

格陵兰重要金属矿简介及分布规律

李九玲¹, 卢伟², 赵元艺¹, 李振清¹, 逯文辉², 聂凤军¹

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

2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 格陵兰岛是除南极大陆之外的唯一拥有大片未开发处女地的大岛, 金属矿产资源丰富。近年来随着气候变暖和资源紧缺加剧, 格陵兰的矿产资源越来越为世界各国所关注。在简要介绍格陵兰及其地质演化的基础上, 重点阐述了格陵兰各地质构造单元中主要矿床(点)的分布特征, 系统介绍了格陵兰具有优势的稀土矿、铁矿、铬铁矿、铂族元素矿、金刚石、金矿、钼矿、铅锌矿、IOCG矿床、镍矿的主要矿床(点)分布规律, 旨在增进人们对于格陵兰金属矿产资源的了解, 进而为中国企业参与格陵兰的矿产勘查开发提供参考。

关键词: 格陵兰; 金属矿床; 分布规律

中图分类号: P618.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-7849(2013)05-0018-08

格陵兰是世界上最大的岛屿, 东西宽 1 250 km, 南北长 2 675 km, 跨越北纬 59°~83°约 24 个纬度, 全岛面积 217.56 万 km², 相当于中国国土面积的 22.6%。全岛仅有约 41 万 km² 可供矿产勘查的基岩裸露区, 其余约 81% 的国土面积被冰雪覆盖, 内陆冰盖厚度最大超过 3.4 km。格陵兰岛地广人稀, 除有限的居民点之外, 全部都是无人区。格陵兰原属丹麦王国管辖, 2009 年 6 月 21 日, 格陵兰自治公投生效, 正式改制成为一个内政独立, 但外交、国防等相关事务仍由丹麦代管的过渡政体。

格陵兰岛矿产资源丰富, 矿产种类主要有铁、铜、铅、锌、铬、钼、镍、金、PGE、铀、钍、锆、铌、稀土、铍、金刚石和非金属矿产等。随着全球变暖, 冰盖后退, 格陵兰岛可供地质勘查的无冰环面积越来越大。为了实现经济独立和长远发展, 格陵兰岛政府把石油和矿业作为支柱产业加以扶植, 鼓励国外矿业公司和投资机构在格陵兰岛投资石油和矿产勘查开发。

格陵兰历史上开采过现已闭坑的矿山有 Ivittuut 冰晶石矿山(1854—1987 年露采), Black Angel 铅锌矿(1973—1990 年), Qullissat 煤矿(1924—1972 年), Blyklippen 铅锌矿(1956—1962 年)。目前格陵兰的重要勘探活动集中在 Citronen 峡湾铀铅矿、Isua 铁矿、Ilimaussaq 铌钽稀土矿、Malmbjerg 钼矿以及金、金刚石和铅锌远景区中。正在开采的矿山只有 Seqi 橄榄石矿床(2006 年开始露采)和 Nalunaq 金矿(2004 年开采)。

为叙述方便, 格陵兰区域划分及名称以丹麦与格陵兰地质调查局文件为准^[1-2], 即北格陵兰 North(又分为北格陵兰西 western-North、北格陵兰中 central-North、北格陵兰东 eastern-North), 西北格陵兰 North-West, 东北格陵兰 North-East, 西格陵兰 West(又分为西格陵兰中 central-West、西格陵兰南 southern-West), 东格陵兰 East(又分为东格陵兰中 central-East 和东格陵兰南 southern-East), 西南格陵兰 South-West, 东南格陵兰 South-East 和南格陵兰 South。

1 格陵兰地质概况

1.1 地质发展史

格陵兰岛经历了从始太古代到第四纪大约 4.0 Ga 的地质发展周期, 主要由一系列在太古宙和古元古代造山作用中形成的结晶基底组成。在大约 1.6 Ga 前作为劳伦系(Laurentian)地盾的一部分稳定下来。地盾区域可分为 3 个有明显差别的基底省: ①太古宇岩石(年龄 3.1~2.6 Ga, 带有局部更老单元), 几乎没受到元古宙或晚期造山活动的影响; ②古元古代再造过的太古宇岩层(约 1.85 Ga 以前); ③主要由古元古代岩浆源组成的岩层(年龄 2.0~1.75 Ga)。随后的地质活动主要沿地盾边缘发生。从新元古代开始并贯穿整个显生宙, 形成了一系列的沉积盆地, 特别是在格陵兰北部和东北部一些地

收稿日期: 2013-01-14 编辑: 禹华珍

基金项目: 中国地质调查局项目“全球巨型成矿带区域构造与成矿地质背景对比研究”(1212011120326); 中央地勘基金项目([2011] D3-09)

作者简介: 李九玲(1941—), 女, 研究员, 主要从事实验矿物学研究。E-mail: ljqlq@public3.bta.net.cn

区聚积的沉积层厚度可达到 10~15 km。

古生代造山带、格陵兰北部的 Ellesmerian 褶皱带,以及格陵兰东部的加里东褶皱带,影响到上述岩层的一部分;后者也被包括在再造的前寒武纪结晶基底杂岩内。晚古生代和中生代沉积盆地沿着北、东和西格陵兰的陆海边缘发育,目前被保留在陆上和海上。它们的发展与陆块崩裂形成的断陷盆地密切相关。东格陵兰最初的裂谷作用发生在晚泥盆世末至早石炭世,随后阶段达到高潮以致在晚古新世

打开了北大西洋,形成了目前的格陵兰岛。古近纪和新近纪伴随着海底扩张作用,高原玄武岩在格陵兰中西部和中东部喷出。

第四纪格陵兰几乎完全被冰原覆盖,当代的内陆冰是第四纪更新世冰期的遗迹。大量冰川的侵蚀岩屑沉积在格陵兰沿海的陆架^[1-4]。

1.2 地质构造单元划分

据丹麦与格陵兰地质调查局区域填图资料,将格陵兰划分为 7 个主要地质构造单元^[1-6](图 1)。

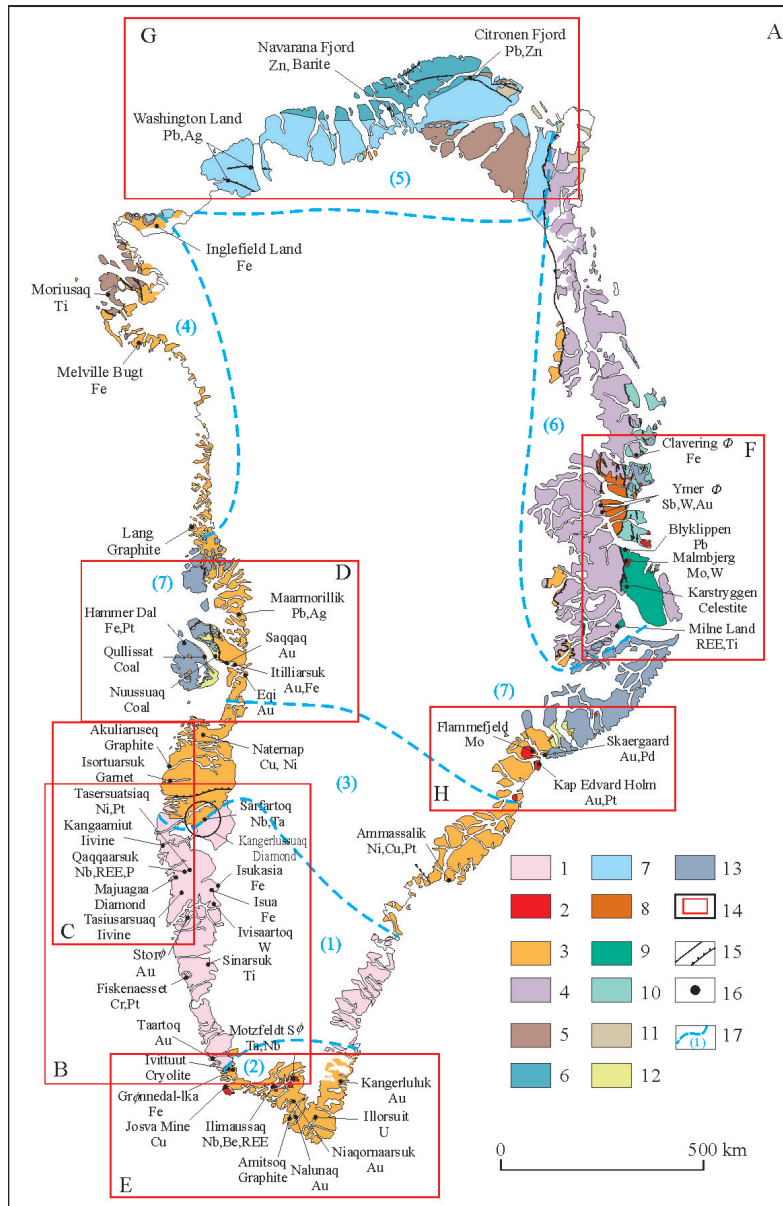


图 1 格陵兰地质概况、构造单元划分与主要矿床(点)分布图(据文献[7]改绘)

Fig. 1 Geological schematic map and showing classification of tectonic units and the distribution of major ore deposits(spots) in Greenland
1. 太古宙克拉通; 2. 东格陵兰古近纪、南格陵兰中元古代侵入杂岩体; 3. 古元古代造山带; 4. 加里东造山带; 5. 中-一新元古代沉积岩、火山岩; 6. 北格陵兰 Franklinian 盆地早古生代沉积岩,地槽; 7. 北格陵兰 Franklinian 盆地早古生代沉积岩,地台; 8. 泥盆纪,北-东格陵兰盆地; 9. 石炭纪-白垩纪沉积岩,东格陵兰 Jameson Land 盆地; 10. 石炭纪-白垩纪沉积岩,北-东格陵兰; 11. 石炭纪-古近纪沉积岩,北格陵兰 Wandel Seap 盆地; 12. 白垩纪-古近纪沉积岩,西格陵兰 Nuussuaq 盆地,东格陵兰 Kangerlussuaq 盆地; 13. 古近纪玄武岩; 14. 成矿带划分; 15. 断层、逆冲断层; 16. 矿床(点); 17. 主要地质构造单元及编号: (1)太古宙克拉通; (2)Ketilidian 造山带和加达尔火成岩区; (3)Nagsugtoqidian 造山带; (4)Rinkian 褶皱带; (5)北格陵兰褶皱带; (6)东格陵兰加里东褶皱带; (7)古近纪和新近纪火成岩活动区。

(1)太古宙克拉通(3.85~2.5 Ga),主要位于西南格陵兰和东南格陵兰,由表壳岩层和高度变质片麻岩组成。

(2)南格陵兰太古宙—元古宙 Ketilidian 造山带(2.5~1.6 Ga)构成的花岗岩类岩基和加达尔(Gardar)中元古代火成岩区(1.3~1.0 Ga),以发育沉积—火山岩建造和碱性火山活动为特征。

(3)Nagssugtoqidian 造山带(2.7~1.7 Ga),内部出露太古宙片麻岩;侵入体在西部呈强烈变形的石英闪长质—英云闪长质岩石,东部为浅色苏长质和紫苏花岗质侵入岩套。

(4)西格陵兰 Rinkian 元古宙褶皱带(1.87~1.65 Ga),由基底片麻岩和受变质石英岩、泥岩和类复理石变质沉积岩组成。

(5)北格陵兰褶皱带,为一古生代造山带,在北格陵兰和埃尔斯米尔岛富兰克林(Franklinian)古生代盆地主要为碳酸盐质泥岩、砾岩、燧石和硅质页岩及浊积岩地层,地层总厚度可达3~4 km。埃尔斯米尔造山运动使得富兰克林盆地沉积过程结束,形成了埃尔斯米尔褶皱带,变质程度为低角闪岩相。

(6)东格陵兰加里东褶皱带,其寒武系到奥陶系地层由4500 m厚的灰岩和白云岩连续堆积层组成,产太平洋陆架上的海洋动物群化石。加里东期主要侵入体为花岗闪长岩和花岗岩。

(7)古近纪和新近纪火成岩活动区,火山活动范围主要位于东格陵兰中、西格陵兰中大陆边缘地带,以玄武岩为主。出露许多岩脉和岩基,有碱质侵入体、碱性岩脉群以及正长—花岗质杂岩体。

2 主要金属矿分布特征

在上述格陵兰主要的7个地质构造单元基础上,将各地质构造单元内主要矿床和矿点的主要特征及时空分布规律^[7-12]归纳如下。

格陵兰已知矿床类型分为以下8种:①BIF型铁矿;②绿岩型金矿;③SEDEX型锌铅矿;④MTV型铅锌矿;⑤硫化物型铜-镍矿;⑥IOCG型铜金矿;⑦碱性岩和碳酸岩有关的铈-钽-稀土矿;⑧金伯利岩脉型金刚石矿。根据矿床经济价值从高至低,格陵兰矿产石油管理局将已有矿床(点)分为4类:①矿床或矿山(mineral deposit or mine);②成矿远景区(mineral prospect);③矿化显示(mineral showing);④矿化迹象(mineral indication)。

2.1 太古宙克拉通中的矿床(点)

格陵兰太古宙克拉通产出的主要矿床类型是BIF型铁矿和绿岩型金矿。此外,在西格陵兰南部花岗质绿岩带内的超镁铁质侵入体中发现有铬-镍-

钒-钛(±PGE);在东格陵兰南部的太古宙克拉通中发现了岩浆型铜、镍、铂族元素矿点。西格陵兰南部已发现的主要矿床(点)举例如下(图1-B)。

(1)BIF(阿尔戈马型)型铁矿 BIF型铁矿以Isua铁矿为代表。Isua铁矿位于格陵兰首府Nuuk东北150 km,为大型条带状铁矿床,矿床一直延续到冰盖下,矿化年龄3700 Ma。2011年英国伦敦矿业公司年度储量报告显示Isua铁矿有JORC总资源量1107 Mt,平均品位TF_{Fe}=32.3%。该铁矿已经完成开发可行性研究报告,目前正在为矿山开采做准备,预计2016年正式开采。

(2)绿岩型金矿 ①Taartoq金矿。产在太古宙片麻岩的绿岩带的碳酸盐化片岩的石英脉或透镜体中,矿床内含黄铁矿及其他硫化物,有成矿远景。②Isua金、铜、银矿点。围绕着石英闪长岩的Isua绿岩带角闪岩相分布,主要产在与火山有关的块状硫化物矿体内。③Storø脉状金、钨、铀矿点。含金石英脉在数个层位中均有发现,如在Qingaaq地区发现了3个矿点,在Aappalaartoq地区发现了2个带。Storø白钨矿化分布在条带状角闪岩夹钙质硅酸盐岩中。铀矿化出现于Storø, Naujanguit qaava花岗伟晶岩中。

Ivisaartoq金和钨矿化均位于Isua绿岩带内,金矿化与火山活动有关的块状硫化物关系密切,白钨矿呈层状产于条带状角闪岩中。

(3)岩浆型铜、镍、铂族元素、铬铁矿矿床 与Fiskenaesset杂岩体有关,位于Qeqertarsuatsiaat—Fiskenaesset地区。杂岩体延伸200 km,平均厚度400 m,铬铁矿、铂族元素、铜、镍等矿化主要与Fiskenaesset杂岩体中的层状钙长岩岩体密切相关。橄榄石及红宝石矿床均与Fiskenaesset杂岩体相关。在Qeqertarsuatsiaat—Fiskenaesset地区发现了铬铁矿矿点,有成矿远景。

(4)Fiskefjord-1、Fiskefjord-2以及Amikoq铂族元素矿点 产于镁铁—超镁铁岩中。

(5)Seqi(原名Fiskefjord)橄榄石矿床 矿床于1986年开始开采,中间一段时间闭坑,2006年开始露采。储量大、品位高,矿石储量达100 Mt,平均含橄榄石达98%,并伴生有铬铁矿和磁铁矿。

(6)Sinarsuk钒、钛矿点 与镁铁质岩石有关,磁铁矿-钛铁矿富集在钙长岩及辉长岩中,为矿化显示。

(7)Fiskenaesset红宝石矿点 红宝石的产出与Fiskenaesset杂岩体关系密切,有成矿远景。

(8)岩浆型铜、镍、铂族元素、金矿床 Ammassalik岩浆型铜-镍-铂族元素-金矿床,位于东格陵兰南部Ammassalik岛Tasiilaq地区,与Ammassalik杂岩体关系密切,矿床产于含条带状铁建造的表壳

岩层中,为矿化显示。

图 1-B 标出的还有西部前寒武纪结晶基底的其他矿点,详见下节阐述。

2.2 西格陵兰前寒武纪结晶基底中的矿床(点)

西格陵兰基底已发现有原生金刚石、石墨、橄榄石、石榴石以及与碳酸岩有关的铌、钽矿等矿床(点)。现举例如下(图 1-C)。

(1) 变质型石墨矿床 Akuliaruseq (原名 Eqaussuit) 石墨矿,矿床赋存于古元古代壳岩的黑云母-石榴石-石墨-矽线石片麻岩中,以细粒浸染状为主,与石墨伴生有黄铁矿和磁黄铁矿(褐铁矿化铁帽)。矿床储量约为 5.3 Mt,平均含碳 9.5%。

(2) 原生金刚石矿床 在 Maniitsoq 地区新元古代碱性超镁铁质岩墙中至少存在 4 组金伯利岩脉群,自从 Platinova 公司 1997 年在 Timitta Tasersua East 发现第一颗金刚石以来,目前已经发现了上百颗金刚石,金刚石的指示矿物有镁铝榴石、铬透辉石、钛铁矿、铬铁矿、橄榄石和金云母。在 Kangerlussuaq、Sisimiut—Kangerlussuaq 以及 Sarfartoq 地区已经发现了超过 600 颗金刚石。Majuagaa 金刚石矿点,产于新元古代碱性超镁铁质岩墙的金伯利岩墙中。Sarfartoq 金刚石矿点,新元古代成矿,总共发现约 900 颗微粒金刚石,并且在金伯利岩、钾镁煌斑岩岩墙中发现了金刚石指示矿物。此外,在 Tasersuaq 金刚石矿床中还大量产出橄榄石。

(3) 与碳酸岩有关的铌、钽、稀土(金刚石)矿床

西格陵兰南部地区是重要碱性岩省,发育各种超镁铁质—碱性岩,以及碳酸岩侵入体,并发现金伯利岩或钾镁煌斑岩岩墙。基底为太古宙,成矿时代为新元古代。Qaqaarsuk 铌、钽、稀土矿床,共生元素有 Sr, Ba, P 等,有成矿远景。在 Sarfartoq 铌、钽、稀土矿床的白云质碳酸岩中,大量产出磷灰石,其 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 为 3.5%~12%,有成矿远景。

(4) 原生橄榄石和砂矿型石榴石矿点 Kangaamiut 原生橄榄石矿点,与镁铁质岩墙群有关。Akuliaruseq 石榴石矿点和 Isortuarsuk 石榴石矿点,为海滨砂矿型。

2.3 西格陵兰古元古代金和贱金属矿床(点)

格陵兰西部除太古宙地层中的矿产之外,在元古宙地层中也发现有铅锌矿、钼族元素矿以及与火山活动有关的金、铜、镍、铋等矿产。现举例如下(图 1-D)。

(1) 喷流沉积(SEDEX)型硫化物矿床 以位于 Maarmorillik 的 Black Angel 铅锌银矿床为代表,矿床于 1973 年开始开采,1990 年闭坑,2008 年开始准备复采。矿床产于古元古代白云质大理岩中。

(2) 条带状铁建造 BIF(阿尔戈马型)型铁矿

Itilliarsuk 铁矿点,太古宙成矿,有成矿远景。

(3) 赋存在含铁建造中的层控金矿床 Saqqaq 金、铜矿点,产于太古宙镁铁质—超镁铁质变质火山表壳岩中。Itilliarsuk 金矿点,位于 Itilliarsuk 地区 Torsukattak 以北,矿床为太古宙同生块状硫化物型矿床,亦可产出在剪切带内,有成矿远景。

(4) 钼族元素矿点 Hammer Dal 矿点,产于 Disko 岛中元古代 Hammer Dal 杂岩体中。

(5) 太古宙火山成因矿床 Eqi 金、铜、镍矿点,产于太古宙与火山有关的碳酸岩化镁铁质岩石中,有成矿远景。

(6) 古元古代火山成因矿床 Naternaq, Horseshoe 铜、锌、金矿点,位于 Naternaq 和 Horseshoe 湖附近,为块状硫化物型矿床,有成矿远景。

2.4 南格陵兰中元古代矿床(点)

南格陵兰主要产出与碱性杂岩体有关的铌、钽、铍、铀、钍和稀土矿床,同生层控碎屑岩型铀、铅、铜矿,脉型金矿以及岩浆型钼族元素、铜、镍矿化。现举例如下(图 1-E)。

(1) 与碱性岩有关的冰晶石矿床 Ivittuut 冰晶石矿床,与加达尔火成岩省正长岩、霞石正长岩有关,与冰晶石共生的矿物有菱铁矿、萤石、黄玉。矿床于 1854—1987 年开采,现已闭坑。

(2) 与 Ilímaussaq 碱性杂岩体有关的铌、钽、铍、稀土矿床 Ilímaussaq 碱性杂岩体位于 Narsaq 镇南西方向,出露面积约 150 km²。产于碱性杂岩体中的 Kvanefjeld 稀土矿总资源量(JORC 标准)为 619 Mt,其中包括控制资源量 437 Mt 和推断资源量 182 Mt,为继白云鄂博稀土矿之后的世界第二大稀土矿床。在杂岩体中还发现有 Kringlerne 稀土矿床,目前勘探结果显示矿石储量也相当可观。

(3) 与 Igaliko 霞石正长岩体有关的铌、钽、稀土矿床 以 Motzfeldt Sø 稀土矿床为代表,矿床中铌钽矿化与稀土矿化无密切关系,铌钽矿化中心位于岩体中部,赋矿岩石为霞石正长岩以及少量伟晶岩、闪长岩墙。稀土矿化则出现在岩体深部,与花岗岩侵入体关系密切。

(4) 石英脉型金矿床 以 Nalunaq 金矿和 Niaqornaarsuk 金矿点为代表。Nalunaq 金矿产于 Ketilidian 造山带中,金矿脉群延伸达 2 200 m,宽度 0.1~2 m。后生的石英-碳酸岩金矿脉赋存于古元古代铁镁质变火山岩中。Nalunaq 金矿于 2004 年开工,是目前格陵兰唯一开采的金属矿山。Kangerluluk 金矿点为产于古元古代变火山岩中的造山带型金矿。

(5) 古太古代热液型铜矿床 Josva Mine 铜矿点的矿石矿物为斑铜矿、黄铜矿,曾在 1853—1855

年和1905—1914年开采,现已闭坑。

(6)铜-镍-铂族元素矿床 Amitsoq地区发现了多个矿点,矿种包括铜、镍、铂族元素、锌、金、石墨,如:Kinalik Tasermit Fjord铜、锌矿床和Sarqa铜矿床,均为共生火山块状硫化物型矿床;Asiussaq金矿点,为石英脉型金矿;Waldorf East钯、镍矿点;Amitsoq石墨矿点,为变质矿床,石墨与黄铁矿一起产于堇青石-矽线石-黑云母片麻岩中,历史上曾被开采,现已闭坑。

(7)共生层控碎屑岩型铀、铅、铜矿床 以Illorsuit铀、铅、铜矿点为代表,成矿时代为古元古代,有成矿远景。

2.5 东格陵兰加里东褶皱带中的矿床(点)

东格陵兰和东北格陵兰是重要的加里东褶皱带,主要矿床类型有斑岩型钼、钨矿床,热液脉型铅、锌、钨、锡、金矿床以及蒸发岩型矿床。主要包括(图1-F)。

(1)斑岩型矿床 Malmbjerg钼、钨矿床,产于直径17 km的Werner Bjerger碱性杂岩体中,岩体中心是正长岩—花岗岩,矿种有钼、钨、铜、金、银。矿床于1954年发现,现已控制矿石储量217 Mt。同一岩体偏北的Malmbjerg为斑岩型钼、钨矿床,位于Kong Oscar Fjord以南,在2个冰川之间,蚀变发育,矿石矿物有辉钼矿、黑钨矿、黄铁矿、磁铁矿、闪锌矿和黄铜矿,有成矿远景。

(2)热液脉型钨锡矿床 Ymer Ø钨、锡矿床,其成因与加里东侵入体关系密切,矿化富集在碎屑岩的石英脉中,矿石矿物为方铅矿、黄铜矿、闪锌矿、辉钨矿,并见孔雀石化。矿床规模大,平均品位为0.7%的钨矿石量达42 000 Mt,平均品位为3.5%的锡矿石量达108 000 Mt。此外,在Ymer Ø地区还有多个层控铜-铅-铀矿点,如Blomsterbugten铜矿点、Kap Petersen铜矿点、Noa Sø铜矿点、Vestdal铜矿点。

(3)蒸发岩型矿床 这类矿床有Karstryggen天青石锶矿床,容矿岩石为灰岩, SrSO_4 为15%~30%的矿体可达数米厚。

(4)冲积砂矿床 Milne Land古冲积砂矿床,主要产出有石榴石、钛铁矿、金红石、锆石、独居石以及稀土元素,矿体呈透镜状不规则地分布在长石砂岩中。

(5)未分类脉状矿床 Blyklippen铅锌矿床形成于侵入到石炭纪、二叠纪、三叠纪地层中的古近纪辉绿岩墙中,铅锌矿化与砂岩有关。矿脉中含Zn 15%,Pb 10%以及少量的黝铜矿、黄铜矿。该矿床于1956—1962年开采了品位Pb 9.3%、Zn 9.9%的矿石约54.46万t,现已闭坑。

2.6 北格陵兰古生代盆地中的铅锌矿床(点)

北格陵兰古生代盆地(Franklinian盆地)是格陵兰重要的铅锌(铜)远景区。已知赋存世界级SEDEX型铅锌矿床以及MVT型铅锌矿床。此外,还在新元古代砂岩中发现有铜矿化。现举例如下(图1-G)。

(1)喷流沉积(SEDEX)型铅锌矿 Citronen Fjord铅锌矿,位于皮里地(Pearry Land)岛Citronen峡湾Beach地区、Discovery地区以及Esrum地区,矿床具典型的喷流沉积特征,可与加拿大地区对比。据2012年4月Ironbark公司的最新勘探数据,Citronen铅锌矿含Zn 4.1%、Pb 0.4%的总资源量达132 Mt。

(2)密西西比河谷型(MVT)铅锌矿 以Washington Land铅、锌(银)矿床和Navarana Fjord锌(重晶石)矿床为代表,容矿岩石为白云岩和灰岩。

2.7 古近纪岩浆矿床(点)

东格陵兰南部与古近纪侵入岩有关的矿床,特别是与Skaergaard岩体有关的金银和铂族元素矿床已引起广泛的注意。现举例如下(图1-H)。

(1)镁铁—超镁铁岩型金、铂族元素矿床 Kap Edvard Holm铂族元素矿床与Kap Edvard Holm层状拉斑玄武质辉长岩体关系密切。

(2)岩浆型金、铂族元素矿床 以Skaergaard钯、金、铂矿床为代表,含铂族元素的金、钯矿脉呈层状产在著名的Skaergaard层状侵入体中,矿床中发现独立矿物skaergaardite(PdCu),zvyagintsevite(Pd₃Pb),vysotskite(PdS),tetraauricupride(Au, Cu)等,有成矿远景。

(3)浅成热液型金、银矿床 Flammefjeld金、银(钼)矿点位于Kangerlussuaq地区,为与碱性花岗岩、正长岩有关的浅成热液矿床,有成矿远景。

3 主要矿种的成因类型及特征

3.1 格陵兰稀土矿床

格陵兰稀土矿资源十分丰富,至今已发现包括世界第二大稀土矿Kvanefjeld稀土矿在内的9个矿床。根据其成因类型可以划分为与碱性岩有关的稀土矿、与碳酸岩有关的稀土矿、IOCG型稀土矿、与伟晶岩有关的稀土矿以及砂矿5类^[13-15]。各类矿床主要有:①南格陵兰Gardar省与Ilimaussaq碱性杂岩体有关的富铀、钍、铀、钽、铍、锂、锆和铈稀土矿床,如Kringlerne、Kvanefjeld和Motzfeldt Sø稀土矿。其中Motzfeldt Sø稀土矿的深部钻探发现有伟晶岩体出现,矿化可能与伟晶岩有关;②西格陵兰南部与Sarfartoq碳酸岩杂岩体有关的稀土矿床,同时

还伴生有金刚石、铌-钽和磷酸盐矿产。西格陵兰中与 Qaqarsuk 碳酸岩杂岩体有关的矿床,如 Qaqqaarsuk 矿床、与 Tikiusaaq 碳酸岩杂岩体的矿床等;③ Niaqornakassak 和 Umiammakku Nunaa(合称“Karrat”,2007 年发现)可能为 IOCG 型稀土矿化;④ Milne Land 含稀土元素(独居石等)古砂矿床。

3.2 格陵兰铁矿床

格陵兰铁矿床(点)已发现有以下类型^[16-17]:① 太古宙条带状含铁建造 BIF 型矿床,如 Isua 铁矿、Itilliarsuk 铁矿以及 Qaanaaq(Thule)铁矿;② 太古宙岩浆岩型铁矿床,钙长-辉长岩钛钒铁矿床,如 Sinarsuk;③ 古元古代岩浆岩型铁矿床,如 Inglefield 铁矿;④ 加达尔过碱性杂岩体中铁的富集 Grønneidal-ika;⑤ 元古宙岩浆岩型铁矿点 Isortoq;⑥ 古新世熔岩中发现的自然铁,如 Disko 岛 Nuusuaq 北部 Saviaqqat。

3.3 格陵兰铬铁矿床

西格陵兰 Fiskenaasset 大型铬铁矿矿床,产于太古宙基性钙长岩层状杂岩体中,铬铁矿石资源量达 38 Mt,含 $w(\text{Cr}_2\text{O}_3)$ 为 20%~33.4%。同时在 Fiskenaasset 杂岩体中还发现有红宝石和铂族元素^[18-19]。

3.4 格陵兰铂族元素矿床

铂族元素矿化主要产在太古宙 Fiskenaasset 斜长岩杂岩体(3 200~2 970 Ma)以及古近纪 Skaergaard 侵入体中^[19-23]。Fiskenaasset 斜长岩杂岩体中的苏长岩、橄辉岩,特别是镁铁质岩中的富硫化物部位均发现铂族元素富集并找到了铂族元素独立矿物。1987 年确认 Skaergaard 侵入体内赋存大型 Reef 型 PGE-金矿床,含 Au 0.11 g/t、Pd 1.91 g/t、Pt 0.16 g/t 的矿石量 104 Mt,含 Au 1.68 g/t、Pd 0.59 g/t、Pt 0.05 g/t 的矿石量 107 Mt。

3.5 格陵兰金刚石矿床

自 1970 年在西南格陵兰发现微粒金刚石之后,丹麦和格陵兰地质调查局在西格陵兰也进行了大量工作,以查明金伯利岩脉和脉群的分布,并研究其指示矿物。其研究表明 Maniitsoq 地区新元古代碱性超镁铁质岩为格陵兰金刚石矿床有利产出的母岩,金刚石的指示矿物有镁铝榴石、铬透辉石、钛铁矿、铬铁矿、橄辉石和金云母^[24-26]。

3.6 格陵兰金矿床

格陵兰金矿以太古宙绿岩型和古元古代造山带型金矿为主^[27-30],前期的调查工作显示格陵兰金矿很有找矿前景。

(1) 绿岩型 以 Nuuk 地区产于绿岩带中的 Storø 脉状金、钨、铀矿为代表。含金石英脉发育在数个层位中,附近发现有白钨矿、辉钼矿和铀矿化。

另外努克地区还有 2004—2007 年发现的 Qussuk 金矿化,产于绿岩带的变火山岩(年龄 3.07 Ga)中,与块状硫化物伴生,呈岛状产出。从 Nuuk 到 Isukasia 的北北东向带上沿峡湾南北都在打钻,发现金矿品位较高,有找矿潜力。品位一般为 3~7 g/t,甚至达 20 g/t。此外,西格陵兰南 Taartoq 金矿,产在太古宙片麻岩的绿岩带的碳酸盐化片岩的石英脉或透镜体中,含黄铁矿及其他硫化物。

(2) 古元古代造山带型金矿 以 Nalunaq 为代表的古元古代造山带型金矿,为产于 Ketilidian 造山带的脉型金矿床,脉群延伸达 2 200 m,宽度 0.1~2 m。

3.7 格陵兰钼矿床

格陵兰的 Malmbjerg 斑岩型钼矿床^[31]于 1954 年发现。斑岩体属于古近纪 Werner Bjerger 碱性杂岩体的一部分,围岩为石炭系砂岩地层。现有控制资源量 217 Mt,平均品位 0.20%,正在准备露天开采。

3.8 格陵兰铅锌矿床

格陵兰铅锌矿主要有 5 种类型,其分布特点^[32-36]如下:① VMS 型铅锌矿,主要分布在西格陵兰太古宙和古元古界地层中,以 Naternaq 铅锌矿为典型矿床;② MVT 型铅锌矿,以格陵兰 Black Angel 矿床为代表,赋存在碳酸盐岩地层中;③ SEDEX 型铅锌矿,以北格陵兰 Citronen 峡湾铅锌矿床为代表,主要分布于北格陵兰下古生界地层中;④ 热液型铅锌矿,以东格陵兰 Mesters Vig 地区 Blyklippen 矿床为代表;⑤ 与 Ilimaussaq 碱性杂岩体有关的可凡湾稀土-铀矿床中富含锌矿。

3.9 格陵兰镍矿远景

格陵兰镍矿分布特点^[37-38]为:① 西格陵兰太古宙 Fiskenaasset 斜长岩杂岩体中发育 Ni-PGE 矿;Sillisissanguit Nunaat—Maniitsoq 的苏长岩带中的镍-铜-铂族元素矿床,伴生铬铁矿;Fiskefjord 镁铁—超镁铁侵入体中铬-镍矿床,铬镍品位可分别达到 3.7%,2.8%;东格陵兰的 Vestfjord 发现有零星镍矿化;② 在西北格陵兰古元古代 Nagssugtoqidian 和 Ketilidian 造山带中发现有一些铜-镍矿点,其产出背景与相邻的加拿大相似,可能为 Voisey's Bay 型铜-镍硫化物带的延续部分。在西格陵兰 Kakilisattoq 地区、Arfersiorfik 地区以及东格陵兰 Tasiilaq 火山杂岩体中发现有镍矿点;③ 在西格陵兰 Disko 岛高原玄武岩以及东格陵兰古近纪辉长岩体中发现有镍-铜-铂族元素矿床,均为古近纪成矿。

目前格陵兰镍矿找矿工作主要集中于西格陵兰古元古代地层的 Voisey's Bay 型铜-镍矿床以及西格陵兰 Disko Bay 地区古近纪地层中的 Noril'sk 型镍矿床。

表1 格陵兰 IOCG 型矿产潜力

Table 1 The ore deposits potential of IOCG in Greenland

矿床位置	类型	矿化类型	矿化蚀变	矿种	矿体形态
Niaqornaarsuk/Qoorormiut	奥林匹克坝型	含金铁-铜硫化物、磁铁矿	钠长石化	Au, Bi, Ag, As, W, Cu, Mo	细脉状、剪切带型
Kobberminebugt	奥林匹克坝型	含金铜硫化物、磁铁矿	绿帘石化、萤石化、钾化	Cu, Au, Ag	脉状、角砾状
Ammassalik	奥林匹克坝型	铁氧化物、硫化物	钾化	Cu	角砾状
Arfersiorfik	奥林匹克坝型	铁氧化物、硫化物	碳酸盐化	Cu, Au, Co	
Paamiut/Nigerleq	Cloncurry 型	含金铁-铜硫化物	碳酸盐化	Cu, Au	脉状、角砾状
Sarfartoq	白云鄂博型	赤铁矿、磁铁矿、磷灰石	钾化、钠长石化	Nb, U, Ta, REE, P	脉状、层状
Qaqarsuk	白云鄂博型	磁铁矿、磷灰石	钠长石化	Nb, U, REE, P	脉状、层状
Tikusaaq	白云鄂博型	磁铁矿、磷灰石	钠长石化	REE, P	脉状、层状
Inglefield Land	Cloncurry 型	含金铁-铜硫化物、磁铁矿、赤铁矿	钠长石化、重晶石化	Cu, Au	细脉状、角砾岩化、剪切带型

3.10 格陵兰 IOCG 型矿床

目前,格陵兰还没有被公认的 IOCG 型矿床,但是有些矿点具有明显的 IOCG 型矿床特点,根据其特点分为奥林匹克坝型、Cloncurry 型和白云鄂博型^[39]。

4 结 论

(1)西格陵兰和南格陵兰结晶基底为早期地壳物质(太古宙-元古宙),矿产资源以产出于克拉通边缘的铁、铬、金、稀土、金刚石等为主。铁矿主要为 BIF 型,分布在西格陵兰;金矿以绿岩型为主;稀土矿床主要与中元古代超铁镁质岩-碱性岩-碳酸岩侵入体有关,分布在南格陵兰加达尔省。

(2)北格陵兰主要矿产为克拉通边缘坳陷古生代盆地中的 SEDEX 型铅锌(铜)硫化物矿床,分布在北格陵兰皮里地岛 Citronen 峡湾一带。

(3)东格陵兰主要矿产为克拉通边缘褶皱造山活动带中、与古近纪铁镁质-超铁镁质层状拉斑玄武质辉长岩有关的铂族元素-金矿床及与花岗岩类岩浆活动有关的斑岩型钼、钨(锡)矿。

参考文献:

- [1] Henriksen N, Higgins A K, Kalsbeek F, et al. Greenland from Archaean to Quaternary descriptive text to the 1995 geological map of Greenland, 1:2 500 000[R]. [S. l.]: Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin, 2000:98.
- [2] Henriksen N, Higgins A K, Kalsbeek F, et al. Greenland from Archaean to Quaternary descriptive text to the 1995 geological map of Greenland, 1:2 500 000. 2nd edition[R]. [S. l.]: Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin, 2009:126.
- [3] Henriksen N, Higgins A K, Kalsbeek F, et al. 格陵兰 1:2 500 000 地质图太古宙至第四纪描述[R]. 2nd edition. 洪为,译. [S. l.]: Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin, 2009:126.
- [4] 刘益康. 北冰洋圈的矿产勘查热[C]// 佚名. 2010 中国国际矿业大会论文集. 天津:[出版社不详], 2010:297-301.

- [5] BMP. Geological overview and environments for mineral occurrences[EB/OL]. (2012). <http://www.bmp.gl>.
- [6] Nielsen J S. The Mining Industry and Exploration in Greenland ppt in Greenland Day at the PDAC, Terms-jsn [EB/OL]. (2010). Bureau of Minerals and Petroleum Government of Greenland. <http://www.bmp.gl>.
- [7] Secher K. Map of known mineral occurrences in Greenland[J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2003, 5:1-2.
- [8] GEUS. Geological environments and related mineral occurrences[EB/OL]. (2012). <http://www.geus.dk>.
- [9] GEUS. West Greenland(66°-70°15'N)[EB/OL]. (2012). <http://www.geus.dk>.
- [10] GEUS. Nuuk Region(63°30'-66°N)[EB/OL]. (2012). <http://www.geus.dk>.
- [11] GEUS. South Greenland south of 62°N[EB/OL]. (2012). <http://www.geus.dk>.
- [12] GEIS. Interactive GIS-map of Greenland[EB/OL]. (2012-04). <http://www.geus.dk/GMOM-Greenland Mineral Occurrence Map on-line>.
- [13] Sørensen H. The Ilimaussaq alkaline complex, South Greenland: status of mineralogical research with new results[R]. [S. l.]: Geology of Greenland Survey Bulletin, 2001, 190:1-167.
- [14] Sørensen L L, Kalvig K. The rare earth element potential in Greenland[J]. Geology and Ore Exploration and Mining in Greenland, 2011, 20:1-11.
- [15] Secher K. Deposits of speciality metals in South Greenland[J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2002, 3:1-2.
- [16] Thomassen B, Stendal H. Banded iron formation(BIF) deposits [J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2008, 16:1-2.
- [17] Stendal H, Secher K. Iron ore potential in Greenland[J]. Geology and Ore, 2011, 19:1-12.
- [18] Chadwick B, Crewe M A. Chromite in the early Archean Akilia association(ca. 3 800 Ma), Ivisartoq region, inner Godthabsfjord, southern West Greenland[J]. Economic Geology, 1986, 81:184-191.
- [19] Page N J, Myers J S, Haffty J, et al. Platinum, palladium, and rhodium in the Fiskenaasset Complex, southwestern Greenland [J]. Economic Geology, 1980, 75:907-915.
- [20] Secher K. The PGE potential in Greenland[J]. Geology and

- Ore Exploration and Mining in Greenland, 2007, 8: 1-12.
- [21] Secher K, Appel P, Nielsen T F D. PGE deposits in Greenland [J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2010, 24: 1-2.
- [22] Appel P, Dahl O, Kalving P, et al. Discovery of new PGE mineralization in the Precambrian Fiskenaasset anorthosite complex, West Greenland, GEUS report [R]. 2ed edition. [S. l.]: GEUS, 2011.
- [23] Nielsen T F D. A world class deposit in the Skaergaard intrusion [J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2006, 13: 1-2.
- [24] Secher K, Sven M, Jensen S M. Diamond exploration in Greenland [J]. Geology and Ore, 2004, 4: 1-12.
- [25] Jensen S M, Secher K. Diamond exploration in Greenland [J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2004, 7: 1-2.
- [26] Secher K, Appel P. Gemstones of Greenland [J]. Geology and Ore, 2007, 7: 1-12.
- [27] Stendal H, Secher K. Gold mineralisation and gold potential in South Greenland [J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2002, 1: 1-2.
- [28] Secher K. The Taartoq gold field, South West Greenland [J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2004, 8: 1-2.
- [29] Secher K. Gold in the Nuuk region of West Greenland [J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2004, 6: 1-2.
- [30] Secher K, Stendal H, Stensgaard B M. The Nalunaq gold mine [J]. Geology and Ore, 2008, 11: 1-12.
- [31] Thomassen B. The Malmbjerg porphyry molybdenum deposit, East Greenland [J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2005, 11: 1-2.
- [32] Thomassen B. The lead and zinc potential of the Franklinian Basin in North Greenland [J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2007, 15: 1-2.
- [33] Thomassen B. The Black Angel lead-zinc mine at Maarmorilik in West Greenland [J]. Geology and Ore, 2003, 2: 1-12.
- [34] Thomassen B. The Blyklippen lead-zinc mine at Mesters Vig, East Greenland [J]. Geology and Ore, 2005, 5: 1-12.
- [35] Sørensen L L, Stensgaard B M. The zinc potential in Greenland [J]. Geology and Ore, 2012, 21: 1-12.
- [36] Sørensen L L, Thomassen B. Zinc potential in Greenland [J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2011, 25: 1-2.
- [37] Secher K, Stendal H. Greenland's nickel resource potential [J]. Geology and Ore, 2010, 17: 1-12.
- [38] Secher K. Greenland's prospective nickel resources [J]. Exploration and Mining in Greenland, Fact Sheet, 2004, 9: 1-2.
- [39] Secher K. Iron oxide copper-gold mineralising systems in Greenland [J]. Geology and Ore, 2009, 13: 3-8.

The Brief Introduction and Distribution Regularity of Important Ore Deposits Occurring in Greenland

LI Jiu-ling¹, LU Wei², ZHAO Yuan-yi¹, LI Zhen-qing¹, LU Wen-hui², NIE Feng-jun¹

(1. MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resource, CAGS, Beijing 100037, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Greenland is the only outside except Antarctica with vast unexploited virgin land large island, is rich in metallic mineral resources. In recent years, this island has been paid more and more attention because of the global warming and resources shortage. In order to improve the understanding of the metal ore deposit resources in Greenland, and to provide valuable references of Greenland for the "going out" strategy for Chinese enterprises, this paper simply introduces the geological evolution of Greenland, and the main deposits and ore occurrences of every geotectonic units. Distribution law of rare earth mine, iron deposits, chromite deposits, platinum group elements, diamond, gold, molybdenite, lead-zinc mine, and IOCG deposit and nickel minerals are systematically introduced in this paper.

Key words: Greenland; metal deposit; distribution law