

引用格式: 刘增仁, 朱红英, 贾润幸, 等, 2022. 西南天山中—新生界层控砂砾岩型铜铅锌矿成矿规律 [J]. 地质力学学报, 28 (1): 50–66. DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.20222803

Citation: LIU Z R, ZHU H Y, JIA R X, et al., 2022. Metallogenic regularity of Meso-Cenozoic stratabound glutenite-type Cu-Pb-Zn deposits in the southwestern Tianshan Mountains [J]. Journal of Geomechanics, 28 (1): 50–66. DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.20222803

西南天山中—新生界层控砂砾岩型铜铅锌矿成矿规律

刘增仁^{1,2}, 朱红英^{1,2}, 贾润幸^{1,3}, 帅磊^{1,2}, 唐虎^{1,2}

LIU Zengren^{1,2}, ZHU Hongying^{1,2}, JIA Runxing^{1,3}, SHUAI Lei^{1,2}, TANG Hu^{1,2}

1. 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012;

2. 有色金属矿产地质调查中心新疆地质调查所, 新疆 乌鲁木齐 830011;

3. 有色金属矿产地质调查中心矿山生态环境资源创新实验室, 北京 100012
1. China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China;

2. Xinjiang Institute of Geological Survey, China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Urumqi 830011, Xinjiang, China;

3. Innovation Laboratory of Mine, Environment and Mineral, China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China

Metallogenic regularity of Meso-Cenozoic stratabound glutenite-type Cu-Pb-Zn deposits in the southwestern Tianshan Mountains

Abstract: The southwestern Tianshan Mountains is an important producing area of the Meso-Cenozoic stratabound glutenite-type Cu-Pb-Zn deposits in Xinjiang. Sareke copper mine, Wulagen lead-zinc mine, Huayuan copper mine and Jiashi copper mine are the representative deposits, which all occur in the red bed basin on the edge of the uplift denudation area and are strictly controlled by strata. The lower part of the ore-bearing basin is composed of coal-bearing hydrocarbon-generating rocks, the middle part is well-permeable glutenites as the Cu-Pb-Zn reservoir, and the overlying layer is a sealed cap formed by gypsum rocks and mudstones, showing the ore-forming characteristics of co-enrichment of Cu-Pb-Zn-Uranium-coal-natural gas in the same basin. In this paper, we summarized the sedimentary-tectonic evolution of these ore-bearing basins and the characteristics of ore-bearing layers, and analyzed the ore-controlling conditions and metallogenic characteristics of typical copper, lead and zinc deposits. Combining with comparative analysis, we summarized the regional metallogenic regularity of the Meso-Cenozoic glutenite-type Cu-Pb-Zn deposit, and hold the view that organic matter is closely related to Cu-Pb-Zn mineralization. Moreover, it is inferred that Cu-Pb-Zn-lean ore bodies were formed over the original source layer in the uplift caused by the superimposition of oilfield brine; Cu-Pb-Zn-rich ore bodies were formed by the superimposition of deep-source ore-forming fluids from the Himalayan fault structure. The metallogenic model of the middle Cenozoic stratabound glutenite-type Cu-Pb-Zn deposits in the southwestern Tianshan Mountains provides a basis for the exploration of the known mines in their deep and edge, and also provides guidance for the regional prospecting work.

Key words: ore bearing horizon; sedimentary facies; oilfield brine; organic matter; glutenite-type Cu-Pb-Zn deposit; stratabound deposits; sedimentary tectonic evolution; southwestern Tianshan Mountains

摘 要: 西南天山是新疆中—新生界层控砂砾岩型铜铅锌矿的重要产出地区, 以萨热克铜矿、乌拉根铅锌矿、花园铜矿、伽师铜矿为代表, 均产于隆起剥蚀区边缘的红层盆地中并严格受层位控制, 赋矿盆地

的下部为煤系生烃岩, 中部为渗透性良好的砂砾岩铜铅锌矿储集层, 上覆膏岩及泥岩等密闭盖层, 具有铜铅锌-铀-煤-天然气同盆共存富集的成矿特征。文章总结了西南天山赋矿盆地沉积-构造演化及赋矿层位特征, 研究了铜铅锌典型矿床的控矿条件和成矿作用特征。通过对比分析, 总结了中—新生界砂砾岩型铜铅锌矿的区域成矿规律, 认为有机质与铜铅锌成矿关系密切, 推测在原始矿源层的基础上, 在隆起部位经油田卤水叠加形成铜铅锌贫矿体, 喜马拉雅期断裂构造沟通深源成矿流体再次叠加形成铜铅锌富矿体。总结构建了西南天山中—新生界层控砂砾岩型铜铅锌矿的成矿模式, 以期为已知矿山深边部勘查及区域找矿工作部署提供依据。

关键词: 赋矿层位; 沉积相; 油田卤水; 有机质; 砂砾岩型铜铅锌矿; 层控矿床; 沉积构造演化; 西南天山

中图分类号: P612 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6616 (2022) 01-0050-17

DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.20222803

0 引言

西南天山造山带是中亚造山带南缘的重要组成部分, 发育其中的大—中型金、铜、铅锌矿床一直以来都是地学界勘查和研究的热点 (陈华勇等, 2013; 霍海龙等, 2019; 方维萱等, 2020; 张涛等, 2020)。萨热克-乌鲁克恰提-乌拉根-西克尔一带是大—中型砂砾岩型铜铅锌矿床集中区, 对南疆经济发展意义重大, 以萨热克铜矿、乌拉根铅锌矿、花园铜矿和伽师铜矿为代表, 分别产于萨热克盆地、喀什凹陷北部之乌恰洼陷和西克尔新生代洼陷内隆起剥蚀区边缘的断陷-坳陷红层盆地中, 并严格受层位控制。

相关学者在西南天山砂砾岩型铜铅锌矿床的成矿地质特征、控矿条件研究方面已经取得了一系列的研究成果及勘查进展 (谢世业等, 2002; 祝新友等, 2010; 李志丹等, 2011; 王思程等, 2011; 张江等, 2011; 刘增仁等, 2014a, 2014b, 2019; 张振亮等, 2014; 贾润幸等, 2017a, 2017b, 2018; 王伟等, 2018; 贾润幸和方维萱, 2021; 赵路通和马忠美, 2021), 尤其是在油田卤水、有机质与铜铅锌成矿方面 (刘增仁等, 2011; 祝新友等, 2011; 韩凤彬等, 2013; 方维萱等, 2016, 2017, 2018a, 2018b, 2019; 贾润幸等, 2017a; 杨兵, 2018)。除花园铜矿床属沉积-成岩型矿床外, 萨热克铜矿床、乌拉根铅锌矿床、伽师铜矿床均属沉积-改造型矿床, 但此前研究多以典型矿床或一类矿床研究为主, 宏观层面上盆地沉积演化与成矿关系的规律性研究相对缺乏。此次研究以中国地质调查局《西南天山霍什布拉克—乌拉根地质矿产调查》项目成果为基础, 以

西南天山中—新生代盆地沉积构造演化为主线, 揭示中—新生代砂砾岩型铜铅锌矿的成矿机理、成矿规律与控矿要素。研究认为成矿与古隆起、地层层位、沉积相与岩性组合、侏罗纪煤系烃源岩、油田卤水、深源成矿流体、断裂构造等因素密切相关。文章构建了西南天山中—新生界层控砂砾岩型铜铅锌矿的成矿模式, 以期对矿山深边部勘查及区域找矿予以帮助。

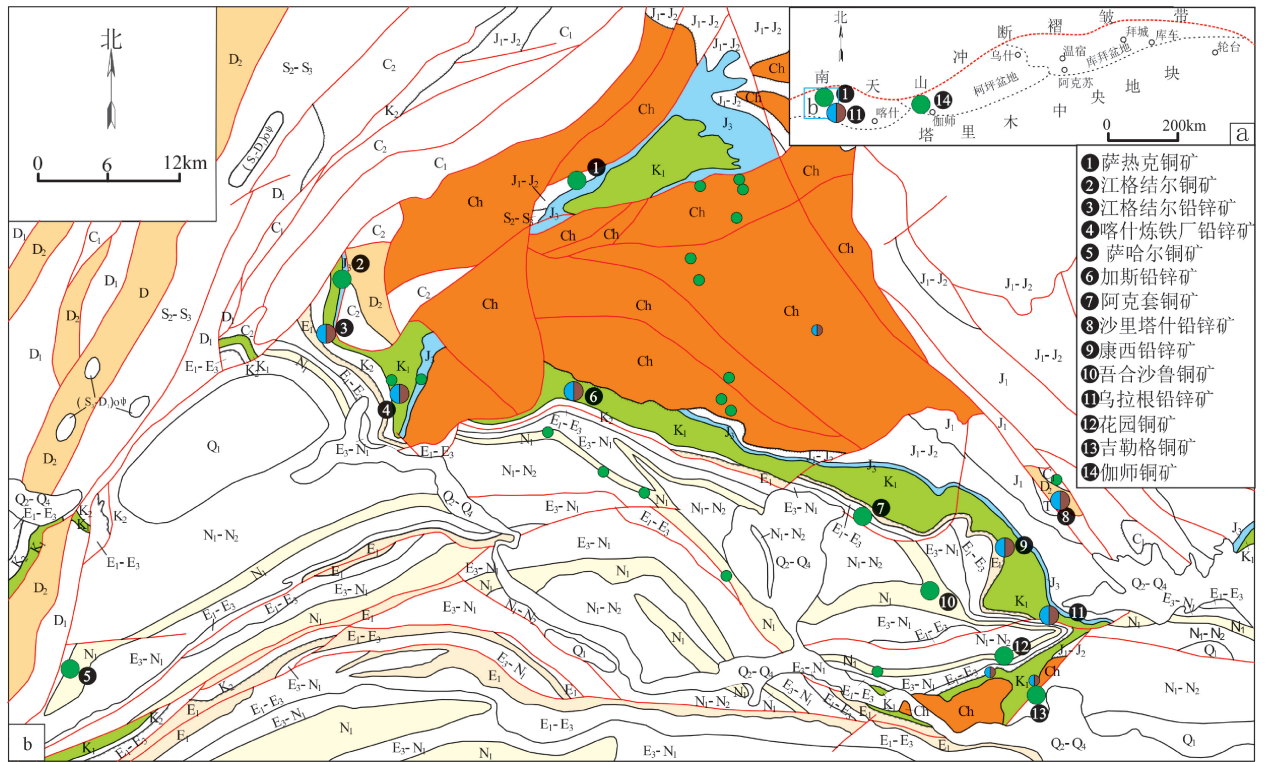
1 含矿盆地沉积-构造演化与赋矿层位特征

萨热克铜矿床、乌拉根铅锌矿床、伽师铜矿床、花园铜矿床 (图 1) 赋矿层位分别为上侏罗统库孜贡苏组 (J_3k)、下白垩统克孜勒苏群 (K_1kz)、古近系喀什群 (Eks)、中新统安居安组 (N_1a) (刘增仁等, 2014a)。

1.1 萨热克盆地沉积-构造演化及赋矿层位特征

萨热克盆地是在阿克苏群 (Pt_2ChA) 变质岩基底之上发育的中生代陆内拉分断陷盆地 (方维萱等, 2018a, 2018b)。盆地下部为莎里塔什组 (J_1s) 冲积相砾岩层和侏罗系煤系烃源岩层 (J_1k 、 J_2y); 中部为出露于盆地周缘的上侏罗统库孜贡苏组 (J_3k) 含矿层 (萨热克铜矿赋矿层位); 上部为分布于盆地中心的下白垩统克孜勒苏群 (K_1kz) 辫状河三角洲相红色碎屑岩层 (图 2)。受逆冲推覆构造影响, 盆地中心地层倾角较缓, 南北两侧至盆地边缘地层倾角变陡。岩浆岩仅见盆地南缘的辉绿岩呈脉状侵入产出。

莎里塔什组 (J_1s) 快速堆积的紫灰、浅褐黄色冲积扇相砾岩与萨热克盆地边界正断层剧烈活动有关, 指示早侏罗世早期区内处于区域拉张背



图例 Q₂-Q₄ 1 Q₁ 2 N₁-N₂ 3 N₁ 4 E₃-N₁ 5 E₁-E₃ 6 E₁ 7 K₂ 8 K₁ 9 J₃ 10 J₁-J₂ 11 J₁ 12 T 13 P₁ 14 C₂ 15 C₁ 16 D₂ 17 D₁ 18 S₂-S₃ 19 Ch 20 (S-D)vol 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32

1—中更新世—全新世冲洪积堆积；2—早更新世冲洪积相碎屑岩建造；3—中新世—上新世滨浅湖、冲积扇粗相—细碎屑岩建造；4—中新世滨浅湖相碎屑岩建造；5—渐新世—中新世滨浅湖相细碎屑岩夹膏盐建造；6—古新世—渐新世浅海相碳酸盐岩、细碎屑岩夹膏盐建造；7—古新世海湾相膏盐建造；8—晚白垩世湖坪—海湾相碳酸盐岩、细碎屑岩、膏盐建造；9—早白垩世辫状河三角洲相碎屑岩建造；10—晚侏罗世冲积扇粗相碎屑岩建造；11—早—中侏罗世滨浅湖相含煤碎屑岩建造；12—晚侏罗世冲积扇粗相碎屑岩建造；13—三叠纪滨浅湖相碎屑岩建造；14—早二叠世滨浅湖相碎屑岩夹碳酸盐岩建造；15—晚石炭世滨浅海相碳酸盐岩、碎屑岩建造；16—早石炭世浅海—半深海相碳酸盐岩建造；17—中泥盆世滨浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩建造；18—早泥盆世浅海—半深海相变质碎屑岩建造；19—中—晚志留世浅海—半深海相碎屑岩建造；20—长城纪半深海—深海相变质碎屑岩夹碳酸盐岩建造；21—晚志留世—早泥盆世超镁铁质岩建造；22—整合接触界线；23—角度不整合接触界线；24—平行不整合接触界线；25—断层；26—南天山冲断褶皱带；27—盆地边界；28—铜矿床；29—铜矿（化）点；30—铅锌矿床；31—铅锌矿（化）点；32—城镇

a—南天山冲断褶皱带含铜铅锌矿盆地分布；b—苏鲁铁列克—乌拉根隆起周缘砂砾岩型铜铅锌矿分布

图 1 西南天山乌恰地区苏鲁铁列克—乌拉根隆起周缘区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of the Sulutilek-Wulagan uplift in the Wuqia area, southwestern Tianshan Mountains (a) Distribution of Cu-Pb-Zn-bearing basins in the thrust-fold belt of the southern Tianshan Mountains; (b) Distribution map of glutenite-type Cu-Pb-Zn deposits in the periphery of the Sulutilek-Wulagan uplift

1—Meso-pleistocene-Holocene alluvial-pluvial accumulation; 2—Early pleistocene alluvial-pluvial clastic formation; 3—Coarse-fine clastic formation of Miocene-Pliocene coastal shallow-lake facies and alluvial fan facies; 4—Clastic formation of Miocene coastal shallow-lake facies; 5—Fine clastic rock with gypsum salt formation of Oligocene-Miocene coastal shallow-lake facies; 6—Carbonate rock-fine clastic rock-gypsum salt formation of Paleocene-Oligocene neritic facies; 7—Gypsum salt formation of Paleocene bay facies; 8—Carbonate rock-fine clastic rock-gypsum salt formation of Late Cretaceous tidal flat-bay facies; 9—Clastic formation of early Cretaceous braided fluvial-delta facies; 10—Coarse clastic formation of Late Jurassic alluvial fan facies; 11—Coal-bearing clastic formation of early Jurassic-middle Jurassic coastal shallow-lake facies; 12—Coarse clastic formation of Late Jurassic alluvial fan facies; 13—Clastic formation of Triassic coastal shallow-lake facies; 14—Clastic formation with carbonate formation of early Permian coastal shallow-lake facies; 15—Marine carbonate and clastic formation of late Carboniferous littoral-neritic facies; 16—Carbonate formation of early Carboniferous neritic-bathyal facies; 17—Carbonate formation with clastic formation of middle Devonian littoral-neritic facies; 18—Metamorphic clastic formation of early Devonian neritic-bathyal facies; 19—Clastic formation of middle-late Silurian neritic-bathyal facies; 20—Metamorphic clastic formation with carbonate formation of neritic-bathyal facies in the Changcheng period; 21—Late Silurian-early Devonian ultramafic formation; 22—Conformable geologic boundary; 23—Angular unconformable geological boundary; 24—Parallel unconformable geological boundaries; 25—Fault; 26—Thrust-fold belt of the Southern Tianshan Mountains; 27—Basin boundary; 28—Copper deposit; 29—Copper (mineralization) occurrence; 30—Lead-Zinc deposit; 31—Lead-Zinc (mineralization) occurrence; 32—town

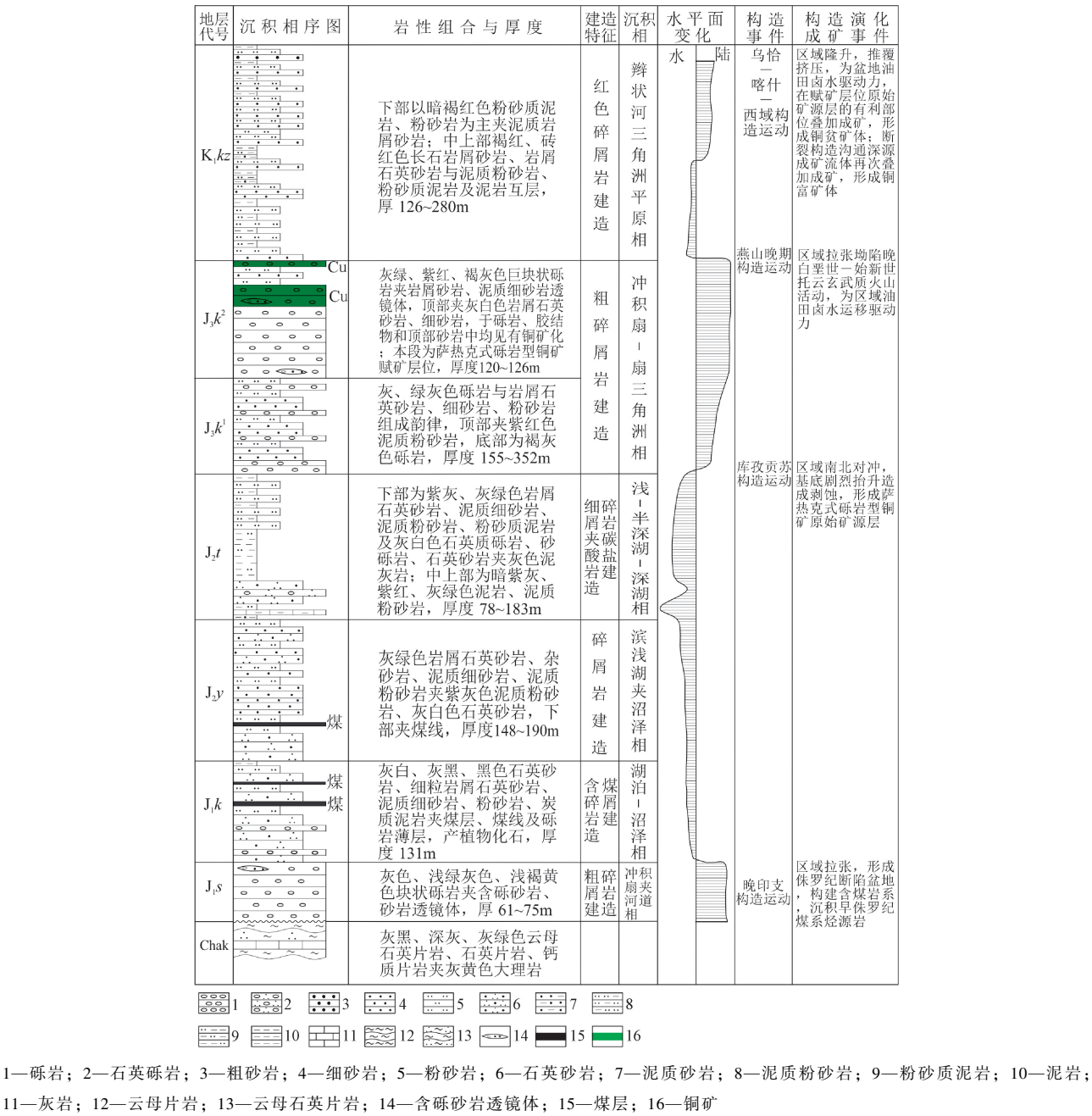


图 2 萨热克盆地沉积—构造演化图

Fig. 2 Sedimentary-tectonic evolution of the Sareke basin

1—Conglomerate; 2—Quartz conglomerate; 3—Gritstone; 4—Fine sandstone; 5—Siltstone; 6—Silicarenite; 7—Argillaceous sandstone; 8—Muddy siltstone; 9—Silty mudstone; 10—Mudstone; 11—Limestone; 12—Mica-schist; 13—Mica quartz schist; 14—Gravel sandstone lens; 15—Coal bed; 16—Copper ore

景下。进入稳定沉降期后, 萨热克盆地开始接受康苏组 (J_1k) 湖泊—沼泽相深灰、灰黑色含煤岩系和杨叶组 (J_2y) 灰、灰绿色滨浅湖相砂岩、泥岩沉积; 盆地下沉, 水体加深, 形成了塔尔尕组 (J_2t) 浅湖—半深湖—深湖相杂色泥岩夹泥灰岩沉积层; 受燕山构造运动的影响, 盆地边界断裂性质

反转成逆断层使得周缘剧烈抬升接受上侏罗统库孜贡苏组 (J_3k) 紫红、棕红色河流相至冲积扇相的砾岩、砂砾岩、砂岩、泥岩沉积。下白垩统克孜勒苏群 (K_1kz) 辫状河平原亚相褐红色泥岩、砂岩沉积层形成于充填后平坦的古地理背景下 (刘增仁等, 2019)。

上侏罗统库孜贡苏组 (J_3k) 可划分为 2 个岩性段: 下段 (J_3k^1) 为辫状河三角洲平原相夹冲积扇相砾岩、砂岩、粉砂岩; 上段 (J_3k^2) 为冲积扇相砾岩夹河道相砂岩, 属于萨热克铜矿的赋矿层位 (刘增仁等, 2014a)。周新源等 (2003) 研究并计算出库孜贡苏组上段 (J_3k^2) 冲积扇相砾岩的渗透率为 $0.015 \times 10^{-3} \sim 0.153 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 孔隙度为 $2.40\% \sim 6.80\%$; 上覆下白垩统克孜勒苏群 (K_1kz) 底部褐红色泥岩的渗透率为 $0.002 \times 10^{-3} \sim 0.003 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 孔隙度为 $1.212\% \sim 1.555\%$ 。上覆围岩地层的孔隙度和渗透率明显小于含矿层, 因而形成了萨热克砾岩型铜矿最佳成矿岩石组合, 即 J_3k^2 渗透率较高的冲积扇筛积微相砾岩与 K_1kz 底部褐红色泥岩构成的储-盖组合。

萨热克铜矿区 J_3k^2 主体为紫红色块状砾岩, 砾石成分为砂岩、大理岩、变质砂岩等, 大小混杂 (粒度 $0.2 \sim 50 \text{ cm}$), 磨圆中等, 分选较差, 颗粒支撑, 粉砂-泥质充填, 砾石排列略具定向性, 砾岩厚度向盆地方向变薄, 呈块状而不显层理, 属于泥石流为主的扇根-扇中亚相; 而单韵律泥石流的顶部常见灰绿色 (蚀变色) 块状砾岩, 呈舌状产出且向盆地方向变薄, 磨圆中等, 分选中等, 颗粒支撑, 填隙物主要为粗砂, 孔隙度较大 (常见后期方解石及辉铜矿充填于砾间), 属筛积微相。所夹透镜状含砾砂岩为扇上河道沉积产物。这一特征为铜的初始富集叠加成矿提供了良好的储集空间。

1.2 乌恰洼陷沉积-构造演化及赋矿层位特征

乌恰洼陷位于喀什凹陷北部苏鲁铁列克隆起的南缘, 中北部发育洼中隆-乌拉根隆起, 为中-新生代断陷-拗陷红层盆地。盆内沉积层下部为侏罗系煤系生烃岩, 中部为渗透率较高的晚侏罗世砾岩、早白垩世砂砾岩 (铜铅锌-镓-铀-油气富集层), 上部为密闭不透水的石膏和泥岩, 形成了对油田卤水成矿有利的生-储-盖岩石组合。

乌恰洼陷以长城系 (局部古生界) 为基底, 其沉积发展演化大致经历了 5 个阶段 (刘增仁等, 2011; 图 3)。①侏罗纪断陷湖盆发育阶段, 与萨热克盆地沉积演化特征基本一致, 发育莎里塔什组 (J_1s) 冲积扇相砾岩、康苏组 (J_1k) 湖泊-沼泽相煤系地层、杨叶组 (J_2y) 滨浅湖相砂泥岩、塔尔尕组 (J_2t) 浅湖-半深湖-深湖相杂色泥岩夹泥灰岩、库孜贡苏组 (J_3k) 河流-冲积扇相砾岩、

砂岩; 库孜贡苏组 (J_3k) 可划分出上下 2 个岩性段, 上段 (J_3k^2) 为萨热克砾岩型铜矿的赋矿层位, 产有江格结尔铜矿床、喀炼铜矿点。②侏罗纪断陷盆地回返后, 在干旱炎热的背景下, 发育下白垩统克孜勒苏群 (K_1kz) 辫状河三角洲相砖红色砾岩、砂砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩、泥岩, 其顶部为乌拉根砂砾岩型铅锌矿的赋矿层位, 产有乌拉根铅锌矿床、康西铅锌矿床、江格结尔铅锌矿床及巴什布拉克铀矿床、帕恰布拉克镓矿、阿克莫木气田等。③晚白垩世-古近纪海侵阶段, 经历了库克拜期、依格孜牙期、阿尔塔什-齐姆根早期、卡拉塔尔-乌拉根早期及巴什布拉克早期 5 次海侵过程, 沉积了累计厚度达 4600 m 的海湾-潟湖相碳酸盐岩-陆源碎屑岩-膏泥岩; 海水通过阿赖海峡自西向东到达乌恰洼陷形成著名的喀什海湾, 渐新世晚期逐渐向西退出, 海侵结束; 古近纪海侵则淹没了乌拉根隆起。④中新世为拗陷型氧化宽浅湖泊发育阶段, 克孜洛依组 (E_3N_1k) 以褐红色泥岩为主; 安居安组下段 (N_1a) 为滨浅湖 (河道) 相至浅-半深湖相沉积, 为花园砂岩型铜矿的赋矿层位, 产有吾合沙鲁铜矿床、杨叶铜矿点、吉勒格铜矿点等; 帕卡布拉克组 (N_1p) 为泥岩、细砂岩。⑤上新世阿图什期至早更新世西域期为辫状河-冲积扇沉积。

萨热克砾岩型铜矿的赋矿层位 (J_3k)、乌拉根砂砾岩型铅锌矿的赋矿层位 (K_1kz) 及花园砂岩型铜矿的赋矿层位 (N_1a) 在乌恰洼陷内延伸稳定, 总体处于库什维克复式向斜的北翼 (苏鲁铁列克隆起的南缘)。其中, J_3k 的岩石组合、沉积相与控矿微相特征与萨热克盆地特征基本一致。

克孜勒苏群 (K_1kz) 为一套辫状河三角洲相碎屑岩, 渗透率 $41.50 \times 10^{-3} \sim 339 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 孔隙度 $14.80\% \sim 24.96\%$, 为喀什凹陷发育最好的储集岩 (周新源等, 2003), 可划分出 5 个岩性段: 第 1 段 (K_1kz^1) 以砖红色泥岩为主; 第 2 段 (K_1kz^2) 为砖红色岩屑砂岩、泥岩互层; 第 3 段 (K_1kz^3) 为灰白、灰绿色砂砾岩夹泥岩; 第 4 段 (K_1kz^4) 以砖红色砂岩和泥岩为主; 第 5 段 (K_1kz^5) 以灰白色砾岩、砂砾岩和砂岩为主, 夹紫红色泥岩, 属辫状河道、心滩及河漫滩微相。其中辫状河道砾岩呈透镜体产出, 具有底冲刷特征, 发育大型板状和槽状交错层理, 磨圆度及成分成熟度较高;

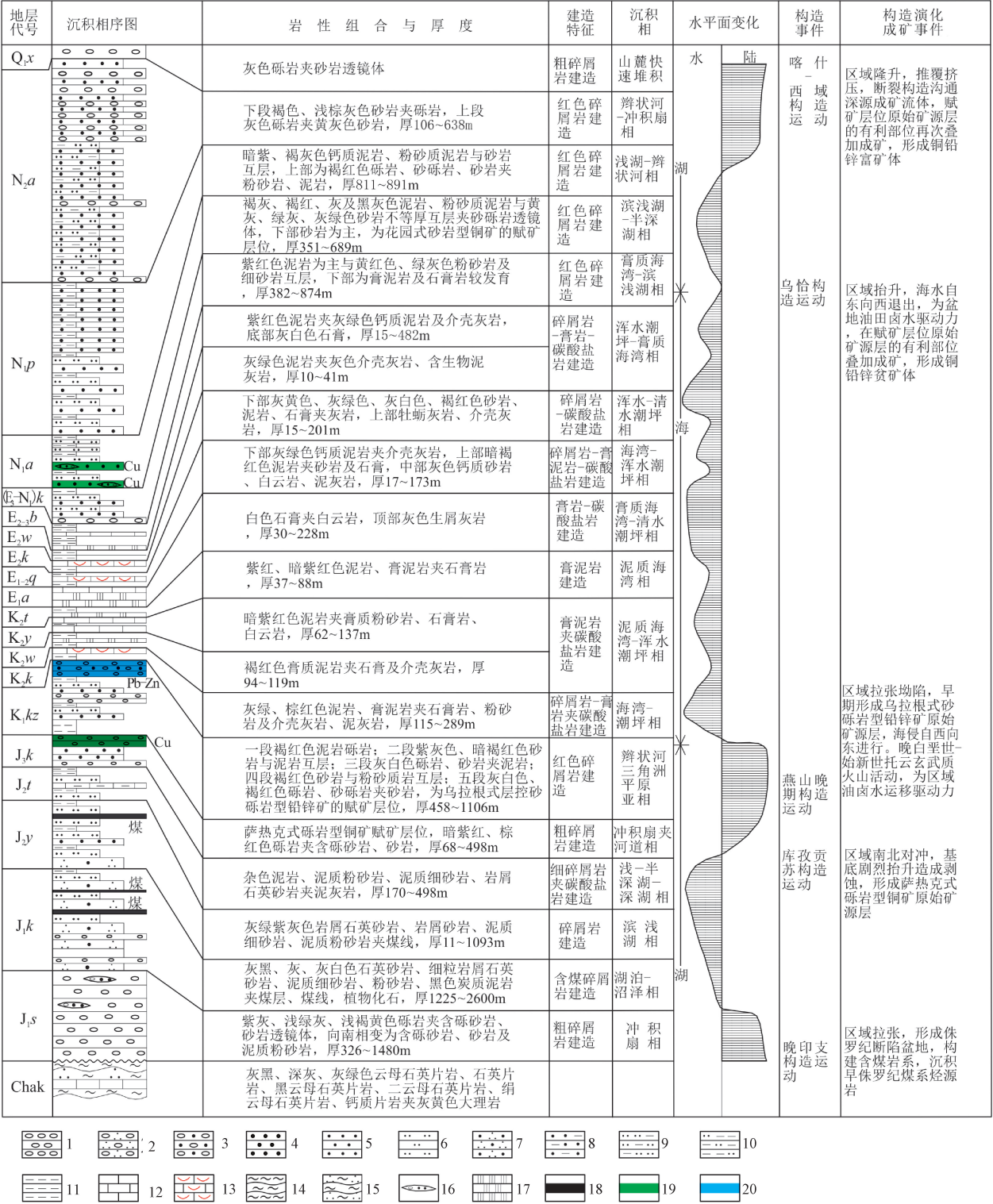


图 3 喀什凹陷北缘乌恰洼陷沉积-构造演化图

Fig. 3 Sedimentary-tectonic evolution of the Wuqia subsag in the northern margin of the Kashi Sag

1-Conglomerate; 2-Quartz conglomerate; 3-Sandy conglomerates; 4-Gritstone; 5-Fine sandstone; 6-Siltstone; 7-Silicarenite; 8-Argillaceous sandstone; 9-Muddy siltstone; 10-Silty mudstone; 11-Mudstone; 12-Limestone; 13-Shell limestone; 14-Mica-schist; 15-Mica quartz schist; 16-Gravel sandstone lens; 17-Gypsum bed; 18-Coal bed; 19-Copper ore; 20-Lead-zinc ore

心滩微相由含砾砂岩及砂岩组成，具低角度斜层理和交错层理；河漫滩微相岩性为粉砂质泥岩及泥岩。 K_1kz^5 砂砾岩-含砾砂岩为乌拉根砂砾岩型铅锌矿控矿岩性，与上覆阿尔塔什组 (E_1a) 石膏组成最佳铅锌成矿储-盖组合。

中新统安居安组 (N_1a) 为喀什凹陷重要的储集岩，渗透率为 $30.50 \times 10^{-3} \mu m^2$ ，孔隙度为 22.4% (周新源等, 2003)。可划分出 2 个岩性段，下段 (N_1a^1) 为褐红色砂岩、泥岩夹砾岩、砂砾岩；上段 (N_1a^2) 为褐红杂色泥岩夹砂岩。下段 (N_1a^1) 含砾砂岩及其上覆的富含植物碎片的灰绿色砂岩为花园砂岩型铜矿的有利含矿岩性；含砾砂岩总体呈透镜状，具有底冲刷特征，底部泥砾发育，见槽状交错层理和大型斜层理，属水下河道微相，泥砾周缘及含砾砂岩的下部见孔雀石化及辉铜矿化；灰绿色砂岩稳定产出，见小型斜层理、平行层理及虫孔，属浅湖亚相 (朱红英等, 2021)；与河道相砂体的接触部位 (含植物化石较多) 普遍发育孔雀石化及辉铜矿化。

1.3 西克尔洼陷沉积-构造演化及赋矿层位特征

西克尔洼陷位于柯坪断隆的南部与巴楚隆起之间的谷地，受二叠纪末南天山洋盆闭合影响形成柯坪断隆与巴楚隆起，其上普遍缺失三叠纪—白垩纪沉积；而柯坪断隆与巴楚隆起之间的断裂活动造成洼地式负地形，古近纪新特提斯洋自西向东经阿莱海峡至喀什凹陷北部再经西克尔洼陷谷地向北抵达库车盆地。古近纪西克尔洼陷近柯坪断隆物源剥蚀供给区一侧为一套喀什群 (Eks) 辫状河三角洲相褐红色碎屑岩-膏泥岩建造组合，是伽师砂岩型铜矿的赋矿层位，产有伽师铜矿、三岔口铜矿等，属沉积-改造型矿床。古近纪末的乌恰构造运动结束了海侵，西克尔地区进入陆相沉积期，赋矿层位之上为克孜洛依组 (E_3N_1k)、安居安组 (N_1a)、帕卡布拉克组 (N_1p) 及阿图什组 (N_2a) 浅湖相红色碎屑岩建造。喜马拉雅晚期构造运动使得北部古生代地层推覆至赋矿层位之上，该断裂构造之滑脱面成为后期叠加成矿流体的运移通道。

喀什群 (Eks) 下部砖红色粉砂质泥岩夹粉砂岩段为水动力条件较弱的前辫状河三角洲环境沉积产物，中下部浅灰白色石膏与砖红色粉砂质泥岩则为潮上潟湖环境沉积产物。中部含矿段灰白色砂砾岩-含岩屑钙质细砂岩见有板状交错层理-

平行层理，砾岩砾石分选磨圆性较好，发育小型不规则交错层理及冲刷-充填构造，向上渐变为含砾砂岩和细砂岩，为水下河道沉积；细砂岩中见交错层理及平行层理，粒度概率累计曲线显示为由跳跃组分和悬浮组分组成的两段式，偏度为正值，细尾显示细粒悬浮物特征，具有辫状河三角洲前缘水下分流河道砂较发育的沉积特点；含矿层段反映为辫状河三角洲前缘亚相的沉积特征。上部砖红色泥岩与粉砂岩互层段发育小型交错层理和平行层理，为辫状河三角洲平原河道间的沉积特征 (朱红英等, 2021)，总体为海退沉积序列。

2 典型矿床特征

在成矿地质背景、矿区与矿床地质、赋矿地质体、成矿构造与成矿结构面、成矿作用等研究基础上 (刘增仁等, 2019)，将西南天山中—新生界典型矿床的控矿条件、成矿物源与成矿流体、矿床期次与成矿模式研究总结如下。

2.1 萨热克铜矿

萨热克铜矿为西北地区独特的陆相砾岩型铜矿，矿区勘查估算资源量 ($332+333+334$) 60.91 万吨。在大地构造背景、矿石组构、同位素地球化学及有机质成矿等方面均与滇中楚雄盆地六苴铜矿类似 (表 1)。

2.1.1 控矿条件

岩性、岩相控矿特征：铜矿体严格受控于 J_3k^2 冲积扇筛微相砾岩；铜矿体在平面与剖面上均表现为大的透镜体及舌状体，这正是筛积砾岩的特征；该控矿砾岩与上覆 K_1kz 底部褐红色泥岩构成成矿有利的储-盖组合，是后期成矿流体的最佳聚集成矿空间。

断裂与矿产的关系：萨热克盆地南北边界断裂及其次级断裂 (包括顺层断裂、张性及张剪性节理)，不仅是后期深源成矿热液的运移通道，亦是辉绿岩侵入的位置；表现为北矿带坑道内层间断裂及小角度斜切赋矿层的断裂破碎带内均存在富铜矿体，南矿带在断裂构造与赋矿层的叠加部位形成铜铅锌矿化叠加。

2.1.2 成矿物源与成矿流体

S-Pb 同位素：矿石中辉铜矿 $\delta^{34}S$ 全为负值，集中于 $-15.4\text{‰} \sim -24.7\text{‰}$ 之间，硫主要来自硫酸盐细菌与有机质还原，部分源于有机硫 (王伟等,

表 1 新疆萨热克铜矿床与云南六苴铜矿床对比表

Table 1 Comparison of the Sareke copper deposit in Xinjiang and the Liuju copper deposit in Yunnan

矿床	萨热克铜矿床	六苴铜矿床
大地构造位置	费尔干纳拉分断陷盆地之萨热克盆地。红层盆地下部为煤系烃源岩, 组成“煤-铜-泥岩”建造组合	扬子陆块西南缘云南楚雄中—新生界陆相红层盆地。盆地下部为煤系烃源岩, 组成“煤-铜-盐”建造组合
赋矿层位与岩石组合	上侏罗统库孜贡苏组上段 (J_3k^2) 灰绿色冲积扇相砾岩与下白垩统克孜勒苏群第一岩性段 (K_1kz^1) 褐红色泥岩组合	下一白垩统高峰寺组凹地直段 (K_1gw)、马头山组六苴段 (K_2ml) 与大村段 (K_2md) 高渗透率石英砂岩、含砾砂岩与泥岩组合
控矿构造特征	苏鲁铁列克隆起、萨热克向斜及向斜南北翼基底断裂及其横向次级断裂, 断裂构造交接部位为富矿体形成部位	大雪山背斜及其次级褶皱构造和南北、东北向次级构造控矿
矿体特征	层状、似层状、透镜状、脉状	层状、似层状、透镜状、脉状
蚀变特征	方解石化、黄铁矿化及碎裂化、褪色蚀变	褪色化、硅化、碳酸岩化、黄铁矿化
矿石矿物	辉铜矿、黄铜矿、斑铜矿、蓝铜矿以及黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿等, 脉石矿物为方解石	辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿、蓝辉铜矿、黄铁矿及辉银矿、方铅矿等, 脉石矿物为石英、长石等
结构构造特征	砾状结构、他形粒状结构、镶嵌结构、胶状结构、交代结构等; 浸染状、碎裂状、细脉状、团块状构造等	自形/他形粒状结构、交代结构、镶嵌结构等, 具稠密浸染状、星点状、条带状、细脉状构造
矿物分带	垂向上具“辉铜矿-斑铜矿-黄铜矿-黄铁矿”分带, 平面具“辉铜矿-辉铜矿+斑铜矿-黄铜矿+辉铜矿+斑铜矿-黄铜矿+黄铁矿-黄铁矿”分带	垂向上具“赤铁矿-辉铜矿-斑铜矿-黄铜矿-黄铁矿”分带, 平面具“赤铁矿-赤铁矿+辉铜矿-辉铜矿+斑铜矿-辉铜矿+斑铜矿+黄铜矿-黄铜矿+黄铁矿-黄铁矿”分带
油气显示	油迹、沥青与轻质油, 油田卤水造成浅-砖红色交互带, 包裹体为油气烃类-盐水、含烃类盐水、含轻质油及甲烷- CO_2 包裹体	矿区斑点状“原生”有机质发育, 形成浅-砖红色交互带, 包裹体为富含烃类、沥青的有机包裹体
硫同位素特征	$\delta^{34}S$ 全为负值, 集中于 $-15.4‰ \sim -24.7‰$ 之间, 硫主要来自硫酸盐细菌与有机质还原, 部分源于有机硫	$\delta^{34}S$ 分布范围较广, $\delta^{34}S$ 值为 $-31.4‰ \sim -5.8‰$, 主要为硫酸盐生物细菌还原成因
铅同位素特征	铅同位素投点图位于上地壳与造山带之间, 靠近造山带演化线	铅同位素投影集中于上地壳附近及造山带线之间
成矿流体特征	成矿流体为来自于沉积盆地中的建造水及富含有机烃类的油田卤水和深源成矿流体	成矿流体为含有机质的还原性流体及高盐度氧化性流体, 发生水-岩相互作用沉淀成矿
成矿期次	原始矿源层成矿期, 乌恰构造运动及地幔柱热源驱动盆地油田卤水向隆起区迁移聚集与地表水发生氧化-还原作用成矿期、喜马拉雅构造运动沟通深源成矿流体形成富矿体成矿期、表生成矿期	沉积-成岩期、喜马拉雅早期构造-热演化富含有机质流体与氧化流体水-岩作用期、喜马拉雅中期断裂构造沟通深源成矿流体上侵形成脉状铅锌矿体、表生成矿期

注: 六苴铜矿床资料据韩润生等 (2010)

2018)。辉铜矿- $^{206}Pb/^{204}Pb$ 为 $18.475 \sim 18.642$, $^{207}Pb/^{204}Pb$ 为 $15.606 \sim 15.676$, $^{208}Pb/^{204}Pb$ 为 $38.585 \sim 38.795$, 数据投点图显示成矿金属来自上地壳和造山带剥蚀区 (刘增仁等, 2019)。

H-O 同位素: 脉石矿物方解石 δD 值为 $-66.4‰ \sim -98.8‰$ 、 $\delta^{18}O$ 值为 $17.0‰ \sim 21.3‰$ 、 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为 $-3.22‰ \sim -1.84‰$, 在 $\delta D - \delta^{18}O_{H_2O}$ 水/岩同位素交换图上投点结果为大气降水与盆地卤水 (王伟等, 2018)。

流体包裹体: 可见富液相包裹体、含子晶多相包裹体、含 CO_2 三相包裹体及油气包裹体 4 类。王伟等 (2018) 测得方解石中包裹体成分为 H_2O 、 CH_4 、 H_2 、 N_2 、 CO_2 、 H_2S , 属还原性流体; 盐度为 $2.07\% \sim 11.34\%$, 温度为 $72.2 \sim 173.5\text{ }^\circ\text{C}$ 。

2.1.3 成矿时代与成矿期次

测得矿石中辉铜矿 Re-Os 等时线年龄为 $146 \sim 141\text{ Ma}$ (刘增仁等, 2019); 贾润幸等 (2018) 测

得含辉铜矿沥青、破碎带富辉铜矿及碳酸岩化辉铜矿 Re-Os 模式年龄分别为 $220 \pm 3 \sim 180 \pm 3\text{ Ma}$ 、 $183.4 \pm 2.5 \sim 162.9 \pm 2.5\text{ Ma}$ 、 $136.1 \pm 2.6 \sim 116.4 \pm 2.1\text{ Ma}$; 最新测得辉铜矿 Re-Os 等时线年龄 $58.6 \pm 2.0\text{ Ma}$ (方维萱等, 2019)。其中 $220 \sim 180\text{ Ma}$ 、 $183.4 \sim 162.9\text{ Ma}$ 的年龄与盆地中—下侏罗统煤系烃源岩时代相吻合; $146 \sim 141\text{ Ma}$ 与赋矿层位原始成矿时代相当; 富辉铜矿 Re-Os 年龄 $136.1 \pm 2.6 \sim 116.4 \pm 2.1\text{ Ma}$ 、 $58.6 \pm 2.0\text{ Ma}$ 应是托云地幔柱第一次、第二次活动驱使油田卤水运移聚集成矿结果的反映 (托云玄武岩时代为 $112 \sim 59\text{ Ma}$; 徐学义等, 2003)。

2.1.4 成矿模式

关于该矿床成因, 新疆鑫汇矿业公司在萨热克铜矿床矿区勘查时提出过沉积-改造型铜矿的观点, 祝新友等 (2011) 研究认为萨热克铜矿床属与盆地卤水有关的后生低温热液矿床。笔者综合

分析认为, 萨热克铜矿的成矿分 4 期, 具有多期多源的成矿特征。富铜元古界地层遭受剥蚀形成盆地内砾岩型原始矿源层 (砾石中含有铜矿物) 及筛积微相透水性较强的储集空间 (第 1 期)。托云地幔柱热能驱动巨量盆地卤水迁移并萃取沿途铅锌铜等金属物质向苏鲁铁列克隆起运移, 在上覆泥岩盖层之下与大气降水发生物理-化学反应, 在 J_3k^2 砾岩中聚集、物质交换并沉淀形成贫铜矿体, 盆地油田卤水叠加形成褪色蚀变, 部分铜含量明显升高 (第 2 期)。喜马拉雅期喀什及西域构造运动导致盆地边界断裂南北对冲, 在挤压应力下先期成矿物质活化, 以流体方式向局部富集; 层间断裂、次级断裂沟通深源成矿热液及下伏烃源岩

层以及托云地幔柱第二次活动驱动盆地卤水沿断裂上侵至 J_3k^2 砾岩中聚集叠加成铜铅锌富矿体, 并与油迹和沥青等共存 (第 3 期)。原生铜矿物在大气降水作用下在潜水面以上发生氧化淋滤-次生富集, 形成辉铜矿、孔雀石和铜蓝等次生矿物富集 (第 4 期)。

2.2 乌拉根铅锌矿

乌拉根铅锌矿为西北地区层控砂砾岩型铅锌矿中规模最大者, 矿区勘查估算资源量达 $(331+332+333+334)$ 593.84 万吨。在大地构造背景、矿石组构、铅锌含量特征、同位素地球化学及有机质成矿等方面均与云南金顶铅锌矿类似 (表 2)。

表 2 新疆乌拉根铅锌矿床与云南金顶铅锌矿床对比表

Table 2 Comparison of the Wulagen Pb-Zn deposit in Xinjiang and the Jinding Pb-Zn deposit in Yunnan

矿床	乌拉根铅锌矿床	金顶铅锌矿床
大地构造位置	塔里木盆地西缘喀什凹陷北部之乌恰洼陷, 盆地下部为侏罗系煤系烃源岩, 组成“煤-铅锌-石膏”建造组合	兰坪-思茅中—新生代盆地北段
赋矿层位与岩石组合	下白垩统克孜勒苏群第五岩性段 (K_1kz^5) 辫状河三角洲相砂砾岩及古新统阿尔塔什组 (E_1a) 石膏夹白云岩	赋矿层为古新统云龙组上段 (E_1y^h) 含灰岩角砾砂岩、砂岩和下白垩统景星组 (K_1j) 石英砂岩和粉砂岩
控矿构造特征	吾合沙鲁断裂、基底断裂及近南北向小型断裂与节理, 上部石膏不透水层与赋矿砂砾岩透水层组成的储-盖系统	金顶穹窿为最重要的控矿构造
矿体特征	层状、似层状及透镜状	层状、脉状和透镜状
蚀变特征	褪色化、黄铁矿化、天青石化	以天青石化强烈发育为特征
矿石矿物	矿石矿物以闪锌矿、方铅矿为主, 脉石矿物主要为黄铁矿、方解石、白云石; 成矿元素以 Zn 为主, $Pb/Zn \geq 1:4$	金属矿物为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、白铁矿; 非金属矿物为天青石、重晶石等; 成矿元素以 Zn 为主, $Pb/Zn \geq 1:4$
结构构造特征	粒状结晶结构、胶状结构、结核状结构、交代溶蚀结构、嵌晶结构、粗晶结构及条带状、浸染状、草莓状、角砾状、块状、脉状、皮壳状、多孔状构造	浸染状、层纹状、同生角砾状、块状构造; 霉球状、细粒状、乳滴状、胶状等结构
有机质特征	矿区及外围见原油、沥青等有机质, 形成浅—砖红色交互带	金顶穹窿中多见油气显示和轻油、重油、沥青等有机质
硫同位素特征	$\delta^{34}S$ 分布范围较广, 北矿带 $\delta^{34}S$ 值为 $-25.9\text{‰} \sim -7.0\text{‰}$, 南矿带 $\delta^{34}S$ 值为 $-18.4\text{‰} \sim +15.0\text{‰}$	以负值为主、分布范围广, $\delta^{34}S$ 值为 $-48.43\text{‰} \sim -1.71\text{‰}$; 源于有机质或细菌参与下的碳酸盐还原
铅同位素特征	不同矿石的铅同位素投影集中于造山带铅演化线附近, 大部分落入造山带区, 个别落入下地壳与地幔混合区	85% 的样品显示幔源铅, 15% 的样品显示壳-幔混源铅
成矿流体特征	油气包裹体成分测试结果成矿流体为低温中—高盐度的流体, 均一温度 $78 \sim 410\text{ }^\circ\text{C}$, 盐度为 $3.55\% \sim 23.37\%$	成矿流体为中—低温、中—低盐度流体, 超压含烃富 CO_2 的流体可能是深部富 CO_2 含矿流体注入
成矿期次	原始矿源层形成期、油田卤水叠加成矿期 (贫矿体)、深源成矿流体叠加成矿期 (富矿体)、表生成矿期	盆地卤水与有机质还原成矿期、幔源流体上侵叠加成矿期、表生成矿期

注: 金顶矿床资料据薛春纪等 (2017)

2.2.1 控矿条件

岩性、岩相控矿特征: 铅锌矿体严格受控于 K_1kz^5 灰白色河床滞留微相、心滩微相砂砾岩-含砾砂岩及上覆 E_1a 石膏, 两者构成最佳成矿储-盖组合, E_1a 石膏在盆地卤水作用下溶蚀后所残留的坍塌角砾岩亦为赋矿层。

断裂与铅锌矿体关系密切: 穿越北矿带的吾合沙鲁断裂构造及南北矿带南北向张性断裂和北西、北东向张剪性断裂中可见明显透镜状、脉状

富铅锌矿体及油气沥青与黄铁矿化。

2.2.2 成矿物源与成矿流体

S-Pb 同位素: 乌拉根铅锌矿床矿石 $\delta^{34}S$ 为 $-26.09\text{‰} \sim +15\text{‰}$, 极差为 41.09‰ , 平均 -12.1‰ ; 其中北矿带 $\delta^{34}S$ 值 $-25.9\text{‰} \sim -7\text{‰}$, 方铅矿 $\delta^{34}S$ 值 $-25.9\text{‰} \sim -9.9\text{‰}$, 黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值 -7‰ ; 南矿带 $\delta^{34}S$ 值 $-18.4\text{‰} \sim +0.1\text{‰}$, 方铅矿 $\delta^{34}S$ 值 $-18.4\text{‰} \sim +15\text{‰}$, 闪锌矿 $\delta^{34}S$ 值 -14.3‰ 。北矿带均为轻硫, 表明硫主体来自于海相硫酸盐的还原; 而南矿带

同时富集轻硫和重硫,表明可能有少量地层硫的加入。 E_1a 石膏为铅锌成矿提供了丰富的硫源。铅同位素分析结果表明, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值 17.771 ~ 18.6413, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值 15.402 ~ 15.6454, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值 37.92 ~ 38.7507;图解投点大部分落入造山带区,个别落入下地壳与地幔混合区,说明金属成矿物质主要来自造山带(刘增仁等,2016)。

C-O 同位素:乌拉根铅锌矿叠加成矿期方解石 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值变化范围较窄,介于 $-5.36\text{‰} \sim -7.21\text{‰}$ 之间; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 介于 $20.94\text{‰} \sim 23.62\text{‰}$ 之间;在 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}-\text{M}_{\text{CPDB}}^{13}$ 图解中样品投点均靠近沉积有机物脱羧基作用演化线,表明其来源可能有油气或油田卤水的加入(高荣臻,2018)。

流体包裹体:矿石的方解石和天青石中流体包裹体发育差、数量少且体积小,韩凤彬(2012)获得的方解石流体包裹体盐度 $6.3\% \sim 20.22\%$ 、温度 $78 \sim 291\text{ }^\circ\text{C}$,天青石流体包裹体盐度 $3.55\% \sim 11.7\%$ 、温度 $100 \sim 220\text{ }^\circ\text{C}$; CO_2 在天青石-石膏-黄铁矿-方铅矿中的含量逐渐增高,说明 CO_2 含量增高有利于铅锌沉淀富集(韩凤彬等,2012)。取自加斯铅锌矿区断裂带中的盐岩样品中 Pb 含量 $0.26\% \sim 1.66\%$ 、Zn 含量 $2.27\% \sim 3.75\%$ 、Sr 含量 $105 \times 10^{-6} \sim 110 \times 10^{-6}$,表明盆地卤水中富含铅、锌、锶等成矿元素(刘增仁等,2019)。

2.2.3 成矿时代

测得北矿带与方铅矿共生的黄铁矿 Re-Os 同位素模式年龄为 $38 \sim 29\text{ Ma}$,等时线年龄为 $25.3 \pm 2.7\text{ Ma}$ (刘增仁等,2019);南矿带闪锌矿 Sm-Nd 等时线年龄为 $55.4 \pm 2.2\text{ Ma}$ 、Rb-Sr 等时线年龄为 $55.1 \pm 1.6\text{ Ma}$,坍塌角砾岩中黄铁矿 Re-Os 同位素模式年龄为 6.3 Ma 、 $10.7 \sim 9.2\text{ Ma}$ 、 $18.9 \sim 18.7\text{ Ma}$ 及 45.1 Ma (高荣臻,2018)。铅锌矿化砂砾岩中磷灰石裂变径迹年龄为 $49.5 \sim 35.2\text{ Ma}$ (刘增仁等,2016)。其中 $55.4 \sim 45.1\text{ Ma}$ 与托云地幔柱第二次活动驱使油田卤水运移聚集时限相当(梁涛等,2005;托云玄武岩时代为 48.1 Ma), 25.3 Ma 与乌恰构造运动驱使油田卤水运移聚集时限相当。

2.2.4 成矿模式

关于乌拉根铅锌矿床的成因,彭守晋等(1985)认为属沉积型或沉积-弱改造型矿床,蔡宏渊等(2002)认为属海底喷流沉积型矿床,李丰收等(2005)认为属热卤水沉积-改造型铅锌矿床,祝新友等(2010)认为属广义的 MVT 型铅锌矿床。

依据控矿条件、矿体特征、矿石组构、矿化蚀变及同位素、成矿流体、成矿时代等特征,综合分析认为乌拉根铅锌矿成矿可划分为原始矿源层形成期、大规模油田卤水成矿期、断裂构造沟通深源成矿流体叠加成矿期及表生氧化期4期,具有多期多源的成矿特征。富含 Pb-Zn-Cd 等成矿元素的元古界、古生界地层的剥蚀以及辫状河三角洲相环境形成 K_1kz 铅锌原始矿源层,其地球化学测量结果表明该层段为区域上铅锌含量高值层(第1期)。托云地幔柱热源及乌恰构造运动驱使煤系盆地富含有机质的油田卤水萃取路径中的铅锌物质向乌拉根等隆起的高端 K_1kz 砂砾岩中运移聚集,与上覆膏岩层的硫酸盐矿物进行物理-化学作用造成铅锌矿的初步富集,造成大规模区域油田卤水褪色蚀变、部分铅锌含量明显提升(第2期)。喜马拉雅晚期喀什-西域构造运动使得断裂构造及次级断裂构造沟通深源富含烃类成矿流体再次叠加成矿,形成铅锌矿的富矿体,并与丰富的油迹和沥青等共存(第3期)。氧化淋滤作用使得 Pb-Zn 迁移富集(第4期)。

2.3 花园铜矿

花园砂岩型铜矿属沉积-成岩型铜矿床,以 N_1a 下部灰绿色砂砾岩和砂岩为赋矿岩层,未见明显的围岩蚀变。

2.3.1 控矿条件

该铜矿严格受控于 N_1a^1 灰绿色块状水下河道相透镜状产出的含砾砂岩体及其直接上覆的浅湖亚相富含植物化石的灰绿色岩屑石英细砂岩,其矿体的顶底板均为褐红色泥岩。

2.3.2 成矿阶段与成矿模式

花园铜矿的成矿阶段划分为沉积期、成岩期和氧化淋滤期3个阶段。中新世宽浅湖环境下,剥蚀物的铜矿物以溶解态、络合物态随河流带入湖泊,在河-湖交接部位(氧化-还原障)沉积,铜源物质赋存于水下河道相砂砾岩及受其影响的浅湖相含植物化石碎片的细砂岩中。成岩期,赋存在红层中的建造水溶解原始矿源层中的铜、银等离子形成络合物发生迁移,与含有机质的还原性流体在砂砾岩中聚集沉淀成矿。喜马拉雅晚期在大气降水与地下水共同作用下,铜矿物质氧化迁移,构成以孔雀石、赤铜矿、氯铜矿等为主的铜矿体。

2.4 伽师铜矿

2.4.1 控矿条件

岩性岩相控矿:铜矿体严格受控于 Eks 辫状河

三角洲前缘灰绿、灰白色砾岩、含砾粗砂岩和钙质细砂岩。

断裂构造与矿化的关系：柯坪塔格断裂及其次级走滑断裂、顺层断裂等为有利的导矿通道，沟通深源成矿流体运移至渗透率较高的赋矿层中叠加成矿，形成富铜矿体，其构造破碎带中见强烈的铜矿化。

2.4.2 S-Pb 同位素

王思程等 (2011) 对矿区矿石辉铜矿硫铅同位素测定结果表明矿石 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-33.4\text{‰} \sim -24.6\text{‰}$ ，极差为 8.8‰ ，平均 -29.7‰ ，为轻 S 富集，具有生物成因硫的同位素组成特征，可能来自盆地中有有机硫的还原。 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值为 $18.607 \sim 18.376$ ， $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $15.654 \sim 15.612$ ， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $38.475 \sim 38.747$ ，在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 及 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图上投点均位于造山带与上地壳之间，靠近造山带演化线，指示成矿金属来自剥蚀区。

2.4.3 成矿时代

矿区辉铜矿 Re-Os 同位素模式年龄范围为 $15 \sim 11 \text{ Ma}$ (刘增仁等, 2019)。

2.4.4 成矿模式

伽师铜矿成矿可分原始沉积-成岩期、叠加改造期、表生氧化期 3 期。古新世—渐新世柯坪古陆含铜物质的剥蚀为伽师铜矿的形成提供了丰富的物源，Cu 以氧化态、游离态或络合物态随地表流水在陆缘盆地沉积；在成岩期，盆地卤水循环并不断萃取矿源层中的铜质，在膏岩成份参与下，在透水性较好的钙质砂（砾）岩中聚集。渐新世—喜马拉雅晚期，柯坪断隆向南大规模的推覆构造运动使得深部富含有机质的成矿流体沿基底断裂及其次级断裂上侵，与浅部大气降水发生氧化-还原反应，导致成矿物质卸载，在钙质砂（砾）岩中叠加成矿。

3 成矿规律

萨热克盆地、乌恰洼陷和西克尔洼陷的铜铅锌矿的赋矿层位 (J_3k 、 K_1kz 、 N_1a 、 Eks) 下伏地层均有侏罗纪或古生代的生烃岩，上覆地层均产有膏岩-泥岩，组成有利的生-储-盖成矿岩石组合。原始矿层、油田卤水成矿、深源富含有机质成矿流体的叠加成矿以及断裂构造、圈闭构造等无不与中—新生代红层盆地沉积-构造演化相关，

历经侏罗纪、早白垩世、古近纪煤系生烃岩及原始矿源层形成阶段，托云地幔柱与乌恰构造运动造成油田卤水迁移叠加成矿阶段，喜马拉雅晚期深源成矿流体叠加成矿阶段。

3.1 有机质与铜铅锌成矿

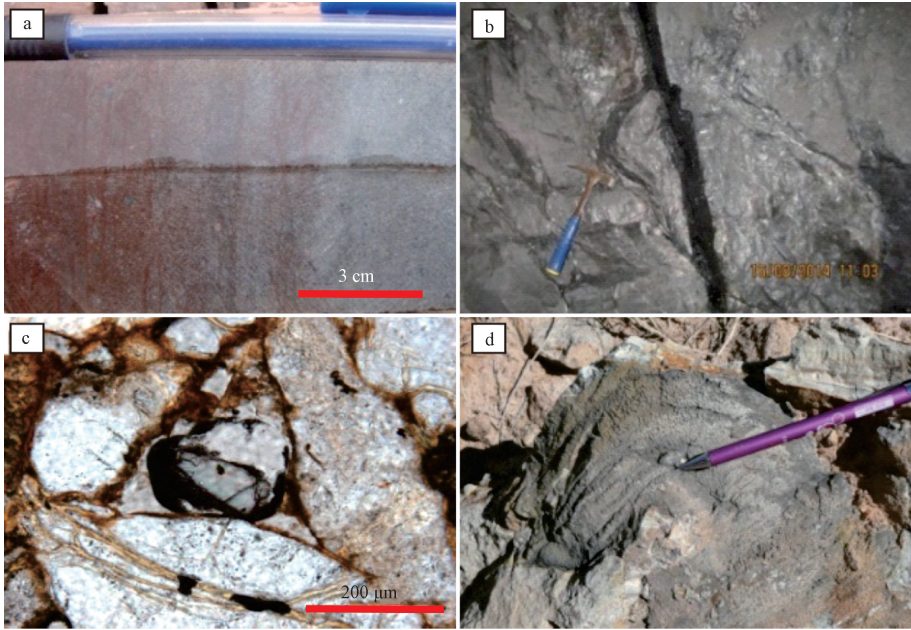
有机质与铜铅锌成矿具有密切关系。涂光炽 (1988) 认为，油气矿床的生成、运移对金属矿床元素具有活化和迁移作用，煤系地层中的干酪根可促使 Cu、U 富集， H_2S 的聚集与油气聚集在构造空间上具有耦合关系，并且油气藏与活泼元素矿床在储层与盖层组合方面具相似性。卢家烂等 (1997) 认为，原油对分散的铜铅锌具有强烈的活化、萃取与富集能力。庄汉平等 (1996) 研究楚雄盆地砂岩型铜矿形成机理时认为，在改造成矿期煤系地层在构造运动中沿断裂上侵的含矿流体与煤系烃源岩混染形成富含有机质的还原性流体，进入孔隙度大的砂岩中聚集；当其与天水淋滤石膏形成的氧化性流体相遇，则造成铜质的沉淀，叠加成矿。付修根等 (2006) 对金顶铅锌矿的研究认为，有机质还原作用对金顶铅锌矿的形成起着重要的作用，矿区可见大量的碳沥青，在包裹体中见有大量的甲烷气体。西南天山中—新生界层控砂砾岩型铜铅锌矿的成矿与有机质关系密切，尤其是萨热克铜矿、乌拉根铅锌矿，铜铅锌矿与煤矿及油苗、油气、沥青及铀矿相伴产出。

3.1.1 有机质的表现与铅锌矿化

富含有机质的盆地卤水（油田卤水）沿途萃取 Cu-Pb-Zn 等成矿物质，在上覆石膏及泥岩密闭盖压下渗透率较高的 J_3k 砾岩、 K_1kz 砂砾岩、 Eks 含砾砂岩中聚集，造成褪色蚀变，浅色层中 Cu-Pb-Zn 含量明显增加；断裂构造沟通深源成矿流体与烃类流体混染形成富含有机质的还原性成矿流体，在赋矿层位中再次叠加形成 Cu-Pb-Zn 的富矿体，有机质表现为油迹、沥青、原油及烃类包裹体等 (图 4)。

3.1.2 烃类流体成分与来源

萨热克铜矿的次生石英、方解石和白云石等胶结矿物包裹体可划分为含烃盐类、含烃盐水-液烃共生类、含烃盐水-气烃共生类、轻质油类 4 类，均为富烃类流体包裹体 (贾润幸等, 2017)，成分包括 $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$ 、 $\text{N}_2 + \text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2$ 及 $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ 等类型，表明成矿流体经历了与富含烃类流体的混合，有机质主要来源于费尔



a—萨热克铜矿油田卤水造成含砾砂岩褪色蚀变；b—萨热克铜矿断裂破碎带中充填的沥青与辉铜矿；c—乌拉根铅锌矿石中的有机气泡（含闪锌矿）（单偏光）；d—乌拉根北带破碎带中与方铅矿、黄铁矿共同产生的沥青

图 4 萨热克铜矿、乌拉根铅锌矿有机质成矿表现形式

Fig. 4 Organic mineralization forms of the Sareke copper deposit and the Wulagen lead-zinc deposit

(a) The fade alteration of pebbly sandstone caused by brine in the Sareke copper deposit; (b) Bitumen and chalcocite filled in fractures of the Sareke copper deposit; (c) Organic bubbles in the Wulagen lead-zinc ore (containing sphalerite) (single polarized light); (d) Bitumen produced together with galena and pyrite in the fracture zone of the northern Wulagen ore belt

干纳盆地侏罗系中的煤层及黑色泥岩等生烃层。

乌拉根铅锌矿区硫化物的分布与有机气泡的分布有一致性，富含有机质的气泡中常见有微细粒的闪锌矿或其他硫化物，显示有机质气泡与成矿有密切的成因联系；油源对比表明油气沥青主要是由中—下侏罗统煤系烃源岩生成的原油上侵形成的（刘增仁等，2011）；矿石中的固体有机质和油气包裹体成熟度较高，以饱和烃和沥青质为主，有机碳和全硫含量均较高，油气显示越明显，有机碳含量越高， ΣS 值越大，铅锌矿化越强。

3.1.3 烃类流体的形成、迁移聚集方向与部位

阿克莫木油气储藏在乌拉根隆起东侧 K_1kz 地层中，张有瑜等（2004）研究表明源于侏罗系煤系地层及古生代烃源岩所构成的有机质与盆地卤水混染，以油田卤水的方式促使油气充注。侏罗系烃源岩主要由 J_1k 、 J_2y 暗色泥岩、页岩和煤层组成，在晚侏罗世—早白垩世进入低成熟期（ R_0 值 0.5%），晚白垩世—上新世为成熟期（ R_0 值为 0.7%~1.0%），上新世早期大面积进入生油窗，现今处于成熟—高成熟阶段（ R_0 值为 0.7%~

1.3%）。油田卤水的运移方向与油气成藏一致，均向着古隆起（乌拉根隆起和苏鲁铁列克隆起）的圈闭构造内运移，在 J_3k — K_1kz （砾岩—泥岩）、 K_1kz — E_1a （砂砾岩—石膏/泥岩）和后期沟通深源成矿流体的断裂构造破碎带内聚集。

3.2 赋矿层位与铜铅锌成矿

萨热克盆地沉积建造下部为侏罗系煤系烃源岩，中部为萨热克砾岩型铜矿的赋矿层位 J_3k ，其上为下白垩统克孜勒苏群（ K_1kz ）底部密闭性较好的褐红色泥岩，冲积扇筛积微相渗透率较高的砾岩（ J_3k^2 ）与上覆泥岩构成对成矿有利的储—盖组合。

在乌恰洼陷内，自下而上为侏罗系煤系烃源岩（ J_{1-2} ）—萨热克砾岩型铜矿赋矿层位（ J_3k ）—乌拉根砂砾岩型铅锌（铀）矿的赋矿层位（ K_1kz ）—阿尔塔什组（ E_1a 石膏）—花园砂岩型铜矿的赋矿层位（ N_1a ）。成矿有利岩石组合为： J_3k^2 筛积微相渗透率较高的砾岩— K_1kz 褐红色泥岩密闭层、 K_1kz^5 河道与心滩微相渗透率较高的砂砾岩— E_1a 石膏密闭层、 N_1a^1 水下河道微相砂砾岩与滨浅湖亚相砂岩—浅湖亚相褐红色泥岩。

萨热克砾岩型铜矿、乌拉根砂砾岩型铅锌矿成矿岩石组合处于隆起部位,较其他部位的铜铅锌矿化要强,在赋矿层位与断裂构造的交汇部位油田卤水造成的褪色蚀变更加强烈,在上述两条件均满足的区域会产出铜铅锌富矿体及大量的油气沥青,其成矿均与富含有机质的盆地卤水有关,这与油气藏的形成类似。而花园砂岩型铜矿则与原地型干酪根(植物)吸附还原作用促使铜矿富集有关。

在西克尔洼陷,伽师砂岩型铜矿成矿岩石组合为 E_{ks} 辫状河三角洲前缘砂砾岩与自身泥岩,其旁侧有石膏产出;后期沿柯坪塔格断裂上侵的富含有机质的成矿卤水叠加在原始矿源层上形成了富铜矿体。

3.3 成矿时间规律

3.3.1 古隆起与圈闭构造形成时间

苏鲁铁列克隆起与乌拉根隆起因塔里木运动而隆升,古生代仅在局部接受沉积,缺失三叠纪沉积;拉张背景下在隆起的边部形成侏罗纪—白垩纪断陷—拗陷盆地,控制中—新生界铅锌赋矿层位、生—储—盖成矿岩石组合展布;因喜马拉雅晚期构造运动再次隆升并推覆掩压于中生代地层之上并构成圈闭构造。

3.3.2 生烃岩及生排烃时间

张有瑜等(2004)对乌拉根东北 30 km 产于 K_1kz 中的阿克莫木油气田进行了研究,获得的自生伊利石 K-Ar 年龄为 32.6 ± 0.66 Ma、 23.32 ± 0.47 Ma、 22.6 ± 0.55 Ma、 18.79 ± 0.31 Ma 及 17.8 Ma、18.3 Ma 和 38.55 Ma、38.1 Ma 和 34.6 Ma,认为源于侏罗系煤系烃源岩的油气充注时间为渐新世末—中新世初期和上新世—更新世(高荣臻,2018)。

3.3.3 原始矿源层与有利成矿岩石组合形成时间

萨热克砾岩型铜矿矿源层形成于晚侏罗世—早白垩世,沉积和形成了 $J_3k^2—K_1kz^1$ 的岩石组合;乌拉根砂砾岩型铅锌矿矿源层形成于早白垩世—古新世,形成了 $K_1kz^1—E_1a$ 的岩石组合;伽师砂岩型铜矿的矿源层形成于古近纪,形成了 E_{ks} 岩石组合;花园砂岩型铜矿的原始矿源层形成于中新世,沉积和形成了 N_1a 岩石地层组合。

3.3.4 构造运动与托云地幔柱活动时限

主要是油田卤水迁移聚集时限。乌恰构造运动为油田卤水迁移的直接动力,驱使其向隆起部位 J_3k 、 K_1kz 中运移聚集,是造成铜铅锌初期成矿

的直接因素;喀什构造运动及西域构造运动是盆地边界断裂及次级断裂沟通深源成矿流体叠加成铜铅锌富矿体的活动时间。托云地幔柱表现为产于 K_1kz 、 $E_{1-2}t$ 中的火山岩,前者玄武岩同位素年龄为 119~101 Ma(李永安等,1995;韩宝福等,1998;徐学义等,2003),后者玄武岩同位素年龄为 67.80~40 Ma(王彦斌等,2000;梁涛等,2005);其所提供的热源驱使盆地油田卤水向隆起部位迁移,是区域砂砾岩褪色蚀变和低品位铜铅锌矿形成的直接因素。

3.3.5 控矿断裂构造形成时间

区域控盆控矿断裂(萨热克盆地边界断裂、吾合沙鲁断裂和柯坪塔格断裂)为导矿构造,形成于燕山早期与喜马拉雅期,乌恰构造运动使其性质反转,喜马拉雅晚期喀什及西域构造运动使其逆冲推覆,且造成其次级断层沟通深源流体上侵叠加成富矿体。

3.4 成矿空间规律

中—新生界砂砾岩型铜铅锌矿体在空间上的分布受沉积盆地演化、褶皱断裂构造及岩相古地理控制。

3.4.1 沉积盆地演化控矿

侏罗纪晚期、早白垩世以及古近纪、中新世原始矿源层产于湖进—湖退、海进—海退的转换时期。煤系地层为铅锌铜成矿提供了丰富的有机质成矿流体。

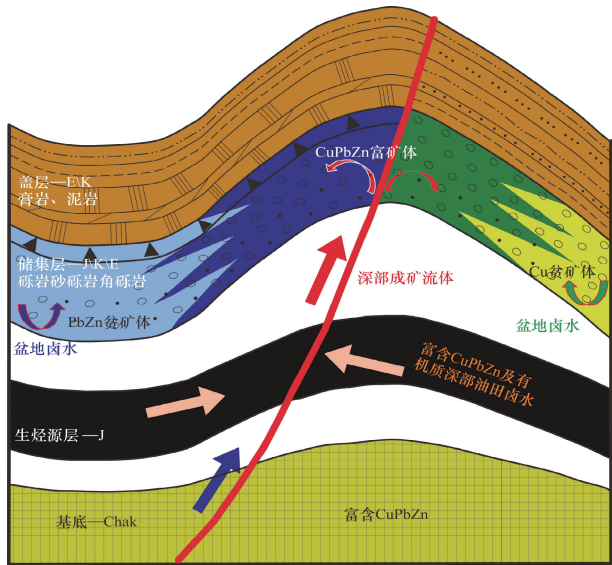
3.4.2 断裂构造控矿

区域断裂构造不仅控盆控岩,而且沟通基底深源成矿流体,在断裂构造的次级构造、不同方向断裂的交汇处、断裂构造与铅锌铜矿有利赋存层位的交汇处形成砂砾岩型铜铅锌矿富矿体。

3.4.3 岩相古地理控矿

中—新生界砂砾岩型铜铅锌矿均产于古隆起的边部。萨热克砾岩型铜矿受控于冲积扇筛积微相砾岩;乌拉根砂砾岩型铅锌矿严格受控于辫状河平原河道—心滩微相砂砾岩;伽师砂岩型铜矿受控于辫状河三角洲前缘亚相砂岩和砂砾岩;花园砂岩型铜矿受浅湖相砂岩与水下河道相砂砾岩共同控制。

经综合分析,建立了西南天山中—新生界砂砾岩型铜铅锌矿成矿模式图(图5)。



1—白云岩; 2—石膏; 3—泥岩; 4—粉砂质泥岩; 5—砂岩; 6—粗砂岩; 7—砂砾岩; 8—砾岩; 9—坍塌角砾岩; 10—古近系/白垩系; 11—侏罗系/长城系; 12—断裂构造; 13—深源成矿流体; 14—深源成矿流体/油田卤水; 15—盆地卤水; 16—铅锌富/贫矿体; 17—铜富/贫矿体

图 5 中—新生界砂砾岩型铅锌铜矿成矿模式图
Fig. 5 Metallogenic model of Meso-Cenozoic glutenite-type Pb-Zn-Cu deposit

1-Dolomite; 2-Gypsum; 3-Mudstone; 4-Silty mudstone; 5-Sandstone; 6-Gritstone; 7-Glutenite; 8-Conglomerate; 9-Collapse breccia; 10-Paleogene system/Cretaceous system; 11-Jurassic system/Changcheng system; 12-Fracture; 13-Deep source ore-forming fluid; 14-Deep source ore-forming fluid/Oilfield brine; 15-Basin brine; 16-Lead-zinc-rich ore bodies/Lead-zinc lean ore bodies; 17-Copper-rich ore bodies/Copper-lean ore bodies

4 结论

(1) 西南天山中—新生界赋矿盆地具有铜铅锌—煤—铀—油气—石膏共盆的特征, 铜铅锌矿的赋矿层位为上侏罗统库孜贡苏组 (J_3k)、下白垩统克孜勒苏群 (K_1kz)、古近系喀什群 (Eks)、中新统安居安组 (N_1a)。

(2) 铜铅锌成矿与古隆起、赋矿层位、沉积相与岩性组合、煤系烃源岩、油田卤水、深源成矿流体及断裂构造等因素密切相关。类似油气藏系统中的生—储—盖组合, 有机质与成矿关系密切。

(3) 西南天山中—新生界层控砂砾岩型铜铅

锌矿的原始矿源层形成、油田卤水叠加和深源成矿流叠加成矿等受盆地沉积—构造演化控制, 具有多源多期次成矿特征, 与燕山、喜马拉雅构造运动及托云地幔柱活动相关。

致谢: 感谢有色金属矿产地地质调查中心方维萱教授的指导, 感谢新疆地质调查所余子昌、施培春高级工程师的帮助。谨以此文献给有色金属矿产地地质调查中心成立 20 周年。

References

CAI H Y, DENG G A, ZHENG Y P, 2002. Genetic discussion on Wulagen lead-zinc deposit of Xinjiang [J]. Mineral Resources and Geology, 16 (1): 1-5. (in Chinese with English abstract)

CHEN H Y, ZHANG L, LI D F, et al., 2013. Characteristics of rare earth and trace elements of the Sawayaerdun gold deposit, Southwest Tianshan; implications for ore genesis [J]. Acta Petrologica Sinica, 29 (1): 159-166. (in Chinese with English abstract)

FANG W X, JIA R X, GUO Y Q, et al., 2016. Hydrocarbon-rich basin fluid with reductibility and metallogenic mechanism for glutenite-type Cu-Pb-Zn-U deposits in the Western of Tarim Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 38 (6): 727-752. (in Chinese with English abstract)

FANG W X, JIA R X, WANG L, 2017. Types of basin fluids, mechanism of discolored alterations and metal mineralizations of glutenite-type Cu-Pb-Zu-U deposits in intercontinental red-bed basin of the Western Tarim Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 39 (5): 585-619. (in Chinese with English abstract)

FANG W X, WANG L, GUO Y Q, et al., 2018a. Tectonic patterns in the Sarekebayi apart-pull Basin and their ore-controlling regularities for the sareke glutenite-type copper deposit in Xinjiang, China [J]. Earth Science Frontiers, 25 (3): 240-259. (in Chinese with English abstract)

FANG W X, WANG L, JIA R X, 2018b. Mosaic tectonics of Mesozoic to Cenozoic basin-mountain-plateau in the Western Tarim Basin, China: glutenite-type Cu-Pb-Zn-celesite-U-coal metallogenic system [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 40 (6): 663-705. (in Chinese with English abstract)

FANG W X, WANG L, WANG S C, et al., 2019. Metallogenic regularity and prospecting forecast of the western Tarim Basin glutenite Cu-Pb-Zn deposi [M]. Beijing: Science Press: 1-424. (in Chinese)

FANG W X, WANG L, LU J, et al., 2020. Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin, foreland fold-and-thrust meralization reglarities of copper-lead-zinc-celesite-uranium-coal in Wulagen, Xinjiang, China [J]. Geotectonica et Metallogenia, 44 (5): 881-912. (in Chinese with English abstract)

FU X G, LIN L, PANG Y C, et al., 2006. The characteristics of organic matter and its mineralization in the Jinding lead-zinc deposit, Yunnan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology

- (Science & Technology Edition), 33 (6): 621-630. (in Chinese with English abstract)
- GAO R Z, 2018. Mineralization of mesozoic-cenozoic sandstone-hosted Zn-Pb deposits in the Southwestern Tianshan, Xingjiang, NW China; exemplified by the Urogen Zn-Pb deposit [D]. Beijing: China University of Geosciences: 66-101. (in Chinese with English abstract)
- HAN B F, WANG X C, HE G Q, et al., 1999. Discovery of mantle and lower crust xenoliths from early Cretaceous volcanic rocks of southwestern Tianshan, Xinjiang [J]. Chinese Science Bulletin, 44 (12): 1119-1123.
- HAN F B, 2012. Study on Metallogensis of Wulagen Lead-zinc deposit in Wuqia, Xinjiang [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences: 45-124. (in Chinese with English abstract)
- HAN F B, CHEN Z L, LIU Z R, et al., 2013. Organic geochemistry of Wulagen Pb-Zn deposit in Southwest Tianshan Mountains and its implications [J]. Mineral Deposits, 32 (3): 591-602. (in Chinese with English abstract)
- HAN R S, ZOU H J, WU P, et al., 2010. Coupling tectonic-fluid metallogenic model of the sandstone-type copper deposit in the Chuxiong Basin, China [J]. Acta Geologica Sinica, 84 (10): 1438-1447. (in Chinese with English abstract)
- HUO H L, CHEN Z L, CHEN G M, et al., 2019. The U-Pb geochronology and geochemical characteristics of the Saergen mafic rocks in the Keping area, Southwest Tianshan, China [J]. Journal of Geomechanics, 25 (S1): 60-65. (in Chinese with English abstract)
- JIA R X, FANG W X, HU L L, et al., 2017a. Sulfur, lead, hydrogen, oxygen and carbon isotopic geochemical characteristics of Sareke copper deposit, Wuqia county, the Xingjiang Uygur Autonomous region, China [J]. Acta Mineralogica Sinica, 37 (5): 630-637. (in Chinese with English abstract)
- JIA R X, FANG W X, WANG L, et al., 2017b. Hydrocarbon-rich Reducing Basin Fluid with in Sareke Glutenite Type Copper Deposit, Wuqia, Xinjiang [J]. Geotectonica et Metallogenia, 41 (4): 721-733. (in Chinese with English abstract)
- JIA R X, FANG W X, LI J X, et al., 2018. Re-Os isotopic dating and its geological significance from Sareke copper deposit in Wuqia, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 37 (1): 151-162. (in Chinese with English abstract)
- JIA R X, FANG W X, 2021. The migration rule of the ore-forming fluids in the Meso-Cenozoic Basins, Southwestern Tianshan, China [J]. Journal of Geomechanics, 27 (4): 529-541. (in Chinese with English abstract)
- LI F S, WANG W, YANG J M, 2005. Geological and geochemical characteristics and genesis of the Wulagen lead and zinc deposit in Wuqia County, Xinjiang [J]. Mineral Resources and Geology, 19 (4): 335-340. (in Chinese with English abstract)
- LI Y A, LI Q, ZANG H, et al., 1995. Palaeomagnetic Study of Tarim and its Adjacent area as well as the Formation and Evolution of Tarim Basin [J]. Xinjiang Geology, 13 (4): 293-378. (in Chinese with English abstract)
- LI Z D, XUE C J, XIN J, et al., 2011. Geological characteristics and S-, Pb-isotope geochemistry of Sareke copper deposit in Wuqia County, Xinjiang [J]. Geoscience, 25 (4): 720-729. (in Chinese with English abstract)
- LIANG T, LUO Z H, LI W T, et al., 2005. Geologic features and tectonic implications of the Tuyon volcano group [J]. Xinjiang Geology, 23 (2): 105-110. (in Chinese with English abstract)
- LIU Z R, TIAN P R, ZHU X Y, et al., 2011. Ore-forming geological characteristics and metallogenic model on Wulagen lead-zinc deposit, Xinjiang [J]. Mineral Exploration, 2 (6): 669-680. (in Chinese with English abstract)
- LIU Z R, QI S J, TIAN P R, et al., 2014a. Determination of age and its significance of ore-bearing strata of the Meso-Cenozoic glutenite type lead-zinc-copper deposit in the northwestern edge of Tarim basin, Xinjiang [J]. Mineral Exploration, 5 (2): 149-158. (in Chinese with English abstract)
- LIU Z R, QI S J, TIAN P R, et al., 2014b. Ore-forming geological characteristics and optimization selection of the prospecting targets of the Wulagen lead-zinc metallogenic belt, Wuqia county, Xinjiang [J]. Mineral Exploration, 5 (5): 689-698. (in Chinese with English abstract)
- LIU Z R, CHEN Z L, HAN F B, et al., 2016. Optimization and evaluation of prospecting target area in glutenite copper, lead and zinc metallogenic belt in the western margin of Tarim Basin [R]. Urumqi: Xinjiang Institute of Geological Survey, China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey: 166-170. (in Chinese)
- LIU Z R, YE L, WANG L, et al., 2019. Geological and mineral survey of Hoshbluk-Ulagen in southwest Tianshan metallogenic belt [R]. Beijing: Internal Information of China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey: 33-529. (in Chinese)
- LU J L, ZHUANG H P, LIU W J, 1997. The experimental studies on the role of organic matter in formation of strata-bound Pb-Zn deposit [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 15 (2): 226-231. (in Chinese with English abstract)
- PENG S J, ZHANG X X, ZHOU Z C, 1985. The lead-zinc ore types, ore forming law and direction of prospecting, XinJang [J]. XinJiang Geology, 3 (3): 86-93. (in Chinese with English abstract)
- TU G C, 1988. Geochemistry of stratabound deposits in China Vol. 3 [M]. Beijing: Science Press: 27-35. (in Chinese)
- WANG S C, XUE C J, LI Z D, 2011. Geology and S-, Pb-isotopic geochemistry of the Jiashi sandstone-type copper deposit, Xinjiang, China [J]. Geoscience, 25 (2): 219-227. (in Chinese with English abstract)
- WANG W, LI W Y, GAO M X, et al., 2018. Constraints on tectonic, fluid and metallogenic system evolution for the formation of Sareke sandstone copper deposit in northwestern Tarim block [J]. Geological Bulletin of China, 37 (7): 1315-1324. (in Chinese with English abstract)
- WANG Y B, WANG Y, LIU X, et al., 2000. Geochemical characteristics and genesis of late cretaceous to paleocene basalts in Tuyon basin, South Tianshan Mountain [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 19 (2): 131-139, 173. (in Chinese with English abstract)

abstract)

XIE S Y, MO J P, YANG J G, et al. , 2002. Geological characteristics and ore forming mechanism of Wu Lagen hot brine exhalogene lead-zinc deposit of cenozoic era, Wuqia, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 21 (S1): 495-498. (in Chinese)

XU X Y, XIA L Q, XIA Z C, et al. , 2003. Geochemistry and genesis of cretaceous-paleogene basalts from the Tuoyun Basin, Southwest Tianshan Mountains [J]. Geochimica, 32 (6): 551-560. (in Chinese with English abstract)

XUN C J, CHI G X, CHEN Y C, et al. , 2017. Giant Jingding Zn-Pb deposit, Yunnan [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-119. (in Chinese)

YANG B, 2018. Red bed Cu-Pb-Zn deposits and mineralization of hot brine in continental red bed basin [J]. Geology in China, 45 (3): 441-455. (in Chinese with English abstract)

ZHANG J, 2011. Geological characteristics of Jiashi Cu deposit in Xinjiang and the genetic Model [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 26 (4): 373-377. (in Chinese with English abstract)

ZHANG T, CHEN Z L, HUANG H Y, et al. , 2020. Geochemical characteristics of gold-bearing minerals and its geological significance in the Ashawayi gold deposit in the southwestern Tianshan Orogen [J]. Journal of Geomechanics, 26 (3): 443-458. (in Chinese with English abstract)

ZHANG Y Y, ZWINGMANN H, TODD A, et al. , 2004. K-Ar dating of authigenic illite and its applications to study of oil-gas charging histories of typical sandstone reservoirs, Tarim basin, Northwest China [J]. Earth Science Frontiers, 11 (4): 637-648. (in Chinese with English abstract)

ZHANG Z L, FENG X J, DONG F C, et al. , 2014. Type, genesis and exploration direction of glutenite-hosted ore deposits in the southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang [J]. Northwestern Geology, 47 (3): 70-82. (in Chinese with English abstract)

ZHAO L T, MA Z M, 2021. Geological characteristics of Huayuan Cu deposit in Xijiang and Prospecting Marks [J]. Xinjiang Youse Jinshu, 44 (1): 46-49. (in Chinese)

ZHOU X Y, HU Y Z, LIU S, et al. , 2003. Petroleum geology of outcrops areas in the northern part of Kashi Sag in Tarim Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press: 184-221. (in Chinese)

ZHU H Y, ZHANG B C, ZHANG L, et al. , 2021. Geological characteristics of Cenozoic stratabound sandstone type copper deposits in northwest margin of Tarim Basin [J]. Mineral Exploration, 12 (7): 1539-1547. (in Chinese with English abstract)

ZHU X Y, WANG J B, LIU Z R, et al. , 2010. Geologic characteristics and the genesis of the Wulagen lead-zinc deposit, Xinjiang, China [J]. Acta Geologica Sinica, 84 (5): 694-702. (in Chinese with English abstract)

ZHU X Y, WANG J B, WANG Y J, et al. , 2011. The geologic characteristics of Sareke copper deposit, Xinjiang, China; ore genesis related to basin brines [J]. Mineral Exploration, 2 (1): 28-35. (in Chinese with English abstract)

ZHUANG H P, RAN C Y, HE M Q, et al. , 1996. Organic geochemical evidence and meachanism of the genetic relationship between organic matter, evaporite, and sandstone-hosted copper deposits in Chuxiong Basin, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 14 (3): 131-140. (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

蔡宏渊, 邓贵安, 郑跃鹏, 2002. 新疆乌拉根铅锌矿床成因探讨 [J]. 矿产与地质, 16 (1): 1-5.

陈华勇, 张莉, 李登峰, 等, 2013. 南天山萨瓦亚尔顿金矿床稀土微量元素特征及其成因意义 [J]. 岩石学报, 29 (1): 159-166.

方维萱, 贾润幸, 郭玉乾, 等, 2016. 塔西地区富烃类还原性盆地流体与砂砾岩型铜铅锌-铀矿床成矿机制 [J]. 地球科学与环境学报, 38 (6): 727-752.

方维萱, 贾润幸, 王磊, 2017. 塔西陆内红层盆地中盆地流体类型、砂砾岩型铜铅锌-铀矿床的大规模褪色化围岩蚀变与金属成矿 [J]. 地球科学与环境学报, 39 (5): 585-619.

方维萱, 王磊, 郭玉乾, 等, 2018a. 新疆萨热克巴依盆内构造样式及对萨热克大型砂砾岩型铜矿床控制规律 [J]. 地学前缘, 25 (3): 240-259.

方维萱, 王磊, 贾润幸, 2018b. 塔西地区中—新生代盆-山-原镶嵌构造区: 砂砾岩型铜铅锌-天青石-铀-煤成矿系统 [J]. 地球科学与环境学报, 40 (6): 663-705.

方维萱, 王磊, 王寿成, 等, 2019. 塔西砂砾岩型铜铅锌矿床成矿规律与找矿预测 [M]. 北京: 科学出版社: 1-424.

方维萱, 王磊, 鲁佳, 等, 2020. 新疆乌拉根中—新生代沉积盆地和前陆冲断褶皱带对铜铅锌-天青石-铀-煤成矿控制规律 [J]. 大地构造与成矿学, 44 (5): 881-912.

付修根, 林丽, 庞艳春, 等, 2006. 云南金顶铅锌矿床中的有机质特征及成矿作用探讨 [J]. 成都理工大学学报 (自然科学版), 33 (6): 621-630.

高荣臻, 2018. 新疆西南天山中—新生界砂岩容矿铅锌成矿作用: 以乌拉根铅锌矿床为例 [D]. 北京: 中国地质大学: 66-101.

韩宝福, 王学潮, 何国琦, 等, 1998. 西南天山早白垩世火山岩中发现地幔和下地壳捕虏体 [J]. 科学通报, 43 (23): 2544-2547.

韩凤彬, 2012. 新疆乌恰乌拉根铅锌矿床成因研究 [D]. 北京: 中国地质科学院: 45-124.

韩凤彬, 陈正乐, 刘增仁, 等, 2013. 西南天山乌拉根铅锌矿床有机地球化学特征及其地质意义 [J]. 矿床地质, 32 (3): 591-602.

韩润生, 邹海俊, 吴鹏, 等, 2010. 楚雄盆地砂岩型铜矿床构造-流体耦合成矿模型 [J]. 地质学报, 84 (10): 1438-1447.

霍海龙, 陈正乐, 陈贵民, 等, 2019. 西南天山柯坪地区萨尔干基性岩脉 U-Pb 年代学及地球化学特征 [J]. 地质力学学报, 25 (S1): 60-65.

贾润幸, 方维萱, 胡雷雷, 等, 2017a. 新疆萨热克铜矿床硫铅氢氧碳同位素地球化学特征 [J]. 矿物学报, 37 (5): 630-637.

贾润幸, 方维萱, 王磊, 等, 2017b. 新疆萨热克砂砾岩型铜矿床富烃类还原性盆地流体特征 [J]. 大地构造与成矿学, 41 (4): 721-733.

贾润幸, 方维萱, 李建旭, 等, 2018. 新疆萨热克铜矿床铼-钼同位素年龄及其地质意义 [J]. 矿床地质, 37 (1): 151-162.

贾润幸, 方维萱, 2021. 西南天山中新世代盆地成矿流体运移规律 [J]. 地质力学学报, 27 (4): 529-541.

李丰收, 王伟, 杨金明, 2005. 新疆乌恰县乌拉根铅锌矿床地质地

球化学特征及其成因探讨 [J]. 矿产与地质, 19 (4): 335-340.

李永安, 李强, 张慧, 等, 1995. 塔里木及其周边古地磁研究与盆地形成演化 [J]. 新疆地质, 13 (4): 293-378.

李志丹, 薛春纪, 辛江, 等, 2011. 新疆乌恰县萨热克铜矿床地质特征及硫、铅同位素地球化学 [J]. 现代地质, 25 (4): 720-729.

梁涛, 罗照华, 李文韬, 等, 2005. 托云火山群的火山地质特征及其构造意义 [J]. 新疆地质, 23 (2): 105-110.

刘增仁, 田培仁, 祝新友, 等, 2011. 新疆乌拉根铅锌矿成矿地质特征及成矿模式 [J]. 矿产勘查, 2 (6): 669-680.

刘增仁, 漆树基, 田培仁, 等, 2014a. 塔里木盆地西北缘中新世代砂砾岩型铅锌铜矿赋矿层位的时代厘定及意义 [J]. 矿产勘查, 5 (2): 149-158.

刘增仁, 漆树基, 田培仁, 等, 2014b. 新疆乌拉根铅锌成矿带地质特征与找矿靶区优选 [J]. 矿产勘查, 5 (5): 689-698.

刘增仁, 陈正乐, 韩凤彬, 等, 2016. 塔里木盆地西缘砂砾岩型铜铅锌成矿带找矿靶区优选评价研究报告 [R]. 乌鲁木齐: 有色金属矿产地质调查中心新疆地质调查所: 166-170.

刘增仁, 叶雷, 王磊, 等, 2019. 西南天山成矿带霍什布拉克-乌拉根地质矿产调查报告 [R]. 北京: 有色金属矿产地质调查中心: 33-529.

卢家烂, 庄汉平, 刘文均, 1997. 有机质在层控铅锌矿床中作用的实验研究 [J]. 沉积学报, 15 (2): 226-231.

彭守晋, 张希宣, 周自成, 1985. 新疆铅锌矿类型、成矿规律及找矿方向 [J]. 新疆地质, 3 (3): 86-93.

涂光炽, 1988. 中国层控矿床地球化学-第三卷 [M]. 北京: 科学出版社: 27-35.

王思程, 薛春纪, 李志丹, 2011. 新疆伽师砂岩型铜矿床地质及 S、Pb 同位素地球化学 [J]. 现代地质, 25 (2): 219-227.

王伟, 李文渊, 高满新, 等, 2018. 塔里木陆块西北缘萨热克砂岩型铜矿床构造-流体演化对成矿的制约 [J]. 地质通报, 37 (7): 1315-1324.

王彦斌, 王永, 刘训, 等, 2000. 南天山托云盆地晚白垩世一早第三纪玄武岩的地球化学特征及成因初探 [J]. 岩石矿物学杂志, 19 (2): 131-139, 173.

谢世业, 莫江平, 杨建功, 等, 2002. 新疆乌恰县乌拉根新生代热卤水喷流沉积铅锌矿地质特征及成矿模式 [J]. 矿床地质, 21 (S1): 495-498.

徐学义, 夏林圻, 夏祖春, 等, 2003. 西南天山托云地区白垩纪一早第三纪玄武岩地球化学及其成因机制 [J]. 地球化学, 32 (6): 551-560.

薛春纪, 池国祥, 陈毓川, 等, 2017. 云南金顶超大型铅锌矿床 [M]. 北京: 地质出版社: 1-119.

杨兵, 2018. 陆相红层型铜铅锌矿床与红层盆地热卤水成矿作用 [J]. 中国地质, 45 (3): 441-455.

张江, 2011. 新疆伽师铜矿床地质特征及成因模式 [J]. 地质找矿论丛, 26 (4): 373-377.

张涛, 陈正乐, 黄宏业, 等, 2020. 西南天山阿沙哇义金矿载金矿物地球化学特征及地质意义 [J]. 地质力学学报, 26 (3): 443-458.

张有瑜, ZWINGMANN H, TODD A, 等, 2004. 塔里木盆地典型砂岩油气储层自生伊利石 K-Ar 同位素测年研究与成藏年代探讨 [J]. 地学前缘, 11 (4): 637-648.

张振亮, 冯选洁, 董福辰, 等, 2014. 西南天山砂砾岩容矿矿床类型及找矿方向 [J]. 西北地质, 47 (3): 70-82.

赵路通, 马忠美, 2021. 新疆花园铜矿床地质特征及找矿标志 [J]. 新疆有色金属, 44 (1): 46-49.

周新源, 胡煜昭, 刘胜, 等, 2003. 塔里木盆地喀什凹陷北部露头区油气地质 [M]. 北京: 石油工业出版社: 184-221.

朱红英, 张宝琛, 张磊, 等, 2021. 西南天山新生代层控砂岩型铜矿成矿地质特征 [J]. 矿产勘查, 12 (7): 1539-1547.

祝新友, 王京彬, 刘增仁, 等, 2010. 新疆乌拉根铅锌矿床地质特征与成因 [J]. 地质学报, 84 (5): 694-702.

祝新友, 王京彬, 王玉杰, 等, 2011. 新疆萨热克铜矿: 与盆地卤水作用有关的大型矿床 [J]. 矿产勘查, 2 (1): 28-35.

庄汉平, 冉崇英, 何明勤, 等, 1996. 楚雄盆地有机质、膏盐与砂岩铜矿生成关系的有机地球化学证据与机理 [J]. 沉积学报, 14 (3): 131-140.

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):

可扫码直接下载文章电子版, 能听到作者有关文章的语音介绍及更多文章相关资讯

