

# 气相色谱法在煤化工废水分析中的应用研究

卞玉倩,魏祥甲,乔瑞平,李海涛,王洋,韩芳,张伦梁

(博天环境集团股份有限公司,北京 100082)

**摘要:**为了更好地解决煤化工废水中有机污染物的检测问题,为煤化工废水的处理提供数据支持。经过调查研究总结,阐述了煤化工废水的水质特点以及将气相色谱法应用于分析煤化工废水的优势,并列举了对废水中几种常见有机物的分析检测应用实例,如酚类、苯系物、脂肪酸、多环芳烃等。同时介绍了气相色谱应用于煤化工废水中的条件选择,如前处理方法、色谱柱和柱温选择等。最后提出了气相色谱应用于煤化工废水分析中的发展趋势。

**关键词:**煤化工;水处理;有机污染物;气相色谱;分析检测;

中图分类号:R144

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2016)03-05

## APPLICATION OF GAS CHROMATOGRAPHY IN THE ANALYSIS OF COAL CHEMICAL WASTEWATER

BIAN Yu-qian, WEI Xiang-jia, QIAO Rui-ping, LI Hai-tao, WANG Yang, HAN Fang,  
ZHANG Lun-liang

(Poten Environment Group Co., Ltd, Beijing 100082, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of organic pollutant detection of wastewater in coal chemical industry, and to provide data support for the treatment of coal chemical wastewater. Based on the investigation, the characteristics of wastewater in coal chemical industry and the application advantages of Gas Chromatography in wastewater are described. Some examples about the analysis of several organics in wastewater are listed, such as Phenols, BTEX, Fatty acid and PAHs. Some precautions about Gas Chromatography application in chemical industry wastewater are introduced, such as the pre-treatment of sample, the selection of column and the column temperature. Finally, the development trend of Gas Chromatography in the analysis of coal chemical wastewater is introduced.

**Key words:** Coal Chemical Industry; Water treatment; Organic Pollutants; Gas Chromatography; Analysis

目前对于煤化工废水的处理方法主要有混凝法<sup>[1-2]</sup>、电化学法<sup>[3-4]</sup>、Fenton 试剂氧化法<sup>[5-7]</sup>、生物处理法<sup>[8-10]</sup>和其他高级氧化法<sup>[11]</sup>等各种处理方法,经过此类工艺的单独或联合使用,可使煤化工废水中的有机物含量大大降低。但是经过处理之后,出

水中存在的各类有机物如酚类、苯系物类、脂肪酸类等单纯地通过 COD、NH<sub>3</sub>-N、SS 等指标的检测并不能定量地表示出其具体含量,而只能定性地表示出某类物质的总含量。虽然经国内外研究不断提出新的方法和技术用于处理煤化工废水,但各种技术仍存在利弊因素。若能对煤化工废水中的各类有机物进行分类检测,并针对各类有机物的性质采取必要的处理措施,那么对于废水处理工艺的改进则具有重要意义。

收稿日期:2015-08-13

企业项目:博天环境集团股份有限公司创新领域前沿项目(Y-01-15-08)

第一作者简介:卞玉倩(1981~),女,河南焦作,硕士,2008年硕士毕业于东北大学理学院,主要从事分析检测技术研究。

气相色谱是一种新的分离、分析技术,它在工业、农业、环保、国防、建设、科学研究中都得到了广泛应用。作为一种快速、准确、高效的分析技术,气相色谱法已被列入国家水质分析方法标准之内,将气相色谱应用于煤化工有机废水后续处理的检测分析,快速检测出水中各种痕量级有机污染物的含量,可以定量的分析出水中残留有机污染物的种类及性质,为煤化工有机废水的后续处理工艺研究提供技术依据。对于水处理工艺研究和技术监测是非常有意义的。

## 1 煤化工废水特点

煤化工废水主要来自煤气发生炉的煤气洗涤、冷凝、净化等过程,污染负荷高、处理难度大、水质极其复杂,含有大量酚类、长链烷烃类、芳香烃类、杂环烃类、氰化物类等有毒有害物质,是一种典型的高浓度难生物降解的工业废水<sup>[12]</sup>。典型的煤化工废水依据含盐量可分为两类,一类是有机废水,主要来源于煤气化工业废水及生活污水,特点是含盐量低,污染物主要以 COD 为主。另一类是含盐废水,主要来源于生产过程中的洗涤用水及循环用水。其中尤以有机废水成分最为复杂。有机废水的成分因煤化工工艺不同而有较大差别。目前国内的煤化工工艺主要有高温工艺和中温工艺。其中尤其以中温工艺的有机废水 COD 含量最高,经过长流程的处理工艺之后通常仍不能满足回用标准<sup>[13]</sup>。由于煤化工废水本身的特性,国内外煤化工废水的治理技术普遍存在出水效果不理想、系统稳定性差和处理成本高等问题。针对煤化工废水高浓度、难降解的特点,亟需对废水中的各类有机污染物进行定性、定量分析,从而找到不同的有机物所对应的处理措施,这也是解决煤化工废水处理难题的关键。

## 2 气相色谱法特点及优势

气相色谱作为一种现代分析技术,具有分离效能高、灵敏度高、分析速度快、应用范围广等特点,可以分析气体、易挥发的液体和固体样品,就有机物分析而言,应用最为广泛,可以分析大约 20% 的有机物,此外,某些无机物通过转化也可以进行分析。

煤化工废水中的各类有机物如果不能很好的量化处理,将会在很大程度上影响水质,并会以持

久性有机污染物形式存在,对人和生物造成持久性威胁。而对这些污染物进行量化处理的前提就是对这些污染物的有限检测与有效分离。针对煤化工废水的水质特点,气相色谱法是一种首选检测方式。对物理化学性能很接近的复杂混合物都能很好地分离,进行定性、定量检测。

## 3 气相色谱法在煤化工废水分析中的应用举例

### 3.1 气相色谱法用于酚类的测定

酚类是一种中等强度的化学毒物,与细胞原浆中的蛋白质发生化学反应,因酚类的蓄积而发生慢性中毒。根据酚类的沸点、挥发性和能否与水蒸汽一起蒸出可分为挥发酚类和非挥发酚类。煤化工废水的主要特点之一就是含有大量酚类,其中的酚类主要是苯酚、邻甲酚、对甲酚等。而对废水中酚类的分类检测则是处理酚类废水的基础。

对于煤化工这种高含酚废水,传统和经典的测定方法有溴化容量法(HJ502-2009)、4-氨基安替比林分光光度法(HJ503-2009)和直接溴化法,但是这些方法只能测出废水中的总酚及总挥发酚,不能同时测出几种不同类型的酚,并且这些方法存在操作程序复杂、干扰因素多、结果不精确等问题。在这种情况下考虑到气相色谱具有高灵敏度、高分离性、操作简单等优点,吴文颖<sup>[14]</sup>等选用 HP-FFAP 强极性毛细管柱,采用直接进样法测定了煤化工废水中酚类的含量。该方法省去了复杂的衍生化预处理,检测相对标准偏差小于 7%,且线性关系良好。李新纪<sup>[15]</sup>选择乙酸酐做衍生化试剂、甲苯为萃取剂,比较了不同的衍生 pH 条件,给出了 FID 检测器分离测定酚类污染物的精密度和检出限,方便适用。黄秀华<sup>[16]</sup>等运用五氟苯甲酰氯为衍生化试剂,对样品进行衍生化处理,测定了生活用水中六种酚类化合物,该方法灵敏度高,准确性好。包志成<sup>[17]</sup>等将水中加入固体碳酸钾后,用石油醚将有机相萃取分离,进行色谱分析,实验表明该方法灵敏、快捷、干扰小。将气相色谱应用于煤化工废水中酚类的测定,方便快捷、方法灵活,且能同时测定各种酚类的含量,根据样品的特点选择不同的预处理方式,可以进一步提高气相色谱分析的灵敏性和准确性。该方法明显优于一般的测定方法。

### 3.2 气相色谱法用于苯系物类的测定

苯系物也是煤化工废水中的主要污染成份之一,因其具有系列同系物而很难分离检测。苯系物是指单环芳烃类,主要包括苯、甲苯、乙苯、对二甲苯、间二甲苯、邻二甲苯、异丙苯、苯乙烯等物质。它们对人体都具有很大的毒害。煤化工领域内煤焦化、煤制油以及煤制烯烃废水中含有大量的苯系物,由于苯系物的难降解性及剧毒性,对煤化工废水中微量甚至痕量苯系物的测定对于环境监测以及水处理的工艺改进都具有重要意义。

目前对于水中苯系物的测定方法主要是气相色谱法,其中国家标准(GB11890-89)规定了工业废水及地表水中苯系物的测定方法,样品前处理为液上色谱进样和二硫化碳萃取,最低检出浓度分别为0.005 mg/L和0.05 mg/L。戴志强<sup>[18]</sup>用气相色谱法实现了水中苯系物的测定,线性关系良好,准确度高,重现性好。气相色谱测定苯系物的关键是预处理技术,直接关系到检测结果的灵敏度和检出限。李欣欣等<sup>[19]</sup>论述了不同的前处理方法,并比较了各种方法的优缺点。很多前处理方法都已经可以实现仪器化处理,方便快捷,无需溶剂,又可以直接和气相色谱联用进行分析,极大的提高了气相色谱在应用操作上的自动化和便捷化。而一般的比色法<sup>[20]</sup>虽然也能作为一种检测水中苯系物的方法,但只能检测出苯系物的总含量,不能分类检测。因此气相色谱法作为一种分离分析技术,应用于煤化工废水中苯系物的检测具有无与伦比的优越性。

### 3.3 气相色谱用于脂肪酸类的测定

煤化工废水在处理过程中一般要经过生物处理过程,在生物处理中的厌氧消化阶段会产生大量脂肪酸,而脂肪酸的产生会导致水质的pH值降低,从而抑制生物处理过程的进一步发生,因此在生物处理阶段要严格监控脂肪酸含量,对挥发脂肪酸的监测可以很好的了解有机物的降解过程。

测定脂肪酸的方法很多,有比色法、滴定法等。这些方法均存在不足之处,比如比色法只能测单独类脂肪酸,不能测混合酸,使用范围有限,而滴定法只能测溶液中的总混合酸量,不能测混合酸的组成成分,并且测定时间较长,相比较而言气相色谱分离速度快,准确度高。顾福权<sup>[21]</sup>等用DB-

FFAP色谱柱,采用程序升温法测定了废水中六种挥发性脂肪酸含量,回收率可达90.9%~102.7%,相对标准差(n=5)在1.3%~3.8%之间。刘建华<sup>[22]</sup>等采用酸化后直接进样的方法测定了工业废水中厌氧反应的挥发性脂肪酸,该方法简单易行,适合简便快捷分析,回收率可达98.7%~107.3%。冯琳<sup>[23]</sup>应用顶空固相微萃取法测定了废水中的挥发性脂肪酸,相对标准偏差小于10%。将气相色谱用于废水中脂肪酸的测定,快捷方便、方法灵活,根据样品特征及目标物质的含量可以选用不同的色谱条件。对于煤化工废水而言,用气相色谱法检测生化处理过程中产生的挥发性脂肪酸可以很好的监控生化处理工艺中的有机物降解情况,有利于调控和优化生化处理过程。

### 3.4 气相色谱法对多环芳烃类的测定

多环芳烃(PAHs)是最早被发现的环境致癌物质之一,因其具有累积性和难降解性,广泛存在于水体、土壤、大气、生物体等环境中。PAHs在水中的存在大概有三种状态:吸附在悬浮性固体表面、溶解于水或呈乳化状态。煤制油废水作为煤化工废水的主要来源之一,其中含有大量的PAHs,由于多环芳烃具有累积性和难降解性,微量甚至痕量的PAHs就能够对人类健康造成严重潜在威胁,对多环芳烃测定方法的研究一度成为学术界研究的热点。

目前PAHs的测定方法主要有荧光分光光度法、气相色谱法、液相色谱法等,荧光法由于能够测量超低浓度的PAHs,曾被广泛研究,但是由于分析步骤繁琐,目前已很少使用。气相色谱法使用毛细管柱进行分离,使复杂组分能够较好的分离,尤其使用质谱做检测器时,可以同时进行定性和定量分析,因此适合于复杂样品中多环芳烃的测定。虽然现行的国家标准方法GB13198-91中规定的是液-液萃取液相色谱法,但已不能满足当前环境监测和管理的需要。如果改变和优化样品的前处理过程,选择合适的检测条件用气相色谱法检测,效果同样符合要求。祝本琼<sup>[24]</sup>等利用轻质溶剂甲苯为萃取剂,丙酮为分散剂,乙腈为去乳化剂,对样品进行液微萃取前处理,用气相色谱法实现了水中PAHs的测定,该方法线性关系良好,相对标准偏差为2.2%~13.6%,加标回收率达80.2%~115.1%。郑海涛<sup>[25]</sup>等应用固相萃取技术实现了

对水中多环芳烃的气相色谱测定并将此方法与液相色谱方法进行了比较,测定结果符合国家标准的要求。董洁,李凡<sup>[26]</sup>等在综述煤加工过程中PAHs的生成与释放的影响因素基础上,提出了在煤转化过程中对PAHs的控制思路。

#### 4 气相色谱法应用于煤化工废水中的条件选择

##### 4.1 样品前处理方法的选择

煤化工废水是一种难处理难降解的有机废水,含有各类复杂有机物,不同的工艺产生的废水所含有有机物的种类也不尽相同,但大多数有机物可分为挥发性、不挥发性和半挥发性等。因此根据煤化工废水的特征和主要污染物种类,选择合适的样品前处理技术,是对废水进行定质量检测的前提和基础。样品的前处理技术种类很多,整体上可以分为两大类:一类是对样品进行提纯、富集、浓缩等使痕量待测组分达到仪器检出限,另一类是对不符合色谱条件的物质进行衍生化,改变其物理和化学性质使之成为满足色谱检测条件的物质,而达到分离分析的目的。

##### 4.1.1 纯化、浓缩、富集技术

针对煤化工废水中部分有机物的特征,要采取浓缩富集的方法进行预处理。如多环芳烃类、微量芳烃化合物、微量氯酚类等物质。该方法主要是萃取法,分为固相萃取和液相萃取。近年来在固相萃取和液相萃取的基础上分别又发展出来对应的固相微萃取技术和液相微萃取技术<sup>[27]</sup>。这些新发展起来的技术具有更高的灵敏度和富集效果,适用于样品中痕量、超痕量组分的测定,且集浓缩、萃取、解析、进样一体,需要样品量少,易实现自动化。另外近年来发展起来的类似处理技术还有膜分离技术<sup>[28]</sup>、超临界流体微萃取技术<sup>[29]</sup>、微波辅助萃取技术等。先进的前处理技术极大地提高了色谱分析结果的准确度和精确度。

##### 4.1.2 衍生化技术

煤化工废水成分复杂,有些有机污染物在进行色谱检测时,色谱性能不是很理想,因此要这对这类物质进行衍生化处理,以达到更理想的色谱性能和灵敏度。衍生化技术包括硅烷化衍生技术、酰化衍生化技术、酯化衍生化技术等。其中硅烷化衍生技术主要是针对质子性化合物如煤化工废水中的醇类、酚类、酸类等,通过硅烷化,将其转化为

挥发性的硅烷衍生物。而酰化衍生技术可以改变待测组分的拖尾现象,并能降低羟基、氨基的极性。酯化衍生技术主要是针对一些极性较强的酸类,这类酸易产生拖尾现象,通过将其衍生为对应的酯类,可以很好的改变这种现象<sup>[30]</sup>。衍生化技术的发展在很大程度上拓宽了气相色谱的检测范围和检测灵敏度。

而针对煤化工废水中的复杂有机物,可以针对性地采取合适的前处理措施,对于含量极低的有机物如苯并芘、PAHs等可以采取富集、浓缩的前处理技术。而对于一些酸类、醇类等物质可以采取必要的衍生化技术以达到理想的色谱条件。也可以针对煤化工废水中一些成分的特征采取综合的前处理技术。

##### 4.2 色谱柱的选择

煤化工废水含有大量的酚类、芳烃类等,都是具有一定极性的物质,尤其是酚类结构中含有一个羟基,使其具有强极性。因此在确定分析方法之后,色谱柱的选择尤为重要,因为色谱柱的选择直接决定着被测物质的准确性。色谱柱按固定相可分为填充柱和毛细管柱两类。而毛细管柱因具有很高的柱效而得到更广泛的应用。毛细管柱整体上可以分为强极性色谱柱、弱极性色谱柱、挥发性有机物色谱柱等。而选择色谱柱的原则是相似相溶原理,尽量选择与分析物质极性相似的色谱柱,如检测酚类物质则需要选择强极性的柱子,如果待测物质可以用不同的极性色谱柱进行分析,那么就优先考虑极性较小的色谱柱。当然这只是一个原则性的提法,具体应用时还要根据经验结合被检测成分的性质以及检测条件综合考虑而定。

##### 4.3 柱温的选择

柱温是影响气相色谱分离效能的很重要的一项参数,针对煤化工废水中含有苯类、酚类、脂肪酸、多环芳烃等多种有机物,且各组分之间沸点差异比较大的特征,选择合适的柱温以及控制适宜的升温速度尤为重要。选择柱温的前提是温度不能高于色谱柱的最高使用温度,否则会导致色谱柱内的固定相挥发流失。对于煤化工废水中有机组分沸点范围较宽的情况,宜采用合适的程序升温,以达到最佳的分离效果,而对于沸点比较接近的同系物类如苯系物、酚类等,则可以降低升温速度,以增加样品在色谱柱内的停留时间,避免各组分的挥发靠拢,峰型重叠。具体操作条件的选择应

结合所要分析物质的试剂情况而定。

#### 4.4 检测器的选择

检测器是气相色谱的核心部件,作用是将经色谱柱分离后的各组分按其特性及含量转化为相应的电讯号。对于煤化工废水而言,应用最广的当属 FID 检测器,它几乎对所有的有机物都有响应,因此对于痕量的有机物的分析很适宜,特点是体积小、灵敏度高、应答时间快。但对于在氢火焰中不电离的无机化合物如水、一氧化碳、二氧化碳、氮的氧化物、硫化氢等就不能检测。另外一种用的比较多的是 ECD 检测器,主要是针对一些电负性物质,如含有硫、磷、氮、氧的物质以及一些卤化物等。因此针对煤化工废水中的含有硫、氮、氧的物质,如吡啶、喹啉、呋喃、噻吩等,可以选择 ECD 检测器进行分析。根据待测物质特性选择合适的检测器是实现气相色谱分析的首要条件。

### 5 气相色谱应用于煤化工废水的发展趋势

随着煤化工行业的不断发展,废水中有机物的种类必然也会随着不断增加,而导致水质越来越复杂化,因此对于样品前处理技术的要求会越来越高。传统的前处理技术因流程复杂,操作繁琐,已逐渐不能满足快速高效的分析要求。随着气相色谱检测技术的发展,已逐渐向样品微量化、无溶剂化的绿色化学方向过渡,自动化的前处理设备应用,可以减少操作成本和操作误差,最大程度上实现气相色谱的自动化和快捷化。另外,由于气相色谱不能对未知物进行定性检测,因此在分析煤化工废水中的一些未知有机污染物时,还需要与其他设备进行联用。质谱、光谱、核磁是鉴定未知物结构的有效工具,但要求所分析的样品尽可能简单,而不是复杂混合物。当气相色谱与质谱联用时,混合物经气相分离后以单一物质形式进入质谱仪的离子源,再经质量分析器实现对未知样品的定性分析。既发挥了色谱法的高分离能力又发挥了质谱法的高鉴别能力。因此色谱和这些技术的联用是剖析复杂混合物中未知物结构的公认的有效工具。因此,在煤化工废水分析中的应用方面气相色谱与先进的前处理设备以及质谱、核磁等先进设备的联用技术将是一个必然的发展方向。

### 6 结语

鉴于煤化工废水的水质特征,将气相色谱应

用于废水中残余有机物的分类检测,该检测结果可以很好地评价水处理工艺的处理效果,根据检测到的有机物种类及含量采取必要的处理措施及工艺流程,可以在很大程度上对水处理工艺进行优化。当然,气相色谱在煤化工行业的应用也会随着煤化工行业的快速发展和产生的煤化工废水水质的更加复杂化,而不断出现新的分析难题,将气相色谱法和先进的前处理设备以及质谱、核磁等先进设备进行联用将会在很大程度上提高色谱技术的应用空间。另外随着社会与科技的发展,人们对气相色谱的技术要求也越来越高,在这方面的研究也越来越深入,如何让其灵敏度更高、选择性更强、使用更加便捷、逐渐实现超微量化的绿色化分析等已成为气相色谱主要的研究方向之一。

#### 参考文献

- [1] 史作磊,孟冬,闫卫林,等.混凝法预处理煤气化废水实验研究[J].煤化工,2012,163(6):30-32.
- [2] 赵庆良,管凤伟.不同混凝剂处理煤气化废水生物出水的研究[J].黑龙江大学自然科学学报,2010,27(2):233-236.
- [3] 舒欣,丁晶,赵庆良.电化学法处理氨氮废水的实验研究[J].黑龙江大学自然科学学报,2012,29(2):246-250.
- [4] 杨怀杰,李永水.电化学氧化法处理高盐低 COD 污水研究[J].油气田环境保护,2011,21(6):13-17.
- [5] 侯素霞,刘新铭,许佩瑶.煤加加压气化废水混凝-Fenton 氧化法预处理与谱图分析[J].生态环境,2007,16(3):855-859.
- [6] 陈传好,谢波,任源,等.Fenton 试剂处理废水中各影响因子的作用机制[J].环境科学,2000,21(3):93-96.
- [7] 武强,谷启源,陈凯华,等.Fenton 试剂-混凝沉淀深度处理煤气化废水的实验研究[J].煤化工,2011,39(6):45-48.
- [8] 赵婧,孙体昌,李雪梅,等.煤气化废水处理工艺的现状与发展方向[J].工业用水与废水,2012,43(4):1-6.
- [9] 俞彬,陈广升,王玉慧,等.A/O+BAF 工艺处理高氨氮煤化工废水[J].中国给水排水,2013,29(6):81-88.
- [10] Wang W, Han H J. Recovery strategies for tackling the impact of phenolic compounds in a UASB reactor treating coal gasification waste water [J]. Bioresource Technology, 2012, 103(1): 95-100.
- [11] 韩超,叶杰旭,孙德智. O<sub>3</sub>-MBR 法深度处理煤气化废水[J].环境科学研究,2010,23(7):970-974.
- [12] 王伟,韩洪军,张静,等.煤制气废水处理技术研究进展[J].化工进展,2013,32(3):681-684.
- [13] 董莉,郭森,周学双.煤化工废水零排放的制约性问题[J].化工环保,2010,30(5):371-373.
- [14] 吴文颖,盖恒军,王朝文,等.气相色谱法测定煤化工废水中酚类和脂肪酸的实验研究[J].煤化工,2012(4):24-26.
- [15] 李新纪.环境水质中酚类优先检测物的气相色谱法测定[J].色谱,1996,14(1):37-40.

(下转第 22 页)

流速为 0.48 mm/s。水量增大到 6 000 m<sup>3</sup>/d 时,澄清池流速为 0.72 mm/s, 满足澄清池流速<1 mm/s 的规范要求。

### 3.3 工程应用

根据以上试验得出的最佳投药量应用于工程后,澄清池澄清效果良好,澄清池出水水质如表 2 所示。滤池反冲洗周期恢复正常,出水水质稳定达到《煤炭工业污染物排放标准》。

表 2 矿井水澄清后水质

水质指标	pH	COD(mg/L)	浊度(NTU)
上清液	8.46	20.4	9.35

## 4 结论

通过试验得出,该矿矿井水处理的最佳药剂组合为聚合氯化铝(PAC)+非离子型聚丙烯酰胺(NPAM),最佳投药量分别为聚合氯化铝(PAC):

(上接第 64 页)

- [16]黄秀华,孙郁莉.气相色谱法测定水中酚类化合物[J].中国给水排水,2000,16(3):52-53.
- [17]包志成,赵倩雪,蒋挺大.气相色谱法测定水中的酚类[J].环境化学,1984,3(3):66-70
- [18]戴志强.气相色谱法测定水中苯系物[M]科学之友,2012:59-60.
- [19]李欣欣,梁学凯,冯国栋,等.水中苯系物的测定方法[J].现代仪器,2007,1,14-18
- [20]郑雪英.苯系物测定方法的研究[J].山西化工,2003,23(2):35-37.
- [21]顾福权,徐红娟,柳展飞,等.气相色谱法测定水中 6 种挥发性脂肪酸含量[J].能源环境保护,2014,28(3):62-64.
- [22]刘建华,郭洪光,刘艳君.气相色谱法测定工业废水中厌氧反应中的挥发性脂肪酸[J].长春师范学院学报(自然科学版),2005,24(3):42-43.
- [23]冯琳.顶空固相微萃取-气相色谱法测定废水中挥发性脂肪酸[J].理化检验-化学分册,2011,47(1):86-89

(上接第 40 页)

变得不太容易,国内目前还没有机构能提供类似技术服务。因此测量医用电子加速器产生的辐射场,除了做到选型对口外,还要在仪器出厂前委托国外检定机构进行刻度。

热释光(TLD)片虽然不能实时显示辐射剂量率,但不存在时间常数问题,其能量覆盖范围也能做到很大,并且在脉冲辐射场中也不存在漏计数问题,在没有合适的仪器的情况下可以使用热释光片来解决脉冲场和高能场<sup>[5]</sup>的剂量监测问题。因此对于职业工作人员的剂量评估来说,强化以剂量监测为主,尽量采用物美价廉的热释光片是一个很好的选择。

针对脉冲辐射场和高能辐射场的特点,有必

80 mg/L,聚丙烯酰胺(NPAM):0.4 mg/L。调整药剂及投加量后,澄清池澄清效果良好,滤池反冲洗周期恢复正常,出水水质稳定达到《煤炭工业污染物排放标准》。

## 参考文献

- [1]何绪文,贾建丽.矿井水处理及资源化的理论与实践[M].北京:煤炭工业出版社,2009:38-59.
- [2]谭金生,黄昌凤,郭中权.高悬浮物高矿化度矿井水处理工艺及工程实践[J].能源环境保护,2013,27(3):30-32.
- [3]杨静,李福勤,邵立南,等.矿井水中悬浮物特征及其净化关键技术[J].辽宁工程技术大学学报,2008,27(3):458-460.
- [4]李福勤,李硕,何绪文,等.煤矿矿井水处理工程问题及对策[J].中国给水排水,2012,28(2):18-20.
- [5]何绪文,李福勤.煤矿矿井水处理新技术及发展趋势[J].煤炭科学技术,2010,38(11):17-21.
- [6]牛明礼,单绍磊,刘佳.超磁分离净化技术在矿井水井下处理站中的应用[J].能源环境保护,2013,27(3):33-35.
- [7]李培云,李爱民,许晓丽,等.超磁分离技术在矿井水处理中的应用[J].给水排水,2015,41(4):55-57.
- [24]祝本琼,陈浩,李胜清.基于轻质萃取剂的溶剂去乳化分散液-液微萃取-气相色谱法测定水样中多环芳烃[J].色谱,2012,30(2):201-206
- [25]郑海涛,刘菲,刘永刚.固相萃取-气相色谱法测定水中多环芳烃[J].矿岩测试,2004,23(2):148-152.
- [26]董洁,李凡,谢克昌.煤转化过程中多环芳烃排放的研究现状[J].现代化工,2009,29(1):344-346
- [27]王新雄,成秀娟,徐伟松,等.农产品农药残留检测技术的研究进展[J].广西农业科学,2008,39(5):700-703
- [28]张玉忠,郑领英,高从增.液体分离膜技术及应用[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [29]徐宝才,岳承德,花日茂.超临界流体萃取技术在农药残留分析上的应用[J].安徽农业大学学报,1999,26(2):162-166.
- [30]唐小苏,刘艳,曾佩,等.气相色谱前处理的新技术及进展[J].江西化工,2013,1:15-18

要分别开发一套严谨的测量方法或合格的测量仪器,使测得的剂量率范围和剂量数据是合理和准确的,避免个人剂量被低估。

## 参考文献

- [1]United Nations Scientific Committee. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly[R]. Vol II:Sources of radiation exposure. 2000:8.
- [2]中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.医用 X 射线诊断放射防护要求[S]. 2013:8.
- [3]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.电离辐射防护与辐射源安全基本标准[S]. 2002:35.
- [4]周海伟,杜国生.两种电离室剂量仪响应时间的实验研究[J].中国放射医学与防护杂志,2009,29(6):627-629.
- [5]潘清,胡和平,陈浩等.9MeV 电子直线加速器 X 射线测量[J].强激光与粒子束,2004,16(6):805-808.