

# 江苏水利多要素监测体系的现状与发展趋势

李 艳<sup>1</sup>, 王茂枚<sup>2</sup>, 张 颖<sup>3</sup>, 赵 钢<sup>2</sup>, 鲁程鹏<sup>1</sup>

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017;  
3. 江苏省水利工程规划办公室, 江苏 南京 210029)

**摘要:**为持续推进长江江苏段河流保护与综合治理维护工作,提升长江生态质量,根据长江江苏段的河道特点,明确了构建科学合理的长江江苏段水利多要素监测体系的必要性,从河流自然形态、水安全状况和水生态环境状况3个方面进行分析,选取了包含水位、流量等53个指标构建长江江苏段水利多要素监测体系,对监测体系中各类水利要素指标现状进行了分析,并对水利多要素监测体系的未来发展趋势进行了探讨。

**关键词:**长江江苏段; 水利多要素; 监测体系; 发展趋势

中图分类号:TV211

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)06-0022-0004

## Status and prospect of multi-element monitoring system for water conservancy in Jiangsu Province

LI Yan<sup>1</sup>, WANG Maomei<sup>2</sup>, ZHANG Ying<sup>3</sup>, ZHAO Gang<sup>2</sup>, LU Chengpeng<sup>1</sup>

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;  
2. Jiangsu Institute of Water Resources Science, Nanjing 210017, China;  
3. Jiangsu Water Conservancy Project Planning Office, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** In order to continuously promote the protection and management of river health in the Jiangsu section of the Yangtze River and improve the ecological quality of the Yangtze River, this paper clarifies the necessity of building a scientific and reasonable multi-element monitoring system for water conservancy in the Jiangsu section of the Yangtze River based on the river characteristics of the Jiangsu section of the Yangtze River. From three aspects of river natural form, water safety status and water ecological environment status, 53 indicators including water level, flow, etc. were selected to construct a multi-element monitoring system for water conservancy in the Jiangsu section of the Yangtze River. The status and future development trend of the multi-element monitoring system for water conservancy is analyzed and discussed.

**Key words:** the Jiangsu section of the Yangtze River; multi-element of water conservancy; monitoring system; development trend

## 1 概 述

河流与人类息息相关,水利要素是反映河流生

命状况的重要指标,也是针对性治理长江问题,发挥河道综合功能,促进沿江地区经济社会高质量发展的重要因素<sup>[1]</sup>。随着经济社会的发展,人类对于

收稿日期: 2022-01-23

基金项目: 江苏省水利科技项目(2018005)

作者简介: 李艳(1999—),女,硕士研究生,主要从事水资源规划与管理方面研究。E-mail:2753367681@qq.com

长江流域资源的开发利用力度在不断加大,导致了各种区域环境问题的出现,如水环境污染严重,自然灾害增加,非法采砂等,制约了区域社会经济的可持续发展。因此,开展长江流域保护,建立水利多要素监测体系,持续修复长江流域生态功能,响应国家长江大保护战略,具有重要的现实意义<sup>[2]</sup>。

江苏省是长江流域的重要省份之一,位于长江经济带下游地区。长江江苏段全长约450 km<sup>[3]</sup>,包含南京、镇江等在内的8个市区,句容、扬中等在内的15个县(市),是沿江开发的核心区域。近年来,江苏在沿江生态整治工作中,以改善长江生态质量为核心,贯彻绿色发展理念,持续推进长江流域保护工作,如江堤改造、非法采砂等专项整治行动<sup>[4-5]</sup>,取得了显著成效。但治理的同时还需加强有效管理。建立水利多要素指标体系是管理河流的有效手段之一,早期河流监测指标主要是为河流健康评价服务,多采用指示物种法,但这种方法有明显的局限性,即河流生态系统的复杂性及人水之间的互动关系不能得到有效反映<sup>[6]</sup>。如今,指标体系法是更为科学且应用更广泛的方法,构建科学合理的长江水利多要素监测体系是全面推进长江江苏段保护和综合治理高质量发展的有利工具,对保障长江江苏段沿江区域社会经济高质量发展具有重要意义。

## 2 水利多要素监测体系

### 2.1 监测体系构建原则

监测体系构建原则包含以下3个方面<sup>[7]</sup>:

(1)科学综合性。监测体系必须能从多方面反映长江江苏段的河流状况,各个指标之间要形成有机、有序的联系。

(2)客观针对性。构建长江江苏段水利多要素监测体系要符合客观实际,选取的指标须具有代表性,通过对指标的监测能针对性反映长江河流状况。

(3)简易实用性。构建监测体系所选取的指标须具有实用性,其监测方法有可操作性,易于实测者实施和获取数据资料。

### 2.2 监测体系基本框架

长江江苏段水利多要素监测体系包含目标层、准则层、指标层。目标层为长江江苏段水利多要素监测,准则层包含河流自然形态、水安全状况和水生态环境状况。长江江苏段水利多要素监测体系如表1所示。

表1 长江江苏段水利多要素监测体系

目标层A	目标层B	指标层C
漂流自然形态B1		水位C1
		流量C2
		床位粒径C3
		悬移质泥沙含量C4
		河流地形C5
		流速C6
		底质特征C7
		河道弯曲程度C8
水安全状况B2		洪水水位C9
		洪峰变化程度C10
		防洪工程措施完善率C11
		防洪非工程措施完善率C12
		河道泄洪能力C13
		超额洪量C14
		河槽容积C15
		堤防稳定性C16
		碍航滩数及密度C17
		航道水深C18
		航道安全性C19
		采砂防洪影响、通航影响及水生态影响C20
		工程安全与功效影响C21
		采砂管理能力与绩效C22
长江江苏段水利多要素监测A		总氮浓度C23
		总磷浓度C24
		叶绿素浓度C25
		营养状态指数C26
		悬浮物C27
		水质等级C28
		底泥污染C29
		pH值C30
		电导率C31
		溶解氧C32
		氯化物C33
		硫酸盐C34
		碳酸盐C35
		氰化物C36
		透明度C37
		硫化物C38
		氨氮C39
		亚硝酸盐氮C40
		硝酸盐氮C41
		挥发酚C42
		金属元素C43
		微生物群落多样性C44
		生态需水保证率C45
		床面生物膜量C46
		植物覆盖率C47
		鱼类多样性/完整性C48
		底栖生物多样性C49
		浮游藻类含量C50
		珍稀水生物存活状况C51
		景观多样性C52
		生态基流达标率C53

### 3 江苏水利多要素监测现状

#### 3.1 河流自然形态要素

(1)水位:水位观测可以为水利、防洪等提供具有单独使用价值的资料。如今长江水位观测工作趋于自动化和遥测化,目前长江江苏段常用的监测方法有浮力式水位仪、雷达式水位仪、气泡式压力水位仪等几种类型<sup>[8]</sup>,其水位经验取值为6.5~10 m。

(2)流量:长江江苏段流量监测方法目前使用较多的是多普勒超声波流量测量计<sup>[9]</sup>,其测验总历时不应少于12 min,且至少进行1个测回。长江江苏段流量均值为29 432 m<sup>3</sup>/s,主要经验范围为23 000~36 000 m<sup>3</sup>/s。

(3)床沙粒径:床沙粒径的大小会影响河流的输沙能力,沿河流断面中间到河床,粒径越大,河流输沙能力相对越小。床沙粒径通常采用网格法、面块法、横断面法等取样方法进行监测。

(4)悬移质泥沙含量:长江江苏段的悬沙浓度<sup>[10]</sup>有大小潮周期变化和季节性变化,夏季最低,冬季最高,春秋两季为过渡类型。大小潮周期变化主要是由潮动力所引起,其平均周期为14.7 d,大潮时悬沙浓度为1.4 g/L,小潮时悬沙浓度为0.5 g/L。

(5)河流地形:河流地形监测包括水下地形、沿程断面地形、滩槽地形、河道形态。长江江苏段水下地形监测方式通常采用网络RTK技术、无人船、多波束测深和DEM等综合方法技术,可快速获取水下地形数据,并直接与电脑连接,形成电子化数据,与传统的断面监测方法相比更形象直观。

(6)流速:长江江苏段流速年内变化较为明显。12月份到4月份因冰雪消融,使流速逐渐加大,4月份到9月份为多雨季节,流速也随之增加,9月到达流速峰值,平均流速大约为3.2~3.5 m/s。9月之后流速随之递减,到达12月流速最为缓慢,约为0.8~1 m/s。江苏段测速方法通常采用流速仪法,流速经验取值范围为0.8~4 m/s,汛期流速略微增大,冬季略微减小。

(7)底质特征:底质的采集根据断面深度的不同可以选择不同的采样方法。江苏段对于水深较大断面通常采用彼得森采泥器采集底质,水深较浅断面采用手工取样法。底质样品采集量应依据分析目的及分析项目而定,一般为1~2 kg(湿重),每年枯水期采样1次,必要时丰水期增采1次。

(8)河道弯曲程度:河道弯曲程度以河道形态进行衡量,长江江苏段的河道形态变化趋势已趋于

稳定性,岸线的摆动幅度大幅降低。

#### 3.2 水安全状况要素

(1)洪水水位:洪水水位是江苏省防洪监测工作的重要考核标准,其监测方法同水位观测。在洪水发生期间需要全过程记录水位变化过程,使测得的结果能完整反映水位变化的过程。长江南京段现行主要控制断面设计洪水位为10.60 m,镇江段现行主要控制断面设计洪水位为8.85 m,江阴段现行主要控制断面设计洪水位为7.25 m<sup>[11]</sup>。

(2)洪峰变化程度:洪峰变化程度以时间为横坐标,洪峰水位或流量为纵坐标绘制的洪峰过程线来进行描述。目前常用的方法是等流时线法和单位线法,而江苏省又以单位线法的应用最为广泛。

(3)防洪工程措施完善率:通过统计流域内达到防洪标准的防洪工程数量与流域内防洪工程总数进行百分比值计算,更新周期为每年1次。

(4)防洪非工程措施完善率:通过统计流域内防洪相关工作运行部门中有效运行的部门数量与流域内所有防洪相关工作运行部门的总数进行百分比值计算,更新周期为每年1次。

(5)河道泄洪能力:通过超声波技术,获取河床地形变化情况,结合水位变化过程,即可计算河槽容积,更新周期为每年1次。

(6)超额洪量:超额洪量通过监测记录保证水位及洪水超过保证水位之后的水位变化计算得到。每次洪水过程都应计算相应的超额洪量。

(7)河槽容积:通过网络RTK技术、多波束测深等技术获取河床地形变化情况,结合水位变化过程,即可计算得到河槽容积,更新周期为每年1次。

(8)堤防稳定性:堤防稳定性通过观测仪器监测垂直沉降和横向位移来衡量,更新周期为每年1次。目前长江江苏段现有堤防1 548 km<sup>[11]</sup>,通过多年整治,整体堤防防洪能力比较稳定<sup>[12]</sup>。

(9)碍航滩数及密度:通过记录江苏段浅滩、急滩、险滩等碍航河段的数量,并以此计算碍航滩密度,更新周期为每年1次。

(10)航道水深:航道水深通常指监测航道范围内最浅处从水面到底部的垂直距离,更新周期为每年1次。

(11)航道安全性:长江下游江苏段航道上起南京,下止南通,总里程约400 km<sup>[13]</sup>。江苏段航道整体安全形势比较稳定,但船舶数量多,尤其是小型船舶,几乎全天都在航行中,通航饱和度高<sup>[14]</sup>。

(12)采砂防洪影响、通航影响及水生态影响:



长江江苏段水域宽广,采砂量大,非法采砂不仅会危及堤防安全,降低防洪安全指数,还会严重影响航运安全。非法采砂作业也会破坏周边湿地,影响底栖生物生存环境,造成水生态水环境的恶化。因此,打击违规采砂活动,进行有效的采砂活动管理对保障防洪及通航安全,维护河势稳定,保护水生态环境至关重要。经过多年严格管理,实行多措并举,长江江苏段非法采砂得到了很大程度的遏制,使长江江苏段采砂管理局面稳定向好。

(13)工程安全与功效影响:近年来江苏省通过规范采砂作业管理,建立完善的采砂作业安全管理制度等措施降低了采砂工程安全影响率及功效影响率。

(14)采砂管理能力与绩效:江苏省通过建立一系列采砂的法律法规,实行统一规划和采砂许可,如今长江江苏段采砂管理能力和绩效不断提升。

### 3.3 水生态环境状况要素

水环境方面监测要素包括总氮浓度、总磷浓度、叶绿素浓度、营养状态指数、悬浮物、水质等级、底泥污染、pH、电导率、溶解氧、氯化物、硫酸盐、碳酸盐、氰化物、透明度、硫化物、氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、挥发酚、金属元素(钙、钾、钠、铜、锌、汞、锰、铁、铅、镉、硒、砷)共21种,长江江苏段对其监测频率按照《中华人民共和国水环境监测规范》(SL219—2013)拟定,即每年不少于12次。

近年来长江江苏段水生态保护工作取得了重要进步,但仍存在着一些问题,如水生态监测体制不完善,缺乏统一的水生态监测体系。因此,建立明确的监测体系对掌握长江流域水生态状况和发展趋势,为长江流域水生态保护和修复以及流域综合管理提供技术支撑具有积极意义<sup>[15]</sup>。

水生态方面监测要素包括微生物群落多样性、生态需水保证率、床面生物膜量、植物覆盖率、鱼类多样性与完整性、底栖生物多样性、浮游藻类含量、珍稀水生物存活状况、景观多样性、生态基流达标率共10种。

## 4 水利多要素监测体系发展趋势

### 4.1 监测数据信息化

随着大数据时代的到来和计算机技术的不断发展,为今后水利要素监测数据信息化提供了坚实的技术基础。监测数据信息化是指将各方面的监测数据进行融汇,形成系统、完善、连续的数据网络,这不仅有利于长江不同河段的监测信息共享,

也能通过监测数据及时发现问题,对长江流域保护有重要意义。

### 4.2 监测体系完善化

完善的监测体系对于管理长江有十分重要的作用和意义。在未来水利要素监测发展过程中,需要结合水利要素监测特点和需求,进一步明确水利要素监测内涵、监测目标和任务,完善水利要素监测体系<sup>[16]</sup>。比如针对我国水利要素监测体系中的水生态监测,由于各部门对其监测指标、频次、方法等的不统一,导致监测结果可比性较差。因此在现有监测体系的基础上,针对水生态监测指标、技术、规范不完善等问题,通过不断的探索研究,使长江监测体系朝着更科学系统化的方向发展。

### 4.3 监测方法先进化

先进的监测技术手段能使水利要素监测更加便捷化、精准化,能有效缩短监测时间,提高监测效率。在未来水利要素监测技术发展的过程中,先进化将会成为主要发展趋势。比如底栖生物多样性等要素的监测大多是采用实地取样,再带回实验室进行分析处理,大大降低了监测效率。因此积极探索遥感监测、多波束测深、图像自动识别等多种先进化监测技术的集成应用,并进行推广普及至关重要。

## 5 结 语

长江水利要素监测是长江水资源保护与管理的重要基础性工作,可以为长江治理保护工作提供依据。

本文根据长江江苏段河道现状和特点,选定关于河流自然形态、水安全状况和水生态环境状况3个准则层共53个水利要素指标,构建了长江江苏段水利多要素监测体系,并对指标现状进行了分析,全面系统考虑了长江江苏段对河道保护管理等方面要求。

在监测体系应用过程中,关于水利要素监测实操层面仍有大量后续研究工作需要深入开展,如监测数据信息共享的自动化,指标监测方法的先进化等。因此需要不断完善优化现有的水利要素监测体系,不断研究探索先进的水利要素监测技术,以推动长江保护工作更好更快地发展。

### 参考文献:

- [1] 周萍.在新的起点高质量推进江苏长江治理保护工作[J].江苏水利,2021(增刊2):1-3.

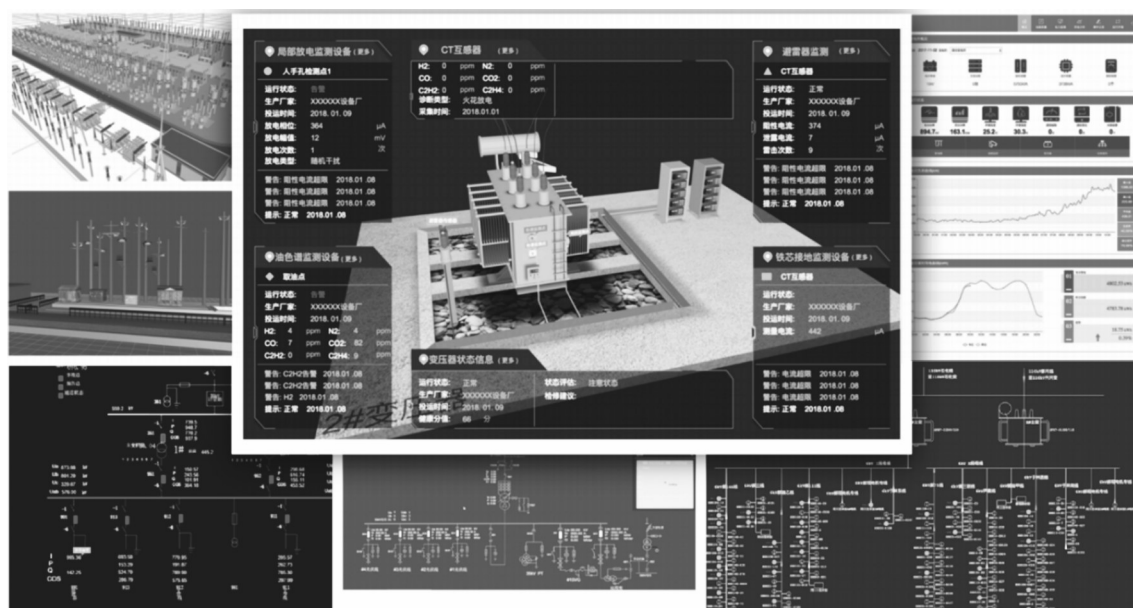


图5 统一管理平台可视化监测

- [2] 张印,陶东,邹红美. 泉眼山泵站机组在线监测系统研究与应用[J]. 中国水能及电气化,2020(12):30-33.
- [3] 张建伟,马晓君,侯鸽,等. 基于排列熵的泵站压力管道运行状态监测[J]. 振动·测试与诊断,2018,38(1):148-154,212.
- [4] 赵顺萍,肖泽,孙凝,等. 应用振动监测与故障分析诊断技术提高泵站设备管理水平[J]. 中国给水排水,2015,31(6):105-108.
- [5] 邹红美,唐鸿儒,严国斐. 大型泵站机组远程状态监测平台设计与实现[J]. 东南大学学报(自然科学版),2010,40(增刊1):348-352.
- [6] LEI Y, YANG B, JIANG X, et al. Applications of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2020(138): 106587.
- [7] RUI Z, YAN R, CHEN Z, et al. Deep learning and its applications to machine health monitoring [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2019(115):213-237.
- [8] ZHANG X, HUANG T, WU B, et al. Multi-model ensemble deep learning method for intelligent fault diagnosis with high-dimensional samples [J]. Frontiers of Mechanical Engineering, 2021, 16(2):340-352.

(上接第25页)

- [2] 刘飞,林鹏程,黎明政,等. 长江流域鱼类资源现状与保护对策[J]. 水生生物学报,2019,43(增刊1):144-156.
- [3] 宋珂,王玉李,李胤. 1999—2020年长江经济带(江苏段)生态环境变化监测及人类活动驱动分析[J]. 测绘通报,2021(2):7-12.
- [4] 廖迎娣,张欢,侯利军,等. 江苏长江岸线生态修复评价指标体系研究[J]. 生态学报,2021,41(10):3910-3916.
- [5] 陶晓东. 长江江苏段生态整治和能力提升的思考[J]. 江苏水利,2019(增刊1):37-39.
- [6] 吴道喜,黄思平. 健康长江指标体系研究[J]. 水利水电快报,2007(12):1-3.
- [7] 张矢宇,杨宇昊,汪敏,等. 长江绿色船舶评价指标体系研究[J]. 水运管理,2021,43(7):24-27.
- [8] 鞠俊,陈浩. 关于长江下游水位自动监测站管理与维护问题的探讨[J]. 中国水运·航道科技,2017(6):37-40.
- [9] 韦立新,蒋建平,曹贯中. 基于 ADCP 实时指标流速的感潮段断面流量计算[J]. 人民长江,2016,47(1):27-30.
- [10] 杨云平,李义天,胡欣宇,等. 长江口悬沙浓度变化趋势及成因[J]. 泥沙研究,2014(6):51-57.
- [11] 罗龙洪,闻云呈,袁文秀,等. 江苏省长江干流沿程洪潮设计水位数值模拟研究[J]. 海洋工程,2020,38(3):124-131.
- [12] 陆凤,李铭华,汪佛海,等. 南京长江堤防岸段沉降观测分析[J]. 江苏水利,2017(10):58-62.
- [13] 刘勇. 长江下游江苏段航道通航风险研究[J]. 中国水运,2017(9):39-40.
- [14] 窦伟,付彦超. 长江江苏段船舶横越的安全风险及操纵要点分析[J]. 交通企业管理,2021,36(6):72-74.
- [15] 刘丹,程卫帅. 长江河道采砂管理健康评价指标体系研究[J]. 长江科学院院报,2007,24(6):49-52.
- [16] 李德旺,王春芳,袁玉洁. 水生态监测国内外发展及在长江流域的应用思考[J]. 水生态学杂志,2021,42(5):1-9.