

高等教育试用教材

放射性方法勘查实验

张锦由 主编
吴慧山 审

原子能出版社

高等教育试用教材

放射性方法调查实验

张锦由 主编

张锦由 翟葆华 等编著

吴慧山 审

原子能出版社

京新登字077号

内 容 简 介

本书是以放射性方法勘查实验为主的实验教材。书中阐述了放射性测量单位、标准模型与标准源、误差的描述与传递、有效数字、提高测量精度的方法和放射性测量中的统计学等基础知识。撰写的33个实验,包括放射性测量基础、放射性测量仪器和勘查、放射性元素含量测定等方面的内容,每一个实验之后均附有适量思考题。书末,还附有与实验有关的数据和计算机程序。全书紧密结合教学和生产实际,可以说是基本上总结了我国30多年来放射性方法勘查实验,引进了当代若干新技术、新方法是我国地质院校中第一本放射性方法勘查实验方面内容较全面的教材。

本书为高等院校勘查地球物理专业和核电子学与核技术应用专业的实验教材,也可以供铀矿地质、环境监测等放射性测量人员选用。

* * * *

本书由吴慧山审校,经核工业总公司教育培训部放射性地质教材委员会铀矿勘查地球物理课程组于1990年7月由石玉春主持召开的审稿会审定,同意作为高等教育试用教材。

高等教育试用教材

放射性方法勘查实验

张锦由 主编

张锦由 翟葆华 等编著

吴慧山 审

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

重庆印制一厂印刷

新华书店总店科技发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/32 ·印张12.875·字数 289 千字

1992年12月北京第一版 · 1992年12月北京第一次印刷

印数 1—1000

ISBN7-5022-0775-9

TL·497(课) 定价: 6.00元

前 言

本书是高等院校勘查地球物理和核电子学与核技术应用专业的实验教材，是根据1983年原核工业部教育司放射性地质教材委员会审定的《放射性方法勘查实验》大纲编写的。

多年来，我国还没有一本系统的放射性方法勘查实验的教材。编写本书的目的就是为了填补这个空缺，以利于教学、生产、科研，为培养学生的动手能力和理论联系实际的能力服务。

本书由二部分组成：第一部分是放射性方法勘查实验基础知识。主要阐述了放射性测量单位、放射性勘查仪器、放射性涨落的概率分布；误差及误差的描写与传递、提高放射性测量精度的方法与监测限、测量结果的表示和实验数据的处理，有关辐射防护知识等。这部分是为做好实验作准备的，是实验共同需要的内容。第二部分是实验方法。它包括放射性测量基础实验、辐射仪的标定、矿体模型实验、参数测定、样品中放射性核素含量的测定、放射性勘查仪器实验、 α 径迹与钍含量的测定等，共有33个实验。每个实验均由实验目的、内容、原理、设备与装置图；实验步骤、编写实验报告、思考题七个部分组成。其中对原理、步骤作了较详细的叙述。这些内容，也适用于建材地质、石油地质、环境保护等从事核技术应用的领域。

本书是几十年来实验教学的结晶，是共同合作的产物，编著者在撰写过程中做了总结和提炼工作，注入了当前国际

上的新技术、新方法。

本书由张锦由副教授主编定稿，每个实验均由编著者同实验教师共同编写，并进行了实验验证。

参加编写的有：张锦由（前言、绪论、基础知识、实验1、2、3、4、5、9、13、14、附录及实验7、8、10、11、12、15的部分内容）；李树敏、刘瑞英（实验6、7、20、21、22、23、24、25）；翟葆华（实验26、29、30、31）；黄荣才（实验8、15、16）；万坤祥（实验10、11、28）；刘庆成（实验12）；陆玲、汤彬（实验17、18、19、21）；彭聂、戴晓兰（实验27、32、33）；刘觉夫（附录8、9、10）等。书稿的初稿经过了作者互审后，由卢存恒教授、蔡中林、张燮、何为民、邓明琪副教授又作了认真内审。这对提高教材质量起了重要作用。在编写过程中，还得到了院教材科和系领导的支持和帮助。

本教材由核工业北京地质研究院研究员级高级工程师吴慧山审，1990年7月由南京大学石玉春副教授代表教材委员会物探组主持召开审稿会。参加会议的有：核工业北京地质研究院唐声喆研究员级高级工程师、成都地质学院曹利国副教授、原子能出版社金一一副编审等。会议对书稿进行了认真审定，值此向以上专家表示衷心感谢，并向徐闻等做了许多实验验证工作的同志致以诚挚的谢意。

因作者水平限制，不足之处难免，敬请读者指正。

编著者 1991年4月

绪 论

科学实验是人们根据科学研究的需要，采用一定的物质手段，人为地控制和模拟自然现象，进而运用科学方法观察、研究、探索和揭示自然界的本质及其规律的实验活动。这种活动能够突破自然条件的限制获得实验条件下、与研究目的有关的实验结果，使自然过程或生产过程能以典型的形式表现出研究对象的某种属性与特征或联系，从而使实验人员便于分析、归纳、整理，以概括成规律。不仅如此，科学实验还是一种经济的、可靠的方法，因为它能以较小的代价获得较大的成果，避免不经过实验就在大范围里推广，从而可能遭到重大损失的后果。因此，科学实验既是探索发现和验证新理论、新方法不可缺少的手段，又是检验、发展科学理论和发展生产的必经之路。

一项重大的科学发现、发明总是以实验为依据的。贝克勒尔发现铀的放射性（19世纪末科学上的三大发现之一，获得1903年诺贝尔物理奖），开始是定性实验，以后又用对照实验和析因实验作了验证。1956年，杨振宁、李政道提出的宇称不守恒的新理论就是在翌年由吴健雄通过定性实验验证后才荣获诺贝尔奖的。天然反应堆的发现是通过对铀矿的例行分析发现的。由此可见，实验是极为重要的。

任何科学的实验都是以客观事实为依据的。它要求实验过程真实可靠，实验结果具有确证性和纪实性。确证性是实验结果的基本特征，它要求排除一切主观因素，尤其不可带

入实验者的个人偏见。要以冷静、客观的态度参加整个实验工作，实验结果不但要经得起自己的重复验证，而且要经得起任何人的重复验证，即具有再现性，也就是说它是必然的而不是偶然的。通常实验结果或现象只有被别的实验者重复验证后，实验才能得到公认。记实性系指对实验过程和结果的如实记录，不夸大，不缩小，不弄虚作假，实事求是地做到绝对真实可靠，否则就得出符合客观规律的科学结论。

放射性勘查实验就是配合放射性方法勘查（包括放射性测量基础）开设的一门独立的实验性课程。通过对实验的观察、测量和分析，使学生掌握和了解基本的放射性实验方法和实验技能；加深对放射性方法勘查课程中基本概念、理论与规律的理解和消化，巩固所学知识，获得科学研究方法的基本训练；初步学会处理放射性实验数据、分析和归纳实验结果的方法，从而使获得解决实际问题能力的初步训练。为此，要求每个学生必须以严肃认真的科学态度，以所学理论知识为指导，严格按实验要求进行实验预习、实验操作、编写实验报告、一丝不苟地做好每一个实验。

放射性方法勘查实验由实验的基础知识和实验方法二部分组成。前者叙述了对研究对象如何进行分析研究，如何选择适当的测量方法和估计结果的可靠程度，阐述了如何将所得数据加以整理、归纳和表达数值之间相互关系的方法。后者对每个实验目的、内容、原理、设备与装置、步骤和如何编写实验报告等都依次作了较细的叙述。

为了做好实验，提出如下基本要求。

（一）实验前的预习

实验前的预习是实验成功的重要前提，它包括课外预习和课内预习。

课外预习系指进入实验室前，关于实验内容的理解、消化和记忆。

课内预习需要在老师指导下，熟悉实验仪器、实验设备、仔细阅读实验教材。预习过程中要核对仪器设备登记卡，认定无误后签名认可。如有缺损应立即报告教师，以便及时补充或修理，不得自行处理、调换。

预习的目的在于弄明白实验目的、实验要求和原理（包括实验设计原理），明确需要测定的物理参数，记录哪些实验数据，并了解所用仪器的构造原理、操作方法、注意事项。

预习过程中，需要设计原始数据记录表格，熟悉和理解实验操作步骤，记住实验中应特别注意的事项。

预习之后，写出预习报告，制定周密的实验工作计划。

预习是实验课的重要环节，预习报告和实验工作计划是顺利进行实验的基本保证，需要认真进行。

（二）实验操作

认真操作每一个步骤是实验成功的关键，在实验过程中，要严格控制实验条件，注意观察实验的每一个步骤所出现的物理现象或化学变化，积极思考出现正常或异常现象的可能原因，详细记录这些现象和原始数据（做到有条有理，整齐清洁），善于发现、分析和解决实验中出现的各种问题。为此，做实验时，需学习和注意如下问题：

1. 凡使用电器设备都必须事先了解所用仪器、仪表和电源性能。通常使用的电源有交流电源和直流电源，使用时切忌电源两极短路。对于直流电源还必须注意电源的正负极性质。其中，使用直流稳压电源时，其输出电压、电流（由稳压器的电表上读出）不得超过其最大输出值。同样，对所

使用的仪表（含电流表和电压表）也不得超过其量限值，否则，将导致仪器或仪表的损坏。

2. 实验中，要获得正确的测量结果必须注意合理地放置仪器设备和正确地连接实验系统或线路。仪器设备放置不当，做实验不顺手，这样不但会使实验系统或线路连接混乱，造成连接错误，而且不便检查。避免上述情况的办法是：了解实验装置图中每一个图形及符号的意义，弄清所用仪器设备的作用、结构和使用方法。做仪器实验时需遵守“先查线路后接电源；先断电源后拆线路”的操作规程。对于其他实验系统，也需请教师检查，认为无误后方可进行实验。

3. 实验中，凡使用放射源、放射性样品或其他有毒药品，更需遵守操作规程，谨防仪器设备、台面受到污染。一旦污染要立即清除，妥善处理。严格遵守保管、使用制度和污水、污物处理制度，不得随意摆放、丢弃、携带。

4. 实验中，仪器发生故障时须向教师说明情况，请教师检修，不得自行拆卸。

5. 准备好实验记录本、编好页码，不准撕页，不准用红笔记录或写报告，不准用小纸片临时记录、不准涂改、伪造和抄袭他人数据、报告。

良好的实验环境是做好实验的重要条件。因此，做实验时应按工作计划有条不紊地进行。要严肃认真、精力集中，保持实验室内安静。

实验完毕，请老师检查实验结果，对污水、污物、废气要按老师的要求处理。实验台面要擦净，实验装置要清洗、理顺、恢复到实验前的状态和位置，请老师验收无误后方可离开实验室。

(三) 编写实验报告

编写实验报告是实验结果的理论升华过程，是培养科研能力的有效措施，是考察学生德、才、智的一个环节，因此实验报告的编写是一项极重要的工作。具体要求如下：

1. 无论是合做一个实验还是单独完成一个实验，每个做实验的学生均需各自独立地编写实验报告，不许合写和抄袭他人报告。

2. 实验报告分两种：(1)简明实验报告。内容包括：题目、目的要求、实验数据、结果处理、问题分析与讨论。(2)详细实验报告。内容包括、题目、目的要求、实验原理、仪器装置和药品、实验步骤、实验数据、结果处理、问题分析与讨论；文献资料等。所有实验均应按指导教师的要求撰写实验报告。

3. 编写实验报告时，报告中公式的书写格式、图表、术语、数字、外文符号、物理量符号、化学符号均需规范化。即按教科书中形式运用，计量单位需采用中华人民共和国法定计量单位，正确表述测量结果。

4. 正确使用表、图和数学方程式表达实验结果。

(四) 问题的分析与讨论

问题的分析与讨论系指实验过程中的物理现象、实验结果及其误差的分析讨论，它是实验报告的重要组成部分。通过分析讨论，将会帮助学生实现从感性认识到理性认识这一过程，发现新的物理现象和规律。分析讨论内容包括：对实验现象的解释、归纳、数据处理、实验结果的误差分析（产生的大小和原因）和可靠程度的讨论，心得体会，新的发现和改进意见等。

目 录

绪 论

基础知识

第一节 放射性测量单位	1
一、放射性活度与比活度	1
二、放射性气体浓度单位	2
三、电离辐射量及其单位	3
四、放射性核素的含量单位	6
五、其他常用单位	8
第二节 标准模型与标准源	8
一、固体模型	9
二、点状镅源	9
三、氡标准源	14
四、其他放射源	18
第三节 放射性勘查仪器	20
一、探测器	20
二、测量电路	32
三、常用放射性勘查仪器的主要技术指标	33
四、放射性仪器的标定原则与注意事项	33
第四节 放射性涨落的概率分布	42
一、泊松分布	42
二、正态分布	43
第五节 误差及误差的描述与传递	44
一、误差的分类	45

二、测量误差的描述	46
三、测量误差的传递	52
四、数据的精确度、准确度与可利用程度	61
第六节 提高放射性测量精度的方法	63
一、测量时间的最佳分配	63
二、举例	65
第七节 放射性测量的检测限	66
一、判断限 L_C	67
二、探测限 L_D	68
三、测定限 L_Q	70
四、举例	71
第八节 有效数字及其运算	72
一、仪器的读数与有效数字	73
二、有效数字的运算规则	75
三、函数运算的有效数字取位	77
第九节 实验数据的表示与处理方法	78
一、测量结果的表示	78
二、实验数据的处理方法	81
(一) 列表法	81
(二) 图示法	82
(三) 经验公式法	85
第十节 实验结果的可疑值取舍与假设检验	91
一、可疑值的取舍	92
二、总体参数的假设检验	95
三、假设检验举例	97
四、参数的假设检验及其置信区间	104
五、总体的概率分布检验与举例	105
第十一节 辐射防护有关知识	108
一、体外辐射防护措施	108

二、体内辐射防护措施	109
三、有关的辐射防护标准	110

方法实验

实验 1 放射性衰变涨落的统计规律	112
实验 2 氡及其子体的放射性活度随时间的变化规律	118
实验 3 放射性核素的衰变规律及其半衰期的测定	125
实验 4 β 射线的吸收	133
实验 5 物质对 γ 射线的吸收	138
实验 6 放射性核素的 γ 射线仪器谱的测定	143
实验 7 γ 射线通过物质后的能谱变化	153
实验 8 点状镭源标定辐射仪	158
实验 9 体源标定辐射仪	167
实验10 体源标定 γ 能谱仪	175
实验11 γ 辐射仪性能检查	184
实验12 自然底数的测定	190
实验13 氡仪的标定	195
实验14 土壤与水中氡的测量	207
实验15 α 径迹的蚀刻及观测	216
实验16 ^{210}Po 的提取与测定	221
实验17 γ 测量互换原理的验证	226
实验18 γ 测井及其曲线的定量解释	230
实验19 γ 取样及其曲线的定量解释	240
实验20 铀矿石的射气系数测定	246
实验21 岩石体重的测定(吸收法)	253
实验22 矿石中铀含量的 β - γ 法测定	259
实验23 矿石中镭含量的 γ 法测定	271

实验24	矿石中镭含量的射气法测定	276
实验25	矿石中铀镭钍含量的 β - γ - γ 法测定	287
实验26	闪烁探测器	296
实验27	闪烁计数器的连接电路	302
实验28	闪烁探测器“坪”曲线的测量	307
实验29	CMOS电路组成的单道脉冲幅度分析器	314
实验30	FD-3013型数字 γ 辐射仪的调试	320
实验31	FD-42型定向辐射仪的调试	325
实验32	FD-3017型测氦仪的调试	331
实验33	辐射仪的检修	337
	主要参考文献	341
附录1	国际单位制词头	344
附录2	放射性方法勘查中常用法定单位和应废除单位的对照表	345
附录3	标准正态分布的分布函数 $N(N; 0, 1)$ 数值表	346
附录4	F 分布表	348
附录5	t 分布的 t_{α} 数值表	350
附录6	χ^2 分布的 $\chi^2_{\alpha}(v)$ 数值表	352
附录7	检验相关系数 $\rho=0$ 的临界值(γ_{α})表	354
附录8	经验公式的选择与拟合程序	355
附录9	可疑值的取舍程序	362
附录10-0	总体参数与概率分布函数的假设检验程序	365
附录10-1	一个正态总体的 u 检验程序	369
附录10-2	一个正态总体的 t 检验程序	370
附录10-3	一个正态总体的 χ^2 检验程序	372
附录10-4	二个正态总体的 u 检验程序	374
附录10-5	二个正态总体的 t 检验程序	377

附录10-6	二个正态总体的 F 检验程序	380
附录10-7	正态分布函数的假设检验程序	383
附录10-8	五点高斯求积法计算正态分布函数程序	386
附录11	伽玛测井反褶积分层解释法程序	388

基础知识

第一节 放射性测量单位

测量任何一个物理量，通常是将这一物理量与规定的标准量（即单位）作比较。这些标准量就是我国制定的“法定计量单位”。

放射性核素在其周围空间会产生电离辐射。因此，测量放射性核素数量时，对某些长寿命核素通常采用质量单位度量。而对某些短寿命核素，由于其半衰期极短，难于提取到化学纯度，因此，也难于用普通称量法称量。这时，必须通过测量其放射性衰变率等方法来度量。

一、放射性活度与比活度

（一）放射性活度(A)

放射性活度 A 是表征放射性核素衰变数量的一个物理量，系指在给定时刻，处于特定能态下的一定量的放射性核素，在 dt 时间内发生自发核衰变数的期望值 dN 除以 dt 的商，即

$$A = \frac{dN}{dt} \quad (1-1)$$

放射性活度的单位名称是贝可[勒尔]，简称贝可，用符号Bq表示。 $1\text{Bq} = 1\text{s}^{-1}$ ，它表示放射性核素每秒衰变1次。

过去，曾用居里(Ci)作放射性活度单位，现已废除。

新旧单位换算关系如下:

$$1\text{Bq}=0.27\times 10^{-10}\text{Ci}=27\text{pCi}$$

$$1\text{Ci}=3.7\times 10^{10}\text{Bq}$$

$$1\text{mCi}=3.7\times 10^7\text{Bq}$$

$$1\mu\text{Ci}=3.7\times 10^4\text{Bq}$$

$$1\text{pCi}=3.7\times 10^{-2}\text{Bq}_0$$

(二) 放射性比活度(a)

放射性比活度系指样品的放射性活度 A 除以该样品的总质量 m 的商, 即

$$a=\frac{A}{m} \quad (1-2)$$

放射性比活度的单位名称为贝可每千克, 用符号 Bq/kg 表示。

过去, 曾用居里每千克 (Ci/kg) 作为放射性比活度单位, 现已废除。新旧单位换算关系如下:

$$1\text{Bq/kg}=0.27\times 10^{-10}\text{Ci/kg}=27\text{pCi/kg}$$

$$1\text{Ci/kg}=3.7\times 10^{10}\text{Bq/kg}$$

二、放射性气体浓度单位

气体或液体样品中放射性气体的浓度, 系指样品中射气的放射性活度 A 除以该样品的总体积 V , 其单位的专用名称为贝可每升, 用符号 Bq/l 表示。

过去, 曾用爱曼 (am) 作为放射性气体浓度单位, 现已废除, 新旧单位换算关系如下:

$$1\text{Bq/l}=0.27\text{am}$$

$$1\text{am}=3.7\text{Bq/l}$$