

# 矿 石 物 理 分 析

内 部 资 料

《矿石物理分析》编辑组

# 矿 石 物 理 分 析

• 内 部 资 料 •

《矿石物理分析》编辑组

## 内 容 简 介

本资料比较全面地介绍了矿石样品中铀、镭、钍和射气系数的放射性分析方法以及有关资料、数据，共分分析方法、常用探测器、核物理仪器晶体管电路基础、误差和附录五部分，可供从事放射性测量工作的人员参考，对于放射性物探和安全防护工作人员，亦有一定的参考价值。

### 矿 石 物 理 分 析

• 内 部 资 料 •

---

《矿石物理分析》编辑组

1972年3月

# 毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

# 前 言

在毛主席革命路线指引下，我国地质事业的飞速发展，促使天然放射性元素分析方法和测量技术日益完善与提高，并不断向它提出更高的要求。遵照毛主席关于“要认真总结经验”的教导，试将我室十几年来在矿石放射性分析方面的方法和体会做一总结，编成本资料，以便更好地适应事业发展的需要和与兄弟单位交流经验。

放射性测量技术通常包括测量方法、探测装置和数据处理三部分，本资料主要是按这三方面内容编写而成。编写中我们侧重于以下三点：

1. 所总结的分析方法，均系经过我们实验或用于生产实际，特别是对  $\beta$ - $\gamma$  法测铀、射气电离法测镭、 $\gamma$  计数法测镭和  $\gamma$  能谱测量的测量条件，进行了较系统的试验和研究，在此，我们对方法的运用及干扰因素等做了详细的介绍和讨论。

2. 对于室内几种常用探测器，着重介绍它们的性能和工作条件的选择。目前有关资料多为介绍国外的产品，因此本资料的编写以介绍国内生产的各种探测器为主。

3. 为便于工作，我们将分析工作中常用的一些分散数据蒐集一起，整理编成附录，以备查考。

由于我们水平低，实践经验少，编写仓促，因此难免存在错误缺点，请同志们提出批评指正，以便我们进一步学习和改进。

编 者

一九七三年三月

# 目 录

## 第一章 $\beta$ — $\gamma$ 法测铀

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| § 1.1 方法原理                   | ( 1 )  |
| § 1.2 测量工作                   | ( 3 )  |
| 1. 仪器设备                      | ( 3 )  |
| 2. 测量前的准备工作                  | ( 4 )  |
| 3. 测量步骤                      | ( 6 )  |
| § 1.3 若干干扰因素                 | ( 8 )  |
| 1. 低含量样品测量                   | ( 8 )  |
| 2. 高含量样品测量                   | ( 8 )  |
| 3. 镭的干扰                      | ( 9 )  |
| 4. 偏镭样品的测量精度                 | ( 10 ) |
| 5. $RaE$ 和 $K^{40}$ 的干扰      | ( 11 ) |
| 6. 钍气系数和镭气积累的干扰              | ( 12 ) |
| 7. 几何条件的影响                   | ( 13 ) |
| 8. 样品颗粒度的影响                  | ( 13 ) |
| 9. 装填密度的影响                   | ( 14 ) |
| 10. 化学成分的影响                  | ( 15 ) |
| 11. $\gamma$ 一致性的影响          | ( 19 ) |
| § 1.4 有关装置系数 $l$ 的讨论         | ( 21 ) |
| 1. $l$ 的物理意义                 | ( 21 ) |
| 2. 平衡标准源的有效平衡状态与 $l$ 的关系     | ( 22 ) |
| 3. 标准源铀含量的误差对 $l$ 和样品测量结果的影响 | ( 23 ) |
| 4. 装置的 $\gamma$ 一致性与 $l$ 的关系 | ( 26 ) |

## 第二章 $\gamma$ 计数法测铅

|              |        |
|--------------|--------|
| § 2.1 方法原理   | ( 27 ) |
| § 2.2 测量工作   | ( 28 ) |
| 1. 仪器设备      | ( 28 ) |
| 2. 测量步骤      | ( 29 ) |
| § 2.3 若干干扰因素 | ( 31 ) |

1. 对测量精度的考虑.....( 31 )
2. 干扰元素的影响及修正.....( 33 )
3. 样品装填密度对测量结果的影响.....( 34 )
4. 比色瓶内样品的装填高度对结果的影响.....( 34 )
5. 封闭材料石蜡对氢气的吸附情况.....( 34 )

### 第三章 $\alpha$ 计数法测镭

- § 3.1 方法原理.....( 36 )
- § 3.2 硫酸钡(镭)测量源的制备.....( 36 )
- § 3.3 测量工作.....( 37 )
  1. 仪器设备.....( 37 )
  2. 测量步骤.....( 38 )
- § 3.4 若干干扰因素与讨论.....( 40 )
  1. 几何条件的控制.....( 40 )
  2. 氢的积累对测量结果的影响.....( 41 )
  3. 源的纯度.....( 41 )
  4.  $Ra^{224}$  的干扰.....( 41 )
  5.  $Ra^{223}$  的干扰.....( 42 )
  6. 对制作“薄层”源的考虑.....( 43 )

### 第四章 射气电离法测镭

- § 4.1 样品的化学处理.....( 45 )
  1. 过氧化钠熔矿—EDTA 络合制备镭溶液.....( 45 )
  2. 过氧化钠、碳酸钠熔矿—盐酸溶解制备镭(钍)溶液.....( 47 )
- § 4.2 测量工作.....( 48 )
  1. 基本原理.....( 48 )
  2. 仪器设备.....( 49 )
  3. 测量前的准备工作.....( 49 )
  4. 测量步骤.....( 50 )
  5. 注意事项.....( 52 )
- § 4.3 若干干扰因素.....( 52 )
  1. 静电计格值随天气的变化.....( 53 )
  2. 氢引入电离室后电离电流随时间的变化.....( 54 )
  3. 静电计灵敏度对测量的影响.....( 54 )
  4. 橡皮管对氢气的吸附和渗透.....( 55 )
  5. 静电计漏电对测量的影响.....( 57 )
  6. 氢在溶液中的溶解度.....( 57 )

|                     |        |
|---------------------|--------|
| § 4.4 静电计漏电时电离电流的测定 | ( 58 ) |
| 1. 工作原理             | ( 58 ) |
| 2. 具体工作方法           | ( 60 ) |

## 第五章 射气闪烁法制锕

|               |        |
|---------------|--------|
| § 5.1 方法原理    | ( 63 ) |
| § 5.2 熔解矿样    | ( 63 ) |
| § 5.3 测量工作    | ( 63 ) |
| 1. 仪器设备       | ( 63 ) |
| 2. 测量前的准备工作   | ( 64 ) |
| 3. 测量步骤       | ( 64 ) |
| § 5.4 注意事项与讨论 | ( 65 ) |
| 1. 适应范围       | ( 65 ) |
| 2. 测量条件的控制    | ( 65 ) |
| 3. 装置系数的校正    | ( 65 ) |
| 4. 空白校正       | ( 65 ) |

## 第六章 射气系数的测定

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| § 6.1 射气系数               | ( 66 ) |
| § 6.2 $\gamma$ 计数法测定射气系数 | ( 67 ) |
| 1. 测量方法                  | ( 67 ) |
| 2. 测量精度                  | ( 67 ) |
| § 6.3 射气法测定射气系数          | ( 68 ) |
| 1. 方法原理                  | ( 68 ) |
| 2. 仪器设备和测量方法             | ( 69 ) |

## 第七章 射气闪烁法测钍

|               |        |
|---------------|--------|
| § 7.1 方法原理    | ( 71 ) |
| § 7.2 样品的化学处理 | ( 71 ) |
| § 7.3 测量工作    | ( 71 ) |
| 1. 仪器设备       | ( 71 ) |
| 2. 测量前的准备工作   | ( 72 ) |
| 3. 测量步骤       | ( 73 ) |
| 附: 静电计定性测钍    | ( 74 ) |

## 第八章 $\beta$ 计数法测铀

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| § 8.1 方法原理                   | ( 76 ) |
| § 8.2 制备 $\beta$ 测量源         | ( 77 ) |
| § 8.3 测量工作                   | ( 78 ) |
| 1. 仪器设备                      | ( 78 ) |
| 2. 系数和样品的测量                  | ( 78 ) |
| § 8.4 若干干扰因素与讨论              | ( 79 ) |
| 1. 测量灵敏度                     | ( 79 ) |
| 2. 铀含量适应范围                   | ( 79 ) |
| 3. $UX_1$ 的萃取率与 $HDBP$ 浓度的关系 | ( 80 ) |
| 4. $UX_1$ 的萃取率与萃取温度的关系       | ( 80 ) |
| 5. 干扰元素                      | ( 80 ) |

## 第九章 $\beta$ — $\gamma$ 能谱法测铀、镭、钍

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| § 9.1 $\beta$ — $\gamma$ 能谱法测量原理  | ( 85 ) |
| § 9.2 测量工作                        | ( 85 ) |
| 1. 仪器设备                           | ( 86 ) |
| 2. 测量前的准备工作                       | ( 86 ) |
| 3. 底数和 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线强度的测量 | ( 88 ) |
| 4. 系数的测量                          | ( 89 ) |
| 5. 样品的测量                          | ( 89 ) |
| § 9.3 若干干扰因素                      | ( 90 ) |
| 1. 钍射气的影响                         | ( 90 ) |
| 2. 样品的密封                          | ( 90 ) |
| 3. 铀—镭平衡破坏严重的样品中低含量钍测量结果的修正       | ( 91 ) |
| 4. $\beta$ 吸收屏对 $\gamma$ 能谱测量的影响  | ( 91 ) |
| 5. 补偿源 $Pu^{239}$ 对计数管测量底数的影响     | ( 93 ) |
| 6. $\gamma$ 谱仪的稳定性对测量结果的影响        | ( 94 ) |
| 7. 干扰讯号的影响                        | ( 95 ) |
| § 9.4 自动稳定装置的工作原理                 | ( 96 ) |

## 第十章 电 离 室

|                  |         |
|------------------|---------|
| § 10.1 气体的电离     | ( 98 )  |
| § 10.2 电离室的结构和使用 | ( 99 )  |
| § 10.3 电流电离室的性能  | ( 103 ) |

1. 电离室内气压对电离电流的影响.....( 104 )
2. 电离室室壳电压对电离电流的影响.....( 104 )
3. 气体成分对电离电流的影响.....( 105 )

## 第十一章 盖革—弥勒计数管

- § 11.1 工作原理 ..... ( 106 )
- § 11.2 盖革—弥勒计数管的种类和特性 ..... ( 106 )
- § 11.3 计数管的坪曲线 ..... ( 108 )
- § 11.4 计数管的输出电路 ..... ( 109 )
1. 输出电路的四种基本形式.....( 109 )
  2.  $RC$  电路对输出特性的影响.....( 110 )
  3. 计数管的并联使用.....( 110 )

## 第十二章 闪烁计数器

- § 12.1 闪烁体 ..... ( 113 )
1. 无机闪烁体.....( 113 )
  2. 有机闪烁体.....( 114 )
- § 12.2 光电倍增管 ..... ( 119 )
1. 光电倍增管的结构.....( 119 )
  2. 光电倍增管的种类.....( 120 )
  3. 光电倍增管的主要参量.....( 121 )
  4. 阳极饱和特性.....( 124 )
- § 12.3 闪烁计数器的特性 ..... ( 124 )
1.  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  射线的探测.....( 124 )
  2. 能量分辨本领.....( 127 )
  3. 时间分辨本领.....( 128 )

## 第十三章 半导体计数器

- § 13.1 工作原理 ..... ( 129 )
- § 13.2 半导体计数器的种类和结构 ..... ( 130 )
1. 金硅面垒型.....( 130 )
  2.  $p-i-n$  型.....( 130 )
- § 13.3 半导体计数器的性能 ..... ( 132 )
1. 伏安特性.....( 132 )
  2. 灵敏区厚度和电容.....( 133 )
  3. 噪声.....( 133 )

|                  |         |
|------------------|---------|
| 4. 脉冲的形成         | ( 134 ) |
| 5. 能量分辨率和能量线性    | ( 136 ) |
| § 13.4 半导体计数器的应用 | ( 136 ) |
| 1. 测 $\alpha$ 射线 | ( 136 ) |
| 2. 测 $\beta$ 射线  | ( 137 ) |
| 3. 测 $\gamma$ 射线 | ( 137 ) |

## 第十四章 探测装置的分辨时间对计数的影响

|                         |         |
|-------------------------|---------|
| § 14.1 分辨时间的物理意义        | ( 139 ) |
| § 14.2 分辨时间对计数的影响及漏计的修正 | ( 139 ) |
| § 14.3 漏计对测量精度的影响       | ( 141 ) |
| § 14.4 分辨时间的测定          | ( 142 ) |
| 1. 用双脉冲发生器测电子记录系统的分辨时间  | ( 142 ) |
| 2. 用示波器观看探测器的分辨时间       | ( 143 ) |
| 3. 用双源法测定整个系统的分辨时间      | ( 143 ) |
| § 14.5 影响分辨时间的因素        | ( 144 ) |
| § 14.6 结论               | ( 145 ) |

## 第十五章 晶体管电路基础

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| § 15.1 单管放大                | ( 146 ) |
| 1. 基本电路                    | ( 146 ) |
| 2. 静态工作图解                  | ( 146 ) |
| 3. 动态工作情况                  | ( 148 ) |
| 4. 输入输出波形的相位关系             | ( 148 ) |
| 5. 稳定直流偏置电路                | ( 148 ) |
| § 15.2 发射极跟随器              | ( 149 ) |
| 1. 典型的发射极跟随器               | ( 149 ) |
| 2. 提高输入电阻的另一种电路——自举技术的应用   | ( 150 ) |
| 3. 互补发射极跟随器                | ( 151 ) |
| § 15.3 差值放大器               | ( 151 ) |
| 1. 工作原理                    | ( 151 ) |
| 2. 实际电路                    | ( 152 ) |
| § 15.4 脉冲放大器               | ( 153 ) |
| 1. 级间负反馈                   | ( 153 ) |
| 2. $C_d$ 对脉冲前沿的高频寄生振荡的消除作用 | ( 154 ) |
| 3. 电路对脉冲后沿改善的考虑            | ( 154 ) |
| § 15.5 电荷灵敏放大器             | ( 155 ) |

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| 1. 电路原理·····                | ( 155 ) |
| 2. 实际电路分析·····              | ( 155 ) |
| 3. 采用特殊元件的放大器·····          | ( 157 ) |
| § 15.6 自激多谐振荡器 ·····        | ( 157 ) |
| 1. 用途·····                  | ( 157 ) |
| 2. 实用电路·····                | ( 158 ) |
| § 15.7 单稳态多谐振荡器 ·····       | ( 159 ) |
| § 15.8 双稳态多谐振荡器 ·····       | ( 160 ) |
| 1. 工作原理·····                | ( 160 ) |
| 2. 对电路元件参数的要求·····          | ( 161 ) |
| 3. 自偏压双稳态电路·····            | ( 161 ) |
| 4. 加速电容的应用·····             | ( 162 ) |
| 5. 对触发的讨论·····              | ( 163 ) |
| 6. 实际电路·····                | ( 163 ) |
| § 15.9 十进位计数电路 ·····        | ( 164 ) |
| 1. 环状联接电路·····              | ( 164 ) |
| 2. 反馈联接电路·····              | ( 164 ) |
| 3. 实际的 $2 \times 5$ 电路····· | ( 167 ) |
| § 15.10 电源·····             | ( 169 ) |
| 1. 倍压电路·····                | ( 169 ) |
| 2. 直流稳压电路·····              | ( 170 ) |
| 3. 串联型负反馈稳压电源·····          | ( 171 ) |

## 第十六章 放射性测量的误差问题

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| § 16.1 偶然误差的性质和表达方式 ·····   | ( 174 ) |
| 1. 偶然误差的分布定律·····           | ( 174 ) |
| 2. 偶然误差的表示方法·····           | ( 175 ) |
| 3. 间接测量的误差传递·····           | ( 176 ) |
| § 16.2 放射性测量的统计性误差 ·····    | ( 179 ) |
| 1. 统计性误差的性质·····            | ( 179 ) |
| 2. 计数率的误差·····              | ( 182 ) |
| 3. 本底的影响·····               | ( 183 ) |
| 4. 平均效应的统计性质·····           | ( 184 ) |
| § 16.3 探测装置性能的检查 ·····      | ( 186 ) |
| § 16.4 可疑测量值的舍弃 ·····       | ( 189 ) |
| § 16.5 测量值和实验结果的精密度表示 ····· | ( 190 ) |
| § 16.6 系统误差的几种常用检查方法 ·····  | ( 191 ) |

## 附 录

|       |                                                                                             |         |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 附录一   | 常用物理常数.....                                                                                 | ( 195 ) |
| 附录二   | $\beta$ — $\gamma$ 法测铀密度修正表.....                                                            | ( 197 ) |
| 附录三   | 氡的 $\frac{1}{1-e^{-\lambda t}}$ 函数表.....                                                    | ( 199 ) |
| 附录四   | 氡的 $1-e^{-\lambda t}$ 函数表.....                                                              | ( 202 ) |
| 附录五   | 几种常用电容电阻型号名称对照表.....                                                                        | ( 203 ) |
| 附录六   | 固定电阻的色标 (圆环式) .....                                                                         | ( 204 ) |
| 附录七   | 瓷介电容器的温度系数与色标的关系.....                                                                       | ( 205 ) |
| 附录八   | $\beta$ 粒子的最大射程.....                                                                        | ( 206 ) |
| 附录九   | $\beta$ 粒子在铝中的半衰减厚度.....                                                                    | ( 207 ) |
| 附录十   | 几种物质的密度.....                                                                                | ( 207 ) |
| 附录十一  | $\gamma$ 射线的质量衰减系数.....                                                                     | ( 208 ) |
| 附录十二  | 几种材料对窄束 $\gamma$ 射线的线性衰减系数 ( $cm^{-1}$ ) .....                                              | ( 211 ) |
| 附录十三  | 不同能量的宽束 $\gamma$ 射线在不同的衰减倍数 $K$ 时铅的厚度 ( $cm$ )<br>( $\rho_{\text{铅}} = 11.34g/cm^3$ ) ..... | ( 212 ) |
| 附录十四  | 一些常用同位素的 $K_{\gamma}$ 值和克镭当量值.....                                                          | ( 214 ) |
| 附录十五  | 火成岩中元素的丰度.....                                                                              | ( 215 ) |
| 附录十六  | 电子由 $L$ 壳层填充到 $K$ 壳层空位所发射特征 $X$ 射线 ( $K_{\alpha}$ —射线) 的能量 ( $KeV$ ) .....                  | ( 216 ) |
| 附录十七  | $4Z$ 系放射性产物衰变表.....                                                                         | ( 217 ) |
| 附录十八  | $4Z + 2$ 系短寿命放射性产物衰变表.....                                                                  | ( 218 ) |
| 附录十九  | $4Z + 2$ 系长寿命放射性产物衰变表.....                                                                  | ( 219 ) |
| 附录二十  | 天然放射性元素衰变图表.....                                                                            | ( 220 ) |
| 附录二十一 | 常用人工放射性同位素衰变图表.....                                                                         | ( 227 ) |
| 附录二十二 | 铀系射线谱.....                                                                                  | ( 229 ) |
| 附录二十三 | 钍系射线谱.....                                                                                  | ( 230 ) |
| 附录二十四 | 锕铀系射线谱.....                                                                                 | ( 231 ) |
| 附录二十五 | 放射性元素衰变图.....                                                                               | ( 232 ) |
| 附录二十六 | 铀—镭系衰变图.....                                                                                | ( 233 ) |
| 附录二十七 | 钍系衰变图.....                                                                                  | ( 234 ) |
| 附录二十八 | 锕铀系衰变图.....                                                                                 | ( 235 ) |
| 附录二十九 | 化学元素周期表.....                                                                                | (附页)    |
| 参考资料  | .....                                                                                       | ( 236 ) |

# 第一章 $\beta-\gamma$ 法测铀

## § 1.1 方法原理

放射性元素的放射性测量,是以射线强度与其含量成正比这一基本特性为依据的,  $\beta-\gamma$  法测铀亦然,它是通过比较样品和标准源的放射性强度,来测定样品中的铀含量。

在铀系元素中,主要的  $\beta$  辐射体有  $UX_2$ 、 $RaC$  和  $RaE$ ,  $\gamma$  辐射体主要有  $UX_2$ 、 $RaB$  和  $RaC$ 。 $RaE$  的  $\beta$  射线能量较低。 $UX_2$  通过  $UX_1$  与铀处于平衡,  $RaB$  和  $RaC$  与钍处于平衡。因此,往往忽略  $RaE$  的影响,而只把该系元素分为铀和镭(钍)两组。

当矿样这两组的平衡状态与所使用的标准源相同时,只需单独比较它们的  $(\beta+\gamma)$  或  $\gamma$  射线的强度即可求得样品的铀含量。但往往样品中铀—镭(钍)不一定处于平衡状态,而其平衡破坏程度也不尽一致,因此,必须用  $\beta-\gamma$  法分别测定  $\beta$  和  $\gamma$  射线的强度以确定样品的铀含量。测得的射线强度与放射性元素之间的关系用下式表示:

$$\begin{cases} I_{\text{样}}^{\beta} = a_1 U + b_1 Ra \\ I_{\text{样}}^{\gamma} / P_{\text{样}} = a_2 U + b_2 Ra \end{cases} \quad (1.1)$$

式中:  $I_{\text{样}}^{\beta}$ 、 $I_{\text{样}}^{\gamma}$  分别为样品的  $\beta$  和  $\gamma$  射线强度 (脉冲/分);

$P_{\text{样}}$  为样品的称量;

$U$ 、 $Ra$  分别为样品中铀和  $Ra(B+C)$  的含量;

$a_1$ 、 $b_1$  分别为单位含量的铀和  $Ra(B+C)$  产生的  $\beta$  射线强度;

$a_2$ 、 $b_2$  分别为单位含量、单位重量的铀和  $Ra(B+C)$  产生的  $\gamma$  射线强度。

实际工作中,通常用  $\beta$  和  $\gamma$  当量含量来求铀含量,当量含量与真含量的关系式为:

$$\begin{cases} Q_{\beta} = aU + bRa \\ Q_{\gamma} = mU + nRa \end{cases} \quad (1.2)$$

式中:  $a = \frac{a_1}{a_1 + b_1}$ ,  $b = \frac{b_1}{a_1 + b_1}$ ,  $a + b = 1$ ;

$m = \frac{a_2}{a_2 + b_2}$ ,  $n = \frac{b_2}{a_2 + b_2}$ ,  $m + n = 1$

系数  $a$  的含义为: 铀—镭平衡时, 铀组产生的  $\beta$  射线强度对铀—镭系产生的总  $\beta$  射线强度的比值。所以系数  $a$  通常又称为  $\beta$  测量时纯铀的平衡铀当量。同样, 系数  $b$  又称为  $\beta$  测量时  $Ra(B+C)$  的平衡铀当量。

系数  $m$  的含义为: 铀—镭平衡时, 铀组产生的  $\gamma$  强度对铀—镭系产生的总  $\gamma$  强度的比值, 或称为  $\gamma$  测量时纯铀的平衡铀当量。同样,  $n$  为  $\gamma$  测量时,  $Ra(B+C)$  的平衡铀当量。

$Q_\beta$  称为  $\beta$  当量含量;  $Q_\gamma$  称为  $\gamma$  当量含量。它们可以通过与  $U-Ra$  平衡标准源相对测量而得出:

$$\begin{cases} Q_\beta = \frac{Q_{\text{标}}}{I_{\text{标}}^\beta} \cdot I_{\text{样}}^\beta = K_\beta \cdot I_{\text{样}}^\beta \\ Q_\gamma = \frac{Q_{\text{标}}}{I_{\text{标}}^\gamma} \cdot P_{\text{标}} \cdot \frac{I_{\text{样}}^\gamma}{P_{\text{样}}} = K_\gamma \cdot \frac{I_{\text{样}}^\gamma}{P_{\text{样}}} \end{cases} \quad (1.3)$$

$$\begin{cases} K_\beta = \frac{Q_{\text{标}}}{I_{\text{标}}^\beta} \\ K_\gamma = \frac{Q_{\text{标}}}{I_{\text{标}}^\gamma} \cdot P_{\text{标}} \end{cases} \quad (1.4)$$

式中:  $I_{\text{标}}^\beta$ 、 $I_{\text{样}}^\beta$  分别为对平衡标准源和样品所测得的  $\beta$  射线强度;

$I_{\text{标}}^\gamma$ 、 $I_{\text{样}}^\gamma$  分别为对平衡标准源和样品所测得的  $\gamma$  射线强度;

$P_{\text{标}}$ 、 $P_{\text{样}}$  分别为平衡标准源和样品的称量;

$Q_{\text{标}}$  为平衡标准源的铀含量。

$K_\beta$ 、 $K_\gamma$  分别为与单位  $\beta$  和  $\gamma$  计数率相当的平衡铀含量。对同一测量装置, 当测量条件 (仪器, 计数管、屏、平衡标准源, 测量几何条件等) 不变时,  $K_\beta$  和  $K_\gamma$  应当是常数。

解方程组 (1.2) 可得出计算铀含量的公式:

$$U = \frac{n}{n-b} Q_\beta - \frac{b}{n-b} Q_\gamma \quad (1.5)$$

令  $l = \frac{b}{n-b}$  则 (1.5) 式可写成:

$$U = (1+l) Q_\beta - l Q_\gamma = Q_\beta + l(Q_\beta - Q_\gamma) \quad (1.6)$$

这就是我们常用的计算铀含量的公式。

$\beta-\gamma$  法测铀的探测器可以使用计数管、闪烁计数器或半导体探测器等探测装置。本章主要是介绍和讨论盖革-弥勒计数管 ( $G-M$  计数管) 计数装置的测量方法。

系数  $l$  称为装置系数, 其数值主要取决于计数管类型、屏的材料和面密度以及平衡标准源的平衡状况。可用一个已知含量的纯铀或纯镭源和平衡标准源由 (1.6) 式逆推来测定:

$$l = \frac{U - Q_\beta}{Q_\beta - Q_\gamma} \quad (1.7)$$

式中,  $Q_\beta$ 、 $Q_\gamma$  由 (1.3) 式得出,

$U$  为纯铀源的铀含量, 如果使用纯镭源, 则  $U$  等于零。

表 1.1 是我们用  $J_{100}\gamma$  和  $J_{200}\gamma$  计数装置测得的上述各系数值, 它与麦日博尔斯卡娅等人<sup>(8)</sup> 给出的数值 (表 1.2) 相近。

表 1.1

| 装 置 | 计数管型号           | 屏 厚 度<br>(铝) | $\gamma$ -效 性 | 测 得 系 数 值 |      |      |      |        |
|-----|-----------------|--------------|---------------|-----------|------|------|------|--------|
|     |                 |              |               | $a$       | $b$  | $m$  | $n$  | $\ell$ |
| 1   | $J_{200\gamma}$ | 6mm          | 13%           | 0.54      | 0.46 | 0.11 | 0.89 | 1.08   |
| 2   | $J_{100\gamma}$ | 5.5mm        | 14%           | 0.53      | 0.47 | 0.06 | 0.94 | 1.00   |

表 1.2

| 计数管型号 | $a$       | $b$       | $m$       | $n$       | $\ell$ |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| MC—4  | 0.48—0.52 | 0.52—0.48 | 0.05—0.06 | 0.95—0.94 | 1.12   |
| CTC—6 | 0.47—0.50 | 0.53—0.50 | 0.03—0.05 | 0.97—0.95 | 1.18   |
| BC—4  | 0.49—0.52 | 0.51—0.48 | 0.08—0.09 | 0.92—0.91 | 1.18   |

采用  $J_{100\gamma}$  或  $J_{200\gamma}$  等类型计数管作为  $\beta$ - $\gamma$  法的计数装置时, 它们将同时记录  $\beta$  射线和  $\gamma$  射线。因此, 对于探测  $\gamma$  射线的计数管组 (装在样品下面, 称为下排计数管) 必须附加面密度足够大的  $\beta$  射线吸收屏, 以吸收全部  $\beta$  射线。对于探测  $\beta$  射线的计数管组 (上排计数管), 则需从测得的  $\beta + \gamma$  计数率中减去下排计数管组的计数率以扣除  $\gamma$  射线部分的计数率。因为:

$$\begin{cases} I^{\text{上}} = I^{\beta+\gamma} + I_{\text{底}}^{\text{上}} \\ I^{\text{下}} = I^{\gamma} + I_{\text{底}}^{\text{下}} \end{cases} \quad (1.8)$$

$$\text{所以: } \begin{cases} I^{\gamma} = I^{\text{下}} - I_{\text{底}}^{\text{下}} \\ I^{\beta} = (I^{\text{上}} - I^{\text{下}}) - (I_{\text{底}}^{\text{上}} - I_{\text{底}}^{\text{下}}) \end{cases} \quad (1.9)$$

式中:  $I^{\text{上}}$ 、 $I^{\text{下}}$  分别为上、下排计数管同时对  $\beta$  和  $\gamma$  射线测得的计数率;

$I_{\text{底}}^{\text{上}}$ 、 $I_{\text{底}}^{\text{下}}$  分别为上、下排计数管的底数;

$I^{\beta}$ 、 $I^{\gamma}$  分别为被测对象的  $\beta$  和  $\gamma$  射线强度。上述各量均以 (脉冲/分) 表示。

## § 1.2 测量工作

### 1 仪器设备

1) 铅室和计数装置 为了减少宇宙射线源对测量的影响, 提高测量的精确度, 计数装置放在壁厚不小于 40 毫米的铅室内。为防止散射影响铅室内壁装一层面密度为 1.0 克/平方厘米左右的有机玻璃或铝板。铅室内腔尺寸一般为  $35 \times 20 \times 13$  立方厘米。

计数管支架用有机玻璃制成。支架中部装一块置放样品盘的铝质活动托板, 其厚度和样品盘底的厚度之和应为  $1.3 \sim 1.5$  克/厘米<sup>2</sup>, 即 5 ~ 6 毫米。在托板上方和下方各并联安装 4 支计数管, 样品的上表面至两排计数管的中心, 距离为 4 厘米左右。上排计数管的位置固

定,下排计数管的位置可以调节(图1.1)。

有的资料<sup>(1)</sup>认为最好在每支计数管的正极端,分别串接一 $RC$ 电路,电阻值一般用 $3 \sim 5 M\Omega$ ,电容值用 $30 \sim 50 pf$ ,电阻电容为并联接法。实验证明,用 $J_{106}\gamma$ 型计数管,串接阻容电路后,探测装置的性能变坏(详见§11.4),因此计数管装置最好采用图11.3(a)或图11.3(b)的输出电路。

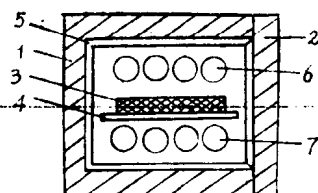


图 1.1 计数装置示意图

- 1.铅室; 2.铅室活门; 3.样品;  
4.托板; 5.防散射有机玻璃;  
6.上排计数管; 7.下排计数管。

2) 样品盘及其它设备 必须备有两套铝质样品盘,规格分别为 $200 \times 100 \times 10$ 毫米<sup>3</sup>和 $100 \times 50 \times 10$ 毫米<sup>3</sup>。前者用来测量铀含量小于0.5%的样品,后者用来测量铀含量大于0.5%的样品。样品盘的几何条件和厚薄应一致。对大盘来说,要求高度误差小于 $\pm 0.25$ 毫米,重差小于正负3克。小样品盘的要求更严。

此外,工作室还需备有称差 $\pm 0.2$ 克的天平一台,和有机玻璃板、搅拌铲、毛刷等装样工具。

## 2 测量前的准备工作

1) 定标器检查 工作前须对定标器主要性能作简单检查,一般是记录仪器本身的检查讯号,观察其工作情况和计数是否正常。

2) 计数管选择 使用计数管之前,必须测定其特性曲线,确定坪长、坪斜和工作电压,并检查其稳定性能。方法如下:

事先选好对单个计数管能够产生2000~3000脉冲/分的射气系数小的样品,置于计数装置内。将待测的计数管装入计数装置开启仪器至正常后,逐渐升高计数管的工作电压,进行测量,从开始计数时起,每隔50伏测量一次,直至读数达到显著地上升为止。每次测量取两个读数,每个读数2分钟。二个

读数之差要求小于或等于 $2\sqrt{N}$  ( $N$ 为两分钟的平均计数量)。如超过此值则取第三次读数,然后取在允许范围内读数的平均值。

将测量结果绘成曲线(图1.2)。曲线图之 $V_0$ 为起始电压, $V_2 - V_1$ 为坪长,坪斜按下式计算:

$$\text{坪斜} = \frac{N_2 - N_1}{N_1} \cdot \frac{100}{V_2 - V_1}$$

$$= \frac{1}{100} \cdot \frac{100\%}{100 \text{伏}}$$

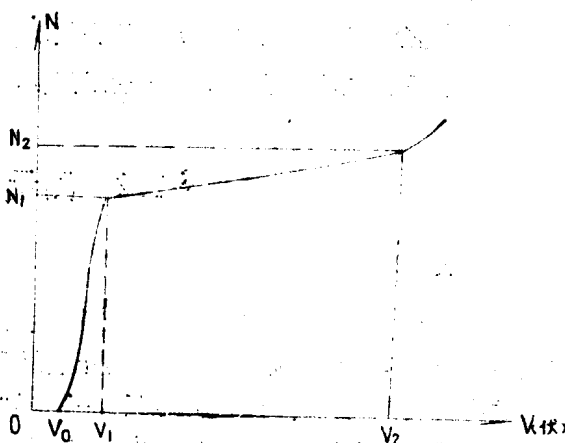


图 1.2 计数管计数率—电压曲线