

南京栖霞山铅锌多金属矿床 地球物理勘查模式

刘 沈 衡

摘 要 根据南京栖霞山铅锌多金属矿床地质、地球物理资料的分析,系统阐述了矿床的成因模式、矿床标志模式、找矿方法技术系列模式。这3种模式构成了南京栖霞山铅锌多金属矿床的地球物理勘查模式。

关键词 成因模式;标志模式;找矿方法技术系列模式;铅锌多金属矿床;栖霞山

GEOPHYSICAL EXPLORATION MODEL OF THE QIXIASHAN LEAD-ZINC POLYMETALLIC DEPOSIT IN NANJING

Liu Shenheng

(Changchun University of Science and Technology, Changchun 130026)

Abstract Based on an analysis of the geological and geophysical data of the Qixiashan lead-zinc polymetallic deposit, this paper systematically describes the genetic model, the indicator model and the ore-prospecting technical serial model of the ore deposit. These three sorts of models make up the geophysical exploration model of the Qixiashan lead-zinc polymetallic deposit in Nanjing.

Key words genetic model; indicator model; ore-prospecting technical model; lead-zinc polymetallic deposit; Qixiashan

自60年代成矿模式问世以来,地质学领域的各学科相继形成模式研究的高潮。时至今日,建立矿床的各种模式已成为找矿科学的重要课题之一。应用地质、地球物理、地球化学等反映的成矿信息进行模式找矿成为发展趋势。

目前的模式研究可分为3类:矿床成因模式、矿床标志模式、找矿方法技术系列模式,勘查模式为其构成的系统模式。成因模式指明矿床形成过程、控矿因素和找矿目标;标志模式实质上是目标的信息特征;找矿方法技术系列模式是发现标志信息的最佳找矿方法。本文从地球物理勘查角度探讨南京栖霞山铅锌多金属矿床地球物理勘查模式。

1 地质概况

矿床位于南京东部，扬子地台下扬子拗陷带东部，宁镇断褶穹西段北缘。自元古代到古生代，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。到晚三叠世，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由西向东似有从基性向中酸性变化的趋势。

矿区出露地层分为上、下2个构造层。下构造层由志留系坟头群(S_{1-2})到二叠系龙潭组(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(J_3)安山岩、白垩系砂岩、页岩(K_1, K_2)、三叠系灰岩、砂页岩(T_{1-2}, T_2, T_3)分布。

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。矿体主要赋存于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、象山群砂岩中。矿床明显受石炭系黄龙组(C_2)的白云岩、白云质灰岩控制，有较明显的层控特征。

矿体呈致密块状大透镜体，脉状体。矿石矿物主要为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿，并伴生大量银、金等有益组分。方铅矿、闪锌矿同位素 $\delta^{31}S$ 测定值分别为-1.72% ~ 0.26%，-0.52% ~ 0.45%。铅同位素测定表明铅元素透过了地幔、造山带、上地壳，在地幔中出现的几率较大，说明铅源与幔源有关；铅源的另一部分来自老地层。绝对年龄一组为1.2亿 a；另一组为5 ~ 6亿 a，表明铅源部分来自早寒武至震旦纪，部分来源于燕山期岩浆热液。矿床氧同位素 $\delta^{18}O$ 值为-0.936% ~ 1.221%，平衡水 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 值为-0.335% ~ 0.707%，按Sheppard分类，成矿热液为岩浆水与天水的混合液。

矿床均一法测温表明成矿温度为170 ~ 275℃，200 ~ 275℃ 几率最大，矿床应属中低温型。等温线反映成矿温度随深度变浅而递减，矿体上盘晕有一定规模并具垂向分带，表明矿床远离热源，成矿热液可能由西向东并垂向迁移。

2 地球物理特征

表1给出该区物性参数，表2给出脉冲瞬变电磁法(TEM)视时间常数 τ_s 与导体性质关系。由表1可知，白垩系和上侏罗系(J_3)的平均密度为 $2.51 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ；侏罗系象山群平均密度为 $2.62 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ；志留系至二叠系平均密度 $2.58 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ；下构造层(三叠纪除外)与象山群平均密度为 $2.60 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ；三叠系平均密度 $2.58 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ；中酸性侵入岩平均密度 $2.69 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。磁性以侏罗系安山岩最强，侵入岩次之，其余均为无一弱磁性。上构造电阻率平均为 $n \times 10^2 \Omega \cdot m$ ，矿体为低阻、高极化体。通过观测TEM的视时间常数，对比表2有可能区分异常体的性质。

表1 栖霞山地区岩石物性参数统计

岩 石 名 称	$\frac{\bar{\sigma}}{10^3 \text{ kg/m}^3}$	$\frac{\bar{\kappa}}{4\pi 10^{-6} \text{ SI}}$	$\frac{\bar{M}_r}{10^{-3} \text{ A/m}}$	构 造 层	$\frac{\bar{\rho}}{\Omega \cdot \text{m}}$
K 砂岩、砾岩	2.51			上构造层	$n \times 10^2$
J ₃ 安山岩	2.50	4.50	608		
J ₃₋₇ ₁₋₂ 砂岩	2.56	9.66	3.56		
J ₂ ₁₋₂ 砂岩	2.66	20.55	0.63		
J ₁ ₁₋₂ 砂岩	2.65	17.59	0.66		
T 砂岩、灰岩	2.58	0	0	下构造层	
P ₁₋₂ 粉砂岩、灰岩	2.61	6.24	2.69		
C ₁₋₃ 灰岩、页岩	2.61	16.64	10.86		
D ₃ 砂页岩	2.66	18.49	2.64		
S ₂₋₃ 粉砂岩	2.44	0	0		
δ o 石英闪长岩	2.67	18.43	149		
δ o μ 石英闪长玢岩	2.70				
矿 体					3.0

注：表中数据为加权平均值

表2 视时间常数(τ_s)与导体电性特征的关系

导体性质	τ _s /μs	备 注
极良导体	> 1 000	金属
良 导 体	200 ~ 1 000	硫化物、石墨
中良导体	100 ~ 200	贫矿、导电粘土、蛇纹岩
不良导体	< 100	火成岩、变质岩、沉积岩、清水

3 地球物理异常解释

区域航磁、重力资料表明，矿区位于南京—六合莫霍面坳中隆区、扬州—芜湖—滁县磁性基底隆起区、南京—泰兴断裂(沿江断裂)、江宁—丹阳断裂、六合—和县断裂、茅山断裂控制的盖层凸起。矿区西侧紫金山为一隐伏岩浆库，深约6.3 km。

栖霞山矿区重磁异常特征(图1)与我国其它大型有色金属矿床不同，二者呈同高正相关，而一般为重磁同低正相关，尤其是磁异常基本为低值异常。究其原因，主要和酸性侵入岩有关，它们一般密度较低，同时，由于岩浆热液对磁性晕壳的消磁作用形成同低正相关特征。宁镇地区77个内生金属矿床都与磁异常相对应，以低值磁异常为主，因此，有人怀疑栖霞山地区不存在侵入岩。但通过分析，笔者认为栖霞山地区确实存在侵入岩，只是侵入岩为中性岩体，而且重磁异常并不同源。

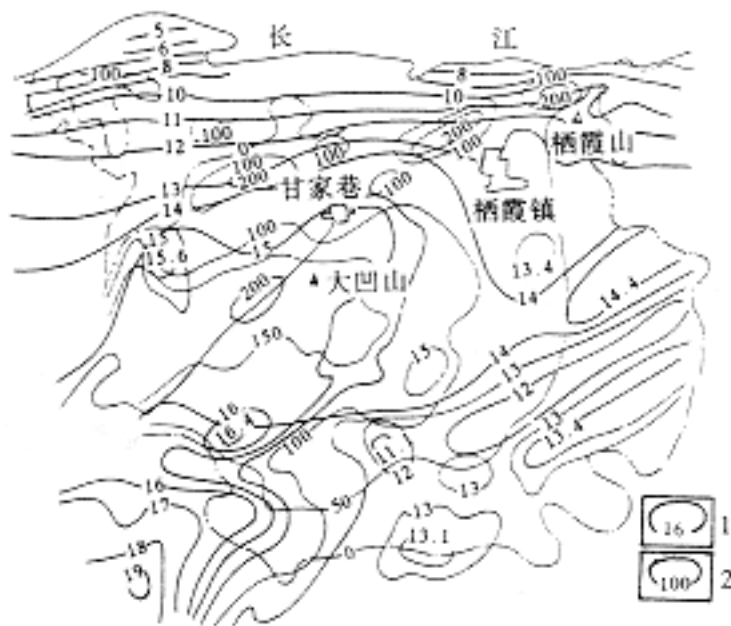


图1 栖霞山地区重磁异常综合平面
1—重力异常；2—磁异常

图1还反映出了重磁异常呈不规则北东向稍拉长的椭圆状，极值分别为 $15 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 、150 nT，南缓北陡，异常分布范围与栖霞山复背斜相吻合。北部串珠状异常和重力梯度带对应南京—泰兴断裂；南部重力梯度带对应仙鹤观—羊山断裂。重力异常值自北向南由低升高再降低，南部幅值高于北部。从穿过异常中心的118线可以明显地看出重磁异常的变化特征(图2)，对应地层分别为白垩纪、侏罗纪和三叠纪。根据前述物性资料，矿区平均密度比其北部和南部分别高出 $0.09 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 和 $0.02 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，利用模型正演，复背斜产生的重力异常与实测异常幅值相当，说明该区的重力异常由栖霞山复背斜引起。

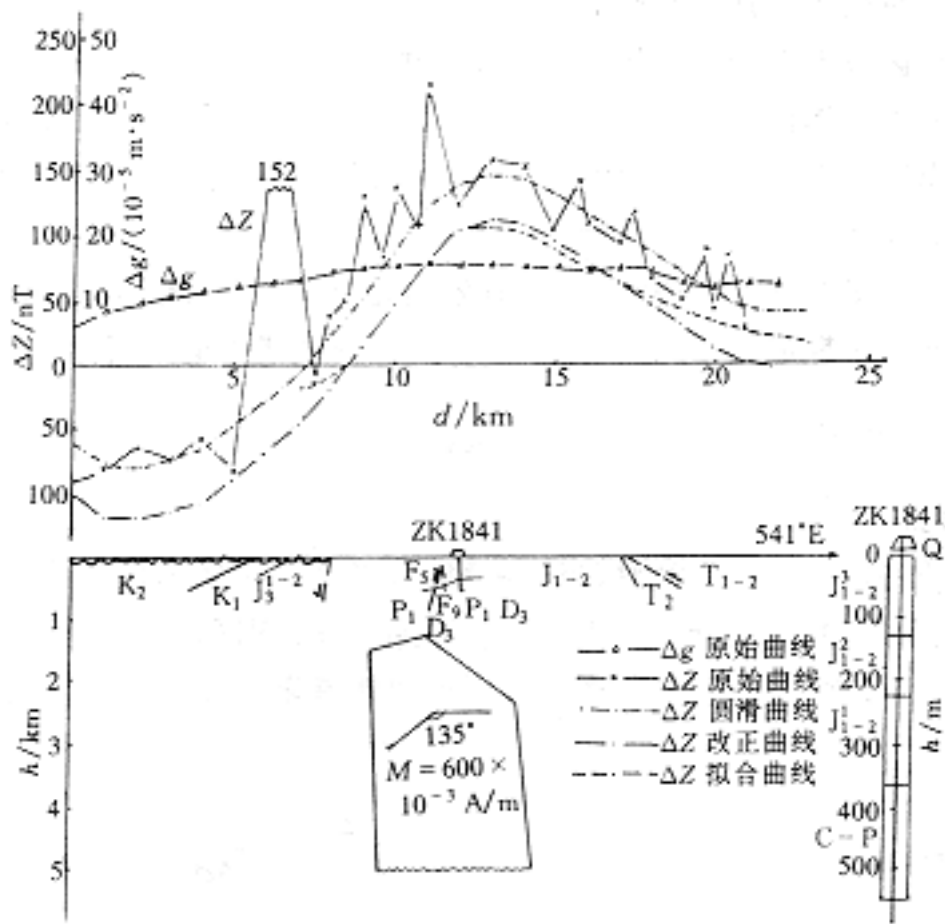


图2 栖霞山地区118测线地质/物探异常解释综合剖面

由于磁异常采用相对测量方法，磁测基点位于矿区内，因此，可能有正常场包含于磁异常中，为此做了位场转换($\Delta Z \rightarrow \Delta H \rightarrow \Delta Z$)，转换前后异常相差40 nT。去掉正常场后，磁异常幅值为110 nT。根据118测线(即150勘探线)地质剖面 and ZK1841资料，设计多层叠加模型分别按表1给出相应层位的物性参数计算沉积岩层磁异常，它仅能引起2~3 nT的异常，即使考虑物性的离散程度，也只能引起不到10 nT的磁异常。因此，认为磁源只能为隐伏岩体。进行拟合计算得出隐伏岩体的埋深约1 200 m，磁化强度 $600 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ ，与中酸性侵入岩磁性相当。笔者认为其埋藏较深是矿床形成的重要热力来源，对矿床的形成有明显的控制作用。如果是酸性岩体，其本身可能会提供更多的成矿金属元素，因其密度较低，重力场值被复背斜的重力效应所压制，因而宏观上仍然保持重力高。这种情况在日本的菱刈金矿就出现过，但此时的磁异常可能为低异常。

由于矿体埋藏较深(即剥蚀较浅)，电阻率、激发极化等常规电法测量在地面无明显的异常显示。直流电测深纵向布极时(平行于纵向断裂)尾支呈K型，横向布极尾支上升，说明由纵向控矿断裂构造引起。R.Schulz在德国Passau地区电测深研究与本区很相似，电测深解释必须用二维方法。尾支呈K型曲线是容矿构造的标志。

脉冲瞬变电磁法(TEM)在已知矿体上方(2~5号点)14道以后(11.8 ms)显示局部异常(图3)，相对背景出现低阻响应，视时间常数高出背景一个数量级，为明显的低阻响应，且其出现的位置和范围与已知矿体相近，故推测为矿致异常标志。

图4是ZK1667井中TEM异常。在408 m处有1个范围大、幅值高的负异常，视时间常

数为420 μs ，为良导体。井中激电(IP)、自电(SP)测量也有明显的异常。验证ZK1668在与F₄平行的下构造层栖霞灰岩中有5 m厚的块状黄铁矿。虽然矿种不同，但电性相当(约3 $\Omega\cdot\text{m}$)，因此，推测铅锌矿体异常也应具有相似的特征。

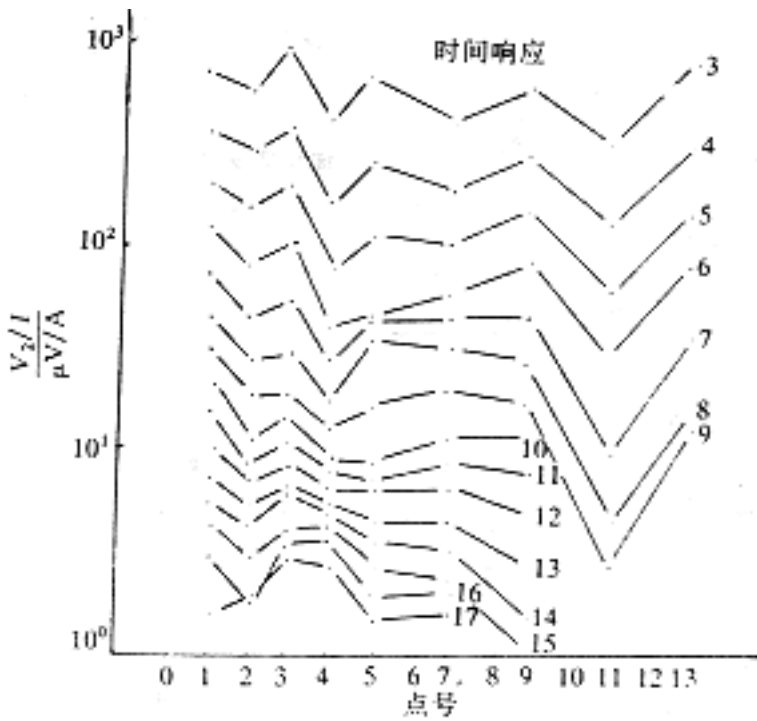


图3 150线TEM剖面(据蒋慎君资料)

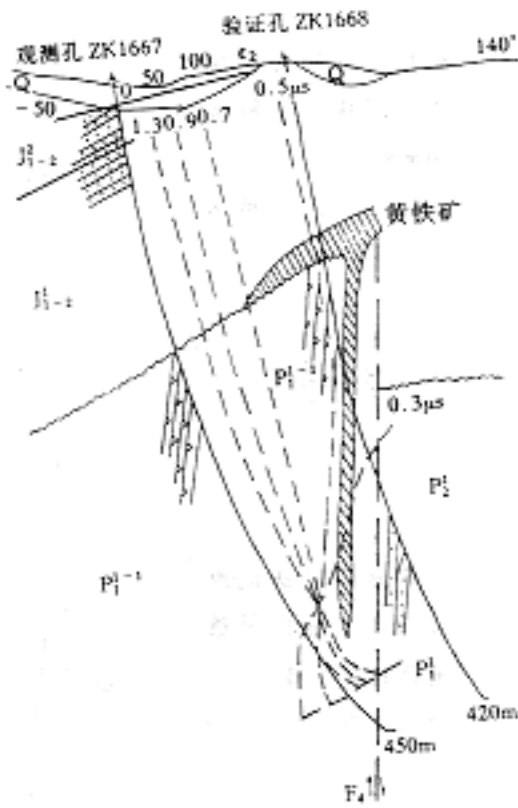


图4 ZK1667地质剖面(据蒋慎君资料)

在矿区，侏罗系底部的密度相对外围同层岩石密度稍有增加。放射性元素铀含量较高，一方面有化学扩散、迁移等因素，另一方面可能有放射性元素衰变的因素，铅锌异常和铀异常似乎有一定的联系，而铜、钼异常从属性来看更多地和酸性侵入岩等有关，和放射性元素钾关系更为密切。宁镇地区放射性测量结果表明了这样的关系。

江苏省数个内生金属矿床基本上都有低阻、高极化异常出现，如宁镇地区的铜山、猴子石等。如果该矿床剥蚀程度深，其电性特征也会出现低阻、高极化异常。临界深度可用模型正演结合观测精度确定的异常下限值来确定。

本区还进行过许多化探方法测量，比较有效的是气测(Hg , H_2S)、卤素等，在此不再多述。根据化探方法中元素的探途作用，在找矿方法技术系列模式中适当安排。

4 地球物理勘查模式

4.1 矿床成因模式

根据矿床地质特征，结合上述物探资料解释，笔者认为宁镇地区基底形成以后，上地幔局部活化，产生地壳断裂，断块上升。中生代地台开始活化，随区域构造运动产生深大断裂。在沿江断裂挤压作用下，地壳加速破裂，产生负压致使地幔隆升，磁性基底和盖层同步隆升，同时伴随大规模岩浆侵入。岩浆通过沿江断裂在所处的沉积盖层中属半封闭条件，在6.3 km深处形成紫金山岩浆库。由于该区处于合肥—荐子岛(朝鲜)热流上涌区东南侧，热流自西北向东南方向涌，加之地球自身由西向东自旋产生同向惯性力，一部分岩浆脱离紫金山岩浆库，自西向东迁移，并逐渐变为中性。随着迁移距离的增加，温度渐渐降低，在岩浆完全固结以前，岩浆结晶、分异物中富含氟、氯，岩浆熔蚀震旦系嘉山组(千枚岩，铅的质量分数达 202×10^{-6} ；锌的质量分数达 283×10^{-6})、高桥组(含砾绢云母千枚岩，银的质量分数达 1.15×10^{-6})的高矿化度热液在自身温度、压力驱动下继续上浮，并与渗流至地下淋滤了矿原层(嘉山组、高桥组)而富含铅、锌、银的卤水相汇合形成以岩浆热液为主体的混合矿热液，进入 F_2 等纵向断裂和不整合面，在合适的层位，主要是石炭系下统—二叠系下统(特别是黄龙组白云岩、白云质灰岩)中，结晶、沉淀、富集成矿，形成以岩浆热液为主的复式层控矿床。

4.2 矿床标志模式

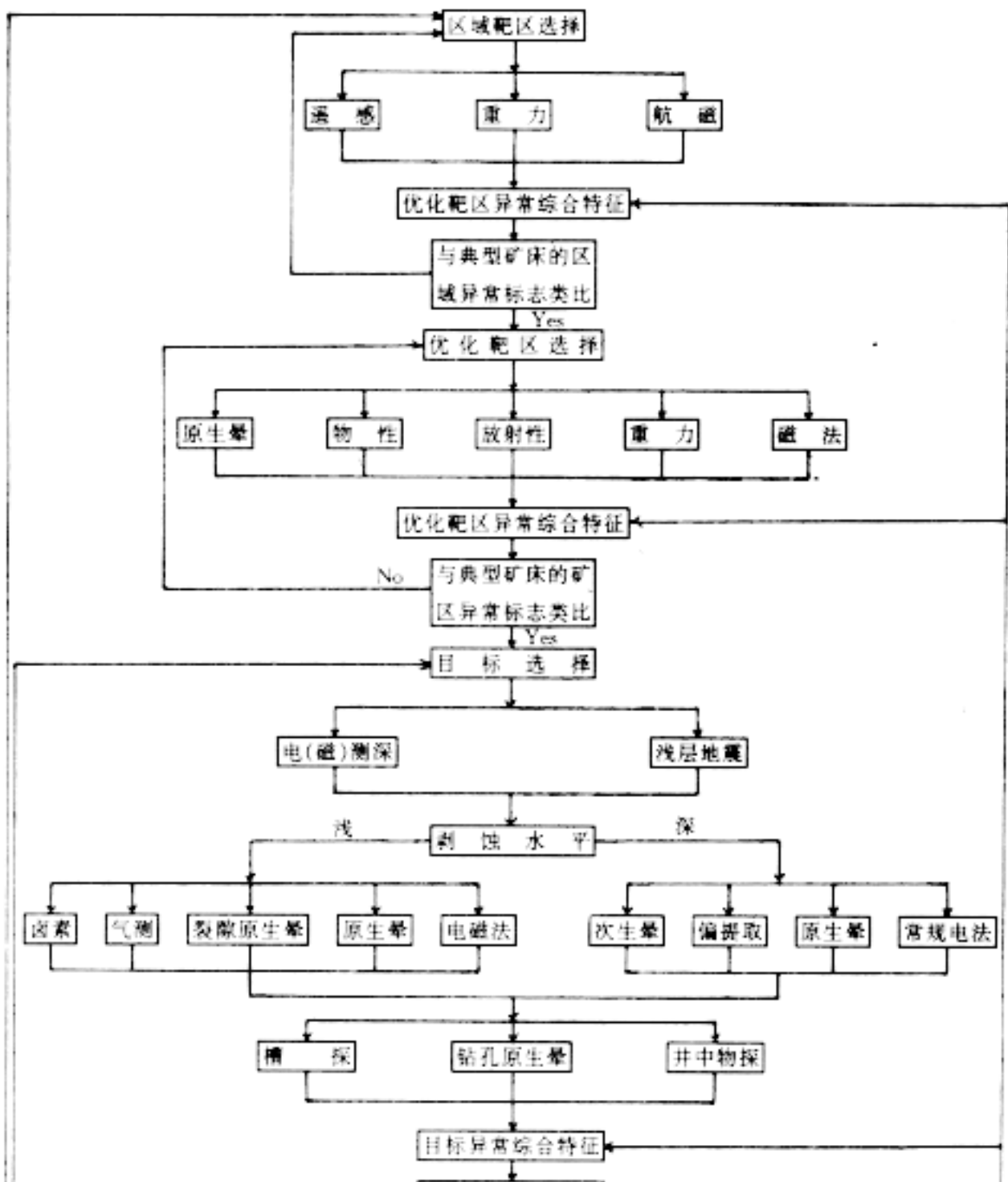
根据矿床成因模式中所述的控矿条件以及地球物理异常特征，建立矿床标志模式，其目的在于寻找类似矿床时有可类比的依据(图5)。由于构造环境、地质背景及所用的方法不可能完全一致，在类比时，必须先分析在地质、构造、成因方面是否有类似特征，然后重点类比主要标志，以便选定找矿方法。伴生标志作为主要标志的补充，可以提高见矿率。

区域地质特征	主要标志	伴生标志
莫霍面、磁性基底沉积盖层隆起有岩浆库 类比范围大,一般 $n \times 10^2 \sim n \times 10^3 \text{ km}^2$		遥感有环形构造特征
矿区地质特征	主要标志	伴生标志
海相碳酸盐岩石构成背斜构造有隐伏中酸性岩体 类比范围中,一般 $n \times 10 \sim n \times 10^2 \text{ km}^2$		铀异常发育,某些层位物性变异
矿体地质特征	主要标志	伴生标志
矿体赋存在纵向断裂和印支面内呈透镜体似层状体 类比范围中,一般 $n \sim n \times 10 \text{ km}^2$		a—a 剥蚀深度 地震反射波表明基岩内有断层破碎带和不整合面 电测深纵向布极 K 型 b—b 剥蚀深度 与铅锌金属量异常密切相关的铀异常

图5 栖霞山铅锌多金属矿床地球物理异常标志模式

4.3 找矿方法技术系列模式

根据矿床标志模式建立相应的找矿方法技术系列模式(图6)。找矿预测时,首先分析区域重、磁、遥感资料,找出类似图6中区域异常特征地区;在该区内进行优化靶区(相当于矿区)预测,找出类似图6中矿区异常特征的地区;对这些靶区进行目标(相当于矿床、矿体)预测,找出类似图6矿床(体)异常特征的地段,进行验证。验证后,进一步完善各类标志,以利于新区的找矿预测。找矿预测时,应抓住主要标志的类比,但切忌对上述3个环节有所偏重和忽视,作为成矿专属性性和成矿系统,它们具有同样的重要性。



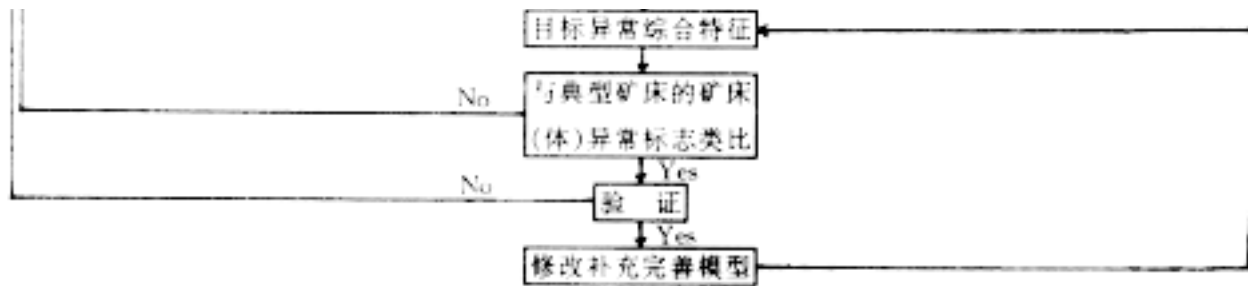


图6 栖霞山铅锌多金属矿床找矿方法技术系列模式

5 结论

建立矿床地球物理勘查模式是一项复杂的、综合的、最优化工作，既要全面分析各种地质、地球物理信息，又要善于精练各种信息，使主要标志信息化、特征化。根据上述分析，建立矿床地球物理勘查模式应注意以下几方面。

1. 应从宏观地质成矿规律和专属性角度入手，切实做好成矿背景分析。
2. 以典型矿床的成因模式为基础，分析各种地球物理信息和矿床控制因素的对应关系，在突出单一标志信息的基础上，作好各标志信息的组合式标志信息的建立。
3. 以发现单一和组合式标志信息为目的，合理安排地球物理勘探方法。
4. 应加强矿床地质—物性关系的研究，通过地质—物性关系的有机结合，可以达到分析不同剥蚀深度的地球物理信息，指导建立组合模式，也可对不断出现的新方法、新技术的应用提供可行性说明。
5. 利用矿床地球物理勘查模式预测找矿，特别要注意剥蚀情况的分析，类比必须在同一剥蚀水平上。

本文引用了蒋慎君高级工程师的部分资料，汪忠慧清绘了本文图件，长春科技大学申宁华教授审阅了本文，并提出宝贵意见，特表谢意。

作者简介 刘沈衡，男，1962年8月生于沈阳市。1984年毕业于桂林冶金地质学院物探系。后来在长春科技大学攻读博士学位，高级工程师，江苏省“333跨世纪学术、技术带头人培养工程”的培养对象。现任华东有色地质勘查局814队总工程师，主要从事物化探研究、生产、管理工作，已发表论文、译文20篇。

作者单位：刘 沈 衡 (长春科技大学，长春 130026)

参 考 文 献

- [1] 孙文珂.有关地质—地球物理—地球化学模型的几个技术问题.物探与化探, 1988, (5)
- [2] 朱裕生.论矿床成矿模式.地质论评, 1993, (3)
- [3] 刘沈衡, 蒋慎君.建立找矿方法技术系列模式的若干问题探讨.华东矿产地质, 1990, (2)
- [4] 刘沈衡.南京栖霞山铅锌多金属矿床重磁异常及矿床成因解释.地质找矿论丛, 1991, (1)

[5] Rohulz R , 等著.刘沈衡译.二维构造电阻率测量解释.地球物理学进展 ,
1990 , (2)

1997年9月1日收稿 , 次年1月23日收修收稿。