长江经济带总磷污染状况与对策建议

续衍雪[1*]，吴 熙[2]，路 瑞[1]，杨文杰[1]，赵 越[1]

（1. 环境保护部环境规划院，北京 100012；2. 北控水务集团，北京 100024）

【摘 要】长江经济带是我国重要的战略区域，加强长江经济带生态环境保护是我国的重大战略部署，在推进我国“五位一体”总体布局建设中具有重要地位，是体现习近平总书记“共抓大保护，不搞大开发”的重要精髓。目前，总磷已成为长江经济带水体首要污染指标，总磷超Ⅲ类的断面比例达到18.3%，主要的一级支流中，沱江、清水江、岷江、乌江总磷平均浓度在地表水Ⅲ类水质标准上下浮动，污染相对较重；长江经济带总磷污染主要受工业、城镇生活、农业等污染源影响，主要涉及四川、贵州、湖北、湖南、重庆等地区；同时结合总磷污染特征分析，提出了涉磷工业企业治理、磷矿管理、城镇生活污水治理、畜禽养殖防治、规范监测方法等治理措施，为长江经济带总磷污染防控提供技术支撑和决策依据。

【关键词】长江经济带；总磷；水污染防治；水生态保护

【中图分类号】X522 【文章编号】1674-6252（2018）01-0070-05

【文献标识码】A 【DOI】10.16868/j.cnki.1674-6252.2018.01.070

长江经济带覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南等 11 省（市），面积约 205 万平方公里，人口与生产总值均超过全国的 40%。长江经济带土地开发强度高出全国平均水平 2.5 个百分点，能源消费总量占全国总量的 36.4%，用水总量、工业用水量分别占全国总量的 47.3% 和 60.8%[1]，各区域的水资源与水生态维护面临“生态支出成本上升”与“生态质量恶化加剧”的双重压力 [2]。

加强长江经济带生态环境保护是我国的重大战略部署，在推进我国“五位一体”总体布局建设中具有重要地位 [3]。习近平总书记先后强调“走生态优先、绿色发展之路，把长江经济带建设成为我国生态文明建设的先行示范带、创新驱动带、协调发展带；把修复长江生态环境摆在压倒性位置，共抓大保护，不搞大开发；把实施重大生态修复工程作为推动长江经济带发展项目的优先选项，增强水源涵养、水土保持等生态功能”。2017 年 7 月，环境保护部、国家发展和改革委员会、水利部联合印发的《长江经济带生态环境保护规划》，是落实国家重大战略举措的迫切要求，是贯彻五大发展理念的生动实践，突出和谐长江、健康长江、清洁长江、优美长江和安全长江建设，对于全面建成小康社会、实现中华民族伟大复兴具有重要的现实意义和长远战略意义。

总磷是水体中较常见的一种形态磷，是藻类生长重要的因素，也是导致水体富营养化最常见的原因 [4,5]，磷对人体皮肤可造成直接危害，引发各种皮肤炎症，磷化物可导致呕吐、腹泻、头痛甚至中毒死亡；含磷的矿山尾矿、渣场等在雨水的淋溶作用下进入地表径流或渗入地下水，造成水体污染。

近年来，长江口、三峡库区等总磷污染受到国内学者的关注 [6,7]，其污染呈现加重趋势。本文收集整理了 2006—2016 年长江经济带地表水监测断面水质数据及四川、湖北、湖南、贵州等省份涉磷污染源调查所得数据，分析长江经济带总磷污染现状及变化趋势，找出总磷污染的重点河段及区域，解析总磷污染来源，研究应对总磷污染的防治对策，为长江经济带总磷污染管控提供技术支撑和决策依据。

1 总磷污染特征分析

1.1 评价方法

本文选取总磷、化学需氧量、五日生化需氧量、氨氮和高锰酸盐指数等指标进行评价，评价标准采用《地表水环境质量标准》（GB3838—2002），各断面选取年均值进行计算。

1.2 长江经济带总磷污染现状分析

本文选取长江经济带 943 个国控断面（点位），对其水质进行评价得出，2016 年长江经济带达到或优于Ⅲ类的断面比例为 81.7%，劣Ⅴ类断面比例为 3.1%，水质总体良好。总磷、化学需氧量、五日生化需氧

* 责任作者：续衍雪（1984—），男，助理研究员，硕士，主要从事流域规划与管理，E-mail：xuyanxue1018@126.com。

量、氨氮和高锰酸盐指数等指标超Ⅲ类的断面比例分别为 18.3%、10.3%、7.3%、6.6% 和 4.2%，其中总磷居首位。

长江经济带区域内 11 个省（市）803 个河流断面中，有 13 个的总磷浓度劣于Ⅴ类，分布在江苏、湖北、安徽、四川、贵州、云南等省份；140 个湖库点位中，有 2 个的总磷浓度为劣Ⅴ类，分布在湖南、云南等省份。

浙江、江西、湖南等省份河流的总磷浓度优于Ⅲ类的比例大于 90%，四川省总磷浓度优于Ⅲ类的比例最低，为 72.7%；浙江、湖北、重庆、贵州等省（市）湖库总磷浓度优于Ⅲ类的比例均为 100%，上海、江西、湖南、四川、云南等省（市）湖库点位总磷浓度优于Ⅲ类的比例低于 20%，具体见表 1。

对长江经济带主要一级支流总磷污染情况进行分析，2016 年嘉陵江、汉江、赣江水质较好，总磷平均浓度分别为 0.044mg/L、0.054mg/L、0.075mg/L，均达到地表水环境质量标准的Ⅱ类水质标准；岷江、乌江总磷平均浓度分别为 0.166mg/L、0.134mg/L，达到地表水Ⅲ类水质标准；沱江、清水江总磷浓度分别为 0.274mg/L、0.202mg/L，超过地表水Ⅲ类水质标准；二、三级支流中，云南鸣矣河、螳螂川，贵州羊昌河、重安江，四川府河、球溪河等河流总磷污染较为严重，鸣矣河通仙桥断面总磷浓度为 1.45mg/L，羊昌河凤山桥边断面总磷浓度为 1.29mg/L，螳螂川富民大桥断面总磷浓度为 0.75mg/L。具体见图 1。

表 1　长江经济带各省（市）总磷浓度类别所占比例（2016 年）

省份（市）	河流		湖库	
	优于Ⅲ类	劣Ⅴ类	优于Ⅲ类	劣Ⅴ类
上海	81.8%	0.0%	0.0%	0.0%
江苏	85.4%	2.1%	25.0%	0.0%
浙江	93.7%	0.0%	100.0%	0.0%
安徽	82.1%	2.1%	57.1%	0.0%
江西	100.0%	0.0%	15.8%	0.0%
湖北	88.7%	1.9%	100.0%	0.0%
湖南	98.4%	0.0%	14.3%	7.1%
重庆	89.4%	0.0%	100.0%	0.0%
四川	72.7%	3.9%	50.0%	0.0%
贵州	88.9%	4.4%	100.0%	0.0%
云南	86.4%	2.3%	33.3%	5.6%
合计	87.9%	1.6%	48.6%	1.4%

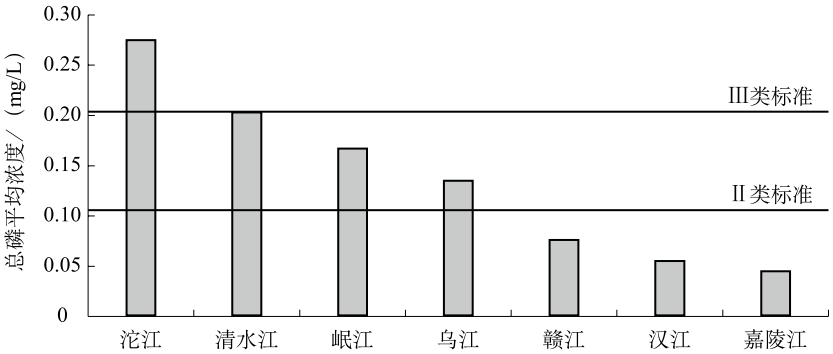

图 1　2016 长江经济带主要一级支流总磷平均浓度

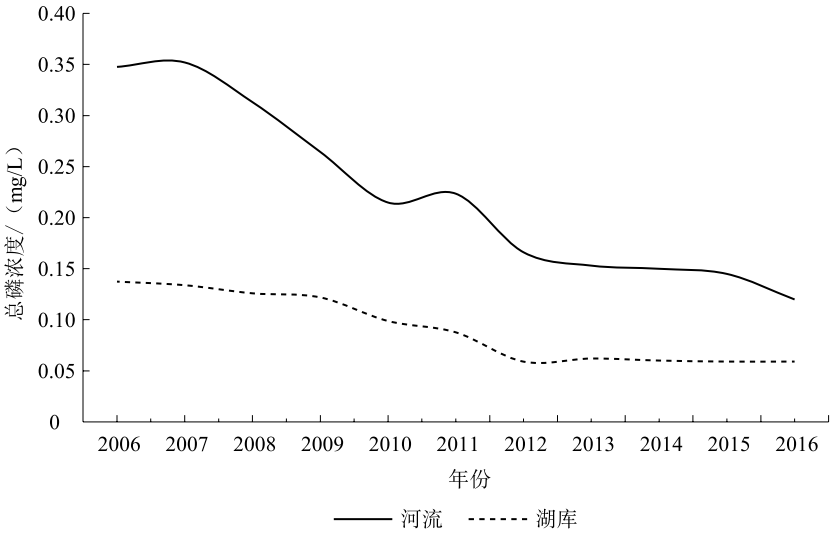

图 2　长江经济带总磷浓度年际变化趋势

1.3 长江经济带总磷污染变化趋势分析

本文分析了 2006—2016 年长江经济带国控断面总磷浓度变化情况，2016 年总磷浓度超Ⅲ类的断面比例较 2006 年下降了 28 个百分点，其中河流总磷平均浓度值较 2006 年下降了 65.4%，湖库总磷平均浓度值较 2006 年下降了 56.9%。具体见图 2。

1.3.1 长江干流沿程总磷变化分析

本文针对长江干流 48 个水质断面总磷浓度进行分析可知，2016 年长江干流上游段总磷浓度较低，在湖北南津关至柳口段总磷浓度逐渐上升，柳口断面总磷浓度达到最高值，下游江西、安徽、江苏段总磷浓度上下波动。具体见图 3。

1.3.2 主要支流总磷污染分析

根据对近 10 年长江经济带主要支流监测断面水质情况进行对比分析，本文得出主要支流的总磷年度变化情况。其中，岷江总磷浓度 2011—2015 年均超过Ⅲ类标准，污染呈现上升趋势；沱江总磷浓度在 2006—2013 年呈下降趋势，2014 年后有所反弹；乌江总

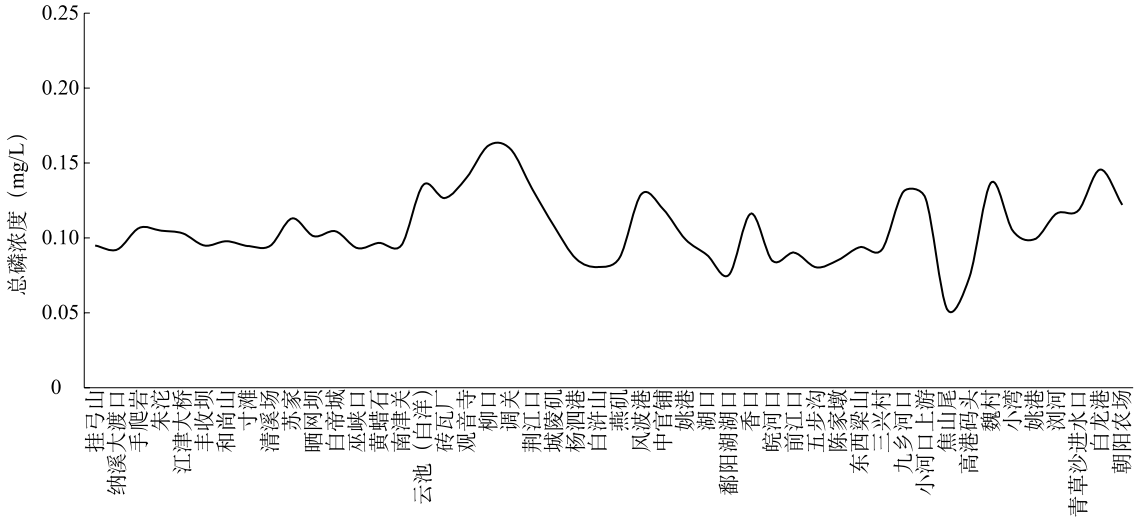

图3　长江干流总磷浓度沿程变化情况（2016 年）

磷呈先升后降趋势，2011 年达到最高值（0.674 mg/L），超Ⅲ类标准值 2.37 倍；清水江 2011—2013 年总磷浓度均为劣Ⅴ类，2014—2016 年有所下降，但仍超过Ⅲ类标准；嘉陵江、汉江、赣江等支流总磷污染程度较低，总磷浓度常年保持在Ⅱ类。具体见表 2 和图 4。

2 重点河段总磷污染因素解析

结合上节分析，长江经济带总磷污染重点区域主要集中在四川岷江及沱江流域、贵州乌江及清水江流域、湖北长江干流宜昌段等地区。其中，四川省岷江、沱江流域主要受城镇生活污水处理设施建设滞后、畜禽养殖污染等的影响；贵州乌江、清水江流域主要受含磷尾矿库渗漏、磷矿开采，磷化工企业污染等的影响；湖北长江干流宜昌段，主要受磷化工企业污染、城镇生活污水管网不健全等的影响。

总磷污染的主要因素包括地质原因、磷矿及磷化工企业污染、城镇生活污水处理设施建设滞后、畜禽养殖、农业种植污染等。

2.1 地质原因导致部分地区磷富集程度较高

我国磷矿资源主要分布在贵州、云南、四川、湖北、湖南等省份，其磷矿石储量 135 亿 t，占全国的 76.7%，磷矿（P_2O_5）资源储量 28.7 亿 t，占全国的 90.4%。因长江经济带地表水、地下水交换间歇短，水土流失量大，若磷矿进入地表水体，可造成水体总磷浓度上升。

我国有八大磷矿生产基地，分别为云南昆阳，贵州开阳、翁福，湖北荆襄、宜昌和保康、四川金河、清平等，均集中在长江中上游。2015 年环境统计数据显示，全国共计 213 家规模以上磷肥制造企业，74% 集中在云南、湖北、贵州、四川等省份，其中云南云天化、贵州开磷（集团）、瓮福（集团）3 家企业产量占全国总产量的 30%。

表2　长江经济带主要支流总磷浓度　　单位：mg/L

年份	岷江	沱江	嘉陵江	乌江	清水江	汉江	赣江
2006	0.184	0.263	0.074	0.124	—	0.047	0.075
2007	0.230	0.227	0.067	0.120	—	0.043	0.082
2008	0.176	0.218	0.067	0.154	—	0.051	0.067
2009	0.209	0.203	0.066	0.368	—	0.049	0.079
2010	0.171	0.231	0.055	0.386	—	0.047	0.083
2011	0.211	0.235	0.053	0.674	0.451	0.065	0.084
2012	0.257	0.221	0.054	0.453	0.530	0.060	0.076
2013	0.217	0.187	0.058	0.335	0.440	0.057	0.082
2014	0.217	0.212	0.055	0.275	0.219	0.058	0.083
2015	0.215	0.251	0.049	0.160	0.274	0.058	0.083
2016	0.166	0.274	0.044	0.134	0.202	0.054	0.075

注：清水江 2006—2010 年无监测数据。

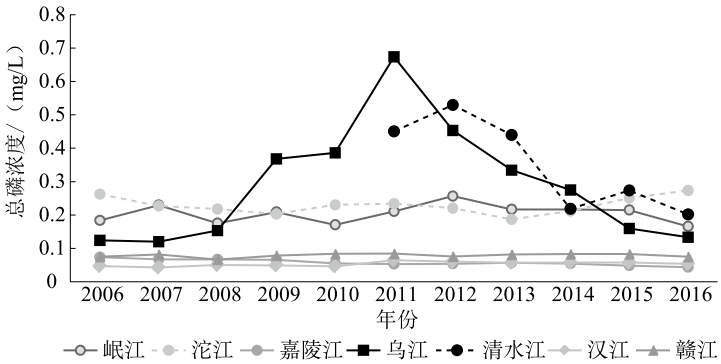

图4　长江经济带主要支流总磷浓度年际变化趋势

2.2 以磷矿采选、磷化工为主的工业企业是造成局部性污染的主要原因

长江经济带部分地区磷矿和磷化工企业超标排放、无组织排放等问题严重。2015 年，湖北省宜昌市近三分之一的磷矿企业矿井涌水超过《污水综合排放标准》（GB8978—1996）一级排放限值（0.5mg/L）；25.8% 的磷肥磷化工企业超过《磷肥工业水污染物排放标准》（GB15580—2011）排放限值（15mg/L）。2016 年 3 月调查数据显示，远安县 4 家磷化工企业排放废水总磷超标，最高排放浓度达 587mg/L。

磷石膏渣场渗沟也是影响河流总磷超标的主要原因。贵州瓮福（集团）有限公司发财洞排水口总磷渗漏排放是造成清水江羊昌河污染的主要因素，2012 年发财洞排水口总磷浓度高达 410mg/L，随着近年来对排水口废水的回收处理，其总磷浓度有所下降，但仍远远超过地表水 V 类标准值（2015 年排水口浓度为 1.51mg/L）；贵州中化开磷公司交椅山磷渣场通过喀斯特地貌渗漏是导致近年来乌江总磷超标的主要原因，渗漏点（34 号泉眼）总磷污染贡献量达到 75.5%，总磷最高浓度达到 600mg/L。

2.3 城镇生活总磷排放量占比较大，中上游省份治理水平偏低

2015 年，长江经济带城镇生活总磷排放量约占全国的 40%，长江中下游省份的去除率较高，均达到 80% 以上，四川、重庆、贵州、湖北、湖南和江西的去除率低于全国平均水平。长江经济带城镇污水处理设施总磷平均排放浓度为 0.68mg/L，仍高于地表水 V 类标准。长江中上游地区城市管网建设仍不健全，污水除磷工艺不完善。

四川省岷江、沱江流域城镇生活源对总磷污染产生一定程度的影响。2015 年，岷江流域出水执行一级 A 标准的污水处理厂占 69.5%，执行一级 B 标准的占 23.9%，流域内有 8 家污水处理厂（站）的出水总磷平均浓度超过 1.5mg/L，均分布于成都市，下游眉山市、乐山市的生活污水处理率仅为 70% 左右；沱江流域生活污水处理率为 78.3%，流域内 30% 的污水处理厂出水总磷平均浓度在 0.5mg/L 以上。

2.4 长江经济带农业源总磷排放以畜禽养殖为主，种植业化肥施用量较大

长江经济带畜禽养殖业总磷排放量占农业源的比例较大，达到 68%，其中四川、湖南、湖北等省份的排放量较大，约占长江经济带的 65%。四川沱江流域上游段的成都、德阳的畜禽养殖影响较为突出，总磷排放所占比例均在 56% 以上，是造成总磷浓度较高的主要原因。

长江经济带农作物播种面积约占全国总播种面积的 40%，施肥强度平均约为 320kg/hm^2，除贵州外，其他省份施肥强度均远高出发达国家公认的 225kg/hm^2 的安全上限。养殖粪肥资源化利用率很低，施肥结构单一，肥料吸收利用率平均仅有约 35%。

3 总磷防控对策建议

3.1 加大磷矿采选和磷化工综合治理，遏制局部地区水质恶化趋势

针对总磷污染排放重点区域，对贵州省、湖北省等地区超标排放、污染治理措施不到位的企业提出限期整改措施。加强贵州贵阳中化开磷化肥有限公司（34 号泉眼）、贵州瓮福有限公司（发财洞）污水回抽处理能力建设及磷石膏渣场监管，强化磷矿资源管理；加快贵州、湖北涉磷化工企业废水处理设施升级改造。

针对湖北宜昌、贵州遵义、黔南州、黔东南州、四川德阳、乐山、绵阳等区域，整改或关闭生产能力小于 50 万 t/ 年的小磷矿；开展磷石膏、磷渣仓储标准化管理，推进磷石膏综合利用；加强废水生物除磷、化学除磷工艺的末端治理，强化开展无组织排放的综合治理；彻底整治贵州省息烽县、开阳县、瓮安县等尾矿库危库、险库，严肃查处未按要求治理或未经批准擅自回采尾矿的磷矿企业。

3.2 强化长江上游地区城镇污水处理设施建设

加强四川乐山、眉山、德阳、湖北宜昌等地区夹江县、井研县、丹棱县、神县、仁寿县、罗江县、中江县、远安县等乡镇级污水处理设施建设，同步配套收集管网；推进四川省成都武侯区、眉山市、乐山市、雅安市等城镇污水处理厂升级改造，加大除磷力度；完善污水收集管网建设，以四川成都、乐山、眉山、德阳、湖北宜昌夷陵区、贵州贵阳、遵义、重庆武隆、酉阳、彭水为重点区域，重点建设二、三级管网，提升污水收集率，加快城中村、老旧城区、城乡接合部雨污分流改造，截留、收集生活污水。

3.3 推进重点区域畜禽养殖污染治理

针对四川德阳、成都、资阳、湖南常德、岳阳等养殖负荷较大区域，采用异地还田利用为主要形式的畜禽粪污治理，积极建设以畜禽养殖粪污为主要生产原料的有机肥制造厂，养殖密集区因地制宜建设大中型沼气，配套沼液田间输送管网。

3.4 加强区域性总磷控制

以《水十条目标责任书》控制断面及所在控制单元为重点，加强区域性总磷控制。2020 年长江经济带湖北、湖南、四川、贵州、云南等省份中水质目标中对总磷指标予以特殊规定的 18 个断面及控制单元，要基于水质改善需求制定达标方案，将治污任务逐一落实到汇水

范围内的排污单位，必要时将总磷纳入区域污染物排放总量控制约束性指标体系，对于水质不达标地区，应对汇水范围内相关行业企业执行特别排放限值。

3.5 规范总磷监测方法

总磷监测过程中浊度（澄清态和混合态）和样品保存方法（水样采集后立即加酸和不加酸静置 30 分钟取上层非沉降液）不同，分析结果可以相差 50%，各级环境监测部门应严格执行监测规范，对样品进行保存及测试，提倡对跨界断面、有争议断面开展总磷联合监测，对比分析总磷污染实际情况。

4 结论

总磷已经成为长江经济带的首要污染指标。2016 年，长江经济带干流总磷平均浓度为 0.106mg/L，达到地表水Ⅲ类标准；主要的一级支流中，嘉陵江、汉江、赣江水质较好，达到Ⅱ类水质标准；岷江、乌江达到地表水Ⅲ类水质标准；沱江、清水江总磷浓度分别为 0.274mg/L、0.202mg/L，超过地表水Ⅲ类水质标准。

近十年来，长江经济带总磷污染重点区域主要分布在沱江、清水江、岷江、乌江及长江干流宜昌段等地区，涉及四川、贵州、湖北、湖南等省份，其主要受工业、城镇生活、农业等污染源的影响。其中，工业主要以磷矿开采、磷化工等涉磷企业污染为主，主要分布在贵州乌江和清水江流域、湖北宜昌市等地区；长江中上游省份城镇生活污水治理水平偏低，四川、重庆、贵州、湖北、湖南等去除率低于全国平均水平；四川、湖南、湖北等省份畜禽养殖排放量相对较大。

建议针对长江经济带总磷污染的重点区域实施具有针对性的污染防治措施，开展涉磷工业企业废水处理设施升级改造，加强磷矿开采管理；加强城镇生活污水收集及除磷水平；强化畜禽养殖废物综合治理；规范总磷监测方法等，为长江经济带快速健康发展提供良好的生态环境。

参考文献

[1] 滕堂伟 , 瞿丛艺 , 曾刚 . 长江经济带城市生态环境协同发展能力评价 [J]. 中国环境管理 , 2017(2): 51-56, 85-85.
[2] 杜群 . 长江流域水生态保护利益补偿的法律调控 [J]. 中国环境管理 , 2017(3): 30-36.
[3] 陈吉宁 . 以改善环境质量为核心全力打好补齐环保短板攻坚战——在 2016 年全国环境保护工作会议上的讲话 [R]. 北京 : 环境保护部 , 2016.
[4] 全为民 , 沈新强 , 韩金娣 , 等 . 长江口及邻近水域氮、磷的形态特征及分布研究 [J]. 海洋科学 , 2010, 34(3): 76-81.
[5] 柴超 . 长江口水域富营养化现状及特征研究 [D]. 青岛：中国科学院研究生院 (海洋研究所), 2006.
[6] 刘瑞民 , 陈亚新 , 张培培 , 等 . 长江口表层水总磷污染区域风险分析 [C]. 中国环境科学学会学术年会论文集 . 南宁：中国环境科学学会 , 2012: 946-949.
[7] 熊强 , 幸治国 , 钟成华 , 等 . 三峡库区总磷污染现状及防治措施 [J]. 云南环境科学 , 2004, 2(4): 49-51.

Total Phosphorus Pollution, Countermeasures and Suggestions of the Yangtze River Economic Belt

XU Yanxue[1], WU Xi[2], LU Rui[1], YANG Wenjie[1], ZHAO Yue[1]
(1. Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China; 2. Beijing Enterprises Water Group Limited, Beijing 100024, China)

Abstract: The Yangtze River Economic Belt is the important strategic area. It is a major strategic deployment of the country that strengthen ecological and environmental protection of Yangtze River Economic Belt, it can promote the overall layout construction of the "five integrated" in China. It is an important essence of the "great protection and no great development" from President Xi Jinping. At present, total phosphorus has become the leading indicator of pollution in the Yangtze River Economic Belt, the section exceed the Ⅲ criterion of environmental quality for sur face water accounts for 18.3% in total. The average total phosphorus pollution of Tuo River, Qingshui River, Min River and Wu River are heavier. Industry, urban sewage and agriculture are the major factors of total phosphorus pollution in local region, mainly including Sichuan, Guizhou, Hubei, Hunan, and Chongqing. Combined with character analysis of total phosphorus pollution, this paper puts forward some measures including the treatment of phosphorus industrial enterprises, the management of phosphate mining, urban life waste water, management of livestock and poultry breeding and monitoring methods, etc. It can provide technical support and decision-making basis for the prevention and control of total phosphorus pollution in the Yangtze River basin.

Keywords: Yangtze River Economic Belt; total phosphorus; water pollution prevention and control; water ecological protection