

小岩体成大矿的理论及找矿实践意义——以西北地区岩浆铜镍硫化物矿床为例

李文渊,张照伟,陈 博

(国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室,中国地质调查局西安地质调查中心,西安 710054)

[摘要] 汤中立院士提出的“小岩体成大矿”理论,是基于对与镁铁-超镁铁质侵入岩有关的岩浆铜镍硫化物矿床长期调查研究得出的概括性成矿认识总结。一经提出即得到了国内外勘查界的普遍响应,大量的矿床勘查实践,有力地证明了浅成的较小体积的侵入岩却往往形成了较大规模金属储量的矿床。本文主要通过西北地区与镁铁-超镁铁岩有关的岩浆铜镍硫化物矿床成矿作用的研究,对“小岩体成大矿”的成因进行深入探讨,认为幔源岩浆深部熔离-贯入作用,是形成小岩体成大矿的主要机理。国外提出的“岩浆通道”说,可以导致成矿的局部富集,与小岩体成大矿的机理认识是一致的。通过对西北地区大量岩浆铜镍硫化物矿床找矿事实的总结,进一步丰富了“小岩体成大矿”科学内涵,对指导找矿有重要的现实意义。

[关键词] 侵入岩;铜镍硫化物矿床;小岩体成大矿;矿床成因;找矿远景

[中图分类号] P62 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)02-0029-06

1 前言

汤中立院士在长期的勘查和科学研究实践中发现并提出了“小岩体成大矿”理论,受到了国内外地质勘查界的普遍关注和赞同^[1]。这种成矿特征,不仅表现在由于岩浆熔离作用形成的岩浆矿床中,同时也表现在与岩浆热液有关的斑岩或矽卡岩等矿床中,前者主要与镁铁-超镁铁质侵入岩有关,后者则主要形成于中酸性侵入岩及其接触带中。本文主要是对西北地区与镁铁-超镁铁岩有关的岩浆铜镍硫化物矿床成矿与找矿的研究。众所周知,中国对镍金属的年需求量在 3×10^5 t以上,但70%依靠进口硫化镍矿石来满足。也就是说中国每年进口的硫化镍矿石量达 2×10^7 t。这是一个庞大的数字,相当于一个大型硫化镍矿床的储量。中国是世界

上少数几个重要的产镍国家,并且仍具有很大的找矿潜力。全国矿产资源潜力评价认为,在现有认识条件下,中国有 2×10^7 t的镍金属资源潜力,已探明 8×10^6 t,尚有1 000多万t的潜力。西北地区是中国铜镍硫化物矿床主要成矿远景区,其成矿潜力在哪?找矿的难点是什么?本文试图从“小岩体成大矿”理论视角进一步做以探讨。

2 岩浆铜镍硫化物矿床的形成环境

单纯研究西北的岩浆铜镍硫化物矿床,无法真正认识西北的岩浆铜镍硫化物矿床。中国的镍主要来源于岩浆铜镍硫化物矿床,从中国主要岩浆铜镍硫化物矿床地质分布来看,全国已发现20多处大中型矿床(田),分布极不均一。其中最为重要的就是,汤中立院士1959年发现的世界级超大型矿床

[收稿日期] 2014-11-20

[基金项目] 国家地质大调查项目(1212010918024,1212011121092,1212011120183,12120114044401)

[作者简介] 李文渊,1962年出生,男,甘肃武威市人,研究员,主要从事岩浆铜镍硫化物矿床成矿理论与镍矿资源调查评价工作;
E-mail: xalwenyuan@126.com

——金川矿床。金川已累积探明镍金属储量 5.76×10^6 t,占世界硫化镍金属储量1/8左右,位居世界铜镍硫化物矿床第三位,是典型的小岩体成大矿,岩体体积不足 $1\ 000\ \text{m}^3$,60%以上的岩体是矿体^[2]。金川含矿岩体位于华北克拉通西南缘,阿拉善地块南缘龙首山隆起中,形成时代现确定为新元古代(830 Ma)。在中国,目前认为达到百万吨镍金属储量的矿床,还有两处:一处是新疆北山造山带中的坡北矿床(田),矿石品位较贫,形成于晚古生代早二叠世(278 Ma);另一处是新近发现的青海东昆仑造山带中夏日哈木矿床,形成于早古生代泥盆纪(411 Ma)。其余矿床均在 5×10^5 t以下。中国铜镍硫化物矿床储量差距巨大,多是中小规模矿床。从地质分布上来讲,主要表现为两类:分布于克拉通(陆块)边缘,或分布于造山带中。许多矿床分布于造山带中,是中国岩浆铜镍硫化物矿床的典型特点。世界上,绝大多数岩浆铜镍硫化物矿床则主要产于克拉通边缘。

全球岩浆铜镍硫化物矿床主要分布在北美、澳大利亚、西伯利亚、欧洲和非洲等古老克拉通的边缘。印度等克拉通中尚未发现重要的铜镍矿床。目前研究认为世界上重要的铜镍矿床,都是几次超大陆事件中新地壳生长和裂解的产物^[3],这些超大陆分别是新太古代的凯诺兰超大陆(Kenorland)、中元古代的哥伦比亚超大陆(Columbia)、新元古代的罗迪尼亚超大陆(Rodina)和晚古生代的潘吉亚超大陆(Pangea)。其中,凯诺兰超大陆主生长期是2.7~2.6 Ga,与科马提岩和侵入岩有关的铜镍矿形成于2.9~2.5 Ga,是凯诺兰超大陆生长期的产物;哥伦比亚超大陆主生长期是1.9~1.7 Ga,与科马提岩、侵入岩和古陨石撞击有关的铜镍矿形成于2.0~1.85 Ga,也倾向形成于超大陆的主生长期;罗迪尼亚超大陆主生长期是1.2~1.1 Ga,但与侵入岩有关的铜镍矿形成时限较长,为1.4~0.8 Ga,似乎表现为超大陆开始生长、主生长和裂解三个成矿时期的特点;潘吉亚超大陆,没有明显的主生长期,泥盆—石炭纪(400~300 Ma)似乎是主生长期,但以俄罗斯诺里尔斯克为代表的侵入岩有关的铜镍矿则形成于三叠纪初期(250 Ma),应形成于潘吉亚超大陆生长和裂解的动荡时期。普遍认为潘吉亚超大陆与以往超大陆形成结束特点并不相同。

中国的铜镍矿床形成时代与世界上重要铜镍矿的形成时代有较大差异,主要形成于较晚的几次

超大陆裂解时期。主要为新元古代晚期、早古生代晚期和晚古生代晚期三个时期。这可能与中国没有巨大而稳定的克拉通有关,而古生代的造山带是新地壳最重要的生长期的产物。

从找矿的角度划分,世界岩浆硫化物矿床可划分为4种类型:a. 中元古代陨石撞击有关的岩浆Ni-Cu-PGE矿床,以加拿大的萨德伯里为典型代表,世界上尚无第二例,其实它也是沿古陨石坑周缘的10余个含矿岩体组成;b. 太古宙—古元古代科马提岩流有关的岩浆Ni-Co矿床,以澳大利亚的坎巴尔达为典型,主要形成于中元古代以前的古老地盾上;c. 古元古代大型层状杂岩PGE矿床,以南非的布什维尔德、美国的斯蒂尔沃特和津巴布韦的大岩墙为典型代表,主要形成于古元古代以前古老地盾上;d. 元古宙—三叠纪镁铁—超镁铁岩有关岩浆Ni-Cu-PGE矿床,俄罗斯的诺里尔斯克、中国的金川都是其巨型矿床的典型代表,中国目前的发现均属此类矿床,小岩体成大矿是其典型特征。

可见,中国铜镍矿床的形成与世界其他矿床有明显差异。主要形成于新元古代晚期(830 Ma)、早古生代晚期(442~420 Ma)和晚古生代晚期到三叠纪(280~216 Ma)这三个时期。这一特点在中国的西北表现更为全面。从新元古代晚期、晚古生代晚期到三叠纪可能分别响应于罗迪尼亚超大陆(800 Ma)和潘吉亚超大陆(220 Ma)的生长,而早古生代晚期或许是冈瓦纳大陆(450 Ma)裂解的反映。中国未发育更古老的铜镍矿床,可能与中国大陆的生长演化历程有关。不论是产于克拉通边缘或连接克拉通的造山带中,其实都可归为克拉通边缘的特点,只是产出的地质建造是古老的结晶基底和新生陆壳的差异。这一构造位置是地质上相对比较薄弱的地带,是深部地质作用最易表现的地方。因此,中国或中国西北地区的岩浆铜镍硫化物矿床的形成都显著地代表了重大构造岩浆事件的发生。或者说,罗迪尼亚超大陆、冈瓦纳大陆和潘吉亚超大陆的形成裂解事件,造就了我国岩浆铜镍硫化物矿床的形成和发育。

3 西北岩浆铜镍硫化物矿床小岩体成大矿的特点

3.1 含铜镍镁铁—超镁铁岩带的分布

中国的岩浆铜镍硫化物矿床就已有的成矿事实,可划分为4个重要成矿区:a. 华北克拉通东北缘

铜镍成矿区,主要分布辽吉地区和内蒙古中东部,以吉林磐石的红旗岭、辽宁的赤柏松为典型代表;b. 华北克拉通西南缘铜镍成矿区,以甘肃的金川超大型矿床为典型代表,近年来在柴达木地块周缘相继发现了夏日哈木、牛鼻子梁等重要铜镍矿床,20世纪60年代发现的化隆拉水峡等中小型铜镍矿床也是柴达木地块北缘的产物;c. 塔里木克拉通北缘铜镍成矿区,整个新疆天山、北山和阿勒泰造山带中发现的一大批铜镍矿床,例如黄山、坡北、喀拉通克和图拉尔根,以及甘肃北山的黑山铜镍矿床等,均是这一铜镍成矿区的产物;d. 扬子克拉通西缘铜镍成矿区,主要是于四川、云南发现的一系列铜镍矿床,以力马河等为代表。上述四个铜镍成矿远景区,均处于中国主要克拉通——华北、塔里木和扬子克拉通的边缘及相邻的造山带中。可见,与大陆边缘的薄弱带有关。

4个成矿远景区的成矿特征差异是显著的。塔里木克拉通北缘和扬子克拉通西缘,分别可能与280 Ma的塔里木大火成岩省和260 Ma的峨眉大火成岩省相关,而华北克拉通西南缘和东北缘的成矿时代和成矿背景则较为复杂。克拉通的其他边缘有无铜镍矿床的形成,值得研究。这两年新的铜镍矿床均发现于新区。华北克拉通东北缘铜镍成矿区,在过去发现红旗岭7号、1号矿床的基础上,近来又有红旗岭3号矿床发现,显示出较为重要的找矿远景。红旗岭铜镍矿床形成于三叠纪晚期(216 Ma),可能是中国最晚的铜镍矿床。

全国4个重要找镍远景区,西北地区就占据两个。一个是华北克拉通西南缘铜镍成矿区,它应是中国最重要铜镍成矿远景区,除了占据全国硫化镍金属储量3/4的金川外,近年来又有夏日哈木超大型铜镍矿床的发现;另一个就是塔里木克拉通北缘铜镍成矿区,除已有的发现外,坡北大型铜镍矿床是近年来重要的发现。为什么西北地区有如此多重要铜镍矿床的发现呢?还应归结于地质历史上鲜明的构造岩浆事件,这些构造岩浆事件可能不仅仅是区域性的,是洲际的,是欧亚大陆地质历史重大事件的反映,是全球地质历史上超大陆旋回的结果。

3.2 华北克拉通西南缘铜镍成矿典型特点

金川巨型铜镍矿床位于华北克拉通阿拉善地块的南缘,很自然地注重于陆块内部向北寻找类似的矿床。但金川矿床形成于新元古代,而南邻的祁

连山是早古生代的造山带,其中残存的微地块没有证据表明,它们与阿拉善地块没有联系。因此,南邻的元古宙微地块,都应是潜在的找镍选区。但南祁连化隆微地块中的含铜镍镁铁-超镁铁岩,主要是早古生代的产物(裕龙沟ID-TIMS锆石U-Pb法, 442.4 ± 1.6 Ma; 亚曲ID-TIMS锆石U-Pb法, 440.74 ± 0.33 Ma)^[4],与金川不同期。新发现的夏日哈木铜镍矿,位于东昆仑造山带北带,产于古元古代的金水口群中。新获得的含矿镁铁-超镁铁质岩体的年龄为 411.6 ± 2.4 Ma。金川矿床的外围找矿是一个全球关注的问题,它应该是重大地质事件的结果,需要以更大的视野,进行更深入的基础研究。

新发现的东昆仑夏日哈木超大型铜镍矿床,是典型产于造山带的早古生代晚期的铜镍矿床,形成于什么环境颇值得研究。目前有后碰撞拉伸环境、岛弧环境的不同认识。最近我们的野外调查研究显示,矿区不仅有成铜镍的铁质系列的镁铁-超镁铁质侵入岩分布,同时并存有先期形成的变质橄榄岩(蛇纹岩),应是蛇绿岩组合产物。其可能的演化模式应该是,早古生代晚期柴达木地块南缘增生,南缘新生陆壳中残存缝合带的地幔岩残体,志留纪末-泥盆纪初由于幔源岩浆作用,沿先期的缝合的薄弱带上侵形成含铜镍的镁铁-超镁铁岩体,故也可称为柴达木古地块裂解的产物,后经构造挤压呈仰冲岩片遭受剥蚀而裸露。目前发现的夏日哈木铜镍矿床,含矿镁铁-超镁铁质岩体长1.76 km,宽700 m,面积1.23 km²,呈“岩盆状”。镍资源量百万吨以上,平均品位0.6%;伴生钴 4.14×10^4 t,平均品位0.024%;共伴生铜 2.07×10^5 t,平均品位0.12%。其主要岩性为橄榄辉石岩,其次辉石橄榄岩和辉石岩;下部为辉石橄榄岩,局部为橄榄岩,底部为橄榄辉石岩;上部辉石岩-辉长岩。橄榄石为贵橄榄石。区域上,小型镁铁-超镁铁质岩体呈串珠状成群断续分布。普遍认为,冈瓦纳大陆是奥陶纪末和志留纪初(450 Ma)开始裂解的,柴达木地块周缘的岩浆铜镍硫化物矿床则主要形成于志留纪初到泥盆纪初(440~410 Ma)的早古生代晚期或早晚古生代交替时期,或许代表了全球陆块群汇聚后裂解的世界差异,中国西北裂解的更晚一些。如果冈瓦纳大陆裂解并分离,是源于地幔的动力,比如地幔柱的作用,这种地幔部分熔融的岩浆作用在不同的位置应该有时段上的差异,只是目前还未绘制出冈瓦纳大陆形成和分离的复原图,特别是中国陆块在其

当时的相对位置,这种探索也就受到了整体背景认识的限制。其实新元古代的罗迪尼亚超大陆,也是如此,尽管罗迪尼亚超大陆的复原工作已有重要的进展,但中国古陆块的相对位置的探索才刚刚开始。而形成于罗迪尼亚超大陆裂解背景的金川超大型矿床的大尺度的构造演化也仍停留在概念上,比如阿拉善地块在新元古代的位置,及其与塔里木、华北、扬子克拉通,甚至西澳克拉通之间相对的关系,这可能是全球尺度上预测寻找金川型铜镍矿的基础。

3.3 塔里木克拉通北缘铜镍成矿区

所谓塔里木克拉通北缘铜镍成矿远景区,也即新疆北部天山、北山和东准噶尔地区。新疆北部的岩浆铜镍硫化物矿床,除西天山的筭布拉克(434.4±6.2 Ma)外,主要形成于早二叠世(278~287 Ma),现在大多数意见倾向于为塔里木(一天山)大火成岩省(LIPs)产物的认识。新疆北部晚古生代石炭—二叠纪的地质背景一直存在争议:古亚洲洋闭合后的板内地幔柱作用的大火成岩省? 板块俯冲岛弧/活动大陆边缘? 塔里木早二叠世大火成岩省的认识已经被较广泛地接受,夏林圻等在美国地质学会杂志也提出天山(一天里木)石炭纪—早二叠世LIPs的主张^[5]。从成矿集中爆发来讲,石炭—二叠纪大规模成矿,但早古生代也存在岛弧/活动陆缘环境,为什么成矿就少呢? 而且,不同学者构造背景认识上存在很大差异。有晚石炭—二叠纪古亚洲洋闭合,也有石炭纪就闭合的认识,还有早石炭世南天山就闭合,以及准噶尔洋晚泥盆世闭合的观点。此外,北天山洋是向南、向北俯冲,先向北俯冲,早中石炭世时开始两极俯冲的3种观点^[6]。可见,新疆北部晚古生代石炭—二叠纪的构造演化环境,难以单纯用板块构造解释。我们认为,新疆北部天山及其邻区石炭纪—早二叠世是一种板块与地幔柱作用并存的机制,早二叠世早期进入板内环境,主要表现为LIPs的产物。因此,塔里木克拉通北缘(新疆北部)远景区铜镍矿主要是大火成岩省的产物。整个欧亚大陆二叠—三叠纪西伯利亚(诺里尔斯克铜镍矿)、天山—塔里木、峨眉三个近乎同时期大火成岩省的存在,可能代表了一次全球性的地质事件。是否表明,这个时期在欧亚大陆岩石圈下曾存在过一个超地幔柱作用,三个几乎近于同时的LIPs,可能是超地幔柱在软流圈产生的3个次地幔柱作用的结果。由于潘吉亚超大陆的形成演化

时间还存在不同意见,早二叠世到早三叠世不同时段LIPs的发育,应代表了潘吉亚超大陆向裂解方向的演化。但就新疆北部天山和准噶尔的地质演化而言,晚古生代的古亚洲洋闭合后,便从此进入了陆内环境。

坡北是新疆北部近年来发现的重要岩浆铜镍硫化物矿田,其中坡一铜镍矿床,找矿成果最为显著。但由于一直未发现有规模的富矿体,勘查工作陷入了僵局。其实坡北含矿岩体面积相对较大,关键是要发现其中经过硫化物预富集后贯入的富含硫化物的小岩体。高精度航磁资料显示,坡北镁铁—超镁铁岩体似乎至少存在两期侵入,先期侵入的较大的岩体形成了就地熔离的贫矿,但还可能存在一期深部熔离—贯入的富矿的小岩体。但需要精细地质工作研究。新疆北部喀拉通克、黄山—镜儿泉、坡北含铜镍矿镁铁—超镁铁岩带,它们应是天山—塔里木喷发LIPs高峰期的同期产物。

4 小岩体成大矿机理论

“小岩体成大矿”是对中国岩浆铜镍硫化物矿床成矿特点的高度概括。其实质,改变了传统的成矿理论,改变了国外经典教科书的定律。是根置于中国找矿实践,产生的创新成矿理论认识。突变是物质变化的基本规律,异常变化是物质世界的主要运动方式,小体积大能量是物质世界的普遍现象,比如原子弹。地球演化是由突发的地质事件记录而成的,地质事件才造成了岩浆作用的发育。而地幔柱减压部分熔融,肯定又导致重要地质事件的发生。岩浆作用的突变,比如与古老地壳的反应,硫过饱和和使深部熔离发生,从而导致深部岩浆房成矿元素异常富集。通过深部熔离岩浆的多次贯入和岩浆脉动的累积成矿,造就了“小岩体成大矿”。就地熔离不容易形成富矿和大矿,大岩体成不了富矿和大矿,比如美国的德卢斯。“小岩体成大矿”事实,相应地应该有同期亏损金属硫化物基性喷发岩或大岩体存在。但多可能遭受剥蚀而难寻。“深部熔离—多次贯入”是铜镍矿床“小岩体成大矿”的成因(见图1)。图1a为硫化物深部熔离—贯入成矿模式,深部地幔部分熔融形成岩浆上涌,在运移过程中岩浆中的硫达到饱和进而熔离出硫化物液滴,并进一步形成富含硫化物的岩浆、少硫化物的岩浆以及不含硫化物的岩浆,这些岩浆在适宜的条件继续上涌到浅部地壳成岩成矿;图1b为岩浆通道成岩成矿模

式,矿体富集在岩浆流经的通道内部,通道的形状和位置不同也就造就了不同产状的岩体和矿体。

岩浆通道(magma conduit)说是深部熔离-贯入成矿认识岩浆最终就位的概括。

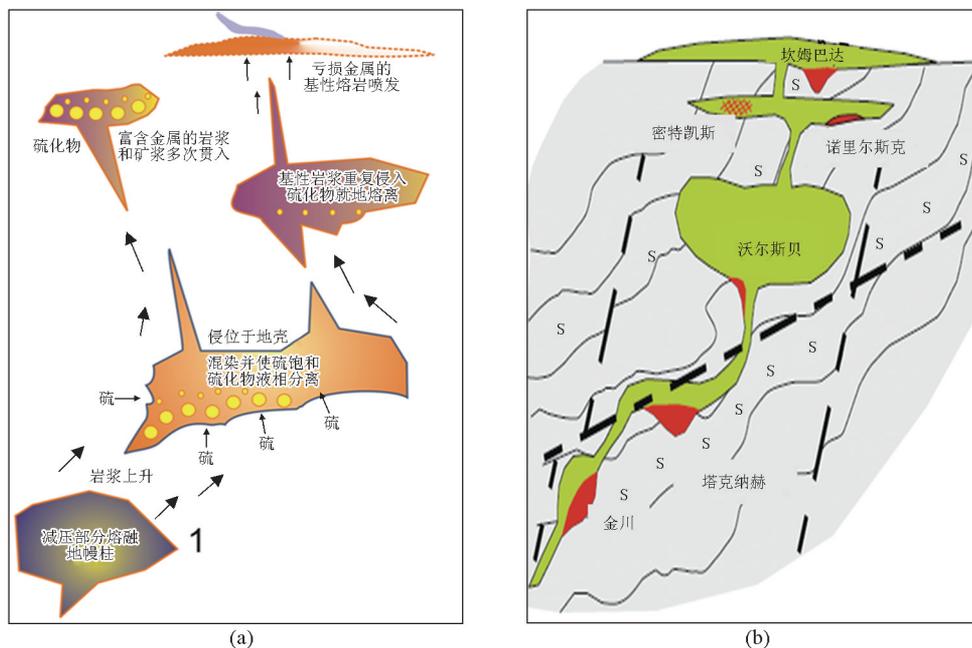


图1 岩浆铜镍硫化物矿床深部熔离-贯入成矿模式(a)和岩浆通道成矿模式(b)

Fig. 1 Deep seated magmatic liquation injection deposit (a) and magma conduit models (b) for magmatic Ni-Cu sulfide deposits in the world

注:据李文渊(2006)和Maier等(2011)修改

岩浆铜镍硫化物矿床,就中国的形成来看,主要形成于岩石圈的薄弱地带(大陆边缘和陆块之间造山带)。其形成演化过程是,先地幔柱向岩石圈薄弱区域流动,在浅部发生减压部分熔融,熔体沿断层或岩浆通道运移至地壳浅部,熔体与地壳反应,导致聚集成矿。在没有古老大陆岩石圈地幔(SCLM)发育的区域,即使有大火成岩省发育,也未能形成有规模的岩浆硫化物矿床。因为,地幔柱在高温低压条件下发生高度部分熔融,熔体和被交代富集的岩石圈地幔发生反应,促进硫的饱和,SCLM直接贡献成矿金属元素以及硫^[7]。因此,大洋中存在地幔柱、大火成岩省,但罕见岩浆铜镍硫化物矿床。俯冲带也罕见岩浆铜镍硫化物矿床发育,也是由于地幔楔熔融机制的特点为:熔融温度低,岩浆高硅低镁,并且岩浆水含量高、氧逸度高。这些特点都不适于岩浆铜镍硫化物矿床的形成。尽管俯冲带岩浆作用机制不利于形成岩浆铜镍硫化物矿床,但大洋内的铜、镍物质通过俯冲作用带入陆块边缘,对发生在陆块边缘的岩浆铜镍硫化物矿床有

间接的贡献。所以,与俯冲有关的岛弧环境可能难以形成较大规模的工业富铜镍矿床。

参考文献

- [1] 李文渊,张照伟,高永宝,等. 对小岩体成矿的认识及其成矿意义[J]. 西北地质,2012,45(4):61-68.
- [2] 汤中立,李文渊. 金川硫化铜镍(含铂)矿床成矿模式及地质对比[M]. 北京:地质出版社,1995.
- [3] Maier W D, Groves D I. Temporal and spatial controls on the formation of magmatic PGE and Ni-Cu deposits [J]. Miner Deposita, 2011, 46: 841-857.
- [4] Zhang Zhaowei, Li Wenyuan, Gao Yongbao, et al. Sulfide mineralization associated with arc magmatism in the Qilian Block, western China: Zircon U-Pb age and Sr-Nd-Os-S isotope constraints from the Yulonggou and Yaqu gabbroic intrusions [J]. Mineralium Deposita, 2014, 49(2): 279-292.
- [5] 夏林圻,夏祖春,徐学义,等. 天山石炭纪大火成岩省与地幔柱[J]. 地质通报,2004,23(9-10):903-910.
- [6] Zhao T P, Zhou M F. Geochemical constrains on the tectonic setting of Paleoproteroaic A-type granites in the southern margin of the North China Craton [J]. J Asian Earth Sci, 2009, 36: 183-195.
- [7] Griffin W L, Begg G C, O'Reilly S Y. Continental-root control on the genesis of magmatic ore deposits [J]. Nature Geoscience, 2013, 6: 905-910.

The theory on small intrusions forming large deposits and its exploration significance—Taking for magmatic Ni-Cu sulfide deposits example in the northwestern of China

Li Wenyuan, Zhang Zhaowei, Chen Bo

(MLR Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, Xi'an Center of Geological Survey, CGS, Xi'an 710054, China)

[Abstract] The theory on small intrusions forming large deposits put forward by academician Zhongli Tang was a recapitulative summary by Long-term studying of magmatic Ni-Cu sulfide deposits which related to mafic-ultramafic intrusions. And this theory got a common response by exploration industry in the world. Many mineral exploration practices have effectively illustrated that the hypabyssal and small intrusion could always form the larger ore deposits. Our study is about the mineralization of Ni-Cu sulfide deposits which related to mafic-ultramafic intrusions in the northwestern of China. In this paper, we have discussed the theory of small intrusions forming large deposits, considering that mantle magma deep part liquation and injection is the main mechanism of this theory. And another theory of magma conduit systems, may cause the local enrichment of mineral, and like that theory of small intrusions forming large deposits. After summarizes the prospecting fact of magmatic Ni-Cu sulfide deposits in the northwestern of China, we expand the scientific connotation of the theory on small intrusions forming large deposits, and make it more realistic meaningful in guiding prospecting.

[Key words] mafic-ultramafic intrusions; magmatic Ni-Cu sulfide deposits; small intrusions forming large deposits; ore genesis; prospecting potential