

滇东北毛坪铅锌矿床的蚀变-矿化分带模式 ——蚀变-岩相填图证据

魏爱英¹, 薛传东¹, 洪托¹, 罗大锋², 李炼然², 王锋², 周高明², 刘星¹

(1. 昆明理工大学地球科学系, 云南昆明 650093; 2. 云南驰宏锌锗股份有限公司, 云南曲靖 655000)

摘要: 昭通毛坪铅锌矿床是川滇黔铅锌成矿域之滇东北矿集区上又一个具有超大型成矿潜力的矿床, 过去其矿床研究程度弱, 特别是成因矿物学工作鲜有开展。本文以赋存于猫猫山倒转背斜西翼上泥盆统宰格组上段(D_3zg^3)中晶白云岩中层间断裂带内的 I 号矿体(群)为对象, 开展了系统的立体蚀变-岩相填图研究, 建立了蚀变-矿化分带模式。结果表明: 从矿体中心向外, 自下而上, 蚀变呈现硅化→泥化→碳酸盐化的显著分带现象, 矿化具有致密块状高品位 Pb-Zn 矿石→致密块状 Py 壳→浸染状、脉状、斑块状低品位 Pb-Zn 矿石→星点状 Py 壳的分带特点, 相应的矿物组合依次为 Sp + Gr(+ Cpy) + Py + Mrc + Apy + Q + Cal 组合、Py + Gn + Sp + Dol + Fe-Dol + Cal + Q + Ill 组合、Py + Dol + Fe-Dol + Cal + Q + Sd 组合和 Dol + Cal 组合, 垂向分带不明显, 横向分带显著, 矿化分带性与含矿热液的浓度梯度、横向渗透扩散受岩性垂向物性变化影响密切相关, 矿化作用可分为 I、II、III、IV、V 等 5 个阶段, Py 外壳是早期流体的产物, 条带状矿石是热液叠加作用的产物, 且 784 m 高程处已处在 III 阶段成矿流体叠加的前锋, II 阶段成矿流体的温度较 III 阶段高。该蚀变-矿化分带模式对川滇黔铅锌成矿域具有普遍的找矿指导价值, 也有助于深入理解成矿流体运聚和富集成矿机制。

关键词: 蚀变分带, 矿化分带, 成矿流体, 立体蚀变-岩相填图, 毛坪铅锌矿床, 滇东北地区

中图分类号: P618.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)05-0723-13

The alteration-mineralization zoning model for the Maoping lead-zinc deposit, northeastern Yunnan Province: Evidence from alternation-lithofacies mapping

WEI Ai-ying¹, XUE Chuan-dong¹, HONG Tuo¹, LUO Da-feng², LI Lian-ran², WANG Feng²,
ZHOU Gao-ming² and LIU Xing¹

(1. Department of Earth Sciences, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Yunnan Chihong Zinc and Germanium Co., Ltd., Qujing 655000, China)

Abstract: The Maoping Pb-Zn deposit, located in Zhaotong City of northeastern Yunnan Province, is a Pb-Zn polymetallic deposit with superlarge-sized potential in Sichuan-Yunnan-Guizhou metallogenic area. The previous studies of its mineralization was weak, and the mineralogical work was especially insufficient. The No. I ore body group occurs in the interformational fault zone of dolomite within upper Devonian Zaige Formation, lying in the west wing of Maomaochang inverted fold. In this paper, based on three-dimensional alternation-lithofacies mapping and petrographic studies of No. I ore body group, the authors established a mineralization-alteration

收稿日期: 2011-02-06; 修订日期: 2012-08-16

基金项目: 国家自然科学基金(40772067, U0933605); 云南省高层次人才资助项目(2009CI030); 云南驰宏锌锗有限公司科技项目

作者简介: 魏爱英(1984-), 女, 硕士研究生, 矿产普查与勘探专业, 从事成因矿物学与找矿矿物学研究, E-mail: way84627@yeah.

net; 通讯作者: 薛传东(1971-), 男, 博士, 教授, 从事地质流体动力学与成矿的教学与研究, E-mail: cdxue001@yahoo.

com.cn.

zoning model. The results indicate that the alternation zoning is silicified zone, carbonation + silicification + argillification zone and carbonation zone from the center of ore bodies outwards. Correspondingly, the mineralization zoning changes from massive high grade ore to massive pyrite shell, disseminated-vein-patchy low-grade ore and starry pyrite shell. The mineral assemblage zoning can be divided into Sp + Gn(+ Cpy) + Py + Mrc + Apy + Q + Cal assemblage, Py + Gn + Sp + Dol + Fe-Dol + Cal + Q + Ill assemblage, Py + Dol + Fe-Dol + Cal + Q + Sd assemblage and Dol + Cal assemblage. The vertical zoning is not significant, whereas the horizontal zoning is well developed, which is related to the effect of the concentration gradient of vertical physical changes of ore-bearing hydrothermal solution and lithology. Mineralization-alternation can be divided into five stages, i. e., I, II, III, IV and V stage. Pyrite shell is the product of early fluid, and banded ore is the product of hydrothermal superposition. The 784 meter level is the ore-forming fluid superimposed striker of III stage. Ore-forming fluid temperature of II stage is higher than that of III stage. The alteration and mineralization zoning model is of great indicating significance for the prospecting of mineral resources and the understanding of the migration, concentration and enrichment of ore-forming fluids.

Key words: alteration zoning model; mineralization zoning model; ore-forming fluid; three-dimensional alternation-lithofacies mapping; Maoping Pb-Zn deposit; northeastern Yunnan Province

滇东北铅锌成矿带是川滇黔铅锌成矿域的重要组成部分,产出十余个大中型-超大型富铅锌矿床,有着悠久的采铅炼银历史(陈士杰,1984;郑庆鳌,1997;周朝宪,1998;柳贺昌等,1999;韩润生等,2001;张长青等,2005)。该成矿带近年来仍然不断取得找矿新进展,暗示了其巨大的成矿潜力。通过深部找矿勘查,昭通毛坪铅锌矿床新发现了富厚的隐伏矿体,有望成为滇东北成矿带上又一超大型铅锌矿床。然而,前人对毛坪铅锌矿床的关注度甚低,少量的研究也仅限于矿床地质(周高明等,2005)、矿田构造(胡彬等,2003;邹海俊等,2004)和流体包裹体(Han *et al.*, 2007)等,尚不足以全面限定毛坪铅锌矿床的成因。为此,本文试图以 I 号矿体(群)的立体蚀变-岩相填图为切入点,通过矿物学填图的理论与方法(陈光远等,1987;刘星,1992;李胜荣等,1994),阐明蚀变、矿化的空间分布规律,建立其蚀变-矿化分带模式,为矿床成因和进一步找矿预测提供约束。

1 矿床地质特征

毛坪铅锌矿床位于扬子地块西南缘滇东台缘凹陷带中北部(图 1a)(柳贺昌等,1999)。笔者在前人(柳贺昌等,1999;韩润生等,2001)和云南驰宏锌锗股份有限公司(2007)^①工作的基础上开展矿区大

比例尺填图,并重新将矿区地层与区域地层进行对比,使矿区地层定名与滇东北地区地层达成统一。矿区出露地层以古生界为主,从老到新依次为上泥盆统宰格组(D_{3zg}),下石炭统大塘组(C_{1d})、摆佐组(C_{1b}),中石炭统威宁组(C_{2w}),下二叠统梁山组(P_{1l})、栖霞-茅口组(P_{1q+m}),上二叠统峨眉山玄武岩组(P_{2β})及第四系(Q)。区内主干构造为猫猫山背斜(区域上称花苗寨背斜),次为 NE、NW 向断裂构造。猫猫山背斜 NW 翼地层产状直立或倒转,厚度变化悬殊,是已知铅锌矿体的主要赋存部位,而东翼地层产状平缓,厚度稳定(图 1b)(柳贺昌等,1999;韩润生等,2001)。

区内铅锌矿体呈似层状、脉状、网脉状及透镜状成群集中分布于猫猫山背斜 NW 倒转翼及倾伏端陡倾斜地层的层间断裂带中。其中,宰格组三段(D_{3zg}³)中-粗晶白云岩赋存 I 号矿体(群),摆佐组(C_{1b})细晶白云质灰岩与白云岩互层赋存 II 号矿体(群),威宁段(C_{2w})灰岩与细晶白云岩互层为 III 号矿体(群)的赋矿层位。每一矿体(群)都由多个呈雁列式排布的一个主矿体和多条分支矿体组成(图 1c)(柳贺昌等,1999)。

已知矿体(群)沿背斜 NW 倒转翼中 NEE 向层间断裂带产出的特征显著,均呈 NEE-SWW 向大致平行延伸,倾角 60°~80°,倾向延深大于走向延长。其中 I 号矿体(群)主矿体控制长 280~340 m,厚 5.2

① 云南驰宏锌锗股份有限公司. 2007. 云南省毛坪县铅锌矿资源储量重新核实报告(内部资料)。

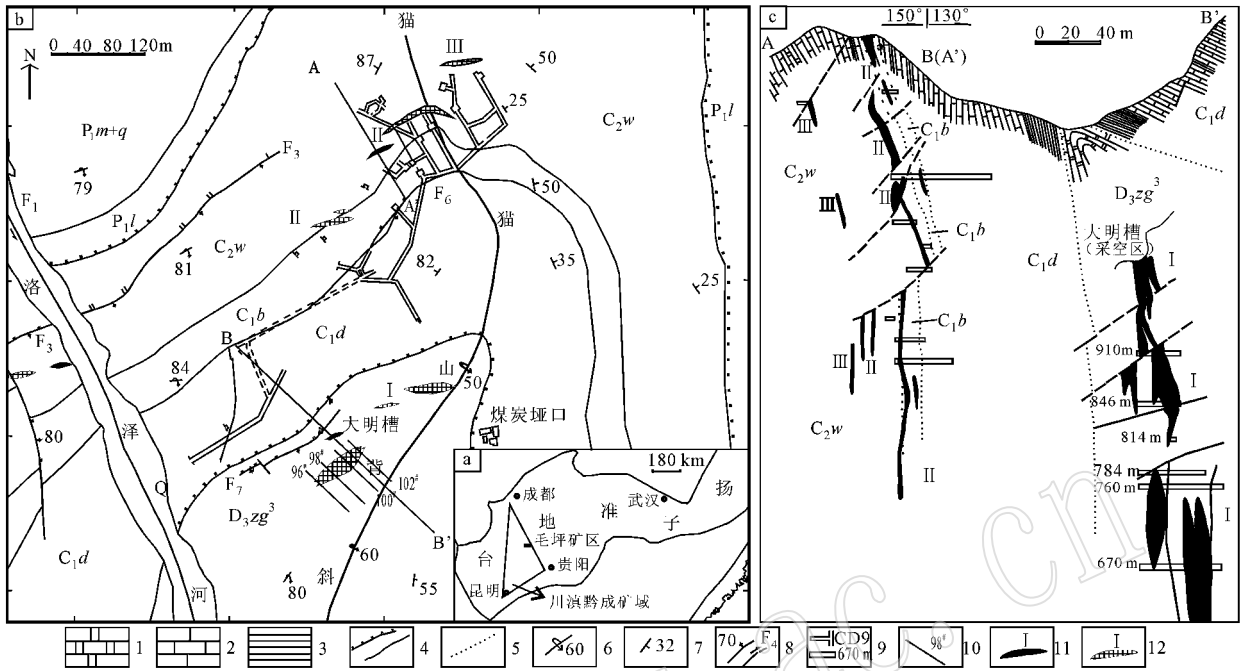


图 1 毛坪铅锌矿地质简图及典型剖面图 [据柳贺昌等(1999)修编]

Fig. 1 Geological sketch map of the Maoping Pb-Zn deposit and typical section (modified after Liu Hechang *et al.*, 1999)
 Q—第四系； P_{1m+q} —下二叠统栖霞-茅口组灰岩； P_{1l} —下二叠统梁山组砂页岩； C_{2w} —中石炭统威宁组灰岩与白云岩互层； C_{1b} —下石炭统摆佐组灰岩与白云岩； C_{1d} —下石炭统大塘组灰岩夹页岩，底部为页岩夹砂岩； D_{3zg^3} —上泥盆统宰格组上段白云岩；1—白云岩；2—灰岩；3—页岩；4—地层分界线；5—推测地层界线；6—倒转背斜轴；7—地层产状；8—断层及编号；9—坑道及编号；10—勘探线及编号；11—矿体露头及编号；12—隐伏矿体及编号
 Q—Quaternary； P_{1m+q} —Lower Permian limestone (Maokou-Qixia Formation)； P_{1l} —Lower Permian sand shale (Liangshan Formation)； C_{2w} —Middle Carboniferous interbedded with limestone and dolostone (Weining Formation)； C_{1b} —Lower Carboniferous dolostone (Baizuo Formation)； C_{1d} —Lower Carboniferous limestone intercalated with shales, shales intercalated with sandstone (Datang Formation)； D_{3zg^3} —Upper Devonian dolostone (upper segment of Zaige Formation)；1—dolomite；2—limestone；3—shale；4—stratigraphic boundary；5—inferred stratigraphic boundary；6—inverted anticline；7—attitude of strata；8—main fault and its serial number；9—tunnel and its serial number；10—prospecting line and its serial number；11—exposed ore body and its serial number；12—concealed ore body and its serial number

~36.4 m，斜向延深已达 800 m 以上。矿石矿物组合为闪锌矿 (Sp) 本文的矿物缩写符号参考沈其韩 (2009)] 铁闪锌矿 (Fe-Sp) 方铅矿 (Gn) 黄铁矿 (Py) 白铁矿 (Mrc) 毒砂 (Apy) 黄铜矿 (Cpy) 脉石矿物主要为白云石 (Dol) 铁白云石 (Fe-Dol) 方解石 (Cal) 石英 (Q) 及少量沥青 (Org) 菱铁矿 (Sd) 和伊利石 (Ill) 等。I 号矿体 (群) 矿石 Pb+Zn 品位最高，一般为 20%~30%，局部达 45%，伴生 Ag (65.9~193.0 g/t)。笔者对主要矿物探针分析表明，闪锌矿富含 Fe (平均 3.74%，高者达 10.57%) Cd (平均 0.12%)，方铅矿含 Zn (平均 0.39%) Gn (平均 0.25%)，黄铁矿含 Cr (平均 0.25%) Zn (平均 0.23%) Pb (平均 0.12%) 及 Ni (平均 0.14%)。II、III 号矿体 (群) 矿石 Pb+Zn 品位为 12%~20%，也富含 Fe、Ag、Ge、Cd 等。

2 样品采集和处理

对 I 号矿体 (群) 的 670 m 中段 98# 线、102# 线及沿脉 760 m 中段 98# 线、100# 线、94# 线及沿脉，760 m 中段 4 分层 (784 m) 的 96# 线、98# 线及沿脉，846 m 中段和 910 m 中段采空区以及地表大明槽一带进行了系统的立体蚀变-岩相填图 (图 2)，共采集样品 300 余件。对其中的 200 件样品进行光薄片磨制和大光面抛光，开展了详细的岩矿鉴定和岩相学分析。根据矿床地质、矿石矿物组合及结构构造特征，将区内热液成矿期细分为 (I) Org-Dol-Py-Mrc-Apy-Q 阶段、(II) Sp-Gn-Py-Mrc(-Cpy)-Cal-Dol-Q-III 阶段、(III) Sp-Gn-Py-Mrc-Dol-Cal-Q-III 阶段、(IV) Dol-Sd-III 阶段及 (V) Cal 阶段等 5 个矿化阶段，不

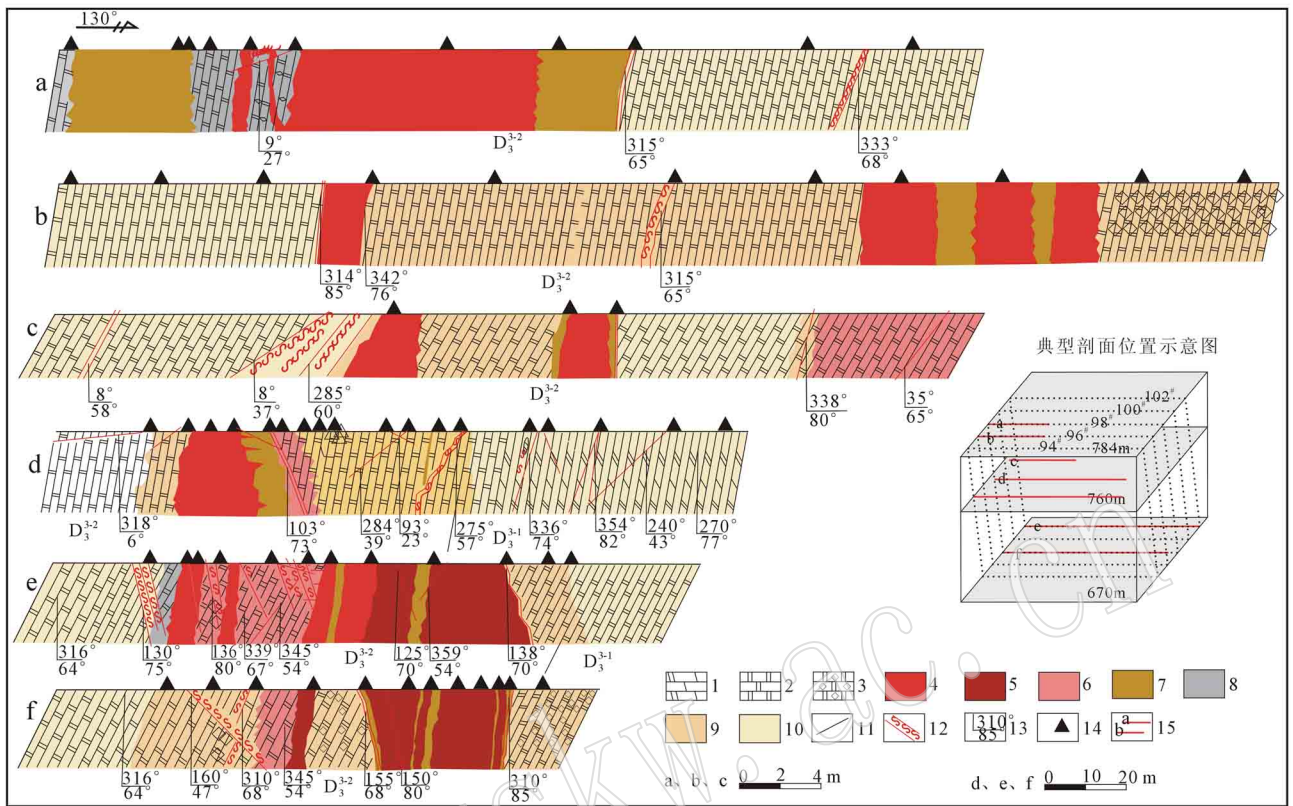


图 2 毛坪铅锌矿床 1 号矿体(群)各中段蚀变-矿化分带特征

Fig. 2 Sketch map showing mineralization zoning of No. 1 ore body group in the Maoping Pb-Zn deposit

a, b—784 m 中段 98[#]、96[#] 线; c, d—760 m 中段 100[#]、98[#] 线; e, f—670 m 中段 102[#]、98[#] 线; 1—灰质白云岩; 2—白云岩; 3—重结晶白云岩; 4—块状 Sp-Gn 带; 5—条带状 Sp-Py 带; 6—斑块状 Sp-Py 带; 7—致密块状 Py 带; 8—星点状 Gn-Py 带; 9—浸染状 Py 带; 10—星点状 Py 带; 11—地层界线; 12—断层破碎带; 13—岩层产状; 14—标本位置; 15—坑道实测剖面位置

a, b—98[#] line and 96[#] line at 784 m level; c, d—100[#] line and 98[#] line at 760 m level; e, f—102[#] line and 98[#] line at 670 m level; 1—limestone dolomite; 2—dolomite; 3—crystalline dolomite; 4—massive Sp-Gn zone; 5—banded-type Sp-Py zone; 6—patchy Sp-Py zone; 7—massive Py zone; 8—starry Gn-Py zone; 9—disseminated Py zone; 10—starry Py zone; 11—stratigraphic boundary; 12—fracture zone; 13—attitude of strata; 14—sampling section; 15—main section in tunnels

同矿物在不同矿化阶段的发育强度存在明显差异(表 1)。在此基础上,综合建立了 I 号矿体(群)的蚀变-矿化分带模式。

3 典型实测剖面蚀变-矿化分带特征

填图结果揭示的各中段 I 号矿体(群)横向蚀变-矿化分带特征如下:

3.1 784 m 中段

3.1.1 98[#] 线(图 2a)

(1) 矿体两盘围岩均为浅灰白色中晶白云岩,离矿体近的下盘围岩发育多阶段 Cal 脉及 Q 团块。早阶段 Py-Dol 脉沿 NEE 向裂隙充填,晚阶段 Cal-Dol 脉体沿 NW 向裂隙充填,并穿切早期脉体;而矿

体上盘与围岩呈渐变过渡,上盘围岩发育稀疏浸染状 Py,与下盘围岩以断层接触,下盘围岩仅发育星点状 Py。

(2) 矿化带中心为致密块状 Sp-Gn-Py 带,矿石中金属矿物以 Sp 为主,向外侧含有致密块状富 Gn 矿带(厚度较薄,约 1~2 cm)及致密块状 Py(图 3a),矿石中含灰白色粗晶白云岩夹石。矿体为两阶段矿化叠加的产物,以早阶段致密块状褐色、黑褐色 Sp(50%~80%)、铅灰色的 Gn(18%)含少量 Q 和 Py 脉为主,产出少量晚阶段褐红色 Sp 脉及斑块(图 3b-1, b-2)。致密块状 Py 带中含有脉状、斑块状 Sp、Gn、Q 及 Cal。在矿体北西侧,发育星点状的 Gn-Py,且 Gn 含量较高(3%~5%)。

3.1.2 96[#] 线(图 2b)

表 1 毛坪铅锌矿床成矿期次及矿物生成顺序列表

Table 1 Metallogenic periods and mineral-forming sequence in the Maoping Pb-Zn deposit

阶段 主要矿物	Org-Dol- Py-Mrc- Apy-Q	Sp-Gn-Py-Mrc -Cpy-Cal-Dol -Q-III	Sp-Gn-Py-Mrc -Dol-Cal-Q-III	Dol-Cal- Sd-III	Cal
	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)
沥青(Org)	■				
白云石(Dol)	■	■	■	■	
黄铁矿(Py)	■	■	■	■	
白铁矿(Mrc)	■	■	■	■	
毒砂(Apy)	■	■	■	■	
石英(Q)	■	■	■	■	
闪锌矿(Sp)		■	■		
铁闪锌矿(Fe-Sp)		■	■		
方铅矿(Gn)		■	■		
黄铜矿(Cpy)		■	■		
方解石(Cal)		■	■	■	■
伊利石(III)				■	
菱铁矿(Sd)				■	

(1) 矿体上盘为浅灰色粗晶白云岩, II 阶段 Cal-Py-Gn 脉被 III 阶段浸染状及脉状 Py-Gn-Cal 组合穿切(图 3c); 下盘为灰-浅灰色中-粗晶白云岩, 含多阶段 Cal 脉和斑块, 白色者为早期 Cal, 粉红色 HMg-Cal (高镁方解石) 者为晚期, 蚀变矿物组合为 Dol + Cal + HMg-Cal + Q, 发育稀疏浸染状 Py;

(2) 矿体中心为致密块状的 Sp-Gn-Py-Q 矿石(图 3j-1、图 3j-3), 其间夹有多层致密块状 Py 脉及俘虏体(图 3d), 矿体出现分支, 金属矿物含量变化较大, 致密块状 Py 带中含 Sp-Gn-Q 脉(图 3e-1、图 3e-2), 且被 Sp-Q 脉体穿切。

3.2 760 m 中段

3.2.1 100# 线(图 2c)

(1) 随着离矿体的远近, 围岩由灰-深灰色细晶白云岩变为灰白色中晶白云岩, Dol 化由少增多, Cal 化由细脉状变为斑点状, Py 由粗粒自形晶的星点状→细晶的斑块状、星点状, 断裂附近为中晶白云岩。远离断裂带又变成细晶白云岩, 断裂均被 Cal 脉(脉幅 1~10 cm) 充填, 方解石宽脉中发育穿层的红色 Fe-Cal、HMg-Cal、Sd 脉体(图 3 m-1、图 3m-2、图 3m-3、图 3m-4)。

(2) 矿体以致密块状 Sp-Gn 组合为主, 被中间的浸染状含脉状 Py 夹石分成两个分支矿体。NW 端分支矿体上盘与浸染状 Py 带呈断层接触, 下盘为突变接触; SW 端矿体由致密块状 Py 壳包裹, 与上盘浸染状 Py 带为突变接触, 与下盘星点状 Py 带为断层接触。在 SW 端还发育斑块状 Sp-Py 矿带, 上盘与浸染状 Py 带呈断层接触。

3.2.2 98# 线(图 2d)

(1) 矿体两侧围岩蚀变不一致, 上盘围岩为深灰色细晶灰质白云岩, 蚀变较弱, 但发育不规则 Cal 细脉及晶洞; 下盘围岩为灰白色含沥青斑块及细脉粗晶白云岩, 蚀变强, 发育 Q 及 Cal 团块, 离矿体越近, 白云岩中 Dol 结晶颗粒越大, 并含少量斑块状及细脉状 Py。矿体与围岩以压扭性断层接触, 断裂带内发育 Py 化及泥化带(图 3f)。

(2) 从矿体中心向两侧呈不对称的矿化分布特征, 中心为致密块状 Sp 带, Sp 中包含有早阶段的 Org 残余(图 3o)。其中, Sp (褐黑色), Gn 含量分别约为 80%、15%, 另有少量 Py、Q (约 5%), 并夹含 Sp、Gn 韵律条带的致密块状 Py 壳层。致密块状 Py 带位于矿体与上盘围岩的接触带, Py 含量达 95%, 含少量 Sp、Gn 及 Q, 与稠密浸染状 Py 带呈断层接触, 该带还发育脉状 Sp, 稠密浸染状 Py 带位于矿体上盘细晶灰质白云岩中, 发育顺层的细脉及斑点状 Py, 边部出现豆荚状、脉状 Py, 含不规则斑块状(大小 0.5~3 cm) Sp、Gn, 稀疏浸染状 Py 矿带位于矿体下盘, 局部呈细脉状产于灰白色粗晶白云岩中, 含少量星点状 Gn; 星点状 Py 带位于矿体两侧最外围, 发育穿层 Cal 细脉。

3.2.3 94# 线

94# 线反映了透镜状矿体的纵向近歼灭部位的蚀变, 揭露的蚀变-矿化现象较为单一, 故不做图示说明。远离矿体歼灭部位的两侧围岩均为深灰色细晶白云岩, 发育多阶段 Cal-Dol 网脉(图 3n), 含星点状 Py。离矿体较近的围岩为灰色中层状细-中晶白云岩过渡到中晶白云岩, 局部发育坍塌角砾岩带, 被 Cal-Dol 脉胶结(图 3g), 含斑块状及网脉状 Py, 局部

Sj(样品 16-9, 784 m 中段 96[#]线); j-2(反)—晚阶段的 Gn-Sp 包含早阶段的 Apy(样品 12-45, 670 m 中段 102[#]线); j-4(反)—浸染状矿 Py 带, Gn-Py-Q 脉穿切碳酸盐岩(样品 16-40, 784 m 中段 98[#]线); k(反)—致密块状 Py 被 Sp-Gn-Py-Q 脉穿切(样品 12-35, 670 m 中段 102[#]线); l-1(透)—Dol 的环带结构及泥化(样品 19-17, 910 m 中段); l-2—泥化带的白云岩角砾(样品 17-31-1, 760 m 中段); m-1—VI 阶段的 Cal 宽脉; m-2—Cal 脉体中 Sd 脉; m-3(透)—Cal 宽脉中梳状 Cakl; m-4(背散射)—状结构的 Sd(样品 12-4, 670 m 中段沿脉); n-1(透)—多阶段碳酸盐脉的相互穿切, 未蚀变白云岩颗粒细小, 后期脉体中的碳酸盐矿物颗粒粗大(样品 1-12, 846 m 中段); n-1(透)—蚀变白云岩(样品 5-8-2, 760 m 中段); o(反)—Sp 中 Org 残余(样品 7-3, 760 m 中段)

a—from the center of ore bodies outwards the mineralization changes in order of massive sphalerite→massive galena (from 1~2 cm thickness)→massive pyrite ore belt (98[#] line at 784 m level); b-1—sphalerite veins of III stage cut across or body of the second stage (sample 16-13 along 96[#] line at 784 m level); b-2 transmitted light—sphalerite (brownish yellow)-dolomite veins of III stage cut across sphalerite (brown)-dolomite vein of the II stage (sample 2-10-3 at 910 m level); c—pyrite-galena-calcite veins of III stage cut across calcite-pyrite-galena veins (alteration halo exists at the edge of vein bodies) of II stage (96[#] line at 784 m level); d—captive body of massive pyrite in massive sphalerite ore belt (784 m level); e-1—sphalerite-galena-quartz veins in massive pyrite belt (96[#] line at 784 m level); e-2—sphalerite (dark brown)-quartz vein cut across massive pyrite-quartz belt (sample 5-12 at 760 m level); f—ore body and rock contact in fault (98[#] line at 760 m level); g—collapse breccia cemented by calcite and dolomite (94[#] line at 760 m level); h—banded ore body-including massive pyrite band and massive sphalerite-galena band (sample 12-35 in 102[#] line at 670 m level); i—patchy sphalerite ore belt (98[#] line at 670 m level); j-1 (transmission light), j-3 (reflection light)—quartz of the late stage contains sphalerite of the early stage (sample 16-9 in 96[#] line at 784 m level); j-2 (reflection light)—sphalerite-galena of the late stage contains arsenopyrite of the early stage (sample 12-45 in 102[#] line at 670 m level); j-4 (reflection light)—disseminated pyrite ore belt, galena-pyrite-quartz veins cut across dolostone (sample 16-40 in 98[#] line at 784 m level); k reflection light—sphalerite-galena-pyrite-quartz veins cut across massive pyrite (sample 12-35 in 102[#] line at 670 m level); l-1 (transmission light)—dolomite-ankerite zoning and argillation (sample 19-17 at 910 m level); l-2—dolostone breccia in argillation (sample 17-31-1 at 760 m level); m-1—wide calcite vein of VI stage; m-2—siderite veins in calcite veins; m-3—comb calcite crystal in wide calcite veins; m-4—oolitic siderite (sample 12-4 at 670 m level); n-1 (transmission light)—multi-stage carbonate veins cut across each other, mineral particles in sedimentary dolostone are fine, but are coarse in veins (sample 1-12 at 846 m level); n-2 (transmission light)—altered dolostone (sample 5-8-2 at 760 m level); o (reflection light)—organic matter residue in sphalerite (sample 7-3 at 760 m level)

结晶完好(图 3j-4), 颗粒较大(1~2 mm), 未见 Sp、Gn 化。

3.3 670 m 中段

3.3.1 102[#]线

(1) 矿体两侧围岩呈不对称蚀变(图 2f)。矿化特征与 98[#]线相似, 发育星点状、稀疏浸染状、斑块状及条带状矿石。其中, 条带状矿带发育高品位的铅锌矿石, 以条带状、局部致密块状 Py 发育为特征, 最具工业价值。

(2) 矿体 SE 端为青灰色细晶灰质白云岩, 无重结晶现象, Dol 化弱, Cal 脉及团块发育。离矿体较近处的重结晶和褪色现象较离矿体远处显著; 蚀变以 Cal 化为主, 呈不规则脉状胶结围岩角砾, 或呈团块状充填产出, 含量达 60%; 矿体与围岩为断层接触, 破碎带泥化强烈, 显示压扭性质, 为成矿前断裂。

(3) 矿体 NW 端与围岩呈断层接触, 为灰白色中-粗晶白云岩(图 3l-1), 破碎带已泥化, 发育脉状细粒 Py, 显示沿压扭性断层充填成矿的特征。矿体附近重结晶强烈, 而远离矿体以褪色为主; 蚀变以方解石化、白云石化为主, 呈含 Cal、Dol 不规则脉体充填产出, 其含量也从主矿体边部向外有降低趋势。0~6 m 段, Cal 含量占 60%, 局部受断裂的影响可达 80%, Dol 含量较少; 6~24 m 段, Cal 含量约 20%,

Dol 含量达 30%。24~35 m 段, 呈斑块和脉状产出的 Cal 含量为 40%~50%。

3.3.2 98[#]线

(1) 围岩蚀变变化不大, 主要表现为白云岩的重结晶作用(图 3l-1)及 Cal、Q 脉体及团块充填, 蚀变强度与距矿体距离成正比。矿体与围岩以断层接触, 但矿体中心到两侧仍具对称分带特征(图 2e)。

(2) 致密块状混合矿带内 Sp、Gn 含量分别为 60%~90%、30%~5%, Py 含量小于 5%, 并含少量 Q。该带的不同部位 Sp、Gn 及 Py 的含量有一定变化, 呈现矿体外侧富 Gn、内部富 Sp 的特点; 条带状矿带以 Py 和 Sp-Gn-Py-Q 组合成条带状产出为特点(图 3h), 且 Py 条带被 Sp-Gn-Py-Q 脉穿切(图 3k), 含有 Cal、Q 团块, 在与 Sp-Gn-Py 脉接触部位具梳状构造, 常伴生 Mrc 和 Apy(图 3j-2); 致密块状 Py 带中, Py 含量高达 90% 以上, 含少量斑块状褐色状 Sp、Gn 和 Q, 并伴生 Mrc 及 Apy(图 3e-1); 斑块状矿带中, Sp 呈斑块状, Py 和 Gn 呈星点状产出(图 3i), 围岩为灰白色中-粗晶白云岩, Cal 脉近顺层产出。在 Cal 脉体的边部, Sp 化强烈, Sp、Gn 含量可达 10%。脉状及稀疏浸染状 Py 带中, Py 呈细脉状(图 3j-4)及浸染状产出, 含少量 Gn、Sp, 围岩为灰白色中晶白云岩, Dol 及 Cal 呈细脉、团块状产出, Dol 含量

达 20%~30%，Dol 颗粒呈豆状；星点状矿带位于矿体周围，Py、Gn 呈星点状产出，见少量 Cpy，发育大量 Dol 脉体、Q 团块及 Cal 大脉（幅宽 0.1~0.3 m）及大团块；Sd 呈脉状沿 Cal 宽脉充填（图 3m-1、图 3m-2、图 3m-3、图 3m-4），局部产出团块状、脉状和纹层状沥青，并保留少量未蚀变的沉积原岩。

3.4 I 号矿体(群)水平及垂向蚀变-矿化分带特征

为了更加全面地了解矿化-蚀变分带特征，除对

典型坑道揭露剖面进行实测编录外，还选取了相应的勘探钻孔(94#线、96#线、100#线、102#线、102+1#线、104#线)加以控制，从而得出 670 m 平面 I 号矿体(群)的蚀变-矿化分带图(图 4a)；垂向上，结合 814 m、846 m、896 m、910 m 以及地表露头采空区的围岩蚀变观察以及矿化现象地质资料，编制 I 号矿体(群)的垂向蚀变-矿化分带图(图 4b)。I 号矿体(群)表现出横向展布及垂向延伸上的分带性。

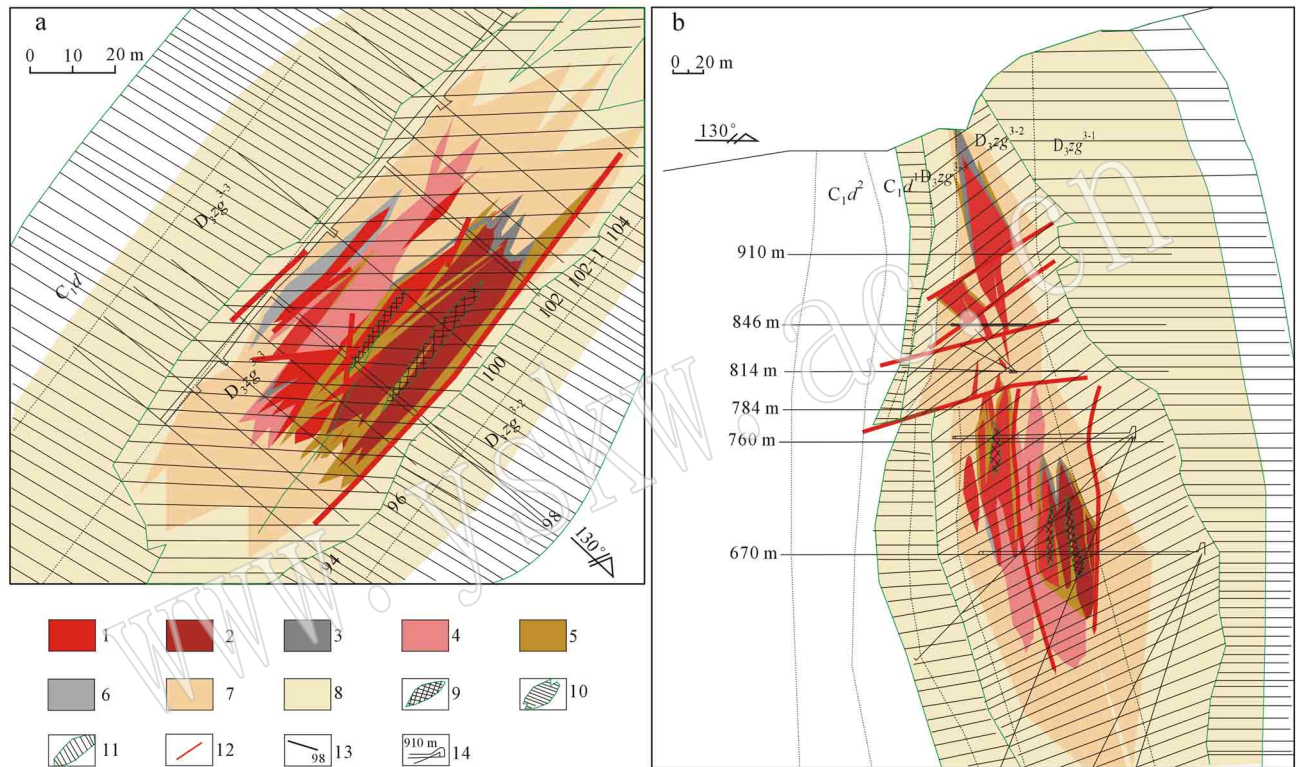


图 4 毛坪铅锌矿床 I 号矿体(群)的蚀变-矿化分带图

Fig. 4 Mineralization zoning map of No. 1 ore body group in the Maoping Pb-Zn deposit

a—670 m 中段水平分带图；b—98# 线垂向分带图；1、2、3、5、6、7、8 同图 3；4—致密矿块状的富方铅矿带；9—强石英蚀变带；10—碳酸盐化、石英、泥化蚀变带；11—碳酸盐化蚀变带；12—断层；13—坑道及勘探线；14—坑道及钻孔

a—horizontal zoning map of 670 m level；b—vertical zoning map of 98# line；1、2、3、5、6、7、8—the same meaning as Fig. 3；4—massive galena zone；9—strong quartz alteration zone；10—carbonation + quartz + clay alteration zone；11—carbonate alteration zone；12—fault；13—exploration line；14—tunnel and drill hole

从图 4a 可以看出，I 号矿体(群)在水平分带上具有如下特点：矿体横向上与围岩以断层接触，走向上以渐变锯齿状尖灭；矿体被致密块状 Py 包裹；在 NE 端存在致密块状的富 Gn 带，以及 NW 端存在星点状 Gn 带；条带状矿体靠近断裂富集；强硅化蚀变带范围小，位于矿体中心，且矿体存在多中心的特点。

而矿体垂向上分带不明显(图 4b)。整体上看，矿体多具分支现象，主矿体被 Py 包裹，旁支矿体被

包裹的少见；主矿体间以斑块状矿带过渡，富矿体出现尖灭、再现现象，并呈渐变尖灭或被断层错断以断层接触；在矿体的顶部出现富 Gn 带，强硅化带出现在矿体的中心。

4 蚀变-矿化分带模式

根据以上 I 号矿体(群)各部位的蚀变、矿化特征，建立区内铅锌矿床蚀变-矿化分带模式(图 5)。

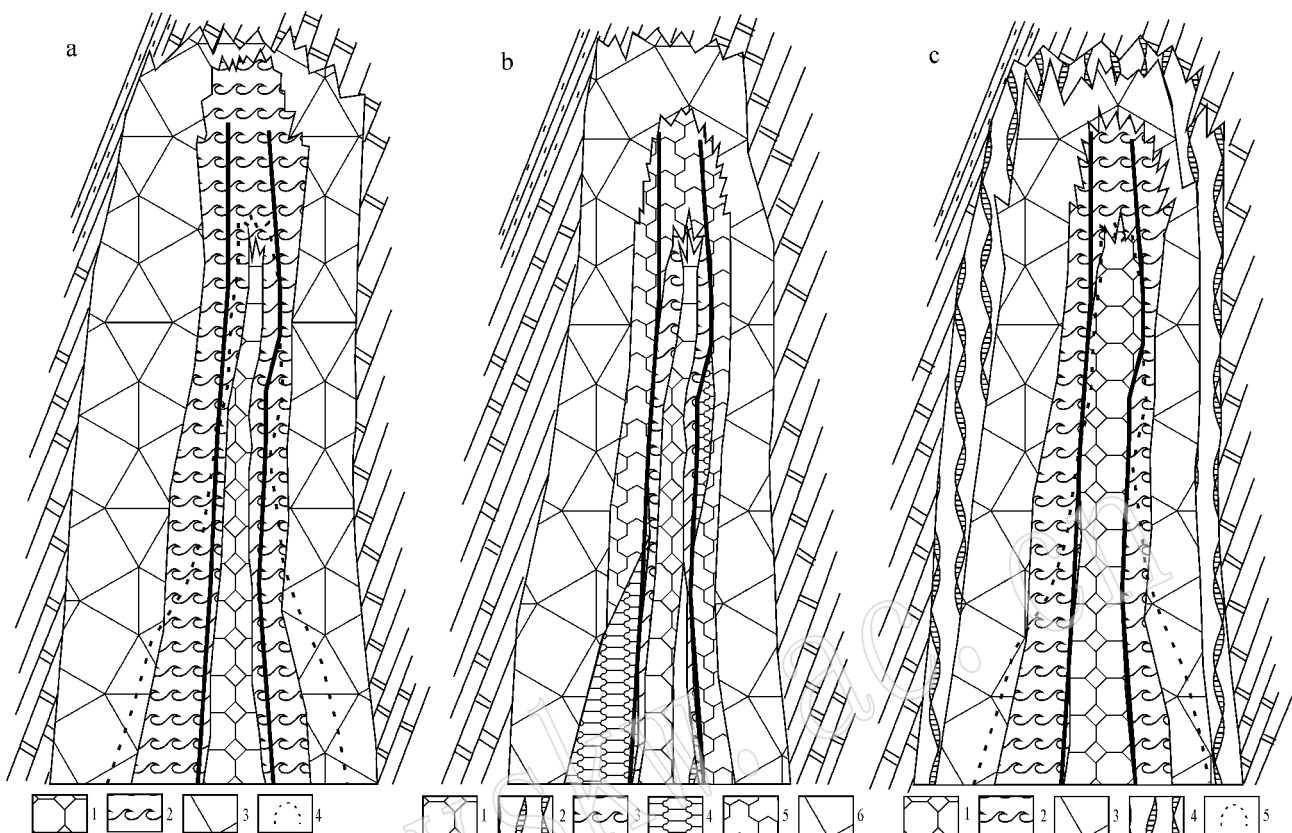


图 5 毛坪铅锌矿床 1 号矿体(群)蚀变-矿化分带模式图

Fig. 5 Mineralization-alteration zoning pattern of No. 1 ore body group in the Maoping Pb-Zn deposit

a 蚀变分带模式：1—硅化带；2—泥化带；3—碳酸盐化带；4—Dol 与 Cal 相对含量界线；b 矿化分带模式：1—高品位 Pb-Zn 矿石(致密块状)带；2—高品位 Pb-Zn 矿石(条带状)带；3—Py 壳 1(致密块状)带；4—低品位 Pb-Zn 矿石(脉状、浸染状)带；5—低品位 Pb-Zn 矿石(斑块状)带；6—Py 壳 2(星点状)带；c 矿物分带模式：1—Sp + Gr(+ Cpy) + Py + Mrc + Apy + Q + Cal 带；2—Py + Gn + Sp + Dol1 + Dol2 + Fe-Dol + Cal + Q + Ill 带；3—Py + Dol1 + Dol2 + Fe-Dol + Cal + Q + Sd 带；4—Dol + Cal 带；5—Dol 与 Cal 相对含量界线

a alteration zoning pattern：1—silicified zone；2—argillation zone；3—carbonation zone；4—relative content boundary of calcite and dolomite；b mineralization zoning pattern：1—massive high grade ore；2—banded-type high grade ore；3—massive pyrite shell 1；4—disseminated-vein low-grade ore；5—patchy low-grade ore；6—starry pyrite shell 2；c mineral assemblage zoning pattern：1—Sp + Gn(+ Cpy) + Py + Mrc + Apy + Q + Cal zone；2—Py + Gn + Sp + Dol1 + Dol2 + Fe-Dol + Cal + Q + Ill zone；3—Py + Dol1 + Dol2 + Fe-Dol + Cal + Q + Sd zone；4—Dol + Cal zone；5—relative content boundary of calcite and dolomite

4.1 蚀变分带模式

自矿体中心向外围,依次发育硅化带→泥化带→碳酸盐化带(图 5a)。

(1) 硅化带：矿物组合以 Q 为主。Q 呈脉状及斑块状产出,半自形-自形粒状结构,呈长柱状,晶体颗粒大小平均为 0.036 mm(图 3j-1、图 3j-3)。仅限于矿体中心部位, Q 与 Sp、Gn 共生。

(2) 泥化带：矿物组合为 Dol1 + Dol2(+ Fe-Dol) + LMg-Cal(低镁方解石) + Ill + Q,分布于矿体中心边部,向外围 Dol > Cal 明显。围岩中 Dol1 为灰白色半自形晶,平均粒度为 0.055 mm(图 3n-2)。

Dol2、Fe-Dol 呈团块或脉体产出,多为菱形晶体,粒径 0.025~0.08 mm(图 3i-1)。LMg-Cal 呈团块状或细脉状充填,近矿体中心处可与 Sp、Gn、Py 共生,较纯者呈白色,透明度好,含有较多包裹体,聚片双晶发育。Ill 呈褐黄色泥质胶结物形式胶结 Dol(图 3i-1),断裂带内多见(图 3f、图 3i-2),可能还存在绢云母等粘土矿物。Q 沿晶洞充填,多为白色,自形六棱柱状晶体,含大量的杂质(包裹体、矿物俘虏体)后呈灰黑色,透明度下降。

(3) 碳酸盐化带：矿物组合为 Cal(HMg-Cal + LMg-Cal + Mn-Cal) + Dol + Fe-Dol + (FMn-Dol) +

(Sd)以 Cal 为主,Dol 含量少。HMg-Cal 呈中细粒,自形晶多镶嵌接触,颗粒表面较污浊。LMg-Cal 呈宽脉或团块状产出,白色,透明度差,基本不含包裹体。Mn-Cal 呈粉红色-黄色细脉体产出,颗粒表面污浊,透明度差,解理不发育。Dol、Fe-Dol 呈团块充填在围岩中或沿晶洞充填,单独产出的 Dol 呈板状晶形,颗粒较大,约 1~2 mm。Dol 与 Fe-Dol 共生时为灰白色,大小约 0.25 mm。Sd 含量较少,多呈黑色偏红的细脉(图 3m-2)充填在 LMg-Cal 或 Dol 宽脉的对称梳状脉中心(图 3m-3),或切断板状 Cal 或 Dol 晶体生长,呈鲕状胶体和放射针状变胶结构产出。其中,鲕状胶体 Sd 均质,鲕粒大小从小于 0.000 25 mm 到 0.01 mm 不等,多为复鲕(图 3m-4),放射针状变胶 Sd 往往生长在鲕状圈层外圈。

4.2 矿化分带模式

矿化形成以高品位的致密块状及条带状 Pb-Zn 工业矿石为中心,被致密块状 Py 壳包裹,再到低品位的斑块状、浸染状、脉状 Pb-Zn 矿石被星点状 Py 壳包裹的分带特点(图 4b)。

(1)高品位富 Zn 矿石带:矿物组合为 Sp + Gn + Py + Mrc + Apy 及少量 Cpy,矿石 Zn、Pb、Fe 的品位依次为 10%~38.8%、0.83%~23.7%、2.28%~34.5%。矿石为致密块状(图 3a)、条带状构造(图 3h)结构以包含、交代结构为主(图 3j-1, j-2, j-3),在断裂发育部位常出现揉皱结构和碎裂结构。在透镜状矿体侧边部常夹有含脉状 Gn、Sp 的致密块状 Py 壳层(图 3e-1)。矿体中心以 Zn 为主,向外和向上均呈现 Pb 增加的趋势(图 3a)。其中,Sp 呈块状、脉状、条带状产出,有两个世代。早世代(II 阶段)Sp 呈他形细粒状被自形 Py 颗粒包裹,颜色较深,为黑-暗红色;晚世代(III 阶段)为他形块状结构,半透明,均质,单偏镜下呈暗红-橘红-橘黄-浅黄-浅绿色等颜色呈斑状交互生长,或由颗粒内部到外部颜色依次变浅的环带状色带结构。统计表明,在 760 m 中段以上以早世代为主,在 670 m 中段以下含量较少,已被晚世代 Sp 交代。Gn 呈团块、脉状产出,也有两个世代:早世代(II 阶段)为交代残余结构、文象结构,被 Sp、Py 交代;晚世代(III 阶段)呈他形团块结构,沿 Py 晶粒间隙或裂隙充填,可见 Gn 交代铜黄色 Cpy 呈文象结构。Py 为浅铜黄色,Mrc 为乳白色,他形-半自形粒状,晶形为 {210} {100},大小 0.05 mm,含量较少。Py 颗粒中有淡黄白色叶片状 Mrc 交生现象。Apy 为亮白色微带奶油色,呈菱形、长柱

形、矛头状自形晶,颗粒平均为 0.009 4 mm,产于 Sp 颗粒中(图 3j-2)。

(2)Py 壳 1 带:矿物组合为 Py + Mrc + Gn + Sp 和少量 Cpy,以致密块状 Py 为主,含少量脉状或斑块状 Gn、Sp、Cal 及 Q(图 3e-1, e-2)。矿石主要为他形粒状、斑晶、花岗变晶及包含结构。Py、Mrc 浅铜黄色、玫瑰红色,他形粒状自形晶,为 {210} {100},大小为 0.011~0.08 mm,Py 颗粒中有叶片状 Mrc 交生现象,含量大于 85%。Gn、Sp 呈脉状产出,且 Gn 的含量较 Sp 多,其物理性质与高品位富 Zn 矿石带中的 Gn、Sp 相似。越到矿体边部 Sp 环带结构越显著,色带越多,矿体中心则多以色斑形式出现。Cpy 铜黄色,呈半自形-他形粒状分布于 Py 晶粒间,大小 0.01 mm。

(3)低品位 Pb-Zn 矿石带:矿物为 Py + Gn + Sp 矿石 Zn、Pb、Fe 的品位依次为 1.29%~10%、0.17%~0.82%、2.28%~8.36%。矿石具斑块状(图 3i)、脉状、浸染状构造,主要为包含文象结构,断层发育部位见碎裂结构。Py 呈黄白-浅铜黄色,稀疏浸染状产出,自形粒状,有两个世代。早世代为细-中粒(0.02~0.16 mm)自形晶,为 {100} 和 {210},约占 70%,晚世代为极细粒(小于 0.02 mm)自形晶,为 {100} 和 {210},约占 30%。Gn 含量少,呈星点状产于脉体中。Sp 呈斑块状产出,黄色,单偏镜下均质半透明,中心为橙黄色,向边部变为浅黄-黄绿色。

(4)Py 壳 2 带:以产出星点状 Py 为特点,具自形粒状、环带结构,含量约 3~4%,位于最外围碳酸盐岩及泥质充填物中。Py 为浅铜黄色,细-中粒自形晶,大小 0.002 5~0.14 mm,多被有机质包裹。分为两个世代,早世代(I 阶段)晶形以 {100} 为主,少部分为 {210},少量具环带结构;晚世代(II 阶段为主)为细粒(小于 0.002 5 mm)他形晶产出,为主成矿热液期的产物。

4.3 矿物组合分带模式

矿物组合分带模式(图 5c)具如下特点:

(1)Sp + Gr(+ Cpy) + Py + Mrc + Apy + Q + Cal 带:包含了蚀变带的硅化带以及矿化带的高品位矿石带和 Py 壳 1,对应矿石构造模式的致密块状矿石带和条带状矿石带。

(2)Py + Gn + Sp + Dol1 + Dol2 + Fe-Dol + Cal + Q + III 带:包含蚀变带的碳酸盐化 + 硅化 + 泥化带的内部,为矿化带的低品位矿石带,对应的矿石构造模式的浸染状、脉状斑块状矿石带。此带只有一部

分具有工业价值。

(3) Py + Dol1 + Dol2 + Fe-Dol + Cal + Q + Sd 带: 硫化物仅有 Py 及极少的 Gn, 蚀变矿物为 Dol、Fe-Dol、Cal (HMg-、LMg-、Mn-Cal), 包含蚀变带的碳酸盐化 + 硅化 + 泥化带的外围和矿化带的 Py 壳 2, 对应星点状矿石带。

(4) Dol + Cal 带: 此带不含硫化物, 仅为碳酸盐矿物。包含蚀变带碳酸盐化带的最外围, Dol 和 Cal 均以脉体形式产出。

5 讨论

5.1 蚀变与矿化的关系

矿区蚀变、矿化类型清晰, 据此总结的蚀变、矿化及矿物组合分带模式体现了蚀变与矿化之间具密切关系。

从 I 号矿体中心到边缘再至远离矿体, 蚀变出现硅化、泥化、碳酸盐化的变化。石英贯穿 I、II、III 阶段, 但发育范围较局限, 仅在矿体中心及其边部产出, 泥化带为碳酸盐化和硅化的叠合带, 产在矿体边部, 镜下可见围岩中 Dol 颗粒间隙常被粘土矿物充填 (图 3i-1、图 3n-2)。碳酸盐化 (方解石化、白云石化) 出现逐渐减弱及至消失的变化, 且近矿端以白云石化为主, 远矿端以方解石化为主 (图 5a), 体现了蚀变与 Pb-Zn 矿化密切相关。这种关系在 II、III 阶段尤为突出。镜下可见该阶段 Sp、Py 和 Gn 多以浸染状产在 Dol 晶隙中, 证实半自形-他形细-中晶白云石化较泥晶白云石化与 Pb-Zn 矿化的关系更为密切。在含 Mg 热液蚀变灰岩过程中, Cal 被蚀变成晶胞参数相对较小的 Dol, 灰岩中出现粒间孔隙, 从而为硫化物沉淀提供了空间, 蚀变形成的 Dol 自形程度越高, 粒间孔隙越大, 提供的空间越充分 (Fyfe, 1987; Dewers and Ortoleva, 1989)。因而, 在区域找矿中, 可以通过寻找碳酸盐化、泥化来缩小找矿靶区。

从矿体中心、边缘再到围岩, 存在高品位 Sp-Gn 带、Py 壳 1、低品位 Sp-Gn 带、Py 壳 2 的变化, 以及矿石结构出现从致密块状 (条带状) 脉状、斑块状、星点状的变化, 尤其对深边部勘探具有良好的指导意义。根据对 I 号矿体 (群) 670 m 中段钻孔揭露大量的致密块状 Py, 认为其深部仍有很大的找矿前景, 近期施工的钻探工程验证了这一推测。观察发现, Py 是 Pb-Zn 沉淀各阶段的主要伴生硫化物, 黄

铁矿化范围远大于铅矿化, 而铅矿化范围也大于锌矿化, 这一现象与 Fe、Pb、Zn 的硫化物沉淀受温度、盐度控制的范围大小 (张荣华等, 2001) 是一致的。所以, 可以通过“圈定黄铁矿化范围来寻找 Gn, 进而寻找 Sp”这一规律, 来指导矿区甚至区域找矿。区内 Py 产出量比较大, 且分布范围广, 除成岩期少量沉淀外, 以热液期形成为主。主矿化阶段的 Gn-Py-Cal 脉、Sp-Q 脉穿切致密块状 Py 壳和浸染状 Py 带, 以及在致密块状的高品位矿石带内可见 Py 的斑晶及交代残余结构, 均暗示 Py 壳为热液期早阶段流体富集的产物, 并大量富集形成致密块状的 Py 带。富 Pb-Zn 矿石都被致密块状的 Py 壳所包裹, 低品位矿石则被星点状 Py 壳所包裹, 在透镜状矿体的侧、边部及其中、上部, 致密块状 Py 壳会出现在富矿体内部。理论上讲, 能够导致如此大量 Py 富集沉淀的原因应较为特殊, 推测有机质的参与和大量还原硫的供给可能是主要的原因。

5.2 成矿流体演化

热液矿床中的矿化分带遵循交代分带理论 (Korzhinskii, 1970), 并可反映成矿流体动力作用的变化 (扩散、对流), 流体化学性质 (如 pH 值、温度、压力及围岩组份) 等。矿化分带的尺度可以从微观 (晶粒内部结构分带尺度) 到宏观 (矿床分带尺度), 还可用于识别单个晶体的矿物成分和化学成分 (Einaudi *et al.*, 1981; Meinert, 1987, 1992, 1997)。通过对 I 号矿体 (群) 矿化蚀变分带的解剖研究, 可得到以下有关成矿流体运聚与成矿作用过程的信息:

(1) 自矿体中心到外围, 蚀变矿物颗粒由中-粗晶 → 细-中晶, 靠近矿体以白云石化为主, 远离矿体以方解石化为主。因在溶液浓度较低的情形下, 生成的矿物粒度粗大, 易长成自形, 而在浓度饱和和过饱和的情况下, 矿物颗粒呈中-细粒, 即自中心到外围流体中 Ca^{2+} 浓度逐渐增大, Mg^{2+} 浓度逐渐减小, 说明流体是以渗滤交代-扩散的方式发生侧向迁移的。在交代过程中, 伴随被交代矿物颗粒的合并加大, 在硅化或矿化灰岩交代带常具有巨大的 Cal 晶体。IV 阶段的 Cal 宽脉并未在富矿体附近见到, 仅见于星点状 Py 壳带内, 说明在 IV 阶段早期成矿通道已封闭, 但其周围张性裂隙发育, 是一次规模较大的热致构造活跃期。

(2) Py 单晶形态主要以 {210} 和 {100} 较常见, 自矿体中心往两侧由以 {210} 为主到以 {100} 为主。其晶体习性的演变符合唐纳森-哈克 (1937) 兼顾面

网密度和螺旋滑移面提出的 Py 晶形发育顺序。从晶形与过饱和度的关系看, $\{100\}$ 反映过饱和度最低, $\{210\}$ 则是过饱和度最高的指示(陈光远等, 1987)。可知, 流体自中心往周围渗滤扩散时的 Fe^{2+} 饱和度是逐渐减小的。

(3) 条带状矿石是矿区出现的较为特殊的矿石类型, 目前该类矿石多在 670 m 中段见到, 670 m 以下的深钻也已揭露, 而在 760 m 中段及其上部均未发现。在 784 m 中段, 还可见晚期红色 Sp 脉穿切致密块状矿石(图 3b-1), 推测 784 m 高程已处在 III 阶段成矿流体叠加的前锋部位, 784 m 以上部位矿石应以 II 阶段成矿为主。也就是说, 在 784 m 高程以下, 成矿流体已经发生了叠加。通过对条带状矿石的镜下观察, 可见致密块状的 Py 条带被 $Sp-Gn-Q$ 脉所穿切(图 3k), 由此所呈现的条带状矿石推测为热液叠加作用的产物。在 784 m 中段, Sp 以黑-褐黑色为主, 670 m 中段的 Sp 为褐黄-褐红色, 可见 II 阶段成矿流体的温度较 III 阶段高, 这也与流体包裹体测温结果相吻合(另文)。

(4) 由于矿区发育陡倾斜倒转背斜, 热液多沿层间断裂带近于顺层产出, 垂向分带不明显, 横向分带显著。蚀变-矿化分带剖面内含矿热液系统显示出温度梯度、浓度梯度和物质迁移有方向性(张荣华等, 1992)。毛坪铅锌矿床无论是在围岩蚀变、矿化、矿石结构类型以及矿物组合上, 均呈现了显著的分带现象, 然而所涉及的范围较为局限, 尤其是矿化分带(宽约 10~50 m)。在如此小的区间, 温度梯度不是主要的控制因素, 认为矿分带性与含矿热液的浓度梯度、横向渗透扩散受岩性垂向物性变化影响的关系密切。蚀变矿化的普遍发育, 更表明成矿作用过程中存在流体相的广泛介入。本次建立的蚀变-矿化分带模式对川滇黔铅锌成矿域具有普遍意义, 也有助于成矿流体运聚和富集成矿机制的深入研究。

6 结论

(1) 毛坪铅锌矿床 I 号矿群蚀变-矿化分带显著, 从矿体中心向外、自下而上蚀变呈现硅化→泥化→碳酸盐化的显著分带现象, 矿化具有致密块状高品位 $Pb-Zn$ 矿石→致密块状 Py 壳→浸染状、脉状、斑块状低品位 $Pb-Zn$ 矿石→星点状 Py 壳的分带特点, 相应的矿物组合依次为 $Sp+Gn+Py+Mrc+Pyr$

($+Cpy$)+ $Q+Cal$ 组合、 $Py+Gn+Sp+Dol+Fe-Dol+Cal+Q+Ill$ 组合、 $Py+Dol+Fe-Dol+Cal+Q+Sd$ 组合和 $Dol+Cal$ 组合。

(2) 矿化作用可分为 I、II、III、IV、V 等 5 个阶段, Py 外壳是早期流体的产物, 条带状矿石是热液叠加作用的产物, 且 784 m 高程处已处在 III 阶段成矿流体叠加的前锋, II 阶段成矿流体的温度较 III 阶段高。

(3) 自矿体中心到外围蚀变矿物颗粒由中-粗晶→细-中晶, 靠近矿体以白云石化为主, 远离矿体以方解石化为主, 说明流体是以渗滤交代-扩散的方式发生侧向迁移, 垂向分带不显著, 横向分带发育, 矿化分带性与含矿热液的浓度梯度和横向渗透扩散受岩性垂向物性变化影响的关系密切。 Py 单晶形态以 $\{210\}$ 和 $\{100\}$ 较常见, 自矿体中心往两侧由以 $\{210\}$ 为主到以 $\{100\}$ 为主, 流体自中心往外围渗滤扩散时的 Fe^{2+} 饱和度逐渐减小。

致谢 在野外工作期间, 得到云南驰宏锌锗股份有限公司昭通市铅锌矿及云南驰宏资源勘查开发有限公司领导及技术人员的热情支持和大力帮助; 岩相学研究等工作得到刘星教授的耐心指导。中国地质科学院矿产资源所杨竹森研究员、杨志明副研究员和中国地质大学罗照华教授认真读完冗长的手稿, 并提出宝贵的意见, 在此一并致谢。

References

- Chen Guangyuan and Sun Daisheng. 1987. Genetic Mineralogy and Prospecting Mineralogy [M]. Chongqing: Chongqing Publishing House, 1~874 (in Chinese with English abstract).
- Chen Shijie. 1984. Research on the genesis of lead-zinc ore-deposits in west-em Guizhou and northeastern Yunnan [J]. Geology of Guizhou, 8(3): 1~12 (in Chinese with English abstract).
- Dewers T and Ortoleva P. 1989. Mechano-chemical coupling in stressed rocks [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 53(8): 1 243~1 258.
- Einaudi M T, Meinert L D and Newberry R J. 1981. Skarn deposits [J]. Econ. Geol. (75th Anniversary Volume), 317~391.
- Fyfe W S. 1987. Tectonics, fluids and ore deposits: Mobilization and remobilization [J]. Ore Geology Reviews, 2(1~3): 21~36.
- Han R S, Zou H J, Hu B, et al. 2007. Features of fluid inclusion and sources of ore-forming fluid in the Maoping carbonate-hosted Zn-Pb-(Ag-Ge) deposit [J]. Acta Petrologica Sinica, 23(9): 2 109~2 118.
- Han Runsheng, Chen Jin, Li Yuan, et al. 2001. Discovery of concealed No.8 orebody Qilingchang lead-zinc deposit in Huize mine, Yunnan [J]. Geology-Geochemistry, 29(3): 191~195 (in Chinese

- with English abstract).
- Hu Bin, Han Runsheng, Ma Deyun, *et al.* 2003. REE geochemical features of NE-trend fault tectonites and their ore-finding significance in the Maoping Pb-Zn deposit, Yunnan, China as exemplified by the distribution area of No. 1 orebody[J]. *Geology-Geochemistry*, 31(4): 22~28(in Chinese with English abstract).
- Korzhinskii D S. 1970. *Theory of Metasomatic Zoning*[M]. Oxford, Clarendon Press.
- Li Shengrong, Chen Guangyuan, Shao Wei, *et al.* 1994. A study of the application of zoning structure of quartz in mineralogical mapping[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 14(4): 398~383(in Chinese with English abstract).
- Liu Hechang and Lin Wenda. 1999. *Regularity Research of Ag-Zn-Pb Ore Deposits in Northeastern Yunnan Province*[M]. Kunming: Yunnan University Press, 129~131(in Chinese).
- Liu Xing. 1992. Mineralogical mapping as a means of revealing zonation of gold vein No. 52 in deposits as example Linglong gold mine[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2(3): 228~234(in Chinese with English abstract).
- Meinert L D. 1987. Skarn zonation and fluid evolution in the Groundhog mine, central Mining District, New Mexico[J]. *Econ. Geol.*, 82(3): 523~545.
- Meinert L D. 1992. Skarns and skarn deposits[J]. *Geoscience Canada*, 19(4): 145~162.
- Meinert L D. 1997. Application of skarn deposit zonation models to mineral exploration[J]. *Explor. Mining Geol.*, 6(2): 185~208.
- Shen Qihan. 2009. The recommendation of a systematic list of mineral abbreviations[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 28(5): 495~500(in Chinese with English abstract).
- Zhang Changqing, Mao Jingwen, Wu Suoping, *et al.* 2005. Distribution, characteristics and genesis of Mississippi Valley-Type lead-zinc deposits in Sichuan-Yunnan-Guizhou area[J]. *Mineral Deposits*, 24(3): 336~348(in Chinese with English abstract).
- Zhang Ronghua and Hu Shumin. 1992. *Chemical Kinetics of Minerals in Hydrothermal and Mass Transfer*[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- Zhang Ronghua and Hu Shumin. 2001. The evolution of deep earth fluids and ore genesis[J]. *Earth Science Frontiers*, 8(4): 297~310(in Chinese with English abstract).
- Zheng Qing'ao. 1997. The practice and understanding of convective circulation mineralization and hot water karst massive lead-zinc orebody Kuangshanchang and Qiling lead-zinc deposit in Huize mine, Yunnan[J]. *Southwest Geology*, 11(1~2): 8~16(in Chinese).
- Zhou Chaoxian. 1998. The source of mineralizing metals, geochemical characterization of ore-forming solution, and metallogenetic mechanism of Qilinchang Zn-Pb deposit, northeastern Yunnan province, China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 17(1): 34~36(in Chinese with English abstract).
- Zhou Gaoming and Li Benlu. 2005. Geological characteristics and original discussion on genesis of the lead-zinc deposit of Maoping in Yunnan province[J]. *West-China Exploration Engineering*, 16(3): 75~77(in Chinese).
- Zou Haijun, Han Runsheng, Hu Bin, *et al.* 2004. New evidences of origin of metallogenic materials in the Maoping Pb-Zn ore deposit, Zhaotong, Yunnan: R-factor analysis results of trace elements in NE-extending fractural tectonites[J]. *Geology and Prospecting*, 40(5): 43~48(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈光远,孙岱生. 1987. *成因矿物学与找矿矿物学*[M]. 重庆: 重庆出版社, 1~874.
- 陈士杰. 1984. 黔西滇东北铅锌矿床的沉积成因探讨[J]. *贵州地质*, 8(3): 1~12.
- 韩润生,陈进,李元,等. 2001. 云南会泽麒麟厂铅锌矿床八号矿体的发现[J]. *地质地球化学*, 29(3): 191~195.
- 胡彬,韩润生,马德云,等. 2003. 毛坪铅锌矿区 I 号矿体分布区断裂构造岩稀土元素地球化学特征及找矿意义[J]. *地质地球化学*, 31(4): 22~28.
- 李胜荣,陈光远,邵伟,等. 1994. 石英环带结构填图有效性研究[J]. *矿物学报*, 14(4): 398~383.
- 刘星. 1992. 矿物学填图揭示金矿脉的隐蔽分带性[J]. *矿物学报*, 12(3): 228~234.
- 柳贺昌,林文达. 1999. 滇东北铅锌银矿床规律研究[M]. 昆明: 云南大学出版社, 1~135.
- 沈其韩. 2009. 推荐一个系统的矿物缩写表[J]. *岩石矿物学杂志*, 28(5): 495~500.
- 张长青,毛景文,吴锁平等. 2005. 川滇黔地区 MVT 铅锌矿床分布、特征及成因[J]. *矿床地质*, 24(3): 336~348.
- 张荣华,胡书敏. 1992. *矿物在热液内化学动力学和物质迁移*[M]. 北京: 科学出版社.
- 张荣华,胡书敏. 2001. 地球深部流体演化与矿石成因[J]. *地学前缘*, 8(4): 297~310.
- 郑庆鳌. 1997. 云南会泽矿山厂、麒麟厂铅锌矿床对流循环成矿及热水洞赋存块状富铅锌矿体的实践与认识[J]. *西南矿产地质*, 11(1~2): 8~16.
- 周朝宪. 1998. 滇东北麒麟厂铅锌矿床成矿金属来源、成矿流体特征和成矿机理研究[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 17(1): 34~36.
- 周高明,李本禄. 2005. 云南毛坪铅锌矿床地质特征及成因初探[J]. *西部探矿工程*, 16(3): 75~77.
- 邹海俊,韩润生,胡彬,等. 2004. 云南昭通毛坪铅锌矿物质来源的新证据: NE 向断裂构造岩微量元素 R 型因子分析结果[J]. *地质与勘探*, 40(5): 43~48.