

文章编号 0258-7106 (2010) 02-0361-10

兰坪金顶铅锌矿床泥底辟流体成矿特征初探^{*}

张 峰¹, 唐菊兴², 范小华², 陈洪德¹, 陈生华³, 陈文彬⁴, 王成辉², 解 惠¹

(1 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 3 中国科学院地球化学研究所(贵阳)环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 4 中国地质大学, 北京 100083)

摘 要 兰坪金顶铅锌矿床的成矿过程与油气的生成有许多相似之处, 泥底辟构造在金顶铅锌矿床的成矿过程中起着极为重要的作用。首先, 随着泥底辟的上侵, 塑性泥流夹带大量气体到构造圈闭中释放压力, 扩大成矿空间; 其次, 流体的去气作用在构造圈闭中进行一系列的强改造活动, 进而促使铅锌矿体的形成。文章通过对金顶铅锌矿床形成有关的泥底辟流体的来源、流体形成原因、流体在张性-挤压走滑盆地阶段的演化及金顶铅锌矿床成矿的泥底辟流体特征的分析, 认为兰坪金顶铅锌矿床的形成与泥底辟构造密切相关, 该矿床具泥底辟流体的成矿特征。

关键词 地质学 泥底辟 流体 兰坪金顶铅锌矿床

A tentative discussion on mud diapiric fluid metallogenic characteristics of Jinding lead-zinc deposit in Lanping

ZHANG Feng¹, TANG JuXing², FAN XiaoHua², CHEN HongDe¹, CHEN ShengHua³, CHEN WenBin⁴, WANG ChengHui² and XIE Hui¹

(1 Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, Guizhou, China; 4 China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract

The Jinding lead-zinc deposit in Lanping is genetically quite similar to the oil-gas reservoir, i. e., the mud diapiric structure played an important role in the metallogenic process of the Jinding lead-zinc deposit. First of all, with the upward invasion of mud diapir, a large quantity of gas in the plastic mud flow released pressure when it entered structural traps, thus expanding the space of mineralization. Second, fluids with the degassing effect caused a series of transformation events in the structural traps, thus contributing to the formation of lead-zinc ore bodies. The authors analyzed the source of the mud diapiric fluid, the formation of the fluids, and the mud diapiric fluid metallogenic characteristics of the Jinding lead-zinc deposit. On such a basis, it is believed that the Jinding lead-zinc deposit is closely related to the mud diapiric structure and that this ore deposit has mud diapiric fluid metallogenic characteristics.

Key words: geology, mud diapir, fluid, Jinding lead-zinc deposit in Lanping

金顶铅锌矿床位于云南省兰坪县境内, 是中国目前最大的铅锌矿床, 也是世界上铅锌超大型矿床之一(付修根等, 2004; 曾荣等, 2005; 李志明等, 2006)。对它的研究已有近 30 年的历史, 但在矿床成因认识上分歧很大, 有以下几种观点:

① 同生沉积-后期改造矿床(施加辛等, 1983; 白嘉芬等, 1985; 张乾, 1991); ② 同生沉积-变形叠加成矿(吴淦国等, 1989); ③ 中低温非岩浆热液成矿(高广立, 1989); ④ 喷流沉积(Sedex)矿床(赵兴元, 1989; 王京彬等, 1991; 王江海等,

^{*} 本文由国家重点基础发展规划“973”项目(编号: 2002CB412607)和中国地质调查局国土资源大调查项目(编号: 1212010530605)资助

第一作者简介 张 峰, 男, 1981 年生, 在读博士生, 沉积学专业。Email: zfhe-131@163.com

收稿日期 2009-08-04; 改回日期 2009-11-16。张绮玲编辑。

1998 罗君烈等, 1994) ⑤ 壳幔流体混合成矿(尹汉辉等, 1990 薛春纪等, 2002a; 2002b); ⑥ 岩溶成矿(胡明安等, 1989); ⑦ 有机质成矿(付修根等, 2006)。此外, 部分学者认为矿床形成过程中成矿流体经历过周期性超压(Chi et al., 2005 薛春纪等, 2007), 流体超压与推覆构造及盆地外流体相关(Chi et al., 2006)。本文在前人研究的基础上, 对兰坪盆地的成矿流体演化、矿床特征等方面进行了初步研究, 探讨了金顶铅锌矿床泥底辟流体的成矿特征, 为该矿床的成因研究提供新的证据、新的方向, 为该矿床建立与油气藏相关的成矿模型提供一些基础资料。

1 成矿物质来源

金顶铅锌矿床位于兰坪盆地中, 矿床的形成(赵兴元, 1989 赵准, 2007)与盆地的演化发展及其性质有着重要关系, 成矿流体的物质来源与盆地中巨厚的碎屑岩建造、蒸发岩建造、盆地中丰富的建造水(牟传龙等, 2001)及生物有机质密切相关。

1.1 盆地中巨厚的碎屑岩建造

兰坪盆地从三叠纪开始接受了厚度达 25 km 的沉积, 有上兰组(T_{2s})、攀人阁组(T_{2p})、崔依比组(T_{3c})、歪古村组(T_{3w})、三合洞组(T_{3s})、控鲁八组(T_{3wl})、麦初菁组(T_{3m})、漾江组(J_{1y})、花开左组(J_{2h})、坝注路组(J_{3b})、景星组(K_{1j})、南新组(K_{1n})、虎头寺组(K_{1h})、云龙组(E_{1y})、果郎组(E_{2g})、宝相寺组(E_{2b})、渐新组(E_3)和剑川组(N_{2j})等。其中, 中生界厚 18 298 m, 新生界厚 6 931 m。这些沉积物在组成上可以分为火山岩建造、有机质岩建造、蒸发岩建造和碳酸盐岩建造, 但在岩石结构构造上碎屑岩占其全部的 80% 以上(曾荣等, 2005 高建华, 1989), 盆地中巨厚的碎屑岩建造可能为成矿流体提供了物质来源。

1.2 盆地中蒸发岩建造

兰坪-思茅盆地分布有 120 多个盐矿床和矿点, 在厚约 25 km 的沉积建造中, 盐系地层将近 2 km。已证实主要的蒸发岩建造为 中-上三叠统蒸发岩建造(T_{2-3})、中-上侏罗统蒸发岩建造(J_{2-3})、古新统云龙组蒸发岩建造(E_{1y})。在这些蒸发岩建造中, 理论上易溶盐类可以提供高盐度的含矿流体, 硫酸盐类也是提供还原硫的主要来源, 实际上亦是如此。金顶矿床硫化物的 $\delta^{34}S$ 值变化较宽, 为 $-17.1\text{‰} \sim 30.43\text{‰}$, 明显属于生物成因硫。在有机质(或细菌)作用下形成的硫也属于生物成因硫的范畴。此外, 由于可溶盐类溶解时, 其中的金属可以全部进入卤水中, 因此, 蒸发岩建造还可提供铅、锌、镉、钡等金属元素(曾荣等, 2005)。

1.3 盆地丰富的建造水

在古新世末, 兰坪盆地的沉积水水量巨大。即从 T_{3w} 到 E_{1-2} , 各个含水层位所分布的面积、厚度及其所含沉积建造水

总量为 $3\ 897\text{ km}^3$ (表 1), 这无疑是一个巨大的流体源。经测试, 这些建造水主要是富含铜、铅、锌、钴、镍、镉、汞等重金属元素的 $Cl-Na-Ca^{2+}-SO_4^{2-}$ 型的卤水(涂光炽等, 2000)。古新统云龙组沉积时, 兰坪盆地呈一个“Y”字型的样式。根据水动力分析, 金顶矿区的位置汇集了 3 个方向的地下水, 分别是北部小盐井方向、北西拉井方向、南部老母井及师井方向。3 个方向的地下水均向金顶矿区汇集(涂光炽等, 2000)(图 1)。

1.4 有机质的参与

碳沥青在金顶矿区普遍存在, 架崖山矿段分布最为广泛, 灰黑色-黑色为主, 风化产物呈褐黄色。这些碳沥青存在于矿石及围岩的裂隙、裂缝、溶洞及溶孔中, 与矿体之间具有明显的共生关系。矿区范围的碳沥青按其产出形态主要有脉状、鳞片状、眼球状-囊状和胶结状。观察及分析结果(表 2)表明, 有机质含量高的地方, 成矿元素的含量也较高。

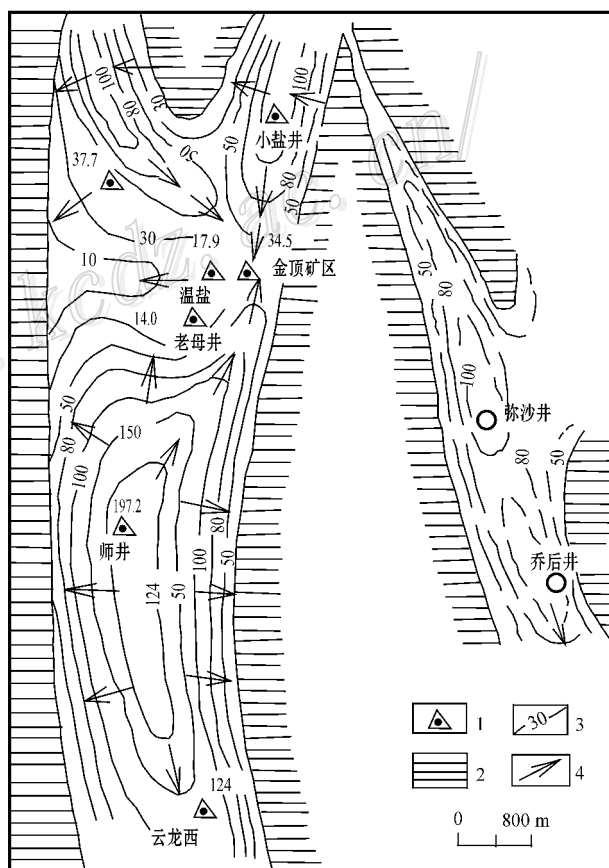


图 1 古新世兰坪盆地云龙组沉积水动力条件略图
(涂光炽等, 2000)

1—控制点; 2—渗入压系统区; 3—等值线; 4—地下水流向

Fig. 1 Schematic diagram showing hydrodynamic conditions for the deposition of Yunlong Formation in Palaeocene Lanping basin (after Tu et al., 2000)

1—Control point; 2—Pressure zone infiltration system; 3—Contour line; 4—Direction of groundwater flow

表 1 古新世沉积亚期末(Ⅳ1)兰坪盆地沉积水概略估算表(吴勇等,1992)

Table 1 Approximate estimates of depositional water in Lanping basin during Palaeocene substage (Ⅳ1)
(after Wu et al., 1992)

含水岩石的时代及主要岩性特征	分布面积/km ²	厚度/km	引用空隙度	水量/km ³
E,砂岩、粉砂岩、泥岩	3 500	2	0.28	1 960
K,砂岩、粉砂岩、泥岩	3 500	2	0.13	910
J,砂岩、粉砂岩、泥岩	3 500	2.08	0.08	582
T _{3m} ,泥岩、粉砂岩	3 500	0.966	0.06	203
T _{3s} ,灰岩、白云质灰岩、泥灰岩	3 500	0.442	0.06	93
T _{3w} , (泥岩、粉砂岩、砂岩)	3 500	0.852	0.05	149
合计				3897

表 2 金顶铅锌矿区有机质含量分析结果

Table 2 Analyses of organic content in the Jinding Pb-Zn deposit

样品名称	w(氯仿沥青)/10 ⁻⁶	w(有机碳)/%	资料来源
架崖山			
条带状方铅矿	609.9	0.22	①
致密状方铅矿	61.34	0.02	①
细粒黄铁矿	273.7	0.11	①
北厂			
条带状方铅矿	156.6	0.10	①
脉状方铅矿	174.2	0.19	①
砂岩型矿石	193.5	0.18	①
致密状方铅矿	41.3	0.09	①
第三系砂岩	208.0	<0.01	①
第三系粉砂岩	49.8	<0.055	②
白垩系砂岩	160.0	0.01	①
侏罗系泥岩	86.3	0.049	②

注 ①据陈广浩等,1996 ②据付修根等, 2006。

2 流体的形成及演化

2.1 逆冲推覆构造形成的构造圈闭

在金顶矿区范围内,由于逆冲推覆构造使得倒转地层系统〔下白垩统景星组(K_{1j})、中侏罗统花开左组(J_{2h})、上三叠统麦初箐组(T_{3m})及三合洞组(T_{3s})〕与正常沉积地层系统〔白垩统虎头寺组(K_{1h})、古新统云龙组(E_{1y})〕形成构造圈闭。在这个构造圈闭中,砂岩、角砾岩等孔隙度好、渗透率高,使得成矿流体得以聚集,成为储层;泥岩、粉砂质泥岩等具低渗率(付修根等,2005),具很好的遮挡能力,对成矿流体起到了很好的封闭作用,是良好的遮挡层。因此,不同岩石不同的物理特征不仅使得成矿流体在构造圈闭中汇集保存,并且形成了一个压力封存箱(图 2)。在这个封存箱内,流体处于超压状态,超压流体环境有待进一步研究分析;此外,兰坪盆地流体动力学过程模拟结果显示,随推覆构造活动,流体超压力形成于推覆体之下(薛春纪等,2007)。

2.2 流体的气体组分

从表 3 中可以看出:① 气相组分中除 H₂O、CO₂ 外,还含

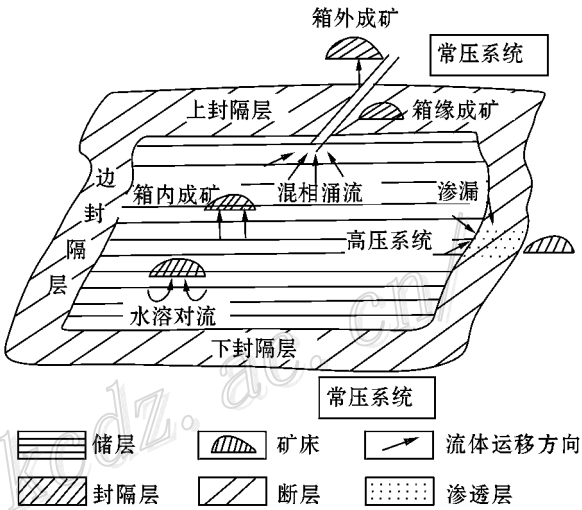


图 2 压力封存箱(据宋岩等,1996 修改)

Fig. 2 Pressure mothballed box (modified after Song Yan et al., 1996)

有 CH₄、C₂H₆ 等有机组分;② H₂O、CO₂ 含量较高,但有机组分在个别样品中也有较高含量;③ 闪锌矿包裹体的气相组分中,有机质含量虽较低,但仍然存在少量的 CH₄ 气体,而 CO₂ 的含量则较高。

CH₄、C₂H₆ 等气体的存在,表明有机质参与了成矿。当成矿温度达 120℃ 以上时,有机质开始分解,形成 CO₂ 及 CH₄、C₂H₆ 等组分(胡明安等,1989)。

2.3 流体演化

2.3.1 张性走滑盆地阶段流体演化

古新世开始,盆地的演化进入了一个新的大规模成矿时期(图 3),盆地流体(徐仕海等,2005)演化更是具有显著的特点,在盆地两侧造山带的影响及地壳深部构造活动的加剧,深部活性成矿物质通过深部超压水力或气力的碎裂作用,造成深部物质加入到盆地流体中(牟传龙等,2001;徐后东等,2004)。在古新世盆地受深部拆沉构造的进一步影响,致使盆地发生规模性和普遍性的张性走滑作用,由此诱使深部流体进入红层砂岩中,和红层砂岩中的浅部建造水流体发生喜马拉雅成矿期的第一次混合(牟传龙等,1999)。

表 3 金顶铅锌矿床流体包裹体的气体组分

Table 3 Gas composition of fluid inclusions of the Jinding Pb-Zn deposit

测试矿物	$w(B)/10^{-6}$							资料来源
	H ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	CO	CO ₂	H ₂ O	
方解石	0	1.00	1.42	0.50	0.62	25	96.0	①
天青石	0	2.00	1.95		0.62	5.0	25.0	①
天青石	0	4.12	1.46	0.65	0.62	9.0	64.0	①
闪锌矿	0	0.09	0.17		0.02	135	100.5	①
闪锌矿	0	0.16	0.08		0.12	168	188.9	②
天青石	0	4.21	1.46	0.65	0.62	11.1	80	②
石英	0	0.07	0.1	0.02		99.8	1938	②
天青石	0	0.20	0.07	0.32		26.3	1892	②

注 ① 据覃功炯等,1991 ②据温春齐等,1995。

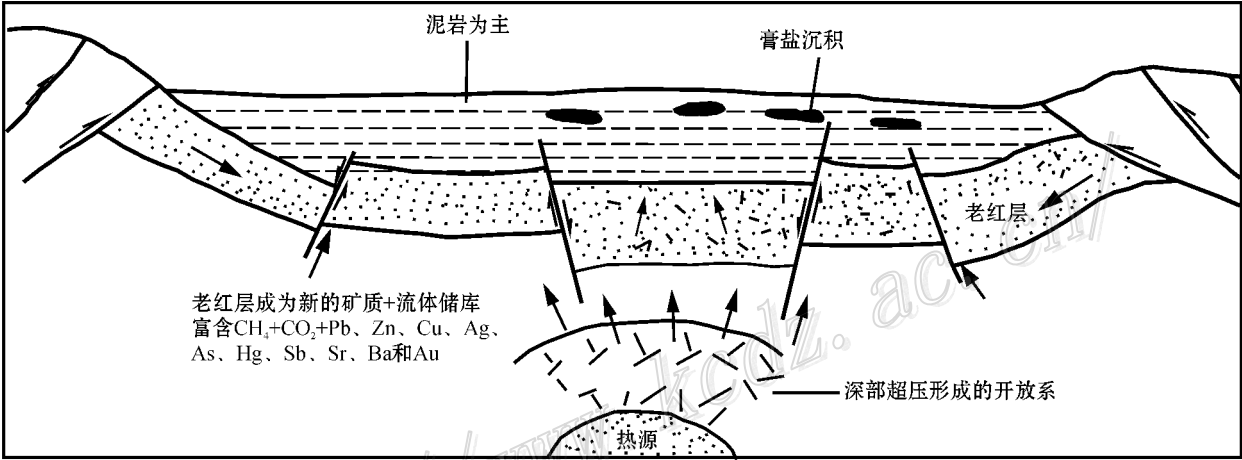


图 3 张性走滑阶段盆地流体演化示意图

Fig. 3 Diagrammatic sketch of the evolution of the basin fluid during the extensional strike-slip stage

2.3.2 挤压走滑盆地阶段流体演化

当盆地进入始新世晚期时,盆地两侧向盆地中心展开大规模的斜冲推覆构造活动,受两侧斜冲挤压力的作用,盆地同时发生近右旋走滑活动。构造强烈活动促使盆内及深部流体的超压不稳定或形成新的盆内超压流体(图 4),另一方面,区域范围内的挤压走滑(垂直应力为 S_2),盆地沿应力 S_3 方向发生走滑,结果导致流体的运动方向和 S_3 的方向一致。最小引力控制了盆地的超压流体的运移方向,并划分出 3 种类型(表 4)。从表 4 中可以看出,兰坪盆地晚三叠世—白垩纪,盆地的流体演化以第一种类型为主,尽管存在矿源层,也没有发生大规模的矿化。在古新世后,盆地的性质发生重大的变化,深部流体和浅部红层中的盆地流体的混合(图 3),提供了大量的矿物质,并形成了致矿构造圈闭。首先成矿流体沿走滑方向发生了带状分异现象,Pb、Zn 等成矿元素由于硫化物的溶解度低,优先就位于盆地中部由挤压逆冲推覆形成的穹隆中(何龙清等,2004),形成金顶铅锌矿(张乾,1993)。而富含 Cu、Ag 等成矿元素的成矿流体在走滑力的驱使下进一步向盆地的

两个三角区运移,同时由于走滑断裂的更进一步切入地壳,导致深部流体再一次沿走滑断裂和盆内流体混合,带来了大量的深部成矿元素,如 Co、Ni、Sb、As、Hg、Ba、Sr、Au、Ag、Cu、Pb、Zn 等(徐晓春等,2005),以及大量 CO_2 。

3 金顶铅锌矿床泥底辟流体成矿特征

异常压力封存箱内(地层圈闭)的塑性泥流夹带大量 $CO_2 + CH_4 +$ 其他烃类气体,到构造圈闭中释放压力。条件为: S_v (垂向应力) = S_3 (最小主应力)。随泥底辟上侵及流体存在的去气作用,使 $CH_4 + CO_2 +$ 其他烃类气体首先就位于构造圈闭中,并由此引起一系列改变圈闭构造的强烈活动(图 5),如引起圈闭构造脆性岩石的碎裂和机械崩塌,使得成矿空间成“粥样”,而后与富含 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 等成矿元素的成矿溶液混合,发生快速沉淀,从而形成规模巨大的铅锌矿。

3.1 逆冲推覆构造形成圈闭,使多套地层单元卷入成矿系统
金顶矿区位于沅江断裂中部西侧穹隆构造中,由北厂、跑

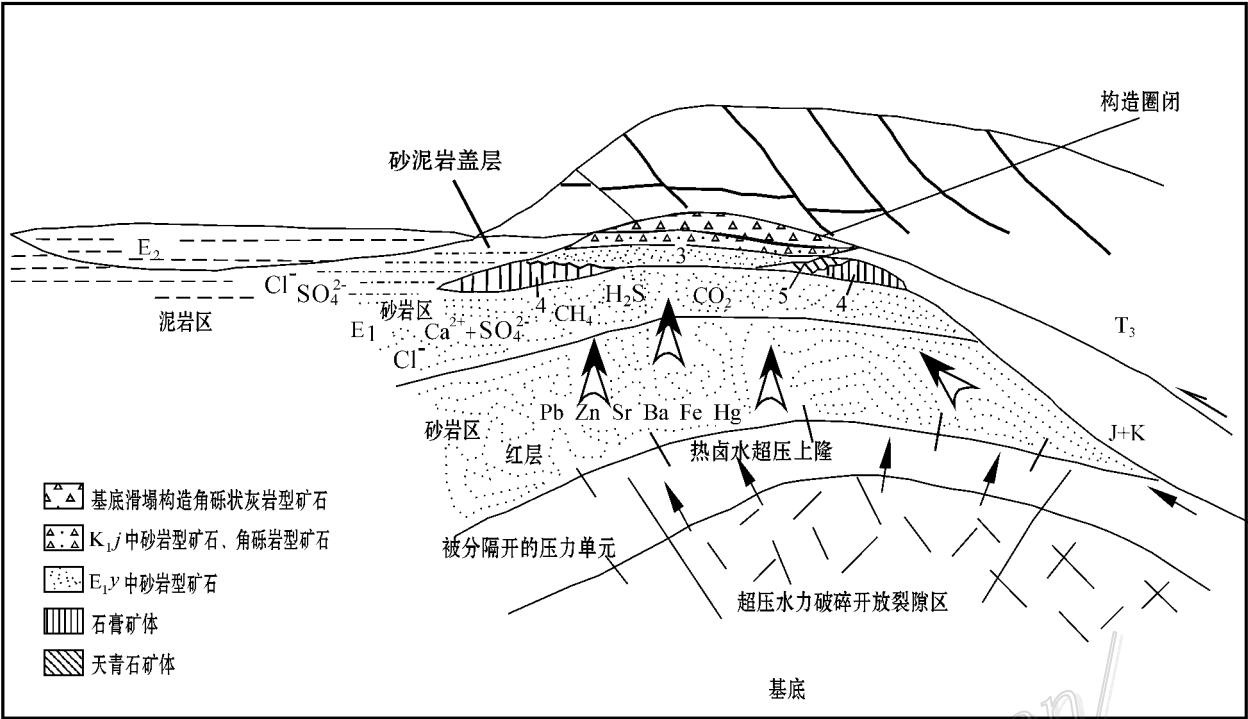


图 4 挤压走滑阶段盆地流体演化示意图

Fig. 4 Diagrammatic sketch of the evolution of the basin fluid during the compressional strike-slip stage

表 4 沉积盆地构造应力与流体运移方向

Table 4 Fluid migration direction and tectonic stress of the sedimentary basin

类型	垂直应力	S_3/S_v	构造样式	流体运移方向	沉积盆地样式
类型 I	S_1	$0.65 < S_3/S_v < 0.85$	盆地沉降拗陷	沿同生断裂活动、侧向迁移	裂谷盆地、拗陷盆地、前陆盆地
类型 II	S_2	$0.85 < S_3/S_v < 1$	挤压走滑	沿 S_3 方向(走滑方向)活动	走滑盆地
类型 III	S_3	$1 \leq S_3/S_v$	逆冲	垂向活动	挤压造山

注： S_1 最大主应力， S_2 中间主应力， S_3 最小主应力， S_v 垂直主应力。

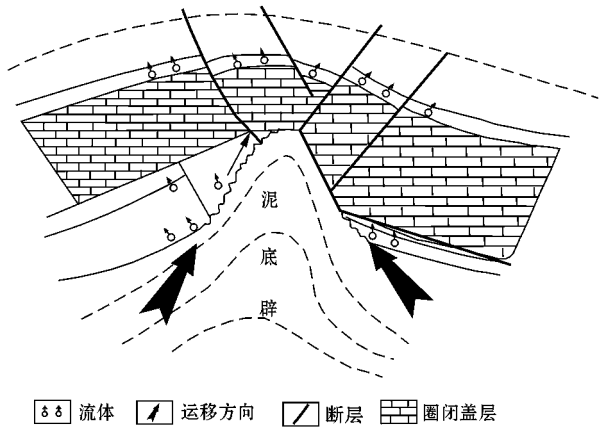


图 5 泥底辟流体成矿模式(据宋岩等,1996 修改)

Fig. 5 The mud diapirs fluid metallogenic model (modified after Song et al., 1996)

马坪、架崖山、西坡南厂、白草坪、蜂子山矿段组成(图 9)。矿区地层由古新统云龙组(E_{1y})、下白垩统虎头寺组(K_{1h})、下白垩统景星组(K_{1j})、中侏罗统花开左组(J_2h)、上三叠统麦初箐组(T_{3m})及三合洞组(T_{3s})组成,各组岩层之间均分别以次级逆冲断裂接触(图 6)。

铅锌矿体环绕穹窿核心边缘呈不规则环带分布(图 9)。

北、西两翼保存较好,东、南两翼因剥蚀残存不全。矿体受构造和岩性控制明显,主要以板状、层状、似层状(李瑞萍等,2009)产在推覆构造中及其上下的景星组(K_{1j})和云龙组上段(E_{1y}^b),层位稳定,与地层不整合接触,矿体大小不等,沿走向和倾向有分支伸缩变化。景星组主要为石英砂岩。云龙组上段岩性变化较大,矿区东部多为角砾岩、大岩块砂砾岩,向西变为砾质-含砾的石英砂岩、细砂岩。这两组岩石的岩性都是高孔隙度、高渗透率的岩石,有利于成矿热液的流动。而景星组顶板(中侏罗统花开左组)和云龙组上段的底板(云龙组下段)均为以泥岩为主的细碎屑岩层,起到了上下隔挡层的

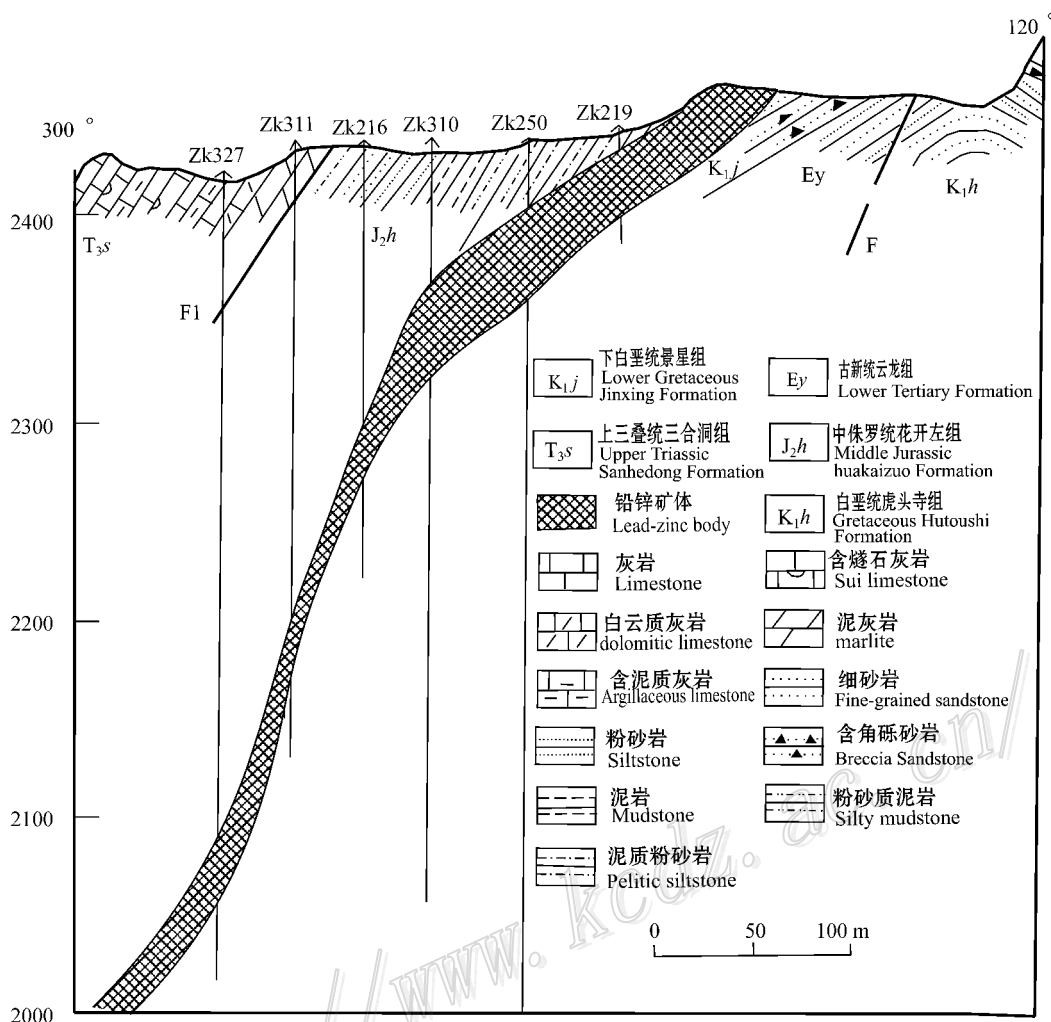


图6 金顶铅锌矿蜂子山矿段 P45 勘探线剖面图(据云南省地质矿产局第三地质大队,1990 修改)

Fig. 6 Geological section along P45 exploration line of the Fengzishan ore block in the Jinding Pb-Zinc deposit (modified after No. 3 Geological Party, Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1990)

作用,从而形成圈闭,有利于成矿。

3.2 泥底辟上侵使成矿空间形成‘粥样’环境,机械崩塌物和构造角砾混入塑性的泥质中

泥底辟向上穿刺使得矿体局部(图7C)与围岩接触不规,多生侧枝矿体,造成矿体具穿层现象(图7A、7B、7C):11号矿体下部主矿体赋存于云龙组(E_{1y})角砾岩、砾屑砂岩,上部分枝矿体赋存于景星组(K_{1j})砂岩中。矿体边缘的大量角砾岩(图7A、7B)、不同位置残余石膏形态的差别(图7D)及矿体中不同的赋矿岩石是泥底辟上侵,周围崩塌物及角砾岩(图8A、8B)混入的结果。

3.3 矿区地表或浅部可见花状(放射状)断裂

推覆构造连同主矿体围绕穹窿构造在矿区东部东倾,北部北倾,西部西倾,南部南倾。该穹窿在地表出露范围3 km × 2.5 km,为北北东向稍长的椭圆形。核部出露地层为下白垩统虎头寺组和古新统云龙组(原地系统),顶部及周边是推

覆构造外来系统,即下白垩统、中侏罗统和上三叠统。岩层和矿体围绕着穹窿核心分布,并且矿体越靠近穹窿顶部越厚。在穹窿顶部由于岩层上拱到一定程度使得穹窿破裂(曾荣等, 2006 薛春纪等, 2002c),从而形成放射状张性断裂,使得岩层和矿体呈现出目前所见的断续分布特点(图9)。由于穹窿孤立出现与区域北北西向的主构造线方向不协调,且卫星数据解译在矿区及外围发现多级环形构造,结合区域地质背景,推测金顶穹窿具有热隆升成因性质,与泥底辟上侵作用有关。

4 结 论

综上所述,云南金顶铅锌矿床泥底辟流体的成矿特征总结为如下几点:

(1)喜马拉雅期形成的盆地两侧向盆地内部的推覆构造,一方面形成著名的金顶构造圈闭,另一方面形成的流体,策动

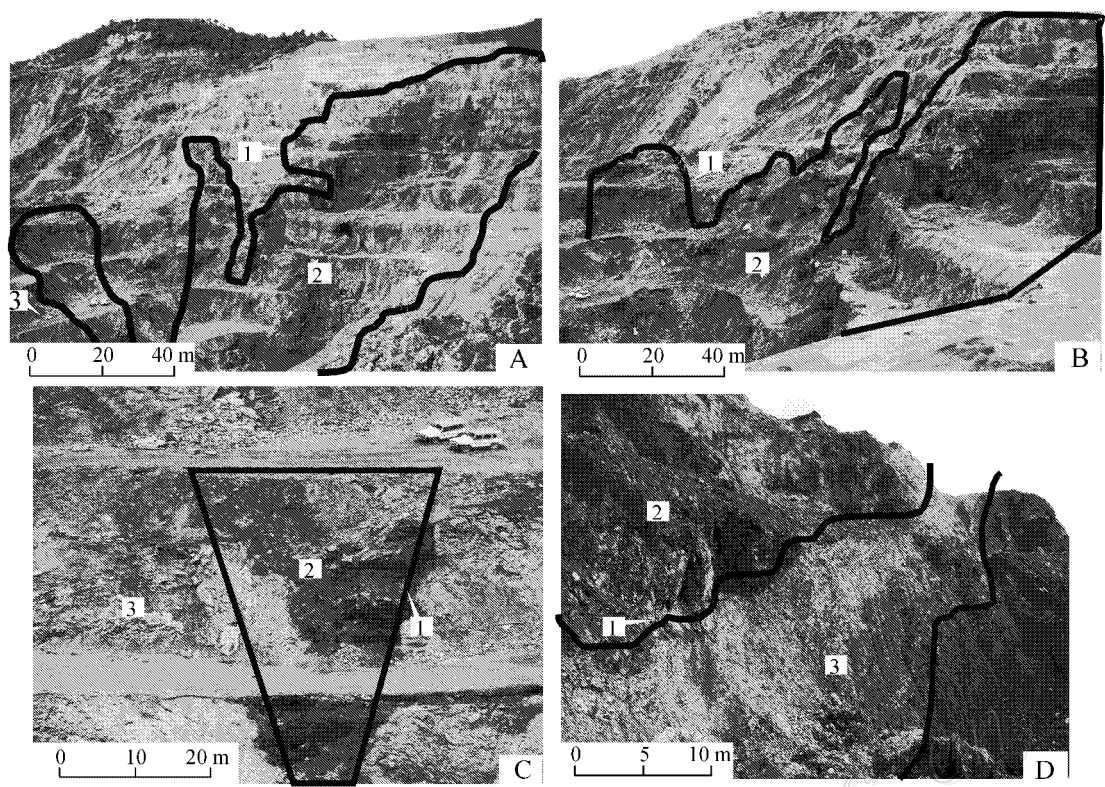


图 7 金顶矿区矿体形态
A、B. 均为 11 号矿体；C、D. 均为 13 号矿体；1—泥底辟上侵界线；2—矿体；3—景星组砂岩；4—石膏层
Fig. 7 Ore body shape in the Jinding Pb-Zn deposit
A,B. No. 11 ore body ; C,D. No. 13 ore body ; 1—Invasion boundary of mud diapirs ; 2—Ore body ; 3—Sandstone of Jingxing Formation ; 4—Gypsum layer

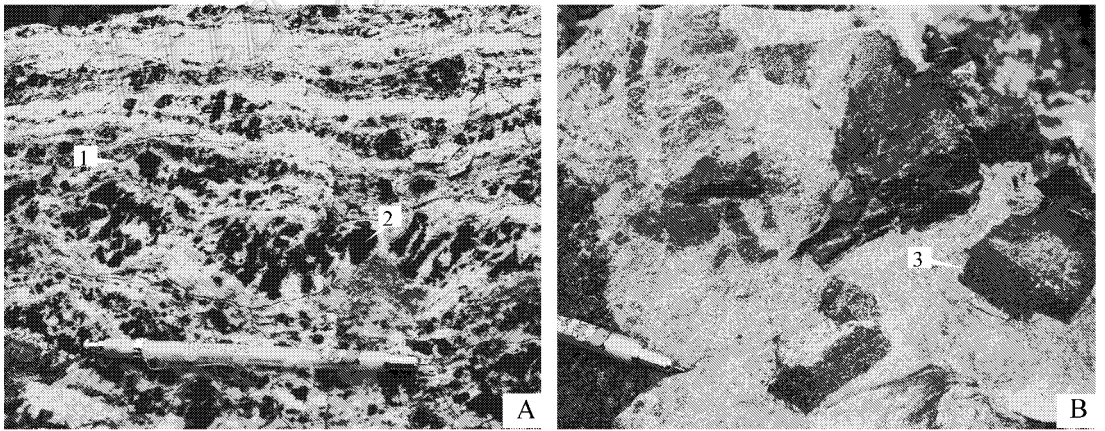


图 8 含矿角砾岩照片
A. 膏溶角砾岩；B. 沥青角砾岩；1—石膏；2—砂岩角砾；3—沥青角砾
Fig. 8 The ore-bearing breccia
A. Cream melting breccia ; B. Asphalt braccia ; 1—Gypsum ; 2—Sandstone rubble ; 3—Asphalt rubble

云龙组砂泥质岩体和流体一起定位于圈闭中。

(2) 逆冲推覆构造所形成的构造圈闭为泥底辟流体形成

的异常压力封存箱,在异常压力封存箱内,塑性泥流夹带大量

$\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ + 其他烃类气体到构造圈闭中释放压力。

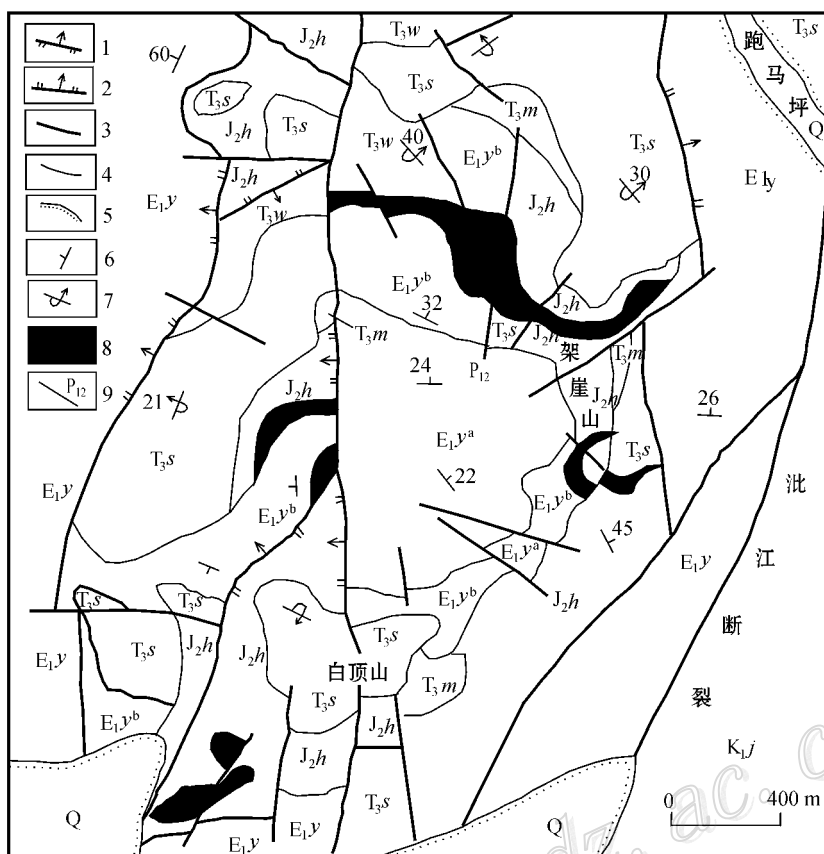


图9 金顶铅锌矿区构造地质图(据云南省地质矿产局第三地质大队,1990 修改)

1—滑覆断层;2—正断层;3—性质不明断裂;4—地质界线;5—不整合面;6—正常岩层产状;7—倒转岩层产状;8—铅锌矿体;9—勘探线及编号;Ey—古新统云龙组;K_{1j}—下白垩统景星组;J_{2h}—中侏罗统花开左组;T_{3s}—上三叠统三合洞组;T_{3w}—上三叠统歪古村组;T_{3m}—上三叠统麦初箐组

Fig. 9 Structural-geological map of the Jinding Pb-Zn deposit (modified after No. 3 Geological Party, Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1990)

1—Slip fault; 2—Normal fault; 3—Indeterminate fracture; 4—Geological boundary; 5—Unconformity; 6—Attitude of normal strata; 7—Attitude of reversed strata; 8—Lead-zinc body; 9—Exploration line and its serial number; Ey—Lower Tertiary Yunlong Formation; K_{1j}—Lower Cretaceous Jinxing Formation; J_{2h}—Middle Jurassic Huakaizuo Formation; T_{3s}—Upper Triassic Sanhedong Formation; T_{3w}—Upper Triassic Waigucun Formation; T_{3m}—Upper Triassic Maichuqing Formation

(3) 随泥底辟上侵,流体存在的去气作用,使 CO₂ + CH₄ + 其他烃类气体首先就位于构造圈闭中,并由此引起一系列改变圈闭构造的强烈活动,进一步扩大容矿空间,也导致云南金顶铅锌矿区地表或浅部可见花状断裂。

References

Bai J F, Wang C H and Na R X. 1985. Geological characteristics of the Jinding lead-zinc deposit in Yunnan with a special discussion on its genesis[J]. Mineral Deposits, 4(1): 1-9(in Chinese with English abstract).

Chen G H, Yin H H, Chu Y and Liu D H. 1996. Characteristics and geological significance of organic matter contained in tertiary ore deposits in Lanping Simao basin[J]. Mineral Deposits, 15(4): 374-380(in Chinese with English abstract).

Chi G X, Qing H and Xue C J. 2005. An overpressured fluid system associated with the giant sandstone-hosted Jinding Zn-Pb deposit, west-

ern Yunnan, China[A]. In: Mao J, Bierlein F P, ed. Mineral deposit research: Meeting the global challenge[M]. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. 56: 93-96.

Chi G X, Qing H and Xue C J. 2006. Modeling of fluid pressure evolution related to sediment loading and thrust faulting in the Lanping basin-implications for the formation of the Jinding Zn-Pb deposit, Yunnan, China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 89: 57-60.

Fu X G and Pang Y C. 2004. Geological characteristics of Jinding lead-zinc deposit with discussion on its genesis[J]. World Geology, 23(3): 238-244(in Chinese with English abstract).

Fu X G, Lin L, Zhu L D, Pang Y C and Wang X L. 2005. Analysis of the ore-bearing strata sedimentary environment and mineralization geological conditions of the Jinding lead-zinc deposit[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 32(5): 447-452(in Chinese with English abstract).

Fu X G, Lin L, Pang Y C, Zhu L D and Wang X L. 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 J H. 1989. The preliminary study of genetic relationship between the evaporite formation and lead-zinc deposit of jinding in west Yunnan Province, China[J]. Earth Science, 14(5): 513-521 (in Chinese with English abstract).
- Gao G L. 1989. Review of geological origin about Jinding Lead-zinc ore deposit[J]. Earth Science, 14(5): 468-475 (in Chinese with English abstract).
- He L Q, Chen K X, Yu F M, Wei J Q, Yang A P and Li H. 2004. Nappe tectonics and their ore-controlling of lanping basin in Yunnan Province[J]. Geology and Prospecting, 40(4): 7-12 (in Chinese with English abstract).
- Hu M A. 1989. A preliminary evaluation of the mineralization and their characteristics on the karst-type lead-zinc deposit by the exemplification of Jinding, Yunnan Province[J]. Earth Science, 14(5): 503-512 (in Chinese with English abstract).
- Li R P, Wang A J, Cao D H, Geng N, Gao L, Zou W L, Zhao Y X and Xiu Q Y. 2009. Distribution of Pb in soils of the Jinding Pb-Zn deposit, Lanping, Yunnan Province[J]. Acta Geoscientia Sinica, 30(1): 72-78 (in Chinese with English abstract).
- Luo J L and Yang J Z. 1994. The Tethyan evolution and the mineralization of the main metal deposits in western Yunnan[J]. Beijing: Geol. Pub. House. 149-239 (in Chinese with English abstract).
- Li Z M, Liao Z T, Liu J J, Qin J Z and Zhang C J. 2009. The metallogenic age of Jinding super-large scale lead-zinc deposit in Lanping basin[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 30(1): 72-78 (in Chinese with English abstract).
- Mou C L, Wang J, Yu Q and Zhang L S. 1999. The evolution of the sedimentary basin in lanping area during Mesozoic-Cenozoic[J]. Journal of mineralogy and petrology, 19(3): 30-36 (in Chinese with English abstract).
- Mou C L, Liu B J, Zhou J W and Yu Q. 2001. The simulation and fluid potential of the cenozoic sedimentary basin in Lanping area[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 21(3): 43-51 (in Chinese with English abstract).
- Qin G J and Zhu S Q. 1991. Genetic model and prospecting prediction of Jinding lead-zinc ore deposit[J]. Yunnan Geology, 10(2): 145-190 (in Chinese with English abstract).
- Shi J X, Yi F H and Wen Q D. 1983. The rock-ore characteristics and mineralization of Jinding lead-zinc deposit, Lanping [J]. Yunnan Geology, 2(3): 179-185 (in Chinese with English abstract).
- Song Y, Dai J X, Dai C S and Hong F. 1996. The main Accumulation model and regularities of distribution of large and medium-sized gas field in China[J]. Science in China (Series D), 26(6): 499-504 (in Chinese).
- Tu G Z. 2000. Super-large ore deposits of China[M]. Beijing: Science Press. 68-73 (in Chinese).
- Wang J B, Li C Y and Chen X Z. 1991. REE geochemistry of the Jinding super large Pb-Zn deposit[J]. Geochimica, 19(4): 359-365 (in Chinese with English abstract).
- Wang J H and Yan W. 1998. Continental hydrothermal sedimentation: A case study of the Yunnan Area, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 79-89 (in Chinese).
- Wang G Z, Hu R Z, Wang C S and Zeng Y F. 2001. Mineralization geological setting of Jinding superlarge Pb-Zn deposit, Yunnan[J]. Acta Mineralogica Sinica, 21(4): 571-577 (in Chinese with English abstract).
- Wen C Q, Cai J M, Liu W Z, Qin G J and Chen S F. 1995. Geochemical characteristics of fluid inclusions in the Jinding lead-zinc deposit[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 15(4): 78-84 (in Chinese with English abstract).
- Wu G G and Wu X D. 1989. A preliminary study on the tectonic evolution and mineralization regularity of the Jinding lead-zinc deposit, Yunnan Province[J]. Earth Science, 14(5): 476-485 (in Chinese with English abstract).
- Wu Y and Sun S X. 1991. The information analysis of paleohydro-geochemical factor in Jinding, Yunnan[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition), 14(4): 34-41 (in Chinese with English abstract).
- Xu Q D and Zhou L. 2004. Ore-forming fluid migration in relation to mineralization zoning in Cu-polymetallic mineralization district of northern Lanping, Yunnan[J]. Mineral Deposits, 23(4): 452-463 (in Chinese with English abstract).
- Xu S H, Gu X X, Tang J X, Chen J P and Dong S Y. 2005. Stable isotopic geochemistry of three major types of Cu-Ag polymetallic deposits in the Lanping Basin, Yunnan[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 24(4): 309-316 (in Chinese with English abstract).
- Xu X C, Xie Q Q, Lu S M, Chen T H, Huang Z and Yue S C. 2005. Fluid inclusion characteristics of copper deposits on the western border of Lanping basin, Yunnan Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 25(2): 170-175 (in Chinese with English abstract).
- Xue C J, Chen Y C, Yang J M, Wang D H, Yang W G and Yang Q B. 2002a. Jinding Pb-Zn Deposit: Geology and geochemistry [J]. Mineral Deposits, 21(3): 270-277 (in Chinese with English abstract).
- Xue C J, Chen Y C, Yang J M, Wang D H and Xu J. 2002b. The CO₂-rich and hydrocarbon-bearing ore-forming fluid and their metallogenic role in the Lanping Pb-Zn-Cu-Ag ore-field, north-western Yunnan[J]. Acta Geologica Sinica, 76(2): 244-253 (in Chinese with English abstract).
- Xue C J, Chen Y C, Yang J M, Wang D H, Yang W G and Yang Q B. 2002c. Analysis of ore-forming background and tectonic system of Lanping Basin, western Yunnan Province[J]. Mineral Deposits, 21(1): 36-44 (in Chinese with English abstract).
- Xue C J, Chen Y C, Zeng R and Gao Y B. 2007. Fluid dynamic processes of large-scale mineralization in the Lanping Basin, Yunnan, SW-China: Evidence from fluid inclusions and basin fluid modeling[J]. Earth Science Frontiers, 14(5): 147-157 (in Chinese with English abstract).
- Yin H H, Fan W M and Lin G. 1990. The deep factor of geodepression basin evolution and the mineralization of crust-mantle mixing in Lanping-Simao, Yunnan[J]. Tectonics and Metallogenic Geology, 4(2): 113-124 (in Chinese with English abstract).
- Yunnan Third Geological Brigade of Geology and Mineral Resources Bureau. 1990. Annals of regional geology, Yunnan Province [M]. Bei-

- jing: Geol. Pub. Huose. 106-278 (in Chinese).
- Zeng R, Xue C J, Gao Y B and Zhu H P. 2006. Study of ore-forming solution and solution trace elements in the Jinding lead-zinc deposit [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 26(3): 38-45 (in Chinese with English abstract).
- Zeng R, Xue C J, Liu S W and Li Y Q. 2005. Formation conditions of Jinding giant lead-zinc deposit [J]. Journal of Earth Science and Environmental, 27(2): 21-25 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q. 1991. On the genesis of the jinding lead-zinc ore deposit in Yunnan [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 6(2): 47-58 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q. 1993. Pb isotopic composition of Jinding super-large Pb-Zn deposit in Yunnan Province and discussion on the source of lead [J]. Geology and Prospecting, 14(5): 21-28 (in Chinese with English abstract).
- Zhao X Y. 1989. On the genesis of the Jinding lead-zinc ore deposit in Yunnan [J]. Earth Science, 14(5): 523-530 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z. 2007. The Jinding Pb-Zn deposit of Lanping-Alaid facies sedex ore deposit [J]. Yunnan Geology, 26(1): 1-14 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 白嘉芬, 王长怀, 纳荣仙. 1985. 云南金顶铅锌矿床地质特征及成因初探 [J]. 矿床地质, 4(1): 1-9.
- 陈广浩, 尹汉辉, 楚颖, 刘德汉. 1996. 兰坪思茅盆地第三纪矿床有机质特征及其地质意义 [J]. 矿床地质, 15(4): 374-380.
- 付修根, 庞艳春. 2004. 金顶铅锌矿床地质特征及成因探讨 [J]. 世界地质, 23(3): 238-224.
- 付修根, 林丽, 朱利东, 庞艳春, 王新利. 2005. 金顶铅锌矿床含矿层沉积环境及成矿条件分析 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 32(5): 447-452.
- 付修根, 林丽, 庞春艳, 朱利东, 王新利. 2006. 云南金顶铅锌矿床中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.
- 高建华. 1989. 滇西金顶铅锌矿床和蒸发岩建造成因关系的初步探讨 [J]. 地球科学, 14(5): 513-521.
- 高广立. 1989. 论金顶铅锌矿床的地质问题 [J]. 地球科学, 14(5): 468-475.
- 何龙清, 陈开旭, 余凤鸣, 魏君奇, 杨爱平, 李航. 2004. 云南兰坪盆地推覆构造及其控矿作用 [J]. 地质与勘探, 40(4): 7-12.
- 胡明安. 1989. 有机质的热液成熟作用在云南金顶铅锌矿形成过程中的意义 [J]. 地球科学, 14(5): 503-512.
- 李瑞萍, 王安建, 曹殿华, 耿诺, 高兰, 邹为雷, 赵以辛, 修群业. 2009. 云南兰坪金顶铅锌矿区土壤中 Pb 分布特征 [J]. 地球科学, 30(1): 72-78.
- 李志明, 廖宗延, 刘家军, 秦建中, 张长江. 2006. 兰坪盆地金顶超大型铅锌矿床成矿年龄探讨 [J]. 地质找矿论丛, 21(1): 23-27.
- 罗君烈, 杨荆舟. 1994. 滇西特提斯的演化及主要金属矿床成矿作用 [J]. 北京: 地质出版社. 149-239.
- 牟传龙, 王剑, 余谦, 张立生. 1999. 兰坪中新生代沉积盆地演化 [J]. 矿物岩石, 19(3): 30-36.
- 牟传龙, 刘宝瑛, 周建文, 余谦. 2001. 兰坪中新生代沉积盆地模拟与流体势 [J]. 矿物岩石, 21(3): 43-51.
- 覃功炯, 朱上庆. 1991. 金顶铅锌矿床成因模式及找矿预测 [J]. 云南地质, 10(2): 145-190.
- 施加辛, 易凤煌, 文后钊. 1983. 兰坪金顶铅锌矿床的岩矿特征及成因 [J]. 云南地质, 2(3): 179-185.
- 宋岩, 戴金星, 戴春森, 洪峰. 1996. 我国大中型气田主要成藏模式及其分布规律 [J]. 中国科学(D 辑), 26(6): 499-504.
- 涂光炽. 2000. 中国超大型矿床 [M]. 北京: 科学出版社. 68-73.
- 王京彬, 李朝阳, 陈晓钟. 1991. 金顶超大型铅锌矿床 REE 地球化学研究 [J]. 地球化学, 19(4): 359-365.
- 王江海, 颜文. 1998. 陆相热水沉积作用——以云南地区为例 [M]. 北京: 地质出版社. 79-89.
- 温春齐, 蔡建明, 刘文周, 覃功炯, 陈式房. 1995. 金顶铅锌矿床流体包裹体地球化学特征 [J]. 矿物岩石, 15(4): 78-84.
- 吴淦国, 吴习东. 1989. 云南金顶铅锌矿床构造演化及矿化富集规律初探 [J]. 地球科学, 14(5): 476-485.
- 吴勇, 孙世雄. 1992. 云南金顶铅锌矿古水文地球化学因素信息分析 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 14(4): 34-41.
- 徐启东, 周炼. 2004. 云南兰坪北部铜多金属矿化区成矿流体流动与矿化分带 [J]. 矿床地质, 23(4): 452-463.
- 徐仕海, 顾雪祥, 唐菊兴, 陈建平, 董树义. 2005. 兰坪盆地三类主要铜银多金属矿床的稳定同位素地球化学 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 24(4): 309-316.
- 徐晓春, 谢巧勤, 陆三明, 陈天虎, 黄震, 岳书仓. 2005. 滇西兰坪盆地西缘铜矿床矿物流体包裹体研究 [J]. 矿物学报, 25(2): 170-175.
- 薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 王登红, 杨伟光, 杨清标. 2002a. 金顶铅锌矿床地质-地球化学 [J]. 矿床地质, 21(3): 270-277.
- 薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 王登红, 徐珏. 2002b. 滇西北兰坪铅锌铜银矿田含炔富 CO₂ 成矿流体及其地质意义 [J]. 地质学报, 76(2): 244-253.
- 薛春纪, 陈毓川, 杨建民, 王登红, 杨伟光, 杨清标. 2002c. 滇西兰坪盆地构造体制和成矿背景分析 [J]. 矿床地质, 21(1): 36-44.
- 薛春纪, 陈毓川, 曾荣, 高永宝. 2007. 西南三江兰坪盆地大规模成矿的流体动力学过程——流体包裹体和盆地流体模拟证据 [J]. 地学前缘, 14(5): 147-157.
- 尹汉辉, 范蔚茗, 林炯. 1990. 云南兰坪-思茅地洼盆地演化的深部因素及幔-壳复合成矿作用 [J]. 大地构造与成矿学, 4(2): 113-124.
- 云南省地质矿产局第三地质大队. 1990. 云南省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社. 106-278.
- 曾荣, 薛春纪, 刘淑文, 李永强. 2005. 金顶超大型铅锌矿床成矿条件分析 [J]. 地球科学与环境学报, 27(2): 21-25.
- 曾荣, 薛春纪, 高永宝, 朱和平. 2006. 云南金顶铅锌矿床成矿流体的微量元素研究 [J]. 矿物岩石, 26(3): 38-45.
- 张乾. 1991. 云南金顶铅锌矿床成因研究 [J]. 地质找矿论丛, 6(2): 47-58.
- 张乾. 1993. 云南金顶超大型铅锌矿床的铅同位素组成及铅来源探讨 [J]. 地质与勘探, 14(5): 21-28.
- 赵兴元. 1989. 云南金顶铅锌矿床成因研究 [J]. 地球科学, 14(5): 523-530.
- 赵准. 2007. 兰坪金顶铅锌矿——陆相 SEDEX 型矿床 [J]. 云南地质, 26(1): 1-14.