

加拿大纽芬兰-拉布拉多省的镍矿

引言

纽芬兰-拉布拉多省在 1994 年以前很少有镍的勘探活动, 2005 年以前总的镍产量只有 100 吨, 而且是 Notre Dame Bay 的 Tilt Cove 铜-锌矿的副产品。七十年代和八十年代在拉布拉多有零星的镍和铂的勘探活动, 它们在九十年代逐渐衰落。在 1994 年末发现 Voisey's Bay 矿床之后, 拉布拉多成为镍矿勘探的主要目标地区。但是大部分地区的镍资源潜力并不清楚。

1993 年 Archean Resources 有限公司的 Albert Chislett 和 Chris Verbiski 在拉布拉多的 Nain 附近发现了硫化物矿化。1994 年末在 Discovery Hill 钻探发现了 41 米厚的矿层, 含 2.96% 的镍, 1.89% 的铜和 0.16% 的钴。在此之后, Diamond Fields Resources 公司和后来的 Voisey's Bay Nickel 公司 (隶属于 CVRD Inco 公司) 的勘探项目确定了有关矿床和附近矿带的总资源量达 1 亿吨, 含 1.94% 的镍, 1% 的铜和 0.11% 的钴 (根据 INCO 2003 年的评估计算)。Voisey's Bay 矿床的发现激发了对本省镍矿潜力的极大的兴趣, 也促进了在拉布拉多的勘探投入。

从全球范围来看, 以镍为主的硫化物矿床 (含或不含铜、钴和铂族元素) 绝大多数都是岩浆成因的, 而且通常都是与超基性和基性的深成岩和火山岩有关。除了与热液型块状硫化物矿床有关的镍矿化以外, 本省大部分的镍矿化都是这一类型。在拉布拉多, 镍主要与中元古代的橄长岩、辉长岩、辉石岩、斜长岩等深成岩有关, 或与太古宙的超基性变质火山岩有关。在纽芬兰, 镍主要与古生代的辉长岩、闪长岩等深成岩, 以及前寒武的基性片麻岩有关, 这种片麻岩的原岩不确定, 但很可能是深成岩。在所有的矿化中, 镍都是与含量相当可观的铜和钴一起出现。在拉布拉多, 局部有铂族元素(铂, 钯, 铑, 钌, 等)富集, 但本省大多数镍矿点铂族元素的含量并不高。

拉布拉多地区

橄长岩和辉长岩中的矿化

Voisey's Bay 矿床。在 Voisey's Bay 的镍-铜-钴硫化物矿化的围岩是橄长岩性的 Voisey's Bay 侵入体, 它是中元古代 Nain 深成岩岩套的一个早期岩体。Voisey's Bay 侵入体有相互相连的三个部分。在东面, Eastern Deeps 次岩体是一个 2 x 1 公里的橄长岩岩体, 最大深度超过 1000 米。在西面, 西部次岩体由分布在更年轻的花岗岩类侵入岩中的辉长岩和橄长岩包体组成, 岩体大部分都掩埋在地下。西部次岩体和 Eastern Deeps 次岩体由一个类似于岩墙的连接部相连, 这个通道的倾向从西到东逐渐地由向南倾变为直立, 又变为向北倾。Voisey's Bay 硫化物矿床位于这个通道内和通道与两个次岩体的连接部的附近。

从东到西, 主要的硫化物矿体包括 Eastern Deeps 带 (47 百万吨储量, 含镍 1.39%, 铜 0.6%, 和钴 0.09%), Ovoid 带 (32 百万吨储量, 含镍 2.83%, 铜 1.68%, 和钴 0.12%), Discovery Hill 带 (13 百万吨储量, 含镍 1.0%, 铜 0.8%, 和钴 0.06%) 和 Reid Brook 带 (17 百万吨储量, 含镍 1.46%, 铜 0.65%, 和钴 0.1%), 这些是 1999 年的数据。

其余的镍资源分散在几个小的矿带内，其中有一些矿带把四个主要的硫化物矿体连在一起。这些硫化物矿体都向东倾伏，并且局部在第三个方向重叠。例如，Reid Brook 带的深部（东部）位于接近地表的 Discovery Hill 带的正下方。硫化物组成在 Voisey's Bay 矿床系统的各个部位都很相似，包括磁黄铁矿、镍黄铁矿、黄铜矿（±方黄铜矿），以及不同含量的磁铁矿。矿化岩石包括粗粒结晶的块状硫化物，橄长岩中分散的（粒间的）硫化物，和复杂的含橄长岩和片麻岩角砾和硫化物基质的角砾岩。Voisey's Bay 硫化物通常含有 3-5% 的镍，1.5-2.5% 的铜。矿物构造关系显示硫化物形成一种分离的不相溶的液体，硫化物液体在悬浮状态下被相关的基性硅酸岩岩浆传输，硫化物中的金属就是从硅酸岩岩浆中吸取的。在硅酸岩岩浆穿过通道系统流向 Eastern Deeps 次岩浆室的过程中，硫化物液体被集中成矿，不同的硫化物矿体被解释为代表成矿系统的不同的构造层位。

有几个关键因素在 Voisey's Bay 地质发展中是很重要的。Nain-Churchill 边界可能帮助了基性岩浆的快速上升。被含硫化物的 Tasiuyak 副片麻岩污染促进了硫化物液体生成，硫化物液体和先后多期岩浆的相互作用提升了硫化物中金属的富集。硫化物液体最终被压入流向 Eastern Deeps 次岩浆房的通道系统，在那里被集中成矿。这个供给通道系统很巧在接近目前的剥蚀面的位置保存了下来。

其他例子。 Voisey's Bay 之外，基性深成岩为围岩的镍-铜矿化的最佳例子是 Pants Lake 复合侵入体，位于 Voisey's Bay 以南大约 100 公里。岩浆成因的硫化物矿化广泛分布在这些侵入体的底部，通常形成一个几乎连续的底部单元。硫化物矿化和相关岩石类型在岩石结构和矿物组成方面都类似于 Voisey's Bay。数个地表和地下的分散型矿化带正在通过钻探来确定，但通常镍和铜的总含量小于 1%。薄的块状硫化物带含高达 12% 的镍和 10% 的铜，但通常镍含量为 1-2%，铜含量为 1-2%，钴含量最高达 0.25%。硫化物的金属含量不一，但大多数集中在镍 2% 和铜 2%，均低于 Voisey's Bay。Pants Lake 地区的潜力还远没有得到全面调查，因为这个侵入体的地表面积大约是 Voisey's Bay 侵入体的 100 倍，其大片的有找矿远景的底部接触带位于地下数百米之内。几乎所有的辉长岩都因为与硫化物液体相互作用的关系而贫镍和铜。这些缺少的金属总量远大于已知矿化能解释的金属量。

Voisey's Bay 附近的 Mushuau 侵入体也有少量岩浆来源的硫化物出现在其底部的接触带。在 Sarah 前景区（图 2a），小型矿化带（<2 米厚）含 1.4% 的镍和 0.6% 的铜，硫化物含 3.5% 的镍，类似于 Voisey's Bay 的主矿床的品位。Hettash 侵入体底部的白橄长岩局部有分散型硫化物矿化（图 1），并具有相似的硫化物金属成分。Michikamau 斜长岩侵入体东部边缘也有分散型的岩浆来源的硫化物矿化（图 1），围岩是 Fraser Lake 的细粒的底部橄榄石辉长岩和橄长岩。地表矿化含 0.9% 的镍、0.3% 的铜和 0.15% 的钴，但是钻探采样的分散型矿化，其镍和铜总含量大部分小于 0.5%。

辉石岩中的矿化

少量的分散型硫化物矿化分布于不规则的辉石岩岩脉之内和周围。这些矿化出现在 Kiglapait 侵入体的边缘, Dudley 和 Nanuk 找矿前景区, 以及 OKG 和 Golden Trump 找矿前景区 (图 1)。这些矿化一般来说镍铜品位较低, 但在局部镍品位可达 2%。这可能是一个更广泛的矿化系列的一部分, 包括非常多的斜长岩为围岩的硫化物矿化带 (见下述), 其中很多可能在来源上与侵入到斜长岩中的小型基性岩体有关。但是, 辉石岩中矿化比大部分斜长岩中的矿化更富镍。

斜长岩中的矿化

Nain 深成岩岩套。许多小规模岩浆型硫化物富集出现在 Nain 深成岩岩套的白苏长岩和斜长岩等深成岩中 (图 1)。硫化物通常形成不规则的块状或半块状的带, 其围岩是块状的基本上贫瘠的斜长岩。这些硫化物矿化带的镍铜含量变化不一, 但大多数含 <1% 的镍, 而且通常镍和铜的含量没有相关关系。来自钻孔岩芯的最好分析结果通常是大约 2% 的镍, 但硫化物的镍含量很少超过 1%。硫化物带主要包括磁黄铁矿和黄铜矿, 一般缺少粗粒的镍黄铁矿。硫化物看上去象“侵入到”斜长岩中, 而且经常含有许多熔蚀的斜长石包体。钻探结果显示块状硫化物矿化和细到中粒的苏长辉长岩侵入体之间有空间关系, 这些侵入体含有同生的分散状硫化物。

其他以斜长岩为主的深成岩岩套。1995 年以前对 Harp Lake 侵入岩套的勘探发现许多分散状的硫化物, 其中大多数分布于侵入体的东部 (图 1)。这些硫化物带多呈近层状, 平伏, 含有少量的分散状粒间硫化物, 其围岩是斜长岩、白橄长岩、和白苏长岩。绝对品位较低 (通常镍铜共 <0.5%), 但硫化物含量也低 (<5%)。硫化物的金属含量较高, 高达 6% 的镍和 3% 的铜, 但是尚未有块状硫化物聚积的报告。

铁质闪长岩中的矿化

在拉布拉多的几个地区, 富磁铁矿的铁质闪长岩有分散状的硫化物矿化, 但这些矿化一般含很少的镍、铜、和钴。

火山岩 (科马提岩) 中的矿化

拉布拉多太古代的 Hopedale 地块有几个小的绿岩带, 这些绿岩带中有几处与超基性变火山岩 (科马提岩) 相关的镍矿化。在 Florence Lake 绿岩带中的 Baikie 矿化是一个小的硫化物带, 其围岩是被类花岗岩侵入的蚀变的超基性岩。地表样品含有高达 9.8% 的镍, 和相当可观的铂族元素 (高达 0.65 克/吨的铂和 1.2 克/吨的钯)。矿化在地下更广泛, 最佳的矿层有 11.3 米厚, 含 2.2% 的镍、0.22% 的铜、0.16% 的钴, 这一矿层局部含有高达 6.6% 的镍。类似的矿化也出现在附近的 DCP 和 Boomerang, 这有可能是一个非常前景的层位。而且, Hunt River 绿岩带中也有科马提岩型变火山岩, 其中局部的富硫化物带含有高达 4.3% 的铜和 0.57% 的镍。

纽芬兰岛

火山岩中的热液型矿化

纽芬兰唯一有记录的镍矿生产是在 1869 年到 1876 年之间从 Tilt Cove 矿运出的 411 吨高品位矿石。这些矿石采自位于蚀变的安山质火山岩和滑石-碳酸岩岩石之间的接触带，靠近一个更大的蛇纹石化的橄榄岩岩体。镍硫化物在蚀变的岩石中呈豆荚状和细条状，也呈脉状出现在碳酸岩中。镍估计是在热液交代和循环过程中从附近的橄榄岩中提取的。

辉长岩中的矿化

纽芬兰唯一已知的这种类型的镍矿化是 1996 年在 Powderhorn Lake 附近发现的。这个矿化由分散状到局部半块状的磁黄铁矿和黄铜矿组成，位于蚀变的辉长岩或闪长岩中，辉长岩或闪长岩是一个类似于岩墙的岩体，侵入于含硫化物的变沉积岩中。尽管已蚀变，原生的岩浆岩硫化物结构仍然保留得很好。矿化的岩石含达 0.92% 的镍和 0.45% 的铜，一个浅的钻孔发现一个 6 米厚的矿层，镍平均含量为 0.6%。硫化物局部富含金属，含量最高达 4.7% 的镍和 3% 的铜，但是大部分硫化物中只含约 1% 的镍。

基性片麻岩中的矿化

中元古代 Long Range Inlier 的南端在 1999 年发现了镍矿化。Layden 前景区的强烈变形的基性和超基性片麻岩中有高度富集的硫化物，这些片麻岩在周围的类花岗岩片麻岩中呈整合体出现。地表矿化平均含有 5.4% 的镍，1.05% 的铜，0.1% 的钴，0.4 克/吨的金，0.23 克/吨的铂和 0.1 克/吨的钯。硫化物的金属含量被认为较高，可能有 >8% 的镍，而且矿化含有惊人的镍黄铁矿。围岩的成因不明，但可能是超基性到基性的近似于科马提岩的变深成岩。曼尼托巴省的 Thompson 镍矿可能是一个有价值的勘探模型。

勘探潜力

自 1995 年以来，尽管在拉布拉多有大量的勘探投入，这片广阔地域的大部分地区勘探程度仍很低。可进一步勘探的最有潜力的地区是在辉长质到橄长质的基性岩中，尤其是在这些基性岩侵入到含硫化物的 Tasiuyak 片麻岩或相似的岩石中的区域。Hopedale 地块的太古代变火山岩还未被完全勘探过，在高级变质的 Nain 地质省北部(Saglek 地块)的类似的上地壳岩也是绿岩带的残余，有含硫化物的超基性岩。

如果所推断的 Voisey's Bay 成因适用于区域范围，拉布拉多的其他几个地区也值得考虑。横跨格林威尔地质省北缘的中元古代的基性侵入体（Shabogamo 和 Michael 辉长岩）侵入到具有潜在的硫来源的围岩中。岩浆型硫化物矿化在拉布拉多西部的 Shabogamo 辉长岩中有报道过。据报道，在魁北克的 Pekan River 地区类似的环境中基性到超基性岩床中有分散状到块状的硫化物矿化，含 6.25% 的铜和 4.1% 的镍，还有共 1.2 克/吨的铂和钯。在拉布拉多洼地的北部大型的基性岩床也很常见，其中有些含低品位的分散状的岩浆型硫化物带。在这一地区，沉积岩中的同生硫化物带提供潜在的硫来源。有可观的铂族元素富集的岩浆型硫化物矿化出现在魁北克的 Retty Lake 的一个超基性岩床中，这可能预示相邻的拉布拉多地区也具有同样的潜力。

在拉布拉多中部基性火山岩和与其相关的在 Seal Lake 群内的浅成基性侵入岩代表与中元古代大陆裂解有关的高原玄武岩喷发活动。Seal Lake 群以其红层围岩型铜矿化而闻名，但是其岩浆型硫化物很少得到关注。古元古代高原玄武岩也出现在 Nain 北部的 Mugford

群。大片基性侵入岩也出现在格林威尔地质省北部前格林威尔运动(拉布拉多期)的片麻岩体中，在那儿这些侵入岩侵入到局部含硫化物的副片麻岩中。这些地区实际上还没有被勘探过。

纽芬兰岛目前并不被认为是一个出产镍的地区，但是它的潜力不可忽略。中生代基性侵入体位于具有硫来源潜力的围岩中，而且已知的出露点显示可含有具有一定金属价值的岩浆型硫化物。在阿巴拉契造山带的其它地区类似的岩石已发现含有岩浆型硫化物。在 **Long Range Inlier** 南部的基性片麻岩中最近发现的富镍硫化物表明这个实际上还未被勘探的区域具有一定的潜力。