

文章编号: 1009-3850(2010)02-0084-07

四川九龙黑牛洞铜锌矿床地质特征及成因探讨

马国桃¹, 马东方¹, 高大发¹, 汪名杰¹, 李建忠¹,

姚 鹏¹, 祝向平¹, 陈敏华¹, 梁 鲸²

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2 四川里伍铜业股份有限公司, 四川 甘孜 626200)

摘要:四川省九龙县黑牛洞铜锌矿床为一个产于前震旦系江浪变质核杂岩中的富铜矿床, 受穹隆内发育的环状滑脱构造系统控制。通过对矿床地质特征、成矿物质来源、氢氧同位素等方面的研究, 认为矿床的成矿物质主要来自于深部, 成矿热液是大气降水和变质水组成的混合流体。矿床的成矿时代为燕山期, 矿床的形成与区域构造-岩浆热事件相对应。黑牛洞矿床为中高温变质热液矿床。

关键词: 黑牛洞; 地质特征; 矿床成因; 富铜锌矿床; 江浪变质核杂岩

中图分类号: P611.1

文献标识码: A

扬子地台西缘的变质核杂岩一直是众多学者的研究重点^[1~5], 其中, 尤以江浪变质核杂岩最为典型, 除著名的李伍富铜矿床外^[6~10], 沿该变质核杂岩边部还分布有一系列的铜、铅、锌矿床。最近, 成都地质矿产研究所在江浪变质核杂岩的西翼探明的黑牛洞富铜锌矿床规模在中型以上^[11~13], 该成果的取得表明该区具有进一步的找矿潜力。本文通过对黑牛洞矿床地质特征、矿床成因进行探讨和总结, 以便对该地区同类型矿床的研究和勘查提供借鉴意义。

黑牛洞铜锌矿位于九龙县魁多乡, 地理坐标: 东经 101°38'00"~101°44'00", 北纬 28°26'30"~28°31'00", 勘查区面积约 1.90 km²。该矿床是继江浪穹隆东翼李伍中型铜矿之后的又一个中型规模以上的铜矿床, 已初步提交铜资源量 21.65 万吨, 锌 11.86 万吨。

1 矿区地质概况

黑牛洞富铜矿锌床位于扬子地台的西缘之松

潘甘孜造山带东缘的江浪变质核杂岩中(图 1)。松潘甘孜造山带总体上是一个三角状褶皱带, 其北侧、东南侧及东侧分别与东昆仑-西秦岭构造带、金沙江构造带及龙门山构造带相邻^[11]。构造带几乎全部被三叠系浊积岩所覆盖, 其中侵入了很多花岗岩体^[14]。

矿区内有两条近于平行的主推覆断裂, 一条是箐河-金河断裂, 另一条为位于其北西侧的锦屏山断裂。在两条断裂的北西侧后缘分布一系列呈串珠状的穹隆构造, 为重要的区域控矿构造。

黑牛洞矿床位于江浪变质核杂岩的西翼, 与李伍铜矿呈对称分布。矿区地层经历了强烈的构造变形变质和多期次构造置换与变质作用, 构造与变质序列十分复杂。

位于矿区北东的文家坪见有燕山期似花斑状黑云母花岗岩(131 ± 5 Ma)侵入于江浪穹隆北东翼, 岩体接触带有大量围岩俘虏体, 接触带宽数十米到百余米, 角岩化明显。穹隆以西有燕山期花岗岩闪长岩体侵入, 同时见有大量斜长角闪岩呈条带状、透镜

收稿日期: 2009-11-15 改回日期: 2010-07-04

作者简介: 马国桃(1981—), 男, 硕士, 现主要从事矿床勘查与研究工作。E-mail: jmgua@126.com

资助项目: 国家资源补偿费项目“四川九龙县李伍铜矿外围普查”和“四川九龙县黑牛洞-大水沟铜矿详查”联合资助

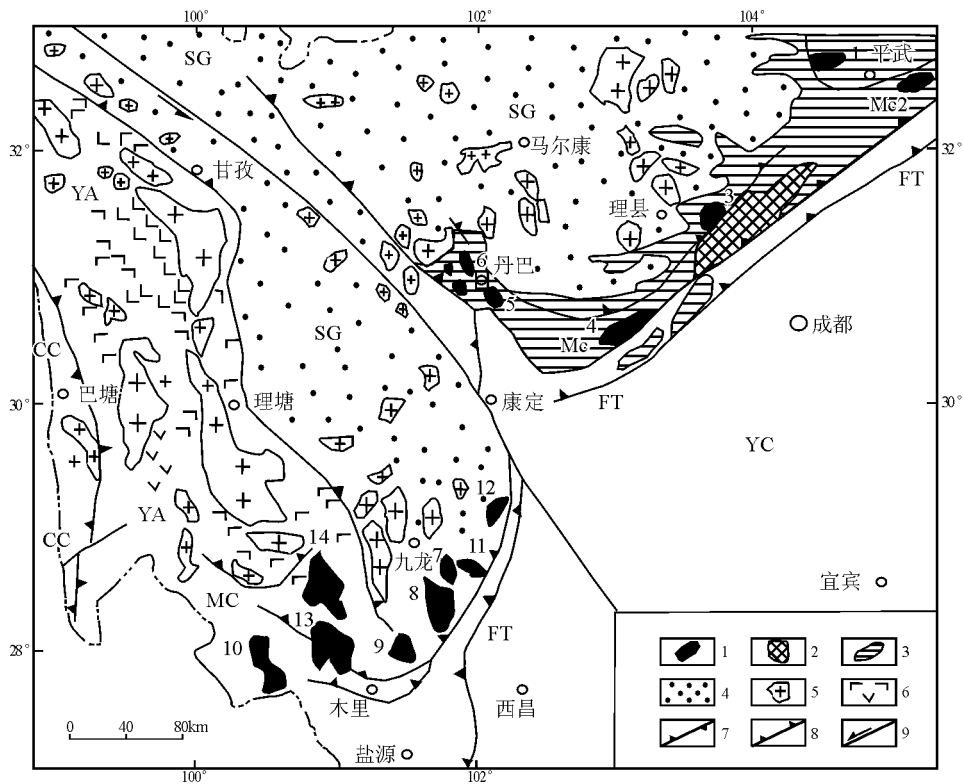


图 1 川西地区变质核杂岩分布及区域构造分区略图 (据傅昭仁等, 1997)

1. 变质核杂岩; 2 彭 灌杂岩; 3. 上震旦及古生界; 4 三叠系西康群; 5. 花岗岩体; 6 三叠纪岛弧钙碱性火山岩; 7. 碰撞缝合带; 8 逆冲推覆带; 9. 走滑断层。CC 碰撞结合带; YA 义敦岛弧带; SG 松潘 甘孜造山带; MC 大陆斜坡变质核杂岩带; FT 前陆逆冲推覆带; YC 扬子地台。变质核杂岩名称: 1. 摩天岭 2 桥子顶; 3 雪龙包; 4. 雅斯德; 5 格宗; 6 公差; 7 踏卡; 8 江浪; 9 长枪; 10 恰斯; 11. 三坝; 12 田湾; 13 瓦厂; 14. 唐央

Fig 1 Distribution of the metamorphic core complexes and tectonic division in western Sichuan (after Fu Zhaoren et al, 1997)
1= metamorphic core complex 2= Pengxian-Guanxian complex 3= Upper Sinian and Paleozoic 4= Triassic Xikang Group 5= granite 6= Triassic island arc calc-alkaline volcanic rock 7= suture zone 8= overthrust zone 9= strike slip fault CC= collision suture zone YA= Yidun island arc zone SG= Songpan-Garze orogenic zone MC= continental slope metamorphic core complex zone FT= foreland overthrust zone YC= Yangtze platform Metamorphic core complexes 1= Motianling 2= Qiaoziding 3= Xuelongbao 4= Yaside 5= Gezong 6= Gongchai 7= Taka 8= Jianglang 9= Changqiang 10= Qasi 11= Sanya 12= Tianwan 13= Wachang 14= Tangyang

状产出于李伍岩群中段。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

黑牛洞铜锌矿床共圈出两个矿体 (群), 上部为 II 号矿体群; 下部为 I 号矿群, 从下往上依次为 I₁、I₂和 I₃矿体 (图 2)。矿体赋存在含石榴子石绿泥石二云片岩中, 矿体走向与地层产状一致, 受层间韧性滑脱断层控制, 以 II 矿体、I₃矿体规模较大, 品位较高。

I₃号矿体总体呈似层状, 走向 310°~320°, 倾向南西, 倾角为 23°~30°, 矿体产状总体上浅部稍陡, 向深部变缓。走向长 400~600m, 控制倾向延伸

600~700m, 矿体倾向延伸大于走向延伸。矿体厚度 1.13~11.52m, 平均为 4.33m, 厚度变化系数为 26.93%, 较为稳定。矿体的 Cu 品位为 0.05%~16.90%, 平均品位为 2.32%, 品位变化系数 123.77%; 矿体 Zn 品位为 0.13%~3.94%, 平均品位为 1.13%, 品位变化系数 132.83%。矿体主要由块状含黄铜矿磁黄铁矿矿石组成, 仅有少量浸染状、条带状矿石。

II 号矿体位于 I₃号矿体之上, 二者之间呈平行展布, 垂直间距一般为 40~60m。矿体呈似层状, 总体走向北西, 倾向南西, 倾角为 25°~35°。矿体呈半隐伏状, 向深部呈现扩大之势。走向延伸 450m, 控制倾向延伸 500~600m, 矿体倾向延伸大于走向

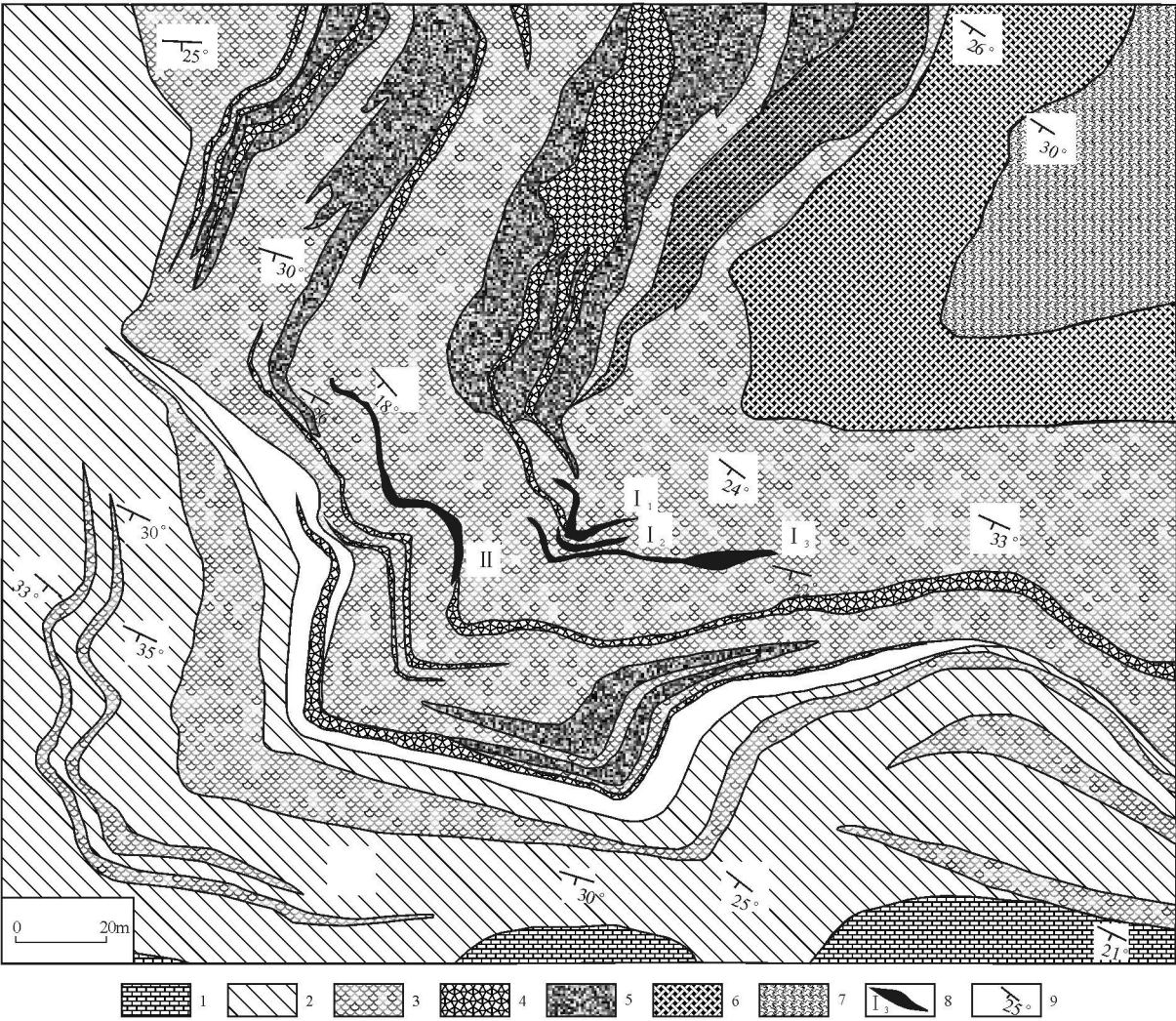


图 2 黑牛洞铜锌矿床地质图 (据汪名杰等, 2007, 修改)

1 片状石英岩、二云石英片岩; 2 二云石英片岩夹二云片岩; 3 磁黄铁矿化二云石英片岩; 4 斜长角闪岩; 5 二云石英片岩夹斜长角闪岩; 6 电气石化二云石英片岩夹片状石英岩; 7 含石榴子石二云片岩夹二云石英片岩; 8 矿体及编号; 9 地层产状

Fig 2 Geological map of the Heindong copper-zinc deposit (modified from Wang Mingjie et al., 2007)

1= flaky quartzite and w mica quartz schist 2= w mica quartz schist intercalated with w mica schist 3= pyrrhotitized w mica quartz schist 4= amphibolite 5= w mica quartz schist intercalated with amphibolite 6= tourmalinized w mica quartz schist intercalated with flaky quartzite 7= garnet bearing w mica schist intercalated with w mica quartz schist 8= orebody 9= occurrence

延伸。矿体厚度 0.77~9.76m, 平均 3.95m; 厚度变化系数为 44.09%。矿体 Cu 品位为 0.04%~2.53%, 平均品位为 0.88%, 品位变化系数 88.38%; 矿体 Zn 品位为 0.011%~11.79%, 品位变化系数 115.05%, 平均品位为 2.38%。矿体厚度、品位总体变化较大, 深部延伸不稳定。矿体主要由浸染状、条带状含黄铜矿闪锌矿磁黄铁矿矿石和块状硫化物矿石组成, 块状矿石较 I₃ 号矿体少。

上述两矿体中, I₃ 号矿体规模远大于 II 号矿体, 铜品位也明显高于 II 号矿体, 估算的铜资源量超过 20 万吨, 总资源量占矿区的 92%, 是目前李伍矿田内探明的最大矿体。

2.2 矿石特征

1. 矿石类型

根据矿石类型和结构构造将矿石划分为两种: 致密黄铜矿磁黄铁矿块状矿石和细脉浸染状黄铜矿磁黄铁矿矿石。

致密黄铜矿磁黄铁矿块状矿石的金属矿物为磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等, 含量一般为 60% ~80%; 非金属矿物主要为石英、黑云母、绿泥石等, 含量一般为 20% ~40%; 细脉浸染状黄铜矿磁黄铁矿矿石的金属矿物为闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿等, 含量一般为 5% ~30%, 非金属矿物主要为石英、黑云母、绿泥石、石榴子石、绢云母等, 含量一般为 70% ~95% 。

矿石可划分为氧化矿石和原生矿石两种工业类型。

氧化矿石分布在地表或浅部, 以发育孔雀石、黄铜矿、褐铁矿为主要特征, 褐铁矿呈黄褐色, 流失后呈蜂窝状, 多为磁黄铁矿氧化后的产物, 矿石的品位较低; 原生矿石分布在距地表 60 m 以下, 品位较富, 为矿区主要的矿石类型。

2 矿物成分

矿石的矿物成分比较简单, 矿石矿物主要有磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿, 含有少量的方铅矿、黄铁矿、辉钼矿等, 在地表氧化带见有褐铁矿、孔雀石、铜蓝以及铁、铜、锌、铅的硫酸盐矾类矿物。脉石矿物以石英、白云母、黑云母、绢云母、绿泥石为主, 其次为石榴子石、角闪石、电气石、长石等。

3 矿石化学成分

根据矿石基本分析 (Cu Zn) 和组合分析 (Au Ag Pb Ni Co S) 结果, 矿石中主要有用成分为铜和锌, 伴生有益组分为金、银、硫等。铜平均含量 1.68%, 其中 I₃ 号矿体矿石平均含铜 2.32%, II 号矿体平均含铜 0.88%, 前者明显高于后者。矿石中锌平均含量为 1.53%, 其中 I₃ 号矿体矿石平均含锌 1.13%, II 号矿体平均含锌 2.38%。铜与锌含量在致密黄铜矿磁黄铁矿块状矿石和细脉浸染状黄铜矿磁黄铁矿矿石中总体表现为正相关关系。

根据组合样品分析, 矿石中伴生有益组分主要有金、银、硫等。矿石中金含量范围为 0.006 ~0.3 g/t, 变化较大, 平均含量为含 0.1 g/t; 银在矿石中含量为 2~25 g/t, 平均含量为含 12.39 g/t; 矿石因富含金属硫化物, 所以硫含量普遍较高, 含量为 5.32% ~30.42%, 平均为 16.66%。

4 矿石结构构造

矿石结构主要有它形粒状结构、片状变晶结构、溶蚀残余结构、交代残余结构、固溶体分离结构。矿石构造主要有浸染状构造、条带状构造、脉状 (网脉状) 构造、角砾状构造、团块状构造、致密块状构造。

2.3 围岩蚀变

自矿体向外的蚀变分带不明显, 但蚀变与矿化强度总体上呈现为正消长的关系, 近矿顶底板围岩蚀变强烈, 普遍伴有星点状、局部为浸染状磁黄铁矿, 偶见黄铜矿、闪锌矿。远矿部位围岩逐渐趋弱, 仅见有少量的磁黄铁矿。蚀变类型主要有黑云母化、电气石化、斜长石化、硅化、绢云母化、绿泥石化等。根据野外及室内镜下观察, 蚀变作用经历了早期黑云母化、斜长石化, 中期电气石化、硅化, 晚期绢云母化和绿泥石化的演变, 成矿与晚期蚀变作用关系密切。近矿部位晚期强烈的绢云母化、绿泥石化常使岩石发生明显褪色现象, 片理构造趋于消失, 为重要找矿标志^[10]。

3 矿床成因

3.1 成矿物质来源

1. 稀土元素特征

本文测试了黑牛洞矿床黄铜矿磁黄铁矿块状矿石、浸染状矿石及容矿围岩的稀土元素含量 (表 1)。可以看出: 黑云母片岩的稀土含量高于浸染状矿石、黑云母石英片岩、斜长角闪岩及块状矿石。在稀土

表 1 黑牛洞铜矿床矿石、岩石稀土分析结果 (w_B/10⁻⁶)
Table 1 REE analyses for the ores and rocks from the Heiniudong copper-zinc deposit (w_B/10⁻⁶)

岩石名称	编号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
块状石英黄铜矿矿石	1	0.82	1.36	0.14	0.47	0.08	0.31	0.07	<0.05	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.47
条带状矿石	2	75.70	136.00	16.10	60.20	10.90	2.16	9.47	1.32	6.98	1.36	4.09	0.54	3.62	0.55	38.10
黑云母石英片岩	3	34.20	66.60	7.55	27.90	5.13	0.80	4.42	0.65	3.50	0.70	2.20	0.31	2.19	0.34	20.40
黑云母片岩	4	91.60	164.00	18.50	68.30	12.10	2.28	10.70	1.49	7.80	1.45	4.20	0.57	3.71	0.53	40.20
斜长角闪岩	5	21.30	46.10	6.58	30.90	8.27	2.41	7.50	1.35	7.97	1.57	4.51	0.60	3.87	0.57	43.20
花岗岩	6	68.20	110.00	11.20	37.20	5.65	1.57	4.87	0.51	2.12	0.37	1.07	0.14	0.87	0.13	11.20
球粒陨石 (Taybor) 等, 1985		0.37	0.96	0.14	0.71	0.23	0.09	0.31	0.06	0.38	0.09	0.25	0.04	0.25	0.04	2.10

注: 样品分析由国家地质实验测试中心测试, 2005

配分图(图 3)中,块状矿石的稀土元素特征显然不同于围岩,而浸染状矿石的稀土配分曲线与围岩具有一致性,反映浸染状矿石的成矿物质主要来源于围岩。在野外观察发现,浸染状矿石中金属矿物基本顺片理分布,与围岩具有亲缘性;而块状矿石中金属矿物被角砾状石英胶结,与后期脆性断层具有成因联系。块状矿石硫化物含量较高,其配分曲线基本反映硫化物的稀土元素特征,分异不是特别明显。

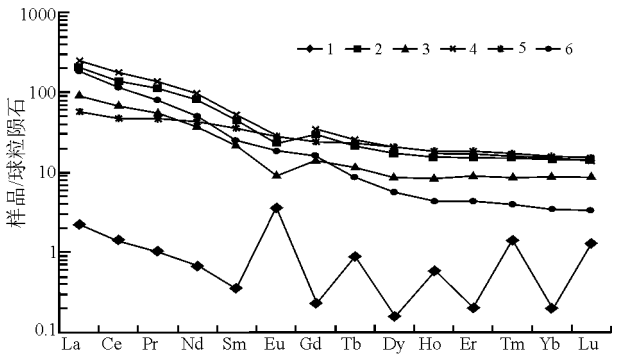


图 3 黑牛洞铜锌矿床中矿石和围岩的稀土配分曲线
Fig 3 Chondrite-normalized REE distribution patterns for the ores and rocks from the Heinjulong copper zinc deposit

2 氢氧同位素特征

黑牛洞铜矿床块状黄铜矿磁黄铁矿矿石中含有大量的石英,经野外判断石英与铜矿的形成有直接的成因联系,与矿床的形成应为同期。结合前人对江浪穹隆发育的李伍矿床和黑牛洞矿床中含矿石英流体包裹体氢、氧同位素的分析(表 2),黑牛洞矿床中 $\delta^8\text{O}$ 值为 $0.00\text{‰} \sim 11.40\text{‰}$, 平均值为 8.85‰ , δD 值为 $-101.00\text{‰} \sim -76.60\text{‰}$, 平均值为 -89.43‰ ; 而李伍矿床的 $\delta^8\text{O}$ 值为 $-5.06\text{‰} \sim 13.93\text{‰}$, 平均值为 2.94‰ , δD 值为 $-98.30\text{‰} \sim -67.87\text{‰}$, 平均值为 -75.94‰ 。将石英流体包裹体中水的 δD 值和 $\delta^8\text{O}$ 值投影到 Taylor (1979) 的氢、氧同位素组成图解(图 4)中,可以看出,两个矿床的投影点几乎都落在与变质水与岩浆水的交界处。结合区域构造事件^[29],黑牛洞矿床与变质热液关系更为密切,后期受大气降水影响,与围岩发生了部分同位素交代反应。

3 铅同位素特征

为深入了解黑牛洞铜矿床的成因,对矿石和围岩进行了铅同位素测试。由表 3 可以看出,黑牛洞铜矿床中块状矿石、浸染状矿石、黑云母石英片岩、黑云母片岩的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $38.6314 \sim 39.0201$, 值

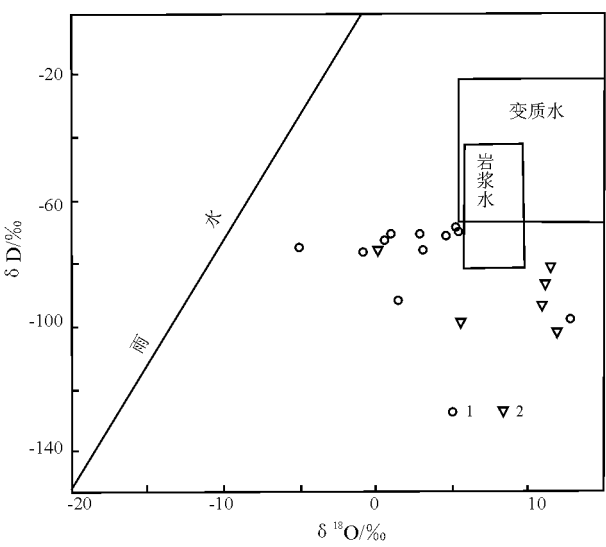


图 4 黑牛洞铜锌矿床氢、氧同位素图解
Fig 4 Hydrogen and oxygen isotopic diagram for the Heinjulong copper zinc deposit

表 2 黑牛洞铜锌矿床矿石中石英包裹体氢、氧同位素组成
Table 2 Hydrogen and oxygen isotopic values for the quartz inclusions in the ores from the Heinjulong copper zinc deposit

序号	采集地	测试矿物	$\delta^8\text{O}_{\text{SMOW}}\text{‰}$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}\text{‰}$
1	里伍	石英	5.44	-69.18
2	里伍	石英	4.69	-70.25
3	里伍	石英	5.13	-67.87
4	里伍	石英	1.42	-88.56
5	里伍	石英	2.51	-69.89
6	里伍	石英	-5.06	-75.2
7	里伍	石英	13.93	-98.3
8	里伍	石英	1.38	-68.1
9	里伍	石英	0.78	-72.5
10	里伍	石英	-0.92	-77.6
11	里伍	石英	2.99	-77.9
12	黑牛洞	石英	0.00	-76.6
13	黑牛洞	石英	9.30	-98.00
14	黑牛洞	石英	10.90	-93.00
15	黑牛洞	石英	10.80	-87.00
16	黑牛洞	石英	11.40	-101.00
17	黑牛洞	石英	10.70	-81.00

注: 1~5 据参考文献^[8], 6~12 据参考文献^[14], 13~17 据参考文献^[15]

表 3 黑牛洞铜锌矿床矿石及围岩铅同位素测试结果
Table 3 Lead isotopic determinations for the ores and wall rocks of the Heiniudong copper-zinc deposit

样品号	样品名称	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	2σ
黑 04-1	块状石英黄铜矿矿石	38.6314	0.015	15.6046	0.014	18.4582	0.014
黑 05-17	条纹状矿石	38.6605	0.012	15.6119	0.013	18.4688	0.013
HP3012	黑云母石英片岩	39.0201	0.010	15.6639	0.010	18.7803	0.008
P71b1	黑云母片岩	38.8740	0.016	15.7218	0.013	18.4002	0.011

测试单位: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2006

为 38.7965 , $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $15.6046 \sim 15.7218$, 均值为 15.6506 , $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $18.4002 \sim 18.7803$, 均值为 18.5269 , 四个样品组成非常均一。在 Zöe等 (1979) 的不同地质环境铅同位素演化模式图上, 块状矿石、浸染状矿石、黑云母石英片岩和黑云母片岩投影点均落在造山带和上地壳区域之间 (图 5)。反映其源区以造山带铅为主, 混有上地壳铅。矿床的成矿物质与围岩具有相同或相近的来源, 可能主要

$\pm 18\text{Ma}$, 李伍硫磺崖子铜矿体中方铅矿铅的表面年龄为 184Ma , 挖金沟和李伍矿区与成矿有关的黑云母 K-Ar 年龄分别为 142.2Ma 、 80.8Ma (后者年龄值偏低, 可能与样品有轻微次生蚀变有关)。矿区石英具多期性, 因此石英作为测试年龄有欠准确, 但也提供了一些参考信息。因此, 李伍铜矿床成矿的年龄基本确定在 $142.2 \sim 184\text{Ma}$, 表明黑牛洞铜矿床与江浪穹隆东翼的李伍铜矿床同属于燕山期成矿作用的产物。

4 结 论

松潘-甘孜地体内花岗岩浆的活动时限为 $219 \pm 8\text{Ma} \sim 185 \pm 3\text{Ma}$, 持续了大约 30Ma ^[14], 花岗岩浆的侵入导致了印支晚期-燕山早期 ($190 \sim 160\text{Ma}$) 松潘-甘孜地区变质核杂岩成穹事件的发生^[12-17]。随后在 152Ma 左右, 地壳运动进入相对稳定发展的阶段, 这段时期为各种成矿作用的发生提供了必要条件。黑牛洞铜矿床的成矿时代为 $135.52 \pm 0.82\text{Ma}$, 李伍铜矿的成矿时代为 $142.2 \sim 184\text{Ma}$, 主要与燕山期成穹构造后的中高温变质热液有关。

在印支晚期-燕山早期, 由于区域的岩浆活动, 江浪变质核杂岩的成穹过程导致区域韧性拉张, 形成韧性剪切断层, 为成矿提供了有利的容矿空间。在隐伏岩浆热源和大气降水的作用下, 流体萃取围岩中的成矿物质, 形成中高温变质含矿热液。在后期的区域构造活动中, 脆性断层叠加在早期韧性断层之上, 形成挤压破碎带, 同时含矿流体沿断裂上升, 在背斜轴部和褶皱的虚脱部位, 形成了黑牛洞矿区的数层雁行排列的厚大富铜锌矿体。

参考文献:

[1] 宋鸿林, 田竟亚, 颜丹平, 等. 扬子地台西缘江浪变质核杂岩变形变质作用及李伍式铜矿成矿模式[J]. 1995: 1—82.
[2] 傅昭仁, 宋鸿林, 颜丹平. 扬子地台西缘江浪变质核杂岩结构及对成矿的控制[J]. 地质学报, 1997, 71(2): 113—122.

图 5 黑牛洞铜锌矿床铅同位素组成图解 (底图据 Doe et al., 1979)^[19]

1. 块状石英黄铜矿矿石; 2. 条纹状矿石; 3. 黑云母石英片岩; 4. 黑云母片岩
Fig. 5 Plots showing the lead isotopic compositions from the Heiniudong copper-zinc deposit
1 = massive quartz chalcopyrite ores; 2 = ribbon ores; 3 = biotite quartz schist; 4 = biotite schist

与造山运动所引起的构造-岩浆活动等有关^[2]。

3.2 成矿时代

在黑牛洞铜锌矿床所采取的与矿石矿物共生的黑云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄值为 $135.52 \pm 0.82\text{Ma}$ 。宋鸿林等 (1995) 用李伍矿床上矿带矿体中的 6 件含石英 (脉) 样品测得包裹体 Rb-S 等时年龄为 191

[3] 颜丹平, 宋鸿林, 傅昭仁. 扬子地台西缘江浪变质核杂岩的出露地壳剖面构造地层柱[J]. 现代地质, 1997, 11(3): 290—297.

[4] 颜丹平, 宋鸿林, 傅昭仁. 四川省九龙县江浪穹隆的变形变质作用与李伍铜矿控矿构造模式[J]. 矿床地质(增刊), 1994 13, 120—121

[5] 颜丹平, 宋鸿林, 傅昭仁. 扬子地台西缘造山前的区域伸展作用研究[J]. 地质前缘, 1999, 6(4): 352

[6] 姚家栋. 试论李伍铜矿床成因[J]. 四川地质学报, 1990, 10(4): 251—258

[7] 姚家栋. 李伍式铜矿床成矿控制条件与找矿前景[J]. 四川地质学报, 1991, 11(1): 29—36

[8] 宋铁和, 幸石川. 李伍铜矿床成因探讨[J]. 西南矿产地质, 1990, 4(4): 1—12

[9] 杜亚军, 田竞亚. 李伍铜矿床控矿构造地质特征及演化模式探讨[J]. 四川地质学报, 1996, 16(3): 213—218

[10] 冯孝良, 汪名杰, 文成敏, 等. 浅析里伍铜矿外围找矿前景[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(1): 9—13

[11] 汪名杰, 李建忠, 姚鹏. 四川省九龙县黑牛洞—大水沟矿区普查报告[R]. 2007, 1—202

[12] 李建忠, 汪名杰, 姚鹏, 等. 四川九龙黑牛洞铜矿床地质特征及其外围找矿方向初探[J]. 沉积与特提斯地质, 2006 26(4): 69—77

[13] 姚鹏, 汪名杰, 李建忠, 等. 四川里伍式富铜矿成矿特征及其形成机制初探[A]. 第八届全国矿床会议论文集[C]. 北京: 地质出版社, 2006. 284—286

[14] 胡健民, 孟庆任, 石玉若, 等. 松潘—甘孜地体内花岗岩锆石 SHRMP U—Pb 定年及其构造意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(3): 865—880

[15] 陈敏华. 四川省九龙县里伍铜矿田围岩蚀变与成矿作用探讨[R]. 2008.

[16] DOE B R, ZARTMAN Z E. Plumbtectonics: the Phanerozoic [A]. BARNES H L. Geochemistry of hydrothermal ore deposits [C]. New York: Wiley, 1979. 22—70.

[17] 李建康, 王登红, 付小方. 川西可尔因伟晶岩型稀有金属矿床的 ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代及其构造意义[J]. 地质学报, 2006, 80(6): 843—848.

Geology and genesis of the Heinjudong copper-zinc deposit in Jiulong, Sichuan

MA Guo-tao¹, MA Dong-fang¹, GAO Da-fa¹, WANG Ming-jie¹, LI Jian-zhong¹, YAO Peng², ZHU Xiang-ping², CHEN Min-hua², LIANG Jing²

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Liwu Copper Mining Company, Garze 626200, Sichuan, China)

Abstract: The Heinjudong copper-zinc deposit in Jiulong, Sichuan as a medium-sized copper-rich deposit in the Jianglang metamorphic core complexes within the Songpan-Garze orogenic zone is hosted in the metamorphic rocks of the Pre-Sinian Liwu Group Complex, and controlled by the ring-shaped decollement structures within the domes. The integration of geology, origin of ore-forming materials and hydrogen and oxygen isopic compositions shows that the ore-forming materials are derived mainly from the deeper parts, and the ore-forming hydrothermal fluids come from the mixtures of meteoric and metamorphic water. The mineralization of the ore deposit may be traced back to the Yanshanian in general agreement with the regional tectonic-magmatic hydrothermal events. It is concluded that the Heinjudong copper-zinc deposit is a moderate- to high-temperature metamorphic hydrothermal ore deposit.

Key words: Heinjudong; geology; genesis; copper-zinc deposit; Jianglang metamorphic core complex