



# 神奇而低调的锰——社会生活中的“配角”\*

徐一帆,董志国,王长乐,张连昌\*\*

中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029

我们生活中有一种元素,虽然它常不是主角,但很多时候都有它的身影,从新能源电池到高铁的轨道,从不锈钢保温杯到计算机磁盘,从农业饲料到医药消毒剂(赵民, 2022)。虽然它总是显得那么低调又那么不起眼,像一位无足轻重的配角,事实上,这位配角却发挥着许多不可替代的作用,它就是“锰”。

## 1 锰的发现及其化学属性

锰,黑色金属家族中重要成员之一,尽管如今锰伴随着人类的发展,与我们的生活息息相关,但在18世纪70年代之前,人们对锰还知之甚少,原因在于它常常变化身形,隐匿于多种化合物中,使其极易被忽视。

1774年,瑞典科学家甘恩(图1)从他的朋友舍勒提纯过的软锰矿粉,与木炭和油等一起在坩埚中加热1小时后,最终首次分离出纯的金属锰。后来又经过3年研究,甘恩确定软锰矿为一种新金属的氧化物,并把这种新金属定名为锰(Manganese),从此被我们所熟知的锰家族就正式以“Man-

ganese”的称号登上了历史舞台。

锰元素符号为Mn(图2),位于元素周期表中第四周期第七副族,原子序数为25,原子量54.938。熔点1244℃,沸点2060℃。锰是一种非常活泼的金属,可以直接和水反应放出氢气。锰通常与铁、铬合称为“黑色金



图1 首位提炼出金属锰的科学家约翰·戈特利布·甘恩

— 54.93804	25	— 原子序数
— 717.3	1.55	— 电负性
— 第一电离能(kJ/mol)		— 拼音
— 化学符号	Mn	— 中文名称
— 名称	Manganese	— 价态
— 核外电子排布	[Ar] 3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>	

图2 锰元素及其化学性质

属”,但纯净的金属锰并非黑色,而是呈银白色金属光泽(图3),是一种硬度和脆性都很高的金属,因其金属性质活泼,在空气中若长时间暴露会被氧化生成氧化物覆盖层,看起来显得发黄甚至发黑(图3);在加热条件下,锰常氧化形成层状氧化锈皮,这种氧化膜比较复杂,外层主要是黑色的四氧化三锰和棕黑色的二氧化锰。这些氧化物的黑色,以及锰与铁形成的黑色合金钢,是锰被归类为“黑色金属”的原因。

## 2 锰矿物与锰矿类型

### 2.1 锰矿物

锰是一种亲石元素,它以氧



图3 锰立方体与在空气中氧化后的电解精炼锰

\* 本文得到国家自然科学基金项目(编号:U1703242和编号:42302081)的联合资助

第一作者简介 徐一帆,男,2001年生,研究生,地质学专业。Email:222794728@qq.com

\*\* 通讯作者 张连昌,男,1959年生,博士,研究员,主要从事矿床地质与地球化学研究。Email:lczhang@mail.iggcas.ac.cn

收稿日期 2023-06-22;改回日期 2023-08-09。赵海杰编辑。

化物(氢氧化物)和含氧盐形式广泛分布于自然界中。地壳中锰的平均含量为0.085%,目前已经被人类发现的锰矿物和含锰矿物达150多种,自然界中最常见的锰矿物有20多种,超过30多种矿物可以供工业利用,主要是锰的氧化物和碳酸盐矿物,锰氧化物主要有软锰矿、硬锰矿、黑锰矿、褐锰矿、水锰矿等(Emsley, 2013)。锰的碳酸盐矿物主要有菱锰矿、锰白云石、锰方解石等。锰的硫化物有硫锰矿和褐硫锰矿等。锰的硅酸盐矿物有蔷薇辉石、钙蔷薇辉石、锰橄榄石和锰石榴子石。锰硼酸盐矿物主要有锰方硼石。

**菱锰矿:**热液成因的菱锰矿多呈菱形晶体形态,在结晶较好的情况下常呈现出漂亮的红色或肉红色(图4)。但自然界多为沉积成因,一般呈隐晶质集合体。具有优美的色泽的菱锰矿被誉为“印加玫瑰”。英文名称 Rhodochrosite 来自希腊语 rhodon 和 chrosis,寓意矿物的玫瑰色特征,商业名称为“红纹石”。有的菱锰矿晶体非常漂亮,如2009年在广西梧州苍梧县发现的被誉为中国“皇后”的菱锰矿晶体(图5),宛似一朵红玫瑰,美丽动人,震惊中外。

**软锰矿:**软锰矿具有金属光泽,颜色主要呈钢灰色至黑色,多呈块状、肾状或松散土状,有时呈放射纤维状(图6a)。尽管名为软锰矿,但实际上并不软,结晶较好的软锰矿具有与小刀接近的硬度。此外,还有一种软锰矿常呈现出树枝状附于岩石表面或裂隙中,形似化石,被称为假化石(图6b),实际上,它是含氧化锰的溶液沿着岩石中的裂缝渗透沉淀而成的产物。

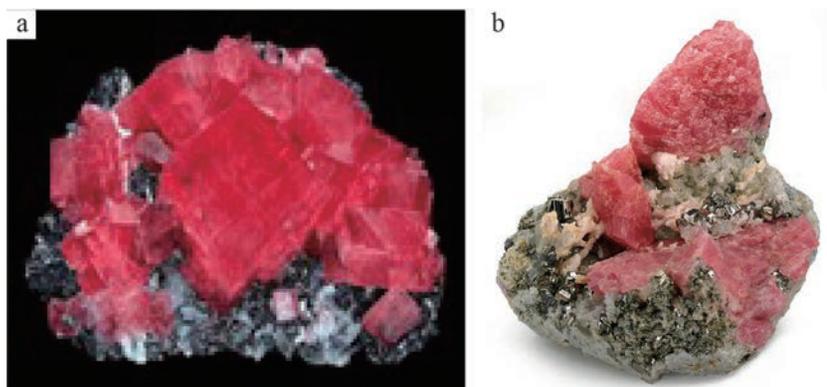


图4 自然界的菱锰矿  
a. 呈红色的菱锰矿; b. 呈肉红色的菱锰矿



图5 中国“皇后”菱锰矿晶体

**硬锰矿:**硬锰矿的颜色多为黑色,通常为钟乳状、肾状、葡萄



图6 软锰矿和硬锰矿  
a. 纤维状软锰矿; b. 树枝状“假化石”; c. 葡萄状硬锰矿



图7 蔷薇辉石的典型照片  
a. 淡粉红色蔷薇辉石; b. 红色蔷薇辉石; c. 蔷薇辉石雕塑品

状集合体(图6c),也有的为树枝状、致密块状集合体,其硬度与结晶较好的软锰矿相当。

**蔷薇辉石:**蔷薇辉石是一种含锰铁的硅酸盐矿物。矿物晶体呈板状或板柱状,呈浅粉红到红色、玻璃光泽。蔷薇辉石又称玫瑰石,可作装饰品或雕塑品(图7a~c)。蔷薇辉石在各类锰矿床中均有产出,它的形成往往与区域变质作用有关,是变质作用的产物,有时在热液矿床中也可

见蔷薇辉石,作为菱锰矿受接触交代作用的产物与其他锰矿物、硫化物等共生。

## 2.2 锰矿床类型及其形成模式

全球主要的锰矿床按照成矿作用可大致划分为海相沉积型、火山-沉积型、沉积变质型、溶液型和表生型,其中海相沉积型和沉积变质型锰矿的储量占比超过90%,是当今陆地锰资源最为主要的产出形式和工业开采对象(Maynard, 2010; 2014; 阴江宁等, 2014; 程相, 2021)。

海相沉积型锰矿床的形成环境主要在古陆边缘浅海地带,其成矿受古海洋沉积环境的影响,主要成矿时代为新元古代和晚古生代—中生代。矿体多呈层状、透镜状,赋矿围岩包括黑色页岩、碎屑岩以及碳酸盐岩,由滨海向海盆深处由碎屑岩向碳酸盐岩过渡,矿石矿物以菱锰矿为主,少量氧化锰。全球绝大部分的海相沉积型锰矿在工业价值上占有主导地位,位于乌克兰的尼科波尔和大托克马克锰矿床、澳大利亚的格鲁特艾兰锰矿床等矿石储量均达上亿t(Roy, 2006)。中国海相沉积型锰矿占锰矿总储量的70%以上(丛源等, 2018),最具代表性的为贵州松桃锰矿床和广西下雷锰矿床,富锰矿物主要为碳酸锰和氧化锰等(程湘, 2021)。

乌克兰尼科波尔盆地位于第聂伯河右岸尼科波尔城北,拥有着世界上最大的锰矿地层之一,是一个重要的锰成矿区域,该成锰盆地主要由前寒武纪的结晶基底和白垩纪—第四纪的沉积盖层组成,其中发育大量沉积型锰矿,矿床的形成与渐新世黑海盆地浅海沉积作用相关(程湘, 2021)。矿体呈

层状或透镜状,赋存在砂岩和黏土岩中(图8),埋藏深度为80~100 m,东西延伸约250 km,厚度平均1.5~2.5 m,锰储量超过10亿t。矿石矿物包括水锰矿、软锰矿、硬锰矿、锰方解石和菱锰矿等。

沉积变质型锰矿的沉积环境主要在前寒武纪古老地盾,大型沉积型锰矿床由于受到变质作用使得原生的含锰矿物脱水和重结晶,原生的锰碳酸盐或锰氧化物转变成锰的硅酸盐,因此,这类锰矿的形成与前寒武纪含锰的硅酸盐岩石(锰榴石英岩和铁英岩)、碳酸盐岩石(叠层状灰岩、白云岩和铁英岩)有关。沉积变质型锰矿主要分布在巴西、南非、澳大利亚、津巴布韦、加拿大、印度等国(Ghosh et al., 2015),代表性矿床有南非卡拉哈里锰矿床、巴西米纳斯锰矿床、澳大利亚皮尔巴拉锰矿床等。其主要的矿石矿物包括软锰矿、黑锰矿和硬锰矿等。

从地球演化历史看,沉积(变质)型锰矿的分布不均匀。古元古代、新元古代和显生宙是沉积型锰矿的3个成矿爆发期,其中

前两个成矿期与大气的阶段性增氧事件具有很好的对应性,而最后一个成矿期与显生宙海洋缺氧事件存在一定的耦合关系(图9)。3次成矿高峰期所形成的沉积型锰矿都大致集中在一些特定的区域,其中古元古代锰矿主要分布在南非、西非和巴西;新元古代锰矿主要集中在华南、巴西和印度;而显生宙锰矿主要分布在中国、澳大利亚、东欧和北美。上述这种时空分布特征表明沉积型锰矿的形成并不仅受控于全球性因素(如大气圈氧含量),还与诸多区域性因素(如盆地古地理、水化学结构等)存在密切的成因联系(Maynard, 2010; 徐林刚, 2020)。

为什么全球锰矿的形成具有显著不均匀性?其形成模式是人们关心的热点话题。一个完整的沉积型锰矿形成过程包括锰质的来源、锰质的迁移与预富集以及锰质的巨量沉淀成矿。目前提出的成矿模式有3种情况:

第一种情况与前寒武纪重大地质事件(雪球事件)有关。古元古代和新元古代雪球事件期间由

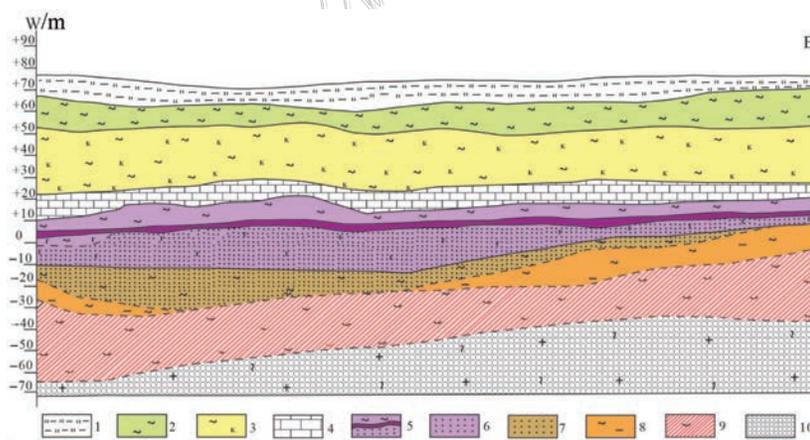


图8 乌克兰尼科波尔锰矿横截面图(据 Ahmet et al., 2020 修改)

1—土壤;2—红棕色黏土;3—灰黑色黏土;4—灰岩;5—钙质黏土、石英砂、锰矿;6—石英-海绿石砂;7—黏土;8—碳质黏土和砂;9—风化壳;10—混合岩、斜长花岗岩

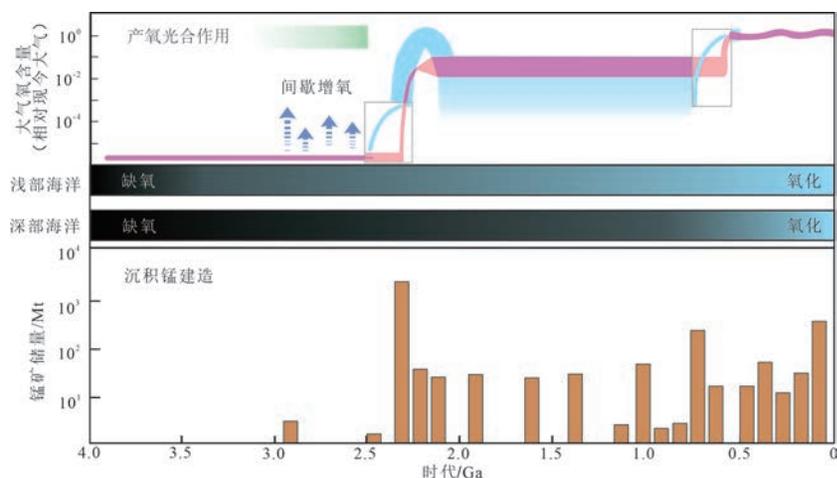


图9 沉积型锰矿的时代分布特征及其与大气-海洋氧化还原状态的耦合关系(董志国等, 2020)

于全球的海洋大范围地被冰层所覆盖,导致海水在此期间整体处于缺氧状态,同时期海底的热液活动使得海水中富含大量 Mn(II)离子,而在间冰期因密度差异下层高密度的冰封水与上层低密度的冰融水无法充分结合,海水的垂向循环受限,以致海水出现了明显的氧化还原分层(Meyer et al., 2008),南非卡拉哈里锰

矿和中国华南新元古代大塘坡式锰矿的成矿推测主要受控于这种机制(图 10a)(董志国等, 2020)。

第二种情况出现在局限盆地,也称“幕式通风”成矿模式(图 10b)。这种盆地被水上或水下隆起隔绝在开放海洋之外,由于和广海的沟通受限,盆内表层水和深部水之间常出现密度分层,且深水中一般会含有 H<sub>2</sub>S(即缺氧

硫化环境),现代的黑海与波罗的海就是这种情况。盆地越局限,越有利于 Mn(II)离子的聚集和铁锰之间的彻底分离,形成的矿体也就越厚。Maynard (2010) 提出很多大型沉积型锰矿似乎都是在局限盆地中形成的。

第三种情况与最小含氧带扩张有关,也称“浴缸边”模式(图 10c)。洋流上涌、海侵事件、火山活动等带来的丰富营养物质使初级生产力升高,大量沉降的有机质对氧气的消耗远超过氧气的补给速率,由此导致最小含氧带扩张并形成表层氧化-中层贫氧-深层氧化的水体结构,比如现代的巴拿马盆地和安哥拉盆地形成的沉积型锰矿或富锰沉积岩系(董志国, 2020)。Hein 等(1999)认为中国早寒武世天台山磷锰矿床的形成和最小含氧带扩张存在联系。

### 3 锰元素的应用与市场前景

锰的用途非常广泛,世界上大约 90% 通过生产锰铁或硅锰的途径用于炼钢工业, 1.5% 用于其他冶金工业,作为脱氧剂、脱硫剂及制造锰系合金,是钢中含量仅次于铁的元素,另外 6%~8% 锰用于非冶金工业,在电池工业、陶瓷工业、化学工业等重要领域也发挥着巨大作用(图 11)。将少量的锰加入铝中制作成合金,可以大幅度提高铝的耐腐蚀性,从而成为制作易拉罐的理想材质。

#### 3.1 特种材料—锰钢

锰钢是一种特殊性的钢材,是 1883 年由英国谢菲尔德大学的 24 岁的冶金学家罗伯特·哈德菲尔德(Robert Hadfield)发明,锰

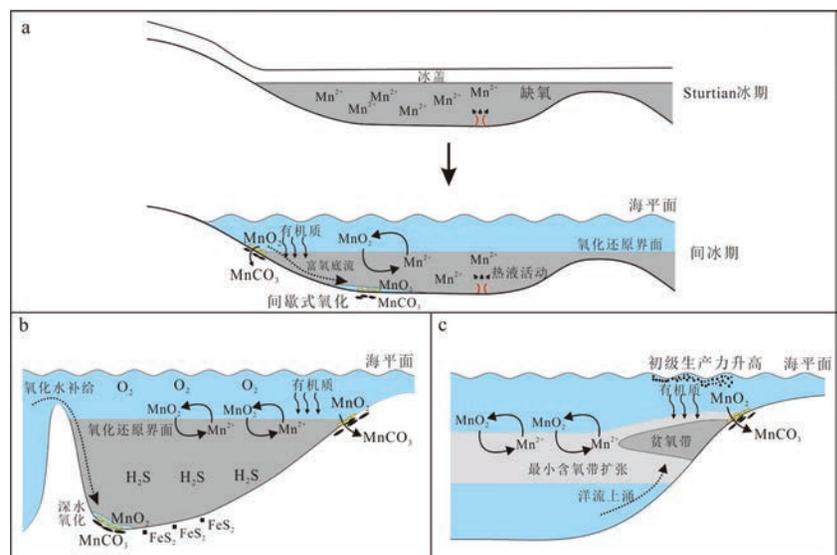


图 10 沉积型锰矿的 3 种经典成矿模型

a. 与前寒武纪雪球事件有关的成矿模式(改自 Yu et al., 2016); b. 局限盆地环境“幕式通风”成矿模式(Maynard, 2010; 2014); c. 最小含氧带扩张有关“浴缸边”模式(改自 Maynard, 2010)

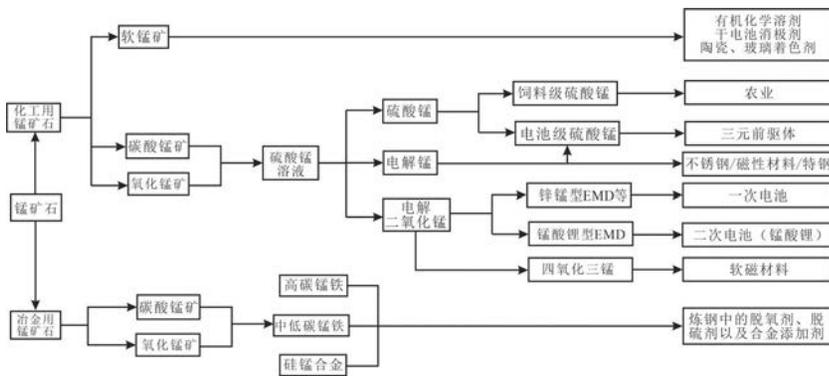


图 11 锰的产业链图示(来自网络资料)

钢表现出与碳钢截然不同的特性使得它在商业上取得了成功与认可。实践证明锰钢能够承受巨大的冲击和挤压并且能经受住长期的磨损,此后被常用于铁轨、桥梁、保险柜、军盔、坦克钢甲、枪管等多种用途。

俗话说得好,无锰不成钢,锰在钢铁工业中的地位可见一斑。由于锰自身特性,如纯净的金属锰比铁稍软且脆,潮湿处会氧化,一般不会让其“单打独斗”,在炼钢中,通常以锰制合金、锰金属、优质锰矿石等形式加入钢水中形成特殊结构的钢材使用,具有脱氧、脱硫及阻止钢的粒缘碳化物形成等作用(图 12),可以提高和改善钢材的硬度、强度、耐磨性、韧性和可淬性。坐落于上海市中心的文化广场观众厅网架结构和



图 12 炼钢过程中加入锰矿石(无锰不成钢)(来自网络)

上海体育馆,就是由锰钢钢管焊接而成。

2020年,中国宣布力争2030年前达到二氧化碳排放量峰值,并力争2060年前实现碳中和。中锰钢是近年来出现的新型钢铁材料,因为其优异的力学性能被认为是第三代汽车用钢。中锰钢作为一种先进轻质高强钢,主要应用于汽车结构件、安全件和加强件(图 13),这为汽车轻量化提供了更多潜力,并使汽车降低能耗减少排放成为可能。所以,大量开发应用先进锰钢不仅为汽车轻量化带来显著效果,也对实现整体碳达峰和碳中和战略目标具有现实意义(任辉等,2022)。

### 3.2 有色冶金方面

在有色冶金方面,锰主要在湿法冶炼中作氧化剂(常用二氧化锰和高锰酸钾)和作合金元素(常用金属锰或优质锰铁等)两种



图 13 中锰钢被应用于汽车结构件、安全件和加强件(来自网络)

途径。以锰为基础加入其他元素如铜、镍、铝、镁等生成的合金材料,一定程度上能起到耐热、耐腐蚀的效果。

### 3.3 便携式电源-电池

干电池是一种以糊状电解液来产生直流电的化学电池。常见的有普通锌-锰干电池、碱性锌-锰干电池、镁-锰干电池、锂-锰干电池(图 14)及镍钴锰汽车电池(图 15)。它们的共同点就是二氧化锰充当其正极的活性物质,随时随地满足人们对电能的需要。由于干电池便于携带,因此成为了我们生活中非常常见的生活用品,不仅适用于手表、剃须刀、电动玩具、笔记本电脑、数码相机、通信设备、遥控车门锁等便携式电子设备,而且适用于国防、科研、电信、航海、航空、医学等各个领域。电池已经诞生了200多年,到目前为止,已经约有100种不同类型的干电池能够随时随地让人享受电能带来的巨大便利。



图 14 锂-锰干电池

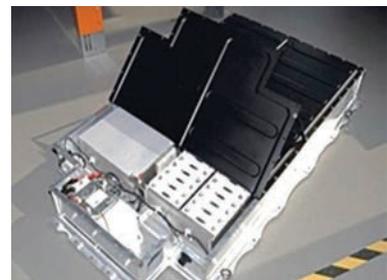


图 15 镍钴锰汽车电池

而锰在干电池家族的发展壮大中发挥着不可替代的作用。

近年来,随着汽车工业的发展,传统燃油汽车尾气排放对空气造成了巨大的污染。为了改变这一局面,国家开始大力扶持发展以锂电池为动力的新能源汽车,随之而来的是对锂电池的需求大大增加,而正极材料对锂电池的性能起着决定性的因素,其产业化水平直接制约着新能源电池领域的发展。锰酸锂电池主要应用于电动自行车、小型电动化工具(比如电钻、扫地机器人、平衡车和无人机等)和续航里程不高的汽车。锰酸锂电池在未来将大有优势。

### 3.4 电子工业方面

随着电子技术的快速发展,电子工业对锰的需求量也不断增加。磁性材料尤其是软磁材料在电子工业中发挥着重要作用,而锰锌铁氧体则是软磁材料中的核心。相比于传统材料的电子元件,用锰锌铁氧体磁芯制造的变压器、线圈、扼流圈等电感器件,具有低损耗、价格低廉等特点。同时在通讯设备、家用电器、即时通讯设备、工业自动化设备等领域取得了非常好的市场前景。

### 3.5 其他方面的应用

在轻工和化工方面,除干电池外,锰的应用还包括玻璃、陶瓷、医药、印染、农业(肥料、杀菌、饲料)、环境保护(水处理、控制大气污染、燃料添加剂)等方面。如医学领域主要是用在消毒剂、制药氧化剂、催化剂等。作为一种强氧化剂的高锰酸钾是医药卫生最常见的消毒剂,浓度达0.1%就能起到有效的杀菌消毒作用,已经成为每一个家庭必备的消毒药品。当然,锰的特性还有很多,应

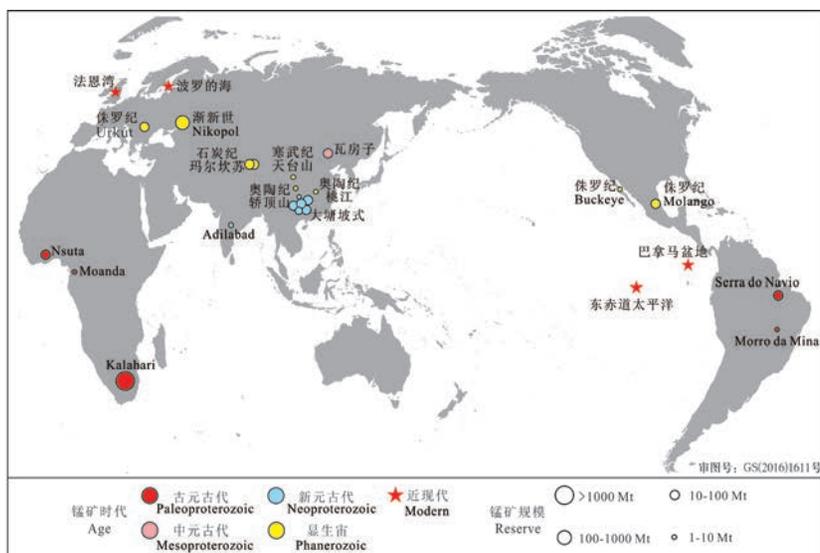


图16 全球锰矿资源时空分布概况图(据Maynard, 2010;董志国等,2020修改)

用天地还非常广阔。相信在不久的将来,伴随科学技术的进步,锰会以更加多元的姿态呈现于我们生活中的方方面面。

## 4 锰矿资源特征与探查现状

锰以各种形态隐匿于自然界中,无论是构成广袤大陆的各种岩石,还是茫茫无垠的大海深处,均有锰的身影。不过大部分只是小有名气,能叫得上名号的当数“菱锰矿”、“软锰矿”、“硬锰矿”和“深海锰结核”了。世界锰矿资源丰富,分陆地上的和海底的两大部分。

### 4.1 陆地资源

全球锰矿资源特点是总量比较丰富,但空间分布不均锰矿床在全球的分布十分广泛,总体储量相当丰富,但空间分布不均,2022年全球陆地锰金属储量约为15亿t(USGS, 2022),大多数富矿都集中于南非、澳大利亚、巴西和乌克兰4个国家(图16、17),四国锰储量占全球锰矿总储量

的85%以上(图17)。全球高品位锰矿(锰含量35%以上)资源主要集中在南非、澳大利亚、巴西和加蓬(孙凯,2022)。

相比于国外锰矿资源,国内锰矿床表现出“小、贫、杂、细”的特点。中国锰矿以中小型矿床为主(储量<200万t)且多数为贫矿(贫锰矿石资源量占全国的94%),锰矿石品位较低,富锰矿石仅占6%。中国锰矿物质组分复杂,矿物颗粒一般细而难选,技术加工性能差,矿石中磷、硫、铁、硅、钴、镍等含量高,且为粒度细、硅质成

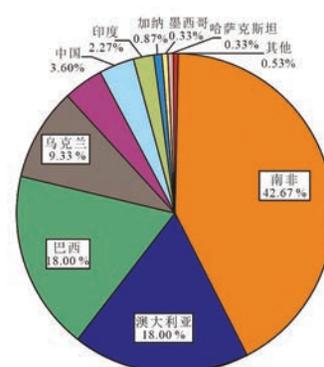


图17 世界主要锰资源大国储量占比图(USGS, 2022)

分较高的高磷、高铁锰矿石(付勇等, 2014; 丛源等, 2018; 孙宏伟等, 2020; 赵宏军等, 2022; 孙凯等, 2022)。近年, 贵州地矿局等单位综合运用建立的地质、地球化学和地球物理勘查方法, 在黔东松桃地区先后新发现了道坨、西溪堡、桃子坪等超大型锰矿床, 使黔东地区成为新的世界级锰矿资源富集区, 这些锰矿, 不仅规模大, 局部还存在一定规模的富矿体(周琦等, 2013)。近期在新疆西昆仑玛尔坎苏地区勘查发现的锰矿具有规模大、品位富、优质的特征(张连昌等, 2022), 其锰矿石平均品位为 30%~50%, 资源储量大于 4000 万 t, (查斌等, 2019)。可见, 寻找大矿和富锰矿是当前中国地质工作者的一项迫切任务。

#### 4.2 海底锰矿资源

早在 1873 年, 英国的海洋考察调查船“挑战者号”就在非洲西北加那利群岛外洋的费罗岛海域采集海底沉积物时偶然发现了一些深褐色形似土豆的物体, 重量几十到数百克不等(图 18)。1882 年, 英国地质学家雷纳对这些样品开展分析, 发现含有大量氧化锰, 还存在着铁、镍、铜、钴等多金属的化合物。切开剖面来看, 其中这种团块是以岩石碎屑、动、植物残骸的细小颗粒为核心, 周围则是像树木年轮一样层层环绕的同心层结构(图 19)。此后, 这种

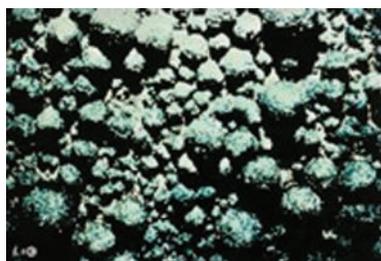


图 18 深海锰结核



图 19 深海锰结核切面及其表面

以锰为主, 富含多种金属的球体被命名为“锰结核”。自此 100 多年后, 在大西洋、印度洋、太平洋, 尤其是北太平洋海底发现了大量锰结核的身影(图 20)。20 世纪初, 美国海洋调查船“信天翁号”在太平洋东部的许多地方采到了锰结核, 由于美国的锰矿资源严重依赖进口, 对于锰结核开采需求迫切, 因此美国锰结核开发的技术一直处于世界领先地位。中国则在 20 世纪 70 年代中期陆续组织开展了对周围海域大洋锰结

核的调查。1978 年, “向阳红 05 号”海洋调查船在太平洋 4000 m 水深海底首次捞获锰结核。2011 年 7 月 30 日, “蛟龙”号水下探测器在第四次下潜时拍到了难能可贵的 5000 m 深的大洋海底的锰结核画面。

锰结核在全球的储量究竟有多少呢? 1981 年, 英国地质博物馆发表了对锰结核的勘探结果, 数据表明全球海底总共有 5000 亿 t 的锰结核, 这一数据一直在更新, 不断增加, 储量堪称一个超级宝库, 根据目前已勘探的结果, 夏威夷西北部的海域锰结核蕴藏量最多, 据国际海底管理局估计, 该区域的锰结核中, 含有 59.5 亿 t 锰, 2.7 亿 t 镍, 2.3 亿 t 铜和 4600 万 t 钴。铜、钴、镍是陆地上紧缺的矿产资源, 有必要开采海底锰结核获取这些金属(Hein et al., 2020)。目前初步查明大洋底部以锰结核的方式蕴藏了约 3 亿 t 锰资源。

锰结核何以能在大洋盆深 4000~5000 m 的深海中出现, 直到现在仍是一个争执不休的话题, 目前科学家还正在研究, 但仍存在诸多疑问。有趣的是, 科学

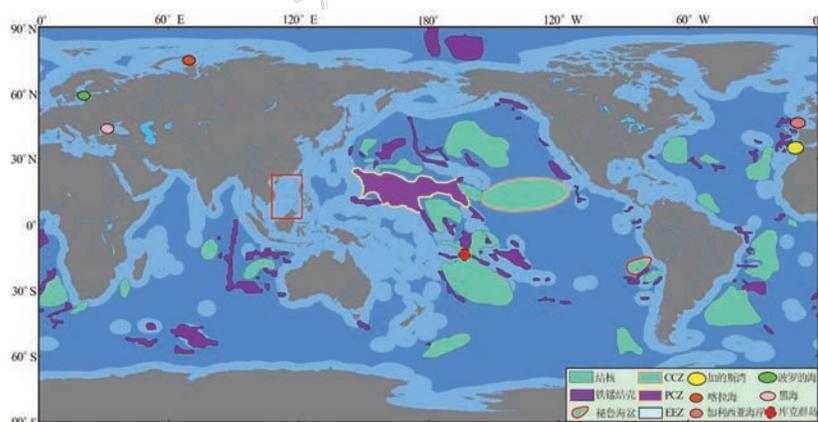


图 20 全球海洋铁锰成矿区分布示意图(殷征欣等, 2019)

CCZ: 东太平洋海盆 CC 区; PCZ: 西太平洋结壳区; EEZ: 200 海里专属经济区

家发现这种锰结核能够自我生长,平均每千年长1 mm;由此推算,太平洋中每年将新生成1000万t锰结核,按照目前的工业消耗量计算,如果从中提炼铜可供全世界用3年,提炼钴可用4年,提炼镍可以用1年。锰结核这种自我生长的特性使其“取之不尽,用之不竭”,摇身一变成为深海中的“宝贝疙瘩”。锰结核有多种形状和大小。它们可以是圆形的、椭圆形的、复合的或扁平的。它们的形状会受到核的形状、周围沉积物的含水量、生长速度以及它们被底栖动物转动或被表底动物移动的频率的影响(Hein et al., 2020)。

根据目前的大洋地质调查情况(图20),锰结核广泛分布于世界各大洋2000~6000 m的海底表层,主要富集于有沉积物覆盖的深海盆地、深海平原和深海丘陵等区域,几乎铺满了海底。锰结核在世界各大洋中以北太平洋分布面积最广,由于太平洋沟-弧-盆体系高度发育,深海海盆的沉积速率较低,因而对结核的生长成矿最为有利。同时,在全球海洋的许多浅水区也发育有多金属结核,如黑海、波罗的海、秘鲁海盆、喀拉海、加勒比海和菲律宾海盆等海域(图20)。

## 5 中国锰资源展望

锰矿是关系到国民经济可持续发展和国家安全的核心和关键,属于大宗支柱型金属矿产。锰矿石同铁、铬矿石一起,被称为钢铁工业的三大基本矿物原料。同时,锰矿也被广泛应用于化工工业、轻工业、电子工业、环境保护、农业等多个领域,对国家经济、国防、民生的发展至关重要。

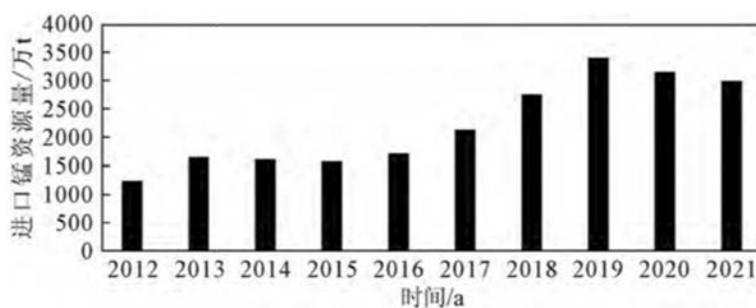


图21 2012~2021年中国进口锰资源量统计(中国海关, 2022)

近年来,锰矿又逐渐成为新时代高端装备制造、新能源电池等新兴低碳产业的关键原料之一,引起了世界主要经济体的高度关注,纷纷将其列入关键矿产的名单(毛景文等, 2019)。

中国是锰矿资源的消费大国,对外依存度长期超过90%,锰矿已是继石油、天然气、铁矿之后,又一涉及国家安全的战略性资源(孙凯等, 2022; 任辉等, 2022)。据中国海关(2022)数据(图21),中国从2012年至2021年进口的锰矿砂及其精矿总量为22257万t,其中,2012年至2019年进口量逐年增加,由1237万t增加至3416万t。受疫情和中国落实“碳达峰”目标的双重影响,2020年和2021年中国对锰矿砂及其精矿的进口呈下降态势,分别为3156万t和2996万t(孙凯等, 2022)。

中国优质锰矿资源缺口很大,近年来,发达国家相继公布了战略性矿产的清单,中国的矿产资源发展受到了一定的影响,从资源战略配置和综合利用两个方面考虑,应统筹好国内和国外两个大局,实施多元化的资源利用策略。一方面立足于国内,在积极寻找大规模、优质锰矿床的基础上,继续开发具有较大潜力的锰矿床;另一方面,通过大量的海

外矿山投资项目,不断加强在海外获得锰矿的能力,同时保障海外供应通道的时刻安全,更加有效地开发利用国外锰矿资源。

同时,大洋锰结核作为未来锰矿资源的开采目标,其中蕴藏了巨量的锰矿资源,即使目前大洋锰结核仅处于研究阶段,还需要一定的研究积累和技术突破才能进行开采一旦条件成熟,应该积极参与大洋锰结核的投资开采中去。

**致谢** 本文得到了赵太平研究员的大力支持与帮助;审稿人对本文进行了细致的评阅,提出了诸多的修改意见,在此一并致以诚挚的感谢。

## 参考文献(References)

- 程湘, 胡鹏, 张海坤, 姜军胜. 2021. 锰矿主要类型、分布特点及开发现状[J]. 中国地质, 48(1):102-119.
- 丛源, 董庆吉, 肖克炎, 陈建平, 高永宝, 阴江宁. 2018. 中国锰矿资源特征及潜力预测[J]. 地学前缘, 25(3):118-137.
- 董志国, 张连昌, 王长乐, 张帮禄, 彭自栋, 朱明田, 冯京, 谢月桥. 2020. 沉积碳酸锰矿床研究进展及有待深入探讨的若干问题[J]. 矿床地质, 39(2): 237-255.
- 付勇, 徐志刚, 裴浩翔, 江冉. 2014. 中国锰矿成矿规律初探[J]. 地质学报, 88(12): 2192-2207.
- 何辉. 2017. 锰矿资源现状与锰矿勘查研

- 究[J]. 中国锰业, 35(1): 23-24.
- 毛景文, 杨宗喜, 谢桂青, 袁顺达, 周振华. 2019. 关键矿产—国际动向与思考[J]. 矿床地质, 38(4): 689-698.
- 孙凯, 张起钻, 朱清等. 2022. 全球锰矿资源特征及供需格局[J]. 矿产勘查, 13(4): 371-286.
- 孙宏伟, 王杰, 任军平, 张伟波, 唐文龙, 吴兴源, 古阿雷. 2020. 全球锰资源现状及对中国可持续发展建议[J]. 矿产保护与利用, 40(6): 169-174.
- 任辉, 刘敏, 王自国, 吴昊, 毛景文. 2022. 中国锰矿资源及产业链安全保障问题研究[J]. 中国工程科学, 24(3): 20-28.
- 徐林刚. 2020. 沉积型锰矿床的形成及其与古海洋环境的协同演化[J]. 矿床地质, 39(6): 959-973.
- 殷征欣, 王海峰, 韩金生, 吕修亚, 沈泽中, 陈静, 贺惠忠, 谢安远, 关瑶, 董超. 2019. 南海边缘海多金属结核与大洋多金属结核对比[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 49(1): 261-277.
- 阴江宁, 肖克炎. 2014. 中国锰矿资源潜力分析及成矿预测[J]. 中国地质, 41(5): 1424-1437.
- 查斌, 张连昌, 张帮禄, 董志国, 王斌, 谢志敏. 2019. 新疆阿克陶玛尔坎苏锰成矿带地质特征及成矿条件分析[J]. 新疆地质, 37(1): 75-84.
- 赵宏军, 张伟波, 陈秀法, 何学洲, 张潮, 陈超, 于永善, 郑喻林. 2022. 非洲锰矿床成因类型、地质特征及表生富集作用[J]. 中国地质, 49(1): 81-102.
- 赵民. 2022. 锰: 低调的黑色金属[J]. 自然资源科普与文化, 33(4): 16-19.
- 中国海关. 2022. 海关统计数据在线查询平台[EB/OL].[2022-4-8].
- 张连昌, 董志国, 张帮禄, 李文君, 彭自栋, 王长乐, 朱明田. 2022. 西昆仑“玛尔坎苏式”富锰矿主控因素及成矿模式[J]. 地质学报, 96(9): 3195-3210.
- 周琦, 杜远生, 覃英. 2013. 古天然气渗漏沉积型锰矿床成矿系统与成矿模式—以黔湘渝毗邻区南华纪“大塘坡式”锰矿为例[J]. 矿床地质, 32(3): 457-466.
- Ahmet S, Vasyly M Z and Bigle S. 2020. Major, trace and rare earth element (REE) geochemistry of the Oligocene stratiform manganese oxide-hydroxide deposits in the Nikopol, Ukraine[J]. Ore Geology Reviews, 126: 1-15.
- Ghosh R, Chakraborty D, Halder M and Baidya T K. 2015. Manganese mineralization in Archean greenstone belt, Joda-Noamundi sector, Noamundi basin, East Indian shield[J]. Ore Geology Reviews, 70: 96-109.
- Emsley J. 2013. Manganese the protector[J]. Nature Chemistry, 5: 978.
- Hein J R, Koschinsky A and Kuhn T. 2020. Deep-ocean polymetallic nodules as a resource for critical materials[J]. Nature Reviews Earth Environment, 1: 158-169.
- Hein J R, Fan D L and Ye J. 1999. Composition and origin of Early Cambrian Tiantaishan phosphorite-Mn carbonate ores, Shaanxi Province, China[J]. Ore Geology Reviews, 15(1-3): 95-134.
- Maynard J B. 2010. The chemistry of manganese ores through time: A signal of increasing diversity of earth-surface environments[J]. Econ. Geol., 105(3): 535-552.
- Maynard J B. 2014. Manganiferous sediments, rocks, and ores[A]. In: Holland H D and Turekian K K (Eds.), Treatise on geochemistry[M]. (Second Edition). Oxford: Elsevier, 327-349.
- Meyer K M and Kump L R. 2008. Oceanic euxinia in Earth history: Causes and consequences[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 36: 251-288.
- Roy S. 2006. Sedimentary manganese metallogenesis in response to the evolution of the Earth system[J]. Earth-Science Reviews, 77(4): 273-305.
- USGS. 2022. Mineral commodity summaries 2022: Mineral Commodity Summaries, Reston: 2022202.
- Yu W C, Algeo T J and Du Y S. 2016. Genesis of Cryogenian Datangpo manganese deposit: Hydrothermal influence and episodic post-glacial ventilation of Nanhua Basin, South China[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 459: 321-337.
- Zha B, Zhang LC, Zhang BL, Dong Z G, Wang B and Xie Z M. 2019. Geology characteristic and metallogenic conditions of the manganese ore belt in Maerkansu, Aketao, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 37(1): 75-84(in Chinese with English abstract).
- Zhao H J, Zhang W B, Chen X F, He X Z, Zhang C, Chen C, Yu Y S and Zheng Y L. 2022. Genetic types, geological characteristics and genetic mechanism of manganese deposits in Africa[J]. Geology in China, 49(1): 81-102(in Chinese with English abstract).