

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第5期

Vol.34 No.5

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

基于过氧化物的消毒技术研究进展	习海玲, 赵三平, 周文 (1645)
环境损害评估: 国际制度及对中国的启示	张红振, 曹东, 於方, 王金南, 齐霖, 贾倩, 张天柱, 骆永明 (1653)
不同国家基于健康风险的土壤环境基准比较研究与启示	徐猛, 颜增光, 贺萌萌, 张超艳, 侯红, 李发生 (1667)
蚯蚓堆肥及蝇蛆生物转化技术在有机废弃物处理应用中的研究进展	张志剑, 刘萌, 朱军 (1679)
基于生态分区的我国湖泊营养盐控制目标研究	刁晓君, 席北斗, 何连生, 邓祥征, 吴锋, 王鹏腾 (1687)
我国东北地区地表水酸化现状	徐光仪, 康荣华, 罗遥, 段雷 (1695)
西安市对渭河水质的影响分析	于婕, 李怀恩 (1700)
极端干旱水文年(2011年)夏季珠江口溶解氧的分布特征及影响因素研究	叶丰, 黄小平, 施震, 刘庆霞 (1707)
应用相平衡分配法建立湘江衡阳段沉积物重金属质量基准	韩超南, 秦延文, 郑丙辉, 张雷, 曹伟 (1715)
长江口海域底栖生态环境质量评价——AMBI和M-AMBI法	蔡文倩, 孟伟, 刘录三, 朱延忠, 周娟 (1725)
温州城市降雨径流中BOD ₅ 和COD污染特征及其初始冲刷效应	王骏, 毕春娟, 陈振楼, 周栋 (1735)
影响悬浮颗粒物吸收系数测量的相关因素研究	余小龙, 沈芳, 张晋芳 (1745)
香溪河库湾春季pCO ₂ 与浮游植物生物量的关系	袁希功, 黄文敏, 毕永红, 胡征宇, 赵玮, 朱孔贤 (1754)
紊流脉动强度对藻类生长及水环境的影响研究	雷雨, 龙天渝, 伞磊, 安强, 黄允秋 (1761)
高铁酸钾对水中藻类及其次生臭味污染物二甲基三硫醚同步去除研究	马晓雁, 张泽华, 王红宇, 胡仕斐, 李青松 (1767)
纳米Fe ₃ O ₄ -H ₂ O ₂ 非均相Fenton反应催化氧化邻苯二酚	何洁, 杨晓芳, 张伟军, 王东升 (1773)
水中茶普生的紫外光降解机制及其产物毒性研究	马杜娟, 刘国光, 吕文英, 姚锐, 周丽华, 谢成屏 (1782)
酸活化赤泥催化臭氧氧化降解水中硝基苯的效能研究	康雅凝, 李华楠, 徐冰冰, 齐飞, 赵伦 (1790)
镉污染应急处置含镉絮体稳定性实验研究	柳王荣, 魏清伟, 杨仁斌, 许振成, 曾东 (1797)
基于光学在线监测及形态学研究的絮凝体强度分析方法	金鹏康, 冯永宁, 王宝宝, 王晓昌 (1802)
不同电子供体下三氯苯酚的还原脱氯机制研究	万金泉, 胡梦蝶, 马邕文, 黄明智 (1808)
壳聚糖季铵盐磁性颗粒的制备及其对甲基橙的吸附效果	张聪璐, 胡筱敏, 英诗颖, 王芳 (1815)
城市污水二级出水超滤膜污染与膜特性的研究	孟晓荣, 张海珍, 王磊, 王旭东, 赵亮 (1822)
倒置A ² /O-MBR处理城市污水的中试研究	张健君, 邹高龙, 杨淑芳, 丁星, 王莉, 毛乾庄, 杨丹 (1828)
不同电子供体的硫自养反硝化脱氮实验研究	袁莹, 周伟丽, 王晖, 何圣兵 (1835)
短程同步硝化反硝化过程的脱氮与N ₂ O释放特性	梁小玲, 李平, 吴锦华, 王向德 (1845)
基于固相萃取的水中多种有毒有害有机污染物富集方法优化	张明全, 李锋民, 吴乾元, 胡洪营 (1851)
多环麝香污染胁迫对蚯蚓特异性蛋白基因表达的影响	陈春, 刘潇威, 郑顺安, 周启星, 李松 (1857)
浙江省制药行业典型挥发性有机物臭氧产生潜力分析及健康风险评价	徐志荣, 王浙明, 许明珠, 何华飞 (1864)
苯系物光催化开环降解产物低级醛类的健康效应	赵伟荣, 廖求文, 杨亚楠, 戴九松 (1871)
四川妇女血清中多溴联苯醚的浓度水平与组成特征	邵敏, 陈永亨, 李晓宇 (1877)
咪唑类离子液体毒性的QSAR/QSPR研究	赵继红, 赵永升, 张宏忠, 张香平 (1882)
宁夏石嘴山河滨工业园区表层土壤重金属污染的时空特征	樊新刚, 米文宝, 马振宁, 王婷玉 (1887)
内蒙古包头白云鄂博矿区及尾矿区周围土壤稀土污染现状和分布特征	郭伟, 付瑞英, 赵仁鑫, 赵文静, 郭江源, 张君 (1895)
福建省重点城市路面尘负荷及化学组成研究	郑桢, 杨冰玉, 吴水平, 王新红, 陈晓秋 (1901)
重金属污染场地电阻率法探测数值模拟及应用研究	王玉玲, 能昌信, 王彦文, 董路 (1908)
丛枝菌根真菌对稀土尾矿中大豆生长和稀土元素吸收的影响	郭伟, 赵仁鑫, 赵文静, 付瑞英, 郭江源, 张君 (1915)
海洋细菌N3对几种赤潮藻的溶藻效应	史荣君, 黄洪辉, 齐占会, 胡维安, 田梓杨, 戴明 (1922)
1株分离自煤矿废水的铁硫氧化细菌LY01的鉴定及其氧化特性研究	刘玉娇, 杨新萍, 王世梅, 梁银 (1930)
1株苯并[a]芘高效降解菌的筛选与降解特性	蔡瀚, 尹华, 叶锦韶, 常晶晶, 彭辉, 张娜, 何宝燕 (1937)
2,2',4,4'-四溴联苯醚的好氧微生物降解	张姝, Giulio Franco, 李晓豹, 卢晓霞, 侯珍, 杨君君 (1945)
养猪废水培养微生物絮凝剂产生菌群B-737及发酵特性	裴瑞林, 信欣, 张雪乔, 周迎芹, 姚力, 羊依金 (1951)
1997~2011年北京市空气中酸性物质与降水组分变化趋势的相关性分析	陈圆圆, 田贺忠, 杨懂艳, 邹本东, 鹿海峰, 林安国 (1958)
黄山降水酸度及电导率特征分析	石春娥, 邓学良, 吴必文, 洪杰, 张苏, 杨元建 (1964)
夏季黄山不同高度大气气溶胶水溶性离子特征分析	文彬, 银燕, 秦彦硕, 陈魁 (1973)
广州秋季灰霾污染过程大气颗粒物有机酸的污染特征	谭吉华, 赵金平, 段菁春, 马永亮, 贺克斌, 杨复沫 (1982)
福建省三大城市冬季PM _{2.5} 中有机碳和元素碳的污染特征	陈衍婷, 陈进生, 胡恭任, 徐玲玲, 尹丽倩, 张福旺 (1988)
上海市含碳大气颗粒物的粒径分布	袁宁, 刘卫, 赵修良, 王广华, 姚剑, 曾友石, 刘遂庆 (1995)
上海市浦东城区二次气溶胶生成的估算	崔虎雄, 吴迺名, 段玉森, 伏晴艳, 张懿华, 王东方, 王茜 (2003)
沙尘暴期间上海市大气颗粒物元素地球化学特征及其物源示踪意义	钱鹏, 郑祥民, 周立旻 (2010)
厦门秋季近郊地面CO ₂ 浓度变化特征研究	李燕丽, 穆超, 邓君俊, 赵淑惠, 杜可 (2018)
GC-MS和GC-ECD同时在线观测本底大气中的HCFC-142b	郭立峰, 姚波, 周凌晔, 李培昌, 许林 (2025)
城市居家环境空气真菌群落结构特征研究	方治国, 欧阳志云, 刘芃, 孙力, 王小勇 (2031)
城市污水处理厂挥发性芳香烃的气味指纹及定量评价研究	郭薇, 王伯光, 唐小东, 刘舒乐, 何洁, 张春林 (2038)
内河多点分散码头大气污染叠加影响特征	刘建昌, 李兴华, 徐洪磊, 程金香, 王忠岱, 肖杨 (2044)
义马煤中铅的热稳定性及转化行为研究	刘瑞卿, 王钧伟 (2051)
基于能源消费情景模拟的北京市主要大气污染物和温室气体协同减排研究	谢元博, 李巍 (2057)
《环境科学》征订启事(1652) 《环境科学》征稿简则(1789) 信息(1807, 1821, 1881, 1987) 专辑征稿通知(1863)	

西安市对渭河水质的影响分析

于婕, 李怀恩*

(西安理工大学环境工程系, 西安 710048)

摘要: 根据渭河西安段各代表断面的水质监测结果和该流域不同代表年径流量, 通过平均浓度法计算各污染物负荷量, 得出渭河干流以点源污染为主, 支流非点源污染较干流严重。基于2009~2011年实测污染物浓度数据, 由物料衡算法计算得到咸阳至临潼断面间西安地区对渭河干流的污染物输入量, 分析西安段各项污染负荷占下游监测断面临潼的比例, 量化西安对渭河水质所造成的影响程度。计算结果显示, 渭河临潼断面污染负荷主要来自于咸阳断面上游, TN、COD及 NH_4^+ -N输入量均占下游断面的40%以上。其次来源于西安地区, 除TP占下游断面53%外, 其余污染物占30%以上, 且西安地区非点源污染比其上、下游断面严重, 点源负荷约占总负荷63%。

关键词: 渭河西安段; 代表年; 负荷计算; 平均浓度法; 物料衡算法

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)05-1700-07

Impact Analysis of Xi'an to the Water Quality of Weihe River

YU Jie, LI Huai-en

(Department of Environmental Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Based on the water quality inspection results of Weihe River in the Xi'an section and the runoff at the watershed in different representative years, it was found through the pollution load calculated from the mean concentration method that Weihe River's main stream was dominated by point source pollution and non-point source pollution was more serious in tributaries. The input amount of pollutant to Weihe River's main stream from Xi'an which is located within the Xianyang and Lintong section was calculated from the material balance algorithm based on the pollutant concentrations measured in 2009 and 2011. The percentage of the pollution load of Xi'an area on Lower reaches' monitoring section of Lintong was analysed and the impact of Xi'an area on the water quality of Weihe River was quantified. The computational results showed that the upstream of the Xianyang section was the main source of the pollution load of the Lintong section in Weihe River, followed by Xi'an area. More than 40% of TN, COD and NH_4^+ -N of the Lintong section came from the upstream of the Xianyang section and more than 30% came from Xi'an area, in addition, 53% of TP came from Xi'an area. The non-point source pollution in Xi'an was more serious than in its upstream and downstream areas while point source pollution load accounted for 63% of the total.

Key words: Weihe River in Xi'an section; representative year; pollution load calculation; mean concentration method; material balance algorithm

作为关中地区的纳污河, 渭河干流排污口废污水多年平均入河量为5.55亿 m^3 , 占渭河流域废污水入河量的77%, 并主要分布在流经宝鸡、咸阳和西安等大城市的河段^[1]。据2011年《陕西省环境公报》水质评价结果显示: 渭河干流除林家村流域范围内的63.9 km河段水质基本良好外, 其余90%以上的河段普遍受到不同程度的污染, 几年来一直维持在Ⅳ类及Ⅳ类以上水质现状。相关资料分析得出各项监测项目浓度值自咸阳市兴平断面明显增加, 并在渭河西安段内浓度达到最大^[2]。渭河干流水文站对当前水质的监测数据表明, 咸阳至西安段污染物浓度增幅最大, 是渭河干流水质恶化的转折点。因此, 本研究选取渭河干流的咸阳、临潼水文站, 主要支流的张家山、秦渡镇、马渡王水文站, 共5个代表断面, 通过平均浓度法计算得到各代表断面污染负荷量, 并根据物料守恒原理通过物料衡算法^[3]得

出西安地区对渭河的排放情况, 从而量化西安地区对渭河水质所造成的影响, 评价该流域范围内水质的影响因素及影响程度, 以期为进一步的渭河水污染防治提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 流域概况

渭河发源于甘肃省渭源县西南鸟鼠山, 属黄河最大的一级支流, 在宝鸡市凤阁岭进入陕西境内, 经宝鸡、杨林、咸阳、西安、渭南等市(区), 于潼关汇入黄河, 全长818 km, 流域总面积 $13.48 \times 10^4 \text{ km}^2$,

收稿日期: 2012-07-30; 修订日期: 2012-10-29

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07212-002-005-002); 国家自然科学基金项目(50909080, 50979090)

作者简介: 于婕(1987~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向是水资源保护, E-mail: lucifer.j@126.com

* 通讯联系人, E-mail: lhuaien@mail.xaut.edu.cn

陕西占49.8%^[4].西安市区境内渭河支流水系水质在出峪口以上区段总体情况良好,基本达到了Ⅱ类水质标准.峪口下游至入渭口区域由于人口集中,工业和生活等污水大量排入,水质污染较为严重,基本为Ⅴ类水质,很多区域已丧失基本使用功能^[5].西安段水系情况如图1所示.



图1 渭河西安段水系示意

Fig. 1 Water system image of Weihe River in the Xi'an section

据2011年《陕西省环境公报》对渭河陕西段沿程水质监测情况,渭河干流陕西段从宝鸡流入时水质良好,基本可达Ⅱ类水质标准,但污染物浓度在陕西境内沿程增大,从常兴桥断面开始显著升高,在咸阳铁桥—天江人渡断面污染物浓度增长趋势尤为明显.由图2可以看出:COD的监测浓度从咸阳市常兴桥—兴平断面开始明显增加,沿渭河向下游呈上升趋势;由图3可以看出: NH_4^+-N 的监测浓度变化幅度较大,总体上也是从常兴桥—兴平断面开始明显增加.两项污染物浓度变化均呈明显的区域性划分,分别在宝鸡(林家村—常兴桥)、咸阳(兴平—南营)、西安(咸阳铁桥—新丰镇大桥)、渭南(沙王渡—潼关吊桥)4个行政区域内呈抛物线变化,在行政区上游浓度相对较低,进入行政区后浓度变大,行政区下游浓度相对降低,由此可见,各个城市对渭河的水质影响比较显著,浓度变化波峰分别出现在咸阳、西安、渭南境内,其中以西安境内天江人渡断面污染物浓度最大.因此对咸阳—临潼水文站间西

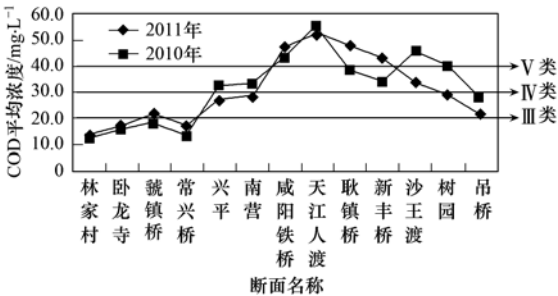


图2 2010~2011年渭河干流陕西段COD平均浓度沿程变化

Fig. 2 Variations of the COD mean concentration along the Weihe River in the Shanxi section in 2010 and 2011

安境内渭河流域进行污染情况定量化计算分析可以更好地确定渭河流域污染情况,为水污染控制提供数据基础.

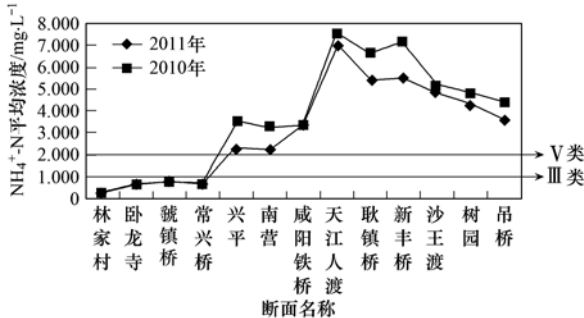


图3 2010~2011年渭河陕西段 NH_4^+-N 平均浓度沿程变化

Fig. 3 Variations of the NH_4^+-N mean concentration along the Weihe River in the Shanxi section in 2010 and 2011

1.2 渭河西安段水质监测分析

为研究西安对渭河的水质影响,本研究在渭河西安段流域范围内分别选取咸阳、临潼水文站作为西安的上游与下游断面,在咸阳与临潼断面区间,汇入渭河的主要支流分别为泾河、泾河与灞河,分别选取秦渡镇、张家山、马渡王水文站作为3条支流的代表断面,通过对干、支流5个代表断面的水质分析,研究评价咸阳—临潼断面间西安地区对渭河的影响程度.对渭河西安段代表断面水文站的长系列年径流实测资料进行频率计算,分别选取频率为25%、50%和75%相应年径流量作为丰平枯水年的径流量.采用枯季径流法^[6]对年径流量进行基流分割,不同代表年的年径流量及其基流分割结果见表1.

表1 渭河西安段代表年径流量及基流分割 $\times 10^8/\text{m}^3$					
Table 1 Annual runoff and base flow separation in representative years in Weihe River in the Xi'an section $\times 10^8/\text{m}^3$					
断面	代表年	年径流量	基流径流量	地表径流量	基流径流比例/%
咸阳	25%	53.37	38.91	14.46	72.91
	50%	45.59	34.46	11.13	75.59
	75%	32.73	25.22	7.51	77.06
临潼	25%	84.08	59.10	24.98	70.29
	50%	51.61	36.46	15.15	70.64
	75%	37.10	26.25	10.85	70.75
张家山	25%	10.19	6.75	3.44	66.24
	50%	8.47	6.05	2.42	71.43
	75%	7.97	5.79	2.18	72.65
秦渡镇	25%	3.02	2.15	0.87	71.19
	50%	2.09	1.51	0.58	72.25
	75%	1.71	1.23	0.48	71.93
马渡王	25%	3.68	2.81	0.87	76.46
	50%	2.71	1.91	0.80	70.56
	75%	2.18	1.73	0.45	79.47

2009 ~ 2011 年间对干支流代表断面在不同时期内进行水质水量同步监测,包括洪水期(出现明显洪水涨落过程的时期)及非洪水期(没有降雨发生且径流量稳定的时期)内 24 h 连续水样采集和流量监测,监测日期及洪峰流量(洪水期)或平均流量(非洪水期)见表 2.

表 2 2009 ~ 2011 年渭河西安段代表断面流量监测结果 $\times 10^8/\text{m}^3$
Table 2 Monitoring results of runoff of Weihe River in the Xi'an section in 2009 and 2011 $\times 10^8/\text{m}^3$

时期	采样日期	咸阳	临潼	张家山	秦渡镇	马渡王
洪水期(洪峰流量)	2009-08-23	—	1 010	450	—	75
	2009-09-13	1 150	1 200	72	105	198
	2010-07-17	174	280	75	43	157
	2010-07-24	1 220	2 820	2 040	114	180
	2010-08-21	1 480	—	395	73	525
	2011-07-29	847	847	—	232	113
	2011-09-06	1 550	2 750	349	285	550
非洪水期(监测断面 24 h 算术平均流量)	2009-06-17	—	79	—	—	3. 26
	2009-11-29	43. 5	144	2. 43	7. 4	21. 03
	2010-05-11	26. 1	105	2. 43	7. 4	6. 3
	2010-06-25	17. 8	87. 5	1. 44	3. 14	0. 1
	2011-04-19	48. 2	105	0. 78	3. 8	6. 5
	2011-05-11	17. 8	144	11	8. 7	—
	2011-12-28	68. 4	180	15. 3	4. 4	9. 23

通过实验获取相应污染物浓度,分析渭河西安段的水污染现状,以及西安市对渭河的水质影响. 主要监测项目有化学需氧量(COD)、总磷(TP)、氨氮($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)、总氮(TN). 非洪水期内采样前较长时间内无降雨,无明显非点源污染产生,故河流中以点源污染为主,大多来源于生活污水和工业废水,且点源污染在一定时期内,排放量相对稳定,故可将非洪水期流量加权平均浓度视为点源污染平均浓度,并根据平均浓度法得到相应的非点源浓度(表 3).

表 3 各断面点源浓度与非点源浓度平均值/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$
Table 3 Mean concentration of point source and non-point source pollution in each section/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

断面	项目	COD	TP	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	TN
咸阳	点源浓度 c_P	30. 25	0. 21	1. 51	2. 65
	非点源浓度 c_N	22. 62	0. 11	0. 66	1. 94
	浓度比 c_P/c_N	1. 34	1. 79	2. 28	1. 37
临潼	点源浓度 c_P	48. 83	0. 41	2. 42	3. 81
	非点源浓度 c_N	38. 56	0. 33	2. 13	3. 74
	浓度比 c_P/c_N	1. 27	1. 78	1. 13	1. 02
张家山	点源浓度 c_P	26. 41	0. 07	1. 63	2. 62
	非点源浓度 c_N	36. 53	0. 21	1. 91	2. 35
	浓度比 c_P/c_N	0. 72	0. 33	0. 86	1. 11
秦渡镇	点源浓度 c_P	28. 29	0. 05	1. 10	2. 61
	非点源浓度 c_N	31. 68	0. 10	1. 39	2. 09
	浓度比 c_P/c_N	0. 89	0. 10	0. 79	1. 25
马渡王	点源浓度 c_P	29. 91	0. 21	1. 01	2. 21
	非点源浓度 c_N	18. 84	0. 18	1. 17	1. 77
	浓度比 c_P/c_N	1. 59	1. 21	0. 87	1. 25

1.3 物料衡算法

物料衡算法是根据质量守恒定律而产生的物料平衡计算方法. 基本原理是生产过程中,不管物料发生的是物理还是化学变化,在这一过程中某项基准物的输入和输出质量是守恒不变的^[7]. 物料衡算法可以用于描述河流上下游不同监测断面间的污染

物负荷变化,以此了解不同时期,不同污染源的污染负荷输入量,可以较为准确地得到某一限定区域内的污染物排放情况^[8]. 国外已将物料衡算法成功应用于 Calumet Lake^[9]、Pepin Lack^[10]、Black River^[11]等流域,国内也将其应用于黄海近岸表层沉积物^[12]、黄河兰州段沉积物^[13]以及黄河口和莱州

湾沉积物中 PAHs 的来源分析^[14],均取得了较好的效果. Teissier 等^[15]将物料衡算法应用到法国西南部最大河流 Garonne River 的负荷计算中,计算方法为:

$$M_{\text{dn}}(\alpha) = M_{\text{up}}(\alpha) + M_r(\alpha) + \Delta m(\alpha) \quad (1)$$

式中, $M_{\text{dn}}(\alpha)$ 为污染物 α 在下游断面的负荷量; $M_{\text{up}}(\alpha)$ 为污染物 α 在上游断面的负荷量; $M_r(\alpha)$ 为支流输入的污染物 α 的负荷量; $\Delta m(\alpha)$ 为污染物 α 在上下游之间的降解量.

渭河干流咸阳—临潼断面间主要支流为沣河、泾河与灞河. 沣河代表断面秦渡镇处于西安市长安区,为沣河中有重要控制监测断面,秦渡镇负荷可视为沣河进入西安市区前的沣河污染情况. 泾河发源于甘肃省,其代表断面张家山水文站地处咸阳泾阳县,与西安高陵县接壤,张家山断面负荷可视为泾河入西安前上游所携带负荷量. 马渡王水文站为灞河下游重要控制断面,位于西安市灞桥区,马渡王断面负荷可视为灞河进入西安市区前的污染情况.

根据渭河西安段水系情况,定义 $M_{\text{up}}(\alpha)$ 为咸阳断面污染物负荷, $M_{\text{dn}}(\alpha)$ 为临潼断面污染负荷, $M_r(\alpha)$ 为秦渡镇、张家山和马渡王断面污染物负荷之和, $\Delta m(\alpha)$ 为渭河干流咸阳—临潼间污染物降解量.

1.4 降解系数 K

$\Delta m(\alpha)$ 包括生物降解、污泥吸附、植物吸附等外界因素造成的负荷量减少. 自然河流水质变化模型假定:河段均匀且河流污染物的浓度不随时间变化,污染物仅在水流方向变化,并且忽略另外两个方向的污染物浓度变化. 污染物浓度变化可用一维稳态水质模型描述^[16]:

$$u \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - Kc \quad (2)$$

式中, u 为河道断面的平均流速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), c 为污染物浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), x 为沿河段的纵向距离 (m), D 为河流纵向离散系数 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), K 为污染物降解系数 (d^{-1}).

污染物降解系数 K 主要计算方法如下.

(1)分析借用法 根据计算水域以往工作和研究中的有关资料,经过分析检验后可以采用. 无资料时,可借用水力特性、污染状况及地理、气象条件相似的邻近河流的资料.

(2)实测法^[17] 选取一个顺直、水流稳定、无旁侧支流汇入、无入河排污口的河段,分别在其上游和下游布设采样点,监测污染物浓度值和水流流速,按下式计算 K 值^[18].

$$K = 86.4 \frac{u}{\Delta X} \ln \frac{c_A}{c_B} \quad (3)$$

式中, ΔX 为上下端面之间距离 (m), 咸阳—临潼间河槽长度为 53.6 km ^[19]; c_A 为上断面污染物浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); c_B 为下断面污染物浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); 86.4 为单位换算系数.

表 4 不同方法降解量计算结果/ d^{-1}

Table 4 Result of degradation by different methods/ d^{-1}				
方法	COD	TP	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	TN
分析借用法	0.50 ~ 0.56	0.10 ~ 0.39	0.17 ~ 0.31	—
实测法	0.49 ~ 0.53	0.14 ~ 0.15	0.30 ~ 0.46	0.13 ~ 0.78
最小二乘法	0.43	0.16	0.32	0.32

本研究计算参考了《黄河流域水资源保护规划》、《渭河流域综合治理规划》以及其他相关文献^[18,20,21] 等关于降解系数的研究,确定渭河干流不同污染物质降解系数分别为 COD: 0.45 d^{-1} ; TP: 0.16 d^{-1} ; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$: 0.30 d^{-1} ; TN: 0.32 d^{-1} .

忽略离散作用,即 $E=0$ 时,式(2)的解析解为:

$$c_x = c_0 \exp\left(-K \frac{x}{u}\right) \quad (5)$$

式中, c_x 为流经 x 距离后的污染物浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), c_0 为上游断面的污染物浓度 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

综合以上分析得污染物降解量计算公式为:

$$\Delta m(\alpha) = \sum_{x=0}^L Q_x (c_0 - c_x) \Delta t_i \quad (6)$$

式中, Q_x 为流经 x 距离后的流量 ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$).

2 结果与分析

根据表 1、表 2 的流量数据及表 3 的平均浓度,由平均浓度法^[22~25] 计算得到渭河西安段各代表断面点源负荷 W_p 、非点源负荷 W_N ,总负荷 W_T 由两者相加所得,计算结果如表 5 所示. 其中多年平均污染负荷是以不同代表年径流量为权重,加权平均计算所得. 泾河为 3 条支流中流量最大的河流,根据马耀光等^[26] 研究显示,泾河下游张家山断面控制流域内, COD 降解率为 6.7%,由表 5 中张家山断面负荷量仅为临潼断面的 9%,可知张家山断面降解量仅为临潼断面的 6%,另两条支流降解量所占比例则更小,因此支流污染降解量对结果分析没有太大影响,故忽略不计.

将表 5 计算结果代入式(1)得到西安段对渭河干流的各项污染物输入量,其中咸阳—临潼断面间的污染物降解量由式(6)计算得到,西安段污染负荷计算结果如表 6 所示.

表 5 西安段各断面污染负荷量计算结果/t

Table 5 Computation results of the pollution load of each section in Xi'an/t													
断面	项目	COD			TP			NH ₄ ⁺ -N			TN		
		W _P	W _N	W _T	W _P	W _N	W _T	W _P	W _N	W _T	W _P	W _N	W _T
咸阳	25%	117 720	32 712	150 432	800	166	966	5 858	954	6 812	9 961	2 805	12 766
	50%	104 256	25 179	129 435	709	128	837	5 188	725	5 913	8 822	2 159	10 981
	75%	69 706	15 519	85 225	474	79	553	3 469	453	3 922	5 898	1 331	7 229
	平均	97 639	25 700	123 339	664	131	795	4 858	762	5 620	8 262	2 203	10 465
临潼	25%	267 708	89 387	357 095	2 261	537	2 798	13 269	4 946	18 215	20 890	8 669	29 559
	50%	204 528	67 137	271 665	1 727	404	2 131	10 137	3 715	13 852	15 960	6 511	22 471
	75%	138 166	42 187	180 353	1 082	363	1 445	6 353	2 334	8 687	10 001	4 092	14 093
	平均	200 940	66 829	267 769	1 697	575	2 272	9 960	3 696	13 656	15 680	6 477	22 157
张家山	25%	17 830	12 566	30 396	47	72	119	1 101	656	1 757	1 767	808	2 575
	50%	15 981	8 840	24 821	42	51	93	987	461	1 448	1 584	569	2 153
	75%	15 294	7 964	23 258	41	46	87	944	415	1 359	1 516	512	2 028
	平均	16 133	9 407	25 540	43	54	97	996	491	1 487	1 599	607	2 206
秦渡镇	25%	6 083	2 756	8 839	11	43	54	236	121	357	562	182	744
	50%	4 272	1 837	6 109	7	29	36	165	81	246	395	121	516
	75%	3 480	1 521	5 001	6	24	30	135	67	202	321	100	421
	平均	4 547	2 020	6 567	8	6	14	176	89	265	420	133	553
马渡王	25%	8 405	1 630	10 035	60	15	75	285	101	386	620	153	773
	50%	5 713	1 502	7 215	41	14	55	194	93	287	421	141	562
	75%	5 174	842	6 016	37	8	45	176	52	228	382	79	461
	平均	6 279	1 283	7 562	45	12	57	213	80	293	463	120	583

表 6 渭河西安段物料衡算法负荷计算结果/t·a⁻¹

Table 6 Pollution load and percentage calculations of the Xi'an section during different periods/t·a ⁻¹												
代表年	25%			50%			75%			平均		
	W _P	W _N	W _T	W _P	W _N	W _T	W _P	W _N	W _T	W _P	W _N	W _T
COD	100 758	35 022	135 780	34 496	14 112	48 608	59 327	26 161	85 488	65 090	25 737	90 827
TP	1 303	499	1 802	501	203	704	892	176	1 068	919	367	1 287
NH ₄ ⁺ -N	5 271	3 029	8 300	1 322	1 307	2 629	3 145	2 280	5 425	3 415	2 219	5 634
TN	6 820	4 395	11 215	1 197	1 914	3 111	3 711	3 270	6 981	4 209	3 234	7 443

各代表断面及降解量多年平均负荷占下游临潼断面负荷比例计算结果如表 7 所示.

表 7 各断面平均污染负荷占临潼断面负荷比例/%

Table 7 Percentage of each section's mean pollution load in the Lintong section/%						
项目	咸阳	西安	张家山	秦渡镇	马渡王	降解量
COD	46.06	33.92	9.54	2.45	2.82	6.62
TP	34.99	56.63	4.25	0.62	2.50	1.77
NH ₄ ⁺ -N	41.16	41.26	10.89	1.94	2.14	3.64
TN	47.23	33.59	9.96	2.50	2.63	5.50

3 讨论

通过以上监测资料与数据计算结果,可对西安地区输出的污染物进行初步量化,由此分析西安及咸阳断面上游、支流对渭河干流水质的影响. 根据上述分析可以得到以下结论.

(1)由代表断面 2009 ~ 2011 年点源与非点源平均浓度计算结果可以看出,渭河干流均为点源浓

度大于非点源浓度,咸阳断面除 TP 点源浓度属于Ⅳ类外,COD、NH₄⁺-N与 TN 点源浓度均属Ⅴ类及劣Ⅴ类; TN 非点源浓度属于Ⅴ类,COD 属于Ⅳ类,TP 与NH₄⁺-N属于Ⅲ类. 临潼断面 4 项污染物点源与非点源浓度均超过Ⅴ类水质标准限值. 支流代表断面的非点源与点源浓度较为接近甚至大于点源浓度,4 项污染物中除 TN 均超过Ⅴ类水质标准限值外,其余普遍属于Ⅲ类~Ⅳ类.

(2)通过渭河西安段不同代表断面的点源和非点源负荷计算,可以看出渭河西安段干流代表断面点源负荷所占比例较高,其中咸阳断面在不同代表年中,各污染物点源负荷平均占总负荷的 83%,临潼断面则占 74%. 而支流断面点源负荷所占比例相对较低,张家山、秦渡镇及马渡王断面的点源负荷量分别占总负荷的 61%、61%、79%,由此可见渭河支流非点源污染相对较重.

(3)根据物料衡算法计算所得西安段对渭河干

流的污染负荷输入量,可知西安地区对渭河污染物输入以点源为主,约占总负荷的 62%。TN 污染总负荷中非点源负荷比例最大,25%、50% 及 75% 代表年中非点源负荷分别占总负荷的 39%、47%、62%,均值为 49%。TP 总负荷中非点源负荷比例相对较小,分别为 28%、16%、29%,均值为 24%。此外,COD 与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的非点源负荷平均占总负荷的 28%、43%。由此可见渭河西安段主要污染物中,COD 与 TP 以点源污染为主,而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 TN 虽也以点源为主,但非点源负荷比例较高,均占总负荷 40% 以上,说明渭河西安段氮类污染物非点源污染严重,这可能是由于以下原因引起的:①与土壤背景值有关。渭河流域耕层土壤的有机质和氮平均含量均高于全省的平均值,西安市耕层土壤的有机质含量为最高^[27],这造成洪水期时,农田退水会将大量有机质带入渭河水体。②与城市化发展有关。相较于支流流域范围内城镇,渭河干流流域西安境内人口相对密集,工厂企业集中、农田畜牧业发达,因此城市化在渭河干流西安段体现较为明显。③与农药化肥的使用状况有关。据统计,渭河流域农药亩均使用量 0.279 kg,高于全省亩均使用量的 81.2%,化肥亩均使用量 128 kg,高于全省亩均使用量 70.2%。而西安市农药亩均使用量为 0.348 kg^[27],是陕西境内农药使用量最高地区。

(4)将物料衡算法计算所得西安段污染物负荷量(见表 6)与平均浓度法计算所得各代表断面污染负荷量(见表 5)对比,得到渭河西安段下游临潼断面处主要污染物来源于咸阳断面上游,其中咸阳 TN 负荷所占比例最大,在 25%、50% 及 75% 代表年中,分别占临潼断面的 43%、49%、51%,均值为 47%。此外,COD、TP 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 分别平均占临潼断面相应污染负荷的 46%、35% 和 41%。临潼断面污染物来源除咸阳断面上游携带外,还来源于咸阳与临潼断面间的西安地区,其中以 TP 所占比例最大,在 25%、50% 及 75% 代表年中分别占临潼断面 TP 负荷的 59%、50% 和 49%,均值为 56.63%。COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN 分别平均占临潼断面相应污染负荷的 33.92%、41.26% 和 33.594%。支流以泾河张家山断面对渭河干流污染负荷输入量最多,COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 TN 占临潼断面 10% 左右,TP 约占 4%。沔河秦渡镇断面与灞河马渡王断面各污染物占临潼断面的 0.62% ~ 2.82%。

4 结论

(1)渭河西安段流域内,TN 污染最为严重,各

代表断面 TN 浓度超过 V 类水质标准限值。渭河干流西安段及以该流域内主要支流以点源污染为主,支流非点源污染较干流严重。

(2)渭河西安段的干流污染负荷主要由点源输入,咸阳、临潼断面各污染物点源负荷分别占总负荷的 83%、74%。渭河西安段主要支流虽以点源污染为主,但与干流相比,点源污染负荷占总负荷的比例有明显减小,约占总负荷的 63%。

(3)渭河西安段虽以点源污染为主,但其非点源污染明显比上游咸阳断面及下游临潼断面严重,其中以 TN 非点源污染最为严重,TP 非点源污染相对较小,说明氮类非点源污染在西安地区较为严重。

(4)临潼断面污染负荷主要来源于咸阳断面上游,各污染物均占 36% 以上,其次来源于咸阳—临潼断面间的西安地区,各污染物均占 30% 以上,3 条主要支流对渭河西安段干流的负荷输入量约占临潼断面的 0.62% ~ 10.89%。

参考文献:

- [1] 张宏斌,赵洁,訾香梅. 渭河干流纳污能力与限制排污总量计算分析[J]. 陕西水利, 2010, (1): 35-38.
- [2] 郭巍. 渭河陕西段主要监控断面水质变化趋势分析[J]. 安全与环境工程, 2010, 17(5): 47-50.
- [3] Schaffner M, Bader H P, Scheidegger R. Modeling the contribution of point sources and non-point sources to Thachin River water pollution[J]. Science of the Total Environment, 2009, 407(17): 4902-4915.
- [4] 程一曼. 基于 WASP7 的渭河陕西段水质模拟分析研究[D]. 西安: 西北大学, 2008. 1-2.
- [5] 杨武学. 渭河水环境恶化及其对策[J]. 陕西水利, 1999, (增刊): 8-9.
- [6] 林学钰,廖资生,钱云平,等. 基流分割法在黄河流域地下水研究中的应用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2009, 39(6): 959-967.
- [7] 陈建民,王雪峰,杨杰伟. 论物料衡算在污染物排放量核定中的应用[J]. 现代商贸工业, 2008, 20(3): 126-127.
- [8] Hema S, Muthalagi S. Mass balance approach for assessment of pollution load in the Tamiraparani River[J]. International Journal of ChemTech Research, 2009, 1(2): 385-389.
- [9] Li A, Jang J K, Scheff P A. Application of EPA CMB8.2 model for source apportionment of sediment PAHs in Lake Calumet, Chicago[J]. Environmental Science and Technology, 2003, 37(13): 2958-2965.
- [10] Kelley D W, Nater E A. Source apportionment of lake bed sediments to watersheds in an Upper Mississippi basin using a chemical mass balance method[J]. Catena, 2000, 41(4): 277-292.
- [11] Gu S H, Andrew C K, Erik R, et al. Source apportionment of PAHs in dated sediments from the Black River, Ohio[J]. Water Resource, 2003, 37(9): 2149-2161.

- [12] 薛荔栋, 郎印海, 刘爱霞, 等. 黄海近岸表层沉积物中多环芳烃来源解析[J]. 生态环境, 2008, **17**(4): 1369-1375.
- [13] 郭炜峰. 黄河兰州段沉积物多环芳烃源解析研究[D]. 天津: 南开大学, 2005.
- [14] 刘宗峰. 黄河口及莱州湾表层沉积物中多环芳烃来源解析研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [15] Teissier S, Sauvage S, Vervier P, *et al.* A mass-balance approach to estimate in-stream processes in a large river[J]. *Hydrological Processes*, 2008, **22**(3): 420-428.
- [16] 陈媛, 郭秀锐, 程水源, 等. 基于 WAST 模型的三峡库区大流域不同土地利用情景对非点源污染的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, **31**(4): 798-806.
- [17] 宋策, 唐允吉, 王克平. 陕西汉江干流有机质环境容量的研究[J]. 陕西水力发电, 2001, **17**(4): 57-60.
- [18] 周洋, 周孝德, 冯民权. 渭河陕西段水环境容量研究[J]. 西安理工大学学报, 2011, **27**(1): 7-11.
- [19] 林玲侠, 李双平. 渭河咸阳~临潼河段小流量分析[J]. 陕西水利, 2011, (2): 17-20.
- [20] 张恒, 曾凡棠, 房怀阳, 等. 基于 HSPF 及回归模型的淡水河流域非点源负荷计算[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(4): 856-864.
- [21] 柳娟, 马耀光, 王伯勤, 等. 渭河咸阳段有机污染物的降解特征[J]. 人民黄河, 2007, **29**(4): 39-40.
- [22] 李怀恩. 估算非点源污染负荷的平均浓度法及其应用[J]. 环境科学学报, 2000, **20**(4): 397-400.
- [23] 蔡明, 李怀恩. 非点源污染负荷估算方法研究[J]. 人民黄河, 2007, **29**(7): 36-37, 39.
- [24] 李家科, 李怀恩, 沈冰, 等. 渭河干流典型断面非点源污染监测与负荷估算[J]. 水科学进展, 2011, **22**(6): 818-828.
- [25] 李家科, 李怀恩, 董雯, 等. 渭河关中段典型支流非点源污染监测与负荷估算[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(7): 1470-1478.
- [26] 马耀光, 李书琴, 杨宣政, 等. 泾河下游可降解污染物的自净特征[J]. 干旱地区农业研究, 2003, **21**(1): 126-128.
- [27] 张春玲, 周晓强. 陕西省渭河流域水质现状与保护对策探讨[J]. 陕西水利, 2009, (4): 16-18.

CONTENTS

Advances in Peroxide-Based Decontaminating Technologies	XI Hai-ling, ZHAO San-ping, ZHOU Wen (1645)
Environmental Damage Assessment; International Regulations and Revelation to China	ZHANG Hong-zhen, CAO Dong, YU Fang, <i>et al.</i> (1653)
Human Health Risk-Based Environmental Criteria for Soil: A Comparative Study Between Countries and Implication for China	XU Meng, YAN Zeng-guang, HE Meng-meng, <i>et al.</i> (1667)
Organic Waste Treatment by Earthworm Vermicomposting and Larvae Bioconversion: Review and Perspective	ZHANG Zhi-jian, LIU Meng, ZHU Jun (1679)
Strategies of Nutrients Control in Lakes Based on Ecoregions of Lakes in China	DIAO Xiao-jun, XI Bei-dou, HE Lian-sheng, <i>et al.</i> (1687)
Current Status of Surface Water Acidification in Northeast China	XU Guang-yi, KANG Rong-hua, LUO Yao, <i>et al.</i> (1695)
Impact Analysis of Xi'an to the Water Quality of Weihe River	YU Jie, LI Huai-en (1700)
Distribution Characteristics of Dissolved Oxygen and Its Affecting Factors in the Pearl River Estuary During the Summer of the Extremely Drought Hydrological Year 2011	YE Feng, HUANG Xiao-ping, SHI Zhen, <i>et al.</i> (1707)
Application of Equilibrium Partitioning Approach to Establish Sediment Quality Criteria for Heavy Metals in Hengyang Section of Xiangjiang River	HAN Chao-nan, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (1715)
Assessing the Benthic Ecological Status in Yangtze River Estuary Using AMBI and M-AMBI	CAI Wen-qian, MENG Wei, LIU Lu-san, <i>et al.</i> (1725)
Pollution Load and the First Flush Effect of BOD ₅ and COD in Urban Runoff of Wenzhou City	WANG Jun, BI Chun-juan, CHEN Zhen-lou, <i>et al.</i> (1735)
Influencing Factors in Measuring Absorption Coefficient of Suspended Particulate Matters	YU Xiao-long, SHEN Fang, ZHANG Jin-fang (1745)
Relationship Between pCO ₂ and Algal Biomass in Xiangxi Bay in Spring	YUAN Xi-gong, HUANG Wen-min, BI Yong-hong, <i>et al.</i> (1754)
Effects of Turbulent Fluctuation Intensity on the Growth of Algae and Water Environment	LEI Yu, LONG Tian-yu, SAN Lei, <i>et al.</i> (1761)
Simultaneous Removal of Algae and Its Odorous Metabolite Dimethyl Trisulfide in Water by Potassium Ferrate	MA Xiao-yan, ZHANG Ze-hua, WANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1767)
Catalyzed Oxidation of Catechol by the Heterogeneous Fenton-like Reaction of Nano-Fe ₃ O ₄ -H ₂ O ₂ System	HE Jie, YANG Xiao-fang, ZHANG Wei-jun, <i>et al.</i> (1773)
Photodegradation of Naproxen in Aqueous Systems by UV Irradiation: Mechanism and Toxicity of Photolysis Products	MA Du-juan, LIU Guo-guang, LÜ Wen-ying, <i>et al.</i> (1782)
Catalytic Ozonation of Nitrobenzene in Water by Acidification-activated Red Mud	KANG Ya-ning, LI Hua-nan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1790)
Experimental Studies on Stability of Floes from Cadmium Pollution Emergency Treatment	LIU Wang-rong, GUO Qing-wei, YANG Ren-bin, <i>et al.</i> (1797)
Evaluation of Floc Strength Based on Morphological Analysis and Optical Online Monitoring	JIN Peng-kang, FENG Yong-ning, WANG Bao-bao, <i>et al.</i> (1802)
Mechanism of Reductive Dechlorination of Trichlorophenol with Different Electron Donors	WAN Jin-quan, HU Meng-die, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (1808)
Preparation of Magnetic Quaternary Chitosan Salt and Its Adsorption of Methyl Orange from Water	ZHANG Cong-lu, HU Xiao-min, YING Shi-ying, <i>et al.</i> (1815)
Membrane Fouling by Secondary Effluent of Urban Sewage and the Membrane Properties	MENG Xiao-rong, ZHANG Hai-zhen, WANG Lei, <i>et al.</i> (1822)
Treatment of Municipal Wastewater Using the Combined Reversed A ² /O-MBR Process	ZHANG Jian-jun, ZOU Gao-long, YANG Shu-fang, <i>et al.</i> (1828)
Study on Sulfur-based Autotrophic Denitrification with Different Electron Donors	YUAN Ying, ZHOU Wei-li, WANG Hui, <i>et al.</i> (1835)
Nitrogen Removal and N ₂ O Emission Characteristics During the Shortcut Simultaneous Nitrification and Denitrification Process	LIANG Xiao-ling, LI Ping, WU Jin-hua, <i>et al.</i> (1845)
Optimization of Solid-Phase Extraction for Enrichment of Toxic Organic Compounds in Water Samples	ZHANG Ming-quan, LI Feng-min, WU Qian-yuan, <i>et al.</i> (1851)
Polycyclic Musks Exposure Affects Gene Expression of Specific Proteins in Earthworm <i>Eisenia fetida</i>	CHEN Chun, LIU Xiao-wei, ZHENG Shun-an, <i>et al.</i> (1857)
Health Risk Assessment and Ozone Formation Potentials of Volatile Organic Compounds from Pharmaceutical Industry in Zhejiang Province	XU Zhi-rong, WANG Zhe-ming, XU Ming-zhu, <i>et al.</i> (1864)
Health Effect of Volatile Aldehyde Compounds in Photocatalytic Oxidation of Aromatics Compounds	ZHAO Wei-rong, LIAO Qiu-wen, YANG Ya-nan, <i>et al.</i> (1871)
Compositions and Distribution Characteristics of Polybrominated Diphenyl Ethers in Serum of Women from Sichuan Province	SHAO Min, CHEN Yong-heng, LI Xiao-yu (1877)
QSAR/QSPR for Predicting the Toxicity of Imidazolium Ionic Liquids	ZHAO Ji-hong, ZHAO Yong-sheng, ZHANG Hong-zhong, <i>et al.</i> (1882)
Spatial and Temporal Characteristics of Heavy Metal Concentration of Surface Soil in Hebin Industrial Park in Shizuishan Northwest China	FAN Xin-gang, MI Wen-bao, MA Zhen-ning, <i>et al.</i> (1887)
Distribution Characteristic and Current Situation of Soil Rare Earth Contamination in the Bayan Obo Mining Area and Baotou Tailing Reservoir in Inner Mongolia	GUO Wei, FU Rui-ying, ZHAO Ren-xin, <i>et al.</i> (1895)
Road Dust Loading and Chemical Composition at Major Cities in Fujian Province	ZHENG An, YANG Bing-yu, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1901)
Numerical Simulation and Application of Electrical Resistivity Survey in Heavy Metal Contaminated Sites	WANG Yu-ling, NAI Chang-xin, WANG Yan-wen, <i>et al.</i> (1908)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth and Rare Earth Elements Uptake of Soybean Grown in Rare Earth Mine Tailings	GUO Wei, ZHAO Ren-xin, ZHAO Wen-jing, <i>et al.</i> (1915)
Algicidal Activity Against Red-tide Algae by Marine Bacterial Strain N3 Isolated from a HABs Area, Southern China	SHI Rong-jun, HUANG Hong-hui, QI Zhan-hui, <i>et al.</i> (1922)
Isolation, Identification and Oxidizing Characterization of an Iron-Sulfur Oxidizing Bacterium LY01 from Acid Mine Drainage	LIU Yu-jiao, YANG Xin-ping, WANG Shi-mei, <i>et al.</i> (1930)
Isolation of an Effective Benzo[a]pyrene Degrading Strain and Its Degradation Characteristics	CAI Han, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (1937)
Aerobic Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether	ZHANG Shu, Franco Giulio, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (1945)
Piggery Wastewater Cultivating Biofloculant-Producing Flora B-737 and the Fermentation Characteristics	PEI Rui-lin, XIN Xin, ZHANG Xue-qiao, <i>et al.</i> (1951)
Correlation Between Acidic Materials and Acid Deposition in Beijing During 1997-2011	CHEN Yuan-yuan, TIAN He-zhong, YANG Dong-yan, <i>et al.</i> (1958)
Characteristics of Precipitation pH and Conductivity at Mt. Huang	SHI Chun-e, DENG Xue-liang, WU Bi-wen, <i>et al.</i> (1964)
Chemical Characteristics of Water-Soluble Components of Aerosol Particles at Different Altitudes of the Mount Huang in the Summer	WEN Bin, YIN Yan, QING Yan-shuo, <i>et al.</i> (1973)
Pollution Characteristics of Organic Acids in Atmospheric Particles During Haze Periods in Autumn in Guangzhou	TAN Ji-hua, ZHAO Jing-ping, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (1982)
Characterization of Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC) in PM _{2.5} During the Winter in Three Major Cities in Fujian Province, China	CHEN Yan-ting, CHEN Jin-sheng, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (1988)
Size Distribution of Carbonaceous Particulate Matter in Atmosphere of Shanghai, China	YUAN Ning, LIU Wei, ZHAO Xiu-liang, <i>et al.</i> (1995)
Secondary Aerosol Formation Through Photochemical Reactions Estimated by Using Air Quality Monitoring Data in the Downtown of Pudong, Shanghai	CUI Hu-xiong, WU Ya-ming, DUAN Yu-sen, <i>et al.</i> (2003)
Geochemical Characteristics and Sources of Atmospheric Particulates in Shanghai During Dust Storm Event	QIAN Peng, ZHENG Xiang-min, ZHOU Li-min (2010)
Near Surface Atmospheric CO ₂ Variations in Autumn at Suburban Xiamen, China	LI Yan-li, MU Chao, DENG Jun-jun, <i>et al.</i> (2018)
<i>In-situ</i> Measurement of Background Atmospheric HCFC-142b Using GC-MS and GC-ECD Method	GUO Li-feng, YAO Bo, ZHOU Ling-xi, <i>et al.</i> (2025)
Airborne Fungal Community Composition in Indoor Environments in Beijing	FANG Zhi-guo, OUYANG Zhi-yun, LIU Peng, <i>et al.</i> (2031)
Study on Quantification Assessment and Odor Fingerprint of Volatile Aromatic Hydrocarbons from Sewage Treatment Plant	GUO Wei, WANG Bo-guang, TANG Xiao-dong, <i>et al.</i> (2038)
Superposition Impact Character of Air Pollution from Decentralization Docks in a Freshwater Port	LIU Jian-chang, LI Xing-hua, XU Hong-lei, <i>et al.</i> (2044)
Thermal Stability and Transformation Behaviors of Pb in Yima Coal	LIU Rui-qing, WANG Jun-wei (2051)
Synergistic Emission Reduction of Chief Air Pollutants and Greenhouse Gases Based on Scenario Simulations of Energy Consumptions in Beijing	XIE Yuan-bo, LI Wei (2057)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年5月15日 34卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 5 May 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国 内 定 价: 90.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行