

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF xxxx—2022

气体量管校准规范

Calibration specification for gas pipette

(征求意见稿)

2022-0x-xx 发布

2022-0x-xx 实施

国家市场监督管理总局 发布

气体量管校准规范

Calibration specification for gas pipette

JJF xxxx—2022

归口单位：全国容量计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国容量计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 术语	(1)
3.2 计量单位	(2)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 校准设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准前准备	(3)
7.2 实际值容量的校准	(3)
8 校准结果表达	(5)
9 复校时间间隔	(5)
附录 A 不确定度评定方法	(6)
附录 B 各类型气体量管结构示意图	(10)
附录 C 气体量管校准记录格式	(11)
附录 D 校准证书内页格式	(12)
附录 E $K(t)$ 值表	(13)
附录 F 确定弯月面的方法	(15)

引 言

本规范以 JJF1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059.1《测量不确定度评定及表示》和 JJF1009《容量计量术语及定义》的规定为基础性系列规范进行制定。

本规范参考了 ISO4787《实验室玻璃量器的容量校准和使用方法》（Laboratory glassware-Volumetric instruments-Methods for testing of capacity and for use）有关技术内容。

本规范为首次制定。

气体量管校准规范

1 范围

本规范适用于气体量管的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1009 《容量计量术语及定义》

JJF 1059.1 《测量不确定度评定及表示》

JJF 1071 《国家计量校准规范编写规则》

GB/T 3863 《工业氧》

GB/T 5138 《工业用液氯》

GB/T 6682 《分析实验室用水规格和试验方法》

GB/T 6819 《溶解乙炔》

GB/T 12810 《实验室玻璃量器的容量校准和使用方法》

ISO 4787 《实验室玻璃量器的容量校准和使用方法》（Laboratory glassware—Volumetric instruments—Methods for testing of capacity and for use）

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

JJF1009 《容量计量术语及定义》界定的术语适用于本规范。

3.1 术语

气体量管 Gas Burette

气体量管是指具有一定量程范围、应用在气体浓度检测装置中的玻璃量器，也称量气管。

3.2 计量单位

容量单位：毫升，符号 mL；

温度单位：摄氏度，符号℃；

时间单位：秒，符号 s。

4 概述

气体量管是一种通过化学溶液吸收气体的方法测定气体含量，根据溶液吸收气体的量在气体量管中反应前后的差值，实现测量气体浓度的玻璃量器。广泛应用于冶金、化工、环境保护、火焰加工、石化等领域。作为气体浓度检测仪装置的重要组成部分，在气体分析化验过程中起到读取和计算气体浓度的作用，根据其所测气体的不同，可分为：氧分析器中气体量管、氯含量测定装置中气体量管、奥式吸收仪中气体量管、乙炔气体吸收管等，结构示意图见附录 B。

5 计量特性

5.1 气体量管标称范围：(0~100)mL 或(0~100)分度。

5.2 容量示值最大允许误差：99mL 为±0.05mL，90mL 为±0.1mL。

注：上述指标仅供参考不做合格判定。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(20±5)℃，校准过程中温度变化不得大于 1℃/ h。

6.1.2 水温与室温之差不得大于 2℃。

6.1.3 清洗干净并干燥的气体量管在校准前 4 小时及实验用水在校准前 24 小时放入恒温实验室内，使气体量管、水温和室温相平衡。

6.1.4 校准介质为纯水（蒸馏水或去离子水），应符合 GB/T 6682《分析实验室用水规格和试验方法》的要求。

6.2 校准设备

6.2.1 校准标准及配套设备

表 1 主要校准标准技术参数

仪器名称	实际分度值	准确度等级	测量范围
电子天平	0.1 mg	①级	V ≥ 200g

注：可根据被校气体量管的容量范围选取相应量程的电子天平。

表 2 配套设备技术参数

仪器名称	分度值	技术要求	测量范围
测温设备	0.1℃	$U=0.1^{\circ}\text{C}$, $k=2$	(0~50)℃
秒表	0.1s	MPE: $\pm 0.5\text{s/d}$	(0~3600) s
附属设备	有盖称量杯、测温筒、读数放大镜等		

7 校准项目和校准方法

7.1 校准前准备

7.1.1 校准前准备

7.1.1.1 天平准备

将天平调整到水平位置，接通电源天平预热达到平衡状态，启动天平的内校或外校功能进行调整。

7.1.1.2 气体量管准备

校准前应清洁干燥，使校准过程中液面能够形成良好的弯月面，并且弯月面在上升或下降过程中不应改变形状，同时内壁上不应残留水珠。未形成良好的弯月面，则需对其再次清洗。清洗时建议使用碱性较低的温和性清洁剂，并在尽可能短的时间内完成（清洁剂温度应控制在70℃以下），清洗后用蒸馏水冲洗气体量管，并重新检查液面弯月面，直至达到校准要求（确定弯月面的方法见附录F）。

7.2 容量实际值的校准

7.2.1 容量校准点的选择

用户根据需要选择校准点。参考校准点：(0~90)mL、(0~99) mL。

注：校准点的选择可根据气体量管的实际使用情况或用户的要求确定。

7.2.2 容量的校准方法

容量的校准采用衡量法。

7.2.3 校准步骤

1) 将气体量管放在校准架上充满水。

2) 取一只容量大于被检气体量管容量的洁净有盖称量杯，放置于电子天平秤盘中心，待稳定后将电子天平置零。

3) 从电子天平中取出称量杯放在气体量管下面，将气体量管中已调好液面的水按校准点放入称量杯后关闭活塞；将称量杯置于天平上；待电子天平稳定后记录质量值。

4) 测量并记录校准介质的温度, 读数应准确到 0.1℃。

7.2.4 数据处理

1) 气体量管在标准温度 20℃时的实际容量按下式计算:

$$V_{20} = \frac{M(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)} [1 + \beta(20 - t)] \quad (1)$$

式中:

V_{20} ——标准温度 20℃时被校准的气体量管的实际容量, 单位为毫升 (mL);

M ——校准气体量管内所容纳水的表观质量值, 单位为 (g);

ρ_B ——砝码密度, 取 8.00g/cm³;

ρ_A ——校准时实验室内的空气密度, 取 0.0012g/cm³;

ρ_W ——水 t ℃时的密度, 单位为克每立方厘米 (g/cm³);

β ——被校准气体量管的体胀系数, 一般取 $9.9 \times 10^{-6} \text{℃}^{-1}$ ($15 \times 10^{-6} \text{℃}^{-1}$);

t ——校准时水的温度, 单位为摄氏度 (℃)。

为简便计算过程, 上式可简化成:

$$V_{20} = M \cdot K(t) \quad (2)$$

式中:

V_{20} ——标准温度 20℃时被校准气体量管实际容量, 单位为毫升 (mL);

M ——校准气体量管内所容纳水的表观质量值, 单位为 (g);

$K(t)$ ——容量修正系数, 见附录 E。

2) 容量示值校准重复操作不少于三次, 计算校准的算术平均值 \bar{V}_{20} , 即是容量的实际值。

$$\bar{V}_{20} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (3)$$

3) 容量示值误差

$$\Delta V = V_S - \bar{V}_{20} \quad (4)$$

式中:

ΔV ——气体量管校准点容量示值误差 (mL);

V_S ——气体量管校准点标称容量 (mL);

\bar{V}_{20} ——气体量管校准点 20℃时的实际容量的三次平均值 (mL)。

注: 容量的示值误差结合计量特性作为使用时的参考。

8 校准结果表达

校准证书或校准报告应至少包含以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书或报告的唯一性标识(如编号)，每页及总页数的标识；
- e) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期；
- h) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其校准不确定度的说明；
- l) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- n) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

复校时间间隔长短由气体量管使用情况、使用者、气体量管本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用状况自主决定复校时间，一般不超过一年。

以氧气体量管为例，其容量示值测量不确定度评定如下：

A.1 测量方法

采用“衡量法”，选取规格为 100mL 的氧气体量管进行试验。通过测量出气体量管 90mL 处标称容量容纳水的表观质量 M 及此时水温度为 t 等的实验数据，从而求得气体量管 90mL 处的容积值并进行不确定度分析。具体分析如下：

A.2 气体量管不确定度分析

A.2.1 数学模型

$$V_{20} = \frac{M(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)} [1 + \beta(20 - t)] \quad (1)$$

式中：

V_{20} ——标准温度 20℃ 时的被校气体量管的实际容量，mL；

ρ_B ——砝码密度，g/cm³；

ρ_A ——测定时实验室内的空气密度，g/cm³；

ρ_W ——水 t ℃ 时的密度，g/cm³；

β ——被校气体量管的体胀系数℃⁻¹；

t ——校准时水的温度，℃；

M ——被校气体量管内水的质量值 (g)；

A.2.2 方差和传播系数

A.2.2.1 方差

由式 (1) 得合成方差为：

$$\begin{aligned} [u_c(V)]^2 = & u_c^2[V] + c_1^2[u(M)]^2 + c_2^2[u(\rho_B)]^2 + c_3^2[u(\rho_A)]^2 \\ & + c_4^2[u(\beta)]^2 + c_5^2[u(t)]^2 + c_6^2[u(\rho_W)]^2 \end{aligned} \quad (2)$$

A.2.2 灵敏系数

选用一支标称容量为 100mL 的氧气体量管进行校准，取各项参数为：

$$M=90\text{g}; \rho_B=8.00\text{g}/\text{cm}^3; \rho_A=0.0012\text{g}/\text{cm}^3; \beta=9.9\times 10^{-6}/^\circ\text{C}; \rho_W=0.998102\text{g}/\text{cm}^3;$$

$t=20.5^\circ\text{C}$ 则灵敏系数为：

$$c_1 = \partial V / \partial M = \frac{(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)} [1 + \beta(20 - t)];$$

$$c_2 = \partial V / \partial \rho_B = \frac{M \rho_A}{\rho_B^2(\rho_W - \rho_A)} [1 + \beta(20 - t)]$$

$$c_3 = \partial V / \partial \rho_A = \frac{M(\rho_B - \rho_W)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)^2} [1 + \beta(20 - t)]$$

$$c_4 = \partial V / \partial \beta = \frac{M(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)} (20 - t)$$

$$c_5 = \partial V / \partial t = -\frac{M(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)} \beta$$

$$c_6 = \partial V / \partial \rho_W = -\frac{M(\rho_B - \rho_A)}{\rho_B(\rho_W - \rho_A)^2} [1 + \beta(20 - t)]$$

A.3 标准不确定度一览表

标准不确定度分量 $u(x_i)$	不确定度来源	标准不确定度值 $u(x_i)$	传播系数 $c_i = \partial V / \partial x_i$	合成标准不确定度分量 $ c_i \times u(x_i) $ (cm^3)
$u(M)$	水质量测量	$5.8 \times 10^{-4} \text{g}$	$1.003 \text{ cm}^3/\text{g}$	5.8174×10^{-4}
$u(\rho_B)$	砝码密度	$7.00 \times 10^{-2} \text{ g}/\text{cm}^3$	$1.69 \times 10^{-3} \text{ cm}^6/\text{g}$	1.183×10^{-4}
$u(\rho_A)$	空气密度	$6.70 \times 10^{-7} \text{ g}/\text{cm}^3$	$79.26 \text{ cm}^6/\text{g}$	5.31×10^{-5}
$u(\beta)$	量器体胀系数	$5.72 \times 10^{-6} /^\circ\text{C}$	$-45.13 \text{ cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$	2.065×10^{-4}
$u(t)$	水温度测量	0.115°C	$-8.94 \times 10^{-4} \text{ cm}^3/^\circ\text{C}$	1.028×10^{-4}

$u(\rho_w)$	水密度测量	$2.89 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$	$-90.546 \text{ cm}^6/\text{g}$	2.617×10^{-4}
$u(V)$	容量测量重复性	$6.8 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$	1	6.8×10^{-3}
合成标准不确定度 $u_c = 0.007 \text{ mL}$, 扩展不确定度 $U = 2 \times u_c = 0.014 \text{ mL}$, $k=2$				

A. 4 计算分量标准不确定度

A. 4.1 容量测量 A 类不确定度

对 100mL 氧气体量管 90mL 处容量测量 3 次, 试验数据如下: 89.989mL, 89.969mL, 89.977mL。则实际容量平均值为:

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i = 89.978 \text{ mL}, \quad n=3$$

则由重复性引入的 A 类不确定度为: $u_A = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{1.69} / \sqrt{3} = 0.0068 \text{ mL}$

A. 4.2 容量测量 B 类不确定度

A. 4.2.1 水质量测量引起不确定度分量 $u(m)$

校准氧气体量管 90mL 处使用量限为分度值为 0.1mg 的电子天平。电子天平在校准 90g 时的最大允许误差为 $\pm 0.001 \text{ g}$, 服从均匀分布, 即 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u = \frac{\delta_x}{\sqrt{3}} = 0.58 \delta_x = 5.8 \times 10^{-4} \text{ g}$$

A. 4.2.2 砝码密度引起不确定度分量

砝码密度的测量误差为 0.14 g/cm^3 , ($k=2$), 所以:

$$u(\rho_B) = 0.14 / 2 = 0.07 \text{ g/cm}^3$$

A. 4.2.3 空气密度引起不确定度分量

按照 CIPM 推荐使用的空气密度计算公式, 分析计算可以得到空气密度测量的标准不确定度为

$$u(\rho_A) = 6.70 \times 10^{-7} \text{ g/cm}^3$$

A. 4.2.4 水密度测量引起不确定度分量

测量介质为纯水, 所以水密度采用了国际实用温标水密度值, 具体计算采用 BIPM 推荐的 Tanaka 纯水密度公式, 其允差为 $\pm 5 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$, 服从均匀分布条件下其测量标准不确定度为:

$$u(\rho_w) = 5 \times 10^{-6} / \sqrt{3} = 2.89 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$$

A. 4. 2. 5 量器体胀系数引起不确定度分量

玻璃热膨胀系数为 $9.9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，服从均匀分布，

$$u(\beta) = 9.9 \times 10^{-6} / \sqrt{3} = 5.72 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$$

A. 4. 2. 6 水温度测量引起不确定度分量

水温度测量误差为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，考虑到水温梯度的影响，服从均匀分布条件下其测量标准不确定度为：

$$u(t) = 0.2 / \sqrt{3} = 0.115 ^\circ\text{C}$$

A. 5 标准不确定度

$$[u_c(V)]^2 = u[V]^2 + c_1^2 [u(M)]^2 + c_2^2 [u(\rho_B)]^2 + c_3^2 [u(\rho_A)]^2 + c_4^2 [u(\rho_w)]^2 + c_5^2 [u(\beta)]^2 + c_6^2 [u(t)]^2$$

$$u_c = 0.007 \text{ mL}$$

A. 6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，100mL 氧气体量管 90mL 处校准扩展不确定度为：

$$U_c = 2 \times u_c = 0.014 \text{ mL}, \quad k=2$$

各类型气体量管结构示意图



图1 氧气体量管结构示意图

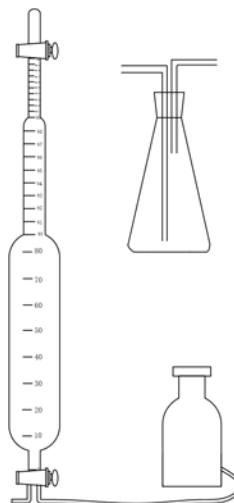


图2 氯气体量管结构示意图



图3 乙炔气体吸收管结构示意图



图4 奥氏吸收仪中气体量管

说明： 乙炔气体吸收管容量为 50 mL。刻度为 100。

附录C

气体量管校准记录格式(仅供参考)

第 页 共 页

送校单位: _____ 地址: _____
 仪器名称: _____ 型号规格: _____ 仪器编号: _____
 制造厂: _____ 证书编号: _____ 校准日期: _____
 环境温度: _____ °C, 相对湿度: _____ %, 校准地点: _____
 技术依据: _____

标准器信息					
名称	测量范围	出厂编号	不确定度/准确度等级/最大允误差	溯源证书编号	有效期至

校准点 (mL)	次 数	水温 (°C)	实测质量 (g)	$K(t)$ 值	实际容量值 V_{20} (mL)	\bar{V}_{20} (mL)	示值 误差 (mL)	校准结 果的不 确定度 (mL)
	1							
	2							
	3							
	1							
	2							
	3							
	2							
	3							
容量实际值校准结果的扩展不确定度 $U=$ mL, $k=2$								

校准员:

核验员:

附录D

校准证书内页格式(仅供参考)

证书编号:

1、校准环境条件:

温度: _____ °C; 相对湿度: _____ %

2、校准结果:

校准点标称容量 mL		
实际容量 mL		
容量示值误差 mL		
测量不确定度		
校准结果的表达	$V_{20} = \bar{V} \pm U$	

附录E

适用于空气密度 $0.0012\text{g}/\text{cm}^3$ 、体膨胀系数 $9.9\times 10^{-6}\text{C}^{-1}$ 量器的 $K(t)$ 值表

水温/ $^{\circ}\text{C}$	$K(t) / (\text{cm}^3/\text{g})$	水温/ $^{\circ}\text{C}$	$K(t) / (\text{cm}^3/\text{g})$	水温/ $^{\circ}\text{C}$	$K(t) / (\text{cm}^3/\text{g})$
15.0	1.002004	18.4	1.002552	21.8	1.003228
15.1	1.002018	18.5	1.002570	21.9	1.003250
15.2	1.002033	18.6	1.002588	22.0	1.003271
15.3	1.002047	18.7	1.002607	22.1	1.003293
15.4	1.002062	18.8	1.002625	22.2	1.003315
15.5	1.002076	18.9	1.002644	22.3	1.003337
15.6	1.002091	19.0	1.002662	22.4	1.003360
15.7	1.002106	19.1	1.002681	22.5	1.003382
15.8	1.002121	19.2	1.002700	22.6	1.003404
15.9	1.002136	19.3	1.002719	22.7	1.003427
16.0	1.002151	19.4	1.002738	22.8	1.003450
16.1	1.002167	19.5	1.002757	22.9	1.003472
16.2	1.002182	19.6	1.002776	23.0	1.003495
16.3	1.002198	19.7	1.002796	23.1	1.003518
16.4	1.002214	19.8	1.002815	23.2	1.003541
16.5	1.002230	19.9	1.002835	23.3	1.003564
16.6	1.002245	20.0	1.002855	23.4	1.003588
16.7	1.002262	20.1	1.002875	23.5	1.003611
16.8	1.002278	20.2	1.002895	23.6	1.003634
16.9	1.002294	20.3	1.002915	23.7	1.003658
17.0	1.002310	20.4	1.002935	23.8	1.003682
17.1	1.002327	20.5	1.002955	23.9	1.003705
17.2	1.002344	20.6	1.002975	24.0	1.003729
17.3	1.002360	20.7	1.002996	24.1	1.003753
17.4	1.002377	20.8	1.003016	24.2	1.003777
17.5	1.002394	20.9	1.003037	24.3	1.003801
17.6	1.002411	21.0	1.003058	24.4	1.003825
17.7	1.002429	21.1	1.003079	24.5	1.003850
17.8	1.002446	21.2	1.003100	24.6	1.003874
17.9	1.002463	21.3	1.003121	24.7	1.003899
18.0	1.002481	21.4	1.003142	24.8	1.003923
18.1	1.002498	21.5	1.003163	24.9	1.003948
18.2	1.002516	21.6	1.003185	25.0	1.003973
18.3	1.002534	21.7	1.003206		

适用于空气密度 0.0012g/cm^3 、体膨胀系数 $15 \times 10^{-6}\text{C}^{-1}$ 量器的 $K(t)$ 值表

水温/ $^{\circ}\text{C}$	$K(t) / (\text{cm}^3/\text{g})$	水温/ $^{\circ}\text{C}$	$K(t) / (\text{cm}^3/\text{g})$	水温/ $^{\circ}\text{C}$	$K(t) / (\text{cm}^3/\text{g})$
15.0	1.002030	18.4	1.002560	21.8	1.003219
15.1	1.002043	18.5	1.002578	21.9	1.003240
15.2	1.002057	18.6	1.002596	22.0	1.003261
15.3	1.002071	18.7	1.002613	22.1	1.003283
15.4	1.002085	18.8	1.002631	22.2	1.003304
15.5	1.002099	18.9	1.002649	22.3	1.003326
15.6	1.002114	19.0	1.002667	22.4	1.003347
15.7	1.002128	19.1	1.002686	22.5	1.003369
15.8	1.002143	19.2	1.002704	22.6	1.003391
15.9	1.002157	19.3	1.002723	22.7	1.003413
16.0	1.002172	19.4	1.002741	22.8	1.003435
16.1	1.002187	19.5	1.002760	22.9	1.003458
16.2	1.002202	19.6	1.002779	23.0	1.003480
16.3	1.002217	19.7	1.002797	23.1	1.003502
16.4	1.002232	19.8	1.002816	23.2	1.003525
16.5	1.002247	19.9	1.002836	23.3	1.003547
16.6	1.002263	20.0	1.002855	23.4	1.003570
16.7	1.002278	20.1	1.002874	23.5	1.003593
16.8	1.002294	20.2	1.002893	23.6	1.003616
16.9	1.002310	20.3	1.002913	23.7	1.003639
17.0	1.002326	20.4	1.002933	23.8	1.003662
17.1	1.002342	20.5	1.002952	23.9	1.003685
17.2	1.002358	20.6	1.002972	24.0	1.003709
17.3	1.002374	20.7	1.002992	24.1	1.003732
17.4	1.002391	20.8	1.003012	24.2	1.003756
17.5	1.002407	20.9	1.003032	24.3	1.003779
17.6	1.002424	21.0	1.003053	24.4	1.003803
17.7	1.002440	21.1	1.003073	24.5	1.003827
17.8	1.002457	21.2	1.003094	24.6	1.003851
17.9	1.002474	21.3	1.003114	24.7	1.003875
18.0	1.002491	21.4	1.003135	24.8	1.003899
18.1	1.002508	21.5	1.003156	24.9	1.003923
18.2	1.002525	21.6	1.003177	25.0	1.003947
18.3	1.002543	21.7	1.003198		

附录F

确定弯月面的方法

弯月面是指气体量管内的液体与空气之间的界面。调定方法：透明液体弯月面的最低点应与刻线上缘水平面相切，操作者的视线应与刻度线上边缘在同一水平面（见图5）。适当的光线可使弯月面暗淡且轮廓清晰，为此，可在弯月面所处位置的背面衬以白色背景并遮去杂光。同时，可在刻度线或环形标志线所在平面的下方放置一条黑色或蓝色的纸带，或者用一段切开的黑色厚橡皮管套在气体量管的管壁上（切开的尺寸适当，以使橡皮管能够牢牢地箍在管壁上）作为遮光带使用。

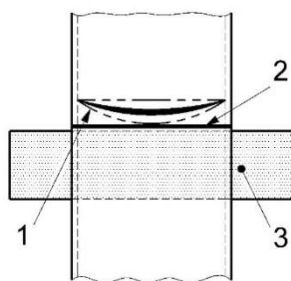


图 5 透明液体弯月面观察图

注 1 为弯月面

注 2 为刻度线或环形标志线

注 3 为深色纸带或黑色橡皮管