

安全专业实验

目 录

前 言.....	3
实验室安全守则.....	4
实验室工作规则.....	5
意外事故的处理.....	6
实验教学的要求.....	7
实验一 闪点和燃点的测定.....	8
实验二 接地电阻的测定.....	13
实验三 着火性实验.....	17
实验四 可燃固体的燃烧实验.....	21
实验五 禁水性物质实验.....	23
实验六 超声波测厚.....	26
实验七 可燃固体氧指数的测定.....	30
实验八 气体爆炸实验.....	36
实验九 内压薄壁容器应力测定.....	41
实验十 振动与隔振实验.....	47

前 言

《安全工程专业实验》讲义是随着安全工程专业课程体系的建设和改革，按照“厚基础、宽专业、高素质、高能力”教学目标要求，基于基本专业知识体系的构建而编写的，本专业实验既有相关专业的实验项目，又有本专业特有的专业技术实验，是一门理论性和实践性很强的新兴学科。

本课程是安全工程本科生的专业基础课，通过本课程的学习，使学生掌握实验的基本方法和技巧，巩固专业理论知识。本课程的目的，是通过专业实验的实践环节，使学生加深对专业课程有关内容的理解与掌握，掌握专业实验方法和一些基本实验技术，让学生充分的了解和掌握实验设备、仪器的工作原理，给学生更多的时间进行实验的设计，增加学生实验的内容，提高学生的动手能力和科技创新能力，同时培养学生的团结协作能力。

本课程的教学活动要求学生课前预习，明确实验目的，掌握概念与仪器、设备的工作原理；重点掌握实验的方法与技能，掌握实验操作规程和数据采集与分析的理论基础，熟悉相关的理论计算；在实验过程中，应积极听实验指导教师的讲解，主动思考，熟悉测试技术，实验操作积极主动，细致认真，能逐步编制实验方案，实验记录完整。实验后及时提交实验报告。对实验报告的要求，根据每个实验的内容特点及有关要求完成，做到认真规范，内容详实。

参与本实验讲义由高晓蕾、刘诗飞等教师参照国内兄弟院校相关实验讲义编写。实验九、十的讲义由过程装备与控制工程专业实验中心提供，在此表示衷心感谢。

编者时间仓促，又水平有限，难免又不足和欠妥之处，恳请读者提出宝贵意见。

编 者

2007年12月

实验室安全守则

1. 贯彻“安全第一，预防为主”方针，严格执行院、系的各项安全规章。
2. 严格执行压力容器使用操作规程。经常检查钢瓶及连接管路的气密性，防止气体泄漏，可燃气体放空时必须引至室外。
3. 存放或使用易燃物质的实验室严禁明火，有毒物质的使用和处理需在通风橱内进行
4. 了解常用化学试剂的贮存、使用知识、严禁随意混合不明性质的化学试剂。切实注意防止火焰、爆炸、化学灼伤、创伤和中毒等事故发生。
5. 注意用电安全，防止人身触电及设备仪器损坏事故。
6. 熟悉一旦发生意外事故时应采取的措施。
7. 最后离开实验室的人员注意检查各仪器控制开关、水、电、气总开关及门窗是否关好。特别要注意防止水害，杜绝无人操作运行等。

实验室工作规则

1. 学生进行实验，必须做好实验的预习，否则教师有权取消学生本次实验的资格。
2. 学生在实验室内必须遵守纪律。保持安静，集中精神，认真操作，仔细观察，如实记录。
3. 爱护实验仪器、设备，严格按照操作规程进行实验。若发现异常，应立即停止使用，并报告指导教师，及时排除，若有损坏必须如实并及时登记，按章赔偿。
4. 遵守试剂取用规则，注意节约药品，材料以及水、电、气等。实验过程中应养成良好的工作习惯。保持整洁的实验环境。
5. 废纸、火柴梗等应倒入垃圾箱内；废液应倒入废液缸内，严禁倒入水槽，以防止水道堵塞和腐蚀。
6. 实验完毕，应立即关闭仪器控制开关及水、电、气开关，并将仪器洗涤干净，整理好实验台，搞好实验室的清洁卫生。
7. 实验室的仪器，药品，材料和工具等不得擅自带离实验室，更不得据为己有，一经发现，给予相应处罚。
8. 实验过程中，未经指导教师允许，不得擅自离开实验室。

意外事故的处理

1. 割伤。应用蒸馏水洗净伤口，搽 L 红药水和紫药水，并撒消炎粉包扎好，若为玻璃割伤，应先挑出伤口里的玻璃碎片，再进行相关处理。

2. 烫伤。先用凉水冲洗降温，再搽上烫伤药。

3. 受碱或酸灼伤。先用凉水冲洗，若为碱液，再用 1% 硼酸溶液冲洗；若为酸液，则用 1% 碳酸氢钠溶液冲洗，最后再用水洗。

4. 吸入刺激性或有毒气体时，应立即到室外呼吸新鲜空气，有毒药品严禁入口或接触皮肤，以防中毒。

5. 触电。首先切断电源，必要时进行人工呼吸。

6. 起火。应首先切断电源，迅速移走易燃物品等以防火灾蔓延；与此同时，选用合适的灭火方法，小火可用湿布、石棉布或砂子等覆盖燃烧物；有机溶液燃烧时，大多数情况下严禁用水灭火，可用干粉或二氧化碳灭火器灭火；电器设备着火时不能用泡沫灭火器，只能用二氧化碳或干粉灭火器灭火；实验人员的衣服着火时，切勿惊慌乱跑，应赶快脱下衣服，或用石棉布覆盖着火处。

实验教学的要求

一、预习

为使实验顺利地进行并收到预期效果，实验前应做好充分准备，预习要做到以下几点：

1. 明确实验目的。
2. 阅读实验指导书及有关的教材、参考书，掌握实验原理、实验内容和步骤；明确实验中应记录的数据和注意事项。
3. 认真思考实验中发现的问题。
4. 每位学生都必须准备一本装订好的实验记录本，并编上页码，用于实验时作原始记录。
5. 实验要求：在实验记录本上简单扼要地写明实验目的、内容和步骤，实验注意事项和观察的现象、原始数据记录项目及表格等，作为预习报告，若不符合要求或草率者需重写后方能进行实验。

二、实验

学生在实验中应做到：

1. 按实验指导书提供的方法，步骤认真操作，仔细观察实验现象。
- 2 按照要求及时并如实记录原始数据，实验现象和结果。
3. 实验过程中应勤于思考，发现问题，进行分析并加以解决。
4. 实验完成后，原始记录经教师检查，认为符合要求后，按实验室工作规则结束实验，经教师同意后方可离开实验室。

三、实验报告

实验结束后，要求在规定的时间内写出实验报告。其内容包括：实验目的、简单原理、实验装置或仪器、实验数据及处理、现象及讨论等。经指导教师审查，如实验报告不符合要求，必须重做实验或重写报告。

实验一 闪点和燃点的测定

一 实验目的

- 1、掌握闪点、开口闪点、闭口闪点、燃点的定义；
- 2、掌握可燃液体的划分方法，掌握闪点、燃点与物质危险性的关系；
- 3、掌握爆炸极限的定义；
- 4、掌握闪点、燃点的测定方法。

二 实验内容

使用闪点测定仪器测定矿、植物油开、闭口闪点及燃点。

三 实验原理

将相对定量的待测物质加入闪点测定仪，按国家标准规定的升温速率对待测物质进行升温操作，在接近闪点的温度区，按规定的频率对试样上方蒸汽进行点燃，当试样上方蒸汽与火焰接触发生闪火时的最低温度即为闪点。

继续加热试样，当试样加热到能被接触的火焰点燃，并燃烧不少于 5 秒时的温度，称为燃点。

四 实验仪器

- 1、开口闪点自动测定仪；
- 2、闭口闪点自动测定仪；
- 3、液化气钢瓶；
- 4、电火花点火器。
- 5、大气压计



图 1 开口闪点测定仪



图 2 闭口闪点测定仪

五 实验步骤

1、实验前准备

1) 试样准备:

当试样的水分大于 0.1% 时, 必须脱水。脱水处理的方法是在试样中加入新煅烧并冷却的食盐、硫酸钠或无水氯化钙, 以达到干燥试样的目的。

闪点低于 100℃ 的试样脱水时不必加热; 其他试样允许加热至 50~80℃ 时用脱水剂脱水。脱水后, 取试样的澄清部分供试验使用。

2) 仪器准备:

① 测定前应对放置试样的坩锅用溶剂油或其它溶剂进行洗涤, 并应充分洁净和干燥。

② 检查液化气钢瓶与闪点测定仪的连接是否正确。

2、实验操作步骤

1) 检查仪器是否安装正确;

2) 根据试样特性设定仪器工作程序;

3) 检查燃气连接管和接头是否无泄漏;

4) 将待测试样倒入洁净的坩锅中, 试样的上液面应与规定刻度线平齐;

5) 启动仪器工作程序, 加热坩锅, 使试样温度逐渐升高温度, 当试样温度达到预计闪点前 40 °C 时, 应控制升温速度为每分钟升高 4 ± 1 °C;

6) 当试样温度达到预计闪点前 20 °C 时, 试样温度每升高 1°C, 仪器点火扫描杆点火头对试样上方蒸汽进行自动扫描一次;

7) 扫描火苗使试样表面的蒸汽产生点燃时的温度即为所测闪点, 测试结果可有打印机自动打印。

8) 测得试样的闪点之后, 如果还需要测定燃点, 应继续对外坩锅进行加热, 使试样的升温速度为每分钟升高 (4 ± 1) °C。然后, 用点火器的火焰进行点火试验。试样接触火焰后立即着火并能继续燃烧不少于 5 秒, 此时立即从温度计读出温度作为燃点的测定结果。

9) 关闭燃气瓶总阀, 关闭电源。

3、大气压力对闪点和燃点影响的修正

进行闪点 (或燃点) 测定时应同时记录当时的大气压力, 并对测试结果进行数据校正。

1) 开口闪点（或燃点）的大气压力校正

①大气压力低于 99.3 kPa(745mmHg)时试验所得的闪点或燃点 t_0 应按下式进行修正(精确到 1℃):

$$t_0 = t + \Delta t$$

式中 t_0 — 相当于 101.3 kPa(760mmHg)大气压力时的闪点或燃点, °C;

t — 在试验条件下测得的闪点或燃点, °C;

Δt — 修正数, °C。

②大气压力在 (72.0~101.3)kPa[(540~760)mmHg] 范围内, 修正数 $\Delta t / ^\circ\text{C}$ 可按以下两式)计算:

$$\Delta t = (0.000152t + 0.028) (101.3 - P) \times 7.5$$

$$\Delta t = (0.000152t + 0.028) (760 - P_1)$$

式中 P —— 试验条件下的大气压力, kPa;

t —— 在试验条件下测得的闪点或燃点(300℃以上仍按 300℃计), °C;

0.00015, 0.028 —— 试验常数;

7.5 —— 大气压力单位换算系数;

P_1 —— 试验条件下的大气压力, mmHg。

注: 对 64.0~71.9 kPa (480~539mmHg)大气压力范围, 测得闪点或燃点的修正数也 Δt 也可参照采用以上两式进行计算。此外, 修正数 Δt 还可以从下表查出。

闪点或燃点 t/°C	在下列大气压力 P/kPa(mmHg)时的修正值 $\Delta t / ^\circ\text{C}$										
	72.0 (540)	74.6 (560)	77.3 (580)	80.0 (600)	82.6 (620)	85.3 (640)	88.0 (660)	90.6 (680)	93.3 (700)	96.0 (720)	98.6 (740)
100	9	9	8	7	6	5	4	3	2	2	1
125	10	9	8	8	7	6	5	4	3	2	1
150	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
175	12	11	10	9	8	6	5	4	3	2	1
200	13	12	10	9	8	7	6	5	4	2	1
225	14	12	11	10	9	7	6	5	4	2	1
250	14	13	12	11	9	8	7	5	4	3	1
275	15	14	12	11	10	8	7	6	4	3	1
300	16	15	13	12	10	9	7	6	4	3	1

2) 开口闪点（或燃点）的精密度和重复性要求

(1) 同一操作者重复测定的两个闪点（或燃点）结果之差不应大于下列数值

闪点, $t / ^\circ\text{C}$	$\leq 150 ^\circ\text{C}$	$> 150 ^\circ\text{C}$
重复性, $t / ^\circ\text{C}$	4 $^\circ\text{C}$	6 $^\circ\text{C}$

(2) 同一操作者重复测定的两个闪点（或燃点）结果之差不应大于 6 $^\circ\text{C}$ 。

3) 闭口闪点的大气压力校正

(1) 观察和记录大气压力，按下式计算在标准大气压力 101.3kPa (760mmHg) 时闪点修正数 $\Delta t / ^\circ\text{C}$ ：

$$\Delta t = 0.25 (101.3 - P_1)$$

$$\Delta t = 0.0345 (760 - P_2)$$

式中 P —— 实际大气压力。 P_1 的单位为千帕 (kPa)； P_2 的单位为 mmHg。

(2) 观察到的闪点数值加修正数，修正后的数据以整数报结果，此外，修正数 Δt 还可以从下表查出：

大气压力 P/mmHg	修正数 $\Delta t/^\circ\text{C}$
630~658	+4
659~687	+3
688~716	+2
717~745	+1
775~803	-1

4) 闭口闪点的精密度和重复性要求

(1) 重复性 同一操作者重复测定两个结果之差，不应超过以下数值：

闪点范围, $t / ^\circ\text{C}$	104 或低于 104 $^\circ\text{C}$	高于 104 $^\circ\text{C}$
允许差数, $t / ^\circ\text{C}$	2	6

(2) 再现性 由两个实验室提出两个结果之差，不应超过以下数值：

闪点范围, $t / ^\circ\text{C}$	104 或低于 104 $^\circ\text{C}$	高于 104 $^\circ\text{C}$
允许差致, $t / ^\circ\text{C}$	4	8

5) 数据报告

(1) 取重复测定两个闪点结果的算术平均值，作为试样的闪点。

(2) 取重复测定两个燃点结果的算术平均值，作为试样的燃点。

六 注意事项

- 1) 实验中坩锅和被测物料温度较高，应注意防止发生热烫伤；
- 2) 实验中使用有液化气，实验过程中嗅到异味应及时关闭液化气钢瓶的根部角阀，并向实验老师报告。
- 3) 不要乱动电气接头，不要使用潮湿的手或物品触摸电线和设备，防止触电。
- 4) 燃点测定后及时熄灭。

七 思考题

- 1) 闪点、燃点有什么区别，它们与物质的危险性有什么关系；
- 2) 燃烧有几种类型？燃烧的必须具备的三要素是什么；
- 3) 列出可能构成物质危险性的几种物理性质名称；
- 4) 可燃液体根据闪点高低是如何分类的；
- 5) 什么是爆炸浓度极限。

实验二 接地电阻的测定

一 实验目的

- 1、掌握接地电阻测量仪的使用方法；
- 2、掌握接地电阻测量的意义；
- 3、了解常用的避雷和防静电危害的方法。

二 实验内容

使用接地电阻测量仪测定指定物品的接地电阻值。

三 实验仪器与工作原理

接地电阻测量仪外形如下图，由手摇发电机、电流互感器、滑线电阻器及检流计等组成，附件有辅助探棒导线等。仪器的工作原理为基准电压比较原理。仪器的电路图见图 1，仪器外形图见图 2。

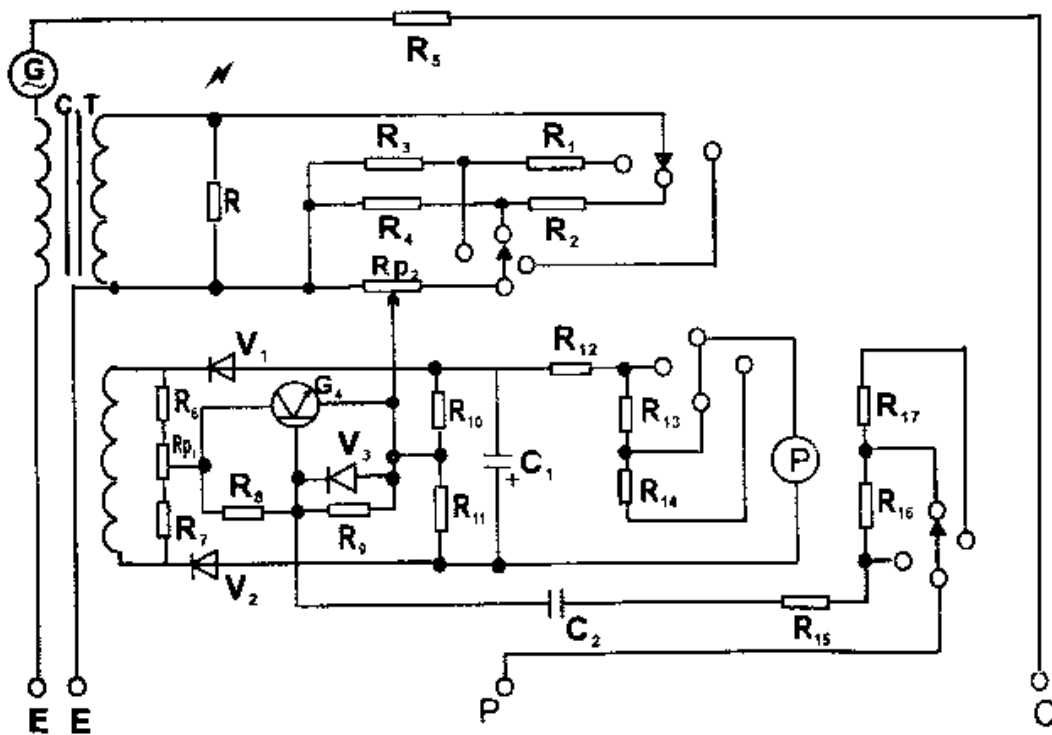


图 1 接地电阻测量仪电路图

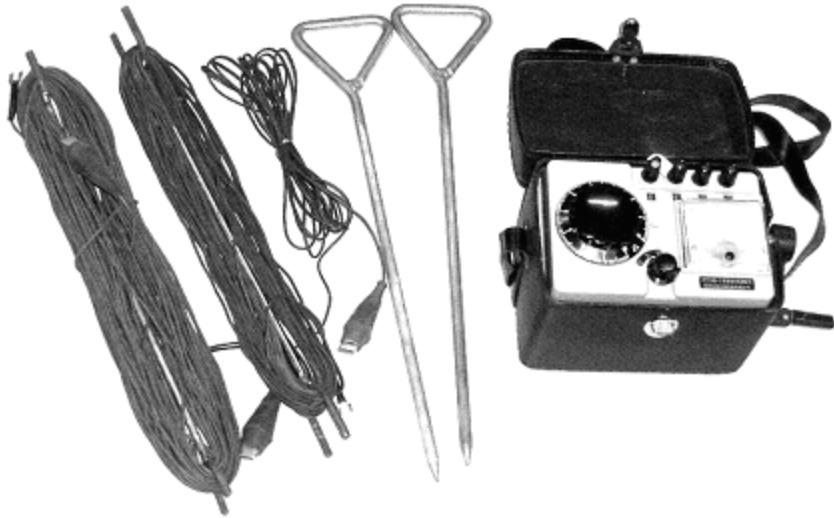


图 2 接地电阻测量仪外形图

四 测量接地电阻时仪器的接线方式

进行接地电阻测量时，仪器的 E 端钮接 5 m 导线，P 端钮接 20 m 导线，C 端钮接 40 m 导线，导线的另一端分别接被测物接地极 E'，电位探棒 P' 和电流探棒 C'，且 E'、P'、C' 应保持直线，其间距为 20 m。

① 测量大于等于 1Ω 接地电阻时仪器的连接方式见图 3，需将仪表上 2 个 E 端钮连接在一起。

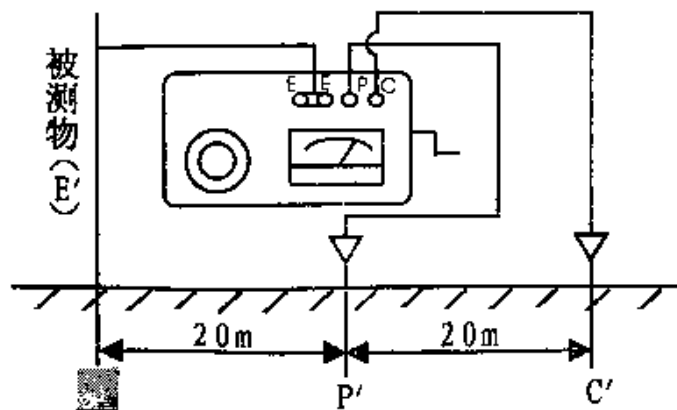


图 3 测量大于等于 1Ω 接地电阻时仪器的连接方式

② 测量小于 1Ω 接地电阻时仪器的连接方式见图 4，需将仪表上 2 个 E 端钮导线分别连接到被测连接体上，以消除测量时连接导线电阻对测量结果引入的附加误差。

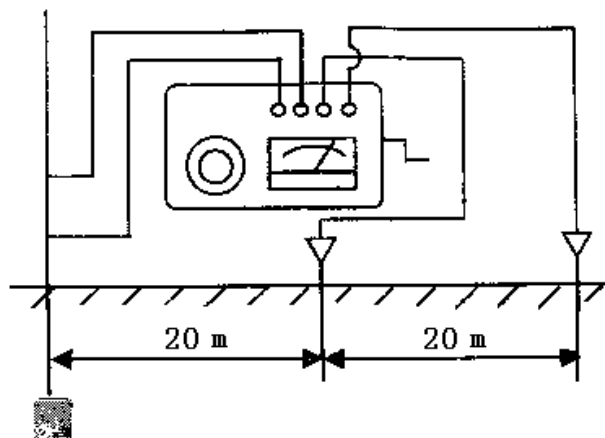


图 4 测量小于 1Ω 接地电阻时仪器的连接方式

③ 测量低电阻导体时仪器的连接方式见图 5，需将仪表上 2 个 E 端钮短接在一起，然后分别连接到被测物上。

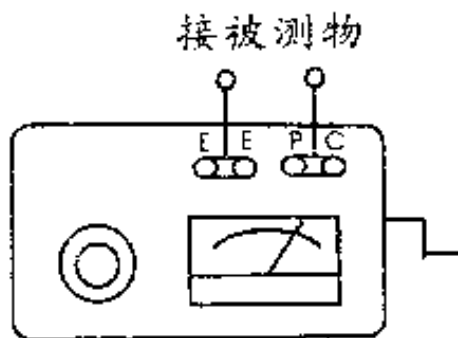


图 5 测量低电阻导体时接地电阻时仪器的连接方式

五 仪器的操作步骤

- 1) 确认仪器端接线正确无误；
- 2) 将仪器水平放置，调整检流器至机械零位；
- 3) 将仪器的“倍率开关”置于最大倍率档，逐渐加快摇柄转速，使其达到 150 转/分。当检流计指针向一个方向偏转时，旋动刻度盘，使检流计指针指在“0”上。此时刻度盘上读数乘上倍率档即为被测电阻值。
- 4) 如刻度盘读数小于 1 时，仍未取得平衡，可将倍率开关置于小一档的位置。直到调节到完全平衡为止。

六 注意事项

- 1) 禁止在有雷电或被测物体带电时进行测量。;
- 2) 向地面固定探棒时, 小心手、脚被砸伤。
- 3) 仪器携带、使用时应小心轻放、避免剧烈震动。
- 4) 若发现仪表检流计指针有抖动现象, 可变化摇柄转速, 以消除抖动现象。
- 5) 若仪表的检流计灵敏度过低, 可在探棒周围注水或盐水以湿润。

七 思考题

- 1) 避雷接地电阻值应小于多少欧姆; 可燃液体储罐接地电阻值应小于多少欧姆;
- 2) 可燃液体管线接地电阻值应小于多少欧姆, 接地电阻值过大有什么危害; 可以采用什么安全措施。
- 3) 接地的作用是什么? 什么是接地电阻?
- 4) 在测接地电阻时, 有哪些因素造成接地电阻不准确, 如何避免?
- 5) 为什么在测接地电阻时, 要求测量线分别为 20 m 和 40 m。
- 6) 被保护的电器设备的接地端是否可以不断开测试, 对测试仪表或被保护设备有什么影响?

实验三 着火性实验

一 实验目的

测定固体无机物对外部点火源的反应，推断其着火危险性。

二 实验内容

采用简单易行的 BAM 着火性实验来判断固体无机物的危险性。

三 实验原理

本实验把一定质量的试样与不同的点火源接触，观察其是否着火，并依据样品着火的难易程度，来判断其危险性。

四 实验仪器及样品

1. 实验仪器

手枪式燃气点火器，导火索，气体打火机，电烙铁，无机绝热板或瓷砖，大铁夹，秒表，天平等。

2. 实验样品

依据实验目的，选用一些常用的实验样品，主要包括：硫、磷以及它们与其他无机物的混合物等。

3. 实验场所

进行实验的场所应保持温度在 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ，湿度 $50 \pm 10\%$ ，常压且近于无风的状态，因燃烧而产生有毒气体时，实验处应有通风设备；在不易判断燃烧的情况下，必要时应减弱实验场所的亮度。

五 实验步骤

1. 实验准备

(1) 供实验用的物品（试样）原则上应保持市场上流通时的形状，但块状的物体体积超过 3 cm^3 ，采用切断或破碎的方法使样品的体积为 3 cm^3 左右，并把破碎好的样品放于硅胶干燥器中常温下保存 24 小时以上。

(2) 检查各实验仪器是否完好。

2. 实验方法

称取质量为 3g 的试样置于 10cm 以上、边长 12~15cm 的四方形无机绝热板或瓷砖上。

(1) 钨—铁火花实验：用手枪式燃气点火器的钨—铁火花，距试样 5m 处喷射。

(2) 导火索实验：用 5cm 的导火索末端喷出的火焰对距 5mm 处的粉末状试样点火，看是否能点着，共做 5 次。为防导火索受潮，实验前应置于保干器中。

(3) 小燃气火焰实验，用长 200mm、宽 5mm 的气体打火机火焰尖端对试样点火，看在 10 S 内点燃，共实验 5 次。

(4) 赤热铁棒实验：用直径 5mm 的电烙铁，加热至 800℃ 与试样进行接触时间不超过 10 S，看是否点着，每次实验时都要重新加热电烙铁。

六 实验记录

(1) 易着火性物质：即在铈—铁火花和导火索实验中能立即点着，或用小燃气火焰在 1S 内能点着的物质。

(2) 着火性物质：即小燃气火焰实验中需 1S 以上才能点着，或赤热电烙铁实验能点着的物质；

(3) 难点着物质：即以上四种实验中都点不着的物质。

实验数据记录表

方法 试样		铈—铁火花				导火索实验				小燃气实验				赤铁棒实验			
试样一	着火否																
	时间																
试样二	着火否																
	时间																
试样三	着火否																
	时间																

试样		方法			小燃气实验			赤铁棒实验		
试样一	着 火 否									
	时 间									
	实 验 现 象									
试样二	着 火 否									
	时 间									
	实 验 现 象									
试样三	着 火 否									
	时 间									
	实 验 现 象									

七 注意事项

(1) 由于本实验中应用到一些明火和高温物体，因此在实验过程中应按规定操作，并戴好防护用具，以防止被烧伤和灼伤。

(2) 本实验接触一些电器设备，一定要注意用电安全。

八 思考题

- (1) 什么是着火性，着火性是哪些物质的重要性质，为什么？
- (2) 为什么将着火性实验作为确认反应性化学物质危险性的基础筛选实验之一；
- (3) 试样中哪些为易着火性物质、着火性物质、难点着物质；
- (4) 固体的着火性可采用哪些条件的变化进行测定；
- (5) 常用的着火性实验有哪些；
- (6) 怎样通过着火性实验判断固体无机物的危险性；
- (7) 对于着火性物质有哪些防护方法或措施。

实验四 可燃固体的燃烧实验

一 实验目的

- (1) 了解可燃固体的定义与分项；
- (2) 了解可燃固体的着火与燃烧特性；
- (3) 学习可燃固体燃烧性的试验方法。

二 实验原理

当堆放的可燃固体粉末与加热的金属丝接触时，如果金属丝的温度等于或高于该固体的燃点，固体粉体就会着火燃烧。

三 实验装置与材料

1. 实验装置

电加热的铂金属丝、变压器以及石棉板。

2. 实验材料

经干燥、粉碎后的固体粉末。

四 实验步骤

- (1) 将试样在石棉板上摆成长 4cm，宽 2cm、容积约为 15 毫升的堆体。
- (2) 用红热的铂金属丝接触堆一端的表面。如点不着，可将红热铂金属丝插入试样中保持 5 分钟。如果试样放出气体，可以试验能否用火柴点燃气体。

五 结果与讨论

试样的燃烧性可分为六个危险等级（见下表）

表 6-1 试样的燃烧性危险等级

反应类型	等级	标准物质
点火后 不传播火焰	不着火	1 食盐
	着火后立即熄灭	2 硬脂酸锌
	几乎不发生局部燃烧或火焰传播，但有局部红热	3 氯化醋酸钠
传播火焰	红热但没有火花，或缓慢分解而没有火焰	4 H-酸
	伴有火花及可见火焰的缓慢和平静	5 硫磺、重铬酸

的燃烧 带火焰的快速燃烧或不带燃烧的快 速分解	6	铵 黑火药
-------------------------------	---	--------------

六 注意事项

实验过程中，加热源温度较高，应注意安全，防止烫伤。

七 思考题

- (1) 可燃固体的着火与燃烧特性是什么；
- (2) 固体物质发生燃烧的物理条件和化学条件，金属燃烧的特点是什么；
- (3) 简述可燃固体燃烧性的试验方法。可燃固体的有哪几种燃烧形式；
- (4) 粉尘爆炸的条件、特点及影响因素；
- (5) 物质阻燃处理的基本原理是什么；

实验五 禁水性物质实验

一 实验目的

判断固体或液体物质与水接触是否会产生可燃性气体或发火而导致危险。

二 实验原理

将一定质量的被试物质与一定量的纯水混合，在一定温度下使其发生危险。观察反应产物是否有气体，并依据所产生的气体量判断其危险性排序。

三 实验仪器及样品

1. 实验仪器

(1) 玻璃仪器

恒压分液漏斗，圆底烧瓶，气体导管，酸式滴定管，温度计，水封用的结晶皿；

(2) 实验仪器

电子继电器，点接触式温度计，加热环，磁力搅拌器（带搅拌子），升降台，铁架台等。

2. 实验样品

铝粉、镁粉、锌粉等。

四 实验步骤

1. 实验准备

(1) 将仪器安装好

(2) 称取 0.5g~1g 的实验样品，样品的称取应尽量避免损失，采用先称量圆底烧瓶的质量，再加入样品的方式；

(3) 在恒压分液漏斗中加入 50ml 纯水；

(4) 将结晶皿 1 的水温加至 50℃，并通过调节点接触式温度计使其稳定；

(5) 调节酸式滴定管的零点。

2. 实验方法

(1) 在结晶皿 1 的水温稳定后，迅速将恒压分液漏斗中的水加入圆底烧瓶，并开始搅拌；

(2) 记录室温、气温；

(3) 在开始反应 1 小时中每隔 15min 记录一次酸式滴定管的读数，得到反应开始产生的气体量；

- (4) 反应开始 1 小时后终止实验，并确定最终读数；
- (5) 重复上述实验过程 3 次，取最大气体产生量为该样品的气体产生量；
- (6) 更换一种样品，重复实验过程 (1) ~ (4)，再得到一个不同样品的气体量。
- (7) 通过实验，按下表作出详细记录

数据记录表

实验日期		室温：		初始水温：		
样品名称	时间	样品量 (g)	反应水量 (°C)	反应水温 (°C)	气体发生量 (ml)	备注
实验结果	样品 1 的最大气体发生量； 样品 2 的最大气体发生量； 样品 3 的最大气体发生量； 样品危险性排序：					

五 注意事项

- (1) 实验结束后，先将滴定管中的气体放空；
- (2) 将实验仪器分拆并进行清洗；
- (3) 因本实验选用的是金属粉末，在与水反应时产生一定量的氢气，在实验过程中应严禁明火，特别是实验结束后的放空过程；
- (4) 本实验接触一些电器设备，如电子继电器、加热环和搅拌装置等，要非常注意用电安全；
- (5) 本实验的关键是气体不能从装置中泄漏，故气密性必须在实验前进行确认，在一些关键部位涂抹凡士林保证气密性。

六 思考题

- (1) 什么是禁水性物质；
- (2) 禁水性物质可产生的危险有害性有哪些；
- (3) 怎样判断禁水性物质与水接触后产生的危险，禁水性物质的图示标志是什么；
- (4) 实验室怎样贮存禁水性物质；
- (5) 危害物质的主要分类有哪些；
- (6) 针对禁水性物质的燃烧特性，说出金属灭火剂的原理。

实验六 超声波测厚

一、实验目的

1. 掌握超声波测厚的基本原理和方法；
2. 掌握超声波检测仪的使用，并能正确测定典型材料的厚度。

二、实验原理

超声波是频率高于 20kHz, 不能听到的波。用于超声检测的频率范围 $20\text{kHz} < f < 100\text{MHz}$ 。金属材料超声检测频率 $0.5 \sim 20\text{MHz}$ 。对固体来说，各种波形的超声波均可用来检测。声速 c 、波长 λ 、频率 f 三者之间关系为 $c = f\lambda$ 。

超声波测厚仪工作原理见图 1。利用超声脉冲反射法进行测厚，超声波在同一均匀介质中传播时，声速为常数，在不同介质的界面上则具有反射特性。当发射的脉冲通过换能器发射晶片经延迟块接触被测件表面时，超声脉冲即射向被测件，并以一固定声速向被测件深处传播。在达到被测件的另一面时，反射回来被另一接收晶片所接收。这样只要测出从发射到接收超声脉冲所需的时间。扣除经延迟的来回时间，再乘上被测件的声速常数。就是超声脉冲在被测件中所经历的来回距离，也就是代表了厚度值。此数值在测厚仪上直接显示读得。

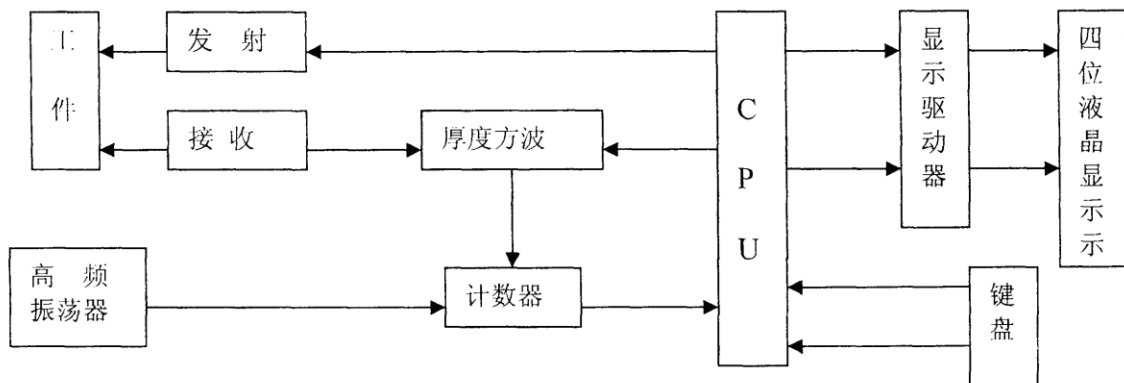


图 1 超声波测厚仪工作原理

三、实验装置

测厚用的仪器见图 2，键盘功能键见图 3。仪器测量范围：(1)1.2~225.0mm(钢)；(2)管材测量下限：020×3mm(钢)；测量误差： $\pm(1\% H + 0.1)\text{mm}$ ，H 为被测物实际厚度。

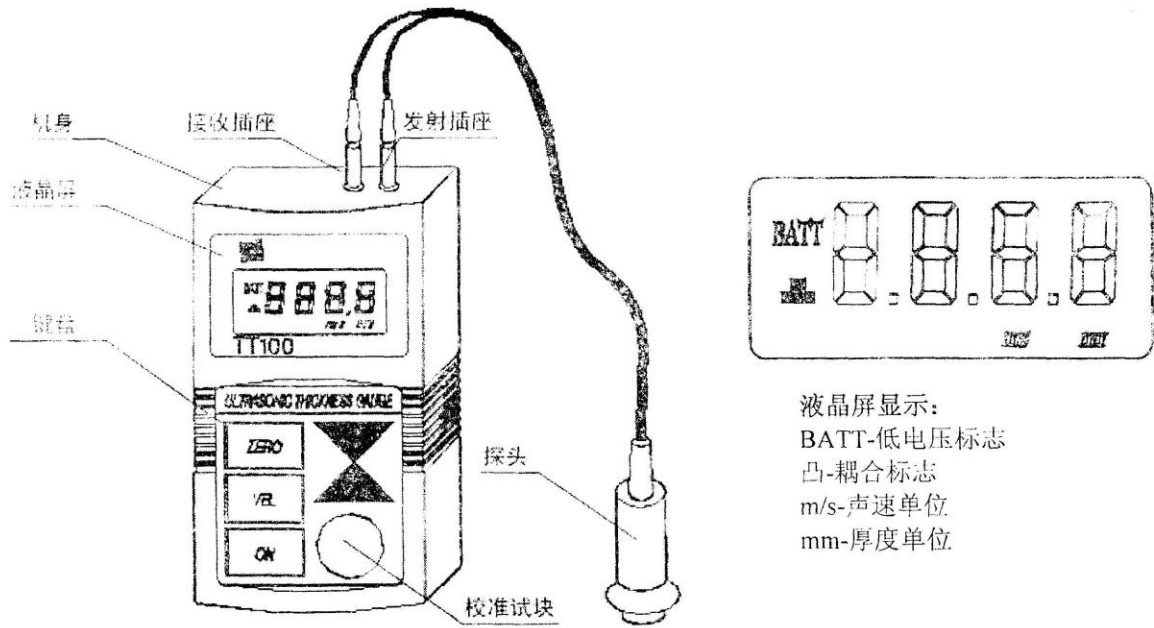


图 2 超声波测厚仪外形图

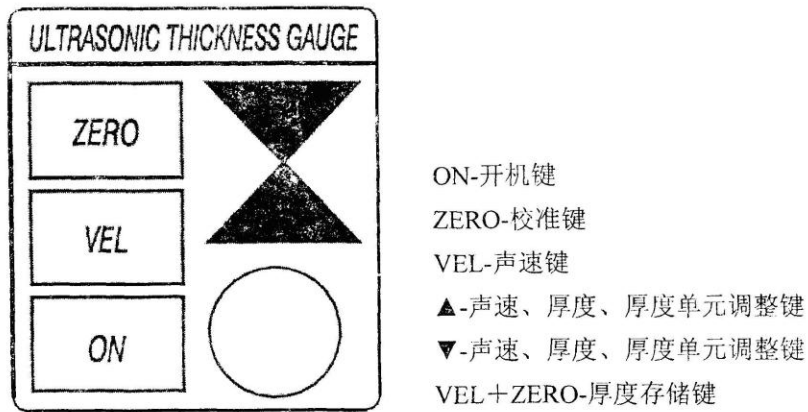


图 3 键盘功能键

四、主要仪器、材料和试剂

仪器：TT100 型超声波测厚仪；镀铬游标卡尺；砂纸。

材料：各种材料的试样。

试剂：甘油耦合剂。

五、实验步骤

1. 超声测厚

(1) 测量准备

将探头插头插入主机探头插座中，按 ON 键开机，全屏幕显示数秒后显示上次关机前

使用的声速。此时可开始测量。

(2)声速的调整

如果当前屏幕显示为厚度值，按 **VEL** 键进入声速状态，屏幕将显示当前声速存储单元的内容。每按一次，声速存储单元变化一次，可循环显示各个声速值。如果希望改变当前显示声速单元的内容，用 **▲**或**▼**调整到期望值即可，同时将此值存入该单元。

(3)校准

在每次更换探头、更换电池之后应进行校准。此步骤对保证测量准确度十分关键。如有必要，可重复多次。将声速调整到 5900m/s 后按 **ZERO** 键，进入校准状态，在随机试块上涂耦合剂，将探头与随机试块耦合，屏幕显示的横线将逐条消失，直到屏幕显示 4.0mm 即校准完毕。

(4)测量厚度

将耦合剂涂于被测处，将探头与被测材料耦合即可测量，屏幕将显示被测材料厚度。

说明：当探头与被测材料耦合时，显示耦合标志。如果耦合标志闪烁或不出现，说明耦合不好。拿开探头后，厚度值保持，耦合标志消失。

2. 测量声速

如果希望测量某种材料的声速，可利用已知厚度试块测量声速。与测量厚度步骤相似，用游标卡尺或千分尺测量试块，准确读取厚度值，将探头与已知厚度试块耦合，直到显示出一厚度值，拿开探头后，用 **▲**或**▼**键将显示值调整到实际厚度值，然后按 **VEL** 键即可显示出被测声速，同时该声速被存入当前声速存储单元。

3. 厚度值存储

(1)存储

按住 **VEL** 键，再按 **ZERO** 键，进入厚度存储状态，显示某一厚度存储单元号，此时可用上、下调节键找到所需单元(用 **▲**键或**▼**键可循环显示(0~9 单元)。测量厚度的同时，将测值存入单元。每测一次新值即将旧值刷新，该单元记录的是最后一次测量的值。按 **VEL** 键可退出厚度存储状态。

(2)查看存储内容

按住 **VEL** 键，再按 **ZERO** 键，显示当前厚度存储单元号，用 **▲**或**▼**键找到要查看的单元(用 **▲**或**▼**键可循环显示 0~9 单元)，再操作一次即显示该单元的内容。此时测

量也可将新测的值存入该单元。按 VEL 键可退出厚度存储状态。

六、注意事项

1. 探头表面为丙烯树脂，对粗糙表面的重划很敏感，因此在使用中应轻按。
2. 被测物表面不应超过 60℃，否则探头不能再用。
3. 灰尘(铁屑，碳粒等)的侵入会引起麻烦，应经常清理。
4. 及时更换电池

出现低电压指示标志后，应及时更换电池，按下述方式更换 (1)等待机器自动关机；(2)打开电池仓盖(用拇指压下仓盖，再退出)； (3)取出电池，放入新电池，注意极性。

5. 油灰尘的附着会使探头缆线逐渐老化，使其断裂，使用后应清除缆线上的污垢。
6. 仪器长时间不使用时应将电池取出，以免电池漏液，腐蚀电池盒与极片。
7. 严格避免碰撞、潮温等。

七、实验数据记录

实测结果记录：试样材料、形状、测定部位。实测厚度，普通量具测得厚度值，

实验日期： 年 月 日				室温： °C									
被测物		测试点 (mm)											
		1		2		3		4		5		6	
名称	形状	超声	游标	超声	游标	超声	游标	超声	游标	超声	游标	超声	游标
		误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm
		误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm
		误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm	误差: mm

误差。

八、思考题

说明产生误差的原因。

实验七 可燃固体氧指数的测定

一、实验目的

1. 明确氧指数的定义及其用于评价高聚物材料相对燃烧性的原理；
2. 了解 HC-2 型氧指数测定仪的结构和工作原理；
3. 掌握运用 HC-2 型氧指数测定仪测定常见材料氧指数的基本方法；
4. 评价常见材料的燃烧性能。

二、实验原理

费尼莫(Fennimore)和马丁(Martin)于 1966 年提出了采用氧指数法判断聚合物材料的可燃性的方法。这种方法重现性好，而且能给出数字结果，所以氧指数技术发展很快，很多国家相继用它作为评价聚合物材料可燃性试验的方法，例如 ASTM D2863、JISK7201 等均使用氧指数作为评价标准。

物质燃烧时，需要消耗大量的氧气，不同的可燃物，燃烧时需要消耗的氧气量不同，通过对物质燃烧过程中消耗最低氧气量的测定，计算出物质的氧指数值，可以评价物质的燃烧性能。所谓氧指数(Oxygen Index)，是指在规定的试验条件下，试样在氧氮混合气流中，维持平稳燃烧(即进行有焰燃烧)所需的最低氧气浓度，以氧所占的体积百分数表示。

氧指数：
$$OI = \frac{[O_2]}{[N_2] + [O_2]} \times 100\% \quad (1)$$

氧指数：
$$OI = \frac{[O_2]}{[N_2] + [O_2]} \times 100\%$$

式中 $[O_2]$ ——测定浓度下氧的体积流量，L/min；

$[N_2]$ ——测定浓度下氮的体积流量，L/min。

氧指数的测试方法，就是把一定尺寸的试样用试样夹垂直夹持于透明燃烧筒内，其中有按一定比例混合的向上流动的氧氮气流。点着试样的上端，观察随后的燃烧现象，记录持续燃烧时间或燃烧过的距离，试样的燃烧时间超过 3min 或火焰前沿超过 50mm 标线时，就降低氧浓度，试样的燃烧时间不足 3min 或火焰前沿不到标线时，就

增加氧浓度，如此反复操作，从上下两侧逐渐接近规定值，至两者的浓度差小于 0.5%。

三、实验试样

1. 材料：有机塑料
2. 试样尺寸：试样应符合表 1 中的尺寸的要求。

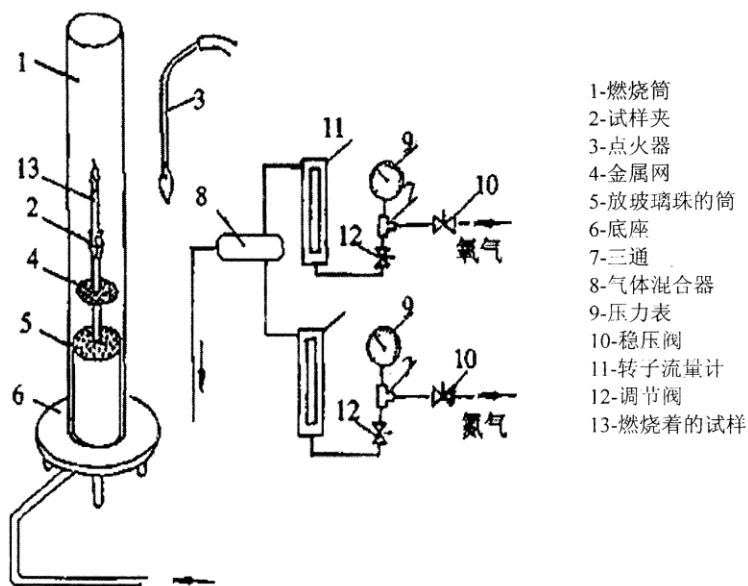
表 1 氧指数试样尺寸规格

类别	材料形状	宽 (mm)	厚 (mm)	长 (mm)
A	自支撑塑料	6.5 ± 0.5	3.0 ± 0.5	70~150
B	软载塑料	6.5 ± 0.5	2.0 ± 0.5	70~150
C	泡沫塑料	12.5 ± 0.5	12.5 ± 0.5	125~150
D	薄膜或织物	50 ± 0.5	自身厚度	140 ± 5

3. 试样数量：每组应制备 10 个标准试样
4. 外观要求：试样表面清洁、平整光滑，无影响燃烧行为的缺陷，如：气泡、裂纹、飞边、毛刺等。
5. 试样的标线：距离点燃端 50mm 处划一条刻线。

四、实验装置

氧指数实验法的试验装置的构造见图 1，其外形如图 2。是由燃烧筒和供气部分组成。燃烧筒是一个内径不小于 75mm、长度不小于 450mm 的耐热玻璃管，其底部用直径为 3~5mm 的玻璃珠充填，充填高度为 100mm。玻璃珠上方放一金属网，以遮挡燃烧试样燃烧时的滴落物。试样安装在燃烧筒的轴心位置上。供气系统由压力表、稳压阀、调节阀、管路和转子流量计等组成。计量后的氧气和氮气经气体混合器由底部进入燃烧筒，燃烧筒内混合气体流速控制在 4 ± 1 cm/s。



- 1-燃烧筒
- 2-试样夹
- 3-点火器
- 4-金属网
- 5-放玻璃珠的筒
- 6-底座
- 7-三通
- 8-气体混合器
- 9-压力表
- 10-稳压阀
- 11-转子流量计
- 12-调节阀
- 13-燃烧着的试样

图 1 氧指数测试装置

五、实验步骤

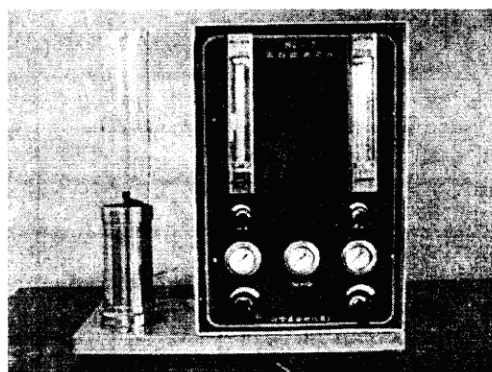


图 2 HC-2 型氧指数测定仪外观图

1. 根据 GB / T2406 所规定的燃烧柱内混合气体流速($4 \pm 1 \text{ cm / s}$), 含氧燃烧柱的截面积, 计算出气体的总流量, 再分别计算出不同比例氧和氮的流量。根据计算规定总流量为 10L/min;

2. 取标准试样 10 根(试样规格见表 1)。对每根进行测量并记录, 在试样一端 50mm 处划线, 将另一端插入入燃烧柱内试样夹中;

3. 根据资料或经验选定试验所需最初氧的浓度。如果不了解, 可在空气点燃试样, 注意观察燃烧情况。如试样燃烧很快, 氧的最初浓度选为 18%, 如果试样在空气中点燃后离火马上熄灭, 则根据点火的离火后熄灭的情况选择氧的浓度 25% 或更高的氧浓度;

4. 开启氧、氮钢瓶阀门, 调节减压阀, 压力为 0.2~0.3MPa。调节微量调节阀,

得到稳定流速的氧、氮流通过转子流量计指示，看浮子上平面。并调节至工作位置，与此同时检查仪器压力表指针是否在 0.1MPa 处，否则，应调节到规定压力。N₂+O₂ 压力表不大于 0.03MPa 或不显示压力为正常，超过此压力则应检查燃烧柱内是否有结炭、气路堵塞现象、直至符合要求为止。应注意：在调节氧气、氮气浓度后，必须用调节好流量的氧氮混合气流冲洗燃烧筒至少 30s(排出燃烧筒内的空气)。

5. 点燃试样：用点火器从试样的顶部中间点燃(点火器火焰长度为 1~2cm)，勿使火焰碰到试样的棱边和侧表面。在确认试样顶端全部着火后，立即移去点火器，开始计时或观察试样烧掉的长度。点燃试样时，火焰作用的时间最长为 30s，若在 30s 内不能点燃，则应增大氧浓度，继续点燃，直至 30s 内点燃为止。

6. 确定临界氧浓度的大致范围：点燃试样后，立即开始记时，观察试样的燃烧长度及燃烧行为。若燃烧终止，但在 1 s 内又自发再燃，则继续观察和记时。如果试样的燃烧时间超过 3min，或燃烧长度超过 50mm(满足其中之一)，说明氧的浓度太高，必须降低，此时记录实验现象记“×”，如试样燃烧在 3min 和 50mm 之前熄灭，说明氧的浓度太低，需提高氧浓度，此时记录实验现象记“O”。如此在氧的体积百分浓度的整数位上寻找这样相邻的四个点，要求这四个点处的燃烧现象为“OO××”。例如若氧浓度为 26%时，烧过 50mm 的刻度线，则氧过量，记为“×”，下一步调低氧浓度，在 25%做第二次，判断是否为氧过量，直到找到相邻的四个点为氧不足、氧不足、氧过量、氧过量，此范围即为所确定的临界氧浓度的大致范围。

7. 在上述测试范围内，缩小步长，从低到高，氧浓度每升高 0.4%重复一次以上测试，观察现象，并记录。

8. 根据上述测试结果确定氧指数 OI。

六、实验数据记录

1. 实验数据记录

实验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
氧浓度，%										
氮浓度，%										
燃烧时间										
燃烧长度(mm)										
燃烧结果										

说明：第二、三行记录的分别是氧气和氮气的体积百分比浓度（需将流量计读出的量计算为体积百分比浓度后再填入）。第四、五行记录的燃烧长度和时间分别为：若氧过量(即烧过 50mm 的标线)，则记录烧到 50mm 所用的时间；若氧不足，则记录实际熄灭的时间和实际烧掉的长度。第六行的结果即判断氧是否过量，氧过量记“×”，氧不足记“O”。

2. 结果计算

根据上述实验数据计算试样的氧指数值 OI，即取氧不足的最大氧浓度值和氧过量的最小氧浓度值两组数据计算平均值。

3. 材料性能评价

表 2 列出部分聚合物材料的氧指数。大量试验证明，氧指数在 27~60 之间的材料，在空气中一般都能自熄。同本消防厅规定氧指数在 26 以上为难燃塑料

表 2 若干聚合物的氧指数 (OI)

聚合物名称	OI	聚合物名称	OI
聚甲醛	15	羊毛	25
聚环氧乙烷	15	聚碳酸酯	27
聚甲基丙烯酸甲酯	17	Nomex (商)	28.5
聚丙烯腈	18	(聚间苯二甲酰间苯二胺)	29
聚乙烯	18	聚苯醚	30
聚丙烯	18.5	聚砒	35
聚异戊二烯	18.5	聚酚醛树脂	40
聚丁二烯	18.5	氯丁橡胶	41.5
聚苯乙烯	19	聚苯丙咪唑	42
纤维素	21	聚氯乙烯	44
聚对苯二甲酸乙二酯	22	聚偏氯乙烯	60
聚乙烯醇	23	碳(石墨)	95
尼龙 66	23	聚四氟乙烯	
Penlon (商)			
(聚 3'3 (氯甲基) 环氧丙烷)			

根据氧指数通常把纤维织物分为三级，即氧指数在 20 以下的一般认为是易燃的，25~31 之间认为是阻燃的，在 35~40 之间认为是不燃的。普通纤维的氧指数在 15~20 之间。

日本 JISA1201 规定：OI>30 定为难燃 1 级，OI 在 27~30 定为难燃 2 级，OI 在

24~27 定为难燃 3 级，OI 在 21~24 定为难燃 4 级，OI<21 定为难燃 5 级。

七、思考题

1. 氧指数对于研究物质的燃烧和爆炸性能有何意义?
2. 实验中如果 N₂+O₂ 压力表显示值超过了 0.03MPa，则有可能是哪些因素造成的?
3. HC-2 型氧指数测定仪适用于哪些材料的测定?如何提高实验数据的测试精度?

实验八 气体爆炸实验

一、实验目的

1. 通过密闭的单个容器内气体燃烧爆炸实验使学生巩固学习和掌握最大爆炸压力、最大爆炸压力上升速率、爆炸极限等基本概念，熟悉压力传感器和火焰传感器的基本原理和使用方法，掌握气体燃烧爆炸实验的基本技能和实验方法，通过实验使学生了解密闭容器气体燃烧爆炸压力发生、发展乃至消亡的整个过程；

2. 通过密闭的连通容器内气体燃烧爆炸实验使学生了解实际工业装置气体爆炸过程的基本规律，了解此类装置气体爆炸过程所表现出来的局部动力学特征，即“压力累积效应”。使学生了解爆炸过程的压力、火焰传播速度的分布规律以及爆炸过程发展的各种影响因素，使学生重点了解连接管道长度、气体浓度和点火位置对爆炸过程的影响；

3. 通过容器与开口管道连通装置内气体燃烧泄爆实验使学生了解气体泄爆原理以及泄爆过程的基本规律，使学生了解泄放面积和泄爆压力对容器内气体爆炸发展过程的影响。

二、实验方案

(一)单个容器和连通容器气体爆炸和泄爆实验

1. 主要测量参数

爆炸压强和火焰传播速度。

2. 实验装置设计

整套装置可通过法兰或螺栓连接，容器和管道上设有传感器或点火孔及端盖，管道可拆卸，每两节管道均安放在托架上。

3. 研究内容

研究单个容器或连通容器内气体爆炸强度的各种影响因素，包括点火位置(壁面处和中心点火)、火焰传播方向(火焰从容积大的容器向容积小的容器传播和或从容积小的容器向容积大的容器传播)、连接管道长度、气体反应活性(气体种类)、气体浓度等。

4. 实验介质

取工业中常见烃类气体：甲烷(低反应活性)、丙烷、乙烯(中等反应活性)和乙炔(高反应活性)。

5. 不同气体填充率的实现

针对每种直径管道设计一个端盖,这样充气时可预先将端盖盖住端口,然后抽真空,充入一定配比浓度的气体后(常压)卸下端盖,用较薄的软木塞塞住端口,然后连接装置的其余部分。

6. 气体爆炸实验系统

系统框图见图 1。

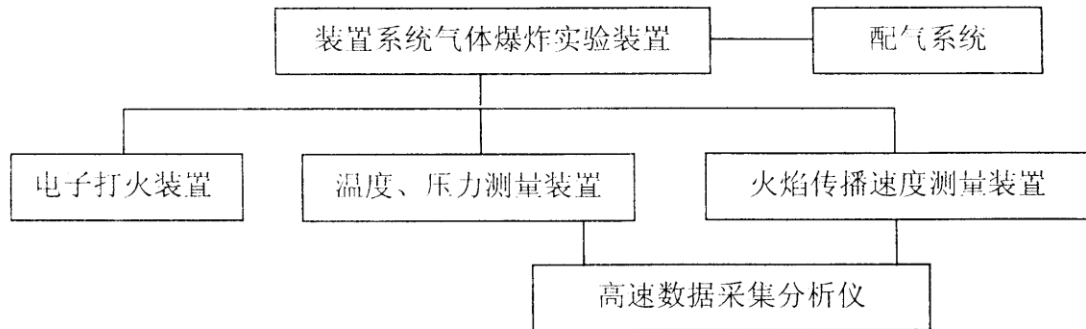


图 1 密闭装置系统气体爆炸实验系统

(1)数据采集系统

采用 USB 总线数据采集器(型号: UA305)或 ISA 总线采集控制器(型号: UA104H)及可编程软件分析系统,采样频率为 333kHz,分辨率为 12bit,精度为 0.04%(满量程)。

(2)火焰阵面(速度)测量装置

火焰传感器采用光敏三极管,采样速度为 1 微秒。或使用火焰探头或电离探针测试火焰速度。

(3)压力测量装置

压力传感器选用 YD205 型石英压电传感器,采样速度为 1 微秒,每次实验分别在附图 1 中蓝色标记处布置 8 个传感器(5 个压力传感器和 3 个火焰传感器)。

(4)点火装置

采用弱点火方式,点火能量采用工业上常见的 100mJ 的能量。采用电子点火器实现爆炸实验中的可燃气体点火。

(5)配气系统

实验时用配气仪配置给定浓度的可燃气体与空气的混合气体。

(二)一端开口的装置系统气体爆炸实验

1. 主要测量参数

爆炸压强和火焰传播速度。

2. 实验容器设计

设计制作 201 和 1001 体积的两个球形容器，采用直径为 80mm 的连接管道。

3. 研究内容

研究影响一端开口的装置系统气体爆炸强度的各种影响因素，包括点火位置(壁面处和中心点火)、连接管道长度、气体反应活性(气体种类)、气体浓度等。

4. 在配气系统中，刚配气仪配置给定浓度的可燃气体与空气的混合气体。

(三)装置系统气体爆炸泄放实验

1.主要测量参数

爆炸压强和火焰传播速度。

2. 实验容器设计

分别在预先设计的泄爆口上装上不同泄爆压力的爆破片。

3. 研究内容

研究方案(一)中各种因素对装置内气体爆炸过程的影响。

4. 实验方案同上。

三、实验仪器

1. 高速数据采集器

USB 总线数据采集器(型号~UA305)

ISA 总线采集控制接口卡(型号: UAIO4H)

高速数据采集仪

2. 压力传感器

压力传感器选用 YD205 型石英压电传感器，采样速度为 1 微秒

3. 火焰传感器

火焰传感器采用光敏三极管，采样速度为 1 微秒。

4. 气体钢瓶(带减压阀、稳流阀)

20kg 甲烷钢瓶、丙烷钢瓶、乙烯钢瓶、乙炔钢瓶各 1 个。

稳流阀：(型号: WLF-01)南京市江宁区分析仪器厂

5. 输气管线

输气软管(粗细与钢瓶配套)

6. 点火装置

电子点火器(自制)、5号电池4节、铜芯细导线5m、万用表、点火针2根

7. 可燃气体测爆仪

8. 传感器连接导线100m

9. 真空表、真空泵

10. 电子计算机

11. 配气仪

12. 爆破片

泄放口直径为50mm,泄爆压力分别为0.15MPa、0.2MPa、0.3MPa、0.4MPa、0.8MPa。

13. 装置本体

包括两个爆炸容器和连接管道、双层法兰(既可密闭也可装爆破片,装点火器)、另开3个孔(气体入口、传感器装设孔、与管道连接孔)、2个管道托架。

四、实验步骤

实验操作步骤如下:

1. 按照实验装置示意图装配好实验系统(包括各类传感器、点火装置和配气系统的置10~20min(使气体混合均匀);

2. 调试测试系统中各通道至工作状态;

3. 打开电子计算机电源,接好数据采集卡数据端口连线,等待信号;

4. 清理人员至安全距离之外,准备引爆;

5. 点火引燃气体,数据采集;

6. 保存数据到计算机硬盘;

7. 拆线,关闭计算机及其它设备。拆下各类传感器,并装好保护帽;

8. 清理实验现场,检查实验仪器是否完好无损。

由于该实验涉及到安全工程和消防工程专业课程的综合知识与相关课程知识,综合性比较强。实验既可以检验学生对专业知识掌握的熟练程度,又可以和工业实践相结合,使学生了解工业气体燃烧爆炸原理和基本规律。

五、实验安全措施

1. 每次实验须由多人完成,实验过程中如若出现意外情况可向领导及上级汇报。

2. 实验室要保证足够的通风,并配置可燃气体测爆仪实时检测可燃气体浓度,每次实验前可检测可燃气体浓度,一旦浓度超标立即关闭电源,停止实验,并采取有

效措施降低其浓度。

3. 实验操作人员离爆炸实验装置 5m 以外(点火开关引线、计算机、电源开关均离爆炸装置 5m 以外)。

4. 实验结束后认真检查钢瓶阀门和电源是否关闭, 实验装置及环境中可燃气体浓度是否在安全范围之内。

六、实验注意事项

由于实验所用的仪器大多为精密仪器, 因此必须注意以下事项, 防治仪器损坏:

1. 高速瞬态记录仪必须严格按照说明书执行操作顺序(先打开计算机电源, 再插入数据连线; 先拔出数据连线, 再关闭计算机电源)。各类精密仪器每次通电时间不宜超过 30 分钟, 实验完毕后不要忘记关闭, 以防止被烧坏:

2. 保护好传感器, 用完后一定要拧上保护帽;

3. 配气时一定要控制好流量, 掌握好时间。

七、思考题

1. 在气体爆炸试验中应注意哪些事项?在何种情况下测量的结果可视为无效测量?
2. 如何计算管道系统内气体爆炸火焰传播速度?
3. 跟单个容器相比, 连通容器气体爆炸有什么不同?为什么?

实验九 内压薄壁容器应力测定

一、实验目的

1. 了解薄壁容器在内压的作用下，容器壳体、封头的应力分布情况；
2. 验证薄壁容器应力计算的理论公式；
3. 掌握应力电测法的实验操作技能，包括应变片粘贴、灵敏系数和横向效应系数的测定，了解电阻应变仪等仪器的工作原理、使用方法，内压薄壁容器应力测量。

二、实验内容

对各种典型的顶盖、筒体及其不连续处的应力进行测试。顶盖可以是椭圆形、半球形、锥形、平板等，可选其中的一、两种进行测定。

三、实验原理及方法

本实验是测定内压薄壁容器外壁上的应力，并与理论计算值进行比较，分析产生误差的原因，然后对实验结果进行讨论。

1. 实验前的准备

- (1) 了解测试对象的技术参数，包括几何尺寸、材料性能及机械性能指标。
- (2) 测点选择 在容器外壁上给定的区域内选择测量点。
- (3) 布片方案 由于本实验要测量的容器外表面均处于平面应力状态，而且两主应力方向已知，故每测量点的布片数为两片，其方向分别为径向和周向。
- (4) 应变片桥接方式 因容器是受单一载荷作用，而且是在室内进行测试，故采用同一温度补偿片的半桥测量方式，并由预调平衡箱实现多点测量。

2. 现场实验工作

- (1) 测点表面的打磨、划线和清洗脱脂处理；
- (2) 应变片的粘结，应变片与连接线的焊接与固定；
- (3) 应变片与应变仪的连接；
- (4) 静态电阻应变仪、预调平衡箱的调整与操作；
- (5) 容器加载测量，记录数据。

3. 数据处理及应力计算

- (1) 原始测量数据整理

首先进行原始数据的整理，并进行系统修正误差计算。如进行灵敏系数 K 值的计算，应变片横向效应的修正计算，连接导线电阻的修正计算，电阻应变片不符合标准值的修正计算。上述这些计算，根据实际情况选用。

(2) 应力计算公式

根据修正计算后的主应变，可计算出设备的主应力，应力计算公式为：

$$\sigma_{\theta} = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_{\theta} + \mu\varepsilon_{\varphi}) \quad (9-1)$$

$$\sigma_{\varphi} = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_{\varphi} + \mu\varepsilon_{\theta}) \quad (9-2)$$

(3) 测量误差计算

根据压力容器理论，分别计算各部分的理论应力值，并计算其相对误差：

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma - \sigma_{理}}{\sigma_{理}} \times 100\% \quad (9-3)$$

四、实验装置

实验装置如图1-1所示。

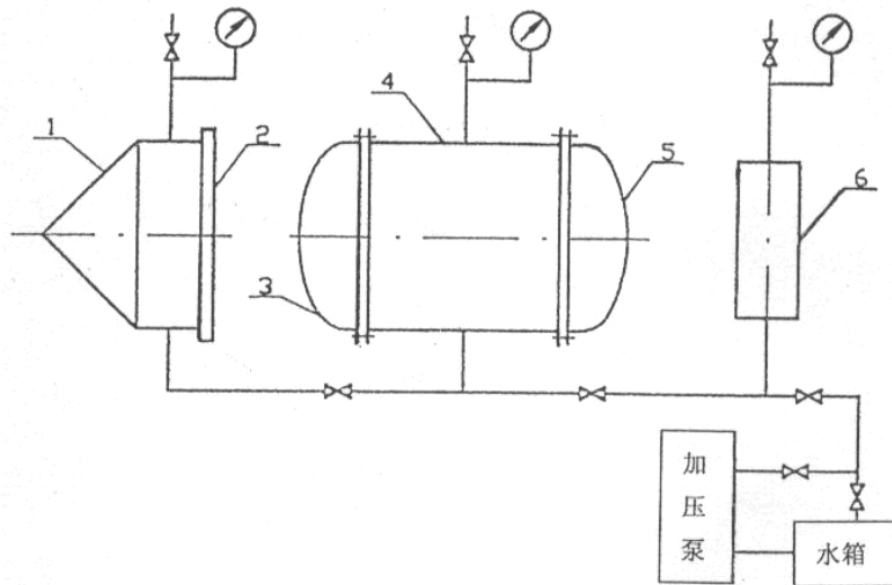


图1 内压力容器应力测定实验装置

- 1—45℃锥形封头（内径400mm，厚度3.55mm）； 2—平盖（直径400mm，厚度21mm）；
3—标准椭圆形封头（内径400mm，厚度4.78mm）； 4—圆形筒体（内径400mm，厚度4.78mm）；
5—标准蝶形封头（内径400mm，厚度4.78mm）； 6—圆筒体（内径158mm，厚度2.5mm）

实验中所用设备的材料均为碳钢。

实验中所用的仪器主要有：静态电阻应变仪、欧兆表以及贴片工具等。

五、实验步骤

1. 贴应变片。根据选择的测点和布片方案，进行表面打磨、划线定位，清洗表面脱脂，粘结应变片，并对其进行固定及防护等。
2. 检查贴好的应变片质量。用欧兆表（即摇表）检查应变片电阻丝与金属工件表面之间的绝缘度。其绝缘电阻不得低于 $100\text{M}\Omega$ 。
3. 连线。用相同长度与相同型号的导线，连接应变片与静态应变仪，导线进行固定。静态应变仪上连线方式按照“单臂”连接的方式。经指导老师同意后，接通应变仪电源，预热半小时左右。
4. 检查调整静态应变仪各测点的灵敏度系数K值。
5. 加压测量。关闭有关阀门，对被测容器利用试压泵进行加压至 0.1Mpa ，测定各测量点的应变值读数。
6. 按步骤4，依次进行加压至 0.2MPa 、 0.3MPa 和 0.4MPa ，测定各种载荷下的应变值。在对实验容器每次进行加载时，应注意卸载后，再加载，以便消除应变片初受载荷的永久变形，使滞后误差趋于稳定。
7. 测量结束后，系统卸载。

六、实验报告内容要求

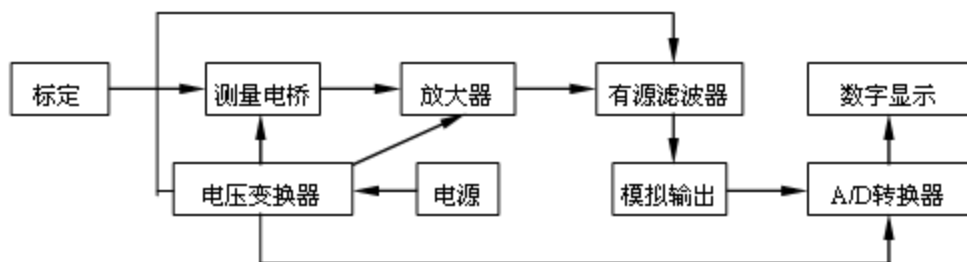
1. 容器测点位置分布图；
2. 各种载荷下的时实际测量的应变读数；
3. 根据测试条件进行系统误差的修正计算；
4. 各测点应力值的计算；
5. 用压力容器理论计算各测点的应力理论值；
6. 测量值的误差计算；
7. 实验结果讨论（主要为产生误差的原因分析）。

七、CM-1A-20型数字静态应变仪使用说明

CM-1A-20型数字静态应变仪北戴河电子仪器厂CM系列静态应变仪的一种，它主要用于实验应力分析及静力强度研究中测量结构及材料任意点变形的应力分析，其主要特点是：测量点数多，操作简单，携带方便，可进行单臂、半桥或全桥测量，K值连续可调，是应力测试的仪器。配用相应的传感器，可测力、压力、扭矩、位移等物理量。

1. 结构与工作原理

CM-1A-20数字静态应变仪由测量桥，放大器，滤波器，A/D，单片机，数字显示，电源等部分组成。其原理方框图如下：



2. 主要技术指标

测量范围：0~19000 $\mu\epsilon$ ；分辨率：1 $\mu\epsilon$ ；基本误差：测量值的 $\pm 0.2\% \pm 2$ 个字；稳定性：A：零点漂移 $\leq \pm 4\mu\epsilon / 4h$ ；温度漂移 $\leq \pm 1\mu\epsilon / C$ ；灵敏度变化：测量值的 $\pm 0.1\% \pm 2$ 个字；应变系数：K值可调范围为0.5-9.9；主机可测点数：20点；预调平衡范围：约+19000 $\mu\epsilon$ ；适调应变电阻值范围：120~1K Ω ；可方便的进行单臂、半桥、全桥测量；桥压：2V_{Dc}；电源：AC220V $\pm 10\%$ 50Hz；工作环境：0 $^{\circ}C \sim 40^{\circ}C$ 相对湿度30%~85%；外型尺寸：330mm(D) \times 370mm(W) \times 170mm(H)

3. 具体使用说明

本仪器共20点，单臂时10点一个公共补偿。在确定采用那种测量方法(单臂测量、半桥测量、全桥测量)后进行连线，具体要求是：

① 单臂测量的联接：顶部面板的“变换器(单臂)”插头插好；补偿接线端子的A₀与D₀之间连接补偿应变片，10个点的A、B间接测量应变片。

② 半桥测量的联接：顶部面板的“变换器(半桥)”插头插好，10个点的A、B间与B、C间接测量应变片。

③ 全桥测量的联接：顶部面板的“变换器”插头拔下。10个点的A点接桥路的电压正极，C点接桥路电压的负极、B点和D点接桥路输出的正极和负极。

4. 按键功能及使用

面板图及各按键功能如下：



按一次“总清”键，是对各测点自动进行清零。

按一次“复零”键，是对面板上正显示的测点进行清零。

按一次“巡检”键，是对各测点自动循环一次进行测量。

按一次“打印”键，是对巡检测量的值通知微型打印机打印数据。打印步骤：接通仪器后面板打印机电源开关，前面板打印机灯亮，巡检、打印出纸停止后，按打印机面板“SEL”键，灯灭 后按“LF”键一下，打印纸上面的数据全部出来后，再按“LF”键一下，按“SEL”键灯亮后等待下一次打印。

“测量”键是一个双功能键，开机后数字表显示测点号及其初始应变值，按一次该键数字表显示测点号及K值(应变值与K值显示最显著的差别是应变值无小数点，K值显示是2.000左右的数值)。

“P / K增”和“P / K减”两个功能键与“测量”键配合使用，来调节测点、K值大小设置，例如，若“测量点P”显示为“01”，按一下“测量”键，显示第1点K值为2.000，而实际使用的应变片K值是2.180，这时按“P / K增”键不放，K值将以0.001增量增长，为了力口快调节速度，在增长5个数值后，K值将以0.005增量增长，增长5个数值后，K值将以0.010增量增长…，数据直至接近显示2.180后，松开“P / K增”键一下，再按“P / K增”或“P / K减”键微调节K值到显示2.180为止。按一下“测量”键后K值可永久保存。

5. 测量

连线接好后打开电源，仪器进行自检，8位数码管发亮，数字面板表左部1~2点显示测点点数P，第3点显示正负号，第4~8点显示应变值或K值(仪器的应变片灵敏度系数)。预热半小时，检查每个测量点初始不平衡值，如是较小不平衡数值时，表示此点连接正确。出现大的不平衡数值时，应查明应变片或导线是否断、短路或其他异常情况，根据具体情况排除故障。经此检查正确后按“总清”键进行清零。清零后给测件加载，加载完成后按“巡检”键，仪器以每秒约1点的速率进行测量，可按“打印”键打印出数据，也可按“P / K增”和“P / K减”键从数字表读数。

6. 应变式传感器与本仪器的配合使用举例

例如压力传感器与本仪器的配合使用：第一次使用前应进行一次标定，把传感器的桥压输入端的两条线接往CM-1A静态应变仪的某一点(如第10点)的A、C端，传感器的电压输出端的两条线接往这一点的B、D端。将表头调到显示第10点的数值，按“复零”键后，用标准压力机给出一标准力，如20KN，查看第10点显示的数据比标准力值大还是小，如果大于标准力，按照调节K值的方法调大K值，如果小于标准力，调小K值，按“测量”键返回到显示应变值状态查看数据，如未达到标准值，重新调整K值。通过对K值的几次修改直至数字表头上第10点的显示值与标准值相同后，此时第10点的K值就是对应此传感器的专用系数。实际测量时先将第10点复零，给传感器一定压力后，第10点的显示值即是传感器所受压力值。

7. 使用注意事项

(1) 请用户在使用本仪器前要仔细阅读使用说明书，避免连线和操作错误，给测量带来困难。

(2) 仪器应尽可能在 $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 的温度环境中使用，避免阳光强烈照射。

(3) 避免在高温条件下使用，并尽量远离磁场源(电机，大变压器)，使仪器少受干扰。

(4) 要求测量片与温度补偿片的阻值尽量选用一致，所用的连接导线为屏蔽电缆，线径和长度相同，这样便于桥路平衡及减少干扰。

(5) 测量片与补偿片不受阳光曝晒、高温辐射的影响，补偿片应贴在与试件相同的材料上，与测量片保持同样的温度，应变片对地绝缘电阻应在 $500\text{M}\Omega$ 以上。

实验十 振动与隔振实验

一、实验目的

1. 分析振动产生的原因及其危害，消除或减弱振动经常采用的方法；
2. 分析螺旋弹簧的隔振原理，了解弹簧减振器的作用；
3. 测定振动设备不平衡离心力传给基础的力，掌握测定方法；
4. 掌握实验测试系统的组成及各种仪器的原理和使用方法。

二、实验原理

一般机器振动的原因，主要是由于转子质量的不平衡所产生的不平衡离心力所致。在通常的情况下，机器的振动有害。强烈的振动将产生噪声污染和有损于建筑物的动载荷，影响机器设备的使用寿命和工作性能，严重时使零件失效，甚至造成破坏与事故，因此应防止和减弱振动。

消除振动的措施有：消除振源、避开共振区，增加阻尼、隔振等。对于高速旋转的机器部件，必须分别做静、动平衡检验，并且应在结构的设计、零部件的加工检验、设备的装配、安装等环节，都要考虑防振问题。

本实验是采用螺旋弹簧减振结构，振体（机器与底板）质量为 m 通过弹簧变形而把力传给基础，故基础的受力 $R=KX$ ，其最大值为：

$$R_{\max} = KX_o \quad (10-1)$$

式中： K — 弹簧的刚度系数；

X_o — 弹簧的振幅。

$$\text{又知：} \quad R_{\max} = \frac{P_o}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_o}\right)^2} \quad (10-2)$$

式中： ω — 工作机角速度，1/sec；

ω_o — 该系统固有的自振频率，1/sec； $\omega_o = \sqrt{\frac{K}{m}}$ ，其中， K 为弹簧的刚度系数，N/m； m 为振动体的质量，kg。

P_o — 不平衡离心力，N；

$P_o = m_{\text{偏}}e\omega^2$ ，其中， $m_{\text{偏}}$ 为偏心质量载荷，kg； e 为偏心距离，m； ω 为

工作机角速度，1/sec。

隔振弹簧的选用原则：

(1) 当弹簧很硬时，其 ω_0 很大，从而使 $\frac{\omega}{\omega_0} \rightarrow 0$ ， $R_{\max} \rightarrow P_0$ ，这时基础受力最大，隔振器不起作用。

(2) 当弹簧较软时，其 ω_0 较小， R_{\max} 也变小，当小到 $(\frac{\omega}{\omega_0})^2 = 2$ 时， $R_{\max} = -P_0$ ，这时弹簧也起不到隔振作用。如果弹簧很软，使 ω_0 继续降低，即 $\frac{\omega}{\omega_0}$ 增大， R_{\max} 的绝对值也继续变小，最后则降为“0”。由此可见，采用较软的弹簧，在 $(\frac{\omega}{\omega_0})^2 \gg 2$ 时，隔振

效果较好。 $\frac{\omega}{\omega_0} \rightarrow \infty$ ， $R_{\max} \rightarrow 0$ 。

(3) 一般取： $\omega_0 = (\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5})\omega_0$ ，有 $R_{\max} = (\frac{1}{16} \sim \frac{1}{20})P_0$ ，具有较好的减振效果。本实验选用的一组弹簧，可使 R_{\max} 降为 P_0 的 $\frac{1}{17}$ 。

在测定 R_{\max} 时，本实验采用电阻应变原理，自制了三个拉应力传感器，将此三个传感器固定在测试系统的下面，装配关系见实验装置示意图3-1所示。

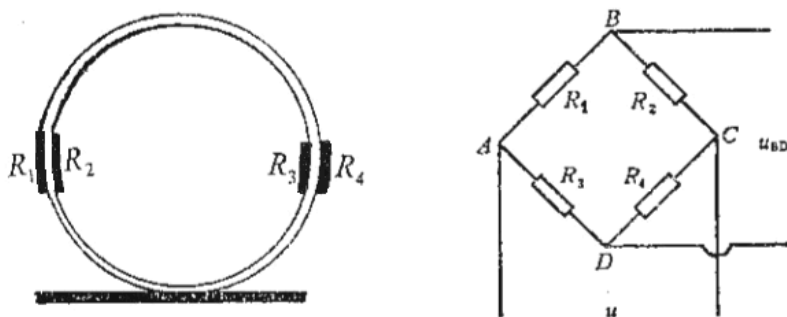


图1 传感器装配关系示意图

传感器受力后，其阻值改变，电桥失去平衡，有电信号输出，经实验校正。该传

传感器输出的电信号与外力P是成线性的关系，将电信号送入动态电阻应变仪，经放大后送入光线示波器记录下振动波形，供计算分析使用。

电测计算方法如下：

三个传感器连成三个电桥，采用全桥测量。电机启动前，先进行标定。先将三个电桥调平衡，进行静态标定。如加3kg的力，可记录下三个振动子的总偏移量为A。再启动电机，记录下振动波形。在一个周期内找到三个振动子的最大总偏移量B，这个B就是通过弹簧减振后作用在基础的最大力 R_{max} 而引起的振动。

根据3Kgf : A = R_{max} : B 得：

$$R_{max} = \frac{3kgf \times B_{max}}{A}$$

其中A、 B_{max} 可根据实验记录波形（如图2）获得。

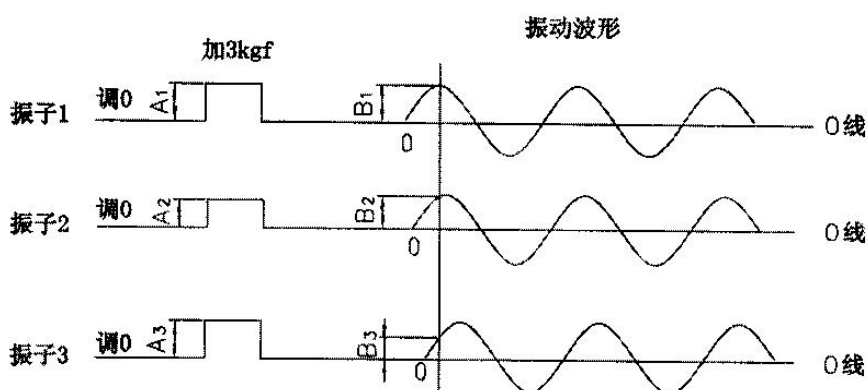


图2 振动实验记录波形

加了3kgf后的总偏移量A, $A = A_1 + A_2 + A_3$

启动振幅后的振幅总偏移量B, $B = B_1 + B_2 + B_3$

三、实验装置

1. 实验装置

振动与隔振实验装置如图3所示。

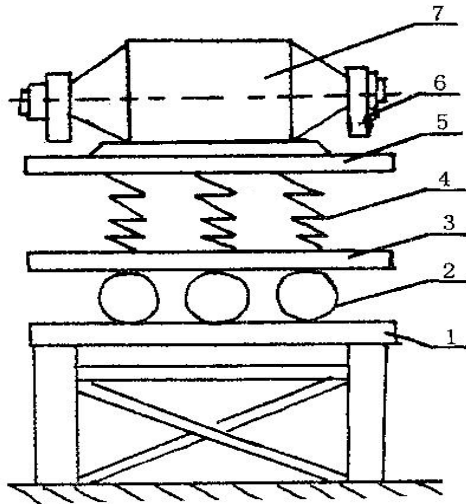


图3 振动与隔振实验装置

- 1— 底座； 2— 拉压力传感器； 3— 托板； 4— 减振弹簧；
5— 振动系统； 6— 电机； 7— 偏心叶片

实验中用到的仪器有：动态应变仪、EMA-2000型—A瞬态波形存储记录仪。

2. CS—1A型动态应变仪

CS系列动态应变仪配接不同类型的应变片及应变片式传感器，可以实现应力、拉压力、速度、加速度、位移、扭矩等多种物理量的测量。具有性能稳定，噪声低、频带宽的特点。

CS—1A型动态应变仪面板及技术性能指标见下图：



型 号	CS-1A
量程(2V桥)	0~±30000 $\mu\epsilon$
桥压 V_{DC}	2、4、8
平衡方式	自动
平衡时间	2 秒
平衡范围	约±5000 $\mu\epsilon$
灵敏度(2V桥)	5V/1000 $\mu\epsilon$
增 益	0、1/20、1/10、1/5、1/2、1
校准($\mu\epsilon$)	100、200、500、1K、2K
低通滤波(Hz)	10、100、300、1K、10K、F
频响范围(Hz)	100K
桥路电阻(Ω)	60~1K
线性度误差	<±0.1%
输出(峰值 V)	10
信噪比	>50dB
通道组合	通道任选

测量前的准备与仪器调节：

(1) 桥压选择；

(2) 桥路连接 四只应变片与桥盒的连接，采用全桥连接方法。桥盒是应变测量元件与信号适调放大器（动态应变仪）连接的桥梁。必须使用 120Ω 的应变片，才能保证电桥平衡。在实际测量时，应变片与连线、桥盒连接柱之间的短路线都要尽可能用烙铁焊接。

(3) 应变片灵敏系数的修正 本仪器设计使用的应变片系数 $K=2.00$ ，若使用灵敏度系数为 K_p 的应变片，实际的应变值 ϵ_p 应为：
$$\epsilon_p = \frac{2.00}{K_p} \epsilon_c$$
，式中 ϵ_c 为测量应变值。

(4) 零点调平衡

(5) 低通滤波器挡位的选择；

(6) 量程选择；

(7) 校准值给定；

(8) 预热 为了保证稳定运行，电路应预热 $10\sim 15$ 分钟，对于小应变或长时间测量，则需要预热 $30\sim 60$ 分钟。

四、实验方法

本实验是由装有一偏心叶片的电机转动产生不平衡离心力，在振动系统下面装有弹簧，弹簧下面装有传感器，连接到与动态应变仪和光线示波器，以测出振动力经弹簧减振后传给基础的力。

实验步骤如下；

1. 开机前的准备

(1) 选用一组弹簧，装在振动板的下面，固定好，本实验采用销钉固定，电机装上偏心叶片。

(2) 仪器按要求连线、调节，预热10分钟。

2. 静态信号标定

应变仪衰减选为10，加3kgf力进行实际标定，记录下标定动态信号。

3. 动态测定

由于设备上部振动较厉害，开机前再次检查机器各部分有无松动，人员远离振源。把衰减调为最大，开机后听其声音，若不正常应立即停机检查，待机器正常后，应变仪保持与静态信号标定同样的衰减值，记录下波形。然后后应将衰减调为最大停机。

由于在开机与停机时都有共振区，应把衰减调为最大，避免仪器的损坏，因此应

先调仪器后开机。

五、实验数据处理

(1) 力学计算用参数

参数	n	m	$m_{\text{偏}}$	e	K
数据					

计算数值取小数点后两位。

(2) 实验测量数据

数据 $B = B_1 + B_2 + B_3$

根据振动波形图，取一个周期内，三振子的最大总偏移量 B_{max} 进行计算。

(3) 实验结果讨论

六、思考题：

1. 引起振动的原因有哪些？减弱或消除振动的措施有哪些？
2. 隔振弹簧选用应注意什么？
3. 减小 R_{max} 的主要措施有哪些？

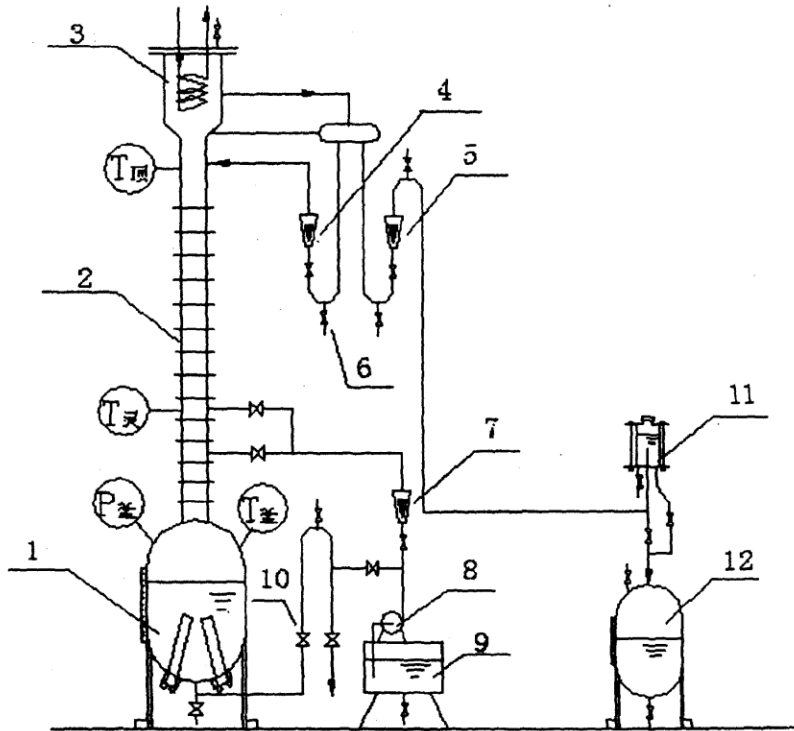
精馏实验

一、实验目的

- 1、熟悉板式精馏塔的结构、流程及各部件的结构作用；
- 2、了解精馏塔的正确操作，学会处理各种不正常情况下的调节；
- 3、用作图法和计算法确定精馏塔部分回流时理论板数，并计算出全塔效率。

二、实验装置、流程及操作说明

1、实验装置及流程示意



1.塔釜 2.塔节 3.冷凝器 4.回流流量计 5.产品流量计 6.塔顶取样阀
7.加料流量计 8.加料泵 9.原料槽 10.塔底出料阀 11、12.产品收器

图7 筛板精馏塔实验流程图

2、实验体系：酒精水溶液

3、进料状态：常温

4、结构参数：塔内径 $D=50\text{mm}$ ，塔总高 $H=3300\text{mm}$ ，塔内采用筛板及圆形降液管，共有 15 块板，一般用下进料管进料，提馏段为 4 块板，精馏段为 11 块板。板间距 $H_T=100\text{mm}$ ，板上孔径 $d=2\text{mm}$ ，筛孔数 $N=26$ 个（旧塔改造后为 30 个），开孔率 3.8%。

塔顶为盘管式冷凝器，冷却水走管内，蒸汽在管外冷凝，冷凝液流入分配器。回流比由回流转子流量计与产品转子流量计数值决定。料液由泵从原料槽中经转子流量计计量后加入塔内。

- ### 5、仪表参数：回流流量计量程 $6\sim 60\text{ ml/min}$ 产品流量计量程 $2.5\sim 25\text{ ml/min}$ 进料流量计量程 $1\sim 10\text{ l/h}$ 总加热功率为 2.5Kw （其中 1.5Kw 为固定， 1Kw 为可调功率）

6、操作参数： $P_{釜}=2\sim 3.5\text{ KPa}$ ； $T_{灵}=77\sim 83^{\circ}\text{C}$ $T_{顶}=71\sim 78^{\circ}\text{C}$ $T_{釜}=97\sim 99^{\circ}\text{C}$

7、操作步骤：

- (1)、开车：在塔釜先加入 7~8v%(体积)的乙醇水溶液，釜位近液位计的 4/5 处，开启固定加热电源，使可调加热电压为 200V，打开塔顶冷凝器进水阀，关闭出料控制阀，开足回流控制阀，使塔处于全回流状态操作。
- (2)、全回流阶段：当塔顶有回流后，使可调电压在 40~70V(应维持塔釜压力在 2~3.5 KPa)。等待灵敏板温度维持不变后全回流操作才算稳定。
- (3)、部分回流：打开加料泵，开启下边进料阀，将加料流量计开至 4~6L/h。开大加热电压约 10~20V，基本上使精馏段保持原来的上升气量和釜压。关小回流阀控制回流量在 30~60ml/min，开启塔顶产品阀控制在 5~15ml/min，控制塔顶回流比 $R=L/D=6\sim 10$ 范围(但必须保证维持 $L+D=$ 冷凝量)。微微开启塔底残液排出阀，其流量应维持塔釜液面不变。维持正常的操作参数至少稳定 10min 后，用 100ml 量筒取塔釜样品，冷却到 30℃以下用酒度计分析，塔顶可直接用酒度计读取数据，进料样品可提前取样分析，记录下相应的温度和酒度。记录相关流量等数据。
- (4)、停车：实验完毕，关闭塔顶、釜出料阀，开足回流阀，关闭加料阀和泵，维持全回流状态约 5min。关闭加热电压，等板上无气液时关闭冷却水。

出现异常现象、导致结果、形成原因及处理建议

异常现象		导致结果	形成原因	处理建议
塔釜液面 [液面上空 20mm]	下降	干塔，烧坏电加热	$F < D+W$ 进料少 W 塔釜出料多 加热功率大	增大 F 减少 W 减小加热功率
	上升	淹塔	$F > D+W$ 进料多 W 塔釜出料少 加热功率小	减小 F 增大 W 调大加热功率
塔釜压力 2—3.5 KPa	$P_{釜} > 3.5\text{ KPa}$	液沫夹带 夹带液泛	加热功率大	调小加热功率
	$P_{釜} < 2\text{ KPa}$	漏掖 (漏液最易发生的地方是塔顶和加料板处)	加热功率小 (因为此两处均有冷液引入，从而使板上气相冷凝量↑，导致压力↓，漏液现象明显)	调大加热功率
$T_{灵}$ 78—83	急剧升高	$x_D \downarrow$	采出量增加， $D' > D$ (回流量未变，采出量↑，蒸汽冷凝量↑)	$D=0$ ， $F \uparrow = W \uparrow$
	缓慢升高	$x_D \downarrow$	回流比减少， $R' < R$ (回流量↓，采出量不变，蒸汽冷凝量↓)	增加塔釜加热量和塔顶冷凝量
	降液管液泛		汽、液负荷↑ 降液管有堵塞	调小塔釜加热量 清理降液管

无论以上何种原因引起的不正常现象，均导致分离效果下降。另外也要特别关注塔釜液面的变化，特别是液面的过底。操作时严密注意！

三、实验原理

蒸馏技术原理是利用液体混合物中各组分的挥发度不同而达到分离目的。此项技术现已广泛应

用于石油、化工、食品加工及其它领域。其主要目的是将混合液进行分离，根据料液分离的难易、分离的纯度，此项技术又可分为一般蒸馏、普通精馏及特殊精馏等。本实验是属于针对酒精—水系统作普通精馏验证性实验。

根据验证性（非开发型）实验要求，本实验只作全回流和某一回流比下的部分回流两种情况下的实验。

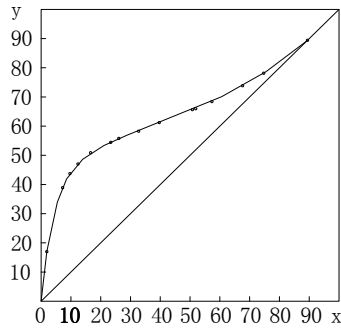
1、乙醇—水系统特征

平衡数据

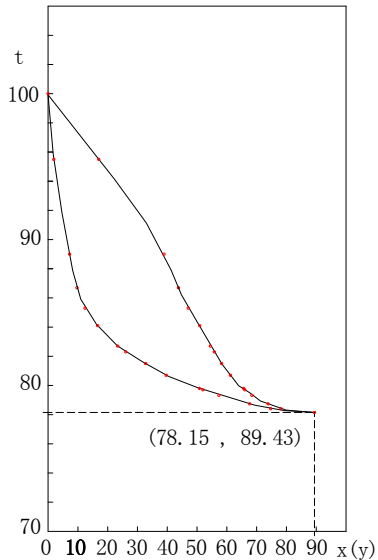
	t	x	y
1	100.0	0.00	0.00
2	95.50	1.90	17.00
3	89.00	7.21	38.91
4	86.70	9.66	43.75
5	85.30	12.38	47.04
6	84.10	16.61	50.89
7	82.70	23.37	54.45
8	82.30	26.08	55.80
9	81.50	32.73	58.26
10	80.70	39.65	61.22
11	79.80	50.79	65.64
12	79.70	51.98	65.99
13	79.30	57.32	68.41
14	78.74	67.63	73.85
15	78.41	74.72	78.15
16	78.15	89.43	89.43

x—y 相图

乙醇-水系统
乙醇水系统属于非理想溶液，具有较大正偏差。最低恒沸点为78.15℃，恒沸组成为0.894 [mol/%]。



t—x—y 相图



结论：
(1) 普通精馏塔顶组成 $x_D <$

0.894，若要达到高纯度酒需采用其它特殊精馏方法；

(2) 为非理想体系，平衡曲线不能用 $y=f(\alpha, x)$ 来描述，只能用原平衡数据。

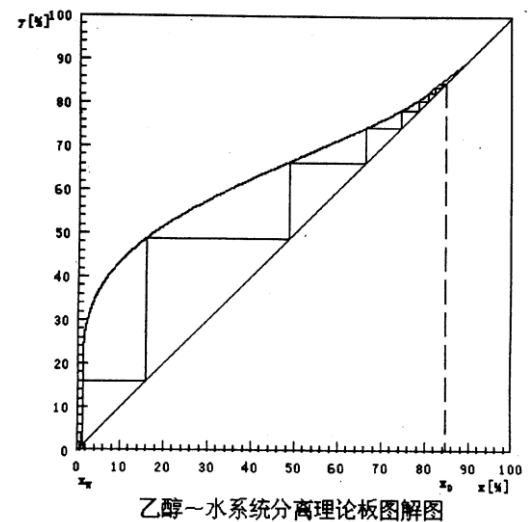
2、全回流操作

特征：

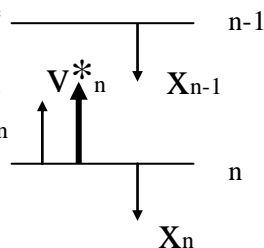
- (1) 塔与外界无物料流[不进料，无产品]；
- (2) 操作线 $y=x$ [每板间上升的气相组成=下降的液相组成]；
- (3) x_D-x_W 最大化[也既理论板数最小化]。

应用：

- (1) 开停车阶段尽快达到稳定；
- (2) 测定单板效率。



在全回流时，正因为操作线与对角线重合，其特点是两板之间任一截面上升的气相组成与下降的液相组成相等。由此，只要分别测得流入、流出该板的液相组成 x_{n-1} 、 x_n ，既可计算出该板的默伏里单板效率



率 E_{MV} :

$$y_n = x_{n-1}$$

$$y_{n+1} = x_n$$

根据平衡数据可以得到: y_n^*



$$E_{MV} = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}} = \frac{x_{n-1} - x_n}{y_n^* - x_n}$$

3、部分回流操作

可以测出以下数据:

温度[°C]: t_D 、 t_F 、 t_W

组成[mol/mol]: x_D 、 x_F 、 x_W

流量[l/h]: F 、 D 、 L (塔顶回流量)

回流比 R : $R=L/D$

$$\text{精馏段操作线: } y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$$

进料热状况 q :

根据 x_F 在 $t-x$ (y) 相图中可分别查出露点温度 t_V 和泡点温度 t_L 。

$$q = \frac{I_V - I_F}{I_V - I_L} = \frac{1 \text{ kmol 原料变成饱和蒸汽所需的热量}}{\text{原料的摩尔汽化热}}$$

I_V : 在 x_F 组成、露点 t_V 下, 饱和蒸汽的焓;

$$I_V = x_F \cdot I_A + (1-x_F) \cdot I_B = x_F \cdot [C_{PA}(t_V - 0) + r_A] + (1-x_F) \cdot [C_{PB}(t_V - 0) + r_B]$$

C_{PA} 、 C_{PB} : 乙醇和水在定性温度 $t=(t_V+0)/2$ 下的比热 [KJ/Kmol.K]

r_A 、 r_B : 乙醇和水在露点温度 t_V 下的汽化潜热 [KJ/Kmol]

I_L : 在 x_F 组成、泡点 t_L 下, 饱和液体的焓;

$$I_V = x_F \cdot I_A + (1-x_F) \cdot I_B = x_F \cdot [C_{PA}(t_L - 0)] + (1-x_F) \cdot [C_{PB}(t_L - 0)]$$

C_{PA} 、 C_{PB} : 乙醇和水在定性温度 $t=(t_L+0)/2$ 下的比热 [KJ/Kmol.K]

I_F : 在 x_F 组成、实际进料温度 t_F 下, 原料实际的焓;

根据我们实验的进料是常温下 (冷液) 进料, $t_F < t_L$

$$I_F = x_F \cdot I_A + (1-x_F) \cdot I_B = x_F \cdot [C_{PA}(t_F - 0)] + (1-x_F) \cdot [C_{PB}(t_F - 0)]$$

C_{PA} 、 C_{PB} : 乙醇和水在定性温度 $t=(t_F+0)/2$ 下的比热 [KJ/Kmol.K]

q 线方程:

$$y_q = \frac{q}{q-1}x_q - \frac{x_F}{q-1}$$

d 点坐标: 根据精馏段操作线方程和 q 线方程可解得其交点坐标 (x_d , y_d)

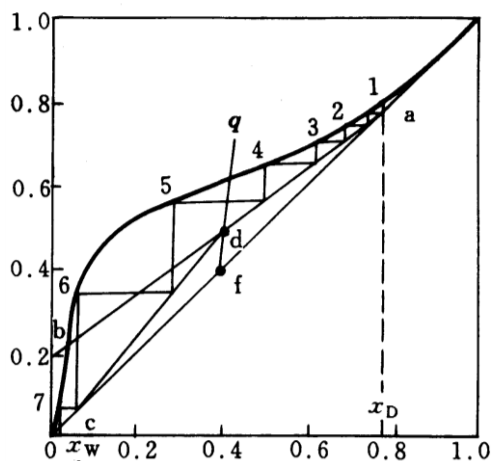
提馏段操作线方程:

根据 (x_w , x_w) (x_d , y_d) 两点坐标, 利用两点式可求得提馏段操作线方程。

根据以上计算结果, 作出相图:

根据作图法或逐板计算法可求算出的理论板数 $N_{\text{理论}}$ 。从而求得部分回流下的全塔效率 E_T ：

$$E_T = \frac{N_{\text{理论}} - 1}{N_{\text{实际}}} \times 100\%$$



部分回流下

4、组成分析：用酒精计进行分析计算，其分析计算步骤为：

取样冷却 → 测出一定温度下的酒度 V → 查表折算出 20°C 的酒度 → 计算 x

- (1) 用 100ml 的量筒分别取约 80ml 样品液，冷却到小于 35°C ；
- (2) 测出其温度和酒度 V （指的是体积百分含量）；
- (3) 查书后酒度折算附表，查出对应 20°C 时的酒度 V_{20} ；
- (4) 计算出摩尔含量 x

$$x = \frac{\frac{V_{20} \cdot \rho_{A20}}{M_A}}{\frac{V_{20} \cdot \rho_{A20}}{M_A} + \frac{(100 - V_{20}) \cdot \rho_{B20}}{M_B}} = \frac{\frac{V_{20} \cdot 789.0}{46.07}}{\frac{V_{20} \cdot 789.0}{46.07} + \frac{(100 - V_{20}) \cdot 998.2}{18.02}} = \frac{17.126V_{20}}{5539.4 - 38.268V_{20}}$$

四、实验报

告要求

1、记录有关实验数据，用逐板计算法和作图法求得理论板数，完成下列表格：

表 1：部分回流时，测定样品酒度温度 t 、酒度 V_t 、 20°C 酒度 V_{20} 及组成 x 数据表：

塔顶产品				进料				塔釜残液			
t	V_t	V_{20}	x_D	t	V_t	V_{20}	x_F	t	V_t	V_{20}	x_W

表 2：部分回流时，数据结果汇总表：

压力 Pa	温度 $^\circ\text{C}$			流量			R	热状况 q		理论板 N			Et
	顶	灵	釜	F [l/h]	L [ml/min]	D [ml/min]		t_F	q	计	图	计	

说明：表 2 中计算热状况的进料温度 t_F 与表 1 中测定进料取样品温度一致。

表 3：全回流与部分回流的比较（若没有做全回流不作此表）

	压力 Pa	温度			组成 x			R	q	N 计	Et 计
		顶	灵	釜	顶	进	釜				
全回流					—			∞	—		
部分回流											

2、作部分回流下的图解图（为保证作图的精确，要求在塔底和塔顶进行放大处理）。

3、在逐板计算或作图求出的总理论板数时，要求精确到 0.1 块。这就要求在计算到最后一板时，根据塔釜组成 x_W 和 x_n 、 x_{n-1} 数据进行比例计算。在作图时，在塔底放大图中也应作如此比例计算。

3、对实验结果进行比较、分析、讨论。

2. 冷却水循环：水经水泵加压后进入流量计，经计量测温后的水进入冷凝器接受冷凝器中的热量使其温度升高，经测温后再进入蒸发式换热器被冷却，最后返回到恒温箱，构成冷却水循环。
3. 冷媒水循环：水经水泵加压后，进入流量计进行计量，并测温后进入蒸发器，在蒸发器中接受冷量，使水温降低，经测量温度后，再返回到恒温箱中，在恒温箱中根据设定温度，由智能表控制加热器补充热量，使水温升高到水泵原来的温度，构成循环。
4. 湿空气循环：常温空气从蒸发式换热器下部进入，和雾化后的水一起进入蒸发式换热器的翅片，从翅片上获得热量温度升高，湿度大幅增加，在排风机的引导下排入环境。

五、实验步骤

1. 开机前的准备

- (1.) 清洗冷水系统；冷却水系统；蒸发冷系统（2个）过滤器。
- (2.) 把冷却水箱；冷水恒温箱；蒸发冷水箱加满水。
- (3) 拨动冷水水泵；冷却水泵；蒸发冷凝器水泵，蒸发冷凝器风叶，避免启动时卡死。
- (4) 检查供给电压，是否符合要求
- (5) 检查制冷剂是否足够
- (6) 加电后检查各仪表是否正常.
- (7) 检查手操版是否有保护代码
- (8) 若有保护代码，查明原因，消除隐患。

2. 开机测试

- (1) 打开总电源，启动蒸发器油泵（或搅拌器）
- (2) 启动压缩机，观察蒸发器油温的变化，测定参数为：
 - ①压机电压，电流，功率因数，压机出口温度，出口表压力，进口温度，进口表压力
 - ②冷凝器制冷剂出口温度及表压力。
 - ③冷凝器水进出口温度及流量。
 - ④膨胀阀制冷剂的出口表压力及温度。
 - ⑤蒸发器水的进出口温度及流量
 - ⑥环境温度。
 - ⑦环境压力

3. 停机：按下搅拌停止按键，全机皆停，并关闭总电源。

六、实验要求

1. 结果处理方法：

- (1) . 测定各热力参数
- (2) .把压力换成绝对压力
- (3) . 把二循环标在 P—h 图上，并进行热力计算，求出各部件的单位热负荷，空调的性能系数。过热度，过冷度。
- (4) .求出各模块的制冷量，（通过温差 及流量）
- (5) . 求出各部件的总热负荷

- (6)。求出功的总损失系数
- (7)。求出各换热器的传热系数
- (8) 分析过程，提出改进措施

2、注意事项：

- (1) 压缩机壳体及出口是高温部分，严禁人体接触。
- (2) 蒸发冷凝器风机虽有网罩严防手伸入造成危险。
- (3) 各阀门应根据制热制（冷）情况开启和关闭，否则系统不能正常工作。
- (4) 两模块之间有管道，连线，注意安全。
- (5) 各电仪表后部裸体带电，严禁手触。
- (6) 本装置使用电源是：380V.50HZ.三相四线。