论云南兰坪金顶超大型铅锌矿床的成因

王安建[1)], 曹殿华[1)], 高兰[1)], 王高尚[1)], 管烨[2)], 修群业[1, 3)], 刘俊来[4)]

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 2) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037;
3) 核工业北京地质研究院, 北京, 100029; 4) 中国地质大学, 北京, 100083

内容提要: 在前人大量工作和资料积累的基础上, 从成矿构造地质背景、容矿系统、容矿岩石的归属与成因、成矿时代和成矿物质来源方面论述了云南兰坪金顶超大型铅锌矿的成因, 指出金顶超大型铅锌矿床是新生代陆陆碰撞造山背景下, 在晚始新世至渐新世(大约33Ma)区域挤压推覆转变为区域拉张伸展构造环境转换时期, 幔源岩浆和热流驱动盆山转换前被封闭在裂谷或前陆盆地深部富含油气、膏盐和金属的流体, 沿着造山带两组伸展构造交汇部位上升, 在构造圈闭环境下, 通过角砾岩侵位—流砂底辟—流体排泄—金属淀积的产物。

关键词: 伸展构造交汇; 裂谷盆地流体; 角砾岩侵位; 流砂底辟; 超大型铅锌矿; 兰坪金顶; 云南

西南三江中段, 云南兰坪中新生代盆地北部的金顶超大型Pb-Zn矿床以在不足4km^{2}的范围内聚集着超过1600万吨锌和铅的巨量金属而倍受国内外同行关注。近20年来国内外学者在矿床形成的地质背景、金属聚集机制和成矿物质来源等方面开展了众多的研究工作, 然而, 由于三江地区中新生代地质构造演化极其复杂, 矿床成因问题一直争论不休。归纳起来, 金顶超大型铅锌矿床主要有三种成因观点: ①同生沉积-后期改造矿床(施加辛等, 1983; 白嘉芬等, 1985; 吴淦国等, 1989; 张乾, 1991); ②后生热液或后生热液-层控矿床(覃功炯, 1989; 温春齐等, 1995; 薛春纪等, 2002; 牟传龙, 2004); ③喷流沉积(Sedex)矿床(赵兴元, 1989; 王京彬等, 1990; 王江海等, 1998)。J Kylet R等(2002)从区域地质背景、容矿岩石组合、容矿岩石沉积环境、矿化时的盆地演化阶段、有机质的参与、蒸发岩的存在以及矿床规模、品位、贱金属比率、矿石成分、组构和控矿要素等, 将兰坪金顶超大型铅锌矿与世界上最重要的三类铅锌矿床, 即喷流-沉积型(Sedex型)铅锌矿、密西西比河谷型(MVT型)铅锌矿和砂岩型(SST型)铅锌矿作了系统对比, 认为金顶铅锌矿是一种特殊类型的矿床。

事实上, 金顶超大型铅锌矿床近30年的成因争论恰好是由于其成矿时代、成矿的构造地质背景、容矿岩石的归属以及容矿岩石沉积环境和矿化时盆地演化的阶段等关键问题没有梳理清楚。近年来, 随着资料的大量积累和矿床的大规模露天开采, 一些过去观察不到的新现象逐渐显露, 一些认识逐步深化, 这为解决各种矿床成因观点的矛盾、深化矿床成因认识提供了新的契机。

本文主要从成矿构造地质背景、容矿系统、容矿岩石的归属与成因、成矿时代和成矿物质来源等方面论述金顶超大型铅锌矿的成因, 并得出了一些新的认识和结论。

1 成矿构造地质背景: 新生代造山带张性构造系统交汇

金顶超大型矿床空间上分布于具有伸展性质的中轴构造与等间距断续分布的东西向张性断裂系统交汇部位(图1)。区内许多铅锌矿床和铜、银多金属矿床以及锑矿床均分布在这种构造交汇部位。深入分析这两类构造的特点对于解释金顶超大型矿床的成因乃至于深化区域成矿规律研究都具有重要意义。

1.1 中轴构造系统

中轴构造系指基本上沿兰坪—思茅盆地中心线

注: 本文为国家科技支撑计划(编号2006BAB01A07), 国家"973"项目(编号2002CB412607), 中国地质调查局地质调查项目(编号121201066307)资助的成果。

收稿日期: 2008-07-12; 改回日期: 2008-09-03; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 王安建, 男, 1953年生。教授, 博士生导师。长期从事区域成矿学、矿产资源评价与资源战略研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街26号, 中国地质科学院矿产资源研究所; 电话: 010—68999066; Email: ajwang@cags.net.cn。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

发育、走向近南北、空间上呈弧形展布的一组断裂构造束, 横向上其多处被短小的东西向断裂分割, 并具有一定的位移, 构造样式与现代大洋中脊很相似(图 1) 。地质资料显示兰坪- 思茅盆地中部存在一个隆起带, 并导致其东西两侧地层组合存在差异。隆起带两侧被一对断裂所夹持纵贯南北, 在兰坪盆地为雪邦山隆起带, 夹持在沘江断裂和弥沙河断裂间, 在思茅盆地为营盘山隆起, 夹持在普洱- 勐腊断裂和把边江断裂间, 这些断裂与其夹持的隆起带共同构成了中轴构造系统。图 1 所示中轴构造主要为隆起带的西部边界断裂系统。

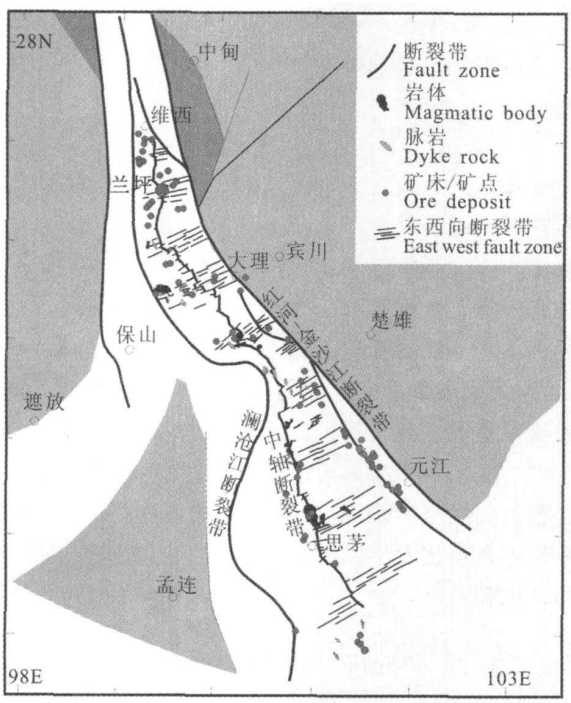

图 1 兰坪- 思茅盆地中轴构造和垂向构造分布图

Fig. 1 Distribution of Middle axle structure and vertical structure in Lanping-Simao Basin

中轴构造带对古生代基底, 特别是中、新生代以来盆地的性质、演化、沉积相、岩浆变质作用及热液活动均有明显控制作用, 也是近代温泉分布、地震活动的集中地带(李雷等, 1994; 张泰身等, 2000; 李文昌等, 2001) 。中轴构造带早期具有挤压特点、晚期具有伸展拉张的特征。兰坪—思茅盆地南部普洱反射地震剖面资料分析揭示了中轴构造伸展拆离的构造属性(管烨等, 2006) 。新近处理的孟连—沅江折射地震资料分析表明莫霍面在“中轴构造”带之下起伏, 显示为特征性的上地幔隆起区(张中杰, 2005) 。

鉴于中轴构造两侧中生代沉积序列具有明显差异, 断裂系统内喜山期深源碱性岩和浅成岩脉的侵位以及第四纪玄武岩浆喷发, 并控制着区域内许多矿床和矿点以及众多地球化学异常的分布, 说明中轴构造是一个中生代以来长期活动, 与上地幔及其岩浆源直接沟通的构造—岩浆—流体—热源活动系统。

1.2 垂向构造系统

垂向构造是指三江地区垂直于造山带近东西向或北东东向断续展布断裂构造束。该类构造以短小且断续时隐时现、空间上密集成带并近于等间距分布为特征, 构造带宽度一般在 20~ 30km, 间隔 20~ 50km。兰坪-思茅盆地由北向南依次分布有河西、兰坪-白羊厂、云龙、永平、巍山、安定-景东、镇沅、普洱和康平九个垂向构造密集带(图 1) , 其特点是在中轴构造的东部比西部发育, 盆地的北部比南部发育, 沿着中轴构造带最为发育。

垂向构造代表一组较深切割的构造系统。航磁资料和重力资料分析处理结果揭示出几乎完全相吻合的深部东西向隐伏构造带的存在(范承钧等, 1993; 葛良胜等, 1999; 管烨等, 2004) 。三江地区莫霍面等深线呈近 E-W 向展布, 也暗示下地壳或更深部存在着近东西向构造(罗君烈等, 1994; 葛良胜等, 1999; 管烨等, 2004) 体制。这种构造格局与众多文献(钟大赉等, 2000) 中提及的三江地区上地壳以南—北向构造为主, 下地壳或上地幔以东—西向构造为特征的“立交桥”结构特点相一致。航磁和重力资料分析不仅证实了这些构造在地壳较深部的存在, 而且解译结果还显示它们穿切了澜沧江断裂和金沙江断裂分别透入了保山地块和扬子陆块(管烨等, 2004) 。

能否把青藏东缘三江地区垂向构造与青藏高原主碰撞带南北向裂谷及其机制研究(Tapponnier and Molnar, 1982, 1986; Yin. et al, 1994, 1997; 丁林等, 2006) 相联系, 特别是与其早期发展历史相联系, 还需要投入大量研究工作。但是, 大比例尺地质图反映的事实是这些断续分布的近东西向构造多为张性的正断层, 它所切割的最新的地层为始新统宝相寺组, 并被渐新世地层所覆盖(图 2) , 说明区域上东西向构造的拉张或伸展大约形成在区域大规模挤压缩短的峰期、即大约在 37Ma 的中始新世至渐新世(王国之等, 2001; 王安建等, 2007) 或稍后、渐新世地层开始沉积的大约 33~ 34Ma。沿近东西向构造侵位的卓潘和大理正长斑岩分别获得 34Ma[1] 和 30.8Ma(王江海等, 2002) 的年代学数据为此提供了佐证, 同时也暗示进入渐新世近东西向的垂向构造

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

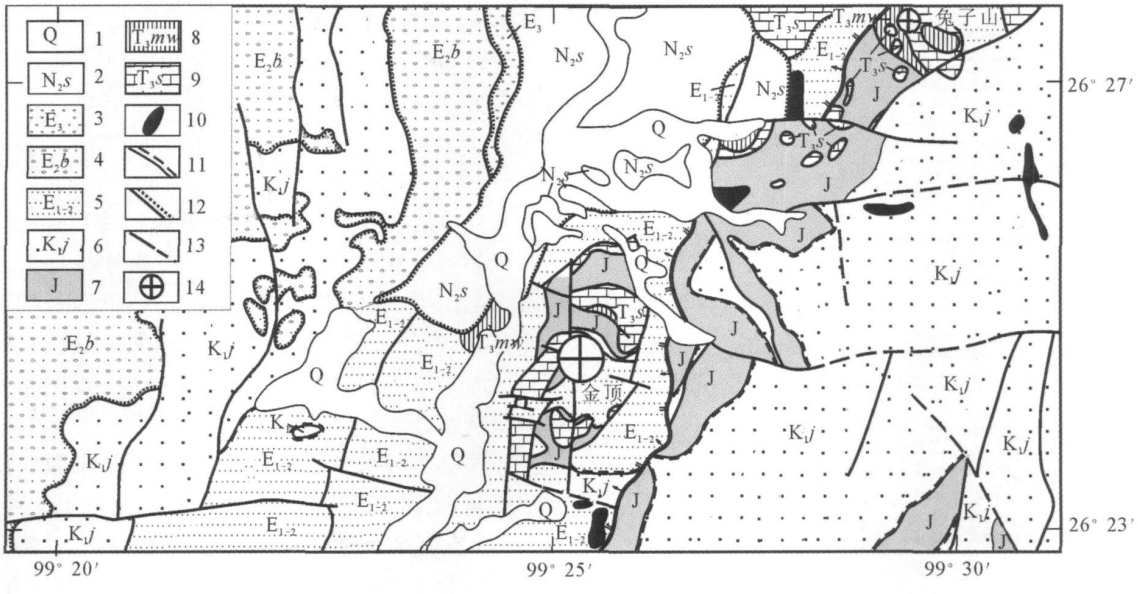

图 2　金顶铅锌矿床区域地质图(据 1: 5 万兰坪幅地质图, 1990)

Fig. 2　Regional geological map of Jinding lead-zinc ore deposit (after the 1:50000 Lanping geological map)

1—第四系; 2—上新统三营组砂岩、粉砂岩夹煤层; 3—渐新统砾岩、含砾粗砂岩; 4—始新统宝相寺组砾岩、砂岩; 5—古新统—始新统泥岩夹粉砂岩; 6—下白垩统砂岩; 7—侏罗系粉砂岩、泥岩; 8—上三叠统泥岩、粉砂岩; 9—上三叠统三合洞组灰岩; 10—灰岩角砾岩; 11—平行不整合; 12—不整合; 13—断层和推测断层; 14—铅锌矿床

1—Quaternary; 2—Pliocene Sanying Fm. sandstone, siltstone, interbedded with coal bed; 3—Oligocene breccia; 4—Eocene Baoxiangsi Fm. breccia and sandstone; 5—Palaeocene and Eocene mudstone and siltstone; 6—Lower Cretacic sandstone; 7—Jurassic siltstone and mudstone; 8—Upper Triassic mudstone and siltstone; 9—Upper Triassic Sanhedong Fm. limestone; 10—limestone breccia; 11—disconformity; 12—unconformity; 13—fault and inferred fault; 14—lead-zinc ore deposit

仍然继续活动。可以断定发育于兰坪—思茅盆地中的垂向构造是伴随主造山作用形成的具有切割很深的, 可以使碱性岩浆上升侵位的透入性伸展或张性构造系统。

显然, 兰坪金顶超大型矿床空间上分布于前述两类伸展或张性构造系统的交汇部位对于重新思考并探索该类矿床成因奠定了重要的基础。

2　容矿系统: 构造岩片、穹窿构造与盐丘

兰坪金顶超大型矿床容矿系统是由非原地地层系统通过区域性较长距离的推覆或滑覆作用形成的构造岩片堆叠体, 构造岩片中具有含盐建造, 构造样式呈穹窿状。

2.1　构造岩片

兰坪金顶矿区地层组合可以分为原地系统和外来系统两部分[2,3] (施加辛等, 1983; 白嘉芬等, 1985; 覃功炯等, 1991) , 古新统云龙组红色含盐建造被认为是原地系统的顶界。已经获取的钻孔、剖面资料和研究[4] (白嘉芬等, 1985; 吴淦国等, 1989; 牟传龙等, 2004) 表明, 金顶矿区外来地层系统是无序的, 是推覆或滑覆作用形成构造岩片的堆叠, 处于矿区不同位置剖面的地层或岩性组合关系可能有一定的差异。架崖山—北厂大规模露采揭示这些构造推覆岩片的上下顺序关系是: 上三叠三合洞组白云质灰岩、麦初箐组粉砂质泥岩、中侏罗花开左组泥质砂岩和所谓的下白垩景星组石英砂岩以及古新统云龙组的含沥青质灰岩角砾岩(图 3) , 岩片之间均以推覆构造面接触。根据新生代各地层间的接触关系和上三叠三合洞组推覆体推覆于古新统云龙组红层之上, 推定区域推覆或滑覆作用发生在中始新世与晚始新世之间, 大约距今 37Ma(王安建等, 2007) 。

值得关注的是矿区内原被划归为景星组石英砂岩和古新统云龙组含沥青质灰岩角砾岩的组合仅在矿区范围内出现, 区域上同层位不具有可对比性。研究证实, 位于古新统云龙组红色含盐建造之上, 金顶铅锌矿床主要的含矿岩石组合之一, 原来被认为是云龙组的滑塌角砾岩和冲积扇粗碎屑岩(覃功炯等, 1991) 实际上是上三叠三合洞组下部含膏盐的沥青灰岩组合在长距离推覆过程中形成的构造推覆—

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

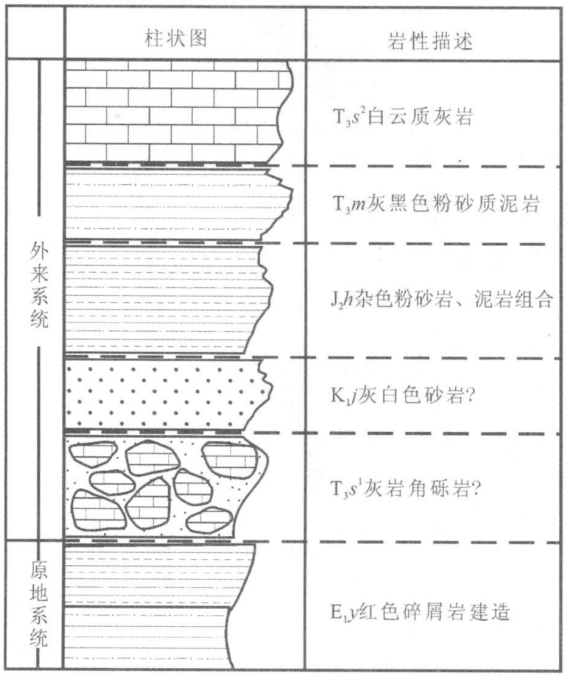

图 3 金顶矿区地层组合

Fig. 3 Stratum system of Jinding ore district

膏溶角砾岩(王安建等, 2007)。另一类主要含矿岩石, 即所谓的下白垩景星组石英砂岩很可能是一套特殊成因的砂岩(高兰等, 2008)。由此可见, 金顶超大型铅锌矿床的主要两类主要容矿围岩可能均为外来系统, 稍后本文将阐述并提供更多的证据说明这一点。

2.2 穹窿构造与盐丘

金顶超大型铅锌矿床分布在一个长 3km、宽 2km 的穹窿构造中。尽管后期构造对其具有一定的改造作用, 但是穹窿状构造的总体形态仍然比较完整, 环形分布的构造岩片之间以向外倾伏的推覆构造面接触, 沿着穹窿构造边部似乎发育一系列放射状断裂(图 4)。

关于穹窿构造的成因, 一种解释是推覆作用造成区域岩石密度倒置形成穹窿构造(吴淦国等, 1989), 另一种解释是两期褶皱叠加的产物(燕守勋等, 1994)。尽管成因解释有所差异, 但是对于推覆-滑覆构造面已经参与穹窿构造变形的认识基本一致, 这说明金顶矿区穹窿构造形成于区域性大规模推覆或滑覆作用发生之后。根据前述证据推断该穹窿构造应该形成大约在 37Ma 之后。这一推断也为矿床形成时代的判定奠定了重要的基础。

金顶铅锌储量不仅达到超大型矿床规模, 其硬石膏和天青石矿也达到了大型矿床的水平。尽管矿

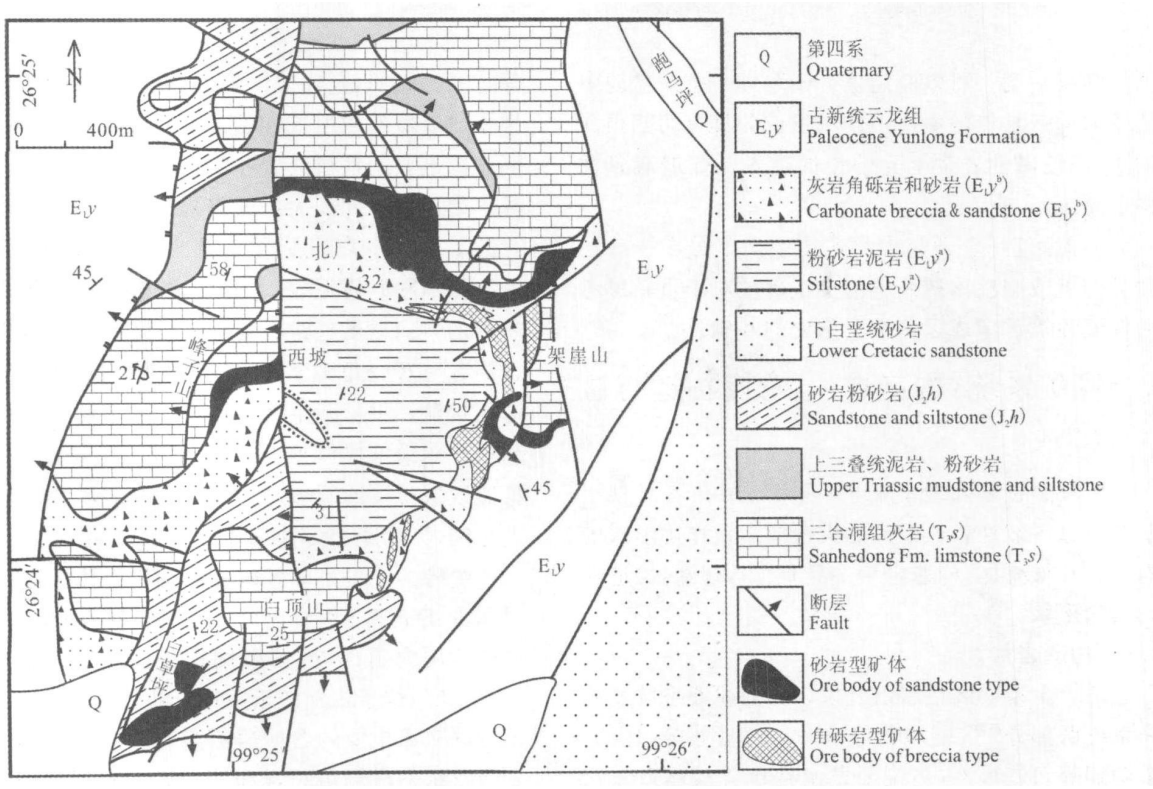

图 4 金顶铅锌矿床地质简图(据云南第三地质大队资料修编, 1984)

Fig. 4 Geological map of the Jinding lead-zinc ore deposit (modified from Yunnan third geological team, 1984)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

区内圈出盐类矿体多个, 并且空间分布较为分散, 但通过矿体三维模型分析仍然可以辨别并恢复其盐丘的原貌(图 5), 这些膏盐被认为是上三叠三河洞组的产物(高怀忠, 1989; 高广立, 1989, 1989a, 1991)。资料(表明金顶矿区已经圈出天青石矿体 79 个, 硬膏矿体 26 个(高建华, 1989), 钻孔资料(揭示金顶矿区跑马坪矿段上三叠统三合洞组碳酸盐岩层上下均有硬石膏分布, 上部硬石膏长度大于 1540m, 最大垂直厚度 320m, 下部硬石膏分布不均一, 厚度 0~130m 不等(高广立, 1991)。显然, 这些盐类既是区域构造推覆-滑覆的润滑剂又是盐丘的构成者。盐丘的形态和规模与矿区的穹窿构造具有和谐的关系, 暗示穹窿与盐丘可能具有密切的成生联系, 沿着穹窿构造边部发育的一系列放射状断裂说明穹窿构造极有可能是在区域构造应力作用下由于含盐地层密度倒置导致膏盐底辟形成盐丘, 并诱发形成金顶矿区的穹窿构造。金顶矿区的穹窿构造盐丘底辟形成的衍生产物。

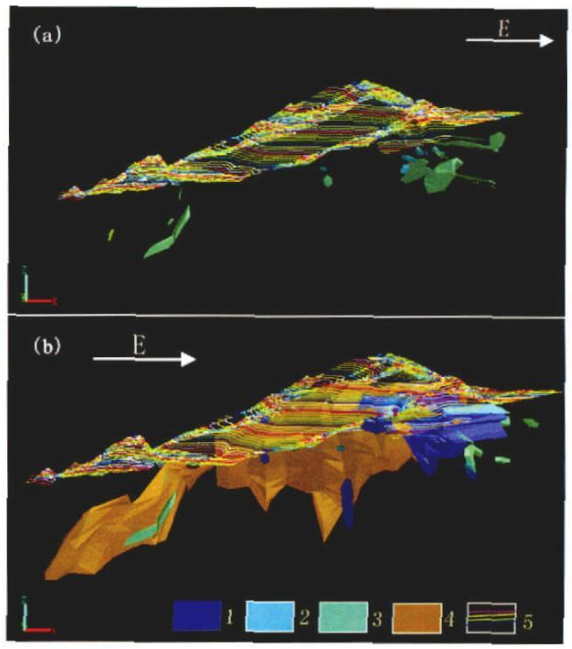

图 5　金顶矿体三维实体模型

Fig. 5　3D model of the orebodies at Jinding deposit

(a) —石膏和天青石矿体的空间分布; (b) —铅锌矿体的空间分布; 1—灰岩角砾岩型铅锌矿体; 2—天青矿体; 3—(硬) 石膏矿体; 4—砂岩型铅锌矿体; 5—DTM 地形等高线

(a) —Spatial distributions of the orebodies of celestite and gypsum/anhydrite; (b) —spatial distributions of the lead-zinc orebodies; 1—Pb-Zn orebodies of carbonate breccia type; 2—celestite orebodies; 3—gypsum/anhydrite orebodies; 4—Pb-Zn orebodies of sandstone type; 5—topographic isolines

3　容矿岩石: 特殊成因的角砾岩与非正常沉积成因的石英砂岩

金顶超大型矿床容矿岩石被分为灰岩角砾岩和石英砂岩两类, 它们是特殊成因的角砾岩与非正常沉积成因的含矿石英砂岩。

3.1　含矿灰岩角砾岩: 构造推覆-滑覆-膏溶角砾岩与侵位角砾岩

金顶矿区的容矿灰岩角砾岩一直被解释为古新世滑塌堆积的产物。兰坪地区被视为新生代沉积中心, 矿区附近的沘江断裂是盆地东部的同生边缘断裂, 其与雪邦山隆起带相隔构成"高山深盆"环境, 古新世区域性挤压诱发的推覆-滑覆作用使上三叠三合洞组灰岩沿沘江断裂发生滑塌堆积, 形成具有沉积意义的角砾岩[2,3] (覃功炯等, 1991, 朱上庆等, 2000)。尽管当时膏溶-构造角砾岩的观点(高广立, 1989, 1991) 已经被提了出来, 但是一直没有得到足够的重视。

根据含矿角砾岩的空间分布、成分、结构、构造以及胶结物及其孢粉和区域对比研究, 笔者提出金顶矿区含矿灰岩角砾岩为一套构造推覆-滑覆-膏溶角砾岩, 部分角砾岩在后期成矿流体的驱动下具有位移和向上侵位的特征(高兰等, 2005; 王安建等, 2007)。同时指出: ①区域上第一次较大规模水平运动发生在中始新世与晚始新世之间, 古新世云龙组沉积时区域上不具备大规模水平运动或推覆作用发生的基本条件; ②兰坪地区上三叠三合洞组推覆成因角砾岩明显推覆于古新统云龙组红层之上(图 3), 说明云龙组已经参与了区域推覆或滑覆作用改造变形, 推覆或滑覆作用发生在云龙组形成之后, 而不是古新世云龙组沉积期; ③被誉为同生断裂的沘江断裂东侧(即所谓山区) 兔子山矿区也发育有与金顶矿区(沘江断裂西侧, 即所谓盆区) 同样的角砾岩存在, 也都见有完全可以对比的古新统云龙组岩石组合(图 3), 说明所谓同生的沘江断裂并没有发挥高山深盆陡岸边缘断层的作用; ④角砾岩胶结物孢粉测定结果表明这套角砾岩仍然保存着晚三叠世的记忆(王安建等, 2007), 缺少古新世云龙组沉积的任何显示, 说明含矿角砾岩并非新生代古新世的滑塌堆积的产物, 而是晚三叠纪地层经构造推覆-滑覆-膏溶形成的一套特殊角砾岩组合。

关于部分角砾岩在后期成矿流体的驱动下具有位移和向上侵位的特征, 得到了角砾岩剖面形态和

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

角砾岩结构及构造特点的有力支持(高兰等, 2005; 王安建等, 2007)。最近, 矿体中超压流体包裹体的发现与测定(Chi G X et al., 2006), 说明矿床形成过程中的确伴随着高压流体的活动, 角砾岩在高压流体的驱动下向上侵位也就不足为奇了。显然, 含矿角砾岩成因和时代归属的再认识要求地质学家们重新审视以往的矿床成因观点。

3.2 含矿石英砂岩: 非正常沉积底辟形成的砂岩

金顶超大型铅锌矿砂岩型矿石资源储量超过矿区探明资源储量的60%。以往资料将其作为外来系统的组成部分划归为下白垩景星组(白嘉芬等, 1985; 高怀忠, 1989; 牟传龙等, 2004), 并认为其是河湖相正常沉积的产物。2005 年, 本课题研究人员在金顶矿区架崖山矿段北部发现含矿石英砂岩呈直立的"岩墙"状产出, 并结合岩石组构研究, 综合以往勘查资料记载的, 在北厂矿段主矿体顶板接触带, 含矿石英砂岩岩脉向上贯入上覆杂色泥质粉砂岩中, 形成透镜状砂岩矿体等特征, 提出了金顶超大型矿床含矿石英砂岩具有泥火山侵位形成机制的非正常沉积观点(高兰等, 2008)。

关于金顶矿区含矿石英砂岩的成因, 笔者更倾向于非正常沉积观点。主要证据是: ①空间上这套砂岩呈"蘑菇"状(图 5)和"岩墙"状, 区域上缺少可对比性; ②它同时是脉状侵位角砾岩的重要胶结物之一; ③岩石呈块状, 无层理, 成分纯净单一, 分选差, 粒径 0.02~ 0.9mm, 磨圆差, 胶结物以碳酸盐为主, 基底式至接触式胶结, 很难解释其形成的水动力条件; ④13 个单颗粒锆石 SHRIMP 年龄, 最老的 2487Ma, 最年轻的 225Ma(图 6), 并且含六方双锥的高温β石英和火山晶屑(施加辛等, 1983), 这不符合上白垩景星组的沉积环境和物源特征; ⑤岩石中的"白球"(石英砂相对聚集, 图 7)和"黑球"(黄铁矿和闪锌矿相对聚集, 图 8)构造, 是被含矿热液饱和的砂体在成岩过程中的自组织现象和含矿乳滴结晶的产物, 而不是充填、交代或正常沉积的结果; ⑥闪锌矿和石英再生长大边中含油气包裹体(张金亮等, 2003), 说明这些砂体曾较长时间被富含油气的成矿流体所饱和, 这与正常沉积和石英砂被后期交代的结果不同。金顶矿区含矿石英砂岩应该是膏溶-侵位或底辟的产物, 不同粒级和不同形态石英砂来自于晚三叠世沉积的膏盐及其间夹杂的不同水动力条件下形成的细砂或粉砂的混合。含矿石英砂岩成因的重新认识同样要求地质学家们对于矿床形成机制给出新的解释。

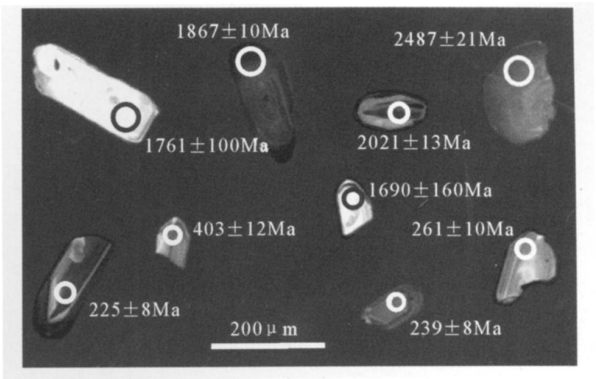

图 6 含矿砂岩中锆石阴极发光图像

Fig. 6 Cathodoluminescence electron images of zircon of sandstone host ore

圈中数字表示 U-Pb 分析点中心和$^{206}Pb/^{238}U$ 年龄

The circle and the number denotes the spot center and the age

4 成矿时代: 来自地质学的证据

成矿时代的确定是探讨矿床成因的核心要素。由于金顶超大型铅锌矿床自身矿物学特点所决定的很难选择有效的测试对象和测试方法解决金顶矿床形成的年代学问题。尽管黄铁矿的 Re-Os 法被尝试使用(薛春纪等, 2003), Pb 的模式年龄法也被广泛讨论(赵兴元, 1990; 张乾, 1993; 修群业等, 2006), 以及裂变径迹法(李小明等, 2000)也参与了讨论, 但是由于受矿物选择的代表性、测试方法误差和方法可靠性等因素制约, 迄今为止金顶超大型铅锌矿还没有获得令人信服的测年数据。因此, 依据地质学方法推定其成矿年龄成为目前的一种必然选择。

(1) 地质学家们公认金顶超大型铅锌矿床的成矿作用发生在区域大规模推覆-滑覆作用之后, 甚至于穹窿构造形成之后, 据此可确定成矿时代的下限。区域资料表明兰坪盆地演化进入新生代前后, 古新统云龙组与白垩系南新组和虎头寺组的沉积呈平行不整合接触, 古新统云龙组与始新统果朗组基本连续沉积, 而与晚始新统宝相寺组呈角度不整合接触(云南省地质局, 1974)。这暗示喜山运动之前一个时期以及喜山运动以来, 兰坪地区一直以走滑拉分为主, 区域上第一次较大规模水平运动发生在中始新世与晚始新世之间, 这与许多学者(覃功炯等, 1991; 王国芝等, 2001; 陶晓风等, 2002)的判定相一致, 按国际地层委员会的划分标准(Gradstein et al., 2004)大约距今 37Ma。构造推覆-滑覆岩片的堆叠和穹窿构造的形成晚于这一时限, 也就是说金顶超大型铅锌矿

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



图 7　砂岩中的"白球"(碳酸盐胶结的石英集合体)
Fig. 7　White ball in the sandstone

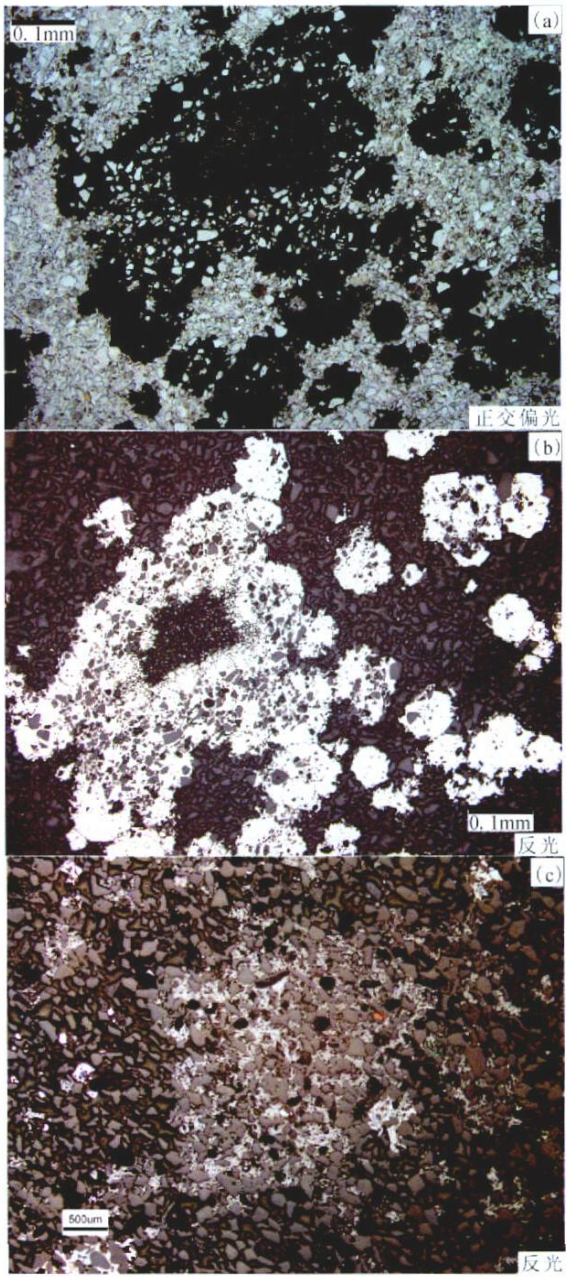

图 8　砂岩中的黄铁矿(a)、(b)和闪锌矿(c)"黑球"
Fig. 8　Black ball in the sandstone

床最早应该形成在距今 37Ma 以来。

(2) 区域上沿着中轴构造及其与之垂直的东西向伸展构造侵位的碱性正长斑岩和花岗岩的年龄集中在 33~ 28Ma。它集中反映了区域一次大规模热事件的年龄。鉴于金顶超大型铅锌矿床以及区域上众多的铅锌银锑等多金属矿床和地球化学异常多分布在这两组伸展构造的交汇部位,暗示这一时期也是区域上的重要成矿事件,推定金顶超大型铅锌矿床很可能形成在这一时段。

(3) 由兰坪金顶超大型矿床沿中轴构造向北至河西东西向垂向构造密集带,可以见到华昌山燕子洞铅锌多金属矿床主矿体分布于晚始新统宝相寺组砂岩与上三叠统灰岩构造接触的断层带内,说明该矿床是在宝相寺组沉积成岩、并参与区域变形之后的产物。由此推定这个时限应该在始新世进入渐新世的 33Ma 左右。由金顶超大型铅锌矿床沿着中轴构造向南,同样处于在东西向垂向构造密集带的白洋厂银铅多金属矿床,明显可见矿体受形成较晚的

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

近东西向构造控制(赵大康, 2004), 暗示二者形成的时代可能十分相近。尽管还不能将华昌山燕子洞铅锌多金属矿床以及白洋厂银铅多金属矿床与金顶超大型铅锌矿床作完全的对比, 但是将产在相同构造背景下一系列矿床作类比应该是可以接受的。

(4) 区域上沿中轴构造及与之相交的垂向构造系统内已经发现众多的铅锌银多金属矿床或矿点中, 迄今为止还没有发现以渐新世或更晚时代的地层系统作为矿体围岩或发生矿化的报道, 因此分析兰坪金顶超大型矿床形成在渐新统大规模沉积成岩之前。尽管可以参照金顶铅锌矿床含矿砂岩磷灰石裂变径迹获得的 25.8~ 35.9Ma 的年龄(李小明等, 2000), 但是笔者结合区域地质及热事件的分析, 仍将成矿时代推定在 33~ 28Ma 之间。

兰坪金顶超大型铅锌矿床的形成时代恰好是兰坪思茅地区地壳挤压缩短造山达到峰期稍后开始松弛的调整时期, 也是幔源岩浆沿着两组伸展构造交汇部位上涌形成碱性岩体侵位的时期, 岩浆活动及其热源为区域相关矿床的形成提供了驱动力。

5 成矿物质来源: 上三叠统火山—碳酸盐建造中的金属与热卤水

成矿物质来源是判定是矿床成因的关键要素。研究表明金顶超大型铅锌矿床成矿流体为热卤水, 铅和锌金属主要来自盆地下覆上三叠统火山-碳酸盐组合。

5.1 S、C 和 Pb 同位素示踪

金顶超大型铅锌矿床金属硫化物中硫的来源认识相对比较一致。方铅矿、闪锌矿和三种硫化物 $\delta^{34}S$ 均为负值, 变化于 -0.29‰~ -30.43‰之间(施加辛等, 1983), 矿区 54 件硫化物 $\delta^{34}S$ 平均值为 -13.27‰(赵兴元, 1989), 相当于正常沉积地层系统中的硫, 同时也反映了有机生物成因的特点。硫酸盐石膏的 $\delta^{34}S$ 为+14.18‰~ +15.38‰, 变化范围很窄, 与三叠纪末期古大洋硫酸盐 $\delta^{34}S$ 15‰十分相近(高广立, 1991), 这资料说明金顶超大型铅锌矿床成矿的硫主要来源于中生代盆地系统。

含矿灰岩角砾岩中热液方解石的 $\delta^{13}C$ 变化于 -11.88‰~ -24.52‰, 具有有机碳的特征(赵兴元, 1989)。含矿石英砂岩方解石胶结物 $\delta^{13}C$ 变化于 -4.9‰~ -8.1‰, 变化范围很窄, 似乎具有深源碳(-4‰~ -10‰)的特点, 但是在砂岩的成因方面难以解释。由于其 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 介于 0.710507~ 0.710841 之间(修群业, 2007), 将其视为幔源的产物似乎是不太可能的。鉴于 $\delta^{13}C$ 这一变化区间涵盖在有机成因 $\delta^{13}C$ 范围内, 并且与矿石硫化物 $\delta^{34}S$ 的分析结果相吻合, 因此从生物成因角度解释其来源更为合理。

铅同位素是一个既复杂又多解体系。金顶铅锌矿床各类矿物的 Pb-Pb 法同位素数据有近百个, 利用 $^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 之间相互关系计算模式年龄值从 0~ 556Ma, 由于不同学者采用了不同的图解或参数以及测试精度的差异, 铅的上地幔来源、壳源以及混合来源的解释(云南地勘局, 1984; 覃功炯, 1991; 叶庆同等, 1992; 周维全等, 1992; 张乾等, 2002)莫衷一是。本课题组所测的 12 个样品(修群业等, 2006)与前人的大量数据相比, 获得的 $^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 比值、铅模式年龄和 μ 值都十分接近, 铅模式年龄相对比较一致(表 1), 12 个铅模式年龄值进行算术平均为 232.8 Ma。可以认定金顶矿区内的铅属于正常铅, 其模式年龄所反映的应该是其物源岩的形成年龄, 即中上三叠统火山-碳酸盐岩建造的形成年龄。

根据云南地勘局物探队提供的区域地层 Pb、Zn、Cd 丰度资料(杨友华等, 1991), 上三叠统三合洞组 Pb、Zn、Cd 平均含量分别为 20、143 和 5.3×10^{-6}, 是区内其它地层单位相同元素含量的 2~ 5 倍。兰坪盆地现有长度 420km, 宽 80km, 据王二七等(2001)的研究结果, 藏东缘新生代的陆陆碰撞作用至少使兰坪盆地东西向缩短 500km。区域上上三叠统三合洞组厚度 100~ 200m, 如果取其平均厚度 150m, 且不考虑兰坪盆地向思茅盆地的延长的部分, 即便是兰坪盆地现有三合洞组灰岩 Pb、Zn、Cd 丰度的仅 10% 提供成矿, 也将聚集超过 10 个现有金顶超大型铅、锌、镉矿床的金属量。毫无疑问, 上三叠统三合洞组具有提供兰坪金顶 包括区域巨量成矿金属的巨大潜力。

5.2 成矿流体特征与来源

金顶超大型铅锌矿床成矿流体具有三个基本特征: ①成矿流体测温结果变化于 100~ 300℃, 主要集中于 150~ 260℃之间, 属于中低温流体(施加辛等, 1983; 白嘉芬等, 1985; 温春齐等, 1995); ②流体成份: 阳离子以 Na^+ 和 Ca^{2+} 为主, 阴离子以 SO_4^{2-} 和 Cl^- 为主, 盐度变化于 5.09%~ 19.63%, 总体属于 SO-Cl-Na-Ca 型热卤水(施加辛等, 1983; 覃功炯等, 1991; 叶庆同等, 1992; 温春齐等, 1995); ③流体包裹体中含 CO_2 和有机质(覃功炯等, 1991; 温春齐等, 1995, 张金亮等, 2003)。尽管不同学者对流体特征描述较为一致, 但是有关流成矿体来源问题难以达成共识。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　金顶矿床铅同位素分析结果

Table 1　The analytical result of Pb isotope at Jinding deposit

样号	分析对象	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	G-K 模式年龄(Ma)	μ
JX17	方铅矿	18.410±0.009	15.620±0.008	38.569±0.008	203	9.765
JX18	方铅矿	18.425±0.011	15.640±0.011	38.634±0.011	234	9.851
JX27	方铅矿	18.523±0.012	15.643±0.012	38.623±0.012	166	9.838
JG30	方铅矿	18.434±0.008	15.626±0.008	38.599±0.008	198	9.786
JG32-1	方铅矿	18.442±0.012	15.639±0.012	38.638±0.012	219	9.842
JX135	方铅矿	18.436±0.012	15.653±0.012	38.677±0.012	252	9.905
JX165	方铅矿	18.436±0.007	15.649±0.007	38.666±0.007	244	9.887
JX25H-3	方铅矿	18.421±0.011	15.634±0.011	38.616±0.012	224	9.824
JX27	闪锌矿	18.586±0.114	15.709±0.129	38.821±0.163	255	10.115
JX25H-8	闪锌矿	18.458±0.143	15.679±0.145	38.765±0.144	288	10.014
JX93	黄铁矿	18.444±0.024	15.658±0.025	38.693±0.026	256	9.924
JX304	黄铁矿	18.456±0.008	15.662±0.011	38.714±0.011	255	9.938
JB453-1①	砂岩	18.549	15.693	38.809	250	10.054
PbNo1②	石英砂岩	18.563	15.705	38.889	263	10.102

注: 样品由中国科学院固体同位素实验室 MAT262 上测试, 测量误差 SE 为 2%; 数据处理由中国地质科院矿产资源研究所韩发和李振清等(2005)开发的 Pb 应用软件包进行; ①数据引自赵兴元(1990); ②引自覃功炯等(1991)。

胡瑞忠等(1998)根据在英国 Manchester 大学实验室测定的金顶超大型铅锌矿黄铁矿流体包裹体$^{3}He/^{4}He$和$^{40}Ar/^{36}Ar$同位素数据, 指出该矿的成矿流体为饱和空气的表生水。使用类似的测试对象, 薛春纪等(2003)和王彦斌等(2004)则根据在国内实验室的测试数据, 得出幔源流体参与的结论, 以及两种不同流体混合成矿的认识(Xue C J et al., 2006)。引起测试数据和认识上差异的原因是非常复杂的, 它与测试方法、仪器精度和操作误差, 以及测试矿物的种类和取样位置密切相关, 显然进一步的讨论徒劳无益。

根据前述金顶超大型铅锌矿产出特殊的地质背景, 以及推定的成矿作用发生的时间与区域性碱性岩侵位热事件基本对应, 结合同位素示踪和流体资料综合研究, 笔者认为幔源物质参与的可能性是存在的, 部分富含 CO_2 流体包裹体的存在可能是一个佐证, 但是它的贡献更多的是一种热流的驱动, 大部分成矿物质和成矿流体仍来自盆地及其下覆的上三叠统火山+碳酸盐岩组合。

5.3　稠油、沥青的存在及其意义

金顶超大型铅锌矿床内含有油气已经引起较广泛关注(胡明安, 1989; 常象春等, 2003; 郭海花等, 2003; 张金亮等, 2003; 常象春, 2004), 其形式分布主要有两种: ①产于含矿灰岩角砾岩中, 以溶孔、溶洞、裂缝和缝合线形式分布的稠油和沥青(常象春等, 2003; 张金亮等, 2003); ②分布于方解石、闪锌矿和石英再生长大边内丰富的油气包裹体(张金亮等, 2003)。综合区域研究资料, 可以得出结论: 上三叠统三合洞组灰岩既是生油岩(常象春, 2004), 同时在金顶矿区它又是储油岩。区域三合洞组灰岩和金顶铅锌矿床烃类地球化学研究均表明, 油气母源类型以藻类及细菌微生物等贡献为主, 沉积水体介质为高盐度, 较强还原环境(郭海花等 2003; 张金亮等, 2003; 常象春等, 2004)。应该说上述研究成果为解释成矿物质来自于上三叠统岩石组合奠定了很好的基础。

与矿床成因密切相关的有机物质在成矿过程中的作用不言而喻。首先是早期的吸附作用使铅和锌等金属元素在三合洞组灰岩沉积时得以相对富集形成矿源层或矿床; 其次是有机质的存在可以增加已经固化在三合洞组灰岩中铅锌等金属的溶解度, 使其更易进入流体; 再有是通过有机物的络合作用, 可有效促进并提高含铅锌等金属流体的迁移能力; 最后是还原作用不仅可以使组成盐丘的石膏、天青石等硫酸盐中的SO_4^{2-}还原成 H_2S, 同时有机质伴随温度的提高分解出的 H_2S 有利于硫化物的沉淀。

6　矿床成因讨论

至此, 可以总结归纳金顶超大型铅锌矿床的形成过程是:

(1)晚三叠世兰坪盆地开始了陆内裂谷的发育过程, 早期以反映碰撞后伸展的崔依比和歪古村组火山+沉积建造为特征; 中期沉积了三合洞组受热水沉积影响的富含有机质和多金属的含硅质岩-膏盐

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

碳酸盐建造; 晚期进入封闭海湾环境, 形成在挖鲁八组黑色、灰黑色粉砂质页岩, 麦初箐组海陆交互沉积组合结束了裂谷发育的过程(朱创业等, 1997; 陶晓风等, 2002)。兰坪盆地晚三叠世裂谷的发育过程形成了区域性多金属富集的矿源层或矿胚, 并为区域丰富的成矿物质来源奠定了良好的基础。

(2) 中始新世至晚始新世, 印度板块与扬子板块的碰撞一改过去隆升走滑造山的特点, 区域性挤压作用使地壳大规模缩短, 主要表现为褶皱和逆冲推覆作用的发生。大规模的逆冲推覆作用使分布于盆地两侧的上三叠统三合洞组白云质灰岩、麦初箐组粉砂质泥岩、中侏罗花开左组泥质砂岩和三合洞组沥青质灰岩形成构造岩片, 并无序地堆叠在古新世云龙组红色建造之上, 形成区域内和金顶矿区的非原地构造-地层系统或外来系统。

(3) 逆冲推覆作用使三合洞组沥青质灰岩碎裂化和角砾岩化, 同时由于处于岩片下部的膏岩密度远远小于上覆各岩片碎屑岩的密度, 密度倒置导致膏盐底辟形成盐丘, 并诱发形成金顶矿区的穹窿构造。

(4) 晚始新世兰坪思茅地区地壳挤压缩短造山达到峰期, 稍后的渐新世开始进入松弛的调整阶段, 原来处于挤压状态的中轴构造转变为伸展构造, 同时伴随有东西向张性断裂系统产生。与此同时, 幔源岩浆沿着两组伸展构造交汇部位上涌形成碱性岩浆侵位, 岩浆活动及其热源加热并驱动被封闭在盆地深部上三叠统地层中的油气和富含金属的卤水及流砂, 沿着构造推覆-膏溶角砾岩等高空隙通道上升, 形成油气-热卤水-流砂的混合体迁移至不透水的具有隔挡层作用的盐丘底部。

(5) 油气-热卤水-流砂的混合体的持续聚集, 使盐丘底部压力不断增大, 同时伴随着部分天水的下渗, 二者共同作用使盐丘被部分溶解破坏, 油气-热卤水-流砂的混合体底辟或侵位形成上部含矿砂囊, 通道形成具有侵位特点的火焰状含矿角砾岩, 油气等有机物的分解和对硫酸盐的还原作用, 提供了大量 H_2S, 流体的排泄与硫化物的淀积分别形成上部上砂岩型矿体和下部角砾岩型矿体。

可简单的归纳成: 构造推覆-盐丘穹窿-区域伸展-油气聚集-流砂底辟-流体排泄-金属沉淀

与世界上重要的密西西比河谷型(MVT 型) 铅锌矿床比较, 金顶超大型铅锌矿床的铅锌等金属成矿物质同样来源于裂谷盆地或造山带前陆盆地, 成矿流体为热卤水, 但是其成矿不象 MVT 铅锌矿那样, 是在陆陆碰撞体制下成矿流体大规模、长距离水平迁移并沉积在稳定碳酸盐台地、并具有层控特点的产物(Garven, 1985, 1993, 1995; Leach and Rowan, 1986; Oliver, 1992), 而是造山带内早期被封存在裂谷盆地或造山带前陆盆地内深部的含矿流体在地幔热流的驱动下, 在造山作用挤压向伸展构造体制转换过程中沿着两组伸展构造垂向上升, 在盐丘构成的封闭构造或穹窿构造内淀积的结果。

金顶超大型铅锌矿床也不同于喷流-沉积型(Sedex 型) 铅锌矿床。Sedex 型矿床主要形成于陆内裂谷-裂陷环境, 矿体呈层状和透镜状赋存于碎屑岩建造中, 是盆地流体对流循环同生喷流-沉积作用的产物(Large, 1988; Sangster, 1990; Leach D L et al., 2005)。金顶超大型铅锌矿床则形成在造山带背景下, 是造山作用峰期稍后形成的后生矿床, 矿体围岩是不同时代构造岩片的堆叠, 不具有层控特点。同时, 金顶超大型铅锌矿床以不具备海相石英砂岩含矿建造以及铅锌矿石低的 Pb/Zn 比值(Bjorlykke and Sangster, 1981) 有别于砂岩型(SST) 铅锌矿床。

综上所述, 金顶超大型铅锌矿床是新生代陆陆碰撞造山背景下, 在晚始新世至渐新世, 大约 33~28Ma 区域挤压推覆转变为区域拉张伸展发生构造环境转换时期, 幔源岩浆和热流驱动盆山转换前被封闭在裂谷或前陆盆地深部富含油气、膏盐和金属的热卤水, 沿着造山带两组伸展构造交汇部位上升, 在构造圈闭环境下通过角砾岩侵位-流砂底辟-流体排泄-金属淀积的产物。

兰坪金顶超大型铅锌矿床是世界上目前发现的完全不同于 MVT、SST 和 Sedex 型的新型铅锌矿床, 它的特点是陆陆碰撞造山, 构造环境转换, 盆地流体垂向上升在圈闭构造淀积成矿。笔者以其典型矿床"金顶"命名为 JDT(型) 铅锌矿。

致谢: 野外工作得到了陈毓川院士的悉心指导, 完稿后承蒙陈毓川、翟裕生院士提出宝贵意见和建议, 在此一并致谢。

注 释

❶ 云南地质矿产局. 1979. 1∶ 20 万永平幅区域地质调查报告.

❷ 云南省地质矿产局. 1974. 1∶ 20 万兰坪幅区域地质调查报告.

❸ 云南省地质矿产局. 1990. 1∶ 5 万兰坪幅、马登街幅区域地质调查报告.

❹ 云南地质矿产局. 1984. 云南省兰坪县金顶铅锌矿详细勘探地质报告.

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. 矿床地质, 4(1): 1~9.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

常象春, 郭海花, 张金亮. 2004. 兰坪坳陷油气组群特征及其成因. 西北地质, 37(1): 69~ 74.

常象春, 郭海花. 2004. 兰坪坳陷三叠系源岩地球化学特征. 海洋石油, (24)3: 21~ 24.

常象春, 张金亮. 2003. 金顶铅锌矿区中原油地化特征及意义. 特种油气藏, (10)5: 15~ 19.

丁林等, 岳雅慧, 蔡福龙, 徐晓霞, 张清海, 来庆州. 2006. 西藏拉萨地块高镁超钾质火山岩及对南北向裂谷形成时间和切割深度的制约. 地质学报, 80: 1252~ 1261.

范承钧, 张翼飞. 1993. 云南西部地质构造格局. 云南地质, 12(2): 101~ 110.

高广立. 1989a. 论金顶铅锌矿床的地质问题. 地球科学. 14(5): 468~ 475.

高广立. 1989b. 我国的特提斯聚盐带及有关矿产. 地球科学, 14(5): 54~ 551.

高广立. 1991. 金顶铅锌矿区硬石膏矿的形成时代及其所涉及的问题. 云南地质, 10(2): 191~ 205.

高怀忠. 1989. 关于金顶铅锌矿床地层沉积相问题的几点见解. 地球科学, 14(5): 457~ 464.

高兰, 王安建, 刘俊来, 修群业, 曹殿华, 翟云峰. 2005. 滇西北兰坪金顶床矿超大型矿床研究新进展: 侵位角砾岩的发现及其地质意义. 矿床地质, 24(4): 457~ 461.

高兰, 王安建, 刘俊来, 曹殿华, 修群业, 范世家. 2008. 滇西北兰坪地区金顶超大型矿床架崖山+北厂矿段岩石地层学特征. 地质通报, 27(6): 855~ 865.

葛良胜, 杨嘉禾, 郭晓东, 邹依林, 陈树新, 张晓辉. 1999. 滇西地区(近)东西向隐伏构造带的存在及证据. 云南地质, 18: (2): 155~ 167.

管烨, 王安建, 曹殿华, 秦德厚. 2004. 云南三江造山带近东西向构造特征及其研究意义. 地质学报, 78(4): 494~ 498.

管烨, 王安建, 李朋武, 曹殿华, 刘俊来. 2006. 云南兰坪—思茅盆地中轴构造带的特征及其研究意义. 中国地质, 33(4): 832~ 841.

郭海花, 常象春, 张金亮. 2003. 兰坪坳陷上三叠统原油地球化学及有机成矿意义. 长安大学学报(地球科学版), 25(4): 1~ 5.

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. 地球科学, 14(5): 503~ 512.

胡瑞忠, 钟宏, 叶造军, 毕献武. 1998. 金顶超大型铅锌矿床氦、氩同位素地球化学. 中国科学(D辑), 28(3): 208~ 213.

李雷, 马远. 1994. 滇西金矿初步研究. 有色金属矿产与勘察, 3(6): 328~ 334.

李文昌, 莫宣学. 2001. 西南"三江"地区新生代构造及其成矿作用. 云南地质, 20(4): 333~ 346.

李小明, 谭凯旋, 龚革联, 龚文君. 2000. 裂变径迹法对兰坪盆地构造热演化与成矿作用的初步研究. 矿物岩石, 20(2): 40~ 42.

李佑国, 王国芝, 刘登忠, 朱利东, 陶晓风. 2002. 滇西兰坪盆地的形成及演化. 成都理工大学学报(自然科学版), 29(5): 521~ 525.

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. 北京: 地质出版社, 149~ 239.

牟传龙, 余谦. 2004. 金顶铅锌矿床相关地质问题及成因探讨. 矿物岩石, 24(1): 48~ 51.

施加辛, 易凤煌, 文启錞. 1983. 兰坪金顶铅锌矿床的岩矿特征及成因. 云南地质, 2(3): 179~ 185.

覃功炯, 彭斯震. 1994. 兰坪金顶地区推覆—滑动构造及其平衡剖面. 现代地质, 8(2): 177~ 194.

覃功炯, 朱上庆. 1991. 金顶铅锌矿床成因模式及找矿预测. 云南地质, 10(2): 145~ 190.

王安建, 高兰, 刘俊来, 曹殿华, 修群业, 范世家. 2007. 论兰坪金顶超大型铅锌矿容矿角砾岩的成因, 地质学报. 81(7): 891~ 897.

王国芝, 胡瑞忠, 王成善, 曾允孚. 2001. 云南金顶超大型铅锌矿床的成矿地质背景. 矿物学报, 21(4): 571~ 577.

王江海, 颜文, 常向阳等. 1998. 陆相热水沉积作用. 北京: 地质出版社, 132.

王江海, 尹安, Harrison T M, Grove M, 周江羽, 张玉泉, 解广轰. 2002. 青藏东缘新生代两类高钾岩浆活动的热年代学研究. 中国科学(D), 32(7): 529~ 537.

王京彬, 李朝阳, 陈晓钟. 1990. 金顶超大型铅锌矿喷流沉积证据及成矿物质来源. 矿床地质与地球化学研究新进展, 兰州大学出版社: 120~ 122.

王彦斌, 曾普胜, 李延河, 田世洪. 2004. 云南金顶和白秧坪矿床He、Ar同位素组成及其意义. 矿物岩石, 24(4): 76~ 80.

王二七, B. C. Burchfiel, 季建清. 2001. 东喜马拉雅构造结新生代地壳缩短量的估算及其地质依据. 中国科学(D辑), 31(1): 1~ 9

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. 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. 地球科学, 14(5): 476~ 485.

修群业, 王安建, 高兰, 刘俊来, 于春林, 曹殿华, 范世家, 翟云峰. 2006. 金顶超大型矿床容矿围岩时代探讨及地质意义. 地质调查与研究, (4): 56~ 64.

修群业. 2007. 云南金顶矿床物源特征及成矿年代探讨(博士论文). 北京: 中国地质科学院.

薛春纪, 陈毓川, 王登红, 杨建民, 杨伟光, 曾荣. 2003. 滇西北金顶和白秧坪矿床: 地质和He, Ne, Xe同位素组成及成矿时代. 中国科学(D), 33(4): 315~ 322.

薛春纪, 陈毓川. 2002. 滇西兰坪盆地构造体制和成矿背景分析. 矿床地质, 21(1): 36~ 44.

燕守勋, 李朝阳, 周朝宪, 杨诲, 陈式房. 1994. 金顶铅锌矿床穹窿构造成因及其相关问题探讨. 矿床地质, 13(2): 148~ 154.

杨友华, 赵准. 1991. 试论金顶超大型铅锌矿床的形成条件. 云南地质, 10(2): 230~ 240.

叶庆同, 胡云中, 杨岳清. 1992. 三江地区区域地球化学背景和金银铅锌成矿作用. 北京: 地质出版社, 217~ 246.

张金亮, 常象春. 2003. 金顶铅锌矿床油气地球化学特征及其成矿作用探讨. 青岛海洋大学学报, 33(2): 264~ 274.

张乾, 邵树勋, 刘家军, 刘志浩. 2002. 兰坪盆地大型矿集区多金属矿床的铅同位素组成及铅的来源. 矿物学报, 22(2): 147~ 154.

张乾. 1991. 云南金顶铅锌矿床成因研究. 地质找矿论丛, 6(2): 47~ 58.

张乾. 1993. 云南金顶超大型矿床的铅同位素组成及铅的来源探讨. 地质与勘探, 29(5): 21~ 28.

张泰身, 和浪涛. 2000. 兰坪—思茅盆地"中轴断裂"及其对金矿区域成矿的控制. 大地构造与成矿学, 24(增刊): 63~ 66.

张中杰, 白志明, 王椿镛, 滕吉文, 吕庆田, 李继亮, 刘一峰, 刘振宽. 2005. 三江地区地壳结构及动力学意义: 云南遮放-宾川地震反射/折射剖面的启示. 中国科学(D辑), 35(4): 314~ 319。

赵大康. 2004. 云龙白洋厂银多金属矿区帚状构造带及其控矿作用. 云南地质, 23(3): 370~ 377.

赵兴元. 1989. 云南金顶铅锌矿床稳定同位素地球化学研究. 地球科学, 14(5): 495~ 502.

赵兴元. 1990. 兰坪金顶铅锌矿床铅源探讨, 云南地质. 9(1): 25~ 35.

钟大赉, 丁林, 刘福田, 刘建华, 张进江, 季建清, 陈辉. 2001. 造山带岩石层多向层架构造及其对新生代岩浆活动制约—以三江及

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

邻区为例. 中国科学(D辑), 30(增刊): 1~ 8.
周维全, 周全立. 1992. 兰坪铅锌矿床铅和硫同位素组成研究. 地球化学, 20(2): 141~ 148.
朱创业, 夏文杰, 伊海生, 蔚远江. 1997. 兰坪—思茅中生代盆地性质及构造演化. 成都理工学院学报, 24(4): 23~ 30.
朱上庆, 覃功炯, 温春齐, 陈式房. 2000. 金顶超大型陆相碎屑岩铅锌矿床. 涂光炽等著中国超大型矿床(I), 65~ 90.
Bjorlykke A, Sangster D F. 1981. An overview of sandstone lead deposits and their relation to red-bed copper and carbonated hosted lead-zinc deposits. Eco Geol, 76: 179~ 213.
Chi G X, Qing H R, Xue C J, Zeng R. 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. Journal of Geochemical Exploration, 89: 57~ 60.
Garven G. 1985. The role of regional fluid flow in the genesis of the Pine Point Deposit, Western Canada sedimentary basin. Economic Geology, 80: 307~ 324.
Garven G, Ge S, Person M A. 1993. Genesis of stratabound ore deposits in the mid continental basins of North America. I. The role of regional ground-water flow. American Journal of Science, 293: 497~ 568.
Garven G. 1995. Continental-scale ground-water and geological process. Annual Review of Earth and Planet Science, 23: 89~ 117.
Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G, et al. 2004. A new geologic time scale with special reference to Precambrian and Neogene. Episodes, 27(2): 83~ 100.
Oliver J. 1992. The spots and strains of plate tectonics. Earth Sci Rev, 32: 77~ 106.
Kylet J R, Li N, Jackson K G. 2002. Jinding: A giant Tertiary sandstone-hosted Zn-Pb deposit, Yunnan, China. Society of Economic Geologists, (50): 9~ 16.
Large D. 1988. The evaluation of sedimentary basins for massive sulfide mineralization, in Friedrich, G., and Herzig, P., eds., Base metal sulfide deposits: berlin, Springer Verlag, 1~ 11.
Leach D L and Rowan E L. 1986. Genetic link between Ouachita fold belt tectonism and the Mississippi Valley-type deposits of the Ozarks. Geology, 14: 931~ 935.
Leach D L, Sangster D F, Kelley K D, Large R R, Garven G, Allen C R, Gutzmer J, Waiters S. 2005. Sediment-hosted lead-zinc deposits: A global perspective. Econ. Geol., 100th Anniversary Volume: 561~ 607.
Sangster D F. 1990. . Mississippi Valley-type and Sedax lead-zinc deposits-a comparative examination. Institution of Mining and Metallurgy Transactions, Section B, Applied Earth Sciences, 99: 21~ 42.
Tapponnier P, Mercier J L, Armijo R. 1986. On the mechanics of the collision between India and Asia. In: Coward M P, Ries A C, eds. Collision Tectonics. London: Geological Society of London Special Publication, 19: 115~ 157.
Tapponnier P, Molnar P, Armijo R. 1982. Propagation extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine. Geology, 10: 611~ 616.
Xue C J, Chi G X, Chen Y C, Wang D H, Qing H R. 2006. Two fluid systems in the Lanping basin, Yunnan, China-Their interaction and implications for mineralization. Journal of Geochemical Exploration. 89: 436~ 439.
Yin A, Harrison T M, Ryerson F J, Chen W, Kidd W S F, Copeland P. 1994. Tertiary structural evolution of the Gangdese thrust system, southeastern Tibet. J. Geophys. Res. 99: 18175~ 18201.
Yin A, Kong X. 1997. Spacing of N-S rifts in Tibet implies lithospheric ectension. Eos 78, F173.

A Probe Into the Genesis of Jinding Super-large Lead-Zinc Ore Deposit

WANG Anjian[1)], CAO Dianhua[1)], GAO Lan[1)], WANG Gaoshang[1)],
GUAN Ye[2)], XIU Qunye[1,3)], LIU Junlai[4)]

1) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037; 2) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037; 3) *Beijing Research Institue of Uranium Geology, Beijing*, 100029; 4) *China University of Geosciences, Beijing*, 100083

Abstract

The paper prefers to a new genesis model of the Jinding super-large lead-zinc ore deposit, which involved various factors, such as tectonic setting, metallogenic system, genesis of the host rock, metallogenetic epoch and source of ore-forming matter. The deposit was formed during the process of continental collision at Cenozoic. During transtition period from compressed nappe to regional extension in late Eocene to Oligocene (at about 33Ma), fluids with abundant oil gas, salt and metals, sealed in rift or forelandbasin were drived by mantle magma and hot fluid before transition of basin and orogene; arose along the intersection of two groups of extensional structures in the orogence belt; deposited in the structure trap by emplacement of braccia, flowing sand diaper and fluid excretion.

Key words: Jinding; super-large lead-zinc ore deposit; extensional structure; riftbasin fluids; breccia intrusion; diapir

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net