西准噶尔达尔布特蛇绿岩带地球化学特征与成矿远景

李双江[1,2]，叶征宇[3]，李庆阳[4]

（1.四川省地质学会，成都　610081；2.西南交通大学 土木工程学院，成都 610000；3.四川省核工业地质调查院，成都 610000；4.四川省核工业地质局，成都 610000）

摘要：通过研究新疆西准噶尔达尔布特蛇绿岩南段地质特征、地球化学及异常特征、蛇绿岩与矿产的分布关系等，探讨了其成矿远景。研究区内 Cr、Co、Ni 等元素分布与蛇绿岩的分布具有极好的相关性，形成了多处铬和石棉等矿产。该研究对新疆西准噶尔达尔布特地区的地质工作及找矿具有重要意义。

关键词：蛇绿岩；地球化学特征；成矿远景；达尔布特

中图分类号：P584　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1006-0995（2019）01-0034-05

DOI：10.3969/j.issn.1006-0995.2019.01.008

蛇绿岩是一类特殊的岩石，为一组由蛇纹石化超镁铁岩、基性侵入杂岩、基性熔岩及海相沉积物构成的岩套，又称蛇绿岩套。与蛇绿岩有关的矿产主要有铁、铜、镍、铬、钴等，一般主要为岩浆熔离型矿床。新疆西准噶尔达尔布特一带发育有数十平方公里的蛇绿混杂岩，其分布范围内已有中-大型的铬矿和石棉矿分布，近年有多处新发现的矿（化）点，显示其具有良好的找矿前景。

1　蛇绿岩分布范围及地质特征

1.1 地质概况

研究区位于新疆成吉思汗山东北段，克拉玛依市以北的扎依尔山区，南距克拉玛依市约 50km。达尔布特蛇绿岩带呈 NE－SW 向展布，全长约 25km，宽约 2～4km。带内发育了蛇纹石化基性-超基性岩，岩性包括橄榄岩、镁铁质堆晶辉长岩、碎裂辉长岩、碎裂岩、糜棱岩、辉绿岩、碎裂强蚀变玄武岩、枕状玄武岩以及硅质岩。受后期构造作用，岩石变质变形强烈，各岩块混杂堆积，原始“基本层序”已不复存在，但蛇绿岩的各组成单元出露仍然较为齐全，它们与围岩地层均为构造接触[1,2]。

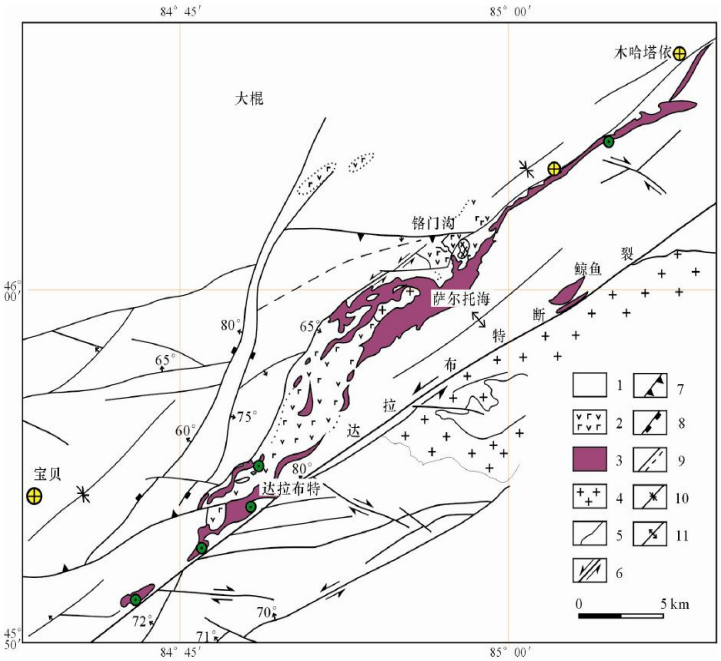


图 1　达尔布特蛇绿岩带分布情况简图

备注：1 主要研究区；2—细碧质火山岩；3—超基性岩；4—花岗岩；5—地质界线；6—左行走滑断裂；7—逆冲断层；8—正断层；9—性质不明与推测断层；10—向斜；11—背斜

达尔布特蛇绿岩带分布于达尔布特断裂的北西侧，蛇绿岩带和断裂的关系密切。达尔布特蛇绿岩带形成之后，随着达尔布特断裂的左行走滑作用[3]，超基性岩岩体沿着断裂上盘（即北侧）派生的北东向断层（构造破碎带）和逆冲推覆构造，从北西向的深部向南东向的上部构造“冷侵位”，促使超基性岩在北东向、近东西向断裂的复合部位聚集。北东、北西、近东西向断层控制了超基性岩岩体的分布。

蛇绿岩带以片状蛇纹岩为基质，各构造岩块为其组成部分的构造混杂岩带，受后期构造破坏，岩石变形变质强烈，出现大量的糜棱岩化碎粉条带，蛇绿岩中各岩块混杂堆积，岩块上有方向不同的擦痕和滑动镜面，特别是蛇纹岩表面，可知在其形成过程中发生过多次不同方向的滚动，乃多次构造作用的产物。

收稿日期：2018-12-12

作者简介：李双江（1986-），女，四川广元人，工程师，主要从事固体矿产勘查、岩土工程勘察相关工作

1.2 岩石地球化学特征

达尔布特蛇绿岩中蛇纹岩主量元素总体表现为低 Al_2O_3、CaO 和全碱，富 MgO 特征，属镁质超镁铁岩，代表了原始地幔发生部分熔融的亏损地幔岩。∑REE 总量较低，总体上几乎接近于球粒陨石标准值，轻稀土较重稀土富集，显正铕异常。辉长岩具有相对较低的 TiO_2、K_2O 和全碱含量（Na_2O+K_2O），具有亚碱性拉斑质特征。稀土总量大约是球粒陨石的 10 倍，相对亏损 HFSE，与 N－MORB 相似，表现为负斜率并且有弱的 Eu 异常。在多元素蛛网图上，具有的明显的 Nb、Ta 负异常。玄武岩既有钙碱性拉斑玄武岩，也有碱性玄武岩。钙碱性拉斑玄武岩具有相对低 TiO_2、K_2O、高 Mg^{2+}的特征，轻稀土富集模式，类似于 E-MORB，轻稀土相对于重稀土分馏更为明显，具有弱的 Nb、Ta 负异常。碱性玄武岩具有相对高 TiO_2、K_2O、低 Mg^{2+}的特征，轻稀土元素强烈富集，没有明显的 Nb、Ta 负异常。

达尔布特蛇绿岩带的超基性岩构造“冷”侵位于下石炭统地层，并被区域钾质花岗岩（如阿克巴斯套岩体）、黑云母花岗岩所侵入，因此，蛇绿岩的超基性岩形成时代应早于太勒古拉组（C_1t）。

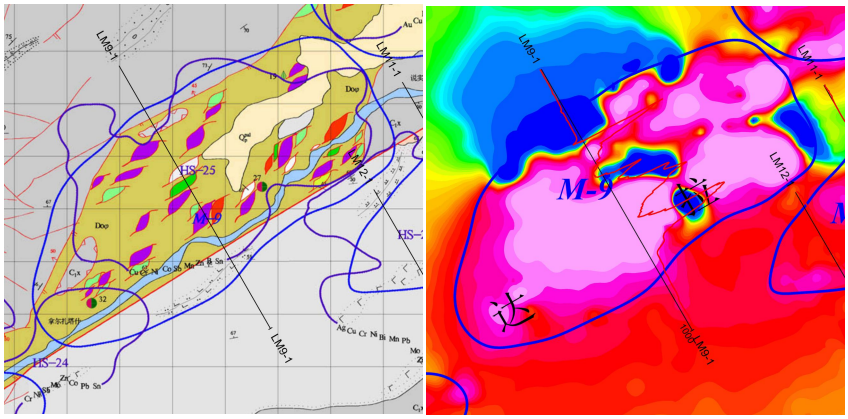


图 2　达尔布特蛇绿岩异常地质特征及异常平面图

达尔布特蛇绿混杂岩大地构造位置处于哈萨克斯坦一准噶尔板块唐巴勒一卡拉麦里古生代复合沟孤带内，达尔布特蛇绿岩地球化学的研究，确认其形成于弧后盆地的构造环境，表明西准噶尔西南曾演化为板块俯冲消减的沟～弧一盆体系。区域地质研究表明，西准噶尔达尔布特断裂是由一组倾向北西的上陡下缓的犁状断层组成，被后期构造变形叠加改造，具有左行陡倾走滑断层的特点。断裂两侧石炭纪地层具有可比性，而非重要的岩相古地理、生物组合、变质作用、岩浆活动的分界线。说明达尔布特断裂不是洋盆闭合后的板块缝合带，可能是在弧后盆地拉张过程形成的深大断裂，为镁铁—超镁铁质岩浆上涌的通道，或是在弧后盆地闭合过程中形成的推覆构造。

2　蛇绿岩地球物理特征

1∶5 万高精度磁测，圈定了 M9 异常，异常地质特征及异常平面图见图 2。该异常区地表发现有糜棱岩化的玄武岩和辉长岩块，小部分区域为第四系冲击物，对应 Cu、Cr、Ni、Pb、Zn 化探异常 HS-25。异常查工作在布置了一条重磁剖面 LM9-1，将 M9-1 磁法剖面与磁法扫面资料对比，套合较好。由于连续测量的加密，磁异常强度最高达到了 3 800nT 以上。剖面重力测量发现两处重力高异常，分别位于 3 800 点～5 200 点（GM9-2）和 1 000 点～2 400 点（GM9-1），重力异常强度分别为 $2.32\times10^{-5}m/s^2$mGal 和 $0.55\times10^{-5}m/s^2$。位于 3 800 点～5 200 点之间的重力异常强度高，与高磁异常对应较好，呈典型的重磁同高；位于 1 000 点～2 400 点之间的重力异常对应的磁异常强度不超过 300nT。从标本物性统计结果可知蛇绿岩的密度不高，所以重磁同高很可能是超基性岩引起的。

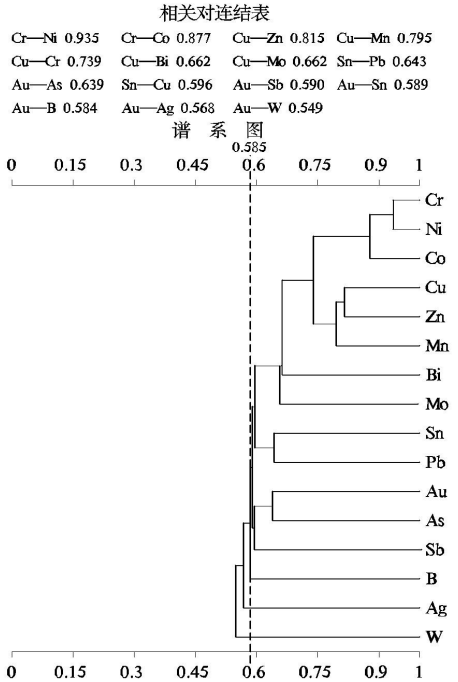


图 3　达尔布特一带全区 R 型聚类分析谱系

3　蛇绿岩地球化学特征

3.1 元素相关性

对研究区内 16 种元素分析成果进行了 R 型聚类分析，其谱系图见图 3。从分析谱系图可看出：

相关性最好的一组元素为 Cr、Ni 组合，相关系数为 0.935；Cr、Ni、Co 相关系数约为 0.87；其次为亲铜元素组合 Cu、Zn、Mn 组合，相似系数均在 0.80 左右。Bi 和 Mo 组合、Sn 和 Pb 组合、Au 和 As 元素组合，相似系数均在 0.630 左右。大致反映了岩石气成–高温热液、中温热液、低温热液不同的地球化学行为。代表高温–气成热液活动的元素与岩浆期的元素同时出现，又反映出该区多期多阶段的热液活动，但总体来看热液活动强度不大，该区经历了复杂多样的变质变形与成矿作用。反映出该区 Cu、Au、Cr、Ni、W 等元素局部强烈富集的现象。

Cr、Co、Ni、Mn 元素共生组合，相关系数为 0.81，该组元素主要为铁族元素，与工作区中出露的蛇绿岩混杂带关系密切。蛇绿岩带是主成矿元素 Cr 及其他元素 Ni、Co、Mn 等的主要富集地层，以 Cr、Ni、Co、Mn 元素高背景以分布与地层出露较为吻合为主要特征，泥盆系蛇绿混杂岩中 Cr、Ni、Co、Mn 元素高于全区背景值，说明泥盆系蛇绿质混杂岩中该几种元素具有一定的富集趋势。Mo、Pb、Sb、Sn、W、As、Bi 等显示低背景特征，显示较为贫化特征；

3.2　单元素异常特征

达尔布特河蛇绿岩带 Ni、Cr、Co 异常分布一致性较好，沿蛇绿岩呈北东向展布。Cr 最高值为 1 615.43 $\times 10^{-6}$，Ni 最高值为 1 949.48 $\times 10^{-6}$，异常与蛇绿岩分布范围基本吻合；多呈不规则状，异常的形成主要与区内蛇绿岩、哈图断裂与安齐断裂相关。达尔布特河蛇绿岩一带 Mn 也呈现高背景值，其他异常主要呈带状分布，相对比较分散，与地层及构造方向基本一致。

另外，蛇绿岩套与钨族元素：W、Sn、Mo、Bi 分布也有一定的一致性。W 异常分布于蛇绿岩带及围岩接触带，异常面积不大，多为孤立的高值点引起，最高值为 299.92 $\times 10^{-6}$。

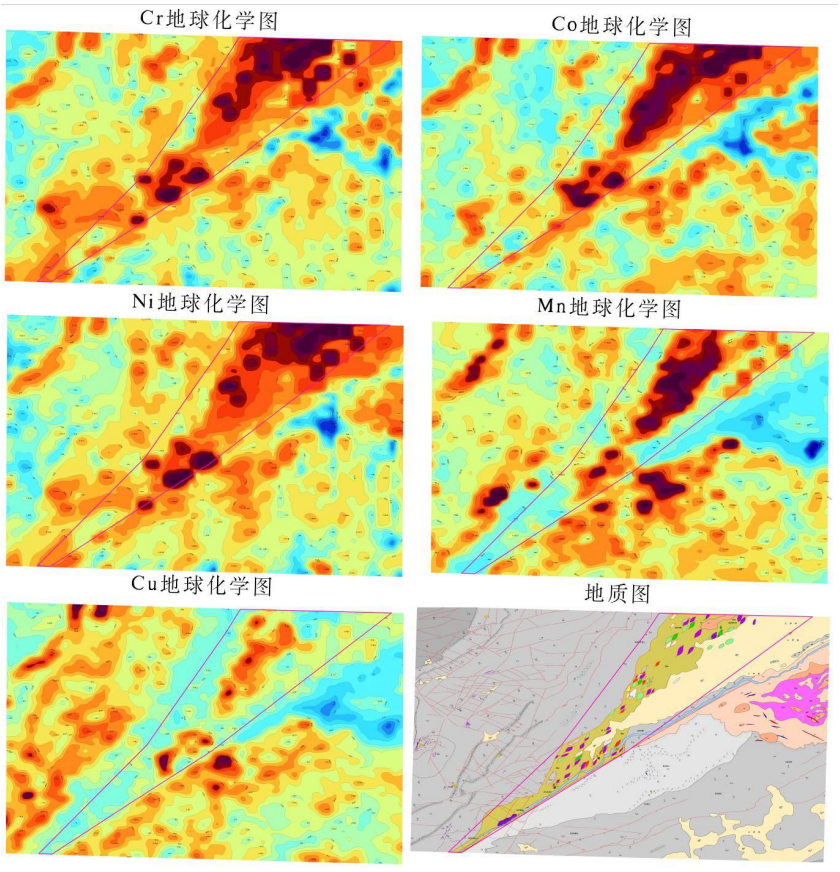


图 4　研究区各元素地球化学图

3.3　组合异常特征

蛇绿岩带是主成矿元素 Cr 及其他元素 Ni、Co、Mn 等的主要富集地层，以 Cr、Ni、Co、Mn 元素高背景以分布与地层出露较为吻合为主要特征，泥盆系蛇绿混杂岩中 Cr、Ni、Co、Mn 元素均高于全区背景值，说明泥盆系蛇绿质混杂岩中该几种元素具有一定的富集趋势。Mo、Pb、Sb、Sn、W、As、Bi 等显示低背景特征，显示较为贫化特征；

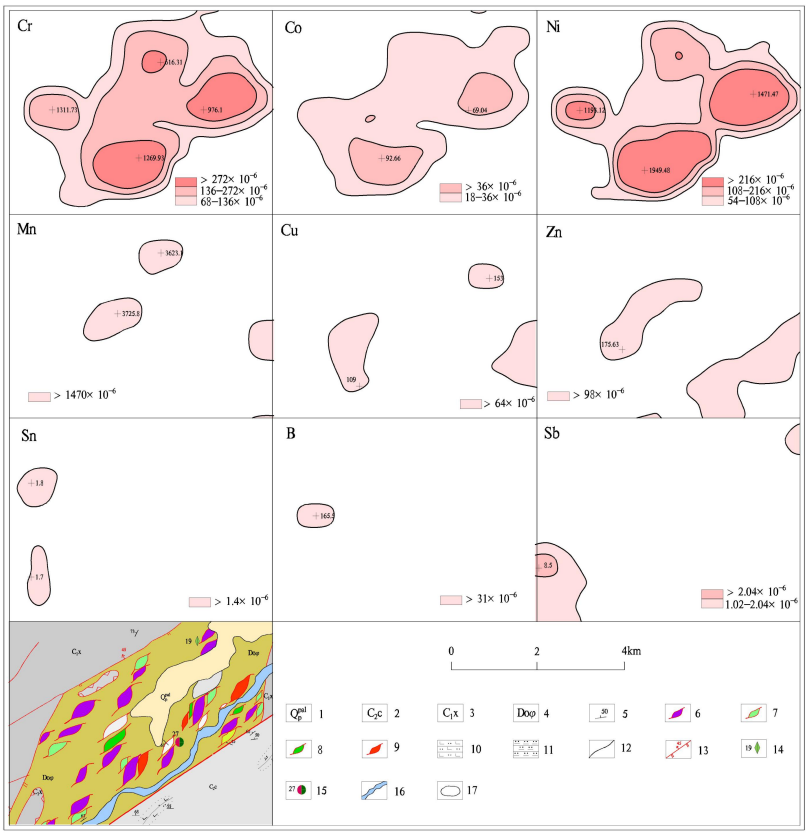
依据异常元素分布特征，可沿蛇绿混杂岩地层分布划出 Cr、Co、Ni、Mn、Cu 多元素富集带，主要为基性－超基性岩，呈 NE－SW 向展布，全长约 25km，宽为 2~4km。带内发育了蛇纹岩、蛇纹石化橄榄岩、镁铁质堆晶辉长岩、碎裂辉长岩、碎裂岩、糜棱岩、辉绿岩、碎裂强蚀变玄武岩、枕状玄武岩、以及硅质岩。岩石变质变形强烈，各岩块混杂堆积，其地球化学特征以 Cr、Co、Ni、Mn、Cu 的高背景或异常分布为特征（图 4），各元素异常浓集中心明显、规模大、强度高。主要表现为受地层及断裂控制，与蛇绿

岩带特征相吻合。

从元素组合异常图分析，各元素的主要异常与达尔布特、萨尔托海大断裂及其次级断裂、蛇绿混杂岩关系密切，是多期热液活动叠加与构造运动的结果。

3.4 综合异常特征

达尔布特蛇绿岩带南段发育综合异常 3 处，分别为 HS-6、HS-24、HS-25。其中，HS-25 异常呈近北东-南西向展布，异常不规则状，具有面大，强度高，元素种类复杂等特点。该异常元素组分较复杂，异常的主要元素组合为 Cu、Zn、Cr、Co、Ni、Sn、Sb、Mn、B，各元素异常套合较好，浓集中心明显和浓度分带特征（图 5），主成矿元素中 Mn 最大值为 3 725.80 × 10^{-6}，衬值 1.38，具一级浓度分带；Cu 最大值为 153.00 × 10^{-6}，衬值 2.39，具一级浓度分带；Zn 最大值为 175.63 × 10^{-6}，衬值 1.39，具一级浓度分带；Co 最大值为 92.66 × 10^{-6}，衬值 2.41，具二级浓度分带；B 最大值为 165.50 × 10^{-6}，衬值 5.41，具一级浓度分带；Sn 最大值为 1.70 × 10^{-6}，衬值 1.21，具一级浓度分带；Sb 最大值为 2.90 × 10^{-6}，衬值 1.84，具二级浓度分带；Cr 最大值为 1 311.73 × 10^{-6}，衬值 4.82，具三级浓度分带；Ni 最大值为 1949.48 × 10^{-6}，衬值 8.22，具三级浓度分带。该异常浓集中心不太明显。



1.第四系冲积层：砾石、沙土、泥；2.上石炭统成吉思汗组；3.下石炭统希贝库拉斯组；4.泥盆系蛇绿混杂带；5.产状；6.糜棱岩化超基性岩块；7.糜棱岩化玄武岩岩块；8.糜棱岩化辉长岩岩块；9.糜棱岩化硅质岩块；10.钙质粉砂岩；11.硅质岩；12.地质界线；13.逆断层；14.石棉矿点位置及编号；15.铬铁矿点位置及编号；16.河流；17.异常范围

图 5　HS-25 号综合异常剖析图

根据该综合异常各元素地球化学特征，确定其为以 Cu、Zn、Cr、Co、Ni、Sn、Sb、Mn、B 为主成矿元素的综合异常。通过地面查证，查明了主要异常元素在不同地层岩石中的含量变化及矿化情况。

该异常为以 Cr、Co、Ni、Mn 等元素为主的化探综合异常，与 M-9 物探磁异常套合较好。工作中首先在异常区中部布置了踏勘路线 TL10，通过路线踏勘，推测该异常系蛇纹石化辉橄岩、辉绿辉长岩与石英脉所引起，蛇纹石化辉橄岩主要出露于达尔布特河附近，岩石中蛇纹石化、绿泥石化较强；石英脉出露规模较小，矿化蚀变较弱。为进一步查明蛇绿岩及其围岩接触关系及含矿性，之后在该区域东北角测制了 1∶1 万地化剖面 DH19、DH20。共采集光谱样 230 件。Cr、Ni 元素为富集元素，在该区域平均含量相对较高，在蛇绿岩中 Cr 峰值达 1 311.00 × 10^{-6}，Ni 峰值达 1 949.00 × 10^{-6}，主要赋存于蛇纹石化辉橄岩中，蛇纹石化辉橄岩为找 Cr、Ni 的重要岩性段，可以针对该地质体进行进一步工作。

从异常的地球化学特征及异常所处的地质背景看，区内较强的的构造活动与基性-超基性岩浆岩为各元素活化提供了成矿条件，基性-超基性岩浆作用提供了物源与热源，而断裂构造提供了储矿空间。达尔布特蛇绿岩中蛇纹岩主量元素总体上几乎接近于球粒陨石标准值，轻稀土较重稀土富集，显正铕异常。辉长岩具有亚碱性拉斑质特征，玄武岩既有钙碱性拉斑玄武岩，也有碱性玄武岩特征。

4　成矿远景区特征及找矿方向

4.1　成矿远景区特征

根据蛇绿岩的分布特征、地球物理特征、地球化学特征及矿产分布特征，圈定了 1 处成矿远景区—石棉矿铬镍矿成矿远景区（图 6）。该远景区呈北东–南西向，往北东扇状，面积约 62.89km^2。

远景区出露岩浆岩为泥盆纪蛇绿岩（达尔布特蛇绿混杂岩），岩性以糜棱岩化辉绿辉长岩、糜棱岩化玄武岩、糜棱岩化硅质岩、糜棱岩化砂岩等为主，混杂带层间断层极为发育，断裂主要受达尔布特断裂影响。

区内发育 4 处 1∶5 万化探综合异常与 3 处 1∶5 万物探磁异常。分别为 HS–6 甲 1、HS–24 乙 2、HS–25 乙 1、HS–37 丙 1 化探综合异常和物探磁异常 M–8、M–9、M–10。主要为以铬为主成矿元素的综合异常，主要异常元素组合为 Cr、Co、Ni、Cu、Au、W、Mn 等，Cr、Ni 异常套合较好，主要为与超基性岩型相关的元素，铬成矿地球化学条件较好，该区是寻找铬、镍矿的有利部位。前人在区内已发现有 4、20 号石棉矿点，4 号石棉矿已经开采过现今暂时废弃，该两处石棉矿均为与超基性岩相关的石棉矿。27、31、33 号铬铁矿点亦位于该远景区内，铬铁矿主要赋存于蛇纹石化辉橄岩中，与超基性岩相关，三处矿点出露规模不大。该远景区位于新疆最为主要的铬矿成矿带（萨尔托海铬矿成矿带）位置。萨尔托海铬矿位于该远景区东部（工作区外），该矿已开采多年现今暂时停产在做进一步的勘查工作。该远景区为工作区内寻找铬矿产最为有利地带。

综上所述，该远景区铬找矿前景较好，以蛇绿岩建造型铬铁矿为主。Cr 单元素异常+斜辉橄榄岩+方辉橄榄岩+纯橄榄岩+二辉橄榄岩、铬铁矿、蛇纹石、滑石、铬石榴子石等发育是很好的金矿找铬铁矿标志，同样当注意通过物探异常寻找该区深部铬铁矿。

4.2　与蛇绿岩有关的矿产找矿标志及矿床成因

工作区内超基性岩型铬铁矿、石棉矿主要分布在泥盆系蛇绿混杂带中，重点找矿部位为与超基性岩相关的岩块。

主要标志：①超基性–基性岩块是该区铬铁矿与石棉矿的直接找矿标志，铬铁矿与斜方辉石橄榄岩、辉长岩等具有密切的成生关系，石棉矿主要与蛇纹石化辉橄岩、蛇纹岩关系密切；②构造发育处成矿较好；③Cr、Ni、Co、Mn 等元素组合化探异常和物探磁异常对找铬铁矿与石棉矿具有较好的指示意义，该类矿物探磁异常显示更为明显；④铬铁矿围岩蚀变中见烙尖晶石、绿泥石、蛇纹石，共生矿物有：针镍矿、黄铁矿、铬绿泥石、铬石榴石、角闪石及赤铁矿等。

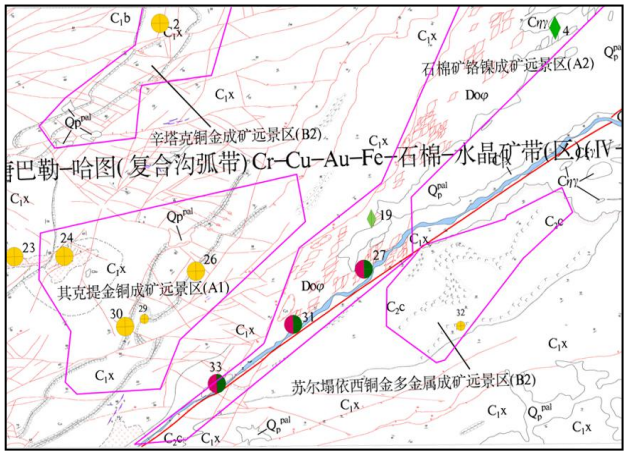


图 6　远景区划分简图

代表性矿床（点）为萨尔托海铬铁矿床、4 号石棉矿床等。

矿床成因：区内以片状蛇纹岩为基质，各构造岩块为其组成部分的构造混杂带，受后期构造破坏，岩石变形变质强烈，出现大量的糜棱岩化碎粉条带，蛇绿构造混杂体中各岩块混杂堆积，岩块上有方向不同的擦痕和滑动镜面。整体岩石具蛇纹石化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化、钾长石化、高岭土化等。达尔布特断裂为成矿物质的运移提供了通道，蛇绿岩中基性 – 超基性岩为成矿物质的活化带来了热源，混杂带中发育的次级构造为成矿物质的储存提供了空间，为 Cr、Ni 等元素的迁移富集创造了有利条件。区内分布有石棉矿矿床、萨尔托海铬矿矿床及一系列铬铁矿点、矿化点。

5　结论

1）达尔布特蛇绿岩南段具有典型的蛇绿岩套的岩石组合。

2）达尔布特蛇绿岩南段发育多处套合性好的物化探异常，强度较高，浓集中心明显，分带清楚。

3）达尔布特蛇绿岩南段分布有多处与蛇绿岩有关的铬、石棉等矿（化）点，矿床成因类型一致，有扩大资源储量的前景，成矿远景良好。

（下转第 44 页）

[6] 高竹军，李忠东，等．四川道孚八美糜棱岩石林形态特征及综合评价[J]．华东地质，2016,37（3），229-234.
[7] 活动断裂带中遥感数字图像处理技术—以鲜水河活动断裂带为例[J]．地震地质，1996，18（1）：1-16.
[8] 张景发，等，鲜水河活动断裂带航磁异常特征[J]，.地震地质，1995，3（1）：26-35.
[9] 张超，陈连旺，赵国光．鲜水河断裂带部分地貌特征成因机制的边界单元模拟[J]．地震地质，1993,15（1）：21-26.
[10] 闻学泽，白兰香．鲜水河活动断裂带形变组合与运动特征的研究[J].中国地震，1985,1（4）：53-59.
[11] 张建东，胡世华，秦宇龙，等．四川省地质构造与成矿[M]．北京：地质出版社，2015.
[12] 龙德雄，邓天岗．鲜水河断裂带断层运动分段特征的初步研究[J].地震研究，1986,9（5）：592-600.
[13] 曾云，贺金良，王秀京，等．四川省成矿区带划分及区域成矿规律[M]．北京：地质出版社，2015.
[14] 陈志．汶川地震后川西地区温泉水地球化学研究[D]．合肥，中国科学技术大学，2014：71.
[15] 郭长宝，等．川西鲜水河断裂带地质灾害与典型滑坡形成机理[J]．地质通报，2016,34（1）：121-134.

Neotectonic Movement at Bamei Town in the Xianshuihe Fault Zone and Suggests on Earthquake Mitigation and Disaster Prevention

LI Zheng[1,2]　QIN Yu-long[1,2]　SHEN Wei[3]　LI Ming-ze[1,2]
XIONG Chang-li[1,2]　ZHOU Xiong[4]
(1-Sichuan Key Laboratory of Evaluation and Utilization of RE and REE Strategic Resources, Chengdu 610081; 2- Sichuan Institute of Geological Survey, Chengdu　610081; 3-No. 113 Geological Team, BGEEMRSP, Luzhou, Sichuan　646000; 4-Chengdu Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CGS, Chengdu　610041)

Abstract: Bamei Town, Garzê, Sichuan lies in the middle section of the Songpan-Garzê orogenic belt and is dissected by the Xianshuihe fracture zone and characterized by strong neotectonism. The neotectonism occurs as strike-slip fault, earthquake, hot spring activity and so on. This paper has a discussion on influence of the neotectonism and makes some suggestions on earthquake mitigation and disaster prevention.

Key words: Xianshuihe fracture zone; neotectonism; earthquake mitigation and disaster prevention; Bamei Town

（上接第 38 页）

参考文献：
[1] 朱宝清，冯益民．新疆西准噶尔板块构造及演化[J]．新疆地质，1994.12（2）：91-104.
[2] 张丽敏，李永军，向坤鹏，孙勇，王军年．新疆达尔布特蛇绿混杂岩带硅质岩地球化学及沉积环境[J]．西北地质，2016.2.
[3] 樊春，苏哲，周莉．准噶尔盆地西北缘达尔布特断裂的运动学特征[J]．地质科学，2014，49（4）：1045-1058.

Geochemical Characteristics and Metallogenetic Prospective of the Daerbute Ophiolite Zone, West Junggar

LI Shuang-jiang[1,2]　YE Zheng-yu[3]
(1-Geological Society of Sichuan Province, Chengdu　610081; 2-School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu　610031; 3- Sichuan Institute of Uranium Geological Survey, Chengdu 610061)

Abstract: This paper makes an approach to metallogenetic prospective of the Daerbute ophiolite zone, west Junggar based on geological features of the ophiolite, geochemical anomalous characteristics and relationship of mineral resources with the ophiolite. Distribution of Cr, Co, Ni is related to the ophiolite. Chromite and asbestos occur in this region. This study is of great significance to geological and prospecting work in the Daerbute region, west Junggar, Xinjiang.

Key words: ophiolite; geochemical characteristic; metallogenetic prospective; Daerbute, west Junggar