

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2018.03.005

青海省大干沟地区黑色岩系中 V-Mo-PGE 矿床找矿前景分析

陈巧妹¹, 孙华山², 刘晓康¹, 陈建洲¹

(1. 青海省第四地质矿产勘查院, 西宁 810029;

2. 中国地质大学(武汉), 武汉 430074)

摘要: 分布在东昆仑山南坡青海省大干沟地区的浩特洛哇组黑色岩系, 属陆缘裂陷滨海—浅海相沉积的碎屑岩—碳酸盐岩建造, 形成于缺氧环境。区内的大干沟钒钼矿床、大干沟口 V-Mo-PGE 矿床均赋存于浩特洛哇组(C_2P_1h)中, 矿体均为层状、似层状, 具层控特征。近年工作在大干沟口浩特洛哇组碳质板岩中发现了 Mo、Au 等元素的化探异常, 通过少量的槽探及钻探工程控制钒钼矿体 8 个; 钻孔 ZK001、ZK701 中均见 Pd 矿化, $w(Pd) = 0.03 \times 10^{-6} \sim 0.16 \times 10^{-6}$, 达到伴生矿床工业开采品位。大干沟黑色岩系中伴生铂族元素的发现, 给青海省柴南缘地区非传统类型的铂族元素矿床的找矿突破带了希望, 与黑色岩系有关的 V-Mo-PGE 矿产找矿前景光明。

关键词: 大干沟地区; 浩特洛哇组; 黑色岩系; 钒钼矿; 铂族元素; 青海省

中图分类号: P624 **文献标识码:** A

0 引言

黑色岩系即含有机碳($w(C_{org}) \geq 1\%$)及硫化物的暗灰色—黑色的硅质岩、泥质岩、碳酸盐岩及其相应变质岩组合的总称。我国对与黑色岩系有关的矿床研究始于 20 世纪 60 年代, 但直到 20 世纪 80 年代才足够引起地学界的关注^[1]。国内对黑色岩系的研究早期主要集中在南方地区, 近年来西北的陕西、甘肃、新疆等地区对黑色岩系的报道越来越多^[2-10], 但青海省对与黑色岩系有关的多金属矿床的研究程度极低。

黑色岩系中, 钒钼铂金等多金属富集现象引起了国内外学者广泛关注, 尤其是与黑色岩系有关的俄罗斯干谷超大型 Au-PGE 等矿床的发现, 使得此类非传统铂多金属矿产资源成为研究热点^[11]。涂光积^[12]对华南地区 60 多个与黑色岩系有关矿床点

的研究表明, Au、Cu、Pb、Zn、Sb、Sn、Cd、Ge、V、Mn、Mo、Ni、PGE 等 25 种以上有用元素的聚集成矿与黑色岩系有关。经过多年的地质矿产勘查工作, 目前已在湖南、湖北、江西、贵州、新疆等地发现了一批与黑色岩系有关的矿床, 如: 湖北兴山白果园大型银钒矿床、湘中锡矿山超大型铋矿床、江西铜门钒矿床、桂西北大厂铜坑—长坡锡—多金属超大型矿床及新疆大水西钒矿床等。

Schlanger and Jenkyns^[13]最先提出了大洋缺氧事件的概念, 并认为其与黑色岩系的形成有关。Goodfellow 等^[14]、Jenkyns 等^[15]、范德廉等^[16-17]分别对加拿大、中欧地区、中国等地区的黑色岩系中多金属矿化现象研究表明, 黑色岩系中富集 Pb、Zn、V、Mo、PGE 等矿产资源与缺氧环境密切相关。黑色岩系中 V-Mo-PGE 矿床形成的有利条件是: 缺氧环境多次出现; 大陆边缘、拉张构造活动环境以及由拉张断裂控制的裂陷槽; 成矿物质来源具有多源性; 成矿物质的供给和输送具持续性、继承性以及多期性。

收稿日期: 2017-05-22; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 青海省重大科技专项项目“柴达木盆地南北缘成矿系统与勘查开发示范”(编号: 2016-SF-A3)资助。

作者简介: 陈巧妹(1987—), 女, 工程师, 硕士, 主要从事地质矿产勘查及综合研究工作。通信地址: 西宁市城西区西川南路 116 号, 青海省第四地质矿产勘查院; 邮政编号: 810029; E-mail: 274276336@qq.com

青海大干沟地区虽然上个世纪 90 年代就在黑色岩系中发现了钒钼矿(化)体,但对 PGE 找矿工作受传统思路束缚而多注重于寻找与超基性岩有关的原生铂族元素矿床,故忽略了黑色岩石中铂族矿床的找矿潜力。近年来在大干沟口浩特洛哇组碳质板岩中发现了 Mo、Au 等元素的化探异常,钻探工程中见 Pd 矿化达伴生开采品位,这给青海省柴南缘地区非传统类型的铂族元素矿床的找矿突破带了希望和光明前景。

1 成矿地质背景

青海省大干沟地区地处东昆仑中段南坡俯冲增生杂岩带。区域上出露地层主要有中-新元古界万宝沟群碳酸盐组、奥陶系纳赤台群碎屑岩组、上泥盆统牦牛山组碎屑岩段、下石炭统哈拉郭勒组、上石炭-下二叠统浩特洛哇组、上三叠统八宝山组、侏罗系大煤沟组及第四系(图 1)。

东昆仑南坡的石炭纪地层为陆缘裂陷滨海相—浅海相沉积的碎屑岩—碳酸盐岩建造,整体呈 NWW 向展布,区域内分布较为广泛。昆中断裂距研究区东北角约 3 km,控制了地层沉积,致地层整

体呈 NWW 向展布。此外,区内次级断裂发育,呈 NW—NWW 向。

大干沟区内分布着大量的铜、铁、钒、钼、金以及煤等矿(化)点,更有沉积-改造型钒钼矿床和构造蚀变岩型金矿床分布于该区东西两侧。其中,钒钼矿床产于上石炭-下二叠统浩特洛哇组(C_2P_1h)变泥岩、灰黑色碳质硅质岩中。

2 黑色岩系分布及岩性特征

大干沟地区的黑色岩系较为发育,分布于大干沟及哈拉郭勒一带,整体呈 NW 向展布,最为重要的是上石炭-下二叠统浩特洛哇组(C_2P_1h),其属陆缘裂陷沉积的碎屑岩—碳酸盐岩建造。国内外与黑色岩系有关的铂多金属矿床多产于大陆边缘或裂陷槽中,因此大干沟—哈拉郭勒地区具有形成铂多金属矿床的成矿构造背景。

在大干沟,浩特洛哇组上部为灰白色厚层条带状灰岩、砾状灰岩、板岩夹硅质灰岩,下部为灰黑色碳质板岩夹灰岩及煤层(图 2);其上与下二叠统呈断层接触,下部被第四系覆盖而出露不全,厚度约 1 000 m。在哈拉郭勒南侧,浩特洛哇组上部为灰色块状灰岩夹砂岩、砾岩及火山岩,灰岩中产 *Caninia* sp 等珊瑚化石;下部为黑色块状灰岩,产 *Dictyoclostus* sp. 等腕足化石;其上与中三叠统呈断层接触,厚约 500 m。浩特洛哇组形成于适宜生物繁衍的还原环境,

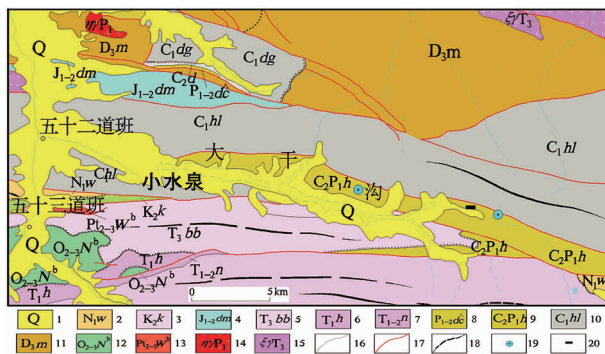


图 1 青海省大干沟地区区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of Da Gangou area in Qinghai province

1. 第四系; 2. 新近系; 3. 上白垩统昆仑桥组;
4. 侏罗系大煤沟组; 5. 上三叠统八宝山组; 6. 下三叠统洪水川组;
7. 下-中三叠统闹仓堡组; 8. 下-中二叠统打柴沟组;
9. 上石炭-下二叠统浩特洛哇组;
10. 下石炭统哈拉郭勒组; 11. 泥盆系牦牛山组;
12. 奥陶系纳赤台群; 13. 中-新元古界万宝沟群;
14. 二叠纪二长花岗岩; 15. 三叠纪正长花岗岩;
16. 地层界线; 17. 断裂; 18. 褶皱;
19. 钒钼矿床; 20. 煤矿点



图 2 大干沟浩特洛哇组下部碳质板岩(照片)

Fig. 2 Carbonaceous slate in the lower part of Haoteluowa formation in Dagangou area (photo)

a. 灰黑色碳质板岩; b. 含矿碳质板岩

并伴随间歇性中酸性火山岩喷发活动。

3 黑色岩系地球化学异常及矿化

3.1 地球化学异常与矿化

1970—1984年间,青海省地质工作者在大干沟地区开展了1:20万区域地质调查及钒钼矿、煤矿检查评价等工作,发现了分布铜、铁、金、钒钼、铀及煤矿点或矿床,其中钒钼矿床、煤矿点及铀矿化点均产自黑色岩系中。

大干沟铀矿化点,出露地层为上石炭统的煤系地层,异常位于煤层中,虽未见独立的U矿物,但U品位为 $w(U)=0.009\%\sim 0.057\%$,且钒钼品位分别为 $w(V)=0.7\%\sim 0.93\%$ 、 $w(Mo)=0.035\%\sim 0.27\%$ 。

大干沟煤矿点,含煤地层为上石炭-下二叠统浩特洛哇组(C_2P_1h),煤层厚度变化大,0.4~3.63 m。煤成分为 $w(\text{固定碳})=26.56\%\sim 41.7\%$, $w(\text{灰分})=44.74\%\sim 65.51\%$, $w(P)=0.445\%\sim 1.978\%$, $w(S)=0.49\%\sim 4.63\%$, $w(\text{挥发分})=6.80\%\sim 13.97\%$, $w(\text{水分})=1.14\%\sim 8.83\%$ 。

近年来开展了1/25万化探及1/5万地球化学测量等工作,发现以Au、Mo、Cu、Ag、Sb等异常。异常区出露于以上石炭-下二叠统浩特洛哇组(C_2P_1h)砂、板岩段,表明浩特洛哇组黑色砂板岩岩系是进一步开展地质找矿工作的方向。

3.2 钒钼矿床及V-Mo-PGE矿床

目前在大干沟黑色岩系中发现的钒钼矿及V-Mo-PGE矿为大干沟钒钼矿床和大干沟口V-Mo-PGE矿床,它们均赋存于上石炭-下二叠统浩特洛哇组(C_2P_1h)中。两矿床形成时代相近,皆具层控特点,均形成于还原环境(即缺氧环境)。各矿床的共同特征是矿体呈层状、似层状、顺层整合产出,矿石及其围岩富含有机质,且有机质越高含矿性越好。

(1) 青海省格尔木市大干沟钒钼矿床

该矿床位于东昆仑南坡,北距昆中断裂约3.5 km。区内出露的主要地层为上石炭-下二叠统浩特洛哇组(C_2P_1h)和下石炭统哈拉郭勒组(C_1hl)。该矿区浩特洛哇组由下至上为:下部白云石大理岩段,分布于矿床南部,沿河谷呈NW—SE向零星分布;中部浅变质碎屑岩段,变泥岩、碳质硅质岩、变长石英砂岩、碳质灰岩(或大理岩)及劣质煤层,钒钼矿体产于该岩段碳质硅质岩中;上部硅化白云石大理

岩段,分布于矿床北部,沿山脊呈NW—SE向展布。以上地层组成为矿区背斜构造,轴线NW—SEE,北翼倾角自 $12^\circ\sim 80^\circ$;两组节理倾向发育,将围岩分割呈菱形块体。大干沟钒钼矿床就位于矿区背斜北翼钒钼矿体赋存于浩特洛哇组中部岩段变泥岩、碳质硅质岩夹劣质煤、碳质灰岩(或大理岩)中。钒矿石的主要矿石矿物组成:伊利石(水云母)、硅质、有机碳、少量或微量高岭石、磷灰石、黄铁矿、白云石、方解石等。主要的围岩蚀变有:黄钾铁矾化、黄铁矿化、泥化强烈。

区内已发现规模较大的矿体4条,位于矿区背斜北翼,沿大干沟北侧呈带状分布;自西侧的大黑刺沟,往东延伸至红土沟垭口。总体宽度往东有逐渐变宽的趋势,矿体地表出露长约150~500 m,宽8~15 m。矿体呈层状、似层状沿NW—SEE向顺层展布,倾向NE,倾角 $18^\circ\sim 74^\circ$,整体具尖灭再现、局部膨胀特征。含钒矿体为含钒碳质板岩和含钒碳质千枚岩两类。以含较高的有机碳为特征,含碳量一般为 $8\%\sim 12\%$ 。黑色岩系根据成分可细分为石煤层、磷块岩层、钒矿层和镍钼多元素富集层。钒矿层的岩性序列自下而上为:黑色碳质板岩→黑色碳质粉砂质页岩→钒矿层→黑色碳质板岩。矿体围岩为变泥岩、灰黑色碳质硅质岩。矿石地表氧化面为鲜艳的黄绿色。钒、钼矿石品位变化区间分别为: V_2O_5 含量为 $w(V_2O_5)=0.74\%\sim 4.73\%$;Mo含量为 $w(Mo)=0.032\%\sim 0.09\%$;U含量为 $w(U)=0.011\%\sim 0.068\%$;Re含量一般为 $w(Re)=0.0002\%\sim 0.0005\%$,最高0.011%。估算资源储量钒钼矿石约 1.389×10^4 t。

(2) 青海省大干沟口V-Mo-PGE矿床

大干沟口V-Mo-PGE矿床位于东昆仑南坡,北距昆中断裂约5.9 km,东距大干沟钒钼矿床约14.3 km。矿区出露地层主要为上石炭-下二叠统浩特洛哇组(C_2P_1h),分为三个岩性段。下岩段主要为一套碳酸盐岩沉积,主要岩性为浅灰色片理岩化灰岩,厚度大于100 m;中岩段下部发育黄褐色—灰黑色泥钙质板岩,该岩段上部为薄层状黑色碳质板岩与薄层浅灰色硅质岩互层,局部见薄层灰岩夹层,其中黑色碳质板岩为钒钼矿的主要含矿层位;上岩段主要为泥钙质板岩与灰岩互层,岩段中部见有薄层砂岩出露。

区内圈定矿体10条,除M1和M8分别为金银铜锑矿体和钒矿体外,其余均为钒钼矿体。钒钼矿体长度一般在200~1600 m之间,厚度0.98~7.08

m 之间; V_2O_5 品位为 $w(V_2O_5)=0.51\%\sim 2.92\%$ 。矿体形态简单,以层状为主,沿走向和倾向上厚度和品位的变化较大,具有膨大缩小、分支复合的特点。其中 M4、M6 等矿体具有一定规模和较好的找矿前景。

M4 钒钼矿体:赋存于浩特洛哇组黑色碳质板岩、碳质硅质板岩中,围岩为灰岩及泥钙质板岩。矿体呈层状,走向呈 NNW 向,倾向南,倾角 75° ,长 800 m,厚度 1.5~7.5 m。矿体品位 $w(V_2O_5)=0.5\%\sim 0.95\%$,平均 0.67%; $w(Mo)=0.023\%\sim 0.038\%$,平均 0.029%。围岩蚀变主要为红褐色薄膜状褐铁矿化,黄绿色氧化膜等。

M6 钒钼钼矿体:赋存于浩特洛哇组黑色碳质板岩中,围岩为硅质岩、泥钙质板岩。矿体整体呈似层状产出,走向 $95^\circ\sim 100^\circ$,倾向南,倾角 $70^\circ\sim 82^\circ$,矿体长约 1 500 m,厚 1.07~7.08 m,在走向上呈现厚度不均匀的特征。钒钼矿体品位: $w(V_2O_5)=0.52\%\sim 1.17\%$,平均 0.74%; $w(Mo)=0.01\%\sim 0.038\%$,平均 0.02%。对部分矿石样分析了钼钼含量,且在 ZK001 控制的 M6-Ⅲ钒钼矿化体中见有 Pd 矿化显示, $w(Pd)=0.061\times 10^{-6}\sim 0.075\times 10^{-6}$;对 ZK701 进行了全孔岩石样分析,该钻孔中同样见 Pd 矿化显示,部分 Pd 含量 $w(Pd)>0.03\times 10^{-6}$,最高含量达 $w(Pd)=0.16\times 10^{-6}$ 。围岩蚀变主要为红褐色薄膜状黑铁矿化、黄色粉末状黄钾铁矾化、星点状甚至细脉状黄铁矿化。

矿石的主要组成矿物:水云母、高岭石、石英、碳质等。矿石结构构造:碳质板岩和碳质硅质板岩型矿石均为显微粒状鳞片结构、显微鳞片状粒状变晶结构,微-细脉状、稀疏浸染状构造。围岩主要有灰岩、碳质板岩、大理岩等,岩石蚀变较强烈,普遍较破碎;灰岩中靠近石英脉部位可见有硅化现象,碳质板岩见有极强的黄钾铁矾化、褐铁矿化等现象,局部见有黄铁矿化现象。

目前,仅对 M3、M4、M5、M6 及 M10 钒钼矿体资源量进行估算,钒矿金属量达到小型规模。

4 找矿前景分析

大干沟地区与钒钼钼产出有关的黑色岩系为陆源裂陷滨海相—浅海沉积的碎屑岩—碳酸盐岩建造。国内外最新研究成果表明,与黑色岩系有关的 PGE 矿床主要分布于大陆边缘、拉张构造活动环境

以及由拉张断裂控制的裂陷槽中,与缺氧事件关系密切,因此本区具有形成与黑色岩系有关的 V-Mo-PGE 矿床的成矿构造背景及成矿环境。

大干沟地区黑色岩系分布较广,厚度较大,钒钼矿床中有机碳分析结果显示,该区含碳量高。与国内外典型与黑色岩系有关的铂多金属矿床具有相似的有机质含量特征^[9]。上个世纪 90 年代,在研究区内发现了大干沟钒钼矿床,显示了该区具有钒钼矿成矿事实。区内 1/5 万 Mo、Au、Cu、Ag、Sb 等化探异常多赋存于上石炭—下二叠统浩特洛哇组(C_2P_1h)中,经过槽探、钻探等工程发现了 8 条钒钼矿体,在 ZK001 和 ZK701 钻孔中发现了 Pd 矿化(最高含量达 $w(Pd)=0.16\times 10^{-6}$)。因此本区具有良好的寻找与黑色岩系有关的 V-Mo-PGE 矿床的找矿前景,上石炭—下二叠统浩特洛哇组是重要的含矿层位。

此外,柴北缘上石炭统克鲁克组(C_2k)为一套含煤系的黑色岩系,属稳定型海陆交互相含煤碎屑岩建造和碳酸盐建造,岩性组合为灰色—灰黑色砂质页岩、碳质页岩、石英砂岩、砂质泥岩夹灰黑色生物灰岩、泥灰岩及煤层。该套地层的形成环境、岩性组合与浩特洛哇组相近,因此推测柴北缘克鲁克组中也具有形成钒钼钼族元素矿产资源的良好前景。

参考文献:

- [1] 李赛赛. 陕西省商南县——山阳县下寒武统黑色岩系中钒钼田地质构造特征及成因探讨[D]. 西安: 长安大学, 2012.
- [2] 于炳松, 王黎栋, 陈建强, 等. 塔里木盆地北部下寒武统底部黑色页岩形成的次氧化条件[J]. 地质学前沿, 2003, 10(4): 545-550.
- [3] 于炳松, H Dong, E Widom, 等. 塔里木盆地北部下寒武统底部黑色页岩的 Re-Os 和 Nd 同位素特征及其与扬子地台的对比[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2004, 34(增刊 1): 83-88.
- [4] 孙省利, 陈践发, 刘文汇, 等. 塔里木盆地地下寒武统硅质岩地球化学特征及其形成环境[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 45-48.
- [5] 杨瑞东, 张传林, 罗新荣, 等. 新疆库鲁克塔格地区早寒武世硅质岩地球化学特征及其意义[J]. 地质学报, 2006, 80(4): 598-605.
- [6] 雷一兰, 赵吉昌, 刘成刚, 等. 甘肃北山双鹰山黑色岩系中的钒钼钼矿化[J]. 甘肃地质, 2015, 31(9): 40-43.
- [7] 鲁宝龙, 杨福新. 陕西南部黑色岩系中钒钼磷多金属矿产的找矿潜力探讨[J]. 矿床地质, 2010, 29(增刊): 147-148.
- [8] 姜安定, 李智明, 杨建国, 等. 甘肃北山罗雅楚山一带与黑色岩系有关的钒钼找矿新进展[J]. 矿床地质, 2014, 33(增刊): 1073-1074.
- [9] 杨富全, 王义天, 李蒙文, 等. 新疆天山黑色岩系型矿床的地址天竺及找矿方向[J]. 地质通报, 2005, 24(5): 462-469.

- [10] 李卫东, 卢鸿飞, 石丽明, 等. 新疆大水西钒矿黑色岩系地质特征及成因分析[J]. 矿产勘查, 2013, 4(3): 266–272.
- [11] 夏庆霖, 赵鹏大, 陈永清, 等. 云南德泽下寒武统黑色岩系中 Ni-Mo-V-PGE 多金属矿化[J]. 地球科学, 2008, 33(1): 67–73.
- [12] 涂光炽. 中国超大型矿床[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 204–218.
- [13] Schlanger S O and Jenkyns H C. Cretaceous oceanic anoxic events: Cause and consequence[J]. Geol Mijnbown, 1976, 55:179–184.
- [14] Goodfellow W D. Anoxic stratified oceans as a source of sulphur in sediment-hosted stratiform Zn-Pb deposits (Selwyn Basin, Yukon, Canada) [J]. Chemical Geology (Isotope Geoscience Section), 1987, 65: 359–382.
- [15] Jenkyns H C, et al. Jurassic manganese carbonates of central Europe and the early Toarcian anoxic event[J]. J Geol, 1991, 99(2): 137–149.
- [16] 范德廉, 叶杰, 杨瑞英, 等. 扬子地台前寒武—寒武纪界线附近的地质事件与成矿作用[J]. 沉积学报, 1987, 5(3): 81–85.
- [17] 范德廉. 缺氧环境与超大型矿床的形成[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1998, 28(增刊): 57–62.

Ore prospecting analysis of V-Mo-PGE deposits in black rock series in the Dagangou area, Qinghai

CHEN Qiaomei¹, SUN Huashan², LIU Xiaokang¹, CHEN Jianzhou¹

(1. The Fourth Institute of Qinghai Geological Mineral Prospecting, Xining 810029, China;

2. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Black rock series of Haoteluowa Fm in the Da Gangou area of Qinghai located in the southern slope of East Kunlun is the littoral-neritic clastic-carbonate rock formation deposited at continental margin rift under anaerobic environment. The Dagangou Vanadium molybdenum deposit and Dagangoukou V-Mo-PGE deposit are hosted by Haoteluowa Fm (C_2P_1h). Ore bodies are bedded or layered characteristic of stratobound ore bodies. In recent years, geochemical anomalies of elements such as Mo and Au have been found in carbonaceous slate of C_2P_1h , in Da Gangoukou area. Drill hole ZK001、ZK701 hit Pd mineralization ($w(Pd) = 0.03 \times 10^{-6} \sim 0.16 \times 10^{-6}$, the by-product mining grade). A few drilling and trenching have controlled 8 Vanadium molybdenum ore bodies. trenching and drilling engineering control 8 vanadium molybdenum ore bodies. PGE discovered in the black rock series will bring a bright future for the non-traditional PGE prospecting in south margin of Caidamu basin in Qonghai province and V-Mo-PGE prospecting here is potential.

Key Words: Dagangou area; Haoteluowa Fm; black rock series; vanadium molybdenum ore; PGE; Qinghai province