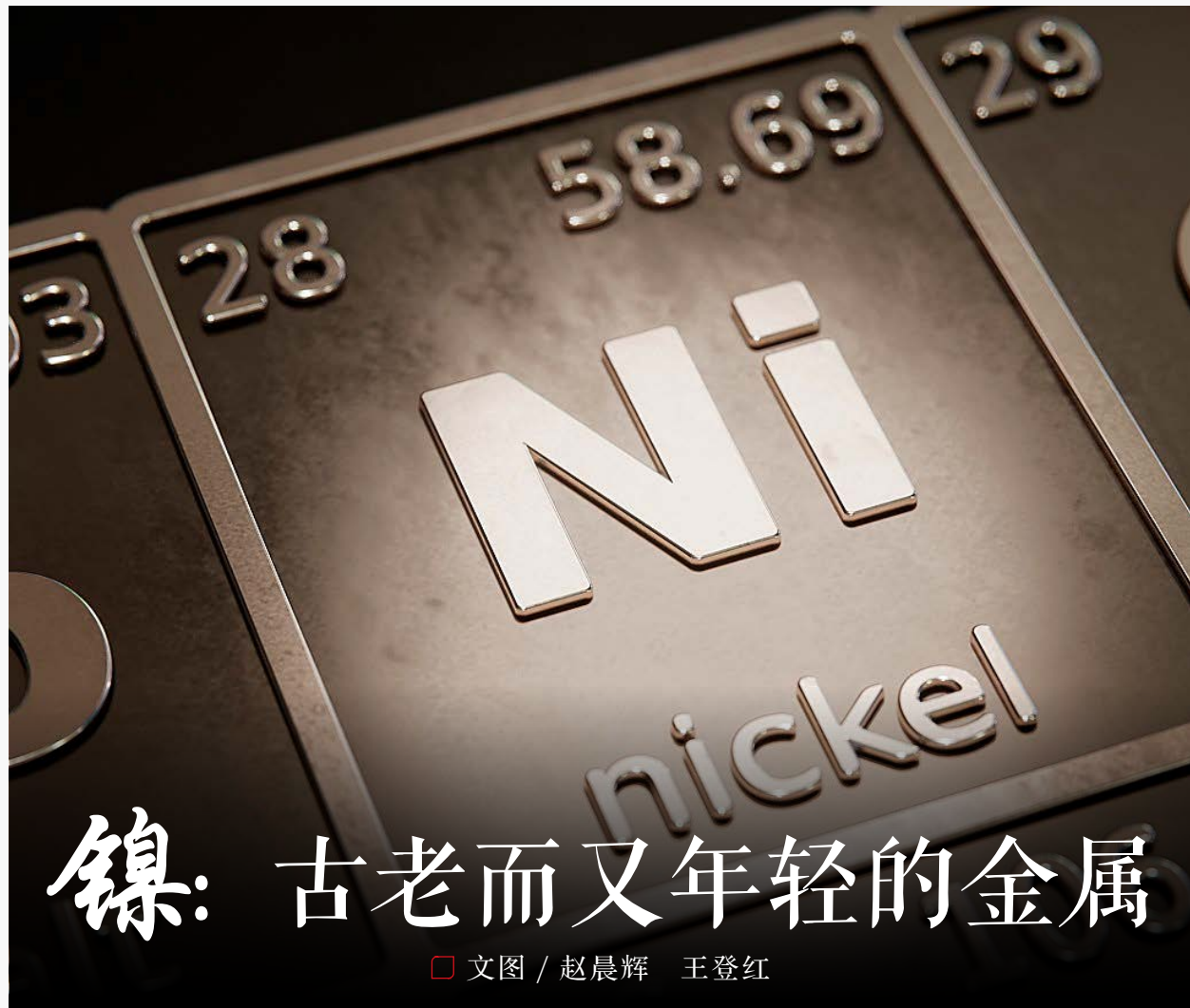




镍：古老而又年轻的金属

文图 / 赵晨辉 王登红

> 镍 图片来源: Veer 图库

第一作者简介 赵晨辉，博士研究生，主要从事铜金镍矿产资源勘查和研究工作。

从日常生活中的电烤箱、剪刀、钢尺，到工业生产中的起重机、涡轮机、高能电池，再到军工产业中的潜艇、飞机、坦克，

这些金属制品都离不开镍的身影。现代镍主要用来冶炼不锈钢，在新能源电池领域的需求迅速增大，而镍作为伴生元素出现在铜矿石中又会造成冶炼困难。在我们追求绿水青山的愿景下，环保电动汽车行业迅猛发展，镍行业随之蓬勃发展。目前，我国是全球最大的镍消费国，镍需求持续处于高位，而镍资源“家底”很薄，九成以上的镍需要进口。

古老金属 近代重逢

镍，在物质文明发展中起到了“四两拨千金”作用。尽管镍元素在 1751 年才由瑞典化学家克伦施泰特发现，而人类使用镍的历史可以一直追溯到上古时期，如古埃及、古巴比伦和古代中国。可以说，镍是既“古老”又“年轻”的金属。古埃及、古巴比伦和古代中国，人们都曾用

镍含量很高的陨铁制作成上好的铁器用于冷兵器战争。公元前 300 年左右，我国就出现了含镍的兵器及合金器皿。因为镍颜色近似银白色，我国古时曾将镍称为“白铜”（镍与铜的合金）。西汉时期，我国就已熟练掌握白铜制取工艺。例如，云南地区生产的白铜中镍含量很高，中国生产的白铜器物自 16 世纪传入欧洲，被欧洲人称为“中国银”。直到今天，在波斯语、阿拉伯语中仍把白铜称作“中国石”（张亚非，2019，镍与纳米镍功能材料）。

18 世纪中期，一种质量重而表面呈红棕色并带有绿色斑点的矿石在德意志常被用于制造青色玻璃。采矿工将其称为“尼克尔铜”（Kupfernickel），意为“魔鬼的铜”，因为它会使工人们反胃腹泻，严重时发生休克甚至死亡。后经实验证明，尼克尔铜是镍的砷化物，即红砷镍矿。尼克尔铜溶于酸呈绿色，与一般铜盐溶液无异。1694 年，希尔耐曾发表论文认为尼克尔铜是钴或砷与铜的混合物，然而，克伦施泰特则通过多次实验，发现尼克尔铜中没有铜成分。1746 年，克氏在瑞典里达尔许坦地区北部的洛丝钴矿中发现一块绿色矿石，用硝酸溶解后，他将一块铁放入该溶液。根据实验假设，铁会迅速将溶液中的铜置换出来，出乎意料的是，预期结果并没有实现。随后，他将该绿色矿石置于木炭上燃烧，发现该矿石变成黑色块渣，再加入三分黑溶剂，得到一种粗金属，其表面呈淡黄色，切面呈银白色，由小薄片组成，坚硬而脆，可被磁石轻微吸引。如果将其溶解于硝酸、王水和盐酸中，可得到绿色溶液。后来，克伦施泰特从尼克尔铜中得到了相似的结果。综合这些特性，克氏认为这种物质是不同于当时已发现的所有金属的一种新金属。随后，他将这种金属命名为“镍”，并于 1751 年将其研究成果发表在瑞典皇家科学院院刊上。

镍，化学符号 Ni，英文名 Nickel，来源于德文 Kupfernickel。原子序数 28，密度 8.902 克 / 立方厘米，熔点为 1453℃，沸点为 2732℃。根据张亚非《镍与纳米镍功能材料》（第 2 页）中所述，镍在地球

中的含量居第 5 位，仅次于硅、氧、铁、镁。地核中含有大量镍，地壳中镍的含量则较低，居第 22 位，平均仅为 47 微克 / 克。镍具有良好的强度和延展性，易与其他金属组成合金，以提高金属材料的强度、耐高温性和耐腐蚀性，因而被广泛应用于生产工业机械和精密电子仪器、冶金和电镀等领域。

合金伴生 兼而有之

镍是一种兼具神奇与平凡的金属，它“神奇”的一面是镍合金，“平凡”的一面是伴生镍，如铜矿石中的镍。

镍及镍合金具有优异的耐腐蚀性，不同的类型可以在还原性 / 氧化性酸、碱、盐、氯离子等介质中起到不可代替的作用，是目前最为完整、全能的耐蚀合金类材料体系。钢的耐冲刷腐蚀能力可以通过表面喷涂镍铝青铜涂层材料而提高 4 倍，镍与铁、钴、铬、锰等能形成固溶体合金，具有高熔点、耐海水侵蚀及高温氧化、断裂强度大、易机械加工等优点。镍具有最大的磁导率（>600 微米），是最佳的软磁材料，与铝、钴制成的合金，磁性变得更强，当这种合金受到电磁铁吸引时，可以吊起比它本身重 60 倍的物体，所以镍也是制造电磁起重机的材料之一。钛镍系合金对它原来的形状具有超强的“记忆”，经过长时间、上万次重复使用都可以准确无误地返回原始的状态。通过上述实例可以发现，镍合金广泛用于飞机、舰艇、导弹、雷达、航天飞机、坦克、拖拉机、汽车、燃气涡轮机、微波炉、医疗设备等各种军工制造业和机械制造业。

镍及其化合物主要用途是作为合金元素生产不锈钢，全球约 65%、中国约 85% 的镍用于冶炼不锈钢。其他应用领域为电镀、化学电源、石油化工，以及颜料和染料等材料领域。由于新能源领域，特别是以中国为代表的“三元材料”（由三种元素或者单质及化合物组成的合金、非金属材料、有机材料和高分子复合材料）领域的旺盛需求，镍在电池领域的应用占比逐年提高。据行



镍和黄铜硬币 图片来源: Veer 图库

业数据测算，目前电池行业用镍量已由 2010 年前的 3% 上升至 2021 年的约 10%。在以中国为代表的不锈钢和新能源电池材料领域的旺盛需求刺激下，全球对镍的需求逐年增加。

很多金属元素可以伴生产出，如铜矿中的铼、金矿中的碲。镍作为伴生元素在矿石中出现时，会给具有工业价值元素的提取带来困难。镍属铁族元素，在周期表中与铜毗邻，其成键特性对冶金和成矿影响巨大，主要表现为在矿物中紧密结合或伴生，造成冶炼工艺的复杂化。

虽然镍与铜的伴生为冶炼工作带来不便，而它同时也有积极一面，即镍氧化物的超导现象。1986 年，IBM 苏黎世研究中心证明铜氧化物中存在高温超导现象，科学家在不断发现新的铜氧化物超导体的同时，也把目光投向了周期表中铜旁边的镍，镍氧化物因此被广泛

关注，并被寄予厚望，人们希望制备出以镍为基础的类似高温超导材料。

除上述用途外，镍还可以作为 5 美分硬币的制作材料，正是这个原因，5 美分也被称为“镍币”（王岩等，2020）。

人体必需 过犹不及

镍是人体必需的微量元素，在人体内含量极微，直到 1974 年才被证明是人体必需的生命元素之一。它影响着某些酶的活性，对维持细胞的氧化还原状态具有重要作用，同时还参与各种生理、生化和生长反应。但生物体对镍的需求量是有限的，超出一定的范围就会对生物体产生多种毒害作用。

人类每天对镍的需求大约在 5~50 微克之间，长期暴露在镍环境下会导致皮肤过敏，出现化脓、溃烂等现象，过量的镍还可能会诱发多种癌症。镍缺乏可引起糖

尿病、贫血、肝硬化、尿毒症、肾衰、肝脂质和磷脂质代谢异常等病症。

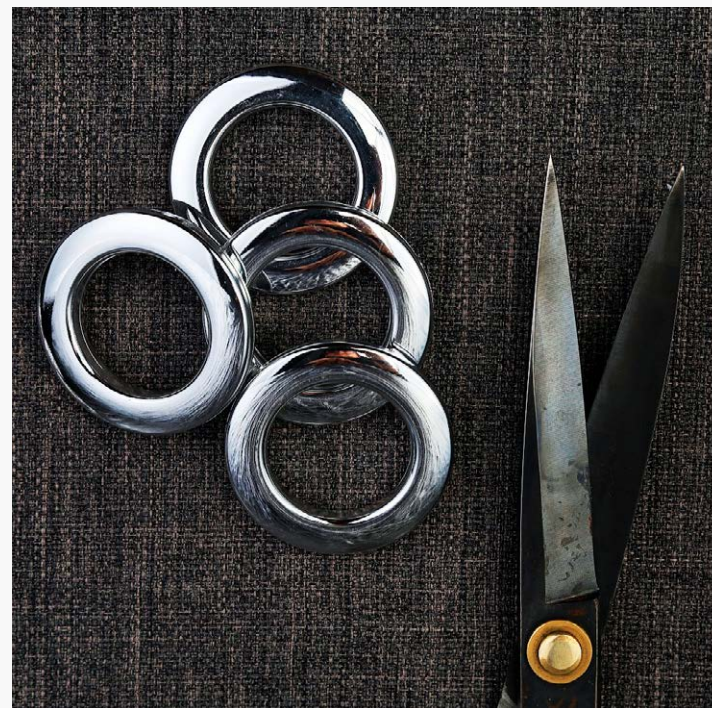
同样地，镍广泛分布于植物界，是植物生长所必需的微量营养元素。生长在超基性岩和蛇纹岩风化的土壤中的植物镍含量显著高于正常值。植物对镍很敏感，镍盐可以作为杀菌剂。最初人们把镍盐作为杀菌剂利用在植物上时，发现对植物生长有促进作用，特别是少量的镍对松树幼苗、小麦、棉花、豌豆、向日葵的生长有刺激作用。此外，还发现镍可促进大豆、小麦、菜豆、豌豆种子的萌发，植物缺镍时生长发育受到抑制，甚至不能完成生命周期。植物主要从土壤中吸收镍，不同土壤类型中的镍含量及其有效性不同，而且受成土母质及工业活动等影响。

镍是引起我国土壤污染的八大重金属之一。镍的冶炼、生产环境也会造成镍粉尘的大量释放，危害人体健康。镍冶炼工人易患鼻咽癌和肺癌。经世界卫生组织调查，全球最大的镍生产基地俄罗斯诺里尔斯克市（Norilsk）的居民平均寿命低于俄罗斯全国平均寿命的主要原因就是镍的排放与污染。目前镍释放已成为欧美国家重点关注的环保事项之一。镍释放途径包括：金属矿产的开采、金属的冶炼、化石燃料的燃烧、农药和化肥的施用、车辆废气排放、房屋拆迁废物的处理、垃圾的堆放与焚烧，等等。

战略资源 当以长计

我国镍原料对外依存度高达 90%，进口镍矿总量占全球镍矿进口贸易的 92.1%，长期依靠从印度尼西亚（下文简称“印尼”）和菲律宾两个国家大量进口原矿来支撑国内庞大的原生镍产能需求和消费需求。印尼政府 2014 年颁布法令禁止出口原生镍矿，但是可以销售镍铁合金。于是，中国企业开始在印尼投资镍铁项目，全球镍铁冶炼中心逐渐从中国向印尼转移。印尼由镍矿供应逐步转变成镍铁合金出口，主要进口国依然是中国。我国作为镍金属消费大国，因镍资源的匮乏，国内产量只能维持在约 12 万吨，几乎全部来自甘肃金川铜镍硫化物矿床，每年需要大量进口镍金属资源以满足经济发展所需。

镍虽然重要，而在 2017 年前，尚未获得如今的战略地位，关于镍资源的统计仅停留在硫化镍矿的基础上，红土镍矿只被少量统计。之后，在以中国青山集团为代表的中国企业在印尼开展大规模红土型镍矿的投资后，红土型镍资源陆续被纳入统计范畴，2021 年全球镍产量和可采储量上升至 270 万吨和 9500 万吨。而印尼本身的镍产量和可采储量也由 2017 年的 16.5 万吨和 450 万吨上升至 2021 年的 100 万吨和 2100 万吨。



生活中含镍合金工具 图片来源: Veer 图库

在印尼红土型镍矿投资的热潮下，全球镍金属供应商的分布格局也发生了较大变化。从全球及中国镍主要生产厂来看，2020 年全球镍金属主要生产家有中国青山集团、俄罗斯诺里尔斯克镍业、巴西淡水河谷、江苏德龙镍业、中国金川集团、必和必拓等公司，这 6 家公司的镍产量占全球产量的 60% 以上份额。其中，中国青山集团、江苏德龙镍业是依靠红土镍矿一举成名的不锈钢生产企业，其他 4 家企业则均属于之前的传统硫化镍生产商。

受地缘政治冲突的影响，许多大宗商品价格发生大幅度波动，几乎所有基本金属矿产及其产品价格几日内出现暴涨现象。其中，金属镍价格的变化更是前所未有的，2 日内上涨近 4 倍，从不到 3 万美元 / 吨上涨至超过 10 万美元 / 吨，并带动锌价和铜价创历史新高。随着人类对宜居地球的向往，环境保护必将得到更多的重视，“小而精”产品也将受到更多的青睐。镍在战略性新兴产业中，尤其是电池领域的需求会越来越多。我国镍资源现状短时间内不会得到改善，所以要建立长期稳定且有效的镍供给链，保证国内大循环中制造业的平稳运行。

本文由 中国地质调查局“中国矿产地质志（编号：DD20160346、DD20190379、DD20190173、DD20190379-99）”项目资助。

第一作者单位 / 中国地质科学院
矿产资源研究所

（本文编辑：张佳楠）