

高精度重磁勘探在推覆体下找煤中的应用

袁照令 沈 博 李大明 毛小平 曲 赞 吴蓉元

摘 要 应用高精度重磁勘探方法解决在推覆体下找煤问题。利用磁异常研究辉绿岩体的赋存状态,肯定了推覆体的存在;根据重力异常及数据处理结果研究推覆体下煤系地层的分布,指出太山—许台重力低带是测区内找煤最为有利的靶区。高精度重磁勘探是推覆体下寻找煤系地层前期勘探的有效手段之一。

关键词 重磁勘探;推覆体;煤系地层

THE APPLICATION OF HIGH RESOLUTION GRAVITY AND MAGNETIC SURVEY IN COAL EXPLORATION UNDER NAPPE

Yuan Zhaolint, Shen Bo, Li Daming, Mao Xiaoping, Qu Zhan, Wu Rongyuan
(China University of Geosciences, Wuhan 430047)

Abstract The high resolution gravity and magnetic survey was used to solve the problems in coal exploration under nappe. The existent state of diabase was studied with magnetic anomalies, and the existence of nappe was confirmed. The distribution of coal series strata under napper was studied according to the gravity anomalies and thier data processing results, and it was pointed out that the best potential target area for coal exploration was the Taihang-Xutai gravity low zone. The high resolution gravity and magnetic survey is one of the effective means in early-stage exploration to look for coal series strata under nappe.

Key words gravity and magnetic survey; nappe; coal series strata

应用高精度重磁勘探查找推覆体下的煤系地层是一项带有探索性的勘探工程。工作地区位于徐州市铜山县境内,测区面积150 km²。地质资料和岩石物性资料指出,工作区内辉绿岩体具有较强的磁性,并且仅限于在震旦系地层中侵入;区内缺失第三系和中生界地层,低密度的石炭—二叠系地层直接覆盖在奥陶系地层之上。根据磁异常特征研究辉绿岩体的分布及赋存状态,肯定了由震旦系地层构成的推覆体的存在,确定了推覆体的下界深度;根据重力异常特征进行分区,重点研究低值异常带,确定了煤系地层的下界。重、磁2种勘探方法密切配合,充分发挥各自的优势,较好地解决了推覆体下找煤的地质问题。

1 地质概况和物性

徐州东部地区的基底地层由太古界泰山群山草峪组组成,盖层由上元古界、古生界及中、新生界地层组成。盖层中,上元古界和下古生界地层发育较完整,分布广泛,厚度较大。上古生界的石炭—二叠系地层是本地区的含煤地层,与下伏地层呈平行不整合

接触。测区内有辉绿岩脉产出，已有地质资料指出，辉绿岩为晚元古代侵入形成，其分布严格限于震旦系地层之中，在下寒武统及以上地层中尚未发现其存在。徐州地区基底构造线为近东西向，盖层属稳定的地台沉积，徐(州)宿(州)大型弧形构造在平面上向北西方向凸出，形成了本区的基本构造格架。徐宿弧形构造是一个大型滑脱构造体系，它在横向上具有明显的分带性，自西往东可分为西部前缘挤压带、中部拗褶带和东部拉张带，中部拗褶带的核部是本地区最主要的储煤场所，重磁勘探测区就位于该带的东部。中部拗褶带的东侧有倾向南东、地层由南东向北西滑移的缓角断层，也有倾向北西的走向高角度正断层，前者经风化剥蚀后，飞来峰、构造窗成群出现，故推断为一自南东向北西滑移的、由震旦系地层组成的大型推覆体，构造窗已显示下覆有下古生界寒武、奥陶系地层。该推覆体是否存在、下覆的上古生界煤系地层是否存在及其可能的赋存形态，是高精度重磁勘探所要解决的主要地质问题。

工作中广泛收集有关的岩石密度资料，测定了测区附近下古生界和上古生界地层岩石密度及钻孔岩芯的密度。综合收集和实测的岩石密度资料，可得各时代地层及各密度层的平均密度值(表1)。由表1可见，第二、三密度层间的密度差为0.16 g/cm³，在本区具有利用重力勘探解决推覆体下寻找低密度石炭—二叠系地层的地球物理条件。

表1 岩石密度(单位：g/cm³)

密度层	地层		江苏物探队	南京大学	徐州矿务局	地质大学	均密度	使用密度
1	Q+N		2.00	2.10			2.05	2.00
2	P	石千峰组		2.53	2.490		2.51	2.51
		上石盒子组		2.50	2.492	2.530	2.51	
		下石盒子组		2.51				
	C	山西组	2.51	2.50	2.568		2.51	
		太原组		2.47	2.524			
		本溪组		2.58			2.58	
3	O		2.70	2.67	2.738	2.652	2.69	2.67
	Є		2.70	2.63		2.612	2.65	
	Z		2.70	2.69		2.593	2.66	

在测区及其周围测定了各地层岩石的磁性。测定统计结果显示, 辉绿岩的磁性最强($\bar{K}=1\,582\cdot 4\pi\cdot 10^{-6}\text{ SI}$), 寒武系馒头组地层磁性稍强($\bar{K}=(30\sim 300)\times 4\pi\cdot 10^{-6}\text{ SI}$), 其余各沉积地层的磁性都很弱。考虑到辉绿岩体仅严格限于在震旦系地层中侵入, 故在本区利用磁力勘探研究辉绿岩体的分布及赋存状态, 以确定推覆体的存在及厚度具有良好的地球物理前提。

2 重磁异常特征

重磁测量的比例尺为1:5万, 测线距500 m, 重力点距250 m, 磁力点距100 m。重力异常总精度为 $\pm 23.5\times 10^{-8}\text{ m/s}^2$, 在国内外同类工作中属先进水平; 磁力测量精度为 $\pm 0.44\text{ nT}$, 达到特高级磁测精度。高精度重磁测量结果为解决地质问题奠定了坚实的基础。

测区内布格重力异常总体上呈近东西走向(图1), 重力低(带)和重力高(带)表现为相间分布, 自北往南依次是赵台重力低、塔山—马山重力高带、太山—许台重力低带和祁家庙重力高。其中, 塔山—马山重力高带有3个局部高点, 中心分别位于塔山附近、邵庄附近和马山附近; 该重力高带的中部, 在小刘庄—彭楼一线有近南北向的异常鞍部, 马山重力高相对邵庄重力高往北错移了约2.5 km。太山—许台重力低带中心位于太山附近, 往西异常缓慢增大, 在许台附近形成次级重力低。

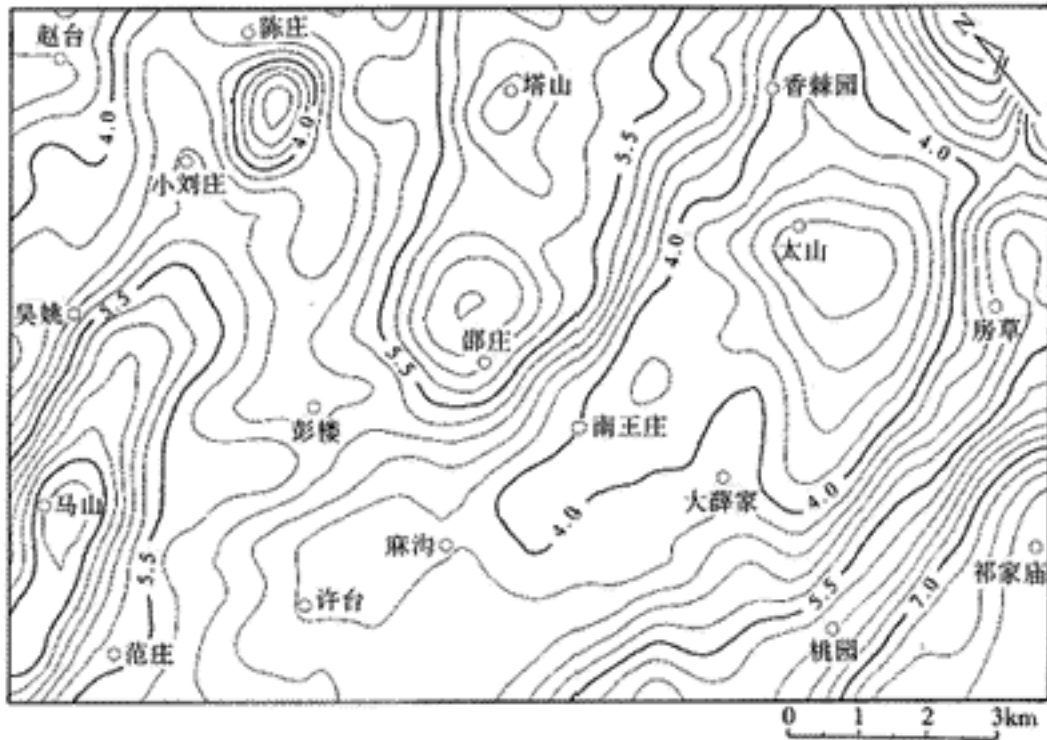


图1 徐州东部塔山工区布格重力异常(单位： 10^{-5} m/s^2)

由图2可见，测区内局部磁异常丰富，多数呈带状或串珠状展布，正负伴生关系明确。主要的异常带有：北东东走向的房草—桃园异常带、北东走向的香棘园—大薛家异常带、北北东走向的塔山—南王庄异常带、近东西走向的邵庄—范庄异常带。磁异常表现为带状或串珠状分布，是沿断裂带侵入岩体的磁异常典型特征，这为利用磁力勘探方法研究推覆构造提供了有利的条件。

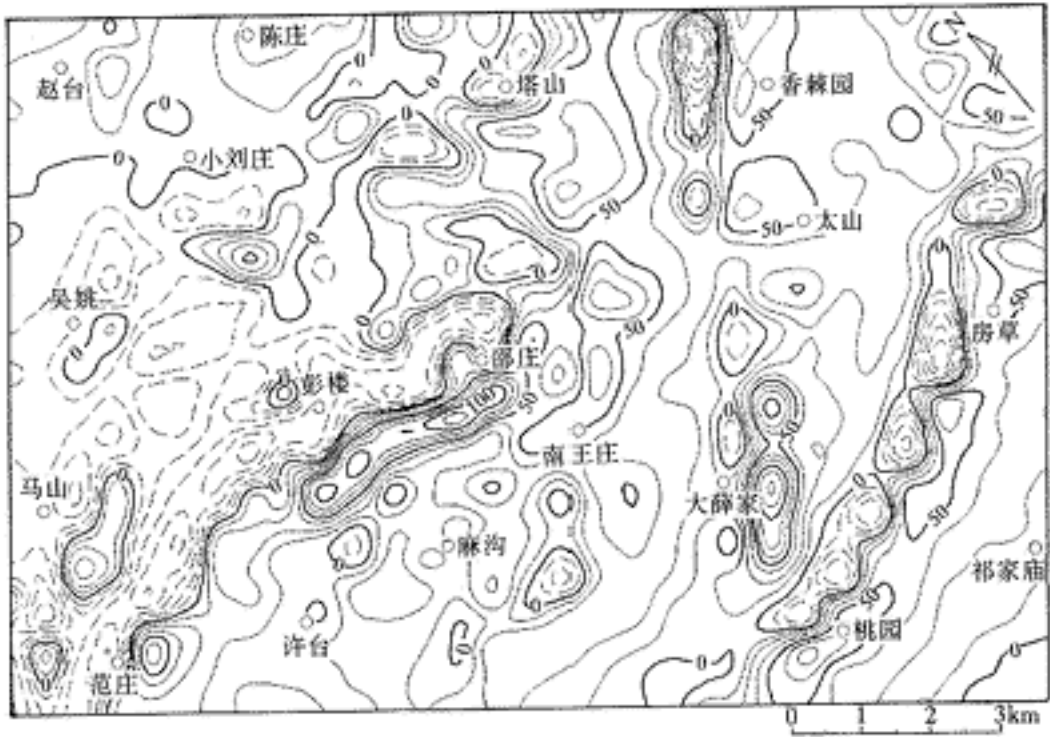


图2 徐州东部塔山工区 ΔT 磁异常(单位：nT)

3 重磁异常解释推断

3.1 推覆体底界面的推断

地质资料指出，测区内呈脉状产出的辉绿岩广泛分布，并严格限于震旦系地层之中，下寒武系及其以上地层中尚未发现有辉绿岩侵入。从岩石磁性测定结果看，震旦系以上地层属弱磁性，它们不足以引起区内这样明显的磁异常；辉绿岩具有较强磁性，可以引起强度较大的磁异常。从区内磁异常特征看，它们一般表现为强度、梯度较大，形态较规整，呈带状或串珠状在某一方向上拉长，这些都是较为典型的侵入岩体(脉)的磁异常特征。可以认为，区内局部磁异常为辉绿岩体所引起。

测区内辉绿岩体的存在肯定了由震旦系地层组成的推覆体的存在，辉绿岩体的下界间接地反映了推覆体的下界(煤系地层顶界)，这是磁力勘探解决主要地质问题的基本思路。

根据磁异常确定磁性地质体下界深度难度较大，这是由于磁性体下界面埋藏深度相对较大，它对磁异常的贡献远小于顶面，还因为实测磁异常中不可避免地会有干扰因素存在，因此利用磁异常反演出的磁性地质体下界面往往精度较低。

计算辉绿岩体的下界深度, 使用了比值圆交汇法和最优化选择法^[1]。比值圆交汇法的优点是反演时可以不考虑磁性体磁化强度的大小及方向, 但是它要求磁异常孤立、明显、形态较完整和沿走向方向长度较大, 如果这些条件得不到满足将导致反演精度降低。使用比值圆交汇法, 其计算点的多少与分布受局部磁异常的数量和分布的限制。基于上述情况可以认为, 比值圆交汇法的计算结果可以给出测区内辉绿岩体下界深度的宏观概念, 但其精度较低。利用最优化选择法反演辉绿岩体底界时, 特别注意了异常资料选择、磁化强度取值和模型体初始参数取值、约束等。反演时未使用实测的 ΔT 异常及化到地磁极的结果, 原因是为了避免由于正常场选择不准造成的误差。例如, 若正常场选择偏高, 则会导致正异常强度偏小而负异常强度偏大, 造成反演出的辉绿岩体上界面偏深而下界面偏浅, 反之亦反。因为辉绿岩体只是引起局部磁异常, 所以反演时采用了剩余异常(ΔT 化极减去化极后上延2 000 m结果)。多次反演试算结果表明, 模型体磁化强度取值合适与否是影响反演精度的主要因素。对测区内辉绿岩体只测定了磁化率值, 为确定磁化强度, 还参考了其它地区辉绿岩体磁性资料($\bar{k}=1\,570\cdot 4\pi\cdot 10^{-6}\text{ SI}$, $\bar{M}_r=538\cdot 10^{-3}\text{ A/m}$, $\bar{Q}=\bar{M}_r/\bar{M}_i=0.67$), 并且假设剩余磁化强度(M_r)和感应磁化强度(M_i)的方向一致。最优化选择法反演时, 将测区内磁性地质体划分为150个模型体(每平方公里1个), 拟合异常点150个; 在给定模型体初始参数(如上顶、下底深度及约束值等)时, 主要参考了比值圆交汇法的计算结果和异常特征; 计算时迭代25次, 迭代过程中目标函数收敛稳定。最优化选择法反演出的辉绿岩体下界深度见图3。

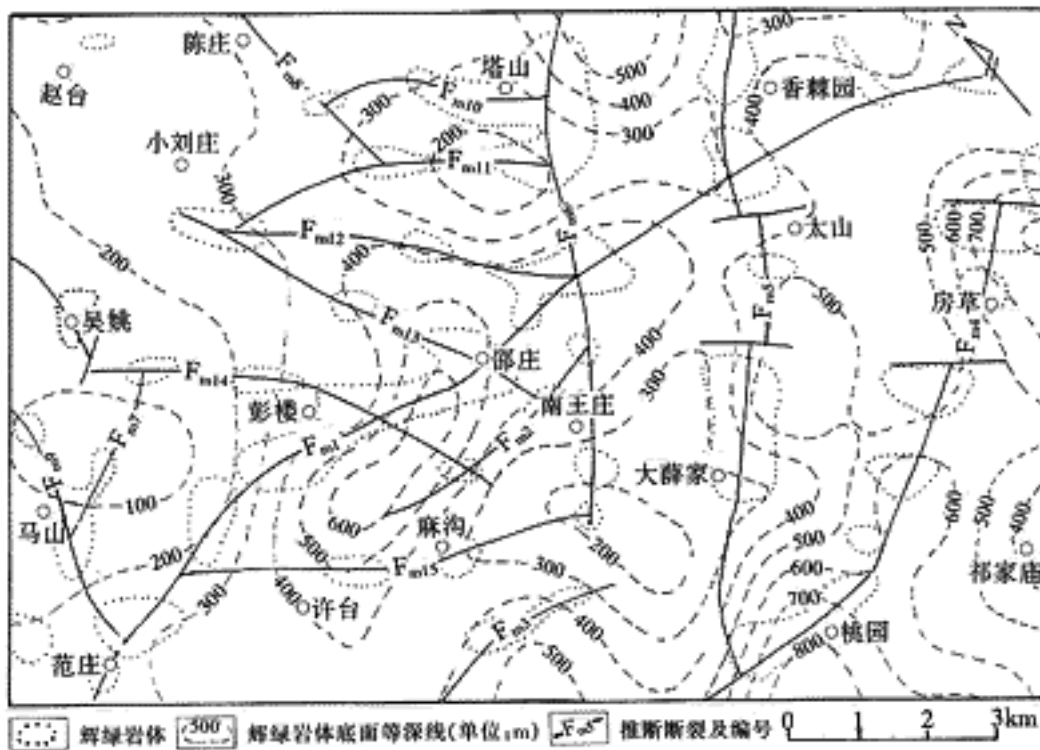


图3 徐州东部塔山工区磁力异常解释成果(单位:nT)

3.2 煤系地层底界面的推断

已有地质资料指出,测区内没有上、下第三系和中生界低密度地层赋存,推覆体下是沉积于奥陶系之上的石炭—二叠系煤系地层。相对奥陶系、寒武系和震旦系地层来说,石炭—二叠系地层具有明显的低密度特征,因此寻找煤系地层自然要把注意力放在研究重力异常低值带上,而确定煤系地层的下界面则是重力异常解释的重点。

使用R.L.Parker方法^[2]反演煤系地层底界面深度,计算中特别注意了异常的划分、界面的密度差值和平均深度的选取。重力异常是多种地质因素的综合反映,从中分离出主要研究对象引起的异常成份是对异常划分的目的,反演煤系地层底界面时使用了匹配滤波^[3]的处理结果。布格重力异常的对数振幅谱曲线明显分成斜率不同的2段,其中斜率小的是局部重力异常的谱,据此提取出的局部重力异常和 ΔT 化到地磁极后二阶垂向导数异常对应较好,表明是由埋藏深度不大的辉绿岩体引起的;斜率大的反映区域重力场。将由此分离出的区域重力场再一次计算对数振幅谱,它也是由斜率不同的2段构成的,斜率较小的一段反映中深源重力场,斜率较大的一段反映深源重力场。把提取出的深源重力场和重力异常向上延拓1 000 m的结果对比,发现两者的形态和幅度十分接近,可见它反映了区域重力背景;将中深源重力异常和上延1 000 m剩余重力异常对比,发现两者大致相似,但后者的局部异常在前者已不明显,说明匹配滤波方法分离重力异常的效果比上延剩余异常方法要好。中深源重力异常可能主要反映奥陶系顶面。根据表1中给出的结果,界面反演时奥陶系和煤系地层的密度差取 0.16 g/cm^3 。重力异常解释的归一化总梯度法^[4]对寻找低密度体比较有效,在条件有利的情况下可以确定低密度体的中心深度。对通过太山的剖面重力异常进行归一化总梯度的计算,发现在太山南东1.5 km附近部位上出现低值区,低值圈闭中心深度约1 000 m。综合考虑全区情况,反演时界面平均深度取1 000 m。密度界面反演结果见图4。由图4可见,分布范围大的奥陶系顶面凹陷带和太山—许台重力低带的展布位置相对应,该凹陷带有3个凹陷中心,分别位于太山(南)、麻沟(东)和许台(北西),以太山(南)凹陷最深,可达1.3 km。在图3中,和上述凹陷带对应位置的辉绿岩体底界面深度一般不太大,估计凹陷带内煤系地层的厚度可达500 m左右。

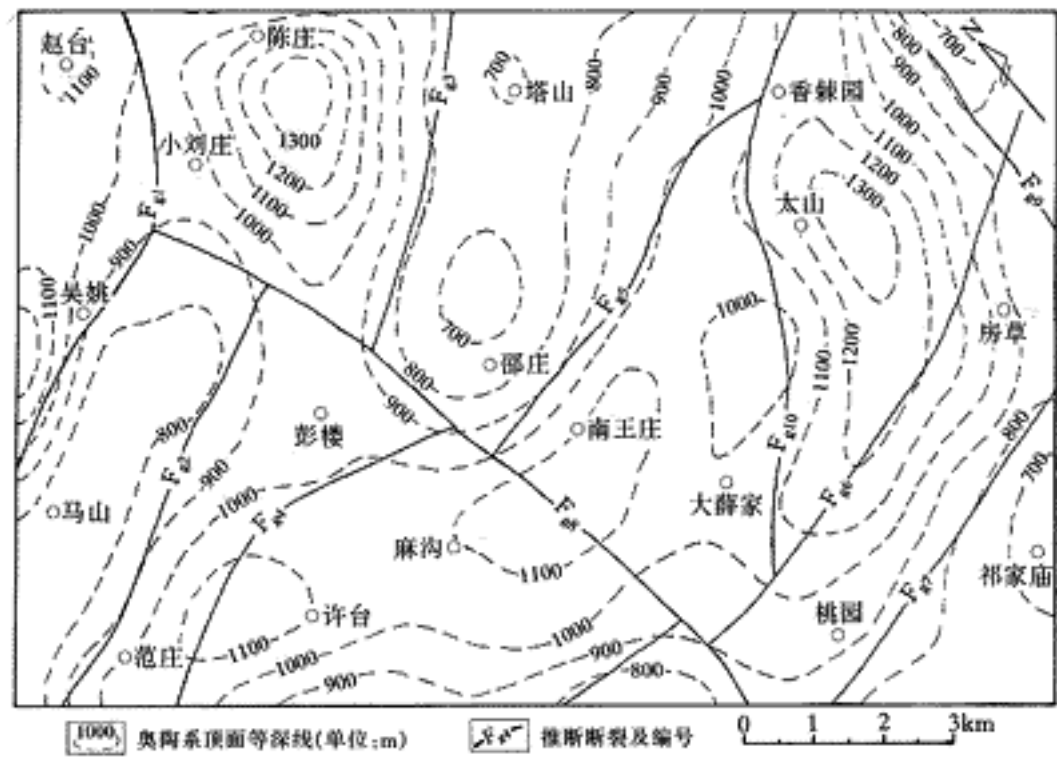


图4 徐州东部塔山工区重力异常解释成果(单位： $10^{-5}\text{m}/\text{s}^2$)

3.3 断裂和岩体分布的推断

根据磁异常推断的断裂和岩体分布见图3。断裂推断的依据是：在断裂(带)形成之后，由于岩浆活动侵入、充填到断裂(带)之中，沿着断裂(带)就会有岩浆岩体(脉)分布；岩浆岩与沉积岩之间存在着明显的磁性差异，岩浆岩体(脉)便产生明显的磁异常，磁异常沿着断裂(带)呈连续或断续展布，形成高值异常带或串珠状异常带；可以根据高值异常带或串珠状异常的连线确定断裂(带)的位置及走向，还可根据异常带在平面上的错动来确定后期的断裂。显然，依据辉绿岩侵入体引起的磁异常推断的断裂，是在推覆运动以前形成、分布在震旦系地层中的断裂。在图3示出的推断断裂中，以 F_{m1} 走向长度为最大，它呈近东西向横贯全区； F_{m6} 两侧磁异常的形态及走向特点明显不同；从展布情况看， F_{m4} ， F_{m5} ， F_{m6} ， F_{m13} ， F_{m14} ， F_{m15} 表现为自南往北东、北、北西方向撒开；在测区中部及东、西两侧的塔山、邵庄、范庄一带，不同走向的断裂交汇，形成了这一地带辉绿岩体密集分布并且规模较大。

由磁力勘探的理论可知， ΔT 化到地磁极后的二阶垂向导数异常和磁性体的边界有密切关系，利用它的零值线可以确定磁性体的位置及边界。采用这种方法圈定的辉绿岩体的平面分布见图3。在有岩体分布的地方，岩体的下界面深度基本上反映了由震旦系地层构成的推覆体的垂向厚度。测区内局部磁异常(或推断辉绿岩体)的平面分布，中部、南部较密集且规模较大，而北部则稀疏且规模较小，推断出的辉绿岩体的下界面深度，在测区南部较大而北部较小，表明测区北部的小岩体可能是经风化后形成的飞来峰中残留的岩体。结合考虑区域地质资料，推覆运动的方向大致应是自南(或南东)往北(或北西)，推覆体的北部边界可能在陈庄—吴姚一线附近。

这些用重力异常推断的断裂(见图4)应当是推覆运动及以后形成的，推断的依据

是：重力异常的梯级带、重力场特征的分界线、重力异常等值线的同形扭曲带和铅垂二阶导数图上相邻的正负异常串间的零值线。图中的 F_{g4} 和 F_{g5} 可能是同一条断裂，它们在重力异常图上既是重力梯级带，又是特征不同的异常分区界线；该断裂以北是塔山—马山重力高带，以南是太山—许台重力低带，是推覆体下煤系地层分布的北部边界。 F_{g6} 在重力异常图上表现为梯级带，在铅垂二阶导数图上为正负异常串的分界，是太山—许台重力低带与祁家庙重力高的分界线、推覆体下煤系地层分布的南部边界。

4 结束语

高精度重磁勘探工作肯定了测区内推覆体及推覆体下煤系地层的存在；磁力勘探通过反演辉绿岩体的下界面，间接地研究了由震旦系地层组成的推覆体的底界，进而得到了煤系地层的顶面深度及起伏形态；重力勘探通过分场得到了中深源重力异常，并由它反演出煤系地层的底界(奥陶系地层顶面)深度及起伏形态。重、磁勘探方法密切配合，较好地解决了推覆体下寻找煤系地层的地质问题，指出了太山—许台重力低带是工区内进一步勘探的最为有利的靶区。在太山—许台重力低带上，后期进行的钻探工作证实了高精度重磁勘探的应用效果。

作者简介：袁照令，男，1945年6月生，河南太康人。1970年毕业于原北京地质学院勘探地球物理系。现任中国地质大学(武汉)应用地球物理系副教授。长期从事重磁勘探的教学和科研工作，主持完成高精度重磁勘探项目10余个，获3项原地质矿产部科技进步奖，发表学术论文20余篇。

作者单位：中国地质大学，武汉 430074

参考文献

- 1 成都地质学院，武汉地质学院，河北地质学院，合肥工业大学.应用地球物理学——磁法教程.北京：地质出版社，1980
- 2 冯锐.三维位场的快速反演方法及程序设计.地质学报，1986(4)
- 3 王家林，王一新，万明浩.石油重磁解释.北京：石油工业出版社，1991
- 4 肖一鸣.重力归一化总梯度法.石油地球物理勘探，1981(6)

收稿日期：1998-10-29，改稿日期：1999-01-14