

气相色谱法（喷嘴型甲烷转化器）测定天然气中 15 种组分含量及扩展微量 CO、CO₂ 分析

SYS-GC-038

摘要： 本文利用岛津气相色谱仪 Nexis GC-2030，建立了天然气及扩展微量 CO、CO₂ 分析方法。该方法采用了 Jetanizer（喷嘴型甲烷转化器）、FID（氢火焰离子化检测器）、双 TCD（热导池检测器）、多阀多柱分离系统等配置，一次进样能分析 H₂、He、O₂、N₂、CH₄、CO、CO₂、C₁~C₆⁺ 等天然气中 15 种组分，并包含分析宽浓度范围内的 CO、CO₂。该方法简便灵敏，能够快速准确测定天然气成分和微量一氧化碳、二氧化碳的含量。

关键词： 天然气 一氧化碳 二氧化碳 Jetanizer（喷嘴型甲烷转化器）

技术特点：

- ❖ 岛津气 Nexis GC-2030+Jetanizer 一次进样，实现天然气中 15 种物质的同时分析，且该分析方法能延伸适用到超宽浓度范围（≤ 10⁵）的 CO、CO₂ 的检测。
- ❖ 数据结果准确度高、重复性好、检测限低至 2 μmol/mol，远远满足天然气国家标准要求（≤ 0.01%）。

天然气是清洁高效的能源，在全球能源结构中扮演着越来越重要的角色。随着开采技术的进步，尤其是页岩气革命，天然气的产量大幅增加，供应稳定性提升。同时，天然气在发电、工业燃料、交通运输等领域的应用不断拓展，成为替代煤炭和石油的理想选择，有助于减少温室气体排放，改善环境质量。国家能源局印发《2024 年能源工作指导意见》的通知，修订天然气利用政策，推动天然气在新型能源体系建设

中发挥更大作用。

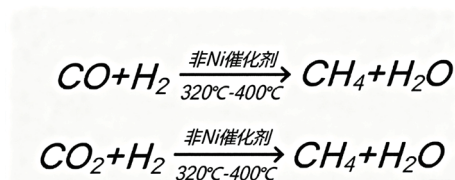
本文采用岛津旗舰版 Nexis GC-2030 搭配最新产品 Jetanizer，同时结合多阀柱系统，一次进样可实现天然气中 15 种组分的分析并且可拓展应用到不同浓度一氧化碳、二氧化碳的检测。该系统进样方式简单，定量准确性高、重复性好，完全满足 GB/T 13610-2020 天然气组分分析国家标准中的要求。且对于分析不同浓度，尤其是微量 CO、CO₂ 更加的简便快捷。

实验部分

1.1 仪器

气相色谱仪：Nexis GC-2030

Jetanizer（喷嘴型甲烷转化器，可以代替传统甲烷转化炉，通过内置在 FID 喷嘴内的创新型催化剂（无镍型），可以高效的将 CO、CO₂ 转化成 CH₄。）



1.2 测定原理

本系统由五阀八柱三检测器构成，共四个流路。流路 1 中样品经过预分离柱，初步分离 H_2S 后的重组分被反吹放空，(CO 、 CH_4)、 CO_2 、 C_2 、 H_2S 等组分由 TCD1 被检测；流路 3 中的样品经过预分离柱，初步分离后 CO_2 后的重组分被反吹放空， O_2 、 N_2 、 CH_4 、 CO 等组分由 TCD1 被检测。流路 2 中样品经过进样口到预分离柱， C_6^+ 被反吹到 FID 检测， $C_1\sim C_5$ 烃类被三氧化二铝柱分离再到 FID 检测。流路 4 中样品在预分离柱 H_2 后重组分被反吹放空， He 、 H_2 经过 MS-5A 被分离由 TCD2 检测。

1.3 分析条件

1.3.1 气相色谱条件

色 谱 柱：	P-N, 80/100mesh 3.2 m x 2.1 mm x 1.0 m, 3 根 Rt-QPLOT, 0.53 mm x 30 m x 20 μ m Rt-MS-5A, 0.53 mm x 30 m x 50 μ m Rtx-1, 0.53 mm x 5 m x 5 μ m HP-AL/S, 0.53 mm x 30 m x 15 μ m MS-5A, 60/80 mesh 3.2 x 2.1 mm x 3.0 m		
柱 温 条 件：	65°C (7 min) _8°C /min_140°C		
进 样 模 式：	分流 (10)	氢 气 流 量：	32 mL/min
控 制 模 式：	线速度, 78.3 cm/s	空 气 流 量：	200 mL/min
进 样 口 温 度：	150°C	TCD1 温 度：	150°C
载 气：	He , N_2	电 流：	120 mA
Jetanizer-FID 温度：	400°C	T C D 2 温 度 (150°C)	
尾 吹 气 流 量：	24 mL/min	电 流：	60 mA
附加温控			
C O N 1：	100°C	C O N 2：	100°C
附加流量			
A P C 1：	170Kpa	A P C 4：	130Kpa
A P C 5：	270Kpa	A P C 6：	160Kpa

■ 结果与讨论

2.1 天然气组成分析

2.1.1 天然气典型谱图

待测天然气标准样品钢瓶与 Nexis GC-2030 主机进样口连接后进样分析。按 1.2 分析条件一次进样完成 15 种组分的同时测定，典型谱图见图 1-3，组分信息如表 1 所示。

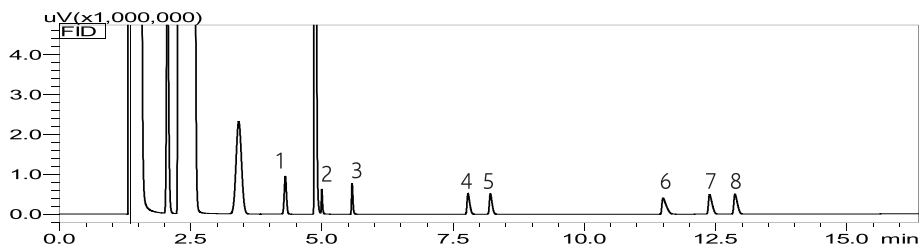


图 1 天然气分析典型谱图 (Jetanizer-FID 检测器)

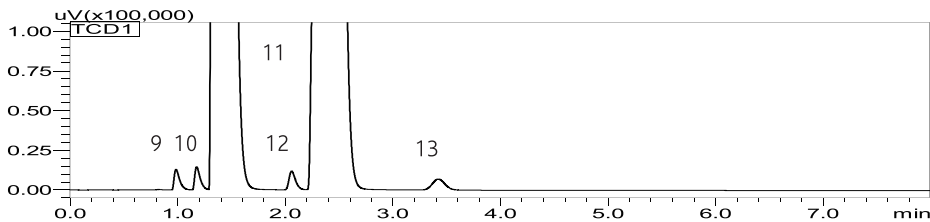


图 2 天然气分析典型谱图 (TCD1 检测器)

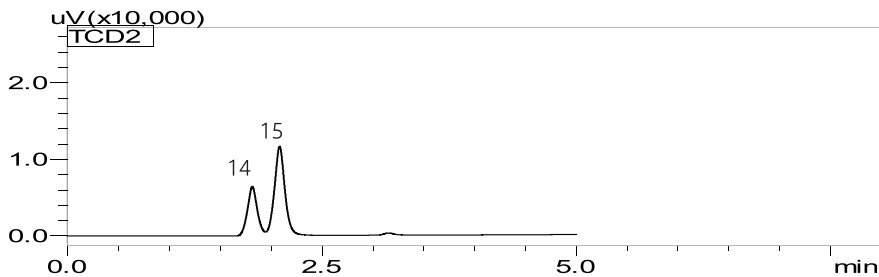


图 3 天然气分析典型谱图 (TCD2 检测器)

表 1 天然气组分信息表

No.	化合物名	英文名称	CAS 号	保留时间 (min)	检测器
1	正己烷	N-hexane	110-54-3	4.300	Jetanizer-FID
2	乙烷	Ethane	74-84-0	5.008	Jetanizer-FID
3	丙烷	Propane	74-98-6	5.615	Jetanizer-FID
4	异丁烷	Iso-butane	75-28-5	7.776	Jetanizer-FID
5	正丁烷	N-butane	106-97-8	8.202	Jetanizer-FID
6	异戊烷	Iso-pentane	78-78-4	11.492	Jetanizer-FID
7	正戊烷	pentane	109-66-0	12.378	Jetanizer-FID
8	新戊烷	Neopentane	463-82-1	12.863	Jetanizer-FID
9	氧气	Oxygen	7782-44-7	0.988	TCD1
10	氮气	Nitrogen	7727-37-9	1.148	TCD1
11	甲烷	Methane	74-82-8	1.371	TCD1
12	一氧化碳	Carbon monoxide	630-08-0	2.057	TCD1
13	二氧化碳	Carbon dioxide	124-38-9	3.421	TCD1
14	氦气	Helium	7440-59-7	1.627	TCD2
15	氢气	Hydrogen	1333-74-0	1.778	TCD2

2.1.2 天然气分析重复性及检出限

将上述浓度的天然气，连续进样 6 次进行重复性测试，测定结果见表 2。天然气中 15 种组分连续 6 次分析峰面积 RSD% 在 0.03-1.38%，并且检出限均低于 2.00 $\mu\text{mol/mol}$ ，完全满足 GB/T 13610-2020 最低检出限 0.01% 的分析要求。

表 2 天然气中 15 种组分峰面积重复性结果 (n=6, RSD%)

No.	化合物名称	浓度 (%)	峰面积 RSD (%)	检出限 (μmol/mol)
1	正己烷	0.201	0.20	0.67
2	乙烷	0.197	0.10	0.14
3	丙烷	0.199	0.19	0.41
4	异丁烷	0.200	0.15	0.84
5	正丁烷	0.200	0.10	1.35
6	异戊烷	0.200	0.08	1.04
7	正戊烷	0.202	0.08	1.53
8	新戊烷	0.197	0.08	1.54
9	氧气	0.200	0.07	1.95
10	氮气	0.200	0.07	1.62
11	甲烷	97.207	0.08	1.56
12	一氧化碳	0.199	0.13	2.00
13	二氧化碳	0.199	0.77	1.79
14	氦气	0.199	0.03	0.27
15	氢气	0.200	1.38	0.38

2.2 扩展 CO、CO₂ 分析 (Jetanizer-FID)

2.2.1 氦气中一氧化碳、二氧化碳典型谱图

按 1.3 分析条件依次完成不同浓度的 CO、CO₂ 标气分析，典型谱图见图 4，组分信息如表 3 所示。

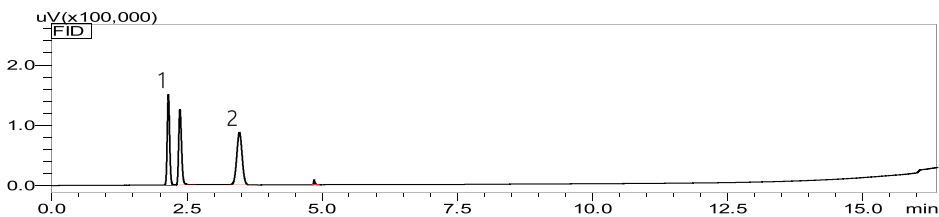


图 4 氦气中 CO、CO₂ (浓度 50 μmol/mol) 典型谱图 (Jetanizer-FID)

表 3 氦气中 CO、CO₂ 组分信息表

No.	化合物名称	英文名称	CAS 号	保留时间 (min)	检测器
1	一氧化碳	Carbon monoxide	630-08-0	2.007	Jetanizer-FID
2	二氧化碳	Carbon dioxide	124-38-9	3.399	Jetanizer-FID

2.2.2 CO 和 CO₂ 分析线性和检出限

依次进样 4 种不同浓度的 CO (浓度范围是 5.05×10^{-6} mol/mol~ 22.8×10^{-2} mol/mol) 和 CO₂ (浓度范围是 4.90×10^{-6} mol/mol~ 9.974×10^{-2} mol/mol)，绘制得到如图 5 的曲线，根据标准气体浓度，按 S/N=3 计算各气体组分的检出限见表 4，线性浓度范围更广验证 Jetanizer (喷嘴型甲烷转化器) 的超高转化效率。

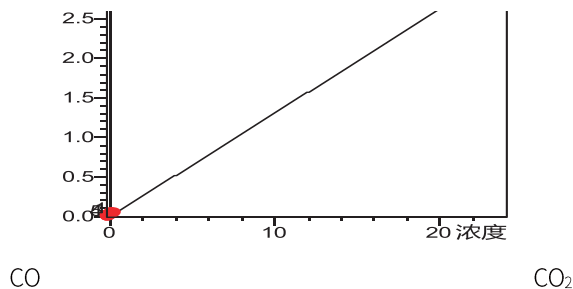


图5 一氧化碳、二氧化碳标准曲线 (Jetanizer-FID)

表4 气体组分的线性 R^2 及检出限

No.	中文名称	线性相关系数 R^2 (%)	检出限 ($\mu\text{mol/mol}$)
1	一氧化碳	0.999	0.08
2	二氧化碳	0.999	0.20

2.2.3 CO 和 CO₂ 重复性

不同浓度一氧化碳、二氧化碳的标准气体进样 6 次测试重复性结果见表 5 (以其中一个浓度点为例)。

表5 一氧化碳、二氧化碳峰面积重复性 RSD% (n=6)

No.	化合物名称	浓度 (%)	重复性 (%)
-----	-------	--------	---------

图5 一氧化碳、二氧化碳标准曲线 (Jetanizer-FID)

表4 气体组分的线性 R^2 及检出限

No.	中文名称	线性相关系数 R^2 (%)	检出限 ($\mu\text{mol/mol}$)
1	一氧化碳	0.999	0.08
2	二氧化碳	0.999	0.20

2.2.3 CO 和 CO₂ 重复性

不同浓度一氧化碳、二氧化碳的标准气体进样 6 次测试重复性结果见表 5 (以其中一个浓度点为例)。

表5 一氧化碳、二氧化碳峰面积重复性 RSD% (n=6)

No.	化合物名称	浓度 (%)	重复性 (%)
1	一氧化碳	50.49×10^{-6}	0.06
2	二氧化碳	50.70×10^{-6}	0.98

■ 结论

本文采用岛津 Nexis GC-2030, 搭载 Jetanizer (喷嘴型甲烷转化器), 一次进样能同时分析天然气中 15 种组分, 重复性良好。此套系统可用于天然气组分分析, 并且扩展分析微量 CO、CO₂, 满足并拓展了国标方法。

岛津应用云

