

长江中下游地区地质异常 及成矿预测BP模型

**Geological Anomalies and BP Models
for Metallization Prognosis
in Middle-Lower Yangtze Area**

赵鹏大 吕新彪 著



矿产勘查与定量评价丛书

**SERIES ON MINERAL
EXPLORATION AND
QUANTITATIVE
ASSESSMENT**

中国地质大学出版社



**SERIES ON MINERAL
EXPLORATION AND
QUANTITATIVE
ASSESSMENT**

**GEOLOGICAL ANOMALIES AND BP MODELS
FOR METALLIZATION PROGNOSIS
IN MIDDLE-LOWER YANGTZE AREA**

Zhao Pengda Lü Xinbiao

CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES PRESS



CUGP

责任编辑: 张华瑛
封面设计: 田剑云

ISBN 7-5625-1412-7



9 787562 514121 >

定价: 16.00元

国家教委博士点基金项目资助

长江中下游地区地质异常 及成矿预测 BP 模型

赵鹏大 吕新彪 著

中国地质大学出版社

内 容 提 要

本书以地质异常为研究对象,以地质异常理论为指导思想,在系统收集整理、综合分析前人工作及资料的基础上,结合笔者野外及室内研究,分两个层次详细论述了地质异常的类型、特征及其与成矿的关系,尤其是定量分析了综合地质异常与矿床的关系。运用人工神经网络方法,借助计算机技术,重点探讨了致矿地质异常识别BP模型和资源量预测BP模型的建造方法,并分别对长江中下游地区和大冶-九瑞地区进行了定量预测。

本书可供从事矿产资源勘查、评价及开发的地质科技工作者和研究人员参考,也可作为地质和矿产资源专业研究生学习的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

长江中下游地区地质异常及成矿预测BP模型/赵鹏大,吕新彪著. —武汉:中国地质大学出版社, 1999. 1

ISBN 7-5625-1412-7

I. 长…

II. ①赵…②吕…

III. ①地质异常-铁、铜、金矿床成矿作用-长江中下游②地质异常-成矿预测BP模型

N. P612

长江中下游地区地质异常及成矿预测BP模型

赵鹏大 吕新彪 著

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 张华瑛 责任校对 胡义珍

印 刷 中国地质大学出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 7.375 字数 190千字

1999年1月第1版 1999年1月第1次印刷 印数 1—300册

ISBN 7-5625-1412-7/P·510 定价: 16.00元

目 录

第一章 区域地质背景.....	(1)
一、区域地层.....	(1)
二、区域构造.....	(2)
三、区域岩浆岩.....	(5)
四、主要矿床类型和成矿序列.....	(6)
五、区域地质构造演化简史.....	(8)
第二章 长江中下游地质异常与成矿	(11)
一、壳-幔结构异常	(11)
二、沉积异常	(15)
三、构造异常	(20)
四、岩浆岩异常	(33)
五、综合地质异常	(37)
六、矿床的区域地质异常模型	(41)
第三章 大冶-九瑞地区局部地质异常特征与成矿	(43)
一、地质概况	(43)
二、局部地质异常的类型及控矿特点	(49)
三、综合地质异常	(65)
四、地质异常与物化探异常	(68)
五、矿床的局部地质异常模型	(70)
第四章 致矿地质异常识别和矿产定量预测的 BP 模型	(72)
一、ANN 概述	(72)
二、矿产定量预测 BP 模型方法的可行性	(73)
三、致矿异常识别的 BP 网络模型	(75)
四、资源量预测 BP 模型	(89)
五、基于成矿地质异常分析和 BP 模型的定量预测方法总结	(101)
主要参考文献.....	(103)
Abstract	(105)

区域地质背景

长江中下游地区地壳经历过长期的地质运动和演化。在中生代早期印支运动之前，本区属古扬子地块的东北缘，自中生代中期以后，成为欧亚大陆板块内部的构造活动带。由于长期多旋回、多体制、多方向的构造运动更叠作用，使本区地壳地质结构十分复杂，由此产生了多层次、多类型、多成因和多期次的地质异常，这些地质异常制约着区内众多铁、铜、金多金属矿产的形成、产出和分布。

一、区域地层

区内地层除太古界没有出露和中、下泥盆统缺失外，其他各时代地层基本齐全。根据它们的建造特点和演化历史，大体上可划分为两大套，即前震旦纪基底岩系和古生代—新生代盖层岩系。

1. 基底岩系

基底岩系主要出露于本区的南、北边缘，区内大片地区由于盖层岩系的掩盖，而未见基底出露。根据南、北边缘基底岩系的岩石建造组合、岩性特征和变质、变形作用特点，以及 HQ-13、HQ-9 大地电磁测深剖面 and HQ-13 线地学断面等资料，推测本区的基底大致在大冶—九江—安庆—芜湖—句容一线为界，分为南、北两部分。北区为江北式基底，南区为江南式基底，两者有较大的差异，但都具有双层结构，即下层为下元古界深变质岩系，上层为上元古界中、上部浅变质岩系。

下元古界包括大别山区的大别山群和肥东地区的阚集群。上元古界下部，包括出露在大别山南坡的宿松群和红安群，大别山北坡的小溪河组，肥东一带的肥东群和鄂东南一带的冷家溪群。上元古界中部包括张八岭地区的张八岭群、赣北的双桥山群、皖南的上溪群（仅见牛屋组）和上海地区的金山群。

2. 盖层岩系

区域盖层由震旦系—第四系组成。根据它们发育的特征及演化历史，大体上可划分为两大套：震旦系—下三叠统以海相沉积为主的巨厚层沉积岩系和中—新生代陆相沉积及火山岩系。

震旦系—下三叠统主要是海相碳酸盐岩和碎屑岩沉积，间夹有海陆交互相和少量陆相沉积，系准地台发展阶段的产物，构成准地台的盖层。

在寒武纪和奥陶纪，本区南北部的沉积有明显差异，大致以崇阳、阳新龙港、瑞昌横港、

德安、星子、彭泽石门、东至、石台、泾县、宣城、常州、江阴一线为界，分为南北两个沉积区。总体上看，北区以浅海-滨海相碳酸盐岩沉积为主，南区以深海相硅质-炭质岩和碎屑岩沉积为主，具有深海浊流沉积的特征。至志留纪时，南北差异现象逐渐消失，全区几乎皆为海相笔石页岩和碎屑岩沉积。

由于加里东运动，志留纪末期全区上升为陆，早、中泥盆统被风化剥蚀而缺失。上泥盆统以陆相碎屑岩沉积为主，区域性假整合在下古生界之上，石炭系一下三叠统，除二叠系下部夹有陆相-滨海相煤系外，其余主要为浅海-滨海相碳酸盐岩沉积，间夹硅质岩及海陆交互相碎屑岩，并夹有少量火山碎屑岩。该套地层分布广泛，岩相比较稳定，为本区内铁、铜、金、铅、锌等矿床的重要赋矿层位，地层总厚度为 396~2 968m。系、统、组之间多呈假整合接触关系。晚古生代的沉积特征表明地壳的振荡运动较为频繁，尤其是从二叠纪开始，地壳活动性明显加强。

中三叠统一第四系，主要由陆相的碎屑岩和火山喷出岩及火山沉积物组成。中、上三叠统为海退型沉积系列，由蒸发台地相白云岩和膏（盐）沉积向海陆交互相、湖沼相过渡，局部夹含铜页岩。下、中侏罗统为内陆河湖相含煤碎屑沉积。早侏罗世末期开始的燕山运动，主要表现为强烈断块运动和频繁的岩浆侵入与喷发活动，形成了晚侏罗世一早白垩世巨厚层的陆相火山岩系，蕴藏着与火山喷发—岩浆侵入活动有关的铁、铜、硫、金和铀及多种非金属矿产。上白垩统一下第三系为地堑、半地堑式红色碎屑沉积及含膏盐沉积，局部有弱中、基性火山熔岩喷溢。上第三系—第四系多为疏松—半胶结的沉积物。

二、区域构造

本区区域构造十分复杂，从时间演化上，大体上可分为基底形成、盖层沉积和板内变形等三个不同地质构造发育阶段。

1. 前中生代构造格局

本区前震旦纪基底形成阶段的地质构造情况，目前所知甚少。根据有限的有关岩石建造、变质及变形特征的资料，推测其构造格局及演化是：早元古代，本区处于优地槽构造环境，沉积了一套巨厚的海相火山—沉积岩系，经过吕梁运动的强烈变质，这套岩系主体变质为角闪岩相，局部为麻粒岩相，且混合岩化强烈。中元古代—震旦纪初，本区转变为冒地槽，沉积了一套巨厚的以深海相碎屑岩和碳酸盐岩沉积为主，夹中酸性火山岩的类复理石建造。晋宁运动使之发生强烈变形，形成紧密等斜褶皱，并有多组劈理发育，同时伴随浅变质作用。

晋宁运动之后，本区变质基底基本形成，它具有双层及南北分区的构造格局。对后期的构造格局有深远影响。

古生代盖层沉积阶段以隆升、沉降的构造运动为主，构造格局的演化也主要表现为隆拗的变迁。在早古生代，基底构造格局对本区的隆拗格局起了一定的控制作用，大致以大冶—广济—安庆—芜湖—句容—常州一线（变质基底南北分界线）为界，北侧的拗陷带沉积的巨厚震旦系（3 000m）沉积岩系强烈褶皱变形，并有轻微变质，而南侧则在鄂东、德安和皖南等几个拗陷带有震旦系沉积，厚度约 500~1 760m，既未变形，也未变质。而两者之间地带是近 EW 向隆起带。南北拗陷带总体走向近 EW 向，在寒武纪—志留纪，隆拗构造格局无大的变化，只是在范围和次级隆拗分化上有些变化。晚古生代—早三叠世，隆拗构造格局开始发

生新的变化,逐步摆脱基底原有格局的影响,总体演化趋势是,南、北两侧逐渐抬升,沉积中心向原隆起的中部迁移,分别出现一系列近 EW、NE 向次级不连续的水下隆起脊线,呈现南高北低的趋势,同时,形成少量近 EW、NE 向基底断裂。

2. 中、新生代构造格局

从中三叠世开始,本区构造发展进入了一个全新的时期,即开始板内变形阶段,印支期、燕山期、喜马拉雅期的强烈构造运动,使先期的构造格局基本解体,全区地壳整体上升,盖层普遍发生变形,褶皱、断裂构造发育,最终形成了现在所见的褶断构造体系。

1) 褶皱构造 褶皱构造是本区盖层构造中的重要构造类型。大体分为两套褶皱系统:①印支期形成的弧形褶皱系统;②燕山期形成的 NNE 向褶皱系统。九江—湖口以西的弧形褶皱系统以 NWW—近 EW 走向为主,南部为多箱状和梳状复式褶皱束,北部为紧密褶皱,伴有一系列走向逆冲断层,此外,燕山期的 NNE 向褶皱明显叠加在弧形褶皱之上,造成区域性的横跨褶皱或弧形牵引褶皱,多呈鼻状背斜形式。九江—湖口以东,弧形褶皱转为 NE 向,褶皱带由互相平行斜列的褶皱束组成,褶皱多为紧闭型,常发生倒转,并伴生走向逆冲断层,部分褶皱为箱状,产状相对平缓。东段弧形褶皱也叠加有燕山期的 NNE 向褶皱。

上述是本区褶皱系统的总体特征。在不同的区段,由于局部应力场变化,可能造成局部引张牵引、剪切走滑、断裂破碎、底劈伸展、滑覆与滑脱等一系列次级构造变形,使褶皱构造更为复杂多样。

2) 断裂构造 本区的断裂构造十分复杂,有 EW、NWW、NNE、NE、SN 等多组方向,时代上有多期性,越到后期,尤其在燕山晚期,断裂作用的强度和密度也越大。按照断裂的规模,包括切割深度,可分为岩石圈断裂、壳断裂、盖层大断裂和一般断裂等四级,它们纵横交错,构成一幅复杂的断裂网格图像。

(1) 岩石圈断裂 岩石圈断裂一般都切穿地壳而进入上地幔。其地球物理特征表现为重力异常和航磁异常梯度带,或表现为巨大的构造-岩浆活动带,沿断裂带及其附近有基性和超基性岩产出,在本区则主要有壳-幔同熔型岩浆岩带展布,且有长期的演化历史,具有多阶段活动的特点(表 1-1)。

岩石圈断裂规模巨大,在地表的延伸可超过 100km,有的近 1 000km。它们多是板块间或地块间的边界断裂,如信阳-舒城断裂、桐柏-桐城断裂、襄樊-广济断裂、郟城-庐江断裂、宿松-响水断裂等。

与本区燕山期岩浆和矿化密切相关的是板内岩石圈断裂,如呈 NWW 向延伸的金山店-阳新-瑞昌断裂,呈 EW 向延伸的高桥-广济断裂和铜陵-南陵断裂,呈 NNE—NE 向延伸的梁子湖断裂(团风-温泉断裂)、罗昌河-怀宁断裂和巢湖-滁河断裂等。这些板内岩石圈断裂通常是在加里东运动或更早构造运动形成的断裂基础上发展起来的,长度多为上百公里至数百公里,继承性活动明显,具有岩石圈断裂的一般特征。

(2) 基底断裂和盖层断裂 除岩石圈断裂外,区域中还有一些断裂规模也较大,它们深切变质基底,并深入到下地壳中,但未达上地幔。这些断裂通常称为壳断裂或基底断裂。主要有近 EW、NWW、NNE、NW 向及 NE 向几组。大多数基底断裂在卫星遥感图像(TM)上清晰可见,延伸多在几十公里至 200km 左右,呈连续的色调异常带,断裂两侧的地貌地形常有明显的差异。有时,在靠近断裂部位可见褶皱构造出现区域性的一致倾伏或转折。在航重、航磁场图上也大都有明显的异常反映。另外,沿基底断裂,常有壳-幔同熔型岩浆的侵入或喷

溢，也有地壳重熔型岩浆侵入活动发生，但一般没有基性岩分布，此点可作为与岩石圈断裂区分的一个标志。基底断裂主要发生于印支期末，其次为燕山期，少数在晋宁期已开始活动。

表 1-1 长江中下游主要断裂活动简表

断裂名称	深度类型	最大断距(km)	断 裂 活 动 性 质					
			印支期	燕山期		喜马拉雅期		现代
				早期	晚期	早期	晚期	
信阳-舒城	L	>100	R	N	R	N	-	N
桐柏-桐城	L	>20	R	N	R	N	-	N
襄樊-广济	L	150	T	N	T	N	-	-
金山店-阳新-瑞昌	L	-	R	N	R	N	-	-
高桥-广济	L	>5	T	N	T	N	-	-
月山-总铺	L	-	R	N	R	N	-	-
铜陵-南陵	C	10	T	N	T	N	-	-
崇阳-通山	L	-		N	T	N	-	-
以上为 EW 向或 NWW 向断裂								
郑城-庐江	L	200	S		N	R	N	R
宿松-响水	L-C	10	S	R	N	R	N	-
巢湖-滁河	L-C	5N12	S	T	N	R	N	-
罗昌河-怀宁	C	3N5	S	T	N	R	N	-
方山-木镇	L	5	S	R	N	R	N	-
宣城-东至	C	10	S	R	N	SR	N	-
广德-常州	L	-	-	R	N	-	-	-
苏州-湖州	C	-	-	T	N	R	N	-
鄂城-金牛	C	-	-	R	N	-	-	-
姜桥-下陆	C	-	-	R	N	-	-	-
以上为 NE 或 NNE 向断裂								

(引自翟裕生，1990) 断裂深度类型：L. 岩石圈断裂，C. 壳断裂；断层活动性质：N. 正断层，R. 逆断层，T. 逆掩断层，S. 走滑断层

此外，还有一些规模较大的盖层断裂，它们可切穿沉积盖层，达到变质岩系顶部。这些断裂主要形成于印支末期—燕山期，而以燕山期最为活跃，也有一些形成于喜马拉雅期，常成为四级或五级地质构造单元的边界。这些盖层断裂除在地表能观察追踪外，在 TM 图像上均有明显的反映。

(3) 推覆及伸展构造 推覆构造、低角度逆断层和伸展构造在长江中下游有较为广泛的分布。本区壳-幔具有层状结构特点，在沉积盖层内除下志留统高家边笔石页岩以外，下石炭统高骊山组、下二叠统的薄层灰岩与二叠系的蒸发岩层等也是构造软弱面。沿着这些滑移面，在区域强烈的挤压应力作用下常发生明显的层间滑脱或推覆构造；在区域拉张环境下又发生伸展作用，形成层间剥离断层、滑覆构造及断陷盆地等，简称为伸展构造系。

根据推覆构造的发生时间及推覆体与褶皱要素之间的相互关系，本区推覆构造可分为早、晚两期。早期推覆构造发生在印支末期，大多与倒转褶皱伴生，为褶皱逆冲断层带，其地层为前侏罗系。横剖面上显示一系列密集的叠瓦状冲断层，一般发生在褶皱倒转翼，冲断面倾

向大致与褶皱轴面一致,如怀宁-宿松褶皱冲断带、支埠城推覆体、江阴及苏州西部推覆构造。晚期推覆构造主要发生在燕山早期,多为低角度逆推断层,常由SE向NW推掩,冲断面与褶皱轴面斜交,由中生代地层构成下推覆体,古生界地层构成上推覆体,在铜陵、怀宁、松江等地均有分布。

伸展构造系发生于燕山中晚期—喜马拉雅期,主要为区域拉张环境下伸展作用引起的。造成断块差异升降,在断块隆起带上产生一系列层间剥离断层,褶皱岩层向断拗边缘滑移,甚至褶皱岩层掩覆在几乎未变形的上白垩统或第三系之上,形成滑覆构造。铜陵、九(江)瑞(昌)地区就发育有此类构造。

由于不同时期推覆或伸展构造有时在同一地区相互叠加,如九瑞、怀宁、安庆、宿松等地,致使构造面貌变得极为复杂,兼具多种构造体制特征。

三、区域岩浆岩

本区岩浆岩十分发育,分布广泛,类型繁杂。不同地质时期的岩浆活动强度和岩浆岩特征有很大不同。其中,中生代燕山期的岩浆岩占主导地位。

1. 前震旦系岩浆岩

长江中下游地区基底岩系中有大量的变火山岩,且南北基底中的火山岩特征有一定差异,早元古代在扬子地块北缘,岩浆岩产出于大别山群和阡集群岩系中,以变基性—中酸性火山岩和变石英角斑岩为主,属优地槽沉降阶段海相火山活动产物。扬子地块南缘未见该阶段的变质岩系出露,故火山岩情况不明。晚元古代,江北式浅变质基底岩系中的红安群、宿松群、张八岭群等岩系中有中—酸性火山岩夹层,其中张八岭群西冷组的细碧角斑岩比较发育,代表了晚元古代中期强烈而广泛的海底火山喷溢活动,属冒地槽发展阶段后期的岩浆活动产物;而江南式浅变质岩系基底(双桥山群)中夹有变质火山岩系,以安山岩、流纹岩为主,少量为细碧岩。其分布和规模远不及同阶段的江北式基底中的火山岩。由于出露较为零星,资料有限,目前对前震旦纪的岩浆活动特点及演化的情况知之甚少。

2. 古生代岩浆岩

晋宁运动之后,本区进入相对稳定的准地台沉降时期,地壳比较稳定,岩浆活动十分微弱。仅在下震旦统中夹有少量火山碎屑岩(在北缘为变质酸性火山岩),且分布零星。这可能是晚元古代火山活动的尾声。在晚震旦世—晚泥盆世的漫长地质时期,尽管本区经历了多次隆拗振荡运动,但并未伴生明显的岩浆活动。晚古生代有报道的火山活动有两次:第一次是早—中石炭统(高骊山组 and 黄龙组)中的火山碎屑岩(以熔结凝灰岩及凝灰岩为主,局部有少量英安岩及英安斑岩),分布很有限,仅见于江苏大洼山、栖霞山和镇江高骊山,江西瑞昌及安徽含山、小茨山等局部地段;另一次火山活动发生于晚二叠世,在安徽铜陵、南陵、巢县等地的二叠系上统大隆组和龙潭组中先后发现了厚度在1m左右的火山碎屑岩(层凝灰岩和晶屑凝灰岩等)。上述两次火山活动表明,在晚古生代,本区地壳在经历了早古生代相对稳定的发展阶段后,开始趋于活动,地壳内部物质和能量交换活动加剧。此两次弱火山活动可能是中生代强烈岩浆活动的早期预兆。

3. 中生代岩浆岩

本区中生代岩浆活动强烈，始于印支晚期末，高峰期为燕山中、晚期。岩浆活动形成的岩浆岩体分布广泛，岩石类型繁多，产状形态十分复杂。仅面积超过 0.2km^2 的侵入岩体就达 260 余个，总出露面积约 $2\,000\text{km}^2$ 。此外，火山岩也很发育，主要分布于沿江及其两侧的中生代火山岩断陷盆地中，覆盖面积估计在 $5\,000\text{km}^2$ 以上，中生代岩浆岩的基本特征可概括如下：

(1) 类型 区内岩浆岩绝大部分属壳-幔同熔型 (I 型) 花岗岩类。岩石平均化学成分与戴里平均火成岩成分相比，具低硅高碱的特征。根据岩浆岩性质、组分、共生组合、成岩演化及成矿作用等特征，可将其大致分为两个岩浆岩序列：①与铜、钼、金成矿有关的岩浆序列 (第一成岩序列)，其主要岩石类型包括花岗闪长 (斑) 岩、石英正长闪长 (玢) 岩、石英闪长 (玢) 岩、闪长 (玢) 岩、辉石闪长 (玢) 岩及二长闪长岩、正长闪长岩和石英闪长岩等，属 AR 值偏低的钙碱性岩浆岩，相对富钙钾质。②与铁成矿有密切关系的岩浆岩序列 (第二成岩序列)，包括基性—中基性岩类 (橄榄辉长岩、辉长岩、辉长闪长玢岩、闪长岩等) 和中酸性岩类 (石英闪长岩、石英二长闪长岩、花岗闪长岩等) 及酸性岩 (二长花岗岩、花岗岩、花岗斑岩等)，属 AR 值高 ($1.45\sim4.21$) 的钙碱性岩类，具贫钙富钠钾特征。

(2) 侵入时间 岩浆侵入活动延续时间较长，晚三叠世—晚白垩世 ($210\sim80\text{Ma}$)。据常印佛等人资料，第一序列侵入岩，侵入时间跨度较大，晚三叠世—晚白垩世均有，但高峰期是在晚侏罗世—早白垩世初 ($160\sim130\text{Ma}$)，相当于燕山中期；第二序列岩浆岩形成时间跨度相对较小，早侏罗世末—晚白垩世，高峰期在早白垩世 ($140\sim110\text{Ma}$)，相当于燕山中期末—燕山晚期。两个岩浆岩序列之间的侵入时间差，与区域构造应力场及断裂构造的发展演化有关。

(3) 规模 大多数侵入体为中小型岩体，出露面积小于 5km^2 ，少数大于 5km^2 ，个别达 50km^2 以上。侵入体地表形态复杂，多呈近椭圆形，也有呈纺锤状、带状和长条状的。另外，大多数侵入体为中浅—浅成的复式杂岩体，也有浅—超浅成或中—深成岩体。它们大体上沿长江河谷地带成带状分布，且分段成群集中分布于 (苏沪) 若干个重要地段，如鄂东南、九瑞、铜陵、南京—镇江 (宁镇) 等地区就是岩浆岩集中分布区。火山—次火山岩分布面积较大，主要分布于几个断陷火山岩盆地中。如南京—芜湖 (宁芜)、庐江—枞阳 (庐枞)、苏州—上海 (苏沪)、漂水等盆地。岩浆岩的成带分段、集中产出主要受控于深大断裂的产状及活动。单个岩体则主要受次级断裂和褶皱的联合控制。

(4) 侵位 岩浆岩主要侵位于晚古生界和中生界地层中，其中第一序列岩浆侵入体的围岩主要是晚古生界—三叠系地层，第二序列岩浆岩主要侵位于三叠系—白垩系火山岩系中。

四、主要矿床类型和成矿序列

本区自晋宁期以来，经历了漫长的盖层形成和燕山期强烈的构造—岩浆活动。在多种有利的环境中，形成了丰富多样的铁、铜、金等矿床。按照矿床的形成环境和成矿作用，可归纳成 9 种成因类型：①沉积及火山—沉积型 (如阳新枫林黄铁矿矿床)；②沉积—改造型或层控型 (如栖霞山铅锌矿)；③矿浆型及矿浆—热液过渡型 (如铁山和灵乡铁矿)；④矽卡岩型 (如铜缘山铜矿)；⑤斑岩型 (如沙溪铜矿)；⑥玢岩铁矿 (火山—次火山热液型，如梅山铁矿)；⑦热液脉型及蚀变破碎带型 (如铜牛井铜矿、列石山金矿)；⑧复合型 (如城门山铜矿)；⑨风化型，

包括铁帽（如马山金矿）和硫化物次生富集带（如六峰山铜矿）。

按照矿床形成的大地构造环境及矿床在时间、空间和成因上的联系，本区矿床划分为三个成矿系列。即：沉积成矿系列、岩浆成矿系列及风化成矿系列。沉积成矿系列以古生代沉积建造序列为主体；岩浆成矿系列以燕山期为主体。其中岩浆成矿系列占有主导地位。

1. 沉积成矿系列

沉积成矿系列主要形成于古生代—三叠纪地台盖层沉积阶段，其生成环境为滨海—浅海相沉积环境，以碳酸盐岩为主，间夹硅质岩和海陆交互相碎屑岩，通常正常沉积作用或海底热水（热泉）沉积作用成矿，包括铁、铜、铅、锌、锰、硫等矿床（点）。季绍新、王文斌等（1990）系统研究了江西九瑞地区的铜矿床，认为该区的层状含铜黄铁矿型矿床属于海西期海底喷气成因，并提出该区存在与海底喷气活动有关的成矿系列。沉积矿床形成后，如果未经后期明显改造，则仍保留原有的沉积成矿特征。如大冶王公林的二叠系褐铁矿矿床、阳新枫林二叠系黄铁矿矿床及彭泽郭家桥震旦系莲沱组的砂岩铜矿床等。另一部分沉积矿床（层）经历过燕山期岩浆-热液的叠加改造，形成沉积-改造型矿床，如铜官山矿床的松树山矿段和武山铜矿床北矿带等。

2. 岩浆成矿系列

该系列主要形成于中生代板内变形阶段。为与燕山期构造-岩浆活动密切相关的内生铁铜金成矿系列。这是本区的主要成矿系列。其矿床成因类型众多，具有以下共同特征：①是燕山期中酸性岩浆活动持续演化的产物，矿床与岩浆岩体紧密伴生；②成矿物质主要来自岩浆，部分矿质由矿化侵入岩体受碱质交代作用而析出，还有部分矿质是由沉积或火山-沉积矿源层活化转移而来的；③成矿方式主要是气化热液充填交代，其次为矿浆贯入，再就是沉积矿源层的岩浆-热液叠加改造。

具有上述共同特征的各种矿床类型，是在古生代沉积建造基础上，由燕山期的构造、岩浆、热液作用形成的，可称为燕山期铁铜金成矿系列。在这个成矿系列中，又根据成矿的构造-岩浆岩条件、围岩性质和矿石建造，划分为三个成矿亚系列。

（1）矽卡岩-斑岩型铜钼金成矿亚系列 分布于褶皱隆起区，矿化带主要受 NWW-EW 向深断裂控制，含矿小岩株多位于网格断裂交点，有的受断裂及褶皱构造联合控制。含矿侵入岩为富碱高钾的中酸性岩系列，以花岗闪长（斑）岩、石英闪长岩、石英正长闪长（玢）岩为主，多为复式岩体。当围岩为碳酸盐岩时，主要生成矽卡岩型矿床；当围岩为硅铝质岩时，则形成斑岩型矿床；在有利条件下，可形成斑岩-矽卡岩复合型矿床。有时也出现热液脉状矿床。该亚系列主要分布于阳新、九瑞地区和铜陵地区。

（2）矽卡岩型及矿浆-矽卡岩复合型铁及铁铜金成矿亚系列 主要分布于隆起区与坳陷区的过渡部位，矿化带受 NNE 向深断裂控制。含矿岩体和矿床常呈串珠状展布。含矿侵入岩为富碱高钠的中—中酸性岩类，以闪长岩、石英闪长岩、辉石闪长岩为主，多构成复式岩体。围岩以下、中三叠统的含膏（盐）碳酸盐岩为主。这个亚系列的重要特征是有矿浆成矿作用。该亚系列有多种类型矿床，如接触交代型（矽卡岩型）、矿浆贯入型、矿浆-热液过渡型和热液充填交代型等。主要产于鄂城—灵乡、安庆月山等地。

（3）玢岩铁矿成矿亚系列 产于宁芜、庐枞等中生代继承式火山岩断陷盆地中，成矿与主喷发旋回晚（末）期的富钠中偏基性次火山岩密切相关，以含矿辉长闪长（玢）岩为中心，

经常出现一套从岩浆晚期矿化开始,经伟晶期高温气液矿化,直到中低温热液矿化所形成的一系列铁(磷)矿床(体),以及与之伴生的黄铁矿矿床(体)。此外,在火山活动晚期,还生成与碱性次火山岩密切相关的铜与铜-金矿床,矿床具有典型的控矿构造系统和显著的蚀变矿化特征。

除上述三个成矿亚系列外,以栖霞山矿田为代表的层控型铅锌矿床也具特色,经勘探查明的大型铅锌矿床虽只有栖霞山一处,但据区域成矿条件分析,它还是值得重视的有远景的矿床类型。

3. 风化成矿系列

该系列主要形成于燕山期后(90~0Ma)区域上隆剥蚀阶段,多分布于褶皱隆起带和隆坳过渡带。其形成与风化作用有密切的关系,常分布于原生沉积及内生铜金硫矿床或矿化体的上部,受断裂裂隙构造和古水文地质条件控制。主要有铁帽型金矿、次生富集型辉铜矿矿床(硫化物矿床次生富集带)。铁帽型金矿工业矿体主要赋存于潜水面的氧化富集带中,如瑞昌吴家金矿床、铜陵马山金矿床。次生富集型辉铜矿矿床的工业矿体则主要富集于古潜水面之下的次生硫化物富集带中,如叶家垅铜矿床和六峰山铜矿床。

由于区域构造演化的递变性和继承性,上述三个成矿系列时空分布有递变性和叠加复合的特点。表现在:①从早到晚,由以古生代、中生代早期为主的沉积成矿系列,转变为中生代晚期岩浆-热液成矿系列,再到新生代的风化成矿系列;②在古生代—三叠纪沉积建造形成沉积矿化的空间,常有燕山期的岩浆侵入体就位,并伴生岩浆-热液矿化,因而造成沉积成矿系列与岩浆成矿系列的叠加与复合,形成沉积-改造型矿床。风化成矿系列与沉积成矿系列、岩浆成矿系列也常是叠加复合关系。由于成矿系列间的叠加形成了长江中下游地区金属成矿具有多样性和复合性的特色,这种叠加复合也显示了区域成矿的“基预”(ground preparation)与成矿继承性的有机联系,是形成大型金属矿床和富矿的重要条件。

在各成矿系列中,不同类型矿床之间则存在着共生、过渡、叠加、互补等关系(翟裕生、姚书振等,1992),尤以燕山期岩浆成矿系列表现最为明显。

五、区域地质构造演化简史

基于对本区沉积建造、变质建造、构造作用和岩浆活动等特征的认识,可将长江中下游成矿带及其邻区的大地构造发展演化分为三大阶段:基底形成阶段、板块迁移及沉积盖层发育阶段和板内变形阶段。现将各阶段构造特征、岩浆活动及其与成矿的关系概述如下:

1. 基底形成阶段

前震旦纪,长江中下游及邻区属于地壳活动强烈时期,经历了由优地槽到冒地槽的演化,有多次变形、变质作用发生。其中晋宁期是本区构造发展演化中的重要时期。中、晚元古代是华北、扬子、华夏板块独立发展时期。华北和扬子板块被大洋所隔,海域北部为华北南部陆缘带,具有主动大陆边缘的性质,由北秦岭-淮阳-胶东北陆缘裂陷带和秦岭-大别-胶东南隆起带构成,后者具有岛弧隆起带的特点(杨森楠,1990)。海域南部是扬子板块,扬子板块北缘具被动大陆边缘的性质,形成具有双峰式的耀岭河群、张八岭群火山岩系;扬子板块南缘、东南缘经历了沟、弧、盆体系,形成岛弧火山岩组合(如九岭群、铜厂群、双溪坞群等)和

弧后盆地沉积建造（如冷家溪群、双桥山群、上溪群等），局部形成铜、金矿化（床），如西裘铜矿。晋宁运动是古华夏板块、扬子板块与中朝板块碰撞导致的一次重要构造-热事件，经晋宁运动使本区的变质基底基本固结，在秦岭-大别-海胶一带形成变质山链，南侧的雪峰—江南一带也发育变质岛链，并伴随有同造山花岗岩。扬子板块因遭受强烈挤压上拱而基底破裂与局部沉陷。此后，在地幔物质对流作用的驱动下，扬子、中朝、华夏板块相分离，各自进入大规模的漂移时期，导致各板块自震旦系以来地质建造上的重大差异。

2. 板块迁移及沉积盖层形成阶段

进入震旦纪以后，长江中下游地区构造活动以垂直振荡为主，以多次拉张沉陷、隆坳变迁为特色。随着基底断裂拉张，长江中下游地区逐渐进入以陆壳为基底的海侵环境，这时区域的中部为水下隆起带（相当于中下扬子式基底部位），两侧为深坳陷带。晚震旦世，本区受“古秦岭”海洋壳俯冲作用影响，整体上升成陆，区内中隆北侧的震旦系受强烈挤压变形变质，南侧震旦系则未受影响。

自寒武纪开始，长江中下游地区拉张沉陷和上升隆起运动交替进行。早古生代基本继承了震旦纪的隆坳格局，接受了巨厚的海相碳酸盐岩和碎屑岩沉积。志留纪末—早泥盆世，受晚加里东运动的影响，全区整体隆起成陆，遭受剥蚀。晚古生代，秦岭-大别-海胶地区受古洋壳俯冲的影响，生成同造山期花岗岩和榴辉岩。这时长江中下游地区地壳趋于活跃，升降频繁，早石炭世开始的张裂作用，使已有的断裂切割加深，并产生新的断裂。在石炭纪铜陵古岛（水下隆起）附近有微弱的火山活动发生，表明此时古地热场已有重要的变化，为海水下渗受热循环和含矿热卤水的形成创造了有利的条件。二叠纪随着张裂作用的加剧，逐渐由陆表海转化为裂陷槽式的深海沉积环境，以发育深海硅质岩和少量火山碎屑岩建造为标志。在石炭纪—二叠纪这种张裂的环境下，虽无大量火山喷发，但无疑有利于深部地幔热源体热能的释放，形成温度梯度较高的古地热场，有利于含矿热卤水的形成和海底古热水沉积成矿作用的发生，区内石炭系和二叠系中层状块状硫化物、菱铁矿、赤铁矿矿层（矿源层）的形成可能与其有密切的成因联系。三叠纪早期又发生一次海侵作用，但随着华夏板块、扬子板块与华北板块逐渐靠拢和古洋壳的俯冲作用，区域逐渐隆起，早三叠世末—中三叠世早期由浅海碳酸盐岩沉积转向局限性台地萨布哈环境，形成含膏碳酸盐岩沉积及沉积铁、铅、锌矿（如龙桥铁矿、狮子立山铅锌矿）。中三叠世中期华夏板块与扬子板块碰撞及扬子板块与华北板块靠拢，海侵结束。

3. 板内变形阶段

三叠纪末，扬子板块与华北板块汇聚碰撞，组成大别-海胶造山带的物质分别向北和向南逆冲于华北克拉通和扬子克拉通之上，构成双侧造山带地表结构模式（索书田，1993）。长江中下游地区盖层受强烈挤压导致弧形褶皱断裂带的形成，由于这时断层多为逆断层或逆掩断层，切割深度有限，不利于岩浆上侵，岩浆成矿作用也较弱。

侏罗纪—白垩纪是区内断裂、岩浆活动的鼎盛期。侏罗纪时，南北向挤压弱化，在库拉板块与欧亚板块左行剪切运动的影响下，区内 SEE-NWW 向挤压逐渐增强，形成一系列 NNE 向走滑断裂和 NWW 向、近 EW 向断裂。早中侏罗世形成压陷型陆相盆地。在晚侏罗世，构造作用加剧，产生 NNE 向叠加褶皱、压扭性深断裂、NWW 及近 EW 向张性剪切断裂，发生大规模同熔型岩浆的侵入及部分火山喷发作用，形成大量与中酸性侵入岩有关的内生矿床。早

白垩世开始，区内受印度-澳大利亚板块向欧亚板块俯冲推挤及太平洋板块俯冲作用的影响，转入以伸展作用为主的阶段。早白垩世以断裂、断块为主，NNE 向断裂拉张深切，在断陷型火山盆地中，以大规模中基性、碱性岩浆喷发和侵入为特色，在外围古生界分布区则以中酸性岩浆侵入为主，形成了丰富的内生矿床。这一构造应力场一直持续到中始新世，但晚白垩世—中始新世仍以形成陆相断陷盆地为主，且金属成矿作用已无明显显示。

受太平洋板块和印度-澳大利亚板块向欧亚板块俯冲的交替影响，以 SN 向或近 EW 向扩张为特色，以断块运动为主，断续有玄武岩的喷溢，形成一些膏盐矿床。

长江中下游地质异常与成矿

地质异常是一个逐渐被广为采用的新地质概念。赵鹏大曾指出“地质异常是在成分结构、构造或成因序次上与周围环境有明显差异的地质体或地质体组合”，这一论断从本质上阐明了地质异常的物质属性和范畴。从系统论的观点看，地质异常除了与环境有显著差异的地质体或地质体组合外，还应包括地质系统结构和系统动力学行为（或过程）异常，如系统组成要素的组合异常、系统拓扑结构异常、几何分形异常、非平衡过程中的失稳与涨落等。从方法论的角度看，地质异常研究是从各种地质因素及其组合特征（几何的、时间的、空间的、统计学的和结构的特征）的变化性出发，考查地质作用及其产物的特殊性。由此可见，地质异常是一个范畴广泛的、高度抽象化的地质概念，它为人们研究、认识地质现象和地质规律提供了全新的视野。

地质异常与其他客观地质实体一样，是一种物质场，具有类似于物理场的某些特性，如强度和广度性，它是在正常地质背景场中，场强数值超过某一临界值（异常下限）的异常场空间，因此，它具有可度量的三维空间规模、形状和方向性。在不同尺度水平上，地质异常的场空间范围和特征是不同的。在一个地区，不同等级层次的地质异常往往构成复杂的地质异常体系，使研究变得十分困难。因此，在研究地质异常时，首先应在某一尺度水平上，分别研究不同类型地质异常的特征、组合、时空分布、成生联系等，然后研究不同层次的地质异常的套合和从属关系。在研究中，可以采用定性分析方法，也可用定量分析方法，通常是两者结合使用。

长江中下游地区是一个曾经历了长期复杂地质运动的地质构造单元。它本身是欧亚大陆板块内部的一个区域性地质异常。赵鹏大在《中国地质异常》一文中，将其圈为一高值异常区。进一步考查研究该异常区的地质场特征，不难发现一些局部地质异常，根据这些地质异常的性质和形成的地质作用，可将其大致分为壳-幔结构异常、沉积异常、构造异常、岩浆岩异常和地质过程异常等。这些异常对本区铁、铜、金矿产的形成和分布起了至关重要的制约作用。

一、壳-幔结构异常

长江中下游地区经过广大地质工作者几十年的艰苦探索和研究，积累了十分丰富的区域地质、地球物理、地球化学和遥感地质等方面的资料及研究成果。在此基础上，已形成了对本区区域壳-幔结构和动力学特点的初步认识。

1. 纵向上的层状结构和异常结构面

区域地质和地球物理资料表明，长江中下游地区壳-幔体系在纵向上具有明显的层状结

构。根据有关地质地球物理综合剖面及大地测深资料，结合区域岩石建造特点，可将本区岩石圈划分出六大层，其间有 6 个大滑移（拆离）面和 3 个均衡调节层（表 2-1）。从表中可看

表 2-1 长江中下游地区岩石圈层状结构特征表

层 圈			界面名称	主要物性特征		滑移（拆离）面	均衡调节层	
岩 石 圈	上 地 壳	I 陆相中、 新生界	~印支期—早燕山期侵蚀面~	低中速、低阻、 低磁、低中密度		—— S —— —— G —— —— J —— —— C ——		
		II 海相中、 古生界		中高速、中高阻、 中高密度互层、低磁				
		III 浅变质岩	~~~晋宁期侵蚀面~~~	低速、低阻、低磁、低密度				
		IV 深变质岩	~~~武陵期侵蚀面~~~	高速、高阻、高磁、高密度				
	下 地 壳	V	——地壳中部界面——	低速高导（壳内高导层）		—— M ——	C 层	
			——莫霍面（层）——	高速、高密度、 柔性形变结构	高低导横向 不均匀层块			
		VI 上地幔的 岩石圈部分		岩石圈与软流圈之间过渡层			高导过渡层	
			软流圈		高导层		—— L ——	L 层

（据陈沪生，1988、1993，缩编）

出，自下而上，各大层的物理性质呈现交替变化的特点，即相对塑性的低速、低密度层与刚性的高速、高密度层交互出现，形成软、硬层相间的层状结构。层与层之间则是物理性质突变界面或变化过渡层。这种结构无论是从动力学、运动学，还是从热力学和化学上，都表现出相当的不稳定性，当其受到来自不同原动力作用（如软流圈上升下降或平流扯动引起的板块推挤或裂解）时，各大层之间很容易发生差异运动，相对较软的层主要发生塑性流变或柔变（如褶皱压缩增厚或拉伸变薄），相对较硬的层则发生脆性破裂，形成断块。在地壳深部，软、硬相间层之间的不协调运动，会导致相邻层之间产生摩擦作用（滑移面 C 层、M 层附近），引起热能聚集，形成局部高热异常，使深部岩石发生部分熔融，生成不同深度的岩浆源，同时引起各层之间大规模热能、流体及活动组分的交换。在地壳浅部，尤其是沉积盖层中不同构造层之间的差异运动，可导致诸如逆冲推覆、伸展剥离、滑脱拆离和剪切旋转等各种构造运动，形成多种形式的地壳浅部构造异常场。由此可见，壳-幔层状结构中，地壳深部层间界面（带）是内生金属矿床所需热能、矿质、流体介质的发源地，是控制含矿岩浆生成的主要异常结构面（带）。而浅部基底到盖层的层间界面则是含矿岩浆就位、矿床定位的异常结构面。这些层间异常结构面在横向上的几何特征也十分复杂，多呈不规则波状起伏，局部地段甚至可能出现折断，上下错开，造成不连续变化。以重要的莫霍面为例，据 HQ-13 线地壳地震测深资料（何友三，1988；冯如进等，1988），下扬子区莫霍面是由高、低速层互层组成的一种不均匀过渡层，一般厚 2~4km，最厚可达 6km，并有明显的折断、升降，还保留明显的波动痕迹。另据区域重力资料推断的本区及邻区现今莫霍面的基本轮廓（图 2-1），长江中下游地区对应于莫霍面的鼻状隆起带，绝大部分中一大型内生金属矿床及其有关的火山喷发—岩浆侵入岩（燕山期）均分布于该隆起带上，部分在隆坳过渡带上。且区内陆相中生界和新生界的厚度与莫霍面呈镜像反映关系，这表明，现今的莫霍面轮廓是从中生代开始逐渐形成