

# 陆域天然气水合物岩心气体 现场实时快速检测



汇报人 饶竹

国家地质实验测试中心

中国地质调查局油气中心





## 研究背景与意义



## 研究目标



## 取得的主要技术进步



## 研究成果应用

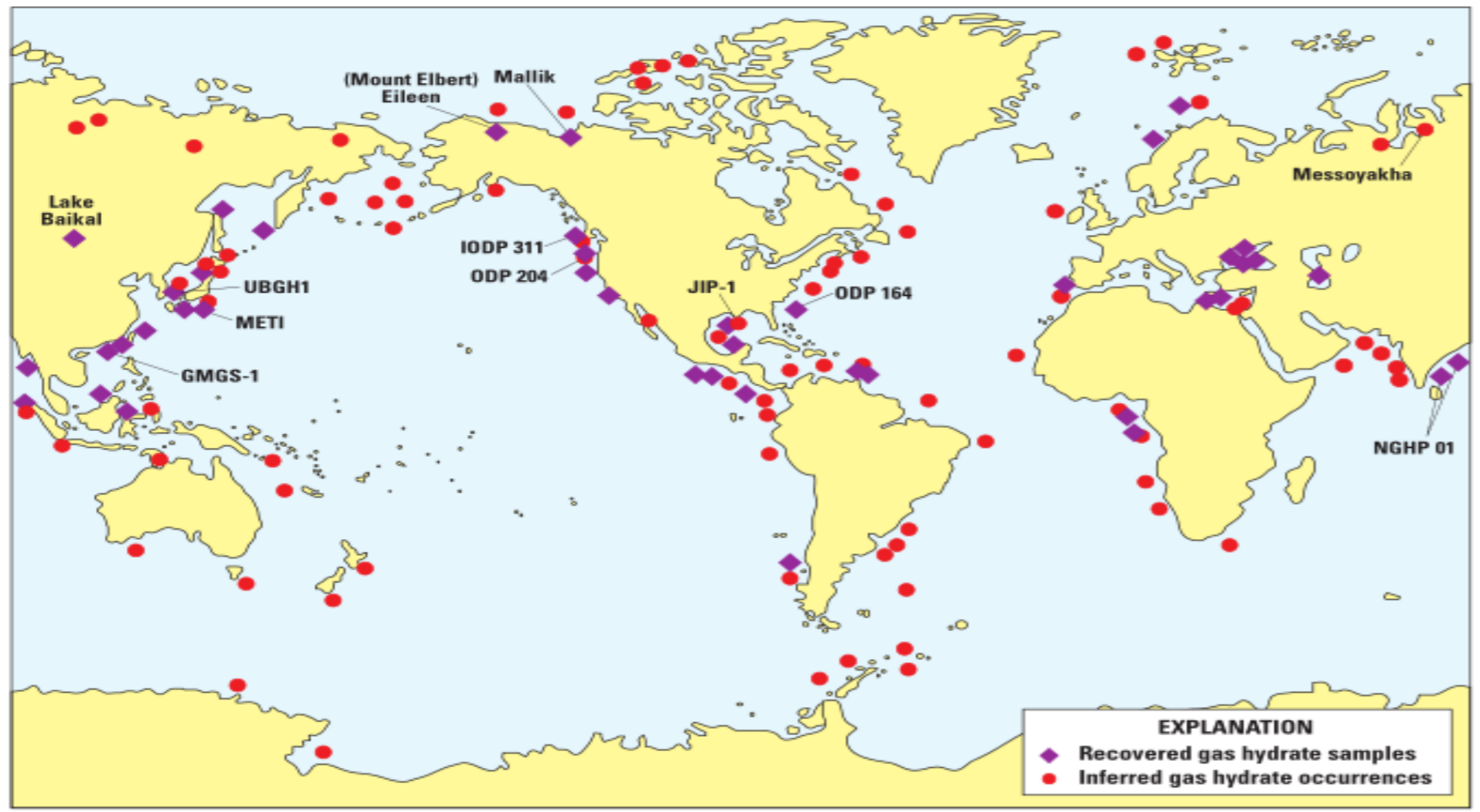


## 结 语



# 一、研究背景

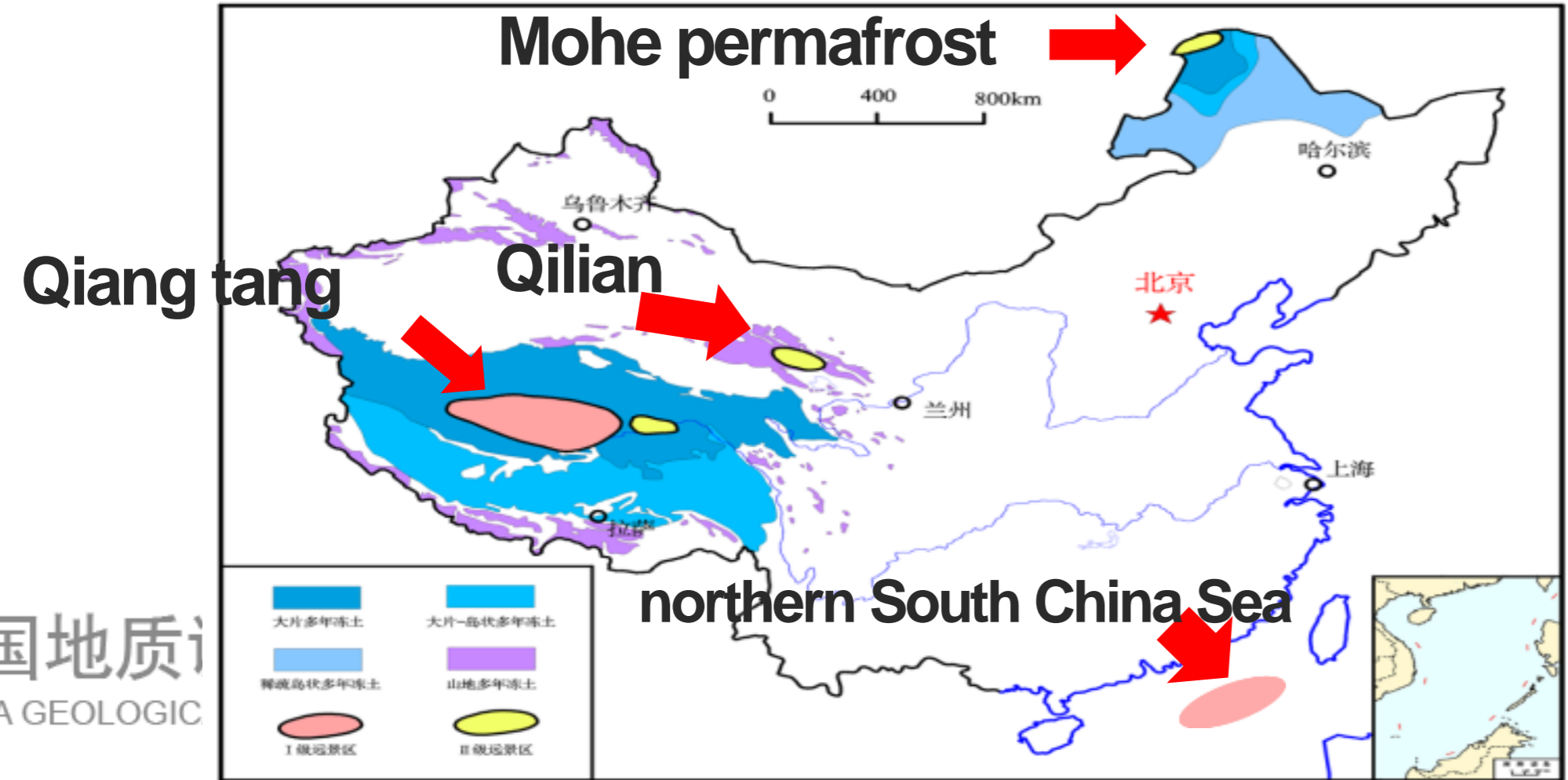
## WORLD GAS HYDRATE



## Gas hydrate

- Gas hydrate deposits are believed to be a larger hydrocarbon resource than all of the world's oil, natural gas and coal resources combined.
- The world's largest natural gas resource is trapped beneath permafrost and ocean sediments.
- In mainland China, potential gas hydrate sites are distributed mainly in the Qiangtang, Qilian Mountain, and the Mohe permafrost area.

## CHINA GAS HYDRATE

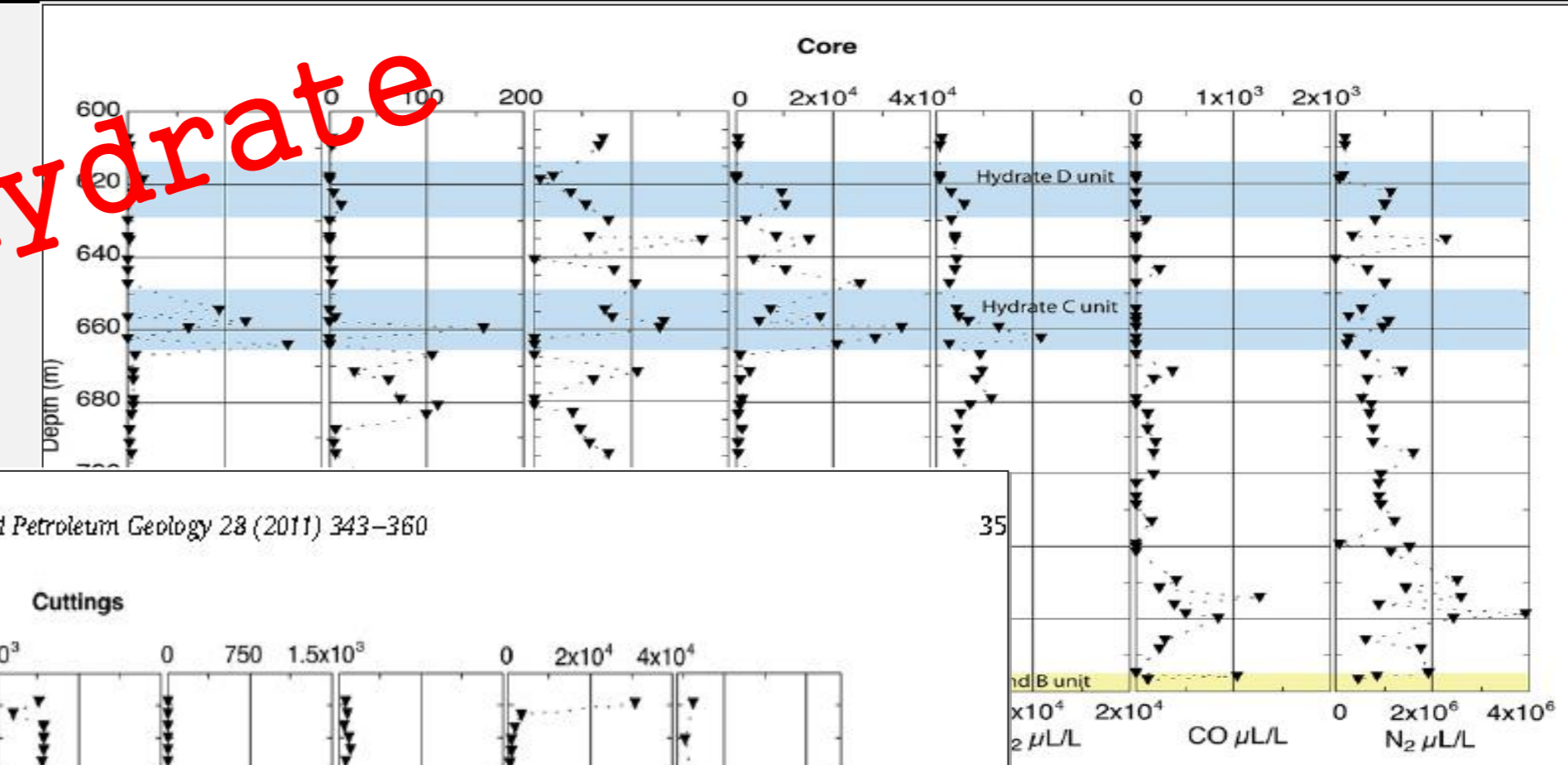


中国地质调查局  
CHINA GEOLOGICAL SURVEY

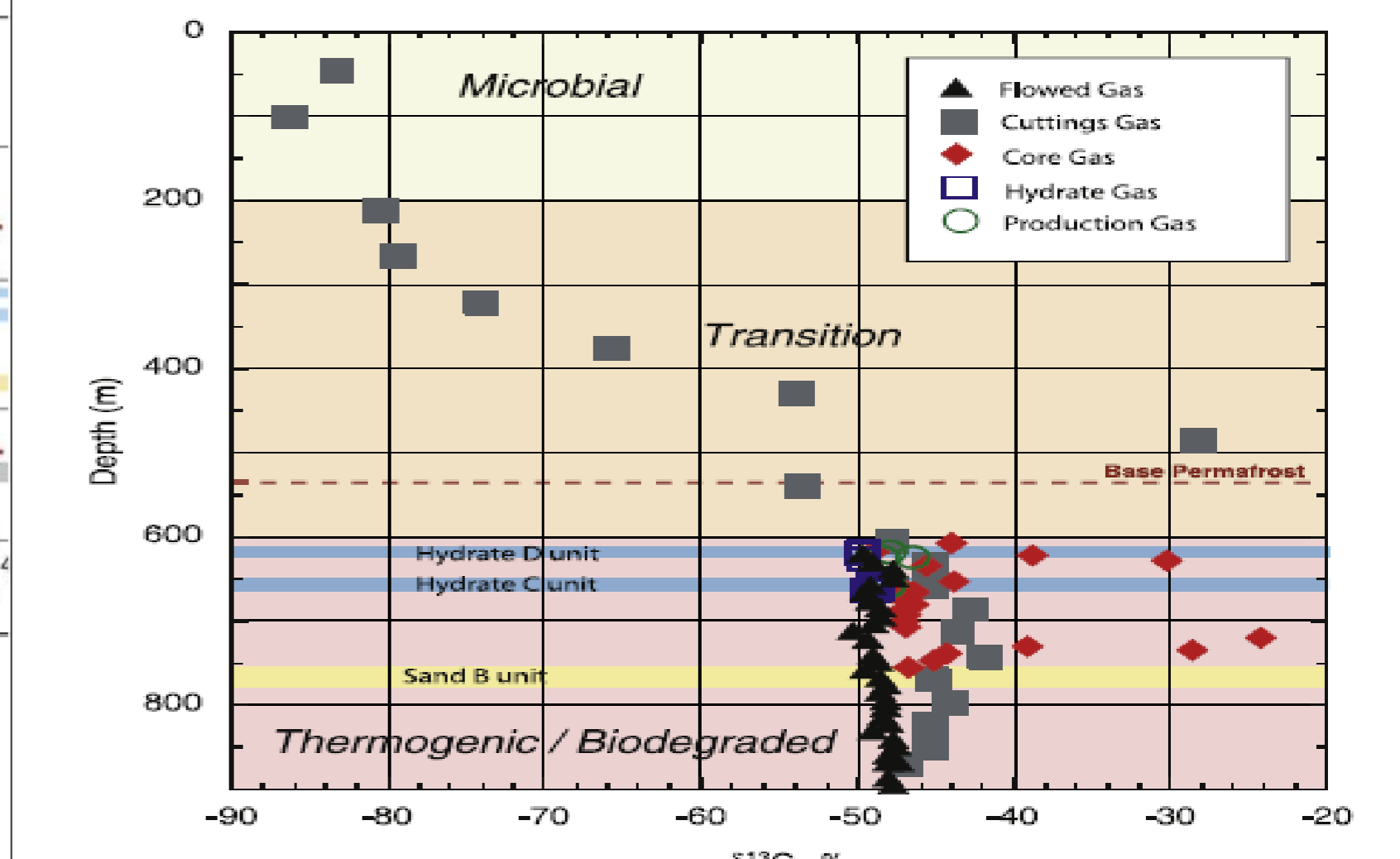
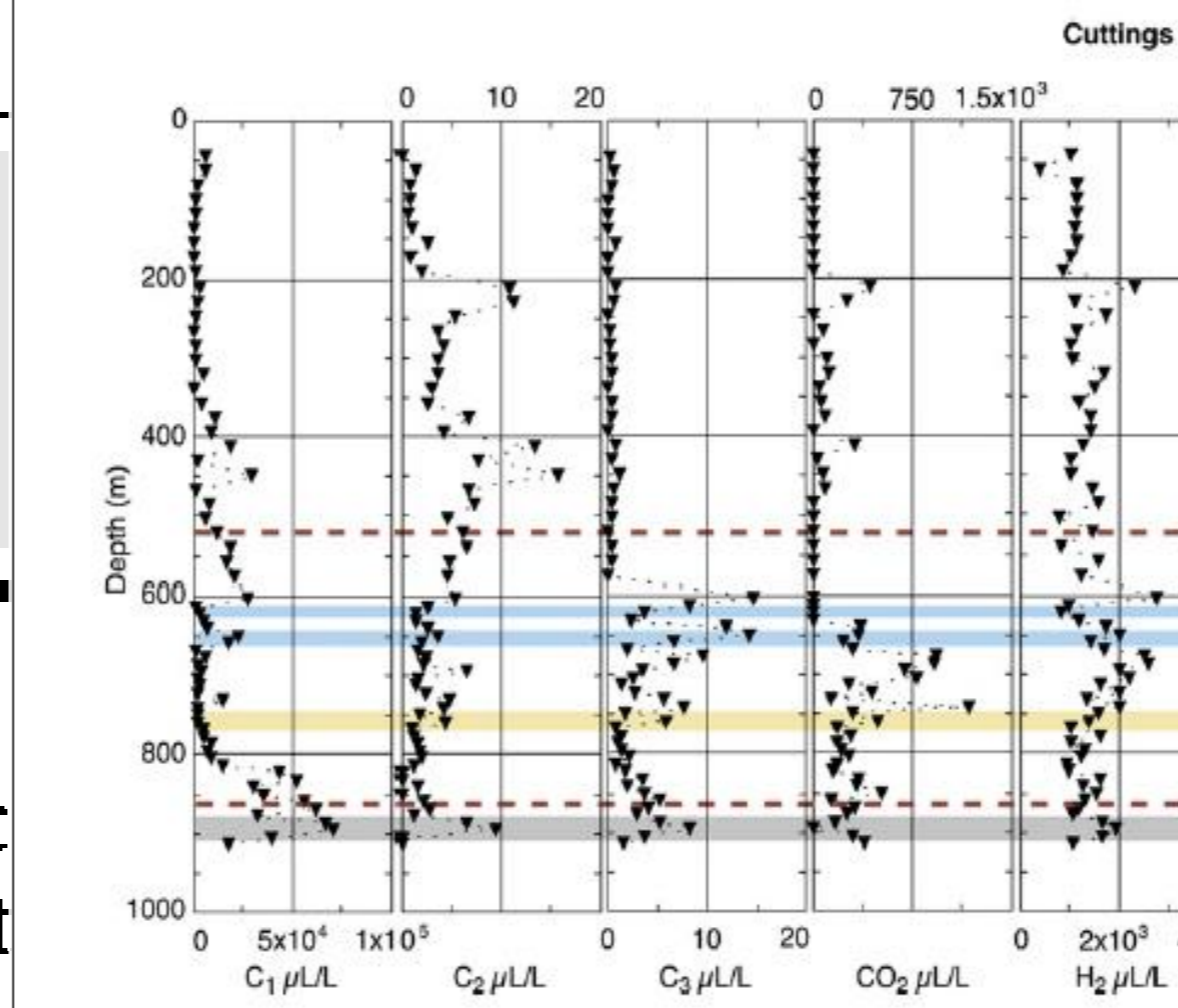
# 一、研究背景

**Table 4**  
Gas hydrate gas composition.

Depth (ft)	Depth (m)	Core Section	Interval (in)	O <sub>2</sub> + Ar (ppm)	N <sub>2</sub> (ppm)	N <sub>2</sub> (calc. ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	H <sub>2</sub> (ppm)	CO (ppm)	C <sub>1</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>3</sub> (ppm)	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (ppm)	iC <sub>4</sub> (ppm)	nC <sub>4</sub> (ppm)	iC <sub>5</sub> (ppm)
<b>D Unit Sand</b>																	
2029.50	618.75	2	7	15–16	85 800	302 700	3480	480	465	0							
2033.17	619.87	2	8	20–21	52 700	185 100	2960	490	413	0							
2033.56	619.97	2	8	31–36	22 800	309 700	228 000	4100	0	0							
2053.21	625.98	3	7	1–2	66 400	234 900	2050	470	469	0							
<b>C Unit Sand</b>																	
2148.50	655.03	7	6	30–31	97 000	345 600	1570	470	435	0							
2155.04	657.02	7	8	36–37	120 000	462 600	84 400	370	501	0							
2162.46	659.29	8	4	1–2	134 400	487 900	8300	1000	579	0							



T.D. Lorenson et al. / Marine and Petroleum Geology 28 (2011) 343–360



Marine and Petroleum Geology 28 (2011) 343–360  
Contents lists available at ScienceDirect  
**Marine and Petroleum Geology**  
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/marpetgeo](http://www.elsevier.com/locate/marpetgeo)

Gas geochemistry of the Mount Elbert Gas Hydrate Stratigraphic Alaska North Slope: Implications for gas hydrate exploration in t

Thomas D. Lorenson<sup>a,\*</sup>, Timothy S. Collett<sup>b</sup>, Robert B. Hunter<sup>c</sup>

<sup>a</sup>U.S. Geological Survey, 345 Middlefield Rd., MS-999, Menlo Park, CA 94025, USA  
<sup>b</sup>U.S. Geological Survey, Denver Federal Center Box 25046, MS-939, Denver CO 80225, USA  
<sup>c</sup>ASRC Energy Services, 3900 C St, Suite 702, Anchorage, AK 99503, USA

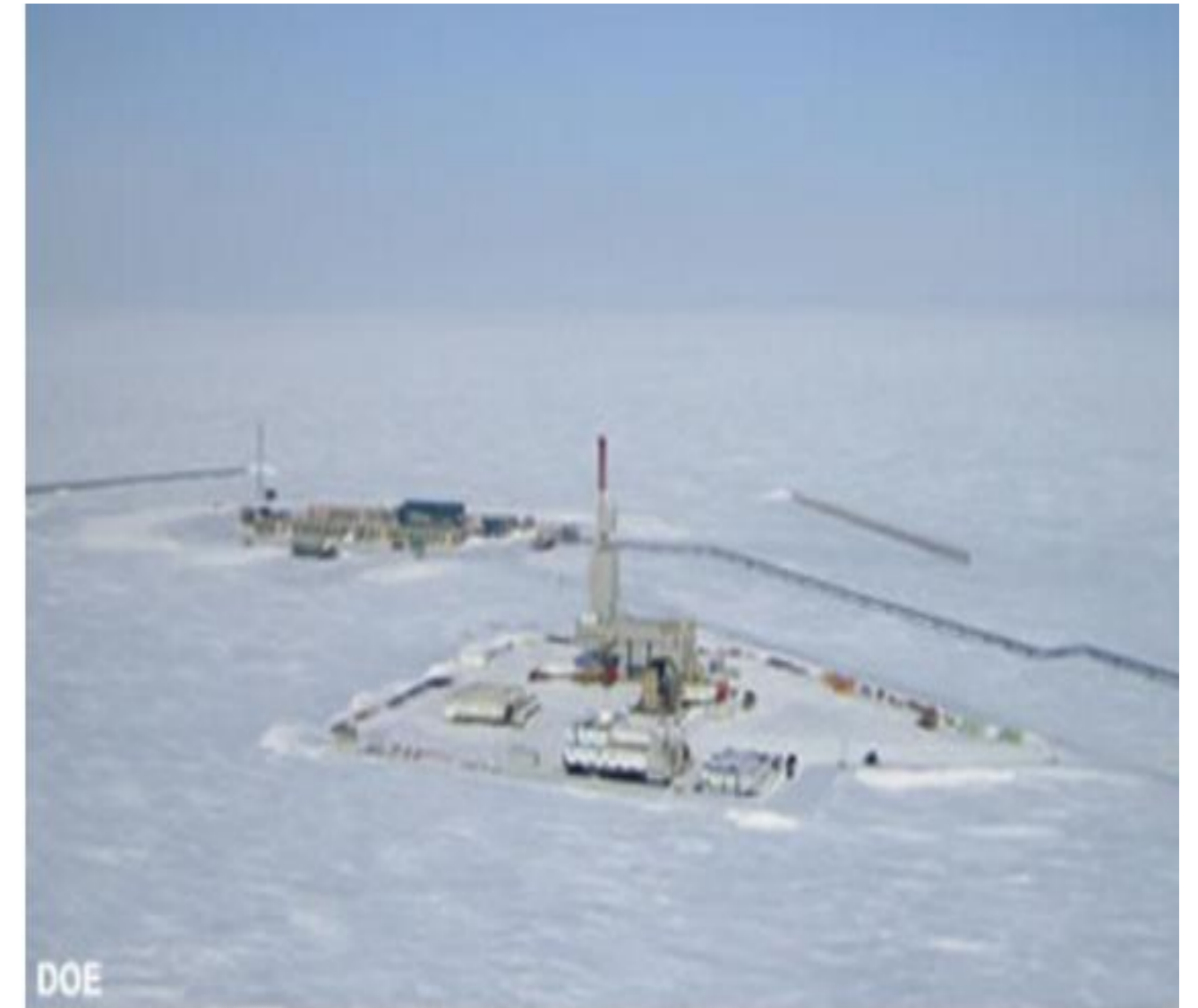
- 钻井岩心观察是目前天然气水合物识别最直接的手段。
- 岩心中肉眼非可视微细水合物尚无有效识别方法。
- 中国冻土天然气水合物调查缺乏钻探现场气体快速检测技术



Concentrated gas hydrate (white material) covered with mud. This core was obtained on the Blake Ridge during Ocean Drilling Program Leg 164. *Click image for larger view.*

## 二、研究目标

- 建立现场快速岩心气体综合检测系统，快速识别岩心中肉眼非可视水合物
- 提升钻探现场快速检测技术，支撑和服务钻探工作



DOE

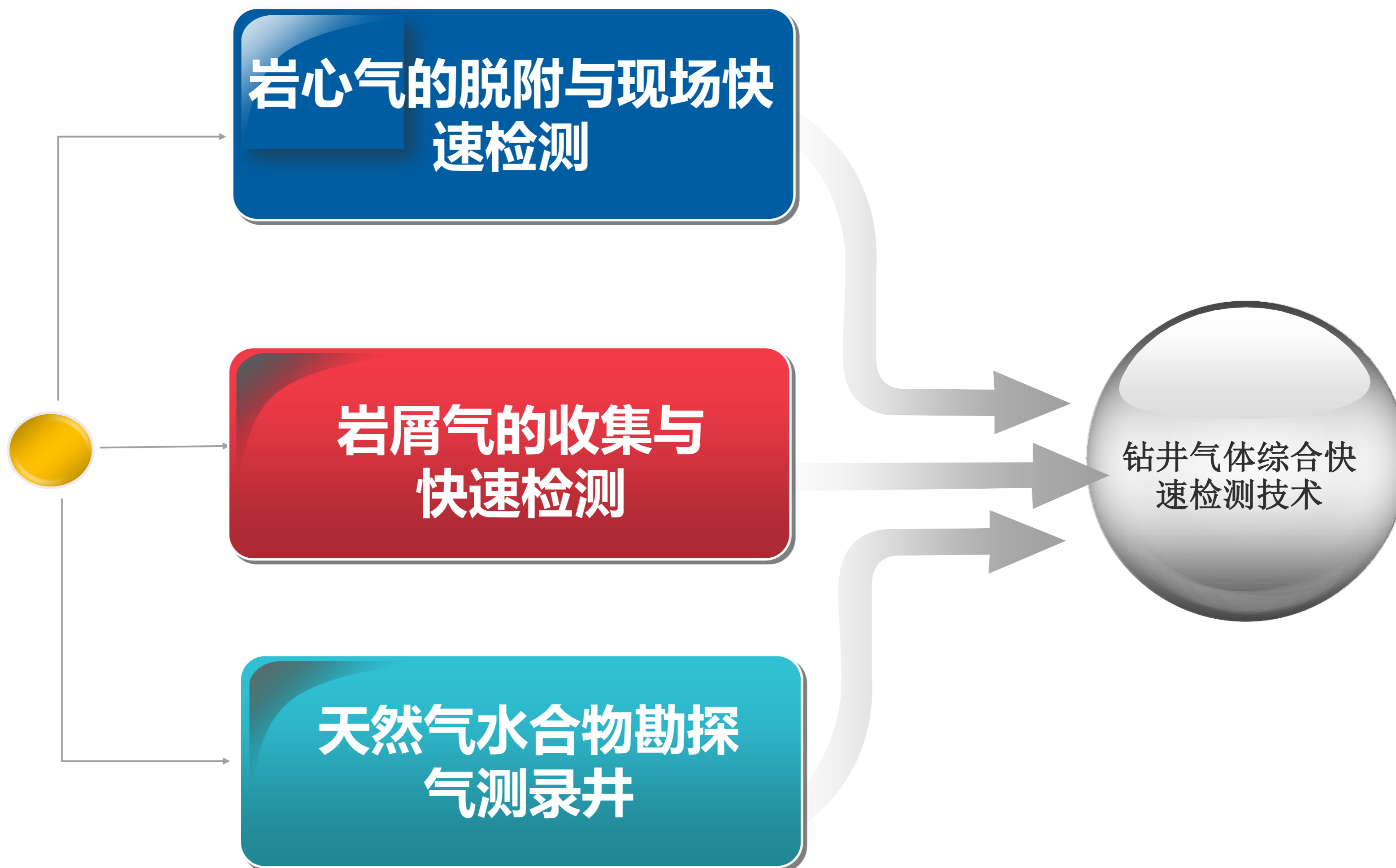
**Gas hydrate well:** Ignik Sikumi #1 gas hydrate well on the Alaska North Slope. A USGS gas hydrate resource assessment determined that the North Slope has an extensive gas hydrate resource trapped below permafrost. Department of Energy photo.



# 三、取得的主要技术进展

## 建立了钻井现场快速综合检测技术

- ◆ 建立了一系列天然气水合物钻探现场综合快速检测技术；
- ◆ 分析技术包括岩心、岩屑脱附收集技术；岩心、岩屑、井口游离气检测技术；地质钻机气测录井技术。
- ◆ 检测目标物包括气态烃(C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub>)、气态非烃(CO, He, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar和 H<sub>2</sub>S)。



# 三、取得的主要技术进展

## 1. 天然气水合物岩心气解析、收集技术

岩心解析技术是实现现场快速准确检测最关键的第一步。

### 岩心气体采集目标

实现岩心气中烃类（C1-C8）以及CO、He、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>等非烃类气体的准确定量收集。

### 岩心气主要测定方法

顶空法——岩心解析出的气体无法排出空气的干扰；  
真空法——操作较困难，容易产生负压或空气泄漏。

### 技术难点

在岩心气解吸和采集过程中岩心气体易受到空气的干扰。





## 三、取得的主要技术进展

1. 第一代真空脱气罐。利用真空下，岩心气体解析。但存在密封困难，真空度难以一致，取气困难。
2. 第二代自然压差脱气罐。利用自然压差和气体排水法原理 实现岩心解吸气准确收集，排除空气干扰。
3. 第三代微波数控脱气罐。采用数字控制、微波加热、脱气、水下收集气体。



第一代真空脱气罐



第二代水下压差脱气罐



第三代微波脱气罐



第三代微波数字脱气仪



# 三、取得的主要技术进展

## 第二代水下自然压差脱气技术

### 方法特点：

准确、无干扰、简便、经济。



岩芯解析气的解析与收集



收集的岩心解析气



## 2. 天然气水合物岩心气测定

针对天然气水合物勘查和研究的需要建立了烃类、非烃类4个气体分析方法。

**01** 气相色谱法测定岩心气中C<sub>1</sub>—C<sub>8</sub>等组分

**02** 气相色谱法测定氧气(O<sub>2</sub>)、氮气(N<sub>2</sub>)、氩(Ar)、一氧化碳(CO)

**03** 气相色谱法测定二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、硫化氢(H<sub>2</sub>S)。

**04** 气相色谱法测定岩心气中氦气(He)、氢气(H<sub>2</sub>)



# 三、取得的主要技术进展

## 常规气相色谱与冷阱气相色谱检出限对比

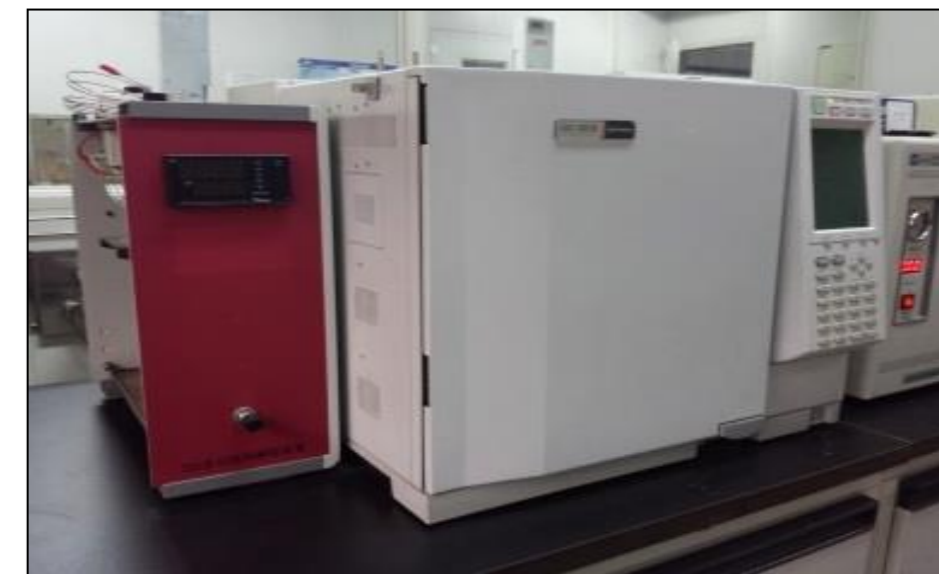
单位:  $\mu$  L/L

方 法	甲烷 CH <sub>4</sub>	乙烷 C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	乙烯 C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	丙烷 C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	丙烯 C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	异丁烷 C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	正丁烷 n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	异戊烷 C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	正戊烷 n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
冷阱-气相色谱	0.05	0.03	0.05	0.05	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01
气相	1.50	0.50	0.50	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

**方法特点：** 方法检出限降低  
1~2个数量级。



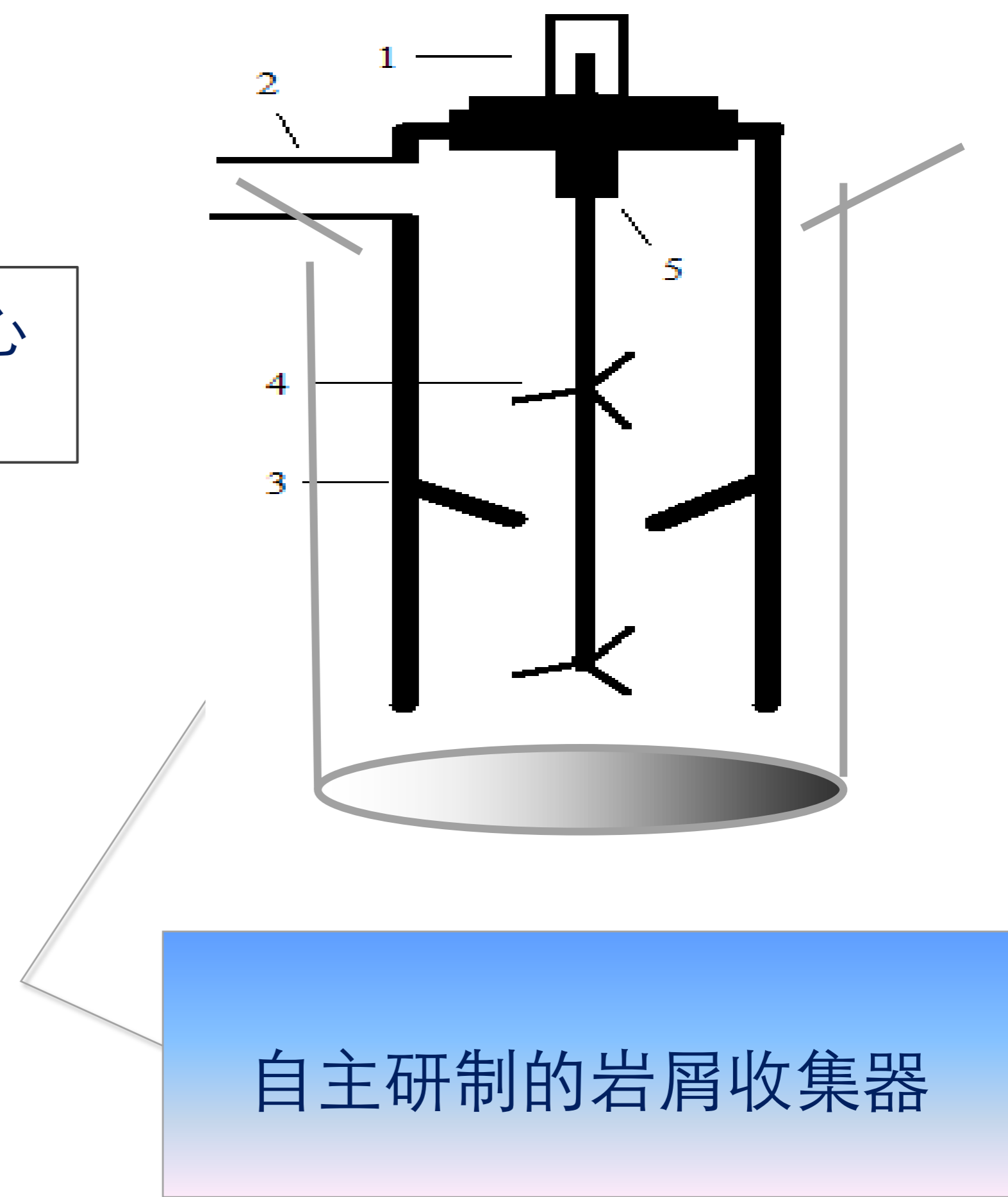
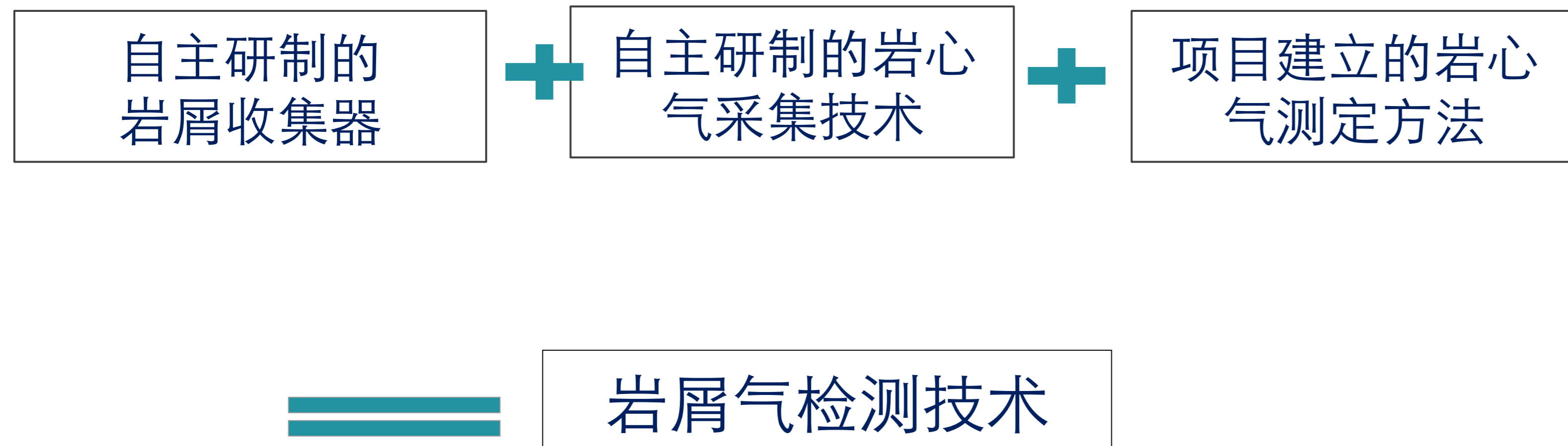
研制的冷阱富集部分



冷阱与气相色谱系统



## 3. 岩屑气检测技术



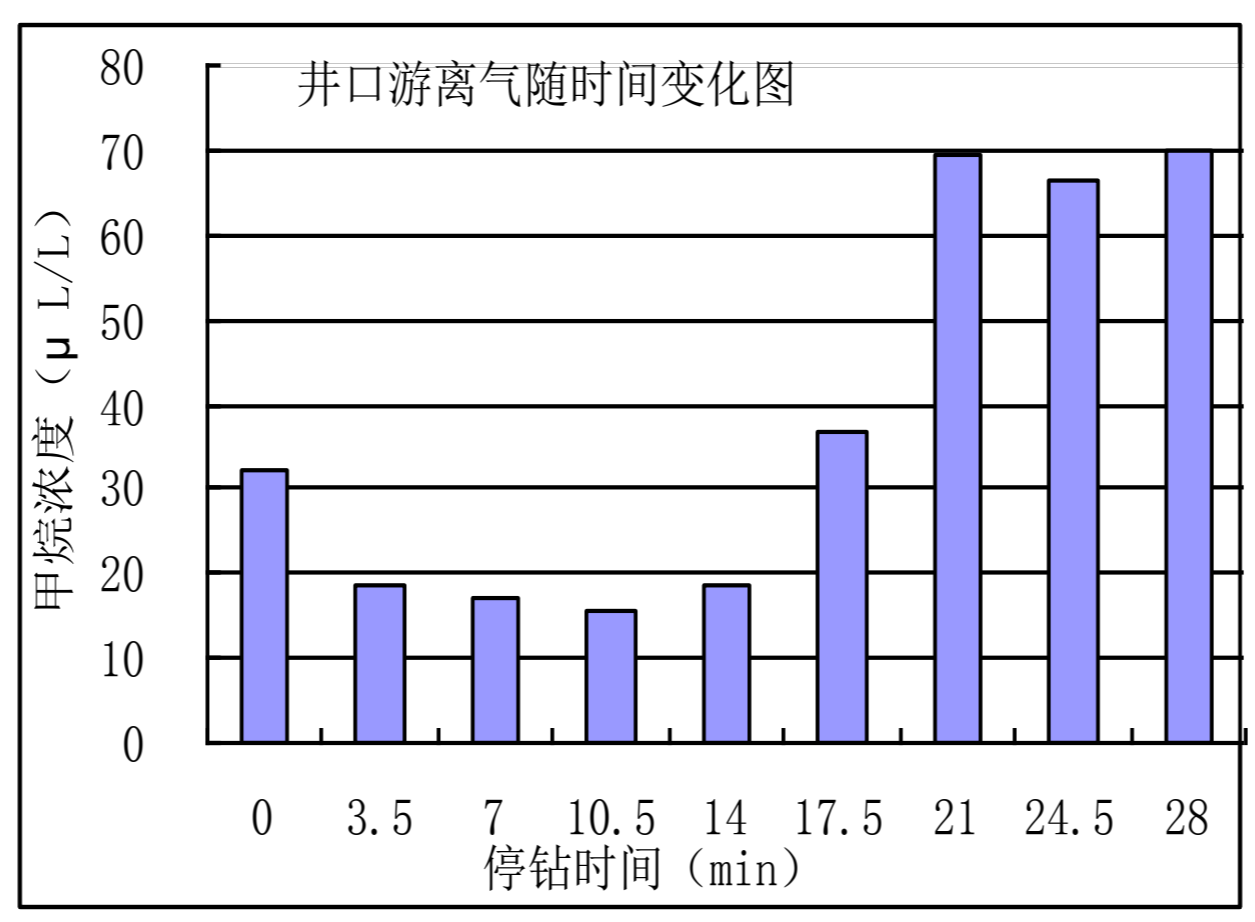
# 三、取得的主要技术进展

## 4. 井口游离气测定技术

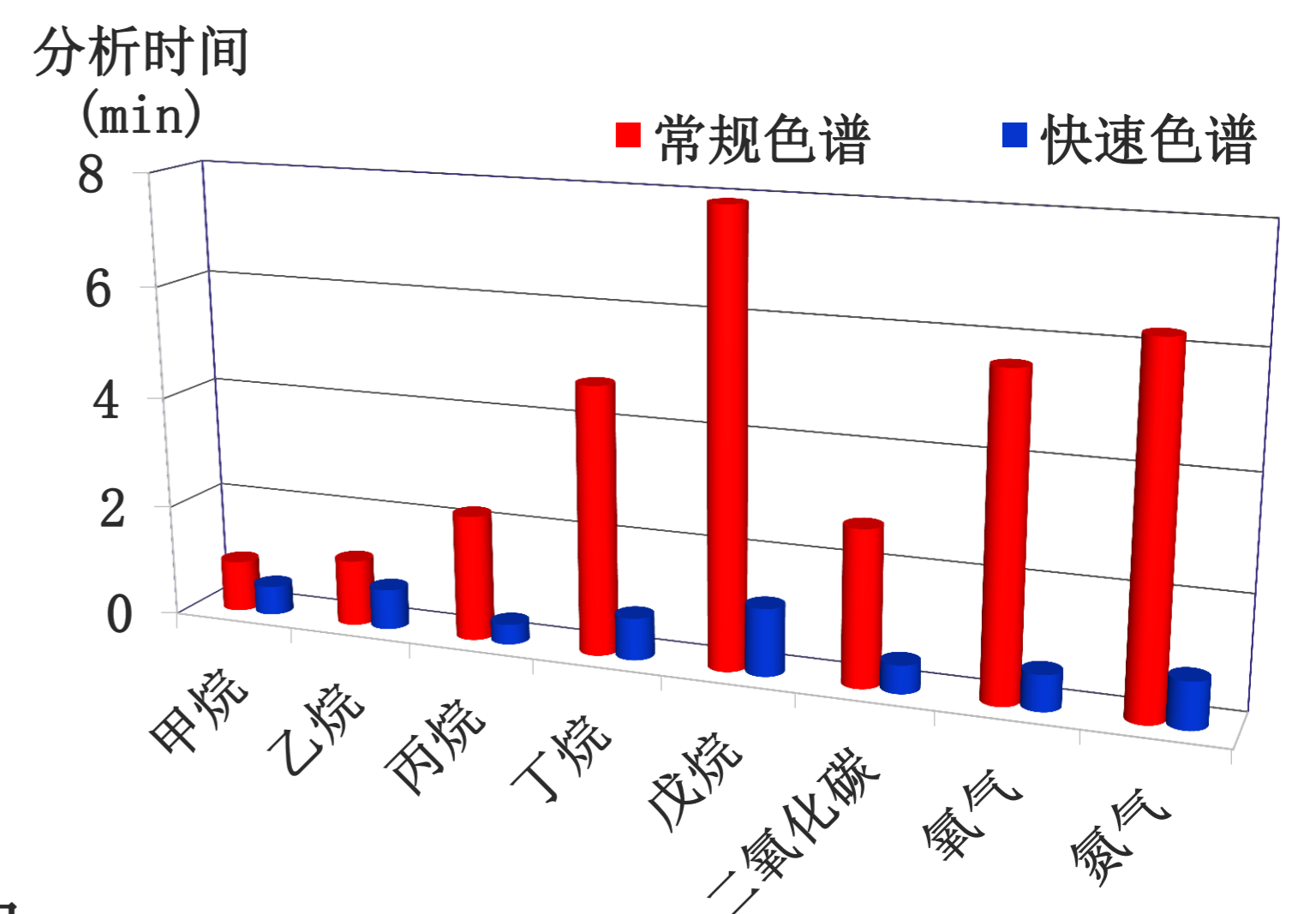
利用真空泵和气体导管抽取岩心取心时井中的游离气，配置有4个检测器的便携式快速气相色谱（inficon GC 3000）测定，实现井口游离气中C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、CO、H<sub>2</sub>S、H<sub>2</sub>快速检测。解决了样品采集、气体定量、泥浆对仪器的腐蚀等一系列难题。



钻井现场检测井口游离气



停钻时井口游离气浓度随时间变化情况



常规气相色谱与快速色谱比较



## 5. 泥浆气体实时在线监测



### 目标任务

实现地质岩心钻机的泥浆烃类气体实时在线快速监测。



### 技术难点

地质钻机目前没有成熟的气测录井软件。石油有先进气测平台。但地质岩心钻机井深记录、钻压感应以及岩心取心扭断等与石油钻机工作原理不一样。



### 解决的主要问题

通过引进石油气测录井仪并结合地质钻机工作原理对地质钻机进行硬件修改及气测软件的修改，实现了地质钻机泥浆烃类气体实时在线快速检测。

。

## 三、取得的主要技术进展

### 5. 泥浆气体实时在线监测

#### 主要技术创新：

01

通过对气测软件修改，对压力传感的反标定解决地质钻机对钻压参数识别问题

02

加装定滑轮，设定固定点和加装传感器建成了地质钻机绞车传感器，解决了地质钻机井深测量

03

新增了钻井参数解决地质钻机因取心扭断带来的深度误差





## 主要技术创新：



建立的地质钻机绞车传感系统



监控指标显示终端

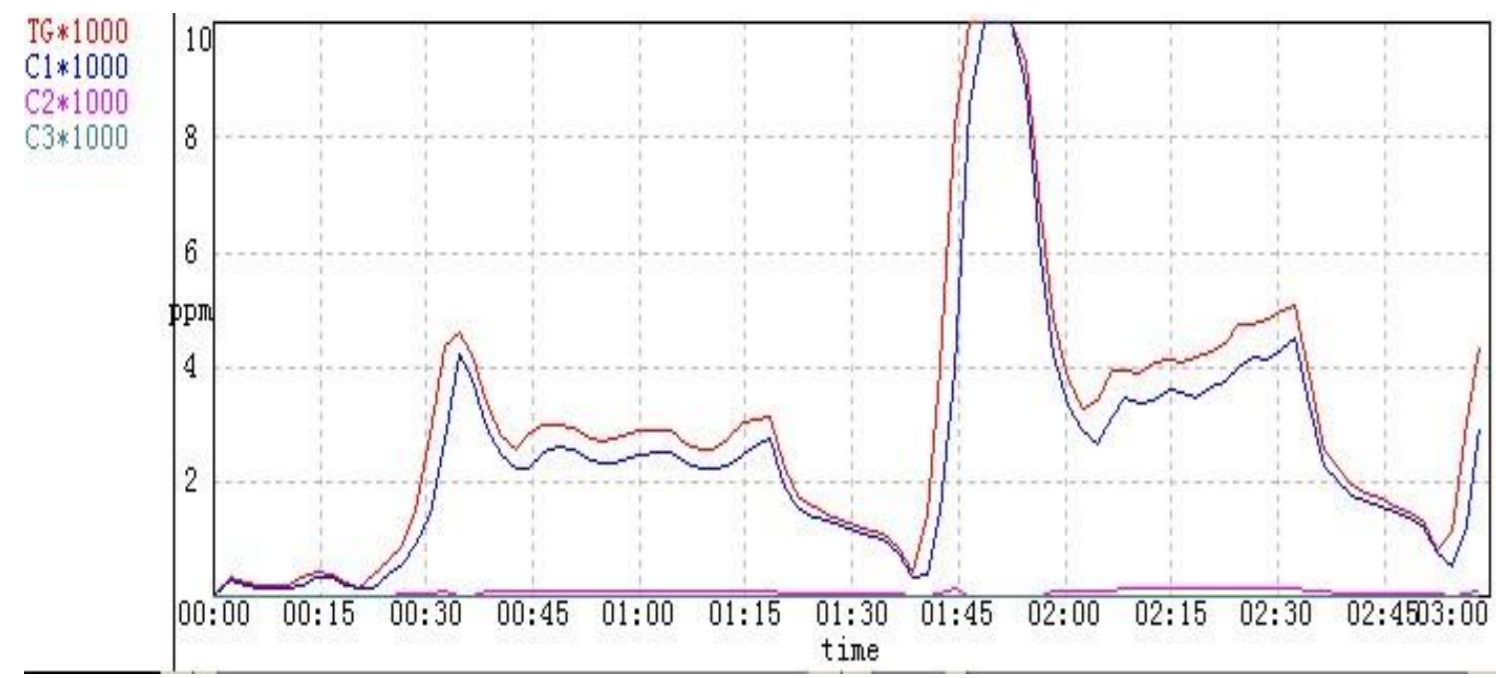


传感器传输端口

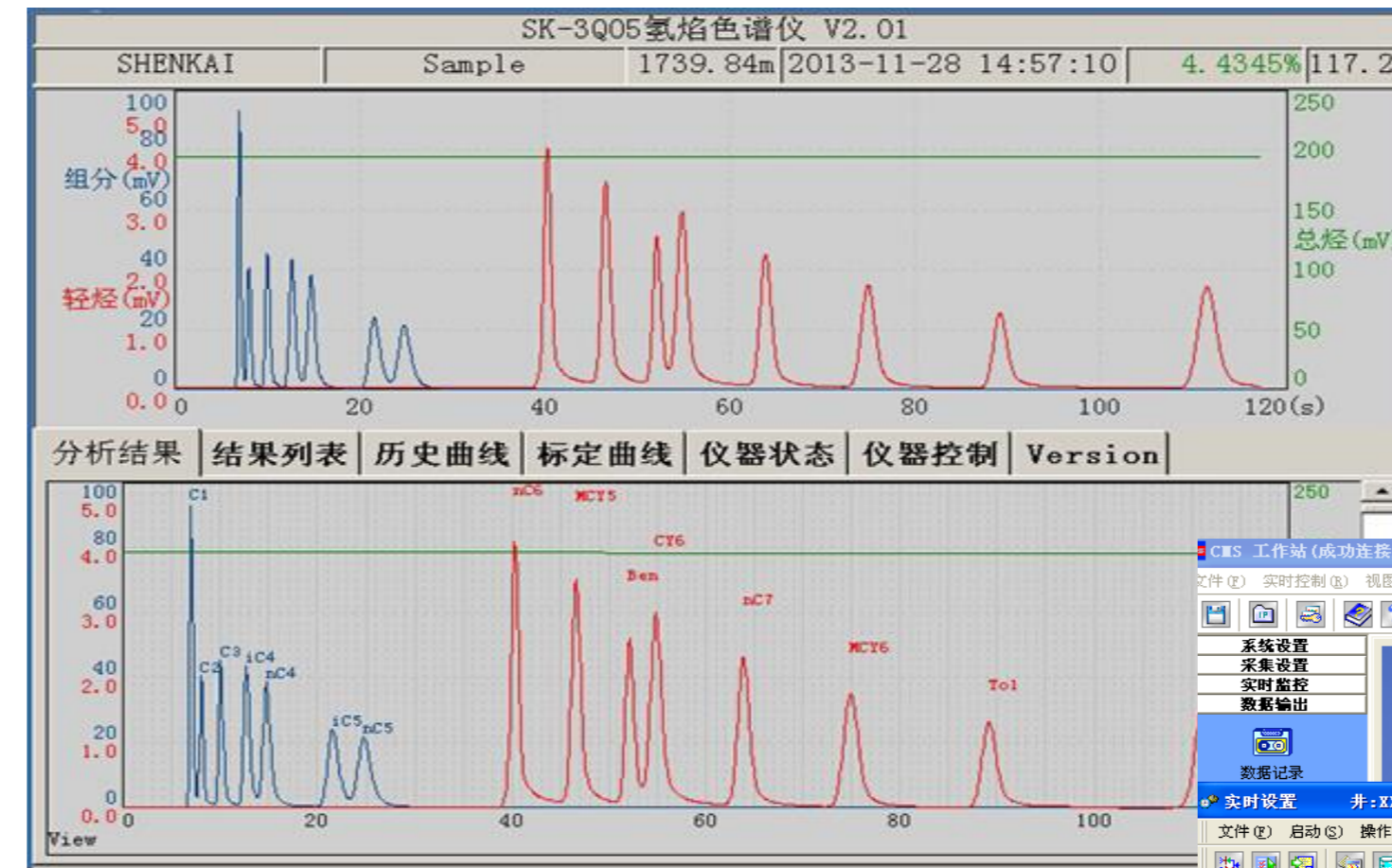


泥浆气体实时监测控制系统

# 三、取得的主要技术进展



MK-3井262回次泥浆烃类气测色谱图



C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> (30s周期) 及 C<sub>1</sub>-C<sub>8</sub> (120s周期) 气相色谱图



MK-3井262回次岩心图 262回次岩心解析气样品

通道号	采集值	单位	参数	标定值	单位
00	2975	unitless	未补偿大钩...	0.72	m
01	4.02	mA	大钩负荷	90.11	Tonnes
02	--	SPM	泵冲速1	100	SPM
03	--	SPM	泵冲速2	60	SPM

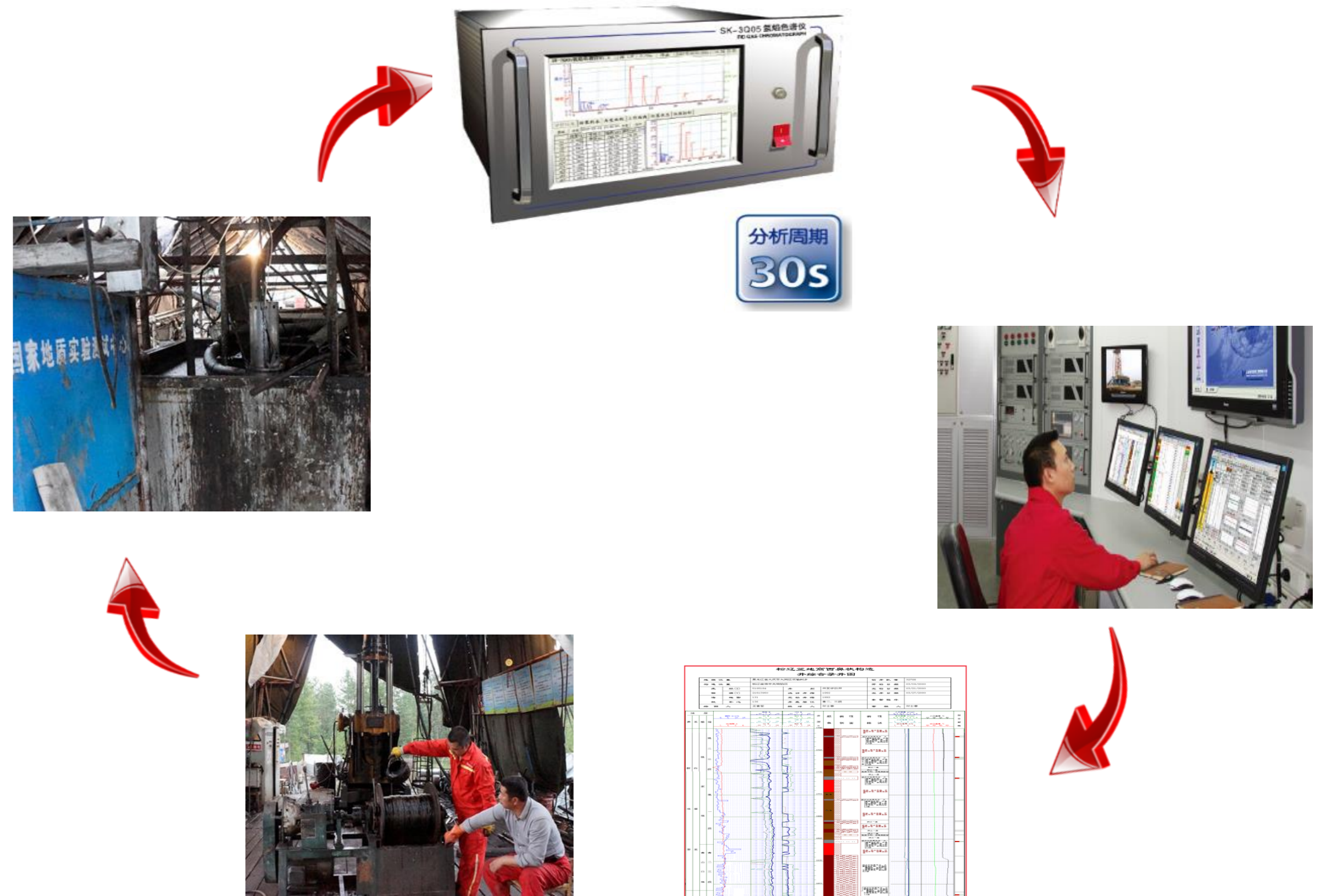
综合录井仪钻进识别界面

井深	456.66	钻位	456.66	Gamma	0.0	API MWD斜	0.0	deg MWD方位	0.0	deg
井深	min/m	总径	DP	C1	DP	14-09-30 9:39:52				
1071.00		1436.00		1771.00		钻进				
2033.00		2033.00		2171.00		测斜井深	0.00	m		
2260.00		2352.00		2522.00		测斜垂深	0.00	m		
2530.00		2559.00		2530.00		南北位移	0.00	m		
2358.00		2064.00		1793.00		东西位移	0.00	m		
1436.00		1568.00		1436.00		闭合距	0.00	m		
1227.00		1563.00		1163.00		狗腿度	0.00	deg/100m		
977.00		1563.00		1016.00		增斜率	0.00	deg/100m		
936.00		1563.00		936.00		大物高度	0.36	m		
916.00		1563.00		916.00		平均钻速	4.97	m/hr		
916.00		1563.00		916.00		出口总烃	1545.00	ppm		
916.00		1563.00		916.00		出口C1	1435	ppm		
916.00		1563.00		916.00		出口C2	0	ppm		
916.00		1563.00		916.00		出口C3	8	ppm		
916.00		1563.00		916.00		出口C4	0	ppm		
916.00		1563.00		916.00		出口nC4	0	ppm		
916.00		1563.00		916.00		出口nC5	0	ppm		
916.00		1563.00		916.00		出口nC5	1	ppm		

综合录井仪实时监测界面

## 泥浆实时在线监测系统特点

1. 实现了30秒 $C_1 \sim C_5$ 和120秒 $C_1 \sim C_8$ 分析周期气体的快速分析;
2. 实现了能够准确获得钻时、井深等钻进参数;
3. 提高了地层气体异常分辨率和钻探预警能力。



地质钻机泥浆气体实时在线监测流程图

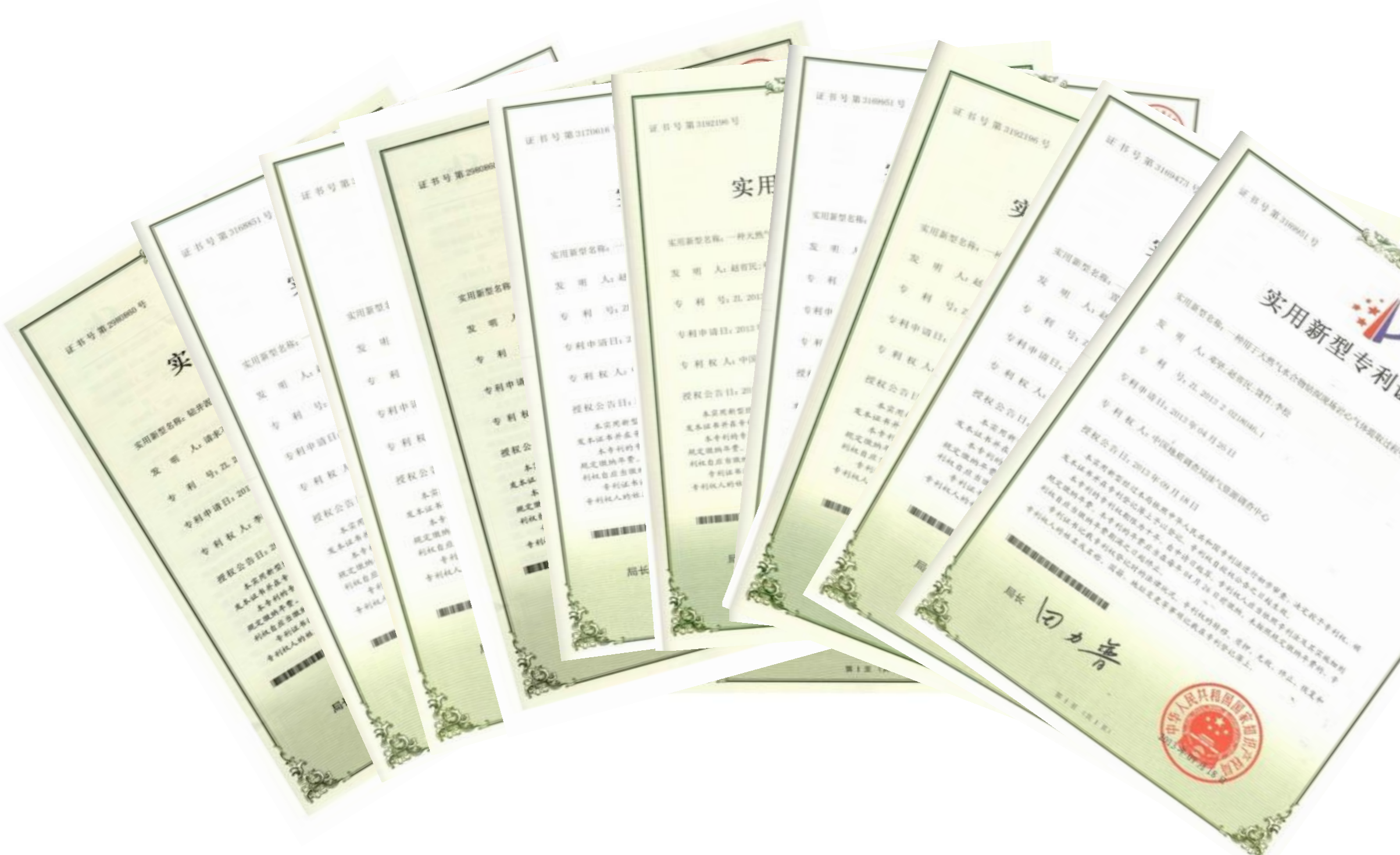
# 四、主要天然气水合物调查检测技术对比

## 与世界主要天然气水合物调查检测技术对比

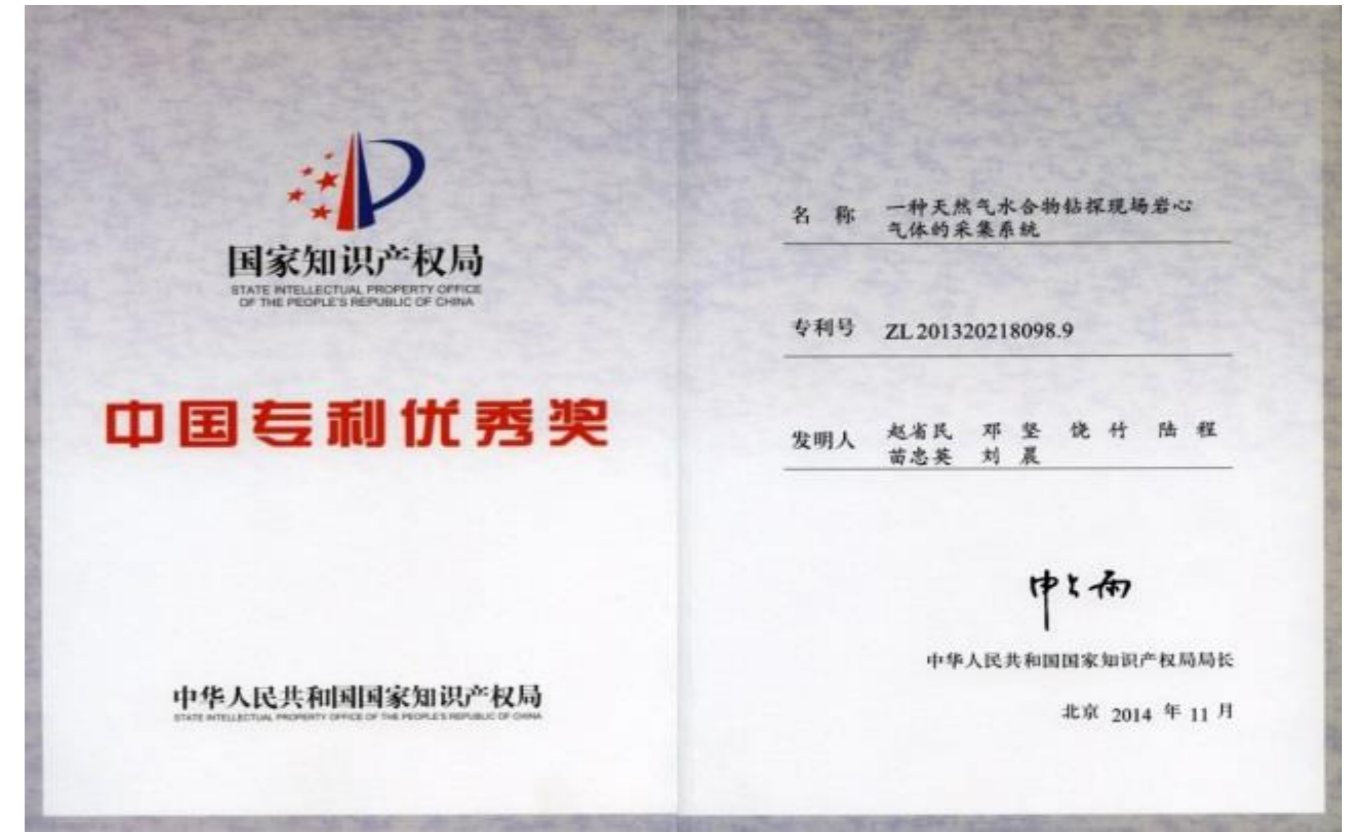
检测技术	检测指标	检测周期	岩心气	岩屑气	游离气	参数图
本成果	C <sub>1</sub> -nC <sub>5</sub>	30s	有	有	有	
	C <sub>1</sub> -nC <sub>8</sub> 、苯、甲苯、环戊烷、烷烃、	120s				
美国 Schlumberger 公司 Flair 技术	C <sub>1</sub> -nC <sub>8</sub> 、苯、甲基环己烷	90s	一般不测	一般不测	无	
美国 Weatherford Company 公司 GC-Tracer 技术	C <sub>1</sub> -nC <sub>8</sub> 、苯系	60s	一般不测	一般不测	无	
USGS Mount Elbert Gas Hydrate Test Well	C <sub>1</sub> -nC <sub>5</sub>	-	有	有	有	



# 获得的国家专利



**荣获**  
**国家知识产权局**  
STATE INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE OF  
THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA  
**中国专利优秀奖 1项**



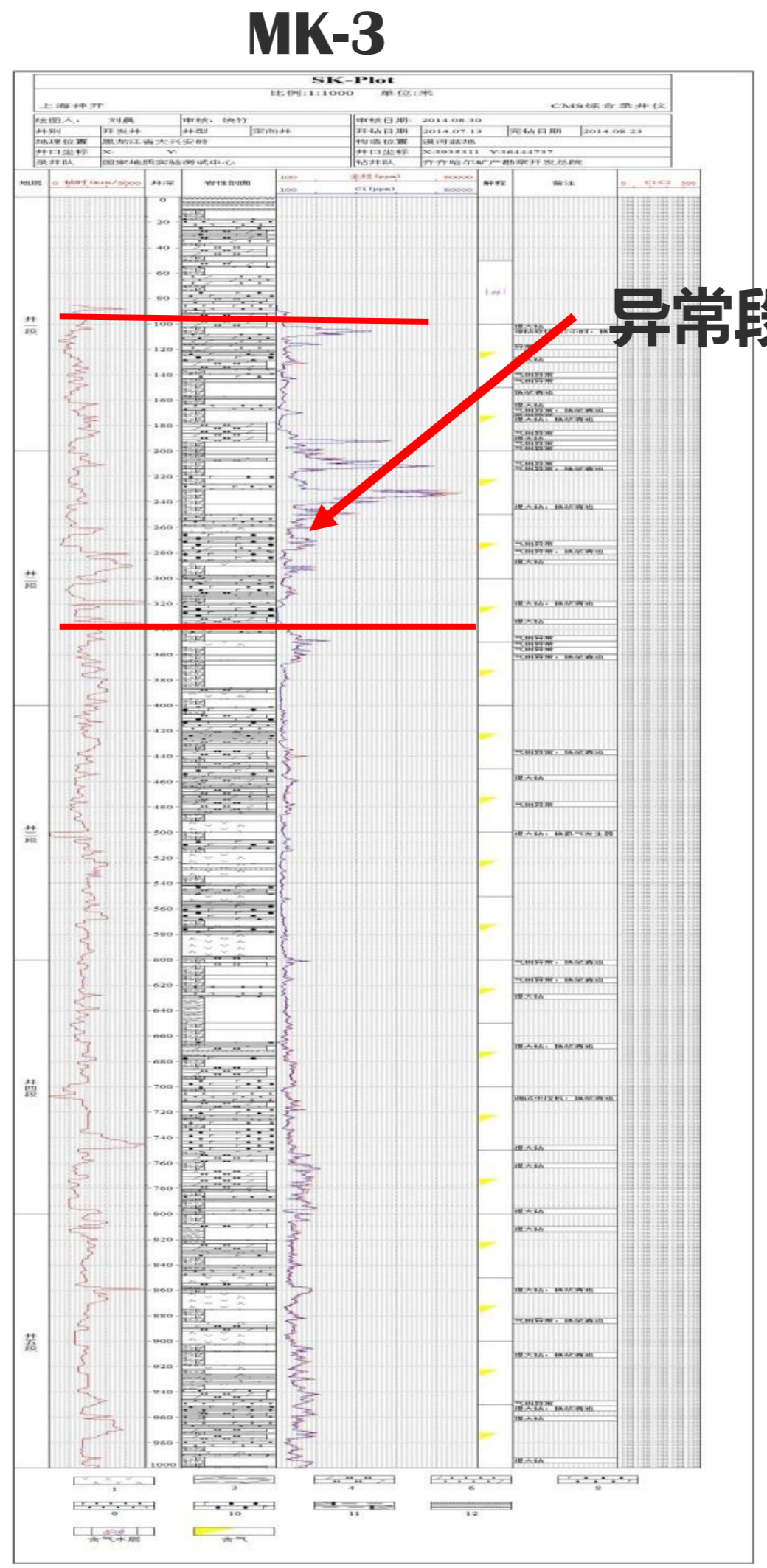
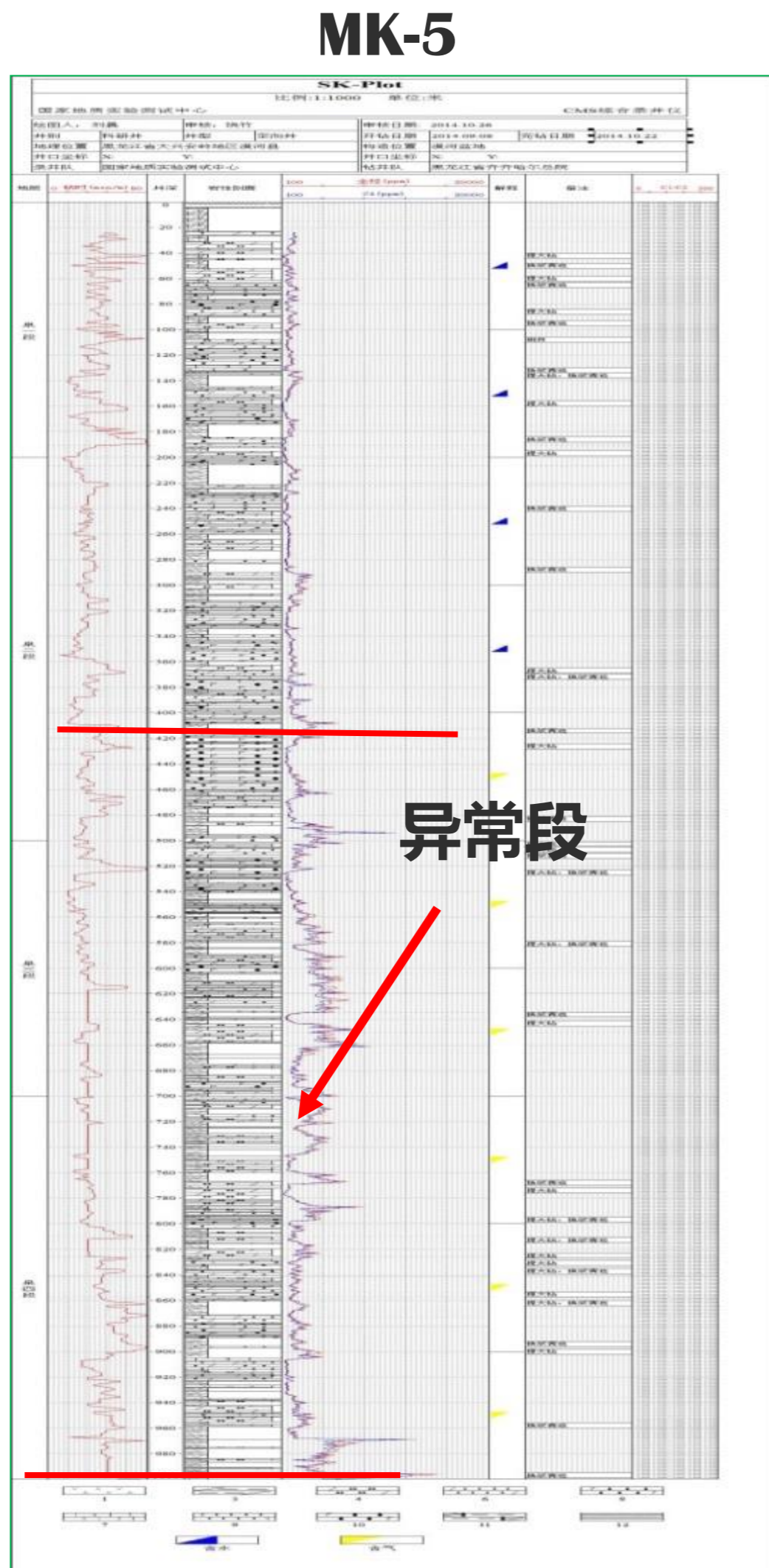
自主研发技术获得**10**项新型实用专利、**1**项发明专利  
11 patents for 10 utility model and  
1 invention of Chinese.



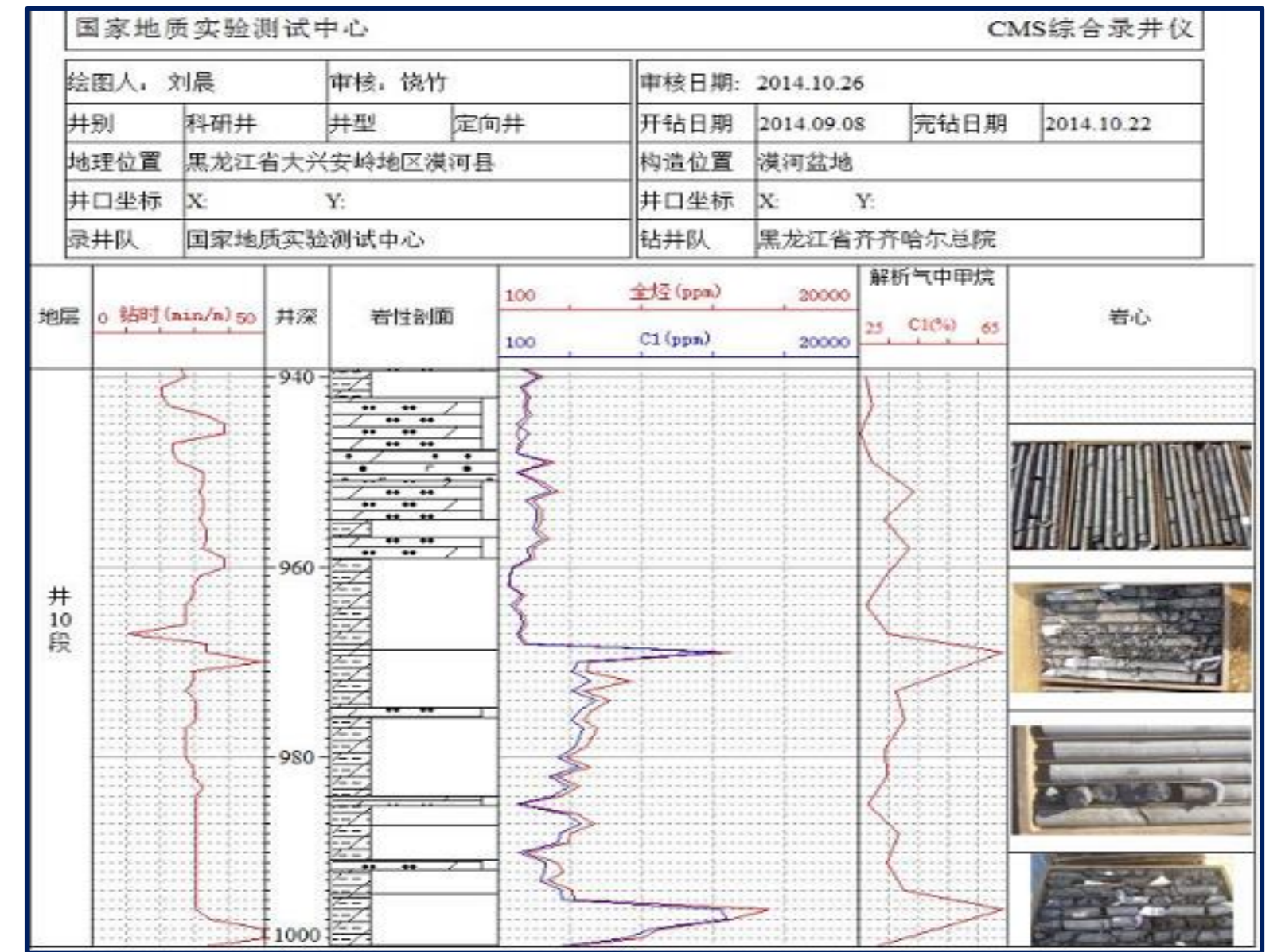
中国地质调查局  
CHINA GEOLOGICAL SURVEY

# 四、研究成果应用

- 研究成果应用到漠河冻土水合物钻井 Mk-3、MK-4、MK-5岩心解吸气、岩屑气等烃类、非烃气体检测。
- 完成了MK-3井及MK-5井全井2000米泥浆气实时全烃、轻烃监测。

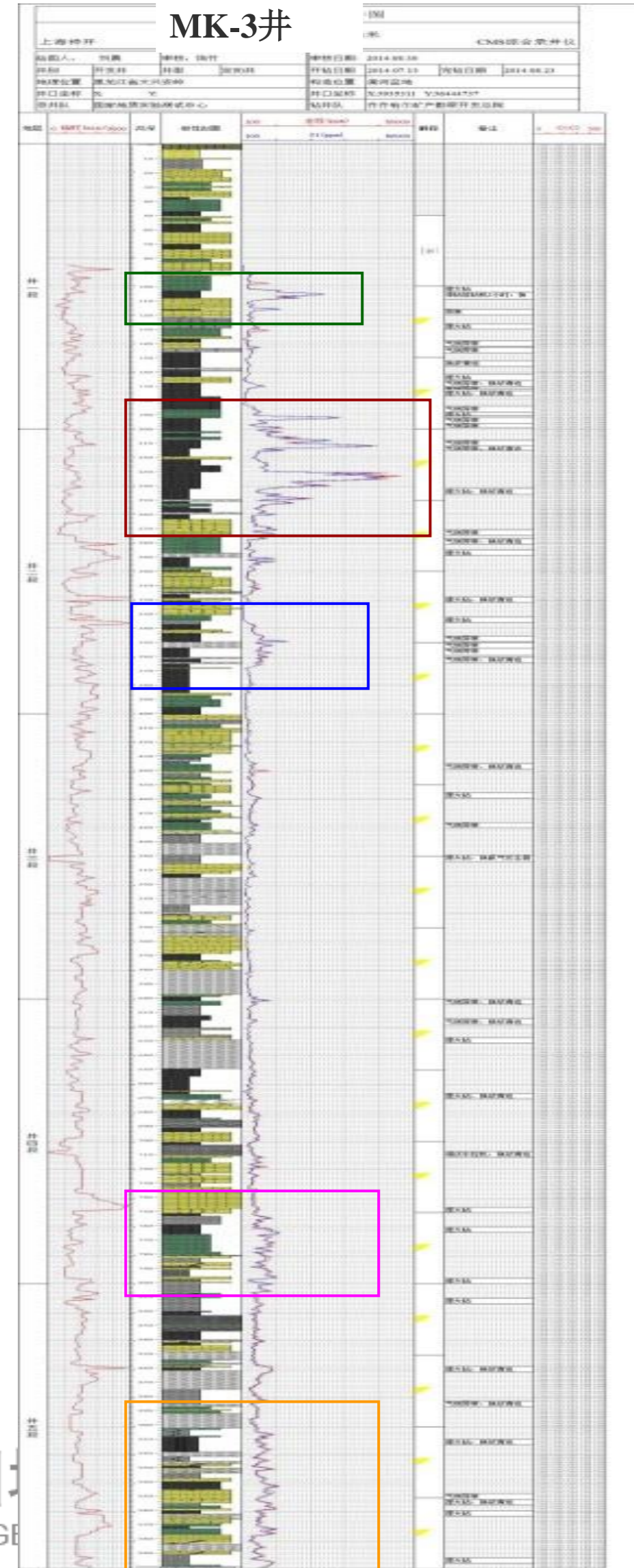


MK-3井气测录井异常与岩心解吸异常一致性

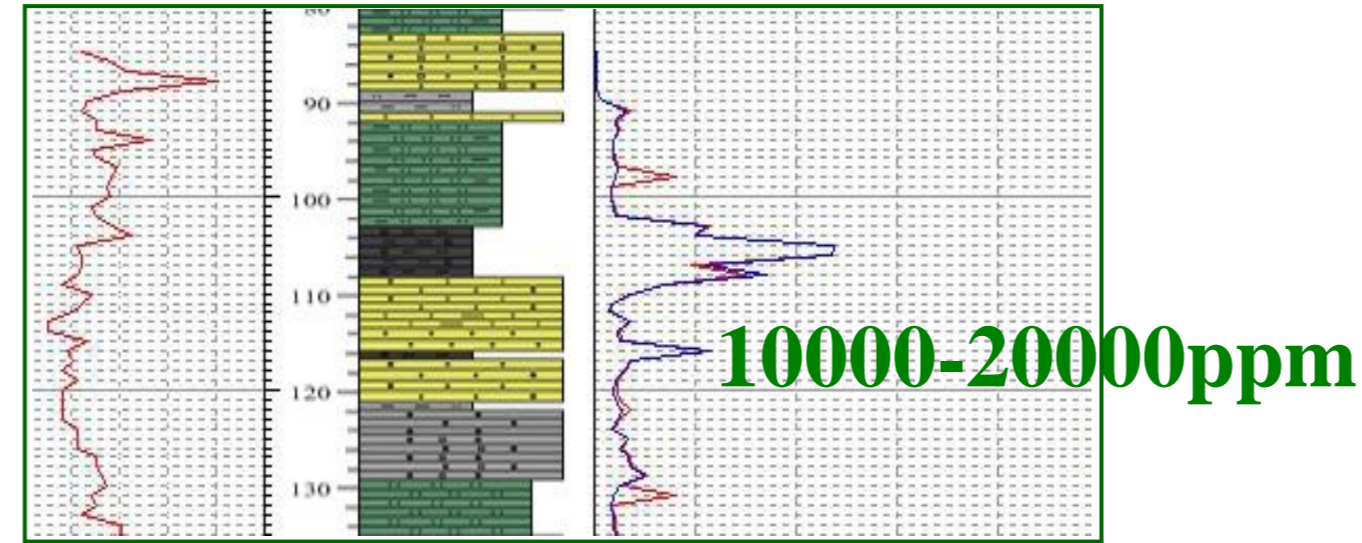


漠河天然气水合物科学钻探MK-3、MK-5综合录井图

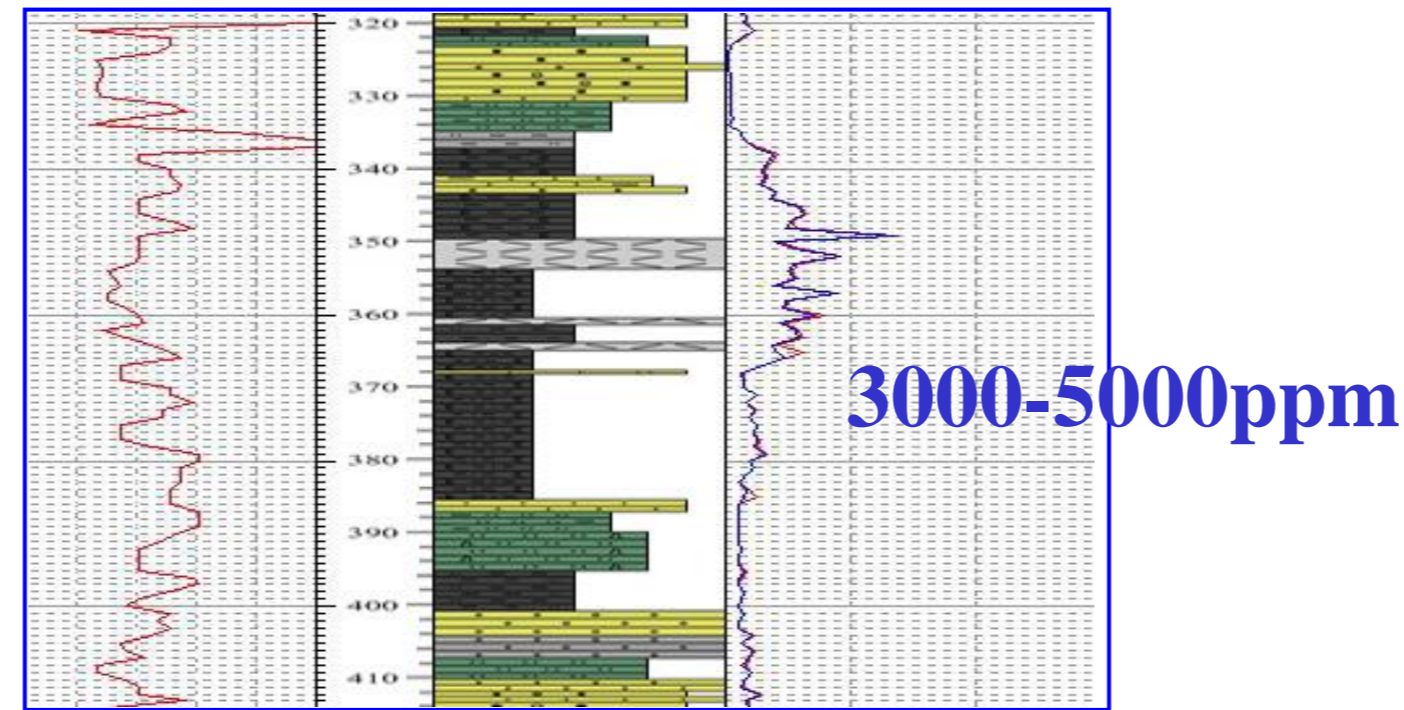
# MK-3井气测录井异常及岩心解吸气异常的一致性



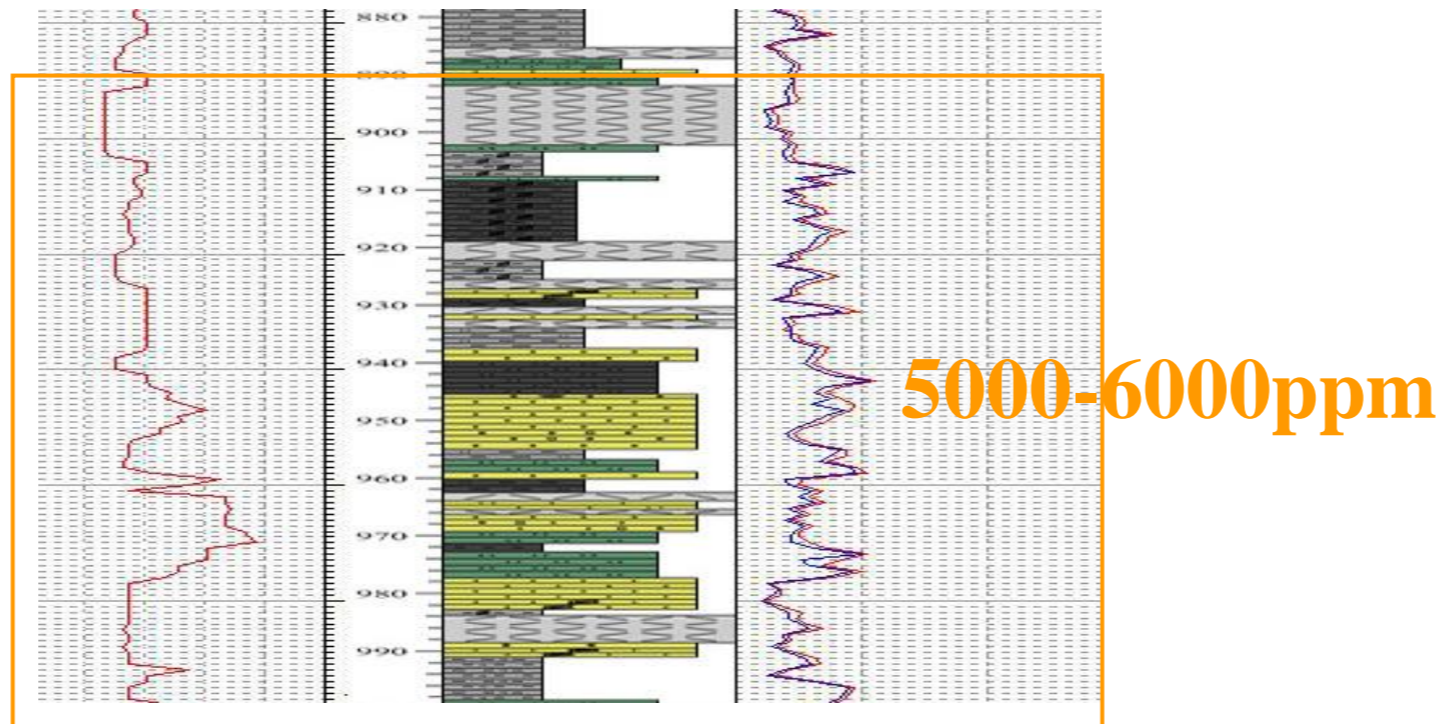
泥浆在线气体监测浓度



10000-20000ppm

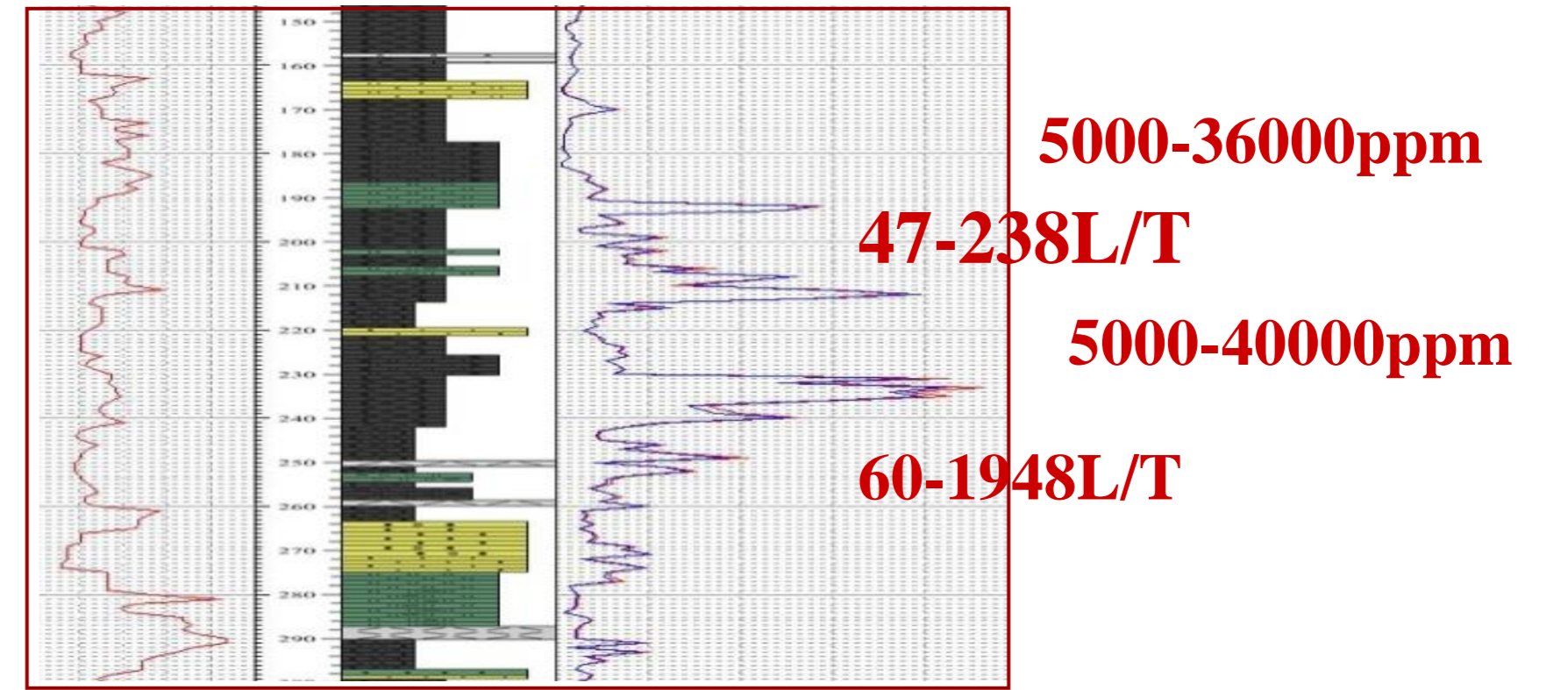


3000-5000ppm



5000-6000ppm

岩心解析气浓度

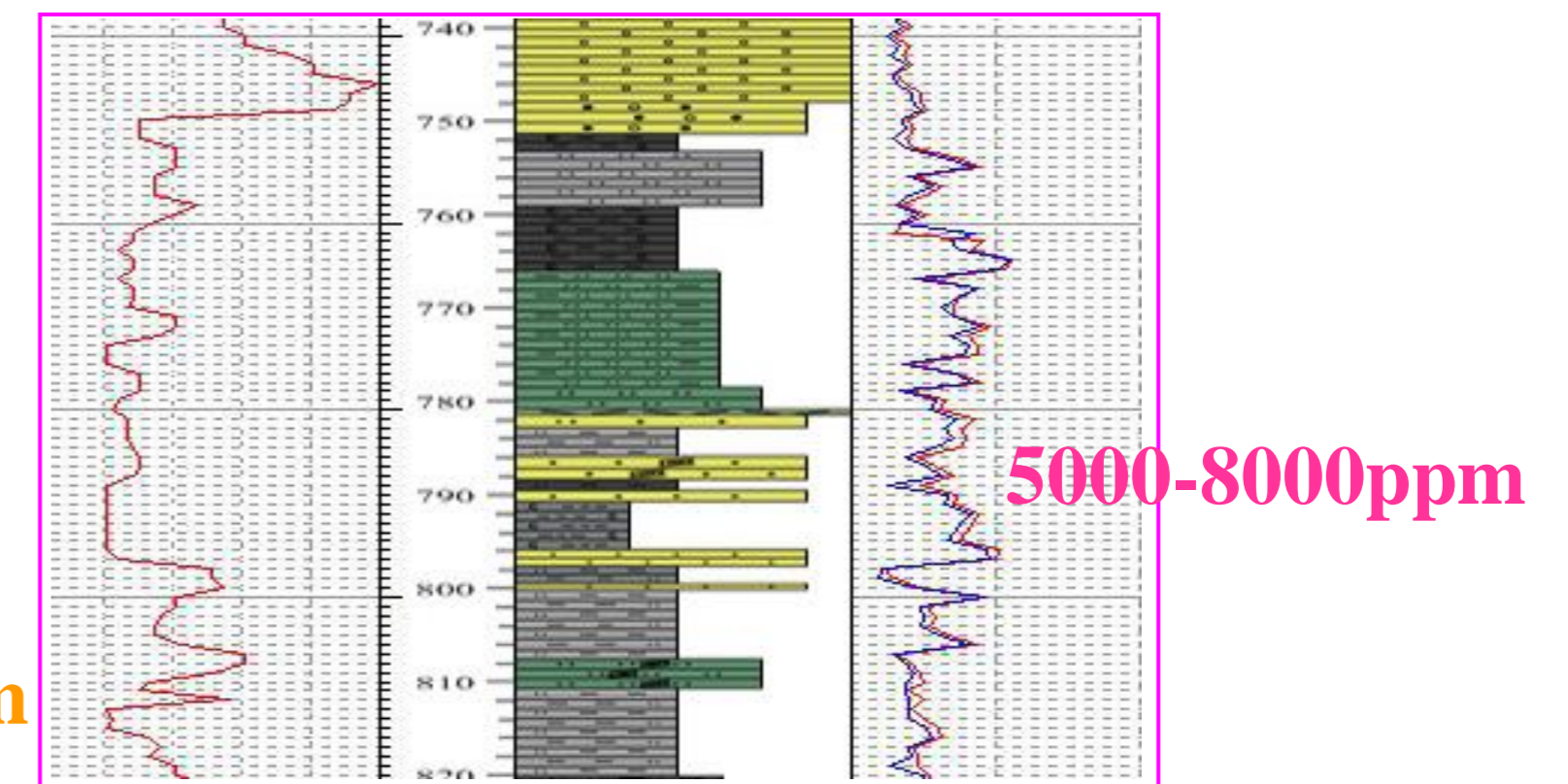


5000-36000ppm

47-238L/T

5000-40000ppm

60-1948L/T



5000-8000ppm



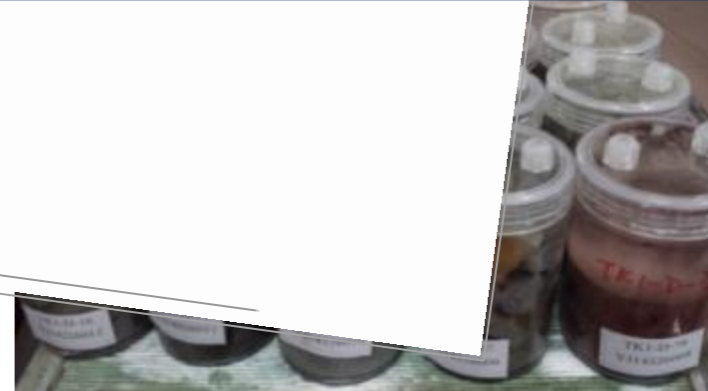
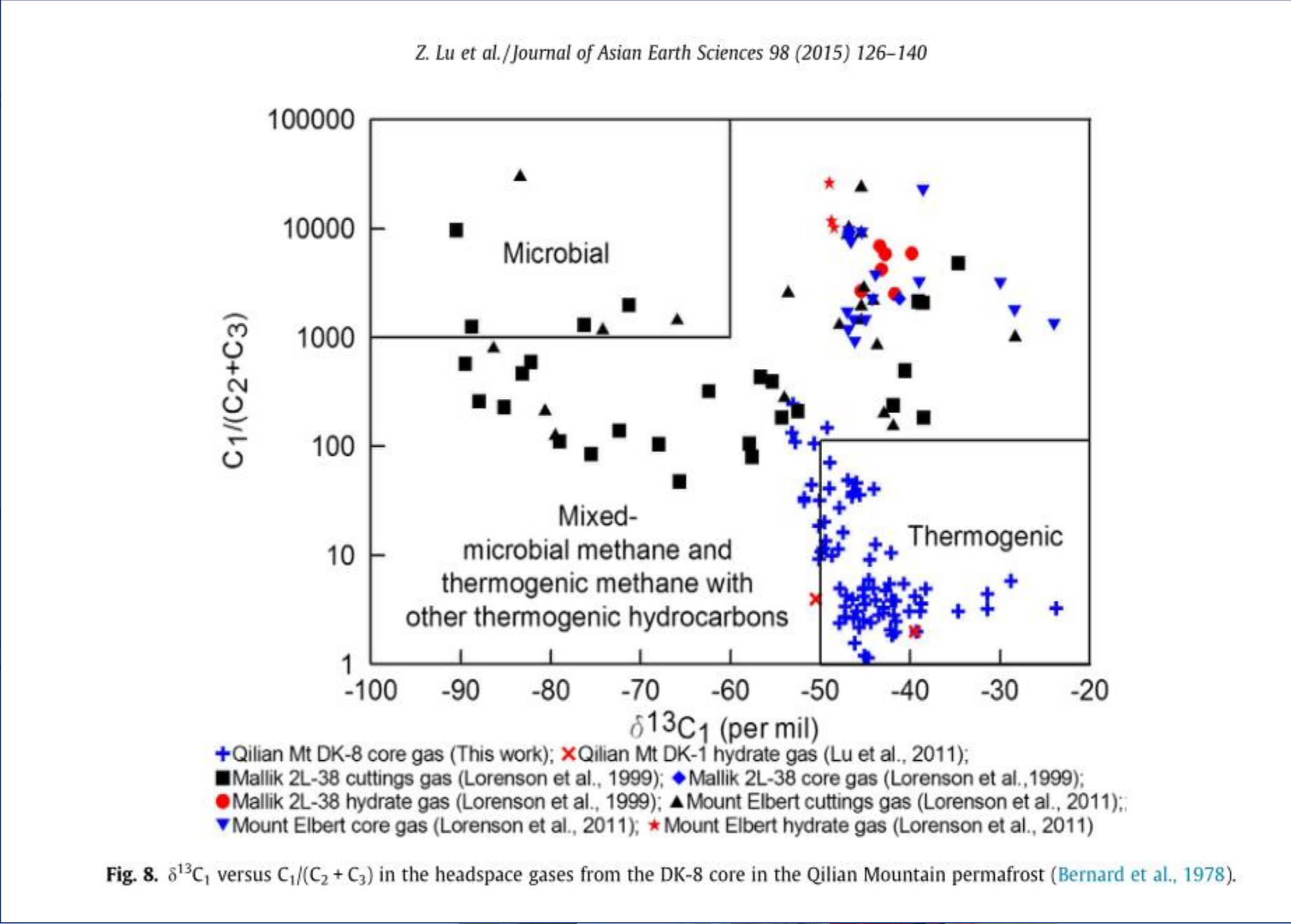
# 四、研究成果应用

Journal of Asian Earth Sciences 98 (2015) 126–140  
 Contents lists available at ScienceDirect  
**Journal of Asian Earth Sciences**  
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/jseaes

**Geochemistry of drill core headspace gases and its significance in gas hydrate drilling in Qilian Mountain permafrost**

Zhengquan Lu<sup>a,b</sup>, Zhu Rao<sup>c</sup>, Jiaxiong He<sup>d,\*</sup>, Youhai Zhu<sup>a,b</sup>, Yongqin Zhang<sup>e</sup>, Hui Liu<sup>a,b</sup>, Xiaohua Xue<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100029, China  
<sup>b</sup> Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China  
<sup>c</sup> National Research Center for Geo-analysis, Beijing 100037, China  
<sup>d</sup> Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou, Guangdong 510640, China  
<sup>e</sup> Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang, Hebei 065000, China





- 1.首次建立了我国陆域天然气水合物钻探岩心气体现场快速检测技术;**
- 2.通过技术改进实现了地质岩心钻机泥浆气体实时在线快速监测**
- 3.项目在天然气水合物岩心气采集、检测等方面取得一系列技术创新, 获取10项新型实用专利、1项发明专利;**
- 4.促进了野外现场快速检测技术的发展。**



# 致谢！！

团队所有成员！  
吉林大学！  
黑龙江齐齐哈尔勘探总院！  
中国地质科学院资源研究所！  
上海神开石油股份公司！

