河北蔡家营铅锌银矿床成矿流体研究*

Study of Metallic Fluid of Caijiaying Pb-Zn-Ag Deposit

王莉娟 [1,2] 王京彬 [1,2] 王玉往 [1,2] 朱和平 [2]

（1 北京矿产地质研究所，北京 100012；2 中国科学院地质与地球物理研究所矿物资源探查研究中心，北京 100101）

Wang Lijuan, Wang Jingbin, Wang Yuwang and Zhu Heping

(1 Beijing Research Institute of Mineral Resources Geology, Beijing 100012, China; 2 Chinese Research Center for Mineral Resources Expiration, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

摘 要 蔡家营大型铅锌银矿床位于华北克拉通东部北缘，对该矿床石英、碳酸盐矿物包裹体温度、盐度测定表明，该矿床主要成矿温度区间 160～220℃，主要盐度 $w(NaCL)_{eq}$ 为 2.31%～8.65%，属中温、低盐度热液矿床。本项研究为蔡家营矿床成因提供了原始成矿流体的证据，为追踪成矿流体来源和流体包裹体稀土元素的应用研究积累了经验，扩展了有色多金属矿床成矿机制研究的新领域。

关键词 中生代 流体包裹体 液相组分 REE 配分模式 蔡家营 河北省

华北克拉通东部在中生代发生剧烈的构造体制转折，引发了强烈的花岗岩浆活动和与之相对应的流体成矿作用，从而出现了华北东部中生代大规模的突发成矿，形成了以金-多金属-钼为特色的成矿元素组合。蔡家营多金属矿床正是发生在这种剧烈的构造-岩浆-流体聚变的成矿背景下形成的。这种强烈的构造转变与成矿的关系，前人已经进行了研究（芮宗瑶，1994；黄典豪，1997；潘家永，1993），但成矿流体研究相对薄弱。本文着重以流体包裹体中的原始古流体，特别是古流体中稀土元素的研究，探讨中生代构造体制转折过程中蔡家营多金属矿床流体成矿作用。

1 蔡家营矿床地质概况

蔡家营矿床位于河北省西北部，张家口市东北约 75 km。矿区内主要发育的地层为古元古界（Pt_1）红旗营子群角闪黑云斜长变粒岩（1825 Ma）和其上的不整合覆盖的上侏罗统酸性凝灰岩、凝灰角砾岩。上述地层被花岗斑岩（141 Ma）和石英斑岩脉群（119 Ma）侵入。铅锌银矿脉沿矿区内主要的 NEE 向走向断裂派生的次级 NWW、SN、NE 向断裂发育，大部分矿脉赋存在古元古界变粒岩中，少量矿脉产于上侏罗统凝灰岩和角砾岩内，蔡家营矿床的成矿与岩浆岩、岩浆流体及元古界变质岩容矿地层有密切关系（芮宗瑶，1994；黄典豪，1997；潘家水，1993）。

蔡家营矿床由 5 个矿段组成，其中III矿段最重要，东西向长 1320 m,南北向最宽达 1200 m，矿体呈隐伏－半隐伏脉状产出。该矿床以产锌为主，主要矿石矿物有：铁闪锌矿、含铁闪锌矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿以及毒砂、黄铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿以及微量金银矿物等。主要矿石类型有：毒砂-方铅矿-黄铁矿-闪锌矿矿石； 黄铜矿-黄铁矿-毒砂-方铅矿-闪锌矿矿石。

蔡家营矿床成矿年龄为 119 Ma，正是在华北克拉通东部中生代短时限、高强度、与大规模热事件有关的地质流体强烈发育和集中排放时期形成的(芮宗瑶，1994；黄典豪，1997)。

* 本文为中科院 KZCX1－07 课题和国家 973 项目（课题号：2001cb409806）联合资助

第一作者简介 王莉娟，女，1948 年生，研究员，从事矿床学、流体地球化学专业研究工作。

2 蔡家营矿床流体包裹体研究

流体包裹体是矿物生长过程中圈闭的流体，保存了当时成矿环境下的各种地质信息，能准确地反映矿物形成时的地球化学条件。流体包裹体研究的主要目的之一，是通过对包裹体中的流体进行定性及定量的分析，并将所获得的各种数据、信息来解释研究地壳及地幔中的各种地质作用过程，追踪成矿流体的来源和演化。本文将以流体包裹体研究为主要手段，探讨蔡家营矿床成矿条件和流体来源。流体包裹体样品采自III矿段和V矿段的钻孔和坑口矿石堆的各种不同类型的矿石，测定的矿物包括与细脉侵染状黄铁矿和闪锌矿共生的较早期成矿石英和与闪锌矿富矿体密切共生的石英、碳酸盐及晚期石英等。

2.1 流体包裹体的显微特征

石英中包裹体丰富，个体较小，多为 5～10 μm，以小气液比（5%～10%）的I-1 型包裹体为主，次为气液比为 20%～30%的I-2 型包裹体，少量气液比大于 50%的II型气体包裹体，个别可见含不规则子矿物的III型包裹体，含子矿物包裹体加热后子矿物不消失，可能是碳酸盐类子矿物。包裹体为椭圆型、负晶形、长方形、不规则状等。碳酸盐中包裹体个体较大，大者可达 20 μm，长方形，包裹体以I-1 型为主，也见有I-2 型和少量II型气体包裹体。晚期石英中包裹体一般较小，气液比也小。

2.2 流体包裹体的温度、盐度

采用英国产 LICAM600 型冷/热台测定包裹体均一温度和冷冻温度。共测定包裹体约 150 余个，测定矿物主要为石英、碳酸盐、闪锌矿。包裹体均一温度范围 138～370℃，其中 330℃以上出现少量临界包裹体和气体包裹体。主要温度区间 160～220℃，主要盐度 *w*(NaCleq)为 2.31%～8.65%。均一温度测定结果归纳为直方图（图 1）。

从图 1 可以看出，蔡家营矿床矿物包裹体均一温度主要集中在 160～220℃。此外，与富闪锌矿体密切共生的石英、碳酸盐的温度范围也是 160～220℃，说明这是蔡家营矿床成矿的主要温度区间，蔡家营

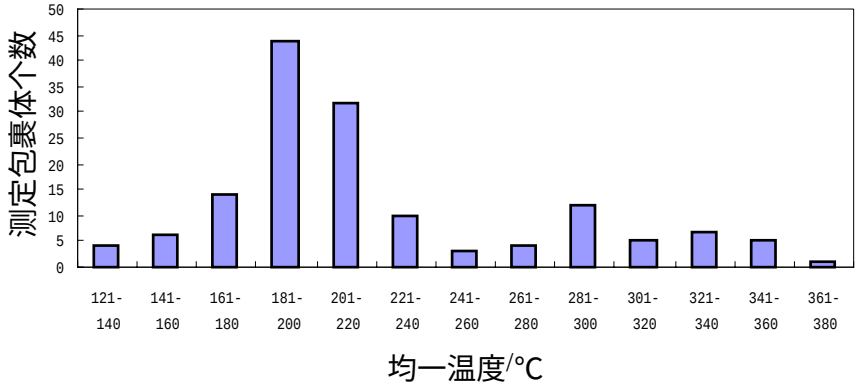


图 1 蔡家营矿床包裹体均一温度直方图

矿床属中温低盐度岩浆热液矿床。

2.3 流体包裹体液相成分

流体包裹体液相成分分析一般采用离子色谱法，该方法仅能测定几种常量元素。本次尝试采用等离子质谱（ICP-MS）方法测定成矿流体中的稀土元素，取得了较好的效果，该方法灵敏度高，可以测定包

裹体中微痕量元素、稀土元素，前人已经运用该方法进行了一些包裹体成分研究工作（苏文超，1998；Ghazi A M,1993），但用于成矿流体的来源、演化研究在我国还处于摸索和尝试阶段。

(1) 样品的制备:先将待测定的纯净单矿物样品用蒸馏水清洗，石英样品用 1:1 盐酸低温煮 30 分钟，清洗后用浓硝酸浸泡 12 小时。将处理过的单矿物样品在爆裂仪中以 450～500℃的温度爆裂（其中硫化物矿物爆裂温度一般低于 450℃），用 2%的稀硝酸提取包裹体中的液相组分，然后用装备有“膜去溶”装置的 ICP-MS 仪器进行分析测试，检测限可达 10^{-12}，并以标准溶液和重复测试样品数据控制分析质量。分析工作在中科院矿物资源探查研究中心实验室完成。

(2) 包裹体液相组分稀土元素组成:包裹体稀土元素含量见表 1，REE 配分曲线见图 2。

从图 2 可以看出，蔡家营矿床闪锌矿包裹体流体中 REE 曲线平直，轻重稀土分馏不明显，Eu 与 Ce 无明显异常，石英的 REE 曲线与闪锌矿相比，轻重稀土分馏略强，可能是由于石英中包括了多期流体包裹体。蔡家营矿床包裹体液相中 REE 配分曲线基本上体现了成矿流体来源于深部。

表 1　蔡家营矿床矿物包裹体稀土元素组分 （10^{-12}）

位置	三矿带	三矿带	三矿带	五矿带	五矿带	五矿带	三矿带	三矿带	三矿带	三矿带
矿物	石英	石英	石英	石英	石 英	闪锌矿	闪锌矿	闪锌矿	黄铁矿	黄铁矿
样品号	w01906-29	w01906-31	w01907-12	w01904-1	w01904-5	w01904-5	w01907-12	W01907-13	w01906-11	w01907-11
La	11398	38416	12537	858	59206	7568	35898	1223	21205	18232
Ce	19325	47625	18508	1120	113712	13801	55654	2839	50201	35928
Pr	3040	8070	2452	161	14797	1680	8398	406	6971	4636
Nd	10784	25916	8411	444	50901	6381	31190	1775	25932	18341
Sm	2071	4324	1632	142	10049	1457	7531	1140	4335	3644
Eu	223	1255	319	65.3	3076	649	4049	331	892	880
Gd	1304	2911	1346	126	7901	2151	8858	2034	3177	3742
Tb	151	370	179	14.1	898	410	1554	330	386	481
Dy	636	1778	906	56.3	4221	2940	9905	1556	1635	2446
Ho	101	327	166	9.6	787	703	2216	232	286	426
Er	231	848	424	18.1	1963	2111	6449	534	678	999
Tm	32.4	114	53.4	1.8	240	292	891	65.1	74.1	116
Yb	209	716	328	9.8	1485	1832	5643	333	412	657
Lu	32.6	112	44.0	1.2	197	256	705	39.1	54.9	85.8
ΣLa-Lu	49542	132788	47310	3030	269439	42236	178947	12843	116243	90620
LR	46843	125608	43862	2792	251742	31537	142722	7717	109538	81663
HR	2698	7179	3448	237	17696	10698	36225	5125	6705	8956
LR/HR	17.36	17.49	12.72	11.76	14.23	2.95	3.94	1.51	16.34	9.12
Eu/Eu*	0.23	0.25	0.25	0.25	0.25	0.27	0.27	0.27	0.25	0.25
(La/Lu)u	119.33	247.16	128.33	12.13	706.46	494.32	1911.7	1911.71	265.40	399.77

4　讨　论

据蔡家营矿床包裹体温度、盐度和液相成分 ICP-MS 分析，有以下讨论和结论：

⑴ 蔡家营矿床属中温热液脉状矿床，主要成矿温度 160～220℃。主要盐度 $w(NaCl)_{eq}$ 范围为 2.31%～8.65%。

⑵ 据前人的研究，稀土元素在多数情况下为不相容元素，在岩浆结晶过程中易保留在残余流体相中（酸性体系除外）(赵振华，1997)，岩浆热液矿床包裹体中的流体正是来自成岩过程中残余的流体，能够代表原始成矿流体的 REE 组分，是追踪成矿流体来源的重要证据之一。蔡家营矿床主要矿石矿物闪锌矿包裹体流体 REE 曲线平滑、轻重稀土分馏弱，基本保留了 REE 原始状态，是成矿流体来源于深源、基性岩浆体系的重要证据之一。

⑶ 据前人的研究，深成矿床石英的稀土元素分布模式几乎与阿尔卑斯超基性岩的曲线一致，稀土元素分异很弱，可以认为成矿物质通过基性岩浆或深部流体运移时，稀土元素是由地幔源带入的。我国东坪金矿的金来源于地幔，东坪金矿石英的 REE 曲线与深成矿床石英类似(赵振华，1997)。蔡家营矿床石英及闪锌矿、黄铁矿包裹体液相中稀土元素具有分异较弱的配分曲线，特别是矿石矿物闪锌矿 REE 曲线

轻重稀土分异极弱，也与深成矿床和东坪金矿的石英 REE 曲线类似，因此，推测蔡家营矿床石英、闪锌矿等稀土元素是幔源的，其成矿与地幔有关。

⑷ 蔡家营矿床包裹体流体富集 Na^+离子，S 为地幔来源，Pb 为混源,这是成矿流体来源于深源的流体证据（黄典豪，1997），与本次包裹体稀土元素的研究结果基本一致。

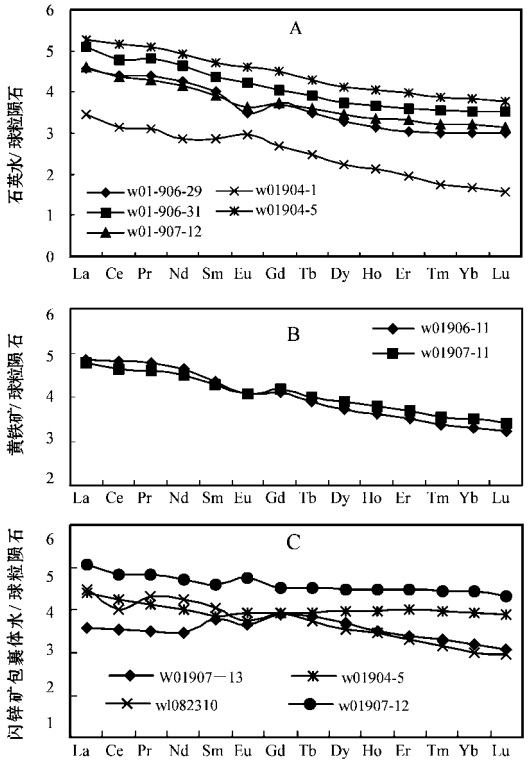


图 2 蔡家营矿床矿物包裹体液相 REE 配分曲线图

⑸ 蔡家营矿床成矿年龄为 119Ma，蔡家营矿床成矿流体来源于深部地幔，进一步说明蔡家营矿床成矿是中生代华北克拉通东部发生剧烈构造转折的产物。

⑹ 上述研究初步证实流体包裹体液相组分稀土元素分析研究对于追踪矿床流体来源是直接和有效的，为矿床成因研究提供了新的思路和方法。

总之，矿物包裹体中圈闭的流体是成矿时的古流体，它所携带的成矿信息是最可靠的原始信息。包裹体流体中的稀土元素组分分析是探索成矿流体来源的最具说服力的方法之一。蔡家营矿床流体包裹体稀土组分研究成功地为蔡家营矿床提供了成矿流体来源于深部的又一证据，取得较好效果，与蔡家营矿床其它研究成果一致，这将为这一包裹体研究新领域积累经验，也为矿床成因研究提供新的思路和方法手段。

致 谢 野外地质工作得到蔡家营矿山靳胜昌总监及资源中心刘红涛、张永北等研究人员的协助，在此致谢。

参 考 文 献

黄典毫，吴澄宇. 1997. 黄河北蔡家营铅-锌-银矿床地质地球化学及成矿机制[J]，地学研究， 29-30 号：198～211.

芮宗瑶，施林道，方如桓，等. 1994. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质[M]. 北京：地质出版社. 405～409, 501～503.

苏文超，漆亮，胡瑞忠，等. 1998.流体包裹体中稀土元素的 ICP-MS 分析研究[J]. 北京：科学通报, 43（10）:1094～1098.

潘家永，张乾，芮宗瑶. 1993. 河北蔡家营铅-锌-银矿床地球化学特征及成因探讨[J]. 地质找矿论丛, 8（3）：52～61.

赵振华.1997. 微量元素地球化学原理.北京: 科学出版社.10～100.

Ghazi A M, Roedder E, et al. 1993. Determination of rare earth elements in fluid inclusions by inductively coupled plasma-mass spectrometry(ICP-MS)[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 57(18):4513～4516.