

西南天山砂砾岩容矿矿床类型及找矿方向

张振亮^{1,2}, 冯选洁¹, 董福辰¹, 谭文娟^{1,2}, 高永伟^{1,2}, 王志华^{1,2}

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054; 2. 国土资源部岩浆作用成矿与找矿
重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘 要: 西南天山是我国著名的砂砾岩容矿型矿床分布区, 近年来, 由于相继在乌拉根、萨热克、伽师、滴水矿区取得找矿重大突破而引起世人关注, 但对于矿床成因一直存在较大的争论。笔者在详细总结该区矿床地质特征和成矿背景基础上, 将西南天山砂砾岩容矿矿床划分为乌拉根式、萨热克式、伽师式 3 种类型, 其成因分别为热卤水溶滤成因、热卤水溶滤-构造叠加成因和同生沉积成因。今后在西南天山找矿的重点应集中于 2 个方面: 一是加强库孜贡苏、托云、托帕、克孜勒陶山间盆地的找矿工作和喀什凹陷、萨热克盆地的边部及深部找矿; 二是加强柯坪盆地北翼、库拜盆地西缘的地质找矿与评价。

关键词: 西南天山; 砂砾岩容矿; 成因; 找矿方向

中图分类号: P611.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-6248(2014)03-0070-13

Type, Genesis and Exploration Direction of Glutenite-hosted Ore Deposits in the Southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang

ZHANG Zhen-liang^{1,2}, FENG Xuan-jie¹, DONG Fu-chen¹, TAN Wen-juan^{1,2},
GAO Yong-wei^{1,2}, WANG Zhi-hua^{1,2}

(1. Xi'an Institute of Geology and Minerals Resources, CGS, Xi'an 710054, China;

2. Key Laboratory of Magmatism Mineralization and Ore Prospecting, MLR, Xi'an 710054, China)

Abstract: The southwestern Tianshan mountains is a famous distribution area of glutenite-hosted ore deposits in China, and has been deeply concerned by geologists because of some prospecting breakthroughs in Wulagen, Sareke, Jiashi and Dishui mineral districts in recent years. As the genesis of these deposits remains as a question, this paper summarized the geological characteristics and the mineralization setting in detail, and divided these ore deposits into three types, i. e. Wulagen-type, Sareke-type and Jiashi-type. Their genesis was respectively hot brine leaching, hot brine leaching-superimposed reformation and syngenetic sedimentation. The prospecting emphasis in southwestern Tianshan Mountains should be put on two aspects. First, some exploration blank area should be given more effort, such as Kuzigongsu, Tuoyun, Tuopa and Keziletuo intermountain basins, and the margin and deep of Kashi hollow and Sareke basin. Second, minerals assessment and prospecting should be enhanced in the north of Keping basin and the western margin of Kuche-Baicheng basin.

Key words: southwestern Tianshan Mountains; glutenite-hosted; genesis; exploration direction

收稿日期: 2014-01-02; 修回日期: 2014-07-14

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项课题(201211073-02), 国土资源大调查项目(1212010813046)联合资助

作者简介: 张振亮(1974-), 男, 江西丰城人, 博士, 高级工程师, 研究方向为矿床地球化学和石油地球化学。E-mail: liang-zhen_74@163.com

沉积岩容矿金属矿床是世界上铜铅锌资源的最主要来源,大多数世界级的铅锌矿床、部分铜矿床均赋存于沉积岩中(Goodfellow W D, 1987; Sangster D F, 1994; Leach D L et al., 2005, 2010)。近年来,赋存于新疆西南天山中新生界沉积盆地、以砂砾岩为主岩并具大型-超大型远景的铜铅锌矿床备受关注(赵仁夫等, 2002)。例如,乌拉根铅锌矿(孔祥兴, 1984; 叶庆同等, 1999; 蔡宏渊等, 2002; 谢世业等, 2003; 祝新友等, 2010; 张舒, 2010)、伽师铜矿(王思程等, 2011; 年武强等, 2007)、滴水铜矿(韩文文等, 2011; 刘伟, 2008)、萨热克铜矿等(李志丹等, 2011)。随着地质勘探的进一步深入,乌拉根矿床、伽师铜矿、滴水铜矿、萨热克铜矿资源量均已达大型规模,其中乌拉根矿床的勘查突破被评选为2007年“中国地质找矿十大成果”(李志丹等, 2013)。

上述矿床的重大找矿突破有力地推动了西南天山区域铜铅锌的找矿勘查。目前,在乌拉根铜矿点矿床外围下白垩统克孜勒苏群砂砾岩层位中,已发现或正在勘查的有康西、吉勒格、江格结尔、穷库尔等铅锌矿点和杨叶、花园等铜矿点,在伽师铜矿外围,发现西克尔、通古孜、吐根曼苏等铜矿点,在滴水外围,发现阿捷克、黑孜、巴西克其克、乔克马克、库兰康等铜矿点,指示出良好的铅锌找矿前景。但在成因认识上,对于砂砾岩容矿金属矿床成因一直存在较大的争议,尤其是乌拉根铅锌矿床,先后有喷流沉积型(蔡宏渊等, 2002; 谢世业等, 2003; 蔡宏渊等, 2004)、喷流沉积-热液叠加改造型(何鸿, 2007)、热卤水型(叶庆同等, 1999; 李丰收等, 2005)、盆地热卤水沉积-改造成因(白洪海等, 2008)、层控砂(砾)岩型(李博泉等, 2006)、MVT型(祝新友等, 2010; 张舒, 2010)等不同认识提出,争议颇多。由此可见,对西南天山砂砾岩容矿铜铅锌矿床类型、成因进行重新厘定,具有重要的理论及现实意义。笔者在综合前人成果基础上,结合详细野外及室内地质观察,对西南天山砂砾岩容矿矿床类型、成因、找矿方向进行了探讨,旨在为今后在该地区进行地质找矿提供依据。

1 成矿地质背景和矿床(点)分布

1.1 区域成矿地质背景

1.1.1 地层

西南天山砂砾岩容矿金属矿床主要分布于新疆

塔里木盆地西北缘的一系列中新生界陆相山前、山间盆地中,其中喀什凹陷、萨热克巴依断陷盆地、柯坪前陆盆地、库拜盆地是主要的含矿盆地。

山间盆地夹持于南天山与西昆仑山两大山系之间,为塔里木盆地西北缘的次级构造单元,南天山造山带及北西向费尔干纳右行走滑断裂共同构成了本区的主要构造格局。例如,喀什凹陷、萨热克巴依断陷盆地、托云盆地、托帕盆地、克孜勒陶断陷盆地等。盆地具有双层结构:基底为前寒武纪变质岩系;盖层则有所不同,南部盆地主要为第三纪、第四纪陆源碎屑沉积物(克孜勒陶断陷盆地),北部则为中生代陆相、海相沉积岩(喀什凹陷、萨热克巴依断陷盆地等);区内基本缺失二叠系和三叠系。

山前盆地位于南天山构造带和塔里木盆地之间,为再生型前陆盆地。盆地除缺失三叠系和侏罗系外,寒武系、第三系均有分布。其中,古近纪-新近纪主要为一套河湖相、山麓相沉积(谭秀成等, 2006),发育巨厚的蒸发岩,自下而上依次划分为库姆格列木群、苏维依组(古近系)、吉迪克组、康村组、库车组(新近系)。主要赋矿地层为苏维依组和康村组。主要盆地有柯坪、库车-拜城盆地。

1.1.2 构造

西南天山中生代以来主要发生过5次重大构造事件(罗金海等, 2005),分别是:①早二叠世-晚三叠世南天山洋和古特提斯洋两大洋盆的闭合,使喀什凹陷逐渐从塔里木盆地中分离出来,形成独立的喀什凹陷。由于喀什凹陷东西两侧应力不平衡,造成凹陷中生代初普遍抬升,仅在乌恰县水泥厂附近见到三叠系发育。②早、中侏罗世区域拗陷与塔拉斯-费尔干纳断裂的活动使喀什凹陷持续区域性下陷,在南天山和西昆仑山山前形成一系列冲积扇相-扇三洲相粗碎屑含煤建造,喀什凹陷中心地段形成滨浅湖-半深湖相含煤细碎屑岩。同时形成库孜贡苏和克孜勒陶断陷盆地,盆地内由于快速堆积而形成以砂岩为主的巨厚粗碎屑物。③晚侏罗世南北对冲作用与抬升事件,造成喀什凹陷整体上隆,沿南天山和西昆仑山山前沉积的中-下侏罗统开始遭受剥蚀,和两大山体一起成为盆地局部地段上侏罗统的物源。因此,在库孜贡苏断陷南侧和两大山系山前局部地段形成上侏罗统库孜贡苏组杂色粗碎屑岩沉积。同时,塔拉斯-费尔干纳断裂和库孜贡苏断陷在晚侏罗世末已停止活动,成为南天山的一部分。④

白垩纪—古近纪区域拗陷作用与海侵事件及局部火山作用,使喀什凹陷上白垩统英吉莎群(K_2yn)到始新统一渐新统喀什群(Eks)的沉积了累计残余厚度达 4 500 m 的海湾-泻湖相碳酸盐岩-陆源碎屑岩-膏泥岩组合。另外,早白垩世和古近纪期间在乌恰县托云地区及塔拉斯-费尔干纳断裂以东的中亚天山地区均发生了玄武质火山活动。⑤新近纪—第四纪帕米尔弧的形成与南北向区域挤压作用,导致喀什凹陷与西侧的北阿富汗-南塔吉克盆地隔开,在南天山和西昆仑山山前形成一系列冲断带,而且冲断作用至今还在进行,并使老地层持续接受剥蚀,形成新的砂岩层。同时,导致油气生成和上侵,红层、黄层如克孜勒苏群、库孜贡苏组发生次生还原作用,岩石颜色由原来的黄色变为灰绿色或灰白色。

可以看出,这 5 次重大构造事件均对西南天山中新生成盆地的形成具有重要的意义,也对区域油气和砂砾岩容矿矿床的形成起到了促进作用。

1.1.3 岩浆活动

岩浆活动在西南天山托云盆地相当活跃,岩性以玄武岩及脉岩为主,火山活动持续时间长,从早白垩世开始延续到始新世,同位素年龄在 36~120 Ma 之间,火山活动显示出脉动式喷发或侵入的特点。另外,萨热克巴依、柯坪盆地西缘也发现有辉绿岩脉出现。

1.2 区域矿床(点)分布

西南天山中新生界沉积盆地集铜(J_3 、 E_1 、 N)、铅锌(K_1)、铀(K_1)、油气(K_1)、煤(J_1)、盐(K_1)于一体,构成重要的沉积矿床成矿系列。尤其是砂砾岩容矿铜铅锌矿。目前,已发现或勘查的有伽师、滴水、花园、西克尔、萨哈尔、托克乔尔、卡巴加特、喀拉丹、丹格-恰别尔、吉里德热、乌鲁加尔峡沟、巴楚莫洛克斯、杨叶、塔依布拉克、乔克马克等多个铜矿床(点)和乌拉根、康西、吉勒格、江格结尔、穷库爾等铅锌矿点,构成西南天山重要的铜铅锌成矿带(图 1)。与邻国哈萨克斯坦古生代地层容矿的杰兹卡兹甘特大型海相砂页岩型矿床不同(孔祥兴等,1984),此类矿床以中新代砂(砾)岩容矿为特征。

从上述矿床(点)分布可以看出,铅锌矿和铜矿有着明显的不同。铅锌矿基本位于喀什凹陷中,以乌拉根铅锌矿为中心,周围散布一些中小型矿床(点),赋矿地层主要为下白垩统克孜勒苏群第五岩性段及古新统阿尔塔什组(E_1a)泥质白云岩。铜矿

则广泛分布于萨热克断陷盆地、喀什凹陷、柯坪前陆盆地、库拜盆地等一系列中新代盆地中,如喀什凹陷有杨叶、花园等铜矿点,萨热克断陷盆地有萨热克铜矿床,柯坪前陆盆地有西克尔、通古孜、吐根曼苏、伽师等铜矿床(点),库拜盆地(库车-拜城盆地)有滴水、阿捷克、黑孜、巴西克其克、乔克马克、库兰康等铜矿(床)点。矿床(点)分布较为分散,赋矿地层从上侏罗统到新近系,但主要含矿层为上侏罗统库孜贡苏组、古近系、新近系康村组。

2 矿床类型

西南天山砂砾岩容矿金属矿床(点)可分为 3 种类型:乌拉根式、萨热克式和伽师式。

2.1 乌拉根式矿床

2.1.1 矿床地质特征

乌拉根式矿床主要分布于喀什凹陷,包括乌拉根、康西、吉勒格、江格结尔、穷库爾等铅锌矿床(点),其中最重要的矿床为乌拉根铅锌矿床。

乌拉根铅锌矿床位于塔里木盆地西部喀什凹陷西北部。矿区除在南部露出中元古界长城系阿克苏群基底建造外,主要由分布于乌拉根向斜两翼的中、新生界地层组成。其中,下白垩统克孜勒苏群第五岩性段褪色灰白色砂砾岩是乌拉根矿床最主要容矿岩石,少量矿体赋存于古新统阿尔塔什组泥质白云岩中,在矿区阿尔塔什组部分下段石膏岩为坍塌角砾状白云岩所替代,残余白色石膏岩在局部仍可见。

矿区构造较为发育,乌拉根向斜是最主要构造形态。中新统帕卡布拉克组为向斜核部,向斜轴向为北东东。向斜南翼黑孜威断裂(F_1)为逆冲断层,切穿侏罗系和元古宇;北翼近东西向吾合沙鲁断裂(F_2)为阿尔塔什组与克孜勒苏群的层间逆断裂;东西向 F_3 逆断裂使白垩系及侏罗系错动。矿区东部杨叶地区发育 2 条相交逆断裂,使地层错动及局部抬升。矿区内未见岩浆活动或火山活动痕迹。

铅锌矿体主要呈板状顺层分布于乌拉根向斜南、北两翼,矿体产状随地层产状变化而变化。克孜勒苏群第五岩性段灰白色砂砾岩及古新统阿尔塔什组灰色泥质白云岩为容矿岩石,矿体产出严格层控,矿化带延长大于 3 km。以乌拉根向斜轴为界,将乌拉根矿体划分为南、北 2 个矿带。北矿带赋矿岩石为克孜勒苏群第五岩性段砂砾岩及阿尔塔什组泥质

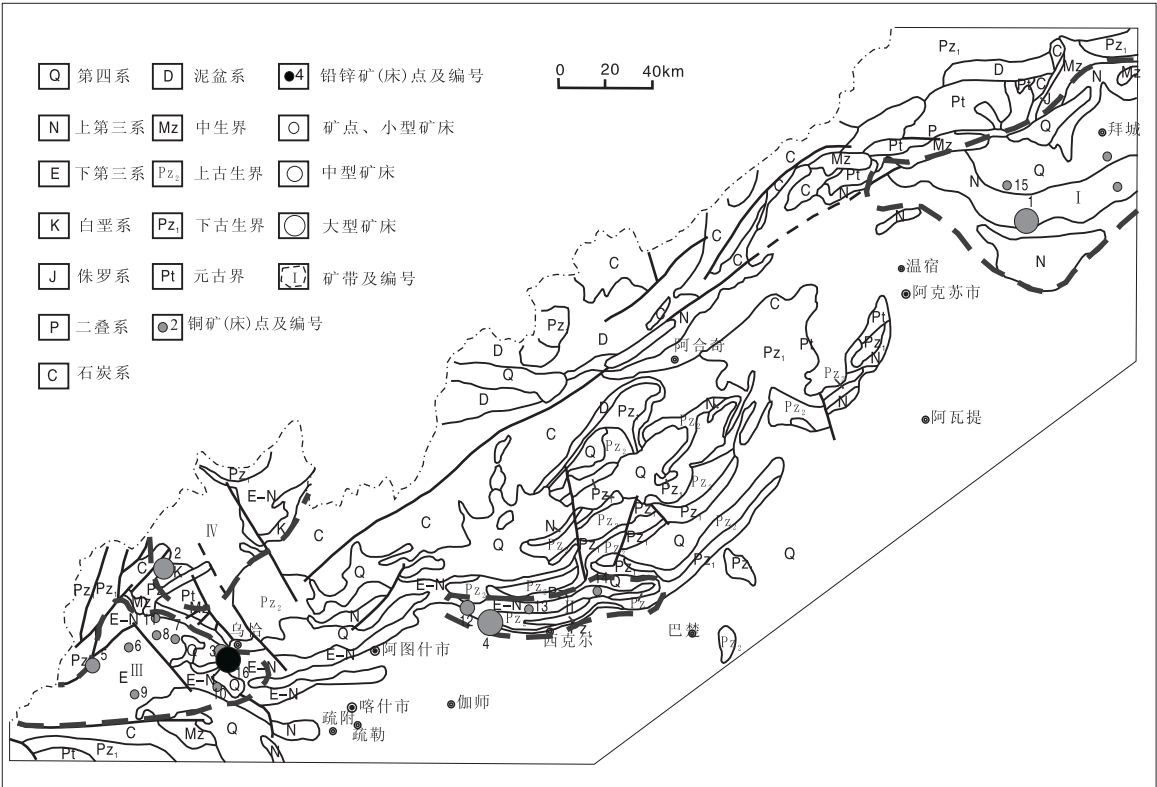


图 1 新疆西南天山砂砾岩型矿床分布图(据白洪海等,2008,有改动)
Fig. 1 Theglutenite-hosted type ore deposits in the South of Tianshan Mountains,XinJiang
(from Bai honghai and Shi Yunjun,2008)

1.滴水铜矿;2.萨热克铜矿;3.花园铜矿;4.伽师铜矿;5.沙哈尔铜矿;6.托克逊铜矿;7.卡巴加特铜矿;8.喀拉丹铜矿;9.丹格恰别尔铜矿;10.吉里德热铜矿;11.乌鲁克峡沟铜矿;12.大山口铜矿;13.西克尔北铜矿;14.巴楚莫洛克斯铜矿;15.乔克马克铜矿;16.乌拉根铅矿;I.库车-拜城山前盆地铜矿带;II.西克尔-山岔口铜矿带;III.乌恰山间盆地铜矿带;IV.托云断拗盆地铜矿带

白云岩,控制矿化长度大于 3.5 km,平均宽度 100 m。南矿带矿化主要位于克孜勒苏群第五岩性段灰白色砂砾岩中,地表控制矿化长约 4 km,平均宽约 150 m。向斜南、北两翼的铅锌矿化在转折端连成一体。

乌拉根矿石主要为浸染状矿石,矿石矿物以闪锌矿为主,方铅矿次之,具有微细浸染状构造,铅锌硫化物主要通过交代砂岩粒间胶结物而成矿。此类矿石是乌拉根矿床最主要的矿石类型,在南、北矿带均大量发育。矿区南矿带局部发育砾岩容矿的矿石,表现为白铁矿、方铅矿、闪锌矿围绕砾石发育,在砾石裂隙间可见有硫化物充填,砾石内部发育以方铅矿为主的微晶浸染体和细脉状集合体,硫化物通过交代砾石间胶结物及充填砾石裂隙成矿。另外,在南、北矿带克孜勒苏群第 5 岩性段中均发育块状、

团斑状、细脉状、脉状矿石,矿石矿物以方铅矿为主,北矿带块状矿石中可见砂岩成分残留,南矿带块状矿石铅锌硫化物围绕石英生长,可见方铅矿被白铁矿交代和石英次生加大现象。南矿带 2 190 m 标高中段坑道内,可观察到一条规模不大的正断层破碎带,断层切穿克孜勒苏群第五岩性灰白色砂砾岩及阿尔塔什组泥质白云岩,使矿石呈角砾状。

乌拉根矿床围岩蚀变有碳酸盐化、天青石化、石膏化及褐铁矿化等,蚀变较弱且相对简单。区域还原引起的褪色蚀变广泛发育于容矿砂砾岩层位中。

2.1.2 地球化学特征

前人(李志丹等,2013)研究证实,矿石硫同位素组成变化大($\delta^{34}\text{S}$ 为 27.9‰~14.6‰),极差达 42.5‰。其中,方铅矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 27.9‰~14.6‰,平均值为 -10.9‰;闪锌矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -16.3‰~

1.1‰, 平均值为 -6.08‰; 黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -8.6‰~-4.4‰, 平均值为 -6.46‰; 硫化物大致具有 $\delta^{34}\text{S}$ 黄铁矿 $> \delta^{34}\text{S}$ 闪锌矿 $> \delta^{34}\text{S}$ 方铅矿的趋势。硫酸盐(石膏、天青石) $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 17.9‰~18.6‰, 极差仅 0.7‰。

铅锌矿石中硫化物样品 Pb 同位素组成较为集中。其中, 方铅矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.612~18.663, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.619~15.669, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.677~38.739; 黄铁矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.528~18.626, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.611~15.638, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.616~38.732; 闪锌矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.626, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.638, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.731, 矿石铅同位素模式年龄在 39~98.5 Ma, 平均为 56 Ma; μ 值为 9.47~9.57, 平均值为 9.51; ω 值为 36.40~37.41, 平均值为 36.87; κ 值为 3.72~3.78, 平均值为 3.75。地层全岩样品 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 18.362~18.629, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.594~15.662, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 38.38~38.79, 模式年龄变化于 51.9~194.7 Ma, 平均值为 108 Ma; μ 值为 9.46~9.56, 平均值为 9.51; ω 值为 36.46~37.32, 平均值为 36.87; κ 值为 3.73~3.78, 平均值为 3.75。硫化物与地层全岩无论 Pb 同位素组成还是特征参数均极为相似, 暗示两者之间具有亲缘性。

石膏中包裹体大小一般为 1~5 μm , 最大为 10 μm , 类型为气、液并存, 气液比为 3%~60%, 一般为 10%~25%。均一温度为 64~193 $^{\circ}\text{C}$, 可分为 2 组, 第一组为 64~126 $^{\circ}\text{C}$, 平均为 98.18 $^{\circ}\text{C}$; 第二组为 144~193 $^{\circ}\text{C}$, 平均为 156.19 $^{\circ}\text{C}$ 。矿石矿物流体包裹体成分包括 H_2 、 O_2 、 CH_4 、 CO_2 、 H_2O 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 F^- 、 Cl^- , 成矿溶液中阳离子浓度大小排序为 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, $\text{Na}^{2+} > \text{K}^+$ 。

2.1.3 成因

前已述及, 乌拉根铅锌矿成因存在较大争议, 其中主流观点为喷流沉积型。

矿床矿石 S 同位素组成变化大。较宽的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围可能指示成矿流体在盆地内活动期间与不同地层单元发生了相互作用并继承了不同物质单元的 S 同位素特点, 或者反映了矿石 S 的形成方式或来源具有多样性。成矿流体在盆内活动, 势必会有地层 S 的加入。但地层 S 是否矿石 S 的主要来源? 古新统阿尔塔什组地层中硫酸盐 $\delta^{34}\text{S}$ 为 17.9‰~

18.6‰, 与矿石 S 有较大差异, 暗示除地层 S 外, 还有其他来源 S 的参与。乌拉根矿区南、北矿带以及外围下白垩统克孜勒苏群层位中大量油气的显示, 还有下白垩统克孜勒苏群杨叶古油藏、阿克莫木气田的发现及乌拉根南矿带坍塌角砾岩中油苗的存在, 暗示含 S 有机质的热分解与还原可能也是矿石 S 的一种来源。岩浆 S 虽然也可成为一种假设来源, 但乌拉根地区方圆几十千米范围内并未发现与地层、矿体形成时间相当的岩体、岩脉(枝)和火山岩存在, 也无火山口、火山通道等火山机构存在, 成矿流体温度也远低于岩浆热液流体温度; 矿石主体不呈条带状, 代表深部流体来源的 H_2 、 N_2 、 CH_4 等气体含量远低于 H_2O 、 CO_2 等不确定来源气体的含量及极少量矿石 S 为正值的事实, 排除了岩浆 S 的参与, 同时也排除了矿床喷流沉积成因的可能性。因此, 矿石 S 可能来源于地层 S 和有机 S。实验(Machel H G, 1987)证实, 在温度大于 100 $^{\circ}\text{C}$ 条件下, 有机质可分解形成 CH_4 , CH_4 与 SO_4^{2-} 在合适催化剂(SO 、金属离子、黏土或二氧化硅凝胶)的作用下, 可快速生成还原 S, 反应式为: $\text{CH}_4 + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{S}^{2-} + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 。另外, 有机质与金属离子在卤水中一起搬运时可与溶解的硫酸盐发生反应并生成方解石和 H_2S (李发源等, 2002), 反应式为: $\sum \text{C}_n\text{H}_m(\text{烃类}) + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{S} \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ 。矿区阿尔塔什组石膏岩层大量发育, 成矿流体中有机质烃类成分与溶解的 SO_4^{2-} 反应, 生成 H_2S , 提供了大量成矿所需的还原 S。流体包裹体的研究表明, 成矿流体温度在 100 $^{\circ}\text{C}$ 以上, 完全有条件溶蚀石膏岩层, 促进有机质的热解和还原 S 的形成。

乌拉根矿床无论地层 Pb 还是硫化物 Pb 同位素都十分均一, 均投点于造山带与上地壳之间和造山带演化线附近(李志丹等, 2013)。Pb 同位素组成特征指示成矿物质来源于上地壳和造山带剥蚀区。由于造山带 Pb 具有不均一性, 矿石 Pb 却十分均一, 暗示成矿可能混合了多种储库的 Pb(Stacey J S et al., 1983; 吴开兴等, 2002), 且混合完全(李文博等, 2006)。 $\Delta\beta - \Delta\gamma$ 图解显示矿石样品及地层岩石样品均集中分布于上地壳与地幔混合的俯冲带 Pb(岩浆作用)范围内。但乌拉根矿床赋存于造山后山间/山前盆地, 明显非俯冲带环境且区域内并无幔源岩浆活动及有效沟通地幔的通道。前人研究表明, 西南天山山前/山间凹陷或断陷盆地中新世代地层

砂泥质岩石均来自古老地层(长城系变质岩)的快速风化剥蚀,这些古老地层的岩石 Pb 具有幔源特征。因此,归根到底,矿石 Pb 来自于老地层的风化岩石。

上述特征表明,乌拉根矿石具有明显的后生成矿特征,也与 MVT 型矿床较为相似(矿石以充填或交代围岩为主要成矿形式,矿区及外围下白垩统层位中发育有大量油气显示,容矿层发育区域性不规则褪色蚀变,矿床后生成因等)。但 MVT 型矿床主要以白云岩及少量灰岩等典型碳酸盐岩为容矿岩石。乌拉根矿床虽有少量块状矿石赋存于白云岩中,且表现为充填白云岩开放空间成矿,但乌拉根矿石主体发育于砂砾岩中,与 MVT 矿床容矿岩石类型存在明显差异。浸染状砂岩中矿石虽具后生成矿特点,但都表现为流体交代砂岩粒间胶结物而使硫化物沉淀的特征,白云岩中后生块状矿石则可能是吾合沙鲁断裂的活动使流体再活化、矿质进一步富集时充填开放空间形成的。另外,典型, MVT 矿床一般富放射性成因异常 Pb (Leach D L et al., 2005),但乌拉根矿石中硫化物 Pb 同位素组成极为均一,不含异常 Pb。因此,也基本排除矿床 MVT 类型的成因可能。

流体包裹体均一温度为 $64\sim 193\text{ }^{\circ}\text{C}$,加上压力校正值,实际成矿流体温度可能为 $80\sim 230\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由于白垩纪—古近纪区域性拗陷作用,喀什凹陷容矿层克孜勒苏群地层以上沉积了一套海湾-泻湖相碳酸盐岩-陆源碎屑岩-膏泥岩组合,沉积厚度约为 $4\,000\sim 5\,000\text{ m}$ 。以 $3.0\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 的地热增温率计算,容矿层最大地层温度不超过 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$,低于成矿流体的高温部分。李昌存等(1997)研究表明,喀什凹陷克孜勒苏群砂岩经历的最大古地温为 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,与笔者推断较为一致。这暗示除地层提供一部分成矿所需热量外,还有部分热量来自于其他方面。由于矿区范围内成矿时无岩体(脉)发育,也无火山活动痕迹,成矿尚缺的热量只能来自于矿区外部。野外踏勘和前人研究结果表明,早白垩世到始新世,邻区托云盆地存在大规模的火山作用,火山活动区与乌拉根铅锌矿区直线距离约为 $50\sim 60\text{ km}$,完全有能力传输一部分热量到邻区。因此,乌拉根铅锌矿的成矿流体实际为加热的地层水+油田水,即盆地热卤水。矿床成因为热卤水溶滤沉积型。

矿床形成主要经历 3 个阶段:①原生物质沉淀

期:由于洪水的冲刷,大量金属离子在水溶液中与 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 OH^- 、 Ac^- 等形成盐类溶液或胶体溶液被流水搬运到湖泊中沉淀下来。由于水中有有机质的分解释放了部分 H_2S ,使沉积环境由弱酸性氧化条件逐渐向弱碱性还原条件过渡,胶体或溶液围绕小的质点(如砂粒、软泥、生物残骸等)进行聚集,吸附在这些质点表面形成沉淀,淀积成最初的矿源层。在成岩过程中,沉积物空隙中厌氧生物在分解有机物的同时还把硫酸盐(SO_4^{2-})还原分解,生成 H_2S ,促使金属元素迁移能力发生改变生成含金属硫化物的成矿溶液,形成最初的大而贫的矿层。②热卤水(包括油田热卤水)溶滤沉积期:由于托云盆地玄武岩的喷发作用,乌拉根地区地层中卤水加热,卤水萃取金属元素的速度大幅度加快,并促使有机质热还原作用加速;同时热卤水的上侵,促使有机质大量热解膏岩层形成大量还原 S,膏岩层溶蚀、坍塌但未溶穿,成矿流体局限于膏岩层以下地层中循环萃取成矿元素。需要说明的是,有机质热解,包括沉积物间隙中微生物对有机质的热解和油田水中有有机质的热解两个方面。当地层热卤水(加热的地层水)与油田热卤水相遇,由于性质不同,造成了金属硫化物的大量沉淀。这个沉淀,是大范围的,即喀什凹陷范围内。在热卤水萃取成矿元素过程中,对含矿层位红色砂岩的 Fe 元素进行了活化,使 Fe 以离子的形式进入溶液中,红色砂岩褪色呈白色或绿色层。③低温热液叠加期:成矿后期,吾合沙鲁断裂活动使流体再次活化,矿质进一步富集,充填于断裂附近矿体中,形成脉状特富铅锌矿脉。例如,北矿带及南矿带 $2\,190\text{ m}$ 标高中段坑道矿体。

2.2 萨热克式矿床

2.2.1 矿床地质特征

萨热克式矿床主要分布于萨热克断陷盆地,主要为萨热克铜矿床。

萨热克铜矿床产出由南北 2 条边界断裂(F_1 、 F_2)所夹持的萨热克巴依次级盆地中,盆地内发育侏罗系、白垩系及第四系盖层,盆地边缘为长城系基底建造。其中,上侏罗统库孜贡苏组上段(J_3k_2)灰绿色砾岩夹砂岩透镜体,是萨热克铜矿的主要赋矿岩性。

萨热克巴依次级盆地总体为萨热克巴依南逆断裂及萨热克巴依北逆断裂所夹持,形成两翼翘起,北翼陡、南翼缓的局部不对称向斜,向斜轴近北东向延

伸,两翼侏罗系地层均倾向南西,核部为下白垩统克孜勒苏群(K_1kz)。除发育控盆断裂外,还发育了一系列的小断裂、裂隙、破碎和北西向次级小型平移断层,控制了矿化的分布。这些断裂、断层和裂隙在平面上使矿体穿层,在剖面上形成一系列陡倾的矿体。矿区未见大的侵入体,仅在矿区南部发育大量小型辉绿岩脉体,脉岩成分为辉绿岩和辉绿辉长岩,局部地区向辉长岩变化。脉体出露宽度一般为0.1~5 m,延长为20~950 m,延伸方向散乱无章,多切层产出。脉岩两侧砂砾岩存在普遍的褪色蚀变现象,岩石颜色由紫色变为灰白色,褪色带沿脉岩产状的变化而变化,有时可见有少量浸染状辉铜矿化或方解石脉。

萨热克铜矿体可划分为南、北2个矿带。北矿带位于萨热克巴依向斜的北翼,南矿带分布于向斜南翼。北矿带是萨热克铜矿床的主要矿带。矿体呈层状、透镜状产于侏罗系库孜贡苏组上段(J_3k^2)砾岩层位中,矿化层呈北东东向延长,大于2 km,厚2~10 m,控制延深大于500 m(祝新友等,2011)。铜矿(化)体严格层控,向深部呈厚大透镜状,可见铜矿(化)体分布于砾岩层位的顶部、中部和底部,品位自上而下逐渐减低。矿体Cu品位为0.66%~1.18%,最高达10%,共伴生Ag品位较低,约为 12×10^{-6} (叶庆同等,1999)。南矿带矿体较小,除赋存于库孜贡苏组上段(J_3k^2)砾岩中外,在辉绿岩脉附近也发现有小的矿(化)体。

矿石金属矿物主要为辉铜矿和孔雀石,其次为黄铜矿、铜蓝、蓝铜矿、斑铜矿、黝铜矿、闪锌矿和黄铁矿等。其中,辉铜矿和孔雀石是最主要的矿石矿物,分布广泛;黄铜矿仅见于矿带深部钻孔中(祝新友等,2011)。含孔雀石矿石在砾岩中常呈稠密-稀疏浸染状构造,辉铜矿在砾石边部呈团斑状构造,部分孔雀石在砾石外围呈星点状构造。显微镜下可见辉铜矿、铜蓝交代砂屑颗粒之间胶结物,挤压成条状的石英被细脉状辉铜矿切穿,辉铜矿交代石英云母片岩,辉铜矿填充于碎屑物裂隙中,黄铁矿边部被闪锌矿交代等现象。矿区蚀变主要表现为容矿地层的大规模褪色,也可见硅化、绢云母化和碳酸盐化等蚀变。

2.2.2 地球化学特征

萨热克铜矿区辉铜矿S同位素组成为-24.0‰~-19.0‰,极差为5‰,以明显亏损 $\delta^{34}S$ 为特征。

萨热克铜矿呈单峰式集中分布。在S同位素分布图中,所有辉铜矿 $\delta^{34}S$ 值均落入沉积岩S同位素分布范围(李志丹等,2011)。

矿石 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 值为18.475~18.642(平均为18.566), $^{207}Pb/^{204}Pb$ 值为15.606~15.676(平均为15.642), $^{208}Pb/^{204}Pb$ 值为38.585~38.795(平均为38.704)。经H-H单阶段铅演化模式计算(李志丹等,2013),萨热克铜矿的辉铜矿Pb同位素模式年龄介于55.4~178.5 Ma,平均为107 Ma。 μ 值变化范围为9.47~9.59,平均值为9.53。 ω 值变化于36.66~37.41,平均值为37.12。 κ 值为3.75~3.80,平均为3.77。

2.2.3 成因

萨热克铜矿矿石S同位素组成全为负值, $\delta^{34}S$ 值分布于-24.0‰~-19.0‰,极差较小,指示辉铜矿形成时矿床具有均一的S源,同时在辉铜矿结晶过程中未发生S同位素的明显分馏,同时也暗示矿石S来源于硫酸盐的生物动力分馏。从矿区地层来看,萨热克断陷盆地基底地层长城系阿克苏群岩性为钙质片岩、云母石英片岩、大理岩,变质作用强烈,膏岩层不发育;盖层志留系以浅变质岩为主,包括千枚岩、变质砂岩、大理岩夹石英岩,膏岩层不发育;上侏罗统库孜贡苏组、下白垩统克孜勒苏群均为陆相红色砂(砾)岩沉积,也不含膏岩层;盆地缺失古近系;新近系岩性为松散的砂岩,地层岩性决定了盆地本身难以提供大规模成矿作用所需的S。但是,邻区(如托云盆地、喀什凹陷等)均有古近系、新近系地层发育,如阿尔塔什组、齐姆根组、卡拉塔尔组、巴什布拉克组、克孜洛依组等,这些地层中石膏、天青石等硫酸盐大量发育;区域泥盆系、石炭系岩性也主要为灰岩为主的碳酸盐岩,可以为铜矿化提供丰富的S源。因此,矿石S可能来自邻区地层,其动力来自于新生代玄武岩的喷发作用。有机质则来自地层本身和矿区附近含煤层位(沙里拜煤矿),其中主要是含煤层位。

在铅构造模式图中(李志丹等,2011),萨热克铜矿所有样品Pb同位素组成均投点于造山带与上地壳之间,靠近造山带演化线,明显偏离地幔Pb源区,未显示任何幔源物质参与成矿的信息。因此,萨热克铜矿区域内虽然发育幔源岩浆活动,但并未提供成矿物质,萨热克矿床成矿物质主要来源于上地壳和造山带的剥蚀区。

矿物组合主要为辉铜矿+黄铜矿+方解石,以及少量的黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等,围岩蚀变范围较小,为紫色砂岩的退色,这些都显示出一种低温热液活动特点,矿化具有强烈的层控性质。但矿石S主要来自邻区地层而非矿区含矿层本身,显示了后生成因的特点。矿体总体顺层,但穿层现象也很清晰,断层、裂隙、断裂内含Cu矿物富集的现象也很明显,充分显示了构造作用对成矿的影响,也暗示了后生成矿的可能性。后生成矿及矿区大范围褪色蚀变的事实说明,矿床成矿流体为加热的地层热卤水。加热的能量可能主要来自托云盆地玄武岩的喷发和矿区北部辉绿岩的上侵。因此,萨热克铜矿非前人(刘宏林等,2010)认定的喷流沉积型成因,而为热卤水溶滤沉积-构造叠加型成因,即含矿热卤水顺层和构造面充填形成矿体。

2.3 伽师式矿床特征

伽师式矿床主要分布于柯坪前陆盆地和库拜盆地,包括西克尔、通古孜、伽师、滴水、阿捷克、黑孜、巴西克其克、乔克马克、库兰康等铜矿床(点),其中最重要的矿床为伽师、滴水铜矿床。

2.3.1 伽师铜矿

2.3.1.1 矿床地质特征

伽师铜矿区位于柯坪塔格背斜倾角较陡的南翼,出露石炭系、二叠系、白垩系、古近系、新近系和第四系。古近系根据岩性可分为8层,含矿层就位于古近系的含岩屑钙质细砂岩及局部地段的中粗粒砂岩中,与上覆的石膏层在矿区内稳定延伸。矿区内除柯坪塔格背斜外,矿层中见少量成矿后小断层错断矿体。区内无火山岩、侵入岩发育。

含矿层走向北西西,长3 km,宽4~6 m,与其顶底板岩层产状一致,整合产出。在此含矿层中圈出3个矿体。矿体呈层状或陡倾斜板状,倾向南西,倾角 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$,局部近直立。单矿体长度为100~650 m,厚度为1.98~5.83 m。矿体深部含Cu矿物变为斑铜矿,品位有变富的趋势,但1号矿体在深部出现尖灭。矿体多出露地表,但延深较大。矿石矿物组成较为简单,含量较低,约占5%~10%,主要为辉铜矿、斑铜矿,其次为铜蓝、孔雀石、硅孔雀石,偶见赤铜矿、蓝铜矿、黄铁矿和闪锌矿;非金属矿物占总含量的90%以上,主要为石英、长石、方解石、石膏、泥质物质,含极少量白云母。

矿石具稀疏浸染状构造、细脉状构造、星点状构

造、团块状构造和结核状构造。稀疏浸染状构造主要为孔雀石、辉铜矿呈他形粒状或集合体分布于矿石中,矿石矿物含量约为1%~2%。细脉状构造是脉宽为2~5 cm不等的辉铜矿,其在矿层中任意分布,一般靠近顶底板有富集现象,铜矿物含量较高,一般约为2%~5%。星点状构造即孔雀石、辉铜矿呈他形晶粒或集合体,以星点状不均匀分布于矿石中。含团块状构造及结核状构造的铜矿石产于粒度更细的砂岩中,二者Cu品位较高。

矿石中常见粒状结构,孔雀石、辉铜矿、铜蓝等呈他形粒状结构。同时,这些矿物大多数都是与钙质、泥质、石膏等共同构成砂岩中石英等碎屑颗粒的胶结物,从而形成胶结结构。此外,辉铜矿集合体内部残留有不规则状、孤岛状的钙质或泥质胶结物及石英颗粒,显示沉积成岩后含Cu的成矿流体交代先成胶结物及碎屑物而形成辉铜矿等硫化物矿物的后生特点。

2.3.1.2 地球化学特征

伽师砂岩型铜矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值为-33.4‰~3.9‰,集中于-33.4‰~-24.6‰。相比萨热克铜矿以明显亏损 $\delta^{34}\text{S}$ 为特征。矿石S同位素呈离散分布。在S同位素分布图中,绝大多数辉铜矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值均落入沉积岩S同位素分布范围,少量样品与变质岩和地球外物质 $\delta^{34}\text{S}$ 值分布范围重合(王思程等,2011)。

矿石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为18.376~18.607(平均为18.523), $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为15.612~15.655(平均为15.640), $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为38.475~38.747(平均为38.615)。经H-H单阶段铅演化模式计算,伽师铜矿Pb同位素模式年龄介于82.6~242.5 Ma,平均为136.9 Ma。 μ 值变化范围为9.48~9.55,平均为9.53。 ω 值变化于36.15~37.26,平均为36.92。 κ 值变化于3.67~3.79,平均为3.75。

2.3.1.3 成因

矿石S同位素呈离散分布,轻S同位素富集,极差较大,且多数为负值,显示生物S成因特点。一般来说,生物成因S有2个来源:一为地层中还原S(如黄铁矿),二为膏岩层。但镜下鉴定表明,地层中黄铁矿极其有限,暗示生物S来自膏岩层。野外调研显示,含矿地层E₁为砂泥质岩石与膏岩层互层,含矿层岩屑钙质细砂岩和中粗粒砂岩上部、下部均有膏岩层存在,且延续相当稳定,这为成矿提供了充

足的 S 源。

与萨热克铜矿一样,伽师铜矿所有样品 Pb 同位素组成在 Pb 构造模式图中均投点于造山带与上地壳之间,靠近造山带演化线,明显偏离地幔 Pb 源区,未显示任何幔源物质参与成矿的信息。此外,伽师铜矿区域内无幔源岩浆活动显示。因此,成矿物质主要来源于上地壳和造山带的剥蚀区。

伽师砂岩型铜矿呈带状分布,受白垩纪—古近纪区域拗陷作用和海侵事件、新近纪—第四纪南北向区域挤压作用的影响,形成了中新世沉积盆地。在水体不太深的小型盆地内,长期接受陆源物质的沉积。在干热干旱气候和氧化条件下形成了厚度较大的紫红色泥岩层及蒸发岩(石膏层),由于胶体和黏土吸附等作用形成了铜质初步聚集。在成岩期由于有机质及厌氧细菌作用,形成局部还原环境。层间水和孔隙水不断萃取下伏的或侧向上紧邻的矿源层中的铜质,在渗透性较好的砂岩中富集成矿。由于矿区无岩浆活动的痕迹,也无幔源物质加入的证据,因此伽师铜矿床为沉积成因的层控矿床。

伽师铜矿与我国及国外某些砂岩型铜矿特征较为相似,但成因有着明显的差别。这首先表现在矿床硫化物中 S 和 Pb 的来源不同。伽师铜矿硫化物中 S 的物质来源属于生物细菌还原硫酸盐,而我国云南楚雄盆地的郝家河铜矿中的 S 更多是来自地下深处,与深部地下水循环有关(陈根文等,2002)。其次,含矿岩石中石英次生加大边的发育有所差异:伽师铜矿中石英颗粒并不发育次生加大边,而楚雄盆地的砂岩型铜矿床中石英颗粒次生加大边、石英脉及方解石胶结物、方解石脉中的流体包裹体非常发育。另外,楚雄盆地砂岩铜矿在水平具有明显的分带性,从还原带至氧化带大致可分为辉铜矿、斑铜矿、黄铜矿、黄铁矿 4 个带,而伽师铜矿并不具有水平分带现象,无黄铜矿发现。

2.3.2 滴水铜矿

2.3.2.1 矿床地质特征

滴水砂岩铜矿区出露新近系,由老到新依次为:中—上新统康村组($N_{1-2}k$)红褐色、棕褐色泥岩、泥质粉砂岩、细砂岩和灰绿色泥灰岩,局部夹泥岩和石膏脉;上新统库车组(N_2k)棕褐色砂岩、泥岩夹薄层状泥灰岩及第四系覆盖物组成。康村组为矿区主要赋矿地层,下部为河流冲积相红色砂岩沉积物,上部是浅色湖相沉积物,二者属于同一水体沉积物。滴

水砂岩铜矿区位于铜矿山背斜的北翼,地层呈单斜状,岩层面产状为 $335^{\circ}\angle 20^{\circ}$,中部呈略向南突出的弧状。由于南北挤压应力而派生的压扭性张力的作用,矿区形成了北北西、北西西向 2 组高角度台阶式正断层,延伸较短。2 组断层均为成矿后断层,对矿层有不同程度的破坏作用。

滴水铜矿床由库姆、究坝、究水、阿克别克、阿克和拜西托克拉克 7 个矿段组成,在 A、B、C 矿层中圈出了 6 个矿体。单个矿体长度大,最小 565 m,最大 3 900 m,但矿体厚度小,一般为 1 m 左右,厚度变化小。矿体形态以似层状、层状为主,少量呈拉长的透镜状,倾向北北西,倾角大约 20° ,产状与赋矿地层一致。铜矿体在地表呈条带状,近东西向分布。矿石品位一般约为 1%,属中富矿,总体矿化均匀。矿石中除 Cu 元素外,其他元素含量都很低。

原生金属矿物主要为赤铜矿,少量辉铜矿、铜蓝、斑铜矿;氧化次生金属矿物以孔雀石和褐铁矿为主,其次为蓝铜矿、黑铜矿、氯铜矿、赤铜矿,偶见自然铜。一般在地表主要为孔雀石、赤铜矿、蓝铜矿、黑铜矿和氯铜矿等;在深部 200 m 以下则以辉铜矿为主,赤铜矿、斑铜矿次之。矿石类型随深度的不同也有所不同,地表及浅部为氯化矿石,深部 200~400 m 为混合矿石,400 m 以下为硫化矿石。金属矿物大多数呈他形—半自形粒状结构,填隙胶结结构则为氧化矿物孔雀石、氯铜矿等。矿石构造有浸染状构造、虫管状构造、层状构造、似层纹状构造、斑杂状构造和土状构造等。

2.3.2.2 地球化学特征及成因

矿区岩相古地理分析表明,铜矿化主要富集在河漫盆地相、河湖交替相和湖泊相中;湖底凹陷和湖岸内湾是铜矿化富集的有利古地貌条件,成矿明显受岩相—古地理特征控制。铜矿层位于红色碎屑岩建造的浅色层中,矿体产于浅—紫色过渡的浅色富碎屑钙质层中,表明铜矿化富集受水体中物理—化学条件制约明显。这些特征,也与北祁连天鹿铜矿铜矿较为相似(李金春等,2005)。

滴水铜矿床含矿层下部为煤系地层(高碳质层),上部为泥岩、粉砂质泥岩盖层,圈闭性能良好。含煤建造(高碳质层)中因受热而降解的气、液体容易沿断裂、砂岩孔隙等通道运移至含矿层并进行圈闭,并对含矿层进行褪色作用和金属元素的萃取。目前,这些作用及现象已经被广泛观察到。例如,矿

区内断裂面及断裂破碎带岩石裂隙中有机质残留的薄层(膜)和网脉广泛分布,浅色含铜团斑沿沉积层理分布,矿石均赋存于浅色-绿灰色砂岩中,树枝状铜矿脉、灰绿色含矿层夹持于棕褐色泥岩和泥质粉砂岩中等,同时也暗示有机质在滴水铜矿体的形成过程中扮演了至关重要的角色。与伽师铜矿一样,滴水矿区膏岩层也是矿石S的主要来源。

前人(郭全,2007)研究表明,砂岩的 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 值与含矿性能有着密切的关系。 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}>1.50$,岩石呈红色,矿化不好; $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}<1.50$,岩石以灰色色调为主,矿化富集好;其中形成于弱氧化弱还原条件和弱还原条件的绿灰色、斑杂色调岩石,其 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 值中等,是本区矿化富集最为有利的部位。

滴水铜矿含矿层中水平层理、微波状层理、虫孔、对称波痕相当发育,B、C含矿层为近似全韵律沉积,矿体呈层状、似层状、飘带状。矿石具层纹状、孔隙式或基底式胶结结构,具有同生沉积成因特征。与伽师铜矿相似的是,滴水铜矿砂岩中石英颗粒不发育次生加大边,石英脉、方解石胶结物也不发育,矿物中流体包裹体不很发育,表明滴水铜矿体的形成不具备后生特征。因此,滴水铜矿成因为同生沉积型。

3 找矿方向

可以看出,西南天山砂砾岩型铜铅锌矿床(点)形成于山前、山间盆地中,其找矿也应以这两类盆地为重点。

(1)加强库孜贡苏等中生代山间盆地的评价工作。西南天山山间盆地(喀什凹陷、萨热克巴依断陷盆地、托云盆地、托帕盆地、克孜勒陶断陷盆地、库孜贡苏断陷盆地)夹持于南天山与西昆仑山两大山系之间,受南天山造山带及北西向费尔干纳右行走滑断裂的联合作用,常出现推覆构造(萨热克地区),背斜、向斜等褶皱相当发育(基本上一个小型山间盆地就有一个背斜或向斜构造),北西、北东东向断裂较为发育。盆地中矿床(点)主要受盆地内层间断裂或盆地间断裂的控制。矿区围岩蚀变作用较弱,以碳酸盐化和大规模的褪色作用为特点,偶见绿泥石化,地表常见矿体的次生氧化作用,例如,孔雀石化等。主要矿石矿物为金属硫化物。例如,辉铜矿、斑

铜矿、黄铜矿、闪锌矿和方铅矿等。矿床(点)的形成与托云盆地中新代玄武岩有着一定的联系,其形成时间与玄武岩的喷发时间大致相当,晚于主要赋矿地层。目前,乌拉根、萨热克地区砂砾岩型矿床(点)找矿已获得重大突破,托云、托帕盆地也有多处砂砾岩型金属矿点发现,证实了西南天山中新代山间盆地具有形成砂砾岩容矿矿床的潜力,有着较好的找矿前景,应予以重视。目前,乌拉根向斜分为南北两翼,北翼相继发现乌拉根北矿带、康西、加斯、江结尔等铅锌矿,核部发现花园、杨叶等铜矿,南翼仅发现乌拉根南矿带和吉格勒铅锌矿,且向斜南翼被老乌恰-吾东断裂拦腰切断后出露地表长度远小于北翼,暗示失踪的南翼还存在成矿的可能,寻找失踪的南翼和深部找矿就成为目前乌拉根找矿的重点。萨热克盆地铜矿主要集中于向斜北翼,其找矿取得重大突破。南翼及东部具有与北翼相似的成矿条件,也有大量矿化线索被发现,暗示南翼及东部具有较好的找矿前景,应为今后重要的找矿方向。托云、托帕、克孜勒陶、库孜贡苏等盆地具有与喀什凹陷、萨热克盆地相似的成矿环境和成矿条件,并在地表发现铜、铅锌矿化多处,但没有进行详细的矿产评价,应予以重视。

(2)重视柯坪盆地、库拜盆地等山前盆地的找矿工作。西南天山山前盆地(柯坪、库拜盆地)位于南天山构造带和塔里木盆地之间,主要受南天山构造带的控制。盆地内背斜褶皱发育,规模远大于山间盆地的褶皱构造;断裂不发育,但切断矿体的小断层较多。盆地中矿床(点)主要受沉积体系的控制。矿区围岩蚀变作用相当微弱,以条带状、斑块状的褪色作用为主,但褪色程度远小于山间盆地的砂砾岩型矿床(点)。地表常见矿体的次生氧化作用。例如,孔雀石化等。主要矿石矿物为氧化物。例如,赤铜矿;次为硫化物。例如,辉铜矿和斑铜矿等。矿床(点)的形成与形成时间与赋矿地层大致相当,稍晚于区域托云盆地玄武岩的喷发时间。柯坪盆地地质找矿工作主要集中于南缘,已相继发现大山口、伽师、西克尔、通古孜等砂岩型铜矿床(点),取得了一定的成果;北缘(即奥兹格他乌地区)与南缘沉积体系相同,与南缘同为柯坪倒转背斜的组成部分,应具有一定的找矿前景。但北缘找矿工作目前还没有进行,在该地寻找砂岩型铜矿床(点)就成为柯坪盆地找矿的下一个重点目标。库拜盆地由一系列背斜构

造组成,沉积了巨厚的中新世砂泥质岩石,已发现滴水、阿捷克、黑孜、巴西克其克、乔克马克、库兰康等铜矿(床)点,矿床(点)基本位于背斜中,但只有滴水矿床进行过详细勘查和评价;盆地西缘(萨瓦甫齐—拜城高速公路入口一带)也存在巨厚的中新世地层,地质背景、沉积环境与库拜相似。目前,已在温宿大峡谷地区发现矿化线索多处,证实了西缘具有良好的找矿前景。加强其他矿点和盆地西缘的找矿和评价,是目前在库拜盆地找矿的重点。

4 结论

(1)西南天山砂砾岩容矿矿床可分为乌拉根式、萨热克式、伽师式3类,其成因分别为热卤水溶滤沉积成因、热卤水溶滤沉积-构造叠加成因、同生沉积成因。

(2)今后找矿的重点应集中于2个方面:一是加强库孜贡苏、托云、托帕、克孜勒陶山间盆地的找矿工作和喀什凹陷、萨热克盆地的边部及深部找矿工作;二是加强柯坪盆地北翼、库拜盆地西缘的地质找矿与评价。

参考文献(References):

- 赵仁夫,杨建国,王满仓,等.西南天山成矿地质背景研究及找矿潜力评价[J].西北地质,2002,35(4): 101-121.
- Zhao Renfu, Yang Jianguo, Wang Mancang, et al. The study of metallogenic geologic setting and prospecting potential evaluation in Southwestern Tianshan mountains [J]. Northwestern Geology, 2002, 35(4): 101-121.
- 孔祥兴.塔里木盆地西部乌拉根多金属矿床[J].新疆地质, 1984, 2(2): 75-80.
- Kong Xiangxing. Wulagen Polymetal Deposit in the Western Tarim Basin [J]. Xinjiang Geology, 1984, (2): 75-80 (in Chinese with English abstract).
- 叶庆同,吴一平,傅旭杰,等.南天山金和有色金属矿床成矿条件和成矿预测[M].北京:地质出版社,1999.
- Ye Qingtong, Wu Yiping, Fu Xujie, et al. The Mineral-formation Conditions and the Metallogenic Prognosis of gold deposits and nonferrous metal deposits in the Southern Tianshan Mountains [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1999 (in Chinese).
- 蔡宏渊,邓贵安,郑跃鹏.新疆乌拉根铅锌矿床成因探讨[J].矿产与地质,2002,16(1): 1-5.
- Cai Hongyuan, Deng Guian, Zheng Yuepeng. Genetic Discussion on Wulagen Lead-Zinc Deposit of Xinjiang [J]. Mineral Resources and Geology, 2002, 16(1): 1-5 (in Chinese with English abstract).
- 谢世业,莫江平,杨建功,等.乌拉根新生代热卤水喷流沉积铅锌矿成因研究[J].矿产与地质,2003,17(1): 11-16.
- Xie Shiye, Mo Jiangping, Yang Jiangong, et al. The Geological Characteristics and Genesis of Wulagen Hot Brine exhalogene Lead-Zinc Deposit of Cenozoic Era, Wujia County, Xinjiang [J]. Mineral Resources and Geology, 2003, 17(1): 11-16 (in Chinese with English abstract).
- 李博泉,王京彬.中国新疆铅锌矿床[M].北京:地质出版社,2006.
- Li Boquan, Wang Jingbin. The Lead-Zinc Deposits in Xinjiang Province, China [M]. Geology Press, Beijing: 2006 (in Chinese with English abstract).
- 何鸿.新疆乌恰县乌拉根铅锌矿床地质特征与成因初步分析[D].广西:桂林工学院,2007,1-61.
- He Hong. A preliminary analysis on the geological characteristics and the genesis of Wulagen lead-zinc deposit in Wujia County, Xinjiang [D]. Guilin College of Technology, Guangxi, 2007, 1-61 (in Chinese with English abstract).
- 白洪海,年武强,曲曼姑力.新疆乌恰县乌拉根铅锌矿床地质特征及找矿模式探讨[J].新疆有色金属,2008,5: 1-4.
- Bai Honghai, Nian Wuqiang, Qumanguli. A Study on the Geological Features and the Prospecting Model of Wulagen Lead-Zinc Deposit in Wujia County, Xinjiang [J]. Xinjiang Nonferrous Metal, 2008, 5: 1-4 (in Chinese).
- 康亚龙,欧阳玉飞,樊俊昌,等.新疆乌恰地区乌拉根铅锌矿床热卤水成因探讨[J].四川地质学报,2009,29(4): 400-405.
- Kang Yalong, Ouyang Yufei, Fan Junchang, et al. A Study on the thermal brine-type genesis of Wulagen lead-zinc deposit in Wujia County, Xinjiang [J]. Sichuan Geologica Sinica, 2009, 29(4): 400-405 (in Chinese).
- 祝新友,王京彬,刘增仁等.新疆乌拉根铅锌矿床地质特征与成因[J].地质学报,2010,84(5): 695-702.
- Zhu Xinyou, Wang Jinbin, Liu Zengren, Fang Tonghui. Geologic Characteristics and the Genesis of the Wulagen Lead-zinc Deposit, Xinjiang, China [J]. Acta Geologica

- Sinica, 2010, 84(5): 695-702(in Chinese with English abstract).
- 张舒. 南天山典型铅锌矿床地质—地球化学特征及成因研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2010, 1-90.
- Zhang Shu. A Study on the geological Features, the Geochemical features and the Genesis of Classic Lead-zinc deposits in Southern Tianshan mountains [D]. China University of Geosciences, Beijing, 2010, 1-90(in Chinese with English abstract).
- 王思程, 薛春纪, 李志丹. 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, 2011, 25(2): 219-227.
- Wang Sicheng, Xue Chunji, Li Zhidan. Geology and S, Pb isotopic Geochemistry of the Jiashi Sandstone-type Copper Deposit, Xinjiang, China [J]. GeoScience, 2011, 25(2): 219-227 (in Chinese with English abstract).
- 年武强, 罗卫东, 石玉君, 等. 新疆伽师砂岩型铜矿地质特征及找矿标志 [J]. 甘肃地质, 2007, 16(1/2): 28-33.
- Nian Wuqiang, Luo Weidong, Shi Yujun, et al. Geological Characteristics and Prospecting indicators of Sandstone Copper deposit in Jiashi Of Xinjiang Province [J]. Gansu Geology, 2007, 16(1/2): 28-33(in Chinese).
- 韩文文, 陶晓风, 岳相元. 新疆滴水砂岩铜矿床特征及成因探讨 [J]. 华南地质与矿产, 2011, 27(3): 184-191.
- Han Wenwen, Tao Xiaofeng, Yue Xiangyuan. Geological Characteristics and Metallogenesis of Dishui Sandstone-type Copper Deposit, Xinjiang [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2011, 27(3): 184-191(in Chinese).
- 刘伟. 新疆察尔齐砂岩铜矿地质特征及成矿成因 [J]. 新疆有色金属, 2008, 增刊: 24-27.
- Liu Wei. The geological features and the genesis of Chaerqi sandstone-type copper deposit in Xinjiang Province [J]. Xinjiang Nonferrous Metal, 2008, (suppl.): 24-27(in Chinese).
- 李志丹, 薛春纪, 辛江, 等. 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, 2011, 25(4): 720-729.
- Li Zhidan, Xue Chunji, Xin Jiang, et al. Geological Characteristics and S-, Pb-isotope Geochemistry of Sareke Copper Deposit in Wuqia County, Xinjiang [J]. GeoScience, 2011, 25(4): 720-729 (in Chinese with English abstract).
- 李志丹, 薛春纪, 董新丰, 等. 新疆乌恰县乌拉根铅锌矿床地质特征和 S-Pb 同位素组成 [J]. 地学前缘, 2013, 20(1): 40-54.
- Li Zhidan, Xue Chunji, Dong Xinfeng, et al. Ore geology, S and Pb isotopic compositions of the Wulagen Zn-Pb deposit, Wuqia County, Xinjiang [J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(1): 40-54(in Chinese with English abstract).
- 蔡宏渊, 邓贵安. 南天山铜铅锌矿床成矿条件及靶区评价 [A]. 何国琦, 徐新. 中国新疆天山地质与矿产论文集 [C]. 北京: 地质出版社, 2004, 179-186.
- Cai Hongyuan, Deng Guian. A Study on the Mineral-formation Conditions and the Prospecting Target of Cu-Pb-Zn deposits in the southern Tianshan Mountains [A]. He Guoqi, Xu Xin. The collection of thesis about the geology and the minerals for Tianshan Mountains in Xinjiang, China [C]. Geological Publishing House, Beijing, 2004, 179-186(in Chinese).
- 李丰收, 王伟, 杨金明. 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, 2005, 19(4): 335-340.
- Li Fengshou, Wang Wei, Yang Jinming. Geological and Geochemical Characteristics and Genesis of the Wulagen Lead and Zinc Deposit in Wuqia County, Xinjiang [J]. Mineral Resources and Geology, 2005, 19(4): 335-340 (in Chinese with English abstract).
- 谭秀成, 王振宇, 李凌, 等. 库车前陆盆地第三系沉积相配置及演化研究 [J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 790-797.
- Tan X C, Wang Z Y, Li L, et al. Arrangement and evolution of Tertiary sedimentary facies in Kuche Foreland Basin, Xinjiang [J]. Acta Sediment Geologica Sinica, 2006, 24(6): 790-797 (in Chinese with English abstract).
- 祝新友, 王京彬, 王玉杰, 等. 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, 2011, 2(1): 28-35.
- Zhu Xinyou, Wang Jingbing, Wang Yujie, et al. Sreke copper ore deposit-A large deposit about the activity of hot brine in basin [J]. Mineral Exploration, 2011, 2(1): 28-35(in Chinese).
- 罗金海, 周新源, 邱斌, 等. 塔里木盆地西部中、新生代 5 次构造事件及其石油地质学意义 [J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 18-22.
- Luo Jinhai, Zhou Xinyuan, Qiu Bin, et al. Mesozoic-Cenozoic five tectonic events and their petroleum geologic significances in west Tarim Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(1): 18-22(in Chinese with English abstract).

- 李发源, 顾雪祥, 付绍洪, 等. 有机质在 MVT 铅锌矿床形成中的作用 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(4): 272-276.
- Li Fayuan, Gu Xuexiang, Fu Shaohong, et al. The Role of Organic Matter in the Formation of MVT Pb-Zn Deposit [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2002, 21(4): 272-276(in Chinese with English abstract).
- 吴开兴, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 矿石铅同位素示踪成矿物质来源综述 [J]. 地质地球化学, 2002, 30(3): 73-81.
- Wu Kaixing, Hu Ruizhong, Bi Xianwu, et al. Ore Lead Isotopes As A Tracer For Ore-Forming Matetial Sources; A Review [J]. Geology-Geochemistry, 2002, 30(3): 73-81(in Chinese with English abstract).
- 李文博, 黄智龙, 张冠. 云南会泽铅锌矿田成矿物质来源: Pb、S、C、H、O、Sr 同位素制约 [J]. 岩石学报, 2006, 22(10): 2567-2580.
- Li WB, Huang ZL, Zhang G. Sources of the ore metals of the Huize ore field in Yunnan province: constraints from Pb, S, C, H, O and Sr isotope geochemistry [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(10): 2567-2580(in Chinese with English abstract).
- 李昌存, 韩秀丽, 刘瑾旋. 喀什凹陷白垩纪碎屑岩中流体包裹体研究 [J]. 矿物岩石, 1997, 17(1): 23-28.
- Li Changcun, Han Xiuli, Liu Jinxuan. Study on fluid inclusion of cretaceous clastic rocks in Kashi depression [J]. J Mineral Petrol, 1997, 17(1): 23-28(in Chinese with English abstract).
- 刘宏林, 胡庆雯, 田培仁. 关于新疆乌恰盆地中生代砂岩型铅锌铜铀层状成矿问题浅析 [J]. 矿产与地质, 2010, 24(2): 113-119.
- Liu Honglin, Hu Qingwen, Tian Peiren. Discussion of the stratified mineralization of Pb-Zn-Cu-U deposit of mesozoic-cenozoic sandtype in Wuqia basin, Xinjiang [J]. Mineral Resources and Geology, 2010, 24(2): 113-119(in Chinese with English abstract).
- 陈根文, 吴延之, 夏斌, 等. 楚雄盆地砂岩铜矿床同位素特征及矿床成因 [J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(3): 279-284.
- Chen Genwen, Wu Yanzhi, Xia Bin, et al. Isotopic characteristics and genesis of sandstone-type copper deposits in the Chuxiong Basin, Yunnan Province [J]. Geotectonic et Metallogenia, 2002, 26(3): 279-284(in Chinese with English abstract).
- 李金春, 刘伯崇, 丁书宏. 北祁连天鹿砂岩铜矿床成矿特征 [J]. 西北地质, 2005, 38(1): 47-54.
- Li Jinchun, Liu Bochong, Ding Shuhong. Metallogenic characteristics of sandston-type copper deposit of Tianlu, North Qilian mountains [J]. Northwestern Geology, 2005, 38(1): 47-54.
- 郭全. 新疆滴水砂岩型铜矿成矿特征与富集规律 [J]. 新疆有色金属, 2007(增刊): 12-15.
- Guo Quan. The mineralization feature and the concentrated method of Dishui sandstone-type copper deposit, Xinjiang [J]. Xinjiang Nonferrous Metal, 2007, (suppl.): 12-15(in Chinese).
- Goodfellow W D. Anoxic stratified oceans a source of Sulphur in sediment-hosted stratiform Zn-Pb deposits (Selwyn basin, Yukon, Canada) [J]. Chemical Geology, 1987, 65: 359-382.
- Sangster DF. World class MVT and Sedex Lead-Zinc deposits [C]. Geological Survey of Canada Minerals Colloquium, 1. Ottawa Congress centre, 1994, 556-566.
- Leach D L, Donald F S, Karen D K, et al. Sediment-hosted Lead-Zinc deposits: A global perspective [J]. Economic Geology, 100th Anniversary, 2005, Issue: 561-607.
- Leach D L, Bradley D C, Huston D, et al. Sediment-hosted Lead-Zinc deposits in earth history [J]. Economic Geology, 2010, 105: 593-625.
- Machel H G. Saddle dolomite as a by-product of chemical compaction and the rmochemical sulfate reduction [J]. Geology, 1987, 15: 935-940.
- Stacey J S and Hedlund D C. Lead-isotope compositions of diverse igneous rocks and ore deposits from southwestern New Mexico and their implications for earli proterozoic crustal evolution in the western united states [J]. Geological Society of America Bulletin, 1983, 94: 43-57.