

齐海浪, 原效凯, 李璐菡, 等. 生活垃圾填埋场反渗透膜浓缩液回灌垃圾堆体对渗沥液水质影响[J]. 净水技术, 2024, 43(10): 144–153, 195.

QI H L, YUAN X K, LI L H, et al. Effect of RO concentrates for recharging landfill pile on leachate water quality in domestic refuse landfill[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(10): 144–153, 195.

生活垃圾填埋场反渗透膜浓缩液回灌垃圾堆体对渗沥液水质影响

齐海浪¹, 原效凯^{1,*}, 李璐菡¹, 徐永彬²

(1. 广东省建筑设计研究院集团股份有限公司, 广东广州 510010; 2. 东莞市城市管理和综合执法局, 广东东莞 523527)

摘 要 文章以东莞市 3 座已临时封场的生活垃圾填埋场为研究对象, 跟踪、收集和分析了时间跨度为 1 年的渗沥液原水水质中 COD_{Cr}、BOD₅、氨氮、TN、TP、电导率、SS 主要污染物浓度随反渗透膜浓缩液回灌垃圾堆体的浓缩液量变化的数据。研究发现, 当浓缩液回灌量大于临界量后, 渗沥液污染物中的 SS、BOD₅、电导率浓度与浓缩液回灌量的平方均呈现较为明显正相关性, 而浓缩液回灌临界量与填埋场存量垃圾量和渗沥液产生量也呈正相关。浓缩液回灌会造成垃圾堆体渗沥液的各项污染物浓度的升高, 其中对电导率影响最大, 其次是有机污染物, 然后是 TN、氨氮, 最后是 SS 和 TP, 其中对 TP 影响最小。浓缩液回灌会导致渗沥液水质中电导率和总溶解性固体急剧增加并超过处理设施的进水水质浓度限制, 将严重影响采用以蝶管式反渗透(DTRO)为主体的渗沥液处理设备的正常运行。因此, 文章建议不应采用浓缩液回灌垃圾堆体的方式对浓缩液实施处理。

关键词 生活垃圾填埋场 反渗透膜浓缩液 回灌垃圾堆体 垃圾渗沥液水质 电导率 渗沥液处理

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2024)10-0144-11

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.10.018

Effect of RO Concentrates for Recharging Landfill Pile on Leachate Water Quality in Domestic Wastes Landfill

QI Hailang¹, YUAN Xiaokai^{1,*}, LI Luhan¹, XU Yongbin²

(1. Guangdong Architectural Design and Research Institute Group Co., Ltd., Guangzhou 510010, China;

2. Dongguan City Management and Comprehensive Law Enforcement Bureau, Dongguan 523527, China)

Abstract This paper took three domestic waste landfill sites which had been temporarily closed in Dongguan City, Guangdong Province as the research object. The concentrations of major pollutants such as COD_{Cr}, BOD₅, ammonia nitrogen, TN, TP, electrical conductivity and SS in the raw leachate water with a time span of 1 year were tracked, collected and analyzed. In this paper, it was found that when the concentration of concentrated liquid recharge was greater than the critical amount, the concentration of SS, BOD₅ and electrical conductivity in leachate pollutants were significantly positively correlated with the square of the concentration of concentrated liquid recharge, and the critical amount of concentrated liquid recharge was also positively correlated with the amount of waste stored in landfill and the amount of leachate produced. Recharging of concentrated liquid could increase the concentration of various pollutants in landfill leachate, which had the greatest effect on electrical conductivity, followed by organic pollutants, TN, ammonia nitrogen, and finally SS and TP, among which the influence on TP is the least. Due to the recharging of landfill can cause the electrical conductivity and total dissolved solids in the leachate water quality to increase sharply and exceed the concentration limit of the influent water quality of the equipment, which can seriously affect the normal operation of the leachate treatment equipment using

[收稿日期] 2023-10-22

[作者简介] 齐海浪(1990—), 硕士, 工程师, 主要从事市政给水排水、环境卫生管理等市政环保项目的规划、咨询、设计工作, E-mail: 59678292@qq.com。

[通信作者] 原效凯(1973—), 男, 硕士, 正高级工程师, 主要从事市政给水排水、城市固废处置、危险废物处理处置、环境卫生管理等市政环保项目的规划、咨询、设计和技术研究管理工作, E-mail: yxkcom@163.com。

disc tube reverse osmosis (DTRO) as the treatment method. This paper suggests that recharge of reverse osmosis membrane concentrate into the landfill should not be the treatment method of reverse osmosis membrane concentrate.

Keywords domestic waste landfill RO concentrate recharging landfill pile leachate water quality electric conductivity leachate treatment

自 2008 年《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)实施后,反渗透膜分离技术开始逐步应用于生活垃圾填埋场渗沥液的处理^[1-5]。虽然反渗透膜分离技术的应用有效地解决了渗沥液处理出水达标的问题,但与此同时也产生了难处理的反渗透膜浓缩液(以下简称为“浓缩液”)。典型浓缩液的主要污染 COD_{Cr} 质量浓度 $\leq 60\,000\text{ mg/L}$, BOD₅ 质量浓度 $\leq 20\,000\text{ mg/L}$ 、氨氮质量浓度 $\leq 6\,000\text{ mg/L}$ 、TN 质量浓度 $\leq 8\,000\text{ mg/L}$ 、钙离子质量浓度 $\leq 2\,000\text{ mg/L}$ 、镁离子质量浓度 $\leq 1\,500\text{ mg/L}$ 、总硅质量浓度 $\leq 2\,000\text{ mg/L}$ ^[6]。浓缩液中含有大量难降解有机物、重金属及高浓度氨氮、高盐度等污染物的废水,其水质复杂,盐分、重金属含量高,可生化性差,难以处理^[7-9]。因此,浓缩液的处理已经成为制约反渗透膜分离技术在渗沥液处理应用上的主要因素。

浓缩液的产生量与进水的电导率呈正相关性,一般浓缩液产生量为渗沥液进水量的 10%~25%^[10]。目前浓缩液的处理技术,主要有纳滤及反渗透浓缩资源化处理技术、机械蒸汽再压缩蒸发(MVC/MVR)、浸没燃烧蒸发技术、高级氧化法和垃圾堆体回灌法等^[11-15],其中回灌法由于处理成本低、操作简单,已经被广泛应用于国内外的卫生垃圾填埋场的膜浓缩液处理^[16]。

近年来,关于浓缩液回灌垃圾堆体对填埋场渗沥液水质的影响成为了环境研究领域的研究热点。综合国内外的相关研究结论,对于浓缩液回灌垃圾堆体出现了两级分化的研究结论。部分学者^[17-21]的研究表明,已发生矿化的垃圾堆体对浓缩液中 COD_{Cr}、氨氮、重金属等离子体的去除效果理想,且对渗沥液处理系统的正常运行没有严重影响。此外,学者们^[22-26]通过对比新鲜垃圾和陈腐垃圾对浓缩液污染物质的去除效果,得出陈腐垃圾对 COD_{Cr}、氨氮的去除效果理想,从而表明浓缩液回灌是一种技术上可行、经济上合理的浓缩液处理方法。与此同时也有部分学者^[9]研究发现,浓缩液回灌垃圾堆体可能对填埋场内部的微生物代谢活动产生抑制作

用,且存在盐分逐渐累积现象,超量的盐分进入渗沥液的处理系统,对垃圾填埋场渗沥液处理工艺的正常运行产生不利影响。

为了探究浓缩液回灌垃圾堆体对渗沥液水质的影响,近些年国内外涌现了大量的研究成果。但大部分关于浓缩液回灌垃圾堆体的研究均基于实验室模拟垃圾柱体开展,试验开展时间短则 0.5 个月,长则 1 个月左右。模拟垃圾柱体不仅难以反映真实的垃圾堆体与浓缩液之间复杂的物理、化学、生物反应,而且用短期内获得的浓缩液水质当作渗沥液原水水质开展监测和分析^[27-28],分析结果则不具有代表性、科学性及其合理性。由于垃圾填埋场是一个复杂的多项系统,具有非质性,实验室模拟下的垃圾、渗沥液迁移条件等因素通常处于理想状态,温度、pH 等变化不可能与实际应用完全一致,研究成果虽具有一定的参考价值,但不能有效指导实际生产。

鉴于此,有必要利用真实的垃圾填埋场就浓缩液回灌对渗沥液原水水质的影响开展长时间的准确跟踪监测和研究,期望更加科学、合理、准确地了解浓缩液回灌对垃圾堆体的渗沥液原水水质影响,从而指导生活垃圾填埋场的运营和管理,也为浓缩液的处理探寻更加合理的处理方向。

本文分别以广东省东莞市 3 座生活垃圾卫生填埋场为研究对象,通过长达 1 年的跟踪、监测、收集和分析浓缩液回灌垃圾堆体的回灌量与渗沥液原水水质随时间的变化等数据,对填埋场膜浓缩液回灌垃圾堆体对渗沥液水质中的主要污染浓度的影响进行系统性研究。

1 研究对象及数据

1.1 研究对象基本信息

截至 2023 年,东莞市共有垃圾填埋场(含简易垃圾填埋场)共计 37 座,其中只有 A、B、C 填埋场是在原简易垃圾填埋场的基础上按国家有关行业标准,经改扩建方式兴建为卫生垃圾填埋场。此外 37 座填埋场中除上述 3 座填埋场处于临时封场外,其余填埋均已标准化封场。37 座填埋场的存量垃圾体量为 20 万~500 万 m³,集装箱式渗沥液处理规模

为 100~600 m³/d。本文所选 3 座填埋场均为标准化卫生垃圾填埋场,运行时间相近,所处状态一致。此外垃圾体量位于该区域 37 座填埋场存量垃圾体量的中位数,且渗沥液处理规模分别位处于低、中、高 3 个规模。因此,本文选取上述 3 座填埋场为主要研究对象,不仅可较为理想的反应浓缩液回灌对渗沥液水质的影响,而且研究数据及结论可以充分

代表东莞市垃圾填埋场的整体运行情况。虽然 C 填埋场的存量垃圾体量大于 A 填埋场,但其投入运行时间最早,新鲜垃圾量(2019 年以后填埋垃圾量)占比最小,且垃圾堆体已实施临时封场的面积最小,因此,该填埋场的渗滤液处理规模是三者中最低。

本文所选的研究对象的主要基础信息如表 1 所示。

表 1 填埋场基本信息
Tab. 1 Basic Information of Landfill

填埋场名称	设计库容/m ³	占地面积/m ²	存量垃圾体量/m ³	现所处状态	运行年份	渗沥液处理方式及设计规模
A 填埋场	45 万	5.04 万	41.30 万	临时封场	2016 年—2021 年	集装箱式两级 DTRO,设计处理规模为 400 m ³ /d
B 填埋场	167 万	8.42 万	171.60 万	临时封场	2014 年—2021 年	集装箱式两级 DTRO,设计处理规模为 600 m ³ /d
C 填埋场	107 万	13.23 万	71 万	临时封场	2012 年—2021 年	集装箱式两级 DTRO,设计处理规模为 200 m ³ /d

注:DTRO 表示蝶管式反渗透。

1.2 基础数据统计

A、B、C 填埋场均采用竖井回灌法处理膜浓缩液,即用压力管道将浓缩液输送至横向间距布置于垃

圾堆体表面的的回灌井,浓缩液由回灌井进入垃圾堆体。本文收集了 2021 年—2022 年各月的浓缩液回灌量和渗沥液原水水质数据,如表 2~表 4 所示。

表 2 A 填埋场膜浓缩液回灌量及渗沥液水质
Tab. 2 Quantity of RO Concentrate Recharging and Leachate Quality in Landfill A

月份	SS/ (mg·L ⁻¹)	COD _{Cr} / (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	电导率/ (μS·cm ⁻¹)	浓缩液回灌 量/m ³
2022 年 1 月	47	4 820	2 900	1 900	15	2 130	22 100	1 523
2022 年 2 月	510	4 650	2 491	1 750	15	1 930	16 400	1 435
2022 年 3 月	800	1 200	1 970	549	6	697	17 600	1 367
2022 年 4 月	80	4 370	1 338	1 870	15	1 890	21 200	1 372
2022 年 5 月	140	1 100	1 122	2.89	3	743	16 700	1 352
2022 年 6 月	27	3 380	1 060	1 400	15	1 410	16 900	1 338
2022 年 7 月	59	6 800	1 010	478	8	815	14 800	1 342
2022 年 8 月	26	3 340	956	575	10	620	9 500	1 384
2022 年 9 月	38	2 860	902	777	9	846	9 100	1 280
2022 年 10 月	218	3 205	791	1 183	10	1 676	10 400	1 178
2022 年 11 月	225	3 071	529	924	11	1 230	8 600	1 152
2022 年 12 月	125	3 131	462	936	9	1 118	17 200	1 089

表 3 B 填埋场膜浓缩液回灌量及渗沥液原水水质
Tab. 3 Quantity of RO Concentrate Recharging and Leachate Quality in Landfill B

月份	SS/ (mg·L ⁻¹)	COD _{Cr} / (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	氨氮/ (mg·L ⁻¹)	TP/ (mg·L ⁻¹)	TN/ (mg·L ⁻¹)	电导率/ (μS·cm ⁻¹)	浓缩液回灌 量/m ³
2022 年 1 月	36	2 010	558	1 250	10	1 350	15 600	1 962
2022 年 2 月	170	2 160	557	1 140	11	1 280	15 800	2 068

(续表3)

月份	SS/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{BOD}_5/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	氨氮/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	电导率/ ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	浓缩液回 灌量/ m^3
2022 年 3 月	30	2 550	861	1 570	10	1 980	12 700	2 629
2022 年 4 月	230	2 530	1 250	1 370	11	1 400	16 100	2 191
2022 年 5 月	36	1 460	582	902	5	1 020	14 500	3 340
2022 年 6 月	88	1 930	220	1 070	8	1 150	17 600	4 019
2022 年 7 月	42	1 800	1 100	804	9	1 930	18 100	5 335
2022 年 8 月	37	3 260	1 300	241	14	689	20 800	5 789
2022 年 9 月	70	1 800	468	1 710	0.64	2 190	22 600	5 311
2022 年 10 月	148	4 389	2 360	2 390	16.1	2 854	21 100	5 107
2022 年 11 月	36	3 132	1 294	1 357	15.4	1 583	19 500	3 408
2022 年 12 月	168	3 017	1 100	1 427	16.1	1 951	20 700	3 079

表 4 C 填埋场膜浓缩液回灌量及渗沥液原水水质
Tab. 4 Quantity of RO Concentrate Recharging and Leachate Quality in Landfill C

月份	SS/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\text{COD}_{\text{Cr}}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{BOD}_5/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	氨氮/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	TN/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	电导率/ ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	浓缩液回 灌量/ m^3
2021 年 8 月	120	1 990	351	704	5	1 930	19 860	1 500
2021 年 9 月	160	4 050	592	1 530	12	1 690	17 500	1 306
2021 年 10 月	180	2 290	276	878	7	2 550	18 640	1 112
2021 年 11 月	90	3 700	337	1 690	13	1 890	16 320	984
2021 年 12 月	398	1 680	173	711	6	770	15 300	640
2022 年 1 月	20	1 150	208	799	6	816	16 900	207
2022 年 2 月	7	225	93	95	1	134	14 800	404
2022 年 3 月	162	1 840	240	947	8	1 160	13 200	670
2022 年 4 月	129	1 610	312	738	7	969	10 230	850

2 渗沥液水质与浓缩液回灌间的变化关系

2.1 渗沥液水质随浓缩液回灌量的变化

以浓缩液回灌量为横坐标,以渗沥液各主要污染物浓度为纵坐标,分别绘制了填埋场渗沥液污染物浓度与浓缩液回灌量的变化曲线。通过数据分

析,渗沥液污染物中的 SS、 BOD_5 、电导率浓度与浓缩液回灌量的平方均呈正相关性,如图 1~图 3 所示。

通过计算拟合曲线方程的导数,本文发现当浓缩液回灌量超过临界量后可引起污染物浓度升高。根

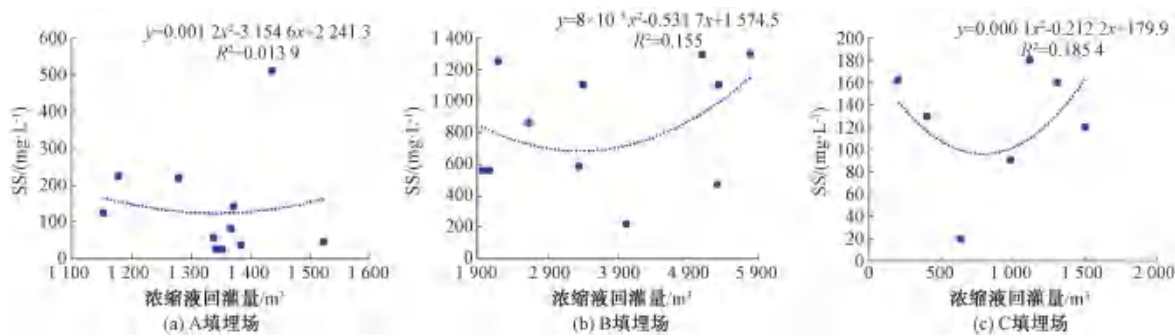


图 1 渗沥液 SS 浓度随浓缩液回灌量变化趋势

Fig. 1 Variation Trend of Concentration of Leachate SS with Concentrates Recharging Capacity

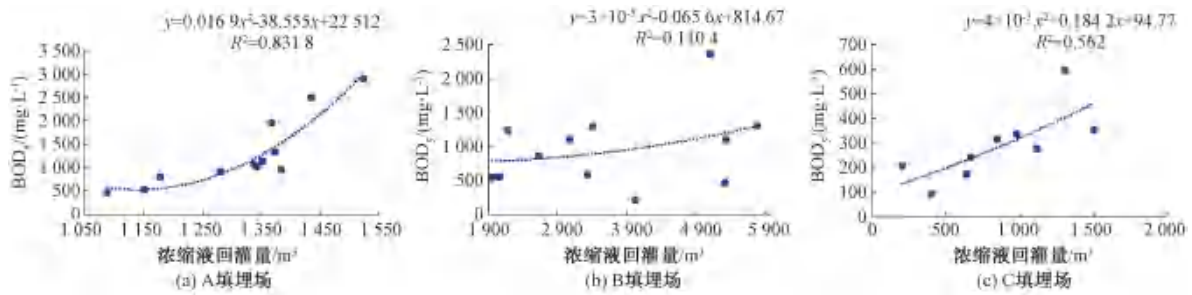
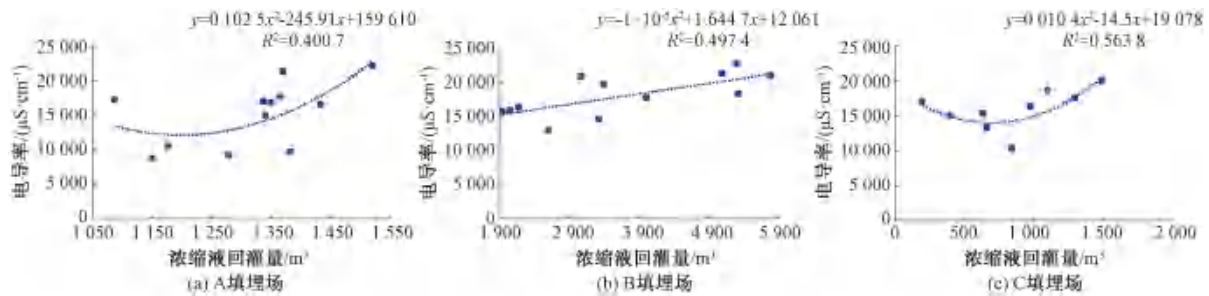
图2 渗沥液 BOD₅ 浓度随浓缩液回灌量变化趋势Fig. 2 Variation Trend of BOD₅ Concentration in Leachate with Concentrates Recharging Capacity

图3 渗沥液电导率随浓缩液回灌量变化趋势

Fig. 3 Variation Trend of Conductivity of Leachate with Concentrates Recharging Capacity

据变化曲线,当 A、B、C 填埋场月回灌量 $\geq 1\,314\text{ m}^3$,回灌量 $\geq 3\,323\text{ m}^3$,回灌量 $\geq 1\,061\text{ m}^3$ 时,SS 浓度随浓缩液回灌量的增加而升高;当 A、B 填埋场的月回灌量 $\geq 1\,141\text{ m}^3$,回灌量 $\geq 1\,293\text{ m}^3$ 时,BOD₅ 浓度随浓缩液回灌量的增加而升高。C 填埋场其渗沥液 BOD₅ 浓度随回灌量而升高;当 A、C 填埋场的月回灌量 $\geq 1\,140\text{ m}^3$,回灌量 $\geq 698\text{ m}^3$ 时,其渗沥液电导率浓度随回灌量的增加而升高。B 填埋场其渗沥液电导率随浓缩液回灌而升高。

浓缩液进入垃圾堆体后首先被垃圾吸附和截留,这部分的浓缩液即为浓缩液回灌临界量。当回灌量继续增大,浓缩液与渗沥液混合后导致 SS 浓度升高。由表 5 所示,3 座填埋场的浓缩液月均回灌量、渗沥液处理规模、存量垃圾体量,发现浓缩液回灌临界量略小于月均回灌量,且与填埋场存量垃圾量和渗沥液产生量呈正相关性。

2.2 渗沥液水质及浓缩液回灌量随时间变化

以时间为横坐标,以渗沥液各主要污染浓度和膜浓缩液回灌量为纵坐标,分别绘制了浓缩液回灌量及渗沥液原水水质浓度随时间的变化曲线(图 4~图 9)。

A 填埋场 2022 年各月产生的渗沥液各污染浓度与浓缩液回灌量,随时间的推移呈减少的趋势。

其中 TP 和 TN 浓度虽然呈现先降低后增长的波浪

表 5 浓缩液回灌临界量统计对比

Tab. 5 Statistical Comparison of Critical Concentration Recharge

填埋场名称	渗沥液污染物	浓缩液回灌临界量/ m^3	浓缩液月均回灌量/ m^3
A 填埋场	SS	1 314	1 317
	BOD ₅	1 141	
	电导率	1 140	
B 填埋场	SS	3 323	3 687
	BOD ₅	1 293	
	电导率	-	
C 填埋场	SS	1 061	852
	BOD ₅	-	
	电导率	698	

线式的逐月变化规律,但从整年的时间跨度来看其浓度依然随浓缩液的回灌量减少而降低。根据各污染物浓度变化曲线的线性拟合的斜率的绝对值 $K_{\text{电导率}} > K_{\text{BOD}_5} > K_{\text{氨氮}} > K_{\text{TN}} > K_{\text{COD}_{\text{Cr}}} > K_{\text{浓缩液回灌量}} > K_{\text{SS}} > K_{\text{TP}}$,说明浓缩液的回灌量对于渗沥液原水中的电导率、BOD₅、氨氮、TN、COD_{Cr}、SS、TP 浓度的影响程度依次降低(图 4~图 5)。其中电导率的变化最为明显,从而表明膜浓缩液的回灌对渗沥液原水水质的影响主要表现为电导率的升高。

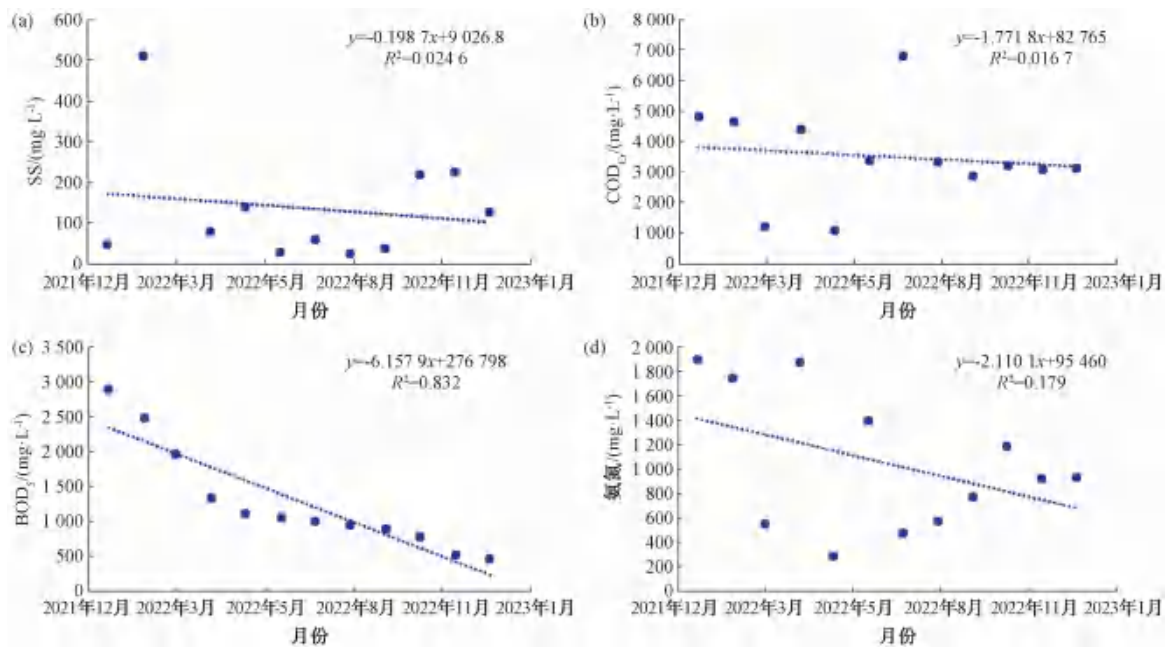


图 4 A 填埋场渗沥液水质随浓缩液回灌量变化趋势

Fig. 4 Variation Trend of Leachate Quality in A Landfill Site with Concentration Recharge

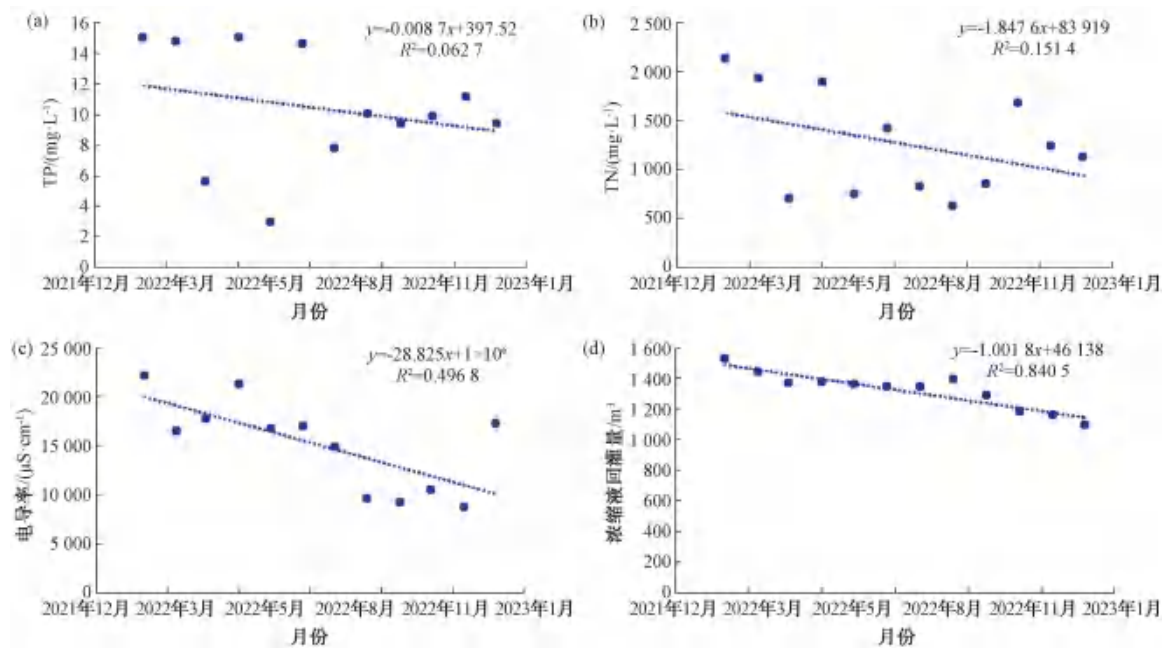


图 5 A 填埋场渗沥液水质随浓缩液回灌量变化趋势

Fig. 5 Variation Trend of Leachate Quality in Landfill A with Concentrates Recharging Capacity

B 填埋场 2022 年各月产生的渗沥液污染物浓与浓缩液回灌量, 随时间的推移呈增加趋势。根据各污染物浓度变化曲线的线性拟合的斜率 ($K_{\text{电导率}} > K_{\text{浓缩液回灌量}} > K_{\text{COD}_{\text{Cr}}} > K_{\text{TN}} > K_{\text{BOD}_5} > K_{\text{氨氮}} > K_{\text{SS}} > K_{\text{TP}}$), 说明浓缩液的回灌对于渗沥液原水中的电导率、 COD_{Cr} 、TN、 BOD_5 、氨氮、SS、TP 浓度的影响程度依次降低

(图 6~图 7)。其中, 电导率的变化最为明显, 从而充分表明, 膜浓缩液的回灌对渗沥液原水水质的影响主要表现为电导率的升高。

C 填埋场从 2021 年 8 月—2022 年 4 月产生的渗沥液污染物浓度与浓缩液回灌量, 随时间的推移呈减少的趋势。根据各污染物浓度变化曲线的线性

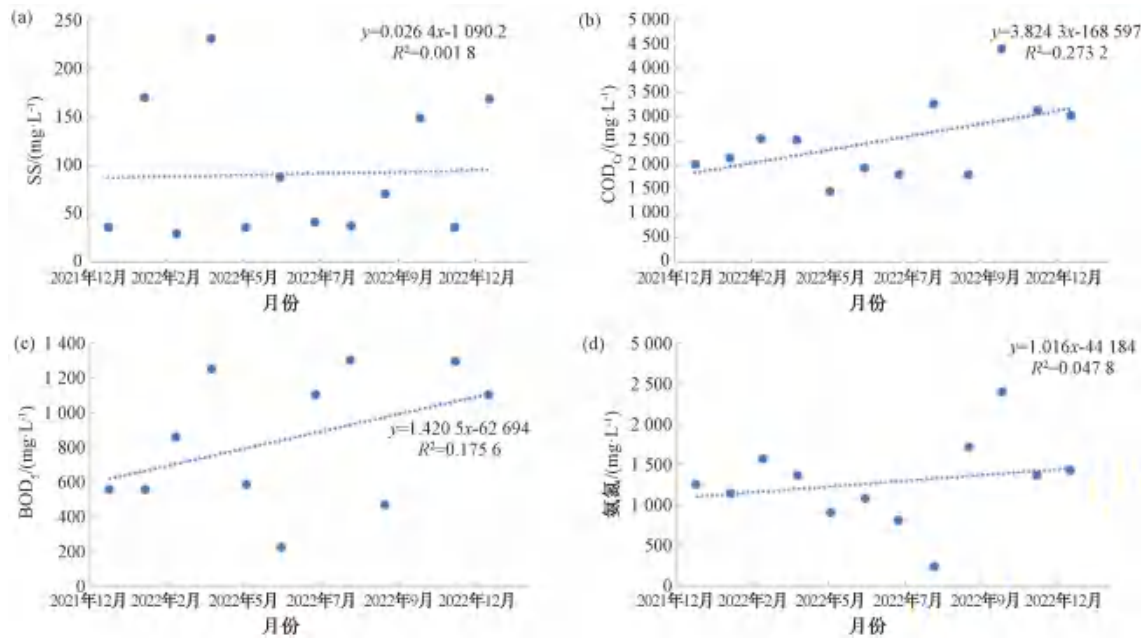


图6 B 填埋场渗沥液水质随浓缩液回灌量变化趋势

Fig. 6 Variation Trend of Leachate Quality in B Landfill Site with Concentration Recharge

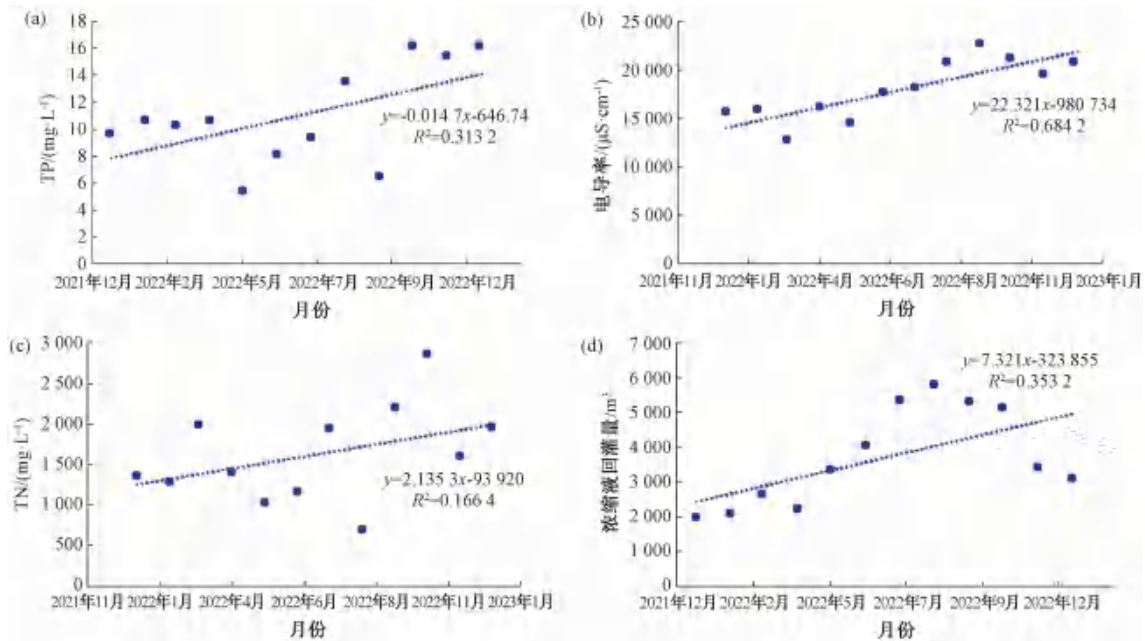


图7 B 填埋场渗沥液水质随浓缩液回灌量变化趋势

Fig. 7 Variation Trend of Leachate Quality in Landfill B with Concentrates Recharging Capacity

拟合的斜率的绝对值 $K_{\text{电导率}} > K_{\text{COD}_{\text{Cr}}} > K_{\text{TN}} > K_{\text{浓缩液回灌量}} > K_{\text{氨氮}} > K_{\text{BOD}_5} > K_{\text{SS}} > K_{\text{TP}}$, 说明浓缩液的回灌量变化对于渗沥液原水中电导率、COD_{Cr}、TN、氨氮、BOD₅、SS、TP 浓度影响程度依次降低(图 8~图 9)。其中电导率的变化最为明显, 从而充分表明膜浓缩液的回灌对渗沥液原水水质的影响主要表现为电导率的

升高。

从 3 座填埋场渗沥液各污染物浓度与浓缩液回灌量随时间的变化曲线图可知, 回灌量与各污染物浓度随时间呈现同增同减的趋势, 可以得出浓缩液回灌可导致渗沥液各污染物浓度的升高。根据各污染物浓度变化曲线的拟合斜率, 变化幅度从高到低

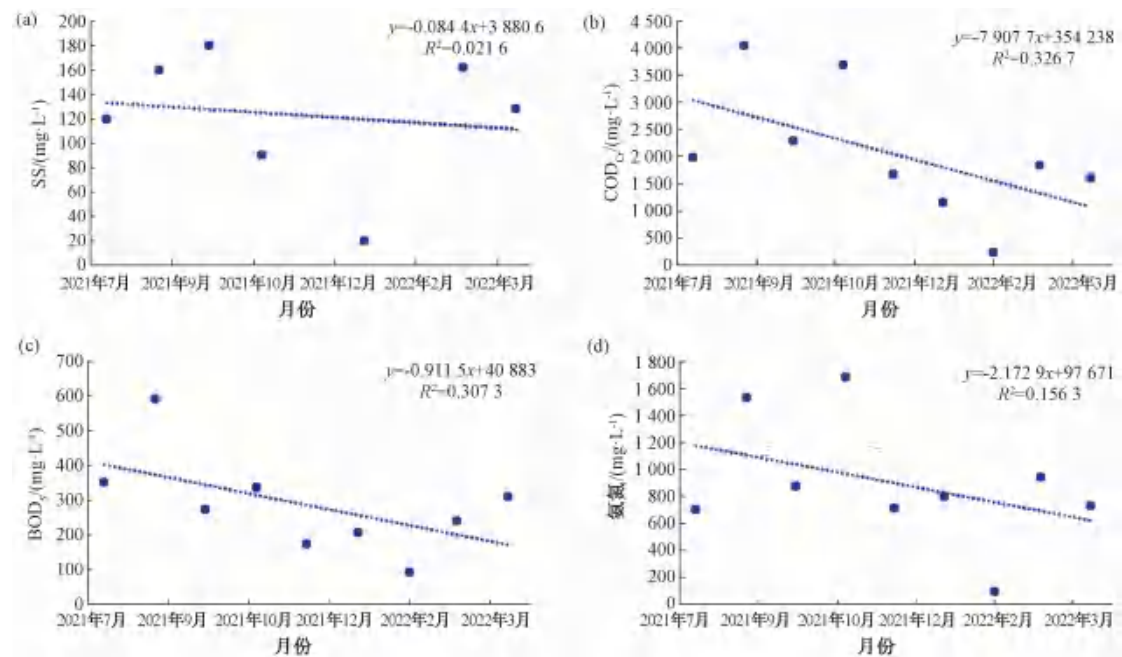


图8 C 填埋场渗沥液水质随浓缩液回灌量变化趋势

Fig. 8 Variation Trend of Leachate Quality in C Landfill Site with Concentration Recharge

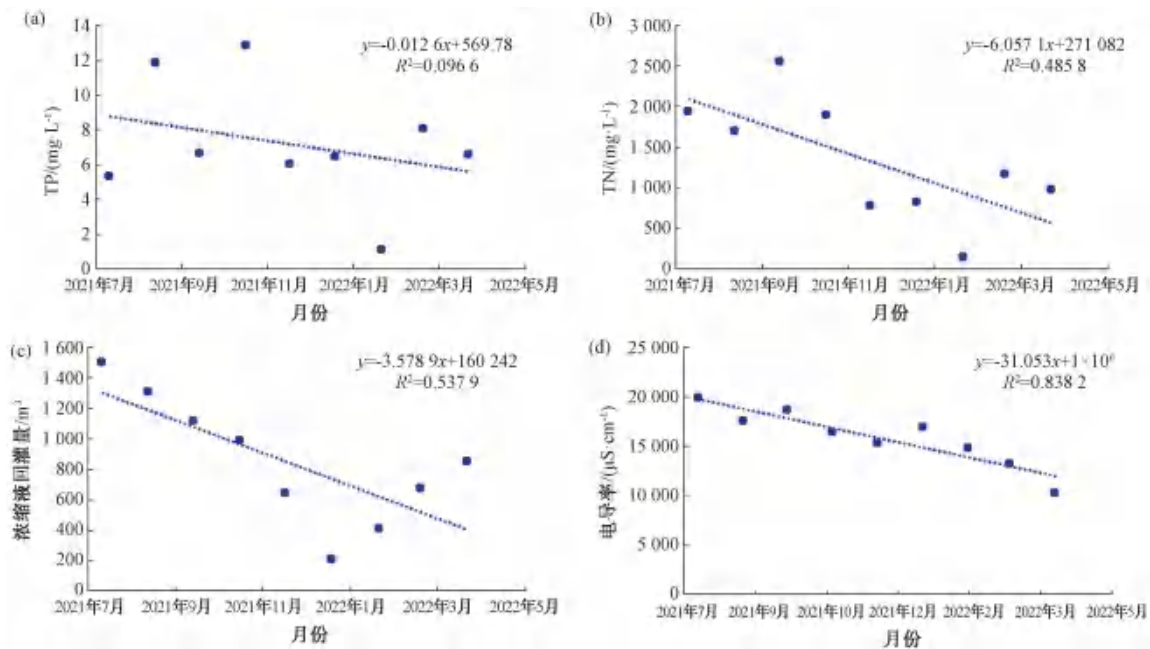


图9 C 填埋场渗沥液水质随浓缩液回灌量变化趋势

Fig. 9 Variation Trend of Leachate Quality in Landfill C with Concentrates Recharging Capacity

依次是电导率、有机污染物、TN、氨氮、SS、TP。从而充分说明浓缩液回灌对渗沥液电导率影响最大。有关研究^[29]表明,废水中的溶解性固体和电导率存在着相关性,二者比值在0.5~0.7。据此,本文认为浓缩液回灌也会导致渗沥液溶解性固体浓度的升高。

由表2~表4可知,3座填埋场在浓缩液回灌过程中产生的渗沥液电导率均值分别为15 042、17 925、15 861 μS/cm,溶解性固体与电导率比值按0.7计,则对应的总溶解性固体质量浓度为10 530、12 548、11 103 mg/L。

膜浓缩液具有难降解有机污染物浓度高、含盐量高、生物毒性大的特点^[6]。膜浓缩液中的污染物进入垃圾堆体内部后很难通过堆体自身的厌氧反应或者吸附作用降解和截留。污染物随着回灌量的增加,逐步进入堆体产生的渗沥液最后造成了渗沥液中电导率、COD_{Cr}、BOD₅、氨氮、TN浓度的升高。浓缩液回灌对渗沥液SS和TP的浓度影响较小的原因:一是TP和SS浓度相对于其他主要污染物浓度低,二是垃圾的多孔结构能对SS具有吸附和截留的作用^[16]。

3 结论

当浓缩液回灌量大于临界量后,渗沥液污染物中的SS、BOD₅、电导率浓度与浓缩液回灌量的平方呈现较为明显正相关性。浓缩液进入垃圾堆体后首先被垃圾吸附和截留,之后随着回灌量的增加,导致渗沥液污染物浓度的浓度升高。浓缩液回灌临界量与填埋场存量垃圾体量和渗沥液产生量存在一定的正相关性。

渗沥液各污染浓度的变化趋势与浓缩液回灌量变化趋势相同,即浓缩液回灌会造成垃圾堆体渗沥液的各项污染浓度的升高。其中浓缩液回灌对电导率影响最大,然后依次是有机污染物、TN、氨氮、SS、TP。

本文在浓缩液回灌过程中产生的渗沥液总溶解性固体质量浓度为10 530~11 103 mg/L,远远大于《生活垃圾渗滤液碟管式反渗透处理设备》(CJ/T 279—2008)中规定的碟管式反渗透设备进水水质总溶解性固体质量浓度<4 000 mg/L的要求。若长期处理进水水质超标的渗沥液将严重影响采用以DTRO为主体的渗沥液处理设备的正常运行。虽然《生活垃圾卫生填埋处理技术规范》(GB 50869—2013)建议在保证不影响渗沥液处理正常运行的情况下可以采用浓缩液回灌的方式。但是通过研究表明浓缩液回灌能引起垃圾渗沥液中的污染物浓度的急剧增加,因此本文建议不采用此种方式对膜浓缩液实施处理。

参考文献

- [1] 姚远. 填埋场垃圾渗滤液两级DTRO浓缩液正渗透处理工程实践[J]. 科学技术创新, 2020(16): 55-57.
- YAO Y. Practice of forward osmosis treatment of landfill landfill leachate two-stage DTRO concentrate [J]. Science and

- Technology Innovation, 2020(16): 55-57.
- [2] 王莹, 齐美珠. 垃圾填埋场渗滤液处理技术与工艺路线选择[J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(9): 174-177.
- WANG Y, QI M Z. Treatment technology and process route selection of landfill leachate [J]. Leather Making and Environmental Technology, 2022, 3(9): 174-177.
- [3] 王清森, 金晶, 郑伟, 等. DTRO工艺在某垃圾填埋场渗滤液处理中的应用与建议[J]. 江西化工, 2023, 39(3): 106-111.
- WANG Q S, JIN J, ZHENG W, et al. Application and suggestion of DTRO process in leachate treatment of a landfill [J]. Jiangxi Chemical Industry, 2023, 39(3): 106-111.
- [4] 丁西明, 马冬杰, 康建邨, 等. 老龄化垃圾填埋场渗滤液全量化处理工程实例[J]. 中国给水排水, 2023, 39(12): 90-94.
- DING X M, MA D J, KANG J D, et al. Engineering examples of full quantitative treatment of leachate from an aging landfill [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(12): 90-94.
- [5] 杜昱, 王进, 李君, 等. 垃圾渗滤液处理工艺分析[J]. 环境卫生工程, 2012, 20(2): 29-31.
- DU Y, WANG J, LI J, et al. Waste leachate treatment technologies [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2012, 20(2): 29-31.
- [6] 住房和城乡建设部标准定额研究所. 生活垃圾渗滤液处理技术导则: RISN-TG023—2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- Research Institute of Standards and Norms Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Technical guidelines for leachate treatment of domestic refuse: RISN-TG023—2016[S]. Beijing: China Architecture and Architecture Press, 2017.
- [7] 唐估. SCE处理老港填埋场渗滤液膜浓缩液运行分析[J]. 环境卫生工程, 2020, 28(1): 70-73.
- TANG J. Operation analysis of leachate membrane concentrate treated by SCE in Laogang Landfill site [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2020, 28(1): 70-73.
- [8] 杜海洋, 杨林, 蒋宇. 膜浓缩液处理工艺分析[J]. 应用能源技术, 2020(7): 12-14.
- DU H Y, YANG L, JIANG Y. Analysis of processing technology of membrane concentrated liquid [J]. Applied Energy Technology, 2020(7): 12-14.
- [9] 秦浩, 马长永. 生活垃圾渗滤液膜浓缩液全量化处理工艺应用分析[J]. 环境卫生工程, 2023, 31(2): 108-112.
- QIN H, MA C Y. Application and analysis of fully quantified processing technology of domestic garbage leachate membrane concentrate [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2023, 31(2): 108-112.

- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 生活垃圾渗滤液碟管式反渗透处理设备: CJ/T 279—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Disk-Tube reverse osmosis equipment for domestic waste leachate treatment: CJ/T 279—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [11] 董军岩. 生活垃圾渗滤液浓缩液处理工艺分析[J]. 化工管理, 2020(1): 139-141.
- DONG J Y. Process analysis of domestic refuse leachate concentrate[J]. Chemical Management, 2020(1): 139-141.
- [12] 陈赞, 乐晨. 混凝沉淀—臭氧氧化法处理垃圾渗滤液纳滤浓缩液工艺分析[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(21): 2966-2970.
- CHEN Y, LE C. Analysis on technique for processing landfill leachate nanofiltration concentrate by coagulation sedimentation and ozone oxidation method[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(21): 2966-2970.
- [13] 卢明. MVR 工艺在生活垃圾填埋场反渗透浓缩液处理中的应用[J]. 绿色科技, 2021, 23(22): 185-189.
- LU M. Application of MVR process in the treatment of concentrated solution of reverse osmosis in domestic waste landfill[J]. Journal of Green Science and Technology, 2016, 44(21): 2966-2970.
- [14] 吕伟, 彭磊, 周星煜, 等. 垃圾填埋场渗滤液浓缩液高级氧化组合技术研究[J]. 环保科技, 2021, 27(6): 12-14, 60.
- LÜ W, PENG L, ZHOU X Y, et al. Research on advanced oxidation combined processes for treatment of nanofiltration concentrate of landfill leachate[J]. Environmental Protection and Technology, 2021, 27(6): 12-14, 60.
- [15] HUNCE S Y, AKGUL D, DEMIR G, et al. Solidification/stabilization of landfill leachate concentrate using different aggregate materials[J]. Waste Management, 2012, 32(7): 1394-1400.
- [16] 王东梅, 刘丹, 刘庆梅, 等. 渗滤液反渗透浓缩液回灌出水水质变化规律的研究[J]. 环境科学, 2014, 35(7): 2823-2828.
- WANG D M, LIU D, LIU Q M, et al. Research on the variation regularity of effluent from the leachate reverse osmosis concentrate recirculation[J]. Environmental Science, 2014, 35(7): 2823-2828.
- [17] 杨一清, 张宇翔, 张玉飞, 等. 生活垃圾持续回灌纳滤浓缩液的产气与水质变化[J]. 环境工程, 2023, 41(3): 148-154.
- YANG Y Q, ZHANG Y X, ZHANG Y F, et al. Gas production and leachate properties of municipal solid waste with continuous injection of concentrated NF leachate [J]. Environmental Engineering, 2023, 41(3): 148-154.
- [18] 赵成云, 林伯伟, 肖强, 等. 垃圾渗滤液反渗透浓缩液回灌中试研究[J]. 环境卫生工程, 2011, 19(1): 11-15.
- ZHAO C Y, LIN B W, XIAO Q, et al. Pilot experiment of recirculation treatment of concentrated liquor produced from waste leachate treatment using reverse osmosis [J]. Environmental Engineering, 2011, 19(1): 11-15.
- [19] 蒋宝军, 李俊生, 杨威, 等. 垃圾渗滤液反渗透浓缩液回灌处理中试研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2006, 22(6): 36-40.
- JIANG B J, LI J S, YANG W, et al. Study on pilot experiment of recirculation treatment of concentrated liquor produced by leachate reverse-osmosis [J]. Journal of Harbin University of Commerce (Natural Science Edition), 2006, 22(6): 36-40.
- [20] 刘保成, 吕国庆, 高祯, 等. 垃圾渗滤液浓缩液的回灌试验研究[J]. 中国给水排水, 2011, 27(19): 64-67.
- LIU B C, LÜ G Q, GAO Z, et al. Experimental study on the recharge of landfill leachate concentrate [J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(19): 64-67.
- [21] 吴彬彬. 垃圾卫生填埋场渗滤液浓缩液表层滴管技术研究[J]. 环境卫生工程, 2019, 27(4): 51-54.
- WU B B. Study on surface dropper technology of leachate concentrate in landfill [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2019, 27(4): 51-54.
- [22] 史东晓, 张怀玉, 华建敏, 等. 不同回灌堆体和回灌方式对纳滤浓缩液回灌效果的影响[J]. 环境卫生工程, 2012, 20(5): 11-14.
- SHI D X, ZHANG H Y, HUA J M, et al. Influence of different recirculating pile and recirculation way on recirculation effect of nanofiltration concentrated liquor [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2012, 20(5): 11-14.
- [23] 陈斌. 回灌法在垃圾渗滤液处理中的应用前景[J]. 福建化工, 2000(3): 30-32, 26.
- CHEN B. Application prospect of recharge method in the treatment of garbage filtrate[J]. Fujian Chemical Industry, 2000(3): 30-32, 26.
- [24] 汪大明, 孟凡生, 王业耀, 等. 回灌法去除垃圾渗滤液中氨氮的研究[J]. 工业水处理, 2007, 27(3): 13-15.
- WANG T M, MENG F S, WANG Y Y, et al. Research on ammonium-nitrogen removal from trash leachate by reflux [J]. Industrial Water Treatment, 2007, 27(3): 13-15.
- [25] 赵雪燕. 垃圾填埋场渗滤液回灌技术探讨[J]. 德州学院学报, 2013, 29(s1): 69-70.
- ZHAO X Y. Discussion on leachate recharge technology of landfill [J]. Journal of Dezhou University, 2013, 29(s1): 69-70.

(下转第 195 页)

的复合型人才,打造综合型技能管理团队,服务于智慧水务建设与运营。

(3) 水司在推行集中运营模式的过程中,需要进一步深入挖掘数据价值,挖掘数据隐藏的规律和价值,分析成果应用于业务中,实现数据业务化,从凭经验感觉决策向凭数据决策转变,推进水务数字化转型。

(4) 水司在实现智慧厂站集中运营管理后,需进一步突破传统水务行业业务边界,探索构建源头到龙头的运营管理新模式,如进一步将市政管网在线设施运维业务、二供泵站运维业务等纳入集中运营管理范畴,实现从原水端到用户端的业务链条全覆盖和精细化闭环管理,实现更高效、精准的水务管理和服务。

参考文献

- [1] 牡丹, 赵建明. 水厂智慧水务建设规划[J]. 供水技术, 2017, 11(6): 62-64.
DU D, ZHAO J M. Smart water supply construction planning of water plant[J]. Water Technology, 2017, 11(6): 62-64.
- [2] 谢善斌, 刘辛悦, 王杨, 等. 智慧水务信息化建设规划与实践[J]. 净水技术, 2020, 39(5): 7-13.
XIE S B, XIE X Y, WANG Y, et al. Planning and practice of smart water informatization systems construction for water utilities[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(5): 7-13.
- [3] 吴勇, 任昭重, 王业飞, 等. 智慧水厂的建设与思考[J]. 城镇供水, 2022(6): 73-79.
WU Y, REN Z Z, WANG Y F, et al. The construction and thinking of intelligent water plant[J]. City and Town Water Supply, 2022(6): 73-79.
- [4] 吴勇, 王业飞, 肖攀, 等. 智慧水厂的应用与实现[J]. 城镇供水, 2023(4): 90-95.
WU Y, WANG Y F, XIAO Q, et al. Application and implementation of smart water plant[J]. City and Town Water Supply, 2023(4): 90-95.
- [5] 李亚东, 张小强, 胡田力, 等. 基于全流程工艺的智慧水厂设计与实践[J]. 自动化与仪表, 2022, 37(9): 83-88.
LI Y D, ZHANG X Q, HU T L, et al. Design and practice of intelligent water plant based on the whole water treatment process[J]. Automation & Instrumentation, 2022, 37(9): 83-88.
- [6] 郑宇祺. 智慧水厂数字孪生技术的应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2022(9): 136-138.
ZHENG Y Q. Application of digital twin technology in intelligent water plant[J]. Intelligent Building & Smart City, 2022(9): 136-138.
- [7] 孙凝, 赵顺萍, 解鹏, 等. 智慧水厂管理平台的研究与实践[J]. 给水排水, 2022, 48(1): 151-155.
SUN N, ZHAO S P, XIE P, et al. Research and practice of smart water plant management platform[J]. Water & Wastewater Engineering, 2022, 48(1): 151-155.
- [8] 陆继诚. 从“自动化”到“智能化”——智慧水厂建设的新思路[J]. 给水排水, 2017, 43(11): 1-3.
LU J C. From ‘automation’ to ‘intelligent’, the new idea of smart water plant construction[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(11): 1-3.
- [9] 徐伟忠, 于红涛, 宋鑫峰, 等. 水厂生产管理智慧化建设实践[J]. 净水技术, 2019, 38(s2): 126-129.
XU W Z, YU H T, SONG X F, et al. Practice of intelligent construction and management in water works[J]. Water Purification Technology, 2019, 38(s2): 126-129.
- [26] 罗春泳, 陈云敏, 唐晓武, 等. 渗滤液回灌设计中一些参数的理论研究[J]. 环境工程, 2003, 21(4): 13-15.
LUO C Y, CHEN Y M, TANG X W, et al. Theoretical study on some parameters of leachate recharge design[J]. Environmental Engineering, 2003, 21(4): 13-15.
- [27] 曹丽娜. 城市生活垃圾填埋场渗滤液回灌处理研究[D]. 西安: 长安大学, 2006.
CAO L N. Study on leachate recharging treatment of municipal solid waste landfill[D]. Xi'an: Chang'an University, 2006.
- [28] 田宝虎. 渗滤液膜滤浓缩液回灌对填埋场稳定化的影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
TIAN B H. Study on the influence of leachate membrane concentration recharging on landfill stabilization[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [29] 周雅萱, 尹洧. 废水中电导率和溶解性固体的相关关系[J]. 化工环保, 1987(2): 104-107.
ZHOU Y X, YIN W. The correlation between electrical conductivity and dissolved solids in wastewater[J]. Chemical Environmental Protection, 1987(2): 104-107.

(上接第 153 页)