

文章编号 0258-7106 (2010) 03-0427-10

# 在宁芜玢岩铁矿深部寻找大冶式铁矿的探讨 ——以宁芜铁矿南段为例\*

林 刚<sup>1</sup>, 许德如<sup>2\* \*</sup>

(1 华东冶金地质勘查研究院, 安徽 合肥 230088; 2 中国科学院广州地球化学研究所  
石油天然气与矿产资源研究中心, 广东 广州 510640)

**摘 要** 通过对长江中下游 Fe-Cu-Au 多金属成矿带内重要的宁芜、大冶铁矿成矿模式和成矿地质背景的分析, 按照成矿系列中缺位预测的原则, 认为在宁芜盆地南段的深部, 岩体具有双层结构特征, 进而结合其深部存在着与矿体相关的膏盐层, 提出了宁芜玢岩铁矿之下应存在大冶式铁矿的新认识。在此基础上, 建立了宁芜盆地南段“丰”字型成矿模式, 并采用多重物探方法重点对姑山铁矿南部进行了综合探测。探测结果表明, 该区应具有较好的找矿潜力。

**关键词** 地质学; 地球物理学; “丰”字型成矿模式; 宁芜式铁矿; 大冶式铁矿; 找矿预测; 宁芜盆地南段  
**中图分类号**: P618.31 **文献标志码**: A

## Prospecting for Daye-type iron deposit in depth of porphyrite-type iron deposit: A case study of southern Ningwu iron deposits in Anhui Province

LIN Gang<sup>1</sup> and XU DeRu<sup>2</sup>

(1 East China Metallurgical Institute of Geology and Exploration, Hefei 230088, Anhui, China; 2 Research Center of Petroleum, Natural Gas and Mineral Resources, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

### Abstract

Based on an analysis of the metallogenic models and geological settings of both the Ningwu-type and the Daye-type iron deposits which constitute the most important deposit types in the Middle-Lower Yangtze Fe-Cu-Au polymetallic metallogenic belt, and on the vacant predication theory of metallogenic series, the authors suggest that the magmatic bodies have a double-layer structure in the southern Ningwu basin and that there is a gypsolyte bed intimately related to iron ores in the depth of southern Ningwu basin. Furthermore, the authors have advanced the new viewpoint that the Daye-type iron deposit can be found beneath the porphyrite-type iron deposit. On such a basis, a “丰”-type metallogenic model is put forward. Synthetic survey was performed in the southern Gushan iron deposit of southern Ningwu Basin by means of multiple geophysical methods and, on such a basis, the authors hold that the southern Gushan iron deposit has a good prospecting potential.

**Key words:** geology, geophysics, “丰”-type metallogenic model, Ningwu-type iron deposit, Daye-type iron deposit, ore prospecting, southern Ningwu basin

本文得到中央地质勘查基金项目(编码 2007340003)的资助

**第一作者简介** 林 刚, 男, 1957 年生, 工程师, 长期从事地质勘查与找矿工作。

**\*\*通讯作者** 许德如, 男, 1966 年生, 博士, 研究员, 主要从事大陆边缘构造与成矿学研究。Email: xuderu@gig.ac.cn

**收稿日期** 2009-08-06; **改回日期** 2010-01-21。许德焕编辑。

现代成矿理论(翟裕生等, 2004)和找矿实践均表明, 深部是未来资源勘查的重要方向, 勘查技术的进步还为发现深达 2 000 m 以内的资源成为可能。中国主要矿山因过去勘探程度较低(多为 < 500 m)、矿区外围多为勘查空白区和远景区, 其深部(> 500 m)应具有较大的找矿潜力。宁芜地区是中国东部的重要矿集区, 对“长三角”的经济发展有着举足轻重的意义。关于长江中下游深部的成矿潜力, 早在上世纪 90 年代就有专家预测(李文达等, 1997; 唐永成等, 1998): 长江中下游成矿带之下存在“第二个长江中下游”, 并认为, 如果将勘查评价深度延伸到地下 2 000 m, 那么, 中国的金属矿产储量可能翻一番。同属长江中下游的宁芜地区有大面积的浅覆盖区, 深部找矿前景巨大。近年来, 在宁芜南段已开展的矿山找矿项目, 如杨庄铁矿、白象山铁矿外围等, 已取得了突破性进展。其中, 杨庄铁矿新增 333 铁矿资源量近 2 亿吨, 白象山铁矿新增 333 + 334 铁矿资源量数千万吨。这些实例进一步说明, 中国一批大、中型矿床的深部和外围均具有找矿潜力。

深部找矿仍面临着巨大的挑战。地球物理探测并不能唯一且准确地反映出深部矿体的位置、规模和品质, 钻探风险依然很大。因此, 正确认识深部成矿规律, 并运用合理的深部找矿思路和技术方法, 将是降低勘探风险的有效措施。本文在分析长江中下游成矿带最重要的铁矿——宁芜、大冶铁矿成矿规律和成矿特点的基础上, 按照成矿“缺位”预测的原则, 运用“模式类比”和“成矿系统分析、综合探测”的深部找矿思路, 采用“立体填图”、“追踪主要容矿构造”等方法, 指出了该成矿带宁芜盆地南段的深部找矿方向和主要目标层, 提出了“宁芜玢岩铁矿下伏大冶式铁矿”的新认识, 并以姑山铁矿南部为例, 介绍了综合物探技术在“岩体双层结构”空间定位, 以及追踪“下层岩体与黄马青组 and 周冲村组间膏盐层接触带”的探测结果。其初步研究成果有可能为加快中国深部找矿提供重要启示。

## 1 基本成矿规律与深部找矿方向

长江中下游成矿带的成矿规律可概括为: ① 成矿、控矿的区域层控规律; ② 成矿金属的空间分带规律; ③ 多类型矿床共生、复合的“多位一体”规律。这 3 个规律同时反映了 3 个层次上的成矿规律, 即成矿带、矿集区和矿田。根据成矿“缺位”预测的思

想, 笔者认为宁芜南段下一步深部和外围的找矿方向应为: ① 采用立体填图和综合物探技术探测成果进行双层岩体空间定位; ② 系统评价覆盖区中、下三叠统容矿层的成矿潜力; ③ 系统评价矿集区外围新类型矿床和已知矿床深部“多位一体”组合中“缺位”的“大冶式”矿床。

### 1.1 长江中下游成矿、控矿的层控规律及宁芜南段找矿方向

长江中下游成矿带包含 7 个大型矿集区(Pan et al., 1999; 毛景文等, 2009), 从北东到南西依次为: 宁镇(Cu-Fe-Pb-Zn), 宁芜(Fe), 铜陵(Cu-Au), 庐枞(Fe-Cu), 安庆-贵池(Cu), 九瑞(Cu-Au), 鄂东南(Fe-Cu)。在成矿带的“第一找矿空间(0~500 m)”内, 已发现了几十个大型、超大型矿床, 它们是由不同时代的沉积-喷流沉积成矿作用与中生代岩浆热液流体成矿作用耦合、叠加而形成的。从区域分布看, 这些矿床几乎都集中分布于 3 个层位, 表现出典型的层控“多层楼”成矿规律(刘湘培等, 1988; 刘湘培, 1989; 常印佛等, 1991)。这 3 个主要控矿层位是:

(1) 泥盆系五通组顶部不整合界面至石炭系黄龙组(或栖霞组)灰岩间, 是该成矿带内最主要的容矿、控矿层位。该层位所控制的矿床的金属储量占整个成矿带的: 铜 29.21%、金 28.78%、钼 25.59%、铅 73.69%、锌 69.30% (常印佛等, 1991)。

(2) 三叠系中、下统(蒲圻群与大冶群)之间, 尤其是含膏(盐)层的周冲村组(东马鞍山组), 是该成矿带内的第 2 个主要的容矿层位。该层位所控制的矿床的金属储量占整个成矿带的: 铜 44.23%、铁 11.09%、金 51.63%、钼 36.76% (常印佛等, 1991)。在鄂东南矿集区, 该层位附近的铁、铜储量占该区铁、铜总储量的 91.14% 和 56.32%。发育在该层位的主要矿床类型有矽卡岩型(接触-层控式)、潜火山气液型、沉积改造型以及上述类型的复合型。典型矿床有程潮、铁山、铜绿山等。

(3) 侏罗系上统和白垩系下统, 是该成矿带内铁、硫(铜金)矿的主要容矿层位。该层位为一套火山岩系, 控制了该成矿带内 53.77% 的铁储量和 63.22% 的硫储量(常印佛等, 1991)。该层位主要发育在庐枞-宁芜-溧水-溧阳拗陷带内的“继承性”火山岩盆地中。矿床主要与大王山喷发旋回(庐枞为砖桥旋回)结束阶段的富钠偏基性的辉石闪长玢岩、闪长玢岩、石英闪长玢岩、钠长斑岩、辉石粗安玢岩等密切相关(宁芜研究项目编写小组, 1978)。矿体多

赋存于这些潜火山岩与大王山组(砖桥组)的接触部位,具有明显的‘层状’和‘似层状’特征。如宁芜盆地的凹山、向山铁矿等,以及庐枞盆地的罗河、河家小岭和大鲍庄铁(铜)矿。矿床类型主要为接触交代、矿浆充填、火山沉积及上述类型的复合型。

不过,长江中下游成矿带的7个矿集区在第一找矿空间(0~500 m)(滕吉文,2006)的主要容矿、控矿层各有一些差别,或在侧重点上不同。根据它们与构造、地层和岩浆岩的关系,又可大致分为3类矿集区(吴言昌等,1988;常印佛等,1991;董树文,1991),自上而下分别为:①产于断陷火山岩盆地与富钠闪长岩系有关的铁、铜矿集区,如庐枞和宁芜,主要容矿层为侏罗系上统和白垩系下统之间;②产于隆起与坳陷的过渡区,如鄂东南,主要容矿层为中三叠统东马鞍山组;③产于断块褶皱隆起区与高钾闪长岩系有关的铜金矿集区,如铜陵、九瑞、安庆-贵池和宁镇,主要容矿层位于五通组与黄龙组之间。

由于长江中下游成矿带具有统一的盖层沉积演化史,分布稳定,在大范围内具有可对比性(常印佛等,1991;1996),而且中生代岩浆活动强烈(毛建仁等,1990),并贯穿于各构造地层单元,因而,上述3类矿集区在晚三叠世以前的成矿地质环境相同,应该发育有相同的成矿系统,只是晚三叠世以后因隆凹格局和剥蚀深度的变化,才出现形式上与隆起或坳陷关系密切的3类矿集区。据此,从理论上推断,坳陷区深部应该发育和存在与隆起区同样的成矿系统和相应的矿床。许多专家(常印佛等,1991;吕庆田等,2007)也曾认为,每一类矿集区的深部都存在巨大的找矿潜力。进一步按照成矿‘缺位’预测的原则(吕庆田等,2007),在第①类矿集区(如宁芜和庐枞)之下应该存在第②类矿集区(鄂东南式);在第②类矿集区之下应该存在第③类矿集区;在第③类矿集区的深部也应有新的容矿层,如下古生界奥陶系上统五峰组和汤头组,其中发育有层控铅锌铜矿,典型矿床有贵池黄山岭矽卡岩型铅锌矿、安庆温家桥和郑家冲铅锌铜矿等。事实也说明,在第①类矿集区的宁芜和庐枞盆地,已经发现了产于黄马青组下部及青龙群灰岩与辉长闪长岩接触带中的矿床(鄂东南式),如宁芜盆地的凤凰山、白象山、前钟山等铁矿(常印佛等,1991)。

综上所述,笔者认为:宁芜南段未来深部找矿方向,即所谓长江中下游深部‘第二成矿带’或‘第二富集带’,应该定位在坳陷区和覆盖区500 m以下受

控于三叠系中、下统之间的容矿层及可能存在的矿床。这个容矿层应该作为深部找矿的战略目标,并应尽快开展系统的评价工作。目前,对这2个层位在坳陷区和覆盖区的深度、含矿性有一定的了解,下一步要解决的关键问题是:(1)深入研究第①、②类矿集区的精细结构,以证实存在深部容矿层位,重点包括:周冲村组(东马鞍山组)顶板深度及起伏,坳陷区火山岩盆地的形态、断裂系统(可能的流体通道)和下地壳的结构形态等;(2)正确阐明第①、②类矿集区成矿系统时空结构特征,重点包括:第①类矿集区是否存在类似鄂东南矿集区的成矿系统和深部岩浆流体成矿系统,以及成矿系统的时空结构。

### 1.2 共生、复合的‘多位一体’规律与已知矿床深部找矿方向

长江中下游成矿带的另一个重要成矿特色就是多类型矿床共生、复合的‘多位一体’规律(刘湘培,1989)。最典型的如‘三位一体’成矿模式,即3种成矿(成因)类型共存于一个矿床中,通常指斑岩型、矽卡岩型和层控矽卡岩型(常印佛等,1983);从成矿系统角度看,属于同一成矿系统,即岩浆热液流体成矿系统。

“玢岩铁矿”(宁芜研究项目编写小组,1978)是与火山-次火山岩侵入活动有关的多类型矿床共生、复合的一种理想组合形式。在空间上,这些矿床基本上围绕火山-侵入活动中心成套出现。在每一个火山-侵入活动中心的次火山岩体(辉长闪长玢岩-辉长闪长岩)内部及周围接触带和临近的围岩中,依次形成各种类型的矿床(化):岩体内部形成浸染状铁矿床(如陶村、和尚桥等);岩体边部形成接触型或爆破角砾岩型铁矿床(如凹山、东山铁矿等);岩体接触带附近形成矿浆-潜火山气液复合型矿床(如梅山铁矿)及层控-接触复合型矿床(如白象山、杨庄铁矿);外接触带火山岩系中形成热液交代充填型矿床(如向山、龙虎山)和火山沉积矿床(如龙旗山、竹园山等)。实际情况是,2种或2种以上矿床类型的组合更为常见,如矿浆-潜火山气液、接触-隐爆角砾、层控-接触等,它们环绕火山穹隆作有规律的分布。除了坳陷区的‘玢岩铁矿’外,在隆坳过渡区,这种‘多位一体’矿床组合特征仍然表现得十分明显。如宁芜盆地边缘的白象山铁矿,它与鄂东南矿集区的与浅成侵入岩有关的矿浆型、沉积型(王道华等,1987)和矽卡岩型铁矿(铁山铁矿)相类似,显示出是矽卡岩型、热液叠加改造型的复合类型。

上述多类型矿床复合共生的“多位一体”规律，对指导危机矿山深部资源勘查具有重要意义，指明了就矿找矿的基本方向。根据“多位一体”规律，在一个矿田内，如果只发现一种类型的矿床，根据“缺位”预测的原则，在其深部很可能存在其他类型的矿床。“缺位”的矿床就是深部找矿的重要方向。

1.3 岩体空间展布规律及深部找矿方向

长江中下游成矿带内，与成矿有关的岩体一般为燕山期中性岩，普遍受层间构造的控制而呈蘑菇(席)状。近年来，随着宁芜南段地质勘查工作的深入，发现在火山岩系与基底地层间，围绕火山机构，岩体呈蘑菇状分布，玢岩型铁矿即产于其中。三叠系黄马青组与周冲村组之间，岩体呈席状遍布全区，接触交代型矿床(白象山、杨庄)与之有关。岩体在空间上的这种双层分布特征，称之为“双层结构”。

上层岩体为次火山岩、超浅成岩相辉石闪长玢岩，产出典型的“玢岩铁矿”，矿体主要产于岩体中；下层岩体为浅成岩相辉石闪长岩、闪长岩，产出“接触交代”型铁矿，矿床地质特征与鄂东南“大冶式”铁矿相似。据此，本文提出了一个新的成矿模式，即“丰”字型模式(图 1)。在该模式中，中间的“竖”代表岩浆通道，出头部分为火山机构；上面一“横”为火山岩与基底地层的界面，中间一“横”为黄马青组与周冲村组(膏盐层)的界面，下面一“横”为泥盆系与石炭系的界面。宁芜南段地区的深部可能存在大冶式

接触交代型矿床，因而，它是今后找矿的重点方向。在平面上，成矿带层次的金属分带可分为(刘湘培等,1988;董树文等,1991):以铁(硫、铜)组合的内带,及以铜(金、硫、铁、铅锌)组合的外带。内带主要分布在长江深断裂带轴线上的断陷火山岩盆地及其与断块隆起区的过渡区;外带主要分布在长江深断裂带轴线两侧的断块隆起区内。成矿带的金属分带主要受构造和岩性的控制。

以岩体侵位深度(或与之接触的上、下地层),在垂向上,成矿带层次的金属分带可分为:①火山岩与基底地层(三叠系)间以铁为主;②三叠系黄马青组(蒲圻组)与周冲村组(大冶组)及大冶组上部,以铁为主及铁铜组合;③石炭系与泥盆系间以铜为主,铜、硫、金组合;④奥陶系顶、底以钼、钨为主,钼、钨、铜、铅锌组合。

2 深部找矿的基本思路与勘查技术

无论是深部找矿,还是地表找矿,通常都需要三个要素,即成矿模式(规律)、示矿信息和勘查定位技术。准确建立成矿模式、明确深部找矿目标是开展深部找矿的前提,获得深部示矿信息、确定矿体的可能深度和形态是深部找矿的必然途径。根据找矿三要素的要求,结合长江中下游成矿的特点和“丰”字型成矿模式,本文提出了长江中下游成矿带深部找

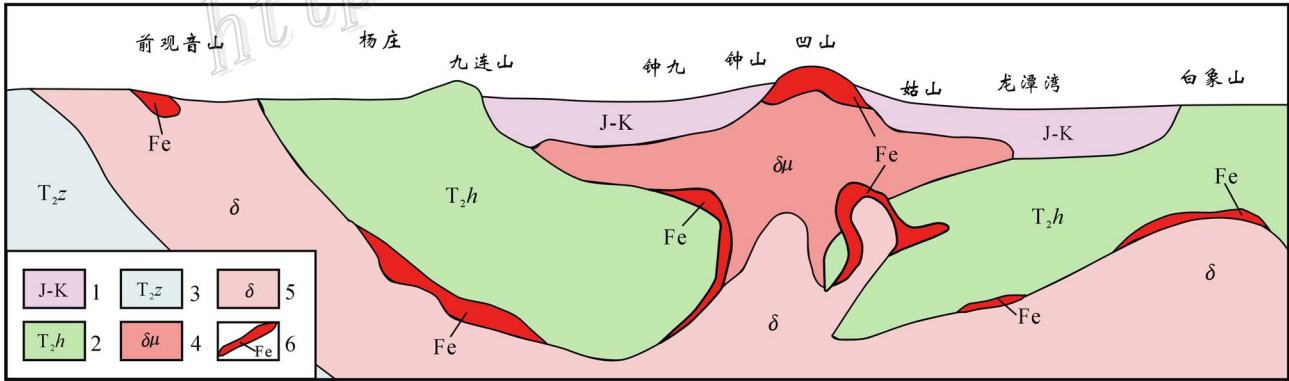


图 1 宁芜南段主要铁矿床成矿模式图

1—侏罗系-白垩系火山岩; 2—三叠系黄马青组; 3—三叠系周冲村组; 4—(辉石)闪长玢岩; 5—(辉石)闪长岩; 6—铁矿体

Fig. 1 Metallogenic model for main iron deposits in southern Ningwu area, Anhui Province

1—Jurassic-Cretaceous volcanic rock; 2—Triassic Huangmaqing Formation; 3—Triassic Zhouchongcun Formation; 4—(Pyroxene) diorite porphyrite; 5—(Pyroxene) diorite; 6—Iron ore body

矿的3种基本思路。

(1) 直接追踪已知矿床的容矿地层或控矿构造向深部的延伸,并实施钻探验证。对于明显受层位、岩体接触带、或断裂控制的矿床,可根据控矿构造的形态(近直立或近水平),使用不同的勘查技术对深部控矿构造直接进行追踪。对于控矿构造和地质单元的空间结构,目前常用的技术包括:CSAMT(可控源音频大地电磁测深)、TEM(瞬变电磁)、高精度重磁测量、大功率激电测深及三维反演技术。对于近水平的控矿层位和断裂,可使用反射地震技术直接对容矿层位成像。

(2) 通过模式(成矿模式、综合信息模式)类比,在已知矿床外围选取靶区和筛选类似模式异常,分析异常的成因,并实施钻探验证。总结已知矿床的成矿模式(描述模式及成因模式)和综合信息模式(地球物理、地球化学),以此模式为依据,在已知矿床外围或矿集区内筛选具有类似成矿条件的地区,或筛选具有类似的模式异常,实施钻探验证,并在验证过程中寻找异常起因,直至钻到异常体为止。在模式类比过程中,重视弱小异常和宽缓异常对深部矿体的指示意义,重视模式变化对新类型矿床的指示意义。在钻探验证过程中还要重视井中物探的作用。

(3) 通过成矿系统分析、综合探测、立体填图,系统查明一个矿集区成矿系统的时空分布和三维精细结构,在此基础上优选深部成矿靶区,大胆实施钻探验证。在矿集区深部要取得找矿突破,科学预测深部未知矿体的位置,至少需要开展以下2个方面的有机结合的系统工作:①要查明一个矿集区从古至今存在的成矿流体系统类型(蒙义峰等,2003;曾普胜等,2004)、时间演化框架及成矿特征(成矿类型及控矿因素等),不同时期成矿系统之间的空间关系和成因联系,建立综合成矿、控矿模式,指明深部找矿方向和目标(即对地下物质运动规律的认识);②要详细了解地下一定深度(0~2 000 m)的精细结构,主要容矿、控矿构造(或层位)的空间三维分布,使地下空间的物质和结构成为“透明”(即对地下结构的认识)。立体填图是通过综合探测技术、三维反演技术和计算机三维可视化技术获得地下3D物性分布的集成使用,再通过地质学家的解译,转换成对地下物质和结构的认识,是地质矿床学家最终认识地下物质和结构的一种手段和途径。

### 3 综合物探技术探测容矿层的初步认识

近年来,随着物探技术的巨大进步及找矿思路的改变,综合物探技术已经成为深部金属矿产勘查的主要手段,不仅用于探测深部成矿、控矿和导矿(流体通道)构造,还用于直接发现深部矿体,并取得了良好效果。按照同样的思路,为了试验综合物探技术在探测长江中下游成矿带宁芜南段矿集区下层岩体容矿、控矿层位方面的能力,笔者在宁芜南段姑山铁矿南部同一剖面上分别采用高精度磁法、高精度重力、CSAMT、大功率激电测深、TEM等方法进行了试验研究,期望为下一步开展深部找矿积累经验。下文介绍试验的结果及对一些问题的思考。

#### 3.1 研究区地质背景

研究区位于宁芜火山岩盆地的南段(图2)。在大地构造上,该区位于扬子板块的前陆带。区域地层由下中生界浅海碳酸盐岩、中生界陆相碎屑岩和火山沉积岩及上中生界侏罗系-白垩系火山岩组成。研究区内发生过广泛的褶皱变形、断裂作用和岩浆活动。褶皱由若干背斜、向斜和复向斜组成,断裂主要有2组,即NEE向和NW向,前者为基底隐伏断裂,控制着区内岩浆岩的分布,是一组与褶皱同期形成的压剪性断裂,后者以挤压破碎带为特征,常错断地层。研究区内的岩浆活动始于晚三叠世,侏罗纪-白垩纪期间达到高峰。大多数岩体沿背斜轴和向斜轴侵入,在构造薄弱空间(三叠系黄马青组与周冲村组间含膏盐层)层间滑脱断裂带呈岩床状产出。在两组断裂交汇部位,岩浆继续上侵,形成次火山岩或火山机构。侵入体岩性主要为辉石闪长(玢)岩、闪长岩(图1)。研究区内的矿床主要有2种类型,即玢岩型铁矿床和接触交代(沉积改造)型铁矿床。前者受岩体(火山机构)的控制,而后者则受三叠系黄马青组与周冲村组间含膏盐层与岩体接触带的控制,该层内已有白象山、杨庄等多个大、中型矿床产出,矿体一般呈似层状。开展试验工作的地点位于大型玢岩型铁矿(姑山)和大型接触交代型铁矿(杨庄)的南部1 km至4 km处。区域物性测量结果显示,地层的不同岩性、岩体、矿体在磁场强度、密度、电性等方面存在着较大差异,因此,研究区内容矿层的物性特征,为在该地区开展综合物探工作创造了必要的前提条件。



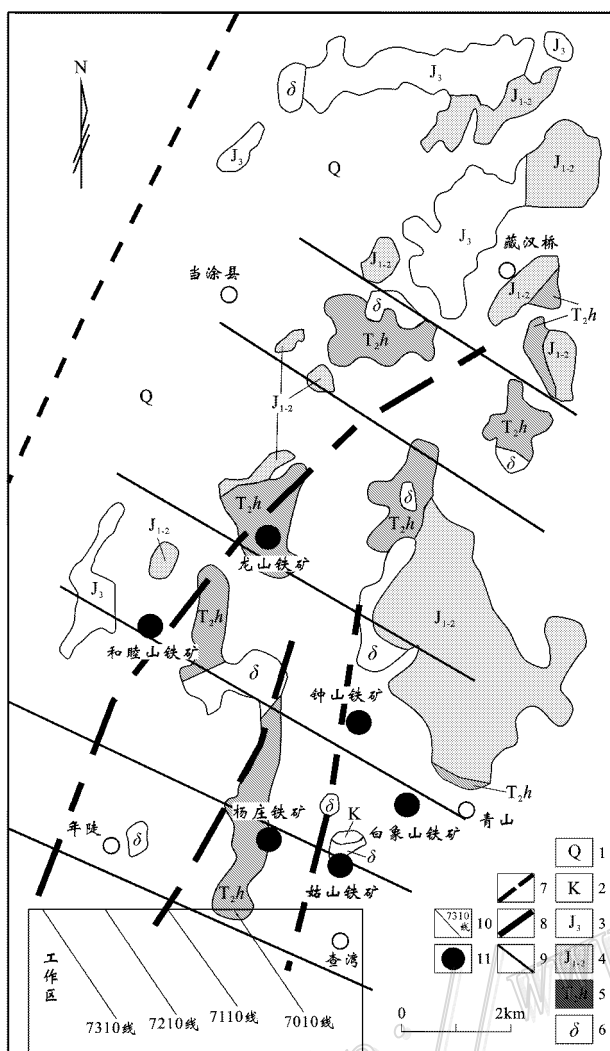


图2 宁芜南段地质构造略图

1—第四系；2—姑山组；3—下火山岩组；4—象山群；5—黄马青组；6—闪长玢岩；7—长江深断裂；8—NNE向背斜；9—NW向断裂；10—物探剖面及编号；11—铁矿床

Fig. 2 Sketch map showing regional geology and structure in southern Ningwu area

1—Quaternary；2—Gushan Formation；3—Lower Volcanic Formation；4—Xiangshan Group；5—Huangmaying Formation；6—Diorite porphyrite；7—Yangtze River deep fault；8—NNE-trending anticline；9—NW-trending fault；10—Geophysical exploration section and its serial number；11—Iron deposit

### 3.2 综合物探工作部署及工作方法

剖面呈 NW-SE 向穿过成矿密集的钟姑背斜，位于姑山、杨庄大型矿床的南侧，共实施 4 条剖面，每条剖面长 2.5 km，剖面间距 900 m (图 2)。分别采用高精度磁法、高精度重力、CSAMT、大功率激电测深、TEM 等方法进行。

CSAMT 法使用美国 Zonge 公司生产的 GDP-32-II 型多功能电法工作站。本次工作采用可控源

音频大地电磁法电偶源标量测量。根据最大勘探深度应达到 1 000 m 的要求，作如下设计：场源为 1 km 电偶极源，收发距 4.5~7 km 不等，接收电偶极距 50 m，点距 50 m，最低工作频率 1 Hz，最高工作频率 8 192 Hz。为保证原始数据的观测质量，每次测量叠加 64 次，测量 3 次，同时加大供电电流以提高信噪比。

TEM 法采用中国地质大学的 CUGTEM-4 瞬变电磁仪。测量采用 25 m 线圈，200 A 电流。为保证原始数据的观测质量，每次测量叠加 15 次，点距为 50 m。

激电测深采用重庆奔腾地质仪器厂生产的 WD-FZ-2 大功率激电仪，AB/2 最大为 2 500 m，电流 3~5 A。

高精度磁测采用北京地质仪器厂生产的 CZM-3 质子磁力仪，点距 20 m。

高精度重力测量使用美国生产的 Prosector 重力仪，点距 50 m。

### 3.3 主要物探工作成果解译及地质解释

现以 7310 剖面线 (图 2) 的工作成果 (图 3) 为例，说明如下：

#### 3.3.1 高精度磁法剖面解译 (图 4a)

(1) 该区磁铁矿磁性最强，磁化率变化范围为  $(13.7 \sim 6181.9) \times 4\pi \times 10^{-5} \text{ SI}$ ，标准偏差为  $1622.2 \times 4\pi \times 10^{-5} \text{ SI}$ ，感磁为  $7905 \times 10^{-3} \text{ A/m}$  ( $J_i = k \cdot T_0$ )，剩磁为  $1646 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ ，感磁比剩磁约大 5 倍，可认为有效磁化强度为均匀磁化。但是，不同地段磁铁矿的磁性有变化，例如，中桥南磁铁矿的磁性稍弱，而龙圩湾磁铁矿的磁性较强，故在具体应用时，应参考各地段的测定结果，而不能通用。

(2) 闪长岩具有中等磁性，感磁与剩磁相近，磁化率变化范围为  $(4.3 \sim 194.2) \times 4\pi \times 10^{-5} \text{ SI}$ ，标准偏差为  $47.5 \times 4\pi \times 10^{-5} \text{ SI}$ ，感磁为  $231 \times 10^{-3} \text{ A/m}$  ( $J_i = k \cdot T_0$ )，剩磁为  $377 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ ，感磁与剩磁的级别相等，可认为有效磁化强度为均匀磁化。磁化强度为  $500 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ ，在地表能引起 300~1 000 nT，是寻找深部盲矿体引起的低缓磁异常的主要干扰。

(3) 粉砂岩和凝灰岩大多为弱磁性或无磁性，感磁与剩磁均较小，磁化强度为  $(200 \sim 500) \times 10^{-3} \text{ A/m}$ ，在地表能引起 120~200 nT，较易识别。

地质推断这些剖面所穿越的岩石单元主要有闪长岩、粉砂岩和凝灰岩。北部的高异常背景和异常峰值为浅部闪长岩引起，南部的低值区为粉砂岩和

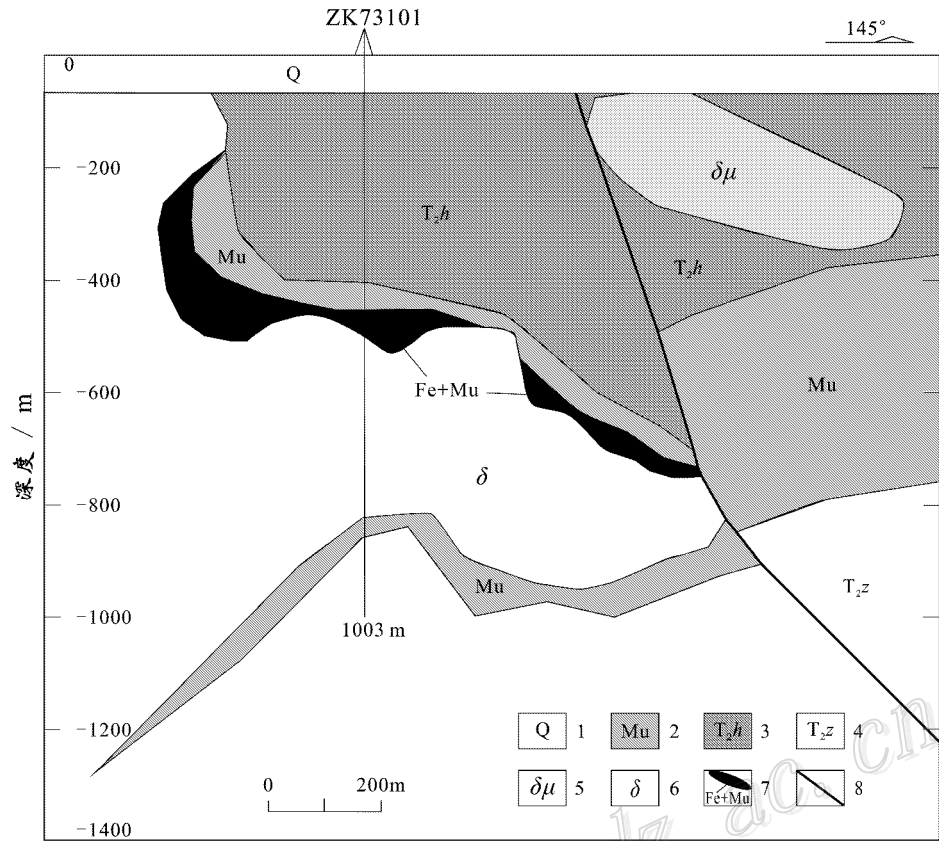


图 3 姑山南部 7310 线设计地质剖面图(剖面线见图 2)

1—第四系；2—膏盐层；3—黄马青组；4—周冲村组；5—闪长玢岩；6—闪长岩；7—铁矿体+石膏；8—断裂

Fig. 3 Designed geological section along No. 7310 exploration line in southern Gushan, Anhui Ptrovince

1—Quaternary；2—Gypsum-salt bed；3—Huangmaqing Formation；4—Zhouchongcun Formation；5—Diorite porphyrite；6—Diorite；7—Iron ore body + gypsum；8—Fault

凝灰岩。北部的高异常背景与异常峰值之间,地质推断为粉砂岩段,其下部可能存在矿体。

3.3.3.2 高精度重力剖面解译(图 4b)

测区内各类岩(矿)石的密度分别为:磁铁矿(赤铁矿)矿石  $3.65\text{ g/cm}^3$ ,高岭土化闪长岩  $2.31\text{ g/cm}^3$ ,黄马青组砂页岩  $2.56\text{ g/cm}^3$ ,安山质凝灰岩  $2.33\text{ g/cm}^3$ ,辉石闪长岩  $2.63\text{ g/cm}^3$ 。

剖面的重力异常位于该剖面的北部,其峰值位于磁异常两峰值之间的低缓异常上,地质推断其下 400 m 处可能存在接触带。因此,对应重力异常之下,可能存在矿体。

3.3.3.3 可控源音频大地电磁测深(CSAMT)解译(图 4c)

剖面长度 2.2 km,收发距 4.5 km。该剖面的下伏高阻基岩呈北浅南深形态。在北部高阻处,下伏一层状低阻带。

依据异常形态分析:130 号点以北对应一高磁异

常,推断为岩体;134 号点深部视电阻率等值线扭转变密,南侧基岩埋深加大,推断为三叠系中—下统。150 号点和 168 号点附近的高阻突起可能为小岩枝的显示;142 号点一带中深部的低阻层恰位于岩体的南接触带,可能存在金属矿化体。110—150 号点的深部低阻异常可能为岩体的下接触带,具有金属矿化体存在的可能性。

3.3.3.4 瞬变电磁测深(TEM)解译(图 4d)

由于地表以下 70 m 左右的低阻覆盖层的屏蔽作用,导致该方法的实际探测深度约为 500 m,该探测深度远低于理论上的 1 000 m。该方法的反演成果表明:在 500 m 上、下存在岩性界面层;500 号点处有一陡立的高阻带,推断其为断裂带。

3.3.3.5 大功率激电测深解译(图 4e)

激电测深剖面明显反演出地表以下 60~80 m 处存在低阻覆盖层,向下电性层分异,高阻体被推断为岩体,相对的低阻体被推断为黄马青组砂页岩。

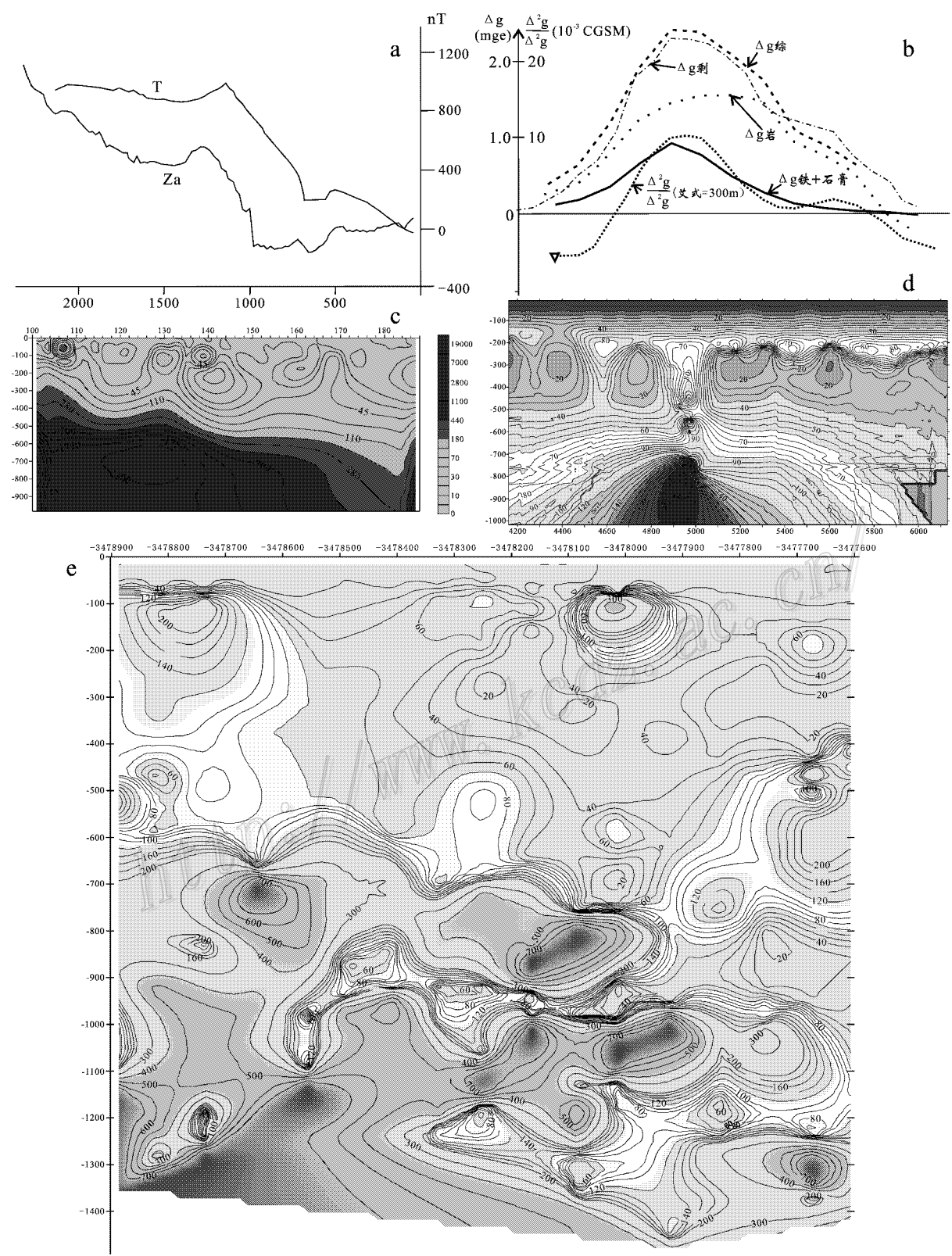


图 4 姑山南部 7310 线磁法(a)、重力(b)、可控源音频大地电磁测深(c)、瞬变电磁法(d)和激电测深法(e)测量结果  
Fig. 4 Profile maps across No. 7310 exploration line, showing the exploratory results using magnetic (a), gravitational (b), Controlled Source Audio-frequency Magneto Telluric (c), transient electromagnetic (d) and Depth Sounding of Induced Polarization (e) methods in southern Gushan, Anhui Ptrovince



北部岩体直立向下至 500 m 向南缓倾,其接触带可能存在矿化体。岩体的下接触带 800~900 m(低阻带)处也有矿体存在的可能性。

### 3.3.6 物探、地质综合解译

上述 5 种物探方法,分别利用地下岩(矿)石的磁性、密度、电导性等特性,综合反映出地质体的空间结构。对于 -500 m 以上部分,这 5 种方法都可以探测到,各种信息可相互印证、补充,基本上勾画出了地质体的空间分布及定位。CSAMT 和激电测深的探测深度达 1 000 m,这 2 种方法的结果基本吻合,表明具有一定的可靠性。

依据地质推断,剖面中可能存在的地质体为:第四系覆盖层,黄马青组砂页岩,闪长岩(辉石闪长岩),含膏盐碳酸盐岩等,浅部可能有部分凝灰岩。

### 3.4 对深部找矿勘查的指示

宁芜南段的地质勘查工作程度高,在地表以下 500 m 范围内,已发现大-中型铁矿床十余处,但是,除了最近勘探的杨庄大型铁矿的勘探深度达到 1 000 m 之外,其他则很少有 -500 m 以下的勘探工程。所使用的物探方法也主要为磁法和重力测量,系统的综合物探工作还处于探索阶段,选择大深度探测技术无疑是未来深部勘查的重要手段。2008 年,笔者依据对成矿模式的新认识和物探异常,布置了验证孔钻。ZK71102 钻孔的探测结果证实了对异常的地质解释,在地表以下 400~600 m 处(上层岩体),见到了厚约 200 m 的磁铁矿化层,其中有数十米地段的铁品位大于 15%。遗憾的是,由于钻探工作量不足,未对下层岩体进行验证。即便如此,笔者认为,这一结果对深部找矿仍具有重要的指示意义:

(1) 进一步证实了上层岩体容矿层是区域深部找矿的重要目标层,指明了深部找矿的方向。

(2) 本次试验证实了可控源音频大地电磁测深(CSAMT)对于追踪容矿层的深部延伸是有效的。虽然电法目前还存在很多技术上的难题,如地表覆盖低阻层厚度大、地质情况不清、信噪比低、弱信息提取困难等,但综合电法勘探在探测深度和分辨率上有不可替代的优势,随着数据处理新技术的不断出现,相信在不久的将来综合物探技术在金属矿勘探方面会有更好的应用前景。

(3) 如果综合物探方法所提供的深部两层(多层)高阻结构与地质推断的岩体双层结构相吻合,那么,按照‘玢岩+大冶式’铁矿的‘丰’字型成矿模式,宁芜南段深部找矿的重要方向应该是下层岩体与膏盐层

的接触带及与周冲村组的接触带。一旦这种认识得到证实,则宁芜南段深部资源的远景将十分光明。

**志 谢** 本文的思路和想法是近几年在执行国土资源部中央地质勘查基金项目‘安徽省当涂县姑山南部铁矿普查’过程中逐渐形成的,其中包括多次与中央地质勘查基金邀请的评审专家及中南冶金地质勘查局王永基教授级高工等专家的讨论和交流,本文质量的提高还受益于评审专家的建设性建议和意见。值此,谨向上述各位专家、同行表示衷心的感谢!

### References

- Chang Y F and Liu X G. 1983. On strata-bound skarn deposits [J]. Mineral Deposits, 2(1): 11-20 (in Chinese with English abstract).
- Chang Y F, Liu X P and Wu Y C. 1991. Copper-iron metallogenic belt in the Middle and Lower Yangtze region [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 379p (in Chinese).
- Chang Y F, Dong S W and Huang D Z. 1996. On tectonics of “polybasement with one cover” in the Middle and Lower Yangtze craton China [J]. Volcanology & Mineral Resources, 17(1-2): 1-14 (in Chinese with English abstract).
- Dong S W. 1991. Tectonic analysis on genesis of iron-copper metallogenic belt in the Middle and Lower Yangtze River [J]. Acta Geoscientia Sinica, 23: 43-56 (in Chinese with English abstract).
- Li W D, Wang W B, Fan H Y, et al. 1997. Forming conditions of the copper, gold deposit concentrated districts and the possibility of the giant deposit existence in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River area [J]. Volcanology & Mineral Resources, 20: 11-31 (in Chinese with English abstract).
- Liu X P, Chang Y F and Wu Y C. 1988. Metallogenic conditions and regularities in the Middle and Lower reaches of the Changjiang River [J]. Acta Geologica Sinica, 62(2): 167-177 (in Chinese with English abstract).
- Liu X P. 1989. The minerogenetic series and metallogenic models of ore deposits in the Middle and Lower reaches of the Changjiang River [J]. Geological Review, 35(5): 398-408 (in Chinese with English abstract).
- Lü Q T, Yang Z S, Yan J Y and Xu W Y. 2007. The metallogenic potential, prospecting idea and primary attempt in depth of the ore belt of the Middle and Lower Reach of the Yangtze River: A case study of Tongling ore district [J]. Acta Geologica Sinica, 81(7): 865-881 (in Chinese with English abstract).
- Mao J R, Su Y X, Chen S Y, et al. 1990. Intermediate-acid intrusive rocks and their relationship with mineralization in the Middle and Lower Yangtze River [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 91p (in Chinese).
- 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: 109-119 (in Chinese with English abstract).

English abstract).

- Meng Y F, Hou Z Q and Yang Z S. 2003. Discussion of the alteration fluid mapping method in Tongling region, Anhui Province[J]. Earth Science Frontiers, 10(1): 105-110 (in Chinese with English abstract).
- Pan Y M and Dong P. 1999. The Lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River) metallogenic belt, east central China: Intrusion- and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits[J]. Ore Geology Reviews, 15: 177-242.
- Research Team on Ningwu Project. 1978. Niningwu porphyry iron deposits[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 196p (in Chinese).
- Tang Y C, Wu Y C, Chu G Z, et al. 1998. Geology of copper polymetal deposits along the Yangtze River, Anhui Province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 351p (in Chinese).
- Teng J W. 2006. Strengthening geophysical exploration and exploitation of metallic minerals in the second deep space of the crustal interior[J]. Geological Bulletin of China, 25(7): 767-771 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H, Fu D X and Wu L X. 1987. Fundamental characteristics and mineralized regularities of the Cu-Au-Fe-S deposits in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River area[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 196p (in Chinese).
- Wu Y C, Wang Y C, Liang S R, Liu X P and Dou X. 1988. Genetic relationship between sodium-rich diorites and iron ore series in the Middle-Lower Valley of the Yangtze River[J]. Mineral Deposits, 7(1): 14-24 (in Chinese with English abstract).
- Zeng P S, Yang Z S, Meng Y F, Pei R F, Wang Y B, Wang X C, Xu W Y, Tian S H and Yao X D. 2004. Temporal-spatial configuration and mineralization of Yanshanian magmatic fluid systems in Tongling ore concentration area, Anhui Province[J]. Mineral Deposits, 23(3): 298-309 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Deng J, Wang J P, Peng R M, Liu J J and Yang L Q. 2004. Researches on deep ore prospecting[J]. Mineral Deposits, 23(2): 142-149 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 常印佛, 刘学圭. 1983. 关于层控式砂卡岩型矿床——以安徽省内下扬子拗陷中一些矿床为例[J]. 矿床地质, 2(1): 11-20.

- 常印佛, 刘湘培, 吴昌言. 1991. 长江中下游地区铜铁成矿带[M]. 北京: 地质出版社. 379 页.
- 常印佛, 董树文, 黄德志. 1996. 论中-下扬子“一盖多底”格局与演化[J]. 火山地质与矿产, 17(1-2): 1-14.
- 董树文. 1991. 长江中下游铁铜成矿带成因之构造分析[J]. 中国地质科学院院报, 第 23 号: 43-56.
- 李文达, 王文斌, 范洪源, 等. 1997. 长江中下游铜(金)矿床密集区形成条件与超大型矿床存在的可能性[J]. 火山地质与矿产, 20: 11-31.
- 刘湘培, 常印佛, 吴昌言. 1988. 论长江中下游地区成矿条件和成矿规律[J]. 地质学报, 62(2): 167-177.
- 刘湘培. 1989. 长江中下游地区成矿系列和成矿模式[J]. 地质论评, 35(5): 398-408.
- 吕庆田, 杨竹森, 严加永, 徐文艺. 2007. 长江中下游成矿带深部成矿潜力、找矿思路与初步尝试——以铜陵矿集区为实例[J]. 地质学报, 81(7): 865-881.
- 毛建仁, 苏郁香, 陈三元, 等. 1990. 长江中下游中酸性侵入岩与成矿[M]. 北京: 地质出版社. 91 页.
- 毛景文, 邵拥军, 谢桂青, 张建新, 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: 109-119.
- 蒙义峰, 侯增谦, 杨竹森. 2003. 安徽铜陵地区蚀变流体填图方法的探讨[J]. 地学前缘, 10(1): 105-110.
- 宁芜研究项目编写小组. 1978. 宁芜玢岩铁矿[M]. 北京: 地质出版社. 196 页.
- 唐永成, 吴昌言, 储国正, 等. 1998. 安徽沿江地区铜多金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社. 351 页.
- 滕吉文. 2006. 强化开展地壳内部第二深度空间金属矿产资源地球物理找矿、勘探和开发[J]. 地质通报, 25(7): 767-771.
- 王道华, 傅德鑫, 吴履秀. 1987. 长江中下游区域铜、金、铁、硫矿床基本特征及成矿规律[M]. 北京: 地质出版社. 196 页.
- 吴昌言, 王迎春, 梁善荣, 刘湘培, 都 询. 1988. 长江中下游富钠闪长岩类与铁矿系列的成因关系[J]. 矿床地质, 7(1): 14-24.
- 曾普胜, 杨竹森, 蒙义峰, 裴荣富, 王彦斌, 王训诚, 徐文艺, 田世洪, 姚孝德. 2004. 安徽铜陵矿集区燕山期岩浆流体系统时空结构及成矿[J]. 矿床地质, 23(3): 298-309.
- 翟裕生, 邓 军, 王建平, 彭润民, 刘家军, 杨立强. 2004. 深部找矿研究问题[J]. 矿床地质, 23(2): 142-149.