

高低黏度油品對流量計準確性影響及差異性

高雄分局技正：任義光

技士：孫成武

一、研究緣起與目的

目前標準流量計為油量計檢定檢查技術規範所規定使用的油量計檢校標準器之一，與其他標準器相比較是具有最佳的操作便利性及最低的操作成本。

本研究係針對大口徑流量計對不同油品量測的準確度是否有顯著之影響，執行實地測試與探討。其次藉由量測數據對於大口徑流量計是否對於相關檢測法規有改善之參考，另外由於油品熱漲冷縮的物理現象，導致不同油溫時體積之變化及油品黏度、API 是否影響流量計準確性，再探討油量計檢定檢查技術規範 3.7 口徑在 35 mm 至 160 mm（以下簡稱大口徑）油量計檢定、檢查時，得以標準流量計或標準量槽行之。其標準流量計能測試各類油品嗎？

依現行油量計檢定檢查技術規範 3.7 規定，以標準流量計當標準器測試油品種類不僅只針對低黏度是汽柴油也包含高黏度是燃料油及機油做檢定（查），但其準確性如何至今國內無並無任何一專責機關研究過，各類油品黏度影響準確性多少也無一答案，幾年前本課專題研究曾探討標準流量計對汽柴油做過研究，其器差高達 0.3 %。

國內標準流量計校正專責機關為工研院量測中心，但其分類也僅僅分成兩種，一、低黏度流量計校正。二高黏度流量計校正。因此根據規範以低黏度流量計測試油品種類也僅只針對低黏度之柴油（汽油不能列入檢測項目，因為低黏度流量計校正範圍為(2.5~5.4)cSt，但汽油類之 cSt 皆小於 1），對於高黏度流量計包含燃料油及機油與低黏度流量計比較其準確性為本次測試主題，其中主要為探討流體之動黏度對標準流量計精確度影響。

二、研究方法與過程

1、各項測試油品之黏性如表一所示。

表一：油量計測試油品之黏性

油品種類	動黏度 (cSt)	等級
汽油類	0.55~0.65	無

柴油類	4.0~6.0	低
燃料油	25~50	高
潤滑油	10~120	高

2、國內標準流量計實驗室校正範圍如表二、表三及表四所示。

台灣中油標準流量計實驗室低黏度油流量校正、國家標準流量計實驗室低黏度油流量校正及國家標準流量計實驗室高黏度油流量校正相關參數，

表二：台灣中油標準流量計實驗室低黏度油流量校正

服務之儀器	正位式流量計、質量式流量計、渦輪式流量計
校正範圍	(300~6000)L/min (3.8±0.2)cSt/(28±3)°C 校正流體:柴油 工作溫度:32°C
不確定度	0.08 %

表三：國家標準流量計實驗室低黏度油流量校正

服務之儀器	正位式流量計、質量式流量計、渦輪式流量計
校正範圍	(300~6000)L/min (3.80±0.21)cSt/(25±0.3)°C 校正流體: D-110 溶劑油
不確定度	0.05 %

表四：國家標準流量計實驗室高黏度油流量校正

服務之儀器	正位式流量計、質量式流量計、渦輪式流量計
校正範圍	(300~6000)L/min (72.09±2.98)cSt/(29.4±0.8)°C 校正流體:R680 循環機油及 D-110 溶劑油混合
不確定度	0.05 %

3、依 OIML 對液體流量量測標準各級液體流量標準規範：

標準流量計：任一型式流量計，應具有高準確度、高重複性、高穩定性和良好的線性，API 建議使用正位式流量計。

OIML 對於標準流量計的規範：整體量測準確度：0.25%，線性：0.1%，再現性：0.05%

標準流量計特點：

- (1)、使用方便。
- (2)、其操作條件應盡量與於其校正時的狀況一致。
- (3)、經常以另一流量計進行查核，通常是必要的。
- (4)、通常只適合作為現場校正使用的工作標準。

4、本專題研究標準流量計性能，如圖一所示。

- (1)、重復性 0.02%。
- (2)、準確度 0.05%。
- (3)、流量計口徑 4 英吋。
- (4)、中油公司提供 2 台 Smith-LE4 及 1 台 Smith-LE4 正位式流量計。
 - A、低黏度油流量校正流量計 器號 RC148373，報告編號：C980752 報告日期：980619
測試流體黏度： (3.759 ± 0.021) cSt。
 - B、高黏度油流量校正流量計 器號 KB141636，報告編號：C990206 報告日期：990308
測試流體黏度： (72.09 ± 2.98) cSt。
 - C、低黏度油流量校正流量計 器號 SF116641，報告編號：TL89051P 報告日期：890814
測試流體黏度：4.66cps。
 - D、出據校正報告機關：國家度量衡標準實驗室。
 - E、2000 公升標準量槽經過本分局檢定完成。

The Smith Meter™ Model F4 Meter is a 4", double-case, straight-through (S1 through S7) or angle-type (A1 and A3), rotary vane, positive displacement meter. Applications include: blending, batching, dispensing, inventory control, and custody transfer of oils, solvents, chemicals, paints, fats, and fertilizers.

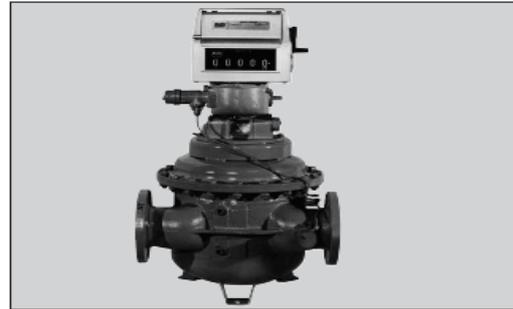
Features

- **Superior Accuracy** - The Smith Meter™ Rotary Vane Meter principle, combined with the meter's uniquely designed (offset) inlet and outlet nozzles, minimizes pressure drop across the measuring chamber, which reduces flow through meter clearances (slippage), to maximize accuracy.
- **Low Pressure Drop** - Streamlined flow path provides low pressure drop.
- **Positive and Accurate Registration** - High torque drive calibrator with adjustment in 0.05% increments ensures accurate registration.
- **Long Service Life** - Low friction ball bearings, fixed cam-type timing, and rugged construction give sustained accuracy and long service life.

Options

- **High Viscosity Meter Clearances** - To extend operation at maximum flow rate from 400 mPa·s to 2,000 mPa·s.
- **High Temperature Clearances** - To extend operating temperatures from 150°F to 200°F (65°C to 93°C).
- **All Iron Trim** - For operating temperatures above 200°F (93°C).
- **LPG Trim** - For low lubricity liquids such as LPG.
- **NACE Construction** - Special components available to meet requirements of NACE Standard MR-01-75.

Operating Specifications



Model F4-S1

Minimum Flow Rate — Typical Performance

Linearity ²	Units	Viscosity (mPa·s)					
		0.5	1	5	20	100	400
±0.15%	USGPM	100 ⁹	60	25	6	1.25	0.30
	L/min	375 ⁹	227	95	23	4.75	1.14
±0.25%	USGPM	75	45	18	4	1.00	0.25
	L/min	284	170	68	15	3.80	0.95
±0.50%	USGPM	50	30	12	3	0.60	0.15
	L/min	190	114	45	11	2.25	0.57

Repeatability

±0.02%

Viscosity

Standard: 400 mPa·s⁴ (2,000 SSU) maximum.

Optional: 2 Pa·s (10,000 SSU) maximum - specify "High Viscosity Meter Clearances."

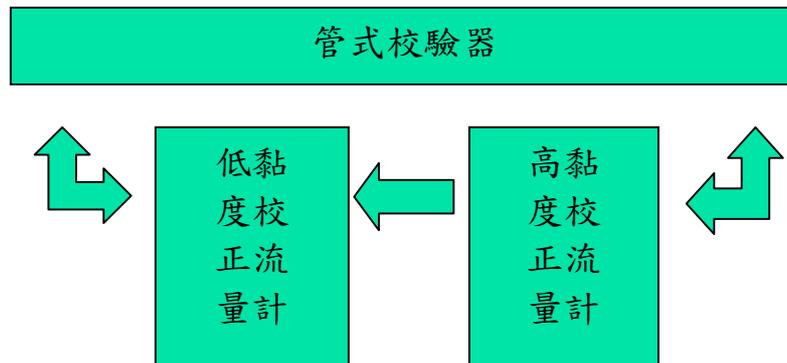
Over 2 Pa·s - specify "High Viscosity Meter Clearances" and derate maximum flow rate in direct proportion to viscosity over 2 Pa·s (e.g., at 4 Pa·s, derate Maximum Flow Rate to 50% of Normal Continuous Rating - 300 USGPM).

圖一：正位式流量計性能

5、研究方法及過程

- (1)、以柴油為介質經串聯，測試高黏度校正流量計及低黏度校正流量計間之差異。

測試流程（一）流體介質為柴油。



圖二：測試流程（一）示意圖

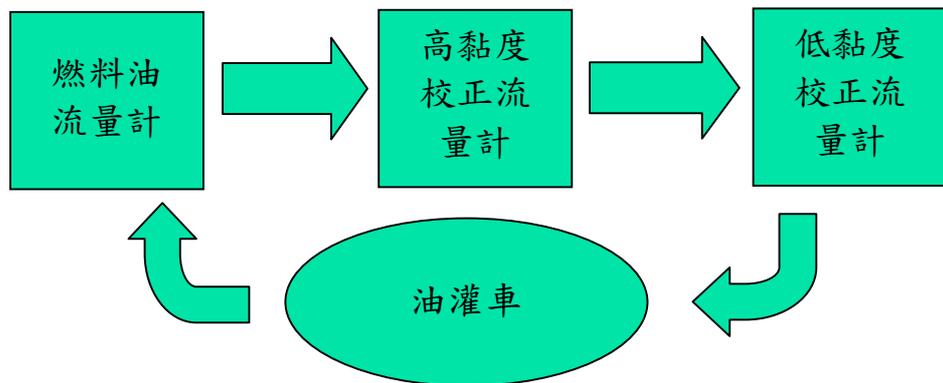
以柴油為介質經串聯，中油標準流量計實驗室現場實況。



圖三：測試流程（一）現場情形-1

(2)、以燃料油為介質經串聯，測試高黏度校正流量計及低黏度校正流量計間之差異。

測試流程（二）流體介質為燃料油



圖四：測試流程（二）示意圖

以燃料油為介質經串聯，中油橋頭油庫現場實況



圖五：測試流程（二）現場情形-1



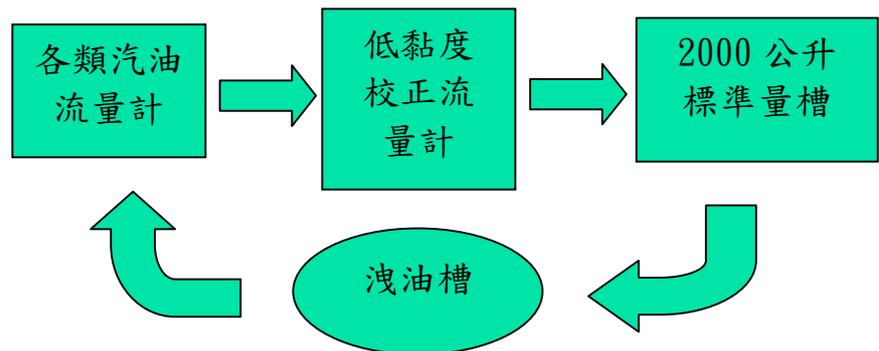
圖六：測試流程（二）現場情形-2



圖七：測試流程（二）現場情形-3

(3)、以各類汽柴油為介質經串聯，測試低黏度校正流量計及 2000 公升標準量槽間之差異。

測試流程（三）流體介質為各類汽油



圖八：測試流程（三）示意圖

以各類汽柴油為介質經串聯，中油橋頭油庫現場實況。



圖九：測試流程（三）現場情形-1



圖十：測試流程（三）現場情形-2



圖十一：測試流程（三）現場情形-3

6、正位式流量計流動原理：

SMITH 流量計顯著特徵為：

- 1. 在原理上，流體計量時，其流量是精確而穩定的。
- 2. 在設計上，能穩定流速，而不浪費能源。



圖1 未測之流體 (黑影部份) 進入流量計。轉子及葉片藉流體動力順時針轉動。

此時，葉片A和葉片D全部伸出，與測量室齊。

葉片B和葉片C縮回。

圖十二：正位式流量計動作原理-1

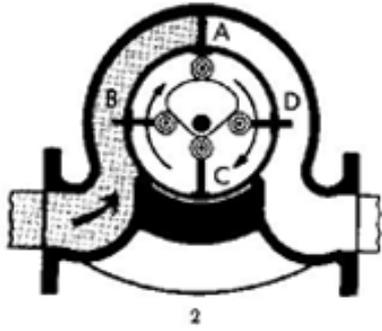


圖2 轉子與葉片皆轉1/8轉，葉片A全部伸出，D正縮回。C完全縮回，而B正伸出。

圖十三：正位式流量計動作原理-2

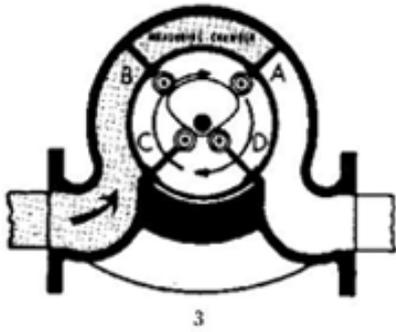


圖3 1/4轉位置，A仍伸出，B亦完全伸出，此時一完全正確已知之容積已至測量室。

圖十四：正位式流量計動作原理-3

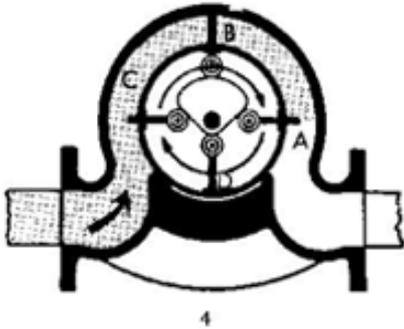


圖4 再1/8轉，被測後之流體已流出，緊接著第2次之測量正於C與B間形成，此時A正縮回。

圖十五：正位式流量計動作原理-4

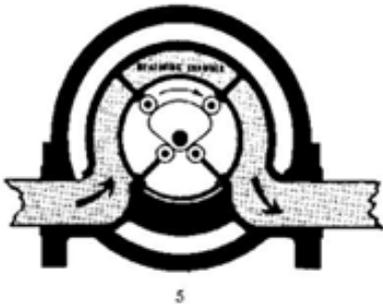


圖5 圖1~4所示為單殼式，而圖5為雙殼式，其作動原理皆相同，與結構無關。

圖十六：正位式流量計動作原理-5

三、研究發現與建議

1、以柴油為介質經串聯，測試高黏度校正流量計及低黏度校正流量計間之差異。

測試地點：中油流量實驗室。

測試元件：

(1)、以低黏度油流量校正流量計 器號 RC148373，報告編號：C980752 報告日期：980619 為標準件。

(2)、以高黏度油流量校正流量計 器號 KB141636，報告編號：C990206 報告日期：990308 為待測件。

測試目的：分析國家標準實驗室出據高黏度油流量校正之流量計係數（器號 KB141636）及以柴油為介質以國家標準實驗室出據低黏度油流量係數（器號 RC148373）為標準件，經串聯後分析器號 KB141636 流量計係數之差異。

測試結果：詳如附件報告編號 MF995044PB（校正日期 2010 年 03 月 26 日）兩者差異僅為萬分之十一～萬分之七，合乎國內油量計檢定檢查技術規範器差千分之五之 1/3。

表五：測試流程（一）結果流量介質為柴油

流量計流率 (L/min)	器號 KB141636 流量 計係數（高黏度 72cSt）	器號 KB141636 流量 計係數（低黏度 4.6cSt）	器差
883.3~910	1.0000	0.99927	0.00073
1170~1220	1.0001	0.99946	0.00064
1533~1570	1.0003	0.99918	0.00112
平均器差	-----	-----	0.00083

2、以燃料油為介質經串聯，測試高黏度校正流量計及低黏度校正流量計間之差異。

測試地點：中油橋頭油庫。

測試元件：

(1)、以低黏度油流量校正流量計 器號 RC148373，報告編號：C980752 報告日期：980619 為待測件。

(2)、以高黏度油流量校正流量計 器號 C990206，報告編號：C990206 報告日期：990308 為標準件。

測試目的：分析國家標準實驗室出據高黏度油流量校正之流量計係數及以國家標準實驗室出據低黏度油流量係數，以燃料油為介質經串聯後之差異。

測試結果：如表六及表七兩者差異僅為萬分之三～負萬分之五，合乎國內油量計檢定檢查技術規範器差千分之五之1/3。

表六：測試流程（二）結果流體介質燃料油

流量計流率 (L/min)	國家標準實驗室流量計（高黏度72cSt）經換算成真實體積	國家標準實驗室流量計（低黏度4.6cSt）經換算成真實體積	器差
550~600	3048	3046.7	0.00043
550~600	3046	3045.7	0.00010
550~600	3045	3043.6	0.00046
平均器差	3046.33	3045.33	0.00033

測試流程（二）結果流體介質燃料油，如表七所示。

表七：測試流程（二）結果流體介質燃料油

流量計流率 (L/min)	國家標準實驗室流量計（高黏度72cSt）經換算成真實體積	中油流量實驗室流量計（低黏度4.6cSt）經換算成真實體積	器差
400~450	3044	3043.7	-0.00010
400~450	3047	3042.7	-0.00141
400~450	3046	3045.7	-0.00010
平均器差	3045.67	3044.03	-0.00054

3、以各類汽柴油為介質經串聯，測試低黏度校正流量計及2000公升標準量槽間之差異。

測試地點：中油橋頭油庫。

測試元件：

(1) 低黏度油流量校正流量計 器號 SF116641，報告編號：TL89051P 報告日期：890814

(2) 2000公升標準量槽為標準件。

測試目的：分析以各類汽柴油為介質經串聯，測試低黏度校正流量計及 2000 公升標準量槽間之差異。

測試結果：如表八～表十，九八無鉛汽油、九五無鉛汽油、九二無鉛汽油及超級柴油四種油品標準流量計及 2000 公升量槽之相對器差分別為-0.24% ，-0.21% 、-0.19% 及 0.5% 其中 98 汽油與柴油最大相對器差為 0.29% ，95 汽油最小相對器差為 0.24% 。

結論：

- (1)、以柴油為介質標準流量計準確度如表五（測試一）結果器差僅達 0.1 % 。
- (2)、以燃料油為介質標準流量計準確度如表六～表七（測試二）結果器差僅達 0.1 % 。
- (3)、以汽油為介質標準流量計準確度如表八～表十一（測試三）結果器差高達 2.9% 。

簡易判定：當黏度達一定值（cSt 4 以上）對於標準流量計精確度影響不大，但以汽油（cSt 1 以下）為介質時，標準流量計為標準器是不恰當。

各類油品標準流量計及 2000 公升量槽測試結果：如表八、表九、表十及表十一所示。

表八：各類油品標準流量計及 2000 公升量槽比較結果

油品 超級柴油 流體 API：38.2~38.7 流體黏度：1.9~4.1

標準流量計指示值	流量計系數	標準流量計真實體積	量槽真實體積	器差(L)	器差千分比	流速	溫度℃
2023.2	0.99244	2007.9	2007	0.9	0.5	1215	28.9
2021.5	0.99244	2006.2	2004.5	1.7	0.9	1019	29
2021.7	0.99244	2006.4	2005	1.4	0.7	1111	29
2021.5	0.99244	2006.2	2005.2	1.0	0.5	1165	29.2
2021.8	0.99244	2006.5	2005.5	1.0	0.5	1025	30
2022.1	0.99244	2006.8	2006	0.8	0.4	1111	30
2021.0	0.99244	2005.7	2005	0.7	0.4	1111	30
2020.0	0.99244	2004.7	2004	0.7	0.4	1071	30
2020.5	0.99244	2005.2	2004.6	0.6	0.3	1215	30.5
2020.1	0.99244	2004.8	2004.5	0.3	0.2	1071	31
平均值		2006.1	2005.1	0.9	0.5	1119	29.8

表九：各類油品標準流量計及 2000 公升量槽比較結果

油品 九二無鉛汽油 流體 API：57~58.5 流體黏度：0.55

標準流量計指示值	流量計系數	標準流量計真實體積	量槽真實體積	器差(L)	器差千分比	流速	溫度℃
2016.3	0.99305	2002.3	2006.2	-3.9	-2.0	1538	29
2016.2	0.99305	2002.2	2006.3	-4.1	-2.1	1578	29
2017.0	0.99305	2003.0	2007	-4.0	-2.0	1518	29.5
2016.0	0.99305	2002.0	2005.8	-3.8	-1.9	1538	30
2017.0	0.99305	2003.0	2006.5	-3.5	-1.8	1518	30.5
2015.5	0.99305	2001.5	2005.2	-3.7	-1.9	1500	30.5
2017.2	0.99305	2003.2	2007	-3.8	-1.9	1518	31
2017.5	0.99305	2003.5	2007.2	-3.7	-1.9	1538	31
2016.0	0.99305	2002.0	2005.5	-3.5	-1.8	1558	31
2016.8	0.99305	2002.8	2006.5	-3.7	-1.9	1500	31
平均值		2002.1	2006.3	-3.8	-1.9	1530	30.3

表十：各類油品標準流量計及 2000 公升量槽比較結果

油品 九五無鉛汽油 流體 API：54~55.8 流體黏度：0.66

標準流量計指示值	流量計系數	標準流量計真實體積	量槽真實體積	器差(L)	器差千分比	流速	溫度℃
2017	0.99305	2003.0	2007.5	-4.5	-2.3	1500	28.5
2013.5	0.99305	1999.5	2004.0	-4.5	-2.2	1518	28.6
2015.2	0.99305	2001.2	2005.2	-4.0	-2.0	1500	29
2014.8	0.99305	2000.8	2004.0	-3.2	-1.6	1518	29
2015	0.99305	2001.0	2005.0	-4.0	-2.0	1500	30.5
2015.2	0.99305	2001.2	2005.5	-4.3	-2.2	1445	30.5
2015.2	0.99305	2001.2	2005.5	-4.3	-2.2	1463	30.8
2014.6	0.99305	2000.6	2005.0	-4.4	-2.2	1481	31.0
2017	0.99305	2003.0	2007.0	-4.0	-2.0	1481	31.0
2017.5	0.99305	2003.5	2007.5	-4.0	-2.0	1538	31.0
平均值		2001.5	2005.6	-4.1	-2.1	1494.4	30.0

表十一：各類油品標準流量計及 2000 公升量槽比較結果

油品 九八無鉛汽油 流體 API：52 流體黏度：0.67

標準流量計指示值	流量計系數	標準流量計真實體積	量槽真實體積	器差(L)	器差千分比	流速	溫度℃
2017.4	0.99305	2003.4	2008.5	-5.1	-2.6	1258	25.5
2009.5	0.99305	1995.5	2000.7	-5.2	-2.6	1445	25.6
2015.9	0.99305	2001.9	2007.0	-5.1	-2.6	1481	26.2
2012.2	0.99305	1998.2	2003.0	-4.8	-2.4	1518	27
2012.2	0.99305	1998.0	2002.5	-4.5	-2.2	1481	28.0
2015.7	0.99305	2001.7	2006.0	-4.3	-2.2	1558	29.2
2008.9	0.99305	1994.9	2000.0	-5.1	-2.5	1500	29.2
2015.7	0.99305	2001.7	2006.0	-4.3	-2.2	1558	29.3
2015.8	0.99305	2001.8	2006.0	-4.2	-2.1	1538	30.0
2010.5	0.99305	1996.5	2001.1	-4.6	-2.3	1538	30.2
平均值		1999.4	2004.1	-4.7	-2.4	1518	28.0

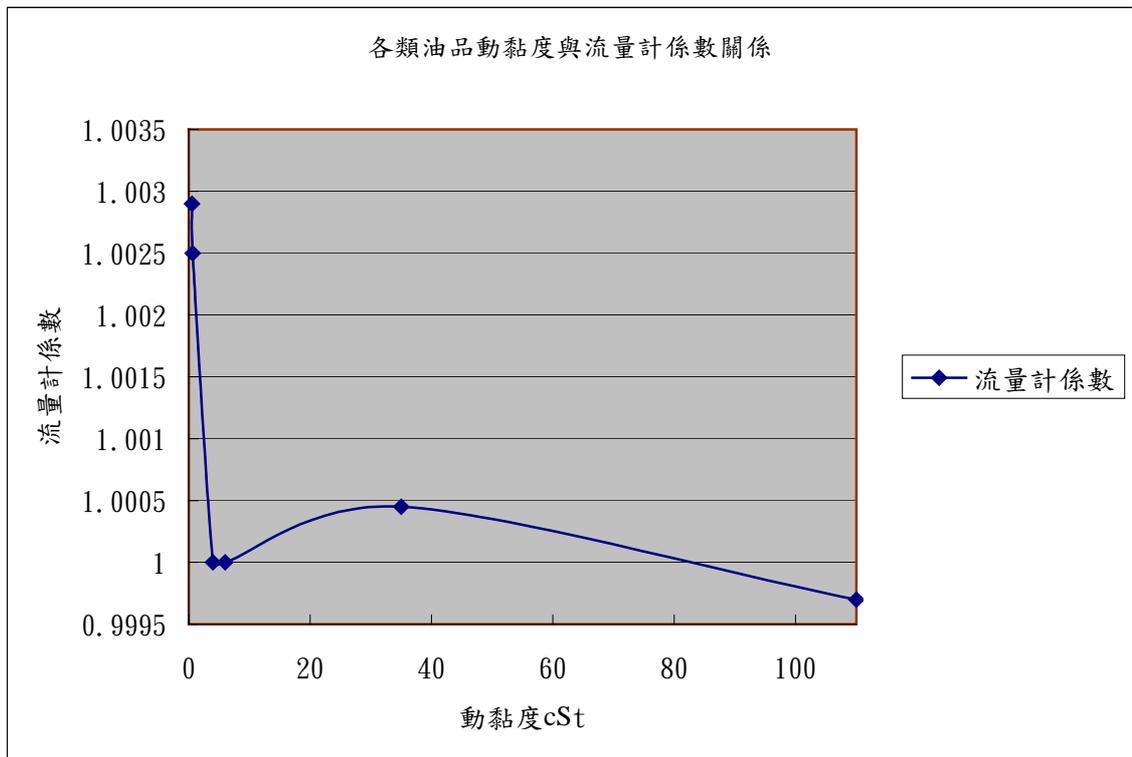
4、分析 cSt 對各類油品之流量計係數。

基本假設低黏度流量計係數為 1，其他各類油品之流量計係數如表十二所示。：

表十二：綜合各類油品流量計係數之數據

油品種類	動黏度(cSt)	流量計係數	備註
汽油類	0.55~0.65	1.0024~1.0029	
柴油類	4.0~6.0	1	
燃料油	25~50	0.9997~1.0005	
潤滑油	10~120	0.9997~1.0005	

各類油品動黏度與流量計係數關係，如圖十七所示。



圖十七：各類油品動黏度與流量計係數關係

測試結果探討：

- (1)、不同種類油品經過相同流量計，其結果必然不同。
- (2)、影響流量計精確度最大因素為動黏度，其動黏度低於 4 (cSt) 以下對於流量計精確度影響達到千分之 2.9。
- (3)、油品物理性質探討，動黏度高管壁與葉輪間洩漏量少，動黏度低管壁與葉輪間洩漏量多（如正位式流量計流動原理圖一～圖五）。
- (4)、依據油量計檢定檢查技術規範第 3.6 節口徑在 35 至 160 mm（以下簡稱大口徑）油量計檢定、檢查時，得以標準流量計或標準量槽行之。前項之檢定、檢查用標準器，必

要時得由申請人自行設置。其使用標準流量計時機應加檢討。

四、結論

對於國內低黏度流量計校正實驗室其流体校正範圍為-A、國家實驗室為(2.5~5.4)cSt。-B、台灣中油標準流量計實驗室為(2.8~4.2)cSt，以動黏度 2.5cSt 以上流体為基準之標準器檢定各類汽油 (0.55~0.65) cSt，其準確性如測試結果表八~表十一，標準流量計及標準量槽間差異性高達千分之 2.4~2.9，因此對於物理特性動黏度為 (0.55~0.65) cSt 之汽油，是否適合以標準流量計為標準器尚待更進一步研究以獲得確認。

五、參考資料

- 1、國家度量衡標準實驗室校正報告
報告日期：99 年 03 月 08 日
報告編號：C990206
儀器名稱：正位式流量計
廠牌型號：Smith / LE4-S1
儀器序號：KB141636
- 2、國家度量衡標準實驗室校正報告
報告日期：98 年 06 月 19 日
報告編號：C980752
儀器名稱：正位式流量計
廠牌型號：Smith / LE4-S5
儀器序號：RC148373
- 3、台灣中油流量校正實驗室校正報告
報告日期：2010 年 03 月 26 日
報告編號：MF995044PB
儀器名稱：正位式流量計
廠牌型號：Smith / LE4-S1
儀器序號：FQ-141636
- 4、台灣中油流量校正實驗室校正報告
報告日期：2000 年 08 月 14 日
報告編號：TL89051P
儀器名稱：正位式流量計
廠牌型號：Smith / LE3-S1
儀器序號：SF116641