

人类“铋”需

——走近稀有金属铋

□ 文 / 赵云彪 方贵聪 王登红

第一作者简介 赵云彪，资源勘查工程专业。

通信作者简介 方贵聪，副教授，主要从事矿床学研究工作。

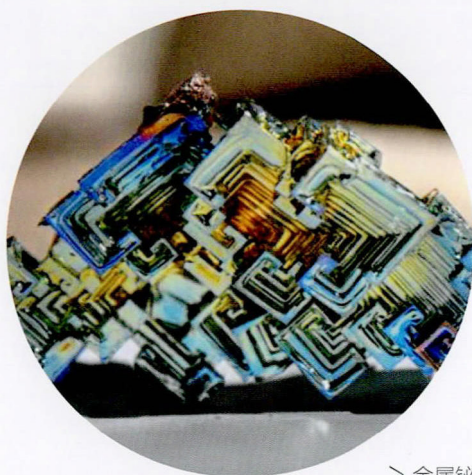
在距今约 3 000 年前的古希腊与古罗马时代，人们常用一种金属来制作盒子与箱子的底座。这种金属质地柔软，便于加工，熔点与沸点均较低。1450 年，修士瓦伦丁对这种金属进行了详细的描述；之后，学者阿格里科拉在其所著的《论金属》一书中阐述了这种金属与金属锑的特征，并根据特征将这两种金属划分为独立个体。1737 年，赫罗特在火法炼钴时意外获得这种金属，但并不知道所得为何物。长久以来，人们将这种金属与铅、锡相混淆。直到 1753 年，在英国学者杰弗里与伯格曼的共同研究下，这种金属元素方被确定为一种新的化学元素——铋，并命名为 Bismuth (Bi)。

金属铋及其化合物广泛应用于合金、航空、医药、催化剂等领域。随着各国环保力度的加强，铋的“绿色金属”“健康金属”和“环保金属”的身份逐渐被强化，未来有可能在医药、化妆品、冶金等领域全面取代铅、锑、镉、汞等有毒金属。那么，铋是何种元素？有哪些特性？资源分布及储量如何？有哪些用途？

初识金属铋

铋 (Bi) 位于元素周期表第 6 周期，第 VA 族，原子序数为 83，原子量为 208.98，被美国、欧盟、日本等定为战略性矿产，也是我国的关键矿产之一。

铋具有一系列优良的物理化学特性，如纯铋密度大 (9.84 g/cm^3)，质地柔软，便于加工，机械性能优越；常温下性质稳定，不与碱、非氧化性酸反应，可溶于热的浓硫酸；熔点 (271°C) 与沸点 ($1\,564^\circ\text{C}$) 均较低，是除汞以外热导率 ($7.87 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) 最低的金属，因此常被用来制作易熔合金。铋的硒化物与碲化物具有半导体性质，是优良的半导体材料。



> 金属铋



> 添加有氧化铋的化妆品

相较于铅与锑，金属铋及其化合物毒性小，不易被人体吸收且对环境破坏能力弱，因此也被用来取代铅、锑等有毒金属。

美国地质调查局 (USGC) 2017 年的报告显示，2016 年全球矿山共开采铋矿 1.02 万吨，各国金属铋储量共 37 万吨。中国、越南、墨西哥、玻利维亚、加拿大、俄罗斯、美国为铋矿主要开采国，其中中国铋矿产量为 0.74 万吨，金属铋储量为 24 万吨，位居世界首位。

铋之功用

工业“铋”需

将铋与锑、镉、锡等金属按比例混合，可制成熔点在 200°C 以下的合金，例如

武德合金熔点为 70 ℃，这些合金可用于制作保险丝、低熔点焊料，同时利用其熔点能准确控制的性质，可作为核反应堆的载热体与冷却剂。另外，合金中铋含量不同，可表现出不同的性质。例如含 55% 以上铋的合金在凝固时体积膨胀，可用于变形器件校正；含 48% ~ 55% 铋的合金体积稳定，不易变形，可用于制作高精度模具与印刷铅字。在金属冶炼中添加少量铋可显著提高工件性能，例如在钢中添加 0.1% ~ 0.4% 的铋可提高钢的切削能力；在铜中添加少量铋可提高铜的耐磨性，因此铋也被称为冶金“添加剂”。

健康“铋”需

相较于铅、汞、镉等金属，铋毒性小且非致癌，对人体和环境影响小，因此在化妆品、珠宝、医药、蓄电池等行业中常用于代替铅、汞、镉等有毒金属。

化妆品的使用已有千年历史。古代人们将朱砂作为化妆品，但朱砂受热分解后非常容易造成汞中毒，且朱砂中含有的砷、锑、铅等重金属元素也会对人体造成伤害。现代人们使用的化妆品中也常含有铅、汞等重金属元素。寻找铅、汞等重金属的替代品成为当务之急。氯化铋 (BiOCl) 是铋的一种化合物，具有珍珠光泽，皮肤附着能力强，同时具备无毒、保湿收敛的性能，因此常用于代替铅，制作无毒口红、眼影、指甲油等化妆品。

一些铋的有机化合物具有良好的药用价值，可用于治疗腹泻、胃溃疡、消化不良以及皮炎、梅毒等疾病，甚至具有抗癌抗肿瘤的功效。例如，用于治疗胃部疾病的铋剂，可以阻止幽门螺杆菌的繁殖，增加胃黏膜的血流量，并形成保护膜覆盖在胃部损伤处，促进胃黏膜修复。有机铋化合物抗癌抗肿瘤的功效得益于其具有强大的抗菌、杀菌能力。有报道称，当有机铋化合物作用于单克隆体上时，可以有效抑制白血病、淋巴瘤的发展，相较于其他放射性医药，以铋的化合物作为放射治疗药剂更有优势。

铋的化合物除直接用作药物外，在医学材料方面也发挥着举足轻重的作用。聚氨酯弹性体是一种特殊的医学材料，具有良好的生物与血液相容性，且易于加工，被广泛应用于制作人工心脏、人工血管、假肢等。有机酸铋作为铋的一种有机化合物，无毒且催化效率高，可代替有机锡、有机铅等有毒催化剂，广泛用于合成聚氨酯弹性体。

也发挥着重要作用。铋及其化合物毒性小，对环境污染性低，成为当之无愧的“绿色金属”“健康金属”与“环保金属”。

核能“铋”需

核能作为一种新型能源，如何做到小型化、零污染并且安全可控，成为各国竞相研究的课题。

铅铋快堆是以液态铅铋合金作为冷却剂的快中子核反应堆，其使用的冷却剂为低熔点、高沸点的铅铋合金，具有中子经济性好、功率密度高、热传导性强、热点转换效率高、



安全性强、运行寿命长等优点。我国开展铅铋快堆研究较晚,但进展迅速。2005年7月,国产第一座快热耦合ADS次临界反应堆——“启明星I号”在中国原子能科学研究院(下简称“原子能院”)建成并临界;2016年12月,国产铅基双堆芯零功率装置——“启明星II号”在原子能院实现临界;2019年10月9日,国产首座铅铋合金零功率反应堆——“启明星III号”首次临界,标志着我国在铅铋快堆领域研发取得阶段性进展,并进入工程化阶段。

铅铋快堆可设计为千万级大型电站,也可以设计为兆瓦级小型模块化核电源。中国核工业集团表示,2025年,计划建成小型铅铋快堆示范堆。我国作为全球最大的铋资源国,可以为铅铋快堆研发与应用提供有力保障。在国家大力支持下,随着我国铅铋快堆技术的成熟,车载核能源的梦,“铋”将实现。

“铋” 然前景

为太阳能电池“脱毒”

太阳能电池可以将光能转化为电能,其主要材料是硅,但因硅的“缺陷容差”非常小,需要使用高纯度硅才能实现光能转化为电能。过去几年中,科学家找到一种可以代替硅的新材料——卤化铅钙钛矿混合物。钙钛矿太阳能电池具有与硅太阳能电池相似的光能转化率,但其中含有重金属铅,无疑会给人类以及环境带来危害。来自剑桥大学与美国的一组研究人员实验获得铋的一种化合物——碘氧化铋具有高达80%的极高光能转化率,且该化合物无毒无害,可以大规模投入生产,有望为钙钛矿太阳能电池“脱毒”,成为下一代太阳能电池的主要材料。

变废为宝——将二氧化碳转化为燃料

二氧化碳是一种经济的、可再生的碳资源化合物,如何做到高效回收一直是社会关注的热点。2018年,美国化学学会期刊《催化》报道了美国特拉华大学在二氧化碳转化为液体燃料和化工材料研究方面的最新进展。报道称,特拉华大学发现了金属铋可以作为二氧化碳转化为气体燃料一氧化碳的

催化剂。另外,给浸在盐溶液中的金属铋薄膜通电,可以调整催化过程,将二氧化碳转化为液态燃料汽油以及化工材料甲酸。该项技术有望减少二氧化碳排放,提供一种新的可持续获取燃料的方法,并进一步扩展铋的应用领域。

超导体材料的“宠儿”

超导体材料可以应用于磁悬浮列车、电力传输、储能系统、医疗设备、通信技术等领域。从1911年卡麦林·昂尼斯意外发现汞的超导现象开始,人类对超导体材料的研究已有百年历史,发现了数万种超导体材料。法国、日本、美国、中国等国家相继发现了铋系超导体材料——铋锶钙铜氧化物在液氮环境下的高温超导现象,使得铋成为超导体材料领域的新“宠儿”。铋系超导体材料是将所需材料制成粉末包裹在金属管中制成导线,再经烧结制成超导导线。目前已有公司能够批量生产千米级铋系超导体材料,例如美国超导公司、北京英纳公司。2016年,印度科学家称其发现了金属铋的超导现象,对传统超导体材料理论发起挑战。如报道属实,利用金属铋代替传统核磁共振扫描仪的铌钛合金超导体材料,将极大程度地降低核磁共振扫描仪的价格,进而减少患者的检查费用。

铋的应用已有千年历史,从最初用来制作盒子,到如今用作冶金“添加剂”、超导体材料、核反应堆的冷却剂,铋以其独特的性能在人类历史上留下了浓墨重彩的一笔,也将继续发挥其“绿色金属”“健康金属”与“环保金属”的特长,前景与价值“铋”将一片光明。❏

本文由中国地质调查局“中国矿产地志”(编号:DD20160346,DD20190379)、国家自然科学基金(编号:41802082)、广西自然科学基金(编号:2020GXNSFAA159154)项目联合资助。

第一作者单位/桂林理工大学

通信作者单位/桂林理工大学

(本文编辑:张佳楠)

©1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>