亚洲最大铅锌矿——三阶段叠加成矿的金顶巨型铅锌矿床

曾普胜[1,2*]，李红[3]，李延河[4]，王兆全[1,2]，温利刚[1,2]

1-国家地质实验测试中心，北京，100037；2-中国地质大学，北京，100083；3-中国冶金地质总局矿产资源研究院，北京，100025；4-中国地质科学院矿产资源研究所，北京，100037

摘要 云南兰坪金顶铅锌矿,作为亚洲最大的铅锌矿床,是三阶段成矿作用叠加的产物：第一阶段，是位于 T_1 双峰式火山岩组合之上的三叠纪三合洞组时期（T_3s）碳酸盐岩中的海相热水沉积型（M-SEDEX-type）闪锌矿-方铅矿±天青石±菱铁矿矿床组合，分布于兰坪盆地西侧。第二阶段，晚白垩世-古新世陆相湖盆中的热水沉积型（C-SEDEX type）矿床，是晚白垩世至古新世时期（~110Ma，~65Ma），挤压形成的高山应力转向伸展而形成的深的断陷湖盆（“高山深盆”）中，沿同生断裂（沘江断裂）喷流形成块状硫化物堆积于陆相红色砂岩盆地中形成的矿床，湖盆中靠沘江断裂一侧，大小不等灰岩角砾堆积于山麓，向西砾径逐渐变小，数量减少，直至湖盆西侧灰岩角砾消失变为正常湖相红色砂岩沉积；并且湖盆中的硫化物沉积出现温度控制的分带现象，北东侧架崖山、北厂一带以细粒闪锌矿为主，南西侧南厂、白草坪一带以细粒方铅矿为主。第三阶段，新近纪时期中-低温热液成矿作用。受到青藏高原东端逃逸挤压，兰坪盆地东侧中生代地层大规模向西逆冲推覆，甚至推覆体该在金顶湖盆上形成穹隆，将先前形成的金顶陆相湖盆中的铅锌矿封盖起来；同时，将三合洞组灰岩中 M-SEDEX 型层控铅锌矿±天青石矿层倒转推挤之穹隆北东侧的跑马坪一带；在中-上新世时期出现挤压后的伸展转换，伴随伸展盆地的形成和深部热液的上涌（在东侧维西-通甸断裂内甚至拉出大量的粗面质火山岩+碱性玄武质火山岩），再次沿沘江断裂上升的深部热液沿次级断裂、裂隙输送至矿质丰富的穹隆内，含矿热卤水使众多的灰岩角砾遭受氧化卤水交代，在角砾边部形成石膏-硫化物壳层，同时，铅锌组分活化迁移至逆冲推覆岩片中高孔隙度的景星组（K_1j）砂岩中大量聚集，形成浅成低温热液型（Epithermal-type）的砂岩容矿的铅锌矿。其结果，导致金顶穹隆有限的空间内，形成“三世同堂”的奇异景观，但各个世代的铅锌矿和硫酸盐具有不同的硫同位素特征，三合洞组时期的 M-SEDEX 型铅锌-天青石矿，$\delta^{34}S$ 值在+7.9‰~+21.12‰，显示出硫主要来自于海水硫酸盐的特征；晚白垩世-古新世时期的 C-SEDEX 型含灰岩角砾的细粒铅锌矿的$\delta^{34}S$ 值在-54.9‰~ -1.0‰，显示出很大的变化范围，主要为负值，生物作用参与的特征明显；新近纪砂岩容矿的铅锌矿$\delta^{34}S$ 值在-2.2‰~+3.5‰，显示出深源硫为主的特征。这正是亚洲最大铅锌矿床形成的秘籍所在——特殊构造演化下的多期叠加成矿作用使矿质在有限空间内聚集。

关键词 金顶铅锌矿，海相热水沉积，陆相热水沉积，构造伸展，中-低温热液，叠加成矿

概述

作为亚洲最大的铅锌矿床，金顶铅锌矿 1957 年由云南省地质局区测队经过重砂测量发现，1965 年开始由云南省地质局第三地质大队开展详查、勘探，先后于 1984 年、1989 年提交了详查、勘探报告，累计控制储量 Pb＋Zn 为 1500 万 t，Pb1.2％，Zn6.08％，Pb: Zn 为 1:4.7。经覃功炯等(1991，1994)预测，矿床深部尚有 100 万 t 的潜在 Pb、Zn 金属量，顶部有近 600 万 t 的 Pb、Zn 金属被剥蚀。因此，实际上在成矿过程中，金顶铅锌矿床的总金属量要大于 2200 万 t。其特点和成因一直引起地球科学家的关注，一些学者作了长期而系统的研究（白嘉芬等，1985；吴淦国等，1989；施加辛等，1989；高广立，1989；覃功

*[基金项目] 国土资源大调查项目(121201105000150003、12120113002500)和国家自然科学基金项目(41072073)资助。

**第一作者：曾普胜(1964-),男,研究员,2000 年毕业于中国地质大(北京),获博士学位。长期从事矿床学、岩石学和地球化学研究。Email:zengpusheng@vip.sohu.com。

炯等，1991；朱上庆等，1995,2000 王国芝等，2001；薛春纪等，2002，2007,2010,2011；修业群等，2005；池国祥等，2007，2010；姜凯 等，2014；宁选凤等，2014）。关于成因，有将其归结为古新世至中新世与逆冲推覆构造有关的（王建飞等，2014；王国芝等，2001；付修根等，2004）；有归为陆相热水沉积的（陆相 SEDEX 型）（颜文等，1992；王江海等，1993；覃功炯等，1994；Li et al., 1995a,1995b, 1996;朱上庆等，1995,2000； Zhang et al., 2001；赵准，2007）；也有归为长期演化的多阶段成矿模式的，如了中三叠世至早侏罗世的陆内裂谷盆地、中—晚侏罗世的拗陷盆地、白垩纪的前陆盆地、古新世-中新世的走滑盆地（张峰 等，2010a,2010b；张乾，1991；陈实识等，2012）。成矿过程中，膏盐起到了重要作用（高广立，1991；李彬 等，2012；蔡青 等，2014；胡古月等，2014），甚至有底辟盐丘（蔡青 等，2014；胡古月等，2014）。但对逆冲推覆之后的伸展构造对成矿的贡献则鲜有提及，实际上，由挤压逆冲推覆向走滑伸展转换的构造背景起着重要作用。

1 金顶铅锌矿成矿区域地质背景

金顶超大型铅锌矿床位于特提斯喜马拉雅带的东端的昌都-兰坪-思茅地块内，盆地演化受控于盆地所处的构造背景,经历了早三叠世-中三叠世的弧后裂谷盆地（曾普胜等，2015）、中三叠世至早侏罗世的弧后前陆盆地（李兴振等，1998）、中—晚侏罗世的拗陷盆地、白垩纪的前陆盆地、古新世—中新世的走滑盆地（张峰 等，2010a）等不同性质的盆地演化，对盆地内矿床的形成起着不同的控制作用。昌都-兰坪-思茅盆地内，东、西两侧矿床分带的差异，野外调查还发现，在三叠纪时期，兰坪盆地两侧均产出与拉张环境有关的双峰式火山岩组合（图 1）：

西部，澜沧江断裂（F_2）以西，沿碧罗雪山岩浆弧有中三叠世忙怀组（T_2）的玄武岩（细碧岩）和小定西组（T_2）流纹岩组合。这套岩石组合具有铜-铁矿床的找矿前景，与东川-大红山一带的昆阳群火山岩类似。

东侧，维西-通甸-乔后断裂（F_1）以东，在中生代属于金沙江洋盆向西俯冲，在早三叠世（248~244Ma）（T_1）形成一套以攀天阁组流纹岩和崔依比组玄武岩为特征的双峰式火山岩组合，在德钦鲁春-红坡牛场一带形成黑矿型铅锌多金属矿床（曾普胜等，2015），其上沉积的三合洞组（T_3s）碳酸盐岩层序中含有层控的铅锌矿-天青石-菱铁矿组合构成重要的矿层或矿源层。及澜沧江洋盆的向东俯冲挤压，从而形成的早三叠世持续到中-晚三叠世的双向俯冲形成的弧后盆地（曾普胜等，2015），中晚三叠世则经历洋盆闭合造山逐渐转化为（弧后）前陆盆地（李兴振等，2008；曾普胜等，2015），侏罗-白垩纪时期继续作为陆内造山带经历了陆相碎屑沉积。

至白垩纪晚期，兰坪地块普遍经受了印度大陆的消减俯冲挤压，形成了南美安第斯型的造山带，加厚地壳可伴随地壳重熔型的晚白垩世（80Ma 左右）S 型花岗岩分布于盆地东侧的德钦-白马雪山、白济汛一带，以及盆地西侧的碧罗雪山山顶的鸠门一带（二长花岗岩 K-Ar 年龄为 86.7Ma[(1,2)]）（图 1b）。

至新生代古近纪时期，印度大陆与亚洲大陆的碰撞，青藏高原东端遭受挤压、逃逸-走滑，局部形成拉分盆地，但总体遭受挤压，使兰坪盆地受到金沙江造山带与澜沧江造山带的双向挤压，从而形成对冲推覆构造，在德钦燕门至白济汛一带，对冲推覆构造甚至将盆地完全覆盖，同时将昌都盆地与兰坪盆地分隔开来，东部中生代地层大规模向西逆冲推覆，形成众多的倒转地层或飞来峰（覃功炯等，1991，1994；徐启东等，2003；曾普胜等，2015）（图 1b）。

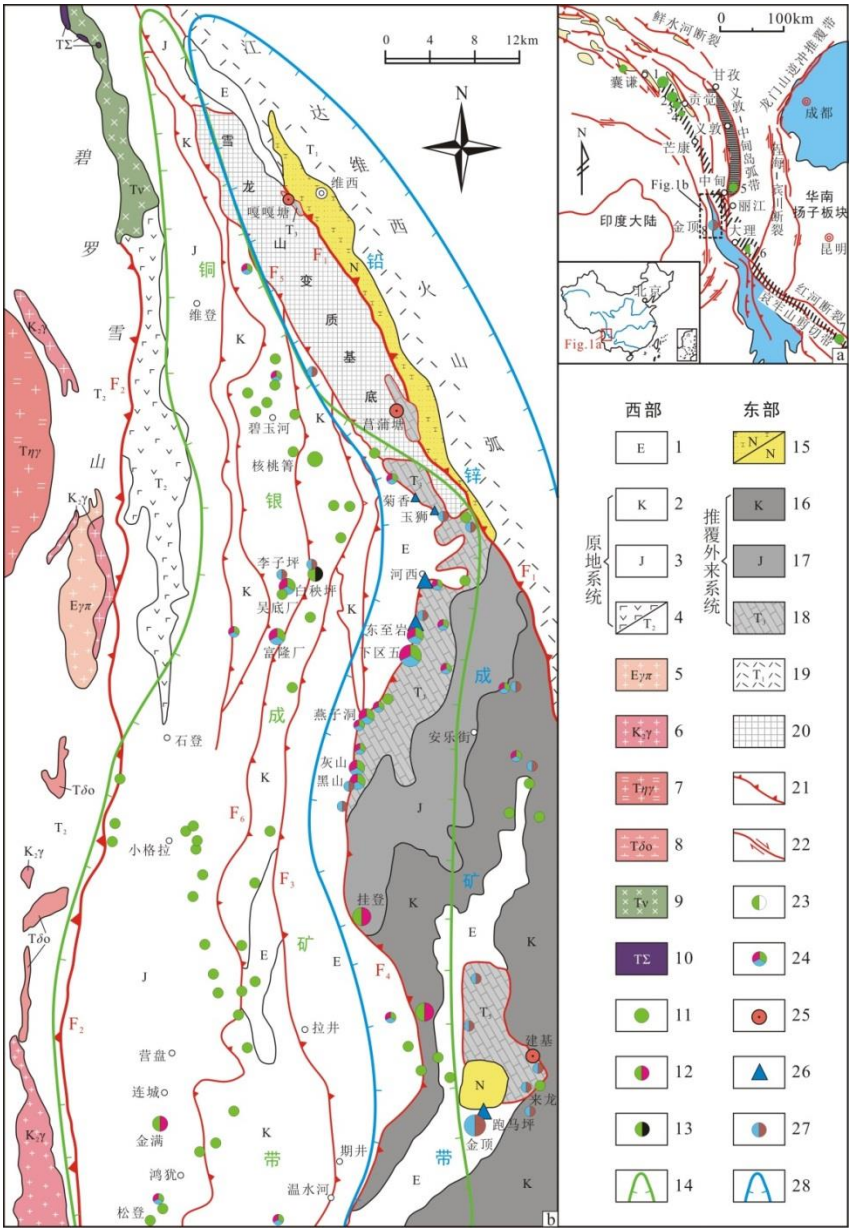


图 1 兰坪盆地在青藏高原东端的位置(a)(据 Wang Jianghai 等，2001 修改)和地质矿产略图(b)

Fig.1Location of the Lanping basin at east Tibetan Plateau (a) (modified after Wang J-H et al., 2001) and geology and mineral resources of the Lanping basin, Yunnan Province, southwest China(b)

西部地区：1-古近系（E）砂砾岩、泥岩；2-白垩系（K）紫红色砂岩、泥岩、粉砂岩；3-侏罗系（J）砂岩、泥岩、粉沙岩，夹灰岩；4-三叠系（T_2）碎屑岩、火山岩；5-古近纪花岗斑岩（Eγπ）；6-晚白垩世花岗岩（$K_2\gamma$）；7-三叠纪二长花岗岩（Tηγ）；8-三叠纪石英闪长岩（Tδo）；9-三叠纪辉长岩（Tv）；10-三叠纪超基性岩（TΣ）；11-铜矿床；12-铜银矿床；13-铜钴矿床；14-西部铜银成矿带范围。东部地区：15-新近系（N）粗面质火山碎屑岩、砂砾岩；16-白垩系（K）紫红色砂岩、泥岩、粉砂岩；17-侏罗系（J）砂岩、泥岩、粉沙岩，夹灰岩；18-三叠系（T_3）灰岩；19-三叠系（T_1）流纹岩+玄武岩；20-元古界（Pt）雪龙山岩群变质基底；21-推覆断层；22-走滑断层；23-铜钼矿床；24-含银铜铅锌矿床；25-菱铁矿床；26-天青石矿床；27-铅锌矿床；28-东部铅锌成矿带范围。图 1a 中的矿床：1-玉龙铜矿床；2-马拉松多铜矿床；3-多霞松多铜矿床；4-马牧普铜矿床；5-普朗铜矿床；6-马厂箐铜钼矿床；7-铜厂铜矿床；8-金顶铅锌矿床。图 1b 中的断层：F_1-维西-通甸断裂；F_2-澜沧江断裂；F_3-中轴断裂；F_4-华昌山断裂；F_5-雪龙山断裂；F_6-白腊-挂登断裂

The Western area：1-Palaeogene (E) glutenite, mudstone; 2-Cretaceous (K) purplish red sandstone, mudstone, siltstone; 3-Jurassic (J) sandstone, mudstone, siltstone with limestone; 4-Triassic (T_2) clasolites plus volcanic rocks; 5-Paleogene granite porphyry (Eγπ); 6-Later Cretaceous granite ($K_2\gamma$); 7-Triassic monzogranite (Tηγ); 8-Triassic quartzdiorite (Tδo); 9-Triassic gabbro (Tv); 10-Triassic ultrabasic rocks (TΣ); 11-copper deposit; 12-copper-silver deposit; 13-copper-cobalt deposit; 14-the western copper-silver metallogenic domain; The Eastern area: 15-Neogene (N) trachytic volcaniclastic rock, glutenite; 16-Cretaceous (K) purplish red sandstone, mudstone, siltstone; 17-Jurassic (J) sandstone, mudstone, siltstone with limestone; 18-Triassic (T_3) limestone; 19-Triassic (T_1) rhyolite plus basalts; 20-Proterozoic (Pt) Xuelongshan rock-group metamorphosed basement; 21-thrust fault; 22-strike-slip fault; 23-copper-molybdenum deposit; 24-copper and silver-bearing lead-zinc deposit; 25-siderite deposit; 26-celestine deposit; 27-lead-zinc deposit; 28-the eastern lead-zinc metallogenic domain. Deposits in Fig.1a: 1-Yulong copper deposit; 2-Malasongduo copper deposit; 3-Duoxiasongduo copper deposit; 4-Mamupu copper deposit; 5-Pulang copper deposit; 6-Machangqing copper-molybdenum deposit; 7-Tongchang copper deposit; 8-Jinding lead-zinc deposit. Faults in Fig.1b: F_1-Weixi-Tongdian fault; F_2-Lancangjiang fault; F_3-Zhongzhou (Central axis) fault; F_4-Huachangshan fault; F_5-Xuelongshan fault; F_6-Baila-Guadeng fault

金顶超大型铅锌（天青石-石膏）矿床产出于金顶凤凰山逆冲推覆体构成的穹隆上。中生代外来地层系统（T_3s、T_3m、J_2h、K_1j）被推覆并倒转覆盖在新生代原地系统云龙组（E_1y）山间盆地的陆相含膏盐红色碎屑岩系之上（图 2），整体构成一个逆冲推覆体下的卤水盆地圈闭系统。其中，逆冲推覆的外来系统和原地系统均可各自构成独立的容矿岩系和成矿类型：

(1)外来系统的海相热水沉积成矿系统：区域上位于三叠系下统的攀天阁组（T_1p）流纹岩与崔依比组（T_1c）细碧岩（水解玄武岩）构成的双峰式火山岩系（曾普胜等，2015）与三叠系上统三合洞（T_3s）灰岩、白云质灰岩的界面附近有 VMS 型或 SEDEX 型块状硫化物矿床产出，以铅锌矿为主，分布于米腰、巴洛、东至岩、飘雪岩、菜子地、来龙、跑马坪等地，可构成独立的铅锌矿床，与黑矿型（Kuruko-type）块状硫化物矿床相当；同时，在同一层位内产出以天青石为主的硫酸盐沉积分布于跑马坪、东至岩、河西、菊香、玉狮厂等地（图 1b），成为兰坪盆地内独特的富锶硫酸盐的含炭质热水沉积岩系，是重要的锶矿资源；在区域上同一层位中，可形成菱铁矿为主的热水沉积岩分布于金顶东部（如建基铁矿），兰坪盆地北部（如菖蒲塘铁矿、嘎嘎塘铁矿、楚格咱铁矿等），区域上与北部的赵卡龙菱铁矿可以对比，楚格咱铁矿、建基铁矿达到中-大型铁矿规模（图 1b）[(3)]。这一套三叠系上统三合洞组（T_3s）地层内产出的层控矿床构成了由块状硫化物（铅锌矿）-天青石-菱铁矿组成的热水沉积矿床系列，由于三合洞组时期（T_3s）为海相环境，为便于区别，不妨称之为“海相热水沉积矿床”或“M-SEDEX 型矿床”。

(2)原地系统的陆相湖盆中碎屑岩容矿的热水沉积岩系：这套山间盆地的湖湘沉积，是逆冲推覆构造产生之前，区域构造背景为挤压构造背景，使陆壳加厚并产生晚白垩世地壳重熔型花岗岩，之后由挤压向伸展转换的陆内伸展时期而形成的山间盆地（前人总结为“高山深盆”，覃功炯等，1994），勘探报告及部分研究者认为沉积的含矿砂岩层序为古新世云龙组（E_1y），沿沘江“同生断裂”形成的陆相湖盆的热水沉积岩系[(3)]（覃功炯等，1991，1994；王江海等，1993；颜文 等，1997），表现为靠近沘江断裂一侧，众多大小不等的灰岩角砾集中分布在沘江断裂一侧，越靠近沘江断裂（如东侧的架崖山矿段），灰岩角砾的砾径可达数十米至上百米（图 2c），而向西逐渐变细，到西侧的峰子山矿段和北厂西部，灰岩角砾逐渐减少，砾径也逐渐变小，直至湖盆西侧灰岩角砾消失变为正常湖相红色砂岩沉积；并且湖盆中的硫化物沉积出现温度控制的分带现象，北东侧架崖山、北厂一带以细粒闪锌矿为主，南西侧南厂、白草坪一带以细粒方铅矿为主。（图 2c）。

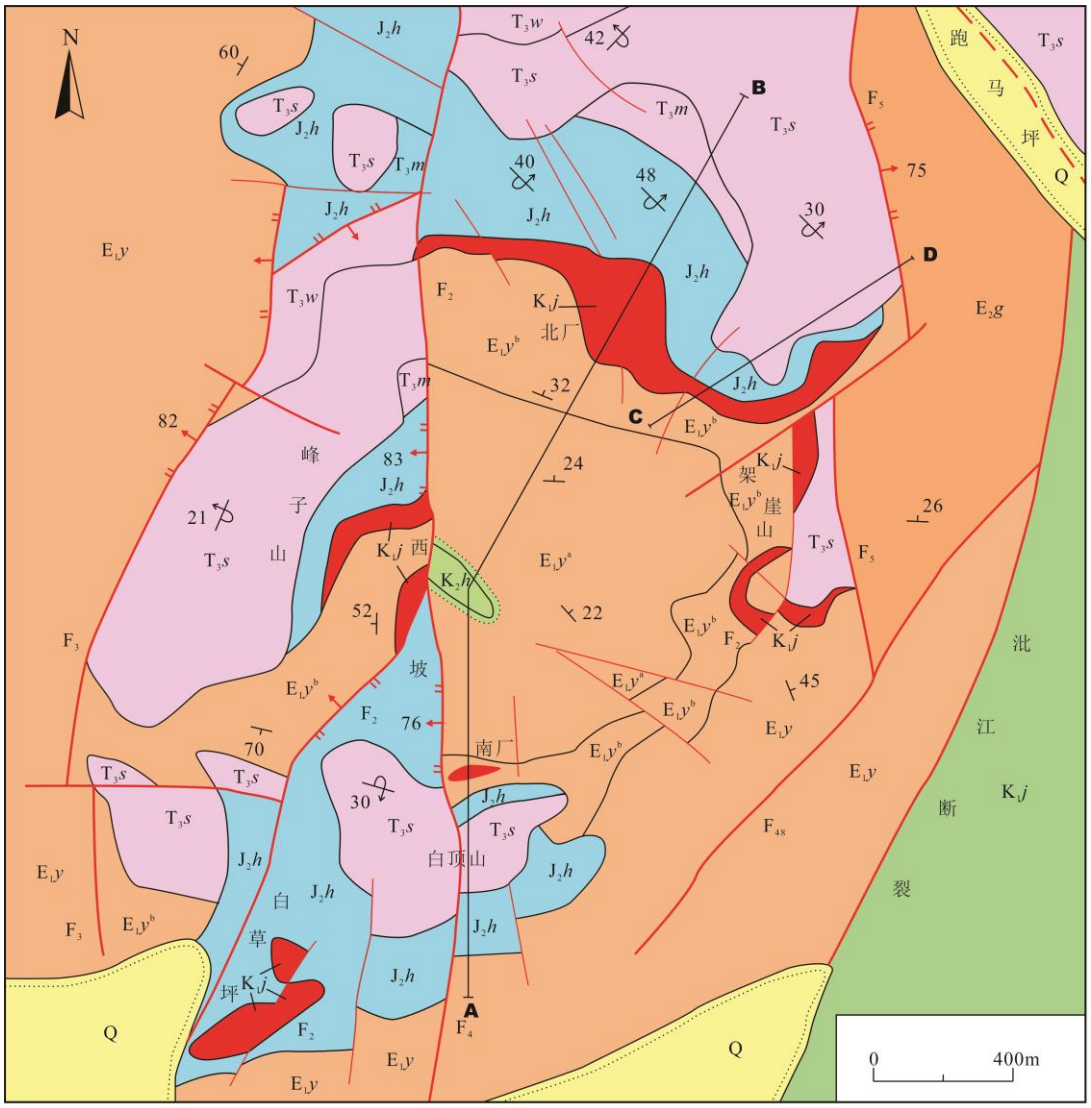
2 不同成矿阶段的成矿记录

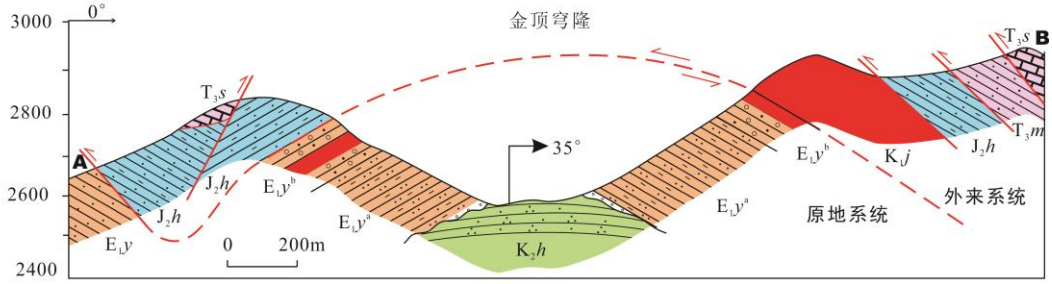
2.1 晚三叠世三合洞组时期的海相热水沉积（O-SEDEX）型记录

经野外调查，金顶跑马坪-东至岩-河西-玉狮厂-菊香一带的广大地区存在着一套与后期逆冲推覆构造和岩浆活动均毫无关系的天青石-方铅矿-闪锌矿（-黄铜矿）-黄铁矿型的层状、似层状产出的 SEDEX 型矿床硫化物矿床赋存于上三叠统三合洞组含炭质-白云质碳酸盐岩、碎屑岩岩系中（图 1b）。它们普遍受逆冲推覆构造影响，推覆到侏罗系-白垩系，甚至古近系地层之上，并且不同程度地发生构造破碎和错位，但基本保持了同生沉积矿床的基本特征：与上下地层整合产出，以 Cu-Zn-Fe 等硫化物（如下区五一带）为中心向两侧渐变过渡为天青石（石膏）矿，玉狮厂矿区可见到典型的胶黄铁矿-方铅矿-天青石的矿物共生组合。矿床的赋存层位中未发现火山岩产出。表明这类矿床为“SEDEX 型”富锶矿床硫化物矿床。

2.2 晚白垩世云龙组时期陆相盆地的 SEDEX 型热水沉积记录

晚白垩世-古新世陆相湖盆中的热水沉积型（Continental-facies SEDEX type，C-SEDEX）矿床，是晚白垩世至古新世时期（~110Ma，~65Ma）（唐永永等，2013；王立成等，2014）挤压形成的高山应力转向伸展而形成的深的断陷湖盆（“高山深盆”）中沿同生断裂中—沘江


N
峰子山
西坡
南厂
北厂
架崖山
白顶山
白草坪
跑马坪
泄江断裂
0
400m


金顶穹隆
外来系统
原地系统
0
200m

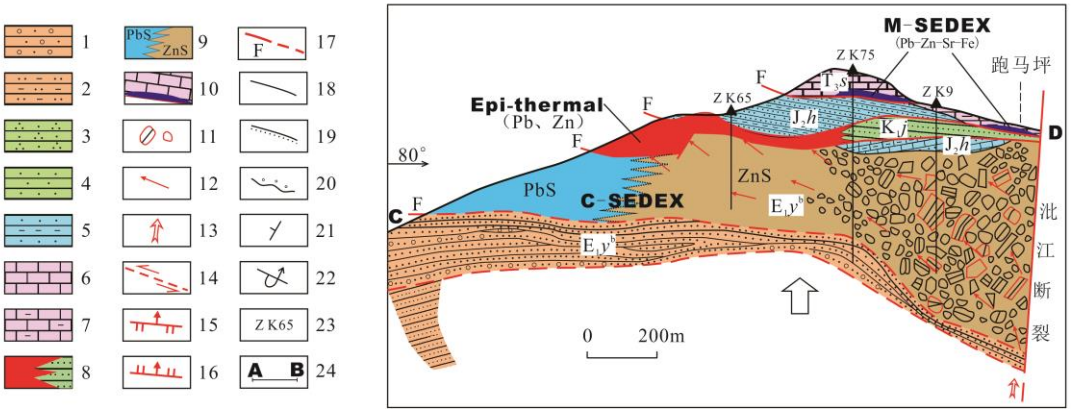

M-SEDEX
(Pb-Zn-Sr-Fe)
跑马坪
Epi-thermal
(Pb、Zn)
PbS
C-SEDEX
ZnS
泄江断裂
0
200m

图 2 金顶铅锌矿床平面图（a）及逆冲推覆的外来系统覆盖于原地系统之上形成构造穹隆（A-B）（b）和云龙组上段(E_1y^b)内角砾岩岩相变化（C-D）（c）(据云南地质三大队 1989 年勘探报告；施加辛等，1983 改编)

Fig .2 Geological map of the Jinding lead-zinc ore district （a）and the dome structure resulting from thrusting nappe of exotic block system overlying the qutochthone(A-B)(b) and lithofacies variation of Paleocene upper Yunlong Formation (E_1y^b) (after the exploration report by No .3 Geological Brigade , Yunnan , 1989; simplified from Shi Jiaxin et al, 1983)

Q —第四系;E_2g —始新统果郎组岩屑石英砂岩; E_1y —古新统云龙组; E_1y^b—云龙组上段角砾岩和砂岩; E_1y^a—云龙组下段粉砂泥岩; K_2h —中白垩统虎头寺组石英砂岩及粉砂岩; K_1j —下白垩统景星组粗砂岩和岩屑石英砂岩; J_2h —中侏罗统花开左组粉砂岩和泥岩; T_3m —上三叠统麦初箐组含膏盐粉砂-细砂岩; T_3w —上三叠统挖鲁扒组泥岩和粉砂岩; T_3s —上三叠统三合洞组灰岩夹白云岩; 1-角砾岩和砂岩；2-粉砂泥岩；3-石英砂岩及粉砂岩；4-粉砂岩和细砂岩；5-粉砂岩和泥岩；6-灰岩；7-泥质灰岩；8-新近纪砂岩容矿中低温热液充填型（Epithermal type）矿床；9-晚白垩世-古近纪时期含石膏化灰岩角砾的陆相湖泊热水沉积型（C-SEDEX）矿床(靠近同生断裂的北东侧为闪锌矿为主的矿层，西南侧为方铅矿为主的矿层)；10-三叠纪三合洞组时期的海相热水沉积型（M-SEDEX）矿床（层控铅锌矿-天青石-菱铁矿矿床组合）；11-新近纪时期被石膏交代的碳酸盐岩角砾；12-新近纪时期成矿流体运移方向；13-沿同生断裂上升的主通道成矿流体运移方向；14-金顶穹隆区的外来系统的逆冲推覆界面；15-逆冲推覆断裂;16-正断层;17-性质不明断层; 18 地层界线; 19-不整合面;20-底砾岩；21-正常岩层产状; 22-倒转岩层产状;23-钻孔编号；24-剖面位置及编号

Q —Quaternary ;E_2g —Debris quartz sandstone of Eocene Guolang Formation ;E_1y —Paleocene Yunlong Formation ;E_1y^b -Upper Member of Yunlong Formation :breccia and sandstone;E_1y^a— Lower Member of Yunlong Formation: siltstone and mudstone ;K_2h —Middle Cretaceous Hutousi Formation : quartz sandstone and siltstone ;K_1j -Lower Cretaceous Jingxing Formation: megagrained sandstone and debris quartz sandstone; J_2h —Middle Jurassic Huakaizuo Formation :silt stone and mudstone; T_3m-Upper Triassic Maichuqing Formation: salt-bearing silt stone and fine sandstone ;T_3w-Upper Triassic Waluba Formation : mudstone and siltstone; T_3s -Upper Triassic Sanhedong Formation : limestone with dolomite ;1- Breccia and sandstone;2-siltstone with mudstone;3- quartz sandstone and siltstone;4-siltstone and finestone; 5-siltstone and mudstone; 6-limestone; 7-mud-limestone; 8-Neogene Epithermal type deposits in sandstone; 9-the late Cretaceous-Paleogene Continental-SEDEX with gypsum metasomatism carbonate breccias(Northeast of the contemporaneous faults is the sphalerite seam, southwest of it is the galena seam); 10-the Triassic Sanhedong Formation Marine-SEDEX deposit(Stratabound lead-zinc mine with celestite and siderite);11-the Neogene gypsum metasomatism carbonate breccias; 12-the Neogene moving direction of ore-forming fluid; 13-the direction of ore-forming moving along with the contemporaneous fault; 14-the thrust nappe interface of the exotics system in Jinding dome zone; 15-the thrusting napped fault; 16-normal fault; 17-Undeterminated fault ;18-geological boundary;19-unconformity surface; 20-basal conglomerate; 21-attitude of normal stratum; 22-attitude of reversed stratum ; 23-the boring number; 24-the section position and serial number

断裂喷流形成块状硫化物堆积于陆相红色砂岩盆地中形成的矿床，湖盆中靠沘江断裂一侧，高山上大小不等灰岩角砾堆积于山麓，向西砾径逐渐变小，数量减少，直至湖盆西侧灰岩角砾消失变为正常湖相红色砂岩沉积（王江海等，1994,1998；覃功炯等，1994），伴有膏岩层沉积（李彬等，2012；胡古月等，2014；潘忠华，1989）；并且湖盆中的硫化物沉积出现温度控制的分带现象，北东侧架崖山、北厂一带以细粒闪锌矿为主，南西侧南厂、白草坪一带以细粒方铅矿为主。着中分布趋势得到流体包裹体研究（曾荣 等，2006）结果的很好映证，与金顶矿区成矿流体均一温度为 54℃~309℃,平均 143℃,流体盐度（w(NaCl)%）为 1.6~18.0,平均 6.0,并且从矿区的东部向西部,由北部向南部温度逐渐降低。

2.3 新近纪双河组时期构造伸展有关的热液成矿记录

为新近纪受到青藏高原东端逃逸挤压，兰坪盆地东侧中生代地层大规模向西逆冲推覆，甚至推覆体该在金顶湖盆上形成穹隆，将先前形成的金顶陆相湖盆中的铅锌矿封盖起来；同时，将三合洞组灰岩中 M-SEDEX 型层控铅锌矿±天青石矿层倒转推挤之穹隆北东侧的跑马坪一带；在中-上新世时期出现挤压后的伸展转换，伴随伸展盆地的形成和深部热液的上涌

（在东侧维西-通甸断裂内甚至拉出大量的粗面质火山岩+碱性玄武质火山岩），本阶段的伸展走滑，使得深部热液沿沘江断裂上升并沿次级断裂、裂隙输送至矿质丰富的金顶（逆冲推覆）构造穹隆内，使封闭的含矿热卤水使众多的灰岩角砾遭受氧化卤水交代，在角砾边部形成石膏-硫化物壳层，同时，铅锌组分活化迁移至逆冲推覆岩片中高孔隙度的景星组（K_1j）砂岩中大量聚集，形成浅成低温热液型（Epithermal-type）的砂岩容矿的铅锌矿，南部白草坪-南厂一带伴有广泛的有机质和焦沥青，构成有机质密切相关的“砂岩型”（SST）铅锌矿（李宁 等，1999），与南部思茅盆地内的江城岩脚铅锌矿（董诗位等，2010）可以对比。新近纪是金顶铅锌矿形成的重要时代,它形成了世界上唯一陆相沉积岩容矿铅锌矿床（胡明安，1989；覃功炯等，1996；薛春纪等,2007，2011；常象春等，2003；付修根等,2004,2005,2006；王新利等，2009a，b）。砂岩灌入体、侵位角砾岩和水力压裂构造,说明矿床可能形成于超压流体的爆发性释放，砂岩灌入体和水力压裂构造中矿石矿物(闪锌矿)胶结物的发育表明,这些构造的形成时代与矿化时代相同，根据砂岩岩墙中碎屑大小计算出来的流体流速可能高达11m/s（池国祥等，2011）。说明成矿过程中，矿质和砂质均在构造空间内快速被流体携带快速地迁移，沉淀于渗透性好的砂体空间内。

其结果，导致金顶穹隆有限的空间内，形成“三世同堂”的奇异景观。

2.4 硫同位素证据

根据野外对金顶矿区及其邻区的调查取样分析的硫同位素结果（表 1）显示，各个世代的铅锌矿和硫酸盐具有不同的硫同位素特征，三合洞组时期的 M-SEDEX 型铅锌-天青石矿，金顶矿区的可与邻区同类型的铅锌矿床和天青石矿床对比，$\delta^{34}S$ 值在+7.9‰~+21.12‰，显示出硫主要来自于海水硫酸盐的特征（Ohmoto et al., 1972,1979；赵兴元，1989；高广立，1991）；晚白垩世-古新世时期的 C-SEDEX 型含灰岩角砾的细粒铅锌矿的$\delta^{34}S$ 值在-54.9‰~-1.0‰，显示出很大的变化范围，生物作用参与的特征明显(吴南平等，2003)；新近纪砂岩容矿的铅锌矿 $\delta^{34}S$ 值在-2.2‰~+3.5‰，显示出深源硫为主的特征（Ohmoto et al., 1972），并且与兰坪盆地西侧的铜银（钴）多金属矿床中的硫同位素对比，似乎表明盆地西侧的成矿流体的硫来源也多数来自于深源。

从整个盆地对比来看，西部盆地内，赋存在侏罗系-白垩系砂岩层序中的铜银（钴）矿床（如小格拉、水里地、金满江东-江西矿段的地表矿、连城等）的硫同位素特征也表现为负值为主，$\delta^{34}S$ 值多在-0.1‰~-16.4‰之间，与金顶第二阶段砂岩层序中的矿层的硫同位素组成相似，也表现出生物活动影响显著的特征；而呈脉状产出的矿体（如北部的李子坪、核桃箐、金满矿床澜沧江西部（江西）-江东深部等地）的矿石硫同位素组成则多在 $\delta^{34}S$ 值-4.6‰~+3.3‰之间，显示出深源硫的特征。沿中轴断裂（华昌山断裂）一线分布的逆冲推覆体推覆至砂岩盆地之上形成叠加形成复杂组合的富铜银钴的铅锌矿床（如）的硫同位素组成 $\delta^{34}S$ 值多在-4.9‰~+6.1‰之间，也显示出以深源硫为主的特征（表 1）。

3 讨论

3.1 兰坪盆地的成矿东早西晚

金顶勘探报告和众多的研究者将金顶赋矿层位的砂岩看作是古新世云龙组时期（E_1y）的（白嘉芬等，1985；吴淦国等，1989；施加辛等，1989；覃功炯等，1991）。但随着矿区和区域同时代地层的年代学研究结果增加，兰坪（思茅）盆地的成矿作用似乎明显的分为东部的晚白垩世和西部的始新世两个不同时期的成矿事件。勐野井地区层序夹层中的火山凝灰岩的锆石 U-Pb 年代学数据为 100 Ma 至 110 Ma（Wang et al., 2015），与金顶矿区黄铁矿的 Re-Os 等时线较早一组年龄 114±13Ma(唐永永等，2013)，略晚于区域上怒江缝合

表 1 兰坪金顶铅锌矿及邻区矿床硫同位素特征

Table 1 Isotopic characteristics of sulfur from the Jinding Pb-Zn ore deposit and neighboring area

成矿时期及环境	载硫矿物	矿田或矿床	采样地点	样号	测定对象	$\delta^{34}S_{VCDT}$(‰)	资料来源
第一阶段：三叠纪三合洞组时期海相热水沉积岩（M-SEDEX）	硫酸盐	金顶	北厂		天青石	12.4	云南地矿局第三地质大队，1984[(5)]
					天青石	11.6	
					天青石	11.9	
					天青石	18.8	
					石膏	14.6	
		金顶外围	东至岩		天青石	16.3	魏君奇,2001
			河西锶矿田	DZY1-3	天青石	16.9	本文
				DZY13-1	天青石	19.1	
				DZY13-3	天青石	19.2	
				DZY13-4	重晶石	19.2	
			达乌山	DWS2-6	石膏	15.7	
				DWS2-7Gy	石膏	17.5	
			中梁子	ZLZ-1	石膏	15.3	
			玉狮厂	YS1-2	天青石	7.3	
				YS1-3Ce	天青石	8.9	
				YS1-4	天青石	16.0	
			菜子地	TY80	重晶石	20.0	
			金山桃	TY81	重晶石	21.1	
第二期：陆相湖泊热水沉积（C-SEDEX）	硫化物	金顶	架崖山	J26	闪锌矿	- 14. 6	郑海峰等,2012
				J27	闪锌矿	- 15. 9	
				J29	黄铁矿	- 15. 3	
				TY27	方铅矿	- 16. 8	
				JZK400-2	黄铁矿	- 16. 8	
				JDJ1-2	闪锌矿	-7.7	本文
				JDJ1-5	方铅矿	-1.0	
				JDJ1-9	胶黄铁矿	-13.6	
			跑马坪	PMP1-2	方铅矿	-17.4	
				PMP1-1	方铅矿	-18.9	
				PMP1-5	胶黄铁矿	-13.8	
		金顶外围	黄竹厂		方铅矿	-21.7	
			新建		辉铜矿	-39.7	
			伞羊厂	SY1-4	黄铁矿	-54.9	
第三期：砂岩中的浅成低温-中温热液型矿床（Epithermal-type）	硫化物	金顶	架崖山	JDJ03-12	方铅矿	3.0	
				JDJ0315	闪锌矿	3.3	
				JDJ0317	闪锌矿	2.0	
		金顶外围来龙		LL3-1	方铅矿	-2.2	
				LL3-1	闪锌矿	-0.8	
				LL3-3	胶黄铁矿	3.5	
坪盆地西侧砂岩中的铜银（钴）矿床	硫化物	核桃箐		HTQ1-2	黄铜矿	4.2	本文
				HTQ1-3Cp	黄铜矿	5.0	
	硫盐			HTQ1-3Tr	黝铜矿	3.5	
	硫化物	李子坪		LZP1-1	方铅矿	3.1	
				LZP1-1	闪锌矿	0.8	
	硫化物	小格拉砂岩矿	铜厂河	TCH1-7	辉铜矿	-13.2	
		水里地砂岩矿		SL1-1	方铅矿	-16.4	
		金满	金满江西III号矿体浅部	JMIII-2	辉铜矿	-7.6	
				JMIII-2	斑铜矿	-7.2	
				JMIII-6	黄铜矿	-4.8	
				JMIII-12	黄铜矿	-7.2	
			连城	LK5-1	黝铜矿	-1.1	
			江西地表砂岩矿	7	黝铜矿	-10.1	
				9	黝铜矿	-10.7	
	硫盐		江西深部脉状矿	江西 1	黝铜矿	-4.6	肖荣阁（1997），李峰（1997）(小数保留 1 位)
				JX-1	黝铜矿	3.3	
				TC4-1	黝铜矿	1.7	
				2	黝铜矿	1.4	
				8	黝铜矿	1.14	
			江东深部脉状矿	江东 1	黝铜矿	-0.1	
				JD-2	黝铜矿	2.0	
逆冲推覆体覆盖于铜银砂岩盆地之上的叠加矿床	硫盐	白秧坪		BYP3-1	黝铜矿	6.1	本文
	硫化物	白秧坪		BYP3-3	辉铜矿	5.5	
		华昌山		HCS1-3	辉铜矿	-2.1	
				HCS1-1	方铅矿	-4.9	
		富隆厂			闪锌矿	5.64	

本文硫同位素由中国地质科学院同位素开放实验室白瑞梅用 MAT251E 质谱计测定，采用国际标准为 VCDT，分析精密度为±0.2‰.

带的关闭时间，似乎预示着，这一时期兰坪-思茅盆地的热液活动可能与区域上的碰撞地壳加厚之后的应力释放的伸展活动有关；金顶矿区还存在相对较晚的一组年龄为 65±10 Ma(唐永永等，2013)至 72.0±4.4Ma(薛春纪等，2003)，与区域上的印度-亚洲大陆的主碰撞事件相近（莫宣学等，2003；周肃 等，2004；董国臣等，2005；董铭淳等，2015），预示着印度-亚洲大陆碰撞事件对兰坪-思茅盆地有显著的扰动并影响其成矿作用。

盆地西部原地系统的成矿时代为始新世：本次工作用 K/Ar 法对金满铜矿床的容矿围岩绢云母（伊利石）化碎屑岩（原岩为中侏罗统花开左组—J_2h）测定其形成时代，获得的年龄为 47.5±3.0Ma（毕先梅等，2004），与刘家军等（2003）用石英测得的 Ar/Ar 坪年龄 58.05±0.54Ma 相近。

由上可见，兰坪盆地内的拉张裂陷和成矿作用是从东向西迁移的。东部的山间盆地及其成矿作用始于晚白垩世的 110Ma 时期，晚期还有 65Ma 左右的热液活动叠加。而西部的金满为代表的铜银矿带则形成于始新世（47Ma 左右）。

应当指出的是，啦井一带的热泉成矿作用现在还在进行。所以，兰坪盆地的成矿作用不是单次完成的，成矿作用经历了漫长的历史，并有多次叠加的特点。

3.2 有机质参与成矿作用是普遍规律

有机质参与成矿作用是金顶超大型矿床形成的另一个重要原因（胡明安，1989；付修根等，2005，2006；薛春纪等，2007，2010？；池国祥等，2010？；常象春等，2003）。矿区存在 2 类有机质——原生型和迁移型,与矿石共生，其中，原生型有机质的成矿作用主要体现在对成矿金属元素的预富集上,而迁移型有机质的成矿作用主要是对成矿金属元素的活化运移（王新利等，2009）或 3 种（胡明安，1989）：原生型，热液变质型和迁移型。

3.3 叠加成矿作用是大型超大型矿床形成的基本要求

金顶巨型铅锌矿床之所以能形成亚洲最大的铅锌矿床，正是在喜马拉雅成矿带东侧的特殊构造地质背景下，通过强烈的挤压和逆冲推覆，将不同时期拉张背景（弧后拉张、陆内造山伸展、逃逸走滑拉张）下形成的铅锌（-锶-铁）聚集层，即三叠纪三合洞组时期碳酸盐岩中的海相热水沉积型（M-SEDEX）闪锌矿-方铅矿±天青石±菱铁矿矿床组合，晚白垩世-古新世陆相湖盆中的热水沉积型（C-SEDEX）矿床，新近纪青藏高原东端逃逸挤压后应力松弛（在东侧维西-通甸断裂内甚至拉出大量的粗面质火山岩+碱性玄武质火山岩）导入的深源热液上升至浅表（Epithermal-type）进入逆冲倒转岩块中的高孔隙度砂岩（景星砂岩），叠加于早期的三合洞组灰岩层序中 M-SEDEX 型铅锌矿±天青石矿层+晚白垩世-古近纪的 C-SEDEX 型铅锌-膏盐层序之上，导致有限的金顶穹隆空间内，形成“三世同堂”铅锌成矿作用叠加。从区域尺度看，兰坪盆地东侧的富铅锌成矿域逆冲于盆地之上，与西部富铜银的砂岩成矿域叠加，可以形成更为复杂的富铜银钴铅锌“多金属”矿床，如金顶铅锌矿床北部的华昌山断裂（中轴断裂）一线分布众多的“多金属”矿床（黑山、灰山、新厂山、下区五、白秧坪、富隆厂、吴底厂等）（图 1b）。这些复杂金属组合形成的控制因素实质就是两种较为简单的成矿域（铅锌成矿域、铜银钴成矿域）被逆冲推覆在一起，并经后期热液活动“焊接”的结果。

这种情形的实质是将三种不同成矿作用形成的大-中型矿床通过构造放置在一起，并重新“提炼”加工，使低品位矿体的金属进一步富集，才形亚洲少见的巨型铅锌矿床。因此，详细解剖金顶铅锌矿床的成矿细节，不仅有直接的资源价值，而且对特提斯东段多阶段复杂构造历史演化的揭示具有不可替代的地质意义。

4 结论

通过以上研究可以得出以下结论：

（1）金顶铅锌矿,是三阶段成矿作用叠加的产物。第一阶段，是三叠纪三合洞组时期碳酸盐岩层序中的海相热水沉积型（M-SEDEX）闪锌矿-方铅矿±天青石±菱铁矿矿床组合；第二阶段，晚白垩世-古新世陆相湖盆中的热水沉积型（C-SEDEX）矿床,；第三阶段，为新近纪是青藏高原东端逃逸挤压向走滑伸展转换后（在东侧维西-通甸断裂内甚至拉出大量的粗面质火山岩+碱性玄武质火山岩）的深源的浅成低温热液型（Epithermal-type）砂岩容矿铅锌矿。“三世同堂”造就了亚洲最大的铅锌矿床。

（2）叠加矿床的各个世代的硫同位素具有不同的特征。三合洞组时期的 M-SEDEX 型铅锌-天青石矿，$\delta^{34}S$ 值在+10‰~+21‰，显示出硫主要来自于海水硫酸盐的特征；晚白垩世-古新世时期的 C-SEDEX 型含灰岩角砾的细粒铅锌矿的$\delta^{34}S$ 值在-51‰~0‰，显示出很大的变化范围，生物作用参与的特征明显；新近纪砂岩容矿的铅锌矿$\delta^{34}S$ 值在-2‰~+5‰，具塔式分布，显示出深源硫为主的特征。

（3）两种较为简单的成矿域（铅锌成矿域、铜银钴成矿域）叠加在一起，如有后期热液活动改造（“焊接”），可以形成复杂的金属组合。如“铅锌”成矿域+“铜银钴”成矿域形成“铜银钴铅锌”成矿组合。

致谢

野外工作期间的到云南省地调局和中华、杨伟光等多位专家的帮助；多次得到金顶铅锌矿、区吾银矿领导的鼎力支持，在此表示衷心的感谢。

注释

(1)云南省地质局，1:20 万维西幅区域地质调查报告.云南昆明：1984.

(2)云南省地质矿产勘察开发局，1:25 万中甸县幅（G47C001003）贡山县幅（G47C001002）区域地质调查报告. 2003, 云南昆明.共 571 页，第 234 页.

(3) 地质矿产部“三江”专著编辑委员会. 1984. 怒江、澜沧江、金沙江区域矿产志. 云南昆明(内部资料).

(4) 刘周阳. 云南兰坪金顶铅锌矿床的成因(研究报告). 云南昆明：19 75.

(5)云南省地矿局第三地质大队，1989. 云南省兰坪县金顶铅锌矿补充勘探报告. 云南大理.

.

参考文献

Li N and Kyle J. Depositional controls of Tertiary sandstone-hosted Zn-Pb-Sr mineralizaiton at Jinding, Yunnan Province, China. Geological Society of America Annual Meeting Abstracts with program, Geological Society of America Annual Meeting Abstracts with Programs. 1996, 28(7): A-211.

Li N, and Kyle J. Deposition and diagenesis of a Tertiary alluvial fan, the Jinding Zn-Pb-Sr deposit, Yunnan, China. In:R C Blair and J G McPherson(eds). Alluvial fans proceedings and Abstracts, 1995a,58.

Li N, Kyle J and Qin G. Nature and origin of the Jinding Pb-Zn-Sr deposit, Yunnan, China. Proceedings and Abstracts of the International Field Conference on Carbonate-hosted Deposits, Society of Economic Geologists, 1995b, 253-254.

Li Xiaoming, Hu Baoqing. 2001. A preliminary study on the spatial-temporal framework of tectono-fluid and metallogenic process and possible metallogenic model in the Lanping Basin. Geotectonica et Metallogenia, 25(2): 187-193.

Ohmoto H, and Goldhober M B. 1979. Geochemistry of hydrothermal ore deposits. John Willey &Sons Inc., 517-612.

Ohmoto H. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits [J]. Econ Geol, 1972, 67(5):551–578.

Wang J-H, Yin A, Harrison T M (2001) A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone. Earth Planet Sci Lett 88: 123-133

WANG Licheng, LIU Chenglin, FEI Mingming, SHEN Lijian, ZHANG Hua, and ZHAO Yanjun. First SHRIMP U-Pb zircon ages of the potash-bearing Mengyejing Formation, Simao Basin, southwestern Yunnan, China [J]. Cretaceous Research, 2015, 52 (1) :238-250.

Zhang Fang, Geng Wenhui, Wang Ziping. 2001. Study of salt mineral fluid inclusion at salt evaporite deposits in Lanping-Simao Basin. Mineral Resources and Geology, 15(2): 113-115.

白嘉芬,王长怀,纳荣仙. 云南金顶铅锌矿床地质特征及成因初探[J]. 矿床地质,1985,01:1-10.

毕先梅, 莫宣学. 成岩—极低级变质—低级变质作用及有关矿产[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 287－294.

蔡青,刘星,高慧文. 兰坪金顶铅锌矿石膏的研究[J]. 河南科学,2014,12:2553-2556.

曾普胜，尹光候，李文昌，朱俊，余海军，王彦斌，王勇，李红，胡永斌. 金沙江造山带德钦-羊拉矿集区构造-岩浆-成矿系统[M]. 北京：地质出版社，2015，pp229.

曾荣,薛春纪,刘淑文,高永宝,朱和平. 云南金顶铅锌矿床成矿流体与流体的稀土元素研究[J]. 地质与勘探,2007,02:55-61.

常象春,张金亮. 金顶铅锌矿区中原油地化特征及其意义[J]. 特种油气藏,2003,05:15-19+108-109.

陈实识,张成江,李泽琴,胡涛,张遵遵,宋昊. 西藏拉诺玛铅锌矿与云南金顶铅锌矿对比研究[J]. 四川地质学报,2012,04:437-440+463.

池国祥,薛春纪,卿海若,薛伟,张江伟,孙远强. 中国云南金顶铅锌矿碎屑灌入体和水力压裂构造的观察及流体动力学分析[J]. 地学前缘,2011,05:29-42.

董国臣,莫宣学,赵志丹,王亮,周肃. 拉萨北部林周盆地林子宗火山岩层序新议[J]. 地质通报,2005,06:549-557.

董铭淳,赵志丹,朱弟成,刘栋,董国臣,莫宣学,胡兆初,刘勇胜,邹子昊. 西藏林周盆地中酸性脉岩的年代学、地球化学和岩石成因[J]. 岩石学报,2015,05:1268-1284.

董诗位,田宗春,刘相琴. 云南江城岩脚铅锌矿控矿因素[J]. 云南地质,2010,v.29;No.11604:424-428.

付修根,林丽,庞艳春,朱利东,王新利. 金顶铅锌矿床中碳沥青的分布特征及成矿作用[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2005,05:581-586.

付修根,林丽,庞艳春,朱利东,王新利. 云南金顶铅锌矿床中的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),2006,06:621-630.

付修根,庞艳春. 金顶铅锌矿床地质特征及成因探讨[J]. 世界地质,2004,03:238-244.

高广立. 论金顶铅锌矿床的地质问题[J]. 地球科学,1989,05:467-475.

高广立. 金顶铅锌矿区硬石膏矿的形成时代及其所涉及的问题[J]. 云南地质,1991,02:191-206.

胡古月,李延河,曾普胜. 膏盐在金顶铅锌矿成矿中的作用:硫和锶同位素证据[J]. 地质学报,2013,11:1694-1702.

胡明安. 有机质的热液成熟作用在云南金顶铅锌矿床形成过程中的意义[J]. 地球科学,1989,05:503-512.

姜凯,燕永锋,朱传威,张璐. 云南金顶铅锌矿床中铊、镉元素分布规律研究[J]. 矿物岩石地球化学通报,2014,05:753-758.

李彬,薛传东,董帅. 兰坪金顶铅锌矿床膏盐与成矿关系初探[J]. 科学技术与工程,2012,20:4880-4883.

李宁，Kyle J R. (唐绍华译). 1999.中国云南省金顶锌-铅-（锶）矿化的地质控矿—— 一种砂岩容矿锌-铅矿床的新环境. 见：吴良士，李锦平 主编，第 30 届国际地质大会论文集（第 9 集），21 世纪能源矿产和矿产资源、矿床地质、矿产经济学.北京：地质出版社.168-180.

李兴振,杜德勋,王义昭. 盆山转换及其成矿作用——以昌都-思茅盆地和金沙江-哀牢山带为例[J]. 特提斯地质,1998,00:5-20.

刘家军，李志明，刘玉平，李朝阳，张乾，何明勤，杨伟光，杨爱平，桑海清. 2003. 滇西金满脉状铜矿床

成矿年龄讨论. 现代地质，17(1)：34-39.
莫宣学,赵志丹,邓晋福,董国臣,周肃,郭铁鹰,张双全,王亮亮. 印度—亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. 地学前缘,2003,03:135-148.
宁选凤,苏昌学. 兰坪县金顶铅锌矿床地质特征及成因分析[J]. 云南地质,2014,04:526-531.
潘忠华. 金顶铅锌矿区硬石膏岩的特征[J]. 地球科学,1989,05:544-552.
施加辛,易凤煌,文启錞. 兰坪金顶铅锌矿床的岩矿特征及成因[J]. 云南地质,1983,03:179-194+276-280.
覃功炯,彭斯震. 兰坪金顶地区推覆－滑动构造及其平衡剖面[J]. 现代地质,1994,02:177-186.
覃功炯,朱上庆. 金顶铅锌矿床成因模式及找矿预测[J]. 云南地质,1991,02:145-189+205+190.
唐永永,毕献武,武丽艳,和利平,冯彩霞,邹志超. 金顶铅锌矿黄铁矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 矿物学报,2011,S1:641.
唐永永,毕献武,武丽艳,王雷,邹志超,和利平. 金顶铅锌矿黄铁矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 矿物学报,2013a,03:287-294.
唐永永,毕献武,武丽艳,邹志超,和利平. 云南金顶超大型铅锌矿床碳、氧、锶、铅同位素地球化学[J]. 地球化学,2013b,05:467-480.
王国芝,胡瑞忠,王成善,曾允孚. 云南金顶超大型铅锌矿床的成矿地质背景[J]. 矿物学报,2001,04:571-577.
王江海,常向阳. 云南金顶铅锌矿床新的喷流成因机制[J]. 矿物岩石地球化学通讯,1993,04:201-204.
王江海, 颜文, 常向阳. 1998. 陆相热水沉积作用——以云南地区为例[M]. 北京: 地质出版社, 1-132.
王立成,刘成林,费明明,沈立建,张华. 云南兰坪盆地云龙组硫酸盐硫同位素特征及其地质意义[J]. 中国矿业,2014,12:57-65.
王新利,庞艳春,付修根,田晓桦,李宏伟. 云南金顶铅锌矿床的有机成矿作用——来自围岩、矿石中有机质生物标志化合物的证据[J]. 地质通报,2009a,06:758-768.
王新利,杨树生,庞艳春,付修根,李德亮. 云南金顶铅锌矿床成矿物质来源及有机成矿作用[J]. 地球科学与环境学报,2009b,04:376-382.
吴淦国,吴习东. 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,1989,05:477-486.
吴南平, 蒋少涌, 廖启林, 潘家永, 戴宝章. 云南兰坪-思茅盆地脉状铜矿床铅、硫同位素地球化学与成矿物质来源研究[J]. 岩石学报, 2003, 19(4): 799－807.
修群业,王军,高兰,曹殿华,王安建,刘俊来,范世家,王高尚. 云南金顶矿床矿体三维模型的建立及其研究意义[J]. 矿床地质,2005,05:34-40.
徐启东,李建威. 云南兰坪北部铜多金属矿化区成矿流体流动与矿化分带——流体包裹体和稳定同位素依据[J]. 矿床地质,2003,04:365-376.
薛春纪,陈毓川,曾荣,高永宝. 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,2007,05:147-157.
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 辑)，33(4): 315-322.
薛春纪,陈毓川,杨建民,王登红,杨伟光,杨清标. 金顶铅锌矿床地质-地球化学[J]. 矿床地质,2002,03:270-277+245.
颜文,李朝阳. 一种新类型铜矿床的地球化学特征及其热水沉积成因[J]. 地球化学,1997,01:55-64.
张峰,唐菊兴,陈洪德,杨长青,李陵,范小华,陈生华,陈文彬,解惠. 兰坪盆地演化与盆内成矿流体特征[J]. 矿物学报,2010a,02:223-229.
张峰,唐菊兴,范小华,陈洪德,陈生华,陈文彬,王成辉,解惠. 兰坪金顶铅锌矿床泥底辟流体成矿特征初探[J]. 矿床地质,2010b,02:361-370.
张乾. 云南金顶铅锌矿床成因研究[J]. 地质找矿论丛,1991,02:47-58.
赵兴元. 云南金顶铅锌矿床稳定同位素地球化学研究[J]. 地球科学,1989,05:495-502.

郑海峰,郭福生,朱志军,姜勇彪. 云南金顶铅锌矿碳、氧、硫同位素地球化学特征及其地质意义[J]. 资源调查与环境,2012,04:218-224.

周肃,莫宣学,董国臣,赵志丹,邱瑞照,王亮亮,郭铁鹰. 西藏林周盆地林子宗火山岩 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年代格架[J]. 科学通报,2004,20:2095-2103.

朱上庆、覃功炯. 陆相盆地中以碎屑岩为容矿岩石的(金顶式)层状铅锌矿床模式。见：裴荣富主编《中国矿床模式》，北京：地质出版社，1995，178－180。

朱上庆、覃功炯、温齐春、陈式房. 金顶超大型陆相碎屑岩铅锌矿床。见：涂光炽等着“中国超大型矿床(I)”，北京：科学出版社。2000，65－87.

Asia's Largest Lead-Zinc Ore Deposit: the Jinding Giant Pb-Zn Deposit by Three Stages Superimposed Mineralization

ZENG Pusheng[1,2]，LI Hong[3]，LI Yanhe[4]，WANG Zhaoquan[1,2]，WEN Ligang[1,2]

1-National Research Center for Geoanalysis，Beijing,China，100037；2-Chnia University of Geosciences, Beijing，100083；3-Mineral Resources Research Institute, Chinese Metallurgical Geology Bureau, Beijing，100025；4-Insititute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing，100037

Abstract The Jinding lead-zinc deposit, as Asia's largest pb-zn deposit, is a result of superposition of three stages of mineralization: stage 1, is the Triassic Sanhedong Formation, located above the Lower Triassic bi-model volcanic assemblage, marine facies-SEDEX type, (M-SEDEX) sphalerite-galena ± celestine ± siderite deposit assemblage, distributed in the west side of the Lanping basin; Stage2, the Late Cretaceous to Paleocene Continental lacustrine-facies basin - SEDEX type, (C - SEDEX) ore deposit, is the Late Cretaceous and Paleocene period (~110, ~ 65 Ma) , within “the high mountain- deep basin” formed by stress transformation from compressional to transpressional, resulted in the deep fault-depression lacustrine basin, along the side near the Bijiang Fault, the syngenetic fault, there occur formations of massive sulfides in Continental-facies red sandstone basin, limestone breccia with varying accumulating in the foothills, getting smaller in size and reducing westward, getting into normal lacustrine red sandstone deposition; And in the lacustrine basin, sulfide deposition with zonation by temperature-controlling: at the northeast side of the basin, from Jiayashan to Beichang, mainly occur the fine-grained sphalerites, while the southwest side, at the Nanchang-Beicaoping area, mainly occur fine-grained galena. Stage 3, Neogene epithermal mineralization. Experienced the thrusting and escaping at the eastern Tibet Plateau, the Mesozoic strata of the east Lanping basin were thrust from the east side to the west, the nappes even covering over the basin, forming the Jinding dome, sealing the previous lead-zinc depositions in continental-facies basin; meanwhile, elevating M-SEDEX lead-zinc deposit + celestine sequences within the Triassic Sanhedong Formation limestones westward over the dome, at Paomaping area; by transformation of the stress form compression to transpression-extension during Pliocene, the stretching basin is formed and deep hydrothermal upwelling (in the Weixi- Tongdian Faul at the east side of the basin, the extension of the basin even producing the volumable trachytic volcanic rocks plus alkaline basaltic volcanic rocks), leading to the deep hydrothermal fluids fill along the Bijiang Fault and the sub-faults or fractures transported into the dome with ample mineral, the ore-bearing hot brines replaced the limestone breccia with sulfate forming of gypsum- sulfide breccia shell around the limestone breccia; at the same time, activated lead and zinc components and migrated to the thrust nappe with high porosity, the Jingxing Formation sandstone (K1j), formed the epithermal type (Epithermal type)of sandstone-hosted lead-zinc deposits. As a result, within the limited space of the Jinding dome, presenting the splendid scene of "three generations in the same room”. However, each generation of lead-zinc (± sulfates)

mineralization with different sulfur isotope characteristics, the Triassic Sanhedong stage M-SEDEX lead-zinc - selestine, with a™^{34}S value in +10~+21‰, showing the characteristics of sulfur mainly from seawater sulfate; Late Cretaceous to Paleocene C-SEDEX type fine-grained lead-zinc deposit (containing limestone breccia) with ™^{34}S value -51‰ ~ 0‰, with a large range, involved in the characteristics of obwious biological effects; Neogene sandstone-hosted type lead-zinc deposit, with a™^{34}S value in - 2 ‰ ~ + 5 ‰, showing the sulfur isotopic characteristics of deep source. Just this reason is decipher of the formation of the Asia's largest Pb-Zn deposit, under the special tectonic evolution process, multistage mineralization superimposed and concentrated in a limited space.

Keywords Jinding lead-zinc deposit, marine-facies SEDEX, continental-facies SEDEX, tectonic extension, eipthermal, superimposed mineralization