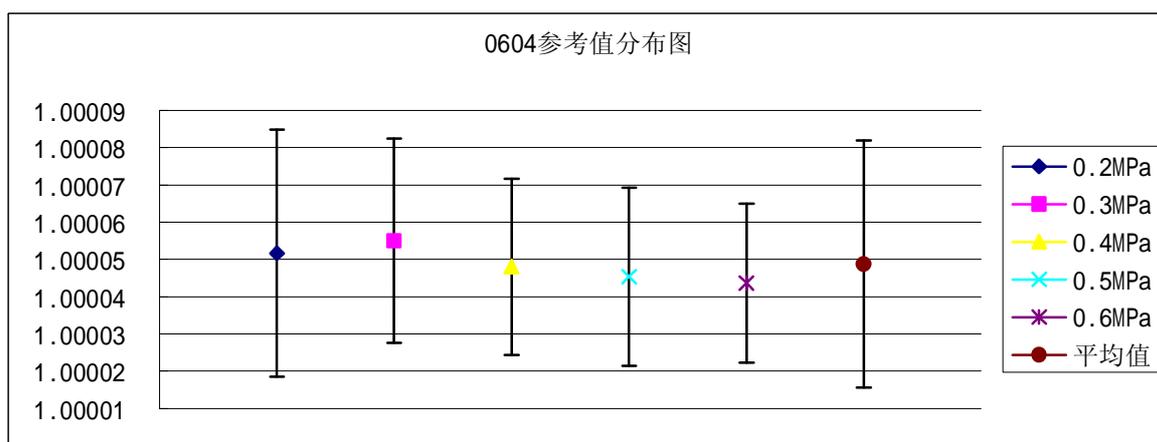
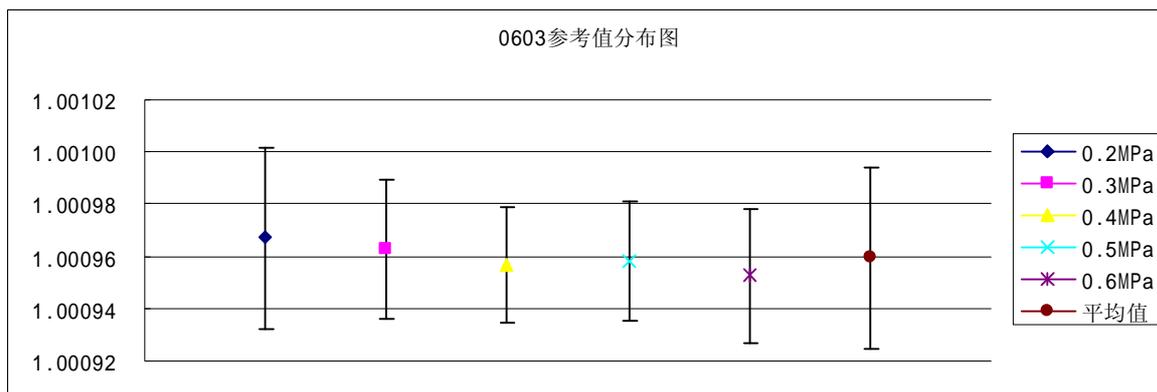
## 传递标准器号 406:

检定次数	0.2MPa	0.3MPa	0.4MPa	0.5MPa	0.6MPa
1	0.99877 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99876 cm <sup>2</sup>	0.99876 cm <sup>2</sup>	0.99876 cm <sup>2</sup>
2	0.99881 cm <sup>2</sup>	0.99881 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>
3	0.99878 cm <sup>2</sup>				
4	0.99882 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99879 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99877 cm <sup>2</sup>
5	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>
6	0.99879 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99879 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>	0.99880 cm <sup>2</sup>
平均值	0.99879 cm <sup>2</sup>	0.99879 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>	0.99878 cm <sup>2</sup>
S(A)	2.0×10 <sup>-5</sup>	1.2×10 <sup>-5</sup>	1.6×10 <sup>-5</sup>	1.6×10 <sup>-5</sup>	1.6×10 <sup>-5</sup>

## 7.7 各压力点的不确定度:

$$u_c(A_c) = \sqrt{c_1^2 \cdot u^2(A_g) + c_2^2 \cdot u_c^2(m_c) + c_3^2 \cdot u^2(m_g) + c_7^2 \cdot u_c^2(\Phi_i) + c_8^2 \cdot u^2(d_d) + c_9^2 \cdot u^2(d_r)}$$

	0603		0604		406	
	有效面积 (cm <sup>2</sup> )	标准不确定度 (k=1)	有效面积 (cm <sup>2</sup> )	标准不确定度 (k=1)	有效面积 (cm <sup>2</sup> )	标准不确定度 (k=1)
0.2MPa	1.00097	0.000035	1.00005	0.000033	0.99879	0.000029
0.3MPa	1.00096	0.000027	1.00006	0.000027	0.99879	0.000025
0.4MPa	1.00096	0.000022	1.00005	0.000024	0.99878	0.000024
0.5MPa	1.00096	0.000023	1.00005	0.000024	0.99878	0.000025
0.6MPa	1.00095	0.000026	1.00004	0.000021	0.99878	0.000026
平均值	1.00096	0.000035	1.00005	0.000033	0.99879	0.000029



## 鸣 谢

从 05 年申请本次比对，经过两年多的认真运作，各参加实验室都完成了大量的比对实验工作，通过主导实验室的认真分析研究，形成了此份报告，报告凝聚了主导实验室以及各参加实验室人员的辛勤工作与汗水。通过此次比对，也使得我们对于基标准装置的整体运行状况、各实验室的工作状况以及基标准工作原理和传递方式有了进一步认识，给我们下一步工作提供了很好的指导作用。

在此次比对过程中，我们要衷心感谢：

感谢总局计量司领导对此次比对工作的全力支持与关怀！

感谢中国计量院压力室对比对工作给与的支持！

感谢各参加实验室所在的计量院所的大力支持与配合！

感谢各参加实验室压力计量同仁的努力工作和积极配合！

感谢提供比对用活塞的太行仪表厂和天津计量仪器厂！

## 参考文献：

1. JJG1059-1999 测量不确定度评定与表示
  2. JJF1117-2004 测量仪器比对规范
  3. GB/T 15483.1-1999 利用实验室间比对的能力验证
  4. JJG59-1990 二、三等活塞式压力计检定规程
  5. JJG129-1990 一等活塞式压力计检定规程
-