



「十三五」国家重点图书

# 中国矿产地质志

铀矿卷·普及本

地质出版社

## 内 容 提 要

《中国矿产地质志·铀矿卷·普及本》是《中国矿产地质志》系列丛书的重要组成部分。本书共分八章，概要介绍了铀元素的发现史、铀的基本性质及放射性、铀在地壳中的分布及存在形式、铀在原子能工业中的用途及地位、中国铀矿地质勘查队伍的组建和历史沿革、我国铀矿地质勘查与研究取得的重大成果，以及中国铀资源供需保障等内容；以叙述为主、述论结合为原则，概括介绍了中国铀成矿地质背景、铀成矿区划和区域铀成矿规律、中国铀资源发展前景等，并选择典型矿床，重点介绍了我国“四大类型”铀矿床——花岗岩型铀矿床、火山岩型铀矿床、砂岩型铀矿床和碳硅泥岩型铀矿床的基本特征。

本书是关于中国铀矿的一部普及型著作，适合于广大业内外人员了解我国铀矿的相关信息，对于普及铀矿相关知识具有重要作用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

中国矿产地质志·铀矿卷·普及本 / 张金带等编著.  
—北京: 地质出版社, 2018. 9  
ISBN 978 - 7 - 116 - 10402 - 0

I. ①中… II. ①张… III. ①矿产地质—概况—中国  
②铀矿—概况—中国 IV. ①P62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 137696 号

Zhongguo Kuangchan Dizhizhi · Youkuangjuan · Pujiben

责任编辑: 白 铁 刘云龙 刘艳华  
责任校对: 李 玫  
出版发行: 地质出版社  
社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083  
咨询电话: (010) 66554528 (邮购部); (010) 66554625 (编辑室)  
网 址: <http://www.gph.com.cn>  
传 真: (010) 66554686  
印 刷: 北京地大彩印有限公司  
开 本: 889 mm × 1194 mm <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
印 张: 13  
字 数: 400 千字  
版 次: 2018 年 9 月北京第 1 版  
印 次: 2018 年 9 月北京第 1 次印刷  
审 图 号: GS (2017) 972 号  
定 价: 100.00  
书 号: ISBN 978 - 7 - 116 - 10402 - 0

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

# 《中国矿产地质志》编委会

## (第一届)

### 一、领导小组

- 组 长：钟自然 中国地质调查局局长、国土资源部总工程师
- 副组长：彭齐鸣 国土资源部地质勘查司司长
- 李金发 中国地质调查局副局长
- 王瑞江 中国地质科学院副院长
- 成 员：邢树文 中国地质科学院矿产资源研究所副所长
- 李 剑 国土资源部勘查司地质勘查处处长
- 薛迎喜 中国地质调查局原资源评价部主任

### 二、专家委员会

主 任：陈毓川

副主任：常印佛 翟裕生 叶天竺 王登红 (常务)

成 员：(按姓氏笔画排序)

丁俊	王世称	王安建	王京彬	王砚耕	王保良
王炳铨	王增护	毛景文	邓军	艾宪森	石礼炎
卢欣祥	付德明	白万成	白 鸽	朱明玉	朱裕生
伍广宇	任丰寿	任家琪	多吉	刘秉光	刘德权
汤中立	杨明桂	李文渊	李均权	李宏骥	肖克炎
余中平	邹天人	沈保丰	宋小文	张永山	张华明

张忠伟 张金带 张翼飞 陆瑞宝 陈一笠 陈 平  
陈尔臻 陈华山 陈建平 邵和明 周 详 周特先  
於崇文 郑大瑜 郑绵平 赵一鸣 赵文津 赵鹏大  
胡瑞忠 侯增谦 施中爽 姜树叶 袁忠信 莫宣学  
钱大都 倪 斌 徐水师 徐志刚 陶维屏 黄香定  
黄崇轲 黄懋鸿 梅友松 盛继福 章少华 阎凤增  
琚宜太 韩振新 裴荣富 潘行适

### 三、《中国矿产地质志》

总主编：陈毓川 王登红

### 四、承担单位

中国地质科学院矿产资源研究所

### 五、项目办公室

主 任：邢树文

副主任：李 剑 龙宝林 傅旭杰

成 员：朱明玉 黄 凡

责任编辑组：白 铁 韩 博 吕 静 李 佳 刘云龙 潘 懋  
                代世锋 邢瑞玲 郝梓国 章雨旭 沈 镭 余宏全  
                于春林 李进文 戚学祥 李 华

# 《中国矿产地质志》编委会

## (第二届)

### 一、领导小组

- 组 长：彭齐鸣 国土资源部总工程师
- 副组长：李金发 中国地质调查局副局长
- 王 昆 国土资源部地质勘查司司长
- 傅秉锋 中国地质科学院矿产资源研究所所长
- 成 员：徐学义 中国地质调查局副总工程师、总工程师室主任
- 邢树文 中国地质调查局资源评价部副主任
- 薛迎喜 国土资源部矿产勘查技术指导中心副主任
- 牛 力 国土资源部地质勘查司地质处处长

### 二、专家委员会

- 主 任：陈毓川
- 副主任：常印佛 翟裕生 叶天竺 王登红 (常务)
- 成 员：裴荣富 汤中立 赵文津 郑绵平 赵鹏大 於崇文
- 多 吉 莫宣学 王世称 黄崇轲 刘秉光 陶维屏
- 王炳铨 张金带 姜树叶 胡瑞忠 邓 军 陈建平
- 章少华 王京彬 徐水师 倪 斌 琚宜太 阎凤增
- 李文渊 王保良 侯增谦 毛景文 朱裕生 王安建
- 肖克炎 梅友松 余中平 白万成 郑大瑜 钱大都
- 沈保丰 赵一鸣 盛继福 徐志刚 朱明玉 袁忠信
- 白 鸽 邹天人 宋学信 杨岳清 陈华山 陈 平

邵和明 陈尔臻 刘德权 任家琪 宋小文 张翼飞  
王砚耕 付德明 李均权 黄懋鸿 伍广宇 张忠伟  
黄香定 卢欣祥 艾宪森 李宏骥 周特先 杨明桂  
陆彦 任丰寿 张永山 石礼炎 陆瑞宝 韩振新  
施中爽 王增护 陈一笠

### 三、《中国矿产地质志》

总主编：陈毓川 王登红

### 四、承担单位

中国地质科学院矿产资源研究所

### 五、项目办公室

主任：邢树文 中国地质调查局资源评价部副主任  
副主任：黄凡 中国地质科学院矿产资源研究所  
王岩 中国地质科学院矿产资源研究所  
成员：蔺志永 中国地质调查局资源评价部矿产地质处处长  
朱明玉 中国地质科学院  
王成辉 中国地质科学院矿产资源研究所  
孙艳 中国地质科学院矿产资源研究所稀有稀土贵金属  
研究室副主任  
曹瑞欣 中国地质科学院矿产资源研究所办公室副主任

责任编辑组：白铁 韩博 吕静 李佳 刘云龙 潘懋  
代世锋 邢瑞玲 郝梓国 章雨旭 沈镭 佘宏全  
于春林 李进文 戚学祥 李华

# 《中国矿产地质志》编委会

## (第三届)

### 一、领导小组

- 组 长：钟自然 国土资源部党组成员，中国地质调查局局长、党组书记，中国地质学院院长
- 副组长：王 昆 中国地质调查局党组成员、副局长  
于海峰 国土资源部地质勘查司司长  
陈仁义 中国地质科学院矿产资源研究所所长
- 成 员：徐学义 中国地质调查局副总工程师、总工程师室主任  
张作衡 中国地质调查局资源评价部主任  
薛迎喜 国土资源部矿产勘查技术指导中心常务副主任  
谢国刚 国土资源部矿产勘查技术指导中心副主任  
牛 力 国土资源部地质勘查司地质处处长

### 二、专家委员会

- 主 任：陈毓川
- 副主任：常印佛 翟裕生 叶天竺 王登红 (常务)
- 成 员：裴荣富 汤中立 赵文津 郑绵平 赵鹏大 於崇文  
多 吉 莫宣学 侯增谦 毛景文 王世称 黄崇轲  
刘秉光 陶维屏 王炳铨 邵厥年 严铁雄 张金带  
姜树叶 胡瑞忠 邓 军 陈建平 章少华 王京彬  
徐水师 倪 斌 琚宜太 阎凤增 李文渊 王保良  
朱裕生 王安建 肖克炎 梅友松 余中平 白万成

郑大瑜	钱大都	沈保丰	赵一鸣	盛继福	徐志刚
朱明玉	袁忠信	白  鸽	邹天人	宋学信	杨岳清
李纯杰	陈华山	陈  平	邵和明	陈尔臻	刘德权
任家琪	宋小文	张翼飞	王砚耕	付德明	李均权
黄懋鸿	伍广宇	张忠伟	黄香定	卢欣祥	艾宪森
李宏骥	周特先	杨明桂	陆  彦	任丰寿	张永山
石礼炎	陆瑞宝	徐衍强	施中爽	王增护	陈一笠

### 三、《中国矿产地质志》

总主编：陈毓川 王登红

### 四、承担单位

中国地质科学院矿产资源研究所

### 五、项目办公室

主 任：谢国刚 国土资源部矿产勘查技术指导中心副主任  
 副主任：黄 凡 中国地质科学院矿产资源研究所  
           王 岩 中国地质科学院矿产资源研究所  
           蔺志永 中国地质调查局资源评价部矿产地质处处长  
 成 员：朱明玉 中国地质科学院  
           王成辉 中国地质科学院矿产资源研究所  
           孙 艳 中国地质科学院矿产资源研究所  
           曹瑞欣 中国地质科学院矿产资源研究所  
           刘 佳 中国地质科学院矿产资源研究所

责任编辑组：白 铁 韩 博 吕 静 刘云龙 肖竣文 谢玉淳  
               潘 懋 代世锋 邢瑞玲 郝梓国 章雨旭 沈 镭  
               余宏全 于春林 李进文 戚学祥 李 华

# 总 序

矿产资源是国家经济社会发展的物质基础，我国处于工业化中后期发展阶段，矿产资源需求量处于增长时期，需求的量大、矿种多。掌握全国的所有矿产的家底，是国家与人民十分需要的大事。新中国成立后 60 多年的历程中，地质工作者已为国家发现了 172 种矿产，其中 159 种矿产已获得资源/储量，矿床、矿点等各类矿产地已达 20 多万处，积累了丰富的矿产地质资料，广大的矿产地质工作者为国家所需，迫切真诚地期望早日进行覆盖全国全部矿产信息的汇总，研编中国矿产地质志。今日终于得到国家的支持，得以实施，并且经过江西省的试点，在该省以杨明桂先生为首的研编组的共同努力下，中国矿产地质志省级第一卷《中国矿产地质志·江西卷》率先正式出版，供全国使用，这是中国矿产地质志研编工作史上的新起点。

新中国第一部《中国矿产地质志》，汇总广大地质矿产工作者为国为民找矿的成果，汇集全国查获的全部矿产资源及其开采利用的状况，分析资源前景，并对找矿过程中获得的丰富的找矿经验和成矿规律认识进行阶段性的总结。这将是我国迄今为止矿产资源文集大全，将为全国及各省、自治区、直辖市政府矿产资源规划、部署、决策提供重要依据，为全国人民提供祖国矿产资源的现有家底及开发前景，为矿产资源勘查、开发、科学研究及地矿教育提供丰富的资料。

100 多年前，1906 年清光绪年间，顾琅、周树人（鲁迅）先生合著《中国矿产志》出版，附中国矿产简表、地质时代简表和中国矿产全国图。清政府甚为重视，列为国民必读。这是我国第一本《中国矿产志》，由于历史条件所限，该书共列出 10 个金属矿产（金、银、铜、铁、锡、铅、水银、辰砂、锑、锰矿），20 个非金属矿产，全国共列出 1203 个矿产地。当时著名的地理学家马良先生为之作序，序言中说：“顾、周两君学矿多年，颇有心得。慨祖国地大物博之无稽，爰著《中国矿产志》一册，罗列全国之所在，注之以图，陈之以说，使我国民深悉国产之所自有，以为后日开采之计，致富之源，强国之本，不致家藏货宝为他人所攘夺”。当时该志书是为国民知道国家的矿产，去开采致富，达到强国的目标。弹指一挥间，100 多年过去，天翻地覆，时代变了，祖国的盛世来临，现代化、和平民主的强大祖国就在面前。新中国第一部中国矿产地质志亦将面目一新，但研编的目标是一致的，都是为民、为国，为民所知，为民致富，为国所知，为国强大。我们是继承前人事业、继续往前走！

本次研编处于天时、地利、人和的大好时机，国家经济社会发展与日俱增，欣欣向荣，需要矿产资源，需要全国摸清矿产资源家底。新中国成立以来 60 多年矿产勘查与开发得到大发展，取得了丰硕的找矿成果和海量的矿产地质勘查、开发和科研资料。国土资源部近 8 年来组织完成了三大全国性矿情调查工作：矿业权核实、28 个矿种资源现

状利用调查和25个矿种资源潜力评价。开展中国矿产地质与区域成矿规律综合研究、研编中国矿产地质志得到了国土资源部、财政部、中国地质调查局等领导部门、各省（自治区、直辖市）政府部门及矿产地质领域专家、学者们的大力支持。社会需要，政府重视，研编条件具备，是本项工作得以进行的必要前提与重要保证。

研编工作的策划，充分吸取历来志书编纂的精髓，广泛听取并吸纳矿产资源领域各部门专家、领导意见，并进行重要研编内容的工作试点。确定本矿产地质专业性志书采用“以述为主，述论结合”的原则，实现叙实性与学术性结合，矿产叙述必实，规律论述有据，做到资料真实、全面、最新、可查，文字论述简练易懂、图文并茂，研编技术统一要求，研编工作统一部署，研编组织有编纂专家队伍，亦广邀各方专家共同参与，集思广益。论述部分广纳有据论点，广迎百花，力争创新亮点，并为后人创新搭建平台。通过共同努力，使研编工作有序进行。

本次研编内容由3部分组成：各省（区、市）矿产地质志、全国矿产总志、全国区域成矿规律研究。每一部分都有书、图、数据库及普及本。各省（区、市）矿产地质志包含本地区所有矿产资源。全国矿产总志包含各主要矿产的矿产志及全国矿产汇总。全国区域成矿规律研究包含各主要成矿区带成矿规律研究及全国区域成矿规律研究汇总。整个研编工作自2014年开始至2020年完成。研编期间，研编成果实施边完成、边出版、边使用，使研编成果及时向社会提供，逐步积累，最终完成。

本项研编工作意义重大，但任务繁重，涉及矿产资源勘查、开发、科研、教育领域各个部门各方专家。我们认为，只有共同参与，同心合作、政府支持才能胜利完成此项工作。我们衷心希望并坚信，参与工作的全体同仁为实现此国家重大目标，在政府与矿产资源工作有关部门与广大同仁专家支持下，一定会坚定信心，同舟共济，共同奋斗，在2020年提交一份世纪性的矿产志书大成果。

李海川 钟祖斌

2014年11月5日

# 前 言

铀资源是支撑国家核力量建设和核能发展的重要战略资源。

新中国成立以后，1954年中央部署筹备铀矿地质勘查工作，1955年1月15日，毛泽东主席主持召开中共中央书记处扩大会议，做出发展原子能事业的战略决策。从此，铀矿勘查在全国蓬勃展开，中国核工业开始扬帆远航。

中国铀矿勘查伴随核工业“两弹一艇”和一座座核电站并网发电等巨大成就，书写了新中国第一个甲子60年的光辉篇章。中国数万铀矿地质大军常年栉风沐雨，转战大江南北的崇山峻岭和戈壁沙漠，一代接一代核地质人经过艰苦奋战，使我国核地质事业从无到有，从小到大，在自己广袤的国土上探明了大大小小铀矿床350多个，为新中国国防建设和核能发展提供了充足的铀资源，同时创新发展了铀矿地质理论，形成了世界上为数不多的较为完善的铀矿地质工作体系和技术体系。

由于铀矿与核工业、国防建设息息相关，我国铀矿地质行业一开始就笼罩着神秘的色彩。随着时代的发展，其军民两用的属性将逐渐被人们了解和熟悉，不断受到社会各界的高度关注。国土资源部决定编研出版《中国矿产地质志》，此乃社会长期所盼，地质界百年盛事，中国核工业地质局承接了编研《中国矿产地质志·铀矿卷》这一重要任务，并将分普及本和专业版先后出版。本书系“普及本”，概要介绍了铀和原子能工业的基础知识，简要记叙了我国核地勘队伍和铀矿地质事业的发展历程、铀矿勘查与研究取得的重大成果，阐述了中国铀矿的基本特征、中国铀成矿地质背景与成矿规律，以及中国铀资源发展前景等，全书专志于铀，侧重写实，述论兼顾，最终希望通过本书有助于业内外各界更多了解我国乃至世界的铀矿。但也由于撰写本书的专业人员第一次尝试编研“普及本”，科普素养不足，离科普要求一定甚远，鉴于对铀成矿区带、铀矿床等内容仅仅是选择代表性的加以记述，本书更确切地说只是铀矿志的“简版”而已。

本书由集体编研完成。全书共分八章。第一章“铀元素与原子能工业”，由张书成、仇宝聚、虞航执笔；第二章“中国铀矿地质勘查队伍的组建和历史沿革”，由张金带执笔；第三章“中国铀矿地质勘查研究及铀资源开发状况”，其中第一节由张书成、蔡煜琦执笔，第二节由蔡煜琦、张金带、柯丹、张书成、虞航执笔，第三节由张金带执笔；第四章“中国铀成矿地质背景”，其中第一节由黄净白执笔，第二、三、四节由李田港、陈祖伊执笔，第五节由蔡煜琦执笔；第五章“中国铀矿成矿区划”由黄净白、蔡煜琦执笔；第六章“中国铀矿床”第一、三节由张明林执笔，第二节由徐浩执笔，第四节由贾立城执笔，第五节由张字龙执笔，第六节由仇宝聚、虞航执笔；第七章“中国区域铀成矿规律”第一节由徐浩、张明林、贾立城和张字龙执笔，第二节由蔡煜琦、黄净白执笔；第八章“中国铀资源潜力与找矿前景”，由张金带、蔡煜琦、李田港执笔。蔡煜琦、

张金带负责统稿，张金带负责定稿。全书插图由虞航、刘佳林、傅迷等绘制、编排完成。

本书由中国核工业地质局组织编写，得到了中国地质科学院陈毓川院士、王登红研究员和本局赵凤民、黄世杰等铀矿地质资深专家的指导和帮助。本书写作过程中，参阅和引用了前人大量的文献资料，如《中国核军事工业历史资料丛书（铀矿勘查）》、《华东铀矿地质志》、《中南铀矿地质志》、《西北铀矿地质志》、《华南铀矿地质志》、《西南铀矿地质志》、《东北铀矿地质志》和《中国铀矿床研究评价》等专著，书后也列出了主要的参考文献目录，但可能挂一漏万。在此，谨向所有为本书编研做出贡献和帮助的单位及个人表示衷心感谢。限于作者水平和经验，本书错误和疏漏之处在所难免，也恳请读者批评指正。

张金带 蔡煜琦

2016年12月

# 目 录

## 总 序 前 言

第一章 铀元素与原子能工业 .....	( 1 )
第一节 铀元素 .....	( 1 )
第二节 铀在地壳中的分布及存在形式 .....	( 5 )
第三节 原子能工业 .....	( 10 )
第二章 中国铀矿地质勘查队伍的组建和历史沿革 .....	( 22 )
第一节 历史性决策 .....	( 22 )
第二节 “三局”的组建和历史沿革 .....	( 24 )
第三节 区域性局级管理机构的组建和历史沿革 .....	( 25 )
第四节 地质部和高校系统 .....	( 28 )
第三章 中国铀矿地质勘查研究及铀资源开发状况 .....	( 29 )
第一节 铀矿地质勘查工作 .....	( 29 )
第二节 铀矿地质研究工作 .....	( 35 )
第三节 铀资源开发状况 .....	( 56 )
第四章 中国铀成矿地质背景 .....	( 60 )
第一节 大地构造演化与铀成矿 .....	( 60 )
第二节 岩浆活动特征与铀成矿 .....	( 62 )
第三节 碳硅泥岩系特征与铀成矿 .....	( 65 )
第四节 中生代陆相沉积盆地与铀成矿 .....	( 68 )
第五节 放射性场分布特征与铀成矿 .....	( 70 )
第五章 中国铀矿成矿区划 .....	( 75 )
第一节 铀成矿单元划分 .....	( 75 )
第二节 铀成矿域 .....	( 77 )
第三节 铀成矿省 .....	( 79 )
第四节 铀成矿区带 .....	( 81 )
第五节 铀矿田与铀矿化集中区 .....	( 88 )

第六章 中国铀矿床 .....	(89)
第一节 概述 .....	(89)
第二节 花岗岩型铀矿床 .....	(90)
第三节 火山岩型铀矿床 .....	(100)
第四节 砂岩型铀矿床 .....	(108)
第五节 碳硅泥岩型铀矿床 .....	(126)
第六节 其他类型铀矿床 .....	(136)
第七章 中国区域铀成矿规律 .....	(144)
第一节 区域铀成矿基本特征 .....	(144)
第二节 铀矿成矿时空分布规律 .....	(151)
第八章 中国铀资源潜力与找矿前景 .....	(155)
第一节 铀资源潜力 .....	(155)
第二节 铀矿找矿方向和找矿前景 .....	(155)
主要参考文献及资料 .....	(162)
附录一 核地勘单位历史沿革 .....	(165)
附录二 铀矿地质技术标准体系表 .....	(173)
附录三 历年发表出版的著作 .....	(178)
附录四 历年出版的编译、译著 .....	(184)
附录五 历年获得的国家级奖项统计表 .....	(187)
附录六 历年获国防和省部级科技成果一等奖统计表 .....	(189)

# 第一章 铀元素与原子能工业

铀是一种具有放射性的银白色金属，在自然界中广泛分布，但在各种岩石中的含量极不均匀。早期铀主要用于瓷器的着色，自核裂变发现后，铀就成为重要的核燃料。自然界中铀的三种同位素铀-238、铀-235和铀-234都是核裂变材料，是发展原子能工业的基础原料。

原子能（亦称核能）工业是从事核燃料研究、生产和加工、核能开发和利用、核武器研制和生产的工业，也是军民结合型工业。核燃料研究、生产、加工是原子能工业的重要环节。核燃料生产是由铀资源勘查、采冶、纯化与转化、同位素分离（铀浓缩）、核燃料元件制造、乏燃料后处理、核废物处置等组成。核能是原子核反应时释放出的能量。核能分为核裂变能和核聚变能。原子弹和核反应堆都是利用核裂变能，不同的是核反应堆是可控的。氢弹则是利用核聚变反应释放出的巨大能量。目前，达到工业规模利用的核能只有核裂变能，而核聚变能只实现了军用，现在所说的核能一般指的是核裂变能。

核能是人类未来最具希望的重要能源，它是一种安全、清洁、经济的新能源，已广泛运用于军事、能源、航天、工业、农业、医疗等领域，在国防和国民经济建设发展中具有重要的地位和作用。

## 第一节 铀元素

### 一、铀元素的发现

1789年，德国杰出的化学家、矿物学家 M. H. 克拉普罗特（Martin Heinrich Klaproth, 1743—1817, 图 1-1），在一个极为普通的实验室里分析研究 George Wagsfort 矿山（德国）的黑色矿石（后被证实为沥青铀矿）时，惊奇地发现了一种“新元素”。该“新元素”最初被命名为“Uranit”，是为了纪念 F. W. 赫歇尔（Friedrich Wilhelm Herschel, 1738—1822）1781年发现的行星 Uranus（天王星）。1790年最终将这个新发现的元素定名为“Uranium”，即铀，元素符号用英文字母 U 表示（Uranium 的第一个字母）。它的发现在世界科技史上具有划时代的意义。

当时克拉普罗特发现的铀只是铀的氧化物（二氧化铀）。52年后，法国化学家 E. M. 佩里戈特（E. M. Peligot, 图 1-2）于 1841 年制得了金属铀，成为世界上制得金属铀的第一人。



图 1-1 M. H. 克拉普罗特



图 1-2 E. M. 佩里戈特

铀元素发现后，一些物理学家开始注意研究铀的荧光现象，其中包括以研究铀盐而著名的法国物理学家亨利·贝克勒尔（Henri Becquerel, 1852—1908, 图 1-3）。1896 年 3 月，亨利·贝克勒尔在实验中把未感光的底片用较厚的黑纸包好，再在黑纸包上涂上铀盐，然后置于阳光下照射，几小时后冲洗底片时，发现底片感光了，而且，底片上清楚地显示出铀盐覆盖的痕迹。后来，多次实验中他在包有底片的黑纸和铀盐之间放置各种物体试样，再经阳光照射，然后冲洗底片，他发现底片上同样留下了各种物体的影像。又经过多次实验，尤其是发现铀盐虽未经日光照射，包着黑纸的底片仍然曝光，他通过各种铀盐的反复实验和观测，发现一种由铀自然放射的、肉眼看不见、具有穿透性的射线，这种射线能使照相底片感光，还能使空气成为电的导体。因此，他断定“铀是一种能放出射线的元素”。这就是人类认识史上具有划时代意义的伟大发现——天然放射性的发现，它的发现和研究在科学界引发了一场真正的革命，开创了原子能研究的应用领域，使人类进一步迈向现代文明。随后居里夫妇（图 1-4，图 1-5）也发现了另外两个能放射相似射线的元素——钋（Po）和镭（Ra），并确定了这些射线的特点，而将这种现象称作“放射性”。由于铀元素天然放射性的发现，亨利·贝克勒尔和居里夫妇于 1903 年共同荣获了诺贝尔物理学奖。



图 1-3 亨利·贝克勒尔



图 1-4 皮埃尔·居里



图 1-5 居里夫人

## 二、铀的物理、化学性质

### （一）铀的物理性质

铀在元素周期表中的位置：在周期表中，铀位于第七周期第Ⅲ<sub>B</sub>族，是锕系元素之一，与第六周期第Ⅲ<sub>B</sub>族镧系元素相对应。作为锕系元素，其电子层结构具有明显的特点，即具有 O、P 和 Q 层 3 个未饱和的电子壳层。

原子性质：铀的原子序数为 92，以<sup>12</sup>C 为基准得出铀的原子量为 238.0289，是自然界至今发现的最重的元素，也是重要的天然放射性元素。铀原子呈椭圆形，短轴半径为 1.4 Å，长轴半径为 1.65 Å，原子体积为 12.59 cm<sup>3</sup>/mol；密度大，常温下为 19.05 g/cm<sup>3</sup>，与黄金的密度（19.32 g/cm<sup>3</sup>）相差不多；它的硬度稍低于铜的硬度，其布氏硬度为 240~260 kg/mm<sup>2</sup>；熔点 1132.3℃，沸点 3818℃，热导率（25℃）0.060 cal/cm·s·℃，电导率 3.8 × 10<sup>6</sup> S/m，比热 6.594 cal/mol·℃，抗拉强度 450 MPa，屈服强度 207 MPa，弹性模数 172 GPa，在接近绝对零度时具有超导性和延展性（图 1-6）。

原子结构：铀原子的中心为原子核，围绕带正电荷的原子核有数目与质子数相等的、带负电荷的电子不断运动，这些电子的运动均沿着一定的轨道，几个轨道组合在一起形成一个电子壳层。围绕铀原子核的周围运转的 92 个电子呈层状分布，即铀原子有 4 个完全饱和的电子壳层 K（2）、L（8）、M（18）、N（32）和 3 个未完全饱和的电子壳层 O（21）、P（9）、Q（2），价电子层结构为 5f<sup>3</sup>6d<sup>1</sup>7s<sup>2</sup>。

铀同位素：铀原子核由质子和中子构成。其中有 92 个质子，但所含的中子数是可变的，因而构成铀的各种同位素（具有相同质子数，不同中子数的同一元素的不同核素互为同位素）。迄今已发现

质量数在 226 和 242 之间 15 个铀同位素，在自然界中存在的只有<sup>238</sup>U、<sup>235</sup>U 和<sup>234</sup>U，它们的同位素相对丰度分别为 99.275%、0.720%、0.005%，半衰期分别为 45 亿年、7.3 亿年和 26 万年。其余 12 种同位素都是在核反应过程中由人工制取，同位素相对丰度仅为 0.00n% ~ 0.000n%，半衰期多数都很短。上述铀同位素都具有放射性，其中只有<sup>235</sup>U 和<sup>238</sup>U 是重要的核燃料。

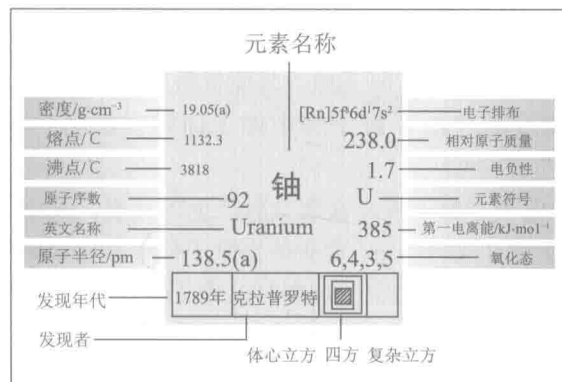


图 1-6 铀元素性质

单质铀：纯金属铀是人工制取的，呈银白色，微带淡蓝色调。铀具有金属光泽，粉末状金属铀呈灰黑色（条痕）。金属铀不是良导体。铀的顺磁性很弱，其随强度升高而增加。磁化率 $\chi_m^{\text{①}} = 414 \times 10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{g} \cdot \text{s}$ 。

铀同素异形体：铀有  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  3 种同素异形体。实验测定结果表明， $\alpha$  变体在 667.7°C 时转变为  $\beta$  变体；当温度升高到 774.8°C 时，它又转变为  $\gamma$  变体。当实验条件变化，压力为 2980 MPa 时， $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  变体处于平衡的三相点（798°C 即为 1071 K）；当压力大于 2980 MPa 时， $\gamma$  变体直接转变成  $\alpha$  变体。

## （二）铀的化学性质

铀的化学性质活泼，几乎能与所有的非金属作用（惰性气体除外），也可与多种金属形成金属互化物，也能与许多酸、碱、盐起反应。空气中易氧化，生成一层发暗的氧化膜，高度粉碎的铀在空气中极易自燃，块状铀在空气中易氧化失去金属光泽，在空气中加热即燃烧，250°C 下与硫反应，400°C 下与氮反应生成氮化物，1250°C 下与碳反应生成碳化物，250 ~ 300°C 下与氢反应生成  $\text{UH}_3$ ， $\text{UH}_3$  在真空 350 ~ 400°C 下分解，放出氢气。具有变价的特性，有 +3、+4、+5、+6 几种价态。

在自然界中，铀的稳定氧化态只有 +4、+6 价两种，+4 价铀在还原条件下稳定，+6 价铀在氧化条件下稳定。 $\text{U}^{4+}$  呈弱碱性，当  $\text{pH} = 2$  时发生水解，在溶液中呈绿色； $\text{U}^{6+}$  具有两性特征，但酸性较强，碱性较弱。

铀属亲石元素，与氧具有很强的亲和力。自然界中，铀总是以各种氧化物和含氧化合物的形式出现。铀的主要化合物包括铀的氧化物、铀的卤化物、铀盐等。主要的铀氧化物有二氧化铀（ $\text{UO}_2$ ）、八氧化三铀（ $\text{U}_3\text{O}_8$ ）、三氧化铀（ $\text{UO}_3$ ）。铀卤化物主要有  $\text{UF}_3$ 、 $\text{UF}_4$ 、 $\text{UF}_5$ 、 $\text{UF}_6$ 、 $\text{UCl}_3$ 、 $\text{UCl}_4$ 、 $\text{UCl}_5$ 、 $\text{UCl}_6$ 。铀与各种酸作用可生成相应的盐类，如硝酸铀酰、氟化铀酰、硫酸铀酰等。

## 三、铀的放射性

放射性是指元素从不稳定的原子核自发地放出射线（如  $\alpha$  射线、 $\beta$  射线、 $\gamma$  射线等）衰变成稳定的元素而停止放射（衰变产物）的一种现象。这种不稳定的原子核自发地放出某种射线而转变成

① 代表自由离子的摩尔磁化率。