

doi: 10.11720/wtyht.2019.1163

薛生升,张双奎,赵楠,等.五台—恒山地区多金属矿远景区预测及找矿方向[J].物探与化探,2019,43(1):46-54.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1163

Xue S S,Zhang S K,Zhao N, et al.The prediction and prospecting direction of polymetallic deposits in the Wutaishan-Hengshan area[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2019,43(1):46-54.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1163

五台—恒山地区多金属矿远景区预测及找矿方向

薛生升,张双奎,赵楠,周新鹏,靳职斌

(山西省地球物理化学勘查院,山西 运城 044000)

摘要:利用移动平均法对五台—恒山地区 7 幅 1:20 万水系沉积物数据进行重新处理,并结合本区 1:20 万重力数据和 1:5 万航磁数据,发现所获得的综合异常与燕山期岩体相关矿床具有很好的吻合性。研究选取 Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等综合异常以及高磁、低重异常作为预测准则,在本区共预测出 13 处与岩体成矿作用有关的多金属矿远景区。已有资料显示,本区共存在 9 条 NW 向断裂构造带,岩体侵位受 NW 向断裂和 NE 向断裂交叉部位控制,已知出露岩体与本次预测的 11 处远景区绝大部分分布在断裂构造带上,构成多条构造岩浆岩带,多金属矿床与燕山期岩体有着密不可分的联系。

关键词:多金属矿预测;隐伏岩体;五台—恒山;水系沉积物;重磁

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2019)01-0046-09

0 引言

五台—恒山地区是山西省主要的多金属矿产地之一,在成矿区带划分的全国 5 个成矿域(I 级)、16 个成矿省(II 级)、81 个成矿区带(III 级)体系中^[1],属 III 级成矿区带的五台—太行金、铁、铜、钼、银、锰成矿区。目前已发现 100 多处多金属成矿区,这些多金属矿多赋存在燕山期岩浆岩、次火山岩内外部或接触带,与燕山期岩浆岩有着密不可分的联系^[2-11]。20 世纪末至 21 世纪初,一些学者从不同角度对本区的构造、岩浆活动及一些典型矿床的成矿问题进行研究^[12-18]。马小兵等通过本区断裂构造特征、燕山期岩浆活动特征对本区金银成矿作用进行了探讨^[3];周绍芝通过对晋北 3 个矿床实例分析,探讨了与燕山期次火山热液有关的银(锰、金)矿床成矿规律,指出了预测远景区及潜在资源量^[2];张文亮对燕山期岩浆岩特征进行了讨论,并总结其成矿专属性^[4];葛良胜则以大地动力学理论为指导,阐明本区岩浆活动和大规模成矿动力学背景^[5];吴凌根利用归一化总水平导数垂向导数技术

对本区重力资料进行处理,研究本区构造格局,并利用剩余异常推断岩体 34 处^[19]。前人研究成果极大地丰富了对本区构造演化、岩浆活动以及矿床成因问题的认识,但是这些研究对象均为出露地表的岩体或矿床,对尚未发现的岩体甚至隐伏岩体还鲜有研究,对区域多金属矿的预测还未见报道。近年来随着一大批矿山的开发开采,矿产资源已面临枯竭的危险,寻找新矿产地已迫在眉睫。由于本区岩浆岩与成矿具有密切的联系,因此对岩体及其分布规律进行研究预测,具有重要的找矿指示意义。

本次工作利用移动平均法对山西省五台—恒山地区 7 幅 1:20 万水系沉积物资料进行重新处理,并结合 1:20 万重力、1:5 万航磁资料及地质特征综合分析,总结典型矿床(岩体)周围重力、航磁、化探异常特征,根据该特征对与岩体有关的多金属矿进行预测,圈出远景区,为下一步找矿提供方向。

1 区域地质背景

五台—恒山地区位于华北克拉通中部造山带。区内广泛出露太古宇变质岩系、元古宇碳酸盐岩、古

收稿日期:2018-04-11;修回日期:2018-08-14

基金项目:山西省地质勘查局重点研究项目“山西省五台—恒山地区区域资料二次处理与成矿预测”(晋地设发[2013]4号)

作者简介:薛生升(1986-),男,地质工程师,硕士研究生,毕业于中国地质大学(武汉),主要从事矿产勘查工作。Email:554518726@qq.com

生界碳酸盐岩和砂页岩、中生界火山岩系地层(图1)。太古宇主要有阜平群、恒山杂岩、五台群等,岩性主要为片麻岩、麻粒岩、斜长角闪岩、磁铁石英岩、大理岩、黑云变粒岩和绿泥片岩等;古元古界溇沱群,岩性以石英岩、变质砾岩、白云岩、板岩、千枚岩等;中—上元古界主要为长城系高于庄组、蓟县系雾迷山组,岩性以白云质碳酸盐岩为主;古生界主要为寒武—奥陶系、石炭—二叠系地层,寒武—奥陶系地层主要以白云岩、灰岩、少量页岩、泥岩等为主,石炭—二叠地层主要为砂岩、粉砂岩等;中生界是一套复杂的陆相火山—沉积岩系,主要由陆源碎屑岩及中酸性火山岩组成,与银(金)矿成矿关系密切^[6,20]。

区内岩浆活动强烈,从太古代至新生代均有发育,岩性也从基性、酸性到偏碱性岩石均有出露^[21],

其中以太古宙、元古宙及中生代岩浆活动最为强烈。而与多金属矿形成关系最为密切的是燕山期中酸性岩浆岩类,其活动方式复杂,有火山喷发、次火山侵入、浅成侵入以及中深成侵入,多期次、多阶段产出^[4-5]。

区域构造复杂,前长城纪形成基底褶皱构造,中元古代—古生代在其基础上地台稳定发展,中生代之后地台开始活化,形成了区内基底褶皱构造和盖层构造层。构造演化过程中,形成多条NE向和NW向大断裂构造,构成本区网状断裂构造格局系统。该网状断裂构造系统不仅控制了晋北地区燕山期岩浆岩分布,而且也控制了与岩浆岩有关的多金属矿产的分布^[5,7,22],主要形成的矿床类型有岩浆热液型、矽卡岩型、蚀变岩型、隐爆角砾岩型等。

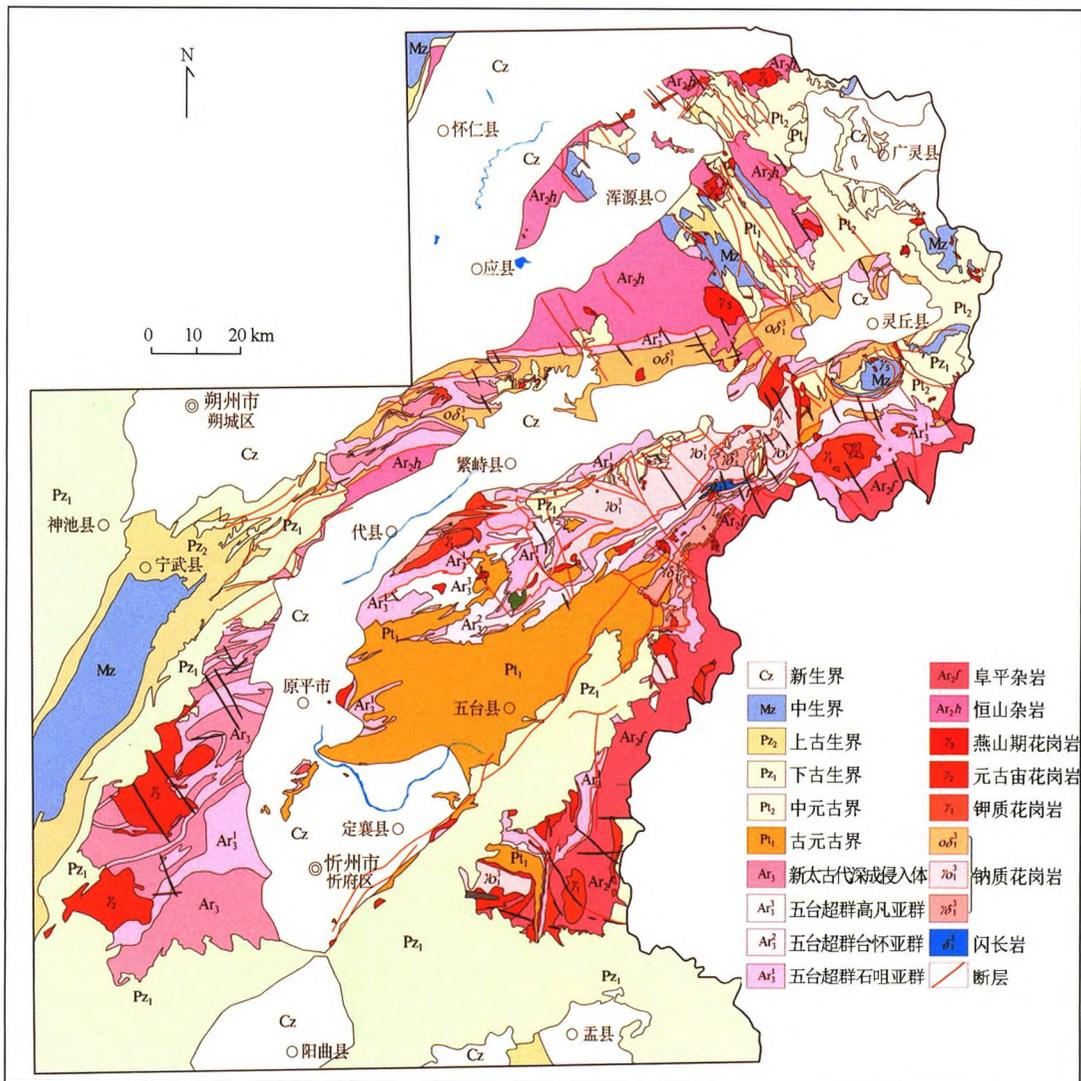


图1 五台—恒山地区地质简图
Fig.1 Geological map of the Wutaishan-Hengshan area

2 数据类型及处理方法

选择山西省内 1:20 万广灵幅、浑源幅、原平幅、

平型关幅、阜平幅、忻县幅、孟县幅水系沉积物数据,及相应的 1:20 万区域重力数据和 1:5 万航磁数据进行分析。

将本区化探数据进行累频法、对数间隔法、移动

平均法、衬值、S-A 等方法处理对比,发现剩余值异常法是最能避开背景干扰和避免遗漏异常的方法,因此以该方法为主导圈定各元素异常。步骤为:以各数据为中心选择 10 km×10 km 窗口,统计该窗口内数据的平均值;再以该中心点原始数据与平均值的差替代原始数据,以同样大小的数据窗逐点进行替换;全区剩余值采用多次剔除迭代法求出平均值 X 和标准离差 S ,计算异常下限 (T),按三级浓度分级勾绘异常,得出剩余异常图。

通过对比选择使用滑动窗口求取剩余重力、剩余磁力异常,此方法可以较有效地消除区域场的影响,以突出反映局部弱异常。布格重力滑动平均窗口选定为 10 km×10 km,采用窗口滑动平均的异常值作为窗口中心点的区域背景场,该点布格重力异常值与区域背景场值相减即为该点的剩余重力异常值;在化极磁异常的基础上,利用滑动平均法求取剩余磁异常(滑动平均窗口大小为 5 km×5 km,其计算方法与剩余重力异常值相同),将得到的重磁异常结果作为本次工作的依据。

3 典型矿床异常特征

根据上述方法进行了异常圈定,并对与燕山期岩体有关的 11 个多金属矿床(义兴寨、高凡、后峪、刁泉、支家地、小窝单、老谭沟、育秧沟、岔口、太那水、后所)周围的异常特征进行总结。结果表明,燕

山期岩体及其相关矿床周围具有明显的化探综合异常,同时与物探上的高磁、低重异常套合明显。

3.1 义兴寨金矿床

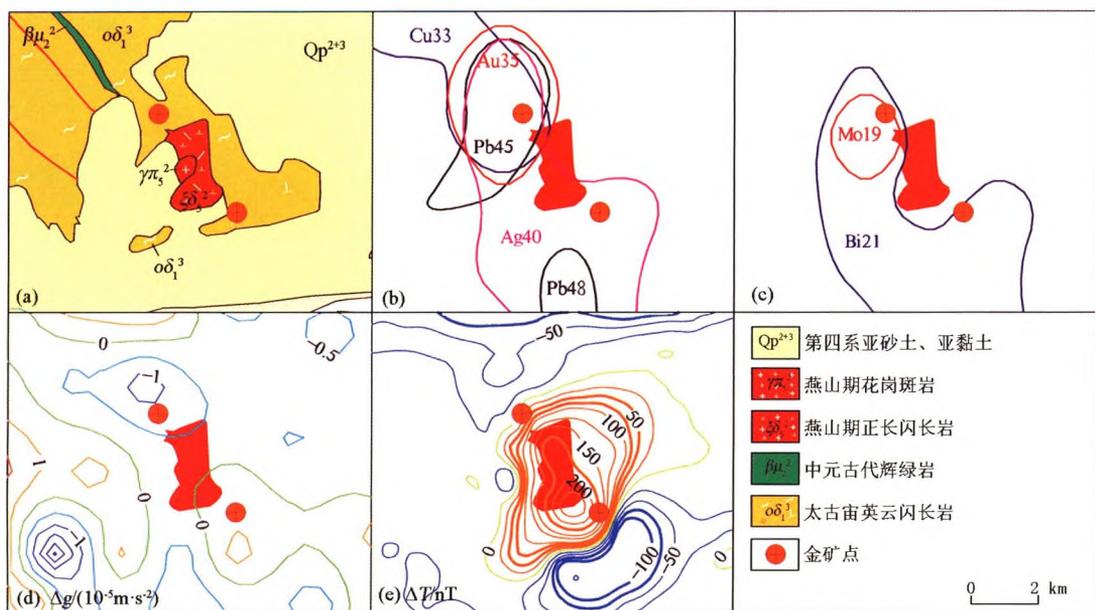
3.1.1 矿床地质特征

义兴寨金矿床位于义兴寨金矿田内,矿田由分布于孙庄岩体北部的义兴寨大型金矿、南部辛庄中型金矿及外围若干金矿点组成。矿区内地层主要为老基底地层,岩性为变闪长岩、黑云斜长片麻岩和长英质片麻岩。本区岩浆活动发育,孙庄岩体岩性主要为正长闪长岩、石英闪长岩,并常伴随(隐蔽)爆破作用,形成菱形分布的 4 个爆破角砾岩筒。成矿类型主要有角砾岩筒型、石英脉型、构造破碎蚀变岩型及它们之间过渡或叠加的复合型矿化,均与燕山期岩体关系密切^[5]。

含矿石英脉以复脉带为主,脉间由构造蚀变岩组成,整体带内矿体规模不一,品位变化较大。石英脉走向以 NNW 为主,次为 NW 向,多呈平行交叉和雁行排列,具分枝复合、尖灭再现特征。矿石类型为石英脉型和构造蚀变岩型,主要金属矿物有银金矿、自然金、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等,脉石矿物为石英、方解石、透辉石、绿泥石、钾长石等^[17-18]。

3.1.2 物化探异常特征

在义兴寨金矿周围发育着金、银、铜、铅、钼、铋等综合异常,金、银、铅、钼异常套合程度非常高,铜、银和铋异常范围广、强度大(图 2)。从重磁异常特征可以看出,义兴寨岩体表现为高磁、低重的特征(图 2)。



a—区域地质图; b—Cu-Pb-Au-Ag 异常分布; c—Mo-Bi 异常分布; d—重力异常; e—磁法异常

a—geological sketch map; b—anomalies distribution of Cu-Pb-Au-Ag; c—anomalies distribution of Mo-Bi; d—gravity anomaly; e—magnetic anomaly

图 2 义兴寨矿床异常剖析

Fig.2 Anomalies of the Yixingzhai deposit

3.2 刁泉银铜矿

3.2.1 矿床地质特征

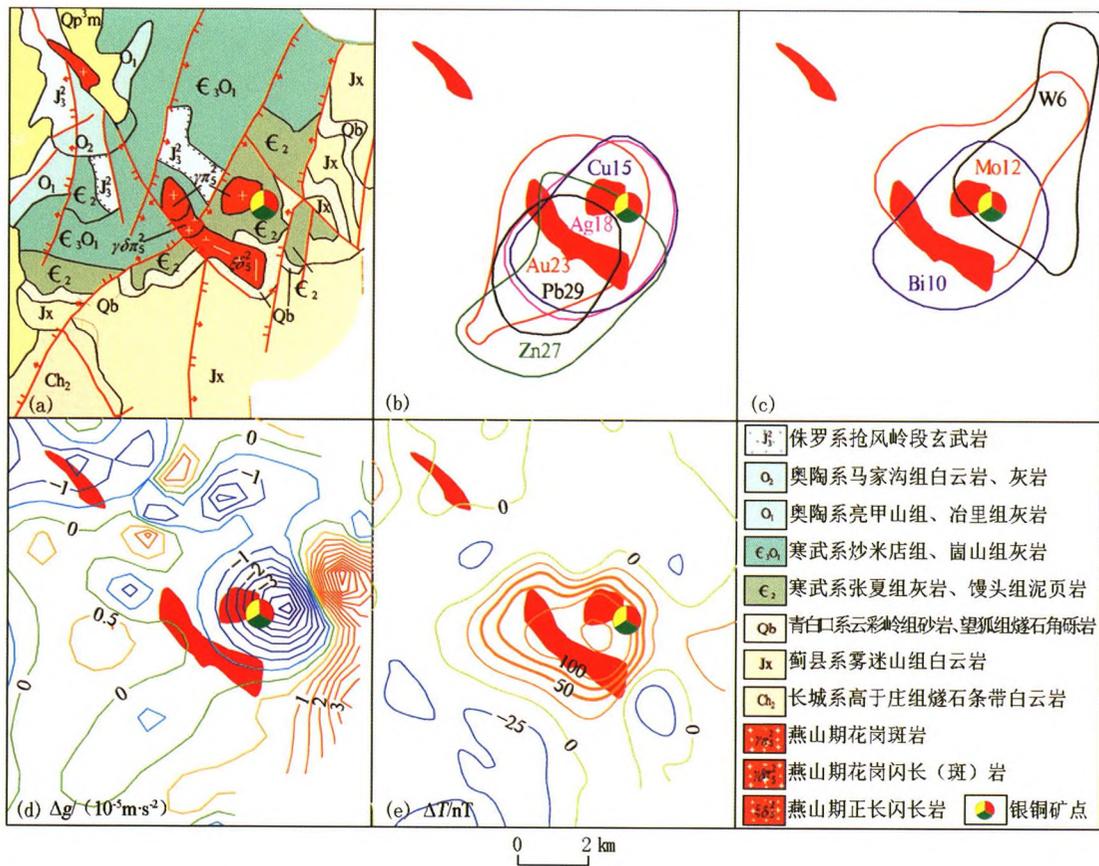
矿区内出露地层有青白口系景儿峪组、寒武系中上统、奥陶系、侏罗系等。刁泉复式岩体地表呈圆形出露,主要岩性为花岗斑岩和石英斑岩,外围局部分布有辉长岩和黑云石英二长岩,其中寒武系中、上统和奥陶系下统、中统碳酸盐地层是刁泉复式岩体的围岩,也是银铜矿体的围岩。在与岩体接触带附近,岩石多发生强烈矽卡岩化。

矿体均产于刁泉岩体与碳酸盐岩地层接触带形成的环状矽卡岩带内。矿体形态为似层状、透镜状、月牙状、不规则状、囊状及枝杈状。矿体的形态和空

间位置严格受接触带控制,富矿体常发育在岩体凹部及分枝、围岩层理、破碎带、捕虏体接触带等^[5,15-16]。主要矿石矿物有黄铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿、自然银、银金矿等。脉石矿物有透辉石、钙铁辉石、钙铁榴石、钙铝榴石、符山石、阳起石、透闪石、硅灰石等。

3.2.2 物化探异常特征

刁泉矿床周围主要发育有钨、钼、铋、金、银、铅、锌、铜等综合异常,各元素异常强度高,异常范围套合程度好(图3)。同时,在刁泉岩体周围发育有明显的低重异常和强磁异常(图3)。



a—区域地质图;b—Cu-Pb-Zn-Au-Ag 异常分布;c—W-Mo-Bi 异常分布;d—重力异常;e—磁法异常

a—geological sketch map; b—anomalies distribution of Cu-Pb-Zn-Au-Ag; c—anomalies distribution of W-Mo-Bi; d—gravity anomaly; e—magnetic anomaly

图3 刁泉矿床异常剖析

Fig.3 Anomalies of the Diaquan deposit

4 隐伏多金属矿远景区预测

4.1 预测准则

如前所述,五台—恒山地区燕山期岩浆活动与多金属矿有着密不可分的关系,岩浆上升侵位形成矽卡岩型、中低温热液型、隐爆角砾岩型等类型矿床。因此本区想要突破对多金属矿的找矿工作,就

必须对燕山期(隐伏)岩体进行推断预测。

根据对已知矿床周围发育的水系沉积物异常的研究总结,与燕山期岩体有关的矿床周围发育的化探异常种类多(从高温元素到中温元素均可以出现,如矿床周围同时出现钨、钼、铋、金、银、铜、铅、锌等),异常套合好,因此化探元素预测多金属矿的准则是中低温元素 Au、Ag、Pb(Zn)、Cu 套和高温元素 W、Mo、Bi。

研究区内燕山期岩浆活动最为强烈,出露岩体多数为燕山期的酸性、中酸性和中性岩体。相对于老地层而言,燕山期岩体整体呈低密度,而燕山期岩浆岩多数具有一定的磁性(表1),与围岩具有一定的磁性差异,在剩余化极航磁异常图上能表现出较

明显的中高磁异常。因此可根据“低重力+中高磁性”的重磁场特征来寻找燕山期岩体。

综上,可以通过化探元素综合异常、低重力、中高磁性特征来圈定隐伏、半隐伏燕山期岩体范围,进而通过找寻岩体达到发现矿化线索,甚至矿化体的目的。

表1 五台—恒山地区地层、岩浆岩物性参数^[23]

Table 1 Physical parameter of stratum and magmatic rock in the Wutaishan-Hengshan area^[23]

参数	新生界	中生界	古生界	元古宇	太古宇	燕山期岩浆岩	吕梁期岩浆岩	五台期岩浆岩
密度/(g·cm ⁻³)	1.62~1.82	2.5	2.65	2.77	2.71	2.52~2.72	2.62~3.05	2.62~3.05
磁化率/(10 ⁻⁶ 4πSI)				22	25~158	100~3366	79	112~377

4.2 预测结果

根据上述原则,在本区共圈定13处预测区(表2),分别是仲沟、招柏、龙须台、虎头寨、龙王堂、山岔、张旺、高庄、高粱、小寺、庄里、梁家寨、陈家庄预测区。

4.3 预测区勘查工作

近年来,随着山西省地质勘查基金项目的实施,在部分预测区内已经开展了地质勘查工作,并取得较好的找矿效果。

山西省地质勘查局217地质队在2006年和2012年分别对张旺预测区(编号7)进行了普查和详查找矿,在区内共发现5条银铅锌矿带、4条金矿带。区内发育有燕山期石英斑岩、正长斑岩,岩脉与金矿化带走向一致,并位于矿带上盘,与矿化关系密

切,认为其成因属于与燕山期岩浆岩有关的中低温热液矿床^[24-25]。

山西省地球物理化学勘查院2008年在龙须台预测区(编号3)进行普查找矿,在区内发现银(金)矿体,矿体长875m,平均厚度0.41m,矿区出露燕山期石英斑岩脉,从地质特征、地质背景以及成因分析上,认为该多金属矿与燕山期岩脉有关^[26]。

另外,山西省地球物理化学勘查院在仲沟预测区(编号1)进行异常查证时,发现金矿化带1条,矿化带长300m,宽1m左右,地表尚未见岩体和岩脉。在庄里预测区(编号11)进行异常查证时,地表发现多条石英脉型铜金矿脉,脉宽10cm~1m左右,长10~20m。

表2 五台—恒山地区化探、重力、磁法圈定多金属矿预测区

Table 2 Geochemical exploration, gravity and magnetic method for delineating polymetallic ore prediction areas in the Wutaishan-Hengshan area

编号	预测区名称	位置	中低温元素	高温元素	重力异常	磁法异常	备注
1	仲沟	繁峙	Au、Ag、Pb、Zn	W、Mo、Bi	梯度带	高磁	中高温元素套合程度高
2	招柏	灵丘	Au、Ag、Pb、Zn	无	低重	无异常	中低温元素套合程度较高
3	龙须台	灵丘	Au、Ag、Pb、Zn、Cu	W、Mo	低重	无异常	中高温元素套合程度非常高;银、锌异常范围广
4	虎头寨	灵丘	Au、Ag、Pb、Zn、Cu	W、Bi	梯度带	梯度带	中高温元素异常套合好;附近发育有砂金矿
5	龙王堂	应县	Au、Ag、Pb	无	弱低重	梯度带	中低温元素套合程度高
6	山岔	应县	Au、Ag、Zn、Cu	无	弱高重	无异常	异常套合较好
7	张旺	浑源	Au、Ag、Pb	无	低重	局部高磁	异常套合好
8	高庄	浑源	Au、Zn、Pb	无	低重	梯度带	异常套合好
9	南梁	五台	Au、Ag、Pb、Zn、Cu	无	梯度带	梯度带	中低温元素套合较好
10	小寺	浑源	Au、Ag、Zn、Cu	Mo	梯度带	高磁	中低温元素套合较好
11	庄里	盂县	Au、Ag、Zn、Cu	Bi	梯度带	不明显	中低温元素套合较好
12	梁家寨	盂县	Au、Ag、Pb、Zn、Cu	无	弱低重	不明显	中低温元素套合较好
13	陈家庄	盂县	Au、Ag、Zn、Cu	W、Mo、Bi	梯度带	不明显	中低温元素套合较好

5 找矿方向探讨

5.1 岩浆活动及构造特征

五台—恒山地区是华北陆台上的一个重要的次火山岩型银、金、锰和多金属成矿区带。燕山期花岗

岩类既是成矿热驱动力的源泉,也是Au、Ag等成矿物质的主要来源。前人对该区网状断裂构造进行过大量研究^[2-3,19,22],根据上述研究综合得出本区网状断裂构造图(图4),可以发现广泛发育的若干NE向和NW向的深断裂控制着本区岩浆活动及其相关的多金属矿床的分布。

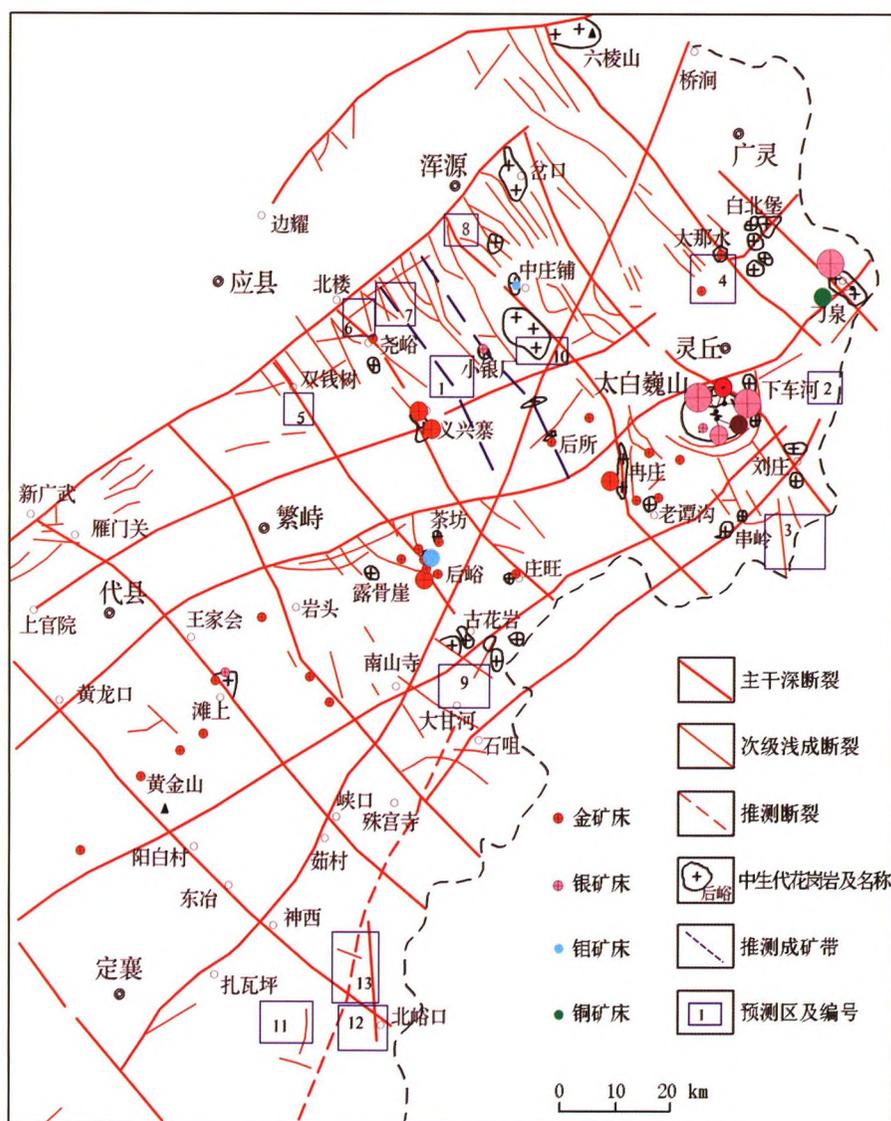


图 4 五台—恒山地区网状断裂构造与预测区(底图据文献[2]、[5]综合修改)

Fig.4 Mesh fracture structure and prediction zone in the Wutaishan-Hengshan area

(The base map is modified according to the literature[2],[5])

马小兵等根据本区岩体的空间分布与构造特征,将其分为滩上带、长城沟—黑崖带、中庄铺—老谭沟带、岔口—刘庄带、六棱山—太那水带、刁泉带共 6 个岩浆岩带^[3]。周绍芝根据以往所获得的地质、物化探成果,将晋东北地区划分为 4 个成矿远景区带:太那水—刁泉成矿带、中庄铺—刘庄成矿带、北楼口—后坪成矿带和雁门关—滩上—阳白村成矿带^[2]。吴凌根利用布格重力异常和化极磁力异常,在本区圈出 23 条断裂,其中一级断裂 6 条,二级断裂 17 条^[19]。

根据以上信息,总结五台—恒山地区共存在 9 条 NW 向断裂构造带,其中 7 条为断裂构造岩浆岩带(图 4),分别为:雁门关—滩上—峡口构造岩浆岩带、双钱树—耿庄—古花岗岩构造岩浆岩带、尧峪—义兴寨—庄旺构造岩浆岩带、中庄铺—老谭沟构造岩浆岩带、岔口—刘庄构造岩浆岩带、六棱山—太那水

构造岩浆岩带和刁泉—白北堡构造岩浆岩带。这 7 条带上出露的岩体多位于 NW 向和 NE 向断裂交汇部位,受 NW 向断裂控制明显,呈明显线型分布。除这 7 条带外,还有两条 NW 向构造带上未发现有岩浆岩的报道,分别为繁峙县—岩头—殊宫寺断裂构造带和牛食尧—阳白村—北峪口断裂构造带。除此之外还发育有次一级 NW 向断裂构造岩浆岩带,如荆庄—小银厂—后所构造岩浆岩带。

5.2 预测区分布规律

本次所圈定的多金属矿预测区分布规律可以分为 3 种类型(见图 4)。一种是分布在断裂构造岩浆岩带上,有 9 处预测区,如山岔远景区(编号 6)位于尧峪—义兴寨—庄旺构造岩浆岩带的北延部分;龙王堂预测区(编号 5)位于双钱树—耿庄—古花岗岩构造岩浆岩带上等。第二种是受次一级的张旺—仲沟断裂构造带控制,共有 2 处预测区,分别是张旺预测区和

仲沟预测区,两者分布在张旺—仲沟断裂构造带上。第三种包含 2 处远景区,分布无明显规律。

次一级的张旺—仲沟断裂构造带与荆庄—小银厂—后所构造岩浆岩带分布在两个 NW 向构造岩浆岩带(尧峪—义兴寨—庄旺和中庄铺—老谭沟)中间,两带相距不足 10 km。在后者带上已出露有小银厂岩体和后所岩体,两个岩体分别形成了小银厂银多金属矿和后所金矿,小银厂岩体地表出露范围不到 1 km²,后所岩体在地表仅以岩脉形式产出,说明该带上岩体都还未被完全剥蚀。张旺预测区和仲沟预测区近年来分别有金铅锌银矿(化)体和金矿化体的发现和报道,前者矿化与地表出露的燕山期岩脉关系密切,根据其相邻构造岩浆岩带上燕山期岩体发育特征,推测该带上岩体可能都未出露地表,深部找矿前景乐观。

5.3 找矿方向

五台—恒山地区多金属矿的形成与燕山期岩体侵位密切相关。区域性深断裂为深源岩浆向地壳浅部侵位提供通道,断裂交汇部位及次级浅断裂控制岩浆岩带的分布。岩浆在上述断裂构造位置侵位成矿,形成了现今多条构造岩浆岩带和多条成矿带横亘在五台—恒山地区的景象。目前本区地表已出露大量与燕山期岩体具有成因关系的多金属矿床,如刁泉银铜矿、义兴寨金矿、岔口铅锌银多金属矿等,同时由于侵位深度、风化剥蚀等原因,部分岩体刚出露地表(如鹿骨崖岩体、小银厂岩体)或地表仅出露岩脉(张旺预测区、龙须台预测区)。本次工作通过化探、重力、磁法资料,圈出 13 处多金属矿预测区,多数分布在上述断裂交汇部位或附近,部分预测区内已发现有岩体和多金属矿(化)体,说明本次工作成果可靠性高,所圈定的 13 个金属矿预测区可以作为下一步地质找矿的重点工作区。

6 结论

1) 通过对五台—恒山地区 1:20 万水系沉积物重新处理,结合 1:20 万重力数据和 1:5 万航磁数据,总结典型矿床(岩体)周围物化探异常特征,发现与燕山期岩浆有关的多金属矿异常特征为金、银、铜、铅、锌(钨、钼、铋)综合异常和中高磁、低重的物探异常。

2) 利用化探异常+中高磁+低重异常组合来圈定多金属矿预测区,在本区共圈定 13 处预测区,分别是仲沟、招柏、龙须台、虎头寨、龙王堂、山岔、张旺、高庄、高粱、小寺、庄里、梁家寨、陈家庄预测区。

部分预测区内已经开展地质勘查工作,并取得较好的找矿效果。

3) 本区共存在 9 条断裂构造带和 7 条构造岩浆岩带,有 11 处远景区位于构造岩浆岩带上。次一级断裂控制的有荆庄—小银厂—后所岩浆岩带和张旺—仲沟带,前者带上发育有小银厂岩体、后所岩体及其相关矿床,带上岩体都还未被完全剥蚀;后者带上发育有张旺金铅锌银矿(化)体和仲沟金矿(化)体,该带上岩体可能还未出露地表,深部找矿前景乐观。

4) 区域性 NW 向断裂控制本区岩浆岩带的展布,NE 向断裂和 NW 向构造交叉部位控制岩浆岩的侵位。岩浆侵位携带大量成矿物质在断裂构造部位沉淀富集形成矿化。本次圈定出 13 处多金属矿预测区,多数分布在断裂交汇部位或附近,部分预测区内已发现有岩体和多金属矿(化)体,因此可以作为本区下一步地质找矿工作的重点工作区。

参考文献(References):

- [1] 陈毓川,朱裕生,肖克炎,等.中国成矿区(带)的划分[J].矿床地质,2006,25(1):1-6.
Chen Y C, Zhu Y S, Xiao K Y, et al. Division of minerogenic provinces (belts) in China[J].Mineral Deposits, 2006, 25(1): 1-6.
- [2] 周绍芝.晋东北地区银(金)矿成矿特征及远景浅析[J].地质与勘探,1999, 35(3): 6-9.
Zhou S Z. Analysis of metallogenic characteristics and prospect of silver (gold) deposits in northeastern Shanxi Province[J].Geology and Prospecting, 1999, 35(3): 6-9.
- [3] 马小兵,李生元.五台—恒山地区中生代构造—岩浆活动与次火山岩型金银的成矿作用[J].地质找矿论丛, 1999, 12(4): 49-55.
Ma X B, Li S Y. Tectonomagmatism and metallogenesis of subvolcanic Au-Ag deposits in mesozoic, Wutai-Hengshan region [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1999, 12(4): 49-55.
- [4] 张文亮,李朝辉,陈宇鹏,等.五台山区燕山期侵入岩特征及控矿作用[J].地质找矿论丛,2005,20(S1): 49-52.
Zhang W L, Li Z H, Chen Y P, et al. Yanshanian intrusives rocks in Wutai region and their control on ores[J].Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2005, 20(S1): 49-52.
- [5] 葛良胜,王治华,杨贵才,等.晋东北燕山期岩浆活动与金多金属成矿作用动力学[J].岩石学报, 2012, 28(2): 619-636.
Ge L S, Wang Z H, Yang G C, et al. Yanshanian magmatism and gold-polymetallic mineralization dynamics in northeastern Shanxi Province, China[J].Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(2): 619-636.
- [6] 赵英福,张连营,李兆龙.晋东北地区银矿床类型及成矿机制[J].矿产与地质,2011, 25(4): 286-289.
Zhao Y F, Zhang L Y, Li Z L. Silver ore deposit and its metallo-

- genic mechanism in northeast Shanxi [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2011, 25(4): 286–289.
- [7] 邓晋福, 冯艳芳, 刘翠, 等. 太行—燕辽地区燕山期造山过程、岩浆源区与成矿作用[J]. *中国地质*, 2009, 36(3): 623–633. Deng J F, Feng Y F, Liu C, et al. Yanshanian (Jurassic–Cretaceous) orogenic processes, magma sources and metallogenesis as well as coal formation in the Taihangshan-Yanshan-West Liaoning region [J]. *Geology in China*, 2009, 36(3): 623–633.
- [8] 姚玉增, 黄菲, 彭艳东, 等. 山西耿庄金矿床流体包裹体特征及矿床成因[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2013, 43(1): 93–102. Yao Y Z, Huang F, Peng Y D, et al. Characteristics of fluid inclusions and metallogenesis of Gengzhuang gold deposit, Shanxi Province [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2013, 43(1): 93–102.
- [9] 李生元, 马小兵. 晋东北引爆角砾岩及其对金银的控矿意义[J]. *地质找矿论丛*, 1999, 14(4): 8–14. Li S Y, Ma X B. Cryptoexplosive rock and its ore-forming sense to gold-silver deposit in northeastern Shanxi Province, China [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 1999, 14(4): 8–14.
- [10] 庞尔成, 席伟杰, 施光海, 等. 山西代县滩上钼多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年及其地质意义[J]. *地球学报*, 2012, 33(5): 787–793. Pang E C, Xi W J, Shi G H, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenite from the Tanshang Mo-polymetallic deposit in Daixian County, Shanxi Province, and its geological significance [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2012, 33(5): 787–793.
- [11] 彭大明. 晋东北金成矿地质特征及找矿前景[J]. *黄金地质*, 1995, 1(4): 38–42. Peng D M. Geological features of gold metallization and prospecting foreground in northeastern Shanxi [J]. *Gold Geology*, 1995, 1(4): 38–42.
- [12] 刘光夏, 赵文俊, 任文菊, 等. 晋东北及临区重力三维正反演的初步结果[J]. *西北地震学报*, 1990, 12(3): 64–71. Liu G X, Zhao W J, Ren W J, et al. Preliminary results of 3-D gravitational forward and backward calculation in northeastern Shanxi and its vicinity [J]. *Northwestern Seismological Journal*, 1990, 12(3): 64–71.
- [13] 孙旭光, 赵伦山. 山西五台山—恒山地区基岩与水系沉积物地质地球化学特征对比性研究[J]. *物探与化探*, 1997, 21(2): 157–158. Sun X G, Zhao L S. Comparative study on geological-geochemical characteristics between bedrock and stream sediments in Wutaishan mountain-Hengshan region, Shanxi Province [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 1997, 21(2): 157–158.
- [14] 靳职斌. 利用铝饱和指数评价中酸性岩浆岩的含矿性——以山西省 210 个中酸性岩体为例[J]. *物探与化探*, 2016, 40(6): 1082–1088. Jin Z B. The application of aluminum saturation index to the evaluation of ore-bearing potential of intermediate-acid magmatic rocks: A case study of 210 intermediate-acid rock bodies in Shanxi Province [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2016, 40(6): 1082–1088.
- [15] 李慧, 张国义, 李德亮, 等. 山西灵丘刁泉砂卡岩型银铜矿床构造叠加晕模型[J]. *物探与化探*, 2008, 32(5): 529–533. Li H, Zhang G Y, Li D L, et al. The Structural superimposed halo model for the Diaquan skarn type silver-copper deposit in Lingqiu country, Shanxi Province [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2008, 32(5): 529–533.
- [16] 李兆龙, 张连英. 山西省刁泉银铜矿床地质特征及成因机制[J]. *矿床地质*, 1999, 18(1): 11–21. Li Z L, Zhang L Y. Geological characteristics and genetic mechanism of the Diaquan silver copper deposit, Shanxi Province [J]. *Mineral Deposits*, 1999, 18(1): 11–21.
- [17] 叶荣, 赵伦山, 沈镛立, 等. 义兴寨金矿成矿作用地质地球化学动力学研究[J]. *现代地质*, 1997, 11(1): 58–65. Ye R, Zhao L S, Shen Y L, et al. Study on geological-geochemical dynamics of ore-formation of Yixingzhai gold deposit [J]. *Geoscience*, 1997, 11(1): 58–65.
- [18] 郑镛, 和志军, 刘悟辉, 等. 义兴寨金矿床地质特征及成矿控制因素分析[J]. *中南大学学报: 自然科学版*, 2009, 40(3): 833–838. Zheng D, He Z J, Liu W H, et al. Analysis of geological characteristics and ore-forming control factors of Yixingzhai gold deposit [J]. *Journal of Central South University: Natural Science Edition*, 2009, 40(3): 833–838.
- [19] 吴凌根, 王万银, 李建国, 等. 利用重—磁资料研究五台—恒山地区构造格局[J]. *地球物理学进展*, 2015, 30(2): 531–539. Wu L G, Wang W Y, Li J G, et al. Tectonic framework of Wutaishan-Hengshan region interpreted from gravity and magnetic data [J]. *Progress in Geophysics*, 2015, 30(2): 531–539.
- [20] 赵祯祥, 杜晋锋. 晋东北地区燕山运动的基本特征——来自 1:25 万应县幅区域地质调查的总结[J]. *地质力学学报*, 2007, 13(2): 150–162. Zhao Y X, Du J F. Basic characteristics of the Yanshan movement in northeastern Shanxi: A summary of regional survey of the 1:250 000 Yingxian country sheet [J]. *Journal of Geomechanics*, 2007, 13(2): 150–162.
- [21] 陈志方. 山西省五台山成矿亚区带重要矿种矿床成矿规律和找矿前景分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013. Chen Z F. Metallogenic regularities and explorational foreground of major types of ore deposits in the Wutai mountain mMineralization subbelt of Shanxi Province [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2013.
- [22] 李敏敏. 恒山—五台山金银矿床成矿区带构造变形与金银矿化的关系[J]. *华北地质矿产杂志*, 1998, 13(3): 90–92. Li M M. Relationship between tectonic deformation and gold-silver mineralization in the ore-forming zone of Hengshan-Wutaishan gold-silver deposit [J]. *North China Journal of Geology and Mineral Resources*, 1998, 13(3): 90–92.
- [23] 靳职斌, 李建国, 周新鹏, 等. 山西省五台—恒山地区区域资料二次处理与成矿预测[R]. 山西省地球物理化学勘查院, 2015. Jin Z B, Li J G, Zhou X P, et al. Secondary treatment and metallogenic prediction of the Wutai-Hengshan area in Shanxi Province [R]. Shanxi Province Geophysical and Geochemical Exploration

- Institute, 2015.
- [24] 张德成. 山西省浑源县张旺矿区金银铅锌矿普查地质报告 [R]. 山西省地勘局 217 地质队, 2006.
- Zhang D C. Geological report of gold-silver-lead-zinc deposits in Zhangwang mining area, Hunyuan in Shanxi Province [R]. No. 217 Geological Team, Shanxi Provincial Geological Prospecting Bureau, 2006.
- [25] 刘炯. 山西省浑源县张旺矿区金、银多金属矿详查阶段性地质报告 [R]. 山西省地勘局 217 地质队, 2012.
- Liu J. Staged geological report of gold-silver polymetallic deposits in Zhangwang mining area, Hunyuan in Shanxi Province [R]. No. 217 Geological Team, Shanxi Provincial Geological Prospecting Bureau, 2012.
- [26] 雷宝生, 文运红, 杨志昂. 山西省灵丘县龙须台银(金)矿普查地质报告 [R]. 山西省地球物理化学勘查院, 2008.
- Lei B S, Wen Y H, Yang Z A. Geological report of the Longxutai silver (gold) mine in Lingqiu County, Shanxi Province [R]. Shanxi Province Geophysical and Geochemical Exploration Institute, 2008.

The prediction and prospecting direction of polymetallic deposits in the Wutaishan-Hengshan area

XUE Sheng-Sheng, ZHANG Shuang-Kui, ZHAO Nan, ZHOU Xin-Peng, JIN Zhi-Bin

(Shanxi Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Yuncheng 044000, China)

Abstract: In this study, the moving average method was used to reprocess the 1 : 200,000 stream sediments data from seven sheets in Wutaishan-Hengshan area. In combination with the 1 : 200,000 gravity data and 1 : 50,000 aeromagnetic data obtained in this area, the authors found that the comprehensive anomalies are in good agreement with the deposits related to the Yanshanian rock mass. Choosing elements such as Au, Ag, Cu, Pb, Zn anomalies and high-magnetic and low-gravity anomalies as the prediction criteria, the authors predicted a total of 13 polymetallic ore prospective areas related to the mineralization of rock masses in the study area. According to available data, there are 9 NW-trending fault structural zones in this area. The intrusive position of the rock mass is controlled by the intersection of the NW-trending fault and the NE-trending fault. Most of the known rock masses and the 11 prospective areas predicted by this paper are distributed in the fault structural belt, forming multiple tectonic magmatic zones. The polymetallic ore deposit is inextricably linked with Yanshanian rock mass.

Key words: polymetallic deposit prediction; concealed rock body; Wutaishan-Hengshan; stream sediments; gravity and magnetic survey

(本文编辑: 蒋实)