

加拿大纽芬兰-拉布拉多省镍矿勘查潜力

王永春¹, 张熹鹏¹, 孙东宾², 王 龙¹

(1. 辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 辽宁省核工业地质勘查院, 沈阳 110032)

摘要: 纽芬兰-拉布拉多省地处加拿大地盾东缘, 成矿条件十分优越, 是加拿大重要的镍矿成矿区, 矿化类型多样。文章基于前人对该区镍矿床和矿化的研究, 从区域成矿地质背景、矿化类型及地质特征、地球物理特征、勘探潜力、勘查态势等方面进行了系统分析。拉布拉多地区的镍矿资源主要分布于辉长质-橄长质镁铁质岩石分布区, 主要与中元古代侵入的辉长岩、斜长岩、橄长岩、辉石岩有关, 或与太古宙超镁铁质变火山岩有关, 矿化类型有橄长岩和辉长岩型、辉石岩型、斜长岩型、铁闪长岩型、火山岩(科马提岩)型; Voisey's Bay Ni-Cu-Co 硫化物矿床是拉布拉多地区已发现的大型镍矿床。纽芬兰地区的镍矿资源主要与古生代辉长-闪长质侵入岩、前寒武系镁铁质片麻岩有关, 矿化类型主要有辉长岩型、镁铁质片麻岩型、火山热液型。纽芬兰-拉布拉多省的镍矿勘查前景乐观。

关键词: 镍矿床; 纽芬兰; 拉布拉多; 矿化类型; 勘探潜力, 加拿大

中图分类号: P618.63, P613 **文献标识码:** A

0 引言

加拿大纽芬兰-拉布拉多省(Newfoundland & Labrador)位于加拿大东北角, 由纽芬兰岛和拉布拉多半岛东部组成, 两者之间为拉布拉多海(峡)隔开, 最狭处仅 15 km。1994 年之前, 纽芬兰-拉布拉多省很少勘探镍, 全省的镍产量约百吨, 均为 Tilt Cove、Notre Dame Bay 铜-锌矿床回收的副产品^[1]。上世纪 70 年代和 80 年代, 拉布拉多有过零星的镍和铂勘探; 直到 1994 年底 Voisey's Bay 矿床的发现, 拉布拉多地区成为了镍矿勘查的主要目标地区。然而, 拉布拉多地区成矿地质条件相似、有潜力的大片地区仍然处在待勘查阶段。

1 成矿地质背景

拉布拉多-纽芬兰省地处北美大陆北部东缘, 属于由 Laurentia(加拿大地盾)和 Gondwana 两大大陆在古生代逐渐会聚所形成的 Appalachians 造山带(加拿大地盾的古生代增生带)结合部位^[1]。

拉布拉多地区新元古代后趋于稳定, 纽芬兰地区则在晚奥陶世后趋于稳定; 拉布拉多与纽芬兰之间的地带, 在中生代一新近纪构成一个向东变深的与拉布拉多海开放有关的被动大陆边缘盆地。区内前寒武纪地层基本齐全, 岩浆岩发育程度不一, 构造以不同时期的克拉通、断块、造山带、裂谷和剪切带为主。

2 镍矿化分析

在全球范围内, 主要的镍(铜、钴、铂族元素)硫化物矿床都是岩浆成因, 通常与超镁铁质、镁铁质侵入岩和火山岩有关。加拿大纽芬兰-拉布拉多省的

收稿日期: 2015-01-26; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 中央地勘基金项目“北美-格陵兰重要成矿带成矿规律与优势矿产资源潜力评价研究”(编号: 2011-D3-09-2)资助。

作者简介: 王永春(1956—), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 主要从事矿产普查与勘探方面研究工作。通信地址: 辽宁省阜新市中华路 47 号, 辽宁工程技术大学矿业学院; 邮政编码: 123000。

通信作者: 张熹鹏(1989—), 男, 硕士研究生, 矿产普查与勘探专业。通信地址: 辽宁省阜新市中华路 47 号, 辽宁工程技术大学矿业学院; 邮政编码: 123000; E-mail: zhangxi_peng@126.com

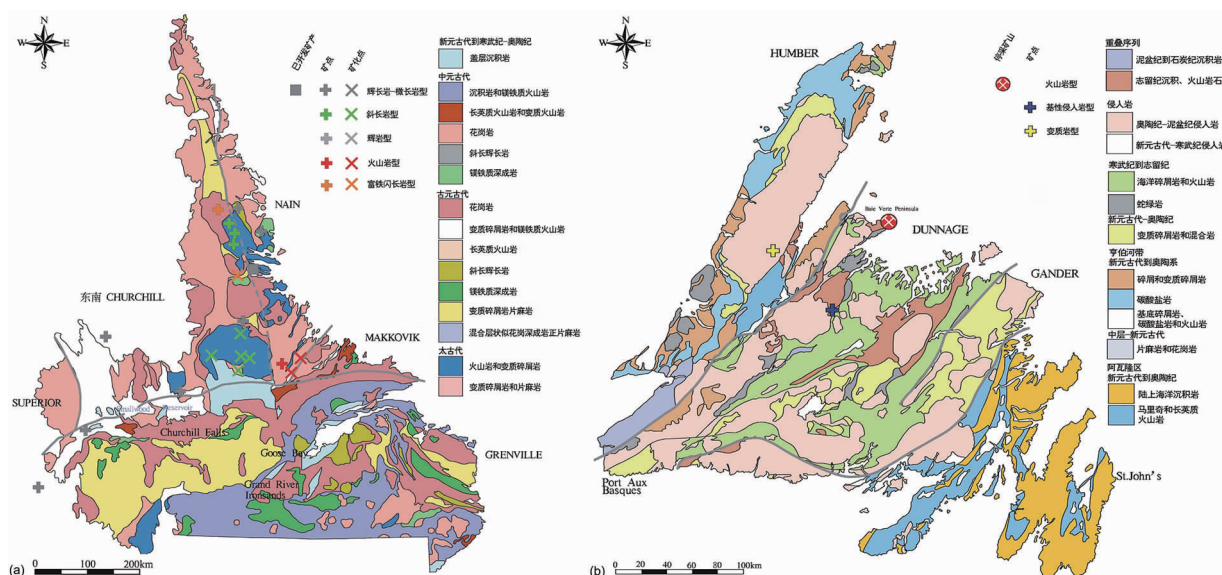


图1 拉布拉多、纽芬兰地质简图及主要镍(铜、钴)矿化位置

Fig. 1 Geological sketch of Newfoundland—labrador province with main Ni (Cu, Co) ore occurrences

大多数镍矿化(不包括与热液有关的块状硫化物矿床)也都是这种情况型。拉布拉多的镍矿化(图1(a))主要与中元古代侵入的辉长岩、斜长岩、橄长岩、辉石岩有关,或与太古宙超镁铁质变火山岩有关;纽芬兰的镍矿化(图1(b))主要与古生代辉长-闪长质侵入岩、前寒武纪镁铁质片麻岩(可能是火成岩)有关^[2-3]。

2.1 拉布拉多镍矿化类型

(1) 橄长岩和辉长岩型

Voisey's Bay Ni-Cu-Co 硫化物矿床为橄长岩和辉长岩型典型矿床,矿化与 Voisey's Bay 岩体(VBI)有关。

Voisey's Bay 岩体位于加拿大拉布拉多岛北部中元古代 Nain 深层岩套(NPS)中,岩体主要由 Western Deeps 和 Eastern Deeps 岩体组成,并由1条隐伏的岩浆通道所连接,矿体就位于岩浆通道中;含矿岩体为多期次侵入的复式镁铁质-超镁铁质岩体;含矿母岩为苦橄质(高镁玄武质)岩浆,岩浆都受到不同程度的地壳物质混染;硫化物都主要在深部熔离,然后以含硫化物的“晶粥”形式贯入成矿;成矿时代属于中元古代(1.34 Ga)。硫化物矿体主要分布于 Deeps 区(47 Mt,含镍1.39%,铜0.6%和钴0.09%)、Ovoid 区(32 Mt,含镍2.83%,铜1.68%和钴0.12%)、Discovery Hill 区(13 Mt,含镍1%,铜0.8%和钴0.06%)、Reid Brook 区(17 Mt,含镍1.46%,铜0.65%和钴0.1%)。矿石特征如图2中a、b所示。

除 Voisey's Bay 岩体之外,Pants Lake 地区镁铁质侵入岩系中铜-镍矿化较好。该岩系各“岩体”底部普遍有硫化物矿化发育,通常形成近连续的底部单元;而且硫化物矿化和与其相关的岩石类型在结构和矿物成分上均与 Voisey's Bay 矿床相似(图2c、d);有多处地段见浸染状硫化物矿化,但通常所含镍铜含量合计小于1%;但薄的块状硫化物带含镍高达12%、铜高达10%^[4]。Pants Lake 区侵入体面积百倍于 Voisey's Bay 侵入岩,而且大面积

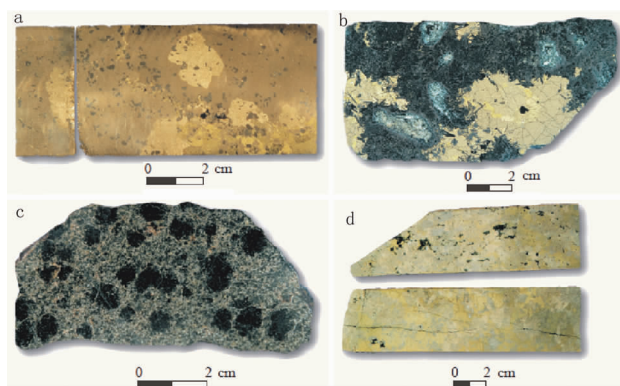


图2 与拉布拉多辉长岩和橄长岩有关的硫化矿石和矿化岩石

Fig. 2 Sulfide ore and mineralized rocks associated with gabbro and troctolite in Labrador area

- a. Voisey's Bay Ovoid 高品位块状硫化物矿石;
- b. Voisey's Bay 矿床矿化橄长岩(有粗粒同化片麻岩残片);
- c. Pants Lake 侵入体矿化辉长岩或橄长岩中的辉石晶体“豹皮构造”;
- d. Pants Lake 侵入岩中高品位硫化物。

有前景的底部接触带位于地下数几百米,尚未充分评价。

Voisey's Bay 附近的 Mushuau 侵入岩,其底部接触带附近也含有少量岩浆硫化物。在 Sarah 勘查区有数条金属硫化物窄带($<2\text{ m}$),含镍量达 $w(\text{Ni})=1.4\%$ (硫化物中 $w(\text{Ni})=3.5\%$,与 Voisey's Bay 矿床类似)、含铜量达 $w(\text{Cu})=0.6\%$;在 Hettash 浅色橄长岩侵入岩底部局部具有浸染状硫化物矿化;Michikamau 斜长岩东缘具有岩浆型浸染状硫化物矿化,赋存于 Fraser Lake 底部的细粒橄榄辉长岩和橄长岩中(地表矿化含镍 0.9% 、铜 0.3% 、钴 0.15%)。

(2) 辉石岩型

在 Kiglapait 侵入体边缘、Dudley 和 Nanuk 勘查区,不规则辉石脉和岩脉内或其周围有轻微浸染状硫化物矿化发育(OKG 和 Golden Trump 勘查区也有)。这种矿化通常含有少量而稳定的镍和铜,但在局部块状硫化物中含镍达 2% 。然而,观察到的辉长岩矿化往往比大多数斜长岩中的更富镍。

(3) 斜长岩型

Nain 火成岩系:浅色苏长质和斜长质火成岩系中有许多小规模岩浆型硫化物矿化显示。硫化物通常形成不规则的块状(为主)到浸染状带,围岩为基本上无矿化的巨大斜长岩。这些硫化物带中大多数镍含量 $<1\%$,而且镍和铜通常不相关^[5]。钴探岩心中最好样品通常含镍约 2% ,但硫化镍很少超过 1% 。硫化物区主要由磁黄铁矿、黄铜矿和镍黄铁矿构成,普遍缺乏粗粒镍黄铁矿。硫化物通常含大量溶蚀斜长岩包裹体,似乎“侵入”斜长岩。

其他以斜长岩为主火成岩系:1995 年之前的勘探在 Harp Lake 侵入岩系(主要东部)发现许多浸染状硫化物矿化(带)。这些硫化物带呈大致水平层状,由浅色橄长岩或浅色苏长岩中少量浸染状粒间硫化物构成。硫化物总量少($<5\%$),其镍含量低($w(\text{Ni}+\text{Cu})<0.5\%$);金属硫化物含量很高,含镍高达 6% 、铜 3% 。

(4) 铁闪长岩型

拉布拉多几个富磁铁矿铁闪长岩中见有浸染状硫化物矿化,通常含有很少量的镍,铜或钴。

(5) 火山岩(科马提岩)型

拉布拉多太古代 Hopedale 地块中有小型绿岩带分布,其中有几处与超镁铁质变火山岩(科马提岩)有关的镍矿化。Florence Lake 绿岩带的 Baikie 矿化点是一个小型的有花岗质岩石侵入的蚀变超

镁铁质岩中的富硫化物带。地表样品含镍 9.8% ,铂族元素含量高达 0.65×10^{-6} ;钴孔中见伪厚度 11.3 m 的硫化物矿化体(含镍 2.2% 、铜 0.22% 、钴 0.16%)^[6]。类似的矿化见于 DCP、Boomerang 附近。Hunt River 绿岩带中科马提变火山岩也如此(有含镍 0.57% 、铜 4.3% 的局部硫化物富集地段)。

2.2 纽芬兰镍矿化类型

(1) 辉长岩型

此类型仅 Powderhorn Lake 附近蚀变辉长岩、闪长岩(可能是含硫化物变沉积岩中岩脉体)中有一处镍产地,矿化由浸染状到局部半块状磁黄铁矿和黄铜矿构成,硫化物的岩浆构造保存完好^[7]。矿化岩石中含镍 0.92% 、铜 0.45% 。有一个浅孔见伪厚度 6 m 、平均含镍 0.6% 的矿化部位;局部金属硫化物富集处含镍高达 4.7% 、铜 3% 。

(2) 镁铁质片麻岩型

Long Range Inlier 地区中元古界南端见镍矿化。在 Layden 勘探区,强烈变形的镁铁质和超镁铁质片麻岩中金属硫化物高度集中,在花岗片麻岩中形成一个均匀单元。地表矿化样平均含镍 5.4% 、铜 1.05% 、钴 0.1% 、金 0.4×10^{-6} 、铂 0.23×10^{-6} 、钼 0.1×10^{-6} ^[8]。这种金属硫化物含量高、局部镍含量可能大于 8% 的矿化中,明显含有镍黄铁矿(图 3)。主岩石来源有可能是 Manitoba 的 Thompson 地区类似科马提岩的超镁铁质岩石—镁铁质火成岩。

(3) 火山热液型

仅有一条记录,1869—1876 年间 411 t 的优质矿石在 Tilt Cove 装船。这些矿石来自一个较大蛇纹石化橄榄岩附近的蚀变安山岩与滑石—碳酸盐岩接触带上的一个小地段内^[9],含镍硫化物矿化于蚀变岩石(并作为碳酸盐型矿脉的脉石物质)中,呈豆荚和细脉状产出。

3 地球物理特征

Eckstrand 和 Hulbert(2007)定义的岩浆镍—铜—铂族元素矿床:一组镍、铜、铂族元素(PGE)以硫化物形式产于各种基性和超镁铁质岩石中的矿床。可分为 2 种主要类型^[10]:①铜—镍矿床,与各种镁铁质和/或超镁铁质岩流和岩床有关,矿石类型为富硫化物矿石;②铂族元素矿床,与镁铁质和/或超镁铁质层状侵入体中浸染状硫化物有关,矿石类型为浸染状硫化物。

(1) 镍—铜矿床。以镍为主,铜、钴、铂族元素、金

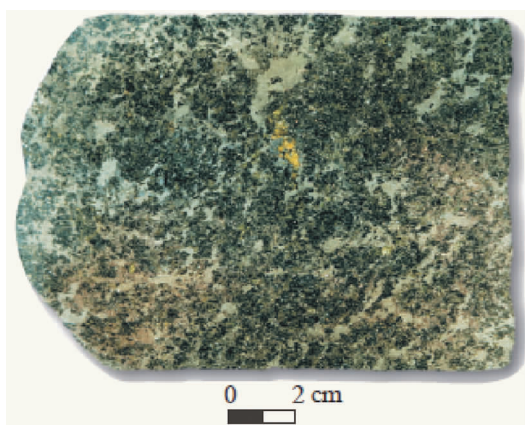


图3 纽芬兰 Long Range Inlier 富黑云母镁铁质片麻岩中高品位镍矿化

Fig. 3 High grade Ni mineralization in the Long Range Inlier biotite-rich mafic gneiss in Newfoundland area
(镍黄铁矿为主, 少量磁黄铁矿和黄铜矿)

为辅, 围岩有陨击镁铁质熔岩 (Sudbury, Ontario)、裂谷和大陆溢流玄武岩有关的基性岩床和似脉体 (Noril'sk-Talnakh)、komatiitic (富镁) 火山熔岩流、相关岩床侵入岩 (Thompson, Manitoba) 和其他镁铁质/超镁铁质侵入岩 (Voisey's Bay) (Eckstrand 和 Hulbert, 2007)^[11]。

(2) 铂族元素矿床。可分为 2 个亚型: 脉型铂族元素矿床和层状铂族元素矿床。产于成层性好的镁铁质/超镁铁质侵入岩中 (Merensky Reef, Bushveld 杂岩, 南非) 和产于似岩株或层状镁铁质/超镁铁质侵入岩中的岩浆角砾岩型矿床 (Lac des Iles, Ontario)。

镍-铜-铂族元素矿床与镁铁质/超镁铁质岩有关, 可通过重磁方法在区域范围内很容易发现镁铁质/超镁铁质火山杂岩体^[12]。例如, Muskox, Thompson 的 Raglan 矿体既如此。因此, 磁法是这类矿床围岩填图的主要物探方法。此外, 由于矿床容重大于围岩, 重力详细勘探可用于确定矿床的规模。

镍-铜-铂族元素矿床属于由高度导电的金属硫化物 (镍黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿) 构成, 这些硫化物往往会产生大的频域电磁异常, 有时很难用时域电磁系统探测到, 但却可用它们的慢衰减来识别。虽然低硫化物铂族元素矿床可能只有微弱电磁异常, 但高分辨率频域可以有效识别; 高分辨率频域电磁数据可校正矿化和围岩的磁化率, 可突出低硫化物铂族元素矿床的反应 (Huang 和 Fraser, 2000)。

在 Voisey's Bay 矿床 Ovoid 区, 曾观察到强大的频域电磁异常^[5]; 视宽度为 500 m, 电导率为数千 Siemens, 视电阻率低于海水, 在矿床上呈现小磁异常 (区域资料中不可见)。作为整体, 总磁场和已知矿化之间没有很强的相关性 (Balch, 1999)。

4 勘查潜力

(1) 拉布拉多镍矿资源勘查潜力

1995 年以来, 尽管在拉布拉多已投入巨额勘探费, 但其大片地区仍未勘探^[13], 在 Voisey's Bay 地区同时代岩体有很多。勘探最佳潜力区应是辉长质—橄长质镁铁质岩石分布区, 特别是“侵入”于含硫 Tasiuyak 片麻岩或类似岩石分布地区辉长质—橄长质镁铁质岩区 (体)。如 Hopedale 地块的太古宙变火山岩区, Nain 北部 (Saglek 地块) 高级变质带类似表壳岩的残余绿岩带 (包括含硫化物超基性岩) 区, 尚未完全勘查。

如果将 Voisey's Bay 矿床控矿条件应用于对比找矿, 那么以下几个地段值得考虑。

——拉布拉多西部 Shabagamo 辉长岩已有岩浆硫化物矿化的报告, 镁铁质—超镁铁质岩床中含有浸染状—块状硫化物矿化信息。

——Québec 的 Pekan River 和 Retty Lake 地区有类似的成矿地质环境。在新魁北克造山带北部, 大型镁铁质岩床也很常见, 其中一些地段含有含量较低的岩浆型浸染状硫化物^[14]; 在 Québec 的 Retty Lake 地区一个超镁铁质岩床内产有与铂族元素富集有关的岩浆硫化物矿化 (铂高达 6.4×10^{-6})。

——拉布拉多中部 Seal Lake 镁铁质火山岩及其有关的镁铁质侵入岩, 属于与中元古代裂谷有关的溢流玄武岩; Seal Lake 群中的红层型铜成矿作用被众所周知, 但很少有人注意有岩浆硫化物。

此外, 在 Nain 北部的 Mugford 群中存在古元古代溢流玄武岩; 大面积镁铁质火成岩也见于 Grenville 省北部的前 Grenvillian (拉布拉多半岛的片麻状体) 片麻岩层, 它们“侵入”于局部含有硫化物的变质沉积片麻岩中。

(2) 纽芬兰镍矿资源勘查潜力

纽芬兰岛镍成矿潜力不容忽视。中古生代镁铁质侵入岩侵入在有潜在硫源的围岩中, 已有矿化点存在, 值得关注岩浆型金属硫化物矿床。

5 结论

(1)拉布拉多镍矿资源主要与中元古代侵入岩中的辉长岩、斜长岩、橄长岩和辉石岩有关,也与太古宇超镁铁质变火山岩有关;纽芬兰镍矿资源则与古生代辉长-闪长质侵入岩和前寒武系镁铁质片麻岩(可能是火成岩)有关。

(2)拉布拉多镍矿化类型主要有橄长岩、辉长岩型、辉石岩型、斜长岩型、铁闪长岩型、火山岩(科马提岩)型;纽芬兰镍矿化类型主要有辉长岩型、镁铁质片麻岩型、火山热液型。

(3)拉布拉多主要的镍(±铜,钴和铂族元素)硫化物矿床的成因类型是岩浆型为主,热液型为辅。

(4)拉布拉多镍矿勘探潜力区主要是辉长质至橄长质镁铁质岩石分布区,特别是侵入于含硫 Tasiuyak 片麻岩或类似岩石的地区;主要有拉布拉多西部 Shabagamo 地区、Québec 的 Pekan River 地区,以及拉布拉多中部 Seal Lake 地区。纽芬兰岛镍成矿潜力亦不容忽视。

参考文献:

- [1] 张新元,张伟波. 加拿大纽芬兰-拉布拉多省矿业开发概况[J]. 国土资源情报, 2012(7): 15-22.
- [2] Mineral Commodities of Newfoundland and Labrador Nickel [M], 2008.
- [3] O. Roger Eckstrand and Larry J Hulbert. Magmatic Nickel-

- Copper-Platinum Group Element Deposits [M].
- [4] 辽宁省化工地质勘查院, 辽宁工程技术大学. 加拿大东部重要成矿区带成矿规律与资源潜力评价报告[R]. 辽宁阜新: 辽宁工程技术大学, 2013.
- [5] Exploration, Development and Mining in Newfoundland and Labrador Guidebook [M], 2010.
- [6] Department of Mines and Energy, Government of Newfoundland and Labrador. Geological Map of Labrador 1 : 1 million scale [M].
- [7] Department of Mines and Energy, Government of Newfoundland and Labrador, Geological survey branch. Geology Map of the island of Newfoundland 1 : 1 million scale [M].
- [8] Peter C Lightfoot, Reid R Keays, Dawn Evans-Lamswood, Robert Wheeler. S saturation history of Nain Plutonic Suite mafic intrusions: origin of the Voisey's Bay Ni - Cu - Co sulfide deposit [M]. Labrador, Canada, Received: 22 June 2010 / Accepted: 15 March 2011 # Springer-Verlag 2011.
- [9] 邱根雷. 中国金川与加拿大 Voisey's Bay 矿床地质过程与成矿作用对比[D]. 陕西: 长安大学, 2013.
- [10] 刘凤山. 加拿大近十年固体矿产勘查进展[J]. 地质科技情报, 2001, 20(4): 57-62.
- [11] 兰兴华. 加拿大 Voisey's Bay 巨型镍矿的开发[J]. 中国金属通报, 2005(45): 31-32.
- [12] Department of Natural Resources, Mines Branch, Government of Newfoundland and Labrador. Mining in Newfoundland and Labrador [M], 2012.
- [13] Wardle R J, Gower C F, Ryan B, Nunn G A G, James D T, Kerr A. Geological Map of Labrador 1 : 1 million scale [M]. Government of Newfoundland and Labrador, Department of mines and energy, Geological Survey, 1997: 97-07.
- [14] Newfoundland and Labrador, Canada. Mining Journal special publication[M], 2009.

Prospecting potential of Ni ore in Newfoundland-Labrador province of Canada

WANG Yongchun¹, ZHANG Xipeng¹, SUN dongbin², WANG long¹

(1. Liaoning engineering technology university institute of mining, Fuxin 123000, Liaoning, China;
2. The nuclear industry geological prospecting institute in liaoning province, Shenyang 110032, China)

Abstract: Newfoundland-labrador province is located in the east margin of Canadian shield with superior metallogenic condition. It is a major Ni metallogenic area in Canada with multiple mineralizations. Based on previous study on Ni deposits in the province, regional metallogenic background, mineralization types and the geological characteristics, geophysical feature, prospecting potential and situation are systematically analyzed the Ni deposits in the province. In Labrador area Ni ore is mainly in area where gabbro and troctolite occur and is mainly associated with Middle Proterozoic gabbro, anorthosite, troctolite, pyroxenolite or associated with Archean ultra mafic metamorphosed volcanics. Mineralization is divided into troctolite type, gabbro type, anorthosite type, Fe-diorite and volcanic (komatiite) type. Voisey's Bay Ni-

Cu-Co sulfide deposit is a large Ni deposit discovered in Labrador area. In Newfoundland area Ni ore is mainly associated with Palaeozoic gabbro-diorite intrusive bodies, Precambrian mafic gneiss and mineralization is divided into gabbro type, mafic gneiss type and volcanic hydrothermal type and prospecting potential in the area.

Key Words: nickel deposit; Newfoundland; Labrador; mineralization type; prospecting potential; Canada

欢迎订阅《地质找矿论丛》

《地质找矿论丛》为国家新闻出版总署批准,由中钢集团天津地质研究院有限公司主管、主办的地学科技期刊,创刊于 1986 年。

《地质找矿论丛》为中国科技核心期刊,被美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》、《中国学术期刊文摘(中文版)》等著名文摘刊物收录,是《中国科技论文统计》、《中国学术期刊综合评价数据库》、《中国科学引文数据库》的来源期刊,期刊全文入编《中国学术期刊(光盘版)》、《中国知网》(CNKI)、《万方数据科技期刊群》、《中文科技期刊数据库》(维普)、超星数据库、中教数据库、《华艺 CEPS 中文电子期刊》等电子出版物及数据库,以多种媒体方式向读者提供服务。

《地质找矿论丛》主要报道矿产成矿理论与成矿预测、物质成分及综合利用、矿产地质勘查新技术新方法及其应用、地学信息技术、水文地质与工程地质、环境地质调查与治理、资源勘查工程、矿产品深加工技术、地质矿产技术经济等方面的科研成果、进展评介、研究简报,并不断开拓报道领域与深度。

《地质找矿论丛》刊物信息丰富、学科跨度大、兼顾理论与应用,是地学研究、矿产勘查、矿业开发领域专业人员和院校师生的良师益友。热忱欢迎地矿行业、地学院校、文献信息部门的单位和个人踊跃订阅。

《地质找矿论丛》为季刊;国际标准连续出版物号 ISSN 1001-1412,中国标准连续出版物号 CN 12-1131/P;铜版纸彩色印刷,国际开本(A4),每季末月 25 日出版;每期定价 20.00 元,全年定价 80.00 元;公开发行,国内邮发代号:6-283。

订阅办法:

(1)通过各地邮局订阅:

邮发代号:6-283,全国各地邮局均可办理订阅。

(2)通过"全国非邮发报刊联合发行部"订阅:

地址:天津市大寺泉集北里别墅 17 号,全国非邮发报刊联合征订服务部

邮政编码:300385

电话:022-23973378;23962479 传真:022-23973378

E-mail:LHZD@public.tpt.tj.cn "刊林网"网址:www.LHZD.com