

金堆城—黄龙铺钼矿田地球化学特征 及成矿条件的初步分析

李遐昌

金堆城—黄龙铺钼矿田面积约120公里²，区内分布有金堆城钼矿，规模极大。石家湾、黄龙铺钼矿，尚处于详查阶段，储量也较大。宋家沟等处都是有找矿前景的矿（化）点。总之，矿田内钼矿总资源储量可观。

金堆城为斑岩型钼矿床。对黄龙铺目前有两种意见：①认为与斑岩型同源，属广义的斑岩型钼矿床；②认为与斑岩型不同源，属非岩浆热液石英脉型钼矿床。

矿床、矿（化）点分布于长城系熊耳群和蓟县系高山河组岩层中。曾有人提出“矿源层”问题。

本文在已有工作基础上，初步总结了矿田地球化学特征，并对成矿条件作初步分析。

矿田地质特征

一、出露地层

小秦岭地区位于华北地台西南边缘商渭台缘褶皱带中，其南部为秦岭地槽褶皱带。矿田地处小秦岭西段东西复杂构造带北部边缘与北东向构造的交汇部位，于洛源—石门加里东复向斜北翼黄龙铺背斜之中。矿田内出露地层为元古界长城系熊耳群安山岩、安山玢岩夹凝灰岩和蓟县系高山河组石英砂岩夹凝灰质板岩（图1）。矿田北部出露老牛山黑云母二长花岗岩基（同位素年龄1.28亿年），矿田内分布一系列中酸性小岩体、岩株，金堆城、石家湾花岗岩斑岩已形成特大型、大

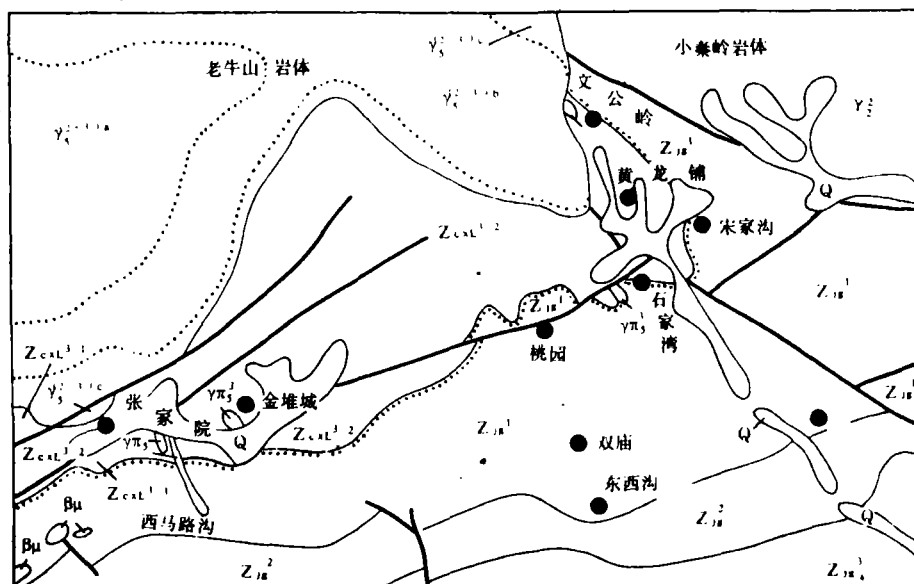


图1 金堆城—黄龙铺钼矿田地质略图

Q—第四系；Zjg¹—上高山河组凝灰质板岩、白云岩与石英砂岩互层；Zjg²—下山河组紫红色石英砂岩夹凝灰质板岩，底部常有砾岩；Zcxl¹⁻¹—上熊耳群上段——玄武玢岩及玄武质凝灰岩；Zcxl¹⁻²—上熊耳群中段——杏仁状安山玢岩斜长玢岩夹正片岩；Zcxl¹⁻³—上熊耳群下段——绿色正片岩凝灰岩安山玢岩； γ_3^{1-1} —细粒灰白色黑云母花岗岩； γ_3^{1-2} —中粒灰白色黑云母花岗岩； γ_3^{1-3} —粗粒灰白色黑云母花岗岩； γ_3^{1-4} —花岗斑岩； γ_3^{1-5} —黑云母花岗岩； $\beta\mu$ —辉绿岩

型矿床。金堆城花岗斑岩 ($\gamma\pi_3^1$) 地表出露长400米,宽150米,呈北西 330° 方向延伸,深部长达2000米,最厚450米,最薄30米,呈北东 40° 方向倾斜。岩体内部矿化较好,岩体即为矿体。石家湾花岗斑岩 ($\gamma\pi_3^1$) 地表呈狭长状,长800米,宽30~140米,呈北西 318° 走向。岩体矿化较弱,中心为无矿核。边部Mo 0.03~0.06%,矿化以外接触带为主。两花岗斑岩同位素年龄均为1.24亿年,属燕山期产物。

二、构造

由于经历了长期不同性质的构造运动,断裂构造十分复杂。区域内沿老牛山花岗岩基南侧,西起洛源,东到太子坪沿北东向分布的钼矿带受青岗坪—金堆城断裂带控制,矿田分布于该带的北东端。矿床分布明显受上述断裂带控制,北东向裂隙构造控制着矿脉的分布,北西向断裂亦较发育,它除控制裂隙型矿床的分布外,还控制着小岩体的走向及其矿化。

三、矿化特征

矿田内有两种类型的钼矿化,以金堆城为代表的细脉浸染型矿化,即斑岩型矿化,以黄龙铺为代表的大脉裂隙型矿化。表1列出两种类型矿化特征。

由表1可以看出,斑岩型和裂隙型钼矿,从矿体形态、矿石构造和物质成分等特征都有显著的差异,表明两类型矿床成矿条件是不同的。

矿田地球化学特征

一、地层

地壳中元素的丰度在地质历史演化的不同阶段总是呈现有规律的变化,它直接影响着矿床的形成。目前,研究区域或矿田成矿及伴生元素的含量变化,分析成矿物质来源,已引起人们的重视。

金堆城—黄龙铺矿田中,出露地层熊耳群安山岩、凝灰岩和高山河组上、中、下三段石英砂岩夹凝灰质板岩层,Mo、Pb平均含量均高于克拉克值,Mo是克拉克值的1.2~1.8倍,Pb是克拉克值的1.5~4.0倍。而Cu、Zn平均含量均低于克拉克值。Co、V、Ti平均含量,上熊耳群地层高于高山河组地层。

表1

特征	类型	斑岩型	裂隙型
矿化赋存部位		斑岩体中及其外接触带	不见岩体,矿化产于方解石、钾长石和微天青石石英脉中
矿体形态		筒状、球状	透镜状、长条状
矿石构造		细脉网脉浸染状,脉宽一般1~2mm	粗脉大脉浸染状,脉幅变化大,小到1mm,大到几十cm,一般几cm
矿物成分		简单,金属矿物有辉钼矿、黄铁矿等,脉石矿物有石英、长石、萤石等	复杂,金属矿物有辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、含铀稀土矿物,脉石矿物有石英、长石、重晶石、萤石、含锰方解石等
蚀变		面型蚀变,较强,主要有硅化、绢云母化、黑云母化、绿泥石化等	线型蚀变,较弱,主要有硅化、钾化、绢云母化、黄铁矿化等
代表性矿床		金堆城、石家湾	黄龙铺、宋家沟、桃园、二道河

二、构造

分散流、次生晕Mo异常,均向两个方向展布:青岗坪—金堆城—桃园—宋家沟—太子坪呈北东 60° 方向,与区域控矿构造方向一致;华阳—文公岭—黄龙铺—二道河呈北北西 330° 方向,此方向推测为隐伏的导矿构造。钼矿化的分布与地球化学异常位置吻合。

构造裂隙地球化学实际资料表明,矿区及地球化学异常区,控矿构造裂隙样品,Mo含量较高,一般含量100~300ppm,其他方向的裂隙样品,Mo含量均较低,一般为几ppm。因此,构造裂隙钼异常能指示盲矿化以及显示含矿构造裂隙的方向。

三、岩浆岩

大量研究成果证明,许多内生矿床的物质来源主要是岩浆岩,含矿岩浆岩的常量元素和成矿元素均具有一定的特征。矿田内,含矿性较好的金堆城、石家湾斑岩体,CaO、MnO含量较低(前者小于0.4%,后者小于0.05%), $K_2O/Na_2O > 3$, $Al_2O_3 > 12\%$;含矿性较差的张家院、老牛山花岗岩体, $Al_2O_3 > 12\%$, Na_2O/CaO 、MnO较高, $K_2O/Na_2O < 2$ 。因而,含Mo矿化岩体,其中CaO、MnO、 Na_2O 含量愈低,则 K_2O 含量愈高,矿化愈好。

六个岩体成矿及伴生元素平均含量列于表2。
六个岩体Mo含量均高于克拉克值,其中含矿岩体Mo含量特别高,比克拉克值高二个数量级,而伴生的Cu含量较低。由于受后期方铅矿石英细脉矿化影响,金堆城岩体Pb、Ag含量高于石家湾岩体。

文公岭岩体Mo、Pb、Zn、Cu、Ag、Co、Ba等含量较高,是叠加有夕卡岩化和多金属矿化

所致。矿化富集地段Ag可达 $n \times 10 \sim 100\text{ppm}$,并含Au。

四、矿床

矿床金属元素组合,可以反映成矿过程中的地球化学作用。矿田内斑岩型和裂隙型矿床,元素组合、组分浓度以及元素对相关性和某些地球化学参数,都具有不同的地球化学特征(表3、表4),反序列判断两类矿床成矿过程是不同的。

岩体微量元素含量表(ppm)

表2

岩体名称	岩石名称	样品数	Mo	Pb	Zn	Cu	Ag	Co	V	Ni	B	Ba	Ti	F(%)	Cl(%)
金堆城	花岗斑岩	40	133.1	102.1	255.0	36.8	0.47	8.10	34.3	13.1	8.5	500	3191	0.185	0.021
石家湾	"	20	128.1	11.9	50.5	31.7	0.1	10	16.5	12.5	8.9	500	1113	0.219	0.020
文公岭	"	17	218.8	585	611.2	151.1	0.91	16.5	82.1	11.1	5	676.5	1235	0.211	0.020
西马路沟	"	19	15.5	60.5	16.8	80.8	0.45	10	17.1	11.3	11.1	500	1108	0.178	0.020
张家院	花岗岩	28	61.5	68.6	60.1	27.1	0.13	8.6	11.3	11.1	5	500	1116	0.128	0.020
老牛山	"	51	2.1	30.9	12.9	10.8	0.1	9.0	18.7	12.2	5	500	1201		

矿床微量元素含量表(ppm)

表3

类型	名称	含矿性	样品数	Mo	Pb	Zn	Cu	Ag	Co	V	Ti	Ni	B	Ba	Pb+Zn+100 Ag Mo
斑岩型	金堆城	特大型	100	266.0	62.5	260.3	125.7	0.14	17.3	67.3	1538	21.7	3.5	250	1.71
	石家湾	大型	289	238.1	25.7	228.3	57.2	0.13	15.1	51.3	4287	22.0	3.5	359	1.35
	张家院	矿化	51	44.6	56.7	61.1	31.8	0.13	9.2	20.5	1338	10.9	2.5	250	5.67
	文峪河	矿化	18	100.7	21.9	91.8	5.7	0.11	8.0	21.1	2990	19.0	8.8	250	2.22
	东马路沟	矿点	55	360.1	21.7	100.1	23.0	0.12	10.8	38.4	5032	21.8	9.9	250	2.35
	西马路沟	矿化	29	11.7	45.2	50.5	71.7	0.32	13.1	32.1	2009	22.1	15.2	250	35.53
混合型	文公岭	矿点	69	161.6	1257.3	1381.0	255.5	6.93	23.1	95.0	1913	25.8	3.0	815	59.21
裂隙型	黄龙铺	大型	78	100.8	990.1	619.2	75.8	1.30	17.2	51.3	1942	31.2	3.1	1753	29.16
	宋家沟	矿点	200	117.5	1900.6	250.9	39.9	0.34	15.8	52.5	4647	16.9	2.8	1179	21.20
	桃园	矿点	110	222.4	995.1	289.1	55.8	0.48	15.4	67.4	4636	18.8	7.8	1302	7.93
	二道河	矿点	128	188.8	309.1	782.9	36.6	0.49	20.3	54.9	3578	31.1	38.0	910	8.38
	东西沟	矿化	32	55.1	923.5	433.9	89.1	0.06	18.0	37.2	2647	30.2	37.0	711	25.70
	双庙	矿化	19	63.8	240.1	92.4	24.5	0.59	11.3	17.1	1321	25.3	27.9	290	14.50

斑岩型钼矿床,以Mo、Zn组分高为特征,并为正相关,如金堆城矿床上,Mo—Zn相关系数为0.67。Ag含量比裂隙型矿床稍低些。Cu含量金堆城矿床高于石家湾矿床,且外带矿体高于内带矿体,与Mo呈反相关。卤族元素F含量比裂隙型矿床高,一般0.1%,金堆城矿床可达1~1.5%,矿床外围岩石中降低到0.01%;Cl含量变化不大,一般0.02%左右。累加晕比值 $Pb+Zn+100Ag/Mo < 6$ 。该类矿床 $Rb/Sr > 10$ 。

裂隙型钼矿床Mo、Pb、Zn、Ba含量均较高,Mo—Pb、Mo—Zn元素对都呈正相关,如黄龙铺矿床Mo—Pb相关系数为0.78,Mo—Zn相关系数为0.54。以Pb、Ba组分高为特征,区别于斑岩型矿床。根据桃园和金堆城两矿床的试验工作,桃园矿区不同标高的钼矿体上,有明显As、Hg异常,一般含量0.1ppm,而金堆城钼矿体上,Hg含量低于分析灵敏度(0.05ppm)。F含量一般0.1%,Cl含量是斑岩型矿床的两倍以

上,一般含量0.04%左右。累加晕比值 $Pb + Zn + 100Ag/Mo > 6$ 。该类矿床伴生较多的轻稀土和放射性元素, $Rb/Sr < 1$ 。

表 4

变量	金堆城矿床 (98)*			黄龙铺矿床 (87)*		
	$\bar{X}(\text{ppm})$	S	V	$\bar{X}(\text{ppm})$	S	V
Mo	262.2	276.4	1.06	67.8	137.9	2.04
Pb	60.2	88.7	1.47	776.1	1669.0	2.15
Zn	230.7	246.5	1.07	339.7	1320.7	3.88
Cu	121.2	129.2	1.07	48.4	98.2	2.03
Ag	0.14	0.30	2.14	1.01	2.9	2.87
Ba	250	1.0	0	1399.4	2531.6	1.81
Co	17.4	9.6	0.55	19.4	6.7	0.35
V	66.8	33.5	0.50	61.0	35.4	0.58
Ti	4507.7	1816.8	0.43	5418.4	2136.6	0.39
F	5759.7	4556.6	0.80	3865.8	9606.9	2.46
Cl	228.6	46.3	0.22	286.7	216.7	0.76

(* 统计样品数目。)

黄铁矿单矿物分析资料表明:矿区及异常区中的黄铁矿含Mo量较高,皆大于100ppm,而矿区外围,非矿化地段中的黄铁矿Mo含量较低,一般小于50ppm。斑岩型矿床中,黄铁矿含Pb量较低,一般100ppm左右,Te含量一般小于10ppm, $Se/Te > 1$,黄铁矿中不含Au^[2];而裂隙型矿床黄铁矿中,含Pb量较高,一般含量大于1000ppm,Te含量一般大于10ppm, $Se/Te < 0.5$,黄铁矿中也含微量Au(0.0n~0.ng/T)。

多元统计分析,是研究地球化学异常组分自身变化特点,以及元素间含量变化内在联系(空间与成因上)的一种从数量上表示的方法,利用它能揭示许多找矿信息。金堆城和黄龙铺矿床作了因子分析。表4是两个矿床的元素平均含量($\bar{X}$)、标准离差(S)和变差系数(V)。可以看出,斑岩型矿床Mo、Zn、Cu、Pb变差系数接近于1,而裂隙型矿床Mo、Pb、Zn、Cu变差系数大于2。说明后者在成矿过程中成矿及伴生元素分布的不均匀性。元素组合关系可以从不同因子得出。

金堆城矿床

第I因子为Co、V、Ti组合,是安山岩地层元素组合。第II因子为Mo、Zn组合,反映了斑岩型矿化特征,是该类矿床中主要矿化阶段的成矿因子,与矿区和岩石中两元素的高含量和

相关性是一致的。第III因子是Cu,说明矿床中伴生Cu和Mo矿化可能不是一期形成的。第IV因子Pb,反映后期细脉铅矿化特征。

黄龙铺矿床

第I因子为Co、V、Ti组合,是地层元素组合。第II因子为Mo、Pb、Zn、Ag组合,反映矿床中一期钼矿化特征。第III因子为Mo、Pb组合,是该矿床中主要矿化阶段的成矿因子。第IV因子为Cu,第V因子是Ag。较多的因子数,反映该类型矿床成矿作用较复杂。

矿床因子分析成果,同样说明两类型钼矿床金属元素组合的差异性和成矿过程中各自的地球化学特征。

五、同位素组成(图2)

斑岩型钼矿床,硫同位素变化范围较窄, ($\delta S^{34} = 1.0 \sim 5.5\%$)与含铜黄铁矿型矿床相当。裂隙型钼矿床,硫同位素组成变异程度较大 ($\delta S^{34} = -1.0 \sim -15.9\%$),富集 S^{32} 轻同位素。

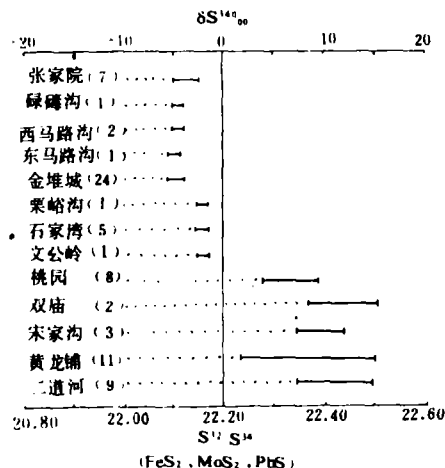


图2 硫同位素组成特征

括号内数字代表样品数目;由西北地质研究所、七一二队、物探队采样,由公司研究所、冶金部地质研究所分析

成矿条件的初步分析

综上所述,斑岩型和裂隙型钼矿床,矿化特征、地球化学特征的不同,说明它们在成矿过程中成矿物质来源和地球化学环境的不同。

一、成矿物质来源和地球化学环境

斑岩型钼矿床,硫同位素 δS^{34} 接近陨硫,

反映成矿物质硫来源是深部幔源。成矿作用是在硫逸度较高的封闭条件下进行的。幔源熔浆若在一个氧逸度较高的开放系统中,则形成的是火山岩型矿床。矿床矿物成分和金属元素组合较简单,说明含矿熔浆在上升过程中,很少有围岩成矿产物的加入。

裂隙型钼矿床,硫同位素组成富集 S^{32} ,且变异程度较大。据加维林等人(1960年)根据在瑞典波里里和法伦两个矿床中的试验结果认为,不同阶段形成的硫化物同位素组成没有什么差别。另外一些学者研究认为,与同一矿源有关的成矿作用不同阶段的产物,导致晚期热液应富集 S^{34} 。因此,依本地区硫同位素特征,可以认为两类矿床不是同源不同阶段产物。

从石家湾、黄龙铺矿床含矿脉类型和穿插关系的研究,认为含铀褐帘石、钡天青石、钾长石石英脉、含铀稀土钡天青石、方解石、石英脉和黄铁矿石英脉等形成于石家湾含矿斑岩前,黄龙铺矿床辉钼矿化即主要产于上述脉体类型中。因此,说明裂隙型钼矿床的形成要早于斑岩型钼矿床。

近二十多年来,通过矿床地质深入的研究,多认为热液是多来源的。自美国西部发现萨尔冬地下热水,沿红海槽凹地发现三个海下热水池后,用热卤水解释矿床成因的实例渐多,且为人们所接受。

关于热卤水成矿物质来源和是否存在矿源层问题,尚需做大量工作得出结论。

根据矿石中Co、V、Ti含量高于高山河组地层而与熊耳群安山岩含量相近似的事实,判断成矿物质一部分来自安山岩。矿床中组分复杂,安山岩中除Mo、Pb含量较高外,其他一些元素如Cu、Zn等含量较低,说明成矿及伴生元素是多来源的。硫同位素组成富集 S^{32} 的事实,按奥尔特和库尔普(1959年)所述,硫的来源可以从围岩中吸取了硫化物中的硫。澳大利亚那依尔和美洲阿迪罗达克的黄铁矿层就是这类矿床的实例。

裂隙型钼矿床的地质和地球化学特征表明,矿床的形成是热卤水从深部向上渗流到一个氧逸度稍高的弱酸性环境中进行的,且成矿作用时间

较长。

在区域上,小秦岭地区的东部河南境内,广泛分布熊耳群安山岩但不含矿,而三道撞、南泥湖、夜长坪等大中型钼矿床分布在栾川群地层中,太华群变质岩系中亦分布有黄水庵小型钼铅矿床。西部陕西境内,金堆城—黄龙铺矿田含矿层位是熊耳群和高山河组地层,蟒西地区南台、寺沟、马河等钼矿床(点)分布在长城系宽坪组地层中,太华群变质岩系中分布有华阳铅钼矿床及太子坪—驾鹿地区钼矿化带(太华群中的钼矿化特征基本上与黄龙铺钼矿床相似)。从上述情况可以看出,小秦岭地区钼矿具多层位性,且矿床类型是多成因的,表明了该区具钼矿金属省特征。

至于矿源层的问题,目前尚难得到确切的回答。此项工作,正从区域地层、构造、岩浆岩以及不同类型矿床地球化学工作入手,分析区域上Mo元素在不同历史时期的演化过程,预测找矿方向,以解决矿源层问题。

二、矿床控制因素

任何一个矿床的形成总是经历了漫长的地质历史发展过程,它是受多种地质因素支配和制约的,且需要多种有利条件的配合。在内生矿床的形成过程中,含矿熔浆和矿液是成矿的重要物质基础,断裂和裂隙构造起着重要的控制作用。

金堆城—黄龙铺钼矿田,有丰富的物质基础,断裂和裂隙构造明显起控矿作用。

1. 斑岩型钼矿床成矿控制因素

①岩体的含矿性是首要条件。含矿岩体面积一般小于0.5公里²,为酸性花岗斑岩。它的常量元素和微量元素特征见矿田地球化学特征一节。

②断裂控制了岩体和矿体的分布。区域上北东向断裂带控制着小岩体的分布,矿田内含矿岩体沿北东向高山河组与熊耳群地层不整合面分布,北西向断裂构造控制着矿床和矿化的分布。

③Mo、Zn、Cu、Ag等元素组合异常是主要的找矿标志。由于矿床中蚀变和矿化分带不明显,因而地球化学元素组分分带亦不明显。卤族元素F异常地段(0.1~0.3)反映矿床的分布范围。

2. 裂隙型钼矿床成矿控制因素

构造控矿是指导因素。北西向隐伏深断裂控

制矿床(点)和地球化学异常的分布(即导矿构造),次一级的北东向构造裂隙带或断层和层间破碎带,控制单个矿体的产状。

导矿构造和北东向构造裂隙发育带交叉部位是矿化发育地段。如黄龙铺矿床等。

熊耳群地层Mo、Pb含量较高,目前认为是控矿的次要条件。

结 语

一个矿床的成矿过程,人们无法直接进行研究。但是,根据成矿产物可以分析判断成矿过程。

金堆城—黄龙铺矿田,如前所述,有丰富的成矿物质基础,构造条件较复杂。根据矿床的地质和地球化学特征认为:

1.可以划分两种成因类型的矿床,即:一种以金堆城为代表的斑岩型钼矿床;一种以黄龙铺为代表的裂隙型钼矿床。

2.斑岩型矿床成矿物质来源于上地幔,成矿过程是在硫逸度较高的封闭条件下进行的。裂隙型矿床认为是热卤水成因的,成矿物质是多来源的,它是在一个氧逸度稍高的弱酸性环境中形成的。

3.成矿控制因素,斑岩型矿床岩体的含矿性是首要条件,构造控制岩体和矿化的分布。裂隙型矿床构造是控矿的指导因素,北西向导矿构造与北东向构造裂隙发育带交叉部位是矿化发育地段。



利用计算机反演使重磁异常解释最优化

在位场数据解释中,分析整个异常剖面(与选定特征点、拐点或斜率—长度解释法不同)有许多优点。Johnson(1989)描述的解釋磁异常的最小二乘法证明Marquardt(1963)提出的快速收敛法能使理论异常与实测异常很快最佳拟合。据此原理研究出一种算法,于1970年发表,做为计算程序Magmod的主要部分。这种程序是为使理论异常与实测异常拟合,以便估计引起异常的实际磁性体的深度、大小、产状和磁化强度。以迭代方式调整简单模型的几何参数和磁化强度,使拟合最优化。因为位场反演问题的解本来就不是唯一的,所以使用Magmod程序要求对场源的几何关系和位置做出某些初始假设。目前这个程序可提供三个二维模型和两个三维模型供选择。在使用三维模型时不是采用单个剖面上的值,相反,而采用网格上分布的数据点。使用该程序时必须对允许变化的每个参数提供近似的初始值,即使这些初始值未选择好,但因收敛迅速亦可求解。

还提出了第二个名叫Gramod的类似程序,用

同样的方法来解释重力异常。目前,Gramod提供了适于剖面数据的两个二维模型和适于网格数据的两个三维模型。该法同样能处理重磁梯度资料。可是在必须处理大量异常,如航磁测量时,使异常剖面 and 初始值数字化很费劲。这种测量现在几乎都是用数字记录下来,而且沿剖面每一磁场强度值都附带有(x,y)坐标值。因此,又研究成功一种新的Magmod程序,这种经过改进的新程序,可以接受全部测得的数字化的磁剖面资料,然后处理由物探人员事先选择的异常。物探人员只需指出异常位置、走向及待拟合的模型类型;模型的初始值由程序估计。制得的图可指出与异常拟合的物体中心位置、宽度及大致走向。在模型轮廓边上注有模型深度、磁化率和倾角。用此图来筛选异常并剔除不合适的模型。这种新方法能在短时间内完成大量定量计算。因此,物探人员可空出更多时间寻求构造与岩性方面的解释。现在这方面的数据可由数据库提供。

(贺长文译自SEG1981年年会论文摘要)