借温度传感器探究蒸馏装置温度计水银球位置

尚荣荣
（北京一〇一中学，北京 100091）

摘　要：针对“蒸馏装置温度计水银球应置于何处”这一教学难点，引入温度传感器，采集蒸馏过程中烧瓶内不同区域的动态温度曲线。对比分析表明：液相区受溶液浓度变化及过热现象影响，温度显著高于沸点且不稳定；气液共存区因热对流与相变扰动，温度呈现明显波动；唯有支管口区温度保持恒定，精准对应馏出组分的沸点。该结果从热力学角度为“温度计水银球应与蒸馏烧瓶支管口下沿平齐”这一核心操作规范提供了直观、定量的实证支撑。

关键词：温度传感器；蒸馏装置；温度计；水银球；探究；位置
DOI：10.19935/j.cnki.1004-2326.2026.09.021
引用格式：尚荣荣.借温度传感器探究蒸馏装置温度计水银球位置[J].实验教学与仪器，2026，43(09)：86-89.

《高中化学课程标准（2017年版2020年修订）》要求学生能根据物质性质的差异选择物质分离的实验方法，掌握蒸馏等实验基础知识与基本技能[1]。人教版初中教材以及高中各版本教材均涉及蒸馏操作，虽在具体应用实例上有所差异（表1），但所使用的蒸馏装置结构一致。在蒸馏装置中，温度计水银球的位置应与蒸馏烧瓶支管口相平，这是确保蒸馏操作成功的关键点。

表1　现行人教版不同学段教材中蒸馏应用实例

学段	应用实例
初三	实验室用的蒸馏水是净化程度较高的水，可以通过蒸馏自来水制取[2]
高一	石油是由多种碳氢化合物组成的混合物，成分复杂，需要先在炼油厂进行精炼。利用石油中各组分沸点的不同进行分离的过程叫作分馏[3]
高二	在甲烷与氯气发生取代反应得到的液态混合物中，含有二氯甲烷（沸点40 ℃）、三氯甲烷（沸点62 ℃）和四氯化碳（沸点77 ℃），而分离提纯它们的方法就是蒸馏法[4]

在蒸馏操作的实际教学中，学生对于温度计水银球的位置为何要放在支管口附近存在很大困惑。然而该问题对应的背景知识复杂，不属于中学教学内容，不适合在中学阶段给学生讲解相应的理论知识，故解决学生困惑的最优方法是提供可靠的实验证据。

查阅相关文献发现：吴孙富等[5]测量了蒸馏烧瓶中液体沸腾时各位置的温度，得出了“温度计的水银球与蒸馏烧瓶支管口相平”的结论，但该研究中选取的液体均为纯净物，这与实际分离提纯对象均为混合物不一致，且在该研究中各位置的温度非常接近，这与真实情境中蒸馏操作用于分离液态混合物的情况存在明显差异；杨天夏等[6]测量了液面下方、液面上方、支管口的温度，结果显示水银球下端与支管口下沿对齐、水银球上端与支管口下沿对齐时温度有差异，且后者更接近沸点温度。但是在其实验数据中，靠近液面的温度与沸点也非常接近，不免产生“温度计水银球为何不放在液面上方”的困惑，且该文并未对此实验现象作进一步的分析。

针对以上问题，笔者增加混合物体系进行实验，借助温度传感器监测整个实验过程中3个典型位置（液体中、液面上方、支管口）的温度变化，获取3个位置的温度变化曲线，直观展现温度计水银球放置在支管口附近的必要性，为中学化学蒸馏实验教学提供创新性的解决方案。

1　蒸馏装置中温度计位置的实验探究

1.1　实验仪器与试剂

（1）实验仪器：三口烧瓶、蒸馏头、3支温度传感器（精度0.1 ℃，可连接电脑实时记录温度数据）、铁架台、酒精灯、石棉网、冷凝管、牛角管、锥形瓶。蒸馏装置见图1。

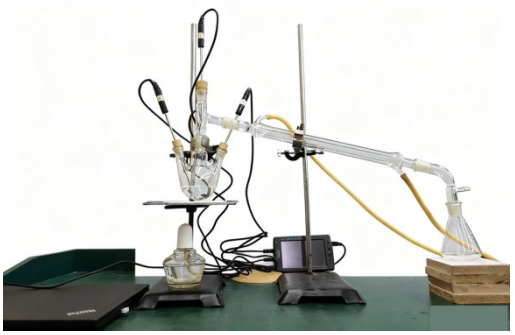


图1　利用温度传感器探究不同位置温度变化的蒸馏装置

3支温度传感器的序号与测量温度所在位置的对应关系见图2。温度传感器1测量液面上方约2 cm处的温度;温度传感器2测量液体中的温度;温度传感器3测量支管口的温度。

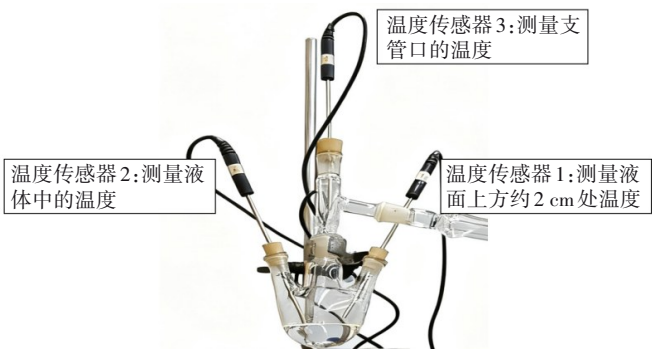


图2 三口烧瓶中温度传感器与测量温度所在位置

(2)试剂选择(构建三级实验体系):①纯水作为对照组;②0.5 mol/L氯化钠溶液模拟简单混合物;③甘油(40%)-乙醇(50%)-水(10%)复配体系模拟多组分分馏场景。这一选择的好处是,可以通过沸点差异(甘油290 ℃、乙醇78.5 ℃、水100 ℃)构建典型分馏梯度。

1.2 实验步骤

(1)按照图2所示搭建蒸馏装置。

(2)向三口烧瓶中加入液体试剂和几粒碎瓷片。注意:液体试剂不要超过三口蒸馏烧瓶容积的2/3。

(3)开启温度传感器,将其与电脑连接,确保数据能实时传输和记录。

(4)接通冷凝水,点燃酒精灯,开始加热,采集不同位置的温度传感器数据,并通过电脑获取温度随时间的变化曲线。

(5)待液体试剂沸腾后,需要控制加热温度,保持馏出速率为每秒1~2滴,收集各阶段馏分。

(6)更换液体试剂,重复上述步骤。

1.3 实验结果分析

(1)加热液体试剂的实验现象和所得曲线。

【实验Ⅰ】加热蒸馏水时各位置的温度变化。

加热蒸馏水,温度传感器在3个不同位置的温度变化曲线见图3。过程描述如下:刚开始加热,温度传感器1、温度传感器2示数迅速上升。当温度传感器2显示100 ℃时,瓶中液体开始沸腾,温度传感器3示数迅速上升,升至100.2 ℃时基本保持不变,此时温度传感器2显示101.3 ℃。

【实验Ⅱ】加热混合液1(氯化钠溶液)时各位置的温度变化。

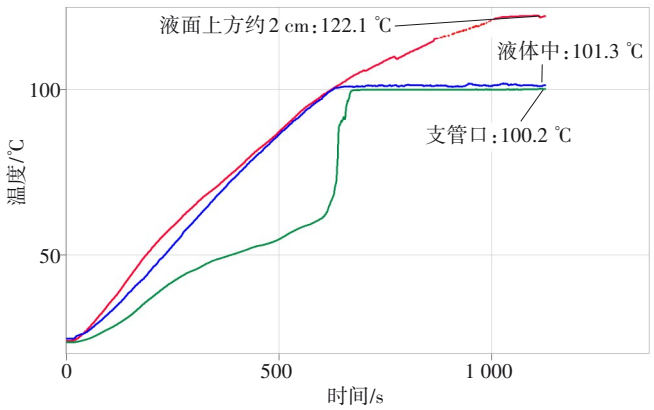


图3 加热蒸馏水时烧瓶中各位置的温度变化曲线

加热混合液1,温度传感器在3个不同位置的温度变化曲线见图4。过程描述如下:刚开始加热,温度传感器1、温度传感器2示数迅速上升,且温度传感器2上升得更快。当温度传感器2显示100 ℃时,瓶中液体开始沸腾,温度传感器3的示数迅速上升,升至100.0 ℃时基本保持不变,此时温度传感器2显示104.2 ℃。

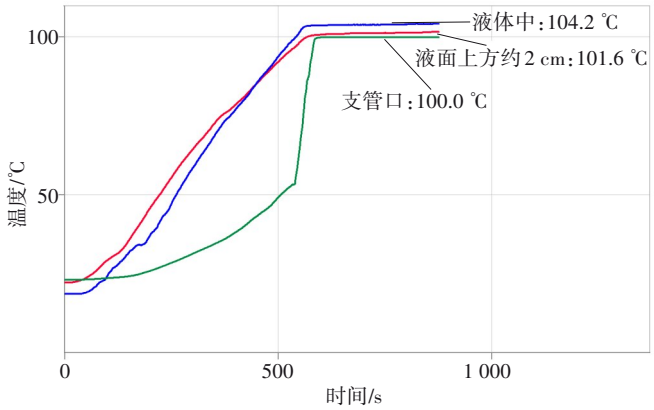


图4 加热混合液1时烧瓶中各位置的温度变化曲线

【实验Ⅲ】加热混合液2[甘油、无水乙醇、水混合液(体积比约为5:10:1)]时各位置的温度变化。

加热混合液2,温度传感器在3个不同位置的温度变化曲线见图5。过程描述如下:刚开始加热,温度传感器1、温度传感器2的示数迅速上升,且温度传感器2上升得更快。液体开始沸腾时,温度传感器3温度快速上升至78.8 ℃,并稳定一段时间,此时不断有馏分馏出;197 2 s开始出现第二沸腾阶段,温度传感器3显示在100 ℃左右,而温度传感器1和温度传感器2的温度明显高于温度传感器3。

(2)实验数据分析。

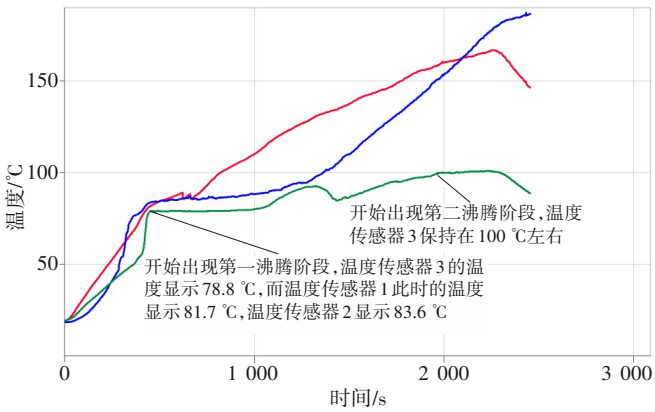


图 5　加热混合液 2 时烧瓶中各位置的温度变化曲线

①纯水体系：温度传感器 3 在沸腾阶段稳定于(100.2±0.1) ℃，温度传感器 2 显示过热现象，温度传感器 1 受上升蒸气影响，温度呈现明显波动。

②混合体系 1(氯化钠溶液)：在沸腾阶段，温度传感器 3 稳定在(100.0±0.2) ℃，温度传感器 2 因沸点升高效应显示 104.2 ℃。

③混合体系 2(甘油-乙醇-水复配体系)：第一阶段，温度传感器 3 稳定于乙醇沸点(78.8±0.3) ℃；第二阶段，跃迁至水沸点(100.2±0.2) ℃。待水蒸出后，因温度尚未达到甘油的沸点(290 ℃)，无蒸汽进入支管口附近，此时温度传感器 3 的示数明显下降。

(3) 实验结论。

①只有将温度计水银球置于支管口附近，才能准确反映馏出物的沸点温度。

②液面上方约 2 cm 处的温度变化幅度大且不稳定，与蒸出馏分的沸点差异较大。

③液体内部温度随组分变化而明显波动，同样与馏出物沸点存在较大偏差。因此，上述两处均不适宜作为温度计水银球的放置位置。

2　理论分析——液体平衡的相平衡本质

沸点是指液体的蒸气压与外界大气压相等时的温度。当液体沸腾时，液相转化为气相，达到动态相平衡，饱和蒸气压(P_{sat})等于外界气压($P_{外}$)，此时的温度 T 即为沸点。根据克拉珀龙方程 $\frac{d\ln p}{dT}=\frac{\Delta H_{vap}}{RT^2}$(其中，$\Delta H_{vap}$ 为汽化热，R 为常数)可知，同一物质在不同压强下的沸点不同。液体沸腾后，烧瓶中不同位置温度不同的原因分析如下。

(1) 液面下——温度高于沸点。

①原因 1：液面下，沸腾时气泡内的压力($P_{气泡}$)大于外界压力，$P_{气泡}=P_{外}+\Delta P$(ΔP 为气泡曲面的附加压力，$\Delta P=2\sigma/r$，σ 为表面张力，r 为气泡半径)，蒸气压与温度成正比，因此液面下的温度高于沸点，液体过热。

②原因 2：若为溶液而不是纯溶剂，根据拉乌尔定律可知，溶液的蒸气压低于纯溶剂的蒸气压，而溶液的沸点仍然是蒸气压等于外界大气压时的温度，所以溶液就比纯溶剂的沸点高，如图 6 所示。

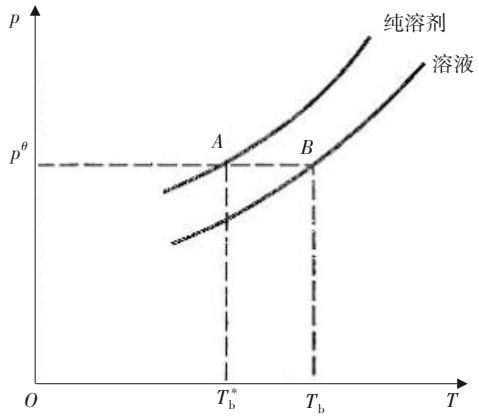


图 6　溶液的沸点上升[7]

③关系为：$T_b-T^*_b=K_b\cdot m$(T_b 是溶液的沸点，T^*_b 为纯溶剂的沸点，K_b 为沸点上升常数，m 为质量摩尔浓度)。

(2) 液面上方——温度不稳定。

蒸气离开液面后，不再受液体内部气泡附加压力或溶质的影响，其温度仅由自身蒸气压与外界压力的平衡决定。液面上方接近液面处，气泡破裂，气体逸出，此时的气体温度高于沸点，同时存在加热热源的干扰，使得温度并不稳定，这一点在上述实验所得曲线中均有体现。

(3) 支管口——温度与沸点一致。

随着蒸气上升，因远离底部热源且与环境发生热交换，温度略有下降；当蒸气抵达支管口时，液体的饱和蒸气压与外界气压相等，此时测得的温度即为该组分的沸点。

3　实验结果在教学中的应用

3.1　为蒸馏教学提供证据支持

基于上述实验结果，在利用蒸馏装置的教学中，教师可引导学生依据实验证据自主探究温度计水银球的合理位置，使其发现水银球应置于支管口附近，并通过对比不同位置的温度差异，深入理解温度计位置对蒸馏操作的关键影响，进而体会蒸馏烧瓶支管设计的精妙之处。

3.2 理解分馏原理

在本实验中，加热混合液2[甘油、无水乙醇、水混合液(体积比约为5∶10∶1)]，会出现阶段性温度保持不变的现象，第一恒温阶段为78.8 ℃，第二恒温阶段为100 ℃，分别对应馏出物——乙醇和水，这就为后续理解分馏提供了证据支持。

3.3 判断不同实验目的下温度计的位置

通过本实验的探究，不仅有助于学生理解蒸馏与分馏操作中温度计水银球应置于蒸馏烧瓶支管口附近的原则，也能帮助他们认识到，当需要测量反应温度时(如实验室制备乙烯需控制温度在170 ℃)，温度计水银球则应浸入反应液中。实验目的不同，温度计的位置也随之变化。学生在应对不同情境下的温度计使用问题时，能够基于证据进行合理推理，而非机械记忆。

4 结论

以上实验通过温度传感技术明确了蒸馏实验中温度计水银球的位置应在支管口附近。支管口位置因处于气相传质稳定区，故可以准确反映馏出物相变温度。另外，笔者所设计的教学方案将抽象原理转化为可视证据，为发展学生的证据推理与模型认知素养提供了新范式。

笔者希望，在今后的中学化学教学中，广大教师应进一步推广应用先进的实验技术和工具，优化实验教学内容和方法，不断提高教学质量。

作者简介：尚荣荣(1983—)，女，高级教师，研究方向：中学化学教育教学，E-mail：wangzhijun0502@163.com。

参考文献

[1] 中华人民共和国教育部.普通高中化学课程标准(2017年版2020年修订)[S].北京：人民教育出版社，2020.
[2] 人民教育出版社，课程教材研究所，化学课程教材研究开发中心.义务教育教科书化学九年级上册[M].北京：人民教育出版社，2024.
[3] 人民教育出版社，课程教材研究所，化学课程教材研究开发中心.普通高中教科书化学必修第二册[M].北京：人民教育出版社，2019.
[4] 人民教育出版社，课程教材研究所，化学课程教材研究开发中心.普通高中教科书化学选择性必修3·有机化学基础[M].北京：人民教育出版社，2020.
[5] 吴孙富，陈国雄.蒸馏烧瓶中上下温度存在差异的原因探析[J].化学教学，2015(07)：66-68.
[6] 杨天夏，杨广斌.蒸馏中温度计位置对测定结果影响的探究[J].化学教与学，2019(02)：96-97.
[7] 北京师范大学，华中师范大学，南京师范大学.无机化学上册[M].第4版.北京：高等教育出版社，2002.

(上接第85页)

4 注意事项

(1) 从尿不湿中分离SAP材料时须细致操作，避免颗粒洒落。单块尿不湿中可收集的SAP材料有限，建议使用2~3块尿不湿。

(2) 饱和KCl溶液相较于纯水，凝固所需SAP材料的用量更多，凝固时间也更长(约需2 min)。可适当增加SAP材料用量以加快凝固，待溶液完全凝固后方可使用，以防漏出。

(3) 本实验仅从材料来源、操作简便性、制备速度及趣味性等方面与琼脂盐桥进行了初步比较，尚未涉及导电性能的定量对比，这是今后进一步探究的课题之一。

基金项目：湖南省教育学会“十四五”教育科研课题“高中化学实验校本课程的开发与研究”，编号：A-723；第三届湖南省基础教育教学改革研究项目“基于核心素养的县域高中理科课堂教学评价研究”，编号：25JGYB0410。

作者简介：肖建均(1984—)，男，一级教师，研究方向：中学化学教育教学，E-mail：39398990@qq.com。

参考文献

[1] 人民教育出版社，课程教材研究所，化学课程教材研究开发中心.普通高中教科书化学选择性必修1·化学反应原理[M].北京：人民教育出版社，2020.
[2] 人民教育出版社，课程教材研究所，化学课程教材研究开发中心.普通高中教科书化学选择性必修3·有机化学基础[M].北京：人民教育出版社，2020.
[3] 徐守兵，李惠娟.“尿不湿及其活性成分的探究”教学设计[J].化学教学，2010(07)：42-45.
[4] 罗鹏，谢巧兵.吸水后“尿不湿”的趣味实验[J].化学教育，2015，36(01)：67-69.
[5] 聂伟春，李永红.“尿不湿”材料用于“铁与水蒸气反应”实验最佳条件的探究[J].中小学实验与装备，2020，30(04)：39-42.
[6] 陆燕海，计丽.介绍一种盐桥制作的新方法[J].化学教学，2010(02)：11.
[7] 赵园园.自制“盐桥”：电化学实验教具[J].化学教与学，2016(02)：96，37.