



# 放射性辐射防护实验

吕俊文

副教授

张晓文

教授

南华大学环境保护与安全工程学院  
环境工程系



# 目 录

- 实验一：公路（污染道路）的  $\gamma$  辐射剂量率监测
- 实验二：室内空气氡的测量
- 实验三： $^{222}\text{Rn}$ 与 $^{222}\text{Rn}$ 子体测量——气球法
- 实验四：场地氡析出率的测量
- 实验五：南华大学放射性环境监测与评价——（ $^{222}\text{Rn}$ 及其子体、 $\gamma$ 辐射剂量率）



# 实验一：公路（污染道路） 的 $\gamma$ 辐射剂量率监测



- 一、目的：
  - 1、熟悉BH3103A便携式X— $\gamma$ 剂量率仪的使用。
  - 2、掌握公路（污染道路）的 $\gamma$ 辐射剂量率监测布点方法与数据处理。



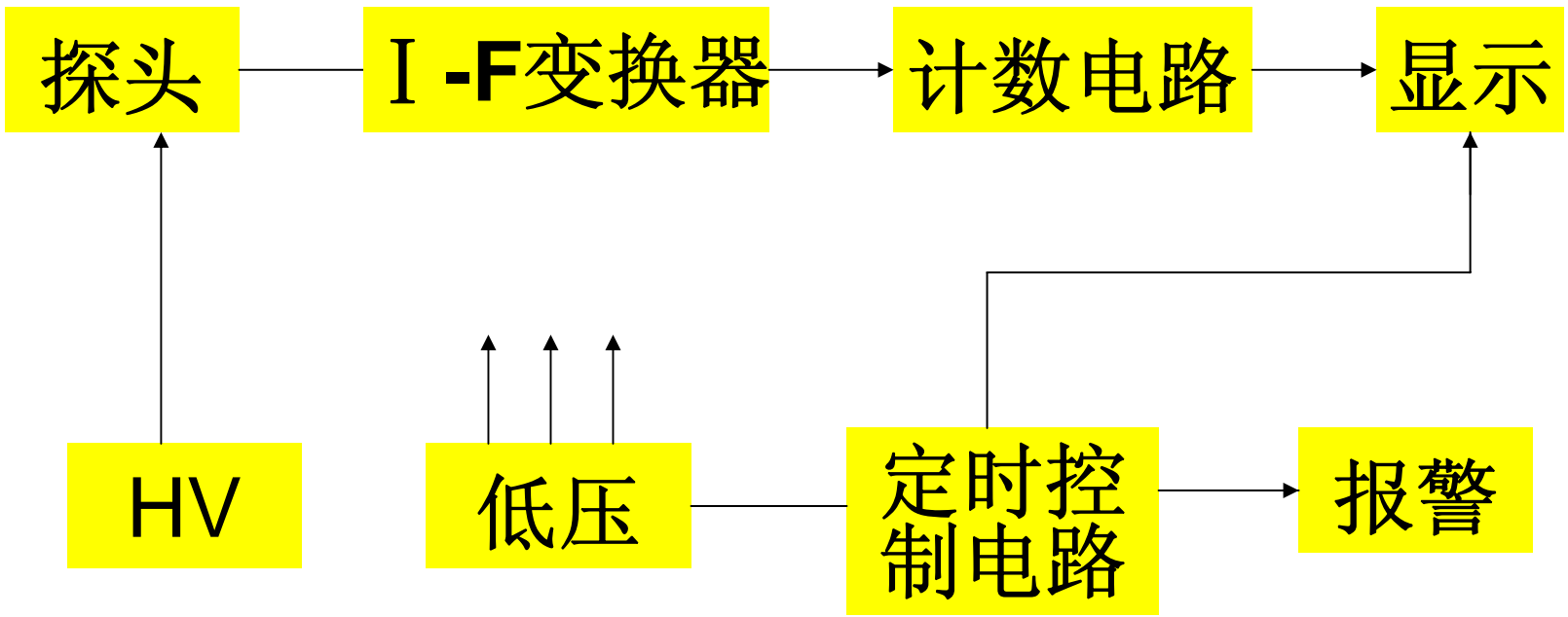
BH3103A便携式X— $\gamma$  剂量率仪



- 二、内容
- 1、BH3103A 便携式X— $\gamma$ 剂量率仪的操作使用；
- 2、公路（污染道路）的 $\gamma$ 辐射剂量监测布点；
- 3、监测数据的处理。

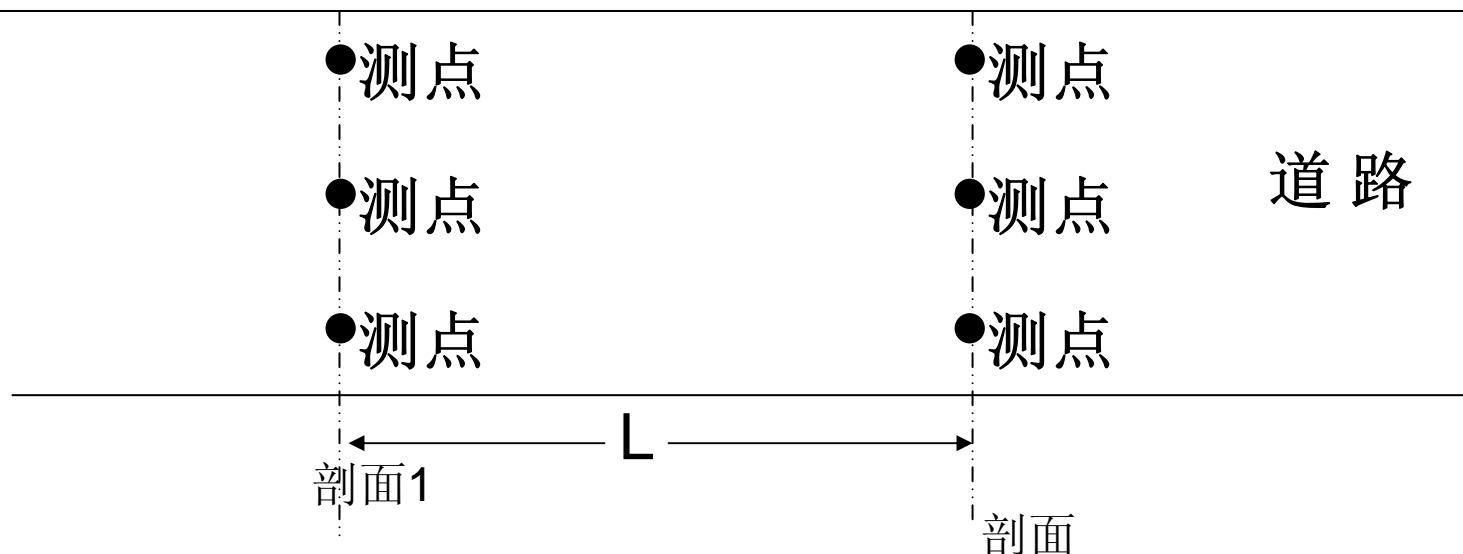


- **三、BH3103A便携式X— $\gamma$ 剂量率仪的原理**
- 仪器由探头和操作台两部分组成，工作时两者有电缆连接。探头中的探测器由ST-401型塑料闪烁体和ZnS (Ag) (硫化锌) 组成的复合闪烁体，当射线打到闪烁体上，引起发光，光信号被GDB52LD光电倍增管转换电信号并倍增放大，在阳极输出该电信号，通过变换器把电信号变成计数频率，当辐射场较强时，单位时间形成的光电流就越大，因此，在空气中辐射剂量率与被测量的计数率成正比。具体见原理图。



**BH3103A原理方框图**

- 四、监测布点
- 公路（污染道路）的 $\gamma$ 辐射剂量监测监测布点以垂直公路走向布设，不同监测剖面的距离 $L$ 根据测量距离路线长度确定，一般为100m、50m、20m；在每个剖面上至少设三个测点，路中1点，左右两边各一个测点，该测点不能离开路面。布点如下图：







- 五、仪器设备

- 1、BH3103A 便携式X— $\gamma$ 剂量率仪

- 2、三脚架

- 3、皮尺

- 六、测量程序

- 1、BH3103A 便携式X— $\gamma$ 剂量率仪预热

- 装上电池后，测量前，应该开机预热15min以上，由于光电倍增管的稳定需要一定的时间。

- 2、X— $\gamma$ 剂量率仪的检验
- 使用前，必须认真检查工作源的辐射剂量率是否和刻度值相同。
- 3、测量
- 将探头放在三角架上，探头垂直对准测点，调整三脚架的高度使探头的质心距离地面1m；人离探头一定距离，数据稳定后，读数，每个测点记录三个数据。
- 4、数据处理
- 每个测点的平均值作为该点的数据，每个剖面所有测点的平均值为该剖面的数值。

● 记录表格

地点： \_\_\_\_\_ 时间： \_\_\_\_\_

剖面编号	左	中	右	均值
1				
2				
3				
4				
.....				

记录人： \_\_\_\_\_



南 华 大 学  
环境保护与安全工程学院

明德博学  
求是致远



# 实验二

## 室内空气氦的测量



- 一、目的
- 1、熟悉掌握室内氡监测布点
- 2、熟悉RCM-2氡连续监测仪的使用
- 二、内容
- 1、室内氡监测布点
- 2、室内氡监测数据的使用



RCM-2氡连续监测仪



- 三、RCM-2氦连续监测仪

- 1、仪器简介

- 主要用于室内环境放射性元素氦气的检测。采用特殊设计的无源扩散收集室测量氦气浓度，具有体积小、灵敏度高、无噪声、响应时间快、自动显示、打印、存储和报警等特点。广泛应用于环境保护和卫生保护，特别是居民住宅氦的测量，地下建筑、商场和游乐场所中氦的检测和报警、镭源泄露检测等，以及地震预报、水文地质、地球化学、科研教学等级方便的测试工作。



• 2、功能特点:

◆测量范围:  $1\sim 9999\text{ Bq/m}^3$

◆响应时间快, 1小时即可给出测量结果

◆灵敏度高, 最低探测浓度 $5\text{ Bq/m}^3$

◆仪器长期稳定性好, 具有优良的抗湿度影响性能

◆存储最近测得的180个每24小时的平均氡浓度值

◆具有报警功能, 报警阈 $200\text{ Bq/m}^3$ , 还备有作为外部报警用的触点开关, 可用于启动远处报警或通风设备。



- 四、布点与采样

- 1、布点原则

- 采样点位的数量根据室内面积大小和现场情况而定，原则上小于 $50\text{m}^3$ 的房间应设1~3个点； $50\sim 100\text{m}^3$ ，应设3~5个点； $100\text{m}^3$ 以上的至少设5个点。

- 2、布点方式

- 多点采样应按对角线或梅花式均匀布点，应避开通风口，离开墙壁距离应大于 $0.5\text{m}$ ，距门窗距离应大于 $1\text{m}$ 。





- 3、采样点的高度
- 一般相对高度为0.5~1.5m。
- 4、封闭时间
- 监测应在对外门窗关闭12h后进行。



- 五、监测程序
- 1、在具备检测条件的房子里，选好监测位置，放设好仪器，并启动（如果检测时间长，人可以离开）。
- 2、数据的提取
- 测量结束后（最好不要超过24h，否则只有一个平均数据，不利于分析氡浓度随时间的变化），直接连接打印机打印数据，或关停仪器，以后再打。注意数据中第一个数据往往误差较大，剔除掉。



# 实验三

## 222氡与222氡子体的测量

### ——气球法

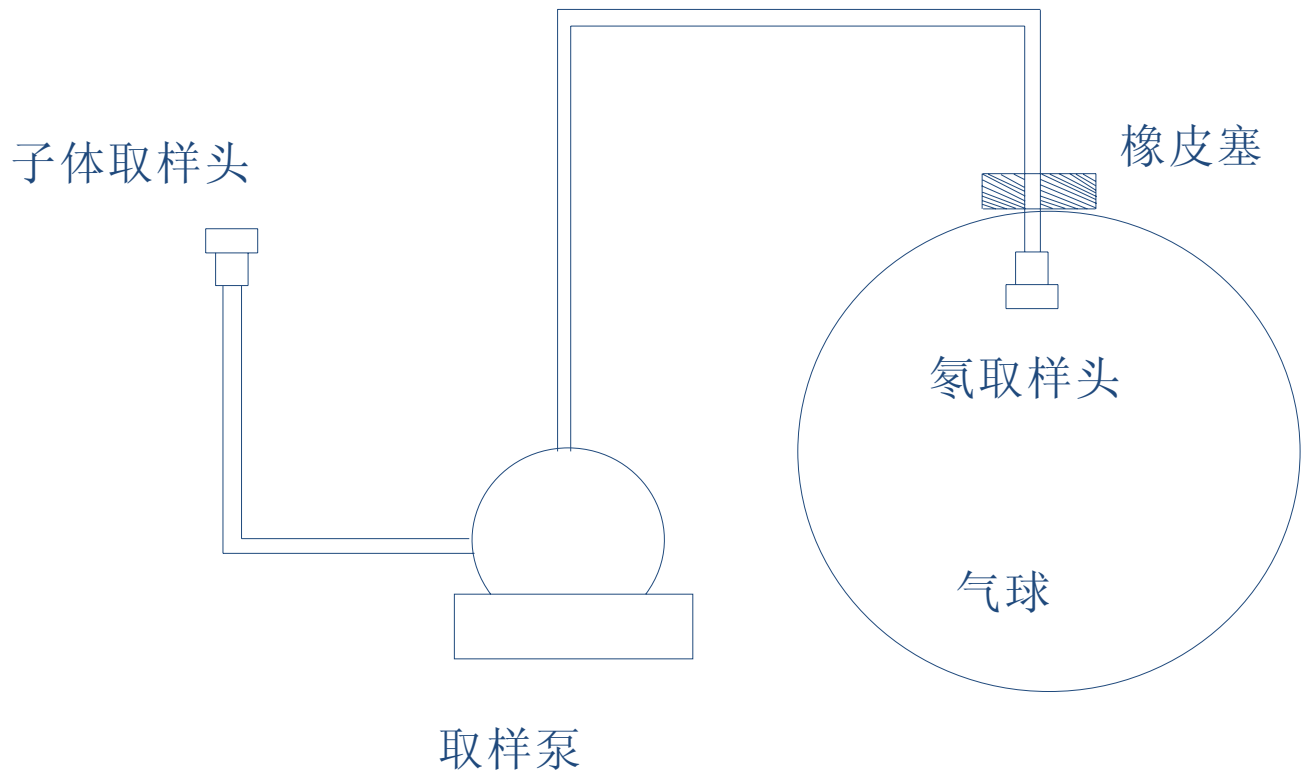


- 1974年清华大学提出的
- 一、目的
- 1、掌握气球法测氦与氦子体的原理
- 2、熟悉气球法测氦与氦子体的操作过程
- 二、内容
- 1、气球法测氦与氦子体的原理
- 2、气球法测氦与氦子体的操作过程
- 3、数据处理



- 三、原理

- 如图所示，当取样泵启动时，空气被抽进气球内，空气中的氦子体被子体取样头中的滤膜过滤，进入气球中的气体基本上只有氦气体。经过一定时间后，气球内部分氦衰变为子体，此时把气球内的气体抽出去，那么在氦取样探头中的滤膜会把衰变的子体过滤掉，这样通过测量滤膜的 $\alpha$ 总计数，就可以计算出氦子体浓度与氦浓度。



气球法装置示意图



# 1、氡浓度的计算

$$C_{Rn} = K_{Rn} (N_R - N_b)$$

$K$  : 刻度系数,  $Bqm^{-3} / cpm$ ;

$N_R$ : 样品计数;  $N_b$ : 本底计数。



## 2、氡子体潜能浓度

$$C_P = \frac{10^3 K_E N_E}{q_1 \varepsilon E_f E_a}$$

$K_E$  : 刻度系数,  $Jm^{-1} / cpm$  ;

$q_1$ : 充气流速,  $L / min$

$N_E$ : 子体滤膜计数,  $cpm$

$\varepsilon$ : 计数效率;

$E_f$ : 滤膜的过滤效率;

$E_a$ : 滤膜的自吸收因子。

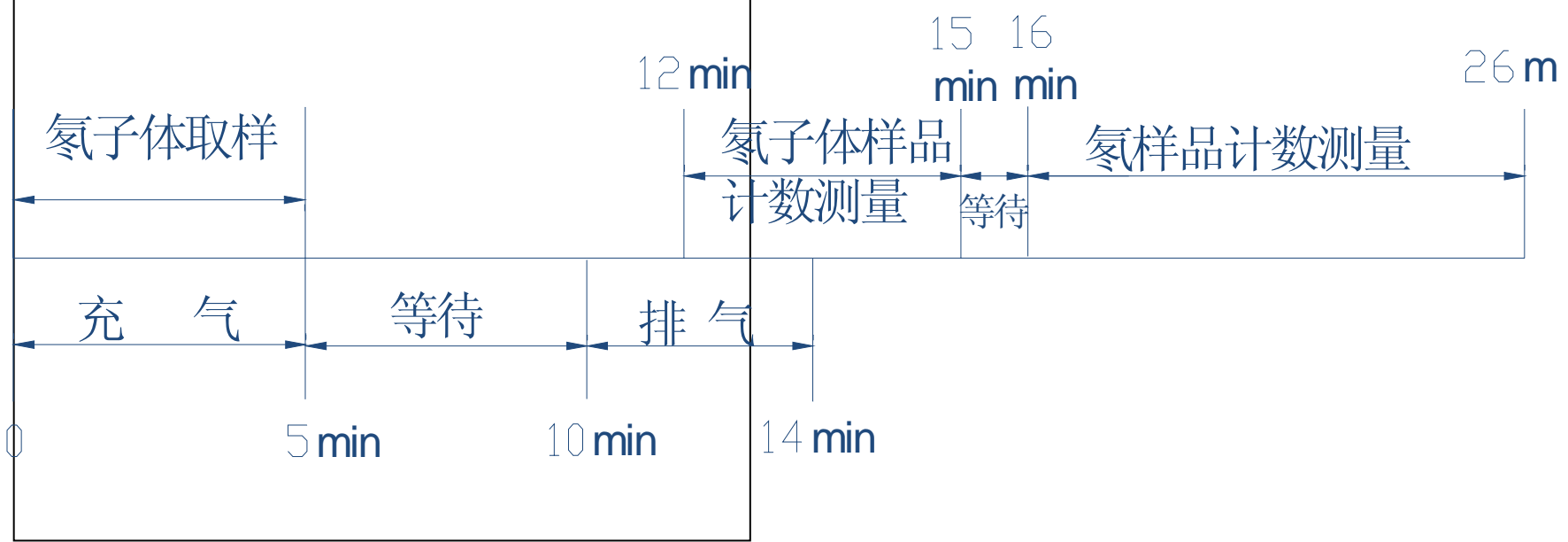




- 四、主要仪器与设备
- 1) 气球及附套环和橡胶塞
- 2) 计数设备
- FK602系列氦与氩子体测量仪
- 3) 取样泵及量程为80L/min的叶轮流量计
- 4) 秒表
- 5) 滤膜取样头
- 6) 子体过滤器
- 7) 合成纤维膜（过滤乙烯树脂纤维）
- 8) 镊子



- 五、测量程序
- 按下述时间坐标来取样测量



气球法测量时间坐标



- 1. 装好入、出口滤膜，把采样设备连接起来；
- 2. 在0~5min内以流速40L/min向气球充气；
- 3. 取下入口采样头，置于计数器上，气球出口接到抽气泵入口；
- 4. 在10~14min内以流速50L/min排气；
- 5. 在12~15min内测量入口滤膜上的 $\alpha$ 放射性；
- 6. 在16~26min内测量出口滤膜上的 $\alpha$ 放射性；
- 7. 按前述公式计算空气中的氡子体与氡浓度。



- 操作中注意事项：
- a. 入口滤膜至少要3层，全部滤掉氦子体；
- b. 气球颈部应尽量短，使采样器端面处于球面上；
- c. 排气过程中，气球始终要保持为球形，排气结束时要及时停泵；
- d. 采样头尺寸要一致，保证滤膜表面与探测器表面之间的距离为2mm左右；
- e. 严格控制操作时间，每一步都不得出现差错，否则样品作废；
- f. 应在不同湿度下标定出刻度系数。

- 六、方法评价
- 1、优点：方便、迅速、灵敏度高
- 2、缺点：
- 影响因素多



- 七、影响因素
- 1、条件一致
- 必须保持标定与具体使用时的条件一致性，如气球体积与采用的滤膜，计数设备和时间坐标不能改变，改变任一项都必须重新刻度。
- B、过滤要完全
- 过滤效果应达99%以上。

- 3、保持球内清洁
- 4、缩短气体通路
- 5、防止排气过度
- 6、定期刻度
- 7、采样泵的选择
- 8、湿度的影响
- 当空气样品的相对湿度小于90%时，刻度系数有显著的变化。



## 思考题

- 为什么气球体积与采用的滤膜，计数设备  
和时间坐标不能改变？





# 实验四

## 场地氡析出率的测量





- 一、氡析出率定义
- 物质表面单位面积、单位时间内析出 $^{222}\text{Rn}$ 的量，单位为 $\text{Bq}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$
- 二、目的
  - 1、熟悉局部静态累积法测氡析出率的原理；
  - 2、掌握局部静态累积法测氡析出率的操作。
- 三、内容
  - 1、局部静态累积法测氡析出率的原理；
  - 2、测氡析出率的布点与取样。



- 四、原理
- 在待测表面扣一个不透气、不吸氦、不溶氦材料制成的集氦罩（ $50\text{cm} \times 50\text{cm} \times 8\text{cm}$ 、或 $25\text{cm} \times 25\text{cm} \times 10\text{cm}$ ）周边用不透气的材料密封。所扣表面析出的氦被集氦罩收集，其浓度随时间增长，最后达到平衡（如图1）。在集氦罩内的氦浓度呈线性增长的时间范围内，取样并测量其浓度，在计算待测表面的氦析出率。

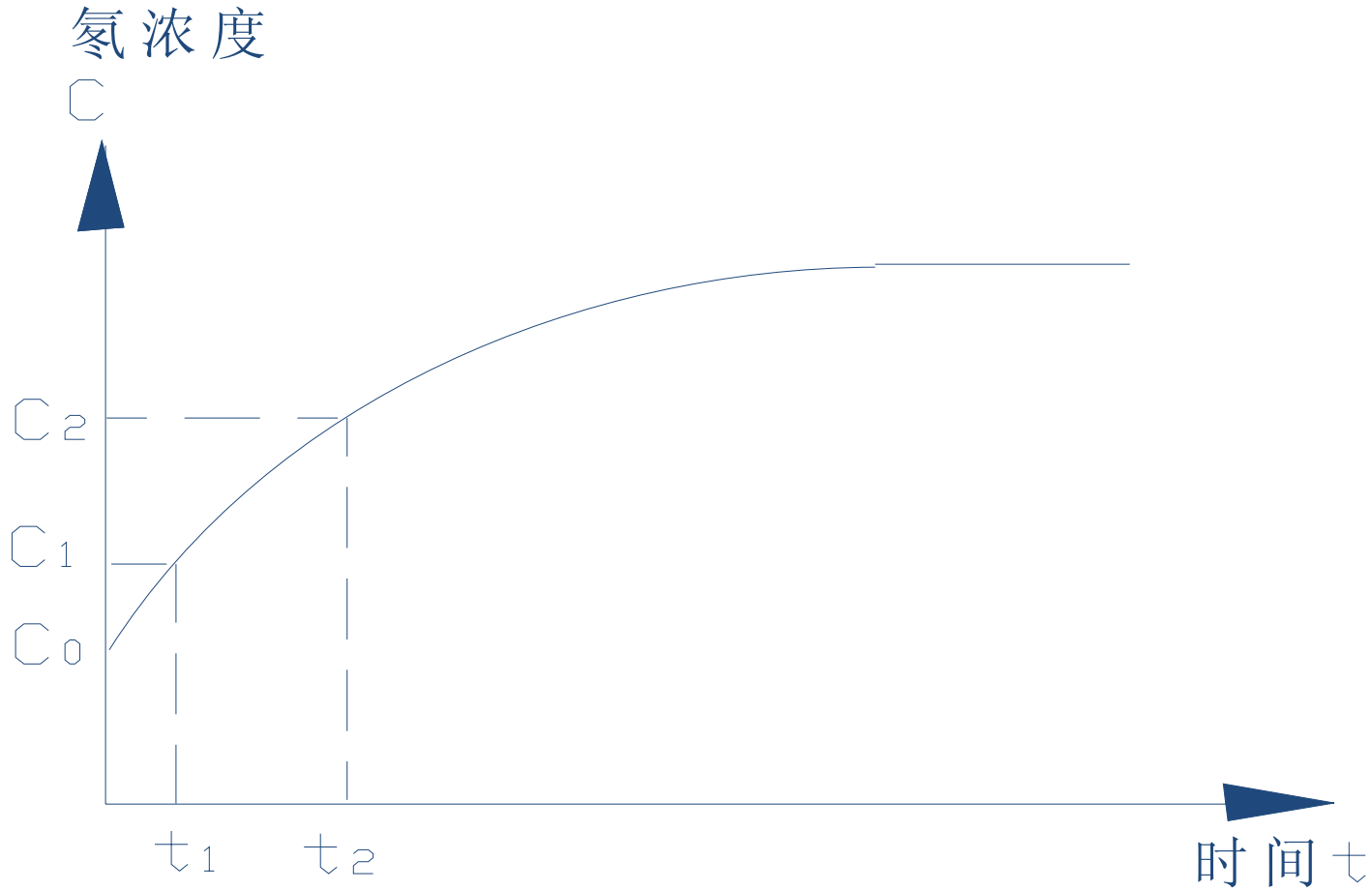
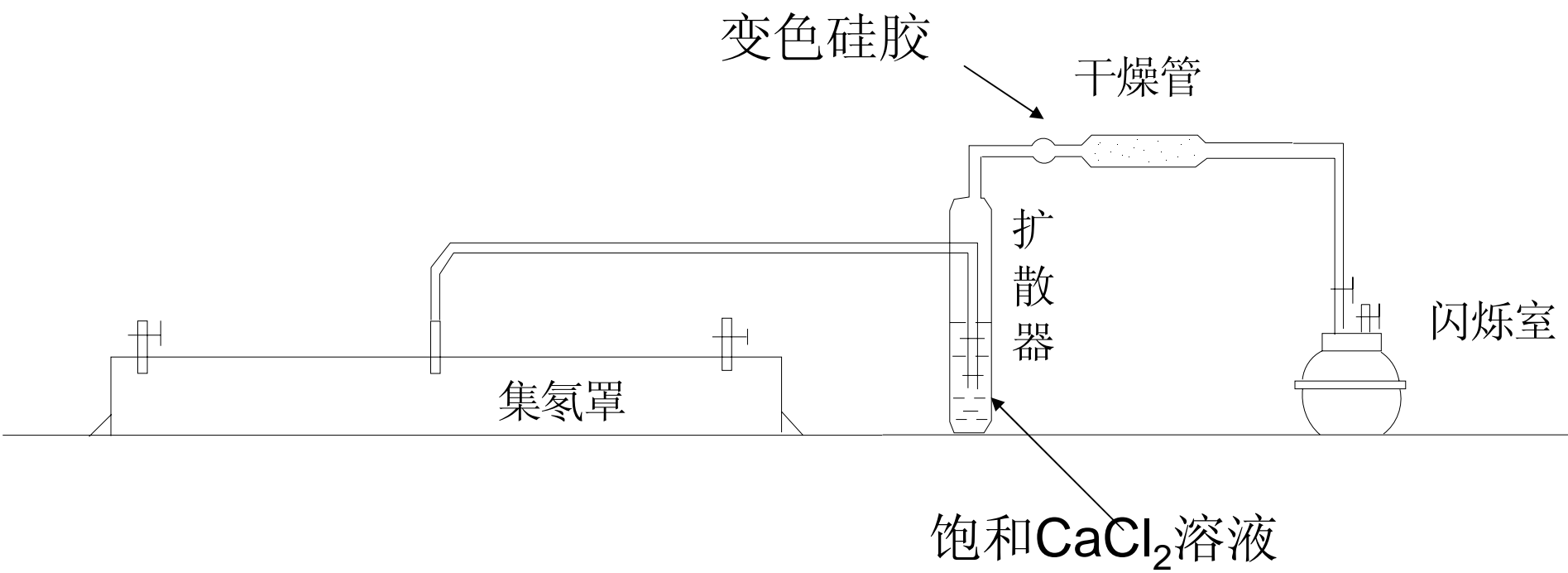


图1 集氨罩内氨浓度随时间的变化



实验取样装置示意图



- 如图1，t1到t2的浓度差是由于被罩表面这个时间差的氮析出引起的。因此可以测量这两个时间的浓度，

- t1时的浓度为  $C_{Rn1} = K1(n1_2 - n1_1)$

- t2时的浓度为  $C_{Rn2} = K2(n2_2 - n2_1)$

$$\Delta C = C_{Rn2} - C_{Rn1} = K2(n2_2 - n2_1) - K1(n1_2 - n1_1)$$

- 由于集氮罩的体积为  $S \times H$

- 所以集氮罩内氮的量的变化为

$$\Delta C \times S \times H$$

- 因此氮析出率

$$J = \frac{\Delta C \times S \times H}{S \times (t_2 - t_1)} = \frac{K2(n2_2 - n2_1) - K1(n1_2 - n1_1)}{t_2 - t_1} \times H$$



- 从图1可见，我们可以取0时刻的浓度作为t1的浓度，此时的浓度实际上可以认为是空气氮浓度。则上式可变为

$$J = \frac{\Delta C \times S \times H}{S \times t} = \frac{K_2(n_{2_2} - n_{2_1}) - K_0(n_{0_2} - n_{0_1})}{t_2} \times H$$

当闪烁室的刻度系数相等时，上式可变为

$$J = \frac{K[(n_{2_2} - n_{2_1}) - (n_{0_2} - n_{0_1})]}{t_2} \times H$$

- 五、主要仪器设备
- 1、闪烁室
- 2、463B定标器
- 3、FD125氦钍测量仪
- 4、集氦罩
- 5、真空泵
- 6、真空表
- 7、扩散器
- 8、干燥管
- 9、其它：秒表、洗耳球、弹簧夹、橡皮管、干湿温度计、风表、气压计





## 六、测量程序

### 1) 准备

- A、测量闪烁室本底
- B、确定闪烁室的气密性、然后将闪烁室抽真空

### 2) 连接取样装置 (见图2)

- A、扣罩，此时将集氮罩的管关死，同时计时，在集氮罩周边用粘性土密封。（注意扣罩前记录气温、湿度、大气压、风速）。
- B、按图2连接仪器
- C、累积一定时间，一般5min，如果氮析出率较高的，则时间为2min，低的则为7min，取样，转移到闪烁室的时间为30s~60s（注意不能太快，以免扩散器内的溶液冲入干燥管）。



D、取样结束后，拆卸仪器后，用洗耳球排出干燥管与扩散器内的氦，以备备用。

- 3) 测量：取样后，闪烁室等待3h左右测量；
- 4) 计算：按上述公式计算，注意时间为累积时间+1/2转移时间；
- 5) 清洗：测量完立即用真空泵把闪烁室里的取样气体排掉，并且经常换空气，直至降到接近本底。



- 七、测量布点要求
- 必须布置再相对平整的地面、集氮罩罩住的地点不能是相对疏松的。
  
- 八、测量氮析出率的意义
- 1) 其直接影响到退役治理方法、工程经费；
- 2) 是评价退役治理效果的重要指标；
- 3) 是预测大气氮浓度、计算剂量的一个参数。



## 思考题

- 1、测氦析出率定点取样时，取样点要注意什么问题？
- 2、为什么野外测氦析出率时同时要测气象参数（温度、湿度、气压）？



# 实验五

## 南华大学放射性环境监测与评价

—— (222-氡及222-氡子体、 $\gamma$  辐射剂量率)



- 一、目的：
  - 1、辐射环境监测的布点、监测频率
  - 2、熟悉辐射环境监测方案的编写
  - 3、掌握个人剂量与集体剂量的计算
  - 4、熟悉监测与评价报告的编写
  - 5、培养学生综合设计能力



- 二、内容
- 1、 $^{222}\text{Rn}$ 及 $^{222}\text{Rn}$ 子体、 $\gamma$ 辐射剂量方法与监测操作
- 2、编写监测方案
- 3、计算个人剂量与集体剂量
- 4、编写监测与评价报告



- 三、要求
- 1、资料收集，完成监测方案的编写；
- 2、对监测方案进行答辩，答辩后，按老师的意见，修改好监测实施方案，以4人为一组按方案进行监测；
- 3、检上交原始监测数据；
- 4、编写监测与评价报告，并接受答辩。





- 四、监测仪器
- 1、BH3103A 便携式 X— $\gamma$  剂量率仪
- 2、DHZM- II 型氦及其子体连续监测仪



DHZM- II 型氦及其子体连续监测仪



- 五、上交成果
- 1、监测方案
- 2、监测原始记录
- 3、监测与评价报告



## 思考题：

- 1、计算个人、集体剂量时，驻留时间怎样确定？