

## 河南泌阳凹陷天然气中汞的分布

涂修元\*

(地质部石油地质综合大队化探队)

一九七八年,地质科学院物探研究所和我队在江汉盆地潜江凹陷合作开展土壤气含汞量测定,研究壤气汞在油藏上方的分布,探讨壤气汞作为找油指标的应用前景。之后,我队相继在华北廊坊—固安凹陷、苏北金湖—来安凹陷和高邮凹陷测定天然气含汞量,发现这几个凹陷与潜江凹陷一样,下第三系天然气中均含有较高的汞量。为了观察汞在天然气中的分布特征,一九七九年在泌阳凹陷两个油田上进行了较系统的采样和测定,获得了较好成果,加深了对天然气中汞的分布与油田地质条件、原油性质之间相互关系的认识。这不仅为开展含油气盆地壤气汞的研究提供了试验依据,而且对探讨汞矿沉积成因问题也是有益的。

未经人为污染的大气含汞量一般为 $1-5\text{ng}/\text{m}^3$ ,土壤气含汞量一般为 $7-25\text{ng}/\text{m}^3$ ,也有高至 $30-50\text{ng}/\text{m}^3$ 的,人造沼气含汞量与土壤气相近,约为 $14-36\text{ng}/\text{m}^3$ 。安徽省淮南谢二矿废矿坑中的瓦斯气含汞量达 $30960\text{ng}/\text{m}^3$ ,天长地区一个二氧化碳气井含汞量为 $284\text{ng}/\text{m}^3$ 。

有意义的是在一些与石油成因有关的气体中,汞相对富集。如荷兰格罗林根气田<sup>[2]</sup>的天然气中汞含量,高达 $180 \times 10^3\text{ng}/\text{m}^3$ ,苏联某些气田和凝析气田天然气含汞量为 $10-4000\text{ng}/\text{m}^3$ ,但一般在 $100-800\text{ng}/\text{m}^3$ 范围内变动<sup>[1,2]</sup>。

我国东部五个凹陷下第三系天然气含汞量极限范围为 $11-35000\text{ng}/\text{m}^3$ ,一般含量为 $100-1000\text{ng}/\text{m}^3$ ,平均值约为 $330\text{ng}/\text{m}^3$ (表1),与国外报导的数值接近。未发现象格罗林根气田气那样的高含汞量。

河南泌阳凹陷是一个断陷湖盆。基底为元古代结晶变质岩。其东南发育两条大断裂,呈东南深西北浅的箕状凹陷,下第三系核桃园组为凹陷主要生油岩系,厚 $1000-3000$ 米。下二门油田位于凹陷东部主控断裂西侧,双河镇油田位于凹陷西南(图1)。

我们在双河镇油田测井65口,下二门油田测井20口(其中气井2口),各油气井天然气含汞量分别列于图2和图3。由于条件限制我们直接从井口采样或者通过设置在计量站的分离器采样。其中以井口采样较好。从分离器采样,采取了相应措施,保证单井采样的可靠性。天然气中的汞以金丝石英管捕集,用浮子流量计记录采样体积。用北京地质仪器厂生产的XG—3型测汞仪测定含汞量。该仪器的实测灵敏度小于 $0.2\text{ng}$ ,检出极限小于 $0.02\text{ng}$ ,标准偏差系数平均为5%。

若将两个油田天然气看作来自同一母体(核桃园组),则天然气含汞量基本上呈对

\* 周家明同志参加了采样和分析工作

数正态分布(图4), 各组段天然气含汞量的几何平均值列于表2。

表1 我国东部五个凹陷下第三系天然气含汞量( $\text{ng}/\text{m}^3$ )

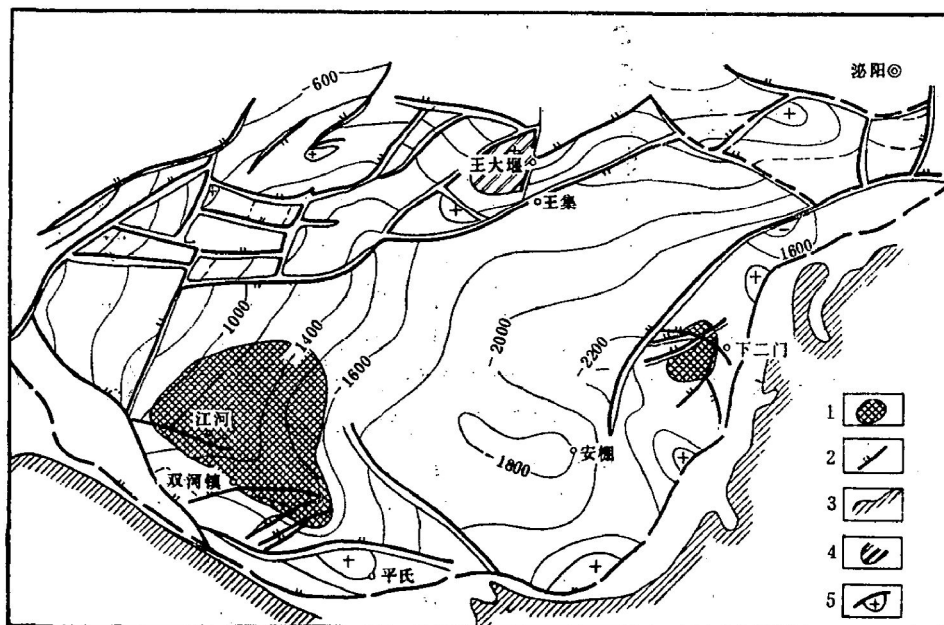
| 油 气 田       | 层 位            | 埋 深 (米)   | 测 井 数 | 含 汞 范 围  | 平 均 值 |
|-------------|----------------|-----------|-------|----------|-------|
| 潜江凹陷王场油田    | E <sub>3</sub> | 1500±     | 2     | 170—450  | 310   |
| 潜江凹陷广华寺油田   | E <sub>3</sub> |           | 1     | 340      | 340   |
| 廊坊—固安凹陷柳泉气田 | E <sub>3</sub> | 1200—1500 | 1     | 147—637  | 392   |
| 金湖—来安凹陷(刘庄) | E <sub>2</sub> | 1134—1212 | 4     | 98—271   | 185   |
| 金湖—来安凹陷(天长) | E <sub>2</sub> | 1752—2126 | 2     | 338—410  | 374   |
| 高邮凹陷真武庙油田   | E <sub>3</sub> | 1913—2241 | 3     | 199—373  | 310   |
| 泌阳凹陷双河镇油田   | E <sub>3</sub> | 1300—2300 | 65    | 15—35000 | 526*  |
| 泌阳凹陷下二门油田   | E <sub>3</sub> | 800—1300  | 20    | 11—307   | 69*   |
| 综 计         |                |           | 98    | 11—35000 | 330   |

\* 几何平均值

表2 双河镇油田和下二门油田各组段天然气含汞量的几何平均值( $\text{ng}/\text{m}^3$ )

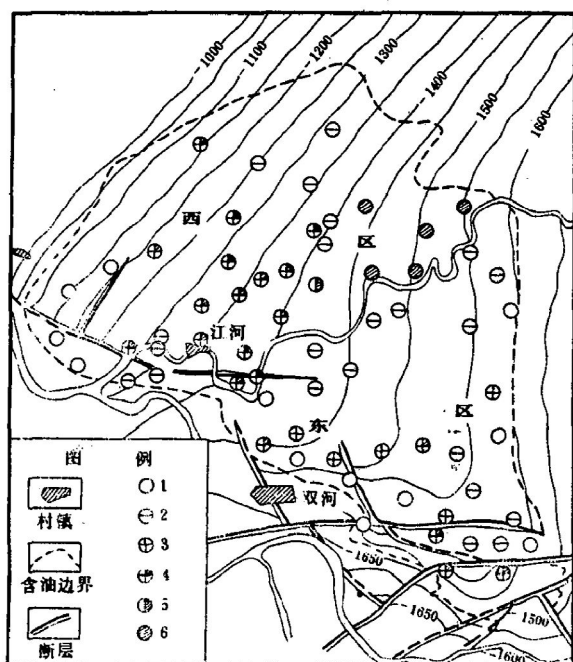
| 双 河 镇 油 田     |               | 下 二 门 油 田 |         |
|---------------|---------------|-----------|---------|
| 核 三 段 1—4 油 组 | 核 三 段 5—9 油 组 | 核 二 段     | 核 三 段   |
| 351 (31) *    | 684 (33)      | 53 (15)   | 146 (5) |
| 526(65)       |               | 69(20)    |         |
| 325 (85)      |               |           |         |

\* 括号内为统计样本数



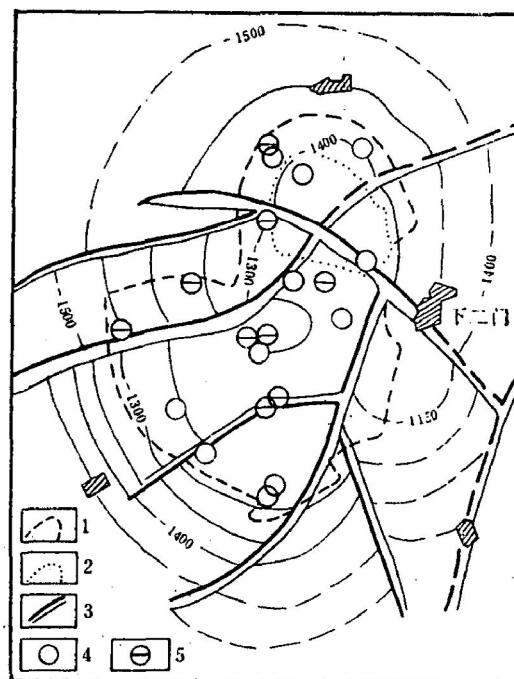
1. 油田 2. 断层 3. 基岩出露区 4. 含油构造 5. 局部构造高点

图1 泌阳凹陷示意图



含汞量( $\text{ng}/\text{m}^3$ ): 1.  $<100$  2.  $100-500$   
 3.  $500-1000$  4.  $1000-5000$  5.  $5000-10000$   
 6.  $10000-35000$

图2 双河镇油田天然气含汞量分布图



1. 含油边界 2. 气顶边界 3. 断层  
 4. 含汞量 $<100\text{ng}/\text{m}^3$   
 5. 含汞量 $100-307\text{ng}/\text{m}^3$

图3 下二门油田天然气含汞量分布图

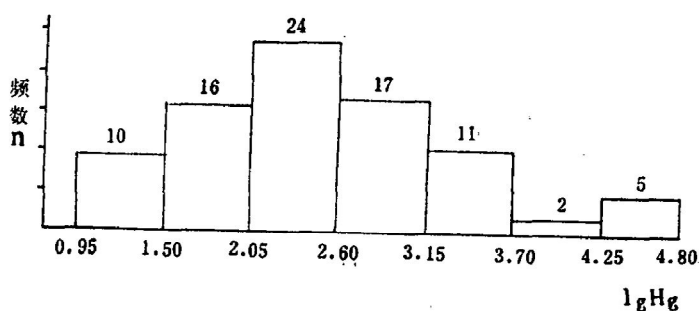


图4 泌阳凹陷天然气含汞量概率分布图

上列图表反映出两个油田天然气中汞的一些分布特征:

1. 双河镇油田高于下二门油田;
2. 双河镇油田: 核三段5—9油组(西区)高于核三段1—4油组(东区); 中部高于边缘, 但砂体上倾尖灭边缘不一定低;
3. 下二门油田: 核三段高于核二段。

怎样解释这些分布特征呢? 表3列出的双河镇油田和下二门油田地质条件、原油性质与天然气含汞量的分析对比综合资料, 可以作一说明。

表3 双河镇油田和下二门油田地质条件、原油性质与天然气含汞量分析对比综合表

| 油田        | 埋深<br>(米)              | 盖层条件                          | 油藏圈闭条件                                | 原油性质     |            |                   | 天然气含汞量<br>(ng/m) |
|-----------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------|------------|-------------------|------------------|
|           |                        |                               |                                       | 含硫量<br>% | 胶质沥青质<br>% | 200°C<br>轻馏分<br>% |                  |
| 下二门<br>油田 | 800<br>/<br>1300       | 上覆泥质岩盖层<br>累计厚度<br>300—500米   | 逆牵引背斜构造层状油藏,<br>有七条断层切过储层             | 0.15     | 17.00      | 2.7               | 核二 53            |
|           |                        |                               |                                       | 0.19     | 31.23      | 4.7               | 核三 146           |
| 双河镇<br>油田 | 东<br>1300<br>/<br>1700 | 上覆泥质岩盖层<br>累计厚度<br>600—1000米  | 逆牵引鼻状构造及岩性油<br>藏, 有九条断层切过储层           | 0.09     | 9.93       | 7.4               | 核三(1—4)油组        |
|           |                        |                               |                                       | 0.14     | 14.32      | 11.1              | 351              |
| 双河镇<br>油田 | 西<br>大于<br>1700        | 上覆泥质岩盖层<br>累计厚度<br>1100—1400米 | 单斜构造背景上的岩性上<br>倾尖灭油藏, 两条小断层<br>切过油藏边部 | 0.03     | 2.47       | 18.1              | 核三(5—9)油组        |
|           |                        |                               |                                       | 0.06     | 6.35       | 26.4              | 684              |

下二门油田断层发育, 油层埋藏浅, 温度低, 盖层薄, 显然不利于原油中汞的还原和天然气中汞的封存。其原油含硫量和胶质沥青质含量均高于双河镇油田, 200°C轻馏分含量低于双河镇油田, 原油受到轻度氧化。

硫与汞能生成较稳定的硫化物——硫化汞。硫化汞一般在110—200°C才遭到破坏, 主要在250°C以上转移。下二门油田油层温度一般为50°C左右, 是不易分解硫化汞的, 这样硫就对原油汞起到某种固定作用。

原油200°C轻馏分与汞(沸点357.25°C)有着相近的活动性, 原油中的汞与轻馏分中的低分子烷烃可以形成易于挥发的烷基汞, 因此原油轻馏分与天然气含汞量有一定的同步关系。原油中胶质沥青质正好相反, 一是不具有与汞蒸气相近的活动性, 二是汞与胶质沥青质不易形成复杂的有机汞化物, 因而原油含胶质沥青质愈高, 其伴生气中含汞量愈低。

由于油田地质条件和原油性质两种因素的综合影响, 造成了下二门油田天然气含汞量较低。该油田核三段埋藏深, 还原条件相对增强, 所以其天然气含有高于核二段的汞量。

双河镇油田与下二门油田比较, 埋藏深, 盖层厚, 仅有两条小断层切过油藏边部。其西区的原油含硫量和胶质沥青质质量低于东区, 更低于下二门油田, 200°C轻馏分含量又高于东区, 更高于下二门油田。油田地质条件和原油性质均利于原油汞的还原和封存, 因此, 双河镇油田西区天然气含汞量较高。

双河镇油田东区, 油田地质条件与原油性质介于西区和下二门油田之间, 其天然气汞量略低于西区而高于下二门油田, 由于原油也产于核三段, 原油性质近于西区, 地质构造与西区有更密切的关联, 所以天然气含汞量接近西区。

在油水边界, 水中氯离子与汞形成络离子 $\text{HgCl}_4^{2-}$ 而溶于水, 使得油藏边缘天然气中汞量降低, 但砂体上倾尖灭处无此种因素, 而且封存条件较好, 利于汞蒸气的保存, 所以砂体上倾尖灭边缘天然气含汞量不一定低。

已有资料的简单相关分析, 进一步揭示了天然气含汞量与油层有关因素的函数关系。经显著性检验证实: 天然气含汞量与油层温度显著正相关(图5), 与油层埋深和压力也是显著正相关, 与原油油气比显著负相关(图6), 与原油含水量在较低水平上负

相关(表4)。

表4 双河镇油田和下二门油田天然气含汞量(y)与油层有关因素(x)的简单相关分析

| 油层有关因素<br>相关分析 x                         | 油层温度 (°C)                        | 油层深度 (米)                         | 油层静压力<br>(公斤/厘米 <sup>2</sup> )   | 原油油气比<br>(方/吨)                 | 原油含水量<br>(%)                   |
|------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 统计样本数                                    | 67                               | 85                               | 64                               | 29                             | 83                             |
| 回归方程式                                    | $y=1.41 \times 10^{-5} x^{3.92}$ | $y=3.63 \times 10^{-9} x^{3.41}$ | $y=2.88 \times 10^{-5} x^{3.75}$ | $y=2.13 \times 10^5 x^{-1.75}$ | $y=4.07 \times 10^2 x^{-0.12}$ |
| 经验相关系数<br>r                              | 0.5028                           | 0.4185                           | 0.4267                           | -0.7619                        | -0.1868                        |
| 析验相关系数<br>$\rho=0$ 的临界值<br>$\gamma 0.01$ | 0.3133                           | 0.2830                           | 0.3248                           | 0.5614                         | ( $\gamma 0.1$ )<br>0.1829     |
| 显著水平                                     | 显著正相关                            | 显著正相关                            | 显著正相关                            | 显著负相关                          | 负相关                            |

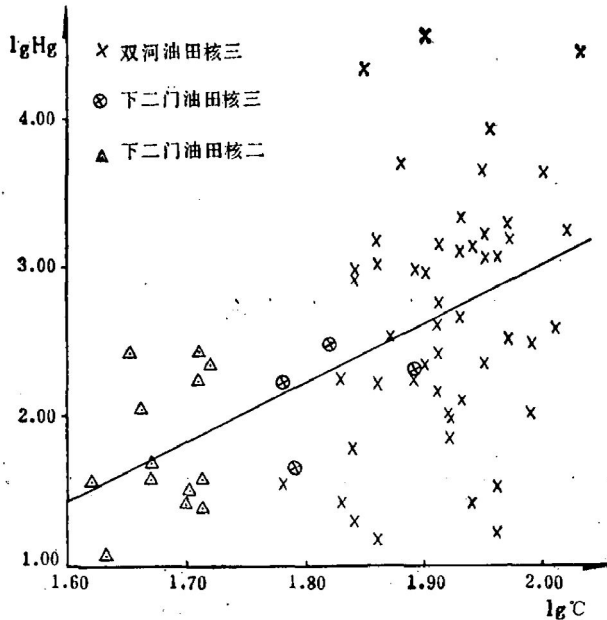


图5 lgHg—lg°C点聚图

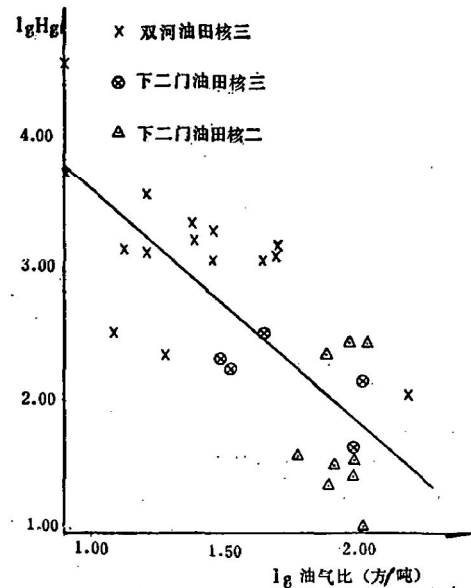


图6 lgHg—lg油气比点聚图

油层埋深与油层温度是相对应的,就双河镇油田和下二门油田而言,地温的平均梯度为3.7°C/100米。对于原油中以不同形态存在的汞化物,埋深与地温均是还原为汞进而挥发为汞蒸气的重要条件。埋藏深,地温高,汞化物就易于还原和挥发。从回归曲线看,地温超过75°C(相当于埋深大于1600米),天然气含汞量随温度的升高近于直线上升。75—95°C区间的平均斜率为30 ng/°C,比45—65°C区间的平均斜率12 ng/°C高1.5倍(图7,曲线B)。

一般来讲,天然气(包括所含汞蒸气)在原油中的溶解度随油层压力的增加而增加,但是在已经开放的油层中,情形正好相反,油层压力与大气的压差成为天然气喷出油井的动力,如图7回归曲线D所示,油层压力将有利于汞的释放。

当还原强度一定时,汞化物的还原过程必趋于某种平衡。一定量的汞蒸气在较小的天然气体积中就具有较高的浓度,含汞量与油气比的点聚图清楚地说明了这一点(图6)。

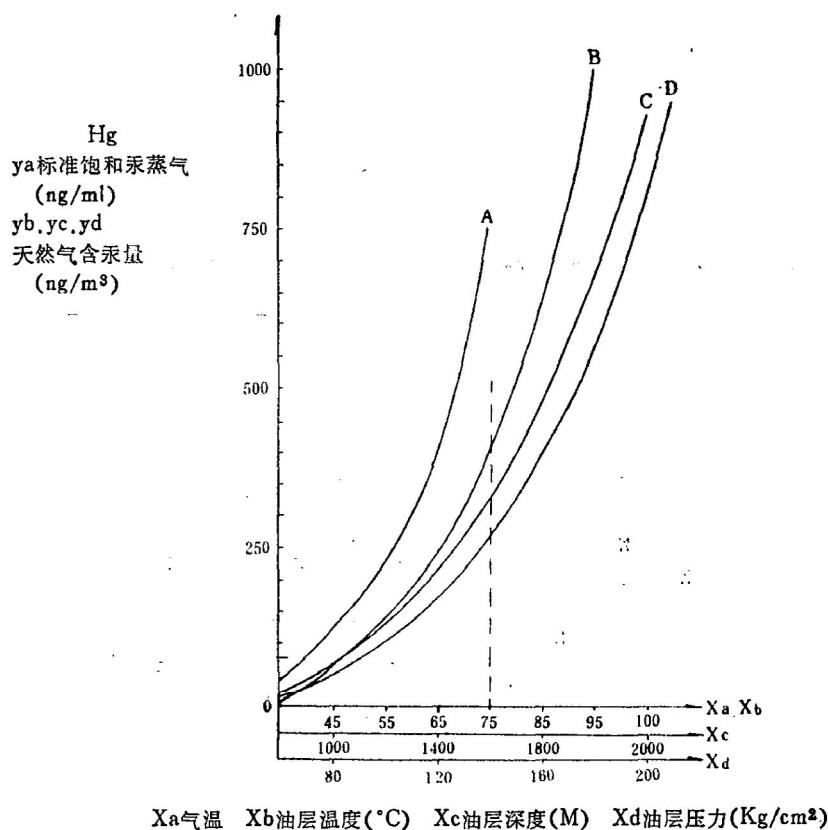


图7 天然气含汞量与油层有关因素回归曲线  
与标准饱和汞蒸气温度曲线的比较

不过当油气比大于50方/吨时, 其影响显著减小。

对比天然气含汞量与油层温度的回归曲线(图7, 曲线 B)和标准饱和汞蒸气的温度曲线(图7, 曲线 A), 推断天然气中汞主要是以原子蒸气形态存在的。在相近温度下, 天然气中汞蒸气浓度小于标准汞蒸气饱和浓度一百万倍。当然, 标准汞蒸气是以纯金属汞为物源, 而天然气中的汞蒸气是以原油含汞为物源的, 二者不可比拟。考虑到天然气样采

的研究, 也不应忽视无机元素在油气田中所表现的地球化学行为, 探讨更多的地球化学指

标, 为寻找油气藏服务。

工作中得到各有关油田的大力支持, 本文写作过程中, 许多同志给予热情帮助, 一并致谢!

(收稿日期 1980年2月7日)

### 主要参考文献

- [1] Зорькин, Л. М., Стадник, Е. В., Юрин, Г. А., Сошников, В. К., 1974, Содержание ртути в газах некоторых газовых и газоконденсатных месторождений СССР. Геология Нефти и Газа, No.10, Стр. 48.
- [2] Глушко, В. В., Гольдбежер, К., Мюллер, Е. П., Тайлиг, Ф., Дикенштейн, Г. Х., Панкина Р. Г., 1974, Ртуть в газах продуктивных горизонтов верхнего палеозоя северо-западной Европы. Геология Нефти и Газа, No.10, Стр. 44.

## EXISTENCE OF MERCURY IN GASES FROM BIYANG BASIN, HENAN PROVINCE

Tu Xouyan

(Geochemical Team, Comprehensive Brigade of Petroleum Geology, Ministry of Geology)

### Abstract

The mercury vapour shows clearly a good similarity to gases derived from oil and gas fields in aspect of their migration and accumulation. Therefore, its existence in these gases is not only related to the nature of the crude oil, but also depends on the geological setting. The mercury vapour generally has relatively high penetrative ability and it can constitute an anomalous distribution in soil, while moving upwards from oil-gas reservoir and arriving at the earth surface. Systematic measurements of mercury vapour were carried out in 1979 over two oil fields in the Biyang basin, after a test analysis of the geochemical features of mercury vapour over various places of Huabei, northern Jiangshu and Jiangnan basins, and it is proven that there are indeed mercury anomalies which exist over oil fields. Thus, this can be used as a new parameter for the oil and gas prospecting.

A correlative analysis of data available reveals further that the content of mercury in natural gases is in function with some factors relevant to oil productive horizons. A predominant detection conforms that the content of mercury vapour has apparently a positive relationship with temperature, depth and static pressure of oil productive horizons, but negative relationship with gas/oil ratio and quantity of waters in crude oil.