

# 定量灌装机检定操作及结果的不确定度评定

□湖南省计量检测研究院 莫渝 王赛 郭宇 罗检民 胡姣姣

**【摘要】**本文主要阐述了定重式灌装机和定容式灌装机用容量比较法和称重法进行计量检定的具体操作步骤，分析了在操作过程中应该重点关注的技术要求，给出了检验人员对不同类型的定量灌装机进行计量检定的作业指导，并对以称重法开展定容式灌装机计量检定时其测量结果的不确定度进行了评定。

**【关键词】**定量灌装机；容量比较法；称重法；测量不确定度评定

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2024）10-0023-05

## 引言

随着我国市场经济的高速发展，人们的品质生活水平也在日益提高，定量包装商品的需求量也越来越多，随之而来的国家对定量包装商品净含量计量的技术要求也越来越严格。随着工业自动化水平的提升，食品、药品、化工等行业生产的定量包装商品的智能灌装都由定量灌装机完成，定量灌装机的计量检定工作就显得尤为重要。从理论上来说，定量灌装机的准确度等级和计量检定合格率越高，那么它灌装出来的定量包装商品的净含量计量合格水平也就越高，所以定量灌装机的计量检定工作就显得尤为重要。

定量灌装机广泛应用在酒类、粮食加工品、药品、油漆涂料、食用油、奶制品、化学制剂等产品的生产环节，其各项计量性能都必须满足JJG687-2008《液态物料定量灌装机》（以下简称检定规程）的相关技术要求。接下来笔者就定重式灌装机和定容式灌装机用容量比较法和称重法进行计量检定的具体操作进行详细地阐述，并对以称重法开展定容式灌装机计量检定时其测量结果的不确定度进行了评定，其他不同方法和不同类型的定量灌装机计量检测结果的不确定度评定可以参照进行。<sup>[1,2]</sup>

## 1 定容式灌装机

定容式灌装机主要指的是以容量为计量单位进行定量灌装的灌装机。定容式灌装机因受液体流

量、介质温度、气泡产品等因素的影响，准确度等级较定重式灌装机在一定程度上略低，其最大允许误差一般为 $\pm 1.0\%$ 、 $\pm 2.0\%$ 、 $\pm 3.0\%$ 、 $\pm 5.0\%$ 。笔者所在单位从事定量包装商品净含量计量检验工作和定量灌装机计量检定工作多年，实际上大部分定容式灌装机的准确度等级一般会定在 $\pm 1.0\%$ 、 $\pm 2.0\%$ ，笔者通过用大量检测数据对比，发现定容式灌装机准确度等级过低会导致部分灌装出来的定量包装商品净含量计量检验不合格，尤其是对介质温度密度变化较大的定量包装商品显得尤为突出。

### 1.1 容量比较法

我们一般采用的是检定规程上附录A的容量比较法的方法二进行定容式灌装机的计量检定，但需要注意的是，如涉及仲裁检定时，必须采用检定规程上容量比较法进行检定。

第一步我们先在检定用的原始记录上记录被检单位的相关信息、被检灌装机的相关设备信息、检验环境等相关信息，再按照检定规程的外观技术要求对灌装机的外观符合性进行检查，然后根据被检定量灌装机的标称灌装量 $V$ 选择合适量程的灌装机标准玻璃量器。如果灌装头比较多时，可以适当多准备一只标准玻璃量器，能够显著提高检定的工作效率。确定好检定用的标准玻璃量器后，应根据被检灌装机的最大允许误差和标称灌装量 $V$ 计算出计量检定用的标定刻线以及其上下允许误差刻线并做好标

记，这一步是非常关键的，直接影响到后续所有操作的正确性。

第二步进行实际灌装量的检定，为了减少挂壁带来的测量误差，应先将实际灌装液体倒入标准玻璃量器的标定刻线上方，静置数秒后全部倒出，当液体呈滴状时应继续保持动作30s后，放置实验台上备用。然后将三倍于灌装头的盛装容器逐一编号完毕，放置在被检灌装机的生产线上进行正常灌装作业，灌装完成后将盛装容器取下来并按编号顺序依次将盛装容器内的介质倒入准备好的标准玻璃量器内，静置数秒后读取液面示值并记录，该示值即为实际灌装量 $V_i$ 。这里应该注意的是，检验人员读数时视线应尽量与标准玻璃量器的液面平行，同时视线还应尽量去靠近液面的弯月面下缘，尽量减少人员读数引入的测量误差。还应注意的是，为了尽量减少介质温度变化带来的测量误差，保证检定量值获取的准确性，在灌装作业时的液体温度应该提前测量，并与液面读数时测量的液体温度进行比较，温差不得超过 $5^{\circ}\text{C}$ 。

第三步进行灌装量合格的判定，读取完标准玻璃量器液面的示值后，还应记录液面是否在上下允许误差刻线以内。如果液面超出了上下允许误差刻线之间，即判定该实际灌装量不合格，应调整一下灌装头上的调节装置，再重新进入到第二步的计量检定。

第四步进行检验数据的处理，根据按编号依次记录的实际灌装量 $V_i$ 取值和标称灌装量 $V$ 按照公式

(1) 计算出灌装量的相对误差 $E$ :

$$E = \frac{V - V_i}{V_i} \times 100\% \quad (1)$$

式中： $E$ ——灌装量的相对误差；

$V_i$ ——盛装容器内的液体实际容量，ml；

$V$ ——灌装量的标称值，ml。

再将相对误差 $E$ 计算结果逐一与被检灌装机的最大允许误差进行比较，得到实际灌装量检定合格总件数 $N$ ，并与实际检定时灌装的总件数 $N_z$ 按照公式(2)进行计算，得到实际的灌装量合格率 $\eta$ 。当灌装量合格率 $\eta$ 为100%时，即判定该被检灌装机检定合格。

$$\eta = \frac{N}{N_z} \times 100\% \quad (2)$$

式中： $\eta$ ——灌装量的合格率；

$N$ ——检定时灌装量合格总件数 $N$ ；

$N_z$ ——检定时灌装总件数 $N_z$ 。

## 1.2 称重法

第一步我们先在检定用的原始记录上记录被检单位的相关信息、被检灌装机的相关设备信息、检验环境等相关信息，再按照检定规程的外观技术要求对灌装机的外观符合性进行检查，然后根据被检定量灌装机的标称灌装量 $V$ 选择合适量程的电子天平等标准器，并将三倍于灌装头的盛装容器逐一编号完毕放置在被检灌装机的生产线上进行正常灌装作业。灌装完成后将盛装容器取下来并按编号顺序逐一用电子天平称量，得到并依次记录总重数据 $m_{is}$ 。称量时需用温度测量仪器记录液体温度 $t$ ，这里需要注意的是，在灌装作业时的液体温度也应该提前测量，并与称重时液体温度 $t$ 进行比较，温差不得超过 $5^{\circ}\text{C}$ 。然后再倒干净盛装容器内的所有液体并静置15s以上后进行称量，得到并依次记录皮重数据 $m_{ik}$ ，最后用总重 $m_{is}$ —皮重 $m_{ik}$ 得到最终的盛装容器的实际液体质量 $m_i$ 。

第二步进行液体密度检验，一般我们选用的是DMA4500系列的台式液体密度计进行密度测定，必要时重复测定3次，取其算术平均值作为最终的液体平均密度 $\bar{\rho}$ 。

第三步进行检验数据的处理，用前面得到的实际液体质量 $m_i$ 、液体平均密度 $\bar{\rho}$ 和液体温度 $t$ 按照公式(3)计算得出实际灌装量 $V_i$ 。

$$V_i = m_i / \bar{\rho} \times [1 + \beta(20 - t)] \quad (3)$$

式中： $V_i$ ——盛装容器内的液体实际容量，ml；

$m_i$ ——盛装容器内的液体质量，g；

$\bar{\rho}$ ——液体的平均密度，g/ml；

$\beta$ ——灌装机的体胀系数， $1/^{\circ}\text{C}$ ；

$t$ ——灌装机检定时液体的温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

再根据按编号依次记录的实际灌装量 $V_i$ 取值和标称灌装量 $V$ 按照公式(1)计算出灌装量的相对误差 $E$ ，最后将相对误差 $E$ 计算结果逐一与被检灌装机的最大允许误差进行比较，得到实际灌装量检定合格总件数 $N$ ，并与实际检定时灌装的总件数 $N_z$ 按照公式(2)进行计算，得到实际的灌装量合格率 $\eta$ ，当灌装量合格率 $\eta$ 为100%时，即判定该被检灌装机检定合格。

合格。<sup>[3,4]</sup>

## 2 定重式灌装机

定重式灌装机主要指的是以质量为计量单位进行定量灌装的灌装机。

定重式灌装机的灌装量因不太受外界因素的影响，准确度等级较定容式灌装机在一定程度上略高，其最大允许误差一般为 $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1.0\%$ 、 $\pm 2.0\%$ 、 $\pm 3.0\%$ 、 $\pm 5.0\%$ ，实际上大部分定重式灌装机的准确度等级一般会定在 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1.0\%$ ，准确度等级过高会导致灌装机计量检定不合格，准确度等级过低又会导致部分灌装出来的定量包装商品净含量计量检验不合格。

第一步我们先在检定用的原始记录上记录被检单位的相关信息、被检灌装机的相关设备信息、检验环境等相关信息，再按照检定规程的外观技术要求对灌装机的外观符合性进行检查，然后根据被检定量灌装机的标称灌装量 $m$ 选择合适量程的电子天平标准器，并将三倍于灌装头的盛装容器逐一编号完毕放置在被检灌装机的生产线上进行正常灌装作业。灌装完成后将盛装容器取下来并按编号顺序逐一用电子天平称量，得到并依次记录总重数据 $m_{is}$ ，然后再倒干净盛装容器内的所有介质后进行称量，得到并依次记录皮重数据 $m_{ik}$ ，最后用总重 $m_{is}$ -皮重 $m_{ik}$ 得到最终的盛装容器介质的实际质量 $m_i$ 。

第二步进行检验数据的处理，用前面得到的实际液体质量 $m_i$ 和标称灌装量 $m$ 按照公式（4）计算出灌装量的相对误差 $E$ ：

$$E = \frac{m - m_i}{m_i} \times 100\% \quad (4)$$

式中： $E$ ——灌装质量的相对误差；

$m_i$ ——盛装容器内的介质实际质量，g；

$m$ ——灌装质量的标称值，g。

最后将相对误差 $E$ 计算结果逐一与被检灌装机的最大允许误差进行比较，得到实际灌装量检定合格总件数 $N$ ，并与实际检定时灌装的总件数 $N_z$ 按照公式（2）进行计算，得到实际的灌装量合格率 $\eta$ 。当灌装量合格率 $\eta$ 为100%时，即判定该被检灌装机检定合格。<sup>[5,6]</sup>

## 3 定容式灌装机计量检定（称重法）结果的不确定度评定

本评定方法主要对以称重法开展定容式灌装机计量检定时其测量结果的不确定度进行了评定，定容式灌装机（容量比较法）和定重式灌装机计量检测结果的不确定度评定也可以参照本方法进行。

### 3.1 测量过程

将三倍于灌装头的盛装容器逐一编号后灌装作业，灌装完成后将盛装容器取下来并进行称量，得到并依次记录总重数据 $m_{is}$ ，然后再倒干净盛装容器内的所有液体后进行称量得到皮重数据 $m_{ik}$ ，最后用总重 $m_{is}$ -皮重 $m_{ik}$ 得到最终的盛装容器的实际液体质量 $m_i$ ，进行液体密度检验后根据公式（3）得到最终的实际灌装量 $V_i$ 。

### 3.2 数学（测量）模型

$$V_i = m_i / \bar{\rho} \times [1 + \beta (20 - t)] \quad (3)$$

式中： $V_i$ ——盛装容器内的液体实际容量，ml；

$m_i$ ——盛装容器内的液体质量，g；

$\bar{\rho}$ ——液体的平均密度，g/ml；

$\beta$ ——灌装机的体胀系数， $1/^\circ\text{C}$ ；

$t$ ——灌装机检定时液体的温度， $^\circ\text{C}$ 。

### 3.3 方差及灵敏系数

$$[\mu_{c(V_i)}]^2 = C_1^2 [\mu_{(m_i)}]^2 + C_2^2 [\mu_{(\bar{\rho})}]^2 + C_3^2 [\mu_{(t)}]^2$$

$$\text{灵敏系数 } C_1 = \bar{\rho}^{(-1)} \times [1 + \beta (20 - t)]$$

$$C_2 = -\bar{\rho}^{(-2)} \times m_i \times [1 + \beta (20 - t)]$$

$$C_3 = -\bar{\rho}^{(-1)} \times m_i \times \beta$$

本评定方法以常见的标称灌装量为500ml白酒最大允许误差为 $\pm 3.0\%$ 和8L矿泉水最大允许误差为 $\pm 1.0\%$ 的定容式定量灌装机的计量检定为例，其他介质和标称灌装量值的测量不确定度可参照本方法进行评定。

500ml白酒：用电子天平称重得到的 $m_{is}$ 为669.7g， $m_{ik}$ 为196.1g，得到 $m_i$ 为669.7-196.1=473.6g；台式液体密度计测量得到的平均密度为0.936 g/ml；实测灌装机检定时介质温度为25.2 $^\circ\text{C}$ ；已知该被检灌装机的体膨胀系数为 $50 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

8L矿泉水：用电子天平称重得到的 $m_{is}$ 为8129.9g， $m_{ik}$ 为143.6g，得出 $m_i$ 为8129.9-143.6=7986.3g；台式液体密度计测量得到的平均密度为0.998 g/ml；实测灌装机检定时介质温度为18.1 $^\circ\text{C}$ ；已知该被检灌装机的体膨胀系数为 $50 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

可得出： $C_{1\text{白酒}} = (1/0.936) \times [1 + 50 \times 10^{-6} \times (20 -$

25.2) ]=1.068

$$C_{2\text{白酒}} = - (1/0.936)^2 \times 473.6 \times [1+50 \times 10^{-6} \times (20-25.2)] = -540.439$$

$$C_{3\text{白酒}} = - (1/0.936) \times 473.6 \times 50 \times 10^{-6} = -0.022$$

$$C_{1\text{矿泉水}} = (1/0.998) \times [1+50 \times 10^{-6} \times (20-18.1)] = 1.002$$

$$C_{2\text{矿泉水}} = - (1/0.998)^2 \times 7986.3 \times [1+50 \times 10^{-6} \times (20-18.1)] = -8019.103$$

$$C_{3\text{矿泉水}} = - (1/0.998) \times 7986.3 \times 50 \times 10^{-6} = -0.400$$

### 3.4 影响量（输入量）的标准不确定度评定

3.4.1 输入量 $m_i$ 引起的标准不确定度 $\mu_{(m_i)}$ 主要来源于测量重复性引入的不确定度、电子天平的分辨率引入的不确定度。<sup>[7]</sup>

3.4.1.1 测量重复性引入的不确定度 $\mu_{(m_{i1})}$ ，采用不确定度A类评定。

被检灌装机标称灌装量为500ml时随机抽取一个已编号的盛装容器对其液体实际质量 $m_i$ 重复测量10次得到的测量数据见表1。

表1 标称灌装量为500ml时测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测得值/g	473.4	473.4	473.5	473.5	473.5	473.6	473.6	473.6	473.5	473.5

用贝塞尔公式计算其单次实验标准差为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.067g$$

可得出  $\mu_{(m_{i1})} = s = 0.067g$

被检灌装机标称灌装量为8L时也随机抽取一个已编号的盛装容器内液体实际质量 $m_i$ 重复测量10次得到的测量数据见表2。

表2 标称灌装量为8L时测量数据

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测得值/g	7986.3	7986.5	7986.4	7986.2	7986.2	7986.1	7986.2	7986.2	7986.3	7986.3

用贝塞尔公式计算其单次实验标准差为:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.12g$$

可得出  $\mu_{(m_{i1})} = s = 0.12g$

3.4.1.2 电子天平分辨率引入的不确定度分量 $\mu_{(m_{i2})}$ ，采用不确定度B类评定。

被检灌装机标称灌装量为500ml时：笔者选用的称重计量标准器为奥豪斯最大量程为8100g的电子天平CAV8101，其最小分辨率为0.1g，得到 $a = \frac{1}{2} \times 0.1g = 0.05g$ ，取值 $k = \sqrt{3}$ ，计算得出 $\mu_{(m_{i2})} = a/k = 0.05/\sqrt{3} = 0.029g$ 。

被检灌装机标称灌装量为8L时：笔者选用的称重计量标准器为sartorius最大量程为35kg电子天平PMA35001和CAV8101，电子天平PMA35001其最小分辨率为0.1g，得到 $a = \frac{1}{2} \times 0.1g = 0.05g$ ，取值 $k = \sqrt{3}$ ，计算得出 $\mu_{(m_{i2})} = a/k = 0.05/\sqrt{3} = 0.029g$ ；CAV8101其最

小分辨率为0.1g，得到 $a = \frac{1}{2} \times 0.1g = 0.05g$ ，取值 $k = \sqrt{3}$ ，计算得出 $\mu_{(m_{i2})} = a/k = 0.05/\sqrt{3} = 0.029g$ ，合成两个标准不确定度得到 $\mu_{(m_{i22})} = 0.041g$ 。<sup>[8]</sup>

3.4.1.3 输入量 $m_i$ 的标准不确定度合成：

被检灌装机标称灌装量为500ml时：

$$\mu_{(m_i)}^2 = \mu_{(m_{i1})}^2 + \mu_{(m_{i2})}^2 = 0.0672 + 0.0292 = 0.00533$$

$$\mu_{(m_i)} = \sqrt{0.00533} = 0.073g$$

被检灌装机标称灌装量为8L时：

$$\mu_{(m_i)}^2 = \mu_{(m_{i1})}^2 + \mu_{(m_{i2})}^2 = 0.122 + 0.0412 = 0.015241$$

$$\mu_{(m_i)} = \sqrt{0.015241} = 0.13g$$

3.4.2 输入量 $\bar{\rho}$ 引起的标准不确定度 $\mu_{(\bar{\rho})}$ ，采用不确定度B类评定。

笔者选用的测定密度标准器为安东帕DMA4500M台式液体密度计，溯源到国家基准检定证书上给出的扩展不确定度为 $U(\bar{\rho}) = 0.00008g/ml$ ， $k=2$ ，得出标准不确定度 $\mu_{(\bar{\rho})} = U(\bar{\rho})/k = 0.00004g/cm^3$

3.4.3 输入量 $t$ 引起的标准不确定度 $\mu_{(t)}$ ，采用

不确定度B类评定。

笔者选用的是天津今明仪器的数字温度计JM624,其分辨率为0.1℃,得到 $a=1/2 \times 0.1 \text{℃}=0.05 \text{℃}$ ,

取 $k=\sqrt{3}$ ,  $\mu_{(t)}=a/k=0.05/\sqrt{3}=0.029 \text{℃}$

3.4.4 标准不确定度的汇总表如下:

被检灌装机标称灌装量为500ml时:

输入量 $X_i$	估计值 $X_i$	标准不确定度 $\mu_{(x_i)}$	灵敏系数 $C_i$	不确定度分量 $\mu_i(y)$
$m_i$ $m_{i1}$ $m_{i2}$	473.6g	0.073g 0.067g 0.029g	1.068 ml/g	0.078ml
$\bar{\rho}$	0.936 g/cm <sup>3</sup>	0.00004g/cm <sup>3</sup>	-540.439ml <sup>2</sup> /g	-0.022ml
$t$	25.2℃	0.029℃	-0.022 ml/℃	-0.00064ml
$V_i$	505.9ml			0.081ml

被检灌装机标称灌装量为8L时:

输入量 $X_i$	估计值 $X_i$	标准不确定度 $\mu_{(x_i)}$	灵敏系数 $C_i$	不确定度分量 $\mu_i(y)$
$m_i$ $m_{i1}$ $m_{i2}$	7986.3g	0.13g 0.12g 0.041g	1.002 ml/g	0.13ml
$\bar{\rho}$	0.998 g/cm <sup>3</sup>	0.00004g/cm <sup>3</sup>	-8019.103 ml <sup>2</sup> /g	-0.32ml
$t$	18.1℃	0.029℃	-0.400 ml/℃	-0.012ml
$V_i$	8003.1ml			0.35ml

### 3.5 合成标准不确定度的评定

被检灌装机标称灌装量为500ml时:

$$[\mu_{c(V_i)}]^2 = C_1^2[\mu_{(m_i)}]^2 + C_2^2[\mu_{(\bar{\rho})}]^2 + C_3^2[\mu_{(t)}]^2 = 0.00657 \text{ml}^2$$

$$\mu_{c(V_i)} = \sqrt{0.00657} = 0.081 \text{ml}$$

被检灌装机标称灌装量为8L时:

$$[\mu_{c(V_i)}]^2 = C_1^2[\mu_{(m_i)}]^2 + C_2^2[\mu_{(\bar{\rho})}]^2 + C_3^2[\mu_{(t)}]^2 = 0.120 \text{ml}^2$$

$$\mu_{c(V_i)} = \sqrt{0.120} = 0.35 \text{ml}$$

### 3.6 扩展不确定度的评定

被检灌装机标称灌装量为500ml时:

取 $k=2$ , 得到 $U_{(V_i)} = k \times \mu_{c(V_i)} = 0.16 \text{ml}$

被检灌装机标称灌装量为8L时:

取 $k=2$ , 得到 $U_{(V_i)} = k \times \mu_{c(V_i)} = 0.70 \text{ml}$

### 3.7 测量不确定度结论

在被检灌装机标称灌装量为500ml时,介质密度为0.936 g/ml,介质检定温度为25.2℃条件下,扩展不确定度 $U = 0.16 \text{ml}$ ,  $k = 2$ 。

在被检灌装机标称灌装量为8L时,介质密度为0.998 g/ml,介质检定温度为18.1℃条件下,扩展不确定度 $U = 0.70 \text{ml}$ ,  $k = 2$ 。<sup>[9,10]</sup>

### 参考文献

[1] 赵晓强,卢娟.液态物料定量灌装机(定重式)测量不确定度评定[J].计量与测试技术,2006,33(5):2.

[2] 刘永东.灌装机测量不确定度评定和分析[J].山东工业技术,2017(21):1.

[3] 金龙学.液态物料定量灌装机灌装量误差测量结果的不确定度评定与应用[J].中国计量,2011(1):73-75.

[4] JJG 687—2008 液态物料定量灌装机检定规程[S].

[5] 顾方.液态物料定量灌装机(定重式)测量不确定度的评定[J].广东科技,2009(6):1.

[6] 廖星智,赵春梅.容量比较法与称重法在定容式灌装机检定中的应用及不确定度评定[J].中国计量,2021(6):5.

[7] 王琳,王赛,周顺焯等.基于密度温度变化表的定量包装商品灌装研究[J].计量科学与技术,2020.

[8] 朱以坤.液态物料定量灌装机的测量结果不确定度评定[J].计量与测试技术,2007,34(4):2.

[9] 中国计量科学研究院. JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示[S].北京:中国计量出版社,2001.

[10] 徐峰.液态物料定量灌装机灌装量设置与测量结果不确定度评定[J].衡器,2013,42(12):3.

### 作者简介

莫渝(1989—),女,本科,助理工程师,就职于湖南省计量检测研究院。主要研究方向为商品量、衡器计量。