

抚河流域综合治理监测布局优化

刘聚涛,温春云,韩柳,胡芳,楼倩,杨平

(江西省水利科学研究院江西省鄱阳湖水资源与环境重点实验室,江西 南昌 330029)

摘要:为科学合理布设抚河流域综合治理监测点,采用聚类分析方法开展监测点布局优化研究,结合相对偏差分析和方差分析开展布局优化合理性分析,提出抚河流域综合治理监测布局优化方案,在布设流域综合治理监测点时,在河流干流上中下游分别布设2个监测点,较大的支流在上游和下游分别布设1个监测点,较小的河流则在入干流处布设1个监测点。结果表明:抚河流域综合治理监测布局优化后,监测点由初始的40个减少为16个,减少幅度达60%;优化后监测点仍然覆盖了抚河流域上中下游、干支流和重要节点;优化后各类别、各指标之间相对偏差较小,优化前后各类别、各指标无显著差异。

关键词:水环境监测;优化布局;合理性分析;抚河流域

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2021)06-0065-07

Layout optimization of comprehensive management monitoring in Fuhe River basin//LIU Jutao, WEN Chunyun, HAN Liu, HU Fang, LOU Qian, YANG Ping(*Jiangxi Provincial Key Laboratory of Water Resources and Environment of Poyang Lake, Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China*)

Abstract: To set up the lay out monitoring points scientifically and reasonably for comprehensive management of watershed, the Fuhe River basin was taken as an object. Cluster analysis method was adopted to optimize the monitoring layout. The rationality analysis of layout optimization was carried out by combining relative deviation analysis with variance analysis, and the optimization scheme of monitoring layout was constructed in the Fuhe River basin. According to the optimization scheme of monitoring layout, two monitoring points were set up in the upstream, middle and downstream of the river trunk respectively. One monitoring point was set up in the upstream and downstream for the larger tributaries, and for smaller rivers only one monitoring point was set up at the river confluence. The results show that after optimization, monitoring points were reduced from 40 to 16, accounting for 40% of the initial monitoring points. The optimized points still cover the upper, middle and lower reaches, trunk and tributaries and important nodes of the Fuhe River basin. After optimization, the relative deviation of each category and index is small, and there is no significant difference between the indicators of each category before and after optimization.

Key words: water environmental monitoring; optimize layout; rationality analysis; Fuhe River basin

监测布局是水环境保护与管理、水污染控制与水生态修复的重要基础^[1]。监测点布设是水环境监测的重要环节,直接影响水环境监测工作效率。通常情况下,水环境监测点的数量经历由少到多、由多到少的探索过程。在一定空间范围内布设的监测点数量多,虽然能够较好地反映水环境质量状况,但需要付出较高的时间和经济成本,因此,在保证数据正确合理的基础上,优化监测点是其关键环节。通过优化设计,合理布设水环境监测点,用最少的监测点获取最具空间代表性的环境信息成为水环境监测优化布局需要解决的关键问题^[2-3]。

监测布局优化方法一般有数理统计法、网格

(网络)法和模型模拟法等^[4-5],常用的数理统计方法有定性优化法^[6-7]、水质分段法^[8]、均值偏差法^[9]、对应分析法^[10]、主成分分析法^[11]、聚类分析法^[12]、动态贴近度法^[13]、物元分析法^[14]、遗传算法^[15]等,其中聚类分析方法克服了以往依赖主观分析的缺点,提供了客观分析的方法,提高了监测点优化的准确性和合理性^[12]。

2016年抚河流域组织开展流域生态保护与综合治理,实施污染治理工程、生态保护和修复工程,流域水环境取得了明显的改善,2015年和2018年抚河流域Ⅰ~Ⅲ类水占比分别为89.9%和99.4%,优于Ⅲ类水所占比例提升近10%^[16]。抚河流域综

合治理工程涉及全流域,区域面积大,覆盖范围广,针对全流域综合治理效果的监测点布设不仅仅局限于特定工程、特定节点,需综合考虑流域综合治理水环境监测的完整性和普遍性,更加注重流域整体性和系统性^[17]。

目前针对抚河流域水环境监测长期系统布设的站点主要为水文监测站点,监测点数量较多,监测点布设重点考虑源头区、干支流控制区、支流入口处、县区界、重要水功能区和生态保护区、水源地、保护地、入河排污口等重点区域^[18],由于其监测目标明确,一定程度上忽略了流域水环境监测点布设的空间离散性,导致部分监测点集中布设在局部河段,依托现有监测点获得的监测结果难以全面反映流域整体情况。为科学有效地布设抚河流域综合治理监测点,以抚河流域为单元,开展水环境监测布局优化分析,并验证优化布局的合理性,构建抚河流域综合治理监测优化布局方案,为抚河流域综合治理效果评估、水环境保护与管理提供有效支撑,为其他流域水环境监测布局提供借鉴。

1 研究概况与方法

1.1 研究区概况

抚河流域地处东经 115°35′~117°09′、北纬 26°30′~28°50′之间,位于江西省东部。抚河主河道长 348 km,流域面积为 16 493 km²,约占全省总面积的 10%。流域内山地占 27%,丘陵占 63%,平原占 10%。抚河流域共有 2 座大型水库,分别为洪门水库和廖坊水库。洪门水库位于抚河支流黎滩河下游,距南城县洪门镇上游 2 km 处。廖坊水利枢纽位于抚河干流,地处临川区、金溪县、南城县交界处,以防洪、灌溉为主,兼顾发电、供水和航运等综合利用功能。

1.2 监测布局现状

根据抚州市水资源公报^[16],抚河流域共设置 44 个监测站点,其中 19 个监测点与水文站重合,1 个与县区界监测点重合,8 个为水厂监测点,16 个为地表水功能区监测点。

1.3 初始监测布局原则

为有效监测流域综合治理效果,结合流域水环境监测布点要求^[16],抚河流域综合治理监测布局遵循以下原则。①空间离散原则:全面对流域主要干支流布设监测点,干流相隔约 10 km 布设监测点,支流相隔约 20 km 布设监测点。②统筹兼顾原则:监测点布设既要考虑河流上游、中游和下游,同时考虑干流和支流;较小的支流可以概化,不需要布设监测点。③全面布设原则:支流在汇入干流前,布设支流监测点;多个支流汇入干流后,布设干流监测点。

④重要节点布设原则:在干支流的源头区、重要城市节点布置监测点;分别在重点生态水利工程上下游区域布设监测点^[19]。

1.4 监测布局优化原则

监测布局优化原则主要包括以下 5 个方面:在水环境特征相似监测点中,由样点监测值与该类样本平均值进行拟合程度分析,拟合程度越接近的点,误差越小,可以选择该监测点为该类的代表点。在样本较多条件下,如果相似监测点数量较多,则在该类监测点中,结合空间布局,适当增加与该类样本平均值拟合度差异较大的监测点作为该类的代表点。若两个相邻监测点具有相似水环境特征时,在上游区域,优化布局时选择接近源头点作为代表点;在中下游区域,选择下游监测点作为代表点位。若 3 个相邻监测点具有相似水环境特征时,优化布局时选择中间监测点作为代表点位。考虑监测布局水环境差异显著特征,若优化后监测点距离较近,并且同类监测点已经有代表性监测点,需增加其他类别的监测点,使监测点空间离散分布。

1.5 数据分析方法

数据分析方法包括监测点分类方法和合理性分析方法。前者采用样本聚类分析对初始监测点进行分类,采用 SPSS16.0 进行统计分析。后者根据监测点已有历史数据,对优化前后监测指标的参数均值的差异性进行检验,采用方差分析、F 检验方法和相对偏差进行合理性分析^[20-21]。

数据来源于抚河流域丰水期(2017 年 8 月)、枯水期(2017 年 12 月)和平水期(2018 年 5 月)等 3 个时段的监测数据,采用平均值进行统计分析,监测指标包括总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH₃-N)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、生化需氧量(BOD₅)和叶绿素 a(Chla)等 6 个指标。相对偏差等于优化前后特征值之差与优化前特征值之比。

2 监测布局方案

2.1 初始监测布局方案

根据监测点布设原则,抚河流域综合治理监测点共布设 40 个,覆盖了干支流、上中下游和重要节点(图 1),其中干支流源头分别在盱江、黎滩河、宜黄水、相水、宝塘水源头区布设 1 号、24 号、27 号、32 号、35 号共 5 个监测点;在廖坊水库和洪门水库下游分别布设 26 号和 12 号监测点;支流汇入干流监测点包括宜黄水 39 号和东乡水 40 号;抚州市上游、市内河段、抚州市下游分别布设 16 号、17 号和 18 号共 3 个监测点。

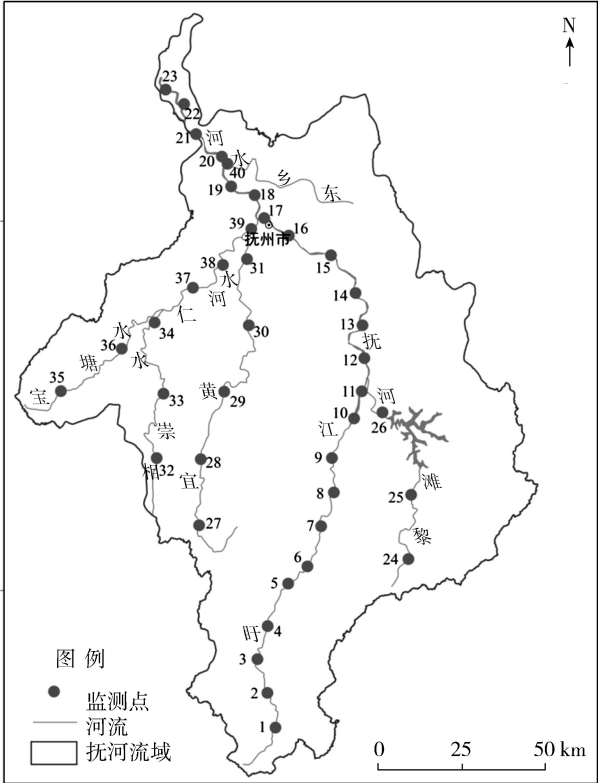


图1 抚河流域综合治理监测点初始布设

2.2 监测布局优化方案

通过对抚河流域综合治理监测点进行聚类分析,分类结果共7类,见表1。根据聚类分析结果,第六、第七类均只有1个监测点,表明该类别监测点水环境特征和其他监测点水环境特征具有显著差异,则优化后需要保留该类监测点,监测布局优化重点针对其他五类监测点。

表1 抚河流域综合治理监测布局优化

类别	初始布局	第一次优化	第二次优化
第一类	1号,2号,3号,7号,14号,24号,25号,28号,29号,32号,33号,35号,36号	2号,7号,14号,24号,28号,32号,35号	2号,24号,28号,32号,35号
第二类	4号,5号,6号,9号,10号,13号,15号,23号,26号,27号,34号	6号,9号,13号,15号,26号,34号	6号,15号,26号,34号
第三类	8号,16号,17号,18号,30号,37号,38号,39号	8号,18号,30号,38号	18号,38号
第四类	11号,19号,21号,40号	11号,19号,21号,40号	11号,40
第五类	20号,22号	22号	22号
第六类	31号	31号	31号
第七类	12号	12号	12号

根据监测布局优化原则,第一次优化监测点由最初的40个优化为24个(表1,图2),优化后监测点数量占初始布局布点的60%;第一类监测点主要分布在抚河流域干支流的源头区域,包括7个监测点;第二类监测点主要分布在干支流的中游区域,包括6个

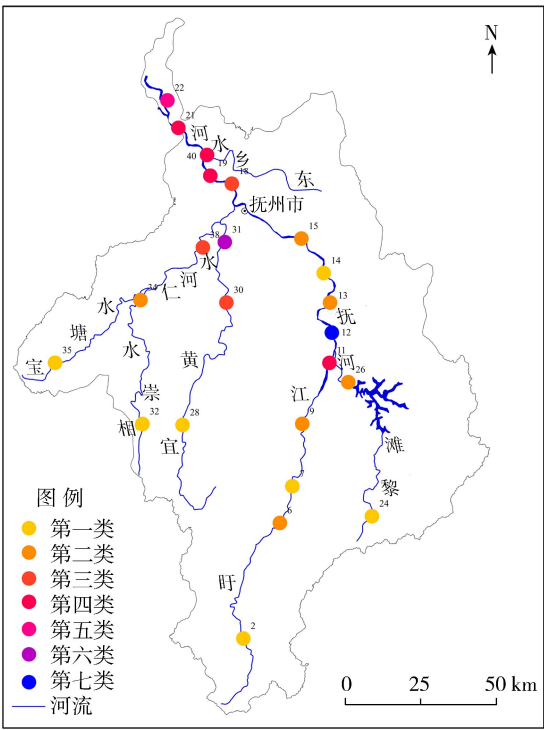


图2 第一次优化布局

监测点;第三类监测点主要分布在干支流的下游区域,包括4个监测点;第四类监测点主要分布在支流与干流交汇处或干流下游区域,包括4个监测点;第五类监测点为22号,位于干流最下游监测点。

根据第一次优化结果,相邻监测点之间水环境特征仍具有一定的相似性。在此基础上,进行第二次优化,结果如表1和图3。第二次优化布局方案共包括

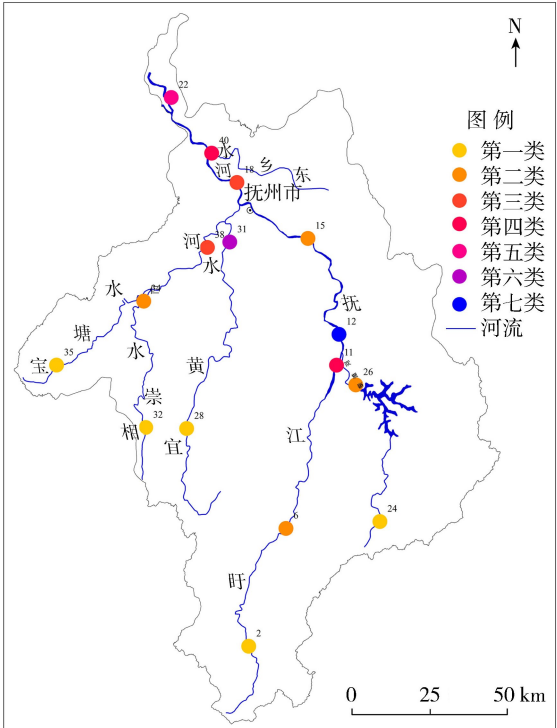


图3 第二次优化布局

16个监测点,占初始布局布点的40%,大幅度减少了水环境监测点数量,各监测点的表征含义如表2所示,其中第一类代表上游监测点;第二类代表支流和干流中下游监测点;第三类代表下游监测点;第四类代表支流下游监测点。

表2 抚河流域综合治理监测点表征含义

类别	监测点	表征含义
第一类	2号,24号,28号,32号,35号	代表抚河源头监测点,其中2号为盱江上游监测点;24号为黎滩河上游监测点,28号为宜黄水上游监测点,32号为相水上游监测点,35号为宝塘水上游监测点
第二类	6号,15号,26号,34号	代表支流和干流中下游监测点,其中6号为盱江中游监测点,15号位抚河干流监测点,26号为黎滩河下游监测点,34号为崇仁河支流相水下游监测点
第三类	18号,38号	代表河流下游监测点,其中18号位抚河下游最上面监测点,38号为崇仁河下游监测点
第四类	11号,40号	代表支流下游监测点,其中11号为盱江下游监测点,40号为东乡水下游监测点
第五类	22号	代表抚河下游监测点
第六类	31号	代表宜黄水下游监测点
第七类	12号	代表抚河干流上游监测点

2.3 优化对比分析

根据抚河流域综合治理监测布局优化结果,初始布局、第一次优化布局和第二次优化布局各类别监测点水环境特征值如表3所示。在各类别指标中,第一至第四类进行了两次优化,第五类进行了第一次优化,第六类和第七类不需要优化。

2.3.1 相对偏差分析

以相对偏差为统计特征进行分析,按照相对偏差绝对值小于0.05、0.05~0.1和大于0.1分类进行统

计。在各类优化中,第五类优化后,相对偏差大于0.1的占比超过50%;其他各类优化中,相对偏差小于0.05的占比均超过50%,小于0.1的占比均超过75%,表明各类指标优化后,各类之间的相对偏差较小,基本上保留了优化前监测点水环境监测特征。

优化后各类别各指标与初始布局各指标相比,存在一定的偏差,但偏差相对较小,其中相对偏差小于0.05的共26项,占总优化次数的54.17%;0.05~0.1的共7项,占总优化次数的14.58%;大于0.1的共15项,占总优化次数的31.25%。

在各类别各指标优化后, ρ (TP)指标相对偏差小于0.05的有3项,其他5项均大于0.1; ρ (TN)指标相对偏差小于0.05的有5项,其他3项均大于0.1; ρ (NH₃-N)指标相对偏差小于0.05的有3项,0.05~0.1有1项,大于0.1的有4项; ρ (Chla)指标仅第一类第一次优化后相对偏差大于0.05且小于0.1,其他类别优化后与优化前相比,相对偏差均小于0.05; ρ (COD_{Mn})指标相对偏差小于0.05的有4项,相对偏差在0.05~0.1有2项,有2项大于0.1,分别为-0.157和0.287; ρ (BOD₅)指标相对偏差小于0.05的有4项,相对偏差在0.05~0.1有3项,仅有1项大于0.1,为-0.173。

2.3.2 显著性差异分析

分别对初始布局、第一次优化布局和第二次优化布局的前4类监测点特征值进行方差分析,检验优化前后各类别各指标是否存在显著差异,结果如表4示。优化后,各类别各指标方差分析结果显著性检验值均大于0.05,表明优化前后各类别指标无显著差异,则优化布局监测点指标均保留了初始监测布局监测指标的基本特征。

表3 水环境监测优化前后各类别指标特征值

类别	优化分类	ρ (TP)/ (mg·L ⁻¹)	ρ (TN)/ (mg·L ⁻¹)	ρ (NH ₃ -N)/ (mg·L ⁻¹)	ρ (Chla)/ (mg·m ⁻³)	ρ (COD _{Mn})/ (mg·L ⁻¹)	ρ (BOD ₅)/ (mg·L ⁻¹)
第一类	初始	0.045	0.890	0.194	3.253	2.511	2.803
	第一次优化	0.055	0.880	0.185	3.433	2.536	2.758
	第二次优化	0.056	0.790	0.150	3.233	2.341	2.862
第二类	初始	0.054	1.131	0.212	6.317	2.954	2.636
	第一次优化	0.051	1.142	0.224	6.341	3.055	2.881
	第二次优化	0.053	1.146	0.221	6.334	2.489	2.843
第三类	初始	0.174	1.451	0.293	9.869	2.590	3.261
	第一次优化	0.212	1.402	0.288	9.900	2.683	2.970
	第二次优化	0.268	1.416	0.242	9.847	2.391	2.698
第四类	初始	0.108	2.038	0.546	12.184	2.710	3.054
	第一次优化	0.108	2.038	0.546	12.184	2.710	3.054
	第二次优化	0.107	2.374	0.634	12.427	2.840	3.008
第五类	初始	0.104	2.291	0.772	15.433	3.231	3.475
	第一次优化	0.086	1.852	0.407	15.068	4.157	3.560
第六类	初始	0.064	1.251	0.351	27.198	2.410	4.260
第七类	初始	0.177	1.732	0.360	20.058	2.954	4.333

表 4 优化后第一类至第四类监测点各指标
方差分析结果显著性检验值

指标	第一类	第二类	第三类	第四类
$\rho(\text{TP})$	0.480	0.981	0.669	0.999
$\rho(\text{TN})$	0.885	0.996	0.930	0.936
$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	0.545	0.971	0.822	0.970
$\rho(\text{Chla})$	0.928	0.996	0.997	0.969
$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	0.766	0.588	0.763	0.903
$\rho(\text{BOD}_5)$	0.974	0.773	0.496	0.857

3 讨 论

3.1 优化后水环境特征变化分析

根据抚河流域综合治理监测点优化布局方案,优化后共布设 16 个监测点,各监测点指标变化趋势基本一致, $\rho(\text{Chla})$ 由河段源头区至河段下游区,基本上呈增大趋势,同一河段相邻监测点监测指标浓度之间存在一定的差异,表明优化后各监测点水环境特征仍然存在差异,优化后各监测点可表征初始布局水环境监测点特征。

3.2 空间离散性和合理性分析

与初始监测布局相比,抚河流域综合治理优化布局方案监测点既覆盖了干支流各个河段,同时也覆盖了重要节点。抚河流域干支流中,盱江、抚河、黎滩河、相水、宝塘水、宜黄水和东乡水均布设监测点,其中 2 号、6 号和 11 号分别位于盱江上中下游;12 号和 15 号位于抚河干流;18 号和 22 号位于抚河下游;24 号和 26 号分别位于黎滩河上游和下游;28 号和 31 号分别位于宜黄水源头区和下游;32 号和 34 号分别位于相水源头区和下游;35 号宝塘水源头区;布设 38 号位于崇仁水下游;40 号监测点位于东乡水下游。重要河段、工程和城市节点监测点上,盱江、黎滩河、宝塘水、相水、宜黄水等河流源头区分别保留了 2 号、24 号、35 号、32 号和 28 号监测点;黎滩河、盱江、相水、宜黄水、崇仁水、东乡水和抚河等河流下游分别保留了 26 号、11 号、34 号、31 号、38 号、40 号和 22 号监测点;洪门水库和廖坊水库下游保留了 26 号和 15 号监测点;抚州市下游保留了 18 号监测点。

将抚河流域综合治理监测布局优化方案与现状进行对比,如果优化后监测点与现状监测点重合或接近,则优化后监测点可依托现状监测点进行布设;如果优化后监测点附近无现状监测点,则需新增布设监测点。对比发现:①抚河上游盱江上游河段保留了 2 号监测点,该监测点与东坑水文站接近,因此优化后的监测点可依托东坑水文站进行布设,不需要新增监测点;抚河上游盱江中游河段保留了 6 号监测点,该监测点与白舍水位站接近,该监测点可依

托白舍水位站进行布设,不需要新增监测点;抚河上游盱江下游河段优化后保留的 11 号监测点与南城水位站基本重合,该监测点可依托南城水位站进行布设。②抚河干流上游监测点 12 号与其他监测点存在显著差异,并且该监测点附近并无现状监测点,因此建议在抚河流域综合治理监测点布设中增加 12 号监测点;抚河干流优化后保留 15 号监测点,该监测点与浒湾水文站距离较近,因此 15 号监测点可依托浒湾水文站进行布设。③抚河下游优化后保留 18 号和 22 号监测点,其中 18 号监测点为临水汇入抚河干流后的监测点,22 号监测点为东乡水汇入抚河干流后的流域控制监测点,并且这 2 个监测点附近并无现状监测点,因此在 18 号和 22 号点位置需要增设监测点。④黎滩河源头优化后保留 24 号监测点,该监测点附近已布设龙安水文站,因此,黎滩河源头监测点可依托龙安水文站进行布设,不需要新增监测点;黎滩河下游保留 26 号为监测点,该监测点与洪门水库监测点相重合,不需要新增监测点。⑤临水干支流宜黄水、相水和宝塘水源头保留了 28 号、32 号和 35 号监测点,并且该监测点附近并无其他距离较近的现状监测点;宜黄河下游优化后保留的 31 号监测点为宜黄水与崇仁水交汇前的监测点,该点附近有临川水厂二取水口、钟岭水厂取水口和廖家湾监测点,现状监测点相对集中,可调整 31 号监测点向下游布设,依托廖家湾进行布设;相水下游优化后保留的 34 号监测点为相水与宝塘水交汇前的监测点,由于该点上游为现状舒家监测点,因此该监测点可依托舒家监测点进行布设;崇仁河下游优化后保留 38 号监测点,该监测点上游有孙坊水位站,因此该监测点可依托孙坊水位站进行布设。⑥东乡水入抚河干流 40 号监测点保留,该监测点与云山水文站比较接近,因此该监测点可依托云山水文站进行布设。

根据抚河流域综合治理监测布局优化方案,优化监测点覆盖了抚河干支流和重要节点,盱江分别在上中下游布设 3 个监测点;抚河干流、黎滩河、宜黄水、相水分别在上下游布设 2 个监测点;宝塘水、崇仁水、东乡水根据实际情况分别在源头区或下游区分别布设 1 个监测点;抚河下游段布设 1 个监测点。为避免监测点重复建设,2 号、6 号、11 号、15 号、24 号、26 号、31 号、34 号、38 号和 40 号等 10 个监测点可依托现状水文站进行布设,其他监测点需在 12 号、18 号、22 号、28 号、32 号和 35 号共 6 个监测点位置增设,进而提高抚河流域水环境监测点的空间离散性和合理性。

4 结 论

a. 抚河流域综合治理初始布设 40 个监测点,覆盖流域干支流和重要节点。分别对抚河流域综合治理监测点进行两次优化。第一次优化布局后共包括监测点 24 个,占初始布局的 60%,第二次优化布局后共包括 16 个监测点,占初始布点的 40%,提高了监测点的有效性和代表性。合理性检验结果表明,优化后各类别各指标之间相对偏差较小,优化前后各类别各指标无显著差异,基本保留了初始水环境监测布局的水环境监测特征。

b. 抚河流域综合治理监测布局优化方案监测点覆盖了抚河流域干支流各个河段以及流域重要节点,共布设 16 个监测点,其中 10 个监测点可依托该监测点附近现有监测点进行布设,其他 6 个监测点需在抚河干流上游 12 号监测点、临水汇入干流后的 18 号监测点、抚河下游 22 号监测点、宜黄水上游 28 号监测点、相水上游 32 号监测点和宝塘水上游 35 号监测点位置增设,该方案可有效节约监测时间和经济成本。

c. 为高效开展水环境监测,初始布局时,可在河流干流上中下游分别布设 2 个监测点,较大的支流在上游和下游分别布设 1 个监测点,较小的河流则在入干流处布设 1 个监测点。同时,根据干流下游监测点位置,结合实际情况布设 1 个流域控制监测点。各监测点布设时,需结合流域重要节点进行布设。

参考文献:

[1] 娄保锋,张亦驰. 长江流域水环境监测发展及展望[J]. 水利水电快报, 2020, 41(2): 54-59. (LOU Baofeng, ZHANG Yichi. Evolution review and prospect of water environmental monitoring of Yangtze River basin [J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2020, 41(2): 54-59. (in Chinese))

[2] 李蓓,李勇涛,蔡梅. 基于数据挖掘的太湖蓝藻生长水环境关键因子研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020, 48(6): 506-513. (LI Bei, LI Yongtao, CAI Mei. Research on key factors of water environment for cyanobacteria growth in Taihu Lake based on data mining [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2020, 48(6): 506-513. (in Chinese))

[3] 高凡,蓝利,黄强. 变化环境下河流健康评价研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(6): 81-87. (GAO Fan, LAN Li, HUANG Qiang. Advances on evaluation of river health in changing environments [J]. Advances in Scinece and Technology of Water Resources, 2017, 37(6): 81-87. (in Chinese))

[4] 梁素敏,周劲风,肖绮虹. 广州市流溪河水库监测布点优化研究[J]. 环境监测管理和技术, 2014, 26(4):

58-62. (LIANG Sumin, ZHOU Jingfeng, XIAO Qihong. The monitoring points optimization study of Liuxihe Reservoir in Guangzhou [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2014, 26(4): 58-62. (in Chinese))

[5] 包宝华,郭红丽,陈星辰,等. 方便水库流域水土流失状况监测分析[J]. 水利水电科技进展, 2007, 27(增刊 2): 138-141. (BAO Baohua, GUO Hongli, CHEN Xingchen, et al. The study on the optimization and adjustment of regional surface water environment monitoring sections [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007, 27(Sup2): 138-141. (in Chinese))

[6] 王晓,逢勇,沈春其,等. 太湖流域跨界水环境动态监测点位优化布局[J]. 水资源保护, 2017, 33(5): 130-137. (WANG Xiao, PANG Yong, SHEN Chunqi, et al. Layout optimization of water environmental monitoring Site of Trans-Boundary of Taihu Basin [J]. Water Resources Protection, 2017, 33(5): 130-137. (in Chinese))

[7] 陈明华,曹娟,贺美娇,等. 鄱阳湖生态环境监测点现状及优化建议[J]. 环境监测管理和技术, 2018, 30(5): 60-63. (CHEN Minghua, CAO Juan, HE Meijiao, et al. Poyang lake ecological environment monitoring location analysis [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2018, 30(5): 60-63. (in Chinese))

[8] 丁卫东,王中平,赵颖,等. 水质分段法优化河流监测断面及其在水功能区达标监测中的应用[J]. 中国环境监测, 2005, 21(6): 4-7. (DING Weidong, WANG Zhongping, ZHAO Ying, et al. The measure of water quality subsection in optimizing river monitoring section planes and applying to achieving standard monitoring in water function area [J]. Environmental Monitoring in China, 2005, 21(6): 4-7. (in Chinese))

[9] 姜欣. “均值偏差法”在河流水质监测断面优化中的应用[J]. 黑龙江环境通报, 2006, 30(3): 44-45. (JIANG Xin. Application of mean divagation in optimizing of river quality monitoring section [J]. Heilongjiang Environmental Journal, 2006, 30(3): 44-45. (in Chinese))

[10] 郑连臣,刘志斌,周岩,等. 基于对应分析法的地下水水质监测点优化[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2007, 26(增刊 2): 260-262. (ZHENG Lianchen, LIU Zhibin, ZHOU Yan, et al. Optimization of groundwater quality monitoring points based on correspondence analysis method [J]. Journal of Liaoning Technical University, 2007, 26(Sup2): 260-262. (in Chinese))

[11] 周密,陈龙赞,马振. 基于变权重的水质综合评价体系[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2019, 47(1): 20-25. (ZHOU Mi, CHEN Longzan, MA Zhen. Study on the comprehensive evaluating system of water quality based on variable weight [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2019, 47(1): 20-25. (in Chinese))

[12] 张伊佳,陈星,许钦,等. 太湖下游河网区水质变化特征与引水调控效果[J]. 水资源保护,2020,36(5):79-86. (ZHANG Yijia, CHEN Xing, XU Qin, et al. Characteristics of water quality change in the downstream river network area of Taihu Lake and effect of water diversion control[J]. Water Resources Protection,2020,36(5):79-86. (in Chinese))

[13] 崔海波,殷永泉,崔兆杰,等. 动态贴近度法在徒骇河干流水质监测点优化中的应用[J]. 环境监控与预警,2015,7(3):17-21. (CUI Haibo, YIN Yongquan, CUI Zhaojie, et al. Application of the dynamic similarity method in optimization of water quality monitoring sites of the mainstream of the Tuhaihe river[J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2015,7(3):17-21. (in Chinese))

[14] 甘宇,殷实,王辉,等. 物元分析法的改进及在辽河干流水质监测断面优化中的应用[J]. 环境监测管理和技术,2017,29(3):8-12. (GAN Yu, YIN Shi, WANG Hui, et al. Modification of matter element analysis and its application in optimization design of water quality monitoring section in the mainstream of Liaohe river[J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2017,29(3):8-12. (in Chinese))

[15] 徐俊,周永华,艾娇燕,等. 遗传神经网络在水质监测点优化布局中的应用[J]. 环境工程,2019,37(6):177-183. (XU Jun, ZHOU Yonghua, AI Jiaoyan, et al. Application of genetic neural network in layout optimization of water quality monitoring points [J]. Environmental Engineering, 2019,37(6):177-183. (in Chinese))

[16] 抚州市水利局. 抚州市水资源公报 2018 [R]. 抚州: (上接第 57 页)

[18] 杨立杰,邵致书,胡海雁. 沿海滩涂盐碱地的改良措施[J]. 科技创新与应用,2014(28):157-158. (YANG Lijie, SHAO Zhishu, HU Haiyan. The improvement measures of coastal tidal flat saline-alkali land [J]. Technology Innovation and Application[J]. 2014(28):157-158. (in Chinese))

[19] 张蛟,崔士友,冯芝祥,等. 气候因子和地表覆盖对沿海滩涂土壤盐分动态的影响[J]. 中国生态农业学报,2018,26(2):294-302. (ZHANG Jiao,CUI Shiyu,FENG Zhixiang, et al. Climate factors and mulching affect soil salinity dynamics in coastal areas[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2018,26(2):294-302. (in Chinese))

[20] HE B, CAI Y L, RAN W R, et al. Spatial and seasonal variations of soil salinity following vegetation restoration in coastal saline land in eastern China[J]. CATENA,2014,118:147-153.

[21] ABLIZ A, TIYIP T, GHULAM A, et al. Effects of shallow groundwater table and salinity on soil salt dynamics in the Keriya Oasis, Northwestern China [J]. Environmental Earth Sciences,2016,75:260.

[17] 朱滨,邓燕青,胡俊,等. 对长江流域水生生态监测评估的思考[J]. 人民长江,2018,49(18):6-9,32. (ZHU Bin, DENG Yanqing, HU Jun, et al. Thoughts on monitoring and assessing of aquatic ecosystems in Yangtze River Basin [J]. Yangtze River, 2018,49(18):6-9,32. (in Chinese))

[18] 长江流域水环境监测中心. 水环境监测规范: SL219—2013[S]. 北京:中国水利水电出版社,2013.

[19] 姜翠玲,王俊. 我国生态水利研究进展[J]. 水利水电科技进展,2015,35(5):168-175. (JIANG Cuiling, WANG Jun. Recent advances of ecological water conservancy in China[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2015,35(5):168-175.)

[20] 李茜,张建辉,罗海江. 区域地表水检测断面优化调整的技术方法[J]. 环境监测与预警,2012,4(1):34-37. (LI Qian, ZHANG Jianhui, LUO Haijiang. The study on the optimization and adjustment of regional surface water environment monitoring sections [J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2012,4(1):34-37. (in Chinese))

[21] 丁志雄,黄诗峰,邓炯. 流域洪灾监测评估与预警技术体系框架[J]. 水利水电科技进展,2007,27(增刊2):19-22. (DING Zhixiong, HUANG Shifeng, DENG Jiong. The study on the framework of monitoring, assessment and early warning technology system for river basin flood [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2007,27(Sup2):19-22. (in Chinese))

(收稿日期:2020-11-24 编辑:骆超)

[22] 张长宽,陈君,林康,等. 江苏沿海滩涂围垦空间布局研究[J]. 河海大学学报(自然科学版),2011,39(2):206-212. (ZHANG Changkuan, CHEN Jun, LIN Kang, et al. Spatial layout of reclamation of coastal tidal flats in jiangsu province [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences),2011,39(2):206-212. (in Chinese))

[23] 熊万英,王建. 江苏沿海滩涂可持续发展研究[J]. 国土与自然资源研究,2004(4):52-54. (XIONG Wanying, WANG Jian. Study on sustainable development of tidal flat of Jiangsu Province [J]. Territory & Natural Resources Study,2004(4):52-54. (in Chinese))

[24] 王芳,朱跃华. 江苏省沿海滩涂资源开发模式及其适宜性评价[J]. 资源科学,2009,31(4):619-628. (WANG Fang,ZHU Yuehua. Development patterns and suitability assessment of tidal flat resources in Jiangsu Province[J]. Resources Science,2009,31(4):619-628. (in Chinese))

[25] 宋翹楚. 基于 GIS 和地统计学的土壤盐分时空变异特征研究[D]. 南京:河海大学,2019.

[26] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.

(收稿日期:2021-03-30 编辑:雷燕)