



国防特色教材·职业教育

放射性地球物理勘查

• 鲁挑建 姜启明 编著

 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色教材·职业教育

放射性地球物理勘查

鲁挑建 姜启明 编著

哈尔滨工程大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内 容 介 绍

本书较系统地叙述了铀矿地质勘查的基本理论和各勘查阶段放射性物探的基本工作方法。全书共分为 12 章,内容包括放射性物探的基本理论、 γ 测量、氡气测量、 γ 测井、放射性物探在其他领域的应用等章节。

本书插图较多,叙述通俗易懂,理论联系实际,注意引用新理论,新技术和新方法。

本书可作为高等院校放射性物探专业教材,也可供放射性矿产勘查和铀矿开采工作者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

放射性地球物理勘查/鲁挑建,姜启明编著. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2009.7

ISBN 978-7-81133-365-7

I. 放… II. ①鲁…②姜… III. 铀矿-地球物理勘探
IV. P619.140.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 103534 号

放射性地球物理勘查

鲁挑建 姜启明 编著

责任编辑 张盈盈

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南岗区东大直街 124 号 发行部电话:0451-82519328 传真:0451-82519699

<http://press.hrbeu.edu.cn> E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

哈尔滨工业大学印刷厂 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:15 字数:275 千字

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷 印数:1 000 册

ISBN 978-7-81133-365-7 定价:33.00 元

前 言

随着世界能源持续紧张和石油价格的剧烈变化,世界各国都在积极地发展替代能源,核能的利用已被提升到重要地位。

我国的核事业还落后于西方发达国家,特别是核电事业还需要大力发展。这就需要寻找大量的铀矿资源,而寻找铀矿离不开放射性物探技术。

为了新形势发展的需要,为了给国家培养更多的铀矿专业技术人才,我们编写了《放射性地球物理勘查》这本教材。

本教材编写的宗旨是学以致用,按照“必须”、“够用”的原则编写。因此,在编写过程中对于基本理论部分进行了反复推敲,努力做到少讲“为什么”,多讲“怎么办”,即对于牵涉基本理论较多的部分只讲清“公式”或“理论”怎么用,而不必过多地推导。

本书注重理论联系实际。在本书第5章和第6章及其他相关章节中编写了放射性仪器的操作、放射性勘查的野外工作方法、室内资料整理方法等。其中第5章可以作为课内实训(或实验)课讲授,第6章可以用于野外集中实训课。本书全部内容预计教授110学时左右(包括课内和课外实习),教师可以根据学时多少对教授内容作适当删减。

本书编写中注意与现代新技术的衔接。如氡气测量的许多先进技术(α 聚集器方法和活性炭测量方法)也被收录进来,又如反褶积分层解释法和迭代法在 γ 测井曲线解释铀含量的应用中已经成熟,本书也予以收录。对于最新研制的放射性仪器(如加拿大进口能谱仪GAD-6和国产HD-2003型活性炭测氡仪)进行了必要的补充,同时兼顾正在使用的各类放射性仪器(如常用的FD-3013型辐射仪和FD-42定向辐射仪)。对于生产单位早已不用的仪器,如FD-71辐射仪和FD-118射气仪予以删除。

本书在重点叙述了铀矿找矿的各种方法的同时,也兼顾了放射性物探在环保和防灾中的应用。另外,为了突出铀矿在国防和民用事业中的地位及拓宽知识范围,本书还编写了与铀矿事业关系密切的核电事业的相关知识(主要是核电的发展和核废料的处理),以增强环境保护意识,为子孙后代造福。

本书绪论和第1~5章由鲁挑建编写,其余章节由姜启明编写。

本书编写过程中得到中国国防工业委员会的大力支持,在此表示衷心的感谢。核地质二〇三研究所研究员级高级工程师张云宜同志审阅了全部书稿,并提出了很多宝贵的修改意见,在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,加之时间仓促,错漏之处在所难免,望读者批评指正。

编者

2009.6

目 录

绪 论	1
0.1 放射性物探概论	1
0.2 放射性物探在国民经济中的作用	2
第 1 章 放射性概论	7
1.1 原子和原子核	7
1.2 放射性衰变	10
1.3 放射性系列与放射性核素	12
1.4 天然放射性核素的射线谱	22
1.5 放射性核素的衰变与积累规律	33
1.6 衰变积累规律的应用	41
第 2 章 射线与物质的相互作用	46
2.1 α 粒子与物质的相互作用	46
2.2 β 粒子与物质的相互作用	47
2.3 γ 射线与物质的相互作用	51
2.4 γ 射线在物质中的衰减	58
第 3 章 放射性测量常用单位、标准源、标定模型和防护	62
3.1 放射性测量常用单位	62
3.2 标准源	66
3.3 标定模型	67
3.4 安全防护知识	70
第 4 章 放射性测量的基本知识	73
4.1 γ 射线的仪器谱	73
4.2 铀、钍放射性矿石的伽玛射线仪器谱	77
4.3 野外伽玛能谱测量基本原理	80

第5章 放射性测量常用仪器及操作	86
5.1 γ 辐射仪	86
5.2 γ 能谱仪	90
5.3 测氡仪和测井仪	99
5.4 放射性测量仪器的标定	106
5.5 放射性测量仪器“三性”的检查	118
第6章 地面伽玛测量	120
6.1 放射性普查的地质前提	120
6.2 地面 γ 测量的比例尺与工作方法	124
6.3 地面 γ 测量资料的整理与成果的图示	131
6.4 地面伽玛能谱测量	134
第7章 氡气测量	136
7.1 氡的瞬时测量方法	136
7.2 氡的累积测量方法	139
7.3 裂变径迹测量方法	146
7.4 氡气测量在寻找铀矿中的应用	148
第8章 伽玛测井	153
8.1 伽玛测井的理论基础	153
8.2 伽玛测井的野外工作方法	157
8.3 伽玛测井资料的定量解释	160
8.4 伽玛测井换算系数及其测定方法	171
8.5 伽玛测井结果的检查验证及质量评价	173
第9章 探矿工程中的 γ 编录	176
9.1 γ 编录方法及要求	176
9.2 γ 编录质量检查	182
9.3 γ 编录资料整理	183
第10章 辐射取样	184
10.1 伽玛取样的理论基础	184
10.2 铅套换算系数的确定方法	187

10.3	γ 取样工作方法	190
10.4	室内资料整理	192
10.5	γ 取样质量及影响因素	194
第 11 章	放射性物探中的参数测定	197
11.1	铀钍平衡系数的测定	197
11.2	天然产状下矿石射气系数的测定	205
11.3	氡的析出率测量	207
第 12 章	放射性物探应用领域的拓展	211
12.1	放射性物探在环境保护与监测中的应用	211
12.2	放射性勘查在防灾中的应用	220
参考文献		231

绪 论

0.1 放射性物探概论

0.1.1 放射性物探的定义

所谓物探,就是利用岩石的物理性质进行普查或勘探的一门技术。岩石的物理性质包括岩石的电性(电法勘探)、磁性(磁法勘探)、密度(重力勘探)、弹性(地震勘探)及放射性等,每一种物理特性都对应着一门物探方法。

放射性地球物理勘查亦称放射性地球物理探查,简称放射性物探。

元素的放射性是元素的固有性质,是由原子核内部的不稳定结构引起的,故放射性物探又称为核物探。顾名思义,放射性物探就是利用岩石的放射性去寻找矿产(勘探)的一门技术,这是对放射性物探的狭义定义,实际上,放射性物探方法不仅用于寻找放射性矿产,还可以寻找石油、盐类矿产等,亦可用于基础地质研究(如岩性划分)、地质灾害防治(如利用氡气测量预报地震)、环境保护(如放射性环境监测)、医疗(如癌症病人的放射性治疗)等其他领域,这是对放射性物探应用领域的拓展。因此,广义的放射性物探是指利用天然或人工放射性来达到寻找矿产或其他目的的一门科学技术。

0.1.2 放射性物探研究的主要内容

放射性物探主要研究怎样利用岩石(矿石)的放射性去寻找矿产、进行地质研究的方法。它包括放射性基础知识、核物探仪器、利用放射性进行普查勘探的方法、地质资料的整理方法等。放射性物探在其他领域的应用也离不开这些基本理论和基本方法,比如利用人工放射性核素去照射癌细胞,就是利用 γ 射线的杀伤能力去杀死癌细胞,达到治疗疾病的目的,又如用氡气测量预测有害地震,就是利用氡气易于迁移来发现断层的活动性,从而达到预测地震的目的。

综上所述,放射性物探涉及物理学(主要是原子核物理学和高能物理学)、地球化学(核素的迁移和富集规律)、岩石地层学(铀、钍、钾等天然放射性核素对不同岩石具有明显的选择性)、数学(核素的衰变规律和放射性涨落的统计学规律)、电子学(各种放射性仪器的工作原理)等多门学科,因此可以说放射物探是一门综合学科。

0.2 放射性物探在国民经济中的作用

0.2.1 放射性物探的起源及放射性物探与国防工业的关系

元素放射性的研究,最早是从铀元素的研究开始的。铀元素是由德国学者 M·H·克拉普洛特于 1789 年发现的,当时为了纪念不久前发现的天王星(Uranus)而命名为铀(Uranium)。1841 年,由法国化学家 E·M·彼戈利在实验室用钠还原氯化铀获得了金属铀。1896 年,由 A·贝克勒尔发现并确定它具有放射性。1898 年,法国科学家居里夫妇从天然沥青铀矿石中提取出镭,证实铀的放射性主要是由镭的子体引起的。1939 年科学家在实验室证实²³⁵U 的原子核在中子的轰击下能产生裂变,同时放出巨大的能量,很快引起全世界的极大重视。

应该说,放射性物探的发展历程中,对武器的研究和制造是其发展的重要动力。爱因斯坦的核物理理论研究极大地推动了近代物理学的进步,但遗憾的是人们首先想到的是利用铀放出的巨大能量来制造武器,因此诞生了原子弹。当然,原子弹的应用对于尽快结束第二次世界大战也起到了积极作用。

上世纪 50 年代初期,以美国为首的西方反华势力对新生的社会主义新中国虎视眈眈,不断进行核讹诈。为了维护中国的主权和领土完整,中国政府决定引进前苏联技术发展中国的核武器。邓小平后来评价说:“如果中国 60 年代不搞核武器,怎么能叫有影响的世界大国”。于是全国范围内大规模寻找铀矿的活动展开了,这就是放射性物探在中国产生和发展的历史根源。

随着世界局势的缓和,以铀为原料制造核武器的目标被世界各国所抛弃。我国也成为《核不扩散条约》和《全面禁止核试验条约》的签约国,以军用为目的的核试验在世界范围内被禁止,和平利用核能的春天已经来到。

图 0-1 是核工业体系流程图,它说明了放射性物探在国防工业和民用工业中的地位。

图 0-1 的上半部分以制造原子弹为目的;中间部分以民用工业为主;下半部分以制造氢弹为目的。不论国防工业所需要的原子弹和氢弹或民用工业的核电站,都离不开核反应堆的生产。整个核工业体系都是建立在地质勘探基础之上的,可以说没有原料铀,也就没有核工业体系,由此可见放射性物探在国防工业中的重要地位。

0.2.2 放射性物探在民用工业中的地位

近几年,随着全球能源供应紧张局面的形成,各国都在寻找新能源,如太阳能、风能、潮汐、核能等都在开发之列。

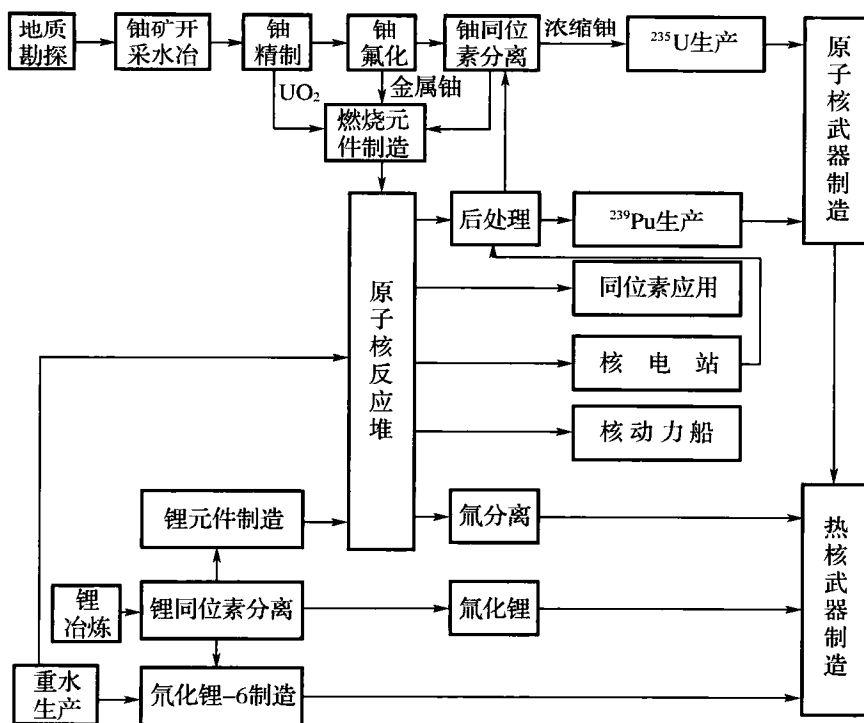


图 0-1 核工业主要工艺流程图

据测算,1 kg ^{235}U 发生裂变反应放出的能量相当于 3 000 t 标准煤放出的能量。1 t U_3O_8 可产生 $4.3 \times 10^7 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 的电能(相当于 4 353 t 标准煤)。

核裂变发电堆型主要分为压水堆(亦称轻水堆)、重水堆、石墨气冷堆和快堆。其中前 3 种反应堆属于热中子反应堆,这种反应堆只能利用占铀总量 0.72% 的 ^{235}U 进行发电;而后一种属于快中子反应堆,这种反应堆不仅可以利用 ^{235}U ,还可以利用占有总量 99.23% 的 ^{238}U (利用核裂变产生的快中子轰击 ^{238}U 使其转化为 ^{239}Pu ,而 ^{239}Pu 亦可裂变放出核能),大大提高了天然铀的利用率。

世界各国,特别是水电不发达的西方经济强国都把核电作为优先发展的新能源(表 0-1)。目前,全球电力的 17% 来自于核能发电,10 年内有望提升至 25%。目前全球运营中的核电反应堆为 438 座,分布在 45 个国家和地区,年耗铀约 $6.5 \times 10^4 \text{ t}$ 左右。到 2030 年前,全球又将会有 349 座新建核电反应堆陆续得到建设(其中正在建设中的有 34 座,计划中的是 93 座,筹划中的为 222 座)。

表 0-1 当前世界核电发展情况

国家	运行核电站数	运行核电装机容量(10^2 kW)	在建核电站数	在建核电装机容量(10^2 kW)
美国	104	97 411		
法国	59	63 073		
日本	53	43 491	3	3 190
英国	35	12 968		
俄罗斯	29	19 843	3	2 825
德国	19	21 122		
韩国	16	12 990	4	3 820
加拿大	14	9 998		
印度	14	2 503		
乌克兰	13	11 207	4	3 800
瑞典	11	9 432		
西班牙	9	7 512		
比利时	7	5 712		
中国台湾省	6	4 884	2	2 560
保加利亚	6	3 538		
斯洛伐克	6	2 408	2	776
瑞士	5	3 192		
捷克	5	2 569	1	912
芬兰	4	2 656		
匈牙利	4	1 755		
中国	3	2 167	8	6 420
立陶宛	2	2 370		
巴西	2	1 855	1	
南非	2	1 800		
墨西哥	2	1 360		
阿根廷	2	935	1	692

表 0-1(续)

国家	运行核电站数	运行核电装机容量(10^2 kW)	在建核电站数	在建核电装机容量(10^2 kW)
巴基斯坦	2	425		
斯洛文尼亚	1	676		
罗马尼亚	1	650	1	650
荷兰	1	449		
亚美尼亚	1	376		
伊朗			2	2 111
总计	438	351 327	31	27 756

西方发达国家的核电事业都很发达,美国和英国的核电已占其总发电量的1/4左右,瑞典已占一半,而法国已占 3/4。

核电是清洁能源,是我国大力发展使用的能源。截至 2007 年底,随着田湾核电站两台机组投入商业运营和秦山核电二期工程的开工建设,我国大陆地区核电运行机组达到 11 台,总装机容量达到 9.078×10^6 kW。台湾地区核电机组已达 6 台,核电已占总发电量的 31.72%。

中国大陆 11 台核电机组,以压水堆技术为主,包括 3 座国产的、2 座从俄罗斯引进的和 4 座从法国引进的,还有从加拿大引进的 2 座重水堆。主要分布在浙江秦山核电基地、广东大亚湾和岭澳核电厂、江苏田湾核电厂。

我国现有核电占总发电量的比例为 1.9%,占电力总装机容量的比例只有 1.27%。这一比例远远低于世界平均水平,但是这也说明我国核电事业仍然有巨大的发展潜力。

按照我国《核电中长期发展规划》,到 2020 年,全国要建成核电机组的装机容量为 4×10^7 kW,在建 1.8×10^7 kW,核电机组装机容量占电力总装机容量的比例将达到 4%。这就是说,在未来 10 年中,我国的核电发电能力将至少翻一番。

除核电事业之外,反应堆生产的产品还可以用于医疗(同位素应用)、核潜艇等领域,核事业在我国经济建设和国防建设中必将发挥巨大的作用。

所有核事业的发展都离不开原料铀的寻找,离不开放射性物探,可见放射性物探在民用工业中的重要地位。

0.2.3 铀矿产概况

1. 铀矿的品位和规模

铀矿品位分为边界品位和最低工业品位 2 种。边界品位是指是否为矿石的最低铀含量

值,最低工业品位是指工业上开采不赔不赚的最低品位。由此可见,铀的品位是随着经济和技术的发展而变化的。目前常用的边界品位为 0.03%,最低工业品位为 0.05%。

铀矿矿石品位一般分为以下几种品级:①极富矿石 > 1%;②富矿石 0.5% ~ 1%;③普通矿石 0.1% ~ 0.5%;④贫矿石 0.05% ~ 0.1%。

国际上一般用 U_3O_8 的量来衡量铀矿床规模:①特大型矿床 > 10 万吨;②大型矿床 1 ~ 10 万吨;③中型矿床 1 000 吨 ~ 1 万吨;④小型矿床 < 1 000 吨。

2. 世界铀矿产概况

据南非原子能委员会 1985 年估算,全球铀矿地质储量约为 229.59×10^8 t。英国研究所统计,世界铀矿探明储量 340×10^4 t,是目前开采量的 100 倍。2000 年全球的纯铀开采量累计为 193.86×10^4 t,自 1995 年以来全球的纯铀生产量约在 $(3.2 \sim 3.6) \times 10^4$ t 之间,近 20 年上下波动不大。

据国际原子能机构(IAEA)秘书处统计,发展中国家对铀的需求量依然旺盛,而发达国家,特别是核电事业发达的西方国家铀的产量却在下降。这种情况的发生有 4 个原因:①燃料铀为可再生能源(图 0-1),核电站用乏的燃料(发电效率下降的核燃料)可以通过后处理技术进行再生,然后再送进核电站重复利用,这样每年只需少量铀品加入即可;②国际铀品价格低廉,发达国家只需进口就可满足国内需求;③上世纪 80 年代末,美国和前苏联达成中程导弹销毁协议,前苏联每销毁 3 枚核导弹美国才销毁 1 枚核导弹,使前苏联销毁核导弹的进程大大加快,自 1992 年以来,前苏联把大量的军用铀品稀释(^{235}U 由 100% 稀释到 5%)后以低廉的价格卖给美国,美苏核武器竞赛的结束导致国际铀价大幅度下跌;④有些发达国家抵制核电事业的发展,如德国准备到 2021 年关闭所有核电站。

据国际原子能机构的统计,一座铀矿山从地质勘查到矿山开发平均需要大约 10 ~ 15 年的时间。2008 ~ 2030 年,相隔仅 22 年,为满足全球 788 个核电反应堆运行所需要的铀,人类需要在地球上勘查并开发 20 多个万吨量级的铀矿床。世界核原料需求在今后的 20 年内将保持适当的发展速度,年增长率约在 1.5% ~ 2% 之间;但发展中国家对铀品的需求量远大于该增长率。

世界各国都在积极寻找成本低廉的“可地浸砂岩型铀矿”,如美国 75% 的铀是由地浸矿山生产的。我国也在内蒙古、甘肃和新疆等干旱地区寻找可地浸砂岩型铀矿,目前成果显著。

第1章 放射性概论

1.1 原子和原子核

1.1.1 原子

我们每时每刻都要接触到各种各样的物质,例如空气、水等等。这些物理、化学性质不同的物质是由各种不同的化学元素组成的。如水由氧元素和氢元素化合而成,化学式为 H_2O 。

现在已经发现的化学元素有 113 种,构成这些元素的最基本单位是原子。原子是很微小的,它的直径只有 10^{-10} m 左右。原子的质量也很小,如氢原子的质量为 $1.673\,3 \times 10^{-24}$ g,铀原子的质量为 3.951×10^{-22} g。原子虽然很小,但它在化学反应过程中仍保持着元素的化学性质。

原子是可分的,按照玻尔原子模型,原子的中心有一个核心,称为原子核。它的外围有一定数目的电子(称为束缚电子或轨道电子)环绕原子核运动。原子核的直径更小,为 $10^{-15} \sim 10^{-14}$ m,比原子的直径小 4~5 个数量级,但原子的质量却大部分集中在原子核上,电子的质量仅占很少一部分。以最简单的氢原子为例,它由氢原子核和一个束缚电子组成,如图 1-1 所示。核外电子的质量为 9.1×10^{-28} g,而氢核的质量为 1.67×10^{-24} g,两者的比值为 1/183 8。对于复杂的原子这个比值还要小些,例如,铀原子的 92 个电子的总质量和铀核质量的比只有 1/471 7。

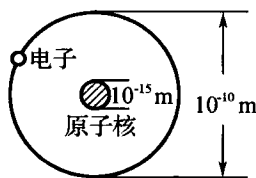


图 1-1 氢原子结构示意图

原子本身不显电性,这是因为原子核带正电荷,束缚电子带负电荷,而它们所带电荷电量相等,符号相反,因此不显电性。每一种元素的原子,原子核所带的电荷数是固定不变的,如果原子不接受外来能量,那么核外束缚电子数也是固定的。元素周期表的次序即以原子核所带电荷数的多少来排列,称为原子序数,以 Z 表示,如

氢(H): $Z = 1$

氧(O): $Z = 8$

铀(U): $Z = 92$

核外电子总是围绕原子核不停地运动着,就像行星环绕太阳运动一样。原子核好比太阳,电子则好比环绕太阳运动的行星。绕核运动的电子都有一个运动轨道,每个轨道最多只能有

两个电子。由若干条轨道组成一个电子“壳层”,按其距核的远近可分成几个层。靠原子核最近的层称为K层,能量最低;第二层为L层,能量稍高一些;再远依次为M层、N层、O层、P层、Q层等;离核最远的层,能量最高。每一个电子壳层上的电子数有一个限度,K层最多只能有2个电子,L层最多有8个电子,M层最多有18个电子……。每层最大电子数可由下式表示

$$2 \times n^2$$

式中 n 为电子壳层的层数,但原子最外一层电子个数最多不能超过8个。如氧原子有两个电子壳层(K,L),8条运动轨道,其中K层有2个电子,L层有6个电子,如图1-2所示。

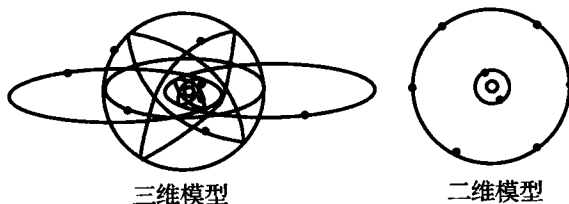


图1-2 氧原子模型

1.1.2 原子核

原子核由更小的粒子,即质子和中子组成,统称为核子。

1. 质子

通常用符号“p”来表示,它带有一个正电荷,电荷量为 4.8×10^{-10} C。电子带的电荷量与质子所带电荷量相等,符号相反。质子的质量为 1.6726×10^{-24} g,是电子的1838倍(氢原子)。原子核所带电荷数由质子的数目决定。因此,元素的原子序数 Z 又可由原子核中质子的数目决定。

2. 中子

通常用符号“n”表示。中子是不带电的中性粒子,质量为 1.6749×10^{-24} g,与质子质量相近,中子一般被束缚在原子核中,不能独立稳定地存在。只是在原子核受到外来粒子轰击而引起变化时,才从核里释放出来。

原子核内质子和中子数之和称为核子数,以 A 表示。如以 N 表示中子数, Z 表示质子数,显然 $A = Z + N$ 。这里 A 又称为原子核的质量数。如原子核 ${}^{14}_7\text{N}$ 的质量数 $A = 14$,电荷数 $Z = 7$,所以它是由7个中子和7个质子组成的核。我们可用下面的简单符号来表示原子核



式中 X——元素的化学符号。

例如,氢原子核内只有1个质子,而没有中子,铀原子核由92个质子和146个中子组成,分别表示如下



每种元素都存在同位素,它们的原子核中质子数相同,而中子数不同。例如自然界存在的铀有三个同位素,即 ${}^{234}_{92}\text{U}$, ${}^{235}_{92}\text{U}$, ${}^{238}_{92}\text{U}$,它们质子数都是92,但中子数不同,分别为142,143和146,故原子核质量数不同,物理性质也不相同。有的核是稳定的,有的是放射性的,如钾的三个同位素 ${}^{39}_{19}\text{K}$, ${}^{40}_{19}\text{K}$, ${}^{41}_{19}\text{K}$,其中只有 ${}^{40}_{19}\text{K}$ 是放射性核。即使像铀的三个同位素都是放射性核,它们也具有各自不同的特征。可见,每一种原子核都有它独自的特征,有固定数量的质子数和中子数的原子核称为核素。因此,放射性元素被称作放射性核素或放射性同位素,习惯上放射性核素与放射性同位素可以通用,本书以下均称放射性核素。如 ${}^{40}_{19}\text{K}$,表示质量数为40,原子序数为19的放射性核素“钾-40”。

1.1.3 能级与能谱

1. 原子的能级

束缚电子绕核运动具有一定轨道,这些轨道是不连续的,电子在各个可能轨道上所具有的能量也是不连续的,我们称这些不连续的能量数值为原子的能级。

原子的能级通常用电子伏特(eV)来表示。1电子伏特等于一个电子经过电位差为1伏特的电场所做的功。

1 电子伏特(eV) = 1.602×10^{-12} 尔格

1 千电子伏特(keV) = 10^3 电子伏特

1 兆电子伏特(MeV) = 10^6 电子伏特

处于稳定状态的原子不放出能量。当原子处在激发状态时,电子是不稳定的。当电子由远离原子核的较高能级(例如 W_L)跃迁到靠近原子核的较低能级(例如 W_K)时,相应的能量变化为 $\Delta W = W_L - W_K$,并以发射光子的形式被释放出来(图1-3)。

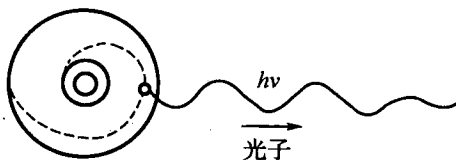


图1-3 电子发射光子示意图

$$\Delta W = h\nu = W_L - W_K$$

式中 h ——普朗克常数,等于 6.6262×10^{-27} 尔格·秒;

ν ——光子的频率;

$h\nu$ ——光子的能量。

将某种原子发射的各种频率的光子按波长排列起来(即按能量排列),便构成了该种原子的发射光谱。原子的光谱也即原子的能谱。由于不同核素的原子具有不同的能级,因此,每种核素的原子只能发出某些特定波长的谱线,即每种核素都有各自独特的原子光谱。