

# 基于PSR模型的 农村圩区水系连通实践与思考

管桂玲,程 咎,霍 璐,方 昊

(南京市水利规划设计院股份有限公司,江苏 南京 210022)

**摘要:**以高淳区北固村为例,开展水系连通方案设计,并构建基于PSR模型的农村水系综合评价体系分析水系连通措施的成效。评价结果显示,水系连通对农村水系水环境有较好的改善作用。

**关键词:**PSR模型;水系综合评价体系;水系连通;农村水系

**中图分类号:**TV42+3 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2023)06-0027-0005

## Practice and consideration of water system connection in rural polder area based on PSR model

GUAN Guiling, CHENG Zan, HUO Lu, FANG Hao

(Nanjing Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210022, China)

**Abstract:** Taking Beigu Village, Gaochun District as an example, the design of water system connectivity schemes are carried out and a comprehensive evaluation system for rural water systems based on the PSR model is constructed to analyze the effectiveness of water system connectivity measures. The evaluation results show that water system connectivity has a good improvement effect on the water environment of rural water system.

**Key words:** PSR model; comprehensive evaluation system of water system; rural water system

农村水系是指农村具有行洪排涝、灌溉供水、生态、养殖及景观等多功能的水网系统,不仅是农业生产的基础,也是农村水环境的重要载体<sup>[1]</sup>,可为农村发展带来社会效益、生态效益以及经济效益。高淳区北固村水系是典型的农村圩区水系,本文以南京市高淳区北固村水系为研究对象,分析水系连通的成效,以期为农村水系管理与整治提供决策依据。

## 1 研究区概况

高淳区北固村水系周边人口较多,村内以水产

养殖和农田种植为主,因而密布的水塘沟渠主要功能为引水养殖、农业灌溉、调蓄排涝等。现状水系存在较多断头和卡点,经污染源调查分析,北固村污染源主要包括水产养殖污染、农业种植面源污染、生活污染等,水系受人为影响较大。

## 2 评价体系建立与评价

### 2.1 评价体系建立

为更好反映农村水系系统与人类活动、社会环境等相互关系和反馈机制,对农村水系进行综合性

收稿日期:2022-11-29

基金项目:南京市水务科技项目(202005)

作者简介:管桂玲(1987—),女,高级工程师,硕士,主要从事水利工程、环境工程规划设计工作。E-mail:hmily123ggl@

163.com

评价,选择“压力-状态-响应”(pressure-state-response, PSR)模型构建农村水系综合评价体系。该模型由加拿大学者 Rapport 等<sup>[2]</sup>于 1979 年提出,包括压力、状态和响应 3 个子模型。结合北固村水系实际,遵循科学性、区域性、代表性、时效性、可操作性、直观性等原则<sup>[3-4]</sup>,选取评价指标。

(1)压力子模型:主要体现外界条件对水系的影响。北固村水系周边人口众多,存在水产养殖等面源污染,因此,压力子模型主要考虑水系所遭受的污染压力,选取表征水系中,干流污染压力的负载度和表征干流污染压力的居民点核密度 2 个指标进行评价。

(2)状态子模型:主要体现水系在外界条件影响下的状态。农村圩区水系在外界污染压力的影响下,可以通过水体水质和生物情况反应健康状况,因此,选取高锰酸盐指数、氨氮、溶解氧、可见光植被指数 4 个指标进行评价。

(3)响应子模型:主要体现水系某一因素变化后系统在功能上的响应。结合水系连通设计方案,选取水系连通度、淤泥厚度 2 个指标进行评价。

## 2.2 指标获取与计算方法

### 2.2.1 负载度

负载度是指与某一干流相连的所有河流的连接度倒数之和,而连接度指的是某一河流与其他河流相交的数量。这个指标反映了 2 个方面的信息,第一是若与某一干流相连的河流数越多,则该干流所承受的污染负载越大;第二是某一干流相连的河流的连接度越小,则该干流污染负载越大,相连河流的连接度最小为 1,即仅仅与该干流相连,相连河流的污染只能排入该干流。

北固村水系污染主要为水产养殖污染直接排入相连的支流,支流再流入相连的干流,将计算出的负载度与各河沟的氨氮质量浓度做相关性验证,得出  $R^2=0.683$ ,并对周边其他类似村庄河网做负载度与氨氮质量浓度相关性检测, $R^2$ 皆大于 0.6,可见负载度与氨氮质量浓度有较强相关性。

### 2.2.2 居民点核密度

居民点核密度的分析原理是计算空间中某类要素分布的密度,并生成光滑过度的数据栅格,能准确反映某类要素在空间中的分布情况,以及其他要素与这类要素的相对距离。北固村居民点核密度反映的是研究区居民点的密度分布情况,这能在一定程度上代表水系受人为干扰的强度,具体计算则在 ARCGIS 中实现,将北固村各个居民点按平面

几何形态的质心拟合成一个点,并以其面积为点的权重。

### 2.2.3 高锰酸盐指数、氨氮、溶解氧

高锰酸盐指数、氨氮、溶解氧 3 个指标数据通过采样检测得到。具体采样检测流程则是先依据采样河道分布、宽长度等情况设置采样点,较长的河道每隔 50 m 设置一个采样点,再通过不同检测方法测量各个指标,得出的结果录入 ARCGIS 数据库分析计算,其中高锰酸盐指数使用酸性法检测,氨氮则使用纳氏试剂分光光度法检测,溶解氧的测定则采用碘量法。

### 2.2.4 可见光植被指数

可见光植被指数是反映植被生长情况的重要参数之一。数据获取主要通过无人机采集影像做遥感反演,采集影像应选择阴天(减少水面反射影响),采集后计算各类可见光植被指数,并与现场采集的水体叶绿素质量浓度及周边草地生物量做双重验证分析,分析结果表明可见光植被指数与水体叶绿素质量浓度及周边草地生物量相关性较高。

### 2.2.5 水系连通度

水系连通度是指某一干流与其他所有河流的通达程度<sup>[5-6]</sup>。通达度越大,表示该干流在河网中的便捷程度越大,也就是该干流在河网中易于转移与传输,计算公式如下:

$$T_i = \frac{2(D_{M,i} - 1)}{n - 2}$$

$$D_{M,i} = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ji}}{n - 1} \quad (1)$$

式中: $T_i$ 为水系连通度; $n$ 为河网中河流的个数; $D_{M,i}$ 为河网中某一干流距其他所有河流的平均最短拓扑距离; $d_{ji}$ 为  $j$  空间到  $i$  空间的最短拓扑距离。

### 2.2.6 淤泥厚度

数据获取主要采用测杆法现场测量。

## 2.3 现状情况模拟与分析

将北固村水系概化为拓扑系统,外围边界和内部末端拓扑节点的实际意义较低,而干流的拓扑计算结果实际意义较大,因此 PSR 模型主要计算北固村水系中的干流。为了更直观反映北固村圩区水系各个干流的情况,对各项指标进行分级处理,即标记为高、较高、中等、较低及低。模拟北固村水系现状干流情况计算各评价指标,结果数据见表 1 及图 1。

(1)压力子模型中,由图 1(a)可知,负载度较大

表 1 北固村水系干流现状PSR模型各指标计算结果

ID	河道名称	压力层			状态层			响应层	
		负载度	居民点核密度	高锰酸盐指数	氨氮	溶解氧	可见光植被指数	通达度	淤泥厚度
4	南北大沟	1.325 (较低)	0.000005 (较低)	3.9	0.078	4.93	0.371 (较低)	1.693 (高)	0.19 (较低)
5	张唐大沟	4.199 (高)	0.00001 (较高)	13.2 (超标)	0.279	8.17	0.416 (中等)	1.500 (较高)	0.21 (中等)
6	西村沟	4.583 (高)	0.000008 (中等)	15.7 (超标)	0.266	7.91	0.373 (较低)	1.693 (高)	0.18 (较低)
10	杭村沟	1.958 (中等)	0.000009 (较高)	6.1	0.157	5.96	0.478 (较高)	1.375 (较高)	0.25 (较高)
11	A沟	0.750 (低)	0.000002 (低)	2.8	0.142	4.88	0.433 (中等)	1.222 (较高)	0.21 (中等)
13	B沟	1.700 (较低)	0.000004 (低)	6.3	0.225	5.78	0.319 (较低)	1.100 (较低)	0.15 (较低)
17	C沟	0.458 (低)	0.000009 (中等)	1.7	0.091	3.18	0.312 (低)	1.269 (中等)	0.14 (低)

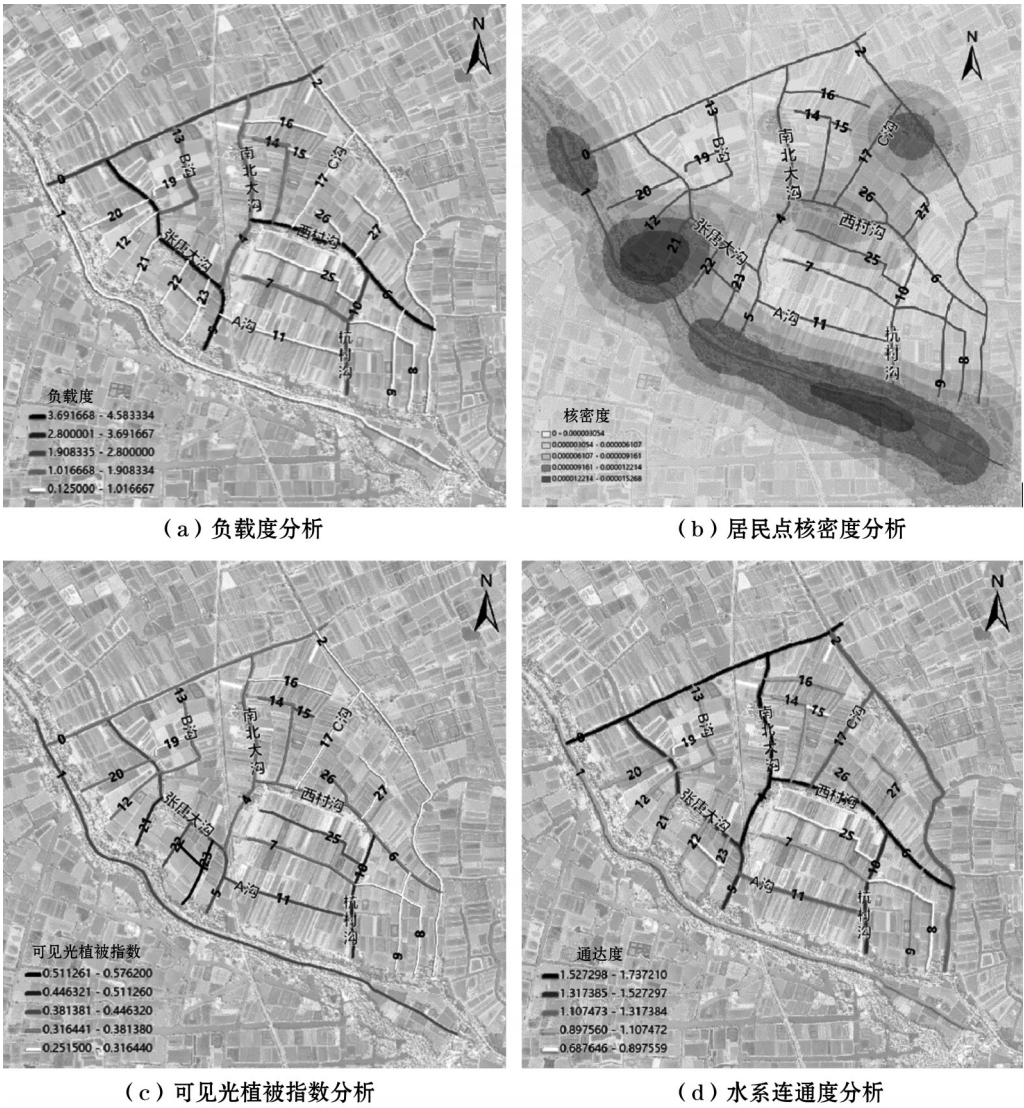


图 1 北固村水系干流现状PSR模型各指标分析



的河道为西村沟、张唐大沟、杭村沟,其汇入的支沟数量较多,受蟹塘养殖尾水污染压力较大;由图1(b)可知,居名点核密度较大的河道为张唐大沟、杭村沟、C沟、西村沟,其承担附近居民生产生活污染压力较大。综上,外界对张唐大沟、西村沟、杭村沟等主要干沟水系系统的干扰较大。

(2)状态子模型中,水体高锰酸盐指数、氨氮及溶解氧指标均处于较高水平的河道为张唐大沟、西村沟,超标因子为高锰酸盐指数;由图1(c)可知,可见光植被指数较高的河道为杭村沟、A沟、张唐大沟,说明这些河道的水体富营养化程度较高。综上,杭村沟、张唐大沟、西村沟等河流系统在外界压力干扰下状态较差。

(3)响应子模型中,由图1(d)可知,西村沟、南北大沟、张唐大沟、杭村沟的通达度都处于较高或高水平,其他干流则是中等或较低水平。通达度越高的河道,接入的支沟越多,疏散污染压力的能力越大。当河沟承载的污染压力大于河沟疏散污染能力与自净能力之和时,河沟将水质恶化,可能伴随富营养化。杭村沟、A沟、张唐大沟淤积较深,这些河道的内源污染风险较大。

对比PSR模型评价结果和调研踏勘后获得的北固村水系状况基本一致,说明模型评价结果具有合理性和科学性,可作为北固村现状的量化表述,同时北固村水系连通后,也可借助该模型模拟整治后效果,对比连通前后变化,提供措施供决策参考。

### 3 水系连通方案设计及评价

#### 3.1 方案设计

根据资料梳理与现场踏勘,北固村水系共有18处不连通,依照水系尽量就近连通的原则<sup>[7-10]</sup>,通过局部开挖、建设管涵沟通、清淤疏浚等措施打通断头河,填埋无处连通、且无必要功能或景观改造价值的死水塘,最终达到消除无法与其他水源交换、不能流动的死水。理想化连通后的水网如图2所示。

#### 3.2 模拟评价

依据构建的基于PSR模型的农村水系综合评价体系,模拟分析水系连通措施后的水系状况,可见光植被指数、淤泥厚度通过主成分分析法,以其因子贡献率来确定各变量之间的描述性函数关系,来达到仿真模拟的效果,模拟结果及其对比见表2。

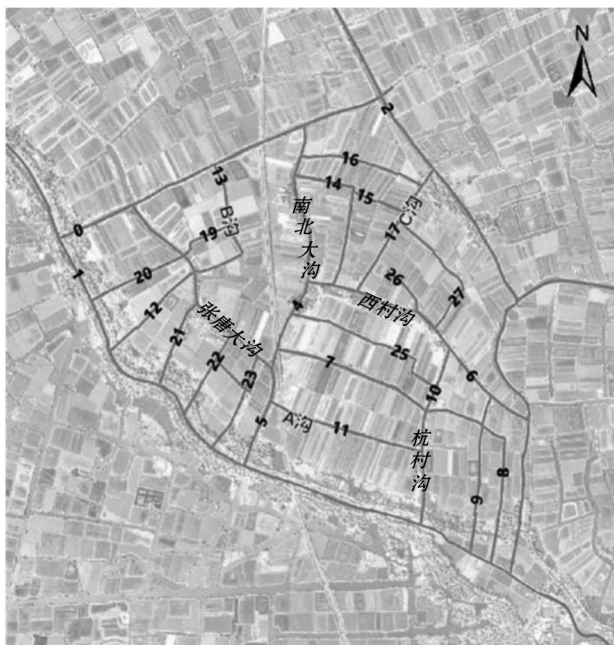


图2 北固村连通后河网

通过模拟后的结果可以发现,负载度相比治理前有大幅下降,局部河沟有小幅上升,说明治理后的北固村水系各河沟污染负载更为均衡;可见光植被指数比治理前有大幅下降;通达度大幅上升,淤泥厚度大幅下降。模拟结果表明,水系连通措施对农村圩区水系水环境有所改善。

## 4 结 语

本文构建了基于PSR模型的农村圩区水系综合评价体系,通过北固村水系现状模拟可知,该模型评价结果具有合理性和科学性,可对农村水系现状进行量化表述。北固村水系设计方案的模拟结果表明,水系连通措施可以有效改善农村水系水环境。

#### 参考文献:

- [1] 李原园,杨晓茹,黄火键,等.乡村振兴视角下农村水系综合整治思路与对策研究[J].中国水利,2019(9):29-32.
- [2] 王青,李富程,李国蓉.基于“压力—状态—响应”框架的长江上游防护林健康评价[J].长江流域资源与环境,2010,19(8):953-958.
- [3] 高凡.高强度人类活动区河流健康评价与调控研究:以渭河关中段河流系统为例[D].西安:西安理工大学,2012.
- [4] 孟宇.辽宁省农村水系连通评价体系研究与应用[J].水利规划与设计,2022(4):13-15.

表2 北固村水系连通后评价结果对比

河道名称	负载度		可见光植被指数		通达度		淤泥厚度	
	治理前	治理后	治理前	治理后	治理前	治理后	治理前	治理后
南北大沟	1.325	1.408 ↑	0.371	0.053 ↓	1.693	2.112 ↑	0.19	0.025 ↓
张唐大沟	4.199	3.200 ↓	0.416	0.059 ↓	1.500	1.936 ↑	0.21	0.027 ↓
西村沟	4.583	2.700 ↓	0.373	0.053 ↓	1.693	1.743 ↑	0.18	0.023 ↓
杭村沟	1.958	1.542 ↓	0.478	0.068 ↓	1.375	1.743 ↑	0.25	0.033 ↓
A 沟	0.750	0.783 ↑	0.433	0.062 ↓	1.222	1.315 ↑	0.21	0.027 ↓
B 沟	1.700	0.533 ↓	0.319	0.045 ↓	1.100	1.341 ↑	0.15	0.019 ↓
C 沟	0.458	1.033 ↓	0.312	0.044 ↓	1.269	1.291 ↑	0.14	0.018 ↓

- [5] 孙健. 环度分析方法在辽河铁岭段水系形态指标评估中的应用[J]. 水利技术监督, 2021(4): 62-25.
- [6] 那娜. 辽河流域平原区河网水系连通性评价[J]. 水利技术监督, 2019(2): 193-196, 246.
- [7] 刘克强, 李敏. 平原河网地区圩区建设与规划的几点思考[J]. 水利规划与设计, 2009(5): 20-21, 54.
- [8] 王延贵, 陈康, 陈吟. 水系连通机理及其影响因素[J].

- 中国水利水电科学研究院学报, 2021, 19(2): 191-200.
- [9] 高学平, 胡泽, 闫晨丹, 等. 考虑水力连通性的水系连通评价指标体系构建与应用[J]. 水资源保护, 2022, 38(2): 41-47.
- [10] 代稳, 王金凤, 陕振沛, 等. 荆南三口流域水系连通性变化对水资源开发利用的影响[J]. 水资源保护, 2021, 37(6): 114-120.

(上接第26页)

### 3 结 语

(1)水稻直播模式降低了乳熟期前水稻株高而后期与移栽稻差异不显著。蓄水控灌株高大于浅水勤灌, 其中移栽稻控灌高蓄处理显著高于浅水勤灌。

(2)栽培模式对水稻重心高度和重心比例有极显著影响。直播稻植株重心高度和重心比例高于移栽稻。与浅水勤灌相比, 移栽稻蓄水控灌处理重心比例升高, 而直播稻则呈下降趋势。控灌低蓄处理能降低直播稻和移栽稻的倒伏风险。茎粗和茎干抗折力增加是倒伏指数降低的主要原因。浅水勤灌模式下, 直播稻较移栽稻更容易倒伏。

(3)与对照相比, 蓄水控灌和直播稻模式均降低了水稻产量, 其中直播稻高蓄模式的产量最低。相同灌溉模式下, 直播稻产量均低于移栽稻。因此在追求产量的前提下, 直播稻蓄水控灌高蓄模式应

谨慎采用。

#### 参考文献:

- [1] 冯延江, 王麒, 赵宏亮, 等. 我国水稻直播技术研究现状及展望[J]. 中国稻米, 2020, 26(1): 23-27.
- [2] 郭相平, 甄博, 王振昌. 旱涝交替胁迫增强水稻抗倒伏性能[J]. 农业工程学报, 2013, 29(12): 130-135.
- [3] 郭相平, 蒋新会, 袁静. 蓄水控灌模式下水稻耗水量及灌排定额初探[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(1): 65-67.
- [4] 瀬古秀生, 佐本啓智, 鈴木嘉一郎. 水稻の倒伏に及ぼす二, 三栽培条件の影響(II)[J]. 日本作物学会紀事, 1959, 27(2): 173-176.
- [5] 甄博, 郭相平, 陆红飞, 等. 旱涝交替胁迫对拔节期水稻生长和土壤氧化还原电位的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(10): 42-47.
- [6] LUO X, WU Z, FU L, et al. Evaluation of lodging resistance in rice based on an optimized parameter from lodging index[J]. Crop Science, 2022(62): 1318-1332.