

阴江宁, 肖克炎. 中国锰矿资源潜力分析及成矿预测[J]. 中国地质, 2014, 41(5): 1424–1437.

Yin Jiangning, Xiao Keyan. Resources potential analysis and metallogenic prospect of Mn resources in China[J]. Geology in China, 2014, 41(5): 1424–1437(in Chinese with English abstract).

中国锰矿资源潜力分析及成矿预测

阴江宁 肖克炎

(中国地质科学院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

摘要: 锰矿是目前中国紧缺矿产, 依据全国矿产资源潜力评价数据和成果, 对中国锰矿资源进行了现状分析和潜力预测。中国锰矿形成的主要大地构造部位包括: ①大陆边缘浅海; ②台内裂陷带(如华北地台之燕辽沉降带); ③造山带中裂陷海槽等。中国锰矿以泛扬子周边地区最为发育, 桂西南、湘黔渝为主要富集区。中国锰矿床的古地理展布表明, 具有重大工业价值的锰矿床均形成于海相环境中, 并主要为碳酸锰矿床。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。依据大地构造背景与成锰盆地性质之间的关系, 将中国锰矿划分为10个Ⅲ级成矿带, 14个成矿远景区, 对其主要含锰层位、成矿特征、主攻类型、资源潜力进行了分析, 提出了重点找矿部署区建议, 可为国家锰矿找矿突破提供支持。

关键词: 锰矿; 资源潜力; 成矿预测; 中国

中图分类号: P618.32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)05-1424-15

1 引言

锰是一种关系到国民经济的大宗支柱型金属矿产, 世界产量的95%用于冶金工业, 作为脱氧剂、脱硫剂和制造锰系合金^[1]。由于特种高强度钢、不锈钢等需求的日益增加, 中国对锰的需求呈上升趋势, 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^[2]。中国锰矿消费量近年快速增长, 自1983年开始进口锰矿, 2010年突破1000万t, 2005年以后对外依存度一直维持在45%左右, 保有储量54800万t, 按照目前国内的消耗水平, 保有资源储量的静态保障程度不足15年^[2]。

中国近几年锰矿勘查取得重大突破, 一是南华系锰矿勘查取得重大成果, 二是二叠系、三叠系和长城系锰矿勘查取得重大进展^[2], 发现了贵州松桃

道坨超大型锰矿床, 杨立掌、西溪堡、杨家湾锰矿资源增至大型规模, 累计新增锰矿资源量12000万t; 广西扶晚, 新增(122b+333)锰矿资源储量8672万t; 湖南祁零新增332+333锰矿资源储量2300万t, 预期可获5000万t以上, 但总体中国现阶段锰矿资源较为贫乏, 供需矛盾突出。

2 中国锰矿资源概况

全国已有23个省、市、自治区有锰矿床, 但空间分布很不均衡(图1)。以截至2010年底探明储量和保有储量及其在全国探明储量和保有储量之比例的位次, 锰矿主要集中在南方“泛扬子区”及周边的广西(位次1)、湖南(2)、贵州(3)、云南(4)、重庆(6)、湖北(7)、陕西(8), 合计探明储量53301万t, 保有储量47418万t, 分别占全国探明储量和保有储量的

收稿日期: 2014-02-18; 改回日期: 2014-04-28

基金项目: 中央公益性科研院所基本科研业务费项目(K1419)资助。

作者简介: 阴江宁, 男, 1975年生, 博士, 助理研究员, 主要从事数学地质和矿产资源评价研究; E-mail: mark-johnson@163.com。

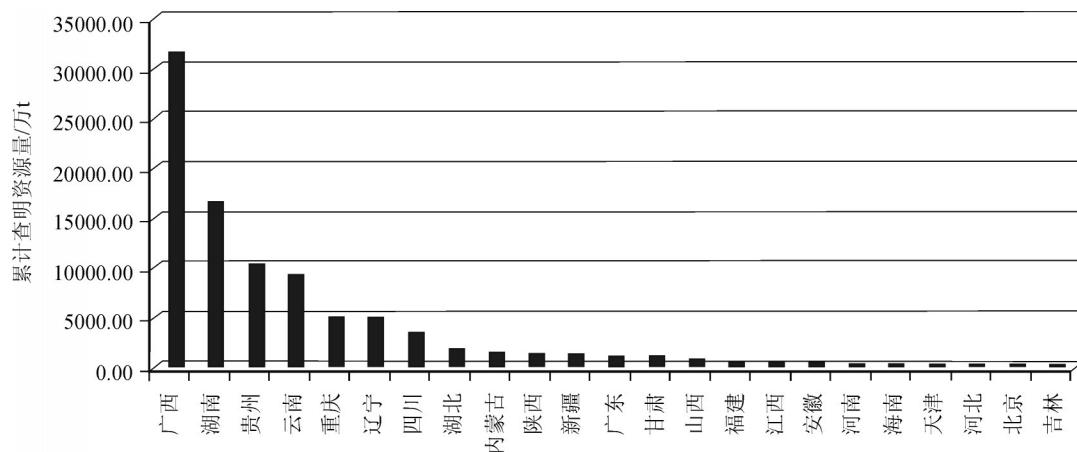


图1 中国锰矿累计查明资源储量统计分布图

Fig.1 Plot of discovered quantity of Mn resources in different provinces of China

86.01%和86.62%;其次是华北燕辽地区之辽宁,探明储量和保有储量居全国第5位;再次是新疆西天山地区,探明储量和保有储量居全国第9位。

根据全国矿产资源潜力评价最新数据,截至2010年底,全国已查明锰矿资源储量89200万t,基础储量19500万t,资源量69700万t。中国锰矿分布极不均匀,主要分布在广西、湖南、云南、贵州、重庆、辽宁、四川等7省区,查明锰矿资源储量占全国的89%。

中国锰矿生产与世界锰矿相比,有3大特点:

(1)矿床产地多,规模小,探明337处,大型矿床(矿石量>2000万t)仅7处,其中超大型矿床仅1处(广西大新县下雷,18000万t)。

(2)中国锰矿层位多,在中—新元古代、南华纪、震旦纪、寒武纪、奥陶纪、石炭纪、二叠纪和三叠纪均有大、中型锰矿床产出(表1)。

(3)锰矿石以贫矿为主,富矿少,平均品位22%,低于世界平均品位10个点,质量普遍较差,且有部分富锰矿石在利用时仍需工业加工。符合国际商品级富锰矿石($Mn \geq 48\%$)的矿床完全缺乏,而其他的锰资源大国以开采高品位优质锰矿为主。

(4)矿石物质组分复杂,为高磷高铁的锰矿石,粒度细、硅质成分高,影响选冶效果。此类矿石在中国锰矿储量中占有很大比例,如南方产于南华系下部湘锰组/大塘坡组中的“湘潭式”锰矿约有10000万t,属于高磷难用锰矿;又如广西大新县下雷^[3]、贵州遵义^[4, 5]和辽宁朝阳市瓦房子^[6]等大型锰矿的原

生矿石,有的属难用矿石,有的选矿难度高。

3 锰矿成因类型和成矿时代

中国锰矿与世界锰矿相比,其成因类型与成矿时代差别较大:

(1)世界重要锰矿有前寒武纪受变质沉积和火山—沉积矿床(约占31.2%)和古近—新近纪、白垩纪沉积矿床、经表生富集的矿床(古近—新近纪者约占53.2%,白垩纪者约占6.5%),沉积矿床又分为陆源碎屑—粘土建造型、碳酸盐岩建造型和条带状硅铁建造型^[6]。中国锰矿以海相沉积型矿床和表生矿床为主,火山—沉积矿床甚少。

(2)世界锰矿主要成矿时代主要集中于前南华纪之古—中元古代(特别是2300~1700 Ma,如南非、西非、巴西、印度的锰矿和古近纪渐新世内(如乌克兰、墨西哥、北澳大利亚的锰矿)^[7]。中国锰矿成矿时代甚多,除志留纪、侏罗纪、白垩纪和古近—新近纪外,从前南华纪至第四纪皆有锰矿产出(图2)。

4 成矿条件分析

4.1 中国锰矿床主要类型

锰矿床成因类型划分的核心是含锰建造的类型,迄今中外尚无一种被大家认同的划分原则或方案。现综合文献[8, 9]中的划分方案,以锰矿床的形成作用划分大类;进而以更反映锰矿形成条件和环境的岩类组合和含矿岩系、并兼顾矿石的矿物和元素组合划分亚类,把中国锰矿床作为6类和

表1 中国锰矿床类型和主要矿床(据文献[7]修改)

Table 1 Deposit types and main deposits of Mn resources in China (modified after reference [7])

序号	矿床类型	储量之比	典型矿床	矿床规模	成矿时代/含矿层位
1	海相沉积型	71.4%			
	细碎屑岩中沉积型氧化锰-碳酸锰矿床		辽宁朝阳市瓦房子锰矿 云南砚山县斗南锰矿	大型 中型	Pt ₂ t 铁岭组 T ₂ f 法郎组
	黑色页岩中沉积型碳酸锰矿床		贵州遵义市遵义锰矿 广西桂平市木圭锰矿 湖南桃江县桃江锰矿 湖南花垣县民乐锰矿 贵州松桃县大塘坡锰矿 贵州松桃县杨立掌锰矿	大型 大型 中型 大型 中型 中型	P ₂ m-P ₃ l 茅口组-龙潭组 D ₁ l 榴江组 O ₂ w 磨刀溪组 Nh ₁ x 湘锰组 Nh ₁ d 大塘坡组 Nh ₁ d 大塘坡组
	碳酸盐岩中沉积型氧化锰-碳酸锰矿床		云南建水县白显锰矿 广西天等县东平锰矿 新疆昭苏县昭苏锰矿	中型 中型 中型	T ₂ f 法郎组 T ₁ b 北泗组 C ₁ a 阿克莎依组
	硅-泥-灰岩中沉积型碳酸锰矿床		广西大新县下雷锰矿 广西靖西县湖润锰矿 云南鹤庆县鹤庆锰矿	超大型 大型 中型	D ₃ w 五指山组 D ₃ w 五指山组 T ₃ s 松桂组
2	海相火山-沉积型氧锰-碳酸锰矿床	2%	新疆和静县莫托沙拉铁锰矿 陕西宁强县黎家营锰矿	中型 中型	C ₁ a 阿克莎依组 Z ₁ d 或 Pt ₁ b 碧口群
3	热液改造或“层控”型铁锰铅锌矿床	5.6%	湖南道县后江桥铁锰铅锌矿	大型	D ₃ s 余田桥组
4	与岩浆作用有关的热液型锰(银)矿床	1%	山西灵丘县支家地-小青沟银锰矿	小型	燕山中-晚期
5	受变质型锰矿床	5.3%	四川平武县虎牙铁锰矿 陕西汉中市天台山磷锰矿 辽宁朝阳市瓦房子锰矿	中型 中型 大型	T ₂ z 扎尕山群 C ₁ ¹⁻² q 邱家河组 燕山期(原矿层位 Pt ₂ t)
6	表生矿床	15.7%	广西大新县下雷锰矿 广西桂平市木圭锰矿 广东罗定县新榕锰矿 广西平乐县平乐锰矿 广西荔浦县荔浦铁锰矿	超大 大型 中型 中型 中型	Q(原矿层位 D ₃ w 五指山组) Q(原矿层位 D ₁ l 榴江组) Q(原矿层位 D ₂) Q(原矿层位 Pt ₂ g 弧峰组) Q(原矿层位 Pt ₂ g 弧峰组)

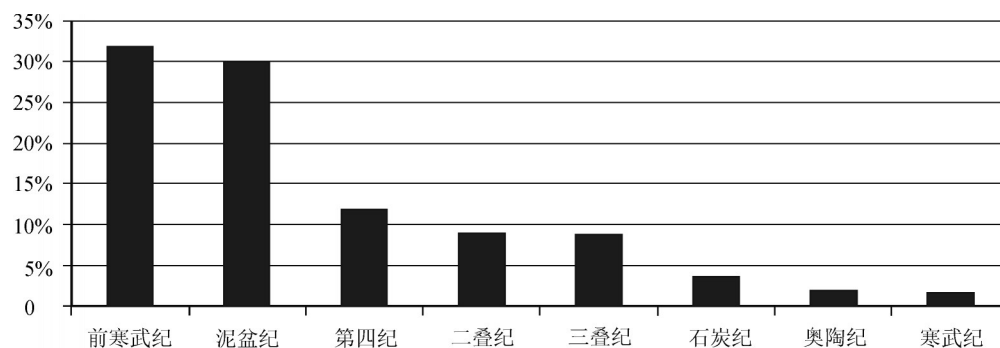


图2 中国锰矿成矿时代分布图

Fig.2 Plot of ore-forming epochs of Mn resources in China

若干亚类(表1):

4.1.1 海相沉积型锰矿床

此类矿床为中国最重要的锰矿床,其储量占全国锰总储量的71.4%,并可以含矿岩系特征分为4类:

(1) 细碎屑岩中沉积型氧化锰-碳酸锰矿床

含矿岩系为杂色粉砂岩或粉砂质页岩,夹泥灰岩、灰岩,矿层多产于碎屑岩到碳酸盐岩过渡带。原生矿石为氧化锰类型的水锰矿和碳酸盐锰类型的菱锰矿和钙菱锰矿-锰方解石矿。矿床规模一般较大,此类矿床一般形成于古陆边缘浅海环境。典型矿床如辽西朝阳市瓦房子锰矿床和滇东南砚山县斗南锰矿床^[10-11]。

(2) 黑色页岩中沉积型碳酸锰矿床

含矿岩系为黑色含炭质页岩、粘土岩夹灰岩、白云岩或硅质岩,有时夹劣质煤,富含微粒黄铁矿。矿石类型为碳酸锰,并以菱锰矿常见。矿床规模以大、中型居多,是中国最重要的锰矿类型之一。此类矿床多分布陆块边缘的长期拗陷区,属近海浅水半封闭的海湾或滞流盆地。典型矿床如产于下南华统上部之湖南湘潭式锰矿^[12-15],松桃杨立掌锰矿、大塘坡锰矿、西溪堡锰矿^[16],以及近期贵州松桃县发现的全隐伏超大型道坨锰矿^[17],属于典型的大塘坡式锰矿床。

(3) 碳酸盐岩中沉积型氧化锰-碳酸锰矿床

含矿岩系为白云岩、粉砂质白云岩、白云质灰岩,有的夹泥质岩。如天津蓟县东水厂锰矿床之长城系高于庄组含矿岩系是以含锰粉砂质白云岩为主的黑色岩系,矿石以锰方硼石为主,而该矿西侧的一些矿床则以菱锰矿为主,又如滇东南建水县白显锰矿床之含矿岩系为中-上三叠统碳酸盐岩,矿石为氧化锰-碳酸锰。

(4) 硅-泥-灰岩中沉积型碳酸锰矿床

含矿岩系以富含硅质、泥质,并出现硅质岩、硅质灰岩为特征,以广西大新县下雷锰矿床为典例。该矿床是中国最大的锰矿床,含矿岩系由薄层硅质灰岩、钙质泥岩和3层锰矿层组成。矿石有沉积型碳酸锰矿石、热水沉积硅酸锰-碳酸锰矿石和表生氧化锰矿石^[18]。

4.1.2 火山-沉积型锰矿床

此类矿床储量仅占全国锰总储量的2%,含矿岩系属火山喷发期后或火山喷发间隙期的正常海

相沉积碎屑岩与碳酸盐岩。矿层产于碎屑岩中,或碎屑岩向碳酸盐岩过渡部位,火山岩以中-基性为主,碎屑岩中常含火山物质,出现碧玉条带。此类矿床多形成于造山带之裂隙海槽或其边缘,矿床为中-小型,典型矿床是产于西天山造山带之早石炭世莫托沙拉铁锰矿床^[19]。

4.1.3 热水沉积型(或“层控”型)铁锰铅锌矿床

此类矿床锰储量占全国锰储量的5.6%,成因颇有争议,被称为层控型铅锌铁锰矿床^[8]或热液改造矿床^[9],其特征是矿体具固定层位,赋存于碳酸盐岩中,但又有矿体切穿层理和具白云岩化、铁锰碳酸盐化等后期改造特征。矿床规模大、中、小型均有,典型矿床多见于湘粤地区中-上泥盆统碳酸盐岩地层中,如产于上泥盆统余田桥组白云岩中的湖南道县后江桥大型锰矿铁铅锌床,产于中泥盆统棋梓桥组含锰泥质岩中的郴州玛瑙山中型锰矿床。

4.1.4 与岩浆作用有关的热液型矿床

此类矿床数较少,规模也较小,其储量仅占全国锰储量的1%。此类矿床可能是由含锰灰岩(含锰2%~4%)受岩浆作用,经扩散的热水溶液淋滤、富集充填而成的网脉状、脉状小矿体。典型矿床如山西灵丘县支家地-小青沟热液型银锰矿床,银储量1068 t,锰储量396.6万t,达中型矿床规模。又如河北围场县小扣花营银锰矿床和涿鹿县相广银锰矿床,属陆相火山热液脉状矿床,推断已达中型规模。

4.1.5 受变质型锰矿床

此类矿床占全国锰总储量的5.3%,是原先的沉积型或火山-沉积型锰矿床受区域变质或接触变质后,矿石矿物组合发生改变的锰矿床。前者的代表性矿床如陕西安康县黎家营锰矿床和四川平武县虎牙锰(铁)矿床。黎家营锰矿床产于扬子陆块西北隅外侧的碧口地块(属西秦岭造山带)之中元古界碧口群中。虎牙锰(铁)矿床产于松潘-甘孜造山带中,赋矿于中三叠统千枚岩、泥质粉砂岩中。后者的代表性矿床有辽宁朝阳市瓦房子锰矿床和湖南宁乡县棠甘山锰矿床。瓦房子矿床是中国北方最大的锰矿床,原是产于华北陆块燕辽沉降带中元古界上部蓟县系铁岭组泥质岩中沉积型铁锰矿床,受晚期安山玢岩影响,在接触带受热变质作用形成方铁锰矿-褐锰矿和硅酸锰-氧化锰矿石,致使该矿床以其复杂多样的矿石类型和矿物组合闻名于世。

4.1.6 表生锰矿床

此类矿床在中国锰矿总储量中居第2位,主要分布在北纬23°带^[20](图3),已有9个千万t级以上的锰矿床,约占全国锰矿总储量的12%,是各种原生锰矿床或含锰岩系的锰质,在湿热气候、有利构造、岩性和丘陵地貌等条件下,经风化、淋滤、富集而形成的,依成矿条件和富集部位分为3类:

(1)沉积含锰岩层或锰矿床帽型矿床,典型矿床如广西天等县东平锰矿床,广东连州县小带锰矿床。

(2)淋滤型锰矿床:典型矿床如广西桂平县木圭锰矿床。

(3)堆积型锰矿床:典型矿床如湖南永州市东湘桥锰矿床。

4.2 成矿大地构造位置

中国锰矿形成的主要大地构造部位包括:①大陆边缘浅海;②台内裂陷带(如华北地台之燕辽沉降带,扬子地台之南丹型台沟);③造山带中裂陷海槽等。中国锰矿以泛扬子周边地区最为发育。

4.3 含锰建造

中国主要含锰建造分为6类:海相黑色岩系含锰建造,硅、泥、灰岩含锰建造,碳酸盐岩含锰建造,泥质岩-碳酸盐岩含锰建造;陆相碎屑岩(砂泥粘土质)含锰建造以及火山-沉积含锰建造。其中以硅、泥、灰岩型和黑色岩系型最为重要。各类含锰建造随大地构造和地史发展而定位,从而在成矿理论和成矿预测方面具有重要意义^[21]。

海相沉积型锰矿含锰建造的定位机制与古海洋运动的兴衰有密切关系,如中元古代华北地台燕辽沉降带的泥质岩-碳酸盐岩型含(硼、铁)锰建造;震旦纪一早古生代扬子地台边缘的黑色岩系型含(磷)锰建造;晚古生代湘桂地区硅、泥、灰岩含锰建造;三叠纪滇、桂等地的泥质岩、碳酸盐岩含锰建造等。火山-沉积含(铁)锰建造地史分布零星,主要出现在中元古代碧口期(黎家营)及古生代(祁连、天山等地槽)。

4.4 岩相古地理条件

中国锰矿床的古地理展布表明,具有重大工业价值的锰矿床均形成于海相环境中,扬子地台的南华系(成冰系)大塘坡组中有大量锰碳酸盐岩产出,广泛地分布在扬子地台及其周缘,是中国重要的优质锰矿资源,“大塘坡”式锰矿作为新元古代“雪球

地球”事件^[22]结束之后特有的化学沉积产物,记录了这一重要地质时期内丰富的古海洋和古环境信息。

陆相沉积锰(铁)矿床(如山西屯留式湖相铁锰矿床)为数极少,仅陆相中处于特定纬度和气候条件的湘、桂、闽、粤红壤、黄壤区,地史上曾有矿化作用(有含锰岩层或矿化点)的地带,在第四纪甚或古近-新近纪经历了表生氧化次生富集作用而形成的表生锰矿床却占有一定的地位(占总储量的16%)。

锰的地球化学循环涉及到风化、运移、沉淀和成岩变动等过程,这些过程在很大程度上受到海洋水体氧化还原状态的制约^[23]。锰的沉淀形式是沉积环境氧化还原状态的反映:还原条件下,可溶的 Mn^{2+} 与 CO_3^{2-} 结合形成菱锰矿而沉淀;氧化条件下,难溶的 Mn^{2+} 以氧化物 MnO_2 (软锰矿)或氢氧化物(水锰矿)的形式沉淀。与锰的2种不同沉淀形式对应,菱锰矿也存在2种形成机制: Mn^{2+} 与 CO_3^{2-} 直接结合形成菱锰矿和通过锰的氧化物、氢氧化物转化而形成菱锰矿,菱锰矿的这两种不同沉淀成矿形式具有截然不同的古环境意义,也是深入认识锰矿的成因机制的基础。元古宙的海洋是一种氧化还原分层的海洋系统^[24-25],海洋表层水体处于氧化状态,底层水体仍处于缺氧状态,这种分层的海洋系统一直持续到新元古代末期^[26-29],在这种氧化还原分层的海洋系统的上覆氧化性水体中, Mn 以氧化物或氢氧化物形式发生沉淀,然后下沉被掩埋在缺氧带之下,锰氢氧化物在成岩过程中被还原并释放 Mn^{2+} 。

缺氧使锰溶解,弱氧化及弱碱性介质利于碳酸锰的淀积,从而决定了锰矿床形成的环境特点。文献[9]认为“中国沉积锰矿床都生于局限流通的或海湾地区的陆棚浅海,这些陆棚浅海都位于长期受侵蚀的或比较稳定的古陆边缘;在开阔的海洋地区不生成工业锰矿床”。它们是在陆缘海域水上或水下隆起所阻隔的半局限或障壁盆地环境成矿或矿化,否则锰质将难以聚集。

中国工业锰矿床主要形成于稳定地台边缘的滨浅海海域半局限及滞流的环境,在陆架区的台沟、凹槽或水下盆地成矿或矿化。在深浅海、半深海海域或海槽地区一般多为矿化,也有形成为矿床的,但主要为磷锰共生矿床。岛弧海伴有中基性火山活动时还形成火山-沉积矿床。上述这些矿床主

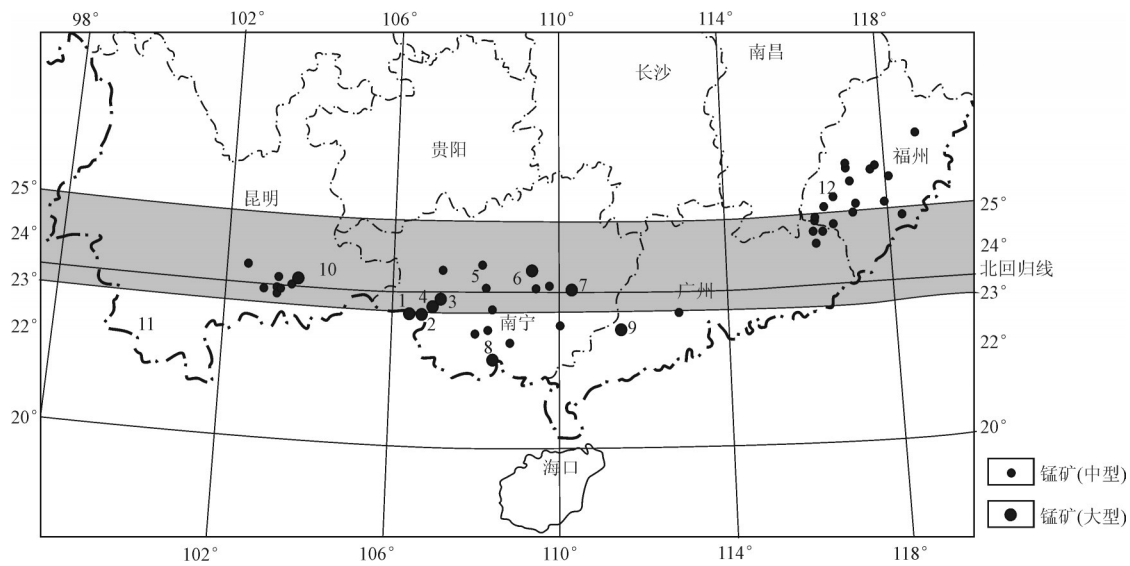


图3 北纬23°锰矿带

Fig.3 Ore-forming belt of Mn in 23 degrees north latitude in China

要分布于扬子地台周边、华北地台北缘以及柴达木中间地块和塔里木地台北侧海域；而地台内部的开阔海域则少见锰矿床。

5 中国锰矿资源潜力分析

5.1 主要预测类型

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。

中国锰矿以海相沉积型为主，受控于不同层位、不同性质的含锰岩系，或同一层位、不同性质的含锰岩系。表生风化(壳)型锰矿也占重要地位，特别是能提供较易选冶的氧化锰矿石；此类锰矿的原岩主要是碳酸锰矿石、含锰菱铁矿和含锰岩石，风化型矿石又可分为锰帽、淋积和堆积3类；次为多金属硫化物矿床的锰帽，其矿石不但可采冶，更是作为多金属硫化物矿床的主要找矿标志。对前一类风化(壳)型锰矿，若风化程度不强烈，矿石类型仍以原生碳酸锰矿石为主的，则归入“沉积型海相型”锰矿预测类型，但注明“叠加风化(壳)型”。若风化程度较强烈，矿石大部分为次生氧化锰矿石，则归入“风化(壳)型”锰矿预测类型。

至于其他类型的锰矿床，如“层控型”的铁锰铅

锌矿床，其“层控”特征显示其预测方法类型类似于沉积型海相，故也归入此预测类型。又如几个受(接触)变质的锰矿床，其主要的控矿因素是受含锰岩系地层的控制，故也可归入“沉积型海相”预测类型，中国锰矿类型及分布见表2。

5.2 资源潜力分析

依据全国矿产资源潜力评价的最新成果，全国22个省锰矿预测资源量累计404000万t，排在前十位的省份为：湖南、河北、广西、四川、安徽、重庆、贵州、辽宁、陕西、云南(图4)。

截至2008年底，中国发现锰矿区393个，查明资源储量84674.14万t，其中富锰矿石4073.34万t。全国锰矿主要分布在6个成矿省，涵盖主要潜力区27个(图5)，预测锰矿资源潜力约137000万t，主要矿床类型为海相沉积型和风化型。

5.3 主要潜力区

中国锰矿资源分布地域广，层位多，但成矿区带相对较集中，主要分布在华北陆块、扬子陆块、华南后加里东陆块区，三江、祁连和天山造山带也有分布，且每一成矿区(带)内往往以一个或几个成矿时代和矿床类型为主。依据大地构造背景与成矿盆地性质之间的关系^[30]，将中国各类锰矿的成矿区(带)划分为10个Ⅲ级成矿带，14个成矿远景区(图6)。表3为中国锰矿Ⅰ、Ⅱ级成矿区(带)及其成矿时

代和主要含矿层位。

6 结论与建议

中国锰矿形成的主要大地构造部位包括:①大陆边缘浅海;②台内裂陷带(如华北地台之燕辽沉降带,扬子地台之南丹型台沟);③造山带中裂陷海槽等。中国锰矿以泛扬子周边地区最为发育。中国具有重大工业价值的锰矿床均形成于海相环境中,并主要为碳酸锰矿床。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。中国主攻矿床类型是海相沉积型锰矿床,南华系已成为中国最重要的含锰层位,有较多的空白区未做工作,具有巨大的找矿潜力,其重点找矿层位为长城系高于庄组、南华系大塘坡组/湘锰组、奥陶系磨刀溪组、泥盆系五指山组、二叠系孤峰组、龙潭组、三叠系北泗组、法郎组、石炭系大塘阶组,预测资源量266500万t。

近几年中国锰矿勘查取得重大突破,一是南华系锰矿勘查取得重大成果,二是二叠系、三叠系和长城系锰矿勘查取得重大进展,但总体中国现阶段锰矿资源较为贫乏,供需矛盾突出,为了保证对锰原料的需求,需要进行如下一些工作:

(1)加强锰矿成矿规律的研究,尤其是对富锰矿多样性的研究,努力发现一些大型的、较富的锰矿床,尤其是在一些老矿区及其周围,不但有可能,而且也很有现实意义。

(2)总结以往锰矿勘查的经验教训,排查尚未验证的异常区,勘查深度较浅:锰矿床勘查程度普遍较高,80%达勘探和详查,勘查深度较浅,一般在300~500 m,勘查空白区较多,勘查工作集中在已知矿床内,对成矿区带的潜力预测和勘查程度不够,空白区较多。

(3)加强采选冶技术的创新研究,尤其是要采用先进的冶炼技术,降低吨钢耗锰量。如果能接近工

表2 中国锰矿预测类型^[7]
Table 2 Predictable style of Mn deposit in China^[7]

预测类型	西北	华北	东北	西南	中南	华东	小计
(火山)沉积-变质型	黑峡口式 (小,C ₂ h)						1
火山岩型海相	莫托沙拉式 (MnFe 中,C _{1a})						1
火山岩型陆相			额仁陶勒盖式 (Mn 小 Ag 大,J ₃ t)				1
沉积型海相	昭苏式 (中,C _{1a}) 天台山式 (中,含 P, ∈ ₁ t), 大巴山式 (中,Z ₁ d)	瓦房子式 (大,Pt ₂ ² t)		虎平式 (中,T ₂ σ), 大巴山式 (中,Z ₁ d), 轿顶山式 (小,O ₄ ² w), 遵义式 (大,中,P ₃ l), 滇东南式 (中,T ₂ f), 鹤庆式 (中,T ₃ s)	古城式 (中,Z ₁ d), 湘潭式 (大,中,Nh ₁ ³ x), 响涛源式 (中,O ₂ m), 玛瑙山式 (中,D ₂ ² g), 后江桥式 (大,D ₃ ¹ s), 龙头式 (中,小 C ₁ ² d), 下雷式 (超大-中,D ₃ ² w)	华亭式 (中,C ₂ h)	18
沉积型陆相		留屯式 (中、小、P ₂ ² x)					1
风化壳型(富含锰岩系地层)		洞沟式 (Mn 中 Ag 小, Pt ₂ ¹ g+J ₃ K ₁ 火山机构), 李清地式 (Mn 小 Ag 中, 脉状,Ar ₃)		东平式 (中,T ₁ b)	小带式 (中,D ₂₋₃), 木圭式 (中,D ₃ ¹ l), 八一式 (中,P ₂ ² g), 东湘桥式 (中,P ₃ c)	栖霞山式 (小,PbZnAg 硫化物矿床), 闽粤式 (中、小,C ₂ h-P ₂ ² w)	9
合计							31

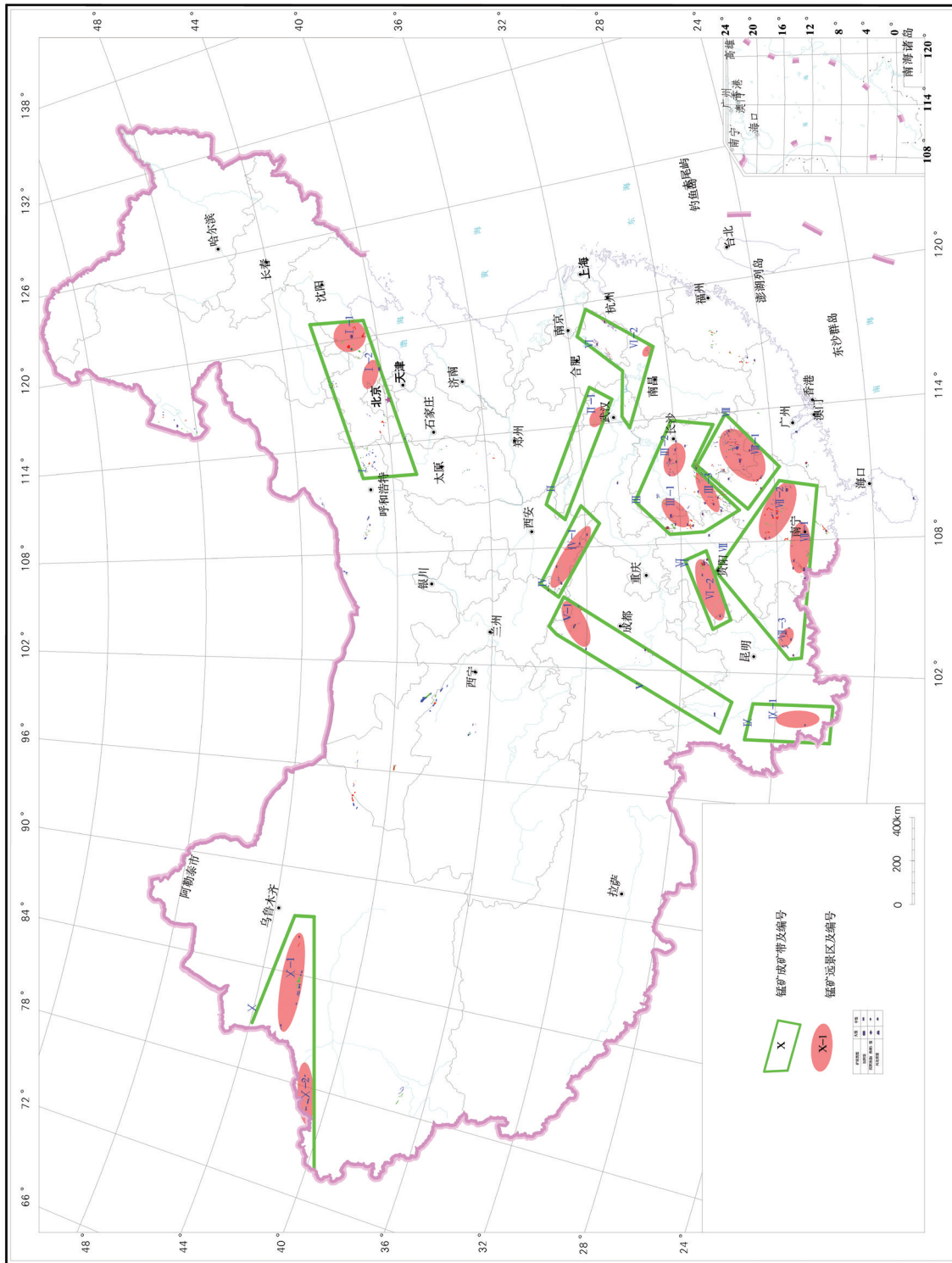


图6 中国锰矿成矿区带及远景区分布图
Fig.6 Distribution of ore-forming belts and tracts of Mn in China

续表3

编号	锰矿 成矿带	主要 含锰层位	代表性矿床 (*为矿床式)	远景区 编号	锰矿找矿远景区	远景区成矿特征及资源潜力
VII	晚泥盆世—早石炭世湘	沈冲组(T ₁ ² -T ₁ ¹)	云南砚山县斗南(中)*	VII-1	桂西南	处于右江再生地槽西南部雷—灵马凹陷,那坡、靖西、下雷、东平等成锰盆地,主要含锰层位:泥盆系五指山组,石炭系大塘阶,三叠系北泗组,典型矿床:下雷和扶晚,已探获大中型锰矿床8处,查明锰矿、石膏资源储量2.42亿t,预测该资源量3.5亿t,主攻矿床类型:海相沉积型碳酸锰矿
	英世和早—中三叠世南盘江—右江成矿带	北泗组(T ₁ ^b) 大塘阶(C ₁) 槽江组(D ₁ ²) 五指山组(D ₁ ³ W)	建水县白豆(中)* 广西天等县东平(中)* 广西宜州市龙头(中)* 广西桂平市末圭(人)* 广西大新市下雷(超大)* 靖西县湖湖(大)*			处于南丹—宜山成锰盆地,含锰层位:石炭系大塘阶,典型矿床:宜州龙头,已探获中型锰矿床1处,小型矿床、矿点50多处,查明锰矿资源储量850万t,区内含锰岩系长200km以上,最近在龙头、里苗等锰矿区相继发现厚0.50~8.0m、锰品位10%~27%的碳酸锰矿,锰矿层展布于一系列向斜的两翼及转折端,向斜规模巨大,倾向延深在3000~5000m,根批龙头锰矿山开采资料,锰矿层厚度沿倾向有变厚趋势,以往工作控制型锰矿倾向延深仅300~500m,该区锰矿资源潜力巨大,预测锰矿资源远景30000万t以上,主攻矿床类型:海相沉积型兼陆相风化型锰矿
	中—晚泥盆世和早—晚二叠世湘	当冲组(P ₂ ^d) 弧峰组(P ₂ ^g) 余田桥组(D ₁ ^s) 棋子桥组/东岗岭组(D ₁ ³ g/D ₁ ³ d)	广西平乐县平乐(中) 湖南永州市东湘桥(中)* 广西来宾县八—(中) 湖南道县后江桥(人)* 广东连州市小东(小)	VII-3	滇东南	处于南盘江成锰盆地,含锰层位:三叠系法郎组(泥盆系五指山组)典型矿床:斗南、花中,已探获中型锰矿床5处,查明锰矿资源储量6000万t,该区法郎组地层展布面积大于200km,泥盆系五指山组大于150km,斗南弧形向斜核部、麻栗坡向斜、富宁大宝山向斜等地找矿潜力大,预测锰矿资源量30000万t,主攻矿床类型:海相沉积型碳酸锰—氧化锰矿床,兼陆相沉积型氧化锰矿床
VIII	中—晚泥盆世和早—晚二叠世湘	当冲组(P ₂ ^d) 弧峰组(P ₂ ^g) 余田桥组(D ₁ ^s) 棋子桥组/东岗岭组(D ₁ ³ g/D ₁ ³ d)	广西平乐县平乐(中) 湖南永州市东湘桥(中)* 广西来宾县八—(中) 湖南道县后江桥(人)* 广东连州市小东(小)	VIII-1	湘桂粤	地处湘桂坳陷、永州、桂阳成锰盆地,主要含锰层位:三叠系当冲组(弧峰组),典型矿床:清水塘、水埠头,已探获大型锰矿床2处,中型锰矿床5处,小型、矿点数十处,探获资源储量约6500万t,区内含锰地层发育,在三个成锰盆地内存50多个短轴向斜,含锰岩系在向斜两翼及核部连续分布,找矿潜力巨大,预测锰矿资源量可达60000万t,主攻矿床类型:海相沉积型碳酸锰矿
	中元古代和早—晚二叠世滇西成矿带	小定西组(T ₁ ³) 栖霞组(P ₁ ^q) 酒沧群惠民组(P ₁ ^h)	云南达曼小龙潭	IX-1	滇西南	地处扬子地台与印度地台交接带上,属于三江造山褶皱带的南段,含锰层位:主要为中元古界澜沧群惠民组,其次二叠系拉巴组典型矿床:巴夜,区内惠民组—含锰岩系发育,断长达300km,工作程度极低,探明的巴夜锰矿床赋存在向斜东翼,其向斜西翼有较大的找矿远景,在澜沧县老营盘—河边寨发现二叠系拉巴组地层中存在2m厚的优质锰矿体,断长达数十千米,预测锰矿资源量6000万t,主攻矿床类型:陆相型氧化锰矿,兼海相沉积型碳酸锰矿,重点找矿部署区:巴夜锰矿及外围、澜沧县老营盘—河边寨锰矿
X	晚古生代新疆天山成矿带	阿克苏组(C ₁ ^a)	新疆和静县莫托沙拉(中)* 昭苏县昭苏(中)*	X-1	西天山	属天山褶皱带西段,区内分布有昭苏、卡朗沟和莫托沙拉3个成锰盆地,含锰层位:下石炭统阿克沙依组、野云沟组,志留—泥盆系
	晚古生代新疆天山成矿带	阿克苏组(C ₁ ^a)	新疆和静县莫托沙拉(中)* 昭苏县昭苏(中)*	X-2	西南天山	位于西南天山西段与西昆仑北段交界区,处于南天山成矿带西段东阿赖山成矿区,区内已发现多个锰矿点,锰矿具有多层、单层厚度大、品位高的特点,如乌恰县吉根锰矿点,矿层赋存于砂页岩中,有3层锰矿,单层厚度1~3.5m,为氧化锰矿, Mn品位38.5%~51%,工作程度极低,预测该资源远景5000万t,主攻矿床类型:火山—沉积型锰矿床

业发达国家的水平,可以节约三分之一的锰矿石用量。针对中国以贫的碳酸锰矿矿石为主的现状,加强选冶试验,解决人造富矿技术,就可以开发现有几个较贫的大型矿床。这样,就会使紧张局面有所缓解。

致谢: 审稿专家及编辑部杨艳老师对文章提出了宝贵修改意见,在此一并表示衷心感谢。

参考文献(References):

- [1]《中国矿床》编委会. 中国矿床(上册)[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 338-413.
Chinese Mineral Deposits Edit Committee. Chinese Mineral Deposits(Volume 1) [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 338-413(in Chinese with English abstract).
- [2] 陕亮, 张万益, 陆春宇, 等. 全国矿产勘查新进展与未来找矿部署建议[J]. 金属矿山, 2014, 452: 100-104.
Shan Liang, Zhang Wanyi, Lu Chunyu, et al. New important achievement of Chinese mineral exploration and suggestion on the coming prospecting evaluation arrangement[J]. Metal Mine, 2014, 452: 100-104 (in Chinese with English abstract).
- [3] 郝瑞霞, 关广岳. 广西下雷一湖润锰矿带原生碳酸锰矿床的沉积机制[J]. 地质地球化学, 1994, 22(2): 57-61.
Hao Ruixia, Guan Guangyue. The mechanism of sediment of origin manganese carbonate near Xialei and Hurun in Guangxi [J]. Geology-Geochemistry, 1994, 22(2): 57-61(in Chinese with English abstract).
- [4] 覃英, 王佳武, 李代平, 等. 黔东南地区南华纪锰矿地质地球化学特征[J]. 地质与勘探, 2013, 49(6): 1060-1069.
Qin Ying, Wang Jiawu, Li Daiping, et al. Geological and geochemical characteristics of the Nanhuaian Manganese deposits in southeastern Guizhou Province[J]. Geology and Exploration, 2013, 49(6): 1060-1069(in Chinese with English abstract).
- [5] 刘巽锋, 王庆生, 高兴基. 贵州锰矿地质[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1989: 129-187.
Liu ZhuanFeng, Wang Qingsheng, Gao Xingji. Mn Geology in Guizhou Province[M]. Guiyang: Guizhou People's Publishing House, 1989: 129-187(in Chinese with English abstract).
- [6] 陈登辉, 巩恩普, 梁俊红, 等. 辽西上白垩统义县组湖相碳酸盐岩碳氧稳定同位素组成及其沉积环境[J]. 地质学报, 2011, 85(6): 987-992.
Chen Denghui, Gong Enpu, Liang Junhong, et al. The carbon and oxygen stable isotopic compositions and sedimentary environment of the lacustrine carbonate from the upper Cretaceous Yixian formation, Western Liaoning, NE China[J]. Acta Geologica Sinica, 85(6): 987-992(in Chinese with English abstract).
- [7] 陈毓川, 王登红, 陈郑辉, 等. 重要矿产和区域成矿规律研究技术要求[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 101-103.
Chen Yuchuan, Wang Denghong, Chen Zhenghui, et al. Technical Requirement of Important Minerals and Study of Region Metallurgical Law[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 101-103(in Chinese with English abstract).
- [8] 姚培慧, 林镇泰, 杜春林. 中国锰矿志[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
Yao Peihui, Lin Zhentai, Du Chunlin. China Mn Deposit[M]. Beijing: Metallurgy Industry Press, 1995(in Chinese with English abstract).
- [9] 叶连俊. 叶连俊文集[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 93-156.
Ye Lianjun. Collected Works of Ye Lianjun[M]. Beijing: Science Press, 1993: 93-156 (in Chinese with English abstract).
- [10] 柏万灵, 王小春, 杜发永, 等. 滇东南斗南锰矿带矿田构造特征及其找矿意义[J]. 矿床地质, 2010, 29(增刊): 35-36.
Bai Wanling, Wang Xiaochun, Du Fayong, et al. Characteristic of ore-field structure of Mn deposit in Dounan, southeast of Yunnan and its prospect significance[J]. Mineral Deposits, 2010, 29 (Supp.): 35-36(in Chinese with English abstract).
- [11] 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): 452-461.
Tang Yunfeng, Yi Haisheng. Mineral phase changes and depositional model of sedimentary manganese deposits in Dounan area of southeastern Yunnan[J]. Geology in China, 2011, 38(2): 451-461(in Chinese with English abstract).
- [12] 黄金水, 朱恺军, 王双彬, 等. 中国南方海相锰矿地质概论[J]. 地质找矿论丛, 1996, 11(3): 9-17.
Huang Jinshui, Zhu Kaijun, Wang Shuangbin, et al. Outline of marine Mn deposits in South China[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1996, 11(3): 9-17(in Chinese with English abstract).
- [13] 唐世瑜. 湖南花垣民乐震旦系锰矿床同位素地质研究[J]. 沉积学报, 1990, 8(4): 77-88.
Tang Shiyu. Isotope geological study of Mn deposit in Minle area, Hunan Province[J]. Sedimentologica Sinica, 1990, 8(4): 77-88(in Chinese with English abstract).
- [14] 傅群和. “桃江式”锰矿床地质特征及其地球化学特征[J]. 湖南地质, 2001, 20(1): 15-20.
Fu Qunhe. The geological and geochemical characteristics of Taojiang type Mn deposits[J]. Hunan Geology, 2001, 20(1): 15-20 (in Chinese with English abstract).
- [15] 余沛然. 湖南花垣民乐锰矿床主要地质特征及其找矿前景[J]. 中国锰业, 2008, 26(4): 9-13.
Yu Peiran. Geologic charaters & prospect in Huayua Mingle Mn-ore deposit of Hunan[J]. China Manganese Industry, 2008, 26(4): 9-13(in Chinese with English abstract).
- [16] 张飞飞, 朱祥坤, 高兆富, 等. 黔东南西溪堡锰矿的沉淀形式与含锰层位中黄铁矿异常高 $\delta^{34}\text{S}$ 值的成因[J]. 地质论评, 2013, 59(2): 274-286.
Zhang Feifei, Zhu Xiangkun, Gao Zhaofu, et al. Implication of the

- precipitation mode of manganese and ultra-high $\delta^{34}\text{S}$ values of pyrite in Mn-Carbonate of Xixibao Mn ore deposit in northeastern Guizhou province[J]. *Geological Review*, 2013, 59(2): 274-286(in Chinese with English abstract).
- [17] 朱祥坤, 彭乾云, 张仁彪, 等. 贵州省松桃县道坨超大型锰矿床地质地球化学特征[J]. *地质学报*, 2013, 87(9): 1335-1348.
Zhu Xiangkun, Peng Qianyun, Zhang Renbiao, et al. Geological and geochemical characteristics of the Daotuo super-large Manganese ore deposit at Songtao Country in Guizhou Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2013, 87(9): 1335-1348(in Chinese with English abstract).
- [18] 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.
Qin Yuankui, Zhang Huacheng, Yao Jingqu. Geochemical characteristics and geological implication of the Xialei manganese deposit, Daxin County, Guangxi[J]. *Geological Review*, 2010, 56(5): 664-672(in Chinese with English abstract).
- [19] 杨富全, 郭旭吉, 黄承科, 等. 新疆阿尔泰托莫尔特铁(锰)矿成矿作用[J]. *岩矿测试*, 2013, 31(5): 906-914.
Yang Fuquan, Guo Xuji, Huang Chengke, et al. Metallogenesis of the Tuomoerte Fe-(Mn)deposit in Altay, Xinjiang[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2013, 31(5): 906-914(in Chinese with English abstract).
- [20] 范德廉. 锰矿床地质地球化学研究[M]. 北京: 气象出版社, 1994.
Fan Delian. *Geology and Geochemical Research of Mn Deposit*[M]. Beijing: Meteorological Press, 1994(in Chinese with English abstract).
- [21] 陈毓川, 王登红, 朱裕生, 等. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1-1005.
Chen Yuchuan, Wang Denghong, Zhu Yusheng, et al. *Mineralization System and Regional Metallogenic Prognosis in China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 1-1005 (in Chinese with English abstract).
- [22] Hoffman P F, Kaufman A J, Halverson G P, et al. A Neoproterozoic snowball earth[J]. *Science*, 1998, 281: 1342-1346.
- [23] 张飞飞, 闫斌, 郭跃玲, 等. 湖北古城锰矿的沉淀形式及其古环境意义[J]. *地质学报*, 2013, 87(2): 245-258.
Zhang Feifei, Yan Bin, Guo Yueling, et al. Precipitation form of Manganese ore deposits in Gucheng, Hubei Province, and its paleoenvironment implication[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2013, 87(2): 245-258(in Chinese with English abstract).
- [24] Canfield D E, Poulton S W, Narbonne G M. Late Neoproterozoic deep-ocean oxygenation and the rise of animal life[J]. *Science*, 2007, 315: 92-95.
- [25] Canfield D E, Poulton S W, Knoll A H, et al. Ferruginous conditions dominated later Neoproterozoic deep-water chemistry[J]. *Science*, 2008, 321(5891): 949-952.
- [26] Li Chao, Gordon D L, Timothy W Lyons, et al. Evidence for a redox stratified cryogenian marine basin, Datangpo formation, South China[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2012, 331-332: 246-256.
- [27] Li Chao, Love G D, Lyons T W, et al. A stratified redox model for the Ediacaran ocean[J]. *Science*, 2010, 328: 80-83.
- [28] Poulton S W, Fralick P W, Canfield D E. Spatial variability in oceanic redox structure 1.8 billion years ago[J]. *Nature Geoscience*, 2010, 3(7): 486-490.
- [29] 储雪蕾, 李任伟, 张同钢, 等. 大塘坡期锰矿层中黄铁矿异常高的 $\delta^{34}\text{S}$ 值的意义[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2001, 20(4): 320-322.
Chu Xuele, Li Renwei, Zhang Tonggang, et al. Implication of ultra-high $\delta^{34}\text{S}$ values of pyrite in manganese mineralization beds of Datangpo stag[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(4): 320-322(in Chinese with English abstract).
- [30] 徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 1-138.
Xu Zhigang, Chen Yuchuan, Wang Denghong, et al. *Division of Mineralization Zones in China*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010: 1-138(in Chinese with English abstract).

Resources potential analysis and metallogenic prospect of Mn resources in China

YIN Jiang-ning, XIAO Ke-yan

(MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Manganese is an important metal which is in serious shortage in China at present. Based on dataset and achievements of national mineral resources assessment project, the authors made current situation analysis and potential prediction for manganese resources in China. The main ore-forming geotectonic positions of Mn in China are located in such areas as shallow sea near continental margin, chasmic belt (subsidence zone of Hebei-Liaoning), and marine depression in the orogenic belt. Mn deposits are developed mainly around Yangtze region in China. The ore concentration areas of Mn lies in southwest Guangxi, Hunan, Guizhou and Chongqing. The study of paleogeography of Mn deposits in China shows that most important Mn deposits with high industrial value formed in marine environment, mostly Mn carbonate. Mn deposits with tremendous resource potential in China lie in marine sediments and weathering crusts; in addition, marine volcanic and continental sediments also have some resource potential. According to relations between tectonic structures and ore-forming basins of Mn, ten three-level metallogenic zones and 14 metallogenic prospective areas were delineated. The ore-forming rocks, metallogenic features, main types, and resources potential were analyzed. Suggestions on key prospect deploy areas were made for support of national Mn prospecting breakthrough.

Key words: Mn deposit; potential resources; metallogenic prospect; China

About the first author: YIN Jiang-ning, male, born in 1975, assistant researcher, engages in the study of mineral resources assessment; E-mail: mark-johnson@163.com.