

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.06.010

# 中国深层土壤锰地球化学异常空间分布及找矿远景区预测

石光耀<sup>1,2,3</sup>, 王学求<sup>1,3\*</sup>, 刘东盛<sup>1,2,3</sup>, 王玮<sup>1,3</sup>, 薛建玲<sup>4</sup>, 吕可欣<sup>5</sup>

SHI Guangyao<sup>1,2,3</sup>, WANG Xueqiu<sup>1,3\*</sup>, LIU Dongsheng<sup>1,2,3</sup>, WANG Wei<sup>1,3</sup>, XUE Jianling<sup>4</sup>, LYU Kexin<sup>5</sup>

1. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所/自然资源部地球化学探测重点实验室, 河北 廊坊 065000;

2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;

3. 联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心, 河北 廊坊 065000;

4. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;

5. 河北省地球物理勘查院, 河北 廊坊 065000

1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences/Key Laboratory of Geochemical Exploration, Ministry of Natural Resources, Langfang 065000, Hebei, China;

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. UNESCO International Centre on Global-scale Geochemistry, Langfang 065000, Hebei, China;

4. Development and Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China;

5. Geophysical Exploration Academy of Hebei Province, Langfang 065000, Hebei, China

**摘要:** 锰矿是中国大宗紧缺战略性矿产, 在现代工业中具有广泛用途。近年来锰资源的战略地位急剧提升, 锰资源勘查也日益受到重视。确定 Mn 元素在中国的浓度和分布对寻找新的锰矿床和缓解锰资源短缺至关重要。依托中国地球化学基准计划采集 3392 个汇水域沉积物样品数据, 首次提供了中国深层土壤 Mn 地球化学背景和异常空间分布数据。全国汇水域沉积物深层样品 Mn 的平均含量为 610 mg/kg, 背景值为 574 mg/kg。依据全国汇水域沉积物深层样品地球化学数据, 以 85% 累积频率为异常下限, 共圈定出 31 个 Mn 地球化学异常, 归为 15 个地球化学省。根据 Mn 异常空间分布, 结合地质背景和矿床分布, 提出 8 处异常具有进一步寻找锰矿的远景区。

**关键词:** 锰; 深层; 地球化学背景; 找矿远景区; 中国地球化学基准计划; 地质调查工程

**中图分类号:** P632<sup>+</sup>.1    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1671-2552(2023)06-0978-09

Shi G Y, Wang X Q, Liu D S, Wang W, Xue J L, Lyu K X. Geochemical anomalies spatial distribution of deep soil manganese in China and implications for potential prospects. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(6): 978-986

**Abstract:** Manganese, as the national mass shortage strategic mineral resources, is fairly useful in modern industry. In recent years, the strategic position of manganese resources has risen sharply, and manganese resource exploration has also received increasing attention. It is crucial to determine the concentrations and distribution of Mn in China to facilitate prospecting for new Mn deposits and relieving Mn shortage in China. This paper provides an insight into national-scale geochemical concentration abundances and anomalous distribution

收稿日期: 2022-04-20; 修订日期: 2022-06-10

资助项目: 自然资源部国家专项《深部探测技术与实验研究》(Sino-Probe-04)、中国地质调查局项目《化学地球基准与调查评价》(编号: DD20190450)、物化探所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(编号: AS2022P03)和中国地质调查局项目《矿集区矿产调查及深部找矿预测》(编号: DD20190570)

作者简介: 石光耀(1988-), 男, 在读博士生, 从事勘查地球化学研究。E-mail: 452581032@qq.com

\* 通信作者: 王学求(1963-), 男, 博士, 研究员, 从事勘查地球化学研究。E-mail: wangxueqiu@igge.cn

of manganese in deep soil based on data of a total of 3392 catchment sediment samples. It is concluded that average concentration values of Mn in deep samples are 610 mg/kg and geochemical background values of Mn in deep samples are 574 mg/kg. A total of 31 geochemical anomalies were delineated respectively based on the 85% cumulative percentage and 15 geochemical provinces that were selected. According to the spatial distribution of manganese anomalies, combined with geological background and manganese deposit distribution, eight anomalies are proposed as potential prospects for further exploration of manganese deposit.

**Key words:** manganese; deep soil; geochemical abundance; potential prospects; China Geochemical Baseline Project; geological survey engineering

锰是一种灰白色、硬脆、有光泽的黑色金属,在现代工业中具有广泛的用途,主要应用于冶金工业,作为脱氧剂、脱硫剂及制造锰系合金,是钢中除铁外用量最大的元素,有“无锰不成钢”之称(严旺生等,2009;洪世琨,2011;付勇等,2014;丛源等,2018;程湘等,2021)。此外,在轻工业、化学工业、农牧业、建材行业、国防工业等国民经济的各个领域作用也非常重要。近年来随着新能源汽车和电子产业的蓬勃发展,对于特种高强度钢、不锈钢等的需求日益增加,中国对锰的需求呈上升趋势,锰矿石已是继石油、天然气、铁矿石等矿产后,又一涉及国家安全的战略性资源,锰矿特别是富锰矿和优质锰矿资源,已被中国列为紧缺和重要矿种(付勇等,2014;毛景文等,2019)。在中国发布的《全国矿产资源规划(2016—2020年)》<sup>①</sup>中,锰首次被列入38种战略性矿产目录。锰也被美国列入关键战略资源目录(U. S. Geological Survey, 2017)<sup>②</sup>。据美国地质调查局(USGS)2020年的统计,世界锰的储量总计 $8.12 \times 10^8$  t,但分布很不均匀,主要集中在南非、巴西、乌克兰、澳大利亚等国家,中国锰储量约 $5400 \times 10^4$  t,排在世界第6位。同时中国也是锰矿资源的消费大国。近年来,中国锰矿资源供需形势严峻,对锰的需求呈不断上升趋势,锰矿石进口量不断增加,对外依存度高达90%,已成为全球锰矿的最大进口国(胡德文等,2011;Du et al., 2013;丛源等,2018;邓文兵等,2019)。中国锰矿对外依存度长期居高不下,主要从南半球进口。而美国针对中国关键矿产与材料产业出台多个行政令,如联合澳大利亚、巴西等10个国家加入《能源资源治理协议》,组建矿产资源大联盟,可随时围堵与定向打击。在当前贸易摩擦加剧、政治局势紧张的国际环境下,如何保障中国锰资源安全,已经成为一个亟待解决的问题。

本文利用中国地球化学基准计划(王学求等,2012;2016;Wang et al., 2015),采集3392个点位

(6600余件)汇水域沉积物样品,阐述Mn元素地球化学背景和异常空间分布,并结合成矿地质背景对锰资源远景区进行预测。

## 1 样品采集与方法技术

### 1.1 样品采集

全球地球化学基准网格(GRN)单元为 $160 \text{ km} \times 160 \text{ km}$ (Darnley, 1995)。中国的地球化学基准网格(CRN)将每个全球网格划分为4个子网格,每个网格大小为 $80 \text{ km} \times 80 \text{ km}$ 。全国地球化学基准计划是以1:20万图幅为基准网格单元,建立覆盖全国的地球化学基准网,在每个网格单元中采集汇水域沉积物样品。汇水域沉积物是低密度地球化学填图的最理想采样介质(Wang et al., 2007),样品采集以河漫滩沉积物为主,在每个1:20万图幅基准网格单元内,选择2个汇水域部署采样点位,一般汇水域面积为 $2000 \sim 5000 \text{ km}^2$ 。上游岩石经自然风化释放的化学元素将通过地表水的搬运,在汇水域开阔地带或低洼处沉积下来,搬运过程中经过混匀过程代表了流域内化学元素平均值。全国共计部署3392个点位,在每个采样点位上采集3个子样进行组合,3个点位大致呈等边三角形,每两点相距一般在50 m,每个组合样品的重量约为5 kg。每个点位同时采集表层样品和深层样品,表层样品采自0~25 cm深度,深层样品采自100~150 cm深度(Wang et al., 2015;王学求等,2016)。表层样品反映人类活动的影响,深层样品代表自然地质背景,深层样品受人类活动影响较少,继承了岩石风化产物,代表了元素在自然界的均匀分布,因此矿产资源评价使用深层样品数据。

### 1.2 分析方法与质量控制

样品分析在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所分析测试研究中心完成。汇水域沉积物样品,筛分10目(2 mm)以下样品,研磨至200目。分析方法流程为:称取0.25 g样品用10 mL

HF、5 mL HNO<sub>3</sub>、2 mL HClO<sub>4</sub> 消解,至 HClO<sub>4</sub> 冒尽,残渣用 8 mL 王水溶解后,移至 25 mL 聚乙烯试管中,定容摇匀。分取 1 mL 澄清溶液,用 3% 硝酸溶液稀释至 1000 倍后,以 Rh 为内标,用等离子体质谱仪测定 Mn 元素(张勤等,2012)。每 50 件样品为一分析批次,每个批次插入 4 个国家一级标准物质控制分析准确度和精密度,国家一级标准物质合格率要求 100%;随机抽取 10% 比例的样品作为重复性检验样品,重复性检验样品合格率要求 90%;每一个送样批次分析完毕后,对部分特高或特低含量试样,进行异常点重复性检验,异常点检验合格率要求 85%(张勤等,2012)。Mn 的检测方法为 X 射线荧光光谱分析法,分析检出限为 10 mg/kg,合格率为 100%。

### 1.3 异常圈定方法

汇水域沉积物形成的土壤是岩石风化的产物,继承了原岩的成分,并经过河流从上游向下游的搬运过程而发生混匀,对呈现元素空间分布具有天然

代表性,避免了岩石样品采样的局限性,是研究元素空间分布、圈定地球化学异常的理想介质(Wang, 2015)。Mn 元素的空间分布以汇水域沉积物样品含量制作的地球化学基准图进行表述。利用中国地质调查局发展研究中心研发的 GeoExpl 软件绘制深层土壤 Mn 元素地球化学图,并统计各异常区内相关参数。采用累积频率的分级方法按 2.5%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、40%、50%、60%、70%、75%、80%、85%、90%、95%、97.5% 对应的含量划分成 18 级制作地球化学图(图 1),并使用四分位数,即累计频率 25%、50%、75%、85% 分别作为低背景、背景、高背景和异常基线,累计频率大于 85% 为异常区,85% 对应的含量值就是异常下限值,元素含量达到这一区间,表明元素含量显著高于正常值,被称为异常(王学求等,2016),相对应的含量见表 1。本文从全国尺度对异常进行宏观评价,采用累积频率 85% 作为异常下限,圈定地球化学异常,开展远景区预测。

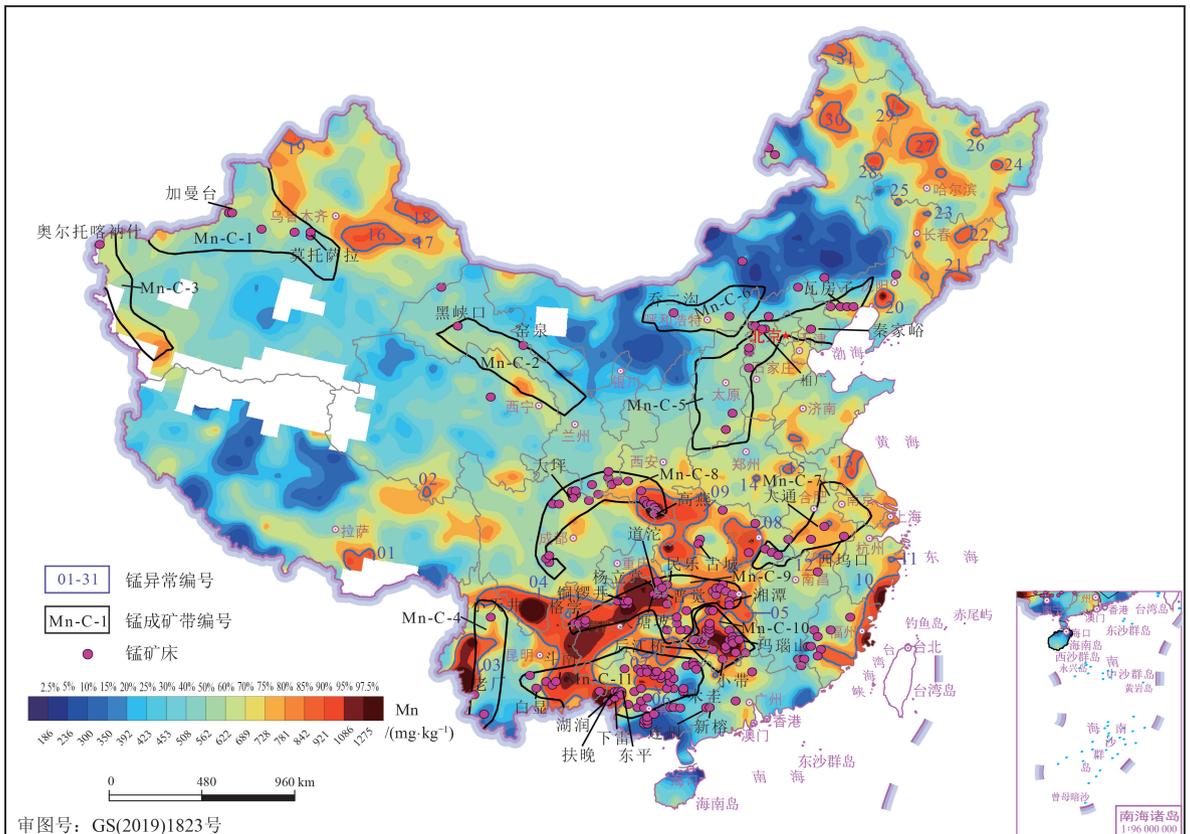


图 1 中国深层样品 Mn 地球化学异常与锰矿及成矿带分布

Fig. 1 The distribution of Mn metallogenic belts and major Mn deposits in geochemical maps of deep soil, China

表 1 全国汇水域沉积物深层 Mn 含量

Table 1 The statistical parameters of Mn concentration in deep soil, China

层位	样品数	最小值	累计频率					最大值	算术 平均值	几何 平均值	背景值
			P2.5	P25	P50	P75	P85				
深层	3380	46	186	423	562	728	842	11959	610	544	574

## 2 结果与讨论

### 2.1 中国深层土壤锰的异常特征与空间分布

依据全国汇水域沉积物数据,以深层土壤 Mn 含量 842 mg/kg(累积频率 85%)作为异常下限,并兼顾异常区内有连续异常点分布或者具有地球化学异常套合结构特征。地球化学异常或地球化学块体多层套合结构指一系列由高到低多层套合异常组成的区域地球化学分布模式,也就是说局部异常被区域异常包裹,而区域异常又依次被更大规模的地球化学省、地球化学巨省等包裹(谢学锦等, 2002; 聂兰仕等, 2020)。按照这个原则,全国共圈定出 31 个 Mn 地球化学异常带(编号 Mn01 ~ Mn31)(图 1; 表 2)。这 31 个地球化学异常可以归为 15 个地球化学省。Mn 的地球化学省主要分布于扬子克拉通西部、东北部,华南造山带西南部、祁连-秦岭造山带、西藏-三江造山带、华北克拉通外缘,以及天山-兴蒙造山带的东、西两端。其主要特征和空间分布描述如下。

#### (1) 藏东南地球化学省(Mn-S-1)

该地球化学省主要分布在西藏隆子县和朗县一带,区内广泛出露三叠系杂色板岩、变砂岩夹泥灰岩、硅质岩,零星出露白垩纪超基性岩、辉石岩和蛇绿岩。异常(Mn01)面积 12936 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1216 mg/kg,异常强度为 2.16,异常衬度 1.44,区内目前未有锰矿报道。

#### (2) 藏东北地球化学省(Mn-S-2)

该地球化学省位于青海囊谦县西南,区内出露上古生界碎屑沉积岩和基性火山岩,古近系一新近系雅西错组棕红色泥岩、浅灰绿色泥灰岩、砂岩夹膏盐层或透镜体。异常(Mn02)面积 1425 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1210 mg/kg,异常强度为 2.15,异常衬度为 1.44,目前区内未有锰矿报道。

#### (3) 滇西地球化学省(Mn-S-3)

该地球化学省位于云南西部沿横断山脉,异常位于云龙县、龙陵县、沧源县,整体呈南北向分布,

内部发育异常浓集中心。该巨型地球化学异常(Mn03)面积达 37945 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1714 mg/kg,异常强度为 3.05,异常衬度为 2.04。区内广泛出露晚新生界和古生界中基性火山岩,古元古界中基性变质岩。异常东部为西南三江锰成矿带,产出老厂风化壳型中型锰矿床(陈百友等, 2002)和小天井海相沉积型中型锰矿床(杨剑波, 2019)。

#### (4) 扬子西南缘地球化学省(Mn-S-4)

该地球化学省位于扬子克拉通西南缘,向南延伸进入华南造山带,向北跨入松潘-甘孜造山带,由 Mn04 异常构成,是一个巨型地球化学异常,横跨 3 个一级大地构造单元,主体位于扬子克拉通,面积逾 30×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1142 mg/kg,异常强度为 2.03,异常衬度为 1.36。异常中部和西北部广泛出露峨眉山玄武岩,异常南部和东北部主要出露古生代碳酸盐岩。区内发育 5 处浓集中心。该异常位于扬子陆块东南缘和南盘江-右江等重要锰成矿带中,扬子陆块东南缘成矿带发育大量褶皱、断裂构造,为锰质的迁移富积赋存提供了良好的条件。主要的含矿岩系为南华系大塘坡组下部、奥陶系烟溪组、二叠系孤峰组、泥盆系棋子桥组和第四系。南盘江-右江成矿带主要出露晚古生代和三叠纪地层,以及少量早古生代和第四纪地层,异常区内产出松桃县普觉、高地、道坨、桃子坪、杨立掌、大塘坡等超大型—大型锰矿床,花垣县民乐锰矿(何婷菊, 2016)、德保县扶晚锰矿、砚山县斗南锰矿(唐云凤等, 2011)、靖西县湖润锰矿、大新县下雷锰矿(秦元奎等, 2010)等大型锰矿,以及数十个中型锰矿床和众多小型锰矿床。其中,普觉、道坨、高地、桃子坪 4 个隐伏超大型锰矿床,累计探获资源量超过 6×10<sup>8</sup> t,实现了 40 年来中国锰矿找矿最大突破,使黔东成为中国锰矿资源最丰富的地区和新的世界级锰矿资源富集区(周琦等, 2016; 毛景文等, 2019)。锰矿床类型主要为海相沉积型、古天然气渗漏沉积型和风化壳型锰矿床。此外,异常西南部广西境内还有锰帽型锰矿床。

表2 中国深层土壤 Mn 地球化学异常统计参数

Table 2 The statistics parameters of deep soil manganese geochemical anomalies in China

编号	面积 /km <sup>2</sup>	样点数 /个	极大值 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	极小值 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	平均值 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	中位值 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	全国背景值 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	异常下限 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	异常 强度	异常 衬度
Mn01	12936	3	1625	767	1216	1257	562	842	2.16	1.44
Mn02	1425	1	1210	1210	1210	1210	562	842	2.15	1.44
Mn03	37945	14	7796	623	1714	997	562	842	3.05	2.04
Mn04	299332	109	11959	186	1142	955	562	842	2.03	1.36
Mn05	82048	27	3378	146	1106	892	562	842	1.97	1.31
Mn06	13171	4	1830	697	1284	1304	562	842	2.28	1.52
Mn07	21069	10	2003	636	1040	954	562	842	1.85	1.24
Mn08	29827	9	1763	763	1052	928	562	842	1.87	1.25
Mn09	76875	31	3172	667	1090	946	562	842	1.94	1.30
Mn10	28169	13	2086	784	1152	1030	562	842	2.05	1.37
Mn11	608	1	1192	1192	1192	1192	562	842	2.12	1.42
Mn12	1924	1	1186	1186	1186	1186	562	842	2.11	1.41
Mn13	6308	1	1271	1271	1271	1271	562	842	2.26	1.51
Mn14	721	1	1307	1307	1307	1307	562	842	2.33	1.55
Mn15	2034	1	1623	1623	1623	1623	562	842	2.89	1.93
Mn16	31573	20	1265	641	947	928	562	842	1.69	1.13
Mn17	606	1	977	977	977	977	562	842	1.74	1.16
Mn18	8959	8	1485	774	965	920	562	842	1.72	1.15
Mn19	2348	3	1152	874	1021	1038	562	842	1.82	1.21
Mn20	7328	4	2799	730	1379	995	562	842	2.45	1.64
Mn21	7090	3	1138	853	1036	1117	562	842	1.84	1.23
Mn22	5266	3	1071	847	974	1005	562	842	1.73	1.16
Mn23	588	1	1824	1824	1824	1824	562	842	3.24	2.17
Mn24	2207	1	1642	1642	1642	1642	562	842	2.92	1.95
Mn25	814	2	2180	508	1344	1344	562	842	2.39	1.60
Mn26	638	1	1035	1035	1035	1035	562	842	1.84	1.23
Mn27	16372	7	1670	488	1032	957	562	842	1.84	1.23
Mn28	6112	3	3589	414	1508	522	562	842	2.68	1.79
Mn29	8212	4	1480	576	1193	1359	562	842	2.12	1.42
Mn30	16670	8	1283	664	967	925	562	842	1.72	1.15
Mn31	3468	1	1359	1359	1359	1359	562	842	2.42	1.61

注: 异常强度=异常内平均值/背景值; 异常衬度=异常内平均值/异常下限

#### (5) 华南造山带西南缘地球化学省(Mn-S-5)

该地球化学省分布于广西中北部, 由 Mn06 和 Mn07 异常构成。Mn06 异常位于广西北部黔-桂交界三江县境内, 呈等轴状, 异常面积 13171 km<sup>2</sup>, 异常内 Mn 含量均值为 1284 mg/kg, 异常强度为

2.28, 异常衬度为 1.52。区内出露元古宇副变质岩, 零星出露元古宙中—基性和超基性岩体。该异常北部为扬子陆块东南缘锰成矿带, 南部为南盘江—右江锰成矿带, 异常外围发育团山、牛坡头等中型锰矿床。Mn07 异常位于都安县—来宾县—宜山县

一带,异常面积 21069 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1040 mg/kg,异常强度为 1.85,异常衬度为 1.24。区内出露岩石主要为晚古生代碳酸盐岩。该异常位于南盘江-右江重要锰成矿带内,宜州龙头和来宾凤凰中型锰矿位于异常内,此外异常内部还发育众多小型锰矿床。锰矿床类型均为与硅-泥-灰岩有关的海相沉积型锰矿床。

#### (6) 湘鄂地球化学省(Mn-S-6)

该地球化学省贯穿湖南东部,向北延伸进入湖北境内,由 Mn05 和 Mn08 异常构成。Mn05 异常面积 82048 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1106 mg/kg,异常强度为 1.97,异常衬度为 1.31。Mn08 异常面积 29827 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1052 mg/kg,异常强度为 1.87,异常衬度为 1.25。Mn05 号异常出露地质体主要为第四纪沉积物及白垩纪、古近纪—新近纪含玄武岩地层。Mn08 异常出露晚古生代碎屑沉积岩和碳酸盐岩地层,异常南部发育 1 处浓集中心。区内有扬子陆块东南缘和湘东南重要的锰成矿带,在桃江县产出若干黑色页岩中型锰矿床,浓集中心发育湖南湘潭大型黑色页岩型锰矿(史富强等,2016)、兰山县太平大型和株洲玛瑙山中型热液改造型锰矿床、东湘桥太婆冲风化壳型中型锰矿,以及硅-泥-灰岩型小型锰矿床等众多锰矿床。

#### (7) 鄂-陕-渝地球化学省(Mn-S-7)

该地球化学省主体位于湖北西部,向西延伸进入陕西、重庆,由 Mn09 单一异常构成。异常面积 76875 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1090 mg/kg,异常强度为 1.94,异常衬度为 1.30。异常内部发育 2 处较大的浓集中心,分别位于陕西—重庆交界和湖北利川市一带。异常区内广泛出露各时代的碳酸盐岩和碎屑沉积岩,北部出露志留纪基性(次)火山岩。在西北部浓集中心有扬子陆块西北缘重要的锰成矿带,产出以高燕大型锰矿床(贾伟等,2020)为代表的多个锰矿床。

#### (8) 东南沿海地球化学省(Mn-S-8)

该地球化学省位于福建—浙江东南沿海一带,由 Mn10 和 Mn11 异常构成。Mn10 异常面积 28169 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1152 mg/kg,异常强度为 2.05,异常衬度为 1.37。Mn11 异常面积 608 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1192 mg/kg,异常强度为 2.12,异常衬度为 1.42。其中 Mn10 异常位

于福建漳平至浙江温岭,异常沿海岸线分布,发育 2 处浓集中心,区内广泛出露侏罗纪—白垩纪酸性火山—侵入岩,异常北部出露侏罗纪酸性—基性熔岩,南部出露白垩纪中基性火山岩。异常外围西侧产出多个小型表生锰矿床。

#### (9) 长江中下游地球化学省(Mn-S-9)

该地球化学省位于皖南长江中下游地区,由 Mn12 异常构成,发育 1 处浓集中心,异常位于安徽祁门县一带,异常面积 1924 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1186 mg/kg,异常强度为 2.11,异常衬度为 1.41。区内出露地质体主要为元古宇蕲县系木坑岩组千枚岩和早古生代碳酸盐岩,异常东北外缘出露伏川蛇绿岩带。该地球化学省位于长江中下游成矿带内,区内产出大通和西坞口中型锰矿床。

#### (10) 黄淮平原地球化学省(Mn-S-10)

该地球化学省分布于鲁南、豫东、皖北、苏北的黄淮平原地区,由 Mn13、Mn14、Mn15 异常构成, Mn13 异常面积 6308 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1271 mg/kg,异常强度为 2.26,异常衬度为 1.51。Mn14 异常面积 721 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1307 mg/kg,异常强度为 2.33,异常衬度为 1.55。Mn15 异常面积 2034 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值 1623 mg/kg,异常强度为 2.89,异常衬度为 1.93。区内出露第四纪细粒级沉积物,区内无锰成矿带或锰矿床。

#### (11) 天山地球化学省(Mn-S-11)

该地球化学省分布于东天山乌鲁木齐至巴里坤一带,由 Mn16 和 Mn17 两处地球化学异常构成。Mn16 异常位于乌鲁木齐、托克逊县、鄯善县、木垒县夹持区域,异常面积 31573 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 947 mg/kg,异常强度为 1.69,异常衬度为 1.13。区内出露主要为第四纪沉积物和古近系—新近系泥质岩,以及少量石炭纪辉绿岩。Mn17 异常位于巴里坤县,面积 606 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 977 mg/kg,异常强度为 1.74,异常衬度为 1.16。区内北部主要出露第四系沉积物,南部出露石炭纪基性岩体和基性火山岩。该地球化学省西侧为西天山锰重要成矿带,海相沉积型锰矿和海相火山沉积型锰矿是成矿带内主要的锰矿床类型,成矿带内典型的矿床有莫托萨拉和加曼台锰矿,主要产于石炭系海相碎屑岩中,成矿时代以石炭纪、泥盆纪为主(丛源等,2018)。

## (12) 准格尔地球化学省(Mn-S-12)

该地球化学省分布于准格尔造山带东、西两端,由 Mn18 和 Mn19 两个异常构成。Mn18 异常位于准格尔造山带东端中蒙交界处,是一处未封闭异常,异常面积 8959 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 965 mg/kg,异常强度为 1.72,异常衬度为 1.15。区内主要出露第四系沉积物和古近系—新近系泥质岩,出露少量石炭纪辉绿岩。Mn19 异常位于准格尔造山带西端中哈交界处,异常面积 2348 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1021 mg/kg,异常强度为 1.82,异常衬度为 1.21。区内南部以出露第四系沉积物为主,北部为晚古生代碎屑沉积岩,奥陶纪基性火山岩,石炭纪基性岩体,异常南侧为西天山锰重要成矿带。目前未有锰矿床的报道。

## (13) 燕山造山带地球化学省(Mn-S-13)

该地球化学省位于辽宁中部地区,由 Mn20 异常构成。异常位于辽中县—海城市一带,异常面积 7328 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1379 mg/kg,异常强度为 2.45,异常衬度为 1.64。异常内发育一处较大的浓集中心,地表主要出露第四系沉积物,沉积物上游广泛分布侏罗纪中性火山岩和太古宙中基性变质岩。异常西侧为辽西—太行锰成矿带,成矿带内典型的锰矿床有瓦房子、兰家沟、蔡庄子、相广和秦家峪。海相沉积型锰矿和与岩浆作用有关的热液型(银)矿床是区带内主要的锰矿类型(丛源等,2018)。

## (14) 长白山地球化学省(Mn-S-14)

该地球化学省分布于吉林长白山脉地区,由 Mn21 和 Mn22 异常构成。Mn21 异常面积 7090 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 1036 mg/kg,异常强度为 1.84,异常衬度为 1.23。Mn22 异常面积 5266 km<sup>2</sup>,异常内 Mn 含量均值为 974 mg/kg,异常强度为 1.73,异常衬度为 1.16。2 个异常分别位于吉林抚松县—长白县和敦化市一带,区内广泛出露新生代基性火山岩。目前未有锰矿床的报道。

## (15) 东北黑土区地球化学省(Mn-S-15)

该地球化学省广泛分布于中国东北地区,覆盖黑龙江大部、吉林北部和内蒙东北部,由 9 个规模较大的地球化学异常构成(Mn23—Mn31),异常总面积达 55081 km<sup>2</sup>,平均 6120 km<sup>2</sup>,最大值 16670 km<sup>2</sup>。异常内 Mn 含量的均值依次为 1824 mg/kg、1642 mg/kg、1344 mg/kg、1035 mg/kg、1032 mg/kg、

1508 mg/kg、1193 mg/kg、967 mg/kg、1359 mg/kg。这些异常的地表出露主要为第四系沉积物,异常区土壤类型以黑土白浆土、漂灰土、灰色森林土、草甸沼泽土、黑钙土为主,部分异常区出露较大面积中基性火成岩,Mn24 异常区内出露古近纪—新近纪玄武岩,Mn30 和 Mn31 异常内广泛出露白垩纪—侏罗纪中基性火山岩及元古宙中基性变质岩。目前区内未有锰矿床的报道。

## 2.2 异常区锰矿潜力评价

中国锰矿成因类型的划分较成熟(严旺生等,2009;付勇等,2014;谢进,2017;丛源等,2018;邓文兵等,2019;程湘等,2021),以锰矿床成矿地质作用和含锰岩系划分大类,将全国锰矿床划分为海相沉积型、陆相(湖相)沉积型、海相火山—沉积型、碳酸盐岩中热水沉积型(或“层控”型)、与岩浆作用有关的热液型、古天然气渗漏沉积型、受变质型及表生型。中国锰成矿类型以海相沉积型为主,变质型矿床较少(付勇等,2014;丛源等,2018;邓文兵等,2019;程湘等,2021)。根据中国目前已知的锰矿类型及成矿条件,今后具有找矿潜力的锰矿类型主要有海相沉积型和风化壳型,另外,海相火山岩型和陆相沉积型也有一定的潜力。丛源等(2018)根据已发现的锰矿产地、中国成矿区带划分方案、中国大地构造单元及近年来有找矿新发现、重大突破的地区,将全国初步划分出 11 个锰矿成矿带(图 1),包括西天山成矿带、祁连成矿带、西昆仑成矿带、西南—三江成矿带、辽西—太行成矿带、华北地台北缘成矿带、长江中下游成矿带、扬子陆块西北缘成矿带、扬子陆块东南缘成矿带、湘东南成矿带、南盘江—右江等成矿带。已知锰矿床大部分位于成矿带内(图 1),但锰成矿区范围巨大,如果能缩小范围,可为锰矿勘查提供更有意义的信息。由图 1 可知,Mn 的地球化学省与成矿区带划分有 60%~70% 的地区基本一致,其中 11 个地球化学省位于锰成矿带内及边部,但锰成矿带划分是基于已发现的大量锰矿床为基础,而地球化学省是以 Mn 含量数据为基础,可以对锰矿带划分起到补充作用。因此,应将 Mn 地球化学异常与锰成矿带结合来预测锰找矿远景区。位于成矿带内及附近同时又无已知矿床产出的 Mn 异常应受到关注。

## (1) 西南三江锰找矿远景区(Mn-Z-1)

Mn03 异常部分位于西南三江成矿带,产出老

银厂风化壳型中型锰矿床和小天井海相沉积型中型锰矿床,异常内部发育异常浓集中心。因此该异常具有寻找海相沉积型和风化壳型锰矿的潜力。

#### (2) 扬子地块西部锰找矿远景区(Mn-Z-2)

Mn04 异常跨越扬子陆块东南缘和南盘江-右江成矿带,部分位于 2 个成矿带外围,发育 5 个异常浓集中心,其中东北部异常浓集中心已发现大塘坡、普觉、道坨、高地、桃子坪、杨立掌、遵义等超大型—大型锰矿床,南部 2 个异常已发现斗南、湖润、下雷、东平、扶晚等大型锰矿。因此,其余异常浓集中心具有寻找海相沉积型、风化壳型和古天然气渗漏沉积型锰矿的巨大潜力。

#### (3) 华南造山带锰找矿远景区(Mn-Z-3)

Mn06 和 Mn07 异常均位于华南造山带西南缘地球化学省,其中 Mn06 异常位于南盘江-右江成矿带,该异常范围内已发现数十个中小型锰矿床;Mn07 异常位于 Mn06 异常北侧,异常南部位于南盘江-右江成矿带,北部位于扬子陆块东南缘成矿带,该异常具有寻找海相沉积型锰矿的潜力。

#### (4) 长江中下游锰找矿远景区(Mn-Z-4)

Mn08 异常紧邻长江中下游成矿带,异常范围内已发现 2 个小型锰矿,具有进一步寻找锰矿的潜力。

#### (5) 扬子陆块东南缘锰找矿远景区(Mn-Z-5)

Mn09 异常位于扬子陆块东南缘成矿带北侧,异常西北部位于陆块西北缘成矿带,该异常发育 3 个浓集中心,北部浓集中心已发现多个锰矿床,高燕大型锰矿为其代表性矿床,南部异常中心目前未见锰矿报道,但是东侧已发现古城小型锰矿。因此,该异常亦具有寻找锰矿的潜力。区内主要矿产预测类型为沉积型锰矿,主攻矿床类型为“高燕式”海相沉积型锰矿。

#### (6) 东南沿海锰找矿远景区(Mn-Z-6)

Mn10 异常发育 2 个浓集中心,该异常范围内并未发现锰矿,也没有位于成矿带附近,但是该异常西侧已发现近十个小规模锰矿,如龙岩龙康锰矿、永安小陶锰矿等,因此该异常具有寻找锰矿的潜力。

#### (7) 西天山锰找矿远景区(Mn-Z-7)

Mn16 异常紧邻西天山锰重要成矿带,成矿带内典型的矿床有莫托萨拉和加曼台锰矿,主要产于石炭系海相碎屑岩层中,因此该异常具有寻找海相沉积型锰矿的潜力。

#### (8) 辽西-太行锰找矿远景区(Mn-Z-8)

Mn20 异常位于辽西-太行成矿带东侧,异常外围已发现数个锰矿床,以辽西瓦房子大型锰矿为代表性矿床。该异常具有寻找海相沉积型锰矿的潜力。

### 3 结 论

本文利用中国地球化学基准计划获取的汇水域沉积物深层样品数据,初步探讨了中国 Mn 地球化学异常分布特征。

(1) 全国汇水域沉积物深层样品 Mn 的平均含量为 610 mg/kg,背景值为 574 mg/kg。

(2) 以深层土壤 Mn 含量 842 mg/kg(累积频率 85%)作为异常下限,共圈定出 31 个 Mn 地球化学异常,归为 15 个地球化学省,其中有 11 个地球化学省位于已知锰矿带内部及附近。

(3) 锰成矿带划分是基于已发现的大量锰矿床数据为基础,而地球化学异常是以 Mn 含量数据为基础,可以对锰矿带划分起到补充作用。本文根据 Mn 异常空间分布,结合地质背景和矿床分布,提出 Mn03、Mn04、Mn07、Mn08、Mn09、Mn10、Mn16、Mn20 异常具有进一步寻找锰矿的潜力。

(4) 多数锰矿床位于异常内,因此利用低密度地球化学填图方法寻找潜在的锰矿床是一条高效率、低成本的可行途径。

**致谢:**感谢所有参与样品采集和样品分析测试的工作者,感谢审稿专家提出的宝贵修改意见。

### 注释

① 自然资源部规划司.全国矿产资源规划(2016—2020)[R].北京:自然资源部,2016.

② U. S. Geological Survey. Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply[R].U.S.Geological Survey Professional Paper,2017: 1802.

### 参考文献

- Darnley A G. International geochemical mapping - a review [J]. J. Geochem. Explor., 1995,55: 5-10.
- Du Q D, Yi H S, Hui B, et al. Recognition, genesis and evolution of manganese ore deposits in southeastern China [J]. Ore Geology Reviews,2013,55: 99-109.
- Wang X Q, The CGB Sampling Team. China Geochemical Baselines: Sampling Methodology[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2015, 148: 25-39.

- 陈百友,王增润,彭省临,等.云南澜沧老厂红土型银锰矿床地质特征及成因探讨[J].大地构造与成矿学,2002,26(1): 86-91.
- 丛源,董庆吉,肖克炎,等.中国锰矿资源特征及潜力预测[J].地学前缘,2018,25(3): 118-137.
- 程湘,胡鹏,张海坤,等.锰矿主要类型、分布特点及开发现状[J].中国地质,2021,48(1): 102-119.
- 邓文兵,张彦文,孔令湖,等.中国锰矿资源现状与国家级锰矿床实物地质资料筛选[J].中国矿业,2019,28(9): 175-182.
- 付勇,徐志刚,裴浩翔,等.中国锰矿成矿规律初探[J].地质学报,2014,88(12): 2192-2207.
- 胡德文,冯丹丹.我国锰矿产业问题分析[J].中国矿业,2011,20(6): 1-8.
- 洪世琨.我国锰矿资源开采现状与可持续发展的研究[J].中国锰业,2011,29(3): 13-16.
- 何婷菊.湘西北民乐锰矿地质特征及成矿地质条件[J].西部探矿工程,2016,(8): 162-167.
- 贾伟,陈翠华,张自贤,等.重庆高燕锰矿床成矿物质来源及沉积环境[J].科学技术与工程,2020,20(5): 1724-1733.
- 毛景文,袁顺达,谢桂青,等.21世纪以来中国关键金属矿产找矿勘查与研究新进展[J].矿床地质,2019,38(5): 935-969.
- 聂兰仕,刘汉粮,李江鹏,等.中蒙边界地区铜区域地球化学分布及远景区预测[J].地球学报,2020,41(6): 851-860.
- 秦元奎,张华成,姚敬劬.广西大新县下雷锰矿床的地球化学特征及其意义[J].地质论评,2010,56(5): 664-672.
- 史富强,朱祥坤,闫斌,等.湖南湘潭锰矿的地球化学特征及成矿机制[J].岩石矿物学杂志,2016,35(3): 443-456.
- 唐云凤,伊海生.滇东南地区斗南沉积型锰矿床矿物相变化及沉积模式[J].中国地质,2011,38(2): 451-461.
- 王学求.全球地球化学基准: 了解过去,预测未来[J].地学前缘,2012,19(3): 7-18.
- 王学求,周建,徐善法,等.全国地球化学基准网建立与土壤地球化学基准值特征[J].中国地质,2016,43(5): 1469-1480.
- 谢学锦,刘大文,向运川,等.地球化学块体——概念和方法学的发展[J].中国地质,2002,29(3): 225-233.
- 谢进.一带一路锰矿资源投资前景分析[D].中国地质大学(北京)硕士学位论文,2017.
- 严旺生,高海亮.世界锰矿资源及锰矿业发展[J].中国锰业,2009,27(3): 6-11.
- 杨剑波.云南省鹤庆矿区地质特征与找矿标志探讨[J].中国锰业,2019,37(4): 15-17.
- 张勤,白金峰,王烨.地壳全元素配套分析方案及分析质量监控系统[J].地学前缘,2012,19(3): 33-42.
- 周琦,杜远生,袁良军,等.贵州铜仁松桃锰矿国家整装勘查区地质找矿主要进展及潜力预测[J].贵州地质,2016,33(4): 237-244.