

南京栖霞山铅锌多金属矿床重磁异常 及矿床成因解释

刘 沈 衡

(华东有色地质勘查局 814 队)

提 要 南京栖霞山铅锌多金属矿床重磁异常的性质,推断该矿床深部存在稳伏岩体。依据该结论并结合栖霞山铅锌多金属矿床的地质特征分析了栖霞山铅锌多金属矿床的成因机制,指出该矿床是以岩浆热液为主的复成层控矿床。给出了该矿床由莫霍面至地面范围的区域构造和成因过程立体模型。

关键词 隐伏岩体 层控矿床 区域构造 成因过程立体模型。

南京栖霞山铅锌多金属矿床是江苏省一大型有色金属矿床,对其成因,众说纷云:如构造岩溶说;沉积—渗流迭生说;沉积—热卤水复成说等等,它们均以矿区未见侵入岩为立论依据,排除了岩浆热液的成矿作用。随着研究的不断深入,发现该矿床存在许多岩浆热液成矿特征,尤其是低缓磁异常的发现对研究该矿床的成因无疑提供了一个重要的信息。本文通过对栖霞山铅锌多金属矿床重磁异常定性和定量分析,探讨重磁异常源的属性,指出该矿床深部存在隐伏岩体,结合栖霞山铅锌多金属矿床的地质特征,分析该矿床的成因机制,指出该矿床是以岩浆热液为主的复成层控矿床,给出了该矿床由莫霍面至地面范围的区域构造和成因过程立体模型。

1 矿床地质概况

该矿床位于南京东郊,隶属于扬子地台下扬子拗陷带东部,宁镇断褶穹西段北缘,自元古代至古生代,本区处于相对稳定的地台区,沉积了一套碎屑岩、泥岩和以碳酸岩为主的多旋回滨海—浅海相沉积建造并夹有陆相碎屑岩建造。至晚三迭世,拗陷带明显隆起并受挤压形成褶曲。燕山期火山活动频繁,中酸性岩浆常沿基底构造侵入,宁镇地区岩浆岩的岩性具有由西向东从基性向中酸性变化的特征,矿区外围西部有花岗闪长岩、东部有花岗岩出露。

矿区出露的地层可分成上下两个构造层。下构造层由志留系坟头群(S_{2-3})至二迭系龙潭组(P_1^2)构成复背斜,上构造层为侏罗系象山群(J_{1-2}),二者呈角度不整合。矿区外围有侏罗系安

山岩(J_3);白垩系砂岩、页岩(K_1, K_2),三迭系灰岩、砂页岩(T_{1-2}, T_2, T_3)分布。

该矿床沿南西西—北东东方向延伸,由多个不同规模的矿体构成东西两个矿段,西矿段(甘家巷)埋藏深,东矿段(虎爪山)埋藏浅(图1)。矿体主要赋存在栖霞山复背斜倒转翼的泥盆系五通组(D_3)与石炭系下统(C_1)之间的纵向断裂 F_2 和不整合面内,少量分布在五通组(D_3)和象山群(J_{1-2})砂岩中。普遍认为该矿床受下石炭统——下二迭统地层控制,尤其是中石炭统黄龙组(C_2)的白云岩,白云质灰岩控制,具明显层控特征。

矿体呈致密块状大透镜体(似层状),也有脉状。具粗块状、角砾状、脉状、网脉状、浸染状、晶簇状构造,乳滴状、格状、蚕蚀、骸晶结构。矿石矿物主要是闪锌矿、方铅矿、黄铁矿,伴生大量银、金等有益组分;脉石矿物以石英、方解石为主。

矿床为中低温热液型,均一法测温资料表明,该矿床主要成矿阶段的温度为 $170\sim 275^\circ\text{C}$,其中 $200\sim 250^\circ\text{C}$ 出现机率最大。甘家巷矿段的成矿温度高于虎爪山矿段,等温线反映成矿温度随深度变浅而递减。这可能反映矿床远离热源,成矿热液由西向东流动。

2 栖霞山铅锌多金属矿床重磁异常解释

栖霞山地区以往一直认为是无磁区,后经航磁编图发现栖霞山地区存在低缓磁异常,我队于1983年进行了重磁详查,图2是栖霞山地区的重磁异常综合平面图。该矿床的重磁异常特征与我国其它的大型有色金属矿床迥异,二者呈正相关。重磁异常均呈不规则北东向稍拉长的椭圆状,它们分布范围相当,与栖霞山复背斜相吻合。低缓磁异常极值为 150nT ,南缓北陡;重力异常极值为 15mGal 。北部串珠状磁异常和重力梯度带对应于南京—泰兴断裂(即沿江断裂),沿该断裂带有强磁性火山岩分布,因此推断是由断裂引起。南部的重力梯度带对应于仙鹤观—羊山断裂,推测也由断裂引起。重力异常自北向南,幅值由低变高再变低,但南部的重力异常幅值明显高于北部,它们对应的地层分别为 K, J_3, J_{1-2} ,下构造层; T 。

表1给出了栖霞山地区岩石物性参数的统计值。由表可知, J_{1-2}, J_{1-2}^2 和下构造层的平均密度为 $2.61\text{g}/\text{cm}^3$; J_3^1, J_3, K 的平均密度为 $2.52\text{g}/\text{cm}^3$, J_{1-2}^2, T 的平均密度为 $2.57\text{g}/\text{cm}^3$ 。 $J_{1-2},$

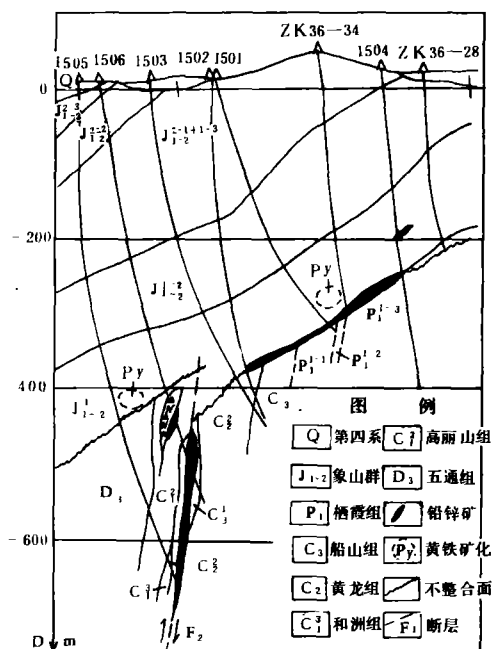


图1 栖霞山铅锌多金属矿床第150勘探线地质剖面图

Fig. 1 Section of drill hole line

J_{1-2}^2 和下构造层的平均密度比后两者分别高 $0.09\text{g}/\text{cm}^3$ 和 $0.04\text{g}/\text{cm}^3$ 。对比前述重力异常特征,可以判断重力异常是由 J_{1-2}^1 、 J_{1-2}^2 和下构造层与 J_3^1 、 J_3 、K 和 T 的密度差引起。这从 118 测线(穿过异常中心)的重磁异常曲线看得更加清楚(图 3)。此外,笔者依据 118 测线的地质剖面,设计了一个梯形厚板模型计算 J_{1-2}^1 、 J_{1-2}^2 和下构造层的重力效应约为 5mGal ,与实测重力异常幅值相当,进一步证实了笔者的推断。

对于磁异常,笔者认为原图编图所选的正常场偏低,而使磁异常总体抬高, $\Delta Z \rightarrow \Delta H \rightarrow \Delta Z$ 计算结果表明,转换后的 ΔZ 和原始场之间存在 40nT 的常差,去掉正常场后,栖霞山低缓磁异常幅值为 110nT 。

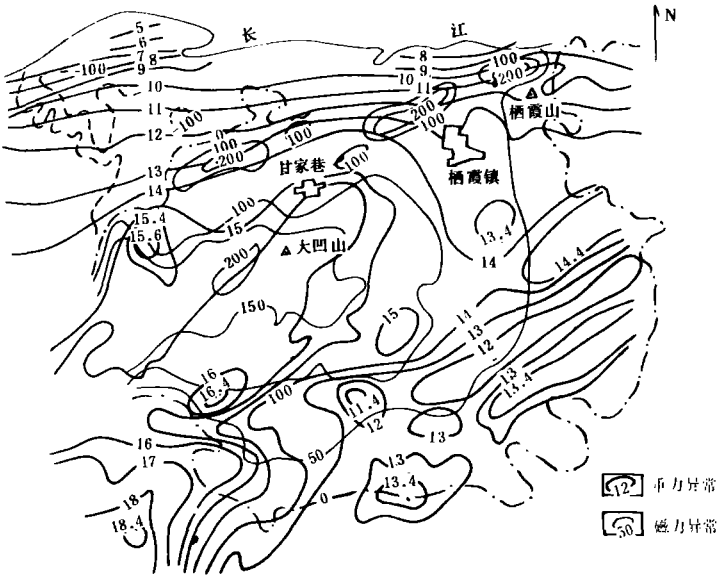


图 2 栖霞山地区重磁异常综合平面图

Fig. 2 Map of the integrated gravity and magnetic anomalies of Qixiashan Area

表 1 栖霞山地区岩石物性参数统计

Table 1 Statistical parameters of physical property of rocks

岩石名称	块数	$\bar{\sigma}$	块数	$\bar{K}$	$\bar{J}_r$	备 注
K. 砂岩·砾岩	50	2.51				密度单位: g/cm^3 ;磁化率单位: $4\pi \times 10^{-6}\text{SI}$; 剩余磁化强度单位: $10^{-3}\text{A}/\text{m}$ 。按各亚层测定的标本块数加权平均统计出各层位的平均物性参数值
J_3 . 安山岩	106	2.50	105	450	608	
J_3^1 -2砂 岩	240	2.56	$\frac{198}{190}$	9.66	3.56	
J_3^2 -2砂 岩	70	2.66	70	20.55	0.63	
J_{1-2} 砂岩	104	2.65	105	17.59	0.66	
T 砂岩、灰岩	139	258	86	0	0	
P_{1-2} 粉砂岩 灰岩	162	2.61	125	6.24	2.69	
C_{1-3} 灰岩页岩	162	2.61	230	16.64	10.86	
D_3 砂页岩	30	2.66	35	18.49	2.64	
S_{2-3} 粉砂岩	54	2.44	54	0	0	
δ . 石英闪长岩	80	2.67	80	18.43	149	
$\delta_{\text{幽}}$ 石英闪长玢岩	33	2.70				

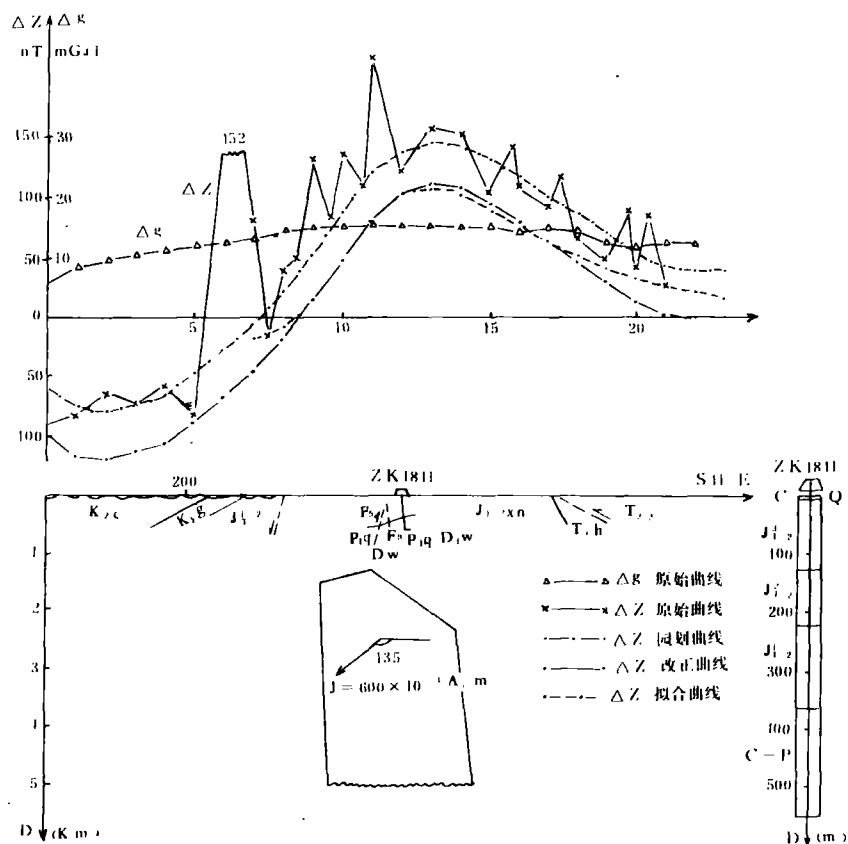


图3 栖霞山地区118测线地质/物探异常解释综合剖面图

Fig. 3 Geological and geophysical profile of 118 line

依据118测线的地质剖面和ZK1841孔揭示的沉积岩层的深度、厚度以及表1列出的物性参数,笔者设计了一个多层水平板状迭加模型计算沉积岩层的磁异常,计算结果表明,沉积岩层仅能引起 $2 \sim 3nT$ 的异常,即使考虑到物性的离散程度,由于磁异常与磁化强度成正比,沉积岩层也只能引起不到 $10nT$ 的异常。另据蒋慎君资料^①,重磁异常对应分析(IEA)计算出的磁化强度为 $600 \times 10^{-3} A/m$,和沉积岩磁性相去甚远,说明沉积岩层不可能是磁源。

综上所述,引起栖霞山铅锌矿床低缓磁异常的磁源只能是隐伏岩体,为此,笔者对该异常进行了上延、矢量交汇、切线、垂向导数等数据处理,旨在控制磁源的几何参数,在此基础上,用选择法进行反演,最后给出了磁异常的定量解释(见图3)。由于该异常北部和南部分别受南京

① 江苏省南京市栖霞山铅锌多金属矿床矿区及外围物探异常综合研究报告

—泰兴断裂和镇江—汤山岩基(位于该异常东南,已出图)影响,而使异常两侧拟合不佳,但异常中心部分,拟合精度相当高。其中北侧 452nT 的异常对应于侏罗系火山岩,对低缓磁异常解释无意义,故未予拟合计算。

推测隐伏岩体的磁化强度 $J=600 \times 10^{-3} \text{A/m}$, 其与中酸性岩磁性相当,磁化方向 $i=135^\circ$, 其与地磁场方向相当,符合侵入岩特征。隐伏岩体最浅处深约 1300 米,宽约 2300 米,位于复背斜的中心(大巴山)。

上述解释不但可较好地解释栖霞山铅锌多金属矿床的重磁异常;还可以较好地解释矿床的成矿温度,产状和温度变化趋势以及下列地质特征:

a. 宁镇地区已知金属矿床(17 个矿床,40 多个矿点、矿化点)均与燕山期岩浆活动有成因关系。

b. 各类矿物中硫同位素表明,硫源虽是多成因的,但方铅矿、闪锌矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值分别为 $-17.2 \sim -2.60\%$ 、 $-5.20 \sim -4.50\%$ (图 4),离散度小,集中在零值附近,近似呈塔式分布,与陨石硫相似,具岩浆成因热液硫化物特征。

c. 矿体形态,结构、构造的热液成因特征。

d. 甘家巷矿段有垂向元素分带序列: $\text{Sb}-\text{As}^{(2)}-\text{Hg}-\text{Mn}-\text{Ag}-\text{Pb}-\text{Zn}-\text{Cu}-\text{Bi}-\text{As}^{(1)}-\text{Ni}$ 。上盘晕具一定规模,象山层裂隙中原生晕极为发育,具热液垂向远移特征。

e. 象山群下部的 J_1-2 、 J_2-2 砂岩密度明显高于矿区外围相同岩层的密度并具弱磁性,表明矿区热蚀变强,为热活动异常区。

f. 栖霞山铅锌多金属矿床铅同位素资料(图 5)表明,矿床铅同位素穿越了地幔、造山带、上地壳,其在地幔范围内出现的机率较大,说明铅源与幔源有关,显然与岩浆有关。另有一部分铅来自老地层,铅同位素年龄测定表明,栖霞山铅锌多金属矿床的模式年龄有两组:一组为 5~6 亿年,相当于寒武纪至震旦纪;另一组为 1.2 亿年,与早白垩世相当,这也表明该矿床成矿物质中的铅部分来自燕山期岩浆热液,部分来自老地层。

g. 该矿床矿石中石英脉氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值(SMOW)为 $9.36 \sim 12.21\%$,基本反映了岩浆热液特征,平衡水 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\%)$ 值为 $-3.35 \sim 7.07$,对比图 6 所示的不同类型水的氢氧同位素特征,可见,成矿热液为岩浆水与“天水”的混合液。

当然,栖霞山铅锌多金属矿床客观上也存在一些渗流卤水的特征,如有重晶石化,碳同位素特征等等,但它们是次要的。据地震资料,栖霞山矿区深达 2384 米范围内不存在前塞武系结

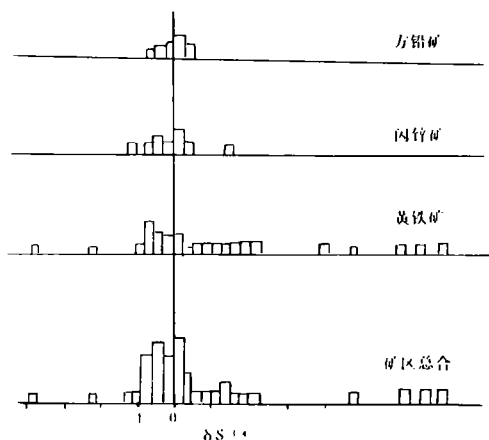


图 4 矿区硫同位素组成频数直方图

Fig. 4 Histogram of S-isotope composition of Qixiashan mine

晶基底,而矿源层是震旦系(后述)。如果该矿床是热卤水成因,那么热卤水循环半径必须大于 2384 米。因此必须具备高孔隙度、高渗透率和巨大的热源,而下构造层中的页岩、板岩均为低孔隙度,低渗透率的隔水层。排除岩浆作用会导致缺少热驱动力。此外,若以热卤水为主的话,矿区内膏盐层应相当发育且稳定,而矿区并非如此。因此推测栖霞山铅锌多金属矿床是以岩浆热液成矿为主。

3. 推测隐伏岩体来源及矿源层分析

据江苏省 1/20 万重力、航磁数据处理成果^[1],宁镇地区处于南京—句容—六合莫霍面坳中隆,扬州—芜湖—滁县磁基底隆起,沉积盖层同步隆起区,具“三隆”特征。矿区北侧为南京—泰兴壳断裂,该断裂具长期活动特征;矿区西侧约 7 公里处有一深约 6.3 公里的隐伏中偏基性岩基。笔者称之为紫金山岩浆库(图 7)。据王金星等资料^[2],栖霞地区处于合肥—荇子岛(南朝鲜)地幔热流上涌区的东南部边缘,热流涌向自西北向东南。又由于地球自身由西向东旋转会产生与之方向相同的惯性动力,因此,推测隐伏岩体是从紫金山岩浆库脱离出来的,它是隐伏岩体的母岩。据前述的岩浆岩分布特征可知,隐伏岩体应向酸性方向演化,该岩体有根,不会是漂浮体。

宁镇东部的埤城—孟河凸起出露的震旦系(厚度 > 1131.1 米)嘉山组(厚度 324.5 米)千枚岩的铅含量达 202ppm,锌达 283ppm,比砂岩平均含量高 26 和 20 倍;高桥组(厚度 303.9 米)含砾绢云母千枚岩银平均含量达 1.15 克/吨,高出砂岩达 100 倍。震旦系矿化层与其相比,铅高达 50 倍,锌高达 200 倍,银高达数千倍,埤城嘉山组千枚岩中的方铅矿石英脉模式年龄为 9.38 亿年,与前述部分铅模式年龄相当。而石炭—二迭系铜、铅、锌含量最高的黄龙组白云质灰岩仅高出同类岩石含量 3~9 倍。因此,笔者认为震旦系千枚岩是矿源层。石炭—二迭系岩石是次要的。

4 矿床成因机制

综合上述分析结果,笔者提出了栖霞山铅锌多金属矿床的区域构造和成因过程立体模型(图 8,图 9)。

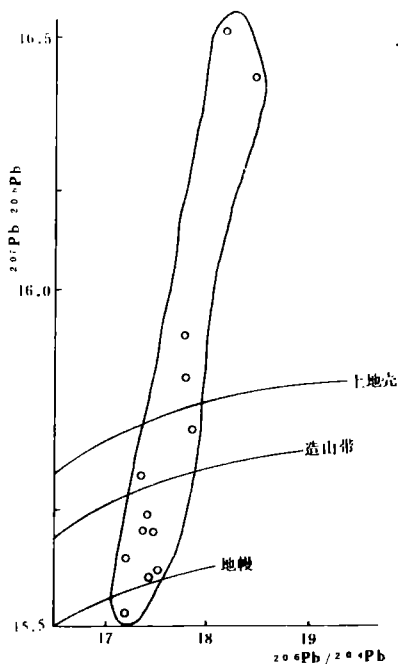


图 5 栖霞山铅同位素组成坐标图

(据顾连兴博士论文简化)

Fig. 5 Plot showing the origin type of Pb isotope of the Qixiashan Pb-Zn polymetal deposit

从宁镇地区深部构造具有同步上升特点可知,基底形成后,上地幔局部活化,产生地壳断裂、断块上升运动。到了中生代,地台开始活化,随着区域构造运动,产生深大断裂。栖霞山地区在南京—泰兴挤压断裂作用下,加速了地壳的破裂,产生负压,致使地幔上升与热力穹窿拱起,基底区域性隆起,同时伴随大规模的岩浆侵入。岩浆通过南京—泰兴壳断裂,在断裂当时所处的沉积盖层尚属半封闭系统的条件下,在6.3公里深处聚积形成紫金山岩浆库。由于地幔热液的

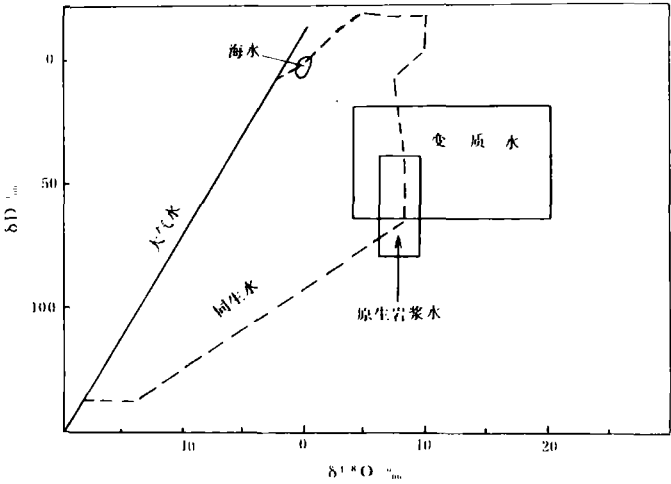


图 6 不同类型水的氢、氧同位素组成范围(据 Sheppard 1977 年修改)
Fig. 6 Plot showing H, O isotope composition for different water

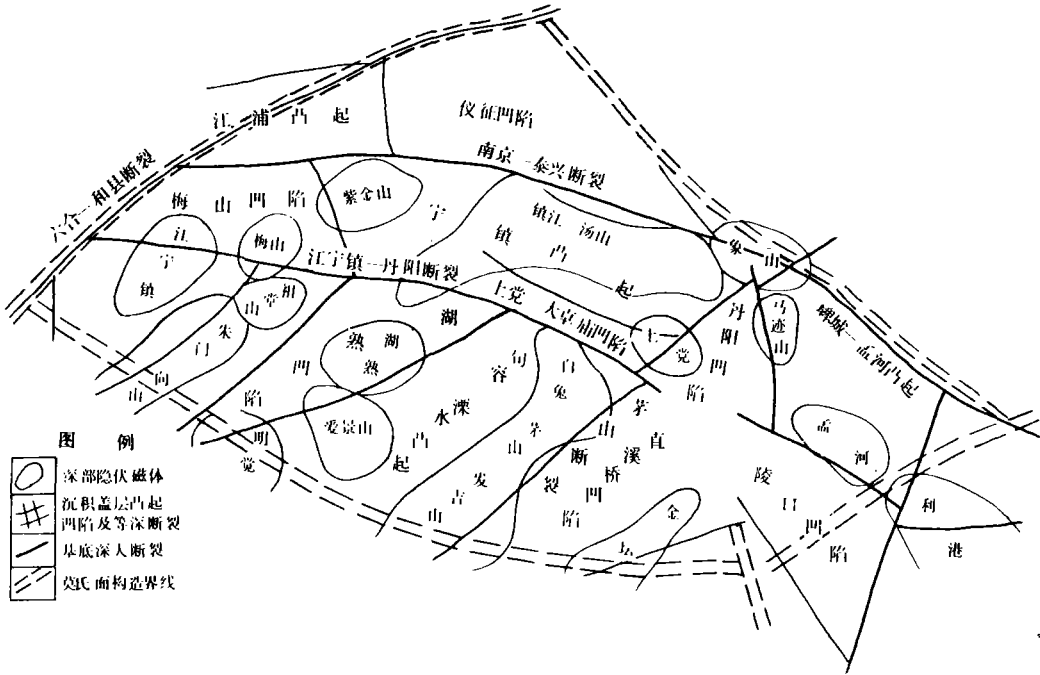


图 7 宁镇地区深部地质构造推断图(据蒋慎君资料略有修改)
Fig. 7 The inferred deep structural map of Ningzhen Area

继续上涌和地球自西向东旋转所产生的相同方向的惯性力,驱动部分岩浆脱离紫金山岩浆库继续向东侵入,岩性逐渐向酸性方向演化,到达矿源层后,溶蚀老地层而使岩浆中的铅、锌、银等金属含量更高。随着迁移距离的增加,岩浆温度降低,最后在大凹山深部固结成中酸性隐伏岩体,在岩浆完全固结以前,岩浆结晶、分异产物中富含氟、氯及铅、锌、银等金属元素的高矿化热液,在自身温度梯度及压力差驱动下继续上浮并与渗流至地下淋滤了矿源层而含铅、锌、银的循环卤水相汇合,组成了以岩浆热液为主体的混合含矿热液进入F₂断裂和不整合面,在合适的层位,主要是下石炭统一二迭统,特别是中石炭统黄龙组白云岩,白云质灰岩中,结晶,沉淀,富集成矿与此同时,也对原生沉积物(主要是黄龙组地层)进行迭加改造,形成以岩浆热液为主的复成层控矿床。

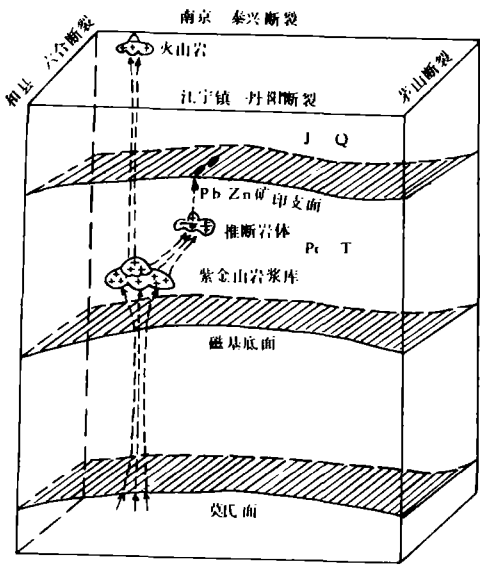


图 8 栖霞山铅锌多金属矿区域构造模型示意图
Fig. 8 Structural sketch model for the Qixiashan poly metal deposit

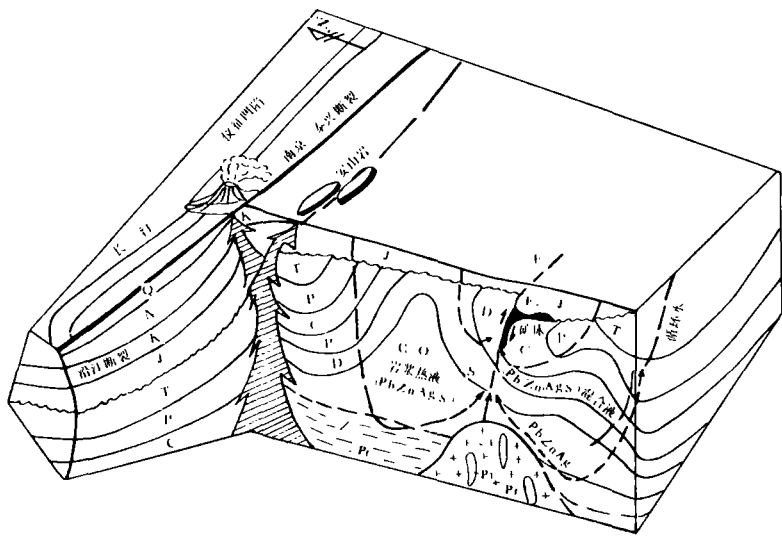


图 9 栖霞山铅锌多金属矿床成因模型示意图
Fig. 9 Metallogenic sketch model for the Qixiashan polymetal deoposit

综上所述,“三隆”、“一断”、“一库”是寻找栖霞山式铅锌多金属矿床的深部地质标志;而其物探标志为“低缓磁异常”(隐伏岩体)和“重力高”(背斜构造),浅部地质标志为“构造”(纵向断裂,不整合面)和“层位”(主要是黄龙组白云岩、白云质灰岩)。

最后,笔者认为可以较圆满地解释栖霞山铅锌多金属矿床的重磁异常和矿床的成因机制,并对以物探资料为依据“宏观”上探讨属“微观”机制的成因问题和深部与浅部地质特征有机地联系起来作了尝试。由于笔者水平有限,文中难免不妥之处,切望指正。

本文得到了蒋慎君、张立公、杨元昭三位高级工程师的指教,引用了蒋慎君高级工程师的部分成果,在此一并致谢!

参考文献

[1]蒋慎君,江苏区域重磁资料的大地深部构造分析,桂林冶金地质学院学报,(1,2)1987

[2]王金星、史秀琴,试论郯——庐“Y”型三叉裂谷,物探与化探,(2)1988

INTERPRETATION OF GRAVITY AND MAGNETIC CHARACTERISTICS OF THE QIXIASHAN Pb—Zn POLY METAL DEPOSIT, NANJING AND DISCUSSION ON ITS GENESIS

Liu Shenheng

(814 Team of the Southeast Bureau of Geology and Nonferro Metal Mineral Resources)

Abstract

This paper presents interpretation of gravity and magnetic anomaly and the geological characteristics of Qixiashan Pb—Zn polymetal deposit on which metallogenic mechanism and the stereo—structural model from Moho interface to the surface of the deposit are proposed. It is a complex deposit dominated by magma hydrothermal fluid.