

新疆萨热克砂砾岩型铜矿区碎裂岩化相特征

韩文华^{1,2}, 方维萱², 张贵山¹, 鲁佳^{2,3}, 王磊², 贾润幸², 李天成²

(1. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 有色金属矿产地质调查中心, 北京 100012;
3. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要:新疆萨热克砂砾岩型铜矿床受萨热克巴依中生代陆内拉分盆地控制, 矿体主要赋存于上侏罗统库孜贡苏组蚀变杂砾岩层中。受后期碎裂岩化相强烈改造, 碎裂岩化相对萨热克砂砾岩型铜矿床具有明显控制作用。碎裂岩化相形成于盆地改造过程, 并具有裂隙-盆地流体强烈耦合作用。碎裂岩化-裂隙构造是深源热流体叠加成矿的运移通道和储矿构造。碎裂岩化相宏观特征以顺层裂隙破碎带+切层裂隙破碎带+碎裂岩化+沥青化+网脉状铜硫化物为主。微观裂缝类型主要为砾内缝、砾缘缝与穿砾缝, 沿裂隙和裂缝充填绿泥石、辉铜矿、沥青质、石英和铁碳酸盐等。地层从老到新, 裂缝密度整体呈现由低到高的特征。裂隙渗透率和气测渗透率表明上侏罗统库孜贡苏组含矿层的裂隙渗透率比其他非含矿层更高, 裂隙和裂缝为盆地成矿流体提供了运移通道和储矿空间。

关键词:铜矿; 断裂; 碎裂岩化相; 宏观特征; 微观特征; 裂缝; 密度; 渗透率

中图分类号: P618.41 **文献标志码:** A

Characteristics of Cataclastic Lithofacies in Sareke Glutenite-type Cu Mining Area of Xinjiang, China

HAN Wen-hua^{1,2}, FANG Wei-xuan², ZHANG Gui-shan¹, LU Jia^{2,3}, WANG Lei²,
JIA Run-xing², LI Tian-cheng²

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
2. China Non-ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China; 3. Faculty of
Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology,
Kunming 650093, Yunnan, China)

Abstract: Sereke glutenite-type Cu deposit in Xinjiang is controlled by Mesozoic intracontinental pull-apart basin in Serekebayi. The orebodies are mainly hosted in Upper Jurassic Kuzigongsu Formation alteration and conglomerate. Because of the strong alteration at the later stage, the cataclastic lithofacies has significant controlling on Sereke glutenite-type Cu deposit. The cataclastic lithofacies forms in the process of basin reformation, and has the strong coupling between fissure and basin fluid. Cataclastic lithification-fissure structure is the migration channel and reservoir structure of the superposition mineralization of deep-source thermal fluid. The macroscopic characteristics of cataclastic lithofacies are mainly consequent cracked fissure zone+shear cracked fissure zone+cataclastic lithification+bituminization+net vein copper sulfide. The types of microscopic fissures are mainly the fissure inside gravel, the fissure around gravel and the fissure across gravel; the fissures are filled with chlorite, chalcocite, asphaltenes, quartz and

收稿日期: 2017-02-15

基金项目: 国土资源公益性行业科研专项项目(201511016); 中国地质调查局地质调查项目(12120114081501)

作者简介: 韩文华(1990-), 男, 撒拉族, 青海循化人, 长安大学工学硕士研究生, E-mail: 476144581@qq.com.

通讯作者: 方维萱(1961-), 男, 陕西蓝田人, 研究员, 博士研究生导师, 理学博士, E-mail: 569026971@qq.com.

iron carbonate. The densities of fissures increase from the ancient stratum to nowadays. The fissure permeability and gas logging permeability show that the fissure permeabilities of Upper Jurassic Kuzigongsu Formation ore-bearing strata are higher than the others, and the fissures provide migration pathway and storage space for ore-forming fluid in basin.

Key words: Cu deposit; fault; cataclastic lithofacies; macroscopic characteristic; microscopic characteristic; fissure; density; permeability

0 引言

砂砾岩型铜矿的岩性非均质性较强,且岩石成分成熟度和结构成熟度较低,岩层具有高孔隙度和渗透率^[1-2]。高孔隙度和渗透率的砂砾岩裂缝是流体运移的构造通道,而且是连通其他类型孔隙并成为成矿流体汇聚的有利储矿构造空间^[3-4],同时也是隐伏层状矿体的重要指示标志^[5-8],对油气及金属勘探具有重要的研究价值。雷秉舜等通过研究安基山铜矿来判断深部铜矿化强度^[9];巩磊等将裂缝分为宏观裂缝和微观裂缝^[10-14]。新疆维吾尔自治区乌恰县萨热克砂砾岩型铜矿床是近年来新勘查的中型矿床,受到众多研究人员的关注,并已取得大量研究成果^[15-22]。萨热克砂砾岩型铜矿主要赋存于上侏罗统库孜贡苏组(J_2k)蚀变杂砾岩层中,成矿过程中有较强的构造活动,导致岩石较为破碎,并可能有深源物质的加入^[23]。由于受后期碎裂岩化相的强烈改造,碎裂岩化相对萨热克砂砾岩型铜矿床具有明显控制作用,辉铜矿和银辉铜矿以热液胶结物形式产出,或呈网脉状和透镜状分布在裂隙交汇部位、层间断裂-裂隙和切层断裂-裂隙的交汇部位,其次为细脉状环绕砾石和微细脉状穿切砾石。碎裂岩和碎裂岩化相是因脆性破裂、剪切和研磨作用而产生的一种固结的细粒岩石,宏观特征主要表现为岩石发育较高密度的裂缝^[24],而与宏观裂缝相比,岩石中的微观裂隙和裂缝一般更为发育,并且它们作为宏观裂缝的微观表现,能够提供一些与之相关的宏观裂缝信息^[25-27]。萨热克砂砾岩型铜矿区(简称“萨热克矿区”)砂砾岩储矿空间-裂隙形成后,含矿流体再运移并充填在这些裂隙和裂缝中,从而成矿。裂缝是萨热克矿区成矿流体运移的重要通道与储矿空间,但目前对本区裂隙、裂缝与成矿系统的关系尚不清楚。本文旨在野外钻孔和构造岩相学编录基础上,对萨热克矿区主要含矿层位的裂隙和裂缝进行显微观察和统计,结合裂隙渗透率与气测渗透率,进一步探求碎裂岩化相和砂砾岩型铜矿床的关系。

1 区域地质概况

萨热克砂砾岩型铜矿床位于塔里木盆地西南缘的中新生代拗陷西北缘的次级盆地——托云盆地,夹持于西南天山与西昆仑山之间,东临托云—康苏侏罗纪陆相含煤盆地。托云盆地上叠于西南天山的阿赖—阔克沙岭古生代岛弧带中,属新生代继承性拉分-拗陷盆地,萨热克砂砾岩型铜矿位于该盆地西缘。受萨热克巴依中生代陆内拉分盆地制约,区域构造单元为推覆褶皱冲断岩块,断裂较为发育;受断裂的影响,岩石一般具有不同程度的劈理化、碎裂岩化。萨热克南($NE65^\circ$)、北($NE45^\circ$)两侧逆冲推覆断裂带呈对冲式,逆冲推覆构造作用强烈,并将中元古界阿克苏岩群逆冲推覆到侏罗系和下白垩统之上。萨热克巴依复式向斜构造形成了强烈的叠加改造,复式向斜的轴向约为 $NE50^\circ$,两翼陡倾($50^\circ\sim65^\circ$),轴面产状近直立($15^\circ\sim342^\circ$),倾角为 $82^\circ\sim87^\circ$,核部上白垩统产状较缓。本区主要出露地层为长城系阿克苏岩群($Chak$)、志留系(S)、下侏罗统莎里塔什组(J_1s)和康苏组(J_1k)、中侏罗统杨叶组(J_2y)和塔尔尕组(J_2t)、上侏罗统库孜贡苏组(J_3k)及下白垩统克孜勒苏群(K_1kz)。铜矿体主要赋存于上侏罗统库孜贡苏组褪色化杂砾岩中(图1),大体呈 NE 向展布,局部与长城统阿克苏岩群呈断层接触,并与下白垩统克孜勒苏群呈整合接触。含矿层上侏罗统库孜贡苏组沉积环境为冲积扇相旱地扇,主要岩性为灰绿色砾岩、含砾砂岩、岩屑砂岩、粉砂岩夹紫灰色和灰绿色粉砂质泥岩,其底部的灰绿色砾岩稳定产出为标志层。铜矿石矿物以辉铜矿和斑铜矿为主,主要赋存于上侏罗统库孜贡苏组二段上部(J_3k^{2-2})的灰色、灰绿色中厚层-块状砾岩中。金属矿物有黄铜矿、辉铜矿、铅锌矿、黄铁矿,次生矿物为孔雀石、斑铜矿。矿石矿物呈块状、颗粒状、粉末状结构,具块状、细脉浸染状构造,其中辉铜矿分布最广泛,也是最主要的成矿矿物;脉石矿物为方解石,主要结构为浸染状、碎裂状等。以萨热克向斜的轴部(NE 向)为界,将萨热克矿区整体分为南矿带和北矿带。

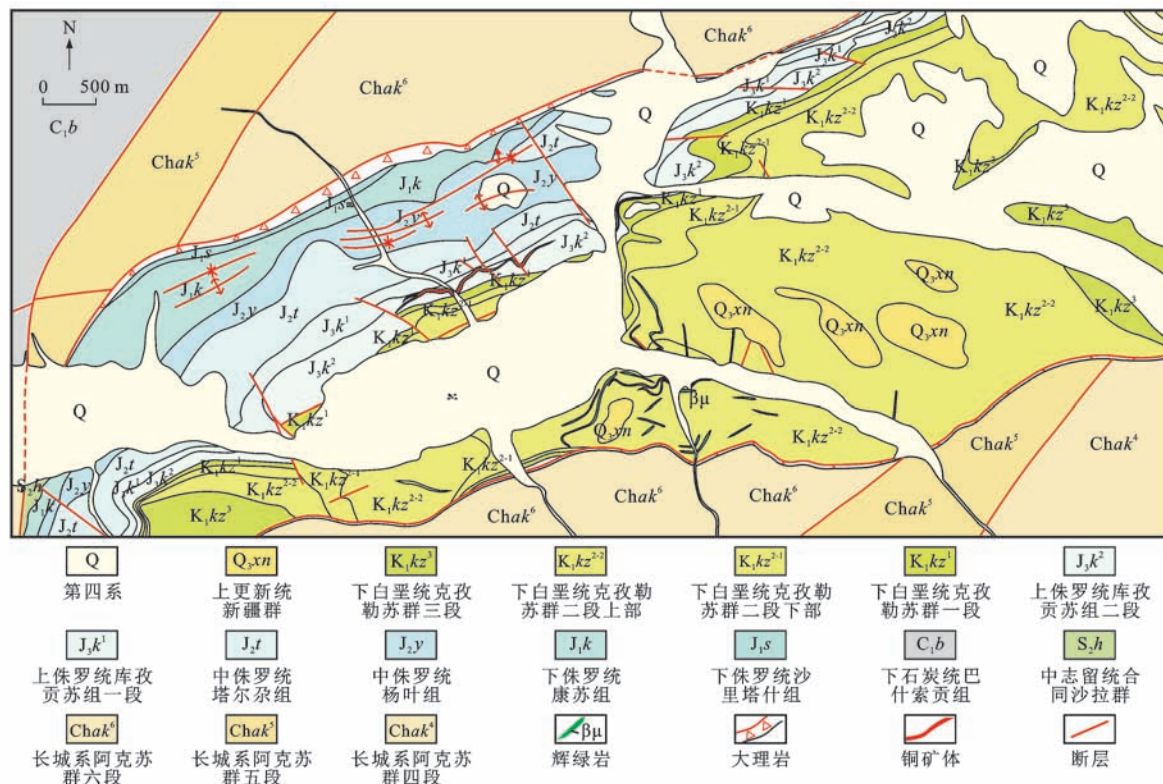


图1 新疆萨热克砂砾岩型铜矿区地质图

Fig. 1 Geological Map of Sareke Glutenite-type Cu Mining Area in Xinjiang

其中,北矿带为主要矿带,位于萨热克向斜的北翼。矿体位于上侏罗统库孜贡苏组二段(J_3k^2),在北矿带厚度约为123.81 m,呈NE—SW向展布,产状与地层一致,围岩为灰色、浅灰绿色砾岩。

2 宏观特征

萨热克矿区宏观碎裂岩化相发育主要受南($NE65^\circ$)、北($NE45^\circ$)断裂和NE向褶皱控制(图1)。侏罗系和白垩系的岩石变形特征表现为NW向大型节理[图2(a)]以及裂隙、显微裂隙(裂缝)等小型构造或微型构造。这些构造均为脆性构造变形域,形成了碎裂岩化相。在上述构造样式的交汇部位和旁侧发育一组或多组裂隙,形成了由单裂隙—密集裂隙带和碎裂岩化等组成的小型构造面,构造裂隙面的力学结构面以张剪性和压剪性为主,并伴有明显斜冲走滑特征。从碎裂岩化相与盆地流体运移的关系来看,NE向切层断裂为盆地流体大规模上升运移的构造通道,层间断裂—破碎带为盆地流体顺层间运移的构造通道,碎裂岩化相为盆地流体的小型—微型储矿构造空间。

碎裂岩化相宏观特征表现为顺层裂隙破碎带+切层裂隙破碎带+碎裂岩化+沥青化+网脉状铜硫

化物(以辉铜矿为主),在层间断裂—切层和顺层裂隙面上发育辉铜矿拉伸线理、方解石拉伸线理[图2(e)]、黄铁矿和黄铜矿金属镜面、沥青和粉末状辉铜矿、细脉带—细脉型辉铜矿,显示具有两期以上同构造期的构造—成矿流体叠加和耦合作用。切层分布的碎裂岩相主要受NE向穿层断裂带控制,一般分布在断裂带内或附近,伴有较强的褪色化—沥青化—铁碳酸盐蚀变;随着远离断裂带,碎裂岩化相逐渐减弱,以褪色化—方解石化为主。正常未变形地层碎裂岩化相消失。顺层分布的碎裂岩化相主要受层间断裂—裂隙破碎带控制,多发育在砾岩类和含砾粗砂岩中含砾粗砂岩和粉砂质泥岩—泥质粉砂岩过渡部位,多伴有褪色化和沥青化蚀变,从层间滑动断层→碎裂岩化相砾岩→弱碎裂岩化相砾岩,蚀变分带为黑色沥青化蚀变带→灰黑色沥青化+灰色褪色化蚀变带→灰色—灰绿色褪色化蚀变带。多组断裂—裂隙带交汇部位碎裂岩化—沥青化最强,也是铜富集成矿最佳部位,以发育碎裂状铜矿石、细网脉状和微网脉状沥青—辉铜矿为特征[图2(b)~(e)]。

受控于盆地内部的裙带式复式向斜($NE50^\circ$)和NE向断裂构造,碎裂岩化相主要分布于下白垩统克孜勒苏群和上侏罗统库孜贡苏组。下白垩统克孜

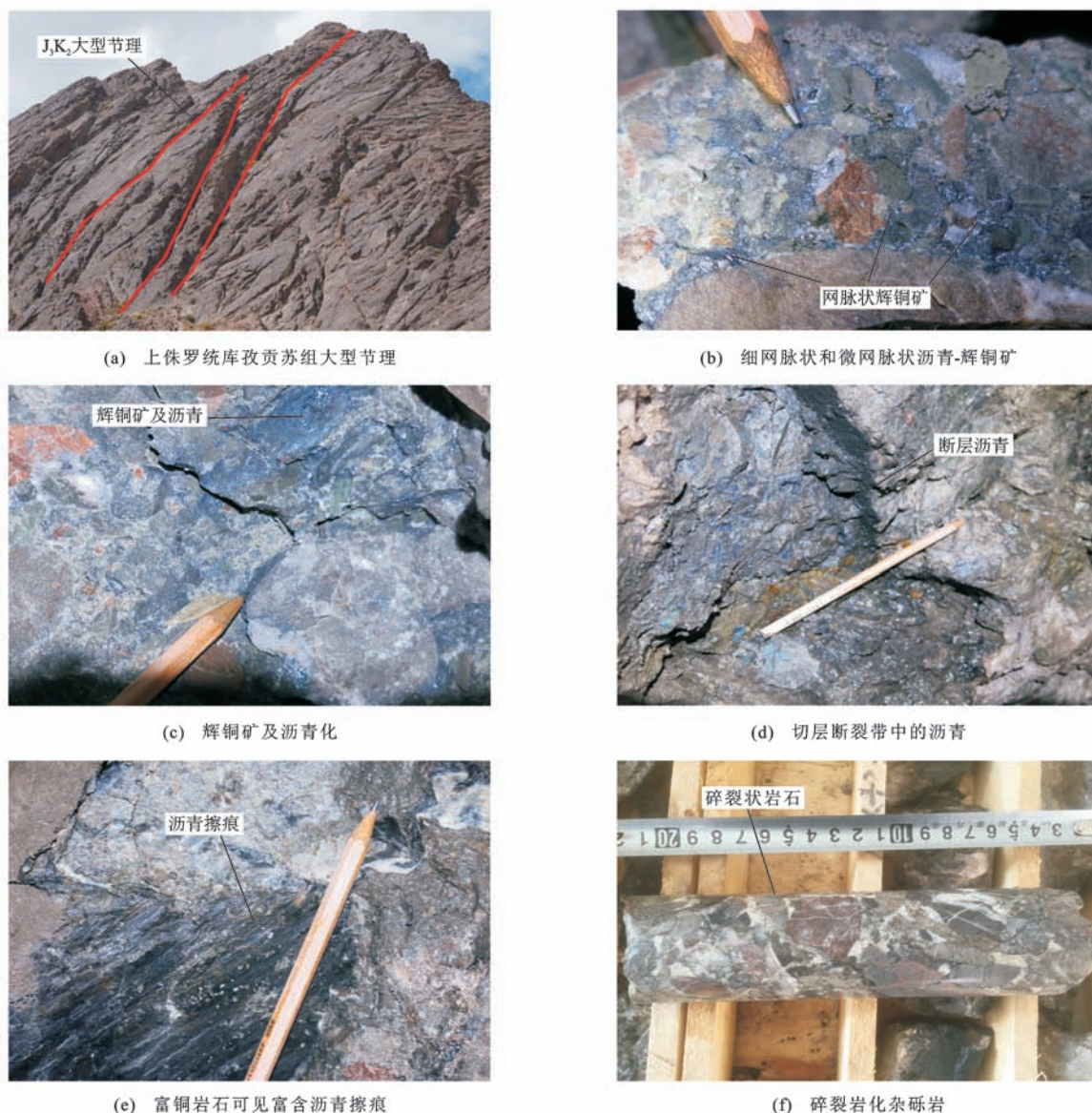


图 2 碎裂岩化相宏观特征

Fig. 2 Macroscopic Characteristics of Cataclastic Lithofacies

勒苏群碎裂岩化相较为发育,裂隙强烈发育,其典型特征为沥青化,矿化较弱;上侏罗统库孜贡苏组具有较强的碎裂岩化相特征,裂隙整体上较为发育,铜硫化物和铁锰方解石呈网脉状[图 2(b)、(c)]沿砾岩层间裂隙充填,成矿方式表现为硫化物交代砾岩的胶结物之后生成矿,后期的含矿流体运移充填早期形成的砾岩裂隙而富集成矿。

3 微观特征

3.1 显微裂隙类型

由于受到盆地两侧的逆冲推覆和挤压构造运动,萨热克矿区广泛分布构造裂隙,为砂砾岩型铜矿床的储矿空间创造良好条件。构造裂隙广泛分布在上侏

罗统库孜贡苏组岩石中,使岩石呈碎裂状构造,并且在裂隙中常充填方解石细脉、白云石脉、沥青、辉铜矿、斑铜矿、黄铁矿等[图 3(a)、(b)、(d)~(f)]。

根据微观裂缝分布特征,将本区上侏罗统库孜贡苏组砂砾岩的微观裂隙分为砾内缝、砾缘缝、穿砾缝 3 种类型。砾内缝主要分布在砾石内部,均为早期沉积成岩时形成,多已被早期非含矿的热液流体所充填,延伸长度短,未切穿砾石的边缘[图 3(a)、(f)];这类裂隙的规模小,但密度约为 $5 \text{ 条} \cdot \text{cm}^{-1}$,开度较小,为 $0.5 \sim 0.8 \text{ mm}$ 。砾缘缝主要沿着砾石的边缘分布[图 3(a)、(c)、(d)、(e)],规模小,延伸长度短,密度也较小;此类裂隙在后期构造运动和异常高压流体的作用下明显扩大,开度为 $2.2 \sim 5.0 \text{ mm}$,密度为 $50 \text{ 条} \cdot \text{cm}^{-1}$,且多已被白云石脉、沥青细

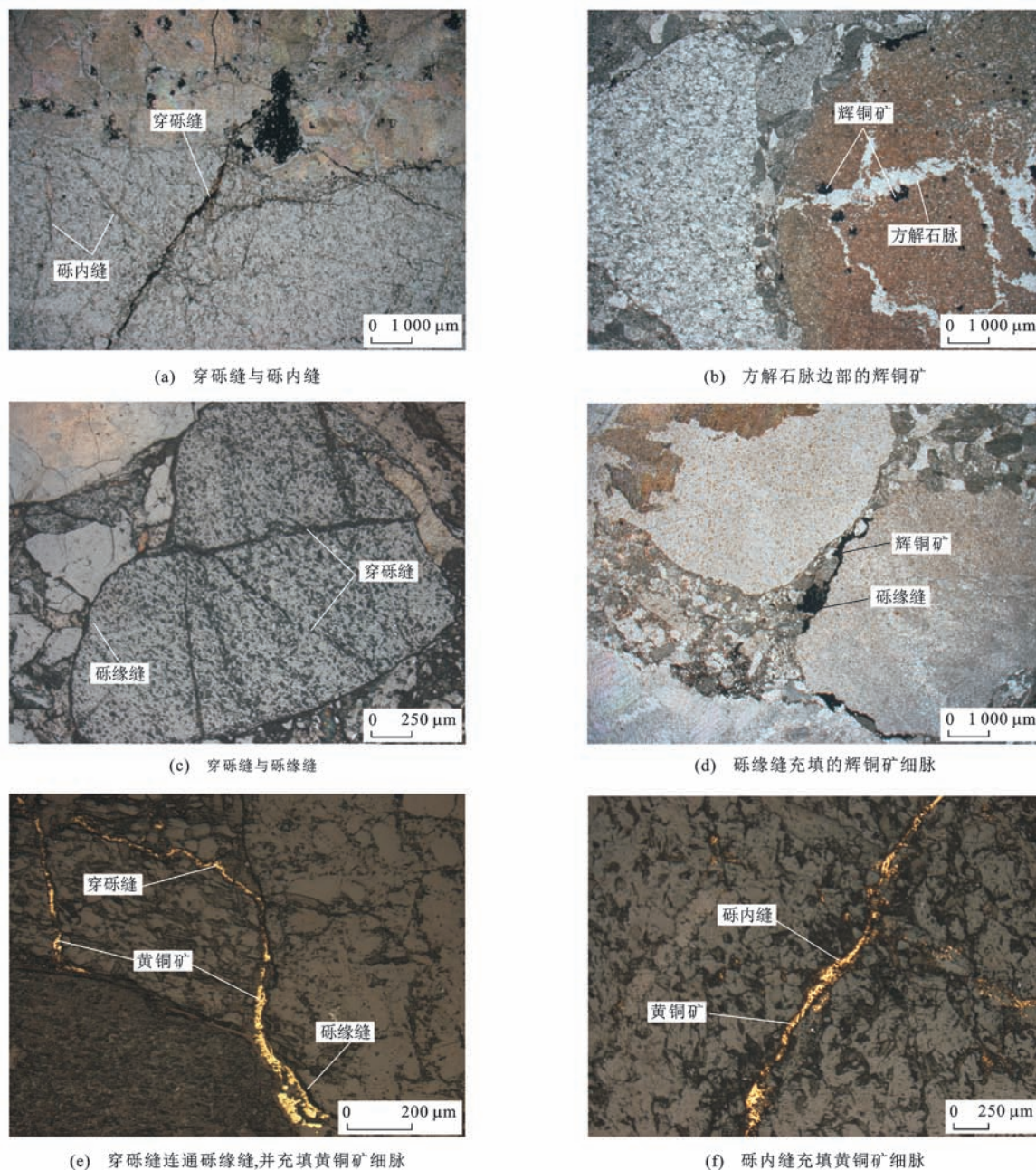


图3 微观裂隙类型及特征

Fig. 3 Characteristics and Types of Microscopic Fissures

脉、方解石脉、绿泥石脉所充填;辉铜矿细脉、斑铜矿细脉、黄铜矿细脉沿此类裂隙分布[图3(b)~(f)];砾缘缝是后期的主要储矿空间类型。穿砾缝为本区发育的最主要构造裂隙[图3(a)、(c)~(e)],开度为1.5~7.0 mm,密度为95条·cm⁻¹。

砾内缝为沉积成因期所形成,属于原生裂隙,绝大部分已经被矿物充填,对成矿的贡献小,属于无效裂隙,此类裂隙只有在后期发生构造运动或溶蚀作用以后,才有可能形成有效的储矿空间。砾缘缝与穿砾缝为构造裂隙,是受局部构造事件或区域构造应力场控制的次生裂隙;穿砾缝与砾缘缝在上

侏罗统库孜贡苏组广泛分布,且开度与密度明显大于砾内缝,有效性较好。萨热克矿区上部为下白垩统克孜勒苏组一段红褐色粉砂质泥岩,下部为上侏罗统库孜贡苏组一段灰绿色粉砂质泥岩;这种由粉砂质泥岩组成的不透水层形成了盆地流体的圈闭构造;这种岩性岩相组成的圈闭构造有利于盆地流体沿着中间渗透率较高的细一中砾岩砾石间隙运移,并最终使含矿流体在上侏罗统库孜贡苏组大规模沉积成矿。

3.2 显微裂隙密度

微观下岩石薄片的裂隙观察和统计数据[表1、

图 4(a)]显示:下白垩统克孜勒苏群裂缝密度最高,最高值为 $30 \text{ 条} \cdot \text{cm}^{-1}$,平均为 $16 \text{ 条} \cdot \text{cm}^{-1}$;富矿层位(上侏罗统库孜贡苏组)也有较高的裂缝密度,最高为 $20 \text{ 条} \cdot \text{cm}^{-1}$,平均为 $7.3 \text{ 条} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。微观裂缝密度与铜矿石 Cu 品位关系曲线[图 4(b)]显示,铜矿石 Cu 品位最高处的裂缝密度为 $9 \sim 13 \text{ 条} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。地层从老到新,裂缝密度整体呈现由低到高的特征,而长

城系阿克苏岩群裂缝密度也具有增加的趋势,但 Cu 品位明显偏低,这可能与长城系阿克苏岩群早期的糜棱岩相叠加了碎裂岩化相有关。对萨热克矿区深部 2 685 m 中段裂隙的研究表明:上侏罗统库孜贡苏组裂隙密度变化范围为 $4 \sim 18 \text{ 条} \cdot \text{cm}^{-1}$,碎裂岩化相强烈发育;围岩裂缝密度有明显的减小趋势,为 $1 \sim 7 \text{ 条} \cdot \text{cm}^{-1}$,碎裂岩化明显减弱。

表 1 微观裂缝物理性质参数及 Cu 品位统计结果

Tab. 1 Statistical Results for Parameters of Physical Property and Cu Grades of Microscopic Fissures

序号	层位	岩性	裂隙密度/(条·cm ⁻¹)	宽度/cm	裂隙渗透率/cm ²	Cu 品位/10 ⁻⁶
1	K ₁ kz	浅紫色含膏盐粉砂质泥岩	9	0.25	0.011 72	14.1
2		灰绿色沥青化粉砂质泥岩	30	0.08	0.001 28	10.5
3		碎裂岩化粉砂岩	15	0.90	0.911 25	14.3
4		沥青化碎裂岩(原岩为紫红色泥质粉砂岩)	15	0.55	0.207 97	17.4
5		青灰色岩屑砂岩	20	0.16	0.006 83	12.7
6		青灰色岩屑砂岩	6	0.45	0.045 56	21.4
7	J ₃ k ²	暗紫红色泥质粉砂岩	0	0.48	0.011 72	102.0
8		灰绿色杂砾岩	15	0.82	0.689 21	723.0
9		灰绿色岩屑砂岩	8	0.40	0.042 67	31.7
10		灰绿色中砾岩	20	0.66	0.479 16	22.6
11		灰绿色粉砂质泥岩	1	0.64	0.021 85	34.3
12	J ₃ k ¹	含黄铁矿灰绿色泥质粉砂岩	4	0.24	0.004 61	28.7
13		灰绿色粗砾岩	1	0.32	0.002 73	22.0
14		灰绿色中细砂岩	10	0.16	0.003 41	29.3
15	J ₂ t	含黄铁矿砾屑泥灰岩	7	0.16	0.002 39	25.2
16		灰绿色粉砂质泥岩	3	0.08	0.000 13	26.9
17	J ₂ y	灰绿色含砾长石石英粗砂岩	1	0.24	0.001 15	27.6
18		灰绿色—斑杂色杂砾岩	2	0.48	0.018 43	19.2
19		暗绿色黄铁矿化含砾岩屑砂岩	1	0.16	0.000 34	20.6
20		灰黑色石英质杂砾岩	10	0.32	0.027 31	22.0
21		灰白色石英质底砾岩	7	0.40	0.037 33	9.35
22	Chak	灰白色绿泥石绢云母片岩	8	0.08	0.000 34	27.9
23		灰色条带状绢云母绿泥石片岩	12	0.16	0.004 10	17.4
24		暗绿色绿泥石片岩	18	0.24	0.020 74	24.3
25		暗灰绿色绿泥石片岩	6	0.08	0.000 26	53.6
26		条纹条带状石英绿泥石片岩	4	0.08	0.000 17	28.4

注:样品编号为 YZK404;样品测试分析由中国冶金地质总局一局测试中心完成。

3.3 显微裂隙渗透率

依据达西定律,当多孔介质流体运移时,破碎岩石的渗透率(K)是裂隙密度(n)和破碎裂隙宽度(d)的函数^[28]。其表达式为

$$K = nd^3/12$$

上侏罗统库孜贡苏组含矿层的裂隙渗透率为 $0.002\ 73 \sim 0.689\ 21 \text{ cm}^2$,均值为 $0.156\ 91 \text{ cm}^2$ (表 1)。

其他非含矿层的渗透率为 $0.000\ 17 \sim 0.911\ 25 \text{ cm}^2$,均值为 $0.068\ 278 \text{ cm}^2$,其中最大值对应的地层岩性为碎裂岩化粉砂岩,岩石较为破碎。上侏罗统库孜贡苏组含矿层岩性的气测渗透率为 $(0.003\ 53 \sim 0.093\ 54) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;均值为 $0.037\ 12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;非含矿层的气测渗透率为 $(0.002\ 12 \sim 0.003\ 11) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,均值为 $0.002\ 727 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。上侏罗统

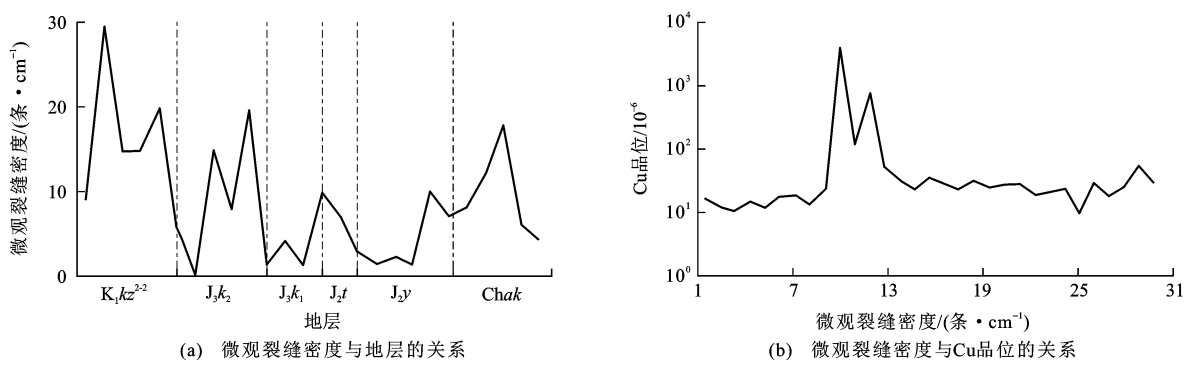


图 4 微观裂缝密度与地层、Cu 品位的关系

Fig. 4 Relationships of the Density of Microscopic Fissure to Stratum and Cu Grade

库孜贡苏组含铜杂砾岩较下白垩统克孜勒苏群砂岩具有更好的渗透率(表 2)。所计算的裂隙渗透率与实验得出的气测渗透率都证实上侏罗统库孜贡苏组含矿层的裂隙渗透率比其他非含矿层更高,这也证明上侏罗统库孜贡苏组岩性发育较强的碎裂岩化相比,为成矿流体提供了天然的运移通道和储存空间。

表 2 微观裂缝气测渗透率和孔隙度统计结果

Tab. 2 Statistical Results for Gas Logging Permeability and Porosity of Microscopic Fissures

样品编号	层位	岩性	气测渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$	孔隙度/%
150905001A	K ₁ kz ¹	红褐色泥质粉砂岩	0.002 12	1.555
150905003A1		红褐色泥质粉砂岩	0.003 11	1.409
150905002A-3		红褐色泥质粉砂岩	0.002 95	1.212
150905001B	J ₃ k ²⁻⁵	杂砾岩	0.043 06	2.662
150905002B-3		杂砾岩	0.093 54	2.423
150905003B		杂砾岩	0.047 86	2.140
150905007B1	J ₃ k ²⁻³	杂砾岩	0.083 01	0.737
150905007B2		杂砾岩	0.010 10	1.798
W2685-80		含沥青、含铜砾岩	0.003 53	1.552
W2685-90		含沥青、含铜砾岩	0.065 78	1.767
W2685-105		含沥青、含铜砾岩	0.008 15	1.331
150905004C-1		灰绿色砂岩	0.013 64	3.212
150905004C-2	J ₃ k ¹	灰绿色砂岩	0.014 54	3.129
150905005C-2		灰绿色砂岩	0.025 14	4.819

4 结 语

(1)新疆萨热克砂砾岩型铜矿区碎裂岩化相宏观特征以顺层裂隙破碎带+切层裂隙破碎带+碎裂岩化+沥青化+网脉状铜硫化物为主,微观裂隙类型主要为砾内缝、砾缘缝与穿砾缝。早期形成的裂隙主要为砾内缝,并被后期的流体所充填,有效性较差;晚期形成的裂隙被矿物充填的机率小,有效性更好,构造运动明显增加了穿砾缝和砾缘缝的密度,同时增加了含铜成矿流体储存的有效性,后期的含矿流体充填晚期形成砾岩裂缝而富集成矿。

(2)微观裂缝统计研究表明,地层从老到新,裂

缝密度整体呈现由低到高的特征,裂隙渗透率与气测渗透率证实上侏罗统库孜贡苏组含矿层的裂隙渗透率相比其他非含矿层更高。

(3)经过对碎裂岩化相宏观特征、微观裂缝的统计以及钻孔资料的实例研究,结果表明萨热克矿区内侏罗统库孜贡苏组含矿层比其他非含矿层具有更优越的储矿性能,并为后期大规模含矿流体提供了良好的运移通道与储矿空间。

参 考 文 献 :

References :

[1] 李绍华,何汶锬,吴育鹏.低渗透砂砾岩储层裂缝发育特征及主控因素[J].西部探矿工程,2015,27(1):73-

- 74,77.
- LI Shao-hua, HE Wen-si, WU Yu-peng. Development Characteristics of Fracture for Glutenite Reservoirs with Low Permeability and Its Main Controlling Factors[J]. West-China Exploration Engineering, 2015, 27(1):73-74,77.
- [2] 肖荣阁,陈卉泉,帅开业,等. 沉积岩铜矿的储矿建造与成矿构造[J]. 成都理工学院学报, 1994, 21(4):22-25.
- XIAO Rong-ge, CHEN Hui-quan, SHUAI Kai-ye, et al. The Impounding Formation and Metallogenics of Sediment-hosted Copper Deposits[J]. Journal of Chengdu Institute of Technology, 1994, 21(4):22-25.
- [3] 方维萱,胡瑞忠,王明再,等. 云南墨江含金脆-韧性剪切构造带中显微构造的矿物地球化学研究[J]. 矿物学报, 2001, 21(4):602-608.
- FANG Wei-xuan, HU Rui-zhong, WANG Ming-zai, et al. Mineral Geochemistry on Micro Structures in the Mo-jiang Au-bearing Brittle-ductile Shear Zone in Yunnan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2001, 21(4):602-608.
- [4] 方维萱. 论热液角砾岩构造系统及研究内容、研究方法和岩相学填图应用[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 40(2):237-265.
- FANG Wei-xuan. On Tectonic System of Hydrothermal Breccia: Objective, Methodology and Lithofacies-mapping Applications[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2016, 40(2):237-265.
- [5] 罗吕科. 东川汤丹铜矿床裂隙矿找矿研究[J]. 采矿技术, 2008, 8(1):26-28.
- LUO Lu-ke. Fractured Ore Prospecting Research of Tangdan Copper Deposit, Dongchuan [J]. Mining Technology, 2008, 8(1):26-28.
- [6] 刘文剑,梁红飞,刘卫明. 东川铜矿区层控矿床裂隙矿类型和分布规律分析[J]. 有色金属:矿山部分, 2013, 65(4):27-30.
- LIU Wen-jian, LIANG Hong-fei, LIU Wei-ming. Analysis of Fractured Ore Types and Distribution Rules in Strata-bound Mineral Deposit of Dongchuan Copper Mining Area[J]. Nonferrous Metals: Mining Section, 2013, 65(4):27-30.
- [7] 韩业鸣,刘正桃,方同辉,等. 红石铜矿裂隙构造分布特征研究[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(20):4709-4714.
- HAN Ye-ming, LIU Zheng-tao, FANG Tong-hui, et al. The Structural-fissures Distribution Research of Hongshi Copper[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(20):4709-4714.
- [8] 陶俊. 汤丹铜矿床同生含矿层成矿后的构造-热液改造及裂隙型富矿的找矿方向[J]. 矿产与地质, 2003, 17(增1):328-330.
- TAO Jun. Structure-hydrothermal Transformation of Post Metallogenic Stage of Contemporaneous Ores and Prospecting Orientation of Crack Type Bonanza in Tangdan Copper Deposit[J]. Mineral Resources and Geology, 2003, 17(S1):328-330.
- [9] 雷秉舜,尚晓春,李嘉曾,等. 安基山铜矿含矿裂隙分布特征及其与成矿的关系[J]. 地质找矿论丛, 1988, 3(4):20-33.
- LEI Bing-shun, SHANG Xiao-chun, LI Jia-zeng, et al. Distribution Pattern of Ore Bearing Fissures and Its Relation to Mineralization in Anjishan Copper Deposit, Jiangsu Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1988, 3(4):20-33.
- [10] 巩磊,曾联波,陈树民,等. 致密砾岩储层微观裂缝特征及对储层的贡献[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 40(1):38-46.
- GONG Lei, ZENG Lian-bo, CHEN Shu-min, et al. Characteristics of Micro-fractures and Contribution to the Compact Conglomerate Reservoirs[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2016, 40(1):38-46.
- [11] 鞠玮,侯贵廷,黄少英,等. 库车坳陷依南一吐孜地区下侏罗统阿合组砂岩构造裂缝分布预测[J]. 大地构造与成矿学, 2013, 37(4):592-602.
- JU Wei, HOU Gui-ting, HUANG Shao-ying, et al. Structural Fracture Distribution and Prediction of the Lower Jurassic Ahe Formation Sandstone in the Yinan-Tuzi Area, Kuqa Depression [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2013, 37(4):592-602.
- [12] ORTEGA O J, MARRETT R A, LOUBACH S E. A Scale-independent Approach to Fracture Intensity and Average Spacing Measurement[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(2):193-208.
- [13] ZENG L B. Microfracturing in the Upper Triassic Sichuan Basin Tight-gas Sandstones: Tectonic, Overpressure, and Diagenetic Origins[J]. AAPG Bulletin, 2010, 94(12):1811-1825.
- [14] 吕文雅,曾联波,张俊辉,等. 川中地区中下侏罗统致密油储层裂缝发育特征[J]. 地球科学与环境学报, 2016, 38(2):226-234.
- LU Wen-ya, ZENG Lian-bo, ZHANG Jun-hui, et al. Development Characteristics of Fractures in the Middle-Lower Jurassic Tight Oil Reservoirs in Central Sichuan Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2016, 38(2):226-234.
- [15] 刘玄,范宏瑞,胡芳芳,等. 沉积岩型层状铜矿床研究进展[J]. 地质论评, 2015, 61(1):45-63.
- LIU Xuan, FAN Hong-rui, HU Fang-fang, et al. Re-

- search Progresses on Sediment-hosted Stratiform Copper Deposit[J]. Geological Review, 2015, 61(1): 45-63.
- [16] 刘池洋. 沉积盆地动力学与盆地成藏(矿)系统[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(1): 1-23.
LIU Chi-yang. Dynamics of Sedimentary Basin and Basin Reservoir(Ore) Forming System[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30(1): 1-23.
- [17] 刘增仁, 漆树基, 田培仁, 等. 塔里木盆地西北缘新生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, 2014, 5(2): 149-158.
LIU Zeng-ren, QI Shu-ji, TIAN Pei-ren, et al. 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, 2014, 5(2): 149-158.
- [18] 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 Zhi-dan, XUE Chun-ji, 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.
- [19] 胡庆雯, 刘宏林. 新疆乌恰县萨热克砂岩铜矿床地质特征与找矿前景[J]. 矿产与地质, 2008, 22(2): 131-134.
HU Qing-wen, LIU Hong-lin. Geological Characteristics and Prospecting Perspective of the Sareke Sandstone Cu Deposit in Wuqia County, Xinjiang[J]. Mineral Resources and Geology, 2008, 22(2): 131-134.
- [20] 方维萱, 贾润幸, 王磊, 等. 新疆萨热克大型砂砾岩型铜多金属矿床的成矿控制规律[J]. 矿物学报, 2015, 35(增): 202-204.
FANG Wei-xuan, JIA Run-xing, WANG Lei, et al. Metallogenic Control Law of Sareke Large Scale Glutenite Type Copper Polymetallic Deposit in Xinjiang[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2015, 35(S): 202-204.
- [21] 陆俊吉, 胡煜昭, 江小均, 等. 新疆乌恰萨热克铜矿北矿带库孜贡苏组沉积相、古流向、物源区及其找矿意义: 来自砾石统计分析的证据[J]. 地质通报, 2016, 35(6): 963-970.
LU Jun-ji, HU Yu-zhao, JIANG Xiao-jun, et al. Sedimentary Facies, Paleocurrent, Provenances and Prospecting Significance of Kuzigongsu Formation in the Northern Ore Belt of the Sareke Copper Deposit in Wuqia, Xinjiang: Evidence from Gravel Statistic Analysis[J]. Geological Bulletin of China, 2016, 35(6): 963-970.
- [22] 乔欣, 胡煜昭, 江小均, 等. 新疆乌恰萨热克含铜盆地上侏罗统库孜贡苏组复合型冲积扇沉积相研究[J]. 地质通报, 2016, 35(11): 1884-1894.
QIAO Xin, HU Yu-zhao, JIANG Xiao-jun, et al. A Study of Complex Alluvial Fan Sedimentary Facies of Upper Jurassic Kuzigongsu Formation of Sareke Copper-bearing Basin in Wuqia County, Xinjiang[J]. Geological Bulletin of China, 2016, 35(11): 1884-1894.
- [23] 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 Xin-you, WANG Jing-bin, WANG Yu-jie, et al. The Geologic Characteristics of Sareke Copper Deposit, Xinjiang, China: Ore Genesis Related to Basin Brines[J]. Mineral Exploration, 2011, 2(1): 28-35.
- [24] 方维萱, 贾润幸, 郭玉乾, 等. 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, 2016, 38(6): 727-752.
FANG Wei-xuan, JIA Run-xing, GUO Yu-qian, et al. 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, 2016, 38(6): 727-752.
- [25] DEZAYES C, VILLEMIN T, PECHER A. Microfracture Pattern Compared to Core-Scale Fractures in the Borehole of Soultz-Sous-Forêts Granite, Rhine Graben, France[J]. Journal of Structural Geology, 2000, 22(6): 723-733.
- [26] ORTEGA O, MARRETT R. Prediction of Macrofracture Properties Using Microfracture Information, Mesaverde Group Sandstones, San Juan Basin, New Mexico[J]. Journal of Structural Geology, 2000, 22(5): 571-588.
- [27] ZENG L B, TANG X M, WANG T C, et al. The Influence of Fracture Cements in Tight Paleogene Saline Lacustrine Carbonate Reservoirs, Western Qaidam Basin, Northwest China[J]. AAPG Bulletin, 2012, 96(11): 2003-2017.
- [28] 徐兆文, 邱检生, 杨荣勇, 等. 柴川南泥湖钼矿床含矿裂隙研究[J]. 南京大学学报: 自然科学, 1998, 34(3): 314-321.
XU Zhao-wen, QIU Jian-sheng, YANG Rong-yong, et al. An Investigation of the Ore-bearing Fractures at Nannihu Porphyry Molybdenum Deposit, Luanchuan County, Henan Province[J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 1998, 34(3): 314-321.