

废水治理技术近况(下)

申葆诚 赵殿五

(中国科学院环境化学研究所)

三、物理化学系统

废水中有些污染物,如重金属、复杂有机化合物,即使采用最先进的生物系统,也是无法处理的。因此,出现了物化系统,以处理日趋复杂的、含有大量不能生物降解的溶解废物的废水。

从理论上讲,物化系统与生物系统不一样,它不象生物系统那样受到温度、进料浓度等因素变动的限制。许多物化系统方法,如吸附、萃取、化学氧化反应、过滤、离子交换、反渗透、电渗析早已在化学工业中广泛应用,而目前则日益增多地转用于废水处理中。在此仅就其应用、进展、工业实例、以及今后动向等几个方面讨论一下。

1. 吸附作用

吸附作用可以认为是废水深度处理方法中最常用的一种。主要用以除去抗生物分解的有机污染物、有毒物、色和臭味。

(1) 活性炭: 活性炭是应用广泛的一种工业吸附介质。美国环保局提出的可溶性有毒有机物,大多数都可用活性炭从水中除去。其他类似的化学污染物(非极性的,高分子量的芳烃),如美国职业安全卫生局(OSHA)确定的致癌物,以及重金属,也可用活性炭吸附来除去。国外已有几处生产规模的活性炭废水处理厂,以及再生活性炭的综合服务企业在运转中^[14]。

活性炭处理的一个实例是美国 Hercules 松脂制品工厂的活性炭吸附装置^[15]。含芳烃量高的废水,在通入活性炭吸附塔之前,先经

初级澄清池和空气浮选澄清池处理。在吸附塔中 COD 从 750 降到 160 毫克/升。废水量每天 10 万立方米,活性炭用量是 9500 公斤。

Hercules 碰到了两个问题。一是在缺氧情况下,在活性炭上生长硫酸盐还原细菌,在炭层中产生硫化氢气体。控制吸附器进料中的溶解氧就可以解决这一问题。第二是活性炭多床再生炉的维修问题严重。目前该工厂已改用流态化床再生系统,以改善操作。

美国 American Cyanamid 公司建立了一个每天处理 80000 立米的移动床活性炭吸附装置,以减少废水中不能生物降解的有机物。吸附之前,先经过 pH 调整、沉淀、活性污泥处理和过滤等步骤。

美国杜邦公司将粉状活性炭直接加入废水,同时进行生物处理,从而废除了活性炭吸附床(PACT 法)^[16]。工厂每天处理 150,000 立米废水,其中含有多种有机物和无机物, COD 可减少 50%,活性炭用量为 50—220 ppm。

将生物法和物化法相结合的原因,是发现活性炭不能吸附较简单的有机物,如甲醇和乙酸。这些有机物还得靠生物来处理。

活性炭也可用来从废液中除去重金属,但再生的经济性是个问题^[17]。活性炭对化学和生物反应还可起催化促进作用,但这方面的情况还不太清楚。不管活性炭或细菌谁占优势,看来都是起协同影响的。在固定床上大量生长细菌是不需要的,因这会干扰流动性能,提高压降和产生臭味。

粒状活性炭还可与合成树脂相结合使

用。这样的结合使用,吸附范围可大大扩大。但应当注意,不要使一种被吸附的污染物成为另一种污染物的解吸剂。

活性炭吸附法的成本,主要决定于炭的再生。活性炭(或其他合成吸附剂)有四种再生方法:加热再生(多床炉,流态化床,湿式氧化),改变 pH 的再生,溶剂再生和蒸汽再生。后三种方法叫做原地非破坏性再生,可以回收有机物。此外还可用微生物再生。美国环保局在一个污水试验厂发现,污水中有硝酸盐存在时,活性炭可被微生物再生,而且可防止生成硫化氢。该厂已运转二年多,活性炭未取出进行热再生,而有机物的除去率也未见减少。这是一个值得注意的动向。

上面已经谈过,美国 Zimpro 公司用湿式氧化法再生活性炭,效果很好。

(2) 吸附树脂:美国 Rohm & Haas 公司制造的合成聚合吸附树脂 XAD 系统,具有高孔隙率、高表面积和惰性疏水表面。据该公司称,吸附树脂与活性炭相比,其粒度均匀,吸附容量较大,机械强度高,不需高温再生,再生时损耗小得多。但目前尚未用于废水处理。

要除去的有机物的溶解度愈低,树脂(例如 XAD-4)的吸附能力愈大。例如,苯酚、一氯酚、2,4-二氯苯酚、2,4,6-三氯苯酚,溶解度依次减小,而吸附量则依次增大。

试验室工作表明,用 XAD-4 处理含氯农药废水时(农药含量 118ppm),流出液中减少至 1ppm 以下(基于 TOC 值),处理总量为床身体积的 50 倍。树脂可用异丙醇、丙酮或甲醇再生。其中以丙酮最好,异丙醇又优于甲醇。但丙酮难处理,最好不用。XAD-2 可用 80—90℃ 热水再生。

2. 溶剂萃取

溶剂萃取有二种情况:一是习用的萃取系统。二是全新的萃取系统。

前者例子有从焦化厂排出水除去苯酚,效果达 99.7—99.9%,从 1500 ppm 降至 1—

4ppm。

全新的系统有:用三正辛基氧化膦(TOPO)回收乙酸和其他有机酸。用有机胺从稀释废液分离和回收酸性卤化物和氟化氢。此外还有 BEST 法,是用脂族胺在一个温度下萃取水,而在更高温度释放水,可从无机和有机污泥中除去所有的水和油。加压萃取系统还可用于丙烯腈、乙腈和各种含氯烃类的废水的净化。

3. 化学反应

(1) 氯气:氯气久已用作水的消毒剂,可以氧化许多有机化合物。

氯气或次氯酸盐或漂白粉最近的发展,是控制 pH 在碱性范围,分阶段氧化工业废水中的有机物,如乙二醇、氯醇、有机酸和酮,然后将 pH 调整至酸性范围。在紫外线照射或催化的情况下,分二个阶段通氯气以氧化苯酚废水中的羧酸。操作时要求仔细控制 pH、氯浓度和温度。

用氯气作消毒剂,由于生成氯化烃类,如氯仿、四氯化碳等,趋向废用,正在积极寻找其他的氧化剂。臭氧、二氧化氯和二氯化溴可以代替氯气进行消毒,而且对鱼类没有毒性。

(2) 臭氧:用臭氧代替氯气,日益引人注意。因臭氧毒性低,不生成有机毒物,而且没有污泥。欧洲和加拿大已多年用臭氧作水的消毒剂,美国也在多起来。臭氧在以下几个方面是有效的:除去颜色、臭味和尝味,消毒,除去铁和锰。臭氧可氧化含氯烃类以及许多复杂的有机物,如丙体六六六、艾氏剂、表面活性剂、氰化物、苯酚和有机金属络合物(金属可以沉淀而回收),此外还能降解某些有机磷农药,如对硫磷和马拉硫磷。与其他化学氧化剂相比,臭氧的氧化作用更强,因此在某些情况下是经济的。

美国波音飞机公司已成功地利用臭氧反应从电镀废液中除去氰化物。

已采用臭氧处理的工业有染料厂(除色

和 COD), 金属加工(除氰、酚), 电镀(除氰), 炼焦(除酚), 木材加工(除酚)。

臭氧作用如在活性炭、紫外线或其他催化剂下进行, 能缩短反应时间和改善臭氧的利用。臭氧与紫外线相结合的技术(叫做光氧化作用), 用于马拉硫磷、DDT、Bayzon、Vapolin, 效果高达 90%。对于五氯苯酚、二氯丁烷、二氯苯、氯仿也有效。

至于臭氧氧化是否也会和氯气一样生成有毒物, 目前还有争论。有人认为臭氧可与 DDE 反应生成环氧衍生物等高毒性物。但其他一些人的试验认为, 臭氧氧化的某些中间产物比原来毒性更大, 但进一步的反应会将它们转化为简单的无毒物。因此必须注意使臭氧的氧化过程进行彻底。

当前的主要困难在于生产臭氧电量消耗多, 费用大。此外对臭氧作为化学剂的机理作用还不太清楚。这些问题需要进一步加以解决。

(3) 二氧化氯: 二氧化氯也是一个能从水中除去有机物的氧化剂。它不生成卤仿等有害物, 但有选择性, 对于含氰化物、苯酚、硫化物和硫醇的工业废水是有效的。与其他许多有机物, 如醇、乙二醇、酮、醛和有机酸则不起反应。应用时, pH 的控制是十分重要的。对于二氧化氯研究尚少, 美国环保局正加紧这方面的工作。

(4) 过氧化氢: 尚未广泛应用, 它与臭氧一样价贵, 并且无法得到富集的浓液。杜邦公司应用过氧化氢和甲醛的混合物(叫做 Kaston 过程), 处理电镀废水中的氰化物, 除去率可达 99.9%, 氰化物减至 0.3 毫克/升以下。在氰化物氧化时, 重金属如锌和镉即沉淀出来^[18]。

(5) 氯解反应 (Chlorinolysis): 此法由西德 Hoechst 公司所提出。它是在氯气存在下, 在高温 (620°C) 和高压 (238 公斤/厘米²) 下, 含氯烃类降解为四氯化碳和氯化氢。羧基化合物则生成光气。这个过程可将残渣如焦

油、氯化器底脚、农药和除莠剂残渣, 转化为无害而有用的付产物。1976 年已有一个年产五万吨的工厂投产^[21]。

(6) Sulfex 法: 将 FeS 加入含重金属的废水中, 沉淀出来的金属硫化物, 比较易于过滤除去。硫化物沉淀法还广泛应用于氯碱工业以除去汞。用淀粉黄原盐代替 FeS, 从电镀废液中除去金属, 也认为是可行的^[20,21]。置换法多年来成功地用于从废水回收铜, 最近还成功地还原六价铬^[22]。

(7) 铁粉催化法: 用催化性铁粉与砂混合装填入塔内。在常温常压、pH7 左右, 使有机氯化物的碳氯键断裂, 还原为芳烃和脂烃, 氯和铁粉化合生成氯化铁。实验室证明, 对艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、氯丹、七氯、DDT、丙体六六六、氯仿、PCB 和卡蓬 (Kepone) 都有效。据称此法可将进水中 0.1—1ppm 的有机氯化物减至 0.01—1ppb^[23]。铁粉可用一年, 但尚未见实际生产运用。

有机物在受到化学作用时, 如有活性炭和细菌存在能提高效果, 活性炭提供了反应的位置。这已在许多应用中得到证实。

其他的氧化作用促进剂也能起有益的作用。如氰化物在活性炭存在下的氧化作用, 再加入氯化铜, 其效果更可提高^[19]。

4. 焚化

目前在废水处理上最紧迫的问题, 可能还是销毁有机氯化物和其他农药。直到最近, 高温焚化是仅有的可行的方法。

温度应保持在足够高的水平 (1000—1500°C)。这样, 中间有毒产物就不致随烟气排出。实际需要的温度取决于处理的对象。催化燃烧可用较低温度而达到完全的破坏。

含氯农药燃烧产物之一是氯化氢, 故焚化烟道气必须加以处理。焚化炉的设计, 要求达到含氯农药的完全破坏。

一般来讲, 旋涡燃烧炉的效果最好。这种炉型为废水处理提供了十分有利的氧化反

应条件。当废水热值约为 2300—2800 大卡/公斤时,能保持燃烧稳定。在废水含氯 70% 以上,才需要外加燃料。

美国 M/T Volcanus 公司焚化炉(供远洋焚化船上用)的燃烧效率,估计可达 99.9%。先用燃料油点火,待炉膛温度达 1200℃ 后,喷入废水,操作温度再升高至 1300—1400℃。

为解决氯化氢污染的问题,美国和欧洲采用远洋焚化农药和含氯烃类的办法。据美国海洋医学的生物研究中心研究结果,此法对海洋生物不致产生有害影响。

美国环保局正进行农药 (DDT 和 2, 4, 5-T) 与城市污泥混合燃烧的可能性的研究工作。在城市污泥中,加入 2—5% 的农药(按干重计),然后送入多床污泥焚化炉,效果十分良好。99.99% DDT 和 99.97% 2, 4, 5-T 被销毁。PCB 同样处理,销毁达 94%。

一般的城市垃圾焚化炉,由于温度不够和不具备烟道气洗涤设备,不能用来销毁农药。

5. 湿式空气氧化

此法是把废水与空气混合,在压力下加热至有机物与空气间进行氧化的温度。

湿式空气氧化的氧化程度是反应时间和温度的函数。操作条件是从 170℃ 和 24.5 公斤/厘米²到 210℃ 和 210 公斤/厘米²。但温度不能超过水的临界温度 374℃,因为必须要有液相水存在。废水热值在 1000 大卡/公斤以上(约相当于 COD 80 克/升),可不必要外加燃料。在氧化过程中,高分子量化合物优先受到氧化,生成较简单的易于生物降解的产物。

湿式氧化的改进,是氧化后再用投加活性炭的生物法处理,对于许多有毒有机物,包括含氯烃类,是大有潜力的。

6. 薄膜技术

薄膜技术近几年来日益受到重视,且在薄膜方面已有长足的发展,这种技术在某些应用上是吸引人的。

薄膜技术用于最终处理和回收系统有三种:超滤,反渗透和电渗析。这几种都是从稀液得到富集液。从经济和技术上来看,各有特殊应用范围。反渗透适用于低浓度范围(进料 TDS 1100—15000 毫克/升),电渗析多用于中间范围(进料 TDS 15000—110000 毫克/升),而蒸馏则在最高浓度范围(~100,000 毫克/升)有效。

超滤和反渗透之间并无严格区别。在超滤的溶质大小从 2—10000 毫微米,反渗透的溶质大小从 0.04—600 毫微米,分子量大于 200 以上的非电解质就不能透过。

为了得到合适的透过薄膜的流量,反渗透系统一般在 20—100 公斤/厘米²下操作,而超滤系统则要求约 0.7—7 公斤/厘米²的压力。要求的 pH 值对于醋酸纤维膜为 4—7.5,聚酰胺膜为 4—10。最近制成的超滤膜,如美 Romicon 公司的聚砜膜,可在 pH 1—12,温度 90℃ 下操作。考虑到膜上的浓度极化是限制膜效能充分发挥的主要因素,因此超滤器的结构是使水高速通过狭缝或空心纤维,以减小浓度极化,透过率可增大 2—5 倍。

空心纤维超滤器结构简单,单位面积具有的渗透表面比管式超滤器要大一个数量级。这种超滤器,加压溶液是在纤维内走的,一头进液,另一头得到浓缩液。据说这种空心纤维超滤器具有热稳定性和化学稳定性,操作压力低,透过率大,不易老化(性能衰减,通过反冲即可恢复)等特点。水回收率在 95% 左右。

这两种方法都可用来回收习用的废水处理方法不能回收的一些物质。最近的重要工作,是处理铬和氰化铜电镀液和清洗水^[25]。美国新英格兰电镀公司已利用反渗透法将电镀化学物作闭路循环^[27]。

在金属工业,可从电镀废水回收金、银、铂、镍、铬、锌、铅和镉,洗涤水再用,回收氨基磺酸镍、硫酸铜、焦磷酸铜、氨基氟酸镍以及

氯化锌。从矿山酸性排水除去亚硫酸盐和氧化铁。从金属表面发兰后洗涤水中回收洗涤剂。在纺织工业,回收聚乙烯醇、胶料和矿物油,以及染料。在食品工业,从乳制品废料富集乳清,制造糖果时回收糖。在其他一些工业,还可以脱盐,从冷却塔泄出水除去铬酸盐,浓缩放射性废料,从电泳涂层洗水回收水层油漆,除去乳化油料。

超滤在从废液分离溶解的大分子有机物方面,看来很有潜力。电渗析方法是从溶液除去能离子化的溶质,而反渗透和超滤则是除去溶剂。电渗析方法,已成功地回收了镍,但从清洗水回收氰化锌则未获成功。在美国和日本,电渗析主要用于从海水制淡水和回收盐。日本年产盐 100 万吨,够全国用,现已有 15 年以上历史。

电渗析的其他用途有:减小废盐容积(可达 80—90%);回收无机盐类;回收有机盐类;从废水除去无机盐供进一步处理;基于原子价不同,分离和回收离子化物料;从含有中性有机物的复杂水溶液分离和回收离子化物料;浓缩酸类。

其潜在的用途则有:减少冷却塔的泄水量,大大减小储存塘的大小;与离子交换相结合,组成电镀液的闭路循环,完全回收镍、洗涤水再用以及回收酸;在蚀刻过程可以回收铜和铬;从酸浸废液浓缩和回收盐酸、硫酸或其他酸,并将铁还原而除去;除去络合氰化物(比反渗透更有效);从亚硫酸盐纸浆废液回收木质磺酸、低分子量有机物、制浆化学物和水;从废液回收氯化锌。

7. 离子交换

这是从废液除去金属的一种有效的手段,对各种不同的金属有不同种类树脂可用,但是所需费用较高。对于回收有用金属,稀溶液的闭路循环操作,离子交换可能是一种合适的操作方法。例如,从电镀废水和油漆制造废水回收铬酸已经成功。

离子交换树脂沿两个途径在发展:研制

新型的特效的树脂,发展新的操作技术和再生技术。

(1) 磁性树脂:基本组成是由聚丙烯酸嫁接到磁性核心上形成惰性的泡沫状聚合物,具有强烈的絮凝作用,将污染物沉积下来。絮凝物很容易被破坏成细小颗粒。由于可采用简单的接触技术,因此能建立大型连续性车间。典型的过程装置,包括一个流态床吸附器联结一个移动床再生器。

(2) 耐热树脂: Sirotherm 树脂是将弱酸和弱碱基团同时固着到简单的模格中,因此,具有弱酸和弱碱的功能,在给定的 pH 范围内能迅速地吸附盐。可脱除约 80% 的溶解盐。其特点是可用热水再生,而不需用化学试剂。25°C 时吸附,85°C 热水再生。

(3) 特效离子交换剂:能与溶液中特定的离子反应。如中性的 Zeolite (除氨), Imac TMR (除汞), Srafion NMRR (除汞), ALM-125 (除汞), TMC GT-73 (除锌、铜、铅、银)。

(4) 带有选择性萃取剂的离子交换树脂:其功能就如同一个离子交换器和浓缩器。能除去特定金属离子的特效萃取剂在不断发展,问题在于要置入聚合物的结构中去。

(5) 连续运行的流态床离子交换法:可从工业废水或采矿废水中回收微量金属。美国有一座试验装置,从炼铀厂的酸性废水中交换出氧化铀,此法所需树脂一般为固定床的 50%,且在处理浑浊废水时可省去前过滤步骤。但其装置只是在大量高负荷时才较经济。

8. 化学沉淀

除去无机重金属最常用的方法是化学沉淀法。应用这个方法,不同金属的最终浓度如下:

Cd 0.3 (毫克/升) 纯碱(沉淀剂)
Cr⁶⁺ 0.05 —

总 Cr	0.5	烧碱, 石灰
Cu	0.5	烧碱, 石灰
Fe	1.0	烧碱, 石灰
Ni	0.5	纯碱
Zn	0.5	烧碱, 石灰

化学沉淀最常用的化学物是石灰、烧碱和纯碱,此外还有硫化物。

石灰价格最低。纯碱的理论要求量,为熟石灰的 1.42 倍。纯碱腐蚀性低,易于掌握,但难于溶解。对于镉,生成碳酸镉比氢氧化镉更利于回收。镍用纯碱沉淀比用烧碱的最终含量更低。

在金属与氨、氰化物一类化合物成络合物时,氢氧化物沉淀不足以达到合格的最终含量。而硫化物沉淀法则可以满足更低排放含量的要求。在水中各种金属硫化物的理论溶解度,如 Cd^{2+} 、 Co^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Ag^{2+} 、 Sn^{2+} 、 Zn^{2+} ,都远远低于其氢氧化物,不仅在碱性溶液中而且在酸性溶液中也如此。

应用硫化物的一个问题是:如用硫化钠或类似化合物,过量则在溶液中会生成硫化氢,造成污染,太多了又会留下金属,而加入适合量的硫化物又是困难的。另一个问题是,金属硫化物污泥在空气中能氧化为硫酸盐金属离子,又再度溶解。

为了解决这些问题,用硫化亚铁(FeS)作硫离子的主要来源,看来可克服过量硫化物产生硫化氢的问题。仅仅在溶液中存在平衡常数更低的其他的金属硫化物时,硫离子才从硫化亚铁释出。如 pH 保持在 8.5—9 稍呈碱性,释放出的铁离子就生成氢氧化铁,一同沉淀下来。

在加化学物时,使沉淀下来的污泥与废液一起混合是有利的,沉淀颗粒对新生成的沉淀物提供了晶种。

从污泥回收金属,已研究过在酸性介质中消化,然后中和电解回收的方法。对铜、镍和铬从一个小型工厂回收的估算成本,与市

场价格相比是十分高的。如建立地区回收系统,则可能会经济些。

9. 其他的发展途径

物化处理方法以后的发展,可能沿着以下四条途径:

(1) 对废水先作预处理,然后排放入城市污水处理系统。

(2) 对一些特别有毒的物料,如农药和重金属,发展有选择性的处理方法。

(3) 在工厂内进行分离、回收和循环。

(4) 研究吸附和再生过程的最合理化方法。

看来,首要的是发展价廉、易于操作的系统,有选择性地先除去城市污水处理系统无法处理的那些污染物,重点在于有毒的化合物和重金属。

第二个目标的重点在于发展除去有毒的和有害性的物质,特别是含氮有机物、卤化有机物和金属有机物的方法。含氯有机物的处理上面已讨论过。然而,迄今为止,溴化和氟化化合物的处理过程尚未得到发展。对于复杂的含氮有机化合物,将活性污泥流出液进行活性炭吸附,或于活性污泥处理之前先经臭氧氧化,有希望获得成功。

在将各类废液混合之前,先进行处理、循环和回收,从技术上和经济上讲,可能更有效。除了电镀工业外,其他工业还很少进行综合处理的发展工作。

最后应指出,吸附作用将继续起重要的作用。今后发展重点将是新的互相结合的方法(如吸附配合氧化),以及有效的再生过程和脱除下的被吸附物的处理。

目前,活性炭可以称为通用的吸附剂,其他的材料,包括铝矾土和离子交换树脂也在试用和发展中。铝矾土对于除去氟化物看来是有希望的。

废水的物化处理,不论对城市污水,还是对工业废水来讲,仍是处于初步应用阶段。物化方法看来代替不了生物方法,这二者分别

或结合使用,都将继续起重要的作用。

参 考 文 献

- [14] Ford, D. L., Current State of the Art of Activated Carbon; Proc. Mang. of Petroleum Refinery Wastewater, Univ. of Tulsa, 1976.
- [15] Gardner, F. H., Activated Carbon Treatment of Wastewater from a Wood Naval Stores Plant, AIChE, 69th annual meeting, Chicago (1976).
- [16] Heath, N. W., Jr., Combined Powdered Activated Carbon-Biological Treatment of 40 MGD of Industrial Waste.
- [17] Landrigen, R. B. & Hallowell, J. B., Removal of Chromium from Plating Rinse Water Using Activated Carbon, EPA-670/2-75-055 Cincinnati (June 1975).
- [18] Patterson, J. W., Wastewater Treatment Technology, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Mich. (1975).
- [19] Huff, J. E. and Fochtman, E. G., Cyanide Removal from Refinery Waste Using Powdered Activated Carbon, ACS mtg., New Orleans, March 20—25, (1977).
- [20] Wing, R., Water-insoluble Starch Xanthate, ...CANRRL-41 (RGY), USDA, Peoria, Ill. (1974).
- [21] Wing, R., IAG-PS-0714-USDA, Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater with Insoluble Starch Xanthate, Report, in Prep.
- [22] Joster, T. L. and Duff, D. H., Indus. Waste Treat. at Scoville Manuf, 28th Ind. Waste Treatment Conf., Purdue Univ. (1973).
- [23] Sweeny, K. H. & Des Resiers, P. E., Reductive Degradation for the Treatment of PCB-Containing Wastewater, ACS mtg., Montreal (May 29, 1977).
- [24] Weber, H., DesRosiers P., & Rebhan D., Resources Recovery Through Chlorolysis of Chlorhydrocarbon Waste Residue, ACS mtg. Montreal (May 29, 1977).
- [25] Donnelly, R. G., et al., A Treatment of Electroplating Wastes by Reverse Osmosis, USEPA-600/2-76-261, Cincinnati (Sept. 1976).
- [26] Gollan, Z. et al., Reverse Osmosis Field Test, EPA report, to be published.

电感耦合等离子体发射光谱及其应用

单 孝 全

(中国科学院环境化学研究所)

近年来,一些评论文章^[1,2]比较全面地论述了近十余年来迅速发展起来的电感耦合等离子体发射光谱,认为是溶液多元素同时测定最有前途的激发光源之一。

电感耦合等离子体发射光谱具有引人注目的独特优点,即可以较完全地激发任何金属和非金属元素,可以较简单地实现多元素同时测定。校正曲线的线性范围往往可达四至五个数量级,灵敏度高。检出限低,往往可以达到微微克量或更低。由于等离子体具有相当高的温度,样品在等离子体中停留时间较长,并处于惰性气体环境,因此通常在燃烧火焰中所遇到的干扰就大为减少以至完全消除。

电感耦合等离子体发射光谱的发展

电感耦合等离子体的开创性研究工作应当归功于 Reed. 1961年,他首先介绍了电感耦合等离子体。1962年,他又介绍了等离子体的许多物理性质,并认为这些等离子体可用作激发光源。

虽然 Reed 认为这些等离子体有作为激发光源的可能性,但真正把等离子体应用于分析化学的研究工作,却由英国学者 Greenfield 和美国教授 Fassel 完成。1964年,Greenfield 及其同事^[3]采用等离子体作为激发光源。矩管由三个同心管组成,外面二个管以保持等离子体稳定,中心管为样品引入管。