

# 氦射气测定法在油气化探中的应用

李鹤庆

(地质矿产部石油化探中心, 合肥)

多数油气藏中均含有高浓度的氦气, 由于氦原子的质量和特征, 它比烃类分子更容易透过盖层运移到地表, 从而在油气藏顶部的土壤中形成异常区(晕)。作者在已知或未知含油气区布网取样和测试, 取得了明显的化探效果。

土壤中吸附的氦气是地球化学法寻找油气藏的一个重要指标。美国利用壤中氦指标曾经在阿拉斯加、艾伯塔、科罗拉多、危地马拉、堪萨斯、密执安、俄克拉荷马、安大略、南达科他和得克萨斯等地区的已知油田上进行过试验。1979年美国南迈索迪斯特大学地球与人类研究所举办的第二届石油和天然气非常规勘探方法讨论会上发表了《油气勘探中的氦射气测量》的论文。苏联B·И·纳利夫金等编著的《局部圈闭含油气性评价方法》一书中有一篇《根据氦资料评价局部构造的含油气性》的文章。1986年核工业部北京三所和地质矿产部石油地质综合大队101队分别在下辽河油田和新疆塔北沙雅隆起上做了试验。国内外试验的共同结果是: 在油气田顶端周围土壤中吸附的氦气浓度增高, 在平面图上显示为氦的环状晕。机理目前尚不完备。

## 一、利用壤中氦找油的依据

氦有与多数油气藏共生的趋势, 含氦天然气是目前工业制取氦的唯一来源。北美各地天然气中氦的含量普遍高(表1)。

表1 北美各地天然气中氦的含量统计表

地点	含量范围(ppm)
加拿大艾伯塔	100—8200
加拿大艾伯塔	40—3800
加拿大新不伦瑞克	0—6900
加拿大萨斯喀彻温	200—1900
美国德克萨斯	1400—1790

摘自吴慧山等著《放射性测量新技术》(二)

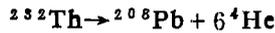
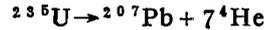
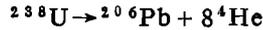
据西北大学地质系编的《石油地质学》中“天然气的化学组成和物理性质”一节中记载, 苏联依申拜油田氦含量为3000ppm, 美国沙德利油田、福尔克斯1号井和本得隆起的氦含量分别为: 2500ppm、1000ppm和8600ppm。

据《西北石油普查》1985年第1期刊载的陈正辅等著“沙参2井油气成因类型及油气源研究”一文中记载, 沙参2井含氦

量为675ppm; 四川石炭系以上各产层的氦含量为 $n \times 10^4$ ppm, 前寒武系产层则高于 $n \times 10^5$ ppm。

关于在多数油气藏中含有高浓度氦的事实, 一些有关的书籍和刊物上时有报道, 不再赘述。

铀钍等放射性元素发生核衰变时，放出 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 射线。其中 $\alpha$ 射线是由 $\alpha$ 粒子组成的，它是快速运动的氦核，所带正电荷电量是电子的两倍，质量约为质子的4倍， $\alpha$ 粒子俘获两个电子，生成中性氦原子。三种天然放射性元素形成氦的简化衰变过程如下：



氦有 $^4\text{He}$ 和 $^3\text{He}$ 两种同位素。 $^4\text{He}$ 来源于铀钍的衰变， $^3\text{He}$ 系由氢的重同位素氘的 $\beta$ 衰变生成。 $^3\text{He}$ 的丰度仅约为 $^4\text{He}$ 的 $10^{-6}$ ，所以氦气测量实际上测的是 $^4\text{He}$ 。

铀钍衰变生成的氦气在岩石中可以单独运移，也可以与地下流体如地下水、石油或天然气等一起运移，通过运移可以富集在油藏和天然气藏中。富集在圈闭中的氦气，经过长期的地质时期，也可以象烃类气体那样透过盖层扩散到地表，从而在土壤气体中形成的氦异常。

## 二、氦射气地球化学指标的优点

氦原子K电子层已经充满电子，属惰性气体，化学性质稳定。氦原子的质量仅大于氢原子的质量，比烃类小得多，氦原子结构比烃类简单得多，其物理性质比烃类活泼得多。相比之下，氦比烃类更容易透过盖层运移到地表，同时，地表的氧化作用和微生物作用都不能生成氦，大大减少了干扰因素。

塔北地区采用的地化指标有26个。根据各指标之间的相关性的 大小，以波斯坦测区为例，经R型聚类分析后，减化为八类指标（图1）。同时又以雅克拉测区为例，计算出了各指标之间的统计相关性（表2）。

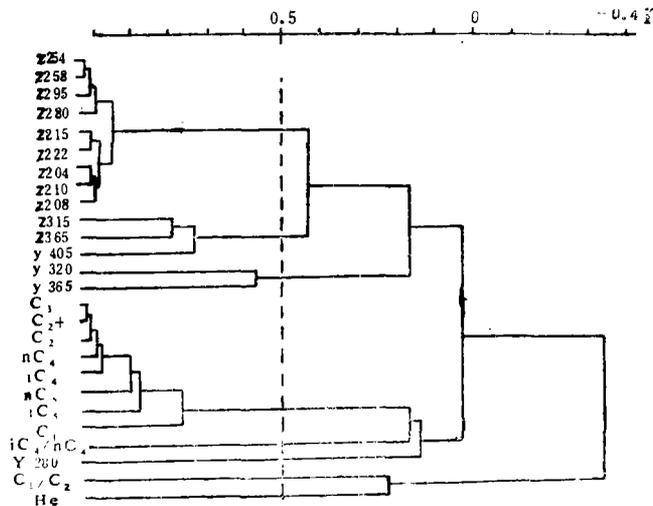


图1 塔北波斯坦测区R型聚类分析谱系图

(引自毛道善资料)

Z204, 208……紫外吸收光谱波长 (nm), Y280, 320……荧光光谱波为 (nm), C<sub>1</sub>: 甲烷, C<sub>2</sub>: 乙烷, C<sub>3</sub>: 丙烷, C<sub>2</sub><sup>+</sup>: 重烃, iC<sub>4</sub>: 异丁烷, nC<sub>4</sub>: 正丁烷, iC<sub>5</sub>: 异戊烷, nC<sub>5</sub>: 正戊烷, He: 氦,

表2 雅克拉测区指标相关系数统计表

指 标	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> <sup>+</sup>	C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub> <sup>+</sup>	iC <sub>4</sub> /nC <sub>4</sub>	He	Hg	ΔC	Z254	Z315	Y280	X365	YX
C <sub>1</sub>	1.000											
C <sub>2</sub> <sup>+</sup>	0.591	1.000										
C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub> <sup>+</sup>	0.421	-0.465	1.000									
iC <sub>4</sub> /nC <sub>4</sub>	-0.222	-0.099	-0.104	1.000								
He	-0.105	-0.002	-0.108	0.091	1.000							
Hg	-0.196	-0.231	0.087	0.057	0.054	1.000						
C	-0.276	-0.066	-0.390	0.073	-0.021	0.272	1.000					
Z254	-0.071	0.008	-0.065	-0.025	0.029	0.127	0.143	1.000				
Z315	-0.066	-0.054	-0.006	-0.059	0.061	0.157	0.046	0.738	1.000			
Y280	-0.154	-0.109	-0.035	0.151	-0.059	0.037	0.020	0.310	0.108	1.000		
Y365	-0.115	-0.071	-0.054	0.012	0.050	-0.006	0.161	0.737	0.409	0.382	1.000	
YX	-0.238	0.161	-0.451	0.062	0.075	0.035	0.353	0.058	-0.055	-0.003	0.030	1.000

(引自毛道善资料)

C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub><sup>+</sup>: 甲烷与重烃比, iC<sub>4</sub>/nC<sub>4</sub>: 异丁烷与正丁烷比, Hg: 汞, ΔC: 蚀变碳酸盐, YX: 岩性, Z254.315: 紫外吸收光谱波长(nm), Y280.365: 荧光光谱波长(nm)。

从图1、表2可以看出, 氦气是一个独立的因子, 受其它因素的影响是不明显的。尤其是其不受岩性影响的特点, 其它指标是无法与之比拟的。

### 三、沙雅隆起区域地质概述

沙雅隆起西接阿瓦提断陷, 东经孔雀河斜坡与库鲁克塔克隆起相连, 南北夹持在库车坳陷与满加尔坳陷之间, 东西向展布, 西宽东窄, 东西长约460km, 南北宽约10—50km, 面积约17000km<sup>2</sup>。

沙雅隆起分为三段。西段为柯吐尔-沙雅构造带; 中段为雅克拉-轮台构造带; 东段为库尔勒鼻隆起。它形成于加里东期, 海西期进一步加强, 中生界沉积前遭受强烈的剥蚀和夷平作用, 隆起带的顶部缺失元古生界, 中生界超覆于古元界之上, 海西期之后逐渐稳定, 中新世已趋灭亡。

沙雅隆起在古生代和中新生代多期构造运动的影响下, 断层十分发育, 对油气的运移、聚集非常有利。

圈闭类型多样, 有构造圈闭、古潜山圈闭、地层不整合圈闭、断层圈闭和岩性圈闭等。生油层系多, 有寒武—奥陶系、石炭二叠系和三叠—侏罗系三套生油层。由此可见, 沙雅隆起是一个有多种油藏类型、多目的层系的大型油气富集带, 有广阔的找油领域和前景。

## 四、测网、取样和分析方法

### 1. 测网

由于测区面积大、控制样点少，既要考虑到点上的详查工作，又要照顾到面上的概查工作，所以不同测区的测网布置是不统一的。已知含油的雅克拉构造为试验区，选择的测网密度为 $2 \times 1 \text{ km}^2$ 。未知区的波斯坦—雅西测区也是采用 $2 \times 1 \text{ km}^2$ 的网度。阿克库木—阿克库勒测区布置了两条间距约为6km，点距500m，近似平行的测线。

### 2. 取样

用螺旋钻取样，深度为2m，将土样装进250ml的盐水瓶内，顶部留约20ml的空隙（瓶顶空隙不宜太大，否则壤中氦气将被空气稀释）。瓶口用翻口橡皮塞堵紧后，将瓶倒置（以防氦气通过橡皮塞封口逸失）。

### 3. 分析方法

将土样放入CX-1型超声波清洗器中震荡20min，使壤中氦含量与顶部空间的氦气达到平衡，用注射器抽取顶部空间气2ml，经定量管后，实际分析的样量为0.2ml，注入LZL-902型质谱计分析。将顶部空间气中的氦量与空气中氦量对比而进行定量，即： $\text{He样}/\text{He空气} \times 5.239 \text{ ppm}$ （He样：代表样品中的氦量。He空气：代表空气中的氦量。5.239ppm：代表空气中氦的近似常量）。

## 五、质量评述

使用的仪器为北京分析仪器厂生产的LZL-902型四极质谱计，其灵敏度为50ppb，误差为 $\pm 1.03\%$ 。

图2是一条氦重复测量剖面曲线。其中一次是1986年10月份采样，11月中旬分析，点距330m；另一次是1987年8月份采样，11月中旬分析，点距1km。从图2中可以看出，每个测点的

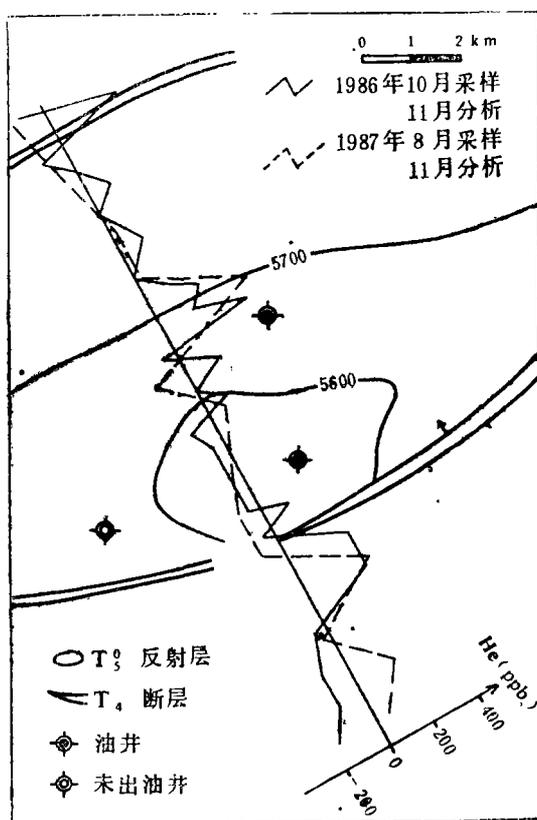


图2 雅克拉Y13线氦重复测量曲线

氮丰度绝对值虽有差异,甚至个别点还出现了相反的结果,但异常的总趋势是一致的,尤其是在构造边界和构造的顶部的显示最为明显。由此可见,分析质量是可信的,测氮成果是可靠的。

## 六、壤中微量氮测量成果

### 1. 氮浓度分布

测区内氮的浓度一般从52ppb到730ppb之间变化,均值为301ppb,极大值可达1461ppb,极小值为-159ppb(氮浓度已经减去大气氮本底值)。三个测区壤中微量氮分布状况见表3。

表3 不同测区壤中氮浓度(ppb)分布

测区	阿克库木	雅克拉	波斯坦—雅西
极大值	891	681	943
极小值	-52	-105	-157
平均值	272	185	447

(表中数据已减去大气氮本底值)

### 2. 异常的确定和特征

异常下限值的确定是背景值加两倍均方差,大于此下限值为异常。三个测区的异常评价参数列于表4。

表4 不同测区异常评价参数统计表

测区	阿克库木	雅克拉	波斯坦—雅西
背景值(ppb)	206	130	284
异常均值强度(ppb)	593	395	708
异常衬度	2.9	3.0	2.5
异常下限(ppb)	460	298	658
机率(%)	21	22	26

异常衬度——异常均值与背景值之比。

三个测区异常衬度在2.5至3.0之间,变化不大,都属于高衬度值。

异常轮廓确定的原则是:两个以上相邻的异常点圈成异常,异常的边缘离异常点的距离为点距的二分之一,再根据各个异常在平面上的分布趋势,并结合地震构造形态圈成整体的环状晕或半环状晕,以粗虚线条表示。和周围的异常点关系不明显的单个异常点或孤立的小异常(包括2—3个异常点),在资料解释时不予考虑。依据上述原则测得的各测区异常特征列于表5。

表5 三个测区异常特征统计表

测区	阿克库木	雅克拉	波斯坦—雅西
形态	半环状晕(推测)	长条形环状晕	亚铃形环状晕
面积(km <sup>2</sup> )	80	130	240
走向	NEE	~NE60°	~NE45°

### 3. 异常评价

根据氦异常点在平面上分布的规律性、氦异常与构造的符合程度以及异常的衬度，将异常分为三级。甲级级别最高，乙级中等，丙级最低。现把三个测区对氦异常的评价分述如下：

雅克拉测区是已知含油区，同时也是试验区，氦异常为清晰的环形晕。晕圈上的异常点有35个，占测区总异常点的80%，异常点在平面上分布的规律性强。晕圈为NE向，和断层走向一致，晕圈内包含有构造高点，与构造符合程度较高(图3)。异常衬度为3.0，定为甲级异常。

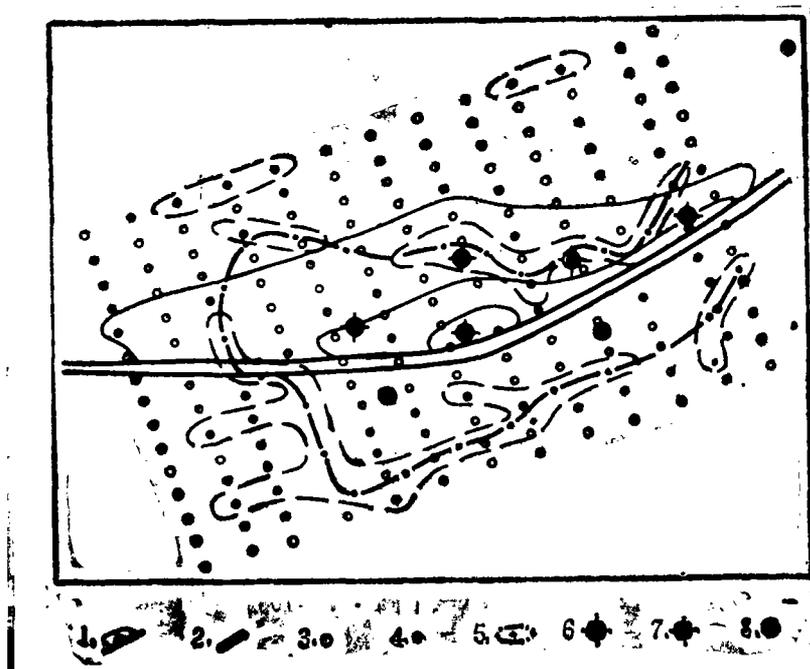


图3 雅克拉构造氦异常图

1. 构造高点 2. 断层 3. 取样点 4. 氦异常点 5. 氦环状晕 6. 油井 7. 未出油井 9. 推荐孔位

波斯坦—雅西测区是未知含油区，和雅克拉测区相毗邻，两测区最近处相距仅七公里。氦异常为亚铃形环状晕，晕圈上异常点有50个，占测区内总异常点的93%，异常点在平面上分布的规律性强。晕圈为NE向。晕圈内有两个构造高点，与构造的符合程度较高，但异常的衬度较其他两测区低，定为乙级异常(图4)。

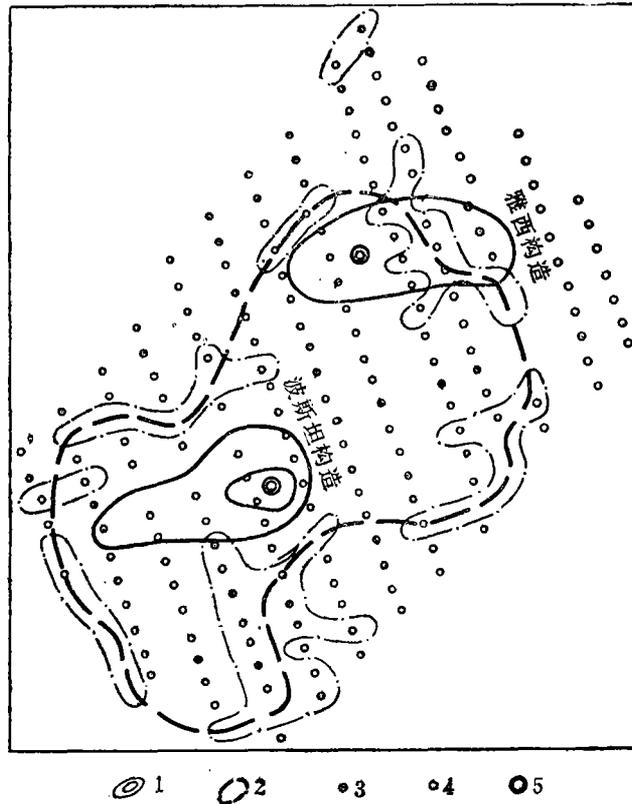


图4 波斯一雅西构造氮异常图

1.构造高点 2.取样点位 3.氮异常点 4.氮环状晕 5.推荐孔位

阿克库木—阿克库勒测区，原来也是未知区，氮异常为推测的两个半环晕。半环晕内的异常点有17个，占总异常点的77%，异常点在平面上的分布规律性较差。半环晕的走向近东西向，和断层线的走向一致，半环晕和T<sub>2</sub>反射层的符合程度差（图5）。异常衬度为2.9，划为丙级异常。但由于轮南一并于1987年10月在井深4700m的三叠系砂岩地层中喷出了工业油流，该井和沙9井属同一构造，位于沙9井西南9公里处，所以阿克库木的氮异常也就变得重要了。又由于沙14在1988年12月于井深5380m的奥陶系灰岩地层中喷出了工业油流，所以阿克库勒测区的氮异常也应引起足够重视。

### 七、勘探泛议

通过对三个测区壤中氮异常的评价，可以清楚的看出在塔北测区壤中氮作为油气地球化学指标，其地质效果是明显的，尤其是有了已知含油气的雅克拉构造上氮异常的模

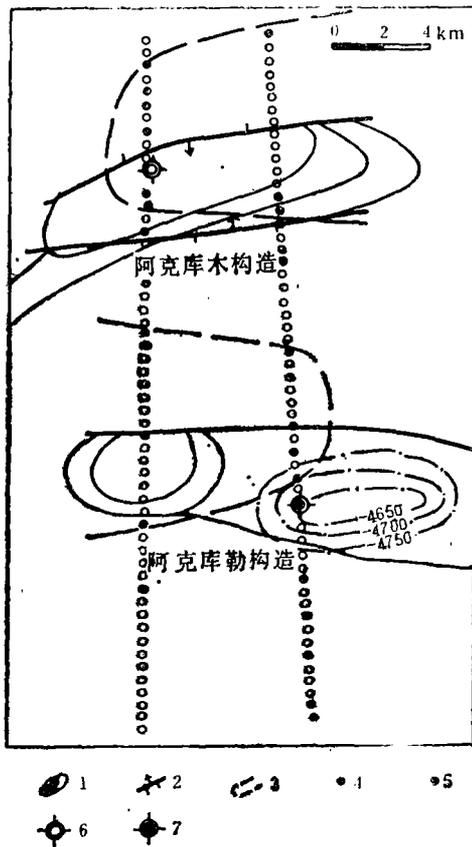


图5 阿克库木—阿克库勒氮异常图

1.  $T_0$ , 反射层 2.  $T_0$ , 断层 3. 取样点 4. 氮异常点  
5. 推测氮晕 6. 未见油井 7. 油井

还不能做出合理的解释。不过半环晕内的地震构造高点是不容忽视的，可能是储油的有利部位。

波斯坦—雅西测区氮晕为乙级异常，它和已知含油区雅克拉构造相毗邻，面积大，应给予特别的重视。

## 八、两点认识

1. 壤中氮射气测量最好在已经做过地震工作的地区工作，或与地震工作同时进行，如果没有地震构造资料，对氮成果的解释将增加难度。

2. 根据油田周围壤中氮为环状晕的模式，野外工作需按一定比例尺的网度进行。如果简单地布置一、二条测线，其成果将难以解释。塔北地区采用 $2 \times 1 \text{ km}^2$ 的网格是合适的。阿克库木地区含油远景很大，应按 $2 \times 1 \text{ km}^2$ 的网格补做化探工作。

(收稿日期：1989年5月27日)

式，这对未知区的氮异常的评价是有借鉴的。现依据三个测区氮异常的分布情况，略谈一下对今后石油勘探的认识。

雅克拉测区为甲级异常区，沙5井位于晕内，但没有出油，对该井应加强研究工作。尤其是应该注意在不同层位（奥陶系、侏罗系和三叠系）射孔，有可能突破出油关。另外，该测区只在断层的北侧布置了5口探井，断层的南侧由于没有地震构造高点而未布孔，但是，氮晕的南部边缘距断层3-4km，说明断层的南部也可能存在油气藏，应引起足够重视。

阿克库木测区虽然列为丙级异常，晕内的沙9井没有出油，但由于轮南一井和沙14井相继喷油，所以沙9井也可能是油气井，应加强对该井的研究工作，注意在不同层位试油，可望突破出油关。

阿克库勒构造上因测线少，只得到了推测的氮的半环晕。做了化探工作以后，沙14井出了油，该井位于氮晕的外部边缘，只因工作量小，对此

## 参 考 文 献

- 〔1〕 郭琪竹, 1976, 氦气测量在地质找矿中的应用, 原子能出版社。
- 〔2〕 吴慧山等, 1984, 放射性测量新技术, 地质出版社。
- 〔3〕 陈正辅等, 1985, 西北石油普查, 第1期。
- 〔4〕 康玉柱, 1985, 西北石油普查, 第1期。
- 〔5〕 西北大学地质系, 1979, 石油地质学, 地质出版社。
- 〔6〕 华东石油地质编辑部, 1987, 华东石油地质, 第1、2、3期。
- 〔7〕 M.J.Gole, C.R.M.Butt, 1985, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V.69, No.12, p.2110—2119.

APPLICATION OF HELIUM GAS MEASUREMENT IN  
CHEMICAL PROSPECTING OF OIL AND GAS

Li Heqing

(Centre of Petroleum Chemical Prospecting MGMR, Hefei, Anhui)

## Abstract

Highly concentrated helium gas is contained in most of hydrocarbon pools, which is easier to migrate to the surface through the cap-rock, because of the mass and property of helium atoms. Anomalous areas are formed in the soil above hydrocarbon pools. The author has collected and tested samples from the nettinGs of known and unknown pools, and achieved obvious chemical prospecting results.