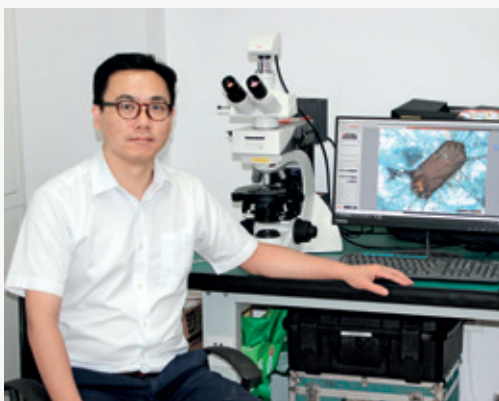


## 编者按

矿物学可谓地球科学的基石，其发展最具信息性的指标是某个历史时刻已知矿物种类的数量。因此，新矿物的发现与研究成为国家基础科技综合实力的重要标志之一。截至 2023 年，在中国和由中国学者主导并发现的新矿物约为 185 种，近两年，我国每年发现新矿物数量在世界排名上升至前三。本期“资源博览”栏目推介的“倪培石”和“铈钼易解石”，均是由自然资源部中国地质调查局的青年学者及其团队发现并于 2024 年获得认证的新矿物，其发现既丰富了可用矿物资源类型，又提高了我国矿物学研究水平，更为青年地质科研人员拓宽了发展平台。同时，由新矿物发现者参与修订的硅铈石族分类命名方案，进一步展现了我国新矿物工作在国际矿物学领域的重要影响力。

# 倪培石： 自然界最富铈的硅酸盐矿物

□ 文图 / 曲 凯

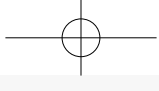


**作者简介** 曲凯，高级工程师，中国地质调查局优秀地质人才，中国矿物岩石地球化学学会新矿物及矿物命名专业委员会委员。主要从事新矿物与成因矿物学研究，主持国家自然科学基金 1 项，国家留学基金 1 项，地质调查项目 2 项，意大利帕多瓦大学客座研究基金 1 项，等等。牵头发现 6 种自然界新矿物，参与发现新矿物 4 种，建立和修订矿物超族分类命名方案 2 个。新矿物成果曾获 2019 年度中国地质调查局、中国地质科学院地质科技十大进展以及河南省十大地质成就。

“每一种新矿物的发现，即使是最稀有和最微观的矿物，都被科学界认为是一个重大事件，这是自然科学领域的一项根本性发现，因为它不仅丰富了矿物学和地质学，而且丰富了固体物理与化学。”

《庆祝 2022 国际矿物学年》一书中明确阐明了新矿物研究的重要性。

2024 年 1 月 10 日，由自然资源部中国地质调查局天津地质调查中心曲凯课题组发现并申报

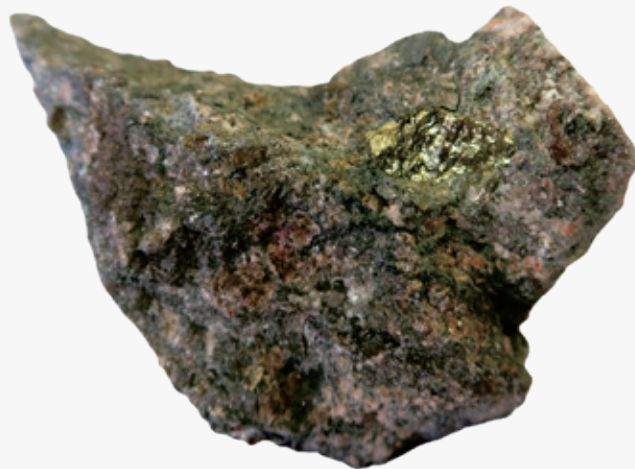


的新矿物——倪培石，经国际矿物学协会新矿物命名及分类委员会（IMA-CNMNC）评审投票，并正式获得批准，新矿物编号 IMA2022-106a，英文名 Nipeiite-(Ce)。倪培石全型标本将存放于中国地质博物馆，馆藏编号 M16141。

## 新品矿物 其为何物

倪培石发现于河南省西峡县太平镇稀土矿中，是一种稀土硅酸盐矿物，属于硅铈石矿物超族，分子式为  $\text{Ce}_9\text{Fe}^{3+}(\text{SiO}_4)_6[\text{SiO}_3(\text{OH})](\text{OH})_3$ ，三方晶系。倪培石产于太平镇稀土矿破碎带蚀变岩中，常与太平石、硅铈石、氟铈硅磷灰石、氟碳铈矿、羟硅铈矿、氟钇矿、萤石、方解石等矿物紧密共生。矿物粒度一般为 30 ~ 100 微米；颜色为浅红色至红棕色，单偏光下为灰白色；半透明-透明玻璃光泽，性脆，贝壳状断口，莫氏硬度 5.5，计算密度 4.943 克/立方厘米。

倪培石以南京大学地球科学与工程学院倪培教授的名字命名，致敬他长期以来在钨、锡多金属以及稀有、稀土矿床研究领域的卓越成就。需要说明



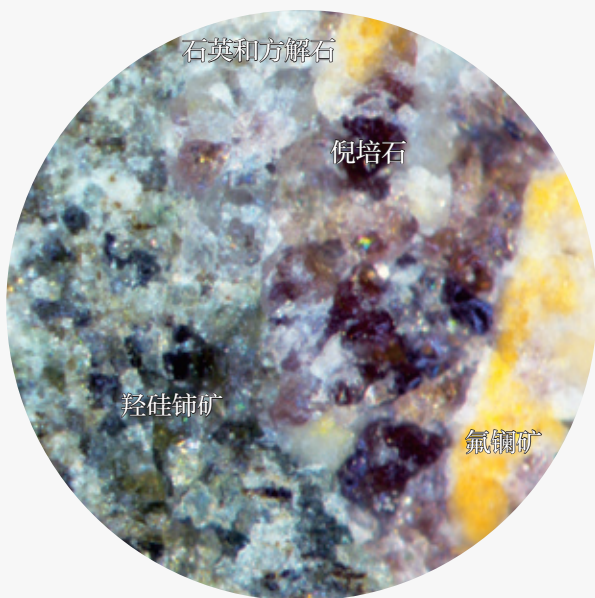
> 含新矿物倪培石、太平石的稀土矿石

的是，矿物的命名一般应遵循化学元素命名原则，比如，去年我国获批的铈包头矿，因为之前已经发现了“包头矿”，而这个矿物是其富铈端元类似物，所以需要在词根“包头矿”前面加上“铈”体现其化学成分特征。一般只有当发现全新成分或全新结构的新矿物时，才能够自主选用新的词根来命名。这时候发现人可以选用“人名命名法”或“发现地命名法”，例如，“莫片桐石”是向我国著名岩石学家，中国地质大学（北京）莫宣学院士致敬的新矿物；“太平石”是用其发现地太平镇稀土矿来命名的。倪培石因其化学成分与晶体结构完全不同于已有硅铈石超族其他矿物，因此可以选取新的矿物词根，课题组决定以此次发现为契机向中国地质科学家致敬。

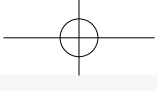
## 一波三折 始现真容

倪培石的发现过程可以简单概括为“有计划的偶遇”与“一波三折的邂逅”。

在 2018 年新矿物太平石被发现之后，课题组预测太平镇稀土矿中极有可能还存在其他端元的硅铈石超族矿物，然而当时太平镇稀土矿的勘查项目尚未完成验收，取样受到了限制。直到 2021 年，太平镇稀土矿普查项目的钻孔岩心需要进行实物汇交，考虑到钻孔岩心汇交后必须要长期保存，不便



> 倪培石及其共生矿物



于以后的取样分析测试，项目组就立即赶赴太平镇野外与河南省核工业地质局李靖辉等同志一起对太平石发现层位的岩心样品进行了系统观察、编录与取样。

随后，课题组对样品中的存疑矿物开展了物理性质确定、化学成分分析、拉曼光谱特征，以及晶体结构测定等研究工作。其实，当时课题组最初的寻找目标是太平石的羟基端元，但意外的是，这个潜在新矿物不仅是羟基端元，且相对太平石更富稀土。最终，通过系统矿物学研究确认其应作为一种硅铈石超族的新矿物，而且将是目前为止自然界中最富铈的硅酸盐矿物。随后课题组向 IMA-CNMNC 主席提交新矿物申报书，经过专业委员会各国代表委员两轮严格的审核和投票表决后，最终于 2024 年 1 月 10 日正式获得批准。在此期间有个插曲，倪培石的发现，特别是其独特的化学成分与晶体结构特征，打破了之前硅铈石族的分类命名体系，因此 IMA-CNMNC 于 2023 年邀请课题组负责人参加对硅铈石族分类命名方案的修订工作。修订一个矿物族的分类命名是一项极为复杂而系统的工作，需要对整个矿物族已有矿物的数据进行系统研究与对比，提出充分详实的修订依据，才能通过 IMA-CNMNC 严格的投票表决，这耗费了课题组大量的时间和精力，也是导致倪培石新矿物编号明明是 2022-106a，批准日期却是 2024 年 1 月的原因。虽然整个申报过程一波三折，但最终硅铈石族分类命名修订方案和倪培石新矿物提案均获得正式批准。



＞ 太平镇稀土矿脉野外露头

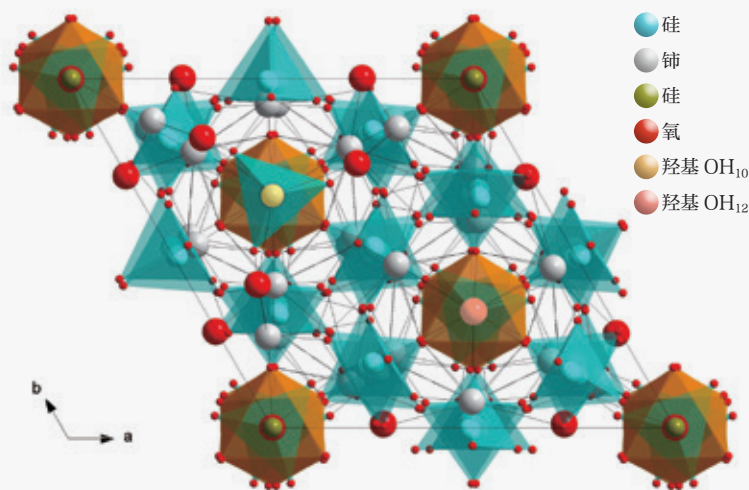
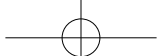
同时，修订后的新方案不仅对硅铈石族的矿物定义、晶体化学通式，以及独立结晶学占位进行了系统规范与详细解读，而且还将我国的太平石升级为矿物亚族，作为硅铈石超族中富氟端元矿物种的词根，丰富了具中国文化特色的矿物命名方案，这也是倪培石研究工作的意外收获。

## 倪培之石 大有可观

倪培石是目前在自然界中发现的最富铈的硅酸盐矿物。铈是一种稀土元素，其化学符号为 Ce，原子序数为 58，原子量为 140.116，它的拉丁语名称 cerium 是以小行星谷神星来命名的。稀土元素是我国高度重视的战略性关键矿产资源，有着“工业黄金”的美称，具有优良的物理化学性质，其最显著的功能就是可以大幅度提升材料的质量和性能，因此也常被称为“现代工业的维生素”，广泛应用于国防科工、航空航天、新能源，以及先进装备制造等高新技术产业。

倪培石是天津地质调查中心新矿物课题组继太平石之后在河南太平镇稀土矿中发现的第二个自然界新矿物，也是我国科研团队在自然界中发现并经由国际矿物学学会正式批准的第三个硅铈石超族新矿物，其他两个分别为太平石（IMA2018-123a）和嫦娥石（IMA2022-023a）。矿物作为地球系统的一种基本组成单元，是人类赖以生存和社会发展需要的重要物质基础。目前自然界已知的矿物共计 6 006 种，它们大多形成于地球内部和表层的地质过程，少量来自地外样品（陨石或返回样品）和生物成因。硅铈石超族下分 4 个亚族，倪培石和太平石分别属于硅铈石亚族和太平石亚族，他们仅在地球上被发





> 倪培石晶体结构模型图

现，是富含稀土的硅酸盐矿物。嫦娥石属于陨磷钙钠石亚族，该亚族矿物主要来自火星、小行星带以及月球陨石和返回样品，是含铁镁的钙钠磷酸盐矿物。白磷钙矿在地球岩石中极为罕见，但它却是人类骨骼中含量第二多的重要物质。因此硅铈石超族矿物本身蕴含着太阳系的早期演化、月球起源与岩浆演化、稀土资源开发与利用、生物矿化甚至生命起源的重要信息。例如，倪培石和稀土氟化物，是太平镇稀土矿床形成早期结晶的稀土矿物，作为氟碳铈矿（稀土矿主要矿石矿物）的重要前身，将补充稀土矿形成早期阶段流体性质这一重要环节，对于探讨稀土矿床成因具有重要研究价值。

## 持续发现 其义深远

矿物学作为地质学的基础，是整个地球科学系统的基石。而新矿物研究属于矿物学领域的基础性研究，可为人类认识和利用自然物质提供依据。国际矿物学协会前副主席、俄罗斯科学院院士尼古拉·尤什金曾强调：“矿物学发展最具信息性的指标是某个历史时刻已知矿物种类的数量”。我国新矿物研究起步相对较晚，在整体研究水平和新矿物发现数量上，与美国、俄罗斯等国家存在一定差距。中国地质科学院矿产资源研究所蔡剑辉研究员曾撰文指出，尽管本世纪的前 20 年时间里我国新矿物研究进展突出，但自 1958 年至 2020 年，我国每年发现新矿物的数量一直徘徊于个位数（年均不到 3 种）。在 2000 年至

2019 年期间，我国发现的新矿物仅占全球发现新矿物的 3.5%。随着近年来国家对基础研究的重视，我国在新矿物研究领域取得突破性进展，2022 年的发现数量更是首次超过世界新矿物强国俄罗斯，位列世界第二。

除此之外，新矿物提案包含新矿物名称建议，而第一发现人拥有对新矿物的绝对命名权。一方面，这是国际矿物学会为了鼓励人们积极参与对未知世界探索而赋予发现人最好的奖励和荣誉，同时如果一个矿物以科学家名字命名，更是对被命名人取得成就的致敬，是至高无上的荣誉。新矿物不仅可以向当代地质学家致敬，比如以中国现代地球科学的开拓者、地质力学的创始人李四光院士命名的李四光矿；还可以用古代天文地理先贤，甚至相关的神话人物来命名，比如李时珍石、女娲石。所以新矿物命名也是一种文化传播，因为每一个新矿物的名称都记录着被命名人的成就和他们背后的故事。希望通过我国新矿物研究领域的工作在自然历史长河中留下更多的中国故事。■

本文由“地质调查项目（编号：DD20230125）”“国家自然科学基金（编号：92062220）”“国家留学基金（编号：202108575009、202106400047）”等项目联合资助。

作者单位 / 中国地质调查局

天津地质调查中心

（本文编辑：何陈临秋）