

# 物探方法在滇东北地区寻找隐伏矿床的应用效果

周云满<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 云南地矿资源股份有限公司, 曲靖 655000)

**[摘要]**滇东北地区被地质学家认为是铅锌(银)矿成矿地质条件优越的地区之一,但历年来发现的铅锌(银)矿床均为地表露头矿,找矿标志明显,容易发现,而这些矿床的探明储量几乎开采耗尽,地质工作面临老矿山深部和外围寻找隐伏矿床的艰巨任务。近年来云南地矿资源股份有限公司利用加拿大时间域瞬变电磁法(TEM)和直流激发极化法(IP)配合,在地形复杂的滇东北乐红铅锌矿深部勘查中进行应用研究,获得较好的找矿效果,随后该方法应用于周边地区寻找隐伏矿床,有些已获得成功,有些正在验证之中。通过实践以及综合研究,笔者认为瞬变电磁法和激发极化法配合,对地形复杂地区寻找隐伏矿床具有广阔的应用前景。

**[关键词]**物探方法 寻找隐伏矿床 滇东北

**[中图分类号]**P631.3 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2006)03-0081-05

滇东北地区铅锌(银)矿地质勘查工作多年来处于徘徊不前的局面,主要原因一是旧的找矿思路束缚,二是勘查技术方法手段单一。近年来云南地矿资源股份有限公司曲靖公司深化对成矿规律的认识,拓宽找矿思路,运用地质和地球物理勘查相结合的方法,在地形条件复杂的乐红铅锌矿区,进行深部物探勘查,圈定异常,分析异常与地质构造、控矿因素之间的成生联系,确定矿致异常,进行坑探验证,获得较好的找矿效果,打开了深部找矿前景,使矿床规模达到大型,正向超大型矿床规模发展。

## 1 地质概况

乐红铅锌矿大地构造位置处于扬子准地台西南缘滇东台褶皱滇东北台褶皱束内,其构造变形是限制在SN向小江断裂、NE向师宗—弥勒断裂、NW向紫云—娅都断裂间的一个复杂变形块体。区域构造为NE向的褶皱和断裂,褶皱表现为向斜宽缓,背斜紧密的隔档式褶皱;断裂发育于背斜核部,表现为逆冲断裂。乐红矿区位于渭姑背斜最北端,为NE向构造与NW向构造的交叉复合部位<sup>[1]</sup>。区域地层有中元古界昆阳群(Pt<sub>2</sub>kn)浅变质砂板岩、下震旦统澄江组(Z<sub>1</sub>c)石英砂岩、上震旦统灯影组(Z<sub>2</sub>dn)白云岩;寒武纪(ε)砂泥岩、泥岩夹白云岩;奥陶纪(O)

白云岩、灰岩夹砂、泥岩;中志留世(S<sub>2</sub>)泥岩夹泥质白云岩;泥盆纪(D)白云岩;下二叠世(P<sub>1</sub>)灰岩及上二叠世峨眉山玄武岩(P<sub>2</sub>β)。

矿区处于康定—水城NW向巨大的重力梯度带上,显示NW向隐伏深大断裂的存在。1:20万水系沉积物测量圈定的Pb、Zn、Ag异常面积大、含量高、浓集中心明显、重合性好,总体为NE向异常带。异常群又具有NW向分布的特点,即火德红—乐红—茂租异常带,与NW向隐伏深大断裂吻合。乐红矿区及周边的Pb极大值为 $522 \times 10^{-6}$ ,Zn极大值为 $536 \times 10^{-6}$ ,异常有5个浓集中心,分别为火德红、乐红、桃源街、翻身村、毛坪<sup>[2]</sup>。

矿区出露地层有Z<sub>2</sub>dn<sup>2</sup>、ε、O。Z<sub>2</sub>dn<sup>2</sup>呈NW向分布于矿区的中部,周边为ε、O。矿区总体为NW向破背斜构造,发育一组NW向高角度张性断裂,其次为一些次一级的NW、SN向褶皱和断裂(图1)。

矿区主要矿体Ⅱ<sub>2</sub>、Ⅰ<sub>2</sub>、Ⅳ分别赋存于F<sub>2</sub>正断层及F<sub>1</sub>、F<sub>6</sub>逆断层破碎带中。F<sub>2</sub>出露于矿区西侧,呈310°~340°方向展布,延伸长度大于2460m。断面总体倾向220°~250°,地表局部地段东倾或直立,倾角60°~85°,平面轨迹呈舒缓波状。断距700~800m,破碎带宽10~30m,最宽处达50余米。破碎带主要由白云质角砾岩、碎裂岩组成。F<sub>2</sub>构造岩

**[收稿日期]**2005-04-12; **[修订日期]**2005-06-06; **[责任编辑]**韩进国。

**[基金项目]**国土资源大调查项目(编号:200310200032)资助。

**[作者简介]**周云满(1965年-),男,2001年毕业于中国地质大学,获硕士学位,在读博士生,高级工程师,现主要从事地质矿产勘查、矿床地质及找矿预测研究工作。

中黄铁矿化、白云石化、硅化、重晶石化等蚀变发育。 $F_1$ 、 $F_6$  分布于矿区东侧,为次要含矿断层。

矿石金属矿物有闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、黄铜矿及其氧化物,脉石矿物有白云石、方解石、重晶石、石英等,矿石类型有氧化矿石、混合矿石和硫化矿石。矿石结构有他形—半自形粒状、嵌晶、溶蚀交代结构;构造有块状、斑块状、细网脉状、浸染状。围岩蚀变有硅化、重晶石化、碳酸盐化等。其成因为以断裂构造控制的热液充填交代型铅锌(银)矿床。

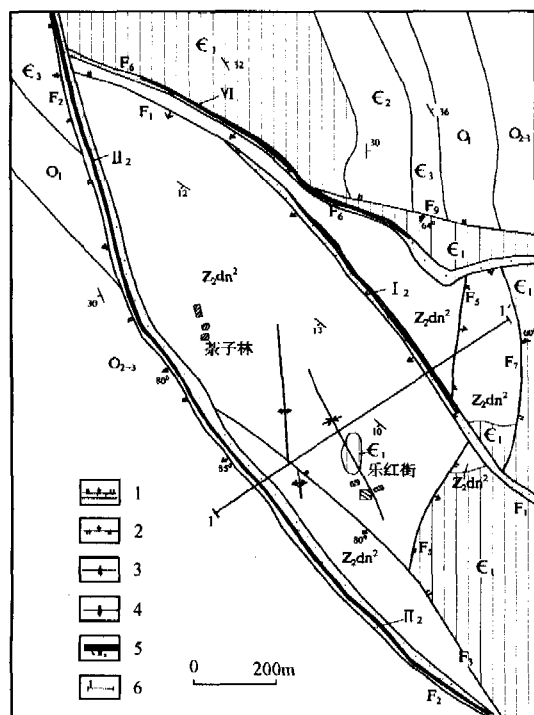


图1 乐红铅锌矿地质简图

$O_{2-3}$ —中上奥陶统; $O_1$ —下奥陶统; $\epsilon_3$ —上寒武统; $\epsilon_2$ —中寒武统; $\epsilon_1$ —下寒武统; $Z_2dn^2$ —上震旦统灯影组上段;1—逆断层及破碎带;2—正断层;3—向斜;4—背斜;5—矿体及编号;6—勘探线及编号

## 2 矿区岩(矿)石电性特征

用小四极法测定矿区各类岩(矿)石的物性参数,其结果如表1<sup>①</sup>。从表中可知,矿体主要围岩 $Z_2dn_2$ 白云岩和 $\epsilon$ 、 $O$ 砂岩、泥岩、白云岩均具中—高阻(电阻率为 $98 \sim 31171 \Omega \cdot m$ )、中—低极化(极化率 $1\% \sim 20\%$ )的特征;氧化铅锌矿石为中—偏低阻(电阻率 $362 \Omega \cdot m$ )、低极化(极化率 $1.03\%$ )的特征;硫化铅锌矿石、含铅锌黄铁矿石为低阻(电阻率 $34 \sim 47 \Omega \cdot m$ )、高极化(极化率 $59.88\% \sim 69.95\%$ )的特征; $F_2$ 黑色断层泥、泥岩则为低阻(电阻率 $19 \Omega \cdot m$ )、低极化(极化率 $6.27\%$ )的特征。从电性特

征分析, $F_2$ 断层泥(瞬变异常)为干扰体(异常),但含铅锌黄铁矿与硫化铅锌矿相互共生, $F_2$ 断层带为铅锌矿体赋矿部位,两者产生的物理异常对物探找矿具有重要的指导意义<sup>[3]</sup>。由此可见,该区具备激电(未考虑深度)、瞬变的找矿前提<sup>[4,5]</sup>。

## 3 工作技术方法

### 3.1 仪器设备

瞬变仪器:使用加拿大进口的 GEONIS PRO-TEM EM 瞬变系统,发射机型号为 EM47、EM57 - MK2,数字接收机为 PROTEM,接收天线为 3D—3 三分量接收天线、3D—1 单分量高频接收天线。整套仪器数据采集自动记录、自动存储,具有浅、中、深三种不同的探测深度,具有抗干扰能力强,分辨率高的性能,可同时完成剖面测量与测深工作,测量时间、断电延时误差 $<0.1 \mu s$ ,测量电位差误差 $<0.1 \mu v$ 。激电仪器:WDJS—1 数字激电接收机、WDFZ—2 型大功率智能发射机、日本生产的 EG6700 三菱发电机、供电导线、供电电极、不极化电极。测地仪器:测地工作使用 GTS—311S 全站仪。

### 3.2 工作方法

矿区地层构造及矿体总体走向为 $323^\circ$ ,物探测线垂直于矿体走向,布设基线方向为 $323^\circ$ ,测线方向为 $53^\circ$ 。瞬变网度 $50m \times 50m$ ,激电网度 $50m \times 25m$ 。采用比例尺为 $1:1$ 万。

瞬变:经过试验,确定瞬变面积性工作采用供电电压 $48V$ ,发送频率 $25Hz$ ,供电导线截面积 $2.5mm^2$ ,发送边框 $100m \times 100m$ 。同步方式:石英钟同步,导线同步试验。

激电:进行三台接收机一致性测定,由于该区地形条件特殊,主矿体埋深大,作了供电极距 $AB = 1500m$ 、 $AB = 2000m$ 试验,结合区内特殊的地形、地电条件,扫面工作采用 $AB = 1500m$ 的供电极距、 $MN$ 测量极采用 $50m$ 。

## 4 地球物理异常特征及异常源分析

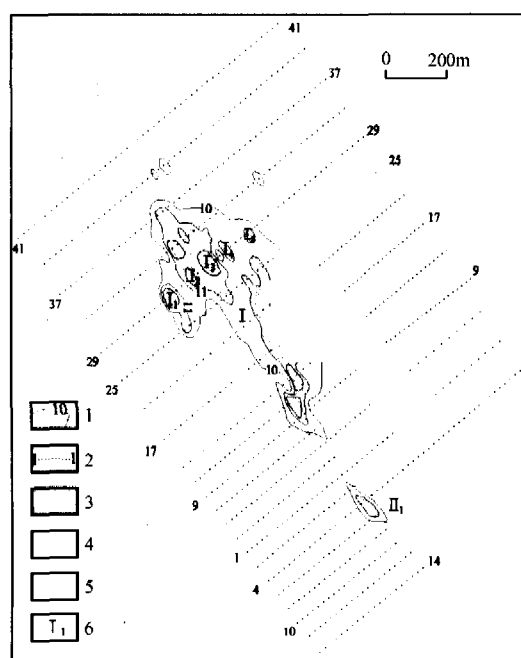
### 4.1 激电异常

激电异常(I)主要分布于北部水井湾一带( $9 \sim 37$ 线之间) $F_2$ 断裂以东,平行于 $F_2$ 断裂带呈长椭圆形展布(图2),长 $800m$ ,宽 $25 \sim 300m$ ,异常幅值 $9.18\% \sim 14.9\%$ 。异常所处位置为 $F_2$ 断裂旁侧含矿次级断层、裂隙发育地段,结合异常区的地质构造

① 云南地矿资源股份有限公司曲靖公司. 云南省鲁甸县乐红铅锌矿物探勘查报告, 2002.

表1 岩(矿)石物性测定结果

地层岩性	件数	$M_s/\%$			$\rho_s/\Omega \cdot m$			资料来源
		极大值	极小值	平均值	极大值	极小值	平均值	
Q 土壤	40	23.4	11.35	17.27	3037	300	1623	云南地矿
Q 沙砾石	32	20.02	9.8	14.2	6134	2259	3828	资源股份
$O_{2+3}d$ 白云岩	36	7.06	3.09	4.59	16764	4789	11534	公司曲靖
$O_2q$ 硅化白云岩	33	19.51	6.02	17	7674	937	2854	公司实测
$O_1q$ 石英砂岩	34	39.04	-7.26	10.83	8342	141	2888	
$O_1q$ 泥岩、砂岩	45	31.79	1.43	5.68	2635	13	552	
$\epsilon_3e$ 泥质白云岩	40	12.06	3.88	8.58	10586	1470	5276	
$\epsilon_2x$ 砂质泥岩	31	14.54	9.07	12.09	1827	822	1248	
$\epsilon_2d$ 白云质砂、泥岩	34	5.45	0.72	3.11	446	112	267	
$\epsilon_1l$ 白云岩	31	10.1	2	6.99	6315	678	3112	
$\epsilon_1c^w$ 粉砂质泥岩	15	6.64	3.21	4.77	165	56	98	
$\epsilon_1c^h$ 石英细砂岩	16	12.7	8.13	10.62	1097	456	678	
$\epsilon_1q$ 白云质粉砂质泥岩	34	61.99	3.19	20.12	40348	962	6512	
$Z_2dn^{2-3}$ 硅质条带白云岩	33	11.1	1	3.44	8530	443	3490	
$Z_2dn^{2-2}$ 硅质白云岩	101	26.24	-1.33	2.66	62944	150	8958	
$Z_2dn^{2-1}$ 硅质白云岩	31	2.64	1.55	2.1	50523	15791	31171	
$F_2$ 断层泥、角砾岩	38	10.92	1	6.27	75	2	19	
氧化铅锌矿石	38	2.93	0.16	1.03	905	106	362	
含锌硫铁矿石	41	170.1	9.49	69.95	205	1	34	
硫化铅锌矿石	38	166.2	18.6	59.88	221	2	47	
矿渣	12	7.88	3.83	6.06	164	112	135	
15~20% 硫化铅锌矿石堆	12	45.78	32.69	38.48	45	19	30	

图2 乐红铅锌矿直流激电( $M_s/\%$ )等直线平面图

1—极化率等值线及数值;2—测线号及测量位置;3—极化率>11%;4—极化率10%~11%;5—极化率<10%;6—异常编号

特征和等值线的走向,把异常区内29线一带局部高值点(12.5%~13.8%)连接为大致平行的五条异常段( $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $I_4$ 、 $I_5$ )。整个异常为与 $F_2$ 断

层平行的含铅锌黄铁矿脉引起,铅锌矿属高极化体,异常高值区与已知矿体吻合较好,异常为矿致异常。该异常梯度变化小,范围大,引起高值异常的极化体(铅锌矿体或含铅锌黄铁矿体)有较大的埋深和下延深度,是寻找铅锌矿体的有利部位。

激电异常在1线附近氧化矿体上方不明显,只显示了一部分低缓异常,其原因是该区的氧化矿石属低极化体,不能产生极化场,唯混合矿石产生部分低缓异常。

其次于1线南的乐红街村以北的包包上向斜核部,出现一小异常( $II_1$ ),呈长条形展布于1~8线之间,长约160m,宽约50m,极大值为11.88%,推测异常为 $\epsilon_1q$ 与 $Z_2dn^{2c}$ 接触部位铅锌矿化体或小透镜状铅锌矿体引起。

#### 4.2 瞬变异常

瞬变异常是综合TEM响应剖面曲线图、视电阻率拟断面图和不同高程电阻率平面图而成的。总体圈出2个低阻异常带4个异常段。2个低阻异常带分别是 $F_2$ 断层带低阻异常带(Ⅲ异常带)和 $F_1$ 断层及其以东低阻异常带(Ⅳ异常带),见图3。4个异常段是根据2个异常带的异常空间形态、结合地质构造特征,分别把2个低阻异常带各划分成2个异常段,成为4个异常段。即Ⅲ异常带上的12~11线

Ⅲ<sub>1</sub> 号异常段、17~41 线Ⅲ<sub>2</sub> 号异常段、Ⅳ异常带上的 4~1 线Ⅳ<sub>1</sub> 号异常段、21~41 线Ⅳ<sub>2</sub> 号异常段。

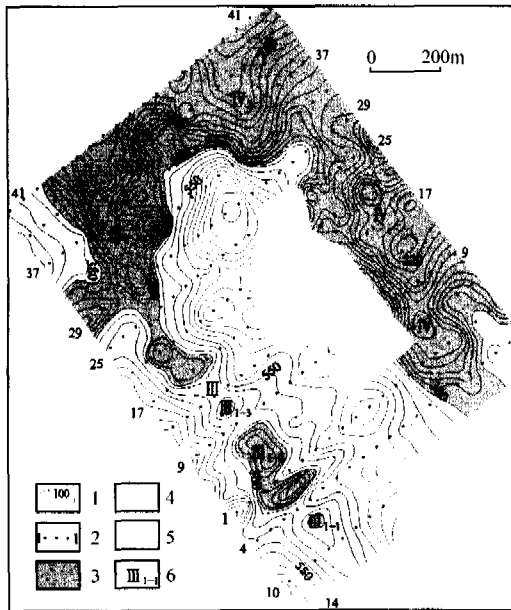


图3 乐红铅锌矿 1500m 标高 TEM 视电阻率等值线平面图

1—视电阻率( $\rho_s$ )等值线及数值;2—测线号及测点位置;3—低阻带( $\rho_s < 380\Omega \cdot m$ );4—中阻带( $\rho_s = 380 \sim 550\Omega \cdot m$ );5—高阻带( $\rho_s > 550\Omega \cdot m$ );6—异常编号

Ⅲ<sub>1</sub> 号异常段内 3 个相对低阻异常点(Ⅲ<sub>1-1</sub>、Ⅲ<sub>1-2</sub>、Ⅲ<sub>1-3</sub>):其中 1~9 线异常点(Ⅲ<sub>1-2</sub>)位于  $F_2$ 、 $F_3$  两断层交汇部位,低阻异常值为  $280\Omega \cdot m$ ;1 线附近响应剖面曲线前期道平缓,中、晚期道明显向上凸起,相对围岩具明显的低阻异常,电阻率拟断面图异常曲线反应低阻异常比较宽、且陡倾下延,从 1700m 标高平面图上电阻率异常值为  $280\Omega \cdot m$ ,异常沿  $F_2$ 、 $F_3$  断层夹持带呈长椭圆形或透镜状展布,有 2 个低阻异常。不同高程电阻率平面图反映异常垂向呈柱状延至 1360m 标高以下(图 4),说明含矿破碎带比较宽、且陡倾下延深度较大,矿体有向下延伸的可能。8 线(Ⅲ<sub>1-1</sub>)异常值  $340\Omega \cdot m$ ,异常幅值和下延深度小于已知矿体异常幅值和下延深度,浅部是寻找氧化铅锌矿体的有利部位,中部也不能排除有找到硫化矿体的希望。

Ⅲ<sub>2</sub> 号异常段 17~41 线,异常连接成片,响应剖面曲线从早期道至晚期道幅值高、宽度大,平面上异常沿  $F_2$  断层呈不规则长条形展布,向北异常未封闭,沿  $F_2$  断层延伸,北东侧与Ⅳ<sub>2</sub> 号异常段在  $F_1$ 、 $F_2$  断层交汇点附近相连(图 3),垂向上异常下延至 1360m 以下。电阻率异常值为  $140 \sim 280\Omega \cdot m$ ,异常

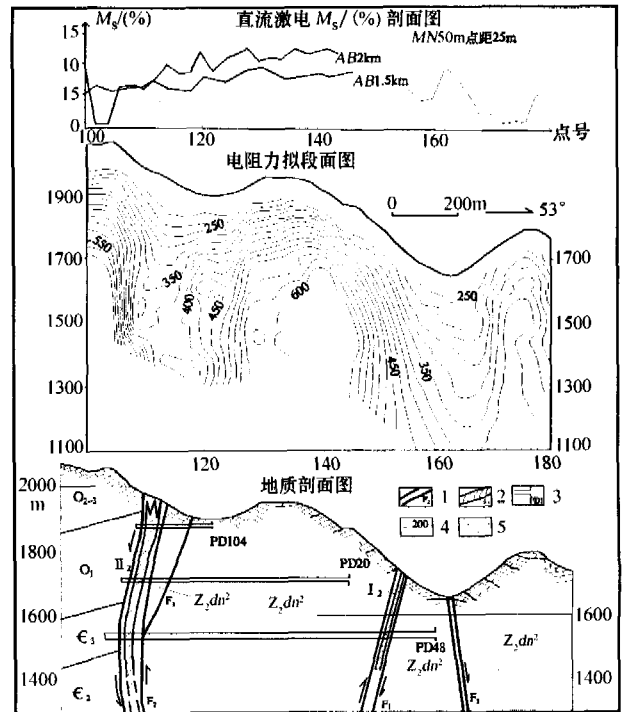


图4 乐红铅锌矿 1 线综合剖面图

1—断层及编号;2—矿体及编号;3—坑道及编号;4—视电阻率等值线及数值;5—极化率曲线;其他图例同图 1

宽  $50 \sim 200m$ ,即低阻异常明显、规模大。说明低阻体(含矿破碎带)宽度大、延深大,是寻找较大规模铅锌矿体的有利地段。29 线出现一近于垂直  $F_2$  断层的向西延伸出勘查区的低阻异常,推测有次级断层存在。

Ⅳ<sub>1</sub> 号异常段主要是  $F_1$  断层和选厂厂部以及输水管引起的异常的综合反应,目前无法区分地质体异常和干扰异常,对指导找矿暂无实际意义。

Ⅳ<sub>2</sub> 号异常段,平面上呈不规则条形展布,异常与  $F_2$  断层异常相连,北、西两边均未封闭,垂向上异常柱状下延至 1100m 标高。异常低阻值为  $140 \sim 280\Omega \cdot m$ ,异常显示明显、规模大。响应剖面曲线从早期道至晚期道低阻幅值高、宽度大,证明该地段有大规模低阻体存在,该地段地质工作程度低,构造不尽清楚,可作为找矿远景区。

## 5 异常验证效果

根据物探工作圈定的异常,对  $F_2$  断层Ⅲ异常带进行坑道验证,结果均见到了厚大矿体。1 线 PD20 在 1721m 标高矿体厚 68.32m,品位 Pb 9.76%,Zn 12.92%;PD48 在 1553m 标高矿体厚 10.67m,品位 Pb 1.87%,Zn 9.86%(图 4);9 线 PD49 在 1610m 标

高矿体厚 7.24m,品位 Pb 1.69%, Zn 12.35%; 13 线 PD39CD1 在 1721m 标高矿体厚 5.79m, 品位 Pb 1.81%, Zn 19.57%; 29 线 PD5 在 1753m 标高矿体厚 10.69m, 品位 Pb 1.36%, Zn 11.79%; 29 线 PD2904 在 1610m 标高矿体厚 12.78m, 品位 Pb 2.76%, Zn 10.82%。尚有其他见矿工程,此不一一列举。通过 4~33 线长 900m 间的坑道验证,控制矿体斜深 100~400m,矿床规模已经突破大型,获得了很好的找矿效果。

除乐红铅锌矿外,其外围火德红、乐可坝、翻身村、金沙厂等矿区也进行了物探勘查。火德红矿区物探勘查圈定的异常,目前施工的验证坑道和钻探工程已见矿,其余矿区即将进行验证。

## 6 结 论

滇东北地区属扬子成矿区(Ⅱ-5)昭通—六盘水铅锌银金成矿带(Ⅲ-28)巧家—彝良铅锌银成矿带<sup>[6]</sup>,带内有 NE、NW 及 EW 向三大控矿构造体系,成矿地质条件好,矿床类型为以碳酸盐岩为容矿岩石的 MVT 型铅锌银矿床<sup>[7,8]</sup>。已知矿床(点)、矿化点星罗棋布,但探明的大中型矿床仅 7 处,勘查工作仅限于地表露头矿或沿层找矿,对大多数地表仅有矿化体(带)的地区,由于无确切依据布置深部工程,找矿风险太大,而未进行探索,空白勘查区还很

多。利用 TEM 和 IP 配合,不但克服了地形的影响,而且探测深度大,因此在地形条件复杂的滇东北地区乃至其他地区,利用物探方法结合地质研究寻找隐伏矿床是较为有效的找矿手段。

综上所述,地球物理探测技术与矿床地质研究紧密结合,不仅为隐伏矿和深部矿的探测定位提供了有效的技术手段,而且缩短了探矿周期,提高了找矿成功率,降低了探矿成本和探矿风险,对资源快速评价有重要意义,应用前景十分广阔。

### [参考文献]

- [1] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1990.
- [2] 云南省地质局. 1:20 万鲁甸幅(G-48-27)区域地质调查报告(矿产部分)[R]. 1978.
- [3] 蒋邦远. 实用近区磁源瞬变电磁法勘探[M]. 北京:地质出版社,1998.
- [4] 吴其斌,王君恒,崔霖沛. 勘查隐伏金属矿的新方法[J]. 地质与勘探,1999,35(6):44~47.
- [5] 杜庆丰. 瞬变电磁(TEM)数据组合滤波[J]. 地质与勘探,2002,38(增刊):129~131.
- [6] 云南省地质矿产局. 云南省第二轮成矿远景区划报告[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [7] 王奖臻,李朝阳,李泽琴,等. 川滇地区密西西比河谷型铅锌矿床成矿地质背景及成因探讨[J]. 地质地球化学,2001,29(2):41~45.
- [8] 周云满. 滇东北乐红铅锌矿床地质特征及找矿远景[J]. 地质地球化学,2003,31(4):16~21.

## APPLICATION EFFECTS OF GEOPHYSICAL PROSPECTING METHOD FOR HIDDEN DEPOSITS IN THE NORTHEASTERN YUNNAN

ZHOU Yun-man<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. Qujing Branch of Yunnan Geology and Mineral Resources Co. Ltd., Qujing 655000)

**Abstract:** It is thought that northeastern Yunnan is one of the best areas in which geological setting has particularly advantageous for the formation of Pb-Zn (Ag) deposits. All Pb-Zn (Ag) deposits discovered in the area over the past years are exposed on the earth's surface. Ore-prospecting criteria for these deposits are distinct and the deposits are easy to be discovered. The proved reserves of those Pb-Zn (Ag) deposits discovered in the area almost have been exhausted. The exploration geologists are facing hard tasks to predict hidden ores occurred at the depth and surrounding areas of the old mines. In recent years, Qujing Branch of Yunnan Geology and Mineral Resources Co. Ltd. successfully applied transient electromagnetic method (TEM) together with dual frequency induced polarization method (IP) surveying to explore ores in the depth of Leihong Pb-Zn (Ag) deposit, which occurs in the northeastern Yunnan with complicated landforms. Subsequently, TEM together with IP surveying has been applied to predict hidden ores occurred in the surrounding areas of the Leihong Pb-Zn (Ag) deposits. At present, hidden ores were discovered in some areas, and some TEM and IP anomalies are planned for drill-testing in other areas. Based on practical and comprehensive results, it has been pointed out that TEM together with IP surveying can be applied widely and effectively to explore hidden ores occurred in the areas with complicated landform.

**Key words:** geophysical prospecting method, exploring hidden deposits, northeastern Yunnan