

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2021.01.002

华北地区镍矿床特征及资源潜力

党智财^{1,2}, 李俊建^{1,2}, 付超^{1,2}, 宋立军³, 彭翼⁴, 张彤⁵

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170;

2. 中国地质调查局华北地质科技创新中心, 天津 300170;

3. 河北省地质调查院, 石家庄 050081;

4. 河南省地质调查院, 郑州 450007;

5. 内蒙古自治区地质调查院, 呼和浩特 010020)

摘要: 华北地区镍矿床(点)主要分布在内蒙古、河北省及河南省等地, 已发现镍矿床(点)19处, 其中大型矿床1处, 中型矿床3处, 小型矿床8处, 矿点7处。新元古代和晚古生代是华北地区镍矿床形成的2个高峰期。矿床类型以岩浆型为主, 其次为风化壳型和沉积变质型。沉积变质型镍矿床主要产在华北陆块区内, 形成环境与裂陷盆地有关; 岩浆型和风化壳型镍矿床主要产在克拉通边缘或造山带, 形成环境与大陆边缘裂解或后碰撞伸展环境有关。分析认为, 华北陆块北缘出露的镁铁质-超镁铁质岩、二连贺根山地区蛇绿混杂岩及内蒙古南端秦祁昆造山带寒武系黑色岩系地层, 均具有较好的镍矿资源找矿潜力。

关键词: 镍矿; 资源特征; 成矿规律; 潜力分析; 华北地区

中图分类号: P618.63 **文献标识码:** A

0 引言

镍金属因其可塑性强、耐高温、耐腐蚀、化学性能稳定及抗氧化能力强等特点, 被誉为“钢铁工业的维生素”^[1], 在钢铁、镍基合金、电镀及电池等领域应用广泛。同时, 镍也是战略金属矿种之一, 广泛应用于军工、航天、通讯器材、医疗、化工和天体化学等领域。然而, 我国镍矿富矿资源量少, 埋藏较深, 镍矿资源消耗量大, 国外依存度居高不下, 资源形势不容乐观^[2]。鉴于我国镍资源紧缺的形势, 查明镍矿资源家底, 加强典型矿床和成矿规律研究, 为找矿勘查部署提供依据, 做好战略储备将是一项十分重要的工作内容。

华北地区镍矿床(点)多而规模小, 镍矿资源相

对匮乏。近年来, 随着矿产勘查工作的深入推进, 华北地区先后新发现/勘查了多处镍矿(点), 显示较大的成矿潜力。本文在全面分析华北地区已有镍矿基础地质资料基础上, 初步对华北地区镍矿资源概况、矿床类型与典型矿床、镍矿成矿规律方面进行总结和探讨, 以为华北地区镍矿找矿勘查工作部署提供参考。

1 资源概况

1.1 世界镍矿资源概况

世界镍矿资源储量丰富, 截止2018年, 全球探明镍矿基础储量约 8900×10^4 t, 主要分布在印度尼西亚、澳大利亚、巴西、俄罗斯、古巴、菲律宾、南非、中国等^[3-6]。镍矿类型以风化壳型为主, 主要分布在

收稿日期: 2020-08-24; 改回日期: 2020-12-15; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 中国地质调查局项目(编号: DD20190379-31、1212011121029、200110200038、DD20190155)、国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项(编号: 2016YFC0600107、2018YFC0603805-1)联合资助。

作者简介: 党智财(1989—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事区域成矿学研究和矿产勘查工作。E-mail: dangzhicai@163.com

通信作者: 李俊建(1962—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事区域成矿学研究和矿产勘查工作。E-mail: tjljunjian@163.com

赤道附近的古巴、新喀里多尼加等国^[7-8];岩浆型硫化物镍矿主要分布在加拿大、俄罗斯、澳大利亚、中国、南非、美国等。此外,在太平洋深海的锰结核中也蕴藏着丰富的海相沉积型镍矿资源。

1.2 我国镍矿资源概况

我国镍矿资源相对匮乏,约占世界总量的 3%。自 2004 年以来,我国镍矿查明资源储量基本在 $800 \times 10^4 \sim 1000 \times 10^4$ t。截止 2018 年底,镍查明资源储量 1187.88×10^4 t,大约全国勘查新增查明资源储量 47.20×10^4 t,基础储量 280×10^4 t,占镍矿查明资源储量的 23.6%^①。我国镍矿资源分布高度集中,查明的资源储量主要分布在甘肃、新疆、青海、内蒙古 4 省,以上 4 省镍储量占全国总储量的 70%,其中甘肃省探明储量占全国总储量的 1/3。我国已发现有镍矿产地 400 余处(包括矿化点),其中超大型 3 处、大型 14 处、中型 31 处、小型 93 处^[2]。我国镍矿类型以岩浆型镍矿为主,其无论是储量还是开

采量都占明显的优势,约占全国总量的 90%,并且伴生矿产多、综合利用价值高;次为风化壳型和海相沉积型^[9]。

1.3 华北地区镍矿资源概况

华北地区镍矿相对较少,但分布较为集中,主要分布在内蒙古、河北及河南等地。华北地区已发现镍矿床(点)19 处,其中大型矿床 1 处、中型 3 处、小型 8 处,其余为矿点(图 1);已查明镍矿资源储量为 89.44×10^4 t,各镍矿产地及其特征详情见表 1。

华北地区镍矿数量分布最多的省份是内蒙,其中有中型镍矿床 3 处、小型矿床 6 处、矿点 6 处,多数为共生和伴生矿床,独立镍矿床较少。在河北省境内有 2 处小型镍矿,其中迁安铜铜子矿区已闭坑多年,内邱县杏树台钴镍矿作为硫铁矿共生矿床正在开采中。河南省已发现 1 处大型镍矿(周庵镍矿床)和 1 处镍矿点,其中周庵大型镍矿发现于 20 世纪 70 年代末,已累计查明镍金属量为 65.68×10^4 t。

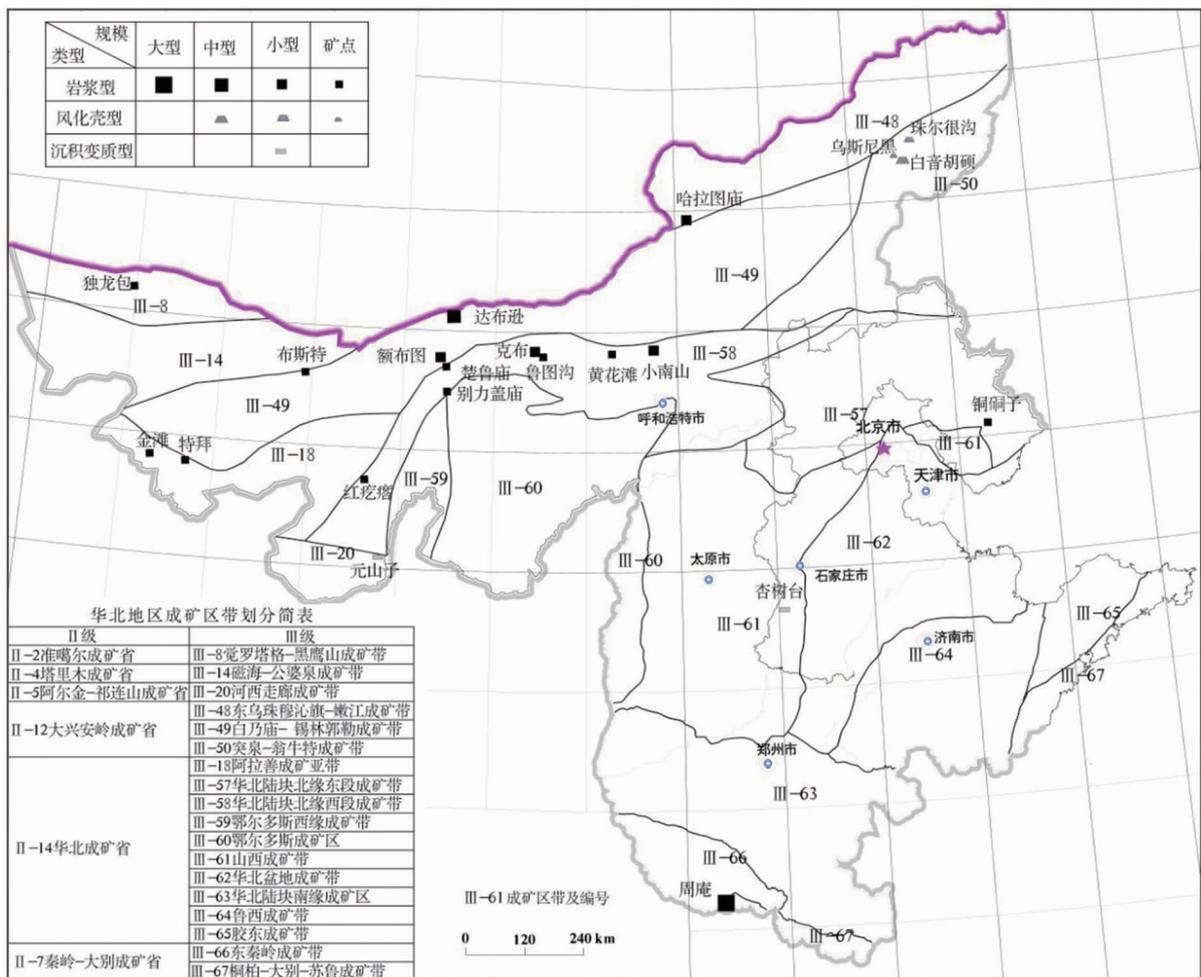


图 1 华北地区镍矿分布图(据注释②,修改)

Fig. 1 Map showing distribution of nickel ore in North China

表1 华北地区镍矿产地及特征

Table 1 The productive areas of nickel mineral resources in North China and their characteristics

序号	产地名称	矿床成因	规模	金属储量/ $\times 10^4$ t	$\omega(\text{Ni})/\%$	伴生矿种	成矿时代	行政区
1	乌斯尼黑	风化壳型	矿点		0.4		泥盆纪	内蒙
2	鲁图沟	岩浆型	矿点			钴矿	石炭纪	内蒙
3	楚鲁庙	岩浆型	矿点		0.4	钴矿	二叠纪	内蒙
4	黄花滩	岩浆型	矿点			铜矿	二叠纪	内蒙
5	克布	岩浆型	小型	1.10	0.31	铜矿	二叠纪	内蒙
6	额布图	岩浆型	小型	0.66	0.47	钴矿	二叠纪	内蒙
7	小南山	岩浆型	小型	1.26	0.636	铜多金属	二叠纪	内蒙
8	哈拉图庙	岩浆型	小型	0.60	1.43	铜矿	石炭纪	内蒙
9	珠尔很沟	风化壳型	小型	2.34	1.11	钴矿	泥盆纪	内蒙
10	元山子	沉积变质型	小型	0.34	0.38	铜矿	寒武-奥陶纪	内蒙
11	独龙包	岩浆型	矿点	0.01	0.32	铜矿	志留纪	内蒙
12	白音胡硕	风化壳型	中型	3.78	1.07	钴矿	泥盆纪	内蒙
13	达布逊	岩浆型	中型	2.61	0.48	钴矿	二叠纪	内蒙
14	亚干	岩浆型	中型	10.68	0.167	铜矿	二叠纪	内蒙
15	别力盖庙	岩浆型	矿点	0.01	0.41	铜、钴矿	石炭-二叠纪	内蒙
16	杏树台	沉积变质型	小型	0.30	0.377	钴、铜矿	早古生代	河北
17	铜碾子	岩浆型	小型	0.02		铜	燕山期	河北
18	周庵	岩浆型	大型	65.68	0.34	铜、铂族	新元古代	河南
19	柳树庄	岩浆型	矿点	0.06	0.34		新元古代	河南

华北地区镍矿床类型以岩浆型镍矿为主,约占华北地区镍矿总量73%以上,次为风化壳型和沉积变质型^②。

2 主要矿床类型

按照矿床成因类型,可将华北地区镍矿分为岩浆型、风化壳型和沉积变质型3种。岩浆型镍矿床在内蒙古、河南和河北等地均有分布,其无论是在矿床数量还是储量上都占有明显的优势,其中大型1处、中型2处、小型5处、矿点6处,约占华北地区镍矿总量73%以上。风化壳型镍矿床主要在内蒙古产出,已发现有中型矿床1处、小型矿床1处和矿点1处。沉积变质型镍矿床主要分布在内蒙古和河北等地,已发现有小型矿床2处。

2.1 岩浆型镍矿

华北地区岩浆型镍矿形成时代为新元古代和晚古生代,主要分布在华北陆块北缘深大断裂带边缘及南秦岭构造带北缘,多与基性程度较高的镁铁质-超镁铁质岩密切相关。主要典型矿床有额布图、克布、黄花滩、小南山、达布逊、哈拉图庙、亚干及周庵等镍矿床。矿体呈皮壳状分布在岩体与围岩接触带的蚀变橄榄辉石岩相带中。矿石矿物主要为硅酸镍、硫化镍、黄铁矿等。由此可划分出硅酸镍矿石、硫化镍矿石两种自然类型。矿石结构主要为致密块状结构。矿石构造有层状(似层状)构造、细脉浸染

状构造、浸染状构造。围岩蚀变主要发育次闪石化、绿泥石化、钠帘石化、绢云母化等。

2.2 风化壳型镍矿床

华北地区风化壳型镍矿主要发育有西乌珠穆沁旗白音胡硕苏木胡硕镍矿、珠尔很沟镍矿及柴达木苏木乌斯尼黑镍矿点。该类镍矿床以白音胡硕镍矿较为典型,与中晚泥盆纪超基性岩关系密切。矿体赋存在斜辉、二辉辉橄岩中,呈不规则状岩株产出。矿石结构主要为土状结构、粉土状结构、粉砂土状结构,矿石构造主要有块状构造、细脉状构造、网格状构造、团块状构造、结核状构造等。矿石中含镍物相由硅酸镍、硫酸镍、硫化镍等组成,其中硅酸镍占主体,其含量占全镍94.86%~96.17%。岩石蚀变强烈,主要为碳酸盐矿物,次为绿泥石化、绢云母化、泥化等。

2.3 沉积变质型镍矿床

华北地区沉积变质型镍矿床矿主要有阿拉善左旗元山子镍矿、内邱县杏树台镍矿等。矿体的产出受地层控制,同时受后期构造及热液活动影响。矿体主要赋存于黑色硅质岩、碳质岩、磷质岩等黑色岩系和千枚岩、石英片岩、黑云母片麻岩等变质岩系地层中,矿体呈似层状和透镜状产出,与围岩产状基本一致。矿石结构以粒状结构为主,同时具交代结构、胶状结构、生长结构等。矿石构造有细脉浸染状构造、浸染状构造。围岩蚀变主要发育有绿泥石化、碳酸盐化、硅化等。

3 华北地区镍矿成矿规律

太古宙至元古宙,华北地区为克拉通基底固化与边缘裂陷期,古生代转入活动大陆边缘弧-盆体系。元古代以来,研究区经历了多期次构造变动和频繁的岩浆活动,特别是华北陆块北缘近东西向深大断裂长期活跃,导致上地幔含金属硫化物镁铁质-超镁铁质岩浆在该期形成了镁铁质-超镁铁质岩浆岩带,并形成了一系列的镍矿床,同时也为后期改造型镍矿床的形成提供了直接的物质来源。

3.1 时间分布规律

华北地区镍矿成岩成矿时代资料相对陈旧、匮乏,大多沿用 20 世纪 80—90 年代 Rb-Sr 和 K-Rr 法获得的年龄数据。近年来,随着 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年方法的应用,很多学者对研究区镁铁质-超镁铁质岩进行了精确的年龄测定(表 2),这为厘定华北地区镍矿成岩成矿时代及区域成矿规律研究提供了很好的基础。现有同位素年龄数据表明,华北地区镍矿床形成时代从新元古代到古生代、中生代均有发育,其中新元古代和晚古生代为华北地区镍矿床形成的 2 个高峰期,无论是在数量上还是在规模上都占绝对的优势。不同类型的镍矿床形成时代存在一定的差异,其中岩浆型镍矿主要形成于新元古代和晚古生代,风化壳型镍矿主要形成于泥盆纪,沉积变质型镍矿主要形成于寒武纪。

新元古代,扬子陆块北缘发生强烈的岩浆活动,来自上地幔含铜镍等金属元素的镁铁质-超镁铁质岩浆侵位至上地壳的古老地层中,由于受岩浆分异作用及接触交代作用影响,成矿元素在有利地段逐渐富集,从而形成了周庵岩浆型铜镍硫化物矿床。在全国范围内,新元古代也是镍矿床形成的高峰期,其形成与大陆边缘裂解作用密切相关^[2]。

表 2 华北地区镍矿成矿年龄

Table 2 Ore-forming age of nickel deposit in North China

岩体名称	测年方法	年龄值/Ma	资料来源
额布图	SHRIMP 锆石 U-Pb	294.2±2	文献[10]
温更	SHRIMP 锆石 U-Pb	269±8	文献[11]
温更	SHRIMP 锆石 U-Pb	272±8	文献[12]
克布	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	258±2	文献[13]
黄海滩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	262±2	文献[14]
小南山	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	272.7±2	文献[15]
亚干	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	271.8±1	待发表
周庵	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	621±1.5	文献[16]

早古生代(寒武纪)是华北地区沉积变质型镍矿成矿期,该时期在内蒙古南部和河北等地逐渐沉积了一套含镍等成矿元素的黑色岩系和火山岩系,此后这套黑色岩系和火山岩系受后期岩浆热液活动的叠加改造,镍元素在局部地段逐渐富集,形成了元山子和杏树台沉积变质型镍矿。

晚古生代时期是华北地区镍矿床的主要成矿期,主要为岩浆型镍矿床,形成环境主要为后碰撞伸展环境^[14]。该期镍矿床(点)主要分布在华北陆块北缘、宝音图隆起区、二连-贺根山蛇绿混杂岩带等,代表性矿床主要由达布逊、额布图、小南山、黄海滩、克布、亚干、哈拉图庙等镍矿床。此外,风化壳型成因的白音胡硕镍矿、珠尔很沟镍矿等镍矿床的形成也与该期镁铁质-超镁铁质岩浆作用有关。

中生代时期华北地区镍矿形成极少,仅在河北省发现 1 处铜洞子小型镍矿床。

3.2 空间分布规律

在空间上,华北地区镍矿床分布具有成群分布特征,但不同地区在疏密程度上有区别。在地理位置上,已探明的镍矿床(点)主要分布在内蒙古,少量分布在河南和河北。在大地构造位置上,沉积变质型镍矿床产在华北陆块区内,分布范围有限,受地层控制明显,代表性矿床有元山子和杏树台镍矿,形成环境主要与裂陷盆地有关;岩浆型镍矿床主要产于构造活动比较强烈的地区,如克拉通边缘或造山带,受区内深大断裂的控制和影响,如额布图、克布、黄海滩、小南山和周庵镍矿床分布在华北陆块和扬子陆块边缘,亚干和达布逊矿床产于天山-兴蒙造山带内,该类型矿床的形成主要与后碰撞伸展或大陆边缘裂谷有关;风化壳型镍矿床主要产在天山-兴蒙造山带内,其赋矿镁铁质-超镁铁质岩应形成于后碰撞伸展环境,成矿作用主要受后期表生风化和淋滤作用影响,代表性矿床有白音胡硕和珠尔很沟风化壳型镍矿。

4 镍成矿作用与构造演化

华北地区发育有多期次强烈的构造-岩浆活动,客观上为铜镍矿床的形成提供了有利的地质构造条件。华北地区镍矿床(点)成矿时代主要集中在新元古代和晚古生代两个时期,这两个成矿期依次发生于扬子陆块大陆边缘裂陷和华北陆块北缘陆缘俯冲-碰撞后造山作用阶段。

新元古代时期是全球 Rodinia 超大陆开始裂解时期,由一个超级大陆变成多个古大陆,由于大陆边缘发生裂解作用,导致深部地幔的超镁铁质岩浆活动在大陆边缘广泛发生^[9,17-18],形成了诸如在扬子陆块北缘的周庵大型镍矿床,其赋矿岩体形成年龄为 637 Ma—621 Ma^[16,19]。该年龄与周庵矿床处于同一构造-岩浆岩带的随州—枣阳地区 635 Ma 的镁铁-超镁铁质岩以及形成于大陆裂谷环境的耀岭河群双峰式火山岩年龄一致^[20-21],这可能代表 Rodinia 超大陆是扬子陆块北缘裂解过程最晚期产物^[16,19]。因此,周庵大型镍矿床可能是扬子陆块北缘大陆裂解晚期阶段岩石圈伸展环境的记录。

晚古生代时期,华北陆块北缘以陆缘俯冲—碰撞造山作用为主,经历了多期洋壳扩张与俯冲、碰撞造山过程,同期伴随大规模镁铁质-超镁铁质岩浆活动,并形成了诸如亚干、达布逊、额布图、克布、黄花滩、小南山和哈拉图庙等典型镍矿床,其赋矿岩体形成时代主要为石炭纪—二叠纪(见表 1)。同期岩体还见有乌拉特中旗红旗店辉长岩(273 Ma)、温更斜长岩(285 Ma±2 Ma)和辉长岩(269 Ma±8 Ma)以及克布闪长岩(291.0 Ma±4.0 Ma)^[11,22-24]。这一时期花岗岩也较发育,且类型复杂,既有四子王旗乌拉塔高勒庙(271 Ma—256 Ma)、乌拉特中旗北七哥陶、塔拉布基、阿格如和保尔汗图庙等(260 Ma—258 Ma)高钾—中钾钙碱性 I 型花岗岩^[25-26],也有四子王旗乌梁斯太(277 Ma±3 Ma)等碱性 A 型花岗岩^[25]。

以上表明,华北地区镍矿床的形成可能为造山作用晚期或造山作用后岩石圈伸展环境的岩浆热事件记录^[10-11,13-14,22-23,27-29]。

5 成矿潜力分析

华北陆块横跨古亚洲成矿域、秦祁昆成矿域、滨太平洋成矿域三大成矿域。由于多期次的构造运动,区内构造-岩浆活动强烈,岩石变形、变质作用多次叠加,指示深部地壳重熔和岩浆活动强烈的实质,它们为区内铜、镍矿床的形成提供了有利的地质构造条件^[30-32]。

华北地区出露有规模较大的镁铁质-超镁铁质岩,主要沿华北陆块北缘深大断裂带两侧断续分布,东西向长约 400 km,宽约 30 km。该岩带成矿地质条件较好,局部地表矿化及 Cu、Ni 异常明显,具有

较好的找矿前景^[33]。近年来发现的多处铜镍矿床(点)均分布在该区域。如已探明有一定地质储量的额布图、达布逊、克布、黄花滩、小南山铜镍矿床等。最新锆石 U-Pb 定年结果显示,该岩带内的镁铁质-超镁铁质岩石的形成时代为二叠纪(294 Ma—258 Ma)^[10-11,23-24],接近于新疆东天山和北山地区铜镍硫化物矿床(喀拉通克、图拉尔根、白石泉、黄山东、黄山和香山等)的成岩成矿时代(298 Ma—282 Ma)^[34-37];进一步对比研究表明,二者在赋矿岩体的岩石地球化学特征、形成构造背景及成矿地质条件方面均具有较强的可比性^[38-39]。这说明二叠纪时期中亚造山带南缘较大范围内均发育较为活跃的幔源岩浆活动,该时期的镁铁质-超镁铁质岩石可能具有很好的成矿潜力^[38]。

二连—贺根山蛇绿混杂岩带成矿地质条件也十分优越。区内镍元素地球化学特征具有高背景异常特征,且已发现有白音胡硕、珠尔很沟和乌斯尼黑等风化壳型镍矿床,显示该区具有风化壳型镍矿找矿空间。另外,在内蒙古南端一隅的秦祁昆造山系内发育有较大面积含有黑色岩系的寒武系地层,具有寻找沉积变质型镍矿的找矿潜力。

6 结论

(1)华北地区镍矿主要分布在内蒙古、河北及河南等地,已发现镍矿床(点)19处,其中大型矿床1处、中型3处、小型8处、矿点7处;矿床类型以岩浆型为主,其次为风化壳型和沉积变质型。

(2)新元古代和晚古生代是华北地区镍矿床形成的2个高峰期。不同类型的镍矿床形成时代存在一定的差异,岩浆型镍矿主要形成于新元古代和晚古生代,风化壳型镍矿主要形成于泥盆纪,沉积变质型镍矿主要形成于寒武纪。

(3)沉积变质型镍矿床产在华北陆块区内,形成环境主要与裂陷盆地有关;岩浆型镍矿床主要产在克拉通边缘或造山带,形成环境与大陆边缘裂解或后碰撞伸展环境有关;风化壳型镍矿床主要产在天山—兴蒙造山带内,其赋矿镁铁质-超镁铁质岩形成于后碰撞伸展环境,成矿作用主要受后期表生风化和淋滤作用影响。

(4)华北陆块北缘出露的镁铁质-超镁铁质岩、二连—贺根山地区蛇绿混杂岩及内蒙古南端秦祁昆造山系黑色岩系的寒武系地层,均具有较好的镍矿找矿潜力。

注释:

- ① 自然资源部. 中国矿产资源报告[R], 2019.
- ② 李俊建. 华北地区重要矿种区域成矿规律研究[R]. 天津: 天津地质调查中心, 2013.

参考文献:

- [1] 肖增德, 陈杰. 国际镍市场与金川公司[J]. 世界有色金属, 1996(10): 27-33.
- [2] 王岩, 王登红, 孙涛, 等. 中国镍矿成矿规律的量化研究与找矿方向探讨[J]. 地质学报, 2020, 94(1): 217-240.
- [3] 陈毓川, 赵逊, 张之一, 等. 世纪之交的地球科学-重大地质领域进展[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 1-69.
- [4] Hoatson D M, Jaireth S, Jaques A L. Nickel sulfide deposits in Australia: characteristics, resources, and potential [J]. Ore Geology Reviews, 2006, 29: 177-241.
- [5] Naldrett A J. World-class Ni-Cu-PGE deposits: Key factors in their genesis [J]. Mineralium Deposita, 1999, 34: 227-240.
- [6] Naldrett A J. A history of our understanding of magmatic Ni-Cu sulfide deposits [J]. Can. Mineral, 2005, 43: 2069-2098.
- [7] 付伟, 牛虎杰, 黄小荣, 等. 红土型镍矿床成因的多样性: 基于全球尺度的对比研究[J]. 地质学报, 2013, 87(6): 832-849.
- [8] 于良晖. 国内外镍矿资源供需格局分析[J]. 矿产保护与利用, 2019, 39(1): 155-162.
- [9] 孙涛, 王登红, 钱壮志, 等. 中国镍矿成矿规律初探[J]. 地质学报, 2014, 88(12): 2227-2251.
- [10] Peng R M, Zhai Y S, Li C S, et al. The Erbutu Ni-Cu Deposit in the Central Asian Orogenic Belt: A Permian Magmatic Sulfide Deposit Related to Boninitic Magmatism in an Arc Setting [J]. Economic Geology, 2013, 108: 1879-1888.
- [11] 赵磊, 吴泰然, 罗红玲. 内蒙古乌拉特中旗北七哥陶辉长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2011, 27(10): 3072-3081.
- [12] 赵磊. 华北板块北缘中段晚古生代镁铁-超镁铁岩的岩石地球化学特征及其构造意义[D]. 北京: 北京大学, 2008: 1-99.
- [13] 党智财, 李俊建, 付超, 等. 内蒙乌拉特中旗克布镁铁质-超镁铁质岩体年代学、矿物学和岩石地球化学[J]. 地质学报, 2018, 92(2): 278-297.
- [14] 党智财, 李俊建, 付超, 等. 内蒙古中部地区镁铁质-超镁铁质岩形成时代及地质意义[J]. 大地构造与成矿学, 2019, 43(2): 303-321.
- [15] 党智财, 李俊建, 赵泽霖, 等. 内蒙古四子王旗地区小南山辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2016, 35(4): 583-592.
- [16] 曾威, 司马献章, 王家松, 等. 周庵铜镍-铂族矿床锆石 U-Pb 年代学、地球化学及 Sr-Nd 同位素特征: 对周庵基性-超基性岩体及矿床成因的探讨[J]. 岩石学报, 2016, 32(4): 1232-1248.
- [17] 王智, 王惠初, 施建荣, 等. 内蒙古集宁地区徐武家变质辉长岩的形成背景及其地质意义[J]. 地质调查与研究, 2020, 43(2): 97-113.
- [18] 相振群, 陆松年, 李怀坤, 等. 华北克拉通中元古代岩浆事件群[J]. 地质调查与研究, 2020, 43(2): 137-152.
- [19] 王梦玺, 王焰, 赵军红. 扬子板块北缘周庵超镁铁质岩体锆石 U-Pb 年龄和 Hf-O 同位素特征: 对源区性质和 Rodinia 超大陆裂解时限的约束[J]. 科学通报, 2012, 57(34): 3283-3294.
- [20] 洪吉安, 马斌, 黄琦. 湖北枣阳大阜山镁铁-超镁铁杂岩体与金红石矿床成因[J]. 地质科学, 2009, 44(1): 231-244.
- [21] 蔡志勇, 熊小林, 罗洪, 等. 武当地块耀岭河群火山岩的时代归属: 单锆石 U-Pb 年龄的制约[J]. 地质学报, 2007, 81(5): 620-625.
- [22] 罗红玲, 吴泰然, 李毅. 乌拉特中旗克布岩体的地球化学特征及 SHRIMP 定年: 早二叠世华北克拉通底侵作用的证据[J]. 岩石学报, 2007, 23(4): 756-763.
- [23] 罗红玲, 吴泰然, 赵磊. 华北板块北缘乌梁素太 A 型花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年及构造意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(3): 515-526.
- [24] 王倩. 内蒙古乌拉特中旗温根 A 区镁铁-超镁铁质岩体成因及岩浆源区讨论[D]. 北京: 中国地质大学, 2010: 5-30.
- [25] 柳长峰, 周志广, 张华峰, 等. 内蒙古四子王旗乌拉塔高勒庙岩体的侵位时代及岩石地球化学特征[J]. 矿物岩石, 2011, 31(4): 34-43.
- [26] 罗红玲, 吴泰然, 赵磊. 乌拉特中旗二叠纪 I 型花岗岩类地球化学特征及构造意义[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(5): 805-820.
- [27] Wu F Y, Sun D Y, Li H M, et al. A-type granites in north-eastern China: Age and geochemical constraints on their petrogenesis [J]. Chemical Geology, 2002, 187: 143-173.
- [28] 洪大卫, 黄怀曾, 肖宜君, 等. 内蒙中部二叠纪碱性花岗岩及其地球动力学意义[J]. 地质学报, 1994, 68(3): 219-230.
- [29] 王树庆, 胡晓佳, 赵华雷. 内蒙古苏左旗洪格尔地区新发现晚石炭世碱性花岗岩[J]. 地质调查与研究, 2019, 42(2): 81-85.
- [30] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 556-628.
- [31] 吕林素, 毛景文, 刘珺, 等. 华北克拉通北缘岩浆 Ni-Cu (PGE) 硫化物矿床地质特征、形成时代及其地球动力学背景[J]. 地球学报, 2007, 28(2): 148-163.
- [32] 马娟, 彭斌. 内蒙古特伦格日图超基性岩体特征及成矿潜力研究[J]. 地质调查与研究, 2009, 33(3): 175-180.
- [33] 刘国军, 王建平. 内蒙古镁铁质-超镁铁质岩型铜镍矿床成矿条件与找矿远景分析[J]. 地质与勘探, 2004, 40(1): 17-20.
- [34] Mao J W, Franco P, Zhang Z H, et al. A review of the Cu-Ni sulphide deposits in the Chinese Tianshan and Altay orogens (Xinjiang Autonomous Region, NW China): Principal characteristics and ore-forming processes [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2008, 32: 184-203.

- [35] Zhang Z C, Mao J W, Chai F M, et al. Geochemistry of the Permian Kalatongke mafic intrusions, Northern Xinjiang, Northwest China: implications for the genesis of magmatic Ni-Cu sulfide deposits [J]. *Economic Geology*, 2009, 104: 185 - 203.
- [36] Xue S C, Qin K Z, Li C S, et al. Geochronological, petrological and geochemical constraints on Ni-Cu sulfide mineralization in the Poyi ultramafic-troctolitic intrusion in the Northeast rim of the Tarim craton, western China [J]. *Economic Geology*, 2016, 111:1465 - 1484.
- [37] Xue S C, Qin K Z, Li C S, et al. Geochronological, mineralogical and geochemical studies of sulfide mineralization in the Podong mafic-ultramafic intrusion in northern Xinjiang, western China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2018, 101:688 - 699.
- [38] 党智财. 内蒙古中部地区镁铁质-超镁铁质岩岩石学、地球化学、年代学及含矿性评价[D]. 北京: 中国地质科学院, 2015, 1 - 117.
- [39] Su B X, Qin K Z, Tang D M, et al. Late Paleozoic mafic-ultramafic intrusions in southern Central Asian Orogenic Belt (NW China): Insight into magmatic Ni-Cu sulfide mineralization in orogenic setting [J]. *Ore Geology Reviews*, 2013, 51: 57 - 73.

The characteristics and mineral resources potential of Ni deposits in North China

DANG Zhicai^{1,2}, LI Junjian^{1,2}, FU Chao^{1,2}, SONG Lijun³, PENG Yi⁴, ZHANG Tong⁵

(1. Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China;

2. North China Center for Geoscience Innovation, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;

3. Geological Survey of Hebei Province, Shijiazhuang 050081, China;

4. Geological Survey of Henan Province, Zhengzhou 450007, China;

5. Inner Mongolia Bureau of Geological Survey, Hohhot 010020, China)

Abstract: Ni ore deposits and occurrences are mainly distributed in Henan province, Hebei province and Inner Mongolia autonomous region in North China. 19 deposits (occurrences) have been discovered including 1 large-sized deposit, 3 medium-sized deposits, 8 small-sized deposits and 7 occurrences. Neo-proterozoic and Late Paleozoic eras are the two peaks of Ni mineralization. The magmatic Ni deposits are dominant, then weathering crust type and sedimentary-metamorphic type. The sedimentary metamorphic deposit, which is genetically related to rift basin, mainly. However the magmatic and weathering crust deposits are mainly distributed in the margin of the craton or in the orogenic belts, and genetically to the rifting of the continental margin and post-collisional extension respectively. The comprehensive analysis shows that the mafic-ultramafic rocks in northern margin of North China block, ophiolitic melange in the Erlian-Hegenshan area and the Cambrian black rock series strata in Qinqikun orogenic belt at the south end of Inner Mongolia are potential for prospection of nickel deposits.

Key Words: nickel deposits; resources characteristics; metallogenetic regularity; analysis of metallogenetic potential; North China