

与岩浆作用有关的铁矿床研究进展

刘俊玉¹, 李大鹏², 程光锁², 王树星¹, 董学¹

(1. 山东省第八地质矿产勘查院, 山东日照 276826; 2. 山东省地质科学研究院, 山东济南 250013)

摘要:与岩浆作用有关的铁矿是一类有重要经济意义的矿床类型,通过搜集近10年来国内外相关铁矿的研究成果,总结了这类铁矿的新观点、新认识,系统介绍了其成矿区域构造背景、成矿物质来源,并重点探讨了成矿元素富集机制。

关键词:铁矿;岩浆作用;区域构造背景;成矿物质来源;元素迁移富集机制

中图分类号:P588.125

文献标识码:A

0 引言

作为人类社会赖以生存和发展的重要矿产资源,铁矿资源是世界上需求量最多的一种金属,被广泛用于建筑、重工、机械、船舶、家居等各个领域。3500年前,人类便开始了铁矿石的开采和铁器的使用,恩格斯曾说过“人类从野蛮时代过渡到文明时代的重要标志就是铁矿石的冶炼”。据统计,截至2009年底,全球铁资源量约为1 964亿t,其中工业储量930亿t。北半球的铁工业储量约为600亿t,约占全球工业储量的64.5%;南半球为330亿t,约占35.5%。全球铁矿资源丰富的国家主要有巴西、澳大利亚、加拿大、俄罗斯、中国、美国和乌克兰等国家,其中,巴西和澳大利亚的铁矿石品位一般较高,而且一般埋藏浅,开采成本低,使得这些国家成为全球主要的铁矿石供应国。相比之下,我国铁矿资源虽然储量较大,但禀赋不佳,多以贫矿为主,富铁矿石短缺,主要依赖进口。作为全世界最大的钢铁消费国和铁矿石进口国,我国每年的铁矿石需求量占世界总需求量的50%以上。并且,随着我国经济的持续高速发展,对于原材料的需求逐年增加,资源短缺,尤其是铁矿资源短缺的现实也日益凸显。因此,针对我国铁矿资源的极度短缺的现状,加强进一步的铁矿资源勘查工作,寻找新的大型铁矿床基地,是

一项迫切的关系到国家经济发展命脉的艰巨任务。

与岩浆作用有关的铁矿床多与深部岩浆系统有关,其分布广泛,种类繁多,成因复杂,一直是矿床学研究的热点。国内外科学家们普遍认识到此类矿床的形成涉及岩浆深部作用、火山岩与岩浆热液的形成与演化、成矿元素富集与成矿岩浆-流体形成、富矿岩浆侵位并成矿、矿浆热液蚀变与矿化等一系列过程^[1-11],而且具有多阶段叠加成矿的特点^[10-17]。经过60余年的发展,有关此类铁矿床的科学研究工作已取得了大量的成果。

1 代表性矿床

1.1 IOCG 型矿床

IOCG型矿床是指铁氧化物-铜-金矿床, Iron oxide - copper - gold Deposits,前人将此类矿床定义为含有大量铁氧化物(磁铁矿/赤铁矿)、伴有铜、金以及铀和稀土元素的一类矿物组合变化较大、与岩浆-构造活动有关的矿床^[18-19]。

从成矿时代上来看,尽管前人将其限定在元古宙^[18],但目前已有资料表明,这类矿床从太古宙到新生代均有产出,并且除了普遍富Fe - Cu - Au - U - REE外,很多矿床还富含Co, Ag, Mo, Bi, Te以及Sn, W, Pb, Zn等^[19-20]。关于IOCG型矿床的时空分

收稿日期:2014-02-21;修订日期:2014-06-17;编辑:曹丽丽

基金项目:中国地质调查局天山成矿带地质矿产调查评价项目(项目编号:1212011120497)和山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室开放基金(2013014)、山东省“泰山学者”建设工程专项经费联合资助的成果

作者简介:刘俊玉(1964—),男,山东沂南人,高级工程师,主要从事地质矿产研究工作;E-mail:liujunyul63@163.com。

布特点,毛景文等曾做过详细的总结。目前报道的形成时间最早的 IOCG 型矿床位于巴西的 Carajas 地区,其形成于太古宙的新太古代,大约为 2 350 ~ 2 750 Ma^[20]。元古宙是 IOCG 型矿床发育的主要时期,包括澳大利亚的大多数 IOCG 型矿床、加拿大 Wernecke 和 Great Bear 地区、美国的 Missouri 和 San Francisco 地区的 IOCG 型矿床,以及芬兰的 MiSi 和 Kolari 地区和我国内蒙古的白云鄂博铁-稀土矿^[20],这些矿床的成矿时代普遍集中于 1 900 ~ 1 600 Ma。古生代的此类矿床相对较少,在伊朗的 Bafq 地区的 IOCG 型矿床形成于 515 ~ 529 Ma^[8]。新生代的此类矿床主要形成在南美大陆西部的秘鲁和智利 (165 ~ 112 Ma)^[19] 以及阿根廷的 Arizario 和 Lindero 地区。

从构造背景方面来讲,IOCG 型矿床多产于伸展构造环境下的克拉通或者大陆边缘环境^[18,20,21]。毛景文等将 IOCG 型矿床形成的构造背景归为 3 类:与岩浆作用有关的陆壳板块内部,与中基性岩浆作用有关的大陆边缘、褶皱和推覆构造带^[20]。

IOCG 型矿的矿床成因一直颇具争议,主要集中在岩浆成因^[18,19] 和岩浆加热的流体成因^[22,23]。但 IOCG 型矿床的成矿系统是极为复杂的,单一模式很难解释,更可能是经历了叠加成矿作用等复杂的成矿过程^[14-16]。

1.2 Kiruna 型铁矿

Kiruna 型矿床的提出起源于瑞典 Kiruna 地区的磁铁矿床,这类铁矿床普遍产于古元古代-中元古代的火山岩中。由于铁和磷的高度富集而罕见,并得到世界范围内地质学者的广泛关注^[24-28]。概括来讲,此类矿床的特征有以下几点:在矿石矿物组合方面,以磁铁矿 + (赤铁矿) + 磷灰石 + 阳起石为主;矿体产出方面,矿体赋存于中基性火山岩中;近矿围岩交代蚀变方面,靠近矿体的围岩局部被呈脉状的矽卡岩矿物交代;磁铁矿矿物学方面,以高磷低钛为特征。

关于此类矿床成因的讨论开始于 20 世纪初期, Crane 和 Geijer 研究了位于瑞典和美国的 Kiruna 型矿床,通过详细的野外地质研究,他们认为此类富铁-磷的矿床形成于后期岩浆热液的交代作用^[24-25]。Frietsch 和 perdahl 研究了位于塔图许岛的磁铁矿-磷灰石-阳起石型铁矿石,认为其形成于塔图许深成

岩体的挥发流体^[29]。Mackin 指出美国犹他州 (Utah) 的 Iron Springs 磁铁矿床形成于岩浆后期的基性岩盘 (intermediate composition laccoliths) 的蚀变作用,他指出磁铁矿体是在岩浆作用后期,随着岩浆的冷却作用形成的^[2]。Panno 和 Hood 研究了位于美国 Missouri 著名的 Pilot Knob Kiruna 型铁矿,认为其形成与凝灰岩和沉积岩之间的热液交代作用^[30]。Hildebrand 通过丰富的矿物学、地球化学资料,讨论了位于加拿大西北的 Great Bear 岩浆带内的 Kiruna 型铁矿的成因及其与赋矿中性次火山岩的关系。他认为安山质火山岩快速的脱水作用和挥发作用造成了铁和磷的富集,并且作为一种超临界流体析出,随着不断的升华作用,流体相富集流动到侵入体的表面^[31]。Bookstrom 指出位于智利 El Romeral 地区 Kiruna 型铁矿床的形成与中性浅成侵入岩有关^[26]。一直以来,Paråk 认为 Kiruna 铁矿与侵入-岩浆作用无关,而是由于火山喷出一变质沉积作用形成的,此观点的主要论据是宏观上的局部矿体呈层状产出和其他的沉积结构^[32-34]。然而类似的现象在 Great Bear 岩浆带^[31,35] 以及 St. Francois 山^[30] 地区的 Kiruna 型矿床内都有发现,有明显的证据指出矿体的这种似层状的产出状态是由于矿体替换了古老的沉积岩或者火山岩所致^[31,35]。针对于 Paråk 的观点, Frietsch 从 Kiruna 型铁矿的赋矿岩石、交代蚀变的赋矿岩石、矿石和赋矿岩石的接触关系以及矿石中的磷灰石等方面对其进行了反驳,他认为此类矿床应为岩浆成因^[36]。后来, Frietsch and Perdahl 又通过详细的微量元素地球化学资料补充证明了 Kiruna 型铁矿的岩浆成因,认为 Kiruna 型铁矿受构造-岩浆共同控制,其形成经历了从古元古代到新近纪的漫长过程,元古宙的矿体主要产于克拉通地块中,而后期的主要矿体发育于褶皱带中^[37]。总的来说,暂不讨论具体的成矿元素富集机制,从目前来看,多数地质学者接受了 Kiruna 型铁矿的岩浆成因。

2 共识与争论

2.1 区域构造背景

2014 年的研究发现大多数与岩浆作用有关的铁矿床分布于先后经历了碰撞挤压和撞后拉伸作用的大陆边缘或者克拉通环境^[18,21,38],大部分此类矿

床都是分布于大陆边缘的主要构造带内,比如:智利北部的 Cretaceous 铁矿床,伊朗的 Bafq 铁矿^[39],美国密苏里州的 Francois 组火山岩中的铁矿床,西澳大利亚 Yilgarn 克拉通内的 Madoonga 铁矿以及我国长江中下游地区的玢岩铁矿等^[2]。Frietsch 认为是这些构造、特别是伸展构造控制了各个成矿带的岩浆富矿流(熔)体系^[29,36,37]。无论是陆陆碰撞抑或洋壳俯冲作用,过程中都存在一种由早期挤压环境向晚期拉伸环境的转变,而恰恰这种挤压作用和拉伸作用是控制成岩与成矿的主要动力。通常认为挤压环境有利于形成大型岩浆房^[10],因为挤压的构造环境可以通过深部地质过程热使得壳-幔系统发生重熔或者部分熔融而形成岩浆,并且还可通过阻止深部岩浆侵位上升而控制火山作用,所以一般在这样的挤压环境下,容易形成规模更大、更深的岩浆房、有利于深部岩浆的气相饱和及分离结晶,并可以产生大量的热液流体^[10,40,41]。而后期的拉伸阶段则恰恰为富矿岩浆、流体上升与侵位提供了动力和空间,很多岩浆型铁矿床就形成于这些拉伸环境下的陆壳拆沉或陆内裂谷形成这个阶段^[19-20]。

2.2 成矿物质来源

在成矿物质来源方面,与岩浆作用有关的铁矿床的成矿元素和岩浆系统密切相关。尤其是近年来,随着科技水平的进步,尤其是随着高精度实验分析仪器的使用,越来越多的地学工作者发现,这类矿床的成矿元素来源于深部岩浆过程,主要来源于上地幔岩浆系统^[27-29,37]。Yaxley 认为中上地幔顶部的榴辉岩容易在特定的物理条件下(3.5 GPa, 1300℃)与深部软流圈地幔发生同熔作用,就会在上地幔形成富铁、钠和镁的铁镁橄榄岩,继而这套橄榄岩受热发生部分熔融,而形成富钠、富铁的玄武质岩浆^[42]。而这套富铁的玄武岩浆,经过后期的岩浆结晶分异作用或液态不混溶作用(熔离作用),就可能形成富铁流(熔)体,最终参与成矿作用。

2.3 成矿元素富集机制

在成矿元素富集机制方面,虽然有研究认为与岩浆作用有关的铁矿床与侵入-岩浆作用无关,而是由于火山喷出一变质沉积作用形成的^[32-34,43],但更多的研究还是支持其为岩浆成因^[29,36-37],并得到了学术界的普遍认可。但是,不容否认,岩浆过程中成矿物质的运移、富集机制一直饱受争议、观点不一。

目前归纳来看,主要有以下4种观点:①岩浆分异作用;②岩浆熔离作用;③流体萃取作用;④高温热液矿化作用。

(1) 岩浆分异作用

这个观点主要认为成矿物质来源于岩浆演化的过程中,铁以氧化物的形式随着岩浆的不断结晶分异作用而分离,最后形成富矿的岩浆或者富含铁质的高温岩浆热液,并交代填充围岩,参与成矿^[44-45]。田竞亚和胡秀蓉通过详细的地球化学研究认为四川攀西地区产于(超)镁铁质杂岩体中的钒钛磁铁矿是形成于岩浆演化过程中与重力有关的结晶分异作用,并称之为岩浆分异获岩浆分凝型矿床^[46]。范良伍等系统地总结了前人的相关成果,并在此基础上,通过对长江中下游的安庆铁(铜)矿的深入研究,提出安庆铁矿早期大规模的磁铁矿体形成于岩浆结晶分异作用,成矿元素是在岩浆结晶分异演化过程中富集、沉淀、成矿的^[47]。余金杰和毛景文通过研究认为,宁芜地区的玢岩型铁矿床的成矿岩浆来源于上地幔的部分熔融^[44],后由于这套岩浆按 Fenner 分离结晶趋势^[48]发生结晶分异作用而形成富铁岩浆^[49]。肖庆华等通过详细的年代学和矿物学研究,提出香山西铜镍-钛铁矿床可能是由于玄武质岩浆经历了强烈的结晶分异作用,形成了钛铁氧化物富集的残余岩浆,后来受地壳混染作用影响,在岩浆上侵过程中的残余岩浆的氧逸度提高,并发生了钛-铁氧化物的结晶分异^[45]。同时他认为即便是普通的(拉斑)玄武质岩浆,通过有利的分异演化过程也可以形成大型钛铁矿床。

(2) 不混溶作用

不混溶作用,又称熔离作用,是形成矿浆(Ore magma)矿床的主要途径。矿浆型矿床的概念,是由 J. E. Spurr 在 1923 年最先提出的,是指由成矿元素浓度较高的残余岩浆侵入、冷却凝结形成的矿床。数十年来,随着认识的逐步深入,国内外科学家在矿浆的形成机理方面取得了大量的研究成果^[2,27-18,35,50]。目前主要认为在深部岩浆作用的过程中,由于液态不混溶作用形成富铁岩浆(铁矿浆),在岩浆作用晚期侵入在围岩中,以矿浆的形式参与成矿^[12-13,20,27-28,51]。虽然前人普遍认为富铁岩浆形成于岩浆的不混溶作用^[10,27-28],但其具体的熔离机制一直困扰着学术界。Philpotts 通过实验,认为富铁岩浆(矿浆)可以由富铁的硅酸盐岩浆经过

强烈的熔离作用形成,并指出熔离过程中磷灰石起重要作用^[52]。喻学惠通过实验指出,在高温高压下一些(铝)硅酸盐矿物(如:透辉石和金云母)有利于铁矿浆的熔离^[53]。Hou等通过近年来的研究认为安徽姑山铁矿成矿母岩浆是玄武质岩浆在低氧逸度条件下,在深部发生单斜辉石和斜长石分离结晶作用后形成富铁的闪长质岩浆,后由于地层中磷的加入而发生富铁岩浆的熔离,他提出富磷的壳源混染作用是引发富铁岩浆熔离的主要机制之一^[27-28]。

(3) 流体萃取作用

中国科学院地球化学研究所宁芜玢岩小组通过研究认为,当温度高于400℃时,铁的溶解度容易随着温度的升高而降低,所以直接在岩浆系统中析出的高温流体中铁的溶解度一般很低,不足以形成富铁矿^[54-55]。研究认为只有流体中的铁浓度在岩浆固化后、温度下降时才能提高,铁质可能来源于已固结的岩石,被岩浆流体交代,萃取而参与成矿^[22-23,56]。

(4) 高温热液矿化作用

与传统的矽卡岩型铁矿不同,中基性岩浆系统的热液矿化作用多与矿浆热液或高温岩浆气液有关^[24-25,30]。比如我国的安徽梅山铁矿^[12-13]、湖北张福山铁矿^[57]、新疆的磁海铁矿^[58]和查岗诺尔铁矿等,在成矿过程中普遍都经历了火山高温气液交代作用。薛春纪等从矿物学和岩石地球化学方面详细论述了磁海铁矿的热液成矿化学过程,他认为成矿流体的化学演化具有明显火山岩浆期后热液演化特点,成矿物质来自深源富碱玄武岩浆^[58]。

3 结论

(1) 几乎所有与岩浆作用有关的铁矿床都分布于有碰撞挤压和撞后拉伸作用的克拉通或者大陆边缘环境。

(2) 其成矿元素来源于深部岩浆过程,主要来源于地幔岩浆系统。

(3) 在成矿元素富集机制方面,学术界普遍接受为岩浆成因,但是岩浆过程中成矿物质的富集机制一直颇具争议,主要体现在岩浆分异作用、岩浆熔离作用、流体萃取作用和高温热液矿化作用等几方面。

参考文献:

- [1] Wager L R, Brown G M and Wadsworth W J. Types of igneous cumulates. *Petrology*, 1960, 1: 73 - 85.
- [2] Mackin, J. H. Iron ore deposits of the Iron Springs district, Southwestern Utah, in Ridge, J. D., ed, *Ore deposits of the United States, 1933 - 1967* (Graton - Sales vol.); New York, Am. Inst. Mining, Metall. Petroleum Engineers, 1968, 2: 992 - 1019.
- [3] Hirano S and Somiya S. Hydrothermal crystal growth of magnetite in the presence of hydrogen. *Journal of Crystal Growth*, 1976, 35: 273 - 278.
- [4] Hoffman P F and McGlynn J C. Great Bear batholith: A volcano - plutonic depression. In: WRA Baragar, *Volcanic Regimes in Canada*. Geol. Assoc. Can. Spec, 1977, Pap, 16: 170 - 192.
- [5] Nystroem J O and Henriquez F. Magmatic features of iron ores of the Kiruna in Chile and Sweden; ore textures and magnetite geochemistry. *Economic Geology*, 1994, 89 (4): 820 - 839.
- [6] Kontak D J, Michelle Y De, Wolfe De Young et al. Late - stage crystallization history of the jurassic North Mountain Basalt, Nova Scotia, Canada. I. Textural and chemical evidence for pervasive development of silicate - liquid immiscibility. *Canada Mineralogist*, 2002, 40: 1287 - 1311.
- [7] Jiang N, Chu X L, Toshio M, et al. A magnetite - apatite deposit in the Fanshan alkaline ultramafic complex. Northern China. *Economic Geology*, 2004, 99: 397 - 408.
- [8] Torab F M and Lehmann B. Magnetite - apatite deposit of the Bafq district, Central Iran; Apatite geochemistry and monazite geochronology. *Mineralogical Magazine*, 2007, 71: 347 - 363.
- [9] 冯京,徐仕琪,田江涛,等. 东天山海相火山岩型铁矿成矿规律研究方法[J]. *新疆地质*, 2009(04): 330 - 336.
- [10] 李大鹏. 新疆西天山阿吾拉勒铁矿带叠加成矿作用[D]. 北京: 中国地质大学, 2012: 1 - 147.
- [11] 李大鹏,杜杨松,庞振山,等. 西天山阿吾拉勒石炭纪火山岩年代学和地球化学研究[J]. *地球学报*, 2013, 34(2), 176 - 192.
- [12] 陈毓川,盛继福,艾永德. 梅山铁矿——一个矿浆热液矿床[M]. 北京: 中国地质科学院矿床地质研究所文集, 1981: 26 - 48.
- [13] 陈毓川,张荣华,盛继福,等. 玢岩铁矿矿化蚀变作用与成矿机理[M]. 北京: 中国地质科学院矿床地质研究所文集, 1982: 1 - 29.
- [14] Mark G, Foster D R W, Pollard P J, et al. Stable isotope evidence for magmatic fluid input during large - scale Na - Ca alteration in the Cloncurry Fe oxide Cu - Au district, NW Queensland, Australia. *Terra. Nova*, 2004, 16: 54 - 61.
- [15] Mark G, Wilde A, Oliver N H S, et al. Modeling outflow from the Ernest Henry Fe oxide Cu - Au deposit: implications for ore genesis and exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 2005a, 85: 31 - 46.

- [16] Mark G, Williams P J, Oliver N H S, et al. Fluid inclusion and stable isotope geochemistry of the Ernest Henry Fe - oxide - Cu - Au deposit, Queensland, Australia. *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*, 2005b, Session 7: 785 - 788.
- [17] Duuring P and Hagemann S. Genesis of superimposed hypogene and supergene Fe orebodies in BIF at the Madoonga deposit, Yilgarn Craton, Western Australia. *Mineralium Deposita*, 2012, DOI: 10. 1007/s00126 - 012 - 0429 - 0.
- [18] Hitzman M W, Oreskes N and Einaudi M T. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu - U - Au - REE) deposits. *Precambrian Research*, 1992, 58: 241 - 287.
- [19] Sillitoe R H. Iron oxide - copper - gold deposits: An Andean view. *Mineralium Deposita*, 2003, 38: 787 - 812.
- [20] 毛景文, 余金杰, 袁顺达, 等. 铁氧化物-铜-金 (IOCG) 型矿床: 基本特征、研究现状与找矿勘查 [J]. *矿床地质*, 2008, 27 (3): 267 - 278.
- [21] Xavier R. P., Wiedenbeck M, Trumbull R B, et al. Tourmaline B - isotopes fingerprint marine evaporites as the source of high - salinity ore fluids in iron oxide copper - gold deposits, Carajas Mineral Province (Brazil). *Geology*, 2008, 36 (9): 743 - 746.
- [22] Barton M D and Johnson D A. Evaporitic - source model for igneous - related Fe oxide - (REE - Cu - Au - U) mineralization. *Geology*, 1996, 24: 259 - 262.
- [23] Barton M D and Johnson D A. Footprints of Fe - oxide (- Cu - Au) systems. *University of Western Australia Special Publication*, 2004, 33: 112 - 116.
- [24] Crane G W. The iron ores of Missouri; *Missouri Bur. Geology Mines*, 1912, 10 (2): 434.
- [25] Geijer P. Some problems in iron ore geology in Sweden and in America. *Economic Geology*, 1915, v. 10, p. 299 - 329.
- [26] Bookstrom A A. The magnetite deposits of El Romeral, Chile. *Economic Geology*, 1997, 72: 1101 - 1130.
- [27] Hou T, Zhang Z C, Encarnacion J et al. Geochemistry of Late Mesozoic dioritic porphyries associated with Kiruna - style and stratabound carbonate - hosted Zhonggu iron ores, Middle - Lower Yangtze Valley, Eastern China: Constraints on petrogenesis and iron sources. *Lithos*, 2010, 119: 330 - 334.
- [28] Hou T, Zhang Z C and Kusky T. Gushan magnetite - apatite deposit in the Ningwu basin, Lower Yangtze River Valley, SE China: hydrothermal or Kiruna - type? *Ore Geology Reviews*, 2011, 43 (1): 333 - 346.
- [29] Frietsch R and Perdahl L A. REE distribution in magnetite and apatite in some Early Proterozoic ore types in Norrbotten, northern Sweden. *Res. Rep. TULEA 1989*; 26, Lule - University, 37 pp.
- [30] Panno S V and Hood W C. Volcanic stratigraphy of the Pilot Knob iron deposits Iron County, Missouri. *Economic Geology*, 1983, 78: 972 - 982.
- [31] Hildebrand R S. Kiruna - type deposits: their origin and relationship to intermediate subvolcanic plutons in the Great Bear magmatic zone, Northwest Canada. *Economic Geology*, 1986, 81 (3): 640 - 659.
- [32] Parátk T. Kiruna iron ores are not "intrusive - magmatic ores of the Kiruna type". *Economic Geology*, 1975, 70: 1242 - 1258.
- [33] Parátk T. Phosphorus in different types of ore, sulfides in the iron deposits, and the type and origin of ores at Kiruna. *Economic Geology*, 1985, 80: 646 - 665.
- [34] Parátk T. Rare earths in the apatite iron ores of Lapland together with some data about the Sr, Th and U content of these ores. *Economic Geology*, 1973, 68: 210 - 221.
- [35] Hildebrand R S and Bowring S A. A non - extensional model for the origin of continental intra - arc depressions, with a Proterozoic example from Wopmay orogen. *Northwest Territories, Canada: Geology*, 1984, 12: 73 - 77.
- [36] Frietsch R. On the magmatic origin of iron ores of the Kiruna type. *Economic Geology*, 1978, v. 73 no. 4 p. 478 - 485.
- [37] Frietsch R and Perdahl L A. REE in apatite and magnetite in Kiruna - type iron ores and some other iron ore types. *Ore Geology Reviews*, 1995, 9: 489 - 510.
- [38] Dill H G, Botz R, Berner Z, et al., The Origin of Pre - and Synrift, Hypogene Fe - P Mineralization during the Cenozoic along the Dead Sea Transform Fault, Northwest Jordan. *Economic Geology*, 2010, 105 (7): 1301 - 1319.
- [39] Daliran F. The magnetite - apatite deposit of Mishdovan, East Central Iran An alkali rhyolite hosted, "Kirana type" occurrence in the infracambrian Baqf Metallotect (Mineralogic, Petrographic and Geochemical study of the ores and the host rocks). *Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen, band 37. Ruprecht Karls - Universität, Heidelberg*, 1990. 248 pp. .
- [40] Richards J P. Tectono - magmatic precursors for porphyry Cu - (Mo - Au) deposit formation. *Economic Geology*, 2003, 98: 1515 - 1533.
- [41] Yaxley G M. Experimental study of the phase and melting relations of homogeneous basalt + peridotite mixtures and implications for the petrogenesis of flood basalts. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2000, 139: 326 - 338.
- [42] Gow P and Walshe J L. The role of preexisting geologic architecture in the formation of giant porphyry - related Cu - Au deposits. Examples from New Guinea and Chile, *Economic Geology*, 2005, 100, 819 - 833.
- [43] Hegemann F and Albrecht F. Zur Geochemie oxydischer Eisenerze. *Chemic der Erde*, 1954, v. 17, p. 81 - 103.
- [44] 余金杰, 毛景文. 宁芜玢岩铁矿磷灰石的稀土元素特征 [J]. *矿床地质*, 2002, 1(21): 65 - 73.
- [45] 肖庆华, 秦克章, 唐冬梅, 等. 新疆哈密香山西铜镍-钛铁矿床系同源岩浆分异演化产物——矿相学、锆石 U - Pb 年代学及岩石地球化学证据 [J]. *岩石学报*, 2010, (2): 503 - 522.
- [46] 田竞亚, 胡秀蓉. 攀枝花花式铁矿成矿机理与生成环境初探 [J]. *地球科学*, 1986, (6): 638 - 644.

- [47] 范良伍,张乾,温汉捷. 安庆铜铁矿床磁铁矿成矿机理探讨[J]. 矿物学报,2008,(4):476-482.
- [48] Fenner C N. The crystallization of Basalt. American Journal of Science, 1929, 18: 223-253.
- [49] Osborn E F. Role of oxygen pressure in the crystallization and differentiation of basaltic magma. American Journal of Science, 1959, 257:609-647.
- [50] Sokolova E N, Smirnov S Z, Astrelina E I, et al. Ongonite - elvan magmas of the Kalguty ore - magmatic system (Gorny Altai): composition, fluid regime, and genesis. Russian Geology and Geophysics, 2011, 52 (11): 1378-1400.
- [51] Kolker A. Mineralogy and geochemistry of Fe-Ti oxide and apatite (nelsonite) deposits and evaluation of the liquid immiscibility hypothesis. Economic Geology, 1982, 77 (5): 1146-1158.
- [52] Philpotts A R. Origin of certain iron - titanium oxide and apatite rocks. Economic Geology, 1967, 62: 303-315.
- [53] 喻学惠. 常压高温下方铁矿(FeO)-氟金云母[$KMg_3(AlSi_3O_{10})F_2$]-透辉石($CaMgSi_2O_6$)熔融体系相平衡实验及地质意义[J]. 地球科学,1984,(1):12-18.
- [54] 中国科学院地球化学研究所. 宁芜型铁矿形成机理. 1987:1-152.
- [55] Eugster H P and Chou I - ming. A model for the deposition of Cornwall type magnetite deposits. Economic Geology, 1979, 74: 763-774.
- [56] 卢冰,胡受奚,蔺雨时,等. 宁芜型铁矿床成因和成矿模式的探讨[J]. 矿床地质,1990,(1):13-25.
- [57] 张叔贞,林新多,姚书振. 湖北张福山矿浆-热液过渡型矽卡岩铁矿蚀变矿化分带[J]. 地球科学,1985,(4):45-51.
- [58] 薛春纪,姬金生,杨前进. 新疆磁海铁(钴)矿床次火山热液成矿学[J]. 矿床地质,2000,(2):156-164.

Research Progresses on Iron Deposits Related to Magmatism

LIU Junyu¹, LI Dapeng², CHENG Guangsuo², WANG Shuxing¹, DONG Xue¹

(1. No. 8 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Rizhao, 276826, China; 2. Shandong Institute of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Iron deposit related to magmatism has great significance in economy. Through collecting research achievements in China and abroad, research progresses on iron deposit mineralization related to magmatism has been summarized in this paper. Regional metallogenetic geological setting, ore - forming material sources and the dynamic mechanics on ore - formation element migration have been systematically introduced.

Key words: Iron ore deposit; magmatism; regional metallogenetic geological setting; ore - forming material sources; dynamic mechanics of ore - formation element migration