云南毛坪铅锌矿床的成因探讨

王超伟, 李 元, 罗海燕, 刘学龙
(昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 在讨论毛坪铅锌矿床的成矿地质背景、矿床地质特征的基础上, 着重论述了矿床的同位素组成、微量元素和流体包裹体特征. 研究结果表明: 矿床主要是在海西运动早期, 通过海底同生断裂喷流沉积形成的, 矿床形成后又遭受海西晚期与峨眉山玄武岩喷发有关的含矿流体的叠加改造, 矿床属热水沉积 – 热液叠加改造型铅锌矿床.

关键词: 铅锌矿床; 同位素组成; 微量元素; 流体包裹体; 矿床成因; 毛坪; 云南
中图分类号: P618.42 文献标识码: A 文章编号: 1007–855X(2009)01–0007–05

Genesis of Maoping Pb–Zn Deposit in Yunnan Province

WANG Chao-wei, LI Yuan, LUO Hai-yan, LIU Xue-long
(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: Based on a brief discussion of the geological background for metallogeny and the characteristics of ore deposit of Maoping lead and zinc deposit, the elaboration is made on isotopic compositions, trace elements and fluid inclusion in this paper. It is shown through the research that the deposit was mainly formed by the submarine syngenetic fault SEDEX in the early Hercynian orogeny, and then it was superimposition–reformed by ore-bearing fluid with the relation to Emeishan basalt after its formation in the late Hercynian orogeny. It is concluded that the deposit belongs to hydrothermally modified sedex Pb–Zn deposit.

Key words: Pb–Zn deposit; isotopic composition; trace element; fluid inclusion; ore genesis; Maoping; Yunnan

0 引 言

毛坪铅锌矿床是滇东北铅锌成矿带中的重要铅锌银矿床之一. 近年来, 随着矿区外围及深部科研找矿工作的深入开展, 找矿远景不断扩大, 引起了业界人士的普遍关注. 因此, 研究矿床成因对于矿区外围及深部的找矿有着重要的意义.

目前, 对于毛坪铅锌矿床的成因主要有两种不同的观点; 一种认为矿床属热液成因; 另一种则认为矿床属于沉积 – 改造成因[1]. 论文在收集前人地质资料和野外调研的基础上, 通过室内综合分析研究后认为, 矿床属热水沉积 – 热液叠加改造型铅锌矿床.

1 成矿地质背景

滇东北铅锌成矿带位于扬子准地台西南缘, 川 – 滇 – 黔铅锌成矿区的中南部, 是川 – 滇 – 黔铅锌成矿区的重要组成部分. 区内地层发育较为齐全, 从中元古界昆阳群到第 4系均有出露. 但是在地质历史时期中, 由于海水进退频繁, 地层的连续性较差, 如下古生界中、上寒武统、奥陶系、志留系和下泥盆统在区域内沉积不连续、时有缺失; 而上古生界则分布广泛, 发育较为完整.

滇东北铅锌成矿带处于南北向的小江、昭通 – 曲靖隐伏断裂带之间、滇东北北东构造带与北西向垭都 – 紫云断裂带的复合部位. 它们控制着区内地层的发育、成矿作用和岩浆活动. 区域内岩浆岩主要为海西晚期喷发的峨眉山玄武岩, 广泛分布于川 – 滇 – 黔铅锌成矿区, 玄武岩浆的喷发为该区铅锌矿床形成后所

收稿日期: 2008–08–25. 基金项目: 滇东北地区典型铅锌银矿床地质特征研究(项目编号: 20080030).
第一作者简介: 王超伟(1981–), 男, 在读硕士研究生. 主要研究方向: 矿床预测学. E–mail: 5352716@qq.com
© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

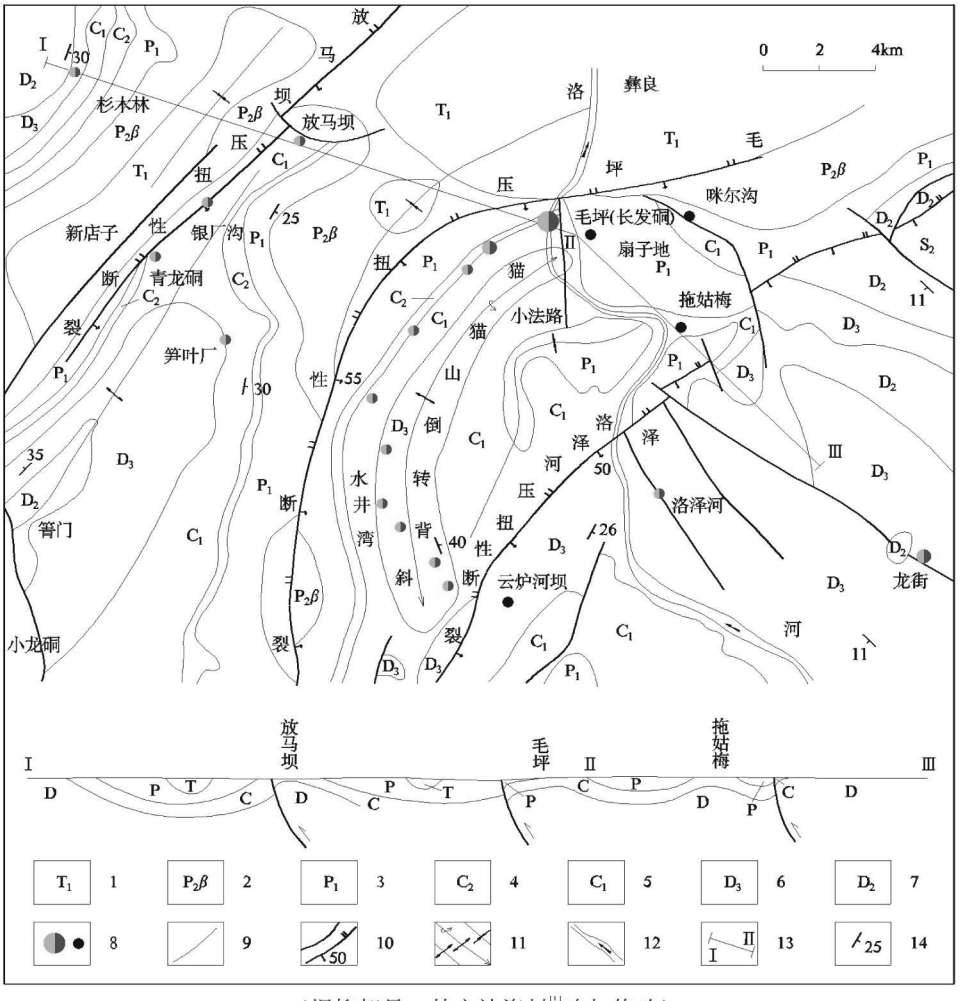
遭受的热液叠加改造提供了部分成矿物质和热动力环境.

2矿区地质概况

2 1矿区地质

矿区内出露地层有中、上泥盆统; 中、下石炭统; 二叠系和下三叠统.

矿区以发育 NE向的压扭性断裂和褶皱为特征, 由北西向南东依次排列的放马坝、毛坪、洛泽河压扭性断裂倾向南东、倾角较陡, 在剖面上呈叠瓦状排列, 破坏了矿区 NE向褶皱的连续性. NW 向断裂主要为龙街断裂, 其次还发育一组 NW 向的次级断裂, 但由于规模太小, 仅对 NE向压扭性断裂的连续性产生一定的破坏作用见图 1.



（据柳贺昌、林文达资料[11]略加修改）

1.下三叠统紫色长石石英砂岩、粉砂岩夹泥岩、泥灰岩、白云岩; 2.上二叠统峨眉山玄武岩; 3.下二叠统碳酸盐岩; 4.中石炭统白云岩、灰岩及生物碎屑灰岩; 5.下石炭统白云岩、燧石条带灰岩; 6.上泥盆统粗晶白云岩夹薄层页岩; 7.中泥盆统砂岩、页岩、泥灰岩; 8.铅锌矿床（点）、矿化点; 9.地层界线; 10.性质不明断裂、压扭性断裂及断层面产状; 11.背、向斜及倒转背斜; 12.河流; 13.剖面线及编号; 14.地层产状

图1 毛坪铅锌矿区地质简图

Fig.1 Geological sketch map of Maoping Pb-Zn ore-field

二叠系晚期的峨眉山玄武岩主要出露在矿区以北的地区.

2 2矿床地质特征

2 2 1矿体的形态、规模和产状

矿体主要赋存在上泥盆统宰格组第 2段及下石炭统摆佐组上部, 其次中石炭统威宁组也有矿体产出.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

赋矿岩性以白云岩为主, 其次为灰岩及生物碎屑灰岩.

矿体主要集中分布在猫猫山倒转背斜倒转翼的陡倾斜岩层中. 矿体呈层状、似层状、透镜状、扁柱状、扁豆状和囊状, 矿体与围岩界线清楚, 二者呈整合接触. 矿体长数米至 200m、厚 10 cm 至 10m, 沿倾斜方向矿体的延伸大于延长. 矿体走向 30~ 75°, 倾向 SE, 倾角 60~ 80°.

2 2 2矿石特征

矿区内的矿石类型, 随着埋藏深度的增加, 依次出现氧化矿、氧化矿和硫化矿的混合矿及硫化矿 3类. 其中根据硫化矿的主要矿物成分, 又可进一步划分为闪锌矿 – 方铅矿 – 黄铁矿矿石、闪锌矿 – 方铅矿矿石及黄铁矿矿石.

原生金属矿物主要有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿, 氧化矿物主要有白铅矿、铅矾、菱锌矿、水锌矿、异极矿和褐铁矿; 非金属矿物主要有白云石、铁白云石、方解石、石英、重晶石等.

矿石结构主要以粒状、半自形粒状结构为主, 其次还有镶嵌结构、胶状结构、压碎结构、交代结构、残余结构等; 矿石构造主要有块状构造、层状构造、微层状构造、条带状构造、浸染状构造、斑点状构造、角砾状构造和脉状、细脉状和网脉状构造等.

2 2 3围岩蚀变

围岩蚀变主要有白云石化、铁白云石化、方解石化、硅化、重晶石化和黄铁矿化. 其中硅化、白云石化、黄铁矿化为重要的找矿标志.

3矿床成因探讨

3 1微量元素特征

矿区下石炭统主要赋矿地层中的灰岩、白云岩及含矿白云岩的微量元素分析结果 (表 1)与涂千里和费德波 (1961)碳酸盐岩的微量元素含量进行比较, 矿区这些岩石中的 Pb, Zn, Au, Ag, Ge, In, Cd, Hg, Sb, As, Sn, Mo, Co, V等元素的含量明显高于世界碳酸盐岩的丰度值 n~ n × 10^3 倍, 特别是含矿白云岩, 其微量元素的含量更高. 显示了成矿期盆地热水沉积系统的特点. 通过比较也发现 Ga, B, Ni, Cr等元素含量低于世界碳酸盐岩的丰度值, 由此推测可能后期的热液改造作用将这些元素从岩石中带出.

此外, 含矿白云岩中的 Co/Ni, Sb/Bi分别为 2. 29和 7. 32, 表明其具有热水沉积成因的特点.

表 1　毛坪铅锌矿下石炭统含矿地层微量元素分析结果

Tab. 1　Trace elements analysis of the lower Carboniferous orebearing stratum in the Maoping Pb– Zn deposit

岩性	测试元素 / 10^{-6}																				
	Ge	Pb	Tl	In	Bi	Sn	Ag	Zn	Hg	Ga	As	Sb	Cd	Au	B	Cr	Ni	Co	Mn	V	Mo	Cu
灰岩	0. 39	610	0. 16	< 0. 1	0. 26	2. 2	2. 6	800	2. 8	1. 1	8. 5	< 0. 3	2. 8	0	< 1	< 1	< 1	< 1	125	< 1	< 1	4
白云岩	0. 56	80	0. 25	< 0. 1	0. 82	0. 1	0. 6	65	< 0. 1	7	8. 8	< 0. 3	1. 5	0	42	2. 3	5. 2	< 1	660	2	1	< 1
含矿白云岩	4	610	0. 1	0. 13	0. 82	40	4. 4	195 200	110	0. 4	105	6	165	0. 04	< 1	1	10. 5	24	6 500	25	11	50
碳酸盐岩*	0. 2	9	0. 01	0. 0n	—	0. 2	0. 0n	20	0. 04	4	1	0. 2	0. 035	0. 00n	20	11	20	0. 1	1 100	20	0. 4	4

“* ”数据据涂千里和费德波 (1961), 其余数据据文献 [1]; “—”表示无此项元素含量

3 2硫同位素组成

矿石中硫同位素组成见表 2具有如下特征, 不同矿物的 $\delta^{34}S$组成: 黄铁矿 12. 15‰ ~ 15. 67‰, 平均 14. 42‰; 闪锌矿 9. 62‰ ~ 19. 30‰, 平均 12. 93‰; 方铅矿 7. 96‰ ~ 9. 13‰, 平均 8. 50‰. 硫同位素的组成显示以富重硫为特征, 而且不同矿物的硫同位素组成 $\delta^{34}S$: 黄铁矿 > 闪锌矿 > 方铅矿, 属正常分馏系列, 表明它们的同位素组成已达到平衡. 同时也说明成矿期的热水沉积系统属于一个相对比较开放的系统. 在成矿作用过程中, 使还原消耗掉的硫酸盐得到源源不断的补充, 从而使硫酸盐的 $\delta^{34}S$值基本保持不变, 还原生成的硫化物的 $\delta^{34}S$值变化也不大见表 2

黄铁矿、闪锌矿和方铅矿的 $\delta^{34}S$均为正值, 其变化范围在 7. 96‰ ~ 19. 30‰之间, 平均值为 12. 03‰, 硫同位素组成既不同于幔源硫, 也不同于海水硫, 而是幔源硫与海水硫混合后的混合硫.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 毛坪铅锌矿矿石中主要矿物的硫同位素组成

Tab 2 Sulfur isotopic compositions of the major minerals in the Maoping Pb- Zn deposit

矿物名称	方铅矿	方铅矿	方铅矿*	方铅矿*	闪锌矿	闪锌矿	闪锌矿*	闪锌矿*	闪锌矿*	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿*	黄铁矿*
δ34S/‰	8. 36	9. 13	8. 55	7. 96	9. 85	15. 33	9. 62	10. 55	19. 30	14 80	15. 67	12 15	15. 06
均值 /‰	8. 50				12. 93					14. 42			

"* "数据据文献 [1], 其余数据由中国地质科学院矿产资源研究所测定

3. 3铅同位素组成

矿石中方铅矿和闪锌矿的铅同位素组成. $^{206}Pb/^{204}Pb$在 18. 340~ 18. 564之间, $^{207}Pb/^{204}Pb$在 15. 40~ 15. 742之间, $^{208}Pb/^{204}Pb$在 38. 561~ 39. 149之间, 其组成较为稳定、变化范围不大, 与 Doe等 (1974)近代太平洋海泥中铅同位素组成: $^{206}Pb/^{204}Pb$= 18. 773; $^{207}Pb/^{204}Pb$= 15. 681; $^{208}Pb/^{204}Pb$= 38. 736较为相近. 另外采用 Doe等 (1974)参数计算的方铅矿和闪锌矿的源区特征值 μ为 9. 07~ 9. 72, 平均值为 9. 38 其特征值与地幔 (μ= 7. 8)和上地壳 (μ= 11. 3)[4] 均不相同, 而与现代海洋沉积系统 (μ≈ 9. 81)[5] 较为近似. 由此推断矿石铅是幔源铅与洋壳铅混合的产物见表 3.

表 3 毛坪铅锌矿矿物铅同位素组成

Tab 3 Pb isotopic compositions of minerals in the Maoping Pb- Zn deposit

矿物名称	方铅矿*	方铅矿*	方铅矿*	闪锌矿*	方铅矿	闪锌矿	黄铁矿
$^{206}Pb/^{204}Pb$	18. 412	18. 564	18. 34	18. 562	18. 723	18. 622	18. 595
$^{207}Pb/^{204}Pb$	15. 593	15. 563	15. 4	15. 742	15. 724	15. 712	15. 727
$^{208}Pb/^{204}Pb$	38. 561	39. 149	38. 79	39. 02	39. 041	39. 099	39. 159
μ	9. 37	9. 37	9. 07	9. 72	9. 66	9. 66	9. 69

"* "数据据文献 [1], 其余数据由中国地质科学院宜昌地质矿产研究所测定

3. 4流体包裹体

矿石中方解石、白云石样品中流体包裹体发育, 主要为纯液相和液相包裹体, 常沿矿物的晶面密集成群分布, 大小一般在 8~ 15 μm 之间, 表明成矿是在温度和压力较低的条件进行的. 流体包裹体的均一温度、盐度和成矿压力测定结果表明: 均一温度在 154~ 218 ℃之间, 盐度的变化范围为 4. 1% ~ 9. 5%, 成矿压力为 406×10^5~ 570×10^5 Pa, 矿床是在中 -低温 (以低温为主)、中等盐度和低压条件下形成的见表 4.

流体包裹体的成分主要为 Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, F^-, Cl^-, SO_4^{2-}, 其中 $Na^+ > K^+$, $Ca^{2+} > Mg^{2+}$, $Cl^- > F^-$, pH 值为 6~ 7. 3, 显示成矿流体属中偏弱碱性的 $Na^+ - Ca^{2+} - Cl^- - SO_4^{2-}$型热水溶液.

表 4 毛坪铅锌矿流体包裹体均一温度、盐度和成矿压力测定结果

Tab 4 Homogeneous temperature, salinity and metallogenic pressure of fluid inclusions in the Maoping Pb- Zn deposit

测定矿物	大小 /μm	均一温度 /℃			盐度 /%			成矿压力 /MPa		
		测定次数	范围	平均	测定次数	范围	平均	测定次数	范围	平均
白云石	8~ 10	17	157~ 197	178	10	3. 6~ 5. 5	4. 7	3	44. 3~ 52. 1	48. 2
白云石	8~ 10	20	135~ 172	154	12	3. 1~ 6. 3	4. 8	4	35. 2~ 45. 7	40. 6
方解石	8~ 12	20	175~ 220	196	20	5. 9~ 9. 0	7. 4	3	50. 4~ 59. 2	55. 0
方解石	8~ 15	17	191~ 226	208	10	4. 6~ 7. 2	5. 8	3	52. 7~ 59. 0	55. 6
方解石	8~ 10	15	163~ 193	180	15	3. 5~ 6. 5	5. 1	2	45. 2~ 50. 2	47. 7
方解石	6~ 10	15	176~ 205	191	10	5. 1~ 8. 2	6. 2	2	48. 9~ 54. 9	51. 9
方解石	8~ 10	15	170~ 197	185	8	3. 5~ 4. 9	4. 1	2	47. 0~ 52. 8	49. 9
方解石	8~ 10	16	165~ 203	183	10	7. 4~ 11. 3	9. 5	2	46. 2~ 54. 3	50. 3

注: 数据据文献 [3], 测试单位为昆明理工大学国土资源工程学院

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.5矿床的形成过程简述

自上泥盆统宰格晚期 – 中石炭统威宁期, 该区受早海西运动的影响, 在一定的范围内形成了 3级断陷盆地, 矿区处于断陷盆地中间的 3级盆地内部, 沉积了一套以浅海相灰岩、白云岩、生物碎屑灰岩和燧石条带灰岩为主夹碎屑岩及煤层的海陆交互相地层, 有的碳酸盐类岩层曾多次重复出现, 显示当时的沉积环境较为动荡.

在碳酸盐地层的沉积过程中, 伴随同生断裂的多次脉动性活动, 在热动力的驱动作用下, 深部的成矿流体及下渗海水 (包括大气降水、岩浆水和地下水)与洋壳的循环作用产生的热液沿同生断裂喷出, 与海水混合后发生沉积, 充填通道并在海底沉积成矿. 形成“上层下脉”的双层结构, 上部为层状块状硫化物矿体, 下部为脉状、网脉状、浸染状硫化物矿体见图 2 由于在热水沉积成矿期, 控制矿床形成的同生断裂的多次活动. 因此, 在矿区内从上泥盆统宰格晚期 – 中石炭统威宁期的不同层位, 都有通过热水沉积作用形成的矿体产出, 成矿具有多阶段的特点.

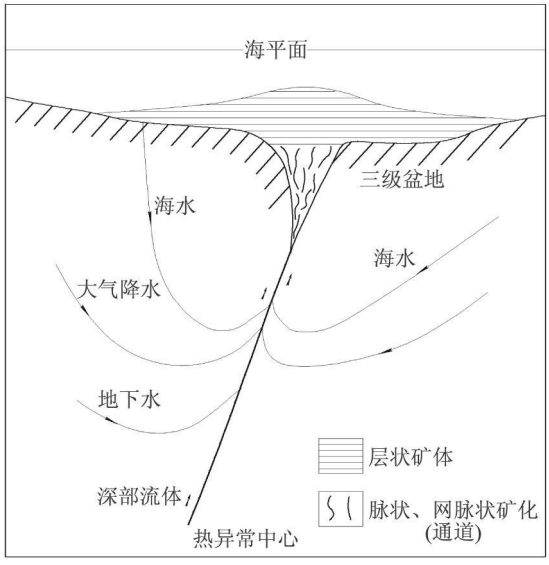


图2　毛坪铅锌矿热水成矿示意图
Fig.2　Hydrothermal mineralization sketch map of the Maoping Pb–Zn deposit

海西运动晚期, 川、滇、黔地区出现了大面积的峨眉山玄武岩浆喷发. 在玄武岩浆喷发过程中, 与其相伴的含矿热液对早期形成的铅锌矿床具有明显的叠加改造作用.

4结 论

1)矿体的矿石中胶状、草莓状、自形 – 半自形变晶结构及层状、条带状、微层状构造发育, 矿体与围岩呈整合接触, 显示热水沉积的特征; 矿体下部及下盘围岩中脉状、网脉状、斑点状、浸染状构造发育, 显示热液叠加改造的特征. 即具有热水喷流沉积矿床典型的“上层下脉”的双层结构, 上部为层状块状硫化物矿体, 下部为脉状、网脉状、浸染状硫化物矿体.

2)矿床的围岩蚀变主要有白云石化、方解石化、硅化、黄铁矿化和重晶石化, 其中白云石化、硅化和黄铁矿化是重要的找矿标志. 此外, 围岩蚀变的强度下盘强于上盘, 也显示了热水沉积作用过程中蚀变不对称的特点.

3)矿石的微量元素和同位素地球化学特征显示成矿物质主要来源于深部及海水与洋壳物质循环产生的海水热液.

4)流体包裹体研究表明: 成矿流体属中偏弱碱性的 $Na^{+}-Ca^{2+}-Cl^{-}-SO_4^{2-}$ 型热水溶液, 矿床是在中 – 低温 (以低温为主)、中等盐度和较低压力条件下形成的. 矿床属海底热水沉积 – 热液叠加改造型铅锌矿床.

致谢: 野外调研期间, 得到了昭通铅锌矿周高明高工、徐超工程师等的大力支持和帮助, 在此表示诚挚的感谢.

参考文献:

[1] 柳贺昌, 林文达. 滇东北铅锌银矿床规律研究 [M]. 昆明: 云南大学出版社, 1999.
[2] 柳贺昌. 峨眉山玄武岩与铅锌成矿 [J]. 地质与勘探, 1995, 31(4): 1–7.
[3] 胡彬. 云南昭通毛坪铅锌矿床地质地球化学特征及隐伏矿预测 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2004.
[4] 陈毓蔚, 毛存孝, 朱炳泉. 我国显生代金属矿床铅同位素组成特征及其成因探讨 [J]. 地球化学, 1980(3): 215–229.
[5] DOE R B. Lead Isotopes[M]. Berlin Springer Verlag, 1970.

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net