

库车盆地铜矿化与盐丘系统的关系^{*}

曹养同¹, 刘成林¹, 焦鹏程¹, 宣之强², 陈永志¹

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中化地质矿山总局地质研究院, 河北 涿州 072750)

摘 要 库车盆地新近系发育一系列盐丘体, 遥感解译和野外地貌调查共发现 36 个盐丘体, 主要分布在南部的秋里塔格构造带和北部的克拉苏构造带, 沿近东西向断裂呈带状分布。在盐丘体的发育过程中, 盐丘体、围岩及围岩中发育的断裂与破碎带等构成一个盐丘体系统。调查显示铜矿化发育在盐丘体附近, 位于盆地南、北两大构造带(背斜带)轴部偏两翼处, 共有砂岩型、泥岩型、灰岩型 3 种类型, 主要矿物为氯铜矿, 矿化层位于上新统的康村组和中新统的吉迪克组。扫描电镜分析发现, 盐丘体中盐岩样品含有自然铜、氯铜矿, 表明盐丘体可以为地表铜矿化提供铜源, 而卤水中的盐分来自盐丘体中盐、膏的溶解。盐丘系统不但为地表铜矿化提供铜源, 而且其卤水对铜的富集、运移起到载体作用。存在于盐丘系统围岩并与后期盐丘体相伴生的断裂、节理、破碎带, 为含铜卤水的迁移提供通道, 盐丘体后期的构造挤压力, 成为含铜卤水的运移动力。因此, 盐丘系统发育过程对碎屑岩型铜矿形成起到关键性控制作用。

关键词 地质学; 库车盆地; 盐丘体系统; 卤水; 地表铜矿化

中图分类号: P618.41; P588.24

文献标志码: A

Relationship between surface copper mineralization and salt dome system in Kuqa basin

CAO YangTong¹, LIU ChengLin¹, JIAO PengCheng¹, XUAN ZhiQiang² and CHEN YongZhi¹

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Geological Institute for Chemical Minerals, Ministry of Chemical Industry, Zhuozhou 072750, Hebei, China)

Abstract

A series of Neogene salt domes are developed in Kuqa basin. Up till now, 36 salt domes have been found by remote sensing and field morphologic investigation, which are mainly scattered in Qiulitage tectonic belt in the south and Kerasu tectonic belt in the north, exhibiting EW-trending faulted zonal distribution. During the development of the salt domes, salt domes and wall rocks as well as fault structures and shatter zones developed in wall rocks constitute a salt dome system. Surface copper mineralization is developed near the salt dome, lies at the axial parts of the two large tectonic belts (anticlinal belts), somewhat close to the two limbs, and consists of four types, i. e., sandstone type, mudstone type, limestone type and sulfide-bearing quartz vein type. The main mineral in the first three types is atacamite, and the mineralized horizons are located in Pliocene Kangcun Formation and Miocene Jidike Formation. Scanning electron microscopic analysis reveals that salt rock samples from the salt dome contain native copper and atacamite, suggesting that the salt dome could provide copper for surface

^{*} 本文为中国地质科学院矿产资源研究所中央级公益性科研院所基本科研业务项目(编号 K0807);国家“十一五”科技支撑课题(塔里木盆地钾盐大规模成矿条件研究与找矿靶区预测技术, 编号 2006BAB07B06)共同资助成果

第一作者简介 曹养同, 男, 1975 年生, 博士研究生, 矿物、岩石、矿床学专业。Email: zyt1941@yahoo.com.cn

收稿日期 2009-07-15; 改回日期 2010-04-01。张绮玲编辑。

copper mineralization, whereas the salt in the brine was derived from the solution of salt and gypsum in the salt dome. The salt dome system not only provided brine and copper source for surface copper mineralization but also served as carrier for copper enrichment and migration through the brine formed by solution. The faults, joints and shatter zones that existed in the wall rocks of the salt body and were associated with later salt domes provided channels for the migration of copper-bearing brine. The late stage structural compression acted as the driving force for the migration of copper-bearing brine.

Key words: geology, Kuqa basin, salt dome system, brine, surface copper mineralization

新疆库车盆地位于南天山构造带和塔里木盆地之间,是一个再生前陆盆地(贾承造,1992;Graham et al.,1993;Lu et al.,1994;曹守连等,1994;卢华复等,1996),自北向南依次发育北部单斜带,克拉苏和依奇克里克(构造带)背斜带,拜城凹陷,阳霞凹陷,秋里塔格(构造带)背斜带,前缘隆起带。盆地在古近纪-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)。

盐丘是地下深埋的蒸发岩受上覆巨厚盖层的负荷,引起密度倒置而使盐类流动并上浮,或在构造挤压作用下,使盐层向上挤入上覆沉积物中,从而使蒸发岩层及围岩发生构造变形而成的。库车盆地的盐丘主要发育在盆地西部的库姆格列木群及盆地东部的吉迪克组,其中在西部的库姆格列木群最为发育。

盐丘演化可分为4个阶段:蒸发岩沉积阶段、盐脊(枕)阶段、盐背斜阶段、盐株或盐丘阶段,前两个发育阶段与蒸发岩本身及其上覆地层的差异负载作用有关,后两个发育阶段主要与南天山的山前冲断构造作用有关(胡剑凤等,2004)。盐丘系统包括地下或出露地表的盐丘、与之相接触的围岩、围岩中发育的断裂构造、破碎带等。对于库车盆地的盐丘系统,不但包括盐丘、与盐丘相接触的碎屑岩地层,还包括发育在盐丘体周围碎屑岩地层中的断裂构造系统(节理、断裂、破碎带)。

野外调查表明,库车盆地的铜矿化主要分布于盆地南部的秋里塔格构造带及北部的克拉苏-依奇克里克构造带上,位于盐丘附近,没有盐丘出露的地方铜矿化不发育,并且铜矿化和盐丘一起沿断裂带呈近东西向展布(图1)。铜矿物主要为绿色的氯铜矿,而氯铜矿一般和盐、膏共生在一起,存在于砂岩

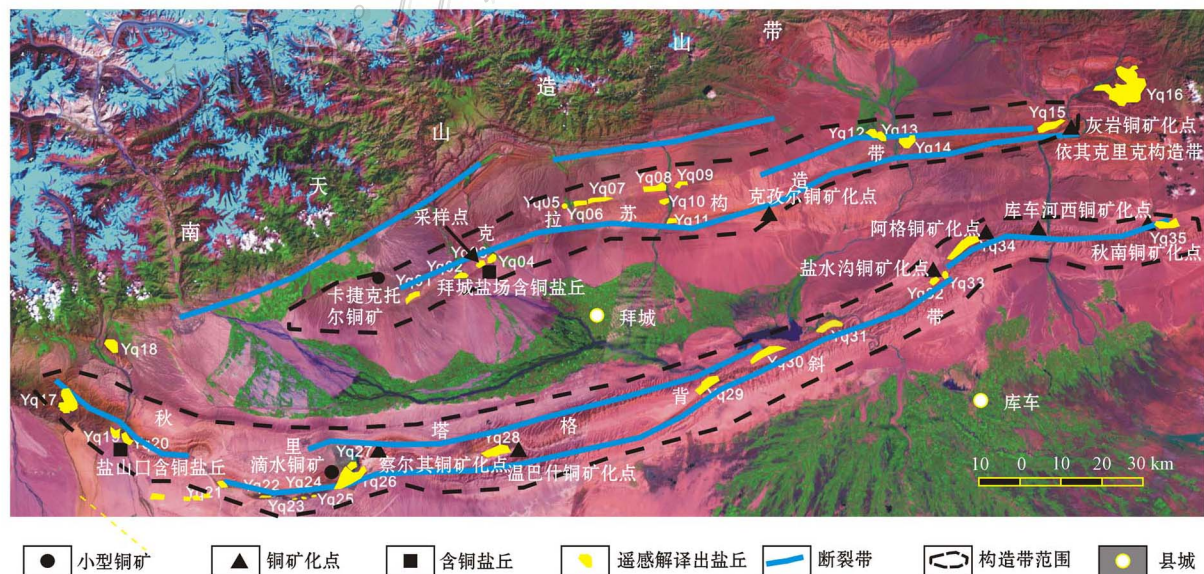


图1 库车盆地盐丘体与断裂、铜矿化关系图(据刘成林等,2008^①绘制)

Fig. 1 The relationship of salt domes to faults and copper mineralization in Kuqa basin (after Liu et al., 2008)

① 刘成林,杨海军,顾乔元,焦鹏程. 2008. 塔里木盆地重要蒸发岩坳陷成盐及油气生储条件研究报告. 33.

的节理面上,或在地表砂岩裂隙中与盐霜共生,或发育在灰岩破碎带中的裂隙、构造面上,与破碎带残余卤水结晶共同出现。铜矿化一般发育在上覆新近系的吉迪克组及康村组碎屑岩地层中(下伏地层为古近系的蒸发岩),主要位于康村组的灰白色(含砾)中粗砂岩中,部分位于吉迪克组的灰绿色粉砂岩中。如拜城滴水铜矿,主要发育在康村组的细砂岩中。上述情况说明,地表铜矿化与下伏古近系出露地表的盐丘体(或未出露地表的地下盐丘体)、盐丘体周围新近系碎屑岩层及碎屑岩地层中的断裂构造所构成的盐丘体系统具有紧密的联系。

1 库车盆地铜矿化特征

1.1 铜矿化分布及成因类型

结合现有资料,通过野外调查及室内分析,发现目前库车盆地共有2个小型铜矿、8处铜矿化点(2处盐丘的盐岩样品中发现铜矿物)。从图1可以看出,盆地铜矿化分布在南、北两大构造带上,沿断裂构造带呈近东西向展布。北带自拜城盐场含铜盐丘起,向东延伸依次为克孜尔铜矿化点、天山大峡谷东灰岩铜矿化点,北带最西部的卡捷克托尔铜矿为一小型铜矿,属于石英脉硫化物型(与盐丘没直接成因联系)。南带自秋里塔格构造带西部的盐山口含铜盐丘开始,向东经滴水铜矿、察尔其铜矿化点、温巴什南冲沟铜矿化点、盐水沟铜矿化点、阿格铜矿化点、库车河西铜矿化点,至秋南铜矿化点。铜矿化主要有4种成因类型:灰岩型(图2A、2B),砂岩型(图2C、2D),泥岩型(图2E、2G),石英脉硫化物型(图2F)。

1.2 铜矿物分布及矿化层位

灰岩型铜矿化位于依其克里克背斜带北翼的一个灰岩断裂破碎带上。灰岩层面受强烈挤压已经近直立,层面上发育残余盐岩结晶,应为卤水从下伏古近系地层沿破碎带向上覆地层侵入的标志(图3A、3B)。灰岩破碎带构造面上发育台阶,见绿色氯铜矿团块,团块中心黑色物质为重晶石(图2B),灰岩裂缝中发育绿色的氯铜矿(图2A)。

褐红色粉砂岩中的铜矿化沿近垂直层面的节理面发生,铜矿物为氯铜矿(图2C),如滴水铜矿。当灰绿色粉砂岩处于断裂破碎带时,节理面上充填薄层石膏(厚2~10 mm),铜矿物浸染在石膏面上,主要为氯铜矿(图3C、3D),如察尔其铜矿化点。另外,

褐红色粉砂岩中的铜矿化也发生在层理面上,形成蓝色的蓝铜矿(图2D)。

灰白色(含砾)中粗砂岩铜矿化见于温巴什、盐水沟、库车河西、阿格、秋南、克孜尔铜矿化点,是盆地分布最广的一种铜矿化类型。野外调查表明:铜矿化大多位于盐丘体附近(克孜尔铜矿化点除外),砂岩中发育近垂直层面的节理,节理面上充填盐、膏(图3E、3F),铜矿化在盐、膏表面呈浸染状发育(图3G、3H),当节理面上无盐、膏充填时,铜矿物呈浸染状侵入于砂岩中(图4A、4B),侵入深度一般1~20 cm,形成含矿层,含矿层一般厚0.5~2 m,延伸几百米,如克孜尔、阿格铜矿化点,两者均见于顺砂岩层面开凿的人工探槽中。电子探针分析图像显示白色的氯铜矿呈脉状充填于砂岩裂隙中(图4C)。

泥岩型铜矿化发育在和盐丘相邻的断裂破碎带部位,沿裂缝充填(图2E、2G),铜矿物主要为氯铜矿,含石英脉硫化物型铜矿化位于克拉苏构造带的西部,为一小型铜矿(已提交储量报告),主要为氧化铜及含锰铜矿物,还含云母、金红石、含钛硅灰石等矿物,与石英脉共同产出,其地层岩石中含有白云母、金红石等矿物,应与变质作用和高温热液有关(图2F)。

野外调查发现铜矿化层位为上新统康村组,部分为中新统吉迪克组,位于南、北两大构造带(背斜带)的轴部或偏向两翼的部位,库车盆地铜矿化特征见表1。

2 库车盆地盐丘系统特征

2.1 盐丘分布

库车盆地在古近纪—新近纪发育巨厚的蒸发岩沉积,其分布具有东西分带的特征。古近纪蒸发岩沉积主要发生在西部,以库姆格列木时期为最盛,厚度几十米到上千米不等,盆地东部为陆源碎屑岩沉积,至新近纪早期的吉迪克时期,蒸发岩沉积逐渐向东部迁移,沉积了以盐、膏为主的巨厚蒸发岩,此时西部转为陆源碎屑岩沉积。根据遥感解译资料及野外盐丘地貌调查,整个盆地共发现36个盐丘体(图1)。

从图1上可以看出,库车盆地36个盐丘体主要分布于盆地的南、北两大构造带上,即北部的克拉苏构造带和南部的秋里塔格构造带,并且越过克拉苏构造带,向东延伸至依其克里克构造带的西缘,呈带

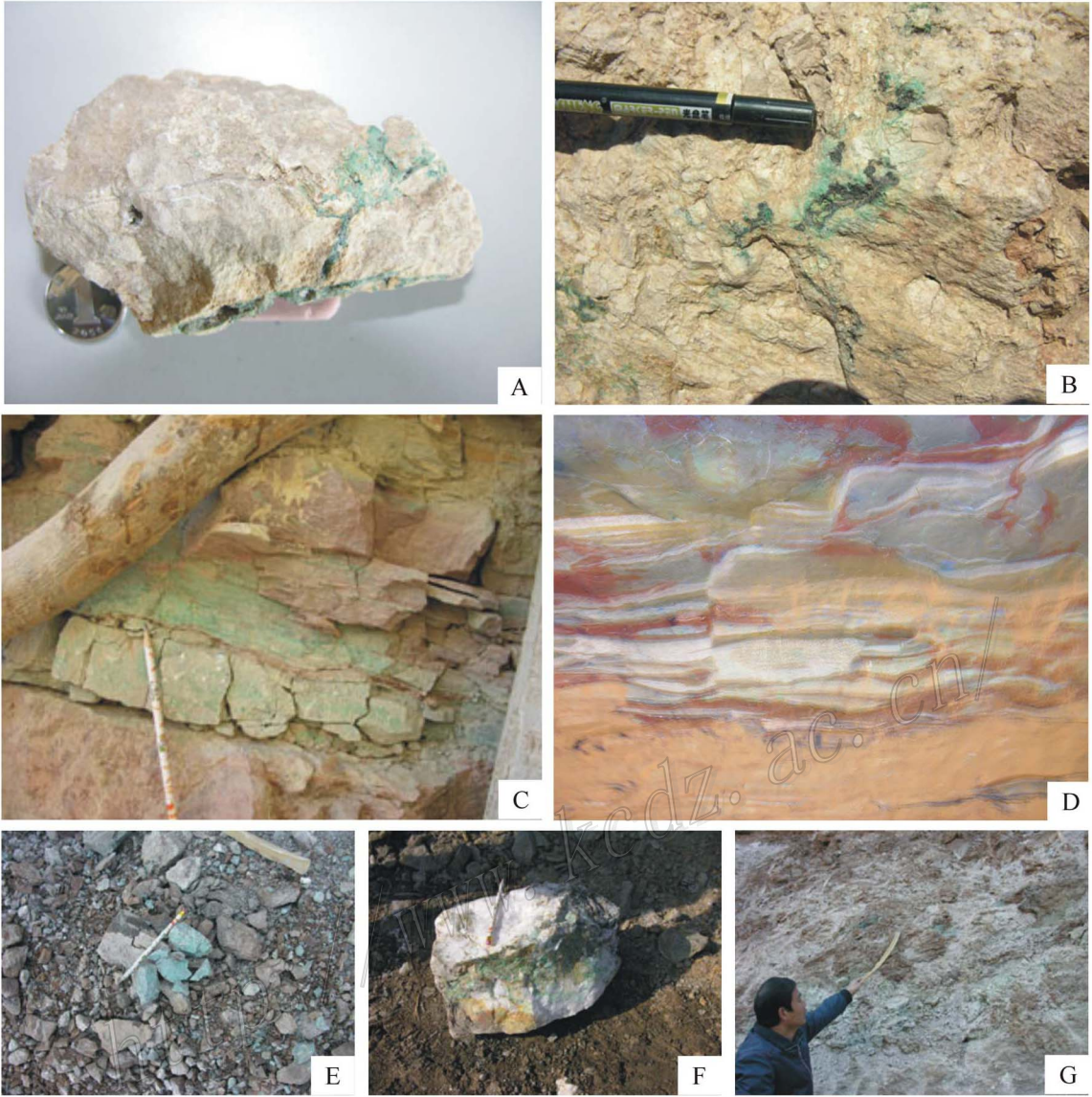


图 2 库车盆地铜矿化成因类型

A、B. 灰岩型铜矿化(大峡谷东铜矿化点); A. 灰岩裂隙中充填方解石脉, 铜矿化沿脉体浸染; B. 灰岩构造面上蓝色氯铜矿及黑色重晶石;
C、D. 粉砂岩型铜矿化(拜城滴水铜矿 1461 坑道); C. 褐红粉砂岩节理面上的绿色氯铜矿; D. 褐红细砂岩层面上的蓝铜矿; E、F. 泥岩型
铜矿化(阿格铜矿化点); G. 石英脉型硫化物铜矿化(卡捷克托儿铜矿)

Fig. 2 Genetic types of copper mineralization in Kuqa basin

A, B. Limestone type copper mineralization (mineralized spot east of Daxiagu); A. Calcite veins filled in limestone fissures, copper mineralization disseminated along dykes; B. Blue atacamite and black barite at the surface of limestone structural surface; C, D. Siltstone type copper mineralization (No. 1461 tunnel at Dishui copper deposit in Baicheng); C. Green atacamite on the joint surface of maroon siltstone; D. Atacamite on the bedding surface of maroon siltstone; E, F. Mudstone type copper mineralization (Age copper mineralized spot); G. Quartz vein type sulfide copper mineralization (Kajieketuor copper deposit)

状分布。盐丘体的出露是地下巨大盐体在地表上的微观反映,虽然有大小 36 个盐丘体出露,但相邻的几个盐丘体在地下有可能是一个巨大的盐体。另外,盐丘体的分布与断裂构造紧密相关,从图 1 遥感

解译图上,可以看出,盐丘体沿近东西向的断裂带分布,基本位于断裂旁边,其地表出露形态的走向与断裂带走向一致,说明盐丘体的分布受断裂构造的控制。中新世中期,中喜马拉雅运动开始(李廷

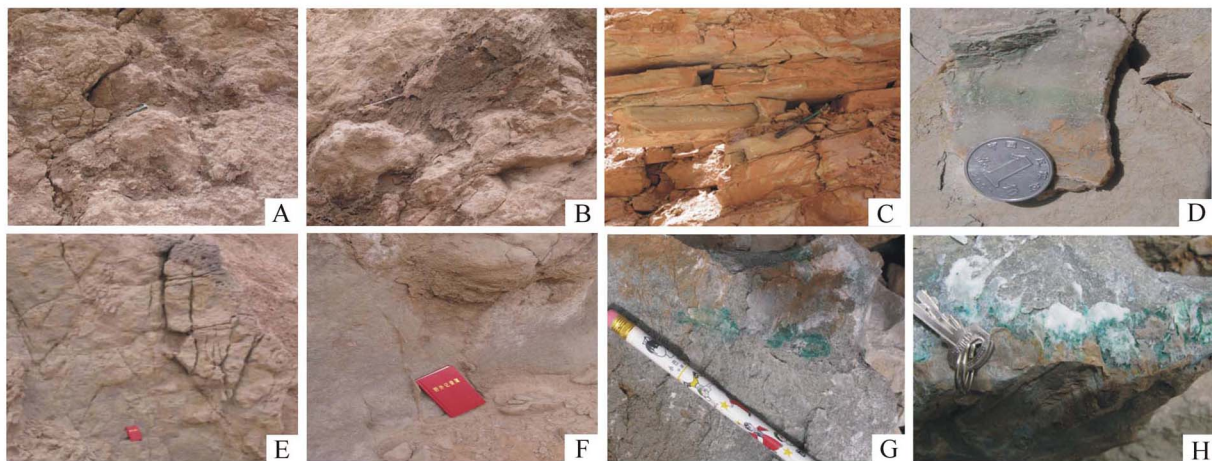


图 3 库车盆地铜矿物分布现象

A、B. 近直立的灰岩层面上的残余盐岩结晶(大峡谷东铜矿化点); C. 断裂破碎带处粉砂岩(察尔其铜矿化点); D. 粉砂岩节理中石膏, 表面有浸染状氯铜矿; E. 近直立的灰白中粗砂岩层面上的节理; F. 为 E 图的放大, 节理面上充填石膏(盐水沟铜矿化点); G. 盐水沟铜矿化点样品, 含(砾)中粗砂岩节理面充填盐、膏, 氯铜矿浸入盐、膏表面; H. 秋南铜矿化点样品, 铜矿化现象同 G

Fig. 3 Distribution of copper minerals in Kuqa Basin

A, B. Relic salt rock crystal on the bedding surface of nearly vertical limestone (copper mineralized spot east of Daxiagu); C. Siltstone in faulted shatter zone (Chaerqi copper mineralized spot); D. Gypsum in siltstone joints, with disseminated atacamite at surface; E. Joints in bedding surface of nearly vertical grayish white medium-coarse sandstone; F. Enlarged diagram of E, with gypsum filled in joint plane (Yanshuigou copper mineralized spot); G. Sample from Yanshuigou mineralized spot, joint plane of gravel-bearing medium-coarse sandstone filled with salt and gypsum, atacamite seen at surface of salt and gypsum; H. Sample from Qiuna copper mineralized spot, copper mineralization same as G

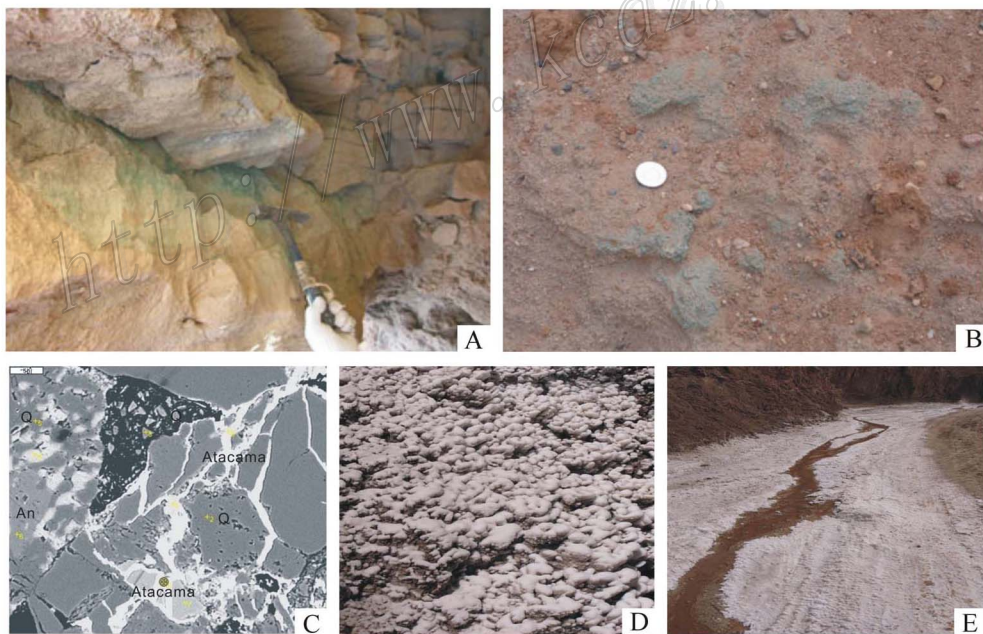


图 4 库车盆地铜矿化现象

A. 阿格铜矿化点样品; B. 克孜尔铜矿化点样品, 中粗砂岩铜矿化, 节理面上无盐、膏充填, 铜矿化浸染砂岩表面; C. 克孜尔铜矿化点样品, 砂岩裂隙中脉状原生氯铜矿(白色); D. 地表砂岩裂隙中渗出的盐泉; E. 地表结晶盐壳

Fig. 4 Copper mineralization in Kuqa basin

A. Sample from Age copper mineralized spot; B. Sample from Kezier copper mineralized spot, copper mineralization in medium-coarse grained sandstone, no salt and gypsum fillings seen on joint surface, copper disseminations seen at surface of sandstone; C. Sample from Kezier copper mineralized spot, veinlike primary white atacamite filled in fissures of sandstone; D. Salt spring in surface sandstone fissures; E. Crystal salt crust at surface

表 1 库车盆地古近系—新近系地表铜矿化特征

Table 1 Characteristics of Paleogene-Neogene surface copper mineralization in Kuqa basin

名称	构造部位	矿化特征	成因类型	矿化层位
盐山口含铜盐丘	秋里塔格背斜带南翼	青盐、红盐、含灰绿粉砂膏岩中含自然铜、氯铜矿	含铜盐岩、膏岩	古近系
拜城盐场含铜盐丘	克拉苏背斜带南翼	青盐、红盐、含灰绿粉砂膏岩中含自然铜、氯铜矿	含铜盐岩、膏岩	古近系
滴水铜矿	秋里塔格背斜带北翼	铜矿化发育在粉砂岩中,主要为铜的氧化物(氯铜矿、蓝铜矿)	砂岩型	新近系
温巴什铜矿化点	秋里塔格背斜带北翼	铜矿化呈脉状、浸染状发育在灰白(含砾)粗砂岩中,主要沿近垂直层面的节理面发育,节理面上充填盐、石膏,铜矿物浸染到膏、盐的表面	砂岩型	新近系
盐水沟铜矿化点				
库车河西铜矿化点				
阿格铜矿化点	秋里塔格背斜带北翼	铜矿化沿近垂直砂岩层面的节理面发育,节理面上充填盐、石膏,铜矿物浸染到膏、盐的表面	砂岩型、泥岩型	新近系
察尔其铜矿化点	秋里塔格背斜带南翼	铜矿化沿近垂直砂岩层面的节理面发育,节理面上充填盐、石膏,铜矿物浸染到膏、盐的表面	砂岩型	新近系
秋南铜矿化点	克拉苏背斜带南翼	铜矿化沿近垂直砂岩层面的节理面发育,节理面上充填盐、石膏,铜矿物浸染到膏、盐的表面	砂岩型	新近系
克孜尔铜矿化点				
卡捷克托尔铜矿	克拉苏背斜带南翼	铜矿化位于石英脉中,与高温热液有关,主要为氧化铜及含锰铜矿物,另含云母、金红石、含钛硅灰石等	石英脉硫化物型	新近系
大峡谷东铜矿化点	依其克里克背斜带北翼	矿化位于灰岩破碎带,发育氯铜矿、重晶石、方解石等,构造面上见残余盐岩结晶	灰岩型	古近系

栋等,1980;任纪舜等,1999),整个库车盆地蒸发岩沉积结束,转变为陆源碎屑岩夹薄层石膏沉积,以砂、砾为主的山麓相沉积指示了当时山体抬升、遭受剥蚀、快速堆积的沉积环境,早期的盐体遭受挤压,形成盐背斜、盐株等构造样式(胡剑凤等,2004),甚至刺穿地表形成地上盐丘体。

2.2 盐丘发育特征

古近纪至新近纪的吉迪克时期,盆地沉积了巨厚的膏盐层。吉迪克后期碎屑岩的沉积在膏盐层上部形成负荷差异,使得膏盐层不同部位承受不同的压力发生塑性流动,由高应力区向低应力区会聚,形成初期的盐脊(或盐枕),中喜马拉雅运动的兴起,盆地开始遭受南北向的挤压,膏盐层发生变形形成盐背斜,随着挤压力的进一步增强,膏盐层被盐下层逆冲断层冲断,形成地下盐丘体,最后甚至刺穿上覆地层露出地表,形成地表盐丘体。地震解译资料表明,北部的克拉苏-依奇克里克构造带、南部的秋里塔格构造带是盐丘体最为发育的地方(这与图1中盐丘体分布特征相一致),主要发育各种地下及刺穿地表的盐丘体。郭光辉等(2004,2006)认为,中新世早期是库车盆地盐丘体的初始形成时间,中新世—上新世中晚期的差异负载是盐丘体初始形成的动力来源,上新世中晚期以来强烈的区域挤压作用是盐丘体发育的主要因素。

2.3 盐丘系统形成

盐丘体的前期发育离不开上覆地层的负荷作用,其后期发育乃至刺穿地表更与构造挤压有关,在

盐丘体的发育过程中,盐丘体、盐丘体围岩(包括上覆地层)围岩中发育与构造作用有关的节理、断裂、破碎带构成了一个盐丘系统。地表铜矿化与含铜卤水有关,卤水中的盐分离不开盐丘体中的蒸发岩,而含铜卤水运移也离不开盐丘体围岩中的断裂构造,所以库车盆地的地表铜矿化离不开盐丘系统。

3 铜矿化与盐丘系统的关系

3.1 铜矿化成因分析

3.1.1 灰岩型铜矿化

大峡谷东部的灰岩地层在断裂构造作用下形成破碎带,灰岩层面已经近直立,在近直立的层理面上发育残余盐岩结晶,说明卤水(含盐流体)曾经沿灰岩的破碎带侵入。而灰岩裂隙中的绿色氯铜矿说明含铜卤水曾经沿灰岩破碎带中的裂隙运移。灰岩构造面上的构造擦痕及绿色氯铜矿进一步说明含铜卤水曾经沿灰岩破碎带中的断裂构造运移。所以大峡谷东部地表铜矿化现象说明含铜卤水的运移通道为断裂构造及其破碎带。

3.1.2 砂岩型铜矿化

察尔其铜矿化点位于盆地西部,秋里塔格背斜带南翼的一断裂破碎带处,附近出露盐丘,为灰绿色粉砂岩型铜矿化。垂直粉砂岩的节理面上充填石膏,石膏表面有浸染状铜矿化,由于上新世的砂岩中没有盐、膏沉积,而其下伏古近系地层(为蒸发岩沉积)中发育盐、膏沉积,说明含铜卤水应来自地下,与

盐丘体有关。构造挤压使灰绿粉砂岩破碎,下部含铜卤水沿节理面侵入,在干旱气候条件下经蒸发作用形成盐、石膏、氯铜矿,氯铜矿在石膏表面或内部,呈浸染状。

对克孜尔铜矿化点灰绿色粉砂岩中的氯铜矿进行电子探针分析,发现氯铜矿呈脉状穿插于砂岩裂隙之中,为原生的化学成因(图 4C),表明氯铜矿形成于砂岩之后,为后期含铜卤水沿砂岩裂隙运移形成。另外,库车河西及盐水沟铜矿化点虽然为灰白色中粗砂岩铜矿化,但在矿化特征上与粉砂岩一致,灰白色(含砾)中粗砂岩均发育近垂直层面的节理,节理面上充填石膏和盐,石膏和盐晶体表面的铜矿化呈浸染状产出。克孜尔铜矿化点、库车河西及盐水沟铜矿化点均位于盆地东部,虽然盆地东部在吉迪克时期发育巨厚盐、膏沉积,但其上覆康村组为一套粉砂岩、灰白色(含砾)中粗砂岩沉积,无盐、膏发育,说明含铜卤水来自下伏含盐系地层。

上述砂岩型铜矿化现象说明,一方面含铜卤水中的盐来自下伏古近系地层中的盐丘体(或地表出露的盐丘体被大气降水溶滤),另一方面含铜卤水来自地下,沿上覆碎屑岩地层的节理面向地表运移。

3.1.3 泥岩型铜矿化

泥岩铜矿化发生在与盐丘相邻的泥岩破碎带上,如阿格铜矿化点。铜矿化沿泥岩裂缝充填,主要铜矿物为氯铜矿,说明含铜卤水也是沿泥岩破碎带

运移的。

综上所述,库车盆地地表铜矿化成因表明:含铜卤水中的盐分来自盐丘系统中的盐、膏,含铜卤水的运移通道为盐丘体附近的断裂构造及其破碎带,卤水从下伏含盐系地层向上覆碎屑岩地层(地表)运移。所以,地表铜矿化的发育与盐丘系统始终联系在一起。

3.2 铜矿化与盐丘系统关系

3.2.1 盐丘提供铜源

对盆地的 2 个含铜盐丘,盐山口含铜盐丘和拜城盐场含铜盐丘中盐样品进行了扫描电镜分析,发现含有自然铜、氯铜矿(图 5)。这说明蒸发岩本身可以赋存铜矿物,事实上卤水具有很高携带铜离子的能力,当含铜卤水进入湖盆,在湖盆底部弱还原环境下,形成自然铜,伴随卤水前期膏、盐的析出而赋存其中。当含铜卤水沿断裂构造向地表运移时,在干燥炎热的气候条件下卤水蒸发,膏、盐析出,铜矿物以氯铜矿的形式赋存于盐、膏中,这与野外地表和镜下见到的铜矿化现象相一致,从而也说明了为什么氯铜矿一般是干旱气候条件下含盐盆地中的产物(叶霖等,1997;王士元等,2003)。盐丘体含铜现象说明,当盐体被大气降水溶解时,铜也会以离子形式存在于卤水中,形成初期的含铜卤水,为以后的地表铜矿化提供铜源。

3.2.2 盐丘体为卤水提供盐分

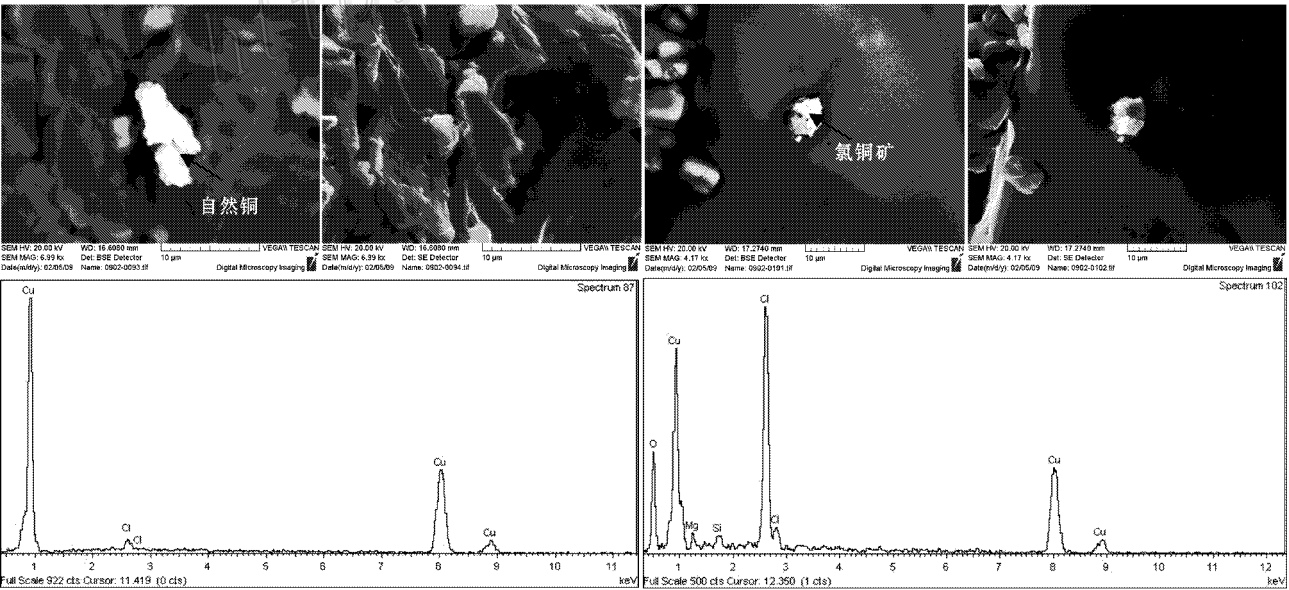


图 5 盐丘中盐岩样品的自然铜(图左)及氯铜矿(图右)

Fig. 5 Native copper(left) and atacamite(right) in salt rock sample from salt dome

盆地卤水主要来源于古封存卤水及大气降水淋滤地层中的盐层而形成的卤水。库车盆地古近纪的地层水溴含量和溴氯系数高,具海水起源特征^①,新近纪和第四纪地层水尽管盐度很高,但溴含量和溴氯系数相对低得多,基本上为内陆地表水起源。所以古近纪地层水应为盐丘体中的原生卤水,高盐度的新近纪地层水主要为大气降水溶解盐丘体形成,库车盆地砂岩裂隙中随处可见渗出的盐泉(图 4D),并可见在砂岩地表经蒸发作用形成的白色盐壳(图 4E)。所以部分卤水是大气降水溶解盐丘形成的。

3.2.3 卤水是铜运移及富集的载体

一般认为,卤水可以携带大量金属成矿物质(如 Cu、Zn、Ag、Pb 等)卤水中高含量的氯离子可以使铜等金属离子以氯化物或络合物的形式迁移,如 Cu-Cl^- 、 CuCl_3^{2-} 、 CuCl^+ 、 FeCl_2 (谭凯旋,1998),所以卤水具有较强的淋滤围岩中铜离子的能力。肖荣阁等(2004)认为,伴随着流体中氯离子浓度的增加,重金属元素的浓度也随之增加,并且这种高盐度的卤水又可以作用于岩石,特别是当温度增高时作用能力增强,所以大气降水溶解盐丘体形成的高盐度卤水具有较高的溶解铜离子的能力,可以溶滤其周围碎屑岩中的铜,在盐丘体—近盐丘体围岩—远盐丘体围岩中形成含铜溶液浓度差,伴随着低浓度含铜卤水向高浓度含铜卤水的演化,可能使含矿卤水从盐丘体向围岩区运移。另外,盆地远矿围岩区的褐红色碎屑岩位于膏盐层之上,其发育时代为吉迪克后期,没有铜矿化现象,其铜的克拉克值远远低于地壳中沉积岩的克拉克值(47×10^{-6})(马东升,1990),出现铜亏损(表 2),而铜矿化区内,未发生铜矿化的褐红色粉砂岩出现铜稍微富集,发生铜矿化的褐红色

粉砂岩中铜含量很高,说明褐红色粉砂岩不可能在成岩过程中被淋滤,即形成褐红色粉砂岩的碎屑物在搬运过程中铜未被卤水淋滤,而是在成岩后被卤水淋滤,导致被卤水淋滤过的岩石出现铜亏损,后期的含铜卤水在成矿区发生矿化又导致铜富集。所以,由盐丘体溶解所形成的卤水为铜的运移及富集提供了载体。

3.2.4 盐丘系统提供含铜卤水运移通道

盐丘系统中盐丘体与围岩的接触带、围岩中的节理、断裂、破碎带构成了含铜卤水运移的有利通道。后期盐丘体总是和构造挤压、断裂破碎带紧密相连的。各种盐丘体样式及盐上、盐下地层产生的断裂、切穿膏盐层的断裂为地表水的下渗、盐丘体的水溶、卤水的形成、铜的淋滤富集、含铜卤水的运移提供了有利通道。构造挤压力又为含铜卤水的迁移提供运移动力。上新世中晚期以来强烈的区域挤压作用使得盆地南、北两大背斜带发育一系列地下及刺穿地表的盐丘体,可能伴随着含铜卤水的形成与迁移。在构造挤压下,含铜卤水沿断裂带上涌,在地表形成铜矿化现象。大峡谷东铜矿化点上,可见前期的灰岩破碎,方解石充填节理裂隙,铜矿化沿方解石所在节理充填并浸染其表面(图 2A),说明了含铜卤水沿断裂带上涌,在地表形成铜矿化。后期的挤压作用继续,在铜矿物表面形成构造擦痕。在砂岩型铜矿化中,矿化一般发生在近垂直层面的节理中,有盐、膏充填,矿化在盐、膏表面呈浸染状,也说明含铜卤水曾经沿断裂破碎带上涌。

综上所述,库车盆地地表铜矿化离不开盐丘系统。盐丘系统不但为铜矿化提供铜源,而且其溶解形成的卤水可以淋滤盆地碎屑岩(主要为褐红色碎

表 2 库车盆地褐红色碎屑岩样品铜含量
Table 2 Copper content of maroon clastic rock samples from Kuqa basin

样品	岩性	$\omega(\text{Cu})/10^{-6}$	样品位置
0811KC-KLS-G2	褐红粉砂岩	27	克拉苏河东岸、盐山口东(均位于远矿围岩区)
0811KC-KLS-G4	褐红粉砂岩	16	
0811KC-KLS-G5	褐红粉砂岩	24	
0811KC-BCH-G15	褐红泥岩	20	
0812KC-AGX-S4	褐红泥质粉砂岩	119	阿格铜矿化点、滴水铜矿(均位于矿化区内)
0811KC-S2-G4	褐红粉砂岩	79	
0811KC-S2-G6	褐红粉砂岩	60	
0811KC-S1-G24	铜矿化褐红粉砂岩	9150	

分析者:廊坊市地球物理地球化学勘探研究所。

① 刘成林,杨海军,顾乔元,焦鹏程. 2008. 塔里木盆地重要蒸发岩坳陷成盐及油气生储条件研究报告. 33.

屑岩)中的铜使其富集,并起到充当运移载体的作用,与盐丘系统中后期盐丘体相伴生的断裂、节理、破碎带为含铜卤水的迁移提供通道,盐丘体及其围岩中卤水铜离子的浓度差,盐丘体后期的构造挤压力,都可成为含铜卤水的运移动力。

4 结 论

通过对库车盆地铜矿化与盐丘系统关系的研究,获得以下认识。

(1)库车盆地新近纪发育一系列盐丘体,主要分布在南部的秋里塔格构造带和北部的克拉苏构造带,沿近东西向的断裂带呈带状分布,地表铜矿化发育在盐丘附近,位于南、北两大构造带(背斜带)的轴部偏两翼处,发育在近垂直于碎屑岩层理的节理面上,浸染在盐、膏的表面,主要为氯铜矿。

(2)盆地铜矿化共有3种成因类型:灰岩型、砂岩型、泥岩型,主要的赋存层位是上新统的康村组和中新统的吉迪克组。

(3)铜矿化与盐丘系统密切相关。盐丘体不但为铜矿化提供铜源,而且其溶解形成的卤水对铜的富集、运移具有载体作用。

(4)存在于盐丘系统围岩中,与后期盐丘体相伴生的断裂、节理、破碎带为含铜卤水的迁移提供通道,盐丘体后期的构造挤压力,成为含铜卤水的运移动力。

志 谢 本文在写作的过程中,得到了吴必豪研究员、赵元艺研究员、肖荣阁研究员的指导与帮助,在此表示衷心的感谢!

References

Cao S L, Chen F J and Luo C R. 1994. Numerical modeling of subsidence mechanism of a Meso-Cenozoic foreland basin in North Tarim [J]. *Oil & Gas Geology*, 15(2): 113-120 (in Chinese with English abstract).

Graham S A, Hendrix M S and Wang L B. 1993. Collision success or basin of western China: impact of tectonic inheritance on sand composition [J]. *Geological Society of American Bulletin*, 105: 323-324.

Jia C Z. 1992. Evolution of slab structure in Tarim basin [A]. In: Li Q B, Dai J X, Liu Q R, Li J L ed. *Corpus of research on modern geology* [C]. 1st ed. Nanjing: Nanjing University Press. 22-31.

Hu J F, Liu Y K, Yang M H, Zheng D M, Liu H, Lei G L and Zhou

L. 2004. Relations on characteristic of salt tectonics and oil gas in Kuqa Seg in Tarim Basin [J]. *Chinese Journal of Geology*, 39(4): 580-588 (in Chinese with English abstract).

Li T D and Han T L. 1980. Characteristic of structure in Tibetan Plateau [A]. In: *Corpus of international learning communion on geology* (1): Tectonic geology, geology dynamics. For the 26 International Geological Congress [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 153-162 (in Chinese with English abstract).

Lu H, Howell D G, Jia D and D Cai. 1994. Rejuvenation of the Kuqa foreland basin, northern flank of the Tarim basin, Northern China [J]. *International Geology Review*, 36: 1151-1158.

Lu H F, Jia D and Cai D S. 1996. Evolution of slab structure in Paleozoic in Tarim Basin and in the west in Tianshan [A]. In: Tong X G, Liang D G, Jia C Z, ed. *The new evolution of petroleum geology in Tarim Basin* [C]. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).

Ma D S. 1990. Abundant of golden in the Earth [J]. *Gold*, 11(6): 1-7 (in Chinese with English abstract).

Ren J S, Wang Z Y, Chen B W, Jiang C F, Niu B G and Li J Y, et al. 1999. Espial geotectology of China from the world - the brief explain on map of Geotectology of China and Vicinage [M]: Beijing: Geol. Pub. House. 6-9 (in Chinese).

Tan K X. 1998. Geochemistry and dynamics of metallization on copper mineral of sandstone [M]: Beijing: Earthquake Pub. House (in Chinese).

Tan X C, Wang Z Y, Li L, Sun C H, Chen J S and Cao J. 2006. Arrangement and evolution of Tertiary sedimentary facies in Kuche Foreland Basin, Xinjiang [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 24(6): 790-797 (in Chinese with English abstract).

Wang S Y, Wang Y S, Zhong X L and Zhao R, 2003. Mineral characteristic of atacamite and function of prospecting for mine [J]. *Xinjiang Geology*, 21(2): 251-252 (in Chinese with English abstract).

Wu G H, Wang Z M, Liu Y K and Zhang B S. 2004. Kinematics characteristics of the Kuqa depression in the Tarim Basin [J]. *Geological Review*, 50(5): 476-483 (in Chinese with English abstract).

Wu G H, Cai Z Z, Zhao K Z, Dong L S and Shi J. 2006. The Mechanics of salt tectonics in Kuche depression Tarim Basin [J]. *Xinjiang Geology*, 24(2): 182-186 (in Chinese with English abstract).

Xiao R G, Yuan Z L, Liu J D, Fei H C, Ge Z H and Zhang M Y. 2004. The formation and evolution of regional ore-forming fluid [J]. *Earth Science Frontiers*, 11(2): 461-468 (in Chinese with English abstract).

Ye L and Liu T G. 1997. The discovery of atacamite in Xinjiang and its significance [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 17(1): 78-81 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

曹守连, 陈发景, 罗传容. 1994. 塔北中、新生代前陆盆地沉降机制的数值模拟 [J]. *石油天然气地质*, 15(2): 113-120.

贾承造. 1992. 塔里木板块构造演化 [A]. 见: 李清波, 戴金星, 刘如

- 琦,李继亮,主编.现代地质学研究文集(上)[C].南京:南京大学出版社.22-31.
- 胡剑风,刘玉魁,杨明慧,郑多明,刘虎,雷刚林,周厉.2004.塔里木盆地库车坳陷盐构造特征及其与油气的关系[J].地质科学,39(4):580-588.
- 李廷栋,韩同林.1980.青藏高原地区构造特征[A].见:国际交流地质学术论文集(1):构造地质、地质力学(为二十六届国际地质大会撰写)[C].北京:地质出版社.153-162.
- 卢华复,贾东,蔡东升.1996.塔里木和天山古生代板块构造演化[A].见:童晓光,梁狄刚,贾承造,主编.塔里木盆地石油地质研究新进展[C].北京:科学出版社.235-245.
- 马东升.1990.地球的金丰度[J].黄金,11(6):1-7.
- 任纪舜,王作勋,陈炳蔚,姜春发,牛宝贵,李锦轶.1999.从全球看中国大地构造--中国及邻区大地构造图简要说明[M].北京:地质出版社.6-9.
- 谭凯旋.1998.砂岩铜矿地球化学和成矿动力学[M].北京:地震出版社.1-163.
- 谭秀成,王振宇,李凌,孙崇浩,陈景山,曹剑.2006.库车前陆盆地第三系沉积相配置及演化研究[J].沉积学报,24(6):790-797.
- 王士元,王玉山,钟晓玲,赵瑞.2003.氯铜矿矿物特征及在找矿中的作用[J].新疆地质,21(2):251-252.
- 邬光辉,王招明,刘玉魁,张宝收.2004.塔里木盆地库车坳陷盐构造运动学特征[J].地质论评,50(5):476-483.
- 邬光辉,蔡振中,赵宽志,董立胜,师骏.2006.塔里木盆地库车坳陷盐构造成因机制探讨[J].新疆地质,24(2):182-186.
- 肖荣阁,原振雷,刘敬党,费红彩,葛振华,张明燕.2004.区域成矿流体的形成与演[J].地学前缘,11(2):461-468.
- 叶霖,刘铁庚.1997.新疆氯铜矿的发现及其意义[J].矿物学报,17(1):78-81.

<http://www.kcdz.ac.cn/>