

·综合资料·

2003~2013年新铀矿物特征

艾钰洁, 范 光

(核工业北京地质研究院, 北京 100029)

摘 要: 本文搜集了2003年1月至2013年12月间经国际矿物学协会新矿物、矿物命名及分类委员会批准的31个新的铀矿物资料, 梳理出这些铀矿物新种的重要矿物学特征, 试对其晶体化学分类, 并对这些新铀矿物的汉译名提出建议。在此基础上, 对这些新矿物的发现与研究特点进行了初步分析, 对我国铀矿物研究提出了建议。本文将对我国铀矿地质研究人员具有一定的借鉴意义。

关键词: 新矿物; 铀矿物; 结构式; 晶体化学分类; 物理性质

中图分类号: P619.14; P57

文献标识码: E

文章编号: 1000-6524(2015)01-0117-12

New uranium minerals approved in the period of 2003~2013

AI Yu-jie and FAN Guang

(Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

Abstract: This paper presents a collection of 31 new uranium minerals approved by the Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification (CNMMN) of the International Mineralogical Association (IMA) between January 2003 and December 2013. It lists the mineral names both in English and Chinese together with their structural formulae, crystal structure data, physical and optical properties, localities and modes of occurrence. The crystallochemical classification and characteristics of these new minerals are discussed. Some suggestions are put forward concerning China's uranium minerals research work in the hope of providing valuable reference for China's uranium researchers.

Key words: new minerals; uranium minerals; structural formula; crystallochemical classification; physical properties

截至2013年12月, 经国际矿物学协会(IMA)新矿物、命名及分类委员会(CNMNC)认可的矿物种共有4 887个(Williams, 2014)。按矿物学界惯例, 某矿物至少在一个晶体学位置上, 铀占居主要地位, 该矿物才堪称独立的铀矿物种。迄今, 业已发现并获批准的铀矿物种数约200种。为准确起见, 把铀含量较高的矿物分为铀矿物和含铀矿物, 前者是独立铀矿物种的简称, 后者则指铀含量虽高但在结晶学位置上并不占主要地位的矿物。

IMA CNMNC规定: “若一矿物的化学组成和/或结晶学性质, 与已知矿物明显不同, 则该矿物有新种的可能性。对于化学组成的基本要求是, 先存矿物的等效结构位置, 一种可能的新种至少要求有一个结构位置应主要由一种不同的化学元素所占”(Nickel and Grice, 1998)。上世纪90年代之前, 我国发现了5个铀矿物新种, 编著了多部铀矿物学方面的专著(王德荫等, 1986; 张静宜等, 1995; 陈璋如等, 2007^①), 为铀矿物研究和我国核地质事业的发展

收稿日期: 2014-10-17; 修订日期: 2014-12-20

作者简介: 艾钰洁(1987-), 男, 汉, 硕士研究生, 矿产普查与勘探专业, 主要从事矿物学研究, E-mail: aiyujie@foxmail.com; 通讯作者: 范 光(1966-), 男, 汉, 高级工程师(研究员级), 主要从事矿物学研究, E-mail: fanguang2008@163.com。

① 陈璋如, 金远新. 2007. 铀矿物(1980~2006). 核工业北京地质研究院.

做出了贡献。这些专著中,最新的资料为《铀矿物(1980~2006)》(陈璋如等,2007)^①,资料收集了1980到2006年经IMA CNMNC批准并已发表的51种新铀矿物的详细资料。但是,2003年以后批准的新铀矿物资料并不齐全。本文以 IMA CNMNC 的批准公告为依据,全面收集、梳理了2003年1月至2013年12月间批准的新铀矿物资料,为我国矿物学界和铀矿地质研究提供参考。

1 2003~2013 年发现的新铀矿物

从2003年1月至2013年12月,经IMACNMNC批准的铀矿物新种有31个,其中除个别近期发现的新铀矿物外,绝大部分已经正式公开发表。本文通过查阅、梳理文献,将这些铀矿物新种的英文名、汉译名建议、结构式、晶胞参数、特征的粉晶数据和物理性质以及地质产状和矿物命名缘由等列于表1。其中的中文名称,凡是前人已有译名的皆直接引用,如钙钼铀石(Arapovite),其中文译名来源于陈璋如等(2007)^①;无中文译名的,笔者根据铀矿物的晶体化学分类和中国新矿物与矿物命名专业委员会的规定来加以命名。客观地说,除国人发现和命名的新矿物种名外,对用外文命名的新矿物而言,我国学术界尚未找到一种众所公认的中文译名良策。评估和研讨有关矿物中文译名的优劣得失并非本文主旨,基于 IMA CNMNC 不赞成用化学元素组合命名矿物(Nickel *et al.*, 1998),考虑到现今我国地质工作者的英文水平较高,为便于国际学术交流,愚见以为,外文矿物种名不必译成汉语,直接用原文即可。

2 2003~2013 年间发现的铀矿物新种的晶体化学分类

从表1可以看出,近10年发现的铀矿物中晶体化学分类呈现多样化,四价铀的化合物中砷酸盐、硫酸盐与硅酸盐矿物均有产出;六价铀矿物中,绝大部分为铀酰化合物,分别有铀酰氢氧化物、重铀酸盐、铀酰硅酸盐、铀酰磷酸盐、铀酰砷酸盐、铀酰碳酸盐、铀酰硫酸盐、其他类别的铀酰矿物(如钛酸盐、铌酸盐、碲酸盐等)以及铀酰复盐。

值得注意的是,除钙钼铀石(Arapovite)外,这些铀矿物全部为次生铀矿物,其中有3个矿物为四价铀的化合物,包括四价铀的砷酸盐矿物斯砷铀矿(Štěpíte)与费砷铀矿(Vysokyite)和硫酸盐矿物水硫酸铀矿(Béhounekite),这些天然的四价铀的硫酸盐和砷酸盐矿物均为首次发现。在六价铀的化合物中,重钙铀矿(Vapnikite)中 U^{6+} 以罕见的非铀酰结构存在,其U八面体键长接近理论值: $U3-O1=2.103(4)$ Å, $U3-O2=2.066(4)$ Å, $U3-O3=2.117(5)$ Å,其晶体结构可详见 Galuskin 等(2014)。

3 近 10 年来新铀矿物发现与研究的部分特点初探

3.1 铀矿物新种发现地比较集中

表2是近些年铀矿物新种的发现地一览表。由表2可见,2003至2013年间发现的铀矿物产地较为集中,其中发现较多新铀矿物的产地有捷克共和国西波西米亚地区亚希莫夫(Jáchymov)矿区、德国的巴登符腾堡州黑森林与俄罗斯北高加索山。捷克共和国亚希莫夫矿区更是几乎每年都有新的铀矿物发现,澳大利亚、法国、美国等地有少量新的铀矿物发现。

3.2 发现者相对集中的关键是个人执着和团队合作

前11年间发现和批准的31种新铀矿物中,以瑞士伯尔尼大学地球科学学院、捷克 ASCR 物理研究所的 Plášil (Plášil *et al.*, 2010, 2011a, 2011b, 2012, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2014a, 2014b; Plášil, 2013)为首的研究组,在2009~2013这5年中共发现了10个新铀矿物种。俄罗斯莫斯科大学地质系 Pekov 教授与德国斯图加特大学的 Walenta 教授也同样发现多种新铀矿物。究其原因,这固然与铀矿物产出的地质背景有关,但更重要的是与这些国家或学者的矿物学功底深厚、重视新矿物发现与探索、深知其是国家软实力的一个标志、执着于新矿物的找寻、研究投入较大、分析测试技术水平较高等不无关系;同时,新铀矿物研究成果较为显著的工作团队之间存在非常广泛的合作关系,互相促进,使新矿物的研究进展顺利,如2013年发现的矿物多硫酸水钠铀矿(Belakovskite)与硫氯钠铀矿(Bluelizardite)。

① 陈璋如,金远新. 2007. 铀矿物(1980~2006). 核工业北京地质研究院.

表 1 2003~2013 铀矿物新种主要矿物学特征一览表
Table 1 Main mineralogical characteristics of new uranium minerals approved in the period of 2003~2013

序号	晶体化学分类	批准文号	矿物名称、化学式和命名缘由以及建议汉译名	结晶学特征(Å)	粉晶强线d(I)	重要物理性质	光学性质	产地产状及资料来源
1	四价铀的硅酸盐矿物	IMA 2003-046	Arapovite $U^{4+}(Ca, Na)_2(K_{1-x}\square_x)[Si_8O_{20}]$ $x\approx 0.5$ 以俄罗斯地质学家 Yu. A. Arapov 名字命名 钙钍铀石(陈璋如等, 2007) ^① 阿诺波夫石(任玉峰等, 2008a)	四方晶系 空间群 $P4/mcc$ $a = 7.5505(4)$ $c = 14.7104(9)$ $V = 838.6(1)$ $Z = 2$	5.34(23) 5.28(38) 3.37(100) 3.31(59) 2.640(64) 2.515(21) 2.161(45) 2.016(29) 1.644(30)	沥青状,暗绿色,玻璃光泽和沥青光泽,透明。无解理,贝壳状断口。 $H = 5.5\sim 6$ $D_{\text{实验}} = 3.43(2) \text{ g/cm}^3$ $D_{\text{计算}} = 3.365 \text{ g/cm}^3$	一轴(+) $n_{\omega} = 1.615(?)$ $n_e = 1.610(2)$ 最大双折射率 $\delta = 0.005$ 正中突起	原生矿物,产自塔吉克斯坦共和国从属区 Tien Shan 山脉阿莱地区(Alayskiy)达雷人皮奥斯冰川。 Agakhanov <i>et al.</i> , 2004 Uvarova <i>et al.</i> , 2004
2	四价铀的磷酸盐矿物	IMA 2012-006	Štěpíte $U(AsO_3OH)_2 \cdot 4 H_2O$ 以捷克矿物学家 Josef Štěp (1863~1926)名字命名 斯铀铀矿 ⁺	四方晶系 空间群 $I4_1/acd$ $a = 10.9894(1)$ $c = 32.9109(6)$ $V = 3974.5(1)$ $Z = 16$	8.190(100) 7.008(43) 5.475(18) 4.111(16) 3.395(20) 2.154(25)	板状结构, {001} 与 {101} 晶面明显, 粒径可达 0.6 mm。玻璃光泽, 灰色到灰绿色条痕。脆性, {001} 方向存在较好解理, 带有不规则裂开。 $H = 2$ $D_{\text{计算}} = 3.90 \text{ g/cm}^3$	二轴(-) $n_{\alpha} = 1.636(2)$ $n_{\beta} = 1.667(3)$ $n_{\gamma} = 1.672(2)$ $2V_{\text{实验}} < 5^{\circ}$ 具有淡灰色到嫩黄色异常干涉色 无多色性	自然界中首个 U^{4+} 的磷酸盐矿物, 产于捷克共和国西波西米亚地区亚希莫夫矿区 Geschieber 矿脉, 具磷酸盐蚀变外壳, 翠绿色。共生矿物有神华、Béhouekite、白砷石、石膏、水铀铁矿、Vysokyite。 Plášil <i>et al.</i> , 2013a
3	四价铀的磷酸盐矿物	IMA 2012-067	Vysokyite $U^{4+}[(AsO_2(OH)_2)_4(H_2O)_4]$ 为了纪念 Amot Vysoky (1823~1872), 用其名字命名 费铀铀矿 ⁺	三斜晶系 空间群 $P1$ $a = 10.749(2)$ $b = 5.044(3)$ $c = 19.1778(7)$ $\alpha = 89.872(15)^{\circ}$ $\beta = 121.534(15)^{\circ}$ $\gamma = 76.508(15)^{\circ}$ $V = 852.1(6)$ $Z = 2$	8.872(100) 8.067(50) 6.399(7) 4.773(6) 3.411(10) 3.197(18)	纤维状结构, 长度可达 8 mm, 蜡状光泽, 绿色到淡灰色条痕。脆性, 不规则裂开, {100} 与 {001} 方向完全解理。 $H = 2$ $D_{\text{计算}} = 3.393 \text{ g/cm}^3$ 紫外线照射下无荧光	$n_{\alpha} = 1.617(3)$ $n_{\gamma} = 1.654(3)$ 单偏光下无色 晶体定向 $\alpha \sim X$ $\gamma \sim Z$	产自捷克共和国西波西米亚地区亚希莫夫矿区 Geschieber 矿脉原生矿物蚀变表面, 与 Béhouekite、Štěpíte、水铀铁矿、神华、白砷石与石膏共生。 Plášil <i>et al.</i> , 2013b
4	四价铀的硫酸盐矿物	IMA 2010-046	Béhouekite $U(SO_4)_2 \cdot (H_2O)_4$ 纪念捷克核物理学家 Prof. František Béhouek (1898~1973) 命名 水硫酸铀 ⁺	斜方晶系, 空间群 $Pnma$ $a = 14.6464(3)$ $b = 11.0786(3)$ $c = 5.6910(14)$ $V = 923.43(4)$ $Z = 4$	7.330(100) 6.112(54) 5.538(21) 4.787(42) 3.663(17) 3.478(20) 3.080(41)	短柱状到板状晶型, 绿色, 晶体长度小于 0.5 mm。强玻璃光泽, 灰色到灰绿色条痕。脆性, 并且存在不均匀的裂开, {100} 方向解理发育良好。 $H = 2$ $D_{\text{计算}} = 3.62 \text{ g/cm}^3$ 紫外线照射下无荧光	二轴(+) $n_{\alpha} = 1.50(2)$ $n_{\beta} = 1.618(4)$ $n_{\gamma} = 1.669(2)$ $2V_{\text{计算}} = 81^{\circ}$ 双折射率 0.069 灰亮绿色到亮绿色中等多色性	自然界首次发现的 U^{4+} 硫酸盐, 产自捷克共和国波西米亚西部 Jachymov (St Joachimsthal) 矿 ⁺ 区 Geschieber 脉, 自然蚀蚀变表面结晶。共生矿物有水铀铁矿、神华、白砷石、UMI997-20-AsO ₄ HU 和石膏等。 Plášil <i>et al.</i> , 2011b
5	六价铀的复杂氧化物	IMA 2013-082	Vapnikite Ca_3UO_6 纪念以色列本古里安大学 Yevgeny Vapnik 而命名 重钙铀矿 ⁺	单斜晶系 空间群 $P2_1/n$ $a = 5.739(1)$ $b = 5.951(1)$ $c = 8.312(1)$ $V = 283.9(1)$ $Z = 2$	4.838(78) 4.706(39) 4.131(79) 2.975(47) 2.938(100) 2.922(99) 2.870(43) 2.065(47)	他形粒状, 颗粒大小约 20~50 μm, 黄棕色, 透明, 强玻璃光泽, 无解理, 不规则裂开。 $H \approx 5$ $VHN_{25} = 534 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-2}$ $D_{\text{计算}} = 5.322 \text{ g/cm}^3$	未提及	产自以色列巴勒斯坦自治地区朱迪亚沙漠 Hatrurim Formation 的高温变质岩的硅灰石中。镶嵌于硅灰石、钙铁铝石与 Ye'elimite 之中。钙钛矿族, 双钙钛矿结构。 Galuskin <i>et al.</i> , 2014

① 陈璋如, 金远新. 2007. 铀矿物(1980~2006). 核工业北京地质研究院.

续表 1-1
Continued Table 1-1

序号	晶体化学分类	批准文号	矿物名称、化学式和命名缘由以及建议汉译名	结晶学特征(Å)	粉晶强线 $d(I)$	重要物理性质	光学性质	产地产状及资料来源
6	铀酰氢氧化物矿物	IMA 2008-022	Paulscherrite $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ 纪念瑞士物理学家 Paul Scherrer (1890 ~ 1969) 而命名 单斜黄铀矿 ^a	单斜晶系 可能空间群 $P2_1, P2_1, P2/m$ 或 $P2_1/m$ $a = 4.288(2)$ $b = 10.270(6)$ $c = 6.885(5)$ $\beta = 90.39(4)^\circ$ $V = 303.2(2)$ $Z = 4$	5.085 (64) 3.424(100) 3.405(27) 2.848(18) 2.483(23) 1.985(13) 1.973(23) 1.782(9)	单晶板状, 长度可达 500 nm, 淡黄色, 黄色条痕。无解理与裂开。 $D_{\text{计算}} = 6.66 \text{ g/cm}^3$ 无荧光	因晶体太小无法测量光学性质	产自澳大利亚州北弗林德斯山脉锚岭 2 号巷道, 作为变柱铀矿脱水产物大量产出 Brugger <i>et al.</i> , 2011
7	铀酰氢氧化物矿物	IMA 2011-042	Heisenbergite $\text{UO}_2(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 纪念莱比锡大学物理学教授、诺贝尔获得主 Werner Carl Heisenberg (1901 ~ 1976) 而命名 方水铀矿 ^a	斜方晶系 可能空间群 $P2_12_12_1, Pna2_1, Pnma$ $a = 13.10(1)$ $b = 13.76(1)$ $c = 14.50(1)$ $V = 2613.7(2)$ $Z = 24$	7.92(100) 7.25(90) 3.57(70) 3.27(90)	他形粒状、长柱状, 长度可达 15 μm , 厚度较小, 仅有几 μm , 颜色多变, 黄色、黄褐色、橙褐色等等, 不透明到半透明, 玻璃光泽, 黄色条痕。解理与裂开不发育, 参差状断口。 $H = 2$ $D_{\text{计算}} = 5.14 \text{ g/cm}^3$ 液体内显透明, 无荧光	二轴(-) $n_a = 1.733(3)$ $n_g = 1.800(5)$ 2V 未测量	德国巴登符腾堡州南部的黑森林 Menzenschwand 铀矿床、澳大利亚北领地的南鳄鱼河地区 El Sherana 与捷克共和国塔尔均有发现。稀有的次生矿物种, 与之共生的矿物有石英、重晶石、晶质铀矿 ^a 、黄钼铀矿 ^a 、水铀矿 ^a 、铀矿 ^a Joliotite、针铁矿和赤铁矿等。 Walenta and Theye, 2012
8	铀酰硅酸盐矿物	IMA 2003-025	Coutinhoite $\text{Th}_x\text{Ba}_{1-2x}(\text{H}_2\text{O})_y(\text{UO}_2)_2\text{Si}_5\text{O}_{13} \cdot \text{H}_2\text{O}$ $0 < x < 0.5, 0 < y < (2+x)$ 以巴西圣保罗地质研究院 Jose Moacyr Vianna Coutinho 名字命名 硅钍钼铀矿 ^a	斜方晶系 空间群 $Cmmb(67)$ $a = 14.1676(9)$ $b = 14.1935(9)$ $c = 35.754(2)$ $V = 7189.7(2)$ $Z = 16$	8.919(45) 7.059(100) 5.563(59) 4.581(47) 3.826(48) 3.528(86) 3.287(57) 3.188(73) 2.981(46) 2.904(78)	弯曲鳞片状不规则集合体, 片状结构, 长度可达 10 μm , 厚度 0.5 μm , 黄色, 黄色条痕, 透明到半透明, 蜡状光泽到丝绢光泽。脆性。 $H < 2$ $D_{\text{计算}} = 3.839 \text{ g/cm}^3$ 无荧光	二轴(-) $n_a = 1.60(3)$ $n_\beta = 1.62(3)$ $n_\gamma = 1.62(3)$ 2V 实验 = $40(5)^\circ$ 2V 计算 = 56.1° 色散强 $r < v$ 定向 $Y \sim c$ 多色性为 $Z > Y, X$ 黄色色调	产于巴西西纳斯吉拉斯 Galileia Colzava Urucum 的 Corrego do Urucum 花岗伟晶岩中, 与水硅钾铀矿 ^a 、磷铀矿 ^a 、变钼铀云母、钼铀云母、云母和钾长石共生。 Atencio <i>et al.</i> , 2004
9	铀酰磷酸盐矿物	IMA 2004-029	Françoisite-(Ce) $(\text{Ce}, \text{Nd}, \text{Ca})[(\text{UO}_2)_3\text{O}(\text{OH})(\text{PO}_4)_2] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 因 Françoisite-(Nd) 而得名 磷铀铀矿 ^a	单斜晶系, 可能空间群 $P2_1/c$ $a = 9.295(6)$ $b = 15.53(2)$ $c = 13.718(8)$ $\beta = 112.39(4)^\circ$ $V = 1831(3)$ $Z = 4$	7.76(100) 5.77(60) 4.42(30) 4.37(30) 3.87(60) 3.43(70) 3.14(80) 2.871(30) 2.844(30) 2.038(40)	放射状集合体, 单晶沿 [001] 生长, 长度可达 100 μm 。单晶柠檬黄色棱柱状晶体, 透明, 玻璃光泽, 淡黄色条痕。脆性, 参差状裂开, 可见完好解理。 $H \approx 3$ $D_{\text{实验}} > 4.25 \text{ g/cm}^3$ $D_{\text{计算}} = 4.73 \text{ g/cm}^3$ 无荧光	$n_b = 1.740(1)$ $n_g = 1.750(1)$ 淡黄色到黄色弱多色性	在瑞士瓦莱州靠近 Les Marécottes 的 La Creusaz 铀矿床和南澳大利亚弗林德斯山脉阿卡鲁拉北部地区近 Mt. Painter 的锚脊 2 号铀矿工作地同时均有发现, 生长于角砾片麻岩中晶质铀矿附近。 Meisser <i>et al.</i> , 2010

续表 1-2
Continued Table 1-2

序号	晶体化学分类	批准文号	矿物名称、化学式和命名缘由以及建议汉译名	结晶学特征 (Å)	粉晶强线 $d(I)$	重要物理性质	光学性质	产地产状及资料来源
10	铈酰磷酸盐矿物	IMA 2007-001	Lakebogaite $\text{CaNaFe}_2^3\text{H}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_8$ 以其原产地命名 磷钙钠铁铈矿	单斜晶系 空间群 Cc $a = 19.644\ 1(5)$ $b = 7.095\ 8(2)$ $c = 18.702\ 9(5)$ $\beta = 115.692(1)^\circ$ $V = 2349.3(7)$ $Z = 4$	6.60(100) 3.16(40) 4.07(20) 3.80(20) 3.56(20) 3.31(20) 2.79(20)	透明柱状, 粒径可达 0.4 mm, 亮柠檬黄色, 玻璃光泽, 浅黄色条痕, 无解理, 贝壳状断口 $H = 3$	二轴(+) $n_\alpha = 1.650(2)$ $\sim 1.652(2)$ $n_\beta = 1.660(4)$ $\sim 1.664(3)$ $n_\gamma = 1.681(3)$ $\sim 1.686(2)$ $2V_{\text{测量}} = 80 \sim 85^\circ$ $2V_{\text{计算}} = 70 \sim 74^\circ$ 淡黄色 调弱多色性 强色散 $r > v$ 晶体定向: $Y \sim b$	钙钠基铁磷酸铈矿, 产于澳大利亚维多利亚州北部近博加湖的采石场的晚泥盆世花岗岩中, 与 Meurigit 的钠类似物(IMA2007-024)、铜铈云母、镁铈云母、钠长石、烟灰色石英和白云母等共生。 Mills <i>et al.</i> , 2008
11	铈酰砷酸盐矿物	IMA 2002-045b	Nielsbohrite $\text{K}(\text{UO})_3(\text{AsO}_4)(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 以丹麦物理学家 Niels Henrik David Bohr (1885~1962) 名字命名 砷钾铈矿	斜方晶系 空间群 $Cccm$ $a = 8.193(3)$ $b = 11.430(4)$ $c = 13.500(5)$ $V = 1264.1(8)$ $Z = 4$	6.71(80) 6.03(100) 3.78(70) 3.33(80) 2.96(60) 2.63(50) 1.94(50)	自形, 似菱面体晶型, 粒度约 0.15 mm。黄色, 玻璃光泽到土状光泽, 淡黄色条痕。脆性, 带有不规则裂开, 无可见解理。 $H \approx 2$ $D_{\text{计算}} = 5.45 \sim 5.65$ g/cm^3 无荧光	二轴(-) $n_\alpha = 1.756(2)$ $n_\beta = 1.764(2)$ $n_\gamma = 1.765(2)$ $2V_{\text{测量}} = 35(5)^\circ$ $2V_{\text{计算}} = 39^\circ$ 无多色性 带有异常蓝绿色与微红棕色干涉色 强色散, $r > v$ 晶体定向: $Y \sim c$	次生矿物, 产自德国巴登-符腾堡州黑森林南部 Menzschwand 铈矿床, 与赤铁矿、黄铁矿、柱铈矿、Metazenerit 和脉石矿物石英、重晶石共生。 Walenta <i>et al.</i> , 2009
12	铈酰砷酸盐矿物	IMA 2005-003	Chistyakovaites $\text{Al}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2(\text{F}, \text{OH}) \cdot 6.5 \text{H}_2\text{O}$ 以俄罗斯 X 射线衍射专家 N. I. Chistyakova 名字命名 水砷铝铈石(尹淑苹等, 2009)	空间群 $P2_1/m, P2, Pm$ $a = 19.99(1)$ $b = 9.79(1)$ $c = 19.62(2)$ $\beta = 110.7(2)$ $V = 3591.80$ $Z = 8$	9.34(100) 9.14(100) 4.94(20) 4.84(20) 4.74(30) 4.64(20) 3.54(10) 2.24(10)	晶形不完整, {100} 扁平, 断面 2 mm, 有时连生, 黄色, 脆性, 阶梯状断口, {100} 完全解理, {010} 不完全解理。 $H = 2.5$ $D_{\text{测量}} = 3.62(2) \text{ g/cm}^3$ $D_{\text{计算}} = 3.585 \text{ g/cm}^3$ 紫外光下亮绿色 室温下溶于盐酸, 无气体释放。	二轴(-) $n_\alpha = 1.557$ $n_\beta = 1.580$ $n_\gamma = 1.580$ $2V_{\text{测量}} = -10^\circ$ 最大双折率 $\delta = 0.023$	样品于 1950 年采自哈萨克斯坦 Zhambyl 地区 Bota-burum 矿床的表生带中。因毒砂和沥青铈矿表生蚀变形成了该矿物和其他含铈酰的砷酸盐矿物。与毒砂、黄铁矿、方铅矿、臭葱石、砷铁钙石、砷铝石、变砷砷铜铈矿、砷铈云母和钠砷铈云母共生 Chukanov <i>et al.</i> , 2006
13	铈酰砷酸盐矿物	IMA 2005-043	Uramarsite $(\text{NH}_4, \text{H}_3\text{O})_2(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4, \text{PO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ 根据其成分得名 变铵砷铈云母	四方晶系 空间群 $P4/mmm$ $a = 7.19(1)$ $c = 9.15(2)$ $V = 473.02(2)$ $Z = 1$	9.27(100) 4.58(25) 3.86(20) 2.80(13) 2.28(20) 1.823(8) 1.713(7) 2.076(6)	半自形板状微晶(可达 2 mm), 少有平整四方薄膜状晶体(可达 0.1 mm)。淡绿色, 玻璃光泽(薄膜状为暗淡光泽)。脆性, {001} 方向完全解理, {010} 方向不完全解理, 阶梯状断口。 $H = 2.5$ $D_{\text{计算}} = 3.286 \text{ g/cm}^3$ 紫外线下呈绿色荧光	二轴(-) $n_\alpha = 1.562(2)$ $n_\beta \approx n_\gamma = 1.593(2)$ $2V < 5^\circ$ 色散明显 晶体定向: $X \sim c, Y \approx b$	变钙铈云母族矿物, 产自哈萨克斯坦南部 Bota-Burum 辉钼矿-沥青铈矿矿床中由碳酸盐化霏细斑岩和凝灰角砾岩组成的表生带。 Sidorenko <i>et al.</i> , 2007

续表 1-3
Continued Table 1-3

序号	晶体化学分类	批准文号	矿物名称、化学式和命名缘由以及建议汉译名	结晶学特征(Å)	粉晶强线 $d(I)$	重要物理性质	光学性质	产地产状及资料来源
14	铈酰砷酸盐矿物	IMA 2006-018	Arsenovanmeersscheite $\text{U}^{4+}(\text{UO}_2)_3(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 以成分(arsenate)以及天主教鲁汶大学结晶学教授 Maurice Van Meerssche 名字命名 多铈砷铈矿	斜方晶系 空间群 $Pmn2_1$ $a = 17.36$ $b = 16.96$ $c = 7.02$ $V = 2066.87$	12.21(80) 8.56(100) 6.07(80) 5.42(70) 4.25(80) 3.86(50) 3.33(70) 3.11(60)	资料缺失	二轴(-) $n_a = 1.738$ $n_\beta = 1.761$ $n_\gamma = 1.774$ $\delta = 0.036$ 高突起,中度色散, $r > v$	产自德国的巴登符腾堡州黑森林 Mennenschwand 矿床 Krunkelbach 谷铈矿床 Walenta and Theye, 2007
15	铈酰砷酸盐矿物	IMA 2008-050	Metarauchite $\text{Ni}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 以逝于 Jáchymov 矿区的捷克矿物收藏家 Luděk Rauch (1951 ~ 1983) 名字命名 麦镍砷铈云母	三斜晶系 空间群 $P1$ $a = 7.194(4)$ $b = 9.713(5)$ $c = 13.201(9)$ $\alpha = 75.79(3)$ $\beta = 83.92(5)$ $\gamma = 81.59(4)^\circ$ $V = 882.2(9)$ $Z = 2$	8.54(100) 4.67(8) 4.28(49) 3.957(12) 3.431(8) 3.417(12) 3.201(10) 2.977(8)	显晶质集合体,黄色到浅青绿色,透明到半透明,片状结构,玻璃光泽,个别单晶可达 0.8 mm 大小。高脆性,一组(011)方向完全解理,并且有不均匀的裂开现象。 $H = 2$ $D_{\text{计算}} = 3.81 \text{ g/cm}^3$	二轴(-) $n_a = 1.625(3)$ $n_\beta = 1.649$ $2V_{\text{计算}} = 52^\circ$ ($n_\beta = 1.646$) $n_\gamma = 1.651$ 或 $2V_{\text{计算}} = 23^\circ$ $n_\beta = 1.649$ $n_\gamma = 1.650$ 无多色性	钙铈云母族矿物,产自捷克共和国在亚希莫夫(圣约阿希姆斯塔尔)矿区 Schweitzer 矿脉。可以看到品质铈矿(沥青铈矿)、毒砂和镍方钴矿等的蚀变产物。在 Schweitzer 矿脉中,该矿物与变翠砷铜铈矿、钴华和石膏共生,在德国施内山发现的该矿物数据中,其也与富镍变镁砷铈云母和变翠砷铜铈矿共生。 Plášil <i>et al.</i> , 2010
16	铈酰砷酸盐矿物	IMA 2010-037	Rauchite $\text{Ni}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 以逝于 Jáchymov 矿区的捷克矿物收藏家 Luděk Rauch (1951 ~ 1983) 名字命名 劳镍砷铈云母	三斜晶系 空间群 $T1$ $a = 7.100(3)$ $b = 7.125(3)$ $c = 19.955(8)$ $\alpha = 92.406(14)$ $\beta = 94.924(14)$ $\gamma = 90.420(6)^\circ$ $V = 1004.7(7)$ $Z = 2$	9.97(100) 6.641(22) 4.936(62) 4.533(41) 3.539(93) 3.388(43) 2.488(27) 2.233(27)	假四方片状,晶面方位{001},直径达 0.5 mm,以扇状册页状裂开为特征。晶簇或者皮壳状集合体达到 2 mm 大小。透明到半透明,浅黄绿色,玻璃光泽。脆性。具有一组{001}方向完全解理。 $H = 2$	二轴(-) $n_a = 1.550(3)$ $n_\beta = 1.578(1)$ $n_\gamma = 1.581(1)$ $2V_{\text{实验}} = 40(5)^\circ$ $2V_{\text{计算}} = 36^\circ$	钙铈云母族矿物,发现于俄罗斯北高加索山阿迪格共和国 Belorechenskoye 矿床。表生矿物,与 Dymkovite、镍华、针铁矿共生,生长在具有品质铈矿(沥青铈矿)、红砷镍矿、辉砷镍矿的白云岩脉空洞中。 Pekov <i>et al.</i> , 2012a
17	铈酰砷酸盐矿物	IMA 2011-042	Dymkovite $\text{Ni}(\text{UO}_2)_2(\text{As}^{3+}\text{O}_3)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 为了纪念俄罗斯地质学家 Yuriy Maksimovich Dymkov (1926 ~) 而命名 砷镍铈矿	单斜晶系 空间群 $C2/m$ $a = 17.99(3)$ $b = 7.033(7)$ $c = 6.633(9)$ $\beta = 99.62(11)^\circ$ $V = 827(3)$ $Z = 2$	8.93(100) 4.463(34) 3.523(23) 3.276(21) 3.008(26) 2.846(27)	单晶板条状、长柱状到针状,长度 ≤ 0.5 mm,厚度 ≤ 0.05 mm, [010] 轴向延长。集合体呈枝状或者放射状。集合体直径 1.5 mm。亮黄色,透明,玻璃光泽。脆性,解理不发育。 $H = 3$ $D_{\text{计算}} = 5.14 \text{ g/cm}^3$	二轴(-) $n_a = 1.625(2)$ $n_\beta = 1.735(5)$ $n_\gamma = 1.745(3)$ $2V_{\text{计算}} = 32^\circ$ 色散性较强, $r > v$ 具有暗黄绿色到亮黄绿色较强多色性	钙铈云母族矿物,发现于俄罗斯北高加索山阿迪格共和国 Belorechenskoye 矿床。表生矿物,与 Rauchite、镍华、针铁矿共生,生长在具有品质铈矿(沥青铈矿)、红砷镍矿、辉砷镍矿的白云岩脉空洞中。 Pekov <i>et al.</i> , 2012b
18	铈酰碳酸盐矿物	IMA 2009-081	Agricolaite $\text{K}_4(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3$ 以德国科学家 Georgius Agricola (1494 ~ 1555) 名字命名 阿碳钾铈矿	单斜晶系 空间群 $C2/c$ $a = 10.2380(2)$ $b = 9.1930(2)$ $c = 12.2110(3)$ $\beta = 95.108(2)^\circ$ $V = 1144.71(4)$ $Z = 4$	6.061(55) 5.087(57) 3.740(100) 3.393(43) 2.281(52)	他形粒状,大小约 0.3 mm,黄色半透明粒状产出,暗黄色条痕,玻璃光泽,脆性,参差状断口,无解理或裂开。 $H = 4$ $D_{\text{计算}} = 3.531 \text{ g/cm}^3$ $D_{\text{实验}} > 3.3 \text{ g/cm}^3$ 无荧光	未提及	产于捷克废弃的 Giftkiesstollen 废道口处片麻岩中铁白云石脉石矿物晶簇中。 Skála <i>et al.</i> , 2011

续表 1-4
Continued Table 1-4

序号	晶体化学分类	批准文号	矿物名称、化学式和命名缘由以及建议汉译名	结晶学特征 (Å)	粉晶强线 $d(I)$	重要物理性质	光学性质	产地产状及资料来源
19	铈 酰 碳 酸 盐 矿 物	IMA 2012-066	Linekite $\text{K}_2\text{Ca}_3[(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3]_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 碳钾钙铈矿	斜方晶系 空间群 $Pn\bar{m}m$ $a = 17.0069$ $b = 18.0273$ $c = 18.3374$ $V = 5622.036$	8.506(100) 6.428(3) 5.126(5) 4.586(2) 4.249(7) 4.137(2) 3.543(2)	全文未发表	全文未发表	原产地为捷克共和国西波西米亚地区亚希莫夫矿区 Einigkeit (Svornost)/Geschleibergang Plášil, 2013
20	铈 酰 硫 酸 盐 矿 物	IMA 2009-008	Sejkoraite-(Y) $(\text{Y}_{1.98}\text{Dy}_{0.24})_{\Sigma 2.22}\text{H}_{0.34}[(\text{UO}_2)_8\text{O}_{88}\text{O}_7\text{OH}(\text{SO}_4)_4](\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_{26}$ 以布拉格国家博物馆 Jiri Sejkora 博士而命名 硫钼铈矿	三斜晶系 空间群 $P1$ $a = 14.0743(6)$ $b = 17.4174(7)$ $c = 17.7062(8)$ $\alpha = 75.933(4)^\circ$ $\beta = 128.001(5)^\circ$ $\gamma = 74.419(4)^\circ$ $V = 2777.00(19)$ $Z = 2$	9.28(100) 4.64(39) 3.631(6) 3.451(13) 3.385(10) 3.292(9) 3.904(7) 2.984(10)	黄橙色到橙色显晶集合体, 直径多小于 1 mm, 强玻璃光泽, 淡黄色到黄色条痕。脆性, {100}完全解理, 不规则裂开。 $H = 2$ $D_{\text{计算}} = 4.04 \text{ g/cm}^3$ 长波紫外线与短波紫外线照射下均不发出荧光	二轴(-) $n_\alpha = 1.62(2)$ $n_\beta = 1.662(3)$ $n_\gamma = 1.73(1)$ $2V_{\text{计算}} = 79^\circ$ 单偏光下黄色, 无明显多色性。	水铈矾族, 产自捷克共和国西波西米亚雅克摩夫矿区 Svornost 矿井 Červená 矿脉。产自沥青铀矿、黄铜矿、黝铜矿蚀变残余表面, 与 Seudojohannite、Rabejacite、铈钙矿、水铈矾和石膏共生。 Plášil <i>et al.</i> , 2011a
21	铈 酰 硫 酸 盐 矿 物	IMA 2011-042	Adolfpateraite $\text{K}(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$ 为了纪念捷克化学家、物理学家、冶金学家 Adolf Patera (1819~1894) 而命名 钾铈矾	斜方晶系 空间群 $P2_1/c$ $a = 8.0462(1)$ $b = 7.9256(1)$ $c = 11.3206(2)$ $\beta = 107.726(2)^\circ$ $V = 687.65(2)$ $Z = 4$	7.668(76) 5.380(100) 5.218(85) 3.718(46) 3.700(37)	显晶集合体, 单晶最大直径 2 mm, 黄绿色到浅绿色, 透明到半透明, 玻璃光泽, 黄白色条痕, 未观察到解理。 $H = 2$ $D_{\text{计算}} = 4.24 \text{ g/cm}^3$ 长波紫外线下照射会发出荧光	二轴晶 $n_\alpha = 1.597(2)$ $n_\gamma = 1.659(2)$ 双折射率 0.062 具多色性 α : 无色 γ : 黄色	产于捷克共和国西波西米亚地区亚希莫夫矿区 Svornost 矿井, 与未获得批准的矿物(钾的含水铈酰硫酸根羟基钒酸盐矿物)和石膏共生。 Plášil <i>et al.</i> , 2012
22	铈 酰 硫 酸 盐 矿 物	IMA 2012-051	Beshtauite $(\text{NH}_4)_2(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 产地命名 铵铈矾	单斜晶系 空间群 $P2_1/c$ $a = 7.7360$ $b = 7.3712$ $c = 20.856$ $\beta = 102.123^\circ$ $V = 1162.762$	6.86(100) 5.997(19) 5.558(15) 5.307(36) 5.005(35) 3.410(38) 3.081(24) 2.881(20)	形状规整的短柱状晶体, 大小约 0.1 mm×0.15 mm×0.2 mm, 生长于白铁矿表面的集合体与壳状集合体可达 0.5 mm。亮绿色, 透明, 玻璃光泽。无解理。脆性。 $H = 2$ $D_{\text{计算}} = 3.046 \text{ g/cm}^3$ 长波与短波紫外线照射下产生强烈黄绿色荧光	二轴(+) $n_\alpha = 1.566(3)$ $n_\beta = 1.566(3)$ $n_\gamma = 1.592(3)$ $2V_{\text{实验}} < 10^\circ$	产自俄罗斯北高加索斯塔夫罗波尔地区皮亚季戈尔斯克 Beshtau 铈矿床氧化带中, 与 Bozenite、石膏、稀土磷铈矿和早期白铁矿、黄铁矿、埃洛石、蛋白石等共生 Pekov <i>et al.</i> , 2014
23	铈 酰 硫 酸 盐 矿 物	IMA 2012-065	Leydetite $\text{Fe}(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)_2(\text{H}_2\text{O})_{11}$ 法国布雷斯特业余矿物学者 Jean-Claude Leydet (1962~) 名字命名 莱铁铈矾	单斜晶系 空间群 $C2/c$ $a = 11.3203(3)$ $b = 7.7293(2)$ $c = 21.8145(8)$ $\beta = 102.402(3)^\circ$ $V = 1864.18(10)$ $Z = 4$	10.625(100) 6.277(1) 5.321(66) 3.549(5) 2.663(4) 2.131(2)	板状, 粒径可达 2 mm, 黄色到青绿色, 条痕淡黄白色, 玻璃光泽, {001}方向完全解理。 $H = 2$ $D_{\text{计算}} = 2.55 \text{ g/cm}^3$ 无荧光	二轴 $n_\alpha = 1.513(2)$ $n_\gamma = 1.522(2)$ 单偏光下无色, 无多色性。	表生矿物, 产于法国埃罗省洛代夫 Mas d'Alary。 Plášil <i>et al.</i> , 2013d

续表 1-5
Continued Table 1-5

序号	晶体化学分类	批准文号	矿物名称、化学式和命名缘由以及建议汉译名	结晶学特征 (Å)	粉晶强线 $d(I)$	重要物理性质	光学性质	产地产状及资料来源
24	铀酰硫酸盐矿物	IMA 2013-039	Meisserite $\text{Na}_5(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)_3(\text{SO}_3\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$ 为了纪念瑞士矿物学家 Nicolas Meisser 而命名多硫钠铀矿	三斜晶系 空间群 $P1$ $a = 5.32317(10)$ $b = 11.5105(2)$ $c = 13.5562(10)$ $\alpha = 102.864(7)^\circ$ $\beta = 97.414(7)^\circ$ $\gamma = 91.461(6)^\circ$ $V = 801.74(6)$ $Z = 2$	13.15(81) 6.33(62) 5.64(52) 5.24(100) 4.67(68) 3.849(48) 3.614(41) 3.293(43)	柱状, [100] 方向延长, 长度可达 0.3 mm, 淡绿色到黄绿色, 透明到半透明, 淡黄色条痕。脆性, 存在 {100} 与 {001} 方向解理, 不规则裂开。 $H = 2$ $D_{\text{计算}} = 3.208 \text{ g/cm}^3$ 无荧光	二轴(-) $n_a = 1.514(1)$ $n_\beta = 1.546(1)$ $n_\gamma = 1.557(1)$ $2V_{\text{实验}} = 60(2)^\circ$ $2V_{\text{计算}} = 60^\circ$ 色散可见 $r > v$ 晶体定向 $X \approx a, Z \approx c$	产自美国犹他州圣胡安县 Blue Lizard 矿山砂岩中, 与胆矾、叶绿矾、针镍矿、石膏、铀铜矿和多硫水钠铀矿 (Belakovskite) 共生, 为沥青铀矿采尽风化形成的次生矿物。 Plášil <i>et al.</i> , 2013c
25	铀酰硫酸盐矿物	IMA 2013-062	Bluelizardite $\text{Na}_7(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)_4\text{Cl}(\text{H}_2\text{O})_2$ 原产地命名硫氯钠铀矿	单斜晶系 空间群 $C2/c$ $a = 21.1507(6)$ $b = 5.3469(12)$ $c = 34.6711(9)$ $\beta = 104.913(3)^\circ$ $V = 3788.91(17)$ $Z = 8$	17.08(52) 10.31(60) 5.16(100) 4.56(22) 4.238(23) 3.484(27) 3.353(28) 3.186(36)	单晶呈叶片状, 长度可达 0.4 mm。晶体沿 [010] 方向延长, 可见 {100}、{001}、{111} 晶面。淡黄色、黄白色条痕。{001} 方向完全解理, 不完全裂开。 $H \approx 2$ $D_{\text{计算}} = 3.116 \text{ g/cm}^3$ 长波与短波紫外线照射下均发黄绿色荧光	二轴(+) $n_a = 1.515(1)$ $n_\beta = 1.540(1)$ $n_\gamma = 1.545(1)$ $2V_{\text{实验}} = 48(2)^\circ$ $2V_{\text{计算}} = 47.6^\circ$ 无多色性 晶体定向: $X \sim b,$ $Y \sim a,$ $Z \sim c^*$	产自美国犹他州圣胡安县 Blue Lizard 矿, 与蓝矾、叶绿矾、Ferrinatrite、石膏、Krohnkite 铀铜矾和其他几个未命名含 Na-Mg 铀酰硫酸盐矿物共生于砂岩中。 Plášil <i>et al.</i> , 2014a
26	铀酰硫酸盐矿物	IMA 2013-075	Belakovskite $\text{Na}_7(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)_4(\text{SO}_3\text{OH})(\text{H}_2\text{O})_3$ 以俄罗斯矿物学家、Fersman 矿物博物馆馆长 Dmitry Ilych Belakovskiy (1957~) 名字命名多硫水钠铀矿	三斜晶系 空间群 $P1$ $a = 5.4581(3)$ $b = 11.3288(6)$ $c = 18.4163(13)$ $\alpha = 104.786(7)^\circ$ $\beta = 90.092(6)^\circ$ $\gamma = 96.767(7)^\circ$ $V = 1092.76(11)$ $Z = 2$	8.96(35) 8.46(29) 5.19(100) 4.66(58) 3.568(37) 3.057(59) 2.930(27) 1.832(29)	纤维状晶体, 长度可达 2 mm, 直径仅几 μm , 淡黄绿色, 白色条痕, 玻璃光泽。纤维具有柔性和弹性, 具脆性裂开、不规则裂开, 无解理。 $H = 2$ 可溶于冷水	二轴(+) $n_a = 1.500(1)$ $n_b = 1.511(1)$ $n_g = 1.523(1)$ $2V_{\text{实验}} = 87.1(6)^\circ$ $2V_{\text{计算}} = 88^\circ$ 无多色性 晶体定向 $X \sim a$	产自美国犹他州圣胡安县 Blue Lizard 矿, 与 Blodite、Ferrinatrite、Krohnkite、多硫钠铀矿 (Meisserite) 共生 Kampf <i>et al.</i> , 2014
27	其他铀酰矿物	IMA 2003-009	Holfertite $(\text{UO}_2)_{1.75}\text{TiO}_4 \cdot \{(\text{H}_2\text{O})_3\text{Ca}_{0.25}\}$ 或 $(\text{UO}_2)_{1.75}\text{TiO}_{3.67}(\text{OH})_{0.67} \cdot \{(\text{H}_2\text{O})_3\text{Ca}_{0.25}\}$ 以 John W. Holfert 名字命名羟水钙钛铀石 (任玉峰等, 2008b)	六方晶系 空间群 $P3$ $a = 10.824(2)$ $c = 7.549(2)$ $V = 765.94(9)$ $Z = 3$	4.60(100) 2.90(80) 1.87(30) 1.747(30) 1.211(30)	长柱状, 粒度可达 1.5 mm。普遍中空, 外部与轮廓内部空洞都为六方柱。鲜黄色到橙黄色, 淡黄色条痕, 金刚光泽。脆性, {110} 完全解理, 并且带有不均匀贝壳状裂开。 $H = 4$ $D_{\text{实验}} > 4.22$	一轴(+) $\omega = 1.815 \pm 0.008$ $\epsilon = 1.910 \pm 0.008$ 单偏光下无色, 无多色性	铀酰钛酸盐, 产自美国犹他州托马斯山脉 Starvation (原 Searle) 峡谷流纹岩气孔中, 与赤铁矿、萤石、黄玉和红色绿柱石共生。 Belakovskiy <i>et al.</i> , 2006

续表 1-6
Continued Table 1-6

序号	晶体化学分类	批准文号	矿物名称、化学式和命名缘由以及建议汉译名	结晶学特征 (Å)	粉晶强线 $d(I)$	重要物理性质	光学性质	产地产状及资料来源
28	其他铀酰矿物	IMA 2009-045	Markcooperite $\text{Pb}_2(\text{UO}_2)\text{Te}^{6+}\text{O}_6$ 为纪念加拿大 Manitoba 大学矿物学家 Mark Coope 而命名 高碲铅铀矿	单斜晶系 空间群 $P2_1/c$ $a = 5.722(2)$ $b = 7.7478(2)$ $c = 7.889(2)$ $\beta = 90.833(5)^\circ$ $V = 349.7(2)$ $Z = 2$	3.235(100) 2.873(40) 2.985(37) 2.774(30) 3.501(29) 2.220(23) 1.990(21) 1.715(22)	假四方柱状 ({100} 和 {011}) 晶面, 粒径约 2 mm 或者葡萄状集合体 (直径约为 0.3 mm)。橙色, 透明, 淡橙色条痕, 金刚光泽, 脆性, 带有不规则裂开, 发育一组 {100} 完全解理。 $H = 3$ $D_{\text{计算}} = 8.496 \text{ g/cm}^3$ 无荧光	二轴 (+) $n_\alpha = 2.11$ $n_\beta = 2.12$ $n_\gamma = 2.29$ α - β 双折率为 0.01 $2V = 30(5)^\circ$ 晶体定向 $X \sim c, Y \sim b, Z \sim a$ 轻微橙色色调的多色性, $X > Y = Z$, 无色散	铀酰碲酸盐矿物, 首个发现的 Te^{6+} 类质同像 U^{6+} 的化合物, 其结构与合成结构 $\text{Pb}(\text{UO}_2)_2\text{O}_2$ 相似。产自加州近贝奥托山阿加矿山上断裂带表面和角砾状石英脉的小晶簇上。与 Bromian、角银矿、碘银矿、碲铅铜石-4O、铅铀矿和其他 4 个碲酸盐矿物 Housleyite、Thomite、Outoite 和 Timrossite 共生。 Kampf <i>et al.</i> , 2010
29	其他铀酰矿物	IMA 2010-047	Carlosbarbosaite $(\text{UO}_2)_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 为了纪念 Carlos do Prado Barbosa (1917~2003) 而命名 铌铀矿	斜方晶系 空间群 $Cmcm$ $a = 14.150(6)$ $b = 10.395(4)$ $c = 7.529(3)$ $V = 1107(1)$ $Z = 4$	8.405(80) 7.081(100) 4.201(90) 3.333(60) 3.053(80) 2.931(70) 2.803(60) 2.589(50)	假平整长板条状, 沿着 [001] 延长, {100} 平面延伸。长度可达 120 μm , 厚度 2~5 μm 。乳白色到淡黄色, 黄白色条纹, 玻璃光泽。透明(单晶)到半透明(集合体)。紫外线照射下不发荧光红外光谱显示, 该矿物中即含有 (OH) 也含有 H_2O	二轴 (+) $n_\alpha = 1.76(5)$ $n_\beta = 1.775(5)$ $n_\gamma = 1.795(5)$ $2V_{\text{实验}} = 70(1)^\circ$ $2V_{\text{计算}} = 83^\circ$ 弱黄绿色多色性 晶体定向: $X \sim a, Y \sim b, Z \sim c$	铀酰铌酸盐, 产自巴西米纳斯吉拉斯州 Jaguaracu 市 Jaguaracu 伟晶花岗岩体钠长石中, 作为后期填充出现。 Atencio <i>et al.</i> , 2012
30	铀酰复酸盐矿物	IMA 2004-022	Šreinite $\text{Pb}(\text{UO}_2)_4(\text{BiO})_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 以捷克矿物学家 Vladimír Šrein (1953~) 名字命名 铋磷铅铀矿	等轴晶系 可能空间群 $Im\bar{3}m, I432, Im\bar{3}$ 或 $I23$ $a = 15.5728(7)$ $V = 3776.6(5)$ $Z = 5$	5.513(53) 4.499(48) 4.163(100) 3.671(77) 3.484(31) 3.179(99) 2.596(54) 1.977(630)	皮壳状, 可达 2 mm 厚, 表面致密光滑, 无单晶出现。黄色带有橙色调, 淡黄色条痕, 玻璃光泽到金刚光泽, 不透明, 薄碎片半透明。脆性, 带有不均匀的裂隙, 无解理。 $H = 2 \sim 4$ $D_{\text{计算}} = 5.20 \text{ g/cm}^3$ 紫外线照射下无荧光	均质体 $n > 1.74$	产自捷克和德国交界处克鲁什涅山脉 Měděnc 南西西 2 km 处, 近 Horní Halže 的石英脉石矿物裂隙中的表生矿物。与纤铀铋矿、针铁矿、磷铀矿 Pb 类质同像产物、准铜铀云母、硅铋铁矿、硅铅铀矿和硅钙铀矿共生。 Sejkorá and Čejka, 2007
31	铀酰复酸盐矿物	IMA 2013-046	Mathesiusite $\text{K}_2(\text{UO}_2)_4(\text{SO}_4)_4(\text{VO}_3)(\text{H}_2\text{O})_4$ 以福音派、牧师神学家 Johannes Mathesius (1504~1565) 名字命名 硫酸钾铀矿	四方晶系 空间群 $P4/n$ $a = 14.9704(10)$ $c = 6.8170(5)$ $V = 1527.78(18)$ $Z = 2$	10.64(76) 6.856(100) 6.237(85) 4.742(37) 3.749(27) 2.940(17)	200 μm 长、几微米厚的柱状单晶形成集合体。黄绿色, 青白色条痕, 玻璃光泽。脆性, {110} 完全解理, {001} 解理稍弱, 不规则裂开。 $H = 2$ $D_{\text{计算}} = 4.02 \text{ g/cm}^3$	一轴 (-) $\omega = 1.634(3)$ $\square = 1.597(3)$ 单偏光下无色。	铀酰钒酸盐-硫酸盐矿物, 产自捷克共和国西波西米亚地区亚希莫夫矿区, 与 Adolfpateraite、柱铀矿、Čejkaite、水铀矿、石膏和未命名 $\text{K-UO}_2\text{-SO}_4$ 矿物共生。 Plášil <i>et al.</i> , 2014b

表 2 2003~2013 间新发现的铀矿物产地统计
Table 2 Localities of new uranium minerals approved in the period of 2003-2013

产地	数量	矿物名称
捷克亚希莫夫矿区	9	Adolfpateraitite 钾铀矾, Agricolaite 阿碳钾铀矿 ⁺ , Sejkoraite-(Y) 硫钇铀矿 ⁺ , Štěpíte 斯铀铀矿 ⁺ , Vysokyite 费铀铀矿 ⁺ , Mathesiusite 硫钒铀矿 ⁺ , Línkite 碳钾钙铀矿 ⁺ , Běhounekite 水硫铀矿 ⁺ , Metarauchite 麦镍铀云母
德国巴登符腾堡州南部的黑森林	3	Heisenbergite 方水铀矿 ⁺ , Nielsbohrite 砷钾铀矿 ⁺ , Arsenovanmeersscheite 多铀铀矿 ⁺
俄罗斯北高加索山阿迪格共和国	3	Dymkovite 砷镍铀矿 ⁺ , Beshtautite 铍铀矿 ⁺ , Rauchite 劳镍铀云母
美国	5	Holfertite 羟水钙钽铀石, Meisserite 多硫钠铀矿 ⁺ , Markcooperite 高碲铅铀矿 ⁺ , Bluelizardite 硫氯钠铀矿 ⁺ , Belakovskite 多硫水钠铀矿 ⁺
澳大利亚	3	Lakebogaite 磷钙钠铁铀矿 ⁺ , Paulscherrite 单斜黄铀矿 ⁺ , Françoisite-(Ce) 磷铀铀矿 ⁺
巴西米纳斯吉拉斯	2	Coutinhoite 硅钽钼铀矿 ⁺ , Carlosbarbosaite 铌铀矿 ⁺
其他	6	Šreinite 铋磷铅铀矿 ⁺ , 捷克和德国交界处克鲁什涅山脉 Chistyakovaite 水砷铝铀石, 哈萨克斯坦 Zhambyl 地区 Leydetite 莱铁铀矾, 法国埃罗省 Uramarsite 变铍铀云母, 哈萨克斯坦南部 Vapnikite 重钙铀矿 ⁺ , 以色列巴勒斯坦自治地区 Françoisite-(Ce) 磷铀铀矿 ⁺ , 瑞士瓦莱州 Arapovit 钙钽铀石, 塔吉克斯坦共和党从属区

3.3 用于铀矿物新种发现的主要测试手段

从近 10 年发表的新铀矿物论文来看, 相关的矿物学资料非常齐全: 基本的物理性质、光学性质、化学性质和结晶学性质除外, 大都进行了红外光谱、拉曼光谱等谱学分析。尤其要强调的是, 几乎每个新发现的铀矿物种都进行了单晶结构精测。在研究方法上, 矿物的化学成分全部采用电子探针分析数据。对于不容易选纯和/或量少的疑似铀新矿物, 其所含的 H₂O、H₂O⁺ 组分, 多根据化学结构式和电价平衡原理进行计算, 然后利用红外光谱、拉曼光谱等方法进行验证。对于容易选纯和/或量多的疑似铀新矿物, 其 H₂O、H₂O⁺ 组分, 常用热重分析方法进行实测, 最后用单晶结构解析的方法加以确认。铀矿物中铀的价态都未进行实测, 主要根据基本常识和化学成分、单晶结构分析方法判定。

3.4 四价铀在次生铀矿物的发现

按传统认识, 次生铀矿物中铀一般都是六价铀。2010 年之前, 只有一个次生铀矿物 [Ianthinite, U⁴⁺(UO₂)₄O₆(OH)₄(H₂O)H₂O₅] (Burns *et al.*, 1997) 的两个结晶学位置分别由 U⁴⁺ 和铀酰占据。2010 年, Plášil 等发现了首个仅有四价铀的次生铀矿物 Běhounekite [IMA 2010-046, U(SO₄)₂(H₂O)₄], 随后, 2013 年又相继发现了四价铀的硫酸盐矿物斯铀铀矿(Štěpíte)与费铀铀矿(Vysokýite)。

无疑, 四价铀次生铀矿物的发现深化了铀矿物学的认识, 对核地质研究提供了新的启示, 但四价铀次生矿物发现的地质意义尚需进一步发掘。不过, 关于这些四价铀的化合价, 都是根据化学成分、单晶结构分析等方法确定的, 并未直接测定。另外, 多铀铀矿⁺ (Arsenovanmeersscheite) (Walenta *et al.*, 2007) 为四价铀与六价铀同时存在, 也许是四价铀未完全氧化所致。遗憾的是, 笔者没有找到关于该矿物的详细资料, 不能展开讨论。

4 小结与建议

梳理 2003~2013 年发现的新铀矿物资料表明, 在过去的 11 年间, 世界范围内铀矿物新种的发现与研究取得了长足的进步。相对而言, 不能不看到, 近 20 多年来我国铀矿物领域的研究很不尽人意, 鲜有新的发现和突破, 这与我国铀矿地质事业的高速发展现状极不相称。鉴此, 笔者特提出如下建议:

- (1) 铀矿地质工作者应加强对新矿物研究的重视程度, 投入一定的精力和经费; 加强单位、部门之间的交流, 对一些未知、疑难的矿物抓住不放, 深入研究。
- (2) 充分利用现代测试技术方法。客观地讲, 国内的矿物学测试设备、技术不比国外差, 但地质研

究人员应用较少,往往凭经验、印象草率定名或对一些新矿物线索视而不见,错失了很多发现新矿物的机会。

(3) 加强与国外致力于新矿物研究的学者和实验室交流,学习其在新矿物研究中的先进经验与方法,促进我国铀矿物研究工作。

新矿物的发现与研究不仅是矿物学领域的一项重要创新性成果,而且对地质科学的发展和矿产资源的开发和利用有着重要的理论意义和实际价值。相信在各级领导和同仁们的共同努力、通力合作下,我国铀矿物研究事业定能再创辉煌。

References

- Agakhanov A, La P, Ya U, *et al.* 2004. Arapovite, $(U, Th)(Ca, Na)_2(K_{1-x} \cdot O_x)Si_8O_{20} \cdot H_2O$ —new mineral[J]. *New Data on Minerals*, (39): 14~20.
- Atencio D, Carvalho F M and Matioli P A. 2004. Coutinhoite, a new thorium uranyl silicate hydrate, from urucum mine, Galiléia, Minas Gerais, Brazil[J]. *American Mineralogist*, 89(5): 721~724.
- Atencio D, Roberts A, Cooper M, *et al.* 2012. Carlosbarbosaite, ideally $(UO_2)_2Nb_2O_6(OH)_2 \cdot 2 H_2O$, a new hydrated uranyl niobate mineral with tunnels from Jaguarapu, Minas Gerais, Brazil: Description and crystal structure[J]. *Mineralogical Magazine*, 76(1): 75~90.
- Belakovskiy D, Pautov L, Sokolova E, *et al.* 2006. Holfertite, a new hydroxyl-hydrated uranium titanate from Starvation Canyon, Thomas Range, Utah[J]. *Mineralogical Record*, 37(4): 311.
- Brugger J, Meisser N, Etschmann B, *et al.* 2011. Paulscherrerrite from the number 2 workings, Mount Painter Inlier, northern Flinders Ranges, South Australia: dehydrated Schoepite is a mineral after all[J]. *American Mineralogist*, 96(2): 229~240.
- Burns P C, Finch R J, Hawthorne F C, *et al.* 1997. The crystal structure of ianthinite, $U_2^{4+}(UO_2)_4O_6(OH)_4(H_2O)_4(H_2O)_5$: a possible phase for U^{4+} incorporation during the oxidation of spent nuclear fuel[J]. *Journal of Nuclear Materials*, 249: 199~206.
- Chukanov N, Sidorenko G, Naumova I, *et al.* 2006. Chistiyakovaite, a New Mineral $Al(UO_2)_2(AsO_4)_2(F, OH) \cdot 6.5 H_2O$ [A]. *Doklady Earth Sciences*[C]. Springer, 290~293.
- Galuskin E, Galuskina I, Kusz J, *et al.* 2014. Vapnikite Ca_3UO_6 —a new double-perovskite mineral from pyrometamorphic lamite rocks of the Jabel Harmun, Palestinian Autonomy, Israel[J]. *Mineralogical Magazine*, 78(3): 571~581.
- Kampf A, Mills S, Housley R, *et al.* 2010. Tellurium oxysalts from Otto Mountain Near Baker, California: Iv. the description and crystal structure of the new mineral markcooperite, $Pb_2(UO_2)Te^{6+}O_6$ [J]. *American Mineralogist*, 95: 1554~1559.
- Kampf A, Plášil J, Kasatkin A, *et al.* 2014. Belakovskite, $Na_7(UO_2)(SO_4)_4(SO_3OH)(H_2O)_3$, a new uranyl sulfate mineral from the blue lizard mine, San Juan County, Utah, USA[J]. *Mineralogical Magazine*, 78(3): 639~649.
- Meisser N, Brugger J, Ansermet S, *et al.* 2010. Francoisite-(Ce), a new mineral species from La Creusaz uranium deposit (Valais, Switzerland) and from Radium Ridge (flinders Ranges, South Australia): Description and genesis[J]. *American Mineralogist*, 95(10): 1527~1532.
- Mills S J, Birch W D, Kolitsch U, *et al.* 2008. Lakebogaite, $CaNaFe_2^{3+}H(UO_2)_2(PO_4)_4$, a new uranyl phosphate with a unique crystal structure from Victoria, Australia[J]. *American Mineralogist*, 93(4): 691~697.
- Nickel V E and Grice C J. 1998. The IMA commission on new minerals and mineral names: Procedures and guidelines on mineral Nomenclature, 1998[J]. *Mineralogy and Petrology*, 64(1): 237~263.
- Pekov I V, Krivovichev S V, Yapaskurt VO, *et al.* 2014. Beshtauite, $(NH_4)_2(UO_2)(SO_4)_2 \cdot 2 H_2O$, a new mineral from Mount Beshtau, Northern Caucasus, Russia[J]. *American Mineralogist*, 99(8): 1783~1787.
- Pekov I V, Levitskiy V V, Krivovichev S V, *et al.* 2012a. New nickel-uranium-arsenic mineral species from the oxidation zone of the Belorechenskoye deposit, northern Caucasus, Russia: I. Rauchite, $Ni(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 10 H_2O$, a member of the autunite group[J]. *European Journal of Mineralogy*, 24(5): 913~922.
- Pekov I V, Levitskiy V V, Krivovichev S V, *et al.* 2012b. New nickel-uranium-arsenic mineral species from the oxidation zone of the Belorechenskoye deposit, northern Caucasus, Russia: II. Dymkovite, $Ni(UO_2)_2(As^{3+}O_3)_2 \cdot 7 H_2O$, a seelite-related arsenite[J]. *European Journal of Mineralogy*, 24(5): 923~930.
- Plášil J. 2013. Linekite, IMA 2012-066. CNMNC Newsletter No. 15[J]. *Mineralogical Magazine*, 77: 7.
- Plášil J, Dušek M, Novák M, *et al.* 2011a. Sejkoraite-(Y), a new member of the zippeite group containing trivalent cations from Jáchymov (st. Joachimsthal), Czech Republic: Description and crystal structure refinement[J]. *American Mineralogist*, 96(7): 983~991.
- Plášil J, Fejfarová K, Hloušek J, *et al.* 2013a. Štěpíte, $U(AsO_3OH)_2 \cdot 4 H_2O$, from Jáchymov, Czech Republic: the first natural arsenate of tetravalent uranium[J]. *Mineralogical Magazine*, 77(1): 137~152.
- Plášil J, Fejfarová K, Novák M, *et al.* 2011b. Běhounekite, $U(SO_4)_2(H_2O)_4$, from Jáchymov (st Joachimsthal), Czech Republic: the first natural U^{4+} sulphate[J]. *Mineralogical Magazine*, 75(6): 127~131.

2 739~2 753.

- Plášil J, Hloušek J, Škoda R, *et al.* 2013b. Vysokyite, $U^{4+}[AsO_2(OH)_2]_4 \cdot 4 H_2O$, a new mineral from Jáchymov, Czech Republic [J]. *Mineralogical Magazine*, 77(8): 3 055~3 066.
- Plášil J, Hloušek J, Veselovsky F, *et al.* 2012. Adolfpateraite, $K(UO_2)(SO_4)(OH)(H_2O)$, a new uranyl sulphate mineral from Jáchymov, Czech Republic [J]. *American Mineralogist*, 97(2): 447~454.
- Plášil J, Kampf A R, Kasatkin A V, *et al.* 2014a. Bluelizardite, $Na_7(UO_2)(SO_4)_4Cl(H_2O)_2$, a new uranyl sulfate mineral from the blue lizard mine, San Juan County, Utah, USA [J]. *Journal of Geosciences*, 59(2): 145~158.
- Plášil J, Kampf A R, Kasatkin A V, *et al.* 2013c. Meisserite, $Na_5(UO_2)(SO_4)_3(SO_3OH)(H_2O)$, a new uranyl sulfate mineral from the blue lizard mine, San Juan County, Utah, USA [J]. *Mineralogical Magazine*, 77(7): 2 975~2 988.
- Plášil J, Kasatkin A, Škoda R, *et al.* 2013d. Leydetite, $Fe(UO_2)(SO_4)_2(H_2O)_{11}$, a new uranyl sulfate mineral from Mas D'alary, Lodève, France [J]. *Mineralogical Magazine*, 77(4): 429~441.
- Plášil J, Novák M, Višals J, *et al.* 2010. Metarauchite, $Ni(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 8 H_2O$, from Jáchymov, Czech Republic, and Schneeberg, Germany: a new member of the autunite group [J]. *The Canadian Mineralogist*, 48(2): 335~350.
- Plášil J, Veselovsky F, Hloušek J, *et al.* 2014b. Mathesiusite, $K_5(UO_2)_4(SO_4)_4(VO_3)(H_2O)_4$, a new uranyl vanadate-sulfate from Jáchymov, Czech Republic [J]. *American Mineralogist*, 99(4): 625~632.
- Ren Yufeng and Zhang Xihuan. 2008a. New minerals (2004.01~2004.12) [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 26(3): 247~262 (in Chinese with English abstract).
- Ren Yufeng and Yin Shuping. 2008b. New minerals (2005.01~2005.12) [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 27(6): 572~586 (in Chinese).
- Sejkora J and Cejka J. 2007. Šreinite from Horní Halže, the Krušné Hory Mountains, Czech Republic, a new mineral species, its comparison with asselbornite from Schneeberg, and new data for asselbornite [J]. *Neues Jahrbuch Für Mineralogie-abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 184(2): 197~206.
- Sidorenko G, Chukanov N, Chistyakova N, *et al.* 2007. Uramarsite $(NH_4, H_3O)_2(UO_2)_2(AsO_4, PO_4)_2 \cdot 6 H_2O$: a new mineral of the metaautunite group [A]. *Doklady Earth Sciences* [C]. Springer, 965~969.

- Skála R, Ondruš P, Veselovsky F, *et al.* 2011. Agricolaite, a new mineral of uranium from Jáchymov, Czech Republic [J]. *Mineralogy and Petrology*, 103(1): 169~175.
- Uvarova Y A, Sokolova E, Hawthorne F C, *et al.* 2004. The crystal structure of arapovite, $U^{4+}(Ca, Na)_2(K_{1-x}O_x)[Si_8O_{20}]$, $x \approx 0.5$, a new mineral species of the steacyite group from the Dara-i-pioz Moraine, Tien-shan Mountains, Tajikistan [J]. *The Canadian Mineralogist*, 42(4): 1 005~1 011.
- Walenta K, Hatert F, Theye T, *et al.* 2009. Nielsbohrite, a new potassium uranyl arsenate from the uranium deposit of menzenschwand, southern Black Forest, Germany [J]. *European Journal of Mineralogy*, 21(2): 515~520.
- Walenta K and Theye T. 2007. Arsenovanmeersscheit, ein neues uranmineral von Der Uranlagerstätte Menzenschwand Im Südlichen Schwarzwald [J]. *Aufschluss*, 58: 159~164.
- Walenta K and Theye T. 2012. Heisenbergite, a new uranium mineral from the uranium deposit of Menzenschwand in the southern Black Forest, Germany [J]. *Neues Jahrbuch Für Mineralogie-abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 189(2): 117~123.
- Wang Deyin and Fu Yongquan. 1986. Uranium Mineralogy [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1~506 (in Chinese).
- Williams P A. 2014. Updated list of IMA-approved minerals (January 2014) [EB/OL]. Australia: IMA-CNMNC, 2014-1-1 (2014-1-1) [2014-1-30]. <http://pubsites.uws.edu.au/ima-cnmnc/>.
- Yin Shuping and Ren Yufeng. 2009. New minerals (2006.01~2006.12) [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 28(4): 400~406 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jingyi, Wang Aizhen, Li Xiuying, *et al.* 1995. Uranium Minerals in China [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1~341 (in Chinese).

附中文参考文献

- 任玉峰, 章西焕. 2008a. 新矿物 (2004.1~2004.12) [J]. *岩石矿物学杂志*, 27(3): 247~262.
- 任玉峰, 尹淑苹. 2008b. 新矿物 (2005.1~2005.12) [J]. *岩石矿物学杂志*, 27(6): 572~586.
- 王德荫, 傅永全. 1986. 铀矿物学 [M]. 北京: 原子能出版社, 1~506.
- 尹淑苹, 任玉峰. 2009. 新矿物 (2006.1~2006.12) [J]. *岩石矿物学杂志*, 28(4): 400~406.
- 张静宜, 王爱珍, 李秀英, 等. 1995. 中国铀矿物志 [M]. 北京: 原子能出版社, 1~341.