



普通高等教育“十二五”规划教材
油气储运工程专业

油气储运工程实验

李小艳 主编

YOUQICHUYUN GONGCHENG SHIYAN



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十二五”规划教材·油气储运工程专业

油气储运工程实验

李小艳 主编



中国石化出版社

内 容 提 要

本书根据油气储运工程专业实验教学的要求,以培养理论联系实际的能力、分析解决相关工程问题的能力、提高科学实验的技能为目的,结合油气储运生产实际,综合《储运油料学》、《油库设计与管理》、《输油管道设计与管理》、《油气集输》、《腐蚀与防腐》、《燃气输配》等多门专业课程,编写了原油及其产品物性测量、燃气物性测量、油品储运工艺相关实验及燃气输配工艺相关实验4章,共24个实验项目,教育中可根据课程需要及实验学时数进行了选择。

本书可作为普通高等院校油气储运工程、石油工程技术、石油化工等相关专业的实验教材,也可供从事油料储运、科研、应用等工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气储运工程实验/李小艳主编. —北京:中国石化出版社,2014.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5114-2929-2

I. ①油… II. ①李… III. ①石油与天然气储运-实验-高等学校-教材 IV. ①TE8-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第160619号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

http://www.sinopec-press.com

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092毫米 16开本 7.25印张 160千字

2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

定价:19.00元



前 言

PREFACE

本书根据油气储运工程专业实验教学的要求，以培养理论联系实际的能力、分析解决相关工程问题的能力、提高科学实验的技能为目的，结合油气储运生产实际，综合《储运油料学》、《油库设计与管理》、《输油管道设计与管理》、《油气集输》、《腐蚀与防腐》、《燃气输配》等多门专业课程，编写了原油及其产品物性测量、燃气物性测量、油品储运工艺相关实验及燃气输配工艺相关实验4章，共24个实验项目，教学中可根据课程需要及实验学时数进行选择。

可作为普通高等院校油气储运工程、石油工程技术、石油化工等相关专业的实验教材，也可供从事油料储运、科研、应用等工作的人员参考。

本书在原有零散实验讲义的基础上，结合专业发展和实验室建设情况，通过查阅相关教材以及部分油气储运行业标准和手册，参考国内部分高校相关专业实验指导书的内容，在伍丽娟、顾晓婷、张瑞、张引弟等多位老师的参与下编写完成的，还要特别感谢宋建平和程远鹏老师给予本书的帮助和支持。由于作者水平有限，加之时间仓促，书中缺点和错误在所难免，望使用和参考中给予批评指正。



目 录

CONTENTS

第1章 原油及其产品物性测量实验	(1)
1.1 油品密度测量	(1)
1.1.1 实验目的	(1)
1.1.2 实验原理	(1)
1.1.3 实验装置	(2)
1.1.4 实验步骤	(2)
1.1.5 注意事项	(3)
1.1.6 实验数据记录及处理	(3)
1.1.7 思考题	(4)
1.2 油品凝点的测量	(4)
1.2.1 实验目的	(5)
1.2.2 实验原理	(5)
1.2.3 实验装置	(5)
1.2.4 实验步骤	(6)
1.2.5 实验数据记录	(6)
1.2.6 思考题	(7)
1.3 流变仪演示实验	(7)
1.3.1 实验目的	(7)
1.3.2 实验仪器	(7)
1.3.3 实验内容	(8)
1.4 含蜡原油流变性测量	(8)
1.4.1 实验目的	(8)
1.4.2 仪器介绍和测量原理	(8)
1.4.3 实验准备工作	(9)
1.4.4 实验内容及方法	(9)
1.4.5 实验报告要求	(10)
1.4.6 思考题	(11)
1.5 石油产品馏程测定法	(11)
1.5.1 实验目的	(12)
1.5.2 实验装置	(12)
1.5.3 实验步骤	(13)
1.5.4 注意事项	(15)

1.5.5	实验数据记录及处理	(15)
1.5.6	思考题	(16)
1.6	油品闪点、燃点的测量	(17)
1.6.1	实验目的	(17)
1.6.2	实验原理	(17)
1.6.3	实验仪器、材料	(17)
1.6.4	实验步骤	(17)
1.6.5	实验数据记录及精确度要求	(18)
第2章	燃气物性测量实验	(20)
2.1	燃气相对密度测定	(20)
2.1.1	实验目的	(20)
2.1.2	实验原理	(20)
2.1.3	注意事项	(21)
2.1.4	实验仪器	(21)
2.1.5	操作步骤	(22)
2.1.6	实验数据记录及处理	(22)
2.1.7	思考题	(23)
2.2	湿式气体流量计校正	(23)
2.2.1	实验目的	(23)
2.2.2	实验原理	(23)
2.2.3	操作步骤	(23)
2.2.4	实验数据记录及处理	(24)
2.3	燃气表流量校正	(25)
2.3.1	实验目的	(25)
2.3.2	实验原理	(25)
2.3.3	实验步骤	(26)
2.3.4	实验数据记录及处理	(26)
2.4	燃气热值测定	(27)
2.4.1	实验目的	(27)
2.4.2	实验原理	(27)
2.4.3	实验装置	(27)
2.4.4	实验步骤	(29)
2.4.5	实验数据记录及处理	(30)
2.4.6	思考题	(32)
2.5	长玻璃管中火焰传播演示实验	(32)
2.5.1	实验目的	(32)
2.5.2	实验原理及实验装置	(32)
2.5.3	实验步骤	(33)
2.5.4	思考题	(33)

2.6 燃气法向火焰传播速度测定	(33)
2.6.1 实验目的及要求	(33)
2.6.2 基本原理	(34)
2.6.3 实验装置	(34)
2.6.4 测试步骤	(35)
2.6.5 实验数据记录及处理	(36)
2.6.6 思考题	(37)
第3章 油品储运工艺相关实验	(38)
3.1 “极化曲线”法测量土壤的腐蚀性	(38)
3.1.1 实验目的	(38)
3.1.2 实验装置与原理	(38)
3.1.3 实验步骤	(39)
3.1.4 实验数据记录	(40)
3.1.5 思考题	(40)
3.2 阳极接地电阻和土壤电阻率的测量	(40)
3.2.1 实验目的	(41)
3.2.2 实验装置	(41)
3.2.3 实验原理	(41)
3.2.4 操作步骤	(42)
3.2.5 实验数据记录	(43)
3.2.6 思考题	(44)
3.3 等温输油管道模拟实验	(44)
3.3.1 实验目的	(44)
3.3.2 等温输油管路的实验原理	(44)
3.3.3 实验装置及流程	(45)
3.3.4 实验内容及步骤	(45)
3.3.5 实验数据记录及处理	(48)
3.3.6 思考题	(49)
3.4 长距离输油管道运行工况模拟	(49)
3.4.1 实验目的	(49)
3.4.2 实验设备	(50)
3.4.3 实验内容及步骤	(50)
3.4.4 实验报告要求	(50)
3.4.5 思考题	(50)
3.5 原油管道泵站及联合站工艺模拟	(50)
3.5.1 实验目的	(50)
3.5.2 实验设备	(50)
3.5.3 实验内容	(50)
3.6 气-液两相流动模拟实验	(51)

3.6.1	实验目的	(51)
3.6.2	实验装置及实验原理	(52)
3.6.3	实验步骤	(52)
3.6.4	实验注意事项	(54)
3.6.5	数据记录及实验报告要求	(54)
3.6.6	思考题	(55)
3.7	油库仿真教学系统	(55)
3.7.1	实验目的	(56)
3.7.2	实验设备	(56)
3.7.3	实验内容	(56)
3.7.4	思考题	(56)
3.8	油品“小呼吸”蒸发损耗模拟测量实验	(57)
3.8.1	实验目的	(57)
3.8.2	实验内容及原理	(57)
3.8.3	实验装置	(57)
3.8.4	实验步骤	(57)
3.8.5	实验数据记录及处理	(58)
3.8.6	思考题	(60)
第4章	燃气输配工艺相关实验	(61)
4.1	枝状燃气管网的水力工况	(61)
4.1.1	实验目的	(61)
4.1.2	实验装置	(61)
4.1.3	实验步骤	(61)
4.1.4	数据记录	(62)
4.1.5	实验报告要求	(62)
4.1.6	注意事项	(62)
4.2	输气管和调压器特性曲线	(63)
4.2.1	实验目的	(63)
4.2.2	实验线路介绍	(63)
4.2.3	实验原理	(64)
4.2.4	实验步骤	(65)
4.2.5	实验报告要求	(66)
4.2.6	实验预习要求	(66)
4.3	燃气管网水力工况和水力可靠性实验	(67)
4.3.1	实验目的	(67)
4.3.2	实验线路介绍	(67)
4.3.3	实验原理	(67)
4.3.4	实验步骤	(69)
4.3.5	实验报告要求	(69)



4.3.6	实验预习要求	(69)
4.4	天然气分配管道计算流量的确定	(70)
4.4.1	实验目的	(70)
4.4.2	实验线路介绍	(70)
4.4.3	实验原理	(70)
4.4.4	实验步骤	(71)
4.4.5	实验报告要求	(71)
4.4.6	实验预习要求	(72)
附 录		
附录一	LVDV - III + 型流变仪使用说明	(73)
附录二	燃气物性表	(76)
附录三	长距离输油管道仿真系统介绍及操作说明	(79)
附录四	油气集输、油库及原油管道泵站模拟系统介绍	(86)
附录五	小呼吸蒸发损耗实验装置使用说明	(100)
附录六	输气管和燃气管网装置介绍	(103)
参考文献	(106)

第1章 原油及其产品物性测量实验

原油及其产品的物性主要包括密度、凝点(倾点)、黏度(表观黏度)、流变性、蒸汽压、闪点、燃点、冷滤点、腐蚀性等,反映了其组成和结构特点,以及流动性、可燃性能等重要特征。它们是评价油品质量、分析油品性能的重要指标,是原油及其产品在生产、运输、储存、加工等各过程中的重要控制指标,也是原油加工装置、输送管道、储油库设计的基本依据。因此,为了储运系统的正常运作,作为油品储运从业者,必须掌握油品性质的相关知识和测试分析的基本技能。

由于原油及其产品属于复杂混合物,组成不定,某一物性实质反映的是组成它们的各种烃类或非烃类化合物的性质在某一方面的综合表现。因此,为了使不同油品的某一物性便于表征、比较和对照,油品物性往往采用一些条件性实验方法来确定,即采用规定的仪器,在规定条件、方法和步骤下进行测试,并由此衍生了一系列的实验方法标准,如国际标准(ISO)、国家标准(GB)、行业标准(SH、SY)及企业标准(QB)等,这些标准在不同范围内均具有法规性,并互相建立对应的换算关系,便于使用。本章将以上述标准为基础,结合油气储运专业特点,重点介绍在储运工作中常用的几类油品物性及其测量方法。

1.1 油品密度测量

油品密度是油品最普遍的特性,是一个最基本的质量指标,它可以和其他性质综合在一起大致判断石油的组成,它也是目前储运计量中的一个重要性质。单位体积内所含油品的质量,称为油品密度,用 ρ 表示,其单位为 g/cm^3 或 kg/m^3 。密度有视密度、标准密度、相对密度之分。

由于油品随温度变化而改变其体积,密度也随之发生变化,因此油品密度的测定结果必需注明测定温度,用 ρ_t 表示温度 $t^\circ\text{C}$ 时油品的密度。我国规定油品 20°C 时的密度作为石油产品的标准密度,表示为 ρ_{20} 。

1.1.1 实验目的

- (1)了解密度计法测量油品密度的方法及原理;
- (2)实测几种常用油品的密度。

1.1.2 实验原理

油品密度的实验室测量有密度计法和比重瓶法。

密度计法以阿基米德定律为基础,当密度计沉入液体时,排开一部分液体,受到向上的浮力,当自重等于浮力时,密度计飘浮于液体石油产品中。

比重瓶法是根据密度的定义,测定比重瓶内油品的质量和容积的比值。在 20°C 时,先

称量空比重瓶，再称量用蒸馏水充满至标线的比重瓶，求得瓶内水的质量——“水值”，再除以水的密度得到比重瓶的容积，然后将被测石油产品充满至标线求得其质量，由此即可求出油品的密度。

密度计法简单方便，一般用于生产现场和质量检验；比重瓶法精密度高，多用于科学研究中。本实验是采用密度计法来测定油品的密度。

将试油处理至合适的温度并转移到与试油温度大致一样的密度计量筒中。再把合适的密度计垂直地放入试油中并让其稳定，等其温度达到平衡状态后，读取密度计刻度的读数并记下试油的温度。在实验温度下测得的密度计读数，用《石油密度换算表》（见 GB/T 1885—1998）或者计算法换算到 20℃ 时的密度。

1.1.3 实验装置

(1) 石油密度计一盒：应使用符合《石油密度计技术条件》(SY 3301) 规定的 SY - I 型或 SY - II 型石油密度计，或者《石油密度计技术条件》(SH/T 0316) 规定的 SY - 02 型、SY - 05 或 SY - 10 型石油密度计。各支石油密度计的规格性能见表 1 - 1。

表 1 - 1 石油密度计的规格性能及读数

标准	系列	测量范围/ (g/cm ³)	支数	分度值/ (g/cm ³)	最大刻度误差/ (g/cm ³)	读数及修正/(g/cm ³)	
						读数	修正值
SH/T 0316	SY - 02	0.60 ~ 1.10	25	0.0002	±0.0002	透明：下弯月面 直接读数 不透明：上弯月 面直接读数	+0.0003
	SY - 05		10	0.0005	±0.0003		+0.0007
	SY - 10		10	0.001	±0.0006		+0.0014
SY 3301	SY - I	0.65 ~ 1.01	9	0.0005	±0.0005	上弯月面直接读数	
	SY - II		6	0.001	±0.001		

(2) 玻璃量筒：内径不少于 40mm，高度不少于 300mm。

(3) 温度计：0 ~ 50℃，分度值为 0.1℃。

(4) 恒温浴：当试油性质要求在高于或低于室温下测定时，应使用恒温浴，使试油温度变化稳定在 ±0.25℃ 以内，以避免温度变化过大而影响测定结果。

1.1.4 实验步骤

(1) 熟悉装置，掌握工作原理、实验过程和各项操作要点。

(2) 选用适当密度范围的石油密度计。

(3) 将试油小心地沿量筒壁倾入量筒中，量筒应放在没有气流的地方，并保持平稳，以免生成气泡。当试油表面有气泡聚集时，可用一片清洁滤纸除去气泡。

(4) 将选好的清洁、干燥的密度计小心地放入试油中，注意液面以上的密度计杆管浸湿不得超过两个最小分度值，因为杆体上多余的液体会影响读数。

注意：对低黏度试油，放开密度计时要轻轻地转动一下，以帮助它在离开石油密度计量

筒壁的地方静止下来自由地漂浮，应有充分的时间让石油密度计静止；对高黏度的试油，让全部空气泡升到表面，除去气泡，并应等待足够长的时间，使石油密度计静止，达到平衡。

(5)待密度计稳定后，根据所选密度计的系列，按照表1-1中的方法进行读数和修正，并记录数据。必须注意密度计不应与量筒壁接触。当采用SY-I型密度计读数时，眼睛要与弯月面的上缘成水平线进行读数，当采用SY-02型、SY-05型密度计读数时，对于透明液体眼睛要与弯月面的下缘成水平线进行读数；而对于不透明的液体眼睛要与弯月面的上缘成水平线进行读数，并按规定进行数值修正。

(6)将温度计小心地放入试油中，测量试样的温度，注意温度计水银线要保持全浸，切勿使水银球触碰到量筒的边壁或底部。待稳定后读取温度值。

(7)将石油密度计稍稍提起，再轻轻放入试油中，待石油密度计静止后，立即用温度计小心地搅拌试油，注意温度计水银线要保持全浸。再读取并记录视密度和试油温度。两次视密度数值相差和两次试油温度之差应符合精密度要求，即要保证两次视密度差值在 0.0005g/mL (SY-I型、SY-05型为例)或 0.0002g/mL (SY-02型为例)以内，两次温度之差在 0.5°C 以内，否则重新测试。

(8)用同样的方法，测定并记录其他试油的视密度和试验温度。

(9)检查实验结果，待数据合理、正确后，结束实验，清理物品，恢复现场。

1.1.5 注意事项

(1)密度计选用时，首先应估计所测油品的密度值，选用预先擦拭干净的合适范围的密度计，并且要从小到大选用。

(2)在取用密度计时，为了尽量减少手指对密度计的污染，以及避免密度计上端细小部分折断，应先用一只手中指将密度计下端(粗端)轻轻拨向上方，使密度计上端(细端)离开盒内槽位，然后用另一只手轻轻拿住密度计上端，扶正，慢慢提起。严禁横拿。

(3)将密度计垂直浸入量筒的试油中时，应轻轻放入，直到密度计下端全部进入试油中，或手感到有点浮力后才可放手，以免因密度计选择不当，突然沉底而碰破。需使密度计自由漂浮在量筒中心。

(4)用过的密度计或温度计，应轻轻提起、待试油不再滴落时垂直浸入洗涤汽油中洗去试油，并且用轻汽油或石油醚自上而下淋洗一遍或者擦拭干净后，放回盒中。

(5)擦拭密度计时，应先一只手轻轻提起上端，再用另一只手轻轻拿住下端进行擦拭。

(6)对中挥发性但黏稠的试油(如原油)，应当在加热到试油具有足够流动性的最低温度下测定。使用恒温浴时，其液面要高于密度计量筒中试油的液面。

1.1.6 实验数据记录及处理

(1)请将实验测量数据记录在表1-2内。

(2)根据所测温度下的视密度数值，查GB/T 1885中的视密度换算表，并采用比例内插法求得 20°C 的密度，或查出温度系数 γ ，再由式(1-1)算出标准密度 ρ_{20} 。

(3)数据处理要求

测定两次的结果之差不大于 0.0005g/cm^3 ，取两次测定结果的平均值作为最终的测定结果。

表 1-2 油品密度测量实验数据记录表

石油密度计的规格型号：_____；量筒规格：_____ mL；
 温度计的测温范围：_____℃；最小刻度：_____℃；室温：_____℃。

试油名称		汽油	煤油	柴油
特征(状态、颜色、气味等)				
第一次	试油体积/mL			
	视密度 $\rho_t / (\text{g/cm}^3)$			
	试油温度/℃			
第二次	试油体积/mL			
	视密度 $\rho_t / (\text{g/cm}^3)$			
	试油温度/℃			

$$\rho_{20} = \rho_t + \gamma(t - 20) \quad (1-1)$$

式中 ρ_{20} ——液体石油产品 20℃ 时的密度， kg/m^3 ；
 ρ_t ——液体石油产品 t ℃ 时的密度， kg/m^3 ；
 γ ——液体石油产品密度温度系数， $(\text{kg/m}^3)/\text{℃}$ ；
 t ——测定温度，℃。

1.1.7 思考题

- (1) 测定油品的密度对生产和应用有何意义？
- (2) 如何测定黏稠石油产品的密度？
- (3) 用密度计来测定油品密度时，应遵循哪些原则？
- (4) 如何正确选用和取放密度计？测量时应如何正确读取密度计的数值？

1.2 油品凝点的测量

油品凝点是指在规定的实验条件下，被测油品刚刚失去流动性时的最高温度。

油品凝点的高低主要和馏分的轻重、化学组成有关。一般来说，馏分轻则凝点低，馏分重则凝点高。对于含蜡油品来说，凝点可作为估计石蜡含量的间接指标，油品含蜡量越多则凝点越高。凝点还可以作为一些油品的牌号，如冷冻机油、变压器油、轻柴油等，以作为低温选用油品的依据，保证油品正常运输、机器正常运转。

油品的凝点是原油、石油产品的一个非常重要的质量指标，它反映了油品的低温使用性能和低温流动性，直接影响油料的输送、储存和使用条件。测定油品的凝点有如下的意义：

- ① 估计石蜡含量。对于含蜡油品来说，凝点在某种程度上作为估计石蜡含量的指标。油品中石蜡含量越多，越易凝固，凝点就越高。如在油品中加入 0.1% 的石蜡，凝点约升高 9.5 ~ 13℃；如从油品中除去部分石蜡，则凝点可降低。
- ② 判断使用温度。柴油的牌号是以凝点表示的。如：0 号柴油，即其凝点不高于 0℃。根据环境温度选用适当牌号的柴油时，应保证

凝点低于环境温度 $5 \sim 7^{\circ}\text{C}$ ，但有预热设备时，也可不受凝点的限制。柴油凝点和浊点指标应因地制宜，按使用地区的环境规定，我国夏季都可用 0 号和 10 号柴油，冬季南方用 0 号和 -10 号，北方用 -10 号、 -20 号、 -35 号或 -50 号。一般润滑油在凝点前 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 时黏度已显著增大，所以润滑油的使用温度必须比凝点高 $6 \sim 10^{\circ}\text{C}$ ，否则启动时会产生干摩擦。

③通过凝点的测定，可以判断油品的低温使用性能及提出改进油品低温流动性的措施（如深度脱蜡、添加改进剂等）。

本实验采用《石油产品凝点测定法》(GB/T 510)来测定柴油的凝点。

1.2.1 实验目的

- (1)掌握油品凝点的测量方法；
- (2)测定一种油品的凝点。

1.2.2 实验原理

将试油装入规定的试管中，通过指定设备进行冷却，观察试油的颜色、透明度、流动性等变化情况，来判断和确定试油的凝点。将试管倾斜 45° 一分钟，试管内液面不流动时的最高温度定为试油的凝点。

1.2.3 实验装置

(1)石油产品凝固点测定器：采用全封闭式压缩机制冷（环保制冷剂，制冷速度快），使用微电脑控制器，有 PID 功能，数字显示温度（测试时连续显示）；控温精度为室温 $- (40 \pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ ，工作单元采用双孔独立操作。

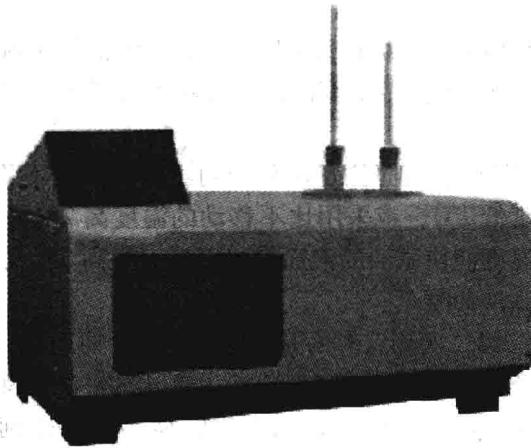


图 1-1 石油产品凝固点测定器

- (2)标准试管（带有环形刻线）和相应套管。
- (3)水银温度计： $-30 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ， $-60 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ， $0 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 的全浸式凝点温度计。
- (4)恒温水浴： $0 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ，可温控。
- (5)工业酒精、无水乙醇、0 号/ -10 号柴油、软木塞等。

1.2.4 实验步骤

(1) 熟悉装置, 了解测量原理和过程, 掌握测量设备和实验器械的操作和使用方法。

(2) 检查石油产品凝固点测定器, 打开电源并确认设备正常启动, 设定工作温度, 开机降温。

(3) 先将试油经静置、脱水、过滤, 注入到干燥、清洁的试管中, 使液面满到环形标线处。用软木塞将温度计固定在试管中央, 使水银球距管底 8 ~ 10mm。

(4) 将装有试油和温度计的试管, 垂直地浸在 $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的水浴中, 直至试油的温度达到 $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$ 为止。

(5) 从水浴中取出装有试油和温度计的试管, 擦干外壁, 将试管牢固地装在预先放有少许无水乙醇的套管中, 垂直地固定在支架上, 在室温冷却到 $(35 \pm 5)^\circ\text{C}$ 为止。然后将这套仪器放入凝点测定器中。观察此时的测定器温度、试油温度以及试油性状, 并做好记录。

(6) 继续冷却, 从第一次观察温度开始, 每降低 3°C , 都应将试管从套管中取出, 尽量倾斜(但不能摇动或搅动试油), 观察试油是否透明、出现混浊、出现结晶、能否流动等现象, 记录实验数据, 放回试管。从取出试管到放回套管中的全部操作不应超过 3s。

(7) 当试管倾斜而试油不流动时, 立刻将试管置于水平状态 5s, 观察试油表面是否移动。记录实验现象。

(8) 当试油达到倾点*以后, 继续冷却, 降低 3°C 后, 将浸没在冷却剂中的试管倾斜 45° , 并将这样的倾斜状态保持 1min, 然后, 从冷却剂中小心取出试管, 迅速地用工业乙醇擦拭套管外壁, 垂直放置观察试管里面的液体是否有过移动的迹象。

(9) ①当液面位置有移动时, 从套管中取出试管, 将试管重新预热至试油达 $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$, 然后用比上次试验温度低 4°C 或其他更低的温度重新进行测定, 直至某试验温度能使液面位置停止移动为止。

②当液面的位置没有移动时, 从套管中取出试管, 将试管重新预热至试油达 $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$, 然后用比上次试验温度高 4°C 或其他更高的温度重新进行测定, 直到某试验温度能使液面位置有了移动为止。

(10) 找出凝点的温度范围(液面位置从移动到不移动或从不移动到移动的温度范围)之后, 就采用比移动的温度低 2°C , 或采用比不移动的温度高 2°C , 重新进行试验。如此重复试验, 直至确定某试验温度能使试油的液面停留不动而提高 2°C 又能使液面移动时, 就取使液面不动的温度, 作为试油的凝点。

(11) 进行重复测定。第二次测定时的开始试验温度, 要比第一次所测出的凝点高 2°C 。

(12) 凝点测出后, 再继续降低温度 $5 \sim 10^\circ\text{C}$, 使试油完全凝固, 然后从冷浴中取出装样试管放在空气中缓慢冷却, 观察实验现象并记录试油从凝固状态到开始融化、能够流动和结晶完全消失的最低温度和状态变化。

(13) 结束实验, 仪器复位, 清理物品, 恢复现场。

1.2.5 实验数据记录

请将实验测量的数据记录在表 1-3 内。

注:* 倾点是指油品在规定的试验条件下, 被冷却的试样能够流动的最低温度。

表 1-3 油品凝点测量实验数据记录表

实验设备名称: _____; 型号: _____; 仪器编号: _____;

试油名称: _____; 室温: _____℃。

序 号	冷却器温度/℃	试油温度/℃	试油性状		
			颜色	透明程度	流动情况
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

1.2.6 思考题

- (1) 什么是油品的凝点?
- (2) 柴油有哪些主要性能指标? 我国轻柴油的牌号是如何划分的, 共有几种牌号?
- (3) 试述凝点对油品质量的影响。

1.3 流变仪演示实验

随着社会的发展, 生产和生活中需要各类流变性质不同的物料。为了测定物料的流变性质, 制造和发展了各类流变仪, 各类流变仪的结构都是促使物料作简单的剪切运动, 以求得力与流动(变形)的相互响应。

1.3.1 实验目的

- (1) 认识各类流变仪的结构和特点;
- (2) 加深理解各类流变仪的测量原理。

1.3.2 实验仪器

(1) 旋转式流变仪

①同轴圆筒旋转流变仪: 这种流变仪的使用最为广泛, 它又可分为外筒旋转内筒固定的 Couette 型和内筒旋转外筒固定的 Searle 型, 一般 Couette 型用于测量低黏度流体。Searle 型比较容易控制测定温度, 但需控制旋转速度, 避免测低黏度液体时形成紊流。我国目前常用的 Rheotest-2 和 Rheomat135 都是 Searle 型的, Rotoviseo-RV100 是 Couette 型的。

②锥板旋转流变仪: 有锥旋或是板旋转之分, 这种仪器适用于测量呈现非牛顿性质的、

比较贵重的物料，它所用试油量很少。我国目前尚未用于原油流变性的测量。

③便携式流变仪：这种流变仪适用于现场的快速测量，但测量精度较低，如 Brookfield 系列、Rheomat-108。Rheomat-108 不仅能直接读出物料的黏度值，还可显示物料的温度、选用的剪速档和对应的扭矩值。

旋转式流变仪都是以使被测物料形成层流为基础，建立剪切应力和剪切速率的相互关系。直接测量量是旋转角速度和扭矩，推求出对应的剪切率和剪切应力值，从而确定剪切率和剪切应力的相互关系。

(2)管式流变仪：是一种有效的测黏仪器，根据用途和测量范围的需要，制造出各种类型的管式黏度计。如玻璃毛细管黏度计，适用于测量牛顿液体的黏度；Hallikainen 变压毛细管流变仪、TR-1 枪式流变仪等可测非牛顿物料的流变性。我国多用自制的小型管路模型来测量研究非牛顿原油的流变性。它们都是以使物料在圆形管道中形成稳定的层流为基础的。直接测量量是压力和流量，推求出剪切应力和剪切率值，从而确定剪切应力与剪切率的相互关系。

(3)落球黏度计：是一种使用方便、测量精度较高、适用于测透明物料黏度的黏度计，它以特制的小球在被测物料中稳定地自由下落为基础。直接测量量是小球下落固定距离所需的时间，再推算出物料的动力黏度。

1.3.3 实验内容

由教师进行讲解及演示操作。

本次实验演示的流变仪是 LVDV-III+ 型流变仪。具体内容如下：

- (1)仪器简介，包括测量原理、功能、组成、操作说明及注意事项等(附录一)；
- (2)演示仪器的操作步骤。

1.4 含蜡原油流变性测量

原油是一种多组分烃类的复杂混合物。高温下蜡晶被溶解，沥青质高度分散，原油可视为假均匀流体，表现出牛顿流体特性；随着温度的降低、蜡晶的析出和长大，原油成为一种以液态烃为连续相、蜡颗粒和沥青质为分散相的细分散悬浮液，表现出非牛顿流体特性；油温更低时，蜡油连成网络，出现屈服现象，表现出更复杂的非牛顿流体特性。非牛顿原油的流变特性与热历史、剪切历史有关。用的实验方式测定特定条件下原油的流变性，是安全、经济地储存和运输原油的重要基础工作。

1.4.1 实验目的

- (1)掌握仪器的使用方法和原油流变性的测定方法；
- (2)验证在一定温度条件下原油的流变特性；
- (3)学会对实验结果的分析与处理方法。

1.4.2 仪器介绍和测量原理

本实验使用的是 LVDV-III+ 流变仪(为同轴圆筒旋转流变仪)，内筒旋转外筒固定，其