



TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

渗流物理实验

■ 李爱芬 主编

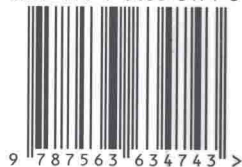


中国石油大学出版社

责任编辑：穆丽娜

封面设计：九夫设计

ISBN 978-7-5636-3474-3



定价：15.00元



TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

渗流物理实验

主 编 李爱芬

中国石油大学(华东)学术成果系列

石油工程系列教材
渗流物理实验

李爱芬 主编
中国石油大学(华东)出版

石油工程系列教材
渗流物理实验

李爱芬 主编
中国石油大学(华东)出版

石油工程系列教材
渗流物理实验

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

渗流物理实验/李爱芬主编.——东营:中国石油
大学出版社, 2011.4

ISBN 978-7-5636-3474-3

I. ①渗… II. ①李… III. ①渗流—物理学—实验—
高等学校—教材 IV. ①0357.3-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 067667 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名: 渗流物理实验

作 者: 李爱芬

责任编辑: 穆丽娜(电话 0532—86981531)

封面设计: 九天设计

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

印 刷 者: 沂南县汇丰印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86981532, 0546—8392563)

开 本: 180×235 印张: 9.5 字数: 197 千字

版 次: 2011 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 15.00 元

序 言

油藏岩石、流体和饱和多相流体的岩石的物性参数是油气田开发、油藏工程研究中重要的基础数据。油层物理实验是获取这些数据的主要手段。本教材是根据石油工程专业油层物理及渗流力学教学实验的需要编写的,实验方法参考了石油天然气行业标准及国内外相关教学内容。本教材介绍了测试各种岩石和流体参数的仪器的结构、测试原理及方法。实验内容以石油工程专业本科必修实验为主,同时对一些必需的准备实验及油田常用实验方法进行了介绍。本教材是石油工程专业本科生和研究生必备的实验教材,也是油田开发实验工作者的重要参考书。

本教材共分五章。

第一章 油层物理实验中的常用技术 主要介绍常规仪器的使用方法和实验准备知识,包括玻璃仪器的洗涤,汞的纯化,干燥箱、茂弗炉、粘土膨胀仪、电脱水仪等设备的使用方法及注意事项等。

第二章 储层流体物理性质的测定 主要介绍储层流体的物性参数的测定方法,包括天然气组成分析,原油密度、粘度及油水界面张力的测定,现场油气的取样及地层油高压物性的测定。

第三章 储层岩石物性参数的测定 主要介绍储层岩石基本物性参数的测定方法及原理,包括岩样的准备,孔隙度、流体饱和度、气体渗透率、比面、碳酸盐含量的测定及粒度组成的分析等。

第四章 储层岩石特殊物性参数的确定 主要介绍油藏岩石毛管力曲线、润湿性、相对渗透率曲线及储层敏感性评价的测定原理及方法。

第五章 流体渗流规律的模拟测试 主要介绍流体单向渗流、径向渗流模拟实验及水电模拟渗流实验。在上述实验的基础上,还可以设计更复杂的渗流及井网的渗流规律模拟实验。

教材中必做实验用*标出,其它实验作为本科生的选做实验和自行设计实验。

本教材以1984年洪世铎和孙士孝编写的校内印刷教材《油层物理实验》为基础,同

时考虑到 20 多年来设备的不断更新,因此对其内容进行了较大修改,并参考石油行业标准及国内外相关文献,博采众长,力求保证教材的先进性和科学性。

参与本教材编写的教师具有长期从事渗流物理理论教学实验研究及科研工作的丰富经验。其中,姚同玉编写了第一章第二、三节,第二章第四、六节,第四章第二、三节等;张俨斌编写了第一章第四、五、七、八节,第三章第七节等;张志英编写了第三章第三节;孙仁远编写了第二章第一节;郝永卯编写了第四章第一节;杜殿发、张建国和李明川编写了第五章一、二节;其它章节由李爱芬编写,全书由李爱芬统稿。中国石油大学(华东)石油工程学院实验中心的领导冯其红、赵修太等对本教材的出版给予了大力支持与帮助,研究生凡田友、谢昊君、王金杰等也参加了部分文字的校对、图件的绘制等工作,在此一并表示感谢。

由于编者水平和学识有限,书中难免存在不足之处,敬请广大师生和读者批评指正。

编 者

2011 年 1 月

目 录

第一章 油层物理实验中的常用技术	1
第一节 玻璃仪器的洗涤及干燥	1
第二节 汞的使用安全与纯化	3
第三节 大气压力计及温度计的使用方法	5
第四节 电热干燥箱与茂弗炉的原理及使用方法	9
第五节 电热蒸馏水仪的使用方法	13
第六节 气体钢瓶和减压阀	14
第七节 粘土膨胀仪的使用方法	16
第八节 原油电脱水仪	20
第二章 储层流体物理性质的测定	23
第一节 天然气组成分析	23
第二节 地面脱气原油密度的测定	33
第三节 地面脱气原油粘度的测定	36
第四节 液体表面张力及油水界面张力的测定	40
第五节 石油和天然气样品的准备	44
第六节 地层流体高压物性的测定*	49
第三章 储层岩石物性参数的测定	58
第一节 岩样的准备	58
第二节 储层岩石孔隙度的测定*	65
第三节 岩心流体饱和度的测定	68

第四节	岩石气体渗透率的测定	74
第五节	岩石比面的测定*	80
第六节	岩石碳酸盐含量的测定*	82
第七节	岩石粒度组成的分析	88
第四章	储层岩石特殊物性参数的测定	95
第一节	毛管力曲线的测定	95
第二节	岩石润湿性的测定	105
第三节	相对渗透率曲线的测定	110
第四节	储层敏感性评价	117
第五章	流体渗流规律的模拟测试	126
第一节	一维单相渗流模拟实验*	126
第二节	径向渗流模拟实验*	128
第三节	水电模拟渗流实验*	131
参考文献		145

第一章 油层物理实验中的常用技术

本章主要介绍油层物理实验中一些必需的准备工作及相关仪器的原理和使用方法,主要包括:玻璃仪器的洗涤、汞的使用安全、大气压力计的原理及使用方法、干燥箱与茂弗炉的使用方法、蒸馏水仪的使用方法、气瓶及减压阀的使用方法、粘土膨胀仪及电脱水仪的使用方法等。

第一节 玻璃仪器的洗涤及干燥

油层物理实验过程中会用到很多玻璃仪器及器皿。欲使实验数据准确,玻璃仪器及器皿的清洗和干燥是非常重要的,尤其在做一些表面性质的实验时,所用玻璃仪器的清洗效果是决定实验成败的关键。

一、洗涤

根据不同的实验要求和沾污情况,玻璃仪器有不同的洗涤方法。

(1) 若玻璃仪器附着的是尘土或可溶性物质,则只需将玻璃仪器先用自来水冲洗,然后用沾有去污粉的毛刷刷洗,再用自来水冲洗 2~3 次即可。这样洗过的玻璃仪器能完全被水润湿,若将水倒出后,则壁上只留下一层薄而均匀的水膜且没有水珠沾附其上。若实验允许自来水中的离子(如 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 等)存在,则这样清洗就可达到要求;若实验不允许自来水中的离子存在,则要进一步用蒸馏水清洗。

(2) 若要进行准确的实验,如表面张力实验、润湿性实验等,则对于那些即使少量存在也会影响实验准确性的杂质,以及一些用去污粉难以清洗的玻璃仪器(如毛细管、半渗透性隔板漏斗等)就需用洗液来洗涤。

洗液的配制方法很多,例如:① 将 100 g 浓硫酸加热,在不断搅拌的情况下加入 5 g 重铬酸钾固体,直至重铬酸钾全部溶解;② 在不断搅拌的情况下,将 1 L 浓硫酸缓慢加入到 35 mL 重铬酸钾的饱和溶液中。

由于洗液有很强的酸性和氧化性,所以腐蚀性很强,因此使用时要特别小心,不要溅到皮肤和衣服上。

用洗液洗涤玻璃仪器的步骤为:① 将洗液倒入玻璃仪器中,其量约为仪器总体积的 $1/5$;② 将仪器倾斜并缓慢转动仪器,使仪器内壁全部被洗液所润湿;③ 将洗液倒回洗液瓶中(若洗液已由深棕色变为绿色,则不需倒回洗液瓶);④ 用自来水将残留在玻璃仪器上的洗液洗去;⑤ 用蒸馏水洗涤仪器。

用洗液洗过的仪器壁同样不应沾附水珠。

若要提高洗液的洗涤效率,可将洗液加热到 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,将仪器用洗液浸泡 $10\sim 20\text{ min}$ 后取出,然后用自来水冲洗,再用蒸馏水洗涤。

(3) 若玻璃仪器上结有水垢(如在水浴中用过的试管、反应器、烧瓶等),则可先用浓盐酸洗涤,然后用水清洗。除水垢外,许多酸溶性物质(如二氧化锰等)也可用浓盐酸洗涤。

(4) 若玻璃仪器上沾有油脂类的物质,则可根据它们能被碱皂化的特点,先用热的氢氧化钠或碳酸钠溶液洗涤,然后用水清洗。

(5) 若玻璃仪器上沾有未固化的树脂类物质(如环氧树脂、酚醛树脂、脲醛树脂等),则根据它们可溶于低分子醇(如酒精)的特点,先用低分子醇洗涤,然后用水清洗。

(6) 若玻璃仪器上沾有油漆类物质,则可先用能溶解油漆的溶剂(如己酸乙脂、环己酮)溶解,然后进行洗涤。

(7) 盛过轻油品(如汽油、煤油、柴油)的玻璃容器,可先用去污粉干刷,然后用水冲洗,再用刷子沾些肥皂刷洗,最后用水冲洗干净。

若玻璃容器盛过含蜡原油、稠油、蜡或其它粘稠的油品(如机油),则应先将其加热(例如用热水),将油尽可能倒净,然后用汽油洗去沾在器壁上的油,再按清洗盛轻油容器的方法进行洗涤。

最后,需要强调的一点是,用任何方法洗净的玻璃仪器都不可用布或纸擦拭,因布或纸的纤维会留在器壁上,使仪器沾污。

二、干燥

洗净的玻璃仪器主要用两种方法干燥:吹干和烘干。

(1) 吹干。它是用吹风机将玻璃仪器吹干。一般的吹风机都可以吹冷风或热风(热风是使冷风通过烧热的电热丝得到)。

为了加速水的蒸发,可将用水洗净的玻璃仪器用少量的纯丙酮或无水乙醇涮洗一下,再用热风吹干。应当指出,并不是任何情况下都可用热风吹干玻璃仪器,例如当干燥带有刻度的计量玻璃仪器时就不能用热风(更不能用于下述烘干方法),否则会引起玻璃仪器的变形,从而影响仪器的准确度。

(2) 烘干。它是将洗净的玻璃仪器放在 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中进行烘烤,直至干燥。若非急需,玻璃仪器应等烘箱降温后再取出使用。

除烘箱外,还可利用红外线干燥箱烘烤玻璃仪器。红外线干燥箱的光源和热源是通过点燃红外线灯产生的。红外线灯泡固定在箱内的顶部,它的高度可由箱顶的螺丝调节。

当被烘的东西放在红外线灯的焦点时,它的受热量最大。使用红外线干燥箱时,首先将需要干燥的玻璃仪器放入箱内,调节箱顶螺帽,将红外线灯泡调至所需高度,然后关好箱门,插上电源,开启开关,点亮红外线灯,在红外线的烘烤下快速干燥玻璃仪器。

第二节 汞的使用安全与纯化

目前,汞(水银)在岩心实验中是不可缺少的工作介质。在油层物理实验中,测定不规则岩石外表体积、研究岩石孔隙结构的压汞毛管力曲线、气体渗透率及其它驱替实验使用的汞柱压差计等,都要使用大量的汞。因为汞是在不低于 $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时能保持液体状态的唯一金属。它对空气和其它试剂有相当好的稳定性。另外,汞具有很高的热膨胀系数,适于用来填充温度计。液体汞具有像金属一样的电导率,而且还有较好的流动性,这是它成为很多实验仪器所必需的物质的主要原因。

但汞具有毒性,深入了解汞的性质,正确使用汞,可给实验带来方便,同时可避免实验人员受到伤害。

一、汞的毒性

尽管有如此广泛的用途,但汞对人类健康却会造成严重的危险。一般情况下,汞中毒可分为急性与慢性两种。急性中毒多由高汞盐入口所致(如吞入 HgCl_2),通常 $0.1\sim 0.3\text{ g}$ 汞就可致死;慢性中毒是由汞蒸气引起的,其症状为食欲不振、恶心、大便秘结、贫血、骨骼和关节疼痛、神经系统衰弱等,引起以上症状的原因可能是汞离子与蛋白质发生反应,生成不溶物,因而妨害生理机能。

汞的汽化焓很低(59 kJ/mol),即使在沸点($357\text{ }^{\circ}\text{C}$)以下,其挥发性也很高,在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,一滴液体汞的挥发速率为 $5.8\text{ }\mu\text{g}/(\text{h}\cdot\text{cm}^2)$ 。汞在空气中的饱和含量为 13 mg/m^3 ,远远超过其安全限度(0.1 mg/m^3)。同样,汞齐也能产生汞蒸气,牙齿填充物中的汞齐释放的有毒蒸气会直接进入人体。汞的毒性是确定无疑的,有些国家已经采取措施,逐步在牙科中停止使用银汞齐填充物。

若在一个不通风的房间内,且汞直接暴露于空气中时,就有可能使空气中的汞蒸气超过安全浓度,所以必须严格遵守安全用汞的操作规定。

二、安全用汞的操作规定

(1) 汞不能直接暴露于空气中。在装有汞的容器中,应在汞面上加水或其它液体将其覆盖。

(2) 一切倒汞操作,不论量多少都应在浅瓷盘上进行(盘中装水)。在倾去汞上的水时,应先在瓷盘上把水倒入烧杯,然后把水由烧杯倒入水槽。

(3) 装有汞的仪器应一律置于浅瓷盘上,以使在操作过程中偶然洒出的汞滴不至于散落在桌上或地面上。

(4) 实验操作前应检查仪器安放处或仪器连接处是否牢固。橡皮管或塑料管的连接处一律用铜线缚牢,以免在实验时因脱落而使汞流出。

(5) 倾倒汞时一定要缓慢,不宜用超过 250 mL 的大烧杯盛汞,以免倾倒时溅出。

(6) 储存汞的容器必须是结实的厚壁玻璃器皿或瓷器,以免由于汞本身的重量而使容器破裂。如果用烧杯盛汞,则不得超过 30 mL。

(7) 万一有汞掉在地上、桌上或水槽等地方,可采用真空抽吸的方法收集。将水银收集捕集器(如图1-2-1所示)用橡皮管和真空泵相连,开动真空泵,将捕集器的尖嘴对准洒出的水银,可轻易地将洒出的水银收集起来;然后用能生成汞齐的金属片(如 Zn, Cu)在汞溅落处多次扫过;最后将硫黄粉覆盖在汞溅落的地方,并摩擦,使汞变为 HgS ,也可用 KMnO_4 溶液使汞氧化。有些金属溶解在汞中可生成汞齐。汞齐有多方面的用途,例如,钠汞齐代替金属钠用作还原剂,银汞齐(约含 50% Hg , 35% Ag , 13% Sn , 2% Cu)被牙科医生用作牙齿填充物。

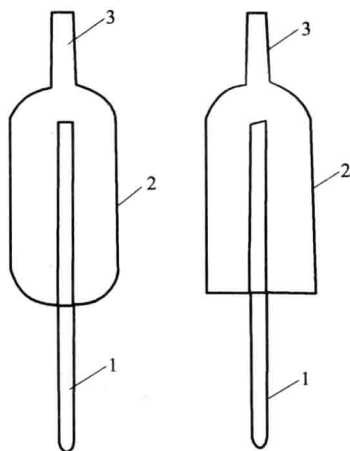


图 1-2-1 水银收集捕集器

1—尖嘴真空泵连接管;2—水银收集器;
3—橡皮管(真空泵连接管)

(8) 擦过汞齐或汞的滤纸或布块必须放在有水的瓷缸内。

(9) 装有汞的仪器应避免受热,汞保存处应远离热源,严禁将有汞的器具放入烘箱。

(10) 使用汞的实验室应有良好的通风设备(特别要有通风口在地面附近的下排风口),并最好与其它实验室分开,经常通风排气。

三、汞的纯化

汞中通常含有三类杂质:① 可过滤除去的固形物;② 溶于汞的贱金属,它们氧化后常使汞表面蒙上一层灰色氧化物;③ 溶于汞的贵金属。第三类杂质只能用蒸馏法使之与汞分离,但通常它们对汞的使用不产生严重危害,因而只需除去前两类杂质即可满足一般实验要求。

通常可用直径为 3~4 cm、长约 1 m 的玻璃管制成水银洗涤器(如图 1-2-2 所示)。

洗汞液的配制:用质量分数为 10% 的稀硝酸作溶剂,配制质量分数为 5% 的 $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 溶液。

$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 的制备:将几滴金属水银(Hg)和少量稀硝酸(每 3 体积水加入 1 体积相对密度为 1.4 的 HNO_3)一起加热(水银要稍过量一些,使一部分水银过剩),一直进行到水银和硝酸的反应完全停止(水银与硝酸反应生成 H_2 ,没有气体产生时表明反应结束)。

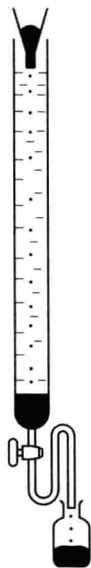


图 1-2-2 水银洗涤器

汞的洗涤方法：① 将洗涤器固定在铁三脚架上，在洗涤器下部装入一定量水银，然后使洗涤器玻璃管内充满洗汞液。② 在洗涤器上端装一只玻璃漏斗，在漏斗中放入一张滤纸，滤纸底部用针刺一个非常小的孔。③ 把脏水银倒在漏斗里的滤纸上，可除掉尘末。脏水银经过滤纸上的小孔进入洗涤器玻璃管内，除掉除铂族金属、Ag 和 Au 以外的一切金属杂质后，收集在玻璃瓶内。④ 上述洗涤反复进行若干次，然后把水银倒入瓷器皿内，用水冲洗，一直到完全除去 HNO_3 为止。⑤ 用滤纸条除去水银表面上的水滴。

如果要除去 Ag, Au 和铂族金属杂质，则必须采用真空蒸馏法。

第三节 大气压力计及温度计的使用方法

在实验室中，气体体积、粘度的测量等都需要使用大气压力计和温度计。

一、大气压力计的使用方法

大气压力是用与大气压力相平衡的汞柱高度来测量的。国际上规定，在纬度 45° 处的海平面上且温度为 0°C 时，760 mm 高的汞柱所平衡的大气压力为标准大气压。

(一) 福丁式大气压力计的结构

实验室最常用的是福丁(Fortin)式大气压力计，其结构如图 1-3-1 所示。

大气压力计外部是黄铜管，上有刻度标尺 5，管内装有玻璃管，其上端封闭，下端开口并插入水银槽 1 中。玻璃管内有水银柱，水银柱以上为真空。黄铜管上半段前后开有长方形窗孔，以便观察玻璃管内水银面的位置。在窗孔部位安装一游标尺 6，旋转螺丝 7 可调节游标尺的上下位置。铜管中部附有温度计 8。水银槽底部有羚羊皮膜，羚羊皮膜下面有螺丝 3 支持，转动 3 可以调节水银槽内水银面的高低。水银槽上部有一象牙针 4，针尖向下，针尖的位置是刻度标尺 5 的零点。

(二) 福丁式大气压力计的使用方法

先旋转底部螺丝 3，升高水银槽 1 内的水银面，使水银面与象牙针 4 的尖端刚好接触。再旋转气压计中部螺丝 7，将游标尺 6 升起至比玻璃管内水银柱顶稍高的位置。然后使游标尺 6 下降，直到游标尺下缘恰与水银柱的凸面相切。在上述调节中，眼睛应与水银面在同一水平面上。根据游标尺的下缘零线所对的刻度标尺上的位置，读出大气压力测量值的准确数字部分，而可疑数字部分用

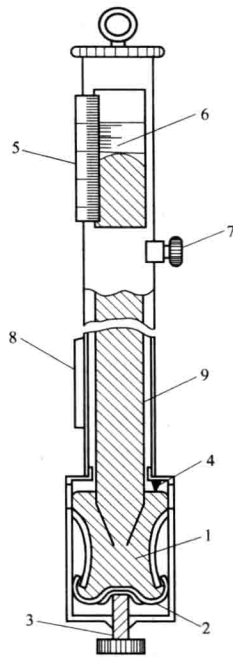


图 1-3-1 福丁式大气压力计

- 1—水银槽；2—羚羊皮膜；3—底部螺丝；
4—象牙针；5—标尺；6—游标尺；
7—中部螺丝；8—温度计；
9—玻璃管(上端封死)

游标尺来确定,即从游标尺上找出一条正好与标尺 5 上某一刻度相重合的刻度线,此刻度线的读数为大气压力测量值的最后一位数字。

目前使用的大气压力计标尺有用高度(cm)及压力(百帕)标度的。图 1-3-2 所示的标尺是用高度标度的,其中(a)刻度应读为 76.03 cm,(b)刻度应读为 76.13 cm。大气压力计的读数应记录四位有效数字。同时应记下测量大气压力时的温度,以备校正使用。

大气压力计必须垂直安装。如果偏离垂直位置 1° ,则对于 76.00 cm 的测量值来说,会引入 0.01 cm 的误差。

(三) 测量值的校正

1. 温度的校正

温度会影响水银的密度及黄铜标尺的长度。针对这两个因素,可得到下述校正公式:

$$H_0 = H_t - H_t \frac{(\beta - \alpha)t}{1 + \beta t} \quad (1-3-1)$$

式中 H_0 ——将水银柱校正到 0°C 时的高度,cm;

H_t ——水银柱在 $t^\circ\text{C}$ 时的高度,cm;

α ——黄铜的线膨胀系数, $^\circ\text{C}^{-1}$ ($\alpha = 1.84 \times 10^{-5} ^\circ\text{C}^{-1}$);

β ——汞的体膨胀系数, $^\circ\text{C}^{-1}$ ($\beta = 1.818 \times 10^{-4} ^\circ\text{C}^{-1}$);

t ——读数时的温度, $^\circ\text{C}$ 。

在精密测量中,气压计上的温度计也要校正。如果此温度计的读数偏差 1°C ,则对于 76.00 cm 的测量值来说,会引入 0.012 cm 的误差。

经过温度校正的大气压力测量值的单位为 cmHg(0°C)。若实验中需将大气压力与水银压差计的汞柱高度相加减以求绝对压力,则应将水银压差计所测汞柱高度也换算为 0°C 时的汞柱高,然后再加减,求得的绝对压力的单位也是 cmHg(0°C)。

2. 重力加速度 g 的校正

在纬度 45° 的海平面处,重力加速度为 9.80665 m/s^2 。当纬度及海拔高度改变时,重力加速度也有所改变。因此,在各地重力加速度下测得的汞柱高度应换算成标准重力加速度下的汞柱高度。当纬度为 ϕ ,海拔高度为 h 时,对已校正到 0°C 条件下的汞柱高度再作如下校正:

$$\begin{aligned} H_g &= H_0 (1 - 2.65 \times 10^{-3} \cos 2\phi) (1 - 3.14 \times 10^{-7} h) \\ &\approx H_0 (1 - 2.65 \times 10^{-3} \cos 2\phi - 3.14 \times 10^{-7} h) \end{aligned} \quad (1-3-2)$$

式中 ϕ ——纬度, $^\circ$;

h ——海拔高度,m。

由上式可以看出,纬度校正值为:

$$\Delta_\phi H = -2.65 \times 10^{-3} \cos (2\phi) H_0 \quad (1-3-3)$$

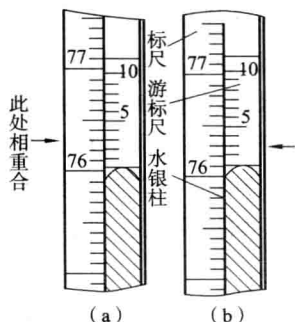


图 1-3-2 标尺、游标尺示意图

(a) 读数为 76.03 cm;

(b) 读数为 76.13 cm

海拔高度校正值为:

$$\Delta_h H = -3.14 \times 10^{-7} h H_0 \quad (1-3-4)$$

3. 仪器的修正值

仪器的误差多是由气压计构造上的缺陷或长期使用后水银中溶解的微量空气渗入真空部分所引起的。与标准气压计相比较后,可求得修正值,此项修正值常附于仪器的检定证书中。

4. 高度差的校正

当气压计水银槽 1 中的水银面与实验所在位置存在高度差时,实验环境大气压力与气压计测量值之间存在差别。通常地球表面处 10 m 空气柱与 0.9 mmHg 具有相当的压力,即每升高 10 m,大气压力减小 0.9 mmHg。

二、温度计的使用方法

油层物理实验室常用的温度计有水银温度计和酒精温度计。

(一) 水银温度计

水银温度计分为两种:一种是棒式的,其刻度尺刻在内有毛细管的玻璃棒上;另一种是管式(也称内标式)的,其刻度尺和毛细管封在玻璃管内部。

常用的水银温度计有 0~50 °C, 0~100 °C, 0~150 °C, 0~250 °C 和 0~360 °C 等几种规格,也有能准确测量 0~360 °C 的测试范围不同的水银温度计。

由于水银不润湿玻璃,所以用水银温度计测量温度比较准确。然而,水银温度计不能用于测量低于 -39 °C 的温度,因为水银在此温度下凝固;水银温度计也不能用于测量高于 360 °C 的温度,因为水银的沸点是 357 °C (除非在水银温度计中充入一定压力的惰性气体)。

水银温度计制造时有两种刻定刻度的方法,即全浸没法和半浸没法,因此,测量时也要区别对待。对于全浸没式,测量时需将温度计完全浸没在加热介质中,或浸没至读数处(水银柱升起后的顶端),以使水银球及毛细管中的全部水银都发生膨胀;对于半浸没式,测量时只需将水银球及毛细管的一部分(温度计上注有的浸没深度)加热。

当使用刻度在完全浸没条件下刻定的温度计来测量温度,而又不能把温度计浸没至所示读数处时,得出的读数就会有一定的偏差。为了得到更准确的读数,应在读数中加上“外露段”的校正值。此校正值需用另一辅助温度计来测定。测定时把辅助温度计的水银球放在待校正温度计外露段的中点,即待校正温度计浸没面与其所示读数处的中点。

校正值按下式计算:

$$k = n\alpha(t_1 - t_2) \quad (1-3-5)$$

式中 k ——校正值, °C;

n ——外露段读数, °C;

α ——水银在玻璃中的膨胀系数, °C⁻¹;

t_1 ——待校正温度计所示读数, °C;

t_2 ——辅助温度计所示读数, °C。

系数 α 之值与温度计所用玻璃的种类以及温度计的构造有关。对于最常用的玻璃,一般棒式温度计的 α 值为 0.000 168,管式温度计的 α 值为 0.001 580。因此,实际温度的计算公式为:

$$\text{实际温度} = \text{待校正温度计的读数} + \text{校正值 } k$$

(二) 酒精温度计

酒精(染成红色或蓝色)温度计的优点是灵敏,因为酒精的热膨胀系数比水银大 6 倍,而且可以测定 $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的低温。酒精温度计的缺点是:酒精对玻璃润湿,故当温度下降很快时,用这种温度计测定是不准确的;通常不能测定超过 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度。

酒精温度计高出浸没面的液柱的校正值,也可以按水银温度计的校正公式计算,不同的是系数 α 的值取为 0.001。

水银温度计和酒精温度计都是玻璃温度计。玻璃温度计的一个很大的缺点是它的读数随时间而改变。这是由于温度计制造时在玻璃壁上留下了永久应力,该永久应力可引起玻璃变形,从而改变了温度计的球和毛细管的体积,因而使温度计的零点移位。

工厂出产的玻璃温度计都附有说明书,虽然说明书上都有读数误差的允许值,但这种允许值只保证一年,超过了保证期限,温度计都要进行校正。

校准温度计最简单的方法是将一支用几种纯物质的熔点或沸点(参见表 1-3-1 和表 1-3-2)校正过的标准温度计与待校正的温度计一起放入某温度的恒温水浴中,都按刻度时的浸没深度没入,待温度稳定后,同时读取标准温度计和待校正温度计的读数。改变恒温水浴的温度,可得一系列数据,然后作图,得到校正温度计的校正曲线。以后使用这支温度计时,就可以由它的读数通过校正曲线查出其标准温度。

表 1-3-1 校正温度计用的物质的熔点

物 质	熔点/ $^{\circ}\text{C}$	物 质	熔点/ $^{\circ}\text{C}$
水	0.0	甘露醇	116.0
萘	80.1	蒽	216.1
苯甲酸	122.1	呋 啉	240.3
邻苯二甲酸酐	131.6	蒽 醌	284.3

表 1-3-2 校正温度计用的物质的沸点

物 质	760 mmHg 大气压力下的沸点/ $^{\circ}\text{C}$	(760 $\pm$ 10) mmHg 下, 压力改变 1 mmHg 时沸点的改变/ $^{\circ}\text{C}$	物 质	760 mmHg 大气压力下的沸点/ $^{\circ}\text{C}$	(760 $\pm$ 10) mmHg 下, 压力改变 1 mmHg 时沸点的改变/ $^{\circ}\text{C}$
乙 醚	34.5	0.036	甲 苯	11.05	0.042
丙 酮	57.2	0.030	氯 苯	132.0	0.049
氯 仿	61.2	0.036	苯 胺	184.4	0.051
苯	80.4	0.043	萘	218.0	0.058
水	100.0	0.037	硫	444.6	0.091

第四节 电热干燥箱与茂弗炉的原理及使用方法

电热干燥箱又称电热烘干箱,是利用电热丝隔层加热而使物体干燥的仪器设备。它适用于比室温高 $10\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的恒温烘焙、干燥、热处理等,其灵敏度为 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

一、电热干燥箱的原理及使用方法

(一) 电热干燥箱的结构

电热干燥箱的型号很多,但结构基本相似。电热鼓风干燥箱外形如图 1-4-1 所示。

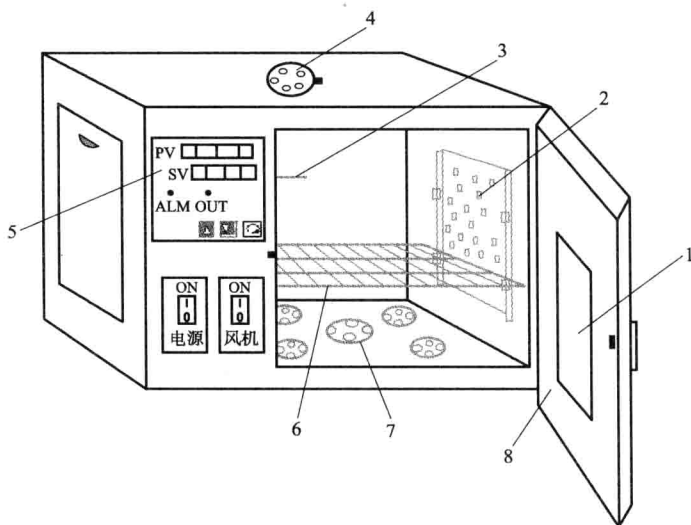


图 1-4-1 电热鼓风干燥箱

1—玻璃观察窗;2—散热孔;3—温度传感器;4—排气阀;
5—温控仪;6—搁板;7—风量调节孔;8—箱门

电热干燥箱主要由箱外壳、工作室和保温层三部分组成。工作室中有数块搁板,可供放置实验样品。工作室底部有风量调节孔,用以调节工作室空气的对流速度,以达到均匀加热的目的。工作室侧壁有温度传感器,用以获取并调节工作室内的温度。工作室顶部有排气阀,工作时打开排气阀,以排除箱内冷气、湿气、秽气,保持温度的平衡并加速样品水分的蒸发。箱门上有玻璃观察窗,可以观察工作室中的情况。

(二) 电热干燥箱的使用方法及注意事项

1. 使用方法

(1) 旋開箱頂排气閥至适当位置,关上箱門,打开电源开关,控温仪表经几秒钟自检后显示标准模式,此时 PV 数码管显示主控测量值,SV 数码管显示主控设定值。需强制