

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.23.014

基于人口分散度的农村生活污水处理模式选择

陈娟¹, 王超¹, 王沛芳¹, 胡斌¹, 李现瑾², 尤国祥¹

(1. 河海大学 环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 江苏中车环保设备有限公司, 江苏 常熟 215557)

摘要: 农村生活污水治理是改善农村人居环境、推进乡村振兴战略实施的重要环节。针对目前农村生活污水处理模式(集中式、相对集中式、分散式)选择时存在盲目性、缺乏科学性等关键瓶颈问题,首次提出了农村人口居住分散度(D_r)理论,利用人口居住离散距离、区域最大人口密度等参数建立了人口分散度 D_r 计算模型,并以行政区域为分级单元,确立了基于人口分散度的农村生活污水处理模式选择方法和适用范围。同时,进一步以上海崇明区S镇为应用案例,经计算S镇乡镇级、村级和村民小队级 D_r 分别为3.63、2.00~5.13和7.92,结合集中处理 D_r 经验值和工程分析,最终确定S镇不宜采用全镇集中式生活污水处理模式,应以村或村民小队为单元选择相对集中式或分散式处理。

关键词: 分散度; 最大人口密度; 农村生活污水; 集中处理; 分散处理

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)23-0081-08

Choice of Rural Domestic Sewage Treatment Mode Based on Dispersion Degree of Rural Resident

CHEN Juan¹, WANG Chao¹, WANG Pei-fang¹, HU Bin¹, LI Xian-jin²,
YOU Guo-xiang¹

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu CRRC Environment Equipment Co. Ltd., Changshu 215557, China)

Abstract: Domestic sewage treatment in rural areas is an important part to improve rural living environment and promote implementation of rural revitalization strategy. Aiming at the current key bottleneck problem such as blindness and lack of scientificity existed in selection of rural domestic sewage treatment mode (i. e., centralized, relatively centralized and decentralized), a theory of dispersion degree of rural resident (D_r) was proposed for the first time. The theory constructed a D_r calculation model by using some parameters such as the resident population dispersion distance and the maximum population density, and it established a D_r -based method for choosing the treatment mode of rural domestic sewage and defining its application range by using administrative region as a hierarchical unit. Meanwhile, the D_r of S town in Chongming District, Shanghai, at town level, village level and group level were calculated to be 3.63, 2.00-5.13 and 7.92, respectively. Combined with the experience value of centralized treatment D_r and engineering analysis, it was eventually determined that S town was

not suitable to adopt the centralized domestic sewage treatment mode in the whole town, while relatively centralized or decentralized treatment should be adopted at the village level or group level.

Key words: dispersion degree; maximum population density; rural domestic sewage; centralized treatment; decentralized treatment

农业农村农民问题是关系国计民生的根本性问题,农村水环境污染治理是生态文明建设和乡村振兴战略实施的核心内容之一。工业废水和城市生活污水治理取得了显著成效,农村生活污水对水环境污染的影响日益突出^[1]。由于农村生活污水产污点多源分散、排水脉冲性强、污染物浓度波动性大^[2],对农村生活污水的治理存在很多难点。目前,人们在农村生活污水处理技术研发和工艺优选方面已开展了一系列科学研究^[3-5]。然而,在选择农村生活污水处理模式(集中式、相对集中式、分散式)时,大多仅凭主观感觉笼统地对处理模式分区分类,或仅以村庄人数、村镇间距等为依据,简单、粗放地进行确定^[6],具有盲目性和随意性。

农村人口居住地域广,分散性、无序性特征突出,如何科学确定农村生活污水处理模式成为亟需解决的问题。农村生活污水收集处理模式受人口因素(人口数量、人口居住分散或聚集程度等)、自然因素(地形地势、土壤地质条件、沟河水系等)、建设因素(处理设施规模、管网建设情况、道路阻隔等)、经济因素(建设投资、运行维护成本等)等多种因素影响^[7]。其中,人口居住聚集或分散程度直接关系管道铺设距离、污水处理设施建设规模、建设资金投入等,是农村生活污水处理模式选择时需要考虑的首要因素^[8]。对于人口分散居住区,如果采用集中生活污水处理方式,不仅会造成经济上的浪费^[9],更重要的是管道在远距离输送污水时漏、堵、淤、扁、断、陷、蚀、破、错等问题不断出现^[10],导致相当一部分生活污水在输送过程中进入地下水、河水和土壤,造成更大的污染问题。对于人口密集居住区,生活污水必须集中处理,不仅能保证污水处理效果稳定,而且节省土地资源和经济成本。因此,对一个地区选择污水处理方式时,应首先评估该区域人口居住的分散或集中程度,然后对自然因素、建设因素、经济因素等综合分析,择优选择可行、经济、适用的污水处理模式^[7],而不能盲目随意、没有科学依据地确定采用分散处理还是集中处理。

多年来,广大科研人员一直在寻求具有科学性、

理论性和实际工程可操作性的人口居住分散程度界定方法,但到目前为止,还没有比较好的理论描述和模型方法。为此,笔者在总结国内外先进经验的基础上,提出了农村人口居住分散度理论,建立了人口居住分散度计算模型,明确了基于人口分散度的农村生活污水处理模式选择方法流程,并以上海崇明区S镇为例进行应用计算和工程分析,旨在为农村生活污水处理模式选择提供理论支撑和科学依据。

1 农村人口居住分散度的概念和内涵

农村人口居住分散是由于历史原因,农民种地就近需要,农村几户或十几户形成的点域式居住区。这种居住方式有利于对农田耕作和管理,逐渐形成居住区与农田区耦合交叉的斑块式农村景观格局和分散式村落结构。与农村分散式居住形成鲜明对比,城镇区域由于土地资源限制,单位面积上的居住人口密度很高,人口集中式分布特征突出。这种差异直接决定居民生活污水的收集和处理模式。对于人口居住密集度很高的城镇区,生活污水必须通过管道收集和集中处理;而过度分散的农村生活污水,只能采用分散处理。尽管人们在社会学等领域研究中提出了一些衡量人口分布的度量方法和理论,如人口密度、人口聚集度、中心-外围理论等^[11-12]。然而,由于我国农村区域人口分布差异显著、小范围聚集与分散交错共存,这些传统指标和理论方法在农村生活污水处理模式选择时并不适用。

农村人口居住分散度(D_r)是针对农村生活污水处理模式选择而提出的概念,反映了以农业产业为主体的广大农村地区人口居住的空间分布格局和分散程度,也可以作为度量指标间接表征农村居民生活污水排放的分散状况。农村人口居住分散度与人口居住密集度成反比,在一定取值范围内,分散度越大,说明人口居住越分散,居民生活污水更适合分散式处理;相反,分散度越小,说明人口居住越密集,更适合集中式处理。需注意,人口居住分散度的大小可对农村生活污水处理模式的选择进行方向性指导,并不能作为唯一指标和依据来决定处理模式。在实际工程应用中,建议以人口居住分散度作为评

估因素对处理模式进行首级遴选,然后综合比选区域自然、建筑、经济等因素,最终优选确定适宜区域特征的农村生活污水处理模式。同时,人口居住分散度并不能直接决定污水处理设施的规模,处理规模是由区域内人口总数和产污量来决定的。

2 农村人口居住分散度计算模型

2.1 计算模型的构建方法

农村人口居住分散度计算模型的构建方法如图1所示(图中虚线内灰色部分为规划行政区; R :人口相对最集中区域范围半径; n :从最集中区向外扩展的第 n 个同心圆; nR :第 n 个同心圆的半径)。选择居民相对集中区域的中心位置为圆心(拟建污水处理设施与居民最近点),以人口相对最集中区域范围 R 为半径,构建逐级向外扩展的同心圆,同心圆最外层应包括所有规划行政区的农村范围。从地图和地方统计调查资料中确定每个同心圆之间的人口数,并以同心圆平均位置距中心点(圆心)的距离来表征概化居民离中心点的长度(人口居住离散距离)。当同心圆内有超出规划行政区域外的部分,按照规划区所占同心圆的比例(即规划行政区占所在同心圆的百分比)来计算。

$$D_r = \frac{\frac{R}{2}P_1S_1 + (R + \frac{R}{2})P_2S_2 + (R + R + \frac{R}{2})P_3S_3 + \cdots + [(n-1)R + \frac{R}{2}]P_nS_n}{\frac{1}{2}RPS_1} = \frac{\sum_{i=1}^n (2i-1)P_iS_i}{PS_1} \quad (1)$$

式中: D_r 为分散度,无量纲; P_i 为第 i 区域内人口数,人; S_i 为第 i 区域内人口居住区占比,%; P 为整个区域内的人口总数,人。

D_r 值越大,人口分布越分散;值越小,人口分布越集中。如果将 D_r 倒至分母,也就是人口居住密集度。由式(1)可知, $D_r \geq 1$,等于1为最分散区(人口密集区),建议全部管网收集,建设集中式污水处理设施对该区域生活污水进行处理;在综合考虑区域地质条件、河流分布、工程投资测算、经济成本等因素下,根据数据资料统计得出集中处理 D_r 的经验值为2;如果 $1 < D_r \leq 2$,也可以采用集中式污水处理设施;而大于2时,更适宜采用相对集中式或分散式处理。集中处理经验值的具体量值取用,要综合调查规划区域农村的实际情况来确定。比如,我国南方水网地区,由于河道、公路、桥梁、涵闸众多,地下水位高,污水管道收集系统建设和运行管理等复杂,这些区域决定建设污水处理设施的集中处理经验值

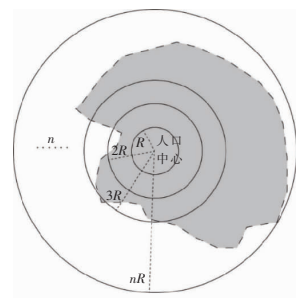


图1 农村人口居住分散度计算模型的构建

Fig. 1 Construction diagram of calculation model for residential dispersion of rural population

假设,各同心圆之间规划区域内人口呈现均匀分布,那么人口居住点与距中心点的距离(人口居住离散距离)相乘就表达了概化人口分散量纲。如果规划区内所有人口均居住于第一个同心圆内,那么人口居住密集量纲最大、分散量纲最小。将概化分散量纲与最大密集量纲相除,就得到了无量纲人口居住分散度。

2.2 模型计算公式的推导

基于上述人口居住分散度计算模型构建方法,相关计算公式推导见式(1)。

取值范围要比北方平原地区小些。

2.3 计算模型中半径 R 的确定

人口居住分散度的计算式虽然与人口相对最集中区域范围半径 R 没有直接关系,但划分规划行政区的同心圆个数与选定半径 R 有密切关系。因此,如何选定半径 R 对人口居住分散度计算有重要影响。对于不同地区人口相对最集中区的人口密度是不相同的,其数值大小取决于镇乡村等级、所在地区土地资源、人们生活习惯和社会经济发展水平等。

具体确定半径 R 时,主要是利用规划区域有农村人口居住分布状况的地图,统计每个区域内每户居民宅基地的平均占地面积、公共区域的平均占地面积和每户居民的平均常驻人口数,按照式(2)计算区域最大人口密度(MPD)。假设,整个区域内的全部人口以最大人口密度分布方式居住到核心区,即将规划行政区内全部常驻人口与当地人们居住最大人口密度相除,可得到全部人口以最集中模式居

住到核心区时的占地面积,按照式(3)进一步计算得到人口相对最集中区域范围的半径 R 。

$$\text{MPD} = \frac{P_m}{A_r + A_p} \quad (2)$$

$$R = \sqrt{\frac{P}{\text{MPD}\pi}} = \sqrt{\frac{P(A_r + A_p)}{P_m\pi}} \quad (3)$$

式中: R 为人口相对最集中区域范围, km; A_r 为区域内每户居民宅基地的平均占地面积, km^2 ; A_p 为公共区域的平均占地面积, km^2 ; P_m 为每户居民的平均常住人口数, 人; MPD 为区域最大人口密度, 人/ km^2 ; P 为整个区域内的常住人口总数, 人。

3 基于 D_r 的农村生活污水处理模式选择

3.1 农村污水处理模式选择方法的适用范围

人口居住分散度理论提出的初衷,即为人口居住较为分散、村镇分界不清、水系地形条件复杂、生活污水处理模式选择困难的农村地区提供科学指导。一方面避免大规模管网集中收集带来的污水漏损问题,减少建设和运维资金投入;另一方面通过分区分级选择充分提高各级终端污水处理设施的利用率,避免形成农村生活污水“晒太阳”工程。在人口居住分散度模型构建方法中,人口居住离散距离可理解为拟建污水处理设施至居民住宅的距离(管道铺设长度),因此,该计算模型对于管道难以穿越的山区峡谷地区并不适用。鉴于以上原因,基于人口居住分散度的农村生活污水处理模式选择方法,主要适用于城镇化率低、人口居住分散无序、管网建设不完善的平原丘陵农村地区。

例如,我国南方平原河网区地势平缓、水系复杂、农村人口居住分散无序、地下水位高、多数村庄管网尚未建设,在进行生活污水处理模式选择时,应用人口居住分散度理论较为合适。由于南方河网区居民一般傍水而居,利用人口居住分散度模型计算较大的区域,实施分散式污水处理设施就地处理、就近排放容易实现,具有可行性。相反,我国北方部分农村耕地面积大、人口密度大、居住比较集中、村界清晰,可以不以人口居住分散度作为首级遴选指标,在自然条件、建设条件和经济水平允许的情况下,即可直接选择单村或联村集中处理。

3.2 农村生活污水处理模式选择方法

按照我国国情和现行的以行政区域为单元的农村生活污水处理实施办法,将人口居住分散度在农村生活污水处理模式选择中应用时,应以县级行政

区(市辖区、县、自治县、旗、自治旗等)、乡镇级行政区(街道、镇、乡、民族乡、县辖区等)、村级行政区(村、庄、社区、新村、嘎查等)、村下一级(村民小队、村民小组等)为单元进行分散度分级计算,分级分区对生活污水处理模式和污水处理设施建设位置进行首级遴选,初步确定每一行政级的生活污水处理模式选择方向,然后再对自然、建筑、经济等因素进行综合比选,最终确定最适宜的处理模式。其中,基于人口居住分散度的农村生活污水处理模式选择方法流程如图2所示。

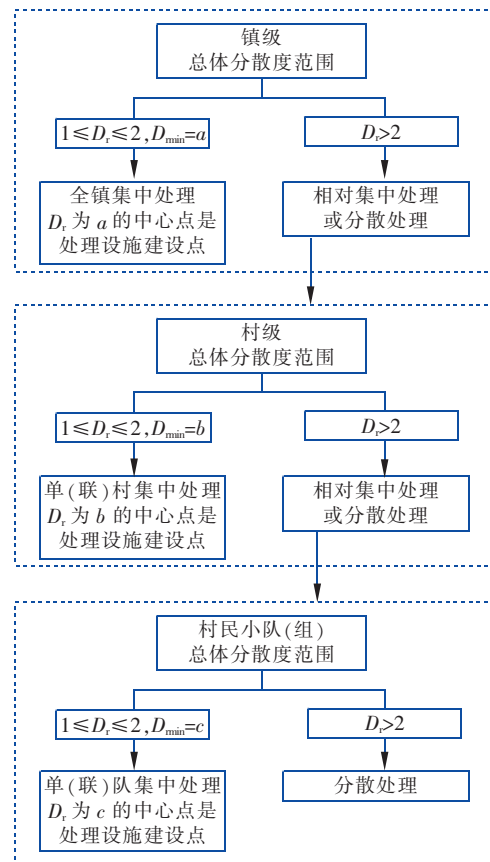


图2 基于人口居住分散度的农村生活污水处理模式选择方法流程

Fig. 2 Determination of rural domestic sewage treatment mode based on dispersion degree of rural resident

假设对于某个镇,首先在该镇选择人口相对集中的若干个中心点(建议选择1~5个中心点为宜),分别以这些人口聚焦中心点为圆心按照式(1)计算得到若干个分散度 D_r 值,掌握全镇总体分散度数值范围。如果总体分散度均不超过集中处理 D_r 经验值2,则初步认为该镇适宜采用生活污水全域管网收集、集中处理,而分散度最小(D_{\min})的中心点

可作为污水处理设施建设的备选位置;如果全镇总体分散度均大于集中处理经验值 2,则不适宜全镇集中处理,应选择相对集中或分散处理模式。如县域人口也相对分散,在对县级农村生活污水处理模式做进行首级遴选时,参照镇级方法计算县域分散度,进而给出处理模式初步指导意见。

对于不宜采用全部集中处理的镇,应以村级为行政单元对生活污水处理模式做进一步选择,确定方法与镇级类似。对于地理位置相对独立的单个村,首先以该村若干个人口聚集中心点为圆心,计算全村总体分散度数值范围。如果总体分散度均不超过集中处理 D_r 经验值 2,则建议采用全村集中处理模式, D_{\min} 的中心点为污水处理设施建设备选位置;如果全村总体分散度大于集中处理经验值 2,则不适宜全村集中处理,建议选择相对集中或分散处理模式。对于村界不清、村民居住交错或协同管理的多村片区,应以联村为单位按照上述单村方法计算联村分散度。

对于不宜采用集中处理的村或联村,以村下一级(如村民小队或村民小组)为单位进一步计算。以某个或某几个村民小队(联队)为例,分别以队内或联队内若干个居住集中点为中心,计算居住分散度范围,如总体分散度均不超过集中处理经验值 2,则对该村民小队(联队)推荐采用单队(联队)集中处理,分散度最小的中心点为污水处理设施布设备选位置;如该村民小队(联队)的总体分散度 > 集中处理经验值 2,即推荐采用分散处理。

4 基于 D_r 的污水处理模式计算案例

上海崇明区是我国农村生活污水处理起步较早和治理需求较为强烈的地区。该区作为典型的南方平原河网区,区域内河网密布、地势平缓、人口居住分散无序、村级管网建设不完善,符合基于人口居住分散度的农村生活污水处理模式选择方法的适用范围。运用农村人口居住分散度理论和计算模型,以上海崇明区 S 镇作为计算案例,以不同行政区域为单元,逐级确定 S 镇的生活污水处理模式选择方向。

4.1 镇级人口居住分散度及污水处理模式

根据 S 镇规划区域人口居住分布图和统计资料,每户居民宅基地的平均占地面积为 85.23 m^2 ,公共区域平均占地面积为 42.61 m^2 ,因此满足居民生活保障和居住习惯的户均实际占地约 127.84 m^2 ;相对集中居住区域内平均户数为 111 户,平均

人数为 256 人,每户平均人数为 2.3 人。按式(2)计算,得到 S 镇的最大人口密度为 $17\,991 \text{ 人/km}^2$ 。

按照式(3)的计算方法,假设 S 镇区域内全部常住人口(37 876 人)采用集中居住模式,需要的占地约为 2.11 km^2 ,计算得到 R 为 0.82 km 。由于 S 镇人口相对集中的地点仅有一处(镇区中心),因此选择镇区中心为同心圆的圆心,以 0.82 km 为半径,将全镇区域划分为 9 个同心圆(见图 3)。S 镇各划分区域内人口分布情况如表 1 所示。

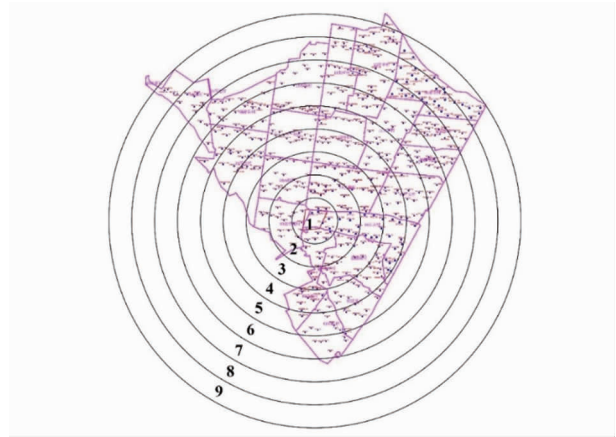


图3 上海崇明区 S 镇全镇区域划分图

Fig. 3 Regional division of the S town in Chongming District, Shanghai

表1 上海崇明区 S 镇 9 个区域人口及 S_i 分布情况

Tab. 1 Population and S_i distribution in 9 districts of the S town in Chongming District, Shanghai

区域	户数	P_i	区域面积/ km^2	行政区面积/ km^2	$S_i/\%$
1	559	1 304	2.11	2.11	100
2	1 342	3 089	6.34	5.90	93
3	1 819	4 140	10.56	8.32	79
4	2 521	5 758	14.79	11.21	76
5	2 689	6 062	19.01	11.44	60
6	2 403	5 469	23.24	2.89	12
7	1 745	3 819	27.46	8.29	30
8	1 624	3 590	31.69	6.79	21
9	727	1 619	35.91	3.95	11

将表 1 中相关数据代入式(1),计算得到 S 镇全镇人口居住分散度为 3.63,大于集中处理经验值 2,表明在首级遴选层面该镇不宜采用全部集中处理模式,建议采用相对集中或分散处理模式,具体选用模式需要在村级水平进一步计算确定。

4.2 村级人口居住分散度及污水处理模式

在村级水平上,S 镇 1[#]~5[#]村地理位置相对独

立,而6[#]~9[#]村的村民居住交错形成联村片区。因此,S镇在村级水平上可分1[#]村、2[#]村、3[#]村、4[#]村、5[#]村、6[#]~9[#]联村共6个区域,分别对6个分区进行分散度计算。S镇下属村的平均常驻人口约为2 000人,根据统计数据得到村级最大人口密度约为7 200人/km²。假设村区域内全部人口采用集中居住模式,需要的占地约0.28 km²,按照式(3)计算得到村级人口居住相对最集中区范围半径为0.30 km。

由于S镇6个村级分区的人口居住集中点均仅有1处,分别以6个人口居住集中点为核心圆点,以0.30 km为半径R进行村级多中心区划分(见图4)。1[#]村、2[#]村、3[#]村、4[#]村、5[#]村、6[#]~9[#]联村的人口分散度计算结果分别为3.32、3.38、4.21、3.50、2.00、5.13。其中,5[#]村的人口分散度等于集中处理经验值2,说明在不考虑其他区域因素情况下该村更适合集中处理;而1[#]村~4[#]村和6[#]~9[#]联村的人口分散度均大于集中处理经验值2,说明这些村不适宜采用集中处理,建议采用相对集中或分散处理,具体处理模式需要以村下一级(村民小队或村民小组)为单元进一步计算确定。

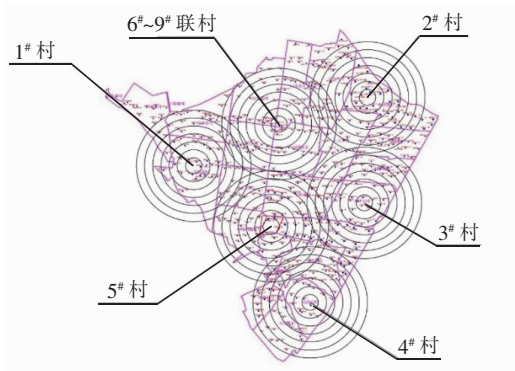


图4 上海崇明区S镇村级多中心区域划分图

Fig. 4 Multi-center area division at the village level of the S town in Chongming District, Shanghai

4.3 村民小队级人口居住分散度及污水处理模式

以S镇2[#]村为例,该村①~④联队有88户共231人,因①~④联队居民交错居住,以联队为单元进行分散度计算。根据统计数据计算,①~④联队的最大人口密度为7 100人/km²。假设该联队区域内全部人口采用集中居住模式,需要的占地约为0.03 km²,按照式(3)计算得到村级人口居住相对最集中区范围半径为0.10 km。选取①~④联队人口居住集中点为中心区域,以0.10 km为半径R对该联队进行区域划分(见图5),得到10个同心圆。

该联队各划分区域人口分布情况如表2所示。将表2中相关数据代入式(1),计算得到人口居住分散度为7.92,远大于集中处理经验值2。可见,该联队人口十分分散,每个处理点户数和人口数较少,建议优选分散式处理。

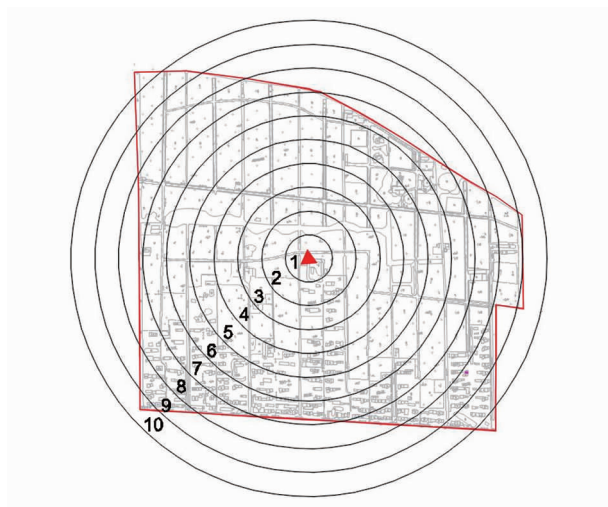


图5 ①~④联队区域划分图

Fig. 5 Regional division map of ①~④ group

表2 ①~④联队人口及S_i分布情况

Tab. 2 Population and S_i distribution in ①~④ group

区域	户数	P _i	区域面积/km ²	行政区面积/km ²	S _i /%
1	7	16	0.03	0.03	100
2	7	18	0.10	0.10	100
3	9	21	0.19	0.19	100
4	12	32	0.32	0.32	100
5	16	42	0.47	0.43	100
6	12	34	0.66	0.44	100
7	10	25	0.88	0.46	95.6
8	9	23	1.13	0.36	78.7
9	5	13	1.41	0.29	40.3
10	3	8	1.73	0.17	13.2

5 基于D_r的农村生活污水处理模式分析

5.1 D_r在农村生活污水处理模式选择中的优势

目前,国内外关于农村生活污水处理模式选择尚无指南、规范或方法可循。根据最新文献资料^[7],推荐纳入城镇污水管网集中收集处理的指标建议如下:自然因素,距离城镇管道末梢距离<3 km、坡度为顺坡或平坡、3 km内河道数量≤1条;建设因素,建有相对完善的城镇管网、污水处理规模≥50 m³/d、无二级以上道路阻隔;经济因素,收集处理和运维资金充裕。以上建议中仅对污水集中收集处理的影响因素进行了初步界定,相关界定指标仍具

有主观性,且未考虑人口分散程度这一重要影响因素。由于实际工程条件的复杂性,多种影响因素通常同时存在、相互交织,从单因子角度分析结果很难确定污水处理的具体模式。人口居住分散度理论与计算模型的建立为农村生活污水处理模式提供了首级遴选量化指标和方向性指导,有利于推进污水处理模式选择方法体系的建立。

5.2 基于 D_i 的生活污水处理模式选择工程分析

S镇地处崇明区西部,地势整体东高西低,镇政府设立在5#村,镇政府(即人口聚集中心)距离崇明区城镇污水管网末梢约17 km,且地形存在逆坡。因此,S镇的生活污水不宜通过超长距离、逆坡输水纳入崇明区城镇管网集中收集,应以S镇为独立单元进行污水处理模式分析。

S镇镇级人口分散度首级筛选表明,该镇不宜全域集中处理。进一步进行自然、建筑、经济等区域因素综合分析,如在镇中心建污水处理厂,S镇居民距该污水厂的平均距离约为5.0 km(大于集中收集适宜距离3 km),且管网路径上存在多处地形高点或逆坡,需穿越6条河道和2条二级道路(因建筑因素不宜集中处理),管网铺设长度、难度和经济投入均较大。因此,多因素综合比选后确定S镇不宜选择全镇集中处理模式。

村级人口分散度遴选结果表明,5#村适宜采用集中处理,其余村或联村不宜集中处理。以此初选结果为指导,结合区域因素进一步确定各村处理模式。以5#村为例,该村居民距拟建污水处理设施位置的平均距离约为1 km(在集中收集适宜距离以内),且管道铺设路径多为顺坡或平坡,仅跨越1条小型沟河,村内无二级以上等级道路,自然和建筑因素均适宜集中处理。因此,确定该村可选择单村集中处理模式。再以2#村为例,人口分散度初选结果为相对集中式或分散式处理,尽管该村居民距拟建污水处理设施位置的平均距离(约为2 km)在适宜集中收集距离内,但村内有4条河流和1条二级道路阻隔,因此确定2#村应以村民小队级为单位进行相对集中或分散处理。

2#村①~④联队人口分散度选择结果显示,该联队适宜选择分散式处理。考虑该联队区域范围内有2条河流、1条二级道路阻隔、污水处理量较小,综合确定该联队采用最小单元为 1 m^3 左右的小型污水处理设施进行单户或联户分散处理。

6 结论

① 针对目前农村生活污水处理模式选择时存在盲目性、缺乏科学性的关键瓶颈问题,开创性地提出农村人口居住分散度理论,建立了农村人口居住分散度计算模型,并以行政区域为分类单元,确立了基于人口居住分散度的农村生活污水处理模式选择方法及其适用范围。

② 以上海崇明区S镇作为应用对象,利用农村人口居住分散度模型,计算得到S镇镇级人口分散度为3.63,村级在2.00~5.13之间,村民小队级为7.92,结合区域自然因素、建筑因素等综合分析,表明S镇生活污水处理模式不适宜采用全镇集中处理,应以村或村民小队为单元选择相对集中式或分散式处理。

参考文献:

- [1] 杨林章,施卫明,薛利红,等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践——总体思路与“4R”治理技术[J]. 农业环境科学学报,2013,32(1):1-8.
Yang Linzhang, Shi Weiming, Xue Lihong, et al. Reduce - retain - reuse - restore technology for the controlling the agricultural non-point source pollution in countryside in China: general countermeasures and technologies [J]. Journal of Agro - Environment Science,2013,32(1):1-8 (in Chinese).
- [2] 李发站,朱帅. 我国农村生活污水治理发展现状和技术分析[J]. 华北水利水电大学学报:自然科学版,2020,41(3):74-77.
Li Fazhan, Zhu Shuai. Development status and technical analysis of rural domestic sewage treatment in China [J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power; Natural Science Edition, 2020,41(3):74-77 (in Chinese).
- [3] 范理,李坤,王亚娟,等. 农村生活污水收集与处理模式的探讨[J]. 环境工程,2014,32(S1):169-171,209.
Fan Li, Li Kun, Wang Yajuan, et al. Study on domestic wastewater collection and treatment modes in rural areas [J]. Environmental Engineering, 2014, 32(S1):169-171,209 (in Chinese).
- [4] 齐瑶,常杪. 小城镇和农村生活污水分散处理的适用技术[J]. 中国给水排水,2008,24(18):24-27.
Qi Yao, Chang Miao. Technical applicability for decentralized sewage treatment in small towns and rural

- areas[J]. *China Water & Wastewater*, 2008, 24(18): 24–27 (in Chinese).
- [5] 水落元之, 小柳秀明, 久山哲雄, 等. 日本分散型生活污水处理技术与设施建设状况分析[J]. *中国给水排水*, 2012, 28(12): 29–33.
- Motoyuki Mizuochi, Hideaki Koyanagi, Tetsuo Kuyama, *et al.* Analysis of decentralized domestic sewage treatment technologies and facilities in Japan[J]. *China Water & Wastewater*, 2012, 28(12): 29–33 (in Chinese).
- [6] Wang Y S, Zhang P, Li D L, *et al.* Analysis on selection of domestic sewage treatment method in rural area[J]. *Agriculture Science & Technology*, 2011, 12(4): 597–599.
- [7] 付浩, 闫海, 邱长浩. 人口密集地区农村生活污水治理若干问题探讨[J]. *给水排水*, 2020, 46(9): 9–14.
- Fu Hao, Lü Hai, Qiu Changhao. Discussion on several problems of rural domestic sewage treatment in densely populated areas[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2020, 46(9): 9–14 (in Chinese).
- [8] 姜珊, 李想, 姜彩红, 等. 农村生活污水处理的现状分析和对策建议[J]. *安徽农学通报*, 2019, 25(23): 122–125.
- Jiang Shan, Li Xiang, Jiang Caihong, *et al.* Analysis of the selective factors of rural domestic wastewater treatment process [J]. *Anhui Agriculture Science Bulletin*, 2019, 25(23): 122–125 (in Chinese).
- [9] 田泽源, 吴德礼, 张亚雷. 美国分散型生活污水治理的经验与启示[J]. *给水排水*, 2017, 43(5): 52–57.
- Tian Zeyuan, Wu Deli, Zhang Yalei. Experience and revelation of decentralized domestic wastewater treatment in America [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2017, 43(5): 52–57 (in Chinese).
- [10] 刘扬阳, 李星, 杨艳玲, 等. 长距离输水管道水质变化及管壁生物膜净水效能研究进展[J]. *中国给水排水*, 2016, 32(2): 19–23.
- Liu Yangyang, Li Xing, Yang Yanling, *et al.* Advances in researches on water quality change in long-distance raw water transmission system and purification efficiency of pipeline biofilm [J]. *China Water & Wastewater*, 2016, 32(2): 19–23 (in Chinese).
- [11] 段辉. 人口分散与集中的理论极限及现实均衡[J]. *技术经济与管理研究*, 2017(4): 97–101.
- Duan Hui. The limit and equilibrium of population concentration and diffusion [J]. *Technoeconomics & Management Research*, 2017(4): 97–101 (in Chinese).
- [12] 刘睿文, 封志明, 杨艳昭, 等. 基于人口集聚度的中国人口集聚格局[J]. *地理科学进展*, 2010, 29(10): 1171–1177.
- Liu Ruiwen, Feng Zhiming, Yang Yanzhao, *et al.* Research on the spatial pattern of population agglomeration and dispersion in China [J]. *Progress in Geography*, 2010, 29(10): 1171–1177 (in Chinese).



作者简介: 陈娟(1984–), 女, 山东冠县人, 博士, 副教授, 主要研究方向为农村水环境综合治理。

E-mail: chenjuanmn@hhu.edu.cn

收稿日期: 2020–09–12

河长制, 河长治