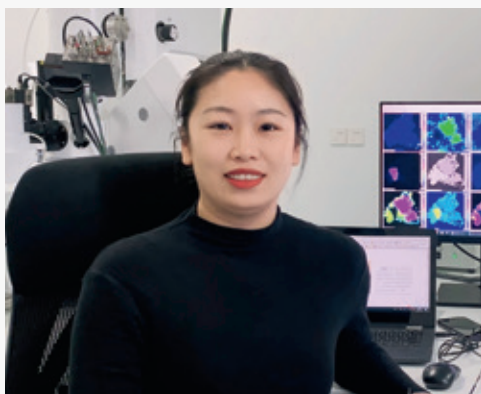


铈钽易解石： 含稀土、稀有元素的新矿物

□ 文图 / 诸泽颖



作者简介 诸泽颖，博士，现为中国地质科学院矿产资源研究所博士后，长期从事稀有金属成因矿物学研究。攻读博士期间获得南京大学和法国洛林大学联合培养，并获得中-法双博士学位。主持国家自然科学基金项目“江西东北部灵山区稀有金属成矿研究”，等等。

稀土元素包括镧系元素和钪、钇共计 17 种，稀有元素包括锂、铷、铯、铍、锆、钨、钼、钽 8 种元素。稀土和稀有金属是战略性新兴产业矿产或关键金属矿产的重要组成部分，也是近几年来国际上对矿产资源战略角逐的新焦点。我国是稀土资源大国，但稀有金属，特别是钨和钽，则长期依赖进口，是我国被“卡脖子”的关键金属矿产。因此，查明稀有金属赋存状态并提高资源利用效率迫在眉睫。

2024 年 2 月 5 日，由中国地质科学院矿产资源研究所矿物微区物质组分与结构实验室在江西黄山伟晶岩中发现并申报的新矿物——铈钽易解石，经历严格的审查与投票后，获得国际矿物学协会（IMA）新矿物命名及分类委员会（CNMNC）高票批准，批准号 IMA2023-058，英文名为 Tantaloeschynite-(Ce)，矿物缩写为 Taes-Ce。铈钽易解石样品现保存于中国地质博物馆，编号为 M16122。

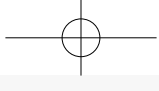
铈钽易解石不仅是新矿物，而且还是一个“宝

藏”，因为它不仅富含稀土和稀有元素，还能告诉我们一些地球的秘密。它的发现，将为我国开展的新一轮找矿突破战略行动提供新的线索，帮助我们更快更好地找到新的矿藏，而且它还有望为能源资源带来新的可能性，可谓是地球的“财富密码”。

石之初遇

铈钽易解石的发现可以说是地质界的一次“奇遇”。它的故事始于江西葛源钨锡钽多金属矿区，这个地方可谓是矿藏的宝库。相关地质报告显示，黄山钽钨矿床出露中粗粒花岗岩、细粒钠长石花岗岩及伟晶岩脉。伟晶岩型钽矿又可分为富钽伟晶岩矿体和富钽伟晶岩矿体。富钽伟晶岩矿体呈大脉状，充填于近接触带的围岩中，富钽伟晶岩矿体则为不规则状，充填于远接触带的围岩中。钽钨矿物主要以钽铁矿为主，主要赋存于富钽伟晶岩中，在富钽伟晶岩中较少见。

自 2012 年起，笔者所在团队开始对江西葛源



钨锡铌钽多金属矿区开展系统研究工作，多次深入黄山铌钽矿床进行野外考察，终于发现了大量伟晶岩脉。这些岩脉或穿插在粗粒花岗岩中、或侵入围岩中，宽可达1~2米。由于这些伟晶岩脉含有大量天河石（一种富铷的钾长石），因此，岩脉呈现一种浅蓝绿色的迷人外观。经过精细的矿物学研究后，团队发现这些岩脉中铌钽矿物的氧化铌含量可达75.73%，但钽含量极低，均为富铌贫钽的铌铁矿。也就是说，前期大量野外采样工作只采到富铌伟晶岩，未见富钽伟晶岩。但根据推测，富钽伟晶岩中的富钽矿物可能分布于伟晶岩边部，也就是细晶岩的位置。因此，在2021年，笔者所在团队再次踏上江西葛源的征程，对一个废弃坑道内的伟晶岩接触带进行采样工作，以期找到富钽伟晶岩。

在这次采样中，笔者所在团队终于幸运地发现了富钽伟晶岩，并且发现富钽金红石、富钽榍石等富钽矿物。其中一个矿物晶体呈束状产出，其化学成分极度富钽，氧化钽含量可达41.68%。根据矿物形态及富铌、钽、铌的化学特征，团队推测其可能为易解石的富钽端元。更令人惊喜的是，在查阅大量资料后，团队发现该矿物目前还未被国际矿物学协会认定，属于一种新矿物。随后，笔者开始着手准备相关申报材料。得益于之前扎实的矿物学研究基础，申请书的撰写十分顺畅，但在晶体结构解析过程中犯了难。通常情况下，晶体结构解析采用的是单晶衍射方法。然而，该矿物晶体呈束状集体产出，很难将单个晶体进行成功剥离，甚至在进行聚焦离子束（FIB）切割后，仍然以集体聚集的形式出现，因此难以利用单晶衍射来拟合结构。经过查阅相关文献，发现国外材料学方向研究者已经合成了 $\text{Ce}(\text{TiNb})\text{O}_6$ 成分材料并进行精细的结构解析。经过缜密研讨，团队最终决定采用透射电镜来计算新矿物的晶体结构，并在原子尺度上分析原子的堆垛排列方式，与已有的合成材料 $\text{Ce}(\text{TiNb})\text{O}_6$ 的结构进行拟合，两者结构拟合匹配非常好。这次，

矿物学与材料学两大学科的紧密结合发挥了作用，促进了跨学科的交流和应用。随后，新矿物的申报书多次获得IMA-CNMC主席的帮助，并提出相应修改意见，于2024年2月凭借新矿物命名及分类委员会超2/3赞成票高票通过。自此，铌钽易解石新矿物被正式批准，并根据其化学成分命名。

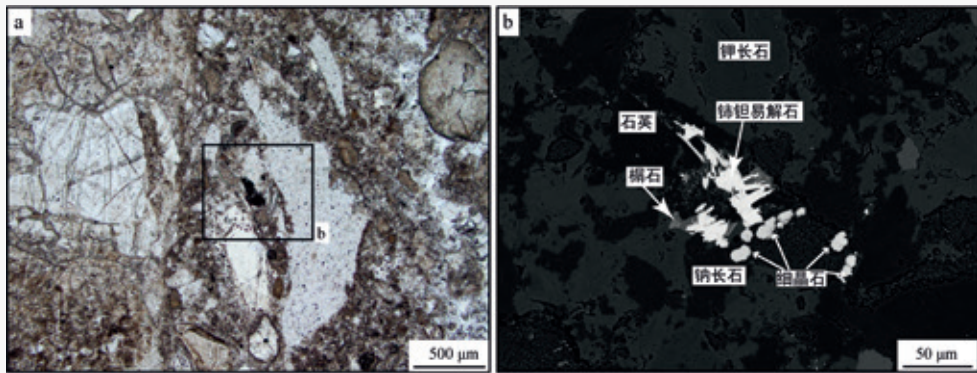
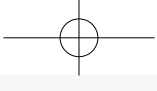
石之特性

铌钽易解石在显微镜下为针状、束状或短柱状产出，呈棕黑色或黑色，与长石、细晶石、萤石等矿物共生。化学成分中极度贫铌富钽，计算获得理想化学式为 $\text{Ce}(\text{TiTa})\text{O}_6$ 。铌钽易解石属于斜方晶系，其晶体结构由铌氧多面体和钛/钽氧八面体组成，属于易解石族矿物结构。

由于铌钽易解石单矿物颗粒相对较小，其硬度、条痕及反射率等物理化学参数和性质，还需要通过后期的矿物学研究工作补充。但可以肯定的是，铌钽易解石是目前自然界发现的少数同时富稀土和富稀有金属钽的矿物之一，它的发现具有极大的地质意义和经济意义，开启了对于这类矿物研究的新篇章。

石之家族

易解石族矿物的通用分子式为 AB_2O_6 ，其中A位置可由三价的稀土元素、钇，以及二价的钙或四价的钍和铀占据，B位置被钛、铌、钽等元素占据。目前被IMA-CNMC所认定的易解石族矿物共有9种，包括铌易解石（Aeschynite-Ce）、钆易解石（Aeschynite-Nd）、钇易解石（Aeschynite-Y）、铌钽易解石（Niobaeschynite-Ce）、钇钽易解石（Niobaeschynite-Y）、钇钽易解石（Tantalaeschynite-Y）、铌钽易解石（Tantalaeschynite-Ce）、维铌钙矿（Vigezzite）、钽钙矿（Rynersonite）。易解石族矿物出现于花岗岩伟晶岩、碱性岩及碳酸岩中，化学成分以富铌富钽



＞ 铈钽易解石矿物共生组合

端元的易解石和铈易解石为主，在自然界中富钽端元较少。

易解石和铈易解石在我国最早是由著名矿物学家张培善先生于 1957 年发现于白云鄂博矿床，自此白云鄂博超大型共伴生型铈矿被世人所熟知，也从此拉开了白云鄂博铈矿综合利用和科学研究的序幕。易解石族矿物本身含有较高含量的稀有金属元素铈，且颗粒较大，解离度较高，具有易采易选的优势，因此成为白云鄂博理想的选矿目标。此外，在我国湖北竹溪县粗面质岩和陕西朱家院碱性岩中也有报道，这些代表了富铈富稀土的成矿环境，具有较大的成矿潜力。

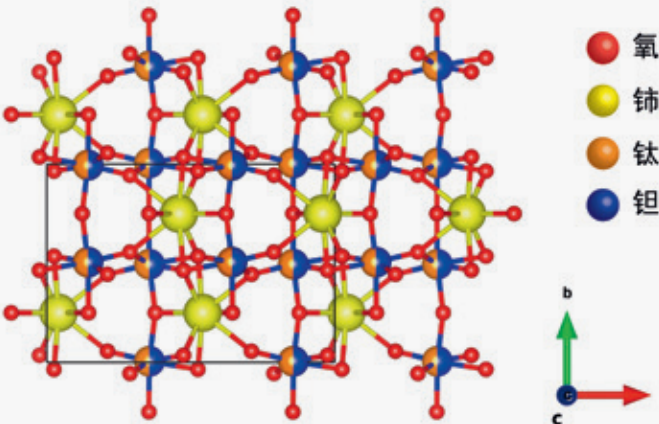
石之意义

关键金属在新兴产业中扮演着重要角色，而钽金属和铈金属就是其中一份子。钽金属硬度高，具有一定延展性，无需退火就可轧制成很薄的钽箔，厚度甚至可以小于 0.01 毫米；钽的熔点高达 2 996 ℃，仅次于钨和铼，沸点可达 5 425 ℃，密度为 16.68 克 / 立方厘米，莫氏硬度为 6.5；钽还具有耐腐蚀性，而且金属钽在常温下稳定性极高，只有加热到 500 ℃ 以上才会氧化形成氧化钽。因此，钽被广泛应用于电容器，全球约有 34% 的钽应用于钽电容器。钽

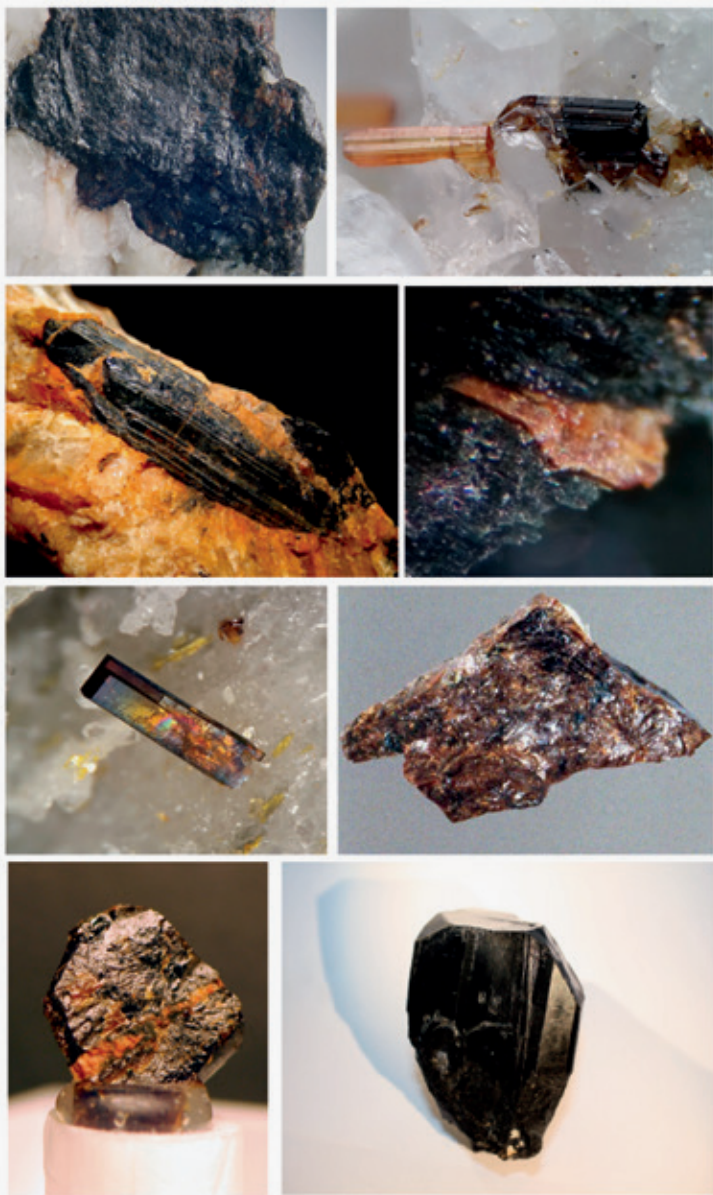
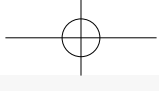
还因其具有众多优异性能而在通信、计算机及航空航天等军工领域得到广泛应用，例如，钽酸锂应用于音箱、电视及手机声波过滤器，而钽铌则应用于喷气发动机涡轮盘等高温合金和

导弹穿甲弹头，等等。铈则是重要的轻稀土元素，在工业上主要用作还原剂、催化剂。含铈的合金具有耐高温等性能，用于制造喷漆推进器等零件。铈也可用来生产铈盐，用于医药、制革、玻璃、纺织、冶金等工业，是工业上不可缺少的元素。

稀土、稀有元素作为重要的战略性关键金属元素，具有“稀”“伴”和“细”的特点，这些特点制约着稀土、稀有金属综合高效利用。钽在地壳中的含量为百万分之二，常与铈共伴生，两者是重要的化学元素对。截至 2022 年末，全球已探明的钽资源只有约 14 万吨，主要分布在刚果（金）、澳大利亚和巴西等地，已探明可采储量之和占全球总量的 99% 以上。我国钽矿床分布于江西、内蒙古和广东三省（自治区），由于矿床总体规模小、矿石品位低、嵌布粒度低等问题，导致回收率较低。我国钽的对外依存度超过 80%，仍然长期依赖进口，高



＞ 铈钽易解石晶体结构



1	2
3	4
5	6
7	8

1. 钽钙矿
2. 维铌钙矿
3. 铈易解石
4. 钹易解石
5. 铈易解石
6. 铈铌易解石
7. 铈铌易解石
8. 铈铌易解石

> 易解石族矿物

对外依存度下单一集中来源供给对我国资源战略安全存在较大威胁。稀土在我国是绝对优势金属矿产品种，但大量过度开采使得我国稀土资源的优势被逐年削弱，稀土资源安全局势十分危急。这就要求我们进一步加强铈铌和稀土矿床的勘查及投入，摸清铈、稀土资源家底，为我国稀有金属、稀土元素综合利用提供有利支撑。

摸清资源家底离不开对其赋存状态和基础矿物学的了

解，从而推进了成因矿物学与找矿矿物学的研究。虽然自然界中存在大量含稀土的矿物，但能够同时富含稀土和稀有金属元素的矿物依然非常少见，因此铈铌易解石的发现具有重要的地质意义和找矿意义。富铈矿物常出现于高演化的伟晶岩中，而江西黄山花岗岩的铈铌易解石出现于伟晶岩边缘相细晶岩中，这表明在伟晶岩边界层中稀有金属铈元素极度富集。根据伟晶岩边界层理论，对于稀有金属元素的找矿方向可进一步聚焦在伟晶岩边缘相的边界层中。铈铌易解石的发现恰好说明特定的成矿环境能够形成新的矿物，其成因理论给我们今后寻找类似矿物带来一定启示，应更多关注伟晶岩的精细矿物学研究。通过矿物学的精细研究，以及成因矿物学理论的进一步深化，矿物学工作在新一轮找矿突破战略行动中发挥举足轻重的作用。■

本文由国家自然科学基金“江西东北部灵山区稀有金属成矿研究（编号：41902037）”、中国地质调查局“中国矿产地质志（编号：DD20221695、DD20190379、DD20160346）”“湘鄂赣地区战略性新兴矿产调查（编号：DD20230289）”和“战略新兴产业矿产地质调查工程（编号：DD20230034）”项目联合资助。

作者单位 / 中国地质科学院矿产资源研究所

（本文编辑：何陈临秋）