

文章编号: 0258-7106(2012)03-0629-13

川滇黔交界地区铅锌矿床含矿角砾岩特征 及其构造意义*

韩奎¹, 罗金海¹, 王宗起², 闫全人³, 武昱东², 张国锋¹, 年秀青¹

(1 大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系, 陕西 西安 710069; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 3 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要 川滇黔交界地区的铅锌矿床中普遍发育含矿角砾岩。文章综述了角砾岩的成因分类, 在重点矿床野外地质调查的基础之上, 对川滇黔交界地区的铅锌矿床含矿角砾岩进行了详细研究。结果表明: 大部分含矿角砾岩显示张性角砾岩的特点, 仅个别矿床同时出现挤压角砾岩。综合区域地质构造演化特征和典型铅锌矿床的同位素测年数据, 可大致推断出, 从中二叠世茅口期以来该铅锌成矿区伸展构造至少有2期: 一期发生在铅锌矿化之前或同时, 即早二叠世/晚二叠世的升降运动(东吴运动)与晚二叠世峨眉山玄武岩喷发期间, 此次伸展作用形成的角砾岩为成矿流体提供了大量的容矿空间, 并最终导致成矿流体沿断裂运移并充填沉淀而形成角砾状或网脉状-脉状构造的矿石; 另一期发生在铅锌矿化之后, 即白垩纪—古近纪, 发育一系列正断层, 并有可能破坏了铅锌矿体的连续性。

关键词 地质学, 铅锌矿床, 含矿角砾岩, 构造意义, 伸展作用, 川滇黔交界地区

中图分类号: P618.42; P618.43

文献标志码: A

Feature of ore-bearing breccias of lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou border area and its tectonic significance

HAN Kui¹, LUO JinHai¹, WANG ZongQi², YAN QuanRen³, WU YuDong²,
ZHANG GuoFeng¹ and NIAN XiuQing¹

(1 State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an, 710069, Shaanxi, China;

2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3 Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

Ore-bearing breccias commonly exist in lead-zinc deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou border area. On the basis of a comprehensive study of the genetic classification of breccias and the field geological investigation in key deposits, the authors studied the features of ore-bearing breccias in lead-zinc deposits in the Sichuan-Yunnan-Guizhou border area. The results demonstrate that most of the ore-bearing breccias show features of extensional breccias, with compressional breccias seen in a few deposits. Through combining geological evolution of this area with the metallogenic epochs of the existing typical lead-zinc deposits based on isotope dating data, the authors roughly infer that there have existed at least two extensional tectonic events in this lead-zinc ore district since the middle Permian Maokou period: one extension occurred before or simultaneously with the mineralization, i. e., the early Permian/late Permian uplift and subsidence movement (Dongwu movement) and the Late Permian E-

* 本研究受到国土资源部中国地质调查局项目(编号: 1212010012009)资助

第一作者简介 韩奎, 男, 1984年生, 硕士研究生, 构造地质学专业。Email: hankui922@163.com

收稿日期 2011-06-02; 改回日期 2012-02-20。张绮玲编辑。

meishan basalt eruption period. The breccias formed by this extension provided extensive space for ore-forming fluids, which subsequently moved along the fault, filled the space and precipitated, forming breccia or stockwork ores. The other extension occurred after the mineralization, i. e. from Cretaceous to Paleogene, during which a series of normal faults was formed, which destroyed the continuity of the lead-zinc body.

Key words: geology, lead-zinc deposit, ore-bearing breccias, tectonic significance, extension, Sichuan-Yunnan-Guizhou border area

川滇黔交界地区(包括黔西北、滇东北、川西南部分地区)的铅锌矿区处于扬子地块西南缘,北起四川汉源,向南经会东到云南禄劝,西起四川会理天宝山,向东经云南巧家到贵州六盘水,是中国重要的铅、锌、锗、银产地之一,其中包括唐家、赤普、茂租、天宝山、大梁子、银厂沟、金沙厂、麒麟厂和毛坪等 400 多个矿床(点)(图 1)。该铅锌矿区赋矿岩石除会理县小石房铅锌矿床之外,绝大部分分布在不同层位的碳酸盐岩,仅少数产于硅质岩或者磷块岩中。目前大部分研究者认为,这些铅锌矿床属于比较典型的密西西比河谷型(MVT)铅锌矿,或存在一定差异但可与之进行对比。近十几年来,众多研究者对川滇黔交界地区铅锌矿床的成矿流体性质与来源(黄智龙等,2001;2004a;2004b;李泽琴等,2002;刘家铎等,2003;芮宗瑶等,2004)矿床成因(周朝宪等,1997;王奖臻等,2001;2002;刘家铎等,2003;张长青等,2005b;2008;2009;张长青,2008)控矿因素与成矿模型(柳贺昌,1995a;1995b;1996;刘文周等,1996;韩润生等,2001;黄智龙等,2004a;2004b;芮宗瑶等,2004;张志斌等,2006;张长青等,2005b;2008;2009;张长青,2008;刘英超等,2008;许典葵等,2009;陈超等,2010)等进行了大量研究和总结,取得了较大的进展。从区域上看,本区铅锌矿床受断裂构造控制,并沿几条大的断裂带呈串珠状线性分布。在大部分矿床中矿体充填在张性断裂和各种破碎带中。许多研究者(郑传仑,1992;林方成,1994;龙训荣等,1995;1997;徐新煌等,1996;王奖臻等,2002;芮宗瑶等,2004;司荣军,2005;张长青,2005b)都注意到该区内铅锌矿床的角砾状和网脉状、脉状矿石构造,并将角砾岩作为一种找矿标志(张长青,2008),但是对本区铅锌矿床中角砾岩或角砾状矿石的具体特征及其成因并未进行过详细研究。角砾岩是一种孔隙度相对较大的岩石,它可以为成矿流体运移提供良好的通道以及为成矿流体沉淀提供可容空间。矿化(含矿)角砾岩是角砾岩的一种特殊类型,是破碎岩石与成矿流体作用的产物(Jebrak,

1997),其成岩作用常常伴随成矿作用,构成了金属矿床中的一种重要类型(卿敏等,2002)。因此,通过研究角砾岩的地质特征、形成时间、形成机制,可以了解成矿作用的控制因素和过程,并可预测矿化的富集部位,进而对矿床类型进行划分、探讨矿床成因模式等。本文总结了角砾岩的特征,在此基础上对川滇黔交界地区的几个铅锌矿床含矿角砾岩进行了详细研究,试图确定含矿角砾岩的成因,并进一步探讨其形成构造背景与铅锌成矿之间的关系。

1 角砾岩的成因分类

岩石学中常把砾级颗粒中呈棱角和次棱角状者含量大于 50% 的粗碎屑岩统称为角砾岩。角砾岩的分类方案较多(刘宝珺,1980;曾允孚等,1986;赵澄林等,2001),目前,比较常用的分类方案是按成因分类,如残积角砾岩、冰川角砾岩、同生角砾岩、滑塌角砾岩、岩溶角砾岩、盐溶角砾岩、火山角砾岩、断层角砾岩等(表 1)。

林玉石等(1984)、刘功余等(1987)在研究桂林岩溶地区断裂角砾岩时提出了岩溶交代改造断裂岩,并探讨了其特征、地质意义和成因。隋志龙等(2003)在研究恭城—栗木断裂带时提出了断溶角砾岩,其实质与岩溶交代改造断裂岩属同一类型。汪劲草等(1999;2000)认为东川因民角砾岩为水压角砾岩,并提出了流体动力角砾岩的概念,探讨了其形成条件、分类、识别标志和意义等。李先福等(2001)对流体动力角砾岩分类中的水力压裂角砾岩的几何特征、鉴别标志、形成机制和找矿意义等进行了详细论述。

2 川滇黔交界地区铅锌矿床含矿角砾岩特征及成因

探讨研究角砾岩的成因,其形态、大小分布、空间产出状态是 3 个重要因素,对角砾岩的形态研究可以区分其是物理成因的还是化学成因的,大小分布

反映了角砾岩形成时的能量大小；空间产出状态则反映了角砾岩形成时的地质背景(毛政利等,2004)。

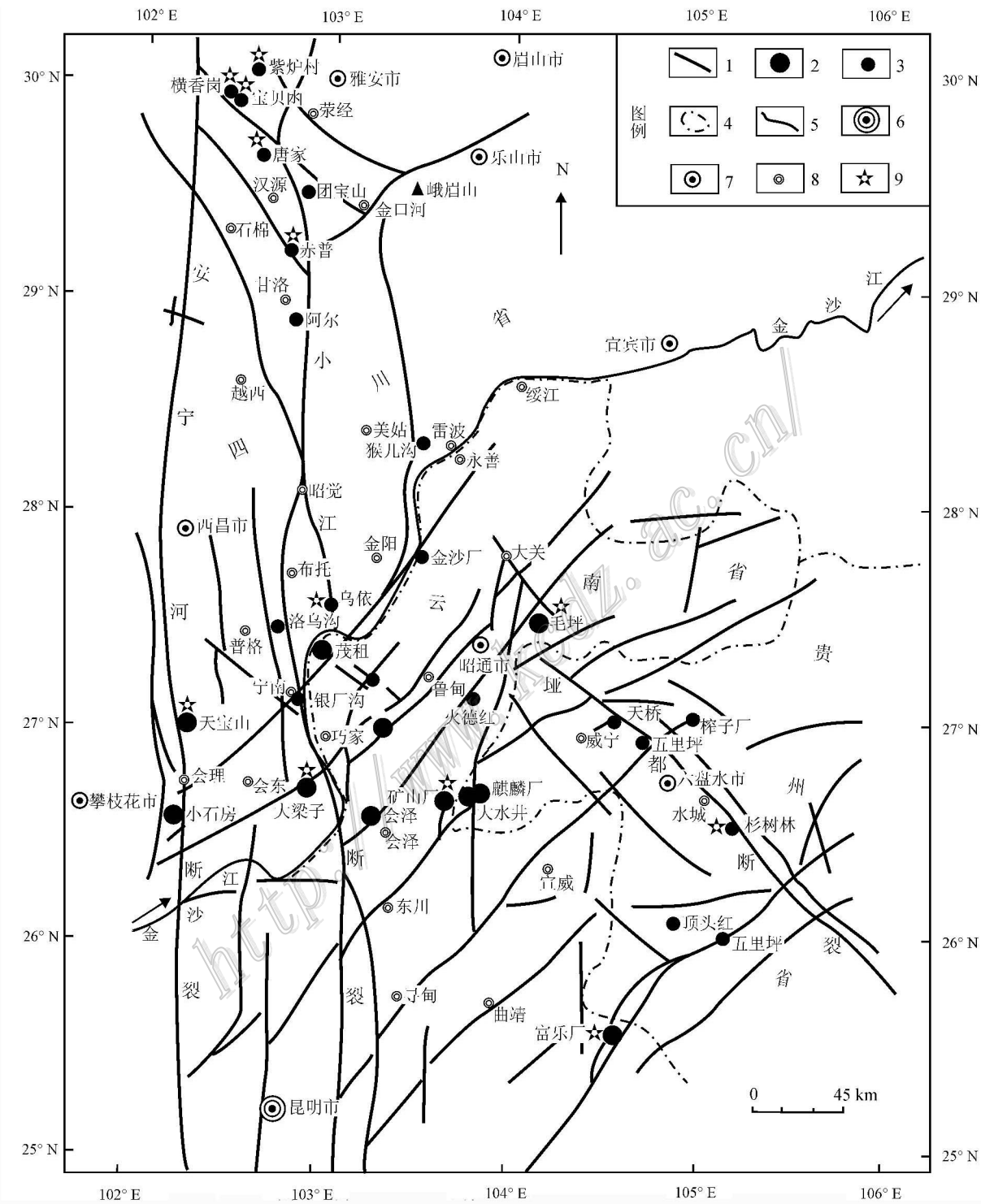


图 1 川滇黔交界地区铅锌矿床分布图(据韩润生等,2001 修改)

1—断层；2—大型铅锌矿床；3—中小型铅锌矿床；4—省界；5—河流；6—省会城市名称；7—城市名称；8—主要县城；
9—发育含矿角砾岩铅锌矿床

Fig.1 Distribution of lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou border area (modified after Han et al. , 2001)

1—Fault; 2—Large-size lead-zinc deposit; 3—Medium- and small-size lead-zinc deposits; 4—Provincial boundaries; 5—River;
6—Provincial capital; 7—Major city; 8—Major county; 9—Ore-bearing brecciated lead-zinc deposit

表 1 角砾岩的成因分类及其特征

Table 1 Genetic classification and features of breccias

成因	类型	特征	参考文献
风化作用	残积角砾岩	砾石呈棱角状、无分选,砾石成分单一,沿剖面向下逐渐过渡为下伏母岩	曾允孚等,1986
冰川作用	冰川角砾岩	成分复杂,分选极不好,砾石和泥砂混染。砾石呈棱角状,角砾形状极为特征,如常见砾石表面有丁字形擦痕等,砾石排列极为紊乱	曾允孚等,1986; 赵澄林等,2001
同生作用	同生角砾岩	竹叶状、扁豆状、疙瘩状、瘤状灰岩,或细粒碎屑岩	曾允孚等,1986
	滑塌角砾岩	棱角状角砾和磨圆砾石可同时存在,分选性很差,砾石大小极不一致,厚度变化大,常呈透镜状产出,分布局限	曾允孚等,1986
化学作用	岩溶角砾岩	角砾通常为板状碎片及各种大小的石灰岩块,杂基仍是碳酸盐质或风化的红土物质。角砾呈高度棱角状,无分选,成分单一。角砾岩层厚度变化很大,由几厘米到十米或者更厚。角砾岩层顶、底界特别是底界很明显	曾允孚等,1986; 沈继方等,1993; 赵澄林等,2001
	盐溶角砾岩	顺层分布,底面较平整,而上层面波状起伏,具垮塌现象,砾石呈棱角状、次棱角状,砾径变化很大,成分较简单,为顶板岩层或较高层位岩层。砾石大小混杂,无分选性,角砾岩中常存在溶解残余物	张瑞锡等,1988; 魏东岩,1991
火山作用	火山角砾岩	由大小不等的熔岩角砾组成,具火山角砾结构,分选差,不具层理,通常为火山灰填隙。大多分布在火山口附近	曾允孚等,1986; 赵澄林等,2001
构造作用	断层角砾岩	张性角砾岩:角砾和胶结物排列无一定规律,角砾多呈棱角—次棱角状,杂乱无定向,这种角砾岩一般在张性应力作用下形成 挤压角砾岩:角砾具有一定的磨圆、压扁,多呈透镜状、椭圆状,常定向排列,胶结物围绕角砾分布,显示片理状定向,是挤压应力作用下的产物	夏宗国,1983; 朱志澄,1999
构造与化学作用	断溶角砾岩/岩溶交代改造断裂岩	角砾包括断层角砾和岩溶崩塌角砾两种,其胶结物既有白色的结晶方解石也有红色的钙、铁物质及钙华。断溶角砾岩可由多期断层角砾和岩溶崩塌角砾互为彼此所组成,可构成复杂的“砾中砾”现象	林玉石等,1984; 刘功余等,1987; 隋志龙等,2003
流体动力作用	流体动力角砾岩	空间上呈筒状、囊状、脉状、不规则状等,角砾和基质成分复杂,且有显著位移,多数角砾和基质是外来的,角砾岩带边界具突变性。水压角砾岩中的角砾多数可拼合,角砾岩带边界具一定的过渡性	汪劲草等,1999; 2000,李先福等,2001

川滇黔交界地区铅锌矿床赋矿地层有前震旦系变质基底、震旦系、寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系,主要集中在震旦系和石炭系中,其次为寒武系(主要为矿点)。而在震旦系和石炭系分别集中在上震旦统灯影组和下石炭统摆佐组(张长青,2008)。野外地质调查研究的几个典型铅锌矿床主要赋存于上震旦统灯影组到下石炭统摆佐组之中,并对其含矿角砾岩进行了详细观察与鉴定(表2)。

2.1 含矿角砾岩的岩石学特征

(1)角砾 角砾成分单一,为岩石原地破碎的产物,如灰白色、深灰色—灰黑色白云岩或白云质灰岩,部分角砾可见碳酸盐岩的原生沉积纹层(图2A)。角砾中未见复砾结构。角砾含量一般在50%~65%,填隙物及金属矿物合计约占35%~50%,个别角砾含量只有30%~45%。角砾大小很不均一,一般在3~10 mm,最大砾径可达4.5 cm×5 cm。角砾多呈棱角状—次棱角状,无磨圆,无分选,基本无定向(图2B)。大部分角砾与胶结物之间界线清晰(图2C)。

(2)杂基 杂基含量一般在15%~30%,主要

为磨碎的岩屑和岩粉以及成矿流体中沉淀的细粒物质,基本未见岩石压溶物质和外源物质(图2B)。

(3)胶结物 胶结物含量一般在10%~15%,主要为重晶石、方解石胶结,其次是铁质胶结(图2B、2C)。

(4)金属矿化 可见自形晶粒状方铅矿、闪锌矿,立方体粒状或隐晶质黄铁矿,少量黄铜矿,含量一般在15%~20%,个别可达40%~50%。方铅矿、闪锌矿呈斑点状或块状集合体分布于角砾间。黄铁矿呈浸染状分布于杂基中,或呈细脉状分布在角砾与胶结物的边部。各含矿角砾岩中金属矿物以一到两种金属矿物为主,但总的来说角砾内部一般没有矿化,矿化作用主要发生在角砾周围(图2D)。

2.2 含矿角砾岩的力学特征

从表2中可以看出,研究区含矿角砾岩中角砾的成分与围岩成分一致,多为灰白色、深灰色—灰黑色白云岩或灰岩,角砾大小不一,无分选且角砾棱角清晰,多呈棱角状—次棱角状,角砾基本无定向排列,部分角砾间位移或旋转量不明显,角砾间具有一定的可拼性(图3B)。上述含矿角砾特征与表1中张性角砾岩的特征完全一致,故推断为张性角砾岩。

表 2 川滇黔交界地区铅锌矿床含矿角砾岩特征
Table 2 Features of ore-bearing breccias in lead-zinc deposits of Sichuan-Yunnan-Guizhou border area

矿床名称	矿床地质特征	含矿角砾岩特征	角砾岩成因类型	矿床地质特征参考文献
荣经县三合乡宝贝沟铅锌矿床	该矿床是一个矿物成分简单,含银、镉、镓、锗等多种伴生有益元素的中型矿床。产于中奥陶统宝塔组白云岩中,主矿体受断裂控制明显。矿体形态:柱状、似层状、透镜状、细脉状;矿石矿物:闪锌矿、方铅矿,少量黄铁矿;脉石矿物:白云石,极少量的石英、方解石;矿石结构:粒状、碎裂、填隙、交代等;矿石构造:浸染状、团块状、环带状、角砾状、网状脉;围岩蚀变:白云岩化、硅化、重结晶、黄铁矿化	角砾为灰白色白云岩,含量 40%~45%,砾径大小不一,一般在 3~8 mm 之间,最大者可达 2.5 cm×3.5 cm,角砾多呈次棱角状,部分磨圆,呈扁圆状,无分选,无定向,杂乱分布。角砾与胶结物之间界线不清晰。杂基含量 25%~30%,为岩屑、岩粉。胶结物主要为重晶石,其次少量方解石,含量约 15%。矿化:主要为方铅矿、闪锌矿,少量星点状黄铁矿,约占 15%,矿化发生在角砾周围,角砾内部无矿化	张性角砾岩	李志廷等 ^① ,1985
甘洛县赤普铅锌矿床	该矿床是一大型矿床,产于上震旦统灯影组微晶白云岩中,沿马哈拉倒转背斜东翼产出。矿体形态:似层状、透镜状;矿石矿物:方铅矿、闪锌矿为主,次有黄铁矿;脉石矿物:白云石、石英和少量方解石,偶见重晶石、萤石等;矿石结构:自形、半自形晶粒、变晶镶嵌、等粒状、鲕状连生;矿石构造:块状、浸染、稠密浸染状为主,角砾状、细脉状、条带状、碎粒状次之;围岩蚀变:以硅化为主,次为方解石化、白云石化、沥青化,局部可见重晶石化	角砾为灰黑色白云质灰岩,含量 50%~60%,砾径大小不一,一般在 2~6 mm 之间,最大者可达 1.5 cm×2.5 cm,角砾多呈棱角状,少部分呈次棱角状,无分选,无定向,杂乱分布。角砾与胶结物之间界线清晰。杂基含量约 15%,主要为岩屑、岩粉。胶结物主要为重晶石,含量 15%~20%。矿化:主要为自形晶粒状黄铁矿、少量闪锌矿,占 10%~15%,矿化发生在角砾周围,角砾内部无矿化	张性角砾岩	龙训荣等,1995;1997;徐新煌等,1996;张长青等,2007
会东县铅锌镇大梁子铅锌矿床	该矿床是一大型矿床,产于上震旦统灯影组灰色致密块状白云岩中,沿凉山断褶带东南角和东川台拱西北交接部位断裂带产出。矿体形态:筒状、脉状、透镜状;矿石矿物:方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、白铁矿、菱铁矿、黄铜矿、磁铁矿、铅矾等;脉石矿物:白云石、石英、方解石;矿石结构:细粒、球粒状、草莓状;矿石构造:致密块状、浸染状、角砾状、脉状、网状脉;围岩蚀变:硅化、碳化、黄铁矿化、碳酸盐化	角砾为灰白色、深灰色白云岩,含量 50%~55%,大部分角砾中可见沉积纹层,砾径不均,一般在 3~10 mm,最大者 4.5 cm×5 cm,角砾呈棱角状,无分选,无定向,杂乱分布。角砾间位移或旋转量不明显,角砾间具有一定的可拼性。角砾与胶结物之间界线不清晰。杂基含量 15%~20%,主要为深灰色岩屑、岩粉;胶结物主要为钙质物质,含量约 10%。矿化:主要为闪锌矿,少量黄铁矿、方铅矿,约占 20%,矿化发生在角砾周围,角砾内部无矿化	张性角砾岩	林方成,1994
六盘水市观音山镇(老鹰山镇)杉树林铅锌矿床	该矿床是一中型矿床,产于中石炭统、下石炭统摆佐组石灰岩,沿威水背斜南西翼近轴部处层间活动带产出。矿体形态:似层状、囊状、脉状;矿石矿物:黄铁矿、方铅矿、闪锌矿;脉石矿物:方解石、白云石、重晶石、萤石;矿石结构:全晶质粒状为主,其次交代残余;矿石构造:致密块状、纹层状、条带状、角砾状、星散状;围岩蚀变:方解石化、白云石化、重晶石化、萤石化	角砾为灰黑色白云质灰岩,含量 60%~65%,砾径大小不一,一般在 3~8 mm,最大者可达 2.5 cm×3 cm,角砾呈棱角状,无分选,无定向,杂乱分布。角砾与胶结物之间界线清晰。杂基含量 15%~20%,主要为灰黑色细粒岩屑、岩粉。胶结物主要为重晶石,其次为方解石,含量约 10%。矿化:主要为闪锌矿,少量黄铁矿,约占 10%,矿化发生在角砾周围,角砾内部无矿化	张性角砾岩	郑传伦,1992
汉源县唐家铅锌矿床	该矿床是一中型矿床,产于上震旦统灯影组白云岩中,受东西向断裂带和层间破碎带控制。矿体形态:脉状、似层状;矿石矿物:闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、褐铁矿、异己矿、白铅矿;脉石矿物:白云石、石膏、高岭石、绿泥石;矿石结构:晶粒、包含、填隙、斑状、镶边、次为文象、交代、压碎;矿石构造:块状、角砾状、脉状、浸染状、蜂窝状、格子状;围岩蚀变:白云石化、黄铁矿化、方解石化、褐铁矿化、石膏化、绿泥石化、高岭土化	角砾为深灰色白云岩,含量 45%~50%,砾径一般在 4~10 mm 之间,最大者可达 2.5 cm×3 cm,角砾多呈棱角状,少部分呈扁豆状,无分选,无定向,杂乱分布。角砾间位移或旋转量不明显,角砾间具有一定的可拼性。角砾与胶结物之间界线清晰。杂基含量约 15%,主要为灰色—深灰色岩屑、岩粉。胶结物主要为重晶石,次为方解石,含量 10%~15%。矿化:主要为隐晶质黄铁矿、方铅矿,少量闪锌矿,约占 25%,矿化发生在角砾周围,角砾内部无矿化	张性角砾岩	李荣辰等 ^② ,1991

续表 2-1
Cont. Table 2-1

矿床名称	矿床地质特征	含矿角砾岩特征	角砾岩成因类型	矿床地质特征参考文献
会理县天宝山铅锌矿床	该矿床是一大型矿床,产于上震旦统灯影组白云岩中,受天宝山 EW 向短轴向斜轴部控制。矿体形态:大脉状;矿石矿物:闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿等;脉石矿物:石英、方解石、白云石、重晶石等;矿石结构:交代、乳滴状、叶片状、文象、连生;矿石构造:块状、网脉状、脉状、细脉浸染状、角砾状;围岩蚀变:白云石化、硅化、绢云母化、碳酸盐化以及局部黄铁矿化	角砾为灰白色白云岩,大部分角砾可见沉积纹层,含量 30%~35%,砾径大小不一,一般在 3~5 mm 之间,最大者可达 2.5 cm×4 cm,角砾多棱角状一次棱角状,无分选,无定向,杂乱分布。填隙物含量约 15%,主要为灰白色岩屑、岩粉。矿化:网脉状闪锌矿,少量方铅矿,占 50%~55%,矿化发生在角砾周围,角砾内部无矿化	张性角砾岩	王小春,1992
荣经县新建乡紫炉村铅锌矿	该矿床是一小型矿床,产于中奥陶统宝塔组白云岩中,受断层和层间破碎带控制。矿体形态:层状、似层状、脉状;矿石矿物:方铅矿、黄铁矿为主,其次闪锌矿;脉石矿物:方解石、白云石、重晶石等;矿石结构:自形-半自形晶粒结构;构造:网脉状、脉状为主,角砾状、浸染状次之;围岩蚀变:白云石化、硅化、黄铁矿化、碳酸盐化等	角砾为灰白色白云岩,含量 50%~60%,砾径一般在 4~8 mm 之间,最大者可达 2 cm×4 cm,角砾多呈次棱角状,部分磨圆,无分选,无定向,杂乱分布。角砾与胶结物之间界线清晰。杂基含量 10%~15%,主要为灰白色岩屑、岩粉。胶结物主要为紫红色铁质物质,其次为少量重晶石,含量 10%~15%。矿化:主要为黄铁矿,少量方铅矿,约占 20%,矿化发生在角砾周围,角砾内部无矿化。部分角砾发生溶蚀且与胶结物之间可见一些溶蚀孔	张性角砾岩	本文
荣经县三合乡建政村横香岗铅锌矿床	该矿床是一小型矿床,目前正处于坑探阶段。矿体产于中奥陶统宝塔组白云岩中,受断层控制明显。矿体形态:似层状、脉状;矿石矿物:黄铁矿、方铅矿、闪锌矿;脉石矿物:方解石、重晶石、白云石;矿石结构:半自形粒状、细粒状;矿石构造:块状、角砾状、浸染状、网脉状;围岩蚀变:主要为重晶石化、方解石化,其次为白云石化,硅化,黄铁矿化。与该矿相邻不远处为三合乡建政村大水担沟铅锌矿床,为一小型铅锌矿床,目前正在开采	角砾为灰白色白云岩,含量 55%~60%,砾径一般在 4~8 mm 之间,最大者可达 2 cm×2.5 cm,角砾多呈次棱角状,部分磨圆,无分选,无定向,杂乱分布。角砾间位移或旋转量不明显,角砾间具有一定的可拼性。角砾与胶结物之间界线不清晰。杂基含量 20%~25%,主要为灰黑色岩粉、岩屑。胶结物主要为钙质物质,含量约 10%。矿化:主要为细粒黄铁矿,少量方铅矿,含量约 10%,矿化发生在角砾周围,角砾内部无矿化	张性角砾岩	本文
布托县乌依乡乌依铅锌矿床	该矿床是一中型矿床,产于上奥陶统巧家组碳酸盐岩中,矿区位于康滇地轴东侧,矿体受断裂和层间破碎带控制。矿体形态:似层状、透镜状;矿石矿物:以方铅矿为主,闪锌矿、黄铁矿次之,少量黄铜矿、铜蓝、砷黝铜矿、辉银矿、菱锌矿、白铅矿等;脉石矿物:重晶石、白云石、方解石,少量石英;矿石结构:自形-他形粒状、交代残余、交代溶蚀、胶状、纤维状;矿石构造:浸染状、致密块状、似层状、脉状、不规则状、条带状、层纹状;围岩蚀变:重晶石化、白云石化、方解石化	角砾为灰黑色灰岩,含量 35%~40%,砾径一般 5~10 mm,角砾呈棱角状,无分选,无定向,杂乱分布。角砾与胶结物之间界线清晰。杂基含量约 15%,主要为灰黑色岩屑、岩粉。胶结物为重晶石,局部呈放射状排列,含量 35%~40%。矿化:方铅矿、闪锌矿为主,少量黄铁矿,约占 10%,矿化主要发生在角砾周围 角砾为灰黑色灰岩,含量 30%~35%,砾径一般 4~6 mm,角砾多呈透镜状,长条状定向排列。填隙物含量 15%~20%,主要为灰黑色岩屑、岩粉。矿化:主要为条带状、网脉状方铅矿,少量黄铁矿,约占 50%,矿化主要发生在角砾周围。局部见放射状重晶石晶体	张性角砾岩 挤压角砾岩	谭小凡,1984 ^③

注:①李志廷,等. 1985. 四川省荣经县宝贝函铅锌矿床详查评价地质报告. 内部资料.

②李荣辰,等. 1991. 四川省汉源县唐家铅锌矿区普查地质报告. 内部资料.

③谭小凡. 1984. 四川省布托县乌依铅矿区普查地质报告. 内部资料.

布托县乌依铅锌矿床坑道中(坑口坐标:27°28′06.7″N,102°56′50.5″E,h=2 400 m)一壁发育一组角砾岩带,角砾岩带与围岩接触界线清晰,顺地层层面产出。角砾成分单一,主要为灰白色白云岩原地

破碎的产物,角砾大小不一,呈棱角状一次棱角状,基本无定向,重晶石胶结,显示张性角砾岩的特点(图 4A)。同时,在该矿床中也发育具有挤压构造特征的含矿角砾岩,角砾岩的成分与围岩的成分一致,

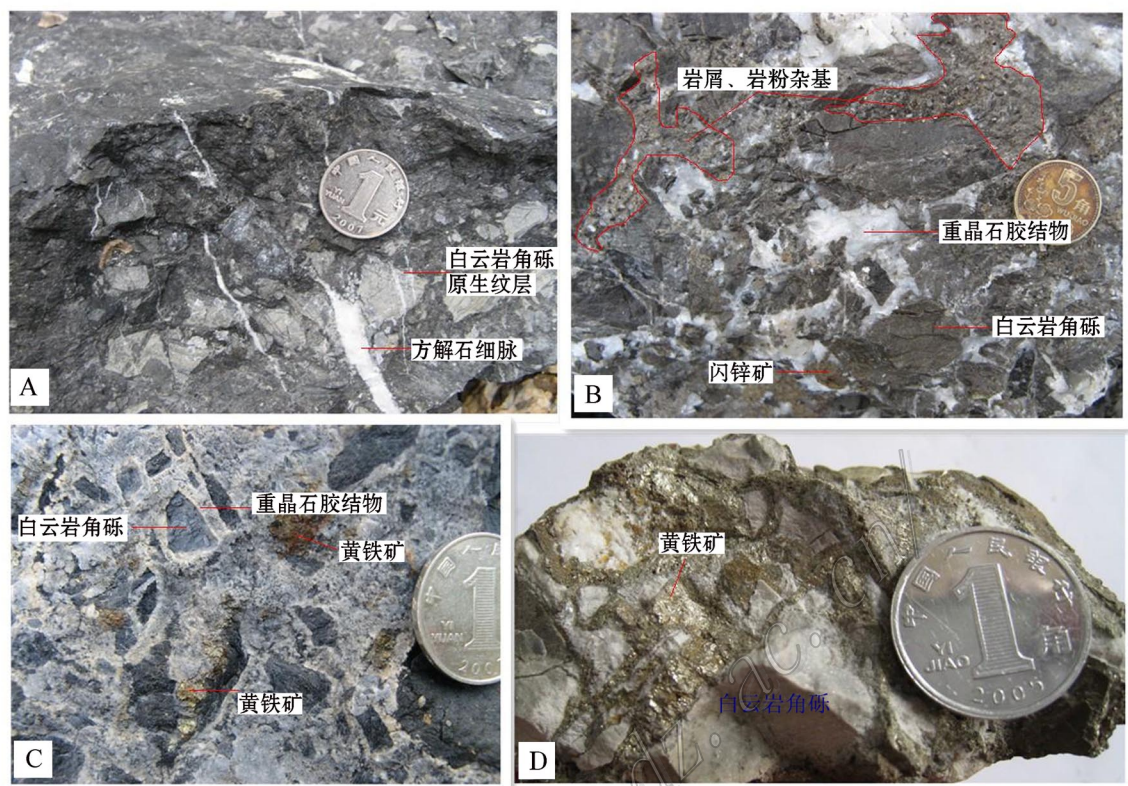


图2 川滇黔交界地区铅锌矿床中含矿角砾岩岩石学特征

A. 会东县大梁子铅锌矿床含矿角砾岩中角砾原生沉积纹层; B. 六盘水市观音山镇杉树林铅锌矿床含矿角砾岩中角砾呈棱角状、次棱角状,无磨圆,无分选,无定向,杂乱分布。杂基为灰黑色岩屑、岩粉; C. 甘洛县赤普铅锌矿床含矿角砾岩中角砾与胶结物(重晶石)之间界线清晰; D. 荣经县新建乡紫炉村铅锌矿床中含矿角砾岩以黄铁矿为主,且矿化主要发生在角砾周围,角砾内部无矿化

Fig. 2 Petrologic features of ore-bearing breccias in lead-zinc deposits of Sichuan-Yunnan-Guizhou border area

A. Breccias in ore-bearing breccias with primary sedimentary structure, the Daliangzi lead-zinc deposit, Huidong County; B. Angular-subangular breccias in ore-bearing breccias, without being rounded and sorted, with no orientation and regular distribution, the Shanshulin lead-zinc deposit, Guanyingshan Town, Liupangshui City; C. Clear boundaries between breccias and cement (barite), the Chipu lead-zinc deposit, Ganluo County; D. Ore-bearing breccias dominated by pyrite mineralization, mineralization mainly occurring around the breccias without mineralization in breccias, the Zilucun lead-zinc deposit, Xinjian Town, Yingjing County

为灰黑色白云岩。角砾具有一定的压扁,多呈透镜状、长条状,定向排列(图3A)。在川滇黔交界地区众多铅锌矿床中,张性构造角砾岩普遍发育,目前只在布托县乌依乡乌依铅锌矿床中看到压性构造角砾岩,推测压性构造角砾岩可能是在区域性张性角砾岩形成的过程中,由于断面的局部弯曲而造成的。

上述各铅锌矿床中普遍发育的张性含矿角砾岩,其角砾内部均没有矿化,矿化作用主要发生于角砾周围,说明这些张性角砾岩形成于矿化之前或同时(图2D)。布托县乌依乡乌依铅锌矿床中挤压构造角砾岩的角砾内部也没有矿化,矿化发生在角砾周围,说明这些挤压性质的角砾岩也形成于矿化之前或同时(图3A)。

2.3 含矿角砾岩带空间产出特征

布托县乌依铅锌矿床产于上奥陶统巧家组瘤状灰岩中,矿区位于康滇地轴东侧,矿体受断裂和层间破碎带控制。在该铅锌矿床一坑道中(坑口坐标: $27^{\circ}28'06.7''N$, $102^{\circ}56'50.5''E$, $h=2\,400\text{ m}$)一壁发育一组角砾岩带,角砾岩带与围岩接触界线清晰,顺地层层面产出(图4A)。同时,在另一坑道顶板见截切地层层面近直立产出的角砾岩带(图4B)。汉源县唐家铅锌矿床产于上震旦统灯影组白云岩中,矿体受EW向断裂带和层间破碎带控制。在该矿床开发2号井(坑口坐标: $29^{\circ}24'28.9''N$, $102^{\circ}39'21.8''E$, $h=1\,403\text{ m}$)中,似层状富矿体与围岩层面呈小角度相交,矿石呈角砾状构造(图4C)。

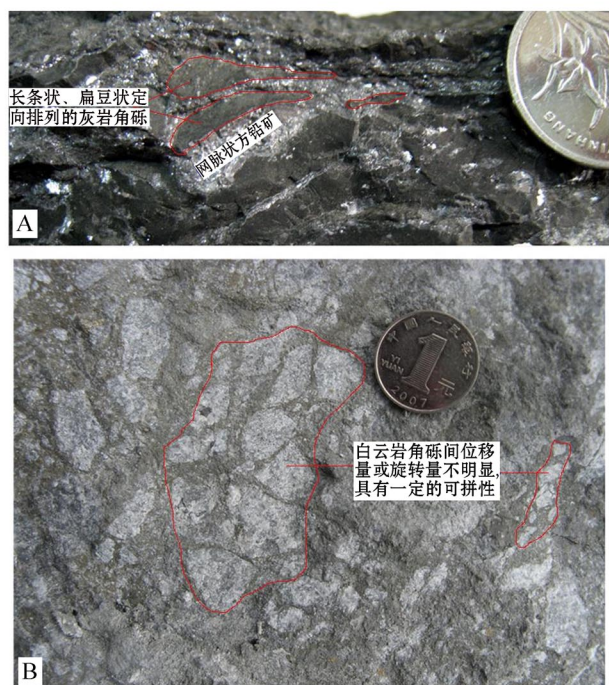


图3 川滇黔交界地区铅锌矿床中含矿角砾岩力学特征
A. 布托县乌依乡乌依铅锌矿床中发育具有挤压角砾岩特征的含矿角砾岩; B. 荣经县三合乡建政村横香岗铅锌矿床含矿角砾岩中角砾呈棱角状一次棱角状, 无磨圆, 无分选, 基本无定向; 角砾间位移或旋转变量不明显, 角砾间具有一定的可拼性, 显示张性断层角砾岩的特征

Fig. 3 Mechanical features of ore-bearing breccias of lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou border area

A. Ore-bearing breccias having compressional tectonic features, the Wuyi lead-zinc deposit, Wuyi Town, Butuo County; B. Breccias of ore-bearing breccias in the angular-subangular form, without being rounded and sorted, with almost no orientation. There is no obvious displacement or rotation between breccias, and they sometimes can be spliced, which displays the features of extensional fault breccia, the Hengxianggan lead-zinc deposit, Jianzhen Village, Sanhe Town, Yingjing County

由此可见, 矿床中发育的角砾岩带在空间上呈顺层状或切层状产出, 反映出当时受到了顺层伸展作用或正断层作用的改造。

综上所述, 川滇黔交界地区铅锌矿床中的含矿角砾岩是由伸展作用形成的张性角砾岩, 同时在区域性张性角砾岩形成的过程中, 由于断面的局部弯曲而在局部形成挤压角砾岩, 且含矿角砾岩都形成于铅锌矿化之前或同时。部分矿床角砾岩带在空间上呈顺层状或切层状产出, 反映当时受到了顺层伸展作用或正断层作用的改造。

3 川滇黔交界地区铅锌矿床含矿角砾岩的构造意义

最近几年, 方解石 Sm-Nd 法, 闪锌矿 Rb-Sr 法, 云母类、长石类或黏土矿物的 Ar-Ar 和 K-Ar 法等同位素测年技术的广泛应用, 使得 MVT 铅锌矿床成矿时代、成因等方面取得了很大的进展。目前对川滇黔交界地区铅锌矿床成矿时代看法不一, 现有的成矿年代测年数据见表 3。同位素测年主要限于会泽铅锌矿床、大梁子铅锌矿床、宁南县跑马铅锌矿床, 其中会泽铅锌矿床成矿时代是研究的热点。电子自旋共振测年限于大梁子铅锌矿床、宁南县银厂沟铅锌矿床、荣经县宝贝沟铅锌矿床。鉴于电子自旋共振测年测试对象石英对构造运动的影响十分敏感, 以及扬子地块西南缘区域地质构造演化具多期构造事件的特点且其成矿时代测年数据普遍偏新 (57.9~81.2 Ma) (王奖臻等, 2002), 本文未列入电子自旋共振测年数据。张长青等 (2008) 认为大梁子铅锌矿床 (366.3 ± 7.7 Ma) 主成矿阶段是晚加里东期, 同时认为晚印支期构造运动或晚二叠世峨眉山玄武岩岩浆活动引起的大规模成矿流体运移可能导致了大梁子铅锌矿床的进一步富集。李文博等 (2004a; 2004b)、黄智龙等 (2004a)、刘峰 (2005) 获得的会泽铅锌矿床同位素年龄为晚三叠世早期, 而张长青等 (2005a) 获得的成矿时代为中侏罗世早期 (176.5 ± 2.5 Ma), 并认为可能是特提斯板块向大陆俯冲期间在大陆边缘岩浆弧后伸展带形成的 MVT 铅锌矿床。从表 3 中可看出, 由同位素测年方法限定的矿床形成时代较宽, 可从晚泥盆世到早侏罗世晚期。在这种情况下, 利用铅锌成矿区构造特征间接限定成矿时代就显得更有意义。

川滇黔交界地区从显生宙以来经历了多期构造事件, 其中的 7 期构造事件对该地区的沉积与构造变形产生了比较显著的影响, 这 7 次主要构造事件分别是: ① 早震旦世强烈的伸展作用 (张云湘等, 1988; 杨应选等, 1994); ② 志留纪末的区域性抬升事件——广西运动; ③ 泥盆纪—早二叠世 NW 向水城-紫云-罗甸裂陷槽的裂陷活动 (王尚彦等, 2005); ④ 早二叠世/晚二叠世的升降运动 (东吴运动) 与晚二叠世峨眉山玄武岩喷发活动; ⑤ 晚三叠世—侏罗纪弱挤压背景下的周缘前陆盆地与内部坳陷盆地;

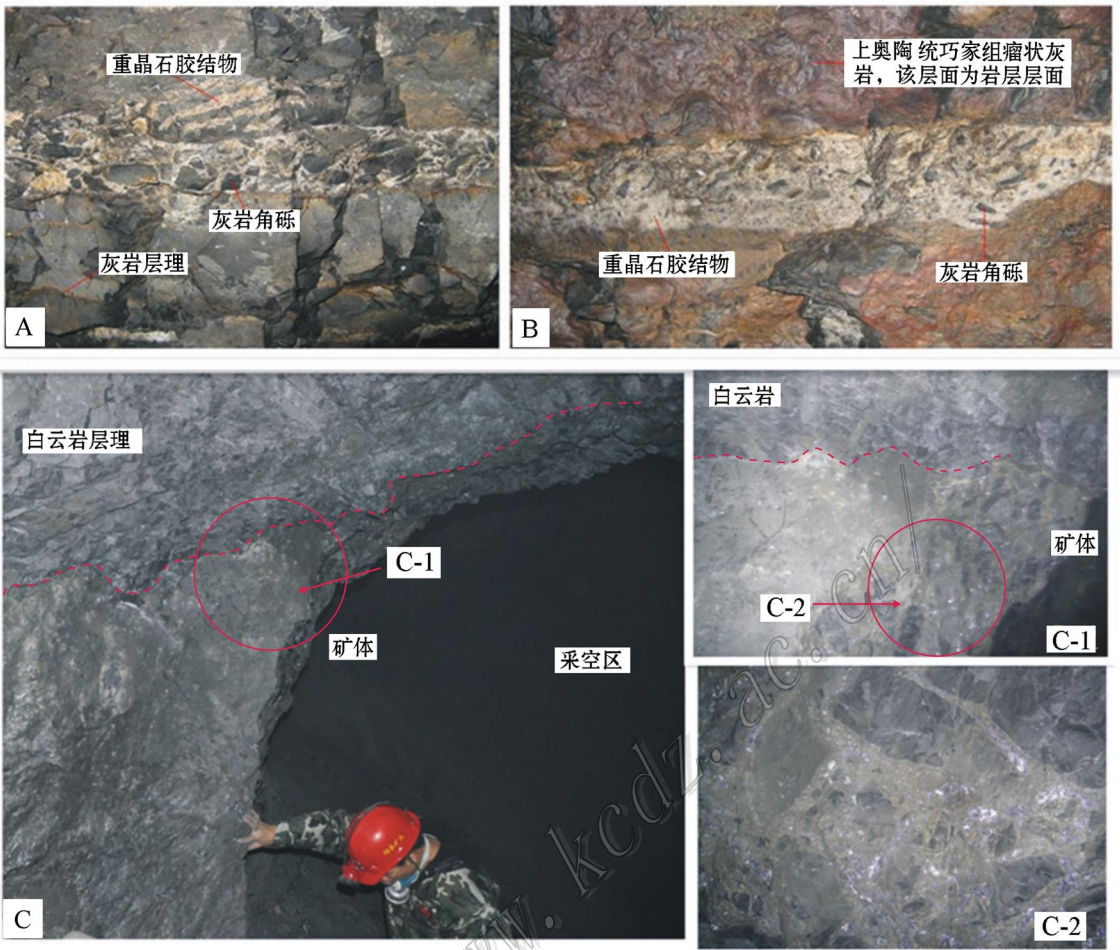


图 4 川滇黔交界地区铅锌矿床中含矿角砾岩带空间产出特征

Λ. 布托县乌依乡乌依铅锌矿床坑道一壁上的角砾岩带; B. 布托县乌依乡乌依铅锌矿床坑道顶板上的角砾岩带;
C. 汉源县唐家铅锌矿床似层状富矿体(C-1 矿体与围岩边界; C-2 角砾状构造富矿体)

Fig. 4 Spatial features of ore-bearing breccia belts of lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou border area
Λ. Ore-bearing breccia belt cemented by barite, in tunnel Wuyi lead-zinc deposit, Wuyi Town, Butuo County; B. Ore-bearing breccia belt across the strata, in the roof of tunnel Wuyi lead-zinc deposit, Wuyi Town, Butuo County; C. Quasi-bedded rich ore body, lead-zinc deposit, Tangjia Town, Hanyuan County (C-1 Boundary between ore body and surrounding rock, C-2 Brecciated structure of rich ore body)

表 3 川滇黔交界地区典型铅锌矿床成矿年代测年数据

Table 3 Dating results of typical lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou border area

矿床名称	测试矿物	测年方法	测年时代/Ma	资料来源
会泽铅锌矿床	两组同源矿物组合	Rb-Sr	225.1±2.9	李文博等,2004a
会泽铅锌矿床	两组同源矿物组合	Rb-Sr	225.9±3.1	李文博等,2004a
会泽铅锌矿床	方解石	Sm-Nd	226±15	李文博等,2004b
会泽铅锌矿床	方解石	Sm-Nd	225±38	李文博等,2004b
会泽铅锌矿床	闪锌矿	Rb-Sr	225.9±1.1	黄智龙等,2004a
会泽铅锌矿床	闪锌矿	Rb-Sr	224.8±1.2	黄智龙等,2004a
会泽铅锌矿床	闪锌矿	Rb-Sr	226.0±6.9	黄智龙等,2004a
会泽铅锌矿床	蚀变矿物伊利石	K-Ar	176.5±2.5	张长青等,2005a
会泽铅锌矿床麒麟厂	方解石	Sm-Nd	220±14	刘峰,2005
大梁子铅锌矿床	单颗粒闪锌矿	Rb-Sr	366.3±7.7	张长青等,2008
宁南县跑马铅锌矿床	单颗粒闪锌矿	Rb-Sr	200.1±4.0	蔺志永等,2010

- ⑥ 白垩纪—古近纪弱伸展背景下的局部断陷作用；
⑦ 新近纪—第四纪强烈挤压背景下的褶皱—冲断作用。各期构造事件在川滇黔交界地区均产生了不同的沉积-构造效应。

野外地质调查研究的几个典型铅锌矿床赋存于上震旦统灯影组到下石炭统摆佐组之中,绝大部分铅锌矿床中都发育张性含矿角砾岩(图1)。川滇黔交界地区铅锌矿床最新赋矿地层是二叠系(张长青, 2008),如云南省罗平县富乐厂铅锌矿床赋存于中二叠统茅口组白云岩、灰岩中,且角砾状构造是其矿石的典型构造(司荣军, 2005),反映成矿作用应该发生于茅口期之后。结合扬子地块西南缘区域地质构造演化特点和已有典型铅锌矿床成矿年代同位素测年数据,在这7期构造事件中,只有峨眉山幔柱活动引起的区域性伸展背景与该区的铅锌成矿作用在时间、空间以及含矿角砾岩的成因方面吻合。可大致推断,从中二叠统茅口组被矿化以来,该铅锌成矿区主要受到了2期伸展构造事件的影响。第一期早二叠世/晚二叠世的升降运动(东吴运动)与晚二叠世峨眉山玄武岩喷发活动的区域伸展作用。东吴运动在中国南方具有明显的地区性,东部以挤压汇聚作用为主,主要为造陆性质的地壳振荡运动;西部则以伸展裂陷作用为主,表现为洋盆扩张、地壳的拉张破裂和大规模的玄武岩喷发(燕继红等, 2006)。茅口末期峨眉山幔柱上升引起的地壳抬升、峨眉山玄武岩的喷发和东吴运动这三者之间存在成因联系;上扬子中-晚二叠世之间的东吴运动是峨眉山幔柱上升所造成的地壳快速差异抬升(何斌等,

2005),在此差异抬升背景下,川滇黔交界地区在中-晚二叠世主体应处于区域性伸展构造环境。峨眉山幔柱上隆导致地壳浅部形成穹隆构造,张性破裂构造可能呈弥散状发育于穹隆构造顶部的任何部位。此次伸展作用导致正断层发育,形成局部减压扩容空间,为成矿流体的运移创造了条件。盆地内的成矿流体沿断层面运移,当成矿流体运移到盆地边缘与已存的深大断裂、破碎带相遇时,由于成矿流体物理化学条件的迅速改变或者与含有机质的还原性流体的混合,导致铅锌铁等金属硫化物在断裂带或破碎带内充填沉淀而形成角砾状或网脉状-脉状构造的矿石。第二期为白垩纪—古近纪期间弱伸展背景下的局部断陷作用。川滇黔交界地区的伸展构造表明,在铅锌矿化之后,该地区还发生过至少一次伸展事件,表现为发育一系列正断层,可能破坏了铅锌矿体的连续性。在许多剖面上都能见到正断层截切下白垩统(图5、图6)。例如,会东县穿过大梁子铅锌矿床的构造剖面上(图7),正断层虽然没有直接截切灯影组(Z_2d)赋矿地层,但是在地下隐伏区正断层截切赋矿地层,说明正断层应该发生在铅锌矿化之后,并有可能破坏了铅锌矿体的连续性。

4 主要结论

(1) 川滇黔交界地区铅锌矿床中含矿角砾岩分布较为广泛,在大部分矿床中均可见到,如荣经县新建乡紫炉村、荣经县新庙乡千翻沟村仙人洞、荣经县三合乡宝贝幽、荣经县三合乡建政村横香岗、汉源县

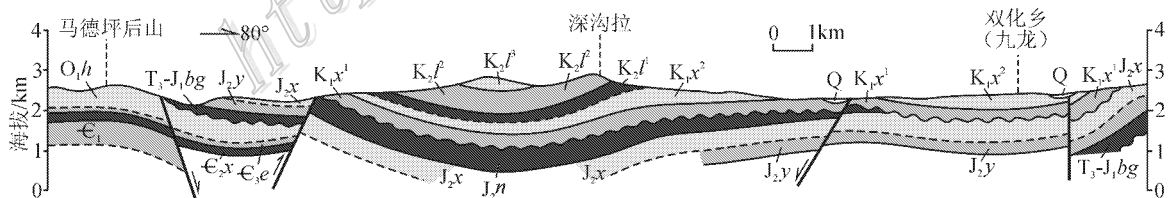


图5 云南省禄劝县深拉沟村-双龙乡地质剖面(据①修改)

ϵ_{2x} —中寒武统西王庙组; ϵ_{3e} —上寒武统二道水组; O_1h —下奥陶统红石崖组; T_3-J_1bg —上三叠统—下侏罗统白果湾组; J_2y —中侏罗统益门组; J_2x —中侏罗统新村组; J_2n —中侏罗统牛滚洞组; K_1x —下白垩统小坝组; K_2l —上白垩统雷打树组

Fig. 5 Geological section from Shenlagou Village to Shuanghua Town in Luquan County, Yunnan Province
(modified after 1:200 000 Geological Map of Huili Sheet)

ϵ_{2x} —Middle Cambrian Xiwangmiao Formation; ϵ_{3e} —Upper Cambrian Erdaoshui Formation; O_1h —Lower Ordovician Hongshiya Formation; T_3-J_1bg —Upper Triassic-Lower Jurassic Baiguowan Formation; J_2y —Middle Jurassic Yimen Formation; J_2x —Middle Jurassic Xincun Formation; J_2n —Middle Jurassic Niugundang Formation; K_1x —Lower Cretaceous Xiaoba Formation; K_2l —Upper Cretaceous Leidashu Formation

在铅锌矿化之后,时限为白垩纪—古近纪,表现为发育一系列正断层,并有可能破坏了铅锌矿体的连续性。

参考文献/References

陈超,曹晓峰,王玉奇,李鹏. 2010. 扬子地台周缘铅锌矿成矿特征及成矿规律[J]. 资源环境与工程, 24(4): 333-339.

韩润生,刘丛强,黄智龙,陈进,马德云,李元. 2001. 论云南会泽富铅锌矿床成矿模式[J]. 矿物学报, 21(4): 674-679.

何斌,徐义刚,王雅玫,肖龙. 2005. 东吴运动性质的厘定及其时空演变规律[J]. 地球科学, 30(1): 89-96.

黄智龙,陈进,刘丛强,韩润生,李文博,赵德顺,高德荣,冯志宏. 2001. 云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因——峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系[J]. 矿物学报, 21(4): 681-686.

黄智龙,陈进,韩润生. 2004a. 云南会泽超大型铅锌矿床地球化学及成因——峨眉山玄武岩与铅锌成矿的关系[M]. 北京:地质出版社. 77-87.

黄智龙,李文博,张振亮,韩润生,陈进. 2004b. 云南会泽超大型铅锌矿床成因研究中的几个问题[J]. 矿物学报, 24(2): 105-109.

李文博,黄智龙,陈进,韩润生,张振亮,许成. 2004a. 会泽超大型铅锌矿床成矿时代研究[J]. 矿物学报, 24(2): 112-114.

李文博,黄智龙,王银喜,陈进,韩润生,许成,管涛,尹牡丹. 2004b. 会泽超大型铅锌矿田方解石 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 50(2): 189-193.

李先福,李建威,李紫金,傅昭仁. 2001. 水力压裂角砾岩:一种重要的地质异常和找矿标志[J]. 地球科学, 26(2): 135-138.

李泽琴,王奖臻,倪师军,李朝阳,胡晓强,李桃叶. 2002. 川滇密西西比河谷型铅锌矿床成矿流体来源研究:流体 Na-Cl-Br 体系的证据[J]. 矿物岩石, 22(4): 38-41.

林方成. 1994. 四川会东大梁子铅锌矿床成因新探[J]. 矿床地质, 13(2): 126-135.

林玉石,邓自强,刘功余,张美良,殷跃建. 1984. 岩溶交代改造断裂构造岩——以桂林岩溶区为例[J]. 中国岩溶, 1: 1-11.

蒯志永,王登红,张长青. 2010. 四川宁南跑马铅锌矿床的成矿时代及其地质意义[J]. 中国地质, 37(2): 488-494.

刘宝珺. 1980. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社. 102-120.

刘峰. 2005. 云南会泽大型铅锌矿床成矿机制及锆的赋存状态[硕士学位论文]. 导师:王登红. 北京:中国地质科学院. 1-78.

刘功余,林玉石,邓自强,张美良,魏志民. 1987. 碳酸盐岩构造岩的类型及其特征——以桂林岩溶区为例[J]. 中国岩溶, 6(3): 179-187.

刘家铎,张成江,刘显凡,阳正熙,李佑国,吴德超. 2003. 川滇黔相邻区域铜铅锌金银矿床与峨眉火成岩省的关系探讨[J]. 矿物岩石, 23(4): 74-79.

刘文周,徐新煌. 1996. 论川滇黔铅锌矿成矿带矿床与构造的关系

[J]. 成都理工学院学报, 23(1): 71-77.

刘英超,侯增谦,杨竹森,田世洪,宋玉财,杨志明,王召林,李政. 2008. 密西西比河谷型(MVT)铅锌矿床:认识与进展[J]. 矿床地质, 27(2): 254-261.

柳贺昌. 1995a. 滇、川、黔铅锌成矿区的构造控矿[J]. 云南地质, 14(3): 173-189.

柳贺昌. 1995b. 峨眉山玄武岩与铅锌成矿[J]. 地质与勘探, 31(4): 1-6.

柳贺昌. 1996. 滇、川、黔铅锌成矿区的成矿模式[J]. 云南地质, 15(1): 41-51.

龙训荣,徐新煌,温春齐,刘文周. 1995. 四川赤普铅锌矿床含矿岩系的研究及在找矿评价中的意义[J]. 四川地质学报, 15(2): 123-128.

龙训荣,徐新煌. 1997. 赤普铅锌矿床成矿物理化学条件研究[J]. 四川地质学报, 17(1): 29-35.

毛政利,杨斌,赖健清. 2004. 铜陵凤凰山铜矿区角砾岩特征及其成因分析[J]. 矿物岩石, 24(1): 29-32.

卿敏,韩先菊. 2002. 隐爆角砾岩型金矿研究述评[J]. 黄金地质, 8(2): 1-7.

芮宗瑶,叶锦华,张立生,王龙生,梅燕雄. 2004. 扬子克拉通周边及其隆起边缘的铅锌矿床[J]. 中国地质, 31(4): 337-344.

沈继方,王增银,王良忱,徐瑞春,徐胜友. 1993. 鄂西清江下游古岩溶角砾岩特征及形成环境[J]. 中国岩溶, 12(1): 1-9.

司荣军. 2005. 云南省富乐分散元素多金属矿床地球化学研究[博士学位论文]. 导师:顾雪祥. 贵州:中国科学院化学研究所. 31-33.

隋志龙,黄春霞,李德威. 2003. 恭城—栗木断裂带中的断溶角砾岩——一种新型断层岩[J]. 地质科技情报, 22(1): 24-27.

汪劲草,彭恩生,孙振家. 1999. 东川因民角砾岩为水压角砾岩的地质证据及其成因意义[J]. 地质论评, 45(1): 70.

汪劲草,彭恩生,孙振家. 2000. 流体动力角砾岩分类及其地质意义[J]. 长春科技大学学报, 30(1): 18-22.

王奖臻,李朝阳,李泽琴,刘家军. 2001. 川滇地区密西西比河谷型铅锌矿床成矿地质背景及成因探讨[J]. 地质地球化学, 29(2): 41-44.

王奖臻,李朝阳,李泽琴,李葆华,刘文周. 2002. 川、滇、黔交界地区密西西比河谷型铅锌矿床与美国同类矿床的对比[J]. 矿物岩石地球化学通报, 21(2): 127-131.

王尚彦,张慧,彭成龙,陈明华,石磊,张权莉. 2005. 贵州西部古—中生代地层及裂隙槽盆的演化[M]. 北京:地质出版社. 100-130.

王小春. 1992. 天宝山铅锌矿床成因分析[J]. 成都地质学院学报, 19(3): 10-20.

魏东岩. 1991. 论中国盐溶角砾岩的特征和分类[J]. 岩石学报, 3: 73-79.

夏宗国. 1983. 断层岩的分类、识别及其形成条件[J]. 地质论评, 29(3): 578-584.

- 徐新煌,龙训荣,温春齐,刘文周. 1996. 赤普铅锌矿床成矿物质来源研究[J]. 矿物岩石, 16(2): 54-59.
- 许典葵,黄智龙,邓红,李文博,李晓彪,周家喜,陈东. 2009. 云南会泽超大型铅锌矿床的矿床模型[J]. 矿物学报, 29(2): 235-241.
- 燕继红,申继山. 2006. 中国南方东吴运动的特征[J]. 国土资源导刊(增刊): 3-5.
- 杨应选,管士平. 1994. 康滇地轴东缘铅锌矿床成因及成矿规律[M]. 成都:四川科技大学出版社. 1-175.
- 曾允孚,夏文杰. 1986. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社. 1-107.
- 张长青,毛景文,刘峰,李厚民. 2005a. 云南会泽铅锌矿床粘土矿物 K-Ar 测年及其地质意义[J]. 矿床地质, 24(3): 317-322.
- 张长青,毛景文,吴锁平,李厚民,刘峰,郭保健,高德荣. 2005b. 川滇黔地区 MVT 铅锌矿床分布、特征及成因[J]. 矿床地质, 24(3): 336-345.
- 张长青,毛景文,余金杰,李厚民. 2007. 四川甘洛赤普铅锌矿床流体包裹体特征及成矿机制初步探讨[J]. 岩石学报, 23(10): 251-255.
- 张长青,李向辉,余金杰,毛景文,陈福坤,李厚民. 2008. 四川大梁子铅锌矿床单颗粒闪锌矿铷-锶测年及地质意义[J]. 地质论评, 54(4): 532-537.
- 张长青. 2008. 中国川滇黔交界地区密西西比型(MVT)铅锌矿床成矿模型[博士学位论文][D]. 导师:毛景文. 北京:中国地质科学院. 40-63.
- 张长青,余金杰,毛景文,芮宗瑶. 2009. 密西西比型(MVT)铅锌矿床研究进展[J]. 矿床地质, 28(2): 195-210.
- 张瑞锡,乐昌硕,田成. 1988. 关于我国的盐溶角砾岩[J]. 地球科学, 13(1): 1-6.
- 张云湘,骆姗娜,杨崇喜. 1988. 攀西裂谷[M]. 北京:地质出版社. 7-34.
- 张志斌,李朝阳,涂光炽,夏斌,韦振权. 2006. 川、滇、黔接壤地区铅锌矿床产出的大地构造演化背景及成矿作用[J]. 大地构造与成矿学, 30(3): 343-354.
- 赵澄林,朱筱敏. 2001. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社. 97-98.
- 郑传伦. 1992. 贵州杉树林铅锌矿床碳酸盐岩浊流沉积与成矿的关系[J]. 桂林冶金地质学院学报, 12(4): 323-332.
- 周朝宪,魏春生,叶造军. 1997. 密西西比河谷型铅锌矿床[J]. 地质地球化学, 1: 65-72.
- 朱志澄. 1999. 构造地质学[M]. 第2版. 北京:地质大学出版社. 158-162.
- Jebrak M. 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution[J]. Ore Geology Review, 12: 111-134.