

海岛污水处理厂中水回用环境可行性分析

——以平潭金井湾污水处理厂为例

李青生， 吴耀建， 欧阳玉蓉， 侯建平， 王 翠， 姜 尚， 陈斯婷

(国家海洋局第三海洋研究所,福建 厦门 361005)

摘 要:基于污水处理厂的特点和区域的规划资料,本研究利用经验系数法、湖泊完全混合衰减方程和二维扩散方程解析解近似方程等方法,分析了平潭金井湾污水处理厂中水回用环境可行性。中水水量和水质可满足湖泊景观用水、冲厕用水、绿化用水、道路洒水等用途;中水排入湖泊后可以满足相邻海域的环境功能区水质要求。在事故性排放情况下,湖泊出海口处的有小面积水域的水质超过了海域功能区的水质要求,应采取相应措施加强管理,防范事故性排放;随着城市化的推进和工业的发展,中水用途将更趋于多样化。

关键词:中水回用;环境可行性;平潭金井湾污水处理厂;海岛

中图分类号:X703 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-6336(2018)05-0713-07

Environmental feasibility analysis of reclaimed water reuse in island sewage treatment plant—a case study of Pingtan Jinjingwan sewage treatment plant

LI Qing-sheng, WU Yao-jian, OUYANG Yu-rong, HOU Jian-ping, WANG Cui,
JIANG Shang, CHEN Si-ting
(Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen 361005, China)

Abstract:Based on the data of the sewage treatment plant and regional planning data, we analyzed the environmental feasibility of reclaimed water reuse for Pingtan Jinjingwan sewage treatment plant by using the empirical model, the complete mixed attenuation equation of the lake and the analytical solution equation of the two-dimensional diffusion equation. The quantity and quality of reclaimed water can meet the needs of lake landscape water, flushing water, greening water and road watering. After the reclaimed water was discharged into the lake and sea, the water quality of the sea can meet the water quality standard of the environmental functional area around the sea area. In case of accidental discharge, water quality of a small area in the adjacent waters exceeded the water quality standard of the sea functional area, so corresponding measures should be taken to strengthen the sewage treatment plant management and prevent accidental discharge. With the development of urbanization and industrialization, the use of reclaimed water will tend to be more diverse.

Key words:reclaimed water reuse;environmental feasibility analysis;Pingtan Jinjingwan sewage treatment plant;island

海岛远离大陆,为独立系统,地表水全部来自 大气降水,而大部分海岛面积有限、地形复杂,地

收稿日期:2017-03-28,修订日期:2017-06-17
基金项目:国家自然科学基金(41406120);国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务专项(海三科 2012020)
作者简介:李青生(1985-),男,安徽南陵人,硕士,工程师,主要从事海岸带规划与评价研究,E-mail:qsl@tio.org.cn
通讯作者:吴耀建,E-mail:xmwyj@tio.org.cn

表径流短小,淡水资源严重缺乏,因此研究海岛水资源重复利用对于缓解海岛水资源紧张具有重要意义^[1-2]。而污水处理厂是对污染源排出的污水水进行人工强化处理并使水质达到一定要求的场所,是水处理和水资源重复利用的枢纽和中心节点^[3-4],因此研究海岛污水处理厂的中水回用问题对于海岛水资源可持续利用具有重要意义。

中水主要是指污水经处理后达到一定的水质标准后,可在一定范围内重复使用的非饮用水^[5]。中水回用可以减少污水的排放,同时也可以促进水资源的重复利用,缓解水资源压力。多年来,研究人员在中水回用的理论与实践方面做了大量的探索,如探讨了中水回用的技术可行性^[6-7]、经济可行性^[8]、政策推动因素^[9-10]、最佳回用率分析^[11]、风险分析^[12]等。但由于海岛远离大陆、经济发展缓慢、保护理念落后、缺乏中水回用基础设施,海岛中水回用存在较多的困难^[2],有关海岛中水回用可行性的研究也少见报道。

平潭岛位于福建省东部海域,福州市东南部海域。平潭县多年平均水资源量为 $1.72\times10^8\text{ m}^3$,人均水量 613 m^3 ,亩均水量 $1\ 637\text{ m}^3$,远低于福建省全省人均 $4\ 520\text{ m}^3$ 、亩均 $5\ 850\text{ m}^3$ 的水平,属缺水地区^[13]。自2010年设立平潭综合实验区以来,平潭岛进入了快速开发阶段,对淡水资源的需求量逐渐增加。平潭金井湾污水处理厂是平潭综合实验区配套的重要市政基础设施,主要处理平潭综合实验区金井湾组团现状及规划市政污水。因此研究金井湾污水处理厂中水回用具有具有较强的必要性和紧迫性。本研究利用湖泊完全混合衰减方程和二维扩散方程等解析法、经验系数法等方法,从水量可行性和水质可行性两方面来研究平潭金井湾污水处理厂中水回用的可行性,以期平潭岛污水处理厂中水回用提供科技和决策支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域

平潭岛位于福建省东部海域,福州市东南部海域。面积 281.5 km^2 ,人口约41万(2013年)。东临台湾海峡,西隔海坛海峡与福清市、长乐市隔海相望,距离内陆地区最近距离约 3.2 km 。平潭岛呈南北长条状,地势南北高、中部低,岛中部为海积与风积平原,北部、南部为丘陵、台地。

平潭金井湾污水处理厂位于平潭岛西南部,规划用地面积 7.68 hm^2 。如图1所示。金井湾污水处理厂服务范围金井湾组团,服务面积约 28 km^2 。污水厂规模为 40000 t/d 。项目尾水采取再生回用方式,作为湖泊景观用水、城市杂用水使用,湖泊景观用水排入金井南湖、金井北湖和如意湖,城市杂用水主要用于冲厕、绿化与广场、道路与交通设施用水。污水处理厂设计的进水水质和出水水质^[14]如表1所示。

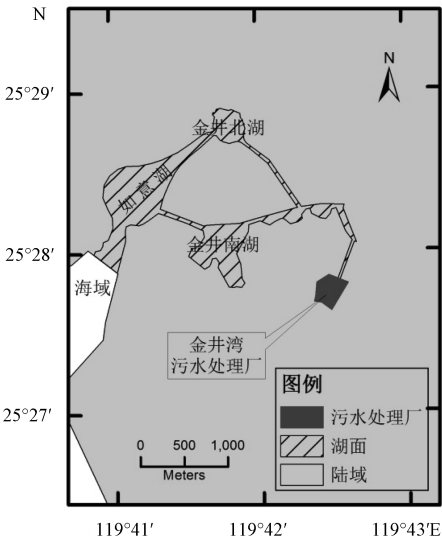


图1 污水处理厂地理位置

Fig. 1 Location of sewage treatment plant

表 1 污水处理厂主要设计出水水质指标

Tab. 1 Water quality indicators of effluent from sewage treatment plant

项目	COD _{cr}	BOD ₅	总磷	总氮	氨氮	悬浮物
进水水质/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	≤ 380	≤ 225	≤ 3.5	≤ 40	≤ 30	≤ 240
出水水质/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	≤ 50	≤ 6	≤ 0.5	≤ 15	≤ 5	≤ 10

1.2 水质预测方法

1.2.1 湖泊完全混合衰减方程

本研究预测尾水经金井南湖、金井北湖和如

意湖排放对海域环境的影响,采用了湖泊完全混合衰减方程^[15]和二维扩散方程解析近似方程^[16]来预测运营期尾水排放后对海域的影响范

围和程度。其方程分别如下:

$$C=\frac{W_0+C_pQ_p}{VK_h}\tag{1}$$

其中: $K_h=\frac{Q_h}{V}+K_1$

式中: W_0 为湖中现有污染物的负荷量(g/d); Q_p 为流进湖泊的污水排放量(m^3/d); C_p 为流进湖泊的污水排放浓度(mg/L); V 为湖水体积(m^3); K_h 为描述污染物浓度变化的时间常数($1/\text{d}$); Q_h 为流出湖泊的污水排放量(m^3/d); K_1 表示污染物按照 K_1 的速度做一级降解反应。

1.2.2 二维扩散方程解析解近似方程

$$C(x,y)=\frac{2Q}{HU\sqrt{4\pi D_y\cdot t}}\exp\left(-\frac{y^2}{4D_y\cdot t}\right)+\frac{2Q}{HU\sqrt{12\pi D_y\cdot t}}\exp\left(-\frac{y^2}{12D_y\cdot t}\right)\tag{2}$$

式中: $C(x,y)$ 为距离排污口(X,Y)点污染物平均浓度增量(mg/L); Q 为污染物单位时间的排放源强(g/s); H 为平均有效混合层厚度(m); U 为潮流平均流速(m/s); D_y 为横向扩散参数(m^2/s); x 和 y 分别为纵向、横向坐标距离(m); t 为时间(s), $t=x/U$ 。

1.3 中水回用量经验计算方法

中水回用量计算采用经验公式法进行计算:

$$\sum_{i=1}^nQ_{ii}=\sum_{i=1}^nQ_{pi}\times A_i\times r_i\tag{3}$$

式中: Q_u 为中水回用总量(m^3); Q_{pi} 为单位面积中水回用量(m^3/ha); A_i 为地类 i 的面积(hm^2); r_i 为替换系数。

2 结果与讨论

2.1 结果

2.1.1 中水回用方式

平潭金井湾污水处理厂内设再生水泵站,将达标后的出水供至城市再生水管网,回用至居民冲厕、绿化与广场浇洒、道路与交通设施、湖泊景观用水。

2.1.2 中水回用水量可行性分析

2.1.2.1 城市杂用水需水量分析

参考《城市居民生活用水量标准》(GB 50331-2002)^[17],规划区使用中水代替部分淡水,居民冲厕用水占总用水的 30% 左右,考虑到普及率的不确定性,居民冲厕中水替换率取 15%;绿

化和道路浇灌用水中水替换率取 90%。

由《福建省城市用水量标准》(DBJ/T 13-127-2010)^[18]和《平潭综合实验区金井湾组团控制性详细规划》^[19]可知,居民用水标准为 $120\text{ m}^3/(\text{hm}^2\cdot\text{d})$,居住用地面积为 111.67 hm^2 ,居民冲厕中水替换率取 15%,则居民冲厕用水量为 2010.06 m^3 ;绿化与广场用水标准为 $25\text{ m}^3/(\text{hm}^2\cdot\text{d})$,绿化与广场用地面积为 232.50 hm^2 ,则中水用量为 5231.25 m^3 ;道路与交通设施用水标准为 $25\text{ m}^3/(\text{hm}^2\cdot\text{d})$,道路与交通设施用地面积为 199.52 hm^2 ,则中水用量为 4489.20 m^3 。

2.1.2.2 污水处理厂尾水作为湖泊景观用水水量分析

部分中水用于居民冲厕用水、绿化与广场用水、道路与交通设施用水后,其余尾水可排入金井南湖、金井北湖和如意湖,作为景观湖补水水源。

根据《平潭综合实验区金井湾组团控制性详细规划》,金井南湖、金井北湖和如意湖的面积共约为 128 hm^2 ,平均深度为 2 m ,蒸发量取平潭多年平均年蒸发量 1328.9 mm ,蒸发的水量约为 $4660\text{ m}^3/\text{d}$ 。剩余水量约为 $23609\text{ m}^3/\text{d}$ 。排入金井南湖、金井北湖和如意湖后,湖面每天上升约 0.019 m 。由于如意湖、金井北湖、金井南湖需要维持一定的水位,保持和周边景观的协调性,而本项目尾水的进入可以帮助维持水位。湖泊与海域之间存在调蓄闸门,待湖泊水域经多天积累水位较高时,可通过闸门将多余水体排入海域,保持水位稳定。

表2 一期不同用途的中水使用量

Tab. 2 The amount of reclaimed water for different uses			
中水使用类型	用水标准 / $\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$	用地面积 / hm^2	中水使用量 / $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$
居民冲厕用水	120	111.67	2010.06
绿化用水	25	232.50	5231.25
道路用水	25	199.52	4489.20
蒸发量	多年平均年蒸发量 1328.9 mm	128.01	4660.25
景观水体	湖面升高约 0.019 m	128.01	23609.24
总计			40000

2.1.2.3 中水回用水量可行性

由前述分析可知,城市杂用水需水量约为 $11730.51\text{ m}^3/\text{d}$,蒸发量为 $4660.25\text{ m}^3/\text{d}$,剩余尾水作为湖泊景观用水,水量为 $23609.24\text{ m}^3/\text{d}$,尾

水进入湖泊后,湖泊约升高 0.019 m/d,升高幅度不大,并可通过湖泊与海域之间的闸门调蓄,保持水位稳定。因此,从水量的角度看,金井湾污水厂中水回用是可行的。

2.1.3 中水回用水质可行性分析

2.1.3.1 作为城市景观用水、城市杂用水的水质可行性

平潭金井湾污水处理厂中水作为城市景观用

水、城市杂用水使用,必须符合《城镇污水再生利用工程设计规范》(GB50335-2016)^[20]中关于观赏性景观环境用水和城市杂用水水质的要求。由表 3 可知,本项目出水水质符合《城镇污水再生利用工程设计规范》(GB50335-2016)的要求,因此,从水质的角度来看,本项目中水作为城市景观用水、城市杂用水使用是可行的。

表 3 不同出水标准水质指标对照

Tab. 3 Water quality indicators for different effluent standards

指标	GB50335-2016 水质要求				污水厂出水水质
	观赏性景观环境用水 (水量类)	城市杂用水 (冲厕)	城市杂用水 (道路)	城市杂用水 (绿化)	
BOD ₅ /mg·L ⁻¹	≤6	≤10	≤15	≤20	≤6
COD _{Cr} /mg·L ⁻¹		-			≤50
SS/mg·L ⁻¹	≤10	-			≤10
NH ₄ -N/mg·L ⁻¹	≤5	≤10	≤10	≤20	≤5
TP/mg·L ⁻¹	≤0.5	-			≤0.5
TN/mg·L ⁻¹	≤15	-			≤15

2.1.3.2 部分尾水通过调蓄闸门进入海域的水质可行性分析

污水处理厂部分尾水排入金井南湖、金井北湖和如意湖,如意湖和海域之间通过调蓄闸门相通。本研究通过模型计算尾水通过调蓄闸门进入海域的污染物(COD_{Mn}、总氮、总磷)浓度增量,并结合海域的环境现状,分析尾水进入海域的环境可行性。

(1) 预测因子及源强

参考相关研究,本研究确定 COD、总氮、总磷为营运期影响预测因子,源强见表 4。在预测中 COD_{Cr}与 COD_{Mn}的比例按 2.5:1 进行换算。

表 4 污水厂排放的水污染源强

Tab. 4 Water pollution source intensity of sewage plant discharge

污水排放量/t·d ⁻¹	污染物	浓度/mg·L ⁻¹	排放量/g·s ⁻¹
23609	COD _{Mn}	20	6.48
	总氮	15	4.86
	总磷	0.5	0.16

(2) 污染物背景值及允许的浓度增量

由于如意湖、金井南湖和金井北湖水域现状与海域相通,海水水质现状监测数据是采用 COD_{Mn}、无机氮和活性磷酸盐来代表海域的化学

需氧量指标和氮磷指标,所以本研究将通过比对 COD_{Mn}、无机氮和活性磷酸盐的浓度变化来判断海域水质是否超标。

由于如意湖的外侧海域海洋功能区执行《海水水质标准》(GB 3097-1997)^[21]第二类标准,COD_{Mn}按照二类海水水质标准的浓度限值(≤3 mg/L)进行控制;根据 COD_{Mn}现状监测值,本次水质预测中的 COD_{Mn}本底值为 0.8 mg/L(最大值)^[22],故 COD_{Mn}允许浓度增量为 2.2 mg/L。

在《海水水质标准》(GB 3097-1997)中没有总氮的浓度限值,因此总氮的水质标准参考无机氮的水质标准。无机氮按照第二类海水水质标准的浓度限值(≤0.3 mg/L)进行控制;根据环境现状调查结果,本次水质预测中的无机氮本底值为 0.062 mg/L(最大值)^[22],故无机氮允许浓度增量为 0.23 mg/L。

总磷在计算时,其执行标准选用活性磷酸盐在《海水水质标准》中的二类标准(≤0.03 mg/L),根据现状调查结果,本次预测中的活性磷酸盐本底值为 0.01 mg/L(最大值)^[22],故活性磷酸盐允许浓度增量为 0.02 mg/L。

(3) 污染物在湖泊中的衰减

金井南湖、金井北湖和如意湖的面积共为

128 hm²,平均深度为 2 m,蒸发量取平潭多年平均年蒸发量 1328.9 mm,COD_{Mn}、TN 和 TP 的一级降解反应 K₁ 值分别取 0.04、0.11 和 0.05,由公式(1)计算得出经过湖泊中的衰减过程,COD_{Mn}、TN 和 TP 的浓度分别为 13.09 mg/L、1.68 mg/L 和 0.095 mg/L。

(4) 污染物在如意湖入海口处的衰减

计算考虑涨、落潮阶段(流速不为零),同时考虑潮流的往复作用,采用简化二维扩散方程解析解计算,参数取值及计算结果见表 5 至表 7。

表 5 如意湖出海口附近 COD_{Mn} 浓度增量分布

Tab. 5 Increasing distribution of COD_{Mn} concentration around the Ruyi lake estuary

H=2.0 D _y =2 U=0.3 Q=6.527 g/s							
Y/X	10	20	30	50	100	150	200
0	0.6499	0.4595	0.3752	0.2906	0.2055	0.1678	0.1453
10	0.4931	0.3995	0.3417	0.2747	0.1998	0.1647	0.1433
20	0.2362	0.2686	0.2605	0.2328	0.1837	0.1557	0.1373
30	0.0913	0.1497	0.1716	0.1788	0.1602	0.1419	0.1281
50	0.0105	0.0379	0.0589	0.0852	0.1061	0.1068	0.1031
100	0.0000	0.0003	0.0021	0.0088	0.0246	0.0354	0.0426
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0045	0.0098	0.0144
200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0022	0.0044

表 6 如意湖出海口附近 TN 浓度增量分布

Tab. 6 Increasing distribution of TN concentration around the Ruyi lake estuary

H=2.0 D _y =2 U=0.3 Q=0.623 g/s							
Y/X	10	20	30	50	100	150	200
0	0.0834	0.0667	0.0545	0.0373	0.0264	0.0215	0.0187
10	0.0633	0.0585	0.0499	0.0353	0.0256	0.0211	0.0184
20	0.0303	0.0405	0.0388	0.0299	0.0236	0.0200	0.0176
30	0.0117	0.0236	0.0264	0.0229	0.0206	0.0182	0.0164
50	0.0013	0.0065	0.0098	0.0109	0.0136	0.0137	0.0132
100	0.0000	0.0001	0.0004	0.0011	0.0032	0.0045	0.0055
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0013	0.0018
200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003	0.0006

表 7 如意湖出海口附近 TP 浓度增量分布

Tab. 7 Increasing distribution of TP concentration around the Ruyi lake estuary

H=2.0 D _y =2 U=0.3 Q=0.031 g/s							
Y/X	10	20	30	50	100	150	200
0	0.0047	0.0033	0.0027	0.0021	0.0015	0.0012	0.0011
10	0.0036	0.0029	0.0025	0.0020	0.0014	0.0012	0.0010
20	0.0017	0.0019	0.0019	0.0017	0.0013	0.0011	0.0010
30	0.0007	0.0011	0.0012	0.0013	0.0012	0.0010	0.0009
50	0.0001	0.0003	0.0004	0.0006	0.0008	0.0008	0.0007
100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0003	0.0003
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001
200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

从表 5~表 7 中可看出,正常排放时,在如意湖调蓄闸门外海域,COD_{Mn}、TN(无机氮)、TP(活性磷酸盐)浓度均不超过第二类海水水质标准要求。其中 COD_{Mn} 浓度增量超过 0.5 mg/L 的范围在顺涨、落潮流方向 50 m,宽 20 m 的范围内,面积约 0.001 km²,面积较小;TN 浓度增量超过 0.05 mg/L 的范围在顺涨、落潮流方向 50 m,宽 20 m 的范围内,面积约 0.001 km²,面积较小。TP 浓度增量超过 0.002 mg/L 的范围在顺涨、落潮流方向 100 m,宽 20 m 的范围内,面积约 0.002 km²,面积较小。

2.2 讨论

2.2.1 事故性排放的影响分析

2.2.1.1 事故情景概况

事故情景为:在断电或设备故障的情况下,污水处理厂的污水未经处理直接排入湖泊。

2.2.1.2 水量影响分析

金井南湖、金井北湖和如意湖的面积共约为 128 hm²,平均深度为 2 m。平潭多年平均年蒸发量约为 1328.9 mm,蒸发的水量约为 4660 t/d。剩余水量约为 35340 t/d。排入金井南湖、金井北湖和如意湖后,湖面上升速度约为 0.027 m/d。

2.2.1.3 水质影响分析

(1) 预测因子及源强

根据工程分析,本报告确定 COD、总氮、总磷为事故性排放影响预测因子,源强见表 8。由于事故情景设置为:污水处理厂的污水未经处理直接排入湖泊,所以 COD_{Cr}、总氮、总磷的浓度采用污水处理厂的进水水质中各指标的浓度,其中 COD_{Cr} 的源强计算采用 COD_{Mn} 标准,在预测中 COD_{Cr} 与 COD_{Mn} 的比例按 2.5:1 进行换算。

表 8 污水厂事故性排放的水污染源强

Tab. 8 Water pollution source intensity of sewage plant discharge in case of accidental discharge

污水排放量/t·d ⁻¹	污染物	浓度/mg·L ⁻¹
35340	COD _{Mn}	152
	总氮	40
	总磷	3.5

(2) 预测结果与评价

① 污染物在湖泊中的衰减

金井南湖、金井北湖和如意湖的面积共为 128 hm²,平均深度为 2 m,蒸发量取平潭多年平均年蒸发量 1328.9 mm,COD_{Mn}、TN 和 TP 的一级降

解反应 K_1 值分别为 0.04、0.11 和 0.05, 计算得出经过湖泊中的衰减过程, COD_{Mn} 、TN 和 TP 的浓度分别为 34.60 mg/L、3.48 mg/L 和 0.52 mg/L。

②二维扩散方程解析解计算结果

涨、落潮阶段(流速不为零), 同时考虑潮流的往复作用时, 采用简化二维扩散方程解析解计算, 参数取值及计算结果见表 9~表 11。

表 9 事故性排放如意湖事故性排放 COD_{Mn} 浓度增量分布
Tab.9 Increasing distribution of COD_{Mn} concentration around the Ruyi lake estuary in case of accidental discharge

$H=2.0 \quad D_y=2 \quad U=0.3 \quad Q=14.1534g/s$							
Y/X	10	20	30	50	100	150	200
0	2.5710	1.8180	1.4844	1.1498	0.8130	0.6638	0.5749
10	1.9507	1.5806	1.3516	1.0867	0.7904	0.6514	0.5668
20	0.9345	1.0627	1.0307	0.9208	0.7267	0.6158	0.5434
30	0.3613	0.5924	0.6789	0.7072	0.6337	0.5615	0.5068
50	0.0415	0.1501	0.2331	0.3371	0.4196	0.4226	0.4081
100	0.0000	0.0013	0.0084	0.0349	0.0974	0.1401	0.1685
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0180	0.0388	0.0569
200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0087	0.0175

表 10 事故性排放如意湖事故性排放 TN 浓度增量分布
Tab.10 Increasing distribution of TN concentration around the Ruyi lake estuary in case of accidental discharge

$H=2.0 \quad D_y=2 \quad U=0.3 \quad Q=1.4236g/s$							
Y/X	10	20	30	50	100	150	200
0	0.2586	0.1829	0.1493	0.1156	0.0818	0.0668	0.0578
10	0.1962	0.1590	0.1360	0.1093	0.0795	0.0655	0.0570
20	0.0940	0.1069	0.1037	0.0926	0.0731	0.0619	0.0547
30	0.0363	0.0596	0.0683	0.0711	0.0637	0.0565	0.0510
50	0.0042	0.0151	0.0234	0.0339	0.0422	0.0425	0.0410
100	0.0000	0.0001	0.0008	0.0035	0.0098	0.0141	0.0170
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0018	0.0039	0.0057
200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0009	0.0018

表 11 事故性排放如意湖事故性排放 TP 浓度增量分布
Tab.11 Increasing distribution of TP concentration around the Ruyi lake estuary in case of accidental discharge

$H=2.0 \quad D_y=2 \quad U=0.3 \quad Q=0.2133g/s$							
Y/X	10	20	30	50	100	150	200
0	0.0388	0.0274	0.0224	0.0173	0.0123	0.0100	0.0087
10	0.0294	0.0238	0.0204	0.0164	0.0119	0.0098	0.0085
20	0.0141	0.0160	0.0155	0.0139	0.0110	0.0093	0.0082
30	0.0054	0.0089	0.0102	0.0107	0.0096	0.0085	0.0076
50	0.0006	0.0023	0.0035	0.0051	0.0063	0.0064	0.0062
100	0.0000	0.0000	0.0001	0.0005	0.0015	0.0021	0.0025
150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0006	0.0009
200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003

从表 9、10 和 11 中可看出, 事故性排放时, 在

如意湖出海口, COD_{Mn} 浓度增量超过 2.2 mg/L 的范围在顺涨、落潮流方向 20 m, 宽 10 m 的范围内, 面积约 0.0002 km^2 ; TN 浓度增量超过 0.23 mg/L 的范围在顺涨、落潮流方向 20 m, 宽 10 m 的范围内, 面积约 0.0002 km^2 ; TP 浓度增量超过 0.02 mg/L 的范围在顺涨、落潮流方向 50 m, 宽 20 m 的范围内, 面积约 0.001 km^2 。

2.2.1.4 防范措施

由于事故性排放会造成湖泊水面上升较快, 并造成海域的局部水质超标, 因此, 做好事故性排放的防范措施非常必要, 主要从以下几方面来进行防范: ①至少建立两套处理设备, 当一套设备发生故障时, 另外的设备可以继续运营; ②在污水处理厂区域或附近区域建立事故应急池, 当发生事故性排放时, 可将尾水排入事故池暂存, 待设备正常运营时重新将水抽入处理系统进行处理; ③在污水处理厂的污水排放系统下游建立湿地过滤系统, 对尾水进行天然过滤, 在事故性排放发生时减少尾水对下游水体的影响; ④加强在线监测, 及时发现和了解事故性排放的发生及影响范围。

2.2.2 中水回用途径

中水回用的对象分工业用水和市政杂用水。工业用水主要是回用至热电厂和化工厂等的冷却用水以及城市污水处理厂内部的杂用(如可用于污泥脱水冲洗滤布等); 市政杂用水包括河湖用水、城市绿化用水、道路路面喷洒用水、公厕用水、洗车用水等^[9], 本研究主要主要考虑了河湖用水、公厕用水、绿化与广场用水、道路与交通设施用水, 未涉及工业用水。随着工业的发展和城市化的推进, 水资源压力的增加, 中水的用途必将逐渐拓宽, 有更多的企业或部门可以利用中水来为生产和运营服务。

3 结 论

本研究基于污水处理厂的特征和区域的规划资料, 利用经验系数法、湖泊完全混合衰减方程和二维扩散方程解析解近似方程等方法, 分析了平潭金井湾污水处理厂中水回用环境可行性。通过将中水回用于湖泊用水、公厕用水、绿化与广场用水、道路与交通设施用水, 中水水量可以满足各种用途; 中水水质可满足公厕用水、绿化与广场用水、道路与交通设施用水的水质要求, 排入湖泊后可以满足湖泊及其相邻的海域的环境功能区水质

要求。在事故性排放情况下,湖泊出海口处的有小面积水域的水质超过了海域功能区的水质要求,应采取相应措施加强管理,防范事故性排放;随着城市化的推进和工业的发展,中水用途将更趋于多样化。

参考文献:

[1] 刘大海,宫伟,邢文秀,等. 基于 AHP-熵权法的海岛海岸带脆弱性评价指标权重综合确定方法[J]. 海洋环境科学,2015,34(3):462-467.

[2] 赵颖辉,郭雪莽,高永胜,等. 海岛型城市水资源利用及其承载力对比研究[J]. 水文,2015,35(6):72-81.

[3] BIXIO D,THOEYE C,DE KONING J,et al. Wastewater reuse in Europe[J]. Desalination,2006,187(1/2/3):89-101.

[4] 李善仁,肖艳. 上海市白龙港城市污水处理厂中水回用工程[J]. 中国给水排水,2009,25(2):70-72.

[5] 赵毅,王晓攀,付东. 中水用于电厂循环冷却水补充水的可行性分析[J]. 华北电力大学学报,2005,32(3):89-94.

[6] BDOUR A N,HAMDI M R,TARAWNEH Z. Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region[J]. Desalination,2009,237(1/2/3):162-174.

[7] WANG T Z,LI Y K,LIANG M C,et al. Biofilms on the surface of gravels and aquatic plants in rivers and lakes with reusing reclaimed water[J]. Environmental Earth Sciences,2014,72(3):743-755.

[8] 叶晓燕,王菲凤,王珊珊. 城市中水回用环境经济效益分析——以福州市洋里污水处理厂出水回用为例[J]. 环境科学与管理,2006,31(8):51-55.

[9] AGUIRRE MARTÍNEZ J. The role of the Mexican state and federal governments in the promotion and coordination of wastewater

renovation and reuse[M]//D'ITRI F. Municipal Wastewater in Agriculture. Amsterdam:Elsevier,1981:1-11.

[10] ORON G,CAMPOS C,GILLERMAN L,et al. Wastewater treatment,renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities[J]. Agricultural Water Management,1999,38(3):223-234.

[11] CHEN Y T,CHEN C C. The Optimal reuse of reclaimed water;a mathematical model analysis[J]. Water Resources Management,2014,28(7):2035-2048.

[12] CHHIPI-SHRESTHA G,HEWAGE K,SADIQ R. Microbial quality of reclaimed water for urban reuses:Probabilistic risk-based investigation and recommendations[J]. Science of the Total Environment,2017,576:738-751.

[13] 高洪生,马荣欣. 平潭岛地下水脆弱性评价[J]. 亚热带水土保持,2009,21(4):28-30,44.

[14] 中国城市建设研究院. 平潭综合实验区金井湾污水处理厂一期工程可行性研究报告[R]. 北京:中国城市建设研究院,2013:22-23.

[15] 程声通. 环境系统分析教程[M]. 2版. 北京:化学工业出版社,2012:60-61.

[16] 刘慈群. 均匀流场中二维扩散方程的解析解[J]. 水动力学研究与进展,1987,2(2):81-84.

[17] GB/T 50331-2002,城市居民生活用水量标准[S].

[18] DBJ/T 13-127-2010,福建省城市用水量标准[S].

[19] 平潭综合实验区管委会. 平潭综合实验区金井湾组团控制性详细规划[R]. 平潭:平潭综合实验区管委会,2014.

[20] GB 50335-2016,城镇污水再生利用工程设计规范[S].

[21] GB 3097-1997,海水水质标准[S].

[22] 国家海洋局第三海洋研究所. 平潭金井湾污水处理厂一期工程环境影响报告书[R]. 厦门:国家海洋局第三海洋研究所,2013:78-80.