文章编号: 1009-6248(2010)02-0058-07

# CSAMT 和IP 法在凤县老厂铅锌矿区的应用效果

刘建利1,徐新学2,郭虎生1,屈挺1,张泉1

(1. 陕西省地质矿产勘查开发局物化探队, 陕西 西安 710043; 2. 天津华北地质勘查 局华勘矿业公司, 天津 300170)

摘 要:通过在已知矿体上的物探方法试验,论述了CSAMT、SIP、TDIP 3 种方法的物探异常特征和找矿效果,分析了TDIP 法因地形影响因素带来的异常空间错位。SIP 和TDIP 法可较为准确的确定激电异常的平面位置,消除地形影响因素。结合视时间常数和视频率相关系数的异常特征反映,能有效地区分矿异常与非矿异常。CSAMT 法能清晰地反映出激电异常和其围岩的电阻率特性。研究成果表明,本区矿致异常特征为低电阻率、高充电率、大时间常数、低频率相关系数。3 种方法相结合,可准确判定异常体的位置、深度、倾向。多种参数相互佐证,可降有效降低多解性,为下一步地质工程提供可靠的资料依据。

关键词: 凤县老厂; 铅锌矿; CSAMT; SIP; TDIP; 地形影响; 异常特征; V8电法工作站

中图分类号: P631 文献标识码: A

老厂铅锌矿区位于北秦岭凤县河口镇老厂村小石沟、董家沟、大石沟一带,海拔标高一般在900~1500 m。目前,小石沟已探明矿体有两个。20世纪60年代至今,矿区地质勘探工作一直在断续进行,发现了龙王沟硐铅锌矿点(李引劳等,2008),陕西省地矿局第三地质队在该区开展了地质普查工作,进行了1 1万地质草测、激电、磁法和土壤测量,通过坑、钻探工程,控制了KT1和KT2两条隐伏铅锌矿体。2008年,陕西省物化探队应用综合物探手段,在矿区及其外围进行了1 5000激电中梯、可控源音频大地电磁测深、频谱激电测深等新方法的试验和勘探工作,对研究该区成矿模型、提供勘探重点靶区具有一定的指导意义。

### 1 基本概况

#### 1.1 地质概况

区域位于北秦岭加里东褶皱带纸房-永丰褶皱束中(李引劳等,2008)。区域地层属华北地层大区秦祁昆地层区之祁连-北秦岭分区,主要出露地层为下元古界秦岭岩群、下古生界奥陶系草滩沟群和石炭系草凉驿组。其中,奥陶系草滩沟群为区域铅锌铜矿含矿地层;区域侵入岩隶属宝鸡岩基,主体呈岩基状分布于区域北部,呈岩株状出露于秦岭岩群和草滩沟群中,岩性以中、酸性为主,时代分属加里东期、印支—华力西期和燕山期。

矿区主要出露奥陶系张家庄组海相火山-沉积岩组合,其为一套细碧-石英角斑岩系,表现为一宽缓的鼻状背斜构造,核部小石沟口显示古火山颈相特征。矿区北部唐藏超单元雷家院单元细粒石英闪长岩体分布广泛。

矿区的宽缓鼻状背斜构造 (李引劳等, 2008), 其轴向沿老厂河呈北北西向, 两翼地层倾角较缓, 两

收稿日期: 2009-12-24: 修回日期: 2010-03-02

基金项目: 陕西省地质矿产勘查开发局 2008 年地质勘查及科研专项基金项目。

作者简介: 刘建利(1972-)、男、陕西凤翔人、1997年毕业于长春地质学院、物探工程师、现主要从事地球物理应用及研

究工作。E-mail: WT D-Liu Jian Li@ 163.com

翼地层中发育北北两向次火山岩脉。 东翼红山梁— 松林沟铁矿体多呈北北西向。矿区受区域变形变质 作用的影响。石英角斑质凝灰岩、含砾石英角斑质 凝灰岩及火山角砾岩等细火山碎屑岩片理化较强. 局部形成片理化带。在片理化矿化带中、伴有矿质 的活化富集。并沿片理面充填形成脉状。 条带状或 浸染状矿体.

目前认为本矿床属细碧角斑岩建造中的黄铁矿 型多金属硫化物矿床(李引劳等, 2008)。含矿岩系 属海相细碧-石英角斑岩建造、火山岩分异显著、富 含钠质、矿体主要赋存在细火山碎屑岩中 整合产 出。围岩蚀变发育、并具分带现象。矿石矿物组合、 结构构造等也与黄铁矿型多金属硫化物矿床相似。

#### 1.2 矿体特征

通过钻、硐探工程验证、已圈出隐伏KT1铅锌 矿体和KT2 贫锌矿体。KT1 和 KT2 矿体均未出露 地表, 矿体呈不规则诱镜状, 主体分布干4—15 勘探

线间。KT1 矿体位于7—15 勘探线间。总体向北西 缓倾, 主体产状 330 15 °~ 30 ° 现工程控制长 110 m. 水平厚度6.0~35.4 m. Pb Zn 平均品位3.27%. 有开发利用价值。为矿区主要铅锌矿体: KT2 矿体 位于0-4勘探线间,延伸150 m,厚1.3~18.0 m, 矿体产状300~340 20~35° 以锌为主、平均Zn 品位1.71%, 为贫锌矿体。矿区KT1和KT2矿体地 质勘查工作仍在讲行中。

#### 1.3 岩(矿)石电性特征

本区赋矿围岩以石英角斑质凝灰岩为主, 次为 石英角斑质熔凝灰岩,石英角斑岩及石英钠长斑岩。 表1显示、铅锌矿石电阻率平均值为208 Q·m、极 化率平均值 38.22%: 纯铅锌矿石电阳率平均值为 243 Q·m. 极化率平均值34.90%。赋矿围岩电阻率 平均值在 4 147 ~ 7 350 Q·m 之间, 极化率平均值 在 0.74% ~ 2.0% 之间。铅锌矿石相对赋矿围岩 具有明显的低阻高极化电性特征。含火山角砾铅锌

表1 凤县老厂区及外围岩(矿)石电性参数测定统计表

岩(矿) 石名称	电阻率/Ω·m		极化率/%	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值
石英钠长斑岩	3 210 ~ 6 800	4 739	0. 74 ~ 8. 89	2. 00
细碧岩	1 348 ~ 25 167	13 621	0. 36 ~ 15. 35	4. 79
石英角斑岩	3 443 ~ 16 558	8 546	0.44 ~ 1.11	0.77
石英脉	70 409 ~ 130 523	100 916	0. 63 ~ 0. 85	0.71
熔凝灰岩	3 546 ~ 4 887	4 147	0. 53 ~ 0. 98	0.74
硅质岩	40 697 ~ 68 854	54 276	1. 18 ~ 1. 80	1.58
火山角砾岩	2 086 ~ 17 760	8 720	2.74 ~ 10.30	5. 25
黄铁矿化细碧岩	4 189 ~ 6 726	4 928	5. 33 ~ 6. 88	7. 25
火山角砾铅锌矿化石英角斑质熔凝灰岩	1 224 ~ 1 668	1 446	1.71 ~ 17.36	9. 54
铅锌矿化凝灰岩	53 ~ 270	162	18. 32 ~ 20. 29	19. 31
构造蚀变岩	4 753 ~ 15 276	8 107	1.83 ~ 3.24	2. 54
石英角斑质凝灰岩	1 241 ~ 14 581	7 350	0. 67 ~ 1. 90	1. 19
石英闪长岩	1 574 ~ 6 685	3 945	0.75 ~ 1.32	1.04
铜铅锌矿化熔凝灰岩	233 ~ 11 916	4 030	5. 17 ~ 26. 20	21. 17
石英脉矿石	1 511 ~ 5 551	2 709	15. 71 ~ 22. 99	19. 37
铅锌矿化火山角砾岩	1 791 ~ 12 343	4 853	9. 90 ~ 17. 37	14. 16
铅锌矿石 (纯)	78 ~ 381	243	28. 11 ~ 42. 45	34. 90
铅锌矿石	20 ~ 837	208	22. 41 ~ 55. 23	38. 22
黄铜矿化石英角斑质凝灰岩	244 ~ 4 784	1 645	30. 47 ~ 37. 44	33. 32
蚀变岩 (原岩为细碧岩)	2 915 ~ 17 072	11 091	0.89~12.91	7. 68
杏仁状含磁铁矿细碧岩	8 395 ~ 29 410	9 308	1. 88 ~ 12. 55	6. 98

矿化石英角斑质熔凝灰岩、铅锌矿化凝灰岩、铜铅锌矿化熔凝灰岩、铅锌矿化火山角砾岩、黄铜矿化石英角斑质凝灰岩等。矿化岩石电阻率平均值在162~4853 Ω·m,极化率平均值在9.54%~33.32%,相对赋矿围岩也表现出较为明显的低阻高极化电性特征,但其低阻高极化特征没有铅锌矿石明显

本区铅锌矿石、铜铅锌矿化岩石相对赋矿围岩 具有明显的低阻高极化特征,区内未发现碳质层。这 种明显的电性差异,是本区的主要电性异常源。这 就为利用电法寻找新的隐伏矿(化)体提供了物性 前提。

## 2 方法技术

激电中梯  $(T\,DIP)$  一线供电三线观测,旁测距 50~m,点距 20~m,供电极距  $AB=1\,200~m$ 、测量极距 MN=20~m、供电时间 T=4~s,供电电流  $5\sim6~A$ 。采用  $T\,X\,U$   $-30~U\,V\,8~$  专用  $30~k\,W$  大功率发送机和 DJS 接收机。

频谱激电测深 (SIP) 采用偶极— 偶极测深装置,供电极 AB=40 m,测量极 MN=40 m,隔离系数  $a=1\sim9$ ,整排列滚动测量。观测频率范围为 0.03  $125\sim256 \text{ Hz}$ ,观测频点 27个,每个测点观测时间 40 min。采用 V8 多功能电法工作站。

可控源音频大地电磁测深 (CSAMT) 场源 AB 间距 2 km, 收发距  $r = 6 \sim 12 \text{ km}$ , 测量电极 MN = 40 m, 点距 20 m。观测电场 Ex 分量和磁场 Hy 分量,频率范围为  $11.333 \sim 8192 \text{ Hz}$ 。采用 V8 多功能电法工作站,发射功率 30 kw,发射电流  $4 \sim 15 \text{ A}$ 。

## 3 方法试验

#### 3.1 激电中梯异常特征

11 勘探线激电中梯 (TDIP) 视充电率、视电阻率曲线显示 (图1-E,图1-F), 矿体上方视充电率具有明显的高极化异常, 视充电率最大值为3.2%。视电阻率异常为高阻背景上的局部相对低阻异常, 视电阻率约为 $2~100~\Omega\cdot m$ 。矿体上方激电异常显示为"低阻高极化特征",且和已知矿体对应关系较好,视充电率异常峰值向矿体反倾向方向略有位移,位移

距约为12 m。

#### 3.2 **CSAMT** 异常特征

11 勘探线CSAMT 二维反演视电阻率断面 (图 1-G) 显示, ZK11-1 钻孔控制的已知矿体在CSAMT 断面图上反映为低阻特征。低阻异常中心视电阻率为 $158~\Omega\cdot m$ ,低阻异常的位置和矿体对应。在已知矿体下方也存在一低阻异常,位置在230—220 点之间,标高 1~450~m,异常中心视电阻率为 $158~\Omega\cdot m$ ,和已知矿体有相似的电阻率特征。断面右段208~号点标高 1~480~1580~m 处也出现了一个低阻异常,异常中心视电阻率为 $158~\Omega\cdot m$ 。

#### 3.3 SIP 异常特征

11 勘探线频谱激电 (SIP) 视充电率断面 (图1-B, 图1-C, 图1-D) 出现了3个异常: 11-1号异常位于224—240号点标高1550m处, 异常中心视充电率为9%, 表现为大时间常数, 频率相关系数从高到低梯度变化, 其右上部异常中心和ZK11-1钻孔控制的已知矿体位置对应; 11-2号异常位于226—232点标高1450m处, 异常中心视充电率为9%, 表现为大时间常数、低频率相关系数; 11-3号异常位于202—214点标高1390~1510m处, 异常中心视充电率为10%, 表现为小时间常数、小频率相关系数。

#### 3.4 方法试验效果分析

由11 勘探线物探综合剖面图可以看出(图1), CSAMT、TDIP和SIP各参数所反映的异常空间位置对应,有较好的套合关系:11-1号异常右上部反映出了已知矿体的空间位置,其异常特征表现为低电阻率、高充电率、大时间常数、频率相关系数从高到低梯度变化的电性特征;11-2号异常表现为低电阻率、高充电率、大时间常数、低频率相关系数,其异常特征和11-1号异常相比仅是频率相关系数不同;11-3号异常表现为高充电率、小时间常数、低频率相关系数、中高电阻率特征,和11-1号异常相比电性特征差异较大。

激电中梯视充电率异常峰值向矿体反倾向方向略有位移,位移距约为12 m。通过综合剖面对比发现是地形影响因素所致。11 勘探线地表为从大号点向小号点逐渐降低的斜坡地形,若考虑地形因素,激电中梯视充电率异常峰值的位置正好和 KT1 的位置对应、如图 1-A 所示。

激电中梯和CSAMT、SIP 断面对比发现, 激电

中梯220—230号点视充电率上部陡立部分反映深度较浅, 应是228号点已知矿体的电性反映。其下部宽缓部分反映的深度较深。 应是228号点已知矿体

深部 11-2 号异常处低阻高极化体的电性反映。11-3 号异常处激电中梯视充电率无异常显示。

11-1 号异常反映的是 KT 1 已知矿体的电性特

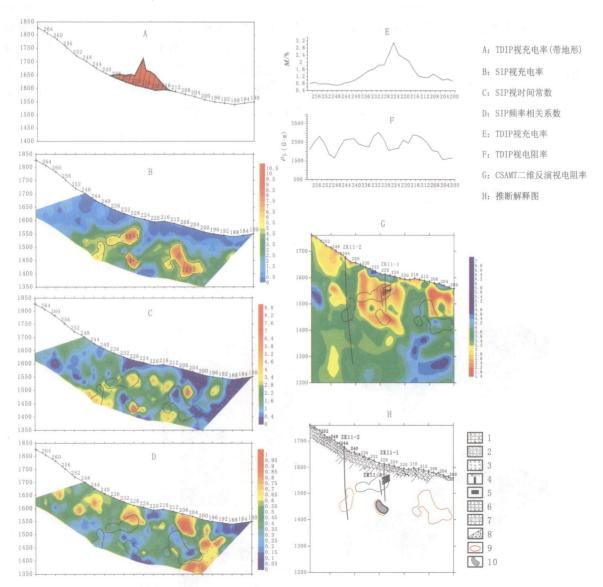


图1 11勘探线物探综合剖面图

Fig. 1 Integrated results of geophysical prospecting for Line 11

1. 含砾石英角斑岩、凝灰熔岩; 2. 石英角斑岩; 3. 细碧玢岩; 4. 钻井及编号; 5. 矿体; 6. 石英角斑岩、熔凝灰岩; 7. 石英角斑质凝灰岩; 8. 腐植土及残坡积物; 9. SIP 视充电率异常; 10. 推断矿体

征, 11-2 号异常和11-1 号异常特征相似, 视充电率、视电阻率和视时间常数异常幅值相当, 仅是频率相关系数有所不同。11-2 号异常, 位于已知矿体深部, 岩性以蚀变石英角斑质凝灰岩为主, 地质成矿部位有利, 推断认为是深部低阻高极化矿(化)体引起的矿致异常, 该异常后来经钻孔验证, 已知矿体下

方 135 m 处见到方铅矿团斑、175 m 处局部见黄铁矿化。11-3 号异常处 T DIP 视充电率无异常,CSAMT 电阻率特征也不是很有利。

3 种物探方法均很好地反映出了<sub>KT</sub>1 已知矿体的空间位置和异常特征,矿体异常特征为"高充电率、大时间常数、低频率相关系数、低电阻率", 在

已知矿体深部发现了与已知矿体电性特征相似的矿致异常,后经打钻验证见到方铅矿团斑。这些结果表明,3种物探方法在已知矿体上取得了较好的试验效果,在矿区外围利用这3种物探方法组合,能够寻找和已知矿体电性特征相似的新的隐伏矿体。

## 4 勘探实例分析

图2 为矿区外围34 勘探线物探综合剖面图。频

谱激电 (SIP) 视充电率断面图出现了3 个高值异常 (图2-B), 34-1 号异常位于220—226 号点标高1 520 m, 异常中心视充电率为10.8%、8.9%; 34-2 号异常位于232—244 号点标高1 530~1 670 m, 异常中心视充电率为 20.0%、13.6%; 34-3 号异常位于244—250 号点标高1 470~1 520 m, 异常中心视充电率为 18.0%,其下方标高1 520 m 处还有一个未封闭的异常。3 个异常的视时间常数均不同程度的表现为大时间常数。

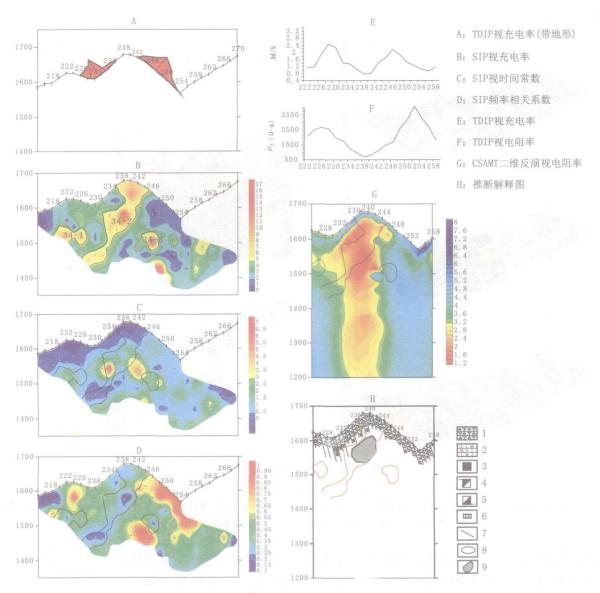


图 2 34 勘探线物探综合剖面图

Fig. 2 Integrated results of geophysical prospecting for Line 34
1. 石英角斑岩; 2. 石英角斑岩、熔凝灰岩; 3. 磁铁矿化; 4. 赤铁矿化; 5. 褐铁矿化; 6. 黄铁矿化; 7. 岩性界面; 8. SIP 视充电率异常; 9. 推断矿体

综合分析34 线各物探参数异常, 34-2 号异常处于CSAMT 视电阻率断面的低阻区 (图2-G), 表现出明显的高充电率、大时间常数、低频率相关系数、低电阻率特征, 地表出露为石英角斑岩, 局部见黄铁矿化,和11 勘探线KT1 矿体有相似的电性特征,推断认为是矿致异常。34-1 和34-3 号异常规模较小,处于CSAMT 视电阻率断面的高低阻变化梯带上,其异常特征为高充电率、中等时间常数、低频率相关系数、应作为下一步地质工作的重点异常。

TDIP 视充电率曲线显示了2 个高值异常(图2-E),似乎反映了深部两个高极化体的存在。若考虑地形因素,如图2-A 的TDIP 视充电率(带地形)异常曲线,TDIP 视充电率在230 和248 点出现的2 个高充电率异常实质上反映的是同一个高极化体,即反映的是SIP 视充电率34-2 号异常处的高极化体。这一高极化体对应于CSAMT 视电阻率断面的低阻区、为低阻高极化特征。

### 5 结论

矿区激电中梯、频谱激电测深、可控源音频大 地电磁测深等3种勘探方法试验结果与已知矿体相 吻合,所推断的矿致异常经打钻得到了验证。矿区 外围勘探实例分析表明,在本区利用这3种物探方 法来寻找低阻高极化异常的矿体是行之有效的。通 过多种物探参数相互佐证分析,可以为下一步地质 工程提供重要物探依据。

本区矿体引起的物探异常特征表现为 "一高一大两低",即高充电率、大时间常数、低频率相关系数、低电阻率,可以此特征作为解释推断依据和新的找矿思路,在矿区及其外围寻找和已知矿体电性特征相似的新的隐伏矿体。

激电中梯视充电率异常地形因素所引起的空间 错位特征、在解释异常时应充分考虑。

## 参考文献 (References):

- 石昆法. 可控源音频大地电磁法理论与应用[M]. 北京: 科学出版社. 1999.
- Shi Kunfa. The theory and application of controlled source

- audio-frequency electromagnetic [M]. Science Publishing House, Beijing, 1999.
- 王家映. 我国大地电磁测深研究新进展[J]. 地球物理学报, 1997, 40 (增刊): 206-216.
- Wang Jiaying. New development of magnetotellric sounding in China [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1977, 40 (suppl): 206-216.
- 罗洪发. 被动源高频大地电磁系统的应用[J]. 地质与勘探, 2002, 38, (6): 50-54.
- Luo Honfa. Applying of passive source high frequency electromagnetic method [J]. Geology and Prospecting, 2002, (38), (6): 50-54.
- 罗延中,何展翔. 可控源音频大地电磁法的静态效应校正 [J]. 物探与化探, 1991, 15 (3): 196-202.
- Luo Yanzhong, He Zhanxiang et al. The correction of static effects in sonicfrequency telluric electromagnetic method of controllable source[J]. Geophysical and Geochemical Exproration, 1991, 15 (3) 196-202.
- 阎述,陈明生.频率域电磁测深的静态偏移及校正方法[J].石油地球物理勘探,1996,31,(2):97-102.
- Yan Shu, Chen Mingsheng et al. Static offset and correction in frequency domain electromagnetic sounding [J]. Oil Geophysical Prospecting, 1996, 31 (2): 97-102.
- 王若,王妙月.可控源音频大地电磁数据的反演方法 [J]. 地球物理学新进展,2003,18,(2):61-63.
- Wang Ruo, Wang Miaoyue Inversion method of controlled source audio-frequency magnetotelluric data [J]. Progress in Geophysics, 2003, 18 (2): 61-63.
- 胡建德. 电法勘探中的数学模型 [J]. 数学的实践与认识, 2004, 34, (2): 67-72.
- Hu Jiande Mathematical models in electromagnetic survy [J] . Mathematic in Practice and Theory, 2004, 34 (2): 67-72.
- 王若,王妙月,卢元林.高山峡谷区CSAMT 观测系统研究 [J]. 地球物理学新进展,2004,19,(1):51-54.
- Wang Ruo, Wang Miaoyue, Lu Yuanlin. CSAMT observation system study in high mountain and steep gorge area [J]. Progress in geophysics 2004, 19 (1): 51-54.
- 于昌明. CSAMT 方法在寻找隐伏金矿中的应用 [J]. 地球物理学报, 1998, 41, (1): 39-43.
- Yu Changming. The application of CSAMT method in looking for hidden gold mine [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1998, 41 (1): 39-43.

## Application of CSAMT and IP Methods in Laochang Lead-zinc Ore Mining Area of Fengxian-County

LIU Jian-li<sup>1</sup>, XU Xin-xue<sup>2</sup>, GUO Hu-sheng<sup>1</sup>, QU Ting<sup>1</sup>, ZHANG Quan<sup>1</sup>

(1. Team of Geophysical and Geochemical Exploration, Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development of Shaanxi, Xi'an 710043, Shaanxi, China;

2. Mining Investment Limited Liability CO. of Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300170, China)

Abstract: Based on experiments on some known ore bodies, we discuss the anomalous features and ore-prospecting effect of the methods of CSAMT, SIP, and TDIP, and analyze the spatial dislocation resulted from landform factor in using the TDIP method. SIP and TDIP can accurately determine location of anomalies on surface and can eliminate the negative effect of landform. CSAMT can give a clear boundary of difference resistivity for wall rock. The result shows that the Anomalous features in this mining area is low resistivity, high chargeability, long time constant, and low frequency correlation coefficient. We can analyze position, depth, tendency for abnormal bodies based on these four parameters and provide reliable geologic data for the next step.

**Key words**: Fengxian-laochang; lead-zinc ores; CSAMT; SIP; TDIP; to pographic influence; anomalous features; V8

## 高效液相色谱仪 LC-20A

高效液相色谱仪LC-20A 是西安地质调查中心实验测试中心于 2009 年引进的。高效液相色谱仪主要有进样系统、输液系统、分离系统、检测系统和数据处理系统组成。流动相被高压泵打入系统,样品溶液经进样器进入流动相,被流动相载入色谱柱(固定相)内,由于样品溶液中的各组分在两相中具有不同的分配系数,在两相中作相对运动时,经过反复多次的吸附—解吸的分配过程,各组分在移动速度上产生较大的差别,被分离成单个组分依次从柱内流出,通过检测器时,样品浓度被转换成电信号传送到记录仪,数据以图谱形式打印出来。高效液相色谱仪配有紫外检测器(UV)、荧光检测器(RF)、示差折光检测器(RID)以及105 位自动进样器。仪器型号:高效液相色谱仪LC-20A(日本岛津 SHIM ADZU 公司)。特点:LC-20A 是一款高压、快速液相色谱产品,拥有封闭的进样系统,避免了分析样品与环境的污染,高灵敏度检测器,能够满足痕量分析、快速分析的要求。最低检出限达 $10^{-9}$ 级。应用范围:目前广泛应用于生物科技、食品卫生等领域。主要应用于水体、土壤以及农产品中多环芳烃类 [(萘、苊、二氢苊、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(b)荧蒽、茚并(1,2,3)芘、二苯并(a,h)蒽、苯并(g,h,i)等)];酚类(五氯酚、2,4—二氯酚、2,4,6—三氯酚、间甲酚、苯酚、对硝基酚等)有机污染物的微量、痕量分析检测。

(西安地质调查中心 赵江华)