

国外近 20 年铜镍锂钴勘查进展



陈喜峰^{1, 2)}, 施俊法¹⁾, 唐金荣^{1, 2)}, 张伟波^{1, 2)}, 杨宗喜¹⁾, 张振芳^{1, 2)}

1) 中国地质调查局发展研究中心, 北京, 100037;

2) 中国—阿拉伯国家地学合作研究中心, 北京, 100037

内容提要:新能源汽车产业的快速发展带动了铜、镍、钴、锂等典型新能源矿产消费快速增长,未来需求仍将强劲,但供需矛盾日益突出、地缘政治属性不断增强、大国间竞争日益激烈,开展国外近 20 年来新能源矿产勘查进展研究,对深化新能源矿产基础地质研究、优化我国全球新能源矿产全产业链布局和指导中资企业进行境外新能源矿产矿业投资均具有重要意义。笔者等对国外近 20 年铜、镍、钴、锂 4 种矿产勘查进展的总体形势、主要国家与地区勘查进展、勘查新发现重要矿床分布特征、重要矿床勘查新进展、取得勘查进展的主要矿床类型与成矿带等进行了系统研究,结果表明:①铜、镍、钴、锂的近 20 年资源总量净增量均在 1 倍以上,尤其是锂矿增量达 2 倍多,但净增量均高度集中于少数国家;②斑岩型铜矿、红土型镍矿、砂页岩型铜钴矿、盐湖卤水型锂矿分别是铜、镍、钴、锂等矿产勘查进展贡献最大的矿床类型;③环太平洋铜多金属成矿带、东南亚镍矿带、中非铜钴矿带、“南美锂三角”锂矿带分别是铜、镍、钴、锂等矿产勘查进展贡献最大的成矿带;④大型矿业公司掌控大部分勘查增量;⑤产生了一些新兴的铜、镍、锂、钴等矿产资源国家。未来,中国应加快统筹优化境外铜、镍、锂、钴的矿业全产业链布局,新兴国家可作为新支点。

关键词: 新能源矿产; 勘查进展; 铜矿; 镍矿; 锂矿; 钴矿; 国外

随着新一轮科技革命、全球能源转型和新能源汽车产业的快速发展,动力电池技术是当前最有应用前景的低碳储能技术之一(汪鹏等, 2021),带动了铜、镍、钴、锂 4 种典型新能源矿产消费快速增长,2023 年全球对锂、镍、钴等金属的需求同比增长了 15%~30%,国际能源署(IEA)预计到 2040 年全球对锂、镍、钴的需求相比 2023 年分别增长 630%、84%和 95%,而且未来需求将会大幅激增(唐金荣等, 2024);据世界银行预测,到 2050 年,世界对锂、钴、镍等矿产的需求可能会增长 500%(World Bank Group, 2024),供需矛盾将加剧,新能源矿产成为大国间国家战略层面竞争愈发激烈的制高点。当然,也许有更新的更高效的能源储存形式。我国铜、镍、钴、锂等矿产资源禀赋总体不佳,对外依存度均在 70%以上,如何保障新能源矿产的安全、可持续供给已成为关乎国家能源资源安全的重要战略问题;放眼全球,高质量实施境外新能源矿产的全产业链布局迫在眉睫。以往关于铜、镍、钴、锂等矿产的研究基本涵盖了地质矿产及相关产业的各个方面,研究成果不胜枚举。但尚未见有对国外近 20 年铜、镍、

钴、锂等矿产勘查进展的系统研究,使读者无法从整体上对其勘查进展的总体形势、勘查新发现重要矿床及其分布特征、勘查增量分布格局、取得勘查进展的主要矿床类型与成矿带等内容有全面系统的了解。笔者等开展相关研究,以期为深化新能源矿产基础地质研究、优化我国全球新能源矿产全产业链布局和指导中资企业进行境外新能源矿产矿业投资提供有益参考。

1 国外近 20 年铜镍锂钴勘查进展总体形势

2005 年以来,随着战略性新兴产业、高科技产业和全球能源绿色低碳转型等重大事件的发展对铜、镍、钴、锂等矿产需求的持续增长,使这些矿产的勘查开发进入快速发展阶段,促进国外勘查取得重要进展(表 1)。

从资源总量[储量+资源量;说明:2020 年,中国实施的《固体矿产资源储量分类》(GB/T 177-2020)标准规定资源量包括储量,但鉴于笔者等数据来源较多,文中的所有资源量均不包括储量,后

注:本文为中国地质调查局“战略性矿产资源政策与投资环境评价”项目(编号:DD20211404)的成果。

收稿日期:2025-02-07;改回日期:2025-03-14;网络首发:2025-03-20;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2025.03.055

作者简介:陈喜峰,男,1979 年生,博士,正高级工程师,主要从事矿床学与矿产资源战略研究;Email: chen6100117@126.com。

同]净增量看,相较20年前,国外铜、镍、钴、锂等矿产的资源总量均大幅增长。铜矿由2004年的1207 Mt增长至2024年的2899 Mt,净增长1692 Mt,增长率为140.18%;同期,镍矿由189 Mt增长至405 Mt,净增长216 Mt,增长率为114.29%;钴矿由12.42 Mt增长至30.24 Mt,净增长17.82 Mt,增长率为143.41%;锂矿由105.68 Mt(Li₂O,下同)增长至320.81 Mt,净增长215.13 Mt,增长率为203.57%(USGS, 2005, 2024; S&P Global Market Intelligence, 2025);相比较而言,锂矿增幅最大。

铜矿资源总量净增量主要来自“2洲、9国”。从大洲看,铜矿净增量主要来自南美洲及北美洲,贡献占比为48.86%和14.43%,合计占比为63.29%,其次依次为欧洲、非洲、亚洲和大洋洲,贡献占比为11.14%、10.34%、8.15%和7.09%。从国家看,铜矿净增量主要来自智利、美国、秘鲁、刚果(金)、澳大利亚、加拿大、阿根廷、墨西哥和俄罗斯等9国,合计占比为74.08%;其中,前三国合计占比为47.11%,智利贡献最大,占比为26.15%。

锂矿资源总量净增量主要来自“2洲、5国”。从大洲看,锂矿净增量主要来自南美洲和北美洲,贡献占比为45.64%和32.95%,合计占比为78.59%,其次依次为欧洲、大洋洲、非洲和亚洲,贡献占比为7.16%、6.90%、6.87%和0.48%。从国家看,锂矿净增量主要来自阿根廷、美国、加拿大、玻利维亚、智利和澳大利亚等6国,合计占比为82.10%;其中,阿根廷贡献最大,占比为21.14%。

镍矿资源总量净增量主要来自“3洲、9国”。从大洲看,镍矿净增量主要来自亚洲、大洋洲和北美洲,贡献占比为32.96%、21.04%和20.26%,合计占比为74.26%,其次依次为欧洲、非洲和南美洲,贡献占比为11.96%、7.46%和6.32%。从国家看,镍

矿净增量主要来自印度尼西亚、加拿大、菲律宾、俄罗斯、巴西、新喀里多尼亚、瑙鲁、南非、美国等9个国家和地区;其中,前三国合计占比为46.09%,印度尼西亚占比最多,为21.72%。

钴矿资源总量净增量主要来自“1洲、1国”。从大洲看,钴矿净增量主要来自非洲,贡献占比为58.26%,其次依次为大洋洲、北美洲、亚洲、欧洲和南美洲,贡献占比为14.01%、13.94%、8.29%、3.47%和2.03%。从国家看,钴矿的净增量主要来自刚果(金)、加拿大、瑙鲁、汤加和印度尼西亚等5个国家和地区,合计占比为93.82%;其中,刚果(金)最多,达61.27%。

2 国外近20年铜矿勘查重要进展

2.1 主要国家与地区勘查进展

从对国外铜矿增储的贡献看,2005~2024年,国外铜矿勘查新增铜1850 Mt(储量+资源量,下同)(表1),约占目前国外铜总量的60.88%。

从国家看,2005~2024年,国外约有89个国家(地区)不同程度地取得铜矿勘查新进展,以智利、加拿大、秘鲁、墨西哥、澳大利亚、刚果(金)、美国、俄罗斯等传统的铜矿资源大国为主;其中,铜增量最多的国家是智利,约494 Mt,约占总增量的26.70%,其次为美国、秘鲁、刚果(金)和澳大利亚,铜增量分别约为190 Mt、185 Mt、128 Mt和87 Mt,分别占总增量的10.27%、10%、6.92%和4.70%。其余铜增量超过50 Mt的国家依次为加拿大、墨西哥、阿根廷、俄罗斯;铜增量超过20 Mt的国家依次为哈萨克斯坦、印度尼西亚、赞比亚、厄瓜多尔、蒙古、塞尔维亚、波兰、菲律宾、巴西、巴布亚新几内亚等;铜增量超过10 Mt的国家依次为巴基斯坦、博茨瓦纳、伊朗、巴拿马等(图1)。值得注意的是,厄瓜多尔、

表1 2005~2024年国外铜、镍、钴、锂勘查进展一览表

Table 1 The exploration progress of copper, nickel, cobalt and lithium of overseas from 2005 to 2024

序号	矿种	取得重要勘查进展矿床数量	勘查增量 (储量+资源量)	勘查进展排名前5的国家 (勘查增量/取得勘查进展的矿床数量)
1	铜	372个(铜增量大于500 kt的铜矿床)	1850 Mt	智利(494 Mt/97个)、美国(190 Mt/99个)、秘鲁(185 Mt/88个)、刚果(金)(128 Mt/38个)、澳大利亚(87 Mt/218个)
2	镍	96个(镍增量大于500 kt的镍矿床)	257 Mt	印度尼西亚(54 Mt/16个)、加拿大(36 Mt/65个)、菲律宾(23 Mt/32个)、新喀里多尼亚(20 Mt/2个)、俄罗斯(18 Mt/20个)
3	锂	87个(锂(Li ₂ O)增量大于500 kt的锂矿床)	319 Mt(Li ₂ O)	阿根廷(68 Mt/28个)、美国(54 Mt/28个)、加拿大(46 Mt/35个)、玻利维亚(39 Mt/1个)、智利(32 Mt/8个)
4	钴	38个(钴增量大于100 kt的钴矿床)	23.62 Mt	刚果(金)(11.35 Mt/26个)、印度尼西亚(1.85 Mt/8个)、加拿大(1.82 Mt/44个)、瑙鲁(1.57 Mt/1个)、汤加(1.54 Mt/1个)

注:数据来源于S&P Global Market Intelligence, 2025。

塞尔维亚、巴拿马、瑙鲁、汤加等非传统的铜矿资源国家(地区)在过去 20 年也取得了重要的勘查进展,成为新兴的铜矿资源国,且仍具有较好的勘查找矿潜力,可作为我国未来境外铜矿勘查开发合作的对象之一。

从地区看,2005~2024 年,南美洲是国外铜矿勘查铜增量最多地区,约 815 Mt,占铜总增量的 44.05%,以智利、秘鲁为主;其次为北美洲,铜增量约 348 Mt,占总增量的 18.81%,以美国及加拿大、墨西哥为主。欧洲、非洲、亚洲、大洋洲的铜增量分别约为 206 Mt、2.02 Mt、1.60 Mt 和 1.19 Mt,分别占总增量的 11.14%、10.92%、8.65%和 6.43%。

2.2 勘查新发现大型铜矿床

2.2.1 勘查新发现大型铜矿床概况

从国家看,2005~2024 年,国外勘查新发现大型铜矿床 83 处,分布在智利、秘鲁、澳大利亚、刚果(金)、加拿大、哈萨克斯坦等 30 个国家(地区);其

中,智利是新发现大型铜矿床数量最多的国家,有 19 个,占 22.89%;其次为秘鲁、澳大利亚、刚果(金)、加拿大,其余国家新发现大型铜矿床均在 3 个及以下。

从矿床类型看,勘查新发现大型铜矿床类型以斑岩型为主,其他类型有砂页岩型、矽卡岩型、浅成低温热液型、铜镍硫化物型及 IOCG 型等(表 2)。同时,不同地区新发现的大型铜矿床类型各有侧重,环太平洋成矿带和特提斯成矿带新发现大型铜矿床以斑岩型为主,中非铜钴矿带则以砂页岩型为主。

2.2.2 勘查新发现最大铜矿床

勘查新发现规模最大的铜矿床为智利的洛斯苏尔法多斯铜矿。该铜矿床位于智利圣地亚哥大区的东北部约 50 km 处,由英美资源集团发现于 2007 年,铜资源量 46.15 Mt,Cu 品位 1.12%,目前是世界第 4 大铜矿床。2002 年英美资源集团通过收购获得了该矿山,于 2005~2008 年通过实施 39 个钻孔



图 1 2005~2024 年国外取得重要勘查进展铜矿床分布简图

Fig. 1 Distribution map of copper deposits with important exploration progress of overseas from 2005 to 2024

表 2 2005~2024 年国外勘查新发现主要大型铜矿床

Table 2 The new discovered copper deposits by exploration in overseas from 2005 to 2024

矿田/矿床名称	国家	铜总量(储量+资源量)(Mt)	矿床类型
洛斯苏尔法多斯(Los Sulfatos)	智利	46.15	斑岩型
卡莫阿—卡库拉(Kamoā-Kakula)	刚果(金)	43.69	砂页岩型
帕姆帕埃斯康迪达(Pampa Escondida)	智利	31.86	斑岩型
蒂莫克(Timok)	塞尔维亚	20.01	斑岩型、浅成低温热液型
昂托(Onto)	印度尼西亚	17.25	斑岩型
洛斯阿祖尔斯(Los Azules)	阿根廷	17.07	斑岩型
卡斯卡贝尔(Cascabel)	厄瓜多尔	14.40	浅成低温热液型、砂卡岩型
洛斯·赫拉多斯(Los Helados)	智利	12.07	斑岩型
马图里(Maturi)	美国	11.68	铜镍硫化物型

注:数据来源于S&P Global Market Intelligence,2025;陈喜峰等,2021,2024a;世界矿情·亚洲卷编写组,2023。

表 3 2005~2024 年国外取得重要勘查进展铜矿床

Table 3 The important exploration progress of copper deposits of overseas from 2005 to 2024

矿田/矿床名称	国家	铜增量(储量+资源量)(Mt)	矿床类型
埃斯康迪达(Escondida)	智利	72.74	斑岩型
科亚瓦西(Collahuasi)	智利	64.07	斑岩型
克布拉达布兰卡(Quebrada Blanca)	智利	35.62	斑岩型
腾凯丰古鲁梅(Tenke Fungurume)	刚果(金)	30.63	砂页岩型
莫伦西(Morenci)	美国	30.56	斑岩型
卵石(Pebble)	美国	29.67	斑岩型、砂卡岩型
奥林匹克坝(Olympic Dam)	澳大利亚	28.10	IOCG型
峡谷(Canyon/KSM)	加拿大	25.30	斑岩型

注:数据来源于S&P Global Market Intelligence,2025;陈喜峰等,2021;世界矿情·亚洲卷编写组,2023。

共 22000 m 钻探工作发现了该矿床。矿床类型为斑岩型,铜矿化主要赋存在斑岩体和角砾状杂岩体中,矿化类型以浸染状黄铜矿—斑铜矿矿化为主,矿石矿物以黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿为主。目前,该矿床由英美资源集团(持股 50.06%)、三菱商事株式会社(持股 20.44%)、智利国家铜业公司(持股 20%)和三井物产株式会社(9.50%)共同经营。

2.3 重要铜矿床勘查新进展

2.3.1 重要铜矿床勘查新进展概况

据不完全统计,2005~2024 年,国外取得勘查进展的铜矿床(点)约 1300 多个,其中,铜增量大于 500 kt 的约 372 个,大于 5 Mt 的有 93 个,大于 10 Mt 的有 45 个。

从地区看,2005~2024 年,铜增量超过 10 Mt 的铜矿床主要分布在南美洲,有 19 个,占铜增量超过 10 Mt 铜矿床总数的 42.22%,以智利及秘鲁、阿根廷为主;其次为北美洲,有 9 个,主要分布在美国和

墨西哥;亚洲、非洲、欧洲铜增量超过 10 Mt 的铜矿床均为 5 个,大洋洲有 2 个。

从国家看,2005~2024 年,铜增量超过 10 Mt 的铜矿床分布在智利、美国、秘鲁、刚果(金)、阿根廷、墨西哥、澳大利亚、塞尔维亚、俄罗斯、加拿大等 19 个国家;其中,智利是铜增量超过 10 Mt 的铜矿床数量最多的国家,有 11 个,占 24.44%;其次为美国和秘鲁,分别有 5 个和 4 个;其余国家均在 3 个及以下。

从铜增量规模看,铜增量排名前二的铜矿床均分布在智利,其中,智利的埃斯康迪达(Escondida)铜矿是铜增量最多的铜矿床(表 3)。

2.3.2 取得重要勘查进展铜矿床

(1)智利埃斯康迪达铜矿田:该铜矿田位于智利港口城市安托法加斯塔的东南部,距离该市大约 170 km,地处极度干旱的阿塔卡玛沙漠之中,海拔约为 3050 m,发现于 1981

年,1990 年投产。矿床类型为斑岩型,共伴生金、银,矿体由深部的原生矿和地表的氧化矿组成,原生矿化赋存在石英长石斑岩体内。矿石矿物有斑铜矿、黄铜矿、黄铁矿、辉铜矿、铜蓝等。截至 2024 年 6 月,铜储量 3.59 Mt,铜资源量 103.8 Mt,Cu 品位 0.52%。该矿床主要由必和必拓集团(BHP Group Limited)(持股 57.50%)和力拓集团(Rio Tinto Group)(持股 30%)经营。

(2)智利科亚瓦西铜矿床:该矿床位于智利塔拉帕卡(Tarapacá)大区,发现于 1991 年,共伴生金、钼、银等金属元素。矿床类型为斑岩型,成矿作用与古近纪—新近纪斑岩体有关,发育典型的矿化剖面,剖面自上而下为淋滤帽、氧化铜层位、次生富集层和原生硫化物矿体。矿石矿物主要有黄铜矿、辉钼矿、斑铜矿、黄铁矿等。截至 2023 年 12 月,铜储量 33.10 Mt,铜资源量 50.80 Mt,Cu 品位 0.79%;钼储量 0.8 Mt,钼资源量 0.8 Mt,Mo 品位 0.02%,由英

美资源集团 (Anglo American plc) (持股 44%) 和嘉能可矿业集团 (Glencore plc) (持股 44%) 及其他矿业公司经营。

2.4 主要矿床类型与成矿带勘查进展

从矿床类型看,据不完全统计,在矿床类型清晰的 940 个取得勘查进展的铜矿床中,有 339 个为斑岩型,占 36.06%;斑岩型铜矿的铜增量约 1141 Mt, 占总增量 1850 Mt 的 61.68%,为国外铜矿勘查进展最大的矿床类型;其他取得重要勘查进展的主要矿床类型还有 IOCG 型、浅成低温热液型、矽卡岩型、VMS 型、铜镍硫化物型等。

从成矿带看,环太平洋铜多金属成矿带的铜增量约 940 Mt,约占国外铜矿勘查总增量 1850 Mt 的 50.81%,为国外铜矿勘查进展最大的成矿带;其他取得铜矿勘查重要进展的成矿带还有中非铜钴矿带、中亚—蒙古铜多金属成矿带、特提斯斑岩型铜多金属成矿带等。

3 国外近 20 年镍矿勘查重要进展

3.1 主要国家与地区勘查进展

从对国外镍矿增储的贡献看,2005~2024 年,国外镍矿勘查新增镍约 257 Mt(储量+资源量,下同),约占目前国外镍总量(405 Mt)的 63.46%。

从国家看,2005~2024 年,国外约有 39 个国家(地区)不同程度地取得镍矿勘查新进展,以澳大利亚、巴西、印度尼西亚、菲律宾、加拿大、俄罗斯、新喀里多尼亚等世界传统的镍矿资源大国(地区)及瑙鲁、南非、美国为主(图 2);其中,镍增量最多的国家是印度尼西亚,约 54.20 Mt,占镍总增量的 21.09%,其次为加拿大,镍增量约 36.20 Mt,占镍总增量的 14.09%。镍增量超过 10 Mt 的国家(地区)还有菲律宾、新喀里多尼亚、俄罗斯、澳大利亚、巴西、瑙鲁、南非、美国等,镍增量 1~6 Mt 的国家(地区)有汤加、芬兰、瑞典、古巴、坦桑尼亚、巴布亚新几内亚、马来西亚、津巴布韦、几内亚、哈萨克斯坦等,其余国家(地区)镍增量均在 0.75 Mt 以下。值得注意的是,瑙鲁、汤加、古巴、坦桑尼亚等国家(地区)在过去 20 年取得了重要的勘查进展,成为新兴



图 2 2005~2024 年国外取得重要勘查进展镍矿床分布简图

Fig. 2 Distribution map of nickel deposits with important exploration progress of overseas from 2005 to 2024

的镍矿资源国,可作为未来我国境外镍矿勘查开发合作的对象之一。

从地区看,2005~2024年,东南亚是国外镍矿勘查镍增量最多的地区,约80.38 Mt,占国外镍总增量的31.27%,以印度尼西亚、菲律宾为主;其次为大洋洲,镍增量约60.21 Mt,占镍总增量的23.43%,以新喀里多尼亚、澳大利亚、瑙鲁为主。北美洲、欧洲、非洲、南美洲的镍增量分别为52.16 Mt、30.42 Mt、18.62 Mt和14.86 Mt。

3.2 勘查新发现大型镍矿床

3.2.1 勘查新发现大型镍矿床概况

从国家看,2005~2024年,国外勘查新发现大型镍矿床30个,分布在澳大利亚、印度尼西亚、南非、加拿大、菲律宾、巴西、几内亚、俄罗斯、坦桑尼亚、瑞典、芬兰等11个国家(表4);其中,澳大利亚是新发现大型镍矿床最多的国家,有9个;其余国家新发现大型镍矿床均在3个及以下。

从矿床类型看,勘查新发现大型镍矿床以红土型为,其他主要类型有VMS型、铜镍硫化物型等。从矿床类型在各地区的分布看,东南亚、南美洲等地区新发现镍矿床以红土型为主,而非洲、北美洲则以岩浆型为主。

3.2.2 勘查新发现最大镍矿床

勘查新发现的规模最大的镍矿床为南非的泽贝迪拉镍矿。该镍矿床位于南非的林波波省(Limpopo),由加拿大的URU金属矿业公司(URU Metals)发现于2011年,镍资源量4.01 Mt, Ni品位0.25%,现为世界第五大镍矿床。矿床类型为铜镍硫化物型,成矿作用与布什维尔杂岩体的层状基性—超基性岩有关,矿石矿物以黄铜矿、镍黄铁矿、磁黄铁矿等为主。目前,由加拿大的ZEB镍矿集团(ZEB Nickel Corp. (100%控股)经营。

3.3 重要镍矿床勘查新进展

3.3.1 重要镍矿床勘查新进展概况

据不完全统计,2005~2024年,国外取得勘查进展的镍矿床(点)约357个,其中,镍增量大于0.50 Mt的约96个,大于1 Mt的有59个,大于10 Mt的有4个。

从地区看,镍增量超过1 Mt的镍矿床主要分布在东南亚,有17个,占镍增量超过1 Mt镍矿床总数的28.81%,以印度尼西亚和菲律宾为主;其次为北美洲,有13个,主要分布在加拿大及美国;大洋洲有8个,主要分布在澳大利亚、新喀里多尼亚、巴布亚新几内亚及汤加;欧洲有9个,主要分布在俄罗斯和

瑞典;南美洲有6个,全部分布在巴西;非洲有5个,分布在南非、坦桑尼亚和津巴布韦。

从国家看,镍增量超过1 Mt的镍矿床主要分布在印度尼西亚、加拿大、菲律宾、巴西、俄罗斯、瑞典等国家;其中,印度尼西亚是镍增量超过1 Mt的镍矿床数量最多的国家,有9个;其次为加拿大、菲律宾、巴西等国家,分别有8个、7个和6个;其余国家均在5个及以下。

从镍增量规模看,新喀里多尼亚的博尼尼(Bonini)镍矿床是镍增量最大的矿床(表5),达18.77 Mt。该矿床现为世界规模最大的镍矿床,发现于1863年,已有160多年的勘查开发历史,矿床类型为红土型,伴生钴,处于生产阶段。目前,由法国的艾拉梅特矿业公司(ERAMET S. A.)(持股56%)、新喀里多尼亚的Société Territoriale Calédonienne de Participation Industrielle矿业公司(持股34%)和日本金属工业株式会社(Nippon Steel Nisshin Co., Ltd.)(持股10%)共同经营。

3.3.2 取得重要勘查进展镍矿床

(1) 印度尼西亚韦达湾红土型镍钴矿床:该矿床位于印度尼西亚哈马黑拉岛(Halmahera)中部,矿体赋存于晚白垩世超基性岩风化壳内,矿区中部矿体平均厚达10 m,其中有8 m厚的矿体Ni品位超过1%。矿体上部是厚约2 m的褐铁矿层, Ni品位0.8%,部分已被侵蚀;向下是厚4~8 m的铁质腐泥土层和过渡带,主要由富镍的针铁矿及锰氧化物组成, Ni品位1.2%~1.6%;再向下是镍品位最高的腐

表4 2005~2024年国外勘查新发现主要大型镍矿床

Table 4 The new discovered nickel deposits by exploration in overseas from 2005 to 2024

矿田/矿床名称	国家	镍总量(储量+资源量) (Mt)	矿床类型
泽贝迪拉(Zebediela)	南非	4.01	铜镍硫化物型
恒嘉雅(Hengjaya)	印度尼西亚	3.70	红土型
索斯曼(Sothman)	加拿大	2.82	VMS型
阿拉瓜亚(Araguaia)	巴西	2.57	红土型
伊万(PT Yiwana)	印度尼西亚	2.04	红土型
马巴(Maba)	印度尼西亚	1.94	红土型
昆玛尼(Kun Manie)	俄罗斯	1.34	铜镍硫化物型
埃拉门赞巴莱斯(Eramen Zambales)	菲律宾	1.31	红土型
耶里拉(Yerilla)	澳大利亚	1.03	红土型

注:数据来源于S&P Global Market Intelligence, 2025;陈喜峰等, 2021;世界矿情·亚洲卷编写组, 2023。

泥土层,厚约 2~4 m,主要的富镍矿物为蛇纹石、滑石等,Ni 品位 1.5%~2.5%;底部则为 Ni 品位低于 0.8%的基岩层(Farrokhpay et al., 2019;陈喜峰等, 2020)。该矿床于 1996 年首次进行钻探,发现了 4 个大规模矿化区,以 1.3%为边界品位初步圈定镍资源量 1.17 Mt;以 1.5%为边界品位,估算镍资源量 0.6 Mt(Farrokhpay et al., 2019)。2000 年底,该矿床的镍资源量增加至 2.79 Mt, Ni 平均品位 1.37%,钴金属量 0.22 Mt。2006 年法国埃赫曼矿业公司(ERAMET S. A.)收购了韦达湾矿业公司,开始主导该矿床的勘探工作,并完成了选矿实验和可行性研究。截至 2024 年,该矿床镍储量 8 Mt,镍资源量 7.04 Mt, Ni 平均品位 1.23%。

(2) 马达加斯加安巴托维(Ambatovy)红土型镍钴矿床:该矿床位于马达加斯加东北部的 Moramanga 城北部,是 20 世纪 90 年代以来全球最主要的镍矿勘查发现之一。安巴托维矿床产出于 Beforona 绿岩带南部,矿床矿化面积约 28 km²(黄国平等,2014),矿区地表红土层中矿体厚 5~40 m,镍矿化分布在红土层内, Ni 品位局部变化较大,一般在 0.5%~2.5%,最高可达 3%~3.5%。成矿母岩是镁铁质—超镁铁质安巴托维侵入杂岩体(Melluso et al., 2005;赵院东等,2018)。

早在 20 世纪 60 年代,马达加斯加地质局就在该地区发现了镍矿化,在 60~70 年代,在该地区开展了钻探、地质填图、航空遥感和地球化学调查等找矿工作,初步估计矿石资源量约 80 Mt, Ni 品位 1.2%~1.3%。马达加斯加 Phelps Dodge 公司 1995

年获得了安巴托维矿权并在该地区实施了超过 20000 m 的钻探工作,根据 1998 年 Phelps Dodge 公司公布的报告,矿石资源量为 190 Mt, Ni 和 Co 的平均品位分别是 1.1%和 0.1%。进入 21 世纪后, Dynatec 矿业公司和住友商事株式会社(Sumitomo Corporation)先后参加该项目的投资,在该地区布置加密钻探工作,2005 年探明矿石量 125 Mt, Ni 和 Co 平均品位 1.04%和 0.099%,此外,还有 Ni 品位 0.69%的 39.40 Mt 低品位矿石。此后,该矿床的勘探工作持续进行,2019 年公布的数据显示,该矿床探获的矿石总资源量已达 254.60 Mt, Ni 和 Co 平均品位 0.89%和 0.079%,镍金属量 2.28 Mt,钴金属量 0.20 Mt,其中镍储量 1.10 Mt,钴储量 99.6 kt,成为全球规模较大的镍钴矿床之一。

(3) 坦桑尼亚卡班加(Kabanga)岩浆型铜镍钴矿床:该矿床位于坦桑尼亚西北部卡格拉(Kagera)区,大地构造位置位于坦桑尼亚克拉通、刚果克拉通和班韦卢地块之间的中元古代卡拉圭—安科连(Karagwe-Ankolean)构造带内(1.6~1.28 Ga)(何胜飞等,2014)。区内出露的卡班加和卡班加北两个超基性侵入岩体都有硫化镍矿化,其中卡班加岩体规模较大,南北长约 1500 m、宽 200~400 m。矿体赋存在岩体底部,矿石矿物主要为磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、镍黄铁矿和磁铁矿,呈块状、网状、浸染状构造和堆晶、交代和出溶结构。块状硫化物矿石 Ni 品位 2.4%~2.8%,网状硫化物矿石中 Ni 品位 0.7%~1.1%(何胜飞等,2014;唐文龙等,2018)。

早在 1914 年,南部的 Kapalagulu 地区就发现了红土型镍矿化,20 世纪 70 年代,联合国开发署在卡班加岩体内发现了硫化镍的矿化,开启勘探工作。必和必拓集团、英美资源集团、巴里克黄金集团(Barrick Gold Corporation)和斯特拉塔有限公司(Xstrata Limited)等国际矿业公司先后在这一地区开展镍矿的找矿勘查工作并发现大量镍矿化侵入体(Maier et al., 2010)。2000 年英买资源集团估算镍矿石资源量为 21 Mt, Ni 品位 2.2%。至 2023 年,矿石资源量已增加至 87.66 Mt, Ni、Co、Cu 平均品位分别是 2.08%、0.16%和 0.29%,镍、钴、铜资源量分别为 1.82 Mt、138 kt、253 kt。

3.4 主要矿床类型与成矿带勘查进展

从矿床类型看,据不完全统计,2005~2024 年,在矿床类型清晰的 221 个取得勘查进展的镍矿床中,有 97 个为红土型,占 43.89%;红土型镍矿的镍增量超过 110 Mt,占镍总增量的 42.80%,为国外镍

表 5 2005~2024 年国外取得重要勘查进展镍矿床

Table 5 The important exploration progress of nickel deposits of overseas from 2005 to 2024

矿田/矿床名称	国家	镍增量(储量+资源量) (Mt)	矿床类型
博尼尼(Bonini)	新喀里多尼亚	18.77	红土型
韦达湾(Weda Bay)	印度尼西亚	14.35	红土型
NORI	瑙鲁	11.51	深海结核型
索罗阿科(Sorowako)	印度尼西亚	10.53	红土型
TOML	汤加	9.95	深海结核型
克劳福德(Crawford)	加拿大	9.76	红土型
波马拉(Pomalaa)	印度尼西亚	8.97	红土型
伊斯科—塔古尔斯基(Iisko-Tagulsk)	俄罗斯	7.50	铜镍硫化物型
图纳根(Turnagain)	加拿大	5.56	红土型

注:数据来源于 S&P Global Market Intelligence, 2025;陈喜峰等,2021,2024b;世界矿情·亚洲卷编写组,2023。

矿勘查进展最大的矿床类型;其次为岩浆型(以铜镍硫化物型为主),有46个,占20.81%,镍增量约50.75 Mt,占镍总增量的19.75%。

从成矿带看,东南亚镍矿带的镍增量约80 Mt,约占国外镍矿勘查总增量的31.13%,为国外镍矿勘查进展最大的成矿带;其次为大洋洲红土型镍矿带,镍增量占比在20%以上。

4 国外近20年钴矿勘查重要进展

4.1 主要国家与地区勘查进展

从对国外钴矿增储的贡献看,2005~2024年,国外钴矿勘查新增钴23.62 Mt(储量+资源量,下同),约占目前国外钴总量(30.24 Mt)的78.10%。

从国家看,2005~2024年,国外约有32个国家(地区)不同程度地取得钴矿勘查新进展,以刚果(金)、印度尼西亚、加拿大、古巴等钴矿资源大国及瑙鲁、汤加为主(图3);其中,刚果(金)是钴增量最多的国家,约11.35 Mt,占钴总增量的48.05%,其

次为印度尼西亚和加拿大,钴增量为1.85 Mt和1.82 Mt,占钴总增量的7.85%和7.71%。钴增量1.40~1.60 Mt的国家(地区)有瑙鲁、汤加、澳大利亚等,钴增量100~700 kt的国家(地区)有美国、芬兰、巴西、菲律宾、巴布亚新几内亚、赞比亚、纳米比亚、坦桑尼亚、古巴、墨西哥、俄罗斯、马来西亚、南非等,其余国家(地区)的钴增量均在100 kt以下。值得关注的是,瑙鲁、汤加在过去20年取得钴矿勘查重要进展,成为新兴的钴矿资源国。

从地区看,2005~2024年,非洲是国外钴矿勘查钴增量最多的地区,约12.41 Mt,占钴总增量的52.53%,以刚果(金)主;其次为大洋洲,钴增量约4.81 Mt,占钴总增量的20.36%,以瑙鲁、汤加和澳大利亚为主。北美洲、亚洲、南美洲的钴增量分别为2.94 Mt、2.40 Mt和0.40 Mt。

4.2 勘查新发现大型钴矿床

(1) 勘查新发现大型钴矿床概况:从国家看,2005~2024年,国外勘查新发现大型钴矿床(钴储



图3 2005~2024年国外取得重要勘查进展钴矿床分布简图

Fig. 3 Distribution map of cobalt deposits with important exploration progress of overseas from 2005 to 2024

量+钴资源量>200 kt) 34 个,分布在澳大利亚、刚果(金)、巴西、加拿大、印度尼西亚、几内亚、俄罗斯、纳米比亚、菲律宾、坦桑尼亚、芬兰等 11 个国家(表 6);其中,澳大利亚是新发现大型钴矿床数量最多的国家,有 9 个;其次为刚果(金)和巴西,分别有 7 个和 6 个;其余国家均在 2 个及以下。从矿床类型看,勘查新发现大型钴矿床数量最多的为红土型,其他主要类型还有砂页岩型、IOCG 型、岩浆型等。从规模看,新发现的砂页岩型钴矿床的规模相对较大。从矿床类型在各地区的分布看,东南亚、南美洲等地区以红土型为主,非洲以砂页岩型为主。

(2) 勘查新发现最大钴矿床:刚果(金)的基桑富铜钴矿床为勘查新发现的规模最大的钴矿床。该矿床位于刚果(金)的卢阿拉巴省(Lualaba),由自由港矿业集团发现于 2005 年,钴储量 669.70 kt,钴资源量 1235.50 kt,Co 品位 0.99%,现为世界第二大钴矿床,也是世界上最大、品位最高的未开发的铜钴矿山之一。矿床类型为砂页岩型,矿石矿物以蓝铜矿、斑铜矿、辉铜矿、黄铜矿、闪锌矿、孔雀石等为主。2005 年 Phelps Dodge 公司收购腾凯丰古鲁梅矿山后,开始在其外围开展找矿勘探工作,基桑富矿床是勘查的重点之一。2007 年,自由港矿业集团收购了 Phelps Dodge 公司并开始主导基桑富矿床的勘查。2009 年自由港矿业集团估算基桑富矿床的矿石资源量为 107 Mt,Cu 和 Co 品位分别为 2.63% 和 0.575%。2019 年的矿石资源量增加至 138 Mt,Cu 品位 2.1%。当前勘探深度以下还有巨大的找矿潜力,资源量有望进一步扩大。洛阳栾川钼业集团股份有限公司在 2022 年实施了 29 个钻孔、总长 4329 m 的钴探工作量,2023 年再次实施了 44 个钻孔,钴探总长度 2866 m。目前,由洛阳栾川钼业集团股份

表 6 2005~2024 年国外勘查新发现主要大型钴矿床

Table 6 The new discovered cobalt deposits by exploration in overseas from 2005 to 2024

矿田/矿床名称	国家	钴总量(储量+资源量)(kt)	矿床类型
基桑富(Kisanfu)	刚果(金)	1905.20	砂页岩型
德齐瓦(Deziwa)	刚果(金)	398.70	砂页岩型
穆索诺(Musonoi)	刚果(金)	363	砂页岩型
图纳根(Turnagain)	加拿大	345	红土型
恒嘉雅(Hengjaya)	印度尼西亚	240	红土型
奥普沃(Opuwo)	纳米比亚	257	VMS 型
索斯曼(Sothman)	加拿大	135	VMS 型
普姆皮(Pumpi)	刚果(金)	113.60	砂页岩型

注:数据来源于 S&P Global Market Intelligence, 2025。

有限公司(CMOC Group Ltd.)(控股 71.25%) 和宁德时代(Contemporary Amperex Technolog)(控股 23.75%) 及另一个矿业公司共同经营。

4.3 重要钴矿床勘查新进展

4.3.1 重要钴矿床勘查新进展概况

据不完全统计,2005~2024 年,国外取得勘查进展的钴矿床(点)约 262 个,其中,钴增量大于 100 kt 的约 38 个,大于 500 kt 的有 8 个,大于 1000 kt 的有 5 个。

从地区看,钴增量超过 100 kt 的钴矿床主要分布在非洲,有 15 个,占钴增量超过 100 kt 矿床总数的 39.47%,以刚果(金)为主;其次为北美洲,有 9 个,主要分布在加拿大及美国、墨西哥、古巴;大洋洲有 8 个,主要分布在澳大利亚、新喀里多尼亚、巴布亚新几内亚及汤加;亚洲有 7 个,主要分布在印度尼西亚及菲律宾、马来西亚;大洋洲有 6 个,主要分布在巴布亚新几内亚、澳大利亚及汤加、瑙鲁;南美洲和欧洲各有 1 个。

从国家看,钴增量超过 100 kt 的钴矿床主要分布在刚果(金)、印度尼西亚、加拿大、美国、巴布亚新几内亚、瑞典、澳大利亚、墨西哥、赞比亚、纳米比亚、芬兰、马来西亚、古巴、坦桑尼亚、南非、巴西、汤加、瑙鲁等 18 个国家和地区;其中,刚果(金)是钴增量超过 100 kt 的钴矿床数量最多的国家,有 11 个;其次为印度尼西亚和加拿大,均有 5 个;美国和巴布亚新几内亚各有 2 个;其余国家和地区均为 1 个。

从钴增量规模看,刚果(金)的腾凯丰古鲁梅铜钴矿床是钴增量最大的矿床(表 7),钴资源量达 3.34 Mt。

4.3.2 取得重要勘查进展钴矿床

(1) 刚果(金)腾凯丰古鲁梅铜钴矿床:该矿床位于刚果(金)卢阿拉巴(Lualaba)省,发现于 1918 年,现为世界规模最大的钴矿床,已有 100 多年的勘查开发历史。矿床类型为砂页岩型,铜、钴共生。矿体赋存于罗恩群中,铜钴矿化顺层发育,赋矿围岩包括白云质页岩、白云质角砾岩、砂质页岩、灰色砂页岩等。矿石类型有氧化矿、硫化矿和混合矿,矿石矿物有孔雀石、水钴矿、黄铜矿、硫铜钴矿、黄铁矿等。该矿床的勘查工作始于 1918~1921 年,后因缺少可行的技术而导致勘查工作中断,直到 1942 年重启勘查工作,2006 年开展过铜、钴的资源量评估,2009 年 3 月投产。截至 2023 年 12 月,钴储量 0.77 Mt,钴资源量 2.57 Mt,Co 品位 0.25%。目前,由中国的洛阳栾川钼业集团股份有限公司(持股 80%)

和刚果(金)国有矿业公司(Gecamines SA)(持股20%)共同经营,处于生产阶段。

(2)刚果(金)穆坦达铜钴矿床:该矿床位于刚果(金)卢阿拉巴(Lualaba)省,赋存于新元古代加丹加超群的下部,由棕地项目勘查发现于2000年。矿床类型为砂页岩型,铜、钴共生;含钴矿石矿物主要为水钴矿。该矿山是嘉能可矿业集团在非洲主要的铜钴矿山之一,持股95%。截至2023年12月,钴储量为0.67 Mt,钴资源量为1.23 Mt,Co平均品位0.71%,露天开采。

(3)刚果(金)卡莫托铜钴矿床:该矿床位于刚果(金)卢阿拉巴省,发现于1955年,嘉能可矿业集团收购加丹加矿业公司后获得该矿床75%的股权。矿床类型为砂页岩型,铜、钴共生。该矿床包括卡莫托、迪马(Dima)和穆索诺伊-T17(Musonoi-T17)西区等3个矿段,矿体形态和分布受北东走向的椭圆形科卢韦齐向形控制。矿化发育在罗安群中。矿石呈细粒结构、块状构造。矿石矿物有辉铜矿、斑铜矿、硫铜钴矿、孔雀石等。截至2023年12月,钴储量和钴资源量分别为0.59 Mt和1.29 Mt,Co平均品位为0.61%,处于生产阶段。

4.4 主要矿床类型与成矿带勘查进展

从矿床类型看,据不完全统计,在矿床类型清晰的178个取得勘查进展的钴矿床中,有54个为红土型,占30.34%;红土型钴矿的钴增量超过3.37 Mt,占钴总增量的14.27%以上;砂页岩型约10个,钴增量7.41 Mt,占钴总增量的31.38%以上,为国外钴矿勘查进展最大的矿床类型;其他类型有岩浆型、VMS型等。

从成矿带看,中非铜钴矿带的钴增量约11.62 Mt,占钴总增量的49.21%,为国外钴矿勘查进展最大

表7 2005~2024年国外取得重要勘查进展钴矿床

Table 7 The important exploration progress of cobalt deposits of overseas from 2005 to 2024

矿田/矿床名称	国家	钴增量(储量+资源量) (kt)	矿床类型
腾凯丰古鲁梅 (Tenke Fungurume)	刚果(金)	3340.10	砂页岩型
穆坦达(Mutanda)	刚果(金)	1900	砂页岩型
卡莫托(Kamoto)	刚果(金)	1630	砂页岩型
NORI	瑙鲁	1565.40	深海结核型
TOML	汤加	1542	深海结核型
索罗阿科(Sorowako)	印度尼西亚	815.80	红土型
克劳福德(Crawford)	加拿大	552.20	铜镍硫化物型

注:数据来源于S&P Global Market Intelligence,2025。

的成矿带;其次为大洋洲钴矿带,钴增量占20%以上。

5 国外近20年锂矿勘查重要进展

5.1 主要国家与地区勘查进展

从对国外锂矿增储的贡献看,2005~2024年,国外锂矿勘查新增锂(Li₂O,下同)约319 Mt(储量+资源量,下同),占目前国外锂总量的90%以上。

从国家看,2005~2024年,国外至少有28个国家(地区)不同程度地取得锂矿勘查新进展,以阿根廷、美国、加拿大、玻利维亚、智利、澳大利亚等锂矿资源大国及刚果(金)、德国为主(图4);其中,阿根廷是锂增量最多的国家,约67.69 Mt,占锂总增量的21.22%,其次为美国、加拿大、玻利维亚和智利,锂增量为54.10 Mt、46.40 Mt、39 Mt和32.25 Mt,占锂总增量的16.96%、14.55%、12.23%和10.11%。锂增量10 Mt以上的国家还有刚果(金)和德国,其余国家(地区)的锂增量均在4 Mt及以下。阿富汗、马里、塞尔维亚在过去20年也取得了重要的勘查进展,成为新兴的锂矿资源国,可作为未来我国境外锂矿勘查开发合作的对象之一。

从地区看,2005~2024年,南美洲是国外锂矿勘查进展最大的地区,锂增量约146 Mt,占锂总增量的45.77%,以阿根廷、玻利维亚、智利主;其次为北美洲,锂增量约104 Mt,占锂总增量的32.60%,以美国和加拿大为主。非洲、欧洲、大洋洲的锂增量均为2000多万吨;亚洲增量相对少些。值得引起注意的是,近年来阿富汗锂矿勘查取得重要进展,但其缺少翔实的锂增量数据。

5.2 重要勘查新发现

近年来,随着新能源产业对锂资源需求的快速增长,锂矿取得了一些重要勘查新发现。阿富汗在卡沙甘盆地发现丰富的锂矿资源,已成为世界主要的锂矿资源国之一。据报道,中国在松潘—甘孜—西昆仑一带发现长达2800 km的巨型锂矿带,不断取得锂矿勘查新发现。阿根廷在胡胡伊省发现高查理奥拉如(Cauchari-Olaroz)锂矿,其为世界级锂矿床。

阿根廷高查理奥拉如(Cauchari-Olaroz)锂矿为国外2005年以来勘查新发现的规模最大的锂矿床,发现于2009年,锂(Li₂O)储量1.47 Mt,锂(Li₂O)资源量1.24 Mt,现为世界第五大锂矿床,矿床类型为盐湖卤水型。目前,由中国赣锋锂业(Ganfeng Lithium Group)(持股46.66%)、阿根廷锂业(Lithium Americas(Argentina))(持股44.84%)和胡胡伊能矿集团(Jujuy Energia y Minería)(持股



图 4 2005~2024 年国外取得重要勘查进展锂矿床分布简图

Fig. 4 Distribution map of lithium deposits with important exploration progress of overseas from 2005 to 2024

8.50%) 及另一个矿业公司共同经营。

5.3 重要锂矿床勘查新进展

5.3.1 重要锂矿床勘查新进展概况

据不完全统计,2005~2024 年,国外取得勘查进展的锂矿床(点)约 171 个,其中,锂增量大于 0.50 Mt 约 87 个,大于 5 Mt 的有 14 个,大于 10 Mt 的有 4 个。

从地区看,锂增量超过 0.50 Mt 的锂矿床主要分布在北美洲和南美洲,分别有 34 个和 30 个,分别占锂增量超过 0.50 Mt 锂矿床总数的 39.08% 和 34.48%,前者以美国和加拿大为主,后者以阿根廷及智利、巴西为主;大洋洲有 8 个,全部分布在澳大利亚;欧洲有 8 个,主要分布在德国、塞尔维亚、法国、意大利等国家;非洲有 6 个,主要分布在津巴布韦、刚果(金)、马里、埃塞俄比亚、纳米比亚等国家;亚洲有 1 个,分布在阿富汗。

从国家看,锂勘查增量超过 0.50 Mt 的 87 个矿床分布在 22 个国家,以阿根廷、美国、加拿大、澳大

利亚、智利、巴西及德国、津巴布韦为主;其中,阿根廷最多,有 19 个,占 21.84%;其次为美国和加拿大,分别有 17 个和 16 个;澳大利亚和智利分别有 8 个和 6 个;其余国家和地区均不足 3 个(代鸿章等, 2023)。

从锂增量规模看,智利的阿卡塔玛盐湖锂矿是锂增量最大的矿床(表 8),达 24.28 Mt。该矿床现为世界规模第二大的锂矿床,1994 年开始开发,已有 30 多年的勘查开发历史,矿床类型为盐湖卤水型,共生钾盐、镁等矿产,处于生产阶段。目前,由智利化工矿业公司(Sociedad Química y Minera de Chile S. A., 简称 SQM)(持股 100%)经营。

5.3.2 取得重要勘查进展锂矿床

(1)刚果(金)马诺诺锂矿床:该矿床位于刚果(金)坦噶尼喀省首府卢本巴希市以北 500 km 处,地处世界级的基巴拉(Kibaran)铌—钽—钨—锡—锂成矿带内,该地区的地质研究程度较低。该矿床

产于基巴拉褶皱活动带内,矿体赋存于伟晶岩带内,伟晶岩带长约 15 km,最宽处约 800 m,平均宽约 400 m;最大真厚度约 250 m,赋矿的伟晶岩具高钠、低钾的特点(李继业等,2023)。20 世纪 80 年代之前该矿床主要开采锡矿,并在 80 年代中期停止开采(Dewaele et al., 2016)。2016 年之后澳大利亚 AVZ 矿业公司开始主导该矿床的勘探,实施了数万米的钻探,并取得了锂矿勘探的重大进展。2018 年 8 月 AVZ 公布的勘探结果,估算矿石资源量为 259.90 Mt, Li_2O 平均品位 1.63%,此外,还发现了锡和钽的矿化。根据 2024 年 1 月 AVZ 公布的最新勘探结果,该矿床探获锂资源量(Li_2O)共 13.49 Mt, Li_2O 平均品位 1.60%,相较于 2023 年 12 月增加了 47%。

(2) 美国麦克德米特锂矿床:该锂矿床位于美国俄勒冈州东南部,锂矿化分布在麦克德米特破火山口的沉积物中,麦克德米特破火山口南部和西部的沉积物的 Li_2O 品位都超过 0.15%,含锂沉积层位于破火山口沉积物的上部 0~100 m,矿石松软,矿层倾角小。勘探工作始于 2010 年,2018 年 6 月,金达利资源公司(Jindalee)收购该矿床并开始实施大规模钻探工作。2019 年 11 月,首次估算矿石资源量 155 Mt, Li_2O 品位 0.43%。2021 年,矿石资源量已增加至 1430 Mt, Li_2O 平均品位 0.28%,锂资源量(Li_2O)4.08 Mt。2023 年 2 月,更新的报告显示矿石资源量为 3000 Mt,处于预可行性研究阶段,矿体还未穿透,资源量尚有进一步扩大的潜力(代鸿章等,2023)。

(3) 澳大利亚皮尔冈戈拉(Pilgangoora)锂钽矿

表 8 2005~2024 年国外取得重要勘查进展锂矿床

Table 8 The important exploration progress of Lithium deposits of overseas from 2005 to 2024

矿田/矿床名称	国家	锂增量(储量+资源量)(Mt)	矿床类型
阿塔卡马(Salar de Atacama)	智利	24.28	盐湖卤水型
马诺诺(Manono)	刚果(金)	13.49	伟晶岩型
乌尔坎(Vulcan)	德国	11.22	盐湖卤水型
奥拉罗兹(Salar de Olaroz)	阿根廷	9.15	盐湖卤水型
公园(Park Place)	加拿大	8.77	盐湖卤水型
麦克德米特(McDermitt)	美国	8.69	伟晶岩型、黏土型
邦妮·克莱尔(Bonnie Claire)	美国	8.36	盐湖卤水型
内华达锂(Lithium Nevada)	美国	7.70	黏土型
德拉姆黑勒(Drumheller)	加拿大	7.33	盐湖卤水型
阿尔伯塔(Alberta)	加拿大	6.94	盐湖卤水型
格林布希斯(Greenbushes)	澳大利亚	6.60	伟晶岩型
拉托内斯(Ratonés)	阿根廷	6.11	盐湖卤水型

注:数据来源于 S&P Global Market Intelligence, 2025。

床:该锂钽矿床位于西澳大利亚北部皮尔巴拉地区,20 世纪 40~80 年代,进行了钽矿的勘探和开采工作。该矿床产于西澳大利亚太古宙皮尔巴拉克拉通内,区域内的变质沉积岩中侵入一系列伟晶岩岩脉,矿体赋存在伟晶岩岩脉中。矿化范围南北延伸 5.8 km、东西宽 50~1500 m,矿体厚 590 m;锂矿化较为均匀,品位变化不大(Phelps-Barber et al., 2022)。2014 年 7 月皮尔巴拉(Pilbara)矿业公司完成对该矿山的收购。2014—2023 年皮尔巴拉公司在该矿床的钻探工作持续取得突破,其中 2015 年 9 月公布的锂矿石资源量为 52.20 Mt, Li_2O 品位 1.28%;2023 年 8 月公布的 JORC 标准的矿石资源量为 413.80 Mt, Li_2O 品位 1.15%,含锂(Li_2O)4.80 Mt。随着勘查不断取得进展,产能扩建工作持续进行,目前已由最初设计锂精矿年产能 314 kt 提升至 1000 kt。

5.4 主要矿床类型与成矿带勘查进展

从矿床类型看,据不完全统计,2005~2024 年,在矿床类型清晰的 150 个取得勘查进展的锂矿床中,有 58 个为盐湖卤水型,占 38.67%;盐湖卤水型锂矿的锂增量超过 187 Mt,占锂总增量的 58.62%以上,为国外锂矿勘查进展最大的矿床类型;其次为伟晶岩型,有 73 个,锂增量 60.49 Mt,占锂总增量的 18.96%;其他类型还有黏土型。

从成矿带看,“南美锂三角”锂矿带的锂增量约 139 Mt,占锂总增量的 43.57%,为锂矿勘查进展最大的成矿带;其次为北美伟晶岩型锂矿带,锂增量占比在 30%以上。

综上所述,从国家层次勘查进展贡献看,北美洲

铜矿、锂矿资源丰富的加拿大、美国,南美洲铜矿、锂矿资源丰富的智利,亚洲镍矿资源丰富的印度尼西亚,大洋洲锂矿、镍矿资源丰富的澳大利亚,非洲铜矿、钴矿资源丰富的刚果(金)和欧洲镍矿资源丰富的俄罗斯等传统的矿产资源大国是国外 2005 年以来铜、镍、钴、锂等矿产勘查进展的主要贡献者,主要原因是这些国家不仅拥有丰富的铜、镍、钴、锂等矿产资源,而且拥有较强的勘查投资能力及相对成熟、先进的勘查技术方法。从找矿技术方法看,大数据和人工智能提升找矿成效,进入 21 世纪后,国际矿产勘探界已进入“智能找矿”阶段,大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术在

找矿工作中不断拓展应用,并且取得成效,运用大数据分析挖掘圈定的镍等矿产的成矿远景区和靶区转化为了矿权(周永章等,2017;姚晓峰等,2024)。此外,找矿实践中不断有新的成矿理论和成矿模型诞生,如美国 McDermit 矿床的发现带动了沉积型锂矿的勘查热潮(Castor et al., 2020)

6 主要认识

6.1 重点成矿带、重点矿床类型是勘查进展的主要贡献者

从成矿带和矿床类型勘查进展的贡献看,重点成矿带和重点矿床类型是国外近 20 年铜、镍、钴、锂等矿产勘查进展的主要贡献者:①环太平洋铜多金属成矿带是新增铜资源量最多的成矿带,占 50.81%;斑岩型铜矿是新增铜资源量最多的铜矿床类型,占 61.68%,如智利的埃斯康迪达、科亚瓦西、洛斯苏尔法多斯等斑岩型铜矿床均取得了 40 Mt 以上的铜增量,美国、加拿大的一些斑岩型铜矿也取得 10 Mt 级的铜增量;②东南亚镍矿带是新增镍资源量最多的成矿带,占 31.13%;红土型镍矿是新增镍资源量最多的矿床类型,占 42.80%,如印度尼西亚的韦达湾、索罗阿科等镍矿床均取得了 10 Mt 级的镍增量;③中非铜钴矿带砂页岩型钴矿是新增钴资源量最多的成矿带和矿床类型,占 49.21%,如刚果(金)的腾凯丰古鲁梅、穆坦达、卡莫托等铜钴矿均取得了 1 Mt 级的钴增量;④“南美锂三角”锂矿带是新增锂资源量最多的成矿带,占 43.57%;盐湖卤水型锂矿是新增锂资源量最多的矿床类型,占 58.62%。上述重点成矿带具有优越的成矿地质条件,是勘查投资的热点地区,即“优越的成矿地质条件+高勘查投入”促进了它们的勘查取得重要进展。

6.2 大型矿业公司掌控大部分勘查增量

铜矿勘查取得的铜增量大部分集中于必和必拓集团、英美资源集团、艾芬豪矿业公司、自由港矿业集团、嘉能可矿业集团、淡水河谷集团、力拓集团、紫金矿业集团等国际大型矿业公司控股的大型铜矿山,如必和必拓集团控股的智利埃斯康迪达铜矿、嘉能可矿业集团与英美资源集团控股的智利科亚瓦西铜矿均取得 60 Mt 以上的铜增量,是国外取得铜矿勘查进展最大的两座矿山。锂矿勘查取得的锂增量主要集中于雅宝集团(Albemarle Corporation)、智利化工矿业公司、赣锋锂业、阿卡迪姆锂业公司(Arcadium Lithium Plc)等大型锂矿公司掌控的锂矿山,如智利化工矿业公司控股的阿卡塔玛锂矿取得

了 2000 多万吨的氧化锂增量。镍矿勘查取得的镍增量主要集中于淡水河谷集团、诺里尔斯克镍业、埃赫曼矿业公司(ERAMET S. A.)、必和必拓集团、嘉能可矿业集团等矿业公司掌控的大型镍矿山。钴矿勘查取得的钴增量主要集中于嘉能可矿业集团、洛阳栾川钼业集团股份有限公司、华友钴业等掌控的大型钴矿山,如洛阳栾川钼业集团股份有限公司控股的刚果(金)腾凯丰古鲁梅铜钴矿和嘉能可矿业集团控股的刚果(金)穆坦达铜钴是国外取得勘查进展最大的钴矿山。综上所述,大型矿业公司掌控了国外近 20 年铜、镍、锂、钴等矿产的大部分勘查增量,拥有一定的竞争力和话语权。

6.3 重视新兴国家和地区,超前谋划未来 20 年国外勘查开发布局

中国新能源矿产资源禀赋总体不佳,放眼境外势在必行,而国外新能源矿产大多具有储量分布高度集中、受控于少数大型矿业公司手中的特点,中国需将新能源矿产资源安全问题上升到国家安全的高度,完善顶层设计,加快统筹优化境外新能源矿产矿业全产业链布局,抢占未来境外新能源矿产勘查开发的制高点。一些新兴新能源矿产资源地区可作为新的战略支撑点,如前文提到的取得铜矿勘查重要进展的厄瓜多尔瓦林萨斑岩型铜矿带、塞尔维亚博尔斑岩型铜矿带、巴拿马的科布雷斑岩型铜矿带,取得锂矿勘查进展的阿富汗帕米尔高原伟晶岩型锂矿带,取得镍矿重要勘查进展的瑙鲁、汤加、古巴、坦桑尼亚及取得钴矿勘查重要进展的瑙鲁、汤加等国家和地区,这些国家和地区可作为未来新能源矿产勘查开发合作的新支点。

致谢:审稿专家代鸿章研究员对本文提出了宝贵的修改意见,在此表示诚挚的感谢。

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

- 陈喜峰,陈秀法,叶锦华,林方成,施美凤,于瑞. 2020. 东南亚矿产资源概论. 北京:地质出版社:1~496.
- 陈喜峰,元春华,陈秀法,张振芳,张潮,邱瑞照,张伟波,王秋舒,宋崇宇,于瑞,李仰春,张鑫刚,赵宏军,韩九曦,黄霞,王靓靓,孙仁斌,陈玉明,赵东杰,李玉龙,杨贝贝,王丰翔,张福祥,陈超. 2021. 世界矿情·非洲卷. 北京:地质出版社:1~614.
- 陈喜峰,张潮,张振芳,王秋舒,陈秀法,张福良,黄霞,张伟波,赵东杰,李玉龙,于瑞,王靓靓,何学洲,王杨刚,郝丽荣,王小宁. 2024a. 21 世纪以来亚洲大陆勘查新发现主要铜矿床地质特征. 中国地质, 51(2): 710~718.
- 陈喜峰,张福良,陈秀法,王秋舒,张潮,韩九曦,李仰春,郝丽荣.

- 2024b. 21世纪以来亚洲大陆勘查新发现44个金、镍(钴)矿床地质特征. *中国地质*, 51(3): 1080~1090.
- 代鸿章, 王登红, 刘善宝, 李鑫, 工成辉, 孙艳. 2023. 国外锂矿找矿新进展(2019~2021年)及对我国战略性矿产勘查的启示. *地质学报*, 97(2): 583~595.
- 何胜飞, 孙凯, 王杰, 任军平, 刘晓阳. 2014. 坦桑尼亚西北部卡邦加铜镍硫化物矿床研究进展. *地质调查与研究*, 37(1): 6~12.
- 黄国平, 胡清乐, 陈冬明, 李亮, 张众, 祝安安, 徐海波. 2014. 马达加斯加地质矿产概况. *资源环境与工程*, 28(5): 626~632.
- 李继业, 祝永平, 柳长峰, 祝艳, 王纪昆, 杨远东. 2023. 刚果(金)马诺诺地区稀有金属矿床成矿地质特征与成矿规律. *地质找矿论丛*, 38(1): 110~117.
- 世界矿情·亚洲卷编写组. 2023. *世界矿情·亚洲卷(第二版)*. 北京: 地质出版社: 3~171.
- 唐金荣, 张宇轩, 徐利, 牛亚卓, 任继刚, 于瑞. 2024. 全球关键矿产稳定供应研究的新趋势、新热点与未来展望[J/OL]. *中国地质*. <https://link.cnki.net/urlid/11.1167.p.20240929.1738.002>
- 唐文龙, 孙宏伟, 刘晓阳, 王杰, 左立波, 吴兴源. 2018. 中南部非洲镍矿成矿规律及资源潜力分析. *吉林大学学报(地球科学版)*, 48(1): 53~69.
- 汪鹏, 王翹楚, 韩茹茹, 汤林彬, 刘昱, 蔡闻佳, 陈伟强. 2021. 全球关键金属—低碳能源关联研究综述及其启示. *资源科学*, 43(4): 669~681.
- 姚晓峰, 施俊法, 陈骥, 余韵, 张婷婷. 2024. 从“直接找矿”到“智能找矿”: 脉络与启示. *矿产勘查*, 15(4): 671~679.
- 赵院冬, 吴大天, 赵君, 许逢明, 王奎良, 周永恒. 2018. 马达加斯加Tsaratana绿岩带地质组成和主要矿产特征. *中国矿业*, 27(5): 88~93+127.
- 周永章, 黎培兴, 王树功, 肖凡, 李景哲, 高乐. 2017. 矿床大数据及智能矿床模型研究背景与进展. *矿物岩石地球化学通报*, 36(2): 327~331+344.
- Castor S B, Henry C D. 2020. Lithium-rich claystone in the McDermitt Caldera, Nevada, USA: Geologic, mineralogical, and geochemical characteristics and possible origin. *Minerals*, 10(1): 68.
- Chen Xifeng, Chen Xiufa, Ye Jinhua, Lin Fangcheng, Shi Meifeng, Yu Rui. 2020. The mineral resources of Southeast Asia. Beijing: Geological Publishing House: 1~496
- Chen Xifeng, Yuan Chunhua, Chen Xiufa, Zhang Zhenfang, Zhang Chao, Qiu Ruizhao, Zhang Weibo, Wang Qiushu, Song Chongyu, Yu Rui, Li Yangchun, Zhang Xingang, Zhao Hongjun, Han Jiuxi, Huang Xia, Wang Liangliang, Sun Renbin, Chen Yuming, Zhao Dongjie, Li Yulong, Yang Beibei, Wang Fengxiang, Zhang Fuxiang, Chen Chao. 2021. World mineral fact, Africa. Beijing: Geological Publishing House: 1~614.
- Chen Xifeng, Zhang Chao, Zhang Zhenfang, Wang Qiushu, Chen Xiufa, Zhang Fuliang, Huang Xia, Zhang Weibo, Zhao Dongjie, Li Yulong, Yu Rui, Wang Liangliang, He Xuezhou, Wang Yanggang, Hao Lirong, Wang Xiaoning. 2024a. Geological characteristics of the newly discovered copper deposits by exploration in Asia continent since the 21st century. *Geology in China*, 51(2): 710~718.
- Chen Xifeng, Zhang Fuliang, Chen Xiufa, Wang Qiushu, Zhang Chao, Han Jiuxi, Li Yangchun, Hao Lirong. 2024b. Geological characteristics of 44 newly discovered gold deposits and nickel(cobalt) deposits by exploration in Asiacontinent since the 21st century. *Geology in China*, 51(3): 1080~1090.
- Dai Hongzhang, Wang Denghong, Liu Shanbao, Li Xin, Wang Chenghui, Sun Yan. 2023. New progress in lithium prospecting abroad(2019~2021) and its significance to China's strategic mining resources exploration. *Acta Geologica Sinica*, 97(2): 583~595.
- Dewaele S, Hulsbosch N, Cryns Y. 2016. Geological setting and timing of the world-class Sn, Nb-Ta and Li mineralization of Manono-Kitotolo(Katanga, Democratic Republic of Congo). *Ore Geology Reviews*, 72: 373~390.
- Farrokhpay S, Cathelineau M, Blancher S B. 2019. Characterization of Weda Bay nickel laterite ore from Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 196: 270~281.
- He Shengfei, Sun Kai, Wang Jie, Ren Junping, Liu Xiaoyang. 2014. New Progress on the Kabanga Cu-Ni sulphide deposits research, northwestern Tanzania. *Geological Survey and Research*, 37(1): 6~12.
- Huang Guopin, Hu Qingle, Chen Dongming, Li Liang, Zhang Zhong, Zhu Anan, Xu Haiho. 2014. General situation of geology and mineral resources in Madagascar. *Resources Environment & Engineering*, 28(5): 626~632.
- Li Jiye, Zhu Yongping, Liu Changfeng, Zhu Yan, Wang Jikun, Wang Yuandong. 2023. Geological characteristics and metallogenic regularity of rare metal deposit in Manono area of Democratic Republic Congo. *Contributions to Geology and Mineral Resources*, 38(1): 110~117.
- Maier W D, Barnes S J, Sarkar A. 2010. The Kabanga Ni sulfide deposit, Tanzania; I. Geology, petrography, silicate rock geochemistry, and sulfur and oxygen isotopes. *Mineralium Deposita*, 45: 419~441.
- Melluso L, Morra V, Brotzu P. 2005. Geochronology and petrogenesis of the Cretaceous Antampombato-Ambatovy complex and associated dyke swarm, Madagascar. *Journal of Petrology*, 46(10): 1963~1996.
- Phelps-Barber Z, Trench A, Groves D I. 2022. Recent pegmatite-hosted spodumene discoveries in Western Australia: insights for lithium exploration in Australia and globally. *Applied Earth Science*, 131(2): 100~13.
- S&P Global Market Intelligence. 2025. Commodities, Screener [EB/OL]. [2025-02-08]. <https://www.capitaliq.spglobal.com/web/client?auth=inherit&OktaLogin=true#dashboard/metalsAndMining>.
- Tang Jinrong, Zhang Yuxuan, Xu Li, Niu Yazhuo, Ren Jigang, Yu Rui. 2024. Stability of global critical mineral supplies: Trends, hot topics, and further outlook [J/OL]. *Geology in China*. <https://link.cnki.net/urlid/11.1167.p.20240929.1738.002>
- Tang Wenlong, Sun Hongwei, Liu Xiaoyang, Wang Jie, Zuo Libo, Wu Xingyuan. 2018. Metallogeny and resource potential of nickel deposits in Mid-Southern Africa. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 18(1): 53~69.
- The Writing Group of world mineral fact, Asia. 2023. World mineral fact, Asia(second edition). Beijing: Geological Publishing House: 1~710
- USGS. 2005. Minerals commodity summaries 2005 [R]. Washington: USGS: 1~197.
- USGS. 2024. Minerals commodity summaries 2024 [R]. Washington: USGS: 1~212.
- Wang Peng, Wang Qiaochu, Han Ruru, Tang Linbin, Liu Yu, Cai Wenjia, Chen Weiqiang. 2021. Nexus between low-carbon energy and critical metals: Literature review and implications. *Resources Science*, 43(4): 669~681.
- World Bank Group. 2024. Climate-smart mining: minerals for climate action[EB/OL]. [2025-01-18] <https://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/brief/climate-smart-mining-minerals-for-climate-action>
- Yao Xiaofeng, Shi Junfa, Chen Ji, Yu Yun, Zhang Tingting. 2024.

From direct exploration to AI exploration: Evolution and insight. *Mineral Exploration*, 15(4): 671~679.

Zhao Yuandong, Wu Datian, Zhao Jun, Xu Fengming, Wang Kuiliang, Zhou Yongheng. 2018. Characteristics of the Tsaratanana geological and major mineral resources of greenstone belts in

Madagascar island. *China Mining Magazine*, 27(5): 88~93+127.

Zhou Yonzhang, Li Peixing, Wang Shugong, Xiao Fan, Li Jingzhe, Gao Le. 2017. Research progress on big data and intelligent modelling of mineral deposits. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 36(2): 327~331+344.

Exploration progress of copper, nickel, lithium and cobalt of overseas over the past 20 years

CHEN Xifeng^{1, 2)}, SHI Junfa¹⁾, TANG Jinrong^{1, 2)}, ZHANG Weibo^{1, 2)},
YANG Zhongxi¹⁾, ZHANG Zhenfang^{1, 2)}

1) *Development Research Center of China Geological Survey, Beijing, 100037;*

2) *China-Arab States Geosciences Cooperation Center, Beijing, 100037*

Abstract: With the rapid development of the new energy vehicle industry, the consumption of four typical new energy minerals, including copper, nickel, cobalt and lithium, has led to the rapid growth. The demand of copper, nickel, cobalt and lithium will remain strong in the future. However, the contradiction between supply and demand of copper, nickel, cobalt and lithium is more prominent. With the increasingly intense competition among major countries, the geopolitical influence on new energy minerals are continuously enhanced. The study on the exploration progress of new energy minerals of overseas has important significance to deepening the basic geological research of new energy minerals, to optimize the layout of China's global new energy mineral industry chain, and is conducive to Chinese enterprises to carry out mining investment in overseas. Based on the study of the overall situation, distribution characteristics of new discovered important deposits and the exploration progress of main countries & regions, important deposits, the main deposits types & metallogenic belts of copper, nickel, cobalt and lithium in overseas over the past 20 years. The results show that: ① The net increases in reserves and resources of copper, nickel, cobalt and lithium in overseas over the past 20 years are more than 1 times, especially the lithium is more than 2 times, but the net increases are highly concentrated in a few countries. ② Porphyry copper deposits, laterite nickel deposits, sandstone-shale-hosted copper (cobalt) deposits and brine type lithium deposits are the deposit types that contribute the most to the exploration progress of copper, nickel, cobalt and lithium respectively. ③ The Circum-Pacific copper-polymetallic metallogenic belt, Southeast Asian nickel metallogenic belt, Central African copper-cobalt metallogenic belt and South American lithium triangle lithium metallogenic belt are the metallogenic belts with the greatest contribution to the exploration progress of copper, nickel, cobalt and lithium, respectively. ④ Large international mining companies have the most of the increases in reserves and resources of exploration progress of copper, nickel, cobalt and lithium in overseas over the past 20 years. ⑤ Some newly-emerging countries of new energy minerals are formed over the past 20 years. In the future, China should optimization the strategic layout of the whole industrial chain of overseas new energy mineral mining, and the emerging new mineral countries can be new fulcrums.

Keywords: new energy minerals; exploration progress; copper resources; nickel resources; lithium resources; cobalt resources; overseas

Acknowledgements: This study is supported by the Policy and Investment Environment Evaluation of Strategic Mineral Resources Project(No. DD20211404)

First author: CHEN Xifeng, male, born in 1979, senior engineer, is mainly engaged in the research of mineral deposits and mineral resources strategy; Email: chen6100117@126.com

Manuscript received on: 2025-02-07; Accepted on: 2025-03-14; Published online on: 2025-03-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2025.03.055

Edited by: ZHANG Yuxu