

2022年,中国新矿物的丰收年

蔡剑辉

中国地质科学院 矿产资源研究所,自然资源部成矿作用和资源评价重点实验室,北京 100037

2022年,中国新矿物成果捷报频传,可谓中国新矿物丰收年。根据国际矿物协会新矿物及矿物分类命名专业委员会(IMA CNMNC)最新公布的2022年全球新矿物资料(Bosi et al., 2023; Miyawaki et al., 2022a~2022f),中国2022全年共发现新矿物20种(表1),数量首次超过世界新矿物强国之一的俄罗斯,位列世界第二。

截止2023年1月,全球已发现并为IMA CNMNC批准的有效矿物种达5900个。自1958年IMA CNMNC成立以来至2022年,全球共发现新矿物种4144种,其中在中国和由中国学者主导发现的新矿物共181种,约占全球总量的4%。从1958年中国发现第一个新矿物——香花石开始,在过去的62年间中国每年发现新矿物的数量一直徘徊于个位数,直至2021年首次晋级十余,2022年继续保持上升势头直接冲入20。2022年全球共发现新矿物125种,其中中国发现的新矿物数达20种,占比16%,达到历史新高。笔者曾对本世纪前20年(2000—2019年)全球发现新矿物的状况进行过分析(蔡剑辉, 2021),这期间全球发现的新矿物一共有1728种,其中中国发现的仅有60种,占比只有3.5%,全球排名第六。不难看出,过去中国的新矿物成果与其幅员辽阔、资源丰富的国情并不匹配,但是近年来我国新矿物工作突飞猛进,成绩斐然,硕果累累,2022年成为中国新矿物史上继往开来的里程碑。

俄罗斯和美国一直都是发现新矿物的两大强国,所发现的新矿物数量合计超过全球总量的三分之一。据统计,本世纪前20年俄罗斯、美国平均每年发现新矿物的数量均在20个左右,而作为第二梯队的意大利、中国、德国、以色列、智利、日本、加拿大和捷克等国平均每年发现新矿物数量大致为3~9种,两个梯队之间的数量悬殊非常显著。2021年中国发现新矿物14种,较美国(24种)和俄罗斯(21种),差距明显缩小。到

2022年,中国发现新矿物种数量与美国(22种)和俄罗斯(16种)的基本持平,首次跻身世界领先行列,位居世界第二。

除了在数量上有迅速增长之外,2022年中国新矿物的发现和研究工作还取得不少新的突破,甚至有零的突破,研究工作整体成熟度和对国际新矿物研究的参与度也在日渐提升。2022年中国新矿物工作的突出成果主要表现在以下几个方面:

(1)中国新矿物的发现和研究工作全部由中国科学家牵头完成。除少量矿物种的研究工作有外国学者的参与外,20种新矿物的发现和研究均主要靠国内新矿物研究团队独立或合作完成。在2000—2019年间中国发现的60种新矿物中有15种是由外国学者主导发现和研究的,占比25%(蔡剑辉, 2021)。从2020年开始,中国矿物学家参与新矿物工作的人数迅速上升,并逐渐形成年轻化的、相对稳定的新矿物科研团队,工作的自主性和成果的完整性都得到较迅速的和大程度的提升。

(2)2022年由我国核工业地质研究院牵头首次发现了月球新矿物——嫦娥石,中国因此成为世界上第3个发现月球新矿物的国家(冯华, 2022; 代小佩和付毅飞, 2022)。通过陨石或陨石坑中一些与冲击变质作用相关的超高压新矿物的发现和研究来探索地外天体的起源和演化,一直是中国新矿物工作的重要内容和特色。到目前为止,由中国科学院广州地球化学研究所超高压矿物研究团队与国外学者合作在湖北随州陨石、安徽亳县陨石、江苏寺巷口陨石和辽宁岫岩陨石坑中已发现12种新矿物,为探索地外天体冲击事件提供了重要的科学依据。2022年,中国新矿物研究开始从地球走向月球,世界上第六种月球新矿物嫦娥石的发现,不但进一步拓展了矿物学的研究领域,推动我国新矿物工作向更广阔的宇宙空间进发,更重要的是顺应了国家资源领域向深地、深海、深空进军的重大战略需

引用此文:

蔡剑辉. 2024. 2022年,中国新矿物的丰收年. 矿物岩石地球化学通报, 43(2): 459–462. doi: 10.19658/j.issn.1007-2802.2023.42.050

表 1 2022年中国发现的新矿物

序号	中文名称	英文名称	化学分子式	产地	主要发现人	主要发现单位
1	白鸽矿	Nioboixiolite-(□)	$(\text{Nb}_{0.8}\square_{0.2})^{4+}\text{O}_2$	内蒙古白云鄂博铁-稀土矿	李以科	中国地质科学院矿产资源研究所
2	嫦娥石	Changesite-(Y)	$(\text{Ca}_8\text{Y})\square\text{Fe}^{2+}(\text{PO}_4)_7$	中国“嫦娥五号”探月工程首次取回的月壤	李婷	核工业北京地质研究院
3	翠海钟铈铜石	Arsenoveszelyite	$\text{Cu}_2\text{Zn}(\text{AsO}_4)(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	云南东川铜矿带汤丹镇三锅庄村附近矿点	沈洪涛	武汉理工大学
4	空铁黝银矿	Kenorozhdestvenskayaite-(Fe)	$[\text{Ag}_6]^{4+}(\text{Ag}_4\text{Fe}^{2+})\text{Sb}_4\text{S}_{12}$	河南围山城矿区银洞坡金矿	曲凯	中国地质调查局天津地质调查中心
5	良俊钼矾	Liangjunite	$\text{K}_2(\text{Mo}_2\text{O}_5)(\text{SO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	美国犹他州Freedom #2矿	谷湘平	中南大学
6	磷铈铜东川石	Cuprozheshengite	$\text{Pb}_4\text{CuZn}_2(\text{AsO}_4)_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$	云南东川铜矿带汤丹镇三锅庄村附近废弃的采矿洞	孙宁岳	中国地质大学(北京)
7	磷铈锌东川石	Zheshengite	$\text{Pb}_4\text{ZnZn}_2(\text{AsO}_4)_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$	云南东川铜矿带汤丹镇三锅庄村附近废弃的采矿洞	李国武	中国地质大学(北京)
8	镁高铁角闪石	Magnesio-ferri-hornblende	$\text{Ca}_2(\text{Mg}_4\text{Fe}^{3+})[(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}](\text{OH})_2$	新疆西天山博罗科努岛弧带与成矿有关的花岗闪长岩体	章永梅	中国地质大学(北京)
9	彭氏锑铅矿	Pengite	$(\text{Pb}_8\text{Sb}_3^{3+})_{\Sigma 11}\text{Sb}_9^{5+}\text{O}_{35}$	广西南丹—河池成矿带五圩铅铋锑多金属矿田	李国武	中国地质大学(北京)
10	铅锆石	Plumbogaidonnayite	$\text{PbZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	辽宁凤城赛马碱性杂岩体	邹斌	东华理工大学
11	瑞忠锗矿	Ruizhongite	$(\text{Ag}_2\square)\text{Pb}_3\text{Ge}_2\text{S}_8$	四川省汉源县乌斯河铋铋矿	孟郁苗	中国科学院地球化学研究所
12	石匠山石	Shijiangshanite	$\text{Pb}_3\text{CaAl}(\text{Si}_5\text{O}_{14})(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	内蒙古林西县石匠山铅铋矿	孙宁岳	中国地质大学(北京)
13	锶钙磷灰石	Fluorsigaiite	$\text{Ca}_2\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$	辽宁凤城赛马碱性杂岩体	邹斌	东华理工大学
14	碳钙镧矿	Calcioancylite-(La)	$(\text{LaCa})(\text{CO}_3)_2(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$	云南个旧白云山岩体碱性岩	王艳娟	中国地质大学(北京)
15	碳铅镧矿	Gysinite-(La)	$\text{PbLa}(\text{CO}_3)_2(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$	辽宁凤城赛马碱性杂岩体	邹斌	东华理工大学
16	田红旗矿	Tianhongqiite	$\text{CrTiO}_3(\text{OH})$	西藏罗布莎铬铁矿	谷湘平	中南大学
17	田慧新钼矿	Tianhuixinite	$(\text{MoO}_3)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	美国新墨西哥州	谷湘平	中南大学
18	沃德贡杰石	Wodegongjieite	$\text{KCa}_3(\text{Al}_7\text{Si}_9)\text{O}_{32}$	西藏罗布莎蛇绿岩Cr-11矿体	熊发挥	中国地质科学院地质研究所
19	振儒钼矿	Zhenruite	$(\text{MoO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	美国犹他州Freedom #2矿	谷湘平	中南大学
20	郑明华矿	Zhengminghuaite	$\text{Cu}_6\text{Fe}_3\text{As}_4\text{S}_{12}$	贵州省紫木幽卡林型金矿	顾雪祥	中国地质大学(北京)

注：部分数据引自Bosi等(2023)和Miyawaki等(2022a~2022f)；按矿物中文名称汉语拼音首字母顺序排序。

求,为深入研究月球乃至开展其他深空探测奠定了矿
物学基础。

(3)2022年与关键金属成矿相关的新矿物研究取得丰硕成果。关键金属或关键矿产事关国家经济发展和国防安全,已成为当前世界各个大国高度重视的、并上升至国家资源战略层面的重大核心问题。以美国、英国及澳大利亚为首的西方国家,基于国家的战略安全,早已制定关键矿产发展战略并启动关键矿产重大研究及勘探计划。2019年7月中国国家自然科学基金委也启动了“战略性关键金属超常富集成矿动力学”重大研究计划(侯增谦等,2020;陈俊,2019;王登红,2019)。不难预见,未来对国际矿产资源的竞争力和话语权很大程度上取决于一个国家对关键金属的控制力,也就取决于一个国家对关键金属成矿机制和高效利用的综合研究水平。解决关键金属成矿机制的核心

科学问题是认识低丰度关键金属元素的超常富集过程与驱动机制;提高关键金属的高效利用水平的关键是了解金属元素的赋存状态和分离机理,这两者均与矿物学研究密不可分,新矿物的发现和研究更可以为探索元素超常富集机制和赋存状态提供新的思路和新的方向。

在白云鄂博矿床由中国地质科学院矿产资源所牵头发现新矿物——白鸽矿(刘晓慧,2022),是在该矿床发现的第16个新矿物,为富铀、富钽的铌氧化物类矿物,对于白云鄂博铌矿资源的研究、开发和利用以及铀、钽资源的寻找具有新的指示意义。

东华理工大学团队在与稀土稀有金属成矿密切相关的辽宁凤城赛马碱性杂岩体中发现3种富含稀土和稀有金属的新矿物:碳铅镧矿(唐佳丽,2022)、锶钙磷灰石和铅锆石。迄今,在赛马岩体中发现的新矿物

已有5种,另外两种是中国科学院地质与地球物理研究所团队发现的何作霖石以及中国地质调查局成都地质调查中心团队发现的凤城石。这些新矿物的晶体结构、化学组成和同位素信息对揭示碱性岩浆-热液演化与稀土成矿含矿性评价等均具有重要的理论和应用意义。此外,中国地质大学(北京)团队在云南个旧白云山岩体的霞石方钠正长岩和新疆西天山博罗科努岛弧带与成矿相关的花岗闪长岩体中,还发现稀土矿物——碳钙镧矿和角闪石超族新成员——镁高铁角闪石(朱彤,2022)。

中国地质大学(北京)团队和中国地质调查局天津地质调查中心团队分别在贵州紫木幽卡林型金矿和河南银洞坡金矿中发现两种与贵金属矿化密切相关的中低温热液硫盐新矿物-郑明华矿和空铁黝银矿,这些新矿物对研究贵金属矿床的成矿物理化学条件与成矿作用过程具有重要的科学意义。

此外,在传统大宗金属矿床中还发现一些富含关键金属元素的新矿物。如中南大学团队在西藏罗布莎铬铁矿中发现的新铬矿物——田红旗矿、中国科学院地球化学研究所团队在四川乌斯河铅锌矿中发现含稀散元素Ge的新矿物——瑞忠锗矿、中国地质大学(北京)团队在广西五圩多金属矿田中发现一种晶体结构为烧绿石型衍生结构的铅铋氧化物新矿物——彭氏铋铅矿,这些罕见关键金属独立矿物的发现,十分有助于探索传统金属矿床中稀散、稀有元素的成矿条件、赋存状态和综合利用。另外,武汉理工大学团队在云南东川铜矿带汤丹镇三锅庄村附近发现表生成因的磷酸盐类新矿物——翠海磷锌铜石,这种次生新矿物的发现为进一步探讨矿床成因及后期成矿作用提供了新的证据。

同样值得关注的是,中南大学团队与国外学者合作在来自美国的样品中发现3种新的钼矿物,并分别以成都理工大学矿物学家田慧新教授、中南大学矿物学家张振儒和蒋良俊教授的姓名命名为田慧新钼矿、振儒钼矿和良俊钼矿。钼氧化物和钼酸盐是具有广泛工业用途的化合物,但自然界发现的这两类天然矿物非常少,这些新发现对于我们认知自然界物质的多样性、探索和利用新材料都大有裨益。

(4)中国新矿物研究团队不再仅仅只关注单个新矿物的发现和研究,还开始参与国际矿物协会新矿物及矿物分类命名专业委员会(IMA CNMNC)关于矿物分类命名方案的制订和修订工作,进一步提升了我国在新矿物研究领域的国际影响力。

2021年中国地质大学(北京)团队发现新矿物锌东川石(Dongchuanite)和铜东川石(Cuprodongchua-

nite),继而通过其全新晶体结构特征预测其他新矿物种的存在,提出它们同属一个新的矿物族——东川石族(陈振宇和申俊峰,2021)。2022年该团队在东川铜矿带三锅庄村附近废弃的矿洞中发现东川石族其余两个新成员——磷砷锌东川石和磷砷铜东川石。至此,东川石族所有天然矿物种已被全部发现。东川石族成为我国首次创建的新矿物族,是中国对建立和完善国际矿物分类体系的新贡献。

同年,中国地质科学院矿产资源研究所科研团队在申报新矿物——白鸽矿的过程中,通过参与铌铁矿超族(Columbite supergroup)分类命名方案的建立(Chukanov et al.,2022),进一步细化和修订新矿物的认证规则,最终促成白鸽矿顺利获得IMA CNMNC的正式批准。

(5)伴随新矿物的发现和研究,中国在矿物晶体结构和晶体化学研究方面获得重大进展。

继2021年在河南银洞坡金矿发现空锌银黝铜矿[Kenoargentotetrahedrite-(Zn)]后,2022年中国地质调查局天津地质调查中心团队又发现一个黝铜矿族新矿物——空铁黝银矿(司马献章和蔡云龙,2022;刘烜,2022)。黝铜矿族矿物是中低温热液成因的硫盐矿物,与贵金属矿化关系密切,这两种新矿物的银含量最高可达52.3%,是自然界最富银的黝铜矿族矿物,具有非常重要的资源价值。更为重要的是,它们是自然界发现的、罕见具 $[Ag_6]^{4+}$ 银团簇结构的天然矿物。根据相关合成材料研究结果,具有这种特殊结构的物质在催化、化学传感和光电功能方面有突出性能,可以广泛应用在航空航天以及军事领域。所以,一方面可以通过深入剖析未知晶体的化学组成和结构来发现新矿物,另一方面又可以通过新矿物的新结构和/或独特的化学组成特征来探索其特殊成因和矿物的新属性,为寻找新的资源、合成人工材料等提供更多新的参考,这正是发现和研究新矿物的一个重要意义之所在。

中国地质大学(北京)团队在内蒙古石匠山砂卡岩型铅锌矿中发现石匠山石,这是一种与经典层状硅酸盐结构不同的全新层状结构硅酸盐矿物,这种新结构的发现对于层状硅酸盐晶体结构与晶体化学具有重要的理论意义,进一步丰富了硅酸盐矿物晶体结构分类体系。同样地,该研究团队2022年新发现的磷砷锌东川石和磷砷铜东川石也具有以前从未发现的全新晶体结构类型——东川石型结构。可见,新矿物及新晶体结构的发现都是加深和拓展人类对客观世界认识的一种重要途径。

(6)西藏罗布莎地幔矿物群再添新成员——沃德贡杰石。迄今为止,由中国地质科学院地质研究所、中

国地质大学(北京)与国外学者合作在西藏罗布莎蛇绿岩铬铁矿中已发现14种超高压新矿物,地幔矿物研究是探索地球深部各圈层物质组成及其成因、研究地球演化过程的重要途径之一,新地幔矿物的发现和研究无疑为此提供了更多的直接信息。2022年新发现的沃德贡杰石是罗布莎铬铁矿中首次发现的含典型壳源元素K的新矿物,可能提供地球壳幔循环的新证据(Mugnaioli et al., 2022)。

(7)以中国人命名命名的新矿物达到11个,占比55%,这是前所未有的。按照IMA CNMNC的建议,新矿物通常以其产地、该矿物的发现者(并不一定是新矿物建议的作者)、矿物学领域的著名学者或以该矿物的特殊性质命名(Nickel and Mandarino, 1987)。国际上向来比较推行以人名命名,所以现在绝大多数的英文矿物名称都来源于人名,据不完全统计,现有全球以人名命名的矿物超过总数的80%。而中国发现的新矿物却大都以产地或成分命名为主,截止2016年底,经IMA CNMNC批准的独立矿物总数达5208种,而以中国人姓氏命名的矿物仅有26种(谢先德, 2017)。然而,近年来随着我国国家综合实力的不断增强,特别是中国矿物学研究在国际上的影响力进一步扩大,以中国学者和华人学者姓氏命名的新矿物数量明显增多,据初步统计,截止2022年底,以中国人姓氏命名的矿物种已达50种,其中2022年一年内就有11个新矿物以中国人命名,除前文提到的3个钼矿物外,还有以中国地质科学院矿产资源所资深白云鄂博矿专家白鸽研究员命名的白鸽矿、以中国著名神话人物嫦娥命名的嫦娥石、以中国地质大学(北京)著名矿物学家彭志忠教授命名的彭氏锑铅矿、以中国地质大学(北京)矿物学家马喆生教授命名的磷铈铈东川石(Zheshengite)和磷铈铜东川石(Cuprozhesengite)、以中国科学院地球化学研究所胡瑞忠院士命名的瑞忠锆矿、以中南大学校长田红旗院士命名的田红旗矿和以成都理工大学著名矿床学家郑明华教授命名的郑明华矿。以中国人姓氏命名矿物的重要意义就在于,让中国人的姓名永留世界矿物学史册,持续扩大中国矿物学研究乃至中华科技与文化的国际影响力,增强我们的民族自信心和自豪感。

参考文献 (References):

- Bosi F, Miyawaki R, Hatert F, Pasero M, Mills S J. 2023. IMA Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification (CNMNC) – Newsletter 71. *European Journal of Mineralogy*, 35(1): 75–79
- Chukanov N V, Pasero M, Aksenov S M, Britvin S, Li Y K, Witzk T. 2022. Columbite supergroup of minerals: nomenclature and classification.

- Mineralogical Magazine*, 87(1): 1–53
- Miyawaki R, Hatert F, Pasero M, Mills S J. 2022a. IMA Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification (CNMNC) – Newsletter 65. *European Journal of Mineralogy*, 34(1): 143–148
- Miyawaki R, Hatert F, Pasero M, Mills S J. 2022b. IMA Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification (CNMNC) – Newsletter 66. *European Journal of Mineralogy*, 34(2): 253–257
- Miyawaki R, Hatert F, Pasero M, Mills S J. 2022c. IMA Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification (CNMNC) – Newsletter 67. *European Journal of Mineralogy*, 34(3): 359–364
- Miyawaki R, Hatert F, Pasero M, Mills S J. 2022d. IMA Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification (CNMNC) – Newsletter 68. *European Journal of Mineralogy*, 34(4): 385–391
- Miyawaki R, Hatert F, Pasero M, Mills S J. 2022e. IMA Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification (CNMNC) – Newsletter 69. *European Journal of Mineralogy*, 34(5): 463–468
- Miyawaki R, Hatert F, Pasero M, Mills S J. 2022f. IMA Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification (CNMNC) – Newsletter 70. *European Journal of Mineralogy*, 34(6): 591–601
- Mugnaioli E, Xiong FH, Xu XZ, et al. 2022. Wodegongjieite, ideally $\text{KCa}_3(\text{Al}_7\text{Si}_9)\text{O}_{32}$, a new sheet silicate isostructural with the feldspar polymorph kokchetavite, KAlSi_3O_8 . *Mineralogical Magazine*, 86(6): 1–43
- Nickel E H, and Mandarino J A. 1987. Procedures involving the IMA Commission on New Minerals and Mineral Names and guidelines on mineral nomenclature. *American Mineralogist*, 72(9–10): 1031–1042
- 蔡剑辉. 2021. 本世纪我国新矿物的发现与研究进展(2000–2019年). *矿物岩石地球化学通报*, 40(1): 60–80
- 陈骏. 2019. 关键金属超常富集成矿和高效利用. *科技导报*, 37(24): 1
- 陈振宇, 申俊峰. 2021. 矿物学中的重大新发现:我国科学家发现全新成分和全新结构的新矿物族. *矿物岩石地球化学通报*, 40(6): 1447
- 代小佩, 付毅飞. 2022. 嫦娥石: 中国首次发现的月球新矿物. *科技日报*, 2022–09–14 006版
- 冯华. 2022. 我国科学家首次在月球上发现新矿物“嫦娥石”. *人民日报*, 2022–09–14 14版
- 侯增谦, 陈骏, 翟明国. 2020. 战略性关键矿产研究现状与科学前沿. *科学通报*, 65(33): 3651–3652
- 刘晓慧. 2022. 中国地质调查局再发现自然界新矿物. *中国矿业报*, 2022–12–09
- 刘烜. 2022. 在祖国大地上发现更多的新矿物-揭秘“空铁黝铜矿”“空铁黝银矿”两种新矿物背后的故事. *中国矿业报*, 2022–12–02
- 司马献章, 蔡云龙. 2022. 自然界新矿物“空铁黝银矿”获正式命名. *中国矿业报*, 2022–04–13 003版
- 唐佳丽. 2022. 省地矿集团与四所高校发现并命名新矿物. *辽宁日报*, 2022–05–10
- 王登红. 2019. 关键矿产的研究意义、矿种厘定、资源属性、找矿进展、存在问题及主攻方向. *地质学报*, 93(6): 1189–1209
- 谢先德, 陈鸣, 谷湘平, 杨和雄. 2017. 以中国人姓氏命名的26种新矿物及其发现意义. *矿物岩石地球化学通报*, 36(3): 530
- 朱彤. 2022. 新疆西天山发现新矿物镁高铁角闪石. *科技日报*, 2022–3–18

(本文责任编辑: 刘莉)