

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2020.04.06

引用格式: 刘彦良,高雅,季文中. 甘肃白银厂及其外围地区金属矿成矿规律及矿产预测[J]. 中国地质调查, 2020, 7(4): 43-53.

# 甘肃白银厂及其外围地区金属矿成矿规律及矿产预测

刘彦良, 高雅, 季文中, 王静, 张春丽

(甘肃省有色金属地质调查院, 兰州 730000)

**摘要:** 通过甘肃省白银厂及其外围地区矿产远景调查项目, 共圈定 1:5 万航磁异常 12 个、1:5 万高磁异常 7 个、1:5 万化探综合异常 64 个, 新发现矿点 4 处、矿化点 6 处, 矿种有铜、铅、锌等。通过对研究区成矿地质条件、1:5 万物化探综合异常特征、矿(化)点分布特征等进行综合分析研究, 阐明了该区成矿的时空分布规律和矿产的共生组合规律, 总结出区内典型矿床“多位一体”找矿预测模型。综合圈定重点成矿远景区 9 个, 其中 A 类远景区 3 处, B 类远景区 2 处, C 类远景区 4 处; 优选圈定找矿靶区 4 个, 其中 A 类 1 个, B 类 1 个, C 类 2 个。

**关键词:** 白银厂及其外围地区; 成矿地质背景; 地球物理和地球化学异常; 矿床(点); 成矿规律; 找矿预测模型; 找矿靶区

中图分类号: P618.4; P612

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2020)04-0043-11

## 0 引言

研究区行政区划隶属甘肃省白银市管辖, 前人主要完成了 1:20 万区调<sup>[1]</sup>、1:25 万区调<sup>[2]</sup> 和 1:5 万区调工作<sup>[3]</sup>。为了更深刻地认识和总结区域成矿规律, 笔者等 2011 年承担了“甘肃省白银厂及其外围地区矿产远景调查”项目, 在完成 1:5 万遥感地质解译及异常提取、1:5 万高精度磁法测量、1:5 万水系沉积物测量以及矿点检查工作的基础上, 结合 1:5 万区域地质调查资料, 对研究区成矿规律进行了系统研究, 划分出成矿远景区, 确定了找矿靶区并进行了金属矿产的预测。

## 1 区域地质成矿背景

研究区位于祁连造山带东段的北祁连褶皱带, 南以中祁连断裂北缘与中祁连地块相连, 西北端以阿尔金左行走滑断裂为界与敦煌地块相邻, 北以龙首山断裂与阿拉善地块相接, 处于鄂尔多斯地块、中祁连地块和阿拉善地块的交界处(图 1(a)), 是

我国著名的多金属成矿带<sup>[4-5]</sup>。研究区经历了从古元古代古中国大陆的形成, 到早古生代中祁连从华北板块南缘裂解-软碰撞从而形成中祁连北缘沟-弧-盆体系, 再到晚古生代以来发展为逆冲推覆造山及中生代进入陆内演化等一系列演化过程。长期剧烈的地质构造活动, 为金属矿床的形成创造了良好的成矿条件, 形成了丰富的矿产资源。在过去的几十年中, 区内先后发现铜、铅、锌、金等几十种金属矿产和大理岩、石英岩等非金属矿产, 尤其是白银厂矿田的发现和开发利用, 具有重大意义<sup>[6]</sup>。

研究区内地层主要有新元古界皋兰岩群(Ptg), 震旦系白银岩群(Zb), 寒武系黑茨沟组(C<sub>2</sub>h), 奥陶系阴沟群(O<sub>1</sub>y)和中堡群(O<sub>2</sub>z), 志留系肮脏沟组(S<sub>1</sub>a), 泥盆系沙流水组(D<sub>3</sub>s), 石炭系前黑山组(C<sub>1</sub>q)、臭牛沟组(C<sub>2</sub>c)和羊虎沟组(C<sub>2</sub>y), 二叠系大黄沟组(P<sub>1</sub>d)和红泉组(P<sub>2</sub>hq), 三叠系五佛寺组(T<sub>1</sub>w)、丁家窑组(T<sub>2</sub>d)和南营儿组(T<sub>3</sub>n), 侏罗系茆茆沟组(J<sub>2</sub>j), 白垩系河口群(K<sub>1</sub>h), 古近系西柳沟组(E<sub>x</sub>)和野狐城组(E<sub>y</sub>), 新近系甘肃群(Ng)及第四系(Q)(图 1(b))。研究区内可划分

收稿日期: 2019-08-29; 修订日期: 2020-06-12。

基金项目: 中国地质调查局公益性地质调查项目“甘肃省白银厂及其外围地区矿产远景调查(编号: 1212011120563)”资助。

第一作者简方数据(1983—), 男, 工程师, 主要从事地质矿产勘查和研究工作。Email: 317510246@qq.com。



出了高山断裂构造混杂岩带、白银火山岛弧、银洞沟弧后盆地、皋兰隆起带4个二级构造单元。各构造单元间多发育NE向逆冲型或逆冲-走滑型逆冲推覆断层和韧性剪切带,总体由北东向南西依次逆冲推覆叠置,并被中生代陆内走滑构造和浅层次逆冲构造改造。区内火山岩较发育,大部分属海相火山岩系列,岩石类型齐全,多受到不同程度的变质改造,常见岩性有变玄武岩、变安山玄武岩、变安山岩、变英安岩、变流纹岩、变流纹英安岩和粗面岩等。震旦纪、寒武纪和奥陶纪是研究区火山活动高峰期,该期火山活动形成了一系列铜、铅、锌等多金属矿产。研究区侵入岩不甚发育,主要为东部出露的蛇绿杂岩及南部零星出露的花岗闪长岩和一些脉岩。研究区变质岩主要分布在新元古界皋兰岩群、震旦系白银岩群、寒武系黑茨沟组和香毛山组、奥陶系阴沟群和中堡群、志留系肮脏沟组中。

研究区内金属矿产明显受地层、岩浆岩和构造控制,区内已经发现铜、铅、锌、金等几十种金属矿产,其中本次工作新发现矿点4处、矿化点6处。这些矿床、矿(化)点主要有4种成因类型:一是与寒武系离散型火山岩有关的沉积变质型铁锰矿床(点);二是与震旦系白银岩群有关的火山沉积-热液型铜多金属矿床(点);三是与中祁连什川岩体和皋兰岩群围岩接触带有关的热液脉型金矿床(点);四是与白垩纪地层和第四纪河谷阶地有关的沉积型砂金矿床(点)。

## 2 成矿地质条件

### 2.1 地层条件

研究区内地层一方面控制着沉积型矿产,另一方面特定的地层也为金属矿产提供了矿源。

元古宇皋兰岩群碎屑岩和中基性火山岩建造中Fe、Mn、Pb、Zn、Au元素含量普遍较高,为后期变质型Fe、Mn矿和石英脉型Pb、Zn、Au矿提供了较好的矿源层,也是中生代砂金矿的矿源层,主要有白银区郝泉沟金矿床、皋兰县朵家滩原生金矿点<sup>[7]</sup>和皋兰县朵家滩砂金矿点等。震旦系白银岩群为研究区的主要含矿地层,矿床主要赋存于白银岩群一岩组二岩段中酸性火山岩系(主要为细碧岩-石英角斑岩系)中,与后期侵入的钠长斑岩有关<sup>[4]</sup>,其产出了著名的白银折腰山和小铁山等大型铜多金属矿床<sup>[8]</sup>、白银火焰山中型铜多金

属矿床、白银铜厂沟和四个圈小型铜铅锌多金属矿床、景泰县石青洞小型铜铅锌多金属矿床,还有火焰山东端锌矿点、白银楼牌沟锰矿点等。

早古生代以来,北祁连为裂谷-岛弧型建造,酸性火山岩建造提供了良好的Cu、Pb、Zn等多金属矿源层。寒武系黑茨沟组火山-碎屑岩中已发现矿点主要为白银瞧马沟-跃进门铜矿点、白银白马洼铅锌矿点、白银双洞峡和牌楼沟铁矿点、白银石照子锰矿点、皋兰武川中庄和西湾东洞沟锰矿点,已发现矿化点主要有白银马鞍桥、双洞沟、锁阳沟、石照子南、黑石山双岔沟、黑石山胜利沟、黑石山放符崖铜矿化点和皋兰武川胜家梁铅矿化点。奥陶系阴沟群为北祁连造山带重要赋矿地层,主要有楼子湾铜矿点和银洞沟铜多金属矿床。奥陶系中堡群地层矿化较弱,产有皋兰刘川南页沟铁矿点。志留系肮脏沟组主要有产于细碧岩、细碧凝灰岩、集块岩等基性火山岩中的靖远银洞沟铁铜锌多金属小型矿床和产于绿泥绢云石英千枚岩、不纯大理岩、绢云钙质片岩中的永登疙瘩井铁矿点。

晚古生代至中生代,研究区为较稳定的沉积盆地,形成沉积型煤矿、石膏矿、黏土矿及砂金矿等。了高山构造混杂岩中产有白银驴耳朵山铜铅锌多金属矿化点。石炭系前黑山组砂岩中产有景泰峡沟井铁矿点。

古近系和新近系主要产有白银西湾小型砂金矿床、白银西湾白石宫砂金矿点及皋兰朵家滩砂金矿点<sup>[9-10]</sup>。

### 2.2 岩浆岩条件

研究区内岩浆活动频繁,分布广泛,与内生金属矿产关系密切,震旦纪、寒武纪和奥陶纪为火山活动高峰期,伴随火山活动形成一系列铜、铅、锌等多金属矿产。区内发育3条与成矿有关的火山岩带:北带由老虎山经米家山至岷吴山沿NWW-SEE向断续延长约160 km,南北宽约5 km,赋存有围昌沟、猪咀哑吧小型块状硫化物矿床;中带东起白银厂,西经二道湾至永登石青洞,呈NWW向狭长带状分布,长110 km,宽10~15 km,为祁连海槽火山喷发的产物,该带火山岩在生成环境和含矿性上都与世界已知赋存块状硫化物铜矿的细碧-角斑岩系相似,岩浆分异性好,火山喷发的旋回性和韵律性较显著,构成了由细碧岩-细碧玢岩-角斑岩-石英角斑岩以及相应

的次火山岩、熔岩、火山碎屑岩组成的较完整的火山岩系,产有白银厂、石青洞等铜多金属矿床<sup>[11-12]</sup>;南带为新元古代陆缘裂陷基性火山-沉积岩,分异特征不明显,岩性主要为钙、泥质碎屑岩类和基性火山岩,夹少量酸性火山岩,赋存有黄崖口多金属矿床等。研究区内侵入岩主要有米家山岩体、化子沟岩体和什川岩体,米家山阴沟群中的金矿化及皋兰岩群中的铅、金矿化都与上述岩浆热液作用密切相关。

### 2.3 构造条件

研究区内构造与金属矿产的形成关系密切,区内铜、铅、锌、金等金属矿产的分布,基本上受到区域性断裂的控制,构造的多期活动不仅产生了一部分构造热液,更主要的是为成矿物质的运移、富集、沉积成矿提供了较好的导矿通道和容矿空间,因此研究区内矿产及有关物化探异常在空间分布上均受构造体系的控制。

铜矿为研究区内已发现的主要矿产,产出了折腰山、小铁山、火焰山等一系列大中型铜多金属矿产基地,这些矿床主要分布于 NWW 向断裂构造带与 NE 向构造带复合部位的震旦纪—寒武纪小铁山岛弧褶皱带上,受轴向 NWW、向西南倾斜、向东北倒转的折腰山和火焰山复式背斜控制。矿体赋存于裂谷-岛弧环境条件下的古火山穹窿喷发中心火山喷口附近的斜坡上。

铁矿(化)点和锰矿点等黑色金属矿产均受断裂构造控制,大多产于褶皱转折端的滑脱构造或单斜地层的层间断裂中,如武川乡西湾东涧沟锰矿点和白银牌楼沟锰矿点等。

金矿以岩金矿为主,岩金矿见有郝泉沟金矿床和朵家滩金矿点,砂金矿有白银西湾小型砂金矿床、白银西湾白石宫砂金矿点及皋兰朵家滩砂金矿点等<sup>[9-10]</sup>,其分布也具有明显的分带性,可能是受到 NWW 向或 NE 向断裂构造的影响。

重砂矿物异常及水系沉积物测量金属元素异常的分布具有明显的分带性,这种异常带的延伸方向及展布范围与 NW 向构造带的影响范围一致。

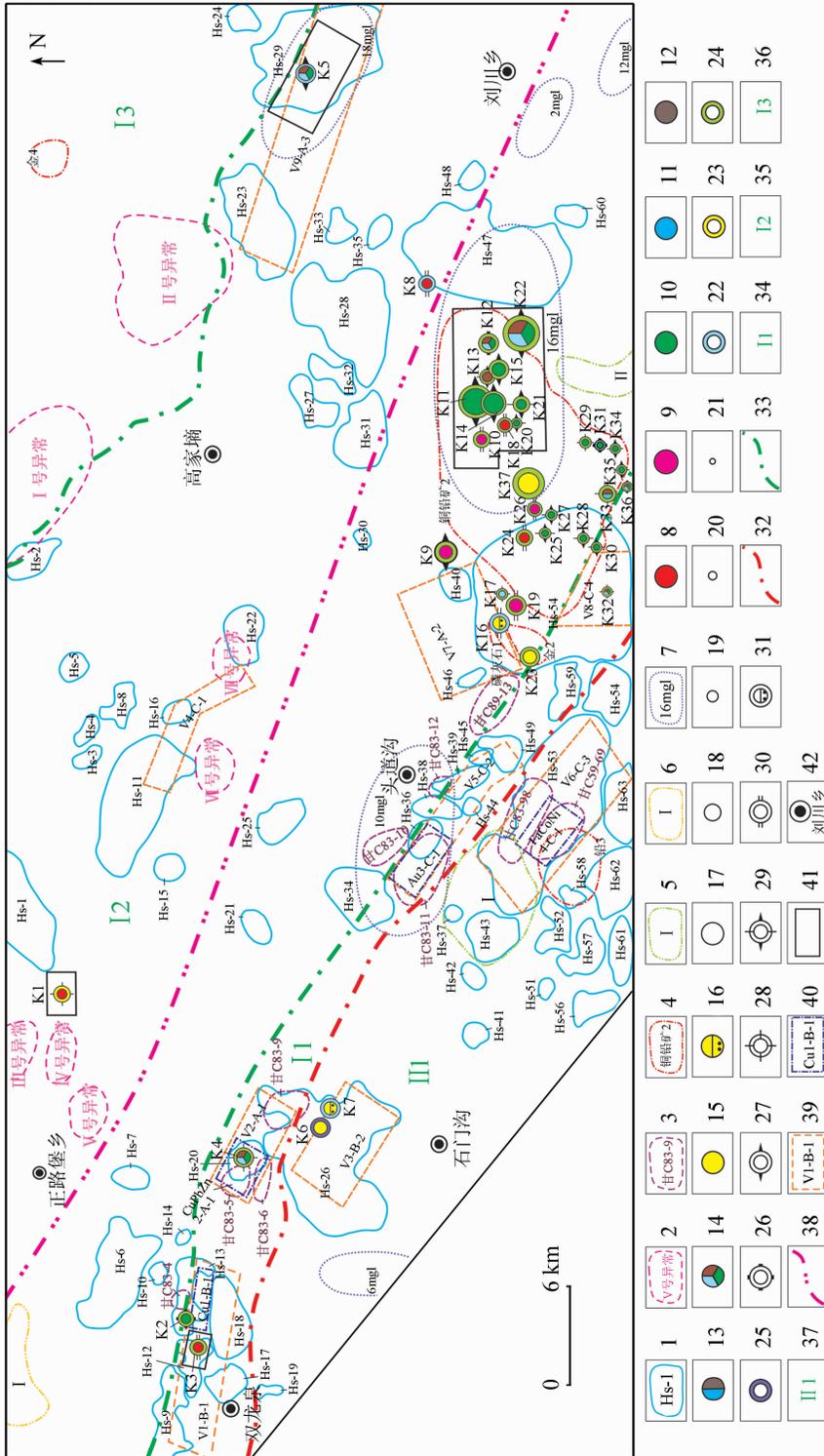
## 3 地球物理和地球化学异常特征

西向东呈阶梯状上升,重力异常表现为以白银厂重力高值异常区为中心,被重力负异常围绕。1:5 万重力测量结果表明:白银矿田区域重力异常走向为近 EW 向、呈葫芦状的 2 个重力隆起,同时也指示了矿田内 NNE 向断裂带的存在;该异常进一步被近 EW 向、NW 向和 NE 向断裂构造分割成若干个断块<sup>[13]</sup>,如近 EW 向白银厂重力高异常(16 mgI)和银洞沟重力高异常(18 mgI)、SN 向甘露池—中川重力高异常(6 mgI)、NWW 向二道湾重力高异常(10 mgI)和五梁山重力高异常(12 mgI)以及 NE 向来家窑相对重力低异常(2 mgI)(图 2)。

研究区航磁异常显示白银市圆形磁异常处于 NW 向弱磁异常带中,该带大致范围从靖远北至景泰南,反映出本区以 NW 向地层或构造分布为主。1:5 万航磁测量结果表明:白银地区航磁异常具有沿 NWW 向带状展布的特征,自北向南分布 3 个磁异常带,分别为老虎山—银洞沟正磁异常带、石青洞—白银正磁异常带和黄茨滩—地拉牌正磁异常带。目前所发现的折腰山—火焰山矿床、小铁山矿床、石青洞矿床均位于研究区中部正磁异常的北梯度带上。白银矿田航磁区域异常走向大致为 NWW 向,矿田东部磁异常等值线密集,西部磁异常等值线较稀,说明在磁性体东部向上突起、向西部倾伏。白银地区,如银洞沟、二道湾南等,表现出重磁异常部分重合,证实了在矿田深部或地壳的上部有巨大铁镁质基性岩体(或岩浆房)的分布<sup>[14]</sup>。

在全面收集并研究前人资料的基础上,在 1:5 万航磁覆盖区圈定了 12 个航磁磁异常,编号为甘 C83-4、5、6、9、10、11、12、13、48、98 和甘 C59-56、59 号(图 2)。对研究区北部 1:5 万航磁未覆盖区开展了高精度磁法测量工作,划分出 7 个磁力异常带(图 2),其中 III、IV、V 号异常可能为构造接触带中的小规模磁性体引起。其中位于石青洞地区的甘 C83-5、6、9 和位于二道沟地区的甘 C83-11、13 号航磁异常和重力异常套合较好且化探异常浓集,成矿潜力巨大。研究区 As、Cu、Pb、Zn、Cd、Ag、Hg、Sb、Bi 元素异常衬值高,浓集中心明显,高值区相互叠合;Au、As、Mo 元素异常较弱。成矿地球化学环境中 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Mn、CaO、Na<sub>2</sub>O、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>呈近 EW 向异常分布,范围大,有浓度分带,其中 Na<sub>2</sub>O、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的高值区大于白银矿田范围,Mn 高值区在白银矿田的东、西两侧,SiO<sub>2</sub>与上述组分相反,即在白银矿田上

研究区布格重力剩余异常总体变化趋势为从



1. 地球化学综合异常范围及其编号; 2. 高精度磁法局部磁异常范围及其编号; 3. 航磁异常范围及其编号; 4. 重砂异常范围及其编号; 5. 遥感铁化异常范围及其编号; 6. 遥感泥化异常范围及其编号; 7. 重力异常范围及其编号; 8. 铁矿; 9. 锰矿; 10. 铜矿; 11. 铅矿; 12. 锌矿; 13. 铅锌矿; 14. 铜铅锌多金属矿; 15. 原金矿; 16. 砂金矿; 17. 大型矿床; 18. 中型矿床; 19. 小型矿床; 20. 矿点; 21. 矿化点; 22. 印支及以后成矿期; 23. 华力西成矿期; 24. 加里东成矿期; 25. 前加里东成矿期; 26. 岩浆岩类矿床; 27. 海底火山作用矿床; 28. 低温热液矿床; 29. 海底火山作用热液矿床; 30. 沉积变质矿床; 31. 沉积矿床; 32. 胶结矿床; 33. Ⅱ级构造分区界线; 34. 了高山构造杂岩冲断褶皱带; 35. 白银火山岛弧褶皱带; 36. 银洞沟新生代孤后盆地; 37. 皋兰隆起带; 38. Ⅳ级成矿带界线; 39. Ⅴ级成矿带界线; 40. Ⅵ级成矿带界线; 41. 已登矿权范围; 42. 地名; K1. 峡沟井铁矿; K2. 楼子湾铜矿; K3. 疙达井铁矿; K4. 石膏洞铜铅锌多金属矿; K5. 银洞沟铜铅锌多金属矿; K6. 呆家滩金矿; K7. 呆家滩砂金矿; K8. 南页沟铁矿; K9. 中庄锰矿; K10. 牌楼沟锰矿; K11. 折腰山铜矿; K12. 铜厂沟铜铅锌多金属矿; K13. 火焰山东端锌矿; K14. 火焰山铜矿; K15. 四个圈铜矿; K16. 西湾白石岩砂金矿; K17. 胜家梁铅矿; K18. 牌楼沟铁矿; K19. 东洞沟锰矿; K20. 锁阳沟铜矿; K21. 跃进门铜矿; K22. 小铁山铜铅锌多金属矿; K23. 西湾岩金矿; K24. 双洞峡铁矿; K25. 双洞峡铜矿; K26. 石照子锰矿; K27. 石照子南铜矿; K28. 马鞍桥铜矿; K29. 放符崖铜矿; K30. 横湾沟铜矿; K31. 红旗沟铜矿; K32. 骡耳朵山铜铅锌多金属矿; K33. 白马洼铅锌多金属矿; K34. 胜利沟铜矿; K35. 双岔沟铜矿; K36. 郝泉子铜铅锌多金属矿; K37. 郝泉沟金矿

图2 研究区物化探综合异常、矿(化)点、成矿远景区及找矿靶区分布  
 Fig. 2 Distribution diagram of integrated anomalies of geophysical and geochemical exploration, mineral occurrence, metallogenic prospective areas and target prospecting areas in the study area

呈明显的低值,在白银矿田5个矿床上均处于 $\text{SiO}_2 < 60\%$ 的含量范围内<sup>[15]</sup>。1:5万水系沉积物地球化学测量成果在研究区内共圈定各类单元素异常680个,其中Au元素异常78个,Ag元素异常56个,As元素异常59个,Sb元素异常52个,Bi元素异常22个,Hg元素异常67个,Cu元素异常35个,Pb元素异常57个,Zn元素异常27个,Co元素异常11个,Ni元素异常19个,W元素异常11个,Sn元素异常10个,Mo元素异常57个,Fe元素异常51个,Mn元素异常45个,Cr元素异常23个;圈定地球化学综合异常64个,其中甲类异常8个,乙类异常17个,丙类异常20个,丙类异常19个。由研究区物化探综合异常分布图(图2)可见,异常分布明显受构造和岩性控制,主体方向呈NW向展布,大多数异常分布在构造和岩脉发育的区域。

研究区内涉及2个1:20万重砂异常(图2),分别为六宝坪沙金异常区(金2)和白银厂铅、铜矿物异常区(铜铅矿2)<sup>[1]</sup>;涉及4个1:5万重砂分散晕系,分别为西湾金分散晕、白马洼铅矿物分散晕、东台子金、磷灰石分散晕和西湾磷灰石分散晕<sup>[3]</sup>。以上均为找矿提供了重要线索。

本次遥感解译工作还提取了铁化和泥化异常(图2)。铁化异常在该区共有2处:I号铁化异常与1:20万化探的Mn、Ag等异常套合程度较好,应为矿化引起的异常;II号铁化异常较好,呈SN向带状分布,并与已知的小铁山矿点吻合。这说明此次遥感异常提取的方法可行,结果准确。泥化异常仅见1处,异常较好,近NW向面状分布。以上发现对区内寻找相关类型的矿化、蚀变具有一定的指导意义。

## 4 成矿规律

成矿规律主要表现在成矿的时空分布规律、矿产的共生关系及内在成因规律等方面,而这些规律又与成矿物质来源密切相关。

### 4.1 矿床(点)空间展布特征

研究区矿产在空间上具有成群成带集中分布的特征,主要受岩浆活动和构造的控制。按时空分布特征及矿床特征可划分出2条IV级成矿亚带<sup>[16-18]</sup>(图2)。

(1) 千万年前加里东期铜、锌、金、银成矿带。

主要由干沙沟脑稀土、铜多金属成矿区,青峰岭金成矿区,金红窝窝—黄家洼山金成矿区和猪咀哑巴—银洞沟铜、锌成矿区组成。地球化学异常上富集元素有Mo、Cr、Cu、Au、Hg、Cd,衬值均大于1。Zn、Pb、Ag、Bi、Cd、Hg、Au的叠加值较大,其中Pb的叠加值为14.5,Zn的叠加值为5.25,Ag的叠加值为6.54。在毛毛山—老虎山断裂带中,亲铁基性元素Fe、Mn、Cr、Ni、Co、Ti、V呈带状分布。区内有干沙沟脑稀土、铜多金属中型矿床,青峰岭小型金矿,银洞沟和猪咀哑巴小型铜锌矿床,铜矿点、矿化点共12处,金矿床、矿(化)点共10处<sup>[7]</sup>,钨矿化点1处。

(2) 永登—庄浪加里东期铜、铅、锌、金、银、铁锰成矿带。主要由白银铜、铅锌金属成矿区,蛟龙掌铅锌多金属成矿区和陈家庙铁、铜多金属成矿区组成。地球化学异常上有Zn、Ag、Pb、Bi、Cd、Mo、Hg、Au强分异组合。以白银厂式铜及多金属矿产为主,有大型矿床2处,中型矿床1处,小型矿床4处,铜、铅、锌矿(化)点18处。此外,还有金矿床2处,金矿点2处,铁、锰矿点共12处。

### 4.2 成矿时间演化规律

矿产分布特征与成矿时间有着密切的关系,不同时代成矿具有相应的赋矿地层、岩浆热液活动和地质构造等。依据地质构造发展史<sup>[1-2]</sup>,结合成矿地质条件,对研究区的成矿时间演化规律探讨如下。

(1) 中元古代(吕梁—晋宁期)成矿期形成了一批沉积变质型和岩浆热液变质型矿床,如研究区中皋兰岩群中发育的朵家滩原生岩浆热液型金矿和铅矿点等。

(2) 早古生代(加里东期)成矿期在区域上广泛发育大规模海相火山岩,研究区形成了:在白银岩群和寒武系中统黑茨沟组中发育的牌楼沟铁矿点、双洞峡铁矿点、南页沟铁矿点、石照子锰矿点、牌楼沟锰矿点、西湾东洞沟锰矿点等与海相火山岩有关的沉积变质型铁锰矿;白银矿田(包括折腰山、火焰山、四个圈、小铁山和铜厂沟)等与早古生代细碧—石英角斑岩系有关的次火山热液型(白银厂式)铜多金属矿<sup>[9]</sup>;石青铜铜铅锌多金属矿床、楼子湾铜矿点、白马洼铅锌矿点、火焰山东端锌矿点、双洞峡铜矿化点、锁阳沟铜矿化点、石照子南铜矿化点、胜利沟铜矿化点等火山沉积—热液再造型

(石青铜)和喷气沉积型(银铜沟式)铜多金属矿;以及西湾砂金矿等与岩浆热液有关的金多金属矿。

(3)晚古生代(华力西期)成矿期,伴随大规模的碰撞造山运动,研究区发生了大规模的火山喷发活动并形成了高山断裂构造混杂岩带,了高山断裂构造混杂岩带中发育了白银市骡耳朵山低温热液型铜铅锌多金属矿点。同时,大规模的火山喷发活动促进了含矿热液的活动和运移,从而在铜背景值高的母岩至白银岩群变流纹英安岩裂隙中各个早期矿点进一步活化,发生铜的富集,白银厂大型铜矿等都具有二次成矿的特征。该成矿期晚期,由于地壳下降,区内形成了武威—景泰大型内陆湖相沉积,局部出现含煤建造。

(4)三叠纪(印支期及以后)成矿期进入陆内造山演化阶段,在区域上形成了各地质体中金、银、铜、铅、锌、铁等不同程度的富集,为成矿创造了物质条件。研究区内形成了与海底火山热液作用有关的一系列矿床(点),如在下志留统肮脏沟组中发育的银洞沟铜铅锌多金属矿、南页沟铁矿点、白银区黑石山红旗沟铜矿点等。研究区内金矿产于中生代下白垩统和第四系的河湖及冲积相碎屑岩建造中,代表性矿床(点)有靖远—白银一带石青铜朵家滩、西湾、白石宫、打拉池金矿床(点)等。

#### 4.3 矿产共生组合规律

金属矿产的时间和空间分布普遍具有不均匀性和集中性的特点,大多数内生金属矿产成矿区常出现矿产分类、聚集的现象。研究区多金属矿共生组合具有如下特点。

(1)新元古代与皋兰岩群变质火山—沉积岩地层有关的喷流沉积型矿产共生组合。成矿物质主要来源于变质火山岩喷流沉积,产于皋兰岩群的一定层位,成矿作用受沉积环境和变质作用的共同控制。区内对应的矿种有铁、铜、铅、锌等,可见2类主要矿产共生组合:一类是产于变质中基性火山—沉积岩中的铜锌矿和铁铜矿组合,如猩猩湾铁铜矿点浸染状产于变质中基性火山岩中,周围分布许多铁矿化点,如灰土涝池横湾沟铜矿点产于变质中基性火山岩中,为同矿床共生;另一类是产于酸性火山—沉积岩中的铅锌矿组合,以白马洼铅锌矿床为代表,矿体似层状整合产于黑云母石英片岩中的酸性凝灰岩中,为同矿床共生<sup>[4]</sup>。

(2)早古生代与海相火山岩有关的沉积变质型

矿产共生组合。成矿物质主要来源于海相火山岩沉积,产于海相火山—沉积岩系的一定层位,成矿作用受沉积环境和变质作用的共同控制。区内对应的矿种有铁、锰、铜、铅、锌、金、银、钴等,可见2类主要矿产共生组合:一类是与下古生界海相火山作用有关的石青铜—白银厂细碧—角斑岩系中的VHMS黑矿型铁铜铅锌金矿组合<sup>[19]</sup>,主要产于北祁连弧盆系白银火山岛弧褶皱带中的震旦系白银岩群细碧角斑岩系中,铁锰多金属矿、铜铅锌多金属矿为同矿床共生,另有少量金银矿同矿带共生;另一类是与下古生界海相火山作用有关的老虎山—银洞沟—崛吴山蛇绿岩套上覆火山岩中的VMS塞浦路斯型锌铜钴金矿组合<sup>[20]</sup>,主要产于北祁连弧盆系白银火山岛弧褶皱带中的震旦系白银岩群的基性火山岩、蛇绿岩套及其上覆细碧岩中,锌铜钴矿同矿带共生,另有少量金银矿同矿带共生。

(3)加里东晚期与岩浆热液有关的硫化物矿产共生组合。成矿物质主要来源于岩浆热液作用形成的硫化物中,产于大中型岩体的周围蚀变带上,成矿作用主要与岩浆活动和构造蚀变有关,矿种有金、银、铜、铅、锌等,可见2类共生组合:一类是与米家山地区奥陶系阴沟群有关的构造热液型银金矿组合,主要产于北祁连米家山岩体和化子沟岩体的构造蚀变带上,银、金矿同矿带共生;另一类是与中祁连什川岩体和皋兰岩群有关的热液型金铁铅锌矿组合,主要产于中祁连构造带的皋兰岩群围岩接触带中,矿种组合为金、铁、铅、锌等,为同矿带共生。

(4)中生代与沉积作用有关的金银矿产共生组合。成矿作用主要与沉积作用有关,在区内白垩纪地层和第四纪河谷阶地中均有该类型砂金矿形成,主要矿源来自沉降盆地西缘的寒武系和志留系砂板岩内的含金石英脉或其他含金岩石。典型代表为朵家滩和白银西湾砂金矿床,主要矿产组合为金银,同矿床共生。

## 5 找矿预测模型

找矿预测模型是与成矿地质条件、物化探和遥感特征以及成矿规律相匹配或深化的表达形式<sup>[21]</sup>,突出的是某类矿床的基本要素和找矿过程

中有特殊意义的地质、物化探和遥感影像特征及其空间变化情况,是该类矿床的基本标志和找矿使用的方法手段。在综合分析区内典型矿床的区域成矿地质背景、矿化结构、主要控矿因素及找矿标志的基础上,结合区内典型矿床与区域成矿模式,总结出区内典型矿床“多位一体”找矿预测模型,如表1、表2、表3所示。

表1 黑色金属——铁、钴、镍典型矿床找矿预测模型

Tab.1 Prospecting prediction model of ferrous metal——Fe, Co, Ni typical deposits in the study area

预测要素			特征描述
编号	一级	二级	
1	地质特征	地层	寒武系中统黑茨沟组
2		构造	石照子短轴复向斜,轴向近EW
3		岩浆岩	复式韵律火山碎屑-沉积建造
4		矿化蚀变	石英岩化、绿泥石化、硅化、碳酸盐化、绢云母化
5		成矿时代	早古生代多期次成矿
6		成因类型	海底火山喷发沉积变质型矿床
7	地球物理	激电异常	与极化率 > 10% 的形态完整的激电异常吻合较好
8		磁异常	与显著的航磁异常和高磁异常相吻合
9		重力异常	与NW向展布的重力异常高值带套合较好
10	地球化学	1:5万水系	与综合异常中心位置吻合,Fe、Co、Ni元素浓集中心明显
11	遥感解译	1:5万遥感	铁化蚀变遥感异常有一定的参考意义

表2 有色金属——铜多金属典型矿床找矿预测模型

Tab.2 Prospecting prediction model of nonferrous metal ——Cu typical deposits in the study area

预测要素			特征描述
编号	一级	二级	
1	地质特征	地层	震旦系白银岩群、下古生界
2		构造	多富集在背形核部,断裂破碎带为容矿构造
3		岩浆岩	复式韵律火山碎屑-沉积建造为主,岩脉发育
4		矿化蚀变	硅化、碳酸盐岩化、绿泥石化、重晶石化、绢云母化等
5		成矿时代	早古生代多期次成矿
6		成因类型	火山喷发气成热液型矿床
7	地球物理	激电异常	与高极化、低电阻异常吻合较好
8		磁异常	与区域航磁异常相吻合
9	地球化学	1:5万水系 万方数据	Pb、Au、Ag、Cu、Sb、Mo、Zn、As、Fe等元素组合好,浓集中心明显,异常强度大,与已知矿点相吻合

表3 贵金属——金典型矿床找矿预测模型

Tab.3 Prospecting prediction model of precious metal ——Au typical deposits in the study area

预测要素			特征描述
编号	一级	二级	
1	地质特征	地层	皋兰岩群二岩组、震旦系白银岩群
2		构造	石青铜—阴洼盆复背斜,NWW向断裂构造控矿明显
3		岩浆岩	石英脉很发育
4		矿化蚀变	黄铁矿化、绿泥石化、硅化、碳酸盐化、绢云母化
5		成矿时代	早古生代多期次成矿
6		成因类型	热液石英脉型金矿床
7	地球物理	激电异常	与高极化、低电阻异常吻合较好
8		磁异常	与显著的航磁异常相吻合
9	地球化学	1:5万水系	与综合异常中心位置吻合,Au、Mo元素浓集中心明显
10		重砂分散晕	西湾金分散晕和东台子金、磷灰石分散晕

## 6 成矿远景区

在前人研究的基础上,结合本次工作成果,主要依据成矿地质构造条件、矿化蚀变标志及间接找矿标志和已知矿产的分布,综合区内各种成矿有利因素,划分成矿有利地段,按最小面积最大含矿率的原则<sup>[22-25]</sup>,采用经验类比法,以成矿规律图为底图,从已知到未知,确定预测远景区的边界,并按各预测区的找矿前景,将预测区划分为A、B、C3类。研究区共划分出成矿远景区9处,其中A类远景区3处,B类远景区2处,C类远景区4处(图2、表4)。

表4 成矿远景区特征划分表

Tab.4 Characteristics of metallogenic prospective areas in the study area

成矿亚带(Ⅳ级)	成矿远景区	远景区编号
永登—庄浪加里东期铜、铅、锌、金、银、铁锰成矿带(Ⅳ-14)	疙瘩井—楼子湾铁铜成矿远景区	V1-B-1
	石青铜地区铜铅锌多金属成矿远景区	V2-A-1
	朵家滩地区金成矿远景区	V3-B-2
	二道湾地区金成矿远景区	V5-C-2
	白杨树沟地区铁钴镍成矿远景区	V6-C-3
	西湾地区金成矿远景区	V7-A-2
	了高山区铜铅锌金银成矿远景区	V8-C-4
天祝—靖远加里东期铜、锌、金、银成矿带(Ⅳ-12)	罗家大庄地区金成矿远景区	V4-C-1
	银洞沟地区铜铅锌金银成矿远景区	V9-A-3

注: V1-B-1为Ⅳ级成矿远景区编号,其中A、B、C为远景区类型。

## 7 找矿靶区

通过对研究区外围典型矿床特征对比及控矿因素分析,对成矿远景区进一步缩小找矿目标范围,明确主攻矿种,共划出找矿靶区4个,其中,A类1个,B类1个,C类2个(图2)。

### 7.1 楼子湾铜找矿靶区 (Cu1-B-1)

地层主要为下奥陶统阴沟群和下志留统肮脏沟组,断裂构造发育,主断层走向为近EW向。岩浆活动主要为斜长花岗岩脉侵入,岩脉近EW向延伸,已知矿化即产于该岩脉中,且同类岩脉在区内其他地段也有发育。1:5万航磁异常甘C83-4位于靶区中西部,呈NWW向,与重力异常套合好,可能由下志留统肮脏沟组中基性火山岩引起,是成矿有利地段,可见楼子湾岩浆期后热液充填型铜矿点。区内发育1:5万综合地球化学异常Hs-13,由As、Fe、Au、Mn、Cu、Co、Ni、Sb、Cr、Mo等元素组成,元素组合好,浓集中心明显,浓度分带清楚,形态不规则,其中Cu元素异常极大值为 $117.8 \times 10^{-6}$ 。该靶区在深部寻找岩浆期后热液充填型铜矿等多金属矿产的前景较好。

### 7.2 石青铜铜铅锌多金属找矿靶区 (CuPbZn2-A-1)

地层主要为震旦系白银岩群火山岩及沉积变质岩层,由东向西呈叠瓦状从老至新依次出露。区内构造复杂,构造线总体方向为NWW向,褶皱及断裂均发育。靶区总体为一背斜构造,断裂构造为一组NWW向逆断层,多断于背斜北翼强烈倒转部位,整个区内火山岩带受NWW向石青铜—了高山深大断裂控制。1:5万航磁异常甘C83-5、甘C83-6位于靶区西南部,磁场总体较弱,正负相伴,北负南正。重力梯度线为NE方向,重力场弱。局部可见高激化、低电阻异常特征,为成矿有利部位。石青铜多金属矿床位于靶区中北部,达到中型工业规模。区内发育1:5万综合地球化学异常Hs-20,由Pb、Au、Ag、Cu、Sb、Mo、Zn、As、Fe等元素组成,元素组合好,浓集中心明显,异常强度大,绝大部分元素内、中、外带发育,地球化学综合异常与已知矿点相吻合。在该靶区及其外围寻找火山喷发气成热液型铜多金属矿床的潜力巨大。

### 7.3 二道湾金找矿靶区 (Au3-C-1)

地层主要为震旦系白银岩群火山岩及沉积变质岩层,区内构造复杂,构造线总体方向为NWW向。1:5万航磁异常甘C83-11为正负相伴磁异常,北负南正,正值较高,约75 nT,局部可见高激化、低电阻异常特征,为成矿有利部位。区内发育1:5万综合地球化学异常Hs-36,主要组成元素为Au和Mo,其中Au元素异常极大值为 $129 \times 10^{-9}$ 。今后该靶区及其外围找矿应以寻找热液石英脉型金矿床为主,兼顾铜铅矿等多金属矿产。

### 7.4 白杨树沟铁钴镍找矿靶区 (FeCoNi4-C-1)

地层主要为皋兰岩群,区内岩浆侵入活动强烈,辉绿岩岩体于靶区中部大面积出露。区内褶皱构造发育,断裂构造不甚发育。甘C83-98和甘C59-69航磁异常覆盖整个靶区,北侧甘C83-98异常是负磁异常,南侧甘C59-69异常是正磁异常,南侧正值高达+546.32 nT,北侧低值区极值为-125.74 nT,异常轴向为NWW向,与NW向展布的重力异常高值带套合较好,重磁同源,是成矿有利地段。靶区位于1:5万化探综合异常Hs-53中心部位,元素组合以铁、锰、铜、镍、钴等中高温元素和铋、银、汞中低温元素为主,元素组合复杂,其中Fe、Co、Ni元素浓集中心明显。在该靶区及其外围寻找与基性岩有关的海底火山喷发沉积变质型铁、钴、镍矿床的前景广阔。

## 8 结论

通过对甘肃省白银厂及其外围地区成矿地质条件、物化探和遥感异常特征、矿(化)点特征及分布等信息进行综合研究,可以得出以下结论。

(1)研究区处于构造交汇部位,岩石组成复杂,构造运动、岩浆活动和变形作用强烈,为形成大、中型矿床提供了良好的地质背景和基础条件。研究区皋兰岩群、早古生代以来的北祁连裂谷—岛弧型建造、晚古生代以来的沉积盆地等都是金属矿床的主要赋矿地层,提供了丰富的成矿物质来源;大规模剧烈的火山活动为成矿作用提供了热动力源和丰富的矿源;区域深大断裂为成矿元素的运移、富集提供了有利的通道,特别是控制着区域成矿带规模和走向的了高山断裂带与NEE向断裂构造的复合部位,经反复活动,切割深,破碎强烈,为含矿火

山岩浆及后期成矿热液活动提供了良好的导矿构造和容矿构造。

(2) 研究区 1:5 万航磁覆盖区共圈定了 12 个航磁磁异常, 1:5 万高精度磁法测量共圈定了 7 个局部高磁异常, 1:20 万重砂调查获得异常 2 个, 1:5 万重砂分散晕系调查获得异常 4 个, 1:5 万水系沉积物测量获得各类单元异常(异常面积  $>0.25 \text{ km}^2$ ) 680 个, 圈定地球化学综合异常 64 个, 遥感解译工作提取铁化和泥化异常 3 个, 为矿产预测和进一步找矿工作提供了丰富的、有价值的参考资料。

(3) 研究区矿产在空间上成群成带集中分布, 主要受岩体和构造控制, 按时空分布及矿床地质特征可划分出 2 条 IV 级成矿亚带。根据区域地质构造发展史, 结合研究区成矿地质条件和成矿时间演化规律, 可划分出 4 个成矿期。区内的金属矿产共生组合有与皋兰岩群变质火山-沉积岩有关的喷流沉积型矿产共生组合、与海相火山岩有关的沉积变质型矿产共生组合、与岩浆热液有关的硫化物矿产共生组合、与沉积作用有关的金银矿产共生组合 4 大类。

(4) 研究区内可划分出 V 级成矿远景区 9 处, 其中 A 类远景区 3 处, B 类远景区 2 处, C 类远景区 4 处。在此基础上, 共圈定 4 个找矿靶区并进行了矿产预测: 楼子湾铜找矿靶区 (Cu1-B-1) 具有形成岩浆期后热液充填型铜矿等多金属矿产的潜力; 石青铜铜铅锌多金属找矿靶区 (CuPbZn2-A-1) 具有形成火山喷发气成热液型铜多金属矿产的潜力; 二道湾金找矿靶区 (Au3-C-1) 具有形成热液石英脉型金矿床等的潜力; 白杨树沟铁钴镍找矿靶区 (FeCoNi4-C-1) 具有形成与基性岩有关的海底火山喷发沉积变质型铁、钴、镍矿床的潜力。

**致谢:** 甘肃省有色地质调查院赵军高级工程师和何海蛟工程师等同志参加了本次野外矿产地质调查工作, 甘肃有色地质勘查局周俊烈教授级高级工程师和韩要权高级工程师对本文提出了宝贵的修改意见, 在此表示衷心感谢!

## 参考文献:

[1] 甘肃省地质局. 1:20 万靖远幅、景泰幅、永登幅区域地质测量

报告[R]. 兰州:甘肃省地质局, 1969—1972:2-100.

- [2] 甘肃省地质调查院. 1:25 万兰州市幅区域地质测量报告[R]. 2003:2-80.
- [3] 甘肃省地质矿产勘查开发局. 1:5 万脑泉幅(南半幅)、白银幅、黄茨滩幅、白坡子幅、西岔幅、老龙湾幅、大安幅、正路堡区域地质调查报告[R]. 1978—1996:2-200.
- [4] 张洪培, 刘继顺, 方维萱, 等. 甘肃白银厂矿区及外围区域地质背景、成矿系列及找矿潜力[J]. 地质与勘探, 2004, 40(5): 21-26.
- [5] 张新虎. 甘肃省区域构造及区域成矿找矿研究[D]. 兰州:兰州大学, 2007:16-198.
- [6] 杜洪泽. 甘肃白银厂铜多金属矿田成矿作用研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2014:10-159.
- [7] 曹国堂. 朵家滩金矿床成矿模式探讨[J]. 中国矿山工程, 2011, 40(1):29-31, 53.
- [8] 彭礼贵, 李向民, 任有祥, 等. 甘肃白银厂折腰山矿床成矿规律及深部找矿研究[J]. 西北地质科学, 1998, 19(1):3-5.
- [9] 王光宇. 甘肃白银地区金矿成矿规律及找矿方向[J]. 黄金科学技术, 2000, 8(3):24-27.
- [10] 梁萧梅. 白银地区金矿类型及分布[J]. 金属矿山, 2001(3):50-53.
- [11] 蒋坤. 白银厂铜矿床地质特征[J]. 中国西部科技, 2010, 9(35):21-23.
- [12] 吴辉. 石青铜地区成矿地质条件分析和成矿预测[J]. 甘肃冶金, 2005, 27(3):75-77.
- [13] 舒立霞, 罗先熔. 白银矿田外围物化探找矿模型及找矿预测[J]. 广西科学, 2010, 17(2):151-155.
- [14] 赵国斌, 杨合群, 任华宁, 等. 北祁连白银厂铜多金属矿田若干问题探讨[J]. 地质学报, 2016, 90(10):2863-2873.
- [15] 郭凯凤, 陈守余. 白银厂铜多金属矿田地球化学研究进展[J]. 地质找矿论丛, 2018, 33(4):517-526.
- [16] 谭文娟, 杨合群, 姜寒冰, 等. 祁连成矿省成矿系列概论[J]. 地质科技情报, 2013, 32(3):135-146.
- [17] 贾群子, 杨钟堂, 肖朝阳, 等. 祁连山金属矿床成矿带划分及分布规律[J]. 矿床地质, 2002, 21(增刊1):140-143.
- [18] 闫海卿, 余吉远, 李文渊, 等. 祁连造山带早古生代矿床成矿系列与演化[J]. 矿床地质, 2004, 23(增刊1):137-142.
- [19] 于赫楠. VHMS 型矿床矿物地球化学特征及成因意义[D]. 长春:吉林大学, 2013:10-100.
- [20] 田光礼, 陈守余, 董凯, 等. 甘肃白银厂折腰山 VMS 矿床蚀变带元素迁移及定量计算[J]. 矿床地质, 2019, 38(1):80-100.
- [21] 陈毓川. 中国矿床成矿模式[M]. 北京:地质出版社, 1993.
- [22] 李向民, 彭礼贵. 白银矿田含矿围岩蚀变特征及其意义[J]. 西北地质, 1998, 19(2):10-18.
- [23] 石磊. 甘肃白银厂铜-多金属矿田矿床成因探讨[J]. 内蒙古煤炭经济, 2010(3):21-24.
- [24] 高兆奎, 陈守宇, 韩要权, 等. 甘肃省白银矿田火山岩型铜多金属矿床找矿方向探讨[J]. 甘肃地质, 2009, 18(3):1-5.
- [25] 廖桂香, 王世称, 许亚明, 等. 白银厂矿区及外围区域地质背景、地球化学异常特征及找矿潜力[J]. 地质与勘探, 2007, 43(2):28-32.

## Metallogenic regularity and mineral prediction of metallic deposits in Baiyin mine field and its periphery of Gansu Province

LIU Yanliang, GAO Ya, JI Wenzhong, WANG Jing, ZHANG Chunli

(*Gansu Institute of Geological Survey for Non - Ferrous Metals, Lanzhou 730000, China*)

**Abstract:** Through the mineral prospecting project in Baiyin mine field and its periphery of Gansu Province, the authors have delineated twelve 1:50 000 aeromagnetic anomaly areas, seven 1:50 000 high magnetic anomaly areas and sixty-four 1:50 000 geochemical prospecting anomaly areas. Besides, four mineral occurrences and six mineralized spots were found, including copper, lead, zinc etc. The temporal and spatial distribution of mineralization and the paragenesis and combination rules of mineral resources were also expounded, after a comprehensive study of the metallogenic geological conditions, 1:50 000 geochemical and geophysical anomalies and the characteristics of mineral occurrence distribution. The “multi - type” prospecting prediction model was concluded in the study area. Nine key metallogenic prospective areas were delineated, including three type A, two type B and four type C prospective areas. Four target prospecting areas were delineated, including one type A, one type B and two type C target prospecting areas.

**Keywords:** Baiyin mine field and its periphery of Gansu Province; metallogenic geological background; geophysical and geochemical anomalies; mineral occurrence; metallogenic regularity; prospecting prediction model; target prospecting areas

(责任编辑: 刘丹)