# 自动移液工作站黏性液体移液方案

发布日期：2026 年 11 月 16 日
适用仪器：自动移液工作站（通用）


## 摘要

本方案针对黏性液体移液中挂壁、排液不完全、气泡夹带等问题引起的体积偏差，采用反向移液法，结合慢速吸排、预湿润与延时控制，提高黏性液体转移的准确性与重复性。该方法适用于药物制剂配制、疫苗佐剂与脂质纳米粒制备、高分子聚合物溶液转移及临床黏度样本前处理等场景。由于目前尚无黏性液体移液的专属限值，本方案参考 GB/T 41812-2022 自行设定内部验收指标，以称重法进行验证，容量偏倚控制在 ±5% 以内，可满足本场景的移液使用需求。上述结论仅适用于特定黏度范围和温度条件；仪器出厂性能仍以纯水正向移液检定为准。


## 1　应用背景

黏性液体是实验室中常见液体，如甘油及甘油水溶液（菌种冻存保护液、密度梯度介质、酶稳定剂）、PEG 溶液（PEG 沉淀、蛋白结晶、病毒浓缩）、血清与血浆、蛋白浓缩液、脂质纳米粒（LNP）混悬液等。该类液体流动缓慢、内壁挂壁严重，常规正向移液时吸头内壁残留与排液不完全引起明显的体积偏倚，且易夹带气泡、产生拉丝。反向移液时吸液体积大于分液体积，通过吸头内余量补偿挂壁损失，分液仅输出设定体积，多余残液排入废液位。本方案以 50%（w/w）甘油溶液（25℃）为例，介绍反向移液处理黏性液体的操作流程。

## 2　仪器与试剂

### 2.1　仪器与耗材

仪器：自动移液工作站；电子天平（分度值 0.01 g）。

耗材：200 μL 无裙边 PCR 板、96 孔 PCR 适配器、150 mL 平底储液槽、200 μL 吸头及吸头盒、废料槽等。

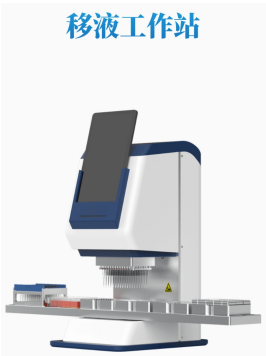



图 1　自动移液工作站

### 2.2　试剂

甘油（丙三醇）是一种无色、有甜味、强吸湿性的黏稠液体，可与水任意混溶。必须密封保存、避免敞口吸水稀释和污染。其黏度受浓度和温度影响极大，在 25 ℃条件下，动力黏度从约 0.893 mPa·s 到超过 934 mPa·s，这直接决定了不同浓度下的操作策略与移液精度。

表 1 不同质量分数的甘油信息（25℃条件下）

| 甘油质量分数 | 动力黏度 (mPa·s) | 密度 (g/mL) | 运动黏度 (mm²/s) | 典型应用场景 | 推荐操作建议 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0%（纯水） | ≈ 0.893 | 0.9970 | ≈ 0.89 | 对照、基础溶剂 | 常规移液 |
| 20% | ≈ 1.54 | 1.0452 | ≈ 1.47 | 常规生化试剂、润湿剂；菌种冻存 | 黏度开始偏离水，建议反向移液，吸排液后延时 |
| 40% | ≈ 3.18 | 1.0970 | ≈ 2.90 | 中等浓度缓冲液组分 | 反向移液；预湿润，吸排液延时 |
| 50% | ≈ 5.03 | 1.1237 | ≈ 4.48 | 甘油储备液 | 反向移液；排速度放慢，延时靠壁 |
| 60% | ≈ 8.81 | 1.1511 | ≈ 7.65 | 高浓度储备液、某些 PCR 体系添加剂 | 反向移液+宽口吸头 |
| 80% | ≈ 45.1 | 1.2055 | ≈ 37.4 | 黏度已进入“难以常规移取”的区间 | 正位移分液 |
| 100%（纯甘油） | ≈ 934 | 1.2581 | ≈ 742 | 纯甘油原液、特殊储存液 | 正位移分液或称重法 |

注：密度引自 [5]，黏度引自 [6]；25 ℃ 值均由原表 20/30 ℃ 两列插值，非实测值。运动黏度为 η/ρ 计算值。50% 甘油按质量比 1:1 配制，密度取文献值 1.1237 g/mL（±0.05%）。

## 3 实验方法

### 3.1 试剂配制

由于纯甘油在 25℃下黏度极高，使用量筒或移液器量取体积不准确且易产生气泡，推荐称重法配制。 将空烧杯放在天平上，去皮（清零），分别称取 165.74 g 纯甘油和 165.74 g 纯水，涡旋振荡器充分混匀后得到 50%（w/w）甘油溶液。

### 3.2 仪器初始化

仪器置于平稳台面，接通电源后启动“移液工作站”软件（图 2）。依次确认托盘无杂物→蓝牙连接→“开机”点亮模块→“校零”完成初始化，校零图标点亮后方可编程与运行。




图 2 移液工作站软件主界面

## 3.3 液体参数设置

液体参数：是针对不同物理特性的液体，定制专属的吸排液速度（1-8 档可选），以保证移液的精准度和稳定性。可通过“添加”功能，录入“甘油”并为其设定专属速度（当前设为 1，即最慢速）如图 3 所示。



（a）添加　　（b）参数设置　　（c）保存

**图 3　液体参数设置**

## 3.4 耗材库建立

进入“耗材库”核对参数（200 μL 吸头盒、150 mL 平底储液槽、200 μL 无裙边 PCR 板（带适配器）），已有直接选用，否则按实际尺寸点击“添加/编辑”（图 4）。【注意】模型参数（行、列、高度、深度等）必须与实物一致，否则可能造成吸头与孔板碰撞或插入深度错误。



**图 4　耗材修改参数（以 200 μL 无裙边 PCR 板（带适配器）为例）**

## 3.5 模板设置

进入“模板库”创建模板，添加耗材 A－吸头盒、B－储液槽、C-PCR 板（带适配器）、D－废料槽。按“装吸头→反向移液→卸吸头”三步添加。以整板转移每孔 50 μL 为例：A-1 位装载吸头→自 B-1 槽吸液并分液至 C-1 板→残液排入废料槽→返回 A-1 卸吸头。其中预润湿、延时时间（5s）、液体：甘油（1）等参数根据实验需求进行设置。核对无误后保存程序（图 5）。



（a）模板详情　　（b）参数设置　　（c）程序

**图 5　“甘油”模板设置**

### 3.6 程序执行与称重验证

选中模板点击“执行”（图 6），可随时“暂停”或“急停”。称重验证：将一块 PCR 板置于天平记录 $m_1$，程序结束后再称量得 $m_2$，按 4.1 节公式算实际转移体积与相对偏差。



图 6　模板程序执行过程示意图

## 4　结果与讨论

### 4.1 计算公式

理论转移体积：$V_{理论} = N \times V$（N 为孔数，V 为每孔设定体积）

实际转移体积：$V_{实际} = (m_2 - m_1)/\rho$

相对偏差：$\delta = (V_{实际} - V_{理论})/V_{理论} \times 100\%$

平均转移体积：$\bar{V} = (V_1 + V_2 + \ldots + V_i)/n$

标准差：$SD = \sqrt{[\Sigma(V_i - \bar{V})^2/(n-1)]}$

变异系数：$CV\% = (SD/\bar{V}) \times 100\%$

式中：$m_1$、$m_2$ 为转移前、后板质量，g；$\rho$ 为 25℃ 下 50% 甘油水溶液的密度，推荐取 1.1237 g/mL；$V_i$ 为第 i 次实际转移体积，mL；n 为重复次数；$\bar{V}$ 为平均转移体积，mL。

### 4.2 测试结果

实验仅在 25℃ 条件下，采用反向移液法对 50%（w/w）甘油完成整板 96 孔转移（分别转移 20 μL、50 μL、200 μL/孔），汇总数据如下：

表 2 不同体积点整板转移测试结果汇总（n=6）

| 测试体积 | 理论体积 | 平均转移体积 $\bar{V}$ | 偏差范围 | SD(mL) | CV% |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 μL/孔 | 1.92 mL | 2.00 mL | +2.90% ~ +4.75% | 0.01 | 0.61 |
| 50 μL/孔 | 4.80 mL | 4.90 mL | +1.60% ~ +2.71% | 0.02 | 0.38 |
| 200 μL/孔 | 19.20 mL | 19.40 mL | +0.90% ~ +1.23% | 0.03 | 0.13 |

### 4.3 结果分析

以液温稳定在 25 ℃且甘油未发生明显吸湿为前提，采用反向移液法对 50%（w/w）甘油进行 20 μL、50 μL 和 200 μL 三个体积点的整板转移，测定并按甘油密度（$\rho \approx 1.1237$ g/mL）换算。结果显示，三档体积的相对偏差 $\delta$均 < 5%；变异系数 CV%均 ≤ 1%，且随单孔转移体积增大，准确度与精密度同步提升，20 μL/孔偏差相对偏大但仍在可接受范围内。证明该反向移液参数体系在 20~200 μL 范围内具备良好的普适性与稳定性。

自动化液体处理标准的移液误差限值以纯水为基准介质，不宜直接套用于高黏度、强吸湿的甘油体系，本方法验证的精度不等同于纯水正向移液的标称性能。±5% 容量偏倚为方法开发的内部验收阈值，不属法规或国标强制要求。环境温度波动（甘油黏度温度系数约 −6%/℃）、试剂吸湿、液面下降、吸头批次差异均会显著影响准确度，更换实验条件时需重新确认方法。

## 5 方案特点与优势

### 5.1 反向移液方法优势

采用预留体积补偿液膜方案，将挂壁液膜转化为固定补偿比例，分液体积不受黏度影响；预湿润排除气泡，吸液后延时再提离液面，避免活塞已复位而液体尚未填满，导致负偏差或吸入空气柱。分液后延时等待液膜回流，配合靠壁排出，减少内壁与端面残留。

### 5.2 仪器设备优势

参数精细可调：吸排速度、预湿润、延时、插入深度、靠壁等参数独立可设并支持模板化保存，降低人工调档的批间偏差，保证实验高复现性。废液路径独立，残留液体不回流定向排入废料槽，避免稀释储液槽中的液体并改变其黏度。执行过程支持暂停与急停，出现吸空、气柱等异常时可及时终止。平板可拆下外置使用，灵活操作与生物安全兼备。

### 5.3 关键操作要点

严格控温：环境与试剂液温均需稳定在 (25 ± 1) ℃，平衡至少 30 min（3 ℃ 波动即带来近 20% 的黏度变化）。

严防吸湿：甘油吸水会持续拉低黏度，跨批实验前务必更换新瓶或测定水分。

预湿润：黏稠体系中气泡极难排出，预湿润步骤不可省略。

防吸空与残留：液面下降慢，插入深度需留足余量防吸空；配合“靠壁+延时+预留”解决端面挂滴。

## 6 结论

本方案基于自动移液工作站的反向移液功能及定制化慢速吸排参数，建立了甘油向 96 孔板转移的标准化流程。结果表明该方法在黏度条件下的准确度与精密度满足要求。以甘油物性为起点，将吸排液速度、预湿润、吸排液后延时逐项对应为可设置的参数，使挂壁残留与吸液滞后这两类原本难以控制的问题变得可预期；再配合全程控温，具有编程简便、适应性强、重复性好、废液可控等特点，可推广至菌种冻存保护液、PEG 溶液、血清、蛋白浓缩液等黏性液体的自动化移液场景。

## 7 免责声明

本方案为实验室特定条件下的测试示例，仅作技术参考，不构成产品性能承诺。目前尚无针对黏性液体反向移液的法定精度限值；该验收指标仅为本方法开发内部预设，非产品出厂指标；仪器出厂性能以纯水介质检定为准。实际准确度受耗材、温度、湿度、试剂状态、操作与设备维护等多重因素影响，用户应自行完成方法学确认。本方案不可替代仪器官方说明书，设备最终性能以出厂检验报告为准。甘油属可燃液体，请遵守实验室安全管理规范。

## 8 参考文献

[1] 《自动移液工作站使用说明书》（V2.0.0）

[2] GB/T 41812—2022 自动移液工作站性能检测通则[S].

[3] JJG 646—2006 移液器检定规程[S].

[4] ISO 8655-10:2024 Piston-operated volumetric apparatus—Part 10: User guidance, and requirements for competence, training, and POVA suitability[S].

[5] Bosart L W, Snoddy A O. Specific gravity of glycerol[J]. Industrial and Engineering Chemistry, 1928, 20(12): 1377-1379. DOI: 10.1021/ie50228a032.

[6] Segur J B, Oberstar H E. Viscosity of glycerol and its aqueous solutions[J]. Industrial and Engineering Chemistry, 1951, 43(9): 2117-2121. DOI: 10.1021/ie50501a040.

山东恒美电子科技有限公司 应用研究部