

# 环境监测技术及其发展方向

刘建国 刘文清 魏庆农

( 中国科学院安徽光学精密机械研究所 合肥 230031 )

**摘 要** 介绍了国内对环境监测技术的迫切需求, 论述了环境监测技术的发展和现状, 指出灵敏光谱监测技术是环境监测技术的未来发展方向。

**关键词** 环境污染, 环境监测, 环境光学, 光学环境监测

## 1 引 言

随着环境状况的恶化以及人们环境意识的提高, 对环境监督提出了更高的要求。因此, 作为环境监督的重要手段, 环境监测仪器越来越受到各国政府和企业的重视, 纷纷制定各自的法律法规, 要求安装使用监测仪器。目前发达国家的环境监测仪器门类齐全、已成系列化, 并且正朝高精度、智能化、集成化和网络化的方向发展。我国的环境监测仪器领域还有许多空白, 许多正在生产的产品还存在技术问题, 稳定性和可靠性难以满足实际应用要求。在我国市场上, 国外的环境监测仪器仍占绝对主导地位; 国产仪器处于低档次、单功能、低价位的不利局面。在“十五”期间, 国家环境监测仪器的攻关将重点支持在技术上有所突破, 并能够超过或替代国外产品的项目; 国家环保总局计划要装备 400 多个国家网络监测站, 350 多个环境信息中心, 100 多个城市空气地面自动监测系统, 以及 100 个国控水质监测断面自动监测系统, 这些装备仪器仪表的市场份额达十亿至数百亿, 将给我国的环境监测仪器的发展带来新机遇。

## 2 我国环境污染状况及国家的环保政策

我国 350 多个城市中, 有 2/3 超二级空气质量标准, 主要污染物依次为 TSP、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>x</sub>(NO<sub>2</sub>); 260 多个中等城市中, 降水 PH 值 < 5.6 的有 94 个, 占 37.1%; 我国水质污染源中, 工业和生活污染各占一半, 主要污染物是耗氧有机污染, 如 COD、BOD<sub>5</sub> 等。

我国水污染最严重的区域是“三河”(辽河、海河、淮河)和“三湖”(巢湖、滇池、太湖)出现的重营养和中营养化。大气污染的重点区域在国家 SO<sub>2</sub> 污染控制区和酸雨污染控制区。我国总体生态环境继续在恶化, 城市环境污染仍在加剧, 并有向农村地区蔓延的趋势, 生态环境破坏的范围仍在扩大。

我国已明确提出实现经济体制和经济增长方式的根本性转变, 把控制人口增长和保护生态环境确立为基本国策, 实施科教兴国战略和可持续发展战略。国家从战略的角度认识到保护环境的实质就是保护生产力, 加强了环保立法工作, 加大了环保执法力度。公民环境意识的进一步提高, 认识到环境意识和环境质量的好坏, 是衡量一个国家和民

收稿日期: 2000-10-27

族文明程度的一个重要标志。同时,环境问题已不仅仅是保护生态和资源的问题,它已涉及到国际政治、经济、贸易和文化等众多领域,例如发达国家利用其先进的环保科学和技术优势大打“环保外交”之牌;同时,随着国际经济一体化,传统非关税贸易壁垒在国际贸易中的保护作用正在逐渐被削弱,而绿色贸易壁垒正在成为新的贸易屏障。

为防止我国生态环境的进一步恶化,国家环境监管和执法部门已采取了具体的措施:实行污染物排放总量控制,从浓度控制到总量控制,把总量控制与总量消减效果评估、预测相结合,强化监督、防止偷排,提倡企业自控、改进生产、提高竞争能力;总量监测抓主重点,区域环境纳污总量与源排放

总量控制重点抓排放总量监测;全国抓重点行业,废水排放重点抓石油化工、造纸、冶金、食品和城市污水处理厂,烟尘、烟气排放重点抓电力、化工、冶金、建材、有色等行业(见表1);区域抓重点企业,抓城市排污大户;抓重点污染因子,在各污染因子中,重点查水COD、烟尘、粉尘和SO<sub>2</sub>。

国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要明确提出了其后15年环境保护工作的要求:到2000年,力争使环境污染和生态破坏加剧的趋势得到基本控制,部分城市和地区的环境质量有所改善;到2010年,基本改变生态环境恶化的状况,城乡环境有比较明显的改善。

表1 1993年大气污染重点源的排污状况(占3000家重点源的比例)

	燃煤量	燃油量	烟尘气排放量	烟气SO <sub>2</sub>	烟气NO <sub>x</sub>
电力	73.8%	33.3%	63%	63.6%	73.0%
化工	5.59%	12.1%	5.1%	6.7%	5.07%
黑色金属	3.8%	18.8%	9.5%	7.5%	9.4%
建材	3.2%		9.0%		2.1%
石油加工		15.8%			
有色金属				6.72%	

### 3 环境监测仪器是环保执法和环境质量监管的重要依据

我国早已颁布了一系列的环境方面的国家标准,包括大气污染物综合排放标准(33个项目)、污水综合排放标准(69个项目)、空气质量标准(10个项目)、水质标准(20个项目)。这些标准要求测量的污染因子累计达到百余种。另外还有污染事故应急监测、噪声和辐射监测等。而我国已开展的监测内容相当有限,不足一半,其原因就是缺乏相应的监测仪器。

国产环境监测仪器在主要性能方面与国外有较大的差距,环境分析仪器的质量和使用寿命都有待提高。国家仅有仪器标准、仪器

的校准标准或传递校准标准还不十分健全。

我国的环境监测基本上处于现场采样、实验室分析阶段,采样仪器以手动、半自动为主。直读型、在线型、应急检测用仪器市场被国外产品占据,而我国5000多个监测站急需大气环境典型污染物和污染源连续自动检测仪器及系统。对水资源和大气污染源监测的需求尤为巨大。缺乏对高毒性、持久性污染物方便、快速的检测方法,特别是没有在线检测手段;缺乏大气及水体的污染源连续自动在线监测系统;高性能的大气探测系统目前还没有产品化。环境监测仪器的现状影响并制约了我国环保执法和环境质量监督管理的水平。

## 4 环境监测仪器国内市场需求

我国环境监测领域经过近 30 年的发展, 形成了一定的规模。目前全国共有专业、行业监测站 4000 多个, 仅环境空气质量监测点就有 6000 多个。从监测网络方面看, 目前属于国家控制的网站有: 空气质量监测站 103 个, 酸雨网站 113 个, 水质监测网站 135 个, 还有噪声、辐射监测网等。

环境监测仪器的市场潜力很大。据统计, 目前我国环保产业占国民生产总值的 0.8%, 一些发达国家这一数据已超过 10%。我国的监测仪器产值仅占环保产业的 2.2 左右。比如, 1995 年我国仅单机 6000 kW 以上燃煤机组就有 2910 台, 此外, 还有工业锅炉 50 万台, 工业炉窑 18 万台, 而目前烟尘在线连续监测仪安装率几乎为零。

近几年正是环境科学和监测分析仪器、装备更新换代和提高水平的时期, 中央、地方政府和企业每年投资购买监测仪器装备约为 2 亿人民币。

在环境质量监测方面, 国家环保总局计划在“十五”要装备 400 多个国家网络监测站; 350 多个环境信息中心; 100 多个城市空气地面自动监测系统, 项目包括 PM、SO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、CO、风向、风速、温度、湿度; 100 个国控水质监测断面自动监测系统, 项目包括 PH、温度、电导、浊度、溶解氧、氨氮、总氮、总磷、COD<sub>Cr</sub>、高锰酸盐指数。初步计划投资 15 亿元人民币, 其中国家投资 2/3, 地方投资 1/3, 这还不包括行业、地方和企业的监测站能自行建设的投资, 各部门、各地方根据环境保护任务的需要另有自己的投资计划。

随着城市空气污染日益加剧, 除大量的无机污染物外, 空气中有毒有害有机物的污染也逐步加强, 而且这部分污染所造成的危害更隐蔽、机理更复杂。如多环芳烃 PAH<sub>s</sub>,

半挥发和挥发性有机物 (SVOC<sub>s</sub>/VOC<sub>s</sub>)、二恶英等是典型的代表, 它们不仅有很强的毒性, 而且对人体内分泌系统有干扰作用, 许多有机污染物有致畸、致癌和致突变作用, 对人类的生存和繁衍构成了严重的威胁。空气中有害有机污染物的监测将逐步纳入空气质量监测的范畴。

在污染源监测方面, 国家要对全国 1.8 万个重点污染企业实施主要污染物排放总量控制和消减, 以改善环境质量, 因此要求 1.8 万个污染大户逐步安装在线连续自动监测系统。污水监测主要包括: 污水流量计、自动比例采样器、PH、COD<sub>Cr</sub>、矿物油、氰化物和氨氮等项目的自动监测, 并实现计算机联网管理。废气监测主要包括: 工业粉尘、烟尘、烟气 SO<sub>2</sub>、NO、CO 和烟气流速的在线连续监测系统, 实现计算机联网管理, 加强实时监控。需求量比环境质量监测大得多, 主要由污染企业购买, 潜在的市场有数十亿至数百亿元。

在遥感监测仪器仪表方面, 国家提出环境污染防治与生态环境保护并重的方针, 要加强生态环境保护, 必须对我国的生态环境进行监测, 包括对荒漠、草原、森林、海洋、农业生态环境进行监测, 也需要对大气污染、水域污染 (如海洋赤潮、溢油污染) 及污染源进行遥感监测。国家计划发射自然灾害与环境污染监测卫星, 进行遥感遥测, 还要建立卫星地面接收系统及卫星图片解析系统, 对环境生态质量现状及变化趋势进行分析, 为国家环境生态保护与建设提供决策的科学依据。

与此同时, 随着人们生活水平的提高, 对室内装潢和家具的需求上升, 室内环境污染也越来越严重, 人们已经开始关注室内污染物对人体的危害, 如 CO<sub>2</sub>、甲醛、苯系物、霉菌灰尘、氡、放射性等, 室内空气监测仪器已经成为环境监测的重要组成部分。

## 5 常规环境监测技术与系统

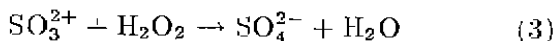
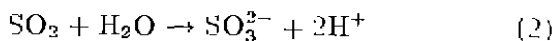
### 5.1 大气和烟气监测仪器

大气和烟气监测仪器主要有烟尘(飘尘/PM10)监测仪、SO<sub>2</sub>监测仪、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)监测仪、烟气流速、流量监测仪、CO/CO<sub>2</sub>监测仪、O<sub>3</sub>监测仪、以及O<sub>2</sub>监测仪等。

(1) 烟尘(飘尘/PM10)监测仪有:直接式烟尘监测仪,利用光和尘的吸收、反射、散射等相互作用测量光吸收(或不透明度),尘对光的吸收遵守比尔定理;抽取式烟尘(飘尘/PM10)监测仪,又可分为红外(激光)后向散射法、β射线法和电荷法(电荷探针测量),其中β射线法通过等速抽取气样,测量纸带上尘对β射线的吸收来进行测量;压电晶体差频法飘尘/PM10监测仪,利用振荡天平原理,即静电除尘器将飘尘离子采集到石英振荡器的电极表面,电极重量因尘粒的集积而增加,致使谐振器的频率发生改变(公式1)而进行测量。

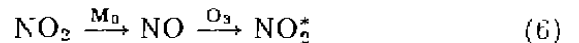
$$\Delta f = -\frac{1}{pN} > \frac{f_0^3}{A} \Delta M \quad (1)$$

(2) SO<sub>2</sub>监测仪有:跨烟道直接法SO<sub>2</sub>监测仪,又可分为利用SO<sub>2</sub>在7.3 μm特征吸收的非分散红外法和利用SO<sub>2</sub>在280~320 nm光谱范围内吸收谱的紫外吸收法;抽取式SO<sub>2</sub>监测仪,有非分散红外法(7.3 μm)、紫外荧光法和电导率法,其中电导率法利用溶液的电导率与溶液中电解质的浓度呈线性进行测量(公式2、3);定电位电解法SO<sub>2</sub>监测仪,利用SO<sub>2</sub>在电化学探头上发生氧化-电介电流进行测量。



(3) NO<sub>x</sub>监测仪有:化学发光法NO<sub>x</sub>监测仪,利用NO和O<sub>3</sub>的反应发光进行NO

测量(公式4、5),NO<sub>2</sub>经高温MO还原成NO再进行测量(公式6、7);红外吸收法NO监测仪,利用NO在5.3 μm的特征吸收进行测量;紫外吸收法NO<sub>x</sub>监测仪,利用NO在195~230 nm以及NO<sub>2</sub>在350~450 nm的光谱吸收进行测量;定电位电解法NO监测仪。



(4) 烟气流速、流量监测仪有:压差传感法流速监测仪,用改进皮托管法测量测断面位置流速;超声波流速测定仪,利用声波顺气流和逆气流方向传播速度不等进行测量(公式8);热导法流速测定仪;角位移法流速测定仪,利用烟气的上升将角位移杠杆抬起的大小进行测量。

$$V_s = \frac{L}{2 \cos \alpha} \left( \frac{1}{t_A} - \frac{1}{t_B} \right) \quad (8)$$

$t_A$ 为顺气时间, $t_B$ 为逆流时间, $L$ 为烟道直径

(5) CO/CO<sub>2</sub>监测仪主要有非分散红外法电导测量法。

(6) O<sub>3</sub>监测仪主要采用紫外光度吸收法,利用O<sub>3</sub>在254 nm的特征吸收进行测量。

(7) O<sub>2</sub>监测仪主要是热磁式氧分析仪,利用O<sub>2</sub>的顺磁特性,以及磁化率与温度间的关系进行氧浓度分析。

### 5.2 水质监测仪器

水质监测仪器主要有化学需氧量(COD)测定仪、生物化学需氧量(BOD)测定仪、溶解氧(DO)测定仪、总需氧量(TOD)测定仪、浊度测定仪、总有机碳(TOC)测定仪、

油分测定仪、以及 PH 值、电导、离子测定仪等。

(1) 化学需氧量 (COD) 测定仪主要采用重铬酸钾 ( $K_2Cr_2O_7$ ) 法和高锰酸钾 ( $KMnO_4$ ) 法、在线测量时采用  $O_3$  氧化法, 测定在规定条件下, 用氧化剂处理水样时, 水样中溶解性或悬浮性还原物质所消耗的氧化剂的量。

(2) 生物化学需氧量 (BOD) 测定仪测量在有充分溶解氧的溶液中, 在  $20\text{ }^\circ\text{C}$  条件下, 把水样培养 5 天, 测溶解氧的减少, 记为  $BOD_5$ 。主要反映水中好气性微生物在增殖和呼吸过程中分解有机物时所消耗的氧量。

(3) 溶解氧 (DO) 测定仪一般采用隔膜电极法或比色法。溶解氧是水质监测的重要指标, 水中含有还原性物质时, DO 会降低; 当低于  $4\text{ mg/L}$  时, 水中生物难以生存。

(4) 浊度测定仪主要采用光透射法、光散射法、或积分球法等光学方法, 浊度反映液体中含有悬浮粒子或液体密度不均匀时, 液体的浑浊程度, 以  $1\text{ L}$  纯水中含有  $1\text{ mg}$  精制高岭土作为 1 度。

### 5.3 通用监测分析仪器

通用环境监测分析仪器主要有气相色谱仪、离子色谱仪、原子吸收分光光度计、快速流动式自动化学分析仪等。这些通用监测分析仪器中有些不但可以检测气体和液体中无机污染物和金属离子, 而且也可以检测有机污染成分, 有些甚至可以直接检测固体污染物中的污染成分。

## 6 光学环境监测技术是环境监测技术的发展趋势

### 6.1 灵敏光谱监测技术是最新一代环境监测技术

从世界范围来看, 在各种类型的环境监测仪器中, 应用范围最广使用时间最长的是空气质量监测仪器。第一代空气质量监测仪

器是利用反应液的湿法监测仪器, 例如, 利用过氧化氢溶液的电导率变化与溶液吸收大气中  $SO_2$  浓度的关系测量大气中  $SO_2$  的浓度, 利用  $NO_2$  浓度与其在重氮偶合反应法试剂中显色程度的直线关系测量  $NO_2$  的浓度; 第二代空气质量监测仪器是采用光学方法的干法监测仪器, 例如, 利用紫外荧光法测量空气中  $SO_2$  浓度, 利用化学发光法测量空气中氮氧化物的浓度。从监测技术发展趋势来看, 灵敏光谱技术是最新一代技术, 是今后 30~50 年的主流技术和替代技术, 其代表技术有长程差分吸收光谱 (DOAS) 空气监测系统等。

一般空气质量自动监测系统有多台专用仪器组成, 每监测一个项目使用一台仪器, 而长程差分吸收 DOAS 监测系统依靠其灵敏光谱技术, 一机可同时测定  $SO_2$ 、 $NO$ 、 $NO_2$ 、 $O_3$ 、氨、苯、甲苯、甲醛等 10 多种有机和无机污染成分, 监测系统运行成本和维护费用可大大降低。灵敏光谱技术在环境监测中的应用还包括激光测污雷达、激光散射法测量烟尘、激光拉曼散射法测量机动车尾气、以及把光谱技术和催化技术相结合测量水体中的氮、磷的各种监测仪器等。

光学监测技术研究环境优先物的高灵敏、低剂量检测方法, 发展了在线监测技术, 为环境污染控制提供了先进实用的检测手段, 具有高灵敏度、高分辨率、高选择性以及实时、快速、动态、可遥感、长程等特点。优先控制污染物的实时连续在线灵敏检测方法和技术必须采用光学和光谱学方法。

### 6.2 国内开展的环境监测技术研究

经过 20 多年的发展, 我国环境监测的技术水平和能力都有较大的提高, 但与持续发展战略和环境保护工作的需要以及国际先进水平相比, 还有较大差距, 主要表现在: 技术上局部先进, 但总体落后; 可监测项目少; 监测仪器的生产厂家多, 但技术偏低,

规模较小,还没有打破高档监测仪器被国外所垄断的局面,发展以我为主的先进环保监测技术是当务之急。

以中国科学院安徽光学精密机械研究所为代表的国内一些科研院所,已开展了环境监测技术研究和监测仪器的开发工作。国内所开展的相关研究开发工作起点高,技术含量高,应用方向明确,需求牵引强,以能够实用化为必要条件,以高技术产业化为最终目标。安徽光学精密机械研究所已成功研制了我国首台具有国际先进水平的长程差分吸收光谱(DOAS)空气监测系统,并通过专家鉴定;研制成功我国首台移动式车载激光测污雷达,可监测SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>和气溶胶等多项污染成份;研制的紫外荧光法空气质量SO<sub>2</sub>自动监测仪、化学发光法空气质量NO<sub>x</sub>自动监测仪、β射线法空气质量PM10自动监测仪、紫外差分吸收法烟道SO<sub>2</sub>自动监测仪、以及激光质谱法机动车尾气在线监测仪等成果均已通过鉴定。安徽光学精密机械研究所正在进行的可移动车载付里叶变换红外(FTIR)大气污染源监测系统研究,以及水体污染的激光在线监测技术研究项目都已取得阶段性成果。

随着各种新的测量机理和检测方法的发

现,将激光、传感器、光谱学、精密制造、计算机等领域中高新技术,以及各种新材料和新工艺综合集成以发展环境监测技术,其环境监测仪器本身已成为高新技术产品。它的发展也带动和促进了其它相关领域的发展。加强先进监测技术研究,形成和发展我国自己的环境检测仪器产业,不仅近期可替代进口、节省外汇,满足当前我国对环境监测仪器的迫切需求;而且从长远的角度来看,它对于提高我国在环保仪器设备国际大市场中的竞争力,对于我国环境保护事业的发展,都具有十分重要的战略性意义。

### 参考文献

- 1 Willard H H, Merritt L L, Dean J R A. Instrumental Methods of Analysis. The fifth edition, D. Van Nostrand Company, 1974
- 2 国家环保局'99中国环境公报. 中国青年报, 2000-06-06(4)
- 3 魏复盛. 环境监测技术及其市场需求. 合肥: 中国科学院安徽光机所学术报告. 2000
- 4 刘文清, 魏庆农, 刘建国. DOAS空气污染自动监测系统总体研制报告. 合肥: 中国科学院安徽光机所学术报告. 2001.1
- 5 易洪佑, 梁泽斌. 环境监测仪器使用与维护(第2版). 北京: 冶金工业出版社, 1999
- 6 裴崇秀, 刘哲人. 环境监测常用仪器使用维修手册. 北京: 中国环境科学出版社, 1992

## The Survey and Future Development of Environmental Monitoring Techniques

Liu Jianguo Liu Wenqing Wei Qingnong

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, the Chinese Academy of Sciences Hefei 230031)

**Abstract** The pressing demands for environmental monitoring techniques in China are introduced in this paper. The development and current trends of the techniques in this area have been described, and it is showed that the sensitive spectrum monitoring technique will be the major and key monitoring technique in the coming years.

**Key words** environment pollution, environment monitoring, environmental optics, environmental monitoring by optical methods