

地质与矿产

## 山东省铁矿位置与航磁异常关系的数据统计分析

王玉敏,张超

(山东省物化探勘查院,山东 济南 250013)

**摘要:**山东省783处航磁异常,157处为铁矿异常,分析已知铁矿点在航磁化极图上磁场值,矿点所处磁异常的峰值、谷值,矿点距离波峰距离和矿点距离波谷距离,并分析不同铁矿成矿类型下这些数据的统计规律。

**关键词:**航磁异常;磁性矿床;统计分析;山东省

**中图分类号:**P631.2;P618.31

**文献标识码:**A

山东省783处航磁异常,有些异常是矿致异常,有些异常是非矿致异常,还有一些原因不明的航磁异常;异常能否成矿,成矿的异常存在哪些必然的因素,有异常而没有形成矿是确实没有矿,还是没有找到矿,这些都值得深入分析研究。已知山东省157处铁矿体在航磁化极图上展布位置,这些矿点出露在地球物理场上,既不在波峰位置,也不在波谷位置,大部分处在波峰到波谷的过渡带上,其产出位置与异常幅值是否存在统计规律性,以期对全省的铁矿勘查起到指导作用。

## 1 航磁异常查证程度

### 1.1 航磁资料综合研究程度

山东省航磁测量工作始于1958年,直到现在仍不断有新的航磁工作成果问世<sup>①</sup>。

1959—1977年,山东省物化探大队、冶金物探队及相关单位逐年分片进行了中部、东部、沂沭河流域、鲁西南、烟台—潍坊、鲁西等地区的航磁异常检查,1978—1981年山东省物化探大队对全省航磁异常查证工作进行了总结。

1982—1983年,山东省物化探大队又在1:20万航磁编图基础上,编制出版了山东省1:50万 $\Delta T$ 等值线平面图和剖面平面图。

1995—1997年,山东省物化探勘查院全面收集

了1995年以前的重、磁资料,在“三优先”原则(有新不用旧、有大比例尺不用小比例尺、有高精度不用低精度)下重新编制出版了山东省1:50万航磁 $\Delta T$ 平面图。该次编图以全国1:100万航磁图的磁场水平为基础,进行了二次多项式磁场的调平和接边区的数值圆滑,较精确地统一了全省的磁场水平。此次编图基本保留了1:20万航磁图信息,并编写了成果报告。对山东省的地壳结构、深大断裂、隐伏岩体(岩基)的空间赋存状态、中生代盆地的沉积建造及构造单元划分等重大地质问题都做了较深入的探讨,获得了一些新认识。

### 1.2 航磁异常查证程度

通过收集1959—1996年之间的航磁异常查证报告,收集到山东省航磁异常为783处,其中甲类异常80处,乙类异常102处,丙类异常354处,丁类异常247处<sup>[1]</sup>。

其中:①甲类为见矿异常,分为2个亚类:甲<sub>1</sub>类是发现了矿或扩大了已知矿储量的异常;甲<sub>2</sub>类是反映了已知矿床,在矿床发现和评价中未起过显著作用的异常。②乙类为对找矿和解决其他地质问题有意义的异常(包括推断的矿异常),分为3个亚类:乙<sub>1</sub>类为反映了已知矿化、矿点,还可能有重要发现的异常;乙<sub>2</sub>类为反映了超基性、基性岩类等可能含矿、控矿、或对找矿有指示作用的异常;乙<sub>3</sub>类

\* 收稿日期:2012-10-18;修订日期:2012-11-27;编辑:陶卫卫

作者简介:王玉敏(1978—),女,辽宁北镇人,工程师,主要从事重磁电资料野外采集和数据处理工作;E-mail:yuminwang1978@yahoo.com。

①马兆同,山东省重磁资料综合解释成果报告内部资料,2006年。

为推断的矿异常。③丙类为性质不明的异常。④丁类是经查证肯定或推断可靠的非矿异常。航磁异常的查证程度是指对异常进行地面检查和深度验证的工作程度,按工作程度分为 4 个等级。一级进行了勘探评价或进行了深部工程验证的异常;二级做了

面积性物化探工作,详细圈定了异常或作了地质填图,圈定磁性地质体的异常;三级做了剖面性物化探工作,未能详细及完整圈定的异常;四级地质踏勘查证。

表 1 山东省航磁异常查证程度(资料截至 1996 年)

查证级别	甲类			乙类				丙类	丁类	累计
	甲 1	甲 2	甲	乙 1	乙 2	乙 3	乙			
一级	9		29				11	6	23	78
二级	6	2	12	3		1	16	13	63	113
三级	0		3	1			2	6	19	30
踏勘检查	0	10	9	4	27	3	34	295	141	523
未检查								34	1	35
累计	15	12	53	8	27	4	63	354	247	783
		80			102					

山东省航磁异常有 783 处进行了不同级别的查证,矿致异常 23.24% 和非矿致异常 31.55%,性质不明异常 45.21%。性质不明异常仅 7.1% 做了剖面性物化探以上工作,92.9% 的异常仅做了踏勘或者未查证工作。也就是说尚有近半数已编号的异常尚未作任何级别的查证。

### 1.3 山东省磁性矿床

山东省 182 处矿致航磁异常中 157 处为铁矿异常,在这些矿致异常中已查明山东省铁矿资源量 25.92 亿 t<sup>[2-5]</sup>(还不包括 2009 年李营镇新增铁矿 12 亿 t),预测山东省铁矿资源量 71.61 亿 t,山东省铁矿资源总量 97.53 亿 t。其中预测 500 m 以浅铁矿资源量 10.70 亿 t,预测 500~1 000 m 铁矿资源量 10.08 亿 t,预测 1 000~2 000 m 铁矿资源量 50.82 亿 t。

## 2 区域磁异常与铁矿产分布关系

由于多数铁矿石具有磁性或强磁性,因此,铁矿产的分布与磁异常分布密切相关。尤其在中大比例尺磁异常中反映更为明显。在中小比例尺磁异常中,具有沉积变质型铁矿床分布地区往往表现为较强的正磁异常区,磁异常呈带状或低缓的椭圆状,如颜店铁矿分布区,在 1:50 万航磁异常表现为 NE 走向的椭圆状。在中大比例尺图中,铁矿体的分布区往往表现为狭窄的尖锐高磁异常区。磁异常展布方向与矿体走向高度一致。在接触交代型铁矿分布区,由于中基性岩体磁异常反映较为强烈,与其接触的灰岩磁性弱,在中小比例尺航磁异常图中,铁矿床

的分布一般位于正负磁异常带靠近负磁异常一侧。

## 3 磁异常成矿及其影响范围

为了找到航磁异常与铁矿点是否存在统计规律,将 157 处铁矿点和航磁化极异常图展布在一张 1:50 万的兰伯特等角圆锥图上。在每个矿点位置统计 6 个量:矿点所处位置磁场值,矿点临近磁异常的峰值,矿点临近磁异常谷值,矿点距离最近磁异常峰值的距离,矿点距离最近磁异常谷值的距离,矿点临近波峰和波谷的距离。

图 1 是山东省 157 处铁矿点展布位置图。统计出矿点位置处航磁化极值,绘制图 2 矿点所处位置磁场值变化统计点,X 轴为样品点个数,Y 轴单位为 nT。从 -400nT 到 1 700 nT 均有,常见值在 128 nT 附近。变质沉积型铁矿磁性变化范围最大,-400~1 700 nT;沉积变质型铁矿次之,-400~1 075 nT;热液交代充填风化淋滤型铁矿第三,-275~950 nT;接触交代型铁矿第四,-275~825 nT;岩浆型铁矿第五,-150~500 nT;中高温热液型铁矿第六:-225~425 nT。

图 3 是在航磁化极图上,统计出矿点所处磁异常峰值和谷值的磁力值宽度。X 轴为样品点个数,Y 轴单位为 nT。从 200 nT 到 3 350 nT 均有。变质沉积型铁矿所处磁异常磁力值宽度范围 220~3 100nT;沉积变质型铁矿所处磁异常磁力值宽度范围 325~3 350 nT;热液交代充填风化淋滤型铁矿所处磁异常磁力值宽度范围 260~1 350 nT;接触交代型铁矿所处磁异常磁力值宽度范围 310~3 725nT;

岩浆型铁矿所处磁异常磁力值宽度范围 600~725 200~725 nT。  
nT;中高温热液型铁矿所处磁异常磁力值宽度范围

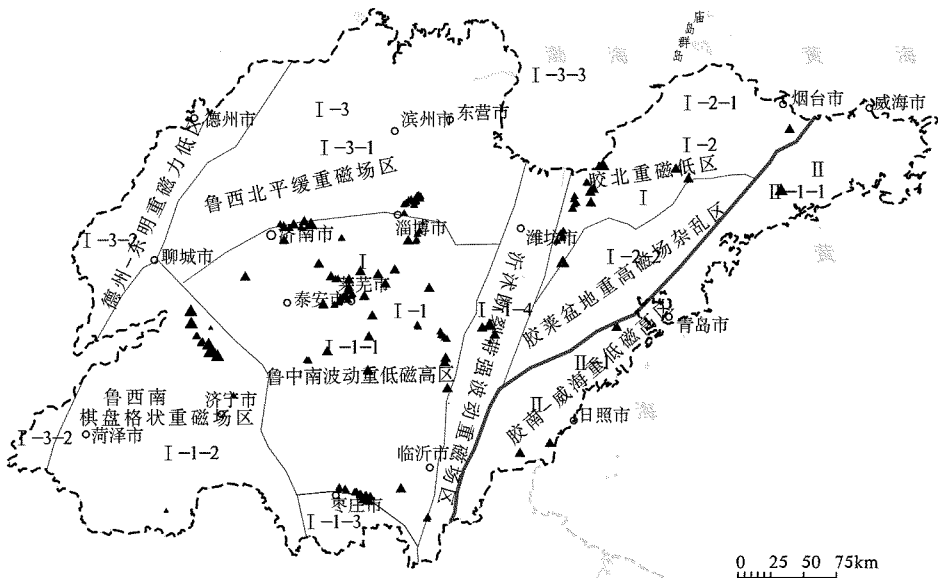


图 1 山东省铁矿分布位置图

I—华北陆块; I-1—鲁西地块; I-1-1—泰山岩浆弧; I-1-2—鲁西南褶皱地块; I-1-3—徐宿弧裂隆褶带; I-1-4—沂沭断裂带; I-2—胶北陆块; I-2-1—胶北隆起; I-2-2—胶莱断陷; I-3—华北拗陷; I-3-1—济阳断拗; I-3-2—濮阳断拗; I-3-3—渤海断拗; II—秦岭祁昆造山系; II-1—大别苏鲁地块; II-1-1—胶南-威海折返带; ▲—铁矿点位置

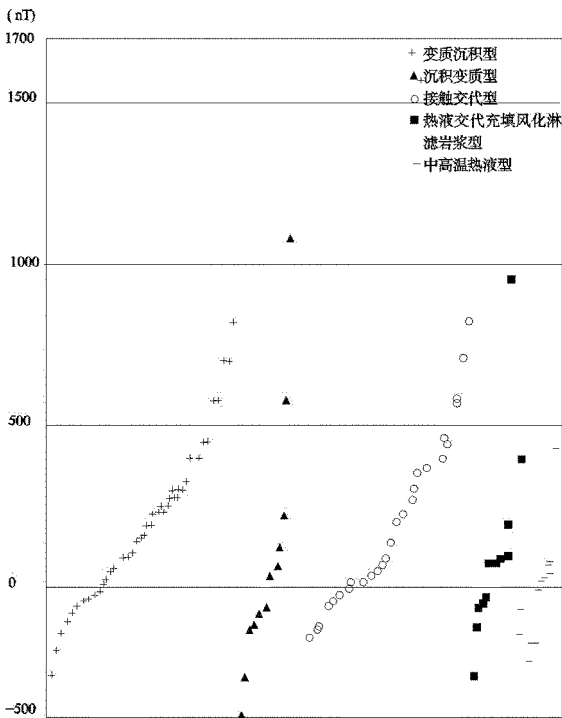


图 2 矿点所处位置磁场值变化统计

图 4 是从航磁化极图上读出成矿点距离磁异常波峰和波谷的图上距离,及成矿点处磁异常波峰和

波谷间距离。X 轴为样品点个数, Y 轴单位为 km。从图 4 中可见,铁矿距离异常峰值最近 0.24 km,最远 30.35 km,常见值 1.69 km。铁矿点距离异常谷值最近 0.37 km,最远 27.92 km,常见 2.3 km。其中矿点与波峰距离值、矿点与波谷中心点的距离在成矿点处磁异常波峰和波谷间距离的关系如下:

(1) 矿点处波峰与波谷间距离 > 矿点与波峰距离 > 矿点与波谷距离,成矿在磁异常波峰和波谷连线之间,靠近波峰成矿;多易成沉积变质型、岩浆型和中高温热液型铁矿床。

(2) 矿点处波峰与波谷间距离 < 矿点与波峰距离 < 矿点与波谷距离,成矿在磁异常波峰和波谷延长线上,并在波峰一端成矿,波峰和波谷间磁化率空间变化率与矿体倾斜程度有关。

矿体埋深小于矿体距离异常中心点距离时,峰谷间磁化率空间变化率大,磁场值与埋深成指数关系衰减。

从图 2 和图 3 中没有找出明显的规律性东西,那么是否矿点当前磁场值和磁异常峰值的差与当前点与波峰点距离的比值存在规律性,磁化率/距离。分别求取了峰谷值空间变化率  $nT/km = (\text{波峰磁力}$

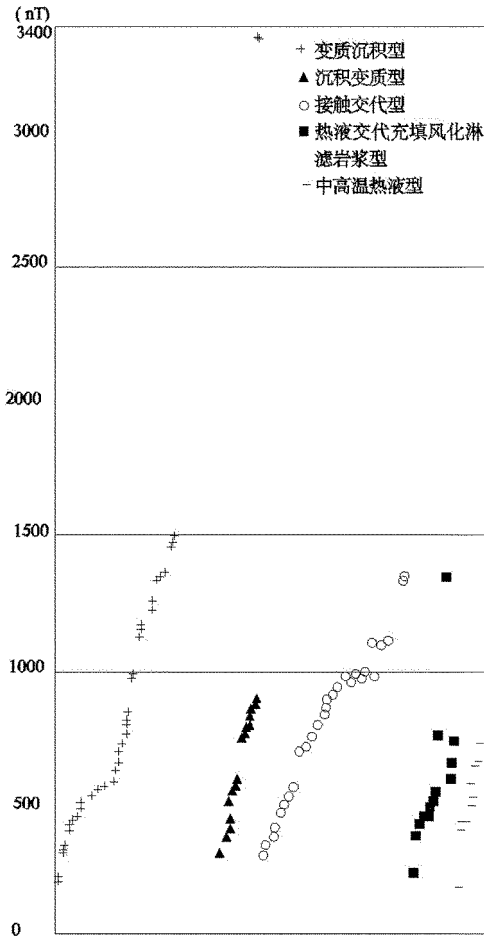


图 3 矿点所处磁异常磁场值宽统计

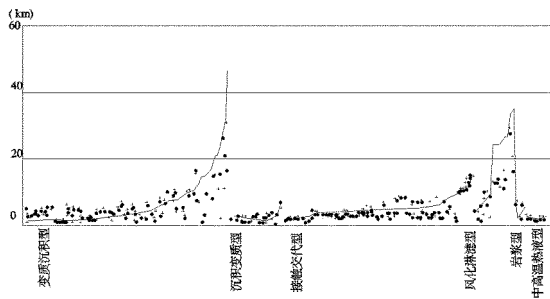


图 4 矿点所处位置距离波峰和波谷距离统计  
 + 代表矿点位置距离成矿磁异常峰值距离; • 代表矿点位置  
 距离成矿磁异常谷值距离; 曲线代表成矿点处磁异常波峰和  
 波谷间距离

值-波谷磁力值) nT/(波峰到波谷之间距离) km, 和磁场空间域一阶导数相当; 当前值到波峰空间变化率 nT/km=(磁异常峰值-当前磁场值) nT/(当前点到波峰点距离) km; 当前值距波谷空间变化率 nT/km=(当前磁场值-磁异常谷值) nT/(当前点到波谷距离) km。如图 5 所示, 从图 5 中峰谷值空

间变化率最大值为 2 374.98 nT/km, 最小值为 16.48nT/km, 常见值 94.48 nT/km。当前值到波峰空间变化率最大值为 2 005.08 nT/km, 最小值为 0 nT/km, 常见值 78.10 nT/km。当前值到波谷空间变化率最大值为 1 636.26 nT/km, 最小值为 0 nT/km, 常见值 50.04 nT/km。没有常量的, 规律性数据。

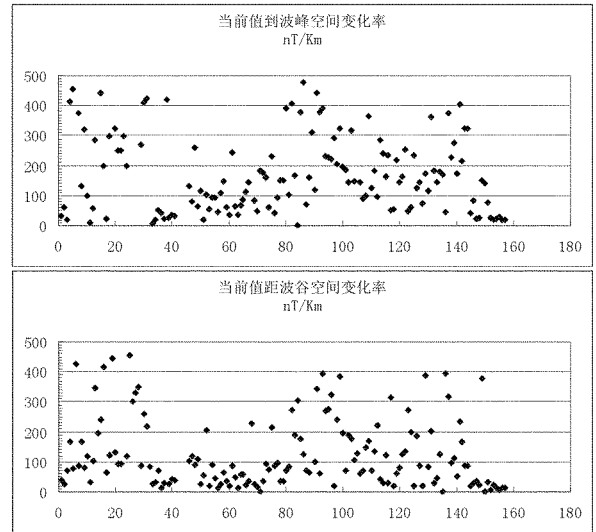


图 5 矿点所在位置空间变化率统计曲线

对磁化率值和距离值进行归一化对比, 虽然他们在量度空间上没有规律性, 去掉单位, 看是否矿点产出位置磁场值与异常峰值、谷值磁化率的比值是个常量, 矿点产出位置到磁异常极值距离比值是否是个常量。近距离归一化比值={如果当前矿点距离波峰近=当前点到波峰距离/波峰和波谷间距离, 如果当前矿点距离波谷近=当前矿点到波谷距离/波峰和波谷间距离}, 近磁化率归一化比值={如果当前矿点距离波峰近=(波峰异常值-当前磁力值)/(波峰磁力值-波谷磁力值), 如果当前矿点距离波谷近=(当前磁力值-波谷磁力值)/(波峰磁力值-波谷磁力值)}。绘制曲线见图 6, 从图 6 可见近距离归一化比值最小值 0.04, 最大值 3.82, 算术平均值 0.62, 调和平均值 0.32, 修剪平均值(剔除 20%数据点) 0.49, 修剪平均值(剔除 10%数据点) 0.54, 修剪平均值(剔除 5%数据点) 0.58。近磁化率归一化比值最小值 0, 最大值 0.5, 算术平均值 0.29, 标准偏差 1%, 调和平均值 0.19, 修剪平均值(剔除 20%数据点) 0.29, 修剪平均值(剔除 10%数据点) 0.29, 修剪平均值(剔除 5%数据点) 0.29。说

明去掉特殊最大值和最小值,矿点产出位置磁化率 = 波谷值 + (波峰磁力值 - 波谷磁力值) × 0.29, 或者 = 波峰磁力值 - (波峰磁力值 - 波谷磁力值) × 0.29。

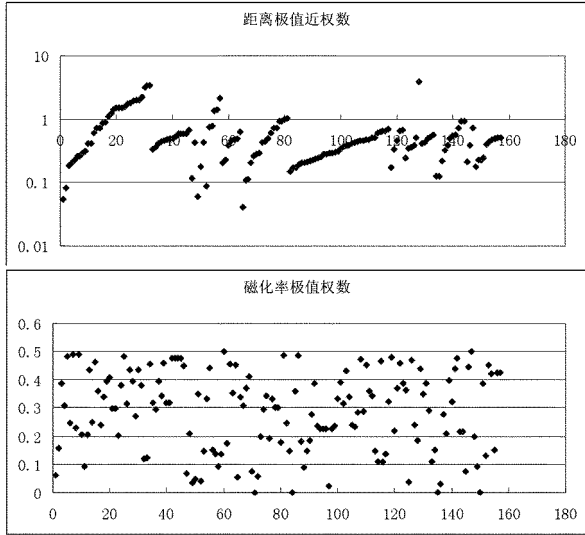


图 6 距离和磁化率归一化比值曲线

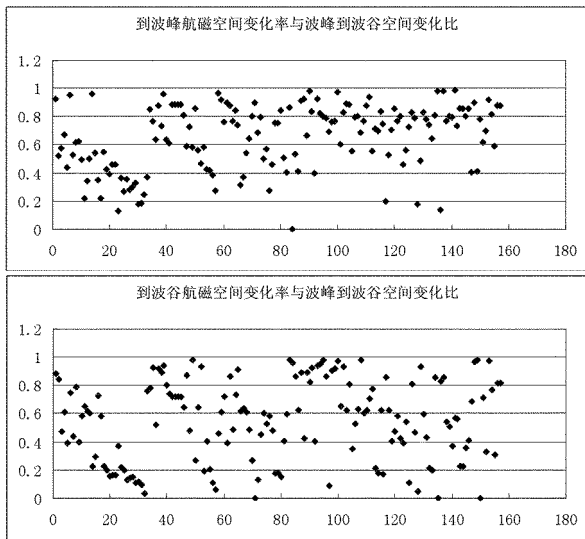


图 7 磁化率空间变化率与波峰波谷磁化率比值

受图 6 的启发,计算磁化率空间变化率与波峰波谷磁力值的比值曲线,并进行数据统计分析描述。统计结果见表 2,图 7。

到波峰航磁空间变化率与波峰到波谷空间变化比 =  $\{(波峰磁力值 - 当前磁力值) / 当前磁力值距波峰距离\} / \{(波峰磁力值 - 波谷磁力值) / 波峰与波谷间距离\}$

到波谷航磁空间变化率与波峰到波谷空间变化比 =  $\{(当前磁力值 - 波谷磁力值) / 当前磁力值距波$

谷距离\} / \{(波峰磁力值 - 波谷磁力值) / 波峰与波谷间距离\}

从图 7 中和表 2 中可见,到波峰航磁空间变化率与波峰到波谷空间变化比最大值 0.99,最小值 0,算术平均值 0.65,标准偏差 4%,调和平均值 0.54,修剪平均值(剔除 20%数据点)0.67,修剪平均值(剔除 10%数据点)0.66,修剪平均值(剔除 5%数据点)0.66。到波谷航磁空间变化率与波峰到波谷空间变化比最大值 0.98,最小值 0,算术平均值 0.85,标准偏差 2%,调和平均值 0.34,修剪平均值(剔除 20%数据点)0.55,修剪平均值(剔除 10%数据点)0.55,修剪平均值(剔除 5%数据点)0.55。说明去掉特殊最大值和最小值,矿点产出位置空间域一阶导数值 = 波谷磁力空间域一阶导数值 + (波峰磁力空间域一阶导数值 - 波谷磁力空间域一阶导数值) × 0.66,或者 = 波峰磁力空间域一阶导数值 - (波峰磁力空间域一阶导数值 - 波谷磁力空间域一阶导数值) × 0.55。

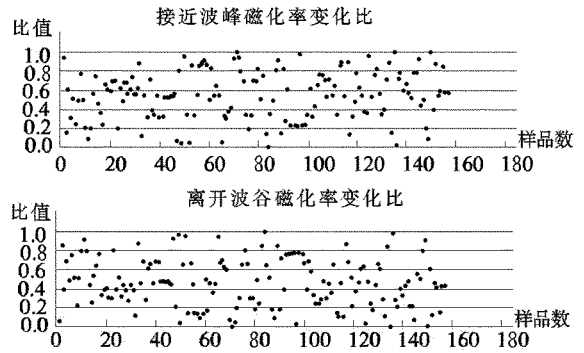


图 8 磁化率差值比值归一化曲线

图 8 是描述山东省 157 处矿点所处磁场值与波峰和波谷处磁化率差值的比值情况,计算方法:

离开波谷磁异常变化率比值 = (当前磁场值 - 波谷磁场值) / (波峰磁场值 - 波谷磁场值)。接近波峰磁化率变化比 = (波峰处磁场值 - 当前磁场值) / (波峰磁场值 - 波谷磁场值)。

根据表 2 可知:离开波谷磁异常变化率最大值 1,最小值 0,算术平均值 0.46,标准偏差 2%,调和平均值 0.27,修剪平均值(剔除 20%数据点)0.45,修剪平均值(剔除 10%数据点)0.46,修剪平均值(剔除 5%数据点)0.46。接近波峰磁异常变化率最大值 1,最小值 0,算术平均值 0.54,标准偏差 2%,调和平均值 0.33,修剪平均值(剔除 20%数据点)0.55,修剪平均值(剔除 10%数据点)0.54,修剪平

均值(剔除 5%数据点)0.54。说明去掉特殊最大值和最小值,矿点处磁场值=(波峰磁场值-波谷磁场值)×0.45+波谷处磁场值。

将上述数据应用 Excel 软件的数据分析工具,进行统计规律分析,得出表 2。

表 2 山东省铁矿矿点与航磁化极值的统计分析

分析结果 统计量	平均	标准 偏差	中位数	峰度	最小值	最大值	调和 平均	修剪平均(剔除 20%数据点)	修剪平均(剔除 10%数据点)	修剪平均(剔除 5%数据点)	置信度 (95.0%)
所在磁异常峰值	671.62	47.98	450.00	3.41	80.00	2950.00	372.41	544.84	613.67	646.19	94.78
所在磁异常谷值	-305.22	15.34	-275.00	1.44	-775.00	-10.00	# NUM!	-276.34	-294.51	-301.36	30.30
当前磁值	146.08	24.08	70.00	4.04	-400.00	1700.00	# NUM!	117.01	128.04	134.34	47.56
距波峰值(km)	3.79	0.32	2.56	13.50	0.24	30.35	1.69	3.01	3.27	3.49	0.64
波峰波谷距(km)	6.40	0.58	4.11	9.32	1.05	47.53	3.28	4.69	5.38	5.86	1.15
距波谷值(km)	4.74	0.37	3.25	6.50	0.37	27.92	2.30	3.86	4.21	4.43	0.73
峰谷值空间 变化率 nT/km	384.44	47.46	194.54	5.83	16.48	2374.98	94.48	226.47	309.49	353.63	93.75
当前值到波峰空间 变化率 nT/km	249.78	26.95	161.07	16.83	0.00	2005.08	78.10	183.83	198.73	219.75	53.22
当前值距波谷空间 变化率 nT/km	171.59	21.70	87.72	19.73	0.00	1636.26	50.04	118.57	129.31	145.90	42.86
近距离归 一化比值	0.62	0.05	0.45	9.28	0.04	3.85	0.32	0.49	0.54	0.58	0.10
近磁化率归 一化比值	0.29	0.01	0.30	-1.00	0.00	0.50	0.19	0.29	0.29	0.29	0.02
到波峰航磁空间 变化率与波峰到 波谷空间变化比	0.65	0.04	0.71	-0.58	0.00	0.99	0.54	0.67	0.66	0.66	0.04
到波谷航磁空间 变化率与波峰到 波谷空间变化比	0.55	0.02	0.59	-1.14	0.00	0.98	0.34	0.55	0.55	0.55	0.04
离开波谷磁异常 变化率比值	0.46	0.02	0.45	-0.85	0.00	1.00	0.27	0.45	0.46	0.46	0.04
接近波峰磁化率 变化比	0.54	0.02	0.55	-0.85	0.00	1.00	0.33	0.55	0.54	0.54	0.04

表 2 中各参数代表的意义,平均:随机变量的均值也称为数学期望,数值上等于参数的总和除以参数的个数。标准误差:各测量值误差的平方和的平均值的平方根,故又称为均方误差。中位数:中位数反映了数据排序后位于中间的值,有时可以反映变量值的聚集趋势。中位数通常用于不适合几何平均值和调和平均值的偏态资料中,尤其适合于包含不完全信息的资料中。例如临床随访资料经常包含一些中途失访患者的某些数据;有时因受仪器和试剂灵敏度的限制,指标含量过低时无法准确测得,只知道一组数中有几个数低于某数值。众数:众数代表具有最多个数的数值,或说频率最多的变量值。标准差:方差的平方根称为随机变量的标准差,也称为标准偏差,或均方差。方差:各变量与其算术平均值偏差平方的数学期望成为方差。峰度:峰度的大小代表数据的分布相比正态分布更为平缓或是突兀。偏度:偏度的正负表示数据分布的峰值在均值的左

侧还是右侧。区域:返回引用中涉及的区域个数。最小值:一组参数中最小值。最大值:一组参数中最大值。观测数:参加统计的样品个数。调和平均值:可应用于表达一组性质相同的呈极严重偏态分布(即高峰出现在全部数据取值范围的中心点左边)的定量资料的平均视屏。对于小样本资料,调和平均值通常用于求类似“速度”的数据的平均水平。修剪平均(剔除 20%数据点):先从数据集的头部和尾部除去一定百分比的数据点,然后再求平均值。95%置信区间:依赖于 t 分布作为推断的理论依据,并将算术平均值与标准误结合起来运用;估计的范围是指有 95%的把握推断某定量指标的总体均值在所求的范围之内。均值的置信区间 95%表示的是平均值有 95%可能性落在这段范围,它是对平均值的估计。

根据表 2 可见产出矿点的位置在统计学上满足一定的规律,统计学规律一:产出矿点处磁异常值满

足为波峰波谷间磁力差的0.46倍。统计学规律二：产出矿点处磁异常空间域一阶导数与波峰的差值是空间域一阶导数波峰波谷间差值的0.67倍。统计学规律三：产出矿点处磁异常空间域一阶导数与波谷的差值是空间域一阶导数波峰与波谷间差值的0.55倍。统计学规律四：产出矿点处磁异常距离波峰或者波谷的磁力差值是波峰与波谷磁力值的0.29倍。

## 4 结语

但就某一个成矿事件来说是偶然事件,但就成矿类型来说,其分布和形成受地壳发展演化的控制,是很有规律性的。山东省铁矿床与航磁化极异常图存

在这种统计学规律性,不是偶然的,是客观存在的。也希望通过该次工作能够定量指导日后找矿工作。

## 参考文献:

- [1] 施兴,彭朝晖,潘珮璋. 河北省航磁资料的研究程度与找矿潜力分析[J]. 物探与化探,2009,33(4):374-378.
- [2] 马兆同,于钦仲,王玉敏,李土雄,张吉涛. 寿光磁异常区找矿方向探讨[J]. 山东国土资源,2012,28(7):22-27.
- [3] 孔庆友,张天祯,于学峰,等. 山东矿床[M]. 山东科学技术出版社,2006.
- [4] 秉勤. 概率统计的辅助工具 Excel [J]. 武汉工程职业技术学院学报,2001,12(3):43-47.
- [5] 李新之. 协同学及协同成矿过程[J]. 有色金属矿产与勘查,1999,8(6):340-342.

# Data Statistics and Analysis on Relationship between the Location of Iron Deposit and Aeromagnetic Anomaly in Shandong Province

WANG Yumin, ZHANG Chao

(Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** There are 783 aeromagnetic anomalies and 157 iron ore anomaly in Shandong province. In this paper, magnetic field value of already known iron ore spots in the aeromagnetic polarization graph, the peak value and the valley value of magnetic field, the distance between ore spots and the peak value, and the distance between ore and the valley have been analyzed. Data statistics laws in different types iron deposits have been analyzed as well.

**Key words:** Aeromagnetic anomalies; magnetic deposit; statistical analysis; Shandong province