

文章编号 10258-7106 (2009) 05-0643-10

庐枞盆地龙桥铁矿床中菱铁矿的地质特征和成因意义*

段超¹, 周涛发^{1**}, 范裕¹, 袁峰¹, 丁铭², 尚世贵^{1,3}, 张乐骏¹

(1 合肥工业大学资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009; 2 安徽省庐江龙桥矿业有限公司, 安徽 巢湖 231555; 3 安徽省地质矿产局 327 地质队, 安徽 合肥 230011)

摘 要 龙桥铁矿床是庐枞火山岩盆地中的一个大型的铁矿床, 多年来对其矿床成因的认识存在较大的争论。文章在野外地质研究工作的基础上, 通过对矿床中菱铁矿的岩矿分析鉴定和电子探针测试, 确定了矿床纹层状矿石中的菱铁矿为沉积成因。通过对菱铁矿的产出特征分析, 并结合龙桥铁矿床的部分地质地球化学研究成果, 认为在该矿床形成过程中, 早期沉积形成了纹层状的菱铁矿层, 在燕山期的岩浆热事件中, 部分沉积菱铁矿被交代形成了磁铁矿和具有残余骸晶结构等一系列矿石交代组构特征的矿物。纹层状矿石既具有沉积特征, 也具有热液改造特征, 证实了矿床的形成存在早期(三叠纪)的沉积成矿(菱铁矿)作用和晚期(燕山期)的热液成矿(磁铁矿)作用。菱铁矿的研究为进一步确定龙桥铁矿床的成因提供了新的佐证。

关键词 地质学, 庐枞火山盆地, 龙桥铁矿床, 菱铁矿, 矿床成因

中图分类号: P618.31

文献标志码: A

Geological characteristics of siderites from Longqiao iron deposit in Luzong volcanic basin and their genetic significance

DUAN Chao¹, ZHOU TaoFa¹, FAN Yu¹, YUAN Feng¹, DING Ming², SHANG ShiGui³ and ZHANG LeJun¹

(1 School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China;

2 Lujiang Longqiao Mining Co. Ltd. of Anhui Province, Chaohu 231555, Anhui, China; 3 No. 327 Geological Party, Anhui Bureau of Geology and Mineral Resources, Hefei 230011, Anhui, China)

Abstract

The Longqiao iron deposit is one of the most important large ore deposits in Luzong basin, one of the ore-concentrated area in the Middle and Lower Yangtze Valley metallogenic belt. The genesis of this ore deposit remains a problem of much controversy. Based on careful and detailed field investigation and mineral association research, this paper has reported some new achievements concerning siderite minerals in this deposit. There exist two types of siderites in the ores: one occurs in the lamellar ores, and the other assumes the veined form. Petrographic and electron probe analyses as well as C-O, H-O isotope geochemical characteristics of the siderites in the lamellar ore all show that siderites of this kind were formed earlier than magnetite and other minerals associated with magnetite, and that they occurred in a marine sedimentary environment. Some siderites were transformed into magnetite by later hydrothermal activities, resulting in the formation of residual and metasomatic textures in the ores. The lamellar iron ores are composed of sedimentary siderite and hydrothermal minerals such as magnetite, garnet, pyrite and phlogopite as a result of the water-rock interaction le-

* 本文得到国家重点基础研究发展规划 973 项目(批准号 2007CB411405), 高等学校博士学科点科研基金项目(批准号 20050359013), 国家自然科学基金基金项目(批准号 40672062, 40830426, 4080301)和安徽省优秀青年科技基金项目(批准号 08040106907, 04045063)的共同资助

第一作者简介 段超, 男, 1983 年生, 硕士生, 矿物学岩石学矿床学专业。Email: duanchao626@yahoo.cn

**通讯作者 周涛发, 男, 1964 年生, 教授, 博导, 矿物学岩石学矿床学专业。Email: tfzhou@hfut.edu.cn

收稿日期 2009-07-23; 改回日期: 2009-08-31。张绮玲编辑。

tween the hydrothermal fluids evolved from the Mesozoic magmatic intrusion and the siderite-bearing Early Mesozoic (Middle Triassic) marine sedimentary rocks. Most of the magnetites in the ore deposit, especially in the massive iron ores, were precipitated directly from the magmatic water-dominated hydrothermal system. The metallogenic process of the Longqiao iron deposit can be divided into the early (Middle Triassic) sedimentary ore-forming stage characterized by the deposition of siderite-bearing rocks and the late (Early Cretaceous or Yanshanian) hydrothermal ore-forming stage characterized by the formation of magnetites associated with other hydrothermal minerals.

Key words: geology, Luzong volcanic basin, Longqiao iron deposit, siderite, genesis of ore deposit

安徽庐枞火山岩盆地位于长江中下游成矿带下扬子断陷带内,地处扬子板块北缘,西临郯庐断裂带。该区中生代火山喷发、岩浆侵入作用强烈,发育有多个金属、非金属矿床,是长江中下游地区一个重要的铁、硫、铜、铅、锌、明矾石等矿集区(常印佛等,1991;唐永成等,1998;周涛发等,2008;Pan et al.,1999)。龙桥铁矿床位于庐枞盆地的北部(图1),是庐枞盆地中目前发现并开采的最大的铁矿床,储量约1.04亿吨。对龙桥铁矿床的勘探研究始于20世纪80年代中期,相继开展了不少研究,但对龙桥铁矿床的成因一直以来都存在较大的争议:一种认为含矿层位是中侏罗统罗岭组,矿床的形成源于中

侏罗世火山岩浆,属火山喷气-沉积矿床(胡文瑄等,1991;任启江等,1991);另一种认为含矿地层为中三叠统东马鞍山组,其中富含铁质(菱铁矿和赤铁矿)的碳酸盐层为成矿早期的矿胚层,后经燕山期岩浆侵入的热变质分解,通过热液叠加改造富集成矿,其成矿物质主要来自沉积地层(倪若水等,1994;吴明安等,1996;唐永成,1998);此外,另有学者认为矿床成因为火山-次火山热液成因(张少斌,1992);对于在矿床形成过程中是否存在矿胚层或矿源层是争论的一个焦点。本文通过对龙桥铁矿床中纹层状矿石中菱铁矿的地质特征和成因的研究来进一步加深对矿床成因的认识,并为该地区的找矿勘探

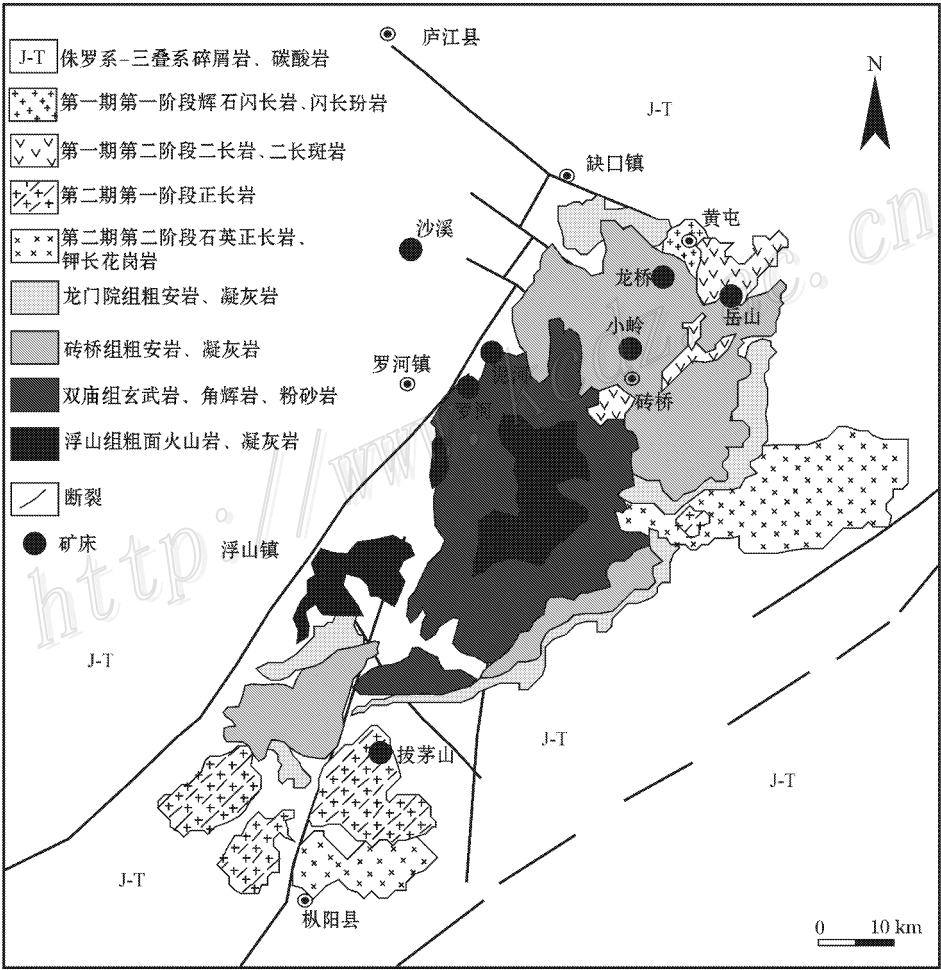


图1 庐枞盆地岩浆岩及矿产分布图(据袁峰等,2008修改)

Fig. 1 Distribution of magmatic rocks and ore deposits in Luzong volcanic basin(after Yuan et al. ,2008)

提供参考信息。

1 区域地质背景

庐枞火山岩盆地中生代断陷式陆相火山岩盆地,伴随着燕山期的构造活动,中生代有着强烈的火山喷发和岩浆侵入作用,并在白垩纪形成了一套(钙)碱性系列的火山熔岩、次火山岩、侵入岩等。共划分为4个火山旋回(图1),从早到晚依次为龙门院组、砖桥组、双庙组和浮山组。盆地的直接基底为中下侏罗统陆相碎屑岩、上三叠统海陆相、海陆交互相碎屑岩、碳酸盐等(吴明安等,1996)。火山岩层的分布特征呈半环形,由古到新,从盆地北、东和南部向盆地西部及中心地区,以龙门院组—砖桥组—双庙组—浮山组依次分布。其中,龙门院组主要岩性为角闪粗安岩、火山角砾岩、凝灰岩等;砖桥组主要岩性为辉石粗安岩、凝灰岩等;双庙组主要岩性为粗面玄武岩、角砾岩、凝灰质粉砂岩等;浮山组主要岩性为粗面质火山岩、粗面质熔结凝灰岩、凝灰角砾岩等(Zhou et al. 2008; 袁峰等,2008)。在每一次喷发喷溢旋回的末期都有相应的岩浆岩侵入活动,第一期第一阶段主要为辉石闪长岩、闪长玢岩等;第一期第二阶段主要为二长岩、二长斑岩、正长斑岩等;第二期第二阶段主要为正长岩、石英正长岩等;第二期第三阶段主要为石英正长岩、钾长花岗岩等(图1)。庐枞火山岩盆地中的矿产资源丰富,主要有罗河铁矿床、龙桥铁矿床、泥河铁矿床、小岭硫铁矿床、大包庄硫铁矿床、沙溪铜矿床、岳山铅锌银矿床、拔茅山铜矿床等。

2 矿床地质特征

龙桥铁矿床位于庐枞盆地北部,1985年通过验证化探异常被发现。龙桥铁矿床矿种较为单一,以磁铁矿为主,局部有少量的铜矿化和零星分布的铅锌矿化。铁矿石储量为10363.67万吨,平均品位44%,为一大型磁铁矿床。矿体呈透镜状,似层状,产状平缓,倾角一般为 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$,最大为 30° ,最小为 7° 。矿床由13个铁矿体组成,其中最大的1号矿体占总储量的99.7%,呈似层状产出,埋深400~500 m,长轴走向 290° ^①。矿体主要赋存在东马鞍山组上段下部,岩性较复杂,主要有泥灰质白云岩、灰质白云岩、灰岩、钙铁泥质粉砂岩等(吴明安等,1996;唐永成,1998)(图2),矿体顶板主要为东马鞍山组泥质粉砂岩,部分为龙门院组火山岩,底板为东马鞍山组泥质粉砂岩,在2线、3~5线接触正长岩体。矿石的构造主要为块状构造、浸染状构造和纹层状构造,局部发育有团块状构造、角砾状构造、网脉状构造和花斑状构造等。当矿石为块状、稠密浸染状时,顶、底板与矿体的界线较为清楚,为稀疏

浸染状时,它们与围岩多呈逐渐过渡关系。矿石结构主要为半自形-他形粒状结构,次有自形粒状结构、他形粒状结构、交代残余结构、包裹结构、交代假象结构和叶片状结构等。其中,块状磁铁矿石多分布于矿体厚大富集地段,构成了矿床的主体,浸染状矿石分布于富集矿体边部,纹层状矿石位于矿体的上部,量较少,多被块状矿石包裹。金属矿物以磁铁矿为主,次为黄铁矿、菱铁矿、黄铜矿等,脉石矿物主要为透辉石、石榴子石、金云母、绿泥石、方解石、高岭石等。龙桥铁矿床围岩蚀变广泛发育。矿床的围岩蚀变自上而下可分为6个蚀变(变质)带(吴明安等,1996):钾化-高岭石化-绿泥石化蚀变带,钾化-电气石化蚀变带,矽卡岩化带,大理岩变质岩化带,碱性长石化蚀变-角岩化变质岩带,角岩变质岩化带(图2)。矽卡岩化带与成矿关系密切,主要见于矿体内部以及矿体的顶、底板围岩中,主要蚀变矿物为透辉石、石榴子石、金云母。根据前人资料以及本次工作,按照矿床中矿石结构构造特征和各类矿石的产出关系、矿物的共生组合关系等,将矿床的成矿期次划分为沉积成矿期和热液成矿期,其中热液期又分为4个阶段:含磁铁矿矽卡岩阶段、磁铁矿阶段、石英-硫化物阶段和镜铁矿、方解石阶段。

3 菱铁矿的地质特征

根据笔者的观察,龙桥铁矿床中的菱铁矿存在有2种成因:一种为沉积成因,另一种为热液成因。沉积成因菱铁矿主要赋存在纹层状矿石中。

纹层状矿石多发育在矿体的上部,部分被块状磁铁矿包裹,部分被块状磁铁矿石交代(图3a)。矿石为灰白色,纹层状构造,深色(黑色)条带和浅色(白色)条带相间发育,带宽5~30 mm不等,主要矿物为磁铁矿、菱铁矿、黄铁矿、金云母等,其中浅色条带富集菱铁矿,黑色条带深色条带富集磁铁矿(图3b、3c、3g),深色条带和浅色条带间具有交代特征(图3b)。矿石中,菱铁矿呈菱面体细粒自形结构(图3d),粒径较均匀,为0.05 mm左右,未见集合体发育,单偏光下呈无色、淡褐色,似层状和纹层状产出,为沉积成因。部分菱铁矿颗粒具有环带特征,为后期经历了氧化作用的结果(图3e)。部分菱铁矿被磁铁矿交代呈残余骸晶结构(图3f、3h);大量磁铁矿交代菱铁矿时形成交代残余结构(图3i)。磁铁矿是深色条带中最富集的矿物,但在浅色条带中亦有发育,多呈粗粒结构,粒径大小不一,较小者为0.02 mm左右,较大者多为0.15~0.2 mm。纹层状矿石中黄铁矿含量较少,约占1%,自形粒状结构。此外,纹层状矿石中也有少量矽卡岩矿物发育,主要为金云母、透辉石和石榴子石,多交代菱铁矿(图3c),指示纹层状矿石受到了后期岩浆热液(交代)作用的改造。

① 安徽省地质矿产局327地质队,1991.龙桥铁矿床勘探地质报告.

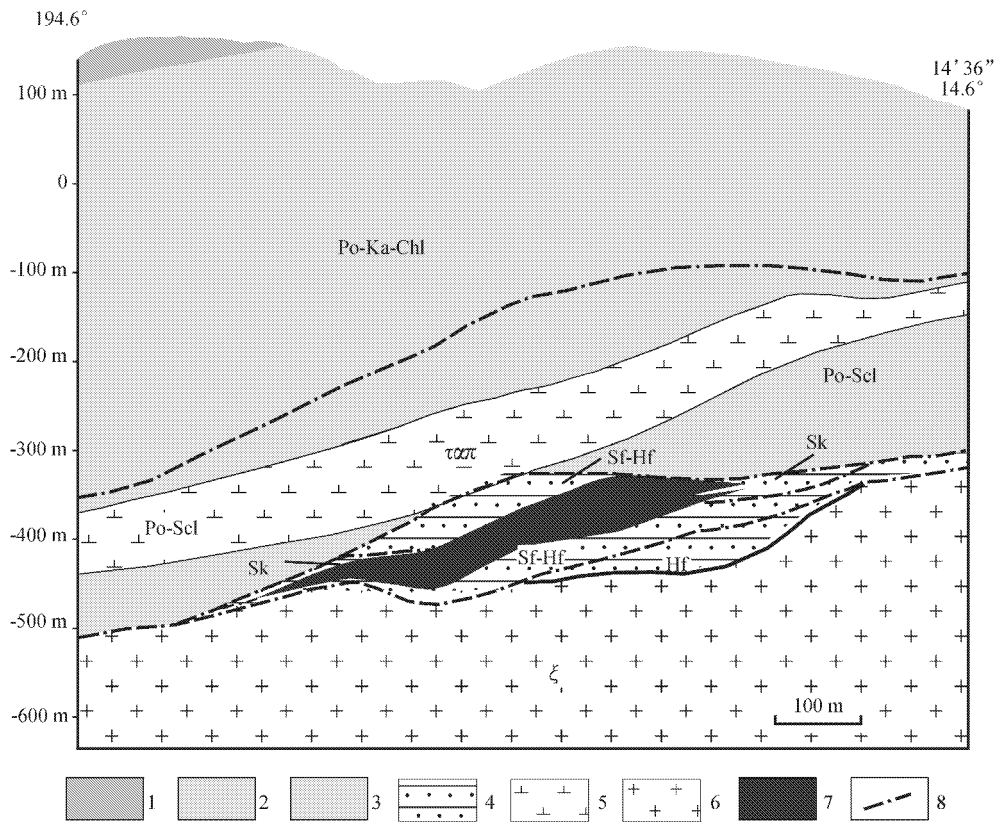


图 2 龙桥铁矿床 5 线剖面图①

1—砖桥组下段火山岩；2—龙门院组上段火山岩；3—龙门院组下段火山岩；4—三叠系东马鞍山组沉积岩；5—粗安斑岩；6—石英正长岩；7—矿体；8—蚀变分带界线； $\tau\alpha\tau$ —粗安斑岩； ξ —正长岩；Po—钾化蚀变；Ka—高岭石化蚀变；Chl—绿泥石化蚀变；Sf—电气石化蚀变；Scl—碱性长石化蚀变；Sk—矽卡岩化蚀变；Hf—角岩化变质

Fig. 2 Geological section along No. 5 exploration line of the Longqiao iron deposit (after No. 327 Geological Party, 1991)
1—Volcanic rock of Lower Member of Zhuanqiao Formation；2—Volcanic rock of Upper Member of Longmenyuan Formation；3—Volcanic rock of Lower Member of Longmenyuan Formation；4—Sedimentary rock Triassic Dongmaanshan Formation；5—Trachyandesite porphyry；6—Quartz syenite；7—Ore body；8—Alteration boundary； $\tau\alpha\tau$ —Trachyandesite porphyry； ξ —Syenite；Po—K-feldsparization；Ka—Kaolinization；Chl—Chloritization；Sf—Tourmalinization；Scl—Alkali-feldsparization；Sk—Skarnization；Hf—Hornfelsization

在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针实验室，应用 JXA-8100 电子探针针对采集的纹层状磁铁矿石中的菱铁矿进行了电子探针测试，试验条件为加速电压 15 kV、流速 20 nA，测试结果见表 1。深色条带和浅色条带中的菱铁矿单矿物成分相似，其中，FeO 含量为 35.05% ~ 52.50%，平均为 44.91%；MgO 含量为 1.97% ~ 8.48%，平均为 4.69%；CaO 含量为 0.78% ~ 5.34%，平均为 3.85%；MnO 含量为 0.18% ~ 2.49%，平均为 1.84%。依据测试结果计算的菱铁矿的矿物化学式为 $(\text{Fe}_{0.75}\text{Mg}_{0.14}\text{Ca}_{0.08})_{\lambda.97}\text{CO}_3$ 。菱铁矿中的 Mn 是指示菱铁矿成因的重要指示元素，沉积成因的菱铁矿中 MnO 含量为 1.5% ~ 2.5%，热液成因的菱铁矿中 MnO 含量为 0.5% 左右。由龙桥铁矿纹层状矿石中的菱铁矿 MnO 含量

统计图(图 4)可以看出，菱铁矿中 MnO 的含量大部分在 1.5% ~ 2.5% 之间，为沉积成因。

4 讨论

龙桥铁矿床的成因一直以来存在有较大的争议。胡文瑄等(1991)、任启江等(1991)通过对矿床地质特征的研究，得出矿床产于中侏罗统罗岭组上段顶部，以层纹、条带状构造为代表的沉积构造特征广泛发育，矿床在成因上与火山活动密切相关，认为矿床的形成受火山喷发或喷气作用影响直接形成，矿体下部正长岩体的影响是次要因素，龙桥铁矿床为火山喷气-沉积成因铁矿床，倪若水等(1994)、吴明安等(1996)、

① 安徽省地质矿产局 327 地质队，1991. 龙桥铁矿床勘探地质报告.

表 1 菱铁矿电子探针分析结果

Table 1 Electron microprobe analyses of siderites

样品号	位置	$\omega(B)\%$											总和
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	NiO	Cr ₂ O ₃	
ELQ-19A-sid3	浅色条带	0.02	0	0.1	45.6	2.21	4.66	4.54	0	0.01	0	0.05	57.19
ELQ-19A-sid4	浅色条带	0.25	0.01	0.13	45.08	2.19	5.35	4.51	0.05	0.07	0	0	57.64
ELQ-19A-sid5	浅色条带	0.01	0.01	0.07	44.92	2.34	4.92	4.87	0.04	0.03	0.01	0.07	57.29
ELQ-19A-sid6	浅色条带	0	0	0.05	47.83	1.02	3.97	4.1	0.03	0.04	0.01	0.1	57.15
ELQ-19A-sid7	浅色条带	0.45	0.02	0.26	46.78	1.32	6.64	3.18	0.06	0.02	0	0.06	58.78
ELQ-19A-sid8	浅色条带	0.02	0.01	0.03	52.5	1.91	2.35	1.23	0.04	0.01	0	0.04	58.14
ELQ-19A-sid9	浅色条带	0	0.02	0	46.4	2.21	4.53	4.58	0.04	0.01	0.04	0.04	57.86
ELQ-19A-sid10	浅色条带	0.37	0	0.32	45.59	2.22	4.74	4.88	0.05	0.01	0.03	0.07	58.27
ELQ-19A-sid11	深色条带	0.12	0	0.09	46.1	1.9	4.2	4.51	0.03	0.02	0	0.05	57.03
ELQ-19A-sid12	深色条带	0.13	0	0.03	47.12	2.01	3.65	4.42	0.05	0.02	0	0.03	57.45
ELQ-19A-sid13	深色条带	0.3	0.02	0.29	44.41	2.14	4.64	4.41	0.08	0.01	0	0.06	56.35
ELQ-19A-sid14	深色条带	0.37	0	0.33	46.17	1.95	3.99	4.24	0.04	0.01	0	0.02	57.12
ELQ-19B-sid1	深色条带	0.03	0	0.02	46.93	2.08	4.29	4.55	0.15	0.01	0	0.12	58.18
ELQ-19B-sid2	深色条带	0.09	0	0.04	47.76	0.63	7.83	1.16	0.01	0.01	0	0.03	57.56
ELQ-19B-sid3	深色条带	11.14	0	9.15	37.14	1.59	3.45	2.05	0.09	0.04	0	0.27	64.91
ELQ-19B-sid4	深色条带	0.07	0	0.07	46.39	2.5	4.6	4.3	0.05	0	0	0.13	58.09
ELQ-19B-sid5	深色条带	0.36	0.01	0.18	43.87	0.65	8.48	2.26	0.03	0	0	2.14	57.98
ELQ-19B-sid6	深色条带	3.39	0	3.41	41.96	1.16	8.24	0.78	0.02	0	0	0.36	59.32
ELQ-19B-sid7	深色条带	0.02	0	0.15	45.56	2.28	5.25	3.7	0.05	0	0.05	0.05	57.11
ELQ-19B-sid8	浅色条带	0.9	0.01	0.7	43.07	2.18	4.64	5.34	0.03	0.03	0.02	0.05	56.97
ELQ-19B-sid9	浅色条带	0.42	0.03	0.3	45.82	2	4.45	4.66	0.05	0.03	0.04	0.22	58
ELQ-19B-sid10	浅色条带	1.13	0.01	0.91	43.55	2.15	4.87	4.98	0.05	0.04	0	0.03	57.71
ELQ-19B-sid11	浅色条带	1.43	0	0.92	43.35	2.04	3.87	4.22	0.24	0.03	0	1.22	57.31
ELQ-19B-sid12	浅色条带	0.43	0	0.31	50.09	1	3.07	2.53	0.06	0.05	0.01	0.04	57.6
ELQ-19B-sid13	浅色条带	0.25	0	0.23	45.97	2.16	4.25	4.46	0.1	0.02	0	0.11	57.55
ELQ-19B-sid14	浅色条带	2.7	0	1.93	45.19	2.11	3.64	3.66	0.07	0.43	0.01	0.12	59.87
ELQ-19B-sid15	浅色条带	1.14	0	1.01	38.21	1.87	4.31	4.75	0.75	0.1	0.01	5.4	57.54
ELQ-19B-sid16	浅色条带	0.6	0	0.66	45.75	1.99	4.15	4.68	0.06	0.01	0	0.05	57.96
ELQ-19B-sid17	浅色条带	0.18	0	0.19	45.46	2.3	4.29	4.73	0.07	0	0	0.07	57.28
ELQ-19C-sid1	浅色条带	0	0	0.04	46.7	2.09	4.38	4.48	0.08	0.02	0.05	0.1	57.94
ELQ-19C-sid2	浅色条带	0.08	0	0.06	46.91	0.18	7.66	2.42	0.02	0.02	0	0.03	57.37
ELQ-19C-sid3	浅色条带	0.14	0.04	0.14	44.9	1.98	4.5	5.32	0.04	0.03	0.04	0.08	57.21
ELQ-19C-sid4	浅色条带	0	0	0.06	46.09	2.18	4.55	4.56	0.06	0.01	0	0.01	57.52
ELQ-19C-sid5	浅色条带	0.19	0.01	0.19	36.64	2.04	2.91	3.27	0.04	0.01	0	0.09	45.38
ELQ-19C-sid6	浅色条带	0.42	0	0.36	38.38	2.06	2.91	2.84	0	0.12	0.05	0.04	47.18
ELQ-19C-sid7	浅色条带	0.09	0	0.15	35.05	1.6	1.97	1.91	0	0.01	0.02	0.11	40.91
ELQ-19C-sid8	深色条带	0	0	0.03	45.94	2.4	4.96	3.97	0	0	0.03	0.05	57.38
ELQ-19C-sid9	深色条带	0.13	0.01	0.11	45.87	2.42	4.47	4.75	0	0.02	0.03	0.07	57.87
ELQ-19C-sid10	深色条带	0.02	0	0.09	46.43	1.61	4.18	5.01	0.05	0.01	0	0.03	57.42
ELQ-19C-sid11	深色条带	3.02	0.01	2.14	44.55	1.71	5.48	2.96	0.01	0.01	0	0.51	60.4
ELQ-19C-sid12	深色条带	0.02	0	0.05	46.84	2.26	4.5	4.3	0.02	0	0	0.04	58.03
ELQ-19C-sid13	深色条带	0.32	0	0.18	47.07	0.26	7.55	2.6	0.04	0.04	0	0.15	58.21
ELQ-19C-sid15	深色条带	0.14	0.01	0.09	45.22	2.49	4.57	4.99	0.06	0.02	0.01	0.08	57.67

注：电子探针分析在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针实验室完成，机型 JXA-8100，试验条件：加速电压 15kV，流速 20nA。

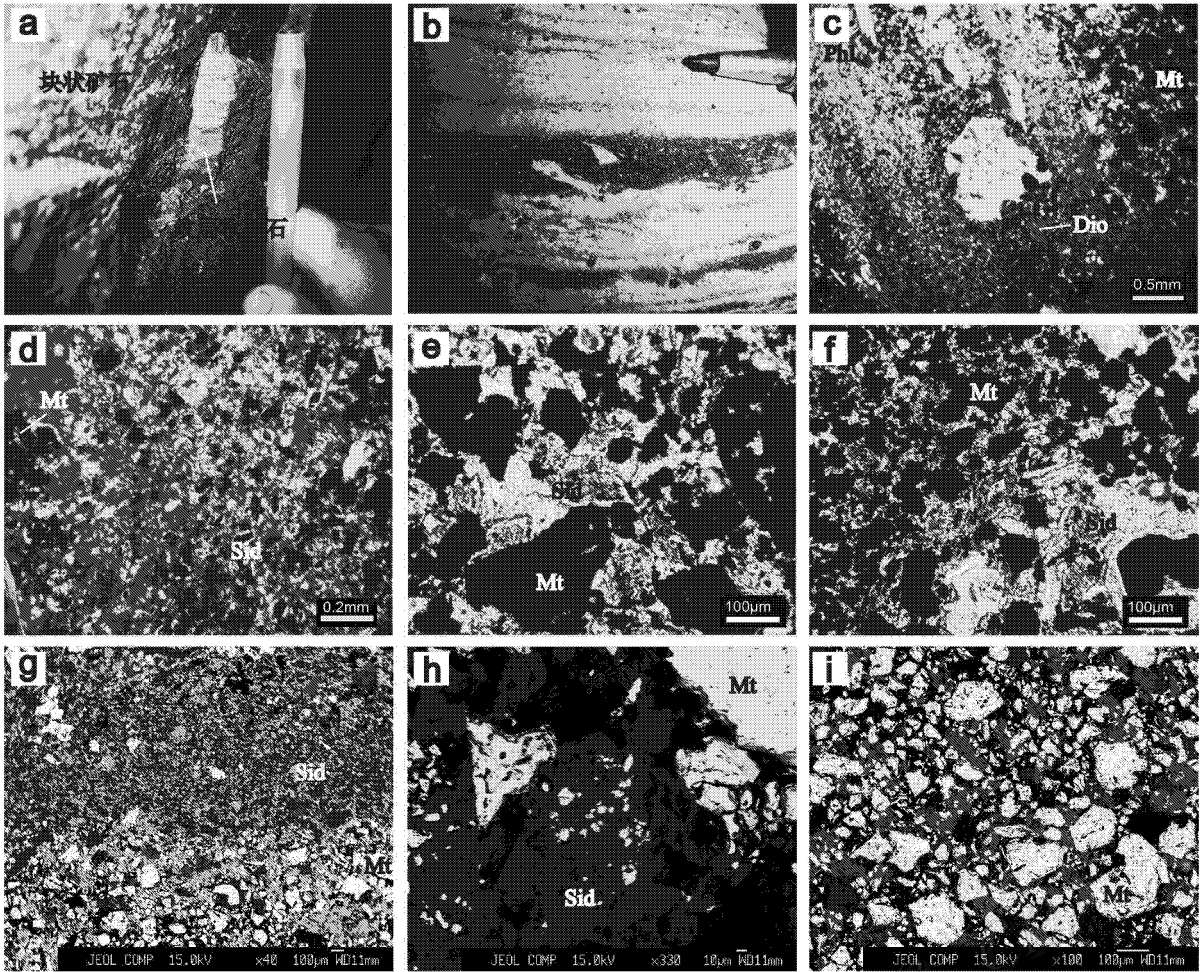


图 3 纹层状矿石及其中的菱铁矿照片

a. 纹层状矿石被块状矿石包裹的露头照片; b. 纹层状矿石的交代作用特征手标本照片; c. 发育在纹层状矿石中的热液矿物显微照片(正交偏光镜下); d. 菱铁矿显微照片(正交偏光镜下); e. 磁铁矿交代菱铁矿显微照片(正交偏光镜下); f. 菱铁矿的残余结构显微照片(正交偏光镜下); g. 纹层状矿石背散射照片; h. 磁铁矿交代菱铁矿的背散射照片; i. 磁铁矿强烈交代菱铁矿的背散射照片;

Mt—磁铁矿; Sid—菱铁矿; Dio—透辉石

Fig. 3 Photos of lamellar ore and siderite

a. Relict lamellar ore wrapped in massive iron ore(outcrop); b. Replacement in lamellar ore(hand specimen); c. Hydrothermal minerals in lamellar ore(crossed nicols); d. Siderite in lamellar ore(crossed nicols); e. Microphotograph of siderite replaced by magnetite(crossed nicols); f. Microphotograph of siderite replaced by magnetite(crossed nicols); g. SEM photo of lamellar ore; h. SEM photo of siderite replaced by magnetite; i. SEM photo of siderite replaced by magnetite

唐永成等(1998)通过对含矿地层岩性、岩石化学以及矿床地质特征、矿石矿物的主元素和微量元素含量、同位素特征的研究,确定了含矿地层位于三叠系东马鞍山组中,在矿床形成过程中存在一个早期的矿胚层,主要为菱铁矿,后经燕山期岩浆侵入的热变质分解,通过热液叠加改造富集成矿,其成矿物质主要来自沉积地层,认为龙桥铁矿床为沉积-热液叠加改造成因;此外,张少斌(1992)通过对矿床中矿石矿物的硫、铅同位素的研究,认为矿床为火山-次火山热液成因。那么,成矿过程中是否存在沉积期,成矿物质的来源则是龙桥铁矿床成因研究的焦点问题。对纹层状矿石的研究,可为探讨以上问题

提供重要信息。

龙桥铁矿床中的纹层状矿石主要分布于矿体的边部或残留包裹于块状铁矿体内部。纹层状矿石中菱铁矿的地质特征以及电子探针测试得出的成分特征表明,纹层状矿石中的菱铁矿为沉积成因。部分沉积菱铁矿又被后期热液交代形成了磁铁矿及残余骸晶结构等交代结构,导致早期沉积形成的菱铁矿中叠加了热液成因的磁铁矿、金云母和透辉石等。与纹层状矿石的矿物组合不同,组成矿床主体的块状铁矿石中除上文叙述的局部少量出现包裹的交代残余纹层状菱铁矿外,未见沉积成因的菱铁矿大量存在,块状矿石主要的由磁铁

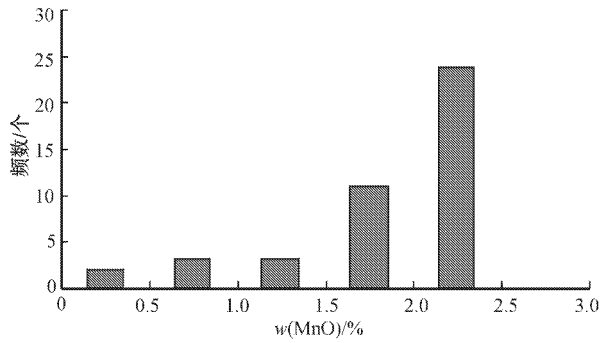


图 4 龙桥铁矿床内菱铁矿 MnO 含量频谱图

Fig. 4 Frequency spectrum diagram of MnO content in siderite from the Longqiao iron deposit

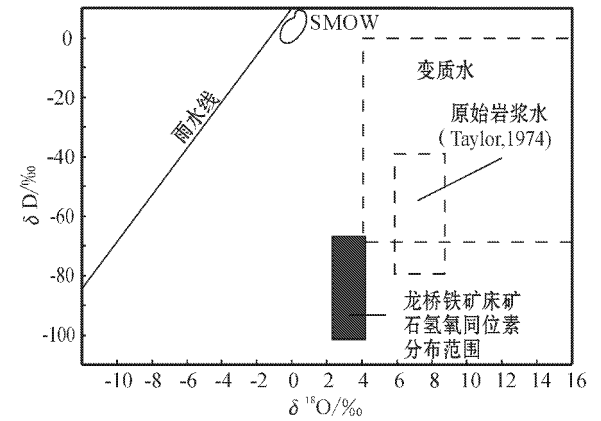


图 5 龙桥铁矿床氢氧同位素组成图解(据 Taylor 1974 ; 数据来自倪若水等 ,1994)

Fig. 5 $\delta^{18}\text{O}$ - δD diagram of the Longqiao iron deposit (after Taylor , 1974 ; data from Ni R S et al. , 1994)

矿组成的磁铁矿型矿石 ,以及由磁铁矿、金云母和石榴子石等矿物组成的矽卡岩型铁矿石 ,后者是岩浆热液与碳酸盐地层发生接触交代作用形成的。以上矿石特征 ,特别是纹层状矿石中菱铁矿的地质特征皆指示了龙桥铁矿床的形成经历了沉积作用和热液作用两个成矿期。

同时 ,矿床的地球化学特征也可提供佐证。龙桥铁矿床主体的块状磁铁矿氢、氧同位素研究表明 ,成矿流体来自岩浆流体(图 5) ,热液矿物黄铁矿、黄铜矿矿物及正长岩的铅同位素特征具有相似性 ,同为上地壳与地幔混合岩浆成因锆(图 6) ,热液期金属成矿物质与深部岩浆演化有着密切的关系。

在成矿时代上 ,位于龙桥铁矿床附近的巴家滩辉石二长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 (133.5 ± 0.6) Ma(周涛发等 ,2007 ;刘珣等 ,2007) ,侵入龙桥铁矿床正长岩的锆石 LA-ICP-MS 测试年龄为 (131.1 ± 1.5) Ma(周涛发 ,待刊) ,指示龙桥铁矿床热液成矿期的成矿时代接近 131~134 Ma ,这与区域上中生代大规模岩浆活动和成矿作用的年代是一致的

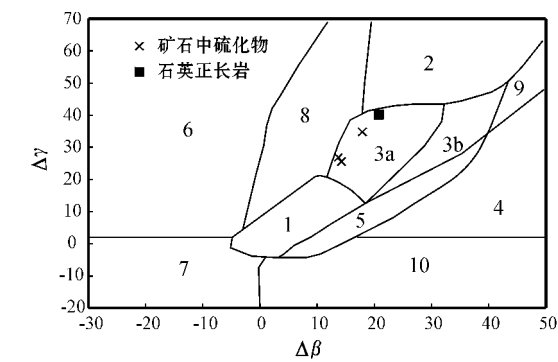


图 6 龙桥铁矿床铅同位素 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ 成因分类图解

(据朱炳泉 ,1998 ;数据来自吴明安等 ,1996)

1—幔源铅 ;2—上地壳源铅 ;3—上地壳与地幔混合的俯冲带铅 (3a-岩浆作用 3b-沉积作用) ;4—化学沉积型铅 ;5—海底热水作用铅 ;6—中深度变质作用铅 ;7—深变质下地壳铅 ;8—造山带铅 ;9—古老页岩上地壳铅 ;10—退变质作用铅

Fig. 6 $\Delta\gamma$ - $\Delta\beta$ diagram of Pb isotope of the Longqiao iron posit (after Zhu B Q , 1998 ; data from Wu M A et al. , 1996)

1—Mantle lead ;2—Upper crust lead ;3—Upper crust-mantle mixed subduction zone lead (3a-Magmatism ;3b-Sedimentation) ;4—Chemical-sedimentary type lead ;5—Submarine hot water lead ;6—Medium-hypometamorphic lead ;7—Hypometamorphic lower crust lead ;8—Orogenic belt lead ;9—Old shale upper crust lead ;10—Retro-grade metamorphic lead

(周涛发等 ,2008a ;2008b ;2003 ;毛景文等 ,2009 ;2005 ;2004 ;谢桂青等 ,2008 ;Xie et al. ,2007 ;袁峰等 ,2008 ;Sun et al. , 2003 ;余金杰等 ,2002 ;侯增谦等 ,2004)。

龙桥铁矿床赋矿地层中碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 -3.84‰ ~ $+3.77\text{‰}$ (吴明安等 ,1996) ,变化范围较大。通过 $\delta^{18}\text{O}$ 标准变化公式 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 1.03091\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} + 30.91$,本文对前人研究数据进行换算 ,并将计算结果投在 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ - $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 成因图解中(图 7) ,可以看出 ,龙桥铁矿床赋矿围岩地层的碳、氧同位素组成指示出有 2 种成因的碳酸盐 :一类为正常海相沉积成因碳酸盐 ;另一类为热液叠加改造成因的碳酸盐。碳、氧同位素亦表明赋矿地层三叠系东马鞍山组海相沉积岩石受到了燕山期岩浆热液的影响 ,通过蚀变等水岩作用过程 ,岩浆热液在形成铁矿床的同时 ,也与围岩作用 ,部分改造了围岩。此外 ,本地区在中侏罗世是陆相环境 (常印佛等 ,1991) ,无法形成海陆相沉积物 ,而在中三叠世沉积的岩石为残余海相-海陆交互相沉积岩 (常印佛等 ,1991) 。由图 7 可见 ,龙桥铁矿床的赋矿地层中未经过热液改造的岩石具有正常海相沉积成因碳酸盐的碳、氧同位素特征 ,也从另一侧面证明了赋矿层位为中三叠统东马鞍山组 ,而非侏罗系地层。

上述菱铁矿及矿床的地质地球化学特征表明 ,龙桥铁矿床的形成经历了沉积成矿作用和热液成矿作用 2 个成矿期。在中三叠世沉积的一套含菱铁矿的沉积岩层 ,在白垩纪区域岩浆活动引发的大规模热液成矿期间 ,原沉积的菱铁矿部分

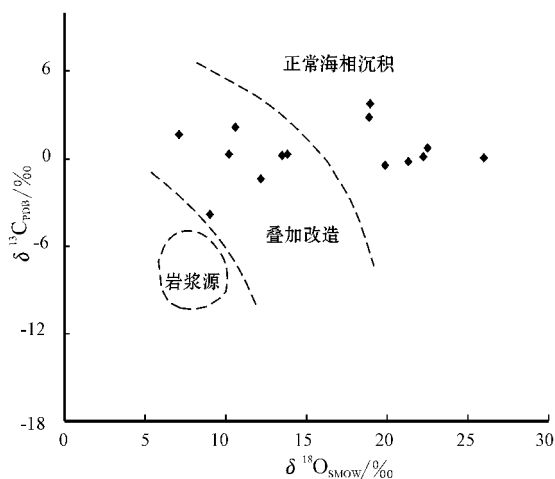


图7 龙桥铁矿床赋矿围岩碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 成因图解(底图据臧文拴等, 2004)

Fig. 7 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ diagram of wall rocks of the Longqiao iron deposit (after Zang et al., 2004)

被交代形成磁铁矿, 并与燕山期岩浆热液中沉淀的大量磁铁矿一起, 共同形成了龙桥铁矿床。含菱铁矿的三叠纪膏盐层作为燕山期热液成矿的主要赋矿成分和部分矿胚层, 为矿床的最终形成作出了重要贡献, 但主要成矿物质和成矿条件受控于燕山期的岩浆作用和热液活动, 是燕山期成岩成矿作用大爆发的产物(华仁民等, 1999; 毛景文等, 2005)。这一认识明显有别于前人提出的龙桥矿床形成的模式和观点, 对下一步在庐枞盆地中进一步寻找龙桥式铁矿床具有重要的参考意义。

5 结论

(1) 龙桥铁矿床纹层状矿石中的菱铁矿为沉积成因。矿床赋矿地层主要为中三叠统东马鞍山组而非中侏罗统罗岭组。

(2) 龙桥铁矿床的形成经历了早期(中三叠世)的沉积成矿作用和燕山期的热液成矿作用。三叠纪沉积作用形成的部分菱铁矿, 在燕山期岩浆热液的作用下为磁铁矿床的形成提供了部分成矿物质。但矿床的主要成矿物质来自岩浆热液。

志 谢 衷心感谢毛骞高级工程师和马玉光高级实验师在电子探针测试中所给予的帮助和指导。感谢陈彤老师在探针片制作中的热情帮助。

References

Chang Y F, Liu X P and Wu Y C. 1991. The copper-iron belt of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River [M]. Beijing: Geol.

Pub. House. 379p (in Chinese with English abstract).

Hu W X, Xu K Q, Hu S X and Ren Q J. 1991. Exhalative sedimentation and hydrothermal transformation-superimposition iron and pyrite deposits in the Ningwu-Luzong continental volcanic basins [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 142p (in Chinese with English abstract).

Hou Z Q, Yang Z S, Li Y Q, Zeng P S, Meng Y F, Xu W Y and Tian S H. 2004. Large-scale migration of fluids towards foreland basins during collisional orogeny: Evidence from Triassic Anhydrite sequences and regional alteration in Middle-Lower Yangtze area [J]. Mineral Deposits, 23(3): 310-326 (in Chinese with English abstract).

Hua R M and Mao J W. 1999. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in East China [J]. Mineral Deposits, 18(4): 298-307 (in Chinese with English abstract).

Liu J, Zhou T F, Yuan F, Fan Y, Wu M A, Lu S M and Qian C C. 2007. Rock geochemistry and genesis of the Bajiatan intrusion in the Lujiang-Zongyang volcanic basin, Anhui [J]. Acta Petrologica Sinica, 23(10): 2615-2622 (in Chinese with English abstract).

Mao J W, Stein H, Du A D, Zhou T F, Mei Y X, Li T F, Zang W S and Li J W. 2004. Molybdenite Re-Os precise dating for molybdenite from Cu-Au-Mo deposits in the Middle-Lower Reaches of Yangtze River belt and its implications for mineralization [J]. Acta Geologica Sinica, 78: 121-131 (in Chinese with English abstract).

Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, Li X F, Wang Y T, Zhang C Q and Li Y F. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and Corresponding geodynamic setting [J]. Acta Petrologica Sinica, 21(1): 169-188 (in Chinese with English abstract).

Mao J W, Shao Y J, Xie G Q, Zhang J D and Chen Y C. 2009. Mineral deposit model for porphyry-skarn polymetallic copper deposits in Tongling ore dense district of Middle-Lower Yangtze Valley metallogenic belt [J]. Mineral Deposits, 28(2): 109-119 (in Chinese with English abstract).

Ni R S, Wu Q Q, Wang X Y, Wu M A and Zhang Q M. 1994. New data and evolutionary model of polymetallogenesis for the Longqiao iron deposit, Lujiang, Anhui [J]. Geological Review, 40(6): 565-575 (in Chinese with English abstract).

Pan Y M and Dong P. 1999. The Lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River) metallogenic belt, East China: Intrusion and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposit [J]. Ore Geology Reviews, 15: 117-242.

Ren Q J, Liu X S, Xu Z W, Qiu D T, Hu W X, Fang C Q, Ruan H C, Dong H G, Li Z L and Wu Q Z. 1991. Mesozoic volcano-tectonic depression and its mineralizing process in Lujing-Zongyang area, Anhui Province [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 206p (in Chinese).

Sun W, Xie Z, Chen J, Zhang X, Chai Z, Du A, Zhao J, Zhang C and Zhou T. 2003. Os-Os dating of copper and molybdenum deposits along the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, China [J]. Econ. Geol., 98: 175-180.

Tang Y C, Wu Y C, Chu G Z, Xing F M, Wang Y M, Cao F Y and Chang Y F. 1998. Geology of copper-gold polymetallic deposits in the

- along-Changjiang area of Anhui Province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 226p(in Chinese with English abstract).
- Taylor H P. 1974. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition[J]. *Econ. Geol.*, 69: 843-883.
- Wu M A, Zhang Q M, Wang X Y, Gao C S, Shang S G and Wang M H. 1996. Longqiao iron deposit, Lujiang, Anhui [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 172p(in Chinese).
- Xie G Q, Mao J W, Li R L, Qu W J, Pirajno F and Du A D. 2007. Re-Os molybdenite and Ar-Ar phlogopite dating of Cu-Fe-Au-Mo(W) deposits in southeastern Hubei, China[J]. *Mineralogy and Petrology*, 90: 249-270.
- Xie G Q, Mao J W, Li R L, Jiang G H, Zhao C S, Zhao H J, Hou K J and Pan H J. 2008. ^{40}Ar - ^{39}Ar phlogopite dating of large skarn Fe deposits and tectonic framework in southeastern Hubei Province, Middle-Lower Reaches of Yangtze River, Eastern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 24(8): 1917-1927(in Chinese with English abstract).
- Yu J J and Mao J W. 2002. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of albite from porphyry iron deposits in the Ningwu basin in east-central China and its significance[J]. *Progress in Natural Science*, 12(10): 1059-1063(in Chinese).
- Yuan F, Zhou T F, Fan Y, Lu S M, Qian C C, Zhang L J, Duan C and Tang M H. 2008. Source, evolution and tectonic setting of Mesozoic volcanic rocks in Luzong basin, Anhui Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1691-1702(in Chinese with English abstract).
- Zang W S, Wu G G, Zhang D and Liu A H. 2004. Xinqiao iron-deposit field in Tongling, Anhui: Geologic and geochemical characteristics and genesis[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28(2): 187-193.
- Zhai Y S, Yao S Z, Lin X D, Zhou X R, Wan T F, Jin F Q and Zhou Y G. 1992. Regularities of metallogenesis for copper(gold) deposits in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River area[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 235p(in Chinese with English abstract).
- Zhang S B. 1992. On the genesis of the Longqiao Iron ore deposit through metallogeochemistry[J]. *Geology of Anhui*, 2(4): 42-52(in Chinese with English abstract).
- Zhou T F, Yuan F, Zhang X and Yue S C. 2003. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ fast neutron activation dating of quartz from the Tongniujing Cu, Mo, Au vein-type hydrothermal deposit, Anhui[J]. *Geological Review*, 49: 212-216(in Chinese with English abstract).
- Zhou T F, Song M Y, Fan Y, Yuan F, Liu J, Wu M A, Qian C C and Lu S M. 2007. Chronology of the Bajiantan intrusion in the Luzong basin, Anhui, and its significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10): 2379-2386(in Chinese with English abstract).
- Zhou T F, Fan Y and Yuan F. 2008a. Advances on petrogenesis and metallogeny study of the mineralization belt of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River area[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1665-1678(in Chinese with English abstract).
- Zhou T F, Fan Y, Yuan F, Lu S M, Shang S G, David C, Sebastien M and Zhao G C. 2008b. Geochronology of the volcanic rocks in the Lu-Zong(Lujiang-Zongyang) Basin and its significance[J]. *Science in China(Series D)*, 38(10): 1342-1353.
- Zhu B Q. 1998. The theory and application of the isotopic systematics in the earth science[M]. Beijing: Science Press. 330p(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京: 地质出版社. 379 页.
- 胡文瑄, 徐克勤, 胡受奚, 任启江. 1991. 宁芜和庐枞地区陆相火山喷气沉积-叠加改造型铁硫矿床[M]. 北京: 地质出版社. 142 页.
- 侯增谦, 杨竹森, 李萌清, 曾普胜, 蒙义峰, 徐文艺, 田世洪. 2004. 碰撞造山过程中流体向前陆盆地大规模迁移汇聚: 来自长江中下游三叠纪膏盐层建造和区域蚀变的证据[J]. *矿床地质*, 23(3): 310-326.
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. *矿床地质*, 18(4): 300-307.
- 刘 璐, 周涛发, 袁 峰, 范 裕, 吴明安, 陆三明, 钱存超. 2007. 安徽庐枞盆地中巴家滩岩体的岩石地球化学特征及成因[J]. *岩石学报*, 23(10): 2615-2622.
- 毛景文, Stein H, 杜安道, 周涛发, 梅燕雄, 李永峰, 藏文栓, 李进文. 2004. 长江中下游地区铜金(钼) 矿 Re-Os 年龄测定及其对成矿作用的指示[J]. *地质学报*, 78(1): 121-131.
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. *岩石学报*, 21(1): 168-188.
- 毛景文, 邵拥军, 谢桂青, 张建东, 陈毓川. 2009. 长江中下游成矿带铜陵矿集区铜多金属矿床模型[J]. *矿床地质*, 28(2): 109-119.
- 倪若水, 吴其切, 汪祥云, 吴明安, 张千明. 1994. 安徽庐江龙桥矿层新资料及成矿作用多阶段演化模式[J]. *地质论评*, 40(6): 565-575.
- 任启江, 刘孝善, 徐兆文, 邱德同, 胡文瑄, 方长泉, 阮惠础, 董火根, 李兆麟, 吴启志. 1991. 安徽庐枞中生代火山构造洼地及其成矿作用[M]. 北京: 地质出版社. 206 页.
- 唐永成, 吴言昌, 储国正, 邢凤鸣, 王永敏, 曹奋扬, 常印佛. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社. 226 页.
- 吴明安, 张千明, 汪祥云, 高昌生, 尚世贵, 王明华. 1996. 安徽庐江龙桥铁矿[M]. 北京: 地质出版社. 172 页.
- 谢桂青, 毛景文, 李瑞玲, 蒋国豪, 赵财胜, 赵海杰, 侯可军, 潘怀军. 2008. 鄂东南地区大型矽卡岩型铁矿床金云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年龄及其构造背景初探[J]. *岩石学报*, 24(8): 1917-1927.
- 余金杰, 毛景文. 2002. 宁芜玢岩铁矿钠长石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年及意义[J]. *自然科学进展*, 12(10): 1059-1063.
- 袁 峰, 周涛发, 范 裕, 陆三明, 钱存超, 张乐骏, 段 超, 唐敏惠. 2008. 庐枞盆地中生代火山岩的起源、演化及形成背景[J]. *岩石学报*, 24(8): 1691-1702.
- 藏文栓, 吴淦国, 张 达, 刘爱华. 2004. 铜陵新桥铁矿田地地质地球化学特征及成因浅析[J]. *大地构造与成矿学*, 28(2): 187-193.

- 翟裕生,姚书振,林新多,周珣若,万天丰,金福全,周永桂. 1992. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律[M]. 北京:地质出版社. 235 页.
- 张少斌. 1992. 从成矿地球化学角度论龙桥铁矿床成因[J]. 安徽地质, 2(4): 42-52.
- 周涛发,袁 峰,张 鑫,岳书仓. 2003. 安庆铜牛井热液脉型铜、钼、金矿床石英的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 快中子活化年龄[J]. 地质论评, 49(2): 212-216.
- 周涛发,宋明义,范 裕,袁 峰,刘 珏,吴明安,钱存超,陆三明. 2007. 安徽庐枞盆地中巴家滩岩体的年代学研究及其意义[J]. 岩石学报, 23(10): 2379-2386.
- 周涛发,范 裕,袁 峰. 2008a. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展[J]. 岩石学报, 24(8): 1665-1678.
- 周涛发,范 裕,袁 峰,陆三明,尚世贵,David C,Sebastien M,赵国春. 2008b. 安徽庐枞(庐江-枞阳)盆地火山岩的年代学及其意义[J]. 中国科学(D 辑), 38(11): 1342-1353.
- 朱炳泉. 1998. 地球科学中同位素体系理论与应用——兼论中国大陆壳幔演化[M]. 北京:地质出版社. 1-330.

<http://www.kcdz.ac.cn/>