

· 应用技术 ·

氦离子化检测器(PDHID)与火焰离子化检测器(FID)在高纯气体分析中的性能比较

方 华¹, 周朋云², 庄鸿涛¹

(1. 上海华爱色谱分析技术有限公司, 上海 200437; 2. 西南化工研究设计院, 成都 610225)

摘要: 简述了火焰离子化检测器(FID)与氦离子化检测器(PDHID)的结构、工作原理及其应用。通过对高纯气 N₂、H₂、Ar、He、O₂ 中杂质分析的比较, 显示 GC 只需配有一个 PDHID 即可完成对无机与有机杂质的分析, 而且 PDHID 具有更高的灵敏度、更低的检测限。

关键词: 氦离子化检测器; 火焰离子化检测器; 比较; 检测; 高纯气体

中图分类号: O657.7

文献标志码: B

文章编号: 1007-7804(2011)01-0033-10

doi:10.3969/j.issn.1007-7804.2011.01.010

Comparison of Performances on Flame Ionization Detector And Pulsed Discharge Helium Ionisation Detector in High Purity Gas Analysis

FANG Hua, ZHOU Pengyun, ZHUANG Hongtao

(1. Shanghai Huaai Chromatography Analysis Co., Ltd., Shanghai 200437, China;

2. South-West Chemical Research And Design Institute, Chengdu 610225, China)

Abstract: The article introduces the structures, principle and application on pulsed discharge helium ionization detector and flame ionization detector. Through the comparison of the impurities of high purity gas of N₂, H₂, Ar, He, O₂, it shows GC equipped with one PDHID can finish the impurities analysis of in-organics and organics. The results show that PDHID has a better sensibility, a lower detection limits.

Key words: pulsed discharge helium ionisation detector; flame ionization detector; comparison, detection, high purity gas

火焰离子化检测器(FID)与氦离子化检测器(PDHID)是目前气相色谱法检测气体中杂质最为常用的两种检测器。两种检测器都能分析检测气体中 CO、CH₄ 和 CO₂, 但在低含量(1ppm 以下)的分析领域, 哪种检测器性能指标更适合, 这也是一直很让人困扰的问题。现本文对这两种检测器的原理及其应用和比对做简单介绍。

火焰离子化检测器(FID)是利用氢火焰作电离源, 使有机物电离, 产生微电流而响应的检测器^[1]。它的结构示意图如图 1: 主体为离子室, 内

有石英喷嘴、极化极和收集极^[2]。它对几乎所有的有机物均有响应, 特别是对烃类, 其响应与碳原子数成正比, 故有碳计数器之称。它对 H₂O、CO、CO₂、CS₂ 等无机物无响应。由于 CO、CO₂ 是高纯气体中普遍需要控制的杂质, 通常采用气相色谱法 GC-FID 检测 CO、CO₂ 的含量。它将经色谱柱分离的各成分依次引入催化加氢柱(转化炉), 使一氧化碳和二氧化碳发生如下反应定量转化为甲烷, 然后用火焰离子化检测器进行测定^[3]。由于 FID 对烃类具有非常好的响应, 已广泛应用于各个领域,

如化学、化工、药物、农药、法医化学、食品和环境科学等诸多领域^[4-16]。

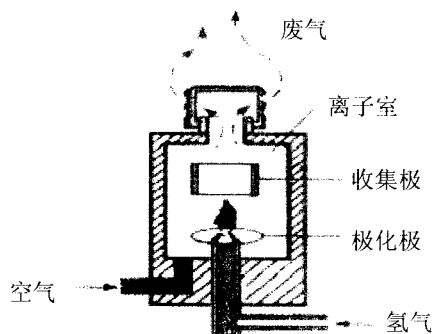
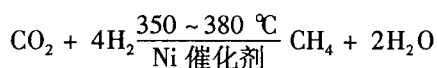
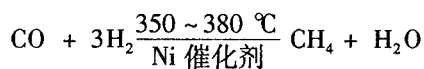


图1 FID的结构示意图

Fig. 1 Structure schematic diagram of FID

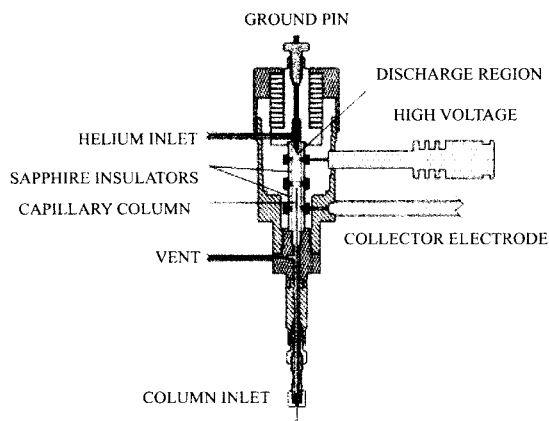
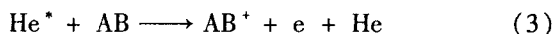
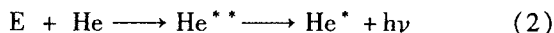
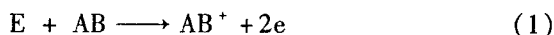


图2 PDHID的结构示意图

Fig. 2 Structure schematic diagram of PDHID

PDHID 是非破坏性检测器,对无机和有机化合物均有响应,且均有高灵敏度的正响应^[1]。图2为PDHID检测器的结构示意图。其工作原理如下:

PDHID 是利用氦气中稳定的、低能耗的脉冲直流放电作为电离源,使被测组分电离产生信号。电离过程主要由三部分组成:(1)氦中放电发射出13.5~17.7 eV的连续辐射光进行光电离,这是主要的;(2)被高压脉冲加速的电子直接电离组分AB,产生信号,或直接电离载气和杂质产生基流;(3)亚稳态氦与组分反应电离产生信号,或与杂质反应电离产生基流。产生信号的电离反应如下:



由于PDHID对无机和有机化合物均有响应,且均有高灵敏度的响应,应用也越来越广泛。国内的众多研究学者越来越多地利用PDHID来分析各种高纯气体。欧庆瑜等人对PDHID的结构与工作原理做了比较详细的介绍^[17]。王少楠等人对氦离子化气相色谱仪的研制与应用做过详细的分析^[18]。张毅等人对高纯氩气中的微量氮做过细致的分析^[19]。张勤英等人利用高灵敏度的脉冲氦离子检测器分析混合气体中Kr、Xe^[20]。胡树国等人也对高纯气体中的微量无机杂质做了全面的检测^[21]。梁冰等人利用PDHID对有机物有响应,对痕量的有机化合物进行分析^[22]。韩毓旺等人利用PDHID来测定变压器油中溶解气及水分^[23]。方华等人将PDHID应用在电子气体——硅烷的分析中^[24]。国外的研究学者在这方面的工作做得更加细致。D. S. Forsyth对脉冲放电检测器的理论与应用做了全面深入的介绍^[25]。Aanford Mendonca等人利用PDHID对不同类型化合物相对校正因子的理论计算与实验测定做了细致的工作^[26]。Maxwell C. Hunter等人用PDHID对大气中的甲醛进行分析^[27]。Johannes Nernardus Laurens等人对具有腐蚀性的WF₆进行了分析^[28]。Sung Ho Kim等人利用PDHID和单柱对天然气中C₁~C₅进行分析^[29]。J. Lasa等人利用配有PDHID的GC测定Ne的含量^[30]。Johannes Petrus de Coning等人利用PDHID通过双通道对NF₃中的微量杂质如O₂、N₂、CO₂、CO、SF₆、CH₄、N₂O、CF₄等进行测定^[31]。Mark T. Roberge等人用PDHID对呼吸气中微量的氢和甲烷进行检测,并与TCD与FID的组合做了对比^[32]。M. Janse van Rensburg等人对N₂中的CO₂、CO、O₂,利用双毛细管柱和PDHID进行了分离与检测^[33]。Yao Weijun利用PDHID使用中心切割技术测定高纯气H₂、O₂、N₂、Ar、He等中的杂质^[34]。

本文利用配有FID的GC通过用不同气体作载气来分析各种高纯气体中的杂质,同时用配有PDHID的GC对各种高纯气体中的各种杂质进行检测,并对两种检测器的性能做比较。

1 实验部分

1.1 仪器

分析方案 1 GC—9560 通用气相色谱仪配置 Ni 转化炉和 FID 检测器。

分析方案 2 GC—9560-HG 氮离子气相色谱仪配置 He 纯化器和 PDHID 检测器 (VICI)。

1.2 标准气体

标准气体见表 1~5。

表 1 标准气体 (平衡气: N₂)

Table 1 Standard Gas (balanced gas: N₂)

组分名称	H ₂	O ₂	CH ₄	CO	CO ₂
浓度/10 ⁻⁶	9.48	10.20	9.75	9.96	9.92

表 2 标准气体 (平衡气: H₂)

Table 2 Standard Gas (balanced gas: H₂)

组分名称	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂
浓度/10 ⁻⁶	10.50	10.60	10.20	9.76	9.82

表 3 标准气体 (平衡气: Ar)

Table 3 Standard Gas (balanced gas: Ar)

组分名称	H ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂
浓度/10 ⁻⁶	10.01	11.4	9.26	10.09	10.32

表 4 标准气体 (平衡气: He)

Table 4 Standard Gas (balanced gas: He)

组分名称	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂
浓度/10 ⁻⁶	10.1	9.96	9.08	10.3	10.4	10.6

表 5 标准气体 (平衡气: O₂)

Table 5 Standard Gas (balanced gas: O₂)

组分名称	H ₂	N ₂	Ar	CH ₄	CO	CO ₂
浓度/10 ⁻⁶	9.60	9.81	9.41	10.0	9.69	9.68

1.3 实验分析方案 1

1.3.1 FID 色谱工作条件

载气: N₂, H₂, Ar

流速: 30 mL

检测器温度: 150 ℃

色谱柱: TDX-01

炉温: 60 ℃

转化炉温: 360 ℃

1.3.2 流程图^[35]

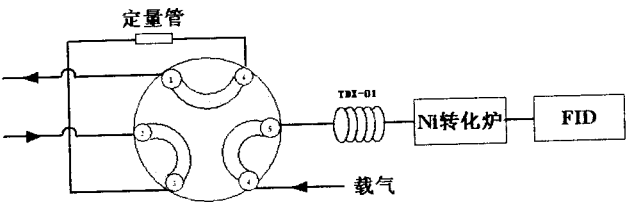


图 3 FID 气相色谱流程示意图

Fig. 3 Diagram of gas chromatography of FID

1.4 实验分析方案 2

1.4.1 PDHID 色谱工作条件

载气: 氦气

流速: 50~100 mL

检测器温度: 150 ℃

炉温: 60 ℃

1.4.2 流程图

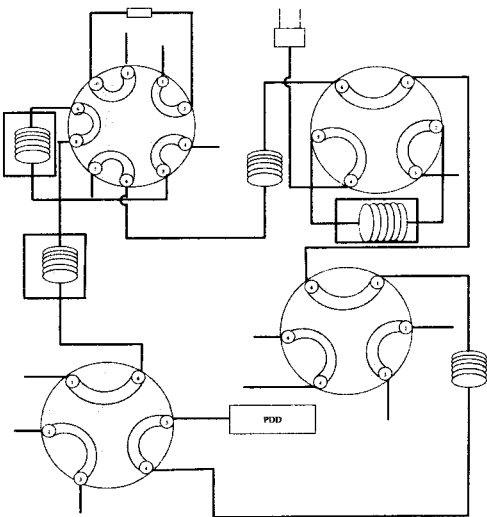


图 4 PDHID 气相色谱流程示意图

Fig. 4 Diagram of gas chromatography of PDHID

2 计算方法

采用峰面积定量, 用外标法计算结果。结果计算见公式 (1)。

$$\Phi_i = \frac{A_i \Phi_s}{A_s}$$

(1)

式中, Φ_i 为样品气中被测组分的含量; A_i 为样品气中被测组分的峰面积; Φ_s 为标准样品中相应已知组分的含量; A_s 为标准样品中相应已知组分的峰面积。

3 实验结果

3.1 实验方案1分析结果

3.1.1 分析谱图

3.1.1.1 载气: Ar

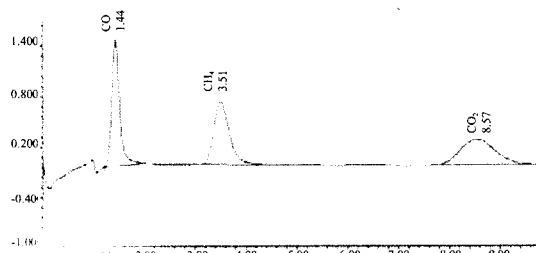


图5 FID检测 $H_2 + O_2 + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: N_2) 标准气谱图

Fig. 5 Chromatogram of standard gas (balanced gas: N_2) of $H_2 + O_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

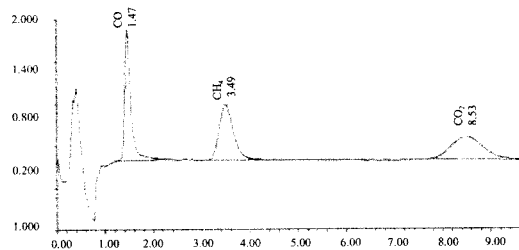


图6 FID检测 $O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: H_2) 标准气谱图

Fig. 6 Chromatogram of standard gas (balanced gas: H_2) of $O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

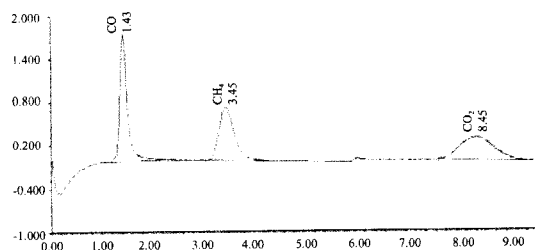


图7 FID检测 $H_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: Ar) 标准气谱图

Fig. 7 Chromatogram of standard gas (balanced gas: Ar) of $H_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

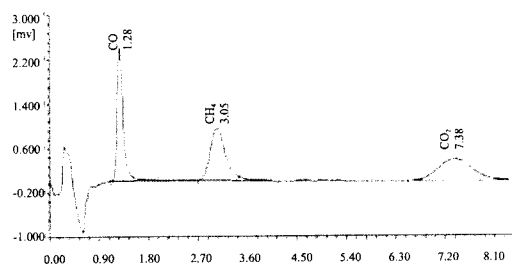


图8 FID检测 $H_2 + O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: He) 标准气谱图

Fig. 8 Chromatogram of standard gas (balanced gas: He) of $H_2 + O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

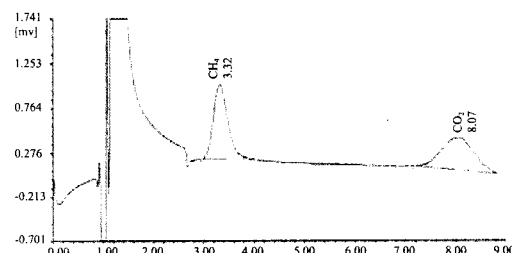


图9 FID检测 $H_2 + N_2 + Ar + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: O_2) 标准气谱图

Fig. 9 Chromatogram of standard gas (balanced gas: O_2) of $H_2 + N_2 + Ar + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

3.1.1.2 载气: H_2

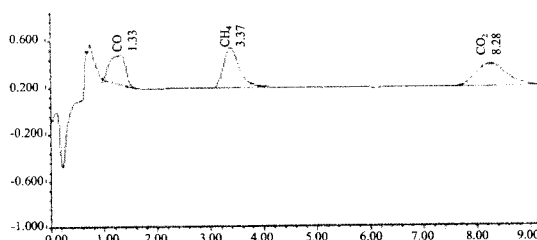


图10 FID检测 $H_2 + O_2 + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: N_2) 标准气谱图

Fig. 10 Chromatogram of standard gas (balanced gas: N_2) of $H_2 + O_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

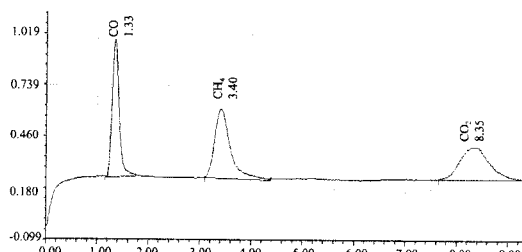


图11 FID检测 $O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: H_2) 标准气谱图

Fig. 11 Chromatogram of standard gas (balanced gas: H_2) of $O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

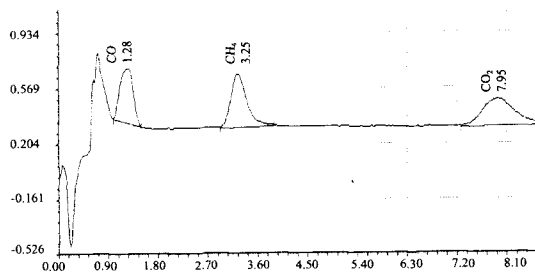


图 12 FID 检测 $H_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: Ar) 标准气谱图

Fig. 12 Chromatogram of standard gas (balanced gas: Ar) of $H_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

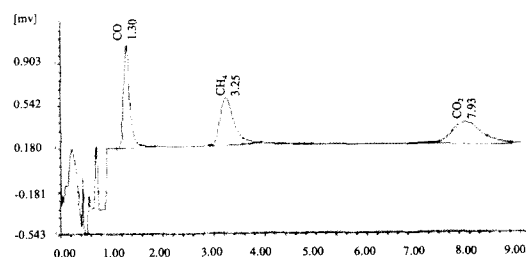


图 13 FID 检测 $H_2 + O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: He) 标准气谱图

Fig. 13 Chromatogram of standard gas (balanced gas: He) of $H_2 + O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

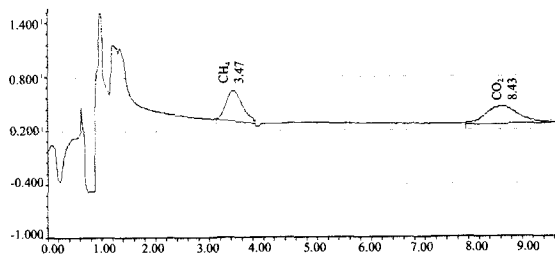


图 14 FID 检测 $H_2 + N_2 + Ar + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: O_2) 标准气谱图

Fig. 14 Chromatogram of standard gas (balanced gas: O_2) of $H_2 + N_2 + Ar + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

3.1.1.3 载气: N_2

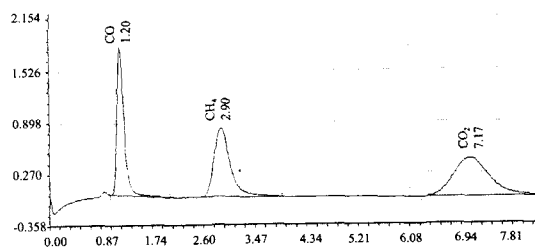


图 15 FID 检测 $H_2 + O_2 + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: N_2) 标准气谱图

Fig. 15 Chromatogram of standard gas (balanced gas: N_2) of $H_2 + O_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

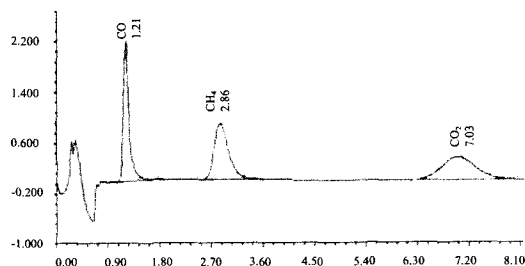


图 16 FID 检测 $O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: H_2) 标准气谱图

Fig. 16 Chromatogram of standard gas (balanced gas: H_2) of $O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

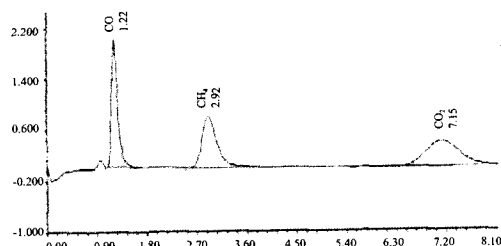


图 17 FID 检测 $H_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: Ar) 标准气谱图

Fig. 17 Chromatogram of standard gas (balanced gas: Ar) of $H_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

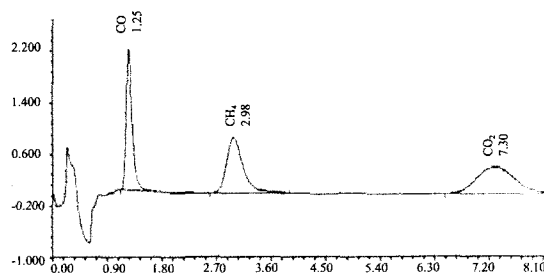


图 18 FID 检测 $H_2 + O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: He) 标准气谱图

Fig. 18 Chromatogram of standard gas (balanced gas: He) of $H_2 + O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

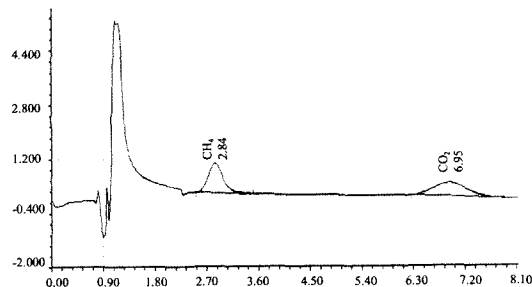


图 19 FID 检测 $H_2 + N_2 + Ar + CH_4 + CO + CO_2$
(平衡气: O_2) 标准气谱图

Fig. 19 Chromatogram of standard gas (balanced gas: O_2) of $H_2 + N_2 + Ar + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

3.1.2 分析数据

3.1.2.1 载气: Ar

表 6 FID 检测 $\text{H}_2 + \text{O}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{CO}_2$ (平衡气: N_2) 标准气分析结果Table 6 Test results of standard gas (balanced gas: N_2) of
 $\text{H}_2 + \text{O}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{CO}_2$ by FID

组 分	$\text{CO}/\mu\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{CH}_4/\mu\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{CO}_2/\mu\text{V} \cdot \text{s}$
1	16655.7	16514.2	14872.2
2	16577.5	16444.5	14943.7
3	16206.8	16353	15013.3
4	16795	16392.5	15198.5
5	16624.8	16689	15291
6	16609.5	16285	15071.3
平均值	16578.2	16446.4	15065.0
相对标准偏差/%	1.19	0.86	1.04

表 7 FID 检测 $\text{O}_2 + \text{N}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{CO}_2$ (平衡气: H_2) 标准气分析结果Table 7 Test results of standard gas (balanced gas: H_2) of
 $\text{O}_2 + \text{N}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{CO}_2$ by FID

组 分	$\text{CO}/\mu\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{CH}_4/\mu\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{CO}_2/\mu\text{V} \cdot \text{s}$
1	16729.0	16156.8	15212.7
2	16493.8	16371.8	15178.7
3	16531	16519.7	15211.3
4	16275	16240.5	15001.6
5	16629	15956.8	15312.7
6	16827.5	16665.3	15428.3
平均值	16580.9	16318.5	15224.2
相对标准偏差/%	1.17	1.57	0.94

表 8 FID 检测 $\text{H}_2 + \text{N}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{CO}_2$ (平衡气: Ar) 标准气分析结果Table 8 Test results of standard gas (balanced gas: Ar) of
 $\text{H}_2 + \text{N}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{CO}_2$ by FID

组 分	$\text{CO}/\mu\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{CH}_4/\mu\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{CO}_2/\mu\text{V} \cdot \text{s}$
1	18810.5	15722	15032.3
2	18854	15800.5	15305
3	18510.5	15639	15332.3
4	18280.7	15707.5	14980.2
5	18681.5	15967.5	15287.5
6	18391.2	16033.3	15025.3
平均值	18588.1	15811.6	15160.4
相对标准偏差/%	1.25	0.99	1.08

表 9 FID 检测 H₂ + O₂ + N₂ + CH₄ + CO + CO₂ (平衡气: He) 标准气分析结果

Table 9 Test results of standard gas (balanced gas: He) of
H₂ + O₂ + N₂ + CH₄ + CO + CO₂ by FID

组 分	CO/ $\mu\text{V} \cdot \text{s}$	CH ₄ / $\mu\text{V} \cdot \text{s}$	CO ₂ / $\mu\text{V} \cdot \text{s}$
1	18623.5	18535.5	16876
2	18597.5	18414	16534.2
3	18740.5	18603	17011.1
4	18307.5	18707.5	16876
5	18996	18586	16985.4
6	18505.5	18898.5	16802.9
平均值	18628.4	18624.1	16847.6
相对标准偏差/%	1.24	0.89	1.02

表 10 FID 检测 H₂ + N₂ + Ar + CH₄ + CO + CO₂ (平衡气: O₂) 标准气分析结果

Table 10 Test results of standard gas (balanced gas: O₂) of
H₂ + N₂ + Ar + CH₄ + CO + CO₂ by FID

组 分	CH ₄ / $\mu\text{V} \cdot \text{s}$	CO ₂ / $\mu\text{V} \cdot \text{s}$
1	16690.5	16203.9
2	16654.3	16567.1
3	17090.6	16897.5
4	17088.0	16187.8
5	16870.1	16563.9
6	16898.8	16203.9
平均值	16882.1	16437.4
相对标准偏差/%	1.11	1.75

3.1.2.2 载气: H₂

表 11 FID 检测 H₂ + O₂ + CH₄ + CO + CO₂ (平衡气: N₂) 标准气分析结果

Table 11 Test results of standard gas (balanced gas: N₂) of
H₂ + O₂ + CH₄ + CO + CO₂ by FID

组 分	CO/ $\mu\text{V} \cdot \text{s}$	CH ₄ / $\mu\text{V} \cdot \text{s}$	CO ₂ / $\mu\text{V} \cdot \text{s}$
1	5072.1	7049.0	7712.5
2	5098.2	7256.5	7871.0
3	5116	7074.0	7787.0
4	5072.1	7167.0	7908.5
5	5077	7166.5	7901.0
6	4953.5	6990.0	7844.5
平均值	5064.8	7117.2	7837.4
相对标准偏差/%	1.13	1.36	0.96

表 12 FID 检测 $O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ (平衡气: H_2) 标准气分析结果

Table 12 Test results of standard gas (balanced gas: H_2) of
 $O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

组 分	$CO/\mu V \cdot s$	$CH_4/\mu V \cdot s$	$CO_2/\mu V \cdot s$
1	7098.5	7976.5	7167.5
2	7056.5	7687	7236
3	7054.0	7879.5	7530
4	7101.5	7949	7412.5
5	7175.0	8038.5	7408.5
6	7333.1	7791.5	7335
平均值	7136.4	7887.0	7348.3
相对标准偏差/%	1.48	1.64	1.79

表 13 FID 检测 $H_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ (平衡气: Ar) 标准气分析结果

Table 13 Test results of standard gas (balanced gas: Ar) of
 $H_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

组 分	$CO/\mu V \cdot s$	$CH_4/\mu V \cdot s$	$CO_2/\mu V \cdot s$
1	5945.9	6992	7369.5
2	6113.3	6792.5	7291
3	6048.4	6754.5	7298
4	5995.9	6892	7399.5
5	5992	6686.5	7306.5
6	5980.5	6854	7193
平均值	6012.7	6828.6	7309.6
相对标准偏差/%	0.99	1.58	0.98

表 14 FID 检测 $H_2 + O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ (平衡气: He) 标准气分析结果

Table 14 Test results of standard gas (balanced gas: He) of
 $H_2 + O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

组 分	$CO/\mu V \cdot s$	$CH_4/\mu V \cdot s$	$CO_2/\mu V \cdot s$
1	7633.5	7751.1	7613.5
2	7490.2	7803.1	7709.5
3	7519	7621.5	7622
4	7596	7707.5	7806.9
5	7521.5	7681.5	7702
6	7714.5	7519	7695
平均值	7579.1	7680.6	7691.5
相对标准偏差/%	1.13	1.31	0.91

表 15 FID 检测 $\text{H}_2 + \text{N}_2 + \text{Ar} + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{CO}_2$ (平衡气: O_2) 标准气分析结果

Table 15 Test results of standard gas (balanced gas: O_2) of $\text{H}_2 + \text{N}_2 + \text{Ar} + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{CO}_2$ by FID

组 分	$\text{CH}_4/\mu\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{CO}/\mu\text{V} \cdot \text{s}$
1	7155.2	8143.5
2	7230.0	8195.0
3	6997.8	7984.9
4	7135.0	8179.1
5	7205.1	8099.5
6	7045.2	8203.5
平均值	7128.1	8134.3
相对标准偏差/%	1.27	1.02

3.1.2.3 载气: N_2

表 16 FID 检测 $\text{H}_2 + \text{O}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{CO}_2$ (平衡气: N_2) 标准气分析结果

Table 16 Test results of standard gas (balanced gas: N_2) of $\text{H}_2 + \text{O}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{CO}_2$ by FID

组 分	$\text{CO}/\mu\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{CH}_4/\mu\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{CO}_2/\mu\text{V} \cdot \text{s}$
1	15049.2	15817	19078
2	15300.5	15682	18905
3	15250	15746	18769
4	15444	15538.1	19172.5
5	15088.5	15303	19266
6	15112.4	15619	18907
平均值	15207.4	15617.5	19016.3
相对标准偏差/%	1.00	1.17	0.99

表 17 FID 检测 $\text{O}_2 + \text{N}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{CO}_2$ (平衡气: H_2) 标准气分析结果

Table 17 Test results of standard gas (balanced gas: H_2) of $\text{O}_2 + \text{N}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{CO}_2$ by FID

组 分	$\text{CO}/\mu\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{CH}_4/\mu\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{CO}_2/\mu\text{V} \cdot \text{s}$
1	15506.8	15723.7	14966.5
2	15850.8	15594	15057.3
3	15877.3	15490.3	14799.8
4	15653.8	16035	15084
5	15570.5	15974	14992
6	15930	15868	15129
平均值	15731.5	15780.8	15004.8
相对标准偏差/%	1.13	1.37	0.78

表 18 FID 检测 $H_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ (平衡气: Ar) 标准气分析结果
Table 18 Test results of standard gas (balanced gas: Ar) of
 $H_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

组 分	$CO/\mu V \cdot s$	$CH_4/\mu V \cdot s$	$CO_2/\mu V \cdot s$
1	15379.8	14907.0	16507.0
2	15490.3	14829.0	16713.6
3	15695.2	15152.6	16689.9
4	15321.3	15359.0	16335.5
5	15285.9	15148.0	16467.0
6	15327.4	15200.0	16477.5
平均值	15416.7	15099.3	16531.8
相对标准偏差/%	1.00	1.30	0.87

表 19 FID 检测 $H_2 + O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ (平衡气: He) 标准气分析结果
Table 19 Test results of standard gas (balanced gas: He) of
 $H_2 + O_2 + N_2 + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

组 分	$CO/\mu V \cdot s$	$CH_4/\mu V \cdot s$	$CO_2/\mu V \cdot s$
1	15228	16254	17318.5
2	15151.8	16411	17054.9
3	15309.4	16314	17489.5
4	15265.5	16450	17126.9
5	15565.4	16022.5	17265
6	15478.5	16037.5	17181
平均值	15354.1	16247.0	17223.5
相对标准偏差/%	1.08	1.26	0.97

表 20 FID 检测 $H_2 + N_2 + Ar + CH_4 + CO + CO_2$ (平衡气: O_2) 标准气分析结果
Table 20 Test results of standard gas (balanced gas: O_2) of
 $H_2 + N_2 + Ar + CH_4 + CO + CO_2$ by FID

组 分	$CH_4/\mu V \cdot s$	$CO_2/\mu V \cdot s$
1	15419	15687.8
2	15309.9	15398.8
3	15289.1	15489.7
4	15612.3	15367.6
5	15184	15767.2
6	15303.4	15802.7
平均值	15339.7	15565.2
相对标准偏差/%	1.05	1.32

作者简介:

方华, 男, 1992 年毕业于上海大学化学化工系, 多年来均从事色谱分析工作。

【未完待续】