

水源地突发性水污染影响与预警站选址

杨柳俊¹, 丁宏伟², 张 云¹, 徐振山², 陈永平²

(1. 江苏省水文水资源勘测局南通分局, 江苏 南通 226000; 2. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210024)

摘要:采用Delft3D软件建立长江南通河段的二维水动力水质模型,通过河段洪季和枯季的实测水位、流速、流向对模型进行验证,根据模型计算结果,在长青沙和狼山水源地上下游分别确定了2组水质预警监测站位置,在水源地上下游突发污染物质泄露事故时,能够为取水口提供2 h以上预警响应时间。

关键词:突发性水污染事件; 水质模型; 预警站; 感潮河段; 饮用水源地

中图分类号:TV675

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)09-0054-0006

Impact of sudden water pollution and site selection of early warning station in water source area

YANG Liu jun¹, DING Hongwei², ZHANG Yun¹, XU Zhenshan², CHEN Yongping²

(1. Nantong Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nantong 226000, China; 2. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210024, China)

Abstract: Delft3D software was used to establish a two-dimensional hydrodynamic water quality model of the Nantong reach of the Yangtze River, and the model was verified by the measured water level, velocity and flow direction in the flood and dry seasons of the river reach. Based on the model results, two groups of warning stations were determined at the upstream and downstream of Changqingsha and Langshan intakes respectively. In the event of a sudden leakage of pollutants in the upstream and downstream of the water source, the water intake can be provided with an early warning response time of more than 2 hours.

Key words: sudden water pollution incidents; water quality model; warning stations; tidal reach; drinking water sources area

与常规水污染事件相比,突发性水污染事件具有不确定突发性、影响范围广泛性和危害严重性等特点^[1],可能在短时间内造成水源地严重污染。

长江南通河段作为长江江苏五段河段之一,是《长江中下游干流河道治理规划报告》确定的14个重点治理河段之一。该区域上起江阴鹅鼻咀,下至徐六泾,全长96.8 km^[2]。受径流和潮汐双重作用,南通河段具有河道宽阔弯曲、汉道众多、水沙动力

条件复杂、河道冲淤多变等特点^[3]。位于南通河段主槽的狼山水源地和长青沙水源地是江苏南通地区最重要的集中式饮用水源地,日供水规模达200万t,承担着南通市几百万人口的饮用水供给。而长江南通河段上下游沿岸码头较多,航运发达,部分码头具有危险化学品转运资质,因此狼山和长青沙两大水源地始终面临较大安全风险。近年来上游发生的几次重大污染物泄漏事故对南通地区水源地

收稿日期: 2022-03-23

基金项目: 江苏省水利科技项目(2017048)

作者简介: 杨柳俊(1968—),男,高级工程师,本科,主要从事水文水资源工作。E-mail:511503538@qq.com

供水安全均造成了影响^[4],所以,加强长江南通河段对突发性水污染事件的预警响应研究就显得十分重要。

本文采用Delft3D软件建立水动力-水质模型,通过研究不同区域发生的突发性水污染事件对长青沙和狼山水源地的影响途径和时间,选址确定应对突发性水污染事件的两大水源地预警站位置,从而保证事故期间水源地取水口有充足的应急响应时间。

1 突发水污染事件设计

长江南通段潜在的重大突发性污染源主要来自危险化学品的水上运输,其中尤以港口码头装卸作业风险最大。长江南通段两大水源地上下游共有镇江港、扬州港、泰州港、江阴港、靖江港、中兴港、九龙港、如皋港、南通港和汇丰港等10个港口作业区。根据这些港口码头装卸作业物品以及与水源地距离等情况,选取4处区域作为代表,设定作为突发性水污染源发生位置。2012年2月在长江镇江段李长荣化工码头发生苯酚大量泄露事故,期间共计约46t苯酚排入江中,对下游的水源地造成了一定程度的影响。本文将该事件污染源强设定为不同区域位置的污染源强。

2 水动力水质模型

2.1 数学模型

连续方程为

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial Hu}{\partial x} + \frac{\partial Hv}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

运动方程为

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - f v + g \frac{u \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} = A_y \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + f u + g \frac{v \sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} = A_x \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

式中: ζ 为水位; H 为水深; u 、 v 为分别是 x 、 y 方向的流速分量; C 为谢才系数; t 为时间; A_x 、 A_y 分别为 x 、 y 向流速紊动扩散系数; g 为重力加速度。

污染物扩散运动方程为

$$\frac{\partial (HP)}{\partial t} + \frac{\partial (HPU)}{\partial x} + \frac{\partial (HPV)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial HP}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial HP}{\partial y} \right) + S - KP \quad (4)$$

式中: P 为为污染物浓度; S 为源项; K_x 、 K_y 分别是 x 、 y 方向的水流紊动系数。

$$K_x = 5.93 \sqrt{g|u|H/C} \quad (5)$$

$$K_y = 5.93 \sqrt{g|v|H/C} \quad (6)$$

式中, K 为降解系数,根据EPI Suite软件查询,苯酚降解系数取0.04/d。

2.2 模型计算范围

采用Delft3D水动力水质计算软件,建立长江下游大通断面至外海的水动力水质数学模型。在地形水深设置上,采用贴体正交曲线网格覆盖长江地形,网格尺度30~3 000 m。其中南通河段沿河宽网格尺度平均约200 m,拟定为污染源位置的港口码头前沿区域及江面狭窄处网格为50 m,见图1。

在边界处理上,考虑到侧壁边界对长江内水体

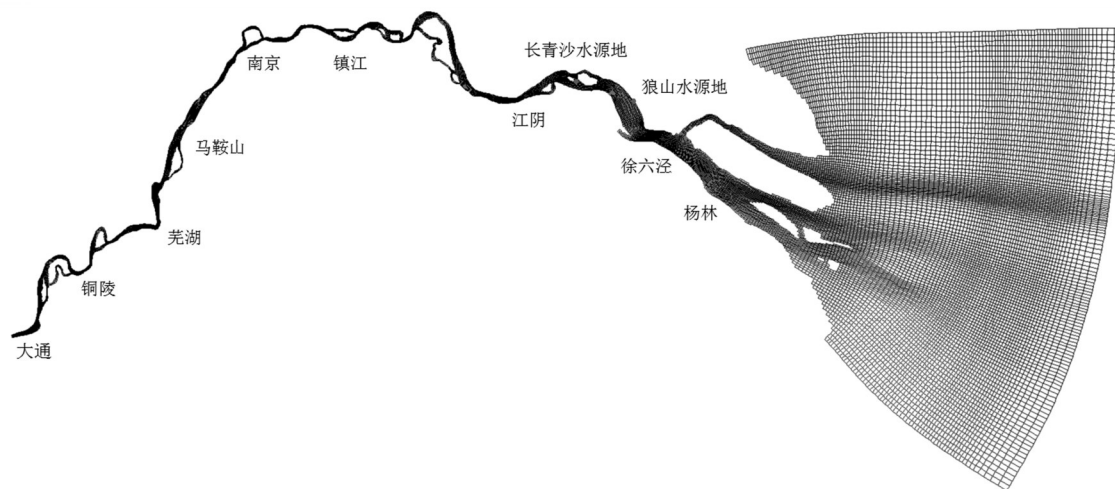


图1 计算区域网格划分

运动影响较小,因此模型的陆地边界均采用无滑移模式。上游开边界给定大通站日均实测流量,下游开边界采用东中国海模型,考虑了东中国海八大主要分潮,给定各点的潮位数据作为边界条件,点与点之间插值补充。

在突发性水污染事件发生期间,受影响区域污染物浓度要远高于其他区域,因此模型设置中将除了泄露点以外的区域初始浓度均设置为0。

2.3 模型验证

本文采用2012年、2017年长江评价段主要潮位站以及水文测验站点的流速、流向和相关潮位对模型进行了验证。验潮站及流速流向测点位置见图2。潮位、流速和流向验证情况见图3~6。



图2 长江评价段潮位、流速、流向验证站点分布

对比验证的潮位计算结果看,潮位验证较好,其潮位误差平均小于10 cm,误差在5%以内。从流速、流向验证图上看,实测与验证的结果比较一致,平均流速验证误差在0.20 m/s以内,流向验证误差在10°以内,整体误差在15%以内,符合相关规范的要求。

3 水污染物时空影响分析

枯季发生的突发性水污染事件对水源地的影响更持久,因此典型突发性事件设定在枯季、长江不同港口地点突发苯酚泄露事故,事故源强与水文条件参照2012年2月长江镇江段李长荣化工码头苯酚泄露事故事件。采用模型分别计算出在长江不同地点泄露的苯酚的时空分布情况,重点分析对长江南通段长青沙水源地和狼山水源地的影响途径和时间。

根据长江评价段不同区域码头泄露污染物时空分布分析。表明在枯季小潮期间,如果扬州港区一旦发生突发性污染事件,由于距离南通长江水源地较远,预计96 h左右污染团扩散迁移到达长青沙水源地,120 h左右污染团扩散迁移到达狼山水源地;位于长青沙水源地上游左岸的靖江港区码头一旦发生苯酚泄露,则污染团不到12 h就可以到达长青沙水源地,36 h后影响至狼山水源地;位于上游右岸的中兴港区码头区域若发生苯酚泄漏事故,由于初始污染团靠近右岸,只有在涨潮期间,污染团才会影响到长青沙水源地,对于长青沙水厂取水口的影响较小,而狼山水源地取水口水域受影响明显,预计48 h后污染团就到达狼山水源地;位于浏河沙水道的九龙港码头区域一旦突发苯酚泄露,污染团在落潮流的作用下被迅速带往下游,长青沙水源地几乎未受污染,但狼山水源地受影响较大,预计污染团24 h就能到达狼山水厂取水口。

4 预警站选址

4.1 拟定预警站位置

水源地上下游的预警监测站必须设置在污染

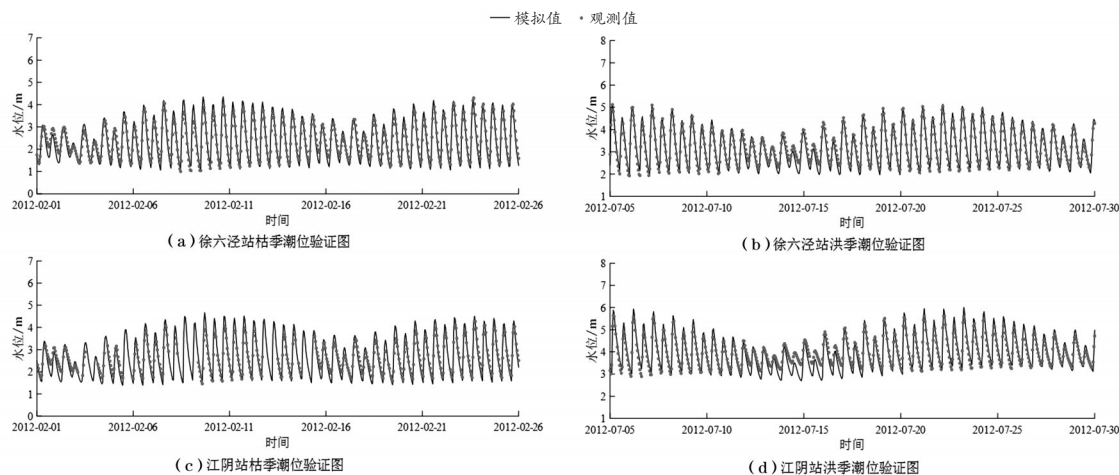


图3 主要潮位站(徐六径、江阴)洪、枯季潮位验证

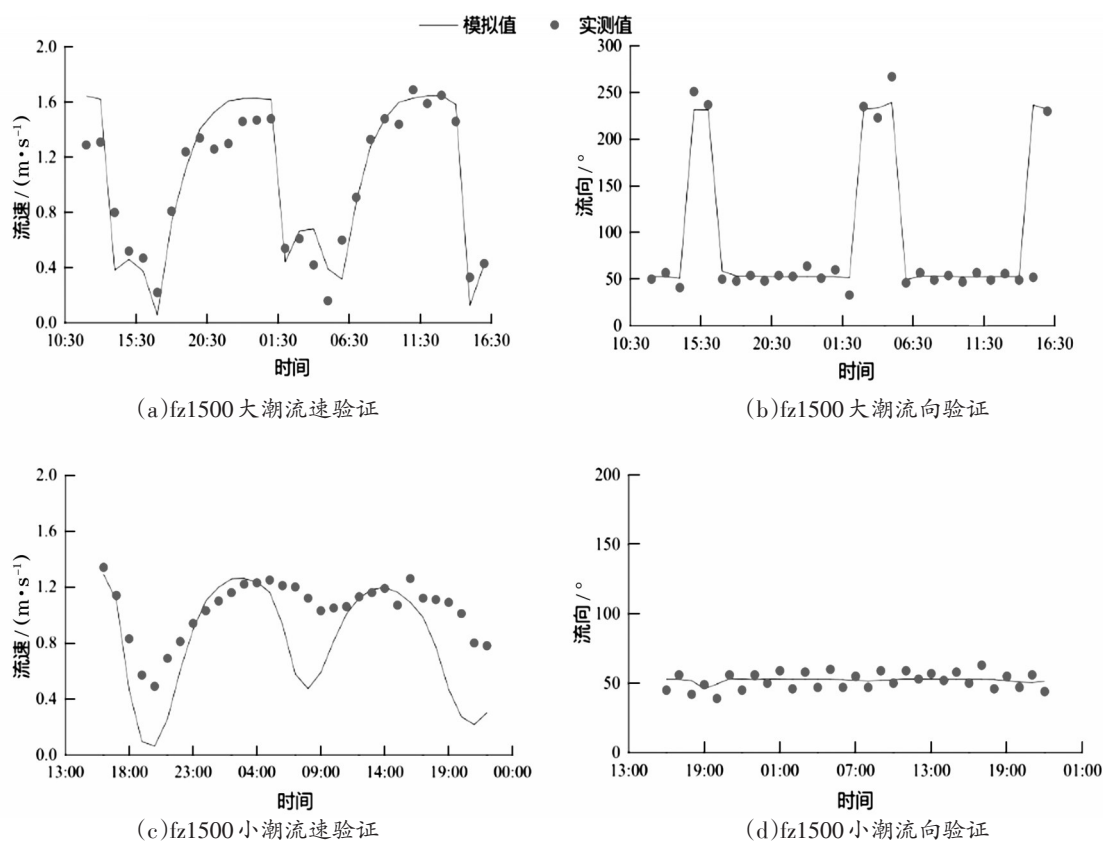


图4 水文测验测点(fz1500)洪季大、小潮期间流速、流向验证

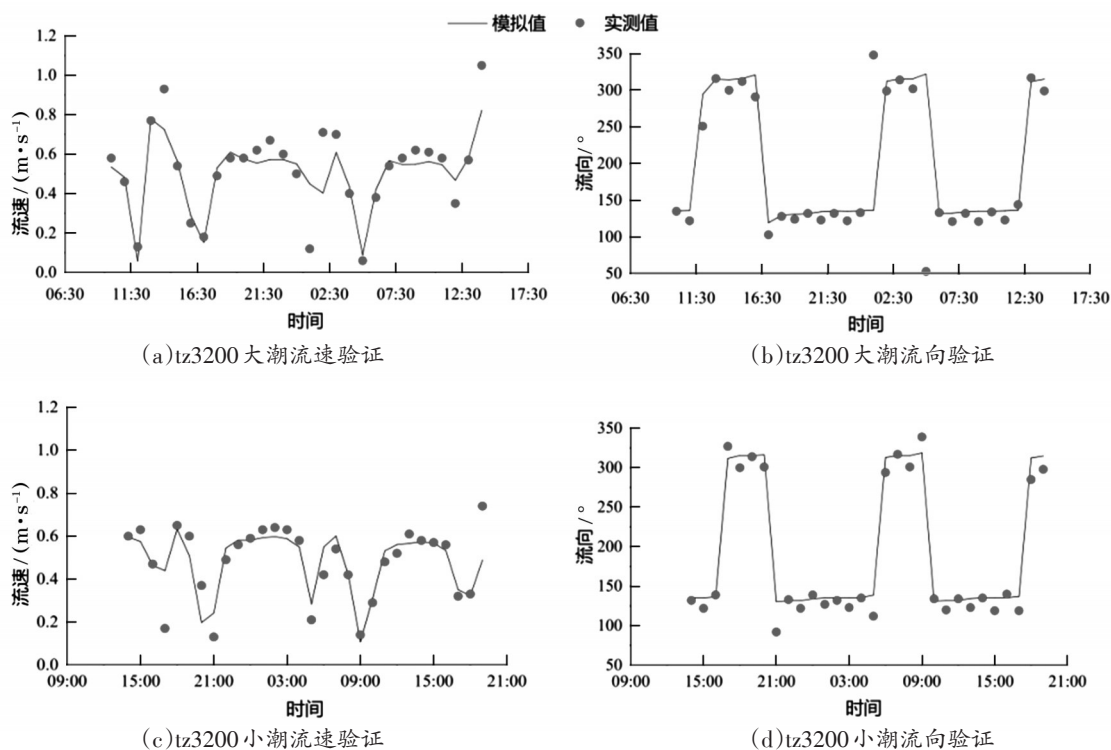


图5 水文测验测点(tz3200)枯季大、小潮期间流速、流向验证

物迁移必经之地,一旦长江发生突发性污染事件,通过自动采样或者人工连续采样监测能够及时捕捉到污染信息。同时选址不宜过分远离岸边和水

源地,尽量设置于配套设施完善的港区附近,一方面便于监测,另一方面也能够保证预警信息及时发布。

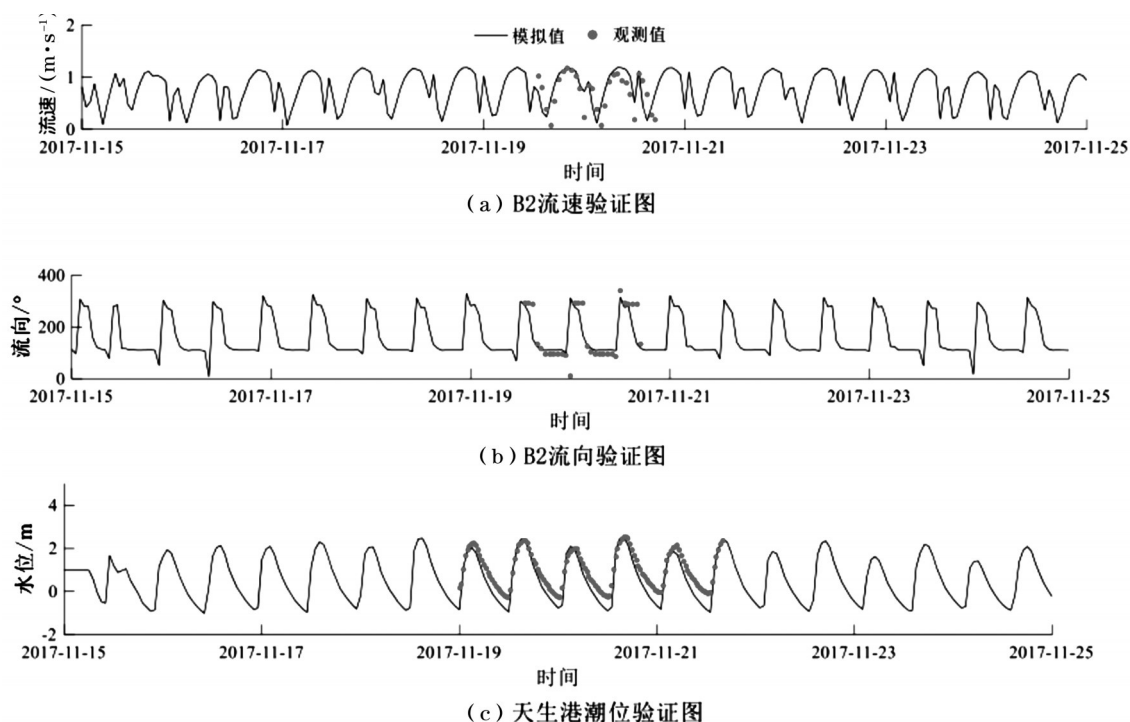


图6 水文测验测点(天生港、B2)潮位、流速、流向验证

通过模拟长江评价段不同位置港区码头泄露污染物后迁移途径及污染团浓度时空分布情况,确定预警站拟定位置。其中长青沙水源地上游预警站设置于如皋港区(东经 $120^{\circ}31'30''$,北纬 $32^{\circ}41'0''$);下游预警站设置于长青沙与横港沙之间(东经 $120^{\circ}36'53''$,北纬 $32^{\circ}04'1''$)。狼山水源地上游预警站设置于南通港下游附近(东经 $120^{\circ}48'38''$,北纬 $32^{\circ}02'27''$);下游预警站设置于营船港区下游(东经 $120^{\circ}54'54''$,北纬 $31^{\circ}54'1''$)。拟定预警站位置如图7所示。



图7 长江南通河段主要水源地上下游拟定预警站位置示意

4.2 预警监测站响应时间分析

水质预警监测站必须能够在污染物到达水源取水口之前及时检测到水质异常情况,使水源管理部门有足够的时间执行事故应急预案。表

1列出了不同径流条件下拟定预警监测站对于上下游10个港区潜在突发污染事件可以给出的预警时间。

分析比较不同径流情况下的预警时间变化,发现尽管预警站预警时间总体变化趋势是随着径流强度的增加而逐步减小,但是受潮汐往复运动、水下地形等影响,在大流量条件下仍有较长的预警时间。在拟定的4个预警站地址开展预警监测基本上均能给水源取水口管理部门提供2 h的预警时间,说明在拟定地点建设预警监测站可以有效提升应急管理水平,保障水源供水安全。

4 结 论

长江南通段主要水源地均处于开放状态,存在潜在的安全风险。为保障供水安全,及时启动应急预案应对突发性水污染事件,在狼山和长青沙水源地上下游建设水质预警监测站十分必要。

本文依托Delft3D软件建立的长江南通段水力-水质模型,较好地模拟分析了长江评价段不同港区位置突发典型水污染事件影响情况,在掌握长江评价段污染团影响时空分布特点和对狼山水源地、长青沙水源地的影响途径及时间的基础上,为长江南通段两大水源地预警监测站拟定地址。

选址确定建设的2组水源地上下游水质预警监

表 1 南通河段水源地上下游预警站预警响应时间研究分析

设定污染源位置	预警站名称	设计上边界径流情况下预警响应时间/s											
		7 000 m ³ /s	7 570 m ³ /s	8 500 m ³ /s	10 200 m ³ /s	12 770 m ³ /s	15 890 m ³ /s	33 000 m ³ /s	37 180 m ³ /s	41 770 m ³ /s	48 300 m ³ /s	56 100 m ³ /s	64 700 m ³ /s
镇江港	长青沙上游预警站	1 447	1 424	767	717	664	594	459	465	479	476	253	276
	狼山上游预警站				1 414	871	798	532	434	393	323	288	282
扬州港	长青沙上游预警站	1 453	783	868	817	766	620	569	558	498	361	274	258
	狼山上游预警站			1 565	1 433	670	620	419	393	377	312	241	227
泰州港	长青沙上游预警站	1 378	862	700	786	606	578	549	535	458	330	233	226
	狼山上游预警站	2 116	1 479	750	715	806	733	413	571	323	403	372	244
江阴港	长青沙上游预警站	614	766	761	756	320	265		262	283	227		
	狼山上游预警站	716	695	661	774	425	463	383	374	268	271	310	209
靖江港	长青沙上游预警站	322	216	213	209	204	199	185	183	182	179	179	180
	狼山上游预警站	805	799	333	343	598	293	281	277	271	181	205	232
中兴港	长青沙上游预警站	741	746	752	761	240	212	179	186	200			
	狼山上游预警站	571	686	666	616	500	672	372	378	291	395	348	170
九龙港	狼山上游预警站	261	260	259	256	254	253	144	144	144	145	148	152
如皋港	长青沙上游预警站	274	273	270	265	258	346	257	237	219	193	168	146
	狼山上游预警站	766	761	750	729	488	481	306	368	366	363	263	264
南通港	狼山上游预警站	264	262	259	254	246	237	245	236	226	213	199	201
汇丰港	狼山上游预警站	189	190	192	196	202	213	185	191	200			

测站,通过预警监测能够为取水管理部门提供2h的预警响应时间,为水源地管理部门应急管理决策提供有力支撑。

参考文献:

[1] 崔伟中,刘晨. 松花江和沱江等重大水污染事件的反思[J]. 水资源保护,2006,22(1):1-4.

[2] 邵准远. 长江澄通河段二维水动力数值模拟研究[J]. 三峡大学学报(自然科学版),2013,35(1):22-25.
[3] 苏长城,叶健. 关于长江澄通河段综合整治规划要点的思考[J]. 江苏水利,2008(7):11-12,15.
[4] 杨柳俊,丁宏伟,张云,等. 突发水污染事件对长江澄通段水源地影响——以 2012 年苯酚泄漏为例[J]. 江苏水利,2019(10):1-8.